

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)

目次

1. 国土交通省 平成13年 国コ企第2号通達
・ひび割れ発生への対処の基本的な考え方
2. 温度ひび割れの事例
橋台、ボックスカルバート
3. 温度ひび割れの発生原因
4. 2012年制定 土木学会コンクリート標準示方書
5. マスコンクリートのひび割れ制御指針2008
(日本コンクリート工学会)
6. 温度応力解析事例

国土交通省 平成13年 国コ企第2号通達

☆4-1 工事完成後の維持管理等の基礎資料とするためのひび割れ発生状況の調査の実施は以下によること。

(1)適用範囲

ひび割れ発生状況調査の対象工種については、高さが5m以上の鉄筋コンクリート擁壁(ただしプレキャストを除く)、内空断面が25m²以上の鉄筋コンクリートカルバート類、橋梁上・下部工(ただしPCは除く)及び高さが3m以上の堰・水門・樋門とする。

(2)調査方法

- 1) 0.2mm以上のひび割れ幅について、展開図を作成するものとし、展開図に対応する写真についても提出させること。
- 2) ひび割れ等変状の認められた部分のマーキングを実施させること。

0.2mm以上ひび割れ:補修の記述は無い

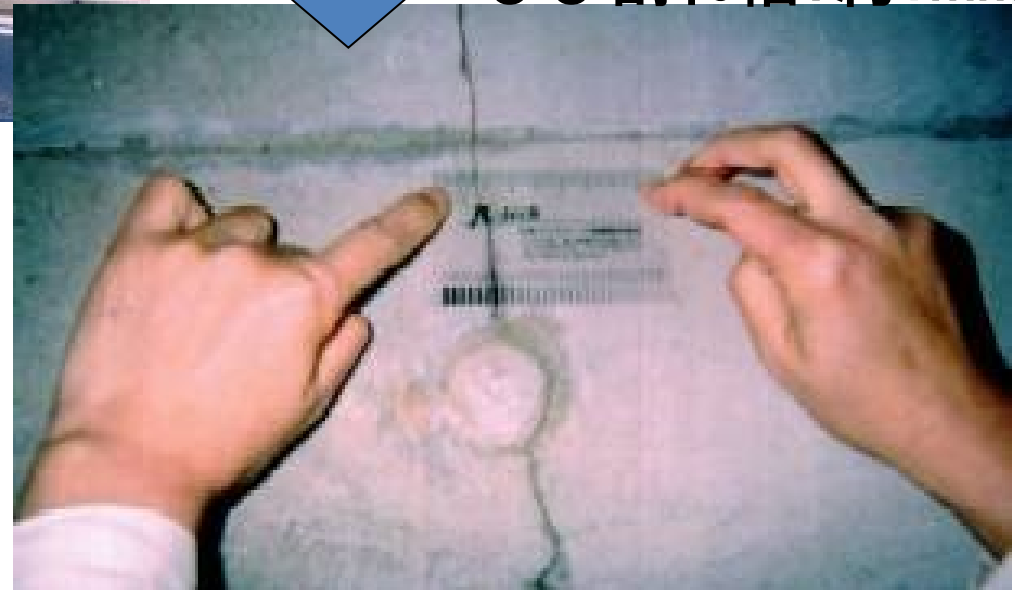
温度ひび割れ I

壁式橋台のひび割れ(1976年供用開始:35年構造物)



☆ひび割れ幅が大きい
☆貫通ひび割れ

ひび割れ幅:約1mm



☆ボックスカルバート側壁や
壁式橋台に発生しやすい。
☆壁体下部が底版等で拘
束されて発生する。

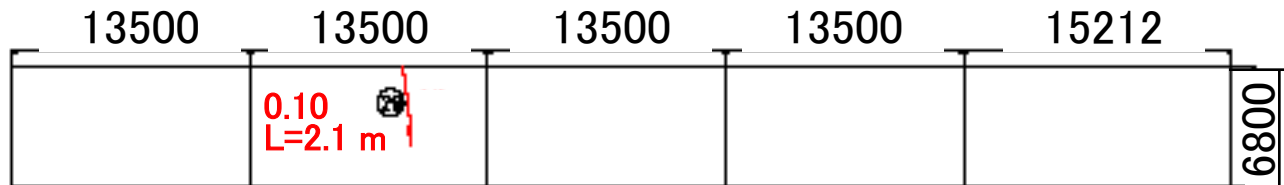
ボックスカルバート

総延長：69m 内空断面：5.6m × 13.7m 壁厚：60cm

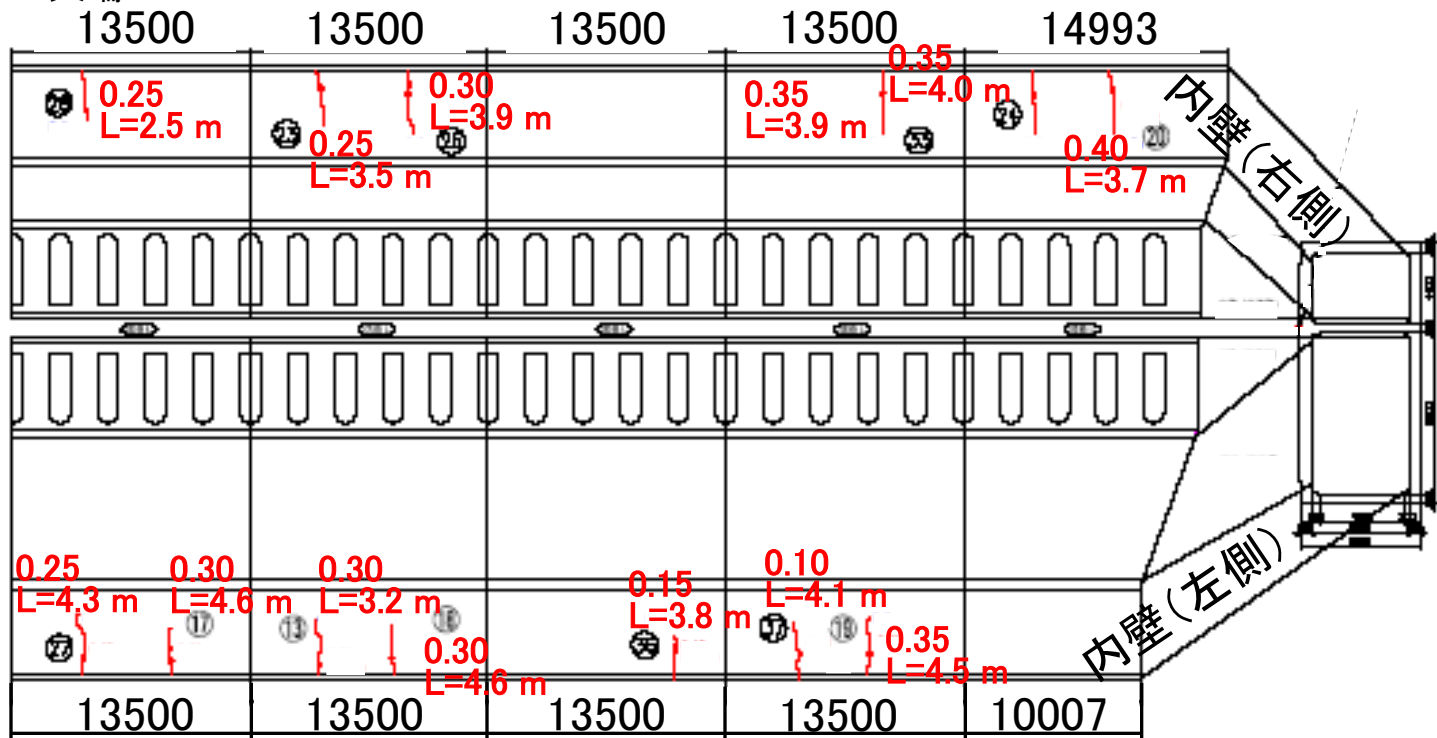


温度ひび割れⅡ

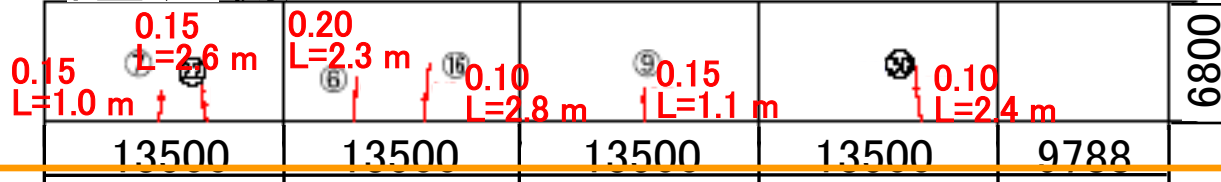
外壁(右側)



△天端

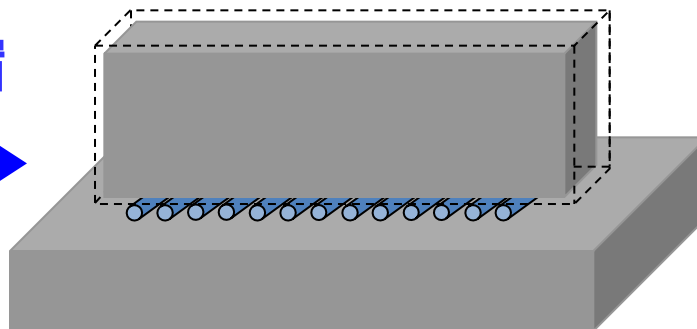


外壁(左側)

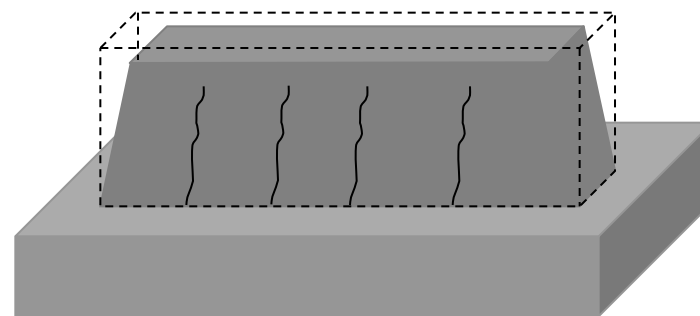
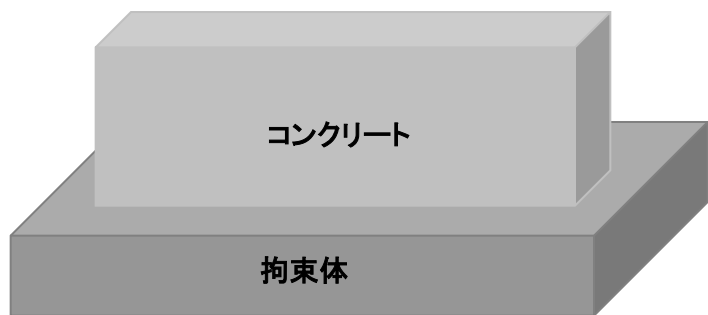


温度ひび割れの発生原因

温度降下により収縮



◇温度膨張



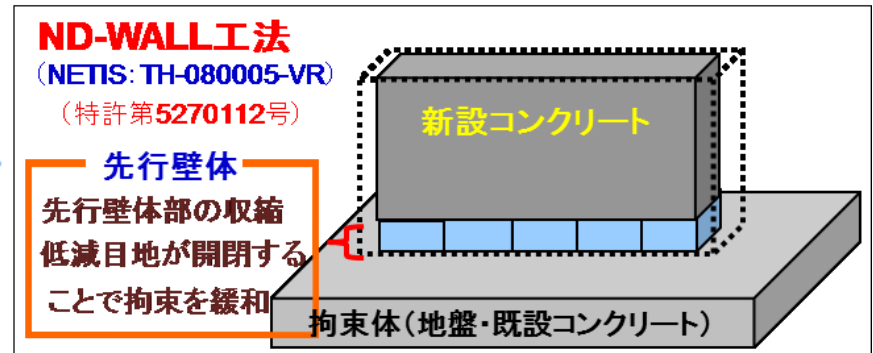
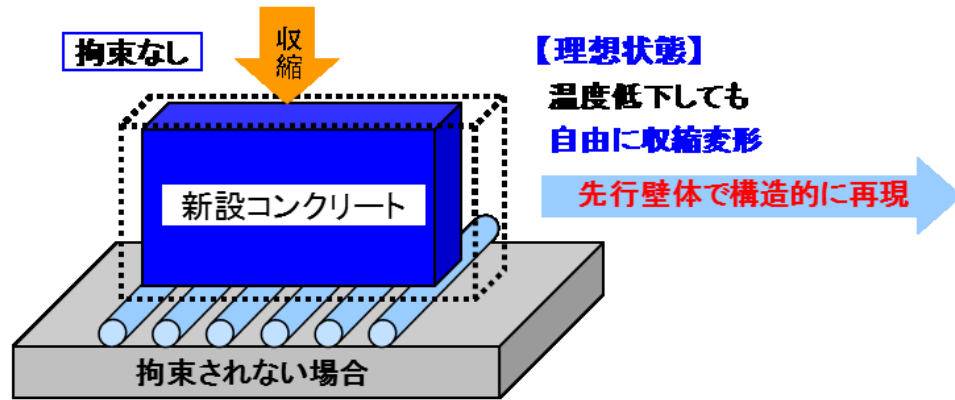
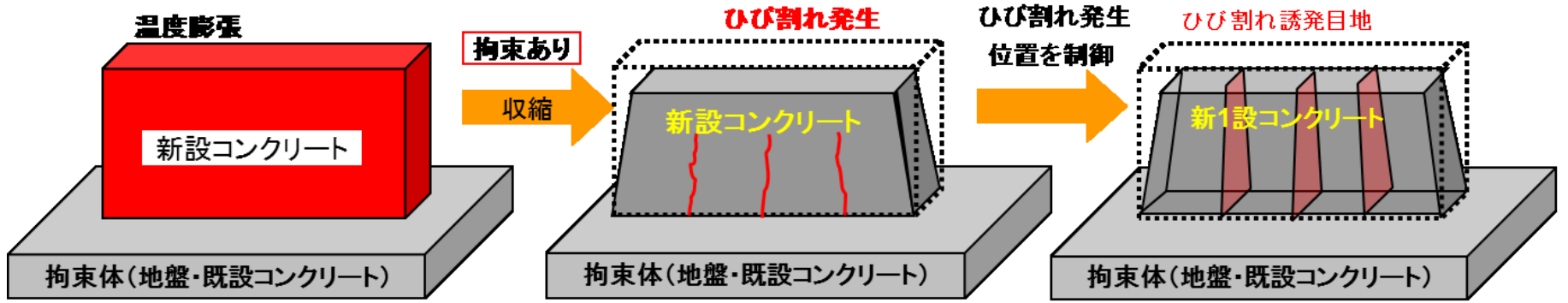
◇拘束されない場合

- ・温度降下時に自由に収縮する
- ・ひび割れの発生は無い

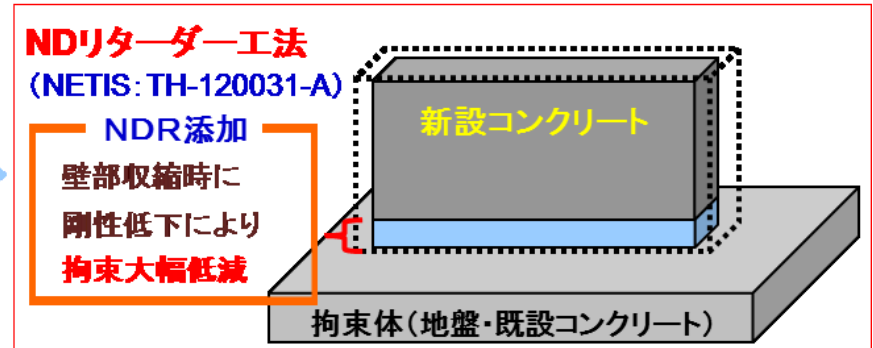
◇拘束される場合

- ・温度降下時に自由に収縮できない
- ・ひび割れが発生する

温度ひび割れ制御の考え方



超遅延剤添加コンクリートで材料面から再現



マスコンクリートについて

—2012年制定 コンクリート標準示方書—

コンクリート標準示方書

設計編：[本編12章](#)・標準6編、施工編：施工標準14章

12章 初期ひび割れに対する照査[設計編：本編]

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 収縮に伴うひび割れ幅の照査

12.1 一般

- (1) 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) 沈下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】(1)について・・・この章における初期ひび割れに対する照査も設計段階で行われることを念頭に置いている。・・・照査を施工段階または設計段階と施工段階の両方で実施した方がより合理的であることがある。・・・

(2)、(3)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決めにくい。が、お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以上と考える。**…

(4)について……一般に**マッシブな壁状の構造物等に発生する温度ひび割れを材料、配合上の対策により制御することは難しい場合が多い(壁状構造物はひび割れが発生しやすい)。**……**予定箇所にひび割れを確実に入れるためには、誘発目地の断面減少率を50%程度とする必要がある。**…

12.2 セメントの水和に起因するひび割れ照査

12.2.1 一般

- (1) ひび割れに関する照査では、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は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御する場合は、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) ひび割れに関する照査は、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。

12.2 セメントの水和に起因するひび割れ照査【解説】

(2)および(3)について セメントの水和に起因するひび割れを許容する場合には、ひび割れ幅がひび割れ幅の限界値以下であることを確認することによって照査を行うが、ひび割れの発生を許容しない場合には、ひび割れが発生しないことをひび割れ発生確率により照査することを基本とした。この場合には、ひび割れ発生確率の限界値を定めることになる。…

…ひび割れ幅の限界値は、耐久性、使用性を考慮して定めればよい。なお、塩化物による鉄筋腐食を検討する場合は、8.3に従い、ひび割れ幅が限界値以下であること、鋼材位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度以下であることをともに満足する必要がある。…

⇒ひび割れ制御も重要な対策である

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) ひび割れが発生しないようにする場合、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。

【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

γ_{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】**……ひび割れ幅は構造物の性能を損なわない範囲に制御する必要がある。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編に示された値**を用いてよいこととした。……

[設計編：標準]2編：耐久性に関する照査

2.1.2 ひび割れ幅に対する照査

(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 : かぶり) としてよい。ただし、 0.5mm を上限とする。

コンクリート標準示方書

設計編：本編12章・[標準6編](#)、施工編：施工標準14章

6編 温度ひび割れに対する照査[設計編：標準]

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章 温度解析

....

4章 応力解析

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、材料の力学的性質の標準値を示すものである。

【解説】・・・ここでは、セメントの水和に起因する初期ひび割れがコンクリート構造物の性能に与える影響の有無を確認する標準的な解析方法を示している。……

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 $P(\gamma_{cr})$ は、式(2.1.1)および図2.1.1により定めるものとする。

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

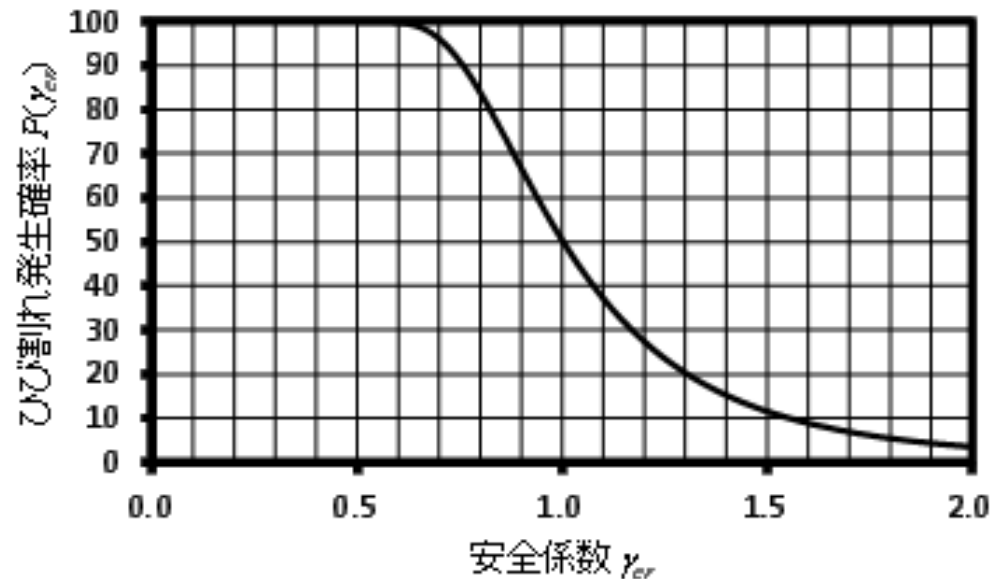


図 2.1.1 安全係数 γ_{cr} とひび割れ発生確率

(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。

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 γ_{cr}

	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

【解説】(1)について ひび割れ発生に対する照査は、検討期間中のひび割れ指数の最小値を用いて、式(解2.1.1)により行うことができる。

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

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

γ_{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、検討対象期間中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、3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。……

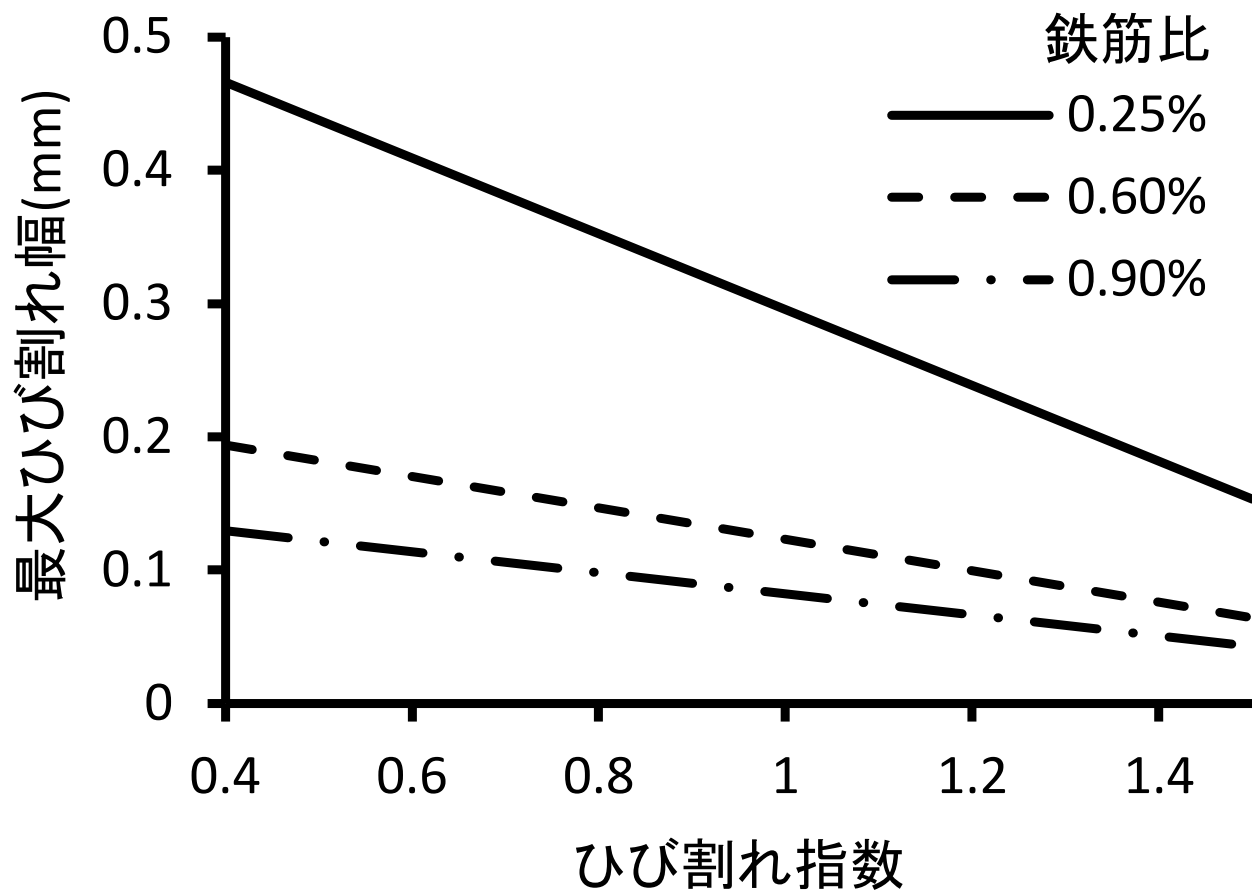
$$w_c = \gamma_a \left(\frac{-0.071}{p} \right) \times (I_{cr} - 2.04) \quad (\text{解2.2.1})$$

ここに、

w : 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。

γ_a : 温度ひび割れ幅を評価するための安全係数で、一般に1.0としてよい。ただし、鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える環境では、鉄筋比が0.25%で1.7、0.6%で1.0としてその間を直線補間して用いる。



解説 図2.2.1 最大ひび割れ幅とひび割れ指数の関係

3章 温度解析

3.1 解析手法

コンクリートの温度解析は、構造物(被拘束体)ならびに拘束体の形状、寸法等に応じて適切な解析モデルを用いて行わなければならない。

3.2 境界条件と初期温度条件

コンクリートの温度解析に使用する境界条件と初期温度条件は、打込み時のコンクリート温度等を考慮して定めなければならない。

3.3 コンクリートの発熱速度

コンクリートの温度解析に使用するコンクリートの発熱速度は、材齢と、場所ごとに異なるコンクリート温度を考慮してモデル化することを原則とする。部材最小寸法が0.5m以上であれば、断熱温度上昇特性が構造物のあらゆる部位のコンクリートに共通の発熱特性と仮定して、温度解析を行ってよい。

4章 応力解析

4.1 解析手法

コンクリートの体積変化に伴う応力は、温度解析による温度変化からコンクリート、鋼材および岩盤、地盤、基礎等拘束体の体積変化を求め、境界および変形の適合条件と力の釣合い条件を満足するように、算定することを原則とする。

4.2 自己収縮の考慮

自己収縮が無視できない場合は、水和発熱による体積変化と自己収縮の両者を考慮して応力を算定することを原則とする。自己収縮ひずみは、適用範囲と精度が検証されている試験あるいは推定式を用いて、定めることができる。

4.3 コンクリートの発熱速度

外部拘束体の考慮すべき範囲は、拘束体の体積変化によって被拘束体内に生じる応力発生が無視しうる範囲までとすることを原則とする。

4.4 鉄筋による拘束の影響

自己収縮と乾燥収縮はともに鋼材により拘束されることから、鋼材量が多い場合には、これらの変形が鋼材に拘束されることにより付加される引張応力を考慮するものとする。

コンクリート標準示方書

設計編：本編12章・標準6編、施工編：[施工標準14章](#)

14章 マスコンクリート[施工編：施工標準]

14.1 総則

14.2 実際の施工条件に基づく

温度ひび割れの抑制に関する証左

14.3 マスコンクリートに用いる

コンクリートの製造および施工における配慮

14.1 総則

- (1) セメントの水和熱に起因した温度応力が問題となる場合は、マスコンクリートとして取り扱い、その対策を十分に検討しなければならない。
- (2) マスコンクリートの施工にあたっては、[設計編：本編](12章 初期ひび割れに対する照査)による温度ひび割れに対する照査条件が実際の施工条件に合致しているかどうか確認しなければならない。照査条件が実際の施工に合致していない場合は、14.2に従って、施工を開始する前に実際の施工条件を勘案して、セメントの水和熱による温度ひび割れを抑制する対策を検討しなければならない。
- (3) マスコンクリートに用いるコンクリートの製造および施工にあたっては、施工前に検討された温度ひび割れを抑制する対策の効果が十分に得られるように、14.3に従って、コンクリートの温度調節、運搬、打込み、養生等を適切に計画し、実施しなければならない。

14.1 総則【解説】

- (1) について ……マスコンクリートの施工において特に留意すべき事項は、**温度ひび割れを防止あるいはひび割れ幅を抑制すること**である。構造物の用途、要求機能および要求性能が満足されるよう、ひび割れの防止あるいはひび割れ幅の抑制、ひび割れ間隔および発生位置等の制御を行うことが必要である。**⇒ひび割れ抑制は対策のひとつ**
- (2) について ……実際の施工を開始する前に、設計段階で想定した前提条件が実際の施工条件と合致しているかを確認しなければならない。その結果、**前提条件と実際の施工条件が合致せず、[設計編]での検討結果を修正する必要が生じた場合は、施工を開始する前に、実際の施工条件に基づき、[設計編]に示された方法により再度検討を行わなければならない。**

14.2 実際の施工条件に基づく

温度ひび割れ抑制に関する照査

- (1) マスコンクリートの打込み区画の大きさ、リフト高さ、継目の位置および構造、打継ぎ時間間隔、打込み温度、気温、養生等を考慮して、温度ひび割れに関する照査を行わなければならない。
- (2) セメントおよび混和材料については、設計で定めたものを用いることを原則とする。ただし、それ以外のセメントおよび混和材を使用する場合には、その特性を考慮して温度ひび割れに関する照査を行わなければならない。
- (3) ひび割れ幅を抑制するために配置する鉄筋は、ひび割れ幅の抑制効果について検討した結果に基づいて適切に配置しなければならない。
- (4) 温度ひび割れを制御するためのひび割れ誘発目地は、設計図書で定めた構造とし、所定の位置に設けることを原則とする。

14.3 マスコンクリートに用いる コンクリートの製造および施工における配慮

- (1) 複数のレディーミクストコンクリート工場で製造されたコンクリートを同一箇所に打ち込む場合には、混合したコンクリートが所要のワーカビリティを有することを確認しなければならない。
- (2) コンクリートの運搬距離、運搬方法、打込み方法、気象条件、その他の条件を考慮して、打込み温度が所定の値を超えないようにコンクリートの製造時の温度を設定しなければならない。
- (3) コンクリートの打込み温度は、あらかじめ計画された温度の上限値を超えないように対策を講じなければならない。打込み前にはコンクリートの温度を計測し、打込み温度が計画時の上限を超えた場合は施工計画を変更しなければならない。
- (4) 温度ひび割れの防止あるいはひび割れ幅の抑制が計画どおりに行えるように、打込む面および型枠面に対して適切に養生しなければならない。
- (5) コンクリートの型枠は、温度ひび割れ防止あるいはひび割れ幅の抑制が適切にできるように、その材料および構造を選定し、適切な期間存置しなければならない。

【解説】 材料、配合、製造

材料: 一般的には、中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメントなどの低熱型のセメントを使用することが望ましい。ただし、一般に市販されている高炉セメントB種は、温度が高いほど水和が促進され、発熱速度が大きくなる傾向にあることも十分に考慮して選定するのがよい。

配合: コンクリートの発熱量は単位セメント量にほぼ比例し、一般にはコンクリートの温度上昇量は単位セメント量 $10\text{kg}/\text{m}^3$ に対してほぼ 1°C の割合で増減する。

製造: コンクリートの打込み温度を低くすることは、部材内外の温度差と部材内の最高温度を低減させるので、温度応力が低減し、温度ひび割れの防止あるいはひび割れ幅の抑制に有効である。

⇒ 冬季施工が有利となることがある。

【解説】 養生、型枠

養生：部材全体の温度降下速度が大きくならないように、**コンクリート温度をできるだけ緩やかに外気温に近づける配慮**が必要である。そのため、必要に応じてコンクリート表面を断熱性の良い材料(発泡スチロールや保温性の高いシート等)で覆う保温、保護の処置をとるとよい。なお、必要以上の散水を行い、コンクリート表面の温度を低下させると、ひび割れの発生を助長させることがあるので注意が必要である。

型枠：部材の内部と表面部との温度差を小さくすることが効果的であり、保温性の良い型枠を使用し、型枠の存置期間より長くし、型枠の取外し後もコンクリート表面の急冷を防止するため、シート等によりコンクリート表面の保温を継続することが効果的である。

⇒ **保温養生は効果がある**

まとめ

温度ひび割れ：マスコンクリートに発生する温度ひび割れは防止することが困難な場合が多い。特に、下端が拘束される壁状構造物。コンクリート構造物に発生するひび割れの80%以上が温度ひび割れ。

2012年度版ポイント I：設計、実施工前に温度応力の解析・検討を2007年版から明示。⇒費用は発注者負担？

2012年度版ポイント II：ひび割れ制御としてひび割れ幅の限界値を明示。ひび割れ幅の限界値 $0.005c$ (c :かぶりmm)。

ひび割れ抑制のポイント：保温により温度低下を緩やかにする。下端の拘束を低減する。

⇒保温養生、ND-WALL工法、NDリターダー工法

JCI マスコンクリートのひび割れ制御指針2008

1. 総則
2. 温度ひび割れ制御の基本
3. 温度ひび割れ制御計画
4. 温度ひび割れ照査
5. 施工と管理
6. 検査

☆1986年発刊「マスコンクリートのひび割れ制御指針」の改定で、最新の温度ひび割れ制御技術や解析技術を取り入れ、**3次元FEM解析**を標準としている。

3章 温度ひび割れ制御計画

3.1 一般【解析】の概要: 材齢初期に発生する表面ひび割れは、照査(検証)の対象とはしていない。これは施工、特に養生を適切に行えばその発生を防止できる・・・。

3.2 制御目標値の限界値 3.2.1 ・・・防止する場合の限界値

温度ひび割れの発生を防止する場合には、対象となるマスコンクリート構造物の要求性能および環境条件を考慮して、温度ひび割れ発生確率の限界値を適切に定めなければならない。

ひび割れを発生させない場合

温度ひび割れ発生確率 $P(I_{cr})(\%)=5\%$

温度ひび割れ指数 $I_{cr}=1.85$

3.2.2 温度ひび割れ幅を制御する場合の限界値

- (1) …… 構造物の要求性能および環境条件を考慮して、コンクリート表面における許容ひび割れ幅を適切に定めなければならない。
- (2) …… 鉄筋腐食による劣化を検討する必要がある場合には、……許容ひび割れ幅を適切に定めなければならない。
- (3) …… 漏水抵抗性を検討する必要がある場合には、温度ひび割れが廊水量に影響を考慮して、許容ひび割れ幅を適切に定めなければならない。

【解説】の概要：許容ひび割れ幅の限界値は、土木学会コンクリート標準示方書と同一と考えてよい。

4章 温度ひび割れ照査

4.1 一般

- (1) 温度ひび割れの照査(検証)は、信頼性が検証された解析手法を用いて温度応力、温度ひび割れ幅を算定し、(2)、(3)により行うことを原則とする。……
- (2) 温度ひび割れを防止する場合の照査(検証)は、温度ひび割れ発生確率の限界値が満足されることを確認することによって行うことを原則とする。
- (3) 温度ひび割れの発生を許容する場合の照査(検証)は、ひび割れ幅の限界値(許容ひび割れ幅)が満足される……。
- (4) ……信頼できる既往の実績を用いて温度ひび割れの照査(検証)が可能な場合には、(1)～(3)に拠らずこれを適用することができる。

4章 温度ひび割れ照査のその他必要な内容

4.2 詳細解析に基づく温度ひび割れ照査 4.2.1・・・照査・・・

(1) 温度ひび割れを防止する場合の照査(検証)は、3次元有限要素法を用いた温度応力解析および応力解析に基づいて行うことを原則とする。

【解説】の概要

☆ 打込み後1日以内の極若材齢時にコンクリート表面部に生じるものや、内部拘束が卓越した構造物の材齢数日以内でのコンクリート表面部に生じるものは対象としていない。

☆ 温度ひび割れ発生確率5%に相当する温度ひび割れ指数は1.85。

4.2.2 温度ひび割れ幅を制御する場合の照査方法

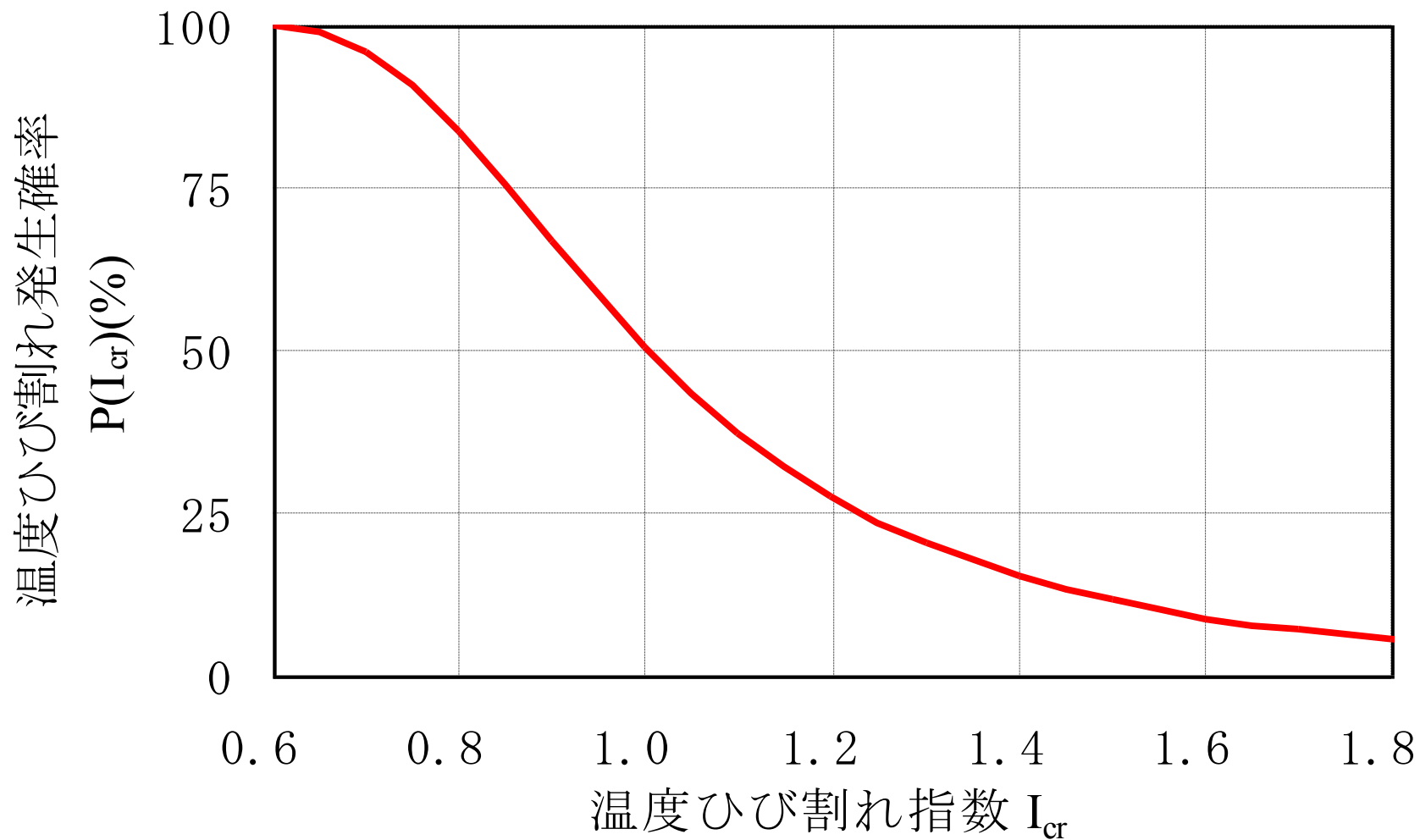
【解説】の概要

温度ひび割れ幅 w_c の評価式: 標準示方書(2012年版)で採用

$$w_c = \gamma_a \left(\frac{-0.071}{p} \right) \times (I_{cr} - 2.04)$$

鉄筋比と温度ひび割れ指数で
温度ひび割れ幅を推定

ひび割れ指数とひび割れ発生確率



【まとめ】

- (1) 土木学会コンクリート標準示方書[2012年版]においては、「ひび割れの発生を防止したい場合」のひび割れ指数の制御目標値を1.85以上としている。また、「ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合」のひび割れ指数の制御目標値を1.40以上としている。
- (2) 温度ひび割れ制御をひび割れ幅で行う場合は、ひび割れ幅を鉄筋比とひび割れ指数から以下の式で算定する(標準示方書では[2012年版]より適用)。

$$w_c = \gamma_a \left(\frac{-0.071}{p} \right) \times (I_{cr} - 2.04)$$