

## コンクリートの性質 第9回

### 各種コンクリート

- ・暑中、寒中コンクリート
- ・高強度コンクリート
- ・高流動コンクリート
- ・水中コンクリート
- ・ポーラスコンクリート
- ・繊維補強コンクリート

### 耐久性

- ・中性化
- ・塩害
- ・凍害

### 【暑中コンクリート】

日平均気温が25℃以上では、暑中コンクリートとして施工しなければならない。

#### 注意点

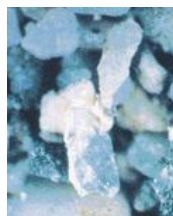
1. 凝結が早まるため、コールドジョイントが出来やすい。
2. 同一スランプを得るための単位水量が増すため、長期強度の発現が悪くなる。
3. 表面の水分の急激な蒸発によるひび割れや温度ひび割れも発生しやすい。

### 暑中コンクリートの対策

1. 発熱を小さくする(中庸熱、低熱ポルトランドセメント)
2. 打込み温度を下げる(35℃以下とする。  
プレクーリング:材料を冷やす)
3. 遅延形のAE減水剤や減水剤を使う
4. 十分に散水する
5. 直射日光が当たる場合は、覆いをかける



20℃の砂粒子  
表面水がある



-140℃の砂粒子  
表面水は凍っている



### 【寒中コンクリート】

日平均気温が4℃以下では、寒中コンクリートとして施工しなければならない。

#### 注意点

1. 凝結硬化の初期に凍結させない。
2. 養生終了後、暖くなるまでに受ける凍結融解作用に対して十分な抵抗性を保持させる。
3. 工事中の各段階で予想される荷重に対して十分な強度を確保させる。

### 寒中コンクリートの対策

1. 普通ポルトランドセメントを使用する
2. AE剤やAE減水剤を使用する
3. 打込み温度を5～20℃で設定する。
4. 水や骨材を温める。
5. 給熱養生、保温養生を行う。



### 【高強度コンクリート】

設計基準強度60N/mm<sup>2</sup>以上のコンクリート  
(高強度コンクリート設計施工指針(案)による)  
cf. 普通コンクリート 30N/mm<sup>2</sup>

平成15年12月20日、JIS改正(JIS A 5308)  
高強度コンクリートがJIS化された。

種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプまたはスランプフロー	呼び強度		
			50	55	60
高強度コンクリート	20、25	10、15、18	○	—	—
		50、60	○	○	○

技術的には、  
 圧縮強度150~200N/mm<sup>2</sup>のコンクリート(超高強度コンクリート)も作製可能である



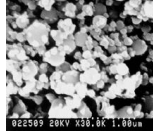
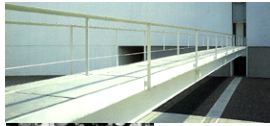
品川プリンスホテル新館  
 規模: 地下2階、地上39階  
 実績: 59N/mm<sup>2</sup>のコンクリート



ペトロナスツインタワー  
 クアラルンプール(マレーシア)  
 1997年  
 452m 88階立て  
 80N/mm<sup>2</sup>のコンクリートを使用

高強度コンクリートを使用する利点

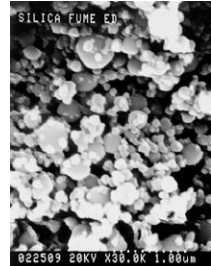
1. 断面を小さくできる。
2. 構造物を大型化あるいは高層化できる。
3. PC構造との組合せにより、桁では自重を小さくできる。



スーパーブリッジ  
 竹中技術研究所(千葉県)  
 98N/mm<sup>2</sup>のコンクリート

高強度コンクリートの製造方法

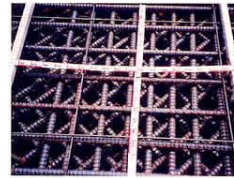
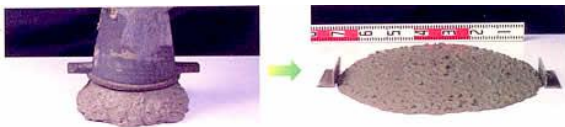
1. 高性能減水剤を使用する方法
2. オートクレーヴ養生による方法
3. ポリマーを用いる方法
4. シリカフェームを用いる方法



【高流動コンクリート】

フレッシュ時の材料分離抵抗性を損なうことなく流動性を高めたコンクリート

締固め作業を行うことなく、型枠などのすみずみまで材料分離を生じることなく充填できる(自己充填性)。



高流動コンクリートの種類

・粉体系

粉体量の増加により材料分離抵抗性を高めたものであり、粉体としては、普通ポルトランドセメント、フライアッシュ、シリカヒューム以外に高ビーライト系ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、石灰石微粉末などが用いられる。

・増粘材系

コンクリートの粘性を増す粉末状の材料を使用し、材料分離抵抗性を高めたもの。

・併用系

上記2つの方法を併用し、材料分離抵抗性を高めたもの。

なお、流動性を確保するには、高性能減水剤あるいは高性能AE減水剤の使用が不可欠である。



セルロース系の増粘材

高流動コンクリートの品質評価

- ・流動性 →スランプフロー
- ・材料分離抵抗性 →評価法なし
- ・自己充填性 →評価法なし



Vロート試験



東急東横線 目黒駅 複々線化工事

1日300m<sup>3</sup>程度 全体で6000m<sup>3</sup>

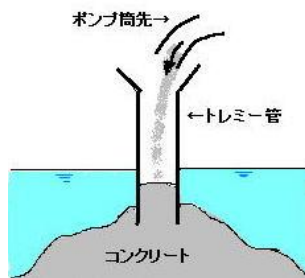
【水中コンクリート】

淡水中あるいは海水中で施工するコンクリート

水中コンクリートの施工方法

- ・一般的な水中コンクリート  
トレミー、ポンプを使用した連続施工方法
- ・水中不分離性コンクリート
- ・プレパックドコンクリート

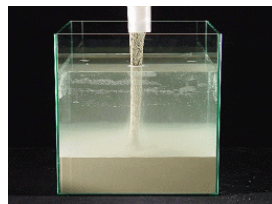
1. トレミーによる水中コンクリートの打込み
  - 1)水セメント比は50%以下を標準とする。
  - 2)単位セメント量は370kg/m<sup>3</sup>以上を標準とする。
  - 3)静水中に打込むのを原則とする。3m/min以下
  - 4)コンクリートは水中に直接落下させない。



2. 水中不分離性コンクリートの打込み
 

水中不分離性混和剤(セルローズ系、アクリル系)を用いた材料分離抵抗性を高めたコンクリート  
水中に直接落下させてもセメントの流失がほとんどない。

  - 1)粗骨材の最大寸法は40mm以下を標準
  - 2)空気量は4%以下を標準
  - 3)水中落下距離は50cm以下、水平移動距離は5m以下



3. プレパックドコンクリートの打込み

あらかじめ骨材を型枠に詰め、その空隙に特殊なモルタル(注入モルタル:セメント、フライアッシュ、細骨材、混和剤、水)を注入して得られるコンクリート

混和剤にアルミニウム粉末+減水剤+遅延剤を用いることもある。

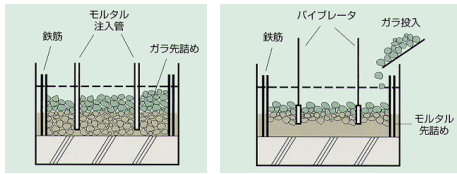
- 1)空気が混入しないように連続施工する
- 2)注入管の先端はモルタル上面から0.5~2m挿入した状態を保つ



明石海峡大橋



関西国際空港



### 【ポーラスコンクリート】

粗骨材にセメントペーストまたはモルタルをまぶして附着させ、連続もしくは独立した空隙を多く含むコンクリート



### ポーラスコンクリートの特徴

- 1)空隙率5~35% (粗骨材の種類により変化)
- 2)透水性、透気性に優れる
- 3)強度が低い (構造物としての利用が困難)

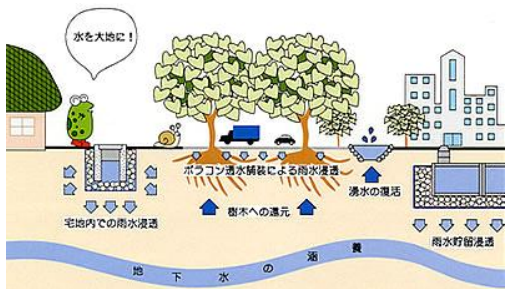


- ・緑化、生物の生息地の提供
- ・雨水等の排水

施工直後

15ヶ月後

施工後15ヶ月後にはコンクリートが見えない程植物が生い茂り、さらに護岸をしっかりと守る自然にとっても優しい環境資材です。



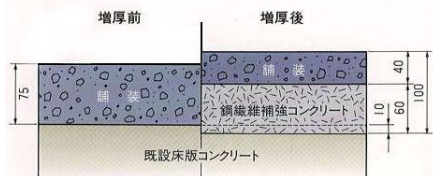
### 【繊維補強コンクリート】

コンクリートの引張強度、曲げ強度、ひび割れ強度、靱性または耐衝撃性などの改善を目的として、不連続の短い繊維を一様に混入させたコンクリート

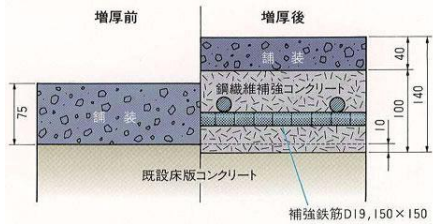


鋼繊維

1 補強鉄筋を用いない場合



2 補強鉄筋を用いる場合



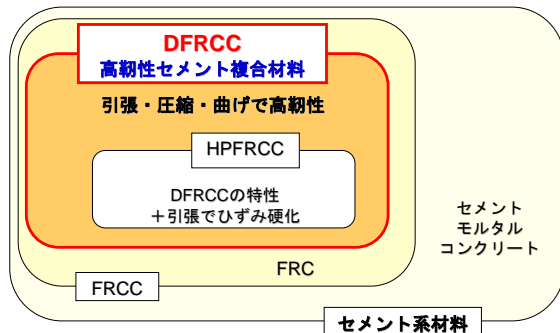
「高靱性セメント複合材料の概要」



高靱性セメント複合材料

(Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites)

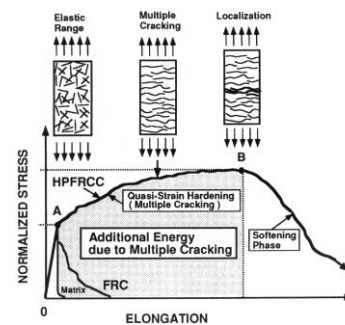
高靱性セメント複合材料 (DFRCC)



包含関係：FRCC > DFRCC > HPFRCC

HPFRCC

• Naaman & Reinherdt が HPFRCC-2, HPFRCC-3 において定義



HPFRCCの引張特性概念図

DFRCCに使用される繊維の例



PVA①  
φ: 40.8μm  
Lf: 15.0mm

PVA②  
φ: 39.0μm  
Lf: 12.0mm

ポリエチレン  
φ: 12.0μm  
Lf: 10.0mm  
~15.0mm

スチールコード  
φ: 405.0μm  
Lf: 32.0mm



DFRCC



高強度コンクリート

DFRCCとは、コンクリート(モルタル)に高分子の繊維を混入したもの。

ex. PVA繊維やポリエチレン繊維

DFRCCは、高靱性であることから、現在、補修・補強への利用が進められている。

コンクリートの性質

耐久性

- ・中性化
- ・塩害
- ・凍害



中性化

# 1. 中性化とは

中性化：  
セメント硬化体のアルカリ性が低下する現象

# 2. 中性化による劣化事例

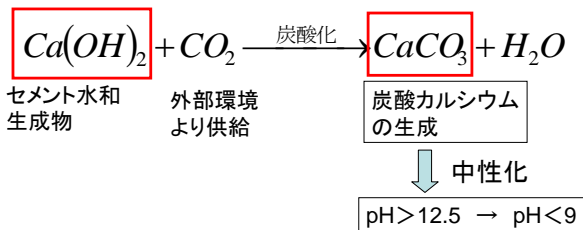
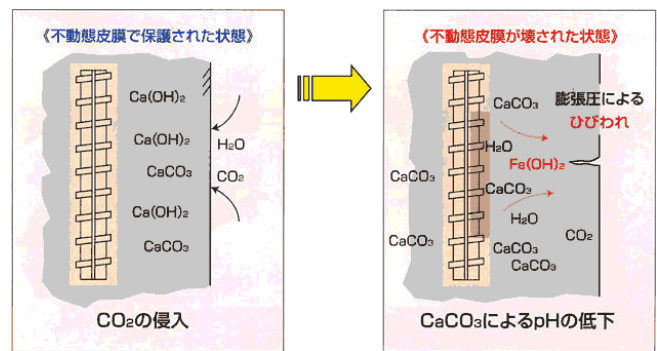


中性化による鉄筋腐食



建設後10年  
かぶり20mm

# 3. 中性化による劣化過程(メカニズム)



- ① 細孔中の水分が逸散した空隙に、二酸化炭素が侵入する。
- ② 細孔内に侵入した二酸化炭素が細孔溶液中に溶解し、炭酸イオン(あるいは重炭酸イオン)となる。
- ③ 炭酸イオンと水酸化カルシウムから供給されるカルシウムイオンが反応し、炭酸カルシウムが生成される。また、他の水和物や未水和セメントも炭酸化する。
- ④ 炭酸化により、細孔溶液のpH低下および細孔構造の変化が起きる。
- ⑤ pHの低下に伴い、鉄筋表面の不動態皮膜が消失し、水分と酸素の供給により腐食が生じる。
- ⑥ 腐食が進行すると、コンクリートにひび割れが生じる。腐食量はコンクリートの強度、かぶり、鉄筋径等に依存する。
- ⑦ ひび割れを介した酸素等の供給量の増加により、さらなる腐食が進展し、これによりひび割れの拡大やかぶりの剥離が生じる。また、鉄筋の断面欠損により耐荷力の低下等が生じる。

# 4. 中性化を発生させる要因

- ### 4.1 材料
- (1) 水セメント比  
水セメント比が大きいと、中性化しやすい。
  - (2) 混和材  
混和材の使用は、中性化しやすい。
  - (3) コンクリートの乾燥具合  
コンクリートが著しく乾燥している場合は、中性化しにくい。
- ### 4.2 環境
- (1) 炭酸ガス濃度  
濃度が濃いほど、中性化しやすい。
  - (2) 温度、湿度  
温度、湿度が高いほど中性化しやすい。

# 5. 硬化コンクリートの中性化試験

フェノールフタレイン溶液(1gを無水アルコール65cm<sup>3</sup>に溶かして水を加え100cm<sup>3</sup>とする)をコンクリート面に噴霧し、赤紫色に着色しない部分を測定する。

コンクリートをはつってフェノールフタレイン溶液を吹き付け、中性化深さを判定する。赤茶色に見える部分は、セメント中の鉄分が酸化されてできた水酸化鉄の層で、コンクリートがpH4以下になっていることを示す。水酸化鉄は、セメント中の鉄分が酸化されて生成する



赤 → 中性化していない

# 塩害

## コア抜き

コンクリートの中性化の状況や塩分量、アルカリ骨材反応を調べる際は、コンクリートからコアを採取して試験するのが一般的だ。非破壊検査に比べて正確に劣化状況がわかるので、非破壊検査の結果で問題がありそうな部分だけコア抜きをして、詳細な試験を実施することが多い。圧縮強度を正確に測定する際にも必要だ。



上: 橋脚のコア抜きをしている様子  
左: コンクリートの中性化の状況調べるために、採取したコアをフェーラルフクレイン測定した後の状況。色が変わっていない範囲(左側)から10cm程度の深さまで中性化が進行している

## 1. 塩害とは

### 塩害:

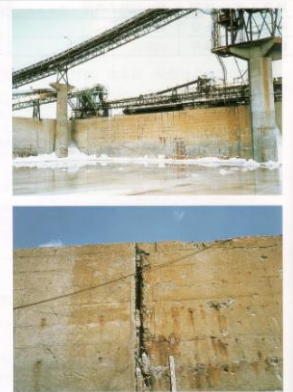
コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンの存在により促進される現象

鋼材の腐食により、鋼材に沿うひび割れを生じるとともに、著しい場合は、鋼材伸び能力の低下、鋼材断面積減少による耐荷力の低下等につながる。

## 2. 塩害の劣化事例

損傷・劣化原因	酸・塩類の作用(塩分)
構造物・部位	工場の貯塩槽
構造物の立地条件	内陸部

工場の貯塩槽の壁が塩分の進入により鉄筋腐食が生じた。



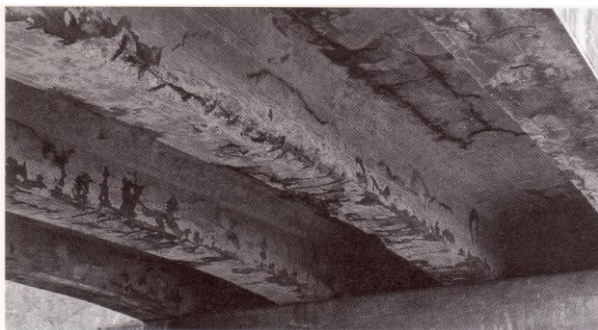
損傷・劣化原因	塩害
構造物・部位	栈橋
構造物の立地条件	海岸

梁スラブ構造の栈橋で、梁の鉄筋が腐食して膨張し、ひび割れが生じた。

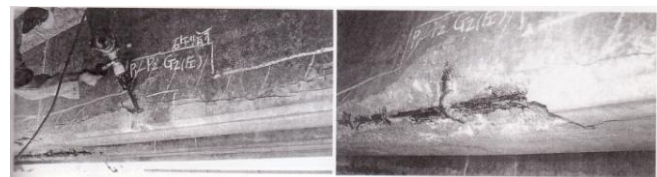


損傷・劣化原因	塩害
構造物・部位	栈橋
構造物の立地条件	海岸

栈橋に塩化物が進入し、梁鉄筋の側面に沿って鉄筋腐食によるひび割れ、ならびに、梁底面のかぶり部分の剥離が生じた。



塩害で劣化した橋桁  
かぶりコンクリートが剥落し、鉄筋が露出している。



左: 比較的軽微なひび割れに見える個所をはつっているところ。概観からは内部の損傷状況を判断するのは難しい。

右: 左の桁をはつった後の状況。鋼材の腐食がかなり進行している。



左：鉄筋の腐食により、かぶりコンクリートが剥落している。  
 右：腐食した鉄筋に沿って大きなひび割れが生じている。

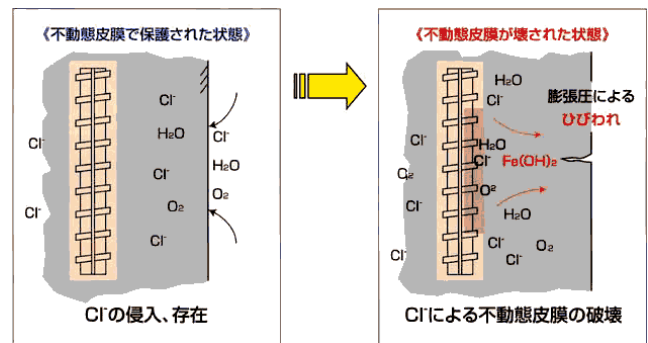


塩害で劣化した栈橋の床版  
 かぶりコンクリートが剥落し、鉄筋が露出している。  
 床版は桁に比べてかぶりが小さい場合が多く、広い範囲で剥落しやすい。



図 3.6 塩害とコンクリートの劣化[1]

### 3. 塩害の劣化過程(メカニズム)



### 鋼材の塩化物腐食

鋼材の腐食反応は、液相中で生じる。

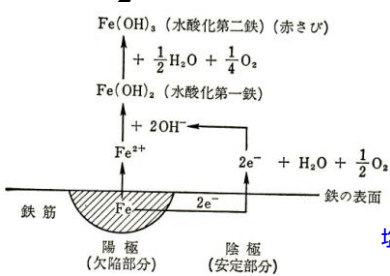
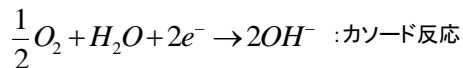
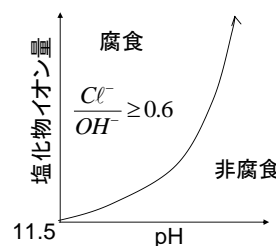


図 4.1 鉄筋の腐食反応機構

塩化物イオンの役割  
 不動態被膜の破壊作用  
 腐食電流の流れやすさ

### 4. 鋼材の塩化物腐食に影響を及ぼす各種要因

#### 4.1 塩化物イオン



材料中に許容する塩化物イオン量  
**0.6kg/m³**前後

環境作用により浸透する塩化物イオン量  
**1.2kg/m³**程度  
 ←腐食発錆限界濃度

土木学会による塩化物イオン量の規定値  
**0.3kg/m³**以下



## 4.2 環境条件

温度  
湿度  
乾燥湿潤の程度  
海水飛沫のかかり方  
海塩粒子の飛来量 など

### 海洋環境

- ・海中
- ・飛沫帯
- ・大気中

最も腐食作用  
が厳しい

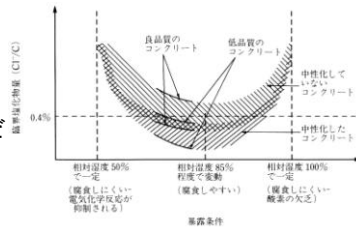


図 3.15 湿度とコンクリート品質が塩化物イオン量へ与える影響 (Schiesl 1985, FIP 1991)

## 4.塩害に対する調査方法

### 硬化コンクリート中の塩分の分析方法 (JCI-SC4-1987)

全塩化物量、可溶性塩化物の定量化

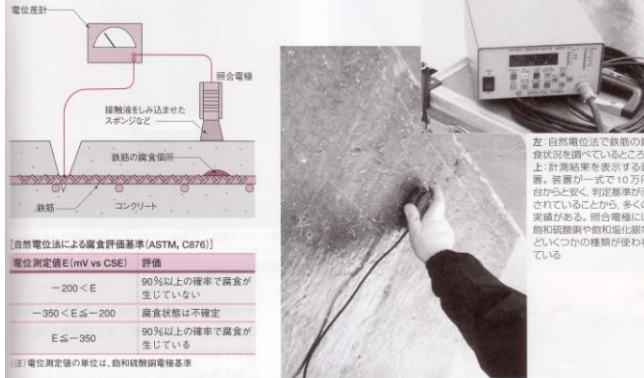
- ① 塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法
- ② クロム酸銀一吸光度法
- ③ 硝酸銀滴定法

①、②: 塩化物含有率0.001%以上の試料に適用

③ : 塩化物含有率0.01%以上の試料に適用

### 自然電位法 — 鋼材の腐食状況を調べる

#### ●自然電位法の測定イメージ



【自然電位法による腐食評価基準 (ASTM, C876)】

電位測定値 E (mV vs CSE)	評価
-200 < E	90%以上の確率で腐食が生じていない
-350 < E ≤ -200	腐食状態は不確定
E ≤ -350	90%以上の確率で腐食が生じている

【注】電位測定値の単位は、飽和硫酸銅電極基準

# 凍害

## 1.凍害とは

凍害:

コンクリートに含まれている水分が凍結し、その際に生じる水圧がコンクリートの破壊をもたらす現象

## 2.凍害の形態と事例

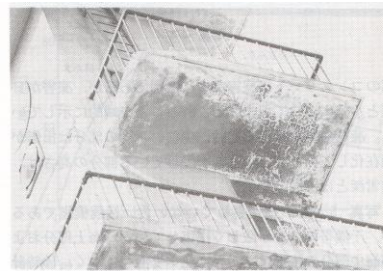
損傷・劣化原因	凍結融解作用
構造物・部位	道路縁石
構造物の立地条件	山間部

コンクリート二次製品の縁石が凍結融解作用により隅角部からスケーリングを起こしている。



上: 凍害を受けた橋台  
右: 工場製品の道路縁石に生じた凍害の事例

### 2.1 ひび割れ



屋外の階段

写真-1

紋様ひび割れ: 比較的広い面積に現れる。亀甲状

Dひび割れ : 継ぎ目や端部あるいはすでに存在するひび割れに沿って現れる

## 2.2 スケーリング

コンクリート表面のセメントペースト、モルタルのはく離から始まり、粗骨材間のモルタル、粗骨材のはく離へと進行する。



建物の屋上

写真-2



写真-4

## 2.3 骨材の露出



写真-6

擁壁

## 2.4 ポップアウト



写真-8

コンクリートの表面の剥離の一種で、薄く皿状に表面のコンクリートが剥げ落ちることをいう。骨材の吸水膨張、吸水性の高い骨材の凍結融解、鉄筋の腐食膨張などが原因。

## 3. 凍害のメカニズム

コンクリートの凍害劣化の形態: **内部劣化**  
**スケーリング**  
**ポップアウト**



水の凍結

## Powersの水圧説

*T. C. Powers : A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete, journal of American Concrete Institute, Vol.16, No.4, pp.245-272, 1945*

・0°C以下の温度においてコンクリート中の水が凍結し、氷になる際に約**9%**の体積増が生じる。

・氷が生成した空隙中に体積膨張に見合うだけの空間がない場合には、空隙中の未凍結水が移動する。この水の移動にあたり、組織の緻密さ、移動する距離、移動速度に比例した圧力が発生し、この水圧によりコンクリートが破壊される。

## 4. 凍害を発生させる要因

### 4.1 気象 (1) 気温

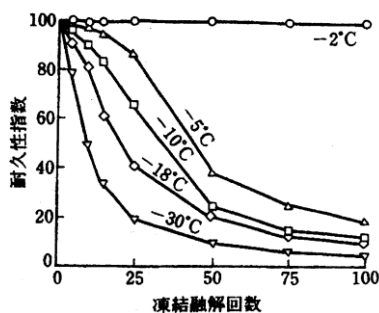


図-2 最低温度が耐凍害性に及ぼす影響

### (2) 日照

日当たりのよい南面のコンクリートが凍害を受けやすい。



写真-4

### (3) 雪

融雪水による水分の供給が凍害を促進する

## 4.2 環境

### (1) 水分

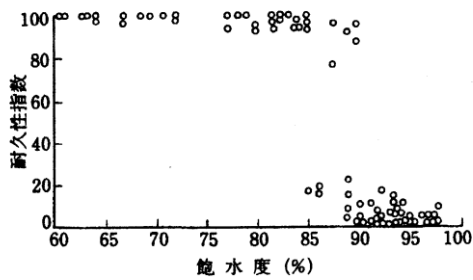


図-3 飽水度が耐凍害性に及ぼす影響

### (2) 海水

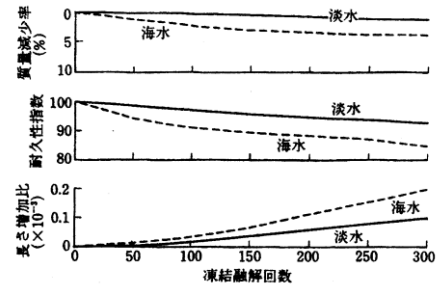


図-4 海水中と淡水中の凍結融解試験結果

### (3) 融氷塩

氷が溶ける → 水分の供給

## 5. 耐凍害性の評価

### 5.1 凍結融解試験による評価

#### 急速凍結融解試験

- ASTM C 666  
「Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing」
  - A法: 水中凍結水中融解試験
  - B法: 気中凍結水中融解試験
- JIS A 6204 「コンクリート用化学混和剤」付属書2
- JIS A 1148 「コンクリートの凍結融解試験方法」

- JIS A 6204 「コンクリート用化学混和剤」付属書2  
「コンクリートの凍結融解試験方法」
  - 供試体 : 100×100×400mm  
(材齢14日、20°C水中養生)
  - 凍結時温度: -18°C (供試体中心部で)
  - 融解時温度: +5°C (供試体中心部で)
  - サイクル : 200サイクル(1サイクル3~4時間)  
相対動弾性係数が60%以下になるまで
  - 評価 : 相対動弾性係数 → 組織の緩み  
質量減少率 → スケーリング
- JIS A 1148 「コンクリートの凍結融解試験方法」  
JIS A 6204とほぼ同じ
  - サイクル : 300サイクル(1サイクル3~4時間)

## 6. 凍害対策

空気量4%以下

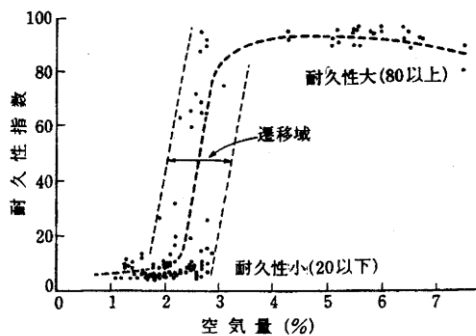


図-6 空気量が耐凍害性に及ぼす影響