

高流動コンクリートの充填性能に関する研究

阿部 哲良* 大村 隆一郎*
 田中 英紀* 藤原 敏弘*
 瀬尾 正幸* 内藤 英晴**

要 旨

本研究では、各種配合の高流動コンクリートについて、使用材料と配合の相違が自己収縮ひずみ、乾燥による収縮ひずみおよび沈下挙動に及ぼす影響について検討した。また、鋼・コンクリート合成構造におけるコンクリートの沈下に伴い生じる、鋼とコンクリート間の間隙を抑制するための打設方法（加圧充填工法）についても、その効果を検証した。さらに、高流動コンクリートの密閉空間内への充填について、個別要素法による流動シミュレーションを行い、同解析手法の適用性について検討を行った。その結果、使用材料や配合の違いが、コンクリートの自己収縮ひずみや乾燥による収縮ひずみの発生状況や沈下挙動に影響することが明らかとなった。また、加圧充填工法は沈下により生じようとする間隙の抑制に有効であることも判明した。さらに、高流動コンクリートの流動解析に、個別要素法は有効な手法の一つであることが明らかとなった。

1. まえがき

近年、鋼とコンクリートとの合成構造であるサンドイッチ構造物や、コンクリート充填鋼管柱（CFT）構造物の施工が増大している。これら密閉された空間内ではコンクリートの締固めが困難なため、充填性に優れた高流動コンクリートの使用が不可欠である。この場合、フレッシュ時から硬化過程におけるコンクリートの沈下や収縮により、鋼とコンクリートの間に隙間が生じ、構造物の一体化を損ねないことが必要である。

高流動コンクリートは、一般のコンクリートに比べ水結合材比が小さく、単位結合材量が多いため、大きな自己収縮が生じると言われる。また一回の打ち上がり高さを大きくする場合、コンクリートに大きな沈下が生じやすいと考えられる。その結果、鋼材との間に大きな隙間が生じたり、鋼材等からの拘束によるひび割れが発生することなどが懸念される。しかし、各種高流動コンクリートの収縮・沈下挙動を体系的に検討された例は少ない。

そこで、本研究では各種配合の高流動コンクリートについて、セメントや混和材料などの使用材料と配合の違いが、高流動コンクリートの自己収縮、乾燥収縮および沈下挙動に及ぼす影響について検討を行い、サンドイッチ構造やCFT構造といったコンクリート充填型合成構造について、間隙を抑制するための打設方法（加圧充填工法）の効果についても検討を行うこととした。また、密閉空間内への高流動コンクリートの充填に対して、高流動コンクリートを粘性流体とする個別要素法による流動解析の適用を試み、密閉構造への充填性について解析面からの検討を行った。

2. 高流動コンクリートの充填実験

2.1 使用材料

本実験で使用した材料を表 - 1 に示す。

表 - 1 使用材料

材料名	種 類	物性および成分
セメント (C)	普通ポルトランドセメント (OPC)	比重3.16 比表面積3280cm ² /g
	低熱型ポルトランドセメント (HBC)	比重3.20 比表面積4180cm ² /g
混和材	高炉スラグ微粉末 (BFS)	比重2.90 比表面積6050cm ² /g
	フライアッシュ (FA)	比重2.32 比表面積3350cm ² /g
	石灰石微粉末 (Ls)	比重2.73 比表面積5050cm ² /g
細骨材 (S)	山砂	表乾比重2.61 吸水率1.43% 粗粒率2.58 洗い失量1.74%
	砕砂	表乾比重2.67 吸水率1.34% 粗粒率2.84 洗い失量4.56%
粗骨材 (G)	砕石 (G _{max} =20mm)	表乾比重2.71 吸水率0.70% 粗粒率6.82 実績率59.2%
混和剤	高性能A E 減水剤 (SP1)	ポリアリルカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体 (遅延型)
	高性能A E 減水剤 (SP2)	ポリアリルカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体 (標準型)
	増粘剤 (Va)	メチルセルロース系

山砂:砕砂=50:50

2.2 配 合

本実験で対象としたコンクリートの配合を表 - 2、3 に示す。表 - 2 で取り扱ったコンクリートは、粉体系、増粘剤系、併用系の各種高流動コンクリートで、練上がりから 90 分間に渡り、スランプフロー 65 ± 5cm、V75 漏斗流下時間 10 ± 5 秒、空気量 4.5 ± 1.5% を満足するように配合を決定した。表 - 3 で取り扱ったコンクリートは、高炉スラグ微粉末やフライアッシュの混入率は一定のまま水結合材比を変化させ (25 ~ 50%)、水結合材

* 技術研究所 ** 関東支店

表 - 2 コンクリートの配合 (その1)

配合 No.	種類	記号	混和材 (wt%)	W/P (%)	s/m (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						SP (P × wt%)	Va (W × wt%)	
							W	C	BFS	FA	Ls	S			G
1	粉体系	B40R	40	30.5	45.0	52.0	179	352	235			800	759	1.00	
2		B60R	60	31.1	"	"	179	231	346			"	"	1.00	
3		B60S	60	31.1	"	"	179	231	346			"	"	1.10 ^{*1}	
4		B60R	80	31.6	"	"	179	113	453			"	"	0.90	
5		F20R	20	30.5	"	"	176	461		115		"	"	1.05	
6		F40R	40	29.7	"	"	167	338		225		"	"	0.95	
7		F40S	40	29.7	"	"	167	338		225		"	"	0.90 ^{*1}	
8		F60R	60	29.0	"	"	160	220		330		"	"	0.80	
9		F60S	60	29.0	"	"	160	220		330		"	"	0.75 ^{*1}	
10		HBR		27.6	"	"	175	633				"	"	1.00	
11		HBS		27.6	"	"	175	633				"	"	1.15 ^{*1}	
12		OPR		30.0	"	"	181	603				"	"	1.35	
13		OPS		30.0	"	"	181	603				"	"	1.60 ^{*1}	
14	増粘剤系	VCR		42.0	53.0	56.1	181	431			945	"	1.55	0.25	
15		VCS		42.0	"	"	181	431			"	"	1.80 ^{*1}	0.25	
16	併用系	LS30R	30	32.0	45.0	52.0	183	400			172	800	"	1.55	0.10
17		LS30S	30	32.0	"	"	183	400			172	"	"	1.20 ^{*1}	0.10

注*1: 標準型高性能 A E 減水剤 (SP2) を使用、その他は遅延型 (SP1) を使用
 注: 網掛け部分は 2.5 密閉空間への充填実験で用いた配合である

表 - 3 コンクリートの配合 (その2)

配合 No.	記号	混和材 (wt%)	W/P (%)	s/m (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						SP (P × wt%)
						W	C	BFS	FA	S	G	
18	B60-25	60	25.0	45.0	52.0	159	255	382		800	759	1.00
19	B60-30	"	31.0	"	"	179	231	346		"	"	1.00
20	B60-40	"	40.0	"	"	203	203	305		"	"	0.20
21	B60-50	"	50.0	"	"	223	178	267		"	"	0.00
22	F40-25	40	25.0	"	"	152	364		243	"	"	1.20
23	F40-30	"	29.7	"	"	167	338		225	"	"	0.95
24	F40-40	"	40.0	"	"	195	292		195	"	"	0.05
25	F40-50	"	50.0	"	"	215	259		173	"	"	0.00
26	OP-25		25.0	"	"	164	655			"	"	1.60
27	OP-30		30.0	"	"	181	603			"	"	1.35
28	OP-40		40.0	"	"	207	520			"	"	0.50
29	OP-50		50.0	"	"	228	456			"	"	0.00

比が自己収縮に及ぼす影響について検討したものである。ただし、水結合材が50%の配合ではスランプが20cmを超える柔らかいコンクリートとなった。なお、単位粗骨材容積はいずれの配合においても280リットル/m³とした。

2.3 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜには容量100リットルの水平二軸強制練りミキサを用い、1バッチ当たり80リットルの練混ぜ量とした。練混ぜ方法は、細骨材、セメント、混和材、増粘剤、粗骨材を一括してミキサに投入後、30秒の空練りを行い、練混ぜ水、混和剤を投入し120秒の本練りを行った後、排出した。

2.4 収縮試験

実験に用いた供試体は、日本コンクリート工学協会の提案する「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」¹⁾に従い製作した(図 - 1)。収縮ひずみの計測には埋込型ひずみ計(ゲージ長100mm、拡径フランジ 30)とデータロガーを用い、コンクリートの凝結始発時間を計測開始

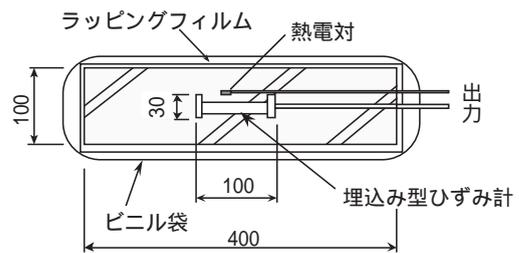


図 - 1 収縮試験供試体概念図

時間とした。表 - 2 に示す配合の供試体は4~7体製作し、脱形直後に包装用ラップフィルムとビニール袋で包装して乾燥を防止し、材齢1,(3),(7),14,(28),63,180日(()内は一部の配合のみ)で順次乾燥させた。また、表 - 3 に示す配合の供試体は、水結合材比を25,30,40,50%と変化させ、自己収縮のみの計測を行った。供試体の打設および計測はいずれも恒温恒湿室(温度20、湿度60%)で

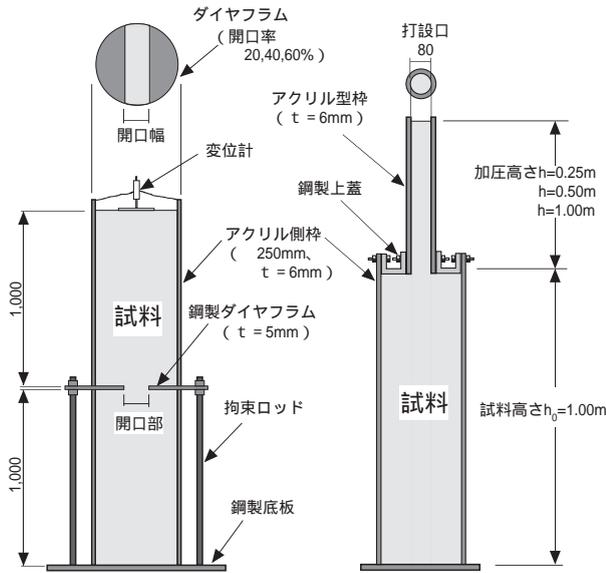


図 - 2 間隙量測定装置

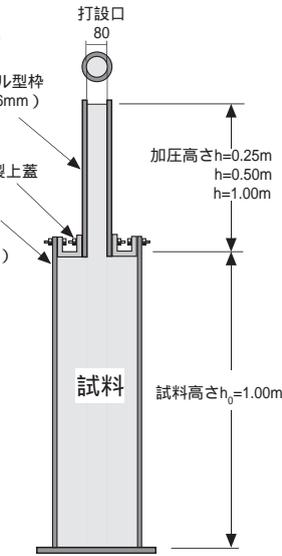


図 - 3 円筒形加圧充填装置

行った。

2.5 密閉空間内への充填実験

本実験で扱った高流動コンクリートの配合は、表 - 2 に示す配合のうち、配合 No. 2、3、6、7、14 ~ 17 の計 8 配合とした。

図 - 2 に間隙量測定装置を示す。試料高さは200cmとし、中間に設けたダイヤフラムの開口率は20%、40%、60%の3水準とした。打設の際にはフレキシブルホースを用いて試料を流し込み、大きな気泡を巻き込まないようにした。打設後、試料上面に変位計を設置し沈下量を測定した。硬化後、側面の型枠だけを取り外し、コンクリートとダイヤフラム下面の間隙をすきまゲージで測定した。また、ダイヤフラムが介在しない場合の試料高さ50cm、100cm、150cm、200cmにおける試料上面での沈下量も併せて測定した。なお、測定は室温20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室内で実施した。

図 - 3 に円筒形加圧充填装置を示す。高さ100cmの円筒形型枠に鋼製の上蓋を取り付け、さらにその上の円筒形型枠の高さ（加圧高さ0.25m、0.5m、1.0m）を3水準で変化させることにより、この試料自重による加圧充填の効果（間隙抑制効果）について検討を行った。上部の円筒形アクリル型枠の中を通したフレキシブルホースにより試料を型枠内に流し込んだ。硬化後、側面の型枠だけを取り外し、コンクリートと上蓋下面との間隙をすきまゲージで測定した。また、同一の試料を分取し、凝結

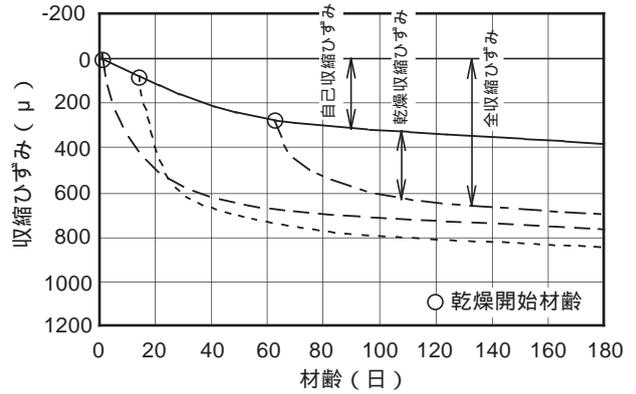


図 - 4 収縮ひずみ曲線の一つ例 (F40R)

表 - 4 材齢180日での自己収縮ひずみと全収縮ひずみ

記号	自己収縮ひずみ(μ)	全収縮ひずみ(μ)					
		1日 ¹⁾	3日 ¹⁾	7日 ¹⁾	14日 ¹⁾	28日 ¹⁾	63日 ¹⁾
B40R	686	756			928		858
B60R	720	816			936		866
B60S	735	856	1084	981	959	904	823
B80R	870	901			1004		958
F20R	492	844			877		748
F40R	385	762			841		695
F40S	391	654	612	630	667	646	565
F60R	272	575			692		556
F60S	210	380		458	463	474	435
HBR	253	644		719	727	656	578
HBS	355	624			715		604
LHR	356	582			578	554	518
OPR	548	1062			866		759
OPS	580	1015	930	930	910	890	795
VCR	393	1152		1097	1028	960	876
VCS	420	1083	1017	1000	945	907	823
LS30R	452	974			1013		880
LS30S	461	981	930	1020	929	881	901

*1 乾燥開始材齢

全収縮ひずみの最大値

時間およびブリーディング量を測定した。本実験も室温20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室内で実施した。

2.6 収縮試験結果

2.6.1 収縮ひずみ

図 - 4 に収縮ひずみ曲線の一つ例を示す。なお、本実験では図のように全収縮ひずみ=自己収縮ひずみ+乾燥収縮ひずみと仮定する。いずれの配合も材齢の経過とともに自己収縮ひずみは増加した。自己収縮ひずみが生じている状態から乾燥を開始すると、その時点から乾燥の影響が加わり、全収縮ひずみは材齢とともに増加した。しかし、自己収縮ひずみおよび乾燥後の全収縮ひずみの大きさは、コンクリートの配合や乾燥開始材齢により大きく異なるものであった。

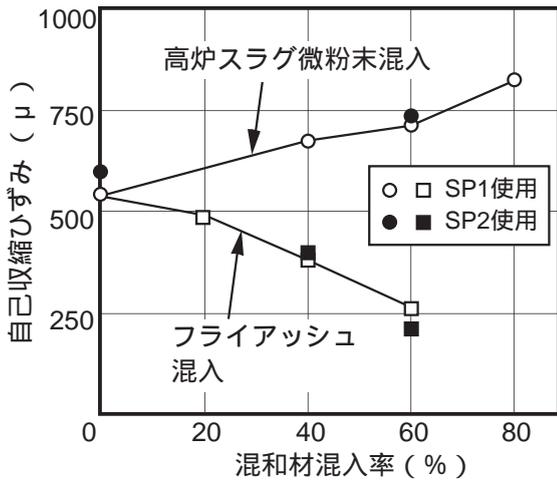


図 - 5 混和材混入率と自己収縮ひずみとの関係 (材齢 180 日)

2.6.2 全収縮ひずみ

表 - 4 に材齢 180 日における自己収縮ひずみと、各乾燥開始材齢の材齢 180 日における全収縮ひずみの値を示す。この表より、高炉スラグ微粉末を混入すると自己収縮ひずみが全収縮ひずみの大部分を占めた。これに対し、増粘剤系 (VCR、VCS) は乾燥収縮ひずみが全収縮ひずみの大きな割合を占めた。配合名の末尾の R は高性能 A E 減水剤に遅延型を、S は標準型を使用しているが、この表より高性能 A E 減水剤の種類の違いが全収縮ひずみに及ぼす影響は見られなかった。

筆者ら²⁾によって、乾燥開始材齢が早いほど全収縮ひずみが大きくなるとは限らず、全収縮ひずみを最大とする乾燥開始材齢が存在することは報告済みである。本実験において、粉体系 (OPR、OPS) 増粘剤系 (VCR、VCS) を除き、全収縮ひずみを最大とする乾燥開始材齢が存在し、その材齢は 14 日以前に見られた。

2.6.3 自己収縮ひずみ

図 - 5 に高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの混入率と、材齢 180 日における自己収縮ひずみとの関係を示す。なお、図中において混入率 0% の自己収縮ひずみは普通ポルトランドセメント単味 (OPR、OPS) による高流動コンクリートについて得られた値を示している。この図より、高炉スラグ微粉末を混入すると混入率が大きくなるにつれ自己収縮ひずみは大きくなり、フライアッシュを混入すると逆に小さくなった。図 - 5、表 - 4 より、高性能 A E 減水剤 (SP1、SP2) の違いが自己収縮ひずみの大きさに与える影響は見られなかった。

図 - 6 に普通ポルトランドセメント単味、高炉スラグ

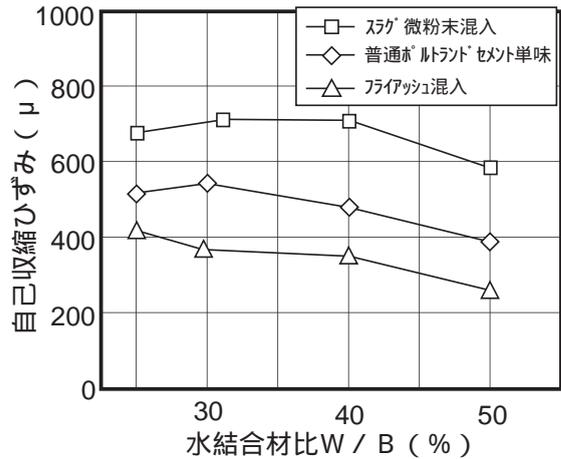


図 - 6 自己収縮ひずみと水結合材比との関係 (材齢 180 日)

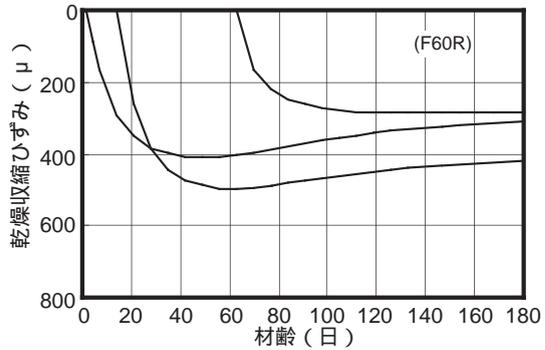


図 - 7 乾燥収縮ひずみ (全収縮 - 自己収縮ひずみ) の一例

微粉末およびフライアッシュを混入した時の、材齢 180 日における自己収縮と水結合材比との関係を示す (表 - 3 の配合)。一般に水結合材が小さいと大きな自己収縮ひずみが生じるといわれており、フライアッシュを混入した配合に関しては、水結合材比が小さくなるほど自己収縮ひずみは大きくなる傾向がわずかに見られた。しかし、高炉スラグ微粉末を混入した配合では水結合材比 40% において、普通ポルトランドセメント単味では水結合材比 30% において自己収縮ひずみが最大となっており、水結合材比が小さくなるほど自己収縮ひずみが大きくなる関係は見られなかった。

2.6.4 乾燥収縮ひずみ

図 - 7 に乾燥収縮ひずみ (= 全収縮ひずみ - 自己収縮ひずみ) の一例を示す。全収縮ひずみの予測を行う際に、自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみとの重ね合わせが成り立つか否かはまだ明らかでない。しかしここで仮定した乾

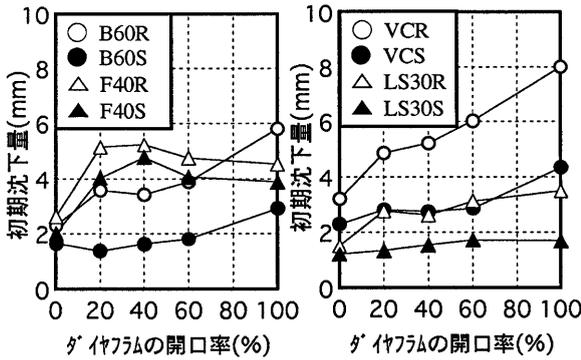


図 - 8 ダイアフラム開口率と初期沈下量の関係

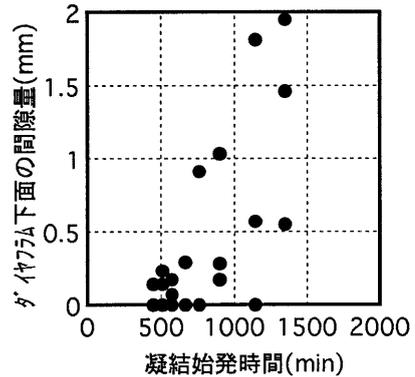


図 - 10 凝結始発時間と間隙量の関係

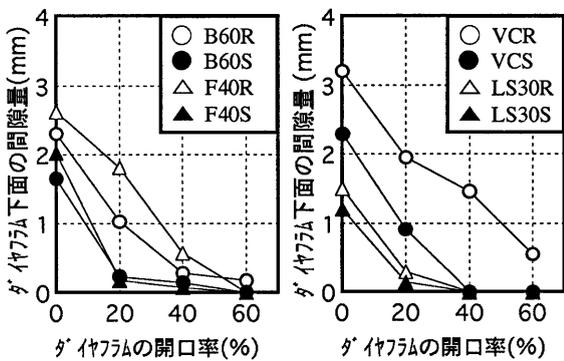


図 - 9 ダイアフラム開口率と間隙量の関係

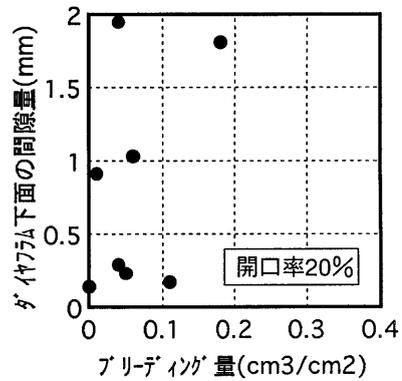


図 - 11 ブリーディング量と間隙量の関係

乾燥縮みずみは図 - 7 に示すように、材齢の経過と共に一旦増加するがその後減少し、さらにその減少量は乾燥開始材齢が早いほど大きくなった。この現象は、ほとんどの配合で観察することができた。従って、両者に重ね合わせは成り立たないと考えられる。すなわち、もし重ね合わせを行うのであれば、自己収縮ひずみはコンクリートの乾燥状態によって異なると考えなければならない。

2.7 密閉空間内への充填実験結果

図 - 8 に、ダイアフラムの開口率と試料上端(試料下端から200cmの位置)における初期沈下量との関係を示す。ここで初期沈下量は、凝結始発時間での沈下量と定義する。開口率100%の場合(ダイアフラム無し)と比較すると、ダイアフラムが介在することにより沈下量は小さくなった。また、ダイアフラムの開口率が大きくなるに従い、沈下量は大きくなっており、ダイアフラムの存在がコンクリートの沈下を抑制していることが認められる。開口率が60%程度と大きくなって、沈下を抑制する効果があると考えられる。

図 - 9 に、ダイアフラムの開口率とその下面に生じる間隙量との関係を示す。開口率が小さくなるに従って、

間隙量は大きくなる傾向にある。また、開口率が60%の場合には、開口率が0%(試料高さ1.0mにおける試料天端での沈下量)と比較して、大幅に小さくなっている。間隙量の大きさは、コンクリートの変形性能とともに、その動きを阻害するダイアフラムの開口率の大きさにも影響されることが判る。また、高性能A E減水剤に遅延型(図の凡例中末尾R)と標準型(末尾S)を使用した場合について比較すると、いずれの配合においても凝結始発時間の短い標準型を用いた方が、間隙量は小さい結果となった。

図 - 10 に、凝結始発時間とダイアフラム下面での間隙量との関係を示す。凝結時間が遅いほど間隙量は大きくなる傾向が認められた。

図 - 11 に、ブリーディング量と開口率20%のダイアフラム下面の間隙量との関係を示す。ブリーディング量が大きい配合ほど、下面の間隙量も大きくなる傾向にあり、その傾向は開口率が小さいほど顕著である。ダイアフラムの開口率が小さいと、ダイアフラム下面にブリーディング水が溜まりやすいことと、コンクリートの流動変形が阻害され間隙を埋めようとする作用が小さくなるために、間隙量にブリーディングの影響が出やすくなる

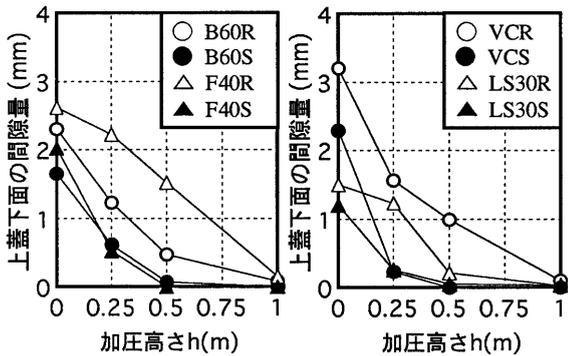


図 - 1 2 加圧高さと間隙量の関係

と考えられる。しかし、開口率が大きくなるに従い、コンクリートは変形しやすいために間隙は小さくなり、またダイヤフラム下面にとどまるブリーディング水も少なくなると考えられる。その結果、開口率が大きいとブリーディングによる影響は小さくなり、ブリーディングと間隙量との相関は低くなるものと考えられる。

次に円筒形加圧充填装置における加圧高さを変えた時の上蓋下面での間隙量の測定結果を図 - 1 2 に示す。また、ここでの加圧高さ 0m の間隙量とは、試料高さ 1.0m における試料天端での沈下量とした。いずれの結果を見ても加圧高さが大きいほど、上蓋下面での間隙量は小さくなっており、加圧高さ 0m の場合と比較しても、大幅に小さくなっている。しかし、加圧高さの増加に伴う間隙量の減少のしかたは高流動コンクリートの種類により異なる。いずれの配合でも加圧高さを高くすることは、間隙量の低減に効果的であり、加圧高さ 1.0m では、ほとんど間隙は見られない。高性能 A E 減水剤に遅延型と標準型を使用した場合を比較すると、いずれの結果においても凝結始発時間の短い標準型を用いた方が、間隙量は小さい結果となった。遅延型のものより凝結時間を早める標準型のものを使用した方が間隙の抑制に効果的であることが判明した。このことより間隙の大きさは凝結によりセメント硬化体の骨格が形成されるまでの時間に大きく左右されることが判る。また、ブリーディング量の大きい配合ほど、上蓋下面の間隙量も大きくなる傾向となった。

3 . 高流動コンクリートの流動シミュレーション

3 . 1 個別要素法の基本原理

サンドイッチ構造へ高流動コンクリートを適用する場合に対して、その充填性を解析的に評価することは、コンクリート工事の工期短縮や品質向上を図るための技術開発に大いに役立つものと考えられる。しかし、現在の

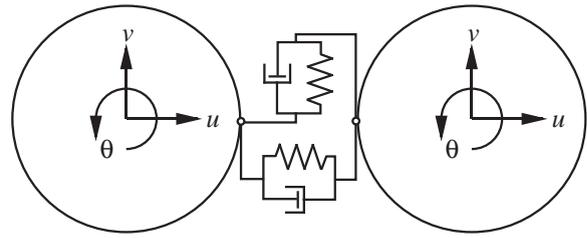


図 - 1 3 個別要素法のバネ

ところ高流動コンクリートの流動性状は理論的に十分に解明されるには至っていない。また、幾つかの提案されている流動解析手法も汎用化されておらず、その早い汎用化が望まれている。

そこで本項では、個別要素法³⁾を用いて高流動コンクリートのフレッシュな状態について流動解析を行い⁴⁾、その充填性に関する各種要因の影響を定性的に評価することとした。

個別要素法は、動的不連続モデルを取り扱うのに適しているため、高流動コンクリートのような粘塑性体の挙動を把握するのに適用しやすいと考えられる。この方法では、解析対象領域を剛要素の集合（ここでは粗骨材）と考え、これらをバネとダッシュポットで結合している（図 - 1 3 参照）。なお本方法では、各要素に独立した運動方程式をたて（式（1）（2））これを差分的に解くことによって各要素の挙動を追跡する（式（3）（4））。

$$m\ddot{u} = F_0 + \sum_j F_j \quad (1)$$

$$I\ddot{\theta} = M_0 + \sum_j M_j \quad (2)$$

m, I : 着目ブロックの質量ならびに慣性モーメント

$\ddot{u}, \ddot{\theta}$: ブロック図心での加速度と角加速度

F_0, M_0 : 着目ブロックに作用する外力とモーメント

F_j, M_j : 隣接する j 番目のブロックから着目ブロックへ作用する外力とモーメント

$$u_{t_{n+1}} = u_{t_n} + \dot{u}_{t_{n+1/2}} \Delta t \quad (3)$$

$$\theta_{t_{n+1}} = \theta_{t_n} + \dot{\theta}_{t_{n+1/2}} \Delta t \quad (4)$$

表 - 5 解析定数

接触点パネ定数	K_n, K_s 法線および接線方向パネ定数
付着力	b_n, b_s 法線および接線方向付着力
減衰定数	

表 - 6 パラメータスタディにより同定した定数

解析定数	同定値あるいは設定値
パネ定数	$K_n, K_s=1000$ (N/mm)
付着力	$b_n=0.11$ (N)
	$b_s=0.08$ (N)
摩擦係数	$\mu=0.01$
減衰定数	$=0.9$

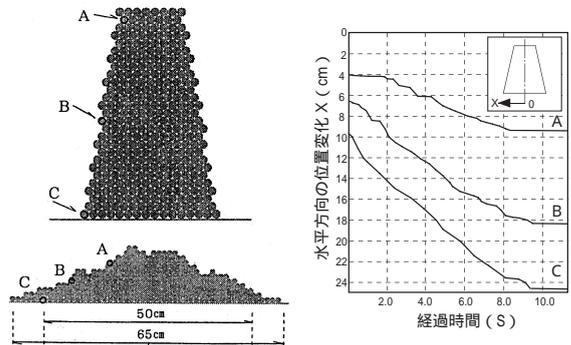


図 - 14 スランプフロー試験の流動シミュレーション

3.2 スランプフロー試験の流動シミュレーション

3.2.1 解析モデル1

サンドイッチ構造への高流動コンクリートの充填性に関する流動解析を行うに当たり、モデル化の比較の簡単なスランプフロー試験のシミュレーションを行うことにより、表 - 5 に示す解析に必要な定数を設定した。

3.2.2 解析定数の設定

3.2.1 で述べた解析定数は、スランプフローが65cm、スランプフロー-50cm到達時間が5秒(実験で扱った高流動コンクリートの平均的な値)となるようパラメータスタディを行うことにより設定した。ただし、ここではコンクリートをモルタルと粗骨材からなる2層材料と考え、粗骨材の粒径が5~20mmであることから、全ての要素は、粗骨材の平均粒径である13mmの直径を持つ円形要素とし、その単位容積質量は2.6g/cm³とした。

実験結果との対比により同定した解析定数を表 - 6 に示す。

3.2.3 解析結果

図 - 14 にはスランプコーンの中に詰められた要素のうち、上段、中段、下段に位置する要素A、B、Cの経時的な変位量を示している。実際のスランプフロー試験での粗骨材の動きを写真 - 1 に示すが、スランプコーンの底面付近に位置する粗骨材ほど変位量が大きくなっており、本流動解析では、その挙動を定性的に再現できることができた。これより、高流動コンクリートのように通常のコンクリートに比べて変形量大きい粘性体に対する流動解析の手法として、個別要素法は適用性が高いものと判断される。

3.3 サンドイッチ構造モデルの充填シミュレーション

3.3.1 解析モデル2

サンドイッチ構造の充填シミュレーションモデルを図 - 15 に示す。充填性が問題になる構造物上部の形状を



写真 - 1 スランプフロー試験における粗骨材の動き

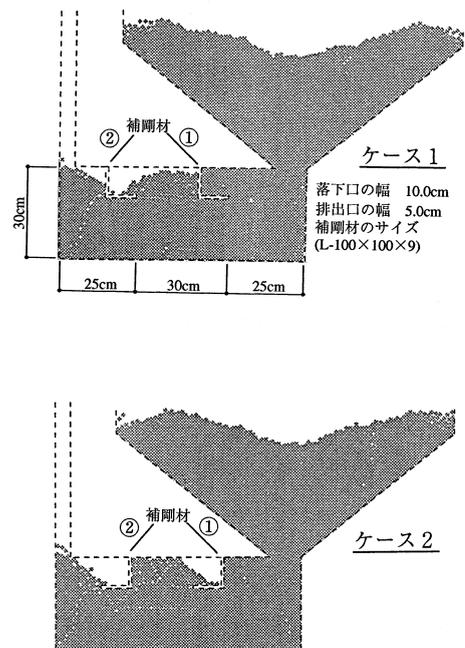


図 - 15 充填モデルと解析結果

モデル化した。計算ステップ数に対するプログラム上の制約(最大で100万サイクル)から、解析モデルの大きさは実構造物レベルの寸法より小さくしたが、内部のL型補剛材のサイズは構造物の上部に相当するものを設定した。なお、解析では補剛材の向きが充填状況に及ぼす影響を把握するため2つのケースについて検討した。また、充填方法としては、箱形容器の上面にホッパーを直接取り付け、ホッパー内へのパッキング状態から、要素に一樣に落下高さ50cmに相当する下向き速度(313cm/sec)を与えることにより、容器内へ充填させた。

3.3.2 解析結果

当該モデルのように密閉された容器でも、解析上は最終的に内部はすべて充填されることとなった。しかし、補剛材の向きによって充填状況にそれぞれの特徴が見られた。その結果の一例を図-15に示す。補剛材が充填口側に向いたものでは、補剛材では、空隙(空気だまり)はできにくい、補剛材では背面側(充填口と反対側)のみでなく前面側に空隙のできやすいことが予想される。また、補剛材が充填口側と反対を向いたものでは、補剛材と のいずれにおいても、その背面側に空隙のできやすいことが予想される。

4.まとめ

密閉空間に適用する高流動コンクリートについて以下のことが明らかになった。

- (1) 全収縮ひずみを最大とする乾燥開始材齢が存在し、その材齢は14日以前である。
- (2) 高流動コンクリートの結合材の一部として、高炉スラグ微粉末を混入すると自己収縮は大きくなり、フライアッシュを混入すると小さくなる。
- (3) 高性能AE減水剤の標準型と遅延型による違いが自己収縮ひずみや乾燥収縮ひずみに与える影響はみられない。
- (4) 全収縮ひずみ = 乾燥収縮ひずみ + 自己収縮ひずみの関係が成立するとして収縮ひずみの予測を行うには、自己収縮ひずみはコンクリートの乾燥状態によって異なると考える必要がある。

(5) ダイヤフラムを持つ密閉空間への充填においては、ダイヤフラムの開口率が小さくなるに従い、試料天端での沈下量は小さくなった。ダイヤフラムの介在は、充填されたコンクリートの沈下を小さくする効果があるが、その反面、ダイヤフラムの開口率が小さくなるに従って、ダイヤフラム下面の間隙量は大きくなる傾向が認められた。

(6) ダイヤフラム下面に生じる間隙の大きさは、ダイヤフラムの開口率の他に、充填されるコンクリートの種類、配合によっても相異なり、凝結性状にも大きく左右される。

(7) 打設口から試料自重により加圧することで、上蓋とコンクリートとの間隙は減少し、加圧高さが大きくなるに従い、発生する間隙量は小さくなる。加圧充填工法は間隙を抑制するのに有効であることが判明した。

(8) 加圧充填工法においては、凝結の早い配合ほど充填するための加圧高さを小さくできる。

(9) 高流動コンクリートの流動解析の手法として個別要素法は有望な手法であると考えられる。ただし、今後、この解析を一般的なものにするためには、解析上の定数とコンクリートのレオロジー定数との相関関係について詳細検討する必要がある。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会 報告書()、pp.209 ~ 210、1997
- 2) 内藤英晴、阿部哲良、三浦尚：高流動コンクリートの収縮特性に関する実験的研究、セメント・コンクリート論文集、No.51、pp.328 ~ 333、1997
- 3) 土木学会：構造工学における計算力学の基礎と応用、pp.51 ~ 53、1997
- 4) 鍋田克巳、町田篤彦、岩下和義、佐々木尊廣：個別要素法を用いたフレッシュコンクリートの流動シミュレーション、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16-1、pp.479 ~ 484、1994