

コンクリート躯体 の長寿命化の課題 と対策

日本大学
教授 湯浅 昇

2016年度

内容

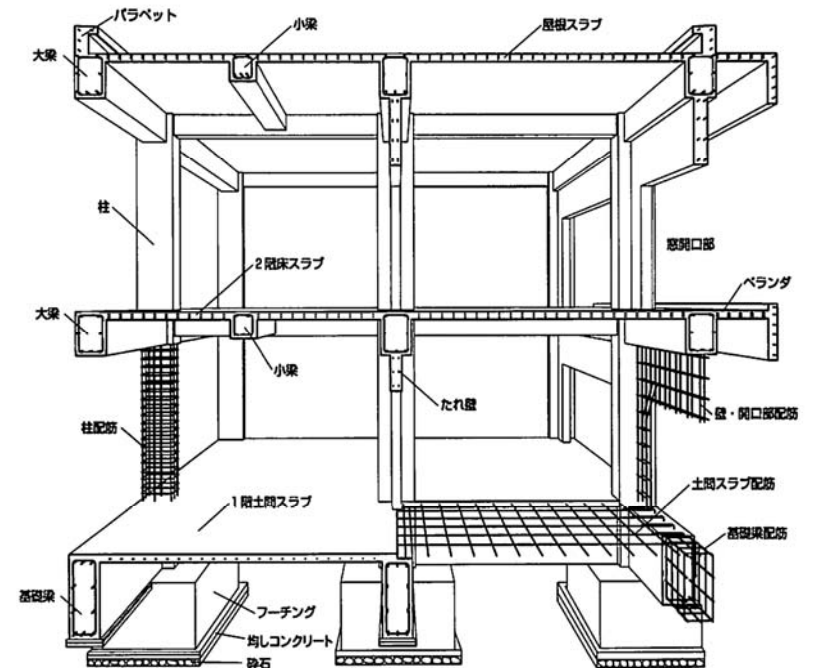
- 鉄筋コンクリート造とは
- 鉄筋コンクリート造の施工
- 鉄筋コンクリート造の劣化・対策
- 鉄筋コンクリート造の維持保全のあり方
- コンクリートのひび割れ

鉄筋コンクリート構造とは

建築構造材料

- 木材
- 鉄
- コンクリート

- レンガ
- 石



鉄筋コンクリート

- 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

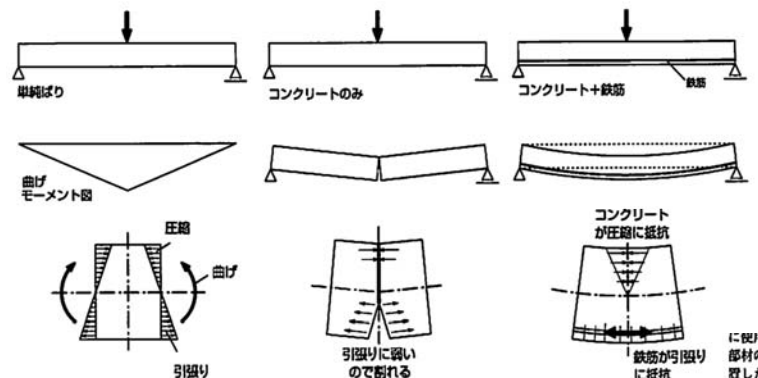


図3-2 鉄筋コンクリート梁の原理⁹⁾

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

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

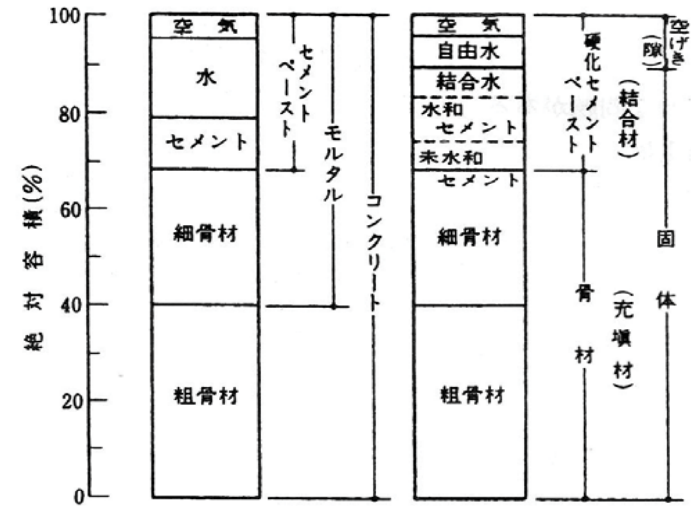
コンクリートに求められる基本的な性質

- 強度 (Strength)
- 耐久性 (Durability)
- 施工性 (Workability)

コンクリートの材料

- セメント
- 水
- 砂=細骨材 (5 mm以下)
- 砂利=粗骨材 (5 mm~10 mm)
- 化学混和剤

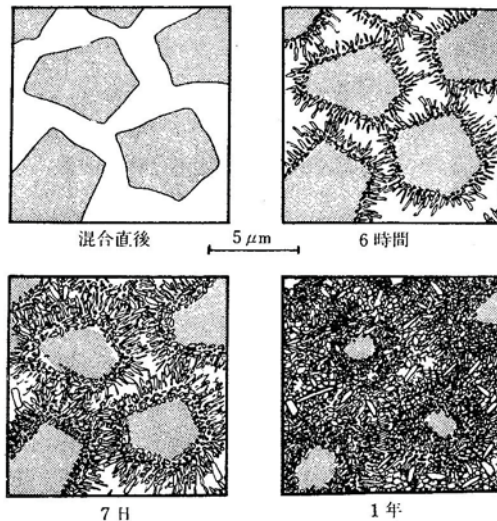
コンクリートのおよその組成



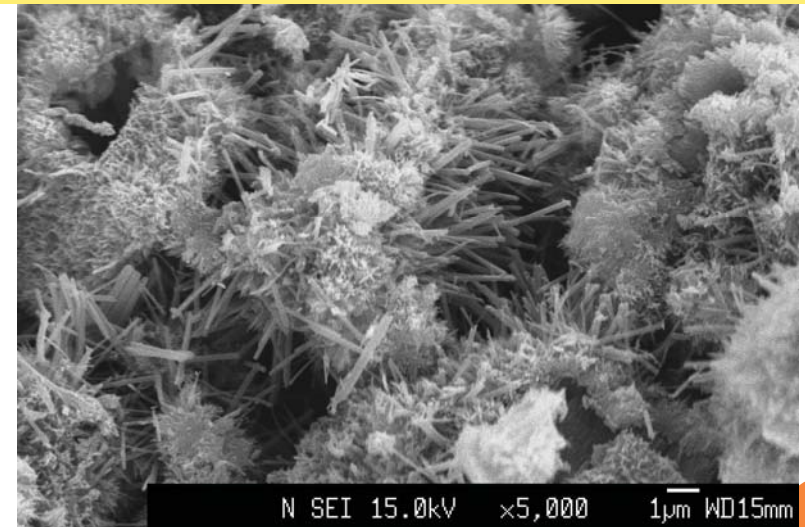
(a) フレッシュコンクリート (b) 硬化コンクリート

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



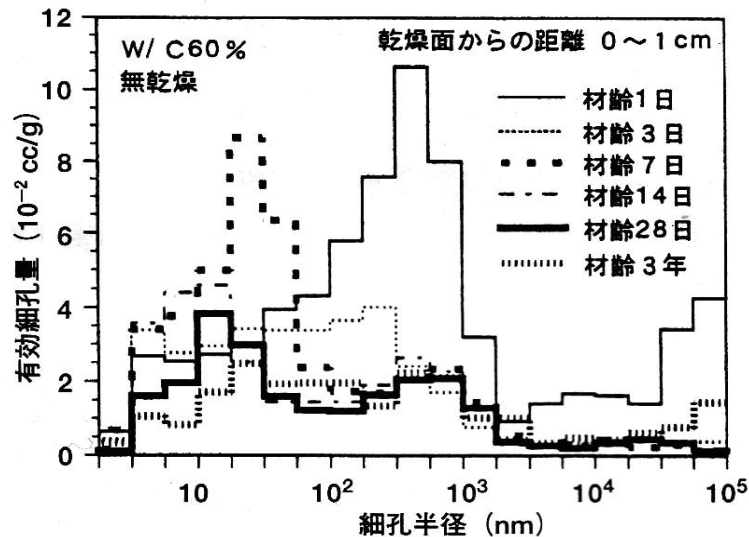
コンクリート：セメント、水、砂、砂利を混ぜて製造
硬化はセメントと水の水和反応（化学）による



N SEI 15.0kV x5,000 1μm WD15mm 16

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)

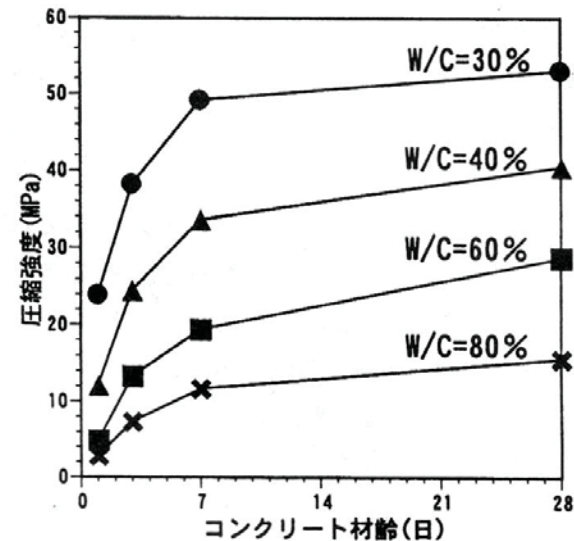
水和に伴うコンクリートの細孔径分布の変化



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



ワーカビリティ (Workability)

コンクリートの運搬、打込み作業に際し、材料分離を生じることなく、打込み、締め固め、仕上げなどの作業が容易にできる程度を示すフレッシュコンクリート（まだ固まらないコンクリート）の性質

鉄筋コンクリート造の劣化

劣化の種類

- 中性化による鉄筋腐食
（一般環境における劣化）
- 塩分による鉄筋腐食（塩害）
- 凍害によるコンクリートの膨張劣化
- アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張劣化
- 火山性腐食ガスによるコンクリートの劣化
- 酸性土壌・酸性水によるコンクリートの劣化

塩害

軍艦島



日本最古のRC造30号棟(大正15年)²⁶





長崎新聞 第24530号 (日刊) 5月17日 (日) 先着

軍艦島 国内最古鉄筋アパート 「30号棟」保存困難

世界遺産

長崎市は、世界文化遺産登録をかけた「明治日本の産業革命遺産」(本県など)の登録構成資産に含まれる軍艦島(重慶島)に残る国内最古の鉄筋(コンクリート)RC造高層アパート「30号棟」の保存は困難と判断し、倒壊寸前の状態で補修に巨額の費用が必要とされることを理由に、島の象徴といわれる貴重な建築物は将来的に消す可能性が高くなった。

調査を行って「国際記念物遺跡会議」(イコモス)は、風化が進む明瞭な保存計画の策定を求めたが、「30号棟の保存には及ばなかった」と、県庁近くにある「高島屋建設事務所」は11日、

同棟を保存整備の優先対象から外した保存計画を承認した。30号棟は1966(大正5年)築。地べた、地下、地上、階建て鉄骨構造で、建中央に吹き抜けを設け、新築造で、建築の高さを確保する専門も多し、柱の存続で残す観望の景観形成にも重要な役割を担っている。

市は島に残るアパート群のうち、

長崎市「倒壊寸前、巨費が必要」

長崎新聞社 長崎支社 〒850-8501 C 登録番号 2015 東産経通信

30





沖縄のアパートの廊下崩壊





今は供用されていない沖縄の橋梁

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
- コンクリート中の塩分（内在塩分と外来塩分の別有）に起因
= 塩害

中性化による鉄筋腐食



写真 20年前に解体した中性化による劣化建物



写真 鉄筋腐食に伴ってコンクリートが浮く



写真 コンクリートの断面(鉄筋からひびが走っているところに注目)



写真 打放しコンクリートのはつり調査(屋外側が屋内側よりも鉄筋の腐食が激しい)

中性化の進行、雨掛かりと、鉄筋の腐食の進行

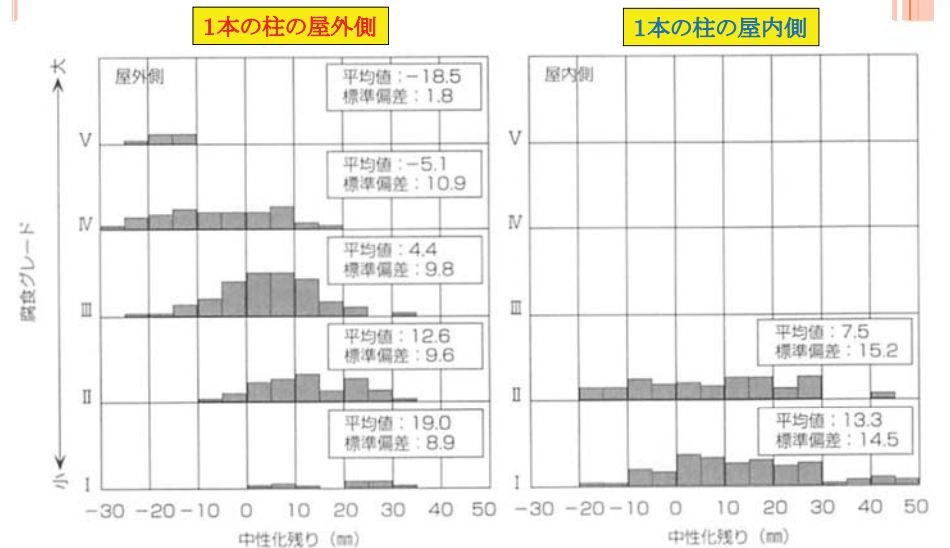


図 外側鉄筋と内側鉄筋の「中性化残りと腐食度の関係」の相違



中性化による鉄筋腐食とコンクリートの剥落

- コンクリートは、セメントの水和生成物である水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) によってpHが12~13の強アルカリ性を示し、コンクリートの中の鉄筋の表面には、厚さ2~6nm厚の水和酸化物 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) の酸化皮膜 (一般に不動態皮膜と呼ばれる) が形成される。
- このような状態では、鉄筋はこの被膜により保護されるため腐食はみられない。
- しかし、空気中の二酸化炭素 (大気中の濃度はおよそ400ppm、室内の濃度は2,000ppmを超えることもある) と水との反応によって、式のように生成した弱酸である炭酸が、コンクリート表面より徐々に水酸化カルシウムを侵して中性化し、中性物質である炭酸カルシウムを生成する。

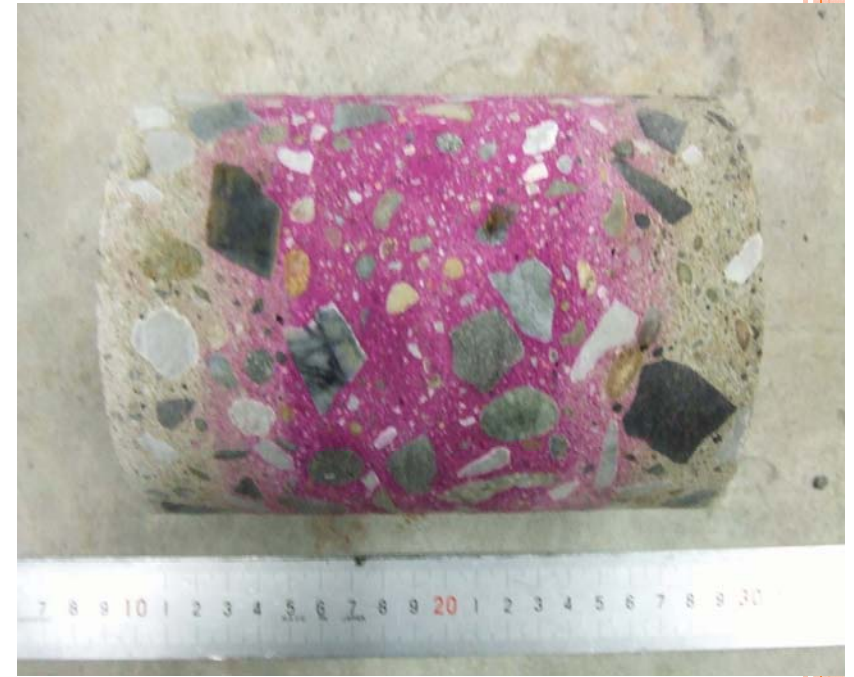


式(1)



式(2)

○ こうしてコンクリートはアルカリ性を失う



中性化予測式

$$C = A\sqrt{t}$$

C: 中性化深さ

t: 経過時間

A: 中性化速度係数(コンクリートの材料や水セメント比
仕上げ材等の要因によって変化する係数)

水セメント比が大きいとA大

含水状態小さいとA大

仕上げ材有り無し及びその密閉度が高いとA大

- 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、発錆によりおよそ**2.5倍の体積膨張**が生じる。

- ここで発生する膨張圧は、写真に示すように、かぶりコンクリートを押しだす。
- その結果、コンクリートには鉄筋まで貫通するひび割れが発生する。
- 更にひび割れを通して、酸素と水は直接鉄筋に供給され、ますます腐食は進行し、いつしか剥落することになる。



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

(中性化による)
鉄筋腐食の可能性

- 中性化の進行？
- 塗膜による二酸化炭素の遮断？
- かぶり厚？
- 水の存在？
- 塗膜による水の遮断？
- 酸素の存在？
- 塗膜による酸素の遮断？

(建設時に気をつける)
鉄筋の腐食を防ぐための基本

- ①塩化物イオンを混入させない。
＝海砂の除塩、セメント・混和剤の塩化物量にも注意
- ②二酸化炭素・塩分が透過しにくいコンクリートをつくる。
＝塩分浸透の抑制が期待される
高炉セメント・フライアッシュセメントを使う。
＝水セメント比の小さいコンクリートを使う。
- ③鉄筋のかぶりを十分とる。
- ④コンクリート表面に気密性の塗装あるいはモルタルで覆う。

表 6.1 一般環境地域における設計かぶり厚さ (mm)

設計耐用年数				30年	65年	100年
土または水に 接しない	床スラブ	屋内	仕上げあり	20	30	30
			仕上げなし	20	30	40
	屋根スラブ 非耐力壁	屋外	仕上げあり	20	30	40
			仕上げなし	30	40	50
	柱 梁 耐力壁	屋内	仕上げあり	30	40	40
			仕上げなし	30	40	50
		屋外	仕上げあり	30	40	50
			仕上げなし	40	50	60
土または水に 接しする	土または水に接する柱・梁・床スラブ・耐力壁			40	50	
	基礎・擁壁			60	70	

[注]「仕上げあり」は、コンクリートに密着する耐久性上有効な仕上材を原則とする。

注2) 設計耐用年数30年のかぶりは最小かぶり厚を示す

塗膜による 鉄筋コンクリート構造物の保護

○ただ塗ればよいわけではない!!!

塗膜の品質により効果は異なる

分類	中性化率	
複層塗材	0.32	
薄付け仕上塗材	1.02	外装薄付塗材(樹脂リシン)
厚付け仕上塗材	0.35	
塗膜防水層	0.10	アクリルゴム系
塗料	0.81	
下地調整材	0.87	



極めて安価であるが
リシンは全く効果がないと言われている



塗膜の寿命≪コンクリートの寿命

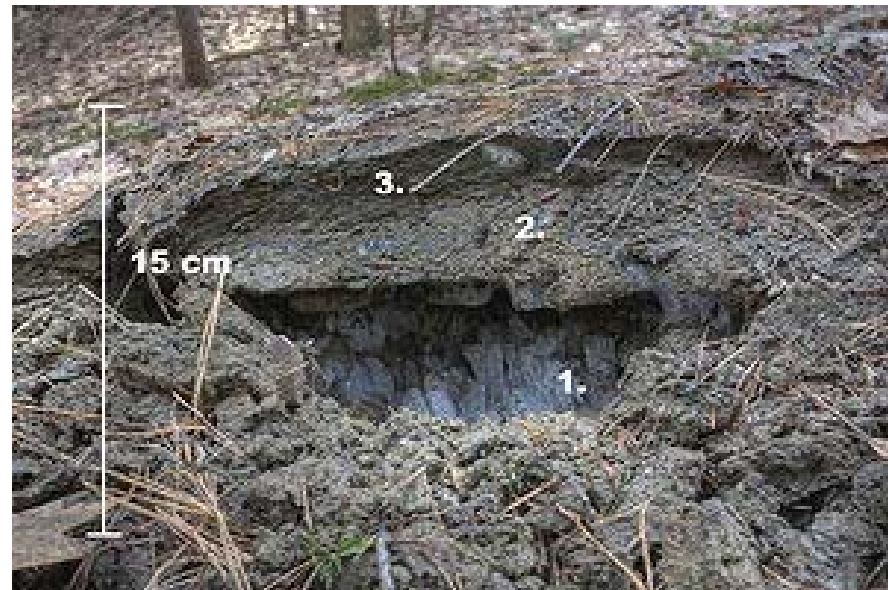
塗膜＝高分子材料は
光に弱い（ただし塗膜の種類に
より程度は異なる）



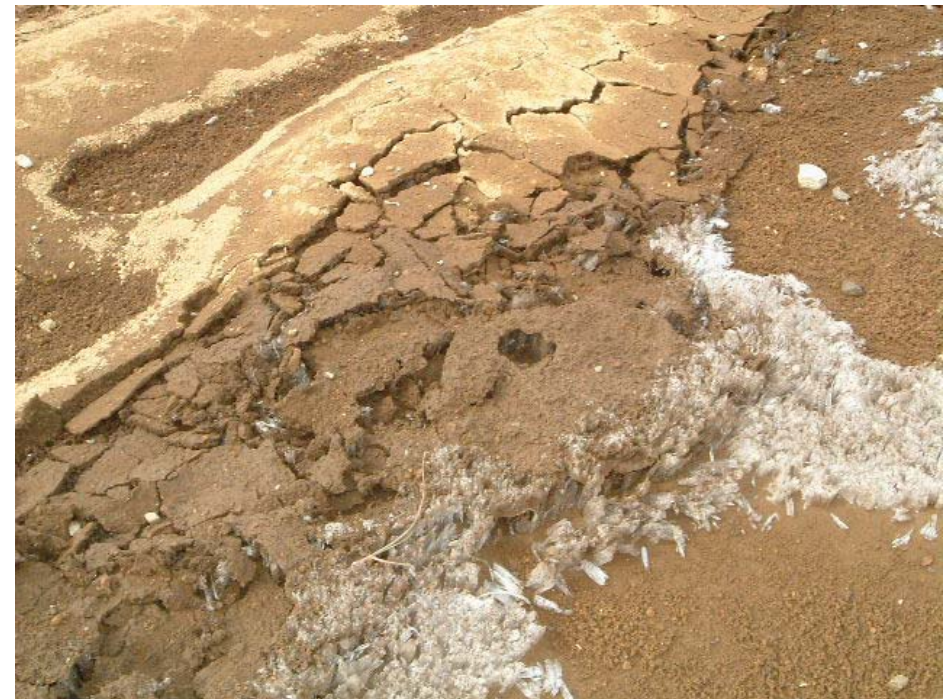
塗膜は適度の
塗り直しが必要
種類が違ってても
基本的に重ね塗りOK

紫外線によって、塗料の中の顔料(着色料)を結合している樹脂層が劣化すると、顔料(着色料)の離脱が起こり、チョークの粉のように塗膜の表面が粉状になる。これがチョーキング。

寒い地域のコンクリート 寒中施工と凍害



土壌の凍上



初期凍害

- 寒中コンクリートとは、コンクリートの打ち込み後の養生期間で凍結するおそれのある場合に施工されるコンクリートである。
- コンクリートが凝結・硬化の初期段階で凍結すると、硬化しなかったり、所定の強度が得られないなどの障害が生じる。これが初期凍害。
- 初期凍害の防止のため、圧縮強度で $5.0\text{N}/\text{mm}^2$ （メカニズム的には引張強度で $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ ）が得られるまでコンクリートを凍結させないように初期養生（ 5°C 以上を保つ）を行う。

■養生マット(温熱マット)



■簡易的な養生



鉄骨にワイヤーを張りシートにて囲い、採暖(オイルファーンエス+ビニルダクト)。



単管支柱にワイヤーを張りシートにて囲い、コンクリート打設時は採暖。

■在来(パイプ+足場板+シート)



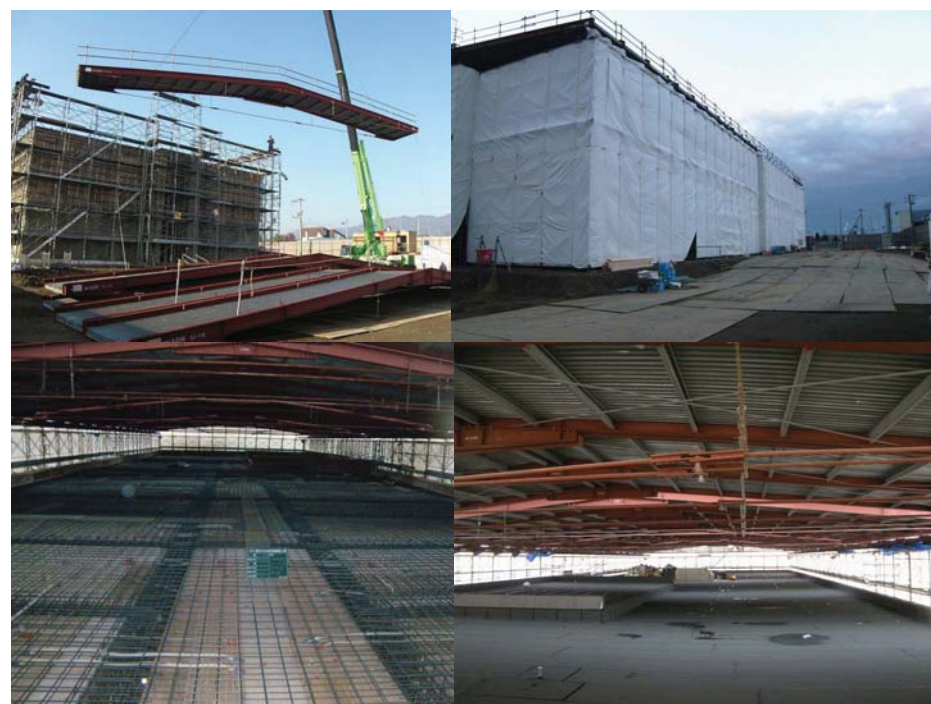
■ 在来(パイプ+足場板+シート)



■ ビーム材・足場板・シート形式



■ H鋼+折板





コンクリート構造物の凍害

Frost damage of reinforced concrete structure

凍害の劣化形態と原因

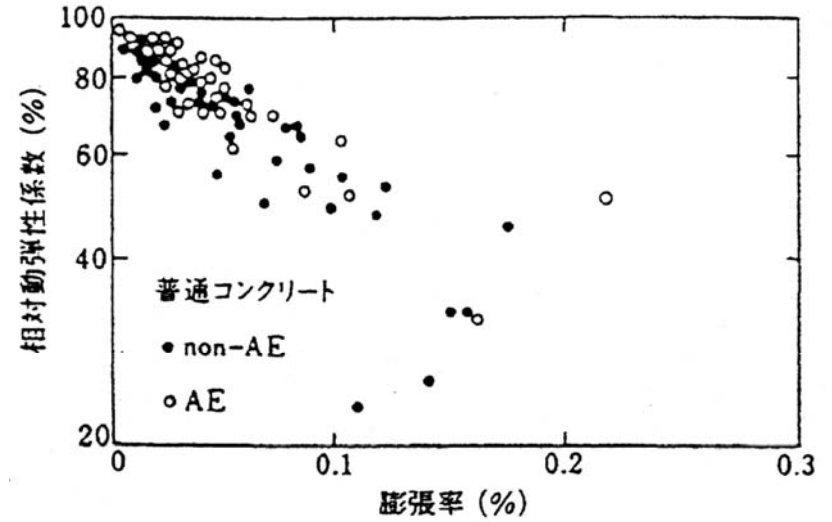
- コンクリート組織の膨張
→水分凍結によるセメントペースト組織の膨張ひび割れ
- スケーリング
→凍結融解、塩分と凍結の複合、ブリーディング水
- ポップアウト
→吸水性の高い骨材の使用、海水と凍結の複合

凍害の定義と種類

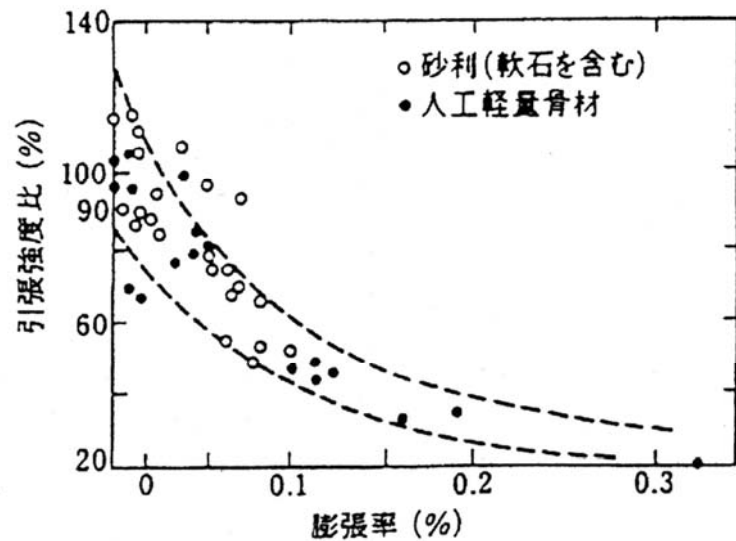


海岸構造物の凍害

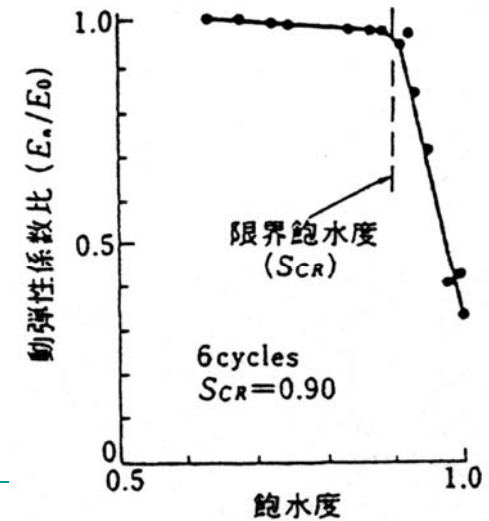
凍害による膨張と相対動弾性係数の低下との関係



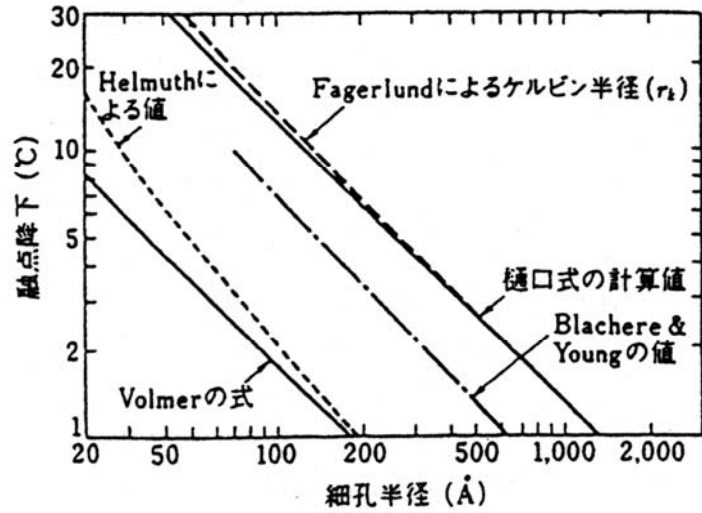
凍害による膨張と引張強度の低下との関係



限界飽水度 (その値以上の飽水度で凍害が生じる)



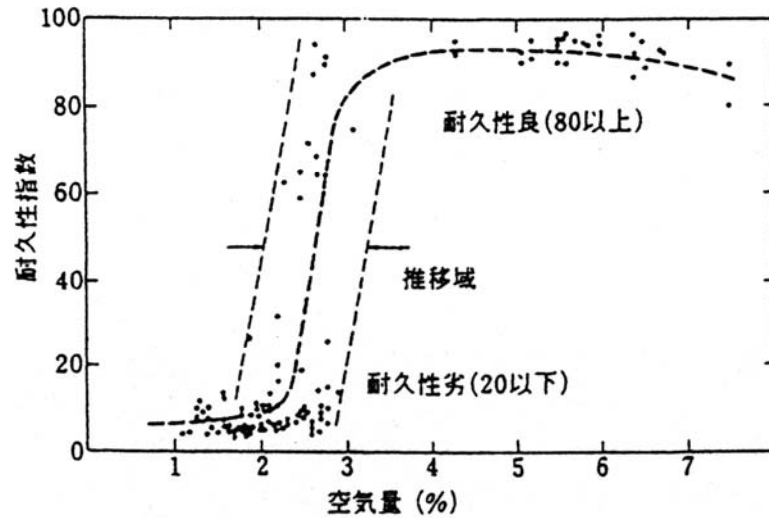
融点降下の理論式の比較



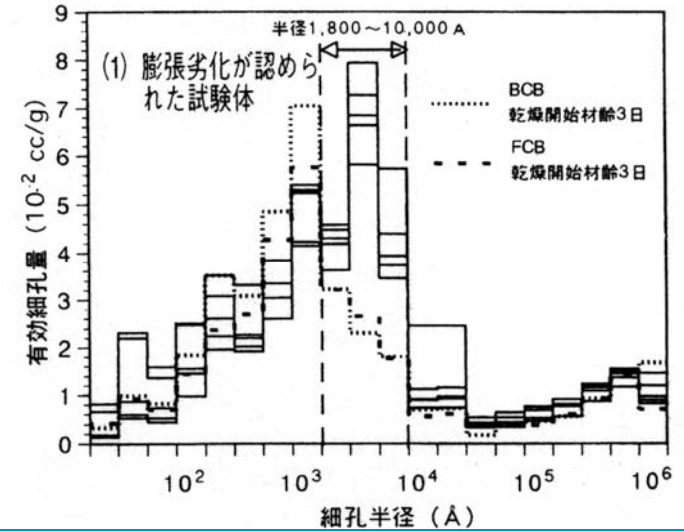
海岸倉庫の凍害



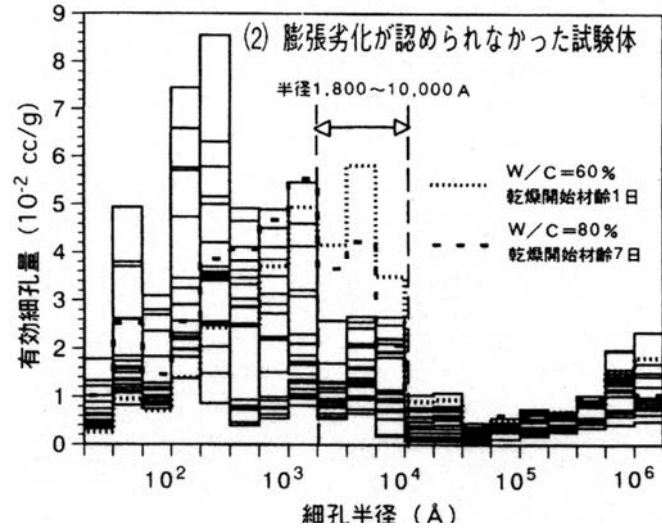
空気量と耐凍害性の関係 (Cordon and Merrill)



膨張劣化の有無と細孔径分布



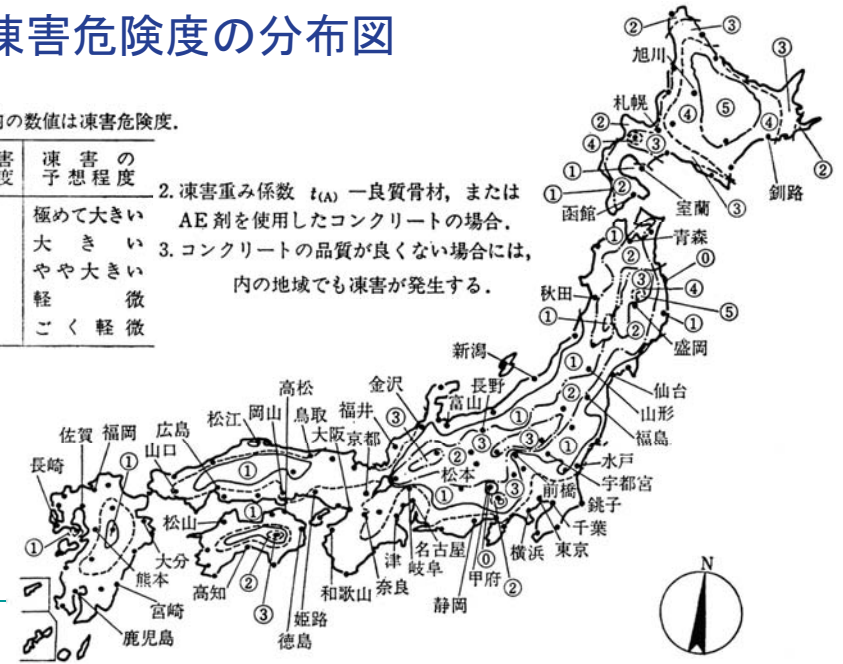
膨張劣化の有無と細孔径分布



凍害危険度の分布図

1. ○内の数値は凍害危険度.

凍害危険度	凍害の予想程度
5	極めて大きい
4	大きい
3	やや大きい
2	軽微
1	ごく軽微



凍害を受けやすい建物部位とその原因

部位	凍害発生的主要原因
突出部	軒先、ベランダ、玄関ひさし、パラペット(笠石など)、外壁柱(はり、下屋周) 凍結剥離多い、凍結温度低い、水切り不良、材質不良 (写真3、5、8)
外壁面	集合煙筒 温度ひび割れ、凍結剥離多い
	開口部周(特に下部、窓台) パラペット周 水切り不良、結露水の凍結
	多湿室の外壁部 打継ぎ部欠陥 防水層押えの剥離によるひび割れ、
	隅角部 結露水の凍結
	隅角部 温度応力によるひび割れ、凍結温度低い (写真4)
床面	排気口の下部 結露水、凍結剥離多い
	斜め外壁 水切り不良
	防水層押え 材質不良(初期凍害も多い)、含水高い (写真6)
屋外階段	材質・施工不良、凍結剥離多い、水切り不良 (写真7)

庇の凍害



隅角部の凍害



融雪水のたまりやすい場所での劣化



防水抑えの凍害



屋外階段の凍害





軽井沢の縁石
(2015.4)



北海道・タウシュベツ橋梁(2011.6)

耐凍害性に関する設計施工指針 (コンクリートの調査)

① 水セメント比の最大値

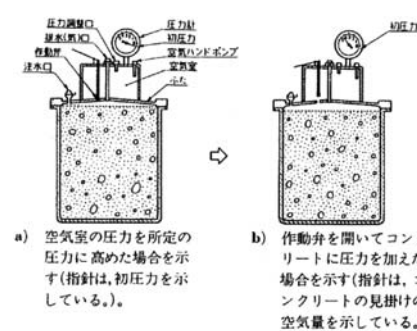
準凍害地域・一般凍害地域では55%
重凍害地域では50%とする。

② 計画調合における空気量

5%とする。ただし、その空気泡は、AE 剤、
AE 減水剤または高性能AE 減水剤を用いる
ことにより導入されたコンクリート中に均質に
分布した空気泡(エントレインドエア)でなけ
ればならない。

日本における空気量の測定方法

測定は、ISO 4848(Concrete- Determination of air content
of freshly mixed concrete- Pressure method)に準じ、JIS A
1128(フレッシュコンクリートの空気量の圧力による方法
—空気室圧力方法)による。



耐凍害性に関する設計施工指針 (コンクリートの骨材)

① 吸水率

準凍害地域では、
細骨材3.5%以下 粗骨材3.0%以下
一般凍害地域・重凍害地域では、
細骨材3.0%以下 粗骨材2.0%以下とする。

② 骨材の安定性損失質量

細骨材10%以下 粗骨材12%以下とする。

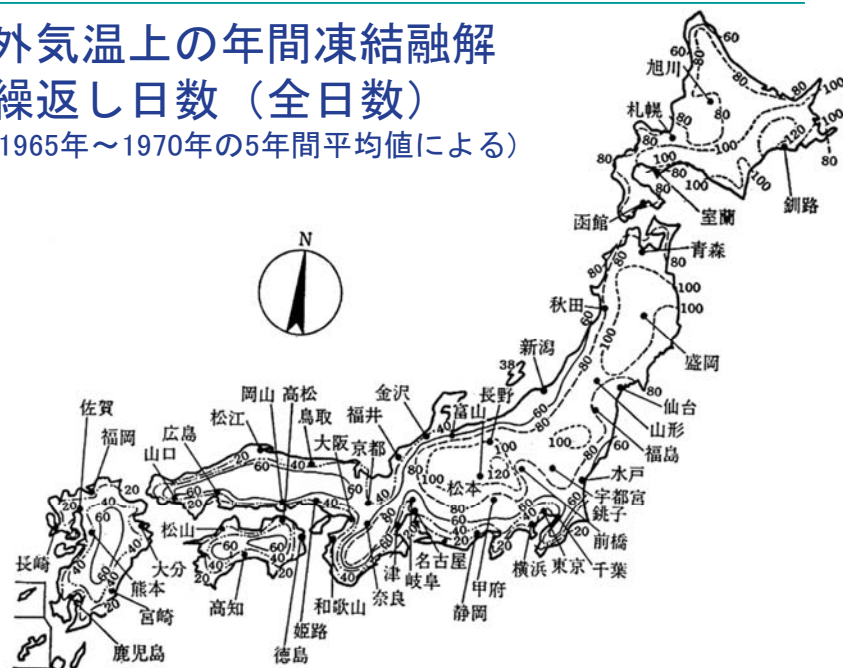
凍害危険度分布の考え方

気象条件による凍害危険度

- ① 算出は主として気象資料によって行う
- ② 各地域の年間凍結融解繰返し可能日数を求める
- ③ 凍結融解時の氷点下の温度差による凍害の差を考慮する
- ④ 凍結融解時の湿潤程度(含水程度)を考慮する

外気温上の年間凍結融解 繰返し日数 (全日数)

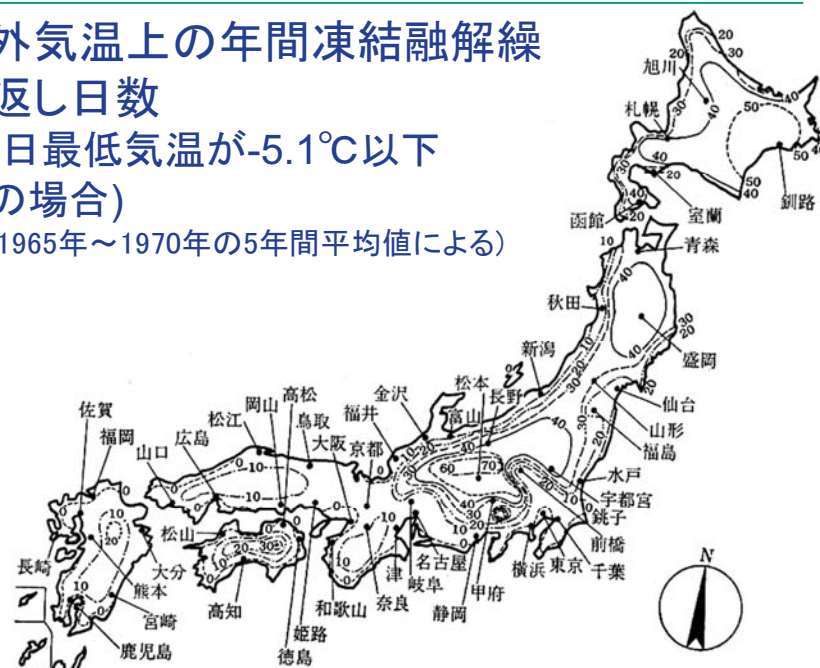
(1965年～1970年の5年間平均値による)



外気温上の年間凍結融解繰 返し日数

(日最低気温が -5.1°C 以下
の場合)

(1965年～1970年の5年間平均値による)

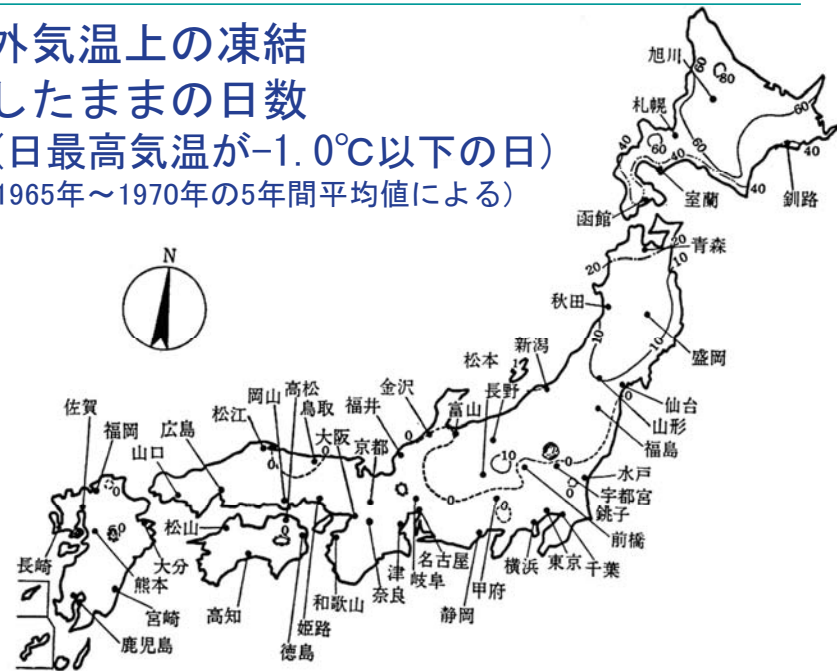


外気温上の凍結

したままの日数

(日最高気温が -1.0°C 以下の日)

(1965年~1970年の5年間平均値による)



日射による融解を加えた

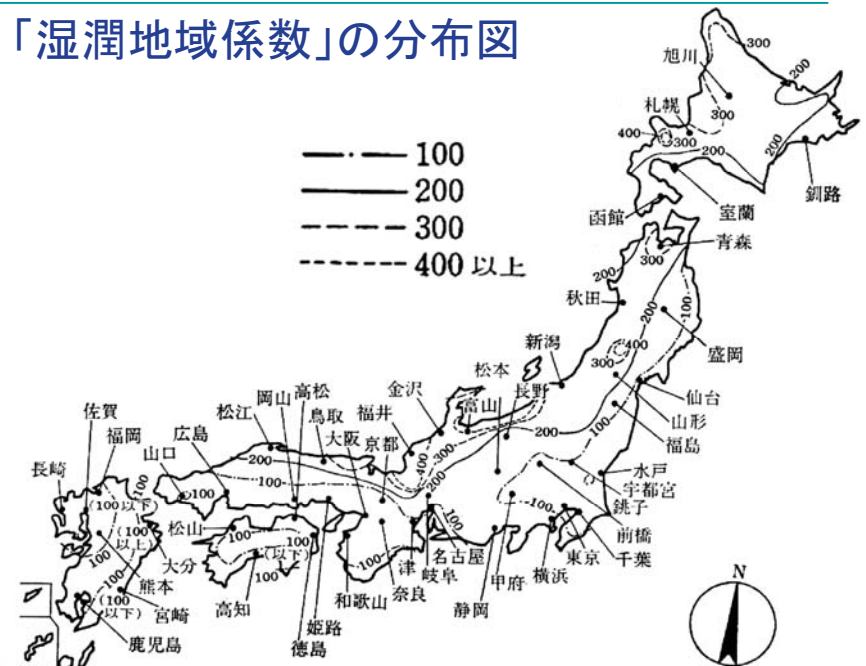
全凍結融解日数



日射量の多い面が融解数が多いので劣化が激しい



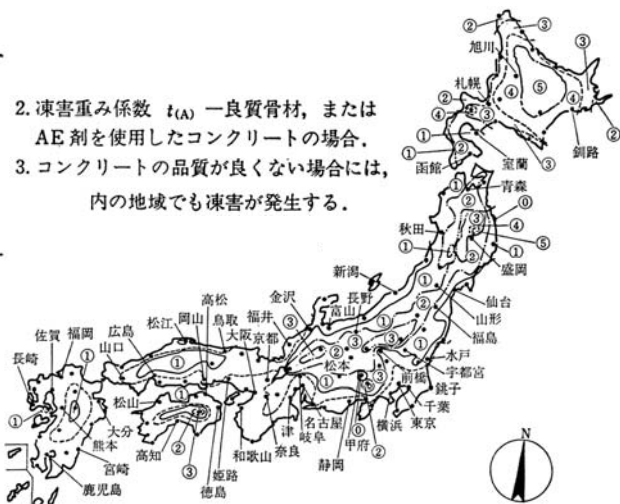
「湿潤地域係数」の分布図



日本におけるコンクリートの凍害危険度

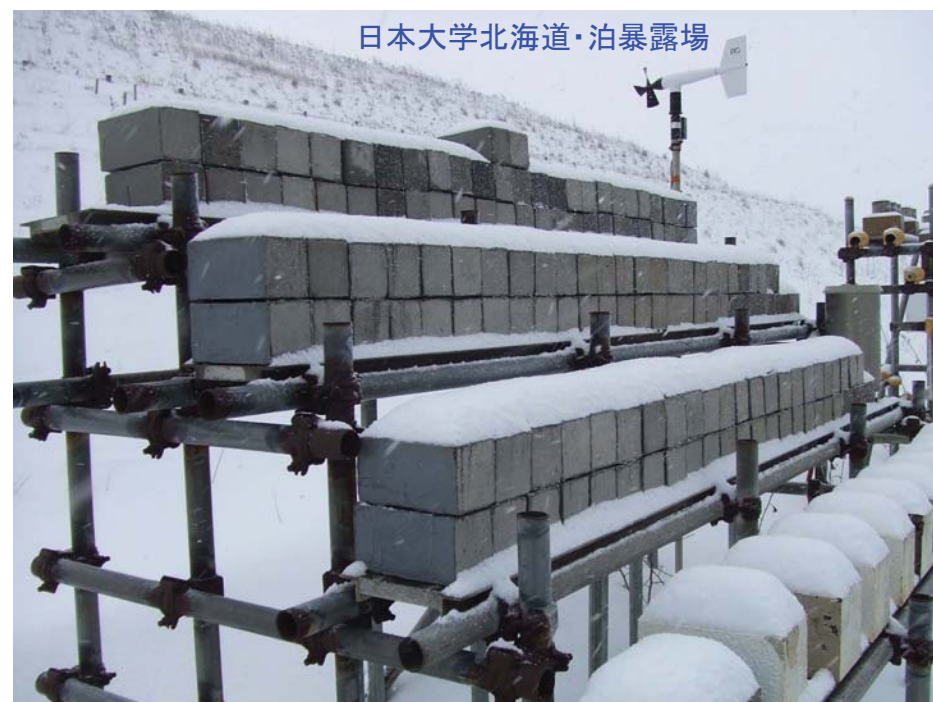
1. ○内の数値は凍害危険度.

凍害危険度	凍害の予想程度
5	極めて大きい
4	大きい
3	やや大きい
2	軽微
1	ごく軽微



凍害を防ぐための基本

- ① 微細な独立気泡(エントレインドエア)を適度に連行するとともに水セメント比をできるだけ小さくし密実な組織とする。
- ② 吸水率が大きく耐凍害性が小さい骨材を使わない。
- ③ 水をコンクリート中にしみ込ませない。



アルカリシリカ反応による劣化



アルカリ骨材反応への注目例

NHK「クローズアップ現代」

2003年4月10日(木)放送

鉄筋破断の衝撃

～問われるコンクリートの安全性～

鉄筋コンクリートの安全性を脅かす現象「鉄筋の破断」が、近畿や北陸の道路橋脚15カ所で見つかった。原因は、アルカリ骨材反応というコンクリート内部の膨張によって、鉄筋が引きちぎられたためと考えられる。

砂などに含まれる珪物とセメントが化学反応を起こし、膨張する現象である。従来は鉄筋があるから構造上は問題ないとされてきたが、今回の調査結果を受け「建築物が条件によっては崩壊してしまう危険性もある」と専門家は語る。今回の発見は、別目的の補修作業中の偶然にすぎない。事態を重く見た国土交通省は3月、緊急調査を指示した。しかし外見からの破断発見は難しく、その補強法も模索中だ。社会インフラ全体の見直しに繋がりがかねない「鉄筋破断」について考える。



アルカリ骨材反応とは

アルカリ骨材反応にはアルカリシリカ反応とアルカリ炭酸塩反応の2種類の反応がある。コンクリート中のアルカリは、セメントに由来するものがほとんどだが、長石などの骨材や化学混和剤から供給されるアルカリ、また海水や融雪剤など外部からの供給もある。

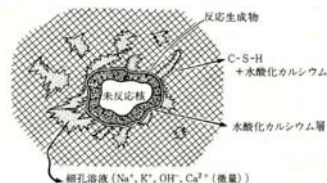
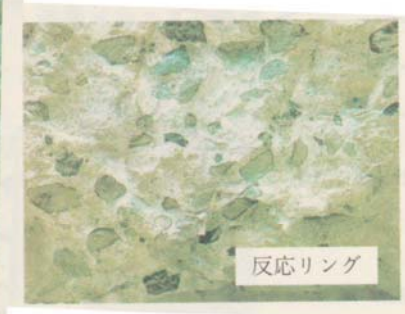


図-3.7 モルタル中で反応進行中の反応性シリカ粒子の模式図

●アルカリシリカ反応 反応性シリカ珪物であるトリディマイトやクリストバライト、非晶質なシリカガラス、および潜晶質石英などが、コンクリート中の水酸化アルカリと反応することをいう。アルカリシリカ反応は、骨材とセメントペーストの界面で起こる反応により生成されたアルカリシリケートゲルが吸水することによって起こる膨張である。アルカリシリカ反応による劣化過程は、1) 化学反応によってアルカリ・シリカゲルが生成される過程と、2) ゲルが吸水する物理化学的な過程に分離される。

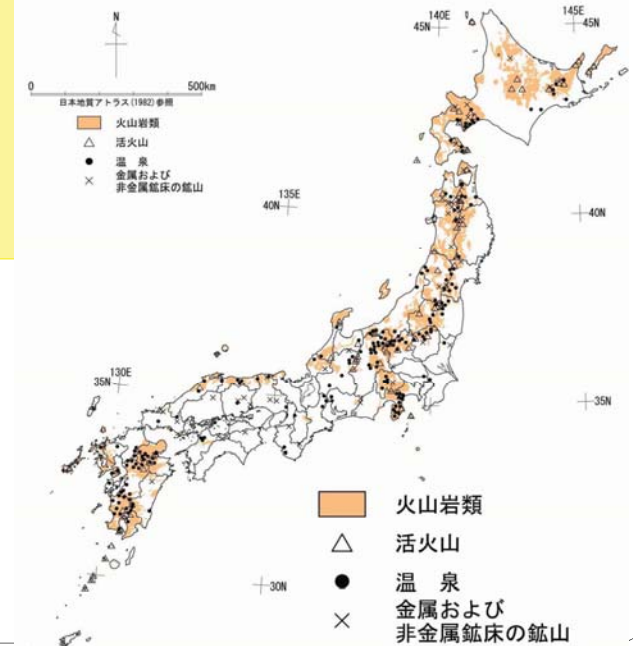




特殊な環境

火山性腐食ガス・地盤

火山活動 および 鉱床による 腐食性地盤



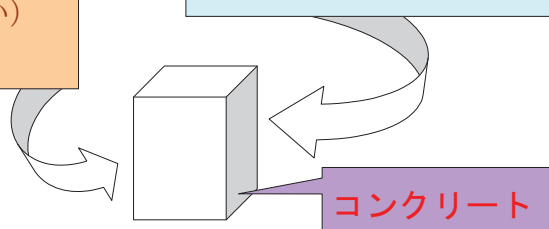
火山活動および鉱床による劣化要因

【火山活動による】

地熱
噴気ガス
温泉水
(pHが低い)
(析出物多い)

【鉱床による】

野積みした鉱滓
坑道からの廃水
表流水の多少



三宅島







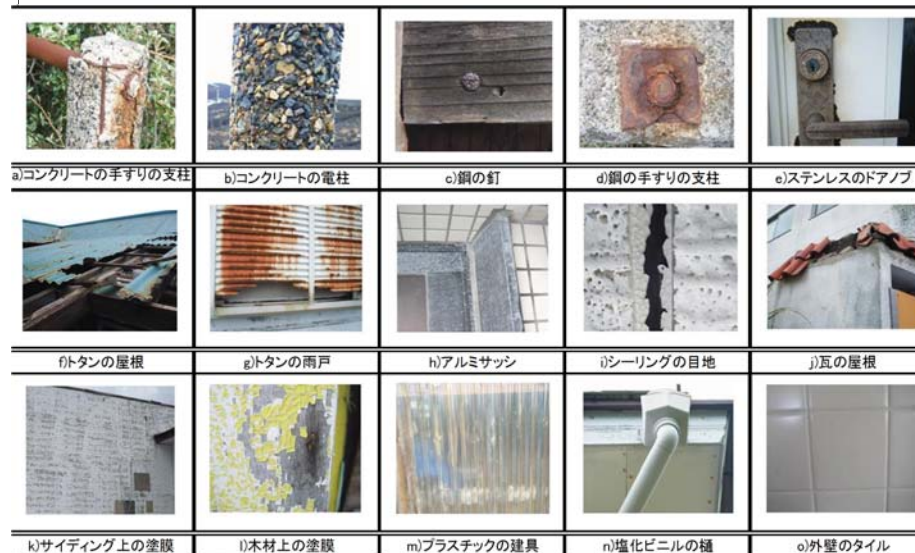




北海道川湯温泉：塗膜のふくれ



三宅島



pHが3以下の強い酸性温泉地の下流に位置する砂防ダムの腐食例

【土壌環境とコンクリート】



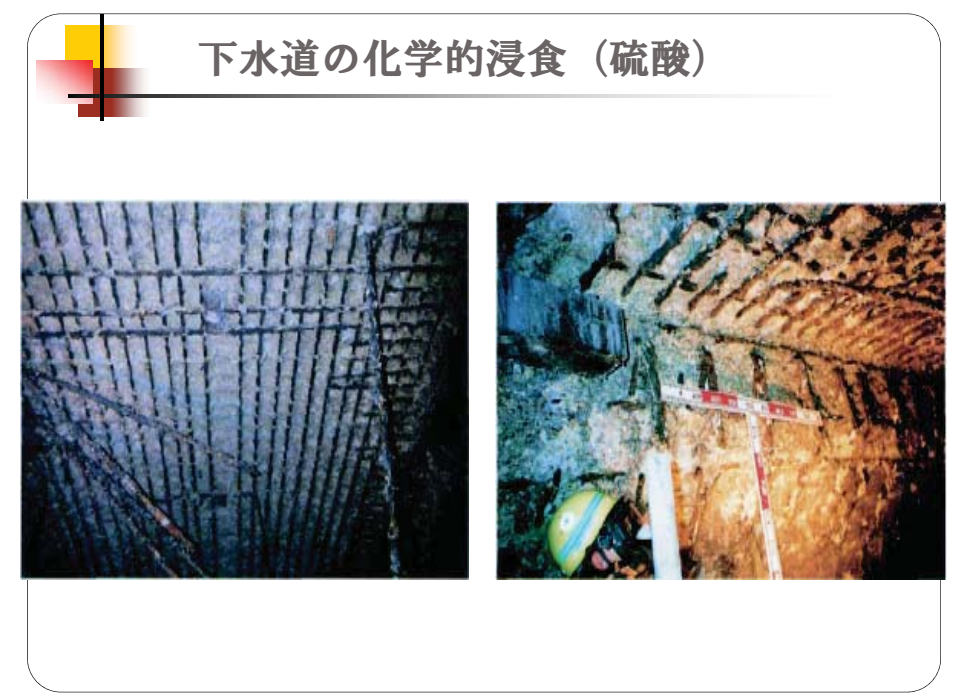
pHが3以下の強い酸性温泉地の下流に位置する砂防ダムの腐食例その2

【土壌環境とコンクリート】

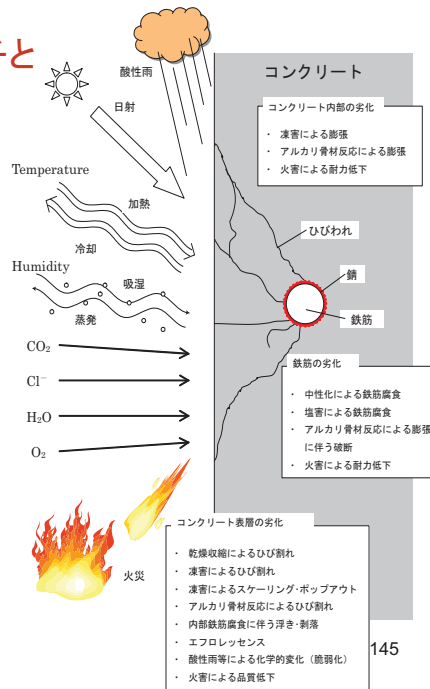
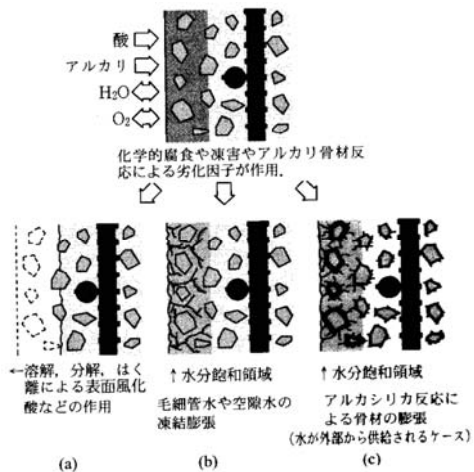
草津の温泉



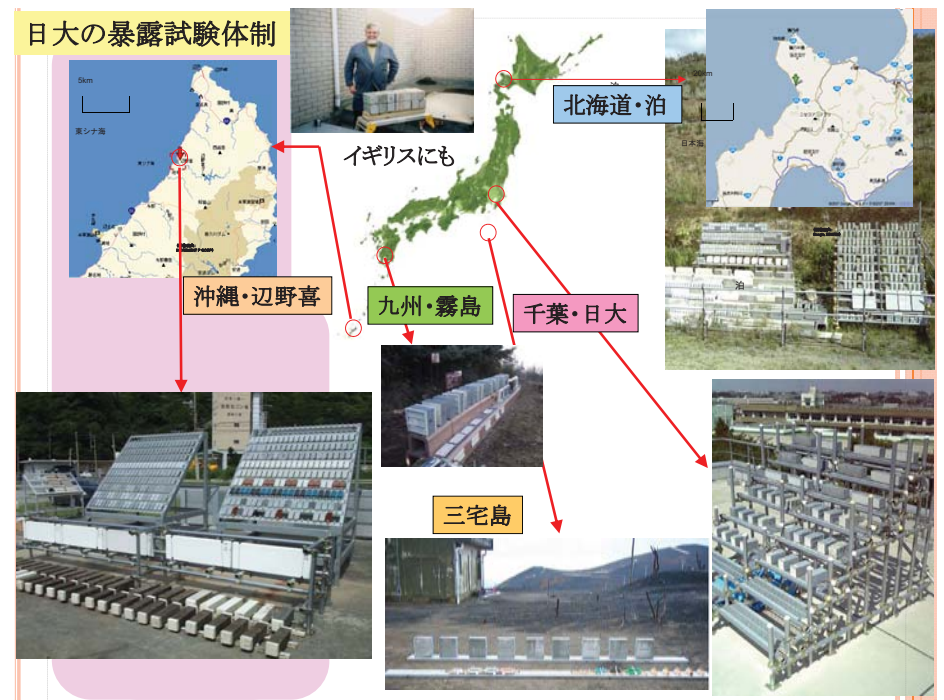
草津の温泉



コンクリートを取り巻く劣化因子とその劣化現象



日大の暴露試験体制



既存建物の維持保全の前にまずやるべきこと

○耐震診断→

OUTの場合、耐震補強
もしくは建て替え

- アスベスト調査→有る場合、除去
(封じ込めは薦めない)

これからの維持保全にむけて

- スクラップ&ビルトの時代・・・今でも。。

壊し新たな建物をつくるための口実

中性化深さ=かぶり厚

をもって建物の**寿命**

- それは建物の寿命なのか・・・**違う!**

癌が発見されただけ。

現状を**理解し手当**をすれば

延命ができる

(使用中に気をつける) 鉄筋の腐食を防ぐための基本

①検査体制の確立

日常的:目視検査(不具合頻発なら抜本的対策に)

定期的:中性化深さの確認

早い内に確認:実際のかぶり深さ

実際の圧縮強度(≒組織の緻密度)

やばいと思ったら:腐食度確認

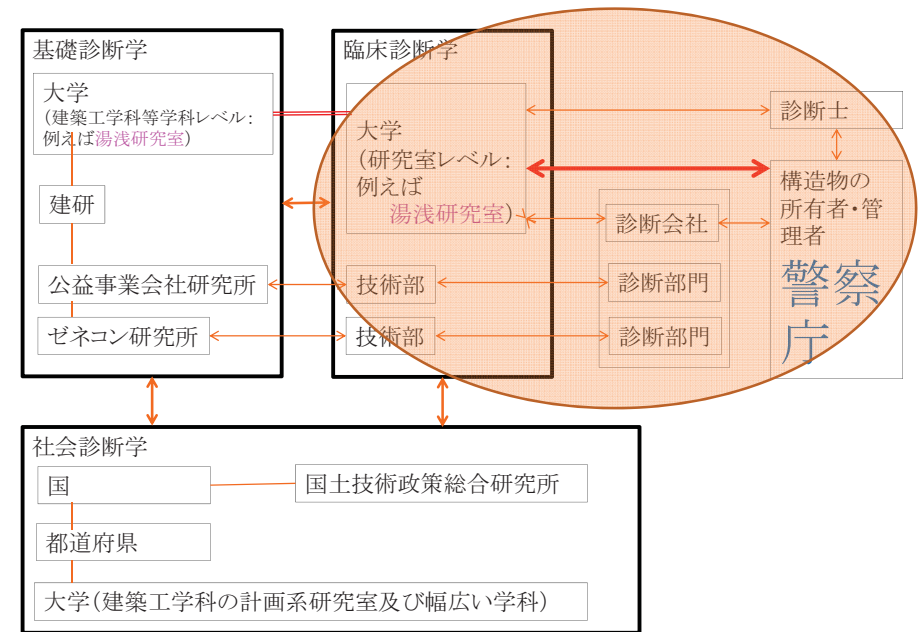
②定期的な補修

悪いところは早い内にコンクリートも塗膜も補修

無人の山岳施設では。。。

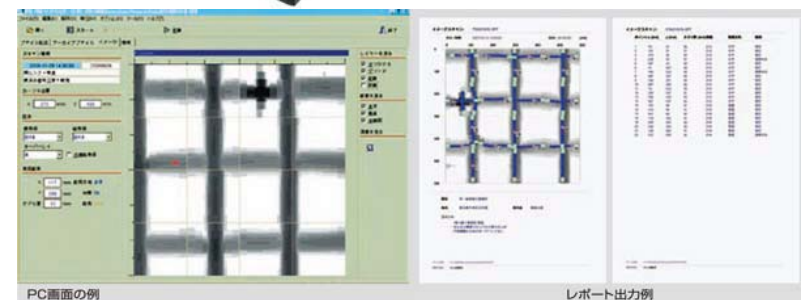
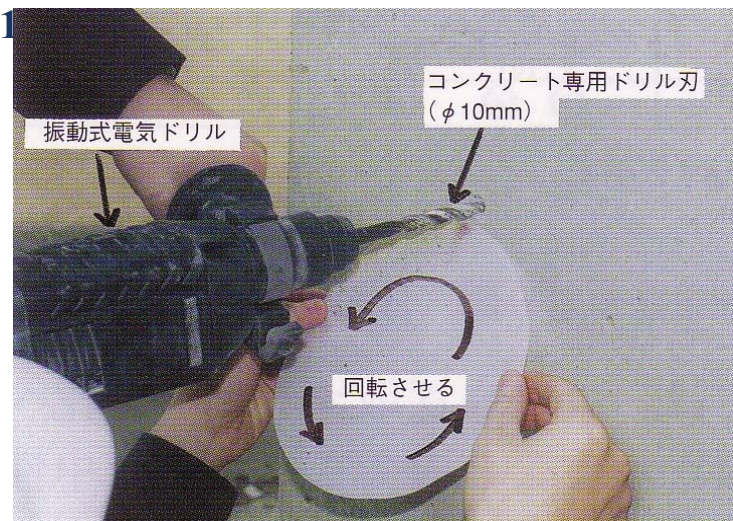
窓・ドアから内部への風雨の浸入を防ぐことから

→軍艦島を思い出そう。



ドリル削孔粉による中性化測定方法

◆ 日本非破壊検査協会規格:NDIS 3419-



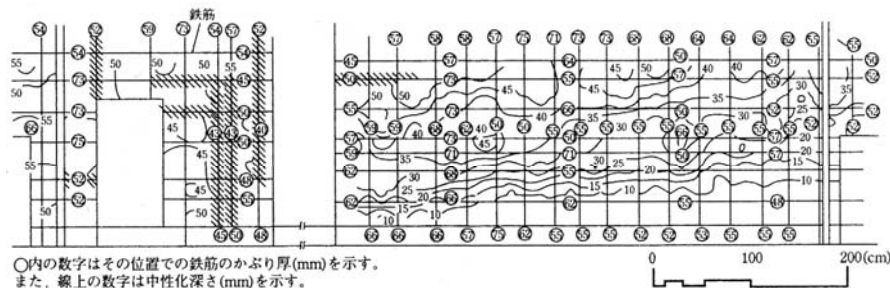


図-3 中性化深さの分布とかぶり厚（日本大学生産工学部旧10号館2階東側壁）



写真3 交流インピーダンス測定器

ASTM規格による鉄筋腐食

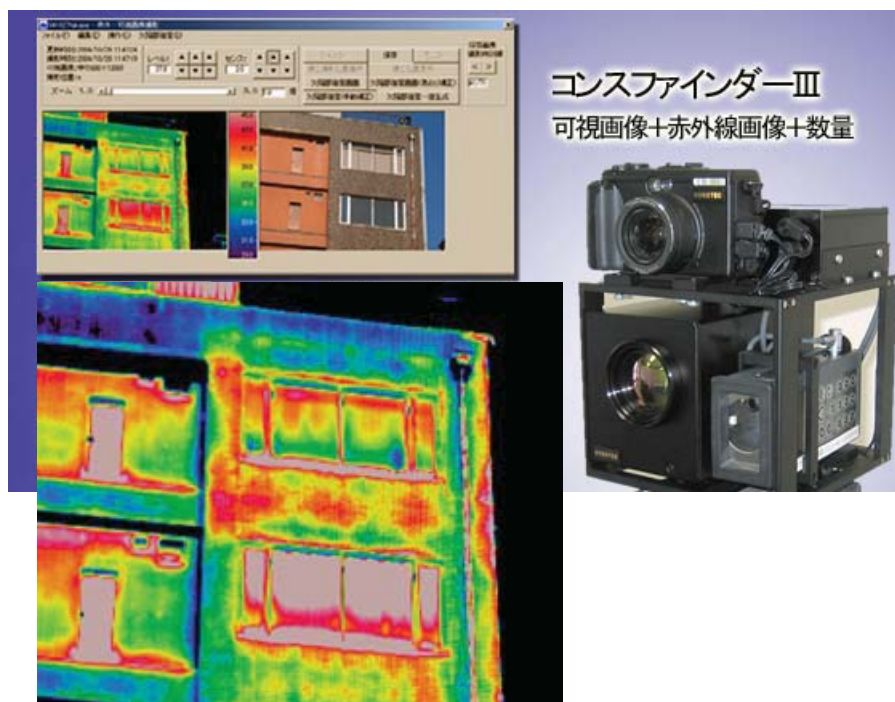
自然電位 E_{corr}	コンクリート中の鋼材腐食の可能性
$-200\text{mV} < E_{corr}$	90%以上の確率で腐食なし
$-350\text{mV} < E_{corr} \leq -200\text{mV}$	不確定
$E_{corr} \leq -350\text{mV}$	90%以上の確率で腐食あり

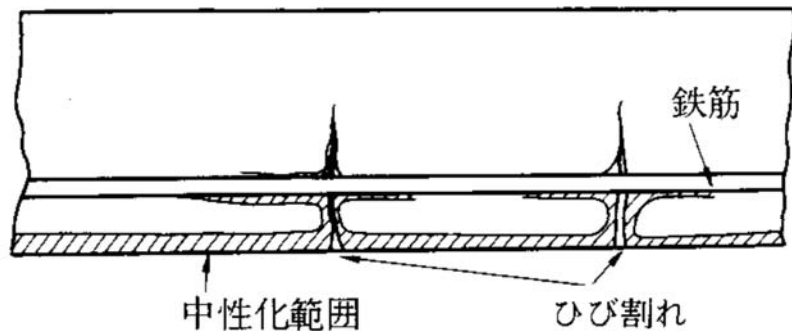
CEB規格による判定基準

分極抵抗測定値 R_{ct} ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$)	腐食速度推定値		腐食速度の判定
	腐食電流密度 I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	腐食速度 (mm/year)	
130より大	0.2未満	0.0023未満	不動態状態(腐食なし)または極めて遅い腐食速度
52以上130以下	0.2以上0.5以下	0.0023以上0.0058以下	低～中程度の腐食速度
26以上52以下	0.5以上1以下	0.0058以上0.0116以下	中～高の腐食速度
26未満	1より大	0.0116より大	激しい、高い腐食速度

コンクリートのひび割れ

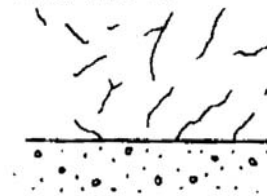
- 塩害／中性化がもたらすひび割れとひび割れがもたらす塩害／中性化
- 凍害／アルカリシリカ反応のひび割れ、ひび割れとひび割れによる助長
- ひび割れの原因



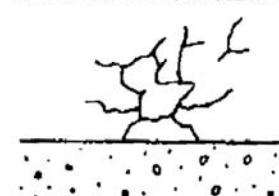


解説図-2.3.10 ひび割れによる中性化の進行

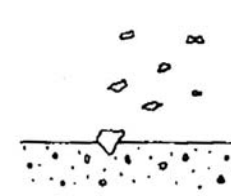
A1. セメントの異常凝結：
短く、不規則なひび割れが比較
的に発生する。



A4. 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。



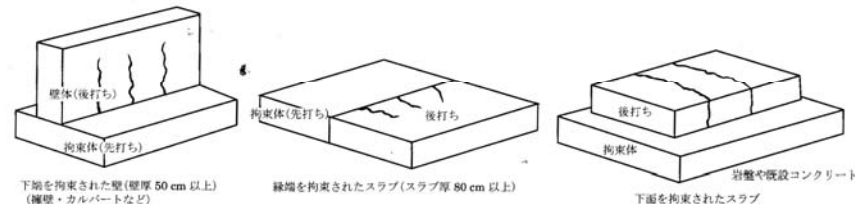
A5. 低品質な骨材：
ポップアウト状に発生する。



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）

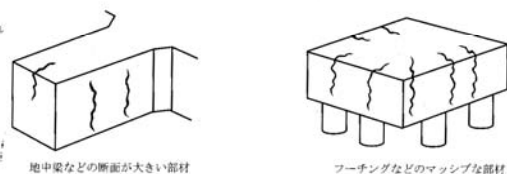


下端を拘束された壁（壁厚 50 cm 以上）
（擁壁・カルバートなど）

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）

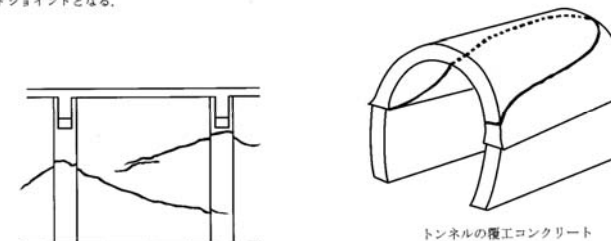


地中梁などの断面が大きい部材

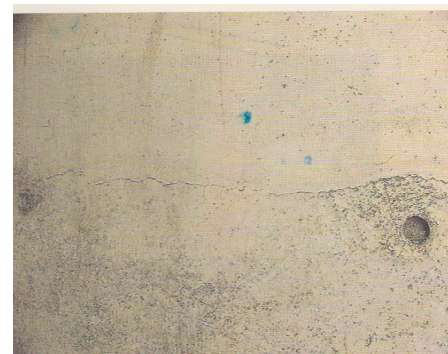
フォーミングなどのマッシュな部材

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

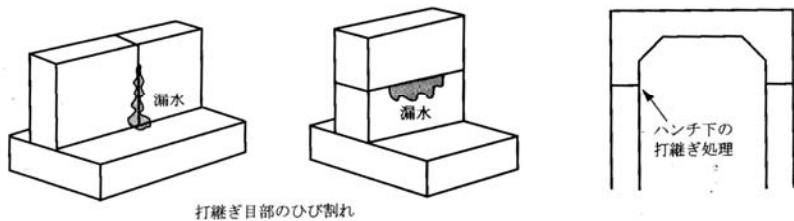


軽度（対応する補修は解説図-6.2.4 参照）コールドジョイントの例

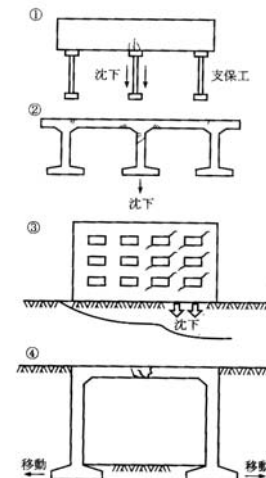
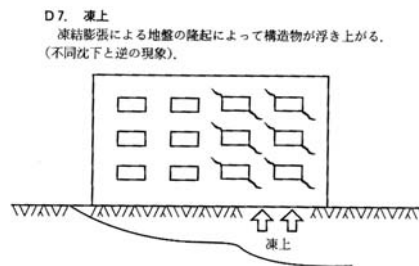


重度（対応する補修は解説図-6.2.4 参照）コールドジョイントの例

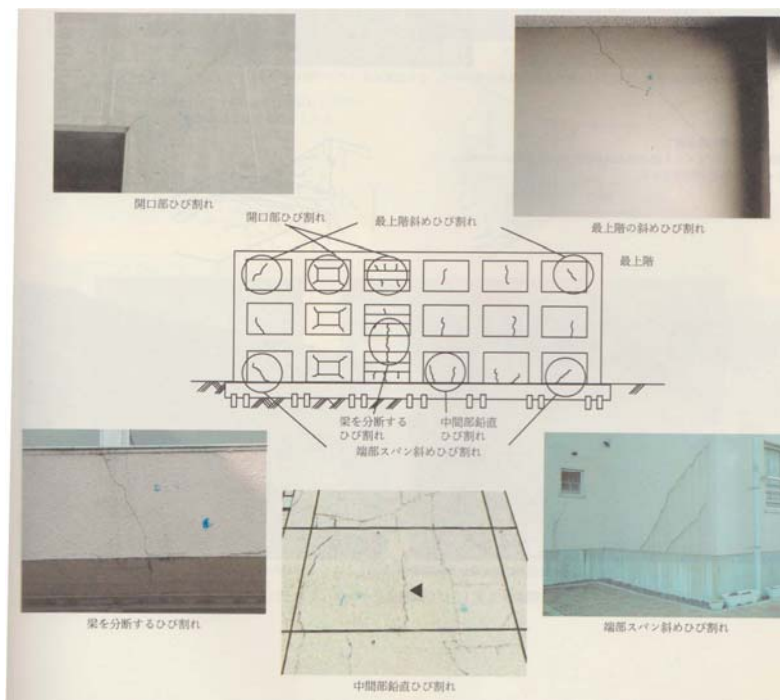
B 10. 不適当な打継ぎ処理



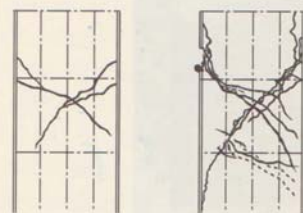
D 6. 構造物の不同沈下
ラーメン等の不静定構造物では支点の不同沈下によって、図のようなひび割れが発生することもある。



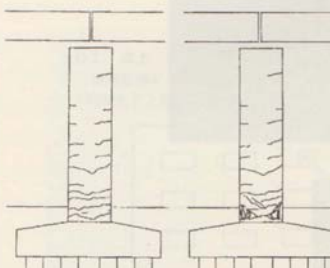
環境温度
・湿度の変化



D 4. 設計荷重を超える短期的な荷重



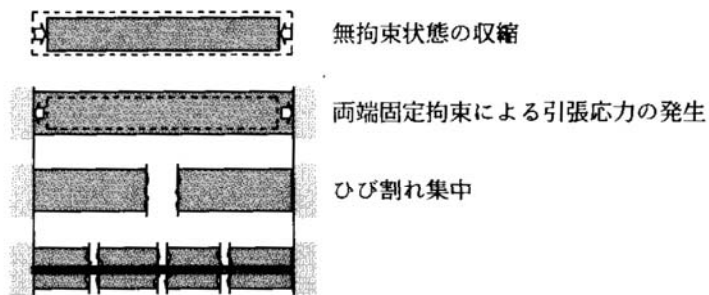
昭和 55 年道路橋示方書適用前 (せん断破壊)



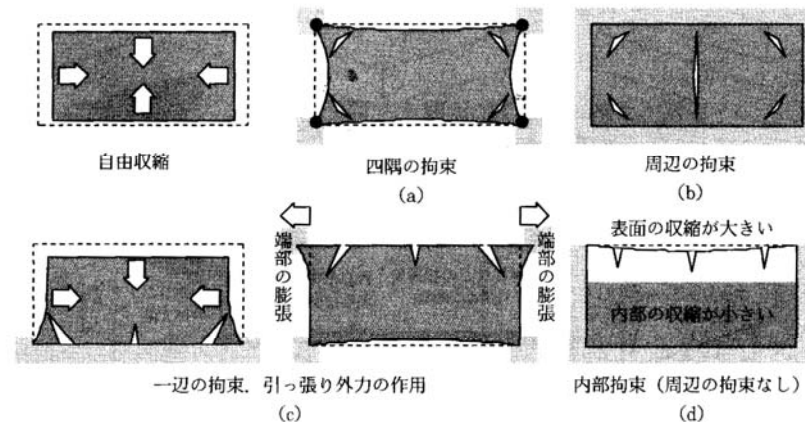
昭和 55 年道路橋示方書適用後 (曲げ破壊)



解説図-3.3.1 ひび割れのパターン (その 13)

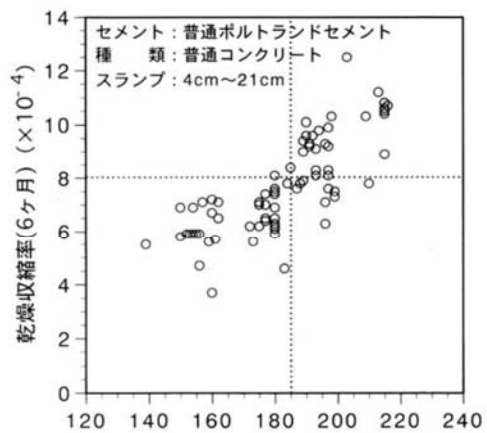


参考図-3.2.2 材齢経過時の収縮ひび割れの発生・進展メカニズム概要：梁



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

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

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?)

ひび割れと漏水

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

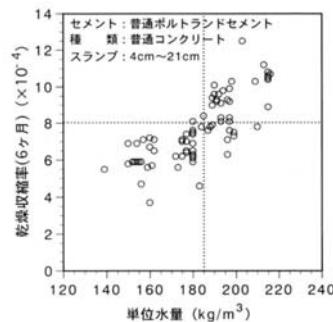
記号	記号の説明	単位	屋上	地下室	海底トンネル (青函トンネル)
K_c	透水係数	cm/s	50~1,000 × 10 ⁻¹² (注)		
A	流れの断面積	cm ²	10,000 (= 1 m ²)		
ΔH	水頭差	cm	10	1,500 (地下5階)	24,000 (240m)
L	コンクリートの厚さ	cm	10	20	50
Q	透水量	cm ³ /s (cm ³ /h)	5~100 × 10 ⁻⁷ (1.8~36 × 10 ⁻³)	3.8~75 × 10 ⁻⁵ (1.4~27 × 10 ⁻¹)	2.4~48 × 10 ⁻⁴ (0.86~17)

(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。

169

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、1m³1時間当たりせいぜい0.036cm³・・・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17cm³・・・これはウイスキーシングルの半分。。。



しかし、コンクリートは乾燥収縮する＝乾燥収縮率800μm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