

[13] 流動化コンクリートの施工性に関する現場実験

正会員 岸谷孝一（東京大学 工学部）
 正会員 嵩 英雄（竹中工務店 技研）
 正会員○飯塚正則（花王石鹼 研究所）
 伊勢勝昭（花王石鹼 研究所）

1. まえがき

単位水量の低減によるコンクリートの品質向上や施工性の改善を目的として、流動化コンクリートが普及しつつあり、多くの実験研究や施工報告がなされている。しかし実際の躯体工事における施工性や実構造物の品質について、まだ不明な点も多い。

本報告は、流動化コンクリートの実構造物における施工性と硬化後の品質を定量的に把握することを目的としSRC造のオフィスビル新築工事において、流動化コンクリート、標準コンクリート、ベースコンクリートの3種のコンクリートを地下1階内壁に打設し、壁体中のコンクリートの流動性、型枠にかかる側圧、硬化後の壁体コンクリートの強度・収縮等を測定し検討を加えた。

2. 実験の概要

実験体は、図-1に示す地下1階の連続した内壁（階高4800、スパン5400、壁厚250、配筋D-13ダブル）3体で、これにスランプ21cmの流動化コンクリート、スランプ18cmの標準コンクリート、スランプ12cmのベースコンクリートを打設し、表-1に示すコンクリートの品質試験、施工性、構造体の物性など各種の試験を行った。試験方法のうち、JIS、ASTMなどに定められていないものは次の方法によった。

- ・拘束ひびわれ：セメント協会法によりひびわれ発生までの日数を測定。
- ・壁体中の流動性：アクリル透明型枠からの写真撮影。
- ・構造体の収縮：カールソンひずみ計によるひずみ測定。
- ・コア供試体中の粗骨材量：画像解析装置による断面積測定。

3. コンクリートの使用材料と調査

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は岡山県日比産海砂（塩分0.06%）、粗骨材は兵庫県男鹿島産碎石、ベース混和材はポリオール系AE減水剤を用いた。流動化剤はナフタリン系を用い、その性能は、建築学会で検討されている「流動化剤の性能規準（素案）¹⁾」によれば表-2に示すものであり、規準値をすべて満足する標準タイプである。

打設したコンクリートの調査を表-3に示す。設計基準強度は240kg/cm²



図-1 実験用構造体配置図 (B1階)

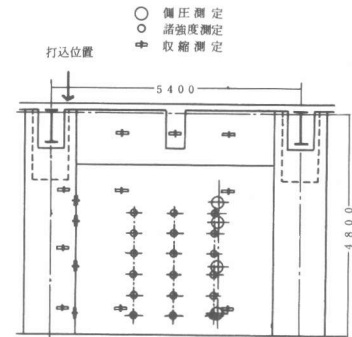


図-2 実験体および構造体の品質試験位置

表-2 流動化剤の性能

項目	流動化剤の種類	標準型 (マテイFD)	
		規格値	実測値
ベースコンクリート	種類	AE コンクリート	AE コンクリート
	スランプ (cm)	8±1	8.0
	空気量 (%)	4±0.5	3.9
流動化コンクリートのスランプ (cm)		18±1	18.0
空気量の差 (%)		10以下	0.0
ブリージング量の差 (ml/cm ³)		0.10以下	-0.002
凝結時間の差	始発	-1:00 ±1:30	+0:40
	終結	-1:00 ±1:30	+0:35
流動化後15分間のスランプ低下量 (cm)		4.0以下	2.5
圧縮強度比 (%)		90以上	99.7
長さ変化比 (%)		120以下	100.5
凍結融解抵抗性の比 (%)		80以上	94.3

表-1 試験項目

コンクリートの品質試験	スランプ フロー 空気量 単位容積重量 圧縮強度 静弾性係数 引張強度 付着強度 乾燥収縮 拘束ひびわれ
施工性	壁体中の流動性 型枠にかかる側圧
構造体コンクリートの品質	超音波伝播速度 表面硬度 コアによる圧縮強度・引張強度 鉄筋の引き抜き強度 粗骨材量 乾燥収縮試験

であり、海砂の塩分対策として水セメント比を55%に抑えた。ベースコンクリートのスランブは12cm、流動化後のスランブは21cmとし、比較に用いた標準コンクリートは、スランブ18cmの生コンメーカーのJIS規格標準品である。

表-3 コンクリートの調合

種類	目録	W/C	S/A	単位容積重量 (kg/m ³)				ベース混和剤 Poz#70 (C×%)	流動化剤 (C×%)
				水	セメント	細骨材	粗骨材		
流動化	12-21	44	44	178	324	765	1002	0.25	0.6
標準	18	46	46	192	349	776	934	0.25	—
ベース	12	44	44	178	324	765	1002	0.25	—

4. 流動化・打込み・締固め

流動化コンクリートの製造条件は予備実験で検討した。流動化剤添加後の生コン車ドラム回転速度を中速と高速の2水準、混練時間を60秒と90秒の2水準の組合せにて流動化コンクリートを製造し、生コン車ドラム内のコンクリートの品質を測定した。いずれの製造条件でも図-3に示すような均質なコンクリートが製造できる。ただし、高速回転で流動性がやや大きくなる傾向を示した。(分散分析で有意)この結果から、本工事では高速回転・90秒混練の条件で流動化コンクリートを製造した。

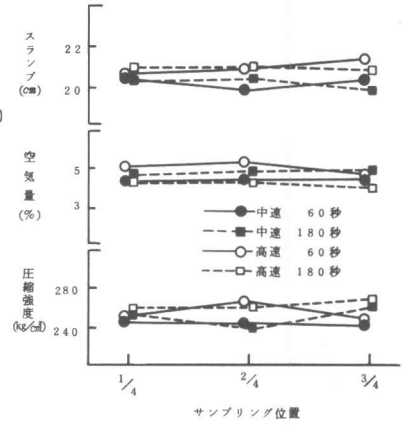


図-3 流動化コンクリートの製造実験結果
表-4 まだ固まらないコンクリートの試験結果

種類	生コン車	スランブ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg)	コンクリート温度 (℃)
流動化	1	12.0-21.5	39.0	4.7	2.26	24.0
	2	11.5-21.5	39.0	3.9	2.30	24.0
	3	9.5-20.5	32.5	3.1	2.30	—
標準	1	18.0	28.0	4.5	2.29	24.0
	2	19.5	33.0	4.8	2.27	—
	3	19.5	32.5	4.9	2.24	—
ベース	1	10.5	20.5	4.2	2.28	—
	2	13.0	23.0	5.0	2.23	26.0

壁体へのコンクリートの打込は柱からの片押しとし、径38mmの高周波バイブレータ1台を、図-4に示す位置に固定し梁下まで打設し、柱からの片押しが限界になった時点で打込み位置を変えて梁上まで打設した。締固めは打込み位置の変更後バイブレータ1台とたたき4人で行ない、突棒は用いなかった。実験壁に打設したコンクリート量は各壁10m³で、4.5m³積載の生コン車3台を連続して打設した。

5. 結果と考察

5.1 コンクリートの品質

打込み直前に採取したコンクリートの、まだ固まらない

表-5 硬化したコンクリートの試験結果

コンクリートの品質試験結果を表-4に、硬化後の品質試験結果を表-5に示す。まだ固まらないコンクリートの品質はいずれも目標値を満足した。流動化コンクリートのワーカビリティは良好で、材料分離の傾向は認められなかった。流動化によるスランブ増加量は約10cmで、流動化剤0.1% (対セメント重量パーセント) 当り、約1.7cmの流動化効果を示した。

種類	生コン車	圧縮強度 kg/cm ²			引張強度 kg/cm ²			静弾性係数 ×10 ⁵ kg/cm ²			付着強度 (kg/cm ²)			乾燥収縮 (×10 ⁻⁴)			拘束ひびわれ発生回数
		1週	4週	26週	1週	4週	26週	1週	4週	26週	26週	1週	4週	26週	52週		
流動化	1	223	298	—	—	—	—	2.46	2.81	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	218	323	400	20.6	26.3	26.6	2.61	3.02	3.26	2.19	1.87	4.45	8.20	8.97	2.22	
	3	217	335	—	—	—	—	2.43	2.75	—	—	—	—	—	—	—	
標準	1	215	303	—	—	—	—	2.40	2.73	—	—	—	—	—	—	—	
	2	204	280	342	17.4	24.1	23.6	2.30	2.80	3.11	1.45	2.17	5.27	10.48	11.63	16.4	
	3	211	287	—	—	—	—	2.36	2.82	—	—	—	—	—	—	—	
ベース	1	217	306	—	—	—	—	2.41	2.87	—	—	—	—	—	—	—	
	2	216	313	355	19.1	23.8	22.6	2.53	2.79	3.09	2.16	1.77	4.50	8.31	9.02	24.4	

硬化後の諸性質は、圧縮強度・静弾性係数・引張り強度・付着強度において、流動化コンクリートが最も高い値を示した。乾燥収縮率は材令52週で流動化コンクリートとベースコンクリートが同等の値を示し、標準コンクリートより23%小さい。拘束試験によるひびわれ発生までの日数は、流動化コンクリートとベースコンクリートが

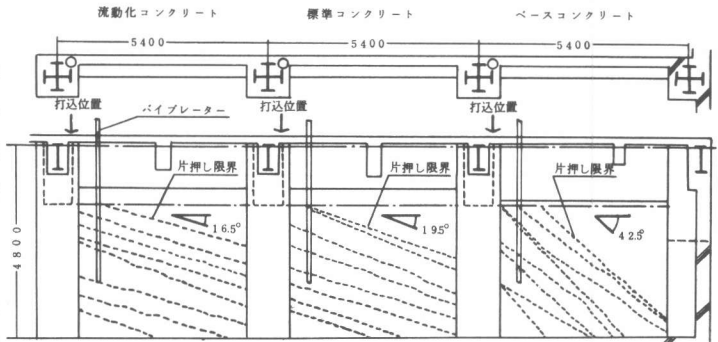


図-4 実験体平面・立面図およびコンクリートの流動角度

同等で、標準コンクリートより優れたびびわれ抵抗性を示した。

5.2 壁体中の流動性

透明型枠からの観察によるコンクリートの流動状況を図-4に示す。壁体中のコンクリートの流動角度は流動化コンクリートが 16.5° 、標準コンクリートが 19.5° 、ベースコンクリートが 42.5° であり、壁体部分への片押しによるコンクリートの充填率は、それぞれ64%、58%、49%であり、流動化コンクリートが最も優れている。片押し限界に達した後、打込み位置（ポンプ筒先）の盛り替えを、流動化コンクリートと標準コンクリートは1回、ベースコンクリートは2回行った。また密実に締固めるのに要した工数は、流動化コンクリートと標準コンクリートはほぼ同等で、ベースコンクリートの約 $\frac{1}{2}$ であった。これらの結果から、流動化コンクリートの施工性は、標準コンクリートと同等かやや優れ、ベースコンクリートの施工性を大きく改善できるものと考えられる。

5.3 壁体の型枠にかかる側圧

側圧測定結果を図-5に示す。打上り速度は $1.5.5 \sim 1.7.6 \text{ m/hr}$ で、スランプ値が大きいほど柱への充填性が良いため、壁の打上り速度はやや遅い。また、コンクリートの試料採取のため5~12分間打ち込みが中断した。柱からの片押し打込みによる壁の側圧は打込み中断前（打上り高さ2mまで）は、ベースコンクリート<流動化コンクリート<標準コンクリートの順に大きく、中断後の最大側圧は、流動化コンクリートとベースコンクリートは同程度で、標準コンクリートより小さい。3種のコンクリートともJASS5の設計値以下の側圧であり、流動化により側圧が大きく増大するという傾向は見られない。

5.4 硬化後の壁体コンクリートの品質

材令26週の壁体コンクリートの品質試験結果を図-6~図-12に、コア供試体断面の粗骨材分布状態を写真-1に示す。非破壊試験、コア供試体による壁体コンクリートの諸強度は、流動化コンクリートが最も高い値を示し、次いでベースコンクリート、標準コンクリートの順である。各コンクリートとも、測定位置が高くなるに従い強度が低下する傾向を示した。

流動化コンクリート壁体の強度分布を、コア供試体の強度を用い、壁の高さ方向の距離と水平方向の距離

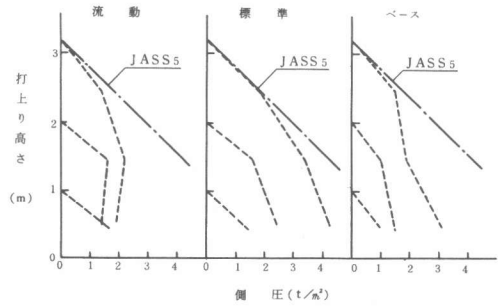


図-5 壁型枠にかかる側圧

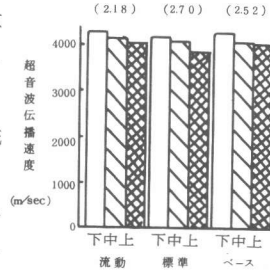


図-6 超音波伝播速度

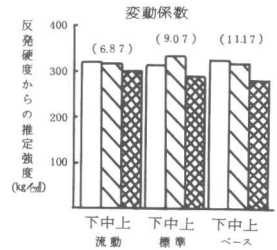


図-7 反発硬度からの推定強度

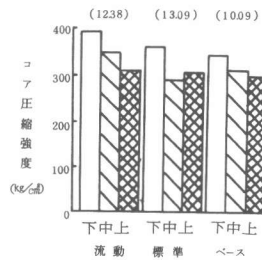


図-8 コア圧縮強度

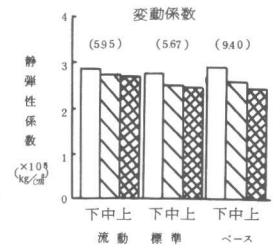


図-9 静弾性係数

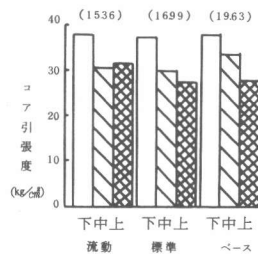


図-10 コア引張強度

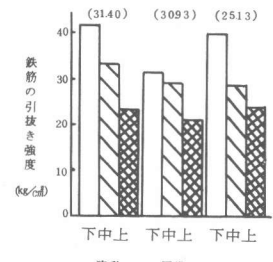


図-11 鉄筋の引抜き強度

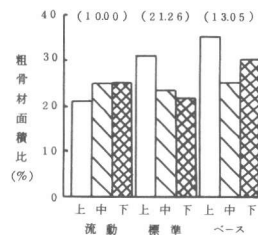


図-12 粗骨材の分布

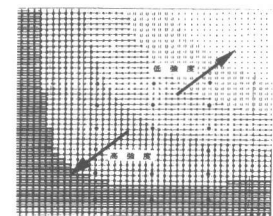


図-13 壁の推定強度分布

を変数とする場所の関数で回帰した。強度分布の推定を位置
 応答曲面、図-13に示す。壁体中の位置が高くなるに
 従い、また打ち込み位置（ポンプ筒先）から遠くなるに
 従い強度が低下する傾向が見られた。片押し打設による
 コンクリートの横流し距離は、短い方が望ましいよう
 である。

壁体内のコンクリートの諸物性のバラツキの程度は、変
 動係数から見て、流動化コンクリートが最も小さく、続
 いてベースコンクリート、標準コンクリートの順であっ
 た。

5.5 壁体の収縮特性

壁体および壁体と同一断面同一配筋を有するダミー供試体
 (500×500×250、壁と同一温度履歴とするための
 温度補正をした)の材令180日までのひずみ測定結果を
 図-14に示す。ダミー供試体のひずみは、流動化コンクリ
 ート<ベースコンクリート<標準コンクリートであり、流動化
 コンクリートが最も小さい。壁左部分の壁体のひずみは、
 流動化コンクリート>標準コンクリート>ベースコンクリ
 ートであり、流動化コンクリートが最も大きい。壁体およ
 びダミー供試体の測定結果から、壁内部に拘束されるひず
 めを求めた。図-15に示す。拘束ひずみは流動化コンクリ
 ートを用いた壁体が最も小さく、標準コンクリート、ベ
 ースコンクリートに比し 100×10^{-6} 程度小さい。コン
 クリートの力学的性質がほぼ同等と仮定するならば、流
 動化コンクリートを用いた壁体のひびわれ抵抗性は、3
 種のコンクリート中最も優れているものと考えられる。

6.まとめ

流動化コンクリート(スランプ12→21cm)、ベースコン
 クリート(スランプ12cm)、標準コンクリート(スランプ
 18cm)の3種のコンクリートを実構造物内壁に打設し、
 壁体中のコンクリートの流動性、型枠にかかる側圧、
 硬化後の壁体コンクリートの強度・収縮等を測定し次の
 結果を得た。

- 1) ベースコンクリートに流動化剤を打設直前に添加し、
 生コン車ドラムを高速で90秒間回転させることによ
 り、均質な流動化コンクリートを容易に製造することが
 できる。
- 2) 流動化コンクリートの壁体中の流動性および打込み・
 締固めの施工性は、標準コンクリートよりやや優れ、
 ベースコンクリートの施工性が大きく改善される。
- 3) 壁型枠にかかる側圧は、JASS5の設計値以下であり、
 流動化により側圧が増大する傾向はない。
- 4) 壁体の品質は、流動化コンクリートが最も優れてお
 り、諸強度・ひびわれ抵抗性が高く、位置によるバラ
 ツキも少ない。

参考文献 1) 福士勲 委員会活動報告(規準案の説明) "建築学会誌VoI. 95, No.1168

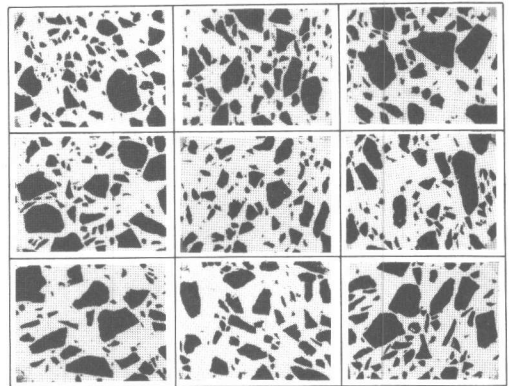


写真-1 コア供試体断面状態

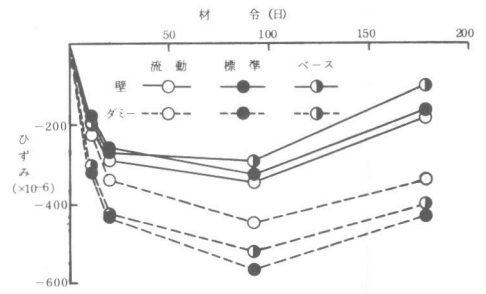


図-14 壁体・ダミー供試体のひずみ

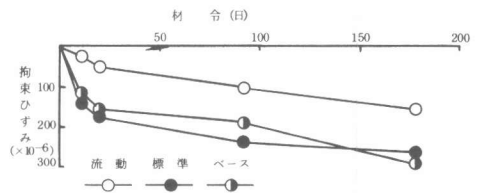


図-15 壁体の拘束ひずみ