

# 温度ひび割れについて

## 技術資料

日本コンクリート技術株式会社

*Japan Concrete Technology Co.LTD (JC-tech)*

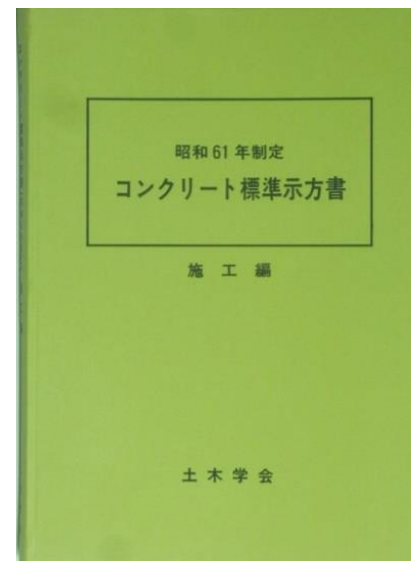
# 内 容

1. マスコンクリートの取扱いの経緯
2. 2017年制定 コンクリート標準示方書 設計編
  - (1) 本編12章「初期ひび割れに対する照査」
    - 12.1 一般
    - 12.2 セメントの水和に起因するひび割れの照査
      - 12.2.1 一般
      - 12.2.2 ひび割れ発生に対する照査
      - 12.2.3 ひび割れ幅の照査
      - 12.2.4 応力およびひび割れ幅の算定方法
    - 12.3 乾燥収縮に伴うひび割れ幅の照査
  - (2) 標準6編「温度ひび割れに対する照査」
    - 1章 総則
      - 1.1 適用の範囲
    - 2章 照査の方法
      - 2.1 ひび割れ発生に対する照査
      - 2.2 初期ひび割れ幅の照査
3. 温度ひび割れ抑制対策の効果

# 1. マスコンクリートの取扱いの経緯

マスコンクリートとして取り扱うべき構造物の部材寸法については、土木学会編昭和61年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕に、「**広がりのあるスラブについては厚さ80～100cm以上、下端が拘束された壁では厚さ50cm以上**」と15章 マスコンクリートの【解説】に記述された。

この記述は30年以上経過した現在、最新の2017年度版にもマスコンクリートの定義として継続されている。



昭和61年制定 コンクリート標準示方書〔施工編〕 15章 マスコンクリート p.119

## 15章 マスコンクリート

### 15.1 総則

#### 15.1.1

この章は、マスコンクリート構造物におけるセメントの水和熱に起因する温度ひびわれおよび温度応力の検討ならびにマスコンクリートの施工において、特に必要な事項についての一般の標準を示すものである。

【解 説】 . . . . マスコンクリートとして取り扱うべき構造物の部材寸法は、構造形式、使用材料、施工条件によりそれぞれ異なるため一概には決めにくい、およその目安として、広がりのあるスラブについては厚さ80～100cm以上、下端が拘束された壁では厚さ50cm以上と考えてよい. . . .

昭和61年は、マスコンクリートの温度ひび割れに関して「変革の年」となった。日本コンクリート工学協会（JCI、現在はコンクリート工学会に名称変更）も同年に「**マスコンクリートのひびわれ制御指針**」を刊行し、「設計当初から温度ひびわれ対策を考慮しなければならない」との提案を行っている。これらは施工中に発生するひび割れに関する実験、研究成果を受けたもので、温度ひび割れの対策が重要となった。

その後、JCIからは、2008年に「**マスコンクリートのひび割れ制御指針2008**」が刊行された。さらに、2016年には最新版の「**マスコンクリートのひび割れ制御指針2016**」が刊行されている。

これらの「ひび割れ制御指針」に示された内容は、土木学会編2012年制定コンクリート標準示方書、2017年制定コンクリート標準示方書にそれぞれ踏襲されている。このことをふまえて、マスコンクリートの取扱いについては、2017年制定コンクリート標準示方書に記述された内容を示すこととした。



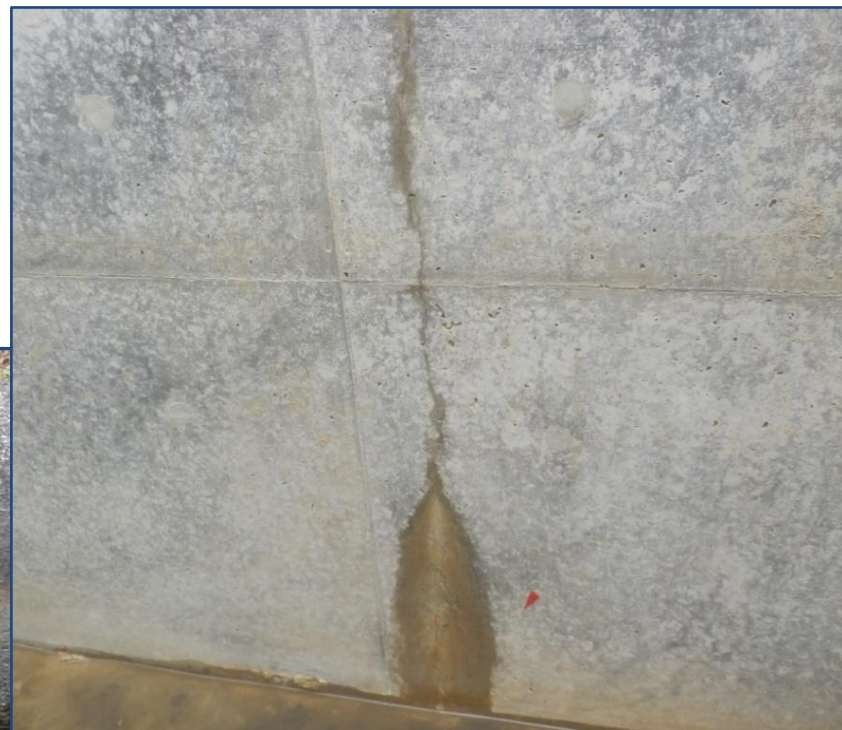
▲昭和61年3月刊行



▲2008年10月刊行

一般的な土木構造物の温度ひび割れは幅が0.2mm以上で、断面を貫通して表面化することが多く、発生後に問題とされることが多い。また、温度ひび割れを材料、配合、養生等の施工における対策で制御することが難しいことから、コンクリート標準示方書では平成7年度版から、設計編で照査をすることとしている。土木構造物は、堰堤、橋梁下部工、ボックスカルバート等で温度ひび割れが発生する。次ページ以降に2017年度版の内容を記述する。

## 温度ひび割れの例





## 2. 2017年制定 土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕

2017年制定 コンクリート標準示方書〔設計編:本編〕12章 初期ひび割れに対する照査 p.95

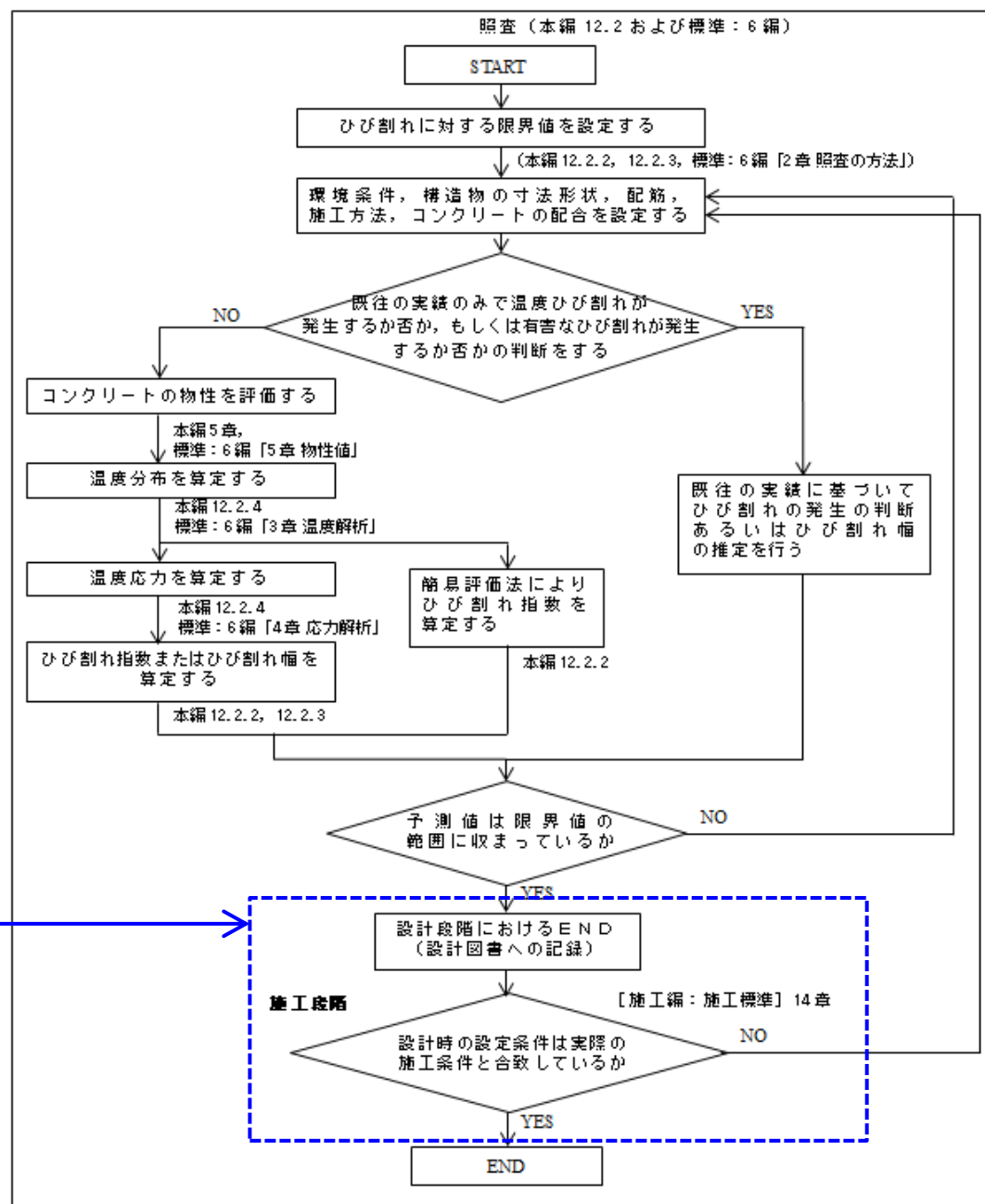
### 12章 初期ひび割れに対する照査

#### 12.1 一般

- (1) コンクリートの収縮やセメントの水和熱に起因する初期ひび割れが、構造物の所要の性能に影響しないことを確認しなければならない。
- (2) 沈みひび割れおよびプラスチック収縮ひび割れについては、一般にその照査を省略してもよい。
- (3) セメントの水和に起因するひび割れが問題となる場合には、実績による評価、または温度応力解析による評価のいずれかの方法により照査しなければならない。
- (4) ひび割れの制御を目的としてひび割れ誘発目地を設ける場合には、構造物の機能を損なわないように、その構造および位置を定めなければならない。

【解 説】 (2) について . . . .

セメントの水和に起因するひび割れが懸念され、マスコンクリートとして取り扱うべき構造物の部材寸法は、構造形式、使用材料、施工条件によりそれぞれ異なるため一概には決めにくい。なお、その目安として、広がりのあるスラブについては厚さ80～100cm以上、下端が拘束された壁では厚さ50cm以上と考えてよい。しかし、プレストレストコンクリート構造物等のように、富配合のコンクリートが用いられる場合には、より薄い部材でも拘束条件によってはマスコンクリートに準じた扱いが必要になる。なお、ダムコンクリートについては、〔ダムコンクリート編〕で取り扱われているので対象外とする。



「施工段階の照査」

※2017年制定で追加

## 12.2 セメントの水和に起因するひび割れの照査

### 12.2.1 一般

（１）ひび割れに対する照査では、ひび割れが発生しないこと、あるいはひび割れ幅が限界値以下であることを確認することにより、構造物の所要の性能が損なわれないと判断するものとする。

（２）ひび割れの発生を許容しない場合は、ひび割れ発生確率の限界値を設定し、照査を行うことを基本とする。

（３）ひび割れの発生を許容するが、ひび割れにより構造物の所要の性能が損なわれないように制限する場合は、ひび割れ幅の限界値を設定し、照査を行うことを基本とする。

（４）ひび割れに対する照査は、実際の施工で想定される条件等を考慮して行わなければならない。温度応力解析によって照査を行う場合には、温度解析によって算定される初期状態からの温度変化と自己収縮によるコンクリートの体積変化を求め、これらを取り入れた応力解析によって算定されたコンクリートの応力に基づいて行ってよい。



### 3.1.2 ひび割れ幅に対する照査

(1) コンクリートに発生するひび割れについて、コンクリート表面におけるひび割れ幅が、鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値以下であることを確認するものとする。

(2) 鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値は、鉄筋コンクリートの場合、 $0.005c$  ( $c$  はかぶり) としてよい。ただし、 $0.5\text{mm}$ を上限とする。

(3) 鉄筋コンクリート部材は、永続作用による鋼材応力度が、表2.1.1に示す鋼材応力度の制限値を満足することにより、ひび割れ幅の検討を満足するとしてよい。

表3.1.1 ひび割れ幅の検討を省略できる部材における  
永続作用による鉄筋応力度の制限値 $\sigma_{sl}$  ( $\text{N/mm}^2$ )

| 常時乾燥環境<br>(雨水の影響を受けない桁下面など) | 乾湿繰返し環境<br>(桁上部、海岸や川の水面に近く湿度<br>が高い環境など) | 常時湿潤環境<br>(土中部材など) |
|-----------------------------|------------------------------------------|--------------------|
| 140                         | 120                                      | 100                |

【解 説】 (2) について . . . .

コンクリートの構造物の耐久性に最も大きく関与するものは、鋼材の腐食である。かぶりに過大な幅のひび割れが存在すると、局所的な鋼材の腐食が生じる場合がある。鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値は一般に $0.005c$  ( $c$  はかぶり) としてよいとした。腐食が生じるひび割れ幅には、かぶりの影響が認められること、従来の実験との整合性を考慮したことにより、ひび割れ幅の限界値をかぶりの関数とした。

### 12.2.2 ひび割れ発生に対する照査

(1) ひび割れの発生は、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って照査することを基本とする。

(2) ひび割れの発生を許容しない場合、ひび割れ発生確率の限界値は、構造物の設置された環境や重要度、所要の性能を考慮して設定するものとする。

(3) ひび割れ指数は、温度応力解析、または適用範囲が明確で十分に信頼できる簡易評価法のいずれかにより求めるものとする。

【解説】(1)について・・・式(解12.2.1)が満足されれば、一般にこの照査に合格したとしてよい

$$I_{cr}(t) \geq \gamma_{cr} \quad (\text{解12.2.1})$$

ここに、 $I_{cr}(t)$ ：ひび割れ指数

$$I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_t(t)$$

$f_{tk}(t)$ ：材齢  $t$  日におけるコンクリート引張強度

$\sigma_t(t)$ ：材齢  $t$  日におけるコンクリート最大引張応力度

$\gamma_{cr}$ ：ひび割れ発生確率に関する安全係数

### 12.2.3 ひび割れ幅の照査

ひび割れ幅を制限する場合、ひび割れ幅の限界値は、構造物の設置される環境条件、構造物の重要度、寸法・配筋の詳細、コンクリートの種類を考慮して設定するものとする。一般に、〔設計編：標準〕2編に示された鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値を用いてよい。

【解説】 . . .

ひび割れが構造物に及ぼす影響として最も注意しなければならないことは、内部鉄筋の腐食である。初期ひび割れに関しても、曲げひび割れの場合に準じ、鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値は〔設計編：標準〕2章に示された値を用いてよいこととした。

## 1章 総 則

### 1.1 適用の範囲

この編は，〔設計編：本編〕12章において，セメントの水和に起因するひび割れがコンクリート構造物の性能に与える影響を照査する方法と照査の際に必要な温度解析，応力解析の標準的な一方法を示すとともに，解析モデルの例ならびにこれらの解析で必要となる材料の熱物性，材料の力学特性の標準値を示すものである．

## 2章 照査の方法

### 2.1 ひび割れ発生に対する照査

(1) 目標とするひび割れ発生確率  $P(\gamma_{cr})$  に対応する安全係数  $\gamma_{cr}$  は、式 (2.1.1) および図2.1.1により定めるものとする。

$$P(\gamma_{cr}) = \left[ 1 - \exp \left\{ - \left( \frac{\gamma_{cr}}{0.92} \right)^{-4.29} \right\} \right] \times 100 \quad (2.1.1)$$

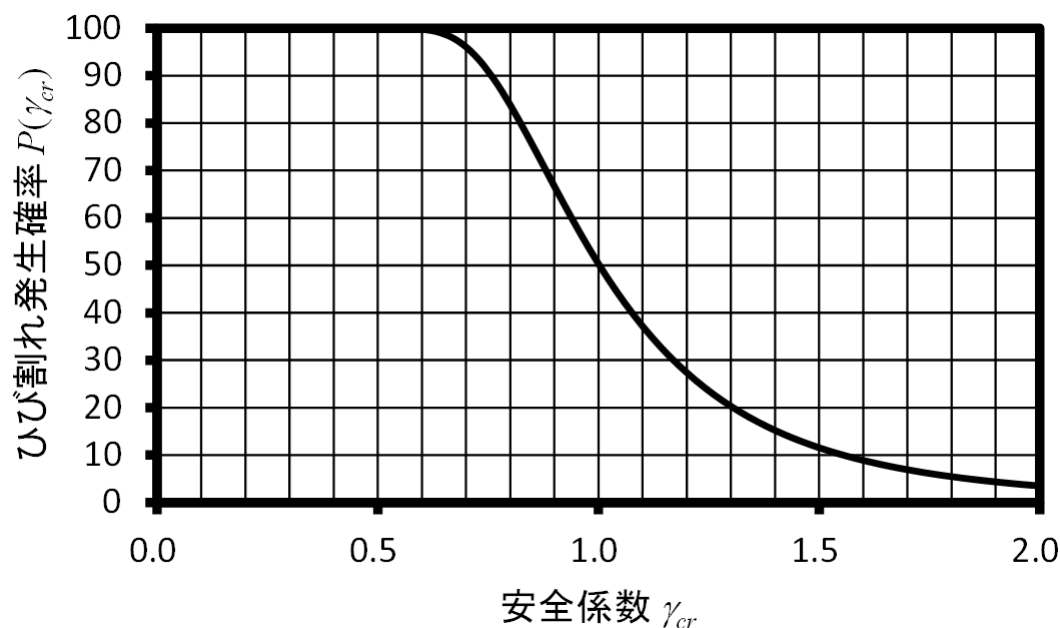


図2.1.1 安全係数  $\gamma_{cr}$  とひび割れ発生確率

(2) ひび割れに対する対策レベルに応じて、表2.1.1に示すひび割れ発生確率と安全係数を目標値として定めるものとする。

表2.1.1 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

| 対策レベル                                 | ひび割れ発生確率 | 安全係数 $\gamma_{cr}$ |
|---------------------------------------|----------|--------------------|
| 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限り制限したい場合                  | 1.5 (%)  | 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 | 5.0 (%)  | 1.00 以上            |

【解説】(1)について ひび割れ発生に対する照査は、検討期間中のひびわれ指数の最小値を用いて、式(2.2.1)により行うことができる。

$$I_{cr}(t) \geq \gamma_{cr} \quad (\text{解 2.2.1})$$

ここに、 $I_{cr}(t)$  : ひび割れ指数

$$I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_t(t)$$

$f_{tk}(t)$  : 材齢  $t$  日におけるコンクリート引張強度

$\sigma_t(t)$  : 材齢  $t$  日におけるコンクリート最大引張応力度

$\gamma_{cr}$  : ひび割れ発生確率に関する安全係数



## 2.2 初期ひび割れ幅の照査

セメントの水和に起因する初期ひび割れ幅の照査は、検討対象期間のひび割れ幅の最大値がひび割れ幅の限界値以下であることを確認することを原則とする。

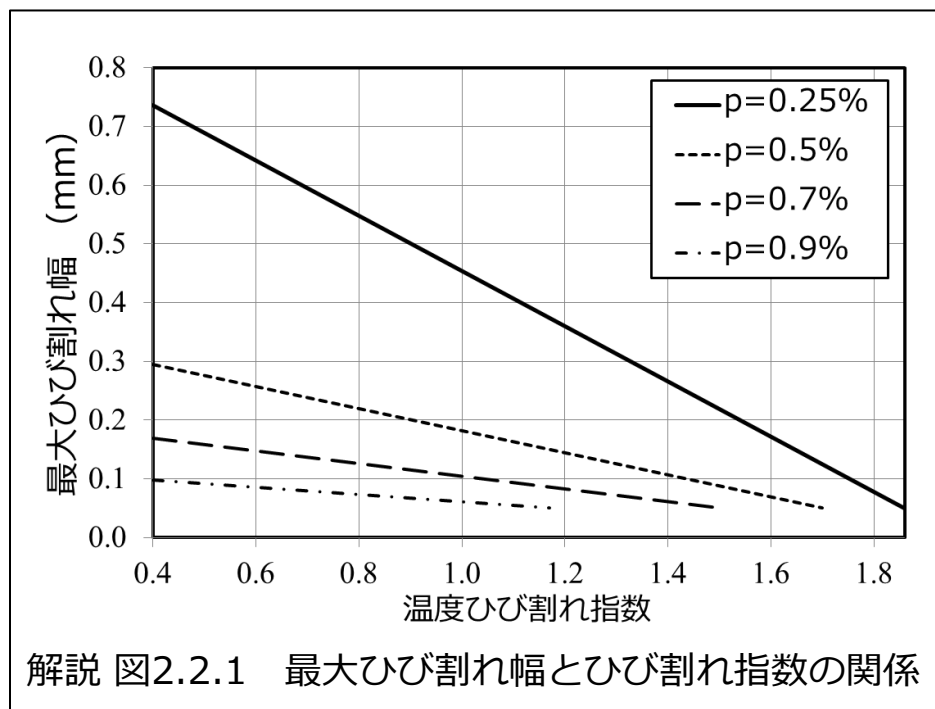
【解説】 . . . . 外部拘束が卓越する場合のひび割れ指数と最大ひび割れ幅の関係としては、三次元有限要素解析から作成された、解説 図2.2.1および式（解 2.2.1）を用いることができる. . . .

$$w_c = \gamma_a \left( \frac{-0.141}{p} + 0.00938 \right) \times (I_{cr} - 1.965) \quad (\text{解 2.2.1})$$

ここに、 $w_c$  : 最大ひび割れ幅(mm)

$p$  : 鉄筋比(%)であり、適用範囲は0.25%～0.9%とする。

$\gamma_a$  : 温度ひび割れの幅を評価するための安全係数であり、一般に1.0としてよい。



## 温度ひび割れの評価と対策について

マスコンクリート構造物の温度ひび割れの評価を、コンクリート標準示方書に則って行う場合の手順を以下に示す。

### ①下表より対策レベルに応じたひびわれ指数の目標値を設定

| 対策レベル                                 | ひび割れ発生確率 | ひびわれ指数 $I_{cr}$ |
|---------------------------------------|----------|-----------------|
| 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限り制限したい場合                  | 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 (%)   | 1.00 以上         |

### ② 3次元 F E M 温度応力解析により温度応力を計算

### ③ ひび割れ指数を算出し、①で設定した制御目標値を満足するための対策を検討。

### ④ ひび割れの発生を許容する場合には $I_{cr}$ と鉄筋比に基づき、式(解2.2.1)を用いてひび割れ幅を算出

- ・発注者が運用上求めているひび割れ幅  $< 0.2\text{mm}$  を満足する対策を検討

例) 壁厚1.0m程度の函渠工の最小ひびわれ指数は0.7以下。設計上の配力筋の鉄筋比は0.1%程度。最小ひびわれ指数を1.0に改善しても、ひび割れ幅を0.2mm未満に制御するためには鉄筋比が0.5%以上(解説 図2.2.1)。

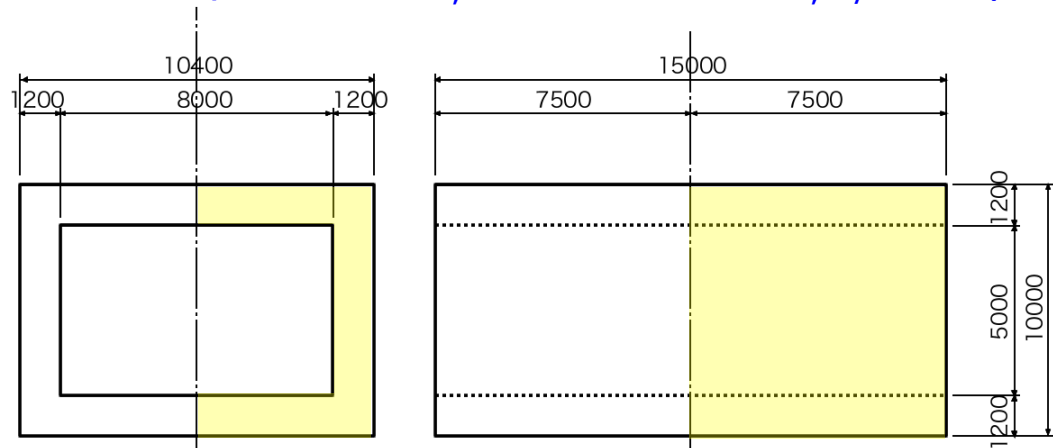
配力筋方向の鉄筋量を設計の5倍以上とする必要がある。

### 3. 温度ひび割れ抑制対策の効果

函渠工と橋台を対象とし、温度ひび割れ抑制対策として、パイプクーリング、膨張材添加、石灰石骨材の使用、ひび割れ誘発目地の設置（1本、3本）の各対策を順番に累加して実施した場合について、改善効果を示す。

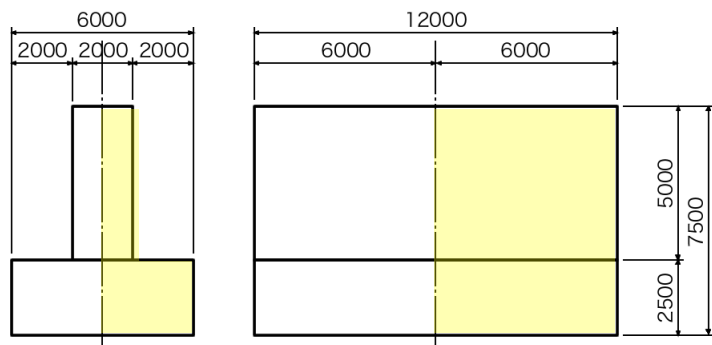
#### ■ 函渠工の構造（側壁の壁厚：1.2m）

（スパン：15m, 内空：8.0m×5.0m, L/H=3.0）



#### ■ 橋台の構造（縦壁の壁厚 2.0m）

（スパン：12m, 縦壁の高さ：5.0m, L/H=2.4）



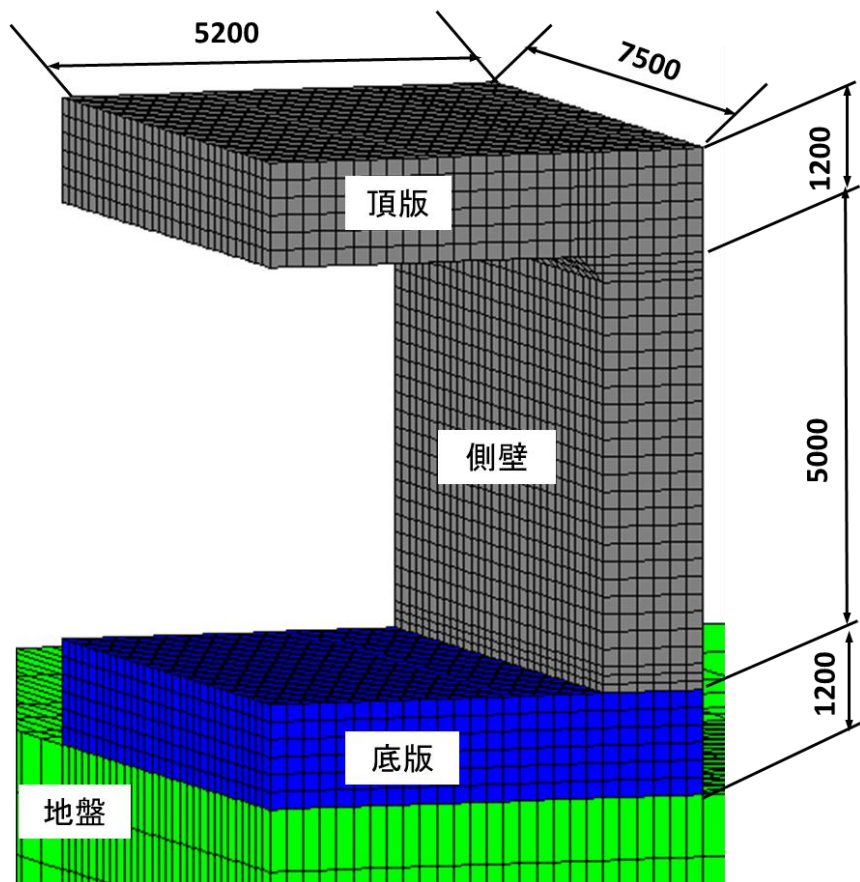
モデル化  
対象部位

#### 検討条件

| 項 目                     | 内 容                                              |
|-------------------------|--------------------------------------------------|
| コンクリートの打込み日             | 10月1日<br>(施工場所：東京)                               |
| コンクリートの配合               | 24-12-20 BB<br>W/C = 54%<br>単位セメント量：300kg        |
| パイプクーリングの仕様<br>(ピークカット) | パイプ径：25mm<br>通水温度：20℃<br>通水速度：20ℓ/分<br>配置間隔：80cm |
| 膨張材添加量                  | 20kg/m <sup>3</sup>                              |
| ひび割れ誘発目地の設置本数           | 1本（中央：1/2）<br>3本（1/4間隔）                          |

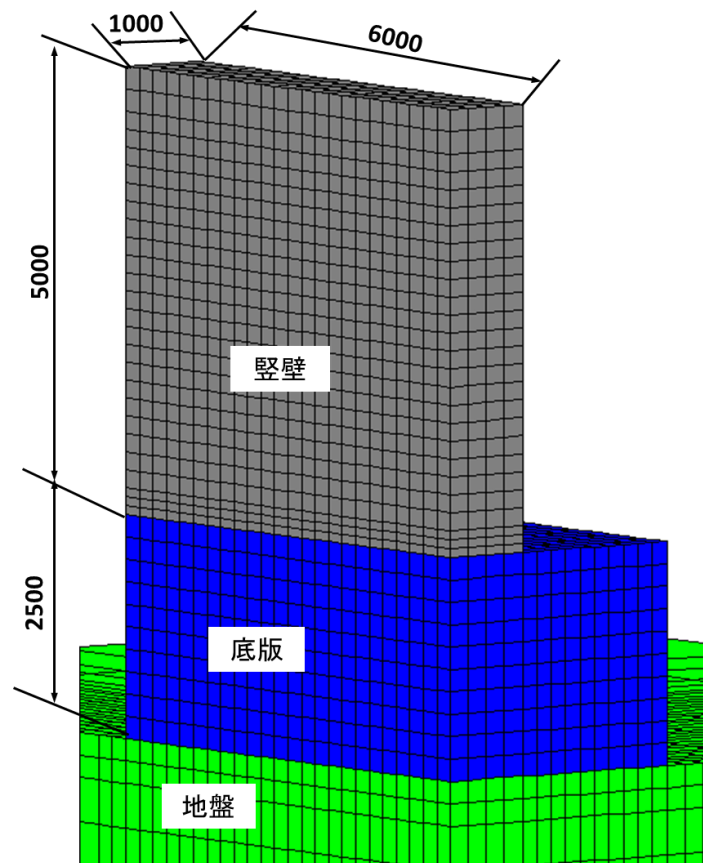
## ■解析モデル

### 【函渠工】



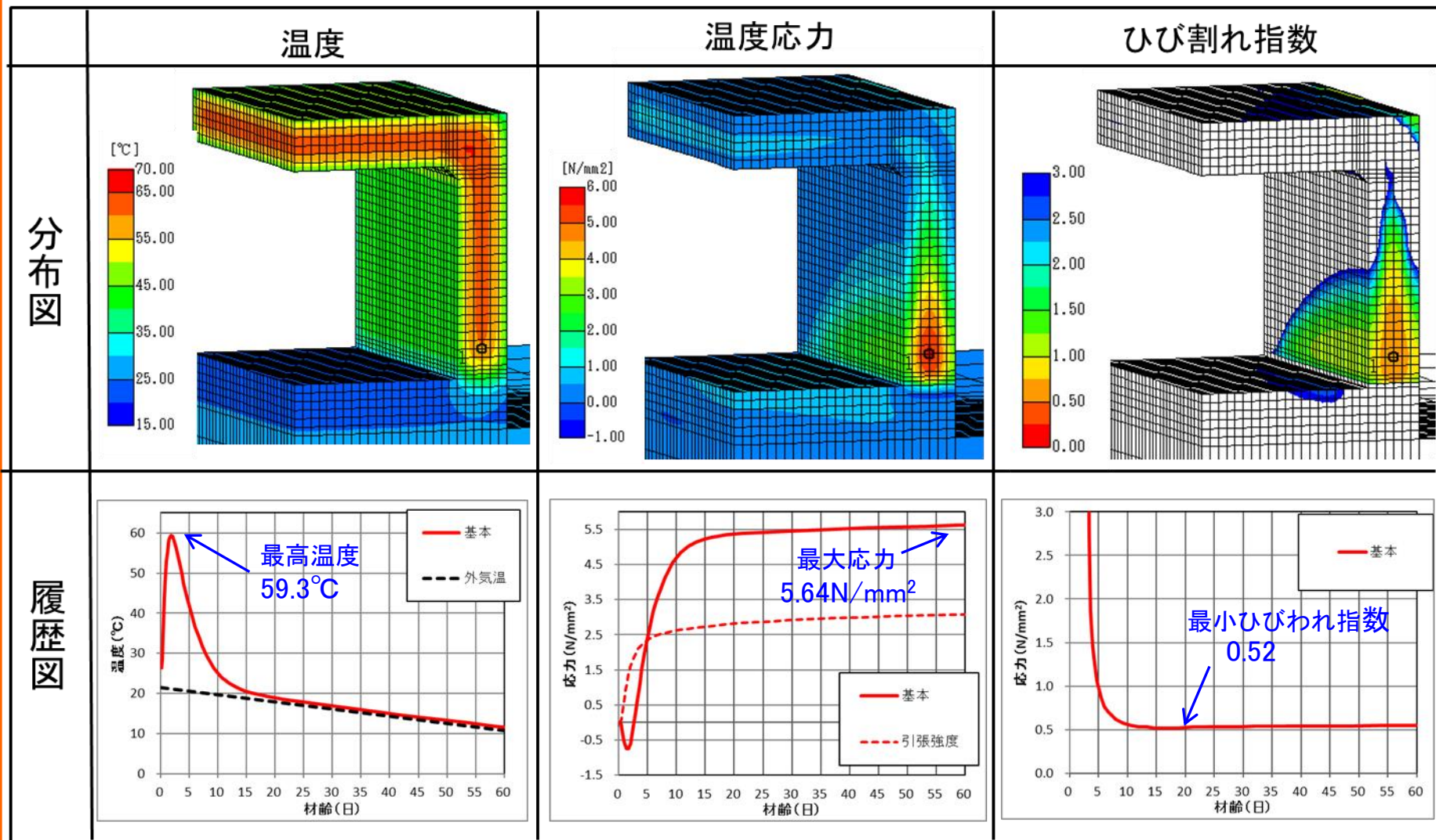
全長15mの半分を対象として  
1/4対称構造としてモデル化

### 【橋台】



全幅12mの半分を対象として  
1/4対称構造としてモデル化

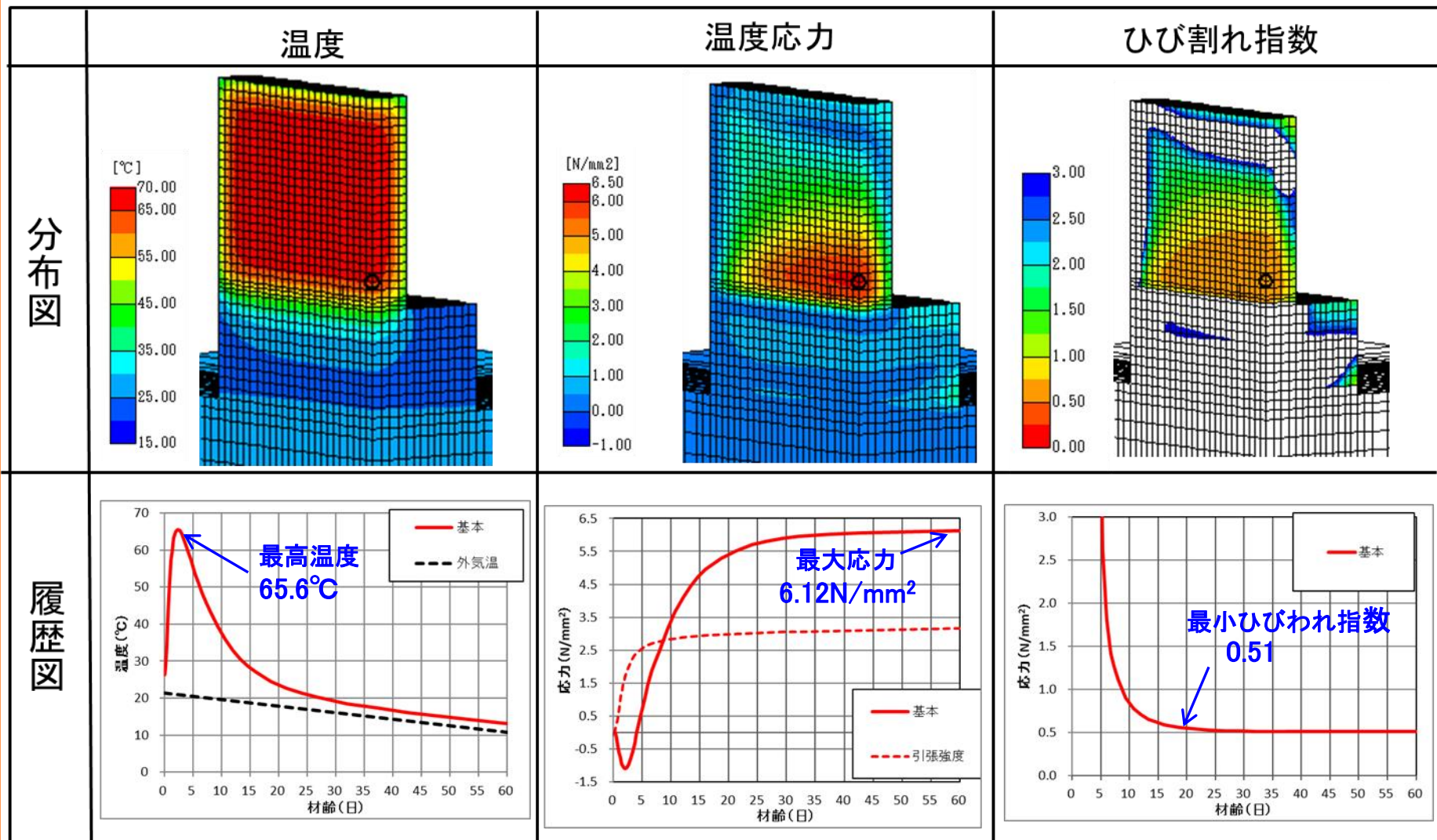
## ■解析結果（函渠工：基本ケース）



側壁は打込み温度26.4℃、最高温度59.3℃と32.9℃の温度上昇により、5.64N/mm<sup>2</sup>の引張応力が作用し、最小ひび割れ指数0.52、ひび割れ発生確率100%と温度ひび割れ抑制対策が必要となる。



# ■解析結果（橋台：基本ケース）



縦壁は打込み温度26.4℃、最高温度65.6℃と39.2℃の温度上昇により、6.12N/mm<sup>2</sup>の引張応力が作用し、  
 最小ひび割れ指数0.51、ひび割れ発生確率100%と温度ひび割れ抑制対策が必要となる。

## ■ 温度ひび割れ抑制対策の効果のまとめ

### 函渠工（側壁：壁厚1.2m）の場合

| 項 目        | 最小ひびわれ指数 |                      |            |                  |           |       |
|------------|----------|----------------------|------------|------------------|-----------|-------|
|            | ①<br>基本  | ②<br>①+ハ°イ°<br>クーリング | ③<br>②+膨張材 | ④<br>③+石灰石<br>骨材 | ⑤ ④+目地の設置 |       |
|            |          |                      |            |                  | 1本        | 3本    |
| 最小ひびわれ指数   | 0.52     | 0.62                 | 0.75       | 0.88             | 1.10      | 1.38  |
| 対策の効果（寄与分） | －        | +0.10                | +0.13      | +0.13            | +0.12     | +0.28 |
| ひび割れ発生確率   | 100%     | 98.6%                | 90.9%      | 70.2%            | 37.2%     | 16.1% |

### 橋台（豎壁：壁厚2.0m）の場合

| 項 目        | 最小ひびわれ指数 |                      |            |                  |           |       |
|------------|----------|----------------------|------------|------------------|-----------|-------|
|            | ①<br>基本  | ②<br>①+ハ°イ°<br>クーリング | ③<br>②+膨張材 | ④<br>③+石灰石<br>骨材 | ⑤ ④+目地の設置 |       |
|            |          |                      |            |                  | 1本        | 3本    |
| 最小ひびわれ指数   | 0.51     | 0.56                 | 0.66       | 0.78             | 0.94      | 1.26  |
| 対策の効果（寄与分） | －        | +0.05                | +0.10      | +0.12            | +0.16     | +0.32 |
| ひび割れ発生確率   | 100%     | 100%                 | 98.4       | 86.9%            | 59.8%     | 22.9% |



# まとめ

## 1. ひび割れ制御

函渠工と橋台は最小ひびわれ指数が0.5程度と、対策をせずに施工を行うと幅0.2mmを上回る貫通ひび割れが複数本発生する。そのため、マスコンクリートの施工においては、事前に対策を検討し、温度ひび割れを抑制する必要がある。

ひび割れ幅を0.20mm以下に制御するには、15ページの図(最大ひび割れ幅とひび割れ指数の関係)から最小ひび割れ指数が1.0でも鉄筋比0.5%配筋が必要。ただし、配力筋の鉄筋比は0.1%程度で、約4倍の鉄筋を增量配置となる。

## 2. ひび割れ抑制対策

温度ひび割れの汎用的な対策はひび割れ誘発目地（以下、誘発目地）の設置である。ただし、誘発目地を有効に機能させるための断面欠損率は、20%以上(2002年度版)、30~50%(2007年度版)、50%程度以上(2012年度版以降)と記述されている。温度ひび割れを確実に誘発するように改善が加えられ、一般的な方法として使用されている。

その他のマスコンクリート対策として、低発熱セメント、膨張材、高性能AE減水剤による単位セメント量の低減等の材料的な取組みも行われている。

構造物の大型化、コンクリートの富配合等により、1970年代後半から温度ひび割れ問題がクローズアップした。これを受け多くの研究成果が蓄積され、解析技術も進歩した。しかし、適切なマスコンクリート対策は今でも最重要課題となっている。