

# (49) 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函 への中流動コンクリートの適用検討

末岡 英二<sup>1</sup>・北澤 壮介<sup>2</sup>・山路 徹<sup>3</sup>・清宮 理<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 東洋建設株式会社 美浦研究所 (〒300-0424 茨城県稲敷郡美浦村受領1033-1)  
E-mail:sueoka-eiji@toyo-const.co.jp

<sup>2</sup>正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)  
E-mail:kitazawa-s25q@ysk.nilim.go.jp

<sup>3</sup>正会員 独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤構造部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)  
E-mail:yamaji@pari.go.jp

<sup>4</sup>正会員 早稲田大学理工学部 社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)  
E-mail:k9036@waseda.jp

中流動コンクリートの鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函への適用性を検討するために、沈埋函鋼殻モデルを用いた充てん実験を行った。モデル充てん実験は、鋼殻構造や寸法、打込み口や加振孔の配置を想定した小型モデル流動実験、および実大規模の大型モデル実験により行った。その結果、スランプフロ-400~500mm程度、U形充てん試験の充てん高さ200mm以上、ブリーディング率2%程度以下の中流動コンクリートであれば、固定点からの打込みと、数カ所の固定点での間欠的な加振により、良好な充てん性を得ることが確認できた。

**Key Words :** semi-self compacting concrete, steel-concrete sandwich structure, immersed tunnel

## 1. はじめに

鋼コンクリートサンドイッチ構造の沈埋函に高流動コンクリートが用いられている事例が多い<sup>1)</sup>。高流動コンクリートは優れた自己充てん性を有するが、材料費、および製造や品質管理の複雑さによりコストアップとなる場合が多い。そこで筆者らはスランプフロ-が400~500mm程度で、自己充てん性は高流動コンクリートに比べて劣るが、その材料費が安価で、内部振動機などにより補助的に間欠的な加振を行うことによって高流動コンクリートと同等の高い充てん性を発揮できる、中流動コンクリートの適用性を検討した。

沈埋函鋼殻は、図-1、図-2に示すように鋼板およびシアコネクタから構成された鋼殻から構成されており<sup>2)</sup>、中流動コンクリートを適用するためには、打込み口や加振孔の位置、および加振方法の検討が必要となる。そこで、沈埋函鋼殻の上床版をモデル化した小型モデルおよび大型モデルを用いた充てん実験を行い、中流動コンクリートの充てん性を調べるとともに、打込み口や加振孔の位置、および加振方法の目安を設定した。

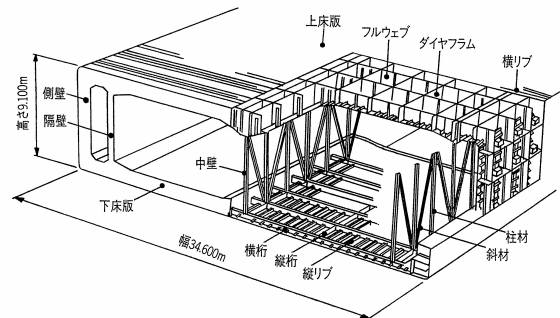


図-1 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の概念図

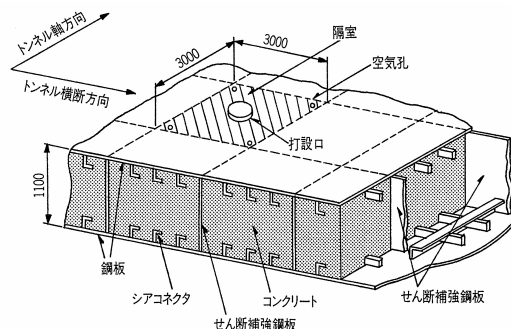


図-2 上床版構造図

## 2. 実験概要

### (1) コンクリートの材料と配合

実験で用いた使用材料を表-1, コンクリートの配合を表-2, 3に示す. 使用材料は一般的に生コン工場で用いられているものとし, コンクリートの配合は室内での試験結果などをもとに, スランプフロー400~500mmを基本としてブリーディングが少ないものとした. また, 大型モデル実験では, 増粘剤の有無や量の違いにより3種類のコンクリートで行った. なお, コンクリートの製造はいずれも生コン工場の実機ミキサを用いて行った.

表-1 使用材料

材料名	種類・仕様	
	大型モデル実験	小型モデル実験
セメント (C)	[高炉セメントB種] 密度3.04g/cm <sup>3</sup> 比表面積4090cm <sup>2</sup> /g	[高炉セメントB種] 密度3.04g/cm <sup>3</sup> 比表面積3820cm <sup>2</sup> /g
粗骨材 (G)	[砕石2005]茨城県笠間産 表乾密度2.66g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.64% 粗粒率6.71	[砕石2005]県上磯産 表乾密度2.70g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.43% 粗粒率6.72
細骨材 (S)	[陸砂]茨城県鹿島産 表乾密度2.57g/cm <sup>3</sup> 吸水率2.14% 粗粒率2.51	[陸砂]千葉県君津産 表乾密度2.59g/cm <sup>3</sup> 吸水率1.75% 粗粒率2.57
	[砕砂]茨城県笠間産 表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> 吸水率1.71% 粗粒率2.91	
混和剤	[高性能AE減水剤 (SP)] ポリアルキルカルボン酸エーテルと架橋ポリマー [増粘剤 (VA)]低界面活性型水溶性セルロースエーテル	

表-2 小型モデル実験のコンクリートの配合

配合 No.	W/C (%)	粗骨材 絶対容積 (ℓ/m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	SP
1	40	339	170	425	794	915	5.74~6.38 (C×1.35~1.5%)

表-3 大型モデル実験のコンクリートの配合

配合 No.	W/C (%)	粗骨材 絶対容積 (ℓ/m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G	VA	SP
1	50	345	175	350	825	918	0.175 (W×0.1%)	3.5 (C×1%)
2	40	345	170	425	775	918	-	4.25 (C×1%)
3	40	345	170	425	775	918	0.17 (W×0.05%)	3.83 (C×0.9%)

### (2) 小型モデル実験方法

小型モデルを図-3に示す. 本実験では, 投入孔からコンクリートを打込み, 挿入孔から振動機で加振しながらコンクリートの充てん性を調べた. 小型モデルは全面アクリル製で, その長さは標準的な上床版鋼殻上面の対角

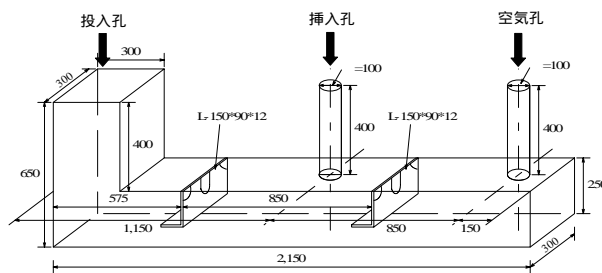
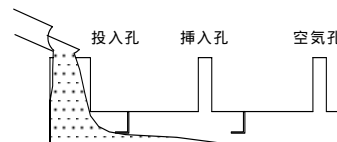
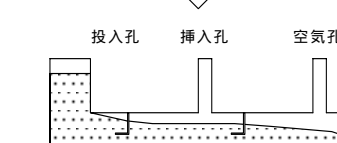


図-3 小型モデル

アジテータ車のシュートからコンクリートを直接投入

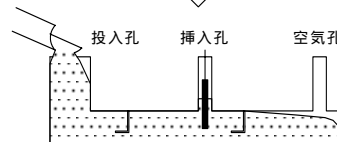


投入孔上面から10cmの位置までコンクリートを投入

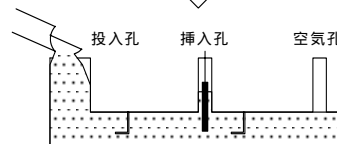


測定項目  
・コンクリートの投入時間  
・コンクリートの流動勾配

挿入孔で振動機を加振させながら, 挿入孔からコンクリートを投入する。



空気孔の下面にコンクリートが充填された時点で終了とする。



測定項目  
・コンクリートの充填時間

図-4 小型モデル充てん要領

線の1/2とし, コンクリートの充てんは図-4の要領に準じて行った. 投入孔の高さは15cmと30cmの2種類で行い, コンクリート製造後から打込みまでの時間の違いにより, 打込み時のスランプフローを変化させた.

### (3) 大型モデル実験方法

大型モデルを図-5に示す. 実験モデルは, 標準的な上床版の1/4とした. 型枠は上面および2側面をアクリル板とし, 他の2面および底面を鋼板とした. また, 上下面の内部にシアコネクタを設け, 上面にはコンクリートの打設孔, 振動機の挿入孔および空気孔を設け, 打設孔付近の側面内側に, 振動機による型枠の振動防止のために発泡スチロールを貼付けた. 実験ケースを表-4, コンクリートの加振手順を図-6に示す.

実験No.1~3においては, 振動機(直径25mm, 振動数13,000~15,000VPM)による加振は, コンクリートが上面型枠に達するまで打設孔で行い, 充てん最終段階では状況に応じて挿入孔および空気孔でも行った. 実験No.4

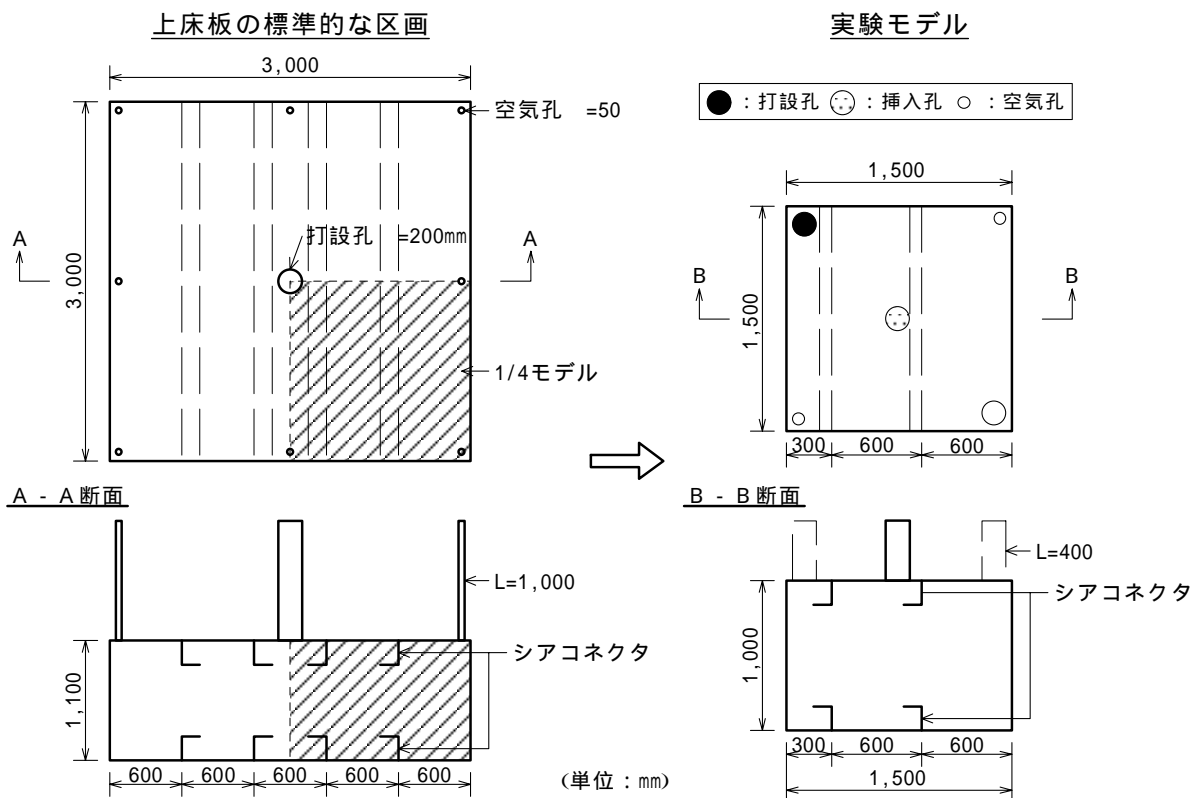


図-5 大型モデル

表-4 大型モデル実験ケース

実験 No.	配合 No.	打込み時の目標スランプフロー (mm)	コンクリートの打込み位置	振動機的位置		振動時間 (秒/回)
				打込み中	表面充填時	
1	1	450	打設孔	打設孔		30
2	1	350	打設孔 挿入孔 空気孔	打設孔 挿入孔 空気孔	打設孔 挿入孔 空気孔	10 ~ 30
3	2	450	打設孔	打設孔		15 ~ 30
4	3	450	打設孔	挿入孔		5

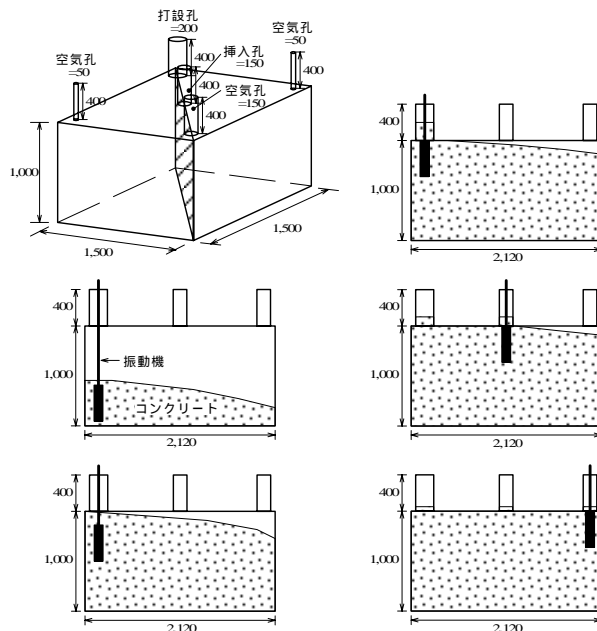


図-6 コンクリートの加振手順

では、コンクリートが上面に達するまで挿入孔で加振し、その後は他のケースと同様な方法とした。

#### (4) コンクリートの試験

コンクリートの試験項目および方法を表-5に示す。ここで、U形充てん試験は、自己充てんによる充てん高さを測定した後、図-7に示すように棒形振動機（振動部 25×380mm、振動数240Hz）をA室に挿入し、A室とB室が同じ高さになるまで加振し、その加振時間を加振充てん時間として測定した。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 小型モデル実験

実験結果を表-6に示す。小型モデルにおけるコンク

リートの自己充てん状況および5秒加振後の充てん状況を図-8、図-9に示す。また、小型モデルにおける充てん完了までの加振時間とスランプフロー、U形充てん試験の自己充てん高さ、および加振充てん時間との関係を、それぞれ図-10～図-12に示す。

本モデルへの充てん状況は、打込み時のスランプフ

表-5 コンクリートの試験項目および方法

試験項目	方法
スランプフロー試験	JSCE-F503に準拠
U形充てん試験	土木学会高流動コンクリート施工指針に準拠．自己充てんによる充てん高さ，振動機による加振充てん時間を測定（図-7参照）．
空気量試験	JIS-A-1128に準拠
ブリーディング試験	JIS-A-1123に準拠
圧縮強度試験	JIS-A-1108に準拠
静弾性係数試験	JSCE-G502に準拠

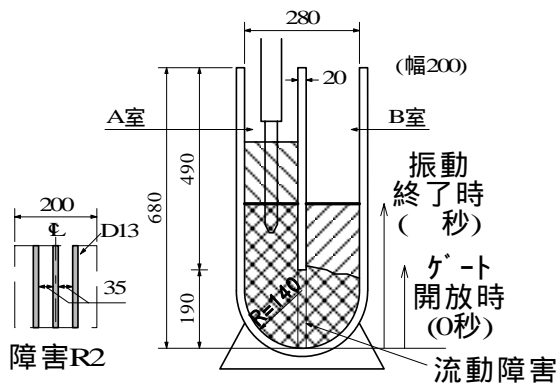


図-7 U形充てん試験要領

ローと投入孔のコンクリート高さにより異なった．投入孔のコンクリート高さが15cmの場合は，打込み後の加振が必要であり，投入孔のコンクリート高さが30cmの場合は，スランプフローが40cm以上であれば，コンクリートの自己充てん性のみで充てんできた．この原因の一つとして，コンクリートの自重による打込み時のせん断力の違いが考えられた．また，加振の充てん性に対する効果は十分見られたが，スランプフローが40cm以下の場合や，投入孔のコンクリート高さが15cmの場合には，加振効果のみでモデルにコンクリートを充てんするためには，過剰の加振時間が必要であり，それによる材料分離などが懸念された．また，モデルへの充てん完了までの振動時間とU形充てん試験にお

表-6 実験結果

実験ケース	スランプフロー (mm)	小型モデル充てん試験		U形充てん試験	
		投入孔のコンクリート高さ (cm)	充てん完了までの加振時間 (秒)	自己充てん高さ (mm)	加振充てん時間 (秒)
1	415	15	5.1	270	8
2	355		16.6	270	12
3	420		8	305	4
4	410	30	0 (自己充てん)	275	8
5	435		0 (自己充てん)	315	6
6	370		2.2	270	10
7	315		8.3	235	20

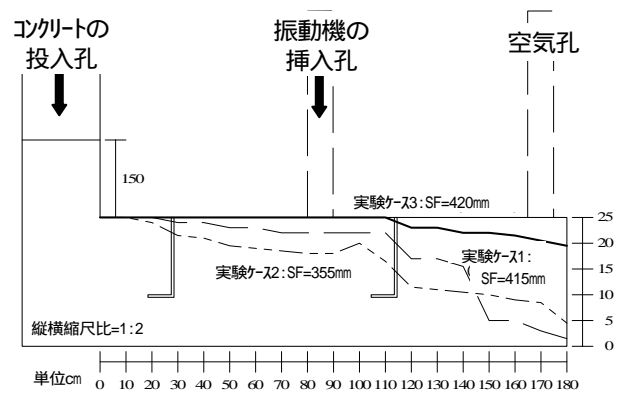


図-8 コンクリートの自己充てん状況

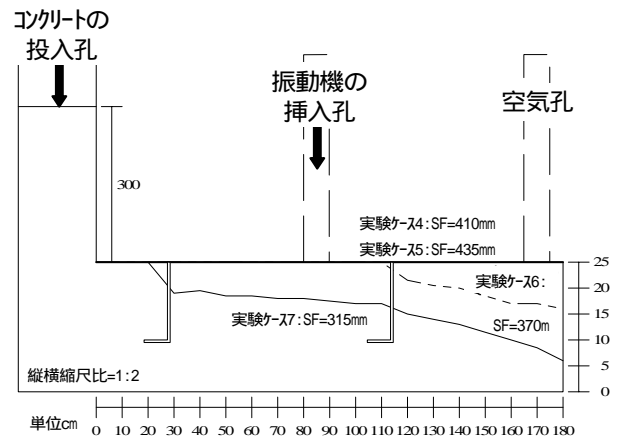
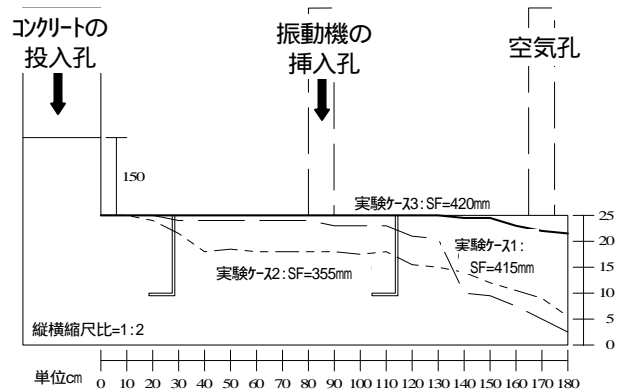
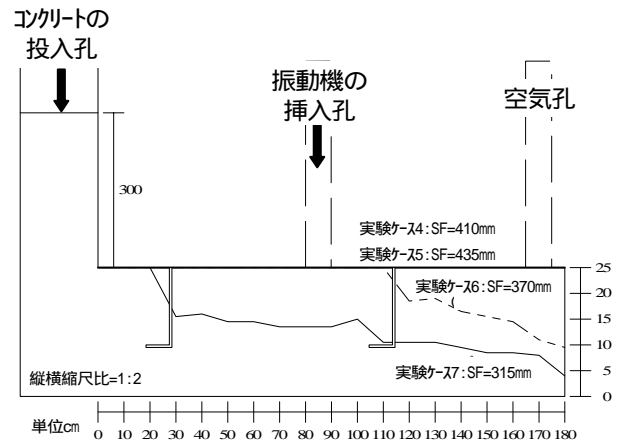


図-9 コンクリートの5秒加振後の充てん状況

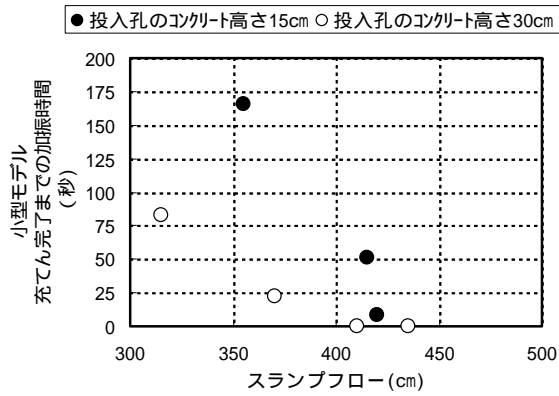


図-10 スランプフローと充てん完了までの振動時間の関係

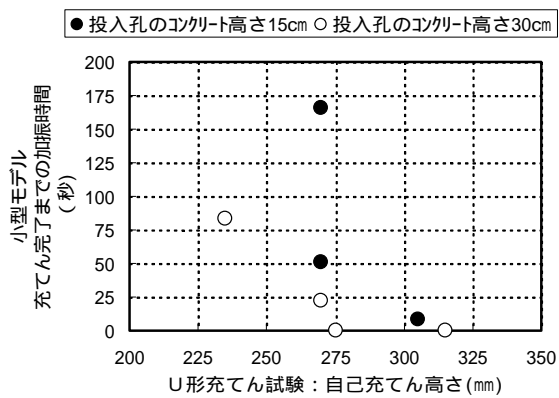


図-11 自己充てん高さと充てん完了までの振動時間の関係

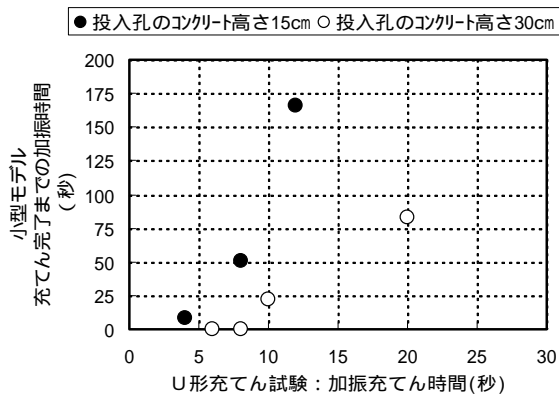


図-12 加振充てん時間と充てん完了までの加振時間の関係

ける加振充てん時間には相関が見られ、図-11からU型充てん試験における自己充てん高さが300mm以上であれば、モデルへの自己充てんが可能であることがわかった。

(2)大型モデル実験

a)フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-7に示す。また、スランプフローとU形充てん試験結果の関係を図-13、図-14に、ブリーディング率との関係を図-15に示す。

大型モデル実験における自己充てん高さは、小型モデル実験におけるものに比較して低かった。この原因として、小型モデル実験でのコンクリート中の粗骨材容積が、大型モデル実験に比較して少なかったこと、および小型モデル実験で用いた粗骨材は外観上丸みを帯びた石灰石砕石であったことなどが考えられた。

表-7 フレッシュコンクリートの試験結果

実験 No.	製造後経過時間 (分)	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	U形充てん試験		ブリーディング率 (%)
				自己充てん高さ (mm)	加振充てん時間 (秒)	
1	5	470	-	-	-	-
	15	435	4.0	190	39.5	1.85
	45	395	3.9	160	49.8	-
2	5	420	-	-	-	-
	15	400	4.1	160	25.0	0.82
	60	360	4.0	140	29.8	-
	105	230	4.0	-	-	-
3	5	420	-	-	-	-
	15	445	3.6	265	10.0	0.81
	45	350	3.9	180	16.0	-
4	5	455	-	-	-	-
	25	425	3.3	260	15.0	0.88
	53	355	3.2	150	47.5	-

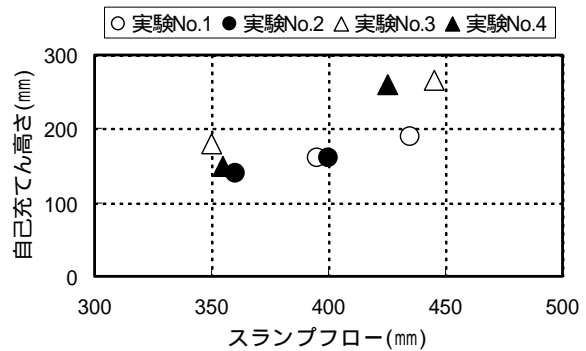


図-13 スランプフローと自己充てん高さの関係

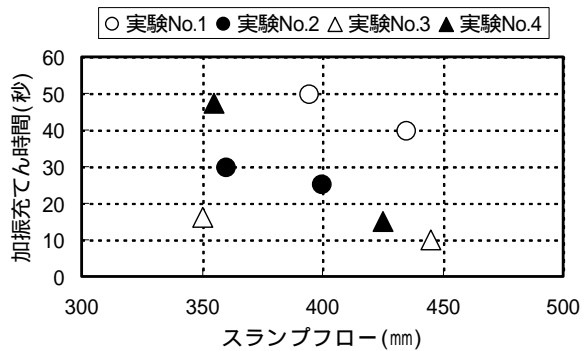


図-14 スランプフローと加振充てん時間の関係

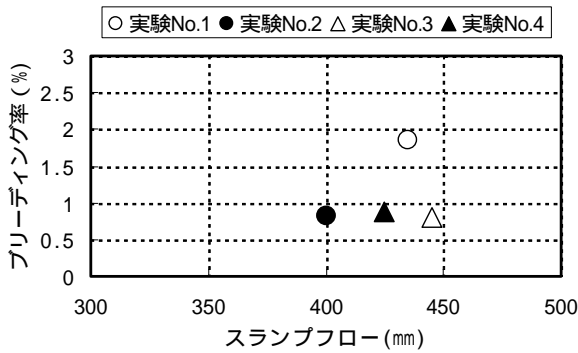


図-15 スランプフローとブリーディング率の関係

加振充てん時間は、増粘剤添加の有無により異なり、増粘剤を添加したものは、添加しないものに比較して加振充てん時間が長く、加振効果が少ないことがわかった。また、ブリーディング率は各配合で若干異なったが、いずれの配合も2%以下と少なかった。

b) 流動状況

コンクリートの打込み時の流動勾配と打込み速度を表-8に、流動状況例を図-16に示す。流動勾配はスランプフローが大きい方が小さかった。加振を行うことで流動勾配は小さくなり、その効果はスランプフローが小さい方が大きかった。なお、加振を行いながら打込みを行ったため、コンクリート面は上昇しながら流動勾配が変化していった。

表-8 流動勾配および打込み速度

実験 No.	打込み時スランプフロー (mm)	流動勾配 (%)		充てん速度 (m <sup>3</sup> /hr)
		加振前	加振後	
1	435	4~6	4~5	14.2
2	360	2.0~2.7	1.5~2.3	9.5
3	445	6~1.3	2~9	8.2
4	425	7~1.4	6~1.4	9.3

c) コンクリートの出来形

いずれの実験ケースも概ね上面型枠まで充てんすることが出来たが、コンクリート上部に残留気泡が残った。残留気泡を考慮したモデルへのコンクリートの充てん率を表-9に示す。コンクリートの充てん率の評価は、上面鋼板の曲げ応力度に影響する面積率(式(1))と、シアコネクタとコンクリートの一体性に影響する形鋼率(式(2))によって評価した。

$$\text{面積率}(\%) = 100 - A_b / A_c \times 100 \quad (1)$$

$A_b$ : コンクリート上面の残留気泡面積(cm<sup>2</sup>)

$A_c$ : コンクリート上面の全面積(cm<sup>2</sup>)

$$\text{形鋼率}(\%) = 100 - A_{bs} / A_s \quad (2)$$

$A_{bs}$ : 残留気泡が形鋼表面に接する面積(cm<sup>2</sup>)

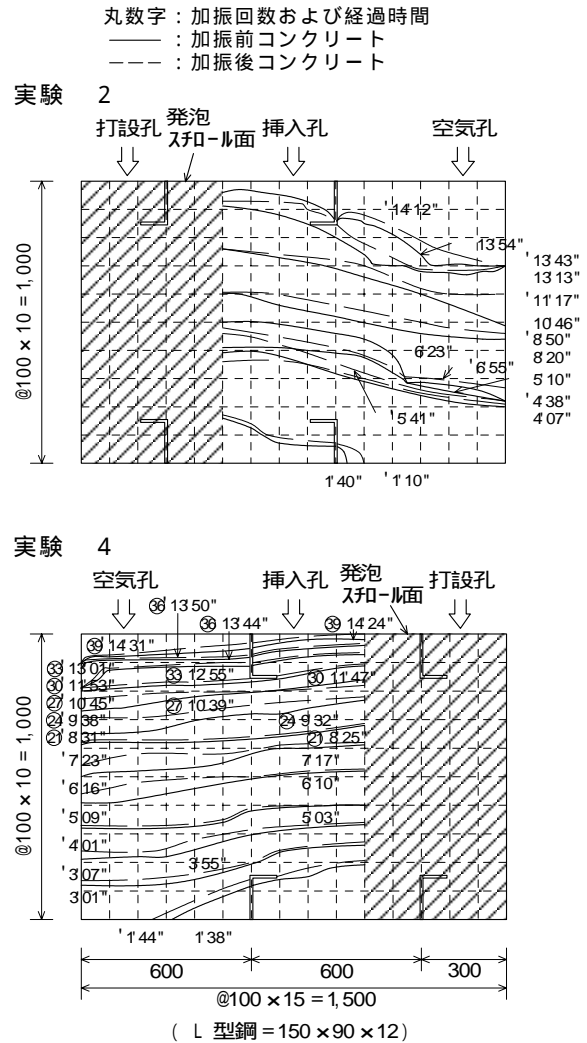


図-16 コンクリートの流動状況例

表-9 コンクリートの充てん率

実験 No.	打込み時スランプフロー (mm)	充てん率 (%)	
		面積率 (%)	形鋼率 (%)
1	435	81.2	98.7
2	360	86.9	98.2
3	445	96.5	99.8
4	425	93.9	99.7

$A_s$ : シアコネクタ鉛直面の表面積(cm<sup>2</sup>)

コンクリートの沈下や大きな未充てん箇所は見られず、スランプフローが400mm以上であれば、面積率で94%以上、形鋼率で99%であり、良好な充てん性が確認できた。ただし、実験ケース1では、スランプフローが400mm以上であったが、充てん終了直前での加振時間が長く、コンクリート上面での残留気泡が多くなったと考えられた。実験ケース2では、スランプフローが小さく、若干充てん性に劣ることや加振時間が長

かったため、充てん率が悪かったと考えられた。また、本実験での面積率は、高流動コンクリートを用いた同種の実験のもの<sup>3)</sup>と比較して大きく、良好な充てん性が得られた。

d) 硬化コンクリートの品質

モデル体のサンプリングコアによる硬化コンクリートの品質を図-17～図-19に示す。ここで、サンプリングコアの採取位置は、No.1：打設孔，No.2：打設孔と挿入孔の間，No.3：挿入孔，No.4：挿入孔と空気孔の間，No.5：空気孔である。

モデル体の単位容積質量は、品質管理用供試体に比較して若干小さかった。しかし、そのばらつきはスランプフローの小さい実験ケース2で若干あるものの、

他のケースでは小さかった。

モデル体の圧縮強度は、品質管理供試体と同等以上の概ね40N/mm<sup>2</sup>以上で、標準的な沈埋函コンクリートの設計基準強度30N/mm<sup>2</sup>を満足していた。また、そのばらつきは実験ケースによらず、概ね10N/mm<sup>2</sup>程度であった。

モデル体の静弾性係数は、品質管理供試体に比較して若干小さかった。この理由としてモデル体の単位容積質量が、品質管理供試体に比較して小さかったことによると思われる。

4. まとめ

中流動コンクリートを用いた沈埋函鋼殻をモデル化した充てん実験の結果から以下のことがわかった。

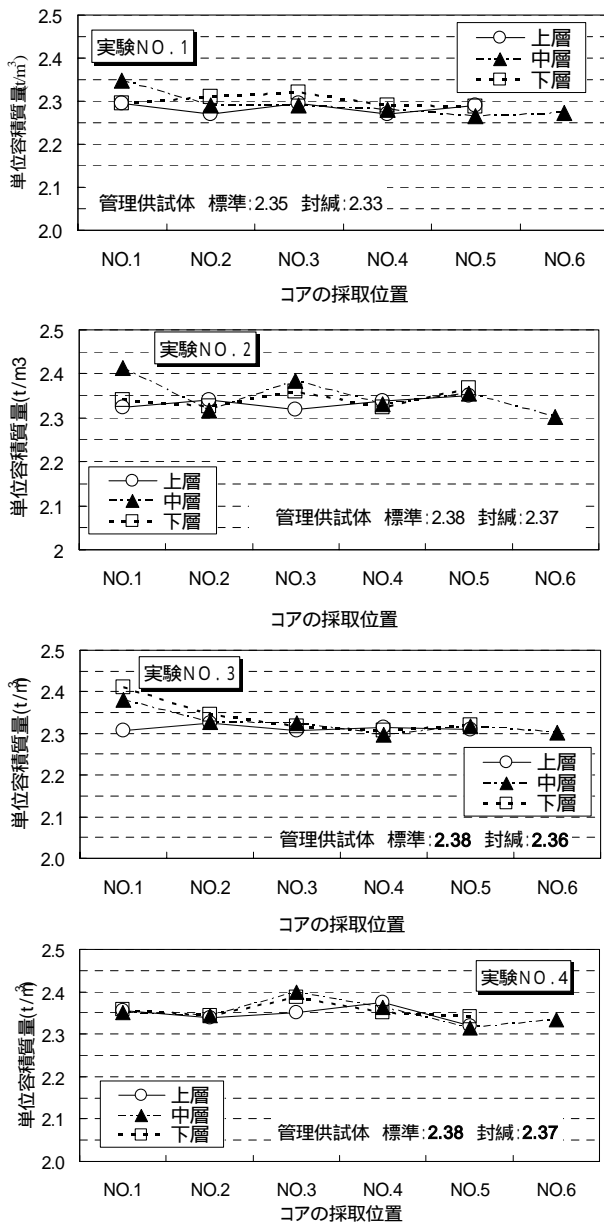


図-17 単位容積質量試験結果

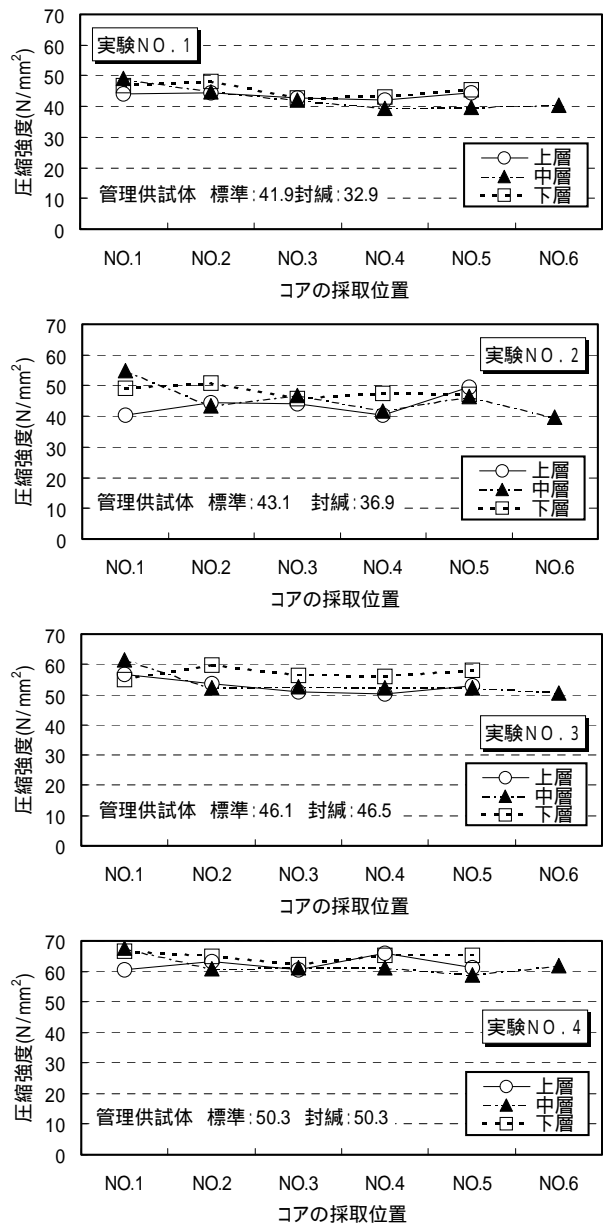


図-18 圧縮強度試験結果

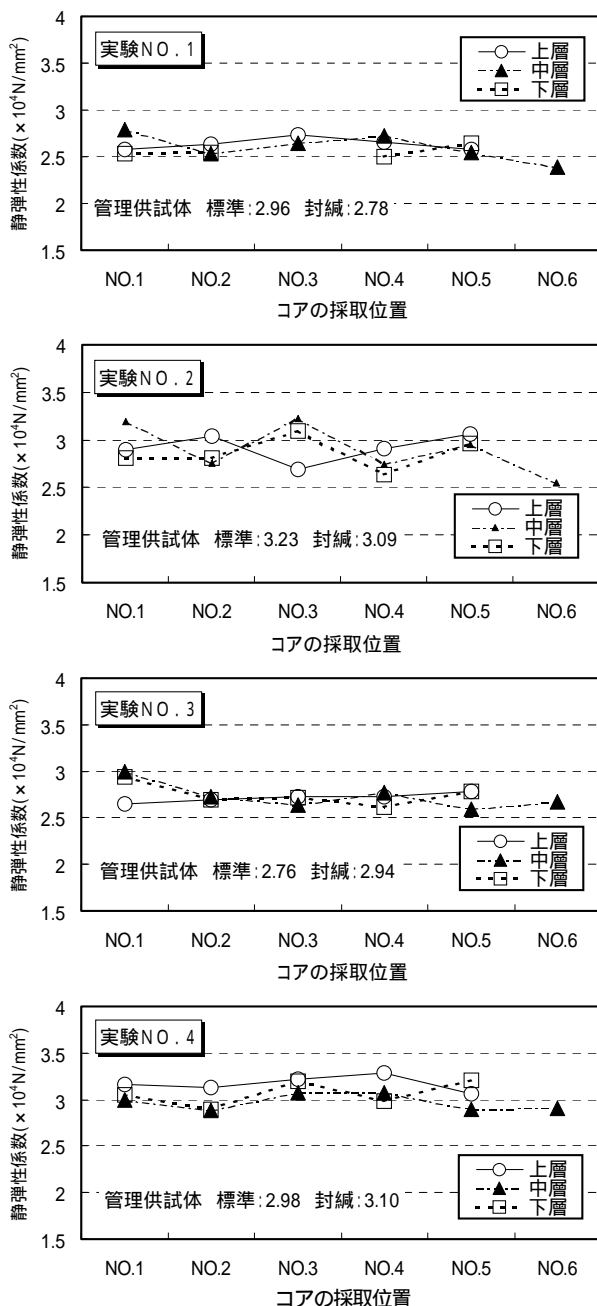


図-19 静弾性係数試験結果

- (1) 沈埋函鋼殻を想定した打設孔からの打込みと、固定位置での間欠的な加振により、中流動コンクリートのモデルへの良好な充てんが可能であり、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函への適用性が確認できた。
- (2) コンクリートの打込み口のコンクリート高さを高くすることにより、充てん性の向上効果が見られた。
- (3) 振動機の加振による流動勾配低減の効果が見られた。その効果はコンクリートの種類によって異なり、加振時間が長くなる場合、コンクリート上面の残留気泡が多くなる傾向にあった。
- (4) 充てんが良好なコンクリートは、スランプフロー400mm程度以上、U形充てん試験の自己充てん高さ200mm程度以上、加振充てん時間20秒程度以下、ブリーディング率2%以下のものであった。
- (5) モデル体より採取したコアの単位容積質量、圧縮強度、静弾性係数は概ね良好な品質を有していた。

なお、本研究は、国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所、早稲田大学、五洋建設(株)、東亜建設工業(株)、佐伯建設工業(株)、東洋建設(株)、若築建設(株)の共同研究の一環として行ったものである。

#### 参考文献

- 1) 小島朗史, 城代高明, 中島由貴, 小澤敬二: 港島トンネル鋼サンドイッチ構造沈埋函の高流動コンクリートの施工, コンクリート工学, Vol.34, No.8, 1996.8.
- 2) 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の設計と高流動コンクリートの施工: 沿岸開発技術研究センター, 1996.10
- 3) 本庄隆宣, 輪湖建雄, 鈴木雄三, 佐藤正一: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.197-202, 1995.6

## APPLICABILITY EXAMINATION OF SEMI-SELF COMPACTING CONCRETE TO IMMERSSED TUNNEL ELEMENT WITH STEEL-CONCRETE SANDWICH STRUCTURE

Eiji SUEOKA, Sosuke KITAZAWA, Toru YAMAJI and Osamu KIYOMIYA

We carried out filling experiments using immersed tunnel element models to examine the applicability of semi-self compacting concrete to immersed tunnel element with steel-concrete sandwich structure. A small model experiment for flowability examination and a actual size model which were modeled structure, size, a placement hole, and vibration holes were carried out. In this result, it was confirmed that semi-self compacting concrete was good compactibility to models by placement from fixed point and intermittent vibration at some points under following conditions that slump flow is 400~500mm, self-compacting height is over 200mm, bleeding ratio is less than about 2%.