

九州地区における土木コンクリート構造物
設計・施工指針（案）

平成25年7月

国 土 交 通 省
九 州 地 方 整 備 局

序

近年、新幹線トンネル覆工コンクリート剥落や高架橋の床版コンクリートの塩害による劣化などコンクリート構造物の不具合が相次いで顕在化し、コンクリート構造物の品質向上が急務となっています。

このような背景の中、土木コンクリート構造物の耐久性を向上させる観点から設置された「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」が平成12年3月に行った提言を踏まえ、国土交通省として平成13年3月に「土木コンクリート構造物の品質確保について」等の通達が出されました。

これらを受けて、九州地区における長寿命コンクリートを建設するための設計・施工に必要な基準を定めることを目的として、平成14年に「九州地区長寿命コンクリート構造物検討委員会」を設置しました。本委員会は、3ヶ年の期間を要し、国土交通省のコンクリート構造物に関する各種規定、基準、指針あるいは土木学会コンクリート標準示方書等を補完する「九州地区における土木コンクリート構造物の設計・施工指針試行（案）」（以下 指針試行（案）と略称）を策定しました。

さらに、平成17年度より「土木コンクリート構造物品質評価委員会」を立ち上げ、3ヶ年に渡り、上記指針試行（案）が実際の設計業務や工事を遂行するにあたり支障がないかを確認するため、また、より実態を反映した指針（案）とするためにモデル現場において試行を実施し、指針試行（案）の検証を行っております。

その検証結果の反映、及び土木学会コンクリート標準示方書の大幅改訂を受けて、平成19年度に「九州地区における土木コンクリート構造物の設計・施工指針（案）」（以下 本指針（案）と略称）として改定を行ったものです。

本指針（案）の主な内容としては、「コンクリートのひび割れ対策」「高密度鉄筋対策」「第三者を交えた専門評価機関の活用」「代替骨材の取扱い」等の特徴として編集されており、今後の土木コンクリート構造物の建設システムや維持管理システムの理論的なあり方を明確にすると共に、具体の実施対策が定められています。

なお、本指針（案）に示されている内容において種々の体制等の対応が追いついていない場合も多々考えられるため、今後これらの整備に努めると共に順次運用を拡大していくよう計画しております。

おわりに、本指針（案）の策定・改訂にあたりご尽力いただいた松下委員長を始め、各委員ならびに関係機関各位に感謝申し上げますと共に、本指針（案）が有効に活用され、より一層の社会資本整備の充実に寄与することを望む次第であります。

平成20年4月

国土交通省九州地方整備局

企画部長 森北佳昭

はじめに

九州地区における土木コンクリート構造物の設計・施工指針試行（案）は、九州地区におけるコンクリート構造物建設の今後の在り方を検討することを目的とした「九州地区長寿命コンクリート構造物検討委員会」によって平成 17 年 3 月にとりまとめられました。本指針は、今後九州地区で建設する土木コンクリート構造物を計画的かつ効率的な運用を図るために、構造物の計画段階において考慮すべき性能や、計画段階から施工段階までの流れの中で実施すべき対策など、コンクリート構造物を建設するうえで実施すべき事項について示したものであります。

指針試行（案）の策定にあたって検討された主な内容は以下の通りです。

- 1) 九州地区における土木コンクリート構造物の建設にあたって、計画段階で考慮すべき性能について
- 2) 九州地区における土木コンクリート構造物の建設にあたって、実施すべき照査・検査項目とその実施体系について
- 3) 初期欠陥が少なく、所定の性能を有する土木コンクリート構造物の建設に適した手法（材料・施工面）について
- 4) 九州地区で発生する低品位・代替骨材の土木コンクリート構造物への適用性について

このような検討の基にとりまとめられた指針試行（案）をより設計および施工の実態を反映した内容とするために、平成 17 年度より「土木コンクリート構造物品質評価委員会」立ち上げ、3 ヶ年をかけてモデル現場において試行を実施し、検証および見直しを行いました。

主な改定内容は以下の通りとなっております。

- ・三者連絡会を有効に活用し、発注者、設計者、施工者による施工段階に発生する様々な問題について協議、調整することとしました。また高度な技術を要する場合や三者での解決が困難な場合は、三者連絡会に専門評価機関を交えて問題の解決を図ることを明示しました。
- ・設計段階において維持管理を考慮した検討を行うこととしました。また、温度ひび割れに対しては、ひび割れ指数による照査を実施することを基本とし、照査フローを明記しました。さらに、配筋状態や施工環境を考慮した最小スランプを設定できることとしました。
- ・施工計画段階では、温度ひび割れに関して最善の方法を考慮しても有害となるひび割れの発生が避けられない場合は、ひび割れ補修計画を策定することとしました。
- ・耐久性を確保する観点から定められる従来の水セメント比に対して、水結合材比を用いてよいこととし、結合材として用いることのできる混和材とその使用量について明示しました。

本指針（案）は、規定の背景や根拠等を解説に示しており、条文と併せて解説を参考とされることで一層の理解が深まるものと期待しております。

最後に、本指針（案）の改訂にご尽力いただいた各委員ならびにその他関係機関各位に心から感謝致します。さらに、本指針(案)が従来にも増して、九州地区におけるコンクリート構造物の品質向上に寄与することを祈願する次第であります。

平成 20 年 3 月

九州地方整備局土木コンクリート構造物品質評価委員会
委員長 松下 博通

九州地区長寿命コンクリート構造物検討委員会委員名簿

(平成14年度 ～ 平成16年度)

委員長 松下 博通 九州大学大学院工学研究院教授

委員

(学 識) 大津 政康 熊本大学大学院自然科学研究科教授
(50音順) 添田 政司 福岡大学大学院工学研究科助教授
武若 耕司 鹿児島大学工学部海洋土木工学科助教授
近田 孝夫 土木学会コンクリート委員会委員
(新日鐵高炉セメント(株)技術センター長)
鶴田 浩章 九州大学大学院工学研究院助教授
(現 関西大学工学部都市環境工学科准教授)
中澤 隆雄 宮崎大学工学部土木環境工学科教授
原田 哲夫 長崎大学工学部構造工学科教授
牧角 龍憲 九州共立大学工学部土木工学科教授

(整備局) 九州地方整備局 企画部長
九州地方整備局 河川部長
九州地方整備局 道路部長
九州地方整備局 企画部技術調整管理官
九州地方整備局 大分川ダム工事事務所長
九州地方整備局 九州技術事務所長

事務局 九州地方整備局 企画部 技術管理課

九州地方整備局土木コンクリート構造物品質評価委員会委員名簿

(平成17年度 ～ 平成19年度)

委員長 松下 博通 九州大学大学院 工学研究院教授

委員

(学 識)	大津 政康	熊本大学大学院自然科学研究科教授
(50音順)	佐川 康貴	九州大学大学院 工学研究院助教
	添田 政司	福岡大学大学院工学研究科教授
	武若 耕司	鹿児島大学工学部海洋土木工学科教授
	近田 孝夫	土木学会コンクリート委員会委員 (新日鐵高炉セメント(株)技術開発センター長)
	中澤 隆雄	宮崎大学工学部土木環境工学科教授
	原田 哲夫	長崎大学工学部構造工学科教授
	牧角 龍憲	九州共立大学工学部土木工学科教授

(整備局)	九州地方整備局	企画部長
	九州地方整備局	企画部技術調整管理官
	九州地方整備局	河川部地域河川調整官
	九州地方整備局	道路部特定道路工事対策官
	九州地方整備局	九州技術事務所長
	九州地方整備局	九州技術事務所技術情報管理官
	九州地方整備局	企画部工事監視官
	九州地方整備局	企画部技術管理課長
	九州地方整備局	河川部河川工事課長
	九州地方整備局	道路部道路工事課長

事務局	九州地方整備局	企画部 技術管理課
	九州地方整備局	九州技術事務所

九州地区における土木コンクリート構造物

設計・施工指針(案)

目 次

1章 総 則

1. 1 適用の範囲	1-1
1. 2 構造物の建設プロセス	1-5
1. 3 要求性能	1-11
1. 4 用語の定義	1-14

2章 計画・設計段階における建設プロセス

2. 1 設計の基本	2-1
2. 1. 1 一般	
2. 1. 2 設計・計画段階	
2. 1. 3 予備設計段階	
2. 1. 4 詳細設計段階	
2. 2 コンクリート構造物の性能照査	2-4
2. 2. 1 一般	
2. 2. 2 安全性の照査	
2. 2. 3 使用性の照査	
2. 2. 4 構造物の耐久性照査	
2. 3 初期ひび割れに対する照査	2-13
2. 3. 1 一般	
2. 3. 2 温度ひび割れの照査	
2. 3. 3 乾燥に伴うひび割れの検討	
2. 4 第三者影響度および美観・景観に関する検討	2-20
2. 5 配筋状態を考慮した最小スランプの設定	2-21

3章 施工計画

3. 1 一 般	3-1
3. 2 施工計画の照査	3-4
3. 3 コンクリートの運搬・受入れ計画	3-5
3. 4 現場内運搬計画	3-6
3. 5 打込み計画	3-7
3. 6 締固め計画	3-9
3. 7 仕上げ計画	3-11
3. 8 養生計画	3-12
3. 9 継目の計画	3-13
3. 10 ひび割れ誘発目地の計画	3-16
3. 11 鉄筋工の計画	3-17
3. 12 型枠および支保工の計画	3-19
3. 13 暑中コンクリートの施工計画	3-23
3. 13. 1 一 般	
3. 13. 2 運 搬	
3. 13. 3 打込み	
3. 13. 4 養 生	
3. 14 寒中コンクリートの施工計画	3-25
3. 15 温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物の施工計画	3-27
3. 15. 1 一 般	
3. 15. 2 材料および配合	
3. 15. 3 打込み	
3. 15. 4 養 生	
3. 15. 5 型 枠	
3. 15. 6 ひび割れ誘発目地	
3. 15. 7 ひび割れの補修	

4章 コンクリートの材料および配合

4. 1 総 則	4-1
4. 2 コンクリートの品質	4-1
4. 3 コンクリートの性能照査	4-4
4. 3. 1 一 般	
4. 3. 2 耐アルカリ骨材反応性の照査	
4. 4 コンクリート材料	4-6
4. 4. 1 総 則	
4. 4. 2 セメント	
4. 4. 3 混和材料	
4. 4. 4 骨 材	
4. 4. 4. 1 一 般	
4. 4. 4. 2 砕 砂	
4. 4. 4. 3 高炉水砕スラグ	

4. 4. 4. 4	フライアッシュ原粉	
4. 4. 4. 5	しらす	
4. 4. 4. 6	まさ土	
4. 4. 4. 7	その他	
4. 5	配合	4-13
4. 5. 1	総 則	
4. 5. 2	スランプ	
4. 5. 3	空気量	
4. 5. 4	砕砂および代替骨材の細骨材置換率	
4. 6	流動化コンクリートの材料および配合	4-20
4. 7	高流動コンクリートの材料および配合	4-20
5章 製 造		
5. 1	総 則	5-1
6章 施 工		
6. 1	総 則	6-1
6. 2	レディーミクストコンクリートの受入れ	6-2
6. 3	運搬, 打込み, 締固め	6-3
6. 4	仕上げ	6-5
6. 5	養 生	6-6
6. 6	継目およびひび割れ誘発目地	6-7
6. 7	鉄筋工	6-7
6. 8	型枠および支保工	6-8
6. 9	暑中コンクリート	6-9
6. 10	寒中コンクリート	6-10
6. 11	温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物	6-10
6. 12	初期欠陥の補修	6-11
7章 検 査		
7. 1	総 則	7-1
7. 2	発注者による検査項目	7-2
7. 2. 1	設計段階の検査および確認	
7. 2. 2	施工段階の検査および確認	
7. 3	施工者による検査項目	7-4
8章 工事記録		
8. 1	総 則	8-1
9章 維持管理		
9. 1	総 則	9-1

1 章 総 則

1.1 適用の範囲

- (1) 本指針は、国土交通省九州地方整備局で建設する土木コンクリート構造物の設計、施工および維持管理に適用する。
- (2) 本指針は、計画、設計、施工計画、コンクリートの配合設計、コンクリートの製造、施工、検査、維持管理の各段階における基本的事項を示すものである。
- (3) 本指針は、日本道路協会 道路橋示方書、土木学会 コンクリート標準示方書および国土交通省のコンクリート構造物に関する各種規定・基準や指針を補完するものである。

【解 説】(1)について 本指針は、国土交通省九州地方整備局発注の新設コンクリート構造物を対象とし、構造物の重要度、要求性能、施工の難易度、施工および供用環境など様々な要因を考慮して適用する。本指針の適用対象となる構造物および部材の種類は、解説 表 1.1.1 に示すように構造物の重要度および耐久性や安全性、使用性が特に要求されるものとする。

解説 表 1.1.1 指針の適用対象となる構造物および部材の代表例

工 種		部 材
トンネル	都市部	コンクリート全般
	山岳部	二次覆工
	山岳部	坑門本体
橋 梁		橋梁基礎工、橋梁下部構造、 橋梁上部構造(桁、床版)、 地覆、壁高欄
基礎工(橋梁を除く)		場所打杭本体
海岸堤防		堤体・波除工
砂防ダム		本体、副ダム、側壁、水叩き
重力式擁壁		躯体
鉄筋コンクリート擁壁		底版、躯体
鉄筋コンクリートカルバート		本体
堰・水門		堰柱、門柱、床版、 水叩き、魚道
樋門		本体、翼壁、胸壁、門柱
揚・排水機場		機場本体、沈砂池、 吐出水槽、取水塔

(2)について 本指針は、計画、設計、施工計画、コンクリートの配合設計、コンクリートの製造、施工、検査、維持管理の各段階において留意すべき基本的事項を示した。また、一般に、構造物の建設にあたっては発注者、設計者、施工者、材料メーカーなどの様々な組織が関係することから、構造物の建設プロセスを示すことによって、それぞれの組織がどの段階でどのような業務を実施するのかを明らかにし、構造物建設における責任の所在と監督・検査行為の実施体系を示した。

さらに、少子高齢化に伴う熟練技術者の減少やリサイクル認定制度の導入事例の増加などの観点より、品質管理を容易に行える工場製品を積極的に活用することが望まれ、建設プロセスのうち施工計画段階以降についてはレディーミクストコンクリートを使用する場合と工場製品を使用する場合とに大別した。本指針における各章の位置づけを解説 図 1.1.1 に示す。

また、本指針の特徴は、必要に応じて専門評価機関を活用した協議を実施し、技術的な助言を受けることを明確にしたことである。

計画段階では、構造物の性能照査や維持管理計画を作成するので、コンクリート構造物の設計耐用期間や要求性能の設定が必要となる。そこで、代表的な構造物および部材を対象に、設計耐用期間および要求性能の目安を示した。

設計段階では、コンクリート構造物の性能照査に関する基本事項および構造設計、初期ひび割れ（温度ひび割れ、乾燥収縮によるひび割れ）、耐久性に関してとるべき対策を示した。また、コンクリート製品は使用材料、製造工程および製品自体の管理が行いやすいので、品質への信頼性が高く、施工に際しても天候などの影響を受けにくいなどの様々な利点を有する。

施工計画段階では、コンクリート構造物に発生する欠陥を防ぐために、考慮すべき基本的事項を工事計画の観点から示した。

コンクリート用材料については、九州地区に建設する土木コンクリート構造物の品質を向上させることが可能なセメントとして、高炉セメントおよびフライアッシュセメントの使用を標準とした。また、良質な骨材資源が減少している現状を考慮して、九州地区で活用可能な代替骨材の種類および使用上の注意点等を明確にした。

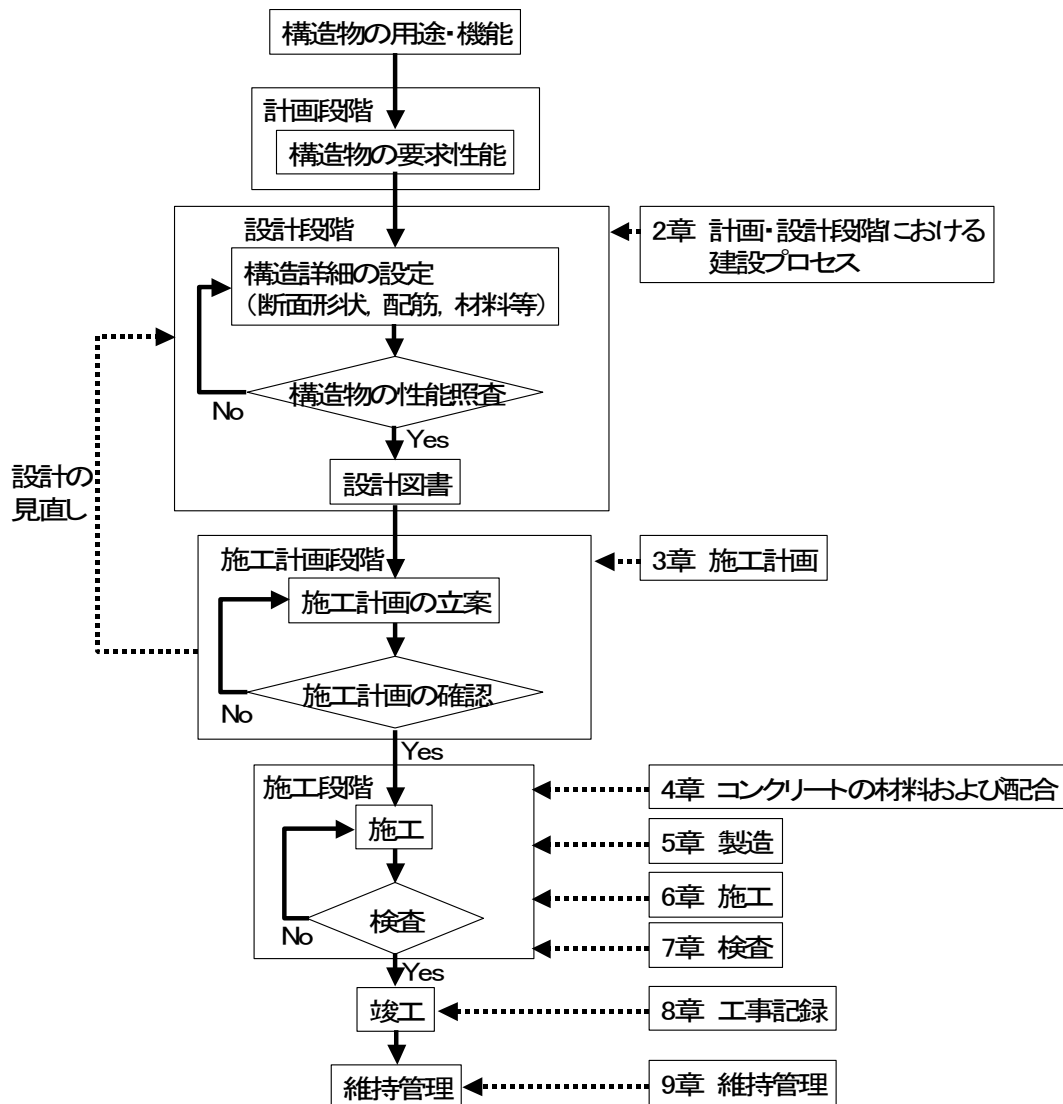
天然骨材の枯渇化から、コンクリート容積の 70～75%を占める骨材の代替材料に関する検討は急務となっており、地域特性や地域環境への影響を考慮して適用するものとする。

コンクリートの配合設計段階では、健全な構造物を建設するために必要なコンクリートの品質を定義した。また、計画段階に設定した要求性能を満足する構造物を建設するためには、事前にコンクリートの品質を照査し、これを満足するための仕様を定める必要があることを示した。

コンクリートの製造段階では、所要の品質を有するコンクリートを製造するために必要な条件や基本事項を示した。

施工段階では、施工における各項目に関する基本事項を示した。

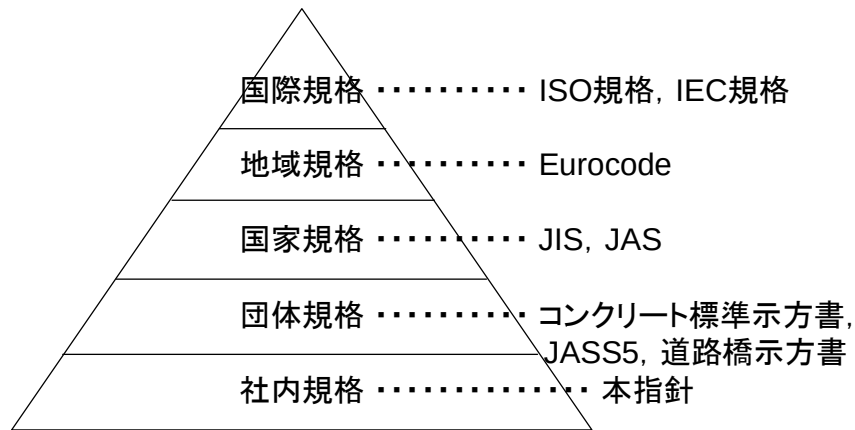
維持管理段階では、構造物の建設時に考慮すべき基本事項を示した。また、構造物の維持管理にあたって基礎資料となる工事記録の必要性を示した。



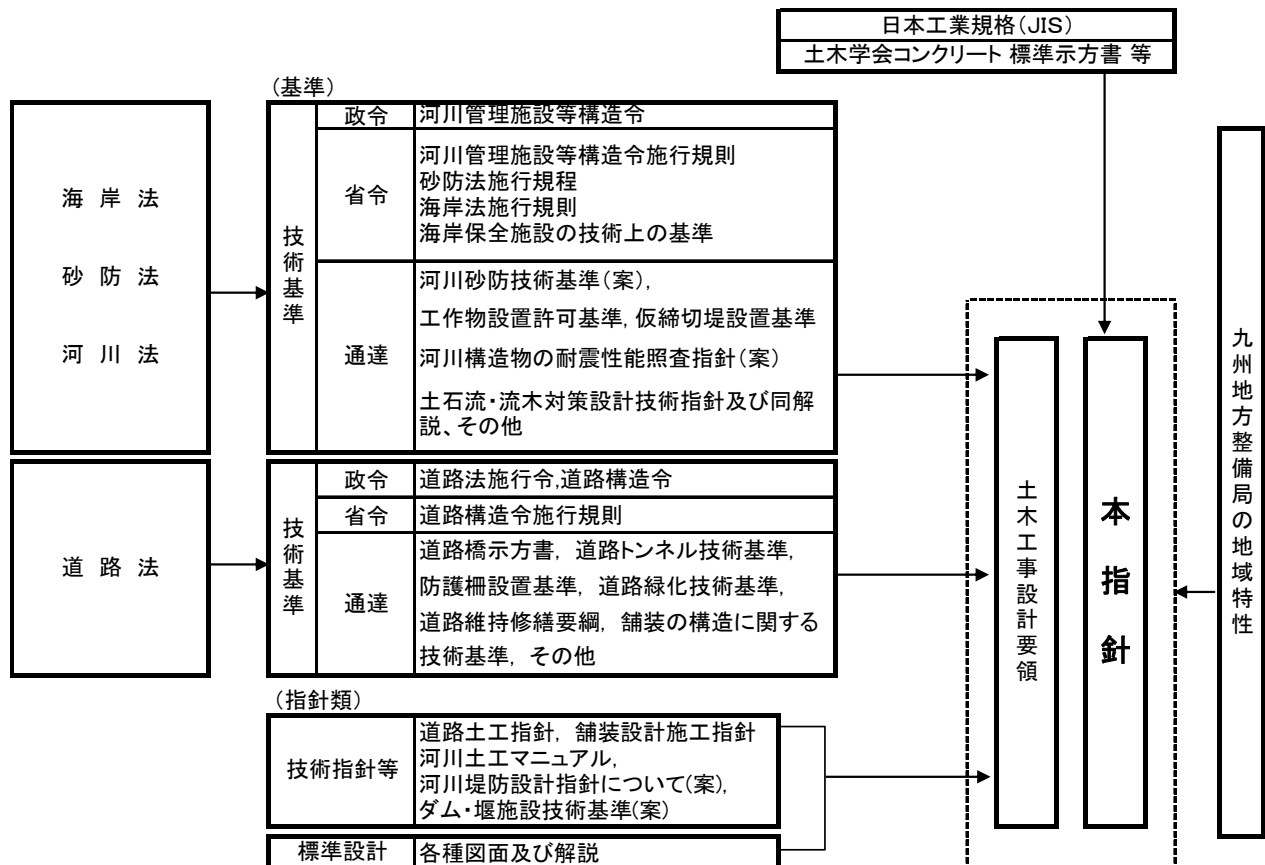
解説 図 1.1.1 本指針における各章の位置づけ

(3)について 本指針は、日本道路協会 道路橋示方書および土木学会 コンクリート標準示方書、国土交通省のコンクリート構造物に関する各種規定・基準や指針（土木工事共通仕様書、土木工事設計要領、土木工事施工管理の手引など）を補完するものである。

規格には、解説 図 1.1.2 に示すような階層性があり、最上位には国際規格である ISO 規格（国際標準化機構）、IEC 規格（国際電気標準会議）がある。次に地域規格があり、欧州で制定されている EN（欧州規格）が含まれている。その次に国家規格が位置し、JIS（日本工業規格）や JAS（日本農林規格）がこれに対応する。その下に団体規格があり、土木学会のコンクリート標準示方書、日本道路協会の道路橋示方書などがこれに相当する。また、法律により、強制規格の一部に位置付けられるものも多くある。その下に、社内規格があり本指針はここに位置づけされる。道路構造物の場合は解説 図 1.1.3 に示すように、道路法に定められた技術基準や技術指針、標準設計などの指針類などから土木工事設計要領が定められている。本指針はこれらを補完するものである。



解説 図 1.1.2 規格のヒエラルキーにおける本指針の位置づけ



解説 図 1.1.3 各種基準類および本指針の位置づけ

1.2 構造物の建設プロセス

- (1) 所要の性能を有する構造物を建設するためには、事前に建設プロセスを明確にし、発注者、設計者、施工者等構造物建設に関わる者の責任体制を明らかにしなければならない。
- (2) 構造物建設における各段階では、照査、管理および検査を適切に実施することにより品質を確保しなければならない。
- (3) 施工段階の工事着手前には、設計図書と現場の整合性の確認、設計者の設計意図の伝達および施工計画の妥当性の確認等を行うために、発注者、設計者、施工者による三者連絡会を開催するものとする。
- (4) 構造物の建設において、所要の性能を確保するために当事者のみで技術的な懸案事項や問題点を解決することが難しい場合は、専門評価機関を交えて検討するのがよい。

【解 説】(1)について 一般に、構造物の建設においては、発注者、設計者、施工者、材料メーカーなどの様々な組織が関係することになる。所要の性能を有する構造物を建設するには、どのような組織が、どのような業務を、どの段階で実施するのかを明確にし、それぞれの組織の責任体系を明らかにする必要がある。そのために、本指針では、構造物の標準的な工事（業務）の内容および流れを解説 図 1.2.1～図 1.2.4 に示し、構造物の建設に関わるそれぞれの立場と責任を明らかにした。なお、解説 図 1.2.1 には、解説 図 1.2.2～解説 図 1.2.4 に示す各フロー図の範囲を示す。

解説 図 1.2.2 は、計画段階から設計段階までの建設プロセスを示したものである。予備設計では、構造物の安全性、耐久性、経済性、施工条件、景観等を考慮して構造物の種類や形式等を決定する。また、詳細設計では、予備設計で決定した構造物の種類や形式等をもとに、構造計算や要求性能の照査を行い、具体的な設計図書を作成する。

本指針では、設計段階における照査項目として、温度応力解析を活用したひび割れ照査を実施すること、耐久性の照査の中でアルカリ骨材反応の対策を必要とする環境を海洋環境や凍結防止剤などを散布する環境として考慮するとしたこと、型枠内にコンクリートを密実に充てんするための最小スランプを設定することなどが特徴である。照査において要求性能を満足することが困難と判断した場合は、協議により構造物の性能確保が可能な手法を再検討する。また、照査において要求性能を満足することが確認されたものの、温度ひび割れの発生確率が高い場合や、配筋状態が密なためコンクリートが十分に充てんされない可能性がある場合には施工時の対策を設計段階で協議する必要がある。

解説 図 1.2.3 は、レディーミクストコンクリートを使用する場合の施工段階以降の建設プロセスを示したものである。建設プロセスの協議では、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」に示される一般的な指定項目の他に、代替骨材使用の有無、細骨材の表面水や品質の管理方法等について検討する。レディーミクストコンクリート製造者は、この協議内容をもとに配合設計を行う。

コンクリート構造物の施工計画の作成時には、温度ひび割れ、アルカリ骨材反応性、最小スランプの設定等について、施工時に考慮すべき対策を併せて検討する。ただし、施工計画の照査で、上記項目を満足することが困難と判断された場合は、協議の段階で設定したコンクリートの材料や配合の見直しを行う。

解説 図 1.2.4 は、工場製品を使用する場合の施工段階以降の建設プロセスを示したものである。一般

的に工場製品は使用材料、製造工程および製品自体の管理が行いやすいことから品質への信頼性が高く、施工においても天候などの影響を受けにくい等の様々な利点を有しているので、工場製品を使用できる場合には積極的にこれを採用していくこととする。

施工者は、施工計画を作成するにあたって設計図書および特記仕様書などにより建設する構造物の詳細を確認する必要がある。また、レディーミクストコンクリートを使用した施工の場合と同様に、施工方法や使用材料が一般的でない場合には、協議により検査計画を確認することとした。

施工者は、工場製品製造者と契約を結ぶことになるが、使用する工場製品の発注にあたっては、適切な協議を行う。発注した工場製品が JIS 規格外の場合は、製品に使用するコンクリートの検査材齢、かぶり確保の手段、養生条件、代替骨材使用の有無、細骨材の表面水や品質の確認方法について、適宜協議により検討する。工場製品製造者は、この協議内容をもとに工場製品の製造を行う。

施工者と工場製品製造者との協議終了後、工場製品の製造が開始される。JIS 規格に規定されている工場製品を使用する場合は、納入前に実施する工場製品の性能検査を省略することが可能である。すなわち、施工者が実施する検査は、現場に納入された工場製品が発注したものと相違ないことの確認および出来形寸法や外観の確認のみとなる。一方、JIS 規格に規定されていない工場製品を使用する場合は、工場製品の品質を事前に検査し、必要に応じてコンクリートの材料、配合等についても確認する必要がある。本指針では、工場製品の品質検査として、一般的に実施する検査項目に加えて、必要に応じて配筋状態およびかぶりの検査を実施することとした。

施工開始から、構造物竣工時までの流れは、レディーミクストコンクリート使用時と同様である。

(2)について 構造物の性能を確保し、信頼性を向上させるためには、建設における各段階において、それぞれ責任を有する組織が適切な方法により照査、管理および検査を実施し、所要の性能（品質）が確保されていることを確認する必要がある。そこで、フロー図中に各段階で実施する照査、管理および検査の体系を示した。照査の方法には「2.2 コンクリート構造物の性能照査」に示すので参考にするとよい。

(3)について 工事の発注に際し、発注者は事前に施工条件を十分に調査し、それに対応した設計図書を作成するとともに、施工上影響を与える条件について設計図書に明示することとされている。しかし、発注者による事前調査には限界があり、設計図書と工事現場の状態が異なる、設計図書に示された施工条件が一致しない等、設計段階で想定しなかった条件が発生することがしばしば起こる。

このような場合、従来は発注者と施工者で協議を行っていたが、この場に詳細設計を担当した設計者が参画し、三者により施工段階で発生する様々な問題、課題について協議・調整する。

さらに、高度な技術を要する場合や三者では問題の解決が困難な場合には、三者連絡会に専門評価機関を交える形で問題の解決を図ることもある。

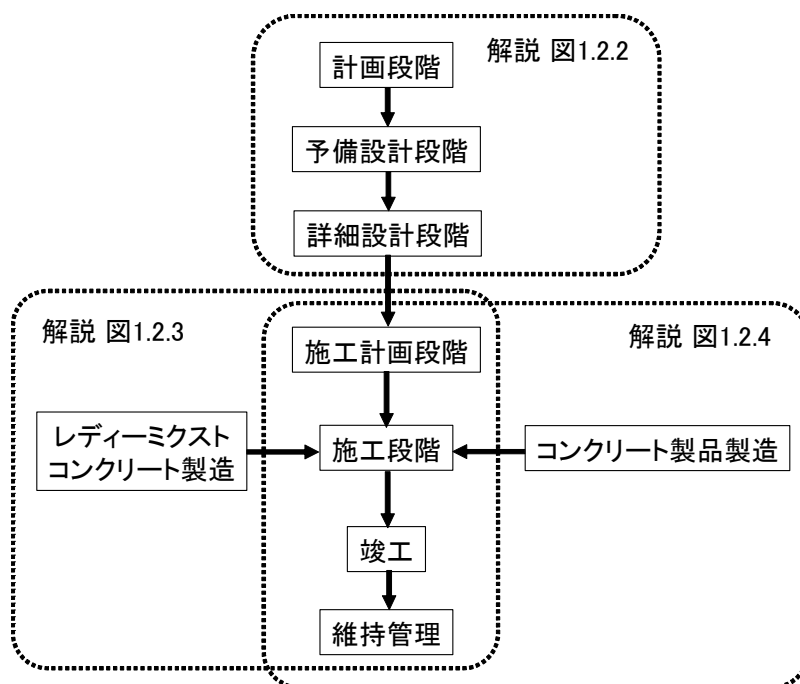
(4)について 構造物に生じる不具合を無くして構造物の品質を向上させるには、建設における各段階で適切な技術的判断をする必要がある。施工着手前の三者連絡会において、設計者の設計意図の確認等により、施工段階での発生が予測される問題や課題について協議および調整が行われるが、条件によっては発注者・設計者・施工者の三者のみでは解決が困難な場合がある。また、施工の途中に解決が困難となる問題が生じる可能性もある。

そこで、建設する構造物の重要度や施工の難度が高い場合、従来の方法では適切な対処が困難な場合など、当事者のみで技術的な懸案事項や問題点を解決することが難しい場合には、三者連絡会に専門評価機関を交えて検討を行うとよい。

専門評価機関の導入目的は、技術的問題点の解決策支援、業務の透明性・公平性の確保、現場に即した

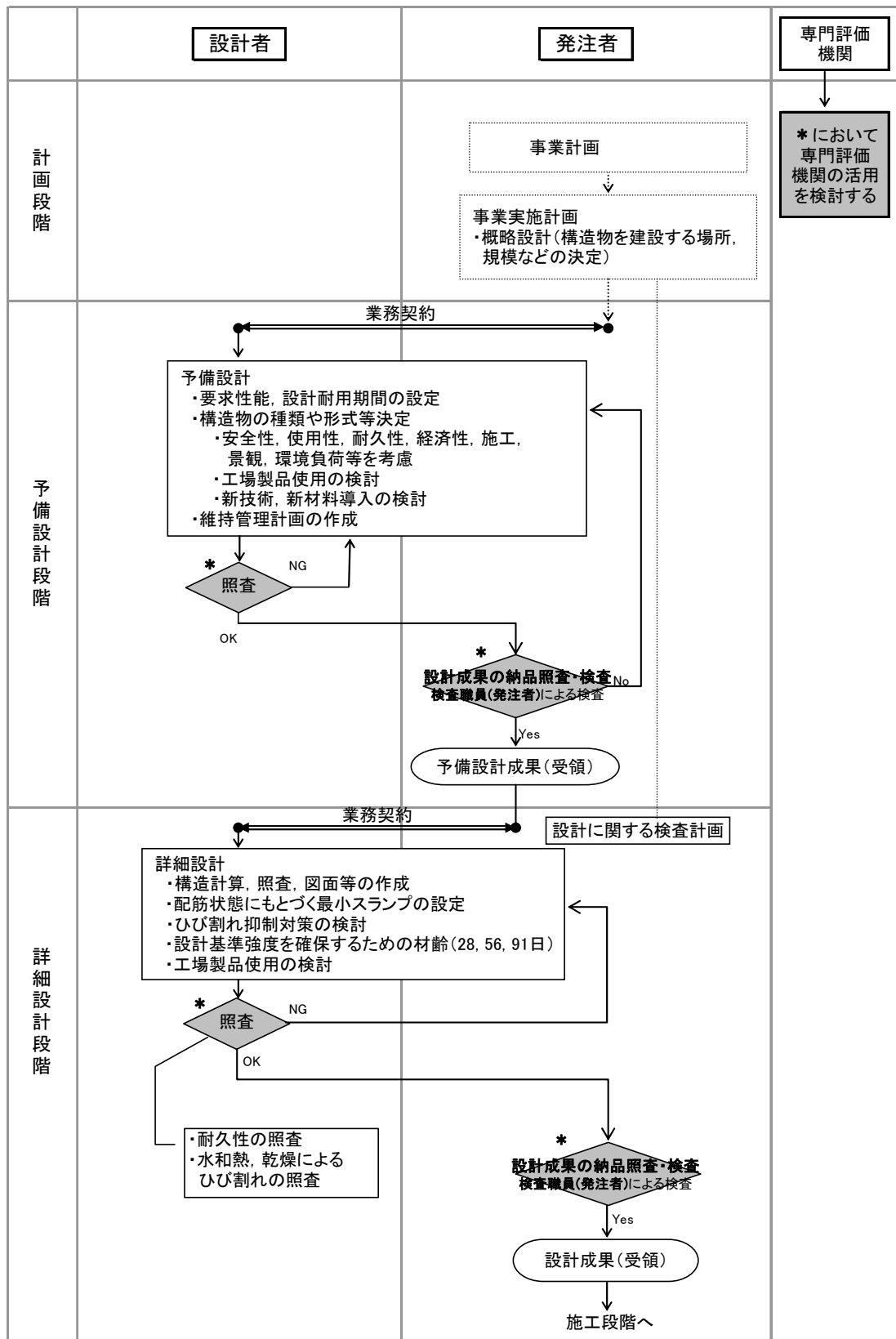
合理的で安全・確実な、また環境に配慮した技術の導入にある。また、専門評価機関は構造物建設における各段階において、技術的な懸案事項や問題点を解決するための協議の場に立ち会い、公正な立場で技術的な指導、助言をすることにより協力する。

専門評価機関の導入は、構造物建設の各段階における業務・工事の関係者が必要性を申し出て、最終的な活用の判断は発注者に委ねられる。専門評価機関に指導や助言を受けることは、構造物の品質向上のみならず、国民に対する説明責任の明確化にもつながるので、積極的に活用する。



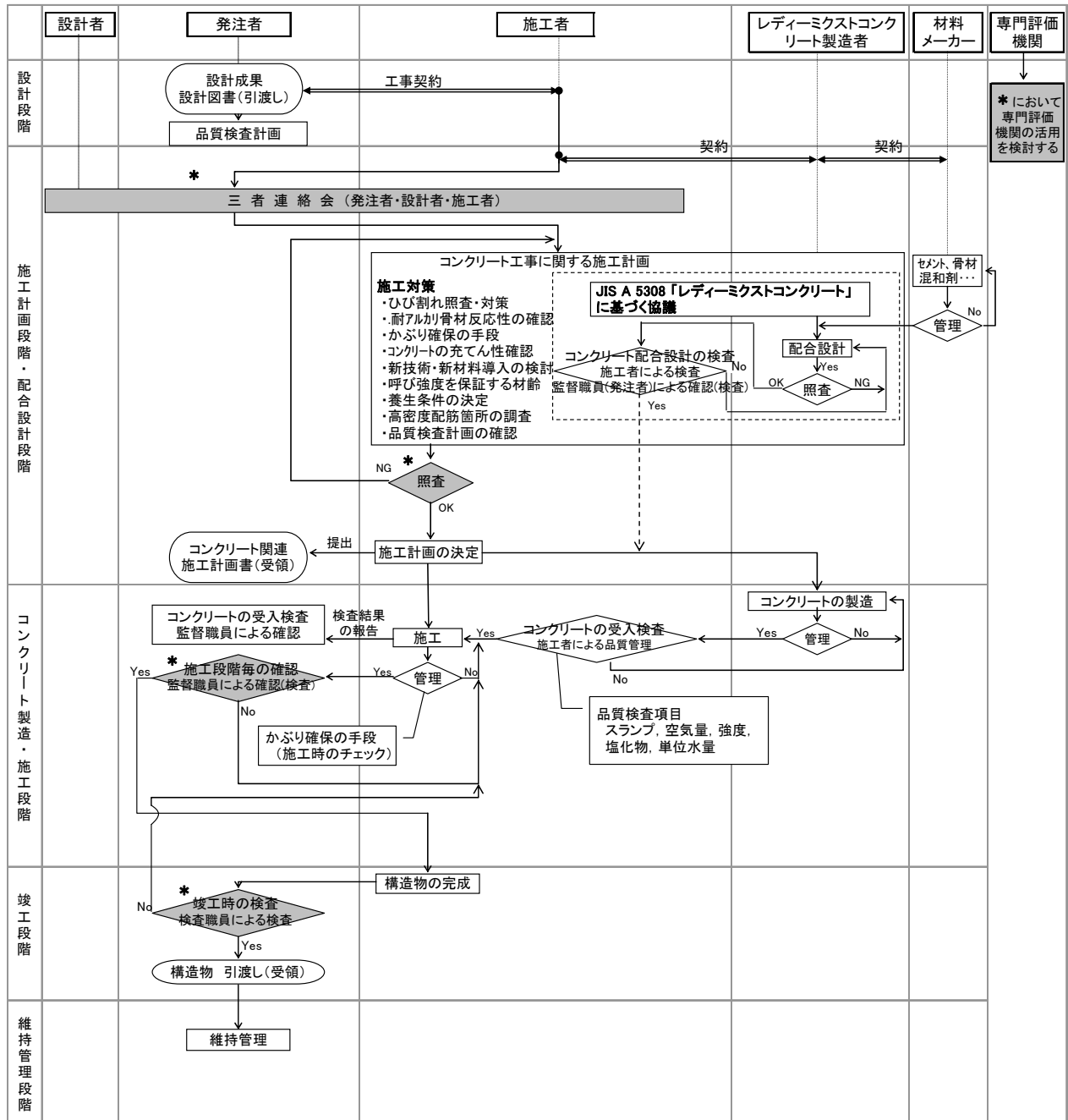
解説 図 1.2.1 建設プロセスの概略

計画・設計段階における建設プロセス



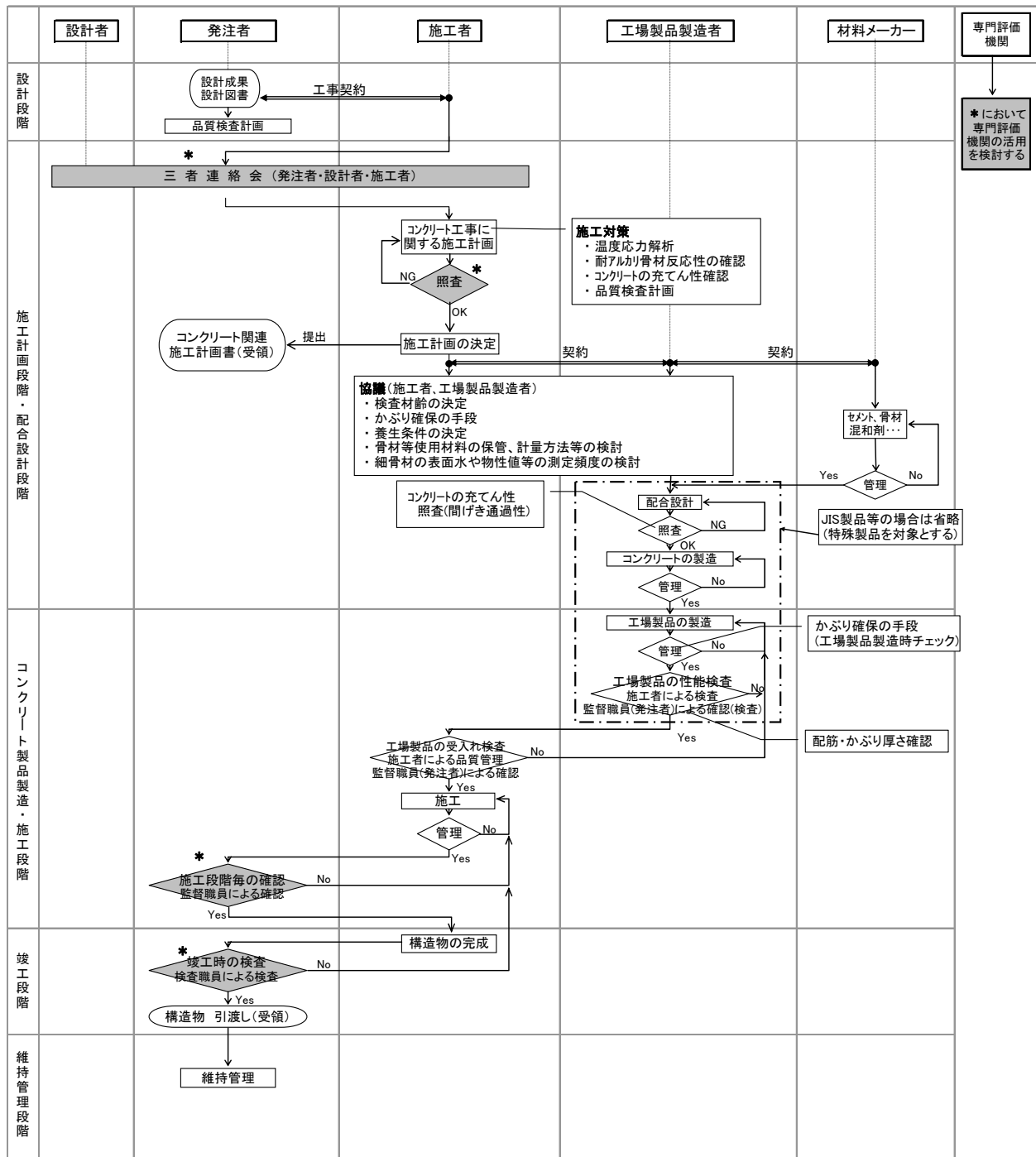
解説 図 1.2.2 計画・設計段階における建設プロセス

施工計画段階以降の建設プロセス（その1；レディーミクストコンクリート使用）



解説 図 1.2.3 施工計画段階以降における建設プロセス
（その1；レディーミクストコンクリート使用）

施工計画段階以降の建設プロセス（その2：工場製品使用）



解説 図 1.2.4 施工計画段階以降における建設プロセス
（その2：工場製品使用）

1.3 要求性能

- (1) 構造物の設計耐用期間は、構造物の予定供用期間と維持管理の方法、環境条件、経済性等を考慮して定めるものとする。
- (2) 対象構造物には、施工中および設計耐用期間内において、構造物の使用目的に適合するために要求される全ての性能を設定することとする。
- (3) 対象構造物には、一般に、安全性（第三者影響度を含む）、使用性（ひび割れ抵抗性を含む）、耐久性、美観・景観に関する要求性能を設定することとする。

【解 説】(1)について 構造物の設計を行う場合、設計される構造物の設計耐用期間を設定する必要がある。設計耐用期間は、構造物の使用目的ならびに経済性から定められる構造物の供用期間、構造物の設置される環境条件等を考慮して定めるものとする。

構造物の耐用年数については様々な考え方があるが、一般的には 50 年、重要構造物については 100 年とされることが多い。また、設計耐用期間は少なくとも財務省令により定められる法定耐用年数を満足する必要がある。設計耐用期間の設定にあたっては、構造物および部材の種類、部材交換の難易度、周囲の構造物との連続性などを考慮して定める。

本指針では、代表的な構造物および部材の設計耐用年数の目安を、解説 表 1.3.1 に示すように 100 年と 50 年に設定した。設計耐用年数が 100 年の構造物としては、劣化・損傷が社会的・経済的に大きな影響を与えると予想される構造物や補修・補強が容易でなく、耐久的な構造物の建設が長期間で考えたときに有利となる構造物を想定した。また、50 年の構造物としては、一般的な土木構造物を想定した。

(3)について 安全性は、想定されるすべての作用のもとで構造物が使用者や周辺の人の生命や財産を脅かさないための性能である。安全性には、断面破壊に関する安全性、疲労破壊に対する安全性、構造物の安定に関する安全性、機能上の安全性などがある。なお、かぶりコンクリートの剥落など、構造物に起因した第三者への公衆災害に対する性能も含まれる。構造物を供用する基本として、構造物自体の安全性を供用期間中確保する必要がある。この中で、一般的なものでは耐荷性である。耐荷性は点検結果（部材の形状寸法、鋼材の位置および断面積、コンクリート強度など）から算定される部材の耐荷力（軸方向耐力、曲げ耐力、せん断耐力など）に基づいて評価する。耐震性も安全性に含まれ、この場合構造物の耐荷性だけでなく、じん性も評価の対象となる。その他、橋梁上部構造の疲労に対する検討、車両等の衝突および流水、波浪等の衝撃力などを考えて耐衝撃性を評価する必要がある構造物もある。

使用性としては、想定される作用のもとで、構造物の使用者や周辺の人が快適に構造物を使用するための性能、および構造物に要求される諸機能に対する性能である。使用性には、走行性・歩行性、外観（コンクリートのひび割れ）、表面汚れ、騒音・振動、水密性および構造物に変動作用や環境作用等の原因による損傷などがある。特に、ひび割れ抵抗性においては、主にセメントの水和熱および乾燥に起因するひび割れの抑制および制御する性能を設定する。

耐久性とは、想定される作用のもとで、経時的な性能の低下に対して有する抵抗性である。一般の鉄筋コンクリート構造物では中性化、塩害（凍結防止剤による塩害も含む）が対象となり、酸性劣化、硫酸塩劣化等が想定される構造物では化学的侵食も対象となる。アルカリ骨材反応については、反応性のある骨材が使用されることを考慮して全般の構造物とした。凍害については、可能性のある山間地に限定する

こととした。

水和熱に起因する構造物に発生するひび割れは，構造物の機能，耐久性および水密性等その使用性を損なう可能性があるので，適切な方法によって検討しなければならない。

第三者影響度に関する性能は，構造物の一部（かぶりコンクリート片やタイル片など）が落下することによって構造物下の人や物に危害を加える可能性（第三者影響度）について考慮する。これらは，一種の安全性ともいえるが，構造物本体の耐荷力に関わるものではなく，性能照査プロセスも異なるので，ここで第三者影響度として区別する。また，構造物の種類によっては，構造物の汚れ（錆汁，ひび割れなど）による美観・景観への影響がある。

代表的な構造物および部材に対する要求性能の目安を，解説 表 1.3.1 に示す。

解説 表1.3.1 構造物・部材の設計耐用期間と要求性能の目安

工 種	部 材	設計耐用 期間	安全性				使用性			耐久性				ひび割れ 抵抗性	第三者 影響度 に関する 性能	美観・ 景観
			耐荷性能	耐震性能	耐疲労性	耐衝撃 性能	構造物の 使用性	機能性 (水密性・気密性)	中性化	塩害	化学的 侵食性	アルカリ 骨材反応	凍害			
トンネル	都市部	100年	○	○		○	○	○	○		○	○		○	○	○
	山岳部	100年	○				○	○			○	○	○	○	○	○
	山岳部	50年	○	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○
橋 梁	橋梁基礎工	100年	○	○						○	○	○				
	橋梁下部構造	100年	○	○			○		○	○	○	○		○	○	○
	橋梁上部構造(桁)	100年	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○
	橋梁上部構造(床版)	50年*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地覆, 高欄	50年				○			○	○	○	○	○	○	○	○
	基礎工(橋梁を除く)	50年	○	○					○	○	○	○				
海岸堤防	堤体・波除工	50年	○	○					○	○	○	○		○		
	本体, 副ダム	50年	○	○							○	○		○		○
	側壁	50年	○	○							○	○	○	○		○
砂防ダム	水叩き	50年				○					○	○	○			
	躯体	50年	○	○							○	○		○	○	○
	底版	50年	○	○						○	○	○		○		
鉄筋コンクリート 擁壁	躯体	50年	○	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○
	本体	50年	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	カルバート	50年	○	○					○	○	○	○		○		○
堰・水門	堰柱	50年	○	○					○	○	○	○		○		○
	門柱	50年	○	○					○	○	○	○		○		○
	床版	50年	○	○					○	○	○	○		○		
樋門	水叩き	50年				○					○	○	○			
	本体	50年	○	○				○	○	○	○	○	○	○		○
	本体	50年	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○	○
揚・排水機場	沈砂池	50年				○			○	○	○	○				

* 箱桁などのように、打ち換えが困難なものは、100年とする。

1.4 用語の定義

本指針では、次のように用語を定義する。

照査： コンクリートやコンクリート構造物に要求される性能に対して、あらかじめ設定した基準値を設け、その基準値と試験値もしくは予測値を照らし合わせることによってその性能を確認すること。

検査： 工事（もしくは業務）の発注者が契約内容の工事（もしくは業務）が履行されているかを確認する行為であるが、本指針では施工者が製造者に対して行う受入れ検査も総称して検査と定義する。

協議： 工事（もしくは業務）の発注者と工事（もしくは業務）の請負者（受託者）が対等な立場で合議し、結論を得ること。

三者連絡会： 工事着手前に当該工事の施工者、その設計を担当したコンサルタントならびに発注者が参加して、設計図と現場の整合性の確認、設計意図の伝達および施工計画の妥当性の検証等を行う場。

専門評価機関： 構造物建設における各段階において、技術的な問題点を解決するために公正な立場で技術的な指導や助言をする高度な知識を有する第三者を交えた技術者集団。

要求性能： 目的および機能に応じて構造物に求められる性能。

耐久性： 時間の経過に伴って生じる構造物の性能の変化に対する抵抗性。

設計耐用期間： 構造物が所要の機能を有していなくてはならない期間であり、構造物に要求される供用期間と維持管理の方法、環境条件や構造物に求める耐久性、経済性などを考慮して定める。

予定供用期間： 構造物を供用したい期間。

温度ひび割れ： セメントの水和熱および外気温の変化に起因するひび割れ。

代替骨材—現在の標準的なコンクリート用細骨材である天然骨材の代わりとして使用可能な各種材料。（例；砕砂、高炉水砕スラグ、フライアッシュ、しらす、まさ土、フェロニッケルスラグ細骨材、銅スラグ細骨材、コンクリート再生細骨材）

示方配合： 工事の発注や契約の際に発注者より提示される配合で、工事費を積算する場合などに用いられる契約上の配合。

計画配合： 所定の品質のコンクリートが得られるような配合で、仕様書または責任技術者によって指示されたもの。コンクリートの練上り 1 m³ の材料使用量で表わす。

現場配合： 計画配合のコンクリートが得られるように、現場における材料の状態および計量方法に応じて定めた配合。

結合材： セメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフュームなど水と反応してコンクリートの強度発現に寄与するもの。

単位結合材量： コンクリートまたはモルタル 1 m³ を造るときに用いるセメントおよび結合材の合計の使用量。

水セメント比： コンクリート、モルタルおよびセメントペーストにおける単位水量を単位セメント量で除した値。なお、この場合のセメントには、あらかじめ混合材を混合した混合セメントは含むが、セメントとは別に混合する混合材は含まない。

水結合材比： 単位水量を単位結合材量で除した値.

打込みの最小スランプ： 円滑かつ密実に型枠内に打込みをするために必要な最小スランプ.

荷卸し箇所の目標スランプ： トラックアジテータ車などによる場外運搬機械から現場のポンプ車のホッパー等に荷卸される時点での目標スランプ. 打込みの最小スランプに場内運搬によるスランプの低下と許容差を加えたスランプ.

練上りの目標スランプ： コンクリートの配合設計および製造において目標とするスランプ. 荷卸し箇所の目標スランプに，レディーミクストコンクリート工場から荷卸し箇所に至る場外運搬によるスランプの低下を加えたスランプ.

締固め作業高さ： コンクリートの締固めを行う作業員の足元の位置から型枠下端までの最大の高さ. 一般的な打込み 1 リフトの高さや壁型枠や柱型枠の深さと一致しない.

鋼材量： 1 回に連続してコンクリートを打ち込む区間の鋼材量をコンクリート容積で除した，想定した締固め領域内の単位容積あたりの鋼材量.

かぶり近傍の有効換算鋼材量： 柱部材における主鉄筋の中心までの領域に含まれるコンクリート単位容積あたりの鋼材量

平均鉄筋量： P C 部材に用いる構造条件であり，P C 鋼材，シース，定着具を含まない 1 回に連続してコンクリートを打ち込む区間の鉄筋量をコンクリート容積で除した鋼材量.

2 章 計画・設計段階における建設プロセス

2.1 設計の基本

2.1.1 一般

- (1) 構造物の設計にあたっては、構造物の設計耐用期間、維持管理手法、経済性、施工方法等を考慮し、コンクリートや補強材の材料、現場打ちコンクリート、工場製品などの概略の性能を設定しなければならない。
- (2) 設計段階では、設計耐用期間を通じて、構造物が構造の安全性、使用性、耐久性、環境性に関して、所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。
- (3) 計画・設計段階における建設プロセスは、計画段階、予備設計段階、詳細設計段階の3つの段階からなる。

【解 説】(1)および(2)について 構造物の設計にあたっては、自然条件、社会条件、施工性、経済性、環境適合性、維持管理などを考慮した個別の設計目的に応じて、所要の性能を実現し、より合理的な構造物の築造を図る。構造物の安全性および使用性は、形状・寸法・配筋等の構造詳細の設定と材料の力学的特性によって強く影響を受ける。また、形状・寸法・配筋等の構造詳細は、施工性とも深い関係にあるので、施工計画が円滑に立案できるように、設計段階において事前に配慮することで、設計全体を合理的なものとすることができる。コンクリート構造物は一旦建造されると、その後に補修、補強や改良することが困難な場合が多いので、設計の初期の段階に十分な調査を行い、供用期間中に起こりうる事象を的確に予測し、維持管理の容易さをも考慮して検討する。

(3)について 九州地方整備局における土木コンクリート構造物の建設プロセスは、第1章に示した通りである。計画・設計段階は構造物の事業計画の決定や設計耐用年数および要求性能を定める計画段階と、構造物の機能・性能を考慮して構造物の種類や形式などの概要を決定する予備設計段階と、構造計算、要求性能の照査、設計図書作成などの詳細決定を目的とした詳細設計段階に分類される。なお、予備設計段階および詳細設計段階で、発注者と設計者のみでは問題点が十分解決できない場合は、発注者が専門評価機関の活用についての必要性を判断し、必要と判断した場合は、発注者、設計者および専門評価機関で検討するといふ。

2.1.2 計画段階

計画段階では、発注者は構造物を建設する場所や規模等の決定に際し、構造物の立地環境等の観点から留意すべき事項を把握し、事業計画を定め、事業実施計画を明らかにしなければならない。

2.1.3 予備設計段階

- (1) 構造物の種類、部材ごとに設計耐用期間および要求性能を明確にしなければならない。
- (2) 構造物の安全性、使用性、耐久性や景観、施工性、経済性、維持管理の容易さ、さらには環境負荷低減等を考慮して、構造物の種類や形式等を決定するとともに、工場製品使用の検討や新技術、新材料導入の検討を行わなければならない。
- (3) 設計耐用期間にわたり構造物が保有すべき要求性能を許容範囲内に維持できるよう、維持管理計画を策定しなければならない。
- (4) 予備設計段階において、発注者と設計者のみでは技術的な問題点を解決することが難しいと判断した場合は、発注者は専門評価機関を交えて検討することが望ましい。

【解 説】(1)について 設計耐用期間は、第1章 解説 表 1.3.1 をもとに、構造物、部材の種類ごとに設定しなければならない。

(2)について コンクリートあるいは鋼材の品質は、性能照査上の必要性に応じて圧縮強度あるいは引張強度、その他の強度特性、ヤング係数その他の変形特性、熱特性、耐久性、水密性等によって表される。構造物または部材に用いるコンクリートは、使用目的、環境条件、設計耐用期間、施工条件等を考慮して適切な種類、品質のものを使用する。コンクリート構造物に用いられる鋼材としては鉄筋、PC 鋼材および構造用鋼材がある。

工場製品は一貫して管理された工場において継続的に製造されるので品質の信頼性が高いうえに、施工の観点からも工期が短縮できることや天候などの影響を受けにくいことなどの利点があり、適用部位を適切に選定すれば現場打ちコンクリートよりも所要性能を容易に発揮することが期待できる。したがって、設計段階においては施工性、経済性、構造的性、維持管理等を総合的に考慮して適用効果が期待できる部材、部位については工場製品の使用を積極的に検討する。

しかし、工場製品自体が所要性能を有する場合でも、現場における部材や製品の結合方法や取付方法が適切でない場合や工場製品と現場打ちコンクリートの一体性が損なわれた場合などは、所要性能を期待できないことがあるため、構造物全体の性能を確認しておくことが大切である。

従来の手法では対応が困難な構造物や部材は、国土交通省の NETIS 等を有効活用し、新技術・新材料の

導入を検討する。

(3)について 構造物の維持管理すなわち、維持管理の原則ならびに手順、区分および内容、点検、劣化予測、評価および判定、対策、記録等は、土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に準拠して行う。同示方書に示される維持管理の区分は、A：予防維持管理（予防保全を基にした維持管理）、B：事後維持管理（事後保全を基にした維持管理）、C：観察維持管理（直接的な対策を実施しない維持管理）に分類されているので、発注者は適切な維持管理区分を定め、維持管理しなければならない。

(4)について 構造物の種類や形式等の決定にあたり、発注者と設計者の協議で問題点を解決することが困難な場合（例えば、耐久性の検討や新技術・新材料の使用の有無の判断）は、専門評価機関の活用を検討する。

2.1.4 詳細設計段階

- (1) 構造計算および照査結果をもとに、設計図書を作成する。
- (2) 構造物の耐久性に対する照査を行わなければならない。
- (3) 構造物の所要の性能に影響するような初期ひび割れが施工段階で発生しないように、初期ひび割れの照査を行うことを原則とし、その抑制対策を示さなければならない。
- (4) 鉄筋に関する構造細目は、道路橋示方書、土木学会コンクリート標準示方書および土木工事設計要領に従わなければならない。
- (5) 鋼材の配置状況に応じた適切なレディーミクストコンクリートの種類を選定しなければならない。
- (6) 詳細設計段階において、発注者と設計者のみでは技術的な問題点を解決することが難しい場合には、発注者は専門評価機関を交えて検討することが望ましい。

【解 説】(1)および(2)について 構造物の機能・性能を考慮した構造計算、要求性能の照査を詳細に行い、設計図書を作成する。さらに耐久性に関わるコンクリートの特性、鋼材の応力度、かぶりなどを用いて構造物の耐久性に対する照査を行う。耐久性に関する照査を行うためには、使用する材料の種類・仕様が必要となるが、本指針では、セメントには普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメント、低発熱型セメント（中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント、中庸熱フライアッシュセメント、低熱高炉セメント）が使用でき、また、混和材としては、高炉スラグ微粉末、フライアッシュおよび膨張材などが使用できる。

(3)について 構造物の所要の性能に影響する初期ひび割れが施工段階で発生しないように、初期ひび割れの照査を行うことを原則とする。主な抑制対策を解説表 2.3.1 に示す。

温度ひび割れの抑制対策として低発熱型セメントを使用する場合には、材齢 56 日などの長期材齢における設計基準強度を設定することができる。なお、配合強度とは、レディーミクストコンクリート工場においてコンクリートの配合を決める際に目標とする強度で、コンクリートの品質等を考慮して設計基準強度に割増し係数を乗じたものである。また、呼び強度とは、荷卸し地点で保証されるレディーミクストコンクリートの強度で、「所定の材齢まで $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ で水中養生した供試体の圧縮強度」を指し、一般的に材

齢 28 日の強度とされている。しかし、低発熱型セメントを使用する場合には、材齢 56 日、91 日の設定も可能である。なお、あらかじめ試験等により求めた強度曲線により材齢 28 日での強度を推定してもよい。

(4)について 鉄筋の継ぎ手は、鉄筋の種類、直径、応力状態、継手位置等に応じて適切に選定しなければならない。その継手位置は、できるだけ応力の大きい断面を避ける。また、軸方向の太径鉄筋（D51 等）の継手が高所作業となる場合は、圧接継手では継手部の十分な品質の確保が困難になることが予想される。そこで、太径鉄筋の継手は、ねじふし鉄筋継手、ねじ加工継手などの選定を検討するのが望ましい。

(5)について 構造物の種類、部材の種類および大きさ、鋼材や鉄筋の量や配置条件などにより密実に型枠内に充てん可能なスランブは異なるため、呼び強度や骨材の最大寸法を考慮し、適切なレディーミクスコンクリートの種類を選定しなければならない。

(6)について 詳細設計において、発注者と設計者の協議で問題点を解決することが困難な場合（例えば、ひび割れ抑制対策の検討や低発熱型セメントを使用する場合の設計基準強度を確保する材齢の選定等）は、専門評価機関の活用を検討する。

2.2 コンクリート構造物の性能照査

2.2.1 一般

コンクリート構造物が、設計耐用期間を通じて要求性能を満足することを確認しなければならない。

【解 説】 設計段階での性能照査は、コンクリート構造物の安全性、使用性、耐久性に対する要求性能を満足することを確認するものである。しかし、設計段階においては施工時の条件（コンクリート材料および配合、打設温度、外気温等）が必ずしも明確でないため、照査を行うには限界がある。したがって、設計段階での耐久性照査は、コンクリートの設計基準強度や水セメント比、予想される施工時期および施工状況等から推定した値を用いた照査により、要求性能を満足することを確認することとする。

2.2.2 安全性の照査

- (1) コンクリート構造物が、所要の安全性を設計耐用期間にわたり保持することを照査しなければならない。
- (2) 安全性に対する照査は、設計荷重のもとで、すべての構成部材が断面破壊の限界状態および疲労破壊の限界状態に至らないこと等の安全性について確認することを原則とする。

【解 説】(1)および(2)について 安全性に対する照査は、土木学会 コンクリート標準示方書に従い限界状態設計法により実施することを原則とする。なお、断面破壊の限界状態および疲労破壊の限界状態、ならびに安定の限界状態に対する具体的な照査方法の整備が不十分である場合は、当面は道路橋示方書および国土交通省のコンクリート構造物に関する各種規定・基準・指針に示される許容応力度設計法を用いた照査を併用するものとし、限界状態設計法による照査方法の整備に伴い順次移行することとした。

2.2.3 使用性の照査

- (1) コンクリート構造物が、所要の使用性を設計耐用期間にわたり保持することを照査しなければならない。
- (2) 使用性に対する照査では、設計荷重のもとで構造物の機能や使用目的に応じて、外観、振動、変形等の使用上の快適性に関する限界状態や、水密性、表面の耐摩耗性、ひび割れ等の機能性に関する限界状態に至らないことを確認する。このうち、ひび割れおよび水密性については照査を行うことを原則とし、他の性能に関しては必要に応じて適切な方法で照査するものとする。

【解 説】(1)について 現在、道路橋示方書や国土交通省の各種指針類では、一般に許容応力度設計法で設計されているため、その場合には使用性に対する照査を省略してもよいものとする。

(2)について 設計荷重作用時にコンクリートに発生するひび割れについては、現行のコンクリート構造物に関する各種基準類では、部材断面に生じる応力度を許容応力度以下とすることにより、ひび割れ幅が過大とならないよう配慮されている。しかし、ひび割れは材料および施工等に起因して発生する可能性もあり、この場合には外観や水密性、耐久性を損なうおそれがあることから、できるだけ設計段階で考慮しておくことが望ましい。具体的な照査方法については、2.3節「初期ひび割れに対する照査」で示す。

特に、各種貯蔵施設、地下構造物、水理構造物、貯水槽、上下水道施設、トンネルなど常時水に接する可能性のある構造物は水密性を確保する必要がある。これらの構造物では、コンクリート自体の水密性は確保されている場合でも、各種ひび割れ、打継目、施工時の各種欠陥などによって水密性が損なわれるおそれがあるため、水密性に対する照査を行うことを原則とする。また、水密性を保持させるため止水板や防水シート等の防水措置についても検討する必要がある。

2.2.4 構造物の耐久性照査

コンクリート構造物が、所要の耐久性能を設計耐用期間にわたり満足することを照査しなければならない。照査に際して、構造物の置かれる環境条件に応じて以下の項目に関してコンクリート構造物の耐久性を照査することとする。

- (1) 中性化に伴う鋼材腐食に対する照査
- (2) 塩害に対する照査
- (3) アルカリ骨材反応に対する照査
- (4) 凍害に対する照査
- (5) 化学的侵食に対する照査

【解 説】(1)について コンクリートの中性化は鉄筋の腐食を引き起こすことから、中性化がある程度進行すると鉄筋の腐食が始まる。中性化速度は、主にセメントの種類、水セメント比（水結合材比）、および環境条件等に支配される。

土木学会コンクリート標準示方書では、中性化深さの設計値 y_d と鋼材腐食発生限界深さ y_{lim} （かぶり c から施工誤差 Δc_e および中性化残り c_k を減じた値）の比に構造物係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより中性化に対する照査を行っている。（2.2.1）式参照。

$$\gamma_i \frac{y_d}{y_{lim}} \leq 1.0 \quad (2.2.1)$$

中性化深さ y は一般的に、次式で表されるように経過年数 t の平方根に比例し、その比例定数 α を「中性化速度係数」と呼ぶ。

$$y = \alpha \sqrt{t} \quad (2.2.2)$$

中性化深さの設計値を求める上で必要となる中性化速度係数は、実験あるいは既往のデータに基づいて定めることを原則とするが、次式により求めてもよい。なお、同一の水セメント比であっても、セメントに普通ポルトランドセメントのみを用いた場合と、高炉セメント等の混合セメントを用いた場合とでは、中性化速度係数が異なる。（2.2.2）式参照。なお、ここでは有効結合材とする概念を導入している。

$$\alpha_k = 3.57 + 9.0 (W/B) \quad (2.2.3)$$

ここで、 α_k ：中性化速度係数の特性値（mm/√（年））

W/B ：有効水結合材比。 $W/B = W / (C_p + k \cdot A_d)$

W ：単位体積あたりの水の質量

B ：単位体積あたりの有効結合材の質量

C_p ：単位体積あたりのポルトランドセメントの質量

A_d ：単位体積あたりの混和材の質量

k ：混和材により定まる定数。

フライアッシュの場合 $k=0$ ，高炉スラグ微粉末の場合 $k=0.7$

なお、ここでの単位体積はコンクリートの単位体積である。

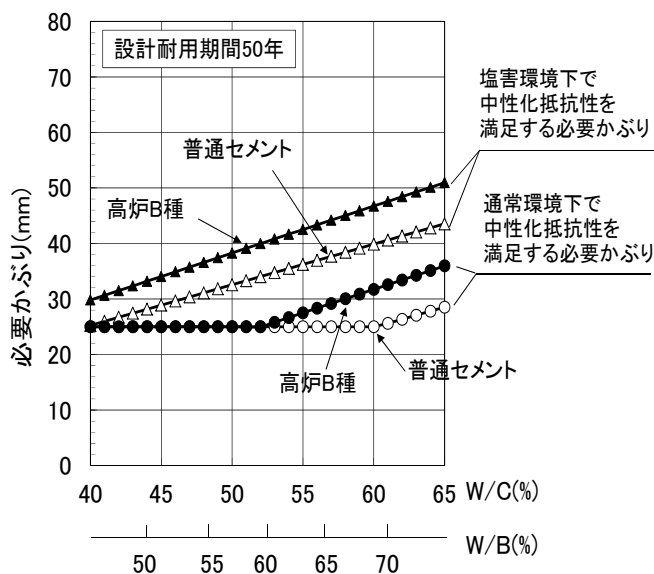
この照査式により設計耐用期間 50 年および 100 年における中性化抵抗性を満足する必要かぶりを算定した結果を、解説 図 2.2.1 に示す。なお、算定にあたっては解説 表 2.2.1 に示す値を使用し、中性化深さの設計値 y_d は、次式により算定した。

$$y_d = \gamma_{cb} \cdot \alpha_d \sqrt{t} \quad (2.2.4)$$

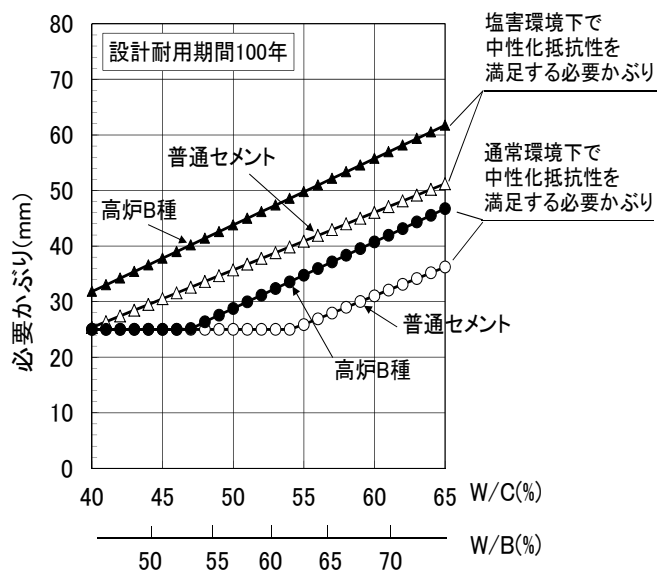
ここに、 $\alpha_d (= \alpha_k \cdot \beta_e \cdot \gamma_c)$ ；中性化速度係数の設計値， α_k ；中性化速度係数の特性値， β_e ；環境作用の程度を表す係数， γ_c ；コンクリートの材料係数， γ_{cb} ； y_d のばらつきを考慮した安全係数。

解説 表 2.2.1 必要かぶり算定に使用した数値

記号	名称	数値
γ_i	構造物係数	1.0
c_k	中性化残り	・ 通常環境下：10mm ・ 塩分環境下：25mm
Δc_e	施工誤差	0mm
t	年数（耐用年数）	50 年，100 年
W/C	水セメント比	0.40～0.65（40%～65%）
—	使用セメント	・ 普通ポルトランドセメント ・ 高炉セメント B 種 （スラグ置換率 45%） （ $W/B=0.46\sim0.75$ に相当。）
β_e	環境作用の程度を表す係数	1.0（乾燥しにくい環境）
γ_{cb}	y_d のばらつきを考慮した安全係数	1.15
γ_c	コンクリートの材料係数	1.0



(a) 耐用年数 50 年



(b) 耐用年数 100 年

解説 図 2.2.1 中性化抵抗性を満足する必要かぶり算定結果

道路橋示方書では、床版、地覆、高欄、支間 10m 以下の床版橋に対して、最小かぶりは 30mm と定めている。したがって、解説 図 2.2.1 より、普通ポルトランドセメントを用いる場合、耐用年数 50 年では水セメント比が約 60%以下の領域で、耐用年数 100 年では水セメント比が約 55%以下の領域で、かぶりを 30mm 以上とすることにより、中性化に対する抵抗性は満足できると言える。

よって、九州地方整備局において通常環境に建設されるコンクリート構造物（セメントに普通ポルトランドセメントのみを用いた場合）は、道路橋示方書に示される最小かぶりの規定を遵守することで中性化に対する照査を省略することができる。しかし、セメントに高炉セメントやフライアッシュセメントを用いる場合や塩害環境下に建設される場合は、中性化に対する照査を行わなければならない。

(2)について 海岸構造物および凍結防止剤が散布されるおそれのある構造物では、塩化物イオンの侵入により、設計耐用期間に対してコンクリート中の鋼材が腐食しないことを照査しなければならない。照査の結果、鋼材腐食が発生する場合は、かぶりの増大、エポキシ樹脂被覆鋼材の使用、コンクリート表面の被覆、電気防食など適切な措置を講じなければならない。

土木学会コンクリート標準示方書では、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d と鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} との比に構造物係数 γ_i を乗じた値が 1.0 以下であることを確かめることにより塩害に対する照査を行っている。（2.2.5）式参照。

$$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0 \quad (2.2.5)$$

鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} は、類似の構造物の実測結果や試験結果に基づいて定めてよい。それによらない場合は式(2.2.6)～式(2.2.9)を用いて定めてよい。ただし W/C の範囲は、0.30～0.55 とする。なお、凍結融解作用を受ける場合には、これらの値よりも小さな値とするのがよい。

（普通ポルトランドセメントを用いた場合）

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4 \quad (2.2.6)$$

（高炉セメント B 種相当、フライアッシュセメント B 種相当を用いた場合）

$$C_{lim} = -2.6(W/C) + 3.1 \quad (2.2.7)$$

（低熱ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントを用いた場合）

$$C_{lim} = -2.2(W/C) + 2.6 \quad (2.2.8)$$

（シリカフェームを用いた場合）

$$C_{lim} = 1.20 \quad (2.2.9)$$

また、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d は Fick の拡散方程式の解である次式により求めることができる。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right\} + C_i \quad (2.2.10)$$

ここで、 γ_{cl} : C_d のばらつきを考慮した安全係数。一般に 1.3 としてよい。

C_0 : コンクリート表面における想定塩化物イオン濃度 (kg/m^3) （解説 表 2.2.2）

c_d : かぶりの設計値 (mm)。かぶり c から施工誤差 Δc_e を減じた値。

t : 耐用年数 (年)

D_d : 塩化物イオンに対する設計拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

C_i : 初期塩化物イオン濃度 (kg/m^3)。一般に $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3$ としてよい。

$$erf(s) : \text{誤差関数} \left(erf(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta \doteq \sqrt{1 - e^{-\frac{4s^2}{\pi}}} \right)$$

解説 表 2.2.2 コンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m³)

		飛沫帯	離岸距離 (m)						
			汀線付近	10	20	100	250	500	1000
飛来塩分が多い地域	北海道, 東北 北陸, 沖縄	13.0	9.0	—	—	4.5	3.0	2.0	1.5
飛来塩分が少ない地域	関東, 東海, 近畿 中国, 四国		4.5	—	—	2.5	2.0	1.5	1.0
	九州		9.0	9.0	4.5	2.5	2.0	1.5	1.0

高い位置ほど表面塩化物イオン濃度が減少する場合もあるので、その場合には適切に考慮するのがよい。

なお、 C_0 の値は、九州地区では解説 表 2.2.2 の下欄の値（九州）を用いるが、島嶼部や気温の高い地域では別途検討が必要である。

塩化物イオンの拡散係数 D_k は次式により求めてよい。ただし、水セメント比 0.30 以上、0.55 以下とする。なお、実験値あるいは既往のデータがある場合は、そのデータを用いてもよい。

土木学会コンクリート標準示方書

(a) 普通ポルトランドセメントを使用する場合

$$\log_{10} D_k = 3.0(W/C) - 1.8 \quad (2.2.11)$$

(b) 低熱ポルトランドセメントを使用する場合

$$\log_{10} D_k = 3.5(W/C) - 1.8 \quad (2.2.12)$$

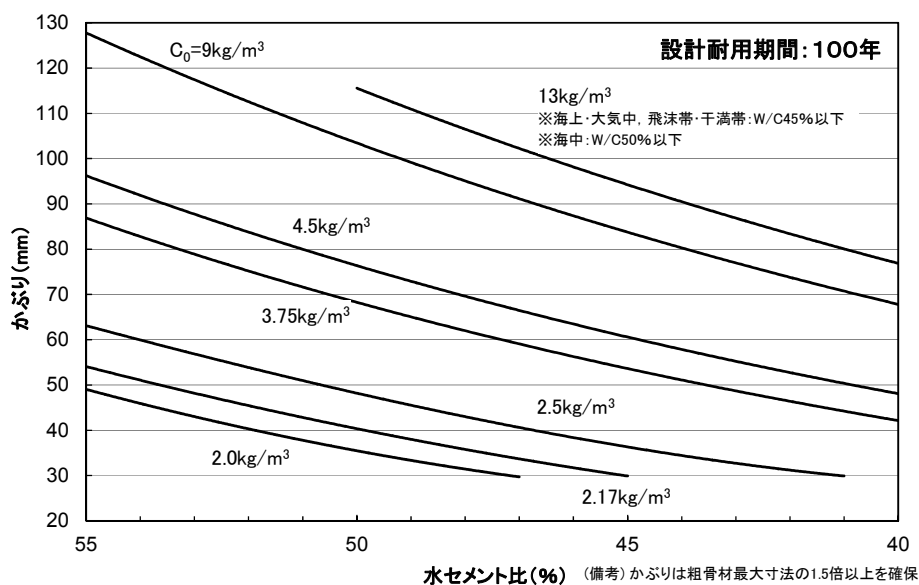
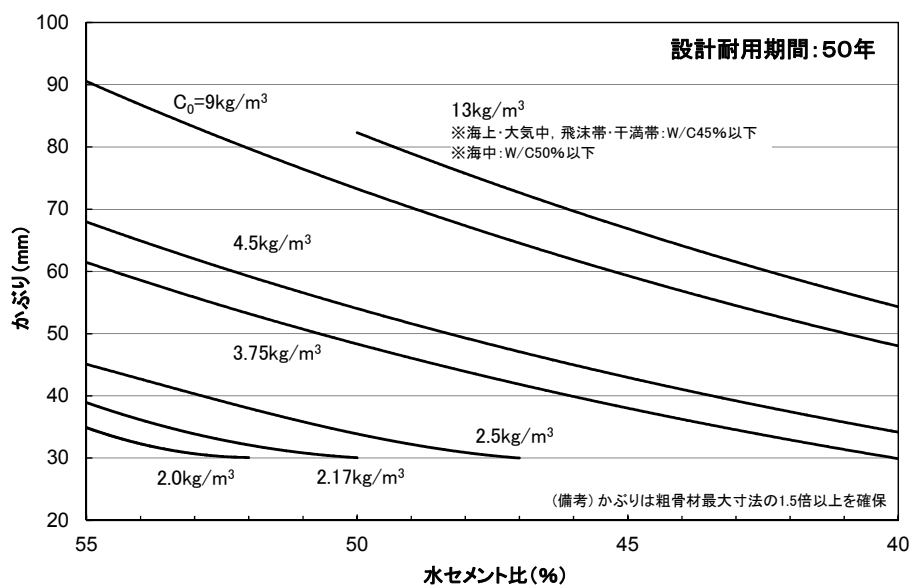
(c) 高炉セメント B 種相当、シリカフェームを使用する場合

$$\log_{10} D_k = 3.2(W/C) - 2.4 \quad (2.2.13)$$

(d) フライアッシュセメント B 種相当を使用する場合

$$\log_{10} D_k = 3.0(W/C) - 1.9 \quad (2.2.14)$$

設計耐用期間 50 年時および 100 年時において、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が C_{lim} 以下となる水セメント比とかぶりの関係図を解説 図 2.2.2 に示す。この図は、環境条件（解説 表 2.2.2 に示されるコンクリート表面における塩化物イオン濃度）ごとに必要なかぶりを算定するために用いることができる。拡散係数とかぶりの関係が環境条件ごとに示される曲線よりも右側にプロットされる場合、所要の塩化物イオン浸透抵抗性を有すると言える。



※離岸距離 500m 以上 (C_0 : 1.5kg/m^3 以下) の必要かぶりは 30mm 以上となる

必要かぶり算定に使用した数値

記号	名称	数値
γ_i	構造物係数	1.0
—	使用セメント	高炉セメント B 種
W/C	水セメント比	0.40~0.55 (40%~55%)
Δc_e	施工誤差	0mm
t	年数 (耐用年数)	50 年, 100 年
γ_{cl}	鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d のばらつきを考慮した安全係数	1.3
C_i	初期塩化物イオン濃度	0.30kg/m^3
D_d	塩化物イオンに対する設計拡散係数	$\gamma_e \cdot D_k \cdot \beta_{cl}$
γ_c	コンクリートの材料係数	1.0
β_{cl}	初期ひび割れの影響を考慮した係数	1.15

解説 図 2.2.2 塩害に対する照査を満足する水セメント比およびかぶり判定図
(曲線の右側にプロットされる場合は照査を満足する)

また、土木研究所では暴露供試体による調査結果（供試体サイズ：90×90×30cm，暴露位置：海岸から約 20m）を基にした塩化物イオンの拡散係数と W/C との関係式を提案している。道路橋示方書では、土木研究所の推定式を参考に、塩害の影響を受けるプレストレストコンクリート構造物および鉄筋コンクリート構造物のかぶりの最小値を、塩害を受ける程度によって定めている。例えば、設計耐用期間を 100 年とし、塩害の影響が激しい地域（PC では、海岸線から 20 m まで、RC では 50 m まで）では最小値を 70mm とし、かつ塗装鉄筋の使用またはコンクリート塗装を併用することとしている。その際のコンクリートの水セメント比はプレストレストコンクリート構造物（工場製品以外のもの）の場合 43%，鉄筋コンクリート構造物の場合 50%を想定している。

しかし、過酷な環境下においては道路橋示方書に示される塩害対策を行った場合でも劣化が生じることが認められているので、このような場合は土木学会の予測式によって照査を行った方がよい。

また、路面凍結防止剤を使用する場合は、路面排水の漏水、車両による飛散などに起因する塩化物イオンの侵入についても検討する。

なお、港湾、海岸、海洋に建設される構造物では、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工編：特殊コンクリート〕「第 11 章 海洋コンクリート」において最大水セメント比が示されているので、水セメント比はこの値以下でなければならない。

(3)について 骨材のアルカリ骨材反応性は、同じ骨材であっても、試験法（JIS 化学法、JIS モルタルバー法、ASTM 法 など）ごとに判定が異なることが報告されている。また、海岸付近や凍結防止剤が散布される地域では、アルカリの供給によりアルカリ骨材反応が促進されることが指摘されている。

九州地域では、アルカリ骨材反応による劣化事例が散見される。そのため、設計段階においては構造物の建設予定地の環境条件、アルカリの供給の有無、周囲の既設構造物等を調査し、アルカリ骨材反応による劣化が懸念される場合は、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを用いるなどの抑制対策をしなければならない。

(4)について 凍害に対する環境条件としては、構造物の露出状況（例えば、地中構造物や水中・海中構造物）や、外気温等の気象条件がある。九州地区では、一部の山間地を除いて凍結するおそれがないので、凍結融解作用に関する照査を省略することができる。凍害に対する危険度の指標として、JASS 5「鉄筋コンクリート工事 2003」（26 節 解説図 26.1「凍害危険度の分布図」）を参考としてよい。

(5)について 化学的侵食とは、侵食性物質とコンクリートとの接触によるコンクリートの溶解・劣化や、コンクリートに侵入した侵食性物質がセメント組成物質や鋼材と反応し、体積膨張によるひび割れやかぶりの剥離などを引き起こすなどの劣化現象である。

九州地区では、温泉地域、旧産炭地域、下水道施設などで化学的侵食による劣化が生じており、これらの場所に建設される構造物には、何らかの対策を講じる必要がある。対策工法としては、腐食性環境として軽微な場合には、コンクリートの材料・配合の選定を行うのがよい。しかし、設計耐用期間内に、劣化因子の浸透深さが著しく大きくなると想定されるような厳しい腐食性環境の場合は、土木学会「表面保護工法設計施工指針（案）」や「けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）」に準じて適切な方法を選定し、設計図書に明記する。

上記(1)～(5)に示した対策のみでは構造物に所要の耐久性能を付与することが困難と判断される場合は、専門評価機関を交えて協議しなければならない。

なお、本指針で触れていない特殊な材料、工法および施工方法を採用する場合は、新材料、新技術、新工法に関する既往の研究成果や具体的な実施例とその効果を十分に考慮し、かつ実際に採用できるものを選定する必要がある。このような特殊な材料、工法および施工に対して土木学会では、以下の指針やマニュアルを制定している。特殊な材料などの検討にあたってはこれらの資料を参考にするとよい。

- ・海洋コンクリート構造物設計施工指針（案）
- ・高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針（案）（昭和 63 年）
- ・膨張コンクリート設計施工指針（平成 5 年）
- ・高炉スラグ骨材コンクリート設計施工指針（平成 5 年）
- ・高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工指針(案) 付・流動化コンクリート施工指針（平成 5 年）
- ・高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針（平成 8 年）
- ・フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの施工指針（平成 10 年）
- ・銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針（平成 10 年）
- ・高流動コンクリート施工指針（平成 10 年）
- ・フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）（平成 11 年）
- ・電気化学的防食工法・設計施工指針（案）（平成 13 年）
- ・自己充填型高強度高耐久コンクリート構造物設計・施工指針（案）（平成 13 年）
- ・エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（平成 15 年）
- ・超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案）（平成 16 年）
- ・表面保護工法設計施工指針（案）（平成 17 年）
- ・けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)（平成 24 年）

2.3 初期ひび割れに対する照査

2.3.1 一般

- (1) 初期ひび割れに対する照査は、ひび割れが発生しないこと、あるいはひび割れ幅が限界値以下であることを確認することにより、構造物の所要の性能に影響しないことを確認しなければならない。
- (2) 既往の施工実績から問題のないことが知られている構造物については、照査を省略してもよい。
- (3) ひび割れの発生を許容するが、ひび割れにより構造物の所要の性能が損なわれないように制限する場合は、ひび割れ幅の限界値を設定し、照査を行うものとする。
- (4) ひび割れの制御を目的としてひび割れ誘発目地を設ける場合は、構造物の機能を損なわないように、その構造および位置を定めなければならない。

【解説】(1)について 施工段階に発生するひび割れ（初期ひび割れ）には、沈下ひび割れ、プラスチック収縮ひび割れ、乾燥に伴うひび割れ、温度ひび割れがある。このうち、沈下ひび割れは骨材の沈下や材料分離によって鉄筋上面や変断面部に発生し、プラスチック収縮ひび割れはブリーディング水の上昇速度に比べて表面からの水分の蒸発量が大きい場合に生じるおそれがあるが、適切な施工を行えば一般に防ぐことができる。本指針3章に従って施工すれば、問題となる沈下ひび割れやプラスチック収縮ひび割れを防ぐことができるので、照査を省略することができる。

温度ひび割れは、水和反応により温度が上昇したコンクリートが外気からの冷却を受け、コンクリート内部と表面との間に生じた温度差により表面に引張応力が生じて表面ひび割れが発生する場合（内部拘束）と、コンクリートの温度降下時に生じる体積収縮が岩盤や旧コンクリートなどにより拘束されて引張応力が生じて貫通ひび割れが発生する場合（外部拘束）とがある。また、実際の構造物においてはこれら両者が同時に作用する場合が多い。

乾燥に伴うひび割れは、主に脱型後に急激な乾燥を受けた場合に、コンクリート中の水分が逸散しコンクリート表面に体積収縮を生じてコンクリート表面に発生するひび割れと収縮が他の部材等により拘束された場合に生じるひび割れである。

安全性、使用性および耐久性などは、これらの初期ひび割れが施工段階で発生しないことを前提としているが、近年、拘束の程度の大きい壁部材や橋梁の橋脚（フーチングおよび柱部材）において、セメントの水和熱や乾燥収縮が主要因とされるひび割れが多く散見される。したがって、初期ひび割れに対する照査は長寿命構造物を構築する上で重要である。

(2)について これまでの九州地方整備局管内における施工実績から、施工段階で発生する初期ひび割れが構造物の所要の性能に影響しないことが明らかにされていれば、照査を省略することができる。

(3)について セメントの水和に起因するひび割れを許容する場合は、ひび割れ幅がひび割れ幅の限界値以下であることを確認することによって照査するが、ひび割れ幅を計算によって求めることが困難と判断される場合は、ひび割れ発生確率によって確認を行うことができる。

(4)について 一般的には、誘発目地の間隔は、コンクリート部材の高さの1～2倍程度とし、その断面欠損率は30～50%以上とするのがよい。壁状構造物に所定の断面欠損部を設けるためには、壁の両表面に鉛直方向の溝状欠損部を配置する方法や、その表面にはく離剤を塗布してコンクリートとの付着を切って応力集中を誘発する（塩化ビニルパイプ、プレキャストコンクリートあるいは鉄板等を壁断面内に埋設する）方法がある。水密構造物にひび割れ誘発目地を設ける場合は、その位置にあらかじめ止水板を設置しておくなどの止水対策を施しておくのがよい。

ひび割れ誘発目地の適切な設置位置および間隔は、構造物の寸法、鉄筋量、打込み温度、打込み方法等に大きく影響される。また、構造物の弱点部にもなりうることから、専門評価機関を交え検討するのが望ましい。

2.3.2 温度ひび割れの照査

(1) セメントの水和熱が大きくなる以下の構造物については、温度ひび割れに対する照査を行わなければならない。

- ① 広がりのあるスラブ状で、厚さが80～100cm以上の部材
- ② 下端が拘束された壁状で、厚さが50cm以上の部材
- ③ 比較的断面が大きく柱状で、短辺が80～100cm以上の部材で、施工上水平打継目が設けられる構造物

(2) 温度ひび割れに対する照査は、ひび割れ指数に基づいたひび割れ発生確率により行うことを原則とする。

(3) ひび割れ幅は、適切な方法で照査しなければならない。ひび割れ幅を計算によって求めることが困難な場合には、ひび割れ指数と鉄筋量によって確認を行ってよい。

(4) ひび割れの発生が予測される場合は、その抑制・制御対策を検討しなければならない。

【解 説】(1)について 温度ひび割れに対する照査を行う構造物は、例えば①では橋脚のフーチングや各種構造物の底版など、②ではボックスカルバートの側壁、擁壁、橋台の堅壁、壁式橋脚、排水機場など、③では橋脚の柱部、門柱などが挙げられる。

セメントの水和熱に起因するひび割れの発生形態は、解説図2.3.1に示すように同一部材の中心部と表面の温度差に起因する内部拘束ひび割れと、部材の温度変化による変形が既に打込まれたコンクリートや基礎岩盤に拘束されて発生する外部拘束ひび割れに分けられる。外部拘束による場合には、内部拘束による影響も加わるのが一般的である。

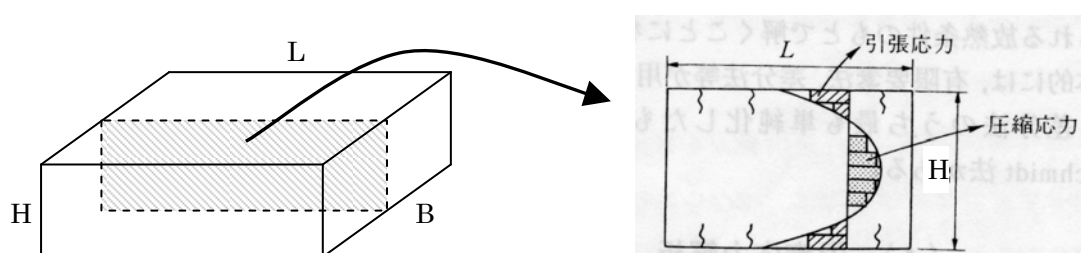
内部拘束によるひび割れはごく表面付近のかぶりの範囲か、かぶりをいくぶん超える範囲に収まるのが一般的である。時間の経過に伴ってコンクリート内部の温度が外部の温度に近くなると発生した時点の幅より小さくなる。外部拘束によるひび割れは断面を貫通し、発生した時点より内部の温度が下がり、全体の温度が均一に近くなるに従って幅は大きくなる。その後は季節変動に応じた外気温の変化に伴って変化する特徴もあり、これらのことから、測定された幅がいつの時点での値であるかによって、構造物の機能に

対する影響の度合いが異なってくる。

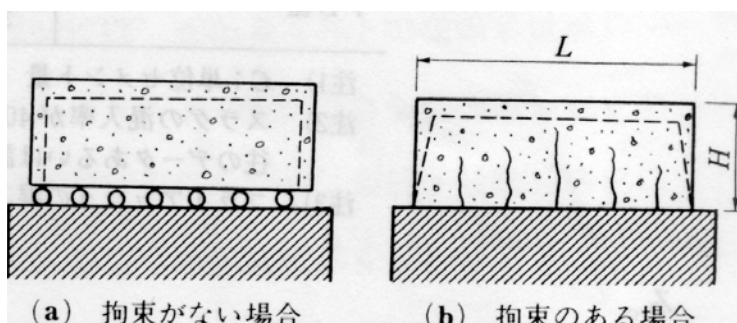
また、乾燥収縮の影響を受けるとひび割れ幅はさらに広がる傾向にある。

本指針では、解説 図 2.3.2 のフローに従って温度応力解析による照査を行う。ただし、温度応力により発生する引張応力の算定を設計段階で行なう場合は、セメントの種類を特定することは出来ても、単位セメント量、コンクリート温度、施工時の気温および気温の変化など、コンクリート中の温度分布を算定するために必要となる各種因子が未確定であり、さらに、施工時の型枠の種類、ブロック割り、リフト割り、打込み速度、養生方法などの各種条件も不明であるため、詳細な応力算定は困難である。したがって、建設地点での配合調査や過去に類似した構造物の事例、標準的な施工条件、気温などを仮定してコンクリート中の温度分布などを推定し、これを基に引張応力を算定する。

なお、試行結果に類似する構造物については、巻末の試行事例集を参照するのがよい。

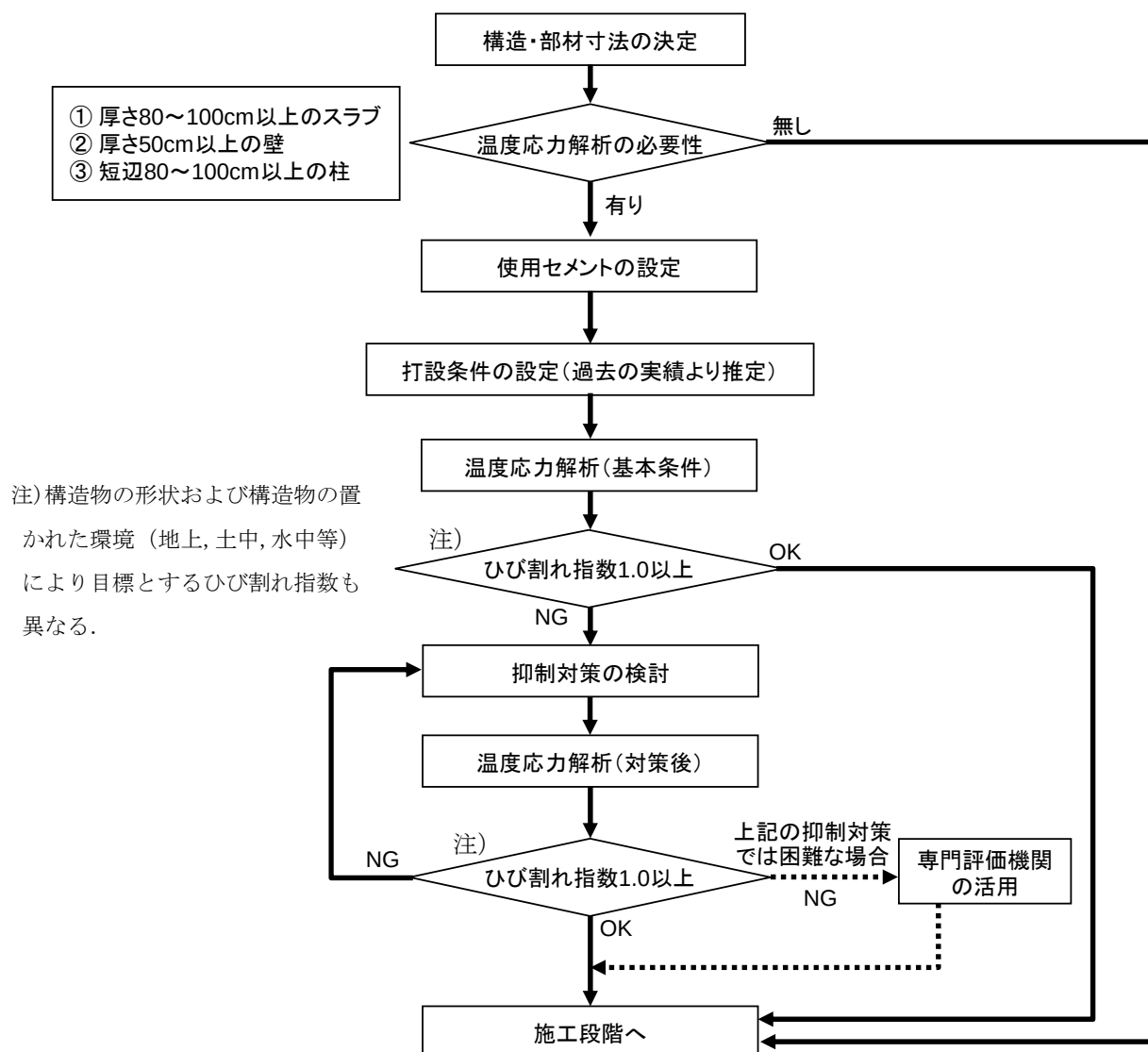


i) 内部拘束による温度ひび割れ（スラブ状構造物）



ii) 外部拘束によるひび割れ（壁状構造物）

解説 図 2.3.1 温度応力発生モデル



解説 図 2.3.2 温度ひび割れ照査フロー（目標とするひび割れ指数 1.0 の場合）

(2)について 土木学会 2007 年制定土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕では、コンクリートの引張強度と、セメントの水和熱に起因する温度応力により発生する引張応力との比をひび割れ指数として算定し、このひび割れ指数と過去の実績から得られたひび割れ発生確率により設定される安全係数とを比較することによって、温度ひび割れの照査を行なう。

なお、目標とするひび割れ指数は、構造物の形状または構造物が置かれる環境条件（気中・水中・土中）、使用条件を考慮して選定する。

- ・ ひび割れを防止したい場合 ： 1.75 以上
- ・ ひび割れの発生を出来るだけ制限したい場合 ： 1.45 以上
- ・ ひび割れの発生を許容するが、その幅が過大とならないように制御したい場合 ： 1.0 以上

(3)について ひび割れ幅を計算で求める方法としては、統計的方法、（社）日本コンクリート工学協会のマスコンクリート温度応力研究委員会が提案している CP ひび割れ幅法、鉄筋の付着特性を考慮した FEM による方法などがある。ひび割れ以後の挙動をモデル化した方法によりひび割れ幅の算定も可能と

なっている。

温度ひび割れは、蓄積された引張応力がひび割れの発生によって解放されることにより、ある幅に収束する。このひび割れ幅は、応力解放によるコンクリートの収縮変形と、この変形を妨げようとする拘束体と鉄筋の拘束により定まるが、鉄筋比が小さい場合は相当大きな値となることがある。ひび割れ発生後に温度降下が生じればさらに収縮変形が起こるので、新たなひび割れが発生しない限り、ひび割れ幅は拡大する。したがって、ひび割れ幅を制御するためには、コンクリートの収縮変形を抑制すればよい。そのためには材料や配合、施工方法等を変更して、ひび割れ指数をできるだけ大きくするのが効果的である。コンクリートの対策だけでひび割れ幅を制御できない場合は、鉄筋によって制御する方法も採られる。この場合、ひび割れの分散を考慮して、施工性などが確保できる範囲で、できるだけ細径の鉄筋を分散して配置するように配筋するとよい。

最大ひび割れ幅とひび割れ指数との関係については、土木学会「コンクリート標準示方書 設計編」に記載されているので参考にするとよい。

(4)について 設計段階で以上のようなひび割れ照査が困難な場合には、既存の構造物の事例あるいは文献ならびに「コンクリート構造物ひび割れ対策検討委員会報告書」等をもとに、有害なひび割れの発生の有無を判断し、その結果、温度ひび割れの発生確率が高いと判断される場合は、解説 表 2.3.1 に示すような適切な対策を提示しなければならない。これらの対策を講じてもひび割れ指数が著しく小さい場合は、専門評価機関を交え、適切な対策を定めなければならない。

解説 表 2.3.1 温度ひび割れ抑制対策の例

分類	抑制対策
内部拘束・外部拘束 共通	・ 工場製品の使用 ・ 単位セメント量の低減 ・ 打ち込み区画（リフト割り）の変更 ・ フレッシュコンクリートの打設時温度の低減 ・ コンクリートの温度上昇の抑制 ・ 低発熱型セメントの使用
内部拘束	・ 部材内外の温度差の抑制
外部拘束	・ ひび割れ誘発目地の設置 ・ 膨張材の使用

1) 工場製品の使用

コンクリート構造物を現場打ちで製造することを想定している場合であっても、過大な温度ひび割れが避けられない場合は工場製品の使用を検討するとよい。

壁状構造物では下端の拘束をなくすためにプレキャスト部材を使用する方法がある。下端との接続は一般にプレストレスの導入が必要になる。ハーププレキャスト部材を内外面に使用し内部のコンクリートを現場打ちとして、温度ひび割れや乾燥収縮の悪影響を避ける方法もあり、福岡国道事務所 国道 202 号福岡外環状道路福大トンネルで適用された実績がある。

2) 単位セメント量の低減

単位セメント量を低減するには、骨材最大寸法を 25(20)mm から 40mm に変更する方法や、高性能 AE 減水剤を使用する方法がある。

3) 打ち込み区画（リフト割り）の変更

打ち込み区画の変更は、平面的に区画変更する場合と高さ方向に変更（リフト割りの変更）する場

合がある。いずれも 1 回に打ち込むコンクリートの打設量を少なくすることで温度上昇量が抑制できる。

スラブ状構造物で厚さが厚い部材やフーチングなどは、平面的な施工区画の変更はあまり効果は期待できないが、リフト高さの変更によって最高温度を若干低下させることができる。

下端が拘束される壁状構造物では、ひび割れ発生間隔がリフト高さ (H) と部材の長手方向の長さ (L) の比 (L/H) に依存するので L を短くすることや L/H が 1.0~1.5 程度になるようなリフト割りをするとよい。

打継ぎ間隔は、先に打ち込んだコンクリートが外気温まで完全に低下する前までとするのが温度応力低減に有効である。

4) フレッシュコンクリートの打設時温度の低減

打ち込む前のコンクリート温度を下げるために、練混ぜ水の温度低下（井戸水、氷水の利用）、粗骨材への散水、液体窒素による冷却などがあるが、連続して打ち込むコンクリート量、供給速度、プラント設備などによって対応が不可能な場合がある。

また、日中温度が高い時期に打ち込みを行う場合は、早朝より打ち込みを開始し外気温が上昇する以前に終了する方法や運搬中の温度上昇を抑制する方法も有効である。

5) コンクリートの温度上昇の抑制

打ち込まれたコンクリートの温度上昇の抑制には、型枠への散水があり、内部の温度が最大になってから 1 から 2 日間まで有効である。ただし、その後の散水はコンクリート表面を急冷することになりひび割れを助長するので注意を要する。その他、直射日光の遮蔽が有効である。

6) 低発熱型セメントの使用

低発熱型セメントは、低熱高炉セメント、中庸熱フライアッシュセメント、低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントなどがあるが、製造メーカーによって発熱性状が異なる場合があるので、解析および使用にあたっては注意を要する。また、低発熱型セメントは、地域およびレディーミクストコンクリート工場によって供給が困難な場合や価格が極端に高くなる場合があるため供給体制や経済性について事前に調査する必要がある。

低発熱型セメントを使用する場合は、設計基準強度を確保する材齢を一般的な 28 日から 56 日または 91 日とすることで単位セメント量を少なくすることができる。

7) 部材内外の温度差の抑制

部材表面からの急激な放熱を抑制するために発泡スチロールやエアバック等で型枠を覆う方法や脱枠時期を遅らせること、脱枠後表面をシートで覆う方法が有効である。

8) ひび割れ誘発目地の設置

下端が拘束された壁状構造物では、適切な間隔で誘発目地を設けこの位置にひび割れを誘発することにより補修を容易にすることができる。ひび割れ誘発目地の設置にあたっては、「3.10 ひび割れ誘発目地の計画」を参考にするとよい。

9) 膨張材の使用

温度降下時の収縮を抑制するために一般に膨張材が用いられる。膨張材の性状は温度依存性が強いので使用にあたっては効果の検討が必要である。

2.3.3 乾燥に伴うひび割れの検討

乾燥収縮が主たる原因のひび割れが発生するおそれのある部材は、対策を講じなければならない。

【解 説】コンクリートは乾燥に伴って水分が蒸発することによって収縮するが、その程度は、材料、配合、構造物の形状・寸法、型枠存置期間、養生方法・期間、環境条件（気温、湿度、風速、直射日光の有無、降雨の影響の有無等）などの影響を受ける。一般に、乾燥に伴うひび割れは、温度ひび割れ発生予測のような定量的評価は困難である。したがって、設計段階では、乾燥収縮によるひび割れが悪影響を及ぼすと想定される構造物に対して対策を検討するものとした。

乾燥収縮によって発生するひび割れを以下に示す。

- ・比較的小さい部材が収縮する場合に、収縮が拘束されて断面全体を貫通するひび割れ

このひび割れは、拘束された比較的小さい部材が乾燥によって収縮する際に発生する形態であり、ひび割れが部材断面を貫通し、比較的小さい部材において発生することが多い。構造物の事例としては、橋梁の壁高欄、コンクリート舗装、厚さが 50cm 程度以下の壁状構造物が挙げられる。

また、上記のひび割れ以外に部材の表面と内部の収縮量の差によってもひび割れが発生する。このひび割れは、コンクリートの表面に多数発生し、強度が十分に発現する前の若材齢時に乾燥する環境に曝された場合に発生することが多い。若材齢時に急激な乾燥を受けると、断面寸法が小さくても生じる。このタイプのひび割れは、構造物の美観・景観を損ない、場合によっては、気密性を低下させる原因ともなる。また、ひび割れの発生によって、構造物の耐久性や水密性に影響を与えることも考えられるが、一般に鉄筋コンクリート構造物では、ひび割れ深さは表面付近に限定されること、ひび割れは湿潤によって閉じる傾向を示すこと、また、乾燥によってひび割れが開いている状態では、内部の鋼材に対して容易に水分が供給されないことなどが、乾燥に伴う表面ひび割れの特徴である。構造物の事例としては、コンクリート舗装、橋台、橋脚、トンネル二次覆工コンクリートなどが挙げられる。これらのうち、山岳トンネルの二次覆工は、特殊な環境下にあり、無筋コンクリートの場合が多く、かつ、養生期間は短く、トンネル貫通後の工事期間中および供用開始以降、長期間にわたって風に曝され、水の供給もないのが一般的であり、乾燥が継続されることにより、多くのトンネルでひび割れ発生が報告されているが、その実態は必ずしも把握されているとは言えず、今後の研究課題である。

また、収縮に起因したひび割れにより構造物の所要の性能が損なわれないためのコンクリートの収縮ひずみの限界値は、断面形状、寸法、配筋、構造物または部材の構造条件、養生等の施工条件、施工中および供用後の環境条件により定めるものとする。また、乾燥収縮量は、一般的に単位水量および骨材の品質の影響が大きくなることが指摘されている。したがって、現状では、既設の同種構造物でのひび割れ発生事例を参考に、施工条件、環境条件を考慮して、対策を検討することとした。対策としては以下の方法があり、実績も報告されている。

- ・ひび割れの集中あるいは分散

断面が、比較的小さい部材の長さが長い構造物では、適切な間隔（5～10m の例が多い）で収縮目地を設ける方法や鉄筋や短繊維によってひび割れ幅を制御する方法がある。また、部材断面が大きい

場合には、表面ひび割れを集中させる切欠きを設けてひび割れの発生を制御した事例がある。

- ・ 単位水量の減少、収縮補償混和材の使用

材料および配合は、高性能 AE 減水剤などの使用により、単位水量を少なくすること、収縮低減剤、膨張材（膨張セメント）を使用する（6 章を参照のこと）。

- ・ コンクリートの乾燥抑制・防止

浸透性皮膜材などを塗布することもコンクリートの表面からの乾燥に対して効果的である。しかし、浸透性皮膜材には多くの種類があるので、あらかじめ性能をチェックする。

- ・ 伸縮目地・ひび割れ誘発目地

伸縮目地、ひび割れ誘発目地とは、ひび割れを誘発する目的で構造物の長手方向に一定間隔で断面減少部分を設けた目地である。この目地により、目地以外でのひび割れ発生を防止するとともに、ひび割れ発生箇所における事後処理を容易にすることができる。伸縮目地やひび割れ誘発目地を設ける場合には、位置、形状、間隔などに十分な配慮が必要である。目地の設置間隔の目安としては、有害なひび割れを避ける場合には 5m 間隔とし、ひび割れを発生させない場合には 3m 間隔とするのがよい。

- ・ ひび割れ幅の制御鉄筋の配置

ひび割れを分散させてひび割れ幅を低減し、有害なひび割れとならないようにひび割れ制御鉄筋を配置する。ひび割れ制御鉄筋を設置する場合は、鉄筋径、間隔、方向、部位などに十分な配慮が必要である。

- ・ 断面の急変を避けた構造

水和熱や乾燥による引張応力の集中を避けるために、構造物の部材断面の急激な変化を避けるような断面設計とする。断面形状の選定については構造物や構造部材の応力状態を適切に考慮する。

- ・ 養生など施工上の各種対策（3 章を参照）

2.4 第三者影響度および美観・景観に対する検討

(1) 第三者影響度は、当該構造物および立地条件を考慮しなければならない。

(2) 美観・景観に関しては、当該構造物の周辺環境および周辺構造物との調和を考慮しなければならない。

【解 説】(1)について 第三者影響度に関する性能は、構造物の一部（かぶりコンクリート片やタイル片など）が剥落することにより構造物下の人や物に危害を加える可能性について考慮するものである。かぶりコンクリート片の剥落は、RC 構造物または PC 構造物では、主として中性化や塩害による鋼材腐食によって生じるので、中性化や塩害による耐久性を設計耐用期間にわたって満足すれば、一般には、問題ないと考えてよい。部分的なかぶり不足、施工時の欠陥などによって、かぶりが剥離する可能性もあるが、その兆候は維持管理における日常点検や定期点検によって発見が可能であるのが一般的である。したがって、維持管理にあたって、点検作業が極めて困難な構造物で交通量の多い道路や鉄道上に架かるコンクリート橋などを対象に第三者影響度を考慮し、必要に応じて対策を検討することとする。対策方法としては、鉄筋の代わりに腐食性のないプラスチック補強材を使用する方法、かぶり部分のみにプラスチック短繊維を混入する方法などが採用された実績がある。しかし、本来は、構造物の機能とは関係なくとも、点

検が容易に行なえるような設備を設計時に考慮すべきであると考えられる。

(2)について 美観・景観に関しては主観的な場合が多く判断基準が難しいが、周辺環境・周辺構造物を考慮して検討する必要がある。コンクリート構造物の表面に幾何学的模様、絵画的模様、自然石を模した意匠などを浮出させる造形型枠を利用する方法、カラーセメントを使用する方法、表面を塗装する方法などがあり、必要に応じて採用するとよい。

2.5 配筋状態を考慮した最小スランプの設定

- (1) コンクリートのスランプは、部材の断面形状や寸法、鋼材の配置状況、施工性を考慮して適切に設定しなければならない。
- (2) 構造物の配筋状態や締固め作業高さに応じて最小スランプを適切に定めるのがよい。
- (3) 最小スランプをもとに荷卸し箇所の目標スランプを設定し、レディーミクストコンクリートの種類を適切に選択するのがよい。
- (4) 高密度な配筋や複雑な形状で十分な締固めが困難であると判断される場合には、高流動コンクリートを適用するのが望ましい。

【解 説】(1)について スランプの設定にあたっては、施工のできる範囲でできるだけスランプが小さくしなければならない。

(2)について 打込みの最小スランプは、コンクリートを型枠内に円滑に打込みができるために必要な最小スランプと定義される。

打込みの最小スランプは、構造物の種類、部材の種類および大きさ、鋼材や鉄筋の量や配置条件などの組合せに応じて、部材ごとに標準の最小スランプを解説 表 4.5.2～解説 表 4.5.7 から設定する。打込みの対象部材が複数になる場合は、部材ごとに打込みの最小スランプを設定するか、打込みの最小スランプのうち大きい値を用いることを標準とする。

(3)について レディーミクストコンクリートの種類を選択する場合は、打込みの最小スランプをもとに、ポンプ圧送などによるスランプの低下とスランプ許容差を考慮して荷卸し箇所の目標スランプを設定するのがよい。荷卸し箇所の目標スランプの設定に関する詳細は、「3.1 一般」および「4.5.2 スランプ」に記載する。

(4)について 高密度配筋や複雑な形状のため、内部バイブレータが挿入できない部材・部位には、高流動コンクリートを適用することが望ましい。その場合のコンクリート配合の選定は、土木学会「高流動コンクリート施工指針」によるものとする。ただし、スランプ 21cm までのコンクリートでは施工性能が不足するが、高流動コンクリートほどの性能は必要としない場合には、専門評価機関と検討するのが望ましい。

3 章 施工計画

3.1 一 般

- (1) 施工者は、設計図書に示されたコンクリート構造物が構築できるように、コンクリート工事開始前に施工条件、現場の環境条件および工事の要件（施工安全性、環境に対する負荷、工費、工期等）を考慮して、適切な施工計画書を策定し、発注者に提出しなければならない。
- (2) コンクリート工事に関する施工計画は、三者連絡会での発注者および設計者の意見を取入れたものとし、必要に応じて専門評価機関を交えた検討を行い、立案するものとする。なお、コンクリート工場製品を用いる場合は、そのプロセスを前提に施工計画を立てなければならない。
- (3) コンクリート工事に関する施工管理計画は、各段階の施工が計画どおりに行われているか否かを適切に管理できるよう、具体的に策定しなければならない。
- (4) コンクリート工事に関する施工の変更が必要になった場合は、工事の要件および構造物の要求性能等を満足するように施工計画書を変更し、発注者に提出しなければならない。

【解 説】(1)について コンクリート工事に関する施工計画の策定は、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工編〕，土木工事共通仕様書に準拠して行う。すなわち，施工計画は余裕を持って実行できることが必要で，その立案にあたっては，工事中の安全性・経済性・工期等とともに環境保全，環境創造さらには環境に対する負荷を総合的に考慮する必要がある。考慮すべき環境保全の項目には，下記の 1)～4)がある。また，建設発生土や建設廃棄物等の建設副産物はその発生を抑制するとともに，リサイクルやリユースも考慮した適切な処理計画を検討する。

1) 周辺地域の環境保全；

- ・騒音，振動，大気汚染，粉塵の飛散，水質汚濁等の防止

2) 生活環境の保全；

- ・建設廃棄物（建設発生土および建設廃棄物）の適正処理（発生抑制と再資源化の促進および適正処分）
- ・再生資源の有効活用の推進

3) 自然環境の保全；

- ・人体や自然環境（生物等）への影響の少ない施工（仮設）計画

4) 地球環境の保全；

- ・使用エネルギー，二酸化炭素排出量等の少ない施工計画

(2)について 構造物が所定の期間，所要の性能を有するためには，完成直後の構造物にコンクリートの充てん不良や有害なひび割れなどのコンクリートの欠陥が生じないことがきわめて重要である。したがって，コンクリート工事に関する施工計画は，設計図書に示された構造物の条件，現場の環境条件などを勘案して具体的に策定し，発注者に提出しなければならない。また，この施工計画は三者連絡会の場における，発注者および設計者の意見を取り入れた内容とする。なお，当事者のみで技術的な懸案事項や問題点を解決することが困難な場合は，専門評価機関を交えた検討を行い，計画を立案する。レディーミク

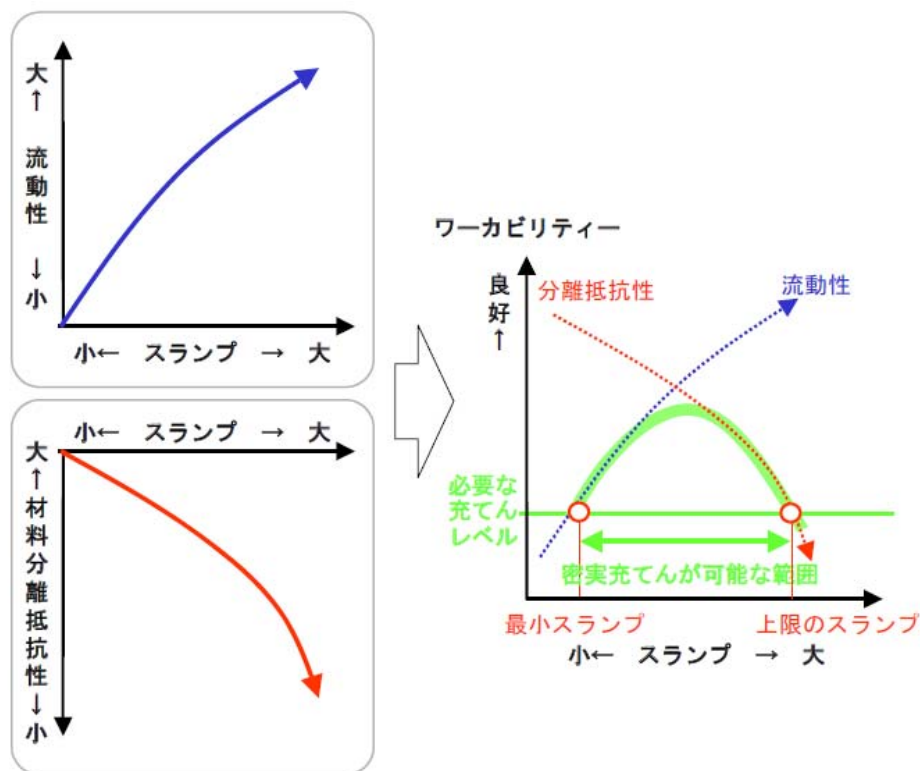
ストコンクリートを用いる場合は、一般にコンクリートの配合設計や製造も含まれるが、コンクリートの材料および配合に関しては「4 章 コンクリートの材料および配合」に、コンクリートの製造に関しては「5 章 製造」に、それぞれ基本的事項を示している。したがって、本章では、コンクリートの現場までの運搬以降に実施する施工について、事前に考慮すべき事項とその対策等について記載する。また、設計図書にコンクリート工場製品の使用が示されている場合および現場の条件等によって工場製品の使用が適切と判断された場合は、コンクリート工場製品を用いる施工計画を立案しなければならない。

施工計画は、コンクリートの打込み、締固め等の作業をできるだけ容易に行えるように、最適な施工条件を設定する必要がある。スランプは、解説表 4.5.2～4.5.6 に基づいて適切な打込みの最小スランプを選定し、解説図 3.1.1、解説図 3.1.2 に示す手法で現場荷卸し時のスランプを設定しコンクリート工事の施工計画を立案する。さらにレディーミクストコンクリートを用いる場合には、この荷卸し時のスランプを確保することを条件に製造者に発注する。この手順については本指針「4 章 コンクリートの材料および配合」に示す。

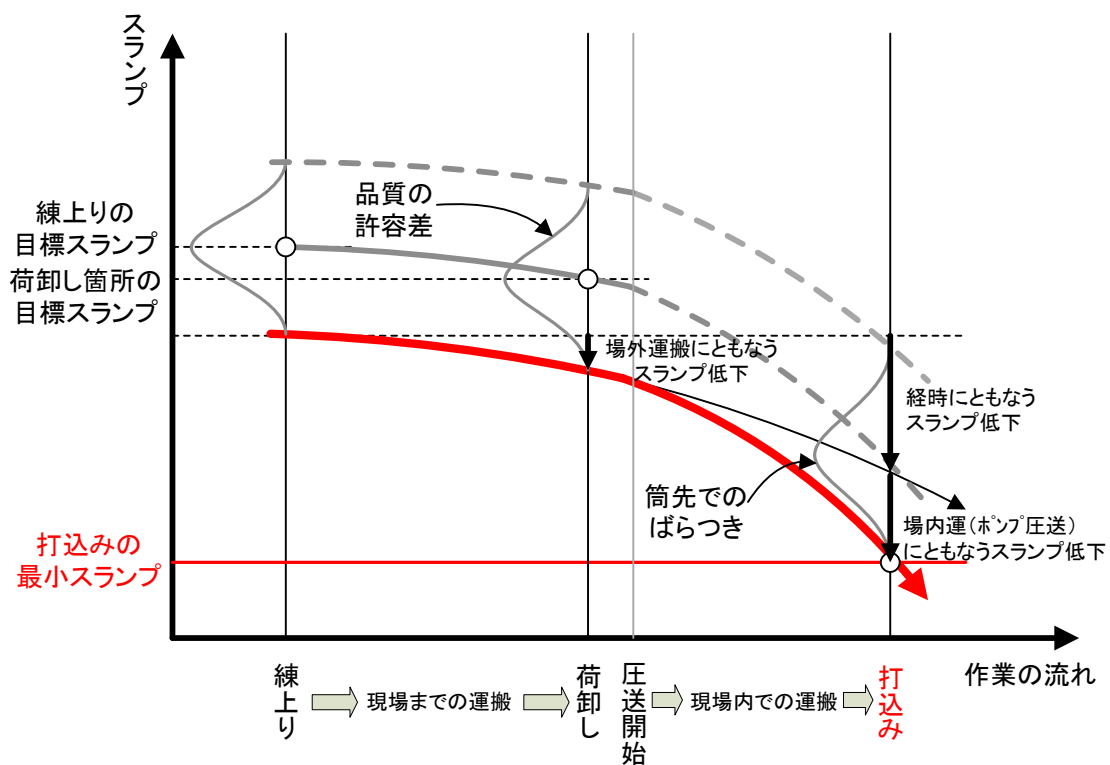
また、構造条件や施工条件などから、コンクリートの打込み、締固め作業の難易度が高いと判断される場合は、流動化コンクリートや高流動コンクリートを採用することも有効な手段である。流動化コンクリートを採用する場合は、流動化剤の添加量および添加方法、ベースコンクリートおよび流動化コンクリートのスランプ等について、高流動コンクリートを採用する場合には、高流動コンクリートの種類、コンクリートの自己充填性等について、それぞれ事前に確認・決定し、計画に反映する。これらの確認方法等については、本指針「4 章 コンクリートの材料および配合」および「5 章 製造」にその概要を示す。また、流動化コンクリートおよび高流動コンクリートの確認事項および方法については、土木学会「高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工指針（案） 付：流動化コンクリート施工指針（改訂版）」および「高流動コンクリート施工指針」にそれぞれ詳細が示されているので参考にするとよい。なお、本章では流動化コンクリートおよび高流動コンクリートの施工に際し留意すべき事項を各施工段階で記述した。

(3)について コンクリート構造物の施工にあたっては、施工の途中や完了後に所要の品質を満足するコンクリート材料および配合が得られているか、計画どおりの施工が行われているかなどを適切に管理しなければならない。したがって、施工管理計画には、施工の各段階で管理する項目、体制等について施工者が具体的に策定していなければならない。なお、管理項目については、解説表 3.2.1 に示すものが例として挙げられる。

(4)について 工事の途中で施工の変更が必要になった場合は、工事の要件および構造物の要求性能等を満足するように施工計画書を変更して発注者に提出しなければならない。また、施工計画の変更は諸条件の変更が最小限となるようにする。



解説 図 3.1.1 密実充てんを達成するコンクリートのワーカビリティー



解説 図 3.1.2 スランプの経時変化の考え方

3.2 施工計画の照査

- (1) コンクリート工事の施工計画は、工事の要件および設計図書に示された構造物の要求性能等を満足することを適切な方法で照査しなければならない。なお、構造物の重要度を考慮し、施工の難度が高い場合や従来の方法では対処が困難な場合などでは、専門評価機関を交えて検討し照査するのが望ましい。
- (2) 施工計画の照査は、設定した施工計画が工事において予想される変動に対して余裕があることを確認することにより行う。

【解 説】(1)および(2)について コンクリート工事に関する施工計画は、施工条件および環境に及ぼす影響を想定して、工事の要件および設計図書に示された構造物の要求性能を満足するように適切な方法で照査しなくてはならない。施工計画の照査は、工事において予想される種々の変動に対して、余裕のあるコンクリート工事の施工計画であることを確認することにより行う。具体的には施工に関わる各作業として解説 表 3.2. 1 に示す項目と内容について、工事における種々の変動に対して余裕があるか、予備の対策が施工計画に盛り込まれているかなどを確認する。施工計画の照査は施工者により実施される行為であるが、発注者は施工者より提出された施工計画を確認し、検査計画に反映させなくてはならない。施工計画が照査を満足しない場合は、その要因を把握するとともに、工事の要件および構造物の要求性能等を満足するように施工計画を変更しなければならない。また、施工者が施工計画を立案するにあたって、従来の方法では対応が困難であり、事前に実施した協議の内容とは異なる対応が必要となる場合は、発注者と協議を行い適切な対策を検討する。なお、発注者および施工者のみでは対策の検討が困難と判断される場合には、専門評価機関を活用し、コンクリート工場製品、新技術や新材料の活用なども含めて検討することが有効である。

解説 表 3.2.1 コンクリート工事に関する施工計画の照査項目と内容

項目	内容
1. コンクリートの運搬・受入れ計画	生コン車の配車・運行計画，場内運行路，場内試験・検査場所，コンクリートの配合検査（スランプ，空気量，単位水量，水セメント比）など
2. 現場内運搬計画	現場内運搬方法，コンクリートの供給能力，ポンプ車の予備など
3. 打込み計画	施工体制（組織図），打重ね時間間隔，時間当たり打設量，安全性など
4. 締固め計画	コンクリートの時間当りの打込み量に対する振動機の種類・台数，要員数，予備の振動機の準備，交代要員など
5. 仕上げ計画	仕上げ作業者の技量，仕上げ時期の計画，仕上げ精度の計画，仕上げ工事に用いる器具の確認など
6. 養生計画	養生開始時期，養生方法，養生期間の確認，養生機械装置の確認，養生管理責任者の確認など
7. 打継ぎ計画	打継ぎの方法，処理方法，処理機械，打継ぎ時期など
8. 鉄筋工の計画	鉄筋径，ピッチ，かぶり確保の方法，組立て方法，鉄筋の種類，加工方法，鉄筋工の技能等の確認など
9. 型枠および支保工の計画	型枠（側圧）の設計，型枠材料，支保工材料の確認，型枠設計者，脱枠時期の計画，支保工撤去時期，側圧管理の方法など
10. 環境保全計画	洗浄水，養生水，取り除いたブリーディング水等の排水処理，現場周辺の騒音，振動，粉塵，自然環境等への影響確認，工事担当者の安全，衛生面の確認など
11. その他	トラブル時の対応方法の確認など

3.3 コンクリートの運搬・受入れ計画

コンクリートの運搬・受入れ計画は，コンクリートの施工を円滑に行うために，構造物の種類と形状，コンクリートの種類，納入日時，数量，荷卸し場所，時間当たりの出荷量等を考慮して，コンクリート製造者との協議の上で作成する。

【解 説】コンクリートの運搬・受入れ計画は，運搬車の配車・運行計画，場内運搬路，場内試験・検査場所，コンクリートの品質検査（荷卸し時のスランプ，空気量，コンクリート温度および単位水量，水セメント比等）などについて定める。

コンクリートの運搬計画について：コンクリートの運搬にあたっては，荷卸し時のスランプ，空気量等を確保し，コンクリートの性状変化が最小限となるように計画しなければならない。すなわち，現場までの運搬経路，運搬に要する時間等の選定に際し，交通渋滞時の状況も考慮して最小の時間で運搬できるルートを選定する。一度に運搬する運搬車の容量，時間当たりの供給量は，構造物の規模，レディーミクスコンクリート工場の供給能力，コンクリートポンプの能力等を考慮して決める。

コンクリート荷卸し時の品質の確保について：運搬中のコンクリートの性状変化を考慮し、運搬距離と時間に応じて荷卸し時のスランプを確保するためには、練上がり時のスランプを適切に設定することが重要である。レディーミクストコンクリートを用いる場合は、施工者とコンクリート製造者がよく協議することが重要である。また、運搬中にコンクリート温度の上昇が予想される場合には、製造時のコンクリート温度を低く抑えるとともに、運搬時のコンクリート温度の上昇を抑える方法（トラックアジテータのドラムへの散水、ドラムクーリングカバーの使用等）が有効である。

コンクリートの受入れ計画について：コンクリートの受入れにあたっては、打込みの最小スランプを確保できるように、工事現場に到着したレディーミクストコンクリートを出来るだけ短時間に使用できるように計画しなければならない。すなわち、コンクリートの荷卸し場所に運搬車が安全かつ円滑に出入りすることができ、荷卸し作業が容易にできるように、運搬車の通路、運搬車を誘導するための誘導員の配置などを計画することが重要である。また、工事現場内で実施する荷卸し時のコンクリートの品質検査項目や方法、場所等についても考慮する。

3.4 現場内運搬計画

- (1) 現場内の運搬計画は、コンクリートの性状変化が少なく、打込みの最小スランプが確保でき、かつ経済的な運搬が行えるように、コンクリートの運搬方法や供給速度などについて明確にする。
- (2) コンクリートポンプを用いてコンクリートを運搬する場合は、コンクリートポンプの機種、台数、設置場所、配管および圧送条件などについて計画する。

【解 説】(1)について コンクリートの運搬は、材料分離、空気量の変化、スランプロスなどのワーカビリティの変化ができるだけ少なく、迅速かつ経済的に行えるように、打込み終了までの時間や運搬距離をできるだけ短くすることが基本である。したがって、現場内の運搬は、コンクリートの種類および品質、構造物の種類と形状、打込み場所の条件、打込み時の気候、打込み量、打込み速度、作業の安全性等を考慮して、打込みの最小スランプが確保できるように、コンクリートの運搬方法や供給速度などについて計画しなければならない。また、流動化コンクリートを採用する場合は、コンクリートのスランプおよび空気量の経時変化が大きい傾向にあるので注意が必要である。なお、現場内の運搬計画は、運搬時に予測されうるトラブルに対して必要な緊急措置がとれる体制にしておく。

コンクリートの現場内での運搬方法には、コンクリートポンプ、バケット、ベルトコンベア、シュート、手押し車等がある。現場内の運搬にあたっては、工事規模や施工条件等を考慮して、コンクリートの性状変化ができるだけ少なくなる最も合理的方法を選定する。

(2)について 現場内の運搬にコンクリートポンプを用いる場合は、コンクリートの種類および品質、粗骨材の最大寸法、圧送距離、高低差等の条件を考慮し、輸送管径、配管経路およびコンクリートポンプの機種、台数を適切に設定する。コンクリートはポンプ圧送中にその品質が変化し、また、コンクリート品質や圧送条件によってはポンプが閉塞することがある。これらを防ぎ、ポンプ圧送作業を計画通り進めるためには、事前の試験によりポンプ圧送性を確認することが有効である。

高流動コンクリートは、通常のコンクリートと比較して降伏値は小さいが、塑性粘度が大きく、圧送速度や吐出量が大きいほど圧力損失が顕著に増加する傾向にある。このため、高流動コンクリートを採用する場合は、コンクリートの品質、圧送管径、圧送距離、圧送負荷、吐出速度等を考慮してコンクリートポンプの機種、台数を選定する。

コンクリートのポンプ圧送は、ポンプ圧送作業者の技量に大きく左右される。このため、ポンプ圧送作業者は、適切な知識や経験があるコンクリート圧送施工技能士（１級，２級）等の資格を有していることが望ましい。

3.5 打込み計画

コンクリートの打込み計画は、コンクリートに材料分離やワーカビリティの低下が生じて打込み作業が中断しないように打込み区画、打込み方法、打込み速度、打込み順序、打重ね時間間隔、打込み箇所等について明確にする。

【解 説】 コンクリートの打込み計画は、コンクリートの供給能力、コンクリートの打込み工程、構造物の形状、打込み能力、型枠、打継目の位置等を考慮し、コンクリートの打込み区画、打込み方法、打込み速度（時間、日あたりの打込み量）、打込み順序、打重ね時間間隔、打込み箇所などについて定める必要がある。設計で定められた部材の断面形状や鋼材の配置状況は必ずしも施工の容易さを考慮していないので、通常の方法では打込みが困難な場合がある。例えば、高密度配筋の場合は、ポンプの筒先を所定の位置に挿入できるように、あらかじめ開口部を設ける等が必要である。ただし、このような場合には必要に応じて補強筋を配置して欠陥が生じないようにしなければならない。また、鉄筋によってコンクリートは流動しにくくなるとともに流動の過程でモルタルと粗骨材が分離しやすくなるので、打込み箇所の間隔を狭くすることも必要になる。コンクリートの打込み高さが高い構造物の場合は、型枠に振動機の挿入口を兼ねたコンクリートの投入口を設けて、打込み状況を目視できるようにする方法もある。

コンクリートの打込み区画について：コンクリートの打継目は構造物の弱点となりやすいので、一区画内のコンクリートは打込みが終了するまで連続して打ち込まなければならない。また、均等質なコンクリートを得るためには、一区画内でその表面が水平となるようにコンクリートを打ち込み、一様に振動締固めをする。したがって、コンクリートの打込み区画は、打込み速度や締固め能力を考慮して定める。ただし、部材寸法が大きい構造物におけるコンクリートの打込み区画に関しては、「3.14 温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物の施工計画」に従い定めることとする。

コンクリートの打込み速度について：コンクリートの打込み速度は、コンクリートの供給能力およびポンプ圧送能力によって支配されるが、締固めが十分にでき、かつ型枠に作用する圧力が過大とならない範囲に定める必要がある。

コンクリートの打重ね時間間隔について：コンクリートを２層以上に分けて打ち込む場合、下層のコンクリートが固まり始めているときに、そのまま上層コンクリートを打ち込むとコールドジョイントができるおそれがある。したがって、コンクリートの打重ね時間間隔は、コンクリートの種類および品質、練混

ぜ開始から打込み終了までの経過時間、コンクリートの温度、締固め方法等の影響を考慮して設定し、管理することが大切である。なお、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準〕「7.4 打込み」においては、許容打重ね時間間隔の標準が示されている（解説 表 3.5.1 参照）のでこれを参考にするとよい。

張出し部分をもつコンクリート、壁または柱とスラブまたははりとは連続しているコンクリートなどでは、断面の異なるそれぞれの部分でコンクリートに生じる沈下の程度に差があるために、一度にコンクリートを打ち込むと断面の変わる境界面にひび割れが発生することが多い。したがって、コンクリートの断面の変わる箇所ですぐ打ち止め、そのコンクリートの沈下が落ち着いてから張出し部分などの上層コンクリートを打ち込む必要がある。コンクリートの沈下が落ち着く時間は、コンクリートの配合、使用材料、温度などに影響されるため一義的に示すことはできないが、一般には1～2時間程度である。沈下ひび割れは、コンクリートの沈下が鉄筋や埋設物に拘束された場合にも発生することがあるが、発生した場合の処置方法としてはタンピングや再振動がある。これらも、発生後長時間経過して行くと打ち込んだコンクリートの品質を害することもあるので、発生後間を置かずに行うことが重要である。

コンクリートの打込み順序について：広い平面へのコンクリートの打込み順序は、コンクリートの供給源より遠い端から手前に向かって打ち込み、一度打ち込んだコンクリート上で運搬や打込み作業が行われないようにする必要がある。壁やはりのコンクリートを打ち込む際には、何層かに分ける必要があり、各層とも両端から中央に向かって打ち込むようにし、分離した粗骨材が隅角部に集中しないような配慮が必要である。橋梁の桁や床版のコンクリートを打ち込む場合には、支保工の沈下や変形の影響を考慮して打込み順序を定める。

コンクリートの打込み箇所について：コンクリートを型枠内で目的の位置から遠いところに打ち込むと、目的の位置までさらに横移動させることが必要になる。コンクリートを横移動させると分離する可能性があるため、コンクリートの打込み箇所を適切な位置に設定する必要がある。またコンクリートの打込み作業によって鉄筋の配置や型枠を乱すおそれがあるので、これらも考慮して打込み箇所を定める。

コンクリートの打込み高さについて：コンクリートの打込みにおいて、高い位置からコンクリートを自由落下させると、粗骨材が分離し、コンクリートの充てん不良が発生しやすくなる。したがって、コンクリートの打込みの際は、できるだけ低い位置からコンクリートを落下させることが基本である。土木学会コンクリート標準示方書では、コンクリートの自由落下高さを 1.5m 以下と規定しているが、構造物の種類や形状によってはこの値でも十分でない場合がある。したがって、打込み計画を作成するにあたっては、粗骨材が分離しない適切な落下高さを設定する。

流動化コンクリートおよび高流動コンクリートについて：流動化コンクリートは、硬練りコンクリートの単位水量を増加させることなく、流動性を高めたコンクリートであるが、打込みにあたっては通常の軟練りコンクリートとほぼ同様の配慮を要する。すなわち、流動化コンクリートは、スランプが 8cm 程度のコンクリートと比較して締固め作業は容易であるが、締固め時に横移動させると一般のコンクリートと同様に材料分離が生じるおそれがあるので、これを避けなければならない。

高流動コンクリートは、普通コンクリートに比べて流動性が優れているので、緩やかな流動勾配を持って長い距離を流動する特徴を有する。しかし、高流動コンクリートといえども長距離を流動させると材料分離を生じるため、むやみに流動距離を長くしないことが望ましい。したがって、高流動コンクリートの水平方向の最大流動距離は、土木学会「高流動コンクリート施工指針」と同様に、8m を原則とし、最大でも 15m 以下となるようにする。

解説 表 3.5.1 許容打重ね時間間隔の標準

外気温	許容打重ね時間間隔
25℃を超える	2.0 時間
25℃以下	2.5 時間

注) 許容打ち重ね時間間隔は、コンクリートを練混ぜ始めてから下層のコンクリートの打込みが完了した後、静置時間をはさんで上層のコンクリートが打ち込まれるまでの時間

3.6 締固め計画

- (1) 締固め計画は、締固め方法、振動機の種類・台数、要員数等について明確にする。
- (2) コンクリートの締固めは、内部振動機を用いることを原則とし、打ち込んだコンクリートに様な振動が与えられるように、あらかじめ振動機の挿入深さ、挿入間隔、振動時間等を明確にする。

【解 説】(1)について コンクリートの締固めは、コンクリートを密実にするとともに鉄筋、埋設物との付着をよくし、型枠の隅々までコンクリートをゆきわたらせるために行うものであり、打込み作業の良否を決める重要な作業である。締固めが不十分な場合はコンクリートの充てん不良やコールドジョイントなどの不具合が発生することも少なくない。したがって、コンクリートの締固めにあたっては、構造物の種類と形状、コンクリートの供給速度、打込み方法、打込み能力、締固め能力、打込み速度等を考慮して、締固め方法、1回の締固め高さ、振動機の種類・台数、要員数等について計画する。高密度配筋の場合には、締固め速度を考慮して打ち込むことが重要である。また、振動機の種類や必要台数を適切に選定する。部材厚さが薄い場合には、型枠振動機の利用も有効である。高さが高い構造物へのコンクリートの打込みにおいて、型枠にコンクリート投入口を設ける場合は、これを利用して締固めができるように計画するとよい。目視が困難な部位では、必要に応じて、充てん感知センサを活用し、締固め方法、時間などを決定することも有効である。

コンクリートの打込み、締固めの良否の判定について：コンクリートの打込み・締固めの良否は、型枠脱型後のコンクリートの検査（部材の位置・寸法、表面の仕上り状態、打込み欠陥部の有無、外観など）において、充てん不良、初期ひび割れ、コールドジョイントなどの不具合の発生状況で判断されるのが一般的である。したがって、コンクリートの打込み・締固めを行うにあたっては、事前に適切な施工計画を作成するとともに、作成した計画通りに施工が行われていることを確認することが重要である。このように、コンクリートの打込み・締固めの良否は、施工にゆだねるところが大きいため、不具合の発生度合いを極力少なくするには、事前に施工時の検査計画を作成することが極めて重要である。

コンクリートの締固め状況の確認方法について：現在、施工中にコンクリートの締固めが十分に行われたことを判断するための方法としては充てん感知センサを用いる方法や赤外線による方法等様々な検討が行われているが、これらの方法については、現段階では使用実績が少なく、その運用方法（対象構造物、設置箇所、設置数等）などは十分に確立されていない。今後、施工中の打込み・締固めの良否を的確に判断し、コンクリート構造物に発生する施工欠陥を少なくするためにはこれらの技術を確立し、効率的な運用が図られることが望まれる。

その他：コンクリートの打込みによる材料分離を防止し、締固めを十分に行ったにもかかわらずコンクリートに充てん不良が発生した場合は、打込みの最小スランプの選定を再度検討し直す必要があり、場合によっては流動化コンクリートや高流動コンクリートの使用を検討する。一般に、流動化コンクリートは、高流動コンクリートのように自己充てん性を有するものではない。このため、流動化コンクリートを採用する場合には、振動・締固め作業を省略できるものではなく密実で均一になるように適切な締固めを行うことが極めて重要である。一方、高流動コンクリートは、振動・締固め作業を行わなくても、材料分離を生じさせることなく型枠の隅々まで充てんすることが可能な自己充てん性を有するコンクリートである。したがって、本指針においても高流動コンクリートを採用する場合は、振動・締固め作業を行わないことを標準とする。なお、従来の方法では適切な対処が困難な場合は、専門評価機関を交えた協議を行い、改善策を検討するのがよい。

(2)について コンクリートの締固め方法について：締固め方法としては、突固め法、型枠たたき法、振動法があるが、一般に土木工事では振動法が採用されている。振動法に用いる振動機の種類には、コンクリート内部に直接振動を与える内部振動機、型枠の外から振動を与える型枠振動機、コンクリート表面に直接振動を与える表面振動機、固定されているテーブル振動機などがある。振動機は、その種類によって性能や特徴が異なるので、対象とする工事に最も適した振動機を使用することが重要である。以下にそれぞれの振動機の種類と特徴を示すので、振動機を選定する際の参考にとよい。

内部振動機・・・コンクリート中に振動機を挿入して直接コンクリートに振動を与えるもので、広く一般的に使用されている。機種および型式も多くあるが、通常振動数は 7000～12000rpm のものが多い。内部振動機は、振動機と原動機との結合方式により、フレキシブル型、直結型、内蔵型などに分けられる。

型枠振動機・・・型枠外部に取り付けるか、あるいは手で押しつけてコンクリートに振動を与える装置で、コンクリート製品、建築物の壁、内部振動機の挿入が困難な箇所等に用いられる。

表面振動機・・・コンクリート打込み厚さが比較的薄く、施工面積が広い場合などにコンクリート表面より振動を与えて締固め、表面を平滑にするために用いる。振動版の大きさ 300×1200～1500mm、振動数 3500～5000rpm、重量 90～120kg 程度のものが一般的である。

テーブル振動機・・・型枠を振動台の上にのせて型枠とともにコンクリート全体を同時に振動させるもので、主としてコンクリート製品の製造に使用されている。

内部振動機について：土木学会 コンクリート標準示方書には、「コンクリートの締固めには、内部振動機を使用することを原則とし、薄い壁など内部振動機の使用が困難な場所には型枠振動機を使用してもよい。」とされている。コンクリートの締固め、特に硬練りコンクリートの締固めには内部振動機が有効であることから、本指針においても内部振動機を用いることを原則とした。内部振動機の締固め能力は、構造物の種類、配合等によっても異なるが、一般に小型のもので 4～8m³/h、中型のもので 10～15m³/h である。締固め計画にあたっては、これらの数値を参考にコンクリートの打込み速度に応じた内部振動機の数および要員をそろえる。

内部振動機の使用について：内部振動機を用いるにあたっては、事前に内部振動機の挿入深さ、挿入間隔、振動時間等を適切に定めておく必要がある。土木学会 コンクリート標準示方書にはこれらの標準的な値が示されており、挿入深さは下層のコンクリート中に 10cm 程度挿入すること、挿入間隔は一般に 50cm 以下とするとよいこと、1ヶ所あたりの振動時間は 5～15 秒とすることとなっており、これらの値を参考に適切に定めることが必要である。また、コンクリートを 2 層以上に分けて打ち込む場合は、「3.5

打込み計画」にしたがって打ち込み、締固めを通常よりも入念に行うことが重要である。

3.7 仕上げ計画

仕上げ計画は、コンクリートの凝結時間などを考慮して、所定の形状寸法および表面状態が得られるように、仕上げ時期、仕上げ工事に用いる器具などについて明確にする。

【解 説】 コンクリートの仕上げ計画では、コンクリート部材の形状寸法や表面の平坦さが所定の許容誤差範囲内に収まるように、また、良好な表面状態になるように仕上げ時期、仕上げ工事に用いる器具などについて定める。ここで、良好な表面状態とはコンクリート表面が堅牢で組織が密実であり、コンクリート表面にひび割れ、気泡、凹凸、すじ、豆板、色むら等の欠陥部が少ないことである。所要の性能を有する表面状態を実現するためには、適切な技量を有する仕上げ作業者を選定することも重要である。

コンクリートの表面仕上げに用いる器具について：コンクリートの表面仕上げは、木ごてを用いて荒仕上げをした後、必要に応じて金ごてを用いるのが一般的である。ただし、床版のように仕上げ面が広い場合には、タンパ類である程度まで所定の高さに均した後に、はご板および木ごてを用いるのがよい。

コンクリートの仕上げ時期について：コンクリートの打上り面の仕上げは、締固めの後、所定の高さおよび形状寸法に均し、表面に浮き出たブリーディング水が消失した後に行う。コンクリートの仕上げ時期は、早すぎるとブリーディング水の影響を受け、コンクリートの沈降によるひび割れの発生や仕上げ面の下部にブリーディング水が集まることによって表面部分が剥離するなど、様々な初期欠陥の発生につながる。また、表面仕上げの時期が遅すぎると手間がかかり、適切な仕上げができないことになるので、仕上げ時期を逸すると、結果として不具合を生じさせる可能性が高くなる。なお、土木学会 コンクリート標準方書では、金ごてをかける適切な時期として、「コンクリートの材料、配合、天候、気温等によって異なるが、指で押してもへこまない程度に固まったときを目安にするのがよい」としている。

流動化コンクリートおよび高流動コンクリートの仕上げについて：流動化コンクリートは、同一スランプの通常のコンクリートに比べてブリーディング量が同等か若干少なくなる。また、高流動コンクリートは、通常のコンクリートに比べて粘性が高いため、仕上げ作業がしにくく、またブリーディング量が少ない。したがって、いずれの場合もコンクリートの乾燥が早まり、プラスチック収縮ひび割れが発生しやすい条件となるため、仕上げ時期を逸しないよう適切な仕上げ計画を作成する。

その他：混合材の多い混合セメントや低発熱型セメントを使用したコンクリートでは低温環境下において、ブリーディングの終了時間および凝結時間が遅延する場合がある。また、フライアッシュ原粉を細骨材の代替材料として使用したコンクリートは、フライアッシュ原粉の細骨材置換率が多くなるほどブリーディング終了時間および凝結時間が遅くなることが確認されている。したがって、上記のような条件での施工においては事前に材料の特性を十分把握し、仕上げ時間に配慮する必要がある。

3.8 養生計画

養生計画は、打込み後の一定期間コンクリートを硬化に必要な温度および湿度に保ち、有害な作用の影響を受けないように、養生開始時期、養生方法、養生期間、養生機械装置などについて明確にする。

【解 説】 養生の目的は、打込みが終了したコンクリートが水和反応により十分に強度を発現し、所要の耐久性、水密性、鋼材を保護する性能等の品質を確保し、有害なひび割れが発生しないように打込み後のある期間、コンクリートを適切な温度のもとで湿潤状態に保ち、有害な作用を受けないようにコンクリートを保護することである。構造物の養生計画は、構造物の種類、コンクリートの使用材料および配合、施工条件、立地条件、環境条件等を考慮して養生開始時期、養生方法、養生期間、養生機械装置などについて定めなければならない。

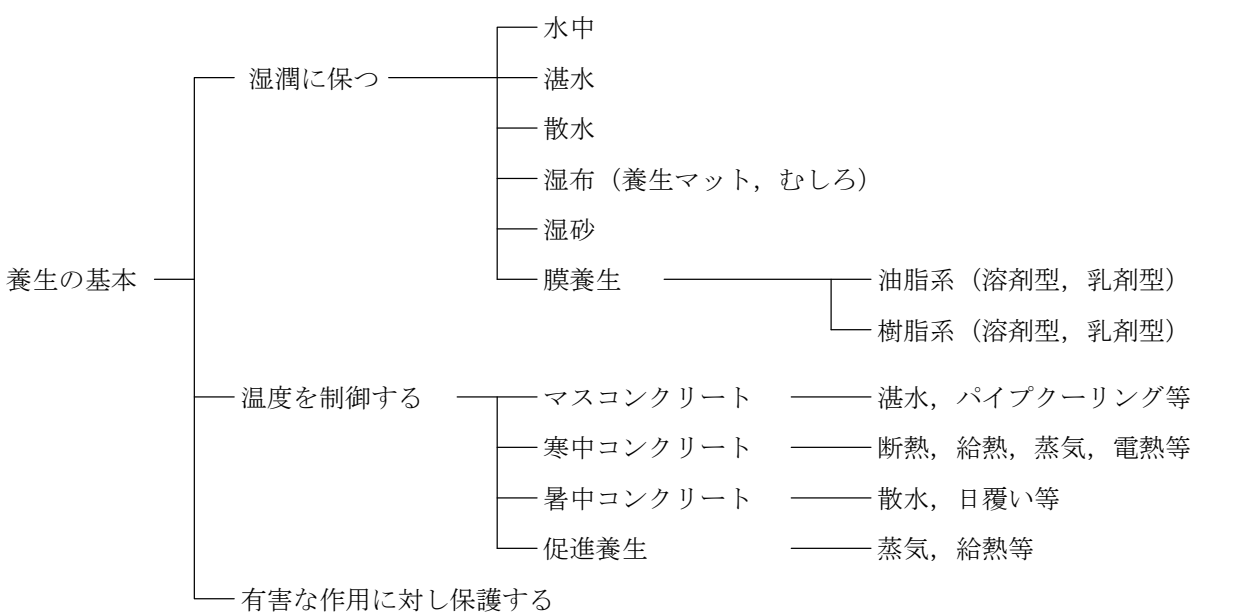
コンクリートの養生の基本：養生の基本は、コンクリートを湿潤状態に保ち、温度を制御し有害な作用に対し保護することにある。これらの養生を目的別に分類したものを解説 図 3.8.1 に示す。養生方法や養生期間は、構造物の種類、施工条件、立地条件、環境条件等を考慮して計画する。時には、型枠を取り外した時点で養生期間が終了したと判断しているケースがあるが、養生期間と型枠存置期間は異なり、養生期間は型枠存置期間よりも長いのが一般的である。また、型枠を外した後においても湿潤養生を継続することは、脱型直後に発生するひび割れの抑制や強度および耐久性の向上に効果がある。このため、コンクリートが本来有する性能を適切に発揮させるには、型枠を外した後も湿潤養生を継続することがきわめて重要である。型枠を外した後の養生方法としては、膜養生等の方法もある。

湿潤養生について：養生方法のなかで最も一般的に行われているのは湿潤養生である。湿潤養生は、コンクリートを一定の期間湿潤状態に保つことによって、セメントの水和反応を十分に行わせ、コンクリートの品質を確保する方法である。湿潤養生の開始時期はコンクリート表面を荒らさないで作業ができる程度に硬化した状態になった時点が適当である。湿潤養生には、コンクリートの露出面を養生用マット、布等をぬらしたもので覆う方法や散水、湛水等により直接コンクリート表面を湿潤状態に保つ方法がある。また、せき板が乾燥するおそれがあるときは、これに散水する。湿潤状態に保つ期間については、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準〕8.2 に、その標準が示されている（解説 表 3.8.1 参照）。一般に土木コンクリート構造物は部材断面が大きいため、表面部分のコンクリートを直射日光や風等による急激な水分の逸散などの有害な作用を受けなくなるまで養生を行えば、内部は十分に養生されていると判断されることが多い。すなわち、解説表 3.8.1 に示される養生期間は、表面部分のコンクリートが有害な作用を受けなくなるまでの標準的な期間であると考えられる。しかし、所要の性能を有する構造物を建設するためには、部材断面の大きさや環境条件などによって必要な養生期間が異なるので、建設する構造物の諸条件に適した養生期間を設定することが重要である。

混合セメントおよび低発熱型セメントを使用したコンクリートの養生について：混合セメントを使用したコンクリートは、一般に初期材齢の強度発現は緩やかであるものの、十分な養生を行うことによって、コンクリートの耐久性向上が可能であることが知られている。また、アルカリ骨材反応の抑制効果や温度ひび割れ抑制対策を目的として、混合セメント中の混合材量を多くした場合は、さらにセメントの水和反応が緩やかになることが試験や既往の検討によって明らかになっている。したがって、混合セメントを使

用したコンクリートでは，初期湿潤養生の良否がコンクリートの品質に与える影響が大きいため，解説表 3.8.1 に示した養生期間を確実に守るなど，養生への配慮が必要である．また，低発熱型のセメントを用いる場合にも，初期の水和反応はかなり遅くなることが知られている．したがって，低発熱型セメントを使用するコンクリートの養生期間の標準は，高炉セメント B 種等の場合よりさらに 3 日程度長くするのがよい．

流動化コンクリートおよび高流動コンクリートの養生について：流動化コンクリートは，通常のコンクリートに比べて表面の水引きが早まることが多いので，養生計画の作成にあたっては養生開始時期に注意し，表面乾燥を防ぐことに留意しなければならない．また，高流動コンクリートは，通常のコンクリートに比べてブリーディング量が少なく表面が乾燥しやすい傾向にあるため，日射や風によって表面が乾燥しないように注意する必要がある．



解説 図 3.8.1 養生の基本

解説 表 3.8.1 養生期間の標準（日）

日平均 気温	普通ポルトランド セメント	高炉セメント B 種 フライッシュセメント B 種	早強ポルトランド セメント	低発熱型セメント
15℃以上	5 日	7 日	3 日	10 日
10℃以上	7 日	9 日	4 日	12 日
5℃以上	9 日	12 日	5 日	15 日

3.9 継目の計画

設計図書で定められていない継目の計画は，構造物が所要の性能を発揮できるように，位置，構造，

施工方法などについて適切に定めなければならない。

【解 説】 コンクリート構造物の継目の種類には、以下に示すようなものがあり、設計段階で定められるものと施工段階で定められるものとに分けられる。したがって、設計段階で定められていない継目については、構造物が所要の性能を発揮できるように事前に位置、構造、施工方法などについて適切に計画しなければならない。

継目の種類

- 1) 水平打継目
- 2) 鉛直打継目
- 3) 伸縮継目
- 4) その他の継目

打継ぎ部に生じる不具合の原因として、打継ぎ作業の作業性が挙げられる。打継ぎ作業の作業性とは、打継ぎ処理をするために人または機械がその場所に入っていけるか、作業をするだけのスペースがあるかということである。したがって、打継ぎ作業に関する計画にあたっては、構造物の配筋条件や型枠条件等を考慮して、作業性についても事前に検討し定める。

継目の位置について：コンクリートの打継ぎ部は、完全には一体化しにくいことから、強度、耐久性、水密性等の面から弱点となりやすい。したがって、打継目の位置は、構造物の施工時および完成後の構造物の強度と安全性を考慮し、弱点とならないような位置に計画しなければならない。打継目の位置を定める際に考慮すべき事項を以下に示すので、計画の際は参考にするとよい。なお、重要な打継目の位置は図面に明示し、施工時に正当な理由なくその位置を変更してはならない。

- 1) 打継目は、断面力、特にせん断力の小さい位置に設ける。
- 2) 断面急変部での打継目は避ける。
- 3) 新コンクリートに生じるセメントの水和熱による温度応力および乾燥収縮による応力が過大とならないように打継目の位置を設定する。
- 4) 海洋構造物などでやむを得ず打継目を設ける場合は、感潮部分などの物理的・化学的作用の激しい部分を避ける。

継目の方向について：継目の方向は、施工性などの観点から水平部材では鉛直に、鉛直部材では水平に設けるのが一般的であるが、部材の圧縮合力に対して 90° となるように定めて、打継目にせん断力が作用しないように計画するのがよい。したがって、アーチなどでは法線方向に設けることになる。

水平打継目について：水平打継目の施工計画に際して考慮すべき事項とその対策を以下に示す。

- 1) 水平打継目の型枠に接する線は美観上の理由から水平な直線とし、目違いのないようにする。方法としては、型枠に位置を表示するか、適当な面木を付けて表示するのがよい。
- 2) 十分な強度、耐久性および水密性を有する打継目を作るためには、既に打込まれた下層コンクリート上部のレイタンス、品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材粒などを取り除いた後に打ち継ぐ。既に打ち込まれた下層コンクリートの打継面の処理方法には、硬化前処理方法と硬化後処理方法およびこれらの併用がある。

a. 硬化前処理方法

コンクリートの凝結終了後高圧の空気および水でコンクリート表面の薄層を除去し、粗骨材粒

を露出させる方法がある。この処理方法は、打継ぎ面が広い場合に能率のよい方法であるが、コンクリートを打ち込んだ後適切な時期に適切な方法で行わないとコンクリートを害するおそれがあるので、十分な注意が必要である。このような打継目の処理に適した作業時間は一般に短く、この時期を逸すると所定の打継ぎ性能を確保することが難しくなることがある。この施工上の制約を緩和するために、コンクリート打継面にグルコン酸ナトリウム等を主成分とする遅延剤を散布して、コンクリート打継ぎ面の薄層部の硬化を計画的に遅らせ、処理時期を大幅に延長する方法がある。

b. 硬化後処理方法

既に打ち込まれた下層コンクリートがあまり硬くなければ、高圧の空気および水を吹き付けて入念に洗うか、水をかけながら、ワイヤブラシを用いて表面を粗にする。旧コンクリートが硬いときは、ワイヤブラシで表面を削るか、表面にサンドブラストを行った後、水で洗う方法が最も確実である。なお、すでに打ち込まれた下層コンクリート上面の水は、新しくコンクリートを打ち込む前に除去する必要がある。

- 3) 新コンクリートを打ち継ぐ直前にモルタルを敷く方法は、新旧コンクリートの付着をよくするのに効果的である。敷モルタルの水セメント比は、使用するコンクリートの水セメント比以下にする必要がある。
- 4) 逆打ちコンクリートの水平打継目は、打継目が常に旧コンクリートの下面となり、その下に打ち継がれる新しく打ち込んだコンクリートのブリーディング水や沈下によって、打継目は一体とならないのが普通である。このため、直接法、充てん法、注入法などの方法の中から適切な方法を選定して施工する。
- 5) 打継目の近くは新旧コンクリートの収縮差によってひび割れが発生しやすい。このようなおそれがある場合には、新コンクリートの打継目近くにひび割れ制御用の鉄筋を配置するのが望ましい。

鉛直打継目について：鉛直打継目の施工計画を作成する際に考慮すべき事項とその対策を以下に示す。

- 1) 鉛直打継目の施工にあたっては、コンクリートの打継ぎ面を粗にして十分吸水させ、セメントペースト、モルタルあるいは湿潤面用エポキシ樹脂などを塗った後、新しくコンクリートを打ち継がなければならない。
- 2) 既に打ち込まれたコンクリートの鉛直打継面を粗にする方法には、ワイヤブラシ、手はつり、機械はつりによる方法がある。また、コンクリートの打込み前に、型枠表面にグルコン酸ナトリウム等を主成分とする遅延剤を塗布し、コンクリート表面の薄層部の凝結を計画的に遅延させ処理時間をうまく調整することによって、硬化前に打継目処理を行う方法もある。さらに、打継面の型枠に金網などを用いて、鉛直打継目を粗にする施工方法もある。
- 3) 打継目近傍の締固めは、新旧コンクリートの密着を確保するために、新コンクリート打込み後、適当な時期（再振動限界内）に再振動締固めを行う。
- 4) 止水板を用いないと、鉛直打継目を水密にすることは困難であるため、水密を要するコンクリートの鉛直打継目では止水板を用いることを原則とする。

伸縮継目について：伸縮継目を設ける場合は、設計において定められた継目の間隔、位置、種類などに従うことを原則とする。

伸縮継目の間隙に土砂、その他が入り込むおそれのあるときは、目地材を用いるのがよい。目地材とし

ては、アスファルト系、ゴム発泡体系、樹脂発泡体系等の目地版、シール材および充てん材が用いられている。また、水密を要する構造物の伸縮継目には、適度の伸縮性をもつ止水板を用いるのがよい。止水板としては、銅板、ステンレス板、塩化ビニル樹脂、ゴム製などがある。

その他の継目について：その他の継目の種類としては、床組みと一体になった柱、壁の打継目、床組みの打継目、アーチの打継目などがある。これらの継目については、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「9.5 床組みと一体になった柱、壁の打継目」、「9.6 床組みの打継目」および「9.7 アーチの打継目」として、それぞれ施工における原則が示されているので、これらに準拠して計画する。

3.10 ひび割れ誘発目地の計画

設計図書に定められていないひび割れ誘発目地の計画は、構造物の所要の性能が損なわれないように位置、構造、施工方法および処理方法などについて適切に定めなければならない。

〔解説〕ここでは、目地の種類として代表的なひび割れ誘発目地について述べる。

コンクリート構造物の場合は、セメントの水和熱や外気温などによる温度変化、乾燥収縮などの要因による変形が生じることがあり、このような変形が拘束されるとひび割れが発生することがある。ひび割れ誘発目地は、このようなひび割れをあらかじめ決めた位置に発生させるために、計画的に設置する目地である。ひび割れ誘発目地については、設計段階に設ける場合と施工計画段階で設ける場合の両者がある。設計図書にひび割れ誘発目地が設けてある場合は、これに従って施工計画を立てることを原則とする。

また、施工計画段階でひび割れ誘発目地を必要と判断した場合には、誘発目地の間隔および断面欠損率を設定するとともに、目地部の鉄筋腐食を防止する方法、所定のかぶりを確保する方法、目地処理に用いる充てん材の選定等について十分な配慮が必要である。ひび割れ誘発目地の断面欠損率は、従来から20%程度以上が必要とされていたが、壁部材などのように温度応力によって発生する断面貫通ひび割れ（外部拘束温度ひび割れの場合など）を誘発するためには、誘発目地の間隔をコンクリート部材の高さの1～2倍程度、断面欠損率を30%以上とするのがよい。

一方、ひび割れの主な原因が乾燥収縮と想定される場合の誘発目地は、壁部材であっても壁厚が比較的厚い（1m程度以上）ときにはひび割れが貫通していないことも多い。有害なひび割れを避ける場合5m程度の間隔、ひび割れを発生させない場合3m程度の間隔で、断面欠損率も30%以下で設定できる場合もある。ただし、使用材料、施工環境および部材寸法により、確実にひび割れを所定の位置に誘発させるための最適な設置間隔や断面欠損率は異なるため、計画するにあたっては過去の実績なども考慮してこれらを適切に選定する必要がある。

なお、目地にひび割れを誘導させた後は、ひび割れの進展や幅の拡大が収まった時点でその個所をシールして、ひび割れから鉄筋腐食因子などが内部に侵入しないように処理する必要がある。このため、このシールが容易となるように、ひび割れ誘発目地設置部のコンクリート表面をあらかじめカットしておき、ひび割れが目地に誘導された後に可とう性エポキシ樹脂やポリマーセメントモルタルなど、環境条件や構造物に要求される耐久性のレベルに応じた適切な材料を用いてそのカット部を充てんし、目地をシールする。また、水密性が要求される部材に目地を設置する場合には、目地部の適当な位置に止水材を設置し、目地に導入されたひび割れからの漏水を防止するための対策を施さなければならない。

3.11 鉄筋工の計画

- (1) 鉄筋は設計で定められた正しい形状および寸法を保持するように、材質を害さない適切な方法で加工し、これを所定の位置に正確に、堅固に組み立てられるよう事前に計画を定めなければならない。
- (2) 特に、かぶりに関しては所定の値を確保できるようスペーサの材質、数、配置位置などについて計画しなければならない。

【解 説】(1)について **鉄筋の加工について**：鉄筋を加工する場合には、鉄筋の形状および寸法が正しく、鉄筋の材質を害さない適切な方法により行わなければならない。設計図に鉄筋の曲げ半径が示されていないときは、土木学会 コンクリート標準示方書〔設計編〕表 13.6.1 に示されている曲げ内半径以上で鉄筋を曲げなければならない。鉄筋の加工機械には、鉄筋切断機と鉄筋曲げ機がある。一般に、鉄筋の曲げ加工には、鉄筋の種類に応じた適切な曲げ機械を用いて行うことが望ましい。なお、いったん曲げ加工した鉄筋を曲げ戻すと材質を害するおそれがあるため、曲げ加工した鉄筋の曲げ戻しは行ってはならない。施工継目等のところで一時的に鉄筋を曲げておき、後で所定の位置に曲げ戻す場合には、曲げおよび曲げ戻しをできるだけ大きい半径で行うか、900～1000℃程度で行うなどの適切な対処が必要である。

鉄筋の加工温度について：機械加工により太い鉄筋でも常温における曲げ加工が容易にできるので、鉄筋の加工は常温で行うのが原則である。熱間圧延によって製造した普通の鉄筋では、加熱温度 900～1000℃程度で加熱加工し急な冷却をしない場合には特に材質が害されることはない。しかし、工事現場では加熱温度や冷却速度が適切でなかったり、加工作業が適切でなかったりするおそれがある。径の太い鉄筋を熱して加工するときには、加熱温度を十分管理し、急冷させないことが大切である。

鉄筋を溶接する場合の注意点について：鉄筋の溶接を行うと、鉄筋の性能低下が懸念されることから、原則として鉄筋を溶接してはならない。やむを得ず溶接する場合には、溶接した鉄筋が構造物の性能に与える影響について十分に調査し、かつ現場で施工する際には、十分な施工管理を行う必要がある。また、溶接した鉄筋を曲げ加工する場合は、加工性ならびに信頼性を考慮し、溶接した部分より鉄筋直径の 10 倍以上離れたところで曲げ加工するのがよい。

特殊な鉄筋の加工について：亜鉛めっき鉄筋およびエポキシ樹脂塗装鉄筋の加工にあたっては、それぞれ土木学会 亜鉛めっき鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）および土木学会 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）を参考にするとよい。

鉄筋の組立て前に実施する準備について：鉄筋は、組み立てる前に清掃し、浮きさび等鉄筋とコンクリートとの付着を害するおそれのあるものを取り除かなければならない。鉄筋とコンクリートの付着を害するものには浮きさび、どろ、油、ペンキなどがある。また、組み立てられた鉄筋に付着して硬化したモルタルは、コンクリートとの付着を低下させるので、ワイヤブラシなどで除去しなければならない。

鉄筋の組立てについて：鉄筋の位置のくずれがわずかであっても、鉄筋コンクリート部材の強度に影響を及ぼしたり、耐久性を損なうことになったりする。このため、鉄筋は、正しい位置に配置し、コンクリート打込み時に動かないよう堅固に組み立てなければならない。

コンクリートの打込み時には、鉄筋の移動が生じやすい。そこで、鉄筋の組立てにあたっては、鉄筋のかぶりあるいは鉄筋相互のあきが所定の誤差範囲内に納まるように、適切な鉄筋の固定方法を選定する必

要がある。設計図の中には、鉄筋の中心線のみでその位置を示し、かぶりを適切に表示していないものがある。このため、かぶりや鉄筋相互のあきを正確に確保するためには、鉄筋の外径や曲げ加工半径、組立順序等を考慮して、鉄筋の組立図を作成して事前に配筋精度を確認しておくのがよい。

組立用鋼材について：組立用鋼材は、鉄筋の位置を固定するために必要なばかりではなく、組立てを容易にするためにもこれを用いることが有効である。一般に、組立用鋼材は、設計図に示されるが、それ以外に組立用鋼材を用いるのが有利と判断される場合には、組立用鋼材を適切な箇所に配置するよう計画する。

鉄筋位置の固定方法について：鉄筋相互の位置を固定するためには、鉄筋の交点を直径 0.8mm 以上の焼きなまし鉄線で結束するのが普通である。鉄筋の交点を固定するために、鉄線以外にも種々のクリップを用いる方法や点溶接を行う方法がある。しかし、点溶接は、局所的な加熱によって鉄筋の材質を害するおそれがあり、特に疲労強度を著しく低下させることがある。したがって、点溶接により鉄筋を固定する場合には、荷重の性質、構造物の重要度、鉄筋の材質および径、溶接工の技量、溶接方法等を考慮して、有害な影響がないよう適切に計画する必要がある。

鉄筋の継手について：鉄筋の継手は、一般的に設計図に示されているものである。設計図に示されていない鉄筋の継手を設ける場合の継手の位置および方法は、土木学会 コンクリート標準示方書〔設計編〕「13.7 鉄筋の継手」に従って、適切に計画しなければならない。一般に、鉄筋を継ぐということは構造上の弱点となるので、鉄筋に生じる応力が小さい位置に継手を設けるよう計画しなければならない。また、部材の一断面に集中して継手を設けてはならず、相互（千鳥状）にずらして分散させる。

鉄筋の重ね継手について：鉄筋の重ね継手は、所定の長さを重ね合せて、直径 0.8mm 以上の焼きなまし鉄線で数箇所緊結することを原則とする。この場合、焼きなまし鉄線で巻く長さがあまり長いとコンクリートと鉄線との付着強度が低下し、継手の強度が低下することになるため、焼きなまし鉄線で巻く長さはできるだけ短いのがよい。重ね継手における重ね合せ長さは、土木学会 コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕「9.6.2 重ね継手」に従い、適切な値に定める。

重ね継手以外の鉄筋の継手について：鉄筋の継手に圧着継手、ねじふし鉄筋継手、ねじ加工継手、溶融金属充てん継手、モルタル充てん継手、自動ガス圧接継手、エンクローズ溶接継手、アモルファス接合継手などを用いる場合は、それぞれの継手指針の規定に従うこととする。すなわち、ねじふし鉄筋継手、ねじ加工継手、溶融金属充てん継手、モルタル充てん継手および自動ガス圧接継手は土木学会 鉄筋継手指針に、エンクローズ溶接継手は土木学会 鉄筋継手指針（その 2）に、アモルファス接合継手は土木学会 鉄筋のアモルファス接合継手設計指針（案）にそれぞれ従うこととする。また、ガス圧接継手の施工における圧接装置、圧接工の資格、圧接作業、検査（非破壊検査を含む）等の全般については、日本圧接協会鉄筋のガス圧接工事標準仕様書に規定されているのでこれを参考にするとよい。ここに示した以外の継手方法および接続具を用いる場合は、施工前に試験によってその性能を確認しなければならない。鉄筋の継手の性能の評価は、土木学会 鉄筋継手指針の「鉄筋継手評価指針（案）」によるものとする。

露出した鉄筋の取扱いについて：将来の継足しのために、構造物から露出しておく鉄筋は、損傷、腐食等を受けないように、これを保護しなければならない。鉄筋の腐食を防ぐには、セメントペーストを塗ったり、高分子材料の被膜で包んだりする方法がある。いずれの場合にも、将来、継ぎ足す場合には、コンクリートとの付着を害するものはこれを完全に除去することが必要である。また、鉄筋を雨から防ぐ目的で、鉄筋継ぎ足し部にビニール製の袋をかぶせておくことも有効である。

組み立てた鉄筋の設置について：組み立てた鉄筋を所定の位置に設置する場合、吊上げによって組み立

てた鉄筋の形状や寸法の乱れ，過大な変形等の有害な影響が残らないように，必要に応じて吊り枠や吊上げのための補強鋼材を配置するなど，安全性を十分考慮して吊上げ方法を適切に計画する必要がある．また，組み立てた鉄筋を所定の位置に正確に設置するためには，設置に便利のように型枠の上部，その他必要な位置に目印を設けておくのがよい．

組み立てた鉄筋の各単位を信頼性の高い方法により接続することは，構造物の強度を確保するうえで重要である．このため，組み立てた鉄筋の各単位の接続は，所定の継手性能が得られる方法を選定しなくてはならない．

(2)について **かぶりの確保について**：かぶりとは，コンクリート中に配置された鉄筋，P C 鋼材，シースあるいは形鋼の表面から，これらを覆うコンクリートの表面までの最短距離のことをいう．構造物の耐久性に対しては，かぶりの確保が重要である．かぶりの確保においては，主筋の表面からの距離を確保するのはもちろんのこと，スターラップ，帯筋，配力筋および組立用鋼材などコンクリート中に設置されているすべての鋼材を対象にしなければならない．鉄筋のかぶりを確保するためには，使用箇所，環境，鋼材量等を考慮して，スペーサの材質，数，配置位置などについて計画する必要がある．

スペーサの材質について：一般に使用されているスペーサには，モルタル製，コンクリート製，鋼製，プラスチック製，セラミック製などがある．型枠に接するスペーサは，モルタル製あるいはコンクリート製を使用することを原則とする．モルタル製あるいはコンクリート製のスペーサを用いる場合は，本体コンクリートと同等以上の品質を有するものを用いる．また，鋼製スペーサは腐食環境の厳しい地域に使用すると，発錆し，錆汁によりコンクリートの表面が褐色に変化してくるので，特に腐食環境の厳しい地域では使用しない．プラスチック製のスペーサは，コンクリートとの熱膨張率の相違，付着および耐荷力不足等の問題がある．また，ステンレス鋼等の耐食性金属でできたスペーサは，異種金属間の接触腐食の問題など不明確な点がある．

スペーサの数について：スペーサの数は，土木工事共通仕様書に従って設置する．ただし，事前に行う協議において，上記のスペーサの個数では所定のかぶりを確保することが困難と判断された場合には，スペーサを適切な個数まで増加することが重要であり，これを計画に反映する必要がある．また，スペーサの配置位置は，配筋の際に描く縮尺の大きい施工図面に記載するのがよい．なお，スペーサの材質や配置の検討に際しては，（社）日本土木工業協会「鉄筋工事用スペーサ設計施工ガイドライン」を参照するのがよい．

3.12 型枠および支保工の計画

型枠および支保工の計画は，コンクリート構造物が正確な位置，形状，寸法を保つとともに打ち込まれたコンクリートを保護することができるように，それらの構造，材質，組立て，取外しその他の事項について定めなければならない．

【解 説】 型枠は，せき板，支保材から構成され，コンクリートの打込み後硬化するまで構造物の正確な位置，形状，寸法を保つとともにコンクリートを保護する役割をもつものであり，その材料，構成および施工の良否は完成したコンクリート構造物の精度，外観に直接影響を与えるきわめて重要なものである．

型枠および支保工の計画にあたっては、作用する荷重、材料、設計、施工、取外し時期などについて定める必要がある。なお、重要度の高い構造物はかぶりが大きいことが多く、かぶり部分のコンクリートを振動機により締め固めることがある。このような場合は、締め固め中に型枠が移動もしくは変形することがあるので、一般の場合よりも型枠を堅固に行うなどの配慮が必要である。

型枠および支保工に作用する荷重の種類について：型枠および支保工は、構造物の種類、規模、重要度、施工条件および環境条件を考慮して、鉛直方向荷重、水平方向荷重、コンクリートの側圧、その他特殊荷重が作用するので、それぞれの荷重を算定する際は、原則として土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「11.2 荷重」に従うとよい。

型枠および支保工に作用する鉛直荷重について：鉛直方向の荷重としては、型枠、支保工、コンクリート、鉄筋、作業員、施工機械器具、仮設備等の質量および衝撃がある。

型枠および支保工に作用する水平荷重について：水平方向の荷重としては、型枠の傾斜、作業時の振動、衝撃、通常考えられる偏載荷重、施工誤差、等に起因するもののほか、必要に応じて風圧、流水圧、地震等を考慮しなければならない。なお、設計に当たっては、実際に作用する水平方向荷重を考慮するのを原則とするが、実際に作用する水平方向荷重が照査水平方向荷重より小さい場合には照査水平方向荷重を用いて安全性を検討するものとする。

型枠および支保工に作用するコンクリートの側圧について：コンクリートの側圧は、使用材料、配合、打込み速度、打込み高さ、締め固め方法および打込み時のコンクリートの温度によって異なるほか、使用する混和剤の種類、部材の断面寸法、鉄筋量等によっても影響を受けるので、その値を定める場合には、これらの要因の影響を十分に検討しなければならない。

型枠および支保工に作用する特殊荷重について：特殊荷重とは、コンクリートを非対称に打ち込むときの偏載荷重、型枠底面の傾斜による打ち込み時の水平分力およびホロースラブの埋設型枠に作用する揚圧力のように、工事中に、型枠および支保工に作用することが予想される荷重のことであり、これら特殊荷重の影響が無視できない場合は、型枠および支保工の設計に考慮する必要がある。

型枠および支保工に用いる材料について：型枠および支保工に用いる材料は、強度、剛性、耐久性、作業性、打ち込まれるコンクリートに対する影響、コンクリート構造物の美観および経済性を考慮して選定する。型枠および支保工は、比較的大きな荷重を受け、一般に何回も繰り返して使用するので、損傷、変形、腐食を起こしやすい。ただし、構造物の種類、転用回数あるいは型枠および支保工の使用箇所による重要度によってその選定条件は異なる。したがって、型枠および支保工に用いる材料は、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「11.7 材料」に示す諸要素を十分考慮したうえで選定する。

型枠に用いる材料について：型枠に使用される材料は、木板、合板、鋼製、軽金属製、プラスチック製、コンクリート板製、紙製等多くの種類があるが、一般には合板、鋼製型枠が使用されている。合板は、加工が容易で仕上がりが美しく、経済的であるなどの利点を有することから広く使用されている。しかし、鋼製型枠に比べて、アルカリに弱いこと、耐久性・転用性の面で劣っているなどの欠点がある。また、コンクリートと直接接するせき板や用いる剥離剤の材質によって、コンクリートの表面に気泡が発生するので、使用実績や経験などを参考として選定することが必要である。

支保工に用いる材料について：支保工に使用されている材料は、木材および鋼材である。一般には、鋼製支保工を主として用い、一部に木材が用いられている。支保工は、単管支柱、パイプサポート、枠組み支柱がある。使用する材料や強度については、単管支柱は JIS A 8951「鋼管足場」に、鋼管支柱は JIS A 8651「パイプサポート」にそれぞれ規定されている。

型枠の設計について：型枠の設計にあたっては、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「11.4 型枠の設計」に従うことを原則とする。

型枠は、作用荷重に対して形状および位置を正確に保てるように、適切な締付け材などを用いて固定しなければならない。

型枠は、組立および取外し作業が容易に行われるとともに、取外し時にコンクリートその他に振動や衝撃などを及ぼさない構造とする。

型枠を正しい位置、形状、寸法に造り、かつ、せき板またはパネルの継目からモルタルが漏れるのを防ぐためには、型枠の継目を部材軸に直角または並行とする必要がある。

型枠のすみに適当な面取り材をつけてコンクリートのかどに面取りを設けることは、型枠取外しの際や工事の完成後、衝撃によってコンクリートのかどが破損するのを防ぐのに役立つ。したがって、特に指定のない場合でもコンクリートのかどに面取りができる構造を標準とする。

必要のある場合には、型枠の清掃、検査およびコンクリートの打込みに便利のように、適当な位置に一時的な開口を設けなければならない。なお、ここで必要のある場合とは、型枠組立後、内部が閉塞してしまい組立後やコンクリート打込み前の清掃、検査に支障をきたす場合や、型枠高さが大きく、コンクリート打込み時に所定の打込み高さを確保できないような場合をいう。

支保工の設計について：支保工の設計にあたっては、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「11.5 支保工の設計」に従い計画を作成することを原則とする。

支保工の形式について：支保工は、その受ける荷重を適切な方法で確実に基礎に伝えられるように適切な形式を選定する。支保工が鉛直方向の荷重に対して十分な強度を持ち、座屈に対する安全性を有するためには、必要に応じて十分なつなぎ材、すじかい等を用いて支柱を固定するなどの対策がある。また、基礎の不同沈下などによる支柱の荷重分担の変化に対しては、一般にはりなどを用いて、荷重を各支柱に分布させるなどの対策をとるとよい。水平方向の荷重に対しては、支保工上部のはりなどの両端を、既設構造物、その他の支持物に固定するか、つなぎ材、すじかい等を用いて抵抗させるなどの対策がある。

支保工の構造について：支保工は、組立および取外し作業が容易に行われるとともに、その継手や接続部は取外し時にコンクリートその他に振動や衝撃などを及ぼさない構造としなければならない。構造物に衝撃を与えず容易かつ安全な取外しを可能とするためには、ジャッキ、くさび等を用いた構造がある。支柱の継手には突合せ継手または差込み継手を用い、鋼材と鋼材の接続部や交差部にはボルト、クランプ等の金具を用いて緊結するなどの対策を施すと継手や接続部の荷重伝達に効果的である。なお、はりの高さが大きい場合には、はりとはりの間につなぎを設けて、横倒れ防止対策を施すのがよい。

支保工の基礎について：支保工の基礎は、過度の沈下や不同沈下などを生じないようにしなければならない。基礎の沈下を避けるためには、弱い地盤においては荷重を地盤に分布させたり、適切に基礎を補強するなどの対策をとるのがよい。

支保工の設計においてその他考慮すべき事項について：支保工の設計においては、施工時および完成後のコンクリート自重による沈下、変形を考慮して適当な上げ越しを行うものとする。また、支保工の上げ越しを行うにあたっては、必要に応じて完成後の構造物に生じるコンクリート自重によるクリープ等のたわみについても併せて考慮する。一般に、上げ越し量は、設計図に示しておく必要がある。

型枠の施工について：型枠の施工にあたっては、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「11.6 型枠の施工」に従い計画を作成することを原則とする。特に、高流動コンクリートを採用する場合は、せき板の隙間からペーストやコンクリートが流出しやすい。このため、高流動コンクリートを採用

する場合の型枠の施工は、通常の場合より慎重かつ強固に行うことが必要である。

型枠の締付けについて：型枠の締付けには、ボルトまたは棒鋼を用いるのを標準とする。なお、鉄線を締め付け材として使用すると、伸びたり切れたりするおそれがあるので、特に重要な構造物には用いてはならない。また、締付け材として用いたボルト、棒鋼等をコンクリートの表面近くに残しておくと、その先端が工事完成後、水の浸透経路になったり、これがさびてコンクリート表面に汚点ができたり、あるいはコンクリートにひび割れができたりするおそれがある。このため、かぶりを考慮して適切な処置を施さなければならない。また、コンクリート面の穴は、高品質のモルタル等で埋めておく必要がある。

型枠に塗布するはく離材について：はく離材は、コンクリートが型枠に付着するのを防ぐとともに型枠の取外しを容易にするのに効果的である。このため、せき板の内面には、はく離材を塗布することを原則とする。はく離材には、木製型枠用や鋼製型枠用などの用途および材料の主成分に対応して、多くの種類の製品が市販されている。はく離材は、その主成分によって、パラフィン系、鉱物油系、動物油系、植物油系、合成樹脂系、界面活性剤系等に分類されている。それぞれのはく離材は、使用方法、塗布量、使用回数等に大きな差異があり、種類や使用方法等によっては、型枠清掃時の水洗いや降雨等によりはく離材が流出してはく離効果を減じたり、打継部等が汚染されたり、はく離材が打込み中のコンクリート内に混入したりすることがある。このため、使用するはく離剤は、あらかじめ性質や使用方法を確かめて適切に選定することが重要である。

型枠の不具合について：コンクリートの打込み前および打込み中の型枠の不具合には、モルタルの漏れ、移動、傾き、沈下、接継部のゆるみ、型枠のはらみなどがある。これらの異常が生じた場合の措置についても事前に検討し、危険を防止する対策を立てておくことが重要である。

支保工の施工について：支保工の施工を行うにあたっては、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「11.7 支保工の施工」に従い計画を作成することを原則とする。

支保工は、十分な強度と安定性をもつよう施工しなければならない。支保工に十分な強度を持たせるためには、支保工の組立に先立って基礎地盤を整地し、所要の支持力が得られるように、また、不同沈下などを生じないように、必要に応じて適切な補強を行う必要がある。埋戻し土に支持させる場合は、事前の十分な転圧が必要となる。支保工の根元が水で洗われる可能性のある場合には、特に水の処理に注意する。継手や部材の接継部、交差部は間げきや緩みができないようにする。

支保工の不具合について：コンクリートの打込み前および打込み中の支保工の不具合には、支保工の移動、傾き、沈下などがある。これらの異常が生じた場合の措置についても事前に検討し、危険を防止する対策を立てておくことが重要である。

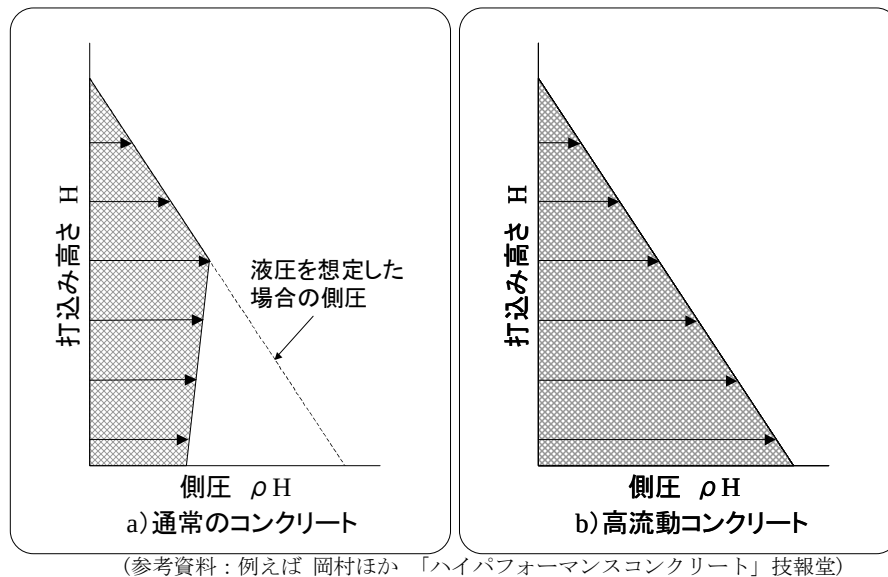
型枠および支保工の取外しについて：型枠および支保工の取外しに関しては、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準編〕「11.8 型枠および支保工の取外し」に従い計画を作成することを原則とする。

型枠および支保工は、打ち込んだコンクリートが自重および施工中に加わる荷重を支えるだけの十分な強度に達するまでは取り外してはならない。

型枠および支保工の取外しの時期および順序について：型枠および支保工の取外しの時期および順序は、コンクリートの強度、構造物の種類と重要度、部材の種類および大きさ、部材の受ける荷重、気温、天候、風通し等を考慮して、これらを適切に定める。

流動化コンクリートおよび高流動コンクリートを採用する場合のコンクリートの側圧について：流動化コンクリートを採用する場合は、通常のコンクリートと同様に、適切な側圧を設定する。ただし、コンクリートのスランプが 10cm を超える場合は側圧が大きくなるので、液圧で型枠を設計すると安全である。

また，高流動コンクリートを採用する場合は，コンクリートの流動性が高いため，コンクリートの側圧を液圧とみなして型枠および支保工の設計を行うことを原則とする．型枠に作用する側圧について，高流動コンクリートの場合と通常のコンクリートの場合とを比較した概念図を解説 図 3. 12. 1 に示す．



解説 図 3. 12. 1 型枠に作用する側圧

3. 13 暑中コンクリートの施工計画

3. 13. 1 一般

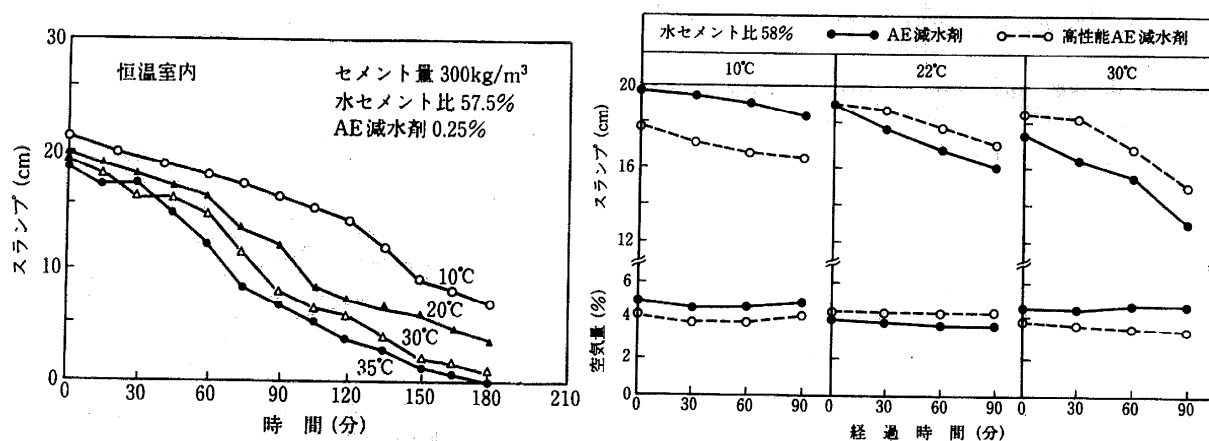
日平均気温が 25℃を超えることが予想されるときは，暑中コンクリートとしての施工が行えるよう適切な計画を定めなければならない。

【解 説】 施工を行う時期の日平均気温が 25℃を超えると予想される場合には，土木学会 コンクリート標準示方書と同様に，暑中コンクリートとして取り扱うこととした。

3. 13. 2 運搬

コンクリートの運搬計画は，運搬中にコンクリートが乾燥したり，熱せられたりすることの少ない方法により，スランプの低下を抑える運搬装置や運搬経路等について定めなければならない。

【解 説】 コンクリートの運搬においては、コンクリートが熱せられたり乾燥したりしないよう、運搬装置や運搬経路等についてよく検討しなければならない。なお、スランプの低下の程度を考慮して、打込みの最小スランプを確保できるような荷卸し時のスランプの設定が重要である。コンクリートポンプを使用する場合は、輸送管を湿らせた布で覆うなどの対策を講じる。



解説 図 3.13.1 コンクリートのスランプの経時変化（温度別）

（出展：暑中コンクリートの施工指針・同解説，2000年9月（第2版），日本建築学会 p37）

3.13.3 打込み

- (1) コンクリートの打込み計画は、地盤や型枠等がコンクリートから吸水するおそれのある部分を湿潤状態に保つ方法や、型枠、鉄筋などが高温になることを防止する方法について検討しなければならない。
- (2) コンクリートを練混ぜ始めてから打込み終わるまでの時間は、1.5 時間以内を原則とし、コンクリートの打込みができるだけ早く行えるよう、事前に適切な対策を検討しなければならない。
- (3) 打込み時のコンクリート温度は、35℃以下でなければならない。また、高温によるコンクリートの品質の低下が少ないように適切な処置を講じなければならない。

【解 説】 (1)について 気温の高い時期にコンクリートを打ち込む場合、地盤や型枠等が乾燥しやすく、コンクリートの流動性を損なう可能性があるため、地盤や型枠等は湿潤状態に保つ必要がある。また、直射日光を受けて型枠、鉄筋等が非常に高温の状態になっている場合には、打ち込まれたコンクリートの品質に悪影響を与えることがある。このため、気温の高い時期にコンクリートの打込みを行う場合には、散水や覆い等の適切な処置の方法を示した計画とする必要がある。

(2)について コンクリートを練り混ぜ始めてから打ち終わるまでの時間は、土木学会 コンクリート標準示方書と同様に、1.5 時間以内を原則とした。しかし、コンクリートの時間の経過にともなう品質の変化は、気温の上昇とともに増大する傾向にあるため、暑中コンクリートの施工においては、練り混ぜてか

らできるだけ早く打ち込むために適切な対策を講じることが望ましい。なお、コンクリートをできるだけ早く打ち込んだにも関わらず、スランプロスが大きくなるような場合は、遅延形の AE 減水剤や高性能 AE 減水剤を使用するなどの対策を講じる必要がある。また、あらかじめ現場においてスランプの回復を目的とした流動化を現場で行えるように準備しておくといよい。

(3)について コンクリートの打込み温度が高いと種々の悪影響が生じるので、できるだけこれを低くすることが望ましい。本指針では、打込み時のコンクリート温度の上限を、土木学会 コンクリート標準示方書と同様に 35℃に定めた。したがって、コンクリートを打ち込むにあたっては、事前に 35℃を超えない範囲で適切なコンクリート温度を定め、これを満足するための対策を検討する。

3.13.4 養生

コンクリートの養生計画は、コンクリートの表面が急激に乾燥されることがないように、事前にその方法や期間を定めなければならない。

【解 説】 コンクリートの表面は、直射日光や風にさらされると急激に乾燥してひび割れを生じやすい。このため打込みを終了したコンクリートは、露出面が乾燥しないよう速やかに養生することが大切である。このような条件下で養生を行う場合は、事前にその方法や期間について計画を作成する必要がある。

養生方法には、保水マット、濡れた麻袋で覆う方法、散水、湛水などがある。また、散水または覆い等による養生が困難な場合には膜養生を行う方法もある。

なお、湿潤状態に保つ期間は、本指針「3.8 養生計画」で示した内容と同様に、土木学会 コンクリート標準示方書に示されている標準期間を参考にし（解説 表 3.8.1 参照）、構造物の種類、施工条件、立地条件、環境条件等を考慮した適切な計画をする必要がある。

3.14 寒中コンクリートの施工計画

日平均気温が 4℃以下になると予想されるときには、寒中コンクリートとしての施工が行えるよう、適切な計画を定めなければならない。

【解 説】 九州地区は、一部の山間地を除いて日平均気温が 4℃以下になることはほとんどないが、日平均気温が 4℃以下となった場合は寒中コンクリートとしての施工を行わなければならない。本指針では、寒中コンクリートとしての施工を行う場合には、原則として土木学会 コンクリート標準示方書および土木工事共通仕様書に従うこととする。

コンクリートの凍結温度について：コンクリートの凍結温度は、水セメント比、混和材料の種類および

その量によって若干異なるが、およそ $-0.5 \sim -2.0^{\circ}\text{C}$ といわれている。気温の統計では九州地区でもコンクリートが凍結する機会があることになるため、そのような場合には適切な対策を講じることが必要となる。寒中コンクリートの施工方法は、気温、構造物の種類および大きさ等によって異なるが、土木学会コンクリート標準示方書では以下の方法によるとよいとしている。

(a) $4 \sim 0^{\circ}\text{C}$ では簡単な注意と保温とで施工する。

(b) $0 \sim -3^{\circ}\text{C}$ では、水または水および骨材を熱すると同時に、ある程度の保温を行う。

(c) -3°C 以下では、水および骨材を熱してコンクリートの温度を高めるだけでなく、必要に応じて適切な保温、給熱によって打ち込んだコンクリートを所要の温度に保つ等の処置を行う。

コンクリートの養生について：寒中コンクリートの施工においてコンクリートに悪影響を及ぼす危険があると判断される場合は、保温養生、給熱養生などの対策を計画するのがよい。給熱する場合には、その効果が無駄にならないようにシート類等による保温養生と組合せて行うのがよい。

養生終了時に必要なコンクリート強度について：耐凍害性の観点から養生終了時に必要とされるコンクリート強度は、気象条件、部材の大きさ、露出条件等によって異なる。土木学会コンクリート標準示方書[施工標準]12.6には、コンクリートの養生終了時の所要圧縮強度の標準値が示されている（解説 表 3.14.1 参照）ので、これを参考に適切な値を設定する必要がある。

混合セメントおよび低発熱型セメントを使用したコンクリートの養生期間について：混合セメントや低発熱型セメントを使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して低温では水和反応が緩やかである。また、混合セメントや低発熱型セメントを用いたコンクリートにおいて、所定の強度を得るために必要な養生期間は、セメントクリンカ構成鉱物の種類と量および高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混合材の種類、混合材の置換率、単位結合材量、水セメント比、養生温度等によって異なるので、構造物と同じ状態で養生したコンクリート供試体の圧縮強度によって求めることが望ましい。混合セメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に積算温度^{注)}の対数と直線関係にあることが確認されており、養生日数や型枠取外し時期の適否において参考にすることができる。

注)：積算温度・・・コンクリートの強度発現などを評価するために用いられる指標で、コンクリート温度 (θ) とその温度に保たれる時間 (Δt) の積を関数とする量。わが国では、 0 度以上の場合に対し、次式を用いることが多い。

$$\text{積算温度 } M = \sum (\theta + 10) \Delta t$$

解説 表 3.14.1 激しい気象作用を受けるコンクリートの養生終了時の所要圧縮強度の標準 (N/mm^2)

断面 構造物の露出状態	断 面		
	薄い場合	普通の場合	厚い場合
(1) 連続して、あるいはしばしば水で飽和される場合	15	12	10
(2) 普通の露出状態にあり、(1)に属さない部分	5	5	5

3.15 温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物の施工計画

3.15.1 一般

- (1) 2.3.2(1)に示されているコンクリート構造物の施工にあたっては、設計段階で検討された温度ひび割れ制御対策の効果が十分に得られ、構造物にとって有害となるひび割れが発生しないように、コンクリートの材料および配合、製造、打込み、養生、型枠、ひび割れ誘発目地等について、適切な計画を定めなければならない。
- (2) 施工計画段階で検討された状況が、設計段階の温度ひび割れ解析で用いた条件と大きく異なる場合には、施工計画段階で再度、温度ひび割れ解析を実施し、あらためて温度ひび割れ対策を検討しなければならない。
- (3) (1)および(2)において技術的、経済的、構造物の重要度を総合的に勘案し最善の方法を考慮しても、有害となるひび割れの発生を確実に制御することが困難と判断されるような状況が生じた場合には、そのひび割れの発生を想定して、施工計画段階でひび割れ補修計画を策定しておくのがよい。

【解 説】 (1)および(2)について 2.3.2 (1)には、温度ひび割れ照査の対象となる構造物が示されている。これらの温度ひび割れの照査対象となった構造物におけるコンクリートの施工にあたっては、設計段階で検討された温度ひび割れ対策がその効果を有効に発揮できるような施工計画を立案しなければならない。ただし、コンクリート構造物の温度ひび割れは、部材寸法が大きいコンクリート構造物に認められるのが一般的であるが、単位セメント量が多いコンクリートが用いられる場合には、2.3.2(1)で示された範囲未満の比較的薄い部材でも拘束条件によっては有害な温度ひび割れが発生する可能性がある。このようなコンクリート構造物においても温度ひび割れに対する適切な対策を講じなければならない。

温度ひび割れを制御するためには、設計段階で実施する温度ひび割れに関する検討結果に従い、コンクリートの材料および配合の適切な選定、コンクリートの製造時、運搬時および打込み時の温度管理、ひび割れ誘発目地の設置、ひび割れ制御鉄筋の配置など、コンクリートの配合設計および製造の各段階で対策を講じるのが前提である。施工段階においては、これらの対策が講じられたうえで、さらにコンクリートの打込み、養生、型枠、ひび割れ誘発目地等の具体的設定について、適切な対策を講じなければならない。また、打込み時および硬化過程でのコンクリートの温度管理が重要であり、硬化過程の温度測定は、コンクリート構造物の内部温度が外気温に近づくまで実施することが望ましい。特に、類似構造物を繰り返し施工する場合には、先行して施工された構造物の温度計測データが以後の温度ひび割れ対策等の参考となる。

なお、施工計画段階で想定する実施工時の環境条件や気象条件あるいはコンクリートに使用する材料などが、設計時に想定したものと大きく異なる場合は、施工計画段階で再度、温度ひび割れ解析を実施することで設計段階で検討された温度ひび割れ対策の妥当性を検討し、これが対策として不十分と判断された場合は、解析結果に基づき、有害なひび割れが発生しないような対策方法をあらためて計画しなければならない。

(3)について 過度の温度ひび割れは施工欠陥の 1 つであり、供用中のコンクリート構造物の耐久性や水密性を低下させる原因となるため、このような問題が生じるような有害なひび割れとならないように、

設計や施工に配慮して適切に制御することが原則となる。その一方で、現状の技術レベルでは、温度ひび割れの発生を確実に予測できるまでには至っていない。このため、種々の不確定要素なども考慮すると、設計段階および施工段階それぞれで最善の対策を選択したとしても、有害なひび割れを完全に制御できないと想定される状況もある。施工計画段階でこのような状況が生じた場合には、施工中や施工後に有害なひび割れが発生した後にその対応を考えるのではなく、問題となるようなひび割れが発生した場合を想定したひび割れ補修計画を施工計画段階で策定しておくことが、実際に問題が生じた場合の迅速かつより適切な対応に繋がることになる。その際は、対策が困難である理由も併せて明示することが望ましい。

3.15.2 材料および配合

温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物は、コンクリートに要求される所要の品質が確保される範囲で、コンクリートの温度上昇をできる限り低く抑えるように、コンクリートの材料および配合を選択しなければならない。

【解 説】コンクリートに発生する温度ひび割れは、セメントの水和熱によってコンクリートの温度が大きく上昇することに起因して生じる。したがって、このひび割れの発生を抑制するための最も直接的な方法は、コンクリートの温度上昇量を低く抑えることであり、コンクリートの材料および配合の面からは、単位セメント量を少なくすることや水和熱の小さい低発熱型のセメントを使用するなどの方法が挙げられる。設計段階に、温度ひび割れ対策を考慮してコンクリートに使用する材料や配合が設定されている場合は、施工計画段階では、これら設計段階で設定された条件によって、所定の温度抑制効果が得られること、ならびにコンクリートに要求されるその他の性能、すなわち、強度、耐久性、施工性などに影響を及ぼさないことを適当な方法で確認しておかなければならない。

一方、温度ひび割れ発生について検討が必要な構造物あるいは部材で、設計段階での検討結果からはひび割れ発生の可能性が少ない、あるいは発生しても許容範囲のひび割れであると評価された場合でも、解析結果の不確実性や施工時の気象条件の変動などを考慮して、状況に応じてより確実にひび割れの抑制が可能となるようなコンクリートの材料や配合を施工計画の中で検討しておくことも重要である。

水和熱を抑制するための配合条件あるいは、水和熱の小さいセメントの種類や水和熱を抑制するための混和材料の使用方法などについては、第4章「コンクリートの材料および配合」を参照するとよい。なお、水和熱の小さい低発熱型のセメントを用いる場合は、強度発現が遅いので、強度保証材齢を延長するなどの措置が必要となることもある。この場合は、事前にそのセメントの強度発現特性を試験などにより検討し、その結果に基づいて強度保証材齢を設定する。

3.15.3 打込み

- (1) 部材断面が大きい構造物のコンクリートの打込みを行う場合は、温度ひび割れ制御のための放熱条件と拘束条件、1回のコンクリート打込み可能量をはじめとする施工上の諸条件等を総合的に勘案し、打込み区画の大きさ、打上り高さ、施工継目の位置および構造、打継ぎ間隔などについて適切に計画しなければならない。
- (2) 温度ひび割れが発生するおそれのある構造物において、コンクリートの打込み温度が、設計時に検討された温度ひび割れの照査（温度応力解析）の際に想定した値を大きく上回るおそれがある場合は、計画に反映しなければならない。

【解 説】(1)について 部材断面が大きい構造物にコンクリートを打ち込む場合は、一般に大量のコンクリートをいくつかのブロックに分割して打ち込むことが多いので、施工継目が必要になる。打込み区画の大きさ、打上り高さ、施工継目の位置および構造、打継ぎ間隔は、温度ひび割れ制御のための放熱条件と拘束条件、1回のコンクリート打込み可能量をはじめとする施工上の諸条件等を総合的に勘案して検討する。

打込み区画について：温度ひび割れの制御にとって有利なコンクリートの打込み区画（ブロック割）は拘束条件によって異なってくるので、コンクリートの施工能力、水平打継目の処理に対する施工上の繁雑さおよび欠陥の生じやすさなどを総合的に検討し、適切なブロック割を定める。

打上り高さについて：コンクリートの一回の打上り高さは、構造物の外部拘束の条件や規模など施工に関する諸条件を考慮して定める。

温度応力のうち、断面の表面温度と内部温度の温度差によって生じる内部拘束応力の抑制には、内部の温度上昇を抑えかつ表面からの急激な放熱も抑えることが重要である。1回の打込み高さは小さい方が温度上昇を低減できる。一方、セメントの水和熱による温度上昇で膨張したコンクリートがその後の温度降下によって収縮に転じる際、その収縮が外部から拘束されると外部拘束応力が生じる。この応力の抑制には、コンクリートの温度降下速度を抑制するとともに、外部拘束力を低減させることが重要である。したがって、打込み高さ（H）に対する外部拘束面の長辺長さ（L）の比率（L/H）を小さくすると拘束力を低減させる効果があり、打ち込み高さが小さい方が効果的とはいえない。このため、温度ひび割れ抑制の観点からの1回の打込み高さは、内部拘束応力と外部拘束応力の両者を検討し、適切な高さを選定することが重要である。

橋梁のフーチングなどの場合には、高さ数メートルのブロックを1回で施工することがあり、このような場合は内部拘束力によるひび割れが表面に発生しやすくなるので、後記の「3.15.4 養生」に従って内外部に大きな温度差をつけない表面の保護養生などの適切な対策を講じる必要がある。

継目について：マスコンクリートにおける継目の位置および構造に関しては、一般の場合と同様に、構造耐力、耐久性、水密性等に考慮して、計画する必要がある。詳細は「3.9 継目の計画」に示すので、これを参考にするとよい。

打継ぎ間隔について：マスコンクリートをいくつかの平面的なブロックあるいは複数のリフトに分けて打ち込む場合、新しく打ち込まれたコンクリートは、旧コンクリートの拘束を受けるため、温度変化に応

じて応力が発生する。この応力は新旧コンクリートの有効ヤング係数および温度の差が大きくなるほど大きくなるので、新旧コンクリートの打継ぎ間隔をあまり長くすることは避けるのがよい。一方、岩盤など拘束度の大きなものの上に数層にわたってコンクリートを打継いでいく場合は、打継ぎ間隔を短くしすぎると、リフト厚さなどの条件によってはコンクリート全体の温度が高くなり、外部拘束によるひび割れが発生する可能性が大きくなる場合もある。実際に、岩盤や既に打ち込まれたコンクリートによる拘束が大きいダム建設において、1 リフトの高さを 1.5m とした場合は、5 日間隔で打ち込むことが標準とされている。また、このような構造物において、打継ぎ間隔が長くなるような場合は、既に打ち込まれたコンクリートから受ける外部拘束に配慮して、1 回の打上り高さを通常の半分程度にするなどの対策を講じることが必要である。

このように、打継ぎ間隔は温度応力に大きく影響を与えるので、他の対策とともに十分な検討を行って設定する必要がある。

(2)について 温度ひび割れが発生するおそれのある構造物では、打込み時のコンクリート温度が高くなると温度上昇速度が大きくなるので、構造物の最高温度はますます高くなり、温度応力も大きくなる傾向がある。したがって、打込み後のコンクリートの温度を制御し、温度応力の値を低減させるためには、打込み前のコンクリートの温度管理がきわめて重要となる。このため、打込み時のコンクリート温度が、温度ひび割れの照査（温度応力解析）の際に想定した値を 3～5℃以上上回る場合には、事前に対策を検討する必要がある。

打込み時のコンクリート温度が予測値を上回るおそれがある場合の対策について：打込み時のコンクリート温度は、外気温、風、直射日光など打込み当日の環境条件の影響を大きく受ける。したがって、環境条件から判断して打込み時の温度が予測値を上回るおそれがある場合は、適切な対策を講じる必要がある。打込み時のコンクリート温度に関しては、施工現場で対策を講じることが困難であり、コンクリートの製造時に対策を講じるのが一般的である。コンクリートの製造時における対策としては、水、骨材などの材料をプレクーリングする方法がある。また、1 日のなかで気温が低い時間帯を選定して打込みを行うことも有効な対策である。どうしても施工現場で対策を講じなければならない場合は、特殊な対策として液体窒素などの冷媒をミキサやトラックアジテータのドラム内に吹き込む方法などもある。なお、種々の対策を講じて打込み温度が想定値を上回るおそれがある場合は、ひび割れの発生を考慮し、コンクリートの使用材料、打込み区画、打込み時期、養生期間および方法、事後の補修等について計画の見直しを行う。

3.15.4 養 生

- (1) 温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物の養生は、できるだけ温度上昇を抑制するような対策を講じなければならない。
- (2) 外部拘束が卓越するコンクリート構造物の養生は、部材全体の温度降下速度が大きくなりすぎないよう、適切な方法および期間を選定するのがよい。
- (3) 内部拘束が卓越する部材断面が大きいコンクリート構造物の養生は、コンクリート部材内外の温度差が大きくなりすぎないようにコンクリート構造物の表面が急冷されることのない養生方法および期間を

選定するのがよい。

【解 説】(1)について 温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物の養生は、直射日光を避けることや散水等により、できるだけ温度上昇を抑えるような対策を講じなければならない。

(2)および(3)について 外部拘束により発生するひび割れに配慮して、部材全体の温度降下速度が大きくならないよう配慮する必要がある。ただし、部材断面が大きいコンクリート構造物の場合は、内部拘束により発生するひび割れに対して、コンクリート部材内外の温度差が大きくならないよう表面が急冷されない配慮が必要である。したがって、養生を行うにあたっては、構造物の種類、コンクリート温度上昇および降下性状、外気温等を考慮して、適切な方法および期間を選定するのがよい。

温度ひび割れ対策としての養生方法について：構造物の内部と表面の温度差に急激な変化が生じないようにするための方法としては、壁状構造物などの鉛直部材の場合では木製型枠など断熱性の高い型枠の使用や断熱性の高い材料等を用いて型枠を覆うなどの保温養生が有効である。また、ベースマット状の構造物では湛水養生も効果がある。これらの方法の選定にあたっては、構造物の形状・寸法、経済性およびその効果について十分に検討して決定する。なお、外部拘束が卓越する構造物の施工においては、部材全体の温度降下速度が大きくならないよう、通常の場合よりも養生期間を長くするなどの配慮が必要である。

パイプクーリングについて：部材断面が大きい構造物におけるコンクリートの打込み後の温度制御方法の一つとしてパイプクーリングがある。一般にパイプクーリングは、初期材齢における内部温度の最大値を下げる目的と、温度降下時には構造物のおかれる平均的な温度まで徐々に内部温度を降下させることを目的として実施される。パイプクーリングはコンクリート内に埋め込まれたパイプに冷却水または自然の河川水等を通水することにより行われる。パイプクーリングの実施はコンクリート温度上昇時に行い、パイプの配置間隔は50～100cm程度とすると有効である。構造物の形状や配筋状態および施工方法によってパイプクーリングが可能な場合は、温度ひび割れ対策の一つとして検討するとよい。

3.15.5 型 枠

温度ひび割れが発生するおそれがあるコンクリート構造物に用いる型枠の材料、型枠の取外し時期などは、部材の表面付近の温度勾配を大きくしないよう適切に選定するのがよい。

【解 説】 型枠材料は、構造物の種類、形状、配合、気象条件などを考慮して選定する必要がある。内部拘束が卓越する構造物において、コンクリートの内部と外部の温度差を小さくするためには、熱伝導率の小さい木製型枠の使用が有利である。また、寒冷時には断熱性の高い材料で表面を被覆した型枠を用いることも効果がある。

部材厚が1m程度以上のマスコンクリートでは、脱型時のコンクリート温度が外気温より相当高い時期に型枠を取り外すと、コンクリートが急冷されてその表面にひび割れが発生する場合もある。特に、木製型枠や断熱性の高い材料で表面を被覆した型枠を用いたときにはその危険性が高くなる。そのような場合

には、脱型時期を遅くするか、コンクリートの表面をシート等で覆ってコンクリートが徐々に冷やされるようにするなどの対策を講じる。

3.15.6 ひび割れ誘発目地

温度ひび割れを制御するためにひび割れ誘発目地を設ける場合は、「3.10 ひび割れ誘発目地の計画」による。

【解 説】 一般に、部材断面が大きい壁状の構造物などに発生する温度ひび割れを材料、配合上の対策のみにより制御することは難しい場合が多い。そのような場合、構造物の長手方向に一定間隔で断面減少部分を設けてその部分にひび割れを誘発し、その他の部分でのひび割れ発生を防止するとともに、ひび割れ箇所での事後処理を容易にする方法がある。ひび割れ誘発目地の具体的な設定方法は、本指針「3.10 ひび割れ誘発目地の計画」に準じる。

3.15.7 ひび割れの補修

施工計画段階で策定する温度ひび割れの補修計画は、補修後の構造物あるいは部位・部材の要求性能が確実に発揮できるよう適切に定めるのがよい。

【解 説】 設計段階や施工段階で温度ひび割れ抑制対策を施しても完全にはその発生を防止できない場合には、「3.15.6 ひび割れ誘発目地」に示すように、ひび割れ誘発目地を設置してひび割れを目地に誘導する対策をとることが望ましい。ただし、温度ひび割れの発生は、コンクリート打設時の気温や湿度、コンクリートの施工あるいはその後の養生状態などの影響も受けるため、設計時に解析によってひび割れ発生位置を確実に特定することは容易ではない。また、部材の構造上の特徴から、必ずしも解析上要求する位置に目地を設置できない場合などもあり、実際には、過去の経験と部材の構造上の特徴などを考慮しながら、ひび割れ誘発目地の配置を決定せざるを得ない状況にある。このことは、ひび割れ誘発目地を設定しても、その位置にひび割れを誘導できず、コンクリート本体にひび割れが発生する場合もあることを意味する。また、解析条件と実際の状況との差異や解析手法の精度の問題、あるいは施工後の比較的早い段階で発生する可能性のある自己収縮や乾燥収縮の影響などによって、設計時の解析ではひび割れ誘発目地の必要がないと判断された部材においてひび割れが発生する可能性も完全には否定できない。

以上のことから、温度ひび割れの発生が懸念され、その対応をあらかじめ設計段階で検討した構造物あるいは部位・部材であっても、ひび割れ誘発目地の設置の有無にかかわらず、施工計画の中にはコンクリート本体にひび割れが発生した場合の補修計画を定めておき、もし、ひび割れが発生した場合には、その計画に従って適切な補修を行うようにするとよい。なお、この補修計画の中では、補修材料や工法の選

定方法および、施工にあたって考慮すべき点を示すのみではなく、ひび割れの発生についての情報を適切に収集するためのひび割れ調査時期や期間、調査位置および調査方法ならびに、補修の可否を判定する基準などについても明記しておくといよい。

補修の可否の判定基準は、構造物の立地条件などを考慮して、構造物の耐久性や漏水などの使用性の観点から許容できるひび割れ幅などを設定するとよい。国土交通省では、発生したひび割れの記録を残し、耐久性や美観の観点からひび割れの進行性の有無を判断した上でひび割れ幅が 0.2mm 以上の場合は、有識者の意見に基づく措置を施すこととしている。

また、内部拘束が卓越して発生したひび割れのように部材断面を貫通しないと考えられる温度ひび割れ、あるいは外部拘束が卓越し部材断面を貫通しているが、特に水密性について考慮する必要のない温度ひび割れなどの場合には、内部鋼材の腐食の観点から許容ひび割れ幅を設定するとよい。なお、その際には、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕に「鋼材の腐食に対する許容ひび割れ」についてかぶりを指標として求める手法が規定されているので参考にするとよい。

一方、水密性の観点からは、貫通性のひび割れが発生した場合は、その要求レベルが高い構造物で 0.05mm 程度、一般レベルで 0.1mm 程度とするのがよい。また、貫通性のひび割れではないが水密性が要求される場合には、その要求レベルに応じて、0.1～0.2mm 程度を許容値とするのが妥当である。

なお、これらの場合に対象となるひび割れ幅は、各ひび割れにおける最大ひび割れ幅とする。通常、打設高さ方向に発生した内部拘束ひび割れの場合には、打設高さの中央部で最大値を示す場合が多い。また、下部に外部拘束を受けることにより発生したひび割れについては、拘束を受けている部分から上方 1m 程度までの範囲内で最大値を示すことが多い。したがって、これらのことを考慮に入れて、最大値を示すと思われる個所の周辺を 5～10cm 程度の間隔で 5 か所程度測定し、その平均値をそのひび割れの最大ひび割れ幅としてよい。

ひび割れ幅に応じた補修工法の選定方法については、日本コンクリート工学協会「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」などを参考にするとよい。温度ひび割れに施工後比較的早い段階で発生する自己収縮あるいは乾燥収縮の影響が加味された場合には、1 カ月から長い場合には数カ月にわたりひび割れの進展や幅の拡大が生じる場合がある。このような場合には、ひび割れ状況に変化が見られなくなってから補修を実施することなども、補修計画の中で考慮しておく必要がある。さらに、ひび割れ幅は、季節によっても変動するため、あらかじめその変動幅を把握し、状況に応じた補修時期や補修材料を選択することも必要となる。

4 章 コンクリートの材料および配合

4.1 総 則

コンクリートの材料および配合は，設計図書に示された構造物の要求性能を満足するコンクリートの性能を確保できるよう，製造プラントの制約条件および経済性などを考慮してこれを選定しなければならない。

【解 説】 コンクリートの材料および配合は，建設する構造物が所要の性能を満足するように適切に選定する。また，コンクリートの材料および配合の選定に際しては，土木工事共通仕様書，土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準〕第 3 章に示される内容により，コンクリートが設計段階で設定された構造物の要求性能を満足することを確認しなければならない。

4.2 コンクリートの品質

- (1) コンクリートは，構造条件，施工条件，環境条件に応じてその運搬，打込み，締固め，仕上げ，脱型などの作業に適する施工性能を有していなければならない。
- (2) コンクリートは，設計段階で設定された構造物の要求性能に応じて適切な強度や耐久性能を有していなければならない。
- (3) 構造物に用いるコンクリートは，有害なひび割れが発生しないことを確認したものでなければならない。
- (4) コンクリートは，その内部に配置される鋼材が供用期間中，所定の機能を発揮できるように鋼材を保護する性能を有していなければならない。
- (5) 練混ぜ時にコンクリート中に含まれる塩化物イオンの総量は，原則として 0.30kg/m^3 以下とする。

【解 説】 (1)について 所要の性能を有するコンクリート構造物を構築するためには，打込むコンクリートが施工条件，構造条件，環境条件を考慮した適切な施工性能を有している必要がある。したがって，コンクリートの施工性能は，土木工事共通仕様書に従い，また土木学会 コンクリート標準示方書〔施工編〕および〔施工標準〕を参考にして，種々の条件に応じて適切に設定する。

コンクリートの充てん不良について：コンクリートの施工性が不十分な場合に生じる代表的な不具合の種類として，コンクリートの充てん不良が挙げられる。コンクリートの充てん不良が生じる原因としては，配筋状態に即した適正なスランプ（フロー）が設定されていないこと，コンクリート打込み時に材料が分離することなどが挙げられる。したがって，コンクリートの充てん不良の発生を防止するためには，本指

針第3章3.1に示した打込み時の最小スランプを適切に設定することが重要である。

コンクリート打込み時に材料分離が生じやすく良好な性状を安定して得ることが困難な場合は、AE減水剤、高性能 AE 減水剤などを適切に使用し、適正なコンクリートの単位水量の設定と空気量を混入させることが有効である。

なお、高密度配筋状態、複雑な断面形状、断面寸法の小さい部材へコンクリートを打ち込む場合で、締固めが不可能または十分な締固めが期待できない場合には、流動化コンクリートまたは高流動コンクリートの適用を検討することが望ましい。

(2)について 建設する構造物が所要の性能を満足するためには、コンクリートが所要の性能を保持していなくてはならない。九州地区で考慮すべきコンクリートの強度や耐久性に関する要求性能の種類としては、圧縮強度、中性化速度係数、塩化物イオンに対する拡散係数、耐化学的侵食性、耐アルカリ骨材反応性などがあり、設計段階で示された構造物の要求性能に応じて、コンクリートの品質で考慮すべき項目を適切に選定し、それぞれ所要の性能を満足することを事前に確認しなくてはならない。

圧縮強度について：コンクリートの圧縮強度は、セメント水比と直線関係にあることが知られている。したがって、所定のコンクリート強度が得られる適切な水セメント比を選定する。

ただし、現場におけるコンクリートの圧縮強度はある程度変動することが避けられないので、現場におけるコンクリートの品質変動を考慮に入れた適切な安全係数を用いて、コンクリートの水セメント比を選定する必要がある。

中性化速度係数について：コンクリートの中性化速度係数は、水セメント比が小さくなるほど小さくなることが一般的に知られており、設計段階での性能照査結果を基本に、適切な水セメント比を選定することが重要である。国土交通省では鉄筋コンクリートの場合、コンクリートの水セメント比（または水結合材比）は 55%以下に設定することが基本である。通常的环境下の構造物に対しては、この基本を守りかつ適切なかぶりが確保されていれば、中性化に対する耐久性は確保されと考えられる。

塩化物イオンに対する拡散係数について：海洋構造物および凍結防止剤が散布されることが予想される構造物に対しては、塩化物イオンの侵入によりコンクリート中の鋼材が腐食しないことの照査を行う必要がある。したがって、設計段階で照査された結果を基本に、コンクリートの水セメント比（または水結合材比）の設定およびかぶりを確保することが重要である。土木学会コンクリート標準示方書[設計編]に示された塩害に対する照査では、高炉セメント（あるいは高炉スラグ微粉末）を用いたコンクリートの塩化物イオン拡散係数は小さく、塩化物イオン侵入抑制効果が認められており、塩害のおそれがある構造物への適用に有効である。また状況によっては、コンクリート表面の塗装、鋼材の防錆対策等も考慮しなければならない。

コンクリートのアルカリ骨材反応の抑制対策について：九州地区にはアルカリ骨材反応性を有する骨材がかなり存在している。したがって、九州地区に建設するコンクリート構造物は、その構造物がおかれる環境および使用する骨材のアルカリ骨材反応性を適切に評価するとともに、適切なアルカリ骨材反応抑制対策を講じる必要がある。アルカリ骨材反応の抑制対策としては、①コンクリート中のアルカリ総量の抑制、②混合セメント（高炉セメント B 種、フライアッシュセメント B 種）の使用が挙げられる。土木工事設計要領では、適用できる工種（橋梁上部工を除く）には高炉セメント B 種を使用することを標準としている。従来使用されてきた安山岩などの反応性骨材より、さらに反応性が高い可能性があるガラス質骨材の場合は、通常の場合よりもアルカリ骨材反応性の抑制効果が高い方策とする必要がある。ただし、骨材は、その採取場所やロットによってアルカリ骨材反応性が異なるのが一般的であり、事前に使用する骨材

のアルカリ骨材反応性を確認し、その抑制対策を決定することが重要ある。

コンクリートのアルカリ骨材反応性の評価方法について：アルカリ骨材反応性の評価方法に関して、従来の化学法やモルタルバー法では海洋環境や凍結防止剤の使用地域などのように外部からアルカリ分の侵入がある場合には適切に評価ができない可能性がある。これらの地域では、コンクリート中のアルカリ総量の規制では対応できず、現状の高炉セメント B 種(例えば高炉スラグ混合率が 40%)やフライアッシュセメント B 種(例えばフライアッシュ混合率が 15%)でもアルカリ骨材反応抑制が十分ではない可能性がある。その場合は、さらにスラグやフライアッシュの混合率が多い混合セメントが適当であるとされている。アルカリ骨材反応性の評価は、使用環境を考慮した適切な方法により行わなければならない。

コンクリートの化学的侵食による劣化について：化学的侵食によるコンクリートの劣化は、劣化外力の種類や程度が供用環境によって異なるのが一般的である。したがって、現状では、環境劣化外力の強さに応じて、要求するコンクリートの耐化学的侵食性の程度を変えることが妥当である。一般に、酸性雨などの影響を受ける環境や海洋環境のように侵食作用が比較的穏やかな場合は、コンクリートの劣化が顕在しないことを、また、下水道環境や温泉環境などのように侵食作用が厳しい場合は、コンクリートの劣化が構造物の所要の性能に影響を及ぼさない程度であることをコンクリートに要求される耐化学的侵食性の標準とするのがよい。下水道環境や温泉環境などの侵食作用が非常に激しい部分に劣化が顕在化しないことをコンクリートの性能に求めるのは難しいが、このような性能が必要となる場合は、防食材料で被覆する防食処理や硫酸化細菌の活動を停止させる防菌剤（抗菌剤）の塗布などの方法がある。

(3)について 所要の性能を有するコンクリート構造物を構築するためには、有害なひび割れの発生を防ぐ必要がある。コンクリート構造物に発生するひび割れの主な原因としては、フレッシュコンクリートの沈下、プラスチック収縮、セメントの水和熱による温度応力、乾燥収縮、自己収縮などが挙げられる。そのうち、沈下ひび割れに関しては、コンクリートの打込み後適切な時期にタンピングを施すことが、また、プラスチック収縮ひび割れに関しては、コンクリートの打込み後に表面からの急速な乾燥を防ぐことが、それぞれひび割れの発生を防ぐうえで有効である。

温度ひび割れについて：温度ひび割れは、設計段階においてコンクリートに有害なひび割れが発生しないことを照査しなければならない。有害なひび割れが発生すると予測される場合は、照査を満足するよう適切な対策を講じることが必要となる。一般に、温度ひび割れを抑制するには、コンクリートの温度上昇量を低く抑えることおよび温度上昇速度を抑える必要がある。コンクリートの材料と配合の面からコンクリートの温度上昇を低く抑えるには、単位セメント量を少なくする、コンクリートの打設温度を下げる、設計基準強度を保証する材齢を長くとり、低発熱型のセメントを使用するなどの方法が挙げられる。

単位セメント量は、単位水量と水セメント比から決定するのが一般的である。このため、単位セメント量を少なくするには、単位水量を少なくすることが重要である。単位水量を少なくするには、使用する混和剤の種類および量を適切に選定する必要がある。また、可能であれば、粗骨材の最大寸法を大きくする、コンクリートのスランプを小さく設定する、配合強度を低くすることなども有効な方法である。

低発熱型のセメントとしては、低熱高炉セメント、中庸熱フライアッシュセメント、低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントなどがあり、設計段階で低発熱型セメントの指定がある場合には適切に選定しなければならない。

一般に、低発熱型セメントは、普通ポルトランドセメントと比較して、水和発熱速度が緩やかで、長年にわたって強度発現が認められることなどの特徴を有する。したがって、低発熱型セメントを使用する場合は、設計基準強度を保証する材齢を、一般的な 28 日よりも長期な 56 日や 91 日に設定することで、所

定の強度を満足するために必要な水セメント比を大きく設定することができ、単位セメント量を少なくできるため、温度ひび割れの抑制対策には有効な方法の一つである。ただし、設計基準強度を保証する材齢は長期に設定するものの、施工管理上はより短い材齢（例えば 28 日）で強度管理を行うことが必要な場合もある。この場合は、あらかじめ試験練りなどにより長期材齢と短期材齢の強度の関係式を調査しておく判断するといふ。

それ以外の対策として、膨張材の使用によりひび割れを制御する方法もある。

収縮に起因するひび割れについて：乾燥収縮によってコンクリートの表面に発生したひび割れは、構造物の美観を損ない、コンクリートの気密性を低下させる原因となる。乾燥収縮は、一般に単位水量の影響が最も大きく、単位水量が多いほど大きくなることが知られている。したがって、乾燥収縮の低減には、コンクリートの単位水量が出来るだけ少なくなるよう材料および配合を選定する必要がある。

また、水セメント比が小さい（単位セメント量が多い）コンクリートの場合は、セメントの水和に起因した自己収縮によるひび割れが発生することがあるので注意を要する。

乾燥収縮および自己収縮に共通した収縮量低減対策としては、収縮低減剤や膨張材の使用が挙げられる。これらの材料を使用する場合は、事前にその効果を試験により確認し、使用方法を決定する必要がある。

(4) について コンクリートは、その内部にある鋼材を、外部からの腐食因子や火災等の熱から保護する機能を有する。内部の鉄筋等の補強用鋼材が腐食すると構造物の耐久性は著しく低下する。鋼材の腐食に大きく影響するコンクリートの性能は中性化速度および塩化物イオンの拡散速度である。このような観点から、解説 (2) についてで示した照査とその結果による対策を取らなければならない。中性化および塩化物イオン拡散速度のいずれにも、コンクリートの水セメント比（水結合材比）とかぶりの確保が重要となる。

(5) について 塩化物イオンがコンクリート中にある限度以上存在すると、コンクリート中の鋼材の腐食が促進され、構造物の耐久性が早期に低下する。この塩化物イオンは、海洋環境や凍結防止剤の散布など外部環境からコンクリート中に浸入する場合のほか、セメント、骨材、混和剤あるいは練混ぜ水などから供給される場合もある。したがって、これら各材料からのコンクリートに供給される全塩化物イオン量を鋼材が腐食しない範囲に規制することが重要である。この規制値塩化物イオン量 0.3kg/m^3 以下という値は、鋼材の腐食が絶対に生じないことを保証するものではなく、既往の研究や調査結果に基づいて、鋼材の腐食によるコンクリート構造物の劣化を容認できる程度以下に抑え得る実現可能な値として定めた。

4.3 コンクリートの性能照査

4.3.1 一般

- (1) 選定した材料と配合によるコンクリートが、設計段階における構造物の性能照査を満足する性能を有していることを確認しなければならない。
- (2) コンクリートが要求性能を満足していることの確認は、土木学会 コンクリート標準示方書に示される方法により行うものとする。

【解 説】(1)および(2)について コンクリートの性能照査は、原則として土木学会 コンクリート標準示方書〔施工編〕および〔施工標準〕に記載されている方法に従って実施する。照査する性能としては、強度、中性化速度係数、塩化物イオンに対する拡散係数、相対動弾性係数、耐化学的侵食性、耐アルカリ骨材反応性、透水係数、耐火性、断熱温度上昇特性、乾燥収縮特性、凝結特性があり、構造物の要求性能に応じて照査項目を適切に選定する。また、照査の結果、設定された性能を満足しない場合は、コンクリート材料の選定や配合を変更し、再度照査する。これらの結果、合理的にコンクリートの配合が行えない場合は、少なくとも構造条件、使用材料、補強材の条件、製造条件、施工条件、維持管理条件などの一部が適切でないということである。

4.3.2 耐アルカリ骨材反応性の照査

- (1)耐アルカリ骨材反応性の照査は、アルカリ金属イオンが供給される環境を考慮して、適切な方法により行わなければならない。
- (2)過去に使用実績があり、かつ一定の品質が確保されることを確認した骨材を使用する場合は、効果が確認された適切な対策を講じることによって、耐アルカリ骨材反応性の照査を省略することができる。

【解 説】(1)および(2)について 耐アルカリ骨材反応性の照査は、骨材自体もしくはコンクリートやモルタルを用いた促進試験方法により行われるのが一般的である。現在、わが国で用いられているアルカリ骨材反応の試験方法としては、化学法、モルタルバー法、迅速法等が挙げられる。しかし、これらの方法は、外部から侵入するアルカリ金属イオンの影響は考慮していないので、海洋環境や凍結防止剤の使用地域などのように外部環境からアルカリ金属イオンの供給がある場合には適切な評価が行えない可能性がある。したがって、外部環境からアルカリ金属イオンが混入する可能性がある場合は、実構造物で想定されるアルカリ供給条件を適切な方法で再現した試験を実施する必要がある。また、同じ骨材であっても試験法（JIS 化学法、JIS モルタルバー法、ASTM 法など）によって判定が異なることが報告されている。

骨材は、岩種が同一であっても採取した場所やロットが異なれば、アルカリ骨材反応性も異なるのが一般的である。したがって、アルカリ骨材反応性の照査は採取した場所やロットごとに実施することが望ましい。ただし、過去に使用実績があり、かつ一定の品質が確保されることを確認した骨材を使用する場合は、効果が確認された適切な対策を講じることによって、耐アルカリ骨材反応性の照査を省略することができることとした。

また、セメントによる対策としては以下に示すようなものが挙げられる。

1)外部からアルカリ金属イオンの供給がない場合

- ・コンクリート中のアルカリ総量 3kg/m^3 以下とする
- ・高炉スラグの分量（質量％）が 40％以上の高炉セメントの使用あるいは高炉スラグ微粉末を 40％以上（質量％）混合した結合材とする
- ・フライアッシュの分量（質量％）が 15％以上のフライアッシュセメントの使用あるいはフライ

アッシュを 15%以上（質量%）混合した結合材とする

2) 外部からアルカリ金属イオンの供給がある場合

- ・ 高炉スラグの分量（質量%）が 50%以上の高炉セメントの使用あるいは高炉スラグ微粉末を 50%以上（質量%）混合した結合材とする

- ・ フライアッシュの分量（質量%）が 20%以上のフライアッシュセメントの使用あるいはフライアッシュを 20%以上（質量%）混合した結合材とする

ただし、ガラスを多量に含む火山岩や火山灰、および各種溶融ガラスや廃ガラスなど特殊な材料を骨材とする場合は、アルカリ刺激を受けることで高い反応性を示したり、溶解することでアルカリを放出したりすることがある。このため、これらを骨材として使用する場合は、事前に骨材のアルカリ骨材反応性を確認し、その抑制対策を決定する必要がある。

指針作成にあたって実施した試験では、フライアッシュ原粉を細骨材代替として使用することによって、もアルカリ骨材反応の抑制効果が認められており、特に条件が厳しい場合などには有効な対策の一つとなる。

4.4 コンクリート材料

4.4.1 総則

コンクリート材料は、製造するコンクリートが設計段階で示されたコンクリート性能を満足するように適切に選定しなければならない。

【解 説】 所要の性能を満足するコンクリートを作るためには適切な材料を用いることが極めて重要である。材料の適否は試験あるいは既往の実績によって判断する。また、試験により材料の適否を判断する場合は、JIS などに規定されている方法を適用する。

4.4.2 セメント

セメントは、JIS R 5210「ポルトランドセメント」、JIS R 5211「高炉セメント」および JIS R 5213「フライアッシュセメント」に適合したものを使用することを原則とし、コンクリートが所要の性能を発揮できるように適切に選定しなければならない。

【解 説】 セメントは、所要の性能のコンクリートが安定して経済的に得られるように、JIS に規定されているセメントの中から構造物の種類、断面寸法、気象条件、工事の時期、工期、施工方法等を考慮して適切に選定することを原則とする。

九州地方整備局土木工事設計要領第Ⅰ編共通編 8. コンクリート工では、橋梁上部工を除いた工種には高炉セメント B 種を使用することを標準としている。したがって、特に設計図書でセメントの種類を指定していない場合は、高炉セメント B 種を使用することを標準とする。なお、アルカリ骨材反応を抑制するためには、高炉セメント中の高炉スラグ量は 40%以上が有効とされている。また、温度ひび割れの発生原因となる水和熱による温度上昇量を抑制するためには、可能な範囲で高炉スラグ混合量を多くすることが有効であることが試験により明らかになっている。

なお、初期強度を必要とする橋梁の上部工（床版、桁など）には、普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを使用することが標準となっている。また、温度ひび割れが懸念される場合などでは、低発熱型セメント（低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、低熱高炉セメント、中庸熱フライアッシュセメント）の使用が有効である。

4.4.3 混和材料

- (1) 混和材として用いるフライアッシュは、JIS A 6201 に適合したⅠ種およびⅡ種を標準とする。
- (2) 混和材として用いる高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206 に適合したものを標準とする。
- (3) 混和材として用いるコンクリート用膨張材は、JIS A 6202 に適合したものを標準とする。
- (4) 混和材として用いるシリカヒュームは、JIS A 6207 に適合したものを標準とする。
- (5) 混和剤として用いる AE 剤、減水剤、AE 減水剤、および高性能 AE 減水剤、高性能減水剤、流動化剤、硬化促進剤は、JIS A 6204 に適合したものを標準とする。
- (6) 混和剤として用いる鉄筋コンクリート用防せい剤は、JIS A 6205 に適合したものを標準とする。
- (7) その他の混和材および混和剤は、その品質、使用方法を十分に検討して採用する。

〔解説〕 コンクリート材料としての混和材料は、その使用量の多少に応じて、混和材と混和剤に大別される。混和材としては、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、膨張材、シリカヒュームなどがあり、混和剤としては、AE 減水剤を始め各種化学混和剤が使用されている。

(1)について 品質の優れたフライアッシュは、これを適切に用いるとコンクリートのワーカビリティを改善し単位水量を減らすことができる、水和熱による温度上昇を抑制する、水密性や化学抵抗性などの耐久性を改善する、アルカリシリカ反応を抑制する等の優れた効果を発揮する。しかし、フライアッシュの品質は、原料炭の品質、ボイラ燃焼方法、捕集方法等によってかなり相違するので、JIS A 6201「フライアッシュ」に規定されたⅠ種およびⅡ種を使用することを標準とする。なお、後記の 6.4.4 骨材の項で示すフライアッシュ原粉は、細骨材代替として用いることを前提にしているため、本項の混和材料には該当しない。また、使用に際しては土木学会「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)」を参照するとよい

(2)について 急冷したガラス質の高炉水砕スラグを適切に粉砕して製造された高炉スラグ微粉末は、これを適切に用いるとコンクリートの長期強度を増進させる、塩化物イオンのコンクリートへの浸入を抑制する、水密性や化学抵抗性を改善する、アルカリシリカ反応を抑制するなどの優れた効果を発揮する。ま

た、高炉スラグ微粉末の種類によっては、ワーカビリティの改善、水和発熱速度の低減や高強度の発現にも効果を発揮する。しかし、これらの効果は、高炉スラグの化学成分、ガラス化率および粉碎した微粉末の粉末度やセメントとの置換率などによっても相違するので、JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に適合した品質のものを使用することを標準とした、また、JIS 規格に規定された高炉スラグ微粉末は3種類あるので、改善しようとする性能に応じたものを適切に使用することが重要である。なお、使用に際しては土木学会「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針」を参照するのがよい。

(3)について コンクリート用膨張材を適切に使用すれば、コンクリートの乾燥収縮、温度応力などに起因するひび割れの発生を抑制する、あるいはケミカルプレストレスを導入してひび割れ耐力を向上できる等の優れた効果が得られる。しかし、このような効果は膨張材の化学成分や構成鉱物および粉末度などによっても相違するので、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」に適合するものを使用することを標準とする。なお、使用に際しては土木学会コンクリート標準示方書・施工標準・特殊コンクリート編2章「膨張コンクリート」を参照するとよい。

(4)について シリカヒュームは、フェロシリコンおよび金属シリコンを製造する際に副生する非晶質の二酸化けい素を主成分とする球形の超微粉末である。セメントの一部をシリカヒュームで置換して適切に使用すると、コンクリートのブリーディングが小さく材料分離を生じにくい、高強度を発現できる、水密性や化学抵抗性が向上するなどの効果を発揮する。その反面、単位水量の増加、乾燥収縮の増加等の欠点も報告されている。また、その供給の大半を輸入に頼らざないので、産地、在庫期間及び製品の形態などにより、その品質はかなり相違する。したがって、JIS A 6207「コンクリート用シリカヒューム」に適合することを確かめて使用することが重要である。なお、使用に際しては土木学会「シリカヒュームを用いたコンクリートの設計施工指針(案)」を参照するのがよい。

(5)について 現在、市販されている化学混和剤の種類は多く、その品質や性能はお互いに異なっているため、工事に使用する AE 剤、減水剤、AE 減水剤、高性能減水剤、高性能 AE 減水剤および流動化剤の品質は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合したものを使用することを標準とした。JIS A 6204 では、化学混和剤をその性能により、AE 剤、減水剤（標準形、遅延形、促進形）、AE 減水剤（標準形、遅延形、促進形）、高性能減水剤、高性能 AE 減水剤（標準形、遅延形）、流動化剤（標準形、遅延形）および硬化促進剤に分類している。また、混和剤からコンクリート中に供給される塩化物イオン量の多少によって、Ⅰ種、Ⅱ種およびⅢ種に分類されている。したがって、化学混和剤を使用する場合には、その使用目的、コンクリートの凝結時間の長さあるいは硬化速度、コンクリート中の塩化物イオン量の限度などを十分に考慮して適切な種類と品質のものを選定するとよい。

(6)について 鉄筋コンクリート用防せい剤は、骨材中の塩分による鉄筋の腐食を抑制するための化学混和剤であり、現在市販されている防せい剤は、亜硝酸塩を主成分とするものが多い。長期にわたって防せい効果を発揮することは勿論、コンクリートの凝結、硬化性状や耐久性を阻害しないことが要求される。

工事に用いる防せい剤は、JIS A 6205「鉄筋コンクリート用防せい剤」に適合したものを標準とする。外部から塩化物イオンが侵入する環境下で用いる場合は、使用する防せい剤の種類、添加量と防錆効果を、あらかじめ十分に検討しておくことが望ましい。

(7)について その他の混和材料としては、ケイ酸質微粉末、石灰石微粉末、高強度用混和材および収縮低減剤などの各種化学混和剤が挙げられるが、これらの混和材料に対しては、まだ定まった品質規格がなく、またそれらの種類と使用方法も種々あるため、その使用にあたっては事前に調査、試験を行い、品質の確認と適切な使用方法を検討しなければならない。

4.4.4 骨材

4.4.4.1 一般

- (1) コンクリートに使用する骨材は、それを用いたコンクリートが所要の性能を満足することを確認したものでなくてはならない。
- (2) JIS ならびに土木学会規準などの品質規格に適合した骨材は、その品質が確かめられたものとしてコンクリートに使用してもよい。
- (3) コンクリートに使用する骨材は岩種が明確になったものを使用しなければならない。
- (4) 細骨材は、清浄、堅硬、耐久的で、適切な粒度をもち、ごみ、どろ、有機不純物、塩化物等を有害量含まないものを標準とする。
- (5) 粗骨材は、清浄、堅硬、耐久的で、適切な粒度をもち、薄い石片、細長い石片、有機不純物、塩化物等を有害量含まないものを標準とする。

【解 説】(1)および(2)について コンクリートに使用する骨材は、それを使用したコンクリートが所要の性能を満足すれば、いかなる品質のものを用いてもよいことを原則とする。ただし、JIS ならびに土木学会規準などの品質規格に適合した骨材は、その品質が確かめられたものとしてコンクリートに適用することが出来る。

本指針においては、全国的に良質な骨材資源が減少していることを鑑み、九州地区で入手可能であり、かつ、コンクリート材料として使用することが可能な低品位骨材や産業廃棄物などの未利用資源 8 種類を細骨材の代替材料として規定した。4.4.4.3 にはこれら材料の品質について、4.5.4 にはこれら代替骨材の細骨材中への置換率についてそれぞれ述べている。また、本指針において、これらの材料を骨材の代替材料として規定することで、良質な骨材資源の延命化や、規定した代替材料の利用技術の向上につながり、将来建設されるコンクリート構造物の品質確保にもつながると考えられる。

あらかじめ混合した骨材を用いる場合の取扱いについては、JIS A 5308 附属書 1 8.「骨材を混合して使用する場合」に従うこととする。

(3)について アルカリ骨材反応性の観点からは、骨材の品質が岩石学的に安定していることが重要である。アルカリ骨材反応を示す岩石中の鉱物相はおおよそ分かっており、岩石学的評価により同定できる。また、骨材が多様化しつつある現状を考えると骨材の履歴を明確にするという意義もある。一方で、複数の骨材を混合して使用する場合などでは、各々の骨材の反応膨張量が小さくとも、混合することにより単独骨材の場合より膨張量が大きくなる、いわゆるペシマム現象が生じる可能性もある。同じ産地であっても骨材の岩石学的特徴は変化することもある。したがって、コンクリート用骨材として使用するすべての種類の骨材について、定期的に骨材の岩石学的評価を行い岩種について明らかにする必要がある。特に、川砂、陸砂、海砂、川砂利、砂岩というような表記は岩石の構成鉱物を示すものではなく、アルカリ骨材反応性の観点からは適切な分類といえない。これらの場合であっても構成鉱物が明らかになるような岩石学的評価が必要である。

(4)について 細骨材の品質として、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準〕に基本的事項が示

されているので、これに従うことを原則とする。ただし、骨材の堅硬の程度については、まだ適切な試験方法が制定されていないので、その細骨材を用いて造ったモルタルまたはコンクリートの強度、その他の試験結果から判断するとよい。

(5)について 粗骨材の品質として、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準〕に基本的事項が示されているので、これに従うことを原則とする。骨材の堅硬の程度については、JIS A 1121「ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験方法」、JIS A 1126「ひっかき硬さによる粗骨材の軟石量試験方法」あるいは JIS A 1110「粗骨材の密度および吸水率試験方法」による試験またはその粗骨材を用いたコンクリートの強度試験等のうち必要な試験を行い、その結果によって判断することとする。また使用する骨材の岩種は、コンクリートの耐久性に及ぼす影響が大きいので、耐火的であるとともに強度、耐久性等を必要とするコンクリートの場合には適切な岩種の骨材を選定する。

4.4.4.2 砕砂

細骨材として使用する砕砂の品質は、JIS A 5005 の規定に適合したものを標準とし、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないことが確認されたものを使用する。

【解 説】 砕砂は、産地および製造ロットごとに品質の変動が大きいことが知られている。したがって、納入ロットごとに品質試験を実施し、その管理を適正に行う。

砕砂の産地によっては、アルカリ骨材反応性を示すものがある。したがって、これを反応性試験により確認する。

砕砂の中には微粒分を多く含んでいるものがある。微粒分が多く含まれる場合、JIS A 1109「細骨材の密度及び吸水率試験方法」に規定されているフローコーンによる方法では、表乾状態を適切に判断することが困難である。このような場合には、JIS A 1103「骨材の微粒分量試験方法」により $75\mu\text{m}$ 以下の微粒分を取り除いたものを試料とし、フローコーンにより判定するとよい。

4.4.4.3 高炉水砕スラグ

細骨材として使用する高炉水砕スラグの品質は、JIS A 5011 の規定に適合したものを標準とし、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないことが確認されたものを使用する。

【解 説】 高炉水砕スラグ細骨材は潜在水硬性を有するので、日平均気温が 20°C を越す時期には貯蔵施設において固結現象を起こし、取扱いが困難となるおそれがある。したがって、このような時期には、JIS A 5011-1 の付属書 2（参考）に示されている「高炉スラグ細骨材の貯蔵の安定性の試験法」による判定結果が A である固結しにくいものを選定することが望ましい。なお、取扱いにおいては、長期間貯蔵しないように管理する。

4.4.4.4 フライアッシュ

- (1) 細骨材として使用するフライアッシュの品質は、それをを用いたコンクリートが所要の性能を満足することを確認したものでなければならない。
- (2) フライアッシュは、貯蔵中に品質が変化したり他の物質が混入したりしてはならない。

【解 説】(1)について フライアッシュは、粉末状の非常に細かい粒子で構成されているため、通常の細骨材と同様に取り扱うことは困難である。しかし、通常の細骨材の一部をフライアッシュに置換して用いることは可能であり、本指針ではフライアッシュを細骨材の代替材料として定義し、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないことが確認されたものについては使用してもよいこととした。なお、フライアッシュは、JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」に規定されるⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種およびⅣ種に適合したものをを用いることを原則とする。

九州地区で発生するフライアッシュは、数%の未燃カーボンを含む。このため、フライアッシュを使用する場合は、適切な AE 剤を用いて事前に所定の空気量が確保できることを確認する必要がある。また、使用するフライアッシュの未燃カーボン量が、コンクリートの配合決定あるいは変更する際に用いた値に対して一定の範囲内にあり、品質が安定したものをを用いることが重要である。

フライアッシュを使用したコンクリートでは、凝結時間が遅延する場合があることが試験により明らかになっており、これはフライアッシュの細骨材置換率が増加するほど顕著に表れる傾向がある。このため、フライアッシュを細骨材の代替材料として使用する場合は、事前に施工するコンクリートのブリーディング終了時間や凝結時間を把握し、施工計画に適切に反映しなければならない。

(2)について フライアッシュの貯蔵に際しては、セメントの場合と同様に、湿気を防ぐことはもちろん、通気を避けることが必要である。

4.4.4.5 しらす

細骨材として使用する「しらす」は、事前に試験を行うとともに、過去の実績などを考慮し、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないことが確認されたものを使用する。

【解 説】 しらすは火砕流堆積物であり、南九州に大量に存在するが、密度が小さく吸水率は大きく、さらに多量の微粉末を含んでおり、骨材としては JIS 規格外のものである。しかし、既往の検討により、天然砂あるいは砕砂と混合することにより JIS 規格を満足できることが分かっている。また、単体で用いた場合でも、単位水量が増加するといった問題があるもののコンクリート用細骨材として十分に利用可能であることが示されている。また微粒分が多いという特性を活かして高流動コンクリートへの適用が検討され、実際の工事に用いられたケースもある。したがって、事前に試験を行うか、過去の実績などを考慮することで、コンクリートの要求性能が満足できる範囲であれば、しらすを細骨材としてコンクリートに

使用してよい。しらすの特徴あるいはこれを細骨材として使用する際の留意点の詳細については、
「【2004 年制定】シラスを細骨材として用いるコンクリートの設計施工マニュアル（案）」（シラスコンクリート検討委員会 鹿児島県）を参考にするとよい。

4.4.4.6 まさ土

細骨材として使用するまさ土の品質は、JIS A 5005 の規定に適合したものを標準とし、コンクリートの品質に悪影響を及ぼさないことが確認されたものを使用する。

【解 説】まさ土は、九州の北部から中部にかけて広く分布する花崗岩が風化したものであり、採取場所や風化の度合いなどの違いによって細骨材としての品質が異なるため、これを事前に確認することが必要である。既往の検討により、水洗いなどによって微粒分を除去すれば天然砂の代替材料として利用可能であることが報告されている。

4.4.4.7 その他

- (1) フェロニッケルスラグ細骨材は、JIS A 5011-2 に適合するものを標準とする。
- (2) 銅スラグ細骨材は、JIS A 5011-3 に適合するものを標準とする。
- (3) コンクリート再生骨材については、JIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」に適合するものを標準とする。
- (4) その他の骨材を使用する場合には、試験および資料等でその品質が確認され、所要のコンクリートの品質が確保されることが確認されたものとする。

【解 説】(1)について フェロニッケルスラグ細骨材は、高炉水砕スラグ細骨材と同様に、天然砂と混合して用いられる場合が多い。

(2)について 銅スラグ細骨材を用いる場合に配慮すべき事項については、土木学会「銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針」を参考にするとよい。

(3)について コンクリート再生骨材については、JIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」に適合するものを使用することを標準とする。ただし、JIS A 5022「コンクリート用再生骨材 M」に適合する骨材を使用する場合には、特記があり、その使用方法が十分に検討されていれば使用できるものとする。

(4)について 本指針に記していないその他の骨材を使用する場合には、骨材自身の品質とその変動が試験結果や信頼される資料で確認され、かつその骨材を用いたコンクリートの品質が確かめられていることが必要である。また、使用の判断に対しては専門評価機関と協議するとよい。

4.5 配合

4.5.1 総則

コンクリートの配合は、コンクリートに要求される性能を満足するとともに、国土交通省が定める各規定値を満足するよう適切に設計しなければならない。

【解 説】 コンクリートの配合は、国土交通省が定める各規定値（解説 表 4.5.1 参照）を満足するとともに、土木工事設計要領、土木工事共通仕様書および土木学会 コンクリート標準示方書〔施工編〕，〔施工標準〕によって、コンクリートが要求される性能を満足していることを確認し，決定する。

解説 表 4.5.1 国土交通省 九州地方整備局における配合に関する規定値

項目	条件	規定値
水セメント比*	鉄筋コンクリート	55%以下
	無筋コンクリート	60%以下
単位水量	粗骨材の最大寸法 20～25mm	175kg/m ³ 以下
	粗骨材の最大寸法 40mm	165kg/m ³ 以下

* セメントの一部と置換して、高炉スラグ微粉末、フライアッシュおよび膨張材を混和材として用いる場合には、水セメント比の代わりに水結合材比を用いてよい。

強度や耐久性が十分に確保できる場合でも、水セメント比の上限値の規定により、セメント量が過多になり水和発熱量が大きくなることや不経済であることなどの不合理が生じることがある。本指針では、結合材として期待できる混和材をセメントの一部と置換して使用できることとした。

なお、膨張材に関しては、ひび割れを抑制することを目的とする場合にセメントと置換して使用できることとした。ただし、膨張材を多量に混入しケミカルプレストレスを導入する場合はこの限りではない。本指針では、水結合材比として算定できる混和材種類とその使用方法は以下の3通りに規定する。

- ・ JIS A 6206 に適合した高炉スラグ微粉末を、置換率 60%以下で用いる場合
- ・ JIS A 6201 に規定されたⅠ種およびⅡ種のフライアッシュを、置換率 20%以下で用いる場合
- ・ JIS A 6202 に適合した膨張材を、20kg/m³以下でセメントと置換して用いる場合

これらの混和材を使用する場合には、あらかじめ試験練り等でコンクリートの性状が適切であることを確認するとともに、練混ぜ方法についても配慮する必要がある。

4.5.2 スランプ

- (1) コンクリートのスランプの設定にあたっては、施工のできる範囲内でできるだけスランプを小さくしなければならない。
- (2) コンクリートのスランプは、運搬、打込み、締固め等作業に適する範囲内で、材料分離が生じないように設定する。
- (3) コンクリートのスランプは、2007 年制定土木学会コンクリート標準示方書「施工編」および「施工標準」に規定された、打込みの最小スランプを適切に選定するのがよい。

【解 説】 (1)および(2)について コンクリート構造物に発生する初期欠陥を未然に防ぐためには、コンクリート構造物の形状や施工条件ごとに、施工に必要とされるコンクリートの流動性や材料分離抵抗性を設定し、適切なコンクリート配合を設定するのがよい。すなわち、スランプは、構造物の構造条件や施工条件によって、作業に適するように個々に適切な値を選定することが重要である。また、土木工事設計要領には、適用工種毎にコンクリートの打込み時に必要な標準的なスランプが示されている。したがって、コンクリートのスランプを設定するにあたっては、土木工事設計要領に示される値を基準値としたうえで、2007 年制定土木学会コンクリート標準示方書「施工標準」4 章 4.4.2 に示された構造条件や施工条件を考慮した打込みの最小スランプを適切に設定するのがよい。

(3)について コンクリートの打込みの最小スランプとは、打込み直前で現場内運搬後のスランプのことであり、現場荷卸し時のスランプの値はポンプ圧送等による現場内運搬時のスランプロス等を考慮して設定、管理しなければならない。またさらに、コンクリート練上り時のスランプはコンクリートプラントから現場までの運搬におけるスランプロス等を考慮して設定、管理しなければならない（3 章解説図 3.1.1 ～3.1.2 および 4 章 解説表 4.5.2～4.5.7 を参照）。

また、施工性を重視し過ぎて打込みの最小スランプを過大に設定すると、多量のブリーディング発生や骨材の分離等の材料分離傾向が顕著になる場合が危惧される。安易に打込みの最小スランプを大きく設定することなく、施工条件、施工方法等を適切に選定し、材料分離がなく打込みやすい適正な最小スランプを定める事が重要である（3 章解説図 3.1.1 を参照のこと）。

また、混和剤として高性能 AE 減水剤を使用すると、通常の AE 減水剤を使用したコンクリートと同程度の単位水量で、コンクリートの品質を損なうことなく幅広いスランプ値の設定が可能となる。したがって、コンクリートに要求される施工性能を勘案して適切に使用するとよい。

解説 表 4.5.2 スラブ部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

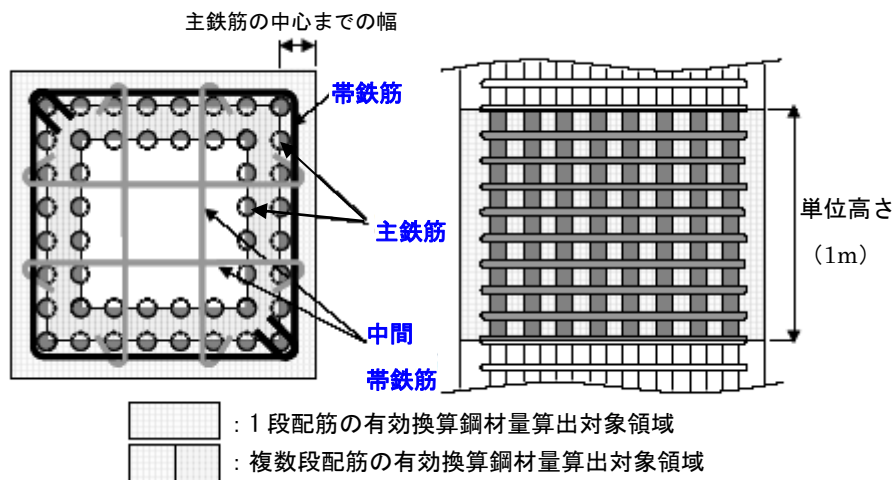
鋼材量 (kg/m ³)	鋼材の最小あき ¹⁾ (mm)	コンクリートの 投入箇所間隔	締固め作業高さ		
			0.5m未満	0.5m以上～1.5m未満	3m以下
100～150	100～150	任意の箇所から 投入可能	5	7	—
		2～3m	—	—	10
		3～4m	—	—	12

1) 鋼材量は100～150kg/m³,鉄筋の最小あきは100～150mmを標準とする.

解説 表 4.5.3 柱部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

かぶり近傍の 有効換算鋼材量 ¹⁾	鋼材の最小あき	締固め作業高さ		
		3m未満	3m以上～5m未満	5m以上
700kg/m ³ 未満	50mm以上	5	7	12
	50mm未満	7	9	15
700kg/m ³ 以上	50mm以上	7	9	15
	50mm未満	9	12	15

1) かぶり近傍の有効換算鋼材量とは, 図4.4.1に示す領域内の単位容積当りの鋼材量をいう.



解説 表 4.5.4 はり部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

施工条件	打込みの最小スランプ (cm)		
鋼材の最小あき	締固め作業高さ ^{*1)}		
	0.5m未満	0.5m以上 1.5m未満	1.5m以上
150mm以上	5	6	8
100mm以上～150mm未満	6	8	10
80mm以上～100mm未満	8	10	12
60mm以上～80mm未満	10	12	14
60mm未満	12	14	16

1) 締固め作業高さ別の対象部材例

- ・ 0.5m未満: 小はりなど, 0.5m以上1.5m未満: 標準的なはり部材, 1.5m以上: ディープビームなど
- ・ $\phi 40\text{mm}$ 程度の棒状パイプレータを挿入でき, 十分に締め固められると判断できるか否かに基づいて打込みの最小スランプを選定する.
 - (i) 十分な締固めが可能であると判断される場合は, 打込みの最小スランプを14cmとする.
 - (ii) 十分な締固めが不可能であると判断される場合は, 高流動コンクリートを使用する.
- ・ 所要の材料分離抵抗性を確保し, 密実に充てんするために, 高流動コンクリートを使用するのがよい.

解説 表 4.5.5 壁部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

鋼材量	鋼材の最小あき	締固め作業高さ		
		3m未満	3m以上～5m未満	5m以上
200kg/m ³ 未満	100mm以上	8	10	15
	100mm未満	10	12	15
200kg/m ³ 以上 5 350kg/m ³ 未満	100mm以上	10	12	15
	100mm未満	12	12	15
350kg/m ³ 以上	—	15	15	15

解説 表 4.5.6 PC 部材における打込みの最小スランプの目安 (cm)

施工条件			打込みの最小スランプ (cm)
部材の種類	平均鉄筋量 ¹⁾	呼び強度の目安	
内ケーブルを主体とした PC上部工の主桁 ³⁾	120kg/m ³ 未満 (RC換算 ²⁾ 250kg/m ³ 程度未満)	36または40	7
	120kg/m ³ 以上 140kg/m ³ 未満 (RC換算 ²⁾ 250～300kg/m ³ 程度)		9
	140kg/m ³ 以上 170kg/m ³ 未満 (RC換算 ²⁾ 300～350kg/m ³ 程度)		12
	170kg/m ³ 以上 200kg/m ³ 未満 (RC換算 ²⁾ 350～400kg/m ³ 程度)		15
	200kg/m ³ 以上 (RC換算 ²⁾ 400kg/m ³ 程度以上)		—
	170kg/m ³ 未満 (RC換算 ²⁾ 350kg/m ³ 程度未満)	50	12
	170kg/m ³ 以上 200kg/m ³ 未満 (RC換算 ²⁾ 350～400kg/m ³ 程度)		15
	200kg/m ³ 以上 (RC換算 ²⁾ 400kg/m ³ 程度以上)		—
T桁橋の横桁および 間詰床版	—	30	7
上記以外の間詰床版	—	30	5
高密度配筋部を含む 部材 ⁴⁾	300kg/m ³ 以上 (RC換算 ²⁾ 500kg/m ³ 程度以上)	—	—

- 1) 平均鉄筋量は1回に連続してコンクリートを打ち込む区間の鉄筋量(kg)をコンクリート体積(m³)で除した値
- 2) RC換算鉄筋量はシースの全断面を鉄筋断面として換算した場合の参考値
- 3) 主桁には中空床版橋上部工を含む。ただし、PRC橋はPC鋼材が少なく、鉄筋量が多いため、鉄筋量をもとに標準値を定めるのは適切でない場合が多いことから、本表の対象外とする。
- 4) 高密度配筋部とは斜張橋や外ケーブル構造の定着部付近など、特に鉄筋量の多い部材をいう。

解説 表 4.5.7 施工条件に応じたスランプの低下の目安

施工条件	スランプの低下量	
ポンプ圧送距離 (水平換算距離)	最小スランプが 12cm未満の場合	最小スランプが 12cm以上の場合
150m未満 (バケット打設等を含む)	—	—
150m以上300m未満	+1.0cm	—
300m以上500m未満	+2.0cm～+3.0cm	+1.0cm
500m以上	既往の実績または試験施工をもとに補正する	

参考として、日平均気温が25℃を超えるとき(暑中コンクリートとしての取扱いが必要なとき)は、上記の値にさらに+1.0cmを加えたスランプの低下を見込むとよい。

4.5.3 空 気 量

コンクリートの空気量は、コンクリートおよびコンクリート構造物が所要の性能を有するように適切に定める。

【解 説】 九州地区では凍害を受ける地域が一部に限られることから、原則として耐凍害性を考慮する必要は無く、凍害抵抗性の面からはコンクリート中に空気量を確保しなくてもよい。ただし、砕砂のような角ばった形状の細骨材を使用し、空気を所定量確保しない場合は、ワーカビリティが低下することが試験によって確認されている。また、このような場合は、コンクリート中に所定量の空気を混入することによって、コンクリートの品質変動の低減、施工時に生じる材料分離の改善などワーカビリティの向上に効果があることが試験により明らかになっている。したがって、良質な細骨材が確保できず、コンクリートが所要のワーカビリティを確保できない場合は、AE 剤や AE 減水剤などを用いて適切に空気量を確保することが有効である。

4.5.4 砕砂および代替骨材の細骨材置換率

- (1) 砕砂および代替骨材を細骨材に置換して使用する場合は、その置換率を体積置換率で表すことを原則とする。
- (2) 砕砂の細骨材置換率は、コンクリートに要求される性能を満足する範囲内で、試験によって定めなければならない。
- (3) 高炉水砕スラグの細骨材置換率は、コンクリートに要求される性能を満足する範囲内で、試験によって定めなければならない。
- (4) フライアッシュの細骨材置換率は、上限値を 20%とし、コンクリートに要求される性能を満足するよう試験によって定めなければならない。
- (5) しらすの細骨材置換率は、コンクリートに要求される性能を満足する範囲内で、試験によって定めなければならない。
- (6) まさ土の細骨材置換率は、コンクリートに要求される性能を満足する範囲内で、試験によって定めなければならない。

【解 説】 (1)について 本指針では、砕砂や代替細骨材をその他の一般的な細骨材に置換して使用する場合は、その置換率を細骨材全体の体積に対する割合で表すことを標準とした。

(2)について 一般に砕砂は形が角張っており、微粒分を多く含んでいる。このため、砕砂をコンクリートの製造に使用すると、所要のワーカビリティを得るための単位水量が、天然砂を用いた場合と比べて大きなものとなる。

砕砂と天然砂を混合して用いると、相対的に角張った骨材の割合が少なくなるため、所要のワーカビリ

ティーを得るための単位水量を減らすことができる。砕砂と天然砂の混合比率は、粒度分布、微粒分率、実積率などを考慮し、さらにコンクリートの試験練りを行って確認する。なお、整粒処理などを行うことにより粒度分布および各種性状が適正な砕砂は、単独で利用できる可能性がある。

(3)について 高炉水砕スラグ細骨材は、これを単独で利用できるものもあるが、ブリーディングが多くなるという特徴があるため、天然砂と混合して用いるのが一般的である。この場合、高炉水砕スラグ細骨材と天然砂との混合比率は事前に試験により決定する。一般に、細骨材全体の 20～60%程度を高炉水砕スラグ細骨材で置換して用いることが多い。

(4)について 砕砂を単独で使用したコンクリートは、練混ぜバッチ間でスランプ値が大きく異なる場合があることや、施工時に材料分離が生じやすくなるなど、ワーカビリティに及ぼす影響が大きいことが一般的に知られている。このような場合、砕砂の一部をフライアッシュに置き換えることによって、コンクリートのワーカビリティを改善できることを確認している。したがって、フライアッシュを細骨材の代替材料として用いる場合は、コンクリートのワーカビリティが最も良好となる細骨材置換率を試験により選定する必要がある。また、その置換率は、20%をその上限とする。これは、フライアッシュの細骨材置換率が 20%を超えると、コンクリート中のモルタル分の粘性が極めて高くなり、コンクリートの締固めなどに要する労力が急激に大きくなることによる。

指針作成にあたって実施したコンクリート試験では、フライアッシュを細骨材の代替材料として使用することによって、材齢 28 日以降の圧縮強度が増進する、アルカリ骨材反応抑制効果が認められるなど、コンクリートの性状を改善する効果が認められた。そこで、本指針ではフライアッシュの計量誤差は、骨材の 3%以下ではなく通常の混和材料と同様に 2%以下とした。

凝結時間について：フライアッシュの品質によっては、フライアッシュの使用量の増加にともない、コンクリートの凝結時間が長くなることがあることが確認されている。したがって、フライアッシュを使用する場合には、事前にコンクリートの凝結時間を確認し、施工計画に反映する。

アルカリ骨材反応抑制効果について：フライアッシュを細骨材の代替材料として使用した場合に、アルカリ骨材反応の抑制効果が認められることが試験によって明らかになっている。したがって、フライアッシュをコンクリートのアルカリ骨材反応抑制効果を期待して使用する場合は、コンクリートに要求される性能を満足する範囲内で、できる限り多く使用することが望ましい。

(5)について しらすは、これを単独で利用できる場合もあるが、単位水量が増大する傾向がある。耐久性などの観点から単位水量を低減する場合、その対策として天然砂や砕砂と混合して使用方法があり、しらすの細骨材置換率は、事前に試験を行って決定する。

(6)について まさ土は風化作用を受けた花崗岩から成り、粘土化および脆弱化したものが混ざっている。また微粒分が多く、風化の度合いによって性状が異なるといった特徴を有している。そのため、まさ土を用いてコンクリートを製造した場合、単位水量が増大し、しかもその品質が安定しにくいことが指摘されている。このような場合、まさ土を天然砂と混合して用いると、単位水量の低減および品質の安定につながる。まさ土は採取場所が違ったり、同一場所であっても採取位置が異なったりすることで、粒度、密度、微粒分量などの物理的性状が異なることが知られている。したがって、まさ土の細骨材置換率は、事前にコンクリートの試験練りを行うことによって確認する。ただし、脆弱部を除去するなどの整粒処理を施したものについては、これを単独で用いることができる可能性がある。

4.6 流動化コンクリートの材料および配合

- (1) 流動化コンクリートに用いる流動化剤は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合したものとする。
- (2) ベースコンクリートの配合および流動化剤の添加量は、流動化コンクリートが所要の性能を有し、品質のばらつきが少なくなるように定めなければならない。

【解 説】(1)について JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」では、流動化剤の性能について、流動化後のコンクリートの品質が所定の規定値に適合していなければならないとしている。本指針においても、使用する流動化剤の性能は、上記規格に則って行った試験値が全ての項目について規準に適合しなければならないとした。

(2)について 流動化コンクリートは、ベースコンクリートに流動化剤を添加して製造するコンクリートであるが、一般に流動化コンクリートの品質は、流動化剤の添加量がある一定の範囲内では、ベースコンクリートと同等である。したがって、ベースコンクリートが所要の性能を有するように、試験により適切な配合を選定することがきわめて重要である。なお、流動化コンクリートの配合に関しては、土木学会コンクリートライブラリー74「高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工指針（案） 付：流動化コンクリート施工指針（改訂版）」にその選定方法が示されている。したがって、流動化コンクリートの配合は、上記指針を参考に決定するとよい。

4.7 高流動コンクリートの材料および配合

- (1) 高流動コンクリートの自己充てん性は、型枠内に打ち込まれる直前のコンクリートに対して、打込み対象となる構造物の形状、寸法、配筋状態を考慮して、適切に設定しなければならない。
- (2) 高流動コンクリートに用いる材料は、それを用いたコンクリートが所要の性能を満足するよう、適切な品質を有していなくてはならない。
- (3) 高流動コンクリートの配合は、粉体系、増粘剤系、併用系高流動コンクリートの中から適切なものを選定し、(1)で設定した自己充てん性を満足するように使用材料およびその単位量を定めなければならない。
- (4) フレッシュコンクリートの自己充てん性は、実際の構造物または部材と同等の構造条件および施工条件を有する実物大模型等による試験施工により照査することを原則とする。

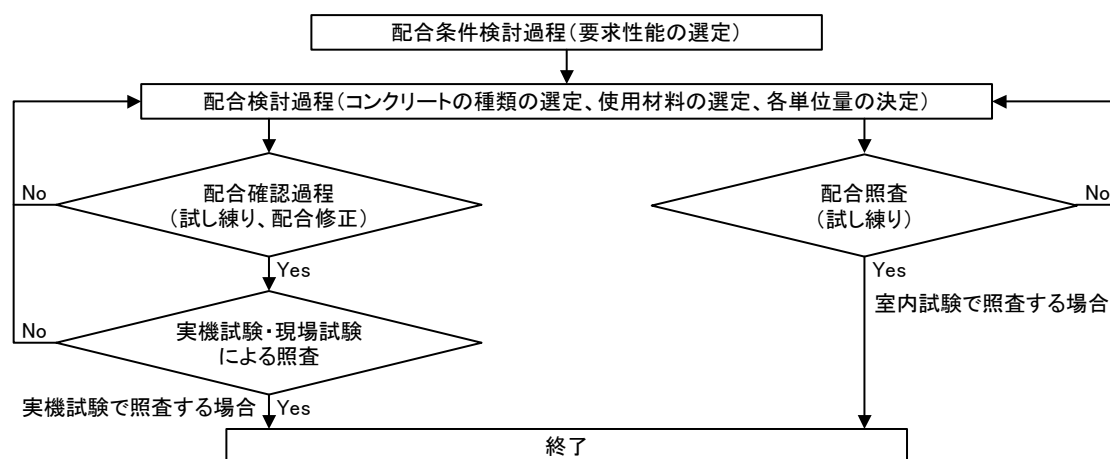
【解 説】(1)について 土木学会 コンクリート標準示方書〔特殊コンクリート編〕第7章高流動コンクリートでは、構造物または部材の寸法や配筋条件に基づいて、高流動コンクリートの自己充てん性のレベルのランクを3段階に設定しているので、コンクリートの自己充てん性のレベルを設定する際は参考にするるとよい。

(2)について 所要の性能を有する高流動コンクリートを作るためには、一般のコンクリートの場合と同様に、適切な品質を有する材料を使用することが必要である。ただし、JIS ならびに土木学会規準などの品質規格に適合した材料は、品質が確かめられた材料として取り扱ってもよい。

また、高流動コンクリートをポンプで運搬する場合は、通常のコンクリートと比較して、圧送負荷が大きくなるので留意が必要である。

(3)について 高流動コンクリートの配合は、構造物が所要の性能を確保するために、構造物に確実に充てんするようにしなければならない。土木学会「高流動コンクリート施工指針」には、高流動コンクリートの一般的な配合設計のフローが示されているので、これを参考に実施するとよい（解説 図 4.7.1 参照）。

(4)について フレッシュコンクリートの自己充てん性を照査することは、構造物の性能を確保するうえで重要である。実際の構造物または部材と同等の構造条件および施工条件を有する実物大模型等により照査することを原則とする。照査については、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工編〕にその詳細が示されているので参考にするとよい。



解説 図 4.7.1 高流動コンクリートの配合設計フロー

5 章 製 造

5.1 総 則

所定の品質を有するコンクリートが得られるように、所要の性能を有する設備を用いて、材料の貯蔵、計量および練混ぜの方法を検討し、コンクリートを製造しなければならない。

【解 説】 コンクリートを製造するうえで、所要の性能を有する設備を使用することは最も基本的かつ、重要なことである。土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準〕第 5 章「製造」には、コンクリートの製造設備に関する基本的な要件が記載されているので、これに従うことを原則とする。

レディーミクストコンクリート工場について：所要の性能を有するコンクリートを製造するためには、コンクリート材料の貯蔵、計量および練混ぜという一連の製造行為が適切に実施されることが必要である。レディーミクストコンクリートを用いる場合は、JIS マーク表示認証(認定)工場から選定することを原則とする。また、レディーミクストコンクリート工場には、コンクリートの製造、施工、試験、検査および管理などの技術的業務を実施する能力のある技術者（コンクリート主任技士等）が常駐しており、配合設計および品質管理等を適切に実施できる工場（全国品質管理監査会議の策定した統一監査基準に基づく監査に合格した工場等）でなくてはならない。なお、JIS マーク表示認定工場でない工場で製造したレディーミクストコンクリート及び JIS マーク表示認定工場であっても JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）以外のレディーミクストコンクリートを用いる場合は、国土交通省「土木工事共通仕様書」によるものとする。

コンクリート材料の貯蔵について：コンクリート材料の貯蔵は、土木学会 コンクリート標準示方書〔施工標準〕第 5 章 5.2.1 「貯蔵設備」に従うこととする。本指針において代替骨材として規定している砕砂などは、微粒分を比較的多く含有する。このため、貯蔵中に雨水等が直接かかると、骨材中の微粒分が流出し、骨材の粒度分布等の品質が変動するおそれがあるので、骨材の貯蔵にあたっては、雨水、暑中下の直射日光等を避けるため、貯蔵設備に上屋を持つ構造であることが重要である。

骨材の表面水率および有効吸水率の管理について：骨材の表面水率および有効吸水率はコンクリートの単位水量に及ぼす影響が大きく、単位水量の変動はコンクリートの品質に大きな影響を及ぼす。したがって、所定の性能のコンクリートを安定して製造するためには、表面水率および有効吸水率の測定を適切な方法により適切な頻度で行う。

特殊な条件におけるコンクリートの製造について：暑中コンクリート、寒中コンクリートおよびマスコンクリートの製造にあたっては、コンクリートおよびコンクリート構造物が所要の性能を満足するように、それぞれ適切な方法により行わなければならない。

流動化コンクリートの製造について：流動化コンクリートの製造にあたっては、工事開始前に流動化剤の添加時期と方法および攪拌方法について、関係者と十分な打合せを行い、適切な計画を作成しなければならない。また、計画にあたっては、ベースコンクリートのスランプのばらつきに対する対応策などについても検討しておくことが重要である。コンクリートの流動化の方法については以下に示すいずれかの方法により行い、原則として再流動化は行わない。

- 1) コンクリートプラントから運搬したコンクリートに工事現場で流動化剤を添加し、均一になるまで攪拌して流動化する方法。
- 2) コンクリートプラントでトラックアジテータに流動化剤を添加し、ただちに高速攪拌して流動化する方法。
- 3) コンクリートプラントでトラックアジテータに流動化剤を添加し、低速でアジテートしながら運搬して、工事現場到着後に高速攪拌して流動化する方法。

なお、流動化コンクリートの製造に関する詳細については、土木学会「高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工指針（案）付：流動化コンクリート施工指針（改訂版）」に示されているので参考にする
とよい。

高流動コンクリートの製造について：高流動コンクリートは通常のコンクリートと比較して降伏値が小さく塑性粘度が大きいという特徴がある。そのため、所定の品質のコンクリートを得るためには、練混ぜ性能の優れたミキサを用い、材料の投入順序、練混ぜ量、練混ぜ時間等を試験あるいは既往の実績に基づいて適切に定める必要がある。また、高流動コンクリートは通常のコンクリートと比較して、骨材の表面水率の変動の影響を受けやすい。したがって、安定した品質の高流動コンクリートを製造するためには、骨材特に細骨材の表面水率の変動を抑えることが重要である。

高流動コンクリートの製造に際しては、一般のコンクリートと比べてより綿密な製造管理が必要である。そのため製造管理は、高流動コンクリートを製造した経験のあるコンクリート主任技士、コンクリート技士等の技術者が行うことが基本である。

なお、土木学会「高流動コンクリート施工指針」の配合設計マニュアルに、高流動コンクリートの製造時に留意すべき事項が示されているので参考にする
とよい。

6章 施 工

6.1 総 則

- (1) コンクリート構造物の施工は、施工計画に従うことを原則とする。
- (2) コンクリート構造物の施工にあたっては、施工計画に従うことができないような不測の事態が生じることも想定し、適切な対応ができるようにしなければならない。
- (3) 構造物の規模、形状、環境などによっては、施工上発生しやすい欠陥があり、事前にそれらの防止対策を講じなければならない。
- (4) 現場にはコンクリート構造物の施工に関する十分な知識を有する技術者を置かなければならない。

【解 説】(1)について 構造物の工事にに関する施工計画は、建設する構造物の種類、大きさ、現場の環境条件、施工条件などを考慮して十分に検討されたものであり、これに従って施工することによって要求性能を満たすものと考えてよい。なお、施工現場の状況によっては、施工計画時に検討された方法では合理的でない場合もある。このような場合は、施工計画を変更し、これを改めて照査し、発注者に提出した後に施工しなければならない。

(2)について 不測の事態とは、コンクリート製造設備の故障、交通渋滞などによるコンクリートの供給の中断、コンクリートポンプの故障、配管の閉塞などによる打込みの中断、型枠・支保工の不備による想定外の沈下・膨み出し等が挙げられる。また、打込み途中での品質不良のコンクリートの供給による中断も挙げられる。さらに、規模の大きい構造物では、打込み途中での風雨により施工を中断をせざる得ない場合もある。

例えば、交通渋滞によって、コンクリートの供給が中断された場合、打込み現場では、コンクリートポンプの配管が閉塞する可能性があり、ポンプおよび配管内の清掃を行うか否かの判断が必要となる。このような場合は、渋滞解消の可能性と次のアジテータ車の到着時間の予測によって判断することになる。中断を決定したら、すでに打込んだコンクリートに対しての処置が問題となる。施工継目としての対応が必要な場合、または打ち重ねが可能な時間内にコンクリートが供給されれば、打ち重ね部分の締固め強化体制を講じる場合とがある。

(3)について 施工上発生しやすい欠陥として次のような事項が挙げられ、施工前にこれらの欠陥が発生する可能性の有無を検討し、対応策を準備しておくとともに、作業員の教育指導を徹底する必要がある。

- 1) 打込み時の材料分離
- 2) 打込み順序の不適切
- 3) 締固め不良
- 4) コールドジョイントおよび打込み中断時の対処不備
- 5) コンクリートの沈下、ブリーディングにともなうひび割れ
- 6) 養生の不備
- 7) 硬化前および硬化初期の振動や載荷によるひび割れ
- 8) 仕上げ時期の不適切

- 9) 仕上げ後の急激な乾燥によるひび割れ
- 10) 支保工の沈下や型枠の変形によるひび割れ
- 11) 型枠および支保工の取外し時期の不適切

(4)について コンクリート構造物の施工に関する十分な知識を有する技術者を現場に置き、施工を適切に監理させることは、目標とするコンクリート構造物を造るために不可欠なことである。ここで、コンクリート構造物の施工に関する十分な知識を有する技術者とは、技術士（建設部門）、土木施工管理技士、コンクリート主任技士、コンクリート技士、あるいはこれらと同等以上の技術力を有する者をいう。

6.2 レディーミクストコンクリートの受入れ

レディーミクストコンクリートの受入れは、「3.3 コンクリートの運搬・受入れ計画」に従うこととする。

【解 説】 レディーミクストコンクリートの受入れにあたっては、工事現場に到着したコンクリートをできるだけ短時間に打込めるよう配慮する必要がある。

コンクリートの受入れ検査について：コンクリートの受入れにあたっては、レディーミクストコンクリートの種類（配合を含む）、数量、運搬時間等について確認する。また、受け入れるコンクリートの品質検査項目としては、スランプ、空気量、単位水量、塩化物含有量、圧縮強度等があり、それぞれ適切な方法により検査しなくてはならない。スランプは、打込みの最小スランプが確保できるように、ポンプ圧送等場内運搬に伴うスランプの低下を考慮して、レディーミクストコンクリートの荷卸し箇所でのスランプを適切に選定し検査する。なお、検査の結果、不合格と判定されたコンクリートは施工してはならず、レディーミクストコンクリート工場に返品するとともに、品質の改善を指示しなくてはならない。ただし、圧縮強度は、その結果がコンクリートの打込み後に判明することとなるので、強度が所定の値以下となった場合は、構造物中のコンクリートの品質を調査し、必要に応じて補強を検討しなければならない。

受入れ検査は、あくまでも抜取り検査であり、試験に供した試料が対象としたロットのコンクリートの代表的なものであるか、試験が適切に行われたかなどを確認する。確認した時点で既に打込まれてしまったケースもしばしば生じるが、所要の品質を満足しない場合は、施工を中断し、以後の対策を講じる必要がある。大幅に所要の品質と異なるコンクリートが供給された場合は、すでに打ち込まれたコンクリートを除去しなければならないが、許容範囲を若干はずれるような場合は、除去することによって生じる悪影響に対して締固め作業の強化、養生強化などの対策を講じることによって品質を確保することのほうがコンクリート構造物の耐久性向上には有利となる場合があり、すばやい判断と実行を必要とする。また、検査を行わない車両のコンクリートで、目視により明らかに品質に相違が生じた疑いのあるコンクリートは、検査を行って品質を確かめる。これらの判断は、短時間に行って、以後の対応を迅速に決定することが施工に関する十分な知識を持った技術者の役割である。

流動化コンクリートの受入れ検査について：流動化コンクリートを採用する場合の受入れ検査の項目は、通常のコンクリートと同様であり、原則として流動化後のコンクリートに対して行う。ただし、スランプおよび空気量の検査は、ベースコンクリートと流動化コンクリートの両方について行い、スランプの増大

量についてもあわせて確認しなければならない。フレッシュコンクリート中の塩化物含有量の確認は、流動化コンクリートに対して行うことが原則であるが、流動化剤の材料試験報告書によって流動化剤中の塩化物イオン量が無視できる量であることが確認できた場合は、ベースコンクリートで行ってもよい。また、圧縮強度の検査は、施工者もしくは発注者が必要と判断した場合は、ベースコンクリートについても行わなくてはならない。

検査の頻度は、原則として通常のコンクリートと同様でよいが、スランプは、打込み当初から製造が安定するまでは頻度の高い試験が必要である。さらに目視により、流動化後のコンクリートが適切かどうか、各トラックアジテータについて確認するのがよい。

高流動コンクリートの受入れ検査について：高流動コンクリートの施工時における検査項目としては、充てん試験装置を用いた間げき通過性試験、スランプフロー、50cm フロー到達時間、漏斗流下時間、L 型フロー試験、空気量、コンクリート温度等が挙げられ、これらの試験の中から必要な項目を選択して行う。なお、一般的には、スランプフロー、50cm フロー到達時間あるいは漏斗流下時間、空気量、コンクリート温度を施工時の品質管理試験として行えばよい。

自己充てん性の検査は、間げき通過試験装置を有する全量試験および品質管理担当者の目視により行うことを原則とする。また、打込み開始直後は使用材料の品質変動に伴って、フレッシュコンクリートの品質が変動しやすいので、品質が安定するまでは自己充てん性以外の項目についても品質管理試験の回数を多くする。

6.3 運搬、打込み、締固め

- (1) コンクリートの現場内での運搬、打込み、締固めは、それぞれ「3.4 現場内運搬計画」、「3.5 打込み計画」および「3.6 締固め計画」に示す施工計画に従うこととする。
- (2) コンクリートを練混ぜ始めてから打込み終わるまでの時間は、外気温が 25℃を超えるときで 1.5 時間以内、25℃以下のときで 2 時間以内を標準とする。

【解 説】(1)および(2)について コンクリートは練混ぜが終わったときの状態にできるだけ近い状態で運搬し、打ち込むことが重要である。

コンクリートを練混ぜ始めてから打込み終わるまでの時間の限度は、土木学会 コンクリート標準示方書と同一とした。ただし、その時間は、様々な条件によって異なるのが一般的であるので、実際の工事においては、個々の工事に定められた施工計画に従う。

コンクリートの運搬、打込みおよび締固め作業における確認事項について：コンクリートの運搬、打込みおよび締固めにあたっては、必要な設備の種類、型式、能力、台数および人員配置、運搬経路、打込み区画、打継目の位置、打込み順序、打込み速度、打込みの方法などが、それぞれ施工計画書どおりであることを確認する。また、コンクリートの打込みおよび締固めに際しては、それらの作業によって鉄筋の配置や型枠が乱されていないことを確認しなければならない。さらに、コンクリートの締固めに内部振動機を用いる場合は、締固め作業高さ、内部振動機の挿入深さ、挿入間隔、振動時間等についても確認する。確

認の結果、適切でないと判定された項目については、設備、人員配置、方法を改善するなど適切な処置を講じる。

高流動コンクリートを採用する場合は、締固めに関する確認を省略できるが、必要に応じてコンクリートの流動距離、流動勾配、ポンプの負荷などを管理するとよい。また、打込み中には、流動性状や充てん状況についても目視により観察し、流動中に粗骨材が沈降してペースト分が先行していないか、あるいは、充てん性が良好であるかを目視により確認する。

施工時に発生しやすい欠陥とその対策について：コンクリートの現場内での運搬、打込み、締固めの各施工段階で発生しやすい欠陥としては、本章 6.1 の解説に示すものが挙げられる。施工にあたってはこれらの欠陥が生じないよう適切な対策を講じなければならない。

1) 打込み時の材料分離について

打込み時に生じる材料分離は、コンクリートを斜めシュートにより降ろしたり、高い位置から型枠中に落下させたりすることなどにより生じる。したがって、コンクリートの打込みに際しては、コンクリートの自由落下高さを 1.5m 以内とし、縦シュートやポンプ配管などの吐出口を打込み面近くまで垂直に降ろすことが必要である。また、やむを得ず斜めシュートを使用する場合は、傾斜角度を水平 2 に対して垂直 1 程度とし、バッフルプレートと漏斗管を設けて材料分離を防ぐようにする。

2) 打込み順序の不適正について

連続桁のコンクリートや連続合成桁の床版コンクリートなどでは、コンクリートの打込み順序が不適切であると、施工中のコンクリートの重量変化などに起因して型枠や支保工に変形が生じ、すでに打ち込んだコンクリートにひび割れが生じることがある。このようなひび割れが発生する可能性が考えられる場合は、施工に先立って綿密な施工計画をたて、コンクリートの施工にともなう生じるたわみ量の変化を確認し、最適な打込み順序を選ばなければならない。

3) 締固め不良について

コンクリートの締固めが不十分な場合は、型枠の隅々までコンクリートを十分に充てんできずコンクリートの充てん不良の発生につながる。このため、コンクリートの締固めに内部振動機を用いる場合は、下層コンクリートへの挿入深さを 10cm 程度とする、挿入間隔を 50cm 以下とする、1 ヶ所あたりの振動時間を 5～15 秒とするなどの基本的事項を遵守する。また、コンクリートの打込みによる材料分離を防止し、締固めを十分に行ったにもかかわらずコンクリートに充てん不良が発生した場合は、施工条件に適した打込みの最小スランプ（もしくはスランプフロー）を再度検討しなければならない。

4) コールドジョイントおよび打込み中断時の対処

コールドジョイントは、下部のコンクリートの凝結がある程度進んだ状態で上部のコンクリートを打ち重ねることによって、コンクリートの一体化が阻害されたものである。コールドジョイントは構造上の欠陥となるばかりでなく、外観、水密性、耐久性などの面でも欠陥となる。コールドジョイントを防止するためには、コンクリートの運搬、打込み区画、打込み順序に関して綿密な計画をたて、解説 表 3.5.1 に示す許容打重ね時間間隔以内に上部のコンクリートを打込み、内部振動機を下層コンクリート中に 10cm 程度挿入するなど適切な締固めを行う必要がある。また、必要に応じて凝結遅延剤を使用することも有効である。なお、不測の事態により打込みが中断した場合など、施工途中でコールドジョイントを防ぐことが難しいと判断された場合は、「3.9 継目の計画」に従って適切に対応する。

5) コンクリートの沈下、ブリーディングにともなうひび割れ

打ち込まれたコンクリートはブリーディングをともなう沈下する。このような沈下が、コンクリー

トの表面付近に固定された水平鉄筋，埋設物などで妨げられた場合にコンクリートの上面に鉄筋などに沿ったひび割れが生じることがある．このようなひび割れが発生した時点であれば，タンピングによって消すことが可能である．さらに，仕上げ前に再振動締固めを行うことも非常に有効である．

張出し部をもつコンクリート，壁または柱とスラブまたははりとは連続しているコンクリートなどでは，断面の異なるそれぞれの部分でコンクリートに生じる沈下の程度に差があり，一度にコンクリートを打ち込むと断面の変わる境界面にひび割れが発生することが多い．したがって，コンクリートは断面の変わる箇所ですぐ打ち止め，そのコンクリートの沈下が落ち着いてから張出し部などの上層コンクリートを打ち込む必要がある．

6.4 仕上げ

コンクリートの仕上げは，「3.7 仕上げ計画」に示す施工計画に従うこととする．

【解 説】 コンクリート表面の仕上げは，表面に浮き出たブリーディング水が少なくなるか，または上面の水を取り除いた後に行わなければならない．ブリーディングの終了時期は，セメントの種類および外気温等によって異なるため，仕上げの時期は適切に判断する必要がある．

コンクリートの仕上げ作業における確認事項について：コンクリート表面の仕上げを行うにあたっては，仕上げ時期や仕上げに用いる器具が施工計画で定められたとおりであることを確認する．また，コンクリートの硬化後は，コンクリート部材の形状寸法や表面の平坦さが所定の許容誤差範囲内であること，コンクリート表面にひび割れ，気泡，凹凸，すじ，豆板，色むら等の欠陥が少なく良好な表面状態であることなどを確認する．確認の結果，コンクリートの表面に突起，すじ等が認められた場合は，これを除いて平らに仕上げる．豆板，欠けた箇所等は，その不完全な部分を取り除いて適切な補修を行わなければならない．また，許容されたものよりも大きなひび割れが認められる場合は，適切な材料および工法によりこれを補修しなければならない．

施工時に発生しやすい欠陥とその対策について：コンクリートの仕上げにおいて発生しやすい欠陥としては，「6.1 総則」の解説に示すものが挙げられる．施工にあたってはこれらの欠陥が生じないよう適切な対策を講じなければならない．

1) 仕上げ時期

コンクリート表面の仕上げは，打込んだコンクリートの表面を所定の形状にならすと同時に緻密な表面を形成するために行うものである．コンクリートの打上り面の仕上げは，締固めの後，表面に浮き出たブリーディング水が少なくなった時期に行う．コンクリートの仕上げ時期は早すぎるとブリーディング水の影響を受け，コンクリートの沈降によるひび割れの発生や仕上げ面の下部にブリーディング水が集まることによって表面部分が剥離するなど，様々な初期欠陥の発生につながる．また，表面仕上げの時期が遅すぎると手間がかかり，適切な仕上げができないことになる．したがって，仕上げを行う場合は，事前に，工事におけるコンクリートの最適な仕上げ時間を試験により把握しておくことが望ましい．なお，金ごてをかける適切な時期としては，コンクリートが指で押してもへこまない程度に固まったときを目安にするといふ．

2) 仕上げ後の急激な乾燥によるひび割れ

コンクリートが、まだ固まらない状態あるいは硬化のごく初期の段階で急激に水分が蒸発すると、コンクリートの体積減少によってひび割れが生じる。このひび割れは外観および耐久性上の欠陥となる。

このひび割れを防止するには、コンクリート表面からの急激な水分の蒸発を避けることが重要である。そのためにはコンクリートの仕上げ後ただちに覆いをして直射日光や風にさらさないこと、および水分の補給をすることが非常に有効である。また、表面への水の散布や封かん養生剤を散布することも有効である。ただし、封かん養生剤の散布はコンクリートの表面から水が引いた直後に行うことが大切である。さらに、仕上げの前に再振動締固めを行うことも有効であり、硬化がまだ進んでいない時点でひび割れの発生が認められた場合は、直ちに再振動締固め、タンピングなどにより消すのがよい。

6.5 養 生

コンクリートの養生は、「3.8 養生計画」に示す施工計画に従うこととする。コンクリートは、打込み後の一定期間を硬化に必要な温度および湿度に保ち、有害な作用の影響を受けないように、十分にこれを養生しなければならない。

【解 説】 コンクリートの養生にあたっては、「3.8 養生計画」で示したように、養生と型枠の存置の違いを十分に認識しておくことが重要であり、脱型後も湿潤養生を行うことが必要である。

コンクリートの養生における確認事項について：コンクリートの養生にあたっては、養生設備および人員配置、養生方法、養生開始時期、養生期間などが施工計画通りに行われていることを確認する。確認の結果、計画通りの養生が行われていないと判定された場合は、養生設備、人員の配置、養生方法などについて適切な改善を行わなければならない。

施工時に発生しやすい欠陥とその対策について：コンクリートの養生時に発生しやすい欠陥は、「6.1 総則」の解説に示すものが挙げられる。施工を行うにあたっては、これらの欠陥が生じないよう適切な対策を講じなければならない。

1) 養生の不備

コンクリートは、早期に乾燥して表面近傍の水分が失われると、その部分のコンクリートはセメントの水和反応が十分に進行することが期待できなくなる。また、セメントの水和は、養生時の温度によっても著しい影響を受ける。さらに、まだ十分硬化していないコンクリートに振動・衝撃あるいは過大な荷重を加えると、ひび割れや損傷を与えることになる。

したがって、コンクリートの養生は、打込み後のある期間、コンクリートを適切な温度のもとで、湿潤状態に保ち、かつ有害な作用を受けないようにしなければならない。現状では、型枠を取り外した時点で養生期間が終了したと判断しているケースが散見されるが、養生期間と型枠存置期間は異なり、一般に養生期間は型枠存置期間よりも長い。また、型枠を外した後も湿潤養生を継続することは、脱型直後に発生するひび割れの抑制や強度および耐久性の向上に効果がある。このため、コンクリートが本来有する性能を適切に発揮させるには、型枠を外した後も湿潤養生を継続することがきわめて重要である。

脱型後の養生方法としては、養生マットやシートで覆う方法や散水、湛水養生などが挙げられる。

2) 硬化前および硬化初期の振動や載荷によるひび割れ

コンクリートの強度がまだ十分に発現していない段階で振動や荷重などの作用を受けると、コンクリートにひび割れが発生して構造上の欠陥となる。コンクリートの凝結硬化初期に加わる振動や衝撃の影響については明らかにされていない点もあるが、コンクリートに悪影響を及ぼすおそれがあるときは、コンクリートの施工を中止し、振動や衝撃がない静止の状態で施工する。

6.6 継目およびひび割れ誘発目地

継目および目地の施工は、「3.9 継目の計画」および「3.10 ひび割れ誘発目地の計画」に従うこととする。

【解 説】 コンクリートの打継目は、構造物の弱点とならない位置に、部材の圧縮合力に対して 90°となる方向で、せん断力が作用しないように設けるのが原則である。

コンクリートの打継ぎおよびひび割れ誘発目地の施工における確認事項について：コンクリートの打継ぎの施工は、継目の位置、方向、すでに打ち込まれているコンクリートの打継ぎ面の処理方法および施工方法が施工計画で定められた通りであることを確認する。また、ひび割れ誘発目地を設ける場合は、目地の位置、間隔、断面欠損率について確認し、さらに誘発目地の充てんや被覆処理方法についても確認する。伸縮継目を設ける場合は、継目の位置、間隔および構造に関しては設計段階で、目地材に関しては施工計画段階でそれぞれ定められたとおりであることを確認する。確認の結果、計画通りの施工が行われていないと判定された場合は、適切でないと判断された内容がコンクリート構造物に及ぼす影響を検討し、必要に応じて適切な補修を行わなければならない。

6.7 鉄筋工

鉄筋工は、「3.11 鉄筋工の計画」に従うこととする。

【解 説】 鉄筋は、設計で定められた正しい寸法および形状を持つように材質を害さない適切な方法で加工され、これを所定の位置に堅固に組み立てなければならない。

鉄筋工における確認事項について：鉄筋工は、鉄筋の加工、組立ておよび継手が施工計画で定められた通りに行われていることを確認する。また、事前に定めた材質のスペーサが所定の数、所定の位置に配置され、かぶりが所定の値を確保していることを確認することは、構造物が保有すべき性能を有するうえできわめて重要である。一般に、鉄筋が正しい位置に配置されているかどうかをコンクリートを打ち込んだ後に確認することは困難であり、コンクリートを打込んだ後に鉄筋の位置を修正することは不可能である。このため、施工前および施工中に鉄筋が正しく配置されていることを必ず確認しなければならない。確認

の結果、計画通りの施工が行われていないと判定された場合は、適切でないと判断された内容がコンクリート構造物に及ぼす影響を検討し、必要に応じて適切な補修を行わなければならない。

6.8 型枠および支保工

型枠および支保工の設計および施工は、「3.12 型枠および支保工の計画」に従うこととする。

【解 説】 型枠および支保は、せき板、支保材から構成され、コンクリートの打込み後硬化するまで構造物の正確な位置、形状、寸法を保つとともにコンクリートを保護する役割を保持できるよう設計、施工されなければならない。

型枠および支保工に関する確認事項について：型枠および支保工は、施工計画で定められた材料を使用し、施工計画で定められた設計および施工が行われていることを確認しなければならない。確認の結果、計画通りの施工が行われていないと判定された場合は、適切でないと判断された項目がコンクリート構造物に及ぼす影響を検討し、必要に応じて適切な補修を行わなければならない。高流動コンクリートを採用する場合は、通常のコンクリートよりも流動性が高いため、コンクリートの側圧が高くなる。したがって、高流動コンクリートを採用する場合は、通常の確認事項に加えて、型枠・支保工の変形や側圧を確認しておくことが望ましい。

型枠および支保工を取り外す時期について：型枠および支保工を取り外す時期は、セメントの種類、コンクリートの配合、気温や養生条件によって異なる。また、構造物に作用する荷重条件、部材の大きさや位置、構造物の種類・重要度によっても異なる。型枠および支保工は、打込んだコンクリートが自重および施工中に加わる荷重を支えるだけの十分な強度に達していることを確認した後に取り外すことを原則とする。コンクリートが必要な強度に達する時間を判定するには、構造物に打ち込まれたコンクリートと同じ状態で養生したコンクリート供試体の圧縮強度によるのがよいが、供試体は構造物のコンクリートよりも外気温あるいは乾燥の影響を受けやすいので、これらを考慮して適切な時期を定めることが望ましい。型枠および支保工の取外しに必要なコンクリートの圧縮強度は、土木学会 コンクリート標準示方書に参考値が示されている。しかし、型枠にはコンクリートの表面が直接風雨や直射日光あるいは外気にさらされることを防ぐ役目もあるので、外部の気象状況等によって悪影響を受けることが予想される場合は、型枠の取外しができる強度が得られた後も、外部温度の悪影響を受けなくなるまで型枠を存置しておく配慮も必要である。

型枠を取り外す順序について：型枠を取り外す順序は、比較的荷重を受けない部分から行うことが原則である。例えば、鉛直部材の型枠は、水平部材の型枠より早く外してよい。

施工に際して発生しやすい欠陥とその対策について：型枠および支保工の施工などの取扱いに起因して発生する欠陥としては、「6.1 総則」の解説に示すものが挙げられる。施工にあたってはこれらの欠陥が生じないように適切な対策を講じなければならない。

1) 支保工の沈下や型枠の変形によるひび割れ

コンクリートが打込み後流動性を失い、しかもまだ十分な強度が発現していない状態のときに、型枠が変形したり、支保工が沈下したりするとひび割れが発生する。また、多量のコンクリートを施工する場合

で施工が長時間にわたるときなどは、後から打ち込まれたコンクリートの重量によって支保工が沈下したり、たわんだりすることにより、先に打ち込まれある程度硬化した部分が変形してひび割れを発生することもある。この種のひび割れは構造上の欠陥となることが多い。

このひび割れを防止するためには以下のことを考慮しなければならない。

- a. 立上り部分の型枠は十分強固なものにする。打込み計画から予想されるコンクリートの側圧、偏圧を考慮して、型枠を安全に設計しなければならない。
- b. 支保工は、コンクリート、型枠などの重量を安全に支持し、有害な変形や沈下が起こらないようにする。支保工の沈下の原因としては、基礎の沈下、支保工の圧縮変形やたわみ、支保工の継手や接触部のなじみ等がある。支保工は変形や沈下に対応できるように、あらかじめジャッキやくさびを設置しておくのがよい。
- c. 後から打ち込むコンクリートの重量によって生じる変形やたわみに関しては、先に打込んだコンクリートに与える影響が最小になるように、コンクリートの打込み順序、打込み方法、凝結遅延剤の使用などについて検討する。

2) 型枠および支保工の取外し時期の不適切

コンクリートの強度発現が不十分な段階で型枠および支保工を取り外すと、支保工の沈下や型枠の変形によるひび割れと同じようなひび割れが発生し、構造上の欠陥をつくることになる。

型枠の存置期間は、コンクリートの強度発現の点からは十分に長くとるのがよい。

6.9 暑中コンクリート

日平均気温が 25℃を超えることが予想されるときは、「3.13 暑中コンクリートの施工計画」に従って、暑中コンクリートとしての施工を行うこととする。

【解 説】 暑中コンクリートの現場内の運搬について：暑中コンクリートの施工における現場内の運搬にあたっては、コンクリートが熱せられたり、乾燥したりしないよう、なるべく早く輸送して打ち込むのがよい。コンクリートポンプを使用する場合は、輸送管を湿らせた布で覆うなどの対策を講じる必要がある。また、暑中コンクリートは、通常のコンクリートに比較して運搬時のスランプロスが大きくなる傾向にあるので、打込みの最小スランプを確保し適切な施工を行うには、速やかな運搬作業が重要である。

暑中コンクリートの打込みについて：暑中コンクリートの打込みの際は、コンクリートを練混ぜてから打ち終わるまでの時間は 1.5 時間以内を原則とし、打込み時のコンクリート温度は 35℃以下でなくてはならない。施工時にコンクリート温度が上記の値を超える場合は、適切な処置を講じなくてはならない。具体的には、プレクーリングなどによる方法、現場までの運搬中のコンクリート温度の上昇を抑える方法、コンクリートポンプの輸送管を湿らせた布で覆う、打込みを 1 日のうち気温の低い時間帯に実施する方法などがある。どうしても施工現場で対策を講じなければならない場合は、特殊な対策として液体窒素などの冷媒をミキサやトラックアジテータのドラム内に吹き込むなどの方法もある。

暑中コンクリートの養生について：暑中コンクリートの施工にあたっては、打込みが終了したコンクリートは、露出面が乾燥しないよう速やかに養生しなければならない。

6.10 寒中コンクリート

日平均気温が 4℃以下になると予想されるときは、「3.14 寒中コンクリートの施工計画」に従って、寒中コンクリートとしての施工を行うこととする。

【解 説】 寒中コンクリートの打込み時の温度について：寒中コンクリートの施工では、通常の場合よりも硬化が遅くなり、気温が急に低下する場合はコンクリートが初期凍害を受けるおそれがある。このため、コンクリートの練混ぜから打込みまでを通して、構造物の種類や大きさ、天候、気温、養生方法に応じた適切なコンクリート温度を確保する。

寒中コンクリートの養生について：寒中コンクリートの養生にあたっては、コンクリートが凍害を受けなくなるとみなせる強度が得られるまで、凍結しないように保護しなければならない。寒中コンクリートの施工に際してコンクリートに悪影響を及ぼす危険があると判断した場合は、必要に応じて保温養生や給熱養生などの対策を講じる。保温養生中は、コンクリート温度あるいは保温養生された空間の温度が計画した温度の範囲内にあることを確認する。また、給熱養生を行う場合は、コンクリートの各部分の温度の均一化を図る、コンクリートを乾燥させない、給熱養生終了後に急激な温度変化を与えないなどに注意する。

6.11 温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物

温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物の施工は、「3.15 温度ひび割れが発生するおそれのあるコンクリート構造物の施工計画」に示す施工計画に従って行う。

【解 説】 部材断面が大きい構造物のコンクリートの打込みについて：部材断面が大きいコンクリート構造物をいくつかの平面的なブロックあるいは複数のリフトに分けて打ち込む場合は、その打込み区画、打込み高さ、継目および打込み時間間隔が計画通りに行われていることを確認する。また、コンクリートの打込み温度は、あらかじめ計画された温度を超えるものであってはならないのは当然であるが、施工にあたってはコンクリートの温度を測定し、また、打ち込まれたコンクリートの温度履歴を把握するのが望ましい。このとき、あらかじめ計画した条件と大きく相違する場合は、施工計画を変更しなければならない。

温度ひび割れが発生するおそれのある構造物の養生について：温度ひび割れが発生するおそれのある構造物の養生にあたっては、コンクリート構造物の中心部と表面部の温度差を小さくする、およびコンクリート温度をできるだけ緩やかに外気温に近づける配慮が必要である。必要に応じてコンクリート表面を断熱性の高い材料（発泡スチロール、ビニールパックなど）で覆う保温養生を行うなどの処置をとるとよい。養生中は、コンクリートの温度を測定し、温度上昇量、表面と内部の温度差、温度降下速度を把握し、計画した特性と照合し、問題が生じた場合の措置を講じるうえでの参考にとするとよい。また、養生中のコ

ンクリート温度を測定することは、養生終了時期を判断するうえで有効である。

温度ひび割れが発生するおそれのある構造物の施工に用いる型枠について：型枠は、温度ひび割れの制御が行えるよう適切な材料を選定し、適切な期間存置しなくてはならない。放熱性の高い鋼製型枠などを用いると内部と表面部との温度差が大きくなり、内部拘束による温度応力が大きくなることが予測されるので、木製等の断熱性の高い型枠を用いるのがよい。なお、断熱性の高い型枠を用いる場合は、通常の型枠存置期間より長くするのを原則とし、脱型後もコンクリート表面の急冷を防止するためにシート等によりコンクリート表面の保温を継続して行うのがよい。

温度ひび割れが発生するおそれのある構造物に設けるひび割れ誘発目地について：ひび割れ誘発目地は、施工計画において定められた位置および間隔で設ける。ひび割れ誘発後は、ひび割れ誘発部からの漏水、鉄筋の腐食等を防止するために適切な充てん、被覆処置を行う。

6.12 初期欠陥の補修

- (1) コンクリートの施工中にコンクリートの品質不良や施工不良等に起因すると考えられるひび割れ、その他の欠陥あるいは損傷が確認された場合は、速やかにその発生状況を確認し、適切な時期、方法を選定し補修しなければならない。
- (2) コンクリートの施工後にひび割れが発生した場合は、その発生原因および発生状況を調査し、構造上あるいは耐久性上有害と判断された場合は適切な時期、方法を選定し補修しなければならない。なお、温度ひび割れが発生した場合は、あらかじめ設定した補修計画に基づいて適切な補修を行うものとする。

【解 説】(1)について 施工中に発生するプラスチック収縮ひび割れ、沈みひび割れ、豆板、コールドジョイント、砂すじなどの初期欠陥や損傷は、所要の品質のコンクリートを用いて適切な施工が実施されていれば避けられたもので、本来あってはならず、これらをそのまま放置すると、将来、劣化を促進させる要因となる可能性が極めて高い。その一方で、施工作業では人為的な影響も大きく、さらに、施工計画では予期していなかった事態が作業中に生じる場合もあることから、これらの欠陥や損傷を皆無とすることが困難なこともまた、否めない。このような状況が生じた場合は、直ちに発生状況の的確な把握のための調査を実施するとともに、その調査結果に基づいて適切な処置（補修を含む）を講じなければならない。

具体的には、例えば、コンクリートの表面に突起、すじ等が認められた場合は、これを除いて平らに仕上げなければならない。また、豆板あるいは大きな気泡部や欠損部などがある場合は、その部分を完全に取り除いて適切な補修を行うものとする。

(2)について 温度ひび割れや乾燥収縮などに起因する収縮ひび割れは、コンクリートの施工後、数日から数カ月経過してから顕在化する。これらのひび割れについては、設計段階で、それらが発生しないような配慮を施し、それでも完全に発生を防げない場合はひび割れ誘発目地を設置するなどの対応を施すことになっている。しかし、これらのひび割れ発生予測には不確定な要因も多く、また、設計段階で考慮していた気象条件や施工条件で工事を行えない状況が生じる場合もあり、ひび割れがコンクリート本体に発生

することを完全に回避できない。したがって、コンクリートの施工後にこれらのひび割れが認められた場合は、その発生状況に応じて適切な処置が必要となる。

具体的には、まず、調査を実施してその発生原因を特定し、ひび割れ発生状況を適切に把握しなければならない。これらのひび割れは、その発生原因によってひび割れの進展状況が大きく異なる特徴がある。例えば、温度ひび割れの場合でも、その発生原因が、コンクリート内部と表面部の温度差に起因した内部拘束によるものか、あるいは、一旦温度上昇によって膨張したコンクリートが冷却されて収縮する際に外部拘束を受けることによるものかによって、ひび割れの発生時期や発生後のひび割れの進展状況は異なる。また、温度ひび割れは、数日から遅くても 1 カ月以内にはその発生が確認され、通常は 1～2 カ月程度で収束するが、乾燥収縮ひび割れは、通常、数カ月から 1 年近く経過したのちにその発生が確認される。さらに、温度ひび割れに収縮ひび割れの影響が加わる場合もあり、この場合は温度ひび割れの進展が数カ月にわたって続くこともある。したがって、これらの状況を的確に把握した後に、適切な対策を講じなければならない。

これらのひび割れに対する処置は、基本的には曲げひび割れなどの構造設計上避けられないひび割れに対する許容ひび割れの考え方に基づいてよい。すなわち、ひび割れが構造物の安全性、使用性、耐久性あるいは美観・景観などに及ぼす影響を検討し、これらの何れかが許容範囲を超えると判断された場合は、適切な材料および工法によりこれを補修しなければならない。

ひび割れの補修方法に関しては、貫通ひび割れにはエポキシ樹脂などによる注入工法が採用される場合が多く、表面ひび割れには充てん工法や表面被覆工法などが用いられることが多い。また、止水を行えば機能上十分であるような構造物は、防水工を施すことにより補修に変えることも可能である。ひび割れ補修に用いられる樹脂は、同じ系統の樹脂であってもその成分により物性、適応温度、可使時間、粘度、使用条件等が異なっている。さらに、この分野においては、材料、工法とも次々と開発が進められており、最新の情報に基づく判断が必要である。

なお、温度ひび割れの補修については、施工計画段階であらかじめ設定した補修計画（3.15.6 参照）に基づいて実施するものとする。

7 章 検 査

7.1 総 則

- (1) 完成した構造物が所要の性能を有することが確認できるように、設計成果、工事完成物およびレディーミクストコンクリート、工場製品等に対して必要な検査を行わなければならない。
- (2) 検査はあらかじめ定めた判定基準に適合しているか否かを、必要な測定や試験を行った結果に基づいて判定する。
- (3) 試験を行う場合は、客観的な判定が可能な手段を用いる。一般的には JIS または土木学会規準等に定められた方法に従って行うことを原則とする。
- (4) 検査の結果、合格と判定されない場合は、所要の性能を満足するような適切な処置を講じなければならない。

【解 説】 (1)について 国土交通省から発注される工事(業務)における「検査」とは、工事（もしくは業務）の発注者が契約内容の工事（業務）が履行されているかを確認する行為であるが、本指針では施工者が製造者に対して行う受入れ検査も総称して検査と定義している（解説 図 7.1.1）。

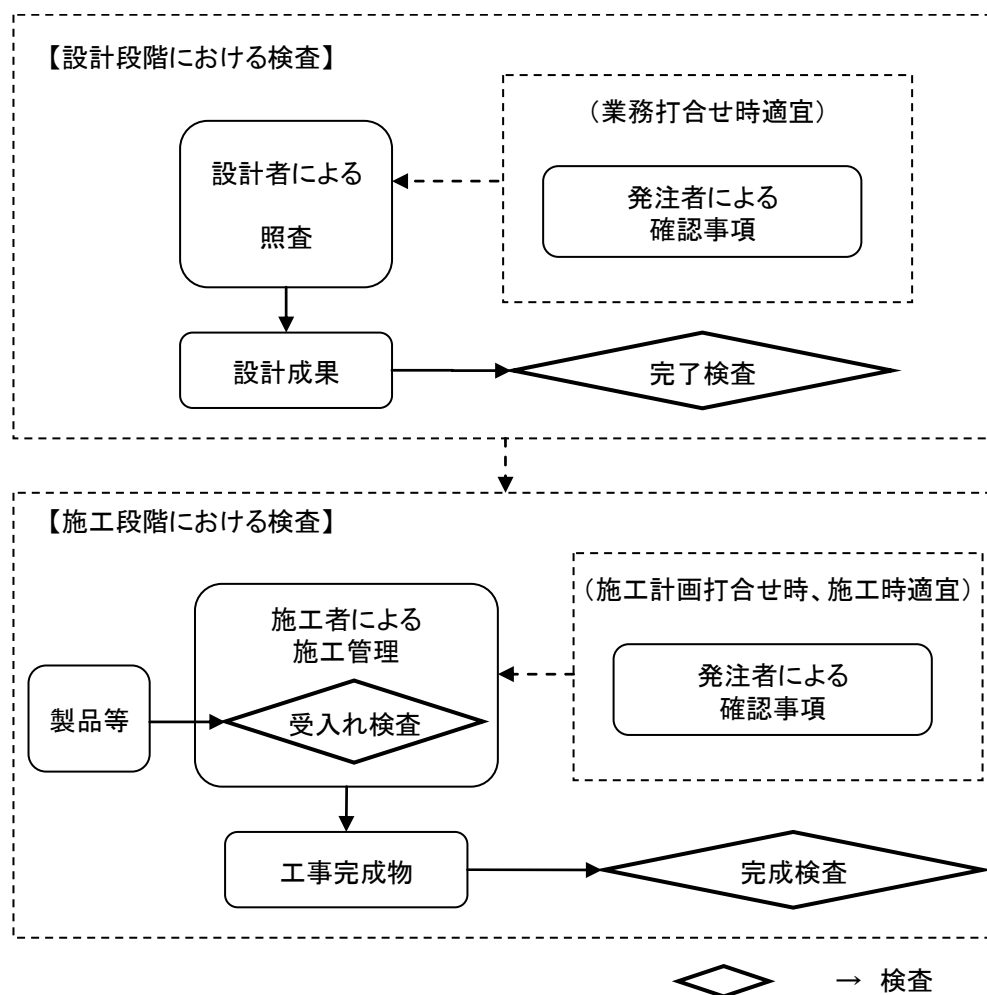
構造物構築の最終的な目標が、構造物の要求性能確保であるならば、完成した構造物で直接検査することが理想である。しかし、現時点で完成した構造物で検査できる項目は、コンクリートの表面状態や形状寸法等、ごく一部に限られる。したがって、このような場合は工事の各段階で行う適切な確認行為により、構造物の要求性能が満足されていることを確認することにする。

(2)について 検査は、構造物の受け取り可否を決める基になるので、試験方法や合否の判定基準は、土木工事施工管理基準や通達等によらねばならない。ただし、検査手法は多種であり、多くの費用を伴うため適切な検査体系を組む必要がある。

「1 章 総則」に示した建設プロセスでは、各段階において発注者と設計者、発注者と施工者または必要に応じて専門評価機関を交えての協議によって工場製品使用の検討、新技術・新材料の導入およびひび割れ抑制対策等の種々の条件を決定し、建設を進めていくこととしている。このことから、施工方法も多様化し、検査方法も土木工事施工管理基準や通達等だけでは対応できないことや、全ての検査方法を事前に設定することが難しいこともある。このような場合は、発注者と施工者、場合によっては専門評価機関を交えて協議しながら検査手法を決定し、検査を実施する。

(3)について 検査は、効率的かつ確実にできるよう、検査の項目、試験方法、頻度、判定基準などを事前に検討し、計画する必要がある。

(4)について 検査は基本的には、受け取りが可能か否かを判断する行為である。検査の結果合格とならない場合は、受け取りを拒否するのが原則である。しかし、竣工を延期をすることにより社会的損失が大きい等の場合は、構造物が所定の性能を満足するように、適切な対策を施す指示を行うケースもある。ただし、考えられる対策を講じても所定の性能を確保することが不可能な場合は、解体・再構築になる。



解説 図 7.1.1 本指針における検査の体系図

7.2 発注者による検査項目

7.2.1 設計段階の検査および確認

- (1) 発注者は、設計段階において、施工条件を適宜想定して種々の不具合を防止するための検討が行われていることを確認しなければならない。
- (2) 発注者は、設計成果に対し、構造物が当初設定した要求性能を満足していることを検査しなければならない。

【解説】(1)について コンクリート構造物の初期欠陥等の施工不具合は、設計段階で十分検討することにより、その発生抑制が可能となる場合が多い。したがって、コンクリート構造物の設計段階において構造的な要求性能を満足すること以外に、施工条件を想定して種々の不具合を防止するための検討が必要で

あり、発注者は特定のコンクリート構造物の設計を行うにあたり、設計段階においてこれが実施されていることを確認しなければならない。特に本指針では、設計段階において以下に示す事項の確認を重要としている。

耐久性能について：コンクリート構造物の耐久性能に関しては、設計耐用期間が設計成果に明示されていること、施工方法や施工環境を考慮して所要の耐久性能を設計耐用期間にわたり保持することが具体的に照査されていることを確認しなければならない。コンクリート構造物の設計耐用期間および耐久性能については、それぞれ解説表 1.3.1 の構造物(コンクリート部材毎)の要求性能と設計耐用期間の目安および「2.2.4 構造物の耐久性照査」を参考にするとよい。

温度ひび割れについて：設計段階では、温度ひび割れの照査を温度応力解析等により実施することを基本とし、適切な施工条件が設定されていることおよびひび割れ照査が行われていることを確認しなければならない。これには、「2.3.2 温度ひび割れの照査」を参照するとよい。

高密度鉄筋に対する対策について：設計されたコンクリート構造物の鉄筋が高密度状態であった場合、コンクリート打込み時に未充填や不完全締固め等の初期欠陥を生じるおそれがあるため、流動性や耐久性を考慮した適切なスランプが設定されていることを確認しなければならない。適切なスランプの設定は、「2.5 配筋状態を考慮した最小スランプの設定」を参照するとよい。

設計基準強度を保証する材齢について：低発熱型セメントを使用する場合は、設計基準強度を保証する圧縮強度の材齢を長期の任意材齢に延長することが検討されていることを確認しなければならない。

(2)について 発注者は、設計計算書や設計図等の成果品が適切に作成されていることを把握し、設計業務等の完了を確認するための検査を行わなければならない。また、発注者は(1)で示した設計段階での検討事項を三者連絡会において施工者に伝達しなければならない。

7.2.2 施工段階の検査および確認

- (1) 発注者は、適切な時期および手法によってコンクリート構造物が設計図書に従い履行されていることを工事の着手前および工事の各段階で確認しなければならない。
- (2) 発注者は、工事の完成（あるいは契約図書で定められた時期）に伴いコンクリート構造物が設計図書に適合していることを検査しなければならない。
- (3) 完成検査時の検査資料は、構造物の維持管理の初期点検資料として活用できるものが望ましい。

【解 説】(1)について コンクリート構造物は、施工の各段階において工事目的物の品質、出来形等を確認し、次の段階に進むことが必要である。具体的には、施工者が行うかぶり確保や埋戻し箇所の出来形等の施工管理が適切に行われていることを設計図書に示された施工段階において適宜確認するとともにコンクリート打込み時の品質等の施工状況を把握しなければならない。

(2)について 発注者が行う完成（あるいは契約図書で定められた時期に実施する）検査は、当該工事の

出来形、品質を対象として実地において行うものおよび施工者の施工管理資料を基に工事の実施状況、出来形、品質について適否の判断を行う。

(3)について 完成検査では、構造物の出来形および品質の検査を実施するとともに、施工工事記録などの書類調査、初期欠陥および損傷（補修状況も含め）の有無の確認を行う。また、これらは維持管理の初期点検資料として活用することができる。

7.3 施工者による検査項目

施工者は、製造者から製品等の受入れ時は、要求した品質を確認するために、定められた頻度および方法により受入れ検査を実施しなければならない。

【解 説】レディーミクストコンクリート、鉄筋および二次製品等の受入れ時は、それぞれの製品が品質を確保していることを確認するための検査を適切な方法で実施しなければならない。

特に、レディーミクストコンクリートを使用する場合は、事前にコンクリートが設計図書の規定のほか強度や耐久性など構造物の要求性能を満足する配合設計が行われていることを確認しなければならない。さらに、レディーミクストコンクリートの受入れ検査は、荷卸し時に行うことを原則とし、コンクリートの品質を確認するために、単位水量、スランプ、空気量、塩化物総量およびコンクリートの強度等について検査しなければならない。ただし、水セメント比、アルカリ骨材反応抑制対策および使用材料の品質等については、配合報告書により確認してよい。

8章 工事記録

8.1 総 則

- (1) コンクリートの製造および施工状況，施工時の環境条件，品質管理および検査の結果，構造物の初期欠陥の有無，補修の有無などを工事中に記録し，その中から必要なデータを選び，工事記録として保存しなければならない。
- (2) 工事記録は，構造物を供用している期間，保存することを原則とする。
- (3) 完成構造物には，当該工事関係者，構造物の諸元等を表示する銘板を設置する。

【解 説】(1)および(2)について 工事記録は，構造物の維持管理の基礎資料となるものである。したがって，工事記録には，コンクリートの品質や施工に関わる各種記録，コンクリートの各種検査結果，構造物の初期欠陥の有無および補修の有無，その他特記事項などの記録を適切に保存することがきわめて重要である。特にひび割れに関しては，その発生パターン，幅，発生時期，発生時の気象条件などを詳細に記録することによって，ひび割れの発生原因の推定や進行状況等を把握することが可能となり，維持管理計画を作成するうえで有効な資料になりうる。このため，ひび割れの発生状況はできる限り詳細に記録することが重要である。また，維持管理を継続して行うためには，少なくとも供用期間中は工事記録を保存している必要がある。工事記録に関しては，土木学会 コンクリート標準示方書[施工編] において，その基本的原則とその留意点が示されており，これらを参考にするとよい。

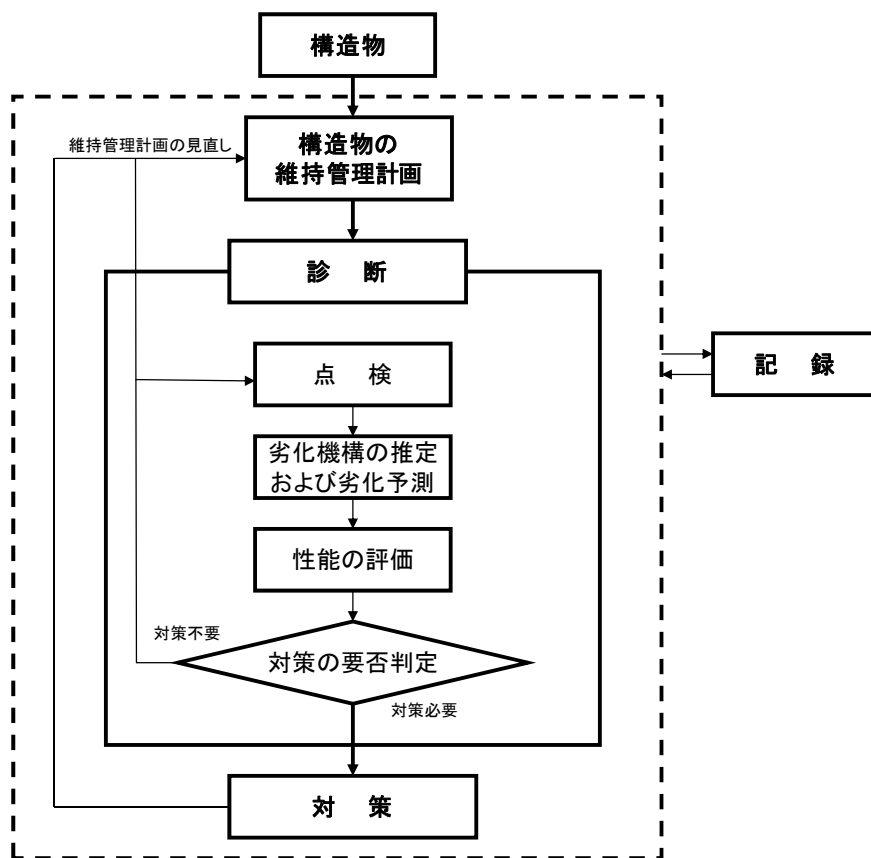
(3)について 設計責任者およびコンクリート打設時の施工責任者・施工監理責任者などの氏名を明記することは，工事に携わった技術者の役割や立場を明確にするものであり，以後の維持管理にあたっても有用である。銘板の材質については，共通仕様書に準じるものとする。銘版を設置する構造物の例としては，橋梁（1 スパン 50m 以上），トンネル（300m 以上），砂防ダム（15m 以上），ポンプ場（10m³/秒以上）および堰（50m 以上）等が挙げられ，これ以外の構造物についても必要に応じて銘版を設置するとよい。

9 章 維持管理

9.1 総 則

- (1) コンクリート構造物の維持管理は、土木学会 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に準じて実施することを原則とする。
- (2) コンクリート構造物の建設にあたっては、予定供用期間に構造物が保有すべき要求性能を許容範囲内に維持できるよう設計段階で維持管理計画を策定することを原則とし、その実施にあたっては、維持管理計画が適切に遂行できるような維持管理体制を構築するものとする。

【解 説】(1)および(2)について 建設後の構造物の維持管理は、土木学会 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に準拠して行うことを原則とする。また、この場合の維持管理の基本的な手順を解説 図 9.1.1 に示す。構造物の維持管理を計画的に行うためには、事前に、維持管理計画を策定する必要がある。なお、維持管理計画を策定する段階としては、(i)予備設計段階、(ii)竣工検査段階、(iii)供用期間において構造物に変状が認められた段階などが考えられるが、新設の構造物においては、維持管理計画の策定を予備設計段階で行うことを原則とする。これによって、維持管理の内容を設計に反映でき、ライフサイクル



解説 図 9.1.1 構造物の維持管理の手順

ルコストを考慮したより合理的な設計が可能となるとともに、維持管理のし易い点検用通路（検査路やはしごなど）の設置など、構造物の設計と連動させてより合理的な維持管理が実施できるような計画を立案することも可能となる。ただしその際には、竣工検査段階（新設の場合の初期診断に相当）に構造物の状況を確認し、設計段階で考慮した構造物の状況と異なる場合は、その状況に応じて維持管理計画を見直した上で計画を実行することが必要となる。

構造物の維持管理計画の策定にあたっては、まず、構造物の予定供用期間を明確にして、構造物をどの程度の期間維持管理しなければならないかを示す必要がある。設計段階で特に構造物の予定供用期間が設定されていない場合は、設計耐用期間を予定供用期間と考えて維持管理計画を立案してよい。また、構造物およびその部位、部材は、それぞれに重要度、予定供用期間、環境条件などが異なる。このように条件が異なる構造物を全て同様の条件で維持することは、決して合理的な管理とはいえないので、構造物の状況に応じた適切な維持管理区分を設定することも維持管理計画を策定するうえでは重要である。なお、土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕では、維持管理の区分として、A：予防維持管理、B：事後維持管理、C：観察維持管理の3つの区分を設けており、構造物の重要度、第三者影響度、供用期間、環境条件などを踏まえて適切に設定するものとする。表 9.1.2 に、それぞれの維持管理区分の対象となる構造物の例を示す。

解説表 9.1.1 維持管理区分の概要

区分	名 称	対象構造物の例	備 考
A	予防維持管理	・劣化が顕在化した後では維持管理が困難なことから劣化を生じさせないもの。 ・劣化がコンクリート表面へ現れることによって障害が生じるもの。 ・第三者に対する安全性が特に重要となるもの。 ・設計耐用期間が長いもの。	・一般には、重要度の高い構造物が対象となる。 ・モニタリングを必要とする場合もある
B	事後維持管理	・劣化が顕在化した後でも容易に対策がとれるもの。 ・劣化が外へ現れても困らないもの。	—
C	観察維持管理	・設計耐用期間の設定がなく、使用できるかぎり使用するもの。 ・直接には点検を行うのが非常に困難なものについて間接的な点検（測量、地盤沈下、漏水の有無など）から評価および判定を行うもの。	—

維持管理は、対象とする構造物が予定供用期間中、所要の性能を維持していることを確認する行為である。このためには、設計段階で設定した構造物の要求性能を適切に整理分類し、さらに、対象構造物に予想される劣化機構を適切に推定する必要がある。その上で、構造物の維持管理の目標となる維持管理の区分ならびに、構造物や部材毎の維持管理の難易度を十分に考慮して構造物の定期的な診断、問題が生じた場合に実施する対策、これらの行為の記録といった一連の維持管理の内容や方法を維持管理計画の中で具体的に示す。構造物毎の維持管理の難易度の一例を解説 表 9.1.1 に示す。

維持管理の実施にあたっては、その責任の所在を明確にし、維持管理計画が適切に遂行できる維持管理体制を構築するものとする。また、構造物を供用中の維持管理業務は、必ずしも維持管理計画の立案者が実施するわけではない。また、日常の点検業務などは、必ずしも専門技術者が行うとは限らない。したがって、維持管理計画を策定後は、予定した維持管理業務が計画的に行われるよう、マニュアル類を整備し、必要に応じて講習などの教育をしておくことも重要である。

解説 表 9.1.2 構造物（コンクリート部材毎）と維持管理一覧表

工種	部材	維持管理
		維持管理の難易度
トンネル(都市部)	コンクリート全般	I
トンネル(山岳部)	二次覆工	I
トンネル(山岳部)	坑門本体	表面Ⅲ 裏面 I
橋梁	橋梁基礎工	I
"	橋梁下部構造	I
"	橋梁上部構造(桁)	Ⅱ
"	橋梁上部構造(床版)	Ⅱ
"	地覆、壁高欄	Ⅲ
基礎工(橋梁除く)	場所打杭本体	I
海岸堤防	堤体、波除工	I
砂防ダム	本体・副ダム	表面Ⅲ 裏面 I
"	側壁	表面Ⅲ 裏面 I
"	水叩	Ⅲ
重力式擁壁	躯体	表面Ⅲ 裏面 I
鉄筋コンクリート擁壁	底版	I
"	躯体	表面Ⅲ 裏面 I
鉄筋コンクリートカルパート	本体	内面Ⅲ 外面 I
堰・水門	堰柱	Ⅱ
"	門柱	Ⅱ
"	床版	I
"	水叩	Ⅲ
樋門	本体	内面Ⅲ 外面 I
揚・排水機場	本体	Ⅱ
"	沈砂池、吐出水槽	Ⅲ
		I ; 難易度 高い Ⅱ ; 難易度 中程度 Ⅲ ; 難易度 低い

難易度: 構造物の機能低下防止を目的として実施する維持管理、予防保全等の部材構造上における評価基準

具体的に維持管理を実施する段階では、まず、初期の診断を行って、構造物が計画通りに造られており、設計段階で設定した維持管理計画に従って維持管理を実施してよいことを確認する必要がある。この際に行う点検、いわゆる初期点検では、構造物が新設であることから経年による劣化が生じていないことを前提として、設計図書や施工工事記録などの書類調査と、目視やその他の方法による初期欠陥および損傷の有無の確認が主な調査内容となる。ただし、これらの調査の内容は、おおむね構造物の完成時に実施する検査と同じであるので、完成時検査の結果を初期点検用の資料として適切に取りまとめることで、この結果を初期点検結果に代えることができる。

なお、初期の診断を行った結果、構造物の状況が当初計画したものと異なっていると判断された場合は、必要に応じて維持管理計画を見直した後に、維持管理を実施しなければならない。

試 行 事 例 集

試行事例 1

1. 工事概要

工 事 内 容：水門本体工

堰柱工 (1,321m³), 胸壁工 (155m³), 翼壁工 (1,661m³), 門柱 (336m³)

操作台 (256m³), 床版 (2,367m³)

【検 討 段 階】：施工段階

【懸念される問題点】：マスコンクリートにおける温度ひび割れ

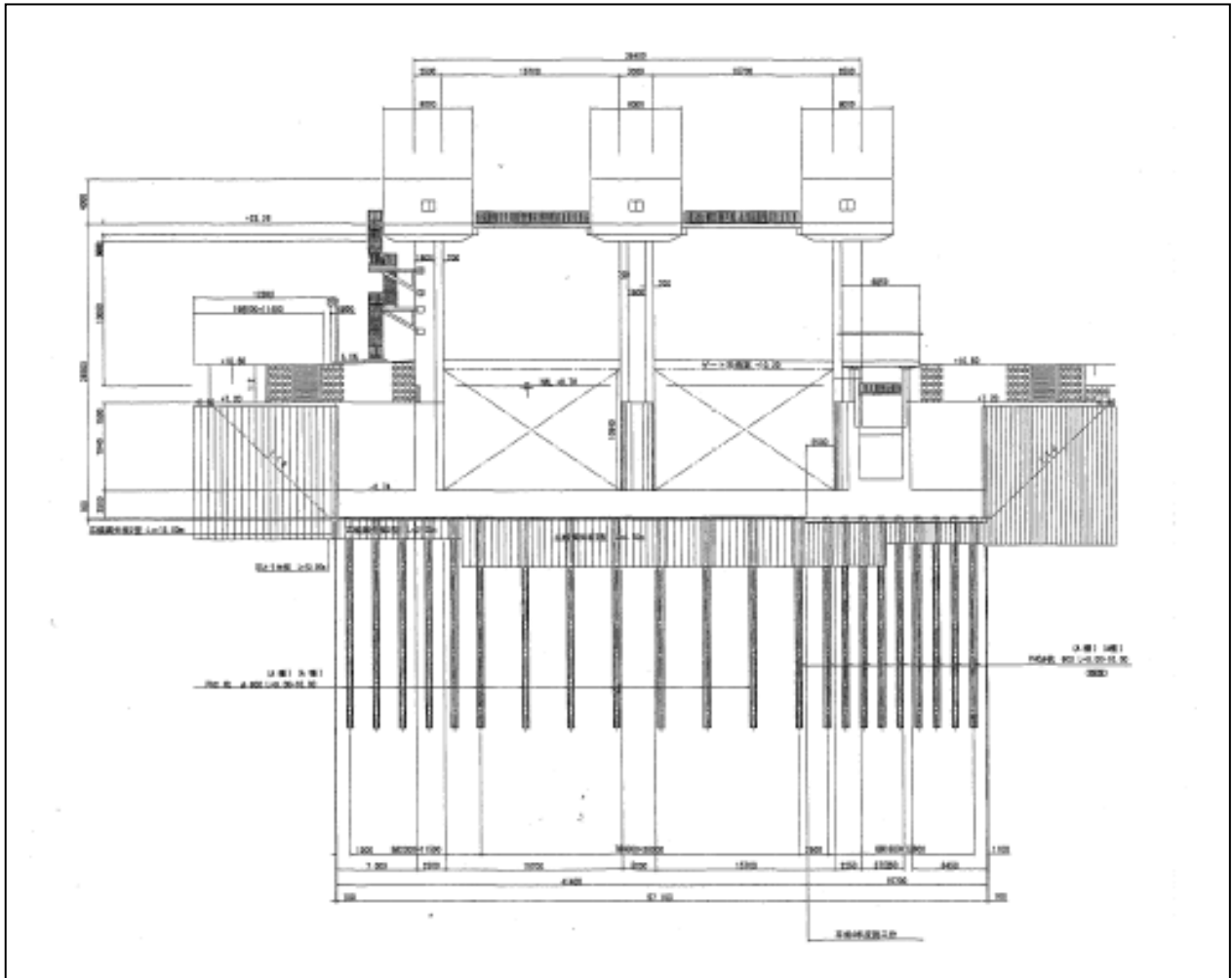


図 1-1 正面図

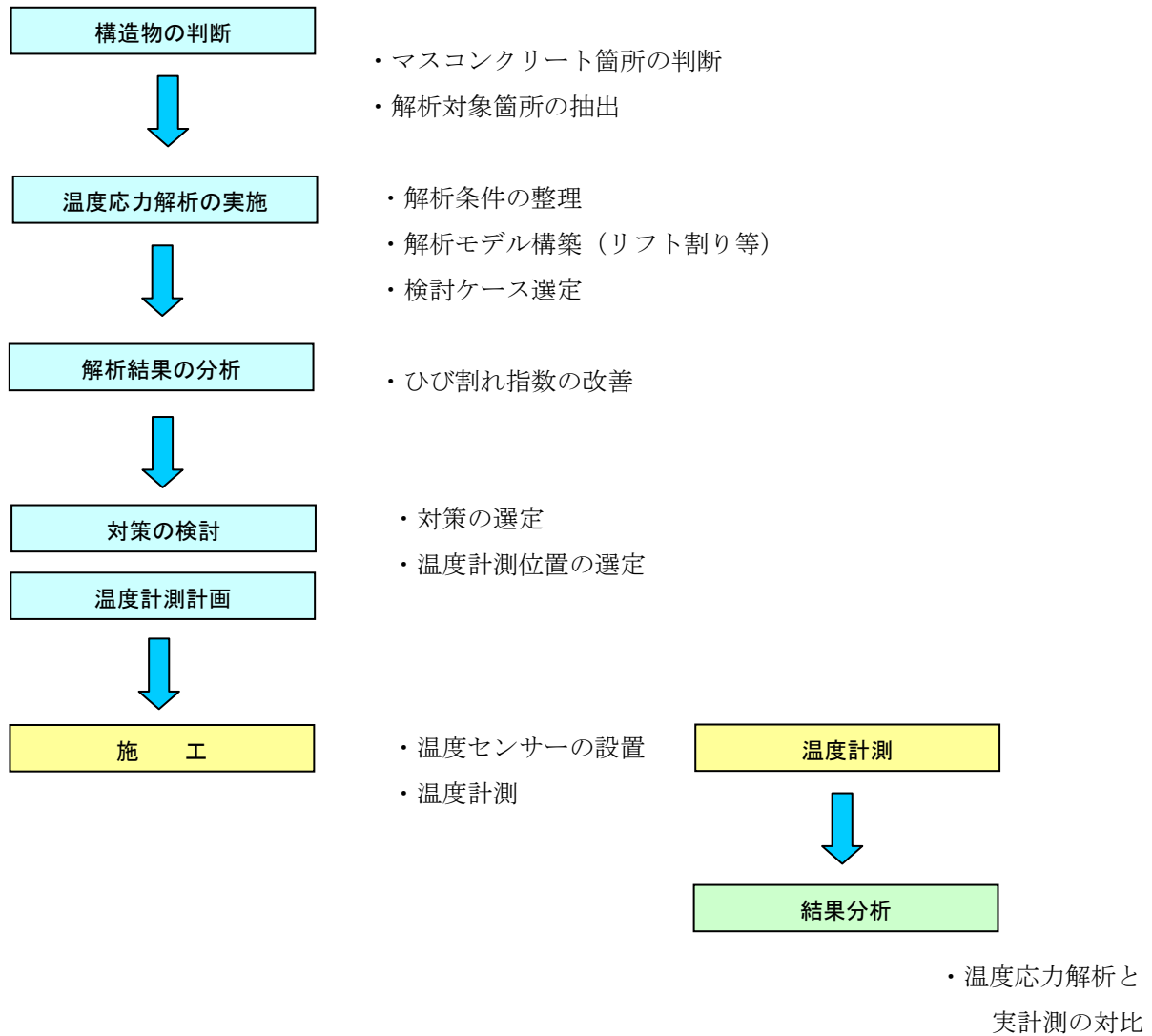


写真 1-1 施工状況



写真 1-2 完成全景

1.1 検討のフロー



2. 温度ひび割れ対策検討

2.1 概要

水門本体、翼壁及び堰柱は、典型的なマスコンクリート構造物である（表 2-1）。ひび割れの発生する要因は、コンクリートの材料・配合・施工環境・工程・構造・外力など条件または組合せによるなど多岐にわたっている。一般的な温度ひび割れは、水門底板部のような断面の厚いマッシブな構造物の場合には、セメントの水和熱に起因する拘束（内部拘束）を受けて表面にひび割れが発生しやすく、水門堰柱部や翼壁の側壁部のような壁状構造物の場合には、底板や基礎地盤等に拘束され（外部拘束）、温度低下時の収縮に伴って躯体を貫通するひび割れの発生が懸念される。

2.2 検討内容

2.2.1 各種条件の設定

(1) 検討モデル

1) 検討対象構造物の選定

当該構造物では、堰柱（厚さ：2.5m）および翼壁（厚さ：0.4～1.9m）がマッシブな構造物となっており、セメントの水和熱に起因した温度ひび割れが発生する可能性がある。このうち水門本体の部材である堰柱では、特に耐久性および水密性が要求されることから、温度ひび割れに対する照査は、堰柱を対象とする。なお、3体の堰柱はほぼ同様の形状をしていることから、上記照査は右岸堰柱を対象とする。

表 2-1 に検討構造物の概要を示す。

表 2-1 検討構造物概要

検討対象	部 位		形 状
堰 柱	右岸側	底 版	長さ 23.0m×幅 18.2m×厚さ 2.5m
		堰 柱	長さ 23.0m×高さ 10.9m×厚さ 2.5m

2) 基本条件

使用セメント： 高炉セメント B 種

配 合 ： 24 - 8 - 40

脱 枠 ： 7 日

打設リフト ： 底板（2.0m） + 堰柱 3 リフト（3.6m+3.6m+4.56m）

・打設リフト（リフト高）の設定

打設リフト高は、躯体構造、壁厚、壁筋の配筋（継手）を考慮して、底板および堰柱 3 リフトを標準とする。各リフトの境界は下記の通りとする。

堰柱リフト①は、圧接継手を含み、壁筋ラップ継手の下とする。

堰柱リフト②は、壁筋ラップ継手を含み、同時に打設する胸壁（川表側）の天端高に合わせることにする。

堰柱リフト③は、残り、門柱の下までとする。

堰柱のリフト割り図を図 2-1～図 2-2 に示す。

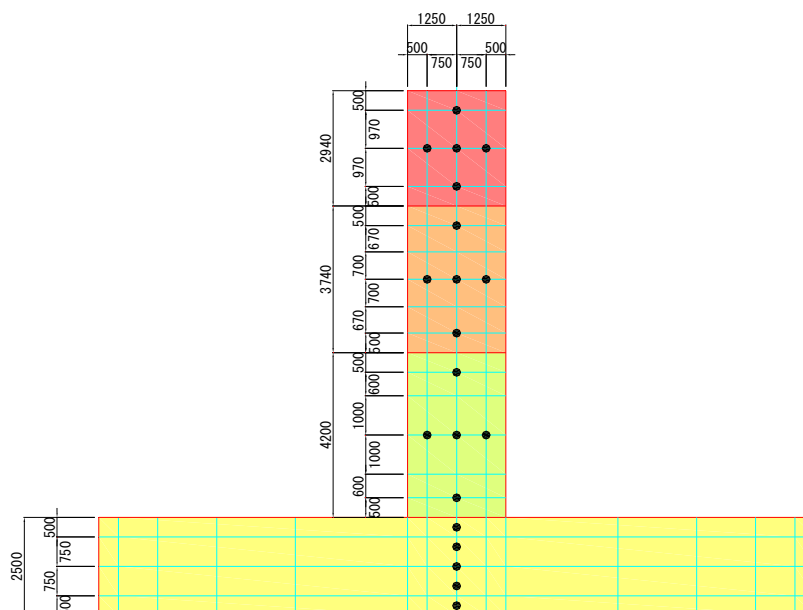


図 2-1 堰柱検討正面図（右岸堰柱）

(3) 検討ケース

温度ひび割れを抑制するための対策として、以下の方法について検討を行う。

- ・低発熱型セメントの使用 ・ ・ ・ 低熱ポルトランドセメントの使用（保証材齢：56 日）
- ・単位セメント量の低減 ・ ・ ・ 高性能 AE 減水剤の使用
- ・部材内の温度上昇量の抑制 ・ ・ ・ 打設リフトの増加（堰柱 4 リフト）

なお、低熱セメントの使用に関しては、底版部には高炉セメント B 種を使用し、堰柱部のみに低熱セメントを使用したケースについても検討する。

また、低熱セメントを使用した場合の呼び強度を保証する材齢は 56 日とするが、水セメント比が 55% のときの $\sigma_{56}=34.0 \text{ N/mm}^2$ であり過剰な強度発現となったが、耐久性確保の観点から $W/C=55\%$ とする。

以上より、当該構造物の堰柱部に関する温度応力解析は表 2-2 に示す 6 ケースとする。

表 2-2 検討ケース（右岸堰柱）

No	セメントの種類	脱枠	打設リフト数
case 1	高炉セメント BB	7 日	4（底版＋堰柱 3）
case 2	低熱セメント L	7 日	4（底版＋堰柱 3）
case 3	高炉セメント BB＋高性能 AE 減水剤	7 日	4（底版＋堰柱 3）
case 4	低熱セメント L	7 日	5（底版＋堰柱 4）
case 5	（底版）高炉セメント BB,（堰柱）低熱セメント L	7 日	4（底版＋堰柱 3）
case 6	（底版）高炉セメント BB,（堰柱）低熱セメント L	7 日	5（底版＋堰柱 4）

(4) 温度応力解析の諸条件

1)温度応力解析の諸条件を表 2-3 に示す.

表 2-3 温度応力解析の諸条件

コンクリートの打設時期および打設温度	コンクリートの打設は、3月下旬から5月中旬にかけて実施する。 なお、解析に用いる外気温は、構造物を建設する県の月別平均気温（理科年表）を線形補完して算定する。 また、解析に用いるコンクリートの打設温度は、外気温+5℃とする。				
		底版	堰柱①リフト	堰柱②リフト	堰柱③リフト
	打設日	3月21日	4月18日	5月2日	5月16日
	外気温(℃)	10.6	15.2	17.2	19.2
	打設温度(℃)	15.6	20.2	22.2	24.2
養生	・打設から7日目まで：養生マット（散水） ・脱枠から2週間まで：シート養生				

2) コンクリートの配合

表 2-4 24-8-40 (BB)

水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
		W	C	S	G	AE 減水剤
53.0	40.3	155.0	293.0	773.0	1,256.0	2.93

表 2-5 24-8-40 (L)

水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
		W	C	S	G	AE 減水剤
55.0	41.7	150.0	273.0	819.0	1,256.0	2.73

表 2-6 24-8-40 (L) + 高性能 AE 減水剤

水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
		W	C	S	G	高性能 AE 減水剤
53.0	43.0	146	276	941	1223	2.539

2.2.2 温度応力解析結果

各検討ケースにおける解析結果を次に示す。

表 2-7 温度応力解析結果一覧表

	部位	セメント種類	最高温度 T(°C)	最小ひび 割れ指数 γ_{cr}	ひび割れ 発生確率
case1	底版表面	高炉セメントBB	28.04	0.89	93%
	底版内部		50.39	1.84	2%
	堰柱①内部	高炉セメントBB	62.84	0.70	98%
	堰柱②内部		65.25	0.77	96%
	堰柱③内部		68.53	0.91	92%
case2	底版表面	低熱セメントL	26.60	1.18	63%
	底版内部		38.52	2.23	1%未満
	堰柱①内部	低熱セメントL	47.52	1.15	67%
	堰柱②内部		48.79	1.40	30%
	堰柱③内部		51.46	1.44	25%
case3	底版表面	高炉セメントBB+	26.92	0.92	92%
	底版内部	高性能AE減水剤	48.40	1.90	1%未満
	堰柱①内部	高炉セメントBB+ 高性能AE減水剤	60.52	0.74	97%
	堰柱②内部		62.88	0.81	96%
	堰柱③内部		66.06	0.95	89%
case4	底版表面	低熱セメントL	26.56	1.18	63%
	底版内部		38.52	2.01	1%未満
	堰柱①内部	低熱セメントL	40.21	1.26	50%
	堰柱②内部		44.50	1.00	84%
	堰柱③内部		50.88	1.39	31%
case5	底版表面	高炉セメントBB	28.04	0.89	93%
	底版内部		50.39	2.18	1%未満
	堰柱①内部	低熱セメントL	47.52	1.13	70%
	堰柱②内部		48.79	1.39	31%
	堰柱③内部		51.46	1.43	27%
case6	底版表面	高炉セメントBB	28.04	0.89	93%
	底版内部		50.39	2.24	1%未満
	堰柱①内部	低熱セメントL	40.27	1.23	55%
	堰柱②内部		44.50	0.99	85%
	堰柱③内部		50.88	1.39	31%
	堰柱④内部		52.68	1.75	3%

1) case 1 (基本条件) 高炉セメント，打設リフト 4（底版＋堰柱 3）

底版では，最高温度が 50.4℃であり，内外の温度差は 22.4℃であった．最小ひび割れ指数は部材表面において 0.89 となっており，内部拘束によるひび割れの発生が懸念される．

堰柱では，最高温度が 68.5～62.8℃であり，最小ひび割れ指数は，リフト①で 0.70，リフト②で 0.77，リフト③で 0.91 となっており，外部拘束による過大なひび割れの発生が懸念される．

2) case 2 低熱セメント L，打設リフト 4（底版＋堰柱 3）

低熱セメントを使用したことにより，底版では最高温度は 38.5℃であり，case1 と比較すると 11.9℃低下している．これにより部材内外の温度差が 11.9℃と抑制されており，部材表面でのひび割れ指数が

1.18 と向上した。

同様に堰柱では、最高温度が 15.4～17.1℃低下しており、最小ひび割れ指数は、リフト①で 1.15、リフト②で 1.40、リフト③で 1.44 となっており、最も外部拘束による影響が大きいリフト①においても過大なひび割れの発生は抑制されると推測される。

低熱セメントを使用したことにより、大幅な改善が期待できる。

3) case 3 高炉セメント BB+高性能 AE 減水剤、打設リフト 4 (底版+堰柱 3)

高性能 AE 減水剤を使用し単位セメント量を減少することで、底版では内部の最高温度が 48.4℃であり case1 比較すると 2.0℃の低下となり、部材内外の温度差は 21.5℃となっている。最小ひび割れ指数は、部材表面で 0.92 となっており、高性能 AE 減水剤を使用する効果は小さいと考えられる。

同様に堰柱においても、最高温度の低下および最小ひび割れ指数の向上も小さく外部拘束に関しても、高性能 AE 減水剤の効果は小さいことが分かる。

4) case 4 低熱セメント L、打設リフト 5 (底版+堰柱 4)

底版は case1 と同様である。

堰柱のリフト割を 3 分割から 4 分割にすることで、最高温度が若干低下する。しかし、最小ひび割れ指数は、リフト②で 1.00 となり case2 と比較すると小さくなっている。これより、リフトの分割数を増やすことで、部材断面が小さくなり温度上昇量は低減されるが、L/H が大きくなることで外部拘束が卓越し、ひび割れ指数が小さくなったものと考えられる。

5) case 5 (底版) 高炉セメント BB, (堰柱) 低熱セメント L, 打設リフト 4 (底版+堰柱 3)

case1 の底版と case2 の堰柱の解析結果と同等である。堰柱のひび割れ指数が若干小さくなっているが、拘束体となる定番の強度発現による影響だと思われる。

6) case 6 (底版) 高炉セメント BB, (堰柱) 低熱セメント L, 打設リフト 5 (底版+堰柱 4)

case1 の底版と case4 の堰柱の解析結果と同等である。低熱セメントを使用した場合においてもリフトの分割数を増やすことでひび割れ指数が若干小さくなっている。

2.3.3 対策のまとめ

基本条件の case1 では、特に堰柱においてひび割れ指数が小さくなっており、過大なひび割れの発生が懸念されるため、何らかの対策を講じる必要がある。

低熱セメントを使用した場合、最高温度の低下、部材内外温度差の抑制によりひび割れ指数が大幅に向上し、ひび割れ発生の抑制効果が期待できる。

しかし、高性能 AE 減水剤を使用した場合は、その効果は僅かである。

また、リフトの分割に関しては、当該構造物の形状においては 3 リフトとした場合のひび割れ指数が大きくなった。

底版に関しては、内部拘束による表面ひび割れの発生の可能性が考えられるが、温度降下に伴いひび割れは閉塞する傾向にあり、さらに養生方法を工夫し急激な温度低下を抑制することでひび割れの発生も抑制されると考えられる。

以上より、ひび割れ抑制効果、コストおよび工期を考慮して、当該構造物の温度ひび割れ対策は、case5 を採用する。

＜温度ひび割れ対策＞

case 5 底版部：高炉セメント BB, 堰柱部：低熱ポルトランドセメント
打設リフト 4 (底版+堰柱 3)

3. 打設結果

平成 18 年 11 月 1 日現在，低発熱セメントを使用したすべてのマスコンクリート部（堰柱・門柱・ゲート操作台）において，ひび割れ発生は認められていない。

その要因としては，温度応力解析により推定した水和熱による堰柱部の温度上昇量に対して，実際の温度上昇量が 5～7℃程度低かったことが考えられる。

3. 1 温度計測

- （１）計器の設置（コンクリート打設前に熱電対を所定の位置に固定する）
- （２）実測データの収集（コンクリート温度と外気温データの収集）
- （３）温度計測位置

温度計測位置は，事前の温度応力解析結果を踏まえ，図 3－1 温度計測位置図に示す箇所とする。

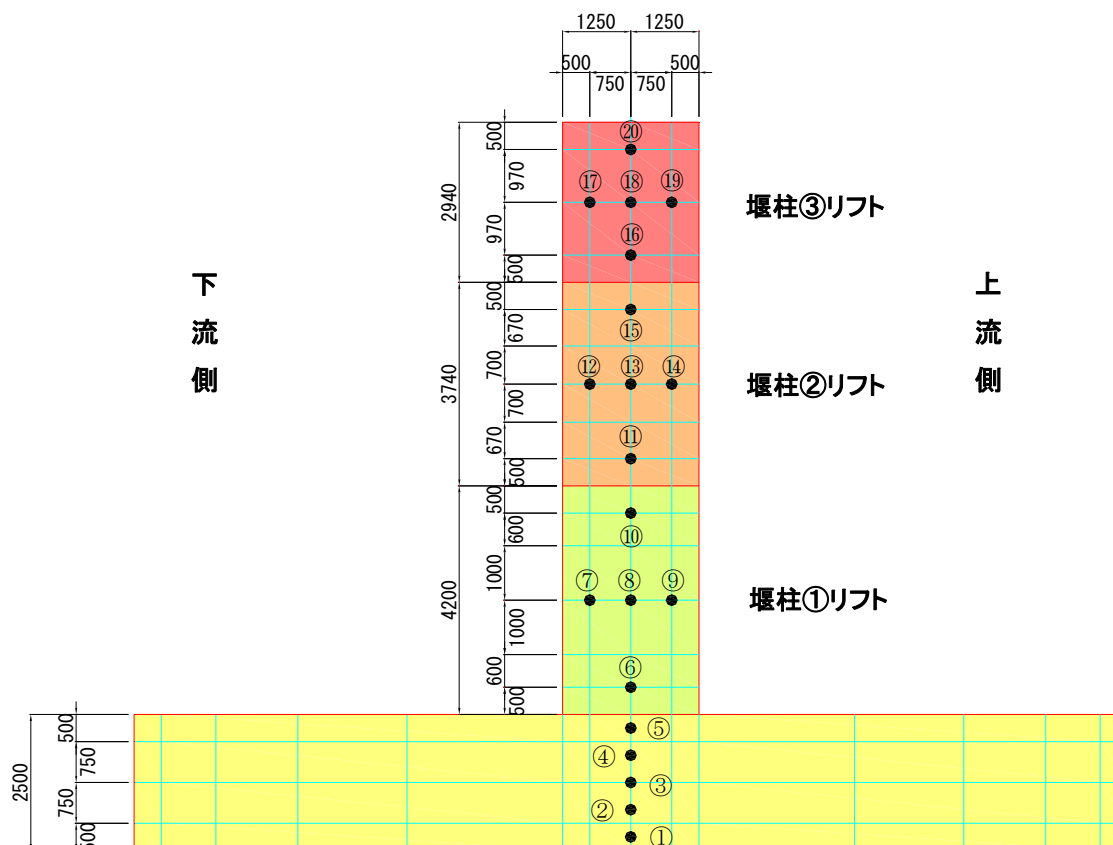


図 3－1 温度計測位置図

3. 2 温度計測結果

事前解析において，躯体中央部で温度が最大（ひび割れ指数が最小）となることから，底版および堰柱①～③リフトの中央部に着目して温度計測値と解析値との比較検討を実施した。温度計測結果および温度応力解析結果との比較表を表 3－1 に示す。また，各打設リフトでの温度分布図を図 3－2～図 3－5 に示す。

表 3－1 温度計測値と解析値との比較表

	打設日		外気温*1(℃)			打設温度*2(℃)			最高温度(℃)			温度上昇量*3(℃)		
	解析	計測	解析	計測	差	解析	計測	差	解析	計測	差	解析	計測	差
底版	3月21日	3月17日	10.6	12.0	1.4	15.6	17.6	2.0	57.0	58.3	1.3	41.4	40.7	-0.7
堰柱①リフト	4月18日	4月14日	15.2	12.0	-3.2	20.2	17.3	-2.9	46.3	36.0	-10.3	26.1	18.7	-7.4
堰柱②リフト	5月2日	4月28日	17.2	17.5	0.3	22.2	22.0	-0.2	48.8	42.7	-6.1	26.6	20.7	-5.9
堰柱③リフト	5月16日	5月22日	19.2	22.0	2.8	24.2	25.0	0.8	51.5	46.6	-4.9	27.3	21.6	-5.7

*1 温度計測における外気温は日平均気温、解析時の外気温は、理科年表「佐賀の月別平均気温」より線形補完して算定する。

*2 温度計測における打設温度は熱電対での測定初期値、解析時の打設温度は、外気温+5℃とする。

*3 温度上昇量は、最高温度と打設温度との差とする。

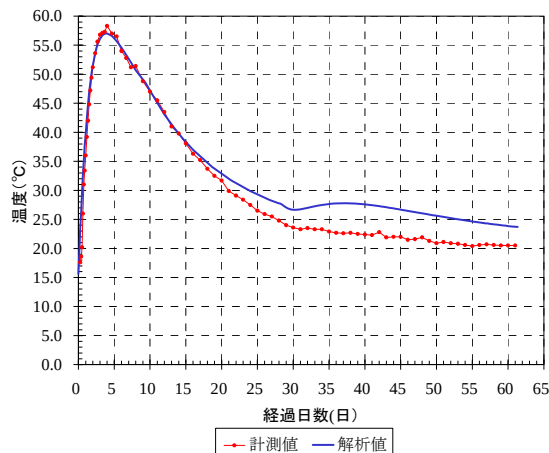


図 3－2 底版中央部の温度分布図

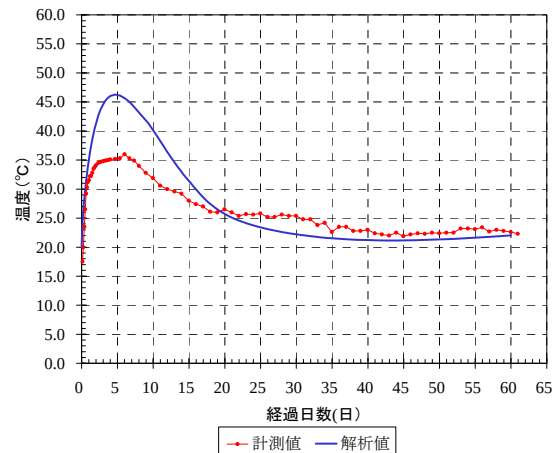


図 3－3 堰柱①中央部の温度分布図

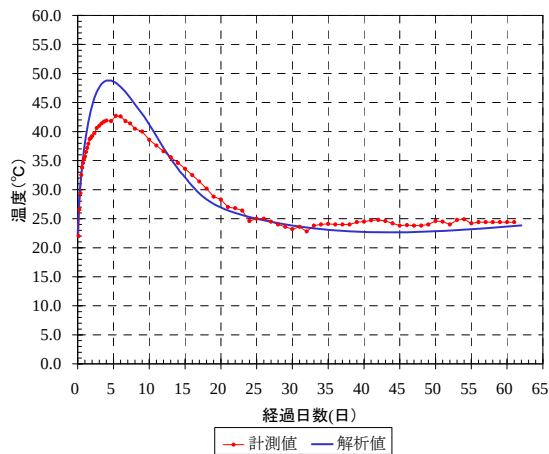


図 3－4 堰柱②中央部の温度分布図

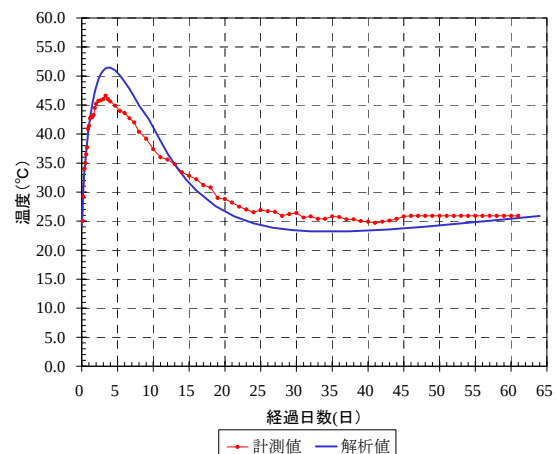


図 3－5 堰柱③中央部の温度分布図

温度計測結果と解析結果の比較により、底版（高炉セメント使用）については計測値と解析値はほぼ同程度であった。堰柱部（低熱セメント使用）については、解析値に対して計測値の方が最高温度、温度上昇量が 5～10℃程度小さい結果となった。低熱セメントの断熱温度上昇式パラメータが解析時と実際とでは差異があったものと思われる。

4. 他部材の状況

翼壁については、温度応力解析の結果、高炉セメント B 種を使用すると翼壁部にてひび割れが発生する危険性があると想定されたが、当初設計どおり高炉セメント B 種で打設下。

翼壁のひび割れ状況は、解析で予想した通りひび割れが 4～5m ピッチで発生した。

5. 試行の反省点・その他

当該構造物の中で試行対象としては、水門本体に着目し、温度ひび割れ解析および発生抑制の抑制対策を施した。その結果、ひび割れは発生しておらず、低熱ポルトランドを使用したことによる効果が確認された。

しかし、検討を行わなかった翼壁では、解析段階でひび割れが発生することが予想されたが、対策を行わなかったために 4～5m ピッチでひび割れが発生した。

また、温度解析と実測値において、高炉セメント B 種を使用した底版では比較的両者が一致する結果となったが、低熱ポルトランドセメントを使用した堰柱部において最高温度および温度上昇勾配に差異が生じた。この理由として、打込み時のコンクリート温度の差も要因の一つではあるが、低熱セメントの熱特性に差異があったことが主要な原因と考えられ、今後のデータの蓄積が望まれる。

当現場においては、近隣に低熱ポルトランドセメントを使用した大規模工事が行われており、比較的容易に材料の入手ができた。

施工事例 2

1. 工事概要

工 事 内 容：高架橋下部工

フーチング (145.8m³)

橋台 躯体 (177.7m³), パラペット (20.0m³)

【検討段階】：施工段階

【懸念される問題点】：マスコンクリートにおける温度ひび割れ

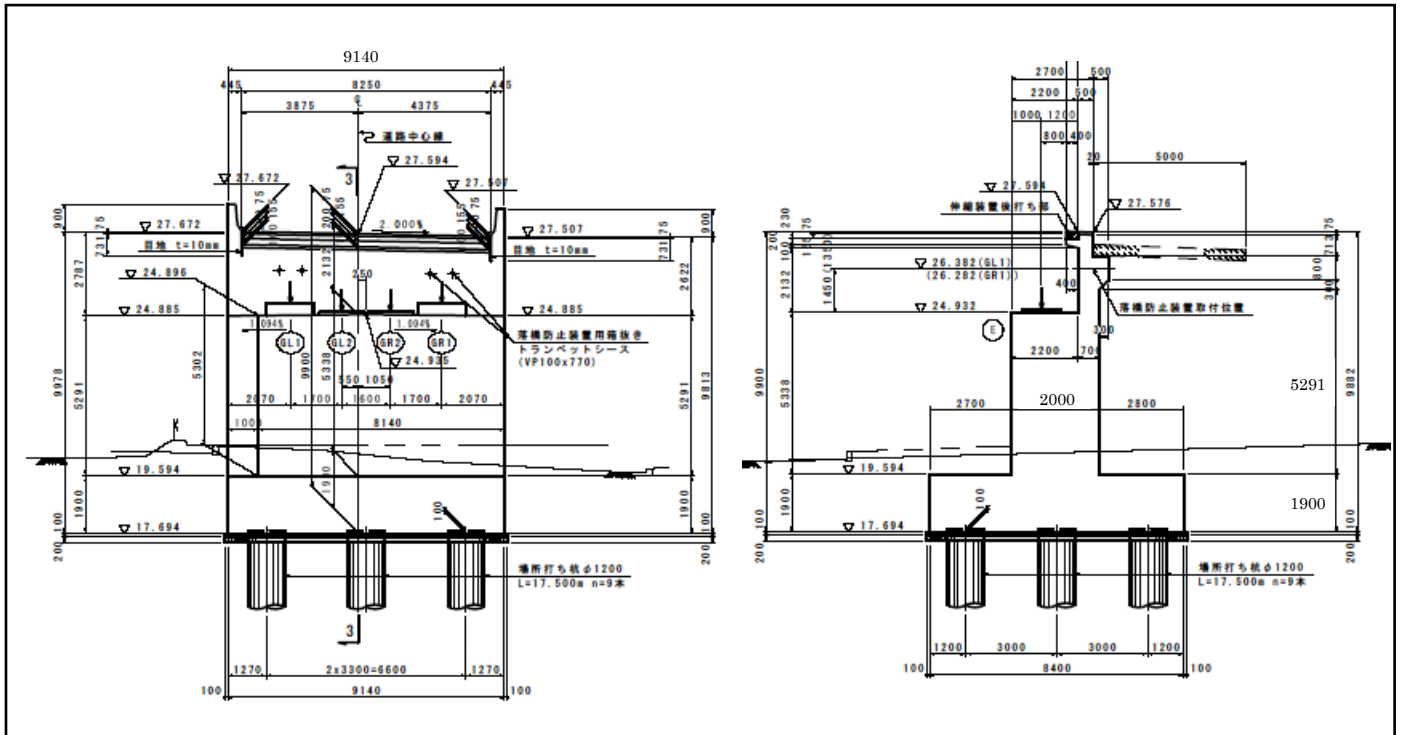
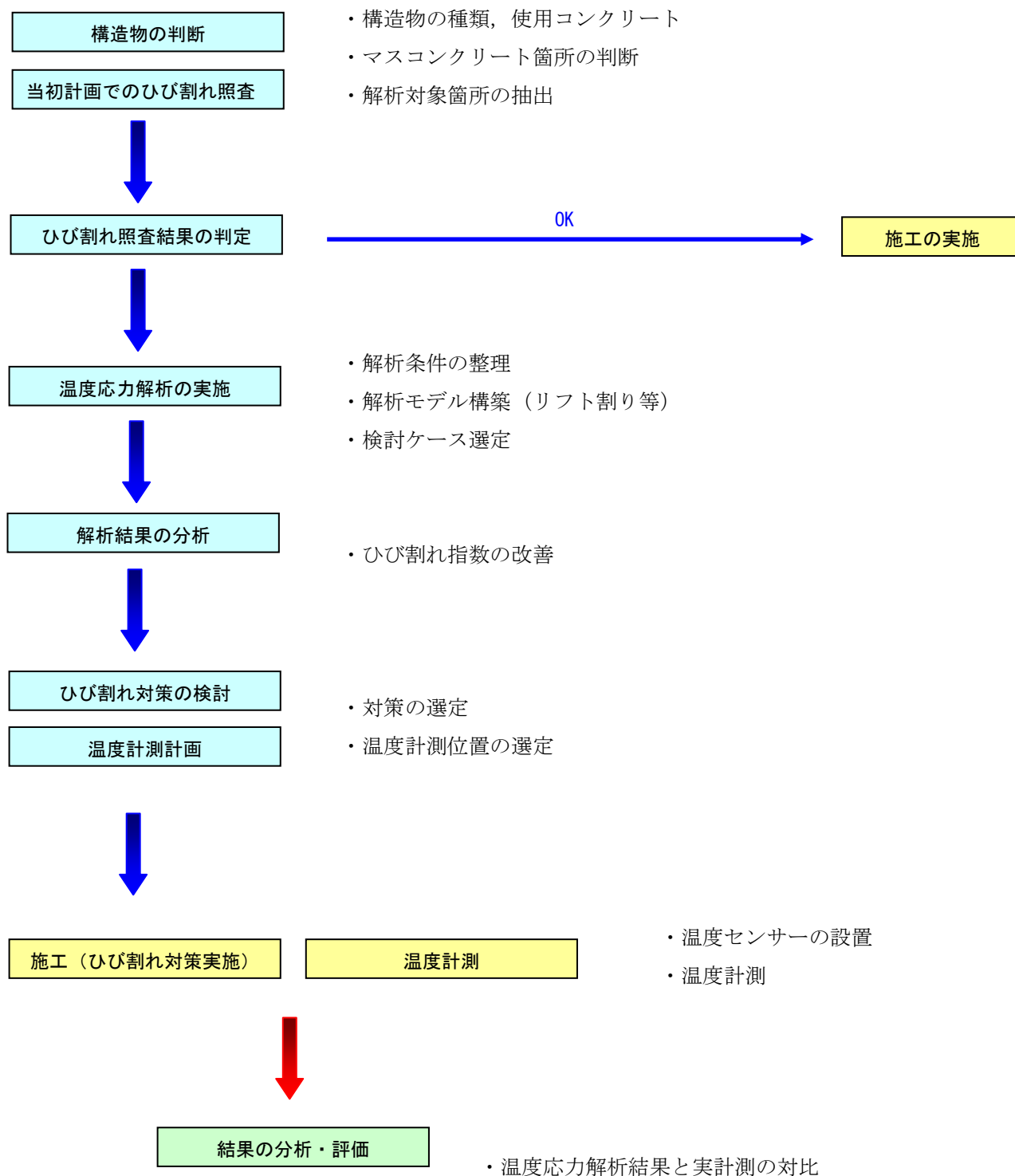


図 1-1 正面図，断面図



写真 1-1 完成

1.1 検討フロー



2. 温度ひび割れ対策検討

2.1 概要

橋台（フーチング部、躯体部）は、典型的なマスコンクリート構造物（表 2-1）であり、温度ひび割れが発生するおそれがある。ひび割れの発生する要因は、コンクリートの材料・配合・施工環境・工程・構造・外力など条件または組合せによるなど多岐にわたっている。一般的な温度ひび割れは、断面の厚いマッシブな構造物であるフーチング部の場合は、構造物内部と外部の温度差により拘束（内部拘束）を受けて表面にひび割れが発生しやすく、壁状の構造物である躯体部は、底版に拘束され（外部拘束）、温度降下時の収縮に伴って躯体を貫通するひび割れの発生が懸念される。

表 2-1 検討構造物概要

検討対象	部 位	形 状
橋 台	底 版	長さ 9.1m×幅 8.4m×高さ 1.9m
	軀 体	長さ 9.1m×幅 2.9m×高さ 5.3m

2.2 当初計画における条件でのひび割れ照査

2.2.1 当初計画諸条件

1) コンクリートの配合（24-8-20BB）

表 2-2 当初配合 24-8-20（BB）

水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
		W	C	S	G	AE 減水剤
53.5	46.1	165.0	309.0	799.0	983.0	3.09

※保証材齢：28 日

2) コンクリートの打設時期

【打設予定時期】

フーチング：4 月 12 日 躯体：4 月 27 日 パラペット①：5 月 12 日
パラペット②：5 月 24 日

2.2.1 解析方法

1) 温度解析：FEM 温度解析法

2) 応力解析：CPM 応力解析法

（使用プログラム：JCI マスコンクリートの温度応力解析プログラム JCMAC 1 Ver.1.15）

2.2.2 解析条件および解析モデル

1) 図 2-1 打設計画図・図 2-2 解析モデル図に示す条件および打設方法で実施した。

2) コンクリートの養生条件

コンクリート打設後の養生は湛水養生とし、湛水養生および型枠存置期間は 7 日とした。

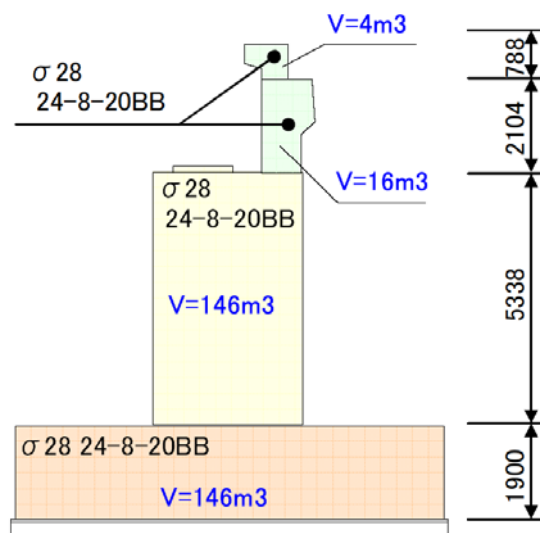


図 2-1 打設計画図

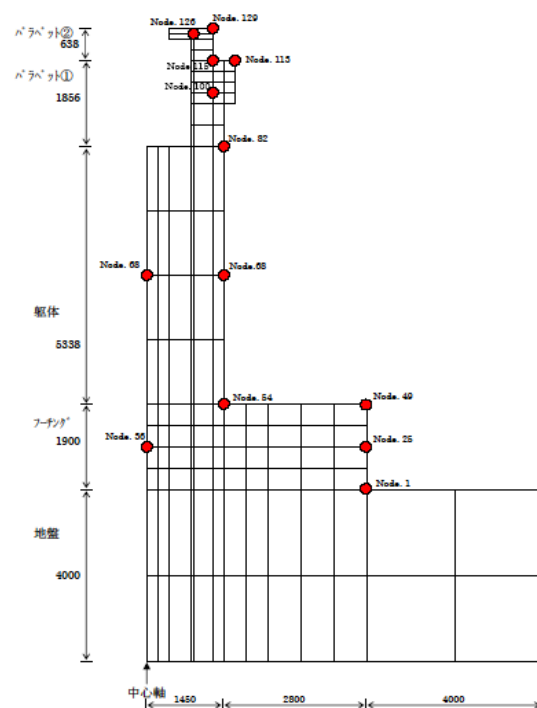


図 2-2 解析モデル

3) 断熱温度上昇について

断熱温度上昇式の最終断熱温度上昇値（K）と温度上昇の速度（ α ）は試験により求め、各打込み温度に対応する値を選定した。解析に用いた断熱温度上昇式、温度上昇に関する定数（K、 α ）を表 2-3 に示す。

表 2-3 断熱温度上昇曲線式

部位	打設日	外気温 (°C)	コンクリート 温度 (°C)	セメント種類	Gmax (mm)	保証材齢 (日)	K	α
フーチング	4. 12	16. 2	19. 0	高炉 B 種	20	28	43. 79	1. 076
躯体	4. 27	18. 5	22. 0				43. 51	1. 148
ハブット①	5. 12	20. 0	23. 0				43. 47	1. 172
ハブット②	5. 24	21. 0	24. 0				43. 43	1. 196

※外気温は、気象庁鹿児島地方気象台の日平均気温を用いた。

コンクリートの温度は、外気温+3°Cとした。

※断熱温度上昇式 $Q=K(1-e^{-\alpha \cdot t})$: t は材齢 (日)

4) 熱定数

温度解析に用いた熱定数を表 2-4 に示す。

表 2-4 熱定数

種別	熱伝導率 (W/m・°C)	比熱 (kJ/kg・°C)	密度 (kg/m³)	熱伝達率 (W/m²・°C)	熱膨張係数 (1/°C)
地盤	3. 45	0. 795	2650	—	—
コンクリート	2. 70	1. 155	2300	8	0. 00001

5) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度：基準（20℃標準養生）とした圧縮強度を表 2-5 に示す。

表 2-5 圧縮強度

セメントの種類	Gmax (mm)	保証材齢 (日)	W/C (%)	圧縮強度 (N/mm ²)			
				3 日	7 日	28 日	56 日
高炉セメント B 種	20	28	53.5	10.3	18.3	31.0	35.8

※高炉セメント B 種コンクリートの圧縮強度は、実績より算出した。

6) 引張強度

引張強度は、土木学会式を用いて圧縮強度より推定した。

$$f_t(t) = 0.44 \times \{f_c(t)\}^{0.5}$$

ここに、 $f_t(t)$ ：材令 t 日の引張強度

$f_c(t)$ ：材令 t 日の圧縮強度

7) 有効弾性係数

有効弾性係数は、土木学会式を用いて圧縮強度より推定した。

$$E_e(t) = \phi(t) \times 4.7 \times 10^3 \times \{f_c(t)\}^{0.5}$$

ここに、 $E_e(t)$ ：材令 t 日の有効弾性係数

$\phi(t)$ ：有効弾性係数の補正係数

材令 3 日まで $\phi = 0.73$ ，材令 5 日以降 $\phi = 1.00$ ，

材令 3 日から 5 日までは直線補間

8) 拘束係数

解析に用いた外部拘束係数は、コンクリート標準示方書「施工編」に示されている設定方法に従った。まず、解説の外部拘束係数の適用方法から各リフトの軸拘束係数 R_N ，曲げ拘束係数 R_{M1} ， R_{M2} を求めて入力値とした。なお、外部拘束係数の算定にあたっては、フーチングについては拘束体を地盤とした。外部拘束係数を算出したデータおよび算出した外部拘束係数を表 2-6 に示す。

表 2-6 外部拘束係数

リフト	L (m)	H (m)	L/H	E_c	E_r	E_c/E_r	R_N	R_{M1}	R_{M2}
フーチング	9.14	1.9	4.8	24826	650	38.2	0.06	0.43	0.88
躯体	9.14	7.2	1.3	25091	650	38.6	0	0.04	0.15
パラーベット①	9.14	9.1	1.0	25267	650	38.9	0	0.01	0.02
パラーベット②	9.14	9.7	0.9	25397	650	39.1	0	0.01	0.02

2.2.3 解析結果

当初計画での、温度応力解析結果を表 2-7 に示す。

表 2-7 解析結果表

解析部位	管理材齢 (日)	内部最高温度 (℃)	ひび割れ指数	発生確率 (%)
フーチング	28	55.69	0.96	88.0
躯体		63.67	0.62	99.0
パラペット①		47.55	1.45	23.0
パラペット②		35.58	1.92	0.0

高炉セメント B 種を使用した場合は、躯体がフーチングと接する個所でひび割れ指数が最も小さくなり、ひび割れ指数は 0.62 であり、有害なひび割れが発生する可能性がある。フーチングでは、内部拘束によるひび割れ発生の可能性があり、発熱を抑える配合の検討が必要である。

3 当初計画の解析結果からのひび割れ対策検討

当初計画の温度応力解析の結果、フーチング・躯体部でひび割れ指数が低く、温度ひび割れが発生する確率が高い結果となった。そこで、ひび割れ対策検討およびひび割れ照査を実施した。

3.1 ひび割れ対策検討

1) コンクリートの配合変更

- ①低発熱型高炉セメント B 種 (BBL) の使用
- ②粗骨材最大寸法の変更 (20mm から一部 40mm に変更)
- ③保証材齢の変更 (28 日から一部 56 日に変更)

2) 施工工程等の変更

- ①脱枠時期の検討 (7 日から一部 10 日に変更)
- ②躯体の打設リフトの変更 (2 回から 3 回)

3) その他

ひび割れの補修を考慮した誘発目地の設置

3.2 試験練りの実施

3.2.1 概要

ひび割れ対策検討結果より、低発熱型高炉セメント B 種、保証材齢 56 日の配合設計を求めるための試験練りを行い、配合設計基礎資料を求め、配合設計を行った。

配合設計は 24-8-20 (40) BBL および呼び強度を保証する材齢 28 日 (56 日) の配合値を求めるため、水セメント比、骨材寸法の組合せにより水セメント比の範囲を絞って、下記の設定条件とした。

3.2.2 条件

設定条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 設定条件

水セメント比 (%)	20mm	50, 54, 58, 62
	40mm	48, 52, 56, 60
スランプ (cm)	9.0±1.5 (設計は 8cm であるがスランプ 1cm を見込んだ)	
空気量 (%)	4.5±1.0	

3.2.3 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 試験練り結果（20℃標準水中養生）

Gmax (mm)	水セメント比 (%)	単位 水量 (kg/m ³)	単位 セメント量 (kg/m ³)	細骨 材量 (kg/m ³)	粗骨 材量 (kg/m ³)	混和 剤量 (kg/m ³)	フレッシュコンクリート 性状		圧縮強度 (N/mm ²)			
							スランプ [°] (%)	空気量 (%)	3 日	7 日	28 日	56 日
20	50.0	165	308	778	986	3.30	8.0	4.6	—	17.2	35.0	40.0
	54.0	165	318	799	983	3.06	8.0	4.6	7.51	15.0	30.5	35.4
	58.0	165	324	816	983	2.85	8.5	4.9	5.90	12.6	27.1	31.6
	62.0	166	331	837	975	2.68	9.0	4.8	—	10.7	22.5	27.9
40	48.0	152	317	683	1128	3.17	8.0	4.9	—	17.2	37.0	43.3
	52.0	152	293	703	1128	2.93	8.5	4.9	7.77	15.9	32.3	37.5
	56.0	154	275	713	1128	2.75	8.5	4.9	5.89	13.8	28.5	32.5
	60.0	154	257	728	1128	2.57	8.5	4.9	—	11.9	24.9	30.4

3.2.4 配合の決定

試験練りの結果より、呼び強度 24 を満足する水セメント比は 60%であったが、土木コンクリートの構造物の品質確保の水セメント比の上限値より 55.0%とした。

3.3 温度応力解析

3.3.1 解析方法

- 1) 温度解析：FEM 温度解析法
- 2) 応力解析：CPM 応力解析法

（使用プログラム：JCI マスコンクリートの温度応力解析プログラム JCMAC 1 Ver.1.15）

3.3.2 解析条件および解析モデル

- 1) 解析 Case：表 3-3 に示すコンクリート条件および打設方法を組合せて計画した。

表 3-3 解析ケース

Case	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	骨材寸法 (mm)	セメントの種類	打設方法	保証材齢 (日)
1	24	8	40	低熱高炉セメント B 種	躯体 2 回	56
2	24	8	40		躯体 3 回	56
3	24	8	20		躯体 2 回	56
4	24	8	20		躯体 3 回	56
5	24	8	40		躯体 3 回	28
6	24	8	20		躯体 3 回	28
7	24	8	40		躯体 3 回（10 日）	56
8	24	8	40		躯体 3 回（20 日）	56

2) コンクリートの配合を表 3-4 に示す.

表 3-4 配合表

配合	セメントの種類	保証材齢	W/C (%)	セメント量 (kg/m ³)	水量 (kg/m ³)
24-8-40	低熱高炉セメント B 種	56 日	55.0	275	151
24-8-20		56 日	55.0	295	162
24-8-40		28 日	51.5	293	151
24-8-20		28 日	52.0	312	162

3) 図 3-1, 図 3-2 解析モデル図を示す.

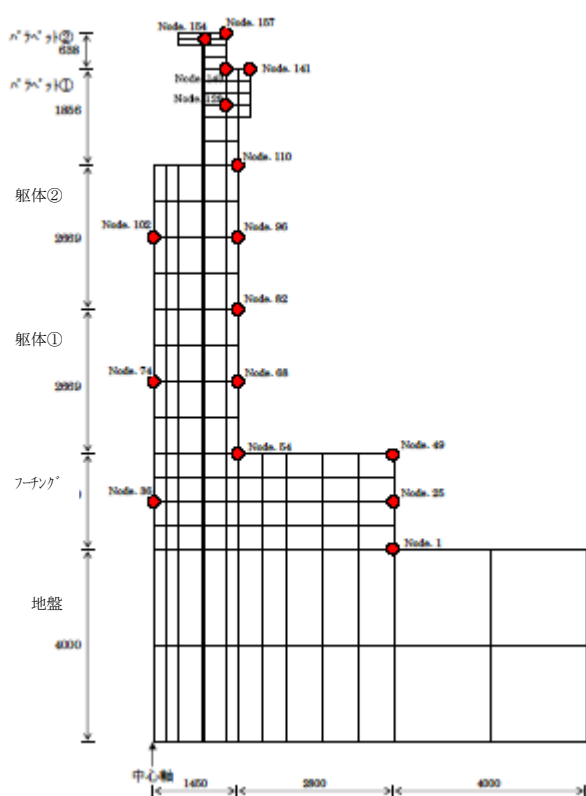


図 3-1 解析モデル図 Case1, 3

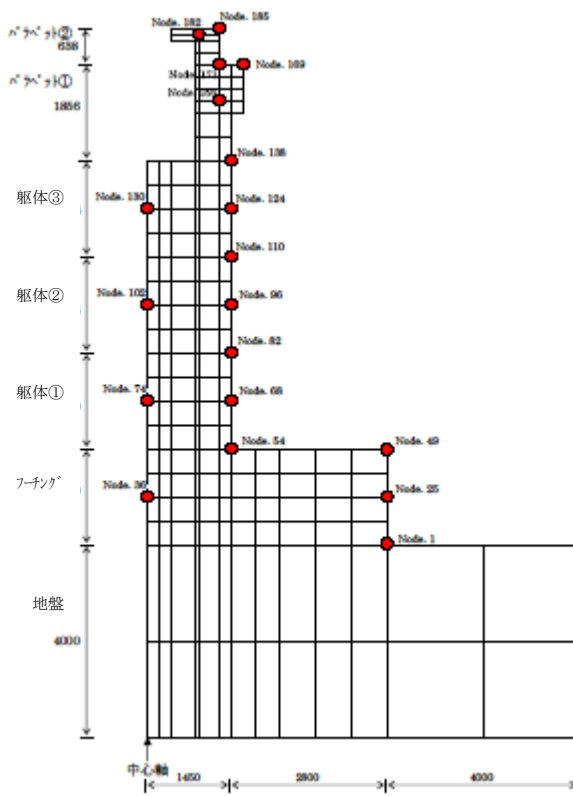


図 3-2 解析モデル図 Case2, 4, 5, 6, 7, 8

4) コンクリートの打設時期および養生方法

打設予定時期を表 3-5 に示す.

表 3-5 打設予定時期

Case	フーチング	躯体①	躯体②	躯体③	ハﾟﾗﾍﾟｯﾄ①	ハﾟﾗﾍﾟｯﾄ②	養生期間
1, 3	H18. 4. 24	H18. 5. 16	H18. 6. 02	—	H18. 6. 19	H18. 7. 04	7 日
2, 4	H18. 4. 24	H18. 5. 16	H18. 6. 01	H18. 6. 15	H18. 6. 30	H18. 7. 12	7 日
5, 6	H18. 4. 12	H18. 4. 26	H18. 5. 09	H18. 5. 20	H18. 5. 31	H18. 6. 12	7 日
7	H18. 4. 24	H18. 5. 04	H18. 5. 14	H18. 5. 24	H18. 6. 03	H18. 6. 13	10 日
8	H18. 4. 24	H18. 5. 14	H18. 6. 03	H18. 6. 23	H18. 7. 13	H18. 8. 03	20 日

コンクリート打設後の養生は湛水養生とし、湛水養生および型枠存置期間は表 3-5 による.

5) 断熱温度上昇について

断熱温度上昇式の最終断熱温度上昇値（K）と温度上昇の速度（ α ）は試験により求め、各打込み温度に対応する値を選定した。解析に用いた断熱温度上昇式、温度上昇に関する定数（K、 α ）を表 3-6 に示す。

表 3-6 断熱温度上昇曲線式

Case	部位	打設日	外気温 (°C)	コンクリート 温度(°C)	セメント種類	Gmax	保証 材 齢	K	α
1	フーチング	H18. 4. 24	18. 1	21	低熱高炉 セメント B 種	40mm	56 日	34. 91	0. 819
	躯体①	H18. 5. 16	20. 2	23				34. 66	0. 876
	躯体②	H18. 6. 2	22. 0	25				34. 51	0. 933
	ハ°ラベ°ット①	H18. 6. 19	23. 9	27				34. 42	0. 990
	ハ°ラベ°ット②	H18. 7. 4	26. 6	30				34. 33	1. 076
2	フーチング	H18. 4. 24	18. 1	21	低熱高炉 セメント B 種	40mm	56 日	34. 91	0. 819
	躯体①	H18. 5. 16	20. 2	23				34. 66	0. 876
	躯体②	H18. 6. 1	21. 9	25				34. 51	0. 933
	躯体③	H18. 6. 15	23. 4	26				34. 46	0. 962
	ハ°ラベ°ット①	H18. 6. 30	25. 9	29				34. 36	1. 047
	ハ°ラベ°ット②	H18. 7. 12	27. 8	31				34. 30	1. 104
3	フーチング	H18. 4. 24	18. 1	21	低熱高炉 セメント B 種	20mm	56 日	37. 23	0. 870
	躯体①	H18. 5. 16	20. 2	23				36. 97	0. 931
	躯体②	H18. 6. 2	22. 0	25				36. 81	0. 992
	ハ°ラベ°ット①	H18. 6. 19	23. 9	27				36. 71	1. 053
	ハ°ラベ°ット②	H18. 7. 4	26. 6	30				36. 61	1. 144
4	フーチング	H18. 4. 24	18. 1	21	低熱高炉 セメント B 種	20mm	56 日	37. 23	0. 870
	躯体①	H18. 5. 16	20. 2	23				36. 97	0. 931
	躯体②	H18. 6. 1	21. 9	25				36. 81	0. 992
	躯体③	H18. 6. 15	23. 4	26				36. 75	1. 022
	ハ°ラベ°ット①	H18. 6. 30	25. 9	29				36. 64	1. 113
	ハ°ラベ°ット②	H18. 7. 12	27. 8	31				36. 58	1. 174
5	フーチング	H18. 4. 12	16. 8	20	低熱高炉 セメント B 種	40mm	28 日	37. 25	0. 837
	躯体①	H18. 4. 26	18. 4	21				37. 07	0. 867
	躯体②	H18. 5. 9	19. 7	23				36. 82	0. 927
	躯体③	H18. 5. 20	20. 5	24				36. 73	0. 958
	ハ°ラベ°ット①	H18. 5. 31	21. 8	25				36. 65	0. 988
	ハ°ラベ°ット②	H18. 6. 12	23. 0	26				36. 60	1. 018

Case	部位	打設日	外気温 (°C)	コンクリート 温度(°C)	セメント種類	Gmax	保証 材 齢	K	α
6	フーチング	H18. 4. 12	16. 8	20	低熱高炉 セメント B 種	20mm	28 日	39. 39	0. 882
	躯体①	H18. 4. 26	18. 4	21				39. 21	0. 914
	躯体②	H18. 5. 9	19. 7	23				38. 93	0. 978
	躯体③	H18. 5. 20	20. 5	24				38. 84	1. 010
	ハ°ラベ°ット①	H18. 5. 31	21. 8	25				37. 76	1. 042
	ハ°ラベ°ット②	H18. 6. 12	23. 0	26				38. 70	1. 074
7	フーチング	H18. 4. 24	18. 1	21	低熱高炉 セメント B 種	40mm	56 日	34. 91	0. 819
	躯体①	H18. 5. 4	19. 2	22				34. 77	0. 847
	躯体②	H18. 5. 14	20. 1	23				34. 66	0. 876
	躯体③	H18. 5. 24	21. 0	24				34. 58	0. 904
	ハ°ラベ°ット①	H18. 6. 3	22. 1	25				34. 51	0. 933
	ハ°ラベ°ット②	H18. 6. 13	23. 2	26				34. 46	0. 962
8	フーチング	H18. 4. 24	18. 1	21	低熱高炉 セメント B 種	40mm	56 日	34. 91	0. 819
	躯体①	H18. 5. 14	20. 1	23				34. 66	0. 876
	躯体②	H18. 6. 3	22. 1	25				34. 51	0. 933
	躯体③	H18. 6. 23	24. 6	28				34. 38	1. 019
	ハ°ラベ°ット①	H18. 7. 13	27. 9	31				34. 30	1. 104
	ハ°ラベ°ット②	H18. 8. 3	28. 4	31				34. 30	1. 104

※外気温は、気象庁鹿児島県鹿児島地方気象台の日平均気温を用いた。

コンクリートの温度は、外気温+約 3°Cとした。

※断熱温度上昇式 $Q=K(1-e^{-\alpha \cdot t})$: 式中の t は材令 (日)

6) 熱定数

温度解析に用いた熱定数を表 3-7 に示す。

表 3-7 熱定数

種別	熱伝導率 (W/m・°C)	比熱 (kJ/kg・°C)	密度 (kg/m³)	熱伝達率 (W/m²・°C)	熱膨張係数 (1/°C)
地盤	3. 45	0. 795	2650	—	—
コンクリート	2. 70	1. 155	2300	8	0. 00001

7) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度：基準（20°C標準養生）とした圧縮強度を表 3-8 に示す。

表 3-8 圧縮強度

セメントの種類	Gmax (mm)	保証材齢 (日)	W/C (%)	圧縮強度 (N/mm²)			
				3 日	7 日	28 日	56 日
低熱高炉セメント B 種	20	56	55. 0	6. 27	15. 70	27. 60	38. 10
	40	56	55. 0	6. 27	15. 70	27. 60	38. 10
	20	28	52. 0	7. 02	17. 30	28. 60	40. 40
	40	28	51. 5	7. 39	17. 60	30. 00	40. 80

7) 引張強度

引張強度は、土木学会式を用いて圧縮強度より推定した.

$$f_t(t) = 0.44 \times \{f_c(t)\}^{0.5}$$

ここに、 $f_t(t)$: 材令 t 日の引張強度

$f_c(t)$: 材令 t 日の圧縮強度

8) 有効弾性係数

有効弾性係数は、土木学会式を用いて圧縮強度より推定した.

$$E_e(t) = \phi(t) \times 4.7 \times 10^3 \times \{f_c(t)\}^{0.5}$$

ここに、 $E_e(t)$: 材令 t 日の有効弾性係数

$\phi(t)$: 有効弾性係数の補正係数

材令 3 日まで $\phi = 0.73$, 材令 5 日以降 $\phi = 1.00$,

材令 3 日から 5 日までは直線補間

9) 拘束係数

解析に用いた外部拘束係数は、コンクリート標準示方書「施工編」に示されている設定方法に従った。まず、解説の外部拘束係数の適用方法から各リフトの軸拘束係数 R_N 、曲げ拘束係数 R_{M1} 、 R_{M2} を求めて入力値とした。なお、外部拘束係数の算定にあたっては、フーチングについては拘束体を地盤とした。外部拘束係数を算出したデータおよび算出した外部拘束係数を表 3-9 に示す。

表 3-9 各リフトの外部拘束係数算定条件

Case	リフト	L (m)	H (m)	L/H	Ec	Er	Ec/Er	R_N	R_{M1}	R_{M2}
1	フーチング	9.14	1.9	4.8	25484	650	39.2	0.06	0.42	0.87
	躯体①	9.14	4.6	2.0	25829	650	39.7	0	0.10	0.31
	躯体②	9.14	7.2	1.3	26126	650	40.2	0	0.03	0.04
	ハングアウト①	9.14	9.1	1.0	26379	650	40.6	0	0.01	0.02
	ハングアウト②	9.14	9.7	0.9	26753	650	41.2	0	0.01	0.02
2	フーチング	9.14	1.9	4.8	25484	650	39.2	0.06	0.42	0.87
	躯体①	9.14	3.7	2.5	25829	650	39.7	0	0.19	0.46
	躯体②	9.14	5.5	1.7	26084	650	40.1	0	0.07	0.07
	躯体③	9.14	7.2	1.3	26295	650	40.5	0	0.03	0.04
	ハングアウト①	9.14	9.1	1.0	26670	650	41.0	0	0.01	0.02
	ハングアウト②	9.14	9.7	0.9	26876	650	41.4	0	0.01	0.02
3	フーチング	9.14	1.9	4.8	25484	650	39.2	0.06	0.42	0.87
	躯体①	9.14	4.6	2.0	25829	650	39.7	0	0.10	0.31
	躯体②	9.14	7.2	1.3	26126	650	40.2	0	0.03	0.04
	ハングアウト①	9.14	9.1	1.0	26379	650	40.6	0	0.01	0.02
	ハングアウト②	9.14	9.7	0.9	26753	650	41.2	0	0.01	0.02

Case	リフト	L (m)	H (m)	L/H	Ec	Er	Ec/Er	RN	RM1	RM2
4	フーチング*	9.14	1.9	4.8	25484	650	39.2	0.06	0.42	0.87
	躯体①	9.14	3.7	2.5	25829	650	39.7	0	0.19	0.46
	躯体②	9.14	5.5	1.7	26084	650	40.1	0	0.07	0.07
	躯体③	9.14	7.2	1.3	26295	650	40.5	0	0.03	0.04
	ハ°ラベ°ット①	9.14	9.1	1.0	26670	650	41.0	0	0.01	0.02
	ハ°ラベ°ット②	9.14	9.7	0.9	26876	650	41.4	0	0.01	0.02
5	フーチング*	9.14	1.9	4.8	26253	650	40.4	0.05	0.42	0.86
	躯体①	9.14	3.7	2.5	26546	650	40.8	0	0.19	0.45
	躯体②	9.14	5.5	1.7	26753	650	41.2	0	0.07	0.23
	躯体③	9.14	7.2	1.3	26876	650	41.4	0	0.03	0.04
	ハ°ラベ°ット①	9.14	9.1	1.0	27081	650	41.7	0	0.01	0.02
	ハ°ラベ°ット②	9.14	9.7	0.9	27284	650	42.0	0	0.01	0.02
6	フーチング*	9.14	1.9	4.8	26126	650	40.2	0.06	0.42	0.86
	躯体①	9.14	3.7	2.5	26379	650	40.6	0	0.19	0.45
	躯体②	9.14	5.5	1.7	26629	650	41.0	0	0.03	0.04
	躯体③	9.14	7.2	1.3	26753	650	41.2	0	0.02	0.03
	ハ°ラベ°ット①	9.14	9.1	1.0	26959	650	41.5	0	0.01	0.02
	ハ°ラベ°ット②	9.14	9.7	0.9	27122	650	41.7	0	0.01	0.02
7	フーチング*	9.14	1.9	4.8	25484	650	39.2	0.06	0.42	0.87
	躯体①	9.14	3.7	2.5	25657	650	39.5	0	0.19	0.46
	躯体②	9.14	5.5	1.7	25829	650	39.7	0	0.07	0.07
	躯体③	9.14	7.2	1.3	25957	650	39.9	0	0.03	0.04
	ハ°ラベ°ット①	9.14	9.1	1.0	26126	650	40.2	0	0.01	0.02
	ハ°ラベ°ット②	9.14	9.7	0.9	26295	650	40.5	0	0.01	0.02
8	フーチング*	9.14	1.9	4.8	25484	650	39.2	0.06	0.42	0.87
	躯体①	9.14	3.7	2.5	25829	650	39.7	0	0.19	0.46
	躯体②	9.14	5.5	1.7	26126	650	40.2	0	0.07	0.07
	躯体③	9.14	7.2	1.3	26462	650	40.7	0	0.03	0.04
	ハ°ラベ°ット①	9.14	9.1	1.0	26918	650	41.4	0	0.01	0.02
	ハ°ラベ°ット②	9.14	9.7	0.9	26959	650	41.5	0	0.01	0.02

3.3.3 解析結果

1) 温度解析結果

各条件で温度解析した結果を表 3-10 に示す。

表 3-10 最高温度と温度上昇量

Case	Gmax	保証 材 齢	躯体 打 設	部 位	最高温度 (°C)
1	40mm	56 日	2 回	フーチング	48.56
				躯体①	54.08
				躯体②	56.21
				ハ°ラ°ット①	45.19
				ハ°ラ°ット②	37.75
2	40mm	56 日	3 回	フーチング	48.55
				躯体①	50.19
				躯体②	52.30
				躯体③	53.67
				ハ°ラ°ット①	47.22
				ハ°ラ°ット②	38.79
3	20mm	56 日	2 回	フーチング	50.85
				躯体①	56.49
				躯体②	58.59
				ハ°ラ°ット①	46.91
				ハ°ラ°ット②	38.73
4	20mm	56 日	3 回	フーチング	50.85
				躯体①	52.44
				躯体②	54.58
				躯体③	55.97
				ハ°ラ°ット①	49.04
				ハ°ラ°ット②	39.93
5	40mm	28 日	3 回	フーチング	49.56
				躯体①	50.45
				躯体②	52.18
				躯体③	53.96
				ハ°ラ°ット①	43.73
				ハ°ラ°ット②	35.21
6	20mm	28 日	3 回	フーチング	51.68
				躯体①	52.55
				躯体②	54.23
				躯体③	55.58
				ハ°ラ°ット①	45.94
				ハ°ラ°ット②	36.61

Case	Gmax	保証 材 齢	躯体 打設	部 位	最高温度 (°C)
7	40mm	56 日	3 回 10 日 ヒ ッ チ	フーチング	48.55
				躯体①	49.62
				躯体②	50.40
				躯体③	51.51
				ハ°ラハ°ット①	42.67
				ハ°ラハ°ット②	34.64
8	40mm	56 日	3 回 20 日 ヒ ッ チ	フーチング	48.55
				躯体①	50.21
				躯体②	52.30
				躯体③	55.65
				ハ°ラハ°ット①	49.45
				ハ°ラハ°ット②	40.76

2) 応力解析結果

各条件で応力解析した結果を表 3-11 に示す.

表 3-11 引張応力および温度ひび割れ指数とひび割れ発生確率

Case	Gmax	設計 材 齢	躯体 打設	部 位	最大 引張応力 (N/mm ²)	ひび割れ 指数 (安全係数)	最小 箇所	ひび割れ 発生確率 (%)
1	40mm	56 日	2 回	フーチング	1.53	1.32	躯体 ① 中心	41
				躯体①	3.48	0.65		98
				躯体②	2.12	1.06		78
				ハ°ラハ°ット①	1.15	1.58		12
				ハ°ラハ°ット②	0.81	2.32		0
2	40mm	56 日	3 回	フーチング	1.68	1.32	躯体 ② 中心	41
				躯体①	2.81	0.78		97
				躯体②	2.86	0.76		97
				躯体③	2.15	1.03		81
				ハ°ラハ°ット①	1.32	1.44		24
				ハ°ラハ°ット②	0.78	2.27		0
3	20mm	56 日	2 回	フーチング	1.61	1.22	躯体 ① 中心	56
				躯体①	3.74	0.60		99
				躯体②	2.30	0.98		86
				ハ°ラハ°ット①	1.25	1.45		23
				ハ°ラハ°ット②	0.86	2.12		0

Case	Gmax	設計 材 齢	躯体 打設	部位	最大 引張応力 (N/mm ²)	ひび割れ 指数 (安全係数)	最小 箇所	ひび割れ 発生確率 (%)
4	20mm	56 日	3 回	フーチング	1.77	1.22	躯体 ② 中心	56
				躯体①	3.03	0.72		98
				躯体②	3.08	0.70		98
				躯体③	2.31	0.96		88
				ハ°ラ°ット①	1.42	1.34		36
				ハ°ラ°ット②	0.83	2.10		0
5	40mm	28 日	3 回	フーチング	1.80	1.21	躯体 ② 中心	58
				躯体①	2.76	0.79		97
				躯体②	2.75	0.77		97
				躯体③	2.06	1.12		71
				ハ°ラ°ット①	1.05	1.78		2
				ハ°ラ°ット②	0.73	2.56		0
6	20mm	28 日	3 回	フーチング	1.88	1.14	躯体 ① 中心	68
				躯体①	3.17	0.68		98
				躯体②	2.75	0.76		97
				躯体③	2.14	1.05		79
				ハ°ラ°ット①	1.19	1.55		15
				ハ°ラ°ット②	0.77	2.38		0
7	40mm	56 日	3 回 10 日 ビ°ッチ	フーチング	1.77	1.32	躯体 ① 中心	41
				躯体①	2.04	0.96		88
				躯体②	2.03	0.97		87
				躯体③	1.79	1.35		37
				ハ°ラ°ット①	0.93	1.94		0
				ハ°ラ°ット②	0.66	2.85		0
8	40mm	56 日	3 回 20 日 ビ°ッチ	フーチング	1.74	1.32	躯体 ① 中心	41
				躯体①	3.19	0.72		98
				躯体②	2.96	0.79		97
				躯体③	2.59	0.91		91
				ハ°ラ°ット①	1.54	1.29		46
				ハ°ラ°ット②	0.67	2.51		0

3) 温度ひび割れ対策の提案

上記解析結果より、フーチングは高炉セメント B 種を使用した場合においても最大粗骨材寸法を 40mm とすることで単位セメント量が低減でき、ひび割れ指数も 1.0 を超える。

したがって、当該構造物における温度ひび割れ対策は、フーチングは高炉セメント B 種を使用し最大骨材寸法を 40mm に変更する。躯体は、低熱高炉セメントを使用し、最大骨材寸法を 40mm とする。パラペットでは基本配合のままとする。

当該構造物において提案する温度ひび割れ対策における温度解析結果を表 3-12 に示す。

表 3-12 提案する温度ひび割れ対策における温度解析結果

部位	保証材齢 (日)	Gmax (mm)	水セメント比 (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	内部最高温度 (℃)	ひび割れ指数	発生確率 (%)
フーチング	28	40	51.5	293	50.68	1.21	58
躯体①	56	40	55.0	295	54.05	0.64	99
躯体②	56	40	55.0	295	56.18	1.05	79
パラペット①	28	20	52.0	312	48.46	1.37	34
パラペット②	28	20	52.0	312	39.70	1.98	0

3.3.4 打設配合および対策

検討結果から、低熱高炉セメントを使用して構造体の高密度鉄筋、施工期間を考慮し、且つ仕様書を満足すべく配合とした。また、ひび割れ発生確率の高い躯体に誘発目地を設置することとした。

なお、解析検証のため温度計測を実施した。

1) 実施配合を表 3-13 に示す。

表 3-13 実施配合表

部位	使用セメント	保証材齢 (日)	Gmax (mm)	水セメント比 (%)	単位セメント量 (kg/m ³)
フーチング	高炉セメント B 種	28	40	54.5	281
躯体①	低熱高炉セメント	56	40	55.0	280
躯体②	低熱高炉セメント	56	40	55.0	280
パラペット①	高炉セメント B 種	28	20	52.0	300
パラペット②	高炉セメント B 種	28	20	52.0	300

2) ひび割れ誘発目地の設置状況を写真 3-1 に示す。



写真 3-1 ひび割れ誘発目地設置状況

4 温度計測

4.1 温度計測および結果

各部位毎の温度計測位置および温度計測結果を下記に示す。

4.1.1 フーチング

フーチングの計測位置（図 4-1）および温度計測結果（表 4-1）に示す。

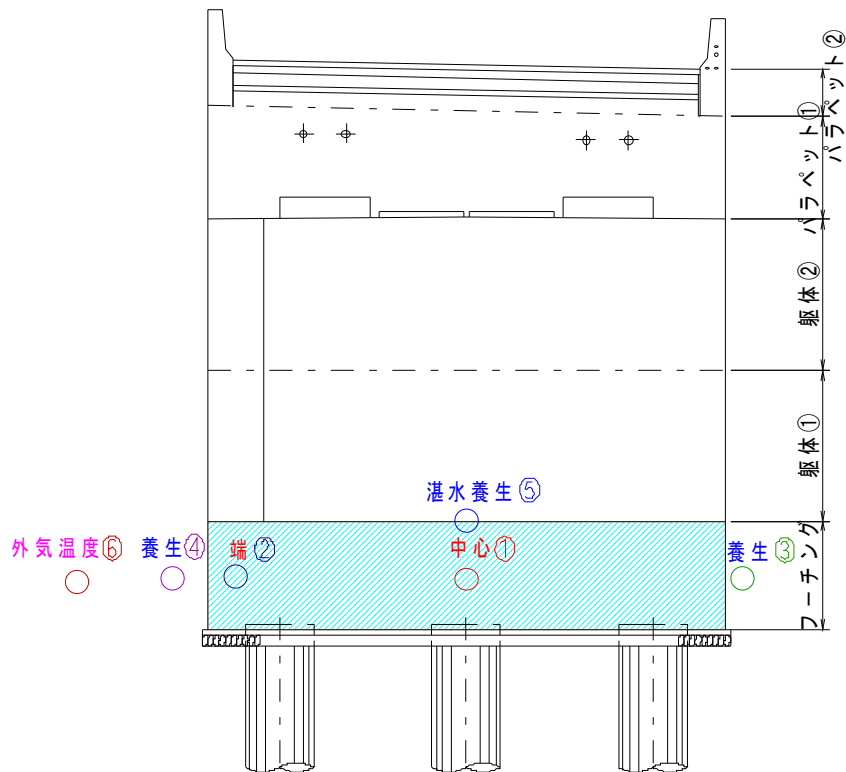
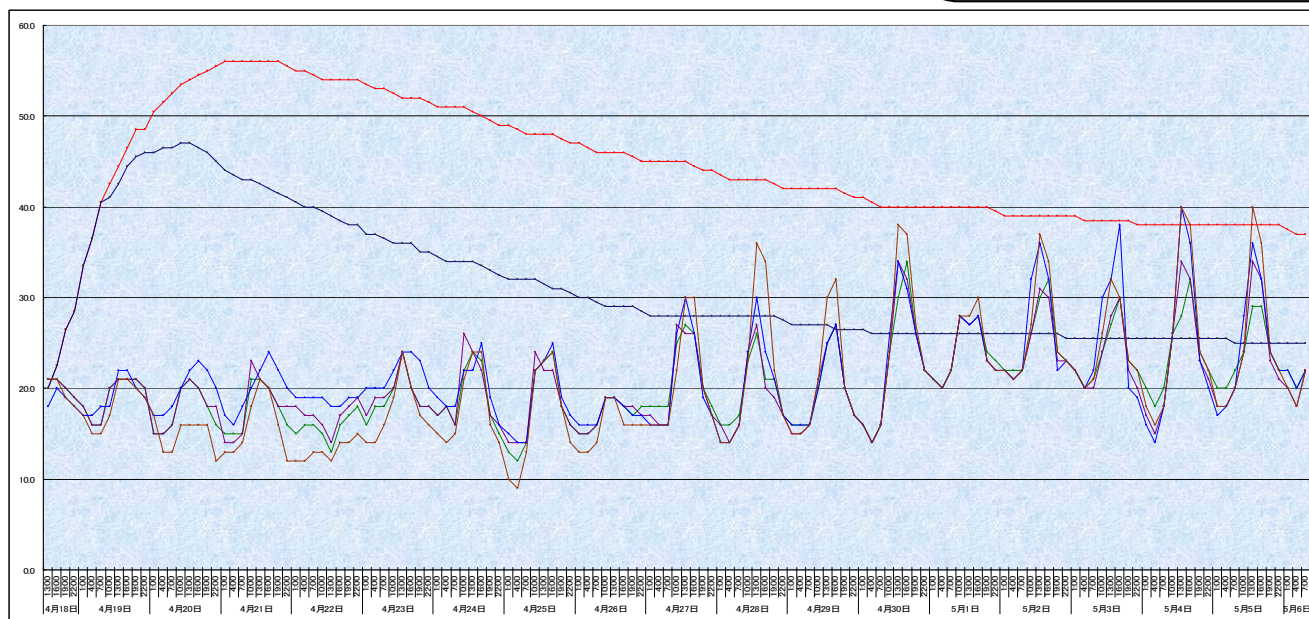


図 4-1 フーチング計測位置図

表 4-1 フーチング温度計測結果

凡 例

- ① ー コンクリート中心
- ② ー コンクリート端
- ③ ー シート(右側)
- ④ ー シート(左側)
- ⑤ ー 湛水養生
- ⑥ ー 外気温度



4.1.2 躯体①

躯体①の計測位置（図 4-2）および計測結果（表 4-2）に示す。

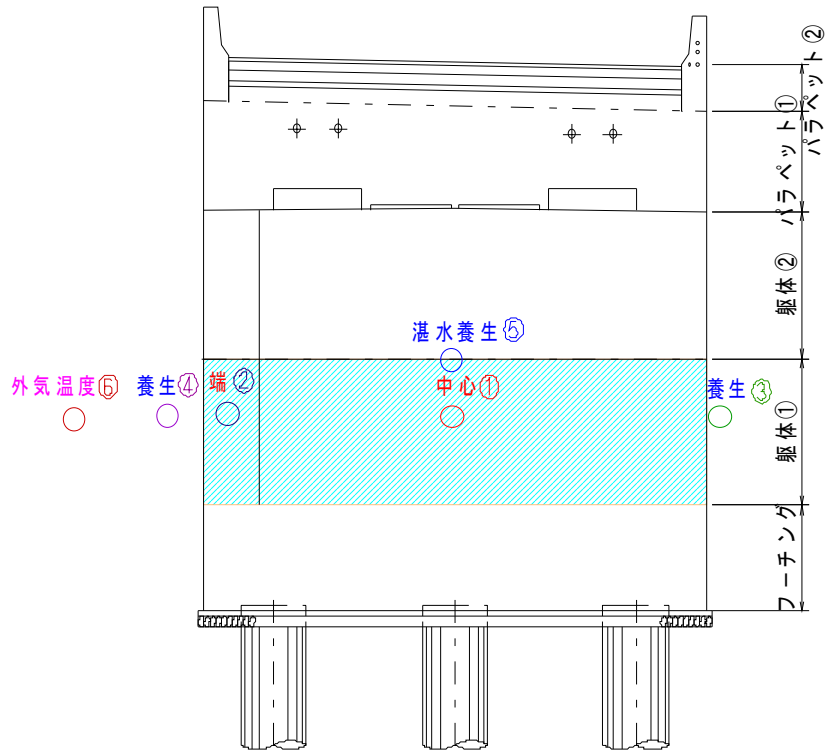
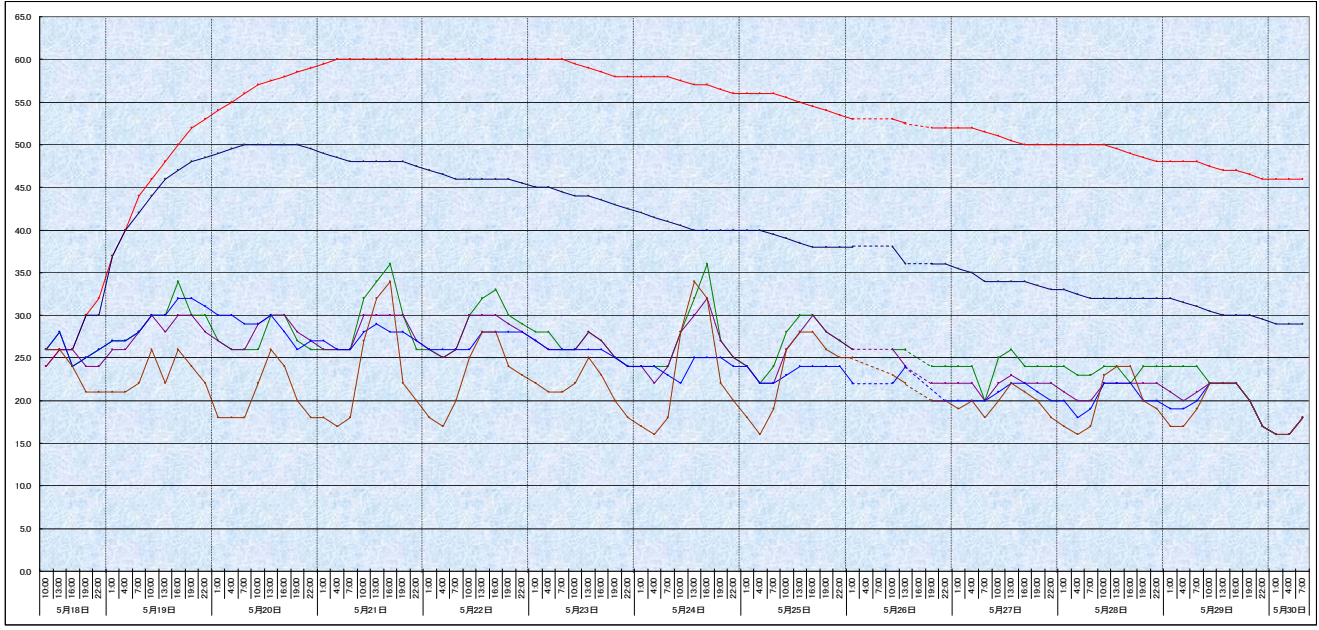


図 4-2 躯体①計測位置図

表 4-2 躯体①温度計測結果

凡 例	
①	コンクリート中心
②	コンクリート端
③	シート(右側)
④	シート(左側)
⑤	湛水養生
⑥	外気温



4.1.3 躯体②

躯体②の計測位置（図 4-3）および計測結果（表 4-3）に示す。

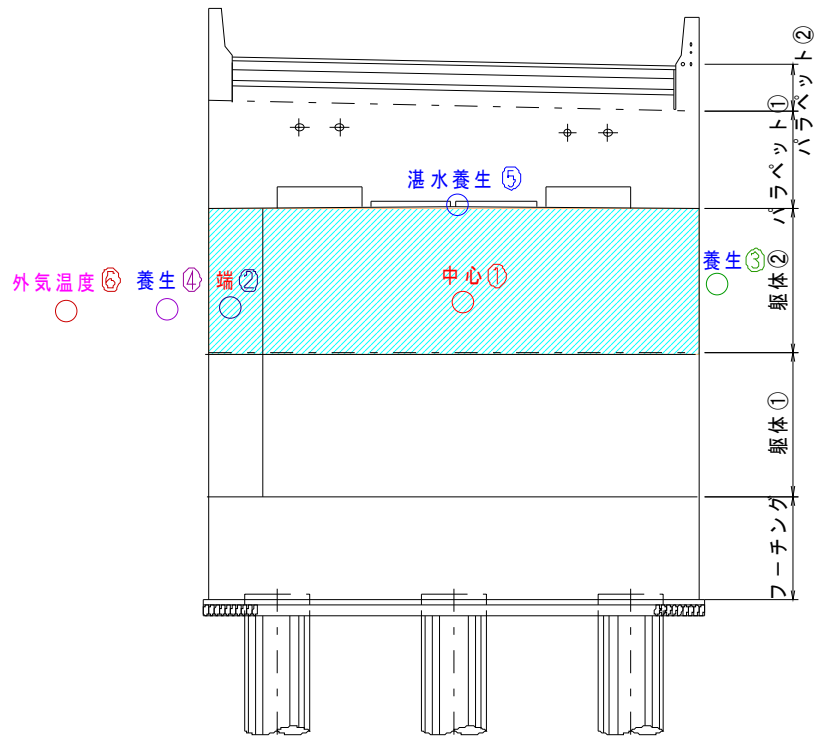
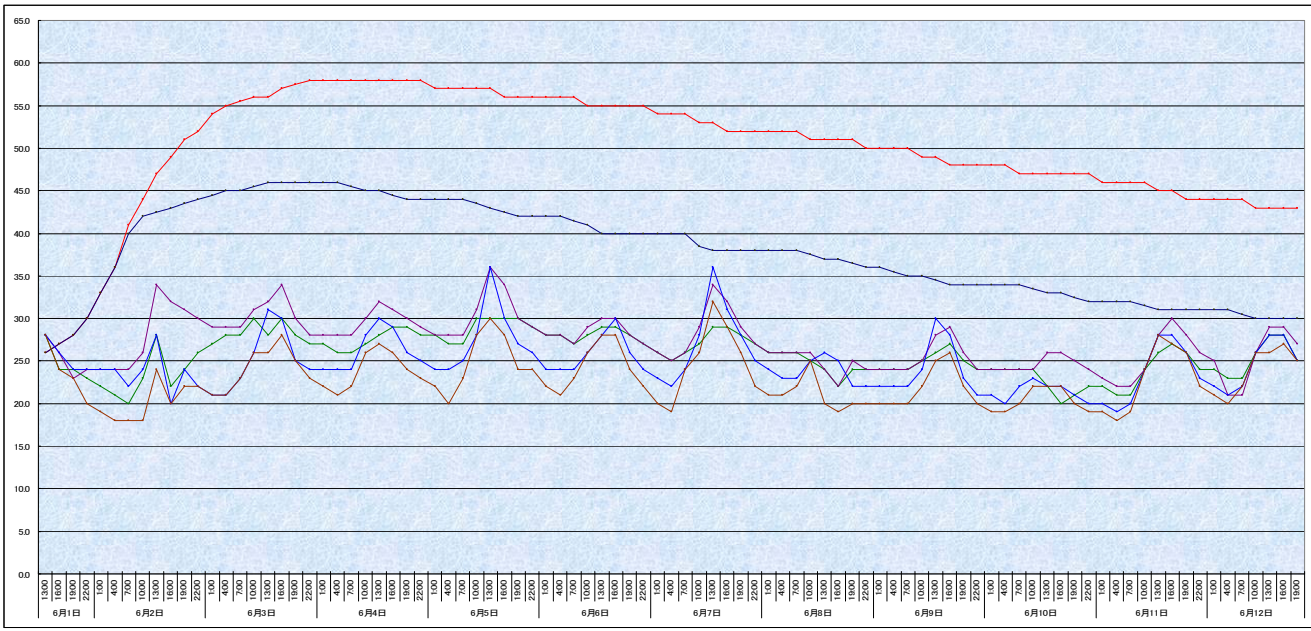


図 4-3 躯体②計測位置図

表 4-3 躯体②温度計測結果

凡 例	
①	コンクリート中心
②	コンクリート端
③	シート(右側)
④	シート(左側)
⑤	湛水養生
⑥	外気温



4.1.4 パラペット①

パラペット①の計測位置（図 4-4）および計測結果（表 4-4）に示す。

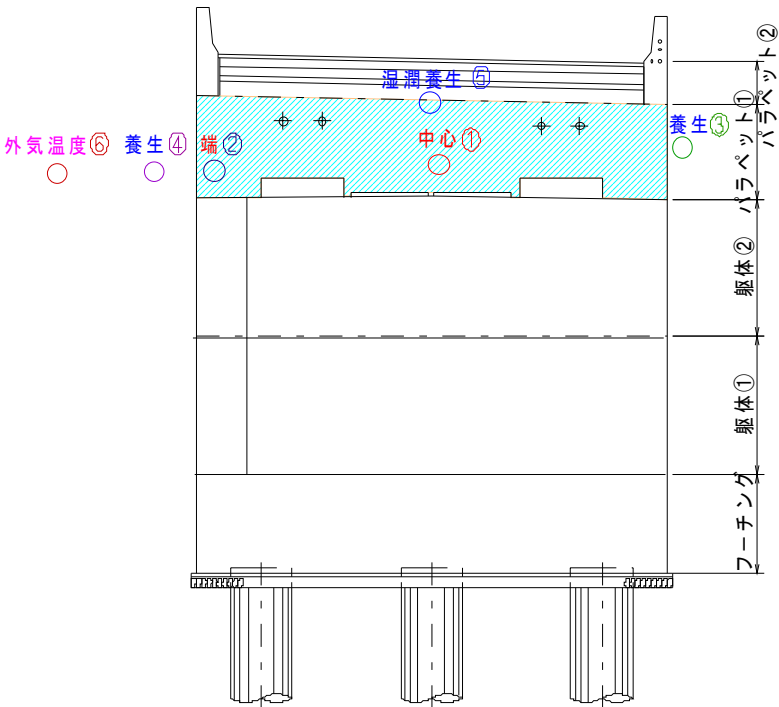
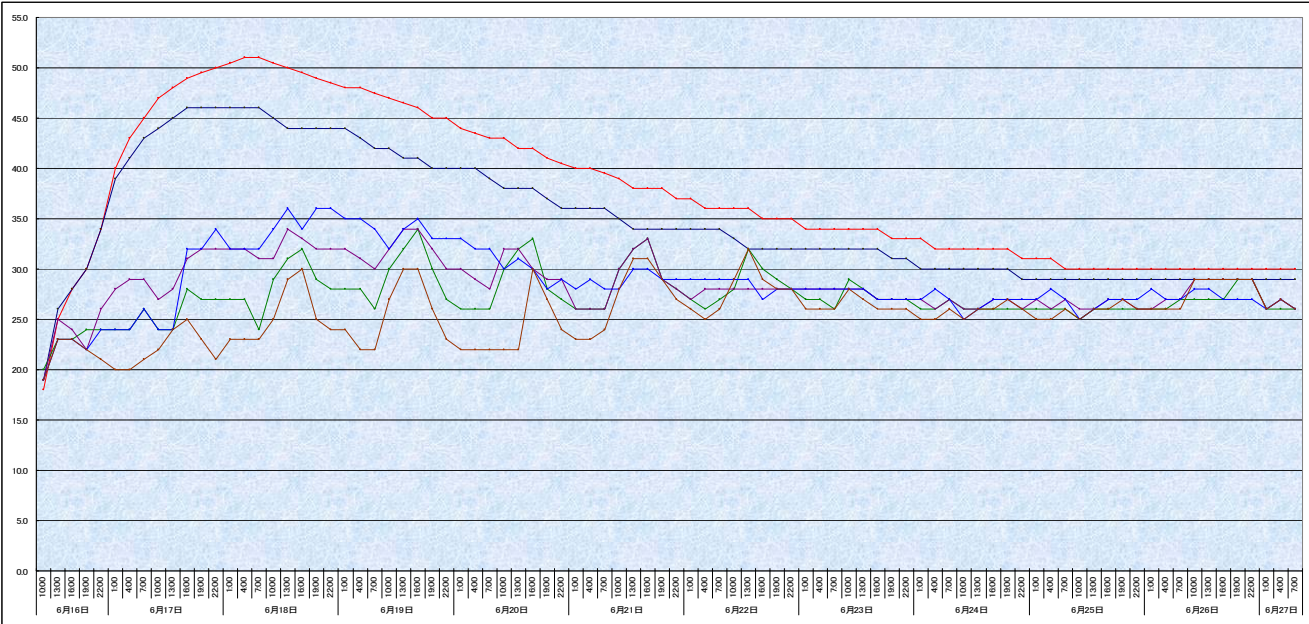


図 4-4 パラペット①計測位置

凡 例	
①	コンクリート中心
②	コンクリート端
③	シート(右側)
④	シート(左側)
⑤	湛水養生
⑥	外気温

表 4-4 パラペット①温度計測結果



4.1.5 パラペット②

パラペット②の計測位置（図 4-5）および計測結果（表 4-5）に示す。

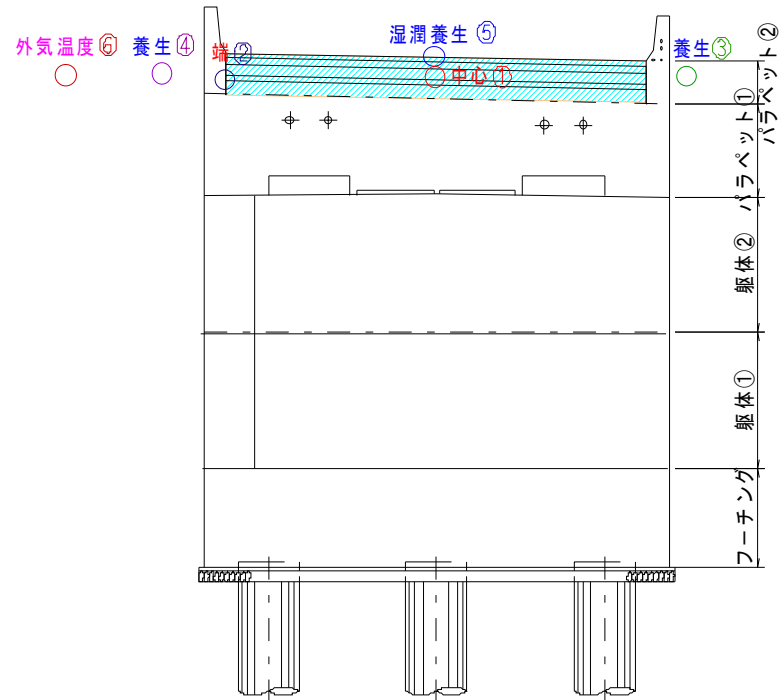
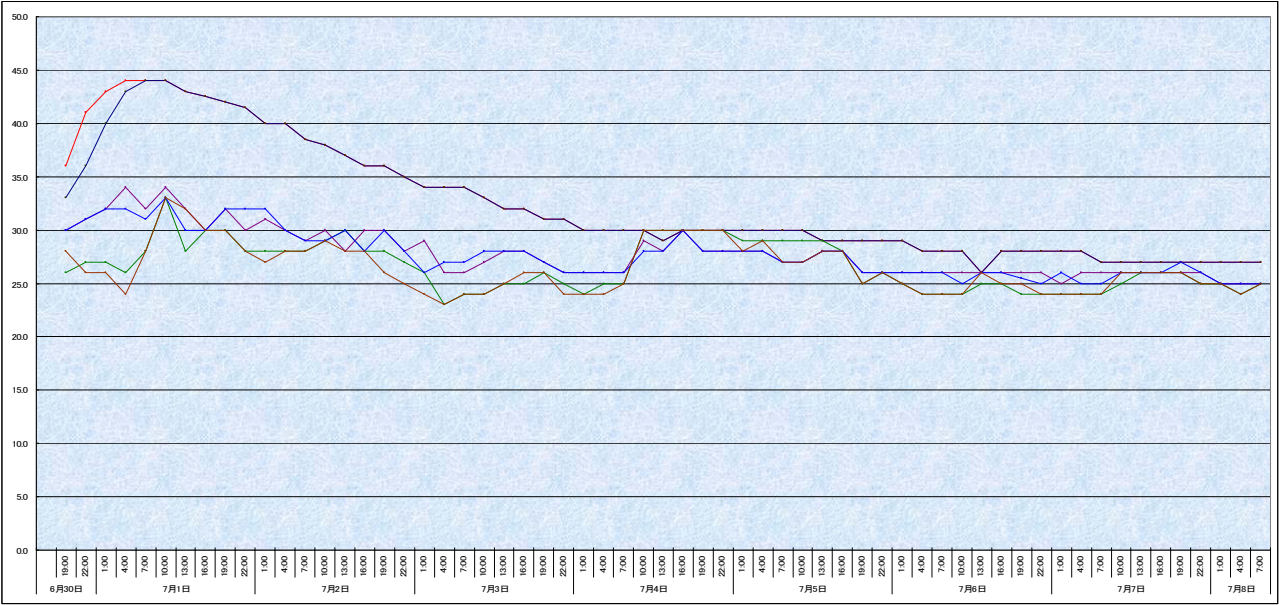


図 4-5 パラペット②計測位置

凡 例	
①	コンクリート中心
②	コンクリート端
③	シート(右側)
④	シート(左側)
⑤	湛水養生
⑥	外気温

表 4-5 パラペット②温度計測結果



5 まとめ

5.1 コンクリート内部の最高温度の対比

対策前（高炉セメント）、対策後（低熱高炉セメント）および実計測結果の対比を表 5-1 に示す。

表 5-1 最高温度の比較

部 位	高炉セメント (℃)	低熱高炉セメント (℃)	実 測 (℃)
フーチング	57.90	50.68	56.0
躯体①	64.81	54.05	60.0
躯体②		56.18	58.0
パラペット①	50.29	48.16	51.0
パラペット②	39.41	39.70	44.0

5.2 結果概要

- 1) 低熱高炉セメントの使用により、打設から約 4 日程度に発生する温度上昇ピーク時温度、温度変化を抑制できた。
- 2) ひび割れ誘発目地の設置により、ひび割れの誘発ができた。
- 3) 高炉セメントと比較すると保証材齢 56 日以降も強度の伸びは増加傾向にあると推測できる。
- 4) 躯体本体における、ひび割れの発生は確認されていない。

5.3 今後の課題

- 1) 試験練り、養生期間、管理材齢期間が通常施工よりも長くなるため、工事工程の見直し、当初からの工期算定等が必要になってくる。
- 2) 単価が高炉セメントに比べると、低熱高炉セメントは 2 割程度高くなる。

試行事例 3

1. 工事概要

橋 梁 内 容： PC6 径間連結ポストテンション少主桁橋（セグメント）

道路規格：第 1 種第 2 級，径間割：6 径間連結，

橋長：L=215.5m，有効幅員：W=10.0m（1.75+3.50+3.50+1.75m）

橋台：逆 T 式橋台 2 基，橋脚：張出し式橋脚 5 基

【検 討 段 階】：設計段階 → 施工段階

【懸念される問題点】：マスコンクリートにおける温度ひび割れ
高密度鉄筋対策



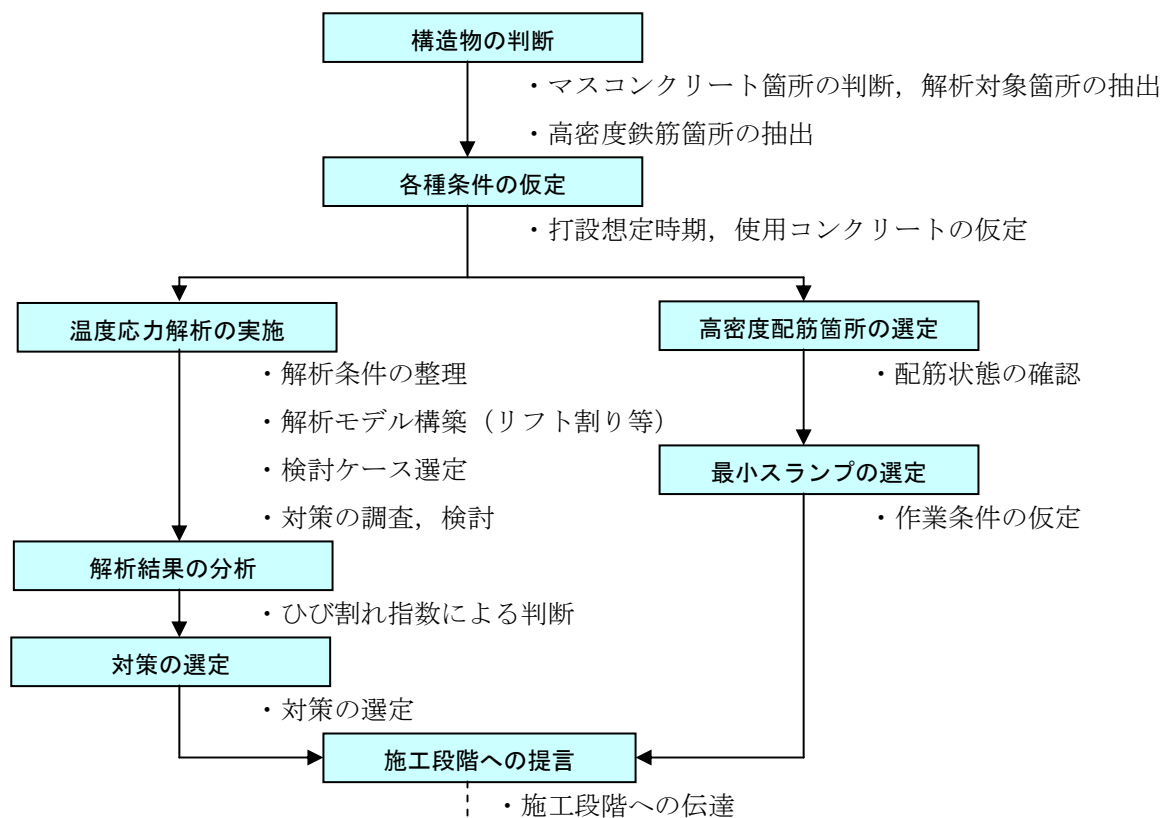
図 1-1 全景イメージ



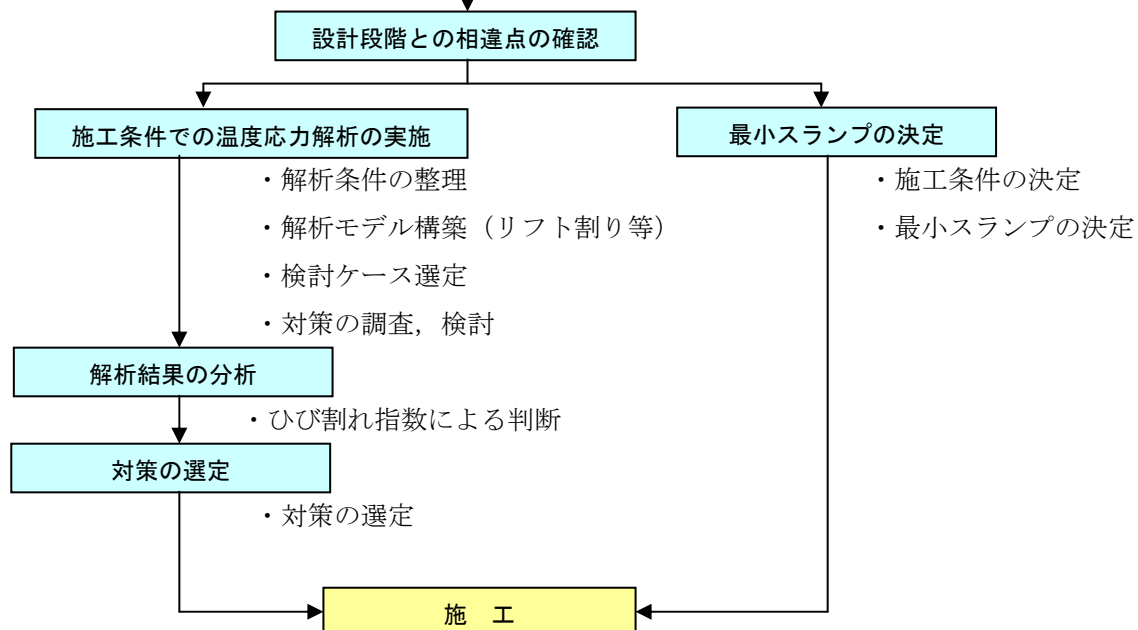
図 1-2 完成写真

1.1 検討のフロー

<設計段階の検討>



<施工段階の検討>



2. 設計段階の照査

2.1 温度ひび割れの照査

2.1.1 構造物の判断

(1) 上部構造の概要

従来の建設省制定標準設計のポストテンション T 桁を準用して、この断面の上床版幅を広げることにより桁の少数化を図り、また、主桁をプレキャストセグメントとし現場作業の省力化、品質向上を目的とした PC 少主桁橋梁である。

(2) 下部構造の概要

- ・ 下部工は一般的な逆 T 式橋台と張出し式橋脚で構成される。
- ・ A1 橋台は高さ $H=6.0\text{m}$ の小橋台である。
- ・ A2 橋台は逆 T 式橋台としては比較的高さが高く、 $H=11.4\text{m}$ である。
また、斜角を設けているため (75°)、壁幅が標準的な幅員に対しやや広くなっている (11.05m)。
- ・ 橋脚の柱寸法は P1～P5 で統一を図っている ($6.5\text{m} \times 2.3\text{m}$)。
- ・ 梁形状は P1～P4 で幅 10.5m 、斜角の関係で P5 橋脚のみ 11.0m としている。
(厚さはいずれも先端 1.2m 、付根 2.2m である)

表 2-1 下部構造の基本構造

下部工 名称	下部工形式	基礎形式	下部工高 H1 (m)	躯体形状 橋軸方向幅 B1 ×直角方向幅 S1 (m)	フーチング形状 橋軸方向幅 B2×直角 方向幅 S2×高さ H2 (m)
A1 橋台	逆 T 式橋台	直接基礎	6.0	1.7×10.7	$4.0 \times 10.7 \times 1.2$
P1 橋脚	張出し式橋脚	場所打ち杭基礎 ($\phi 1200$)	13.4	2.3×6.5	$8.4 \times 11.4 \times 1.9$
P2 橋脚	張出し式橋脚	場所打ち杭基礎 ($\phi 1200$)	12.3	2.3×6.5	$8.4 \times 11.4 \times 1.9$
P3 橋脚	張出し式橋脚	場所打ち杭基礎 ($\phi 1200$)	11.7	2.3×6.5	$8.4 \times 11.4 \times 1.9$
P4 橋脚	張出し式橋脚	場所打ち杭基礎 ($\phi 1200$)	11.2	2.3×6.5	$8.4 \times 11.4 \times 1.9$
P5 橋脚	張出し式橋脚	場所打ち杭基礎 ($\phi 1200$)	10.6	2.3×6.5	$5.4 \times 8.4 \times 1.7$
A2 橋台	逆 T 式橋台	場所打ち杭基礎 ($\phi 1200$)	11.4	1.9×11.05	$11.5 \times 11.5 \times 2.1$

(3) 温度ひび割れ検討対象構造物の選定

下部構造はいずれもマッシブな構造となっており、温度ひび割れの発生が懸念される。

橋台および橋脚はそれぞれ類似した構造物であるため、温度ひび割れの検討対象としては橋台および橋脚を代表し、それぞれ A2 橋台および P1 橋脚を選定した。

2.1.3 各種条件の仮定

基本条件の使用コンクリートおよび打設想定時期は以下の通りである。

(1)使用コンクリート

使用セメント：高炉セメント B 種

配 合 ：24 - 8 - 20 BB

(2)打設想定時期

計画工事工程よりコンクリートの打設時記を想定した。

打設想定時期：7 月から 10 月

2.1.4 温度応力解析

(1)基本条件

解析に使用する物性値を下記に記す。

表 2-2 温度応力解析物性一覧

項目	単位	式・値	備考
使用プログラム		JCMAC Ver. 1. 15	日本コンクリート工学協会
温度解析方法		2 次元 FEM	
応力解析方法		CP 法	
セメントの種類		高炉セメント B 種	
外気温	℃	26.7～28.7	上記プログラムにより，緯度および経度から算定
打設温度	℃	外気温+5℃	
熱伝導率	W/m℃	コンクリート：2.7	コンクリート標準示方書[施工編]
		地盤 ：3.5	
単位体積重量	kN/m ³	コンクリート：24.5	コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
		地盤 ：19.0 (Ag 層)	地質調査報告書
比熱	kJ/kg℃	コンクリート：1.15	コンクリート標準示方書[施工編]
		地盤 ：0.80	コンクリート標準示方書[施工編]
熱伝達率	W/m ² ℃	上面 散水養生：14	コンクリート標準示方書[施工編]
		側面 型枠合板：8	コンクリート標準示方書[施工編]
熱膨張係数	1/℃	1.0×10 ⁻⁵	コンクリート標準示方書[構造性能照査編]

(2)打設リフトの設定

打設リフト高さは，躯体構造，壁厚，配筋を考慮して，橋台は底版，堅壁（A2 橋台は 2 リフト）およびパラペットとし，橋脚は底版，柱部 2 リフトおよび梁部を標準とする。

A2 橋台および P1 橋脚の打設割り計画を図 2-1～図 2-2 に示す。

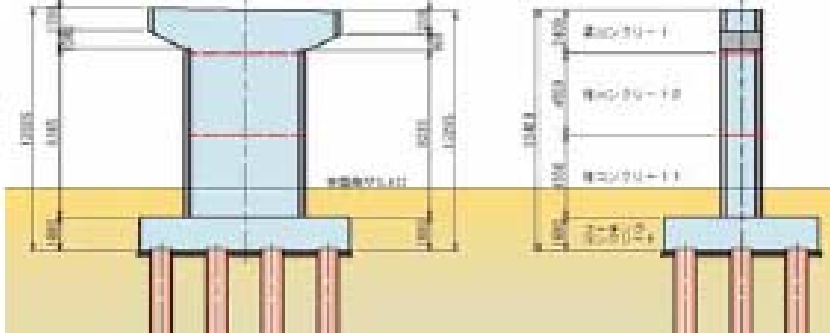
A2 橋台コンクリート割付図



打設箇所	打設高さ(m)	打設量(m ³)
フーチング	2.1	277.7
縦壁(1リフト)	3.325	72.7
縦壁(2リフト)	3.325	72.7
パラペット	2.65	21.3
合計	11.4	444.4

図 2-1 A2 橋台コンクリート割付図

P1 橋脚コンクリート割付図



打設箇所	打設高さ(m)	打設量(m ³)
フーチング	1.90	181.9
柱(1リフト)	4.55	68.0
柱(2リフト)	4.55	68.0
梁	2.40	51.5
合計	13.40	369.5

図 2-2 P2 橋脚コンクリート割付図

(3)型枠および養生

型枠は合板を使用し、コンクリート打設終了後は、コンクリート表面からの乾燥を防止するために、保水性の養生マットで覆い散水養生を行う。養生期間は、コンクリート標準示方書を参考とし 7 日間とした。また、型枠存置期間も養生期間と同一とした。

(4)検討ケース

ひび割れ抑制対策を検討する対象構造物は、規模が最も大きい A2 橋台で行う。P1 橋脚については、基本配合における温度応力解析を実施し A2 橋台における解析結果を参考に対策を立案する。

温度ひび割れを抑制するための対策として、以下の方法について検討を行う。

- ・ 打込み温度の低減 . . . プレクーリングにより打込み温度を下げる。(33℃ → 28℃, 25℃)
- ・ 単位セメント量の低減 . . . 高性能 AE 減水剤の使用。(312kg/m³ → 280 kg/m³)
- ・ 低発熱型セメントの使用 . . . 高炉セメント B 種 → 低熱高炉セメント B 種 (保証材齢 56 日)
- ・ 養生期間の延長 . . . 型枠存置期間および養生期間の延長 (7 日 → 14 日)
- ・ 保温養生の実施 . . . 気泡緩衝材 (エアバッグ) の設置

※ひび割れ誘発目地の設置 . . . 上記対策を実施しても有害なひび割れの発生が想定される場合は、ひび割れ誘発目地の設置を検討する。

※低熱高炉セメント B 種 . . . 設計基準強度を保証する材齢を 56 日とし、単位セメント量の増加を抑制した。

温度応力解析の検討ケースを表 2-3 に示す。

表 2-3 温度応力解析検討ケース一覧

ケース	条件	セメント	単位セメント量 (kg/m ³)	打込み温度 (℃)	対象ロット
1	基本配合（対策なし）	高炉 B	312	33.0	①～④
2	プレクーリング	高炉 B	312	28.0	①～④
				25.0	
3	高性能 AE 減水剤 ＋プレクーリング	高炉 B	280	28.0	①～④
4	低発熱型セメント ＋プレクーリング	低熱高炉 B	280	28.0	①～④
5	保温養生 (養生日数：14 日)	高炉 B	312	33℃	①～④

コンクリートの配合を表 2-4 に示す。

なお、基本配合および高性能 AE 減水剤を使用した場合の配合は、建設予定地付近における過去の配合データを参考にした。

また、低熱高炉セメント B 種を使用した場合の配合は、過去の実績を参考とした。

表 2-4 解析に使用したコンクリートの想定配合

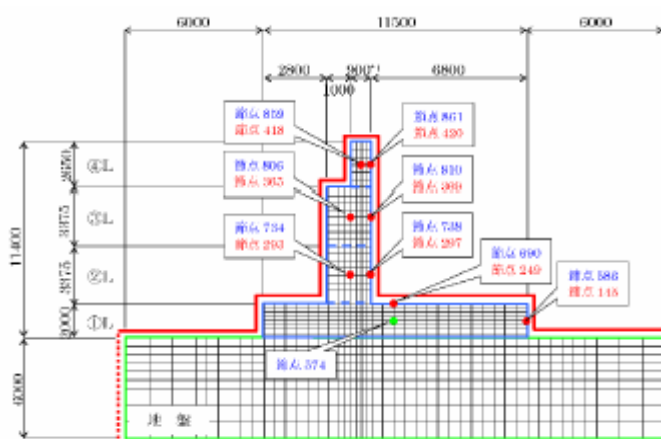
セメント	W/C (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	呼び強度 (N/mm ²)	保証材齢 (日)	備考
高炉セメント B 種	53.2	312	24	28	
高炉セメント B 種	53.5	280	24	28	高性能 AE 減水剤
低熱高炉セメント B 種	55.0	280	24	56	

(5) 打設時期および打込み温度

打設時期および打込み温度を表 2-5 に示す。なお、打込み温度は打設日の外気温に 5℃を加えた温度とした。

表 2-5 打込み温度の設定

部位	打設日	打込み温度 (℃)	外気温 (℃)
①L	7/10	31.7	26.7
②L	7/26	33.7	28.7
③L	8/11	32.9	27.9
④L	8/27	31.0	26.0



(6) 解析モデル

解析モデルを図 2-3 に示す。

図 2-3 A2 橋台解析モデル

2.1.5 温度応力解析結果 (A2 橋台)

(1) 無対策時

コンクリートの温度解析結果を表 2-6 に示す。また、コンクリート温度の経時変化を図 2-4 に示す。

表 2-6 温度解析結果

項目	①L	②L	③L	④L
打込み温度 T_p (°C)	31.7	33.7	32.9	31.0
内部温度の最大値 T_{max} (°C)	73.3	75.8	74.9	62.6
T_{max} を示した材齢 (日)	1	1	1	1
内部温度上昇量の最大値 $T_{r,max}$ (°C)	41.6	42.1	42.0	31.6
T_{max} を示した材齢における表面温度 T_s (°C)	41.1	50.0	49.0	48.2
表面温度の上昇量 $T_{s,r}$ (°C)	9.4	16.3	16.1	17.2
内部と表面の温度差の最大値 $\Delta T_{s,max}$	32.2	25.8	25.9	14.4

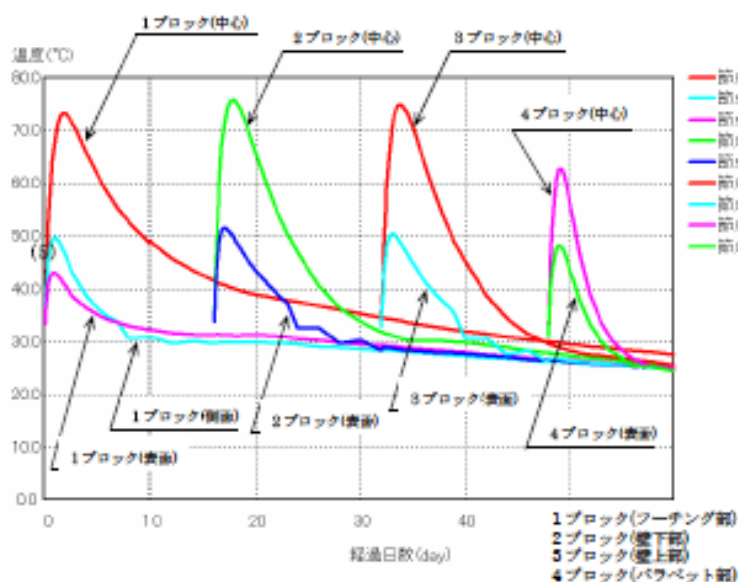


図 2-4 コンクリート温度の経時変化

温度応力解析におけるひび割れ指数の結果を表 2-7 に示す。また、外部拘束によるひび割れ指数の経時変化を図 2-5 に、内部拘束によるひび割れ指数の経時変化を図 2-6 に示す。

表 2-7 温度応力およびひび割れ指数解析結果

項目	外部拘束			内部拘束			
	②L	③L	④L	①L	②L	③L	④L
温度応力 (N/mm ²)	6.1	3.2	2.5	1.1	3.2	0.5	1.3
ひび割れ指数 I_{cr}	0.33	0.64	0.73	1.01	0.63	3.54	1.40
材齢 (日)	17	17	10	1	17	8	8

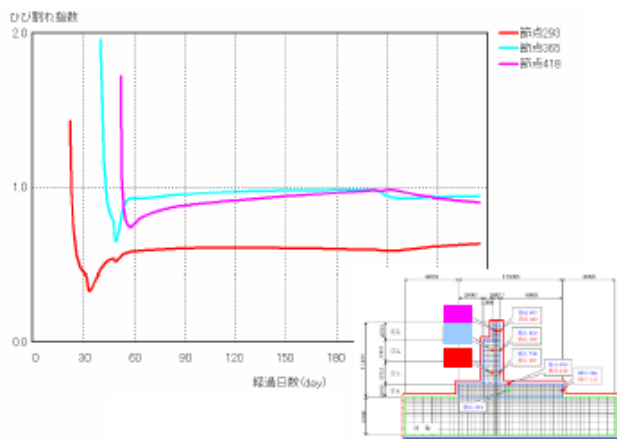


図 2-5 外部拘束によるひび割れ指数の経時変化

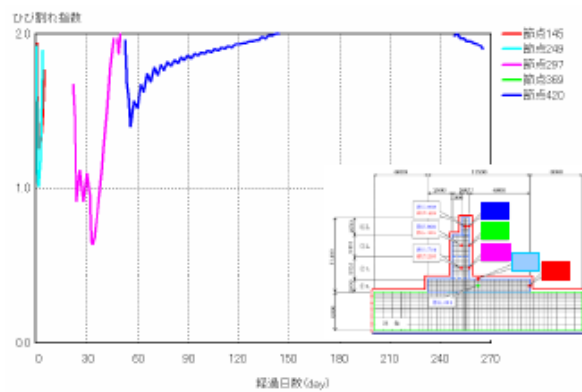


図 2-6 内部拘束によるひび割れ指数の経時変化

無対策時の解析結果を以下に整理する。

- ・フーチング (①L) では、最小ひび割れ指数が 1.01 であり過大なひび割れは抑制できると推測される。ただし、微細なひび割れが発生する可能性が高い。
- ・堅壁 1 リフト (②L)、堅壁 2 リフト (③L) およびパラペット (④L) では、外部拘束による影響により最小ひび割れ指数が 0.33~0.73 となっており、有害なひび割れが発生する可能性が高い。

(2)プレクーリングによる対策

プレクーリングによりコンクリートの打込み温度を 28℃、25℃に下げた場合の温度解析結果を表 2-8 に、コンクリート温度の経時変化を図 2-7 に示す。なお、プレクーリングの方法としては、練混ぜ水みクラッシュアイス进行混ざる方法や、アジテータへの散水を想定した。

表 2-8 温度解析結果

項目	28℃の結果				25℃の結果			
	①L	②L	③L	④L	①L	②L	③L	④L
打込み温度 T_p (℃)	28.0	28.0	28.0	28.0	25.0	25.0	25.0	25.0
内部温度の最大値 T_{max} (℃)	68.8	69.1	69.0	58.8	65.6	65.9	65.7	55.7
T_{max} を示した材齢 (日)	2	2	2	1	2	2	2	1
内部温度上昇量の最大値 $T_{r,max}$ (℃)	40.8	41.1	41.0	30.8	40.6	40.9	40.7	30.7
T_{max} を示した材齢における表面温度 T_s (℃)	39.5	47.0	46.2	45.7	37.9	44.8	44.0	43.8
表面温度の上昇量 $T_{s,r}$ (℃)	11.5	19.0	18.2	17.7	12.9	19.8	19.0	18.8
内部と表面の温度差の最大値 $\Delta T_{s,max}$	29.3	22.1	22.8	13.1	27.7	21.1	21.7	11.9



表 2-9 温度応力およびひび割れ指数解析結果 (プレクーリング)

・プレクーリングによってひび割れ指数の改善に効果はあるものの、その影響は小さくプレクーリングのみでは有害なひび割れが発生する可能性が高い。

高性能 AE 減水剤を使用することにより単位セメント量を低減し、コンクリートの発熱量を抑制した場合の温度解析結果を表 2-10 に、コンクリート温度の経時変化を図 2-8 に示す。なお、打込み温度は、プレキャストコンクリートに 20℃、現場コンクリートに 28℃とし、打込み直後のコンクリート温度は、プレキャストコンクリートに 20℃、現場コンクリートに 28℃とした場合について検討した。

項目	①L	②L	③L	④L
打込み温度 T_p (°C)	28.0	28.0	28.0	28.0
内部温度の最大値 T_{max} (°C)	65.4	65.7	65.6	55.8
T_{max} を示した材齢 (日)	2	2	2	1
内部温度上昇量の最大値 $T_{r,max}$ (°C)	37.4	37.7	37.6	27.8
T_{max} を示した材齢における表面温度 T_s (°C)	38.6	44.6	44.8	43.9
表面温度の上昇量 $T_{s,r}$ (°C)	10.6	16.6	16.8	15.9
内部と表面の温度差の最大値 $\Delta T_{s,max}$	26.8	21.1	20.8	11.9

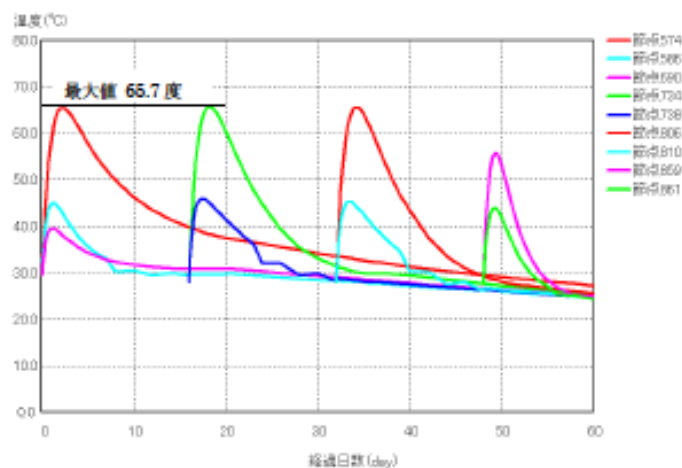


図 2-8 コンクリート温度の経時変化（高性能 AE 減水剤）

温度応力解析におけるひび割れ指数の結果を表 2-11 に示す。

表 2-11 温度応力およびひび割れ指数解析結果（高性能 AE 減水剤）

項 目	外部拘束			内部拘束			
	②L	③L	④L	①L	②L	③L	④L
ひび割れ指数 Icr	0.42	0.88	0.91	1.19	0.77	—	1.81

高性能 AE 減水剤による対策を施した場合の解析結果を以下に整理する。

- ・高性能 AE 減水剤を使用し単位セメント量を 32kg/m^3 小さくすることで、最高温度をフーチングでは 7.6°C 、堅壁 1 リフト（②L）では 10.1°C 抑制することができた。
- ・堅壁 1 リフト（②L）の外部拘束によるひび割れ指数は、0.09（ $0.33 \rightarrow 0.42$ ）大きくなり、フーチングの内部拘束によるひび割れ指数は 0.18（ $1.01 \rightarrow 1.19$ ）大きくなった。
- ・高性能 AE 減水剤を使用し単位セメント量を小さくすることで、フーチング表面に発生する内部拘束による有害なひび割れは抑制させると考えられる。しかし、堅壁 1 リフト（②L）は、外部拘束による有害なひび割れが発生する可能性がある。

(4)低発熱型セメントによる対策

低熱高炉セメントを使用した場合の温度解析結果を表 2-12 に、コンクリート温度の経時変化を図 2-9 に示す。なお、打込み温度は、プレクーリングを実施し 28°C とした場合について検討した。

表 2-12 温度解析結果（低熱高炉セメント）

項目	①L	②L	③L	④L
打込み温度 T_p ($^\circ\text{C}$)	28.0	28.0	28.0	28.0
内部温度の最大値 T_{max} ($^\circ\text{C}$)	57.4	58.1	57.9	49.2
T_{max} を示した材齢 (日)	2	2	2	1
内部温度上昇量の最大値 $T_{r,\text{max}}$ ($^\circ\text{C}$)	29.4	30.1	29.9	21.2
T_{max} を示した材齢における表面温度 T_s ($^\circ\text{C}$)	35.8	41.6	40.7	39.9
表面温度の上昇量 $T_{s,r}$ ($^\circ\text{C}$)	7.8	13.6	12.7	11.9
内部と表面の温度差の最大値 $\Delta T_{s,\text{max}}$	21.6	16.5	17.2	9.3

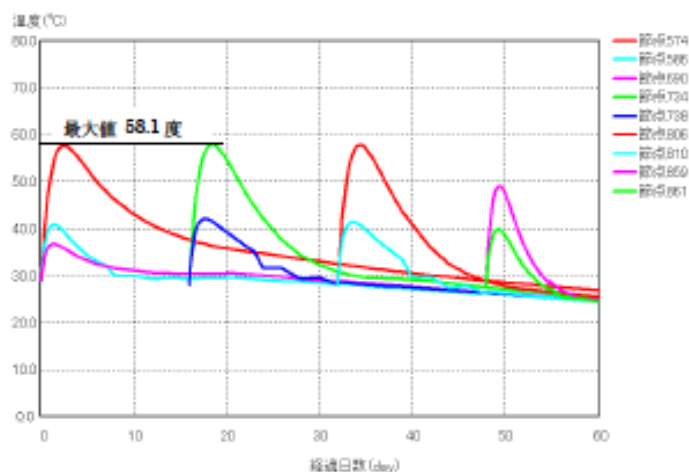


図 2-9 コンクリート温度の経時変化（低熱高炉セメント）

温度応力解析におけるひび割れ指数の結果を表 2-13 に示す。

表 2-13 温度応力およびひび割れ指数解析結果（低熱高炉セメント）

項 目	外部拘束			内部拘束			
	②L	③L	④L	①L	②L	③L	④L
ひび割れ指数 Icr	0.58	1.05	1.11	1.57	1.12	—	2.04

低熱高炉セメントを使用した場合の解析結果を以下に整理する。

- ・低熱高炉セメントを使用することにより，外部拘束および内部拘束によるひび割れ指数は大幅に改善され，ほとんどの部材でひび割れ指数が 1.0 より大きくなった。しかし，堅壁 1 リフトに関しては，ひび割れ指数が 0.58 であり，有害なひび割れが発生する可能性がある。

(5)保温養生による対策

内部拘束によるひび割れ抑制対策として気泡緩衝材による保温養生を行った場合の温度解析結果を表 2-14 に，コンクリート温度の経時変化を図 2-10 に示す。なお，打込み温度は，外気温 + 5 °C とした場合について検討した。

表 2-14 温度解析結果（保温養生）

項目	保温養生	無対策時
打込み温度 T_p (°C)	31.7	31.7
内部温度の最大値 T_{max} (°C)	74.0	73.3
T_{max} を示した材齢 (日)	2	1
内部温度上昇量の最大値 $T_{r,max}$ (°C)	42.3	41.6
T_{max} を示した材齢における表面温度 T_s (°C)	56.1	41.1
表面温度の上昇量 $T_{s,r}$ (°C)	24.4	9.4
内部と表面の温度差の最大値 $\Delta T_{s,max}$	17.9	32.2

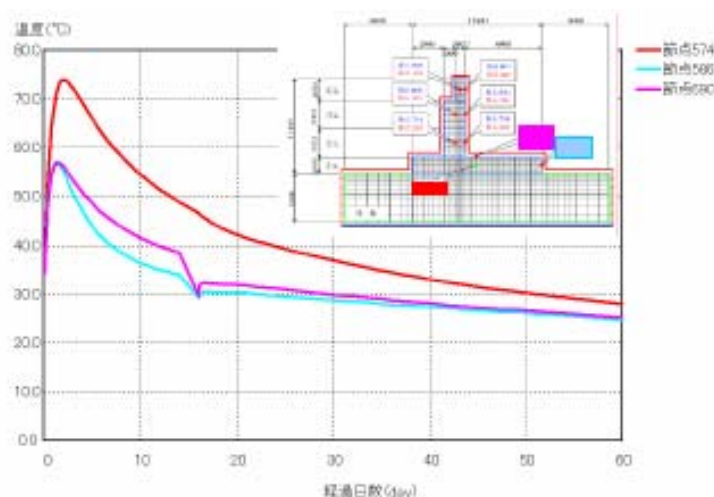


図 2-10 コンクリート温度の経時変化（保温養生）

温度応力解析におけるひび割れ指数の結果を表 2-15 に示す。

表 2-15 温度応力およびひび割れ指数解析結果（低熱高炉セメント）

項 目	フーチング（①L）の内部拘束によるひび割れ指数	
	保温養生	無対策時
ひび割れ指数 I_{cr}	1.72	1.01

保温養生を実施した場合の解析結果を以下に整理する。

- ・保温養生を行うことにより、内部温度の最大値は 0.7°C 大きくなったが、内部と表面の温度差が小さくなったことにより、大幅にひび割れ指数が改善した。

(6)温度ひび割れ対策のまとめ（A2 橋台）

- ・フーチングは、内部拘束による影響が卓越し、基本条件ではひび割れが発生する可能性が高い。このための対策として、気泡緩衝材による保温養生を行うことで十分にひび割れ発生を抑制できる。
- ・堅壁およびパラペットについては、外部拘束が卓越し有害なひび割れが発生する可能性が高い。特に堅壁 1 リフト（②L）ではひび割れ指数が小さく、低発熱型セメントの使用およびプレクーリングを併用することが望ましい。しかし、これらの対策を併用しても、有害なひび割れが発生する可能性があり、ひび割れ誘発目地を設置することが有効である。

ひび割れ誘発目地の設置方法は、本指針「3.10 ひび割れの誘発目地の計画」に準拠し、誘発目地の間隔を 5m 以内となるように 2 本設置（3 分割）することが望ましい。

以上より、設計段階における温度ひび割れ対策として以下を提案する。なお、施工条件、配合等の仮定条件について施工段階で再度確認し、条件が異なる場合は、改めて適切な条件で温度ひび割れ解析を実施するのがよい。

<温度ひび割れ対策>

フーチング：高炉セメント B 種 ＋ 保温養生

堅壁，パラペット：低発熱型セメント ＋ プレクーリング ＋ ひび割れ誘発目地（2 本）

（※低熱高炉セメントの使用 → $3000\text{ 円}/\text{m}^3$ 程度単価増 ）

2.2 高密度配筋対策

2.2.1 高密度配筋箇所の選定

本橋梁橋脚および橋台の代表構造物として P4 橋脚および A2 橋台について、高密度配筋箇所を確認するために単位体積鋼材量を求めた結果を表 2-16 に示す。

表 2-16 単位体積鋼材量

構造物	P4 橋脚			A2 橋台		
部材	フーチング	柱 ^{注)}	梁	フーチング	縦壁	パラペット
鉄筋質量(kg)	25310	1620.1	5064	16551	6785	3896
体積(m³)	181.9	4.92	51.5	277.7	75.4	21.3
単位体積鋼材量 (kg/m³)	139.1	329.3	98.3	59.6	90.0	182.9

注) P4 橋脚の柱部材に関しては、指針解説表 4.5.3 に従い下記の方法にて有効換算鉄筋量を算出した。

- ・有効断面積

$$S = (6.5 \times 2.3) - (5.9 \times 1.7) \\ = 4.92 \text{ m}^2$$

- ・主鉄筋の本数 (1 断面あたり)

$$n1 = 46 \times 2 \times 2 = 184 \text{ 本 (D32)}$$

$$n2 = 12 \times 2 = 24 \text{ 本 (D29)}$$

- ・主鉄筋重量 (高さ 1m あたり)

$$w1 = 184 \times 6.23 = 1146.3 \text{ (kg/m)}$$

$$w2 = 24 \times 5.04 = 121.0 \text{ (kg/m)}$$

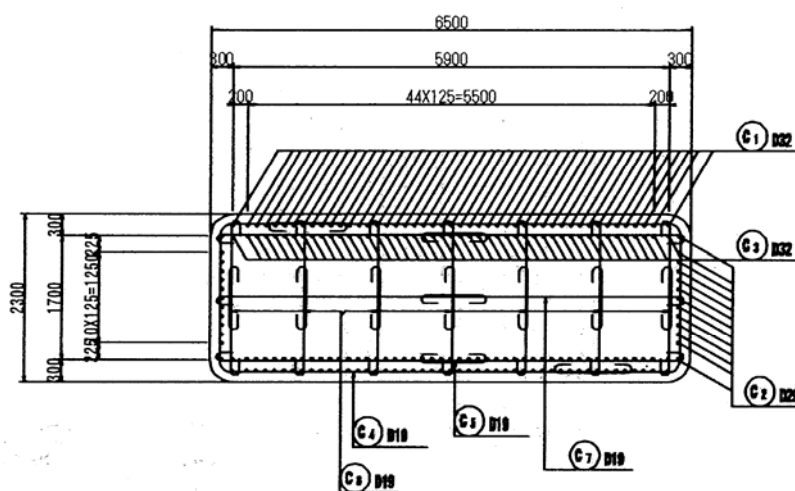
- ・帯鉄筋重量 (1 段あたり)

$$w3 = 9.8 \times 2 \times 2.25 = 44.1 \text{ (kg/段)}$$

- ・かぶり近傍の有効換算鉄筋量 (高さ 1m あたり)

$$w = (1146.3 + 121.0 + 44.1 \times 8) / 4.92 = 329.3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

なお、帯鉄筋は 125mm ピッチで配置し、中間帯鉄筋に関しては鉄筋量の算定から除外した。



以上より、P2 橋脚の柱部材および A2 橋台のパラペット部において比較的鉄筋量が多いことがわかり、打込み時に円滑かつ密実に型枠内にコンクリートを打ち込むための検討が必要になる。

2.2.2 最小スランプの選定

指針「4.5.2 スランプ」を参考にして、P4 橋脚および A2 橋台の各部材の最小スランプ選定一覧を表 2-17 に示す。

表 2-17 最小スランプ選定一覧

		鋼材量	最小あき	投入間隔	作業高さ	最小スランプ	運搬の補正※
P4 橋脚	フーチング	139.1	99.6	2~3	1.8	10	+1
	柱	329.3	93.2	—	4.6	7	+1
	はり	—	96.4	—	2.2	12	+1
A2 橋台	フーチング	59.6	93.2	2~3	2.0	10	+1
	堅壁	90.0	221.4	—	3.3	10	+1
	パラーブット	182.9	96.4	—	2.6	10	+1

※夏季の打設予定のため、暑中コンクリートとして取り扱う。

以上の結果より、荷卸し箇所の目標スランプを選定する。

なお、荷卸し箇所の目標スランプは、最小スランプに場内運搬によるスランプ低下および品質の許容差を考慮して求めたスランプに最も近い JIS 規格のスランプ値とした。

表 2-18 荷卸し箇所の目標スランプ選定一覧

		最小スランプ	運搬の補正※	荷卸し箇所の 最小スランプ	品質の 許容差	荷卸し箇所の 目標スランプ
P4 橋脚	フーチング	10	+1	11.0	±2.5	12 (13.5)
	柱	7	+1	8.0	±2.5	10 (10.5)
	はり	12	+1	13.0	±2.5	15 (15.5)
A2 橋台	フーチング	10	+1	11.0	±2.5	12 (13.5)
	堅壁	10	+1	11.0	±2.5	12 (13.5)
	パラーブット	10	+1	11.0	±2.5	12 (13.5)

荷卸し箇所の目標スランプは、橋脚では、フーチング：12cm、柱：10cm、はり：15cm であり、橋台では、全ての部材において 12cm となったが、部材毎にスランプを変更することにより現場に混乱が生じないこと、材料分離の抑制および試行的な実施という観点から、橋脚および橋台の全ての部材の荷卸し箇所の目標スランプを 12cm として統一する。

<高密度配筋対策>

橋台・橋脚の全部材において

荷卸し箇所の目標スランプ：12cm （管理値：±2.5cm）

3. 施工段階の照査

3.1 設計段階との相違点の確認

施工段階において、工程計画、打設計画の立案およびレディーミクストコンクリート工場の調査により、設計段階での仮定条件との相違を確認した。

- ・打設時期 : 7月～10月 ⇒ 9月～12月
- ・使用セメント : 低熱高炉セメント ⇒ 低熱ポルトランドセメント
- ・単位セメント量 : (高炉セメント B 種) 312kg ⇒ 303kg
(低発熱型セメント) 280kg ⇒ 291kg

3.2 温度ひび割れの照査

温度ひび割れの解析は、代表構造物として A2 橋台について実施し、その他の橋台および橋脚は A2 橋台の解析結果および設計段階の解析結果を参考として抑制対策を検討する。

3.2.1 各種条件の決定

設計段階の温度ひび割れの照査により、フーチングは高炉セメント B 種を使用し、保温養生を行うことで有害なひび割れが抑制できることが分かっている。そこで、施工段階では、全部材に高炉セメント B 種を使用する場合を基本条件とし、堅壁およびパラペットの温度ひび割れ抑制対策として低熱ポルトランドセメントを使用する場合について検討する。

(1) 基本条件の使用コンクリート

使用セメント : 高炉セメント B 種

配合 : 24 - 8 - 20BB

(2) 打設時期

工程計画より A2 橋台の打設時期を決定した。

打設時期 : 8 月末～10 月初旬

3.2.2 温度応力解析

(1) 基本条件

解析に使用する、熱特性等の各種条件は設計段階の条件と同じである。

(2) 打設リフトの決定

打設割りは、設計段階で想定した条件と同じである。

A2 橋台の打設割り計画を図 3-1 に示す。

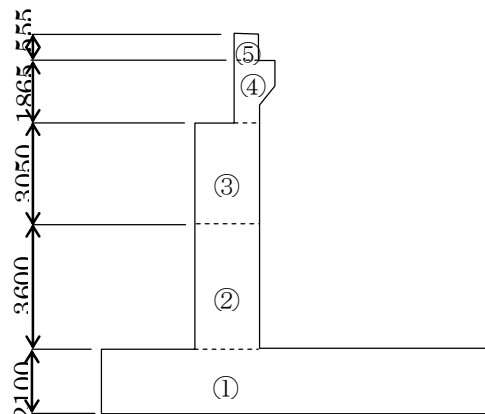


図 3-1 A2 橋台コンクリート割付図

(3)型枠および養生

型枠は合板を使用し、設計段階で検討した気泡緩衝材により保温養生を行う。コンクリート打設終了後は、コンクリート表面からの乾燥を防止するために、保水性の養生マットで覆い散水養生を行う。養生期間は、コンクリート標準示方書を参考とし 7 日間とした。また、型枠存置期間も養生期間と同一とした。

(4)検討ケース

温度ひび割れを抑制するための対策として、以下の方法について検討する。

・低発熱型セメントの使用・・・高炉セメント B 種 → 低熱ポルトランドセメント

コンクリートの配合を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析に使用したコンクリートの想定配合

セメント	W/C (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	呼び強度 (N/mm ²)	保証材齢 (日)	備考
高炉セメント B 種	53.2	303	24	28	
低熱ポルトランドセメント	54.0	291	24	28	対策の堅壁、ハーフマット

(5)打設時期および打込み温度

打設時期および打込み温度を表 3-2 に示す。なお打込み温度は、過去 10 年間の現場採取結果の平均値とした。

表 3-2 打設時期及び打込み温度の設定

部 位	打 設 時 期	打込み温度 (°C)
A2	①L 平成19年8月31日	30.2
	②L 平成19年9月11日	28.7
	③L 平成19年9月20日	28.7
	④L 平成19年9月27日	26.7
	⑤L 平成19年10月4日	25.6

表 3-3 過去 10 年間のコンクリート温度（現場採取）

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	平 均
8月3日	28.0	30.0	31.0	28.0	31.0	32.0	32.0	31.0	31.0	32.0	30.6
8月21日	30.0	30.0	30.0	28.0	30.0	27.0	27.0	29.0	31.0	31.0	29.3
8月31日	31.0	29.0	30.0	31.0	29.0	29.0	31.0	30.0	30.0	32.0	30.2
9月11日	26.0	29.0	29.0	31.0	28.0	30.0	29.0	28.0	28.0	29.0	28.7
9月12日	29.0	29.0	28.0	28.0	29.0	31.0	33.0	29.0	31.0	29.0	29.6
9月17日	29.0	28.0	26.0	29.0	28.0	29.0	28.0	29.0	30.0	29.0	28.5
9月20日	27.0	30.0	30.0	29.0	27.0	27.0	29.0	29.0	30.0	29.0	28.7
9月21日	27.0	30.0	30.0	27.0	29.0	30.0	26.0	27.0	31.0	28.0	28.5
9月27日	26.0	28.0	29.0	24.0	26.0	25.0	26.0	27.0	27.0	29.0	26.7
10月1日	26.0	28.0	29.0	27.0	26.0	27.0	24.0	24.0	28.0	27.0	26.6
10月4日	26.0	27.0	26.0	24.0	25.0	25.0	22.0	24.0	27.0	30.0	25.6
10月9日	27.0	24.0	26.0	24.0	24.0	25.0	24.0	24.0	26.0	25.0	24.9
10月10日	26.0	24.0	28.0	24.0	24.0	23.0	28.0	26.0	26.0	24.0	25.3
11月7日	19.0	23.0	20.0	25.0	20.0	17.0	23.0	20.0	19.0	19.0	20.5

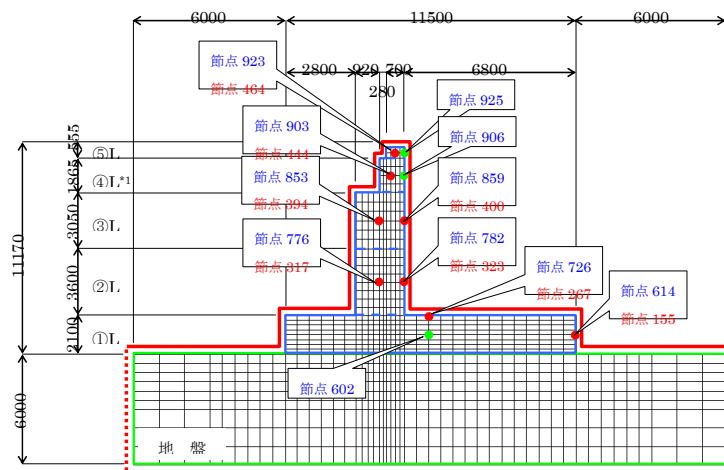


図 3-2 A2 橋台解析モデル

(6)断熱温度上昇

低熱ポルトランドセメントの断熱温度上昇特性は、メーカーの技術資料に基づいて設定する。

はじめに打込み温度 20℃の場合の断熱温度上昇式を求め、その Q_{∞} および r に打込み温度に応じた補正係数 (図 3-3) を乗じて、打込み温度ごとの断熱温度上昇式を求める。

① 打込み温度 20℃の断熱温度上昇式

$$Q_{\infty(20^{\circ}\text{C})} = 0.0606 \times C + 22.1 = 0.0606 \times 291 + 22.1 = 39.73$$

$$r_{(20^{\circ}\text{C})} = 0.0012 \times C - 0.0806 = 0.0012 \times 291 - 0.0806 = 0.269$$

これより

$$Q(t) = 39.73 \times (1 - e^{-0.269t})$$

② 打込み温度による補正係数

図 3-3 の関係図を用いて補正する。

$$Q_{\infty T} = (-6.071 \times 10^{-3} \times T + 1.118) \times Q_{\infty(20^{\circ}\text{C})}$$

$$r_T = (0.0341 \times T + 0.3185) \times r_{(20^{\circ}\text{C})}$$

補正値を表 3-4 に示す。

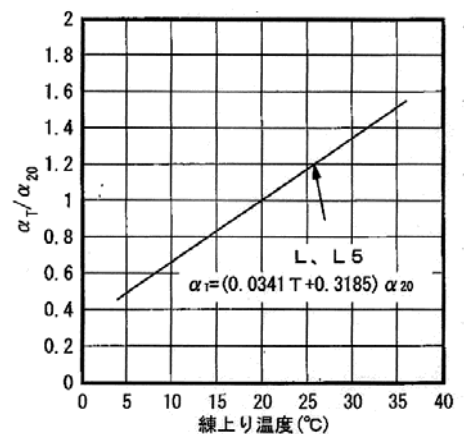
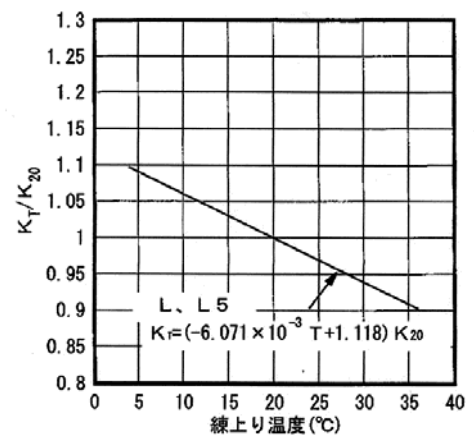


図 3-3 断熱温度上昇定数

表 3-4 解析に使用する断熱温度上昇特性 (Q_{∞} , r)

対象	セメントの種類	打込み温度 (°C)	単位セメント量 (kg/m ³)	Q_{∞}	r	打設日
A2	低熱ポルトランドセメント	28.7	291	37.50	0.349	9月11日
		28.7	291	37.50	0.349	9月20日
		26.7	291	37.98	0.331	9月27日
		25.6	291	38.24	0.321	10月4日

3.2.3 温度応力解析結果（A2 橋台）

(1)コンクリートの温度の比較

高炉セメント B 種と低熱ポルトランドセメントを使用した場合の堅壁 1 リフト（②L）の中心温度の経時変化を図 3-4 に示す。

低熱ポルトランドセメントを使用することにより，最高温度は 18℃程度低下し，温度上昇も緩やかになっている。

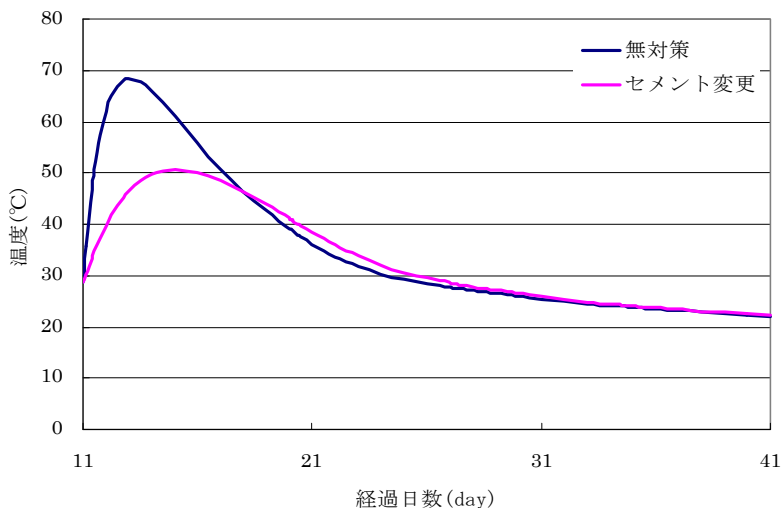


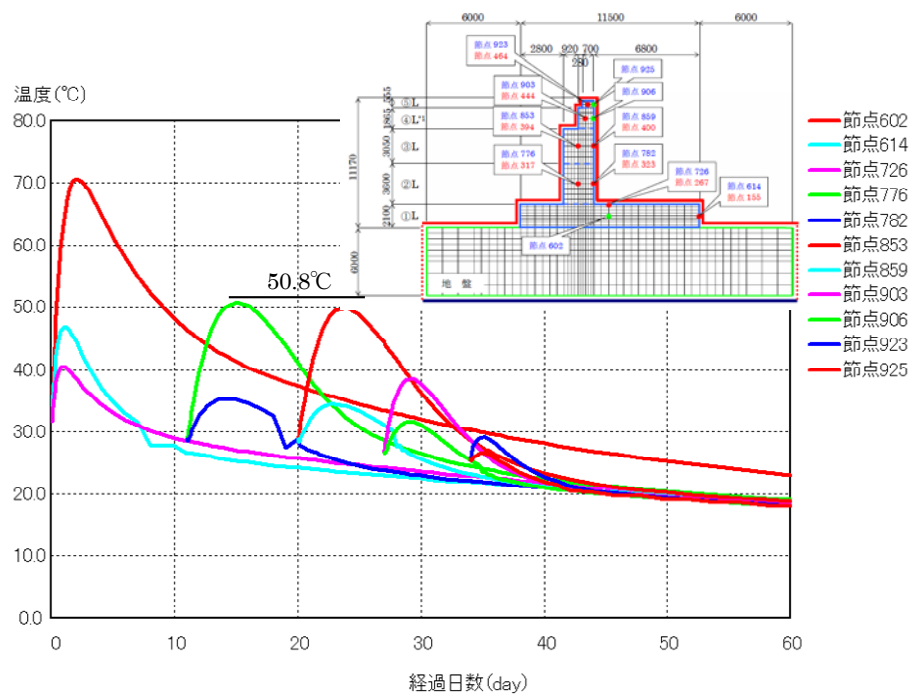
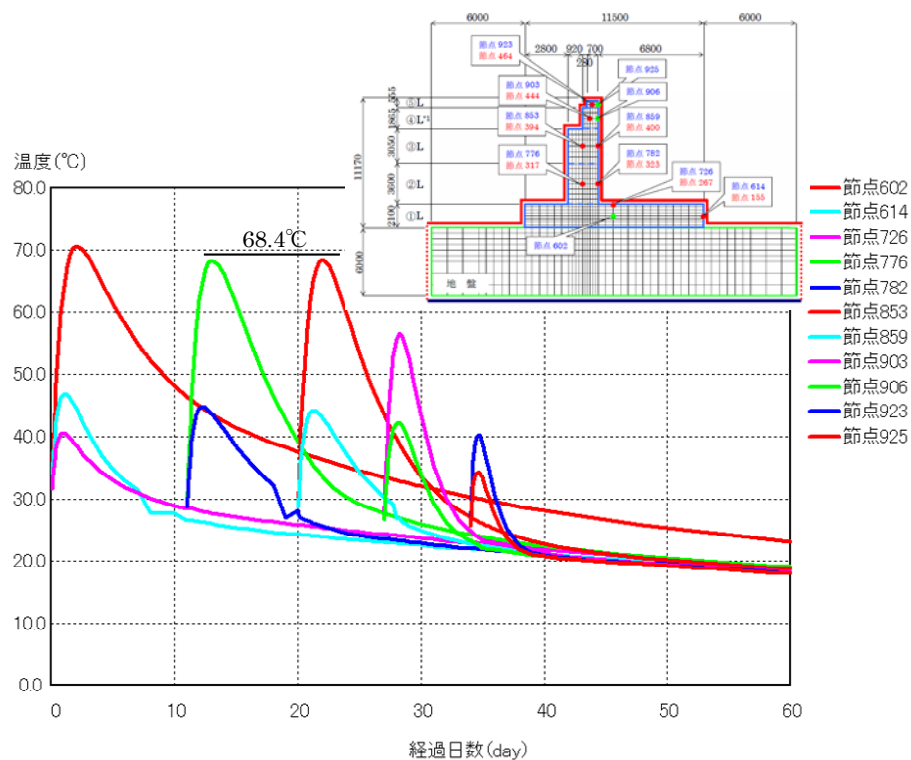
図 3-4 セメントの種類によるコンクリート温度の比較（②L 中心）

(2)温度解析結果

コンクリートの温度解析結果を表 3-5 に示す。また，基本条件（全ての部材に高炉セメント B 種を使用）のコンクリート温度の経時変化を図 3-5 に，対策条件（堅壁およびパラペットに低熱ポルトランドセメントを使用）のコンクリートの経時変化を図 3-6 に示す。

表 3-5 温度解析結果

ケース	対策方法	最大温度（℃）				
		①L	②L	③L	④L	⑤L
1	基本条件 （高炉セメント B 種） 【C=303kg/m ³ 】	70.7	68.4	68.5	56.5	40.3
2	対策条件 （低熱ポルトランドセメント） 【C=291kg/m ³ 】	—	50.8	50.0	38.4	29.1
参考	設計当初 （高炉セメント B 種） 【C=312kg/m ³ 】	73.3	75.8	74.9	62.6	—



温度応力解析におけるひび割れ指数の結果を表 3-6 に示す。また、基本条件の外部拘束によるひび割れ指数の経時変化を図 3-7 に、対策条件の外部拘束によるひび割れ指数の経時変化を図 3-8 に示す。

表 3-6 ひび割れ指数解析結果

ケース	対策方法	ひび割れ指数 Icr				
		①L	②L	③L	④L	⑤L
1	基本条件（高炉セメント B 種） 【C=303kg/m ³ 】	1.04	0.63	0.94	1.12	1.50
2	対策条件（低熱ポルトランドセメント） 【C=291kg/m ³ 】	—	1.09	1.65	4.54	3.69
参考	設計当初（高炉セメント B 種） 【C=312kg/m ³ 】	1.01	0.47	0.69	0.74	—

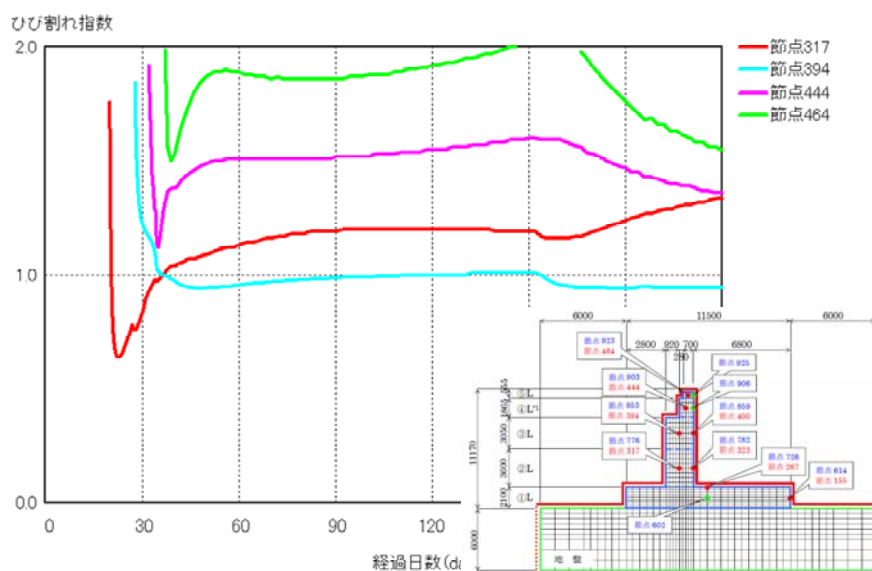


図 3-7 外部拘束によるひび割れ指数の経時変化（基本条件）

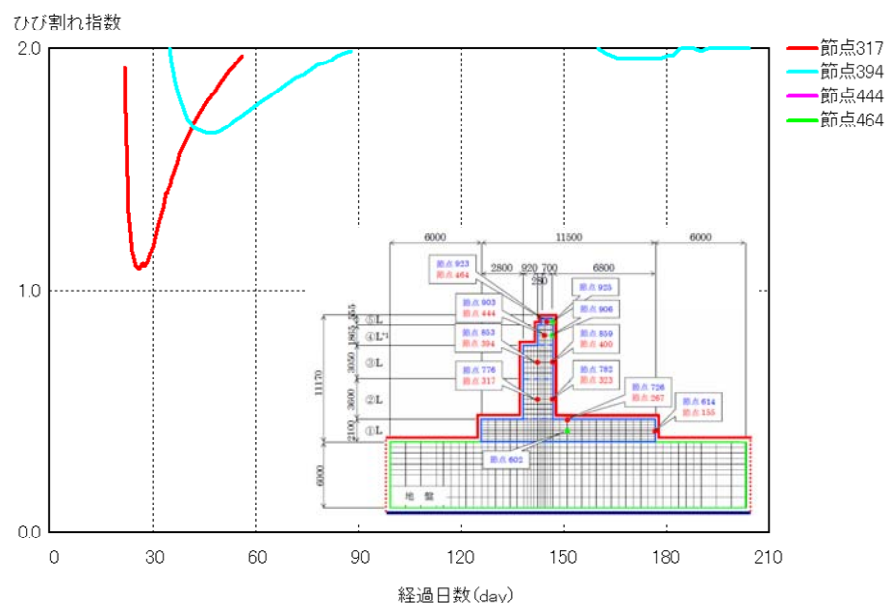


図 3-8 外部拘束によるひび割れ指数の経時変化（対策条件）

(3)温度ひび割れ対策のまとめ

低熱ポルトランドセメントを使用した場合、ひび割れ指数 1.0 以上が満足できる結果となった。これは、有害なひび割れを抑制する効果があると言える。

しかし、微細なひび割れが発生する確率は大きく、堅壁においてはひび割れ誘発目地を併用することが望ましい。

また、設計時点よりもひび割れ指数が向上した理由としては下記の事項が考えられる。

- ・ 施工時期の変更 7 月中旬～8 月下旬 → 8 月下旬～10 月上旬
- ・ コンクリート打設温度の低下 33.7℃ → 28.7℃【②L ブロック】
- ・ 設計時に想定した低熱高炉セメントよりも今回実際使用する低熱ポルトランドセメントの方が、温度抑制効果大きい。

以上の検討結果より、本工事における温度ひび割れ抑制対策を以下のように決定する。

< 温度ひび割れ抑制対策 >

- ・ フーチングは、橋台、橋脚ともに高炉セメント B 種を使用し、気泡緩衝材を用いて保温養生を施す。
- ・ 橋台の堅壁部、パラペット部および橋脚の柱部、はり部は低熱ポルトランドセメントを使用する。
- ・ 橋台の堅壁は、ひび割れ誘発目地を 2 ヶ所設置（3 分割）する。
- ・ コンクリートの打設を早朝から開始し、打込み温度を低減する。
- ・ 生コンの積込み中にアジテータに散水を行い、コンクリート温度の上昇を抑制する。

3.2.4 高密度配筋対策

(1)施工条件の決定

施工条件は、設計段階の照査において仮定した条件と同じである。

(2)最小スランプの決定

上述したように、施工条件は設計段階の仮定と変わっていないので、設計段階で提案されたとおり荷卸し箇所目標スランプを 12cm とする。

< 高密度配筋対策 >

橋台・橋脚の全部材において

荷卸し箇所目標スランプ：12cm （管理値：±2.5cm）

4. 打設結果

全ての橋台および橋脚において、ひび割れの発生は認められておらず、本工事において検討した温度ひび割れ抑制対策が有効であった。

高密度配筋対策として、スランブを 12cm としたが、ジャンカ等の施工不良は確認されていない。また、施工中においても、過度なブリーディングや材料分離も認められず、施工性は良好であった。

5. 試行の反省点等

当該工事では、温度ひび割れ抑制対策として低発熱型セメントを使用した。

設計段階の検討では、低熱高炉セメントを使用することを仮定し、他工事の事例から 3000 円／ m^3 程度のコスト高になることが予想された。

しかし、施工段階の事前調査により建設予定地域では低熱高炉セメントの供給は困難であり、低熱ポルトランドセメントは遠方からの運搬を条件に供給可能であることがわかった。これにより、低熱ポルトランドセメントを使用する場合は、運搬コストも含め 5000 円／ m^3 コスト高になった。

当該工事においては、指針の検証に伴う試行であるため、あえて低熱ポルトランドセメントを使用したか、耐久性のみでなく、経済性を含めた検討により最適な対策を選定する必要がある。

試行事例 4

1. 工事概要

構造物概要：非越波型波返し擁壁，57.6t／個，23.0m³／個

【検討段階】：施工段階

【懸念される問題点】：乾燥収縮ひび割れ

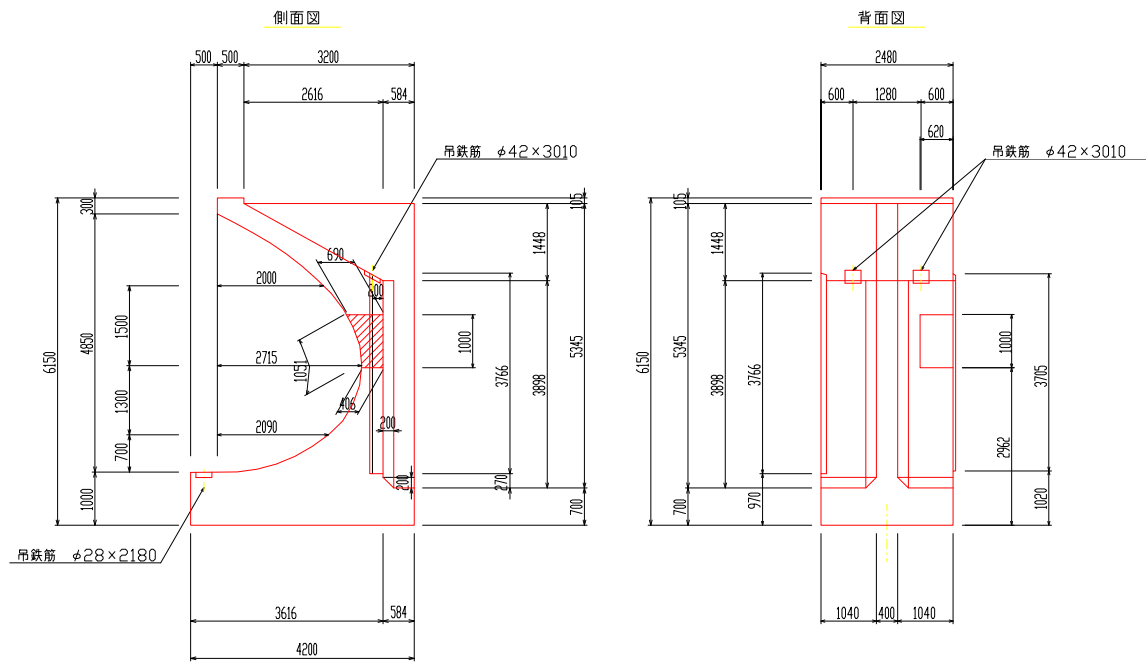
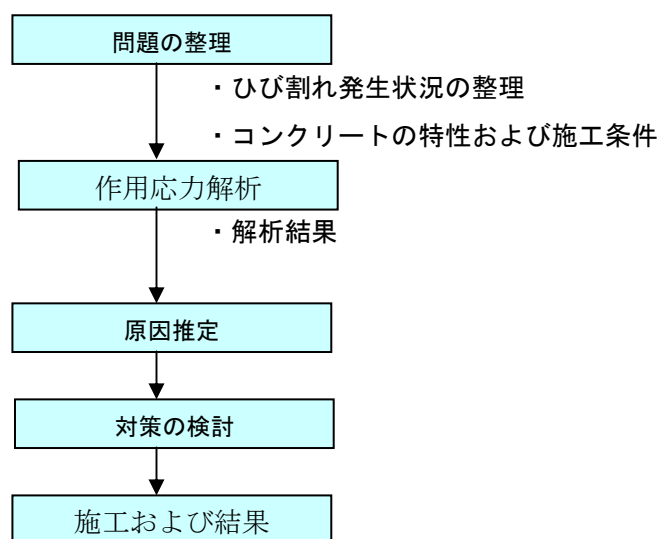


図 1-1 非越波型波返し擁壁ブロック構造図



図 1-2 非越波型波返し擁壁ブロック完成写真

1.1 検討のフロー



2. 問題の整理

2.1 ひび割れ発生状況の整理

非越波型波返し擁壁ブロックの制作過程において、図 2-1 に示す背面側の扶壁部に複数のひび割れが確認された。

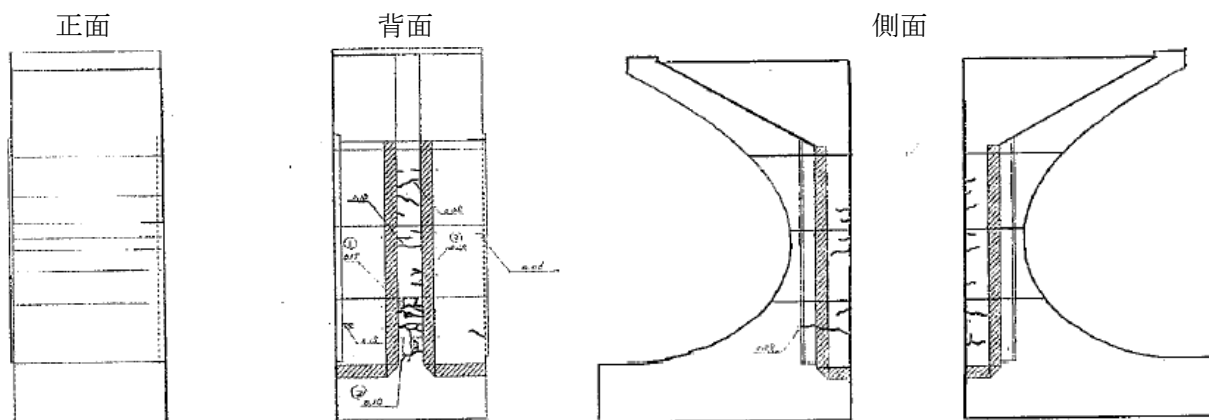


図 2-1 ひび割れ発生状況

ひび割れは、主に水平方向に発生しており、構造上最も曲げ応力が作用する部位の背面に集中している。

構造物の自重による作用は設計段階で考慮されていると仮定すると、これらのひび割れは、設計段階で想定されていない温度変化や乾燥による収縮応力や養生方法、脱枠時期等に影響することが想定される。

なお、扶壁部に生じたひび割れは、最大で 0.15mm 以下であり構造的にも問題とはならないが、当該ブロックが海洋環境に設置されることからひび割れ箇所において塩化物イオンの浸透が助長され鉄筋が腐食することが懸念される。

2.2 コンクリートの特性および施工条件

(1)コンクリートの配合（24－12－20 BB）

コンクリートの配合表を表 2－1 に示す。

表 2－1 コンクリートの配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
54.2	46.2	164	303	827	993

(2)施工条件

波返しブロックは，製作ヤードを設け作製する。

・脱枠時期

型枠は，コンクリートの部材の位置・形状寸法が正確に確保され，コンクリートが自重および施工中に加わる荷重を受けるのに必要な強度に達するまで取り外さないようにする（表 2－2）。

表 2－2 型枠を取り外してよい時期の参考値

部材の箇所	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)
フーチングの側面	3.5
柱・壁・梁の側面	5.0
スラブ・梁の底面	14.0

・養生

養生マットおよび散水を実施し，養生期間は脱枠解体に必要な強度が確保できるまでとする。

・打設ブロック

波返しブロックの打設は，図 2－2 に示すように 3 回に分けて実施する。

また，第 3 リフト打設後は，サポートを用いて自重による変形を防止する。

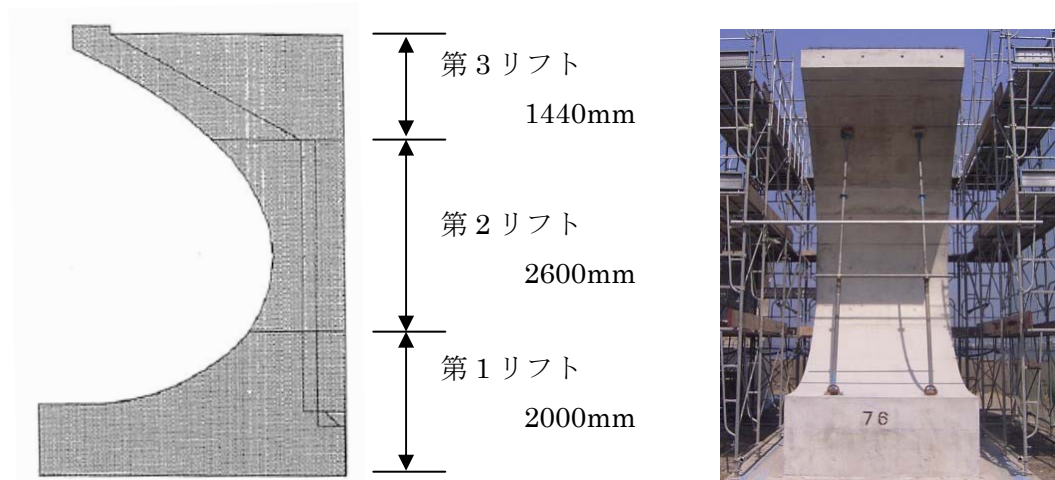


図 2－2 打設リフト割りおよびサポート状況

3. 作用応力の解析

3次元自重解析の結果では、自立状態において波返しブロックの扶壁部に発生する引張応力の最大値は $\sigma_t=1.07\text{N/mm}^2$ であった（図 3-1）。コンクリートの材齢 28 日における引張強度の推定値は、 2.15N/mm^2 であるためコンクリートが十分な強度を発現した状態では自重によるひび割れは発生しないものと推測される。

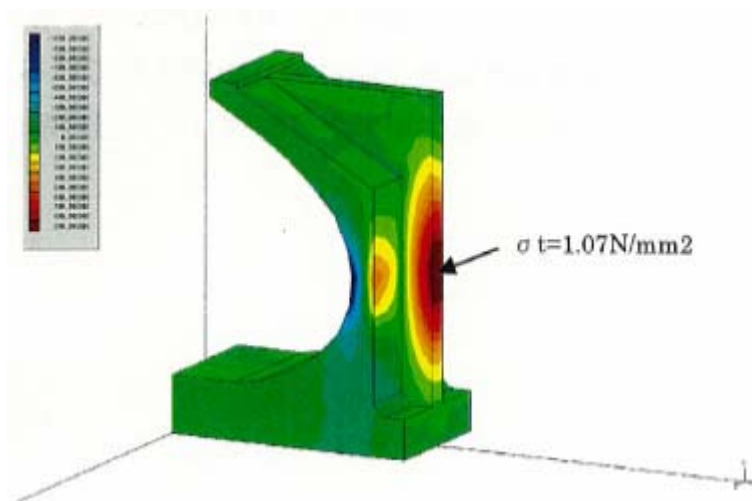


図 3-1 3次元自重解析結果

4. ひび割れの原因推定

作用応力の解析により、コンクリートが十分な強度を発現した状態では自重によってひび割れが発生する可能性は小さいことがわかった。そこで、コンクリートが硬化する過程において引張応力が作用した場合に、ひび割れが発生することが懸念される。

波返しブロックの打設は、図 2-2 で示したように 3 リフトに分割して実施する。扶壁部に引張応力が作用するのは第 3 リフト打設後である。第 3 リフトは第 2 リフト打設から 1 週間後程度に打設する。さらに、第 3 リフトは、自重による変形を防止するためにサポートを設置しており、サポートは第 3 リフト打設から約 1 か月後に撤去する。したがって、コンクリート硬化過程において波返しブロックの扶壁部に過大な引張応力が作用することはないと考えられる。

そこで、施工過程の自重以外で波返しブロックの扶壁部に発生するひび割れの要因として、乾燥収縮が考えられる。波返しブロックの形状をみると、波返し部の比表面積が扶壁部と比較して非常に大きいことが確認できる。この比表面積の差により乾燥による収縮量が異なることから扶壁部に引張応力が生じることが考えられる。

5. 対策の検討

波返しブロックの扶壁部に生じるひび割れは、乾燥収縮が大きな要因であることが推測された。

したがって、このひび割れを防止するために波返しブロックの乾燥を抑制する対策が必要である。この方法としては、型枠支保工撤去後に波返し部に被膜養生剤をコンクリート表面に塗布することが有効である。

6. 施工及び結果

(1) 施工

脱枠直後に、コンクリート表面に被膜養生剤を、ローラにて塗布する（塗布状況図 6-1）。

(2) 結果

被膜養生剤を塗布した波返しブロックの扶壁部には、ひび割れは確認されていない。



図 6-1 被膜養生剤塗布状況