

施工で生じる初期欠陥を制御するための対策

十河 茂幸

近未来コンクリート研究会 代表

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会 顧問

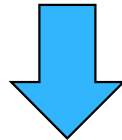
工学博士 コンクリート診断士

業 務 経 験

建設業 37年間（1974～2011年）

広島工業大学工学部教授（2011～2017年）

2017年～ 現 職



近未来コンクリート研究会 代表
(一社)コンクリートメンテナンス協会 顧問

話の内容

- 1. コンクリートに生じる様々な変状**
- 2. 施工に伴う変状の発生メカニズムと対策**
- 3. 劣化の伴う変状の対策（参考まで）**
- 4. 持続可能な未来に向けた対応について**

1. コンクリートに生じる様々な変状

- 変状の種類
- 様々な変状の発生確率
- 発生時期から見た変状
- 変状の生じる原因の分析

変状の種類

(コンクリート標準示方書[維持管理編]2022による定義)



【変状】 何らかの原因で構造物に発生している、本来あるべき姿でない状態で、**初期欠陥、劣化、損傷の総称**

【初期欠陥】 **施工時に発生**した変状のうち、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。

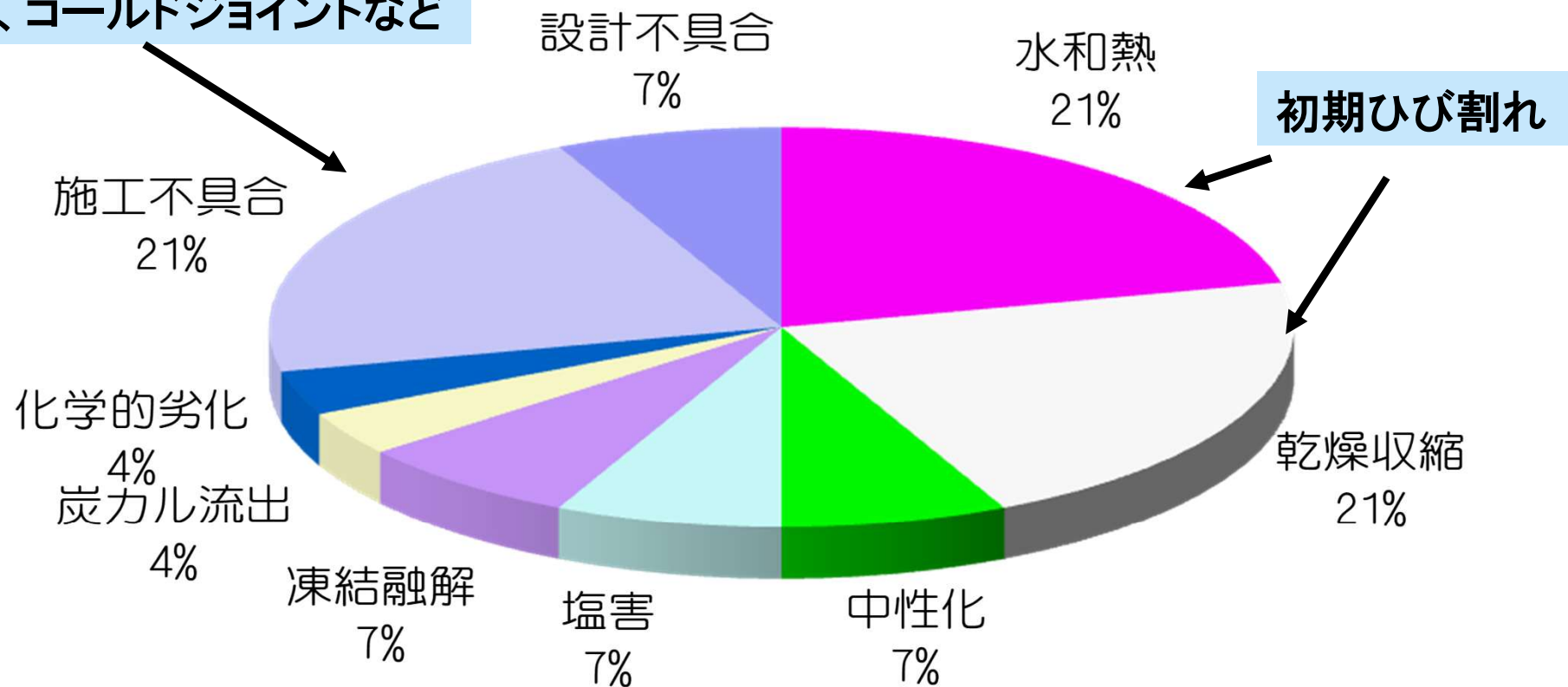
【劣化】 **時間の経過に伴って進行**する変状

⇒中性化、塩害、凍害、化学的侵食、ASR、疲労 など

【損傷】 地震や衝突等によるひび割れや剥離のように、**短時間のうちに発生**し、その後は時間経過によって進行しない変状。

RC構造物に生じる変状の内訳

豆板、コールドジョイントなど



表面化している経年劣化は、初期欠陥が原因または誘因となるケースが多い。

➤ 発生時期からみた変状

✓ 型枠を外す前:

豆板、未充填、表面気泡、砂筋、表面剥離、コールドジョイント、沈下ひび割れ など

✓ 型枠を外した後:

温度ひび割れ、乾燥収縮ひび割れ など

✓ 供用期間中:

劣化に伴う変状(塩害、ASR、凍害など)
損傷による変状(地震や衝突など)

2. 施工に伴う変状の発生メカニズムと対策

- 施工に伴う変状のいろいろ**
- 施工に伴う変状の発生メカニズム**
- 施工上の対策は計画段階で照査**

⇒ 変化に対応できる現場力が重要

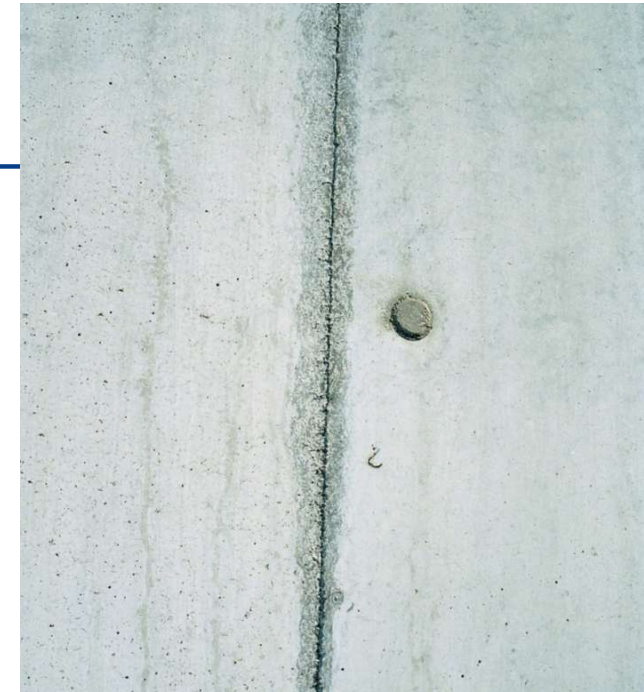
施工時に生じる変状の一例

～ ひび割れ、豆板、コールドジョイント、表面気泡 ～

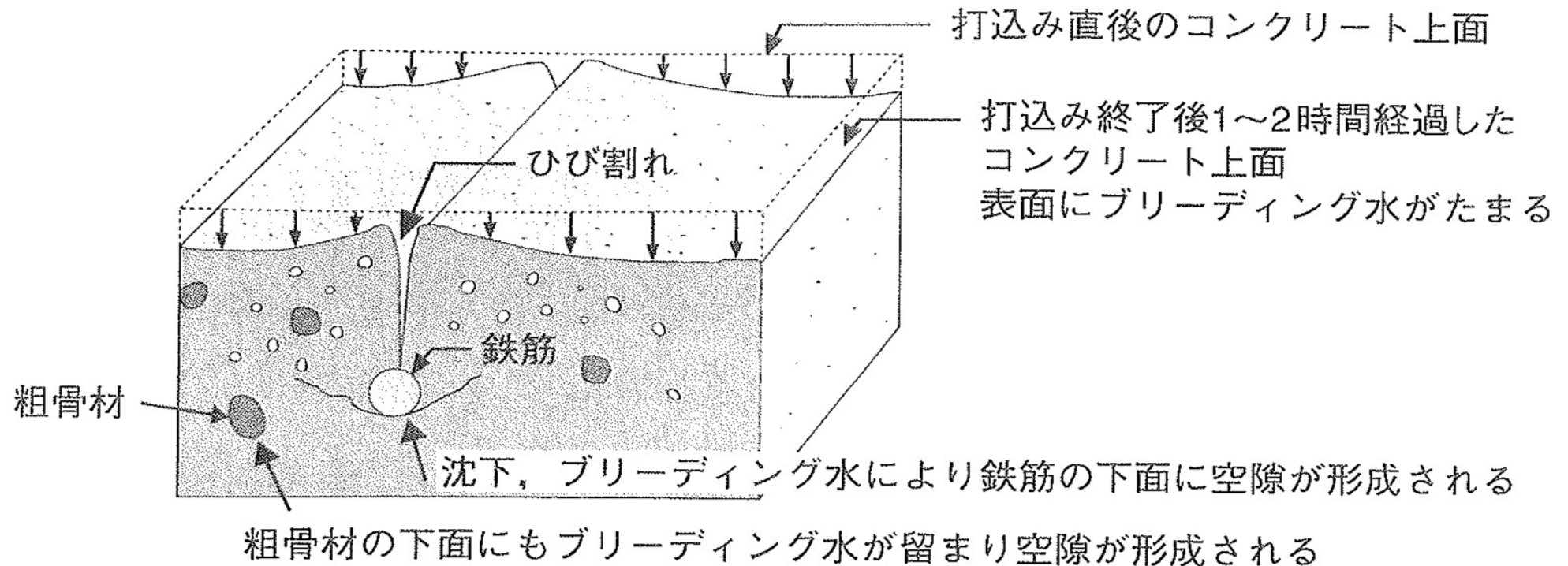


(1) 沈下ひび割れ

水走り・砂筋 (ブリーディングガー因)

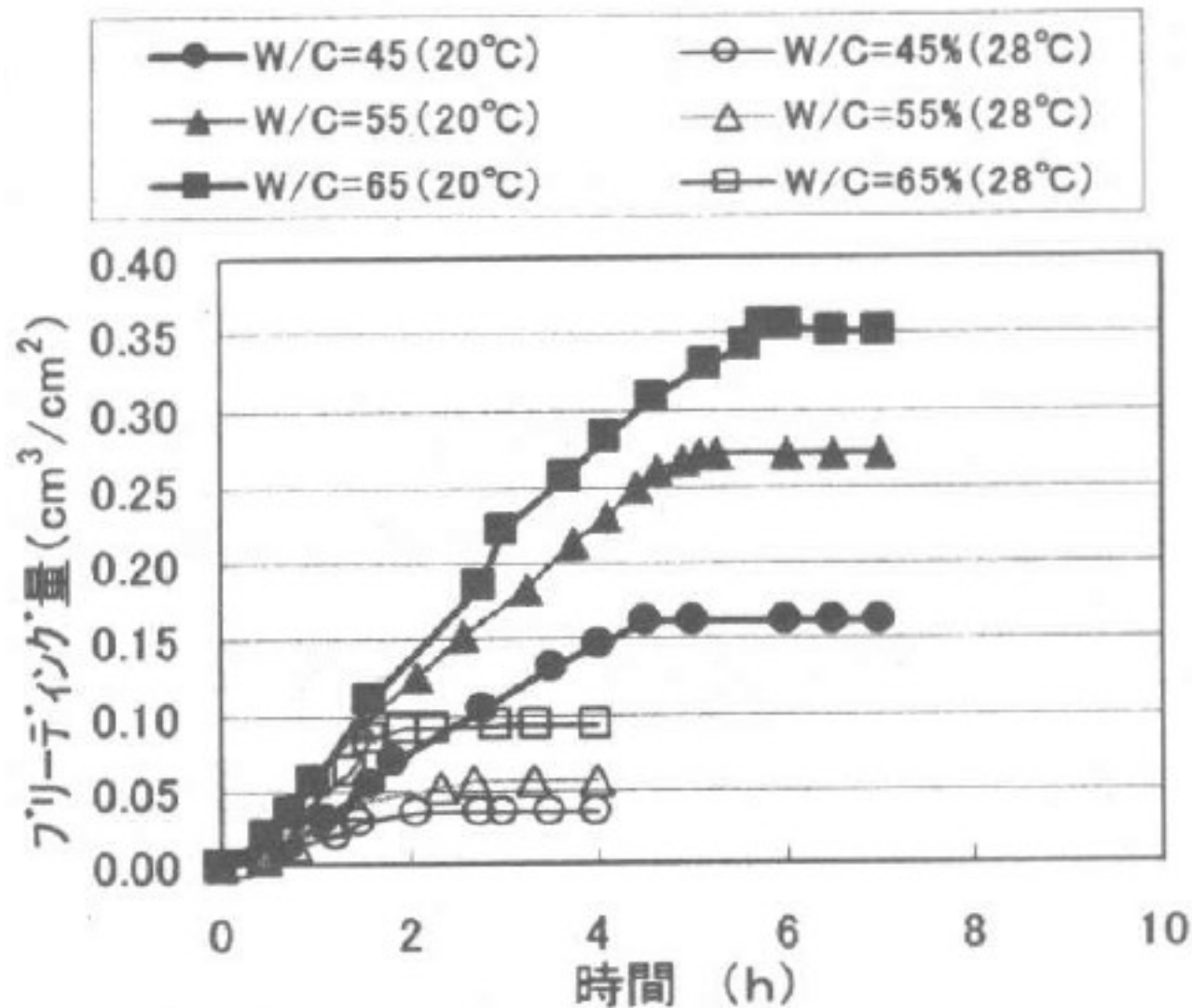


ブリーディングの伴う沈下ひび割れ



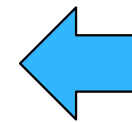
日経コンストラクション:コンクリート名人養成講座より引用

ブリーディングの発生状況の一例



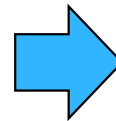
ブリーディングは、
数時間継続するため、
打込みが終了後に
沈下が発生する。

ブリーディングが原因でできる変状の例



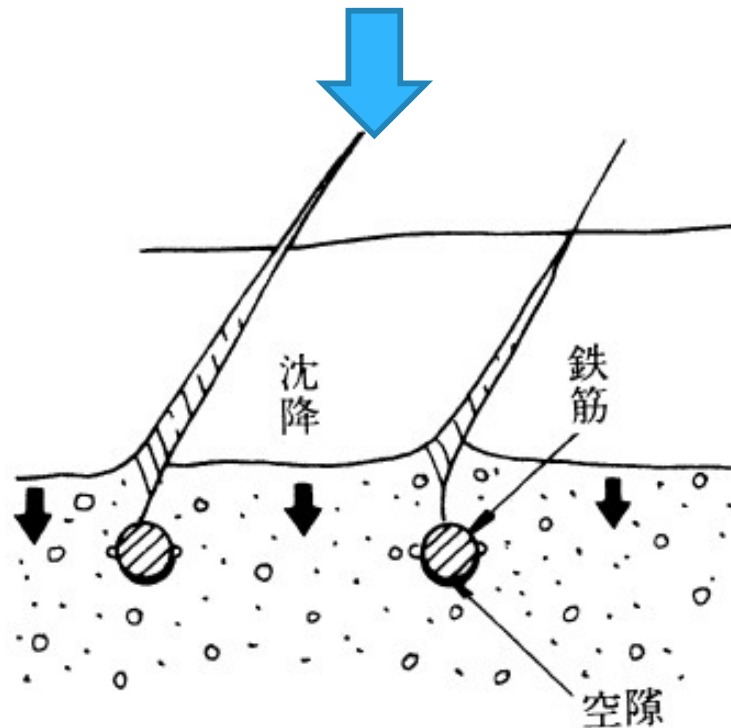
型枠際に発生する沈下ひび割れ
対策は打ち上り速度を緩める

仕上げ面に生じた表面剥離
コテ押さえを急ぐと発生



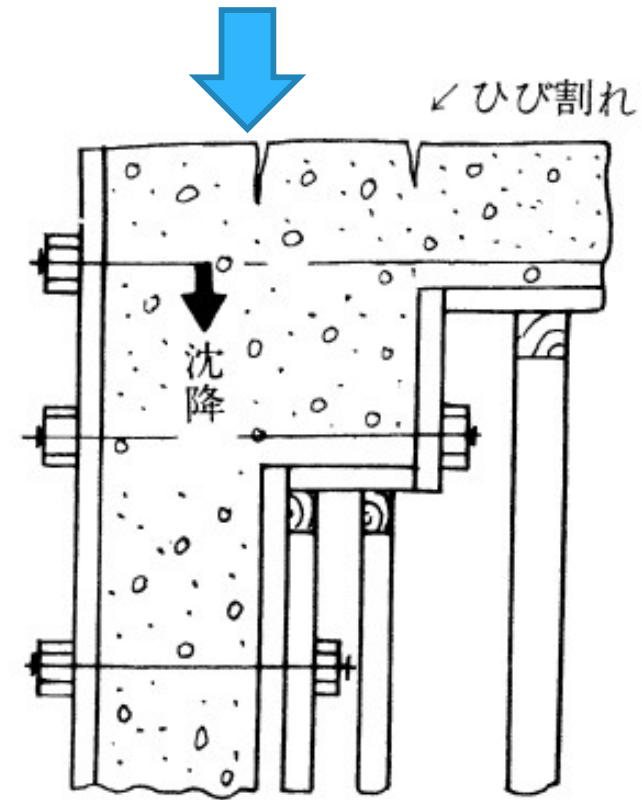
沈下ひび割れの施工時の対策

ブリーディングが収まる
タイミングでタンピング



(a) 鉄筋に沿って生ずる場合

梁下で一旦止める理由



(b) 断面の変わる場所に生ずる場合

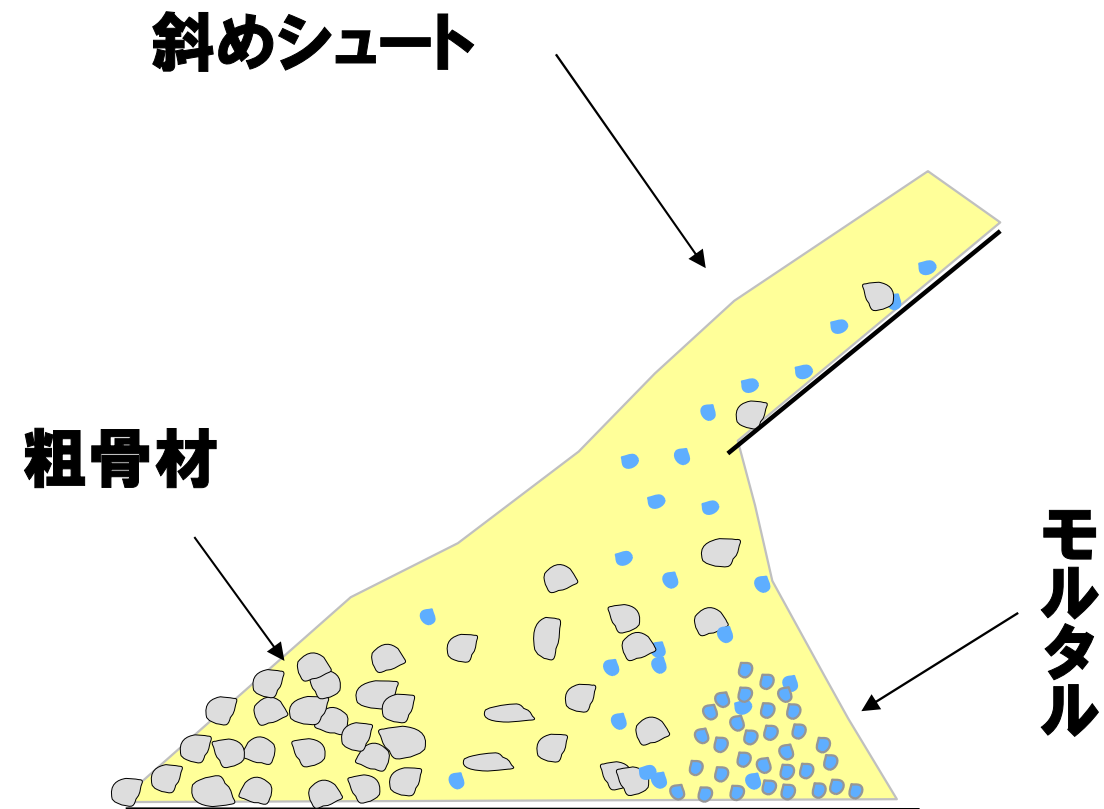
(2) 豆板

粗骨材が分離する打込み方法で生じる。



先行コンクリートが硬化していると、
振動締固めをしても骨材は沈まない。

流動に伴う材料分離のメカニズム



↑
骨材だけが集まると豆板ができる。

筒先からのコンクリートの流れをみる

⇒ 豆板ができる兆候はない。

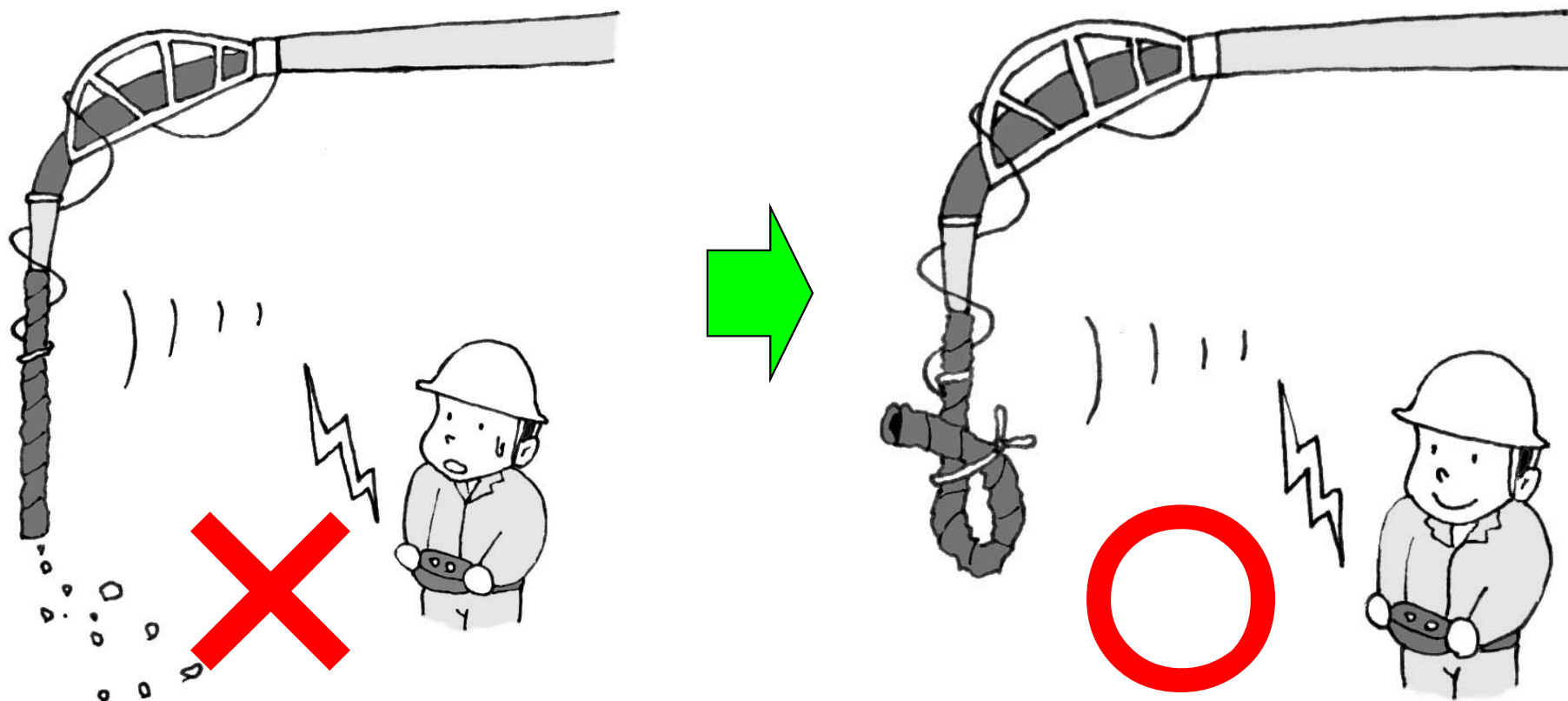


硬練りコンクリート



軟練りコンクリート

ポンプ車ブーム先端ホースにリスク



段取り替え時にリスクが潜む

(3) コールドジョイント



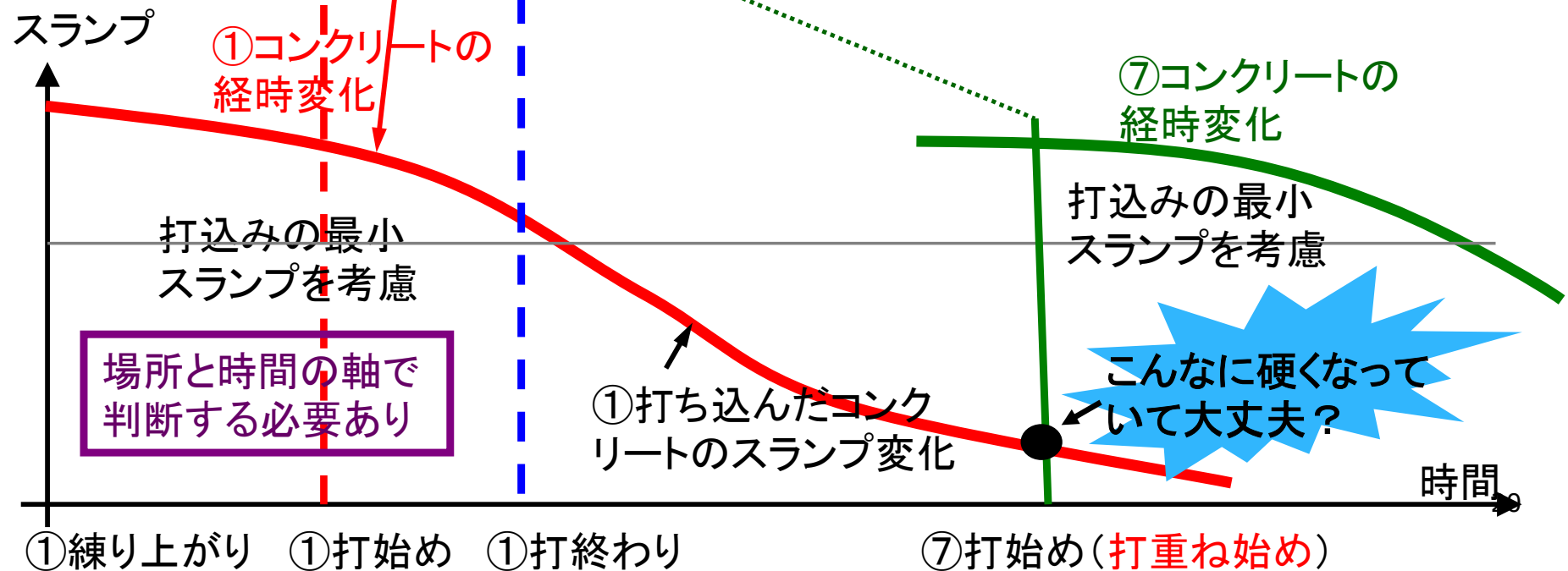
**前層との時間を空けると発生する。
打ち重ね時間間隔を短くする計画が重要**

打重ね(打込みの観点)

【パターンⅠ】 すべてのブロックを層ごとに打設した場合

例えば、⑦ブロックは①ブロックの打設から120分後に打設することになる。同様に、⑦～⑱ブロックすべてで打重ねの間隔が120分になり、コールドジョイントが発生する危険性が高まる。

3層目	⑬240分～	⑭260分～	⑮280分～	⑯300分～	⑰320分～	⑱340分～
2層目	⑦120分～	⑧140分～	⑨160分～	⑩180分～	⑪200分～	⑫220分～
1層目	①0分～	②20分～	③40分～	④60分～	⑤80分～	⑥100分～



打重ねの計画が重要

- ◆打回し方によって、
打重ね時間間隔が変化、
コールドジョイントのリス
スクが異なる。
- ◆どの辺りがコールドジョ
イントになる確率が高
いか事前に確認。
- ◆施工条件によっては、
「たわら打ち(パターン
III)」を行うことは有効。

構造物，部材ごとに打
込みの詳細計画を立て
て，しっかり管理する。

図は、3層に分けて計18ブロックを打ち重ねる際の断面図を示す。いずれのパターンも○数字の順に、1ブロックを20分で打設していく。
表示時間は、各ブロックの打設開始時間を示す。

 コールドジョイントが生じる危険性が高いブロック

【パターンⅠ】 すべてのブロックを層ごとに打設した場合

例えば、⑦ブロックは①ブロックの打設から120分後に打設することになる。同様に、⑦～⑱ブロックすべてで打重ねの間隔が120分になり、コールドジョイントが発生する危険性が高まる。

3層目	⑬240分～	⑭260分～	⑮280分～	⑯300分～	⑰320分～	⑱340分～
2層目	⑦120分～	⑧140分～	⑨160分～	⑩180分～	⑪200分～	⑫220分～
1層目	① 0分～	② 20分～	③ 40分～	④ 60分～	⑤ 80分～	⑥100分～

【パターンⅡ】 約 1/2を層ごとに打設した場合

上のパターンに比べて筒先の移動する回数は増えるが、打重ねの間隔が120分になるブロックの数は減り、コールドジョイントの発生危険性は減少する。

3層目	⑪200分～	⑫220分～	⑬240分～	⑯300分～	⑰320分～	⑱340分～
2層目	⑤ 80分～	⑥100分～	⑦120分～	⑩180分～	⑭260分～	⑮280分～
1層目	① 0分～	② 20分～	③ 40分～	④ 60分～	⑧140分～	⑨160分～

【パターンⅢ】 最小限で層ごとに打設した場合（いわゆる「たわら打ち」）

筒先を移動する回数はさらに増えるが、打重ねの間隔が最大でも100分となり、コールドジョイントが生じる確率がかなり小さくなる。

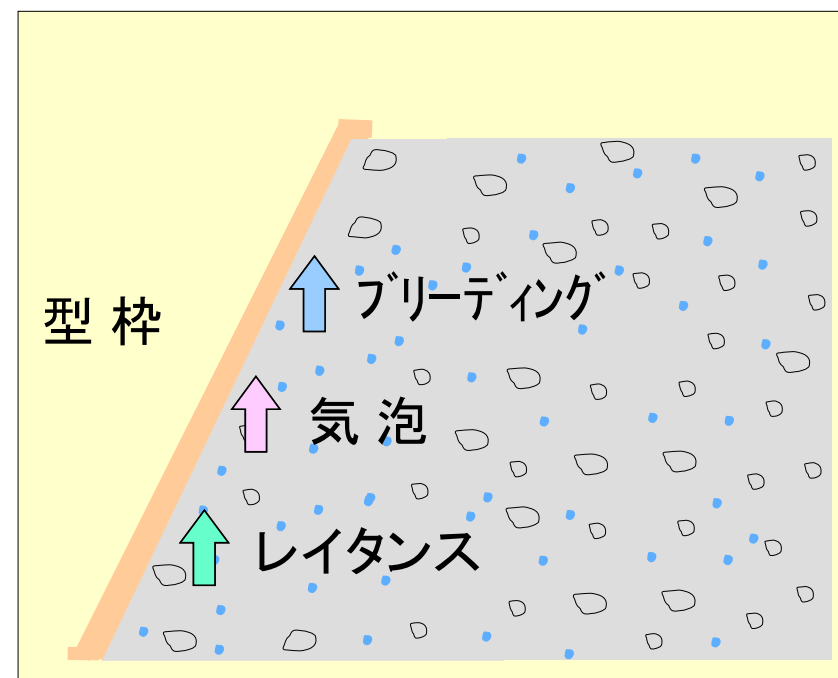
3層目	⑥100分～	⑨160分～	⑫220分～	⑮280分～	⑰320分～	⑱340分～
2層目	④ 60分～	⑤ 80分～	⑧140分～	⑪200分～	⑭260分～	⑯300分～
1層目	① 0分～	② 20分～	③ 40分～	⑦120分～	⑩180分～	⑬240分～

(4) 斜面で発生しやすい表面気泡



良い気泡(微細な気泡)と
悪い気泡(大きな気泡)を
区別する。

➤ 一度に打ち上げ
るとでき易い



➤ 斜面の型枠際にでき易い

気泡を除去するスピーディング



(5) 施工初期に発生するひび割れ



日射と雨に掛かる箇所



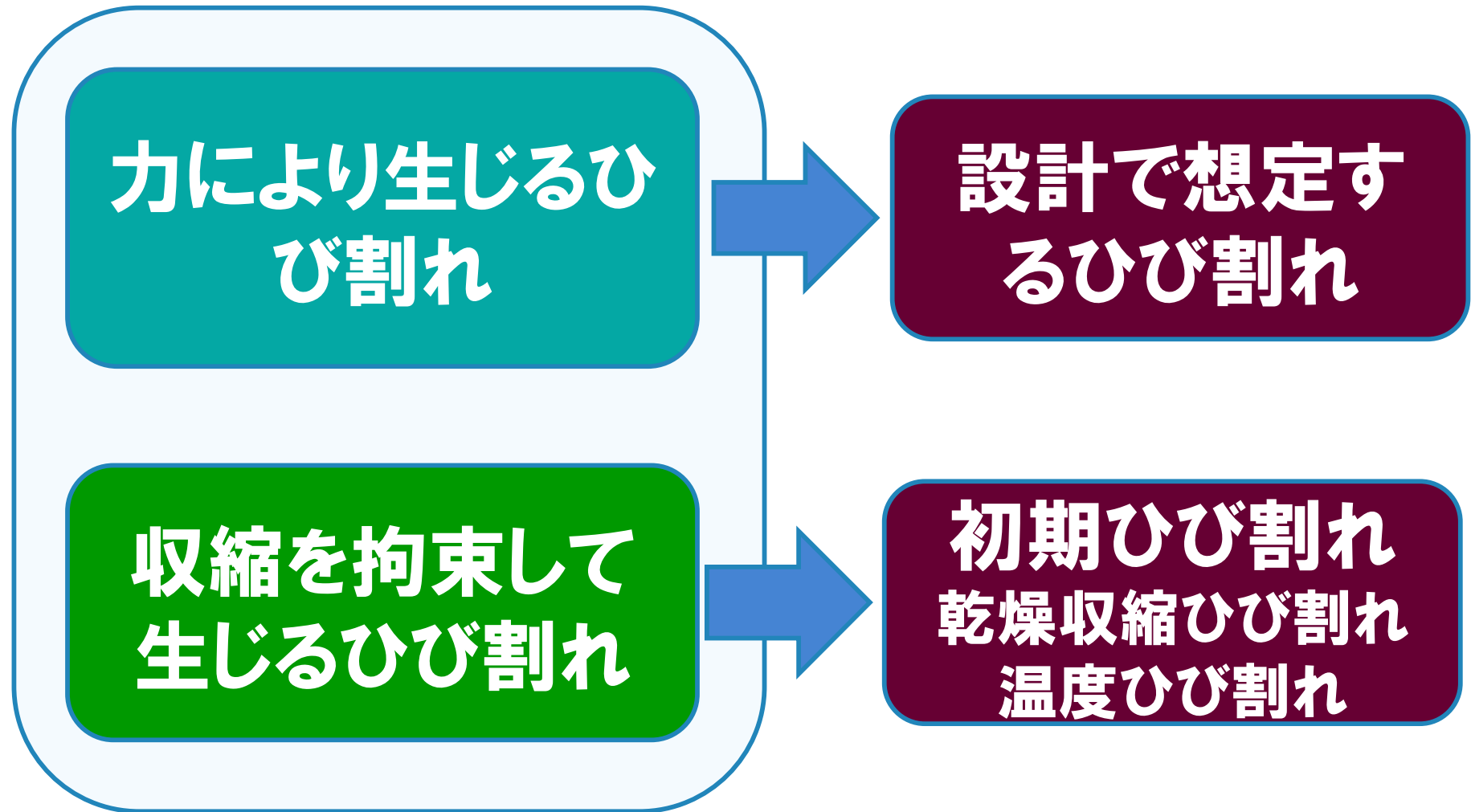
水和熱による
温度ひび割れ
(初期ひび割れ)



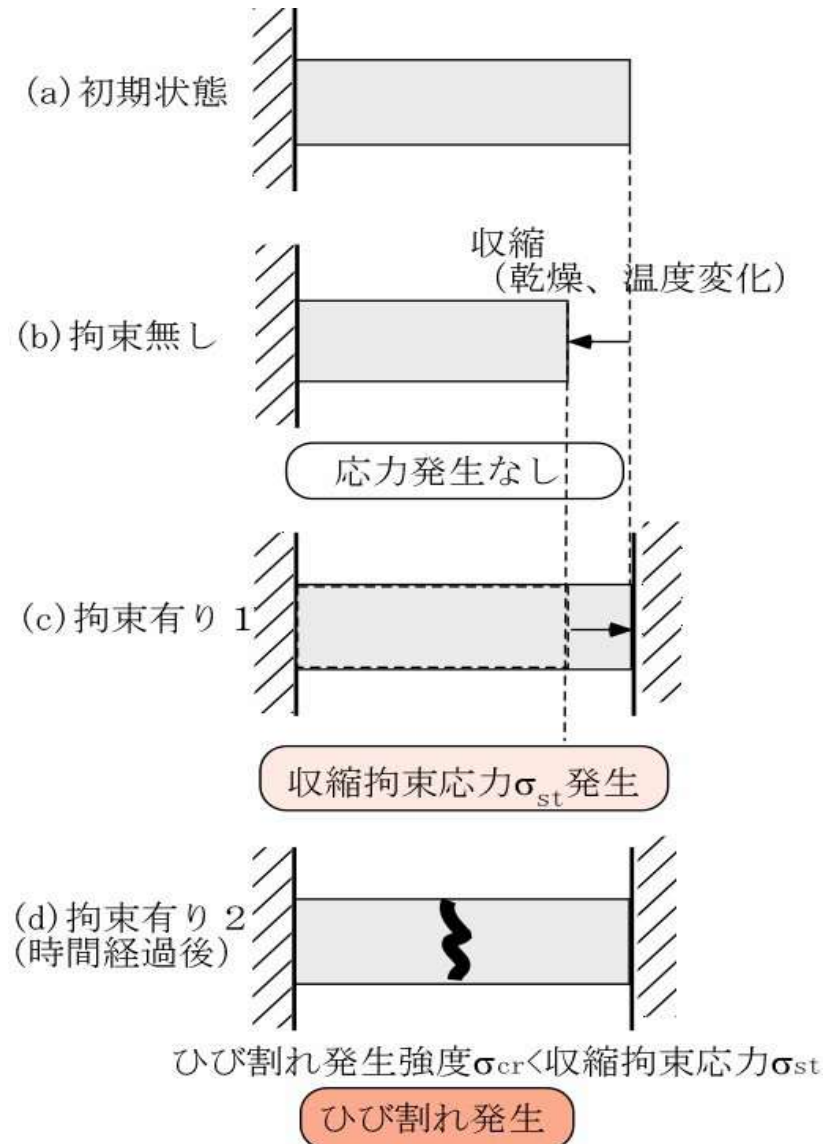
雨の掛からない部分



初期ひび割れの2つのパターン

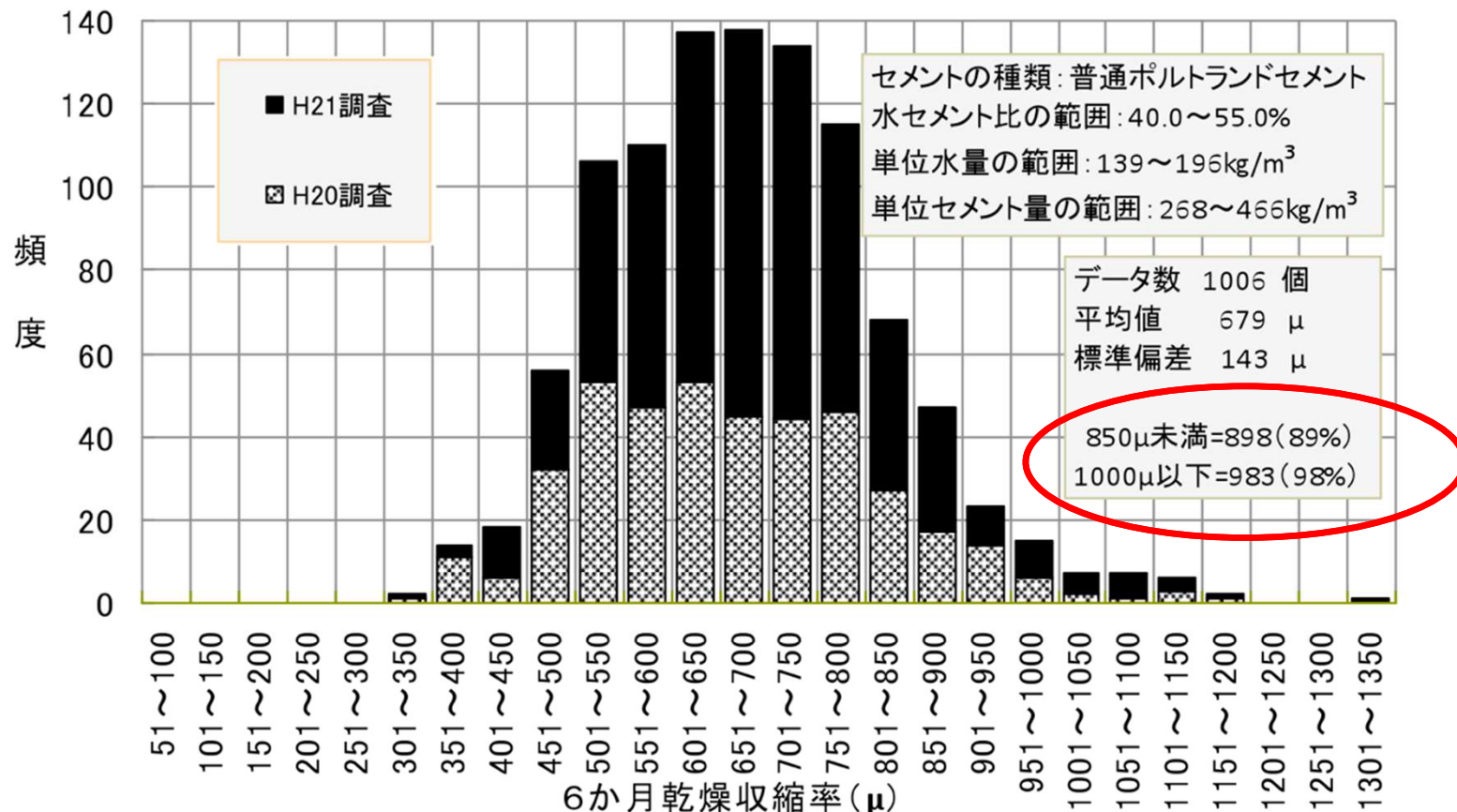


収縮を拘束されたひび割れの発生メカニズム



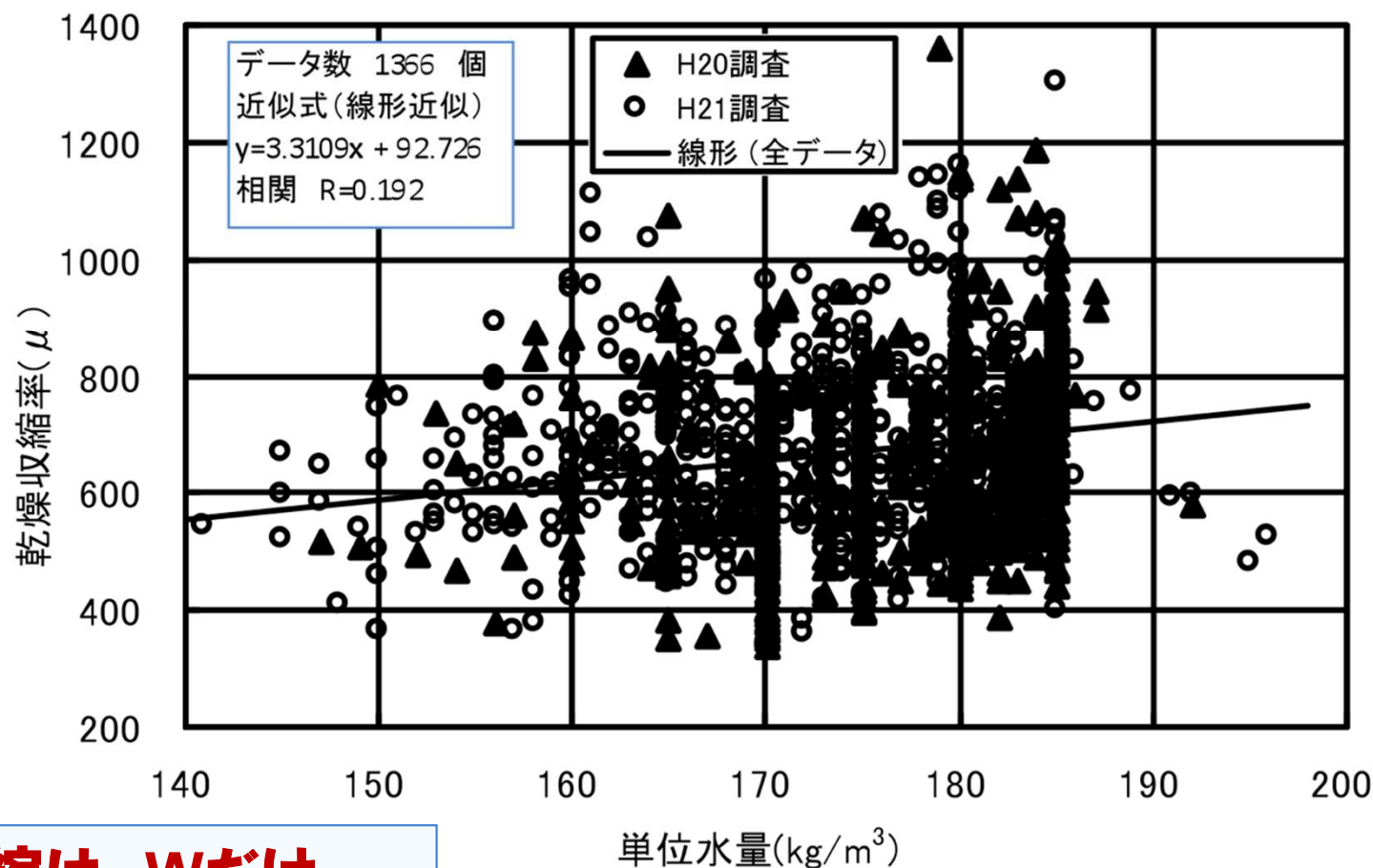
- コンクリートは収縮する。
セメントの硬化収縮
乾燥して収縮
水和発熱が放熱して収縮
- 既設物などが収縮を拘束
拘束されると引張応力発生
- 引張強度は極端に小さい
⇒ ひび割れ発生

長さ変化率の分布(特異店排除)



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)

単位水量と長さ変化率(乾燥収縮率)

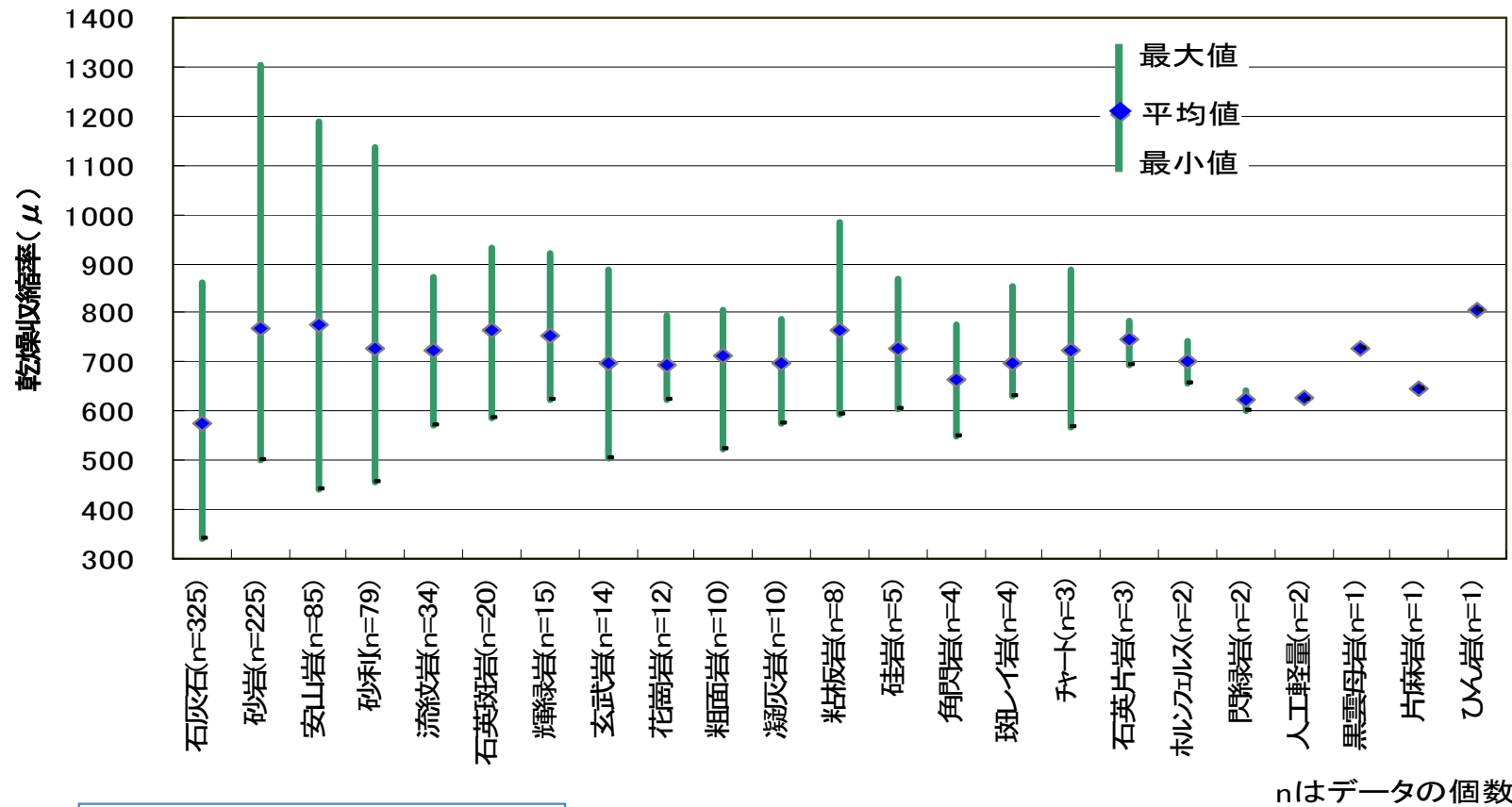


収縮は、Wだけでは決まらない

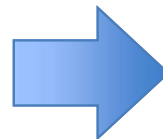


材料、配合を特定すると相関

粗骨材の岩種と乾燥収縮率

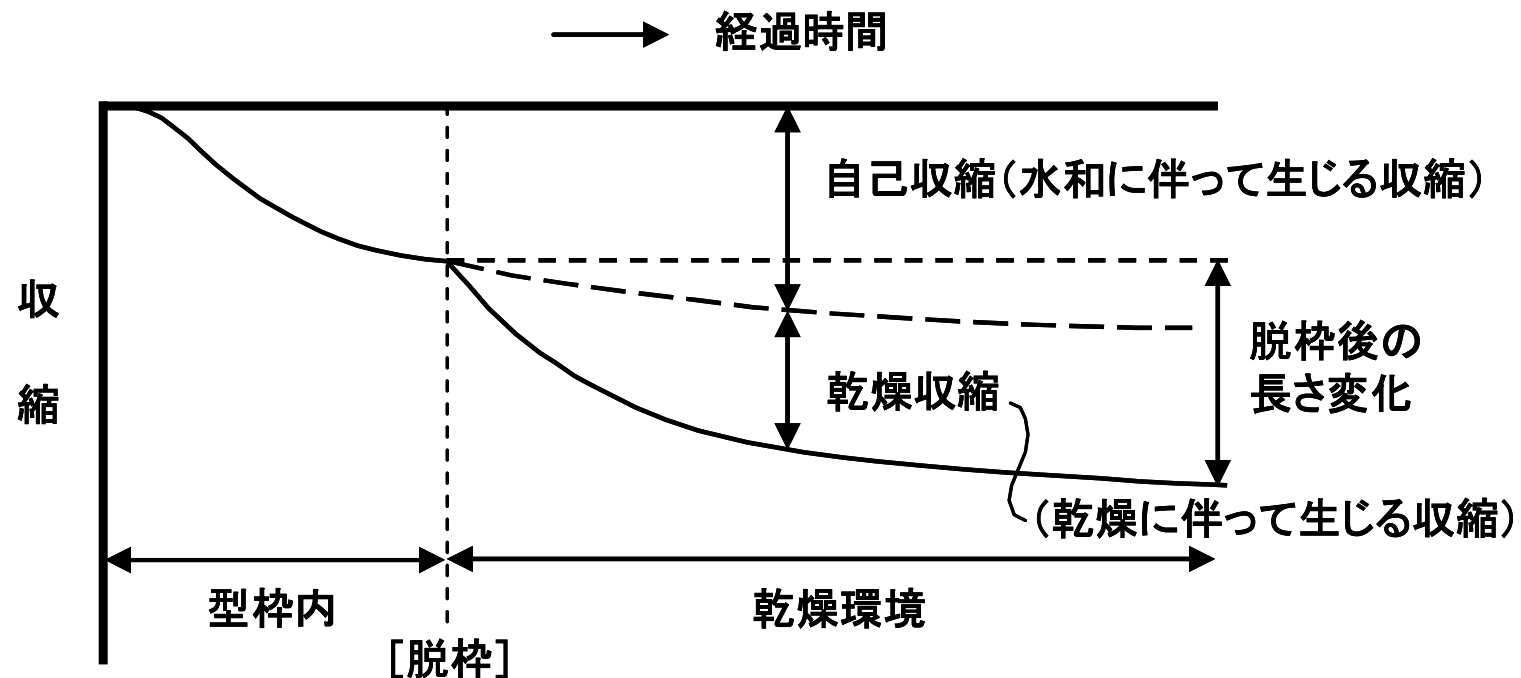


石灰石: 平均値は小
変動範囲は大きく、
他の岩種より収縮が
大きいものもある



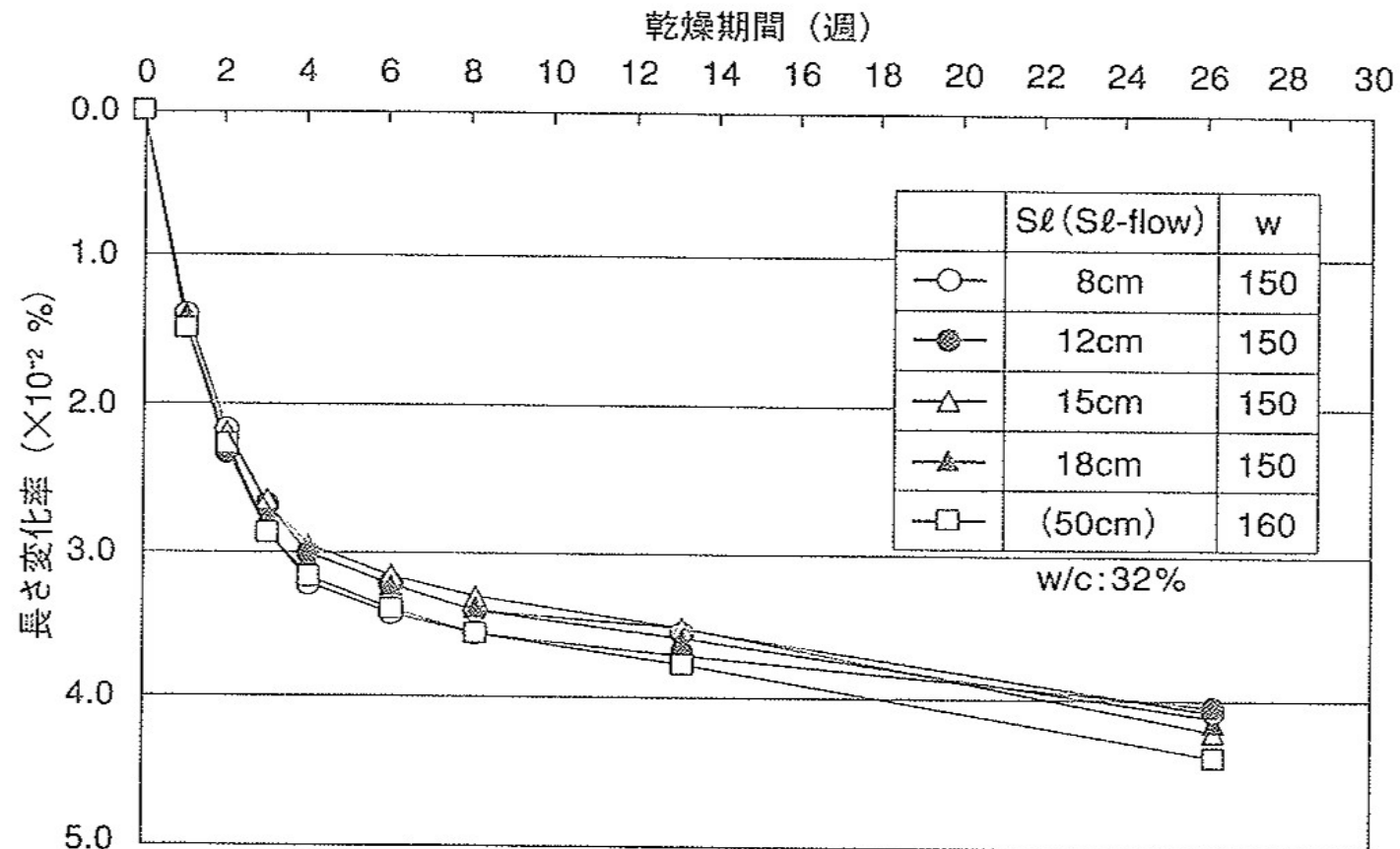
岩種を固定しても
収縮は決まらない。

自己収縮と乾燥収縮率・長さ変化率



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。

長さ変化の例(設計基準強度60N/mm²)



スランプより単位水量が支配的

乾燥収縮ひび割れの抑制対策

■ 乾燥収縮率の低減

- ⇒ 良質の骨材の使用（収縮に小さい材料）
- ⇒ 良質の混和剤の使用（単位水量の低減）
- ⇒ 変動の少ない品質管理（余分な収縮削減）

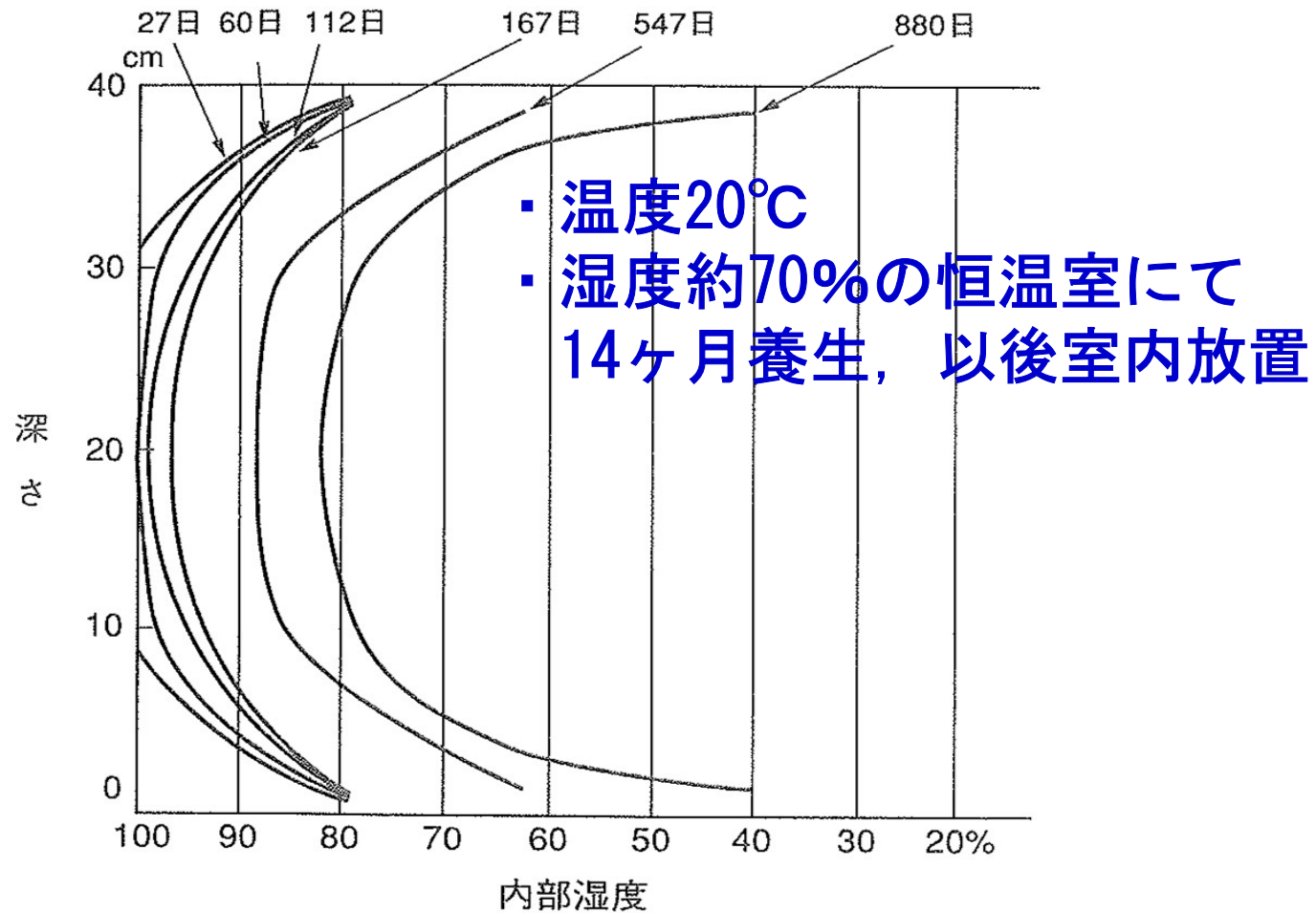
■ 乾燥による逸散水の抑制

- ⇒ 十分な湿潤養生（余剰水の削減）
- ⇒ ゆっくりと反応させる（余剰水の削減）

部材厚さが小さい場合の収縮ひび割れ



内部湿度分布の推移(厚さ40cm)

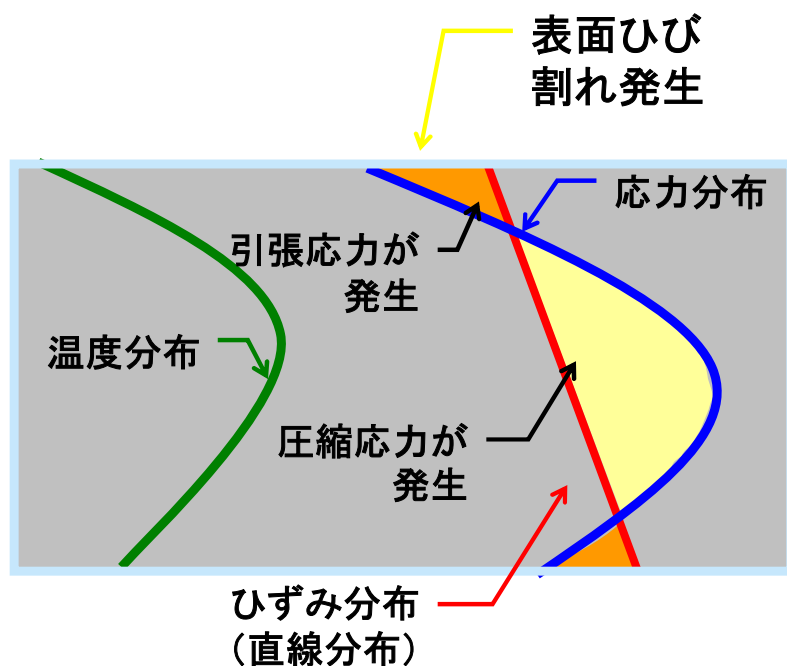


乾燥には時間が掛かる

温度ひび割れの発生パターン

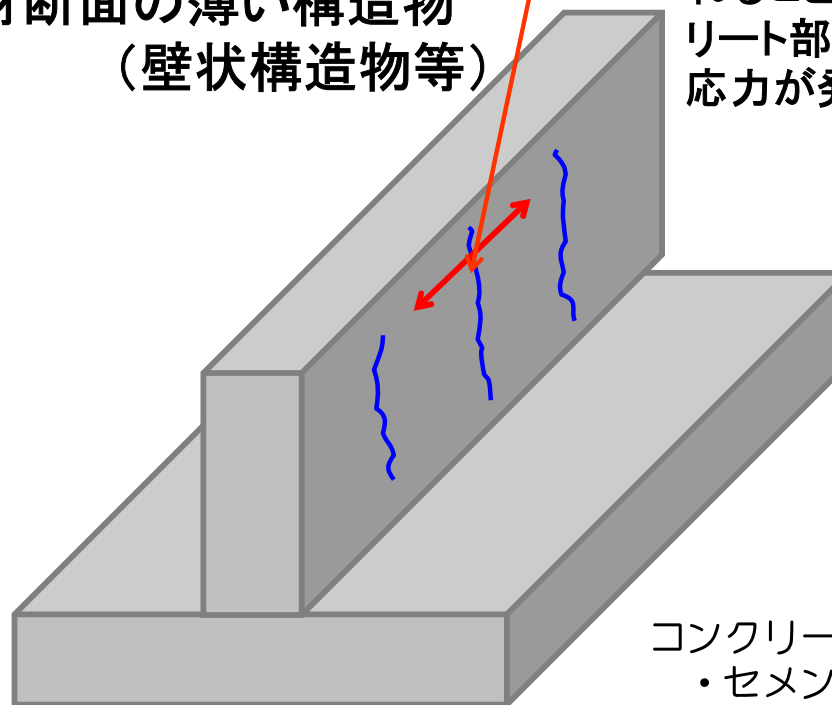
表面ひび割れ (内部拘束卓越)

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)

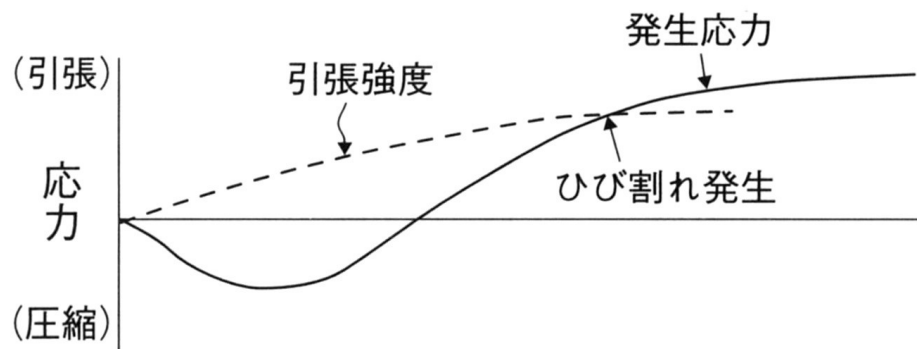
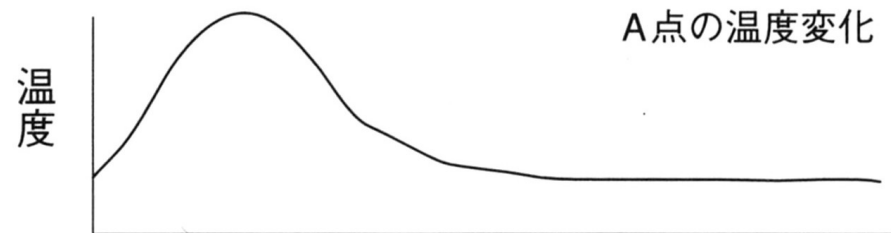
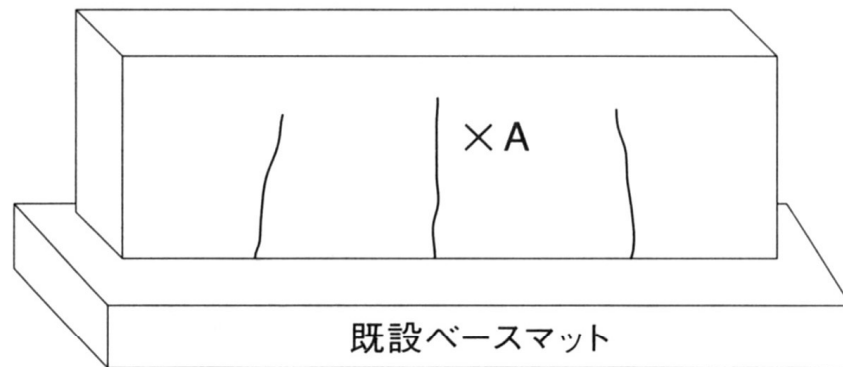


コンクリートの収縮を拘束体により拘束されることで、コンクリート部材内に引張応力が発生

コンクリートの収縮の原因

- ・セメント水和熱
- ・環境温度の変化
- ・自己収縮
- ・乾燥収縮
- ・日射 等

外部拘束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

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

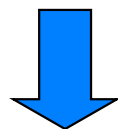
配合要因とひび割れの関係

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	やや小	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

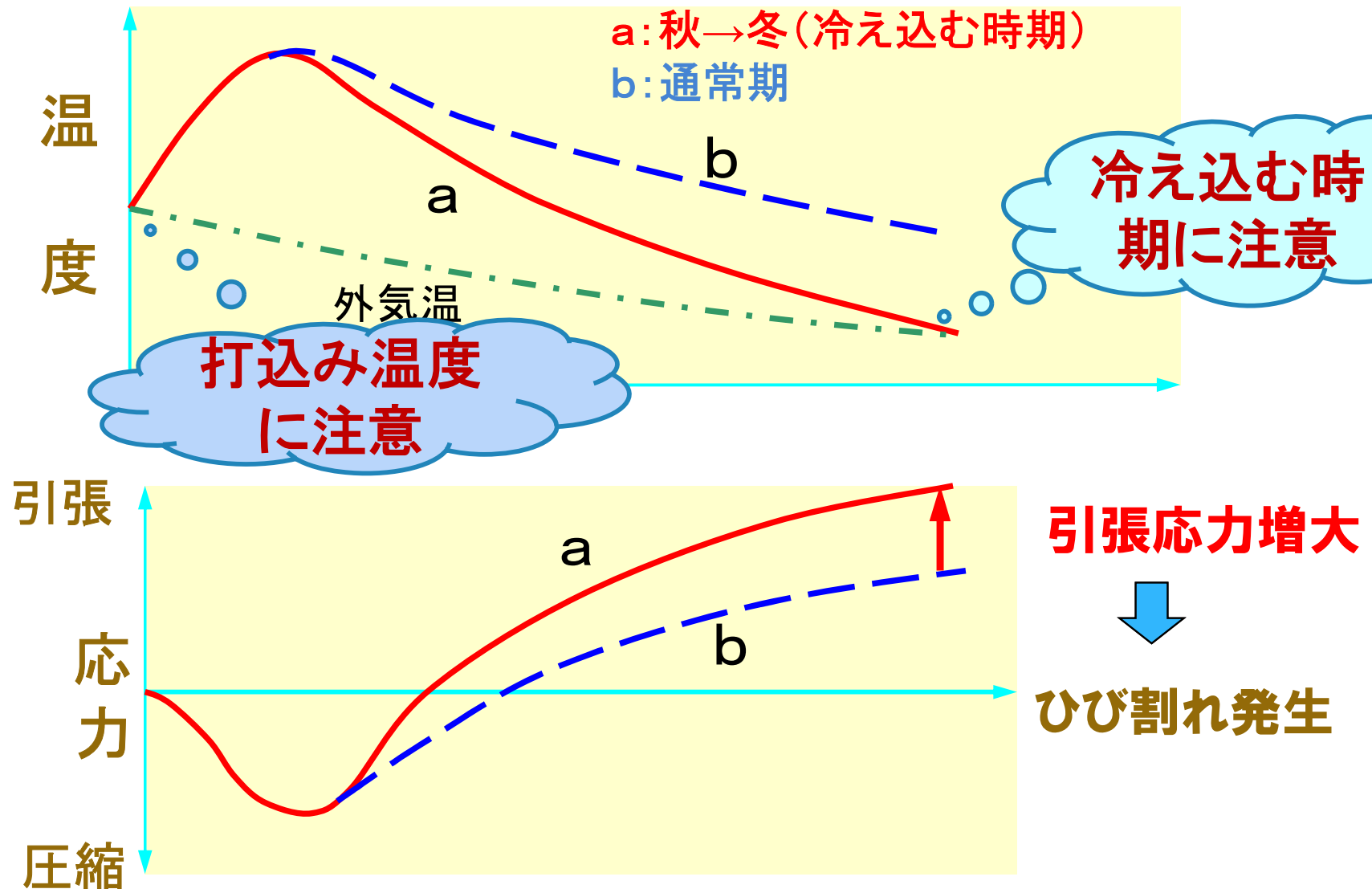
初期ひび割れの原因は明確

- 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

施工時期もリスクになる事例



⇒保温養生で冷やさない対策が効果的

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

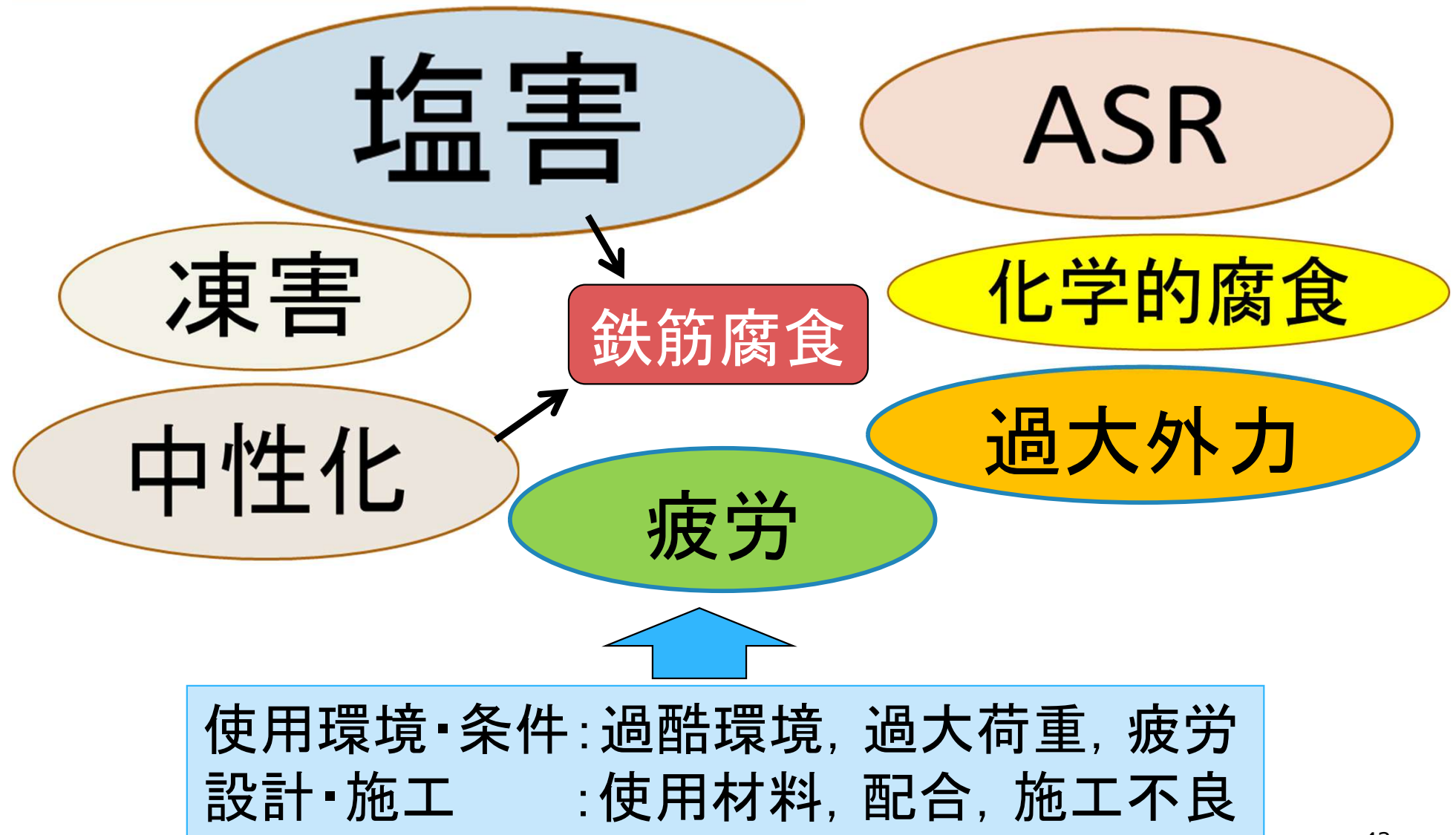
ただし、

- すべてのひび割れが有害とは限らない！
- ひび割れを補修すれば、初期欠陥とはならない。

3. 劣化に伴う変状とその対策(概略)

- 劣化による変状のいろいろ
- 劣化による変状のメカニズム
- 劣化による変状の抑制対策
- 以上は割愛
- 予防保全で安価な対策
- 延命化こそが脱炭素に貢献

コンクリート構造物の劣化の主要因

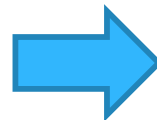


凍害を受けたコンクリート構造物



← 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



アルカリシリカ反応 によるひび割れ

- 無筋コンクリートでは
亀甲状に発生



- 鉄筋コンクリートでは
拘束軸方向にひび割れ



化学的腐食による劣化



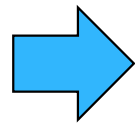
下水道の劣化



鉄筋の腐食による劣化事例

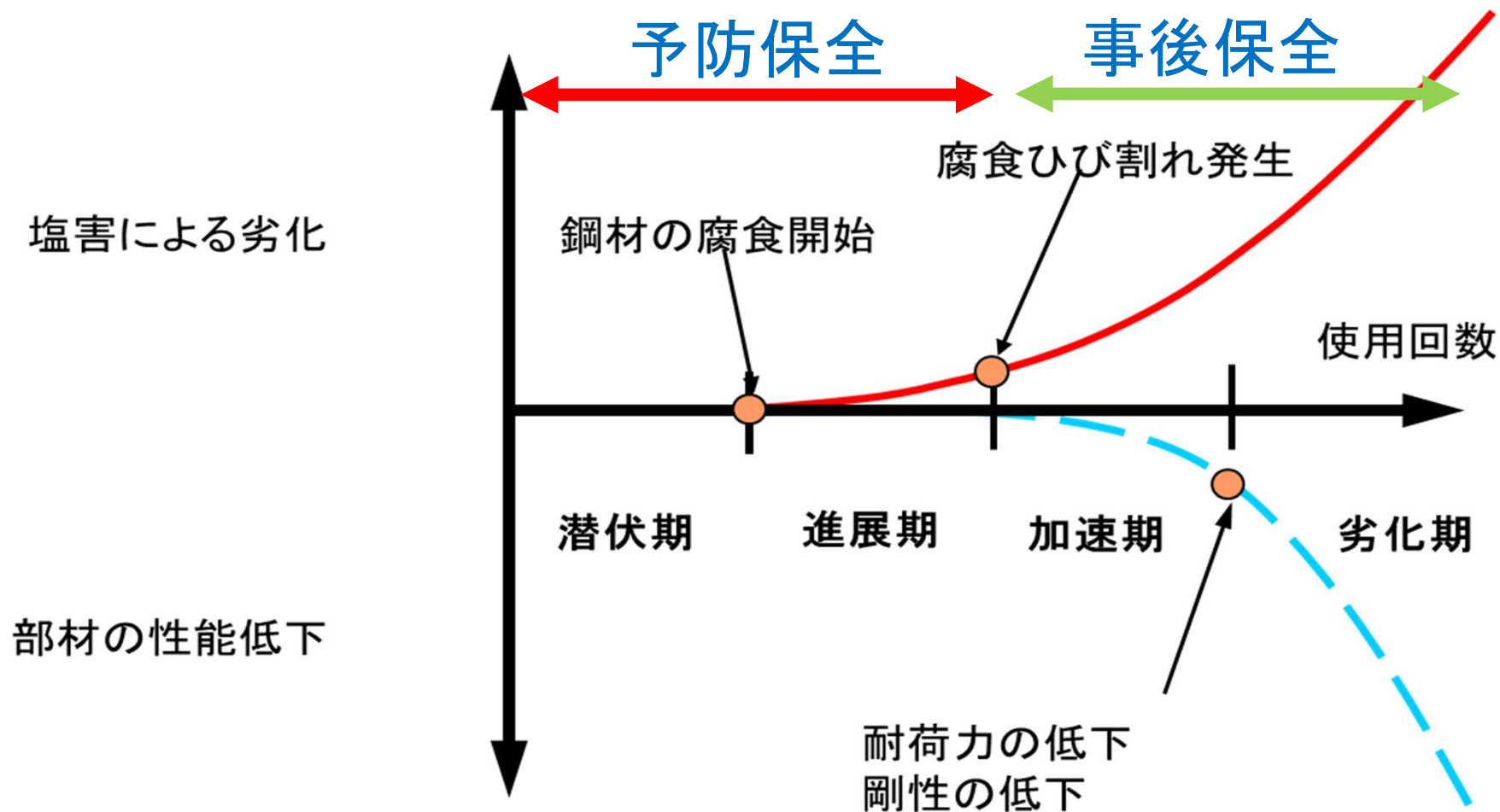


塩害による
鉄筋の腐食



中性化による
鉄筋の腐食事例

塩害による劣化進行過程の概念



塩害における劣化過程と外観上の劣化状態

劣化過程	定 義	外観上の劣化の状態
潜伏期	鋼材表面における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間	外観上の変状はない
進展期	鋼材の腐食発生開始から腐食ひび割れ発生までの期間	腐食開始限界塩化物イオン濃度以上 腐食はしているが、 外観上の変状はない
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	(前期) 腐食ひび割れ, 錆汁発生 (後期) 腐食ひび割れ多数 錆汁, 部分的なはく離, 剥落
劣化期	腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	腐食ひび割れ多数 (ひび割れ幅大) 錆汁, はく離, 剥落 変位, たわみ大きい

予防保全を行うために何をすればいいか？

- 点検は簡易にして、補修に費用をかけるべき。
- 費用対効果で点検方法を選定



- 劣化状態は、打音検査と近接目視で可能(緊急性)
- 将来予測は、塩化物イオン量と中性化の把握

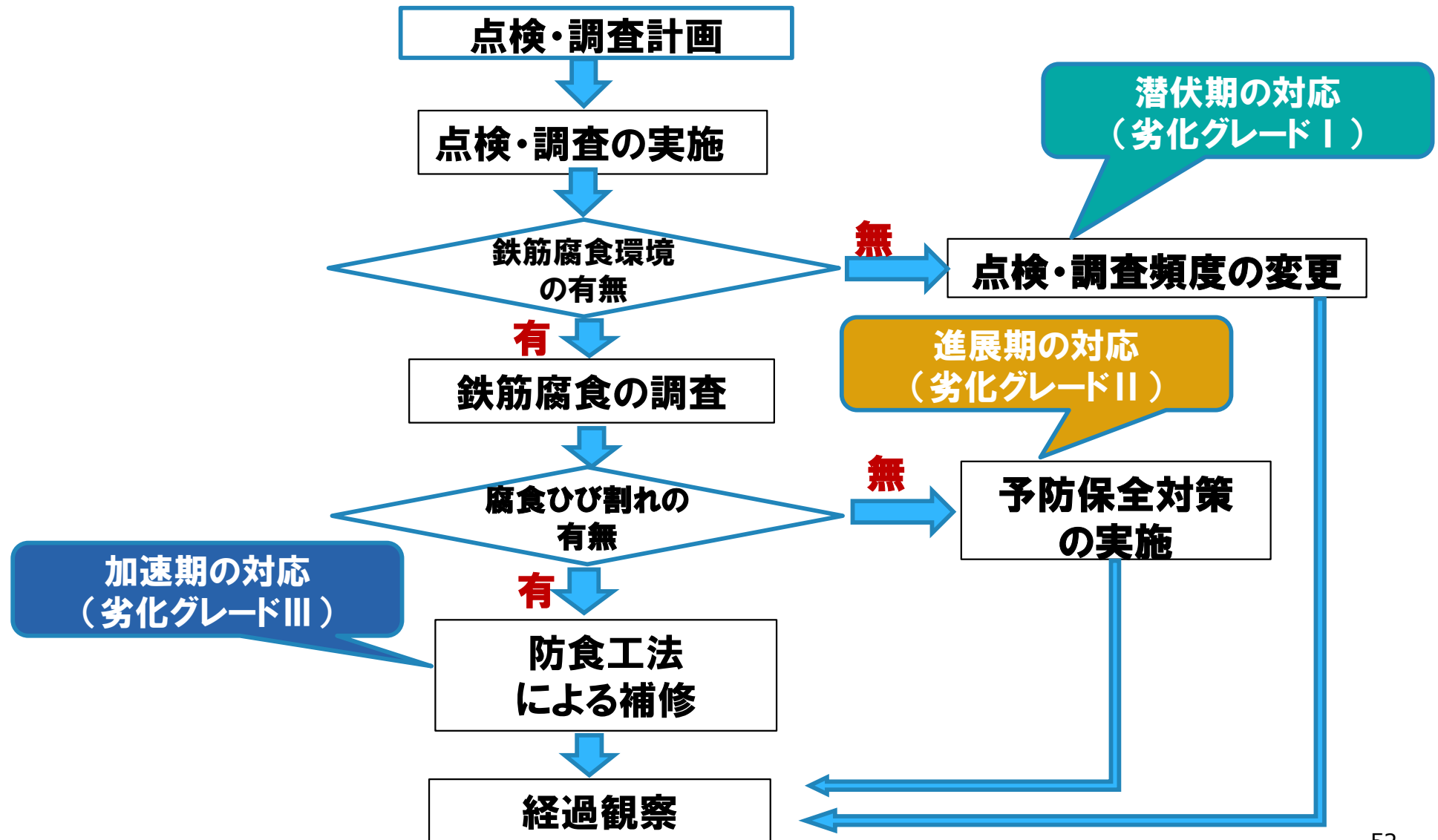


- 塩化物イオン量は鉄筋の位置の量の予測
- 中性化は中性化深さから進行性の予測

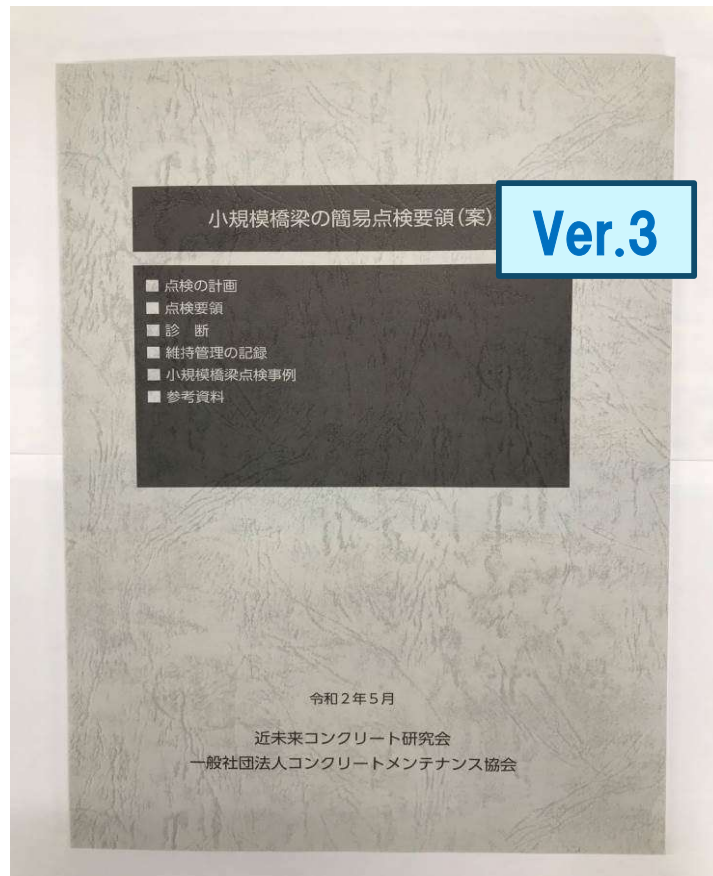
予防保全を目的とした調査項目

	調査項目	実施項目
1	形状寸法	・橋梁の寸法・形状の記録 ・調査状況の写真
2	表面観察	・外観調査(ひび割れ、変色、浮き、剥離など)→スケッチ、写真 ・内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真 ・打音検査(テストハンマー)
3	鉄筋位置 かぶり厚さ	・電磁波レーダーによる鉄筋の配置 ・かぶり厚さの測定
4	圧縮強度	・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定 (JIS A 1155、JSCE-G-504)
5	中性化深さ	①ドリル法による粉末で中性化深さ測定 (NDIS 3419) ②ろ紙に噴霧したフェノールフタレイン溶液が赤紫色に呈色 ③ドリルを止めてその時の深さをノギスで測定
6	塩化物イオン量	・乾式ドリル粉の採取 →実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定

予防保全型維持管理のフロー(案)



小規模鉄筋コンクリート橋梁の点検要領(案)



小規模橋梁の点検要領は、鉄筋コンクリートの劣化を対象としています。

改訂版(Ver.3)は事例を加え使いやすくしています。

誰でもできる点検を目指して、早期の点検で安価な措置を。

(一社)コンクリートメンテナンス協会 HPを参照

4. 持続可能な未来に向けた対応

- **早めの点検で将来を予測**
 - ⇒ **誰でもできる踏み込んだ調査**
- **潜伏期では、点検頻度を延ばす。**
- **進展期では、表面から防食と防水。**
- **加速期になると、断面修復で対応。**
 - ⇒ **整備予算を有効活用**

コンクリート構造物の在り方(まとめ)

- 本来は、高耐久性であるべき
- 施工時の変状を初期欠陥にしない！
- 維持管理計画を立てて、予防保全。
- 早めの点検で、安価な補修
- 健康寿命を延ばして脱炭素に貢献
- 人材の育成と、予算の確保が重要

ご清聴に感謝いたします。

