

大成建設(株) ○(正会員)松元 和彦

寺井 幸夫

はじめに 昭和52年末に試験建造したコンクリートバージ「C-BOAT 500」に適用したコンクリートおよび構造部材について、基本的な考え方ならびに特性の概要を述べる。

1. 材料に対する考え方

コンクリートバージを含む海洋浮遊式コンクリート構造物の躯体材料として要求される性能には強度的なもの、と耐久性に関するものがあり、一般には低比重、高強度、水密性、耐海水性等がその主なるものである。

i) 低比重(軽量化)について

海洋浮遊式コンクリート構造物のうち、特に運搬、貯蔵を主目的とする構造物では積載能力がその構造物の経済性に大きな影響を与えるため、材料自体の軽量化には細粗骨材共に構造用人工軽量骨材を用いた軽量コンクリート(比重 $\gamma=1.8$)を適用し、構造上の軽量化には高強度コンクリートを採用して、部材厚 $60\sim120\text{mm}$ の薄板構造およびPC構造とすることにより、排水枚数当りの積載量を 60% 強と小型構造物($3.7\text{m}\times 9\text{m}\times 3.1\text{m}$, 500DWT)としてはかなりの軽量化を目標とした。

ii) 高強度について

海洋コンクリート構造物には水密性および耐久性を高めるために圧縮強度と共に曲げ、引張強度等のひびわれ強度の高いコンクリートを使用するのが望ましい。軽量コンクリートの強度は水セメント比の他に骨材の強度、形状、粒径等による影響も大きいので、数種類の骨材および部材寸法、かぶり厚(10mm)等を考慮し粗骨材最大寸法 5mm の中骨材の使用、更に高性能減水剤を用いて W/C を極力低減させた各種の配合について試験を行ない、設計基準強度 $\sigma_{ck}=500\text{kg/cm}^2$ の高強度コンクリートを選定した。採用した配合および強度の概要を次に示す。

セメント: 普通ポルトランドセメント(単位量 550kg/m^3) 骨材: 細粗骨材共人工軽量骨材(粗骨材は中骨材)
 混和剤: 高性能減水剤、水セメント比: 34% スランプ: $16\pm 4\text{cm}$ 単位容積重量: 1.8 ± 0.02
 圧縮強度: 579kg/cm^2 、曲げ強度: 60kg/cm^2 、引張強度: 42kg/cm^2

iii) 水密性について

海洋浮遊式コンクリート構造物はその構造物の機能を確保することは勿論のこと、海水によるコンクリートの化学的侵食および鉄筋の腐蝕を防止するためにも水密性は重要な要素である。材料面での水密性の確保に最も影響を与えるものとして水セメント比が考えられる。一般にコンクリート成分中のセメントの水和反応に必要な水量は $W/C=27\%$ 程度とされているが、実際にはワーカビリティに問題があり $40\sim50\%$ 程度が一般的である。

しかし、コンクリートの水密性の面からみると W/C はできるだけ小さいことが望ましい。このため、本計画では高性能減水剤を用いて $W/C=34\%$ とし、また、施工面では十分な締固めを行ない緻密なコンクリートとすることにより、水圧 $5\sim15\text{t/m}^2$ の透水試験で拡散係数 $2\sim4\times 10^{-4}\text{cm}^2/\text{sec}$ と非常に小さく、水密性を高めることができた。また、軽量コンクリートは骨材の吸水性その他の要因により材令早期においては乾燥収縮が小さいといわれているが、本計画のコンクリートも長さ変化率試験では 100×10^{-6} (8週間恒温恒湿養生)と小さな結果が得られた。

iv) 耐海水性について

海洋環境におけるコンクリートの耐久性のうち、特に海水の化学的作用によるコンクリートの侵食、劣化に対する耐久性が重要である。海水の化学作用は主として海水中的 MgSO_4 や塩素イオンによって生じ、コンクリート内部に浸透した MgSO_4 は C_3A および C_4AF の水和物と反応してエトリンガイト系の化合物を生成し、この時大きな膨張を生じるとともに $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および CaSO_4 を溶出させて、コンクリートの微細組織を弛緩させる。

この変化がコンクリート内部への海水の浸透を更に容易にさせ侵食作用を助長するといわれている。このため海洋コンクリート構造物に使用するセメントにはCaA含有量の少ないものがよく、我国のセメントでは中庸熟ポルトランドセメントやC種高炉セメントがよいといわれている。しかし、本計画では普通ポルトランドセメントを用い、単位セメント量、W/C、粗骨材最大寸法等の配合面での考慮と、十分なる稀固め、養生等の施工との組合せて緻密で強度および水密性の高いコンクリートにすることにより耐海水性を確保しようと考えた。

2 構造部材について

バージ建造には部材の精度、コンクリート打継ぎの処理および将来の大型化への汎用性を考えてプレハブ工法を採用し、船首尾を除く中央部は断面方向に4個、船体縦方向に10列の合計40個のブロックで構成した。縦方向はPC構造としブロック間の接合は目地幅20^{mm}に特殊モルタルを注入する構造とし、断面方向はRC構造で接合も目地幅30^{cm}のRC構造とした。

i) 薄板部材のひびわれ耐力について

海水に接する船殻を構成する薄板部材のひびわれは海水浸透の直接の原因となり、鉄筋の発錆につながるため、ひびわれ耐力の高い構造とする必要がある。このためフェロセメント部材を含む数種類の配筋による薄板の曲げ試験により、曲げ剛性、最終耐力、ひびわれ耐力およびひびわれ分散性等の優れている配筋構造(D=650^{mm}×50^{mm})を採用した。断面算定には終局強度設計法を適用し応力種、部位によりそれぞれ安全係数を設定し、更に設計応力下でのひびわれ幅に対しては、最大0.08^{mm}として検討した。参考までに各種規準に規定されているひびわれ幅を適用個所に応じ整理したものを表1に示す。'

ii) 鉄筋のコンクリートかぶり厚について

浮遊式構造物では、先に述べた如く自重を軽減することも重要であり、特に本計画の如き小型構造物ではかぶり厚による自重増加への影響は大きくなる。しかし、かぶり厚は鉄筋の付着強度の確保、防錆およびコンクリートの施工性等から定まる。このため、USSR RE-GISTER, ABS等の各種規準およびフェロセメント船等の実績を参考にし、また、鉄筋径、かぶり厚、横筋間隔等を要因とした薄板の曲げ、引試験を行ない鉄筋応力の変化、付着力、ひびわれ性状、耐力等を検討した。この結果、かぶり厚は8^{mm}(10xφ)で構造的に問題のないことが確認されたが、施工性を考慮してかぶり厚10^{mm}を採用した。防錆処理は特に考えずコンクリート自体の水密性およびひびわれ強度を高くし、また、ひびわれ幅を小さく抑えることによりその効果を期待しようと考えた。参考までにコンクリートバージに関する各種規準の鉄筋コンクリートかぶり厚を比較したものを表2に示す。

あとがき 建造後約2年経過した現在、甲板のコンクリート表面に軽量コンクリート特有の微細な網状のひびわれが観察されている他は特に異常は認められていない。尚、バージを含む海洋浮遊式コンクリート構造物の関連技術として、昭和53年度に運輸省科学試験研究補助金の交付をうけてコンクリート浮函体の洋上接合実験を実施したが、その際も基本的には上記と同様の考えにより構造物を製作した。

参考文献：小林他：コンクリートバージ C-BOAT 500の建造，コンクリート工学 VOL.16, NO.11, NOV. 1978

松岡：高強度軽量コンクリートのひびわれ強度，土木学会第34回年次学術講演会講演概要集(1979)

表1 鉄筋コンクリートの許容ひびわれ幅(mm)

環境条件 あるいは 用途別	適用規準 政府基準	土木学会 規準	USSR RE-GISTER	FIP	NV	ACI	CEB -FIP	NK	ABS	PCI
屋内およびそれに 準じる環境			(0.15) 0.20			0.45	(0.20)			
屋外および湿った 大気中の環境			0.15		0.15	0.30				
海水、海水塩液によ うな腐蝕性のある 媒体中の環境	0.20	0.15	(0.07) 0.08	RC:10.30 PC: 45mm以下 の鉄筋を 用いる		0.15	(0.10) 0.20	腐蝕度 が異なる	0.125	0.10
水素化合物あるいは 塩化物中の環境		0.20	(0.08) 0.10	2-φ.04 3-φ.10		0.10	(0.10) 0.20	腐蝕度 が異なる		
備考			()内は 腐蝕性 が異なる 場合				()内は 腐蝕性 が異なる 場合			

表2 各規準別かぶり厚さ(mm)の規定概要

	PCバージ NK	USSR RE-GISTER	ABS	FIP	RC示方書 （土木学会） コンタリット	鉄筋コンクリート 規準（建・学）	フェリスチストコンクリ ート規準（土・学）
船殻外面	70 (100)	15	21	30 (0.25φ)(1.5)	70	普通 20 重 20 床 (30)(30)	① 10 15 20
船殻内部	40 (45)	10	13	20 (2.0φ)(1.0)	50	屋 30 30 壁 内 (30)(40)	② 20 25 30
その他(欄)	40 (45)	5	18 (2.0φ)(1.0)	10 (1.0φ)(1.0)	50	柱 30 40 屋 外 (40)(40) は り (40)(50)	③ 30 35 40
デッキの 作業床	40	20				基 礎 [60][70]	
	()はPC 部材の場合	W/C=42% 以下		()内は鉄筋 径φとの比 ()は骨材は 最大φ W/C=45%以下		()内は仕 なし 内仕に 異なる	④ 風雨にさらさ れない ⑤ 寸法が大きく重 要 ⑥ 条件の悪いもの