

PHC 杭を模した試験体の海洋環境下での暴露試験（暴露 10 年までの中間報告）

国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 正会員 ○小林茂則 野口孝俊
 （国研）海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹 与那嶺一秀

1. 目的

PHC 杭（プレテンション方式遠心力高強度プレストレストコンクリート杭）は構造物の基礎として土中環境では多く使用されている。一方、海洋環境下では、日本国内では適用事例もなく、長期にわたる適用性については知見が十分ではない。

この PHC 杭が羽田空港 D 滑走路の埋立部と栈橋部の接続部において適用されることになった。実構造物の状況を写真 1 に示す。PHC 杭の海洋環境下での耐久性を評価するため、この工事時に製造されたコンクリート試験体を用い、海洋環境下での暴露試験を行うこととした。本報告は約 10 年間暴露後の結果をまとめたものである。



写真 1 羽田空港 D 滑走路での適用例

2. 調査概要

（1）試験体

JIS A 1136 で用いられる中空円筒形（高さ 300mm、外径 200mm、厚さ 40mm）とした（写真 2 参照）。コンクリートの配合を表 1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、 $W/C=0.257$ である。混和材に高強度混和材（スラグ石こう系混和材）を用いた。なお、本試験体には鉄筋は埋設されていないが、実際の PHC 杭にはエポキシ樹脂塗装鉄筋（以下 EP 鉄筋）が用いられている（設計かぶりは 50mm と設定）。



写真 2 試験体外観（暴露 10 年時）

（2）暴露環境、期間

自然海水が噴霧される屋外環境（1 回 3 時間を 1 日 2 回）に試験体を暴露した。暴露期間は約 10 年である。

（3）試験項目

圧縮強度は JIS A 1136、中性化深さは JIS A 1152、塩化物イオン濃度は JIS A 1154 に準拠して実施した。

表 1 コンクリート配合

単位量(kg/m ³)						空隙率* (%)
W	C	混和材	S	G	混和剤	
126	450	40	667	1152	9.3	4.64

*水銀圧入法により測定

3. 調査結果

（1）圧縮強度の経時変化

圧縮強度の経時変化を図 1 に示す。初期値は 2008 年 12 月の実工事で製造されたコンクリート(N=21)の平均値、今回は N=2 の平均値を用いた。暴露後に若干強度が増加した。

（2）中性化深さ

中性化深さはゼロであった（写真 3）。二酸化炭素による炭酸化や、海水が作用することによるセメント水和物の溶脱は、現時点ではほとんど進行していないようである。

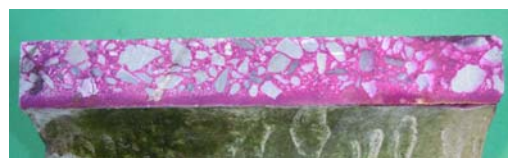


写真 3 中性化深さ

キーワード PHC 杭, コンクリート, 海洋環境, 暴露試験, 塩化物イオン

連絡先 〒221-0053 神奈川県横浜市神奈川区橋本町 2-1-4 TEL 045-461-3897

(3) 塩化物イオン濃度の浸透状況

図2に塩化物イオン濃度分布を示す．約10年経過時においても20mm程度までしか浸透していない．

図3に水セメント比と見かけの拡散係数 D_{ap} の関係を示す．なお， D_{ap} は式(1)で濃度分布を回帰することにより求めた^{例えば1)}． D_{ap} は非常に小さい．なお，コンクリート標準示方書²⁾における普通ポルトランドセメントの計算式(式(1))の適用範囲 ($W/C=0.3 \sim 0.55$) 外であるが，式(1)に0.259を代入した際の値と同程度であった．

$$\log_{10} D_k = 3.0(W/C) - 1.8 \quad (1)$$

(4) 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の経時変化

図4は設計かぶり $c=50\text{mm}$ の場合の鉄筋位置の塩化物イオン濃度 C_d の時間(t)変化を式(2) (EP鉄筋の場合³⁾)により求めたものである (Microsoft Excel[®]で計算^{例えば1)}).

$$C_d = \gamma_{Cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{c}{\sqrt{D_d}} + \frac{c_{ep}}{\sqrt{D_{ep}}} \right) \right) \right) \quad (2)$$

なお， $\operatorname{erf}(s)$: 誤差関数， C_d のばらつきを考慮した安全係数 $\gamma_{Cl}=1.1$ (高い精度が確保される場合⁴⁾)， $c_{ep}=220\mu\text{m}$ ， $D_{ep}=2.0 \times 10^{-6}\text{cm}^2/\text{年}$ とし，表面塩化物イオン濃度 C_0 と拡散係数 D_d は今回の調査結果を用いた．

普通鉄筋の場合($c_{ep}=0$)，100年後では腐食発生限界濃度 (文献4)では $C_{lim}=2\text{kg/m}^3$ を若干ではあるが上回った．すなわち普通鉄筋の場合，計算上は100年の間に腐食が開始することとなる．一方，EP鉄筋の場合，エポキシ樹脂被覆の内側の鋼材表面の値は100年後においても 0.1kg/m^3 程度の非常に低い値であった．

4. まとめ

今回PHC杭に用いられたコンクリートは，海洋環境に10年暴露後においても強度低下はなく，塩化物イオン浸透抵抗性も非常に優れていた．

なお，本暴露試験は100年間継続予定である．

参考文献

- 1) 山路徹，審良善和，小牟禮建一：Excelを用いたコンクリート構造物の塩害劣化予測手法，セメント・コンクリート，No.773，pp.22-28，2011.7.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編] 2017年制定，pp.156-164，2017.12.
- 3) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]，CL.112，pp.10-16，2003.11.
- 4) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説(中)，pp.509-601，日本港湾協会，2018.5.

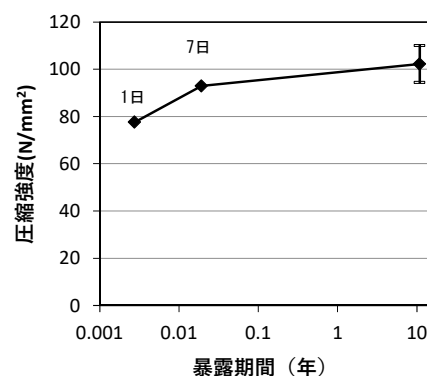


図1 圧縮強度の経時変化

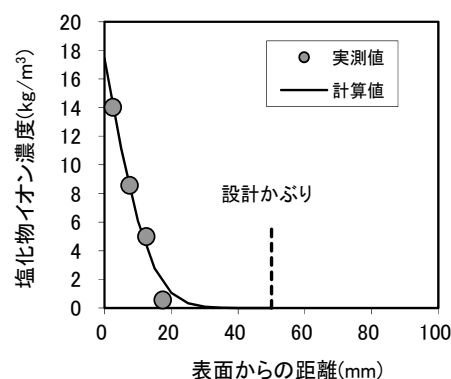


図2 塩化物イオン濃度分布

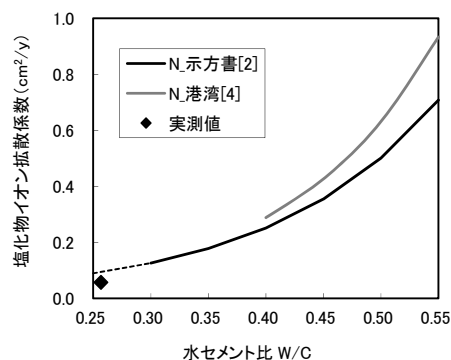


図3 水セメント比と D_{ap} の関係

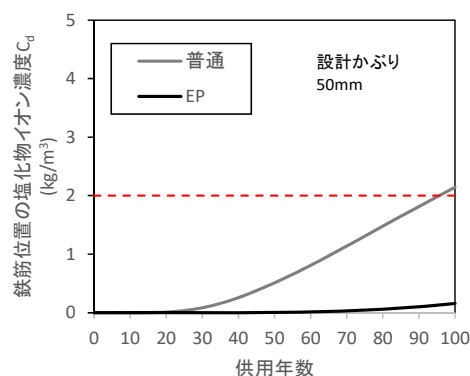


図4 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の経時変化