

2019
コンクリート診断士
合格指南講座

座学

『コンクリート構造物の調査と診断』

【コンクリート構造物の調査】

(1) 目視

外観観察

(2) はつり

かぶり、中性化深さ、鉄筋腐食状況

(3) 試料採取(局部破壊検査)

コア強度、弾性係数、中性化深さ、塩化物イオン濃度、
鉄筋強度

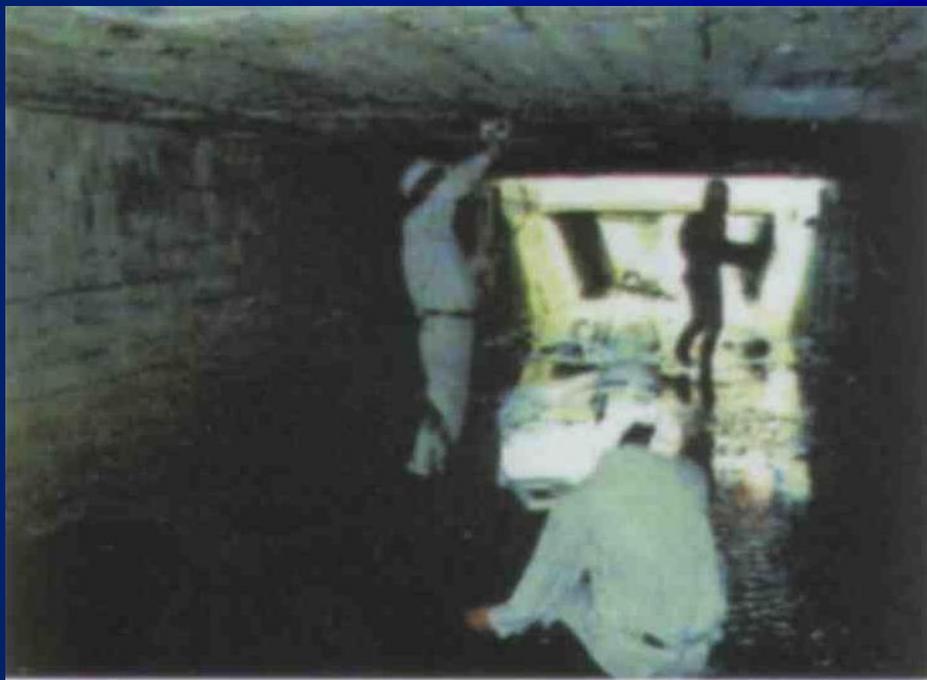
(4) 非破壊検査

構造物を破壊したり、表面に孔を開けたりせずに、構造物の内部の状態を調べる手法。

内部空洞、剥離、かぶり、鋼材位置、グラウト状況

(1) 外観変状調査

変状分布は目視調査、写真撮影で調査します。
ひび割れ幅はクラックスケールで測定し、深さは超音波法
で測定します。
剥離・剥落については、たたき点検で調査します。



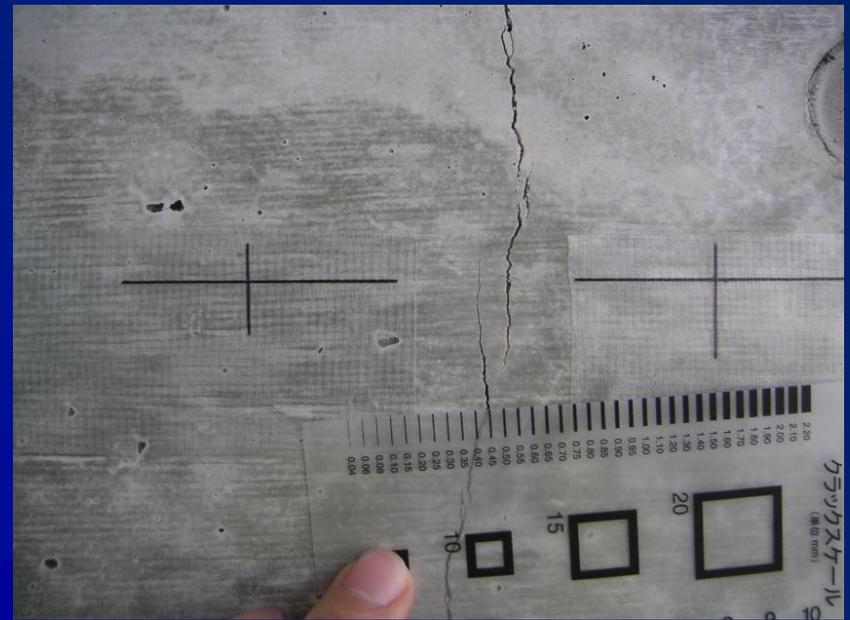
変状調査状況



コンクリート床版の損傷(剥落)

●ひび割れ幅測定

クラックスケール



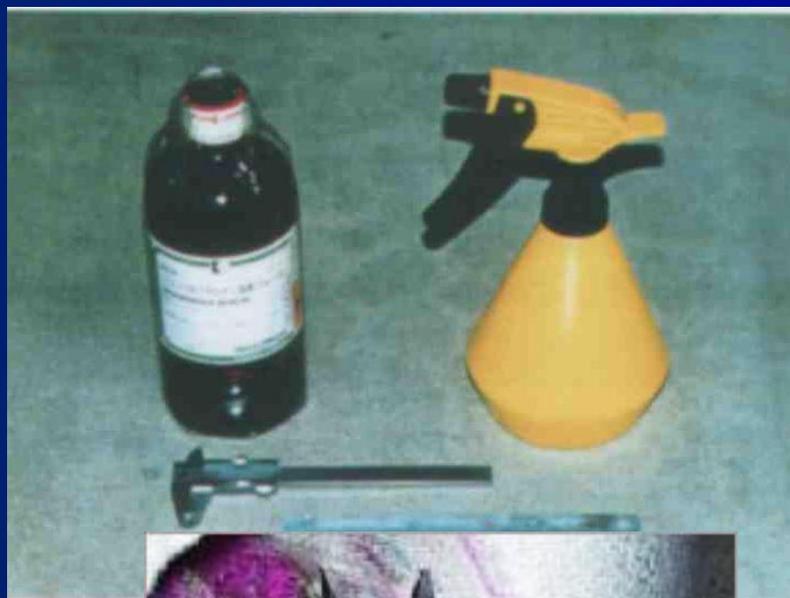
●浮き・はく離(打音点検)

点検ハンマー



(2) 中性化深さ測定

中性深さの測定は、採取したコアやはつり面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して赤色反応の有無により確認します。



採取コアの中性化状況
(赤色部は中性化していない)



はつり面噴霧

(3)コンクリートコア採取

- コア採取の規格: JIS A 1107
- 圧縮強度試験JIS A 1108、弾性係数、中性化深さ、アルカリ骨材反応、塩化物イオン含有量、配合推定などの試料採取
- コア採取箇所を選定 ⇒ 鉄筋位置の事前探査



コア採取状況

(JIS A 1107規格のコア直径は粗骨材径の3倍以上)

コア試料を用いた室内試験

調査項目	調査目的
圧縮強度 静弾性係数	【共通】 コンクリートの物性
中性化深さ	【中性化】 コンクリートの中性化深さ
塩化物イオン濃度	【塩害】 コンクリート中の塩化物イオン濃度
走査型電子顕微鏡 (SEM)	【ASR】 アルカリシリカゲル観察
残存膨張量	【ASR】 ASR膨張の将来予測

(4)コンクリート強度推定

コンクリートの圧縮強度を簡易的に推定するには、リバウンドハンマーによる反発硬度法を行ないます。

ただし、得られる結果はあくまで目安程度です。



リバウンドハンマー
(シュミットテストハンマーNR型)

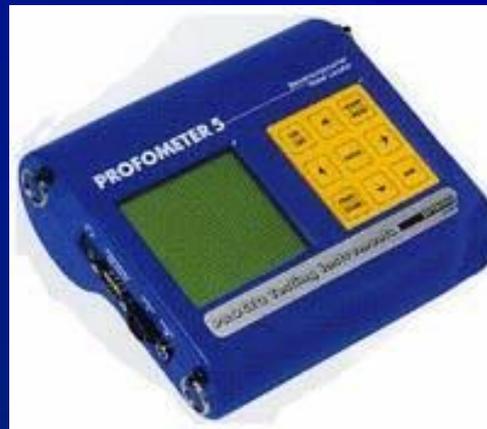


反発硬度法 実施状況

(5) 鋼材位置測定

コンクリート中に埋め込まれた鉄筋の位置を測定する方法には、電磁誘導法、電磁波レーダ法、X線透過法などがあります。

- ・鉄筋位置の探査
- ・かぶり厚さの測定
- ・鉄筋径の測定



鉄筋探査機の例

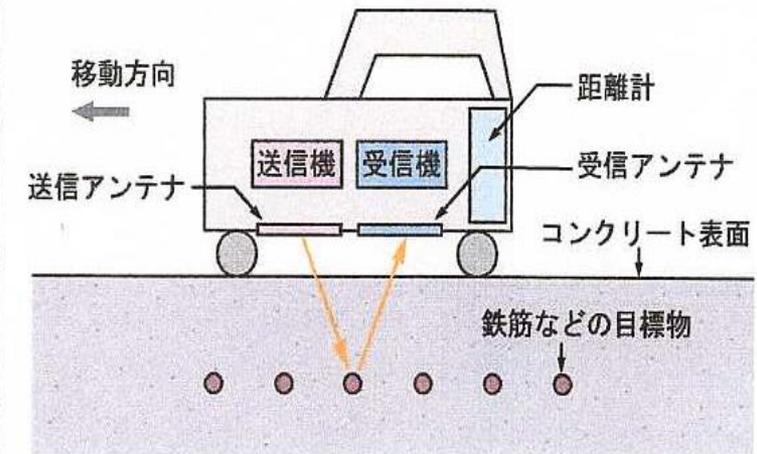


鋼材の位置を調べる

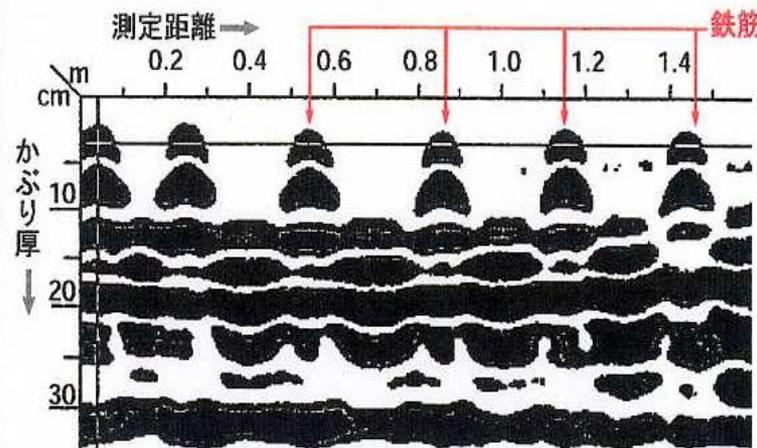
電磁波レーダー法



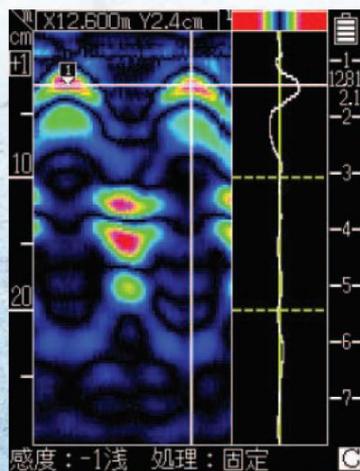
●電磁波レーダー法の例



●電磁波レーダー法による出力例



電磁波
ように

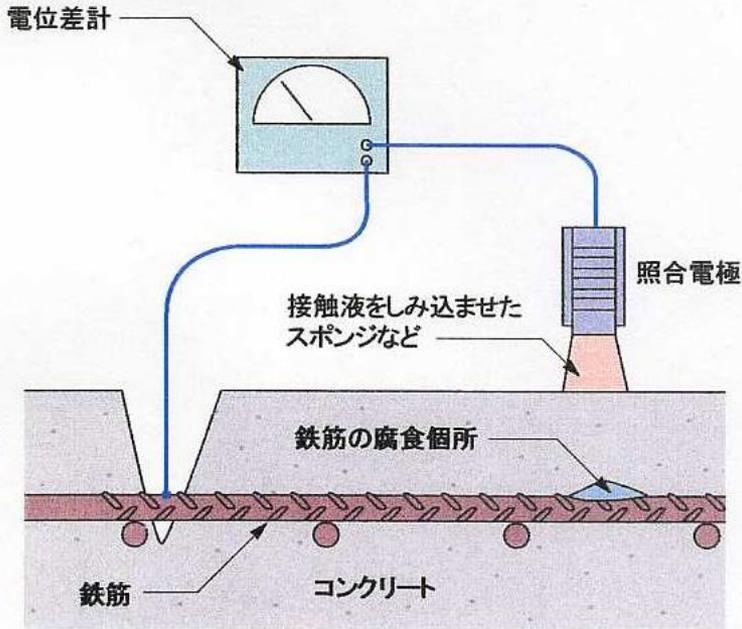


(6) 自然電位法(鉄筋腐食状況調査)

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
$-350 < E \leq -200$	腐食状態は不確定
$E \leq -350$	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



自然電位法で鉄筋の腐食状況を調べているところ(左の写真)。上は計測結果を表示する装置。装置が一式で10万円台からと安く、判定基準が示されていることから、多くの実績がある。照合電極には飽和硫酸銅や飽和塩化銀などいくつかの種類が使われている

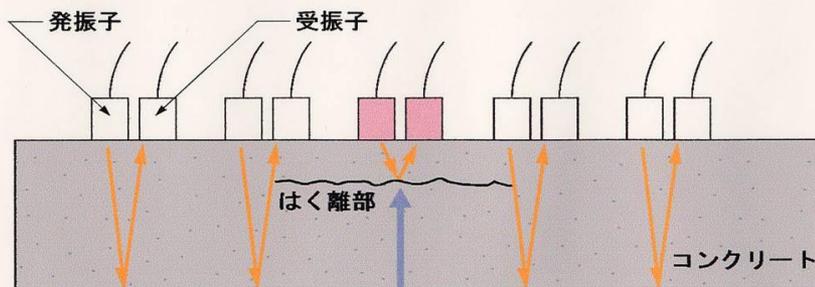
(7) 超音波法(コンクリートの内部欠陥調査)

コンクリートの内部欠陥やひび割れを調べる

超音波法

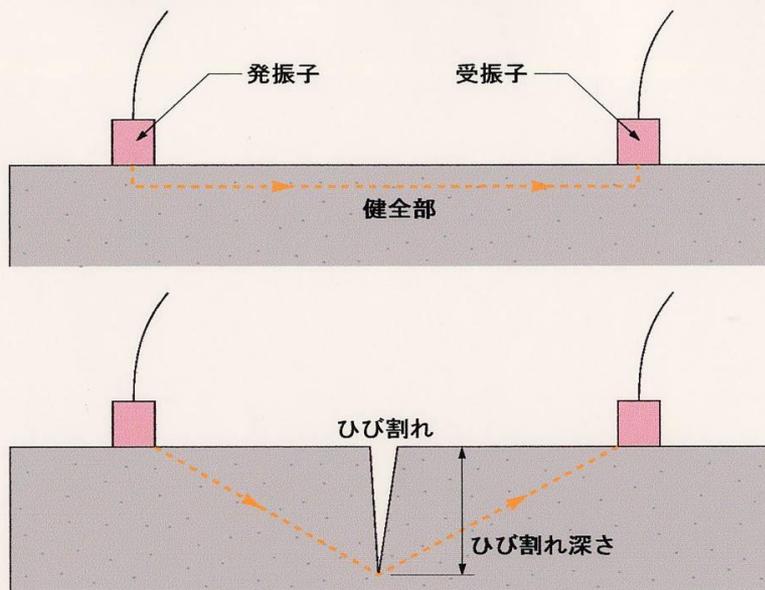
●超音波法の概念

[内部に生じたはく離などの欠陥を検出する場合]

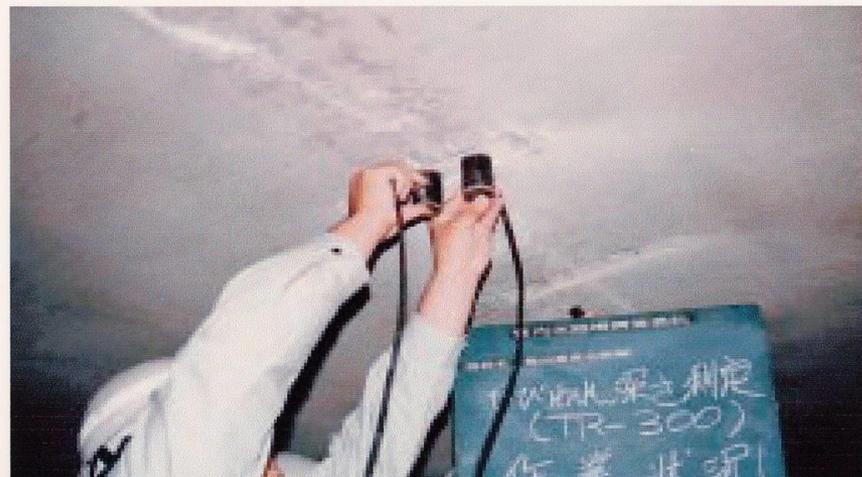


はく離部があると、波の伝達時間が短くなる

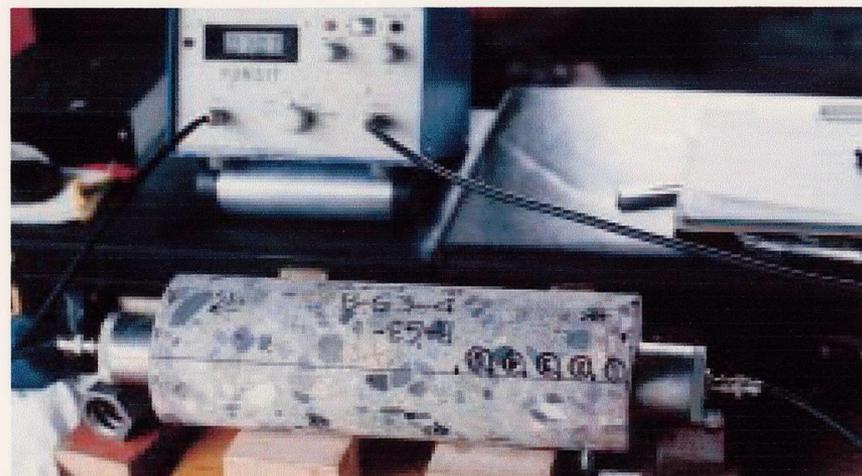
[ひび割れ深さを検出する場合]



波がひび割れの先端をう回し、伝達時間が延びる



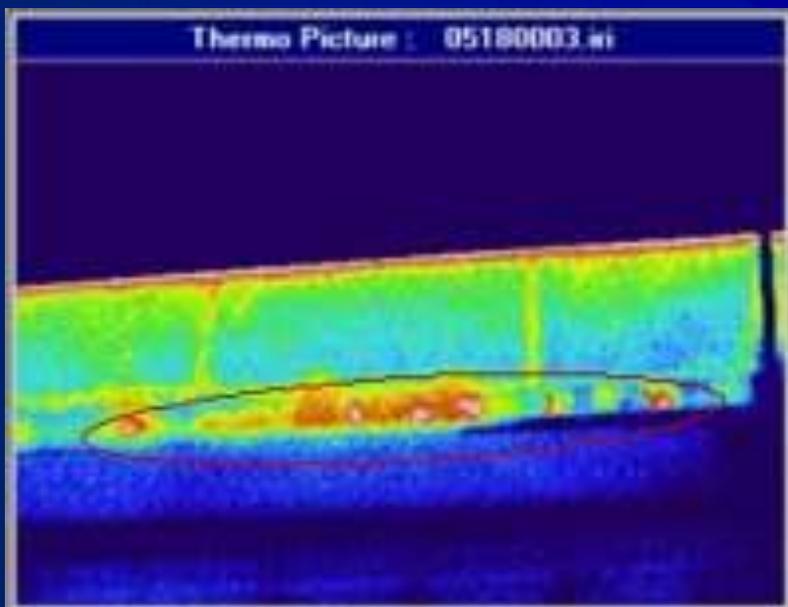
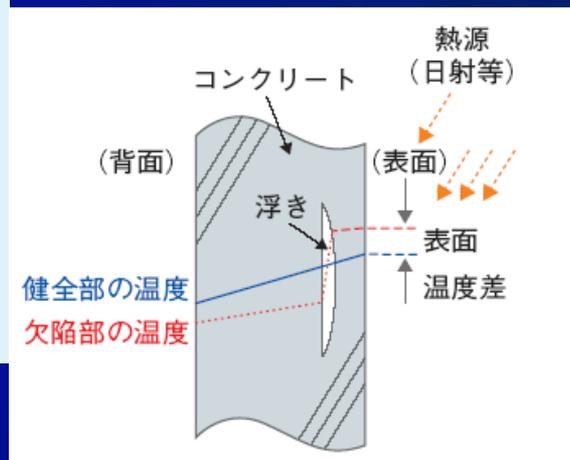
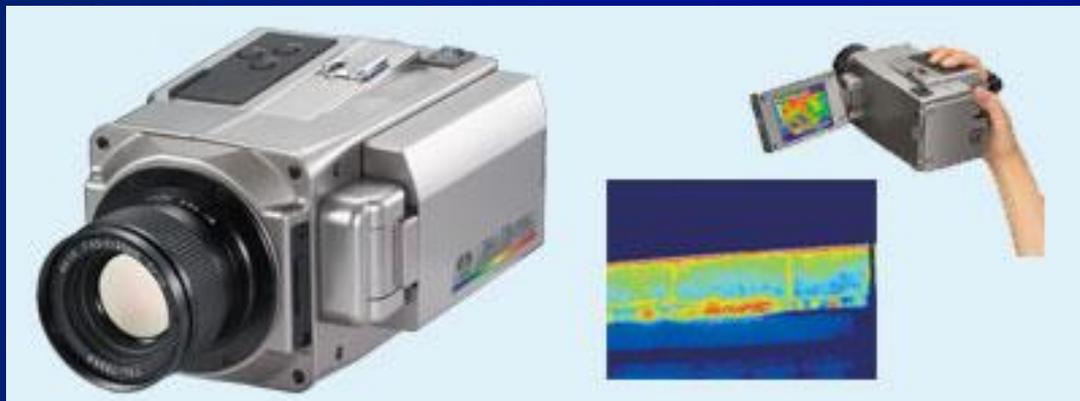
超音波法でひび割れの深さを調べている。超音波法は鉄筋の影響を受けやすいのがネックだ



採取したコンクリートコアの両端に端子を設置し、超音波を透過させてコンクリートの品質を調べる方法もある。一般に高密度で高強度のコンクリートほど波の伝達速度が早い。逆に空けきやひび割れがあるとそれを避けて伝達するので、伝達時間が長くなる

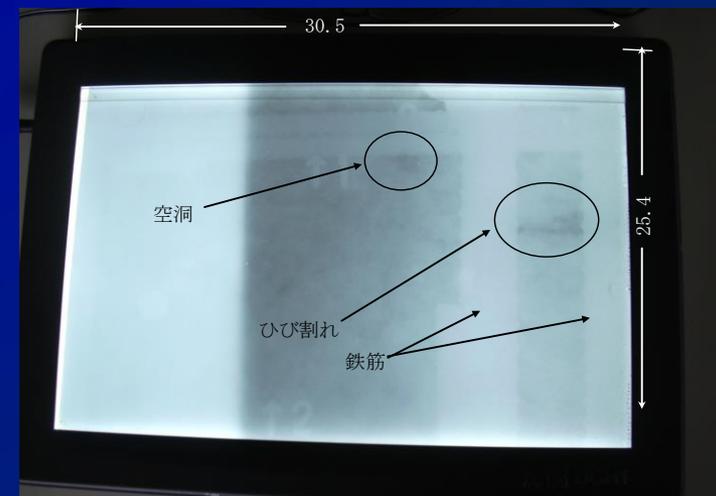
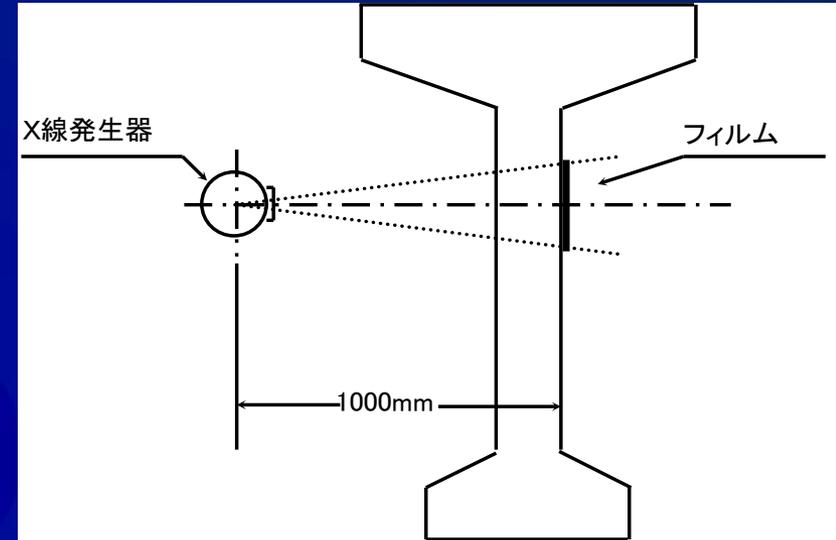
(8) 赤外線法(コンクリートの内部欠陥調査)

コンクリート表面の温度分布をコンピュータで熱画像処理する。別名サーモグラフィ法。



(9) X線透過法(コンクリートの内部欠陥調査)

- X線発生装置を用いてコンクリート部材にX線を照射し、部材裏側で透過したX線を撮影することにより、空洞有無やグラウトの充填度を透過画像により判定する非破壊検査手法である。
- ただし、透過厚さは400mm程度までと制限を受ける。



【コンクリート構造物の診断】

【塩害】による劣化の診断 3つの着目点

【①劣化機構は塩害なのか？】

- ・環境条件の確認（沿岸地域，凍結防止剤散布地域）
- ・外観目視調査（ひび割れパターン，錆汁の有無，コンクリートの浮き・はく離）
- ・塩化物イオン含有量試験
 - ⇒ コンクリート表面から深さ方向の塩化物イオン量の分布を測定すると効果的・・・（内在塩分？ 外来塩分？）

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

- ・外観目視調査（外観上の劣化グレード）
- ・鉄筋腐食度調査（はつりによる目視調査，自然電位法）

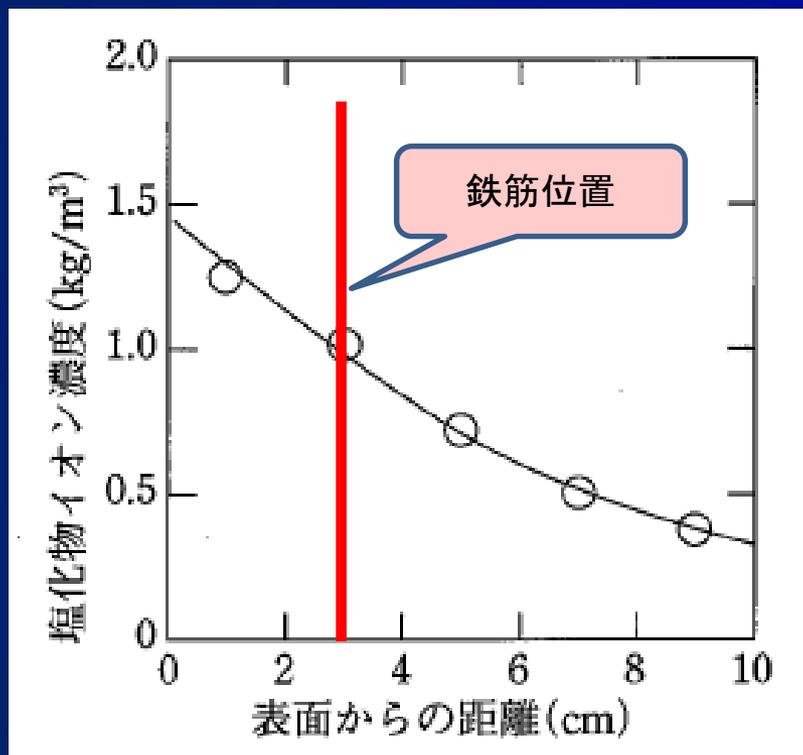
【③将来的な塩害の劣化予測】

- ・塩化物イオン拡散予測（Fickの拡散方程式）

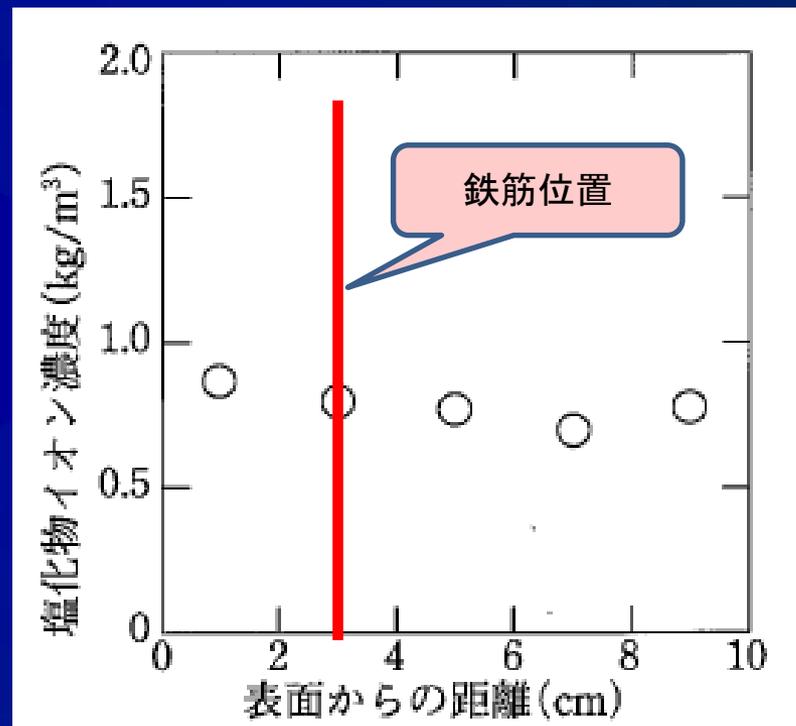
【①劣化要因は塩害なのか？】

・塩化物イオン含有量試験

⇒ コンクリート表面からコアを採取し、それを2cm毎にスライスする。
各スライス試料中に含まれる塩化物イオン量を分析し、グラフ化する。



外来塩分の影響を受けた例



内在塩分の影響を受けた例

『非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル』より

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

・外観目視調査（外観上の劣化グレード）

表 2-1 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変化が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以下.
グレードⅡ	進展期	外観上の変化が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以上, 腐食が開始.
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生, 錆汁が見られる.
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生, 腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的なはく離・はく落が見られる, 鋼材の著しい断面減少は見られない.
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模なはく離・はく落が見られる, 鋼材の著しい断面減少が見られる, 変位・たわみ大きい.

出典:「2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 土木学会」

・鉄筋腐食度調査（はつりによる目視調査）



腐食度①



腐食度②



腐食度③

【③将来的な塩害の劣化予測】

・塩化物イオン拡散予測（Fickの拡散方程式）

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right) + C_i \quad (4.1)$$

ここで、 $C(x, t)$ ：表面からの深さ x (cm)の時刻 t (s)における塩化物イオン濃度 (kg/m^3),

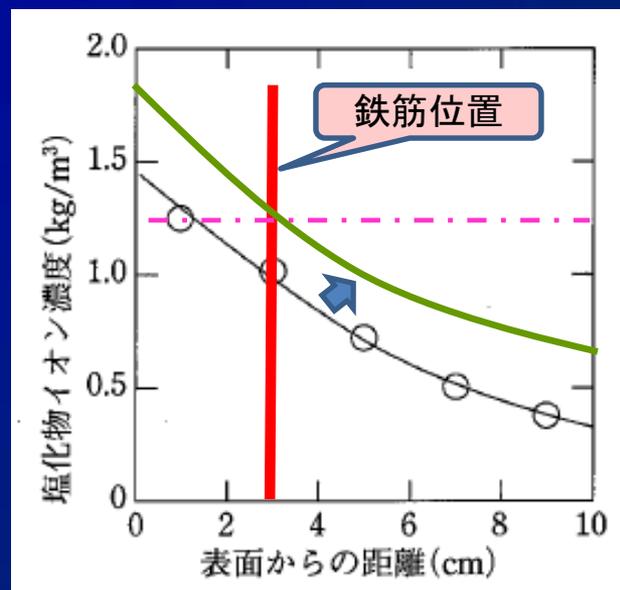
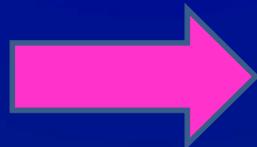
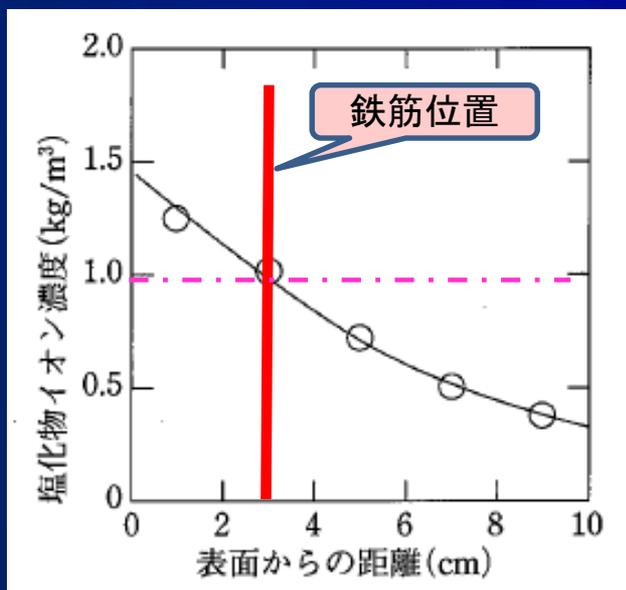
C_0 ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3),

C_i ：コンクリート材料に当初から含まれていたと考えられる塩化物イオン濃度 (kg/m^3),

D ：コンクリート中で塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm^2/s)

$\operatorname{erf}()$ ：誤差関数。

『あと何年後に鉄筋位置の塩分量が腐食限界を超えるか』を算出する



【中性化】による劣化の診断 3つの着目点

【①劣化機構は中性化なのか？】

- ・外観目視調査（ひび割れパターン, 錆汁の有無, コンクリートの浮き・はく離）
- ・環境条件の確認（沿岸地域, 凍結防止剤散布地域でないか？）
- ・中性化深さ試験（フェノールフタレイン法）
 - フェノールフタレイン溶液を噴霧したときの非発色部を中性化領域と判定する(劣化予測にも活用)

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

- ・外観目視調査（外観上の劣化グレード）
- ・鉄筋腐食度調査（はつりによる目視調査, 自然電位法）

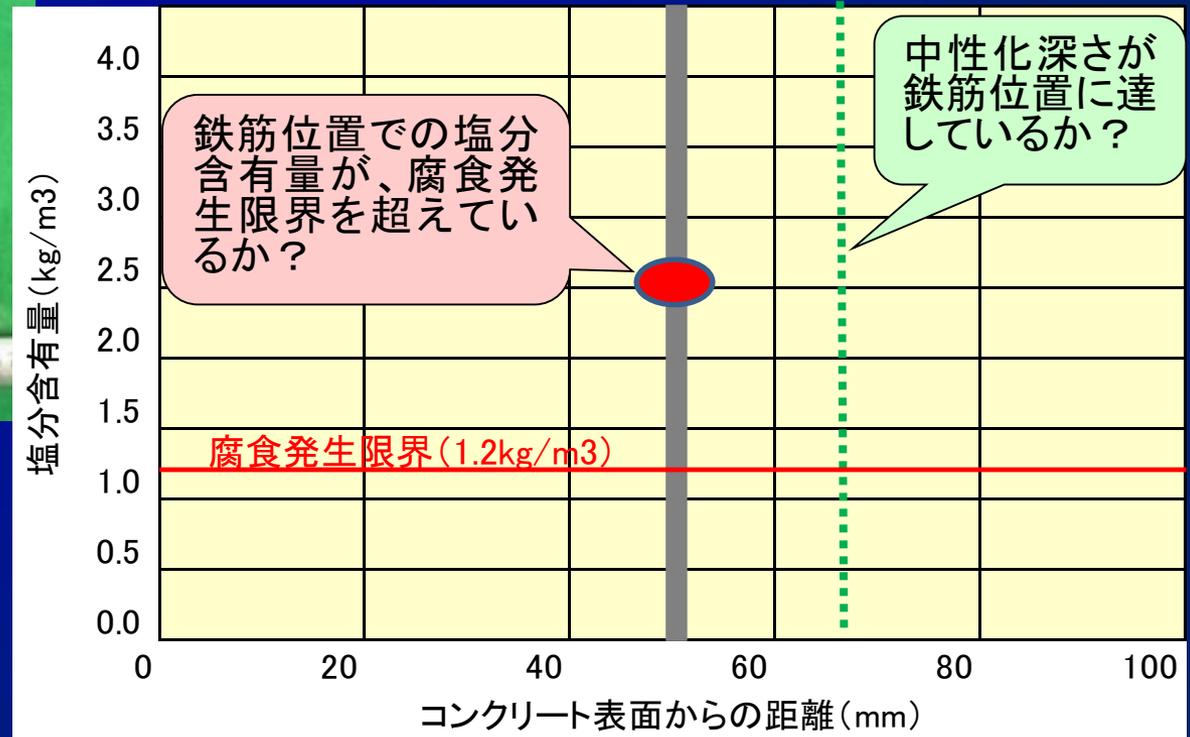
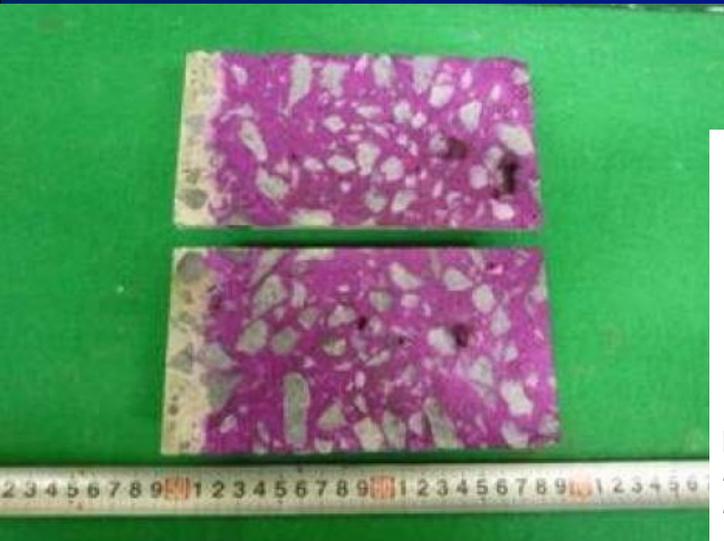
【③将来的な中性化の劣化予測】

- ・中性化進行予測（ \sqrt{t} 法）

【①劣化要因は中性化なのか？】

・フェノールフタレイン法

⇒フェノールフタレイン溶液を噴霧したときの非発色部を中性化領域と判定する



塩害・中性化の試験値と鉄筋位置との関係

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

・外観目視調査（外観上の劣化グレード）

表 2-2 中性化による構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変化が見られない, 中性化残りが発錆限界以上.
グレードⅡ	進展期	外観上の変化が見られない, 中性化残りが発錆限界未満, 腐食が開始.
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生.
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの進展とともにはく離・はく落が見られる, 鋼材の断面欠損は生じていない.
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れとともに はく離・はく落が見られる, 鋼材の断面欠損が生じている.

出典:「2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 土木学会」

・鉄筋腐食度調査（はつりによる目視調査）



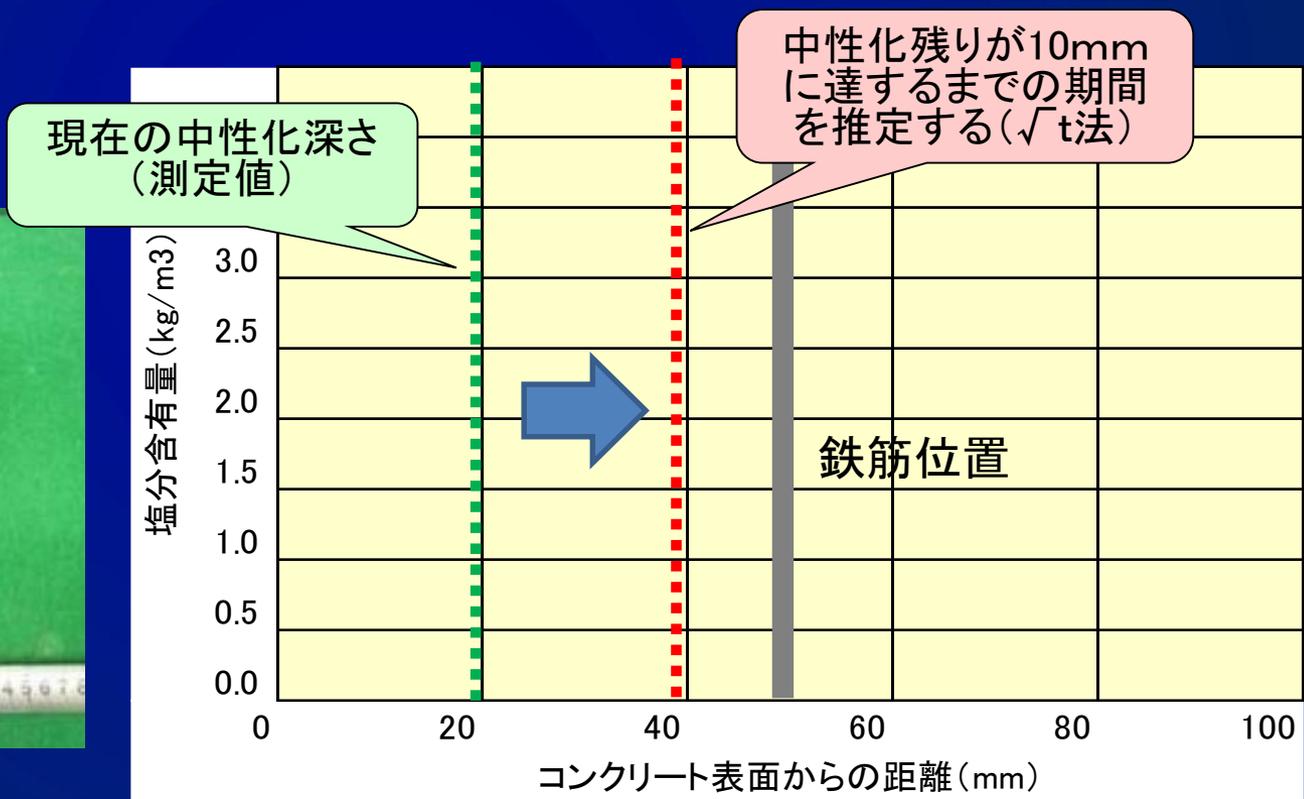
【③将来的な中性化の劣化予測】

・ \sqrt{t} 法による劣化予測

⇒フェノールフタレイン法により、現在の中性化深さを測定

⇒竣工後の経過年数と現時点での中性化深さから、

『中性化残りが10mmに達するまでの期間』を予測する



中性化の試験値と鉄筋位置との関係

【ASR】による劣化の診断 3つの着目点

【①劣化機構はASRなのか？】

- ・外観目視調査（ひび割れパターン, 白色ゲル析出など）
- ・コア観察（ASRゲル, 反応リム, 骨材の割れ）
- ・岩種判定（偏光顕微鏡観察, X線回折分析）
- ・アルカリシリカゲルの観察（化学分析, SEM観察）
- ・アルカリ総量試験（ASRの可能性の有無）

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

- ・外観目視調査（外観上の劣化グレード）
- ・圧縮強度試験, 静弾性係数試験, 超音波伝播速度（ASRにより低下）

【③将来的なASRの劣化予測】

- ・残存膨張量試験（JCI-DD2法, カナダ法など）
- ・外観目視調査（数年の間でひび割れ幅や密度が増大。再劣化。）

【①劣化要因はASRなのか？】

・外観目視調査

ひび割れパターン、白色ゲル析出など



・コア観察

ASRゲル、反応リム、骨材の割れ

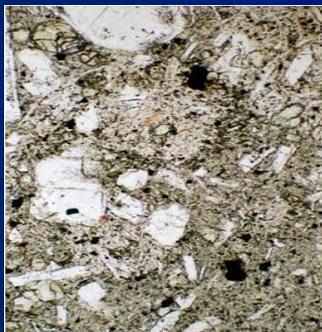


・岩種判定

有害鉱物を含む岩種が認められた場合、ASRを生じる可能性が高い。

偏光顕微鏡⇒火山ガラス、微小石英、オパール など

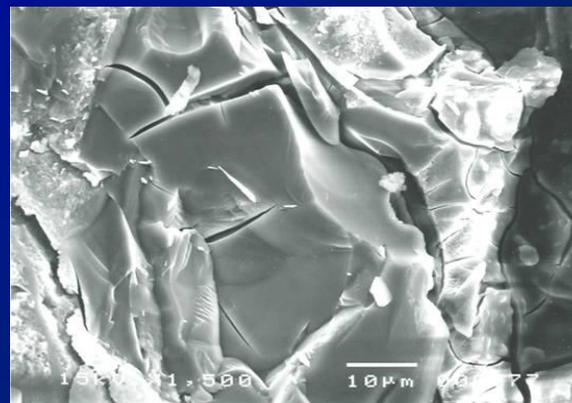
X線回折 ⇒クリストバライト、トリジマイト、スメクタイト など



・アルカリシリカゲルの観察

化学分析⇒生成している白色ゲルの成分に、 SiO_2 が30%以上含まれる場合、その白色ゲルはASRゲルである

SEM観察⇒ASRゲルの特定



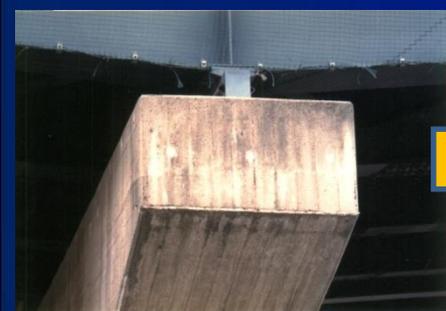
【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

・外観目視調査（外観上の劣化グレード）

表 2-3 ASR による構造物の外観上のグレードと劣化の状態

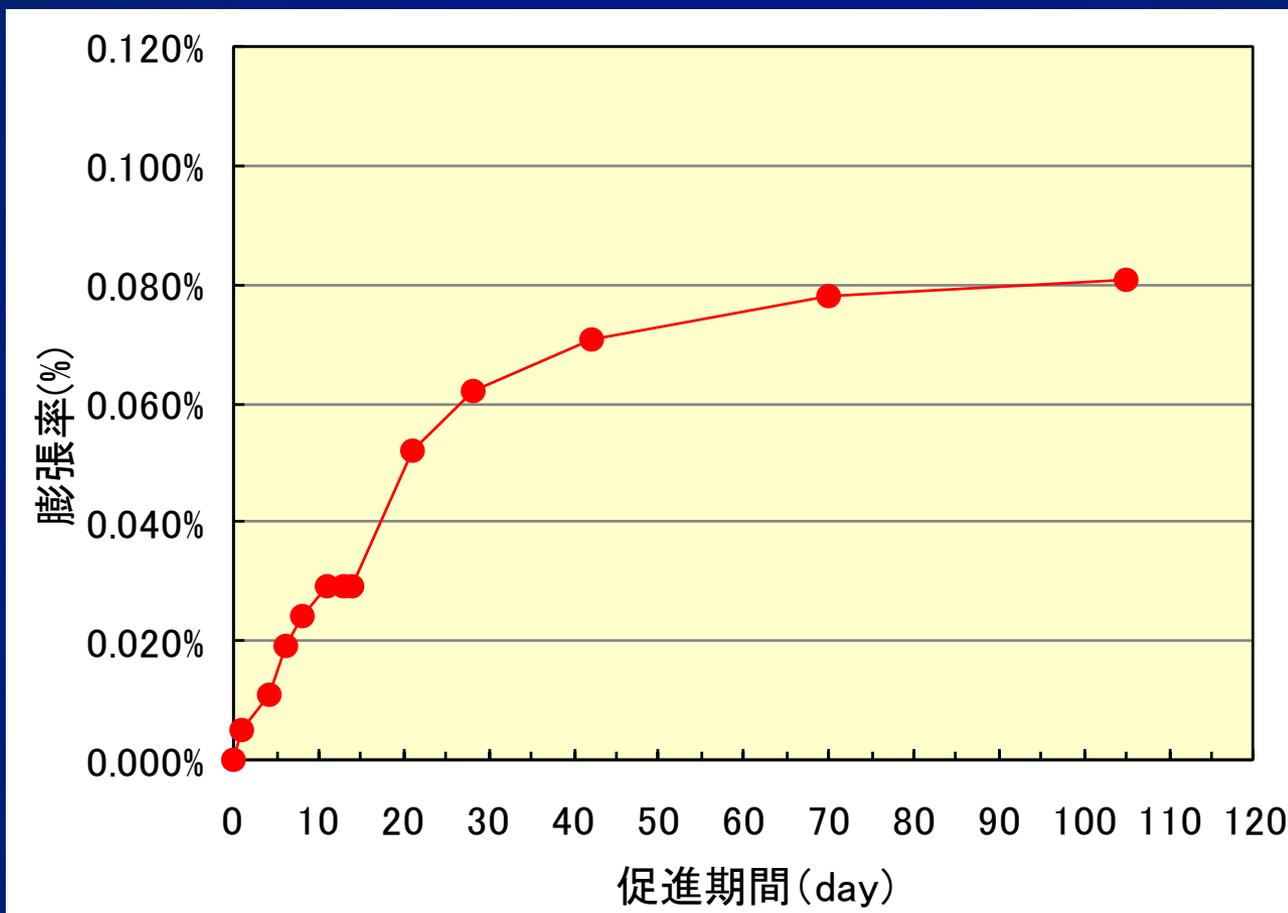
構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	ASR による膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生せず、外観上の変状が見られない。
グレードⅡ	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生し、変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる。しかし、鋼材腐食による錆汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASR による膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度が増大する。また、鋼材腐食による錆汁が見られる場合もある。
グレードⅣ	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し、段差、ずれや、かぶりの部分的なはく離・はく落が発生する。鋼材腐食が進行し錆汁が見られる。外力の影響によるひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変位・変形が大きくなる。

出典：「2013 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]」



【③将来的なASRの劣化予測】

- ・残存膨張量試験（以後のASR膨張の可能性を定量的に評価）



『JCI-DD2法』

- ・環境 : 40°C, 95%RH
- ・期間 : 3ヵ月
- ・判定例 : 0.05% 以上を有害(全膨張)