

論文

[1128] 特殊水中コンクリート構造物の品質に関する実験的研究

小野 文雄(関西国際空港株式会社)

今野建太郎(東亜・不動・清水・国土総合
建設工事共同企業体)

正会員 ○安田 正樹(東亜建設工業技術研究所)

正会員 守分 敦郎(東亜建設工業技術研究所)

1. はじめに

近年、分離抵抗性の高い特殊水中コンクリートが広く利用されて来ており、水中でのコンクリート打設を大変信頼性の高いものとしている。しかし、鉄筋が密に配置された構造物においてはコンクリートの水平方向への移動等に伴い、鉄筋によりコンクリートが乱されたり、コンクリート中への塩分の混入等の品質劣化が懸念される。

本研究においては、鉄筋が密に配置された構造物に特殊水中コンクリートを使用した場合、構造物としてどのような品質を有するか、“コンクリート圧縮強度”、“コンクリート中に取り込まれる塩素イオン量”、“コンクリートと鉄筋の付着強度”、等の点について検討を行った。ここでは、これらの検討結果について報告する。なお本研究は、関西国際空港島建設工事の内、鋼板セル式護岸工事に特殊水中コンクリートを使用するための事前検討として行ったものである。

2. 実験方法

実験対象とした構造物は図-1に示す様に、主筋D22 が10cmピッチ、D19 が20cmピッチで配筋された、最小厚さ30cmの防食および防護用コンクリートである。この構造物は、+1.6m(HWL)を境にして気中部は普通コンクリートが、また水中部には特殊水中コンクリートが打設された。

使用した特殊水中コンクリートは、流動性及び充填性を考慮して、スランプフロー値 50±5cmのものを採用するとともに、分離抵抗性を考慮して増粘剤(メチルセルロース系)は2.64kg/m³(対水比1.25%)使用した。

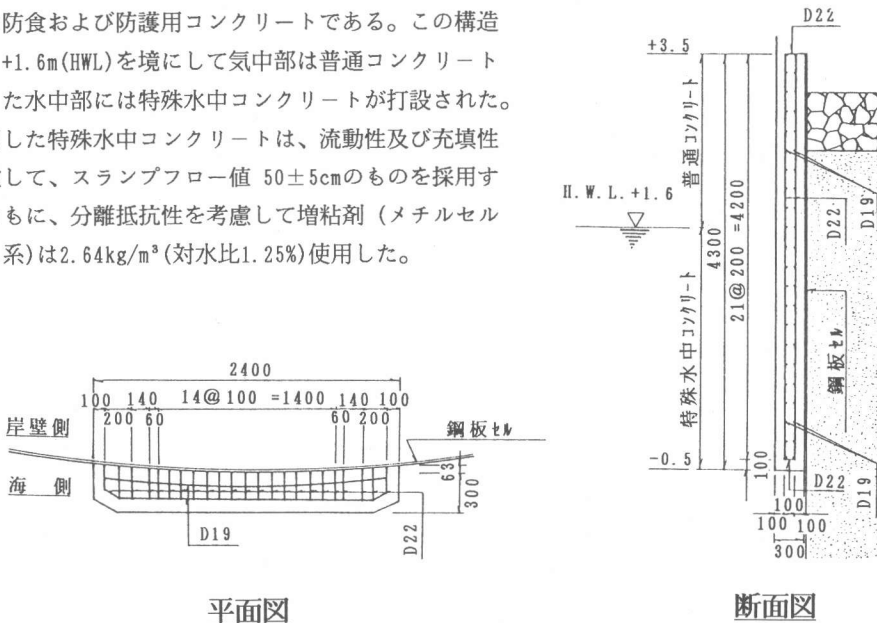


図-1 防食、防護コンクリートの構造

表-1 特殊水中コンクリートの配合

Gmax (mm)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	増粘剤	流動化 剤	Δ E 減水剤
20	50±5	3.5±1	55	40	211	383	645	987	2.64	6.79	3.84

表-2 使用材料

セメント	高炉セメント B種	比重	3.03
細骨材	大瀬産 海砂 F.M.= 2.77	比重	2.57
粗骨材	家島産 碎石 F.M.= 6.87	比重	2.62
		塩分量(NaCl)	0.001%

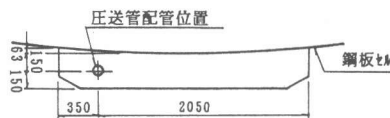
配合を表-1に、使用材料を表-2に示す。

特殊水中コンクリートの練り混ぜは、コンクリートプラント船を用い、容量3m³の2軸強制練りミキサーにより図-2に示す手順で行った。表-1の配合により練り混ぜた結果、フレッシュコンクリートのスランプフロー、空気量、およびコンクリート温度は表-3に示す状況にあった。コンクリートの打設は、図-3に示す位置に圧送管を挿入し、筒先を底型枠から50cm上げた位置に固定し、コンクリートプラント船より圧送した。特殊水中コンクリートは、HWまで圧送管を移動することなく打ち上げた。これにより、コンクリートが

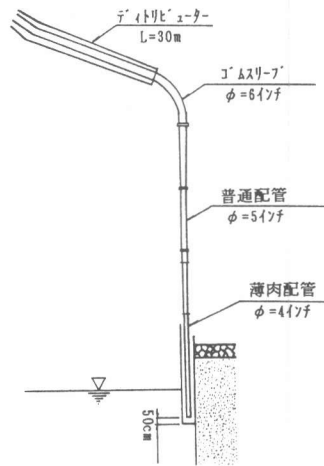
圧送管から排出された後に移動する距離は、水平方向には最大約2m、鉛直方向には1.5mとなる。打設された構造物は11日後に陸上に引上げられその後は気中養生された。その後所定の材令に達した後φ75mmのコアを採取し圧縮強度、塩素イオン量の測定を行った。

表-3 フレッシュコンクリートの品質試験結果

スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)
52	3.1	20



平面図



側面図

図-3 圧送管配置要領

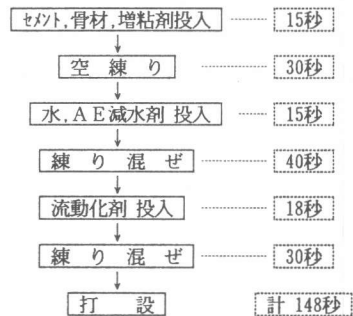


図-2 練り混ぜ方法

3. 圧縮強度結果及び考察

図-4にコア採取位置及びコア供試体の28日強度を示す。この図より次の事が理解される。

1) コア供試体の圧縮強度は、いずれの値も設計基準強度 (240 kgf/cm²) を上回っており、しかもそれらの平均値309kgf/cm²はマニュアル [1] に従って水中作成した供試体の圧縮強度302 kgf/cm² と同様な値を示した。従って、水中作成供試体による強度はこの様な施工方法を用いた構造物の強度を良く反映している事がわかる。

2) 圧送管より水平方向に最も離れている③⑥⑨供試体の圧縮強度は、他の供試体強度と同様であり顕著な強度低下は見られない。従って特殊水中コンクリートは密に配置された鉄筋の中を水平方向に移動しても、圧縮強度の低下が大きくないものと判断される。

3) ⑦⑧⑨供試体は特殊水中コンクリートの上面付近のコアであるが、これらの圧縮強度も他の供試体と同程度であり、明確な圧縮強度の低下は見られない。

以上の結果より、鉄筋が密に配置された構造物に対して特殊水中コンクリートが打設された場合においても、水平方向2.0m 鉛直方向1.5m の範囲では強度の低下は見られなかった。従って、ここで用いた方法であれば、1ヵ所の圧送管により少なくとも4mの範囲(片側2m)は強度低下の無い良好なコンクリートの打設が可能である事が分かる。

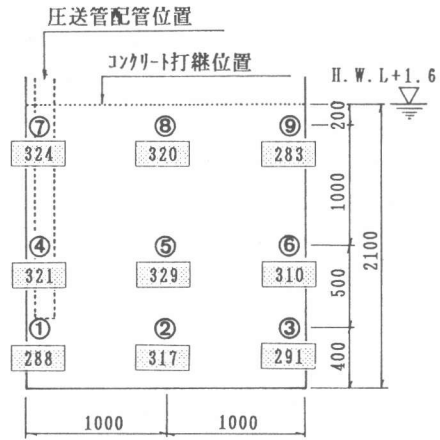
4. 塩分量測定結果と考察

コンクリート中の初期塩分量を低くおさえると鉄筋の発錆時期は遅くなる。さらに、コンクリート中に欠損が存在する場合でも、その部分からの塩害の発生をある程度おさえることが期待できる。ここではこの様に施工された特殊水中コンクリートの塩害に対する耐久性について、コンクリート中に含まれる塩分量の分析結果より検討を加える。

塩分分析は、JCI規準案 [2] に従い試料の全塩分を溶解した後、塩素イオン選択性電極を用いて電位差滴定法により行った。分析試料は、圧縮強度試験に使用したコア供試体①～⑨ (図-4) を用い図-5に示すように各コアについて、コンクリート表面より1~2cm、6~8cm、12~14cm、16~18cmの4ヵ所で行った。

塩分分析の結果より得られたコンクリート重量に対する塩素イオン量の比率を図-6に示す。同図より次の事が理解される。

1) コアの表面付近には多量の塩素イオンが混入されていることが分かる。しかし、この塩素イオンもコンクリート内部に入るに従って大変少なくなっており、その量は表面の値の1/20以下



凡例：①～⑨ コアナンバー
kgf/cm² 圧縮強度

図-4 コア供試体採取位置
及び圧縮強度試験結果

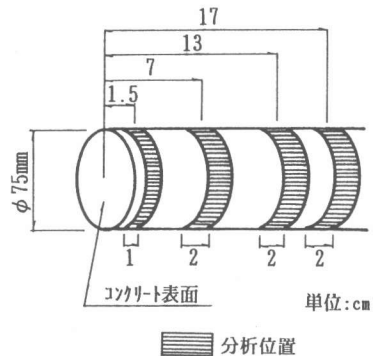


図-5 試料採取位置

である。

2)鉄筋位置においては約 0.009% (0.2 kg/m³) 程度の塩素イオンを含んでいる。この値は、練り混ぜ直後の生コンクリートに含まれる塩素イオン量 0.003%(0.06kg/m³:計算値) に比べると、約 0.006%(0.14kg/m³)程度増加しており、コンクリートの水中打設等による影響と考えられる。しかし生コンクリート中の塩素イオン量の規制値 (0.6kg/m³) [3]に対しては 1/3 以下と充分低い値となっている。

3)コア表面付近における塩素イオンの含有量は、③⑥⑨供試体の平均値が最も高くなっており、コンクリート打設用圧送管より水平方向に離れるに従って増加している事が分かる。しかし、コンクリート内部(6cm以深)においてはその様な傾向は見られず、従って鉄筋位置(かぶり10cm)では横方向への移動による影響は非常に小さいものと思われる。

4)図-7には、コンクリート表面付近(1~2cm)と鉄筋付近(6~8cm)に含まれる塩素イオンが構造物全体にどの様に分布しているか示してある。これは、各コア供試体の測定結果より推定し

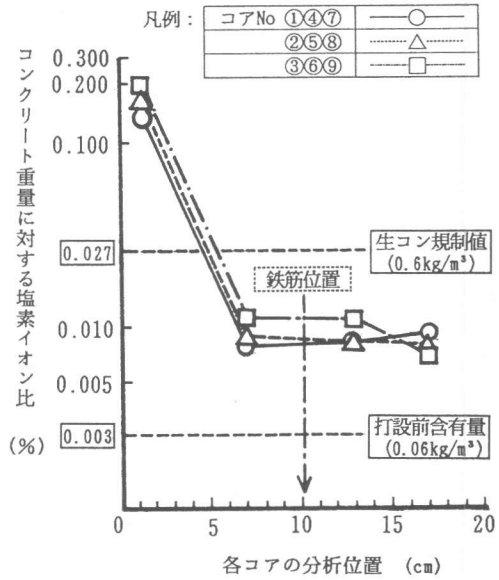
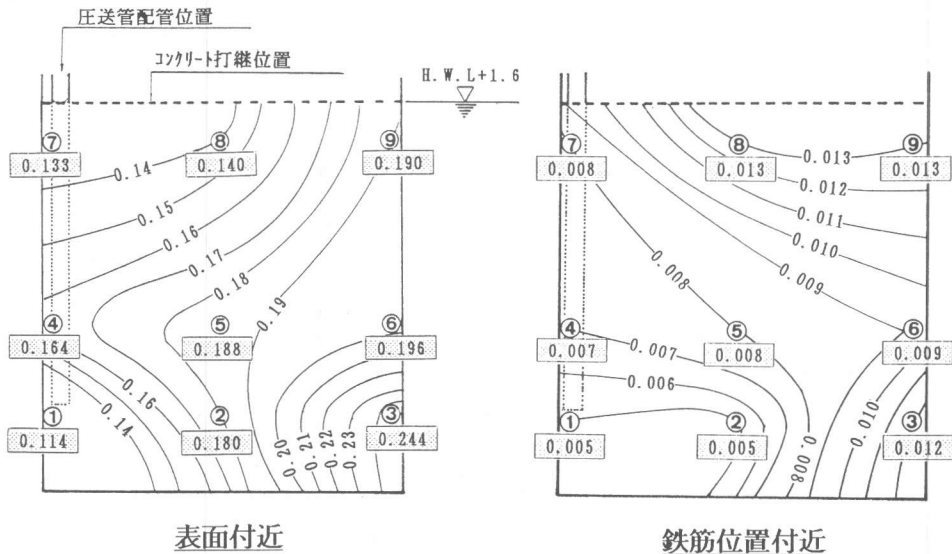


図-6 深さ方向の塩素イオン分布



注) 図中の数字はコンクリート重量に対する塩素イオンの比(%), []は各コアの測定値である。

図-7 コンクリート表面及び鉄筋位置の塩素イオン分布

たものであるが、この分布図よりコンクリートの移動状況を理解することができる。即ち、圧送管先端部では塩素イオン量が少なく、それより離れるに従って多くなっている。また、右角には塩素イオンの多い部分があり、この部分では海水が充分抜けきれなかった様子がうかがえる。しかし、この様な部分でも鉄筋位置での塩分量は小さい値である。

5. 鉄筋とコンクリートの付着強度

鉄筋コンクリートの力学特性の内、鉄筋とコンクリートの付着強度は大変重要な問題である。一般的に、特殊水中コンクリートはブリージングが無いために鉄筋との付着は良好であると言われている。しかし、特殊水中コンクリートの施工においては、鉄筋の腐食をさけて通ることは困難であり、これにより鉄筋とコンクリートの付着特性は複雑なものになる。ここではある程度発錆した鉄筋と特殊水中コンクリートの付着特性に関して別途供試体を作成して引抜き試験を行った結果を報告する。

5-1 実験方法

D19 の黒皮付横筋鉄筋を所定の長さに切断し、海水中に浸漬して表面を腐食させた。その後、そのまま付着試験用の型枠にセットした。図-8に示すようにこれらを容器内に設置し、水面から静かに特殊水中コンクリートを自由落下させて供試体を作成した。なお水中落下高は50cmとし、コンクリートの充填は自重による流動のみとした。供試体の大きさはASTM-C234に示されたものと同様である。また、コンクリートの配合及び使用材料は先の実験と同様である。供試体は材令2日で脱型し、以後材令4週まで標準水中養生を行った。水平筋供試体は材令26、27日で分割した。

引抜き試験は、ASTM-C234 に準拠して行い、変位計を鉄筋の自由端にセットし、汎用デジタル計測システムを用いて行った。

概要を図-9に示す。

鉄筋の発錆率の測定は、引抜き試験を行った後に鉄筋を取り出し、表面の錆を写し取り、画像解析装置により測定した。

5-2 実験結果及び考察

図-10 に鉄筋の発錆面積率と付着応力度 τ の関係を示す。縦軸には付着応力度を材令28日の圧縮強度 σ を $2/3$ 乗したもので除して正規化して示してある。 τ_{MAX} は最大付着応力度、 τ_D は鉄筋の抜け出し量が $0.002D$ の時の付着応力度である。この図より次の事が理解される。

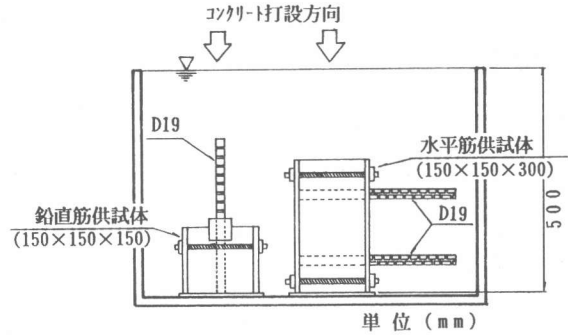


図-8 引抜き試験供試体

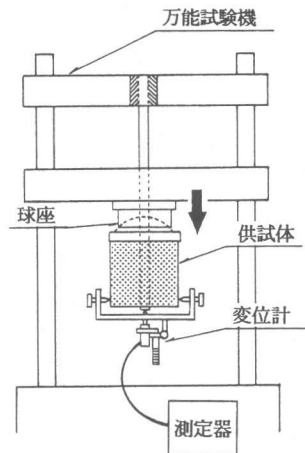


図-9 引抜き試験概要図

1) τ_{MAX} について見ると、水平筋、鉛直筋供試体とも発錆面積率 70%までは応力度の低下は少ない。しかし、発錆率 85%では腐食のない場合の付着応力度に比べ約 1 割低下している。

2) τ_D については、各供試体とも腐食のない場合に比較して、発錆率 70%で 1 割 85%では 4 割近く応力度が低下している。とりわけ、発錆率が 60%を越えた付近からの付着応力度の低下が顕著である。

3) 以上の事から、発錆の進行は初期の付着応力度に大きな影響を与える様である。しかし、最大付着応力度に関してはその影響が少なく、従って構造物の終局耐力に関しては、鉄筋腐食による影響は小さいものと判断される。

6. 結論

以上、特殊水中コンクリートを用いた場合の構造物の品質に関して種々の実験を行ってきた。これらの実験の結果以下の事が分かった。

- ①鉄筋が密に配置された部材においても、特殊水中コンクリートは乱されることなく充填され、強度の低下等の品質劣化は認められない。
- ②密に配置された鉄筋の中を特殊水中コンクリートが移動した場合、塩素イオンのコンクリート中への混入は表面付近に限られ、コンクリート内部への混入は大変少ない。
- ③コンクリート表面付近の塩素イオン分布より、コンクリートの移動状況が明確に理解され、型枠の角付近に海水が抜けきれない部分が認められた。しかし、その様な部分でもコンクリート内部の塩素イオン量は少ないことが認められた。
- ④鉄筋の付着特性は、発錆率 60%程度までは錆の無い場合と同様である。また、それ以上の発錆率においては、初期付着応力度の低下は見られるが、最大付着応力度には顕著な低下は見られない。

以上、これらの実験研究により、特殊水中コンクリートを用いた構造物の信頼性は高いものと思われる。しかし、このようなコンクリートの水中部での塩害に対する耐久性に関しては、まだ不明な点も多く今後この方面の検討をしていきたい。

【参考文献】

- [1] (財)沿岸開発技術研究センター；「特殊水中コンクリートマニュアル」昭和61年11月
- [2] 腐食防食研究委員会；「コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法のJCI規準案、(硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法)」コンクリート工学Vol. 22, No12, Dec. 1984
- [3] 土木学会；「昭和61年制定 コンクリート標準示方書 (施工編)」

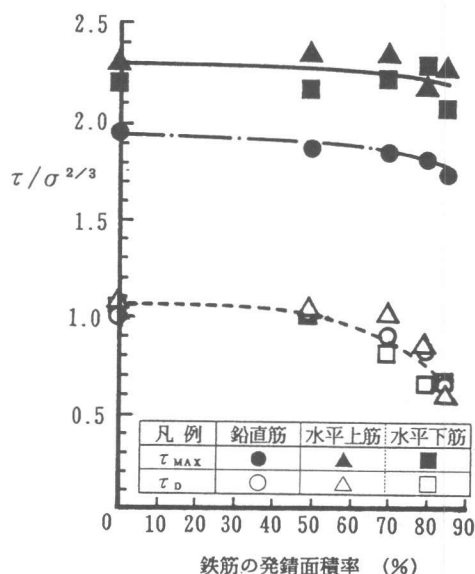


図-10 付着応力度と発錆率の関係