

論文 沈埋トンネル・フルサンドイッチ構造部への充填を対象とした増粘剤系高流動コンクリートの諸特性について

本庄隆宣^{*1}・輪湖建雄^{*2}・鈴木雄三^{*3}・佐藤正一^{*4}

要旨：沈埋トンネル・フルサンドイッチ構造部に充填されるコンクリートとして「増粘剤系高流動コンクリート」を取り上げ、小型モデルと実物大モデルの充填実験によってスランプフロー3水準でのコンクリートの充填性や品質および充填性に影響を与える要因等について調査・検討した。その結果、コンクリートに要求される品質、コンクリート打設方法および空気孔、コンクリート通し孔の形状等をほぼ解明できた。

キーワード：フルサンドイッチ構造、増粘剤系高流動コンクリート、充填性

1. はじめに

神戸港「港島トンネル」沈埋函の上床版・側壁には、フルサンドイッチ構造が採用された。フルサンドイッチ構造は、鋼板とコンクリートが、ずれ止めにより一体となって挙動する合成構造であり、内部コンクリートには、施工上の品質として締固め不要で鋼材の裏側まで十分な充填性を有することが要求されている。(図-1)本稿は、増粘剤と高性能減水剤の添加により高い充填性と材料分離抵抗性を付与する増粘剤系高流動コンクリートの適用を想定して、上床版小型モデル(1/8スケール)、実物大モデルでの充填実験の結果から、適切なコンクリート配合を選定するとともに、コンクリートの充填性に影響を与える要因を明らかにした。

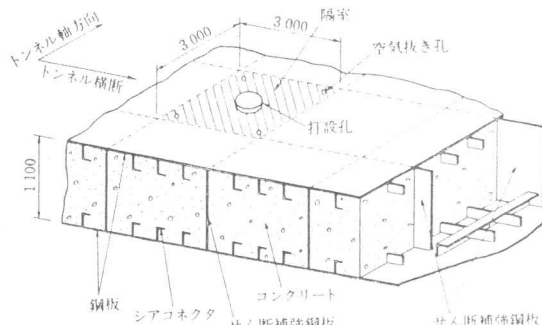


図-1 上床版の基本構造

2. 実験概要

2.1 実験フロー

実験フローを図-2に示す。この中で、生コンプラント実機試験および各種充填実験は生コンプラントで製造したコンクリートで行った。小型モデル充填実験により空気孔の設置位置や数およびコンクリートの打上り速度や配合等を検討し、最適なものを選定したのちに実物大モデルを用いた充填状況観察実験および実構造物再現実験を行った。

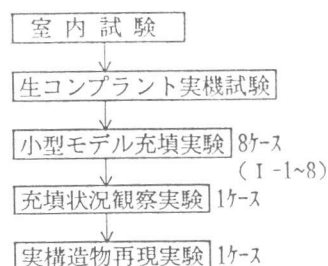


図-2 実験フロー

*1 東洋建設(株)大阪本店土木部技術課長代理

*2 運輸省第三港湾建設局次長

*3 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所長

*4 (財)沿岸開発技術研究センター

2. 2 使用材料

実験に用いた材料を表-1に示す。セメントは、サンドイッチ構造部材がマスコンクリートとなることを考慮して、発熱量が小さい高炉セメントB種を使用することにした。増粘剤は低界面活性型セルロースエーテルを主成分とするものを使用した。骨材は、本施工現場近隣の生コンプラントで一般に使用されているものである。

表-1 使用材料

セメント	高炉セメントB種、高炉スラグ混入率40~45% 比重 3.04、比表面積 3850cm ² /g
細骨材 (海砂:砕砂=8:2)	海砂:香川県室木産、比重 2.52 吸水率 1.80%、F.M.=2.42 砕砂:兵庫県家島産、比重 2.55 吸水率 1.44%、F.M.=2.94
粗骨材	碎石(最大粒径20mm)、兵庫県家島産 比重 2.63、吸水率 0.79%、F.M.=6.65
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 高縮合トリジン系化合物
	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
	空気量調整剤 変性アルキルカルボン酸化合物

2. 3 配合および製造方法

配合条件を表-2に示す。これらのフレッシュ性状の維持時間は、施工性を考慮して90分程度を目安とした。充填性に大きく影響を及ぼす流動性を3種類(スランプフロー55cm、60cm、65cm)に変化させ充填性を評価することにした。また、充填性の指標としてV₇₅ロート試験およびボックス試験[2]を行った。コンクリートの製造は、生コンプラントで強制二軸ミキサー(公称容量:3.0m³)を使用して行った。練混ぜ量は2.25m³/バッチとし、練混ぜは注水後2分を行った。(図-3)生コンプラント実機試験により選定した3種類の配合を表-3に示す。

表-2 配合条件

試験項目	管理目標値
スランプフロー試験	(55、60、65)±5cm
50cm到達時間[2]	今回の実験により設定
V ₇₅ ロート試験 [1]	今回の実験により設定
ボックス試験 [2]	今回の実験により設定
空気量試験	4±1.5%
単位容積質量試験	今回は規定しない
圧縮強度試験	f'ck=300kg/cm ² 以上

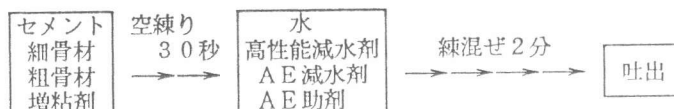


図-3 コンクリートの練り混ぜ方法

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 減水剤 (C×%)	A E 減水剤 (C×%)	空気量 調整剤 (C×%)
				W	C	S	G				
55	4	47	52	183	389	864	819	0.25	3.0	0.40	0.0015 ~ 0.0075
60				186	396	857	813				
65				191	406	845	802				

2. 4 実験モデル

小型モデル型枠を図-4に示す。小型モデルは、実物の上半分で、平面的に1/4を抜き出したものであり、上版のみに形鋼および平鋼をとりつけた。図-5に示す実物大モデルは、3m×3m×1.1mであり、投入口は中央1点とし、上版の平鋼は小型モデル充填実験の結果より撤去した。空気孔は、5ヶ(4隅+1)とした。小型モデルおよび充填状況観察モデル型枠は、側面と上版をアクリル製とし流動状況を観測した。

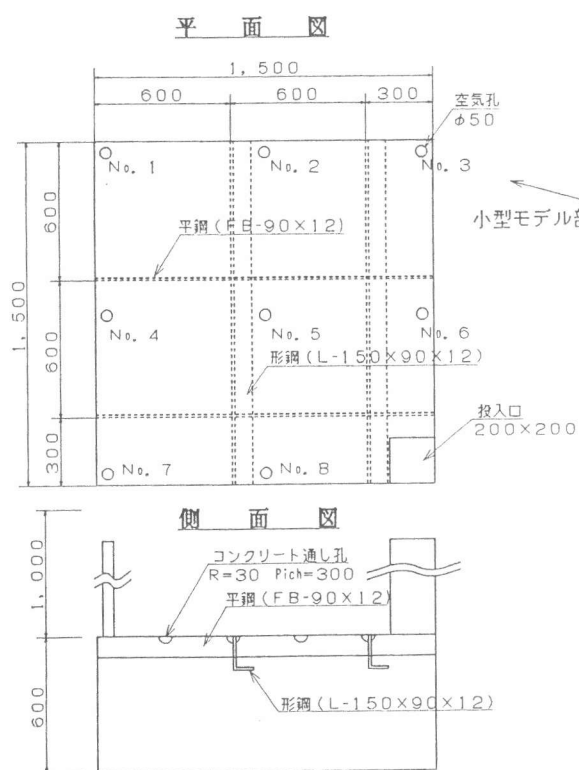


図-4 小型モデル図

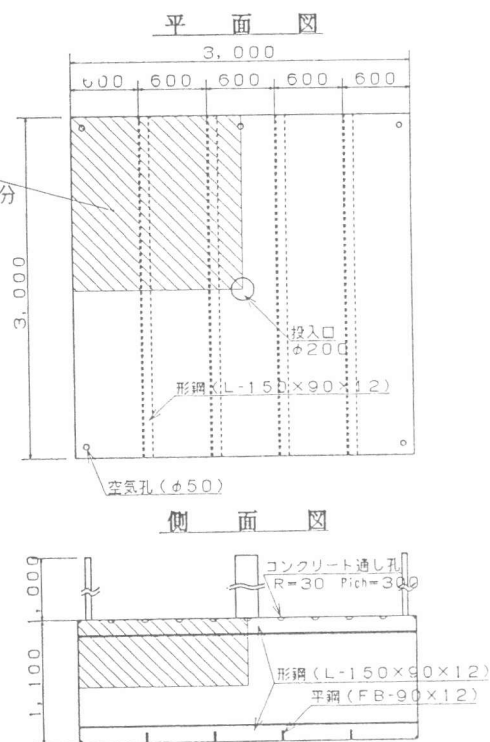


図-5 実物大モデル図

2. 5 実験ケース

実験ケースを表-4に示す。小型モデル充填実験は、充填性に影響を及ぼす各要因を変化させたケースについて行った。コンクリートの充填は、コンクリートポンプによる連続打設とし、打設口や空気孔にコンクリートが打上がった時点で終了した。ポンプ筒先はコンクリート中に入れて行った。充填実験状況を写真-1, 2に示す。

表-4 実験ケース

実験ケース		充填性に影響を及ぼす要因				
		空気孔 の数	コンクリート 通し孔	平鋼の 有無	コンクリート 打上り速度	目標 スラン プ
小型 モデル 充填	I-1	1ヶ	有	有	小 (20cm/分)	60cm
	I-2	No. 1	(30cmピッチ)	無		
	I-3	3ヶ	無	有		
	I-4	No. 1	有			
	I-5	No. 3				
	I-6	No. 7	大(45cm/分) 小(20cm/分)	65cm		
	I-7	8ヶ		60cm		
	I-8					
充填状況観察 実構造物再現		5ヶ	有	無	小 (15cm/分)	60cm

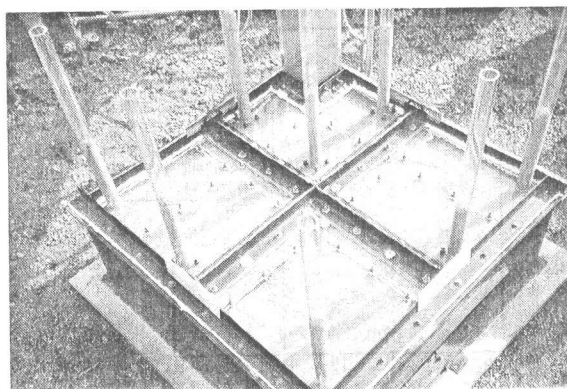


写真-1 小型モデル充填実験の打込み状況

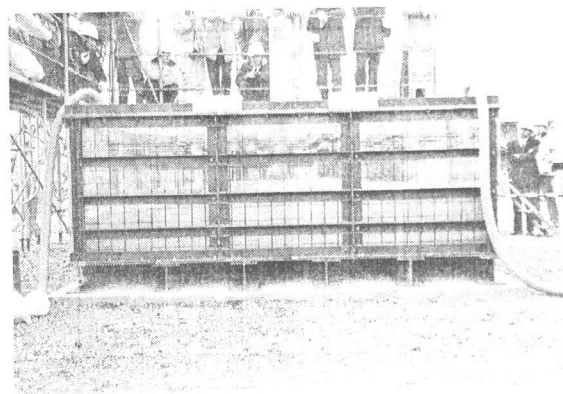


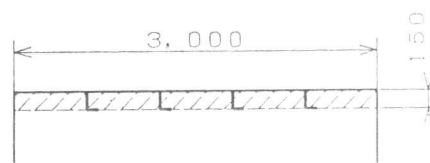
写真-2 充填状況観察実験の打込み状況

3. 実験結果と考察

3. 1 充填性に及ぼす影響

(1) フレッシュコンクリートの特性

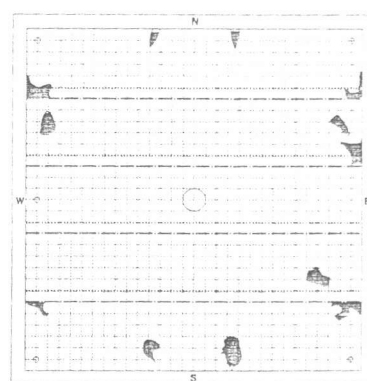
品質管理試験の結果とコンクリートの充填性の関係を整理するに当たり、コンクリートの充填性の指標として、最も充填性が必要とされる上版形鋼部（図－6）の未充填割合を式（1）に従って算出し評価に用いることとした。



図－6 上版形鋼部

$$\text{【未充填部分の体積割合（％）】} = \frac{\text{〔上面における未充填部分の体積〕}}{\text{〔形鋼より上部の体積〕}} \times 100 \quad \text{式（1）}$$

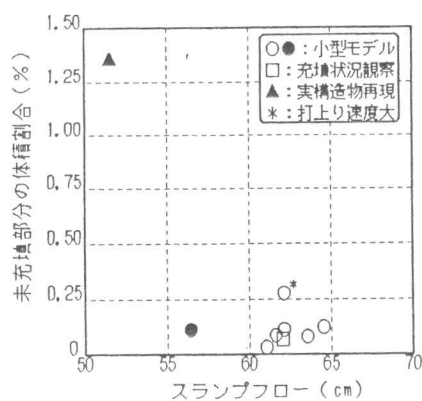
充填状況の一例を図－7に示す。未充填部分の体積割合0.1％、未充填面積2.7％であり、未充填深さは概ね5 mm以下であった。また、コンクリート天端の沈みは認められなかった。一連の実験ケースで充填したフレッシュコンクリートの特性（打設前の品質管理試験結果）と未充填体積割合の相関を図－8～11に示す。図中の▲印である実構造物再現実験においては、コンクリート製造から打設までに実験を遂行する上でトラブルがあり、スランプフローが52 cmまで低下したが、あえて小さめのスランプフローでの充填性を評価するために打設したものである。数少ないケースでの検討であるため明らかな相関は見られないが、今回の実験から各試験を評価すると、スランプフロー55 cm以上、50 cmフロー到達時間15秒以下、 V_{75} ロート流下時間15秒以下、ボックス試験2 cm以内が充填性の許容値と考えられる。少なくともこれら許容値を満足したものであれば、十分な充填性が得られることがわかった。しかし、スランプフロー60 cm以下のものについては、表－5に示すように流動勾配が大きく自己充填により型枠の隅々まで充填することは困難となり、投入口のヘッド圧（約70 cm）により既に打ち込まれたコンクリートを流動させる必要があったため、より高い充填性を発揮させるためにはスランプフロー60 cm程度以上が必要と考えられる。



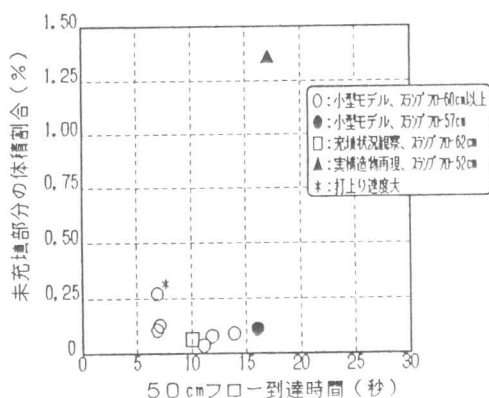
図－7 充填状況図
（充填状況観察実験）

表－5 流動勾配

スランプフロー55 cm	1/9
スランプフロー60 cm	1/11
スランプフロー65 cm	1/13



図－8 スランプフローと充填性



図－9 50cmフロー到達と充填性

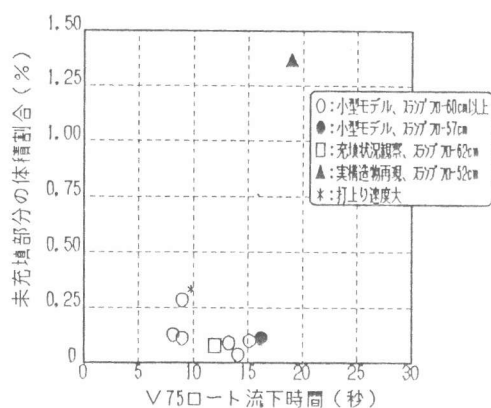


図-10 V75ルート時間と充填性

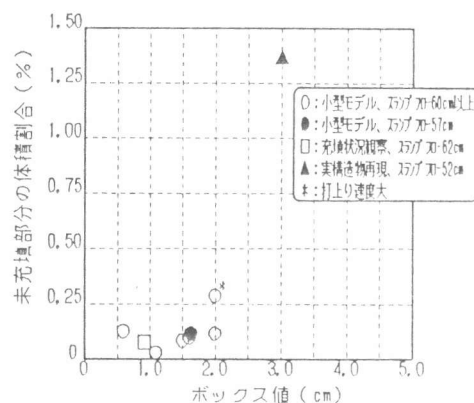


図-11 ボックス値と充填性

(2) 空気孔の数および位置

コンクリートを型枠中央から充填した場合の形鋼まわり充填状況は、形鋼の影響で同心円状には広がらず、形鋼に沿ってコンクリートが流動し、型枠端部に達した後に形鋼を越流していく傾向が見られた。特に、コンクリートの流動性が悪いものは、その傾向が強く未充填部は形鋼端部に多く発生した。コンクリートの流動性が良好なものは、形鋼の影響が少なくほぼ同心円状に流動するが、型枠に到達したコンクリート先端部で流動勾配の逆転現象も見られ、コンクリートが上面型枠全面にほとんど同時に到達するためエアーを押し出すことが出来ずに気泡が残留した。このことより空気孔は、図-12に示すようにコンクリートの性状にあわせた有効な位置に配置する必要がある。

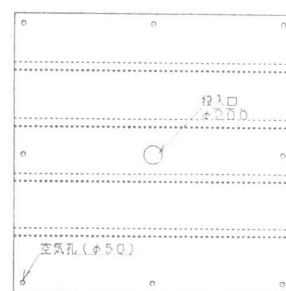


図-12 空気孔配置図

(3) コンクリート通し孔

コンクリート通し孔の有無による違いは、未充填体積割合で顕著な差は表れていないが、通し孔が無い場合は、コンクリートの回り込み効果が期待出来ないため形鋼周辺での充填性は劣っていた。また、通し孔の大きさは、最大骨材寸法の2～3倍程度が妥当であると判断された。

(4) 打込み方法

ポンプ筒先の位置は、空気の巻きみや材料分離の少ないようにコンクリート中に筒先を入れる方法で行ったことにより、巻きみエアーによる未充填は発生しなかった。また、打上り速度は20 cm/分程度と遅い方が概ね充填性に優れていた。

3. 2 硬化コンクリートの品質

(1) 圧縮強度および弾性係数

スランプフローの違いによる28日材齢圧縮強度を図-13に示す。サンプリングコアの品質管理試験(現場養生)体に対する圧縮強度比を図-14に、弾性係数比を図-15に示す。どちらも、流動距離が大きくなると若干低下傾向であったが、ほぼ均一な圧縮強度を示した。また、深さ方向における圧縮強度の違いは見られなかった。

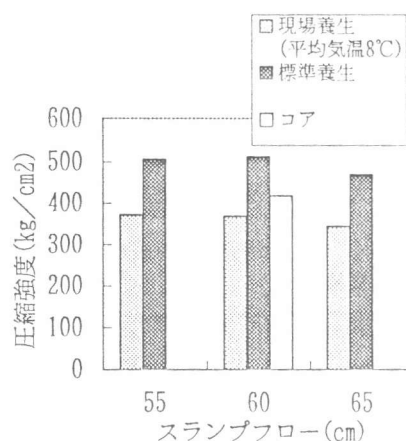


図-13 圧縮強度(28日材齢)

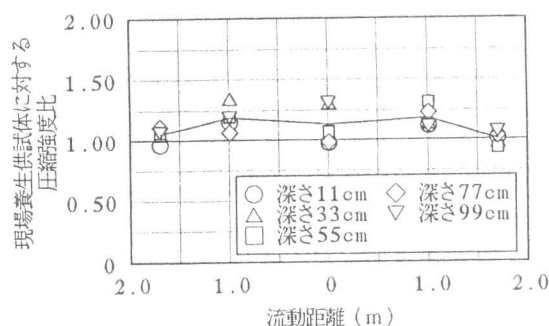


図-1 4 圧縮強度比 (28日材齢)

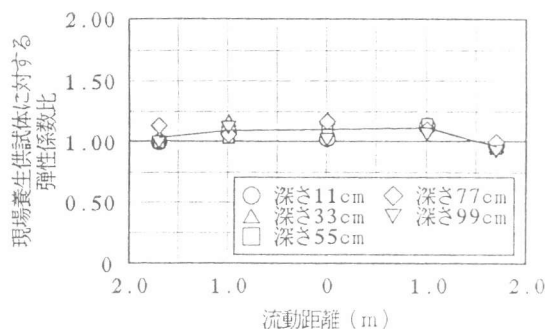


図-1 5 弾性係数比 (28日材齢)

(2) 粗骨材分布状況

採取コア側面の骨材スケッチから求めた粗骨材面積率の流動距離による違い、深さ方向による違いを図-1 6 に示す。流動距離、深さによる粗骨材面積率の違いは殆どなく、均一な品質を保持していることがわかった。

4. まとめ

今回の充填実験において充填状況が良好であったものと同等の充填性を得るための各試験の許容値とこれに高流動コンクリート製造時の品質のばらつきを考慮した管理値を提案するとすれば表-6 のようになる。管理値で上限値（スランプフロー）および下限値（50cmフロー到達時間、 V_{75} ロート流下時間）を設定したのは、少なくとも大きな材料分離が生じないことが前提である。ボックス試験は、試験に手間がかかることから大量製造における品質管理試験としてでなく、頻度の少ない品質管理用試験として位置づけることが望ましい。

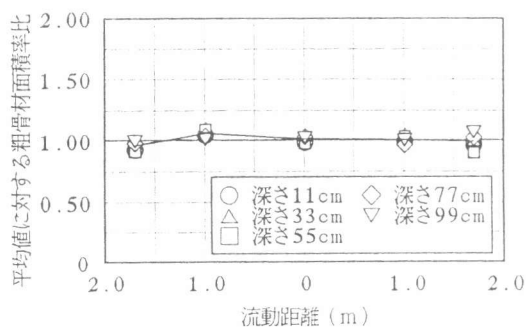


図-1 6 採取コア側面から求めた粗骨材面積

表-6 品質管理値 (案)

試験項目	管理値	今回の試験結果(目標SL60cm)		
		平均値	標準偏差	変動係数
スランプフロー試験	65±5cm	62.3	1.06	0.017
50cm到達時間	10±5秒	10.9	2.57	0.236
V_{75} ロート試験	10±5秒	12.1	2.32	0.191
ボックス試験	2cm以内	1.3	0.65	0.518

5. あとがき

本実験は、神戸港「港島トンネル」沈埋函フルサンドイッチ構造部へ充填される高流動コンクリートに関する基本充填実験であり、一連の計画から実施・取りまとめに至る過程で、適切な助言や多大のご支援を戴いた関係者各位に紙面を借りて深謝いたします。

<参考文献>

- [1] 岡村・前川・小澤：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版
- [2] 多田・津田・中島(由)・中島(興)：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、1994、PP61-66
- [3] 佐野・福手・守分・濱崎：増粘剤を用いた省力化施工コンクリートの通配筋部材への適用性について、コンクリート工学年次論文報告集、1994、PP141-146
- [4] 中島由貴：沈埋トンネル、コンクリート工学、1995、Vol. 33、PP65-69