

V-244

各種セメントを用いて製造された
P C パイルの耐海水性調査

三菱マテリアル(株) 正会員○植田厚元 三菱マテリアル(株) 正会員 本山裕三
三菱マテリアル(株) 正会員 小島利広 三生コンクリート(株) 大山久雄

1. 調査概要

広島湾内で、荷揚げ場及び栈橋の構築に際し、その支柱部に普通ポルトランドセメント（以下 NP と略）、高炉セメント B 種（以下 SPB と略）及びフライアッシュセメント B 種（以下 FPB と略）を用いて製造された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（以下 PCP と略）を使用した。この工事は、1964年に行われ、その後26年を経て、1990年に栈橋改築に伴い取り壊された。供用されていた P C パイルには、ひびわれ等の劣化症状は認められず、外観調査の結果は健全であると判断された。

そのため、図 1 に示すように、飛沫帯に位置する栈橋下部 0～10cm の部分と、干満帯に位置する栈橋下部 185～195cm の部分をそれぞれ持ち帰り、その調査を行った。

調査対象の P C パイルは、すべて $\phi 450 \times 12000 \times 70$ t (mm) であり、P C 鋼棒は $\phi 16$ mm が 10 本配置されていた。使用された 3 種のセメントの化学組成を表 1 に示す。また、コンクリートの配合を表 2 に示す。養生は蒸気養生（60℃・10 h）が施された。

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
N P	0.61	0.89	21.85	5.08	3.04	64.31	1.55	1.81
S P B	—	—	—	—	—	—	—	—
F P B	0.77	0.75	25.49	10.39	2.11	53.87	3.39	1.85

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	
N P	40.7	36.1	418	170	542	1157	5~6
S P B	40.9	36.1	416	170	539	1153	
F P B	38.1	36.1	420	160	544	1163	

以上の試験体について、中性化深さの測定、コンクリートコアの圧縮強度試験、粉末 X 線回折、塩化物イオン量の測定、及び P C 鋼棒の発錆面積の測定の計 5 項目について調査を行った。

2. 調査結果及び考察

2.1 中性化深さの測定

N P と S P B の中性化深さは、飛沫帯、干満帯共に 1 mm 未満、F P B では 1～2 mm 程度であり、中性化は進行していなかった。

2.2 コンクリートの圧縮強度試験

$\phi 7.5 \times 8$ cm の円柱形コア供試体での圧縮強度試験結果を、表 3 に示す。この種の P C パイルでは、コンクリートの圧縮強度を 500 kgf/cm² 以上としており⁽¹⁾、どれも充分な強度を維持していた。

2.3 粉末 X 線回折

外面より 0～2.5 cm を外側、2.5～5.0 cm を中央部、5.0～7.5 cm を内側とし、3 部から採取した試料について X 線回折を行った。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 (C₃A・CaCl₂・10H₂O) の生成や、硫酸イオン (SO₄²⁻) の浸透によるエトリンガイトの生成が考えられるが⁽²⁾、両者ともいずれの部分でも同定されなかった。

2.4 塩化物イオン量の測定

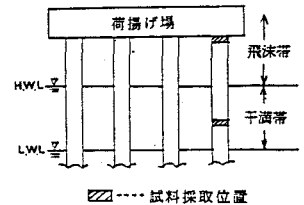


図 1 試料採取位置

表 3 コア圧縮強度

試 料	コ ア ($\phi 7.5 \times 8$ cm) 圧 縮 強 度 (kgf/cm ²)	
	飛沫帯	干満帯
N P	7 1 9	6 7 8
S P	6 4 1	7 0 0
F P	6 7 4	9 0 4

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。測定結果を図2に示す。

塩化物イオン量を干満帯と飛沫帯で比較すると、いずれのセメントの場合も干満帯の方が多い。SPBとFPBでは、干満帯と飛沫帯共に外側の塩化物イオン量が最も多く、中央部と内側は同等であった。NPでは、中央部の塩化物イオン量が最も少ない。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、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。

$$Cl_P = Cl_c / (1 - insol.) \times 100 \quad \text{..... (1)}$$

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(%)

その結果、図3に示ように、NPも杭外部から塩化物イオンが浸透・拡散したと考えられる。干満帯における杭中央部の塩化物イオンの絶対量は、FPBが最も多く、SPBが最も少なかった。

2.5 P C鋼棒の発錆面積の測定

P C鋼棒を取出し、マスキングテープに発錆部を写し取り、画像解析装置を用いて発錆面積を測定した。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。図4に各部の平均値とセメントの種類による比較を示す。発錆面積はすべてのセメントにおいて、明らかに干満帯が大きい。

干満帯においてFPBの発錆面積が最も大きく、SPB、NPの順となった。

また、飛沫帯においては、FPBが最も大きく、NP、SPBの順となった。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なかった。

3. まとめ

広島湾内で栈橋の支柱として26年間供用されたP Cパイルの調査を行った結果、図4 平均発錆面積率

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た。

②X線回折、コア圧縮強度及び中性化深さ測定の結果から、コンクリートは健全な状態を維持している。

③塩化物イオン量はFPBが最も多く、SPBが最も少なかった。

④P C鋼棒の発錆面積はFPBが最も大きかったが、いずれのセメントでも表面部の錆に留まっていた。

以上より、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。

特に、SPBは耐海水性に最も優れていると思われる。

参考文献

(1) 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

(2) 尾野、永嶋、大塚、伊藤、セメント技術年報、32、101 (1978)

(3) 大即、森、関：土木学会論文報告集 第332号 (1983.4)

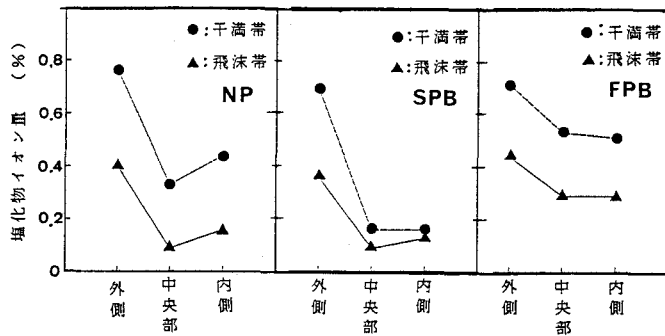


図2 塩化物イオン量測定結果

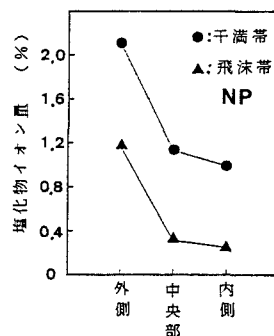


図3 塩化物イオン量

