

海岸地域に建設する建築物におけるコンクリートの塩害推定試験

—海水がコンクリートに及ぼす影響—

室蘭開発建設部 施設整備課 ○山田 泰宏
高橋 弘聡
佐藤 淳

海岸地域に建設する建築物は、塩害による影響が大きいことが想定され各種対策を要する。しかし、海水に長期間曝された状態におけるコンクリートへの実際の影響については、不可視部分もあることから劣化状況を確認することは困難である。

本研究では、海水がコンクリートに及ぼす影響を既存コンクリート及びフレッシュコンクリートから作成した供試体を用いた各種試験により確認し、塩害環境下の建築物を建設する上での配慮事項について考察するものである。

キーワード：基礎技術、塩害、コンクリート

1. はじめに

海岸地域には港関連の建築物等が多数建設され今後も建設が継続されることが予想される。これら建築物は立地の特性上、基礎部は海水に常時浸かる又は潮の干満を受ける範囲に位置する 경우가多く、地上構造体は直接波しぶきを受ける範囲に位置することが多い。建設時の基礎部は、海水に鉄筋が浸かり型枠内に海水が溜まった状態でコンクリートを打設する状況も考えられる。

海水の影響を受ける範囲に建設されることで想定される鉄筋コンクリート構造への影響としては、塩害によりコンクリートが変質し、これにより鉄筋が腐食膨張し、コンクリートのひび割れ、剥離、剥落により、構造体の耐力低下に繋がるというもので、このような状態にならないようコンクリートの健全な状態を維持し、鉄筋の腐食を防止することが重要となる。

鉄筋を腐食させる具体的な要因としては、①コンクリートが空気中の炭酸ガスその他酸性物質の浸透によりアルカリ性が失われ中性化し鉄筋の不動態被膜が破壊される、②塩化物イオンがコンクリートの表面に付着し、コンクリート内に浸透することで鉄筋の不動態被膜が破壊される、③コンクリート中に一定量以上含まれる塩化物イオンにより鉄筋の不動態被膜が破壊される。¹⁾ことが想定される。

上記③については、潮の干満を受ける範囲等でコンクリートを打設する際に、型枠内に海水が浸入している状態だと一定量以上の塩分を含むコンクリートが打設されてしまう状況が想定される。本研究では、上記②及び③の塩害の影響を受ける状態で各種試験を行い、設計・施

工の留意事項について考察する。

2. 試験概要

塩害による鉄筋コンクリート構造への影響を建築物建設時の施工状況から確認する為、既存コンクリートを用いた試験の他、フレッシュコンクリートで新たに供試体を作成し実際の打設状況を再現した試験も行った。試験の種類と塩害環境の区分を表-1に示す。

既存コンクリートから採取する供試体は、飛来塩分の影響する範囲と潮の干満を受ける範囲に位置しており、塩化物イオンの浸透及び中性化の状況を確認する為、塩化物量試験及び中性化試験を行った。

フレッシュコンクリートから作成する供試体は、非塩害範囲と常時海中に位置する範囲を想定し、海水の中にコンクリートを打設した場合塩化物イオンがどの程度混入するか確認する塩化物量試験と海水に漬けられた鉄筋がどのような影響を受けるかを確認する付着応力度試験

表-1 試験の種類と塩害環境の区分

供試体の種類		試験の種類		想定する塩害環境区分
既存コンクリート	地上躯体部から採取	塩化物量試験 (N)	中性化試験 (N)	飛来塩分の影響範囲
	基礎部から採取			潮の干満を受ける範囲
フレッシュコンクリート	海中打設 海中養生		付着応力度試験 (BB, N)	常時海中に位置する範囲
	封かん養生			非塩害範囲

※試験の種類の内は、供試体のセメントの種別を示す。

を行う。供試体は、海水に漬けた状態と海水に漬けない状態のものをそれぞれ比較することで海水が供試体に与える影響を検証する。供試体の作成方法と養生方法を図-1に示す。

3. 付着応力度試験

基礎等のコンクリート打設時に海水が型枠内に浸入してしまう状況下で、鉄筋の付着応力度にどのような影響を与えるのか確認する為、型枠内に海水が溜まった状態で作成した供試体と標準通り作成した供試体の2種類を用いて、付着応力度試験を行った。

(1) 供試体の作成方法

付着応力度試験を行うコンクリートの配合を表-2に示す。

供試体は、JSTM C 2101T (引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法)²⁾に準じて、1辺15cmの立方体に鉄筋D25を打ち込んだものを各種条件毎に3個作成し、型枠内に海水が溜まった状態で打設した供試体は常時海水に浸けた状態で養生を行った。供試体形状を図-2に示す。

付着応力度の算定に用いる圧縮強度試験用の供試体は、JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法)³⁾に準じて作成し海水の状態も付着応力度試験用の供試体と同条件で作成、養生を行った。

(2) 試験方法

試験は前述のJSTM C 2101T²⁾により引張荷重を測定し、付着応力度を式3.1により算定した。なお、付着応力度の算定に用いる引張荷重は、自由端のすべり量が0.002D (Dは鉄筋径) の時の測定値を採用した。

$$\gamma = P / (4 \pi D^2) \times \alpha \quad (\text{式3.1})$$

ここに

γ : 付着応力度 (N/mm²)

P : 引張荷重 (N)

D : 鉄筋の直径 (公称直径 ; D25の場合25.4) (mm)

α : コンクリートの圧縮強度に対する補正係数

$$(30 / \sigma_c)$$

σ_c : 同時に作成した円柱供試体の圧縮強度

$$(N/mm^2)$$

(3) 試験結果

圧縮強度試験の結果を図-3に示す。

高炉セメントB種の封かん養生を行った供試体のみ91

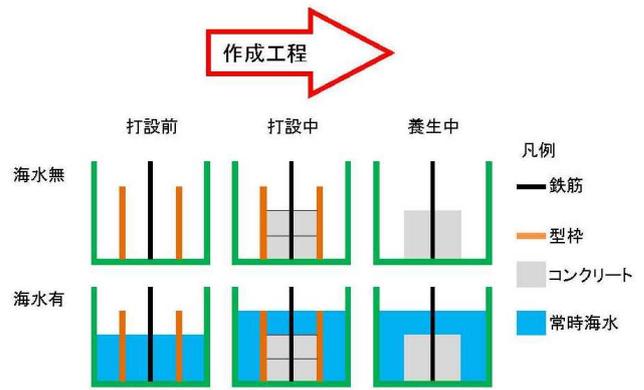


図-1 供試体作成工程と養生方法

表-2 供試体情報 (付着応力度試験)

塩害環境区分	非塩害		常時海中	
呼び強度	30	33	30	33
スランプ	15cm			
水セメント比	41.0%			
セメント種別	BB	N	BB	N
混和剤	AE減水剤(標準形I類)			

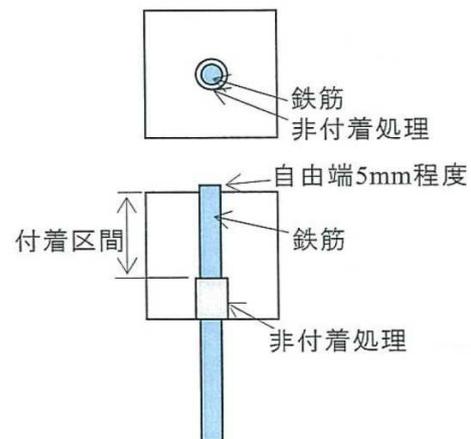


図-2 引張強度供試体

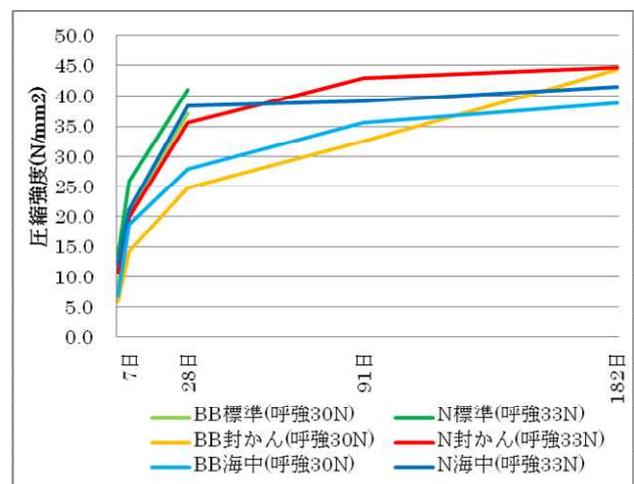


図-3 圧縮強度試験結果

日以降も強度の上昇率が高かった。これは冬期の打設であった為、強度の発現が遅れたことから91日以降も上昇したものと推測される。高炉セメントB種の海中養生を行った供試体も同時期の打設であったが、海中養生により一定の養生温度を保てたことが、結果として封かん養生より早く強度が発現したものと推測される。

付着応力度試験の結果を図4に示す。

91日以降付着応力度が減少しているが、これはコンクリートの乾燥収縮により鉄筋の拘束が弱まった事によるものと推測される。なお、高炉セメントB種の封かん養生は前述のとおり91日以降も圧縮強度が上昇したことで更に付着応力度を低減させる要因となった。

付着応力度については、JSTM C 2101T²⁾ではすべり量が0.002Dの時に3N/mm²以上 (Fc30N/mm²の時) が合格値とされている為、いずれにしても支障の無い範囲と判断できる。

なお、付着応力度が減少した要因として鉄筋の腐食が影響していないか確認する為、供試体を割り内部鉄筋の腐食状況を確認してみたが、いずれも鉄筋の腐食は確認されていない。(図-5)

4. 塩化物量試験

コンクリート打設時に海水が型枠内に浸入してしまう状況や、建物が塩害環境に曝される状況下で、鉄筋がどれだけ腐食するのか推測する為、フレッシュコンクリート及び既存コンクリートを用いて塩化物量試験を行った。

(1) フレッシュコンクリートを用いた塩化物量試験

a) 供試体の作成方法

フレッシュコンクリートの配合は、表-3に示す。JIS A 1132 (コンクリート強度試験用供試体の作り方)³⁾に準じて型枠内に一定量ずつコンクリートを投入し突き棒で締め固めることを繰り返し供試体を作成した。供試体を作成するにあたり非塩害範囲を想定した供試体は標準通り作成し、常時海中に位置する範囲を想定した供試体は型枠内に海水が溜まった状態から作成した。

b) 試験方法

上記により作成した供試体を用いて、(財)国土開発技術研究センターの技術評価を受けた塩化物量測定器により、同一試料における3回の測定値の平均値を計測した。⁴⁾

c) 試験結果

塩化物量試験の結果を表4に示す。海水がある状態だと突固め作業の際に海水がコンクリートに混ざり、塩化物量が増加する結果となった。

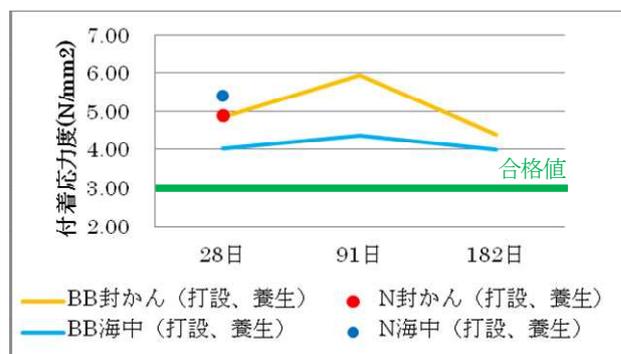


図4 付着応力度試験の結果



図5 鉄筋腐食状況

表-3 供試体情報 (フレッシュコンクリートの塩化物量試験)

塩害環境区分	非塩害	常時海中
呼び強度	30.0N/mm ²	
スランブ	18cm	
水セメント比	45.0%	
セメント種別	N	
混和剤	AE減水剤(標準形 I 類)	

表4 塩化物量試験 (フレッシュコンクリート) の結果

塩害環境区分	非塩害	常時海中
1回目	0.055	0.253
2回目	0.046	0.110
3回目	0.034	0.083
平均	0.045	0.149

単位: kg/m³

(2) 既存コンクリートを用いた塩化物量試験

a) 供試体を採取した既存施設の状況

本試験用の供試体は、地上躯体部が飛来塩分の影響を受け、基礎部が潮の干満を受ける範囲に位置する既存施設から採取した。本施設の地上躯体部はシラン系アクリルシリコン樹脂系撥水型塗装が塗布されており、潮の干満を受ける基礎部は、建設当時海水が型枠内に有る状態でコンクリートが打設され、その後周囲に砕石が埋め戻された状況で6年が経過している。

試料採取は、現在供用されている施設である為、破壊範囲が極力少ないドリル法により、地上躯体部及び基礎部から既存コンクリートの削孔粉を採取することとした。既存コンクリートの配合は、表-5に示す。

b)試験方法

今回実施したドリル法による塩化物イオン含有量試験は、ハンマードリルにより20mm深度毎に所定の深度まで既存コンクリートを削孔しドリル削孔粉（深度毎の試料数量は約50g程度）を採取する。試料調整を加えた削孔粉は、深度毎に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）によるチオシアン酸水銀（Ⅱ）吸光光度法³⁾によって、全塩化物イオン量の測定を行った。

c)試験結果

含有塩化物イオン量の試験結果を表-6に示す。

JASS5では鉄筋発錆限界 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 、鉄筋腐食限界 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ とされている。⁵⁾飛来塩分の影響を受ける範囲に位置する地上躯体部では、公共建築工事標準仕様書⁴⁾（以下仕様書という）の最小鉄筋かぶり厚さ4cmでも発錆限界に達しておらず問題無い結果となった。しかし、潮の干満を受ける範囲に位置する基礎部では、仕様書の最小鉄筋かぶり厚さ6cmで $1.45\text{kg}/\text{m}^3$ となり、発錆限界に達している結果となった。

なお、基礎部の測定値が高くなった要因として躯体のひび割れが影響していないか確認したが、基礎コンクリート表面にひび割れ等発生している状態は見受けられなかった。

5. 中性化試験

塩化物イオン量の浸透速度にコンクリートの中性化が影響する⁶⁾ことから、既存コンクリートを用いた中性化試験を前述の塩化物量試験と併せて行った。

a)試験方法

供試体は4.(2)と同様の既存コンクリートから採取する為、破壊範囲が少ないNDIS 3419（ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験）⁷⁾に準じて行った。ハンマードリルにより5mm深度毎に25mm深度まで削孔しドリル削孔粉を採取をした。そのドリル削孔粉にフェーノールフタレイン1%溶液を噴霧し呈色反応により中性化深さを測定した。

b)試験結果

飛来塩分の影響を受ける範囲及び潮の干満を受ける範囲共に中性化無しという結果になった。（図-6、7）

表-5 供試体情報（既存コンクリートの塩化物量試験）

塩害環境区分	飛来塩分	潮の干満
呼び強度	30.0N/mm ²	
スランプ	18cm	15cm
水セメント比	47.8%	
セメント種別	N	
混和剤	AE剤 AE減水剤(標準形 I 類)	
フレッシュ塩化物量	0.034kg/m ³	0.045kg/m ³
かぶり厚さ	4.4cm	8.7cm

表-6 塩化物イオン量試験の結果（既存コンクリートの塩化物量試験）

表面からの深さ	飛来塩分	潮の干満
0~2	0.851	10.300
2~4	0.161	3.750
4~6	0.092	1.450
6~8		0.621

(cm) 単位: kg/m³

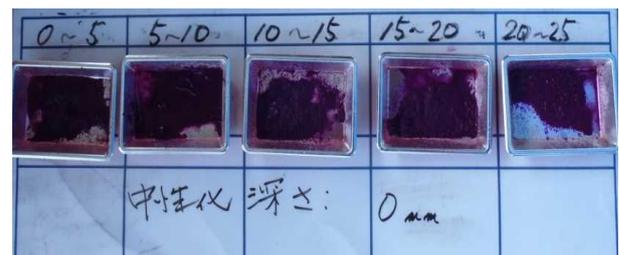


図-6 中性化結果（飛来塩分の影響を受ける範囲）



図-7 中性化結果（潮の干満を受ける範囲）

6. 考察

型枠内に海水が溜まった状態でコンクリートを打設後に常時海中に位置する基礎等を想定した鉄筋の付着応力度試験では、材齢182日経過した構造体でも問題無いという結果になった。しかし、塩化物により鉄筋が腐食に至る過程は、鉄筋の不動態被膜が一定量以上の塩化物イオンにより破壊され、酸素及び水分の浸入によって腐食するものであり、今回の試験のように、短期間の調査で、かつ供試体を常時海中に浸けた養生方法では、供試体の劣化を確認できるまでに至らず、コンクリート中への酸

素の浸入も無い状態であった。このことから、常時海中に位置する構造体の鉄筋付着応力度については、問題無いという結論を導き出すまでに至っていない。

飛来塩分の影響を受ける範囲においては、既存コンクリートを用いた塩化物量試験の結果が示すように、表面保護仕上機能を発揮している状態であれば特段問題は見受けられなかった。定期的な塗装の更新を行うことで今後も良好な状態を確保出来そうである。

潮の干満を受ける範囲においては、既存コンクリートを用いた塩化物量試験で、鉄筋発錆限界を超える量を示したことからも、塩化物量の浸透を抑制することが重要と考えられる。フレッシュコンクリートを用いた塩化物量試験結果で解るように、海水がある状態でコンクリート打設を行うとバイブレーター等にて海水とコンクリートが攪拌されることとなり塩化物イオンがコンクリートに混入する恐れがあるので海水に浸からない対策が必要である。これについては、常時海水に浸かる範囲においても同様の対策が必要と考えられる。

型枠内に海水が浸入しない対策としては、水位が低下した時期に打設する方法や仮設の検討にて対応すること等が考えられる。まずはコンクリート打設時は海水に浸からない状況となるよう設計段階から検討したい。また、鉄筋に塩化物イオンが到達する時間を延ばす為、増コンやかぶり厚さを十分確保することや、腐食に強い鉄筋の採用も考えられる。

7. あとがき

今回の研究は被爆試験期間が短く、詳細な検証を行うには試料も少ない状況であった。

今回採用したドリル法による塩化物イオン含有試験は、塩化物イオンを計測する場合の簡易方法に位置付けられており、コア採取より比較的塩化物イオン量が高く計測される傾向にあるため⁸⁾、実際の量については追加診断を要すると考えている。また、付着応力度試験については、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を用いた供試体それぞれを比較することでセメントの違いによる対塩害効果の検証も試みたが、調査期間が短かったこともあり、詳細な検証にまで至らなかった。

今後の課題として研究精度を高める為には、調査期間を延長し、詳細検証が可能な調査方法の更なる検討が必要であると考ええる。

参考文献

- 1) (社)公共建築協会：建築工事監理指針(上巻)
- 2) (財)建材試験センター規格：JSTM
- 3) 日本工業標準調査会：JIS
- 4) 公共建築協会：公共建築工事標準仕様書(建築工事編)
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS5
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書
- 7) (社)日本非破壊検査協会：NDIS
- 8) 湯浅 昇：“コンクリート構造物の非破壊試験・微破壊試験の研究と実用化”建材試験センター建材試験情報 2013年4月 寄稿