

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）

手引き書（案）

平成25年7月

国土交通省
九州地方整備局

まえがき

社会資本整備における土木コンクリート構造物の品質、耐久性の重要性に鑑み、九州地方整備局では「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」の監修のもと、平成20年4月に「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）」を策定したところであり、また2007年（平成19年）12月には土木学会の「コンクリート標準示方書」が改定されています。

これらの技術指針では、設計段階における性能照査等を位置づけていますが、設計や施工担当者等における性能照査実務の習熟度の現状や、温度ひび割れ照査等における費用・労力などの諸課題等を勘案し、今般、同指針（案）の円滑な実運用に向け、指針（案）を補完する「手引書」の策定を行ったものです。

本手引書はこのような観点から、初心者等が指針（案）の運用を行っていくうえで補充等が望まれる、耐久性照査や温度ひび割れ照査などの実務手引・照査事例等を中心に記述を行うとともに、最近の工事におけるひび割れ発生状況の分析等から、温度ひび割れ照査の省略が可能な構造物の領域や目標とすべきひび割れ指数等についても検討を加え、併せてひび割れ指数の簡易推定資料を作成することにより、指針（案）の円滑かつ効率・効果的な運用への補完・補充資料として作成したものです。

本手引書が「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）」の円滑な運用にむけた補完資料として活用され、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念願する次第です。

平成23年3月

九州地方整備局土木コンクリート構造物品質確保連絡会委員長 松下 博通
九州地方整備局企画部長 清水 亨

手引書の位置づけと構成

手引書の位置づけ

本手引書は、「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20年4月策定）〔以下、指針（案）という〕の円滑な運用に向け、設計、施工等にかかわる設計者、施工者及び発注者等の実務者が指針（案）に基づく照査、検討等を円滑に行っていくためのマニュアルとして策定するもので、指針（案）を補完する実務書として位置づけるものである。

手引書の構成

本手引書では、指針（案）の今後の運用において、初心者等でも円滑な実務運用ができるよう、指針（案）規定における耐久性照査や温度ひび割れ照査などの実務手引等の補充が望まれる部分について説明や記述、フロー等の追補を行うとともに、指針（案）に位置づける「専門評価機関」、「工事監理連絡会（三者連絡会）」の活用の考え方等についても説明を加えた。

耐久性照査や温度ひび割れ照査に関しては手引書〔本編〕での全体的な説明と、〔照査実務事例編〕での照査実務例を付加し分かり易く示した。

また、設計段階及び施工計画段階での温度ひび割れ照査の運用や、簡易な照査手法の活用などについても〔本編〕の中に示した。

なお、指針（案）の構成の中で、本手引書が対象とした部分を以下に記す。

[本手引書で取扱った、指針（案）での章・項部分]

- 指針（案）第2章 計画・設計段階における建設プロセス
 - ☆2.2.4 構造物の耐久性照査
 - ☆2.3.2 温度ひび割れの照査
 - ☆2.5 配筋状態を考慮した最小スランプの設定
- 〃 第3章 施工計画
 - ☆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
- 〃 全章に関連する事項
 - ☆専門評価機関
 - ☆工事監理連絡会（三者連絡会）

目 次

本 編

| | |
|----------------------------|----|
| 1. 耐久性の照査 | 1 |
| 1.1 中性化に伴う鋼材腐食に対する照査 | 2 |
| 1.2 塩害に対する照査 | 6 |
| 1.3 アルカリ骨材反応に対する照査（留意点） | 10 |
| 2. スランプの設定(打込みの最小スランプ) | 11 |
| 2.1 配筋状態を考慮した打込みの最小スランプの設定 | 12 |
| 2.2 最小スランプを考慮したスランプ設定の考え方 | 14 |
| 2.3 スランプの設定における留意事項 | 16 |
| 3. 温度ひび割れの照査 | 18 |
| 3.1 温度ひび割れ照査について | 18 |
| 3.2 温度ひび割れ照査の基本的考え方 | 18 |
| 3.3 温度ひび割れ照査の要否判定 | 21 |
| 3.4 簡易照査 | 26 |
| 3.5 詳細照査 | 34 |
| 3.6 温度ひび割れ対策 | 43 |
| 3.7 構造物のコンクリート温度測定 | 45 |
| 4. 指針（案）における専門評価機関の活用方法 | 46 |
| 4.1 専門評価機関とは | 46 |
| 4.2 専門評価機関の活用例 | 46 |
| 4.3 専門評価機関の活用方法 | 46 |
| 5. 工事監理連絡会（三者連絡会）の詳細 | 47 |

照査実務事例編

橋梁下部工

| | |
|--------------------------|------|
| 1 照査例①：壁式橋脚 | 例- 1 |
| 1.1 構造物の諸元 | 例- 1 |
| 1.2 構造物の設計耐用期間と要求性能 | 例- 4 |
| 1.3 安全性の照査 | 例- 4 |
| 1.4 使用性の照査 | 例- 4 |
| 1.5 耐久性の照査 | 例- 5 |
| 1.6 最小スランプの設定 | 例-17 |
| 1.7 温度ひび割れの照査 | 例-22 |
| 1.8 第三者影響度および美観・景観に対する照査 | 例-36 |
| 2 照査例②：橋台 | 例-37 |
| 2.1 構造物の諸元 | 例-37 |
| 2.2 最小スランプの設定 | 例-41 |
| 2.3 温度ひび割れの照査 | 例-46 |
| 3 照査例③：中空断面橋脚 | 例-60 |
| 3.1 構造物の諸元 | 例-60 |
| 3.2 最小スランプの設定 | 例-62 |

ボックスカルバート

| | |
|---------------------|------|
| 4 照査例① | 例-65 |
| 4.1 構造物の諸元 | 例-65 |
| 4.2 構造物の設計耐用期間と要求性能 | 例-68 |
| 4.3 安全性の照査 | 例-68 |
| 4.4 使用性の照査 | 例-69 |
| 4.5 耐久性の照査 | 例-69 |
| 4.6 最小スランプの設定 | 例-72 |
| 4.7 温度ひび割れの照査 | 例-75 |

資料編

資料-1 施工事例分析資料

1. ひび割れの発生状況…………… 資 1-1
2. 温度ひび割れ照査を実施する対象領域の緩和…………… 資 1-6
3. ひび割れ指数の運用水準の検討・検証…………… 資 1-7

資料-2 ひび割れ指数簡易推定資料

- I. ひび割れ指数簡易推定資料を用いた照査手順(例) …… 資 2-I-1
- II. ひび割れ指数簡易推定資料(詳細図集) …… 資 2-II-1

資料-3 施工段階における留意事項

- ① スランプを小さくするための施工方法の工夫例…………… 資 3-1
- ② コンクリート床板の適切な打設順序…………… 資 3-4
- ③ 橋台・橋脚のひび割れ対策…………… 資 3-6
- ④ 各種初期欠陥を防止するための対策…………… 資 3-9
- ⑤ ひび割れ誘発目地の使用上の留意点 …… 資 3-11

1. 耐久性の照査

構造物は、設計耐用期間にわたり所要の性能を確保しなければならず、そのためには環境作用による劣化や変状によって低下した性能が要求性能を満足するかを照査することが必要である。

一般に、コンクリートの耐久性については、道路橋示方書や土木構造物設計マニュアル（案）等に規定されるかぶりを満足することで照査が省略されている。しかし、設計耐用期間が明確ではなく、水セメント比(W/C)が50%程度の普通ポルトランドセメントの使用を前提としており、さらに過酷な環境での劣化等が複合して作用する場合などに必要なかぶりが満足できない場合がある。

したがって、当面の運用として中性化および塩害に対する耐久性については、道路橋示方書等に加え、指針（案）の算定式により照査を行うものとする。

参考に標準化を図ったかぶりの例（表 1.1、表 1.2）を以下に示す。

表 1.1 橋梁下部構造の表面から軸方向鉄筋中心までの距離の例

| | | 必要とする軸方向鉄筋中心までの距離の目安 (mm) | 提案する軸方向鉄筋中心までの距離 (mm) | |
|------------------|-------|---------------------------|-----------------------|--------------|
| 逆 T 式橋台 | バラベツト | 100~110 | 150 | |
| | たて壁 | 110~140 | 150 | |
| | フーチング | 下 面 | 100~120 (210~220) | 150 (250) |
| | | 上 面 | 100~120 | 150 |
| 張出し式橋脚 (壁式橋脚) | はり | 100~110 | 150 | |
| | 柱 | 110~140 | 150 | |
| | フーチング | 橋軸方向 下面鉄筋 | 110~140 (230~250) | 150 (250) |
| | | 橋軸方向 上面鉄筋 | 110~130 | 150 |

※1 上表は、一般的な鉄筋の径（軸方向鉄筋 D35、配力鉄筋 D29、帯鉄筋もしくはスターラップ D22 程度を上限）を想定した値であるので、それ以上の太径を用いる場合には別途考慮する必要がある。

※2 () 内は、杭頭結合方法 B の杭基礎を有する場合における一般的な値である。

表 1.2 地覆・壁高欄のかぶりの例

| 直壁型 | | フロリダ型 |
|-----|----|-------|
| 42 | 70 | 70 |

【注】表 1.1：道路橋示方書に定められる（水セメント比 50%程度の普通ポルトランドセメントの使用を前提）必要かぶりの 70mm 以上かつ鉄筋の直径以上を確保することを基本として、軸方向鉄筋中心までの距離を 150mm に統一している。これは、一般的な下部構造の各部位において、軸方向鉄筋中心までの距離は、軸方向鉄筋、スターラップや配力鉄筋の径によって異なるが、一般的に 100~140mm 必要であることによる。

表 1.2：地覆や高欄においても標準化が図られており、塩害の影響を考慮し、かぶりを 70mm として統一している。

ここでは、設計耐用期間が定められたコンクリート構造物について、その耐久性能に影響を及ぼす劣化現象のうち代表的な「中性化に伴う鋼材腐食に対する照査」および「塩害に対する照査」について耐久性照査の流れと考え方を示す。

また、参考として1.3に「アルカリ骨材反応照査における留意点」を示す。

1.1 中性化に伴う鋼材腐食に対する照査

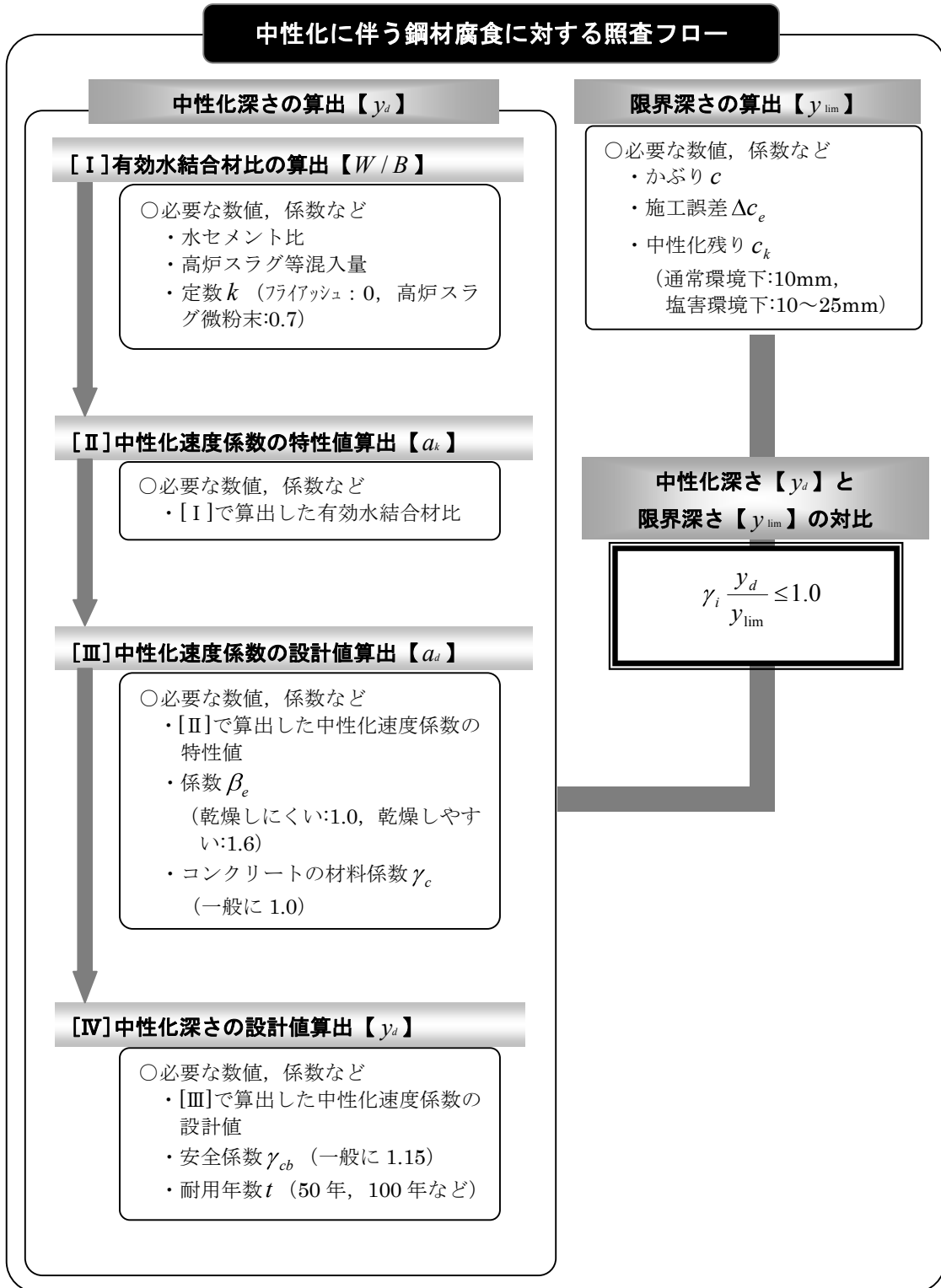
前述のように道路橋示方書では、塩害の影響を受けない一般的な環境における鉄筋の腐食を防ぐための必要なかぶりが定められている。このかぶりを満足すれば中性化に対する照査を省略することができると読み替えることができる。ただし、道路橋示方書においては、対象とするコンクリートの水セメント比や構造物の耐用年数等が明確にされていない。

また、「2012年制定 土木学会コンクリート標準示方書(設計編)」では、施工誤差および水セメント比の最大値を考慮したかぶりの最小値が規定されている。

したがって、指針(案)に準拠した中性化に対する照査は、これらを明確にし照査することが必要である。

【中性化に対する照査実務】

中性化に対する照査は、設計耐用年数に応じた中性化深さの設計値 y_d の鋼材腐食発生限界深さ y_{lim} に対する比に構造物係数 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行う。以下に照査フローを示す。

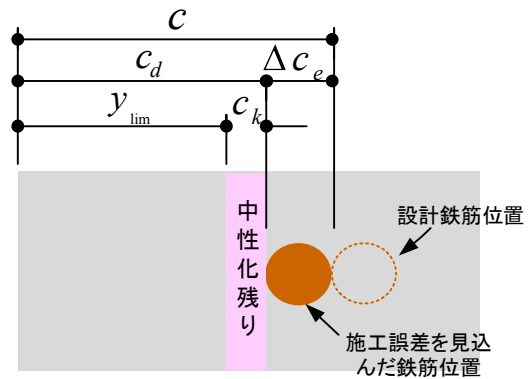


※具体的な手法は、照査例を参照 (p 例-5, p 例-69)

図 1.1 にかぶり、限界深さおよび中性化残りの概念図を示す。なお、耐久性の照査では施工誤差を考慮しないものとする。これは、出来形管理基準にて最小かぶり以上を確保することが原則とされていることによる。

指針(案)には、中性化に対する照査を簡易的に行う際に役立つノモグラムを示している。これは、設計耐用期間が 50 年および 100 年を想定し、セメントに普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種を使用する場合の算定結果を図示したものである。

ただし、算定に用いた高炉セメント B 種のスラグ置換率は 45% であり、その他の安全係数等についても指針(案)に明示しているので適切に活用しなければならない。



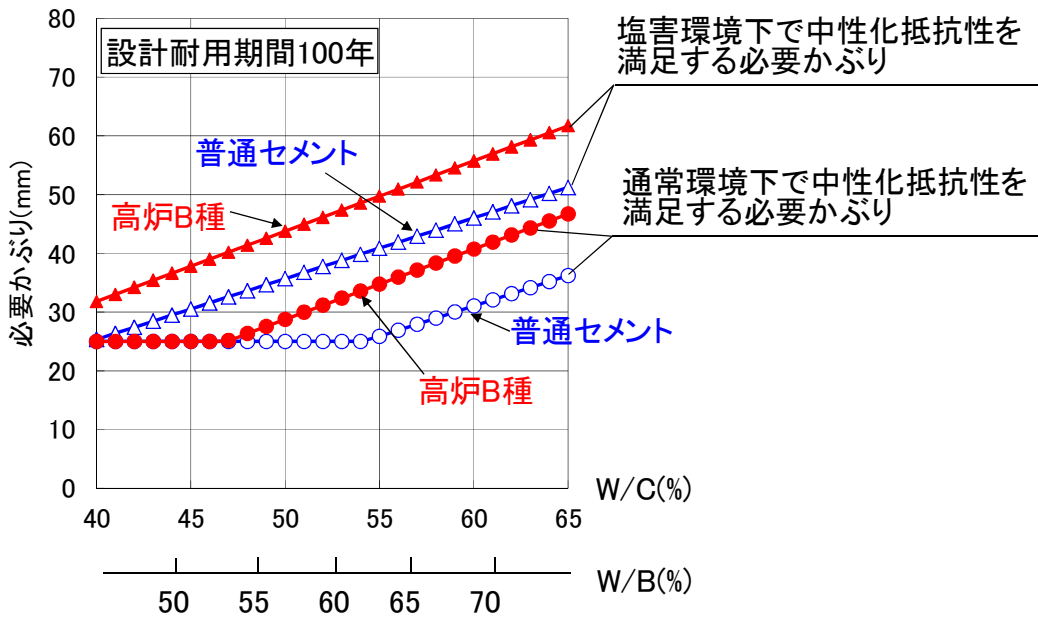
- c : かぶり Δc_e : 施工誤差
- c_d : 耐久性に関する照査に用いるかぶりの設計値
- c_k : 中性化残り
- y_{lim} : 鋼材腐食発生限界深さ

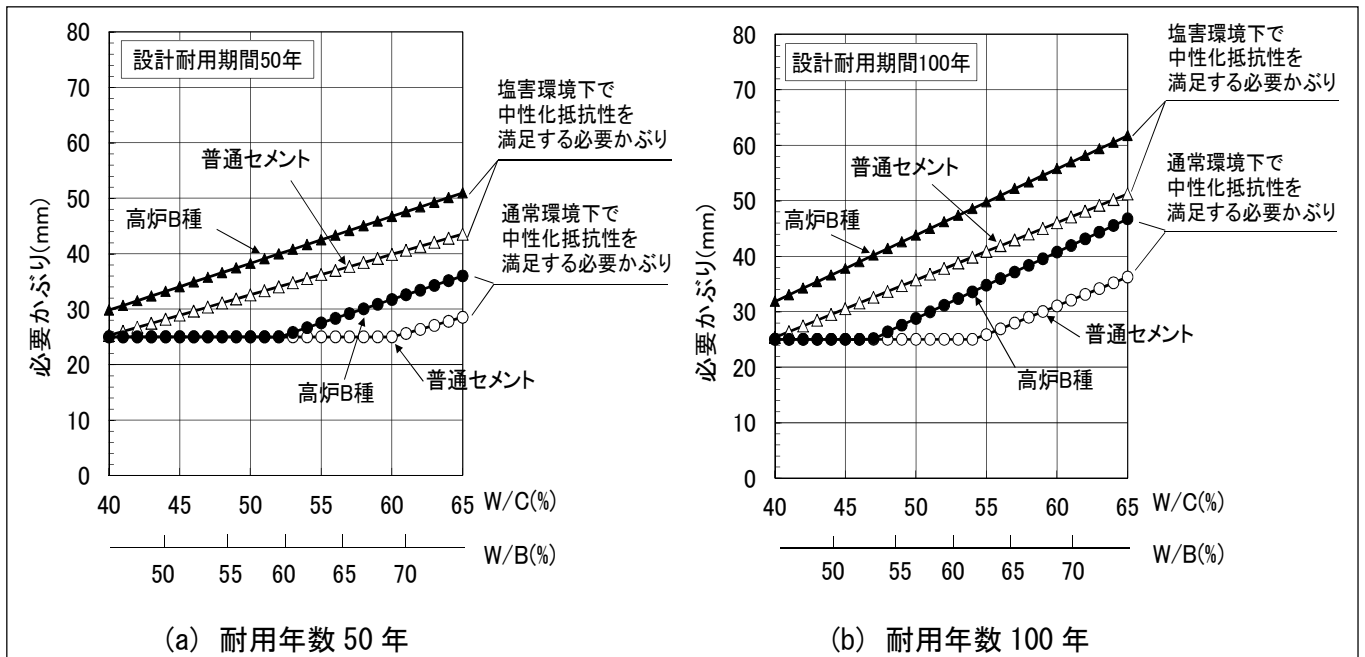
図 1.1 かぶり、限界深さ等イメージ

【簡易ノモグラムの活用例】

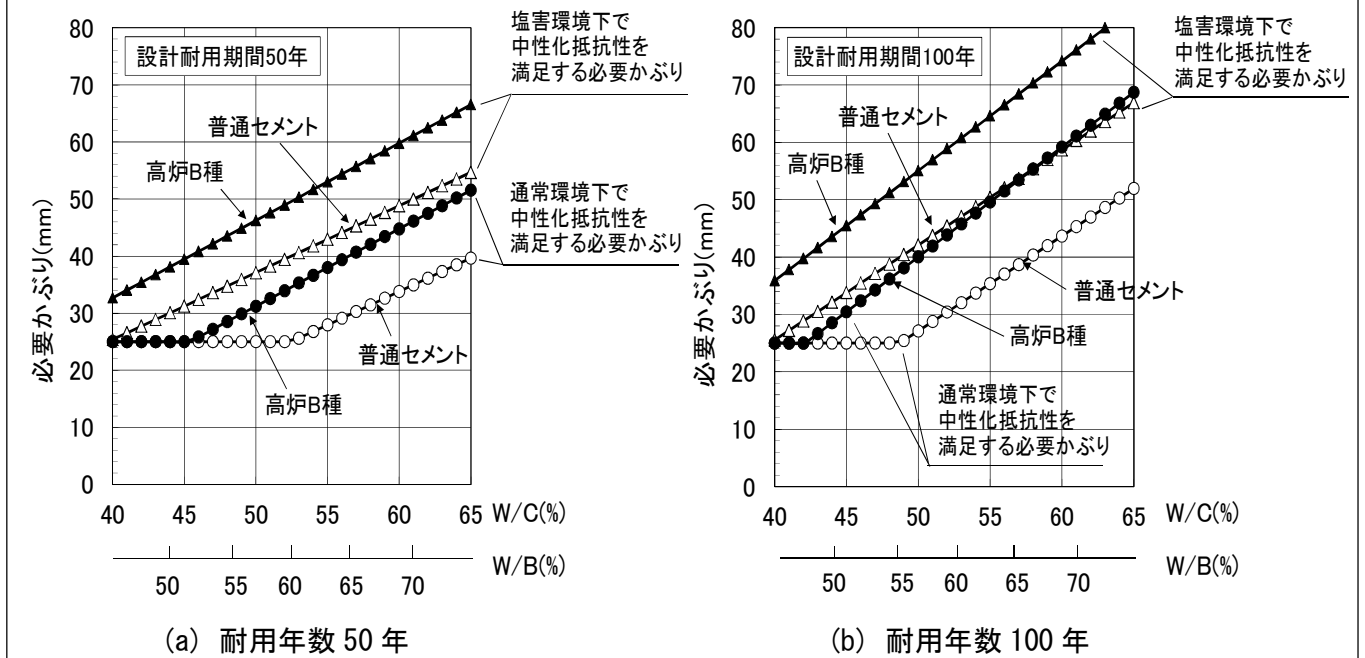
図 1.2 に設計耐用期間 100 年を想定した場合の中性化抵抗性を満足する必要かぶり算定結果の活用例を示す。

これより、水セメント比が 55% のコンクリートを使用した場合、普通ポルトランドセメントを使用した場合は、中性化抵抗性を満足するために約 26mm のかぶりが必要であり、高炉セメント B 種を使用した場合は、約 35mm のかぶりが必要であることが読み取れる。





※指針（案）の p. 2-7 解説表 2. 2. 1 の条件で作図



※指針（案）の p. 2-7 解説表 2. 2. 1 の条件で、
 β_e [環境作用の程度を表す係数] を 1.6 (乾燥しやすい条件) で作図

図 1. 2 中性化抵抗性を満足する必要かぶり算定図

1.2 塩害に対する照査

道路橋示方書では、表 1.3 に示すように塩害によって所要の耐久性が損なわれないよう部材毎に、塩害の影響地域に基づいた影響度合いによって最小かぶりが定められている。

表 1.3 塩害の影響による最小かぶり（道路橋示方書）（単位:mm）

| 【下部構造】 | | 部材の種類 | |
|----------|------|----------|--|
| 塩害の影響度合い | 対策区分 | はり, 柱, 壁 | |
| 影響が激しい | S | 90* | |
| 影響を受ける | I | 90 | |
| | II | 70 | |
| | III | 50 | |

※塗装鉄筋, コンクリート塗装等を併用

| 【上部構造】 | | 構造 | | |
|-----------|------|--------------------|-------------------|-----------|
| 塩害の影響の度合い | 対策区分 | (1) 工場で製作される PC 構造 | (2) (1) 以外の PC 構造 | (3) RC 構造 |
| 影響が激しい | S | 70* | | |
| 影響を受ける | I | 50 | 70 | |
| | II | 35 | 50 | 70 |
| | III | | | 50 |
| 影響を受けない | | 一般環境の鋼材のかぶりによる | | |

※塗装鉄筋の使用又はコンクリート塗装を併用

[備考]

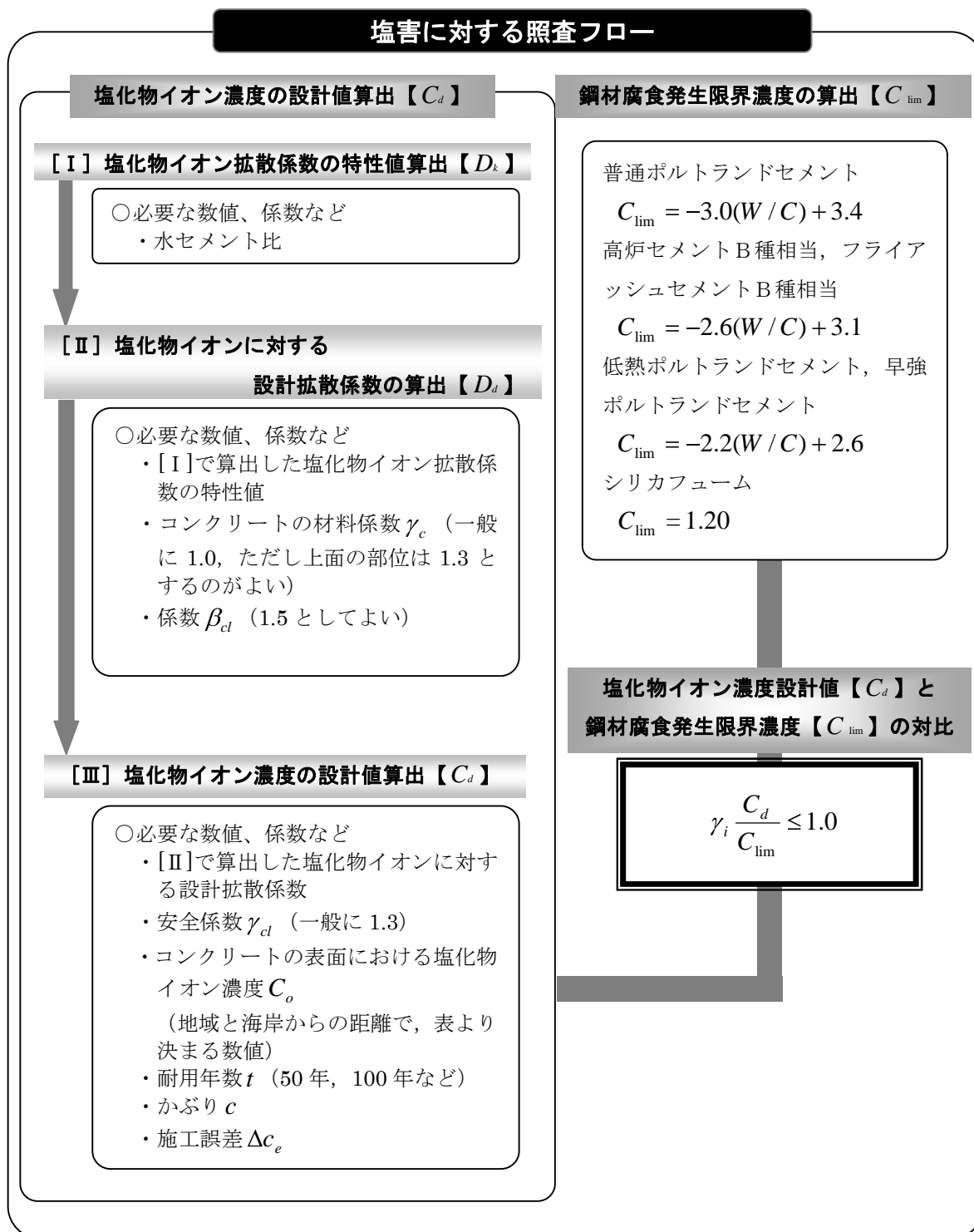
1) 対策区分：S(影響が激しい)， I・II・III(影響を受ける)

2) 適用条件

- ・耐久性に関する設計上の目標期間として 100 年を設定した場合
- ・各部材の水セメント比
下部構造 50%， 上部構造の(1)工場製作される PC 構造 36%， (2) (1) 以外の PC 構造 43%， RC 構造 50%程度の普通ポルトランドセメントを使用することが前提

【塩害に対する照査実務】

塩害に対する照査は、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d の鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} に対する比に構造物係数 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行う。以下に照査フローを示す。



※具体的な手法は、照査例を参照（p 例-10）

指針(案)には 2.2.4 の解説(2)において、塩害に対する照査を簡易的に行う際に役立つノモグラムを示している。これにより、水セメント比から設計耐用期間 50 年および 100 年の場合の必要かぶりを照査することができる。

このノモグラムの活用例を以下に示す。

照査の結果、非常に大きなかぶりが必要になる場合や、指針(案)に示されている対策のみでは構造物に所要の耐久性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、耐久性の照査では施工誤差を考慮しないものとする。これは、出来形管理基準にて最小かぶり以上を確保することが原則とされていることによる。

【簡易ノモグラムの活用例】

使用セメント：高炉セメント B 種，W/C：53%，設計耐用年数 100 年および海岸線からの距離を 100m の場合

- 九州地方における、海岸から 100m の距離のコンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_0 は、表 1.5 より 2.5kg/m^3 である。

W/C=53%における必要かぶりは図 1.3 より 57mm 以上となる。

- よって、かぶりが 57mm 以上の場合は、塩害に関する耐久性を満足することがわかる。

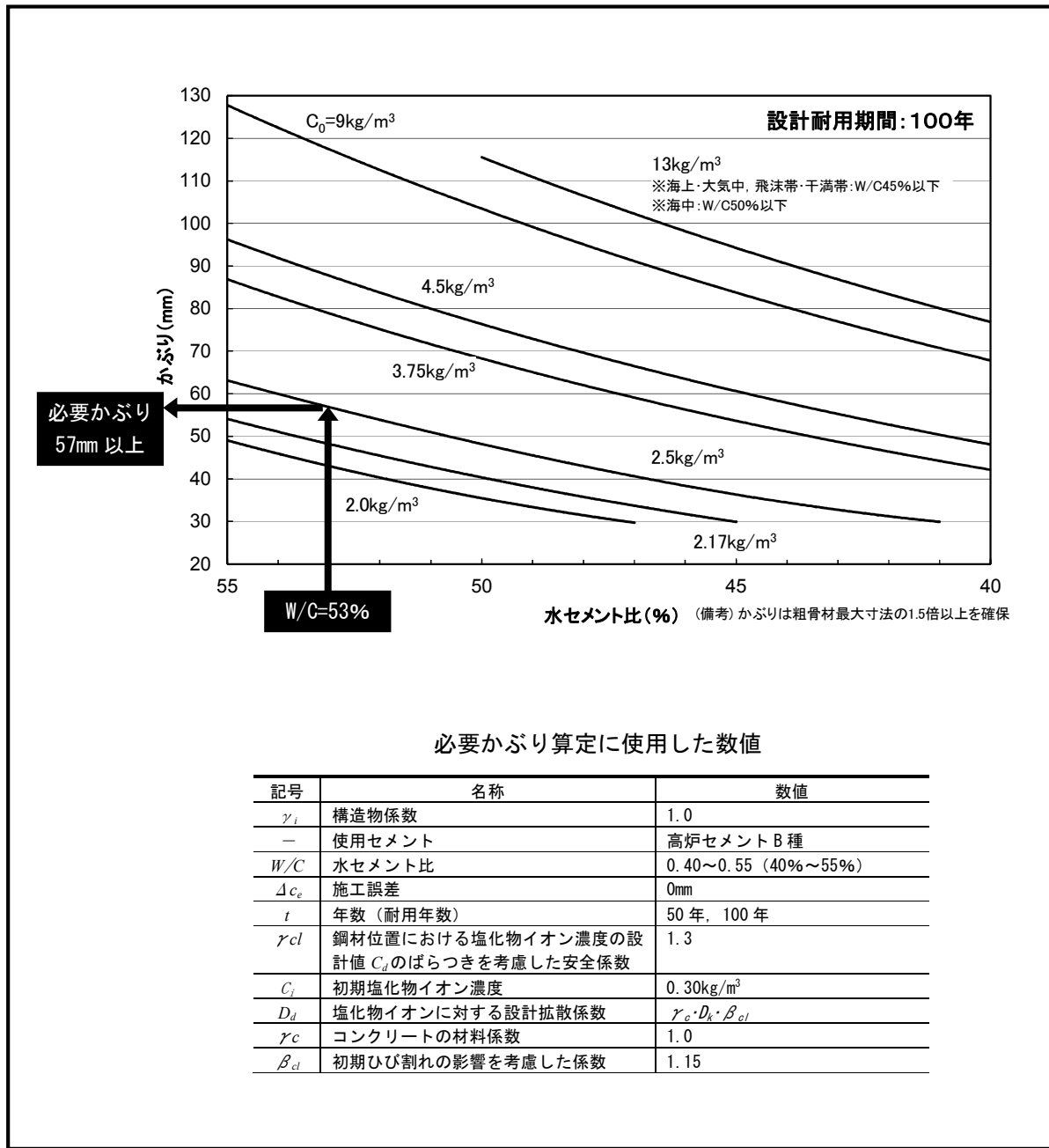
※本例の場合は、中性化抵抗性を満足する必要かぶりが 60mm 以上となる。

したがって、耐久性上の必要かぶりは 60mm 以上になる点に注意を要す。

※表 1.5 に示す適用条件に該当しない場合は使用できない。

表 1.4 コンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m^3)

| | | 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 |
| | 関東, 東海, 近畿 中国, 四国 | | 4.5 | - | - | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
| 飛来塩分が少ない地域 | 九州 | | 9.0 | 9.0 | 4.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |



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 | $\gamma_c \cdot D_k \cdot \beta_{cl}$ |
| 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 |

図 1.3 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

1.3 アルカリ骨材反応に対する照査（留意点）

コンクリートに使用する骨材が反応性か否かを判断するためには、施工段階で使用するコンクリートに用いられる骨材が特定されていなければならない。反応性骨材と判断された場合は、適切なアルカリ骨材反応抑制対策を施さなければならない。

九州地区の既設構造物においてはアルカリ骨材反応による劣化事例が散見され、指針（案）では、施工段階において使用する骨材が反応性骨材であると判断された場合の対策検討・実施のみならず、設計段階から構造物の建設予定地の環境条件、アルカリの供給の有無および周囲の既存の構造物等を調査し、アルカリ骨材反応による劣化が懸念される場合は、事前に抑制対策を検討することとしている。

またこれらは施工着手時に行われる三者連絡会（工事監理連絡会）において、設計者から施工者へ留意を促すことが重要である。

アルカリ骨材反応の照査の参考資料として、図 1.4 に九州地方における反応性骨材の分布推定図を示す。



図 1.4 九州地方における反応性骨材の分布推定図

(出典：九州技報第 8 号)

2. スランプの設定（打込みの最小スランプ）

コンクリートのスランプは、施工できる範囲内でできるだけ小さくすることが基本である。

昭和 49 年版の土木学会コンクリート標準示方書において、スランプの標準値が一般の場合 5～12cm と記載されたことを受け、これの平均値が契約等において「土木用コンクリートはスランプ 8cm が標準」として扱われるようになった。これは、一般に単位水量が少なく、経済的であり、乾燥収縮や水和熱等も少ないためひび割れ抵抗性の観点からも優れている。

しかし、近年では耐震性能の要求水準の引き上げによる鋼材の増加に伴い、コンクリートの施工の難度が増大し、充填不足等の初期欠陥が発生する問題も生じており、「2007 年制定土木学会コンクリート標準示方書」において、構造や施工条件に応じた打込みの最小スランプについて規定が設けられた。

コンクリート構造物の品質確保においては、配筋状態や打設環境を勘案した適切なスランプの設定が望まれる反面、施工性を重視し過ぎスランプを過大にすると、多量のブリーディングの発生や材料分離傾向が顕著になるなどの弊害も危惧される。

このため、できるだけ小さいスランプが採用できるよう施工方法等に工夫を施すことが重要である。

表 2.1, 2.2 に試行現場において実施したスランプの変更例及びコンクリートの充填を確保するための工夫等を参考に示す。

表 2.1 試行現場におけるスランプの変更例

| 構造物 | 部材 | 当初 | 変更 | 備考 |
|-----------------|-----|-----|------|-----------------------------|
| 張出し式橋脚 | 梁部 | 8cm | 12cm | セメント量の増加を考慮して高性能AE減水剤を使用 |
| 張出し式橋脚 逆T式橋台 | 全部材 | 8cm | 12cm | 単位水量を増やさずに、混和剤(AE減水剤)で調整 |
| 逆T式橋台 | 全部材 | 8cm | 10cm | 単位水量で調整 |
| 張出し式橋脚 逆T式橋台 | 躯体部 | 8cm | 12cm | 低熱セメントを使用 ブリーディング量の増加を確認 |

表 2.2 試行現場における充填に関する工夫

| 構造物 | 部材 | スランプ | 工夫 |
|-------|-------|------|---|
| 逆T式橋台 | フーチング | 8cm | 使用骨材のGmaxを20mmから40mmに変更し、単位水量を低減 |
| 逆T式橋台 | 全部材 | 8cm | 高機能AE減水剤を使用し、単位水量を低減 |
| 樋門 | 門柱部 | 8cm | 使用骨材のGmaxを40mmから20mmに変更し、単位水量を増やさないために高性能減水剤を使用 |

(注) これまでの試行においては確認されていないが、単位水量を増加することなくスランプを大きくするために高性能 AE 減水剤を使用したケースにおいて、ポンプの圧送性能が低下し閉塞するケースも報告されており、特に夏季施工においてはポンパビリティーに留意するとよい。

2.1 配筋状態を考慮した打込みの最小スランプの設定

前述の通り土木構造物に用いられるコンクリートのスランプは、一般に8cmが標準とされており、これまでは特殊な場合を除き設計段階において適切なスランプが考慮されることはほとんどなかった。

そのため、耐震性能の要求水準が高くなり鋼材量が増加した現在において、明らかに打込みが困難と推測される過小なスランプによって工事が発注され、施工段階において苦慮するケースが散見される。

このような問題を解決するためには、どの部材が高密度な配筋状態になっているのかを最も理解できる設計段階において、打込みの最小スランプを考慮し、最適なスランプを選定することが効率的である。

設計の段階から配筋状態や作業条件を考慮して打込みの最小スランプおよび荷卸し箇所目標スランプを設定する際のフローを図2.1、部材毎の打込みの最小スランプ設定フローを図2.2に示す。

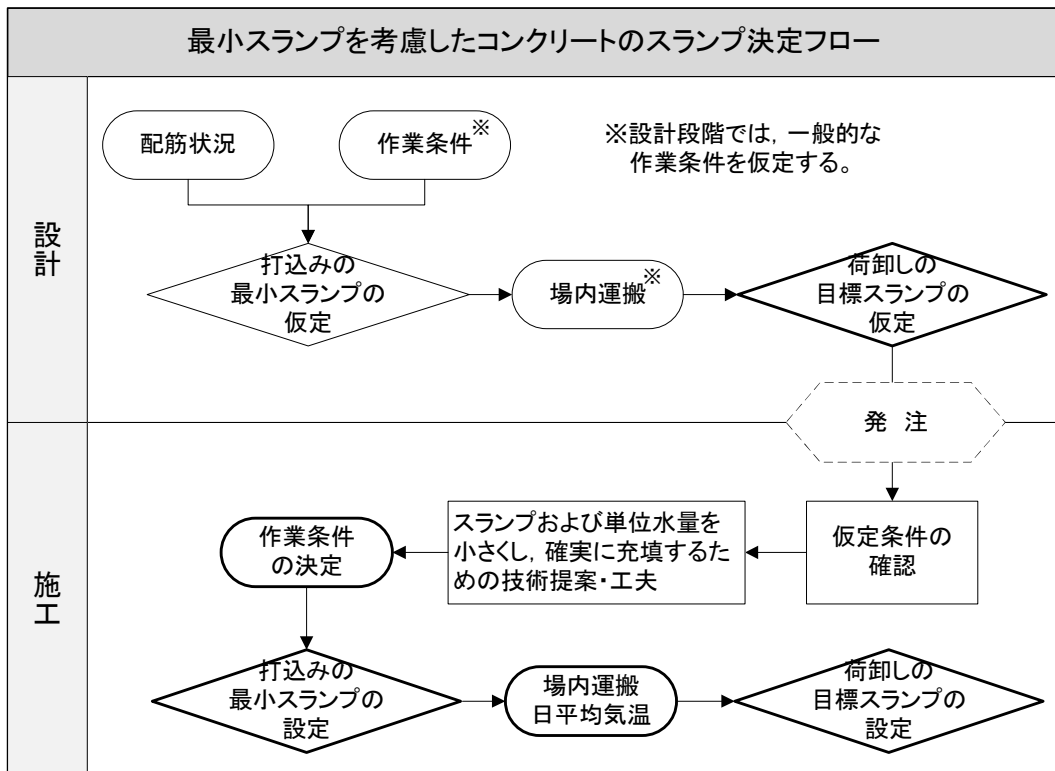


図 2.1 打込みの最小スランプを考慮したスランプ決定フロー

部材毎の打込みの最小スランプ設定フロー

**I. 部材の種類を選択
II. 締固め高さ、鋼材の最小あき、鋼材量等を算出し、最小スランプを設定**



III. 施工計画段階に打込みの最小スランプ及び各種条件の伝達

※具体的な手法は、照査例を参照（p 例-17, p 例-41, p 例-62, p 例-72）

図 2.2 部材毎の打込みの最小スランプ設定フロー

2.2 最小スランブを考慮したスランブ設定の考え方

最小スランブを考慮したスランブの設定については図 2.3 を参考に以下の通りとする。

【スランブ設定の考え方】

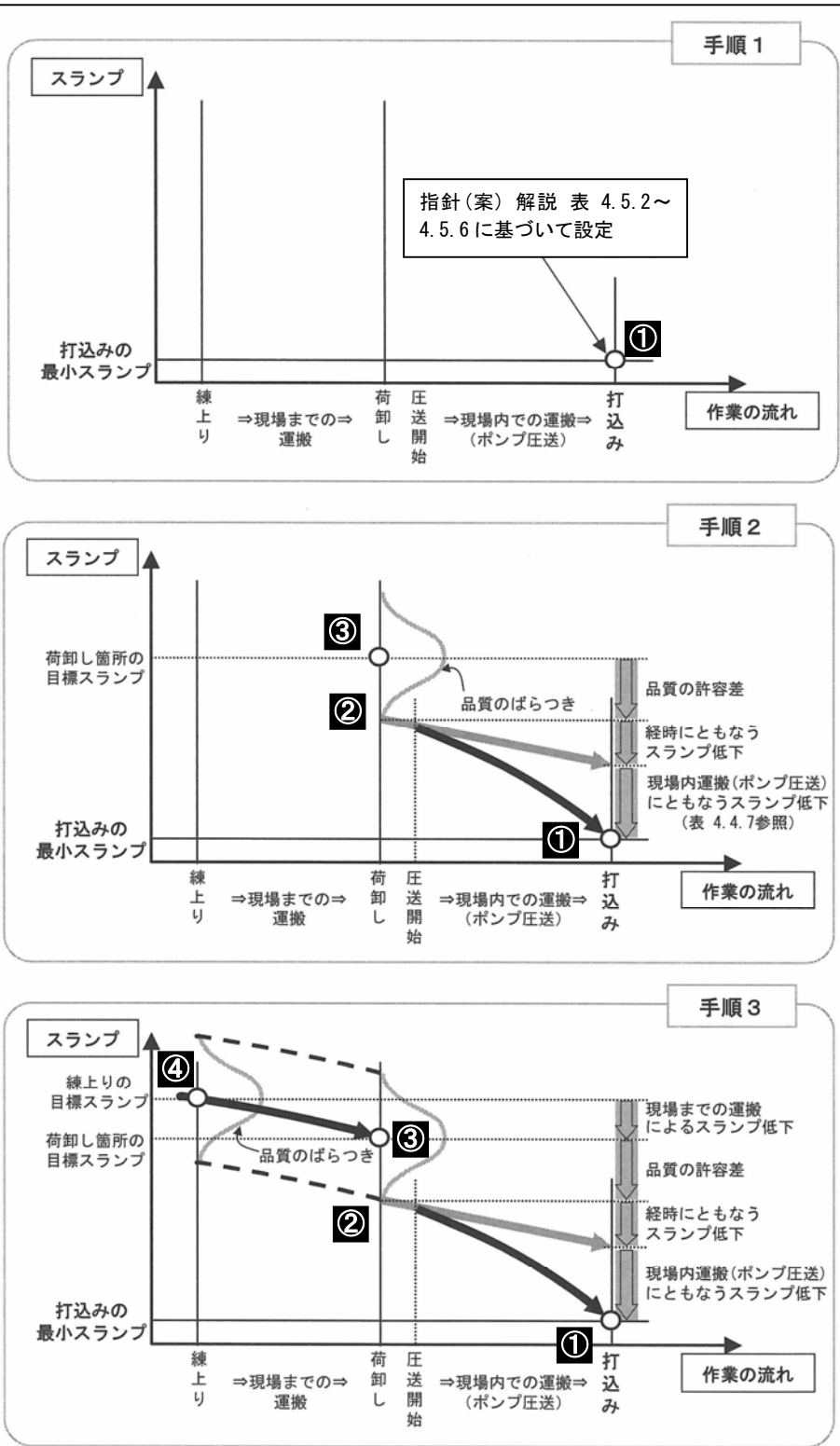
(1) 設計段階

- 【手順 1】 指針(案) (p4-15～4-17 の解説表 4.5.2～4.5.6) に記載されている打込みの最小スランブの目安に基づき、筒先での打込みの最小スランブ①を選定する。
- 【手順 2】 打込みの最小スランブ①に、ポンプ圧送等の現場内運搬を想定したスランブロス (解説表 4.5.7 施工条件に応じたスランブの低下の目安) を加えた値を②とする。
- 【手順 3】 荷卸し箇所の目標スランブ③は、②にコンクリート製造時の品質管理幅 (+1.5cm) を加えた値とする。この値が JIS A 5308 に該当しない場合は、直近の JIS 規格のスランブ (8, 10, 12, 15cm) とする。

(2) 施工計画段階

施工者が製造者に指定する荷卸し地点のスランブは、発注者、施工者、設計者による工事監理連絡会 (三者連絡会) において協議・確認をする。協議するにあたっては以下の事項に考慮するとよい。

- ・設計段階で設定されたスランブを、施工計画 (打込み計画) で施工環境 (鉄筋量や配置、場内運搬距離および時間当たりの打設量等) を考慮して決定すること。
- ・施工者は、できるだけ小さいスランブとするために、締固め作業高さを小さくすることや打設方法を工夫すること。
- ・工事監理連絡会において判断ができない場合は、専門評価機関による技術的な判断を得ること。



- ①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
- ③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①に場内運搬等によるスランプの低下を加えたスランプが②）
- ④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

図 2.3 打込みの最小スランプを考慮した荷卸し箇所の目標スランプ等の設定の考え方
 ※出典：2007年制定土木学会コンクリート標準示方書(施工編)，p80 に一部加筆

2.3 スランプの設定における留意事項

2.3.1 設計段階

- 1) 設計段階においては、打設リフト等の打設条件が不明確であるため、標準的な施工条件を仮定し設定してよい。
- 2) コンクリート打込みの最小スランプは部材ごとに設定することを標準とする。
- 3) 打込みの最小スランプを求める目安表（指針(案)の解説表 4.5.2～4.5.5）の締め固め作業高さの例を図 2.4 に示す。締め固め作業高さとは、コンクリートの締め固めを行う作業員の足元の位置から型枠下端（またはそのリフトの下端）までの最大の高さをいう。
- 4) 高密度配筋となっている部材および打込みの最小スランプを選定した条件等を施工計画段階に伝達する。

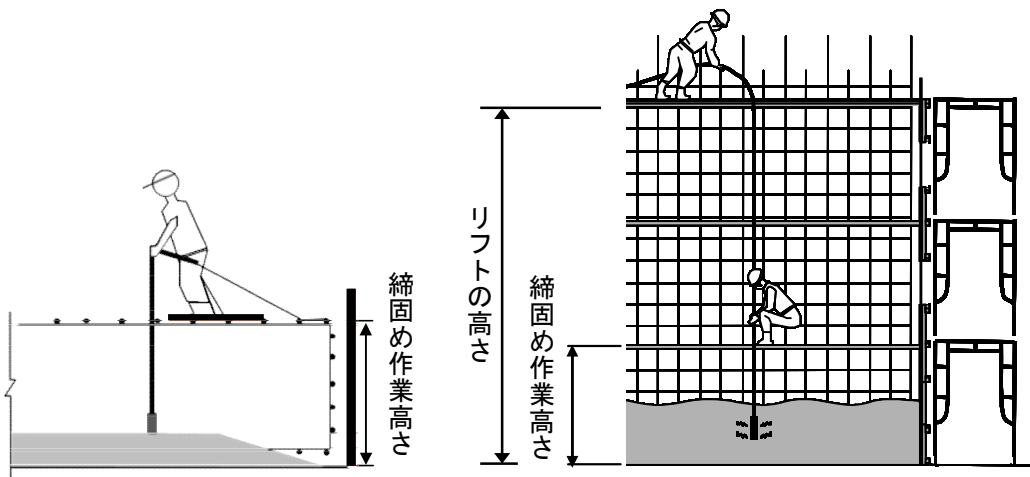


図 2.4 締め固め作業高さの例

2.3.2 施工計画・施工段階

- 1) 施工計画（打込み計画）を基に、設計段階で仮定された打設条件との相違点の確認および設計段階においてどのような考えのもとに最小スランプ等が仮定されたかを確認・検証する。
- 2) スランプは、材料分離抵抗性の低下や単位水量の増加による品質低下を抑制するために、施工可能な範囲でできるだけ小さくすることが原則である。
したがって、最小スランプを選定する場合は、事前に締め固め高さを小さくする工夫や入念な締め固め方法など、施工面での十分な検討が肝要である。
- 3) 荷卸しの目標スランプが、JIS に規定されるスランプと一致しない場合には、JIS に規定されるスランプの中から最も近いものを選ぶ。
なお、施工者は荷卸し地点にて受け入れ検査を実施するものとするが、検査時の管理幅は、九州地方整備局制定の品質管理基準及び規格値に定められる通り、スランプ 8cm 以上 18cm 未満のコンクリートにおいては±2.5cm とする。
- 4) 施工者は、荷卸し時において、定められた時期および回数 of スランプの受入れ検査

を行わなければならない。

- 5) 場外運搬に伴って低下するスランプ量は、過去の実績を参考として推測するとよい。
なお、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートを使用する場合は、現場までの運搬に伴うスランプロスは、製造段階で保証されている。

3. 温度ひび割れの照査

3.1 温度ひび割れ照査について

水和熱に起因するひび割れが発生することが懸念される場合は、事前に照査を行うことが「土木学会 コンクリート標準示方書」等で示されている。この温度ひび割れ照査は、コンクリート標準示方書では、従来施工段階で実施することになっていたが2007年版より「設計編」で示されるようになり、材料や施工面だけでなく設計面も併せた総合的な対応が必要であることから、より上流側での対応が求められるようになった。

指針(案)においても同様に設計段階での照査を基本に位置づけている(施工計画段階で、設計段階で想定した条件等が大きく異なる場合は、施工計画段階でも再度照査を行う)。

温度ひび割れ照査を行うべき「セメントの水和熱が大きくなる構造物」として、指針(案)2.3.2では下記の構造部材を位置づけているが、すべての適用には膨大な費用や労力を要する側面もあり、指針(案)2.3.1においては「既往の施工実績例からの照査の省略」にも触れている。

これらの点を考慮した具体的な照査の運用については、次項3.2での基本的考え方を参考とされたい。

- 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

また指針(案)では、温度ひび割れ照査は「ひび割れ指数に基づいたひび割れ発生確率により照査を行うことを原則」としており、また同時に、「ひび割れ幅は、適切な方法で照査しなければならない」としている。しかし、現状において温度ひび割れ幅を高い精度で計算できる実用的な方法は得られていないことから、**現状では温度ひび割れ照査はひび割れ指数による照査をもって運用することとする。**

3.2 温度ひび割れ照査の基本的考え方

指針(案)では温度ひび割れ照査を設計段階で行い、施工計画段階では施工条件との相違点等を確認し、必要に応じ再照査を行うこととしている。

設計段階の照査は、上流側での設計思想を含め広範な温度ひび割れ対策の検討をはじめ、適切な発注仕様の策定、施工段階での大きな変更等のトラブル要因の除去等のメリットがある。しかし、具体の施工環境や諸条件が確定できないことから施工計画段階で条件等が異なれば再度照査を行う必要も生じ、費用や労力を要することにもなる。

一方、施工計画段階においては、各種条件が明確になっており高い解析精度が期待できるが、下流での対応になるために対策が限定されるとともに、施工段階における設計変更等の手間が増えることが考えられる。

そこで本手引書では、橋台、橋脚、ボックスカルバートについて九州地方整備局管内の直轄工事における既往施工事例等を分析し、指針(案)2.3.1に規定する照査省略の判断参考資料を提供することとした。また、「資料編 資料-2」に示すモデル構造解析から作成した各種の構造形態を考慮した「ひび割れ指数簡易推定資料」を提供することにより「簡易な照査」手法の活用についても位置づけ、設計段階から施工計画段階における照査の運用を図ることとした。

これらを踏まえた照査フローを図3.2.1に示す。

なお、「資料編」に添付する施工事例分析やモデル構造でのひび割れ指数簡易推定資料は、今後の施工事例や解析データ等を蓄積し充実していく予定である。

運用の参考として、設計段階や施工計画段階における温度ひび割れ照査での留意点、目標とするひび割れ指数の考え方等を以下に示す。

なお、温度ひび割れ対策の検討は「3.6 温度ひび割れ対策」に示す主要な対策を参考にするとよいが、合理的かつ効果的な対策とするため、専門評価機関を活用し、専門家の知識や意見等もふまえて検討することが望ましい。

【設計段階での留意点】

- ・ 施工事例の分析結果や温度ひび割れ指数簡易推定資料等も活用し、設計計画の段階から温度ひび割れ特性を意識しつつ設計方針を確立する。
- ・ 通常可能な対策の範囲でひび割れの抑止が困難と想定される場合は、二次製品の活用を含め設計計画にもフィードバックし検討を行う。

【施工計画段階での留意点】

- ・ 施工計画策定時に、三者連絡会（工事監理連絡会）を開催し、設計段階で仮定した条件、温度ひび割れ対策や留意事項等の照査結果について設計者から施工者へ伝達する。
- ・ 施工条件等が設計段階の検討条件と乖離し再照査が必要な場合は、簡易推定資料等の活用も含め検討を行う。

【目標とするひび割れ指数】

ひび割れの抑止は長期にわたる構造物の耐久性確保のうえで重要な事項である。しかし、経済性あるいは現地情勢、工程等の面で現実性に乏しい場合も多々あるため、発生するひび割れを構造物の性能に悪影響を及ぼさないように制御する視点が重要である。

本手引書における運用においては、一般的な構造物では**目標とするひび割れ指数を「ひび割れの発生を許容するがひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合の1.0」**としている。ただし、構造物の重要性や周辺環境等に特に留意が必要な場合は、専門評価機関の活用も考慮し適切に定めなければならない。

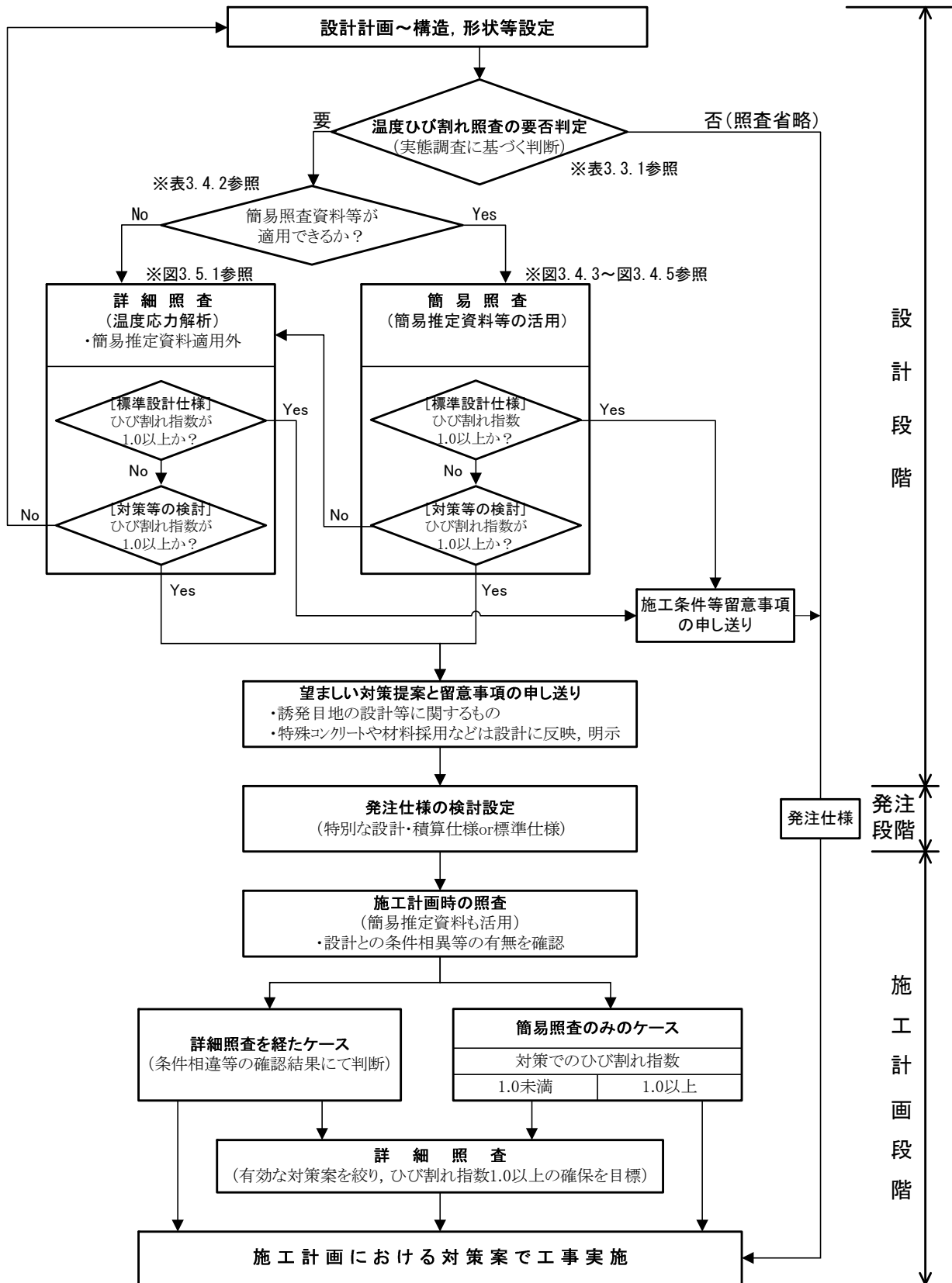


図 3.2.1 温度ひび割れ照査フロー

※適用構造物：橋台(フーチング, 堅壁), 橋脚(フーチング, 壁・柱式), ボックスカルバート

3.3 温度ひび割れ照査の要否判定

3.3.1 温度ひび割れ照査を実施する対象領域の緩和

ひび割れ発生の状況^{*}および施工事例の分析結果等(詳細は資料編参照)より、橋台・橋脚における壁・柱部材、スラブ(フーチング)、ボックスカルバート(BOX)の側壁について、指針(案)2.3.2-(1)に規定する「温度ひび割れ照査対象構造物の範囲」のうち表3.3.1に示す範囲は照査を省略することができるものとして運用することとした。ただし、コンクリート標準示方書等の各種基準類を遵守する前提で適用できるものとする(例えば、暑中・寒中コンクリートなど)。

なお、今回の事例分析は一般的な構造物に適用されている設計基準強度 24N/mm²を対象としたものであり、これより設計基準強度の大きいコンクリートは緩和対象としない。

表 3.3.1 温度ひび割れ照査を省略することができる範囲

| | 緩和対象範囲 |
|------------------|--|
| フーチング (橋台・橋脚) | 部材高を 1.8m以下とする場合 |
| 壁部材 (橋台・橋脚) | ・奥行幅が 4m 以下の壁部材 ・奥行幅が 4m を超える壁部材で、誘発目地を 4m 以下の間隔で設置する場合 ^{※1} |
| 柱部材 (橋脚) | ・長辺が 4m 以下の柱部材 |
| BOX の側壁 | ・長さが 4m 以下 ・長さが 4m を超える側壁で、誘発目地を 4m 以下の間隔で設置する場合 |

※1: 橋台(壁部材)に誘発目地を設置する場合は、壁部材の誘発目地にひび割れが誘発されることでパラペットにひび割れが生じる危険性がある。よって、壁部材に誘発目地を設置する場合は、パラペットにも誘発目地を延長して設置するものとする。

※ひび割れ発生の状況

九州地方整備局において平成21年度に施工されたコンクリート構造物(橋台76基, 橋脚64基, ボックスカルバート14基(34ブロック))を対象に、各種の設計・施工条件及びひび割れ調査データを収集し、ひび割れの発生状況などの分析を実施している。この結果、各部材とも、約10年以前のひび割れ発生傾向に比べ格段のひび割れの減少がみられる。

これは、近年の総合評価方式における技術提案でのコンクリート品質にかかる提案の普及によるものと考えられる。なお、これらは当然、各企業における標準仕様以上の品質への取組努力の結果として表れていることにも留意する必要がある。

◇フーチング

- ・橋台、橋脚のフーチングのひび割れ発生率は約8%であり、ひび割れ幅0.2mm以上がほとんどを占める。
- ・BOXの底版・頂版ではひび割れは発生していない。

◇壁・柱等

- ・橋台、橋脚の壁、柱、胸壁のひび割れ発生率は10~20%程度である。
- ・ひび割れ幅0.2mm以上の発生率は、堅壁6%、胸壁2%であり、橋脚では0.2mm以上のひび割れは発生していない。
- ・BOX側壁のひび割れ発生率は9%であり、全てひび割れ幅0.2mm以上である。

①フーチング（橋台・橋脚）

【緩和対象】 部材高 1.8m 以下は照査を省略することができる。
 （趣旨）

- ・部材高が 1.8m 以下においてはひび割れが発生していない（図 3.3.1）
- ・ひび割れが発生しているフーチングは、ひび割れ指数が概ね 1.0 以下である（図 3.3.2）

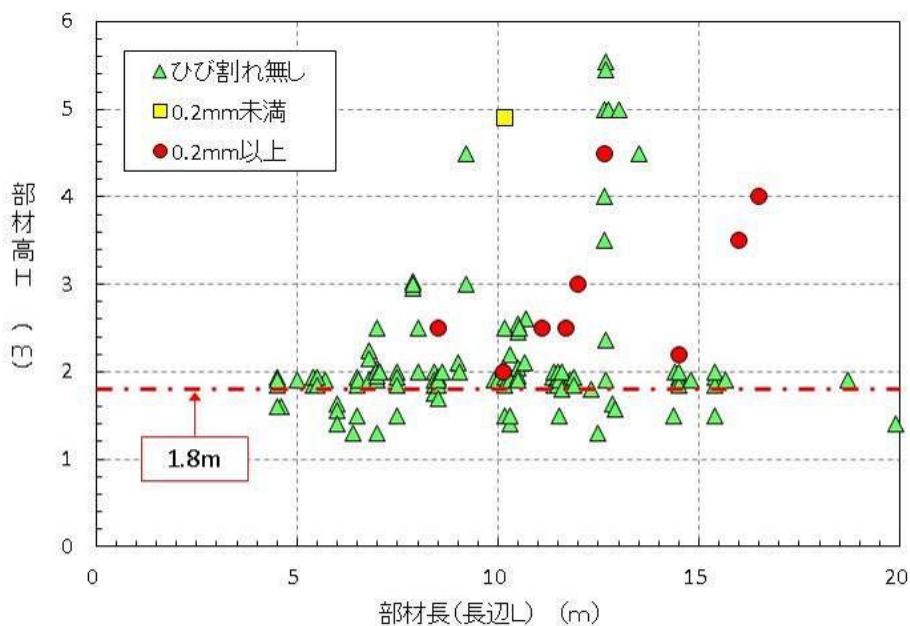


図 3.3.1 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン（フーチング）

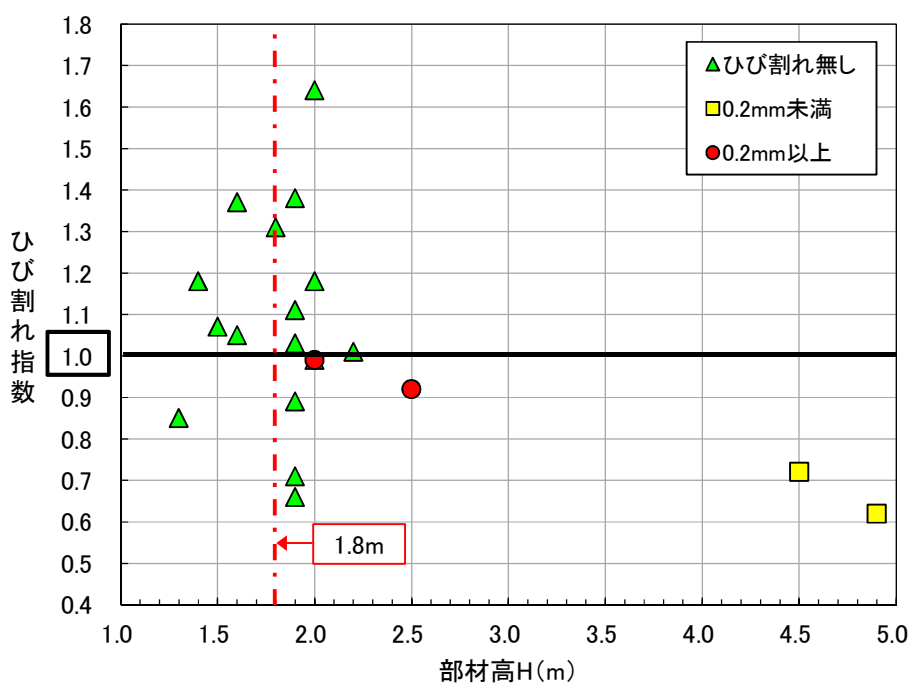


図 3.3.2 施工実態調査に基づく温度応力解析結果とひび割れ発生状況（フーチング）

②壁部材(橋台・橋脚)

【緩和対象】壁部材は以下の条件であれば照査を省略することができる。

■奥行幅が4m以下の壁部材

■奥行幅が4mを超える壁部材で、誘発目地を4m以下の間隔で設置する場合(趣旨)

- ・奥行幅が4m以下においてはひび割れが発生していない(図3.3.3)
- ・奥行幅が4mを超える場合は、誘発目地を4m以下の間隔で設置することで、誘発目地にひび割れが集中すると考えられる。
- ・ひび割れが発生している壁部材は、ひび割れ指数が概ね1.0以下である(図3.3.4)

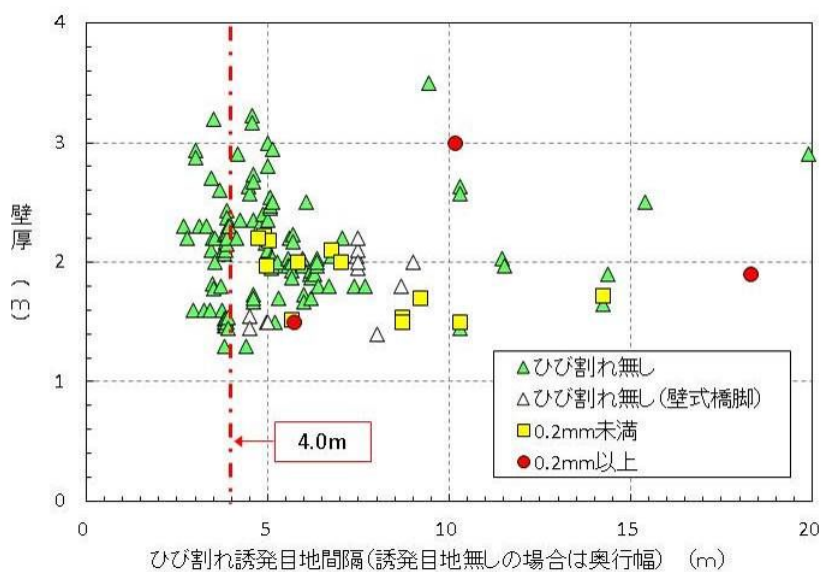


図 3.3.3 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン(橋台・橋脚の壁)

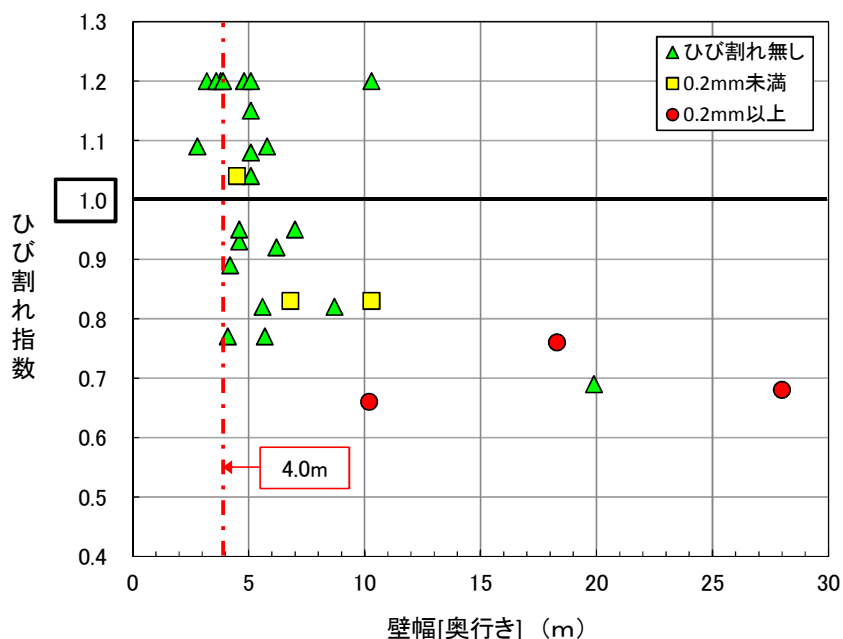


図 3.3.4 施工実態調査に基づく温度応力解析結果とひび割れ発生状況(壁)

③柱部材（橋脚）

【緩和対象】長辺が4m以下の柱部材（橋脚）は照査を省略することができる。

（趣旨）

- ・長辺が4m以下であればひび割れが発生していない（図3.3.5）

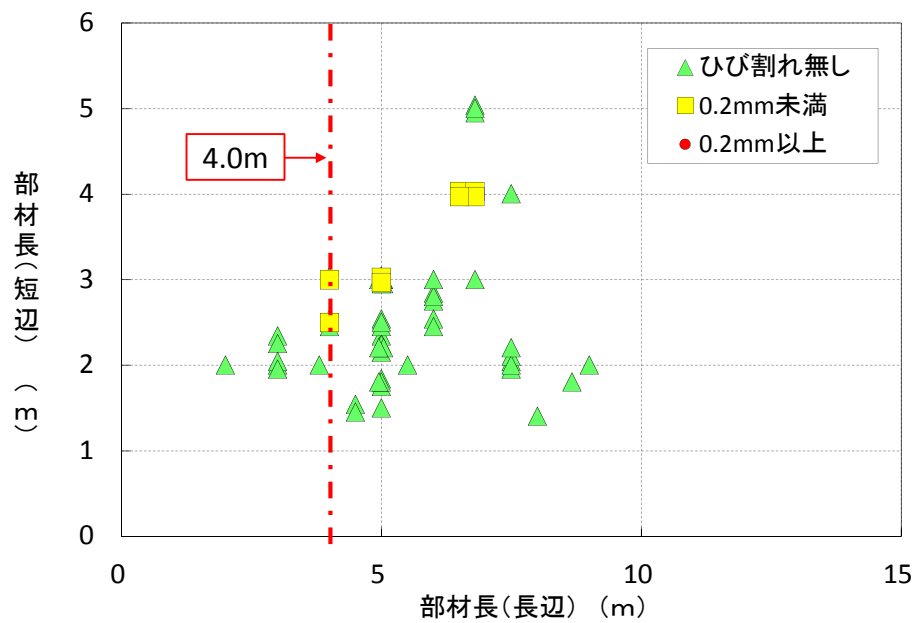


図 3.3.5 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン（柱部材）

④BOX の側壁

【緩和対象】BOX の側壁は以下の条件であれば照査を省略することができる。

- 長さが 4m 以下
- 長さが 4m を超える側壁で、誘発目地を 4m 以下の間隔で設置する場合

(趣旨)

- ・奥行幅が 4m 以下であればひび割れが発生していない (図 3.3.6)
- ・奥行幅が 4m を超える場合は、誘発目地を 4m 以下の間隔で設置することで、誘発目地にひび割れが集中すると考えられる。

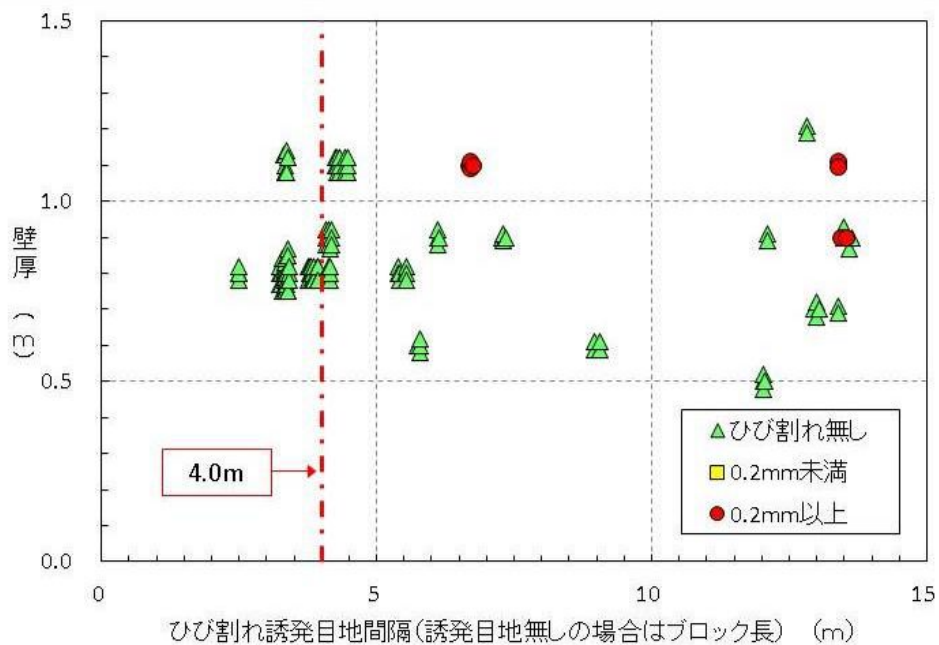


図 3.3.6 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン (BOX の側壁)

3.4 簡易照査

3.4.1 ひび割れ指数簡易推定資料等の活用

指針(案)2.3.2(2)において「温度ひび割れ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」としている。

ひび割れ指数は2次元または3次元有限要素法(FEM)等による温度応力解析により求めることとなるが、個々のケースで設計または施工計画段階において詳細な解析を行うことが好ましいものの、多くの費用や労力、時間を要するといった負の課題も存在する。

このため、あらかじめ一般的な構造や各種の設計・施工条件を想定・設定し、ひび割れ指数の算出結果を図表化した簡易な推定資料を作成することにより、一般的な構造物(形状・寸法、設計・施工条件等)における概略のひび割れ指数の推定や各種対策とその効果の把握も含めた温度ひび割れの概略照査が可能となる。

よって、このような目的から、橋台・橋脚等における壁・柱部材及びスラブ(フーチング)に焦点をあて、ひび割れ指数の簡易推定資料を作成・提供することとした。

簡易照査フローを図3.4.1、活用にあたっての留意事項を「3.4.2 温度ひび割れ簡易推定資料[要約資料]」に示す。

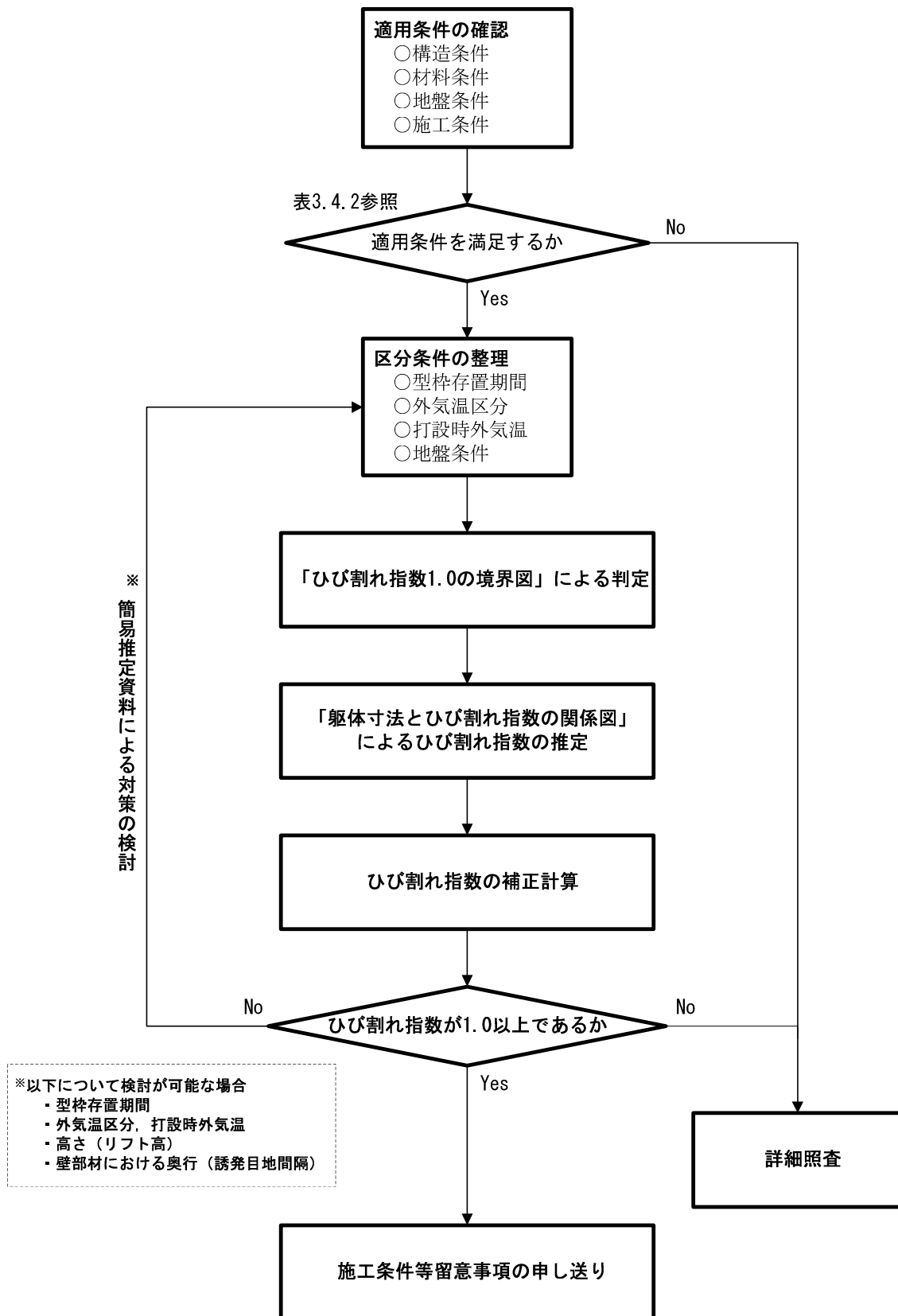


図 3.4.1 簡易照査フロー

3.4.2. 温度ひび割れ簡易推定資料 [要約資料]

(1) 簡易推定資料の概要

温度ひび割れ簡易推定資料は、橋台、橋脚におけるスラブ(フーチング)及び壁・柱部材に着眼し資料作成を行った。

簡易推定資料作成における解析モデル(図3.4.2)、解析条件(表3.4.1)は、施工事例分析結果を基に設定し、ひび割れ指数はこれらの解析条件に基づき以下の方法で算出したものである。

- ①標準的な配合条件のもとで構造条件(幅、厚さ、長さ)を複数タイプ設定し、これら構造条件と打設工程、養生期間(7, 14日)を基にひび割れ指数を算出し変動傾向を整理
- ②標準的な構造条件、施工温度、養生期間を固定し、セメントの種類・量、養生法(型枠材質等)を変えた場合のひび割れ指数を算出し変動傾向を整理

(備考)

- ・「2007年制定 土木学会コンクリート標準示方書(設計編 12章 初期ひび割れに対する照査)」に示されるひび割れ発生確率曲線(安全係数とひび割れ発生確率の関係)は、温度解析を2次元有限要素法、応力解析にCP法を用いたものに適用可能である。よって、簡易推定資料は2次元による解析(温度解析:2次元FEM, 応力解析:CP法)を基本に作成した。
- ・簡易推定資料は、今後の施工事例や解析データ等を蓄積し充実を図る予定である。

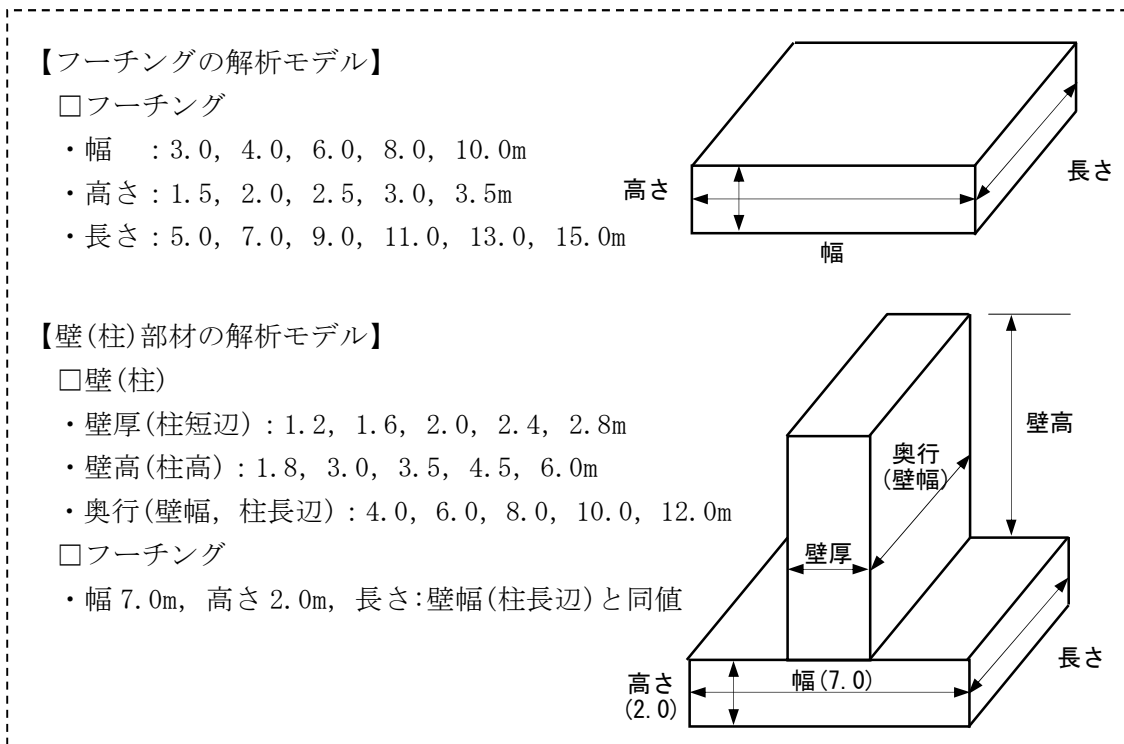


図 3.4.2 フーチング・壁(柱)部材の解析モデル

表 3.4.1 簡易推定資料作成に当たっての解析条件

| | | | | |
|---------------|---|---|--------------------------|---------------|
| 解析ソフト | JCMAC1 Ver1.17 (温度解析:2次元有限要素法, 応力解析:CP法) | | | |
| 材料条件 | セメント | セメントの種類 | 単位セメント量 | |
| | | 高炉セメントB種 | 295 kg/m ³ | |
| | 熱物性値 | 密度 | 熱伝導率 | 比熱 |
| | | 2,350 kg/m ³ | 2.7 W/m ² °C | 1.155 kJ/kg°C |
| 熱膨張係数 | 10×10 ⁻⁶ /°C | | | |
| 設計基準強度 | 24 N/mm ² (材齢28日) | | | |
| 地盤条件 | 種別 | 岩盤 (①CH級, ②N値換算の2タイプでヤング係数を変更) ※②: CP法での外部拘束係数算出時のヤング係数比を50とする | | |
| | 熱物性値 | 密度 | 熱伝導率 | 比熱 |
| | | 2,650 kg/m ³ | 3.45 W/m ² °C | 0.795 kJ/kg°C |
| 力学物性値 (ヤング係数) | ①CH級 4,000 N/mm ² ②N値換算 ヤング係数比 E _c /E _r を50で固定 | | | |
| 施工条件 | 打設工程 | <ul style="list-style-type: none"> ・フーチング打設後15日目に壁を打設 ・型枠存置期間: ①7日, ②14日の2ケース ・養生期間 打設面: 初日(露出)→2~8日(7日間:養生マット)→9日~(露出) 側面: 初日~7日(7日間:合板)→8日~(露出) ※②の場合は, 14日間 | | |
| | 型枠・養生 (熱伝達率) | 露出 14 W/m ² °C, 養生マット 5 W/m ² °C, 合板 8 W/m ² °C | | |
| | 初期温度 | コンクリート打込み温度 (外気温+5°C), 地盤 (15°C) | | |
| 環境条件(外気温) | JCMAC1 組込み値 (福岡) | | | |
| 解析式 | 2007年制定 コンクリート標準示方書[設計編]より | | | |
| その他 | <ul style="list-style-type: none"> ・各物性値はコンクリート標準示方書等に示される一般的な数値とした ・壁(柱), フーチングとも各部材の1ロット目を対象に作成 | | | |

(2) 簡易推定資料の適用条件

簡易推定資料を利用する際の適用条件を表 3.4.2 に示す。なお、適用に当たっては、コンクリート標準示方書等の各種基準類を遵守しなければならない（例えば、暑中・寒中コンクリートの適用など）。

表 3.4.2 簡易推定資料の適用条件および利用時の留意事項

| | | | | |
|--|--|--|------------------------------|---------------|
| 構造条件 | フーチング 構造寸法 (m) | 幅 | 高さ | 長さ |
| | | 3.0~10.0 | 1.8~3.5 | 5.0~15.0 |
| 構造条件 | 壁(柱) 構造寸法 (m) | 壁厚(柱短辺) | 壁高(柱高) | 奥行(壁幅, 柱長辺) |
| | | 1.2~2.8 | 1.8~6.0 | 4.0~12.0 |
| 材料条件 | セメント | セメントの種類 | 単位セメント量 (kg/m ³) | |
| | | 高炉セメント B 種 | 275~310 | |
| | 熱物性値 | 密度 | 熱伝導率 | 比熱 |
| | | 2,350 kg/m ³ | 2.7 W/m°C | 1.155 kJ/kg°C |
| | 熱膨張係数 | 10×10 ⁻⁶ /°C | | |
| | 設計基準強度 | 24 N/mm ² (材齢 28 日) | | |
| 地盤条件 | 種別・力学物性値 (ヤング係数: Er) | ①CH 級: 4,000 N/mm ² ②N 値換算 (N 値の場合, ヤング係数比 Ec/Er を 50 で固定) | | |
| | 熱物性値 | 密度 | 熱伝導率 | 比熱 |
| | | 2,650 kg/m ³ | 3.45 W/m°C | 0.795 kJ/kg°C |
| 施工条件 | 型枠存置期間 | 7 日, 14 日 | | |
| | 打設工程 | 【側面】 ①材齢 7(or14) 日目まで合板, ②以降は露出 | | |
| | | 【打設面】 ①打設初日は露出, ②材齢 2~8(or2~15) 日目まで養生マット, ③以降は露出 フーチング打設後 15 日目に壁を打設 | | |
| | 型枠・養生(熱伝達率) | 露出 14 W/m ² °C, 養生マット 5 W/m ² °C, 合板 8 W/m ² °C | | |
| コンクリート打込み時 の外気温 | 5~29(°C) ※25°C以上の条件では、簡易推定資料は、あくまで参考として 用いることとし、施工等に際しては、コンクリート標準示方書 等に準拠すること | | | |
| 【簡易推定資料を利用する際の留意事項】 | | | | |
| 1) 解析手法: 温度解析: 2次元有限要素法, 応力解析: CP 法 | | | | |
| 2) 材料条件 | | | | |
| ・単位セメント量は 295kg/m ³ を基本としているが, 275~310kg/m ³ の範囲は補正係数を使用し 試算することができる。 | | | | |
| ・熱物性値はコンクリート標準示方書等に示される一般的な数値を用いている。 | | | | |
| 3) 地盤条件 | | | | |
| ・熱物性値はコンクリート標準示方書等に示される一般的な数値を用いている。 | | | | |
| ・力学物性値(ヤング係数)は, 岩(CH 級), N 値換算の 2 種類を選択できる。 | | | | |
| 4) 施工条件: 型枠存置期間は, 7 日, 14 日を選択できる。 | | | | |
| 5) 使用図の選定 | | | | |
| ・打設時期と設定外気温により使用する図を選択する。 | | | | |
| (例) JCMAC1 では 2 月 1 日~7 月 31 日が気温上昇期, 8 月 1 日~1 月 31 日が気温下降期と設 定されている。このため簡易推定図の利用に際しては, 打設時期及び外気温を想定し, 気 温上昇期もしくは下降期の簡易推定図より適合するものを選択する必要がある。 | | | | |

(3) 簡易推定資料[要約資料]

ここでは、本手引書で運用の目標としているひび割れ指数 1.0 の境界を図化した要約資料および具体的なひび割れ指数を求める簡易推定図を掲示する。

なお、詳細については、多くのケースで解析結果を整理した各種の図表を巻末の資料編に添付するので参照・活用されたい。

①スラブ(フーチング)におけるひび割れ指数 1.0 の境界

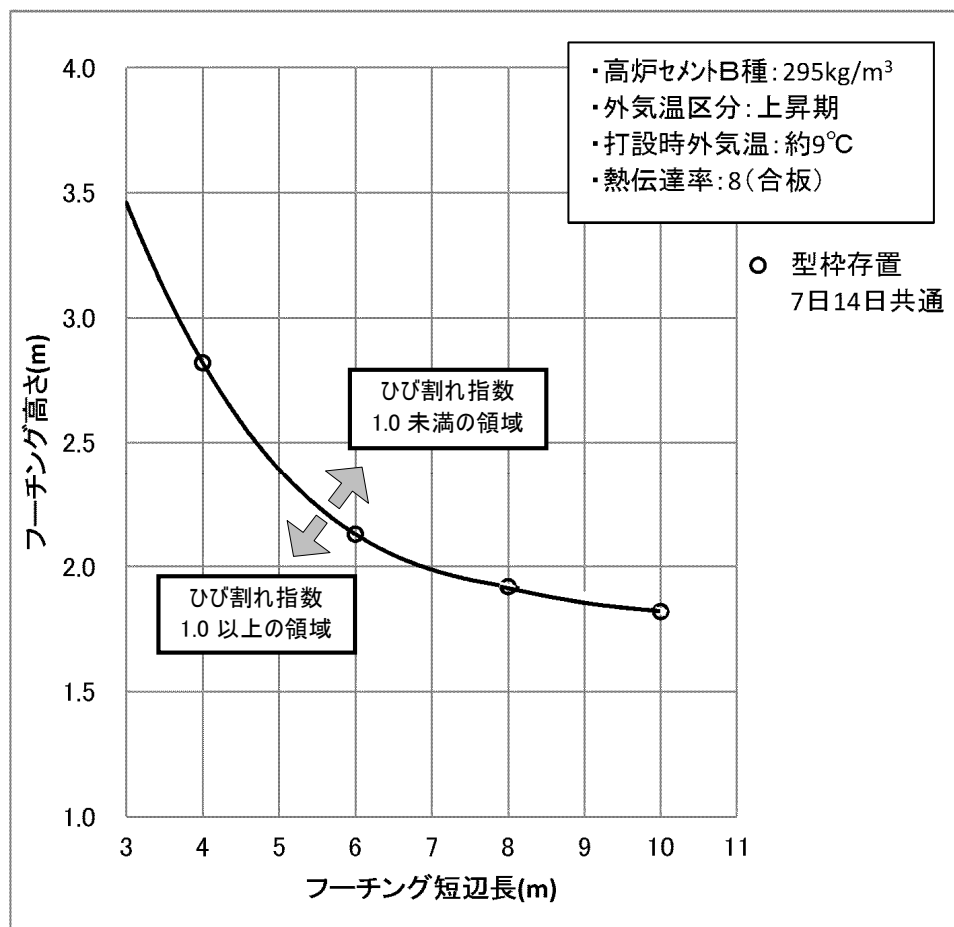


図 3.4.3 スラブ(フーチング) : ひび割れ指数 1.0 の境界図[例]

【注】本図利用に際しての留意事項等

- 使用図の選定：打設時期と設定外気温により、使用する図を選択する。
(例)JCMAC1 では2月1日～7月31日が気温上昇期,8月1日～1月31日が気温下降期と設定されている。このため境界図の利用に際しては、打設時期および外気温を設定し、気温上昇期もしくは下降期の境界図より適合するものを選択する必要がある。
- ひび割れ指数の判定
型枠存置期間に応じた境界図は、ひび割れ指数が 1.0 の境界を示す。フーチング高や短辺長が境界より大きくなると、ひび割れ指数が 1.0 を下回る(寸法が小さくなれば 1.0 以上)と判定。

②壁(柱)部材におけるひび割れ指数 1.0 の境界

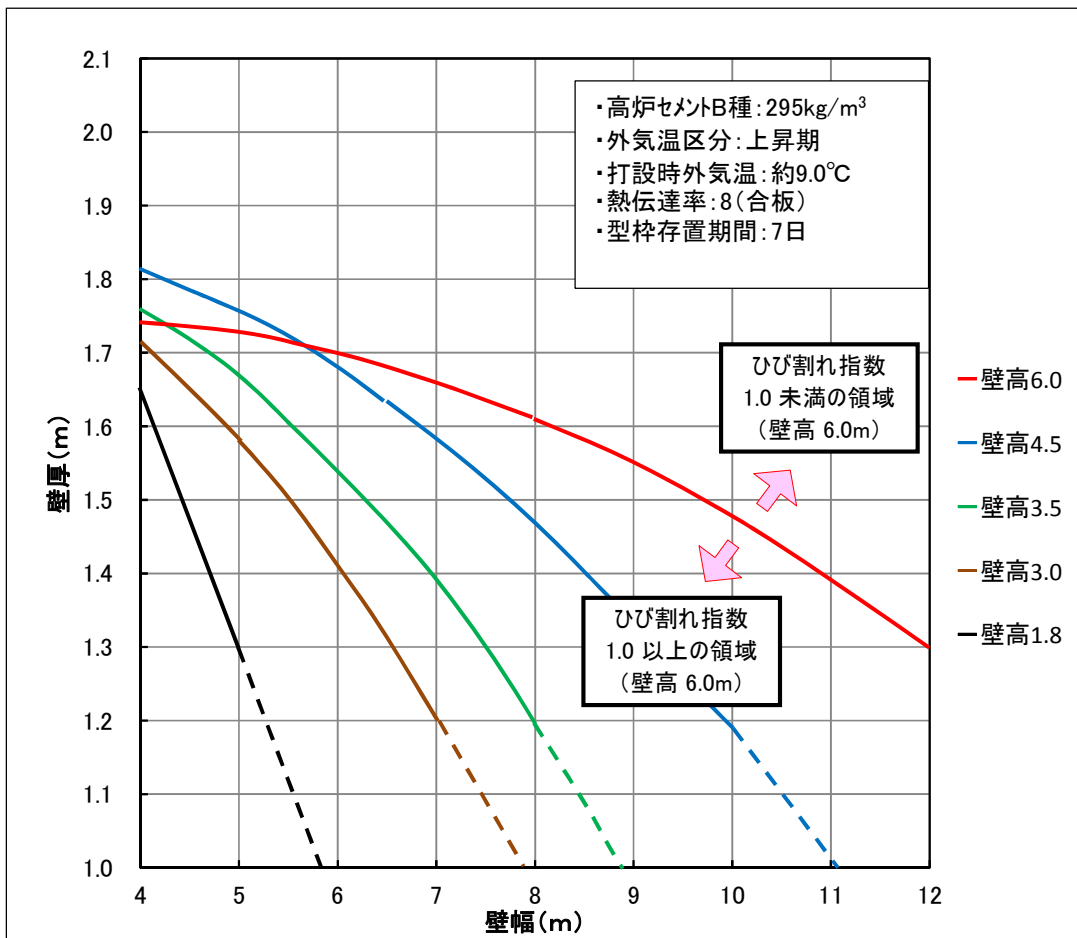


図 3.4.4 壁(柱)部材：ひび割れ指数 1.0 の境界図[例]

【注】本図利用に際しての留意事項等

- ・使用図の選定：打設時期と設定外気温により，使用する図を選択する。
 (例)JCMAC1 では2月1日～7月31日が気温上昇期，8月1日～1月31日が気温下降期と設定されている。このため境界図の利用に際しては，打設時期および外気温を設定し，気温上昇期もしくは下降期の境界図より適合するものを選択する必要がある。
- ・ひび割れ指数の判定
 壁高(柱高)に応じた境界図は，ひび割れ指数が1.0の境界を示す。
 壁厚(柱短辺)や壁幅(柱長辺)の寸法が境界より大きくなると，ひび割れ指数が1.0を下回る(寸法が小さくなれば1.0以上)と判定。

③躯体寸法とひび割れ指数の関係

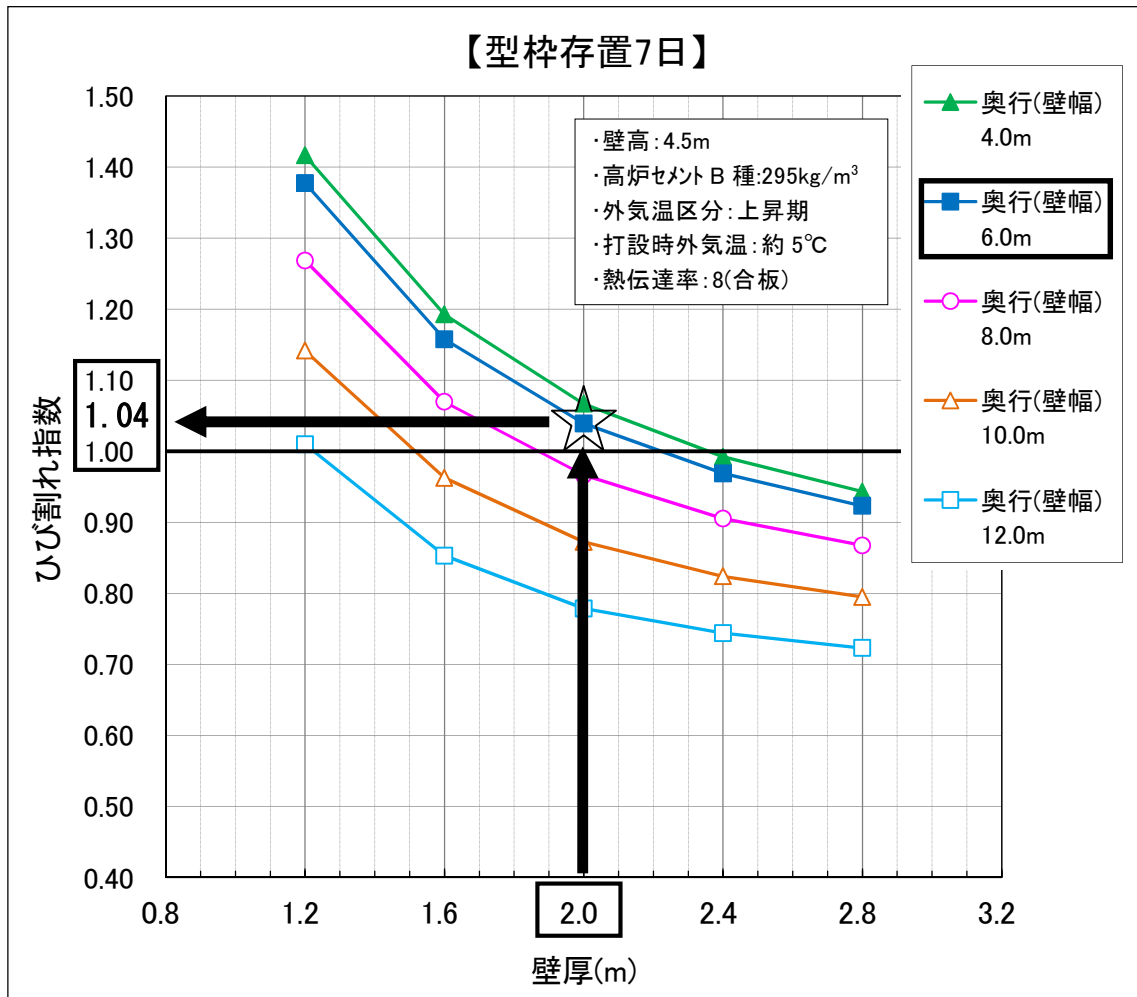


図 3.4.5 躯体寸法とひび割れ指数の関係図 [例：壁部材]

【注】 本図利用に際しての留意事項等

- ・使用図の選定：打設時期と設定外気温により，使用する図を選択する。
 (例) JCMAC1 では 2 月 1 日～7 月 31 日が気温上昇期，8 月 1 日～1 月 31 日が気温下降期と設定されている。このため本図の利用に際しては，打設時期および外気温を設定し，気温上昇期もしくは下降期の図より適合するものを選択する必要がある。
- ・ひび割れ指数の推定
 壁厚および奥行(壁幅)に応じたひび割れ指数の推定値を読み取る。

3.5 詳細照査

3.5.1 温度応力解析

指針(案)では、温度ひび割れに対する照査を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が原則とされ、このひび割れ指数は、一般に温度応力解析によって求められる。

近年では、温度応力解析技術が進歩しており、3次元有限要素法によって解析されるケースも増えている。しかし、初期投資費用等の問題や「2007年制定土木学会コンクリート標準示方書（設計編 12章 初期ひび割れに対する照査）」に示されるひび割れ発生確率曲線（安全係数とひび割れ発生確率の関係）が、温度解析を2次元有限要素法で行い、応力解析にCP法を用いたものに適用可能であることから、本手引書では2次元による解析を対象に説明する。

温度応力解析の全体の流れを図.3.5.1に示し、各種条件の設定等について概説する。

【注】本手引書における温度応力解析には、社団法人日本コンクリート工学協会の二次元温度応力解析ソフト（JCMAC1）を用いている。
他のソフトウェアを用いて解析する場合は、それらに応じた条件等を適切に定めなければならない。

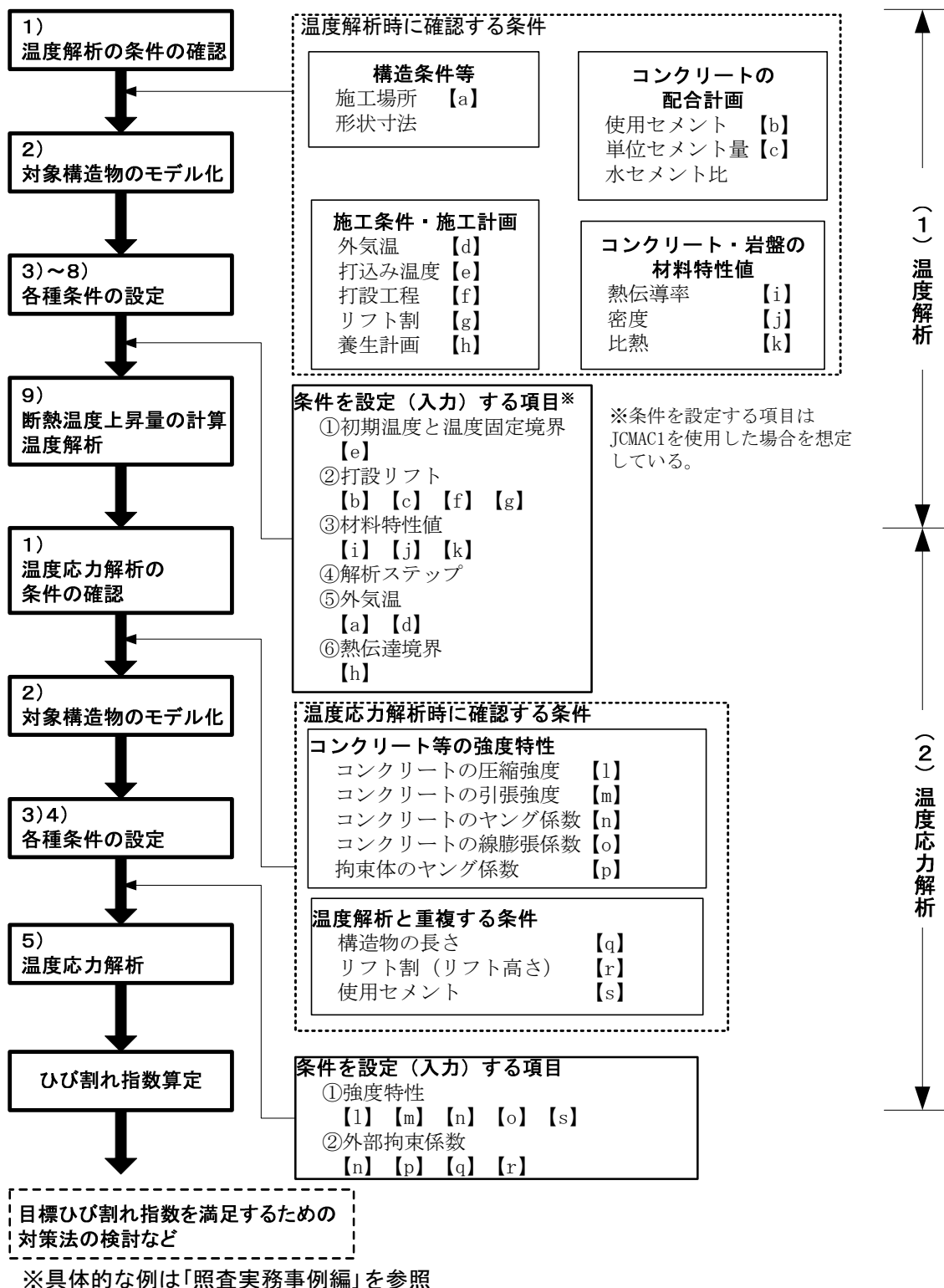


図 3.5.1 温度応力解析フロー（JCMAC1 を例として）

(1) 温度解析

1) 温度解析に必要なとなる条件

温度解析を行うにあたり，コンクリートや地盤の物性値や打設環境等の以下の項目について事前に定めておく必要がある。

なお，設計段階では使用するコンクリートの配合は未定であるため，近隣地区の同種構造物に用いられたコンクリートの配合を参考とし仮定する必要がある。

- ・打設工程
- ・リフト割
- ・養生計画
- ・コンクリート配合（使用セメント，単位セメント量，水セメント比）

2) 対象構造物のモデル化

温度解析における対象構造物のモデル化は，熱の伝達や放熱等の影響を考慮して適切に定める必要がある。対象とする構造物が左右対称の場合は，一般に 1/2 モデルとする場合が多い。

なお，要素の分割が大きすぎると正しい解析結果を得ることができない場合があり，小さすぎると算出に時間を要す場合がある。したがって，3次元有限要素法の解析手法を参考にし，以下を要素分割の目安とするとよい。

- ・全断面 500mm 以下とし，重要な断面や放熱面近傍の 600mm 程度は 200mm 以下とする。ただし，解析モデルの 1 断面は 6 分割以上とする。
なお，地盤の要素分割についてはこの限りではない。
- ・モデル化する地盤の深さは 10m 以上が適切とされているが，ここでは節点数を考慮して 5m 以上，幅は構造物の 2 倍以上とする。
- ・JCMAC1 の特性として，三角形要素を作成することはできない。このため，節点が T 字となるような要素分割を行うと，適切な解析が行えないので避ける。
- ・施工後に解析値と実測値を比較するために，温度計測器具の設置予定位置と解析時の節点位置を同じとするのが望ましい。

なお，施工時にコンクリート温度の測定を実施する場合は，後述する温度測定要領を参考にするとよい。

3) 初期温度と温度固定境界

コンクリートの初期温度は，打込み温度とし，練混ぜや運搬に伴う温度上昇を考慮する。

打込み温度は，過去の実績等により決定するとよいが，一般に，打込み日の平均気温に 5℃程度加えた値としてもよい。

地盤の初期温度は，対象地域に適切な温度を設定し，モデル化した最下端を固定温度境界とする。適切な温度として，対象地域の年平均気温等を参考とするとよい。

4) 打設リフトの設定

設計段階における打設リフトは、施工時の工程を想定し、施工性を考慮して設定しなければならない。この際、地盤や既設コンクリートなどの既設部位は、非発熱体として取り扱う。

また、各リフトに使用するコンクリートの断熱温度上昇特性は、使用するセメントの種類および単位セメント量、打込み時の温度によって定まる終局断熱温度上昇量と温度上昇速度によって求められ、実験によって適切に定めなければならない。なお、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いる。

5) 材料特性値

一般のコンクリートの熱伝導率は $2.6\sim 2.8\text{W/m}^\circ\text{C}$ 、比熱は $1.05\sim 1.26\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ 、熱拡散率は $(0.83\sim 1.10) \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 程度である。

また、地盤や岩盤の特性は既往のデータや表 3.5.1などを参考に定めるとよい。

表 3.5.1 岩盤・地盤の熱特性の目安

| 種類 | N値の目安 | 密度 (kg/m^3) | 比熱 ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$) | 熱伝導率 ($\text{W/m}^\circ\text{C}$) |
|-------|-------|---------------------------|--|--|
| 岩盤 | — | 2600~2700 | 0.71~0.88 | 1.7~5.2 |
| 軟弱な地盤 | 0~20 | 1800 | 2.6 | 1.0 |
| 普通の地盤 | 50以上 | 2100 | 1.4 | 1.7 |

6) 解析ステップ

解析期間は、コンクリートの内部温度が低下し、外気温と平衡となるまでを目安として適切に定める。これは、部材の厚さや打設時期によって異なるが、温度ひび割れの発生時期を考慮すると最低でも1カ月以上は必要であり、標準としては最終打設後2ヶ月程度が目安となる。

また、解析ステップ（時間間隔）は、セメントの水和発熱が著しい初期材齢では短くし、その後徐々に間隔を大きくするとよい。

7) 外気温の設定

外気温は、構造物が設置される場所や標高等を考慮して適切に定める。ソフトウェアに組込まれていない場合は、構造物が設置される場所に最も近い気象台等の測定データを参考とし、過去3年間の日平均気温を使用するとよい。なお、外気温は気象庁のホームページで調べることも可能である。

8) 熱伝達境界の設定

熱伝達境界を設定するためには、脱枠までの期間や養生方法およびその期間に関する養生計画を事前に定めなければならない。また、熱伝達境界の特性は、熱伝達率で表すものとし、養生方法や材質等によって相違するため適切に設定しなければならない。コンクリート表面の熱伝達率は表 3.5.2 を参考にするとよい。

表 3.5.2 熱伝達率の参考値

| No. | 養生方法 | 熱伝達率 (W/m ² °C) |
|-----|---------------------------------|----------------------------|
| 1 | メタルフォーム、散水 (湛水深さ10mm未満) | 14 |
| 2 | 湛水 (湛水深さ10mm以上50mm未満)、むしろ養生を含む | 8 |
| 3 | 湛水 (湛水深さ50mm以上100mm未満)、むしろ養生を含む | 8 |
| 4 | 合板 | 8 |
| 5 | シート | 6 |
| 6 | 養生マット、湛水+養生マット、湛水シートを含む | 5 |
| 7 | 発泡スチロール (厚さ50mm) + シート | 2 |
| 8 | エアバッグ (シート付き) ; 2枚、3枚、4枚 | 6、4、2 |
| 9 | コンクリート・地盤・岩盤の露出面 | 14 |

9) 温度解析

上記各条件等を設定した後に、断熱温度上昇量を計算し、温度解析を実施する。

(2) 温度応力解析

1) 温度応力解析に必要となる条件

温度ひび割れの発生を予測するための温度応力解析では、コンクリートおよび地盤・岩盤の材料特性値を事前に調査し、適切に定めなければならない。

2) 対象構造物のモデル化 (応力解析)

温度応力解析における対象構造物のモデル化は、適切に要素分割を行う必要がある。ただし、JCMAC1 に関しては、作業性を考慮して温度解析に用いたモデルを利用してよい。

3) 強度特性の設定

ひび割れ指数の算定に用いるコンクリートの引張強度は、割裂引張強度試験により定め、材齢に伴う変化は、その圧縮強度から推定してよい。任意の材齢におけるコンクリートの圧縮強度、引張強度およびヤング係数は使用するセメントによって異なることが知られており、これらの設定については、コンクリート標準示方書等を参考にするとよい。なお、配合強度や試験等によって実際の強度が分かっている場合は、これを用いることでより実態に近い解析結果を得ることができる。

また、一般的なコンクリートの熱膨張係数は、 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ としてよい。

4) 外部拘束係数の設定

外部拘束係数は、材齢 28 日におけるコンクリートと拘束体のヤング係数比 E_c/E_r およびコンクリートブロックの底面の長さ l と拘束体からの高さ H (図 3.5.2)の比 l/H によって求めることができる。ここで、拘束体のヤング係数 E_r は地盤が拘束体になっている場合は地盤のヤング係数を、既設構造物が拘束体になっている場合は、既設構造物のヤング係数を用いる。また、高さ H に関しては、図 3.5.2(b)に示すように拘束体より上のリフトの高さを累積したものを H を用いる。

地盤・岩盤の力学物性値は、信頼できる資料あるいは実験により定めることが基本であるが、情報の入手が困難な場合は、地盤のヤング係数 E_b は N 値が分かっている場合は式 3.1 より算出し、岩盤のヤング係数は表 3.5.3 を参考にするとよい。

$$E_b = 2.8 \times N \text{ 値} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{式 3.1}$$

表 3.5.3 岩盤のヤング係数の参考値

| 岩盤の種類 | A 級 | B 級 | CH 級 | CM 級 | CL 級 |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|
| ヤング係数 (N/mm ²) | 10000 | 6000 | 4000 | 3000 | 1000 |

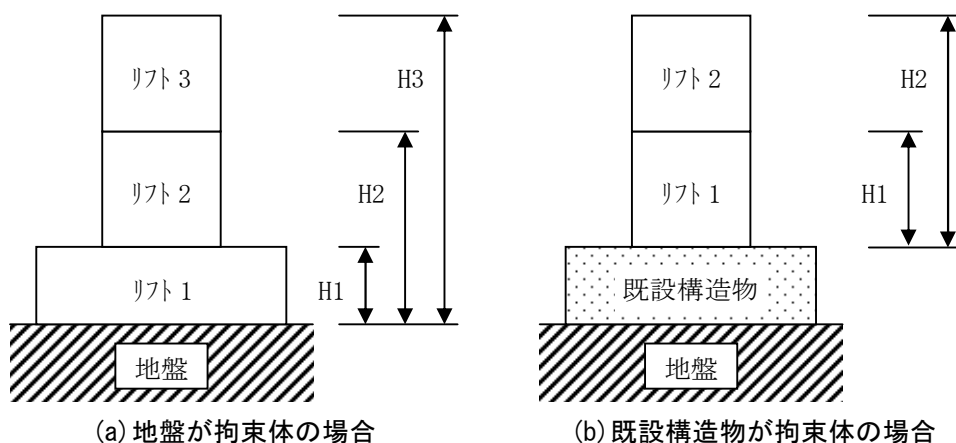


図 3.5.2 構造物のリフト高さの考え方

5) 温度応力解析

上記の各条件等を設定した後に、温度応力解析を実施する。

3.5.2 解析結果の評価

(1) 解析結果の出力

解析結果を評価するために、「材齢と温度の関係のグラフ」「温度分布図」「材齢とひび割れ指数の関係のグラフ」「ひび割れ指数分布図」等を出力することで、理解を容易にすることができる。

なお、これらの出力には、温度（応力）解析の目的や検討に必要な材齢および断面等を十分に考慮し、着目する節点や時期について適切に選定しなければならない。

1) 温度解析結果の出力例

ここでは、温度解析結果の評価を行うために最低限必要な情報の出力例として以下の項目を図 3.5.3 に示す。

- ・「材齢と温度の関係のグラフ」では、それぞれのリフトにおける最高温度を示す節点（一般的に部材中央断面）とその表面（側面）位置に当たる節点を選択するとよい。この2点を検討することにより、コンクリート構造物の内部温度と表面温度の差を求めることができ、内部拘束による影響を評価することができる。この際、各リフトにおいて最高温度となる材齢を求めておくことも重要である。
- ・「温度分布図」では、それぞれの節点における温度履歴の中での最大温度を示すことで、視覚的に評価が可能となる。

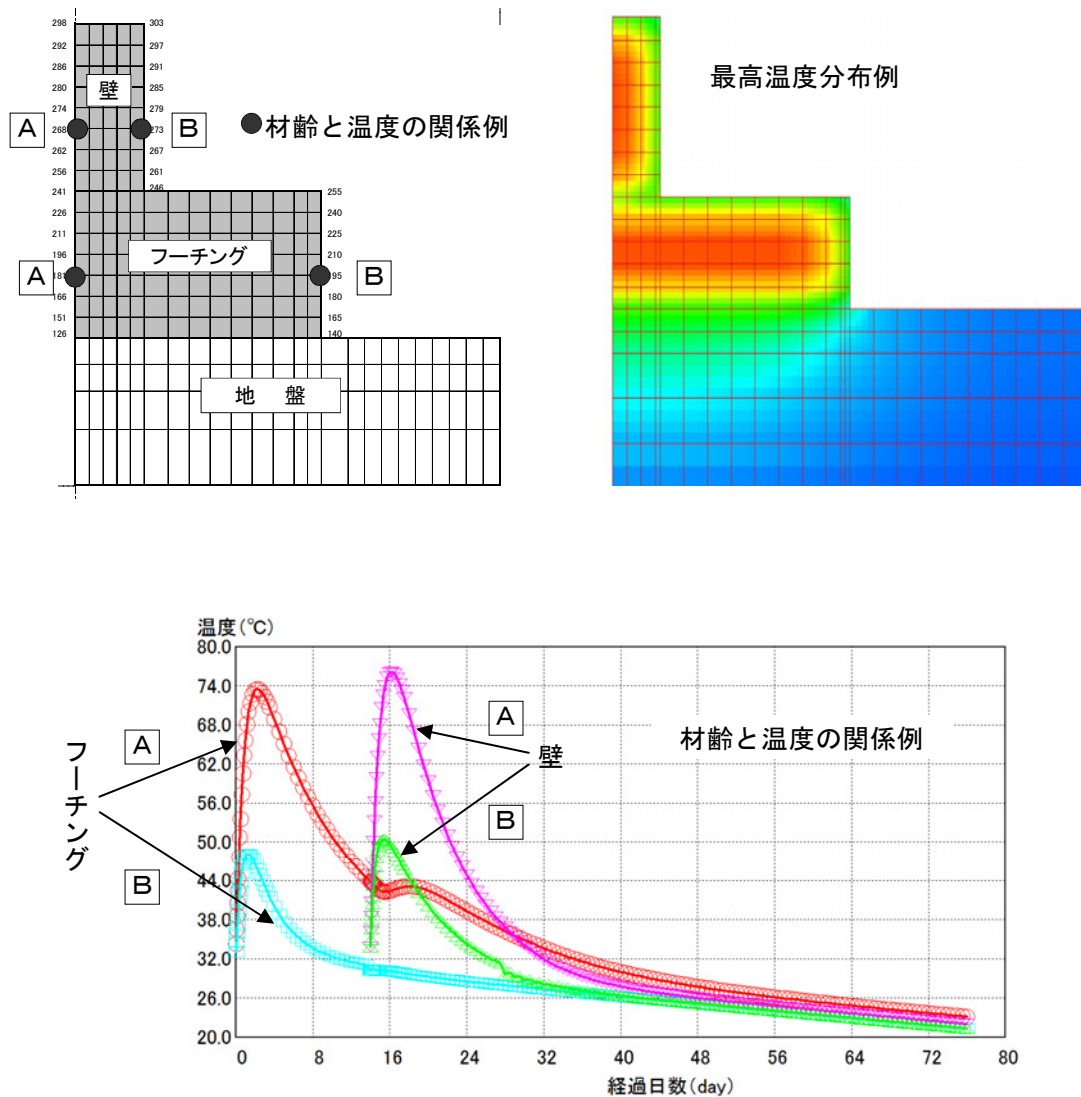


図 3.5.3 温度解析結果の出力例

2) 温度応力解析結果の出力例

ここでは、温度応力解析結果の評価を行うために最低限必要な情報の出力例として以下の項目を図 3.5.4 に示す。

「材齢とひび割れ指数の関係のグラフ」では、それぞれのリフトの表面（側面）と内部の両者において、ひび割れ指数が最小となる節点を選択するとよい。これは、一般に内部拘束が卓越する場合は部材表面のひび割れ指数が小さくなり、外部拘束が卓越する場合は部材内部のひび割れ指数が小さくなる傾向にあり、両者を選定することにより、内部拘束による影響と外部拘束による影響を評価することができる。

「ひび割れ指数分布図」では、それぞれの節点におけるひび割れ指数のうち最小値を示すことが一般的ではあるが、本手引書の運用においては後述する次リフト打設時にひび割れ指数が低下する影響（図 3.5.6）を考慮しないため、参考程度として扱うとよい。

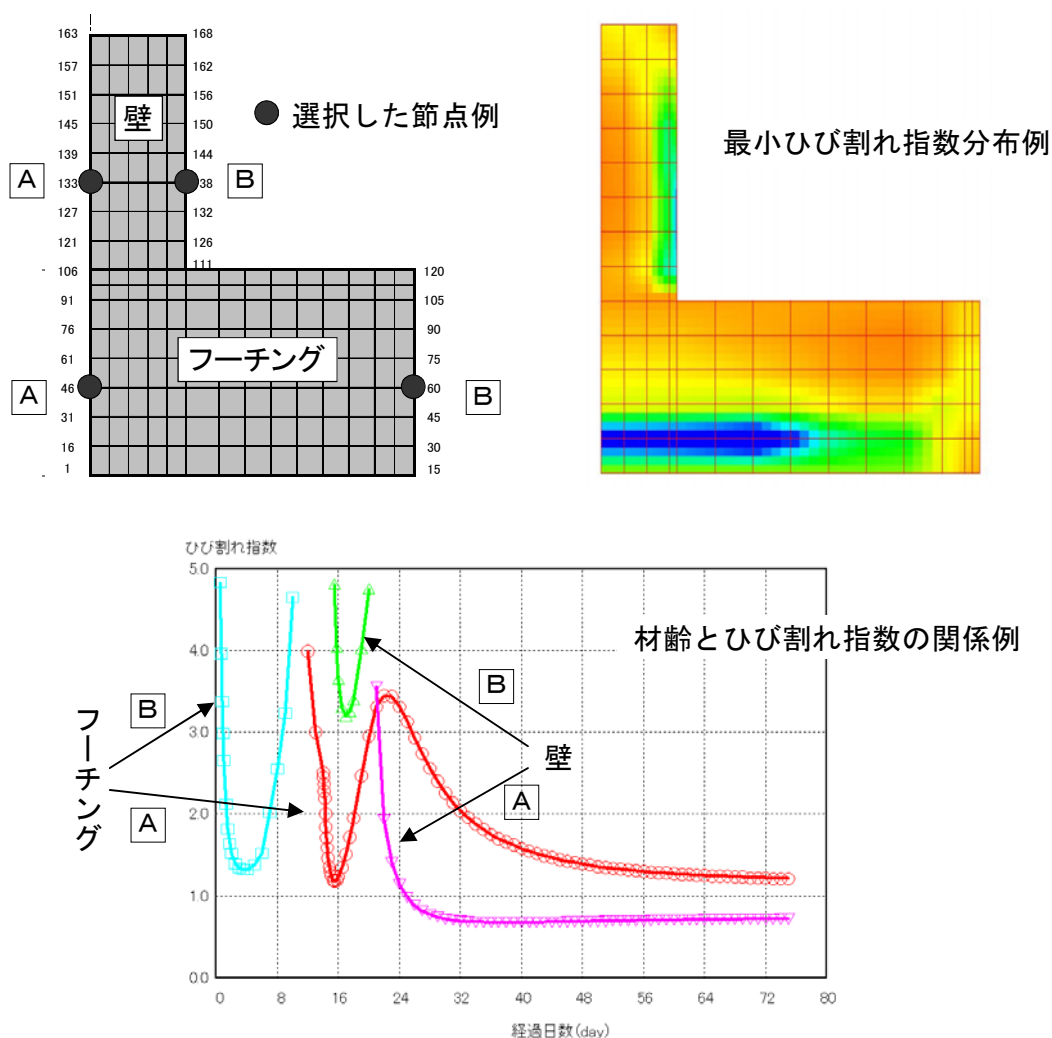


図 3.5.4 温度応力解析結果の出力例

(2) 解析結果の評価

水和熱に起因するひび割れは、内部拘束によるひび割れと外部拘束によるひび割れに区別される。これは、部材において最小ひび割れ指数が確認された節点の位置および部材の最高温度を迎える時期と最小ひび割れ指数を示す時期の関係により判断することができる。

図 3.5.5 に内部拘束卓越型と外部拘束卓越型の材齢とひび割れ指数の関係のモデルを示す。

図 3.5.5 の内部拘束卓越型のように、部材が最高温度となる辺りもしくは部材内部と表面の温度差が最高となる辺りでひび割れ指数が最小となり、部材の内部と表面の温度差が小さくなるにつれてひび割れ指数も大きくなるような傾向（下向凸型）を示す場合は、内部拘束が卓越した状態であり、フーチング等のスラブ構造物に見られることが多い。この影響によって生じるひび割れは、規則性がなく表面に発生することが多い。

一方、外部拘束卓越型のように、部材が最高温度を迎えた後徐々に冷却される過程において、急激にひび割れ指数が小さくなり、材齢 1～2 週間程度でひび割れ指数が最小となった後は緩やかに変化する傾向（L 型）を示す場合は、外部拘束が卓越した状態であり、壁部材等で見られることが多い。このひび割れ指数の緩やかな変化は、外気温による影響を強く受ける。この影響によって生じるひび割れのパターンは、拘束部材に対して垂直方向に等間隔に生じ、その多くは部材を貫通するひび割れである。

なお、外部拘束卓越型の壁部材等をリフト割りして打設する際は、図 3.5.6 に示すように、ほぼ最小値に収束した前リフト部のひび割れ指数解析値が次リフト打設直後に急低下する。これは指針(案)「3.15.3 打込み」の[解説](1)に述べたように、ほぼ外気温まで温度降下した前リフト部が次リフト部の水和熱膨張を拘束する現象を一部反映したものである。しかし、本手引書「資料編」のひび割れ指数は、壁部材を 1 リフトで打設する構造モデルに基づいて解析されているため、次リフト打設による指数低下は考慮されていない。九州地方整備局管内の直轄施工事例におけるひび割れ実態調査結果によれば、本構造モデルの最小ひび割れ指数が目標値 1.0 を超えれば壁部材に有害なひび割れがほぼ発生していないことから、本手引書の運用においては、次リフト打設前の最小値を前リフト部の最小ひび割れ指数としてよいこととする。

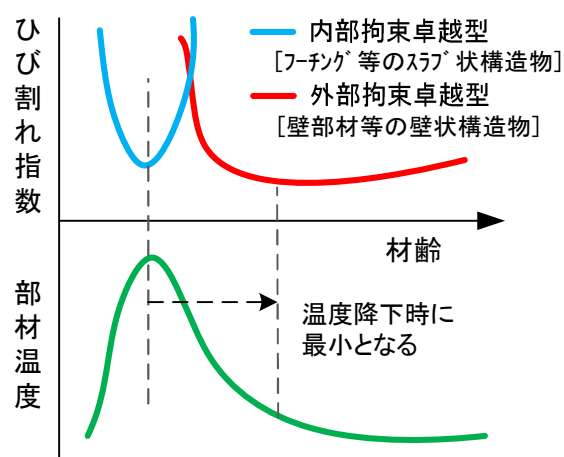


図 3.5.5 ひび割れ指数と温度のモデル

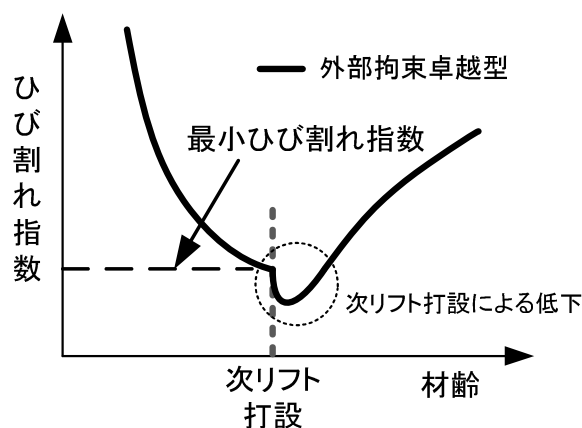


図 3.5.6 連続打設を行った場合のひび割れ指数のモデル

3.6 温度ひび割れ対策

指針(案)では、内部拘束が卓越した場合および外部拘束が卓越した場合のそれぞれにおいて効果が期待できる温度ひび割れ抑制対策の例(解説 表 2.3.1)を示している。一般に、温度ひび割れを抑制するための対策の考え方は、次の3つに要約でき、これらの対策方法を単独もしくは併用して抑制する。

- a) 温度変化を小さくして、コンクリートの体積変化を抑制する方法
- b) 収縮ひずみを低減して、コンクリートの体積変化を抑制する方法
- c) 発生する温度応力を低減する方法

この中でも、a)の温度変化を小さくすることが温度ひび割れ抑制の基本であり、最初に検討すべき項目である。その手法としては、プレクーリングによる材料温度の低減、打込みの時間や時期の工夫、打込み量の低減、単位セメント量の低減、急冷を防止する養生、水和発熱の小さいセメントの使用などがあげられ、比較的容易に対応できるものが多い。

一般に、単位セメント量が $10\text{kg}/\text{m}^3$ 小さくなると最高温度が 1°C 低下し、プレクーリングによりセメント 8°C 、骨材 2°C 、練混ぜ水 4°C 低下させるとコンクリートの温度が 1°C 低下する。

温度ひび割れ抑制対策を検討するには、1つもしくは複数の対策パターンを抽出し、対策効果の程度および施工性や経済性等について総合的に比較し、最も適切な対策工法を選定する必要がある。

また、使用する材料の変更を検討する場合は、材料の流通状況やコンクリートプラントの制限等について事前に調査し、実現可能な対策について検討しなければならない。

指針(案)2.3.2の解説表2.3.1において温度ひび割れ抑制対策の例を示しているが、以下に、主要な温度ひび割れ対策における留意事項等を参考に示す。

低発熱型セメント

- ・材料の入手が可能か、どのくらいコスト増となるか事前に把握しておく。
- ・強度発現までの期間が長く必要なことを許容できる必要がある(28日強度を56日強度へ、など)
 - ※設計基準強度を確保するための材齢は一般的に28日であるが、これを満足させる場合は水セメント比を小さくするため、単位セメント量が大きくなり、結果的に温度低減効果が十分に発揮できなくなる場合がある。
- ・高密度鉄筋対策としてスランプを大きくする必要がある場合、硬化速度が緩やかになると共にブリーディングが大きくなる傾向になり、水みちや砂すじが発生する場合がある。
- ・品質管理を適切に行うために、事前に試し練りを行い材齢と強度の関係を求めておく。

膨張材

- ・膨張材は、内部拘束が卓越するような部材に使用した場合、ひび割れ抑制に対する性能を十分に発揮できない場合があるため、膨張材の特性や使用方法等に留意する。はりや壁部材などの外部拘束が卓越する部材に使用するのが一般的である。

保温養生（エアバック等）

- ・エアバック等による保温養生は、コンクリートの内部と表面の温度差を抑制し、内部拘束によるひび割れ対策として有効であるが、表面温度に対して外気温が低いときに養生を終了するとコンクリート表面が急冷し、ひび割れが発生する場合があります。脱型後の保温保湿対策も重要です。

養生期間

- ・養生期間は長いほうが望ましいが、温度ひび割れ指数の変化から見ると2週間程度が実現可能な望ましい期間と考えられる。

特殊な材料

- ・低発熱型セメントやフライアッシュ、高炉スラグ微粉末などの材料を使用する場合は、事前に流通状況やコストの調査を行う。

ひび割れ誘発目地

- ・設計上コンクリートのせん断伝達力が期待されている橋脚に設置する場合は、十分に検討が必要である。なお誘発目地に関しては参考資料⑤の「ひび割れ誘発目地の使用上の留意点」を参照されたい。

3.7 構造物のコンクリート温度測定

部材内外部の温度測定は、必要に応じて行うものとする。測定結果は次のように活用できる。

- ・構造が類似した構造物を複数施工する際などに、初期施工構造物について温度測定を行い、その結果を後施工構造物の品質管理等の参考にする。
- ・型枠脱型時期、養生期間の判断材料にする。
- ・温度解析結果の妥当性の確認材料とする。

<設置に関する留意点等>

温度測定機器は、構造上問題のない位置に設置する。また、実際の配筋状態を確認し、締め固め作業等により、配線の断線がないよう注意する必要がある。

- ・最高温度となる断面の中心部とその表面（型枠近傍）の2か所以上を測定する。必要に応じて、測定個所を増やし測定精度の向上や検証の資料とするとよい。
- ・表面からの位置は、最も表面に近い鉄筋位置もしくはそれより表面に近い位置に設置する。ただし、コンクリートの打込みや締め固め作業において、移動しないように配慮する。
- ・施工後に解析値と実測値が比較できるように、解析を行った節点に計測器具を設置する。



写真 3.7.1 温度測定機器設置例

4. 指針(案)における専門評価機関の活用方法

4.1 専門評価機関とは

専門評価機関とは、コンクリート工の設計・施工段階における技術的課題や問題等に対処するために、技術指導や助言を行う高度な知識を有する学識者をあらかじめ登録し活用を図ることを目的に設置する機関（制度）である。

構造物の重要度や施工の難易度が高い場合、従来の方法では適切な対処が困難な場合等、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等に活用するとよい。

4.2 専門評価機関の活用例

これまでの施工事例を参考に、専門評価機関を活用する場合の例を以下に示す。これ以外にも必要に応じて適宜、専門評価機関を活用するとよい。

【専門評価機関を活用する場合の例】

- ・ 温度ひび割れ、乾燥ひび割れ等の初期ひび割れの発生が懸念される場合
- ・ 高密度配筋等によりコンクリートの充填不良が懸念される場合
- ・ 特殊な形状・要因等のために困難な施工が想定される場合
- ・ 過酷な環境条件下で高い耐久性能が要求されるような場合
- ・ 施工後にひび割れ等の初期欠陥が確認された場合
など

4.3 専門評価機関の活用方法

専門評価機関は、指針(案)「1.2 構造物の建設プロセス」のフロー図に「*」印で示されるように、設計・施工において高度な技術判断を要する場合に活用するとよい。

専門評価機関を活用するか否かの判断は原則として発注者が行い、発注者自体が各種問題等の解決に際し必要と判断した場合と、業務・工事の請負者が発注者に必要性を申し出て必要と判断した場合の2ケースがある（図4.1）。

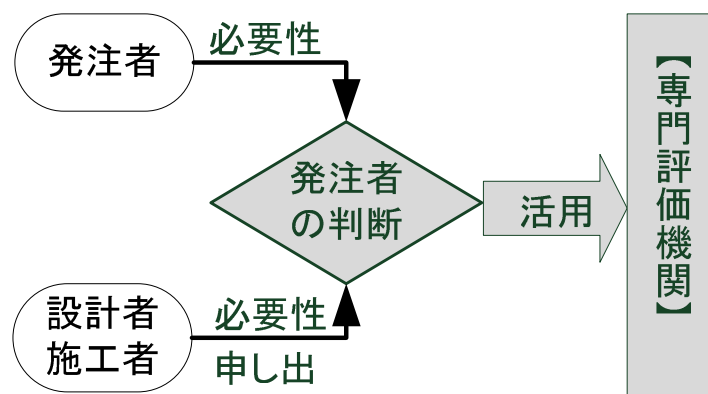


図 4.1 専門評価機関の活用判断

5. 工事監理連絡会（三者連絡会）の詳細

工事着手前に行われる発注者，設計者，施工者による工事監理連絡会（三者連絡会）では，設計者の設計意図の確認等により，施工段階で発生が予測される問題や課題について協議および調整を行う。

建設する構造物の重要度や施工の難度が高い場合などは，工事監理連絡会（三者連絡会）に専門評価機関を交えて検討を行うとよい。

工事監理連絡会では，構造物の全ての工程における情報伝達および協議が行われるが，指針(案)ではコンクリート工事に関する事項について示されている。工事監理連絡会のイメージを図 5.1 に示す。

またコンクリート標準示方書では，設計図は設計者の意図を伝える手段であり，要求性能や照査結果，コンクリートの特性値などの設計計算の基本事項を明示することとしている。

なお，工事監理連絡会において設計者より施工者に伝達する内容の具体例として以下のような項目が挙げられる。

- ・使用コンクリートの特性
- ・新技術，二次製品に関する検討内容
- ・最小スランプに関する考え方
- ・耐久性照査の概要
- ・ひび割れ照査の概要（諸条件，対策案，ひび割れ指数，留意点）…etc

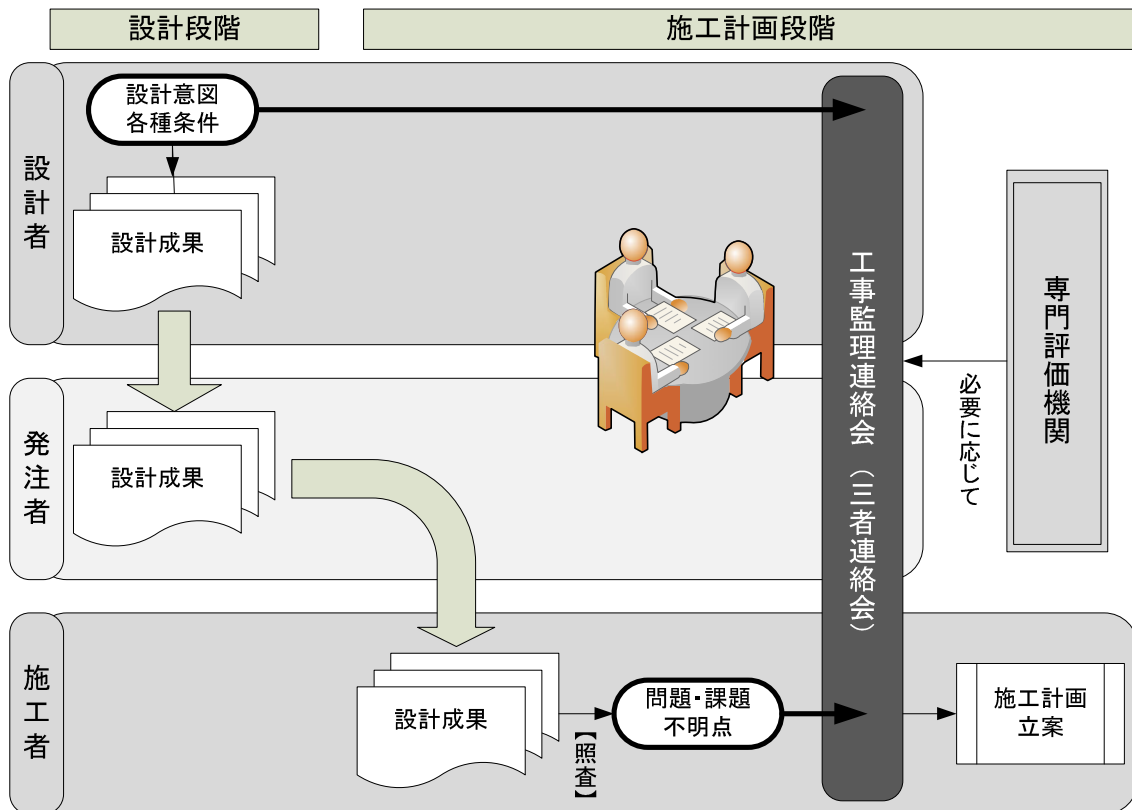


図 5.1 工事連絡会のイメージ