

[12] 流動化コンクリートの工学的性質に関する実験的研究

正会員 ○池 田 正 志(竹中工務店技術研究所)

正会員 岸 谷 孝 一(東京大学工学部)

正会員 嵩 英 雄(竹中工務店技術研究所)

正会員 飯 塚 正 則(花王石鹸和歌山研究所)

1. まえがき

流動化コンクリートは、わが国では建築用軟練りコンクリートの品質改善を目的に昭和50年から使用され始め、急速に普及しつつある。流動化コンクリートに関する報告も多く、流動化によるワーカビリティの増大効果、流動化後の強度、乾燥収縮などの基礎的性質はほぼ明らかとなっている。しかし、実際の施工にあたっての、流動化コンクリートの振動締固めの性状、型わくの側圧、さらに硬化後の構造体の品質等に関する報告は非常に少ない。

本報告は、実構造物における流動化コンクリートの標準的な施工方法を定めるための資料を得ることを目的として、RC造の実大試験体を用いて打込み実験を行ない、流動化コンクリートの施工性、構造体の性能などについて通常のコンクリートと比較・検討した結果をまとめたものである。

2. 実験の概要

普通骨材を用い、スランブの異なる流動化コンクリート2調合、通常のコンクリート4調合のレデーミクストコンクリートを用いて、ワーカビリティ、圧縮強度、乾燥収縮等の諸性質および壁模型試験体における振動への応答性の試験を行なった後、それぞれのコンクリートを、RC造の1層1スパンの実大試験体に5層に分けて打ち込み、型わくの側圧、硬化後の壁体表面の気泡、壁体のコア圧縮強度、収縮性状等の試験・測定を行なった。

3. コンクリートの使用材料と調合

セメントは住友社普通ポルトランドセメント、細骨材および粗骨材は表-1に示す鹿島産丘砂と葛生産石灰岩碎石を使用した。表面活性剤にはAE減水剤標準形を用いた。コンクリートの水セメント比は57%、目標空気量は4%とし、通常のコンクリート(以下、標準コンクリートという)はJISの標準品で、スランブを12, 15, 18, 21cmとした。流動化コンクリートのベーススランブは8, 12cmとし、流動化後の目標スランブは21cmとした。コンクリートの調合を表-2に示す。流動化剤には、ナフタリン系の市販品「マイティFD」を使用した。

4. 実験方法

4.1 コンクリートの品質試験

1調合1台のトラックアジテーターで運搬されたそれぞれのコンクリートについて、荷卸し検査としてスランブ、空気量の試験を行なった。流動化コンクリートは、ベースの品質を確認した後、所定量の流動化剤を添加して90秒間

表-1 骨材の品質

種類	産地	最大寸法 (mm)	乾燥比	含水率 (%)	単位容積重量 (kg/ℓ)	実積率 (%)	粗粒率
細骨材	鹿島産丘砂	5	2.60	1.51	1.71	65.8	2.73
粗骨材	葛生産碎石	20	2.70	0.62	1.58	59.1	6.65

表-2 コンクリートの調合

コンクリートの種類	調合記号	目標スランブ (cm)		目標空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位容積重量 (kg/m³)				流動化剤 添加量 (セメント量×%)
		ベース	流動化				水	セメント	細骨材	粗骨材	
標準 コンクリート	C12	12	—	4	57	45.1	168	295	832	1046	—
	C15	15	—	4	57	44.7	171	300	819	1046	—
	C18	18	—	4	57	46.8	180	316	840	987	—
	C21	21	—	4	57	47.0	190	333	861	925	—
流動化 コンクリート	F8-21	8	21	4	57	45.7	163	286	850	1046	0.7
	F12-21	12	21	4	57	45.1	168	295	832	1046	0.6

高速攪拌して流動化した。それぞれのコンクリートは独立の実大試験体に5層に分けて打設したが、第1層、3層および5層打設時に試料を採取し、まだ固まらないコンクリートのスランブ、空気量、ブリージング量ならびに硬化後の圧縮強度、割裂

引張強度，静弾性係数，乾燥収縮について，それぞれ J I S に従って試験した。

4.2 コンクリートの振動加速度の測定

コンクリートの振動に対する応答性を把握し，それぞれの実大試験体打設時の振動締め時間を定めるために厚さ18 cm、長さ150 cm、高さ50 cmで、D13を@200ダブルに配筋した壁試験体を用いて、埋設した加速度計により、コンクリート中の振動加速度を測定した。バイブレーターは実大試験体の打設に用いたのと同じで、径38 mm、振動数12000 cpmの棒状のフレキシブル型高周波バイブレーターである。

4.3 実大試験体の形状・寸法

実大試験体は図-1に示すように、厚さ18 cmの壁を柱・梁で囲んだ1層1スパンのRC構造で、片側の柱に袖壁を設けて、先付けタイルの充てん性および若材令のコア圧縮強度の試験を行なった。せき板は普通の型わく用合板で、壁の1部にオーバーレイ合板を使用した。

4.4 コンクリートの打込み・締固め

図-1に示すように、コンクリートはバケツを用いて、5層に分けてそれぞれ水平に打込み、各層毎に前述の高周波バイブレーターを60 cmピッチに深さ50 cmまで挿入して締固めを行った。振動時間は、加速度の測定結果から、標準コンクリートのスランブ12, 15, 18, 21 cmではそれぞれ12, 10, 9, 5秒で、流動化コンクリートのベーススランブ8および12 cmでは7および6秒とした。

4.5 側圧の測定

図-1に示す壁および柱のせき板に圧力変換器を取り付け、各打込み層ごとに締固め後のコンクリートの側圧を測定した。

4.6 壁体表面の気泡の測定

材令2日で型わく脱型後、普通合板およびオーバーレイ合板を用いた壁体表面の気泡の径と個数を、

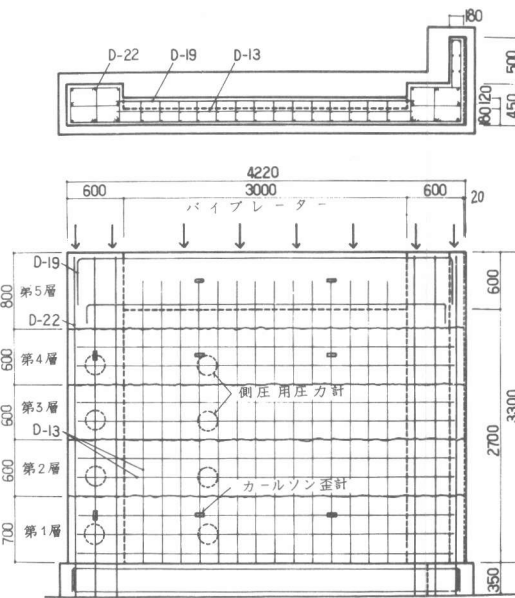


図-1 RC造の実大試験体，コンクリートの打込み方法および測圧計とカールソン歪計の配置図

表-3 まだ固まらないコンクリートおよび硬化したコンクリートの試験結果

コンクリートの種類	調 合 号	試 料	スランブ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)	ブリージング量 (mg/cm)	温 度 (℃)	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)			引 張 強 度 (kg/cm ²)		静 弾 性 係 数 (×10 ⁹ kg/cm ²)			乾燥収縮 (×10 ⁻⁶)
								7日	28日	91日	7日	28日	7日	28日	91日	
標準 コンクリート	C12	1層目	12.0	25.5	4.0	—	19.5	215	313	—	—	—	2.72	3.10	—	—
		3層目	12.0	25.5	4.7	0.11	19.5	180	281	315	15.2	2.22	2.33	2.73	3.21	70.3
		5層目	9.5	2.2	4.2	—	20.0	171	263	—	—	—	2.27	2.63	—	—
	C15	1層目	13.5	23.5	4.1	—	19.0	217	290	—	—	—	2.41	2.98	—	—
		3層目	15.5	2.6	4.2	0.13	18.5	206	303	361	19.0	2.42	2.36	2.89	3.22	59.9
		5層目	13.0	2.4	4.0	—	18.5	207	306	—	—	—	2.55	2.89	—	—
	C18	1層目	17.0	27.5	4.1	—	18.0	188	291	—	—	—	2.31	2.78	—	—
		3層目	16.5	2.8	4.1	0.16	18.0	178	287	325	17.7	2.39	2.35	2.77	3.09	78.3
		5層目	16.5	2.8	4.4	—	18.0	178	259	—	—	—	2.34	2.71	—	—
	C21	1層目	20.0	3.5	4.0	—	18.5	185	293	—	—	—	2.11	2.69	—	—
		3層目	20.5	3.7	4.1	0.16	18.0	189	299	34.6	18.0	23.9	2.19	2.69	2.78	78.7
		5層目	19.5	3.45	4.0	—	19.0	182	279	—	—	—	2.13	2.53	—	—
流動化 コンクリート	F8-21	1層目	19.5	3.55	4.5	—	18.0	182	272	—	—	—	2.38	2.65	—	—
		3層目	21.0	4.05	4.3	0.13	18.0	192	281	348	19.0	23.1	2.37	2.77	3.05	64.8
		5層目	19.0	3.25	4.2	—	18.5	191	295	—	—	—	2.34	2.72	—	—
	F12-21	1層目	21.5	3.95	4.0	—	19.5	198	297	—	—	—	2.85	3.12	—	—
		3層目	19.0	2.8	4.0	0.15	19.5	180	284	354	17.3	24.6	2.52	2.94	3.19	62.3
		5層目	18.5	2.9	3.9	—	18.0	189	283	—	—	—	2.68	3.11	—	—

注) ベーススランブ F8-21: 9.0 cm, F12-21: 10.5 cm, ベース空気量 F8-21: 4.4%, F12-21: 4.2%

各打込み層の中心 20 cm 四方の範囲について測定し、気泡面積を求めた。

4.7 壁体コンクリートの強度試験

材令 28 日および 91 日に、袖壁の高さ方向 4 か所からそれぞれ 3 本ずつ、直径 10 cm のコア供試体を採取し、40 ～ 48 時間水中浸漬後の圧縮強度および静弾性係数の試験を行なった。

4.8 構造体の収縮測定

図-1 に示すように、壁、柱および梁にカールソン型ひずみ計を埋設し、自動記録計で構造体の収縮挙動を測定した。

5. 実験結果

5.1 コンクリートの品質試験結果

まだ固まらないコンクリートおよび硬化したコンクリートの試験結果を表-1 に示す。流動化コンクリートでは、流動化剤の添加によって、ベーススランブ 9.0 および 10.5 cm が 19.5 および 21.5 cm に増大し、流動化後の状態は良好であった。1 層目から 5 層目の試験まで約 45 分経過したが、流動化コンクリートのスランブロス は 0.5 ～ 3 cm で標準コンクリートと同程度であり、既往の多くの実験報告よりかなり小さかった。流動化前後の空気量の変化はほとんどなかった。流動化後のブリージング量はベースより若干増加したが、軟練りの標準コンクリートより小さかった。圧縮強度および割裂引張強度は、流動化コンクリートと標準コンクリートで顕著な差はなかったが、流動化コンクリートの静弾性係数は軟練りの標準コンクリートより大きかった。流動化コンクリートの乾燥収縮率はベースコンクリートと同程度で、軟練りの標準コンクリートより約 20 % 小さかった。

5.2 コンクリート中の振動加速度

パイプレーターから 50 cm 離れたコンクリート中の加速度の経時変化を図-2 に示す。流動化コンクリートの振動加速度は、標準コンクリートの硬練りより大きいが軟練りより小さく、流動化後と同じスランブの標準コンクリートより十分な締固めが必要と考えられる。

5.3 コンクリートの側圧

壁の打込み層ごとの締固め後の側圧を図-3 に示す。打上り速度は 4.5 ± 1 m/h である。流動化コンクリートと標準コンクリートで側圧に顕著な差はなく、流動化することによって側圧が大きく増加することはなかった。最大側圧はすべて液圧以下で $3 \sim 3.5$ t/m² であり、ACI 347-78 の設計値に対して 50 % 以下、建築学会の設計値の約 80 % であった。また、今回の実験結果は、硬練りの標準コンクリートについての最近の文献とよく一致している。なお、柱の側圧も壁の側圧とはほぼ同様の傾向であった。

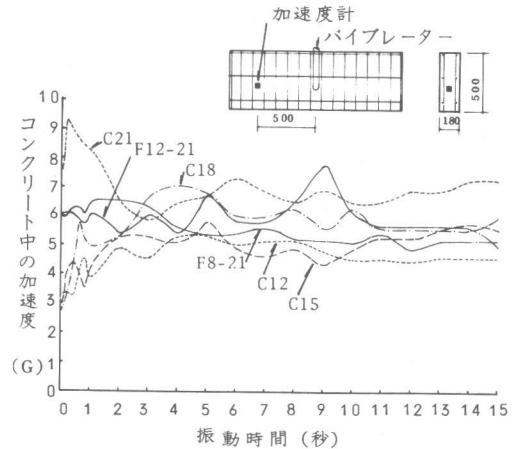


図-2 振動時間とコンクリート中の加速度の関係

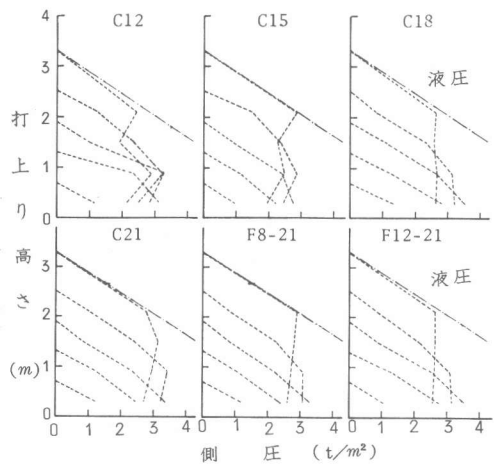


図-3 壁の打込み層ごとの側圧

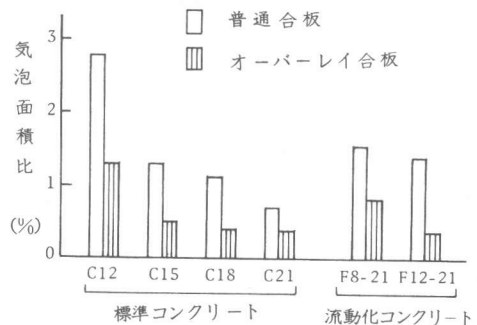


図-4 壁体表面の気泡面積

5.4 壁体表面の気泡

図-4に示すように、流動化コンクリートの気泡面積はベースコンクリートの約半分で、スランブ21 cmの標準コンクリートの約2倍である。標準コンクリートでは、スランブが大きいほど気泡面積は少ない。また、コンクリートの種類・調査に関係なく、オーバーレイ合板をせき板に用いた場合は普通合板の場合より気泡面積は半減する。

5.5 構造体の強度

袖壁から採取したコア供試体による材令91日の圧縮強度を図-5に示す。標準水中養生供試体の材令28日強度に対するコア強度の比率は、流動化コンクリートはベースコンクリートより大きく、軟練りの標準コンクリートと同程度であり、流動化コンクリートを用いた構造体の強度発現は標準コンクリートと同等と考えてよい。高さ方向の強度分布は低い位置ほど強度は高いが、流動化コンクリートと標準コンクリートで分布性状に大きな差は認められない。

5.6 壁体の収縮性状

材令91日における壁体コンクリートの収縮ひずみを供試体の自由収縮ひずみと比較して図-6に示す。壁体の乾燥収縮ひずみは 200×10^{-6} 程度で、コンクリートの種類による大きな差は認められず、鉄筋および梁・柱の拘束によるものと考えられる。しかし、自由収縮ひずみと壁体の収縮ひずみとの差について検討すると、流動化コンクリートの

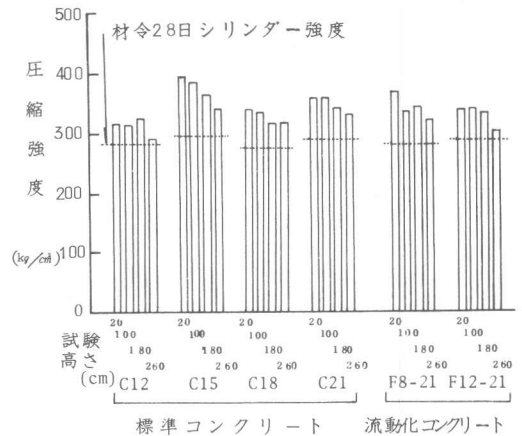


図-5 材令91日の壁体コンクリートのコア圧縮強度

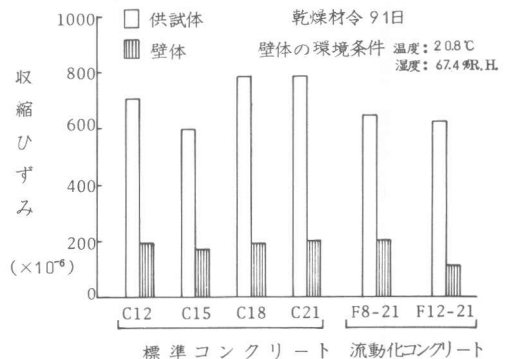


図-6 壁体コンクリートおよび供試体の収縮ひずみ

ひずみの差は、スランブ12 cmおよび15 cmの標準コンクリートの場合とはほぼ同等で、スランブ18および21 cmの標準コンクリートの場合より約20%小さい。従って、壁体内部の拘束による収縮応力は、流動化コンクリートは標準コンクリートの硬練りと同程度で軟練りより小さいと考えられる。なお、壁体および供試体の収縮ひずみについては、現在、測定を継続中であり、長期材令のデータを含めて詳細に解析する予定である。

6. まとめ

普通骨材を用いた流動化コンクリートの工学的性質に関する実験結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 硬練りのレーデミクストコンクリートに流動化剤を添加することにより、ワーカビリティの良好な流動化コンクリートが容易に得られ、流動化後の品質はベースコンクリートとはほぼ同等で、通常の軟練りコンクリートに比べて静弾性係数、乾燥収縮等は優れている。
- (2) 流動化コンクリートの振動に対する応答性は、通常の硬練りコンクリートより優れ、軟練りより劣る。
- (3) 流動化コンクリートの側圧は、今回のような比較的遅い打上り速度において、通常の硬練りおよび軟練りコンクリートと同程度で液圧以下であり、流動化によって側圧が大きく増加することはない。
- (4) 流動化コンクリートの壁体の打上り表面の気泡面積は、ベースコンクリートの約半分、通常の軟練りコンクリートの約2倍である。また、オーバーレイ合板をせき板として用いることにより気泡は半減する。
- (5) 流動化コンクリートの壁体強度は通常のコンクリートとはほぼ同等で、高さ方向の強度分布も同様である。
- (6) 流動化コンクリートの壁体の収縮ひずみは通常のコンクリートと同程度であるが、自由収縮ひずみの大きさから、流動化コンクリートの壁体内部の収縮応力は通常の軟練りコンクリートより小さいと考えられる。

参考文献1) N. J. Gardner and P. T. J. HO "Lateral Pressure of Fresh Concrete"; ACI Journal, July, 1979