

コンクリートのひび割れについて





コンクリートの特性について

表-1 コンクリートの特性

	長 所	短 所
強 度	・圧縮強度が大きい	・引張強度が小さい
耐久性	・適切な維持管理で耐久性が期待できる (鉄筋を保護する性能がある) ・耐火性がある ・水密性が高い	・伸び能力が小さい (剛性を期待する場所は長所) ・ひび割れが入りやすい ・重い(重量を目的にする場合は長所)
その他	・鋼材等と比較した場合、安価 ・任意の形状にしやすい	・解体に費用がかかる ・設計者、製造者、施工者の技量や管理体制によって、品質や性能が変動しやすい



どうしてひび割れが生じるのか？

コンクリートのひび割れは、なんらかの原因によって発生するひずみが、コンクリートの伸び能力以上になると発生する。

- コンクリートに発生するひび割れの要因は多種多様である。
- ひび割れの発生機構および形態によって、ある程度原因が推定できる。



表-2 ひび割れ原因一覧

原因の分類	項 目	主な原因
材 料	セメント	異常凝結、異常膨張、水和熱
	骨材	含有鉱物、低品質、アルカリ反応性、泥分
	コンクリート	含有塩化物量、フレッシュコンクリートの沈下、ブリーディング、乾燥収縮
施 工	練混ぜ、運搬、打込み、締固め、養生、打継ぎ	混和材料の不均一、長時間の練混ぜ、打込み時の分離、急速な打込み、不十分な締固め、養生中の振動・载荷、初期凍害、打継ぎ不良
	鉄筋工	配筋の乱れ、かぶりの不足
	型枠工	型枠のはらみ、型枠の緩みによる漏水、早期脱型、支保工の沈下
環 境	物理的要因	環境温度・湿度の変化、コンクリート内外の温度・湿度差、凍結融解の繰り返し、火災、表面の加熱、セメント成分の溶脱
	化学的因子	酸・塩類の化学作用、中性化、塩化物イオンの侵入
構造・外力	構造設計	断面・鉄筋量の不足
	荷重条件	設計の荷重、不同沈下

1.材料が原因で発生するひび割れについて

1-1. セメントに起因するひび割れ

■ 風化したセメント、高温のセメントを用いると、異常凝結を起こし、幅が大きく、短いひび割れが比較的早期に不規則に発生する。

→ 対策) 適切なセメントの保管、温度管理

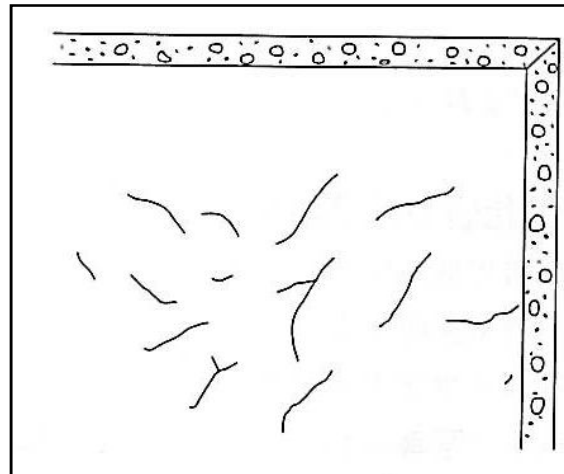


図-1. 異常凝結

■ セメント中に、生石灰(CaO)や酸化マグネシウム(MgO)が過剰に含まれていると異常膨張を起こし、放射型の網状のひび割れが発生する。

→ 対策) JIS R 5201に適合したセメントの使用

1.材料が原因で発生するひび割れについて

1-2. 骨材に起因するひび割れ(1)

■ 骨材に含まれている泥分が多いと局部的に多量の水分を含む為、コンクリートが乾燥するにつれて、表面に不規則な網目状のひび割れが発生する。

→ 対策) 規定された許容含有量に適合する骨材の使用

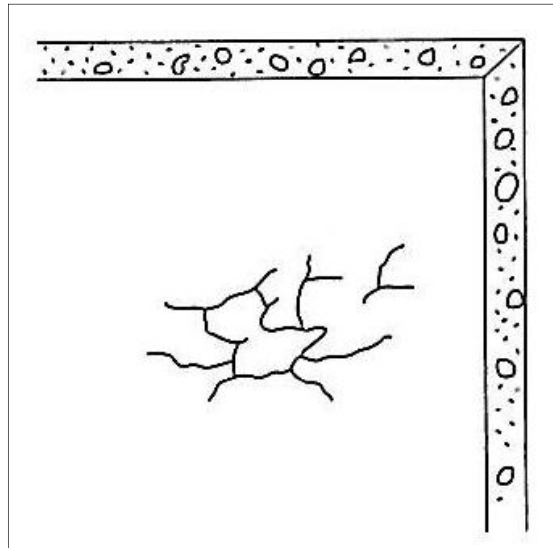
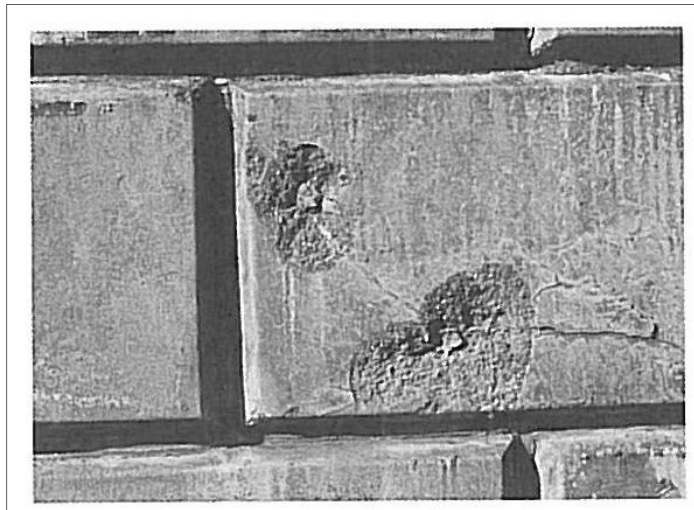


図-2. 骨材中の泥分の影響によるひび割れ

1.材料が原因で発生するひび割れについて

1-2. 骨材に起因するひび割れ(2)

- 風化岩や低品位な骨材を使用すると、吸水膨張を生じポップアウト状のひび割れが発生する場合がある。
→ 対策) JISに規定された規格値に適合する骨材の使用



写-1. ポップアウト



1.材料が原因で発生するひび割れについて

1-3. 練混ぜ水に起因するひび割れ

- 有害な不純物が含まれていると、コンクリートの凝結、硬化後のコンクリートの諸性質、鉄筋の発錆などに影響を及ぼす。
→ 対策) JISに規定された規格値に適合する練混ぜ水の使用

1-4. 混和剤に起因するひび割れ

- 過剰添加すると、凝結遅延を起こし、施工のタイミングを間違えるとひび割れを生じさせる。
→ 対策) 適切な使用量の管理

1.材料が原因で発生するひび割れについて

1-5. 混和材に起因するひび割れ

■ 混和材には、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、膨張材、石灰石微粉末、シリカフューム等があるが、過剰使用及び不均一な分散の場合、局部的なひび割れを生じさせる。

→ 対策) 適切な使用量及び均等な分散

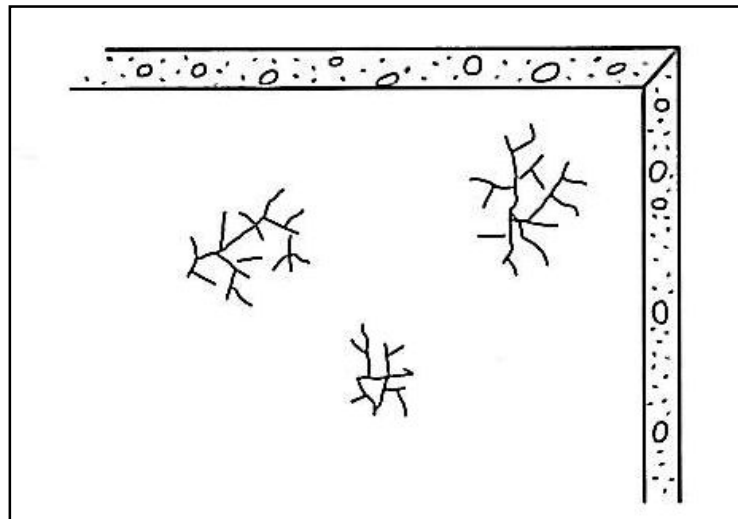


図-3. 混和材の不均一な分散によるひび割れ



2.施工が原因で発生するひび割れについて

表-3 施工中に生じやすい施工不備と欠陥

施工の不備の種類	生じやすい欠陥
ポンプ圧送時の トラブル	コールドジョイント、 ジャンカ等
不適切な打込み順序	ひび割れ
急速な打込み	ひび割れ、ジャンカ等
不十分な締固め	ジャンカ等
硬化前の振動や載荷	ひび割れ等
初期養生中の 急速な乾燥	表面ひび割れ
初期凍害	ひび割れ、表面劣化
不適切な打継ぎ	コールドジョイント
鉄筋の乱れ	かぶり不足等
型枠のはらみ	ひび割れ
型枠からの漏水	砂スジ、ジャンカ
型枠の早期除去	ひび割れ等
支保工の沈下	ひび割れ等



2. 施工が原因で発生するひび割れについて

2-1. 不適切な打込み順序によるひび割れ

■ コンクリートの荷重による、たわみが発生する橋梁の場合、不適切な打込みを行うとひび割れが発生する。

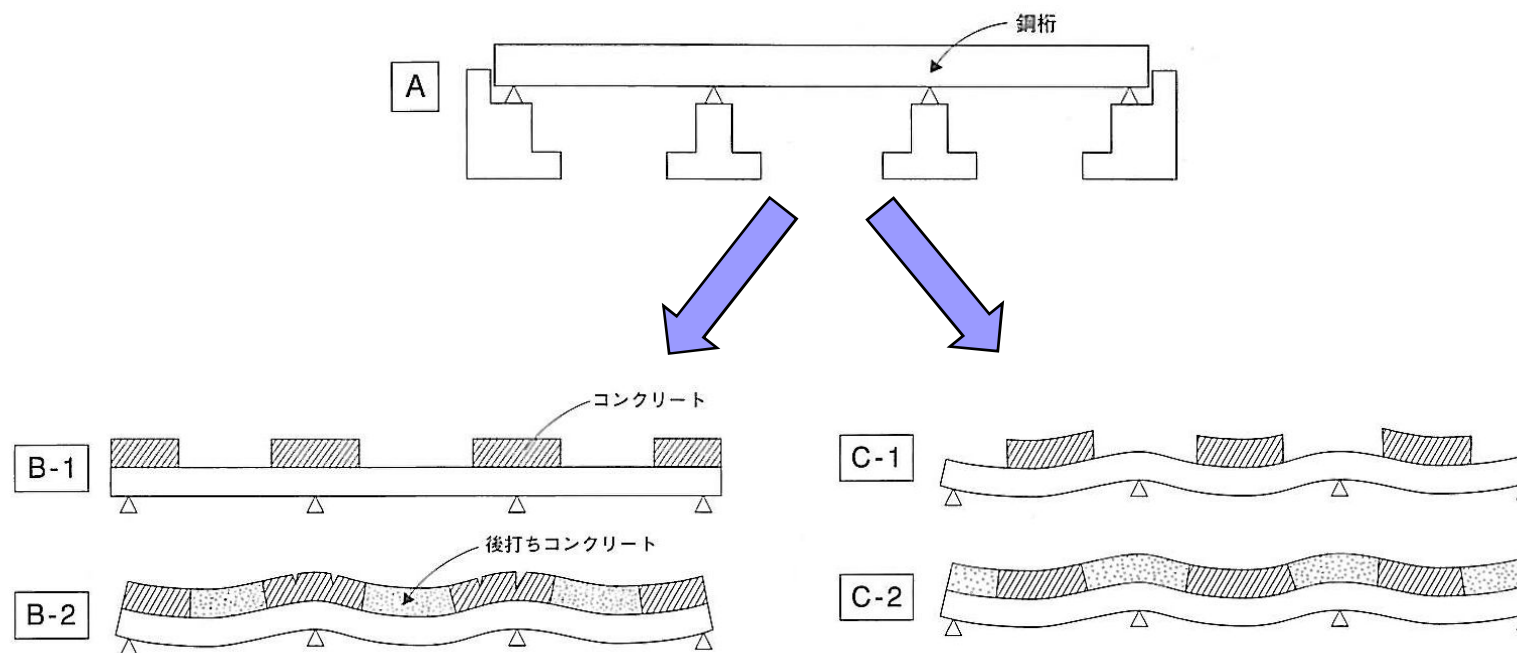


図-4. 合成桁におけるコンクリートの打設順序とひび割れの概念

2.施工が原因で発生するひび割れについて

2-2. 急速な打込みによるひび割れ

■ 急速な打込みを行うと、締固め不足になりやすく、コンクリートの沈下ひび割れが生じる。

→ 対策) 打設計画に基づく適切な施工。

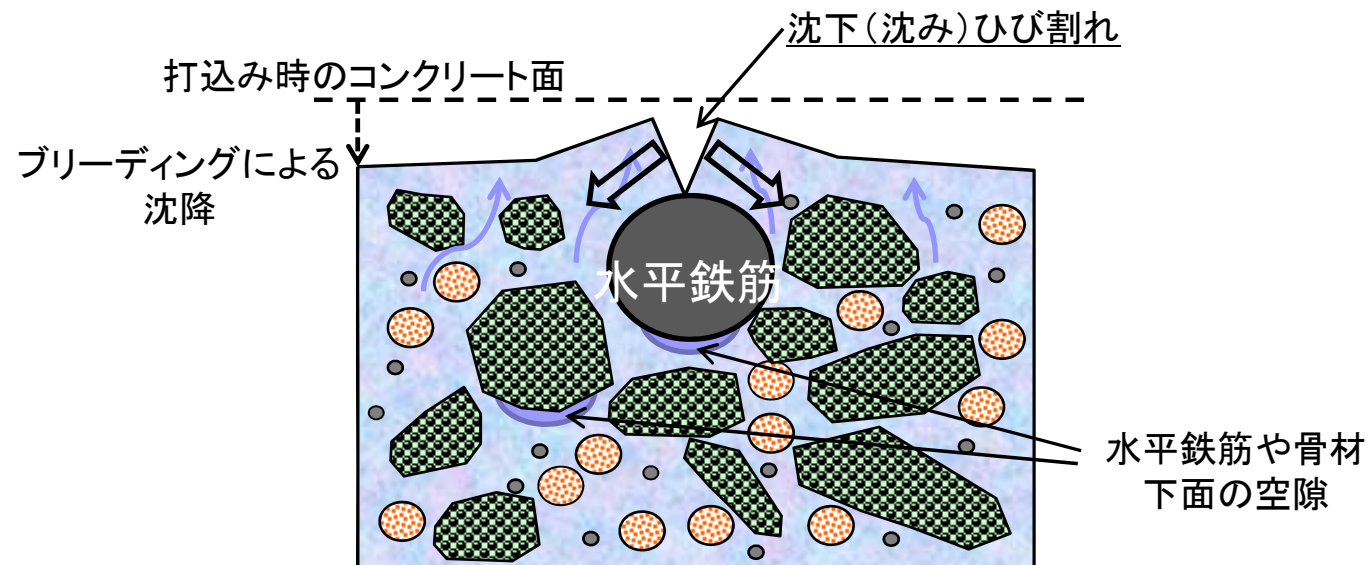


図-5. 鉄筋上側に沿ったひび割れ

2.施工が原因で発生するひび割れについて

2-3. 硬化前の振動や載荷によるひび割れ

■ 硬化前に振動が大きいと型枠の変形等によりひび割れが生じる可能性がある。また、十分な強度が出ていない時に、土圧や重機等の荷重により、予期せぬひび割れが生じる可能性がある。

→ 対策) 打設後の適切な期間までの養生管理。

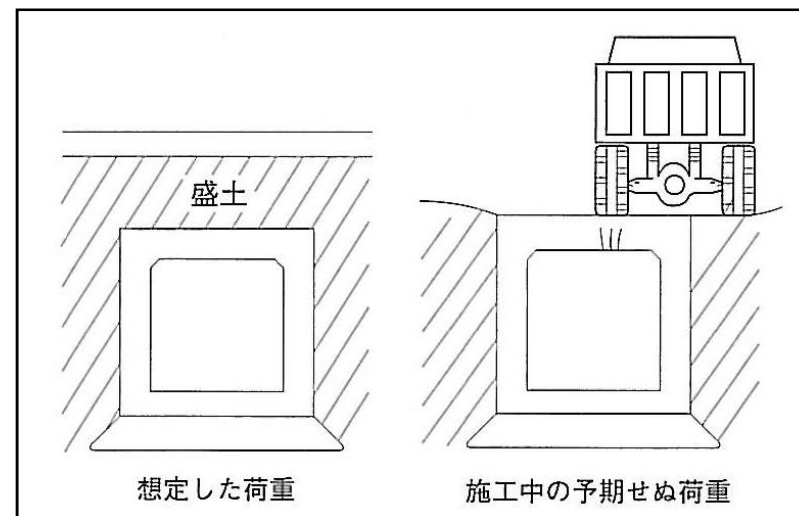


図-6. 施工中の予期せぬひび割れ

2.施工が原因で発生するひび割れについて

2-4. 初期養生中の急速な乾燥によるひび割れ

- コンクリートを打設して表面仕上げを終了した後、急速な乾燥を受けると、コンクリート表面に細かな亀甲状のひび割れが生じやすい。
→ 対策) 表面仕上げ後、適切な養生を行い、水分の逸散を防ぐ。

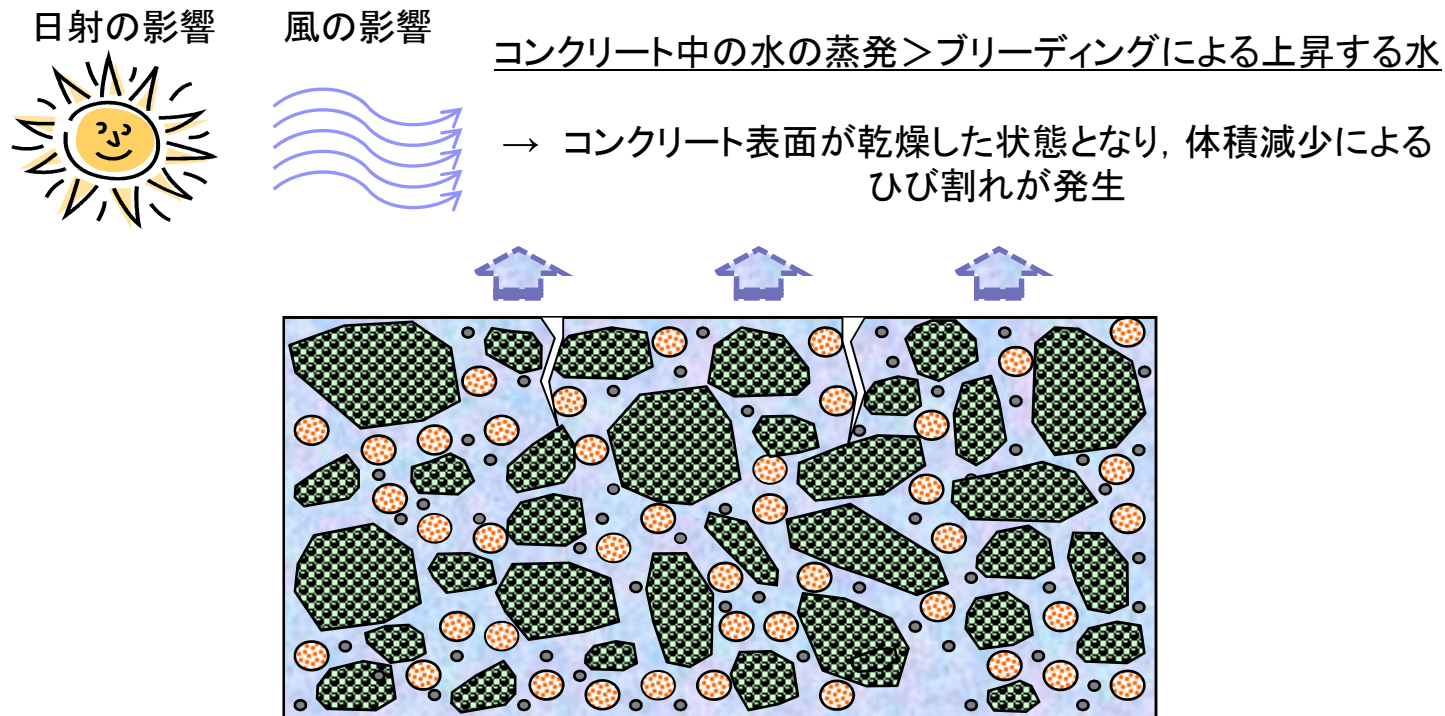


図-7. 急速な乾燥によるひび割れ

2.施工が原因で発生するひび割れについて

2-5. 型枠のはらみ・支保工の沈下によるひび割れ

- フレッシュコンクリートは液状化しており、型枠に液圧に近い圧力を及ぼす。特に温度が低い環境下、打設速度が速い施工時には、型枠に与える側圧は大きくなる。その時、型枠がはらみ、ひび割れが生じる。
 - 対策) コンクリートの特性が的確に把握し、型枠と支保工に十分な強度と剛性を持たせるとともに、計画通りの打込み速度を維持する事が重要。

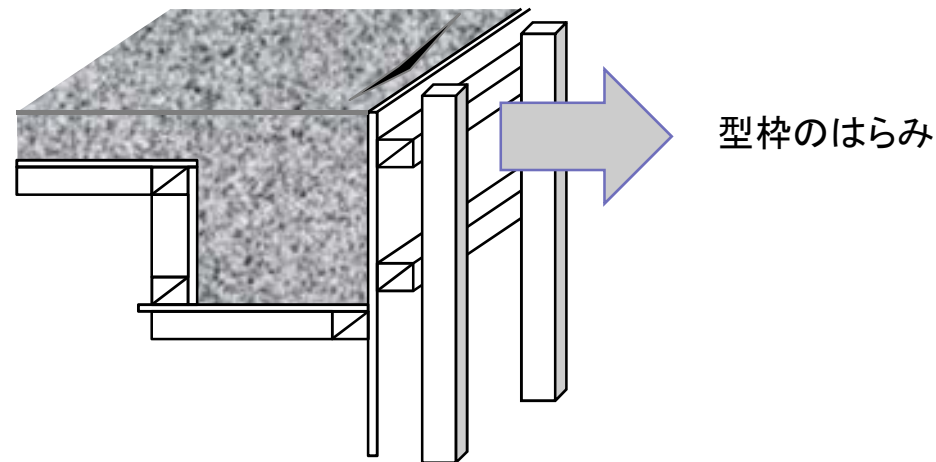


図-8. 型枠のはらみによるひび割れ

2.施工が原因で発生するひび割れについて

2-6. 型枠の早期脱型によるひび割れ

- コンクリートが十分な強度発現していない状態で、型枠・支保工を外してしまうと、コンクリートの自重によりひび割れが生じる。
→ 対策) 十分な強度発現を確認した後に取り外す。

湿潤養生期間の標準 [2012年制定]コンクリート標準示方書より抜粋

日平均気温	普通ポルトランドセメント	混合セメントB種	早強ポルトランドセメント
15℃以上	5日	7日	3日
10℃以上	7日	9日	4日
5℃以上	9日	12日	5日

湿潤養生の期間 JASS 5 -2009-より抜粋

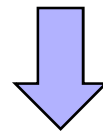
計画供用期間の級	普通ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント	中庸熱・低熱ポルトランドセメント, 高炉セメントB種, フライアッシュセメント
短期および標準	5日以上	3日以上	7日以上
長期および超長期	7日以上	5日以上	10日以上

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-1. 温度ひび割れ

■コンクリートは、セメントと水の水和反応によって発熱する。打設後、コンクリート構造物の温度上昇は、時間の経過とともに、外気温度に近づき、熱膨張係数に従い、伸縮する。

この際に、温度変化が生じにくい部材等による拘束があると、応力が発生する。



温度応力

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-1. 温度ひび割れ

■ 温度ひび割れには、内部拘束によるひび割れと、外部拘束によるひび割れがあり、それぞれパターンが異なる。

(i) 内部拘束によるひび割れ

水和熱によるコンクリート内部温度の上昇に伴い、構造体内部が熱膨張する際に、外気温度に近い構造体の表面部分は、引張り応力が発生する。この時に発生するひび割れを内部拘束温度ひび割れという。

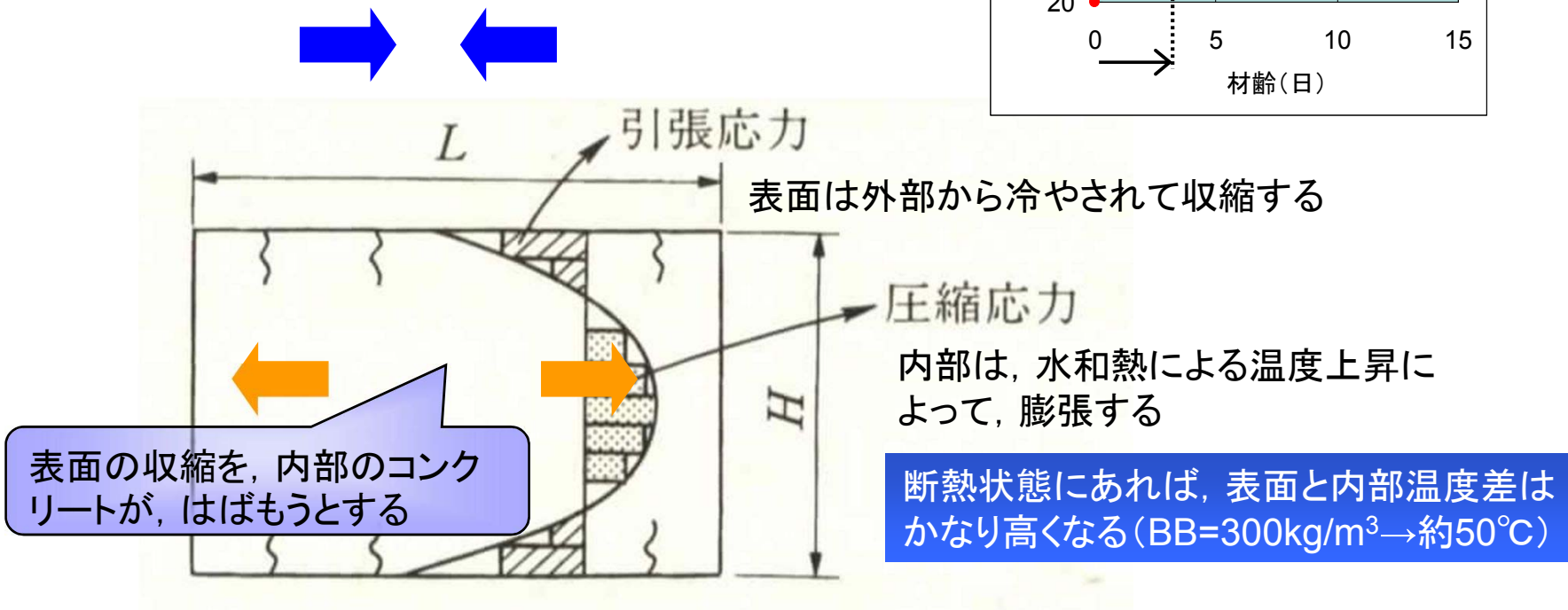
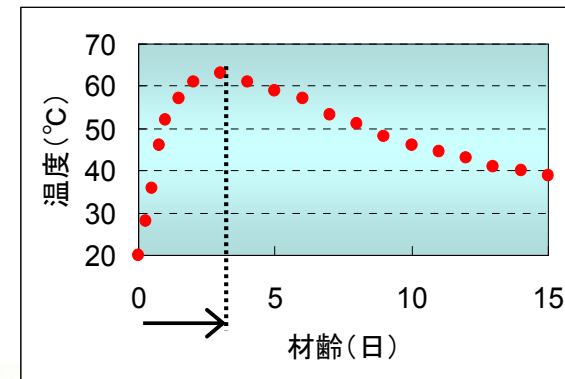
※ 断面の大きな構造物、寒い時期に生じやすい。

(ii) 外部拘束によるひび割れ

温度上昇した後、外気温度に近づこうと温度降下が起きる。この時、収縮しようとするが、既設構造物等があると拘束され、温度応力が発生し、外部拘束温度ひび割れが生じる。

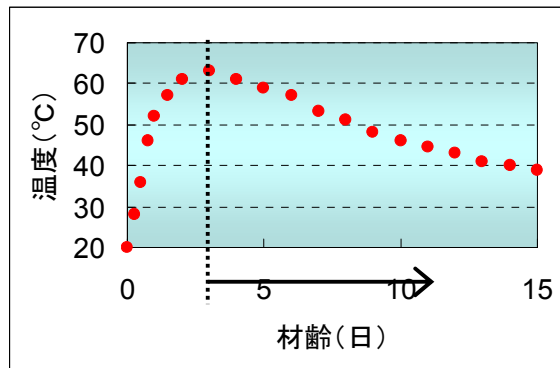
3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

(i) 内部拘束によるひび割れ

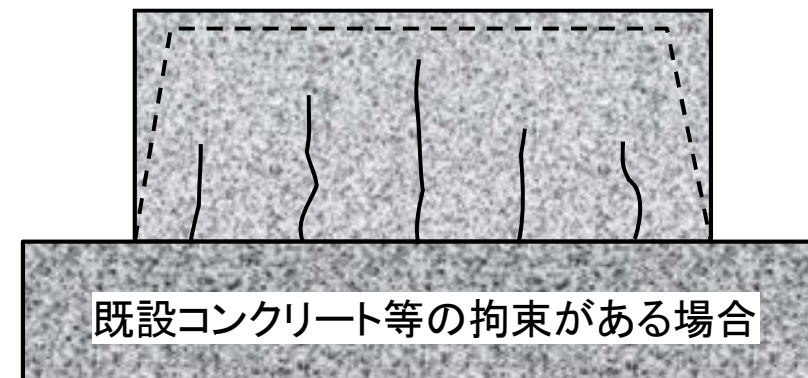
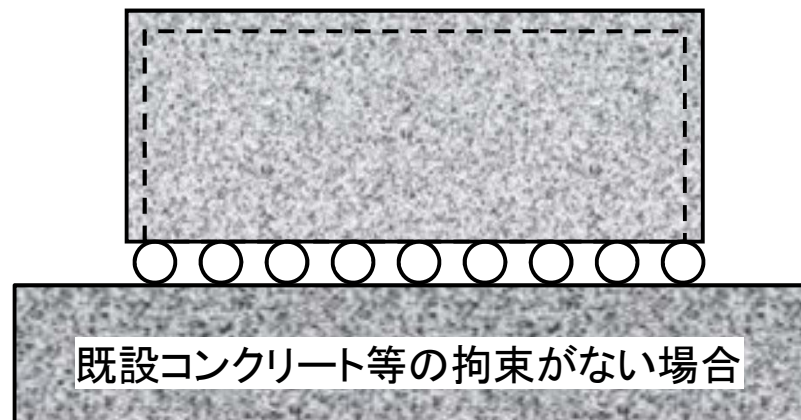


3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

(ii) 外部拘束によるひび割れ



※ 部材を貫通するひび割れが多い



3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

コンクリート構造物の温度ひび割れの照査

※”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) 2.3.2 温度ひび割れの照査“より抜粋

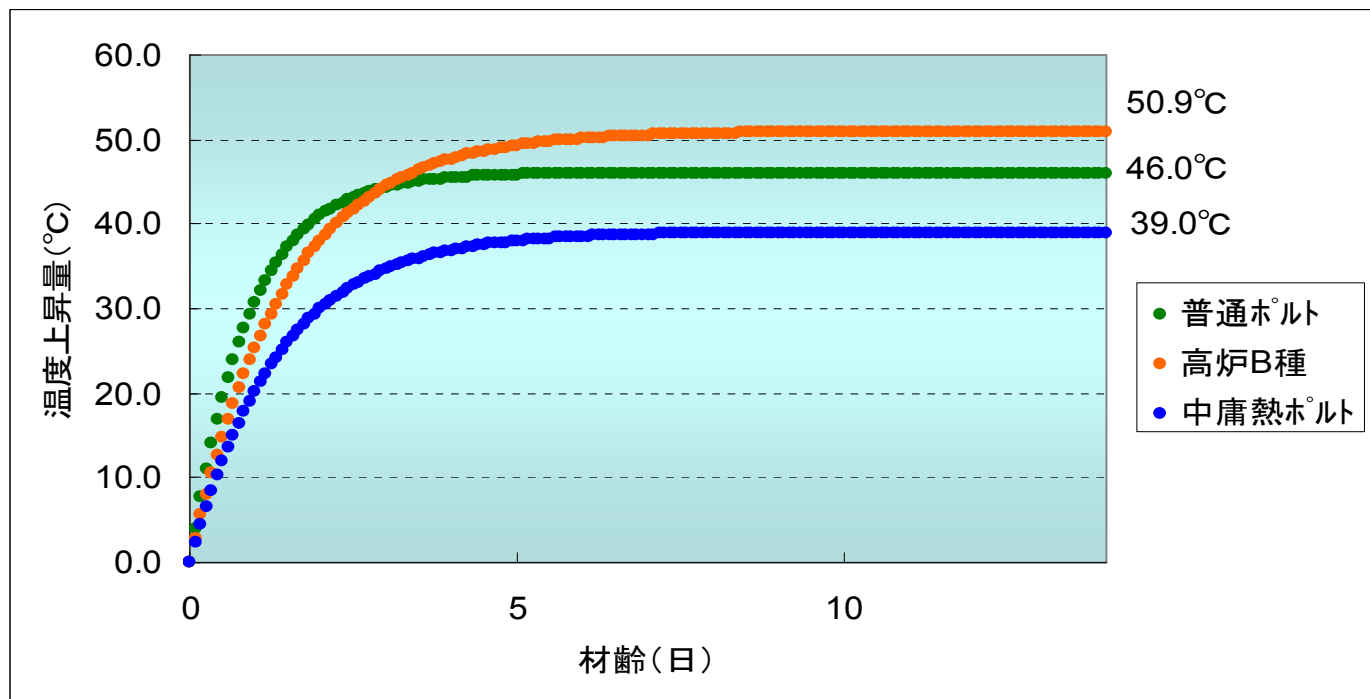
対象構造物

- ① 広がりのあるスラブ状で、厚さが800～1000mm以上の部材
例) 橋脚のフーチング, 各種構造物の底版など
- ② 下端が拘束された壁状で、厚さが500mm以上の部材
例) ボックスカルバートの側壁, 擁壁, 橋台の縦壁, 壁式橋脚, 排水機場など
- ③ 比較的断面が大きく柱状で、短辺が800～1000mm以上の部材で、施工上水平打継目が設けられる構造物
例) 橋脚の柱部, 門柱など

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

セメントが水和する際に発生する水和熱が、コンクリート部材内部に蓄積されて、内部と外部に温度差による応力が発生することが原因

セメント水和熱による、コンクリート温度上昇 ※[2007年制定]コンクリート標準示方書より抜粋



3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

ひび割れ発生の有無の照査

※[2007年制定]コンクリート標準示方書より抜粋

$$\underline{I_{cr}}(t) \geq \underline{\gamma_{cr}}$$

$I_{cr}(t)$: ひび割れ指数

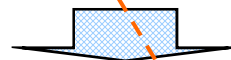
$$I_{cr}(t) = \underline{f_{tk}}(t) / \underline{\sigma_t}(t)$$

$f_{tk}(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの引張強度

$\sigma_t(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの最大主引張応力度

γ_{cr} : ひび割れ発生確率に関する安全係数。一般に1.0～1.8としてよい。

※ひび割れ指数が、1.0未満の時には、1.0以上となる対策工を立案する

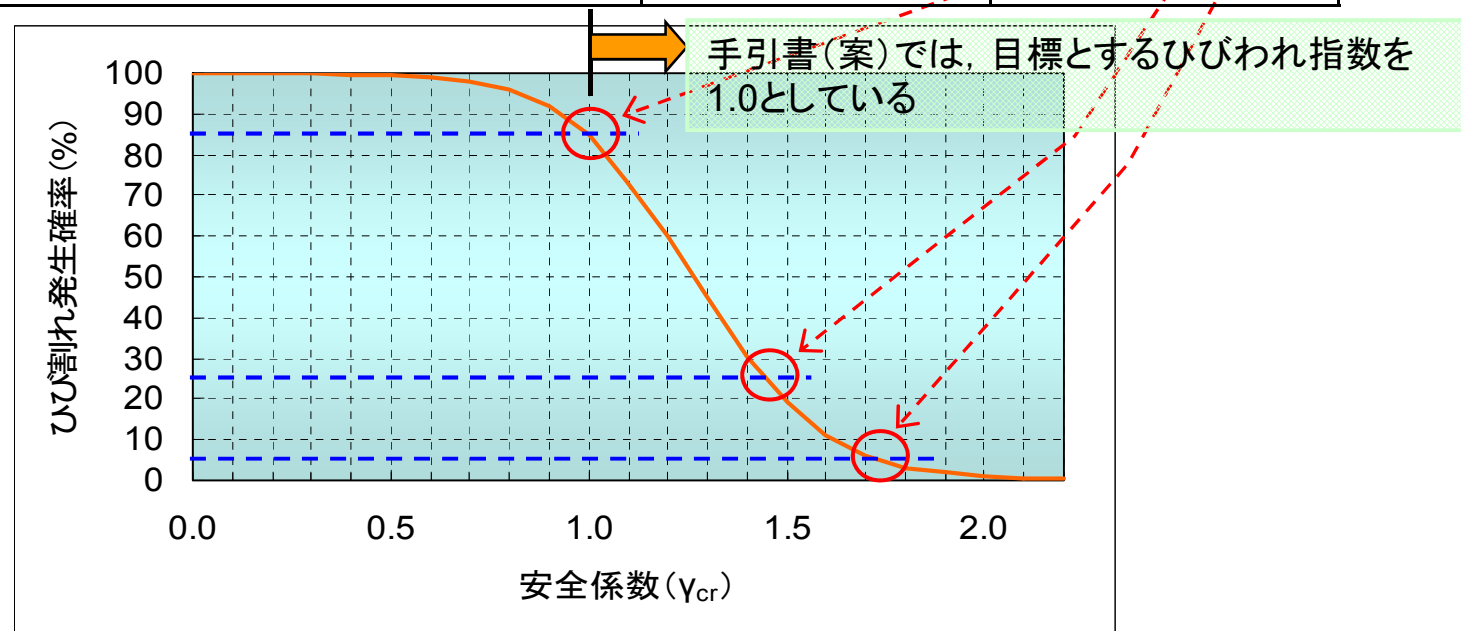


コンクリートの引張強度を高くするか(分子を大きくする),
温度応力を低減させる(分母を小さくする)

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

標準的なひび割れ発生確率と安全係数 γ_{cr} の参考値

	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





3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

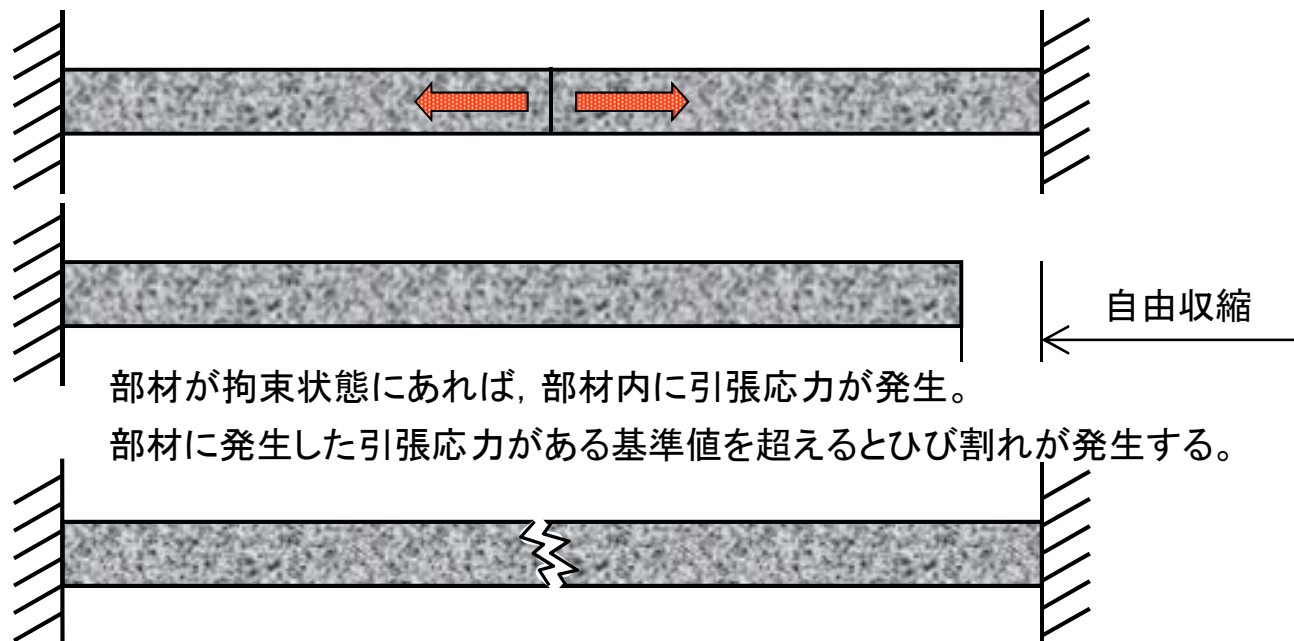
■対策)

- ① 水和発熱を抑える
 - ・水和発熱量の小さいセメントの選択。(例えば、低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント等)
 - ・高性能AE減水剤使用による単位水量の低減。(セメント量の抑制)
- ② コンクリートを冷却する
 - ・練混ぜ水及び骨材の冷却。(プレクーリング工法)
 - ・コンクリート内部に冷却管を用いて、冷水や冷風を流して冷却。(パイプクーリング工法)
- ③ 発生応力を抑える
 - ・新設の構造物の長手方向を分割する。
 - ・誘発目地に応力を集中させる。

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

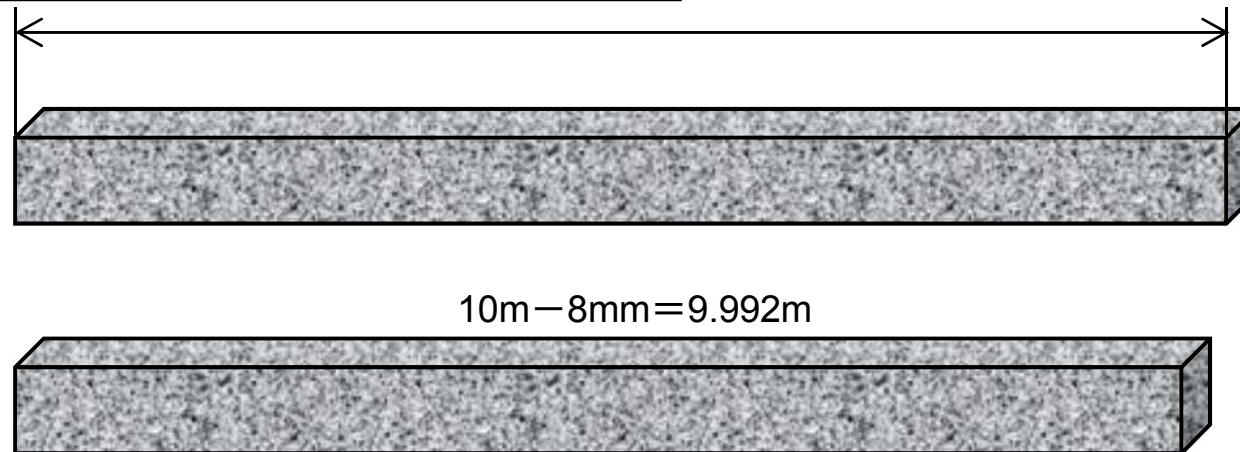
3-2. 乾燥収縮ひび割れ

■コンクリートは、乾燥すると収縮する。コンクリート構造物は、何らかの拘束が必ず存在している。例えば、鉄筋・鉄骨や接合部材などによって拘束された場合、引張応力が発生し、この引張応力がコンクリートの引張強度を超えるとひび割れが発生する。



3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-2. 乾燥収縮ひび割れのメカニズム



例えば、部材長10mの場合
コンクリートの乾燥収縮ひずみ: $800 \times 10^{-6} (\mu)$
乾燥収縮量 : 8mm

> コンクリートの伸び能力: $1 \sim 200 \times 10^{-6} (\mu)$
コンクリートの伸び能力: 2mm

∴ 部材を引っ張った場合、2mm伸びた段階(相当の応力発生)
でひび割れが発生する

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-2. 乾燥収縮に影響を及ぼす要因

- ① コンクリートの単位水量
単位水量が多いほど、コンクリート中の自由水が多くなり、乾燥収縮は大きくなる。
- ② セメントの性質・量
比表面積が大きいもの(粉末度が細かいもの)は 乾燥収縮率が大きい傾向がある。また、単位セメント量が多いほど大きくなる。
- ③ 骨材の性質
岩種によって、収縮率が大きく違う。
骨材の弾性係数が大きいものほど、コンクリートの乾燥収縮率は小さい。
骨材自体の乾燥収縮が大きいものほど、コンクリートの乾燥収縮率が大きい。
- ④ 湿度、乾燥期間
湿度が高いほど、乾燥期間が短いほど、コンクリートの乾燥収縮率は小さい。

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-2-1. 乾燥収縮の低減対策

- ① 単位水量をできるだけ少なくする。
- ② 収縮が比較的小さいセメントを使用する。
- ③ 骨材自体の乾燥収縮率が小さいものを使用する。
- ④ 混和材料で、収縮低減型の混和剤や、膨張材などを適切に使用する。
- ⑤ 施工欠陥を生じないよう均一なコンクリートを打設する。
- ⑥ 打設後は、湿潤養生を行い、急激な温度変化が生じないようにし、直射日光や風があたらないように十分養生する。
- ⑦ 型枠はできるだけ長く存置する。

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-2-2. ひび割れ幅の制御対策

コンクリート構造物に有害なひび割れを発生させない事が重要であり、ひび割れ幅を小さくする対策と、ひび割れを計画された位置に発生させる対策がある。

ひび割れ幅を小さくする対策

- ① 最大ひび割れ幅を鉄筋量で制御する。
- ② 乾燥収縮ひび割れの発生が予測される位置に補強筋を入れる。

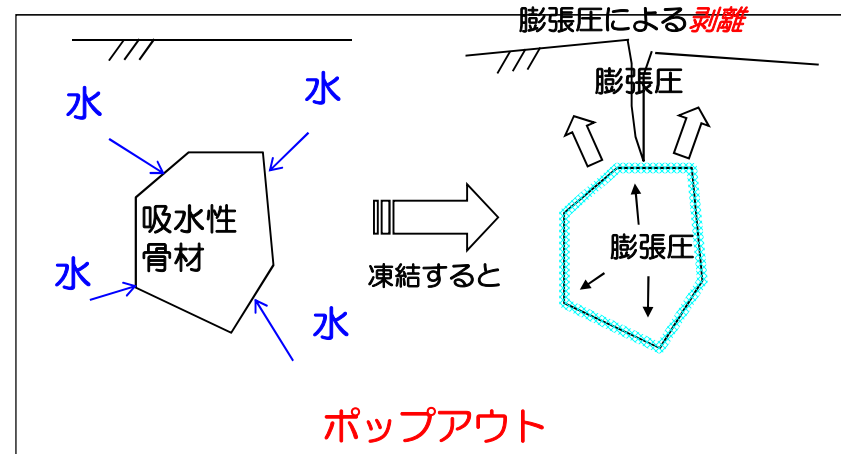
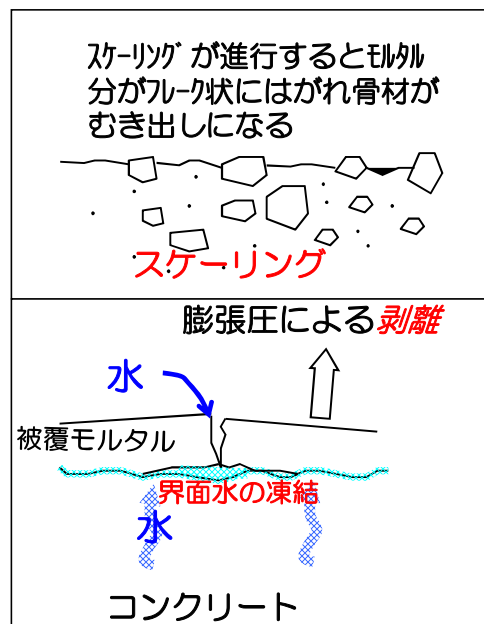
ひび割れを計画された位置に発生させる対策

- ① 誘発目地を適所に設置し、ひび割れを目地に誘発する。
→ 目地には、要求される性能が発揮できるようシールする。

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-3. 凍結融解作用によるひび割れ

■気温の低下に伴いコンクリート中の水分が凍結し、気温の上昇に伴い融解する。これが、繰り返し起こると、コンクリート内部では、圧縮応力と引張応力が発生し、次第に微細なひび割れを生じさせる。
この作用で生じるひび割れを凍結融解によるひび割れという。



3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-3. 凍結融解によるひび割れの低減対策

① 耐凍害性に優れた骨材の使用

→ 密度が大きく吸水率の小さい骨材を用いる。

コンクリート標準示方書より抜粋

	細骨材	粗骨材
絶乾密度	2.5g/cm ³ 以上	2.5g/cm ³ 以上
吸水率	3.5%以下	3.0%以下
硫酸ナトリウムを用いた骨材の安定性試験による損失質量	10%以下	12%以下

② 適正な空気量を確保

→ AE減水剤によって、コンクリート中の空気量を3～6%確保する。

③ 水セメント比を小さくする

→ AE減水剤等を用いて、単位水量をできるだけ少なくする。

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-4. 鉄筋の腐食によるひび割れ

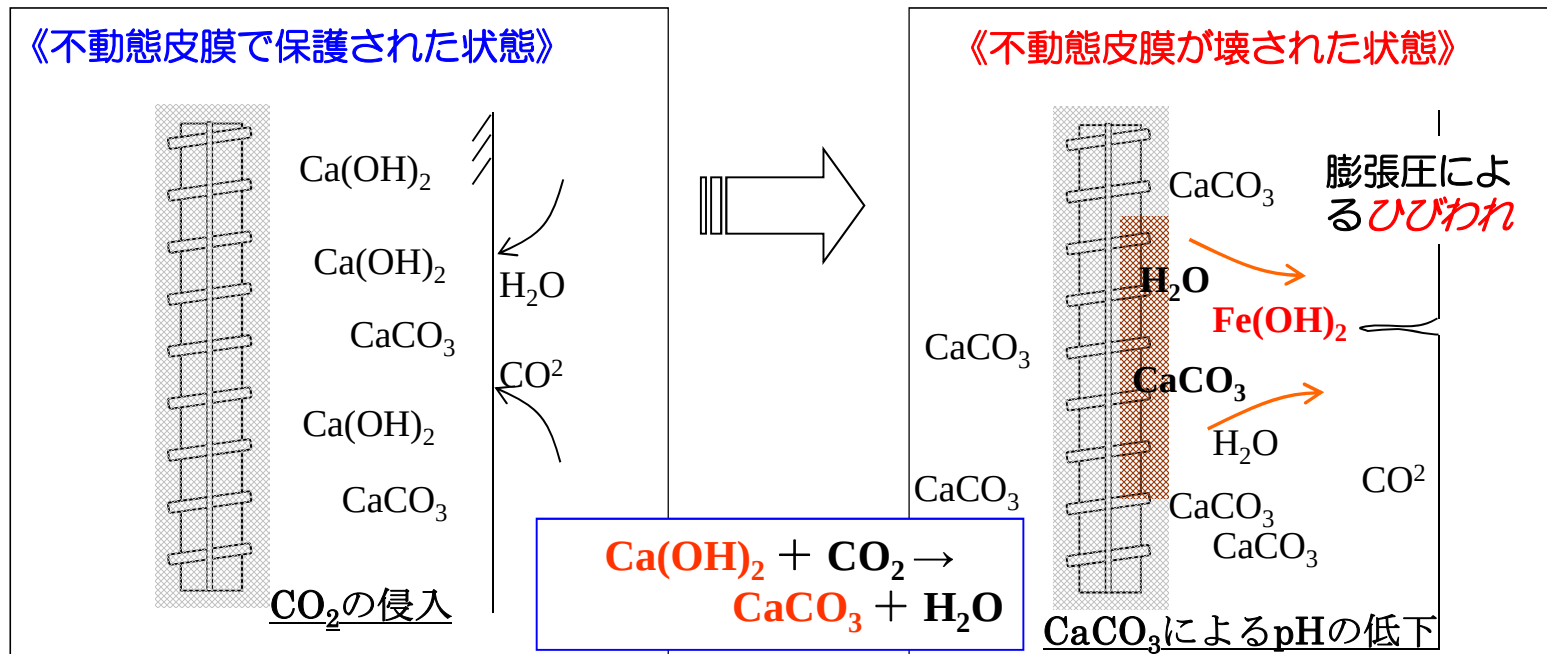
■鉄筋は、コンクリート内部のように高いアルカリ性における環境化では、鉄筋表面に不動態皮膜と呼ばれる薄い層ができ、錆びにくい。しかし、この不動態皮膜が破られ、鉄筋が錆びてしまう場合がある。このような劣化現象として、中性化や塩害が挙げられる。

3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

(i) 中性化による錆びとひび割れ

■コンクリート中のアルカリを支配する水酸化カルシウムが二酸化炭素との反応で消費され、アルカリが低下する。この結果、鉄筋周りの不動体皮膜が破壊され、鉄筋が発錆し、その膨張圧により被りコンクリートがひびわれたり、剥落する現象。

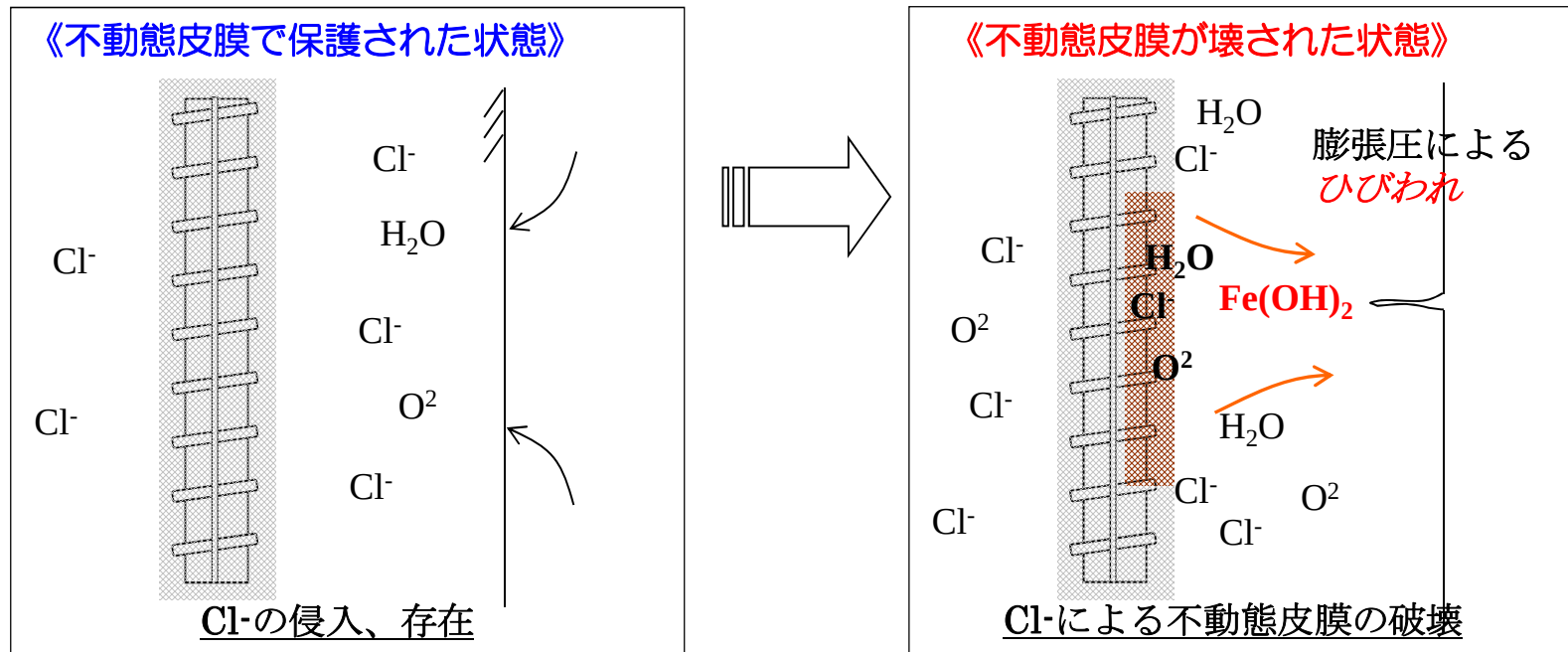
→ 対策) 適切なかぶり厚さの確保、鉄筋の防錆処置等



3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

(ii) 塩害による錆びとひび割れ

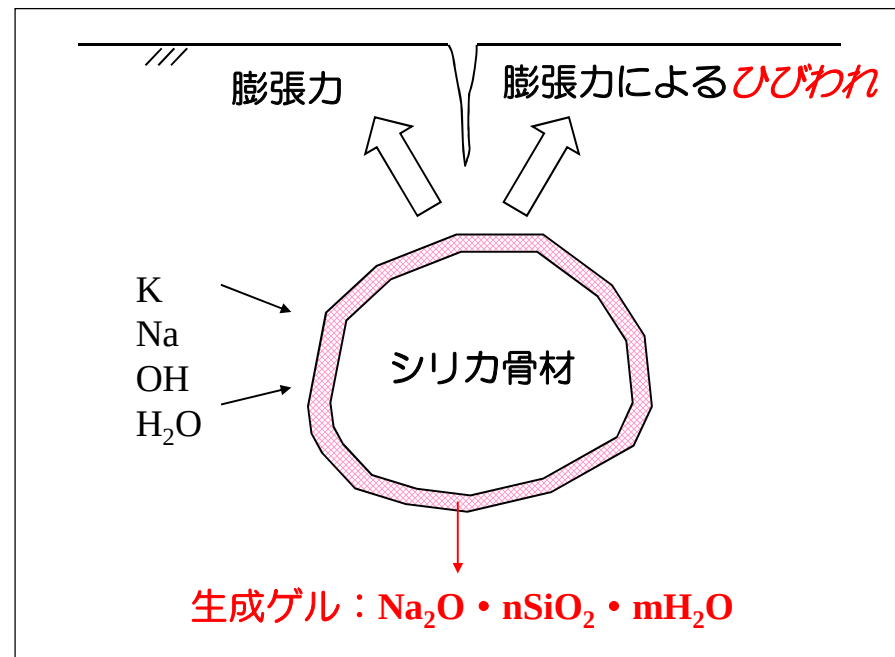
- コンクリート製造時に混入、あるいは構造物の使用中に侵入し、蓄積された塩化物イオンが酸素・水の存在下で鉄筋の不動体皮膜を破壊し、腐食が促進され、その膨張圧により被りコンクリートがひびわれたり、剥落する現象。
→ 対策) 塩化物イオン量を抑える(0.3kg/m^3 以下)、鉄筋の防錆処置等



3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-5. アルカリ骨材反応によるひび割れ

■コンクリート中のアルカリ成分とアルカリシリカ反応性鉱物含有するが反応を起こし、その反応生成物が吸水膨張することによって、コンクリートに有害なひび割れを生じる現象をアルカリ骨材反応という。



3.環境が原因で発生するひび割れについて (打込み後に発生するひび割れ)

3-5. アルカリ骨材反応によるひび割れの低減対策

- ① 安全と認められる骨材を使用する
→ 骨材のアルカリシリカ反応性を判定する試験方法として、化学法とモルタルバー法があるが、それぞれの試験判定において、無害の骨材を使用する。
- ② アルカリシリカ反応抑制対策効果のある混合セメントなどを使用する。
- ③ コンクリート中のアルカリ量を規制する
→ コンクリート中のアルカリ総量を 3kg/m^3 以下にすると、アルカリ骨材反応が顕在化することがほとんどなくなる。
- ④ コンクリートへの水分供給を防止する
→ アルカリ骨材反応の劣化の進行は、反応生成物の吸水膨張である。外部からの水分供給を遮断することで、反応の進行を抑えることが出来る。

4.各種ひび割れに対する補修の必要性について

補修の要否に関するひび割れ幅の限度

環境²⁾ その他の要因¹⁾ 区分		耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	—
(A)補修を必要とするひび割れ幅(mm)	大	0.4以上	0.4以上	0.6以上	0.2以上
	中	0.4以上	0.6以上	0.8以上	0.2以上
	小	0.6以上	0.8以上	1.0以上	0.2以上
(B)補修を必要としないひび割れ幅(mm)	大	0.1以下	0.2以下	0.2以下	0.05以下
	中	0.1以下	0.2以下	0.3以下	0.05以下
	小	0.2以下	0.3以下	0.3以下	0.05以下

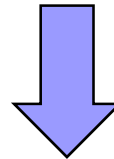
注： 1)その他の要因(大, 中, 小)とは, コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し, 下記の要因の影響を総合して定める。ひび割れの深さ・パターン, かぶり(厚さ), コンクリート表面の塗膜の有無, 材料・配(調)合, 打継ぎなど。

2)主として鋼材のさびの発生条件からみた環境条件。

※コンクリート技術の要点'12より抜粋

まとめ

コンクリートのひび割れは、コンクリートを構成する各材料や、施工方法、気象条件、硬化までの養生方法等、様々な要因が影響している。
そして、ひび割れは、これら複合的な要因で発生している場合が多い。



重要なこと！

コンクリートはその材料特性から、ある程度のひび割れを許容しなければならない。それを加味した上で、構造物として、許容できるひび割れか、許容できないひび割れかを、技術者が判断し、許容できないひび割れについては、現場の環境を含めた、コンクリート構造物のひび割れ発生要因について事前に検討し、適切な対策を行う事である。また、仮にひび割れが発生した場合でも、補修の必要性について検討し、適切な補修を行う事が重要である。



ご清聴ありがとうございました