

論文

[1018] 薄肉 RC 壁に自由落下で打設できる超流動コンクリートの検討

正会員○竹田宣典（大林組技術研究所）

正会員 近松竜一（大林組技術研究所）

正会員 十河茂幸（大林組技術研究所）

芳賀孝成（大林組技術研究所）

1. はじめに

コンクリート工事の省力化・合理化を目的として、打設時の流動性と分離抵抗性を向上させたコンクリート（以下、超流動コンクリートと呼称）に関する研究開発が盛んになり、実構造物への適用もなされ始めている。高さの高いRC壁にコンクリートを打設する場合、型わくの中に圧送管や縦シュート等を設置したり、型わくに開口部を設ける場合が多い。地下外壁や階高が高い構造物などにおける壁厚が薄く高さの高いRC壁あるいは鉄筋量が多く断面が複雑な構造物にコンクリートを打設する際には、鉄筋間に圧送管、縦シュート、振動機等を設置あるいは挿入できない場合が多く、コンクリートの打込み・締固めに苦慮することが多い。

筆者らは、これらの構造物の施工の合理化を目的として、流動性と分離抵抗性を向上させた超流動コンクリートを高所より自由落下させた場合の流動性・充填性・骨材の分離状態・コンクリートの品質を薄肉のRC壁型モデル（高さ6m）を用いた打設実験によって確認した。本論文は、超流動コンクリートと従来のコンクリートについて比較した結果について述べるものである。

2. 実験概要

実験に用いたコンクリート材料を表-1に示す。

実験内容は次の2つに分けられる。

〔実験Ⅰ〕落下に伴う骨材分離に対する配合の影響

図-1に型わくの形状・寸法および配筋状態を示す。表-2にコンクリート配合およびフレッシュコンクリートの試験結果を示す。超流動コンクリートは、単位粗骨材量を一定とし、流動性と分離抵抗性の向上のために石粉を多量に添加し、高性能AE減水剤の添加量によってフロー値を変化させた。

コンクリートは、ポリカップを用いて5ℓずつ、合計25ℓを

表-1 使用材料

使用材料		物理的性質・主成分
セメント	高炉セメントB種	比重3.04, 比表面積3680cm ² /g
細骨材	木更津産山砂	比重2.60, 吸水率1.91, 粗粒率2.98, 実積率69.3%
粗骨材	青梅産碎石	比重2.64, 最大寸法20mm, 粗粒率6.82, 実積率60.6%
石粉	石灰石粉末(LF)	比重2.71, 比表面積7500cm ² /g
AE減水剤	(AE)	リグニンスルホン酸系
高性能AE減水剤	(SPA)	ナフタリン系
流動化剤	(SP)	メラニンスルホン酸系
増粘剤	(SCA)	セルロースエーテル系水溶性高分子

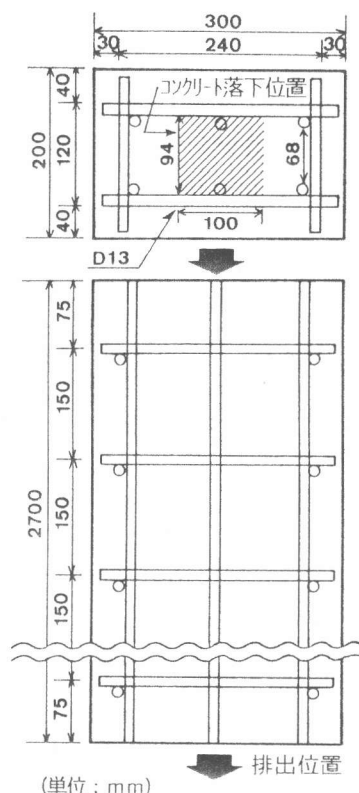


図-1 型わくの形状・寸法・配筋状態（実験Ⅰ）

型わく上部の図-1に示す位置より自由落下させ、鉄筋への付着量、落下前後のコンクリート中の粗骨材量を測定した。コンクリートの流動性は、スランプロー値、フロー値^[1]（容量10ℓ、排出口径75mm）を用いて測定し

た。なお、試験は練上り後15分間静置した後に実施した。

〔実験Ⅱ〕薄肉RC壁型モデルでの落下試験・打設試験

薄肉RC壁型モデルの寸法は、幅1.85m、高さ6.0m、厚さ18cmであり、図-2に配筋状態を示す。表-3にコンクリート配合およびフレッシュコンクリートの試験結果を示す。超流動コンクリートE配合は、鉄筋間隔の狭い部分への充填性を考慮して単位粗骨材容積を300ℓとした。コンクリートの充填性を把握するために、鉄筋メッシュ（開口純間隔50X50mm、開口率69%）を有する流下試験装置（容量30ℓ、断面300X300mm）^[2]により流下時間を測定した。

壁型モデルを用いた落下試験では、コンクリートはフロー値を用いて10ℓずつ合計30ℓを型わくの上より自由落下させ、落下後のコンクリートを採取し、骨材の分離状態等を調べた。次に、超流動コンクリートE配合と流動化コンクリートの打設実験を行った。コンクリートは打設位置まで圧送し、ホッパ（排出口の幅300mm）の開閉を調節し、約1m³/hrの速度で、約300ℓづつ断続的に型わくの上

表-2 配合・フレッシュコンクリートの試験結果（実験Ⅰ）

配合 番号	〔実験Ⅰ〕 呼 称	W/P* (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						フレッシュコンクリート 試験結果			
				W	C	LF	S	G	混 和 剤	スランプ (cm)	フロー値 (cm)	air (%)	フロー値 (sec)
I①	硬練コンクリート	49	46	170	350	—	807	962	AE) 0.88	7.5	—	3.0	閉 塞
I②	軟練コンクリート	53	47	185	350	—	807	924	AE) 0.88	19.0	—	3.4	閉 塞
I③	超流動 コンクリート	A	32	48	160	300	200	783	861 SPA) 7.50	24.0	45×41	3.9	19.7
I④		B	32	48	160	300	200	783	861 SPA) 8.50	26.0	60×58	3.9	12.4
I⑤		C	32	48	160	300	200	783	861 SPA) 9.00	26.5	68×68	4.4	13.0
I⑥	水中不分離性コンクリート	55	42	220	400	—	664	932	SCA) 2.30	24.5	45×44	3.0	310

*) P = (C + LF) 重量

表-3 配合・フレッシュコンクリートの試験結果（実験Ⅱ）

配合 番号	〔実験Ⅱ〕 呼 称	W/P* (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						フレッシュコンクリート 試験結果				
				W	C	LF	S	G	混 和 剤	スランプ (cm)	フロー値 (cm)	フロー値 (sec)	鉄 筋 メッシュ (sec)	air (%)
II①	軟練コンクリート	53	47	185	350	—	824	945	AE) 0.88	19.5	—	閉 塞	閉 塞	3.0
II②	流動化 コンクリート	49	48	170	350	—	842	926	AE) 0.88 SP) 5.60	22.0	43×43	5.1	閉 塞	4.3
II③	超流動 コンクリート	32	48	160	300	200	780	861	SPA) 9.00	26.5	59×55	14.9	閉 塞	4.6
II④	コンクリート		52			200	848	795	SPA) 10.5	26.5	64×66	15.0	55.0	4.9

*) P = (C + LF) 重量

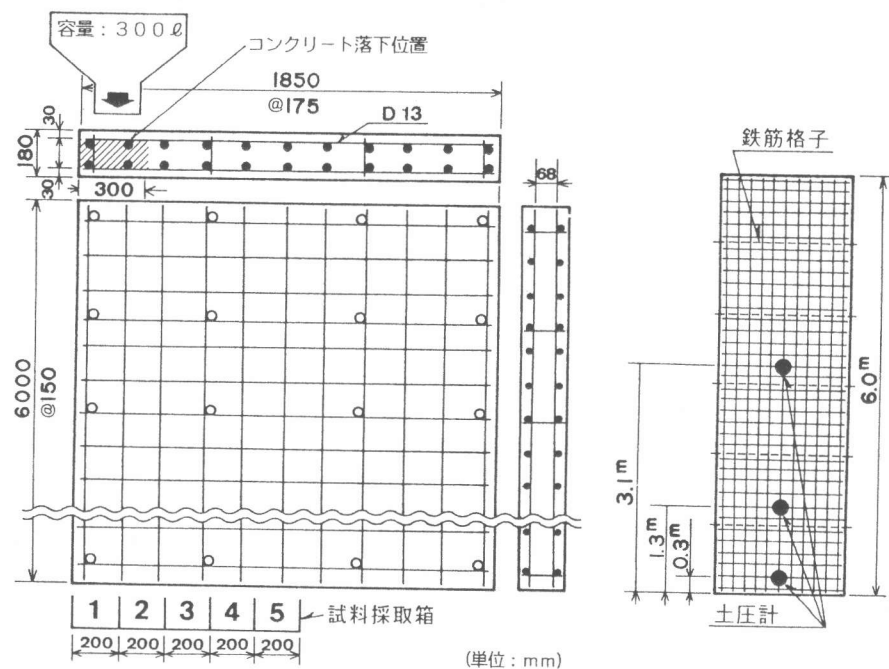


図-2 薄肉RC壁モデルの配筋状態

より自由落下させ、高さ6mまで打設した。超流動コンクリートは全く締固めを行わず、流動化コンクリートは打設途中より型わく振動機（振動数約10000 rpm）によって締固めを行った。

表-4に測定項目および測定方法を示す。打設したコンクリートは、材令7日で脱型し、材令14日まで湿布養生した後コア供試体采取了。

3. 実験結果および考察

3.1 落下によるコンクリートの分離

図-3に落下させたコンクリートの鉄筋への付着率（重量比）を示す。

超流動コンクリートは、フロー値にかかわらず硬練り・軟練りコンクリート，水中不分離性コンクリート，流動化コンクリートに比べて、鉄筋にコンクリートが付着する量は少なく、落下させた重量の2～4%程度であった。また、いずれの配合も、鉄筋へのコンクリートの付着が少ない初期ほどコンクリートの付着率が高い傾向がある。

落下前後のコンクリート中の粗骨材の比率を図-4（実験Ⅰ），図-5（実験Ⅱ）に示す。落下後の超流動コンクリート，水中不分離性コンクリートの粗骨材の比率の増加は、鉄筋にモルタルが多く付着していることを示している。また、硬練り・軟練りコンクリートでは、鉄筋へのコンクリートの付着率は高く、モルタルの付着と同時に粗骨材の付着も多くなる傾向が見られた。

モルタルの粘性が小さい場合、鉄筋への粗骨材の付着が多く、モルタルの粘性が大きい場合、モ

表-4 測定項目・測定方法

実験方法	測定項目	測定方法
①コンクリートの落下試験 (実験回数=3回)	フレッシュコンクリート試験	スランパロ-、空気量、フロー、鉄筋メッシュ流下試験
	コンクリートの散らばり状況	型わく下部に設置した箱（水平距離20, 40, 60, 80, 100cm）に落下したコンクリート重量
	コンクリート中の粗骨材比率	落下前後のコンクリートの洗い分析試験
	鉄筋へのコンクリート付着率	付着率(%) = (A - B) / A × 100 A = 落下したコンクリート重量 B = 鉄筋を通過して落下したコンクリート重量 落下の前後においてA, Bを測定
②コンクリートの打設試験	打設時	流動状況
	打設時	コンクリートの側圧
	硬化時	標準養生供試体：材令28日で試験
		コア供試体：高さ0.1, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 5.7m位置で採取 試験材令：28日
		表面状態
		コンクリート中の粗骨材量
	硬化時	水密性
		コンクリート中の気泡

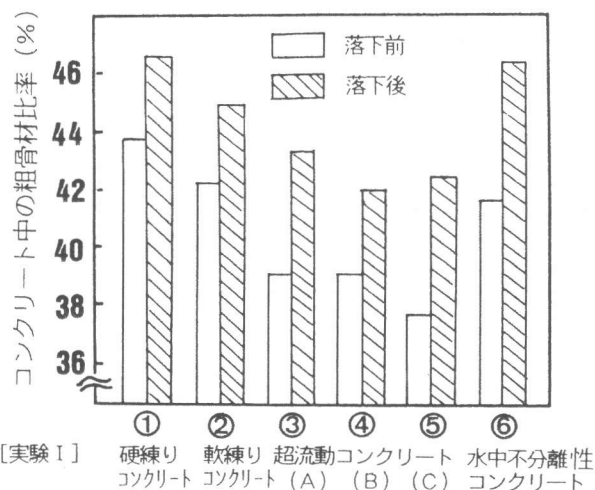


図-4 落下前後のコンクリートの粗骨材比率（実験Ⅰ）

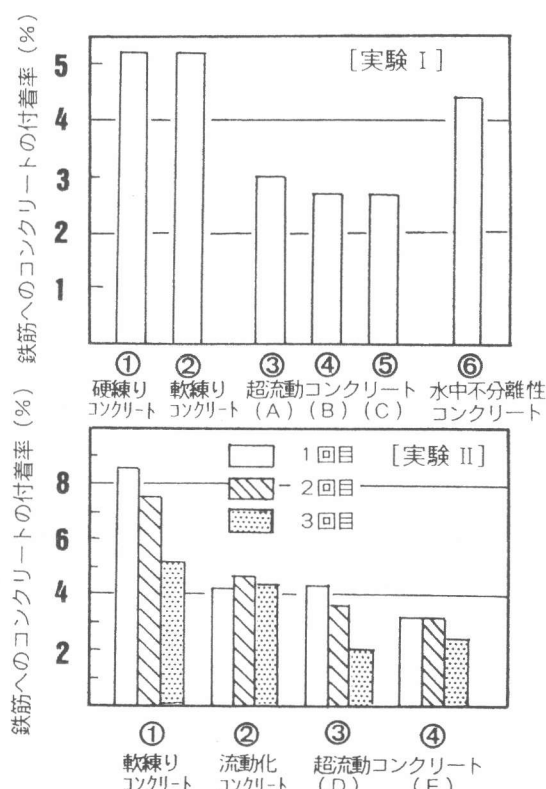


図-5 鉄筋へのコンクリートの付着率

ルタルの付着が多いと考えられる。落下した超流動コンクリートの打設位置の粗骨材の比率は、軟練りコンクリートと大差ないが、50cm以上水平方向に飛散した超流動コンクリートの粗骨材の比率は、軟練りコンクリートに比べて小さく、粗骨材にモルタルが多く付着したまま飛散している。

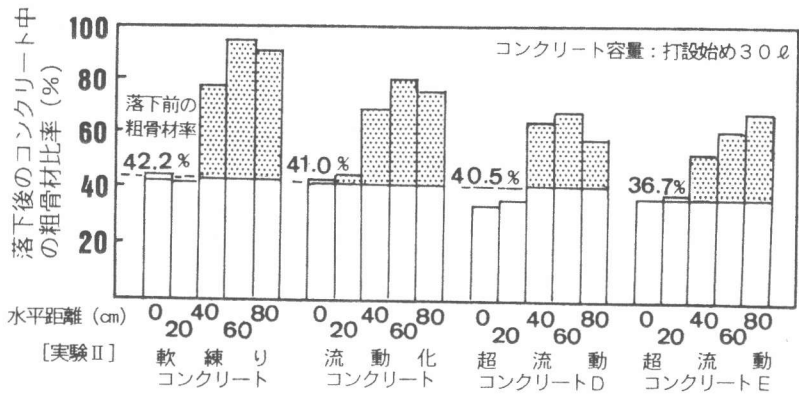


図-5 落下後のコンクリートの粗骨材比率 (実験Ⅱ)

これは、超流動コンクリートのモルタルの粘性が高いことに起因していると考えられる。

図-6にコンクリートの飛散による分離状態を示す。落下位置からの水平距離と全試料重量に対する落下したコンクリート重量比率は、超流動コンクリート・流動化コンクリート・軟練りコンクリートの順に、すなわち単位モルタル量が多いほど、単位粗骨材容積が少ないほど、水平方向のコンクリートの飛散が少ない。配合設計を行う上で、細骨材率を調整し、単位モルタル量を増加し単位粗骨材量を少なくすることによって、落下による粗骨材の分離を少なくすることが可能であると考えられる。

3.2 コンクリートの流動状態

図-7にコンクリートの打設時の流動状態を示す。流動化コンクリートを自由落下させ振動機を使用せずに打設した場合は、流動勾配は45°~70°であり、外部振動機により締固めを行いながら打設した場合は、30°~50°となる。前者は最下部あるいは流動線にそってジャンカが発生し、

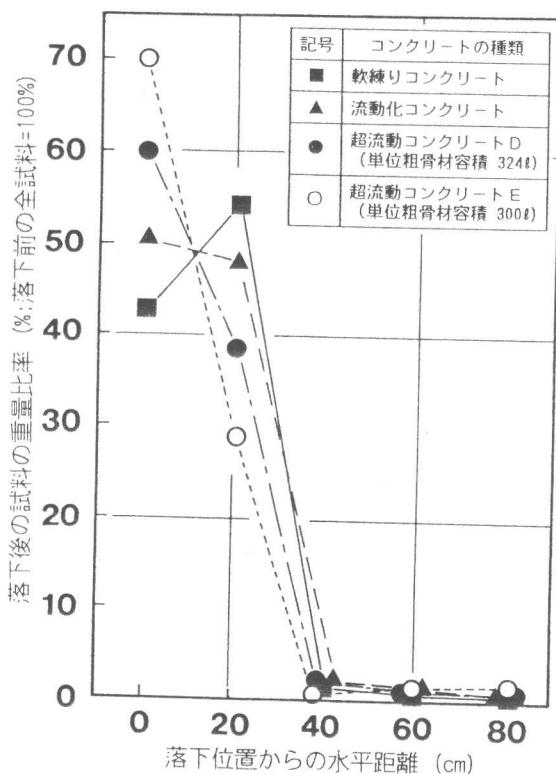


図-6 コンクリートの飛散分離状態

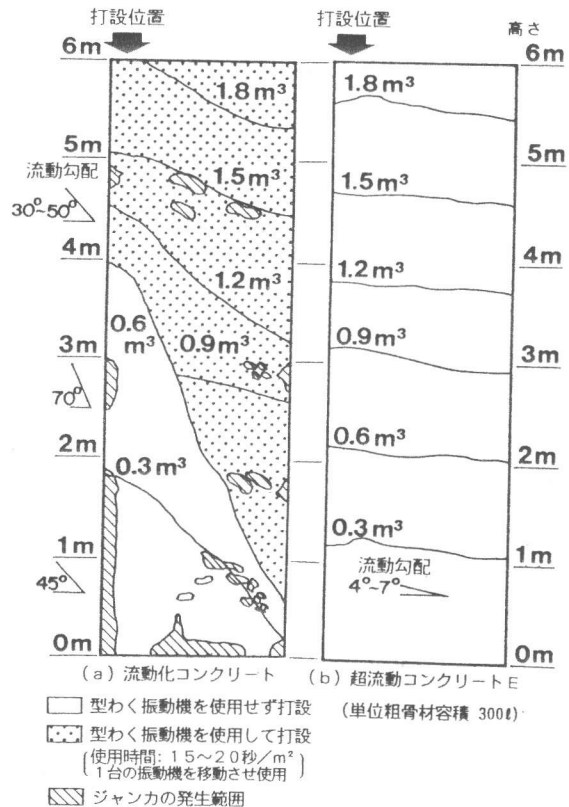


図-7 打設時の流動状況

後者にも、部分的にジャンカが発生した。超流動コンクリートの流動勾配は、振動機を用いなくても4~7°であり、自然流動させることにより型わくの端部まで充填することができた。また、ジャンカの発生はいずれの部分にも認められなかった。

3.3 コンクリートの側圧分布

図-8にコンクリートの側圧分布を示す。超流動コンクリートの側圧は、液圧状態を示し、深さ約6.0 mの位置においては液圧の約75%が作用しており、型枠・支保工を設計する場合、注意が必要である。完全に液圧として作用しない理由は、型枠面の摩擦、鉄筋による自重の分配、骨材のアーチング作用等の要因が挙げられる。

3.4 粗骨材の沈降状態

図-9に壁型モデルの断面におけるコンクリート中の粗骨材の面積率を示す。流動化コンクリートの骨材面積率は下部ほど高く、骨材が沈降する傾向にあるが、超流動コンクリートでは、骨材の沈降の傾向はみられなかった。以上のことより、超流動コンクリートを6 mの高さより落下させても骨材の分離は少ないことが確認された。

3.5 硬化コンクリートの品質

図-10にコア供試体の圧縮強度の分布を示す。

超流動コンクリートは、下部ほど高い圧縮強度を

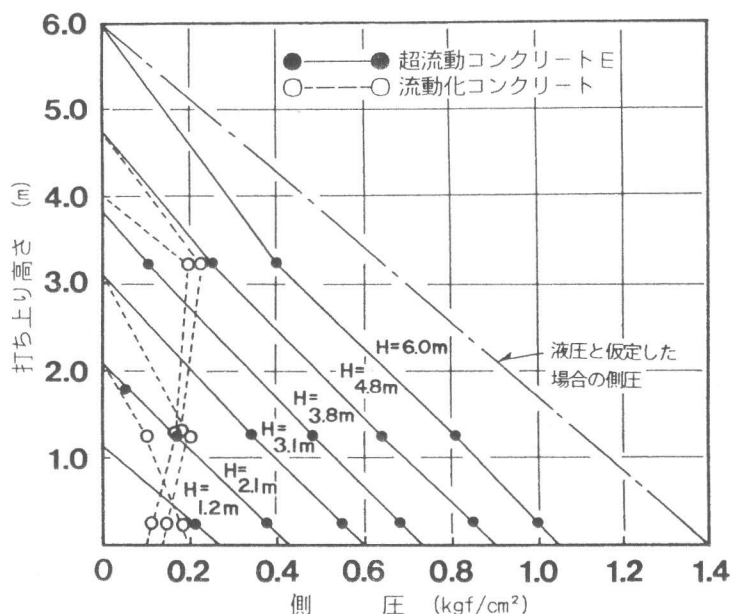


図-8 コンクリート打設時の側圧分布

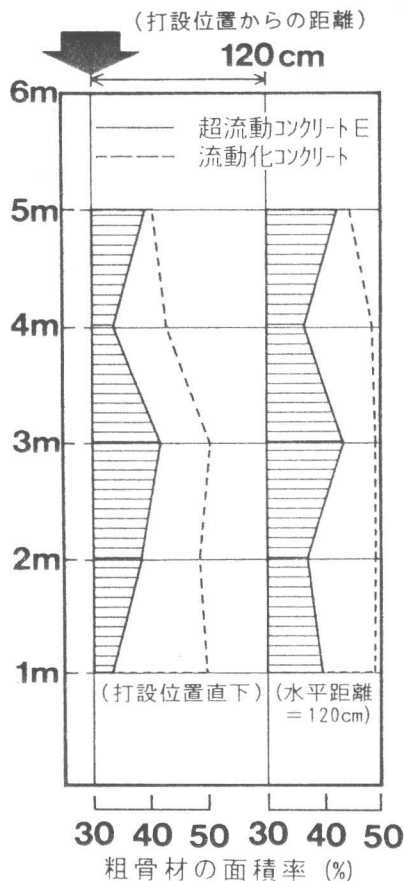


図-9 粗骨材の面積率

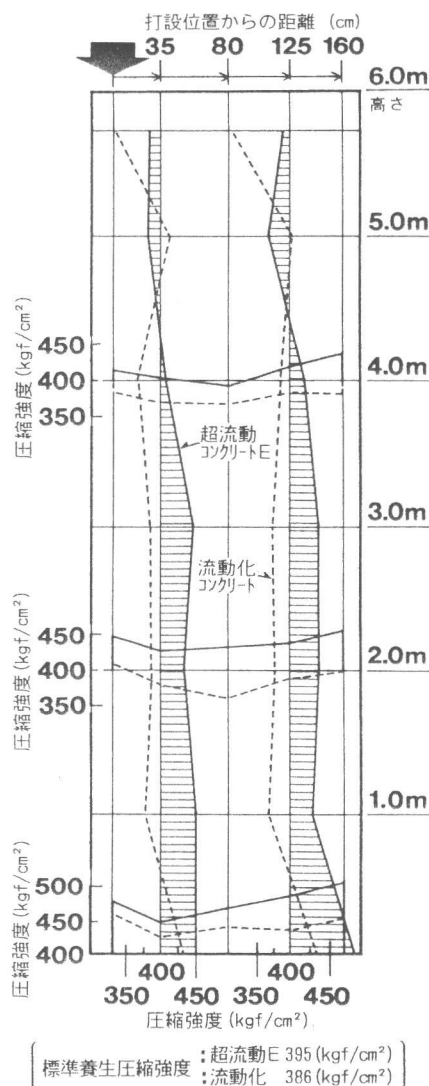


図-10 圧縮強度の分布

示し、深さ2 mまでは標準養生供試体と同程度、2 m以上の深さでは、標準養生供試体を上回る値となった。超流動コンクリートは、側圧が高くなるため、自重による締固め効果も強度増加の要因となったものと考えられる。なお、水平方向にはいずれの高さにおいても、均一な圧縮強度であった。

表-5にコア供試体の透水試験の結果を示す。

超流動コンクリートの拡散係数は、高さ方向で大差はなく、十分な水密性を示すものであることから、コンクリートの十分な充填性を示す指標になるものと考ええる。

表-6にコア供試体の気泡分布の測定結果を示す。

下部の高さ0.3 m(深さ5.7 m)の位置の気泡数は上部より少なくなるが、気泡間隔係数は、通常のAE減水剤を用いたものと同等の範囲内にある。このことより、超流動コンクリートの側圧の増大による、凍結融解抵抗性に関与する気泡の分布への影響は少ないものと考えられる。

4. 結論

本研究によって、明らかになった事項を以下に示す。

- (1) 超流動コンクリートを高所より落下させた場合、鉄筋へのコンクリートの付着量は、通常の軟練りコンクリートと比較して少なく、また水平方向の粗骨材の飛散も少ない。
- (2) 超流動コンクリートは、飛散分離した粗骨材に付着するモルタルの量が多い。これは、軟練りコンクリートに比べて超流動コンクリートのモルタルの粘性が高いためと考えられる。
- (3) 鉄筋へのモルタルの付着による配合の変化に対しては、あらかじめ細骨材率を若干増加させ、単位粗骨材量を減少させることにより対処できると考えられる。
- (4) 自由落下させて打設する場合の超流動コンクリートの流動勾配は4~7°であり、薄いRC壁に自然流動による充てんが可能である。また、硬化後のコンクリートの品質からも、十分な充てん性が確認できた。

以上のことより、適切な材料を使用し、配合を調整した超流動コンクリートを用いることにより、6 mの高さより自由落下させコンクリートを打設し、締固めを行わず充填させることが可能であることが確認された。なお、実施工に際しては、さらなる検討が必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 近松竜一・竹田宣典・平田隆祥・十河茂幸：コンクリートの流下速度試験による打込みやすさの一評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13-1，pp.887~892.1991
- 2) 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，Vol.11-1，pp.699~704.1989

表-5

コア供試体の透水試験結果

高さ (m)	拡散係数 ($\times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{sec}$)	
	超流動 コンクリートE	流動化 コンクリート
5.1	0.42	1.08
4.1	0.97	9.50
3.1	0.35	0.73
2.1	0.86	1.42
1.1	0.78	5.49
0.1	2.56	3.64

表-6 コア供試体の気泡測定結果

高さ (m)	超流動コンクリートE			流動化コンクリート		
	気泡数 (個)	空気量 (%)	間隔係数 (μm)	気泡数 (個)	空気量 (%)	間隔係数 (μm)
4.7	4870	3.9	207	3310	2.8	259
2.7	3220	2.1	246	4460	3.0	224
0.3	2980	2.3	257	1740	1.8	347