

報 告

[1152] 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

正会員○小門 武 (新日本製鐵 土木建築技術部)

三宅 正人 (新日本製鐵 土木建築技術部)

1. はじめに

充填性に優れた、所謂締固め不要コンクリート[1]は、コンクリート工事の省力化を図るうえで、また、二重鋼殻函体等、閉鎖断面を有する鋼コンクリート合成構造用コンクリート[2]として、極めて有効であると考えられる。

本報告は、締固め不要コンクリートの材料選定、コンクリートとしての基礎特性、並びに実物大モデルを用いた充填性実験についてとりまとめたものである。

2. 材料の選定

2.1 評価方法

コンクリートが優れた充填性を発揮するためには、優れた流動性と高い材料分離抵抗性が必要とされる[3]。筆者らは、コンクリートの充填性はモルタルのレオロジー特性に依存すると考え、流動性の指標としてスランプコーン (JIS A 1101) を用いたモルタルのスランプフロー値、また材料分離抵抗性の指標としてPロートによる流下時間を捉えて、使用する材料・配合がモルタルのレオロジー特性に与える影響を明らかにすることを試みた。尚、使用した普通ポルトランドセメント、及び高炉スラグ微粉末の化学組成を表-1に示す。高炉スラグ微粉末は、実機のチューブミルを用いて作製した4,160ブレン (以下、4000) と5,920ブレン (以下、6000) のものを用いた。

また、細骨材としてシリカサンド (相馬砂特4号と5号を等量混合) と豊浦標準砂を質量で2:1の比率で混合したものを、モルタルの流動性を向上させる

表-1 普通ポルトランドセメントとスラグ微粉末の化学組成

	ブレン 比表面積 (cm ² /g)	比重	化 学 成 分 (%)							
			ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	MnO
OPC-1	3250	3.15	0.8	21.9	5.00	64.2	1.8	2.0	0.29	0.09
OPC-2	3280	3.15	0.1	21.2	4.72	64.6	1.8	2.0	0.28	0.99
4000	4160	2.89	0.2	32.9	14.0	41.6	6.5	2.0	0.85	0.29
6000	5920	2.89	0.3	32.0	14.1	41.7	6.7	2.2	1.16	0.46

ための混和剤として変性リグニン、アルキルスルホン酸系の高性能AE減水剤を使用した。

2.2 高炉スラグ微粉末の粉末度と置換率の影響

高炉スラグ微粉末 (以下、スラグ微粉末) の粉末度および置換率がモルタルのレオロジー特性に与える影響を明らかにするため、表-2に示す配合により試験を実施した (シリーズI)。試験に供したモルタルは水平二軸式ミキサーにより2分間混練して作製した。試験結果を図-1および図-2に示す。

表-2 モルタルの配合 (シリーズI)

配合	OPC	スラグ	W/C	S/C	SR
I-1	OPC-1	-	1.01	1.60	0.0
I-2	OPC-1	6000	1.01	1.60	50.0
I-3	OPC-1	6000	1.01	1.60	70.0
I-4	OPC-1	6000	1.01	1.60	85.0
I-5	OPC-1	4000	1.01	1.60	50.0
I-6	OPC-1	4000	1.01	1.60	70.0

W/C, S/C: 容積比

SR: 重量置換率 (%)

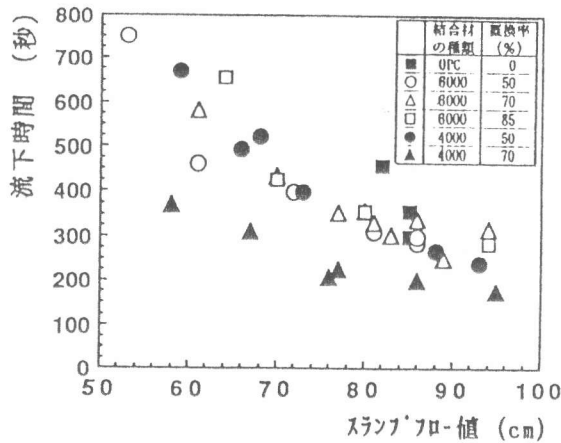


図-1 スランプフロー値と流下時間

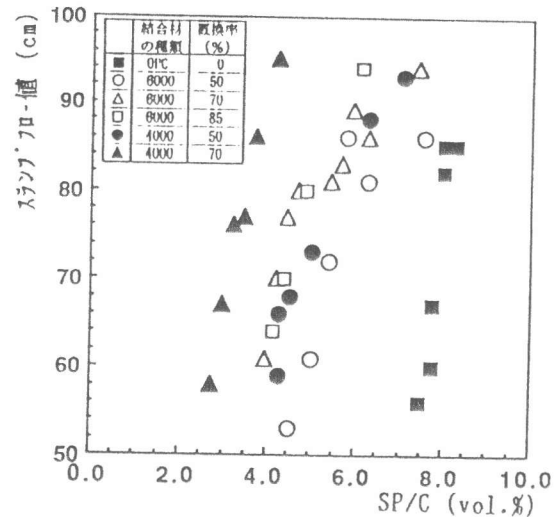


図-2 添加量とスランプフロー値

図-1より4000のslag微粉末を使用したモルタルは、置換率が50%から70%になると

同一のスランプフロー値におけるPロートの流下時間が短くなっている。Pロートの流下時間はモルタルの粘度の指標であると考えられるので、置換率の増加に伴いモルタルの粘度が低下しコンクリートの流動途上における材料分離抵抗性が低下すると考えられる[4]。しかし、6000のslag微粉末を使用したモルタルは置換率が変化してもPロートの流下時間に大きな変化は見られず、高粉末度slagの使用により材料分離抵抗性が向上していると考えられる[5]。一方、普通ポルランドセメントを単味で用いたモルタルは粘性が高くスランプフロー値が82cm以下ではPロート流下中に閉塞を起した。また、図-2より4000および6000のslag微粉末を使用することによりモルタルの流動性が向上し、普通ポルランドセメントを単味で使用したモルタルに比べ同一スランプフロー値を得るための高性能AE減水剤の添加量を低減できた。

表-3 モルタルの配合 (シリーズII)

配合	OPC	slag	W/C	S/C	SR
II-1	OPC-2	6000	0.95	1.60	70.0
II-2	OPC-2	6000	1.00	1.60	70.0
II-3	OPC-2	6000	1.05	1.60	70.0
II-4	OPC-2	6000	1.10	1.60	70.0

W/C, S/C:容積比
SR:重量置換率 (%)

2.3 水結合材比の影響

モルタルの配合比を決定する要因のなかで、水結合材比(W/C)はモルタルのレオロジー特性に強い影響を与えると考えられたため、表-3の配合により試験を実施した(シリーズII)。試験結果を図-3に示す。図-3より水結合材比の増大に伴い、同一のスランプフロー値におけるPロートの流下時間は急激に低下しており、モルタルの粘度が水結合材比に強く支配されていることが明らかとなった。

2.4 使用材料および配合の決定

締固め不要コンクリートは優れた流動性と高い材料分離抵抗性を同時に発揮させるため、一般のコンクリートに比べ配合上モルタル分が増加しており、このため単位セメント量および単位水量を如何に低減するかが課題である。

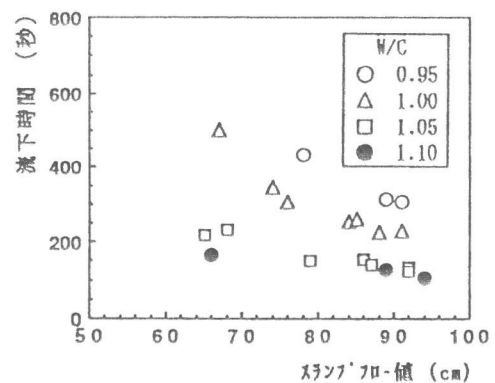


図-3 スランプフロー値と流下時間

シリーズ I の試験結果より 6000 のスラグ微粉末を使用することにより、流動性の向上と高置換率における材料分離抵抗性確保が可能であることが明らかになったので、締固め不要コンクリートの材料として 6000 のスラグ微粉末を採用することとした。また、筆者らはこれまでに置換率 50% 以上の高い割合で高粉末度スラグを使用することにより、水和反応に起因する発熱量を効果的に低減できるという知見を得ていた [6] ので、締固め不要コンクリートに用いるスラグ微粉末の置換率を J I S で規定されている最大値の 70% に決定した。また、シリーズ II の試験結果から水結合材比を低く抑えることが、材料分離抵抗性を向上させるのに有効であることが明らかとなったが、極端に水結合材比を低減するとコンクリートの粘性が高くなりすぎて充填性が低下すると考えられ、締固め不要コンクリートとしての最適な水結合材比が存在すると考えられた。

表-4 に示す材料を使用して試験室および生コンプラントでの試験練りを行い、表-5 に示す締固め不要コンクリートの配合を決定した。

表-4 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比重 3.16, プレン比表面積 3270 cm ² /g)
スラグ微粉末	(比重 2.89, プレン比表面積 5920 cm ² /g)
細骨材	千葉県天羽産山砂 (比重 2.60, FM=2.60)
粗骨材	大井川産川砂利 (比重 2.65, FM=6.78)
高性能 A E 減水剤	変性リガコン、アルキルリン酸系

表-5 締固め不要コンクリートの配合

水結合材比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)					
		W	C	S _g	S	G	高性能 A E 減水剤
32.0	49.4	179	178	382	786	822	14.56 (2.60%)

3. コンクリートの諸特性

表-5 に示した締固め不要コンクリートを試験室で作製し、このコンクリートの諸特性を調べた。試験結果を図-4、図-5 に示す。

図-4 はコンクリートが練り上がった後、温度 20°C、湿度 80% の試験室内に静置した場合の経過時間に伴うスランプフロー値の変化を示している。この図よりスランプフロー値は練り上がりから 30 分後に最大値に到達し、その後漸減していくことがわかる。このことはコンクリート打設現場において所定のスランプフロー値を得るためには、この練り上がり後のスランプフロー値の増大を見込んでコンクリートを製造する必要があることを示している。また、図-5 は凝結硬化速度試験 (ASTM C403) の結果を示しており、試験結果は始発 14 時間 40 分、終結 18 時間 35 分であった。図-4、図-5 に示したスランプフロー保持時間、凝結硬化速度という特性は高性能 A E 減水剤に含まれる遅延剤の量に支配される特性であるため、高性能 A E 減水剤の添加量の変化に伴い、これらの特性も変化すると考えられる。

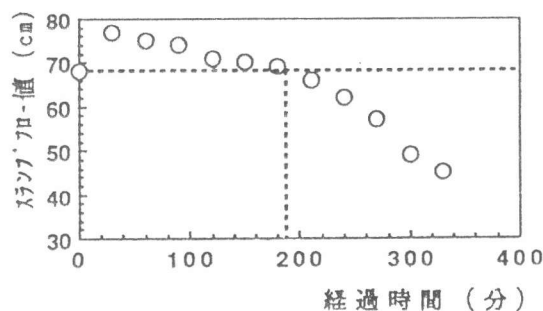


図-4 スランプフロー保持時間

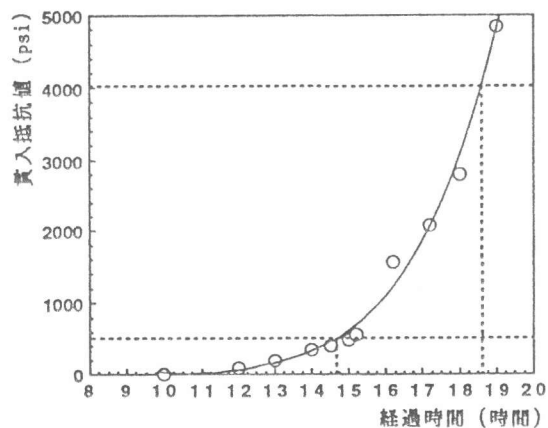


図-5 凝結速度試験

4. 充填性実験

締固め不要コンクリートを実構造物に使用した時の充填性および施工性を評価するため、実構造物を想定したモデル構造物での打設試験を平成2年4月20日、新日本製鐵君津製鐵所構内において実施した。

4. 1 実験概要

(1) 構造物概要

モデル構造物は600mmx600mmの柱、300mmおよび150mm厚の壁、200mm厚のスラブにより構成される、コンクリート打設量約16m³の鉄筋コンクリート構造物であり、図-6に概略図を示す。

(2) コンクリートの製造

打設試験に供したコンクリートは表-4の材料を使用し、君津製鐵所から約4km離れた君津秩父生コンで製造した。製造は水平二軸式ミキサー（容量2.5m³）により1バッチ当りの混練量を1.5m³として、はじめにセメント、スラグ微粉末、細骨材、水+高性能A/E減水剤を投入し120秒間混練した後、粗骨材を投入しさらに90秒間混練した。ミキサー3バッチ分をアジテーター車に搭載し打設現場まで輸送した。

(3) コンクリートの打設要領

コンクリートの打設は大型のポンプ車（最大吐出量100m³/h）により、図-6の正面右の柱に筒先を挿入し、

表-6 測定項目

測定項目	測定方法
細骨材表面水率	3バッチ毎に赤外線水分計により測定
スランプフロー	製造時および荷卸時にスランプ試験を行いフローを測定
ポンプ圧送圧力	ポンプ車の油圧計により測定
流動状況	3ヶ所に設置した透明型枠部において測定
側圧	150mm厚の壁部型枠に取付けた土圧計により測定
温度	柱中心に設置した熱伝対センサーにより測定
強度試験	標準養生 材令2, 3, 7, 14, 28, 91日
	現場封かん養生 圧縮強度, 引張強度, 静弾性係数, ポアソン比 コア供試体 材令28日 圧縮強度
単位容積重量	打設位置の柱部および300mm厚の壁端部より採取したコアで測定
鉄筋との付着	構造物より採取したコア供試体により測定
粗骨材の分布	

表-7 製造状況

NO.	細骨材表面水率 (%)	高性能A/E減水剤添加量 (kg)	プラント出荷時		経過時間 (分)	現場到着時	
			スランプフロー値 (cm)	停止時間 (秒)		スランプフロー値 (cm)	停止時間 (秒)
1	8.6	21.56 (2.57)	58	25	19	65	31
2	8.5	21.84 (2.60)	50	15	15	59	24
3	8.5		52	12	17	59	18
4	9.2	+3.78 (0.15)	46	10	13	51	21
			-	-	-	65	28

表-8 表面の勾配

時間	勾配 (%)	
	150mm壁 L=3850mm	300mm壁 L=3150mm
14:27	15	9
14:35	9	11
14:46	8	3
14:53	6	10
15:01	7	17
15:24	9	13
15:29	11	17

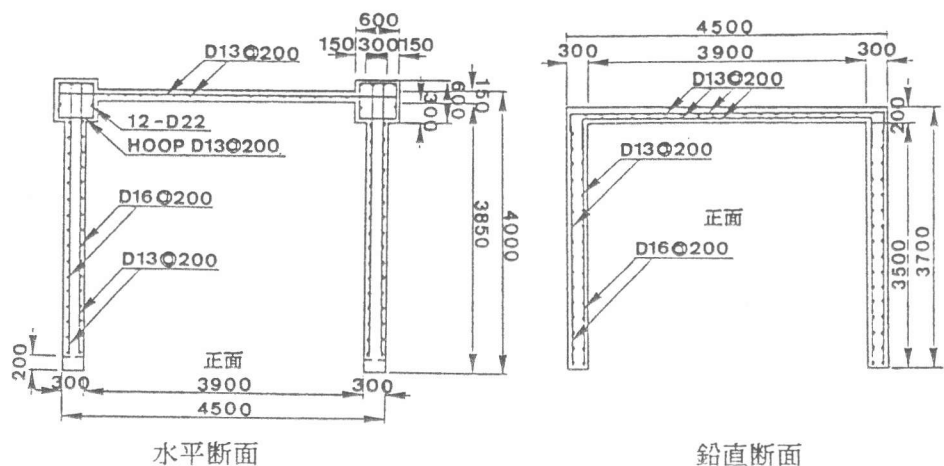


図-6 モデル構造物の概略図

柱および壁の部分はこの位置からのみコンクリートの打設を行った。コンクリート打設はポンプの筒先をコンクリート表面から約10cm程度挿入して、流動状況を観察するために20m³/h程度と低い打設速度で行った。柱、壁およびスラブは一体打設とし、柱、壁の打設終了後ただちにスラブ打設を開始した。

(4) 測定項目

充填実験では表-6に示す測定を実施した。

4.2 実験結果

測定結果を表-7、表-8および図-7~図-11に示す。表-7にコンクリートの製造状況を示した。現場到着時におけるスランプフロー値はプラント出荷時に比べ平均6cm増大した。また、No. 4はスランプフロー値が小さかったため、高性能AE減水剤の後添加を行いスランプフロー値を調整した。表-8にコンクリート表面の勾配を示した。勾配は最大で17%程度であり、良好な流動性が確認された。図-7にコンクリート打設中に型枠に作用する側圧と高さの関係を示す。非常に流動性に優れたコンクリートであるにも拘らず、側圧は静水圧形の分布形状とはならず、打ち上がり高さの増加とともに下部において側圧が低減されることが確認された。図-8にはコンクリート温度と経過時間の関係を示した。打設から32時間後に最高温度47℃(温度上昇量27℃)を示した。図-9にコアの採取位置と単位容積重量の関係を示した。この結果からコンクリートを打設した柱に比べ、左右の壁端部の単位容積重量は若干小さな値を示しているものの、鉛直方向のばらつきはランダムであることから、分離は発生していないと判断される。但し、材料分離に関する定量的評価は今後の課題であると考えられる。図-10および図-11に圧縮強度、引張強度と材令の関係を示した。このコンクリートは水結合剤比を32%と低く抑えているため高強度のコンクリートとなっている。また、スラグ微粉末による置換率を70%と高い置換率で使用しているが、5,920ブレーンの高粉末度スラグを使用しているために材令初期における強度発現性は良好であった。

4.3 まとめ

充填性実験より以下の知見を得た。

- 1) このコンクリートは優れた流動性を有しており、良好な施工性を有する。

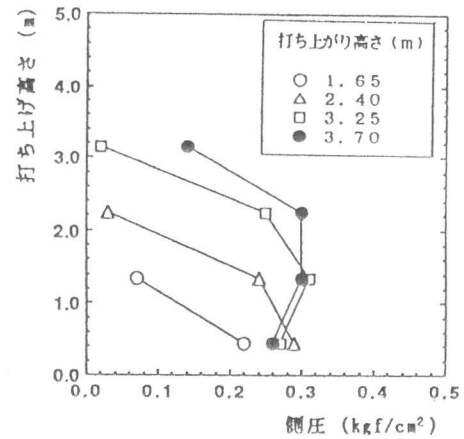


図-7 側圧分布

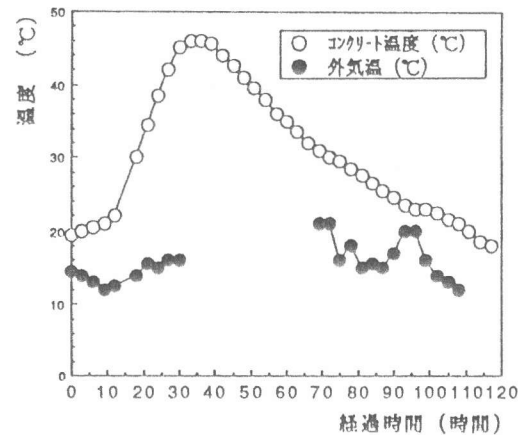


図-8 コンクリートの温度変化

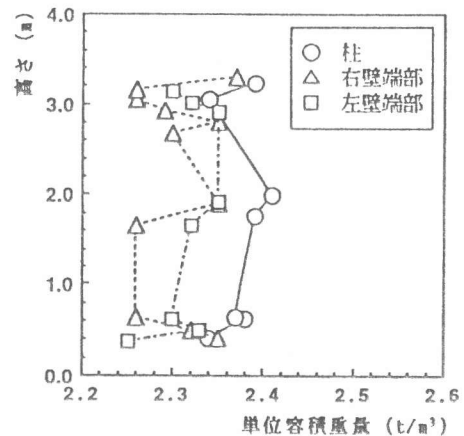


図-9 単位容積重量の分布

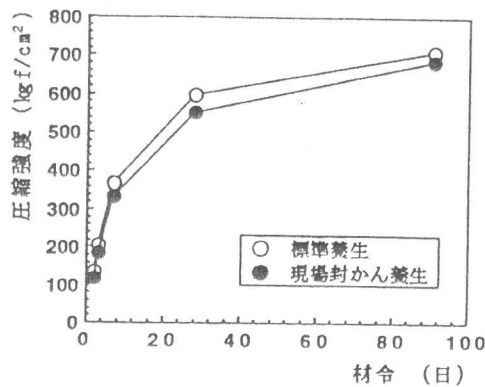


図-10 圧縮強度特性

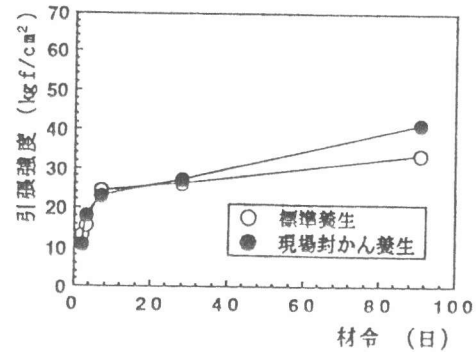


図-11 引張強度特性

- 2) 型枠に作用するコンクリートの側圧は、一般に知られている側圧分布と同様な分布となる。
- 3) 流動停止後に鉛直方向の材料分離は発生しないと考えられる。
- 4) 壁、スラブは一体打設としたが、型枠解体後この境界部分にひび割れ等はみられなかった。
- 5) このコンクリートは高強度のコンクリートである。

5. 結言

高粉末度の高炉スラグ微粉末と高性能AE減水剤を混和剤としてうまく用いることにより、充填性ならびに施工性に優れた締固め不要コンクリートが実現できることを、今回の充填性実験によって確認することができた。今後はこのスラグ系締固め不要コンクリートの実用化に向けて取り組んでいきたい。

本実験の実施にあたっては、東京大学土木工学科 岡村教授ならびに小沢助手より貴重なご意見とご指導を賜った。ここに深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 岡村 甫：信頼されるコンクリートへの途、コンクリート工学、Vol.26, No.1, Jan. 1988, pp.9-11
- 2) 義若 秀彦、小門 武、木村 秀夫、盛高 裕生、清水 功雄：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実験、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、No.5, Sep. 1990, pp.730-731
- 3) 小沢 一雅、前川 宏一、岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集、11-1, 1989, pp.699-704
- 4) 岡村 甫、國島 正彦、小沢 一雅、前川 宏一：ハイパフォーマンスコンクリートへの挑戦、土木施工、Vol.30, No.10, Oct. 1989, pp.27-33
- 5) 前川 宏一、山田 浩司、岸本 達也、小沢 一雅：高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの流動途上における分離抵抗性、高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム、土木学会、Mar. 1987
- 6) 奥田 隆之、森本 博昭、小門 武、小柳 治：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの若材令の諸特性について、セメント・コンクリート論文集、セメント協会、No.44, Dec. 1990, pp.164-169