

主催：高知県コンクリート診断士会
第4回コンクリート技術研修会

コンクリート構造物の ひび割れ抑制対策

広島工業大学 工学部 教授

十河 茂幸

そごう

しげゆき

十河 茂幸(そごう しげゆき)

広島工業大学 工学部 都市デザイン工学科 教授

経歴： 1974年 九州工業大学大学院修了 同年 大林組入社

1974年～2011年 大林組技術研究所 所属 理事退職

2012年～ 現職

活動： 土木学会 コンクリート示方書 2007年改訂の幹事 他

日本コンクリート工学会 収縮特別委員会 委員長

東日本大震災対応委員会 他

図書： 日経BP社 コンクリート名人養成講座 ほか

話の構成

1. 不具合のいろいろ・ひび割れの分類
2. ひび割れの発生メカニズム
3. ひび割れの抑制対策
4. 初期ひび割れの課題

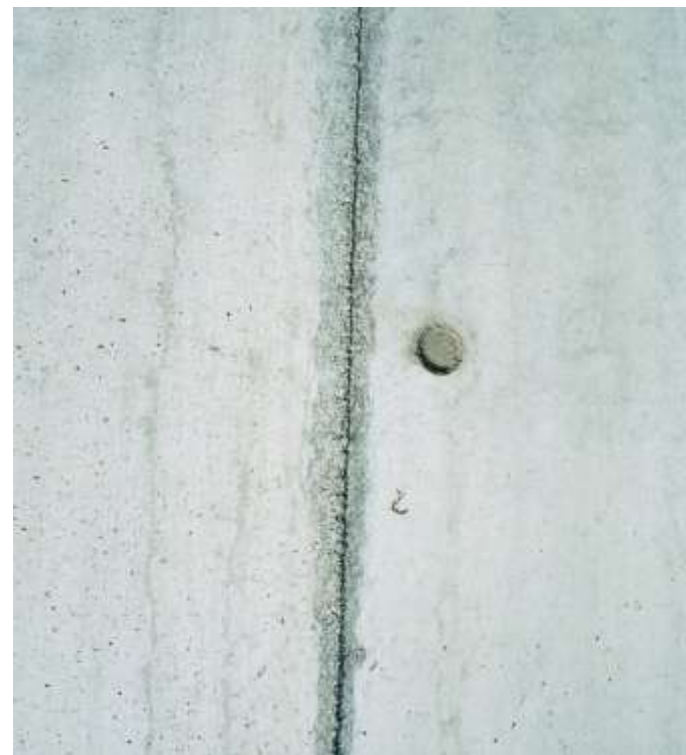
1. 不具合の種類・ひび割れの分類

➤ 不具合のいろいろ

～ ひび割れ、豆板、コールドジョイント、表面気泡 ～



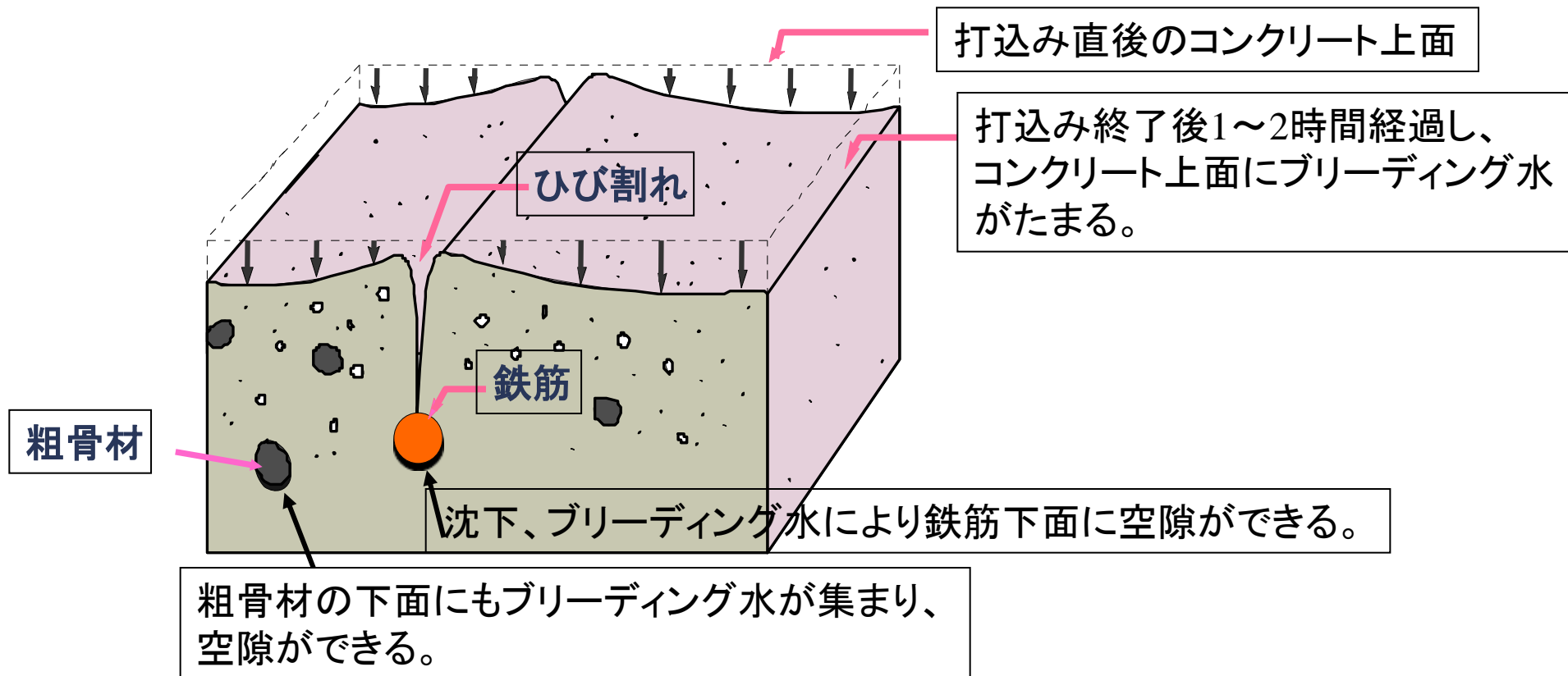
水走り・砂筋



表面剥離（型枠面の場合もある）

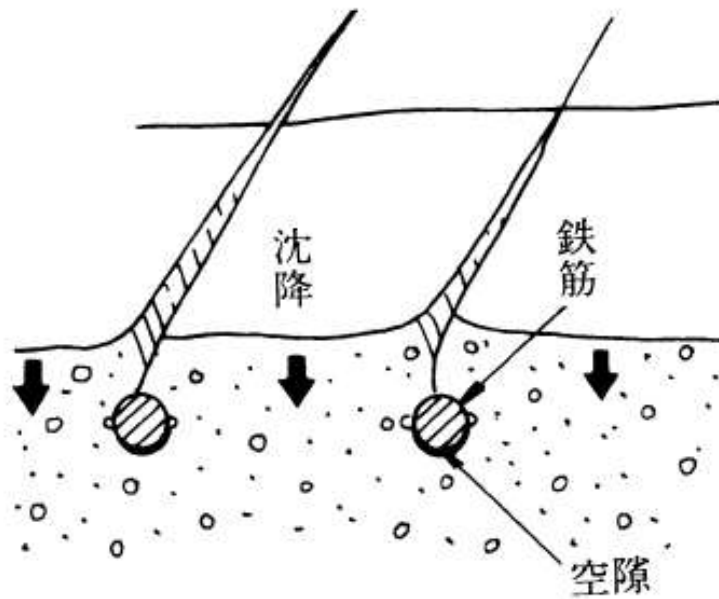


材料分離に伴う沈みひび割れ

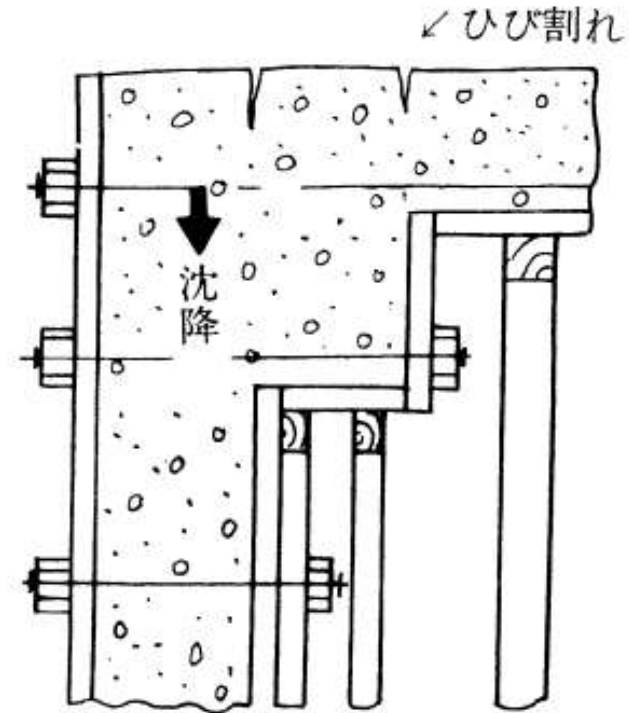


日経コンストラクション
「コンクリート名人養成講座」より

はり下で一旦止める理由 (沈下ひび割れの防止)



(a) 鉄筋に沿って生ずる場合



(b) 断面の変わるところに生ずる場合

沈みひび割れ



⇒ **ブリーディングの抑制**

➤ 施工段階で生じる不具合

✓ 型枠を外す前:

豆板、未充填、あばた
コールドジョイント、沈下ひび割れ
水走り、砂筋、表面剥離 など

✓ 型枠を外した後:

温度ひび割れ、乾燥収縮ひび割れ等

✓ 供用期間中: かぶり不足、凍害 など

➤ 不具合の発生メカニズム

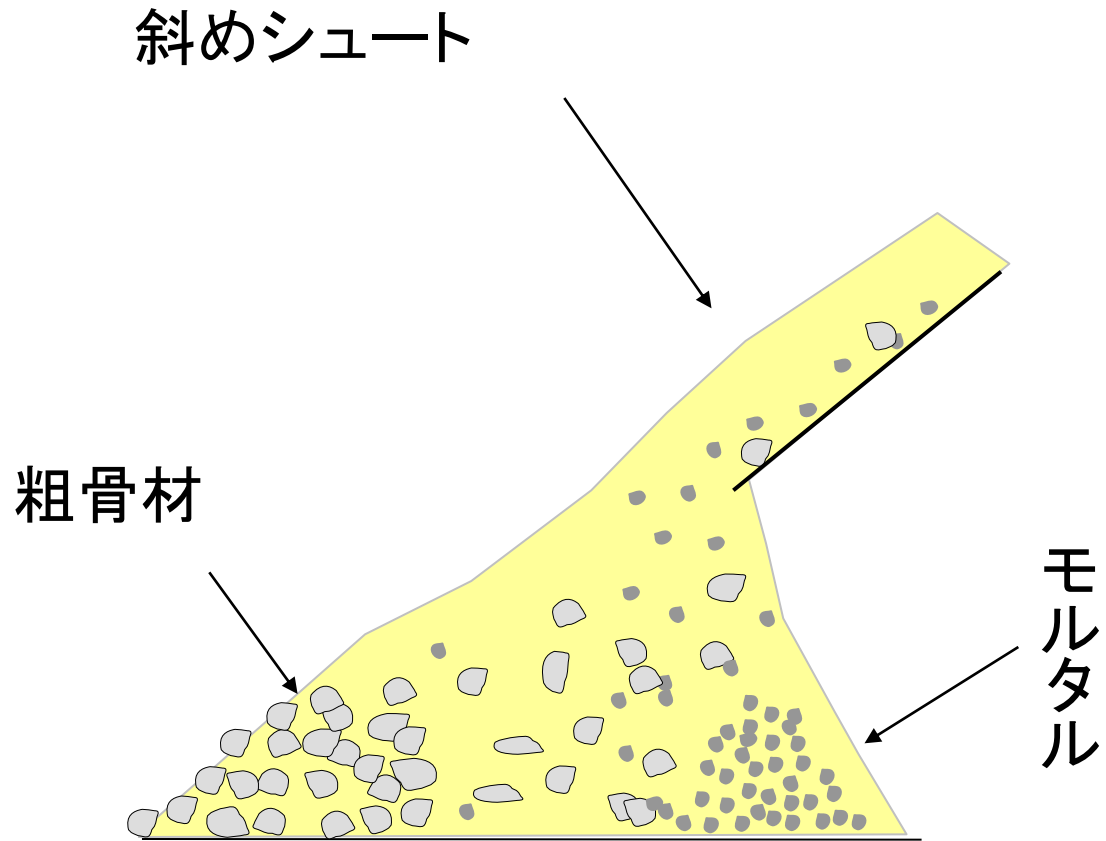
不具合を生じさせない施工管理

- 豆板を防ぐために・・・
- コールドジョイントを防ぐには・・・
- 表面気泡の発生を防ぐには・・・

豆板



流動に伴う材料分離のメカニズム



先端ホースを水平もすれば分離はしない

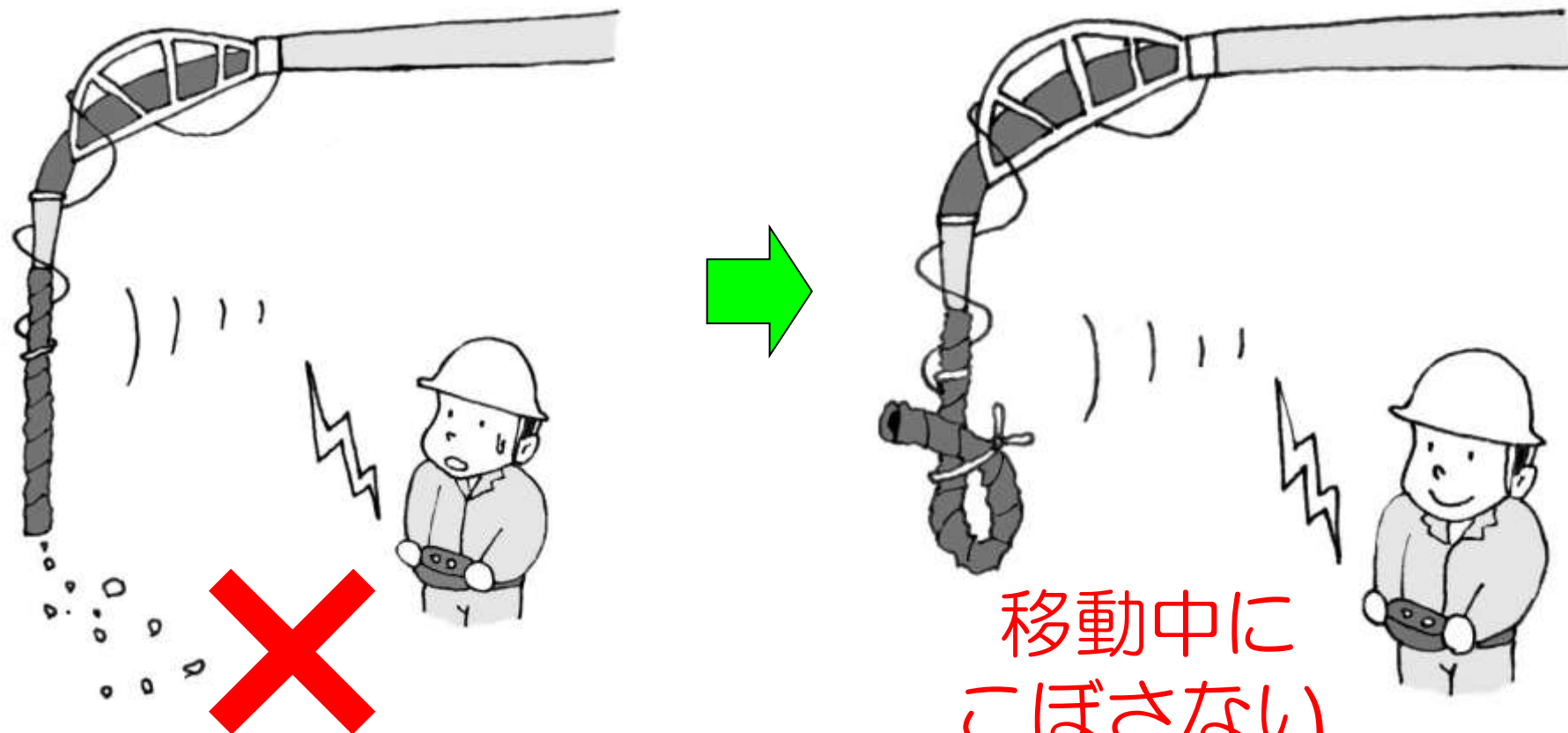


硬練りコンクリート



軟練りコンクリート

段取り替え時に注意が必要



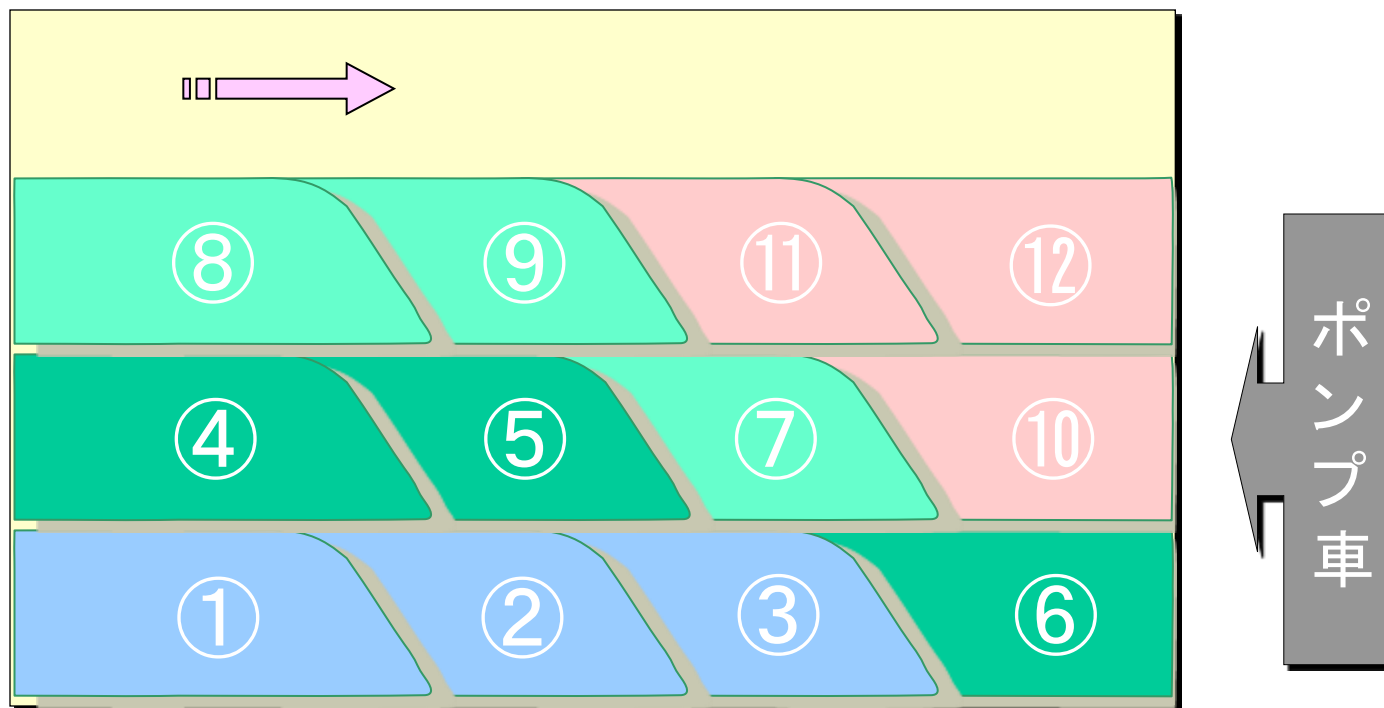
断続的な排出時に分離

移動中に
こぼさない
配慮

コールドジョイント



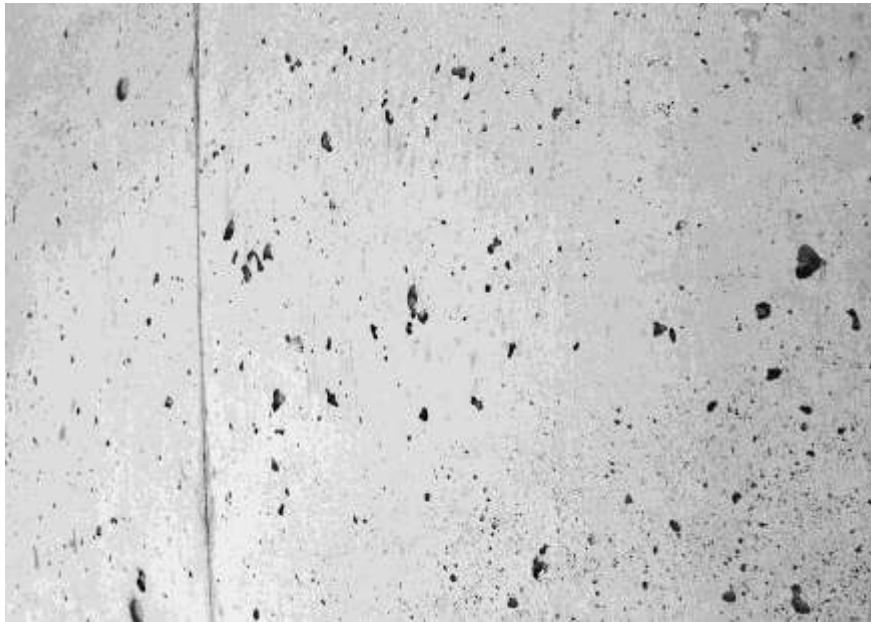
打込み手順の例



打重ね時間間隔は2時間以内

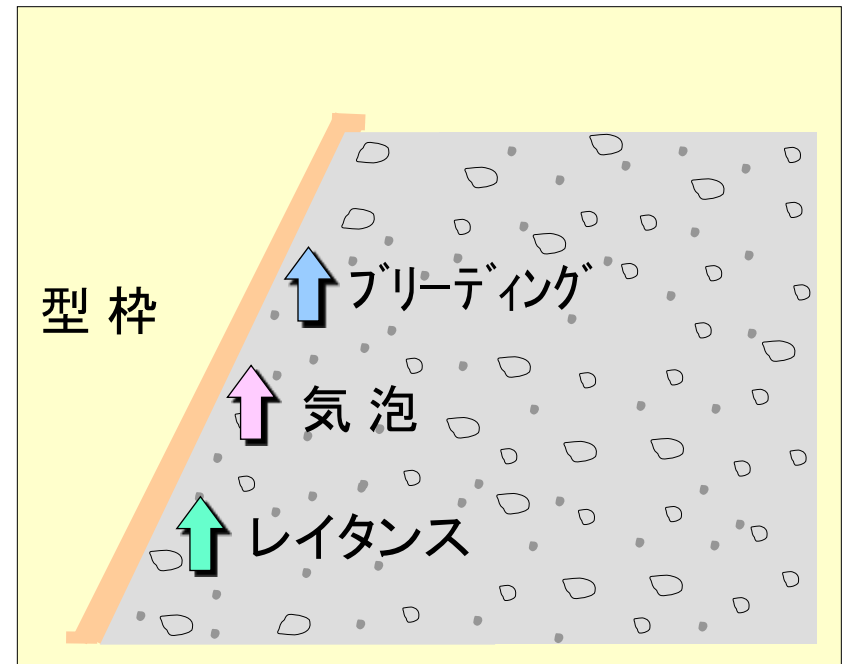
斜面型枠面に生じる不具合

表面気泡



良い気泡と悪い気泡(あばた)

一度に打ち上げると
でき易い



気泡を除去するスパーシング



構造物の供用中に生じる不具合 — 劣化と初期欠陥 —



劣化によるひび割れ発生

かぶり不足と中性化による剥落

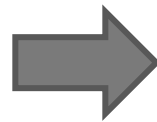


～ 凍害 ～

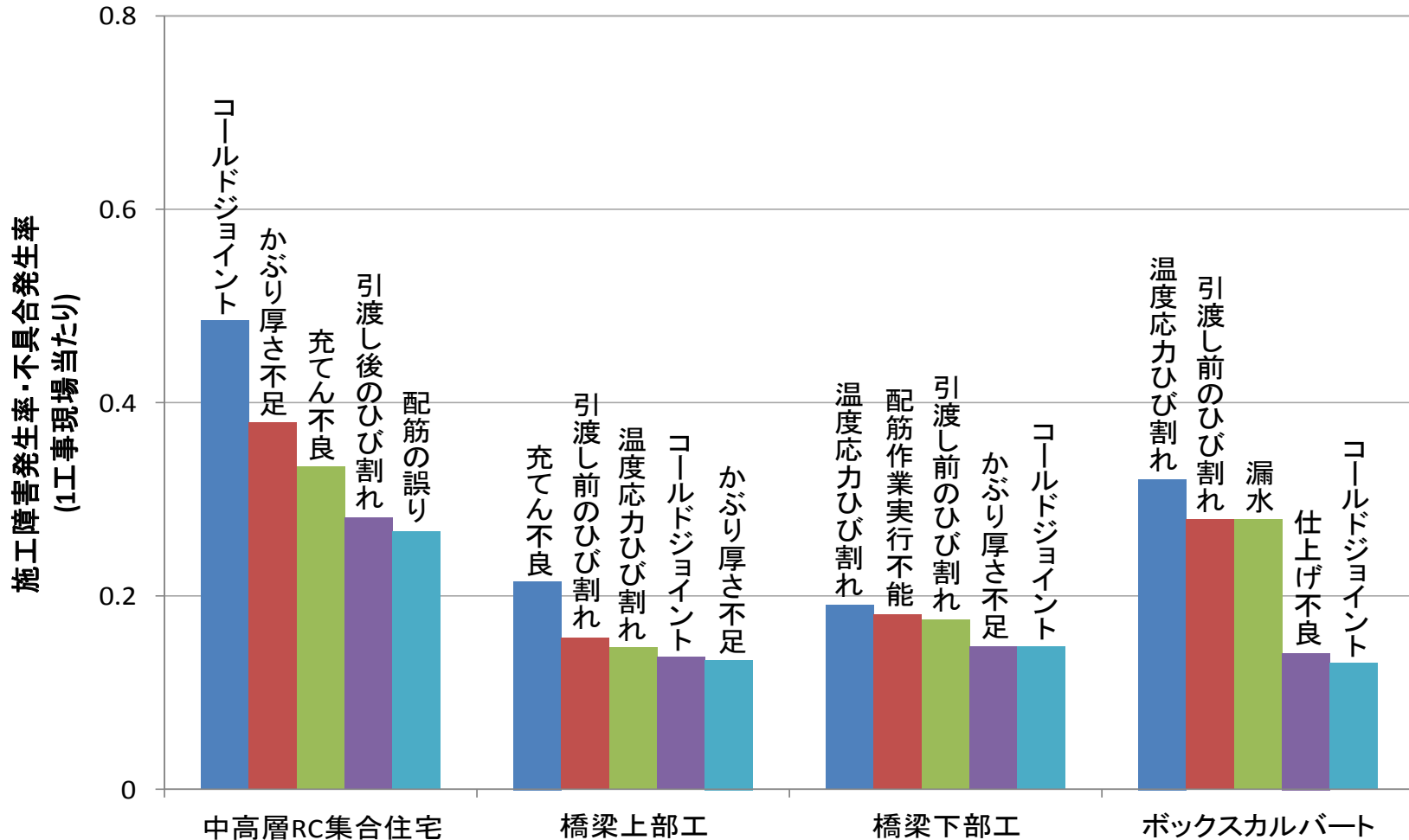


← 橋梁アバットの凍害
凍結融解の繰り返し作用
により劣化が進展

二次製品は気泡を減じる
ことが多く、要注意

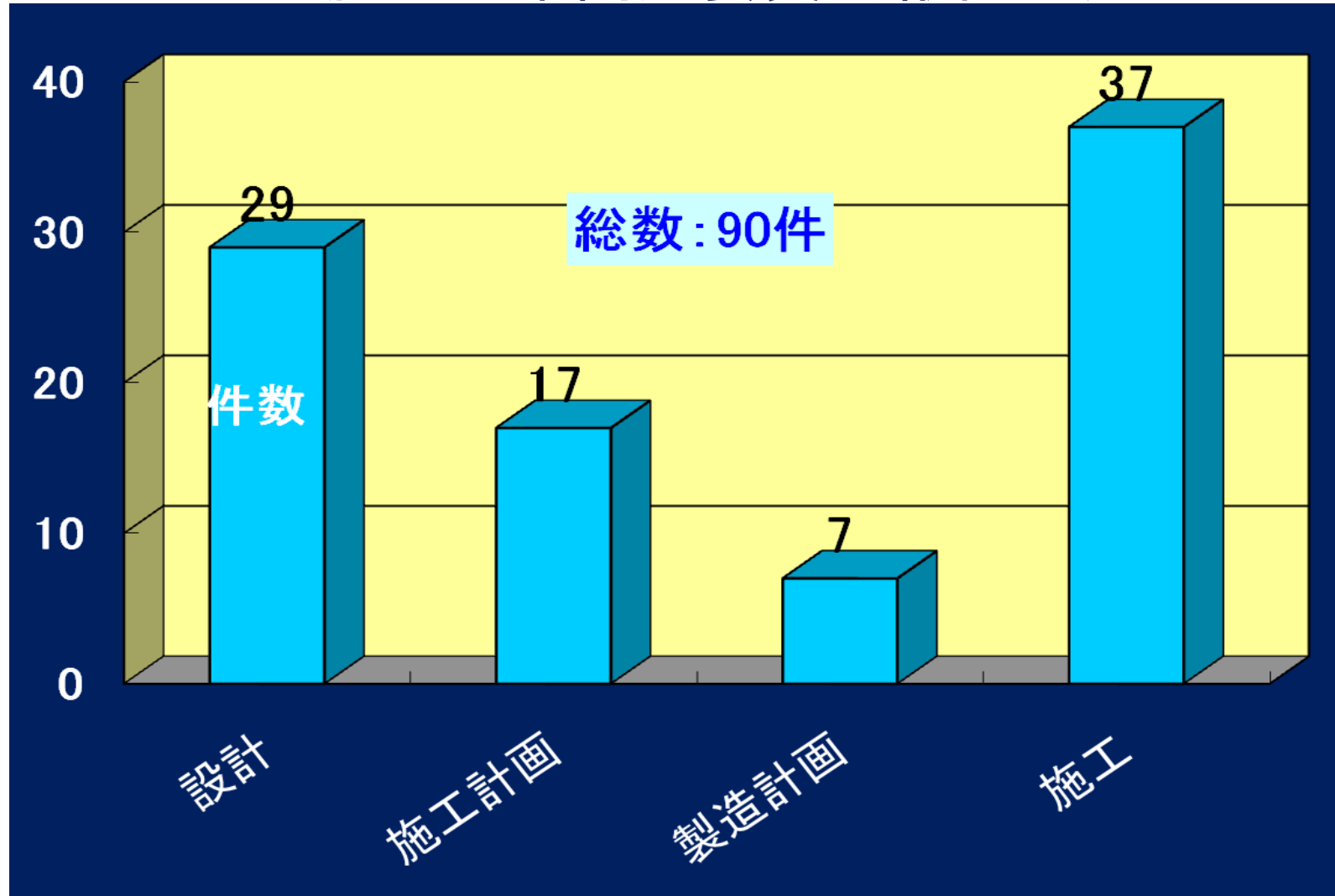


構造物別の不具合発生確率 (不具合の中ではひび割れがダントツ)



【土木構造物の不具合原因の分析】

JCI施工基本問題委員会報告より



2. ひび割れの発生メカニズム

ひび割れの2つのパターン

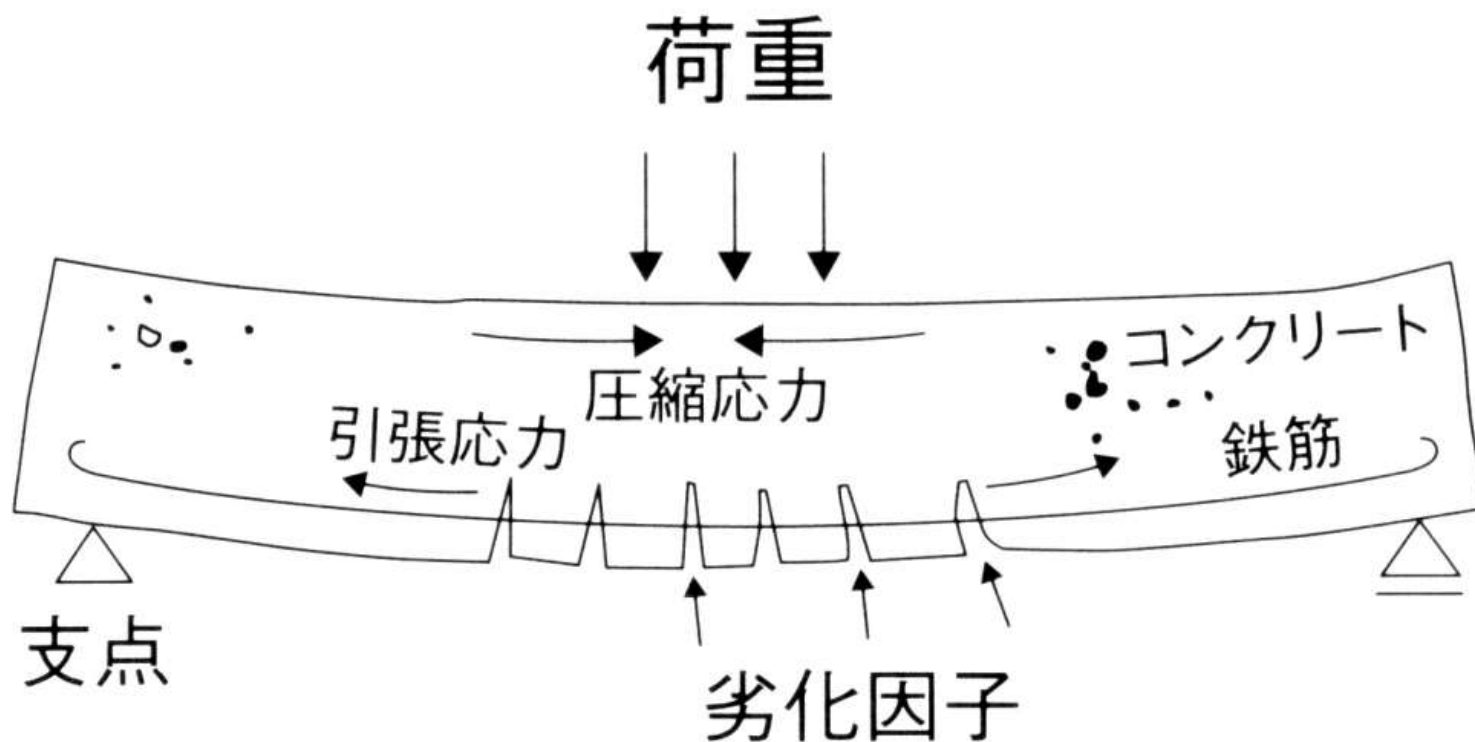
力により生じるひび割れ

設計で想定するひび割れ

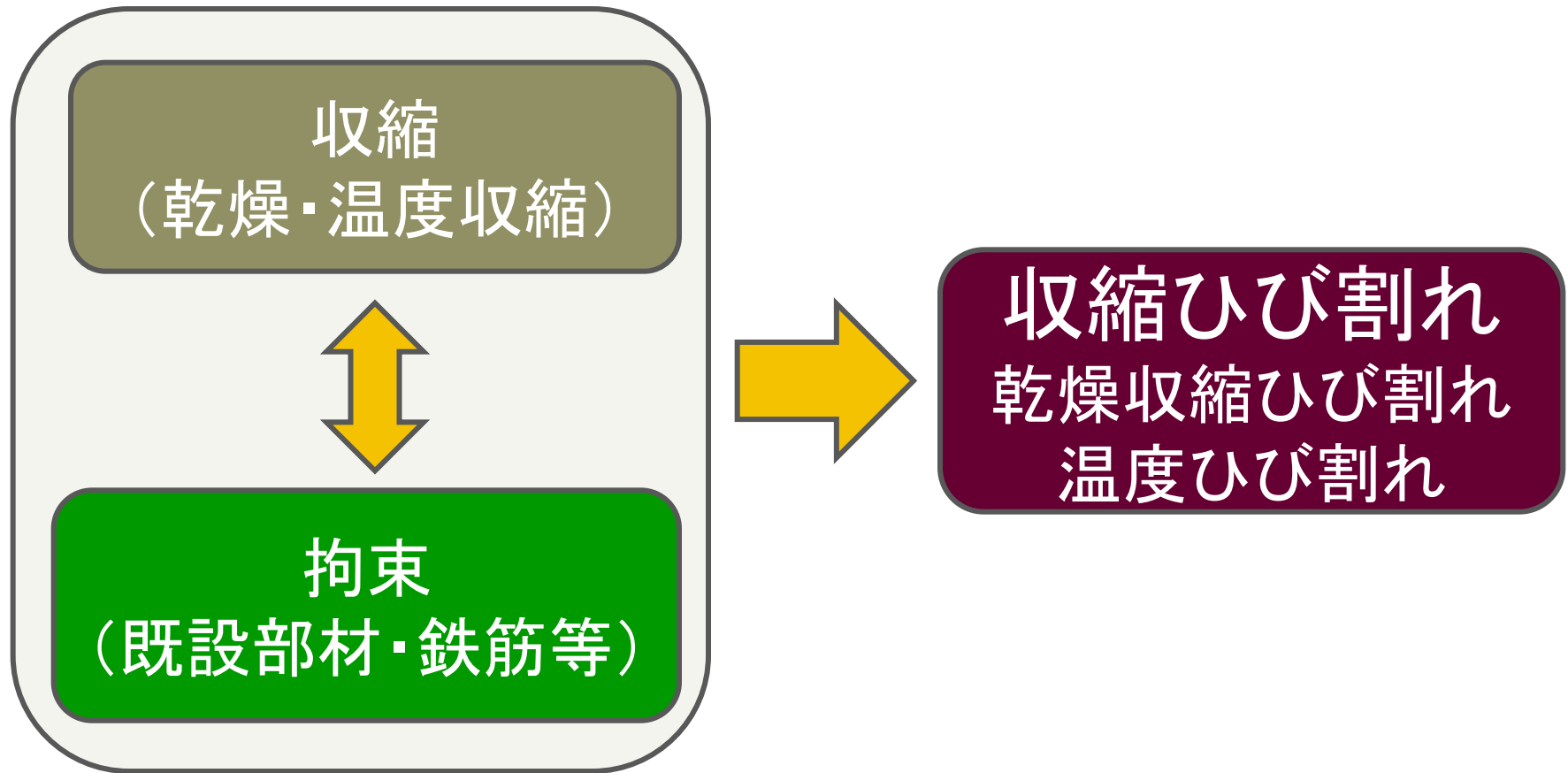
収縮を拘束して生じるひび割れ

初期ひび割れ
乾燥収縮ひび割れ
温度ひび割れ

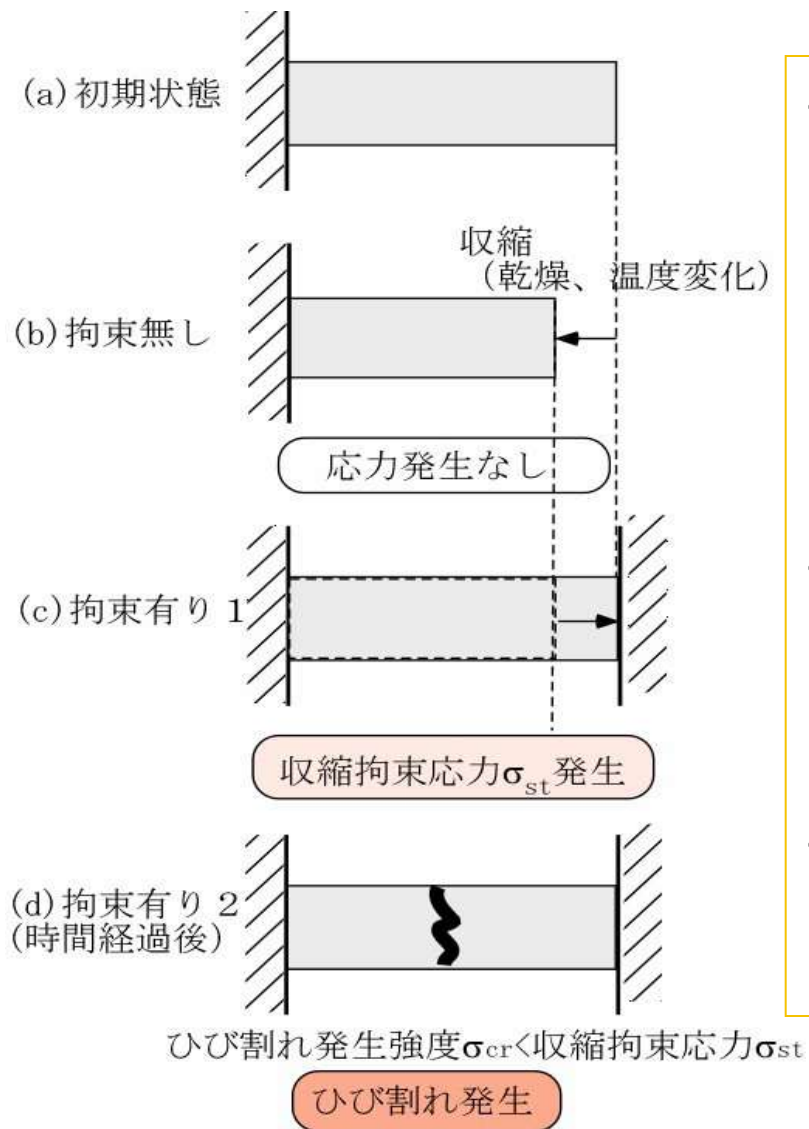
力によるひび割れの発生メカニズム



初期ひび割れは収縮が主要因



収縮を拘束された場合のひび割れ発生メカニズム



- コンクリートは収縮する。
セメントの硬化収縮
乾燥して収縮
水和発熱が放熱して収縮
- 既設物などが収縮を拘束
拘束されると引張応力発生
- 引張強度は極端に小さい
⇒ ひび割れ発生

ひび割れ(温度ひび割れ・乾燥収縮ひび割れ)

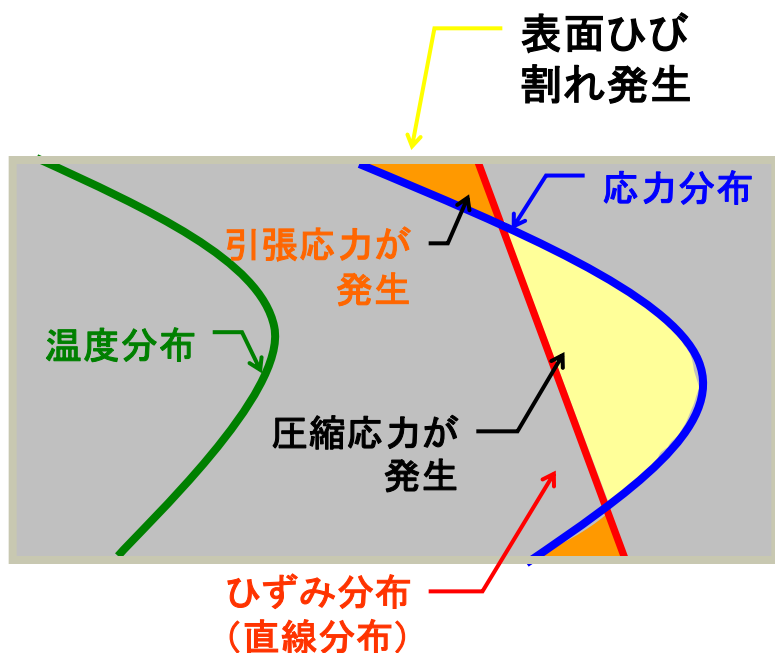


マスコンクリートのひび割れ発生メカニズム

表面ひび割れ

(内部拘束卓越)

部材断面の厚い構造物
(スラブ状構造物等)

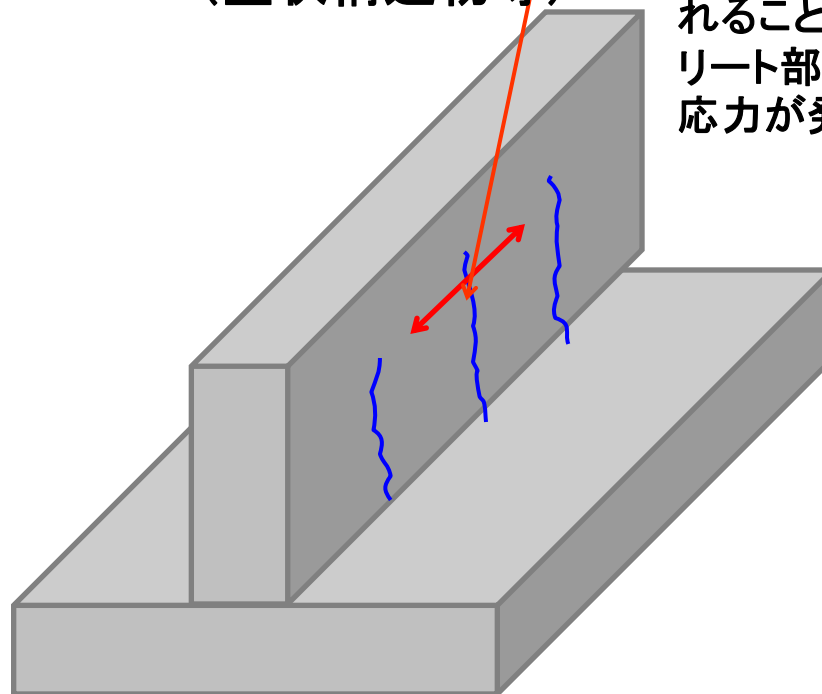


貫通ひび割れ

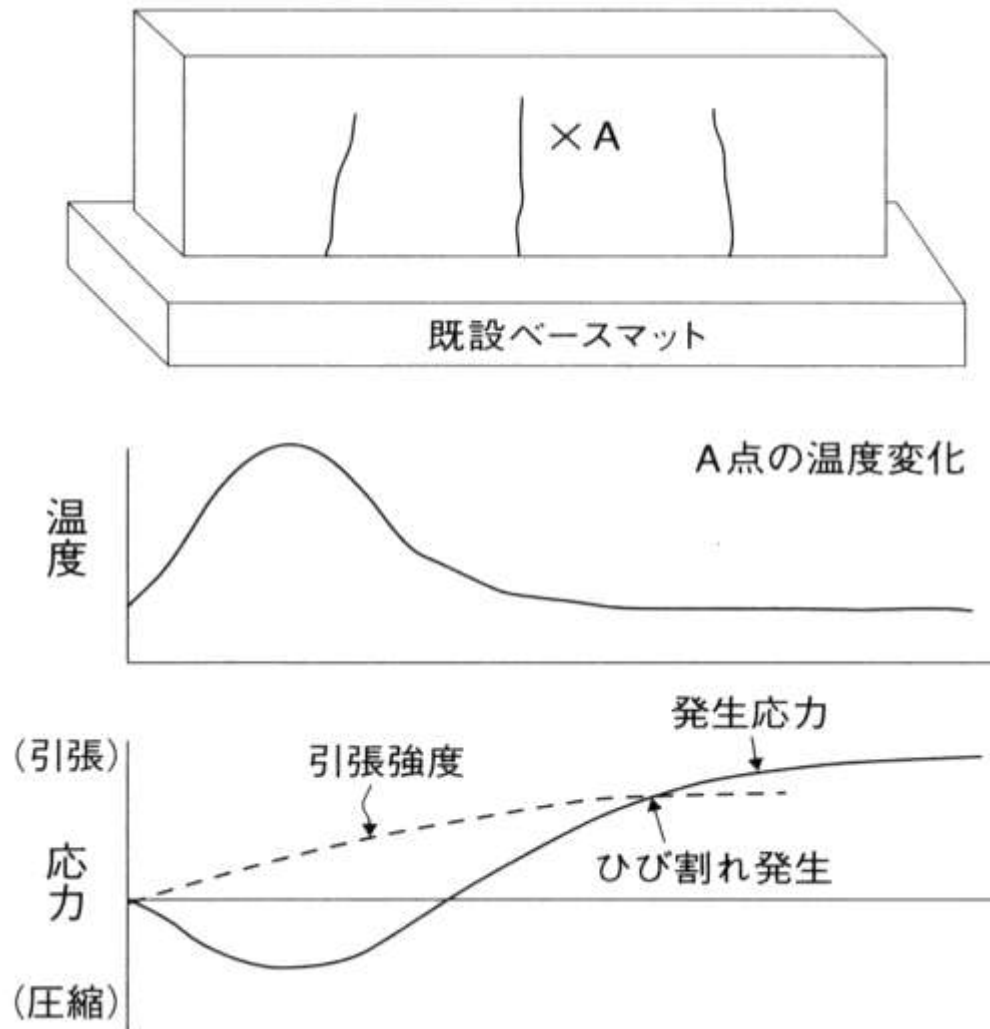
(外部拘束卓越)

部材断面の薄い構造物
(壁状構造物等)

コンクリートの収縮を拘束体により拘束されることで、コンクリート部材内に引張応力が発生



温度ひび割れの発生メカニズム



- 水和熱で温度上昇
- 次第に放熱して収縮
- 既設物が収縮を拘束
拘束されると引張応力発生
- 引張強度は極端に小さい
⇒ ひび割れ発生

3. ひび割れの抑制対策

乾燥収縮の抑制対策

- 単位水量の低減
 - ⇒ 良質の骨材の使用
 - ⇒ 良質の混和剤の使用
 - ⇒ 変動の少ない品質管理
- 乾燥による逸散水の抑制
 - ⇒ 十分な湿潤養生
 - ⇒ ゆっくりと反応させる

乾燥による収縮のメカニズム

セメントペーストの収縮(乾燥収縮・自己収縮)

セメントゲル、未水和のセメント粒子、

毛細管空隙、ゲル空隙などの毛細管空隙の収縮

セメントペーストの収縮を拘束する骨材

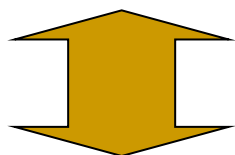
骨材のヤング率が小さいと収縮が増加

骨材の乾燥収縮

骨材中の毛細管空隙の水分逸散による収縮

乾燥収縮ひずみとひび割れ

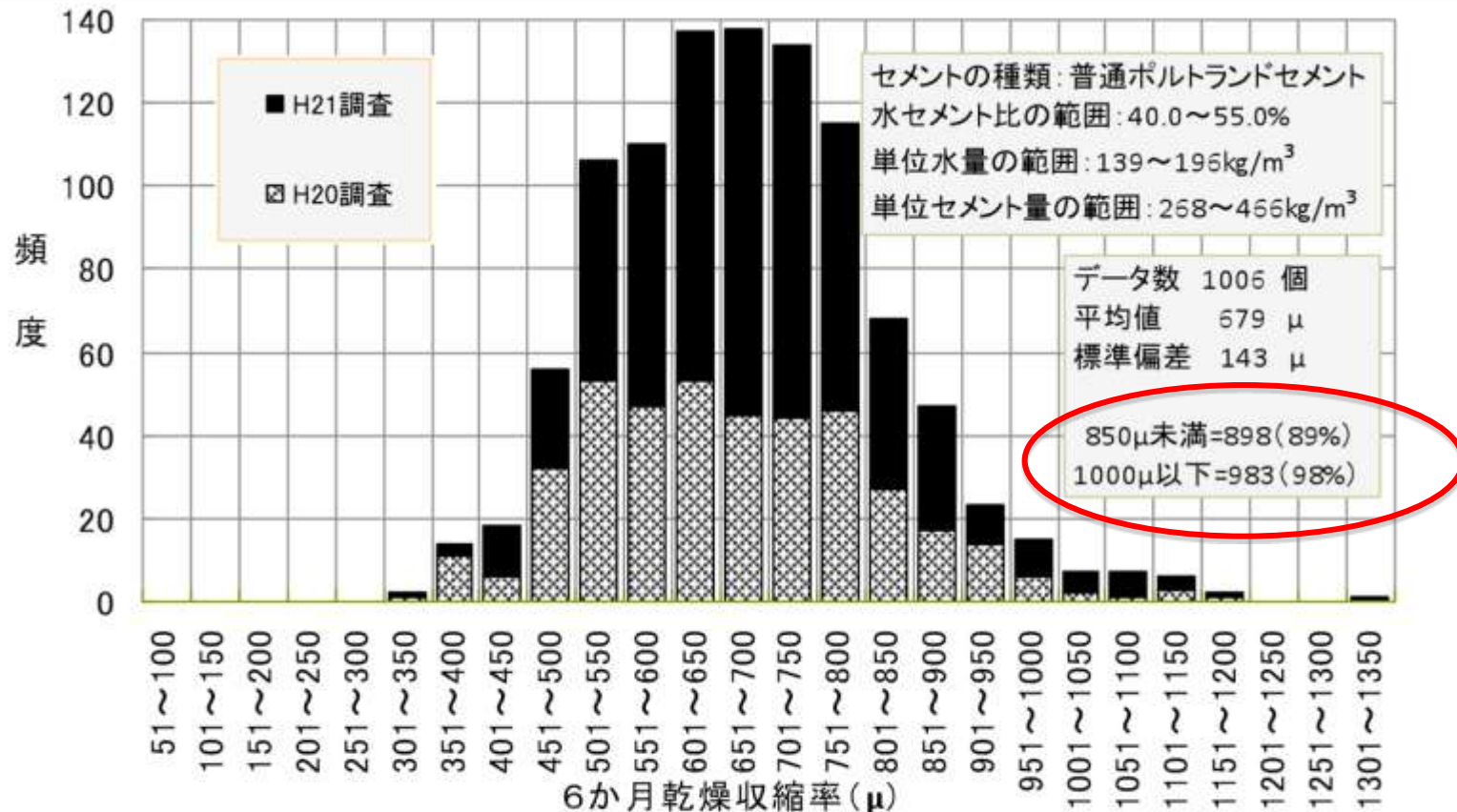
- ✓ コンクリートの収縮ひずみの許容値・・・ 800μ
- ✓ 乾燥環境による乾燥収縮ひずみ・・・ 400μ
- ✓ 収縮を拘束する構造物の拘束度・・・ 200μ



- コンクリートの伸び能力(クリープを含む)・・・ 200μ

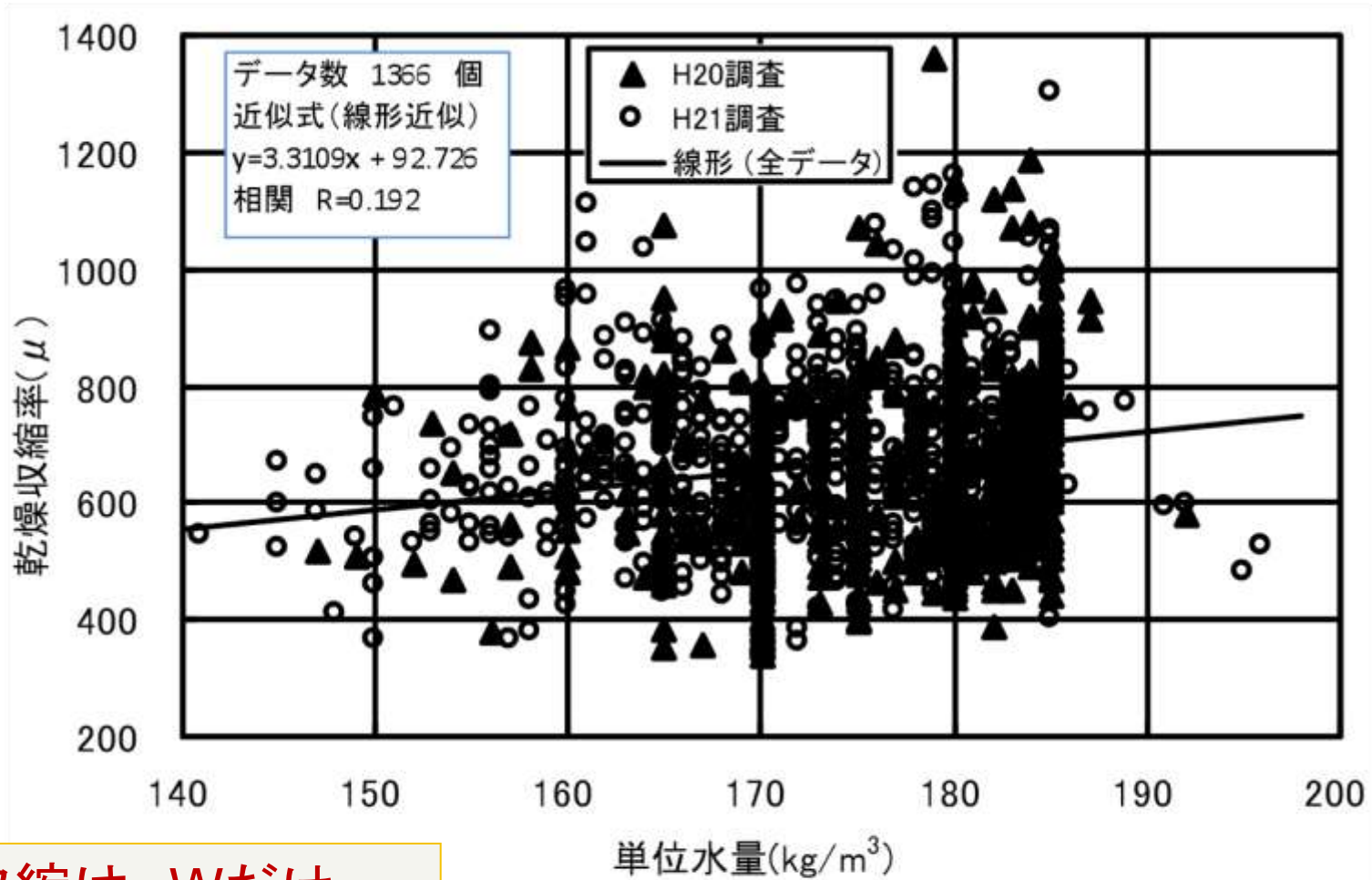
⇒ 大きなひび割れは生じない基準値

乾燥収縮率の分布



分布域: 300~1200 μ、平均679 μ、標準偏差143 μ
(特異な配合、A1129以外の方法を除外)

単位水量と乾燥収縮率

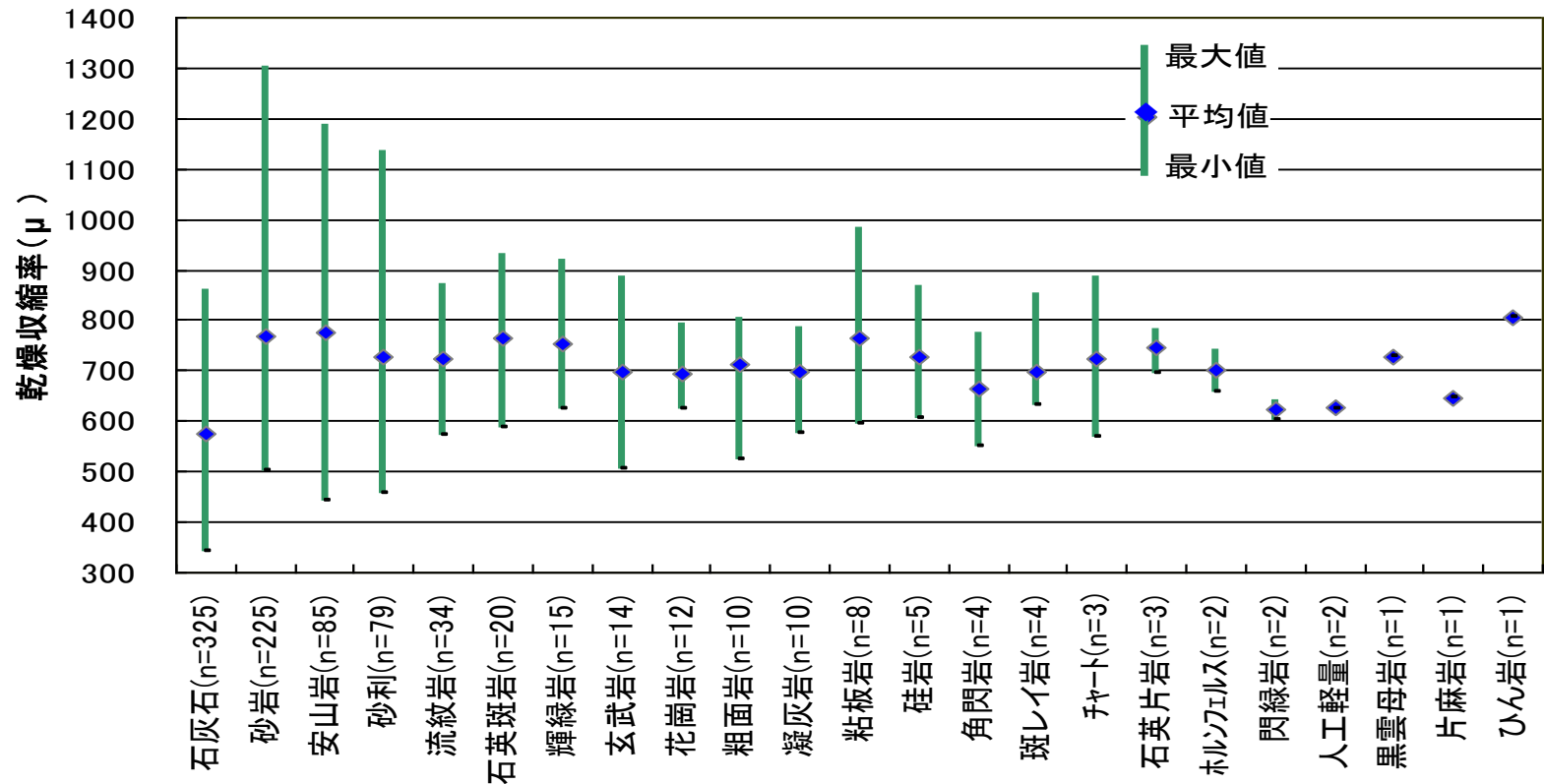


収縮は、Wだけでは決まらない



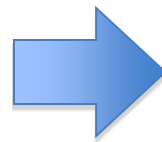
材料、配合を特定すると相関

粗骨材の岩種と乾燥収縮率



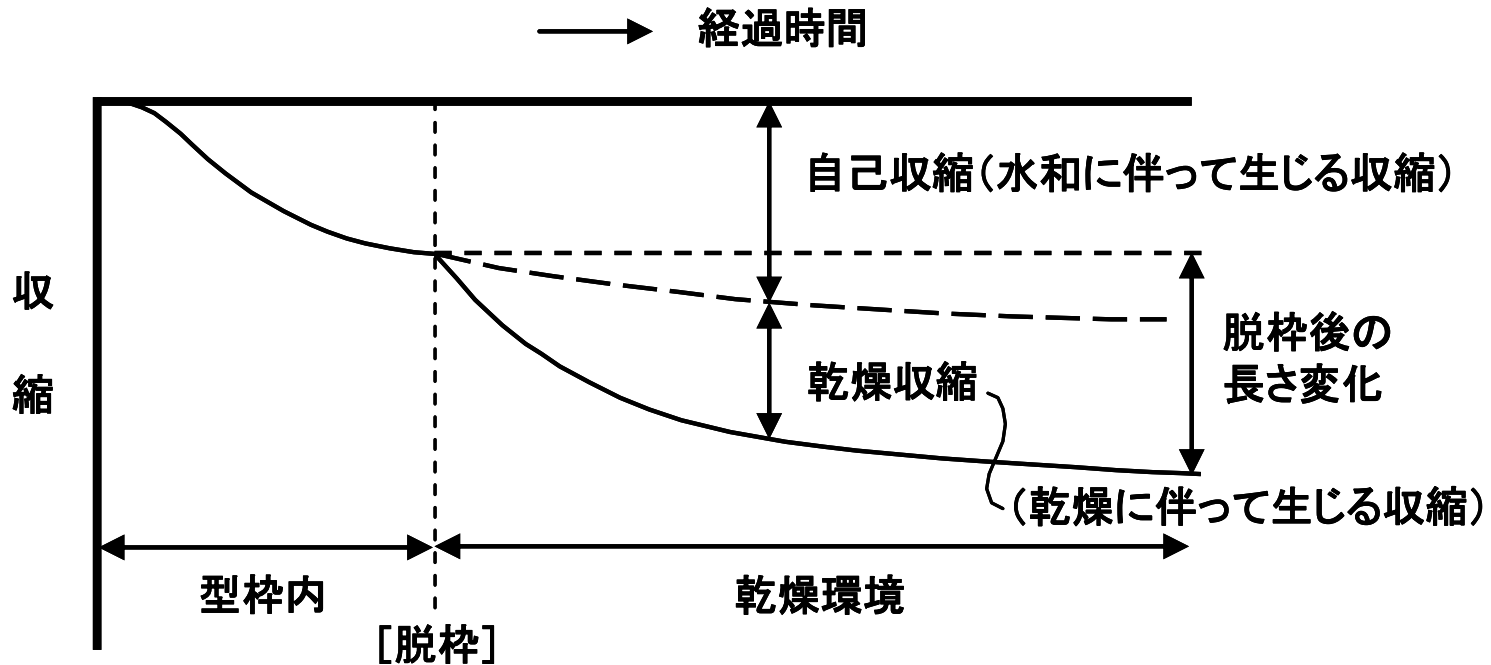
nはデータの個数

石灰石: 平均値は小
変動範囲は大きく、
他の岩種より収縮が
大きいものもある



岩種を固定しても
収縮は決まらない。

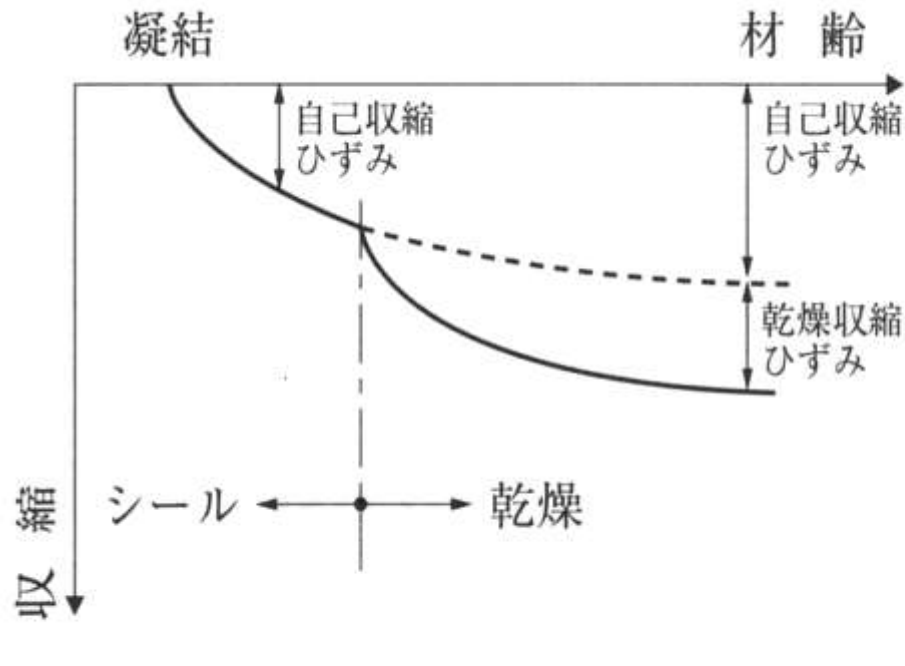
自己収縮と乾燥収縮



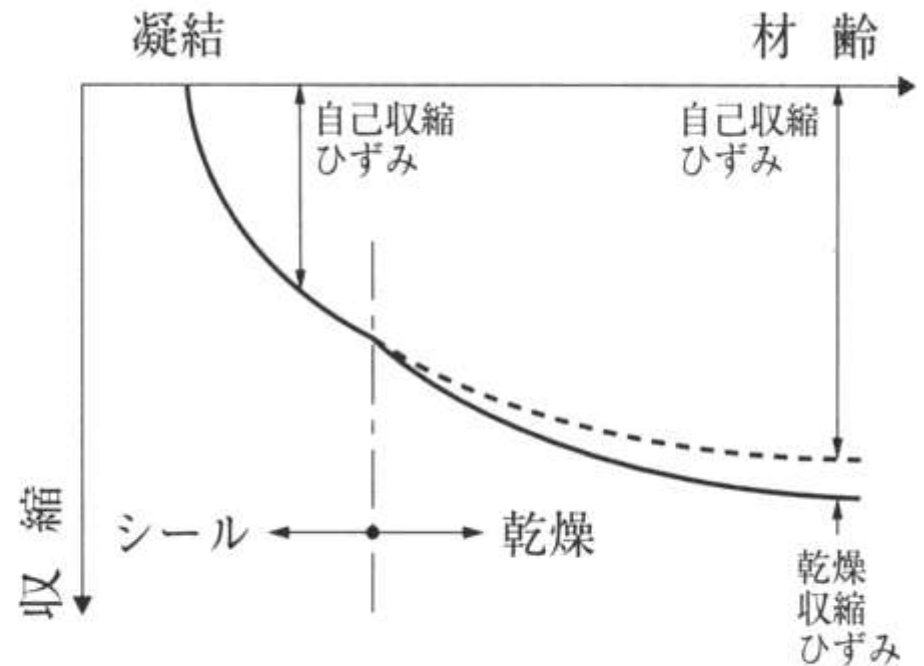
材齢7日程度では水和が完了していないため、脱枠あるいは水中養生終了後の長さ変化試験では、乾燥収縮と自己収縮の両方が測定値となる。

コンクリートの収縮

(土木学会コンクリート示方書設計編)

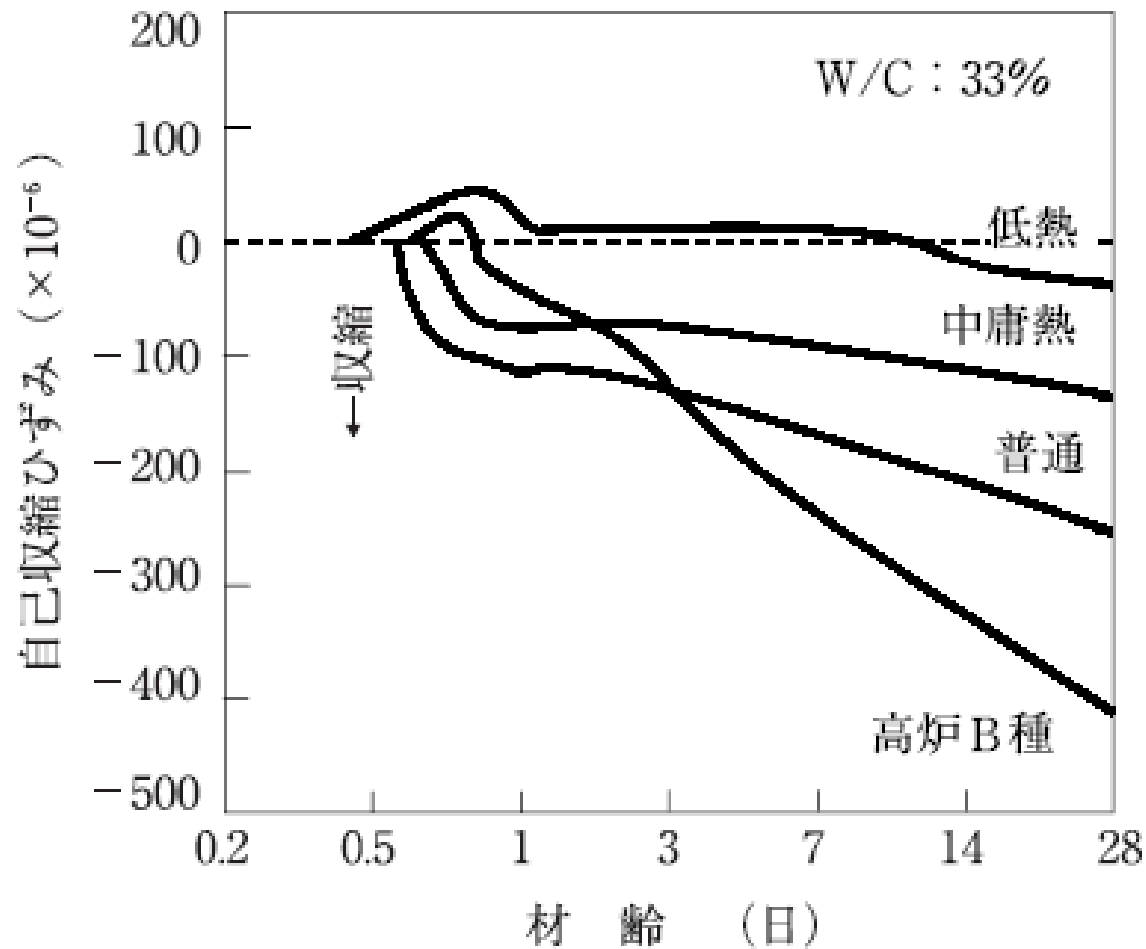


普通コンクリート



高強度コンクリート

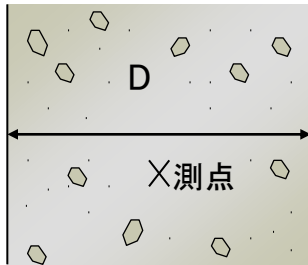
使用セメントで異なるコンクリートの自己収縮



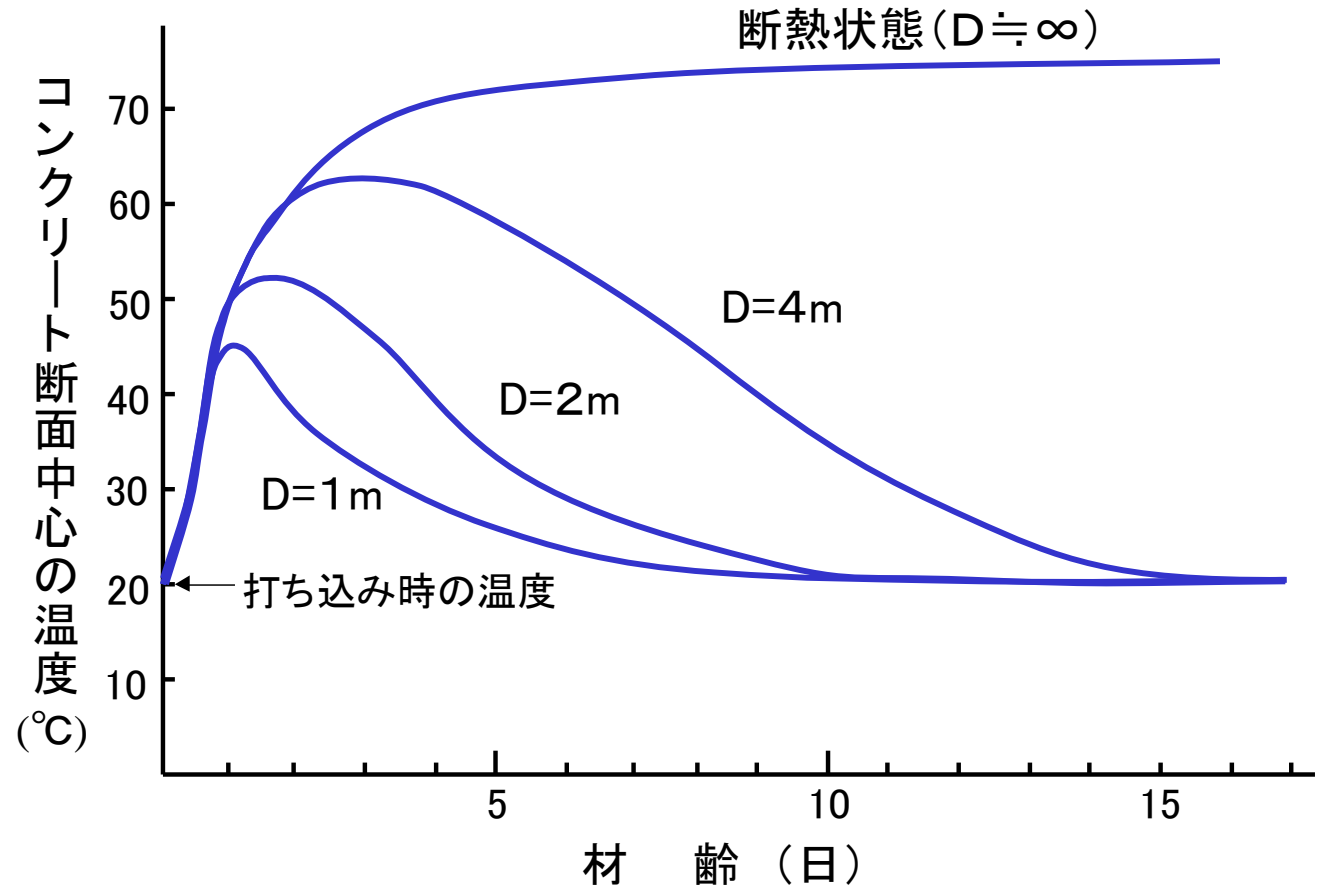
温度ひび割れの抑制対策

- 単位セメント量の低減
 - ⇒ 単位水量の減じられる材料・配合
- 低発熱セメントの使用
- 温度上昇の抑制
 - ⇒ プレクーリング、夜間打設など
- ゆっくりとした温度低下
 - ⇒ 保温養生、長期間の型枠存置など

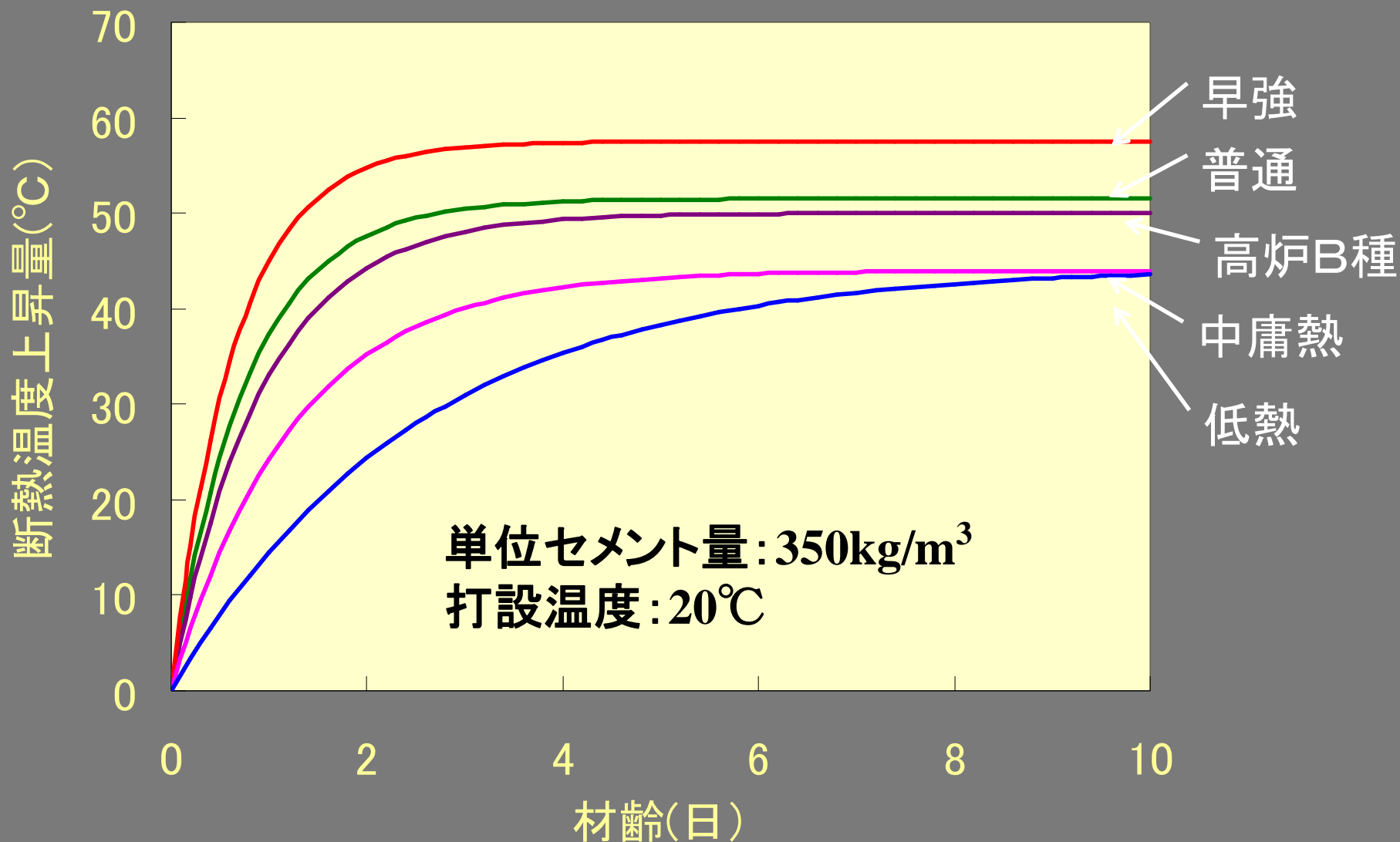
コンクリート部材の温度上昇



コンクリート部材の厚さより、内部の発熱状況は異なる



断熱温度上昇曲線(セメント種類の影響)



配合要因とひび割れの関係

W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	T _∞ (°C)	乾燥 収縮	温度 収縮	自己 収縮
65	165	254	44	大	小	小
55		300	51	↑	↑	↑
45		367	62	↓	↓	↓
35		471	79	小	大	大

流動性を高める ⇒ 絶対粗骨材容積を減じる

⇒ 収縮因子が増大 ⇒ ひび割れ発生確率増大

収縮を減じるには、WとCを削減

- ✓ 乾燥収縮を減じるには ⇒ W低減
- ✓ 自己収縮を減じるには ⇒ C低減
- ✓ 温度応力を減じるには ⇒ C低減

コンクリートの自己矛盾
⇒強度発現を求めると
ひび割れが発生

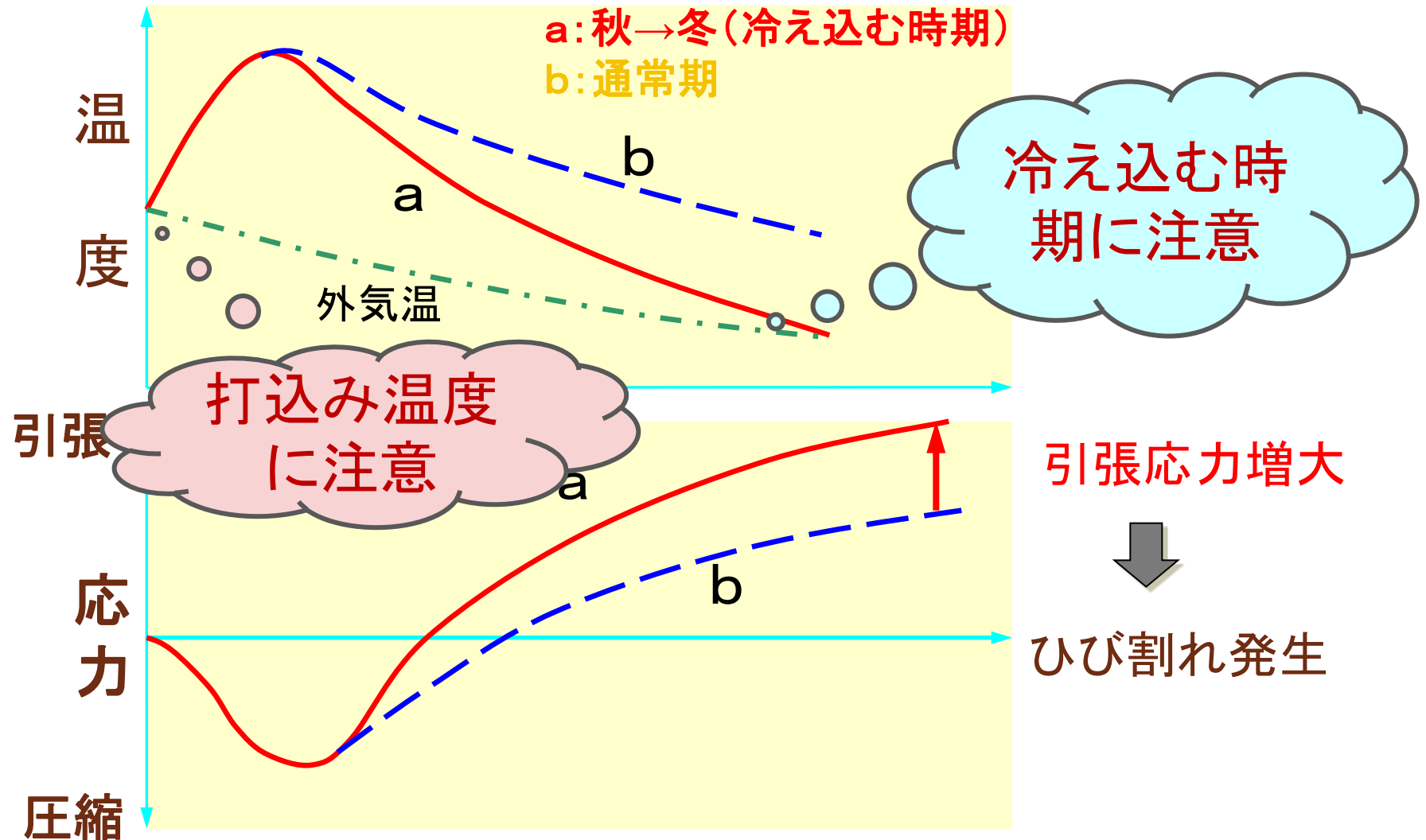
初期ひび割れの原因は明確

建築物は乾燥収縮ひび割れ
土木構造物は温度ひび割れ

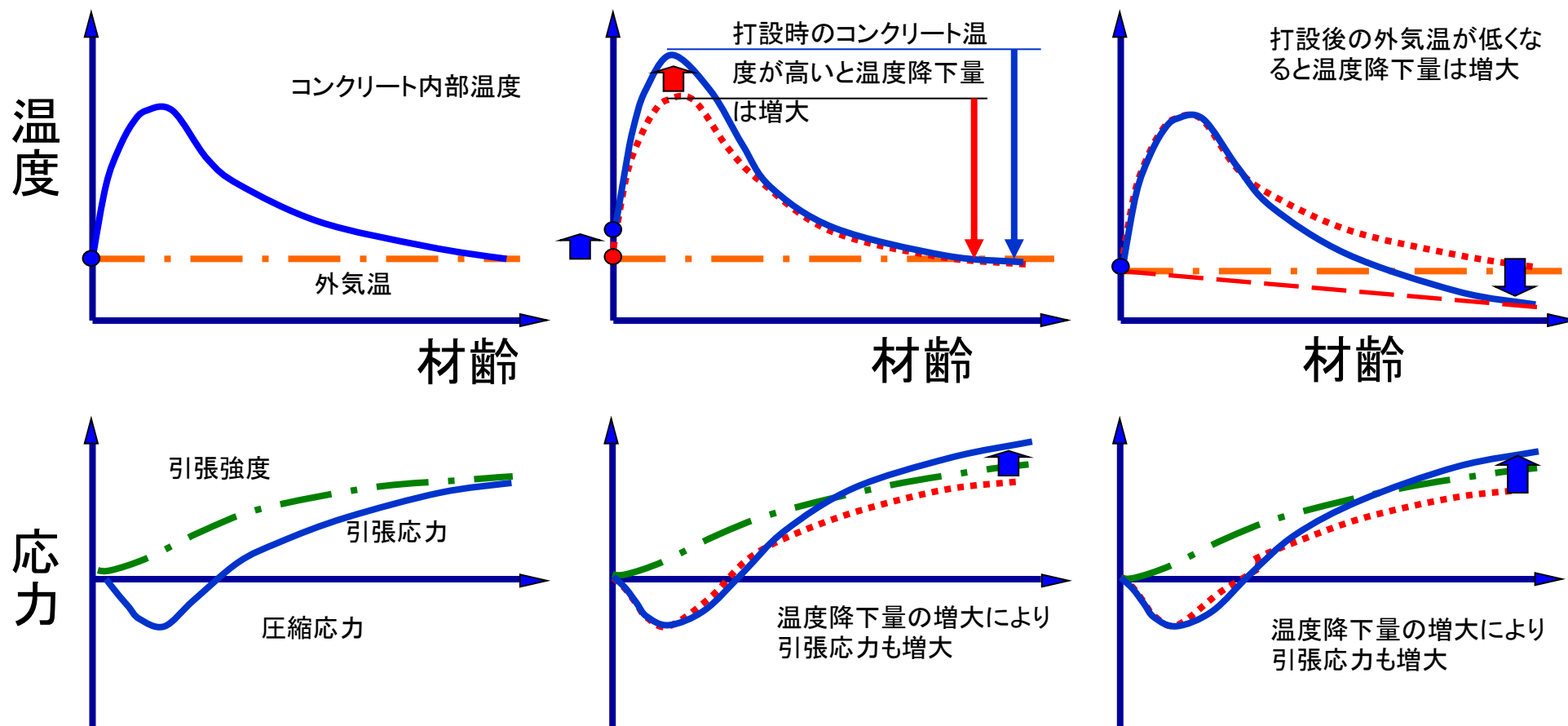


原因が明確であり、予測可能
材料・配合・製造・施工の管理
で対応すべし ⇒ 設計で考慮
ただし、制御は困難

打込み温度と外気温の変化に注意

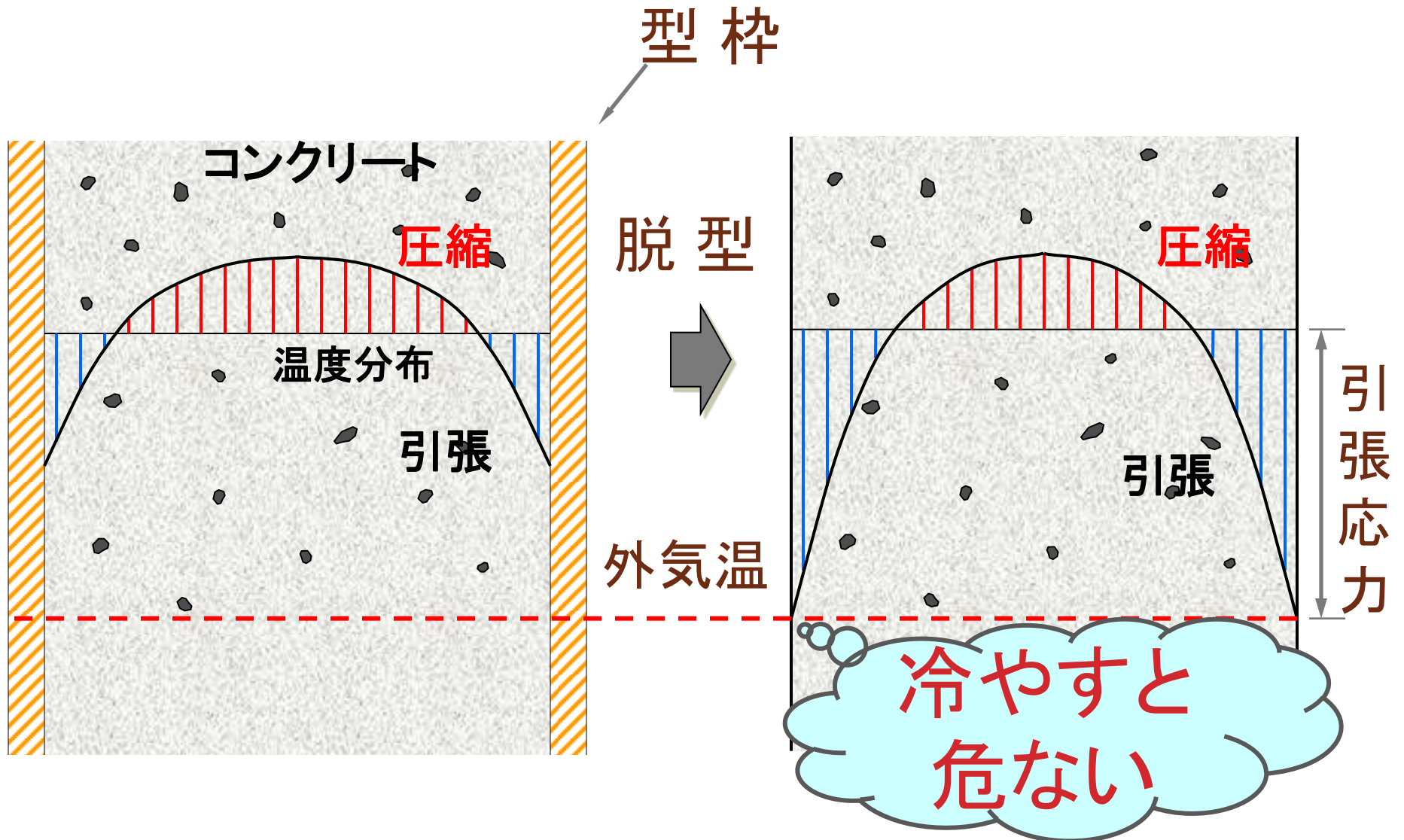


コンクリートの温度上昇と発生応力



打込み温度が高い場合、脱枠時に温度が低い場合は要注意

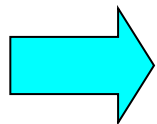
内部温度の勾配で表面ひび割れ



ひび割れ抑制の施工面での対応

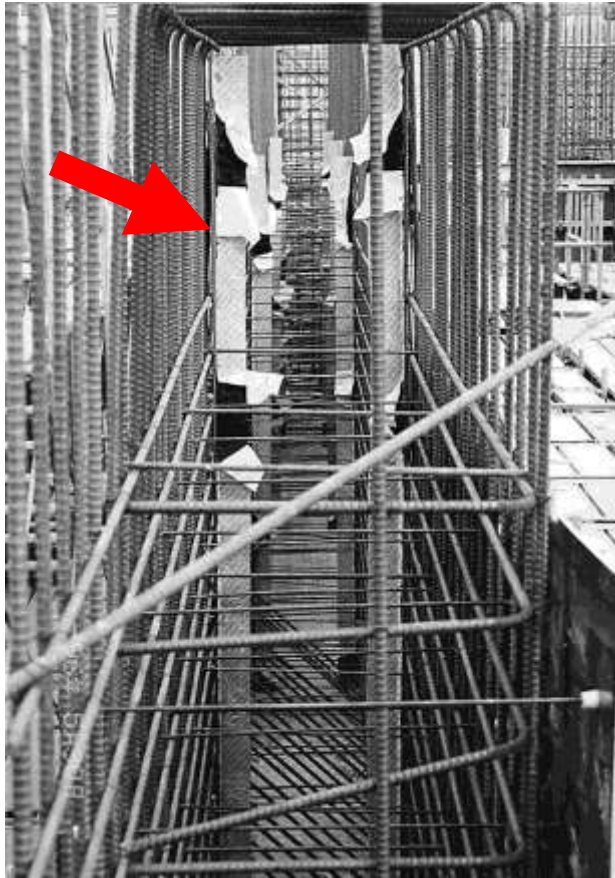
- 温度ひび割れの対応
 - ⇒ 外気の影響から保護（シーートの利用）
- 事前の予測の範囲を認識
 - ⇒ 施工管理の意識（計画との違いを把握）

対策が困難な場合

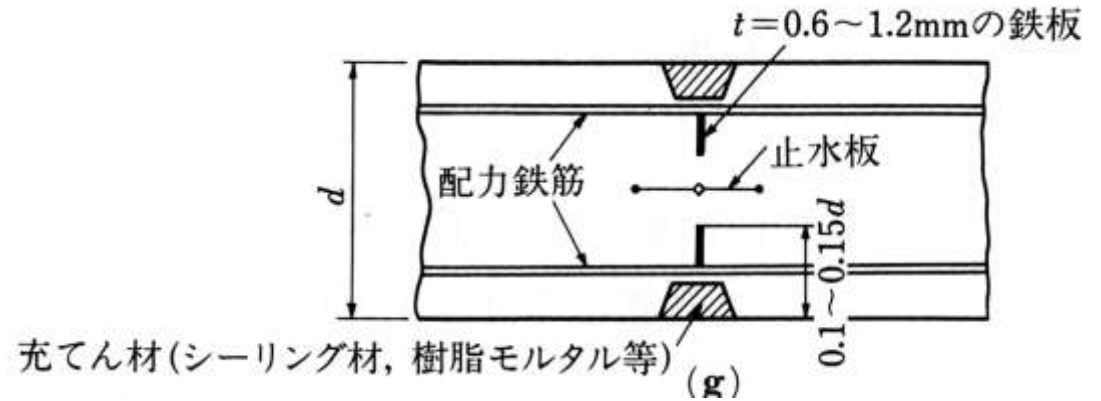


- 1) 誘発目地の利用
- 2) 許容ひび割れ幅を明確にする
- 3) 補修を前提とする

ひび割れ誘発目地による対策



誘発目地の設置状況



誘発目地の例



止水板

ひび割れ対策のまとめ

- 単位水量をできる範囲で低減する
（それにより単位セメント量が低減される）
- 収縮の小さいセメントを選択
- 湿潤養生を十分に行う（冷水は禁物）
- 外気の影響を小さくする
- やむをえない場合は誘発目地を検討

4. 初期ひび割れの課題

ひび割れの課題

構造物の性能との関係が明確でない。

(とくにひび割れが耐久性に及ぼす影響)

すべてのひび割れが有害とは限らない。

ひび割れの要因は複雑で複合的に作用

設計と施工の連携が重要(示方書)

[設計]で前提としたコンクリートの**特性値**

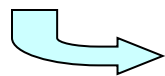
強度・中性化速度係数・塩化物イオンの拡散係数・凍結融解試験における相対動弾性係数・収縮ひずみ 等



耐久性の照査に用いた値

[設計]で仮定したコンクリートの**参考値**

粗骨材の最大寸法・スランプ・水セメント比
単位セメント量及びセメントの種類・空気量 等



温度ひび割れの照査に用いた値

ひび割れに関する最近の動向

- (1) 許容ひび割れ幅を超えた場合の対応を明記
(某発注者など)
- (2) ひび割れ発生確率の精度向上
(JCI マスコンクリートひび割れ指針)
- (3) 設計段階でのひび割れの検討
(土木学会コンクリート標準示方書)
- (4) JASS 5で乾燥収縮を規定
(長期供用、超長期供用を前提)

変化に対応する技術力を

- 基本を理解して、現場に応用する。
(基準を守るのではない。
目的の物を造ることが重要)
- 現場の異なる環境に対応する。
- データを収集し、計画に反映させる。