中流動コンクリートの鋼コンクリート サンドイッチ構造部材への適用検討

末岡 英二¹・佐野 清史²・清宮 理³

¹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

²フェロー 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:sano-kiyufumi@toyo-const.co.jp

³フェロー 早稲田大学 創造理工学部 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部材への適用性をフレッシュコンクリートの性
状から検討した。中流動コンクリートの配合をスランプフロー400～600mmで、高い充てん性の確保、お
よびブリーディングの低減が可能となるように設定し、レオロジー的観点から加振の効果を評価した。設
定した配合をもとに、各種要因のばらつきに対する充てん後の沈下特性、軽度な加振での充てん性向上効
果、および鋼コンクリートサンドイッチ構造部材を模擬した一次元モデル型枠を用いた充てん実験での充
てん性や、加振効果の評価により適用検討を行った。また、実施工で中流動コンクリートの施工性につい
ても確認した。

Key Words : semi-self compacting concrete, steel-concrete sandwich member, compactibility

1. はじめに

沈埋トンネルに用いられる鋼コンクリートサンドイ
チ構造部材には、自己充てん性を有する高流動コンクリ
ートが用いられてきた^{1),2),3),4)}。しかし、高流動コンクリ
ートは材料費が高く、製造や品質管理における負担増に
より、普通コンクリートと比較してかなりのコストア
ップとなる。そこで筆者らはスランプフローが400～
600mmで、その材料費が安価で、材料、製造、品質管理
の面での制約条件が少なく、充てん性は高流動コンクリ
ートに比べて若干劣るが、内部振動機などにより軽度な
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鋼コン
クリートサンドイッチ構造部材への検討を行い、新若戸
道路沈埋トンネル(仮称)沈埋函及び大阪港夢洲トンネ
ル(仮称)沈埋函の実施工に適用した。鋼コンクリート
サンドイッチ構造部材を対象とした中流動コンクリートの
流動性および充てん性の範囲を図-1に示す。

今までの中流動コンクリートに関する研究は、主に部
材が薄く過密配筋となる建築分野への適用検討が行われ
ており、いろいろな定義がされている。梶田ら⁵⁾は、通
常強度レベルにおいて目標スランプを23cmとし、若干
の締固めは必要であるが、流動性に優れるため、じゃん

図-1 中流動コンクリートの流動性、充てん性の範囲⁵⁾

かなどの施工欠陥を作りにくいコンクリートを準高流動
コンクリートと定義し、松藤ら⁷⁾は、スランプ18cm以上
かつスランプフローが50cm以下の領域に該当するコン
クリートと定義している。また、井上ら⁸⁾は高流動コン
クリートよりも流動性では劣るが、普通コンクリートに
比べて軽度な振動を併用することにより、充てん可能な
スランプ23cm程度のコンクリートを中流動コンクリ
ートと定義している。土木分野においても、同種コンクリ
ートのトンネル覆工コンクリートへの適用検討⁹⁾や、
SRCはりへの適用実績¹⁰⁾があり、中流動コンクリートへ
の石炭灰の利用¹¹⁾も試みられている。

2. 研究概要

沈埋函での鋼コンクリートサンドイッチ構造部材では、密閉された鋼殻内にコンクリートを充てんさせるため、自己充てん性を有する高流動コンクリートが今まで適用されてきた。しかし、高流動コンクリートの良否が打込み時のフレッシュコンクリートの性状に支配され、このため材料選定から製造、運搬に至る過程での種々の制約や管理により、普通コンクリートに比べてかなりコストアップとなる。そこで筆者らは、高流動コンクリートに比べてコスト低減が図れ、鋼コンクリートサンドイッチ構造部材に適用できるコンクリートとして中流動コンクリートに着目した。中流動コンクリートは、高流動コンクリートに比べて使用材料の種類を少なくし、かつ流動性を小さく抑えることで材料費の削減、および製造の簡易化を実現できる。流動性の低減に伴う充てん性の低下を、内部振動機での加振により補う必要があるが、フレッシュコンクリートに要求される充てん性の範囲も広く設定でき、材料費削減、製造の簡易化と合わせてコンクリート工事のトータルコストが削減できる。

また、中流動コンクリートを沈埋函での鋼コンクリートサンドイッチ構造部材に適用する場合、上部に設置した打設口からの打込みと、加振孔のみによる軽度な加振により、鋼殻の隅々まで充てんできること、打込み終了後の沈下が少なく、コンクリート硬化後に上側鋼板下面やシアコネクタ周辺に空隙なく、上鋼板との一体性が確保できること、所要の単位容積質量や圧縮強度を満足できること、打込み、ポンプ圧送、および加振により材料分離を起こさないことが要求される。なお、コンクリートの充てん確認は、鋼殻上面に取付けた空気孔で目視によって行うが、必要に応じてRI法、打音法¹²⁾などで行う。鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の断面図、および上床版構造図をそれぞれ図-2、図-3に示す。鋼殻の1隔室の寸法はおおよそ縦横3~3.5m、高さ1mである。

本研究では、流動性、充てん性、ブリーディング、レオロジー特性から沈埋函での鋼コンクリートサンドイッチ構造部材に適用できる中流動コンクリートの配合の目安を設定し、各種要因の変動によるブリーディングと沈下量の関係、軽度な加振による充てん効果を検討した。また、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の上床版の一部をモデル化したモデル型枠を用いた充てん実験を行い、その適用性を評価し、実施工に適用した。

3. 中流動コンクリートの配合に関する事前検討

中流動コンクリートの流動性、充てん性、ブリーディング、およびレオロジー特性から、実施工に用いられる

図-2 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の断面図

図-3 上床版構造図

配合を絞り込んだ。

(1) コンクリートの使用材料

実験で用いたコンクリートの使用材料を表-1に示す。これらの材料は、関東地区、北九州地区、大阪地区の生コンクリート工場で用いられているものである。セメントは高炉セメントB種とし、高流動コンクリートで用いられている高炉スラグ微粉末や、石灰石微粉末などの混和材は、使用しなかった。粗骨材は碎石とし、細骨材は陸砂、海砂、および川砂を用い、それらは粒度調整あるいは微粒分の確保のために砕砂との混合砂とした。混和剤は、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤のみを用いた。

(2) コンクリートの試験概要

コンクリートの試験項目および方法を表-2に示す。スランプフロー試験とU形充てん装置を用いた間隙通過性試験（以下、U形充てん試験と称す）は、それぞれ中流動コンクリートの流動性および充てん性の評価のために行った。沈埋函の鋼コンクリートサンドイッチ構造部材においては、鋼殻上床版下面に配置されたシアコネクタ周辺への逆打ちでの充てん性が必要であるが、過密配筋ほどの充てん性は必要ないと判断し、U形充てん試験における流動障害はR2タイプとした。また、中流動コンクリートのレオロジー特性を評価するため、回転翼型粘度計を用いてレオロジー定数を調べた。

(3) 配合の考え方

中流動コンクリートの配合は、粉体系高流動コンクリ

表-1 コンクリートの使用材料

材料名		A-1	A-2	B-1	B-2	C
セメント	種類	高炉セメントB種				
	密度(g/cm ³)	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04
	粉末度 (cm ² /g)	4,090	3,880	3,830	3,850	4,000
粗骨材	種類	砕石				
	密度(g/cm ³)	2.66	2.66	2.73	2.68	2.64
	吸水率(%)	0.64	0.62	1.37	0.41	0.75
	粗粒率	6.71	6.55	6.84	6.38	6.72
細骨材1	種類	陸砂		海砂		川砂
	密度(g/cm ³)	2.57	2.54	2.56	2.59	2.56
	吸水率(%)	2.14	1.27	1.21	1.64	1.43
	微粒分量(%)	—		0.41	0.56	0.79
	粗粒率	2.51	2.45	2.66	2.05	2.62
細骨材2	種類	砕砂				
	密度(g/cm ³)	2.62	2.57	2.64	2.64	2.58
	吸水率(%)	1.71	2.5	0.94	1.17	1.44
	微粒分量(%)	—		10.7	10.8	10.7
	粗粒率	2.91	3.08	2.8	2.81	2.82
混和剤	種類	高性能AE減水剤				
	成分	ポリカルボン酸系				

表-2 コンクリートの試験項目および方法

試験項目	試験方法
スランプフロー試験	JIS A 1150「コンクリートのスランプフロー試験方法」に準拠
空気量試験	JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」に準拠
U形充てん試験装置を用いた間隙通過性試験	JSCE-F511「高流動コンクリートの充てん装置を用いた間けき通過試験方法（案）」に準拠
ブリーディング試験	JIS A 1123「コンクリートのブリーディング試験方法」に準拠
レオロジー試験	コンクリート用回転翼型粘度計を用いて、回転数とトルクの関係から見かけの降伏値、塑性粘度を測定。あらかじめ求めておいた機械定数により降伏値、塑性粘度に変換。羽根角度45°の回転翼、高さ289mm、内径244mmの容器を使用。

表-3 コンクリートの配合

使用材料名	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	粗骨材容積 (ℓ/m ³)	高性能AE減水剤添加量 (C×%)	試験結果	
					スランプフロー(mm)	空気量(%)
A-1	32～45	170	315	1.45～1.7	415～460mm	3.3～4.5%
B-1	36.5～38.8	155～165	315～345	0.6～0.75	425～490mm	4.6～5.3%
C	37.6～41.2	160～175	315～345	1.0～1.45	460～530mm	3.2～4.5%

ートと同様に、主に水粉体比の減少と高性能AE減水剤の使用により、適度な流動性と材料分離抵抗性を付与することを基本とした。ただし、スランプフローは、高流動コンクリートに比べて小さな値である450, 500mmに設定し、単位水量や高性能AE減水剤添加量により調整した。また、U形充てん試験における自己充てん高さをできるだけ高くできる最大粗骨材量や、充てん後の沈下を防ぐためにブリーディングを防止できる水セメント比を調べ、これらの結果から配合を設定した。実験におけるコンクリートの配合を表-3に示す。

スランプフローは、使用材料 A-1, B-1 で 450±50mm, 使用材料 C で 500±50mm に設定し、各単位水量に応じて高性能 AE 減水剤の添加量で調整した。粗骨材容積は、粉体系高流動コンクリートにおける自己充てん性のランク 2 の値 300～330ℓ /m³ を参考として、315～345ℓ /m³ に設定した¹³⁾。また、沈埋函では施工段階での浮遊時の安定性などから、コンクリートの単位容積質量を慎重に管理する必要がある。そのため、コンクリートの単位容積質量に影響を及ぼす骨材密度の管理とともに、空気量の範囲を 4.5±1.5% となるように空気量調整剤により調整した。

(4) 事前検討の結果および考察

各ケースのスランプフローおよび空気量の試験結果を表-3に示す。いずれも目標値を満足した。

a) ブリーディング

水セメント比とブリーディング率の関係を図-4に示す。この図から水セメント比が35%以下の場合、ほとんどブリーディングが生じない。水セメント比が35%～45%では、いずれの材料においてもブリーディングの発生が見られたが、ブリーディング率は2%以下であった。また、材料B-1を用いた場合は、材料A-1および材料Cを用いた場合に比較してブリーディングが若干多かった。

この結果から、ブリーディング防止の観点により水セメント比を設定する場合、水セメント比を35%以下とすることが望ましいが、水セメント比低下による粘性増大に起因する製造時間の増加や、充てん性の低下が懸念される。また、ブリーディング率の許容値は、コンクリート充てん後の沈下量により決定されることなどから、水セメント比と充てん性の関係、およびブリーディングと

沈下量の関係を検討した上で、水セメント比を決定する必要がある。

b) 充てん性

U形充てん試験における粗骨材容積と自己充てん高さの関係を図-5に示す。自己充てん高さは、粗骨材容積が多いほど低く、粗骨材容積が $345\ell/\text{m}^3$ の場合、 $315\ell/\text{m}^3$

図-4 水セメント比とブリーディング率の関係

図-5 粗骨材容積と自己充てん高さの関係

図-6 水セメント比と自己充てん高さの関係

および $3300\ell/\text{m}^3$ に比較して自己充てん高さが著しく低下する。また、配合によっては自己充てん高さが 300mm に達する場合もあり、高流動コンクリートの自己充てん性の評価基準から判断すると、自己充てん可能な配合であると考えられた。しかし、自己充てん高さが 300mm に到達していない配合の中流動コンクリートでは、内部振動機による加振により充てん性を高める必要がある。

水セメント比と自己充てん高さの関係を図-6に示す。水セメント比 39% 程度において自己充てん高さが最大となり、水セメント比が 39% 程度以下の場合、コンクリートの粘性が高く、自己充てん高さが低下する。この試験結果から、良好な充てん性を発揮できる中流動コンクリートの配合の目安は、粗骨材容積 $3300\ell/\text{m}^3$ 以下、水セメント比 39% 程度が適当であり、その時の自己充てん高さは概ね $250\sim 300\text{mm}$ であった。

c) レオロジー特性

コンクリートの回転翼型粘度計によるレオロジー試験は、各回転数でのトルク測定時に5秒間側面を型枠振動機により振動させたものと、させないもの2ケース実施した。この時、振動機によりコンクリートに与えた加速度は、あらかじめひずみゲージ式加速度計により測定し、 $2\sim 3G$ であることがわかっており¹⁴⁾、この値は文献¹⁵⁾から、施工で通常用いられる棒状振動機からの距離が $60\sim 80\text{cm}$ の位置の加速度に相当する。また、この試験で用いた振動機は、振動伝達部 $75\times 100\text{mm}$ で、振動部が $9,000\sim 11,000\text{VPM}$ である。試験で求めた回転数とトルクをビンガム流体と仮定して、式(1)により直線近似し、切片および傾きから見かけの降伏値、見かけの塑性粘度を求めた。

$$T = g + hN \quad (1)$$

ここに、 T : トルク ($\text{N}\cdot\text{m}$)

N : 回転数 (RPS)

g : 見かけの降伏値 ($\text{N}\cdot\text{m}$)

h : 見かけの塑性粘度 ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$)

これら見かけのレオロジー定数の降伏値 τ_c と塑性粘度 η_c への変換は、河合らの方法¹⁶⁾に準じて変換した。すなわち、あらかじめモルタルにおける回転翼型粘度計から求めた見かけの降伏値、および見かけの塑性粘度と、R型回転粘度計より求めた降伏値、および塑性粘度のそれぞれの相関関係から求めた機械定数を乗じてレオロジー定数に変換した。

水セメント比とコンクリートのレオロジー定数(降伏値および塑性粘度)の関係を図-7に示す。レオロジー定数は、水セメント比の低下とともにいずれも大きくなっ

た．水セメント比が32%のレオロジー定数は，水セメント比が35%以上のものと比較して著しく大きい．振動機によりコンクリートを加振することで，コンクリートの

図-7 水セメント比とレオロジー定数の関係

図-8 レオロジー定数とブリーディング率の関係

レオロジー定数は，加振しない場合に比べて概ね小さくなり，特にレオロジー定数の大きい水セメント比が35%以下で，その変化が顕著であった．また，加振による塑性粘度の低下に比べて降伏値の低下の方が大きく，振動機により5秒程度の適度な振動を水セメント比32～45%，スランプフロー450mm程度のコンクリートに加えることにより，粘性（材料分離抵抗性）を損なうことなく流動性を高める効果があることを示している．

コンクリートのレオロジー定数とブリーディング率の関係を図-8に示す．コンクリートのレオロジー定数の増加に伴いブリーディング率は少なくなり，本実験での範囲では，コンクリートの降伏値が75Pa程度以上，塑性粘度が4.5 Pa·s程度以上の場合にブリーディングは発生しなかった．また，振動機でコンクリートを加振することによるブリーディングの増加傾向は見られなかった．

4. ブリーディングと沈下量の関係

鋼コンクリートサンドイッチ構造部材におけるコンクリートのブリーディングの発生は，鋼殻内コンクリートの沈下に繋がり，鋼とコンクリートの一体性に影響を与える要因である．そのため，ブリーディングと沈下量の関係を調べ，ブリーディング率を検討することが，水セメント比の範囲を設定する上で重要となる．

(1) 実験概要

事前検討での配合をもとに選定した表-4に示す基本配合を対象に，フレッシュコンクリートの性状に影響を及ぼす表面水率設定誤差，細骨材混合割合，高性能AE減水剤添加量，および環境温度の4つの要因を変動させ，ブリーディングと沈下量の関係を調べた．実験での変動要因と水準を表-5に示す．なお，この配合は配合設定に関する事前実験結果から，水セメント比や単位粗骨材量を決定し，スランプフローを500mm程度となるように単位水量や高性能AE減水剤添加量で調整したものである．コンクリートのブリーディング試験は，JISに規定されている高さ（ $H=285\text{mm}$ ）の容器（以下，JIS法と称す）と，高さ変化による影響を見るために $\phi=250\text{mm}$ の $H=500\text{mm}$ ，および1000mmの鋼管を用いた容器の3種類で行った．また，コンクリートの沈下量も，ブリーディング試験と同様にコンクリートを $\phi=250\text{mm}$ ， $H=500$ ，1000mmの2種類の鋼製円筒の中に打込み，コンクリート表面に設置したアクリル板上の標点の高さ変化を非接触レーザー変位計で計測した．また，鋼管とコンクリートの界面には両者の摩擦による影響を防ぐために，テフロンシートとビニールシートを貼付けた．コンクリートの沈下量の測定状況を図-9に示す．なお，沈下量試験およびブリーディン

グ試験においては、コンクリート表面からの水分の逸散を防止するために、養生時にはブリーディング容器の蓋やガラス板により蓋をし、測定時にのみ開放した。

表-4 基本配合

配合B-1(使用材料B-1)						
水セメント比(W/C)(%)	粗骨材容積(ℓ/m^3)	単位量(kg/m^3)				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能AE減水剤 SP
37.6	315	160	425	878	860	3.19
配合B-2(使用材料B-2)						
水セメント比(W/C)(%)	粗骨材容積(ℓ/m^3)	単位量(kg/m^3)				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能AE減水剤 SP
37.6	315	160	425	887	844	4.25
配合C(使用材料C)						
水セメント比(W/C)(%)	粗骨材容積(ℓ/m^3)	単位量(kg/m^3)				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能AE減水剤 SP
39.5	315	168	425	852	830	4.68

表-5 変動要因と水準

材料名	要因	水準
材料B-1	表面水率設定誤差	-1.0%~+1.0%
	海砂と砕砂との混合割合(細骨材の微粒分量(%))	5.5:4.5~10:0 (5.04~0.41%)
	高性能AE減水剤添加量	0.65~0.85 (C×%)
材料B-2	表面水率設定誤差	-1.25%~0%
	高性能AE減水剤添加量	1.1~1.37 (C×%)
	環境温度	10~30℃
材料C	表面水率設定誤差	-0.1%~+0.1%
	川砂と砕砂との混合割合(細骨材の微粒分量(%))	5.5:4.5~8.5:1.5 (5.24~2.27%)
	高性能AE減水剤添加量	1.0~1.2 (C×%)
	環境温度	10~30℃

図-9 沈下量測定方法(H=500mmの場合)

(2)実験結果および考察

容器高さとブリーディング率およびブリーディング量の関係を図-10に示す。ブリーディング率は各種要因の変動によりJIS法では概ね1~2.5%の範囲で変化し、容器の高さが高くなるにつれてその値が小さくなった。また、ブリーディング量は容器の高さによっても若干変化した。高さによる変化が小さかった。この理由としてブリーディング量は、単位面積当たりの浮き水の量であるのに対し、ブリーディング率は、浮き水の対象となるコンクリート中の水の質量に対する割合であることに起因する。すなわち、ブリーディング水が鉛直方向に移動できる距離には限界があり、ブリーディングに寄与する水は対象となる容器内のコンクリートに含まれる全ての水ではなく、標準的なブリーディング容器の深さ程度までの水に限られると考えてよく、このことは既往の知見¹⁷⁾と合致する。

容器の高さと沈下量の関係、およびブリーディング率と沈下量の関係をそれぞれ図-11, 12に示す。沈下量は容器の高さによって異なり、高さ1000mmの沈下量は、高さ500mmの1.3~2.0倍程度であり、高さに応じて沈下量が大きくなった。各材料での各種要因の変動により、JIS法によるブリーディング率は0.2~2.3%の範囲で変動し、沈下量は1~2.5mmの範囲であったが、それらの間

図-10 容器の高さとブリーディング率およびブリーディング量の関係

図-11 容器の高さと沈下量の関係

図-12 ブリーディング率と沈下量の関係

には相関は見られず、その傾向は高さ1000mmにおけるブリーディング率と沈下量の関係においても同様であった。すなわち、JIS法によるブリーディング試験におけるブリーディング率が2.5%以下の場合の沈下量は、ブリーディング率によらず、いずれのコンクリートにおいても高さ1000mmにおいて1～2.5mm程度であることがわかった。これらの沈下現象は、普通コンクリートや高流動コンクリートでも見られるものであり¹⁸⁾、既往の知見における高流動コンクリートにおける沈下率は0.2～0.3%程度であり、今回の実測値0.1～0.25%（高さ1000mmで1～2.5mm）とほぼ同等であった。

図-13 経過時間と沈下量の関係

この沈下の原因としてT.A.Hammer¹⁹⁾は、コンクリートのブリーディングとコンクリートの水和収縮によるとしている。コンクリート打込み後の経過時間と全沈下量およびブリーディング量から推定した沈下量(BL沈下量)の関係を図-13に示す。なお、ブリーディングはコンクリート打込み後、2時間経過してから発生した。全沈下量からBL沈下量を除いた沈下量を水和収縮量と仮定すると、コンクリート打込み後22時間における水和収縮量のコンクリート打込み高さに対する割合は、配合B-1、Cでそれぞれ1.2%、1.5%であり、BL沈下量のコンクリート打込み高さに対する割合は、配合B-1、Cでそれぞれ0.5%、0.1%であった。このことから、ブリーディング率が2.5%程度の少ないコンクリートにおける沈下は、コンクリートの水和収縮が支配的であることがわかった。

また、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の実施工においては、打込み時に打設口などに充てんされるコンクリートの加圧効果²⁰⁾により、鋼殻内コンクリートの沈下は低減されることも考慮すれば、ブリーディング率2.5%以下の中流動コンクリートであれば、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函において主に構造的観点から決められる鋼板とコンクリートとの空隙の管理基準値の5mm²¹⁾を、十分満足できる。さらに、文献22)の算定式から自己収縮の最終値を算定した場合、 $W/C=37.6\%$ で $200\mu (=0.02\%)$ 程度であった。高炉セメントB種を用いたことによる増加を考慮しても、BL沈下量の1/10程度であり、自己収縮がコンクリートの体積変化に及ぼす影響は小さいと考えられる。

5. 中流動コンクリートへの加振効果

内部振動機による加振は、普通コンクリートでは、締固めを行う目的で行うが、中流動コンクリートへの加振は、主に流動性や充てん性の向上効果を目的とする。鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函における内部振動機での加振箇所は、予め決められた位置に限られるため、加振位置から離れたコンクリートに内部振動機により作

用する加速度は、通常の加振に比べて軽度なものとなるため、加振による加速度の大きさが、中流動コンクリートの充てん性に及ぼす影響を調べた。

(1)実験内容

加振効果の評価は、U形充てん試験において、コンクリートの自己充てん後に加振を加え、加振中の充てん高さ（以下、加振充てん高さと呼ぶ）の変化、および充てん高さの上昇速度により行った。加振充てん高さは2秒

図-14 試験方法

表-6 コンクリートの配合

実験ケース	水セメント比(W/C)(%)	粗骨材容積(ℓ/m³)	単位量(kg/m³)				高性能AE減水剤SP
			水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	
目標スランプフロー300mm	37.6	315	160	425	867	838	2.55～2.76
目標スランプフロー400mm							2.98～3.49
目標スランプフロー500mm							3.49～4.04

表-7 実験ケース

実験名	目標スランプフロー	振動機の種類	緩衝材
300-1	300mm	棒状振動機	—
300-2		型枠振動機	発泡スチロール6cm
300-3		型枠振動機	発泡スチロール21cm
300-4		型枠振動機	発泡スチロール6cm+軟質ゴムラバー10cm
400-1	400mm	棒状振動機	—
400-2		型枠振動機	発泡スチロール6cm
400-3		型枠振動機	発泡スチロール21cm
400-4		型枠振動機	発泡スチロール6cm+軟質ゴムラバー10cm
500-1	500mm	棒状振動機	—
500-2		型枠振動機	発泡スチロール6cm
500-3		型枠振動機	発泡スチロール21cm
500-4		型枠振動機	発泡スチロール6cm+軟質ゴムラバー10cm

間隔で測定した。加振は型枠振動機（振動伝達部75×100mm、振動周波数9,000～11,000VPM）と、棒状振動機（φ25mm×380mm、振動周波数240Hz）を用いて行った。型枠振動機は、図-14に示すようにU形充てん試験器の流動障害設置位置の側面に直接接触させて加振した。棒状振動機は、図-14に示すように直接コンクリート内に15cmほど振動部を挿入させて加振させた。

なお、型枠振動機においては、振動伝達部に振動緩衝材を挟み込んで、コンクリートの作用する加速度の大きさを変化させた。加速度の大きさは、U形充てん試験器内に設置したひずみゲージ式加速度計により0.5msec間隔で測定し、加速度波形ピーク値の5秒間の平均値とした。加速度の測定は、U形充てん試験器のA室にコンクリートを充てんし、仕切りゲートを開放しない状態で加振させて行い、鉛直方向加速度を上下方向3箇所、水平方向加速度を流動障害設置位置1箇所で行った。そのため、加振充てん高さの測定と加速度の測定は別バッチのコンクリートで実施した。実験で用いたコンクリートの配合、および実験ケースをそれぞれ表-6、表-7に示す。コンクリートの目標スランプフローは、300mm、400mm、500mmの3種類に設定し、これらは高性能AE減水剤の添加量により調整した。ここで、スランプフロー300mmのケースは、中流動コンクリートのスランプフローの範囲外であるが、わずかな加振で充てん高さが確保できる自己充てん高さやスランプフローの範囲を確認するために行ったものである。

(2)実験結果および考察

コンクリートのスランプフローは、目標スランプフロー300mm、400mm、500mmで、それぞれ325～370mm、370～425mm、470～515mm、空気量は、それぞれ3.4～5.0%、3.9～4.3%、3.8～4.3%であった。振動機を加振により生じたコンクリートの平均加速度の測定結果を図-15に示す。コンクリートの平均加速度は、棒状振動機、型枠振動機+発泡スチロール6cm、同発泡スチロール21cm、同発泡スチロール6cm+軟質ゴムラバー10cmの順に大きかった。また、今回の実験でU形充てん試験器の流動障害部付近のコンクリートに生じた平均加速度は、通常の締固めにおける加速度に比較してかなり小さかった。目標スランプフロー400mmにおいて一部平均加速度が大きくなるケースが見られたが、スランプフローによる平均加速度の違いは比較的少なかった。なお、加振充てん高さの変化に主に寄与する加速度として流動障害付近の水平方向の加速度を抽出して以下の考察を行った。

U形充てん試験における自己充てん後の加振時間と加振充てん高さの関係を図-16に示す。ここで、充てん高さ300mm以上となることで高流動コンクリートと同等な

充てん性を有するものと仮定して評価した。目標スランプフローが500mmの場合、自己充てん高さはほとんどのケースで300mmを超えており、自己充てんのみによって高流動コンクリートと同様な充てん性を発揮できた。目標スランプフローが400mmの場合、自己充てん高さは240～290mmで300mmに達しなかったが、軽度な加振を5～10秒程度行うことで充てん高さ300mmに到達すること

図-15 コンクリートの平均加速度の測定結果

ができた。目標スランプフローが300mmの場合、自己充てん高さが250mm以下であり、コンクリートの与える加振の程度によって充てん高さ300mmに達する時間に違いがあった。また、自己充てん高さが200mm以下の場合には、ごく軽度な加振では充てん高さ300mmに到達することができなかった。各加振方法における加振充てん速度を調べるために、式(2)、式(3)から求めた平均加振充てん速度と、平均加振充てん高さの関係を調べ、これらの関係を直線近似した。

$$H_{ave} = (H_i - H_{i-1}) / 2 \quad (2)$$

$$V_{ave} = (H_i - H_{i-1}) / (T_i - T_{i-1}) \quad (3)$$

ここで、 H_i : i 番目の加振充てん高さ (mm)

H_{i-1} : $i-1$ 番目の加振充てん高さ (mm)

T_i : i 番目の加振時間 (s)

T_{i-1} : $i-1$ 番目の加振時間 (s)

H_{ave} : 平均加振充てん高さ (mm)

V_{ave} : 平均加振充てん速度 (mm/s)

図-16 加振時間と加振充てん高さの関係

平均加振充てん高さと平均加振充てん速度の関係を図-17に示す。加振充てん速度は加振充てん高さが高くなるにつれて遅くなった。これらの関係から、中流動コンクリートにおいて必要な加振時間の算定を試みた。

目標スランプフロー500mmの場合は、自己充てんによりほぼ高流動コンクリートと同等の充てん性が確保できているため、目標スランプフロー400mmと300mmについて検討した。図-17における平均加振充てん高さと平均加振充てん速度の関係式を用いて式(4)から、充てん高さ300mmに到達するために必要な加振時間を計算し、平均加振充てん高さを自己充てん高さとして得られた自己充てん高さとの関係を図-18に示す。図中の実線は実験

図-17 平均加振充てん高さと平均加振充てん速度の関係

範囲であり、平均加振てん高さ200mm程度まで図-17における直線近似が可能として推定した範囲を点線で示した。また、図-18から読み取った自己充てん高さと加振により加振充てん高さが300mmに到達するために必要な加速度の関係を図-19に示す。

$$t = \int_x^{300} \frac{1}{v(x)} dx \quad (4)$$

ここで、 t : 自己充てん高さから充てん高さ 300mm に到達するまでの加振時間 (s)

x : 自己充てん高さ(平均加振充てん高さ)(mm)

$v(x)$: 平均加振充てん速度 (mm/s)

充てん高さ300mm到達に必要な加振時間に及ぼす影響は、コンクリートに作用する加振による平均加速度の影響が大きかった。この図から高流動コンクリートと同等の充てん性（以下、所要の充てん性と称す）を得るためには以下のような振動機による加速度が必要である。

すなわち、スランプフローが400mm程度で自己充てん高さが250mm程度の場合、加速度0.5G程度の軽度な加振でも5秒程度行うことで所要の充てん性を確保できるが、0.5G以下のごく軽度な加振では15秒程度の加振が必要で

図-18 充てん高さ300mm到達に必要な加振時間

図-19 自己充てん高さと充てん高さ300mm到達に必要な加速度の関係

図-20 上床版標準部の平面図

ある。自己充てん高さが280mm程度であれば、0.5G以下のごく軽度な加振でも5秒程度行うことで所要の充てん性を確保できる。また、自己充てん高さが200～250mm程度の場合、5秒程度の加振で所要の充てん性を満足するためには加速度1.5G以上の加振が必要であり、0.5G程度の軽度な加振では、10秒程度の加振が必要と考えられた。さらに、自己充てん高さが200mm以下の場合、0.5G以下のごく軽度な加振では所要の充てん性を満足することができなかった。

6. モデル型枠を用いた充てん性の確認

(1) 実験概要

中流動コンクリートの充てん性を確認するためにモデル型枠を用いて充てん実験を行った。実験は、図-20に示す鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の上床版鋼殻部におけるコンクリートの流動を一次的に模擬した型枠を用いて行った。上床版鋼殻1区画の上面にコンクリートを打込む打設口が中央に1箇所、内部振動機を挿入する加振孔が対角線上に4箇所、空気孔が隅角部と辺の中央の8箇所に配置されている。モデル型枠を図-21示す。モデル型枠は、鋼殻上面の対角線の概ね1/2の長さの全面アクリル製とし、高さはコンクリートが十分流動

図-21 モデル型枠

図-22 実験手順

できるように250mmとして、上側鋼板付近での充てん状況を模擬できるものとした。モデルには打設口、加振孔、空気孔、および鋼殻内に配置される鋼製のシアコネクタを原寸大で配置した。

実験は、実機ミキサで製造した充てんコンクリートを打設口から流動モデル型枠に自然流下させ、打設口でのコンクリートの打上がり高さが30cmに到達し、流動が静止した後に加振孔から内部振動機（振動部52×390mm、振動数240Hz）により加振し、各位置でのコンクリート打上がり高さ、および加振時におけるコンクリートの加速度を測定した。加速度の測定は、形枠内の流動方向中央部3箇所にはひずみゲージ式加速度センサーを設置して測定した。実験手順を図-22に示す。コンクリートの配

合を表-8に示す。実験は、コンクリートの配合や製造後の経過時間の違いにより、スランプフローおよびU形充てん試験における自己充てん高さが異なる4種類のコンクリートで行った。

(2) 実験結果および考察

加振時におけるコンクリートの加速度測定結果を図-23に示す。内部振動機からの距離が65cmまでは、スランプフローの小さなコンクリートの方が平均加速度が大きく、95cmの距離ではいずれのコンクリートの平均加速度も0.4～1.1Gまで減衰した。

モデル型枠実験における打設口、加振孔、および空気孔でのコンクリート打上がり高さを図-24に示す。打上がり高さはコンクリートの流動部上面を基準としており、全ての点で打上がり高さが0cmとなった時点が充てん完了となる。スランプフロー470mm程度においても、自己充てん高さが280mmを超える場合は、打設口のコンクリート打上がり高さを30cmとすることで、型枠内に自己

充てん可能であった。スランプフローが400～460mm程度で、自己充てん高さが200～250mm程度の場合、自己充てん性のみでの型枠内への充てんはできず、流動静止後に加振孔での内部振動機による20秒の加振により、型枠内に充てんすることができた。前章における検討では、0.5G程度の軽度の加速度を5秒程度コンクリートに作用させることで、良好な充てん性を発揮することが可能であったが、本実験ではより長時間の加振を必要とした。この理由は、U形充てん試験器での検討は鉛直方向のみの充てんを対象としており、本充てん実験では水平方向の流動性向上効果や流動勾配低減効果と、鉛直方向の充てん効果の両者を加振により付与する必要があったため、鉛直方向のみを対象としたU形充てん試験と比べて加振時間が長くなった。

(3) 実施工における充てん性の検討

これまでの実験結果から中流動コンクリートを実寸法の鋼コンクリートサンドイッチ部材に、軽度で5秒程度の短時間な加振により適用した場合の充てん性について考察する。スランプフロー500mm以上の中流動コンクリートは概ね自己充てん性のみにより充てん可能であると判断し、検討の対象から除いた。想定する中流動コンクリートは、流動性や充てん性の下限値と考えられるスランプフロー400～450mm、自己充てん高さ250mm程度のもの（対象1とする）と、中流動コンクリートの標準的なスランプフロー450～500mm、自己充てん高さ280mm程度のもの（対象2とする）を対象として考えた。沈埋函の上床版において、対象とする中流動コンクリートの予想される流動状況、および加振孔からの振動機の影響範囲を平面的に図-25に示す。図中の加振影響範囲は、軽度の加速度（0.5G程度）が伝播する限界範囲であり、モデル充てん実験の結果（図-24）から半径1mに設定した。この範囲であれば内部振動機による中流動コンクリートへの加振効果が実験により確認されている。

中流動コンクリートの自己充てん範囲は、モデル型枠充てん実験における自己充てんによる打上がり高さの勾配から算定して、対象1で半径0.9m、対象2で半径1.7mと予想される。対象1の中流動コンクリートにおいては、

表-8 コンクリートの配合

工場名	G _{max} (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)
					W	C	S	G	
A	20	39.5	3	51.2	171	433	864	835	1.65
B	20	38.8	3	51.2	168	433	869	835	1.6

図-23 モデル型枠内コンクリートの平均加速度

図-24 モデル型枠におけるコンクリートの打上がり高さ

自己充てん範囲と加振影響範囲を合わせたものは、鋼殻全域に渡ってはいないが、コンクリートの先端部の到達範囲と加振範囲を合わせたものは、鋼殻全域に渡っており、コンクリート打込み初期からの加振を行うことにより、流動勾配低減効果や水平方向の流動性向上の効果が期待でき、シアコネクタ周辺への充てんや充てんの最終段階では、加振による鉛直方向の充てん効果により充てん可能であると考えられた。既往の文献²³⁾から中流動コンクリートの流動勾配低減に対して5秒間の加振が効率的であること、本報告のU形充てん試験による検討結果から5秒程度の加振でも充てん性向上効果があることから加振時間は5秒とし、長時間の加振は中流動コンクリートの材料分離を発生させる可能性があることから、実施工ではコンクリート打込み時から1分間隔で5秒間の間欠的な加振方法を設定した。また、対象2の中流動コンクリートでは上床版においてはほぼ自己充てん可能であり、最終的にごく軽度な加振を行うことで充てん可能と判断できた。なお、モデル型枠を用いた4種類の流動性

(スランプフロー400mm, 450mm, 500mm, 550mm)の充てん実験が実施されており、コンクリート打込み時から1分間隔で5秒間の間欠的な加振により良好な充てん性が確認されている^{24),25),26)}。

7. 実施工への適用

大阪港夢洲トンネル（仮称）沈埋函（7号函）での実施工における中流動コンクリートのフレッシュコンクリートの品質管理項目を表-9に、その結果を図-26に示す。実施工では表-8の配合を基本とした。スランプフローの目標値は500mmとし、各種要因による変動を考慮して400～600mmの範囲で管理した²⁷⁾。空気量の管理値は、沈埋函設計での単位容積質量を満足できるように設定した。また、U形充てん試験における自己充てん高さの管理値は200mm以上であったが、短時間の加振での充てんを実現するために実質250mm以上を目標とした。スランプフロー、空気量、および単位容積質量の品質管理試験頻度は1回/75m³を基本として行った。また、U形充てん試験における自己充てん高さやブリーディング率は試験練り時において確認した。中流動コンクリートは高流動コンクリートに比べて、製造時間の短縮が可能であり、生コン工場1社で最大470m³/日程度の製造速度を確保できた。

また、中流動コンクリートの加振加速度を測定し、流動状況をCCDカメラで撮影した。加速度計は写真-1に示すように2m程度の挿入棒の先端に設置し、空気孔からコンクリート中に挿入した。測定位置は上床版プレート下60～90cmで、内部振動機から60～250cmの距離で測定した。また、CCDカメラは写真-2に示すように塩ビパイプの先端に取り付けて空気孔から鋼殻内に挿入してコンクリートの流動、充てん状況を連続撮影した。実施工での内部振動機による加振は、4箇所の加振孔のうち2箇所ずつ2本の内部振動機を挿入して、コンクリートの打込み開始時から、5秒間の加振を1分間隔で間欠的に行った。

内部振動機からの距離と平均加速度の関係を図-27に示す。鋼殻内に充てんされたコンクリートのスランプフローは450～500mmであった。内部振動機からの距離60cmにおける平均加速度は2.5～5G程度であり、この

図-25 実施工での充てん性の検討

表-9 実施工での品質管理項目

品質管理項目	管理値	管理頻度
スランプフロー	500±100mm	製造開始後アジテータ車 3台と1回/75m ³
空気量	3.0±1.5%	
単位容積質量	2.25～2.40t/m ³	
U形充てん試験 (自己充てん高さ)	200mm以上 (250mm以上を目標)	実機ミキサでの 試験練りにより確認
ブリーディング率	2.5%以下

図-26 実施工での品質管理試験結果

値はモデル型枠実験での平均加速度 2～4G と概ね同等であった。また、内部振動機との距離が 100cm を超えた場合にはモデル型枠実験と同様に、ほとんど加速度は伝播していなかった。

実施工での鋼殻内へのコンクリートの充てん確認は、空気孔や加振孔へのコンクリートの充てんにより判断し、全ての鋼殻で充てんが確認できた。鋼殻内のコンクリート流動状況の一例を写真-3 に示す。この時の鋼殻内に充てんされたコンクリートのスランプフローは 500mm 程度であり、実施工の充てん性の検討で対象とした対象

写真-1 加速度計

写真-2 CCD カメラ

図-27 鋼殻内コンクリートの平均加速度

写真-3 鋼殻内の中流動コンクリートの流動状況

2 の中流動コンクリートと同様な性状である。流動時の流動勾配が小さく、内部振動機の加振によるコンクリートの流動向上効果も確認できた。

8. まとめ

鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした

中流動コンクリートは、必要な基本性能を満足することが確認でき、実験等によって以下の主要な知見が得られた。

(1)中流動コンクリートは、水セメント比が 39%程度、粗骨材容積が 330l/m^3 以下で初期の目標性能で最も良好な充てん性を示し、U 形充てん試験における自己充てん高さで 250~300mm であった。

(2)中流動コンクリートのブリーディングは、降伏値および塑性粘度の増加に伴って少なくなった。ブリーディングを発生させないためには、水セメント比が35%以下であることが必要であり、水セメント比が45%以下であればブリーディング率は2%以下であった。

(3)コンクリートの配合要因の変動により、ブリーディング率を0~2.5%で変化させた場合、ブリーディング率と沈下量の相関はあまり見られなかった。また、容器の高さに応じて沈下量が大きくなること、全沈下量はブリーディングによる沈下量に比べて大きく、その発生時期も早いことから、コンクリートの沈下の原因は水和収縮が支配的と考えられる。しかし、沈下量は高さ1mで1~2.5mmであり、その値は構造部材の力学的性状にほとんど影響のない範囲である。

(4)中流動コンクリートのレオロジー定数を調べ、加振の有無によるその変化から、加振によるコンクリートの流動性向上効果が確認できた。中流動コンクリートは、U形充てん試験における自己充てん高さに応じて充てん性確保に必要な加振の程度や時間が異なった。自己充てん高さが280mm以上であれば、加速度0.5G以下のごく軽度な加振を5秒程度、自己充てん高さが250mm以上であれば、加速度0.5G程度の軽度な加振を5秒程度行うことで所要の充てん性を得ることができた。

(5)鋼コンクリートサンドイッチ構造部材をモデル化した型枠への充てん実験により、スランプフロー400mm以上、自己充てん高さ250mm以上であれば、鋼コンクリートサンドイッチ部に設けた打設口でのコンクリートの打込みや振動機による加振により、十分な充てん性を得られることが確認できた。また、計測した加速度から、中流動コンクリートの充てん性に効果のある加振（0.5G程度の加速度）の伝播範囲は1m程度であることがわかった。

(6)コンクリートの流動性や充てん性、および加振による影響範囲から、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函に適用する中流動コンクリートは、スランプフロー400mm以上、自己充てん高さ250mm以上のものであれば、軽度で5秒程度の短時間な加振により十分適用できた。実施工では、打込み開始から1分間隔で5秒間の加振を間欠的に行うことにより良好な充てん性が得られ、流動コ

ンクリートの流動状況の観察や加速度の測定からも、鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函での良好な施工性を確認できた。

9. あとがき

当該中流動コンクリートは硬化コンクリートの品質確認等も十分検討を行った後^{28), 29)}、建設中の新若戸道路トンネル（仮称）、大阪港夢洲トンネル（仮称）に適用されており、充てん性や施工性について良好な結果を得ている。なお、これらの沈埋函で約60,000m³の中流動コンクリートの打設予定である。

本研究は合成構造用充てんコンクリートの開発に関する共同研究等で実施したものであり、国土交通省総合技術研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所、(財)沿岸開発技術センター、早稲田大学、五洋建設(株)、佐伯建設工業(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、若築建設(株)が参加している。研究開発期間中に助言、議論などで貴重なご意見をいただいた関係各位にここに深謝いたします。

なお、本研究の成果を基礎資料として、(財)沿岸開発技術センター：鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアルが作成されている³⁰⁾。

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，pp.21-28，1996.8
- 2) 山本幹夫，河村良一，柚口安春，山本明雄：鋼コンクリートフルサンドイッチ構造への高流動コンクリートの適用，コンクリート工学，Vol.36，No.4，pp.16-19，1998.4
- 3) 玉井昭治，池田泰敏，阿部哲良，大村隆一郎：海上に浮遊している沈埋函への高流動コンクリートの適用—那覇沈埋函（3号函）製作工事—，コンクリート工学，Vol.41，No.7，pp.60-65，2003.7
- 4) 山田治男，北市仁，村松道雄，北澤真：GPSを用いた運行管理と中性子水分計を用いた単位水量管理を適用した沈埋函本体コンクリートの施工—那覇沈埋函（5号函）製作工事—，コンクリート工学，Vol.43，No.10，pp.45-50，2005.10
- 5) (財)沿岸開発技術センター：沿岸開発技術ライブラリーNo.20，鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル，p.1，2004.2
- 6) 榊田佳寛，安田正雪，荒金直樹，太田一浩：準高流動コンクリートに関する実験的研究（その1 準高流動化したコンクリートの諸性質），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.219-220，1997.9
- 7) 松藤泰典，小山智幸，小山田英弘，鄭偉哲，赤松塁：中流動コンクリートに関する基礎的研究 その1 中流動コンクリートの概念，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），pp.971-972，1998.9
- 8) 井上和政，和泉意登志，岩清水隆，杉本貢，稲垣順司：中流動コンクリートの振動下での流動性と基礎物性に及ぼす粗

- 骨材量の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.393-394, 1999.9
- 9) 馬場弘二, 伊藤哲男: 中流動覆工コンクリートの開発検討, 土木学会第 60 回年次学術講演会概要集, 6-010, 2005.9
- 10) 羽瀧貴士, 川崎昌三, 河原井勝則, 北澤真: 密に配筋された SRC 梁への中流動コンクリートの適用について, 土木学会第 56 回年次学術講演会概要集, V-491, 2001.9
- 11) 赤塚久彦, 片柳学, 成田健, 大高昌彦: 石炭灰を用いた中流動コンクリートの充てん性能に関する研究, 土木学会第 60 回年次学術講演会概要集, 5-337, 2005.9
- 12) 壹岐直之, 清宮理, 星野聡志, 越村幸直: 合成部材での未充填部の打音法検査, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.595-600, 2001.7
- 13) 土木学会, 93 コンクリートライブラリー, 高流動コンクリート施工指針, 1997.7
- 14) 末岡英二, 松本典人, 佐野清史, 清宮理: 振動を受けた中流動コンクリートの基礎性状について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.427-432, 1999.6
- 15) 安田正雪, 榊田佳寛, 三好征夫, 荒金直樹: 準高流動コンクリートの締固め方法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.415-420, 1999.6
- 16) 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, 1994.6
- 17) セメント・コンクリート研究会水委員会: セメント・コンクリート中の水の挙動, 1993.10
- 18) 内藤英晴, 三浦 尚, 濱崎勝利: 高流動コンクリートの沈下挙動に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.678-683, 1996.
- 19) Hammer, T. A.: Test Methods for Linear Measurement of Autogenous Shrinkage before Setting, *Proceedings of International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete*, Hiroshima, Japan, JCI, pp.13-14, 1998.
- 20) 内藤英晴, 大村隆一郎, 三浦 尚: 合成構造による高流動コンクリートの充てん性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.11, No.3, pp.77-87, 2000.
- 21) 清宮 理, 木村秀雄, 渡辺英夫: 未充填部を有するサンドイッチ部材の基本的な力学性状, 第 3 回合成構造の活用に関するシンポジウム, pp.61-66, 1995.11
- 22) 土木学会コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 32p, 2002.3
- 23) 大和竹史, 東俊夫, 渡邊和重, 白石悟: 合成構造用充てんコンクリートの開発, コンクリート工学, Vol.41, No.7, pp.15-22, 2003.7
- 24) 岩瀧清治, 森晶幸, 田浦康雄, 勝海務, 藤村貢: 充填コンクリートの沈埋函への適用性に関するモデル実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-234, pp.468-469, 2001.10
- 25) 東俊夫, 山縣延史, 樋口晃, 北澤壮介: 充填コンクリートの合成構造沈埋函への適用性に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-372, pp.734-744, 2002.9
- 26) 北澤壮介, 東俊夫, 山縣延史, 白石修章: 合成構造用沈埋函に用いる充填コンクリートの適用性に関する実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002.6
- 27) 末岡英二, 清宮理, 羽瀧貴士, 壹岐直之: 合成構造沈埋函に用いる加振併用型充てんコンクリートの性能に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1611-1616, 2004.6
- 28) 末岡英二, 佐野清史, 勝海務, 清宮理: 合成構造用充填コンクリートの適用性に関するモデル実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.1033-1037, 2001.7
- 29) 大和竹史, 東俊夫, 渡邊和重, 白石悟: 合成構造用充てんコンクリートの開発, コンクリート工学, Vol.41, No.7, pp.15-22, 2003.7
- 30) (財) 沿岸開発技術研究センター: 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル, 2004.2

(2007. 7. 18 受付)

AN APPLICATION EXAMINATION OF SEMI-SELF COMPACTING CONCRETE FOR STEEL-CONCRETE SANDWICH MEMBERS

Eiji SUEOKA, Kiyofumi SANO and Osamu KIYOMIYA

An application examination of semi-self compacting concrete for steel-concrete sandwich members were carried out from the field of fresh concrete properties. Mix proportions of this concrete were set up slump flow of 400-600mm, high compactivity, and little bleeding and effect of vibration were evaluated by reology characteristics. Evaluation of applicability were carried out by subsidence characteristic after filling to variation of various factors, improvement effect of compactivity by slight vibration, and evaluation of compactivity and effect of vibration by compacting experiments using one dimensional test chamber imitated steel-concrete sandwich members. It was confirmed that this concrete can be applied to steel-concrete sandwich members by good workability without no unfilled part between steel and core concrete.