

論 文

[1021] 増粘剤を用いた省力化施工コンクリートの過密配筋部材への適用性について

佐野 清史^{*1}・福手 勤^{*2}・守分 敦郎^{*3}・濱崎 勝利^{*4}

1. まえがき

近年、コンクリート構造物において複雑な形状を呈した部材あるいは過密に配筋された部材が増加している。これらを施工する場合、十分なコンクリートの締固めを行うことが難しいことから締固めが不足しがちとなり、これがコンクリート構造物の耐久性を低下させる要因の一つになっている。特に、塩害等劣化環境条件の厳しい港湾コンクリート構造物においては大きな問題となる。一方、建設業に従事する労働者の不足、高齢化および若年労働者の建設業離れ等が大きな社会問題となっていることから、港湾工事における省力化は大きな社会要請でもある。これらの課題やニーズに対応するために、筆者らは、主に増粘剤と高性能減水剤の使用によって高い流動性と材料分離抵抗性をコンクリートに付与することで省力化や信頼性の確保が図れる高流動コンクリート（以下、省力化施工コンクリートと称する）の研究開発を進めている。

本稿は、この種のコンクリートのニーズが高い過密配筋部材を対象とした実物大モデルの施工実験を行い、普通コンクリートを用いて十分な締固めを行った場合との比較検討によって適用性を評価したものである。

2. 実験概要

2. 1 実験モデル

写真-1に示す配筋条件の実験体（幅2.0m×高さ1.1m×長さ7.2m）を2体製作し、普通コンクリートと省力化施工コンクリートをそれぞれコンクリートポンプで打込んだ。ここで、普通コンクリートはバイブレーターによる十分な締固めを行いながら、また省力化施工コンクリートは端部からの流し込みのみによる方法とした。

2. 2 コンクリートの配合

(1) 使用材料

使用材料を表-1に示す。骨材は両コンクリートとも同一のものを用いた。省力化施工コンクリートでは、混和剤として増粘剤、高性能減水剤、A E減水剤を使用した。ここで、A E減水剤は減水効果のほかに流動性の維持性能の調整を目的として使用した。またセメントの種類

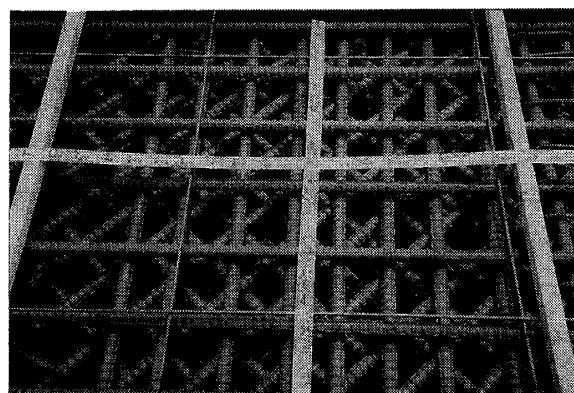
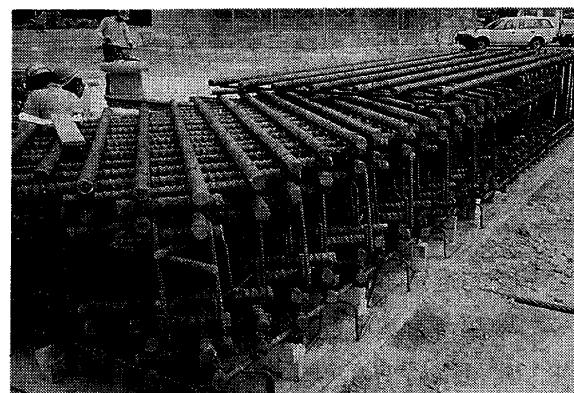


写真-1 実験モデルの配筋状態

*1 東洋建設(株) 鳴尾研究所材料研究室長（正会員）

*2 運輸省港湾技術研究所 構造部材料研究室長、工博（正会員）

*3 東亜建設工業(株) 技術研究所材料構造研究室主任研究員（正会員）

*4 五洋建設(株) 技術本部技術研究所第一研究開発室主任（正会員）

は、普通コンクリートが普通ポルトランドセメントを用いたのに対し、省力化施工コンクリートは単位セメント量が若干多くなることから、温度ひび割れに配慮して高炉セメントB種を用いた。

(2) 配合条件

設計基準強度 $f'_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$ を満足することを条件に、普通コンクリートおよび省力化施工コンクリートの配合を考えた。普通コンクリートは、表-1に示す使用材料で実績のある表-2に示す配合とし、省力化施工コンクリートはこれと同一の水セメント比4.5%で検討した。

(3) 省力化施工コンクリートの配合

当コンクリートの配合は、まず基本検討として、既往の実験結果[1]から得た充填性に優れる配合条件のなかで、単位水量や増粘剤添加量、細骨材率などの配合要素を変化させた多くの配合ケースについて試験室での試し練りを行い、スランプフロー[2]が65cm程度の高い流動性を發揮し、かつ材料分離抵抗性を含めた自己充填性を評価しうる試験として採用した図-2に示す『(鉄筋入り)ボックス試験装置』[3][4]の結果が最も良好な値を示す配合を暫定

配合として選定した。次

に、この配合を基本として生コンクリート工場での実機ミキサ(容量:4.5m³)による試し練りやアジテータ運搬に伴う品質の経時変化を調べるなどして最適配合を検討した。最終的に導いた配合を表-2

に示す。この配合で確認したフレッシュコンクリートの品質は、スランプフロー65~68cm、ボックス試験結果5cm以下を練混ぜ直後から60分維持できるものであった。

2.3 コンクリートの打込み

約16m³となる実験体へのコンクリートの打込みは、普通コンクリートが時間当たり45m³程度の速さであったのに対し、省力化施工コンクリートは時間当たり40m³程度と大差ないものであった。また、打込みに要した人数は、普通コンクリートがバイブレータを2台使用したため5~6人を要したのに対し、省力化施工コンクリートは吐出口の1人で対応できた。両コンクリートの打込み状況を写真-2および写真-3に示す。

表-1 コンクリートの使用材料一覧

	省力化施工コンクリート	普通コンクリート
粗骨材	村岡町味取産碎石(最大寸法20mm、比重2.66、吸水率0.95%、F.M=6.65)	
細骨材	香住町矢田川産川砂(比重2.57、吸水率1.83%、F.M=2.87)	
セメント	高炉セメントB種(比重3.04)	普通ポルトランドセメント(比重3.15)
	A-E減水剤 (リグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体)	
混和剤	増粘剤(低界面活性型水溶性セルロースエーテル)	-
	高性能減水剤(高縮合アソニウム系化合物)	-
	A-E助剤(変性アルキルカルボン酸化合物)	

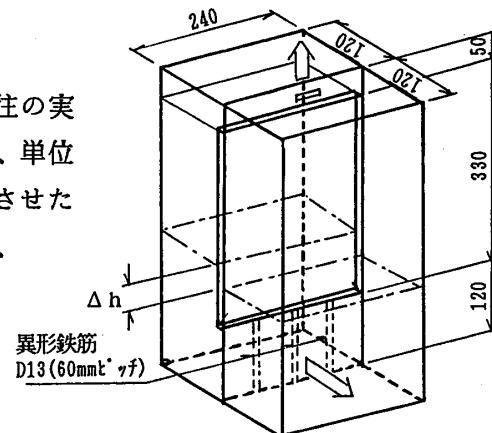


図-2 (鉄筋入り)ボックス試験装置

表-2 実験に用いた省力化施工コンクリートと普通コンクリートの配合

コンクリート の種類	スランプ *スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				増粘剤 (×W%)	高性能 減水剤 (×C%)	A-E 減水剤 (×C%)
					W	C	S	G			
省力化施工 コンクリート	65	5	45	50	190	422	798	826	0.275	2.25	0.6
普通 コンクリート	*12	4.5	44.8	43	168	375	759	1043	-	-	0.25

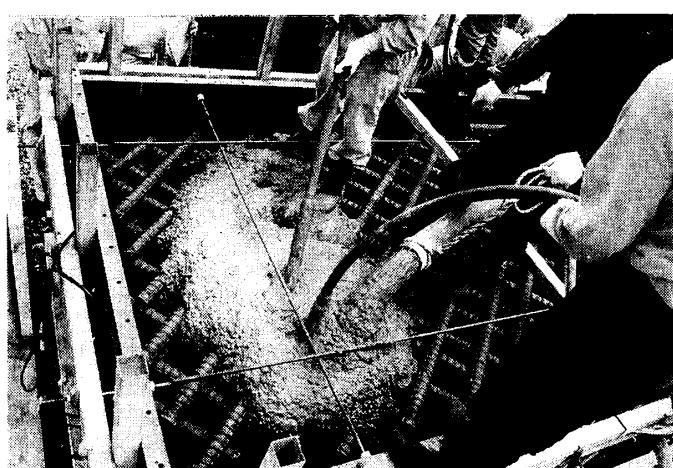


写真-2 普通コンクリートの打込み状況

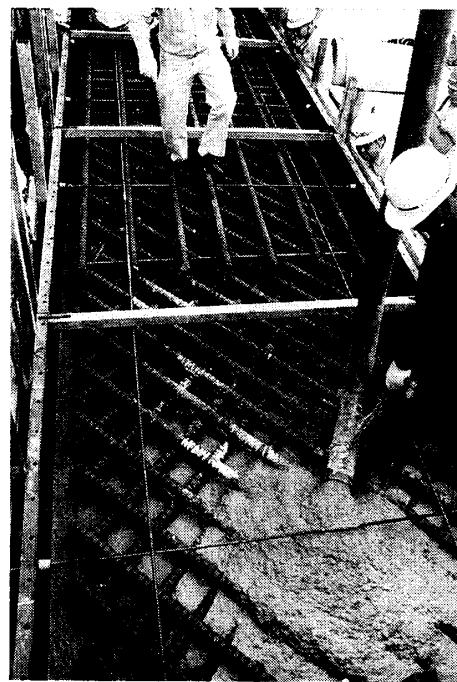


写真-3 省力化施工コンクリートの打込み状況

2.4 コンクリートの物性

両コンクリートの品質管理試験結果を表-3および表-4に示す。普通コンクリートはスランプ、空気量とも運搬に伴う若干の低下がみられた。

省力化施工コンクリートでは、空気量は若干低下する傾向が見られたが、ボックス試験値は運搬による大きな変化が見られず、全てのアジテータ車で概ね5cm以下であった。スランプフローも目標値の65cmをほぼ満足するものであった。

アジテータ車ごとに現場採取した試料の28日材齢圧縮強度（以下、品質強度と略す）を図-3に示す。省力化施工コンクリートは、普通コンクリートに比べて標準養生で60kgf/cm²程度、現場養生で80kgf/cm²程度高い値であった。

また、省力化施工コンクリートは単位水量が多めの配合となることから乾燥収縮の大きさが懸念された。この点を明らかにするために、表-2に示す配合の普通コンクリート（単位水量と単位セメント量を同一にした2種セメントの2ケース）と併せて乾燥収縮量を測定した。4週材齢までの結果を図-4に示す。確かに省力化施工コンクリートは普通コンクリートに比べて乾燥収縮が大きいが、両者の差は主にセメントの種類によることや比較的初期の相違が支配的であることがわかった。このため実験では、普通コンクリートがコンクリート表面を打込み後にシートで

表-3 フレッシュコンクリートの物性（普通コンクリート）

アシタ車 No.	スランプ(cm)				空気量(%)			コンクリート温度(°C)			コンクリート 容量 (m ³)	運搬 時間 (分)	
	6	9	12	15	3	5	7	26	28	30	32		
1					●	○			○	●		5.5	18 (34)
2					●	○	●		○	●		~	20 (31)
3					●	○	●		○	●		5.0	22 (31)

○:練り混ぜ直後、●:打設前、()内は練り混ぜ終了から打設までの時間

表-4 フレッシュコンクリートの物性（省力化施工コンクリート）

アシタ車 No.	スランプフロー (cm)				空気量(%)			ボックス値(cm)				コンクリート 容量 (m ³)	運搬 時間 (分)
	60	65	70	75	3	5	7	0	5	10	15		
4					●	○			○	●		5.5	19 (57)
5					●	○	●	○	○	●		~	20 (44)
6	○	●			●	○	●	○	●	○	●	5.0	18 (27)

○:練り混ぜ直後、●:打設前、()内は練り混ぜ終了から打設までの時間

覆って散水による養生を9日間行ったのに対し、省力化施工コンクリートは2日間シートで覆ったのち、以後1週間は養生マットと散水による養生とした。側面の脱わくは両コンクリートとも材齢9日とした。

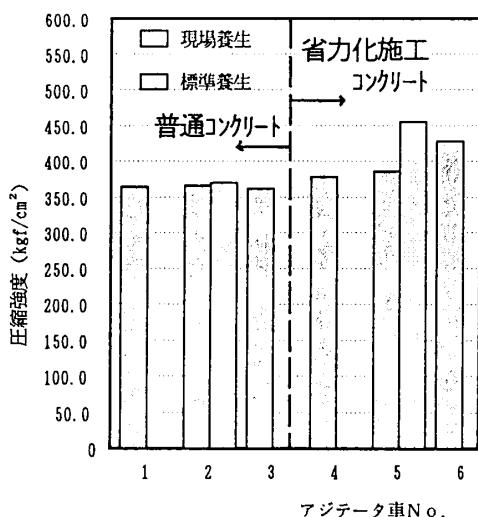


図-3 28日材齢の圧縮強度試験結果

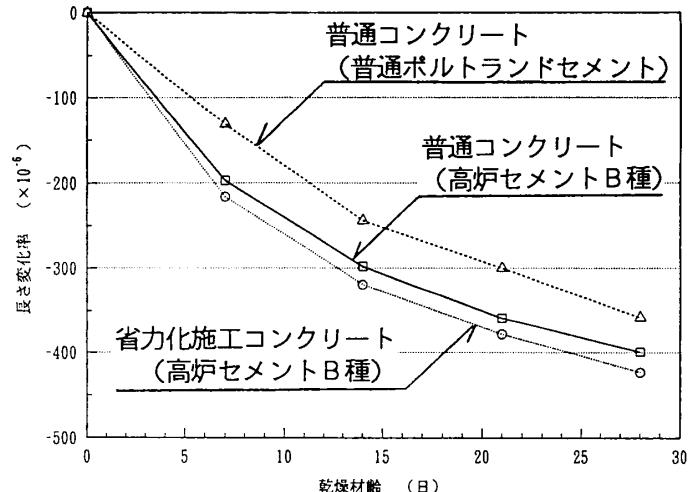


図-4 乾燥収縮量の測定結果

3. 実験結果および考察

3. 1 コンクリートの充填性

コンクリート硬化後の採取コアや実験体切断面の観察から充填性を調べた。普通コンクリート、省力化施工コンクリートいずれも良好な充填状態が観察され、鉄筋回りへの充填性も十分であり空洞やジャンカ等は見られなかった。省力化施工コンクリートの実験体切断面における充填状況を写真-4に示す。

3. 2 表面仕上げと養生について

省力化施工コンクリートは、セルフレベリング性を持つもののノンブリーディング性や粘性の強さから表面仕上げのやり難さの難点がある。実験では、木ゴテや金ゴテ均し、角材による叩き均しの3種類で施工性を見てみたが、いずれも普通コンクリートに比べて若干作業性が劣った。しかし懸念されるほどの均し難さはなく、これらの均し方法でも十分対応できることがわかった。また、当コンクリートは表面の乾燥が速いため、打設終了後ただちに養生する必要があった。実験では「2. 4」に示す方法の養生を行ったが、以後の観察から乾燥収縮ひび割れも見られず、十分な養生を行うことによって健全さを維持できることがわかった。

3. 3 硬化コンクリートの品質

(1) 圧縮強度

両コンクリートについて、採取コアから求めた圧縮強度の品管強度に対する比を端部からの距離（流動距離）で整理したのが図-5である。省力化施工コンクリートは、1.0～1.3と全てのコ

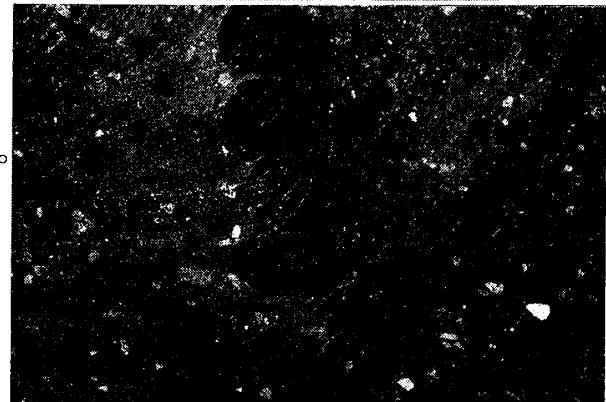
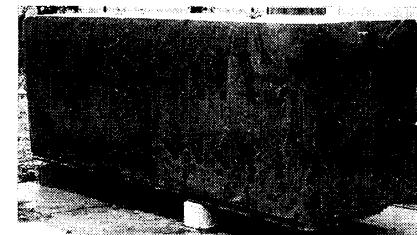


写真-4 省力化施工コンクリート実験体
切断面における充填状況

アで品管強度以上であり、上層と中下層部の違いもあまり見られなかった。これに対し、普通コンクリートは上層部で0.8~1.0、中下層部で0.9~1.15と、概ね上層部が品管強度以下の結果であった。この上層部における強度の相違の理由としては、普通コンクリートにおける過度のバイブレーター使用の影響や養生条件（シートとマット）の違いは当然あるものの、省力化施工コンクリートは材料分離やブリーディングが極めて少ないため、普通コンクリートに見られるようなブリーディング水の上昇やセメントの初期水和反応に伴う浮き水の吸い込みなどによって固体組織が緩められることがなく、また粗骨材下面に水たまりを生ずることもないことによるものと考えられる。

（2）弾性係数

採取コアで行った静弾性係数試験結果の品質管理供試体での同一試験結果に対する比を図-6に示す。省力化施工コンクリートは概ね1.0以上であり、打込みに伴う弾性係数の低下は見られなかった。一方、普通コンクリートは0.8~1.0で、打込みに伴う若干の低下が見られた。

（3）粗骨材分布状況

採取コアの側面から求めた粗骨材面積率を端部からの距離（流動距離）別に示したのが図-7である。粗骨材面積率のばらつきは、普通コンクリートが約10%であったのに対し、省力化施工コンクリートはやや大きめながら、流動距離が7m程度の箇所で低い値を示したものを除けば概ね普通コンクリートと同等であった。低い値を示した結果については、流

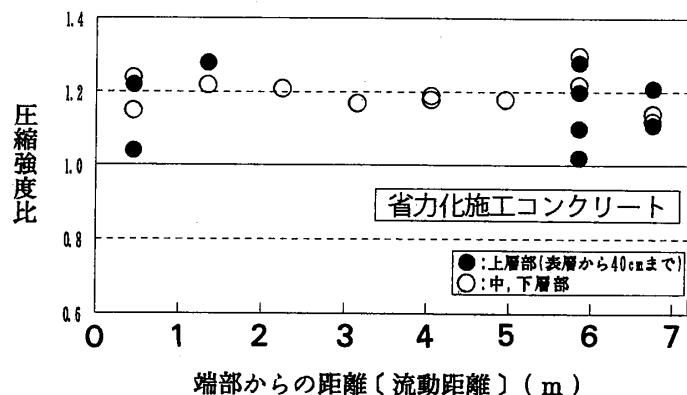
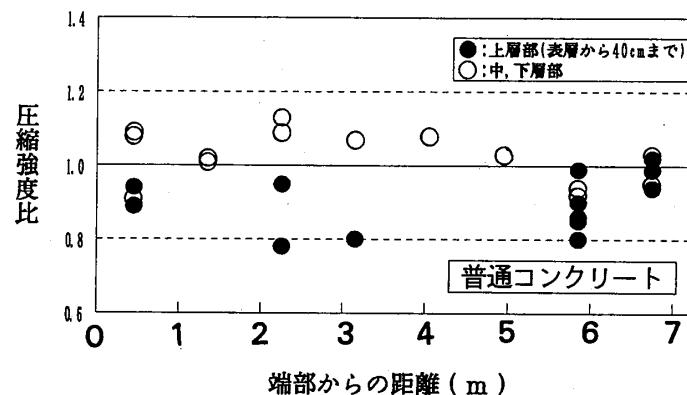


図-5 採取コア圧縮強度の品管強度に対する比

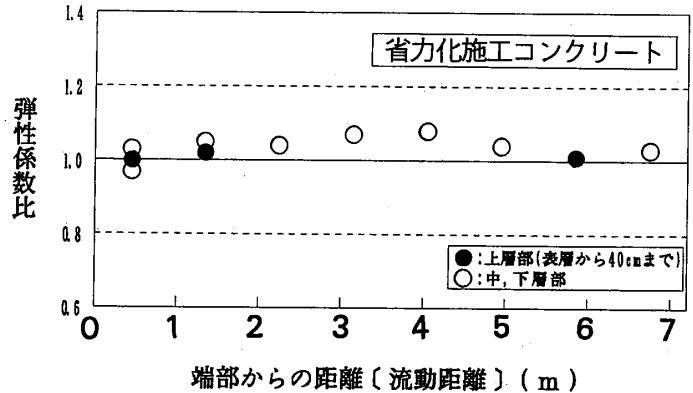
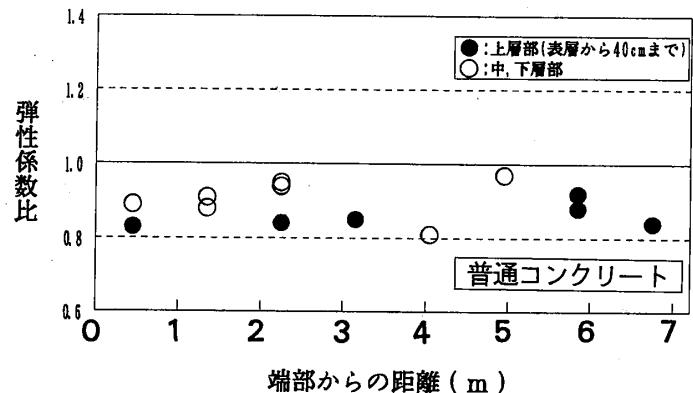


図-6 採取コア試験値の品質管理試験結果に対する弾性係数比

動距離の限界を示唆するものと見ることもできるが、そのコアの圧縮強度や弾性係数は良好な値を示しており、品質の低下につながる程度のものではないと判断される。

4.まとめ

省力化施工コンクリートは、過密配筋部材に対してバイブレーターなしで打込んでも良好な充填性と品質を確保できることが確認できた。とりわけ圧縮強度や弾性係数については、普通コンクリートが表層部で品質管理試験値よりも下回る結果となつたのに対し、省力化施工コンクリートは全般に均一な品質を確保できており、本実験のようなコンクリートの打込みにおいて過酷な配筋条件となるケースでの適用性に優れているといえる。

なお、省力化施工コンクリートの問題点と考えられた表面仕上げの作業性については、普通コンクリートに比べてやり難さはあるものの、優れたセルフレベリング性により作業時間は少なくて済むことがわかった。また、単位水量がやや多めの配合となることで懸念された乾燥収縮ひび割れについては、打込み終了後直ちにシート等によって乾燥を防ぎ、硬化後の初期も適切な湿潤養生（マットと散水など）に努めることで十分対応できることができた。

5.あとがき

増粘剤を添加したスタイルの高流動コンクリートの開発を進めるなかで、この種のコンクリートのニーズが高い「過密配筋部材」への適用について、実物大モデルの施工実験から実用化の目処を得ることができた。一方、コンクリートの製造段階を含めた適切な品質管理のあり方や手法についてはさらに検討の余地があり、今後これらの課題に取り組むことにより高流動コンクリートの適切な普及に邁進してゆきたい。

なお、一連の実験の計画から実施・取り纏めに至る過程で、適切な助言や多大のご支援を戴いた運輸省第三港湾建設局の関係者各位をはじめ、実験の遂行にご助力戴いた石井建材㈱、信越化学工業㈱、ポリス物産㈱、住友セメント㈱の関係諸氏に紙面を借りて深謝いたします。

参考文献

- 1) 多田和樹・末岡英二・佐野清史・福手勤：増粘剤を用いた省力化施工エクレートの配合諸要素に関する一考察、平成5年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要、V-29-1~V-29-2、1993.5
- 2) (社)土木学会：平成3年版コンクリート標準示方書【規準編】、土木学会
- 3) (社)日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書(I)、pp. 112、1993.5
- 4) (財)沿岸開発技術研究センター・(財)漁港漁村建設技術研究所：水中不分離性コンクリート・マニュアル、pp. 124-125、1989.12