

塩害

塩害とは、コンクリート中における塩化物イオンが混入、浸透することによりコンクリート中の鋼材（鉄筋やPC鋼材）が腐食し、腐食生成物による膨張圧がコンクリートにひび割れや浮き・剥離を発生させると共に、鋼材の断面減少で部材の力学的性能を低下させる現象です。コンクリート中の塩化物イオン濃度を測定することは、コンクリート構造物の維持管理や劣化予測を行うために重要です。

内在塩分と外来塩分

コンクリート中の塩化物イオンには「内在塩分」と「外来塩分」があるといわれています。「内在塩分」はコンクリートを製造する材料に含まれる塩分であり、海砂や硬化促進剤の中などに含まれています。

「外来塩分」は外部からコンクリート中に浸透した塩分であり、海水や潮風、凍結防止剤として散布される塩化ナトリウムなどがあります。



塩害を受けた構造物の一例

塩害による鉄筋腐食のメカニズム

コンクリートはセメントの水和による水酸化カルシウムの生成により、アルカリ性に保たれています。通常、コンクリートがアルカリ性に保たれていると、内部の鋼材が不動態皮膜という保護膜を形成し腐食することはありません。しかしコンクリート中への塩化物イオンの浸透により不動態皮膜が破壊され、鉄筋の腐食が始まります。

塩化物イオン濃度と腐食発生限界濃度

鋼材表面におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を超えると、不動態皮膜が破壊されて鋼材の腐食が開始します。そのため、この鋼材腐食発生限界イオン濃度を把握することが重要となります。セメントの種類と水セメント比が既知の場合、以下の計算式を用いることで鋼材腐食発生限界イオン濃度を算出することができます。

使用材料ごとの鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度算定式

使用材料	算定式
普通ポルトランドセメント	$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4$
高炉セメントB種相当 フライアッシュセメントB種相当	$C_{lim} = -2.6(W/C) + 3.1$
低熱ポルトランドセメント 早強ポルトランドセメント	$C_{lim} = -2.2(W/C) + 2.6$
シリカフェーム	$C_{lim} = 1.20$

C_{lim} : 鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度(kg/m³) W/C : 水セメント比(0.30 ≤ W/C ≤ 0.55)

出典)「コンクリート標準示方書【設計編】」土木学会 2017



塩化物イオン濃度の測定(電位差滴定法)

塩化物イオン含有量試験の試料は、コンクリート構造物から採取したコンクリートコアやドリル粉などを、深度ごとにスライスや微粉碎などを行って試料調整します。

塩化物イオン濃度の測定は、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」が標準的に適用されている試験方法です。

その他の試験方法として、NDIS 3433「硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験方法」、JSCE-G 573「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)」、チオシアン酸水銀(Ⅱ)吸光光度法、硝酸銀滴定法、イオンクロマトグラフ法などがあります。



コンクリートコアの採取



コアのスライス



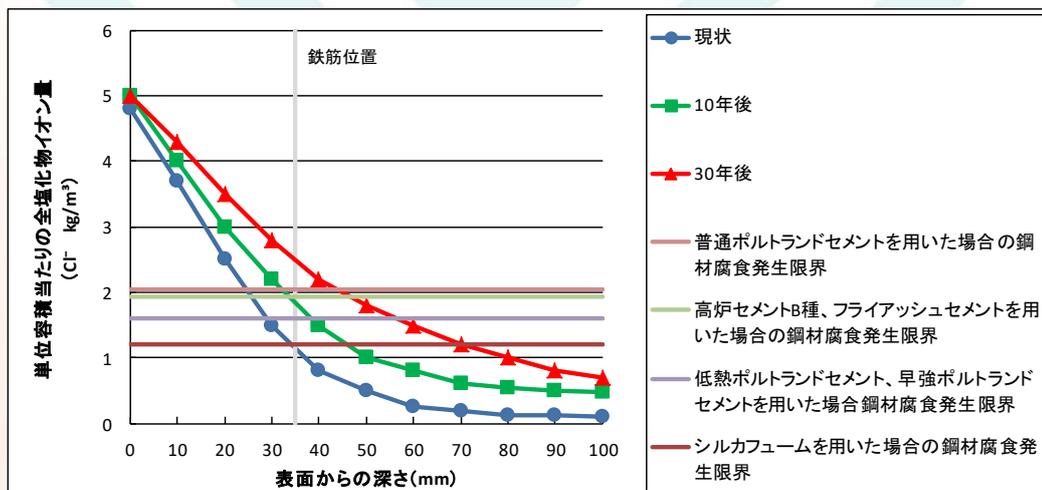
電位差滴定法 (JIS A 1154)

塩化物イオンの拡散予測

構造物に含まれる塩化物イオン含有量を測定することで、塩分の拡散係数を算出することができます。塩分の拡散係数を以下の式に用いることにより、今後の塩化物イオンの浸透分布がどのように変化し、内部の鋼材にどのような影響を与えるかを予測することができます。

$$C(x,t) = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{0.1 \cdot x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) + C_i$$

- $C(x,t)$: 深さ x 、供用期間 t (年)による塩化物イオン濃度(kg/m³)
- C_0 : 表面における塩化物イオン濃度(kg/m³)
- D_{ap} : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数(cm²/年)
- C_i : 初期含有塩化物イオン濃度(kg/m³)
- erf : 誤差関数
- γ_{cl} : 予測の精度に関する安全係数



塩分の拡散予測の一例 (水セメント比 0.45 と仮定)