

26年間棧橋に供用されたPCパイルの調査

三菱マテリアル㈱ 開発研究部 正会員○植田厚元
 三菱マテリアル㈱ 開発研究部 正会員 本山裕三
 三菱マテリアル㈱ 開発研究部 正会員 小島利広

1. はじめに

広島湾内で、荷揚げ場及び棧橋の構築に際し、その支柱部にプレテンション方式遠心力プレストレストコンクリートくい（以下PCパイルと略）を使用した。この工事は、1964年の10月に開始され同年12月に終了した。その後26年を経て、1990年に棧橋改築に伴い取り壊された。供用されていたPCパイルには、ひびわれ等の劣化症状は全く認められず、外観調査の結果は健全であると判断された。そのため、PCパイルの1部を試験室に持ち帰り、室内試験を行った。杭体は1setが2本の上下杭から成っており、今回の調査の対象は上部の継杭であり、図1に示すように、飛沫帯に位置する棧橋下部0～10cmの部分と、干満帯に位置する棧橋下部185～195cmの部分を持ち帰り、その調査を行った。

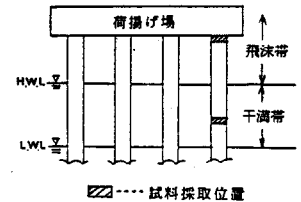


図1 試料採取位置

2. 調査概要

PCパイルの仕様はφ450×12000×70 t(mm)であり、PC鋼棒はφ16mmが10本配置されていた。使用された普通ポルトランドセメントの化学組成を表1に示す。コンクリートの配合を表2に示す。養生は蒸気養生(60℃・10h)が施された。また、PCパイルが設置された海の海水成分を年度をおって測定した結果を表3に示す。

表1 セメントの化学組成

セメント	化 学 組 成 (%)							
	igloss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
NP	0.61	0.89	21.85	5.08	3.04	64.31	1.55	1.81

表2 コンクリートの配合

セメント	W/C (%)	s/a (%)	単 位 質 量 (kg/m ³)				目 標 スリット (cm)
			セメント	水	細骨材	粗骨材	
NP	40.7	36.1	418	170	642	1157	5~6

註) 粗骨材は高知県四万十川産、細骨材は福岡県木座瀬(遠賀川上流)産

2.1 粉末X線回折

杭体の飛沫帯と干満帯とに区分し、外面より0～2.5cmを外側、2.5～5.0cmを中央部、5.0～7.5cmを内側と3部に分け、計6部についてそれぞれX線回折を行った。

2.2 塩化物イオン量

粉末X線回折用と同じ試料について、JCI-SC4(3)硝酸銀滴定法により測定をした。また、遠心成形のために杭体の遠心力方向でコンクリートの配合が異なる。よって、試料中の不溶残分を測定し、溶解分をペーストと仮定し、ペースト単位量当たりの塩化物イオン量を次式(1)で算出した。

$$Cl_p = Cl_c / (1 - insol.) \times 100 \dots (1)$$

Cl_p : ペースト単位量当たりの塩化物イオン量(%)

Cl_c : 塩化物イオン量測定結果(%)

2.3 PC鋼棒の発錆面積の測定

杭体中のPC鋼棒について、画像回折装置を用いて発錆面積の測定を行った。測定本数は飛沫帯が4本、干満帯が6本の計10本である。

2.4 コンクリートの圧縮強度試験

杭体の飛沫帯と干満帯よりそれぞれコアを抜きだし、φ7.5×8cmの円柱形供試体で圧縮強度試験を行った。

表3 海水成分分析結果

採取年度	pH	分 析 値 (g/l)			
		Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
1972年 夏	8.3	8.93	0.27	1.27	1.27
1974年 夏	6.9	10.67	0.22	0.71	1.50
1975年 夏	7.5	9.31	0.17	0.60	1.36
1976年 夏	8.1	4.07	0.30	0.98	1.93
1977年 夏	6.9	15.89	0.32	1.03	2.13
1983年 夏	7.8	11.30	0.25	0.74	1.61
1985年 夏	7.5	12.85	0.26	0.82	1.74
平均 値	7.6	10.43	0.26	0.89	1.65
標準的 海水	—	18.98	0.40	1.27	2.65

3. 調査結果及び考察

3.1 粉末X線回折結果

回折の結果を図2に示す。塩化物イオン(Cl^-)の浸透によるカルシウムクロロアルミネート ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)の生成や、硫酸イオン(SO_4^{2-})の浸透によるエトリンガイトの生成が考えられるが⁽¹⁾、両者ともいずれの部分でも同定されなかった。

3.2 塩化物イオン量

塩化物イオン量の測定結果を図3に示す。飛沫帯外部の塩化物イオン量は0.40%であり、干満帯の外部は0.76%であった。

塩化物イオン量を干満帯と飛沫帯と比較すると干満帯の塩化物イオンの浸透量が多く飛沫帯の2倍程度であった。また、干満帯と飛沫帯共に外側の塩化物イオンの浸透量が最も多く、内側、中央部の順で塩化物イオンの浸透量が少なくなっている。これは杭体が中空であり、杭の内孔に直接海水が侵入した可能性と、遠心成形のために遠心力方向でコンクリートの配合が変化している影響が考えられる。そのため、ペースト部分での塩化物イオン濃度の比較を試みた。図4に、不溶残分を使いペースト単位量当りの塩化物イオン量を算出した結果を示す。内側と中央部ではやや中央部の塩化物イオン量が多くなり、杭体の内孔に海水が侵入し、内孔から塩化物イオンが浸透したとは考えにくい。

3.3 P C鋼棒の発錆面積の測定

P C鋼棒の発錆面積の測定結果を図5に示す。発錆面積は明らかに干満帯が大きい。かぶりは約30mmであり、塩化物イオン量測定部では中央部に相当する。干満帯の平均発錆面積率は25.4%であり、塩化物イオン量は0.33%(約7.6kg/m³)、飛沫帯ではそれぞれ3.5%と0.09%(約2kg/m³)となり塩化物イオン量と発錆面積率との正相関がうかがえる。なお、観察したP C鋼棒には、腐食による断面欠損や孔食等の耐力に影響を及ぼす劣化症状は認められず、表面部分の発錆のみが観察された。

3.4 コンクリートの圧縮強度試験

コアの圧縮強度を表4に示す。P Cパイルではコンクリートの圧縮強度は500kgf/cm²以上としており⁽²⁾、十分な強度を維持している。

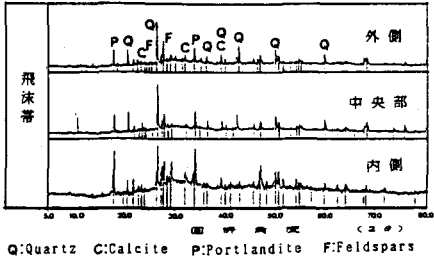


図2 X線回折結果

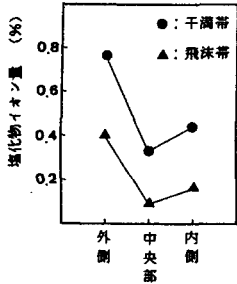


図3 塩化物イオン量

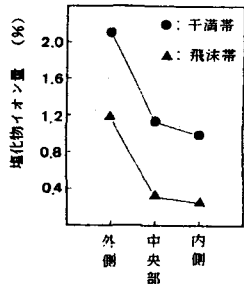


図4 ペースト単位量当りの塩化物イオン量

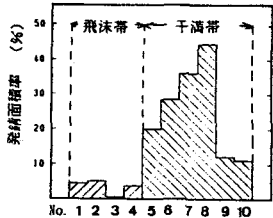


図5 P C鋼棒の発錆面積

4. まとめ

広島湾内で棧橋の支柱として26年間供用されたP Cパイルの調査を行い①外観観察では劣化症状が観察されず、健全であると判断され、②X線回折の結果とコアの圧縮強度試験結果から、コンクリートは健全な状態を維持している。さらに、③浸透した塩化物イオン量は著しく多いが、P C鋼材の腐食は表面部のみの錆に留まっている。また、④杭内孔へ直接海水が侵入したとは考えにくく、貫通ひびわれや杭継手の欠陥も無かったと思われる。これらの結果から、P Cパイルを海洋構造物に使用した場合でも長期間初期の物性を維持することが確認された。

参考文献

- (1) 尾野, 永嶋, 大塚, 伊藤, セメント技術年報, 32, 101 (1978)
- (2) 青木, 竹山: コンクリートパイルハンドブック, 山海堂, 昭和41年, pp143

表4 コア圧縮強度試験結果

コア(φ7.5×8cm) 圧縮強度 (kgf/cm ²)	飛沫帯	干満帯
	719	678