

第5回コンクリート技術研修会
主催：高知県コンクリート診断士会
共催：高知県土木施工管理技士会

有害なひび割れ／無害なひび割れ ～ その点検方法

広島工業大学 工学部 教授

十河 茂幸

そごう しげゆき

話の構成

1. まず、ひび割れを理解する
2. 劣化によるひび割れは進行性
3. ひび割れは有害とは限らない
4. 点検はやすく、診断は難し

1. まず、ひび割れを理解する

➤ 施工段階で生じる不具合

✓ 型枠を外す前:

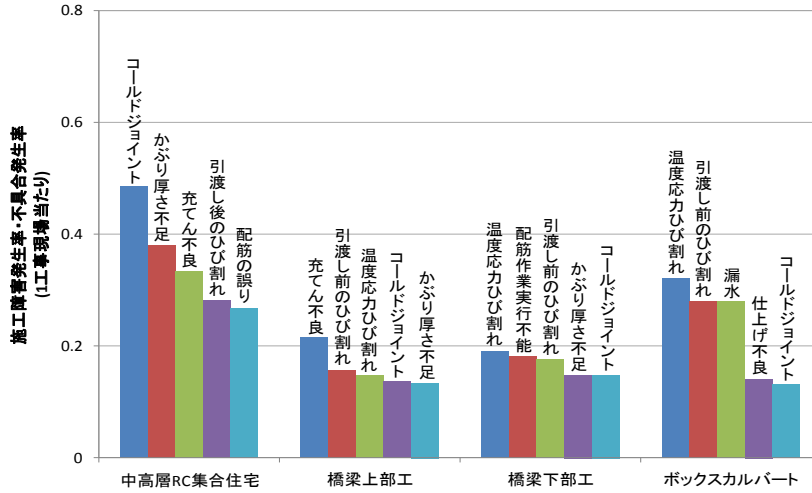
豆板、未充填、あばた
コールドジョイント、沈下ひび割れ
水走り、砂筋、表面剥離 など

✓ 型枠を外した後:

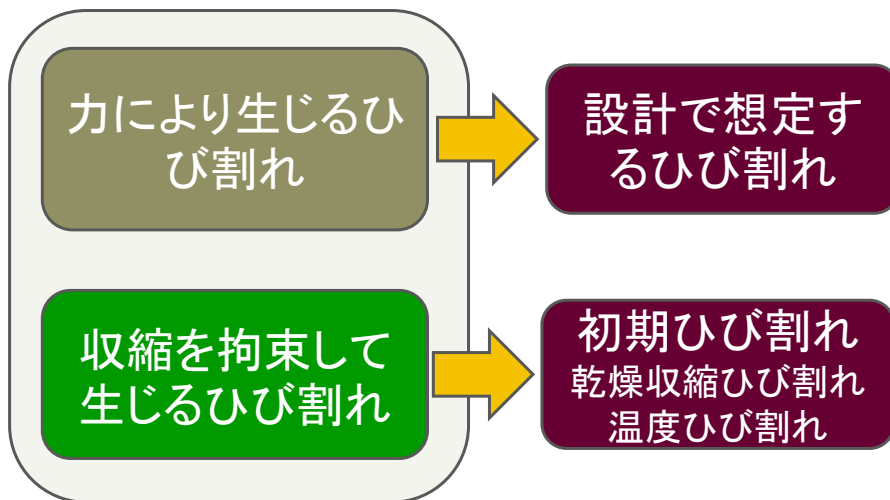
温度ひび割れ、乾燥収縮ひび割れ等

✓ 供用期間中: かぶり不足、凍害 など

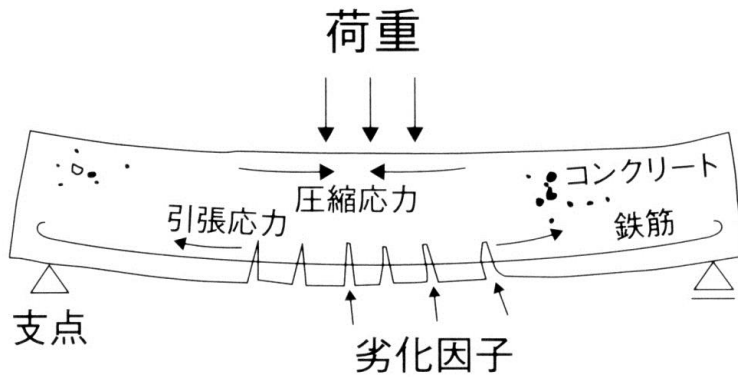
構造物別の不具合発生確率 (不具合の中ではひび割れがダントツ)



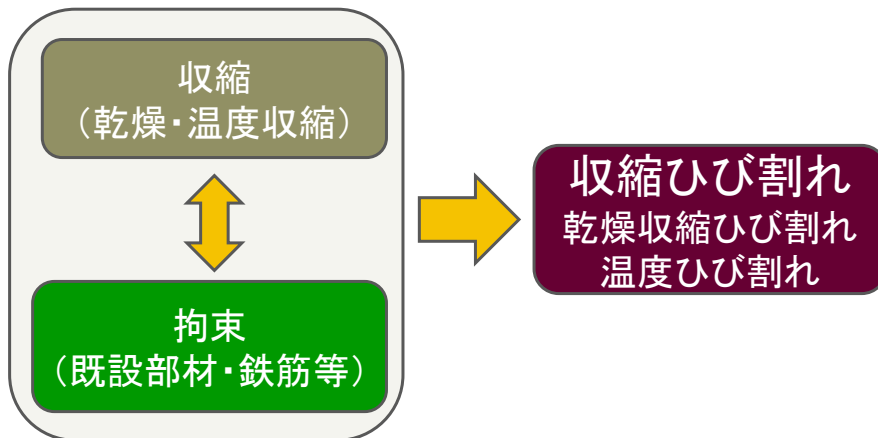
ひび割れのメカニズムによる分類



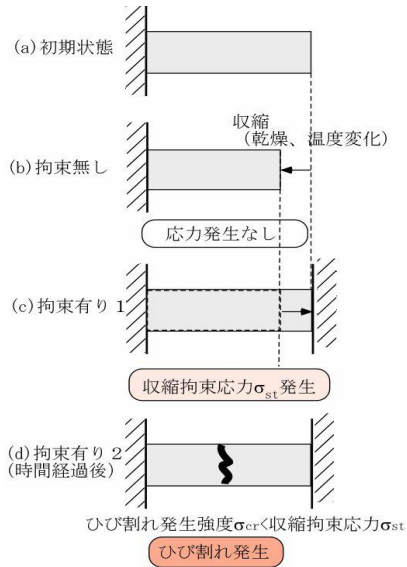
力によるひび割れの発生メカニズム



収縮が拘束されるとひび割れが発生

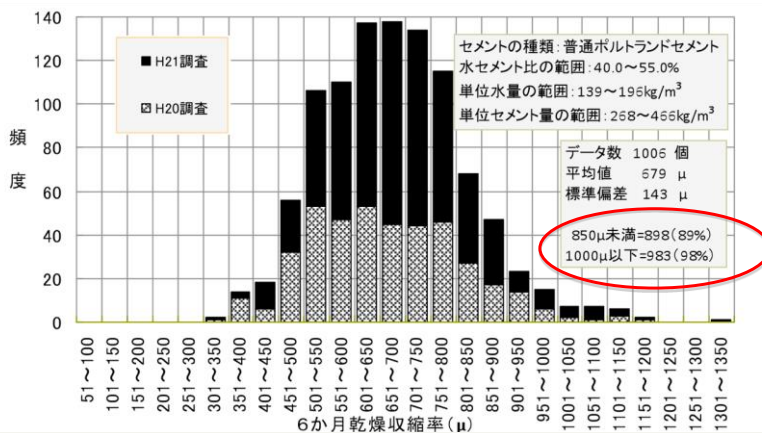


収縮を拘束されたひび割れ発生メカニズム



- 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

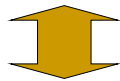
乾燥収縮率の分布



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)

乾燥収縮ひずみとひび割れ

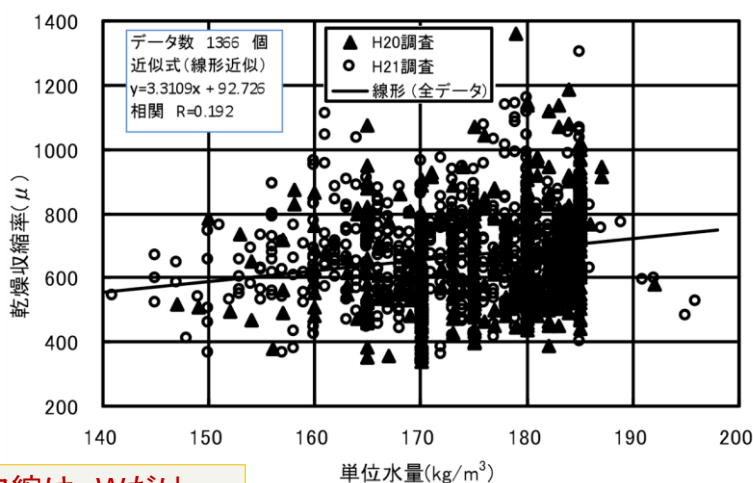
- ✓ コンクリートの収縮ひずみの許容値 … 800 μ
- ✓ 実環境による乾燥収縮ひずみ … 400 μ
- ✓ 収縮の拘束度は0.5程度と想定すると … 200 μ



- コンクリートの伸び能力(クリープを含む)…200 μ

⇒ 8×10^{-4} では、大きなひび割れは生じない

単位水量と乾燥収縮率

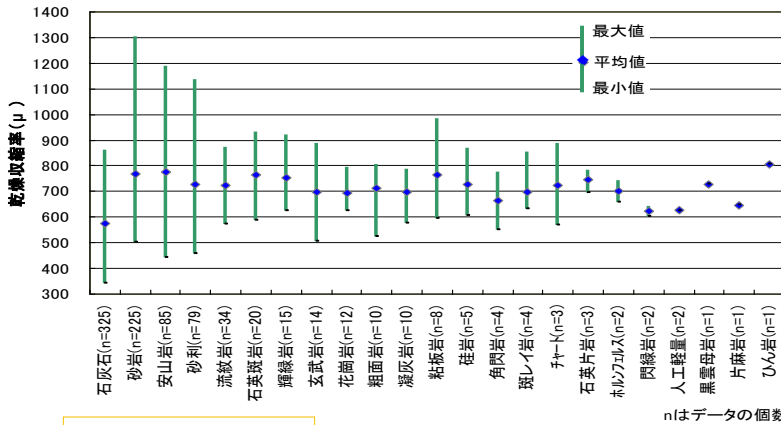


収縮は、Wだけ
では決まらない



材料、配合を特定すると相関

粗骨材の岩種と乾燥収縮率

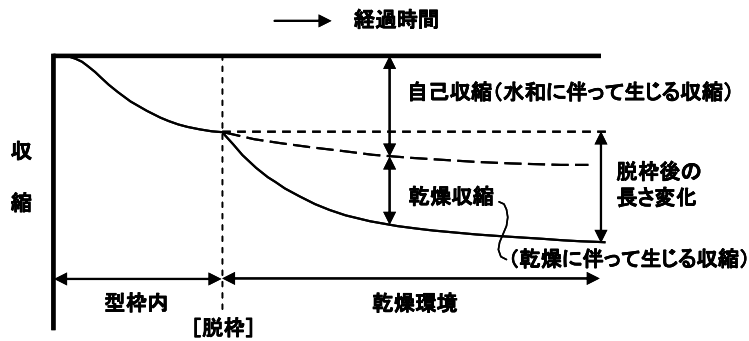


石灰石: 平均値は小
変動範囲は大きく、
他の岩種より収縮が
大きいものもある



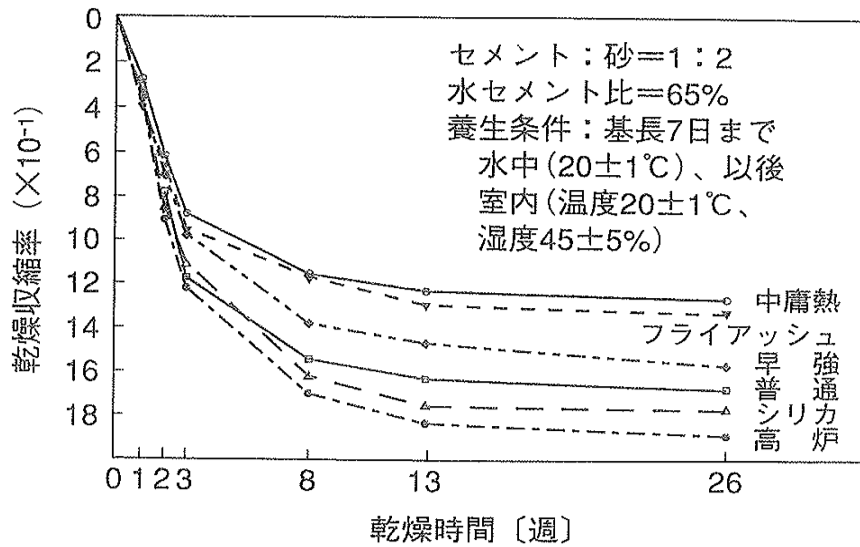
岩種を固定しても
収縮は決まらない。

自己収縮と乾燥収縮

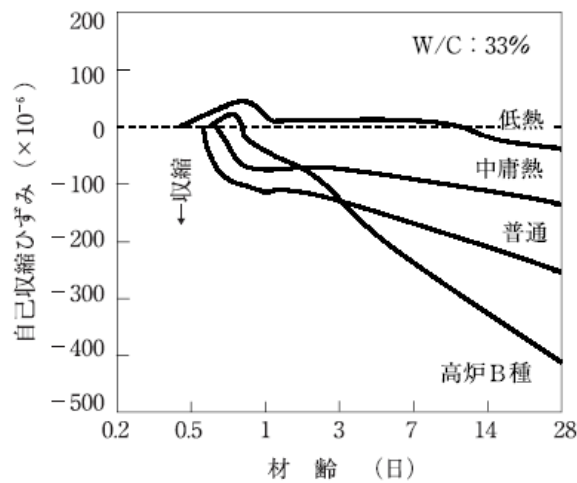


材齢7日程度では水和が完了していないため、脱枠あるいは水中養生終了後の長さ変化試験では、乾燥収縮と自己収縮の両方が測定値となる。

セメント種類による乾燥収縮の違い



使用セメントで異なるコンクリートの自己収縮

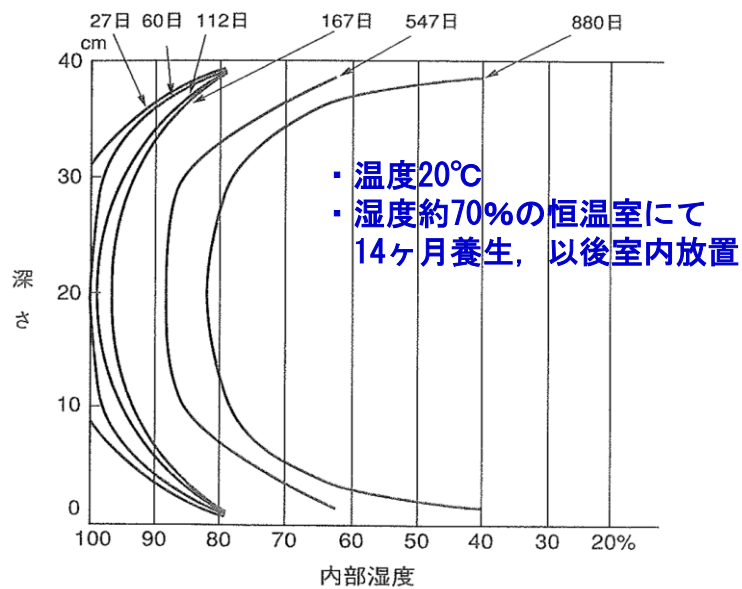


コンクリートの自己収縮 ($\times 10^{-6}$) (土木学会 コンクリート示方書)

水セメント比 (%)	材 齢* (日)					
	1	3	7	14	28	90
50	0	30	80	90	100	120
40	0	70	100	110	120	170
30	50	100	170	210	250	280
20	100	320	360	380	400	470

* 凝結時を原点とする

内部湿度分布の推移 (厚さ40cm)



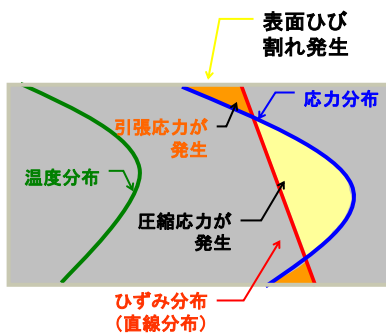
ひび割れ(温度ひび割れ・乾燥収縮ひび割れ)



マスコンクリートのひび割れ発生メカニズム

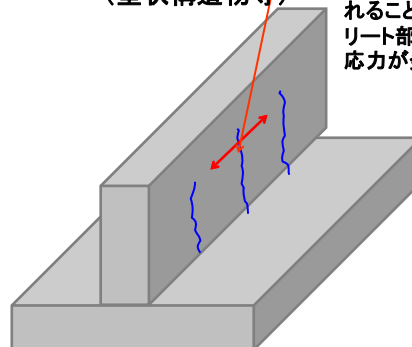
表面ひび割れ (内部拘束卓越)

部材断面の厚い構造物
(スラブ状構造物等)

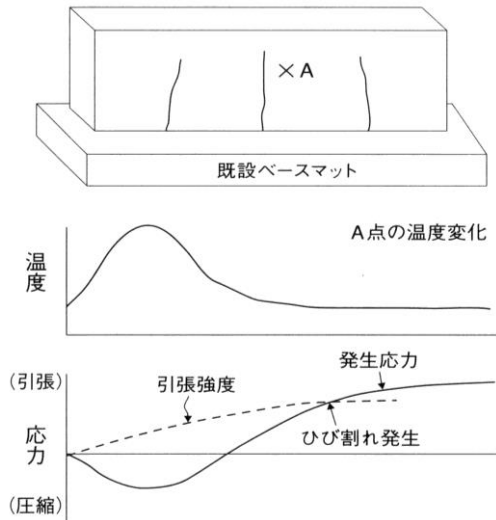


貫通ひび割れ (外部拘束卓越)

部材断面の薄い構造物
(壁状構造物等)

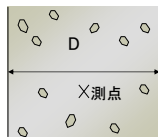


温度ひび割れの発生メカニズム

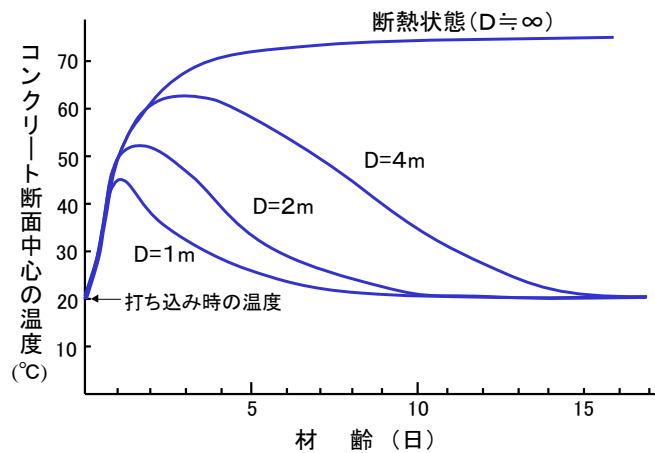


- 水和熱で温度上昇
- 次第に放熱して収縮
- 既設物が収縮を拘束
拘束されると引張応力発生
- 引張強度は極端に小さい
⇒ ひび割れ発生

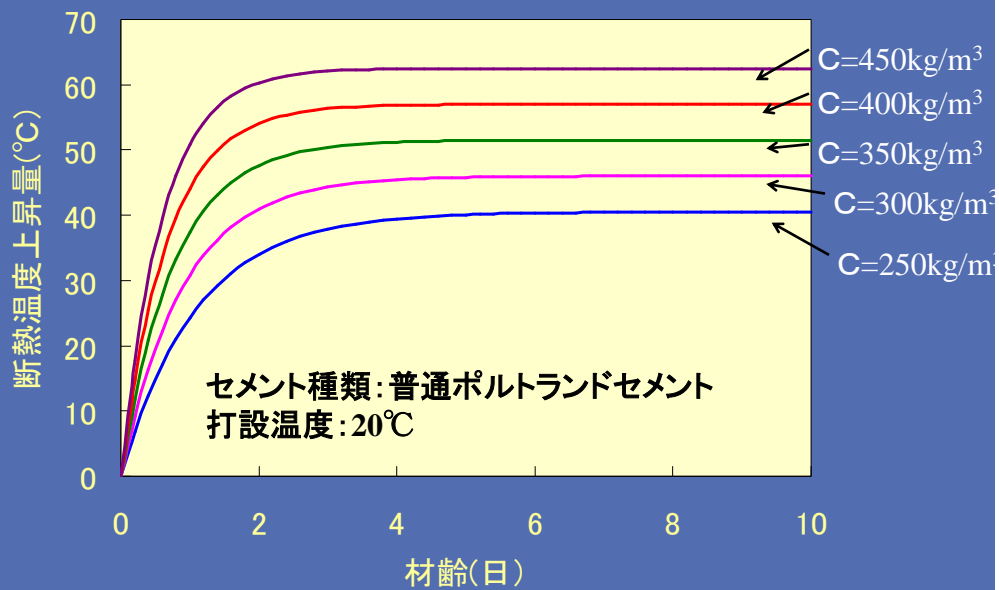
コンクリート部材の温度上昇



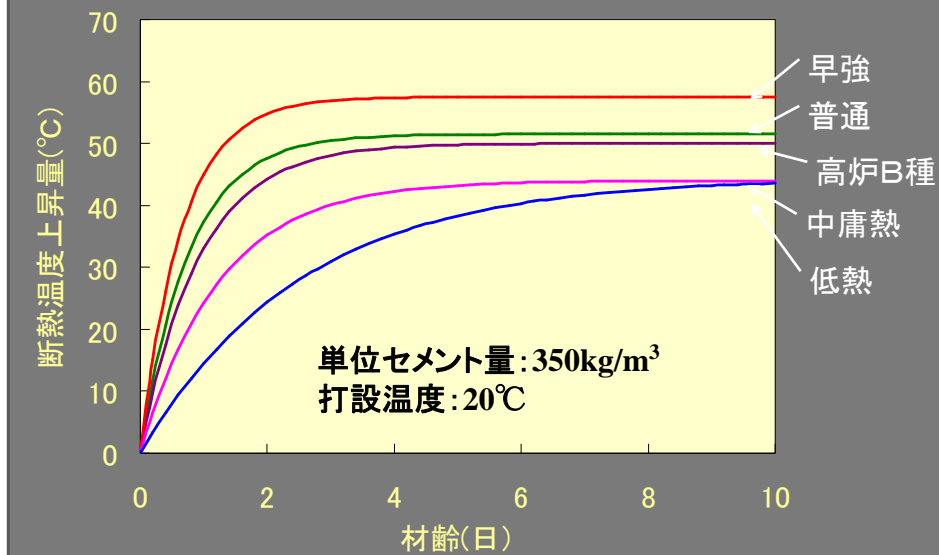
コンクリート部材の厚さより、内部の発熱状況は異なる



断熱温度上昇曲線(単位セメント量の影響)



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

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

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

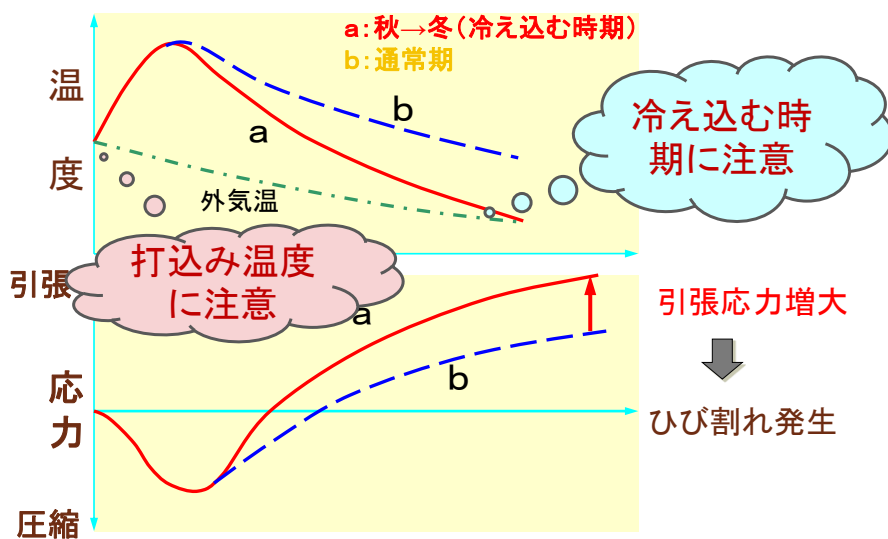
初期ひび割れの原因は明確

建築物は乾燥収縮ひび割れ
土木構造物は温度ひび割れ

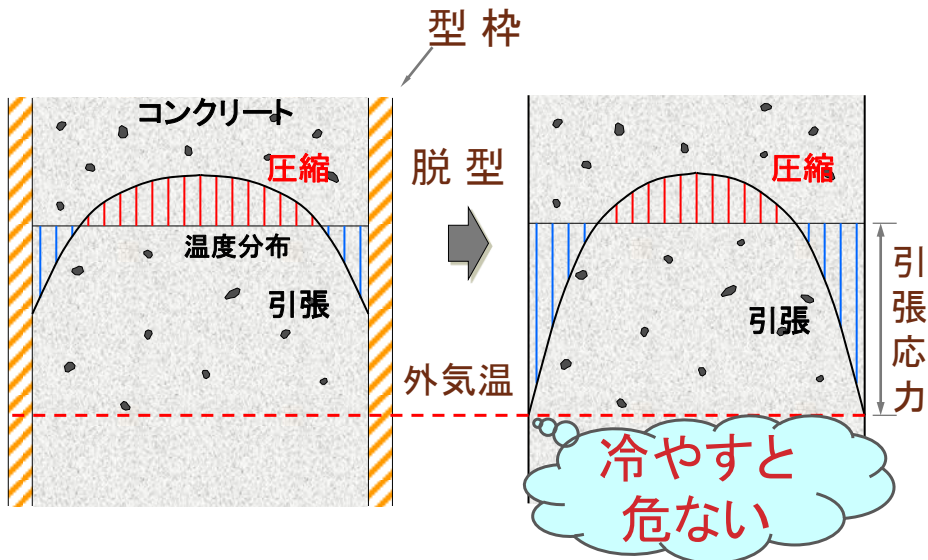


原因が明確であり、予測可能
材料・配合・製造・施工の管理
で対応すべし ⇒設計で考慮
ただし、制御は困難

打込み温度と外気温の変化に注意



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

初期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

2. 劣化によるひび割れは進行性

近年の老朽化によるトラブル



↑
1999年福岡トンネルにおいて
走行中の新幹線の上に
約200kgのコンクリートが落下

鉄筋の腐食膨張により
かぶりコンクリートが
はく落する事故が多発



塩害を生じた鉄筋コンクリート構造物



鉄筋腐食



～ 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 →



アルカリシリカ反応による劣化事例



3. ひび割れは有害とは限らない

補修の要否の判定（腐食に対して）

（コンクリートひび割れ調査・補修・補強指針-2013-より）

環境条件		塩害・腐食環境下	一般屋外環境下	土中・屋内環境下
ひび割れ幅： w (mm)	$0.5 < w$	大 (20年耐久性)	大 (20年耐久性)	大 (20年耐久性)
	$0.4 < w \leq 0.5$	大 (20年耐久性)	大 (20年耐久性)	中 (20年耐久性)
	$0.3 < w \leq 0.4$	大 (20年耐久性)	中 (20年耐久性)	小 (20年耐久性)
	$0.2 < w \leq 0.3$	中 (20年耐久性)	小 (20年耐久性)	小 (20年耐久性)
	$w \leq 0.2$	小 (20年耐久性)	小 (20年耐久性)	小 (20年耐久性)

※評価結果「小」,「中」,「大」の意味は下記のとおり。

小：ひび割れが性能低下の原因となっておらず、部材が要求性能を満足する。

中：ひび割れが性能低下の原因となるが、軽微（簡易）な対策により対処が可能。

大：ひび割れによる性能低下が顕著であり、部材が要求性能を満足していない。

※※カッコ内の数値は耐久性評価結果を保証できる期間の目安としての年数を示しており、（20年耐久性）はひび割れの評価時点から15～25年後程度の耐久性評価結果を保証できる期間の目安として設定したものであり、15～25年の平均をとって示したものである。

補修の要否の判定（漏水に対して）

（コンクリートひび割れ調査・補修・補強指針-2013-より）

環境条件		常時水圧作用環境下		左記以外	
部材厚 (mm)		180未満	180以上	180未満	180以上
ひび割れ幅： w (mm)	$0.20 < w$	大	大	大	大
	$0.15 < w \leq 0.20$	大	大	大	中
	$0.05 < w \leq 0.15$	中	中	中	小
	$w \leq 0.05$	小	小	小	小

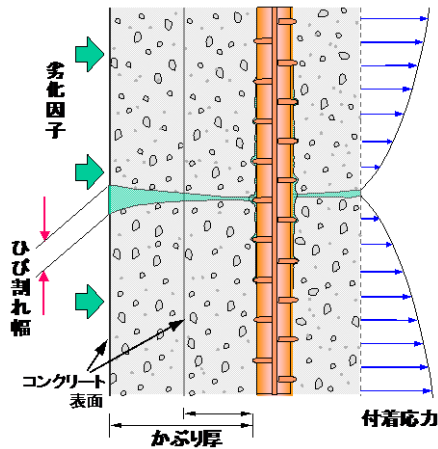
※評価結果「小」,「中」,「大」の意味は下記のとおり。

小：ひび割れが性能低下の原因となっておらず、部材が要求性能を満足する。

中：ひび割れが性能低下の原因となるが、軽微（簡易）な対策により対処が可能。

大：ひび割れによる性能低下が顕著であり、部材が要求性能を満足していない。

鉄筋周辺のひび割れ状況



鋼材の腐食に対する許容ひび割れ幅
土木学会コンクリート標準示方書(設計編)

鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋・普通丸鋼	0.005 c	0.004 c	0.0035 c
PC鋼材	0.004 c	—	—

{注} c : かぶり (mm)

- * 腐食性環境: 乾湿繰り返し多い場合, 海中, 有害物質を含む地下水位以下の土中
- * 特に厳しい腐食性環境: 干満帯, 飛沫帯, 激しい潮風を受ける場合

ひび割れと耐久性の関連

- 初期ひび割れが耐久性に及ぼす影響は不明
- 劣化によるひび割れは、早期の対応が必要
- つまり、すべてのひび割れが有害とは限らない。
- しかし、大きなひび割れ幅は補修が必要

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)

土木学会コンクリート示方書における対応 (設計と施工の連携が重要)

[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

4. 点検はやすく、診断は難し

橋梁の崩落事例

日本も例外ではない

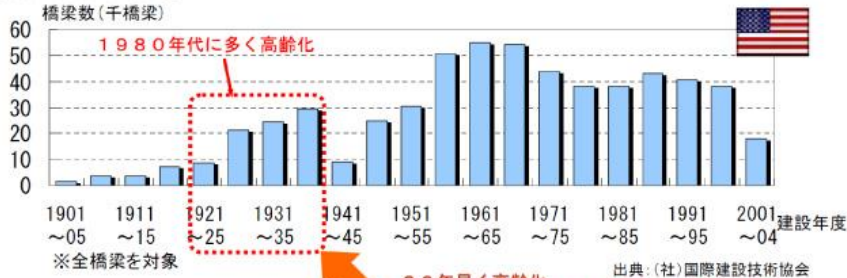


資料) ミネソタ州道路局

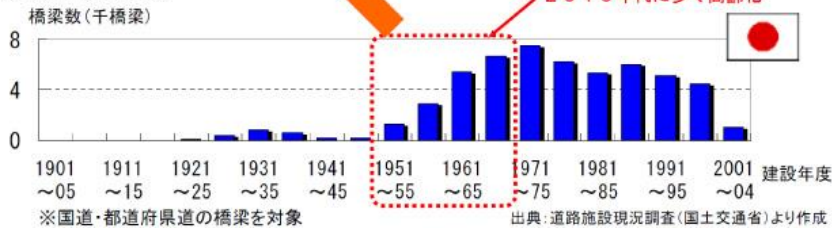
日米の道路橋の高齢化の比較

[国土交通省道路局資料]

【米国の橋梁の建設年】

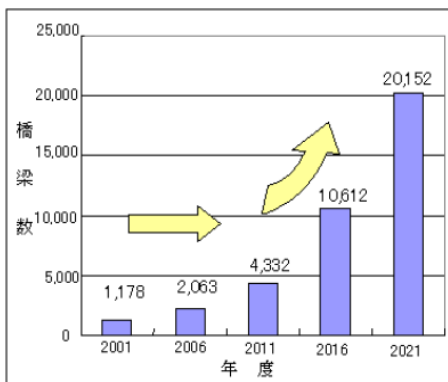


【日本の橋梁の建設年】

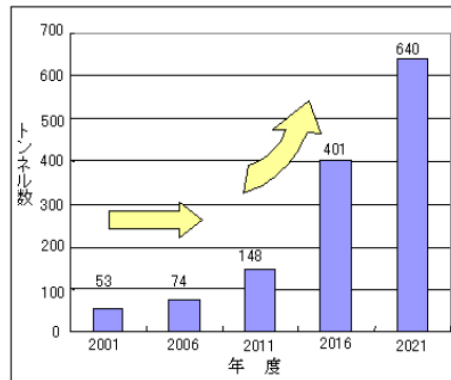


高齢化する道路構造物は10年後から20年後にかけて飛躍的に増加

建設後50年以上の橋梁の推移
(直轄国道+4公団)



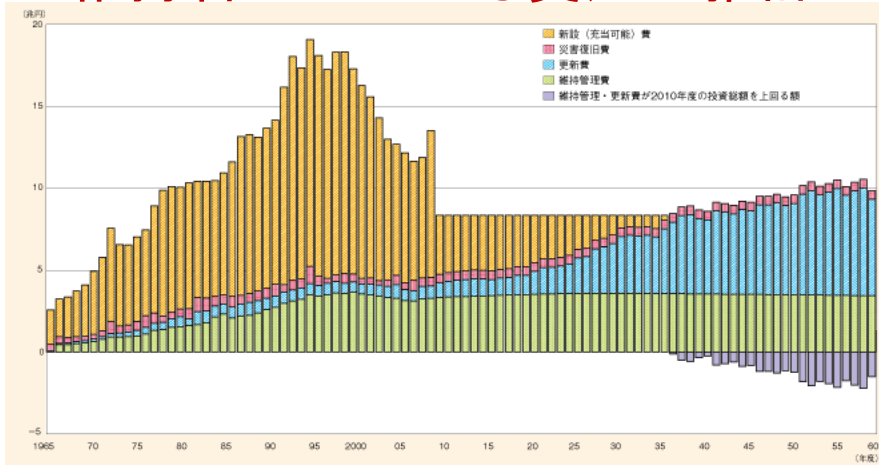
建設後50年以上のトンネルの推移
(直轄国道+4公団)



出典：国土交通省資料、及び4公団資料

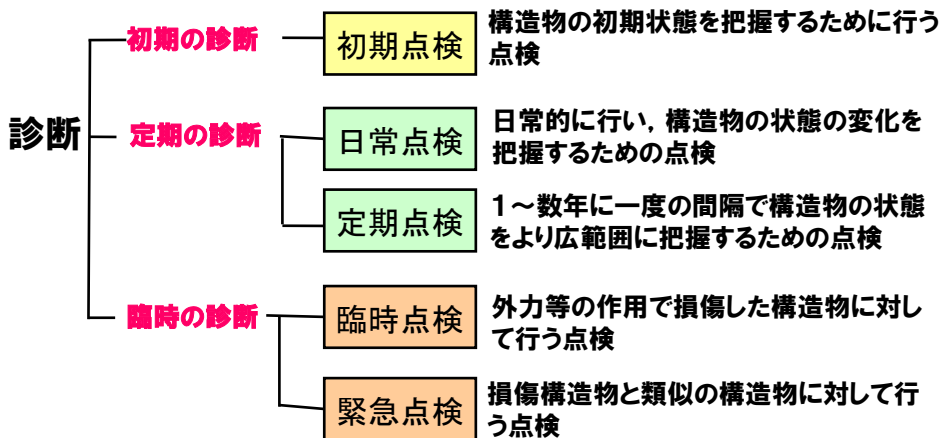
出典：国土交通省：道路構造物の今後の管理・更新のあり方の提言 (H15.4)

維持管理にかかる費用の推計



(注) 推計方法について
 国土交通省所管の8分野（道路、港湾、空港、公共費貸付宅、下水道、都市公園、治水、海岸）の道路・補助・地車事業を対象に、2011年度以降につき次のような設定を行い推計。
 ・更新費は、耐用年数を経過した後、同一機能で更新すると仮定し、当初新設費を基準に更新費を踏まえて設定。耐用年数は、税法上の耐用年数を示す財務省令を基に、それぞれの施設の更新の実態を踏まえて設定。
 ・維持管理費は、社会資本のストック額との相関に基づき推計。
 ・なお、更新費・維持管理費は、近年のコスト増減の取組み実績を反映）
 ・災害復旧費は、過去の年平均値を設定。
 ・新設（充出可能）費は、投資総額から維持管理費、更新費、災害復旧費を差し引いた額であり、新設需要を示したものではない。
 ・用地費・補償費を含まない。各高速道路会社等の特殊等を含まない。
 なお、今後の予算の増減、技術的知見の蓄積等の要因により推計結果は変動しうる。
 資料）国土交通省

■点検の種類



点検と診断の基本

- **点検**は、まず目視で
 - ⇒ 費用を掛けない
 - ⇒ 生活の一部とする
- **診断**は、専門家による
 - ⇒ 総合医と専門医
 - ⇒ セカンドオピニオンも



UAV(小型無人ヘリ)

水中の点検ロボット

