

コンクリート構造物の品質確保・向上の手引き (案)

【設計編】

【本編中の記載凡例】

正体記載:「①共通仕様書等の内容を分かりやすく示したもの」

斜体記載:「②共通仕様書等の内容を一部超えた箇所」

中国地方整備局 中国技術事務所

令和4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、かぶりコンクリートの品質向上)」です。

「②共通仕様書等の内容を一部超えた箇所」は、斜体で記載しています。

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. 鉄筋のあき	17
5.3. スランプの検討	19
チェックリスト【設計編】	26
【参考資料】 温度応力解析例の条件	27
【参考文献】	37

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：

構造物が予定供用期間にわたり安全性、使用性および復旧性を保持する性能。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：

施工時に生じた変状のうち、有害となる可能性のあるひび割れや豆板、コールドジョイント、砂すじなどの変状。かぶり不足やPC グラウト充填不足などを含む。²⁾

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）
（例えば、設置環境が厳しい構造物、または、損傷しやすい部位に透水性型枠を使用（「施工編（8、16章）参照」）すること等）

3. 連携方法

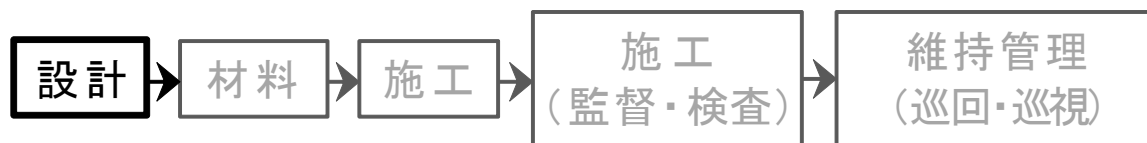
①設計、施工の技術者が連携して双方から多面的に検討し、作業を進めることが重要である。

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。

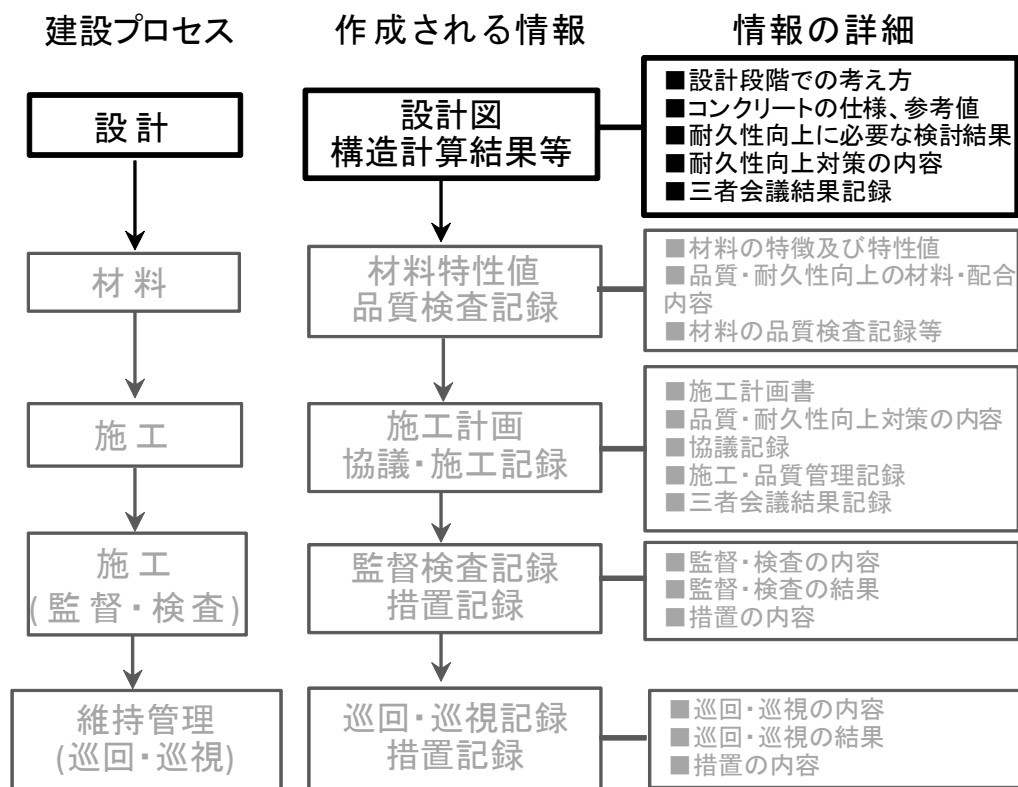
- ・設計図書に必要事項を記載する
- ・施工前の三者会議で、引き継ぎ事項を説明し、不明確事項を明確化することが望ましい
- ・施工後の三者会議で、品質に対する効果や課題などの報告を受け、今後の設計へフィードバックすることが望ましい
- ・チェックリストで確認した事項の記録や三者会議結果の記録を残し、引き継ぐ
- ・必要に応じて施工現場に行き、施工者との情報共有を図る

参考

【参考】1 建設プロセスの流れ（設計）

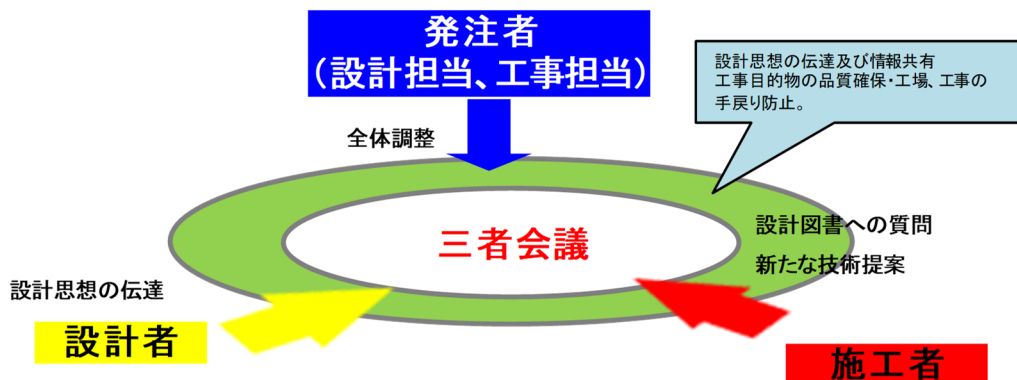


【参考】2 連携すべき事項（設計）



※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・材料仕様に関わるものを決定する行為の全般を示す。

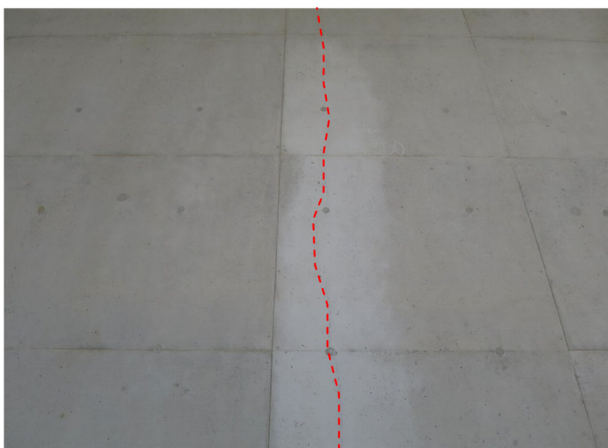
2. 適用範囲

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。

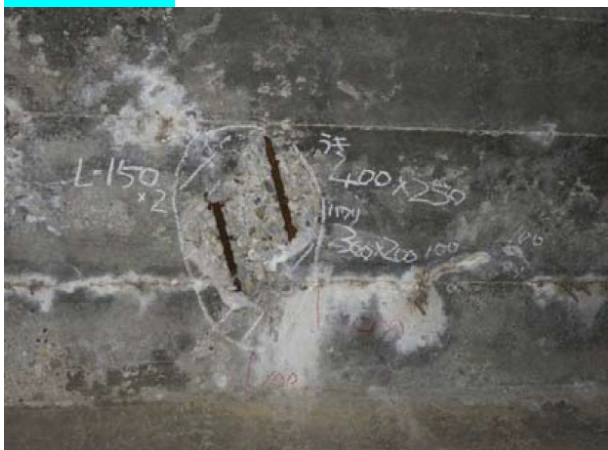
ただし、詳細設計において断面寸法決定上の自由度の制限が大きくなる場合など、予備設計の段階においても影響が考えられる場合は、本書を参考にして検討するのがよい。これは、建築限界に対して余裕の小さい箇所に橋脚を設置する場合などが考えられる。

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

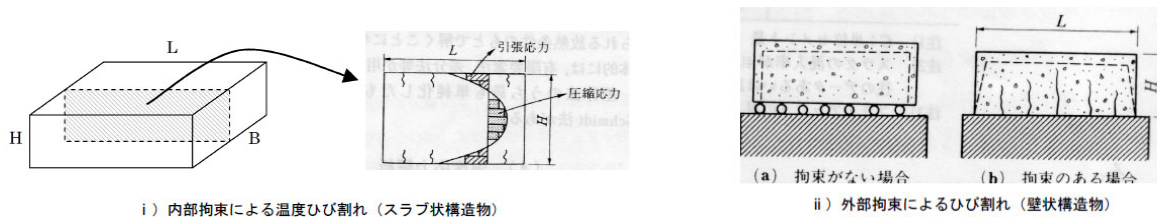
- ① 温度ひび割れに対する照査は、ひび割れ発生確率の限界値から定められるひび割れ指数により行うことを原則とする。

4. 目標とするひび割れ指数

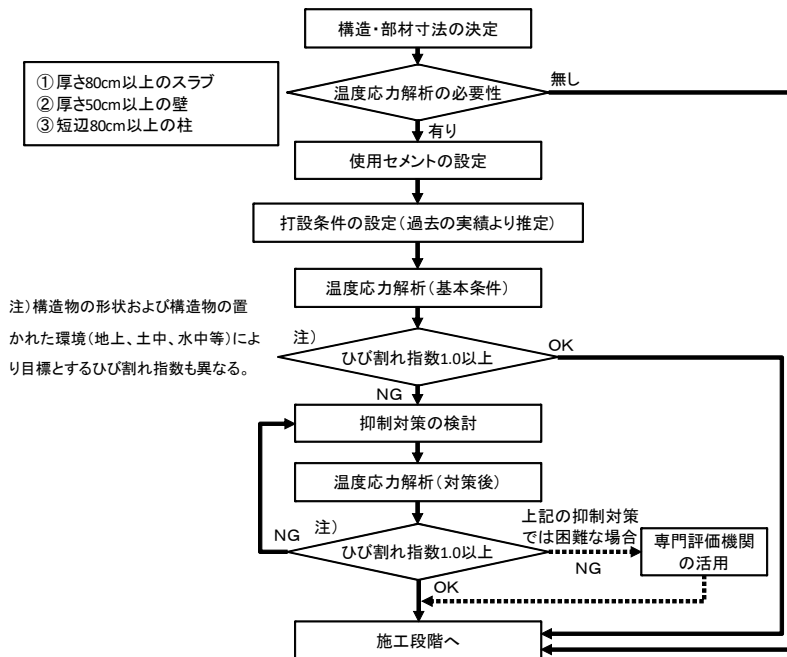
- ① ひび割れ抑制が必要な構造物は、ひび割れ指数を適切に設定する必要がある。構造物の要求性能に応じてひび割れの対策レベルを適切に定める（参考3参照）。

参考

【参考】1 温度応力発生モデル⁶⁾

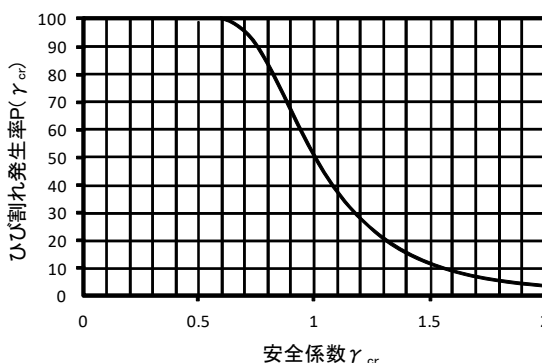


【参考】2 温度ひび割れ照査フロー (ひび割れ指数 1.0 の場合)⁶⁾



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)

一般的な配筋の構造物における標準的なひび割れ発生確率と安全係数

(3次元有限要素法)

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γ_{cr}
ひび割れを防止したい場合	5%	1.85以上
ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	15%	1.40以上
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※	50%	1.0以上

※ひび割れ指数 1.0 以上の対策レベルであっても、許容ひび割れ幅を超えても良いわけではない。また、鉄筋比が 0.25% 以上であること。

3. ひび割れ制御対策

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)2017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1~1.3の構造物にはCP法を適用できない。

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、または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。

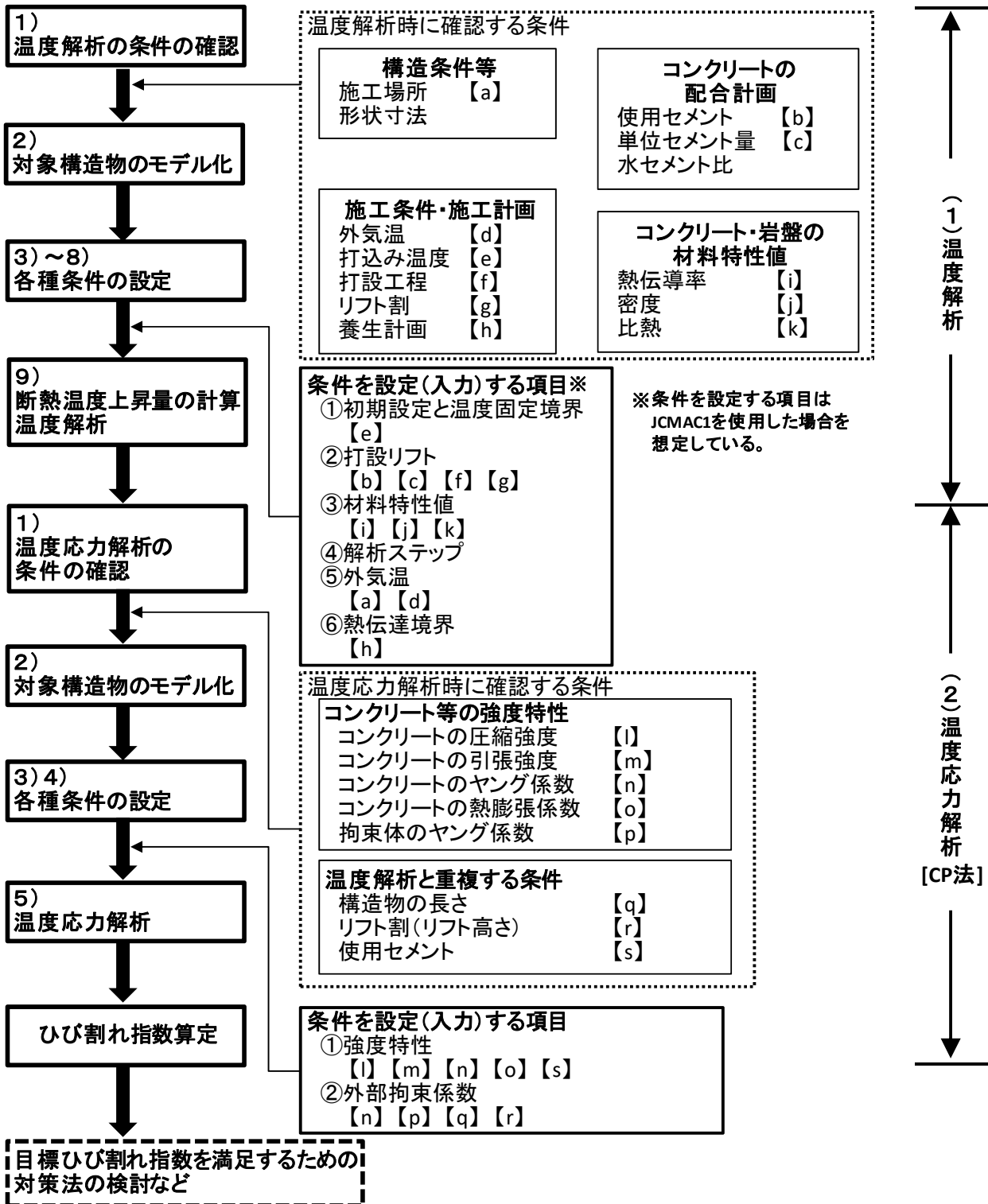
③比較的単純な形状の構造物はCP法による温度応力解析によりひび割れ指数を算定し、複雑な形状の構造物は3次元有限要素法によることを基本とする

④3次元有限要素法による場合は「土木学会 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。

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 2016」を参考とする。

参考

【参考】1 温度応力解析フロー⁸⁾



※具体的な例は「照査実務事例編」を参照

※解析例の条件を【参考資料】に記載

3. ひび割れ制御対策

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。

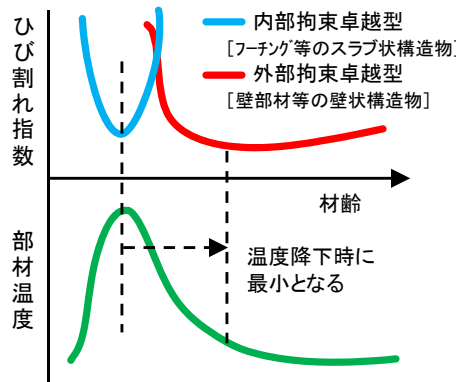
4. 外部拘束卓越型

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。

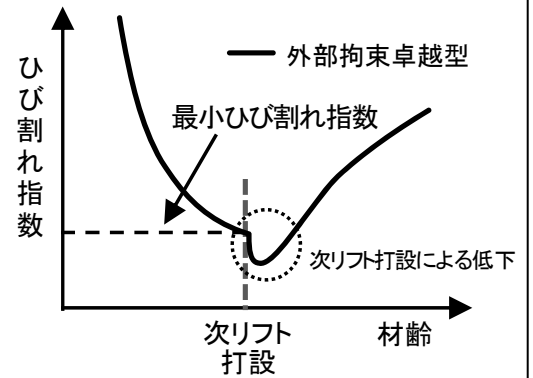
参考

【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⁾

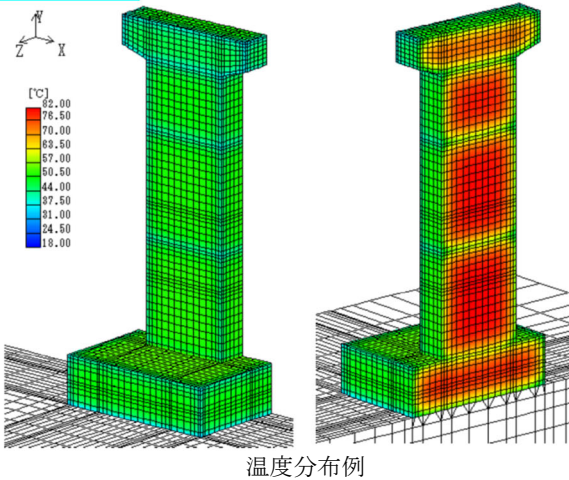


【参考】2 外部拘束卓越型の壁部材等におけるひび割れ指数の変化について⁸⁾

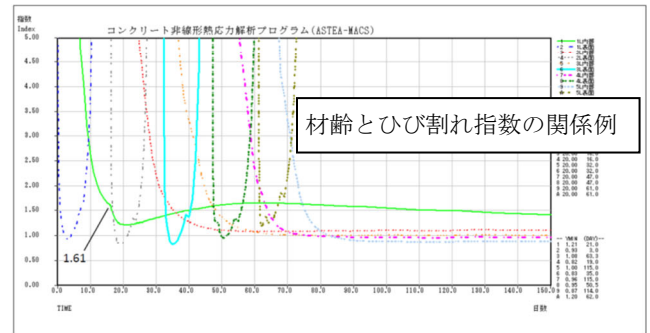
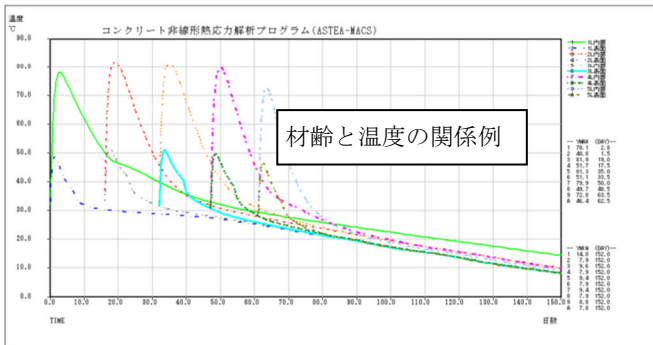
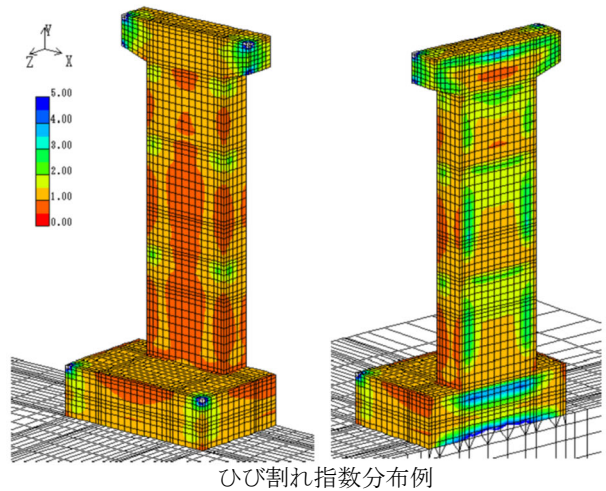
外部拘束卓越型の壁部材等をリフト割りして打設する際は、前リフト部のひび割れ指数が次リフト打設直後に急低下する。



【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. ひび割れ制御対策

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

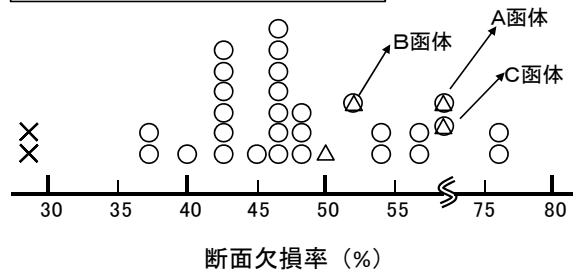
【参考】1 温度ひび割れ対策の例⁶⁾

解説 表2.3.3 温度ひび割れ抑制対策の例

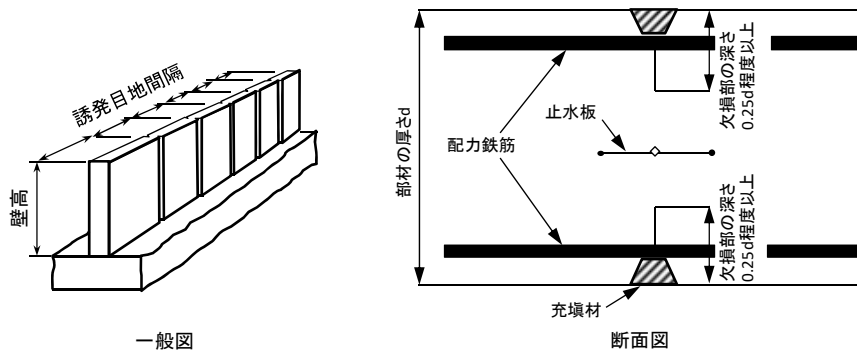
分類	抑制対策
内部拘束・外部拘束 共通	<ul style="list-style-type: none"> ・工場製品の使用 ・単位セメント量の低減 ・打込み区画(リフト割り)の変更 ・フレッシュコンクリートの打設時温度の低減 ・コンクリートの温度上昇の抑制 ・低発熱型セメントの使用
内部拘束	<ul style="list-style-type: none"> ・部材内外の温度差の抑制
外部拘束	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ誘発目地の設置 ・膨張材の使用

【参考】2 断面欠損率と温度ひび割れの関係⁹⁾

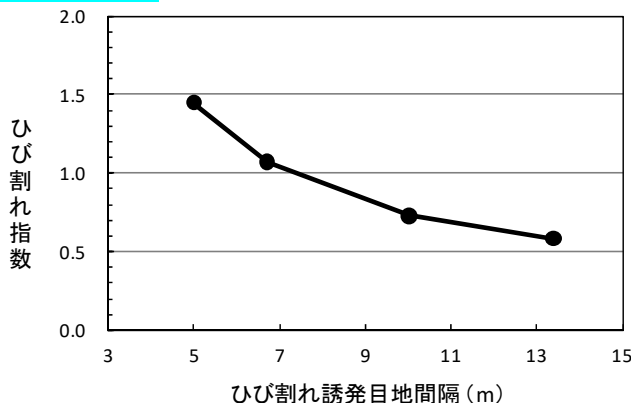
○ 誘発目地部にひび割れ発生
 × 誘発目地部外にのみひび割れ発生
 △ ひび割れ発生せず



【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

4. かぶり厚確保 ポイント

- かぶり厚の確保は、道路橋示方書に準ずることを原則
- かぶり厚詳細図を付記
- かぶり厚詳細図には、交差する鉄筋や表示部材以外からの影響も表示

解説

1. 原則

- ①かぶり厚の確保は、道路橋示方書に準ずることを原則とする。
- ②道路橋示方書が想定している「一般的な環境」及び「塩害環境」については、みなし規定によるかぶり厚の最小値が示されている。これに準じれば、コンクリート標準示方書の規定を満足するように設定されている。
- ③ただし、摩耗や化学的浸食の影響が大きいと考えられるなど、環境条件が厳しい場合には、「コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会 2017年）」を参考に、別途検討するのがよい。
- ④かぶり厚が適切に確保されず、コンクリート中の鋼材の腐食に対する抵抗性が十分でない場合、かぶり厚不足に起因する損傷が発生する可能性がある（写真）。



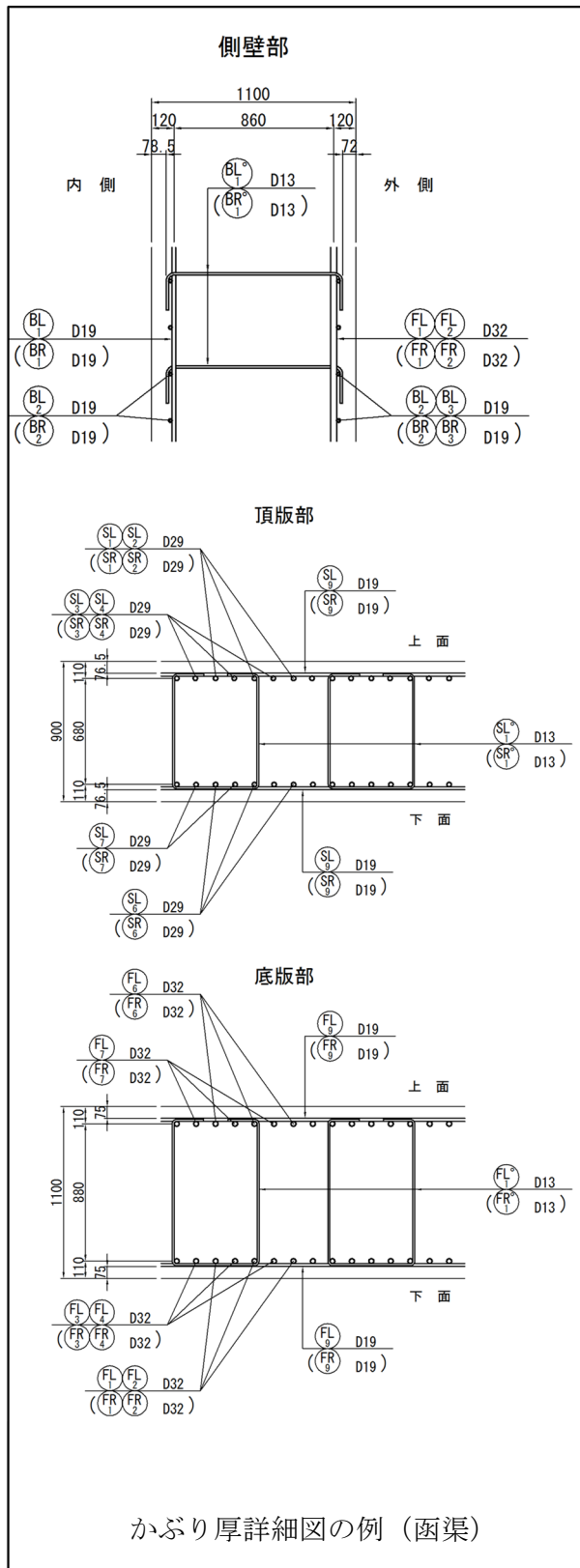
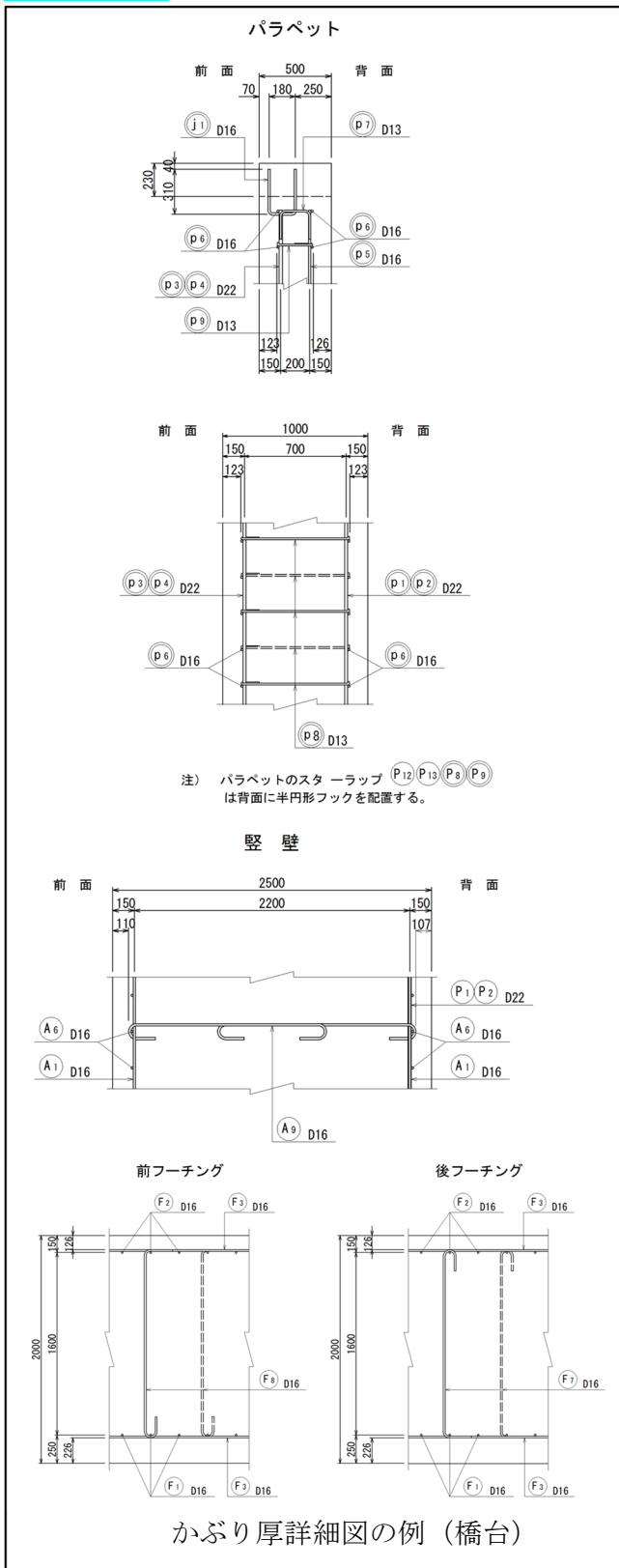
写真 かぶり不足に起因する損傷例

2. かぶり厚詳細図

- ①かぶり厚を確認すること、施工時に取り違えないようにすることを目的として、配筋図にはかぶり厚詳細図を付記することが望ましい。
- ②配筋図は平面で表示されるが、構造物は立体であるため、交差する鉄筋や、縦壁に挿入されるウイングからの鉄筋など、表示部材以外からの影響も考慮したかぶり厚詳細図を作成するのがよい。

参考

【参考】1 かぶり厚詳細図の例



単位（mm）

5. 充填不良対策

充填不良を生じさせる主な要因のうち設計で配慮することで効果的な対策が期待できるものとして以下の3点が挙げられる。

- 過密配筋の防止(軽減)
- 鉄筋のあき
- スランブの検討

5.1. 過密配筋対策 ポイント

- 鉄筋が3本以上重なる箇所での詳細寸法図作成・調整
- 端部調整箇所での詳細寸法図作成
- 端部調整を考慮した設計計算
- 配筋で調整できない場合は高流動コンクリートなどの検討

解説

1. 過密配筋の防止(軽減)

①標準設計をはじめとした配筋要領が各機関から提示されている。これらは細目における統一を図る上において有効な資料であるが、個別に設計される構造物においては、盲目的にこれらの配筋要領に準じているケースも見受けられ、結果的に必要以上の過密配筋、それに起因する充填不良を引き起こす恐れがある。

②施工時において、管理基準を超える鉄筋配置の変更は、設計への影響を確認する必要があるため「重ね継手、鉄筋交差部」及び「端部調整ピッチ」について、設計段階で留意し、過密配筋を防止(軽減)するのがよい。

2. 重ね継手、鉄筋交差部

①重ね継手部や鉄筋交差(鉛直鉄筋と水平鉄筋の交差)において、配筋図上は同一線上に存在する様な作図をすることが一般的である。しかし、施工においてはどちらかの鉄筋をずらさざるを得ないため、過密配筋を生じさせる要因となりうる。一般的には重ね継手を考慮して基本ピッチが設定されているが、他の部材との接合部(フーチングと堅壁、パラペットとウイングなど)においては、より多くの鉄筋が輻輳(特定の箇所に集中)することとなる。

②同一箇所において、3本以上の鉄筋が重なる場合には、詳細寸法図を作成し必要に応じて、次のような過密配筋防止(軽減)策を取るのがよい。

- ・鉄筋ピッチ、部材断面の変更(全体あるいは部分的)
- ・集中箇所の分散

③鉄筋過密部を考慮して設計計算(断面決定)を行うことが望ましい。

3. 端部調整ピッチ

①部材端部において鉄筋配置を調整する場合、調整箇所は基本ピッチ以下とすることが一般的であるが、上記のような交差鉄筋がある場合は過密配筋となりやすい。

②端部調整部は詳細寸法図を作成し、打設に問題があると判断された場合は、設計計算を確認（必要に応じて見直し）し、次の対策を取るのがよい。

- ・基本ピッチの変更（拡大）
- ・端部調整ピッチの拡大（基本ピッチ以上）

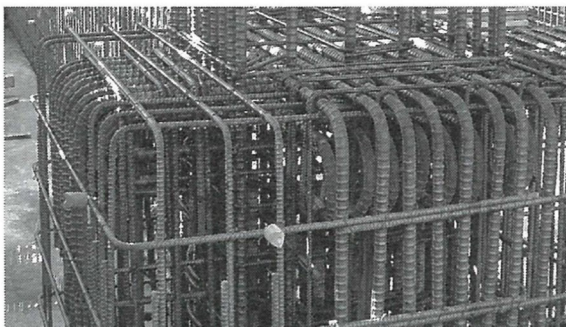
なお、予め端部調整を考慮して設計計算を行うことが望ましい。

③配筋で調整できない場合は高流動コンクリートの使用などを検討するのがよい。

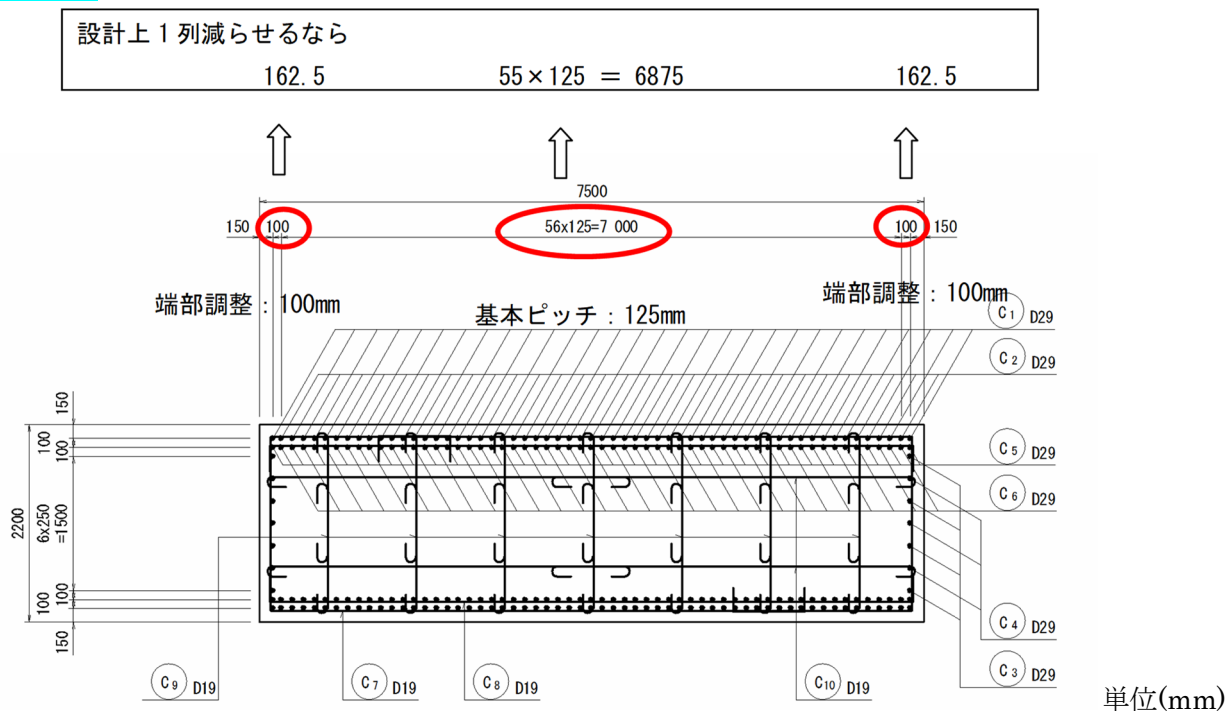
参考

【参考】1 鉄筋過密程度判定の目安⁵⁾

- ・50mm以上のあきが500mmに1箇所以上確保されていない。
- ・500mm以内に50mm以上のあきがない箇所はバイブレータ挿入が困難



【参考】2 端部調整の過密化防止策の例



5. 充填不良対策

5.2. 鉄筋のあき

ポイント

- 鉄筋のあきを確保し、コンクリートの打込みや締固め作業を考慮
- スラブ、はり、壁部材で、コンクリートの打込み口を確保
- コンクリートの締固めに使用する棒状バイブレータの形状を考慮
- 鉄筋のあきを確保できない場合、一時的に打込み口を確保できるように鉄筋径や鉄筋の配置に配慮し、コンクリートの打込み箇所は配筋図に明示

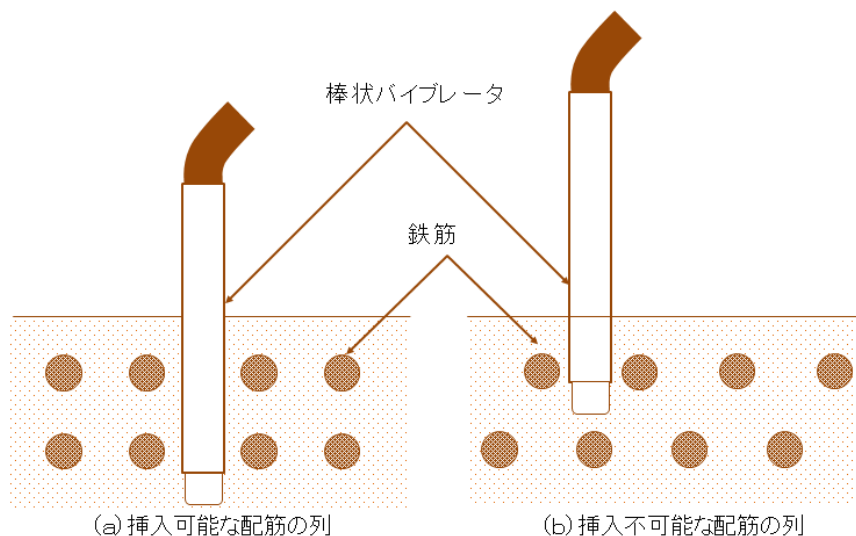
解説

1. 鉄筋のあきの検討

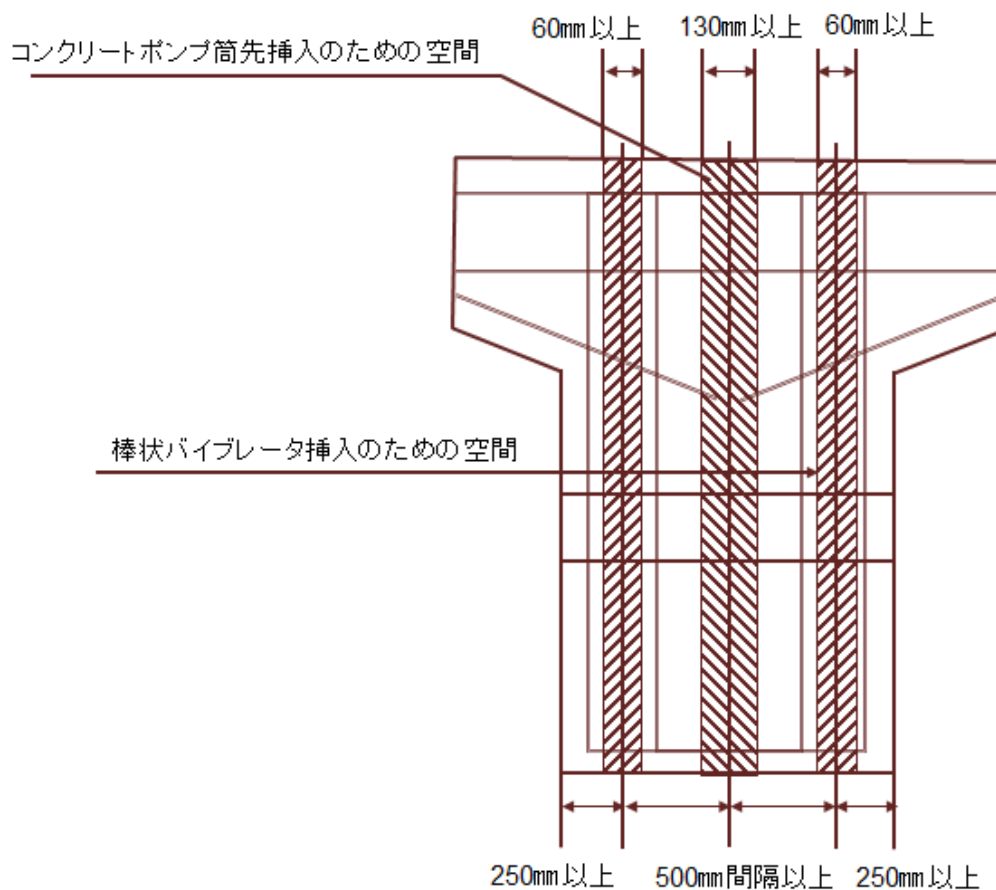
- ①鉄筋は、以下に示すあきを確保し、かつ、コンクリートの打込みや締固め作業を考慮して、配置を定めなければならない。
- ②スラブ部材では、水平に配置する鉄筋は、2～4m 毎に 125mm 以上のあきを、また、はりおよび壁部材では 4m 毎に 125mm 以上のあきを設ける等して、コンクリートの打込み口を確保するのがよい。
- ③コンクリートの締固めに際しては、一般に直径が 50mm 程度の棒状バイブレータが使用されるため、500mm 以下の間隔で棒状バイブレータが挿入できるように、50mm 程度の水平鉄筋のあきを確保する必要がある。
- ④やむをえず、これらのあきを確保できない場合でも、コンクリートの打込み時に一時的に鉄筋を移動させて打込み口を確保し、筒先を引き上げた後に所定の位置に戻すことができるように鉄筋径や鉄筋の配置に配慮するとともに、コンクリートの打込み箇所は配筋図に明示するのがよい。

参考

【参考】1 設計段階における施工性の確保の例¹²⁾



【参考】2 ポンプ筒先・バイブレータ挿入の空間確保の例¹²⁾



5. 充填不良対策

5.3. スランプの検討

ポイント

- スランプの設定は、発注者と協議して決定
- 構造種別とコンクリートの品質を考慮
- 設計書に荷卸し時の目標スランプの参考値（12cm）を表示
- 打込みのスランプ構造条件、施工条件を考慮し、ワーカビリティが満足される範囲内で、材料分離を生じないようにできるだけ小さく設定
- 打込みの最小スランプは、構造物の種類、部材の種類と大きさ、配筋条件、締固め作業高さ等の施工条件に基づいて選定
- 圧送に伴うスランプの低下量を考慮

解説

1. スランプの検討

- ①スランプの設定は、発注者と協議して決定する。
- ②構造種別とコンクリートの品質を考慮した上で、スランプを決定する。
- ③一般に、施工におけるスランプの確認は荷卸し時に行われる。設計書には荷卸し時の目標スランプを示す。なお、荷卸しの目標スランプの参考値を 12 cmとしてよい。
- ④打込みのスランプ構造条件、施工条件を考慮し、ワーカビリティが満足される範囲内で、材料分離を生じないようにできるだけ小さく設定する。
- ⑤部材の形状、かぶり厚の配筋状態、締固め作業高さなどにより、打込みの最小スランプは異なるため、これら施工条件に基づいて選定する。
- ⑥共通仕様書に標準的なスランプが示されているが、荷卸し後のコンクリート圧送に伴うスランプの低下量を考慮するのがよい。

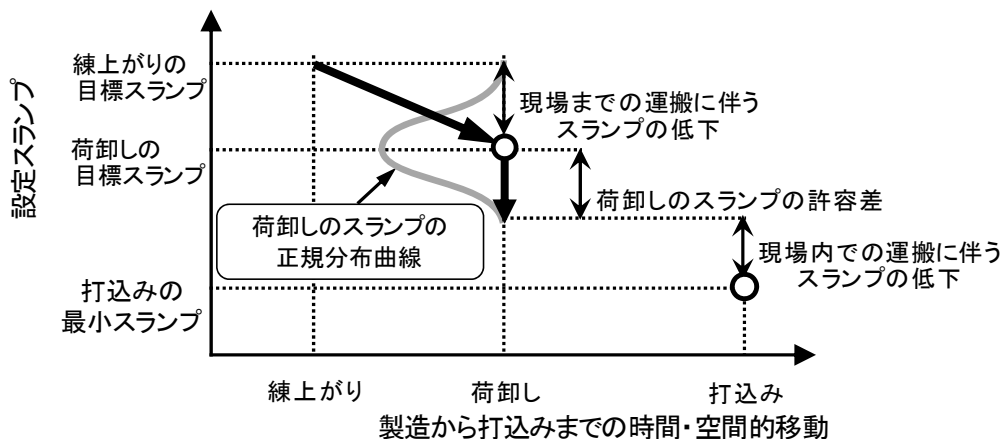
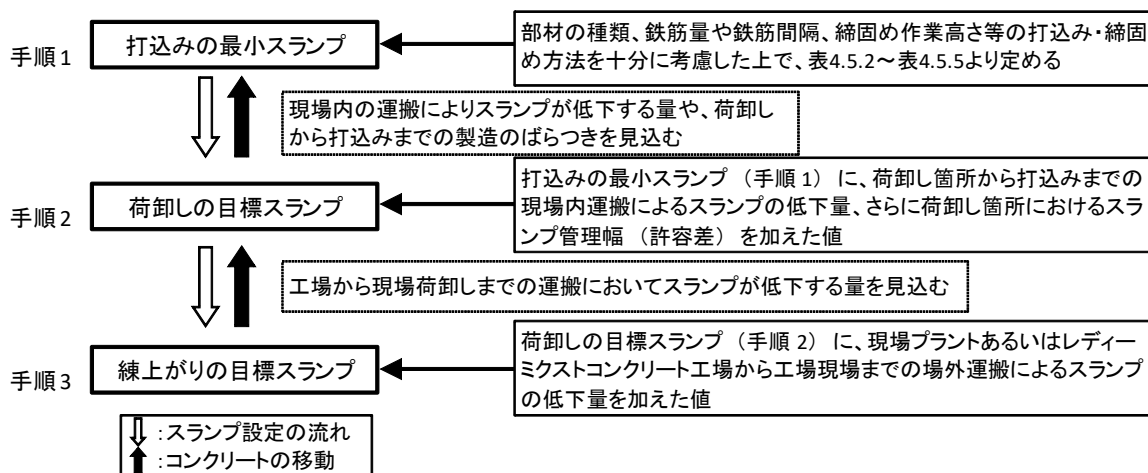


図 各施工段階の設定スランプとスランプ経時変化の関係¹⁰⁾

2. スランプの設定

①設計で指定するスランプは荷卸し時の値とし、これは施工条件等によるスランプ低下量を加味した上で設定するのがよい。



各施工段階のスランプの設定フロー¹⁰⁾

参考

【参考】1 構造種別とコンクリートの品質の考慮¹³⁾

コンクリートの流動性の選定

- (1) コンクリートの流動性はスランプを指標とし、打込みの最小スランプを考慮して施工者が適切に選定するものとする。
- (2) 使用するコンクリートの流動性を定める際には、構造物の種類、部材の種類と大きさ、鋼材量や配筋条件、コンクリートの運搬、打込み、締固め等の作業条件を適切に考慮するものとする。

【解説】

設計時に荷卸し時の目標スランプを定める時点では、一般的な鉄筋コンクリート構造物においては、これまでの実績等を踏まえ、荷卸しの目標スランプの参考値を 12 cm としてよい。

右図に示すスランプ変更の実態調査結果によれば、原設計の目標スランプが 8cm で、そのままの流動性では施工が困難と考えられる場合、これを 12cm に変更して施工していることが分かる。このことから、目標スランプを 12cm とすると、ほとんどの現場において、必要な施工性能を確保できることが期待される。

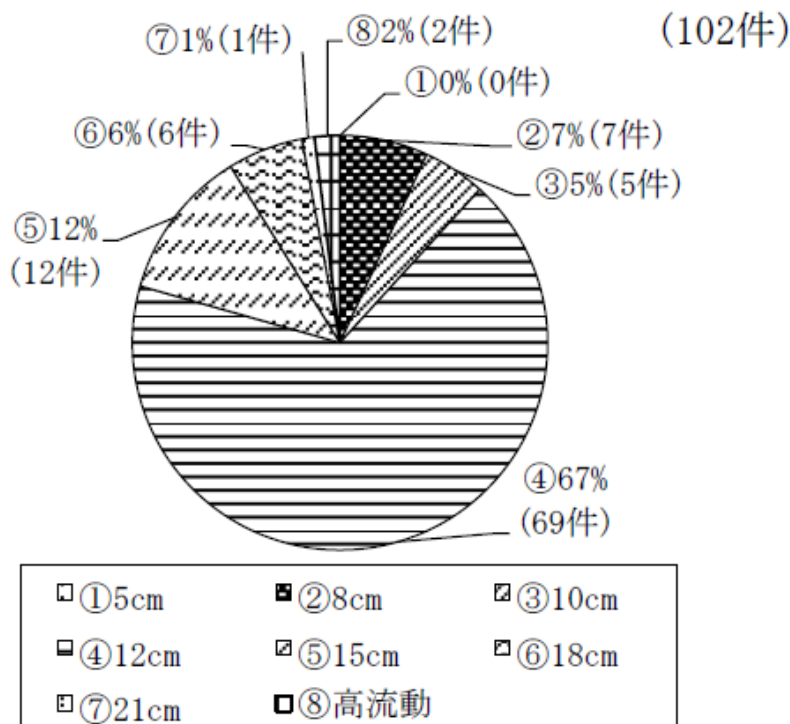


図 施工の際に変更した後の目標スランプの値
(設計時の目標スランプ 8cm)

【参考】2 構造物種別とコンクリートの品質の考慮⁷⁾

表 構造物種別とコンクリート品質の参考例 (2017年制定コンクリート標準示方書[設計編])

構造物	部材	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ ¹⁾ (cm)	空気量の範囲		耐久性から定まる水セメント比等				単位水量の上限値 (kg/m ³)	備考
				温暖地 (%)	寒冷地 (%)	セメント種別	最大水セメント比 (%)	セメント種別	最大水セメント比 (%)		
RC桁		20	12	4.5±1.5	5.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	45	175	
PC桁		20	12	4.5±1.5	5.5±1.5	普通ポルトランド	50	—	—	175	早強セメント使用
合成桁(床版)		20	12	4.5±1.5	5.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	45	175	
非合成桁(床版)		20	12	4.5±1.5	5.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	45	175	
橋脚・橋台	く体	20	12	4.5±1.5	5.5±1.5	普通ポルトランド	55	高炉セメント	45	175	
	桁受部	20	12	4.5±1.5	5.5±1.5	普通ポルトランド	55	高炉セメント	45	175	
	フーチング	40	8	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	55	高炉セメント	50	165	
ラーメン・橋台	スラブ、上層梁、柱、中層梁	20	12	4.5±1.5	5.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	45	175	
	地中梁	20	12	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	50	175	
	フーチング	40	8	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	50	165	
ボックスカルバート		20	12	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	45	175	
掘削トンネル		20	12	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	50	175	
ケーソン基礎		20	8	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	50	165	
深礎		40	12	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	50	165	
場所打ち杭		20	18	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	50	—	
地下連続壁		20	18	4.5±1.5	4.5±1.5	普通ポルトランド	50	高炉セメント	50	—	

表 直轄工事における構造物種別とコンクリート配合¹⁴⁾

使用区分	粗骨材の最大寸法 mm	スランプ 注1 cm	呼び強度 N/mm ²	単位セメント量 kg以上	水セメント比 %以下	空気量 %	セメントの種類	摘要
1号	40	8	18	—	60	4.5±1.5	高炉B	無筋構造物
2号	20 又は 25	12	24	—	55	4.5±1.5	高炉B	鉄筋構造物
3号	20 又は 25	18	30	350	55	4.5±1.5	高炉B	場所打杭 (深礎杭を除く)
4号	40	5	18	—	60	4.5±1.5	高炉B	砂防ダム

注1 荷卸の目標スランプ

参考

【参考】3 各部材における打込みの最小スランプの目安、施工条件に応じたスランプの低下の目安¹⁰⁾

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)

施工条件 ¹⁾²⁾		打込みの最小スランプ (cm)
締固め作業高さ	コンクリートの打込み箇所間隔	
0.5m未満	任意の箇所から打込み可能	5
0.5m以上 1.5m以下	任意の箇所から打込み可能	7
3m以下	2～3m	10
	3～4m	12

1) 鋼材量は100～150kg/m³、鋼材の最小あきは100～150mmを標準とする。

2) コンクリートの落下高さは、1.5m以下を標準とする。

表4.5.4 はり部材における打込み最小スランプの目安 (cm)

鉄筋の最小水平あき	締固め作業高さ ¹⁾		
	0.5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 ²⁾

1) 締固め作業高さの対象部材例

φ40mm程度の棒状バイブレーターを挿入でき、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。なお、0.5m未満:小はり等、0.5m以上1.5m未満:標準的なはり部材、1.5m以上:ディープビーム等である。

2) 十分な締固めが可能であると判断さえる場合は打込みの最小スランプを14cmとする。

十分な締固めが不可能であると判断される場合は、使用するコンクリートおよび施工方法を見直すか高流動コンクリートを使用する。

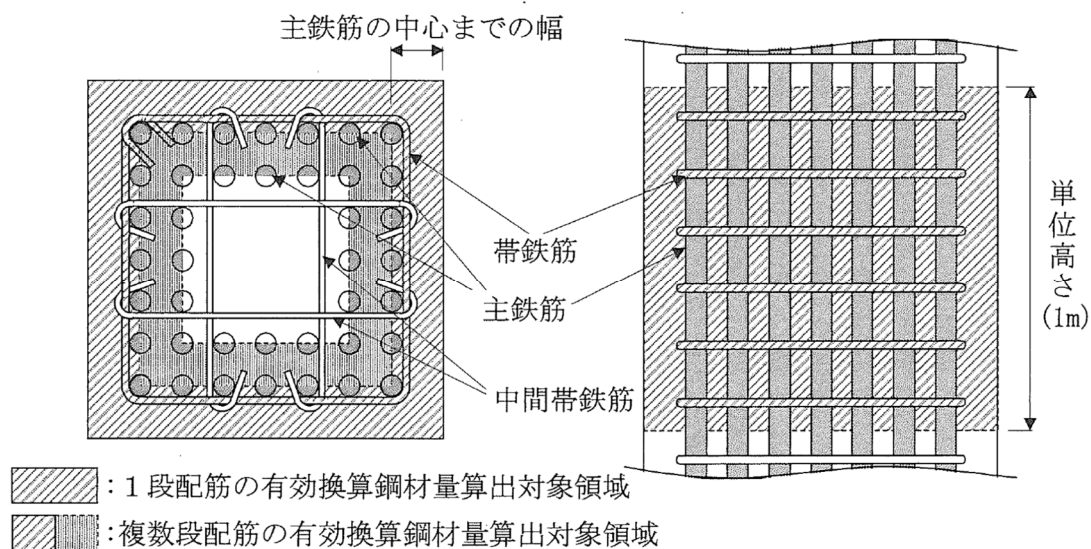
表4.5.5 壁部材における打込みの最小スランプの目安(cm)

鋼材量	軸方向鉄筋の最小あき	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 ～ 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

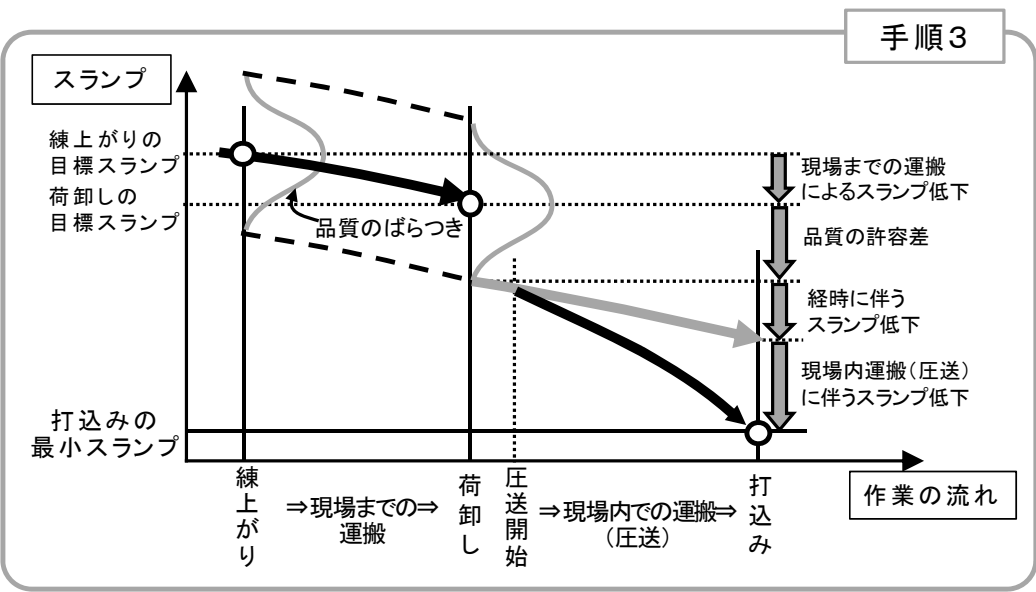
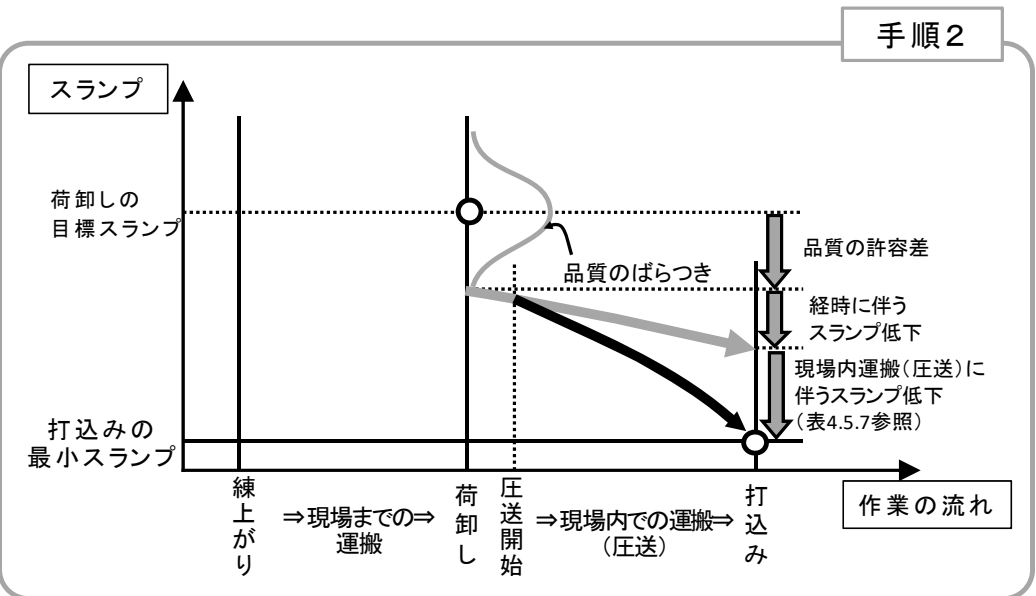
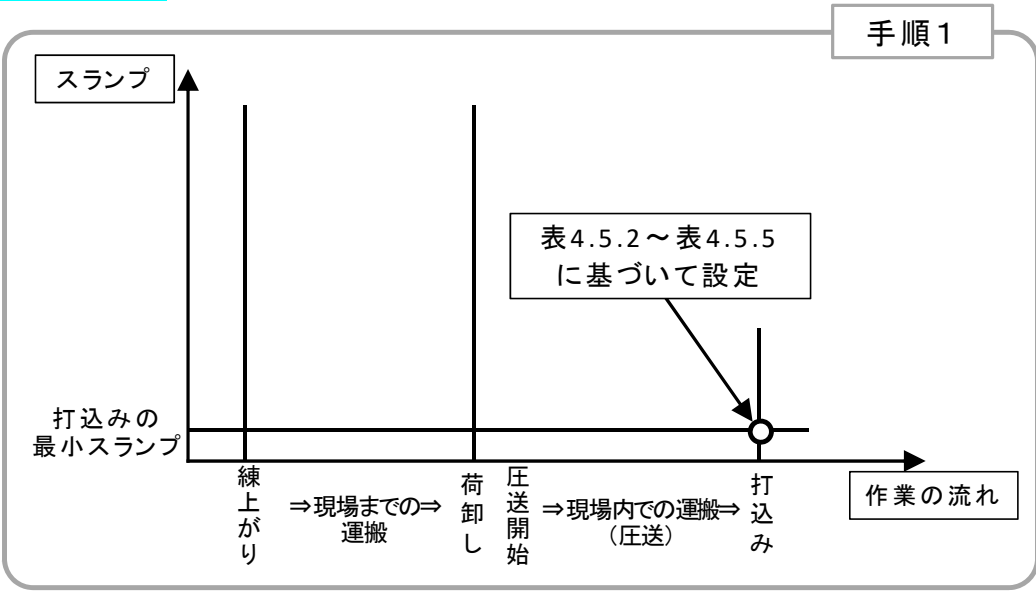
表 4.5.3 柱部材における打込みの最小スランプの目安 (cm) ¹⁰⁾

かぶり近傍の有効換算鋼材量 ¹⁾	かぶりあるいは鋼材の最小あき	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、下図に示す領域内の単容積あたりの鋼材量をいう。



【参考】4 各施工段階でのスランプの変化¹⁰⁾



解説 図4.5.2 経時に伴う各施工段階でのスランプの変化

チェックリスト【設計編】

・チェック項目を実施できなかった場合は「その理由」を、また、チェック項目を実施したが問題があった場合は「今後の対応」を、備考欄に簡潔にコメントすること

コンクリート構造物の品質確保・向上のチェックリスト		チェック実施者	
【設計編】		所属	
		実施年月日	年 月 日
設計編			
手引き(案)の目次	チェック項目	チェック	備考
1 基本原則(設計段階)	・設計意図、仕様、耐久性向上に必要な事項は施工者に確実に伝わっているか		
	・設計、施工の双方から多面的に検討しているか		
	・設計図書に必要事項を記載しているか		
	・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したか		
	・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したか		
2 一般			
3 ひび割れ抑制対策	・温度応力解析実施を発注者と協議したか		
	以下の構造物について温度ひび割れ照査を行ったか		
	・広がりのあるスラブ状(厚さが80cm以上)		
	・下端が拘束された壁状の部材(厚さが50cm以上)		
	・断面が大きく柱状で水平打継目が設けられる構造物(短辺が80cm以上の部材)		
	・ひび割れ抑制対策の照査はひび割れ指数により判定したか		
3.1 温度応力解析	・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したか		
	・構造物の特性に応じた解析方法を用いているか		
3.2 解析結果の評価	・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したか		
3.3 温度ひび割れ対策	・ひび割れ誘発目地の断面欠損率は50%程度以上か		
4 かぶり厚の確保	・道路橋示方書に準じてかぶり厚を確保しているか		
	・かぶり厚詳細図を付記しているか		
	・かぶり厚詳細図には、交差する鉄筋や表示部材以外からの影響も表示しているか		
5 充填不良対策			
5.1 過密配筋対策	・鉄筋が3本以上重なる箇所について詳細寸法図を作成・調整したか		
	・端部調整箇所での詳細寸法図を作成したか		
	・端部調整を考慮した設計計算を行ったか		
	・配筋で調整できない場合は高流動コンクリートなどを検討したか		
5.2 鉄筋のあき	・鉄筋のあきを確保し、コンクリートの打込みや締固め作業を考慮したか		
	・スラブ、はり、壁部材で、コンクリートの打込み口を確保したか		
	・コンクリートの締固めに使用する棒状バイブレータの形状を考慮したか		
	・鉄筋のあきを確保できない場合、一時的に打込み口を確保できるように鉄筋径や鉄筋の配置に配慮し、コンクリートの打込み箇所は配筋図に明示したか		
5.3 スランプの検討	・スランプは、発注者と協議した上で設定したか		
	・構造種別とコンクリートの品質を考慮したか		
	・設計書には荷卸し時の目標スランプ参考値(12cm)を示しているか		
	・打込みのスランプは、適切なワーカビリティを有しているか		
	・打込みのスランプは、材料分離を生じないか		
	・打込みの最小スランプは、構造物の種類、部材の種類と大きさ、配筋条件、締固め作業高さ等の施工条件に基づいて適切に設定されているか		
	・圧送に伴うスランプの低下量を考慮しているか		

【参考資料】 温度応力解析例の条件

温度応力解析例の条件を以下の2つについて示す。

① 橋台工（2次元解析例の条件）

2017年制定コンクリート標準示方書[設計編]において、2次元解析法である「CP法を適用する際は、2007年制定コンクリート標準示方書[設計編]に従うのがよい」とある。また、「スラブ状構造物や壁状構造物等、形状が比較的単純で1方向の拘束応力が卓越するような場合には、CP法等の簡便な応力計算法を用いることができる」とある。

したがって、CP法を用いて温度応力解析を実施する事例紹介として、橋台工の2次元解析例の条件を示す。

② 橋脚工（3次元解析例の条件）

3次元有限要素法を用いて温度応力解析を実施する場合は、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。

3次元有限要素法を用いて温度応力解析を実施する事例紹介として、橋脚工の3次元解析例の条件を示す。

①、②共に、必要に応じて「マスコンクリートのひび割れ制御指針2008、コンクリート工学会」を参考にする。

本事例では、目標とするひび割れ指数（安全係数）は、以下の理由により1.0とした。

- 橋台・橋脚は高い水密性を必要としない構造であることから、ある程度のひび割れを許容することを想定する。
- ひび割れが発生した場合は、状況に応じて適切に処理することを想定する。

表 標準的なひび割れ発生確率と安全係数（橋台工（2次元解析）の場合）

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γ_{cr}
ひび割れを防止したい場合	5%	1.75以上
ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	25%	1.45以上
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※	85%	1.0以上

表 標準的なひび割れ発生確率と安全係数（橋脚工（3次元解析）の場合）

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γ_{cr}
ひび割れを防止したい場合	5%	1.85以上
ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	15%	1.40以上
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※	50%	1.0以上

※ひび割れ指数 1.0 以上の対策レベルであっても、許容ひび割れ幅を超えても良いわけではない。また、鉄筋比が0.25%以上であること。

なお、ひび割れ指数は対象とする構造物の状況に応じて適切に設定する必要がある。

①温度応力解析例の条件(2次元解析)

●橋台工

(1) 対象構造物

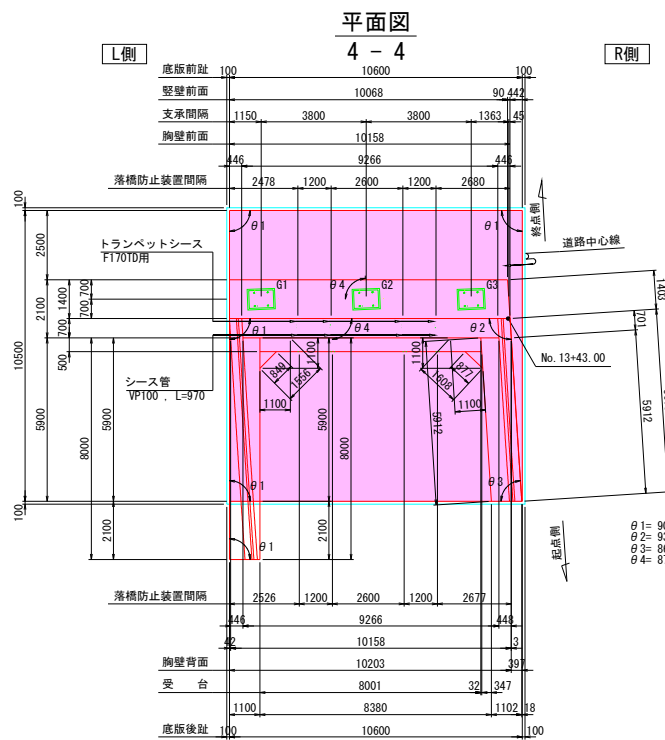
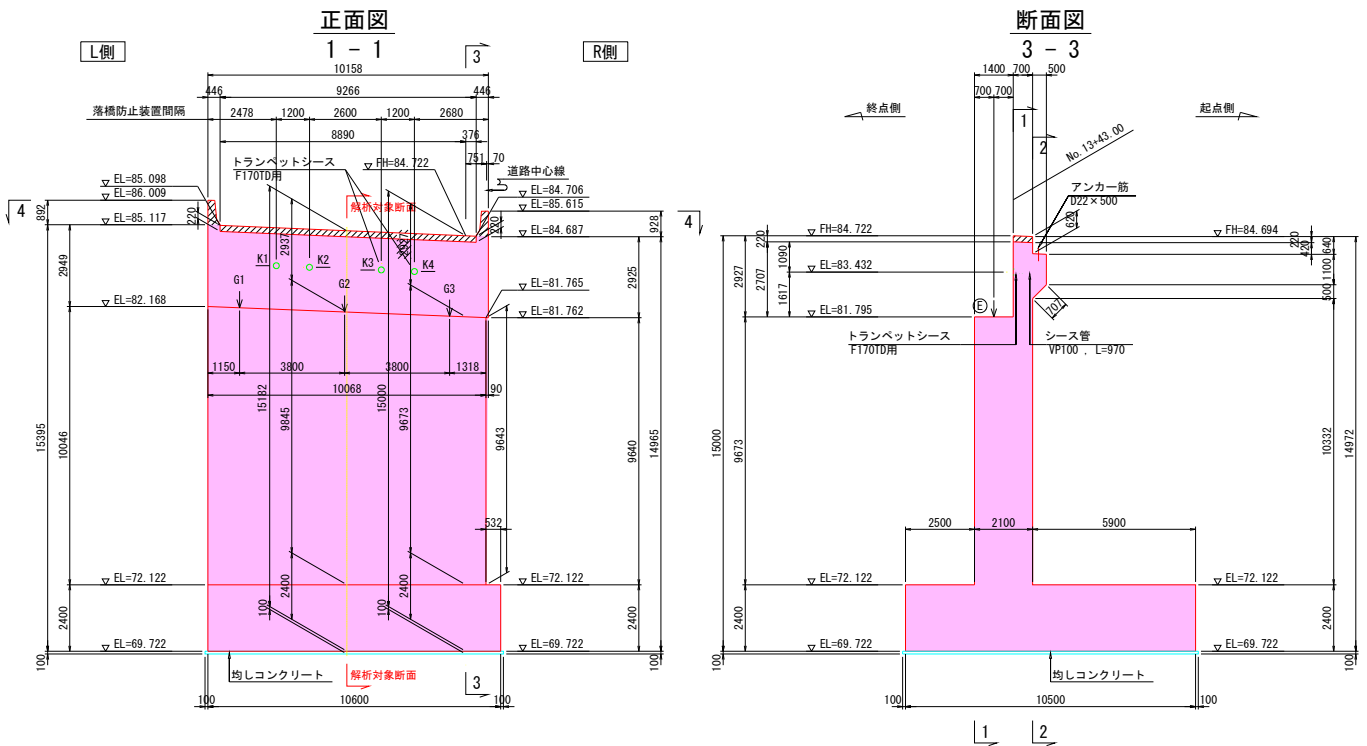


図1 構造概略図 (橋台工)

単位(mm)

【設計編】

(2) 解析例の条件

基本解析（無対策）における温度解析条件を表 1(1)、表 1(2)、応力解析条件を表 2 に示す。

表 1 (1) 温度解析条件

【1】構造条件等																																									
(a)	施工場所	広島県																																							
	形状寸法	図 1 に示す通り																																							
【2】対象構造物のモデル化																																									
モデル設定		2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.325 [3.1 解析手法]に準拠 (マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.53 [4.3.1 解析手法及び解析条件 解説]参照)																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">水セメント量 55%以下、呼び強度 (24N/mm²・27N/mm²) の場合の単位セメント量の目安</td> </tr> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;">岡山県</td> <td style="width: 20%;">295 kg/m³~327kg/m³</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>広島県</td> <td>289 kg/m³~329kg/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>山口県</td> <td>279 kg/m³~314kg/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>鳥取県</td> <td>289 kg/m³~321kg/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>島根県</td> <td>271 kg/m³~309kg/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						水セメント量 55%以下、呼び強度 (24N/mm ² ・27N/mm ²) の場合の単位セメント量の目安							岡山県	295 kg/m ³ ~327kg/m ³					広島県	289 kg/m ³ ~329kg/m ³					山口県	279 kg/m ³ ~314kg/m ³					鳥取県	289 kg/m ³ ~321kg/m ³					島根県	271 kg/m ³ ~309kg/m ³			
水セメント量 55%以下、呼び強度 (24N/mm ² ・27N/mm ²) の場合の単位セメント量の目安																																									
	岡山県	295 kg/m ³ ~327kg/m ³																																							
	広島県	289 kg/m ³ ~329kg/m ³																																							
	山口県	279 kg/m ³ ~314kg/m ³																																							
	鳥取県	289 kg/m ³ ~321kg/m ³																																							
	島根県	271 kg/m ³ ~309kg/m ³																																							
【3】コンクリートの配合計画																																									
(b)	使用セメント	高炉セメント B 種																																							
	単位セメント量	310 kg/m ³																																							
(c)	水セメント比	55.0%																																							
【4】施工条件・施工計画																																									
(d)	外気温	気象庁ホームページ：広島県広島の平年値を採用（1981 年～2010 年の統計気温）																																							
(e)	打込み温度等	打込み温度	外気温+5℃																																						
		初期温度	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート：打込み温度と同じ ・ 地盤：地盤表面を外気温(27.1℃)と同じとし、約 5m より深部を対象地域の年平均気温(16.3℃)とした。また、地盤表面～5.0 m 深部の間は線形補間を行い設定した。 																																						
	温度固定境界	地盤最下部一列 16.3℃（広島の年平均気温）																																							
(f)	打設工程	リフト	リフト高さ	打設日	平均気温	打込み温度																																			
(g)	リフト割	第 1 リフト（フーチング）	H=2.4m	7/16	27.1℃	32.1℃																																			
		第 2 リフト（縦壁）	H=5.4m	8/1	28.7℃	33.7℃																																			
		第 3 リフト（縦壁）	H=4.445m	8/17	28.2℃	33.2℃																																			
		第 4 リフト（胸壁）	H=2.717m	9/1	27.1℃	32.1℃																																			
(h)	養生計画	リフト	熱伝達境界	養生方法および期間																																					
		第 1 リフト (フーチング)	打設面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)																																					
			側面	打設日~7 日(合板)→8 日~(露出面)																																					
		第 2 リフト (縦壁)	打設面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)																																					
			側面	打設日~7 日(合板)→8 日~(露出面)																																					
		第 3 リフト (縦壁)	打設面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)																																					
			側面	打設日~7 日(合板)→8 日~(露出面)																																					
第 4 リフト (胸壁)	仕上面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)																																							
側面	打設日~7 日(合板)→8 日~(露出面)																																								
熱伝達率	コンクリート露出部・地盤表面 14W/m ² ℃, 養生マット 5W/m ² ℃, 合板 8W/m ² ℃ 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 参照(マス コンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.47 解説表・4.2.4 参照)																																								

打込み間隔（打設工程）が短くなれば、L/H が小さくなれば、ひび割れ指数が向上

表 1 (2) 温度解析条件

(マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008 p.57 [4.3.4 地盤・岩盤 解説]参照)

【5】材料特性値			
物性値		コンクリート	地 盤
2007年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.343			
(i)	熱伝導率	2.7 W/m ² °C (2.6~2.8)	4.42 W/m ² °C (1.7~5.2)
(j)	密度	2,400 kg/m ³	2,650 kg/m ³ (2,600~2,700)
(k)	比熱	1.155 kJ/kg°C (1.05~1.26)	0.8 kJ/kg°C (0.71~0.88)

表 2 応力解析条件

【6】コンクリート等の強度特性		
(l)	圧縮強度	2007年制定コンクリート標準示方書(設計編) p.340~342 ※ 設計基準強度 : 24 N/mm ² (材齢 28 日)
(m)	引張強度	
(n)	コンクリートのヤング係数	
(o)	熱膨張係数	10×10 ⁻⁶ /°C [2007年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.44]
(p)	拘束体(地盤)のヤング係数(Er)	840N/mm ² マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.52 による。 地盤のヤング係数は 2.8×N 値で算出する。 N 値は換算 N 値の最大値を採用。 変形係数 300×2.8 = 840 N/mm ²
(q)	構造物長さ	図 1 参照
(r)	リフト割り(リフト高さ)	(g)参照
(s)	使用セメント	(b)参照

以下に解析条件の設定根拠について示す。

◆ 対象構造物のモデル化

「2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.325 [3.1 解析手法]」および「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.53 [4.3.1 解析手法及び解析条件 解説]」を参考に、以下の考え方にに基づきモデル化する。解析モデル図は図 2 に示すとおりである。

- 温度解析における熱の伝達や放熱等の影響を考慮して定める。
- 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が、本解析では 1/1 モデルとする（橋軸直角方向の断面図でみての 1/1 モデル）
- 要素分割は以下を基本とする。
 - ・ 共 通
 - 全要素 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（地盤についてはこの限りではなく、構造物を中心に端部に向けて徐々に粗くする）。
 - ・ 地 盤
 - 深さは 10m 以上が適切とされているが、一般に 5m より深い地盤は一定温度となることが知られていることから 5m 以上とする。（基本的に構造物の高さ以上を確保する。）
 - 幅は構造物の 2 倍以上を基本とする。

◆ 解析モデル図

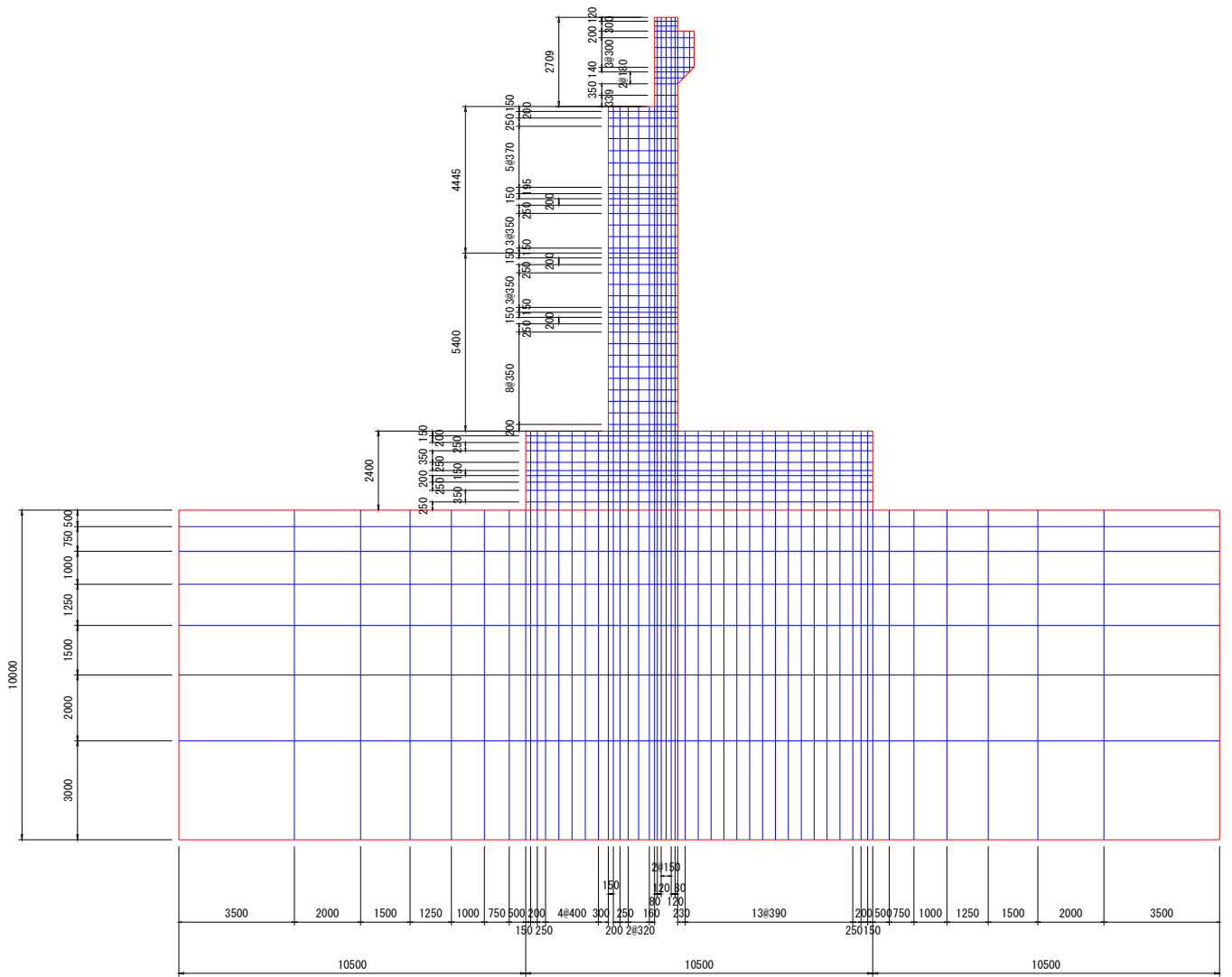


図 2 解析モデル図 (橋台工)

②温度応力解析例の条件(3次元解析)

●橋脚工

(1) 対象構造物

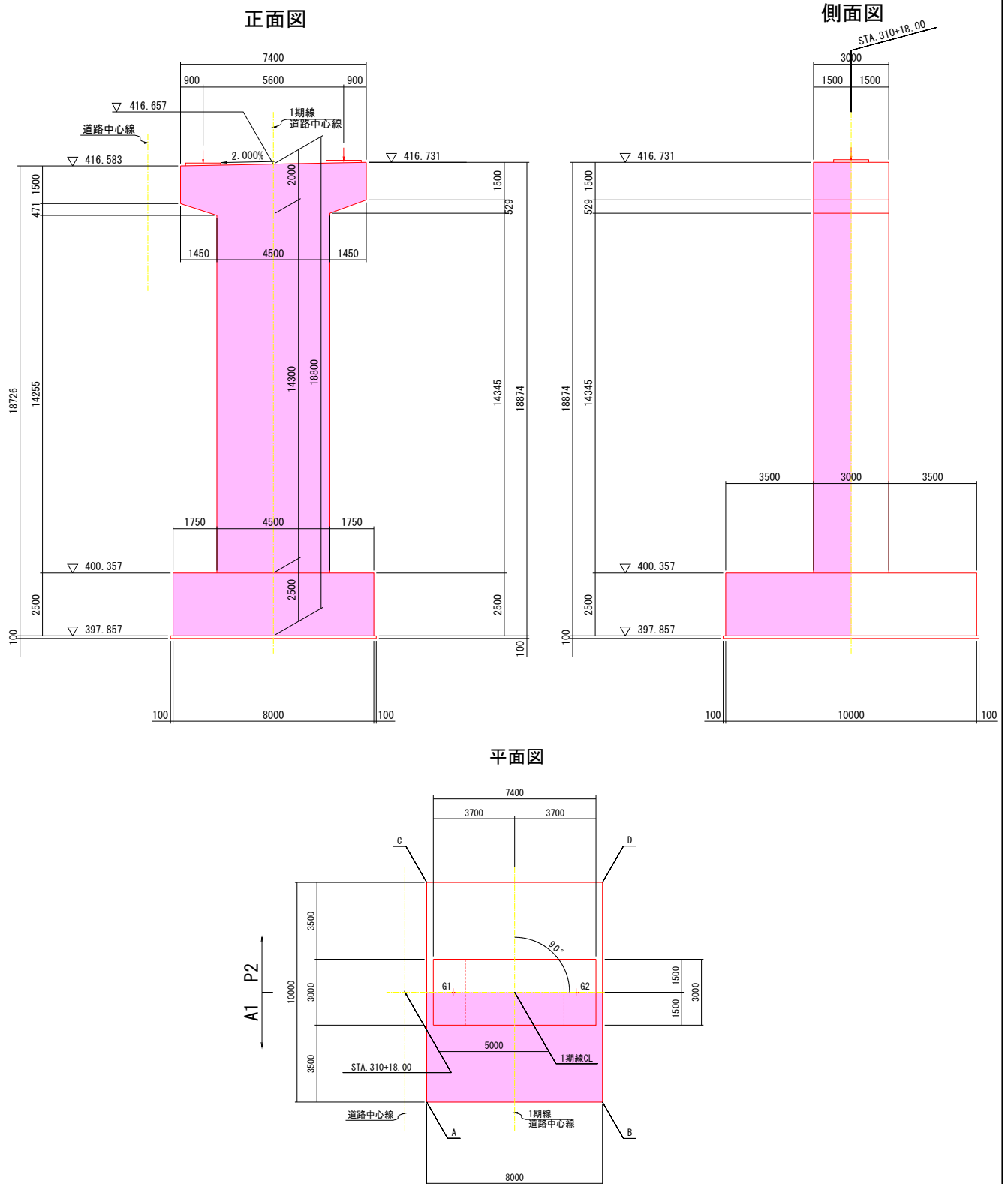


図3 構造概略図(橋脚工)

単位 (mm)

【設計編】

(2) 解析例の条件

基本解析（無対策）における温度解析条件を表 3(1)、表 3(2)、応力解析条件を表 4 に示す。

表 3 (1) 温度解析条件

〔1〕構造条件等						
(a)	施工場所	広島県				
	形状寸法	図 3 に示す通り				
〔2〕対象構造物のモデル化						
モデル設定		2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.325 [3.1 解析手法]に準拠 (マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.53 [4.3.1 解析手法及び解析条件]参照)				
〔3〕コンクリートの配合計画						
(b)	使用セメント	高炉セメント B 種	水セメント量 55%以下、呼び強度 (24N/mm ² ・27N/mm ²) の場合の単位セメント量の目安			
	単位セメント量	フーチング:310 kg/m ³				
(c)	水セメント比	55.0%	岡山県	295 kg/m ³ ~327kg/m ³		
			広島県	289 kg/m ³ ~329kg/m ³		
			山口県	279 kg/m ³ ~314kg/m ³		
			鳥取県	289 kg/m ³ ~321kg/m ³		
			島根県	271 kg/m ³ ~309kg/m ³		
〔4〕施工条件・施工計画						
(d)	外気温	気象庁ホームページ：広島県広島の平年値を採用（1981 年～2010 年の統計気温）				
(e)	打込み温度等	打込み温度	外気温+5℃			
		初期温度	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート：打込み温度と同じ ・ 地盤：地盤表面を外気温(27.1℃)と同じとし、約 5m より深部を対象地域の年平均気温(16.3℃)とした。また、地盤表面～5.0 m 深部の間は線形補間を行い設定した。 			
	温度固定境界	地盤最下部一列 16.3℃（広島の年平均気温）				
(f)	打設工程	リフト	リフト高さ	打設日	外気温	打込み温度
(g)	リフト割	第 1 リフト（フーチング）	H=2.5m	7/16	27.1℃	32.1℃
		第 2 リフト（柱①）	H=5.4m	8/1	28.7℃	33.7℃
		第 3 リフト（柱②）	H=5.4m	8/17	28.2℃	33.2℃
		第 4 リフト（柱③）	H=3.545m	9/1	27.1℃	32.1℃
		第 5 リフト（梁）	H=2.0m	9/15	24.6℃	29.6℃
(h)	養生計画	リフト	熱伝達境界	養生方法および期間		
		第 1 リフト (フーチング)	打設面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)		
			側面	打設日~7 日(合板)→8 日~(露出面)		
			仕上面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)		
		第 2~4 リフト (柱部)	打設面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)		
			側面	打設日~7 日(合板)→8 日~(露出面)		
		第 5 リフト (梁部)	仕上面	打設日(露出面)→2~7 日(養生マット)→8 日~(露出面)		
側面	打設日~7 日(合板)→8 日~(露出面)					
	熱伝達率	コンクリート露出部・地盤表面 14W/m ² ℃, 養生マット 5W/m ² ℃, 合板 8W/m ² ℃ 2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.326 表 3.2.1 参照 (マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.47 解説表-4.2.4)				

打込み間隔（打設工程）が短くなれば、L/H が小さくなれば、ひび割れ指数が向上

表 3 (2) 温度解析条件

【5】材料特性値		
物性値	コンクリート 2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.332	地盤 2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.336 (マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.52 [4.2.4 地盤・岩盤 解説]参照)
(i)	熱伝導率	2.7 W/m ² °C (2.6~2.8)
(j)	密度	2,296 kg/m ³
(k)	比熱	1.155 kJ/kg°C (1.05~1.26)
		4.42 W/m ² °C (1.7~5.2)
		2,650 kg/m ³ (2,600~2,700)
		0.8 kJ/kg°C (0.71~0.88)

表 4 応力解析条件

【6】コンクリート等の強度特性		
(l)	圧縮強度	2017年制定コンクリート標準示方書(設計編) p.332~334 ※ 設計基準強度 : 24 N/mm ² (材齢 28 日)
(m)	引張強度	
(n)	コンクリートのヤング係数	
(o)	熱膨張係数	高炉セメントB種: 12×10 ⁻⁶ /°C [2017年制定コンクリート標準示方書(設計編) p.44] (マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.44[4.2.2 コンクリート 解説]参照)
(p)	拘束体(地盤)のヤング係数(E _r)	840N/mm ² マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.52 による。 地盤のヤング係数は 2.8×N 値で算出する。 N 値は換算 N 値の最大値を採用。 変形係数 300×2.8 = 840 N/mm ²
(q)	構造物長さ	図 3 参照
(r)	リフト割り(リフト高さ)	(g)参照
(s)	使用セメント	(b)参照

以下に解析条件の設定根拠について説明する。

◆ 対象構造物のモデル化

「2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】 p.325 [3.1 解析手法]」および「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016 p.53 [4.3.1 解析手法及び解析条件] 解説」を参考に、以下の考え方に基づきモデル化する。解析モデルは図 4、図 5 に示すとおりである。

- 温度解析における熱の伝達や放熱等の影響を考慮して定める。
- 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く、本解析においても 1/2 モデルとする。
- 要素分割は以下を基本とする。
 - ・ 共 通
 - 全要素 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（地盤についてはこの限りではなく、構造物を中心に端部に向けて徐々に粗くする）。
 - ・ 地 盤
 - 深さは 10m 以上が適切とされており、当該構造物では第 1 リフト下面より深さ 10m を確保する。
 - 幅は構造物の 2 倍以上を基本とする。

◆ 解析モデル図

正面図

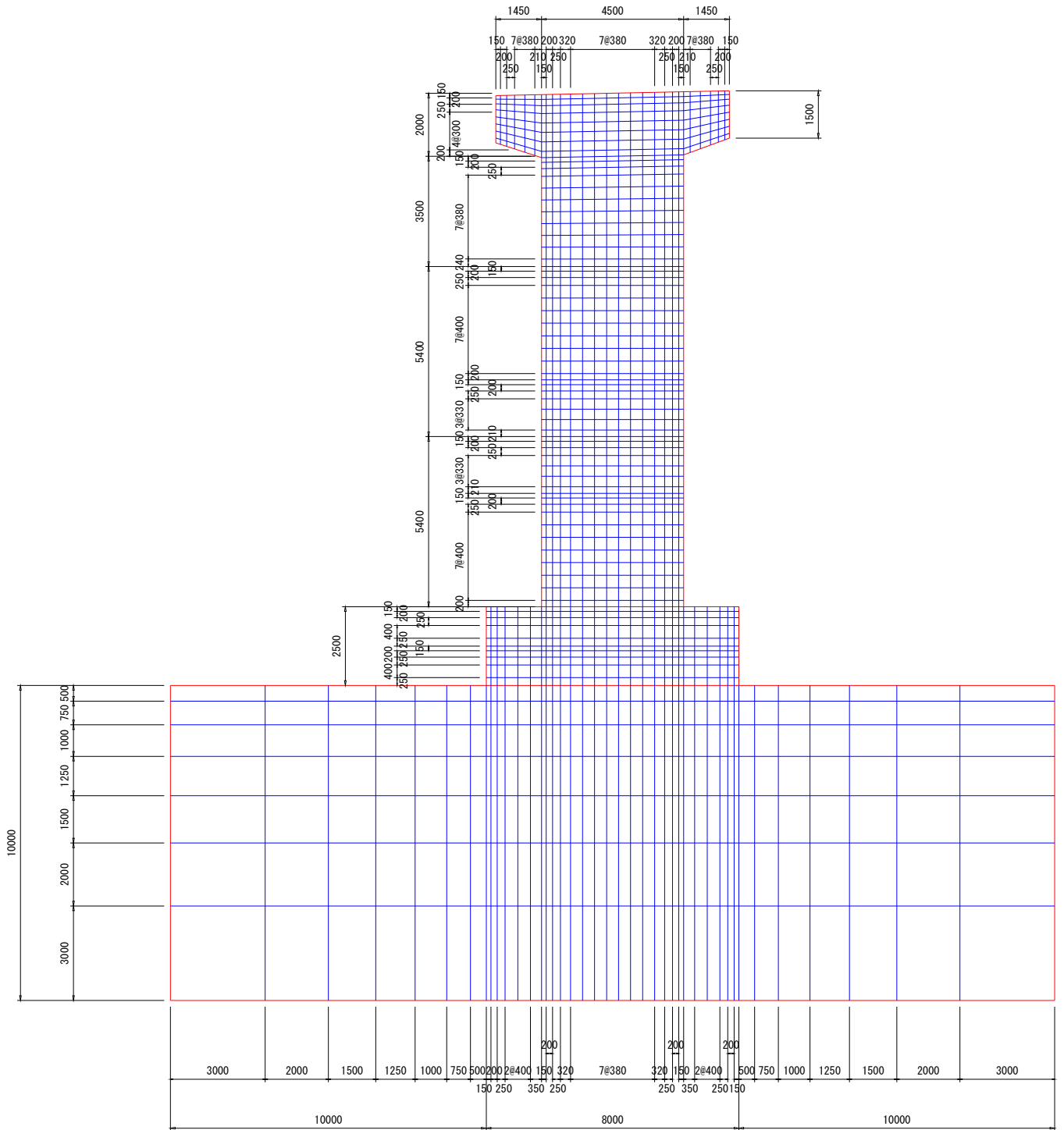


図 4 解析モデル図 正面図 (橋脚工)

側面図

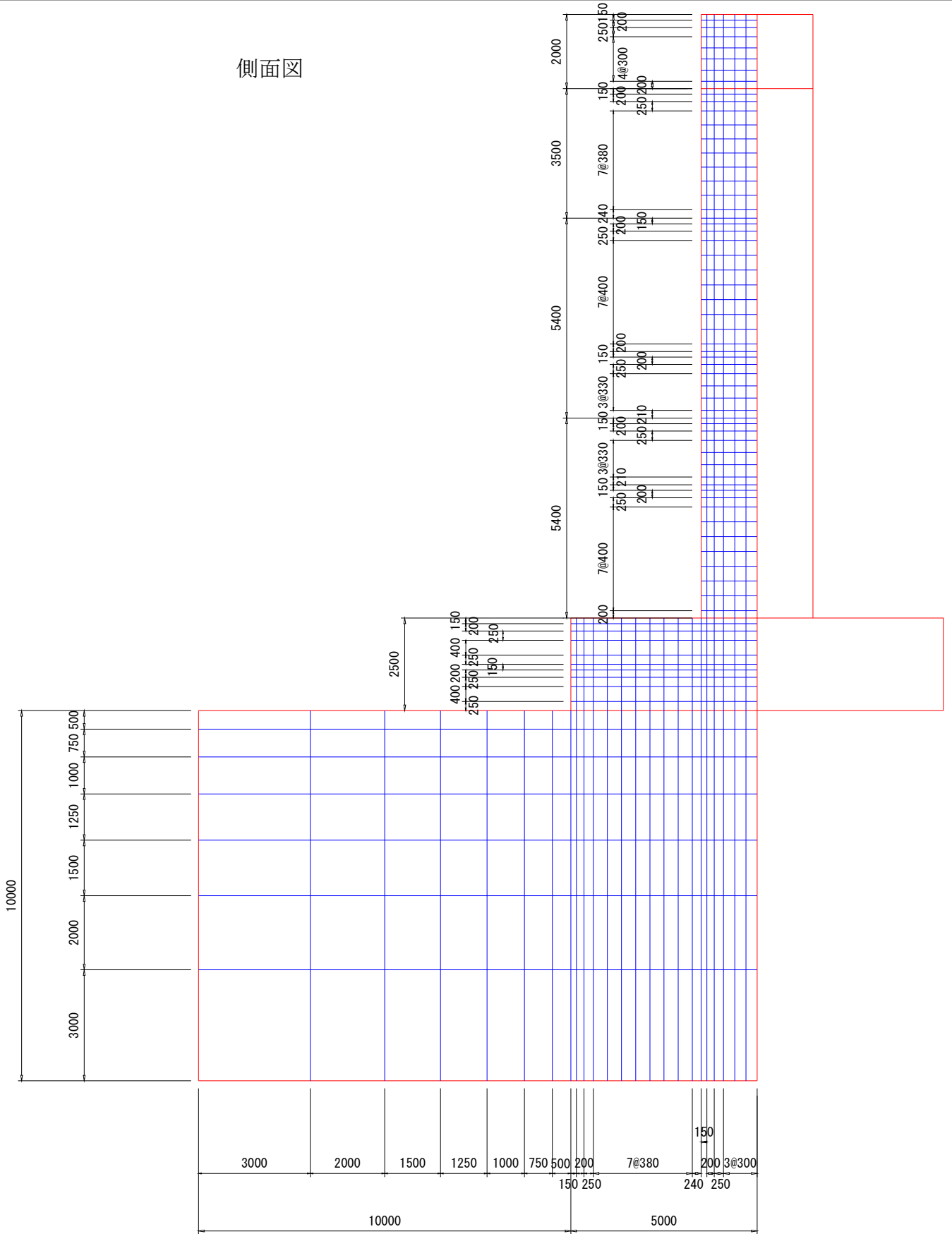


図 5 解析モデル図 側面図 (橋脚工)

【設計編】

【参考文献】

- 1) 日本規格協会、ISO 9000 品質マネジメントシステムに関する規格
- 2) 土木学会、2018 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] (H30. 10)
- 3) 日本コンクリート工学協会、コンクリート基本技術調査委員会 不具合補修 WG 報告書(H24. 8)
- 4) 中国地方整備局、HP「三者検討会の設置」(H20. 10)
http://www.cgr.mlit.go.jp/information/100406_sekkeihenkoushinsakai2.pdf
- 5) 日経 BP 社、現場で役立つコンクリート名人養成講座(H20. 10)
- 6) 九州地方整備局、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) (H26. 4)
- 7) 土木学会、2017 年制定コンクリート標準示方書[設計編] (H30. 3)
- 8) 九州地方整備局、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) 本編 (H26. 4)
- 9) 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 (H28. 11)
- 10) 土木学会、2017 年制定 コンクリート標準示方書[施工編] (H30. 3)
- 11) 九州地方整備局、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) 資料編 (H26. 4)
- 12) 土木学会、コンクリートライブラリー145 号 施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針 (2016 年版) (H28. 6)
- 13) 流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用検討委員会、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 (H29. 3)
- 14) 中国地方整備局、土木工事共通仕様書 (R3)

【問合せ先】

国土交通省 中国地方整備局 中国技術事務所 品質調査課

TEL:082-822-2340 (代表) FAX : 082-823-9706