

コンクリート構造物の品質確保・向上の手引き（案）

【設計編】

中国地方整備局 中国技術事務所

平成 27 年 3 月

はじめに(案)

国民生活やあらゆる社会経済活動は、インフラによって支えられています。これらのインフラのうち、高度成長期以降に集中的に整備されたインフラが今後一斉に高齢化することが懸念されています。近年では、緊急的に整備された箇所や、立地環境の厳しい場所などにおいて、一部の施設で老朽化による変状が散見しはじめており、今後も老朽化が進んでいく状況にあります。

中国地方においてもこの傾向が見られており、コンクリート構造物の損傷として「ひび割れ」、「かぶりコンクリートの剥離・鉄筋露出」等が多く見られています。

インフラの大半を占めるコンクリート構造物は、設計、材料、施工、維持管理(巡回・巡視)の建設プロセスにより構築されています。損傷の要因は、特定の建設プロセスに限定したものではなく、設計、材料、施工、維持管理(巡回・巡視)までの一連の建設プロセスの中で複合的に関与しているものと考えられます。このため、今後、コンクリート構造物を新設する場合は、これらの損傷要因から抽出した課題を解決し、コンクリート構造物の品質を確保・向上させることで、所定の耐久性を得ることが必要です。

これらの課題を解決するためには、コンクリート構造物の設計、材料、施工、維持管理(巡回・巡視)に関わる基本的かつ重要な事項について、各建設プロセスにおける技術者が十分理解し、相互に連携して、コンクリート構造物を構築することが重要です。

そこで、設計、材料、施工、維持管理(巡回・巡視)の各建設プロセスの専門家で構成するアドバイザーから意見を伺い、設計、材料、施工、維持管理(巡回・巡視)までの個別かつ一連の建設プロセスを包括した統合的な技術的留意点(ポイント)を作成しました。なお、この技術的留意点(ポイント)は中国地整管内の初期欠陥事例及びアンケート結果で得られた鉄筋腐食防止の観点から、主に3つの項目(ひび割れ抑制対策、かぶり厚確保、充填不良対策)でまとめたものです。さらに、三者会議の実施内容の明示やチェックリストの作成により、各技術者の責任の分担の明確化を図りました。これを設計、材料、施工、維持管理(巡回・巡視)の各建設プロセスに関わる技術者の方々が、十分理解され、ご活用頂くことにより、新設コンクリート構造物の品質確保・向上ひいては長寿命化につながることを期待するものです。

なお、手引き(案)の内容は、「①共通仕様書等の内容を分かりやすく示したもの」と「②共通仕様書等の内容を一部超えたもの」で構成され、これらの割合は各編で異なります。特に、温度ひび割れ抑制対策は、「②共通仕様書等の内容を一部超えたもの」に関連する内容を示しています。

本編は、「①共通仕様書等の内容を分かりやすく示したもの」と「②共通仕様書等の内容を一部超えたもの(ひび割れ抑制対策、充填不良対策)」です。

コンクリート構造物の品質確保・向上の手引き（案）

【設計編】

<目次>

1. 基本原則（設計段階）	1
2. 一般	3
3. ひび割れ抑制対策	5
3.1. 温度応力解析	7
3.2. 解析結果の評価	9
3.3. 温度ひび割れ対策	11
4. かぶり厚確保	13
5. 充填不良対策	15
5.1. 過密配筋対策	15
5.2. スランプの検討	17
チェックリスト【設計編】	22
【参考資料】 温度応力解析例の条件	22
【参考文献】	33

対象構造物と用語の定義

対象構造物：

新設の橋梁やその他の鉄筋・無筋コンクリート構造物
(PC や舗装、ダムなどの特殊なコンクリート構造物を除く)

品質：

設計、材料、施工、維持管理(巡回・巡視)の各建設プロセスまたは全体における、コンクリート及び構造物の特性。その特性や集まりが要求性能を満たす程度。

ISO9001:本来備わっている特性の集まりが、要求事項を満たす程度¹⁾

耐久性：

構造物中の材料の劣化により生じる性能の経時的な低下に対して構造物が有する抵抗性。²⁾

不具合：

竣工までにコンクリート構造物のある部位、または箇所が所定の性能や機能を満たしていないこと、あるいはその状態³⁾

初期欠陥：

不具合発生後の対応が適切でなかったために、構造物の要求性能や機能が満足しないまま竣工後に残存している状態。³⁾

1. 基本原則(設計段階) ポイント

- 設計意図、仕様、耐久性向上に必要な事項を施工者に確実に伝達
- 設計、施工の双方から多面的に検討
- 設計図書に必要事項を記載
- 施工前の三者会議は、引き継ぎ事項を説明し、不明確事項を明確化
- 施工後の三者会議は、品質に対する効果や課題などを把握し、次回設計へフィードバック

解説

1. 設計の位置づけ・役割

①設計段階では、構造物の建設計画（構造計画書）に基づき、構造物の配筋や断面形状、寸法等の構造詳細が設定され、設計図書等に記載して、次の段階へと引き継がれる。

新設コンクリート構造物の長寿命化を図るためには、耐久性を向上させることが不可欠である。このためには、設計段階で検討し、設計図書に明記しておかなければならない事項があり、ここでは「ひび割れ抑制対策」、「かぶり厚確保」、「充填不良対策」について示した。

従来は、施工段階での検討により、変更あるいは施工承認で実施されたと考えられる事項も含まれるが、この方法では十分な対策が取られない可能性があるため、設計段階から検討し、これを施工段階に確実に引き継ぐことが重要である。

2. 連携すべき事項

- ①設計段階での考え方
（設計の意図、品質向上・耐久性向上に関わる設計方針）
- ② コンクリートの仕様
（強度、スランプ、骨材最大寸法）
- ③ コンクリートの参考値
（水セメント比、単位水量、単位セメント量、セメントの種類等）
- ④ 耐久性向上に必要な検討結果
（ひび割れ抑制対策、かぶり厚確保、充填不良対策）
- ⑤ 耐久性向上に必要な材料、寸法、数量等
（例えば、ひび割れ誘発目地の種類、寸法、設置位置、数量等）

3. 連携方法

①設計、施工の技術者が連携して双方から多面的に検討し、作業を進めることが重要である。具体には、以下の方法で設計段階の情報を確実に施工段階に伝える。

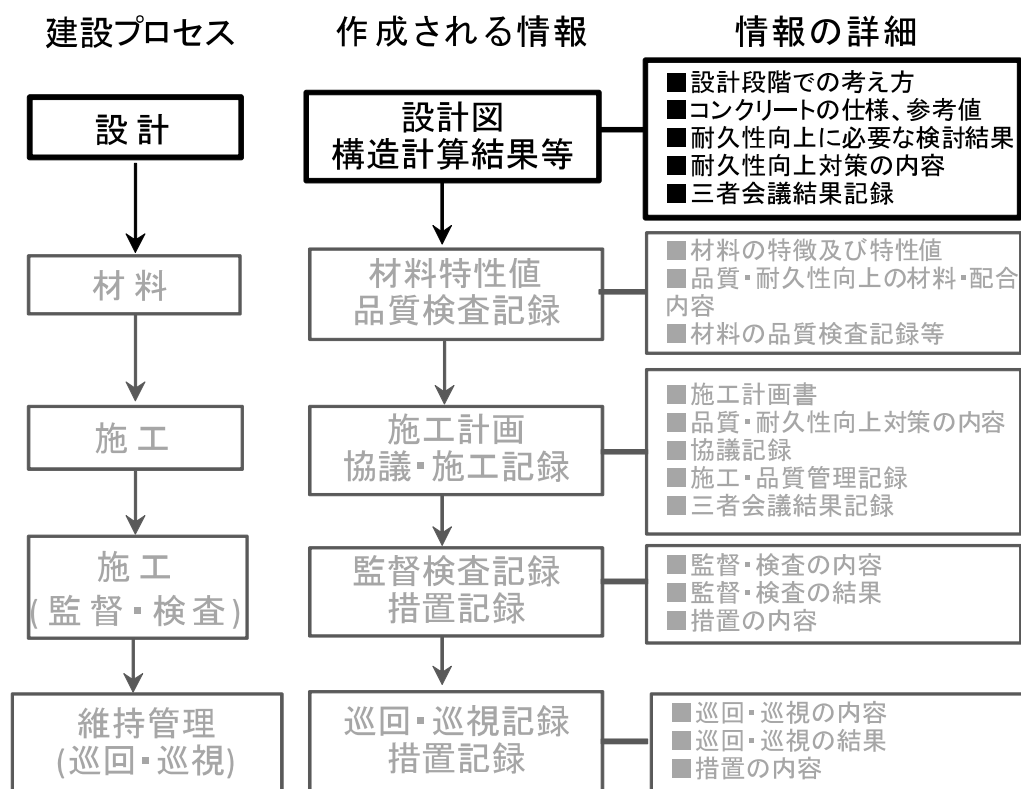
- ・設計図書に必要事項を記載する
- ・施工前の三者会議で、引き継ぎ事項を説明し、不明確事項を明確化することが望ましい
- ・施工後の三者会議で、品質に対する効果や課題などの報告を受け、今後の設計へフィードバックすることが望ましい
- ・チェックリストで確認した事項の記録や三者会議結果の記録を残し、引き継ぐ
- ・必要に応じて施工現場に行き、施工者との情報共有を図る

参考

【参考】1 建設プロセスの流れ（設計）

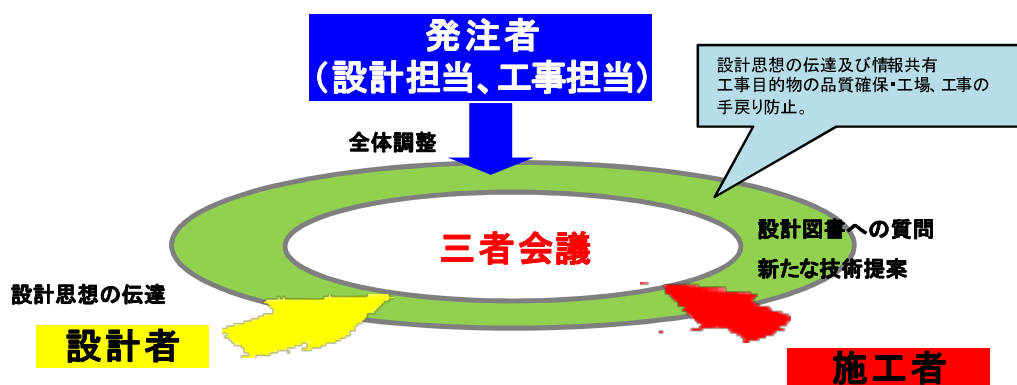


【参考】2 連携すべき事項（設計）



※本手引き（案）において「維持管理(巡回・巡視)」は供用開始後、定期巡回（道路）や目的別巡視（河川）で初期欠陥を発見し、措置を行うことを指す。

【参考】3 三者会議のイメージ⁴⁾



2. 一般 ポイント

- ひび割れ抑制対策
- かぶり厚確保
- 充填不良対策

解説

1. 設計

①本編は、コンクリートの長寿命化を図るために、新設時に配慮すべき事項のうち、設計段階での留意点を「ひび割れ抑制対策」「かぶり厚確保」「充填不良対策」の視点でまとめたものである。

ここで言う「設計段階」とは、コンクリート構造物の詳細設計を対象としており、主として、寸法・細目・材料仕様に关わるものを決定する行為の全般を示す。

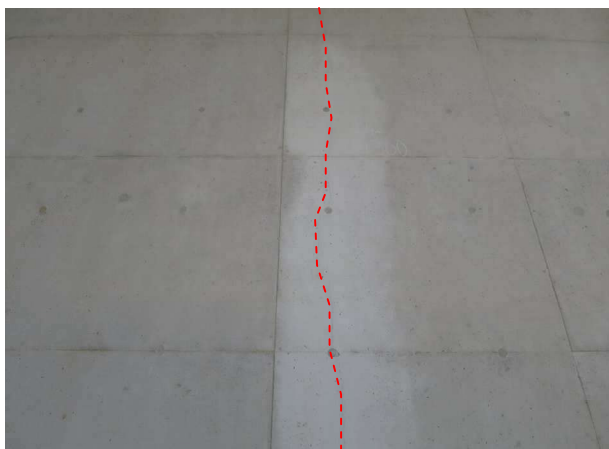
2. 適用範囲

①一般に予備設計においては、構造形式や基本緒元を決定するまでの作業であり、詳細な寸法、材料仕様については定めない。本書で扱う項目は詳細な寸法、材料仕様を定める上での留意点であるため、予備設計は対象外とする。

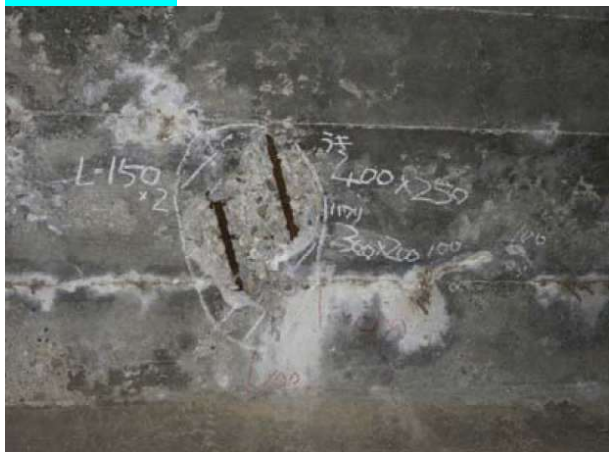
ただし、詳細設計において断面寸法決定上の自由度の制限が大きくなる場合など、予備設計の段階においても影響が考えられる場合は、本書を参考にして検討するのがよい。これは、建築限界に対して余裕の小さい箇所に橋脚を設置する場合などが考えられる。

参考

【参考】1 温度ひび割れの事例



【参考】2 かぶり厚不足による鉄筋露出の事例



【参考】3 充填不良による豆板（ジャンカ）の事例⁵⁾



3. ひび割れ抑制対策 ポイント

- ひび割れ抑制対策において効果が期待できる温度応力解析を実施することが望ましく、実施の際は発注者と協議
- ひび割れ抑制対策は、水和熱による温度応力に対して実施
- 以下の構造物については温度ひび割れ照査を実施
 - ・ 広がりのあるスラブ状の部材
 - ・ 下端が拘束された壁状の部材
 - ・ 断面が大きく柱状で水平打継目が設けられる構造物
- 照査の判定はひび割れ指数による
- 目標とするひび割れ指数は、所要の安全係数以上となるように設定

解説

1. 原則

- ① ひび割れ抑制対策において効果が期待できる温度応力解析は、新設コンクリート構造物の品質確保・向上の観点から、実施することが望ましい。
- ② 温度応力解析を実施する際は、発注者と協議することとする。
- ③ 設計におけるひび割れ抑制対策は、水和熱による温度応力に対して行うものとする。
- ④ 初期ひび割れは、乾燥収縮など様々な要因により発生するが、本手引き（案）では設計段階で検討することがとくに有効である「水和熱による温度応力」を対象とした。

2. 温度ひび割れ照査の対象

- 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の部材で、厚さが 80cm 以上のもの
 - (2) 下端が拘束された壁状の部材で、厚さが 50cm 以上のもの
 - (3) 比較的断面が大きく柱状で、短辺が 80cm 以上の部材で、施工上水平打継目が設けられる構造物

3. 温度ひび割れ照査の方法

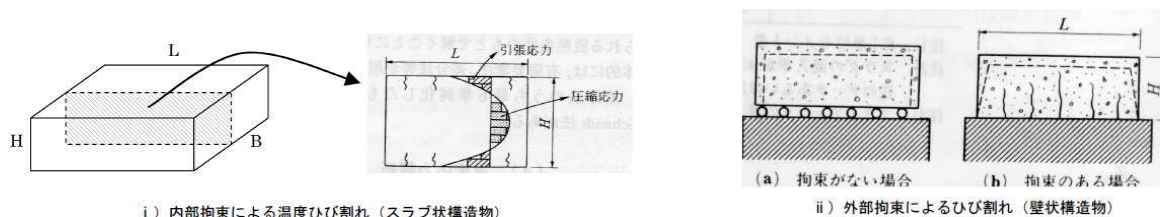
- ① 温度ひび割れに対する照査は、ひび割れ発生確率の限界値から定められるひび割れ指数により行うことを原則とする。

4. 目標とするひび割れ指数

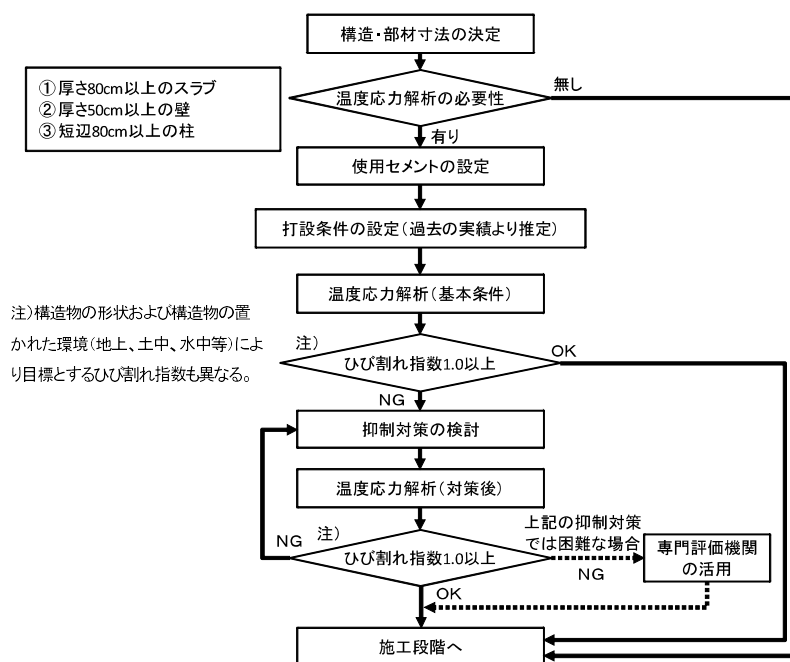
- ① ひび割れ抑制が必要な構造物は、ひび割れ指数を適切に設定する必要がある。構造物の要求性能に応じてひび割れの対策レベルを適切に定める（参考 3 参照）。

参考

【参考】1 温度応力発生モデル⁶⁾

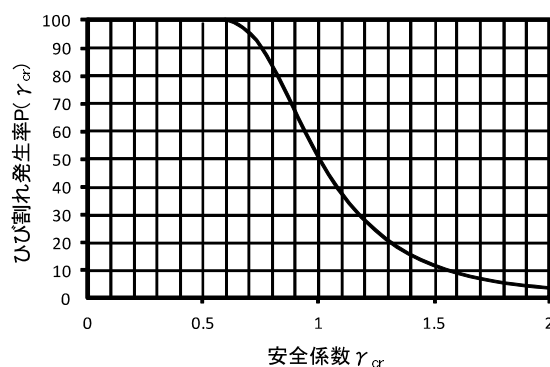


【参考】2 温度ひび割れ照査フロー（ひび割れ指数 1.0 の場合）⁶⁾



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）

【参考】3 ひび割れ指数⁷⁾



安全係数 γ_{cr} とひび割れ発生確率（3次元有限要素法）

3.1. 温度応力解析 ポイント

■温度応力解析は有限要素法により実施

■構造物の特性に応じてCP法、又は 3 次元有限要素法を選択

解説

1. 温度応力解析

①温度応力解析は有限要素法により行うこととする。

②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。

(1)2007 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）

※以下、CP 法 と称す。

(2)2012 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）

※以下、3 次元有限要素法 と称す。

2. CP 法

①CP 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。ただし、 L/H （長さ高さ比）が 3 以下、特に 2 以下の場合には前提条件である平面保持の仮定が大きく崩れるため、CP 法は適用できない。

3. 3 次元有限要素法

①3 次元有限要素法は断面形状が変化したり、複雑な形状の構造物にも適用可能である。

②CP 法と比較すると、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が、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ず、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。

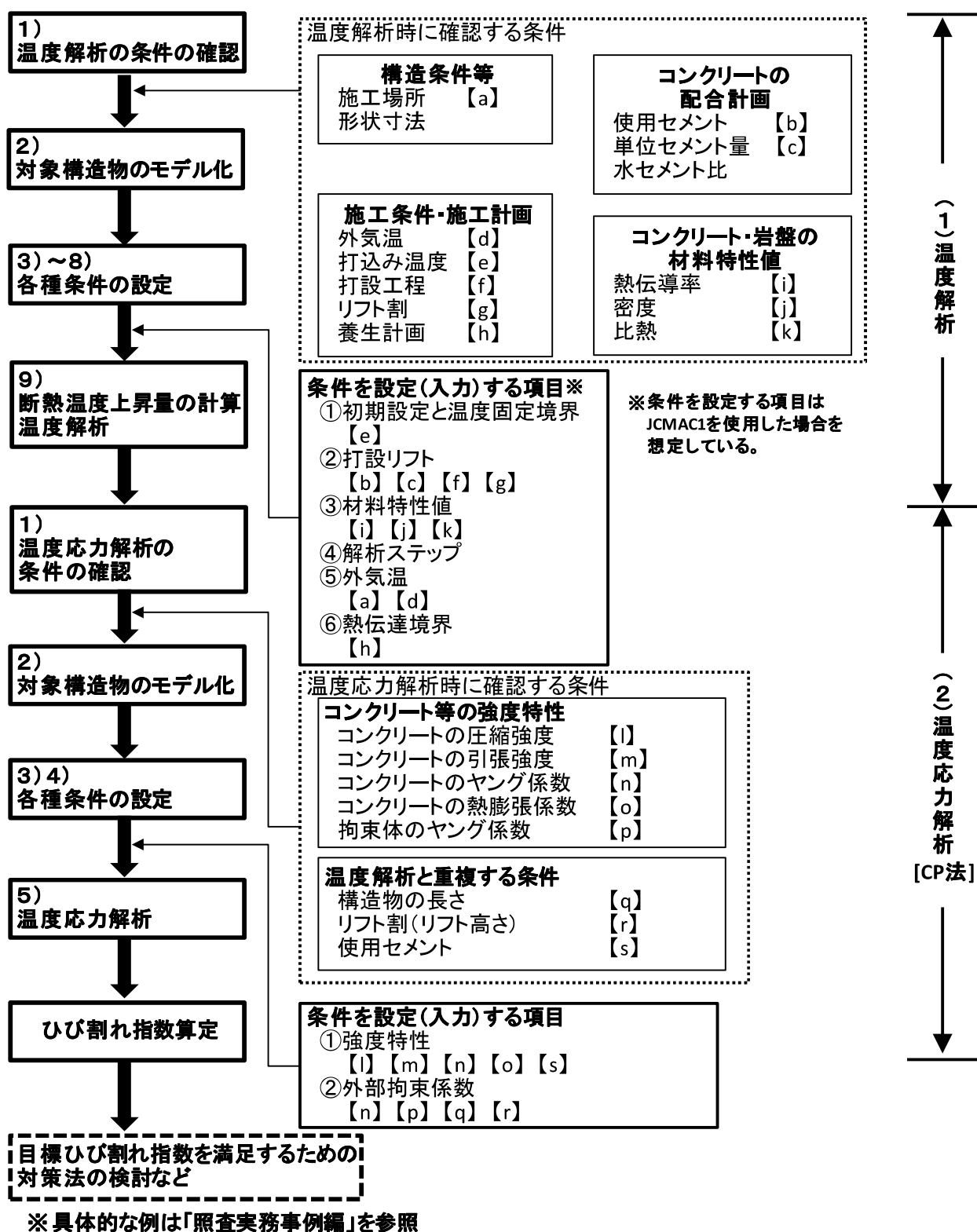
③比較的単純な形状の構造物は CP 法による温度応力解析によりひび割れ指数を算定し、複雑な形状の構造物は 3 次元有限要素法によることを基本とする

④3 次元有限要素法による場合は「土木学会 2012 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。

⑤必要に応じて、「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 2008」を参考とする。

参考

【参考】1 温度応力解析フロー⁸⁾



※解析例の条件を【参考資料】に記載

3. ひび割れ抑制対策

3.2. 解析結果の評価

ポイント

■解析結果から、内部拘束と外部拘束のいずれが卓越しているか判定

解説

1. 解析結果の出力

①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。

②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。

2. 解析結果の評価

①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分される。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。

3. 内部拘束卓越型

①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。

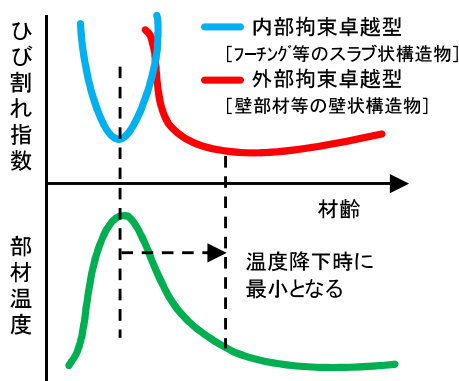
4. 外部拘束卓越型

①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。

②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、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、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。

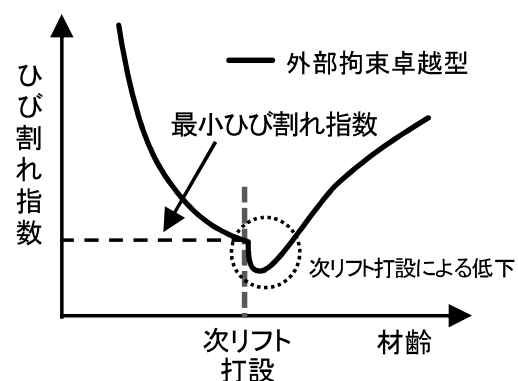
参考

【参考】1 内部拘束型と外部拘束型のひび割れ指数との関係⁸⁾

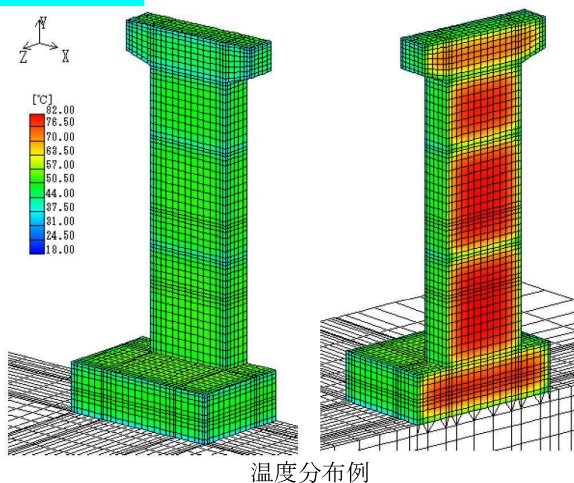


【参考】2 外部拘束卓越型の壁部材等におけるひび割れ指数の変化について⁸⁾

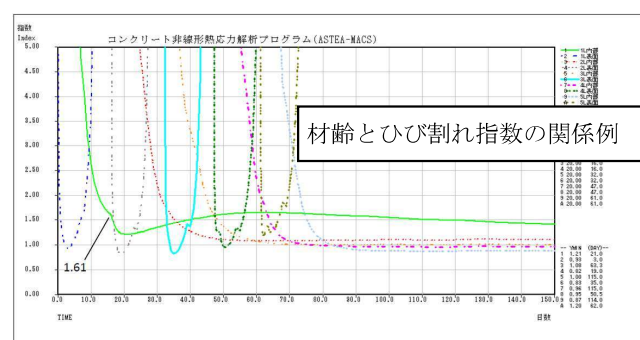
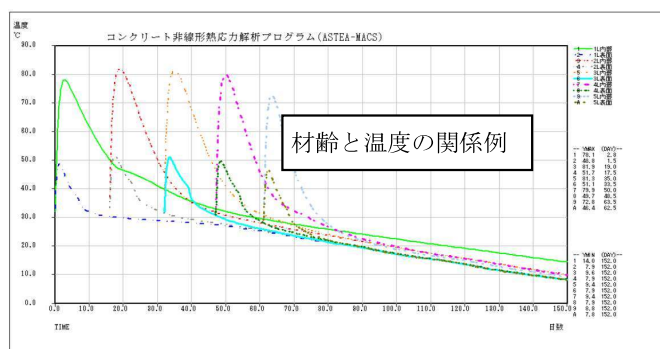
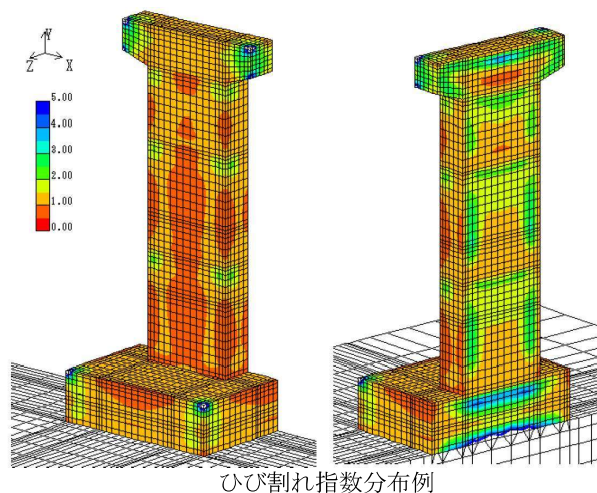
外部拘束卓越型の壁部材等をリフト割りして打設する際は、前リフト部のひび割れ指数が次リフト打設直後に急低下する。



【参考】3 解析結果の出力例



【参考】4 温度応力解析結果の出力例



3. ひび割れ抑制対策

3.3. 温度ひび割れ対策

ポイント

■ひび割れ誘発目地の断面欠損率は 50%程度以上に設定

解説

1. 温度ひび割れ対策

①温度ひび割れ照査の結果、ひび割れ指数が 1.0 未満の場合には、以下に示すひび割れ抑制対策を行う（併用可）。

- (1)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
- (2)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
- (3)発生する温度応力を低減する方法

②この中でも、(1)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挙げられ、比較的容易に対応できるものもある。

③一般に、単位セメント量が 10kg/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だけでは 8°C 、骨材だけでは 2°C 、練混ぜ水だけでは 4°C 低下させるとコンクリートの温度が 1°C 低下する。

2. 温度ひび割れ対策の検討

①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。

②温度収縮や乾燥収縮によるひび割れの対策は、事前に照査を行い比較的成本をかけて対策を施しても、施工時期の気温等にも左右されるため、完全にひび割れを防止あるいは抑制することは困難である。

3. ひび割れ誘発目地の設置

①下端が拘束され外部拘束が卓越するような壁部材等においては、あらかじめひび割れ誘発目地を設置することで、ひび割れを特定した場所に直線に誘発し補修を行いやすいように対処しておくことは、耐久性や見た目の観点からも有効な対策の一つである。この場合断面欠損率は 50%程度以上とする。

参考

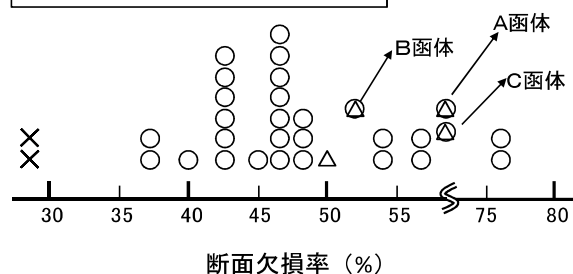
【参考】1 温度ひび割れ対策の例⁶⁾

解説 表2.3.3 温度ひび割れ抑制対策の例

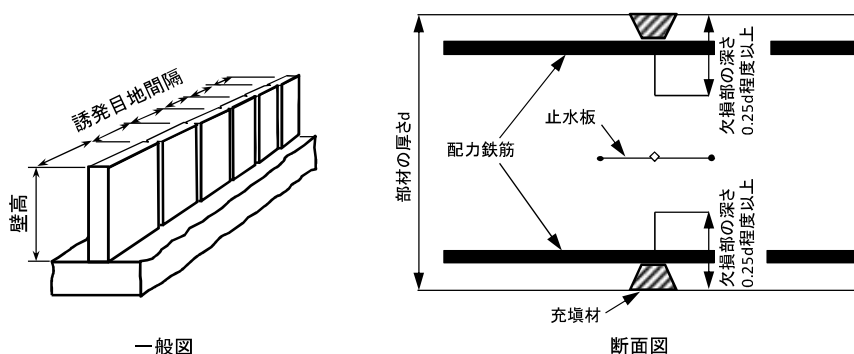
分類	抑制対策
内部拘束・外部拘束 共通	- 工場製品の使用 - 単位セメント量の低減 - 打込み区画(リフト割り)の変更 - フレッシュコンクリートの打設時温度の低減 - コンクリートの温度上昇の抑制 - 低発熱型セメントの使用
内部拘束	部材内外の温度差の抑制
外部拘束	- ひび割れ誘発目地の設置 - 膨張材の使用

【参考】2 断面欠損率と温度ひび割れの関係⁹⁾

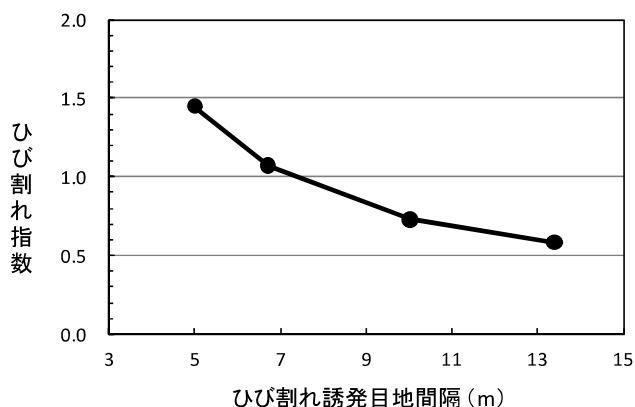
○ 誘発目地部内にひび割れ発生
 × 誘発目地部外にのみひび割れ発生
 △ ひび割れ発生せず



【参考】3 ひび割れ誘発目地の例¹⁰⁾



【参考】4 誘発目地間隔とひび割れ指数の例¹¹⁾



【設置間隔の検討例 (壁状構造物)】

壁厚 (d) : 1.1m

壁高 (H) : 5.1m

長さ (L) : 13.4m