

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 書（案）

令和元年9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」が改訂されています。

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

まえがき(改訂版)

平成 14 年に設立された「九州地区長寿命コンクリート構造物検討委員会」を前身とする「九州地方整備局コンクリート評価委員会」は、道路橋示方書やコンクリート標準示方書及び国土交通省のコンクリート構造物に関する各種規定や基準類を相互に補完する位置づけとした「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)」ならびに「手引書(案)」を策定し、運用しています。

今回、平成 29 年 7 月の道路橋示方書の改定、2017 年制定コンクリート標準示方書の刊行、これまでの試行の結果を踏まえ、指針(案)の改訂を行いました。それにとともに、指針(案)の円滑な運用を目的として作成した「手引書(案)」も改訂する運びとなり、耐久性の照査、スランプの設定、温度ひび割れの照査をより適切に実施することができるように、照査手法やその考え方について加筆を行いました。

本手引書(案)は、指針(案)の主要部分である耐久性照査やひび割れ照査などに関する具体的な計算例や、ひび割れの実態調査を基にした照査の省略領域の設定などを示した実務者向けの資料です。また、最新の知見に基づく照査手法や、具体的な対策についても言及しています。

今回の指針(案)改訂をうけて作成した本手引書(案)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)」の円滑な運用に向けた補完資料としてさらなる活用がなされ、九州地区におけるコンクリート構造物の品質確保・向上ならびに長寿命化に寄与することを念願する次第です。

令和元年 9 月

九州地方整備局コンクリート評価委員会委員長	濱田 秀則
九州地方整備局企画部長	堂蘭 俊多

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）」（令和元年9月）〔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等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った。

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等についても〔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・節・項部分]

指針（案） 第2章 計画・設計段階における照査

☆2.2.5 構造物の耐久性照査

☆2.3.2 温度ひび割れの照査

☆2.4 配筋状態を考慮した打込みの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

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	3
1.2 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査	7
1.3 アルカリシリカ反応に対する照査（留意点）	12
2. スランプの設定(打込みの最小スランプ)	13
2.1 配筋状態を考慮した打込みの最小スランプの設定	15
2.2 打込みの最小スランプを考慮したスランプ設定の考え方	17
2.3 スランプの設定における留意事項	19
3. 温度ひび割れの照査	21
3.1 温度ひび割れ照査について	21
3.2 温度ひび割れ照査の基本的考え方	21
3.3 温度ひび割れ照査の要否判定	25
3.4 簡易照査	30
3.5 詳細照査	38
3.6 温度ひび割れ対策	48
3.7 構造物のコンクリート温度測定	50

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	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	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	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	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 コンクリート床版の適切な打設順序 | 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、コンクリート構造物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、構造物によって、環境条件、コンクリートの材料や配合、施工条件等が異なり、さらには過酷な環境での劣化等が複合して作用する場合等に必要なかぶりが満足できない場合も考えられる。

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は、かぶりを指標に、道路橋示方書や土木構造物設計マニュアル(案)等の仕様に加え、指針(案)の算定式による照査を行い、安全側(中性化や塩害に対する抵抗性を満足するためのかぶりが大きい方を採用することを基本とする)となるよう、必要に応じた対策等を検討するものとする。

参考として、標準化を図ったかぶりの例を表 1.1～表 1.3 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	パラペット	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(mm)

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必要かぶりの 70 mm 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 150 mm 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 100～140 mm 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 70 mm として統一している。

表 1.3 河川構造物(樋門)の主鉄筋中心からコンクリート表面までの距離

部材の種類	適用箇所	鉄筋のかぶり (mm)	主鉄筋中心からコンクリート表面までの距離 (mm)
函 渠	頂版・側壁・底版上面	75	120
	底版下面	100	150
胸壁・しゃ水壁 翼 壁	縦壁 ^{※1} ・底版上面	75	120
	底版下面	100	150
門柱・操作台	操作台	30	70
	柱	75	120
	下部戸当り上面 ^{※2}	40	90

上表は、鉄筋の径が D29 以下を対象としている。

※1 配力鉄筋を主鉄筋の外側に配置

※2 下部戸当り上面の鉄筋のかぶりは、これまで使用されている一般的な値による

【注】国土交通省の「土木構造物設計マニュアル(案)-樋門編-」および「土木構造物設計マニュアル(案)に関わる設計・施工の手引き(案)[樋門編]」(H13.12)に詳細が示されている。本仕様は、生産性向上策として、施工性等を考慮した配筋仕様の標準化によるものである。

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「塩害環境下における鋼材腐食に対する照査」について耐久性照査の流れと考え方を示す。

耐久性照査の実施においては“塩害の影響を受ける環境”を適切に判断する必要がある。指針(案)の運用にあたっては「海岸からの距離が 1.0 km 以内」を塩害の影響を受ける環境として照査を行う。なお、“塩害の影響を受ける環境”を 1.0 km 以内としたのは、コンクリート表面に到達する飛来塩分量は、地形条件や気象条件等多くの要因に影響されるため、これを考慮した土木学会「コンクリート標準示方書」に基づき、より確実に中性化や塩害に対する抵抗性を確保するためである。詳細については、土木学会の 2007 年・2012 年・2017 年制定のコンクリート標準示方書および改訂資料を参考にするとよい。

ただし、構造物周辺の地形や、季節風等の気象条件、海象条件によっては 1.0 km 以上離れていても飛来塩分の影響を受ける場合もある。また、感潮区間に構造物を建設する場合もある。このような条件においては、海岸からの距離によらず個別の条件等に応じて照査を行わなければならない。

「1.3 アルカリシリカ反応に対する照査(留意点)」に、照査にあたっての留意点を示す。

1.1 中性化に伴う鋼材腐食に対する照査

指針(案)に準拠した中性化に対する鋼材腐食に対する照査は、コンクリートの中性化深さが設計耐用期間中に限界の深さ（鋼材腐食発生限界深さという）に達しないことを確かめることにより行うものとする。具体的には、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認する。

照査フローを図 1.1 に示す。

「中性化に伴う鋼材腐食に対する照査」について

「コンクリート標準示方書」の改訂により、2017 年制定版では、水の浸透（降雨による雨水の直接的な影響、雨水が構造物表面を伝わりといった漏水の影響、結露等）を考慮した「中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査」が導入された¹⁾。照査手法として、鋼材位置への水の浸透等を考慮した「鋼材腐食深さに対する照査」、中性化深さに基づく「中性化に伴う鋼材腐食に対する照査」の説明がなされている。

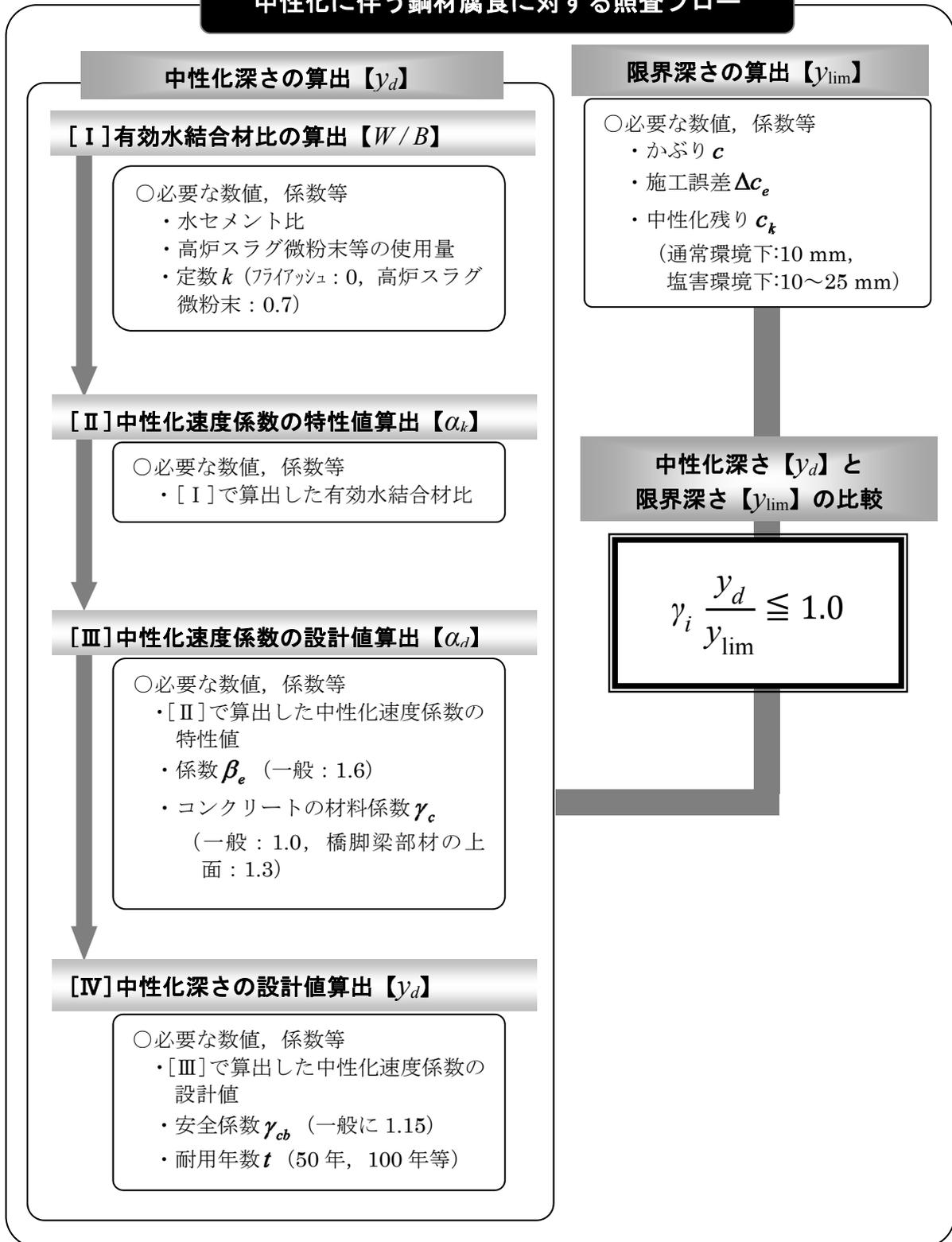
改訂の考え方は「実構造物における鋼材腐食に着目した過去の調査研究によると、コンクリートの中性化が進んだとしても、鋼材腐食に必要な水と酸素の供給が乏しい場合には、鋼材腐食の進展が見られない、あるいは相当に進展が遅いことが報告されている。そこで、中性化による鋼材腐食に対する照査としてこれまで行われてきた、“中性化深さが設計耐用期間中に鋼材腐食発生限界深さに達しないこと”に代えて、“設計耐用期間中の中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食深さが、限界値以下であること”を確認することとした。中性化深さを限界状態の指標にするのではなく、中性化と水の浸透によって発生する鋼材腐食深さについて検討する手法へと改訂し、水の影響を陽な形で取り込んだものを導入した²⁾とされている。

指針(案)の改訂にあたり、中性化と水の浸透を考慮した「鋼材腐食発生深さによる照査」を導入するかどうかの議論が行われた。しかし、「今回、初めて導入された照査手法であること、必要かぶりが、“中性化深さによる照査手法”の方が安全側の結果である²⁾ことから、指針(案)の運用は、当面はこれまでと同様に「中性化に伴う鋼材腐食に対する照査」とすることとした。

※1) 2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編:標準], p. 150～156

2) コンクリートライブラリー 149 2017 年制定コンクリート標準示方書改訂資料 設計編・施工編, p. 53～72

中性化に伴う鋼材腐食に対する照査フロー



※具体的な手法は、照査例を参照 (p. 例-5, p. 例-69)

図 1.1 中性化に伴う鋼材腐食に対する照査フロー

表 1.4 中性化に伴う鋼材腐食に対する照査に関する安全係数等の目安

項 目		係数の考え方
γ_i	構造物係数	1.0
c_k	中性化残り	通常環境下：10 mm 塩害環境下（海岸線から 1.0 km 以内）：10～25 mm [*] ※塩害環境下では原則 25 mm とする。ただし、類似構造物（構造形式、材料、施工、環境、供用状態）の調査結果や実験によって十分な確認がなされている場合には、その結果を参考にして中性化残りを 25 mm よりも小さくしてよい。
β_e	環境作用の程度を表す係数	一般：1.6
γ_{cb}	中性化深さの設計値 y_d のばらつきを考慮した安全係数	一般：1.15 高流動コンクリート：1.1
γ_c	コンクリートの材料係数	一般：1.0 部材の上面（打設上面）：1.3 ※材料分離や養生の影響を受けやすい上面（橋脚梁部材の上面）では 1.3 を用いて照査する。

※環境作用の程度を表す係数 (β_e) について

2012 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編：標準〕では乾燥しやすい環境で 1.6、乾燥しにくい環境で 1.0 としていたが、乾燥しにくい環境では中性化が進みにくいものの水の存在により鋼材腐食を生じやすくなる可能性が否定できないこと、このような係数の設定では一般的に水掛かりのある環境が水掛かりのない環境よりも耐久性上有利になると解釈されることを踏まえ、 β_e の値は乾燥のしやすさに関わらず 1.6 とした。

出典：コンクリートライブラリー 149 2017 年制定コンクリート標準示方書改訂資料 設計編・施工編，p. 67

図 1.2 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, 指針(案)による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. 活用例として, 中性化抵抗性を満足する必要かぶりを求める場合のノモグラムの使い方を以下に示す.

なお, 簡易ノモグラムは, 指針(案)の解説表 2.2.1 の条件等に基づき作成している. 条件が異なる場合には, 必要に応じて各種係数の値を見直す必要がある.

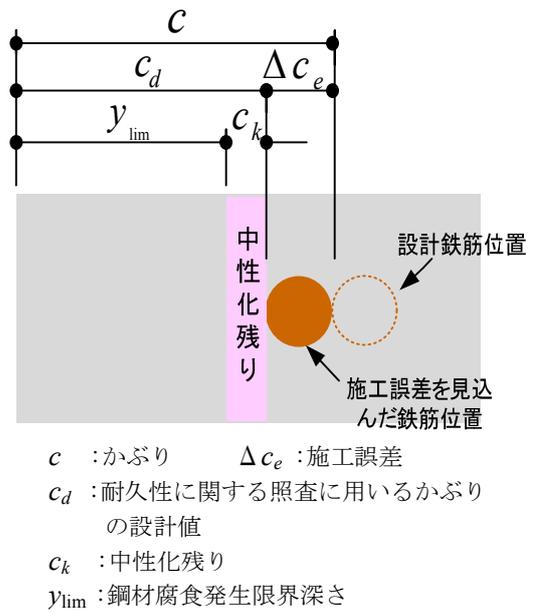
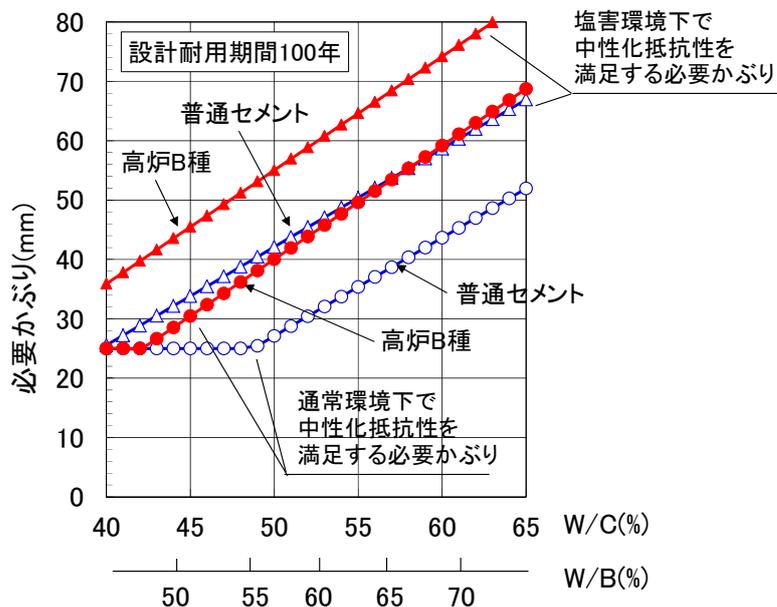


図 1.2 かぶり, 限界深さ等のイメージ

【簡易ノモグラムの活用例】 ※指針(案) p.2-8 解説 図 2.2.1

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 35 mm 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 50 mm のかぶりが必要であることが読み取れる.



1.2 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査

道路橋示方書では、表 1.5 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。塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査は、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。

照査フローを図 1.3 に示す。

表 1.5 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】				
塩害の影響度合い	対策区分	かぶり		
影響が激しい	S	90*		
影響を受ける	I	90		
	II	70		
	III	50		

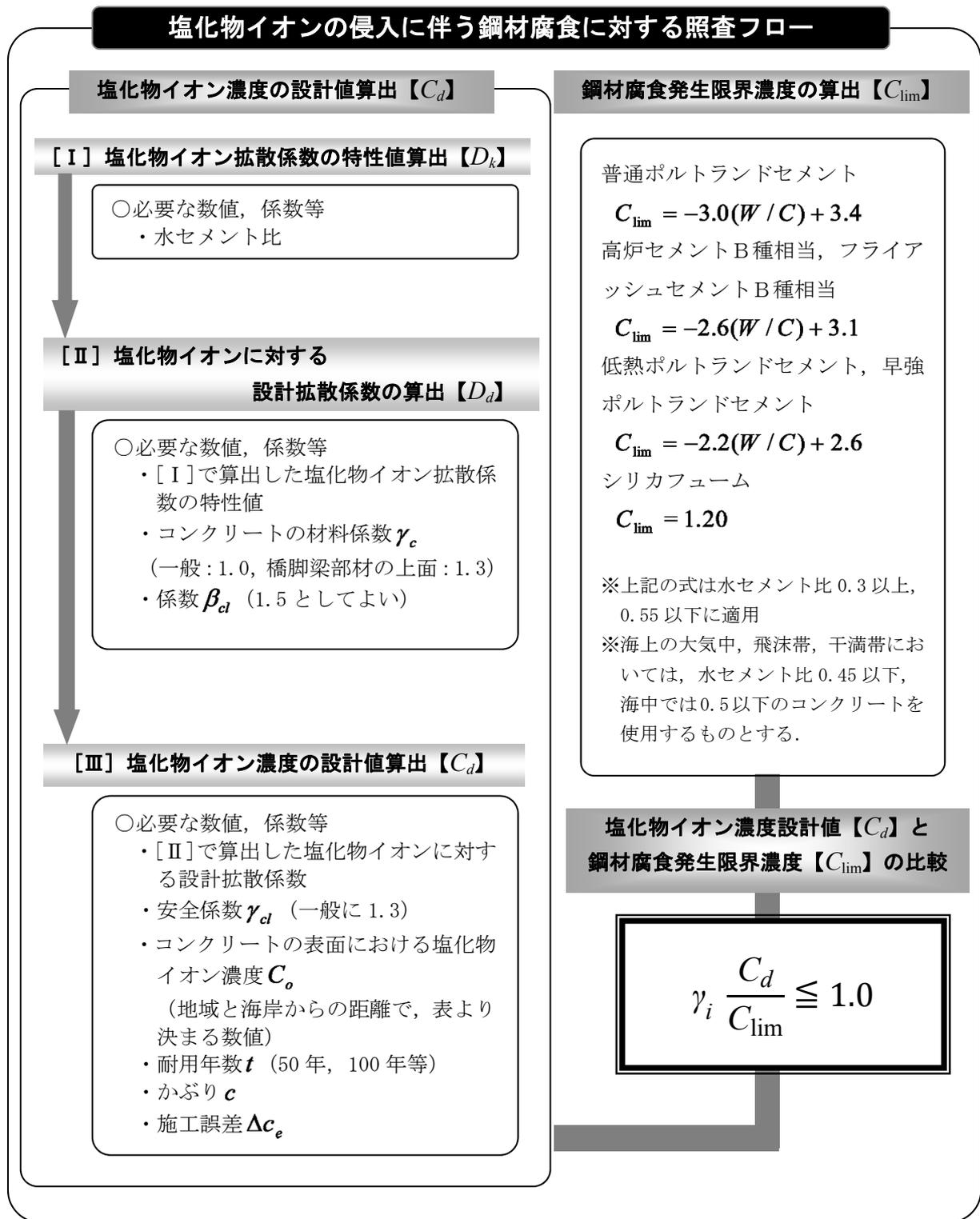
※塗装鉄筋又はコンクリート塗装等かぶりによる方法以外の方法を併用する
 (注)橋脚、橋台及びフーチング等において、水中又は土中にある部材の最小かぶりは 70 mm とされる。

【上部構造】				
塩害の影響の度合い	部材・部位 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	25	30	50

※塗装鉄筋又はコンクリート塗装等かぶりによる方法以外の方法を併用する

[備考] 適用条件
 上記の最小かぶりは、耐久性に関する設計上の目標期間として 100 年を設定した場合を想定したものであり、各部材は普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比は以下の値を前提としている。

- ・下部構造：50%
- ・上部構造
 - (1) 工場製作される PC 構造：36%，
 - (2) (1) 以外の PC 構造：43%
 - (3) RC 構造：50%程度



※具体的な手法は, 照査例を参照 (p. 例-10)

図 1.3 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査フロー

表 1.6 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査に関する安全係数等の目安

項 目		係数の考え方
γ_i	構造物係数	1.0
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	一般 : 1.3 高流動コンクリート : 1.1
γ_c	コンクリートの材料係数	一般 : 1.0 部材の上面 (打設上面) : 1.3 ※材料分離や養生の影響を受けやすい上面 (橋脚梁部材の上面) では 1.3 を用いて照査する.

指針(案)には「2.2.5 構造物の耐久性照査」の解説(2)において、塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食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。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 0.1 km とした場合

- 九州地方における，海岸から 0.1 km 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 1.7 より 2.5 kg/m^3 である。

$W/C=53\%$ における必要かぶりは図 1.4 より 60 mm 以上となる。

- よって，かぶりが 60 mm 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。

※本例の条件では，中性化抵抗性を満足する必要かぶりが 61 mm 以上となる。

したがって，耐久性上の必要かぶりは，両方のうち大きい方の値である 61 mm 以上になる点に注意を要する。

※表 1.8 に示す適用条件に該当しない場合は使用できない。

表 1.7 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	海岸からの距離 (km)						
			汀線付近	(10m)	(20m)	0.1	0.25	0.5	1.0
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	13.0	4.5	-	-	2.5	2.0	1.5	1.0
飛来塩分が少ない地域	九州	13.0	9.0	9.0	4.5	2.5	2.0	1.5	1.0

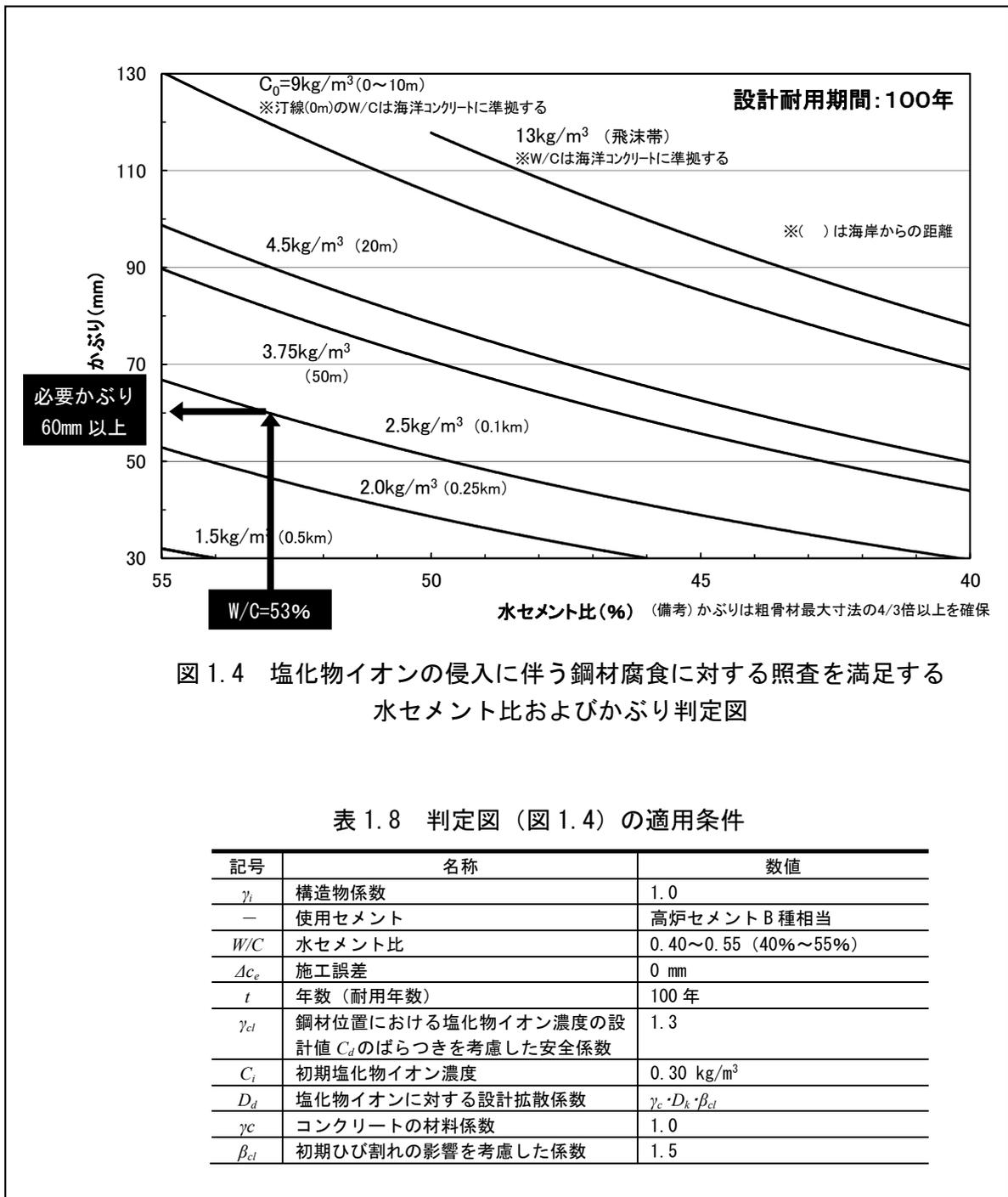


図 1.4 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査を満足する水セメント比およびかぶり判定図

表 1.8 判定図 (図 1.4) の適用条件

記号	名称	数値
γ_t	構造物係数	1.0
—	使用セメント	高炉セメント B 種相当
W/C	水セメント比	0.40~0.55 (40%~55%)
ΔC_e	施工誤差	0 mm
t	年数 (耐用年数)	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	0.30 kg/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	1.5

1.3 アルカリシリカ反応に対する照査（留意点）

コンクリートに使用する骨材が反応性を有する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。反応性を有する骨材（以下、反応性骨材）と判断された場合は、適切なアルカリシリカ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シリカ反応による劣化事例が散見され、維持管理上の課題となっている。アルカリシリカ反応に関する各種試験方法は、未だ十分ではないこと、また、生じた場合の補修が困難な場合が多い。そこで、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、アルカリシリカ反応による劣化が少しでも懸念される場合は、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。

アルカリシリカ反応の照査のための参考資料として、図 1.5 に九州地方における反応性骨材の分布推定図を示す。

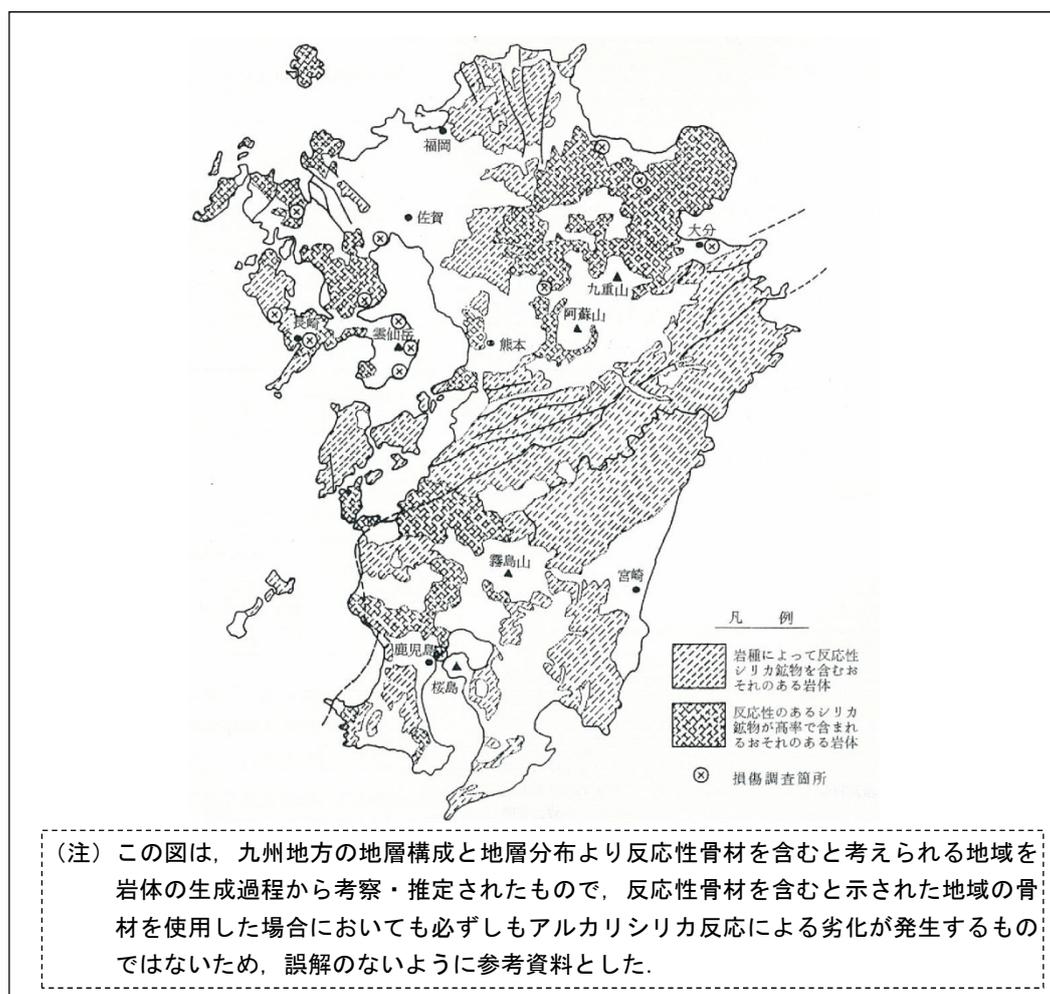


図 1.5 九州地方における反応性骨材の分布推定図

(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 5～12 cm と記載されたことを受け、こ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 8 cm が標準」として扱われるようになったという経緯がある。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いることから、土木学会「2007 年制定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。また、国土交通省では i-Construction の取り組みとして、現場打ちの鉄筋コンクリート構造物の施工性向上のため、平成 29 年 4 月 1 日付で「現場打ちの鉄筋コンクリート構造物におけるスランプ値の設定等について」が通知され、「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」（以下、ガイドライン）を基本とした性能規定とされた。このガイドラインにおいてもコンクリート標準示方書に示される打込みの最小スランプに基づくスランプの設定手法が取り入れられている。

一方、九州地方整備局では、平成 23 年 7 月の指針(案)の運用開始から、打込みの最小スランプを考慮したスランプの設定手法を取り入れている。

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て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が顕著になる等の弊害も危惧される。

このため、指針(案)に示されるスランプの設定方法に基づき、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、表 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	8 cm	12 cm	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	8 cm	12 cm	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	8 cm	10 cm	単位水量で調整
張出し式橋脚 逆 T 式橋台	躯体部	8 cm	12 cm	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	8 cm	使用骨材の Gmax を 20 mm から 40 mm に変更し、単位水量を低減
逆 T 式橋台	全部材	8 cm	高機能 AE 減水剤を使用し、単位水量を低減
樋 門	門柱部	8 cm	使用骨材の Gmax を 40 mm から 20 mm 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ピ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

スランプは、設計の段階から部材の断面形状や寸法、鋼材の配置状況や作業条件を考慮して打込みの最小スランプを仮定し、荷卸しの目標スランプを設定する。

この考え方に基づくスランプの設定フローを図 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。

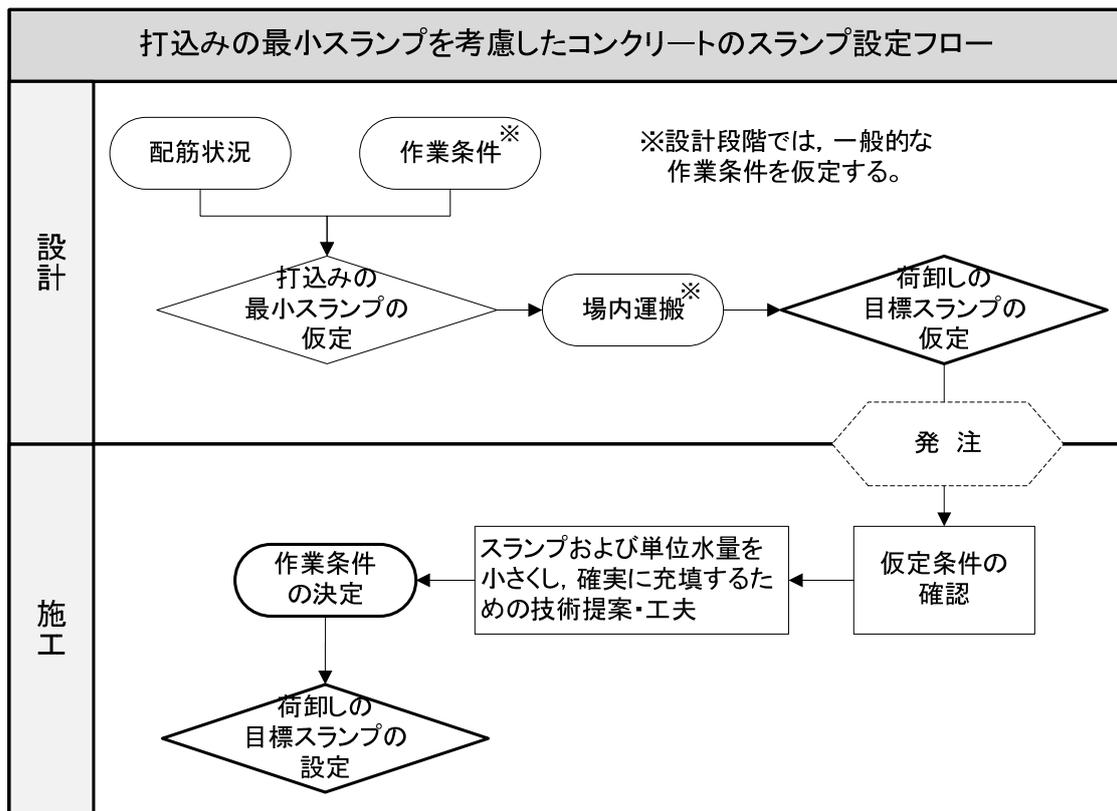
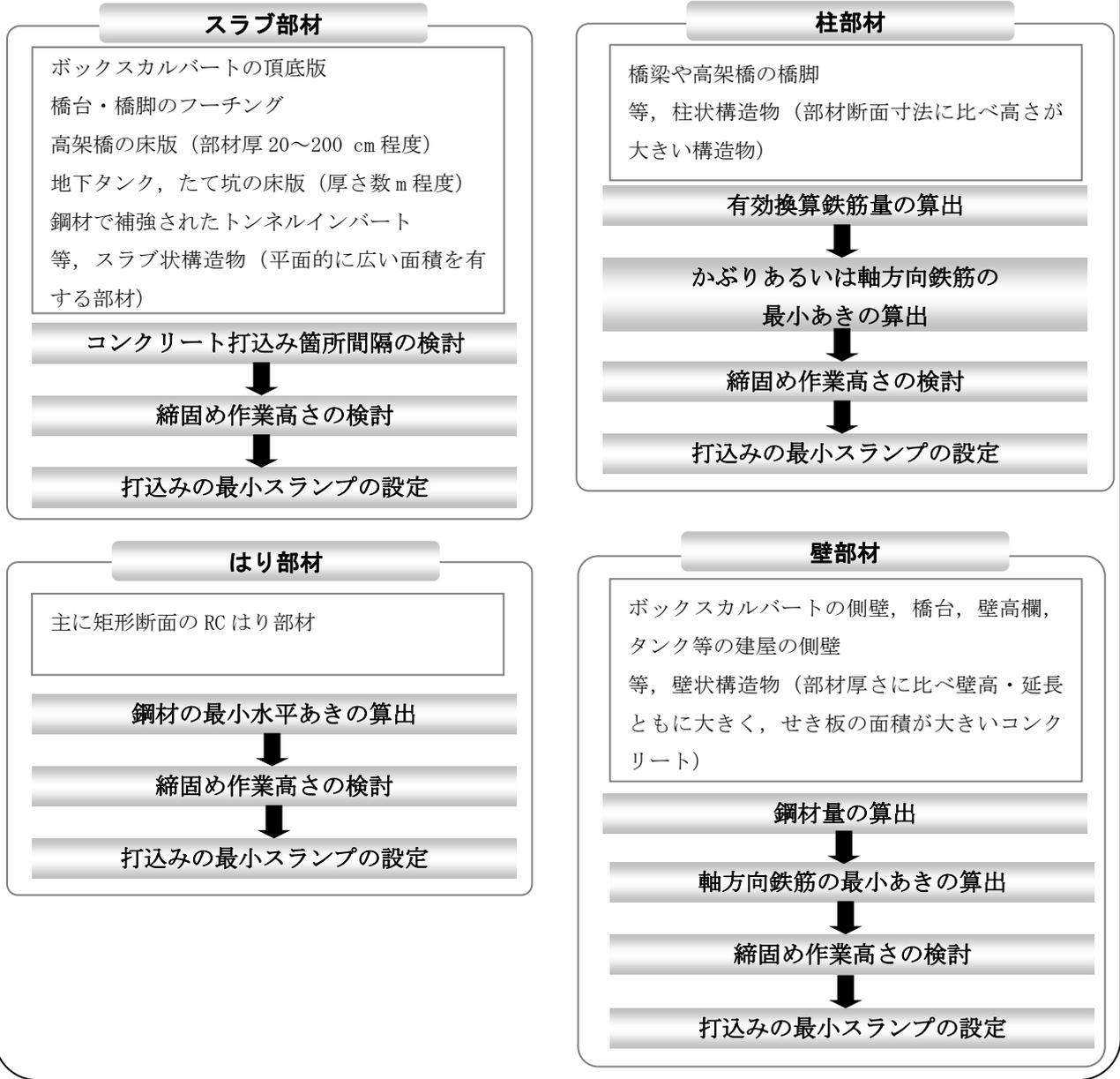


図 2.1 打込みの最小スランプを考慮したスランプ設定フロー

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、打込みの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
※荷卸しの目標スランプを設定する根拠

※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 打込みの最小スランブを考慮したスランブ設定の考え方

打込みの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) (p. 4-16~4-18 の解説 表 4.4.2~4.4.6) 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 4.4.7 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(+1.5 cm)を加えた値とする。この値が JIS A 5308 に一致しない場合は、直近※の JIS 規格のスランブ(8, 10, 12, 15 cm)を選択する。

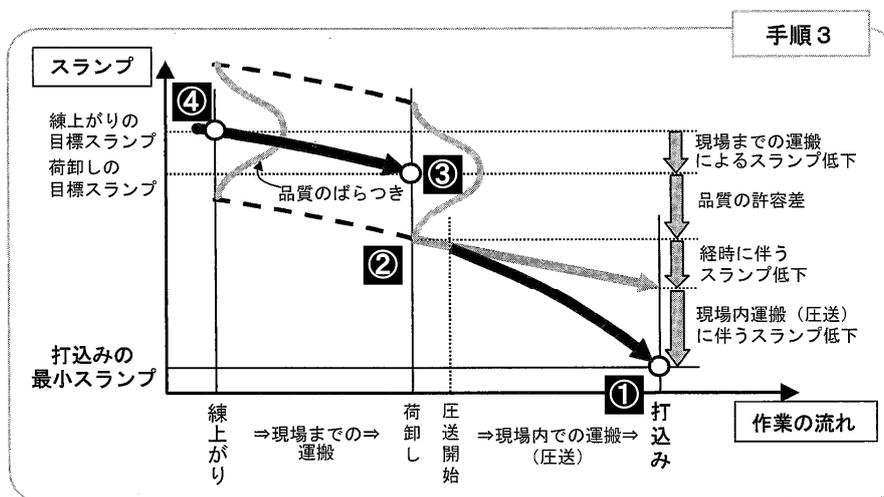
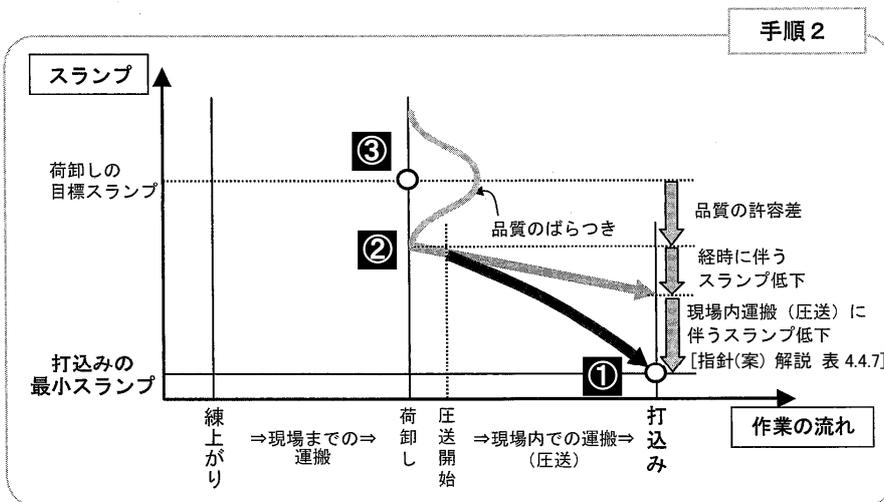
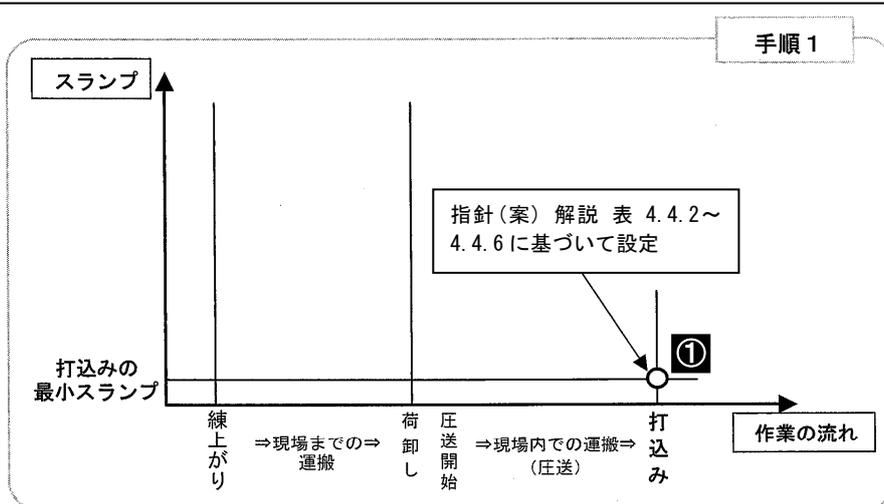
※スランブが大きくなると材料分離が起りやすくなるため、作業可能な範囲でできるだけ小さいスランブを選定するのがよい。

例えば、荷卸しの目標スランブが 14 cm であるときには 15 cm を、13.5 cm であるときには作業可能であれば 12 cm を選択するとよい。

(2) 施工計画段階

施工者が製造者に指定する荷卸し時のスランブは、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を考慮するとよい。

- ・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。



- 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荷卸しの目標スランプ：トラックアジテータ車等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の目標スランプ等の設定の考え方

※出典：土木学会 2017 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，p. 77 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 4.4.2～4.4.6）の締め作業高さの例を図 2.4 に示す。締め作業高さとは、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。

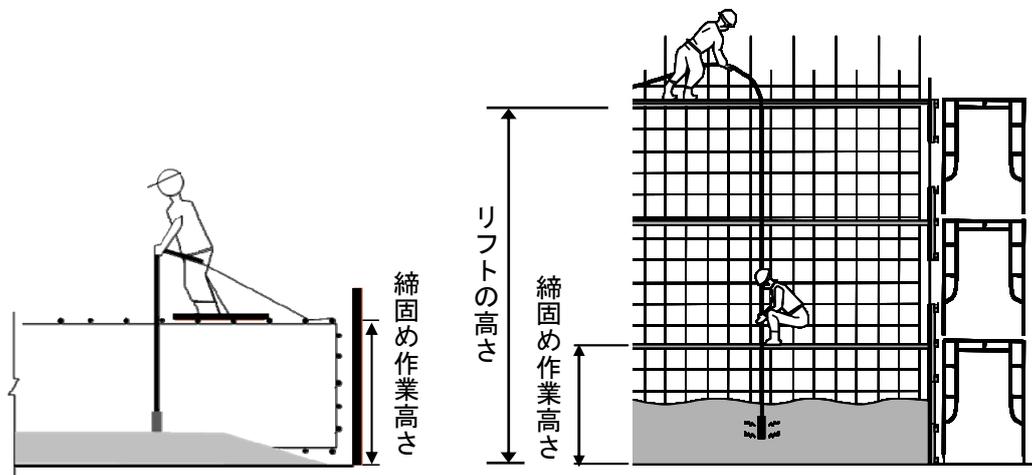


図 2.4 締め固め作業高さの例 ※指針(案)p. 4-17

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打込みの最小スランプ等が仮定されたのかを確認・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、打込みの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等、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。
※スランプが大きくなると材料分離が起こりやすくなるため、作業可能な範囲でできるだけ小さいスランプを選定するのがよい。
例えば、荷卸しの目標スランプが 14 cm であるときには 15 cm を、13.5 cm であるときには作業可能であれば 12 cm を選択する。
なお、施工者は荷卸し時に受入れ検査を実施するものとするが、検査時の許容差は、

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 8 cm 以上 18 cm 未満のコンクリートにおいては±2.5 cm 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のスランプの受入れ検査を行わなければならない。
- 5) 場外運搬に伴うスランプの低下は、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 温度ひび割れの照査」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 一般」においては「既往の施工実績からの照査の省略」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 温度ひび割れ照査の基本的考え方」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の部材で、厚さが80～100 cm以上のもの
- ② 下端が拘束された壁状の部材で、厚さが50 cm以上のもの
- ③ 比較的断面が大きく柱状で、短辺が80～100 cm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、「温度ひび割れに対する照査は、ひび割れ発生確率の限界値から定められるひび割れ指数により行うことを原則とする」としており、また同時に、「ひび割れ幅は、ひび割れ幅の限界値を設定し、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までには至っていないことから、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。

設計段階で照査を行うことは、建設プロセスの上流側での設計思想の明確化や、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、具体的な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照査を行う場合には、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(案)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た結果を踏まえ、指針(案)「2.3.1 一般」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、指針(案)および本手引書(案)の「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、新技術・新工法を積極的に活用する他、設計者または発注者との協議や、工事監理連絡会を活用し、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制が困難と想定される場合は、プレキャストコンクリート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、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】

ひび割れの抑制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(案)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に相当する 1.0」としている。なお、計画段階で最善と考えられる対策を検討しても、目標とするひび割れ指数以上とならない場合もある。このような場合は、構造物の重要度、構造物の機能や耐久性に及ぼす影響、材料の供給能力、施工性、

工期及び経済性等を総合的に勘案し、実効性の高い対策方法を選定しなければならない。しかし、最善の方法であっても有害となるひび割れの発生を抑制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、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。

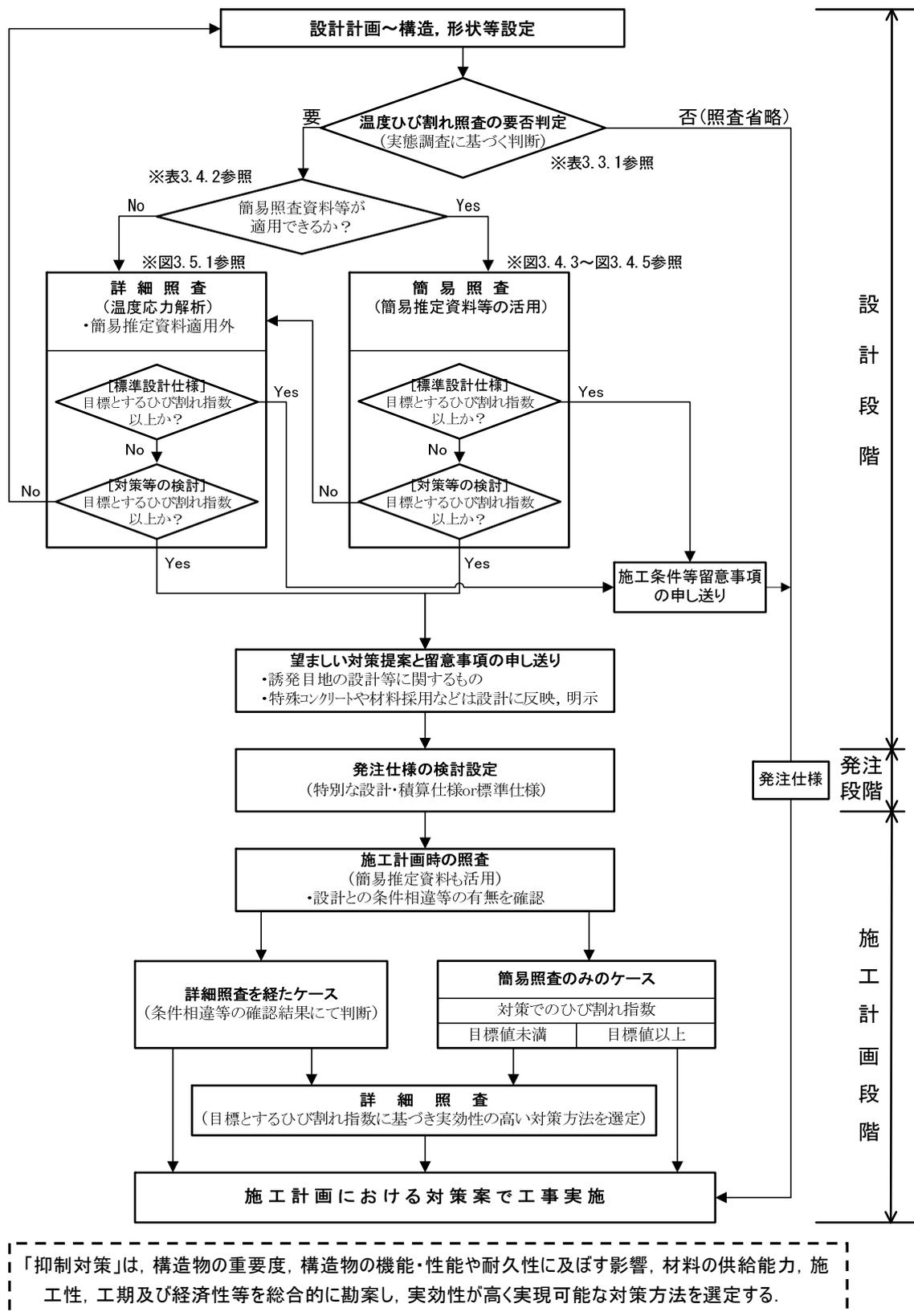


図 3.2.1 温度ひび割れ照査フロー

注)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

指針(案)「2.3.2 温度ひび割れの照査」(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、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)の側壁については、緩和対象範囲に該当する場合に限り照査を省略することができるものとした。緩和対象範囲は、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)に基づくものである。

ただし、適用にあたっては、コンクリート標準示方書等の各種基準類を遵守することを前提とする(例えば、暑中・寒中コンクリート等)。

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 24 N/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 1.8 m 以下とする場合
壁部材 (橋台)	・奥行幅が 4 m 以下の壁部材 ・奥行幅が 4 m を超える壁部材で、誘発目地 ^{※1} を 4 m 以下の間隔で設置する場合 ^{※2}
柱部材 (橋脚)	・長辺が 4 m 以下の柱部材
BOX の側壁	・長さが 4 m 以下 ・長さが 4 m を超える側壁で、誘発目地 ^{※1} を 4 m 以下の間隔で設置する場合

※1: 断面欠損率が 50%程度以上のものを対象とする。

※2: 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。

注) ひび割れ発生の状況に関する分析結果の概要

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等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 0.2 mm 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 0.2 mm 以上の発生率は、堅壁 6%、胸壁 2%であり、橋脚では 0.2 mm 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 0.2 mm 以上である。

①フーチング（橋台・橋脚）

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

- ・部材高が 1.8 m 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)

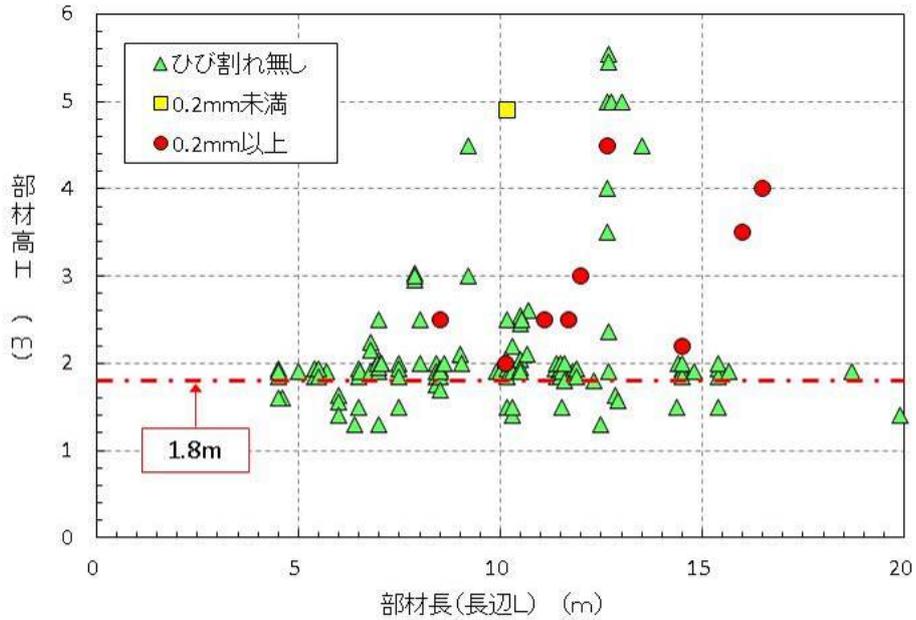


図 3.3.1 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン（フーチング）

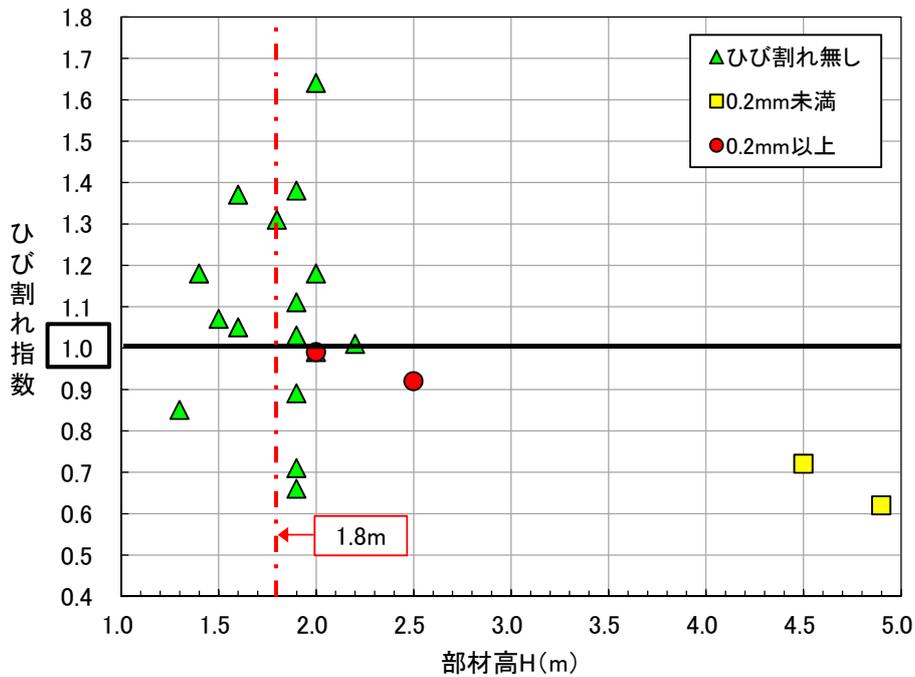


図 3.3.2 施工実態調査に基づく温度応力解析結果とひび割れ発生状況（フーチング）

②壁部材(橋台)

【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4 m以下の壁部材

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

- ・奥行幅が4 m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4 mを超える場合は、誘発目地を4 m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)

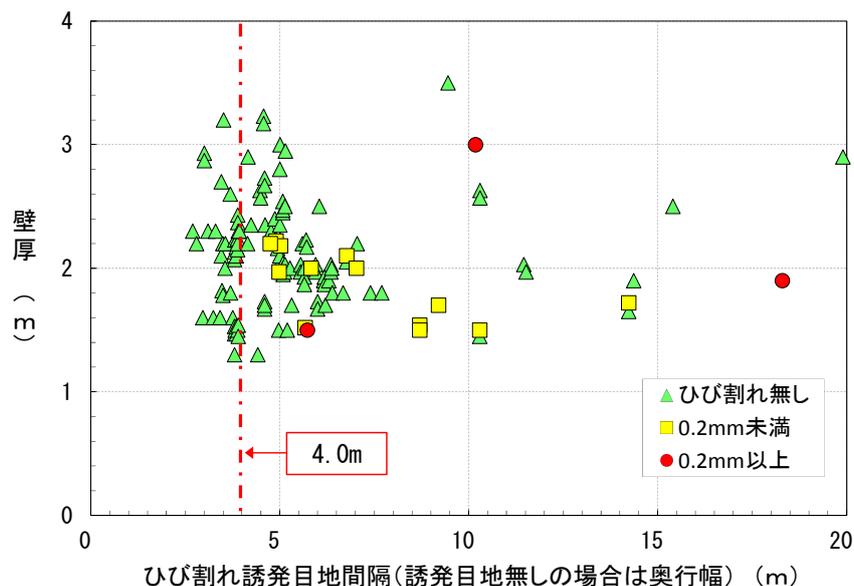


図 3.3.3 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン(橋台・橋脚の壁)

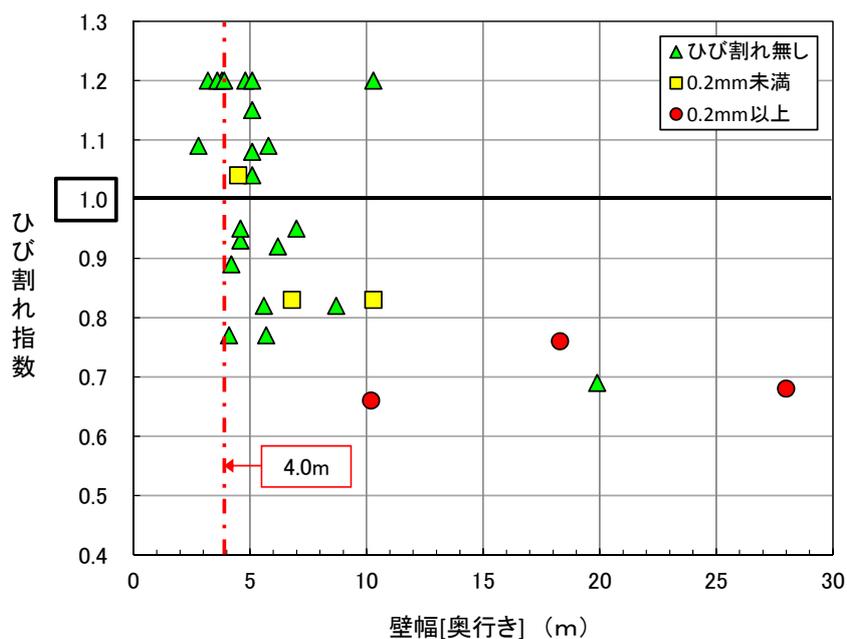


図 3.3.4 施工実態調査に基づく温度応力解析結果とひび割れ発生状況(壁)

③柱部材（橋脚）

【緩和対象】長辺が4 m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4 m以下であればひび割れが発生していない（図3.3.5）

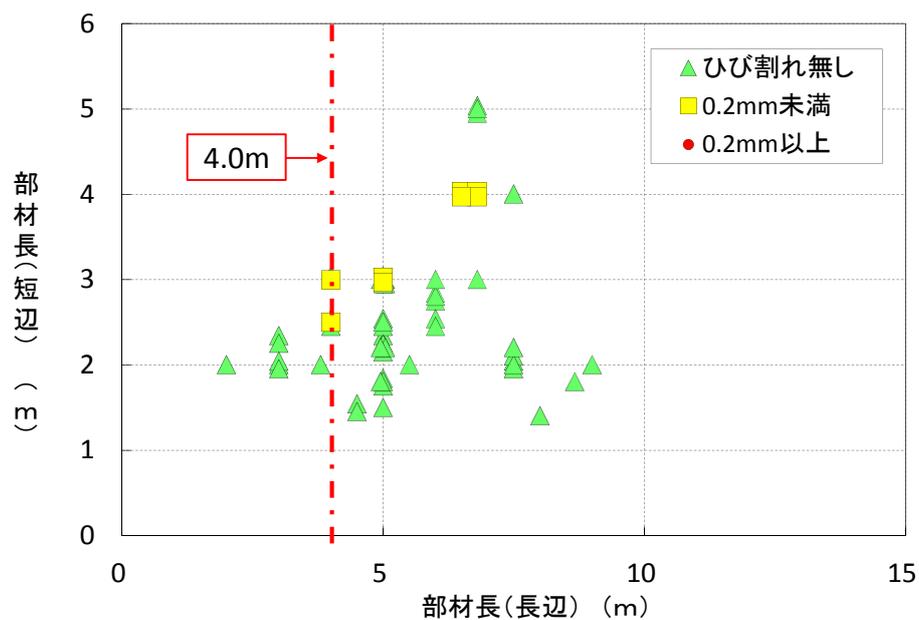


図 3.3.5 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン（柱部材）

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

(趣旨)

- ・奥行幅が 4 m 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 4 m を超える場合は，誘発目地を 4 m 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。

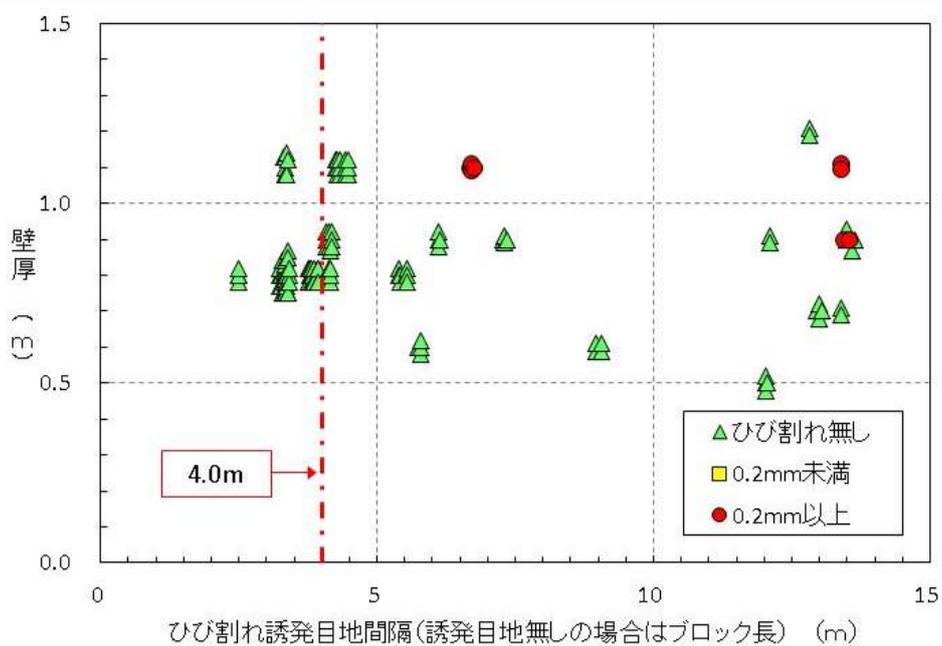


図 3.3.6 ひび割れ発生状況と緩和対象ライン (BOX の側壁)

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 温度ひび割れの照査」(3)において「温度ひび割れに対する照査は、ひび割れ発生確率の限界値から定められるひび割れ指数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(CP法等)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に関する概略の照査が可能となる。

以上のような目的から、橋台・橋脚等における壁・柱部材及びスラブ(フーチング)を対象とした、ひび割れ指数の簡易推定資料を以下に示す。

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。

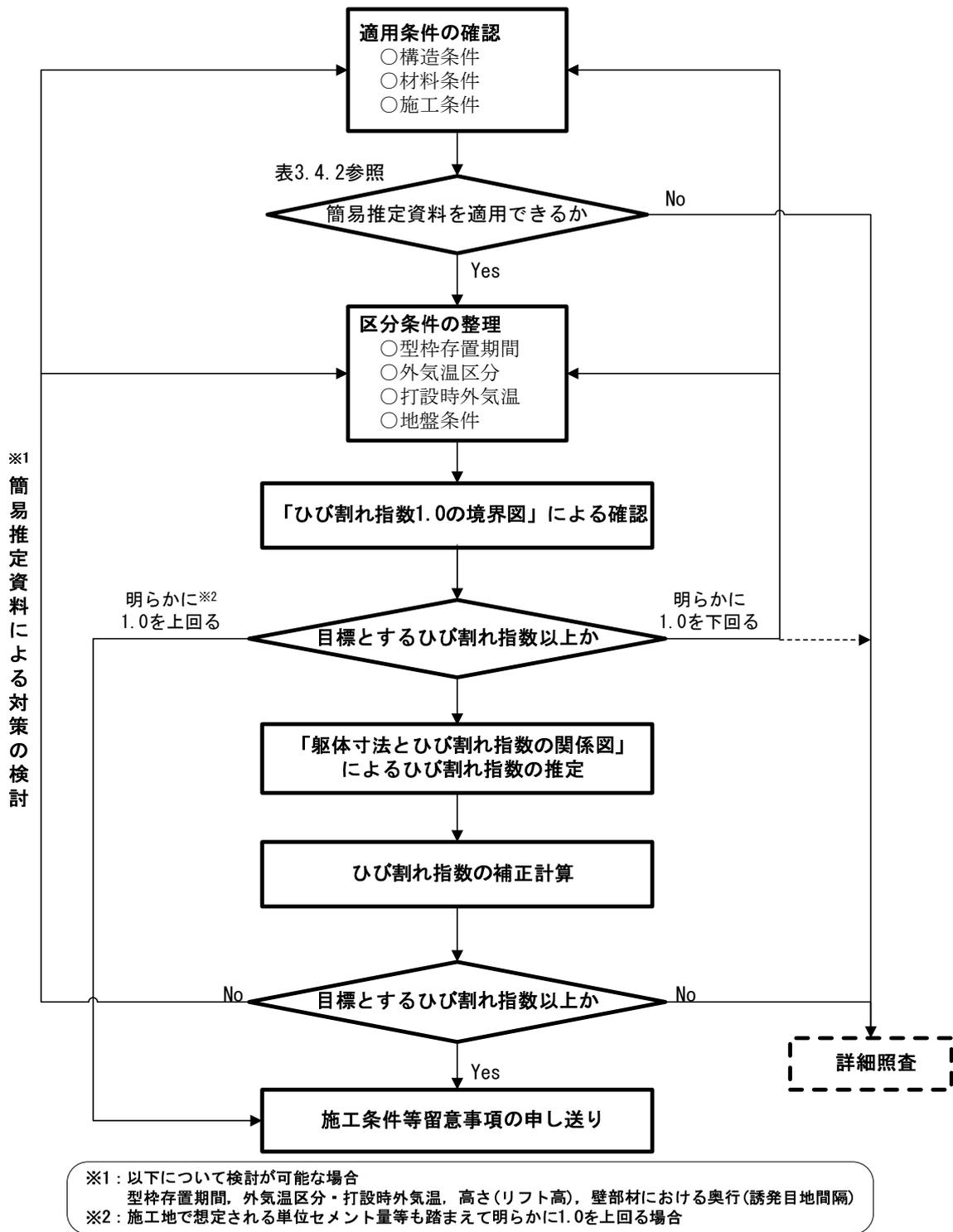


図 3.4.1 簡易照査フロー

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した。
- 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した。

【資料作成条件】

- ・「土木学会 2007 年制定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)」に示される解析手法(温度解析は 2 次元有限要素法、応力解析は CP 法)を基本に作成した。
- ・温度応力解析には、日本コンクリート工学会の 2 次元温度応力解析プログラム(JCMAC1)を使用した。

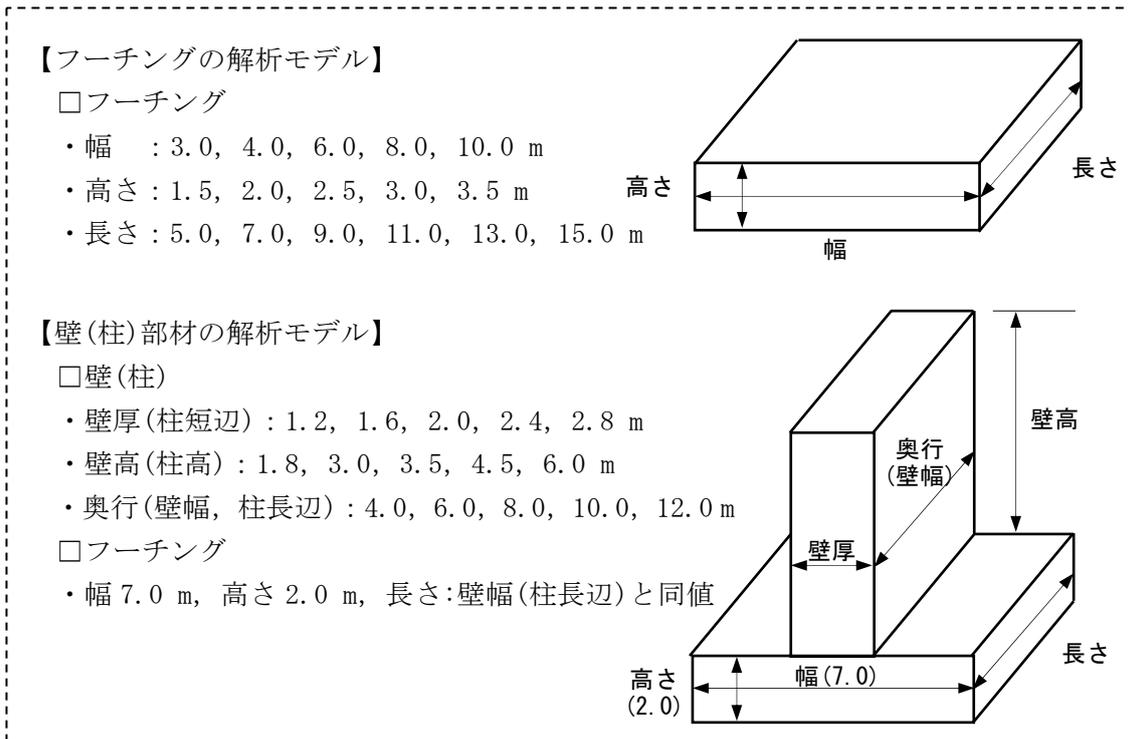


図 3.4.2 フーチング・壁(柱)部材の解析モデル

表 3.4.1 簡易推定資料作成にあたっての解析条件

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°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°C	0.795 kJ/kg°C
力学物性値 (ヤング係数 Er)	①CH級 4,000 N/mm ² ②N値換算 ヤング係数比 Ec/Er 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	土木学会 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、適用にあたっては、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等）。

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 3.0~10.0	高さ 1.8~3.5	長さ 5.0~15.0
	壁(柱) 構造寸法 (m)	壁厚(柱短辺) 1.2~2.8	壁高(柱高) 1.8~6.0	奥行(壁幅, 柱長辺) 4.0~12.0
材料条件	セメント	セメントの種類 高炉セメント B 種	単位セメント量 (kg/m ³) 275~310	
	熱物性値	密度 2,350 kg/m ³	熱伝導率 2.7 W/m°C	比熱 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)	①岩盤 (CH 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 2,650 kg/m ³	熱伝導率 3.45 W/m°C	比熱 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			
<p>【簡易推定資料を利用する際の留意事項】</p> <p>1) 解析手法: 温度解析 (2次元有限要素法), 応力解析 (CP 法)</p> <p>2) 材料条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・単位セメント量は 295 kg/m³ を基本としているが, 275~310 kg/m³ 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, 土木学会 2007 年制定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。 <p>3) 地盤条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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, 岩盤(CH 級), N 値換算の 2 種類を選択できる。 <p>4) 施工条件: 型枠存置期間は, 7 日, 14 日を選択できる。</p> <p>5) 使用図の選定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・打設時期と設定外気温により使用する図を選択する。 <p>(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。</p>				

(3) 簡易推定資料[要約資料]

ここでは、本手引書(案)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

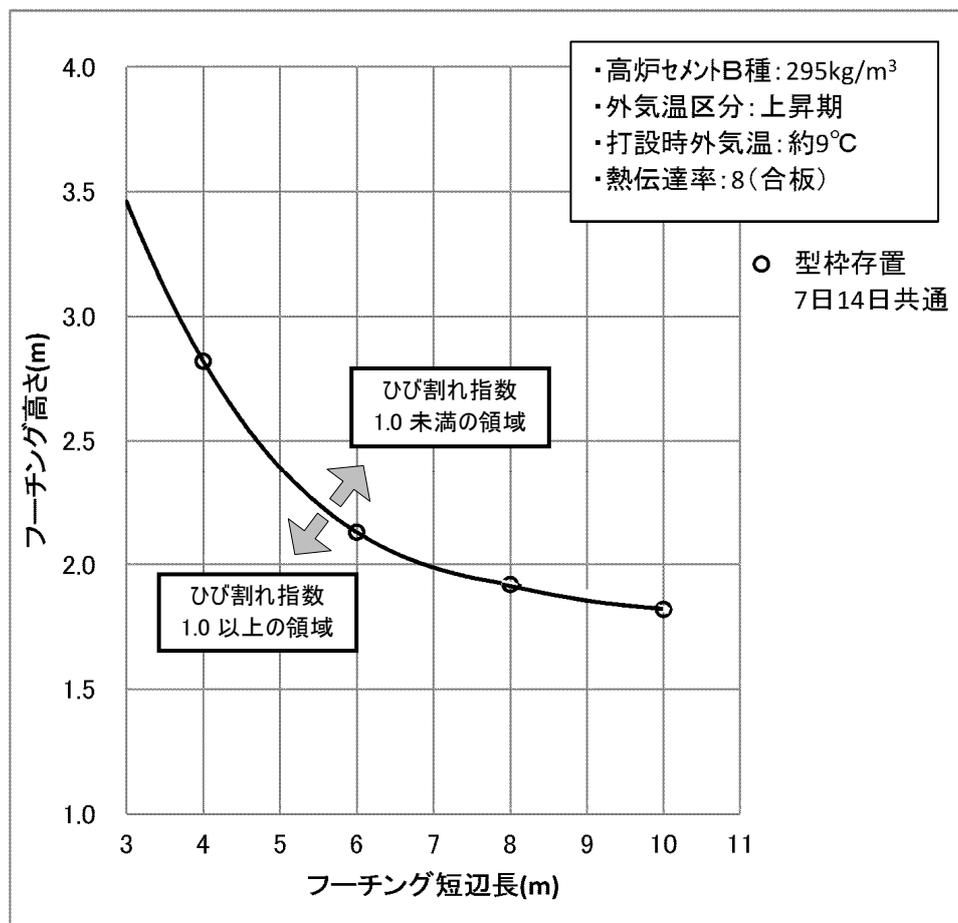


図 3.4.3 スラブ(フーチング) : ひび割れ指数 1.0 の境界図[例]

【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

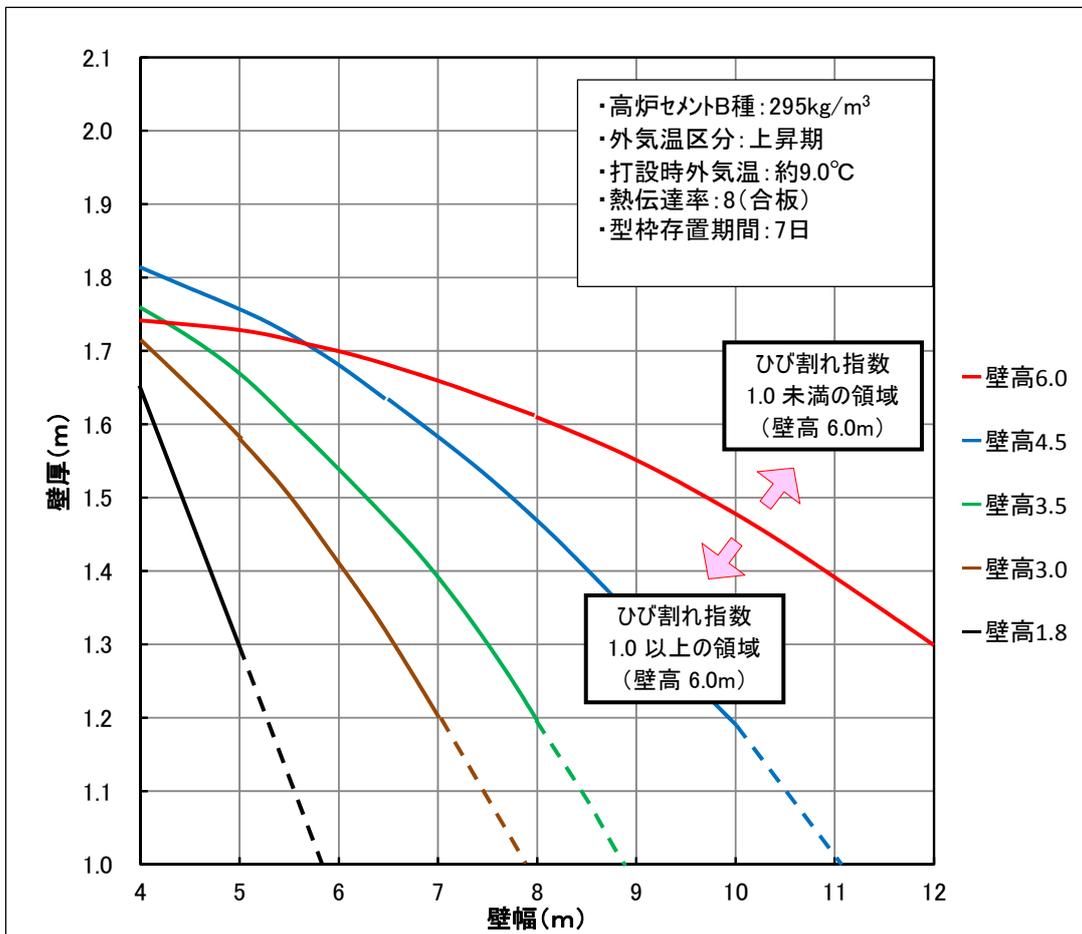


図 3.4.4 壁(柱)部材：ひび割れ指数 1.0 の境界図[例]

【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

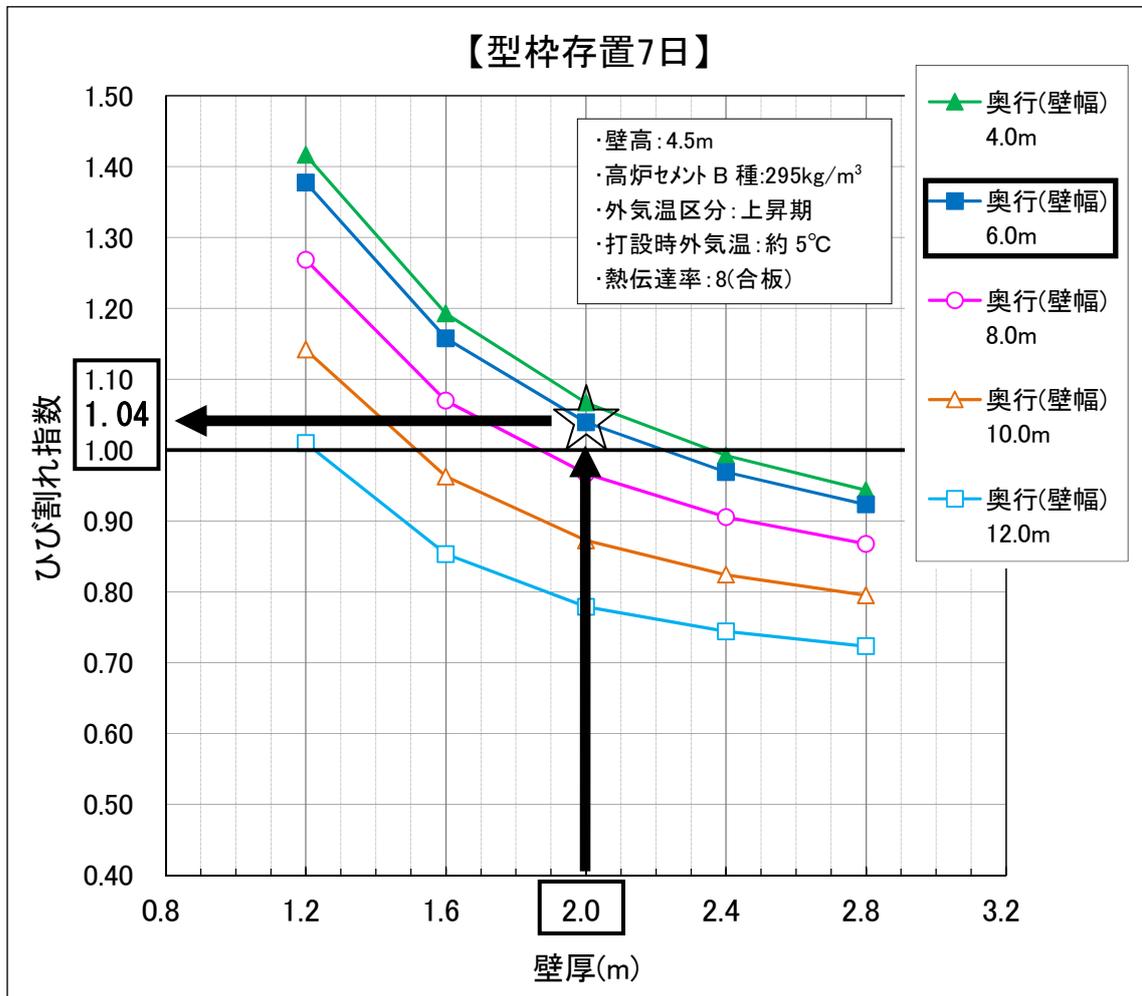


図 3.4.5 躯体寸法とひび割れ指数の関係図 [例：壁部材]

【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は、ひび割れ指数がひび割れ発生確率の限界値により設定する安全係数（目標とするひび割れ指数）以上であることを確認することで行う。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、「土木学会 コンクリート標準示方書 [設計編]」に以下の解析手法等が示されている。

①2007年制定コンクリート標準示方書 [設計編]

2次元解析（温度解析：2次元有限要素法，応力解析：CP法）※CP法と称す

②2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編]

3次元解析（温度解析・応力解析：3次元有限要素法）※3次元有限要素法と称す

CP法は、長手方向の断面形状が変化しない比較的単純な構造物形状を持つスラブ状構造物や壁状構造物に適用可能である。これに対して3次元有限要素法は断面形状が変化したり、複雑な形状を有する構造物にも適用可能である。

CP法と3次元有限要素法を比較すると、応力解析手法や各種物性値の予測式が異なり、3次元有限要素法の方がより詳細な条件設定が可能でひび割れ発生の予測精度が高いことが知られている。しかし、断面形状が単純なスラブ状構造物、壁状構造物については、温度応力解析手法による最小ひび割れ指数の相違はさほど見られないことが確認されており（土木学会 コンクリートライブラリー138 2012年制定コンクリート標準示方書 改訂資料 [基本原則編・設計編・施工編]）、解析労力や計算負荷の小さいCP法でも対応が十分に可能である。

よって、本手引書(案)の運用では、ひび割れ指数を算定する際の解析手法は、比較的単純な形状の構造物はCP法とし、複雑な形状の構造物は3次元有限要素法によることを基本とした。なお、近年は、演算処理能力の高いコンピュータが普及し、温度応力解析プログラムの改良も進んでいることから3次元有限要素法が広く用いられてきている。解析手法については、構造物の形状や解析条件ならびに解析費用等を総合的に判断して選択するとよい。

本手引書(案)では、CP法による温度応力解析を対象に説明する。

なお、3次元有限要素法による場合は「土木学会 2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編]」の解析手法や各種物性値の予測式を使用しなければならない。参考資料としては、「土木学会コンクリート標準示方書 改訂資料」や「日本コンクリート工学会マスコンクリートのひび割れ制御指針2016」がある。

CP法によ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(案)における温度応力解析には、日本コンクリート工学会の2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。

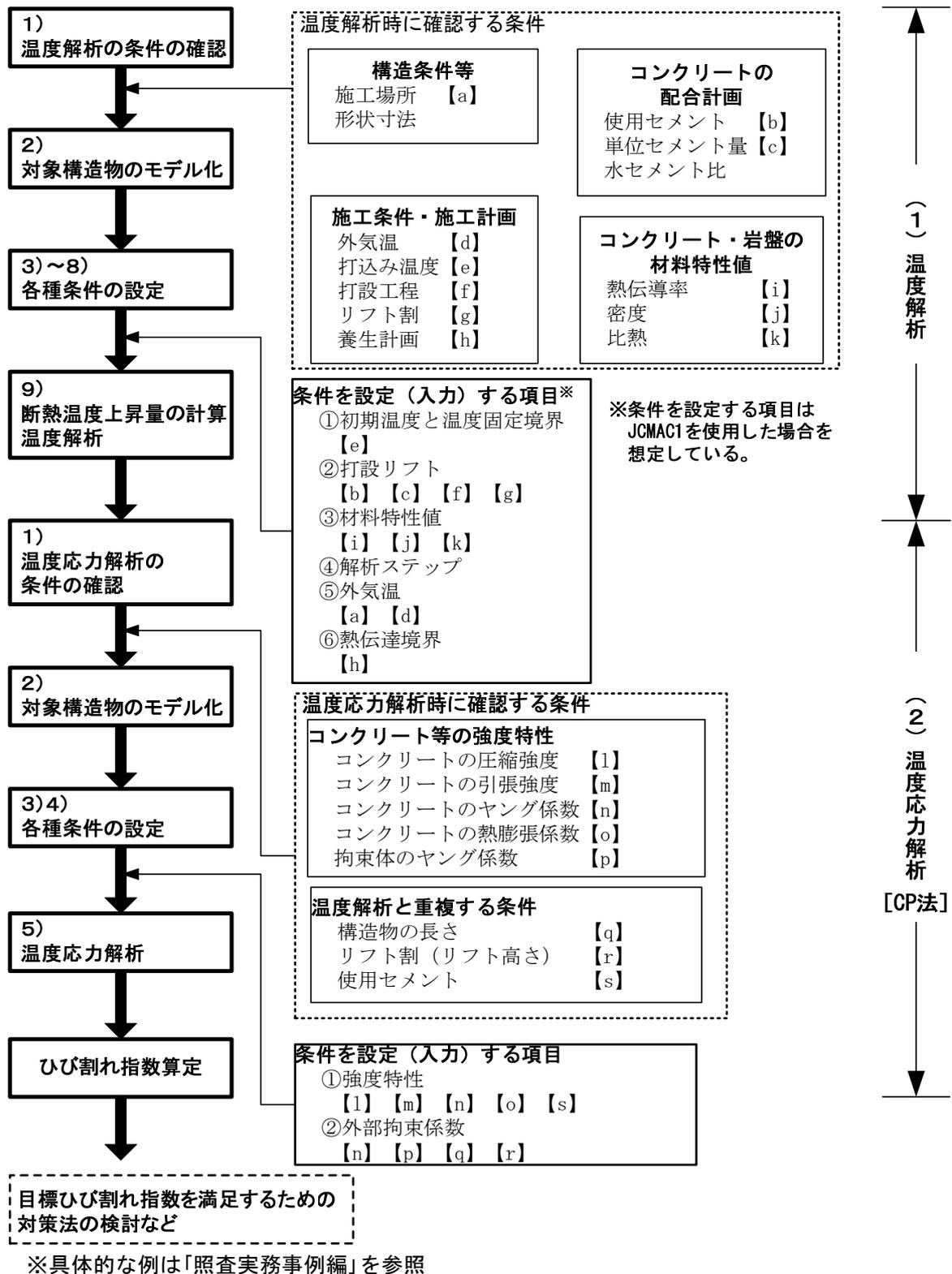


図 3.5.1 温度応力解析フローの例（CP法）

(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、①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にする、②当該地区の生コンクリート協同組合等に標準配合を確認する、等により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（3次元有限要素法の場合は 1/4 モデル等）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。要素分割においては以下を目安とするとよい。

- ・ 全断面 500 mm 以下とし、重要な断面や放熱面近傍の 600 mm 程度は 200 mm 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 10 m 以上、幅は構造物の 2 倍以上とする。
なお、CP 法では地盤の深さを 5 m 程度としてよい。ただし、対象構造物が非常に大きいために、深さ方向の温度が 5 m 近傍まで定常状態にならない（温度が変化する）場合は、地盤の深さを大きくする必要がある。
- ・ 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、温度計測機器の設置予定位置と解析時の節点または要素の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、本手引書「3.7 構造物のコンクリート温度測定」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、レディーミクストコンクリート工場の実績（練混ぜ時、現着時等）や過去の実績等により設定するとよいが、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。

なお、既設部位（構造物と複雑に入り組んでいる地盤や既設コンクリート）については、既設部のみの非定常温度解析を実施することで求める方法（最初にコンク

リートを打ち込む日より少なくとも 3 ヶ月前を起点に、既設部位のみを解析し、その結果を初期温度とする)もある。なお、地盤の温度は地表面から約 5 m 以深は当該地の年平均気温と変わらないといわれており、これを参考に設定する方法もある。

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等の既設部位は、非発熱体として扱う。

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 2.6~2.8 W/m°C、比熱は 1.05~1.26 kJ/kg°C、熱拡散率は $(0.83\sim 1.1) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 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 等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 (kJ/kg°C)	熱伝導率 (W/m°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、部材厚さが 2m 以内の場合でおよそ 1 ヶ月、2 m を超える場合は 3 ヶ月程度といわれているので、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。

設定にあたっては、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、最低でも過去 3 年間、できるだけ最新の日平均気温を使用するとよい。

外気温等の気象情報は気象庁のホームページで調べることも可能である。

なお、ソフトウェアに外気温が組み込まれている場合は、これを利用してよい。

8) 熱伝達境界の設定

熱伝達境界を設定するためには、脱型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	型枠, 養生方法	熱伝達率 (W/m ² °C)
1	メタルフォーム	14
	散水 (湛水深さ 10 mm 未満)	
2	湛水 (湛水深さ 10 mm 以上 50 mm 未満) ・むしろ養生を含む	8
3	湛水 (湛水深さ 50 mm 以上 100 mm 未満)	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+シート含む	5
7	発泡スチロール (厚さ 50 mm) +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

出典: 2017 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編], p.326, 解説 表 3.2.1 に一部加筆

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。一般に、温度応力解析のソフトウェアを用いる場合は、温度解析に用いたモデルを使用する。

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、構造物中のコンクリートの引張強度を用いる必要があり、供試体を用いた割裂引張強度試験により定めた引張強度と、一般的な施工条件や標準的な施工による影響を受けた構造物中のコンクリートの引張強度との差異を考慮し推定する必要がある。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、CP 法による場合は「土木学会 2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]」、3次元有限要素法による場合は「土木学会 2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]」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。

熱膨張係数も実績あるいは既往のデータに基づき定めるとよい。これによらない場合は、CP 法は $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、3次元有限要素法は、ポルトランドセメントは $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、高炉セメント B 種は $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ を用いてもよい。

4) 外部拘束係数の設定

CP 法では、外部拘束係数を用いて温度応力を算定する。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を用いる。

※3次元有限要素法では、外部拘束係数は用いない。

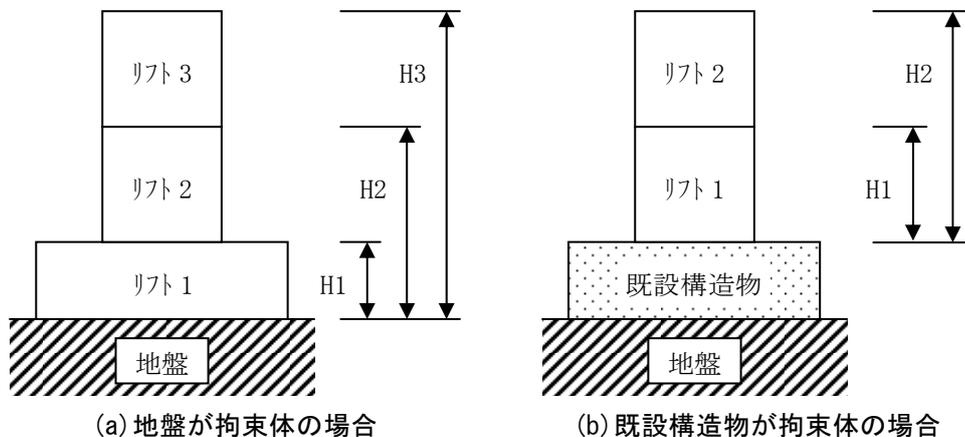


図 3.5.2 構造物のリフト高さの考え方

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

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

5) 温度応力解析

1) ～ 4) 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、着目する節点または要素、時期について適切に選定しなければならない。

参考として、CP法による出力例として「1) 温度解析結果の出力例」「2) 温度応力解析結果の出力例」を示す。

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[A]（一般的に部材中央断面）とその表面（側面）位置にあたる節点[B]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。
- ・「最高温度分布図」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。

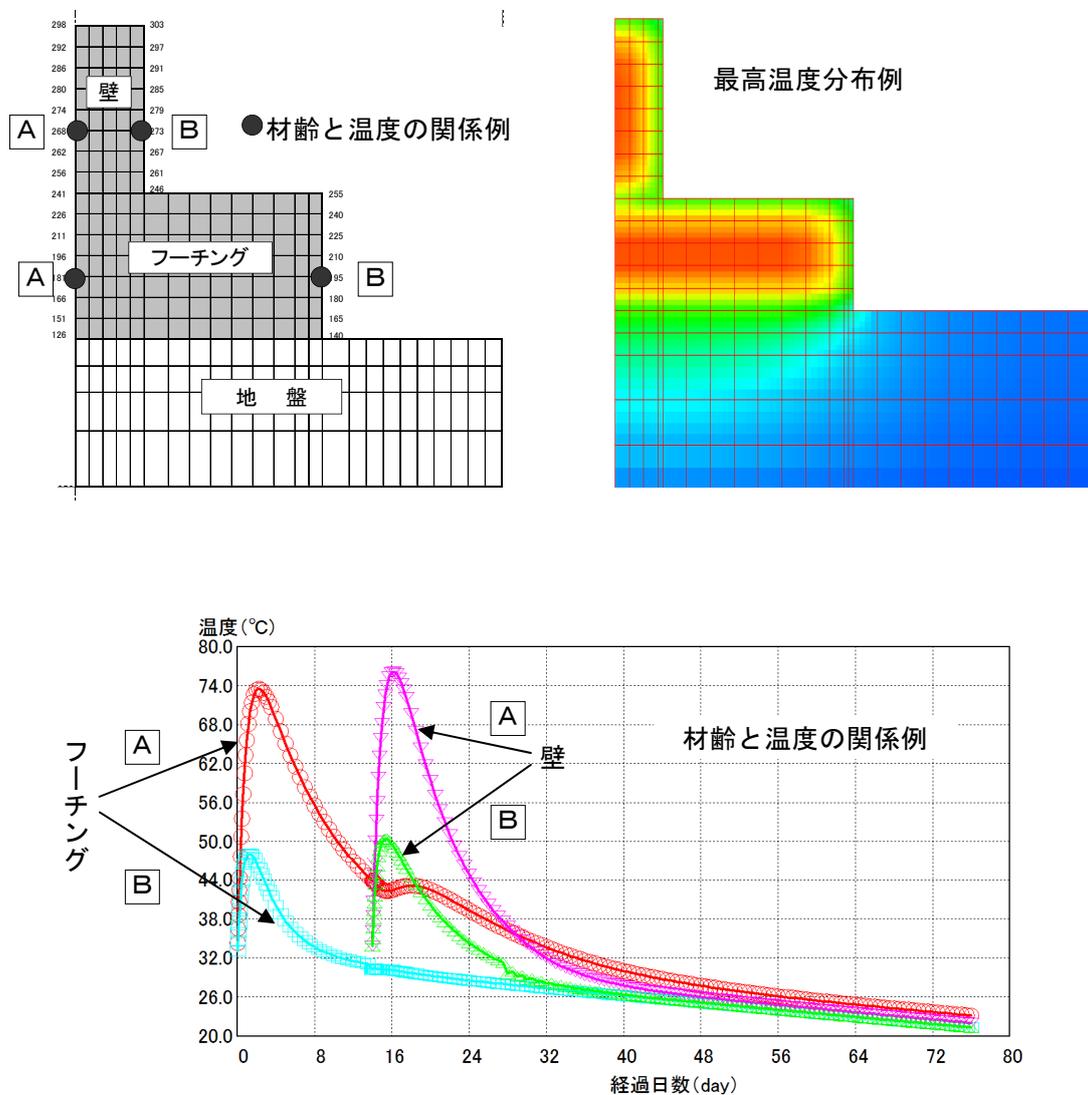


図 3.5.3 温度解析結果の出力例

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[A]と[B]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。

「最小ひび割れ指数分布図」では、各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(案)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。

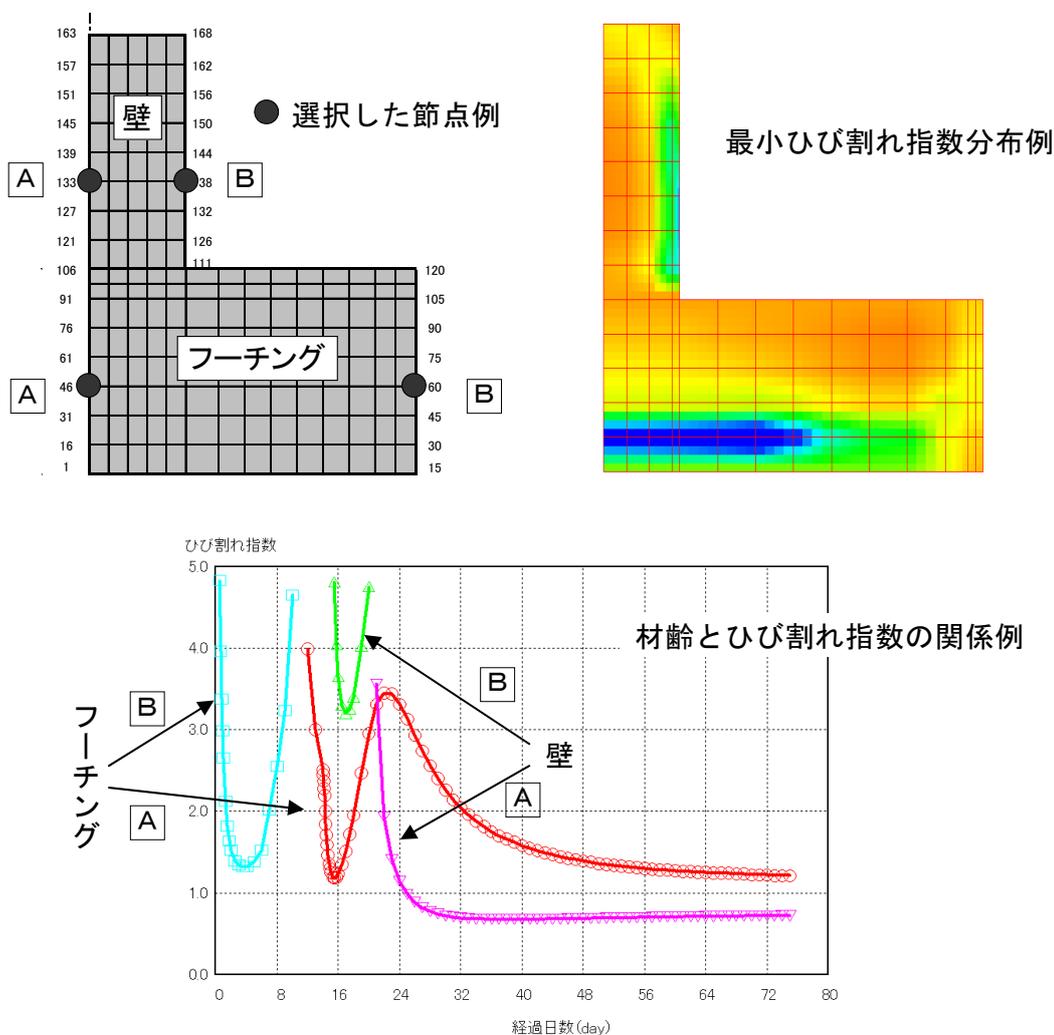


図 3.5.4 温度応力解析結果の出力例

(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。特徴は以下のとおりである。

- ・内部拘束卓越型：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。
- ・外部拘束卓越型：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、解析結果では、図 3.5.6 に示すように、前リフト部のひび割れ指数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(硬化した前リフト部と次リフトとの境界面では実際には、すべり等が生じると考えられるが、これが反映されていない)。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の低下は考慮されていない。九州地方整備局管内の直轄工事の施工事例におけるひび割れ実態調査結果によれば、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、次リフト打設直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。

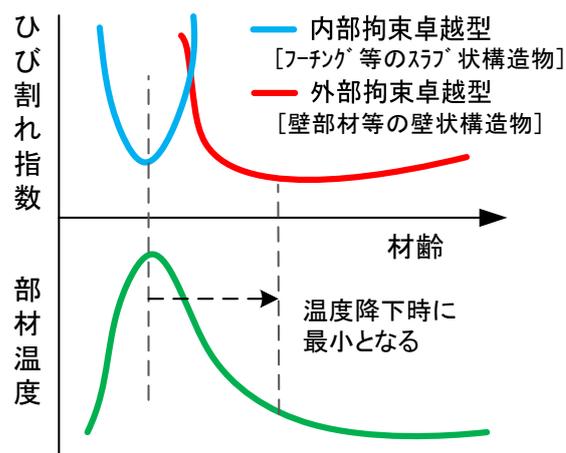


図 3.5.5 ひび割れ指数と温度のモデル

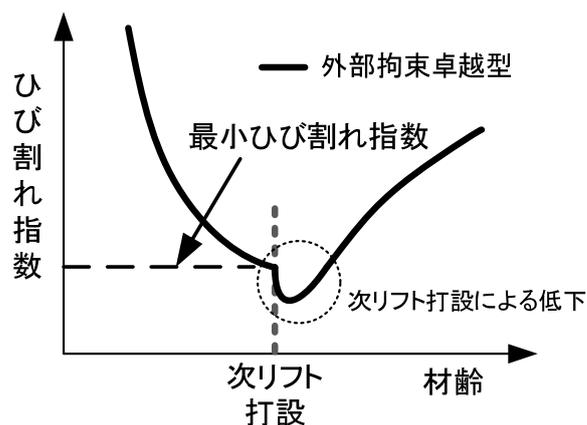


図 3.5.6 連続打設を行った場合のひび割れ指数のモデル

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ひび割れを抑制する。

- 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) 温度降下による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等があげられ、比較的容易に対応できるものもある。

一般に、単位セメント量が 10 kg/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、「構造物の重要度、構造物の機能・性能や耐久性に及ぼす影響、材料の供給能力、施工性、工期及び経済性等を総合的に勘案し、実効性が高く実現可能な対策方法を選定」する必要がある。

特に、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、実現可能な対策としなければならない。また、必要に応じて耐久性について再照査を実施しなければならない。

指針(案)「2.3.2 温度ひび割れの照査」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。

低発熱型のセメントの使用について

- 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。
(強度を保証する材齢を 28 日強度から 56 日強度へ変更する必要がある、等)。
※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必要があるため、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。
※施工工程や工期への影響を考慮する必要がある。
- 品質管理を適切に行うために、事前に試験練りを行い材齢と強度の関係を求めておく。
- セメントの種類の変更により、塩化物イオンの侵入、アルカリシリカ反応、化学的侵食に対する抵抗性が低下する場合があるため、耐久性の確保に注意する必要がある。場合によっては、耐久性について再照査が必要となる。

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。はりや壁部材等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（気泡緩衝材等）

○気泡緩衝材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。しかし、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るため、脱型後の保温・保湿対策も重要である。

養生期間

○養生期間は長い方が望ましいが、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

○低発熱型のセメントやフライアッシュ、高炉スラグ微粉末等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

○断面欠損率は50%程度以上とする。
○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、十分な検討が必要である。なお誘発目地に関しては「資料-3 ⑤ひび割れ誘発目地の使用上の留意点」を参照されたい。

ひび割れ制御鉄筋等

○ひび割れ幅の制御のため、鉄筋やひび割れ低減用のネットを採用する場合は、構造物や部材の形状や要求される性能等を踏まえ、許容されるひび割れ幅を適切に設定し、配置等を検討する必要がある。

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等に，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