

コンクリート工学 第12回

耐久性

- ・凍害
- ・塩害
- ・中性化
- ・アルカリ骨材反応

途中と最後に、小テスト有り！！

【凍害】

1.劣化事例

調査・調査箇所	高松市特設庁舎
調査期	平成27年度
調査目的	凍害

ダム建設の最終工事に伴って凍害による劣化が生じた。特に凍害の被害が大きい。



調査・劣化箇所	道路橋脚内側
調査期	平成28年度
調査目的	凍害

コンクリート二次構造の凍害による劣化が確認された。特に凍害の被害が大きい。



2.劣化形態

2.1 ひび割れ



屋外の階段

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 4

ベンチ

2.3 骨材の露出



写真-6 擁壁



写真-7 道路の縁石

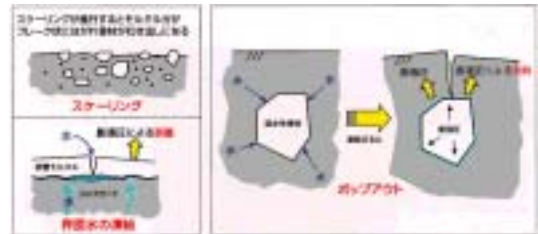
2.4 ポップアウト



コンクリート表面近くの強度の低い多孔質の骨材が破壊し、クレータ状のくぼみを生じさせる現象

3. 凍害劣化のメカニズム

凍害とは、コンクリート中の水分が凍結することに伴い、その体積膨張（水は凍結するとき9%ほど体積が増える）の圧力でコンクリートの組織が破壊され、ひび割れたり、表面が剥離したりして、全体の強度が劣化する現象



4. 凍害を発生させる要因

4.1 気象

- (1) 気温  
気温が低いほど、劣化しやすい。
- (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。
- (3) 雪  
融雪水による水分の供給が凍害を促進させる。

4.2 環境

- (1) 水分  
飽和度が高いほど、凍害劣化しやすい。
- (2) 海水  
淡水と海水では、海水の方が凍害劣化しやすい。
- (3) 融氷塩  
融氷による水分の供給が凍害を促進させる。

5. 凍害の対策

5.1 配合

- (1) 水セメント比  
毛細管空けきを小さくする必要があり、その毛細管空けきは、水セメント比により支配されている。  
水セメント比の小さいコンクリート

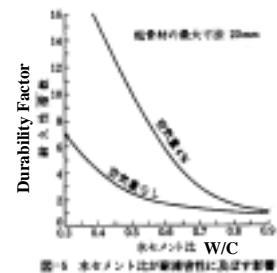


図-6 水セメント比が耐凍害性に及ぼす影響

- (2) 空気量  
空気量4%以下

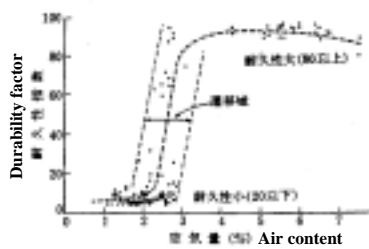


図-8 空気量が耐凍害性に及ぼす影響

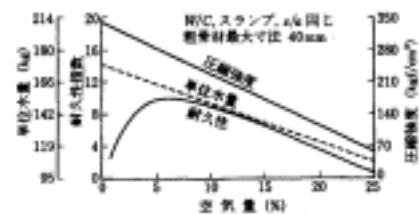


図-7 空気量が耐凍害性に及ぼす影響

空気量を入れすぎると、耐凍害性が損なわれるだけでなく、圧縮強度も低くなる。

5. 凍害の対策

5.2 材料

(1) セメント

寒中コンクリート：水和反応の速い**早強性**のセメントが有効  
 硬化コンクリート：JIS適合セメントなら通常問題なし。  
 混合セメントは、凍害を受けやすい。  
 強度28N/mm<sup>2</sup>以上ならスケーリングが抑制される。

(2) 骨材

細骨材がコンクリートの損傷の原因となることは少ない。  
 ポップアウトの防止：**吸水率の小さい**骨材を使用する。  
 モルタルとの熱膨張係数の差が  $5.5 \times 10^{-6}$  を超える粗骨材は用いない。  
 骨材の露出の防止：粗骨材とモルタルとの付着強度を増すために混合セメントよりポルトランドセメントを使用

(3) 混和剤

- ・良好な気泡組織を形成する**AE剤**の使用は有効
- ・減水剤や高性能減水剤は気泡組織を粗大にすることもあるので注意必要。
- ・水中不分離性混和剤を用いたコンクリートは耐凍害性が劣る場合がある。高炉スラグ微粉末との併用が望ましい。

(4) 混和材

- ・フライアッシュ中の未燃カーボンがAE剤を吸着するので、AE剤の使用量が多くなる。空気量の管理が難しくなる。
- ・シリカヒュームもAE剤を吸着する。
- ・フライアッシュや高炉スラグ微粉末を使用する場合、強度レベルを少し高めに設定して配合設計するとよい。

【塩害】

1.劣化事例

調査・発生原因	橋・道路の修繕（塩害）
調査先・状況	橋の劣化状況
調査目的・調査内容	劣化状況

橋のコンクリートが塩害により劣化が進行している。

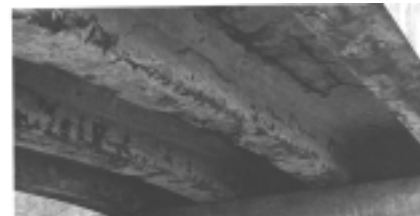


調査・発生原因	塩害
調査先・状況	劣化
調査目的・調査内容	劣化

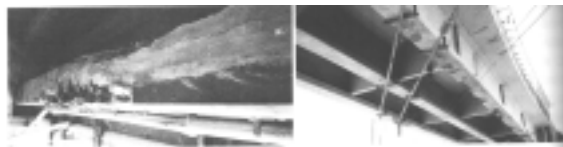


調査・発生原因	塩害
調査先・状況	劣化
調査目的・調査内容	劣化

橋のコンクリートが塩害により劣化が進行している。劣化が進行している。劣化が進行している。

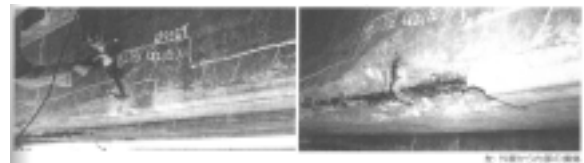


塩害で劣化した橋桁  
かぶりコンクリートが剥落し、鉄筋が露出している。



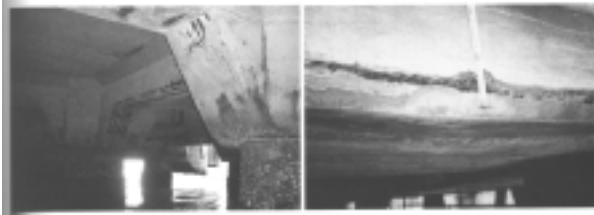
左：塩害で著しく劣化したコンクリート製の桁  
鉄筋が腐食し、耐荷性能も低下していると判定できる。

右：かぶりコンクリートの剥落が随所に見られるが、耐荷性能には影響がでない。



左：比較的軽微なひび割れに見える個所をはつているところ  
外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

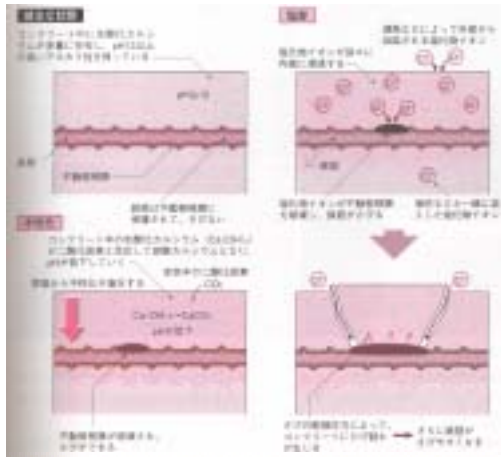
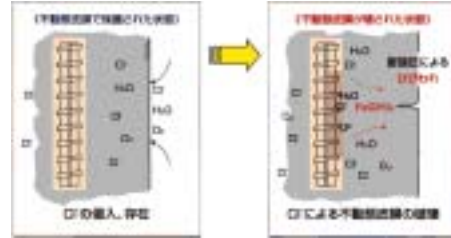


左:鉄筋の腐食により、かぶりコンクリートが剥落している。  
右:腐食した鉄筋に沿って大きなひび割れが生じている。

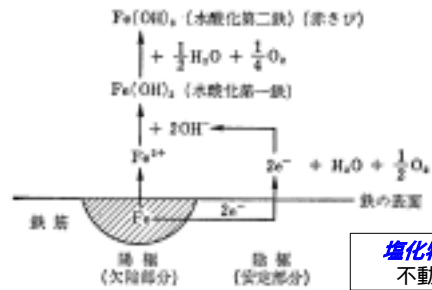
## 2. 塩害劣化のメカニズム

塩害とは、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、鋼材断面減少による耐力の低下等につながる。



鋼材の腐食反応は、液相中で生じる



塩化物イオンの役割  
不動態被膜の破壊

図 4.1 鉄筋の腐食反応機構

## 3. 鋼材腐食に与える影響

- 塩化物イオン  
材料中に許容するC<sub>1</sub>量  
0.6 kg/m<sup>3</sup>前後  
環境作用により浸透する場合  
1.2 kg/m<sup>3</sup>程度  
土木学会  
0.3 kg/m<sup>3</sup>以下
- 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

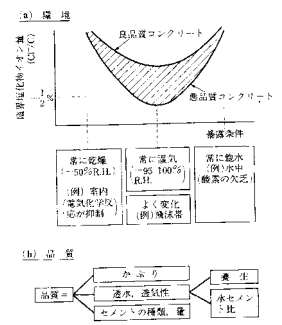
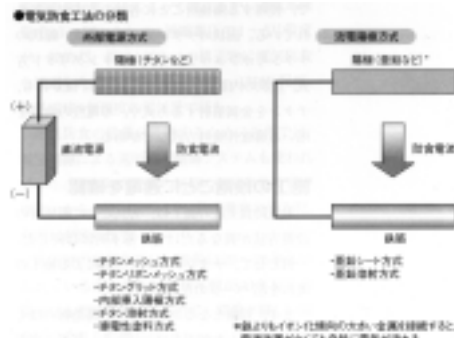
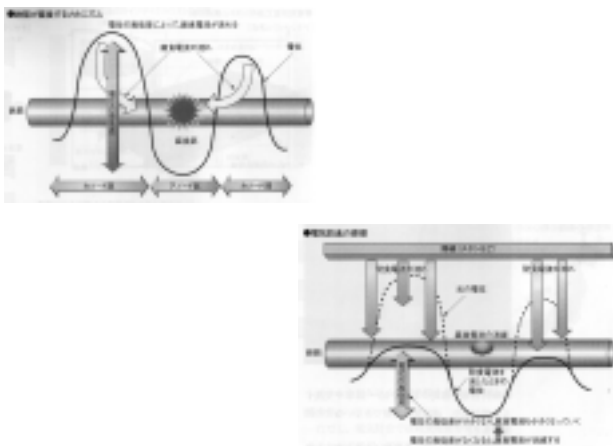
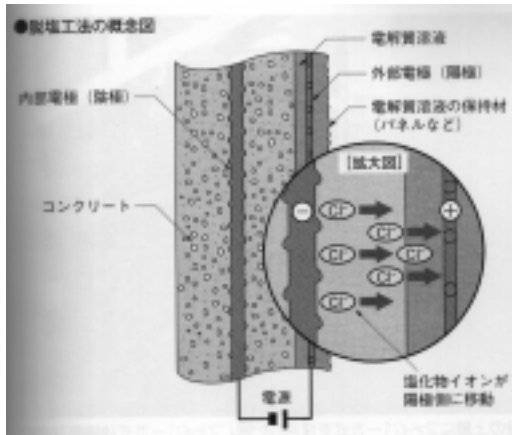


図 6 環境条件およびコンクリートの品質が塩害劣化イオン濃度による影響

## 4. 塩害の対策

- 腐食性物質を除去する
  - かぶりコンクリート中への腐食物質の侵入・浸透を抑制する。
  - 鋼材表面への腐食性物質の到達を抑制する。
- ↓
- 密実なコンクリート(W/Cを下げる, 混和材を使用)とし、かぶり(コンクリート表面から鉄筋表面までの距離)を十分大きくする
- 防食性の鋼材を使用する。
  - コンクリート内部の鉄筋の電位を制御する。
  - 防錆剤を使用する。





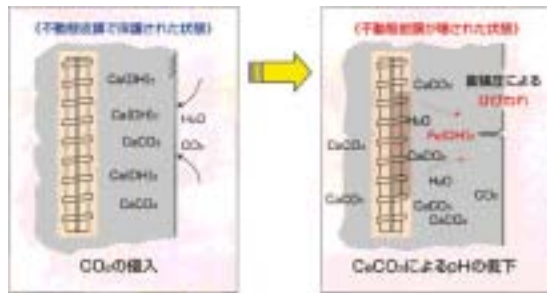
**【中性化】**

1.劣化事例



2. 中性化のメカニズム

中性化とは、セメント硬化体のアルカリ性が低下する現象

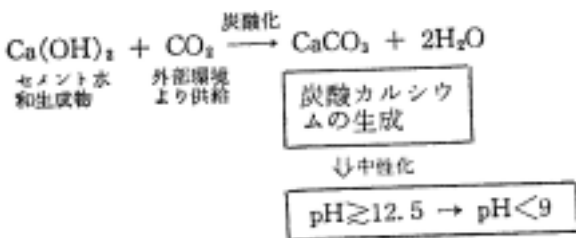


気中の炭酸ガス(二酸化炭素)が、水に溶解することで生成される炭酸イオン(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)が、セメントの水和生成物であり、硬化体のアルカリを決定する水酸化カルシウムCa(OH)<sub>2</sub>と反応し、炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)が生成される。

この反応により、Ca(OH)<sub>2</sub>が消費され、コンクリートのpHが低下し、中性化が進行する。

炭酸ガスによる中性化は、コンクリート単体の耐久性を低下させないが、アルカリの損失により鉄筋周りの不動態皮膜が破壊され、鉄筋が発錆する(pH = 11以下)。

発錆が進行すると、膨張した鉄筋の膨張応力がコンクリートに伝達され、被りコンクリートのひびわれや、剥落を招きます。



3. 中性化を発生させる要因

3.1 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。

3.2 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。

4. 中性化の対策

4.1 配合

- (1) 水セメント比  
水セメント比を小さくする。
- (2) 混和材  
使用しない方が中性化速度を抑えられる。



密実なコンクリートとする。

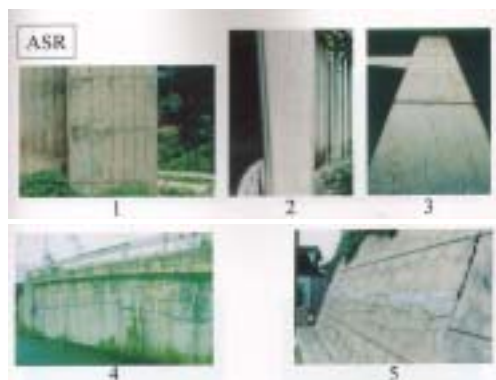
4.2 被覆

- (1) かぶりを大きくしたり、気密性の吹付け材を施工する。
- (2) タイル、石張りなどの仕上げ施工をおこなう。

**【アルカリ骨材反応】**

1.劣化事例





## 2. AARのメカニズム

アルカリ骨材反応とは、コンクリート中の細孔溶液中における水酸化アルカリ (KOHやNaOH) と、骨材中のアルカリ反応性鉱物との化学反応をいう。  
 反応生成物(アルカリ・シリカゲル)の生成や吸水に伴う膨張によってコンクリートにひび割れが発生する現象も含めてアルカリ骨材反応という場合も多い。



### アルカリ骨材反応の種類

#### アルカリシリカ反応

アルカリイオン、水酸基イオンと骨材中に含まれる準安定なシリカとの間に起こる反応

反応するシリカ骨材: オパール、クリストバライト、トリジマイト、火山ガラス、玉髄、隠微晶質石英、ひずんだ結晶格子構造をもつ石英

#### アルカリ炭酸塩反応

アルカリとドロマイト質石灰岩が反応して、膨張を起こすもの

#### アルカリシリケート反応

アルカリシリカ反応とほぼ同じであるが、長期間にわたって継続し、生成するゲルの量は少ない。

### アルカリ骨材反応が起きると...

コンクリート構造物には、ひび割れ、ゲルの染み出し、部材のずれや移動等の劣化が生じる。

無筋コンクリートでは、亀甲状のひび割れが生じ、鉄筋コンクリート構造物では主筋軸方向にひび割れが発生する。

ひび割れが生じてもコンクリート構造物や部材の耐力がただちに低下するわけではないが、凍害や化学的侵食に対する抵抗性が低下し、コンクリート中の鋼材が腐食する可能性が増大する。

## 3. AARの対策

### 3.1 AARが発生する条件

- ある量の反応性骨材が存在すること
- 細孔中に十分な水酸化アルカリ溶液が存在すること
- コンクリートが多湿または湿润状態に保存されていること

### 3.2 対策

無害と判定された骨材を使用する。  
 コンクリート1m<sup>3</sup>当たりのアルカリの総量をNa<sub>2</sub>O当量で3.0kg以下とする。例えば、1)低アルカリ形のポルトランドセメント (Na<sub>2</sub>O当量0.6%以下)を使用する。2)高炉セメント、またはフライアッシュセメントのそれぞれB、またはC種でAARの抑制効果が確認されたものを用いる  
 外部からの水分の進入を防ぐ。