

報告 増粘剤を用いた高流動コンクリートによるケーソン底版部の

秋葉 泰男*¹・津田 義久*²・大槻 正喜*³・小山 英明*⁴

要旨：過密配筋されたケーソン底版部に、セルロース系増粘剤、高性能A E減水剤を用いた高流動コンクリートを打設した。コンクリートの製造において、細骨材の表面水率の管理及びコンクリートの品質管理試験結果を反映させた結果、管理基準を満たすことができた。また、コンクリートの製造から打設の過程で、ポンプ圧送が品質に影響を与えることが確認されたが、耐久性に関しても同様であると推測される結果を得た。
キーワード：高流動コンクリート，増粘剤，表面水率，ポンプ圧送，耐久性

1. はじめに

兵庫県の日本海側に位置する柴山港では、避難港の整備として防波堤の建設が進められている。この防波堤に使用されるケーソンは、運輸省が開発した「二重円筒ケーソン」(図-1)のローテイングドッグで底版部と外側円筒部を築造した後に、陸上で築造した内側円筒部を据え付け一体化する施工法がとられている。このケーソンの底版コンクリート打設は、写真-1に示すように、配筋が過密であるため締固めが十分に行えないことが予想される。そこで、高い自己充填性と分離抵抗性を持つ高流動コンクリートを適用することとした。底版部は、平成5年度に築造されたケーソンについても高流動コンクリートを使用しており[1]、今回もほぼ同様の施工方法をとった。しかし、今回の高流動コンクリートは、使用した混和剤や配合を変更したほか、品質管理試験項目についても新たに検討を行った。ここでは、製造方法、品質管理、及び製造から打設に至る過程でのコンクリートの品質、強度、耐久性の変化についてとりまとめて報告するものである。

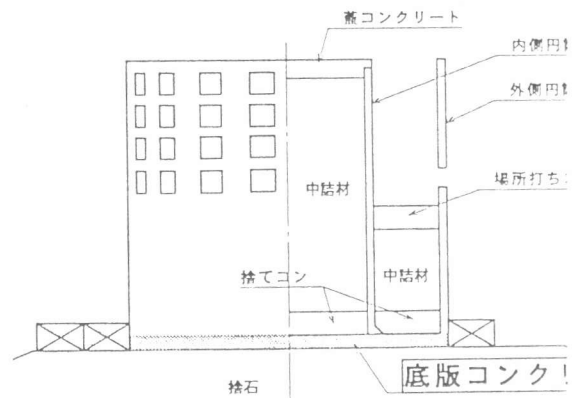


図-1 柴山港二重円筒ケーソン式防波堤断

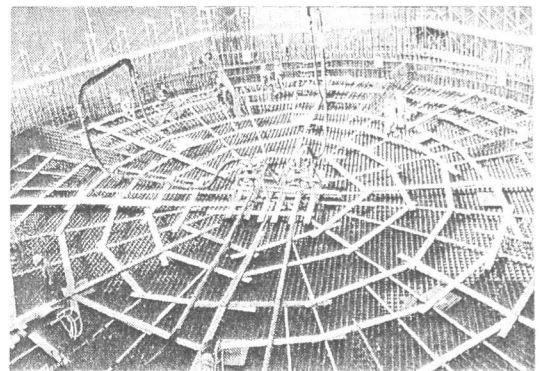


写真-1 施工場所

- *1 東亜建設工業(株)技術研究所材料・構造研究室研究員(正会員)
- *2 運輸省第三港湾建設局舞鶴港工事事務所長
- *3 運輸省第三港湾建設局舞鶴港工事事務所柴山分室工事Ⅱ課長
- *4 東亜・五洋・東洋柴山港二重円筒ケーソン製作JV所長

2. 施工概要

2. 1 使用材料

施工に使用した材料を表-1に示す。増粘剤は、低界面活性型水溶性セルロースエーテルを主成分とするものを使用した。また、コンクリートの流動性を高めるための混和剤として、平成5年度に使用した高性能減水剤とAE減水剤の組み合わせから、コンクリートの製造管理の簡素化を図るために、高性能AE減水剤（ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体）を使用した。

表-1 使用材料

セメント	高炉セメントB種（比重3.04）
細骨材	川砂（比重2.58、吸水率1.79%）
粗骨材	碎石（最大寸法20mm、比重2.68、吸水率0.74%）
混和剤	増粘剤（低界面活性型水溶性セルロースエーテル） 高性能AE減水剤（ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体） AE助剤（メラミンスルホン酸系化合物）

2. 2 配合条件と配合

コンクリートの配合条件を、表-2に示す。水セメント比は、既往のデータと設計基準強度より決定した。また、スランプフローは、できるだけ少ない単位水量で良好な自己充填性を持つものとして試験練りの結果や過去の知見と施工条件等を考慮して決定した。スランプフローの保持時間は、コンクリートの製造から打設までの所要時間（30分程度）を

表-2 配合条件

項目	条件
設計基準強度	300kgf/cm ² （材齢28日標準養生）
水セメント比	48%
スランプフロー値	60±5cm
空気量	4.5±1.5%
スランプフロー保持時間	60分

表-3 コンクリートの配合

スランプフロー (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				増粘剤 (W×%)	高性能AE減水剤 (C×%)	AE助剤 (C×%)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G			
60	4.5	48.1	52.5	185	385	872	820	0.30	3.0	0.015

考慮したものである。以上の条件を満足する配合を事前の室内試験練り及び実機試験練りより求め、表-3に示す配合を決定した。

2. 3 製造

コンクリートの練混ぜは、強制二軸式ミキサ（公称容量 4.5m³）を使用し、図-2に示す方法で行った。1バッチの練混ぜ量は、注水前にセメント、骨材と同時に増粘剤を添加

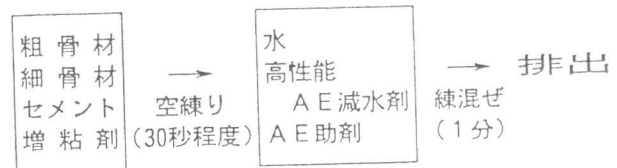


図-2 コンクリートの練混ぜ方法

するためミキサへの負荷が大きくなることを考慮して、2.5m³（公称容量の55%）とした。また、高流動コンクリートのフレッシュな状態での性状は、細骨材の表面水率に応じて敏感に変化するそこで、細骨材の表面水率の変動状況を正確に把握するために写真-2に示すマイクロウェーブ

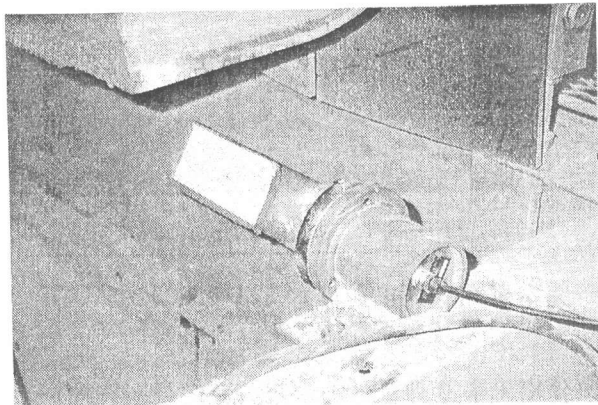


写真-2 マイクロウェーブ方式水分計

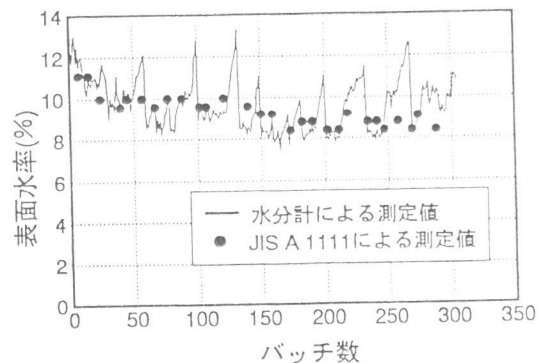


図-3 細骨材の表面水率測定結果

方式水分計（以下、水分計）により連続的に表面水率の測定を行った。さらに、JIS A 1111に準ずる試験方法により細骨材の表面水率を10バッチ毎に測定し水分計の値と比較した。測定の結果、図-3のように両者はほぼ同様の測定値を示すことが分かった。今回の施工においては、JIS A 1111による測定結果と水分計の連続的な測定結果より表面水率の変動傾向を把握して水分量を補正し、さらに、品質管理試験の結果でコンクリートの品質を確認しながら製造を行った。コンクリートの製造速度は、時間当たり 64.5m^3 であり、図-4からわかるように製造開始から終了までほぼ順調に行うことができた。

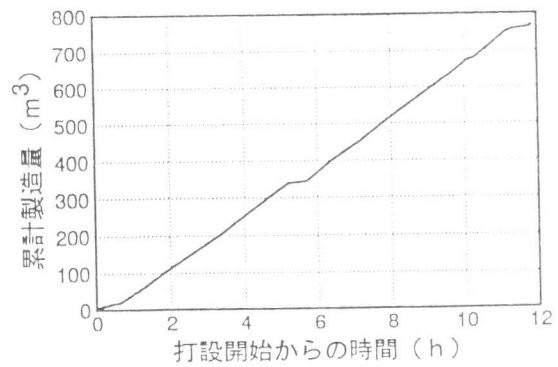


図-4 コンクリートの累計製造量

2. 4 打設と養生

コンクリートの打設は、2台のコンクリートポンプ車を配置して流動距離が大きくならないように筒先を順次移動させながら行った。ここで用いた高流動コンクリートは、粘性が高いので約50m程度の距離をポンプ圧送するためにコンクリートポンプのシリンダー圧力として $180\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度の高い圧力が必要であった。コンクリート製造から打設までの所要時間が30分前後とほぼ同じであったため打設も順調に行うことができた。打設に必要な作業員は、コンクリートポンプ車の管理に2人、ポンプ筒先の操作に4人、コンクリートポンプ車のブーム操作に2人の合計8人程度であった。締固めが必要な場合はこれらの作業員の他に10人程度が必要となると考えられる。従って、約半分の人数で施工できることが確認された。打設完了1時間後からコンクリート表面に水を張り5日間養生を行い、18日後には側面の型枠を脱型した。型枠脱型後のコンクリート表面は材料分離等は見られず良好であった。

3. 品質管理

3. 1 品質管理項目

今回の品質管理項目を表-4に示す。ここで採用した試験項目は、コンクリートの降伏値に関するスランプフロー試験と、塑性粘度に大きな影響を受けるVロート試験[2]である。Vロート試験は、図-5に示すVロート試験装置を使用し、コンクリートが落下する時間を測定した。Vロート試験の管理基準値は、試験練りの結果より、コンクリートが十分な粘性と流動性を保有する場合に得られた値「25秒以下」を基準とした。

表-4 品質管理試験項目

試験項目	管理基準	試験方法	試験頻度
スランプフロー試験	$60 \pm 5\text{cm}$	「コンクリートのスランプフロー試験方法」土木学会規準	製造開始直後から 15m^3 までは 5m^3 （圧縮強度は 15m^3 ）毎に1回。それ以後は 75m^3 毎に1回。
空気量試験	$4.5 \pm 1.5\%$	JIS A 1128	
Vロート試験	25秒以下	本文参照	
圧縮強度試験	設計基準強度（ $300\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）	JIS A 1108	

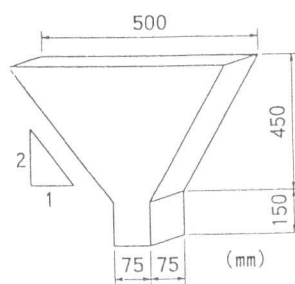


図-5 Vロート試験装置

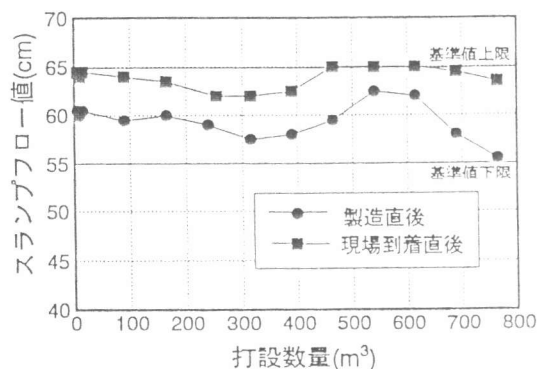


図-6 スランプフロー試験結果

3. 2 品質管理結果

(1) フレッシュコンクリート

図-6は、スランプフロー試験の結果である。製造直後及び現場到着直後とも 60 ± 5 cmの管理基準値を満たすことができた。しかし、現場到着直後のスランプフロー値は製造直後に比較して5 cm程度伸びることが確認された。これは、高性能AE減水剤の持つセメント分散作用とスランプ低下抑制作用に起因するものと考えられる。空気量試験結果については、図-7のように製造開始時には若干のばらつきが見られるがその後は安定した値を示している。また、現場到着直後の空気量は製造直後と比較して若干大きな値を示す傾向が見られた。Vロート試験結果を、図-8に示す。この結果も全て基準値内の結果を示した。しかしながら、他の品質管理試験の結果と比較してばらつきが大きく、コンクリートの性状のわずかな変化や、試験の手順等が結果に大きく影響することが確認された。コンクリート温度は、図-9に示すように $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ であった。以上の結果から今回採用した製造管理方法により性状の安定したコンクリートを出荷、打設することができた。

(2) 硬化後のコンクリート

硬化後のコンクリートの品質管理として圧縮強度試験の結果を図-10に示す。図に示すように材齢7日、材齢28日において安定的な強度が得られていることがわかる。

4. 施工過程におけるコンクリートの性状変化

4. 1 試験項目及び測定項目

施工過程におけるコンクリートの性状の変化を確認するために製造直後、現場到着直後、ポンプ筒先あるいは打設後において表-4の品質管理試験を行った。また、耐久性に関する試験として表-5に示す塩化物イオン浸透性試験[3]、促進中性

表-5 耐久性に関する試験項目

試験項目	試験方法
塩化物イオン浸透性試験	「高性能セメントモルタルの塩化物イオン浸透深さ試験方法(案)」[2]
促進中性化試験	本文参照
気泡間隔係数測定	ASTM C457-71
細孔径分布測定	本文参照

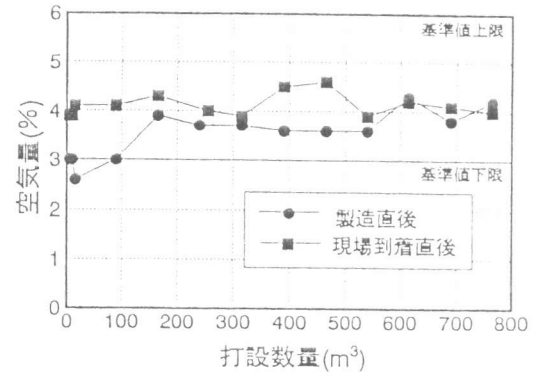


図-7 空気量試験結果

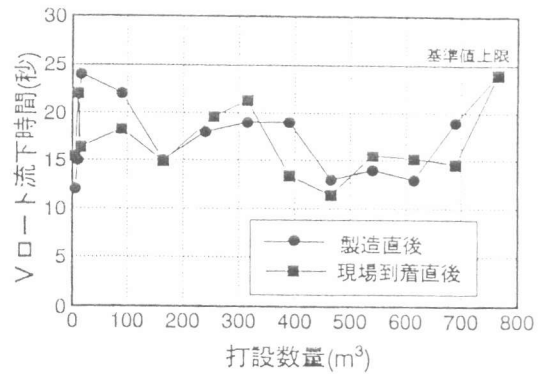


図-8 Vロート試験結果

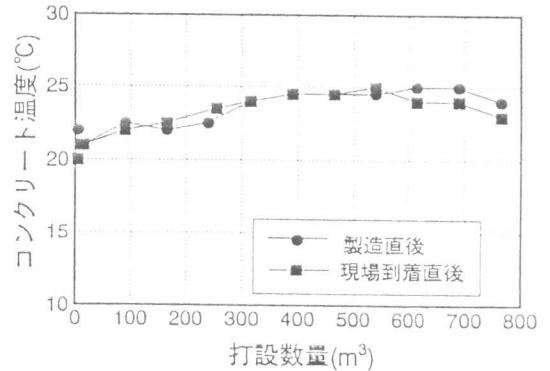


図-9 コンクリート温度測定結果

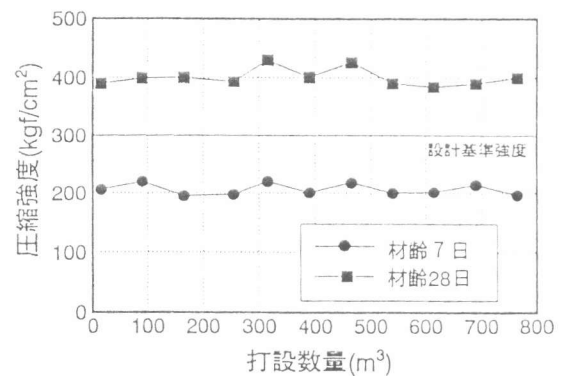


図-10 圧縮強度試験結果

化試験、気泡間隔係数の測定、細孔径分布の測定を行った。促進中性化試験方法は、材齢28日から温度30℃、湿度60%、CO₂濃度5%の環境に1ヶ月間暴露した後、フェノールフタレイン溶液を噴霧して表面から発色域までの深さを測定した。また、細孔径分布の測定は、直径5mmのモルタル部分をD-乾燥（ドライアイス凝結点-79℃の水蒸気分圧で冷却乾燥させる方法）により水和を停止した後、水銀圧入ポロシメータを用いて測定した。なお、試験は約150m³毎に1回行い、いずれも同様の傾向を示した。次節で述べる結果は、そのうちの代表的な1回を示したものである。

4.2 試験結果及び測定結果

(1) 品質管理試験

施工過程におけるスランプフローの変化を図-11、空気量の変化を図-12に、Vロート流下時間の変化を図-13に示す。また、コンクリート温度の変化を図-14に示す。施工の過程でコンクリートの品質に大きな影響を与えるものとしてポンプ圧送がある[4]が、

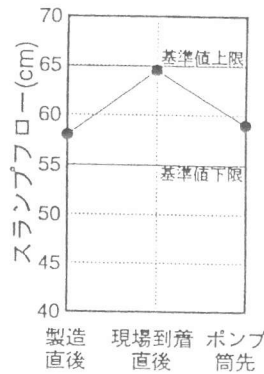


図-11 スランプフローの変化

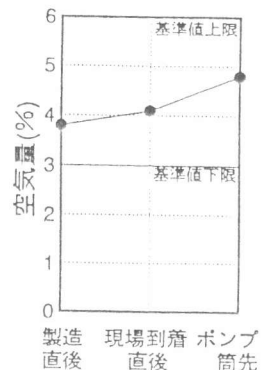


図-12 空気量の変化

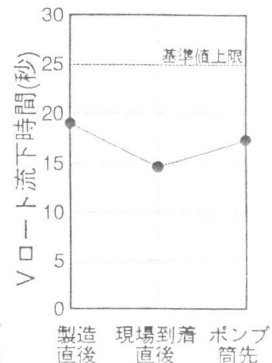


図-13 Vロート流下時間の変化

今回のデータにおいても圧送により、スランプフローが5cm程度低下し、空気量は1%弱、Vロート流下時間は、3秒程度の増加が見られた。施工場所への運搬や打設時における筒先からの流動等における影響はそれほど見られず、施工過程において最も大きな影響を与えるものは圧送圧力であることが推測される。

次に圧縮強度試験結果を図-15に示す。圧縮強度についても、わずかではあるがポンプ圧送後に減少する傾向が認められた。これは、空気量の増加による影響が原因のひとつであると考えられる。

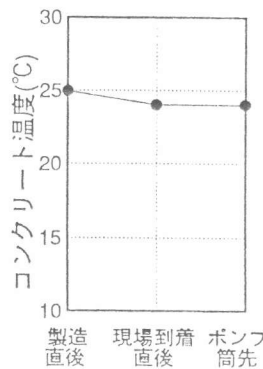


図-14 コンクリート温度の変化

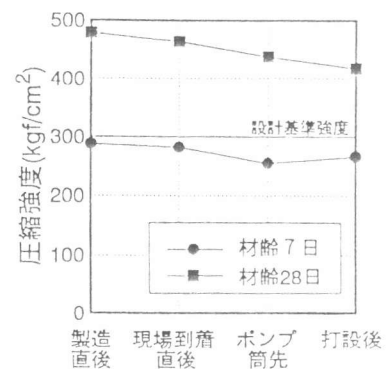


図-15 圧縮強度の変化

(2) 耐久性に関する試験

塩化物イオン浸透性試験及び促進中性化試験の結果を図-16に示す。塩化物イオン浸透深さは、施工過程において大きな変化は見られないが、中性化深さはポンプ圧送により1.5mm程度大きくなることが確認された。さらに、図-17に示す気泡間隔係数の測定結果においてもポン

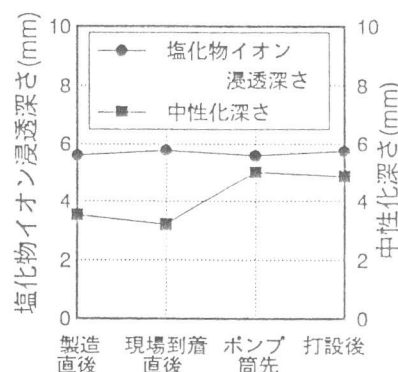


図-16 耐久性試験結果

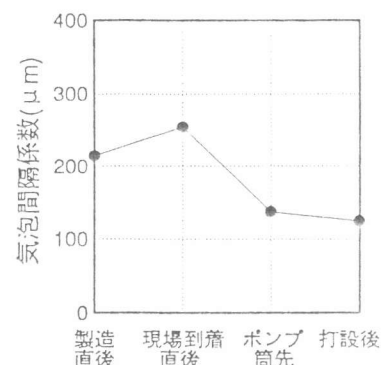


図-17 気泡間隔係数測定結果

プ圧送の過程で100 μ m程度減少する傾向が認められた。一方、図-18に示す細孔径分布の測定結果においては、細孔径が1 μ m付近において「製造直後、現場到着直後」に比較して、ポンプ筒先、打設後」が、2倍程度大きくなっていることが分かる。以上の結果より、ポンプ圧送前後でコンクリートの耐久性に変化が現れていることが確認できた。これは、ポンプ圧送する事によりコンクリートの細孔構造が何らかの形で変化している可能性があると考えられる。

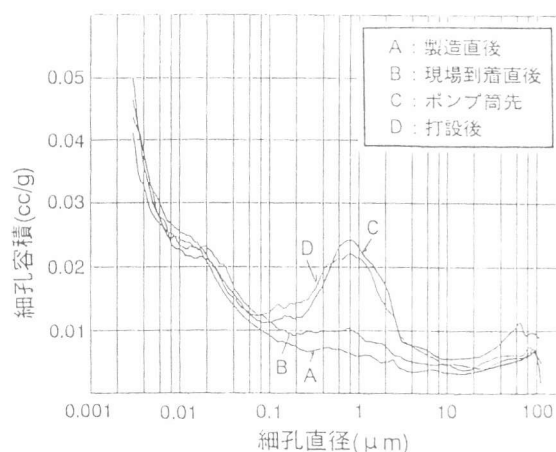


図-18 細孔径分布測定結果

5. まとめ

- (1) 本施工において、「表面水率の管理（JIS A 1111に準ずる測定と水分計による測定）」、「製造直後と現場到着直後における品質管理試験の実施（75m³毎に1回程度）」等の管理を行うことにより、打設開始から完了まで管理基準値を満足する品質を得ることができた。
- (2) 表面水率の管理として、マイクロウェーブ方式水分計を使用した連続的測定と、10バッチ毎のJIS A 1111に準ずる測定を行った。水分計による結果とJIS A 1111による結果はほぼ同様の傾向を示した。このように、表面水率の変動を常に把握することにより、コンクリートの製造における水分量の補正を行う際の目安とすることができた。
- (3) コンクリートの製造から打設に至る過程の中で、コンクリートの品質に影響を与えるのはポンプ圧送であることが確認できた。これは、スランプフローなどのフレッシュな状態での影響の他、圧縮強度や耐久性においても同様であり、中性化深さや気泡間隔係数、あるいは細孔径分布等に変化が見られた。これは、圧送圧力がコンクリートの細孔構造に影響を与えた可能性があるが、これらの耐久性に関する検討は、今後更に進めてい期待と考えている。

〔謝辞〕 本報告において、高流動コンクリートの施工に際し多大なご協力を頂いた運輸省第三港湾建設局及び防波堤の建設に関係した皆様に深く感謝の意を表します。本高流動コンクリートの開発は、運輸省港湾技術研究所と（株）大本組、国土総合建設（株）、五洋建設（株）、佐伯建設工業（株）、大都工業（株）、東洋建設（株）、（株）本間組、三井不動産建設（株）、りんかい建設（株）、若築建設（株）、東亜建設工業（株）による「高流動コンクリート共同研究会」によって行われています。

参考文献

- [1] 多田和樹・津田義久・中島由貴・中島興康：増粘剤を用いた省力化施工コンクリートによるケーソン底板コンクリートの施工、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.61-66、1994
- [2] 河合徹・橋田浩：高流動コンクリートのレオロジー特性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.125-130、1994
- [3] ポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さ試験方法(案)、コンクリート工学、Vol.25、No.8、pp.5-7、1987.8
- [4] 黒田泰弘・名倉健二・都甲峰宜・高田誠：設計基準強度240kgf/cm²の高流動コンクリートの施工性実験、第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集、pp.193-197、1994.5