

論文

[1017] 鋼コンクリート系サンドイッチ構造におけるコンクリートの充填性能に関する基礎研究

正会員○小門 武 (新日本製鐵鋼構造研究開発センター)

三宅正人 (新日本製鐵鋼構造研究開発センター)

木村秀雄 (新日本製鐵鉄構海洋事業部)

1. はじめに

鋼殻の内部にコンクリートを充填する鋼コンクリート系サンドイッチ構造に、流動性に優れ、締固めが不要のコンクリートを用いると、締固め作業をするための開孔が不要になるとともに、一箇所からのコンクリート打設量を飛躍的に増大させることができる。従って、設計・施工上より合理的な鋼コンクリート系サンドイッチ構造の追求が可能となる。既に、二重鋼殻を成す外殻鋼板で閉鎖された函体構造に締固め不要のコンクリートを充填することにより、現場工期を大幅に短縮した実施例[1]もみられる。

しかしながら、鋼殻、及びその内部に設置されるダイヤフラム・ウェブ等の補強材の形状・寸法、並びに用いるコンクリートのフレッシュな状態での特性がコンクリートの充填性能に与える影響は未だ定量的に解明されていない。従って、コンクリートが打設途中で閉塞することなく鋼殻の内部に充填されるかどうかは、実構造物規模の模型を使ったコンクリートの充填性実験を行い確認する必要がある。上記実施例[1]においても、実物大の模型を使ったコンクリートの充填性実験を行い、補強材の形状・寸法、及びコンクリートの配合を適切に選定する必要があった[2]。

本論文は、鋼殻内へのコンクリートの充填性能に影響を与える要因を明らかにすることを目的として、小型の二重鋼殻構造モデルを用いて、条件を変えながらコンクリートの充填性実験を行った結果を報告するものである。

2. 実験方法

2.1 二重鋼殻構造モデルの概要

図-1に示す二重鋼殻構造の小型モデルを用いてコンクリートの充填性実験を行った。使用した型枠は、底版が鋼製、側版と上版がアクリル製でできており、両端（貯蔵槽と越流部）以外は四方を型枠で閉鎖されている。補強材の影響を調べるために、中央部に直径125mmの開孔を有するダイヤフラムを200mmピッチで9箇所設置したケース

(ダイヤフラム有り)と、ダイヤフラムを設置しないケース(ダイヤフラム無し)の両ケースについて実験を行っている。但し、ダイヤフラムを設置しないケースでもダイヤフラム取付ガイド(図-1 イ部詳細)は設置したまま実験を行った。

2.2 コンクリートの材料と配合

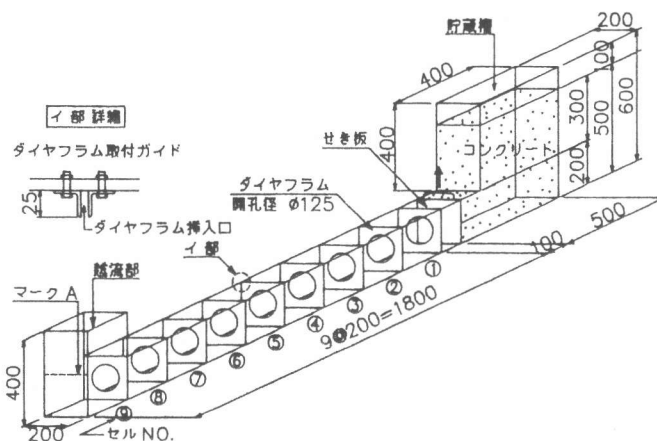


図-1 二重鋼殻構造の小型モデル

使用材料を表-1にまとめて示す。
コンクリートの配合は、スラグ系締
固め不要コンクリート[3]の配合を
ベースに、スラグ置換率(=70%)、
単位細骨材量、単位粗骨材量を一定
として、水結合材比(W/C)32、34、
36、40%について設定した。高性能
AE減水剤の添加量は、コンクリート
のスランブフロー値が50~80cmの範
囲で変化するように

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (OPC) 比重 3.16 g/cm ³ 比表面積 3250 g/cm ²
混和材	高炉スラグ微粉末 (BFS) フェーミル粉砕品 比重 2.89 g/cm ³ 比表面積 5920 g/cm ²
細骨材	千葉県君津産 山砂 (S) 表乾比重 2.58 g/cm ³ FM=2.42
粗骨材	栃木県葛生産 硬質砂岩碎石 (G) 表乾比重 2.70 g/cm ³ FM=6.65
混和剤	ナフタリン系 高性能AE減水剤 (SP)

調整した(表-2)。

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位容積重量 (kg/m ³)					
			W	OPC	BFS	S	G	SP
32	49	2.4	179	167	390	777	832	11.70~17.82
34			184	163	379			10.30~17.89
36			189	158	368			11.05~13.15
40			199	149	348			7.46~12.43

2.3 実験の手順

充填性実験の手順
を以下に述べる(図
-1参照)。

①混練：コンクリー

トは強制二軸式ミキサーを用いて150ℓ用意した。混練は、結合材、細骨材を投入後空練り15秒、その後、水と高性能AE減水剤を投入して2分間、最後に粗骨材を投入し1.5分間混練するという方法を採用した。

②コンクリートの投入：練り上がったコンクリートを貯蔵槽に高さ50cmまで投入した。

③フレッシュコンクリートの特性：②と並行して、実験に供するコンクリートのスランブフロー(コンクリートフロー)試験、及びJIS A1112に準拠して5mmのふるいでふるって得たモルタルを用いてスランブフロー(モルタルフロー)試験とPロート流下試験を実施し、フレッシュコンクリートの特性を調べた。なお、フロー試験にはJIS A1101に規定するスランブコーンを使用した。

④流動開始：せき板を引き上げてコンクリートを流動させた。

⑤コンクリート高さの確保：コンクリートがセルNo.⑨のマークAに到達するまで、貯蔵槽におけるコンクリート天端高さ50cmを確保するようにコンクリートを追加投入した。

⑥充填性能：流動停止後、充填時間(コンクリートがセルNo.⑨のマークAに到達するのに要する時間)、及びヘッド差(貯蔵槽と越流部におけるコンクリート天端高さの差)を測定した。なお、コンクリートが途中で閉塞した場合は充填位置(完全にコンクリートで満たされたセルの内、セルNo.の最大のもの)を記録した。

⑦流動後の特性：セルNo.①、④、⑦の上、中、下各部よりJIS A1104に規定する2ℓの容器を用いて試料を採取し単位容積重量を測定した。また、セルNo.②、⑥、⑧の上、中、下各部よりφ100*200の供試体を採取して標準養生を行い、材令28日における圧縮強度と静弾性係数を求めた。なお、流動させていないコンクリートの単位容積重量(N=1)と圧縮強度、静弾性係数(N=3)のデータを得るために別途試料を採取した。

3. 実験結果

充填性実験に供したフレッシュコンクリートの特性と充填性能、並びに流動後のコンクリートの特性(変動係数で表示)をまとめて表-3に示す。

表-3 実験結果

W/C (%)	実験 NO.	ゲイワムの有無	SP 添加量 (kg/m ³)	フレッシュコンクリートの特性			充填性能			流動後のコンクリートの変動係数(%)		
				コンクリートフロー値 (cm)	モルタルフロー値 (cm)	ポート流下時間 (秒)	充填位置	充填時間 (秒)	ハット差 (cm)	単位容積重量	圧縮強度	静弾性係数
32	1	有	13.37	60	72	620	4			0.6 *	2.6 *	3.9 *
	2		11.70	66	81	219	7			1.5	3.1	2.4
	3		13.93	70	89	321	9	267	—	1.6	**	**
	4		12.81	71	90	287	9	198	12.0	1.8	2.9	4.8
	5		16.71	74	90	481	9	254	15.0	2.1		
	6		13.93	79	94	186	9	204	9.0	2.3	2.6	3.8
	7	無	13.37	50	65	閉塞	6			1.8 *	**	**
	8		14.48	61	83	613	9	138	11.0	0.5	**	**
	9		17.82	73	85	503	9	77	4.0	0.5	**	**
34	10	有	10.30	66	78	205	8			1.3	3.6	3.6
	11		10.84	66	75	235	7			1.1	1.1 *	5.7 *
	12		11.92	69	77	251	7			1.7	**	**
	13		10.84	73	89	175	9	174	20.0	1.9	1.7	3.7
	14		15.72	73	92	188	9	254	11.0	2.4		
	15		15.18	73	89	264	9	225	15.5	2.0	**	**
	16		11.38	74	88	186	9	158	—	1.3	3.1	3.9
	17		16.26	75	89	220	9	193	9.0	2.7		
	18		13.01	79	91	223	9	327	—	1.6	1.2	4.5
	19		14.63	81	94	186	9	144	7.0	2.8	3.0 *	5.8 *
	20	無	13.55	60	80	564	9	104	15.0	0.5	**	**
	21		17.89	71	92	219	9	71	1.5	1.0	**	**
	22		13.01	75	95	156	9	56	2.0	1.7	1.3	6.1
	23		15.72	76	97	241	9	52	1.0	1.7	**	**
36	24	有	11.05	72	85	264	9	319	22.0	1.5	**	**
	25		11.05	72	92	173	9	176	14.0	1.8		
	26		13.15	76	94	171	9	156	13.0	4.2		
	27		11.57	80	93	122	9	86	—	1.6	3.8	4.2
	28		11.57	83	98	120	9	82	7.0	2.8	**	**
40	29	有	7.46	67	80	115	6			2.1 *	**	**
	30		9.43	75	96	93	9	59	8.0	2.1	**	**
	31		12.43	76	99	96	9	218	7.0	2.6		

注記 *閉塞等により2つのセルから採取(N=3×2)

**)流動させていない試料のみ採取

4. 考察

4.1 フレッシュコンクリートの特性

(1) コンクリートフロー値とモルタルフロー値との関係

実験に供したコンクリートのコンクリートフロー値とモルタルフロー値との関係を最小二乗法によって求めると、

$$W/C=32\% \quad (N=9) : y=0.992 \cdot x + 16.7, r=0.935$$

$$W/C=34\% \quad (N=14) : y=1.02 \cdot x + 13.7, r=0.792$$

$$W/C=32 \sim 40\% (N=31) : y=1.02 \cdot x + 14.7, r=0.877$$

ここに、x;コンクリートフロー値, y;モルタルフロー値, r;相関係数となる(図-2参照)。従って、本実験で用いたコンクリートの配合系で、W/Cが32%から40%の範囲ではコンクリートフロー値とモルタルフロー値の間にはほぼ一定の比例関係があると判断される。

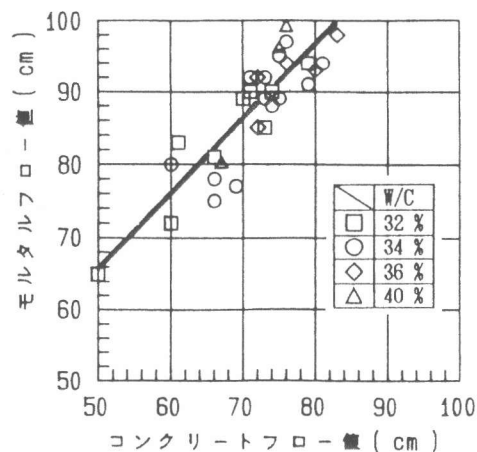


図-2 コンクリートフロー値とモルタルフロー値

(2) コンクリートフロー値とPロート流下時間との関係

各W/C毎のコンクリートフロー値とPロート流下時間との関係を図-3に示す。W/C、及びコンクリートフロー値が大きくなるに従いPロート流下時間が減少する傾向が認められる。

4.2 コンクリートの充填性能

(1) コンクリートフロー値、Pロート流下時間と充填位置との関係

充填性実験の結果を、横軸にコンクリートフロー値、縦軸にPロート流下時間を取り、コンクリートの充填位置で表わすと図-4のようになる。

ダイヤフラムを設置したケースでは、コンクリートフロー値が70cm以上あれば途中で閉塞することなくセルNo.⑨のマークAまで充填され、W/C (32~40%)、Pロート流下時間 (93~481秒) による差は認められない。

ダイヤフラムを設置しないケースでは、Pロートが途中で閉塞した実験No.7 (コンクリートフロー値=50 cm) を除いて全て (コンクリートフロー値 $\geq$ 60cm) セルNo.⑨まで充填された。

(2) コンクリートフロー値と充填時間、ヘッド差との関係

セルNo.⑨まで充填されたものについてコンクリートフロー値と充填時間、並びにヘッド差との関係を表わすと図-5、及び図-6のようになる。

ダイヤフラムを設置したケースと設置しないケース双方で、コンクリートフロー値の増大に伴い充填時間、及びヘッド差が共に減少する傾向がみられ、充填時間、ヘッド差共コンクリートフロー値の関数として表わすことができると思われる。また、ダイヤフラムを設置したケースと設

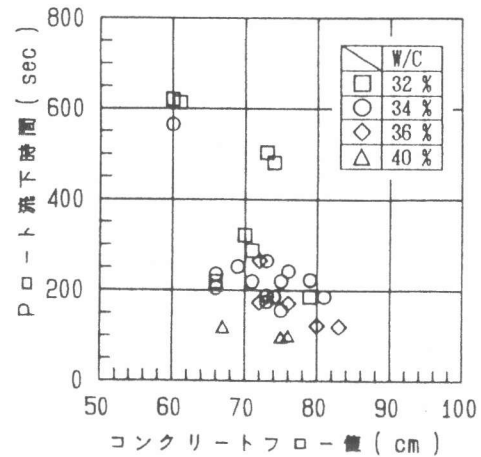


図-3 コンクリートフロー値とPロート流下時間

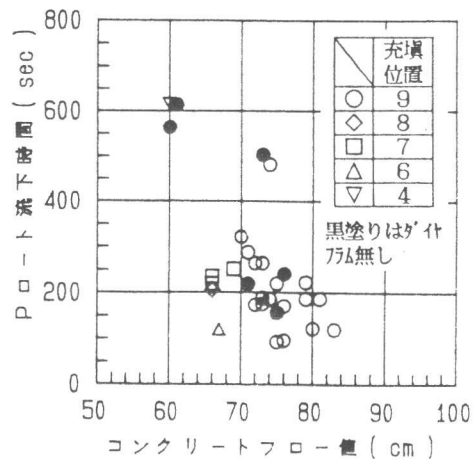


図-4 コンクリートの充填位置

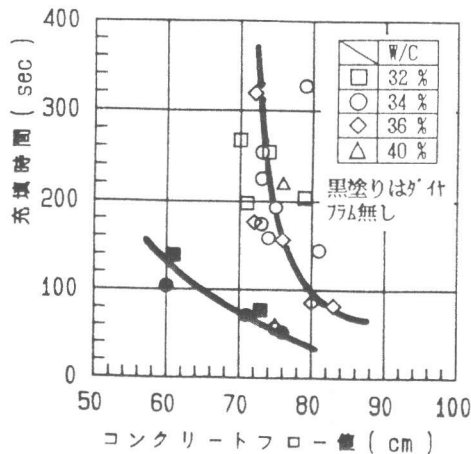


図-5 コンクリートフロー値と充填時間

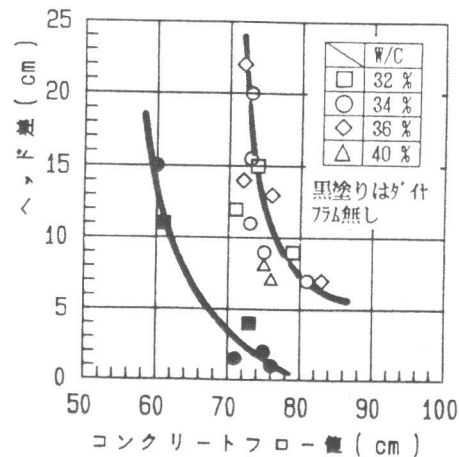


図-6 コンクリートフロー値とヘッド差

置しないケースとの間には充填時間、ヘッド差共に明瞭な差が認められる。

(3) Pロート流下時間と充填時間、ヘッド差との関係

セルNo.⑨まで充填されたものについてPロート流下時間と充填時間、並びにヘッド差との関係を表わしたものが図-7と図-8である。

ダイヤフラムを設置しないケースでは、Pロート流下時間の増大に伴い充填時間、ヘッド差ともに増加していく傾向がみられ、特にPロート流下時間が500秒を越えると増加傾向が急激に増すことが認められる。従って、今回の実験の範囲ではコンクリートが途中で閉塞することなく充填されるかどうかはコンクリートフロー値に支配され、Pロート流下時間の影響は認められなかったが、さらに粘性の高いコンクリートを用いればPロート流下時間も充填位置に影響を与える可能性が伺える。

一方、ダイヤフラムを設置したケースでは、充填時間、ヘッド差共Pロート流下時間との関係は認められるが、ばらつきが大きくなる。

4.3 流動後のコンクリートの特性

(1) 充填性実験に供したコンクリートの諸特性

充填性実験に供したコンクリートの、流動させていないものの単位容積重量、及び材令28日における圧縮強度と静弾性係数のデータを、平均値(m)、標準偏差(σ)、変動係数(V)

で表わすと、W/Cが32%

と34%それぞれについて

表-4のようになる。

(2) 単位容積重量

各実験No.毎の、流動後のコンクリートの単位容積重量の変

動係数とコンクリートフロー値との関係を図-9に示す。

コンクリートフロー値が増大するに伴い単位容積重量の変動係数も増加する傾向にあり、コンクリートフロー値が80cmを超えると単位容積重量の変動係数が2.8%程度となる。また、ダイヤフラムを設置しないケースの方が、設置したケースよりも変動係数は小さい傾向となる。

同様に、単位容積重量の変動係数とPロート流下時間との関係を図-10に示す。

Pロート流下時間が短くなるに従い単位容積重量の変動係数が増加する傾向が認められ、Pロート流下時間が200秒以下になると単位容積重量の変動係数が2%を超えるものの割合が増加している。

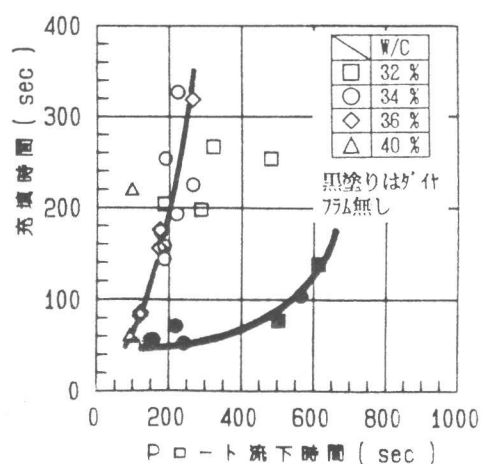


図-7 Pロート流下時間と充填時間

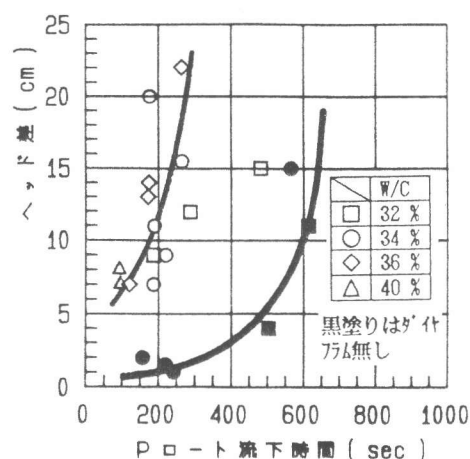


図-8 Pロート流下時間とヘッド差

表-4 充填性実験に供したコンクリートの諸特性

	W/C=32%				W/C=34%			
	N	m	σ	V	N	m	σ	V
単位容積重量 (kg/m^3)	9個	2,342	30.0	1.3%	14個	2,323	43.2	1.9%
圧縮強度 (kgf/cm^2)	24個	632	48.5	7.7%	36個	595	44.2	7.4%
静弾性係数 ($\times 10^5 \text{kgf}/\text{cm}^2$)	24個	3.55	0.270	7.6%	36個	3.53	0.219	6.2%

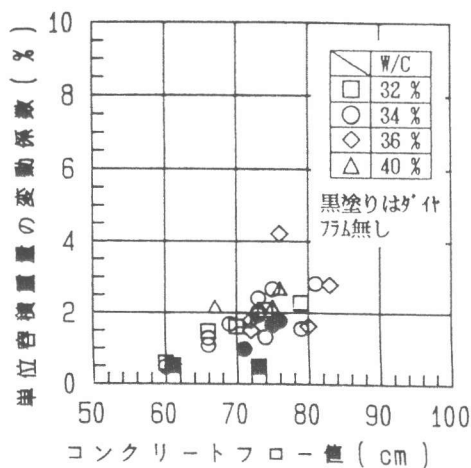


図-9 コンクリートフロー値と
単位容積重量の変動係数

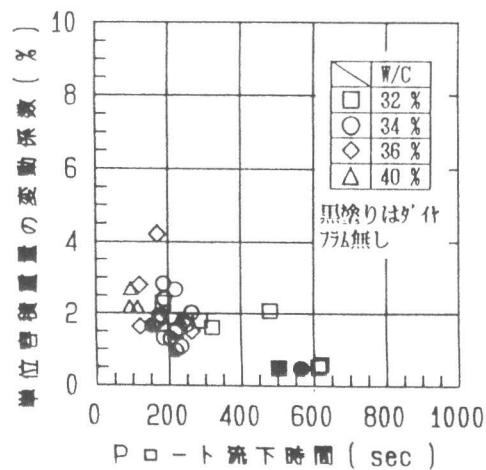


図-10 Pロート流下時間と
単位容積重量の変動係数

(3) 圧縮強度、静弾性係数

各実験No.毎の、材令28日における圧縮強度と静弾性係数の変動係数を表-3に示している。圧縮強度の変動係数は3.8%以下、静弾性係数の変動係数は6.1%以下となり、静弾性係数の変動係数の方がやや大きくなる傾向にあるが、どちらもバッチ間の変動係数(表-4参照)よりも小さい。また、圧縮強度、静弾性係数共、コンクリートフロー値、並びにPロート流下時間と変動係数との間に明瞭な関係は認められない。

5. まとめ

二重鋼殻構造の小型モデルを用いてコンクリートの充填性実験を行い、今回の実験で用いたモデルとコンクリートの範囲に関し、以下のことが明らかとなった。

- (1) コンクリートフロー値とモルタルフロー値の間にはほぼ一定の比例関係がみられる。
- (2) コンクリートの充填性能に与える影響はコンクリートフロー値が支配的であるが、Pロート流下時間と充填時間、並びにヘッド差との間にも関係が認められる。
- (3) 流動後のコンクリートの単位容積重量の変動係数とコンクリートフロー値、並びにPロート流下時間との間には相関関係が認められる。

従って、コンクリートの充填性と流動後のコンクリートの品質を同時に満足するためには、構造物に応じてコンクリートフロー値とPロート流下時間を適切に選定する必要があることが示唆された。

参考文献

- 1) 義若秀彦、木村秀雄、小門武、赤星哲也：ハイブリッド式躯体構造の実証試験工事、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、No.6 sep.1991, pp.248-249
- 2) 義若秀彦、小門武、木村秀雄、盛高裕生：スラグ系締固め不要コンクリートの二重鋼殻構造への充填施工実験、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、No.6 sep.1990, pp.730-731
- 3) 小門武、三宅正人：スラグ系締固め不要コンクリートの基礎特性と充填性実験、コンクリート工学年次論文報告集、No.13-1, 1991, pp.875-880