

報告

[1109] 80年間経過したコンクリート製港湾構造物の耐久性について

市川 公一(横浜市港湾局)

浅野 泰史(横浜市港湾局)

正会員 ○守分 敦郎(東亜建設工業株式会社)

飯田 勲(東亜建設工業株式会社)

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を検討する場合、既設構造物の劣化状態を知ることには大変重要なこととなる。長期間海洋環境下にさらされたコンクリート構造物としては、安政6年(1859年)の開港以来日本を代表する貿易港として、日本の経済文化に大きな役割を果たしてきた横浜港の岸壁が挙げられる。ここで検討した新港埠頭は横浜港の中心に位置し、明治33年～明治44年頃に建設され、その後経済環境の変化や関東大震災、戦災等により改造、補修、撤去等の工事が加えられ、現在でも使用されている構造物である。従って、これらの構造物は約80年に渡って海洋環境下にさらされておられ、港湾構造物の劣化過程を知る上において最適な土木構造物となっている。

本文においては、約80年に渡って築造および改修が繰り返されてきた「新港埠頭」の劣化調査をもとに、コンクリート製港湾構造物の耐久性について検討した結果を報告するものである。



図-1 調査位置

2. 構造物の歴史

新港埠頭の位置を図-1に示す。明治時代に建設された岸壁の構造形式は、無筋コンクリートブロックによる重力式構造物が中心であった。しかし、これらの構造物は大正12年9月1日に襲った関東大

表-1 新港埠頭修築史

	年代	工事概要
明	32～38	第1期海面埋立工事 (1～5号岸壁、物揚場、等)
治	39～44	第2期海面埋立工事 (6～13号岸壁、物揚場、等)
大	【12.9 関東大震災】	
正	14	震災復旧工事
昭	8	新港岸壁補修工事 (防衝工・防舷材)
	31	9・10・11号岸壁補修工事
	36	9号岸壁延長工事
	37	一文字防波堤裏海面埋立工事
和	38	新港埠頭2号岸壁改良工事

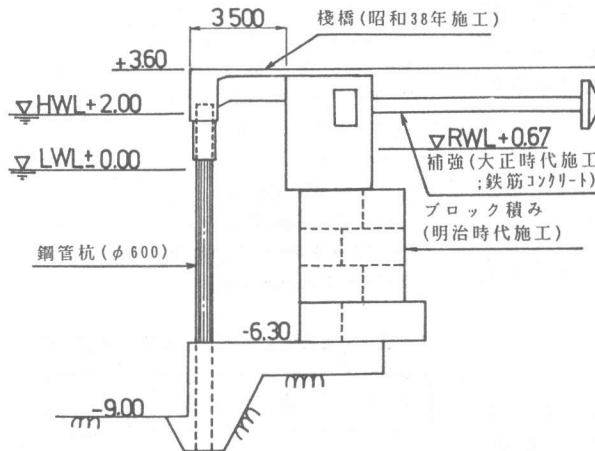


図-2 岸壁構造の例

震災(マグニチュード7.9)により、完成後13年目にして壊滅的な打撃を受けている。しかし、これらの施設は経済的に大変重要であったため、直ちに震災復旧工事が開始され短期間の内に復旧された(大正14年3月に竣工)。このときの補修、補強工事に、新港埠頭としては初めて鉄筋コンクリート構造が用いられている。その後、表-1に示す様に数回の改修、延長が行われている。図-2に現在の岸壁構造の一例を示してあるが、この構造図からも構造物の改修の歴史を知ることができる。

3. 構造物の劣化状態

新港埠頭を取囲む岸壁や護岸の形式は、「重力式構造物」と「栈橋式構造物」に分類することができる。これら構造物に見られる劣化状態を図-3に示す。この図より、次のことが理解される。

① 重力式構造物においては、海水の影響によるコンクリート表面部分の劣化や外力による角の欠け落ちが多く見られた。このため、鉄筋の一部が露出して腐食している構造物も見られたが、概して致命的な劣化にはなっていない。むしろ本構造形式の場合、劣化現象の多くは基礎地盤や周辺地盤の沈下による構造物のひびわれであり、このような劣化が構造物の耐用年数を大きく支配している様子が伺えた。

② 栈橋式構造物においては、約85%の構造物に塩害による鉄筋腐食が見られた。しかも、他の原因による劣化がほとんど見られず、塩害が栈橋構造物の耐用年数を支配している様子が伺える。この様に、構造形式によって劣化現象が大きく異なることは、大即等[1]の報告と一致しており、港湾構造物の耐用年数を検討する上において重要な問題と思われる。

4. コンクリートの品質

文献によると[2]、建設当初からコンクリートには日本製のセメントが使われた模様である。さらに同文献には、明治時代に使用されたコンクリートの配合が表-2の様に表示されている。この配合より水セメント比を推定すると約42%程度となる。現在、塩害環境の厳しい所でのコンクリートでは45%以下の水セメント比が推奨されており、この事からも当時のコンクリートの耐久性は高いものであったことが推測される。大正時代・昭和初期のコンクリートの配合については、これを知る文献が見当らず明確ではない。

5. 劣化調査方法

今回行なったコンクリート劣化調査の項目を表-3に示す。コンクリートは大きく分けると、4回(明治・大正は各1回・昭和は2回)打設されており、劣化調査はそれぞれの

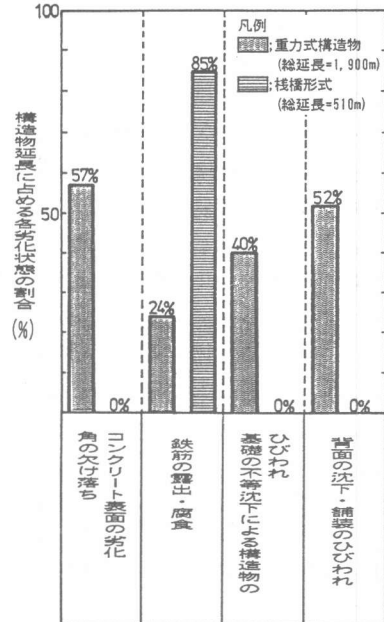


図-3 構造種別毎の劣化状況

表-2 使用したコンクリートの配合[2]

(体積比)		
セメント	砂	砂利
1	2	5

- (1) 砂は平均5厘(1.5mm)の荒目砂
- (2) 砂利は粒径2分(6mm)以上1寸7分(約5cm)以下の川砂利(主として多摩川産)
- (3) コンクリートの配合方法は
セメント801b:川砂2立方尺:砂利5立方尺
- (4) 水は淡水を用い、砂利の量の
9/100~11/100とする。

【上記より推測されるコンクリートの配合(Kg/m³)】

セメント	水	川砂	砂利
238	100	598	1502

年代ごとに行なった。なお、採取したコアは、図-4に示す様に切断し各試験の試料とした。

表-3 調査項目

項目	試料数
外観調査	123箇所
圧縮強度試験	51点
静弾性係数	10点
表面硬度試験 (シュミットハンマー)	26点 (気中部)
中性化試験	52点
塩分含有量試験	40点
配合推定試験	7点
鉱物顕微鏡観察	2点
示差熱分析	2点
鉄筋の腐食量、被り厚	46箇所

6. 劣化調査結果

6.1 圧縮強度試験結果

各年代のコア供試体による圧縮強度試験結果を図-5に示す。なお、同図においてはシュミットハンマーによる表面強度試験結果の平均値も合わせて示してある。シュミットハンマーによる表面硬度の測定は、コンクリート表面を数mmの深さで削り取り、表面を平滑にした後に行った。なお、測定結果は東京都材料試験所より提案された変換式により強度を換算した。また、図-6に静弾性係数測定結果を示す。これらの図より次のことが理解される。

① コンクリート強度には大きなばらつきが見られるが、年代の影響(経過年数の影響)は顕著には見られない。また、コンクリート表面において海水による劣化が見られる構造物においても、コア強度では平均279Kg/cm²程度の圧縮強度を示しており、表面から10cm以深のコンクリートにおいては顕著な強度低下は見られない。

② 気中供試体と水中供試体の強度においても明確な相違は見られない。

③ 各強度における静弾性係数も、気中・水中の環境条件の違いによる影響は見られない。さらに小坂

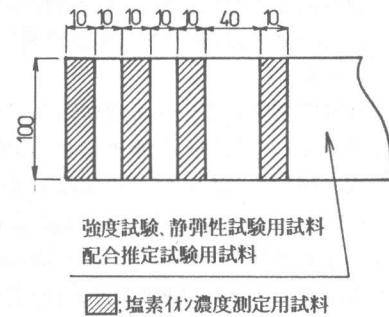


図-4 コアの調整

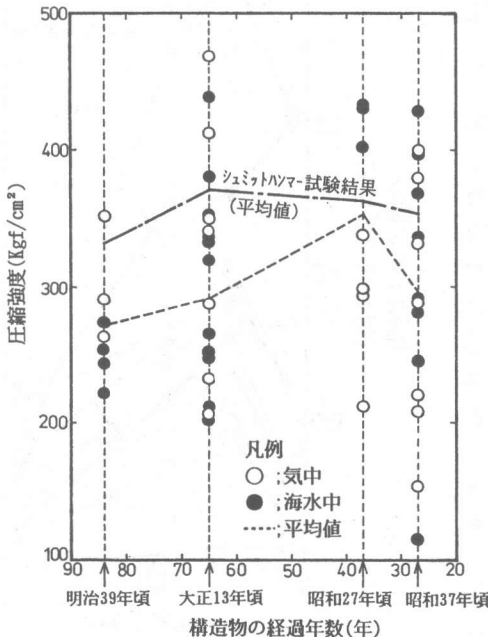


図-5 圧縮強度試験結果

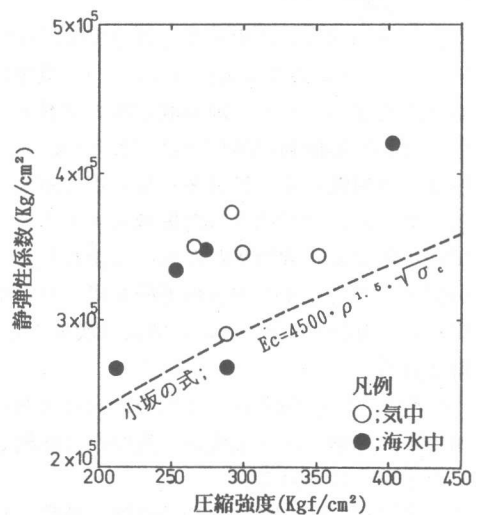


図-6 静弾性係数試験結果

の式との比較においても、これらのコンクリートの劣化が顕著でないことが理解される。

④ シュミットハンマーによるコンクリート表面の強度試験結果は、17供試体による圧縮強度より若干大きめの値を示しており、試験方法の違いを考慮してもコンクリート表面の強度低下は顕著ではない様である。

表-4 配合推定試験結果

No.	打設年代	水セメント比 (%)	単位量(Kg/m ³)			
			セメント	水	細骨材	粗骨材
4'	明治39年	41.9	217	91	981	1200
37	明治39年	52.5	240	126	929	1135
2	大正13年	80.4	199	160	904	1105
17	大正13年	64.9	302	196	822	1005
15	昭和27年	64.3	297	191	830	1015
20	昭和27年	60.7	280	170	862	1054
28	昭和37年	82.7	260	215	817	998

6.2 配合推定試験結果

表-4に配合推定試験結果を示す。配合推定方法は、セメント協会コンクリート専門委員会報告[3]に従うと共に、セメントの比重、酸化カルシウム含有量は文献[4]を参考にした。

配合推定試験の誤差を考慮に入れても、明治時代に使用されたコンクリートの水セメント比は大正・昭和時代に打設されたコンクリートに比較して小さいことが推測される。とりわけ、重力式構造物において表面劣化の激しいコンクリートは、大正時代に打設されたものが多く、この時期のコンクリートの水セメント比が高いことを考慮に入れると、水セメント比がコンクリートの耐久性に与える影響の大きさが理解される。

5.5 塩化物含有量

図-7～図-9に、各年代ごとの気中部、水中部のコンクリート中に含まれる全塩素イオンのコンクリート重量に対する比率を示してある。練り混ぜ時の材料としては清水、川砂、川砂利が使用されており(表-2)、練り混ぜ時の塩素イオン量は多くないことが推測されるため、ここで計測された塩素イオンの大部分が環境作用により供給されたものと思われる。塩分分析は、塩素イオン選択性電極を用いた電位差滴定法により行なった。この結果より次のことが理解される。

① 明治、大正、昭和のいずれのコンクリートにおいても、水中部の塩素イオン濃度は、気中部に比較して多いことが理解される。

② 大正(関東大震災の復旧)以降、鉄筋コンクリートが使用されているが、これらのコンクリート中の塩素イオン濃度は、鉄筋を腐食させると言われる塩素イオン

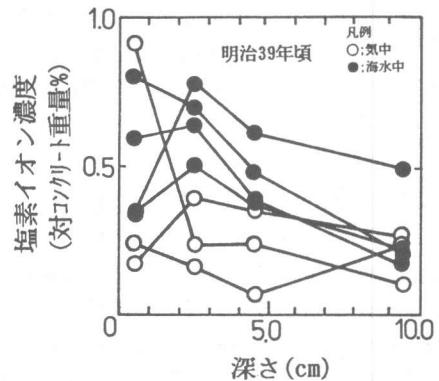


図-7 コンクリート中の塩素イオン濃度 (明治時代)

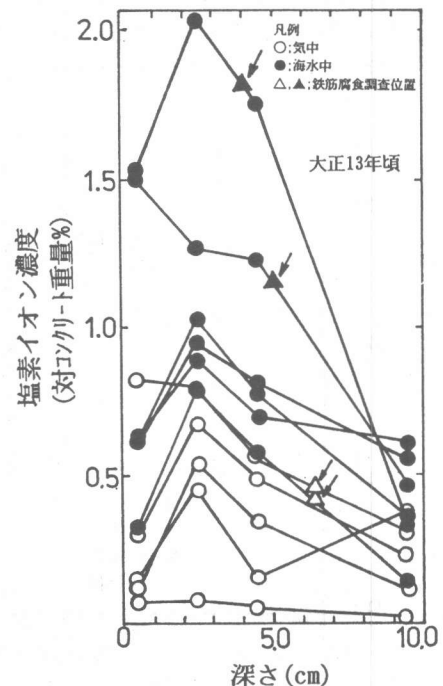


図-8 コンクリート中の塩素イオン濃度 (大正時代)

ン濃度[5]を大幅に上回っているにも関わらず、
 図中“△、▲”で示した位置の鉄筋には腐食は見
 られなかった。この事実より、重力式建造物の
 場合、海水による表面の劣化や外力によるか
 ぶりコンクリートの剥離が無い場合、塩害による
 被害は少ないものと思われる。

③ 栈橋形式の建造物は、その大部分が昭和27
 年～37年にかけて建設されたものであり、コン
 クリート中の塩素イオン含有量は他の時代に比較して小
 さい(図-9の○印に含まれている)が、85%もの
 建造物が塩害の被害を受けている。この事実よ
 り、栈橋形式は塩害を受けやすいことが理解さ
 れる。

⑤ 各年代のコンクリートについて、表面から5.0cm
 までの各層の塩素イオン量の平均値を図-10に示す。
 この図より、必ずしも経過年数の長い明治時代の
 コンクリートが、大正・昭和時代に打設されたコン
 クリートに比較して塩素イオンが多
 いとは言えない。これは、明
 治時代に打設されたコンクリートの
 水セメント比が、他の年代の
 場合に比較して小さかったこ
 とが原因の一つと思われる。

5.6 中性化深さ

採取したコアおよびはつり
 部に、フェノール溶液を噴霧
 して中性化深さを測定した結
 果を図-11に示す。同図には、
 すべての測定結果を年代ごと
 に示してあるが、これらの結
 果より次のことが理解される。

① 中性化深さの平均値とし
 ては、明治時代後期のコン
 クリートは3.7mm、大正後期が5.5mm、昭

和27年以降のものが5.4mm、昭和37年のものが5.9mmであった。一般的には、中性化深さは経過年
 数に比例して大きくなるが、調査結果では明治時代のコンクリートにおいても中性化深さは小さく、従
 って、コンクリートの品質(水セメント比)に大きな影響を受けている様子がうかがえる。

② 測定結果においては、気中部のコンクリートと水中部では、中性化深さは若干気中部のコンクリートの方
 が大きい様である。しかし、これらの中性化深さは岸谷式[6]により算定される値より13～25mm
 程度小さい値である。

③ 明治時代のコンクリートの偏光顕微鏡観察結果より、中性化深さは2.5mm程度であることが確認さ
 れ、ここに示した結果とほぼ同様であった。当時使用されたセメントの粉末度は「4,900孔/cm²

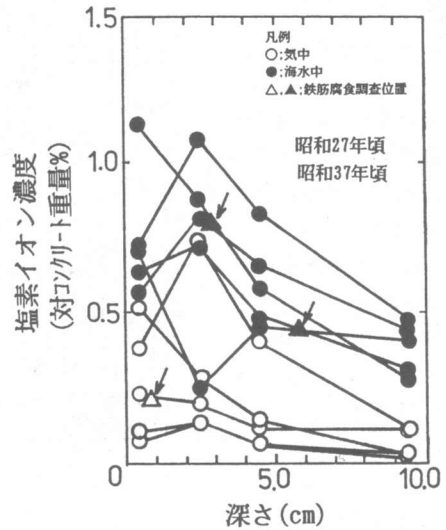


図-9 コンクリート中の塩素イオン濃度 (昭和時代)

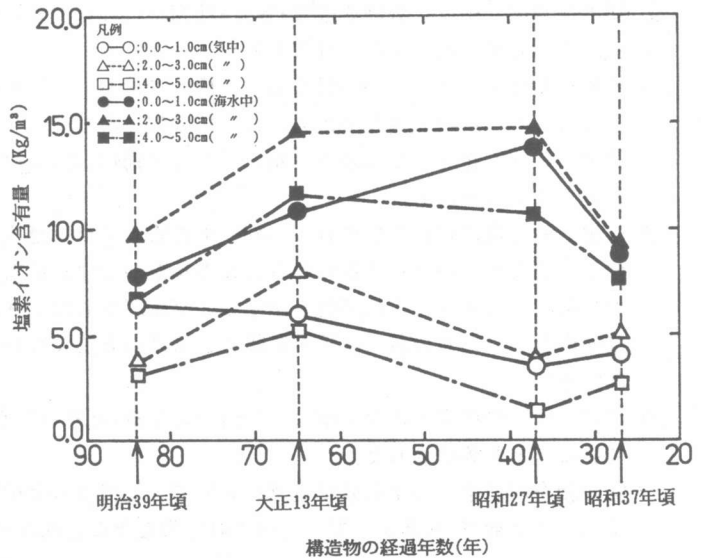


図-10 各層の塩素イオン含有量(平均値)の変化

の篩による残滓が25/100以内」[2]と規定されており、今日使用されているセメントの粉末度に比較して粗い様である。顕微鏡観察においても、セメントペースト中にまだ未水和のセメント粒子が確認されており、中性化速度はセメントの粒度にも大きく影響されている様である。

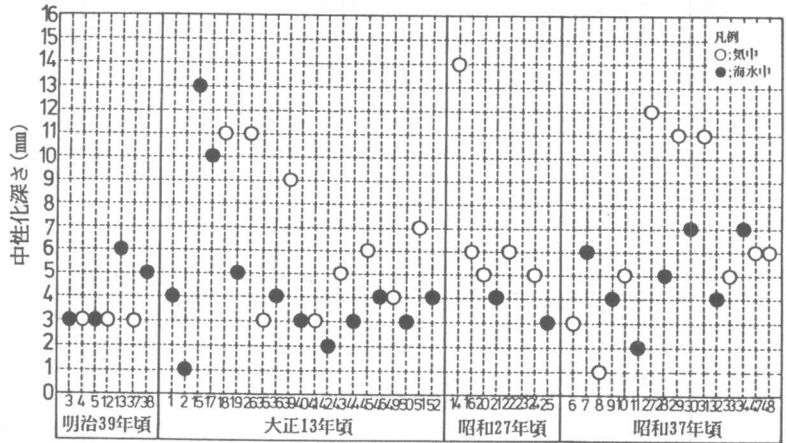


図-11 中性化深さ試験結果

6. おわりに

建造以来80年以上経

過したコンクリート製港湾構造物の劣化調査を行なった結果、以下のことが理解された。

- ① 新港埠頭の岸壁は、数回の改良・補修・補強が行われてきたが、コンクリート自身の劣化が原因となって行なわれた例は少ない様である。
- ② 本調査の結果では、コンクリート製の重力式構造物においては経過年数が長くなるに従って、海水によるコンクリート表面の劣化や外力による角の欠け落ち、基礎の不等沈下によるひびわれの発生等が顕著な劣化として確認された。この様な構造形式の場合、塩害による鉄筋腐食等の劣化は多くない様である。
- ③ 栈橋形式の構造物においては、コンクリート中の塩素イオン濃度や中性化深さは重力式構造物に比較して顕著な違いが見られなかったにもかかわらず、塩害による鉄筋等の腐食が見られ、重力式構造物と異なる劣化形態を示すことが確認された。さらに、この様な構造物の劣化状況は使用者や管理者の目に直接触れ難く、管理の方法について十分な検討が必要であることが理解された。
- ④ 中性化深さや塩素イオン濃度は、コンクリートの品質(とりわけ水セメント比)に大きく影響を受けていることが確認された。

今回の調査の結果、いずれの構造物においても現状での使用には耐えられることが確認されたが、長期的には補修・補強が必要と判断され、現在その方法について検討されている。

【参考文献】

[1]大即・原茂・浜田:栈橋コンクリート上部工劣化実態概略調査報告書、港湾技研資料No. 617
 [2]二交会、京浜港工事事務所:横浜港修築史-明治・大正・昭和-、昭和58年3月
 [3]社団法人セメント協会コンクリート専門委員会報告:P-18 硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告、昭和42年
 [4]社団法人セメント協会:わが国における普通ポルトランドセメントの品質の推移、セメントコンクリートNo. 253
 [5]例えば 岸谷・西澤他:コンクリート構造物の耐久性シリーズ 塩害(Ⅰ) 技報堂出版
 [6]岸谷孝一:鉄筋コンクリートの耐久性、鹿島建設技術研究所出版部、1963