

ピングラウト協議会総会講演会(2015.2.13)

The Concrete

物性とひび割れ

日本大学 湯浅 昇



本日お話しすることは、

- 第1部 コンクリートというもの
- 第2部 鉄筋コンクリート構造
- 第3部 コンクリートの乾燥の意味
- 第4部 コンクリートのひび割れ
- 第5部 ひび割れと漏水

2



第1部 コンクリートというもの

コンクリートが
建築構造材料として使われる理由

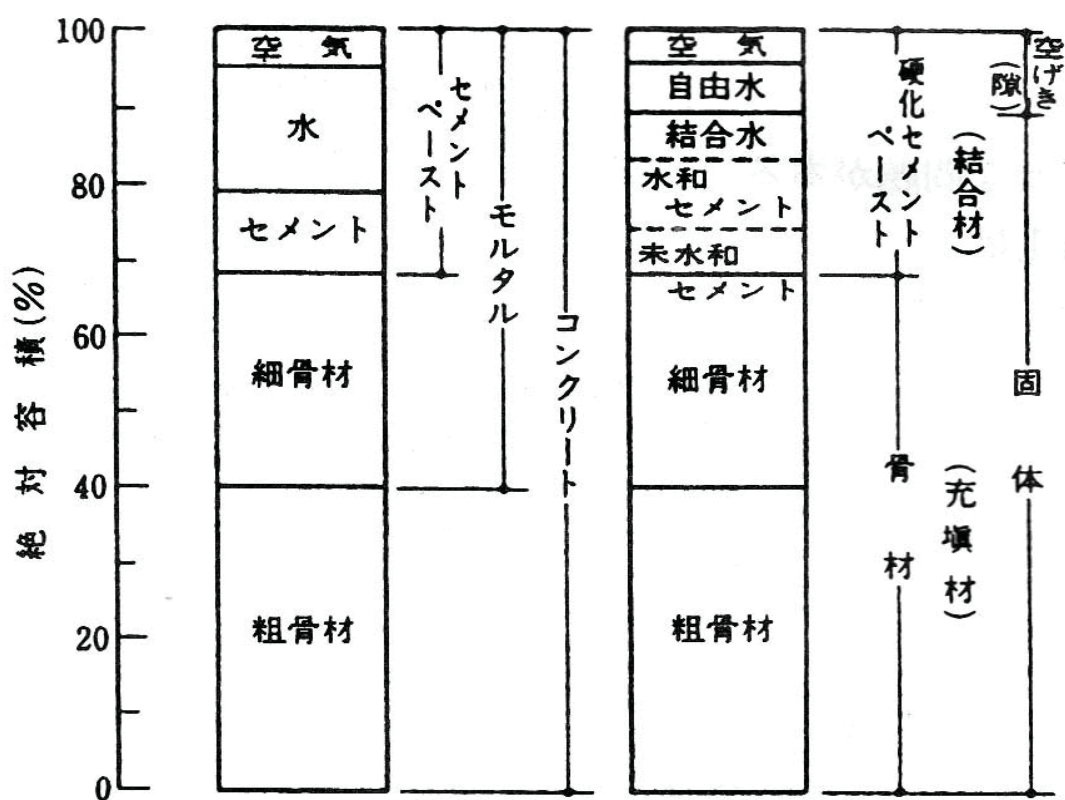
- 圧縮強度が大きい
- 材料の入手が容易で有り安価
- 燃えない・有害ガスが発生しない
- 耐久性がある

コンクリートの材料

- セメント
- 水
- 砂＝細骨材(5mm以下)
- 砂利＝粗骨材(5mm～25mm)

- 化学混和剤

コンクリートのおよその組成



(a) フレッシュコンクリート (b) 硬化コンクリート

コンクリート：セメント、水、砂、砂利を混ぜて製造
硬化はセメントと水の水和反応（化学）による

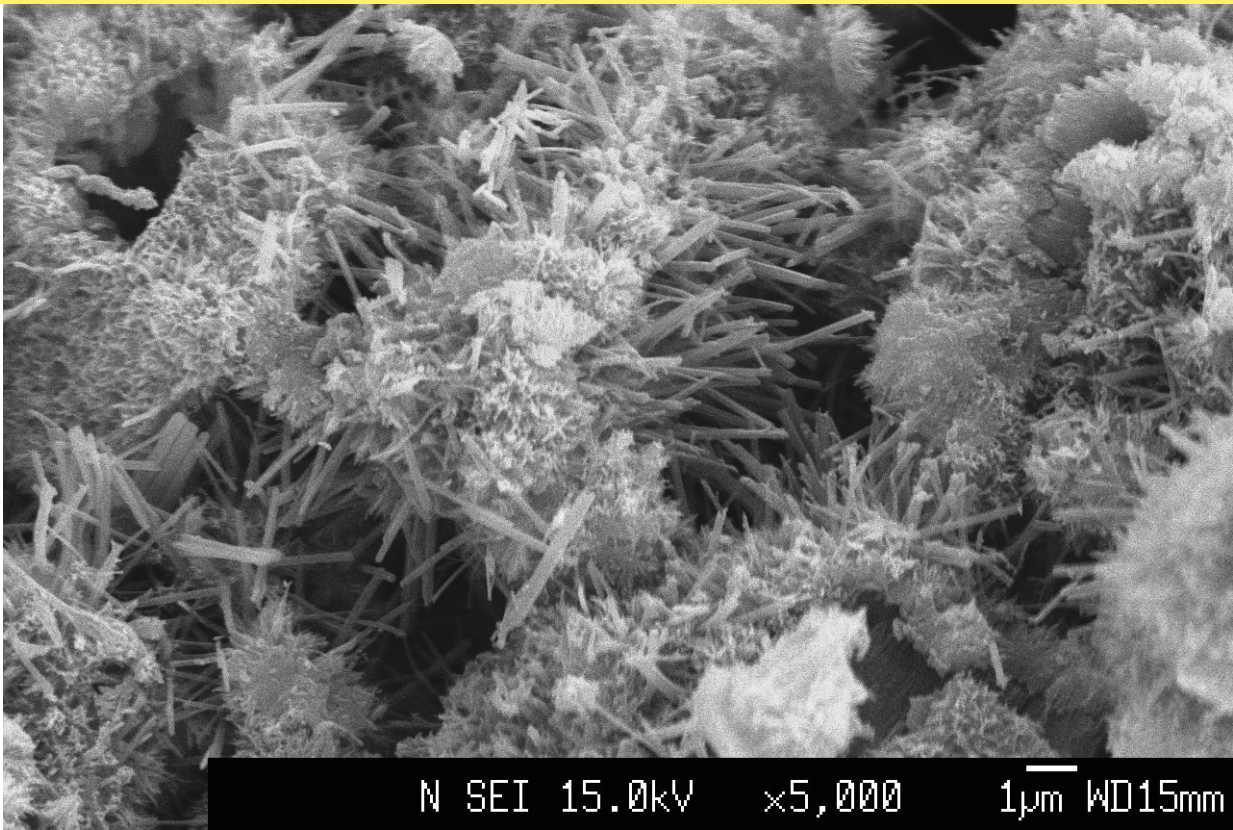
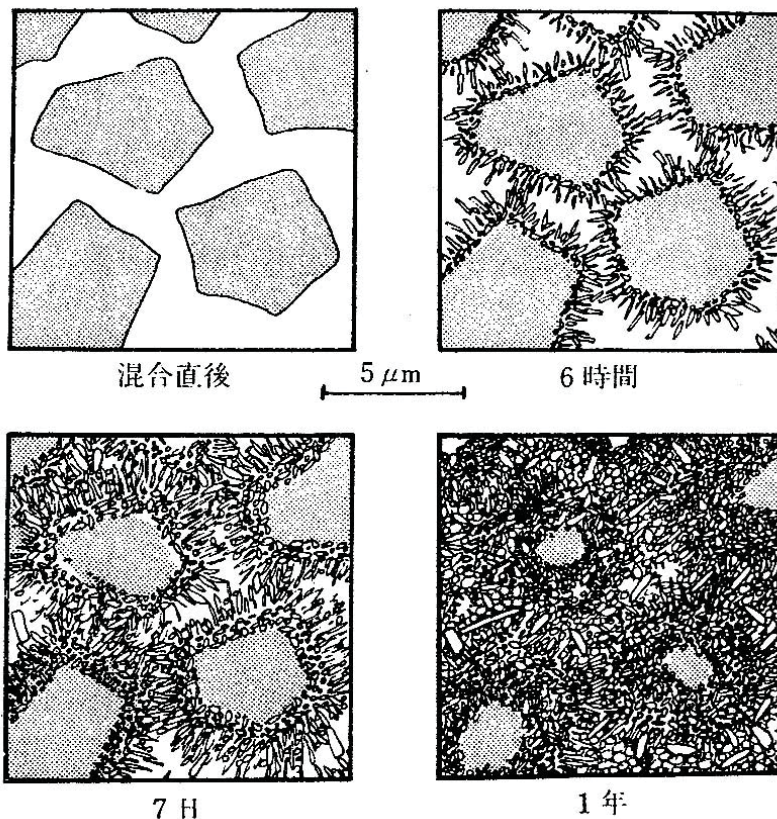


写真 普通ポルトランドセメントペースト(W/C:50%、材齢1日)の水和
(長さ1~4μm程度の柱状の結晶はエトリンガイト, 基盤をなす微細な繊維状の物質はC-S-H)

コンクリートはどのようにして強度が発現するのか、凝結、硬化の模式図

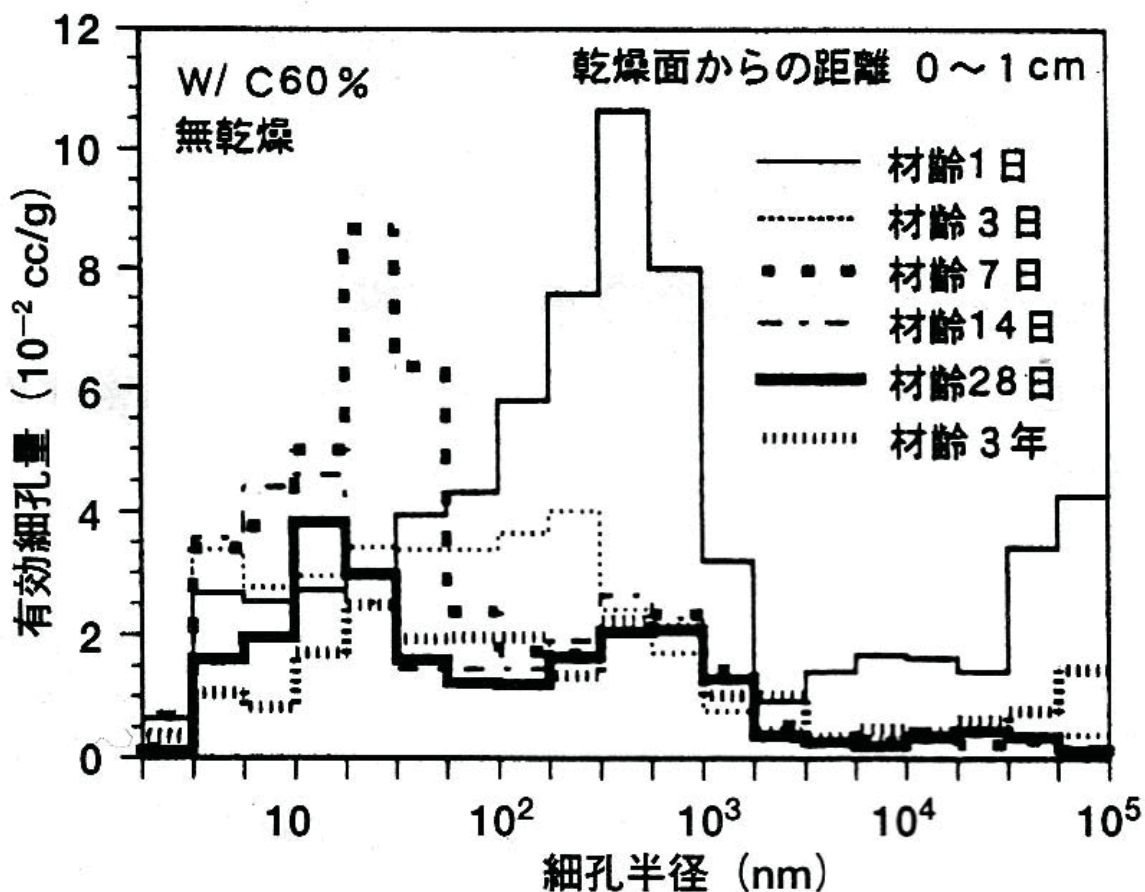
水和の進行



水和に伴うコンクリートの細孔径分布の変化



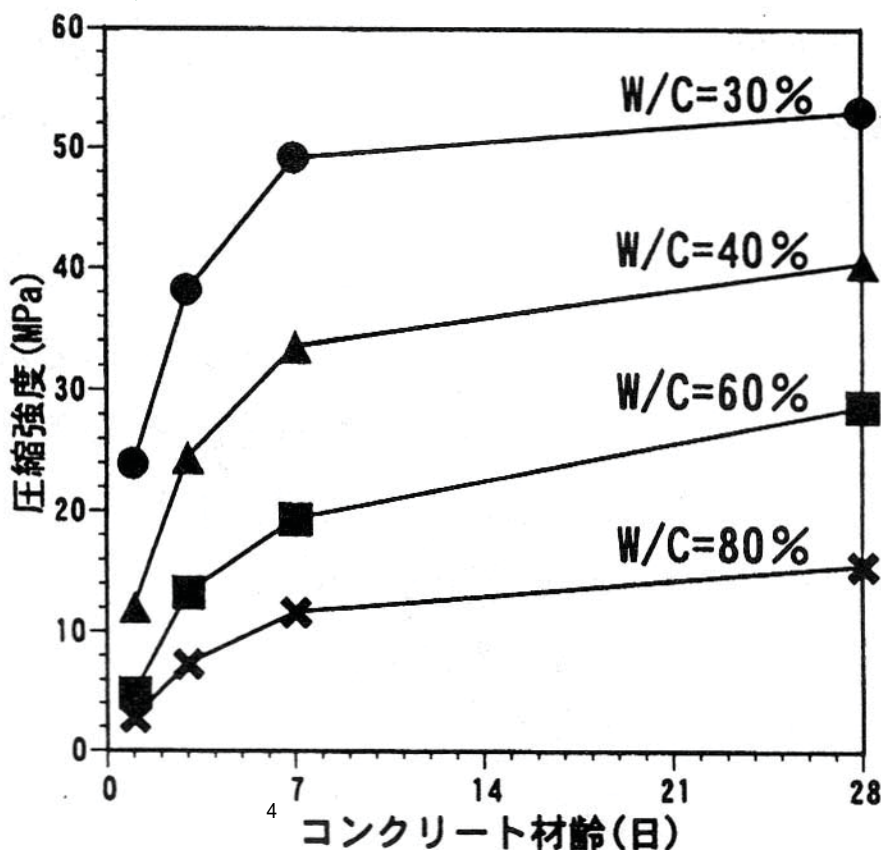
組織の緻密化



コンクリートはどのようにして強度が発現するのか、

材齢と圧縮強度の関係(20°C、封かん)

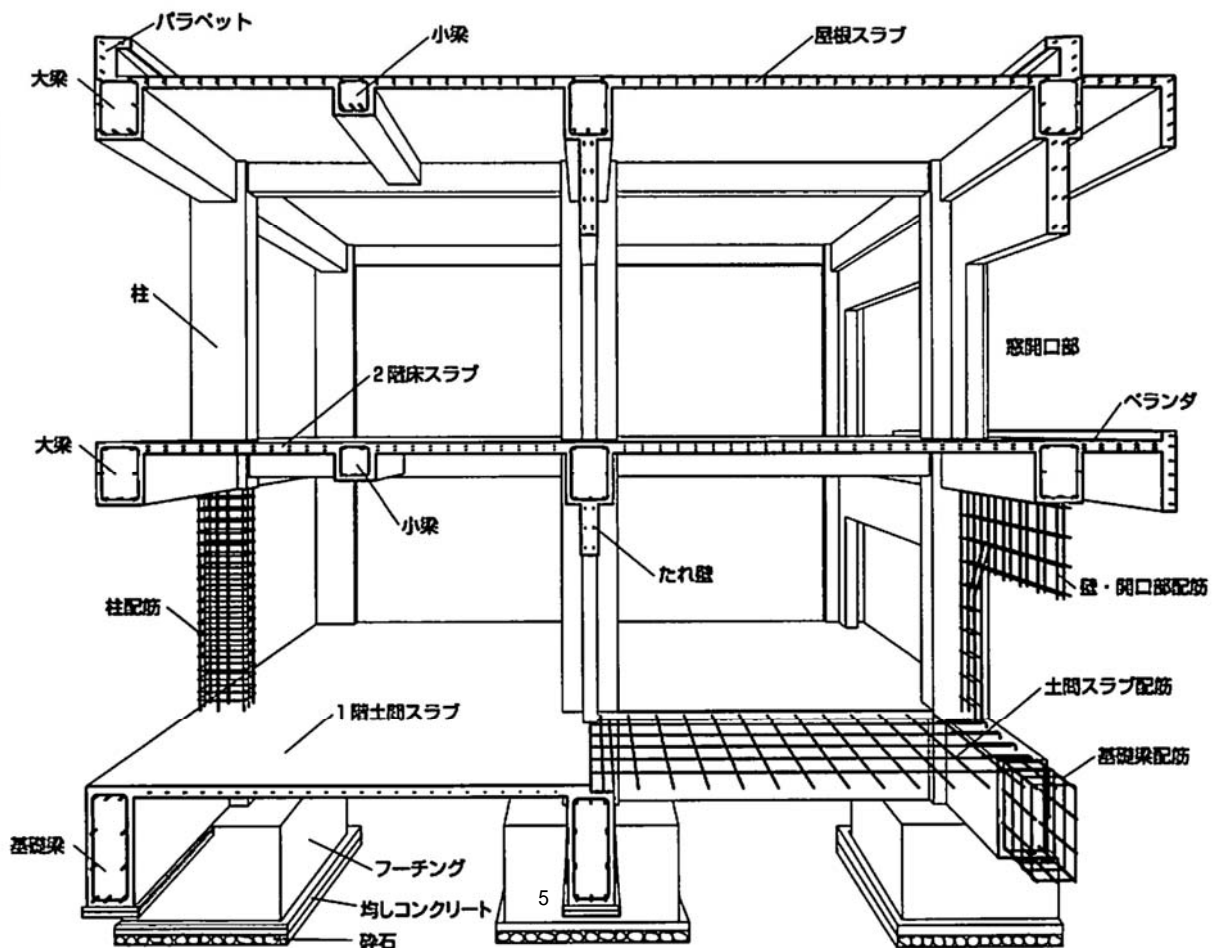
組織の緻密化が強度を増加させる





221kN(φ10cm)→
 28.0 N/mm^2
 直径10cmのコンクリートに50
 kgの人間がも440名載れる

第2部 鉄筋コンクリート構造



鉄筋コンクリート構造

■ Reinforced Concrete Structure

「補強されたコンクリート構造」

ポイント

- コンクリートの圧縮強度は大きい
- コンクリートの引張強度・曲げ強度は小さい
- 鉄筋がコンクリートの弱点を補う

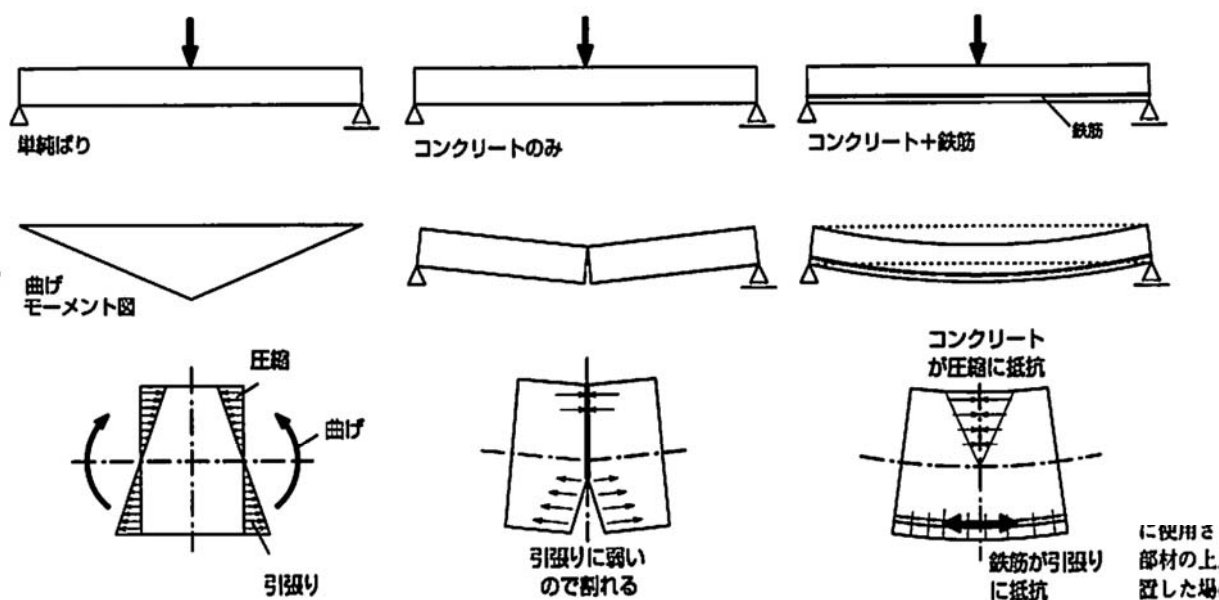


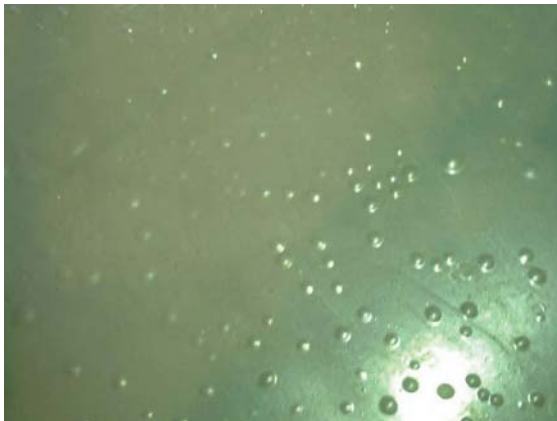
図3-2 鉄筋コンクリート梁の原理¹⁾

ポイント

- 構造上の引張荷重は鉄筋で受ける
→ 曲げ力はコンクリート圧縮耐力と鉄筋の引張耐力を複合して

第3部 コンクリートの乾燥の意味

- セメントの水和
- コンクリートの収縮
- 各種仕上げ材との接着



14

コンクリートの立場から

- 打設間もないコンクリートの乾燥
= 水和の阻害
= 表層強度の低下
- 「乾燥」は「養生」でない。
「養生」=「湿潤養生」を意味する。

防水や仕上施工の分野では
「養生」=「乾燥」が仕様書の表現にも見られる

15

若材齢時における乾燥に伴う コンクリートの不均質性の形成

構造物の現実

- 材齢28日まで封緘状態にあることはない
 - 工事遂行のため脱型
- JASS5の規定より早い脱型**
床スラブは打設直後から乾燥

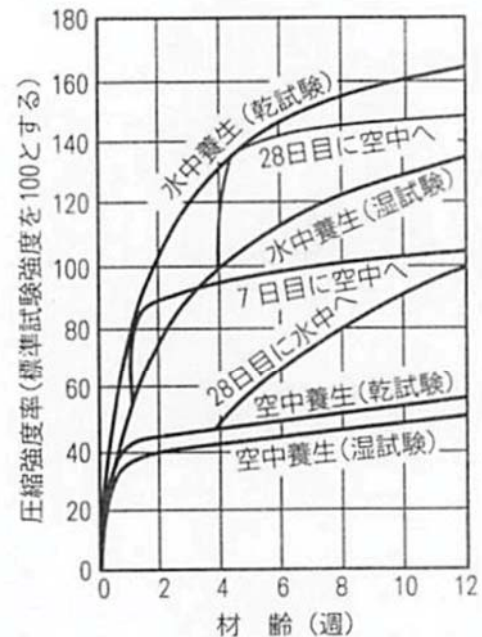
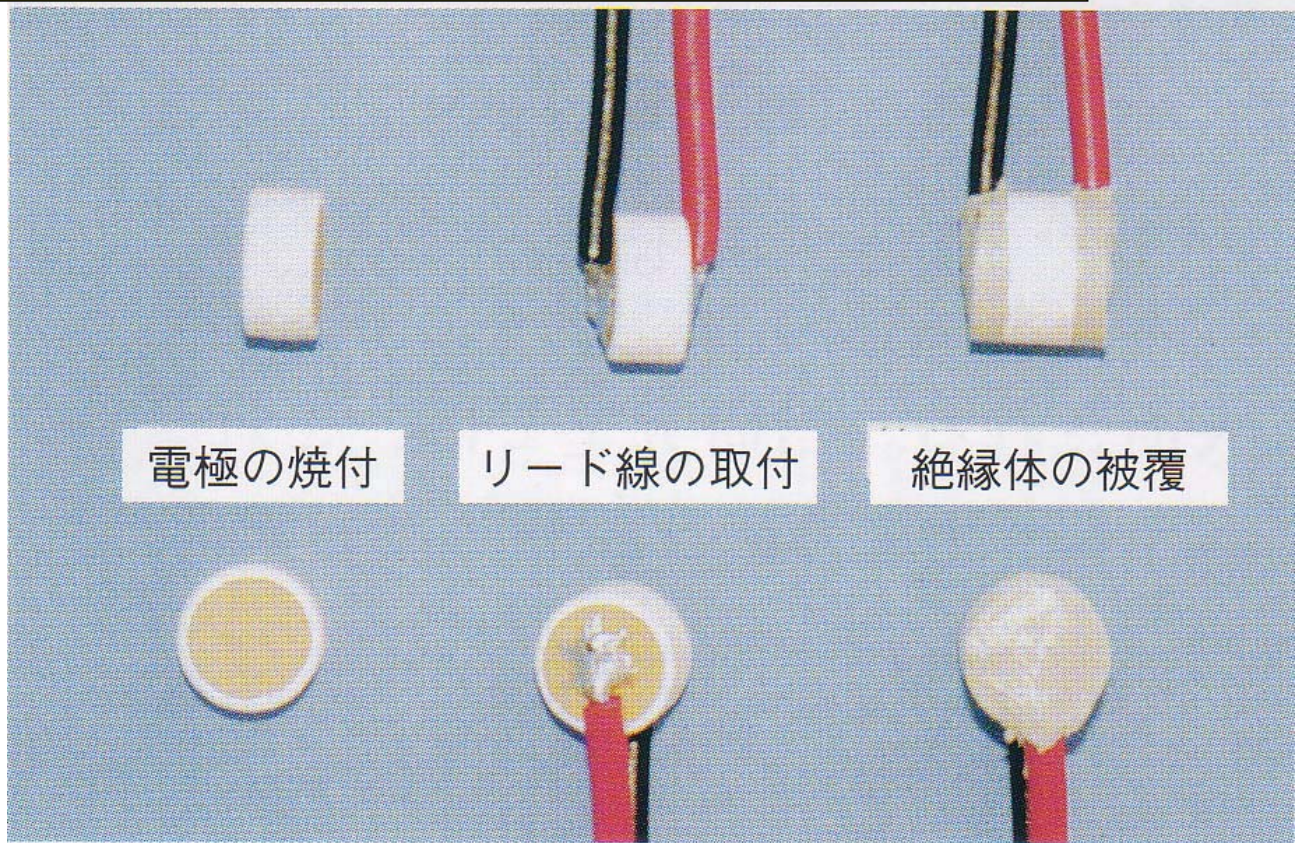


図2-27 養生条件とコンクリートの圧縮強度の関係
(H.J.Gilkey)

表 8.1 湿潤養生の期間

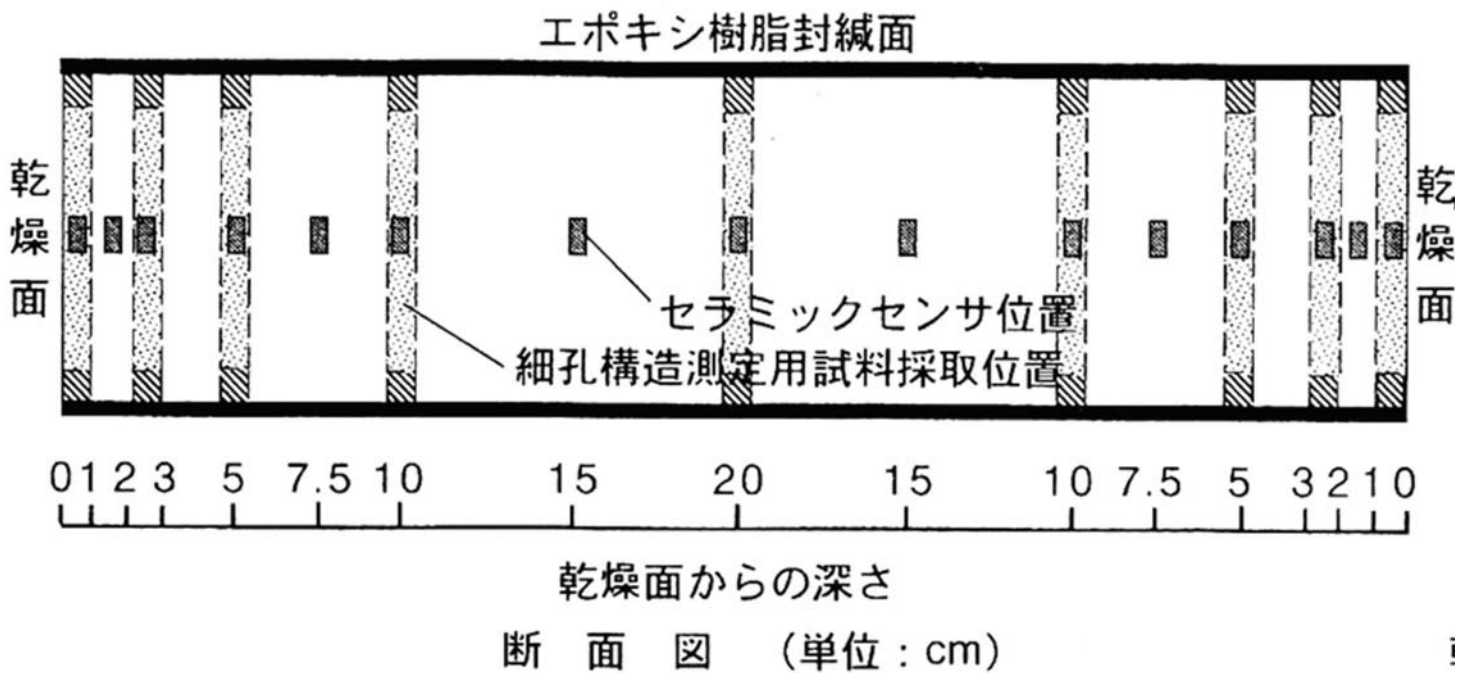
セメントの種類	計画供用期間の級	
	短期 および 標準	長期 および 超長期
早強ポルトランドセメント	3日以上	5日以上
普通ポルトランドセメント	5日以上	7日以上
中庸熱および低熱ポルトランドセメント, 高炉セメントB種, フライアッシュセメントB種	7日以上	10日以上

コンクリートの含水率を把握する



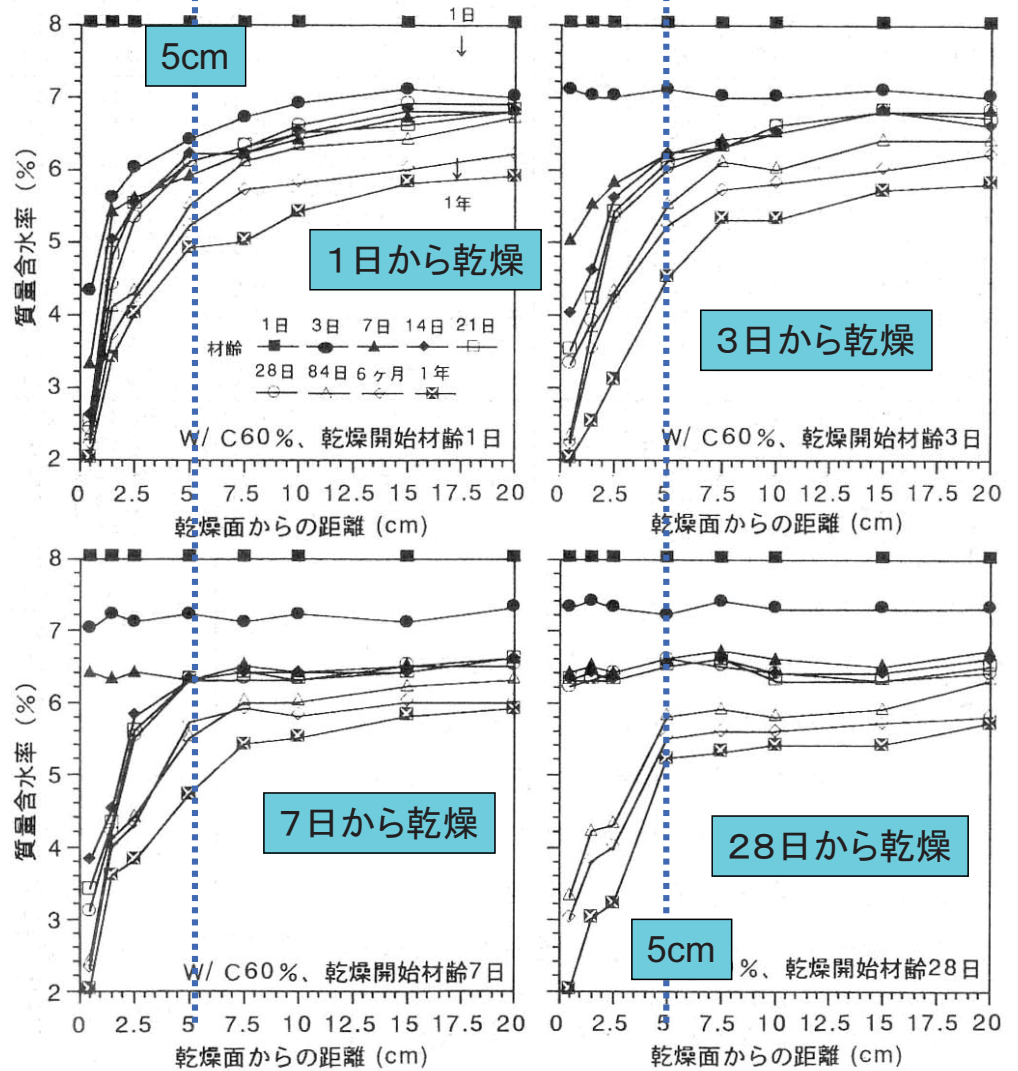
日大式 セラミックセンサ

18

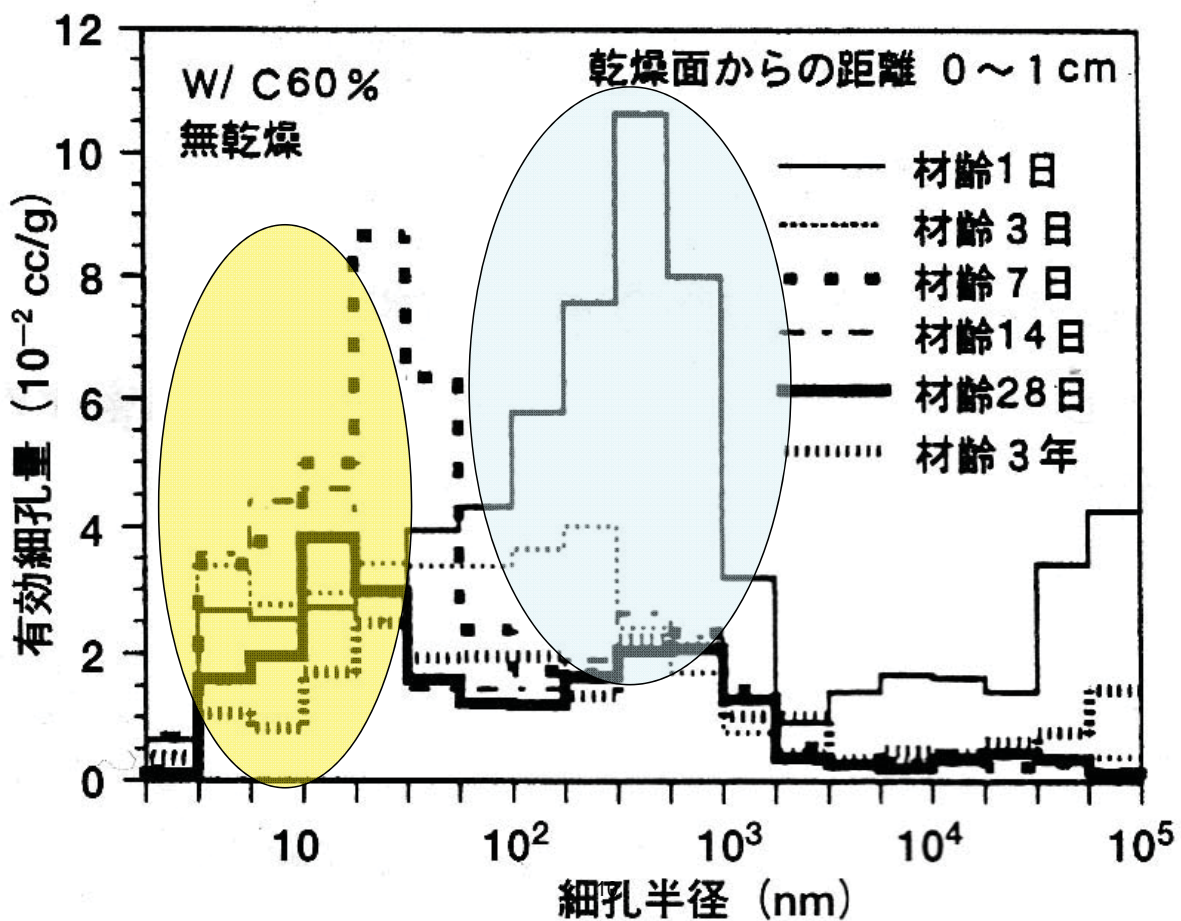


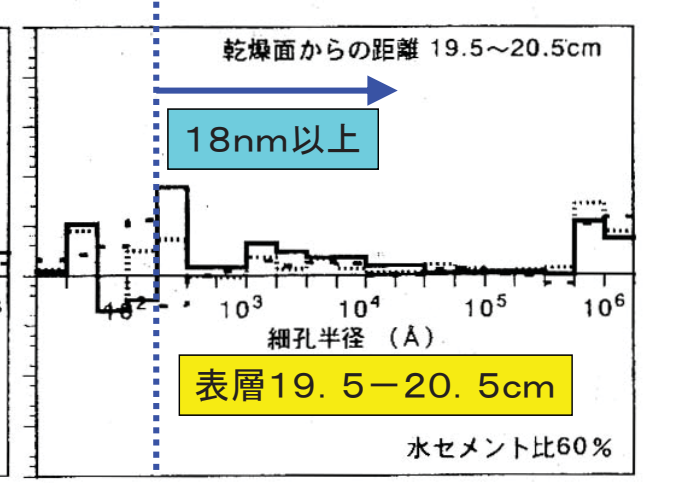
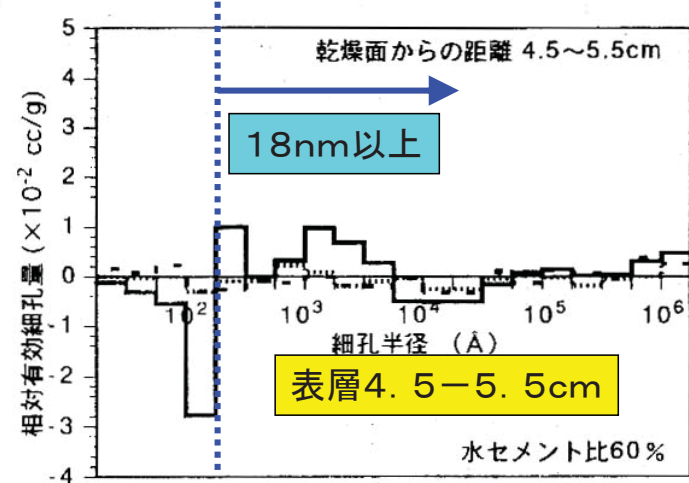
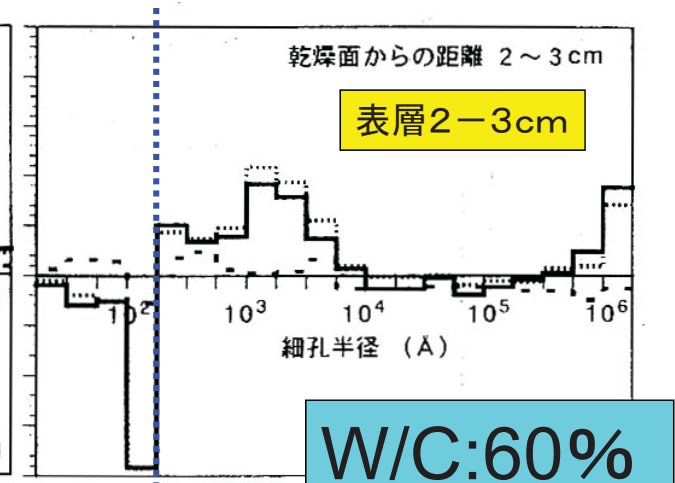
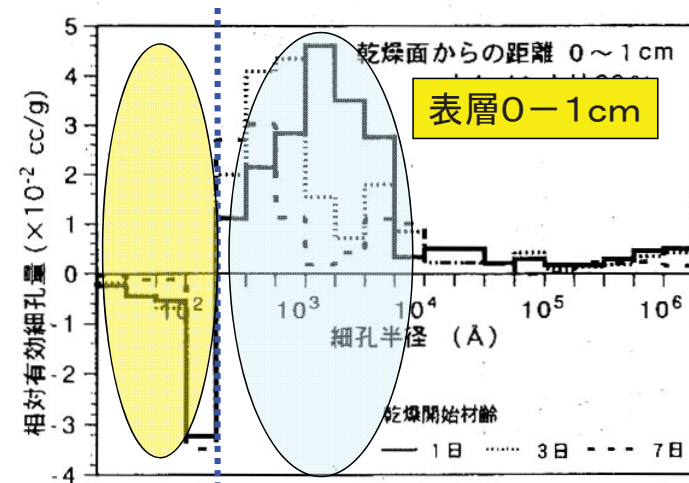
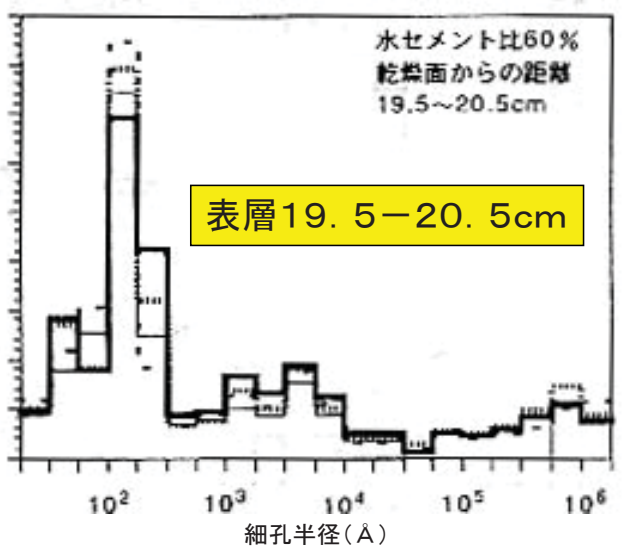
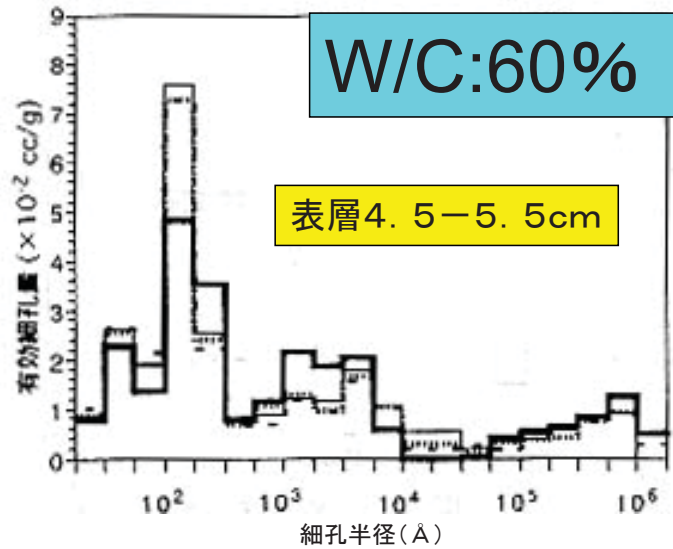
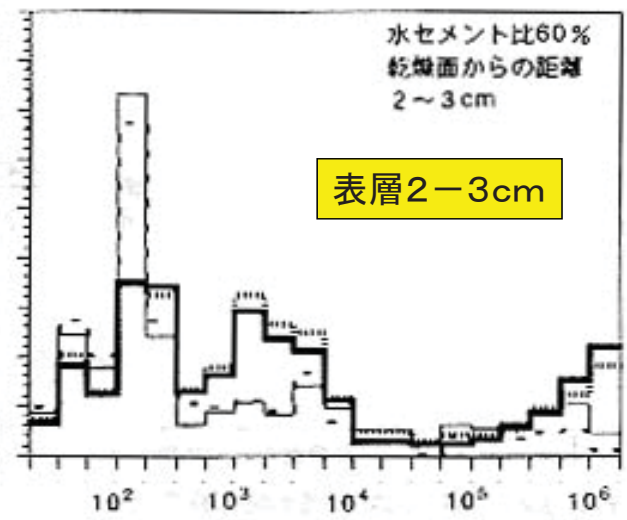
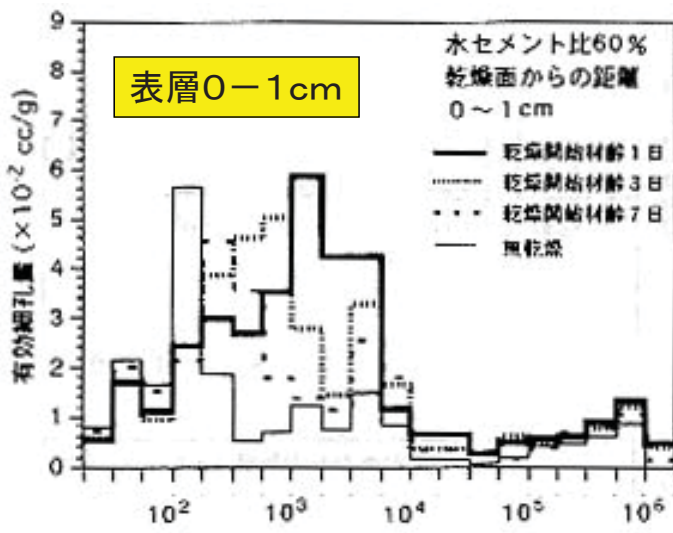
試験体の形状寸法

水セメント比60%



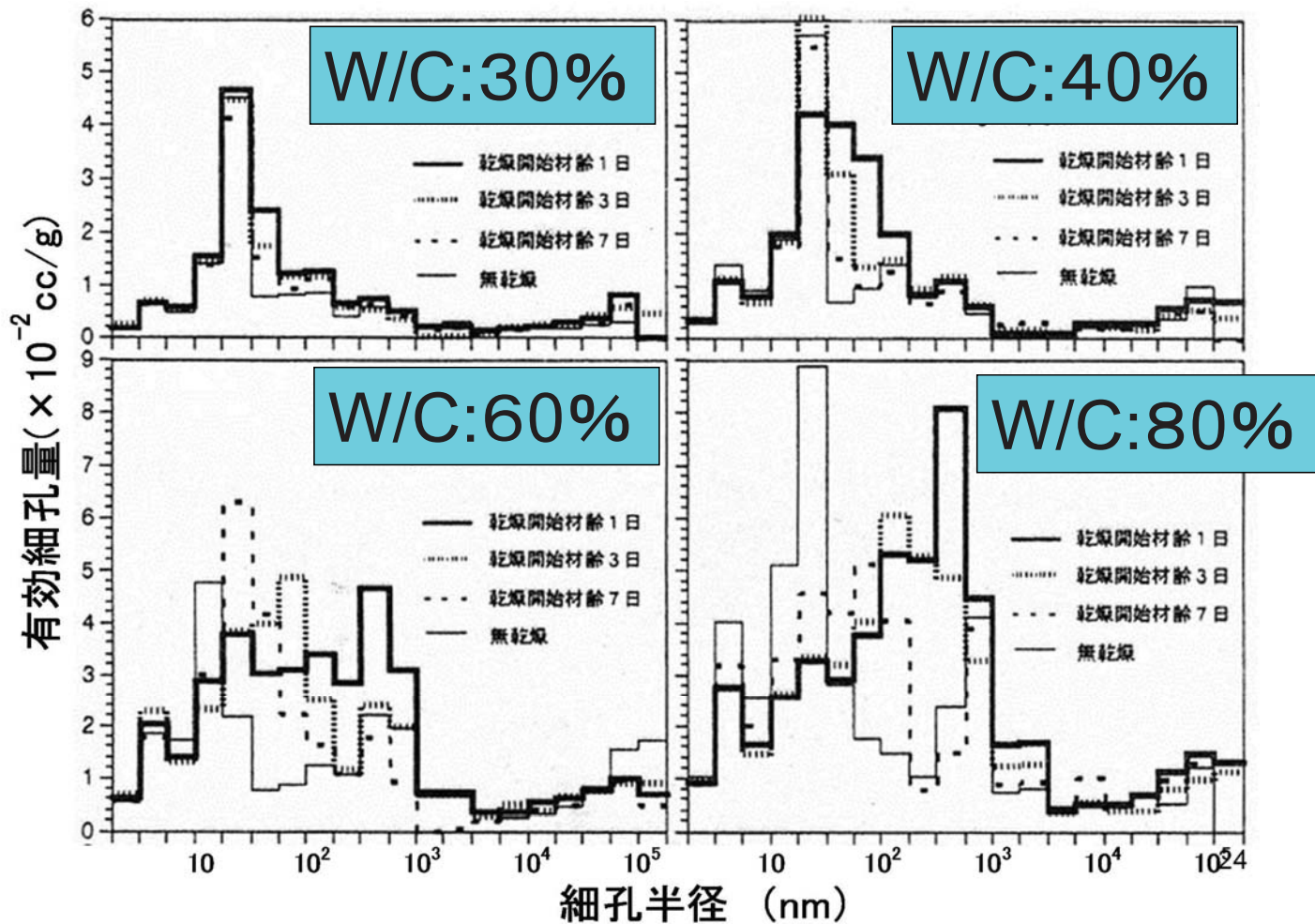
水和に伴うコンクリートの細孔径分布の変化



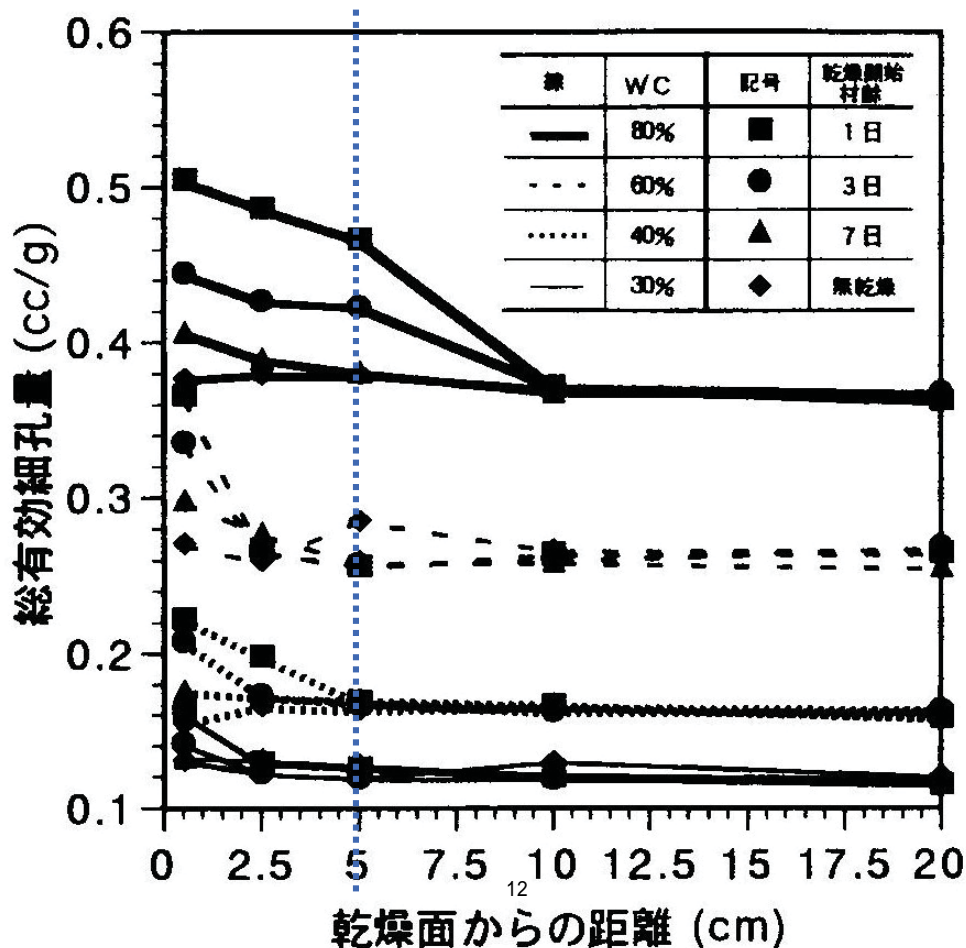


乾燥により増減する細孔径分布 (材齢28日)

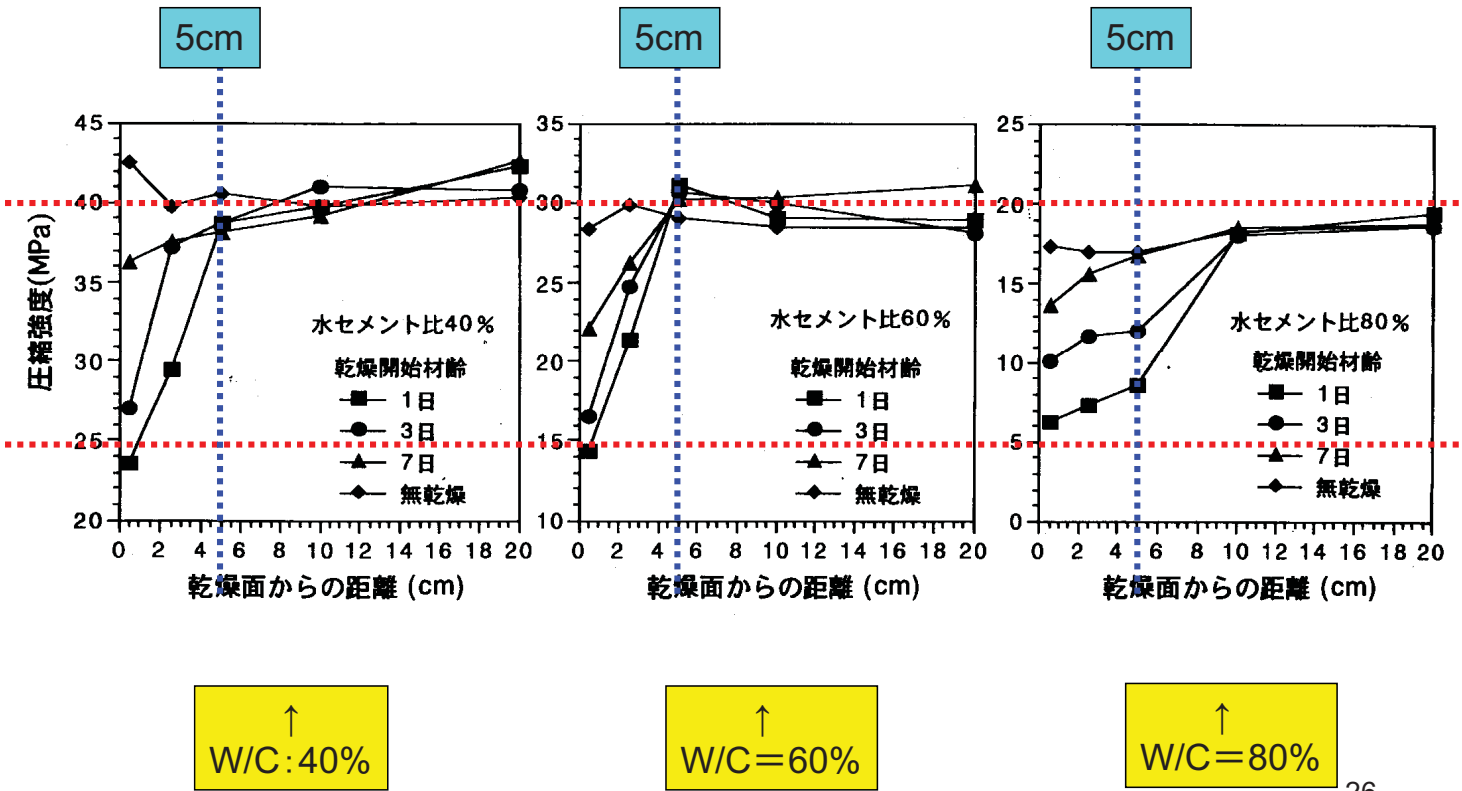
表層0-1 cm



総有効細孔量分布 (材齢 28 日)



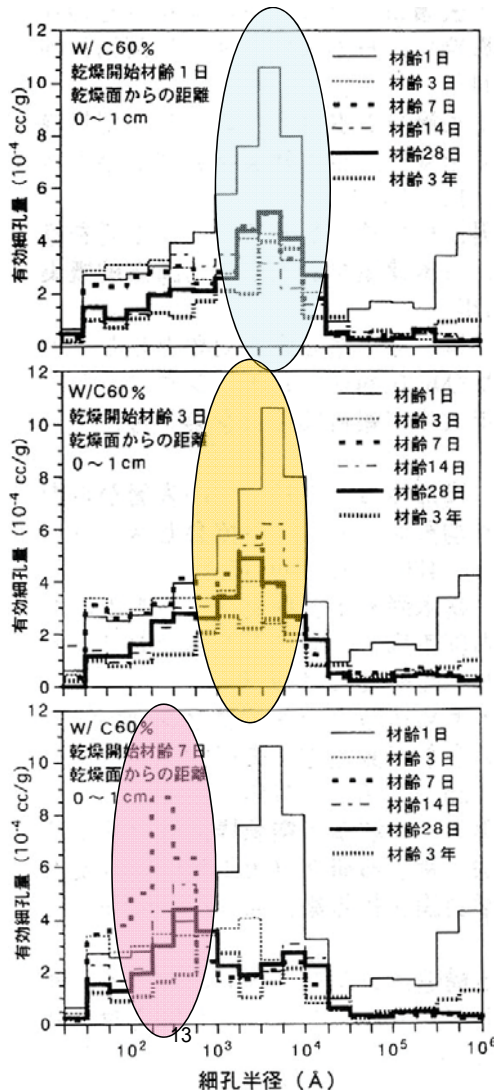
圧縮強度分布



26

W/C:60%

表層0-1cm



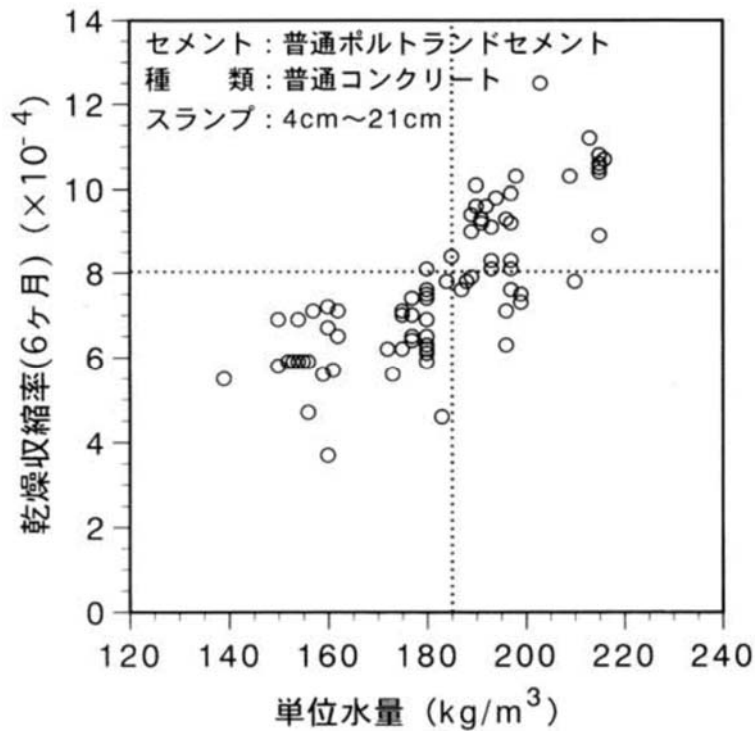
←1日から乾燥

←3日から乾燥

←7日から乾燥

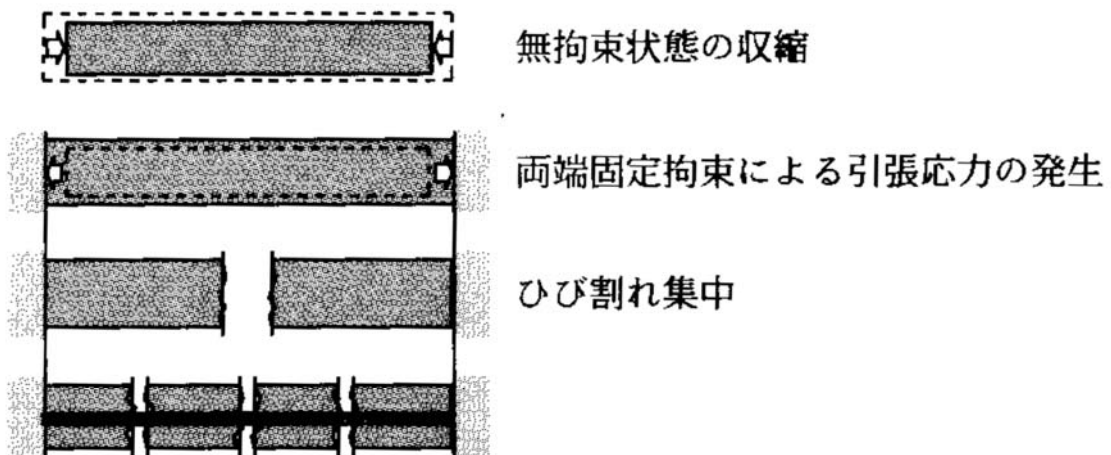
27

コンクリートの乾燥による収縮 = ひび割れ

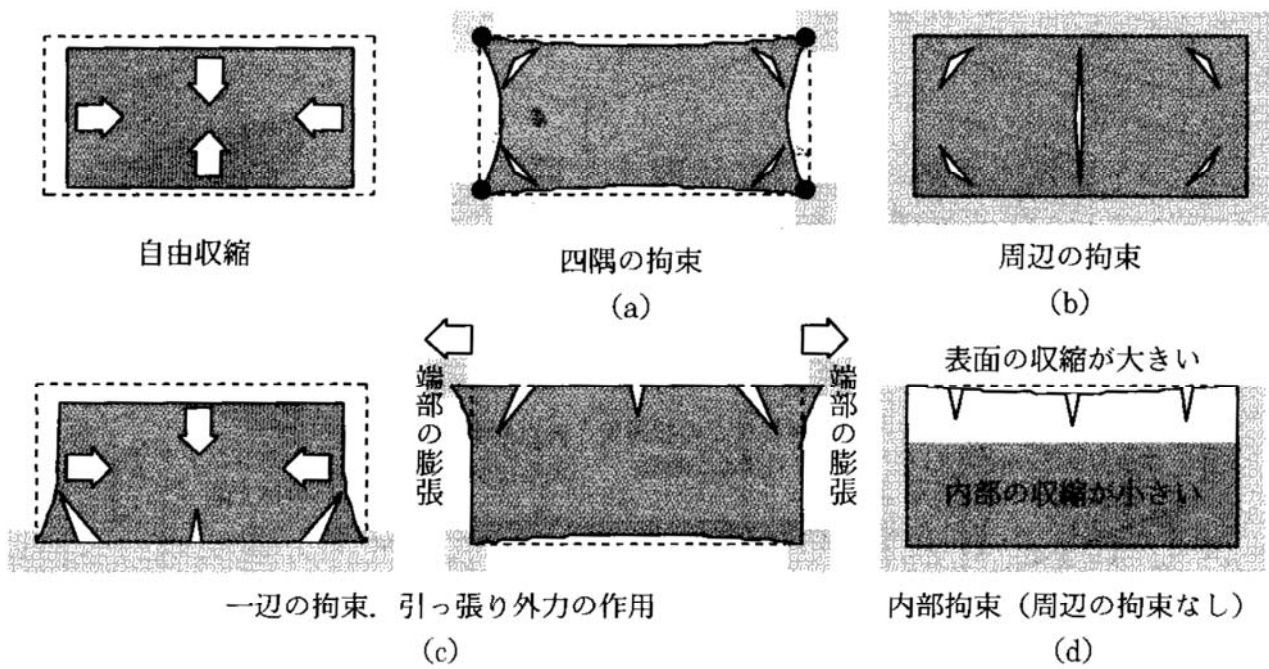


コンクリートの単位水量と乾燥収縮率

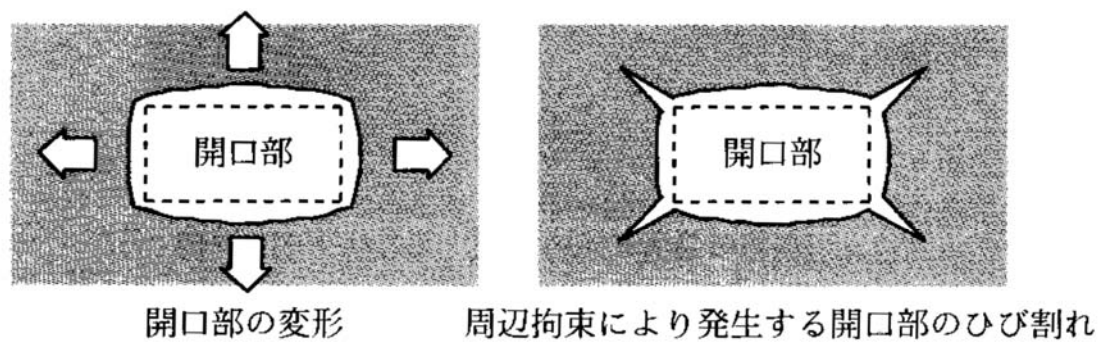
28



参考図-3.2.2 材齢経過時の収縮ひび割れの発生・進展メカニズム概要：梁



参考図-3.2.3 材齢経過時の収縮ひび割れの発生・進展メカニズム概要：スラブ，壁，部材断面



参考図-3.2.4 材齢経過時の収縮ひび割れの発生・進展メカニズム概要：開口部



コンクリートの乾燥収縮の対策

- 単位水量の低減
(=セメントペースト量の低減=骨材量の増加)
- 収縮低減剤の使用
- 膨張材の使用
- 骨材の選択 (石灰石有利か?)

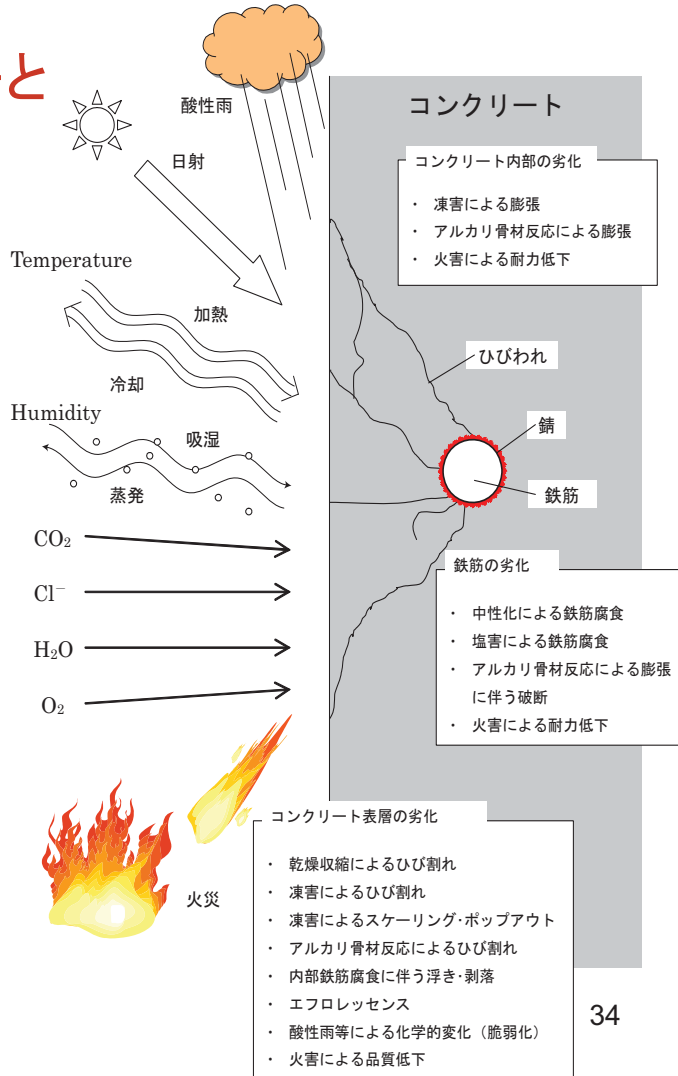
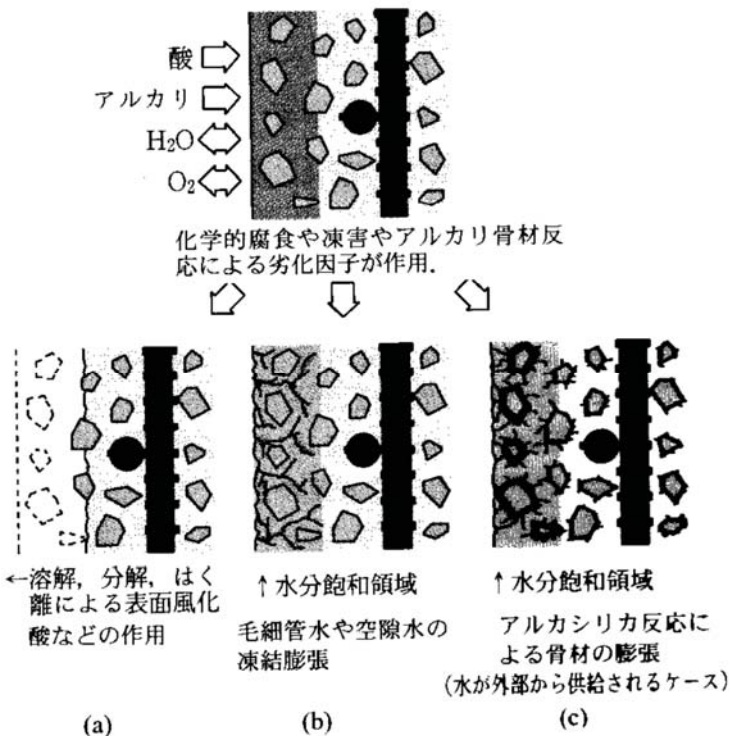
32



第4部 コンクリートのひび割れ

- 塩害／中性化がもたらすひび割れとひび割れがもたらす塩害／中性化
- 凍害／アルカリシリカ反応のひび割れ、ひび割れとひび割れによる助長
- ひび割れの原因

コンクリートを取り巻く劣化因子とその劣化現象



今は供用されていない沖縄の橋梁





軍艦島



鉄筋が腐食し、その上の（かぶり）コンクリートが剥落する現象

- コンクリート中の塩分（内在塩分と外来塩分の由来に区別有）に起因
= 塩害
- コンクリートが空気中の二酸化炭素により、アルカリ性から中性に変化することに起因
= 中性化による鉄筋腐食



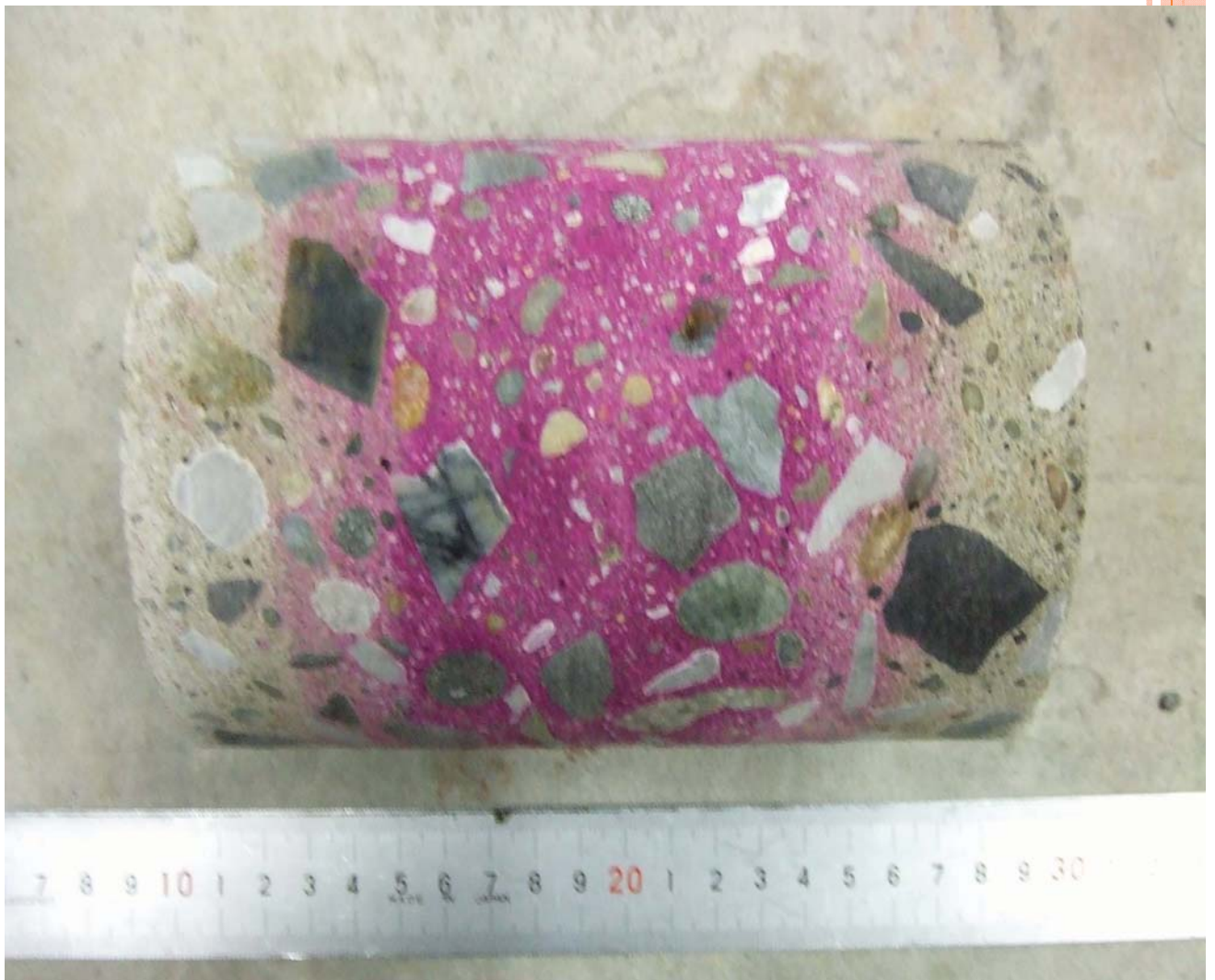
20年前に解体した本学の中性化による劣化建物



腐食した鉄筋の位置で浮いたコンクリート片

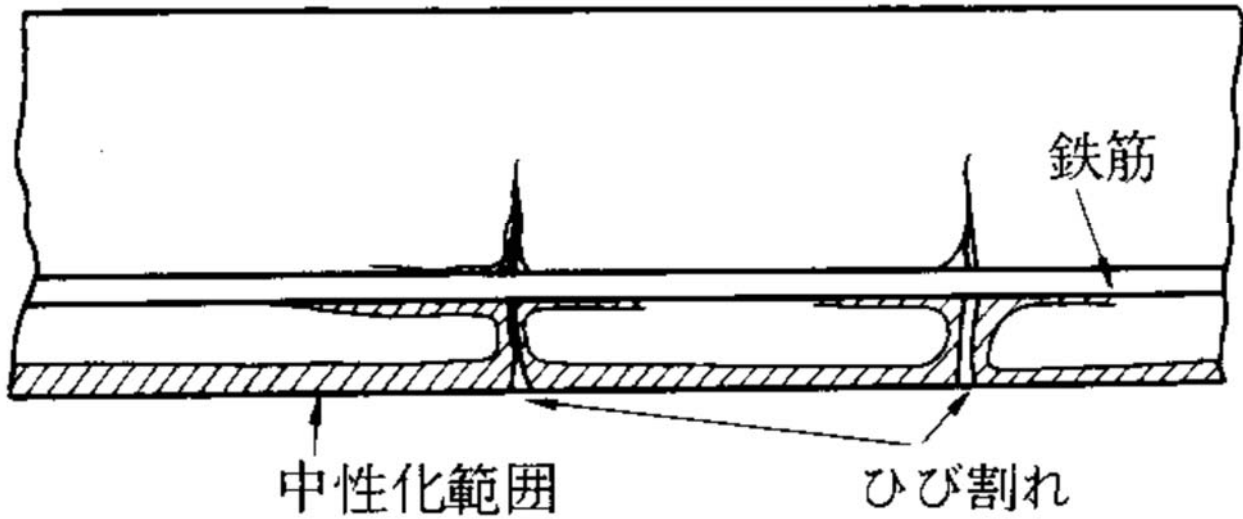


かぶりコンクリートが鉄筋の腐食時の膨張圧で押し出される



- この中性化が鉄筋の位置に到達すると、鉄筋表面の水酸化物の皮膜が破壊され、**酸素と水**の供給があれば、鉄筋は腐食する。鉄筋が腐食すると、発錆によりおおよそ**2.5倍の体積膨張**が生じる。



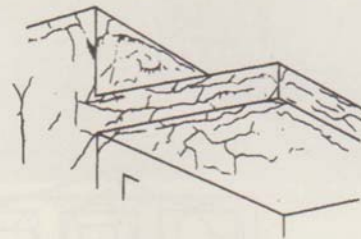


解説図-2.3.10 ひび割れによる中性化の進行

凍害

C3. 凍結融解の繰り返し

隅角部や水平ジョイント部の斜めひび割れや長手方向のひび割れ、スケーリングなどが特徴である。



凍結融解作用を受けた構造物のひび割れとスケーリングの例

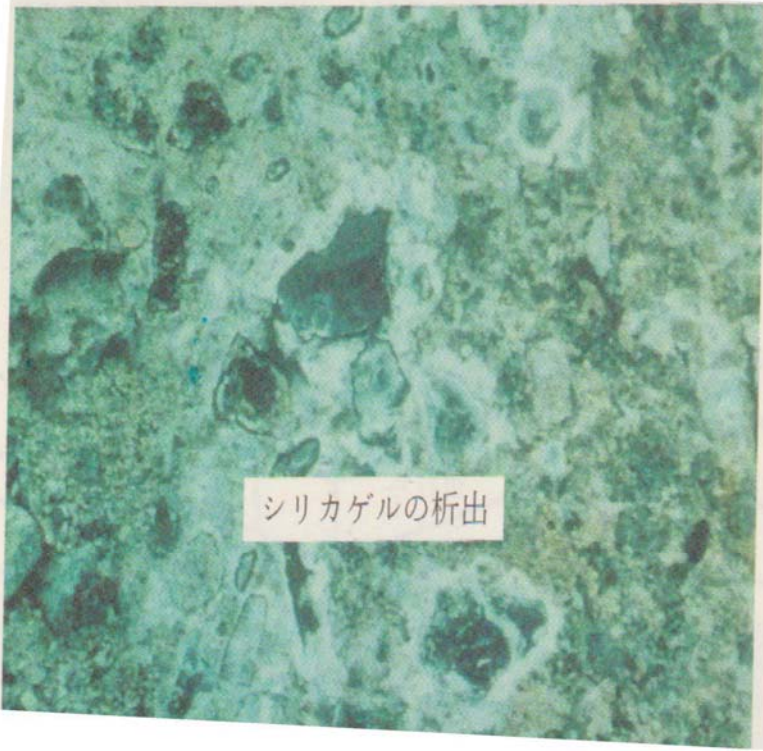
解説図-3.3.1 ひび割れのパターン (その10)

庇の凍害

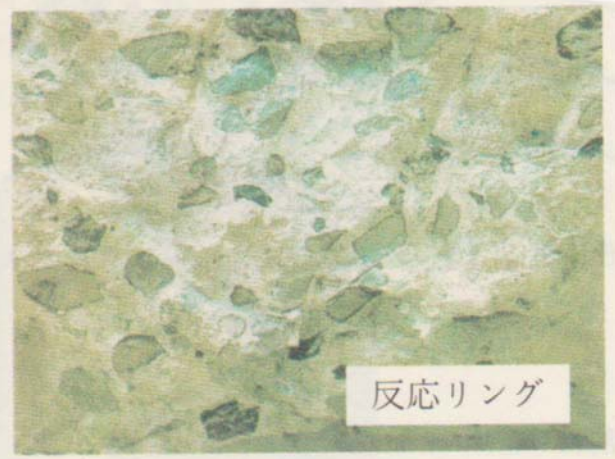


アルカリ骨材反応による劣化



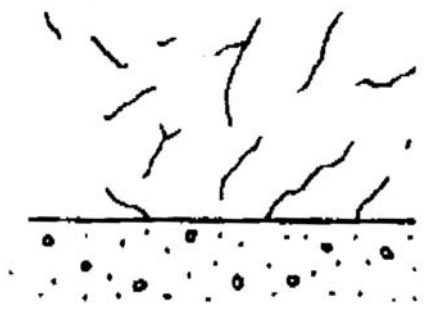


シリカゲルの析出

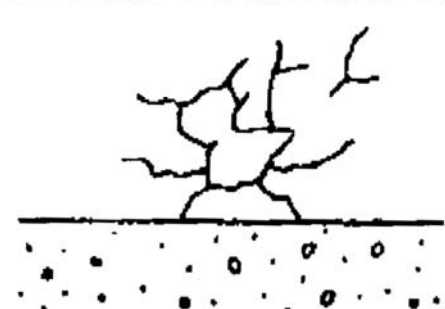


反応リング

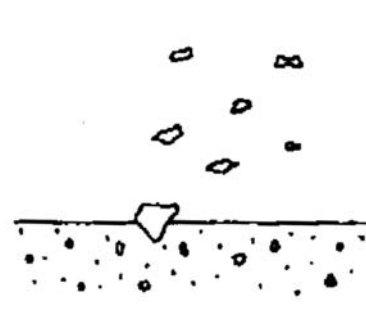
A 1. セメントの異常凝結：
短く、不規則なひび割れが比較
的早期に発生する。



A 4. 骨材に含まれている泥分：
コンクリートの乾燥につれて不規
則な網目状のひび割れが発生する。



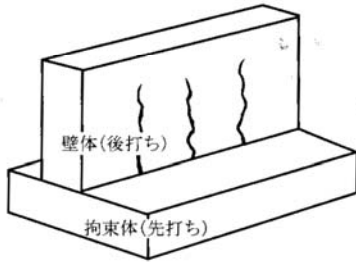
A 5. 低品質な骨材：
ポップアウト状に発生する。



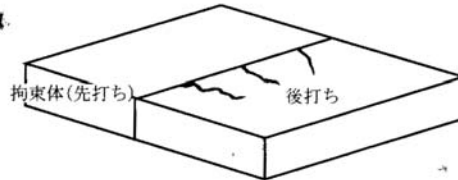
A2. セメントの水和熱

拘束された壁部材や断面の大きい部材に発生する。水和熱による温度変形が外的（後打ちと先打ちの温度差による）、内的（断面内の温度差による）に拘束されることにより、貫通ひび割れや表面ひび割れなどが発生する。

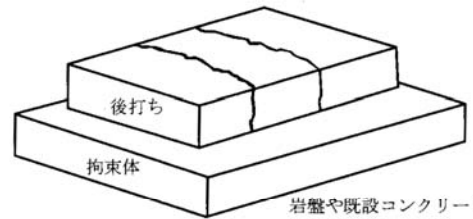
- ・外部拘束が主体となるひび割れ(貫通ひび割れ)



下端を拘束された壁(壁厚 50 cm 以上)
(擁壁・カルバートなど)

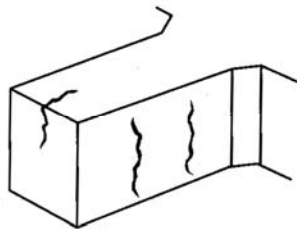


縁端を拘束されたスラブ(スラブ厚 80 cm 以上)

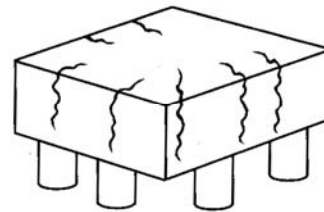


岩盤や既設コンクリート
下面を拘束されたスラブ

- ・内部拘束が主体となるひび割れ
(表面ひび割れ)



地中梁などの断面が大きい部材

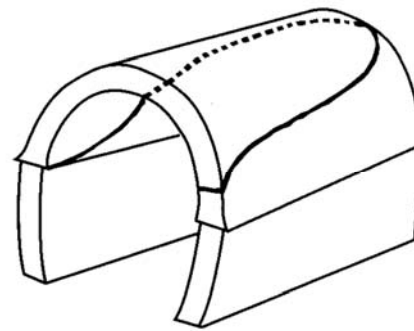
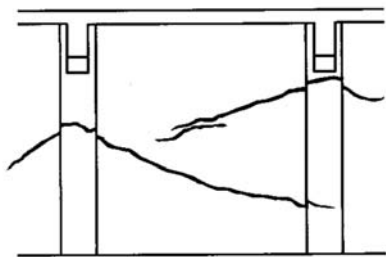


フーチングなどのマッシブな部材

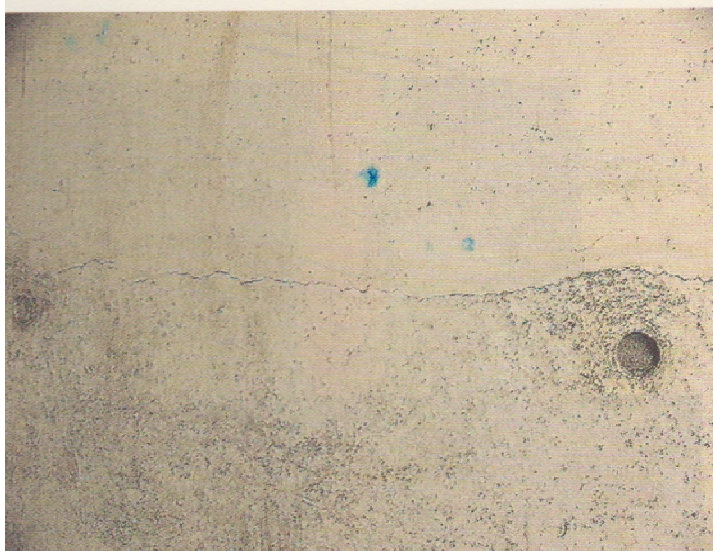
解説図-3.3.1 ひび割れのパターン (その1)

B17. 不適当な打重ね

コールドジョイントとなる。



トンネルの覆工コンクリート

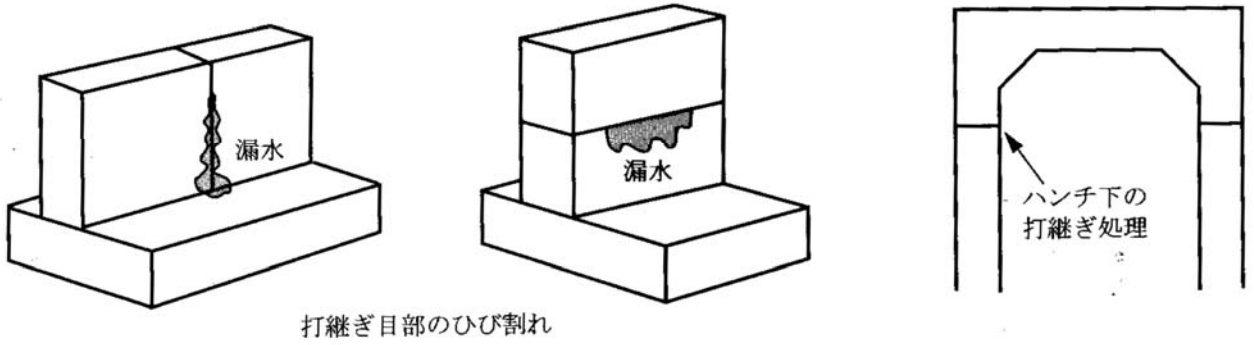


軽度 (対応する補修は解説図-6.2.4 参照) コールドジョイントの例



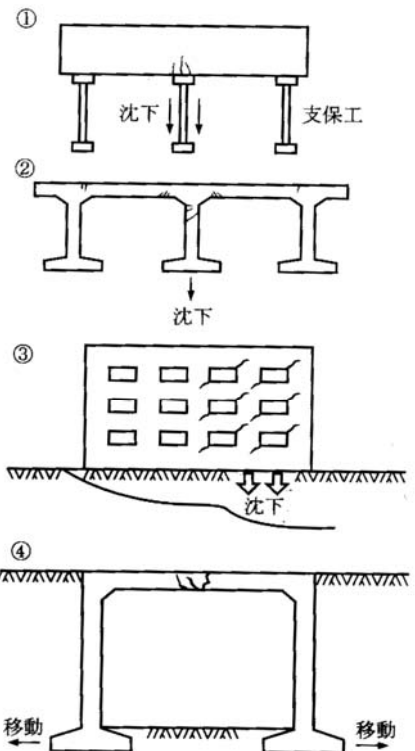
重度 (対応する補修は解説図-6.2.4 参照) コールドジョイントの例

B 10. 不適当な打継ぎ処理



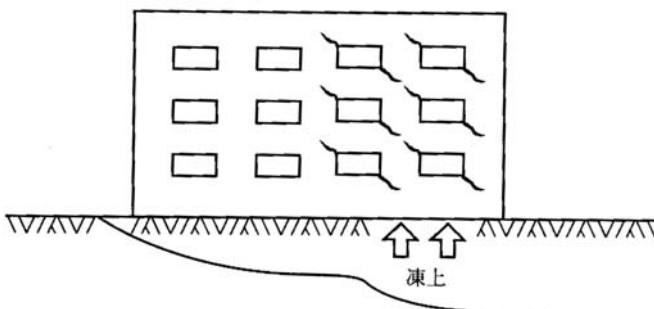
D 6. 構造物の不同沈下

ラーメン等の不静定構造物では支点の不同沈下によって、図のようなひび割れが発生することもある。



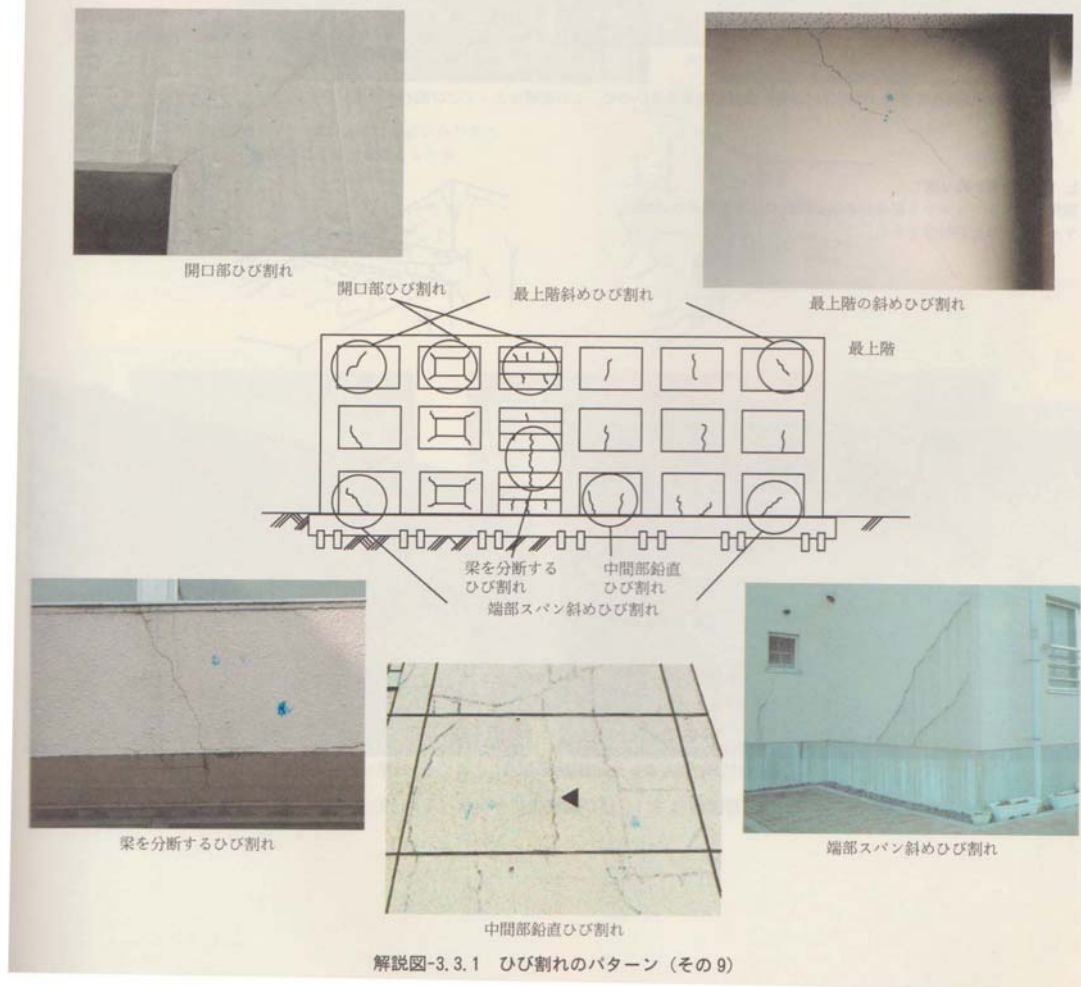
D 7. 凍上

凍結膨張による地盤の隆起によって構造物が浮き上がる。(不同沈下と逆の現象)。

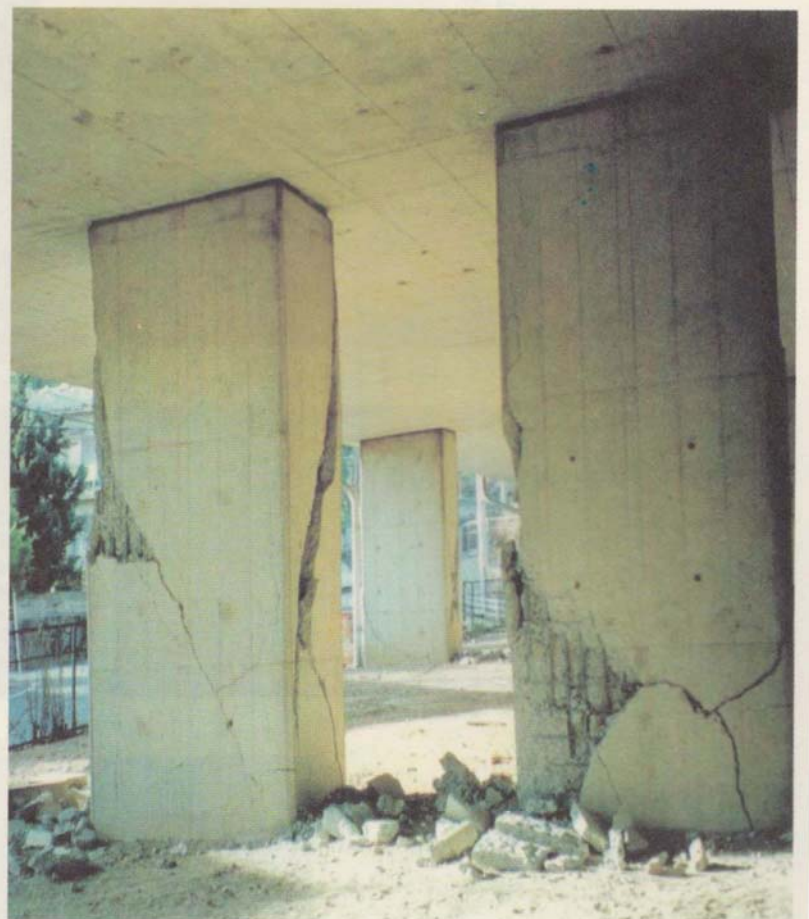
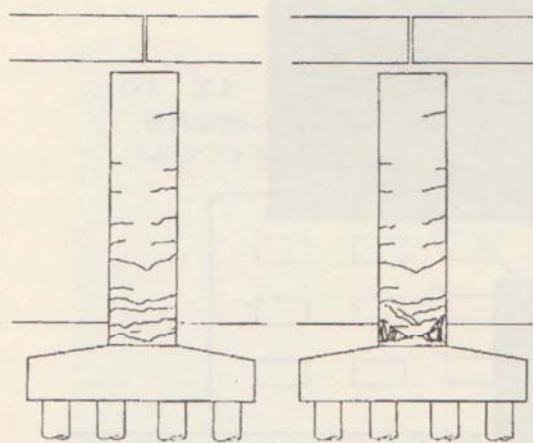
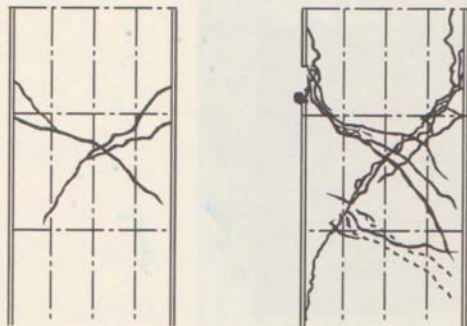


C1. 環境温度・湿度の変化

外壁には湿度の変化に伴う乾燥収縮、日射による温度変化により変形が生じ、外壁下部端および上部端に斜めの方向のひび割れが生じる。また開口上部・隅部や梁を分断する形で、中間部においては基礎梁の拘束等により鉛直ひび割れが生じる。



D4. 設計荷重を超える短期的な荷重



Dal Giappone per «curare» la cupola

Vicoforte, un progetto con il Politecnico di Mondovì

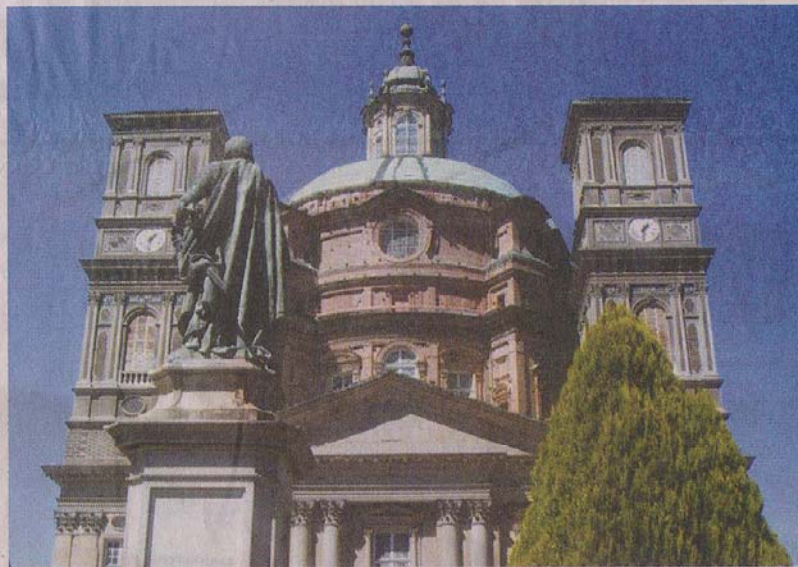
Paola Scola

VICOFORTE

Il «paziente» è la cupola ellittica più grande del mondo, quella del santuario Regina Montis Regalis. A studiarla sono undici tecnici e docenti universitari giapponesi, che oggi illustreranno i risultati delle analisi al gruppo di ricerca del progetto «Vicoforte 2002-2006», di cui fanno parte anche l'Amministrazione del Santuario, la Fondazione Crc (che lo finanzia) e il Politecnico di Mondovì.

Lo scopo dell'incontro ristretto, in programma alle 14,30, è di «verificare lo stato di avanzamento dei lavori di indagine e ricerca sul monumento e di dare avvio definitivo alle operazioni di monitoraggio e di rilievo geometrico-strutturale». A coordinare gli interventi è Mario Alberto Chiorino del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'ateneo torinese.

Nei giorni scorsi, per verificare le condizioni statiche della basilica e la situazione delle crepe sul lato ovest, è stato condotto un curioso esperimento, l'«analisi termografica». L'interno del santuario è stato scaldato per un'intera notte con un termoconvettore da 600 mila calorie: il calore comporta il rilevamento di temperature diverse in presenza di muri pieni oppure vuoti. Un esame «significativo» per valutare la consistenza delle pareti portanti, grazie alle misurazioni di una sofi-



Quella del santuario basilica di Vicoforte è la cupola ellittica più grande del mondo: da anni le sue condizioni sono monitorate

sticata apparecchiatura, giunta dal Giappone. A capo della delegazione di studiosi del Sol Levante, che si occupano esclusivamente di cupole in muratura, c'è l'ingegner Aoki Takayoshi dell'università di Nagoya City, che ha spiegato come gli studi

dovranno portare a «un modello matematico da trasmettere al Politecnico per verifiche e interventi». L'iniziativa è stata resa possibile da un cospicuo contributo del ministero della Cultura nipponico.

Secondo i tecnici, le condizio-

ni complessive della basilica sono buone.

Non si sarebbero più registrate cedimenti strutturali: due delle tre catene inserite nel tamburo della cupola sono intatte, mentre proseguono gli accertamenti sulla terza. Qualche

Un esperimento fatto dai tecnici nipponici per verificare la stabilità di struttura e fessure. È stato usato il calore per realizzare una mappa sulle condizioni dei muri

movimento, invece, interessa le crepe sul lato occidentale dell'edificio.

I lavori del gruppo di ricerca oggi riguarderanno gli aspetti organizzativi del progetto «Vicoforte 2002-2006», gli «obiettivi dell'Amministrazione del Santuario», le «caratteristiche operative» degli interventi, le «possibilità offerte dalla tecnica delle emissioni acustiche» per il monitoraggio delle fessure, gli «aspetti idrogeologici nel monitoraggio del monumento e del sito», la verifica strutturale dell'edificio, l'«applicazione dell'analisi alla verifica di stabilità del sistema cupola-tamburo».

Il professor Sebastiano Sordo, vicepresidente della Fondazione Crc, illustrerà l'intervento dell'organismo per la conservazione del patrimonio artistico e culturale, nel caso del santuario vicese.







2015/2/3

第5部 ひび割れと漏水

恩師をたてて小池迪夫先生著「建築防水入門」から

$$Q = K_c \cdot A \cdot \Delta H / L \text{ (ダルシイの法則)}$$

(記号の説明は表3.1にあります)

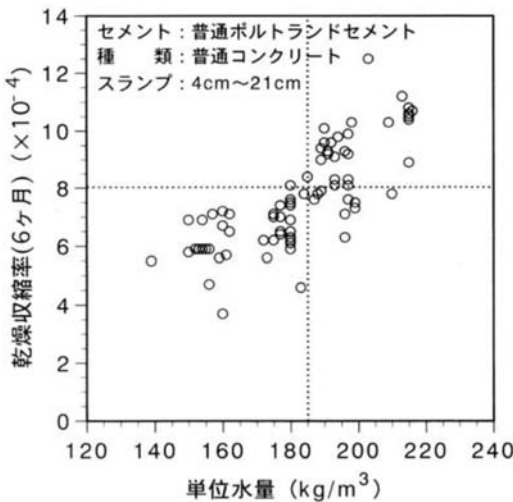
表3.1 コンクリートの透水量

記号	記号の説明	単位	屋上	地下室	海底トンネル (背函トンネル)
Kc	透水係数	cm/s	50~1,000×10 ⁻¹² (注)		
A	流れの断面積	cm ²	10,000 (= 1 m ²)		
ΔH	水頭差	cm	10	1,500(地下5階)	24,000(240m)
L	コンクリートの厚さ	cm	10	20	50
Q	透水量	cm ³ /s (cm ³ /h)	5~100×10 ⁻⁷ (1.8~36×10 ⁻³)	3.8~75×10 ⁻⁵ (1.4~27×10 ⁻¹)	2.4~48×10 ⁻⁴ (0.86~17)

(注) 文献の数値に非常な差があるので、広い幅をとりました。

コンクリートに防水層が必要である原点

- 屋上の漏水量はこれによれば、 1m^3 1時間当たりせいぜい 0.036cm^3 ・・・これくらいなら乾燥の方が早い
- 青函トンネルの場合でも 17cm^3 ・・・これはウイスキーシングルの半分。。。小池先生らしい例え



しかし、コンクリートは乾燥収縮する＝乾燥収縮率800 μm の場合 10mのコンクリートだと8mm収縮

・・・この8mmがひび割れとして分散するのか一箇所に出るのかまたそれがどこに出るのかわかったもんでない！

＝だから「防水」は必要だ

ひび割れがある場合の透水量 (中央大学土木大下先生の研究をみつけて計算)

大下の均質化透水係数を用いた屋上における透水量(計算は湯浅による)

	単位	ひび割れ幅(mm)								
		0.04	0.05	0.08	0.12	0.15	0.19	0.24	0.36	0.5
大下による均質化透水係数	cm/sec	1.59×10^{-9}	7.59×10^{-9}	1.54×10^{-6}	2.53×10^{-6}	1.65×10^{-5}	2.70×10^{-5}	1.54×10^{-4}	3.59×10^{-4}	1.26×10^{-3}
流れの断面積	cm ²	10,000 (=1m ²)								
水頭差	cm	10								
コンクリートの厚さ	cm	10								
透水量	cm ³ /hr	0.06	0.27	55.44	91.08	594	972	5544	12924	45360

やはり小池先生の言うとおり防水は必要だ

＝もしくは何かで埋めなければ・・・