

コンクリート構造物の 長寿命化への取り組み

2017. 1. 30

足利工業大学
工学部 土木工学コース
宮澤伸吾

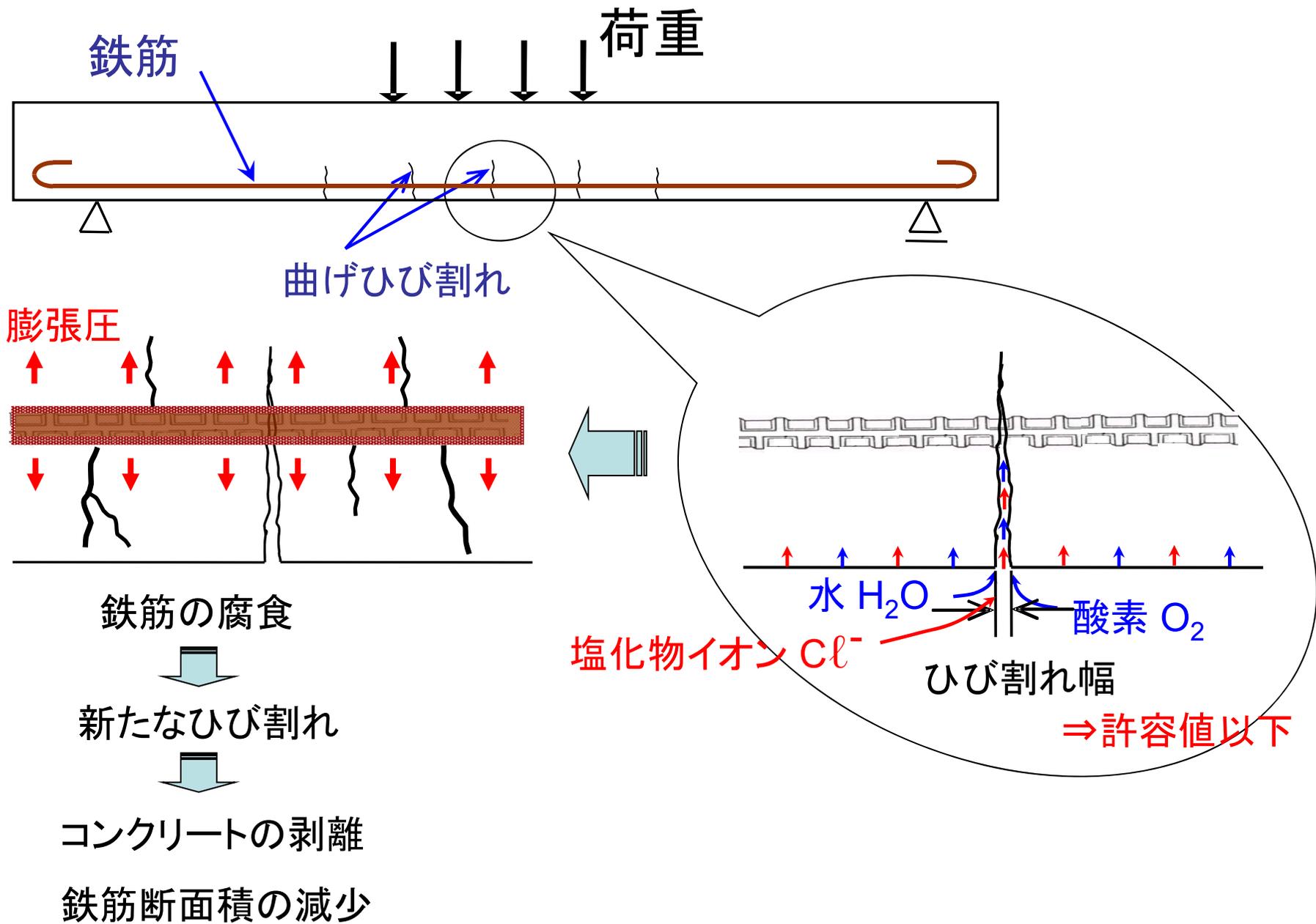
鉄筋コンクリートの歴史

- ✓ 1824年 セメントの特許(イギリス)
- ✓ 1848年 フランスでセメントの製造開始
- ✓ 1850年 鉄筋コンクリートのボート(フランス)
- ✓ 1867年 鉄筋コンクリートはり(フランス)
- ✓ 1871年 アメリカでセメントの製造開始
- ✓ 1875年 日本でセメントの製造開始
- ✓ 1890年頃 防波堤のコンクリートブロック
(横浜港, 小樽港など)
- ✓ 1903年 鉄筋コンクリート橋
(琵琶湖疎水運河)

コンクリートの「ひび割れ」の原因

- ① 打設時の沈下
 - ② プラスティック収縮
 - ③ セメントの水和熱
 - ④ 自己収縮
 - ⑤ 乾燥収縮
 - ⑥ 中性化
 - ⑦ 鋼材の腐食
 - ⑧ 凍結融解繰り返し
 - ⑨ アルカリシリカ反応
 - ⑩ 荷重、疲労
- 硬化前
- 数日～数ヶ月
- 数ヶ月～数年
- 数年～数十年

鉄筋コンクリートのひび割れ



許容ひび割れ幅

「土木コンクリート構造物の品質確保について」
(国交省通達、2001)

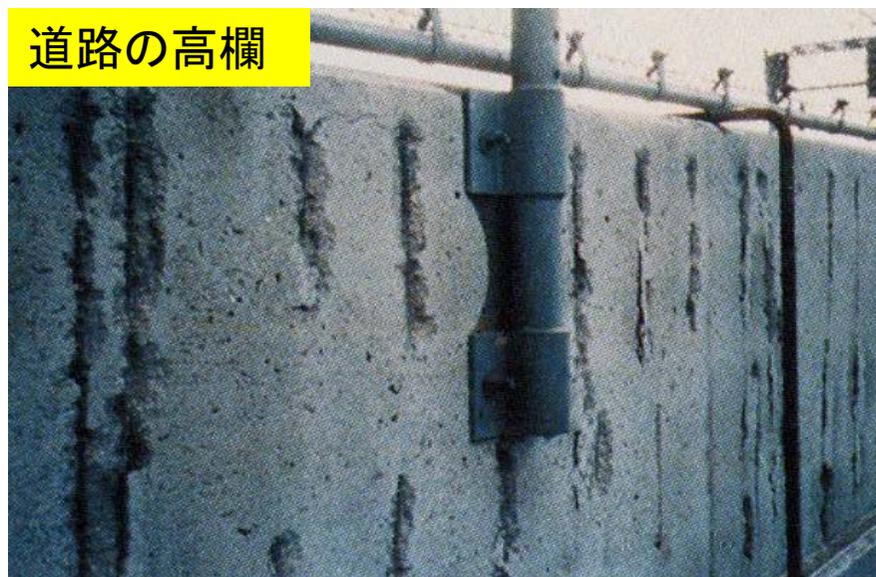
- 工事完成後のひび割れの調査(維持管理の資料)
- 0.2mm以上のひび割れ幅 → 展開図の作成、写真の撮影

日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)

解説表 3.2.4 収縮ひび割れ制御のためのひび割れの許容値・設計値(mm)

目的	許容ひび割れ
漏水抵抗性の確保	0.15
一般環境下における劣化抵抗性の確保	0.5 (屋内)
	0.3 (屋外)

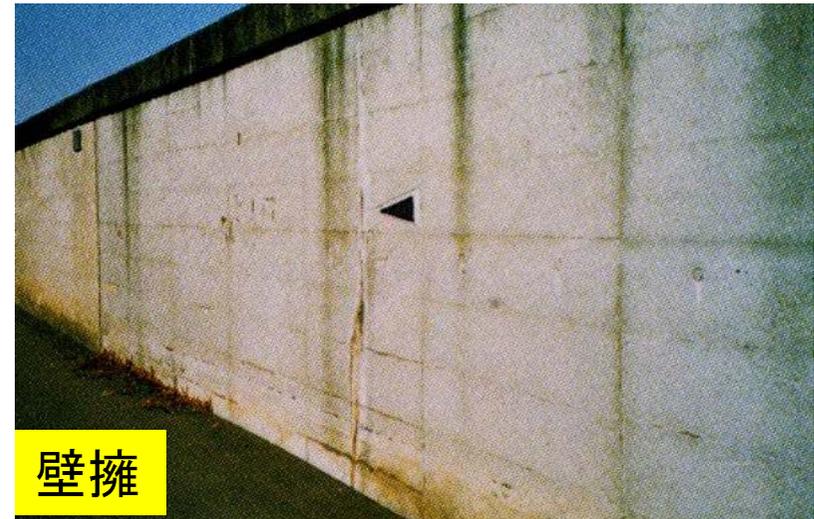
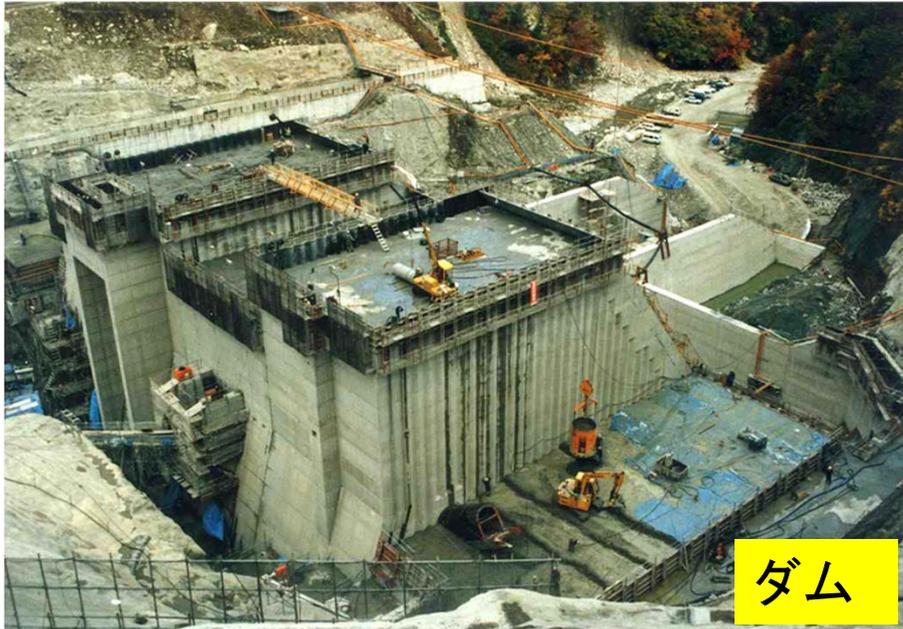
鉄筋の腐食による ひび割れ



対策:

- ・緻密なコンクリート
- ・エポキシ樹脂塗装鉄筋
- ・混合セメントの使用
- ・かぶりの確保
- ・塩化物イオン量の制御

水和熱によるひび割れ (温度ひび割れ)



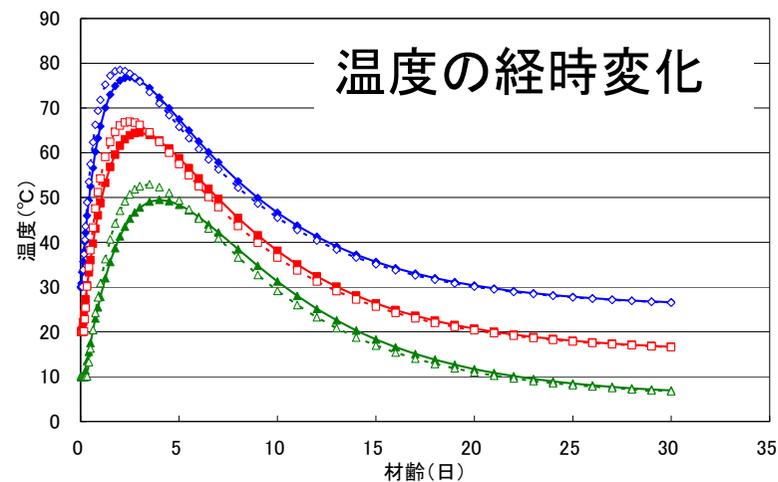
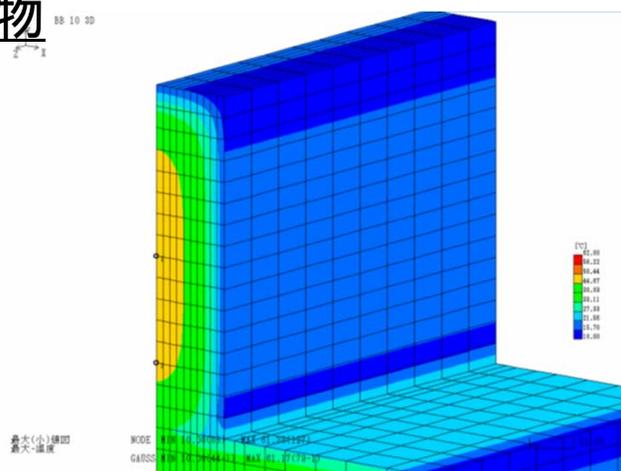
対策:

- ・低発熱型のセメント
- ・打込み区画
- ・ひび割れ誘発目地
- ・プレクーリング

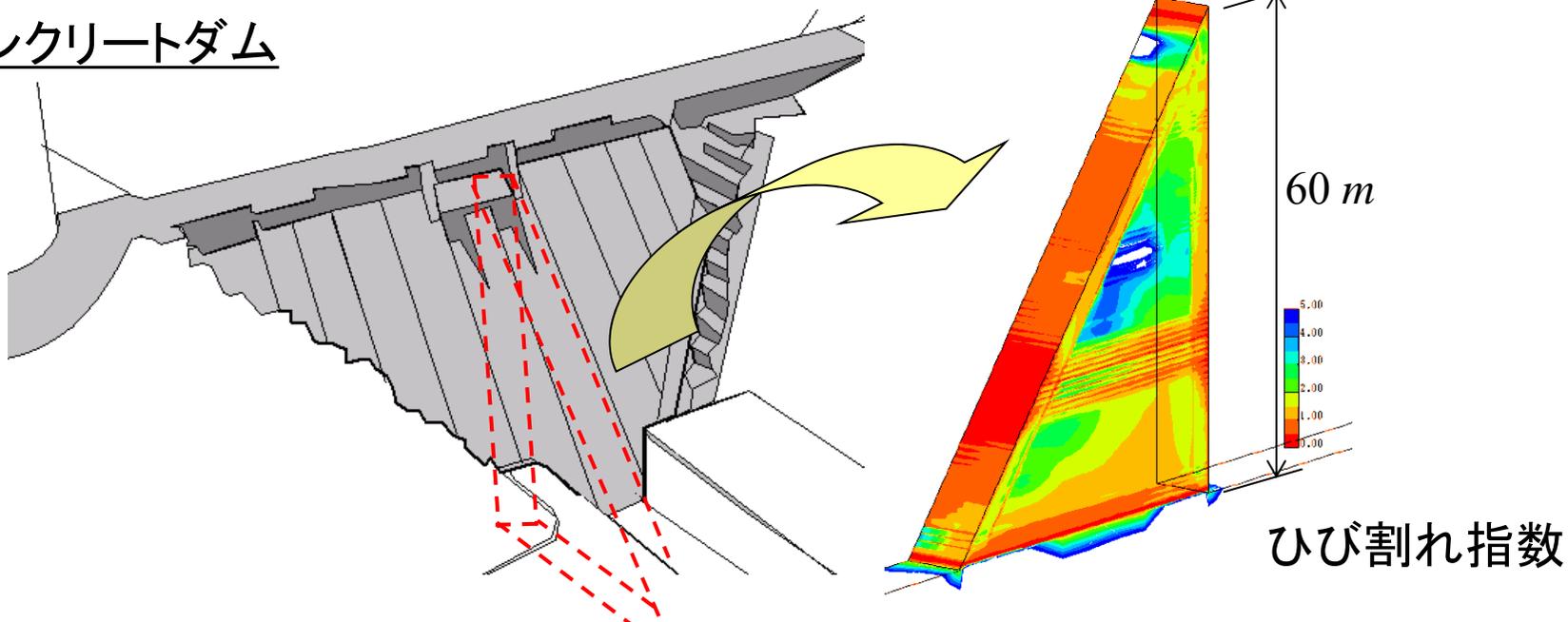


FEM解析による温度ひび割れ照査

壁状構造物



コンクリートダム



乾燥収縮によるひび割れ



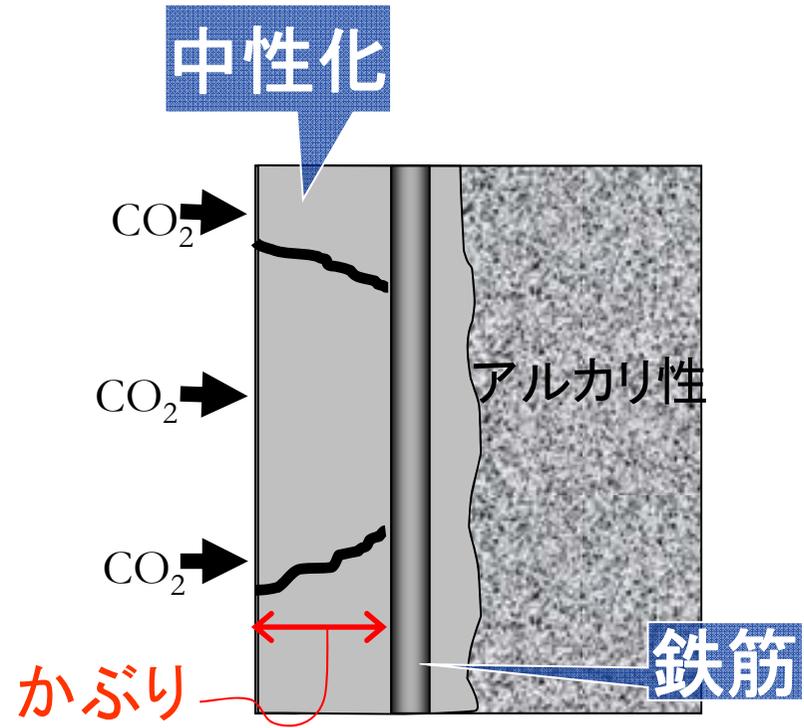
対策:

- ・骨材の選定
- ・単位水量の低減
- ・収縮低減剤、膨張材



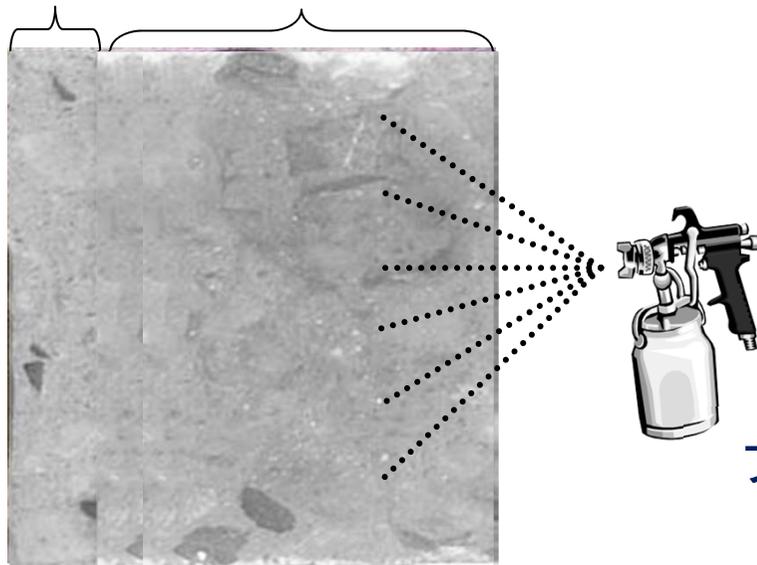
乾燥収縮試験

コンクリートの中性化による鉄筋の腐食

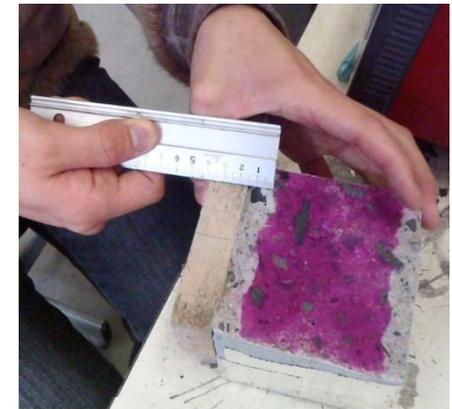


中性化深さの検査

中性化 未中性化(アルカリ性)



フェノールフタレイン噴霧



中性化深さ測定

中性化深さの評価式(土木学会)

$$y = \beta_e \cdot (-3.57 + 9.0 \cdot W / B) \cdot \sqrt{t}$$

t : 中性化期間(年)

$$W/B = W / (C + k \cdot A)$$

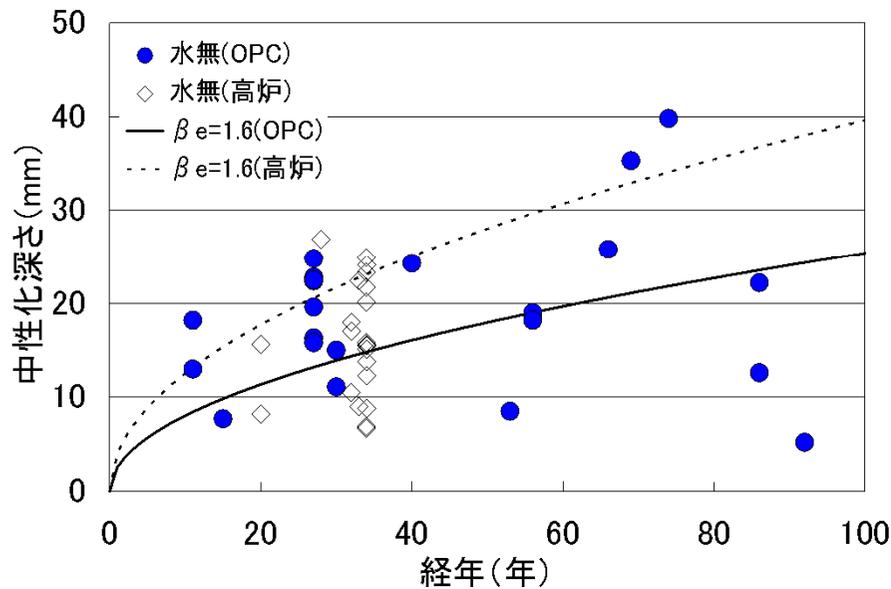
A: 単位体積あたりの混和材の質量

高炉スラグ微粉末: $k=0.7$ 、フライアッシュ: $k=0$

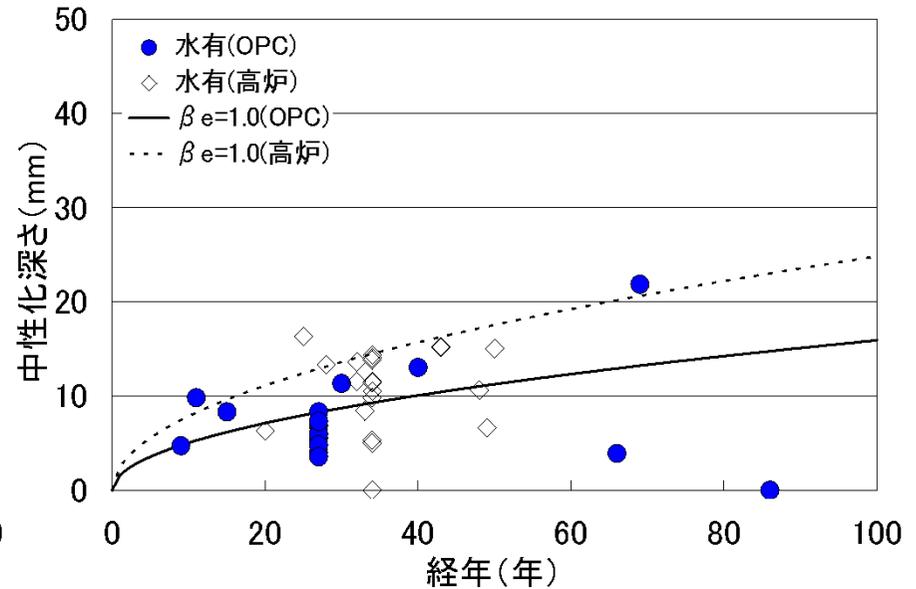
促進試験 CO₂ 5%



水の影響なし

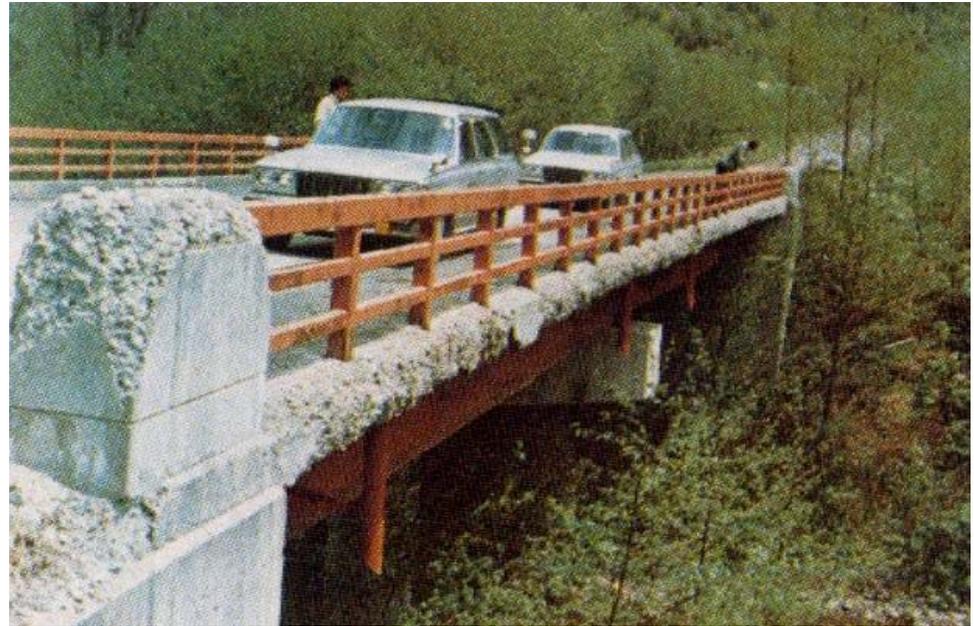


水の影響あり



松田ほか, コンクリート工学年次論文集(2010)

凍結融解繰り返し によるひび割れ(凍害)



対策:

- ・空気量の確保
- ・骨材の選定
- ・防水処置

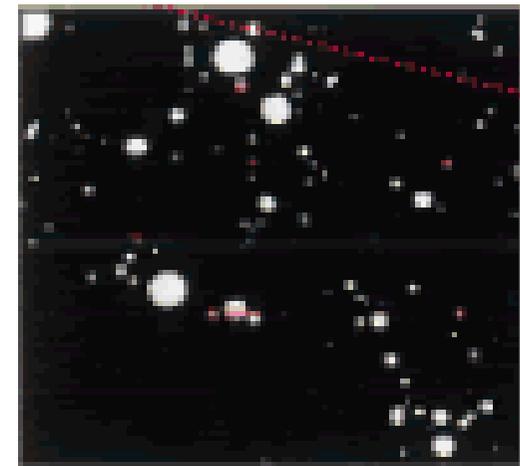
耐凍害性の評価

凍結(-18°C) \leftrightarrow 融解($+5^{\circ}\text{C}$)



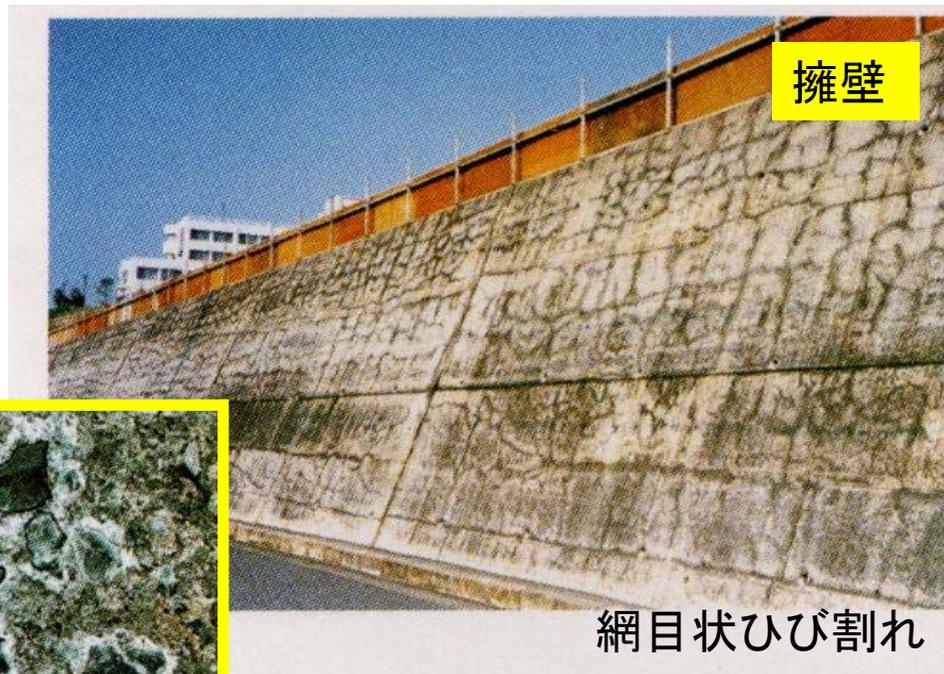
劣化度の測定

気泡分布の観察



気泡(0.025~0.25mm)

アルカリシリカ反応 によるひび割れ



PC鋼材方向が卓越したひび割れ



鉄筋の破断

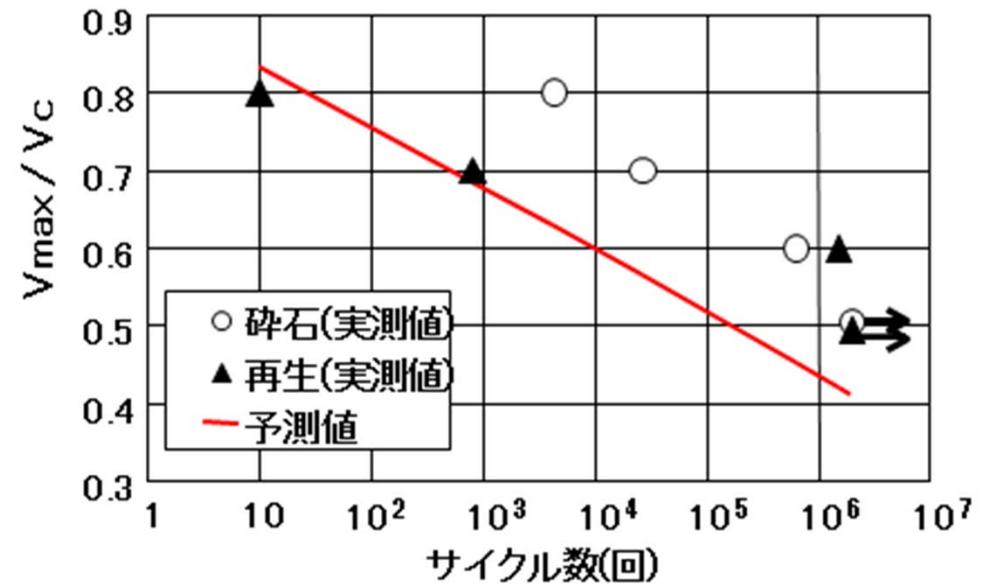
対策:

- ・骨材の反応性の試験
- ・混合セメントの使用
- ・総アルカリ量の規制

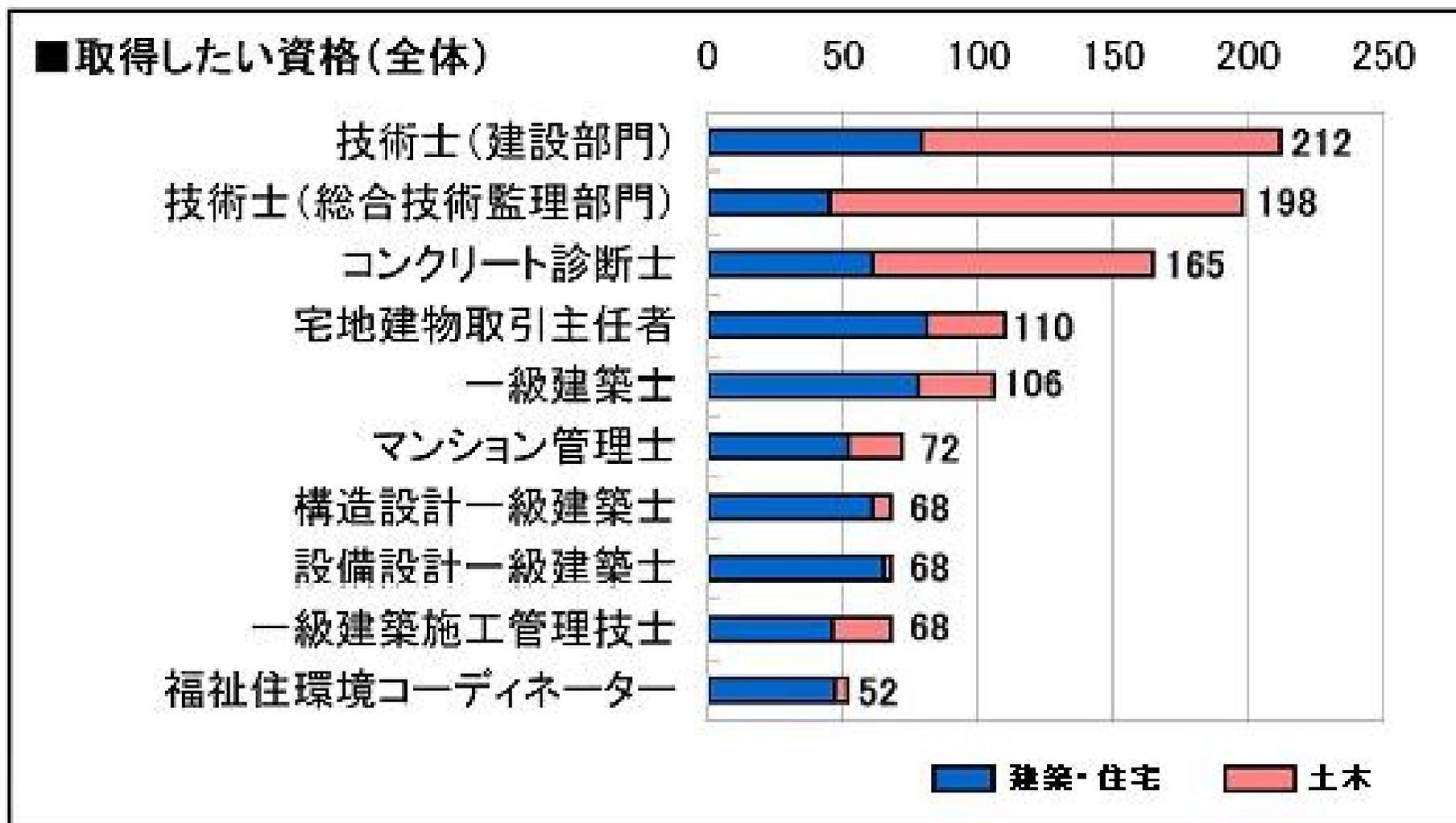
荷重の繰り返しによる ひび割れ(疲労)



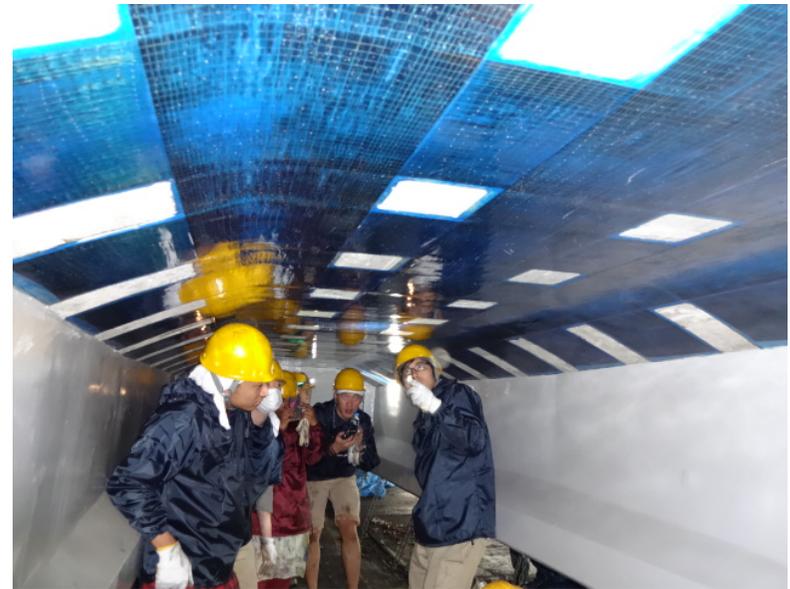
繰返し荷重(~200万回)



建築、土木の専門家が取得したい資格



(ケンプラッツによるアンケート)



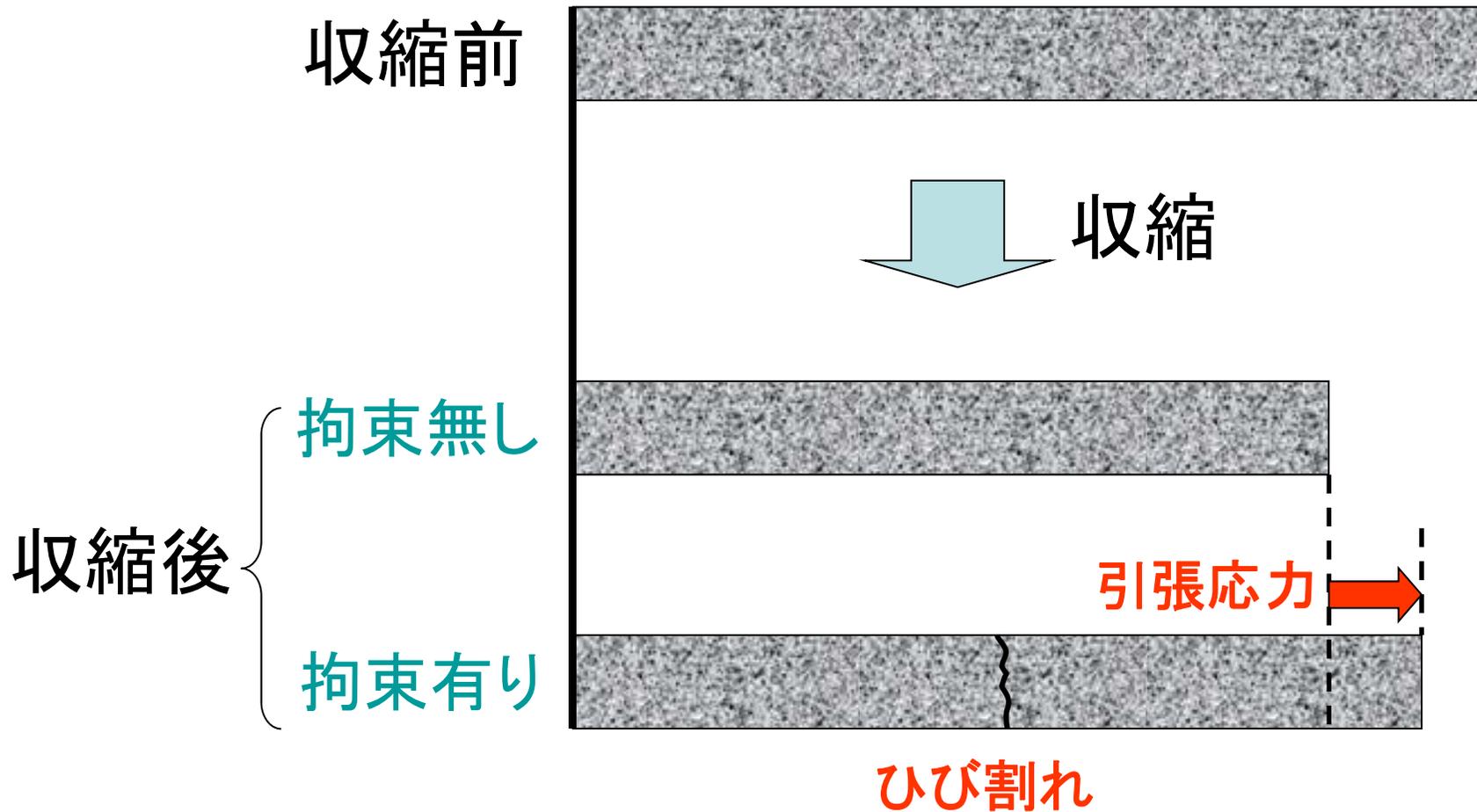
コンクリートの収縮による ひび割れ

「ひび割れ」の原因

- ① 打設時の沈下
 - ② プラスティック収縮
 - ③ セメントの水和熱
 - ④ 自己収縮
 - ⑤ 乾燥収縮
 - ⑥ 中性化
 - ⑦ 鋼材の腐食
 - ⑧ 凍結融解繰り返し
 - ⑨ アルカリシリカ反応
 - ⑩ 疲労
 - 11 その他
- ③ ④ ⑤ } コンクリートの収縮

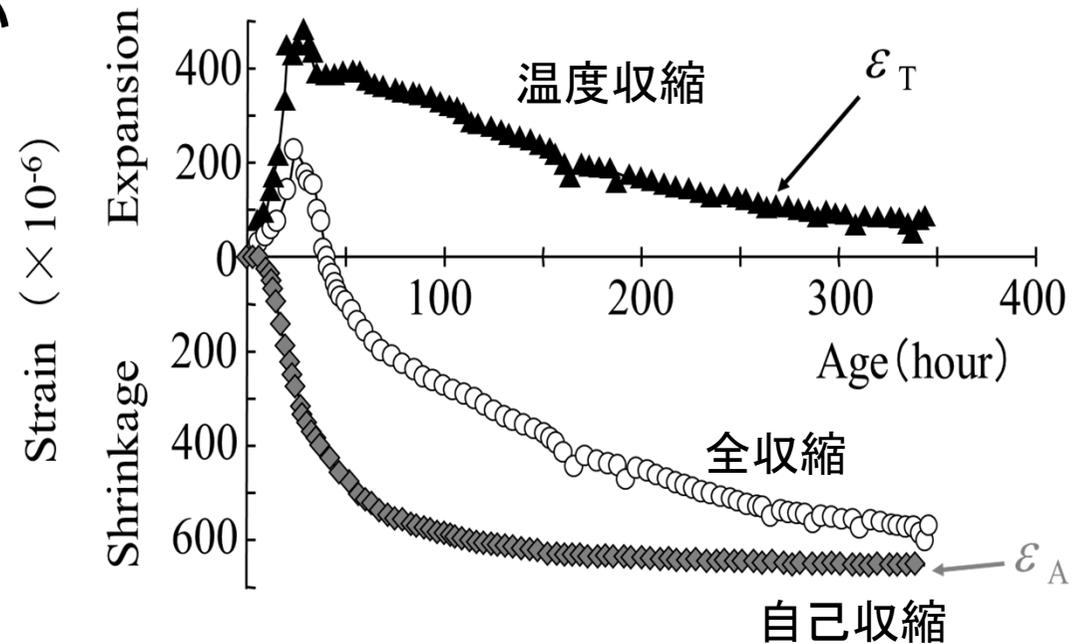
収縮によるひび割れ

(水和熱、自己収縮、乾燥収縮)



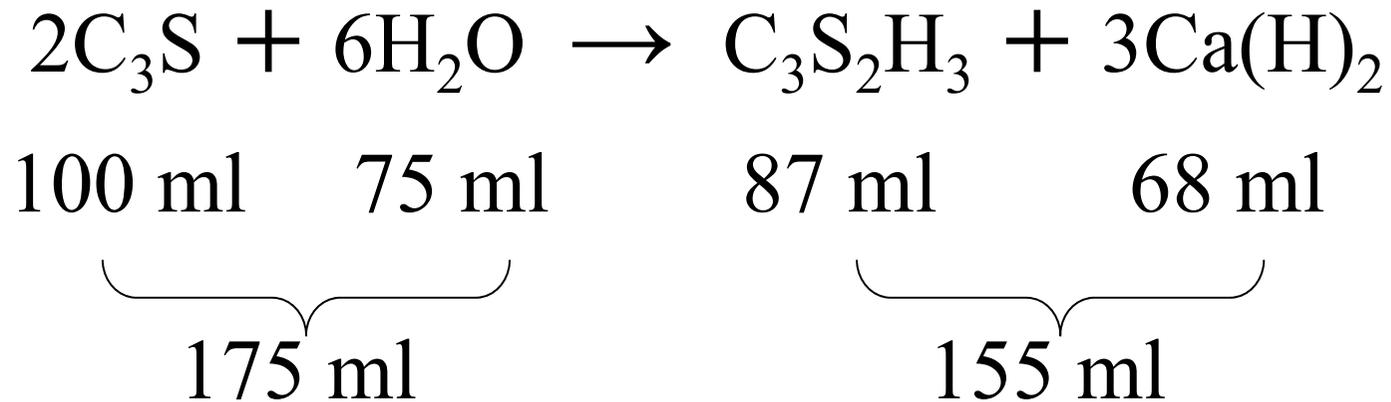
自己収縮に関する研究の経緯

水和熱のみでは説明できない
ひび割れの事例(1991頃)



- 1940 カリフォルニア大学Davis の自己収縮の実験
- 1990 広島大学田澤博士による自己収縮の研究
- 1996 土木学会示方書 用語の定義、注意喚起
- 2002 土木学会示方書 自己収縮ひずみ予測式
- 2008 JCI「マスコンのひび割れ制御指針」

水和収縮(chemical shrinkage)

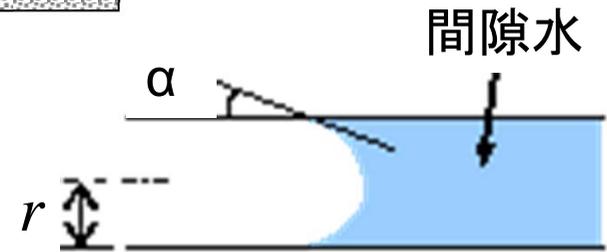
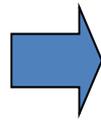
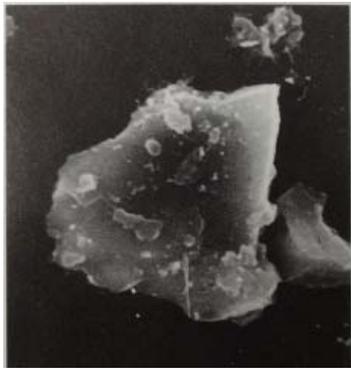
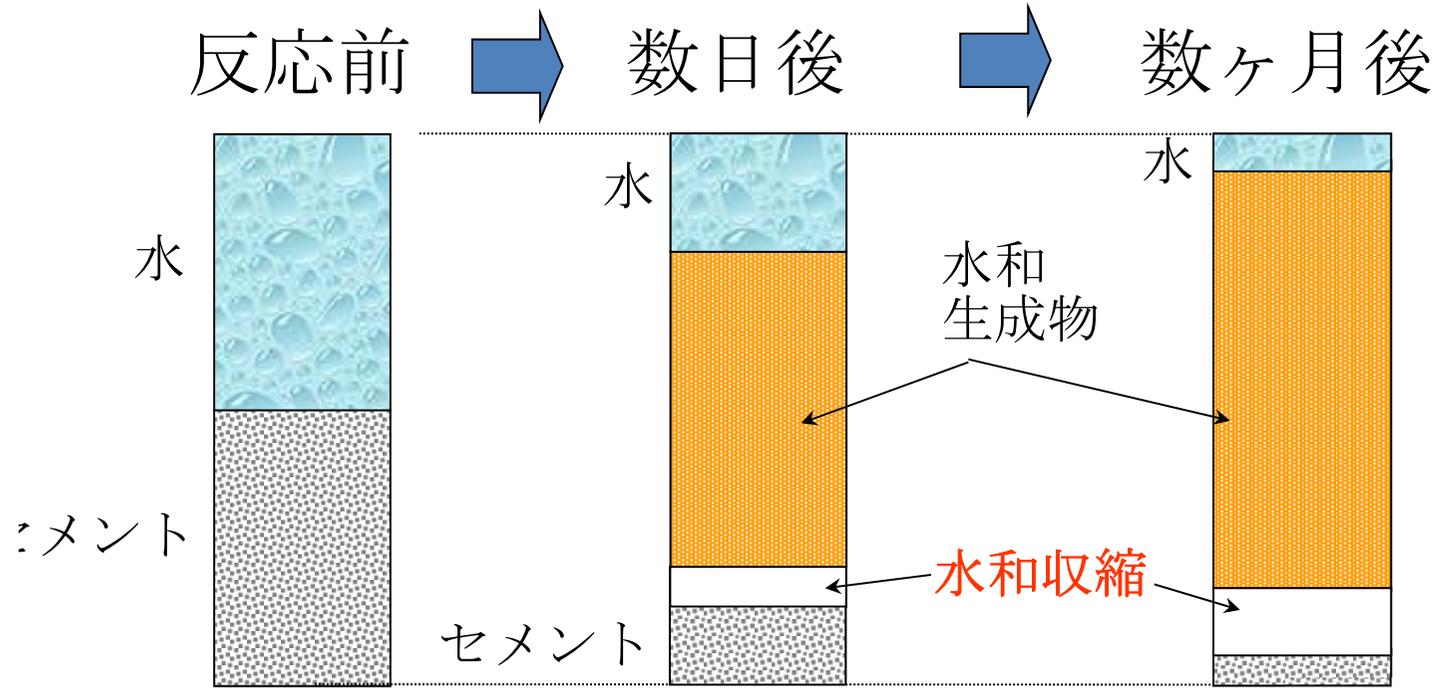


セメントと水が水和反応を起こすと



(セメント+水)の合計体積が約10%減少

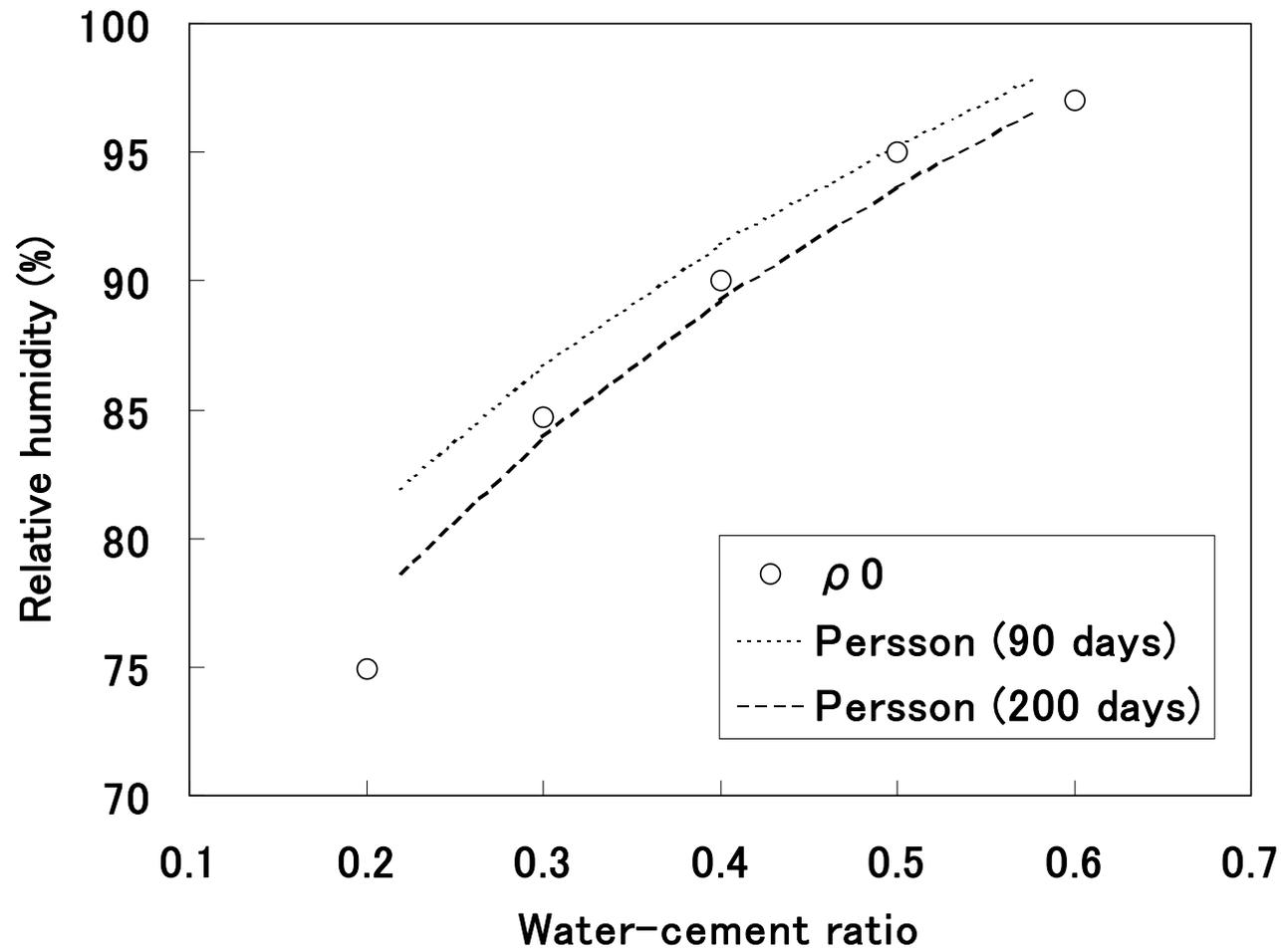
水和反応による体積変化



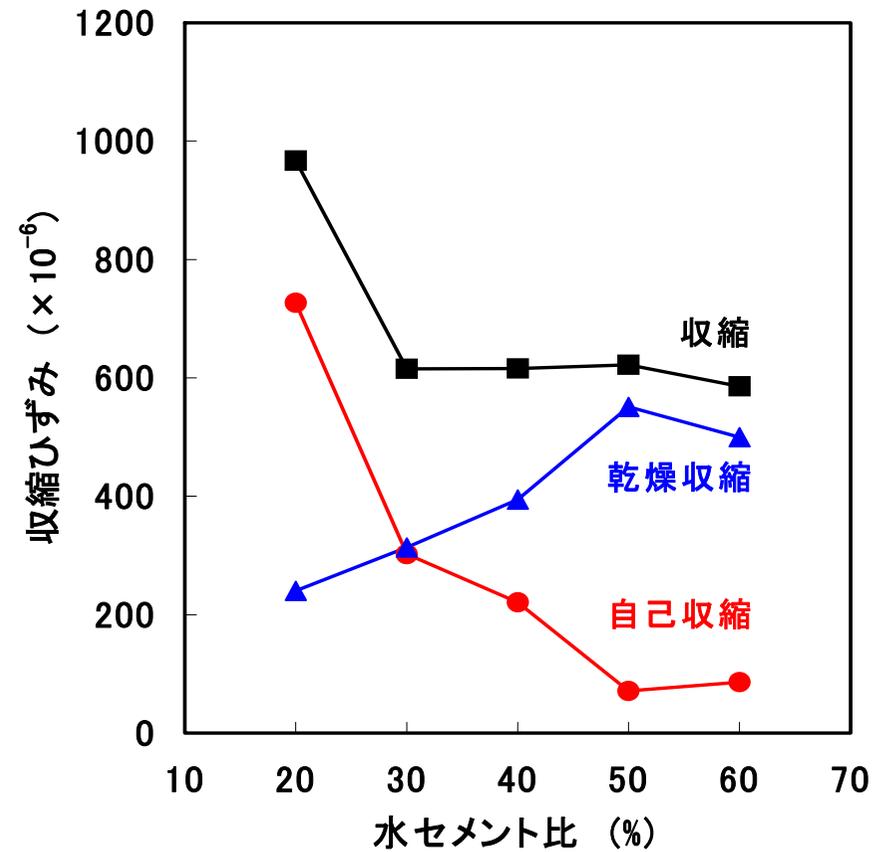
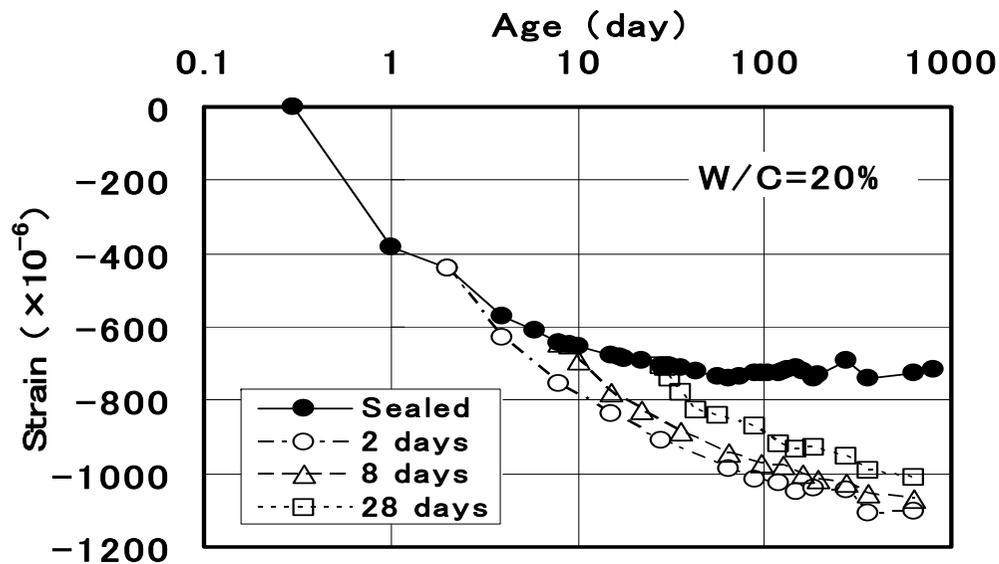
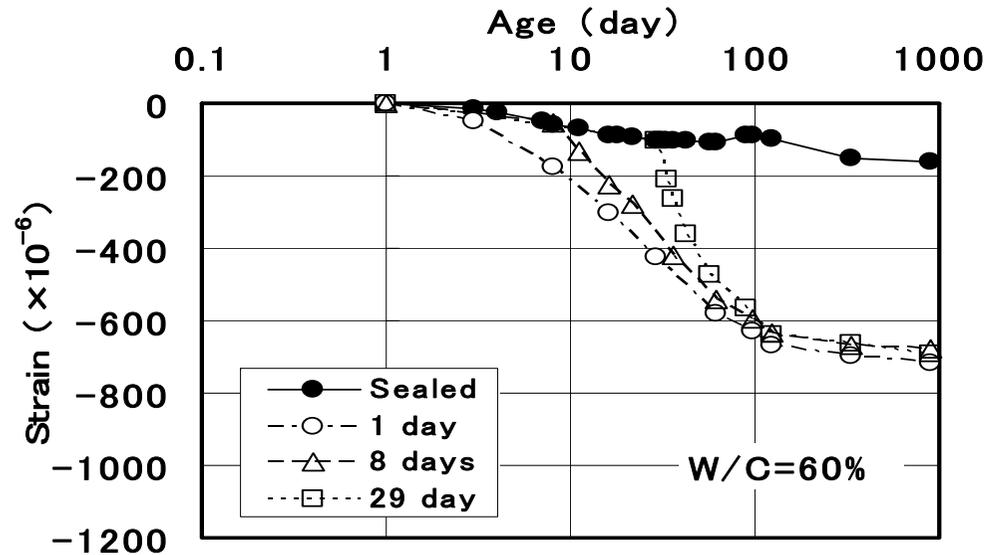
間隙水に、負圧が発生

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cos \alpha}{r}$$

コンクリートの自己乾燥



自己収縮と乾燥収縮



部材寸法、コンクリート強度による収縮の影響度(目安)

部材寸法	コンクリート強度	水和熱	自己	乾燥
小	普通強度		△	◎
	高強度		○	○
	超高強度		◎	△
中	普通強度	△	△	○
	高強度	○	○	△
	超高強度	◎	◎	
大	普通強度	◎	△	△
	高強度	◎	○	
	超高強度	◎	◎	

◎: 支配的要因、○: 影響あり、△: 条件によって影響あり、無印: 影響なし