

論文

[1153] 超流動コンクリートの実構造物への適用に関する研究

正会員 ○坂本 淳 (大成建設技術研究所)

正会員 松岡 康訓 (大成建設技術研究所)

正会員 新藤 竹文 (大成建設技術研究所)

正会員 S. Tangtermsirikul (同上)

1. はじめに

近年、コンクリート工事の省力化とコンクリートの高性能化を目的としたコンクリート材料の研究・開発がさかに行われるようになってきている。このようなコンクリートの基本的な概念は岡村[1]により提唱され、著者らもそれを基に研究を進め、既に上記の性能をほぼ満足するコンクリート材料の開発に成功している[2,3]。

本研究は、現状のコンクリート製造システムにより製造された、この締固めを必要としないコンクリート(以下、超流動コンクリートと称す)を大型壁状試験体および実構造物へ適用した打設実験において得られた知見をまとめたものである。

2. 大型壁状試験体の打設実験

2.1 実験概要

1) 試験体

本実験で対象とした部材は、高さ4m×幅3mの壁状部材である。表-1に示すように、壁厚・配筋条件を変えることにより打設条件が各試験体で異なるように設定した。

2) 超流動コンクリートの使用材料および配合

本実験に用いた超流動コンクリートの配合、および使用材料をそれぞれ表-2、3に示す。なお、ここで使用する分離低減剤は多糖類ポリマーの一種であり、これを添加してもコンクリートの性能(強度、耐久性等)に影響を与えないことは確認されている[3]。

3) コンクリート製造・運搬方法および打設方法

コンクリートの製造は、一般のレディーミクストコンクリート工場において2軸式強制練りミキサを使用して行った。コンクリートの運搬にはトラックミキサ車を使用して行い、工場から打設現場までの運搬時間は約20分であった。コンクリートの打設はブーム付きコンクリートポンプ車(IPF-110B)を使用して、管を試験体中央に設置し、打込み高さを1.5m(A-1試験体の場合は4m)、

表-1 大型壁状試験体の形状および配筋

試験体No.	寸法(mm)			ダブル配筋(mm)	
	高さ	幅	厚さ	縦	横
A-1	4000	3000	200	D13@200	D13@200
A-2			400	D16@150	D16@150
A-3			400	D16@100	D16@100
A-4			600	D22@200	D22@200

打上り速度を14m/hrとして連続的に行った。

4) 実験項目

本実験では、コンクリートの側圧、高さ方向の圧縮強度の分布、および高さ方向の水平鉄筋付着強度の分布を測定した。側圧の測定には土圧計を使用し、コンクリート打設開始から連続して、側圧が作用しなくなるまで行った。また、各試験体から材令28日の時点に高さ方向60~80cm間隔で、コア($\phi 10\text{cm} \times \text{壁厚}$)を採取し、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の試験体に成形後、圧縮強度試験を行った。水平鉄筋付着強度試験も同材令で、コア採取高さとはほぼ同じ高さで、壁面へ垂直に設置されたD19異形棒鋼(SD35)の引き抜きにより鉄筋付着強度を測定した。

2.2 実験結果および考察

1) コンクリート充填性

本実験で打設した超流動コンクリートのスランプフローは約68cm、空気量は約3.3%であった(それぞれ、全車の平均値)。コンクリートの充填はどの試験体についても良好であり、特に打込み高さを4mとしたA-1試験体の場合もジャンカ等の材料が分離した形跡はみられず、十分な材料分離抵抗性により落下したコンクリートはその後とも一体となって型枠の隅々まで流動したことが確認された(写真-1参照)。

2) コンクリート側圧

図-1は打設終了直後における高さ方向のコンクリート側圧分布を示すが、側圧はほぼ液圧(単位容積重量 $2.4\text{ton/m}^3 \times \text{打込み高さ}$)で作用していることがわかる。2~3時間後には側圧はほぼ半分に減少したが、超流動コンクリートを打設する場合には液圧として算定した側圧の値を用いてセパレータ等の型枠部材の設計をする必要があるものと考えられる。

表-2 超流動コンクリートの配合

G _{max} (mm)	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	P	S	G	混和剤		分離 低減剤
							AE 減水剤	高性能 減水剤	
20	36	46	180	500	724	882	0.9	8.4	1.5

表-3 使用材料

結合材 (P)	低発熱高強度 セメントB種 (フライアッシュ 20%混入)	比重 = 2.78 比表面積 = 3,640cm ² /g
細骨材 (S)	相模川産・君津産 混合砂	比重 = 2.60 粗粒率 = 2.77
粗骨材 (G)	八戸産砕石	比重 = 2.70 粗粒率 = 6.58

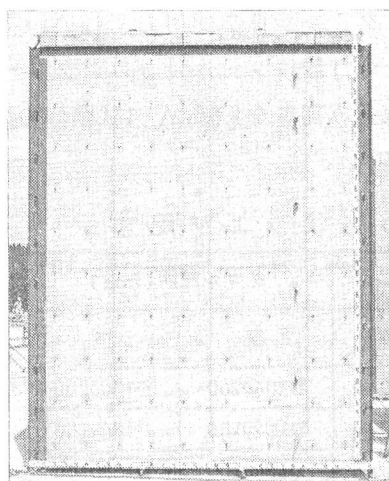


写真-1 コンクリート充填状況 (A-1試験体)

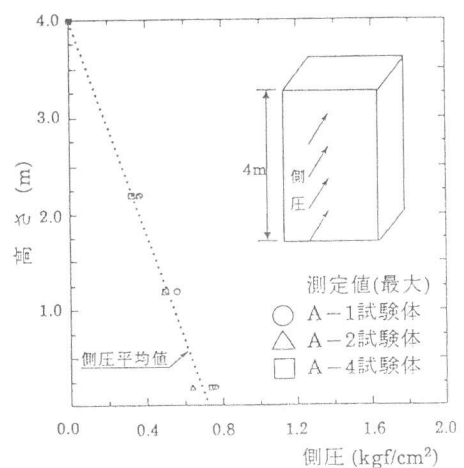


図-1 高さ方向側圧分布

3) 高さ方向強度分布および付着強度分布

図-2は、材令28日の時点で各試験体から採取したコアの圧縮強度試験結果を高さ方向に示したものであるが、平均圧縮強度は 464kgf/cm^2 、その標準偏差は 19kgf/cm^2 であることから、上下方向の材料分離による強度の差はほとんどなく、均等質な試験体が得られていることが確認された。また、コアの強度は打設現場において採取し、標準養生した供試体($\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$)の圧縮強度(平均値: 458kgf/cm^2 、標準偏差: 13kgf/cm^2)とほぼ等しい値であることから、均等質であるばかりか、コンクリート打設後の強度発現性にも問題のないことがわかる。

図-3は、材令28日の時点で各試験体においてコア採取高さとはほぼ同じ高さで測定した水平鉄筋の付着強度のうち、自由端すべり量が 0.25mm 時の値を高さ方向に示したものである。平均付着強度はコア圧縮強度の約40%にあたる 192kgf/cm^2 、その標準偏差は 9kgf/cm^2 であることから、上下方向に均等質、かつ十分な鉄筋との付着力が得られていることがわかる。

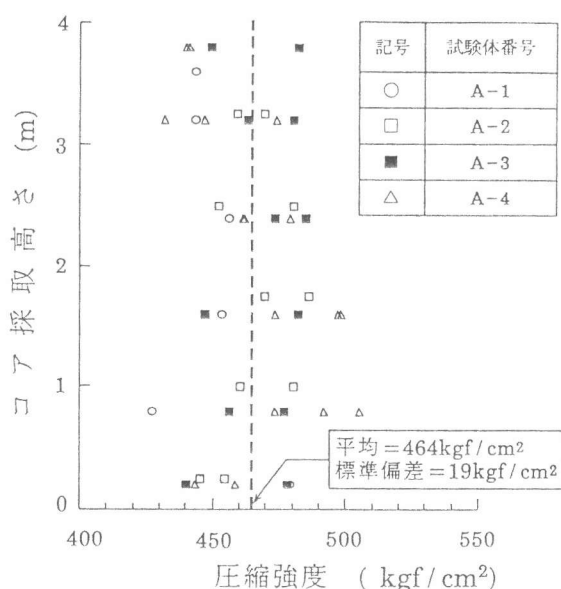


図-2 高さ方向強度分布

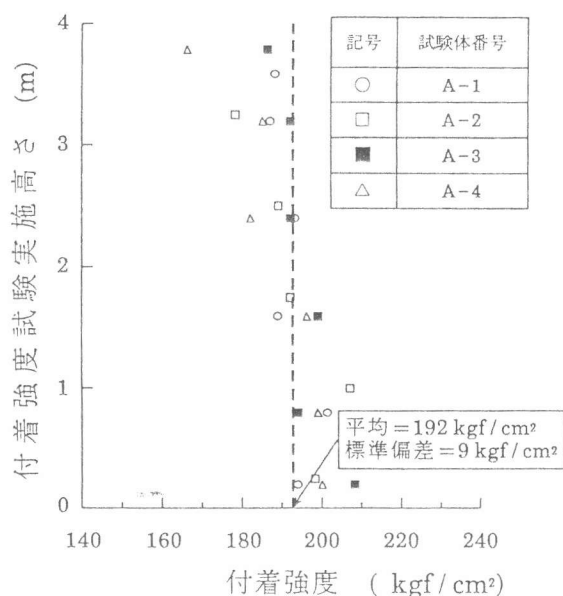


図-3 高さ方向付着強度分布
(自由端すべり量 0.25mm)

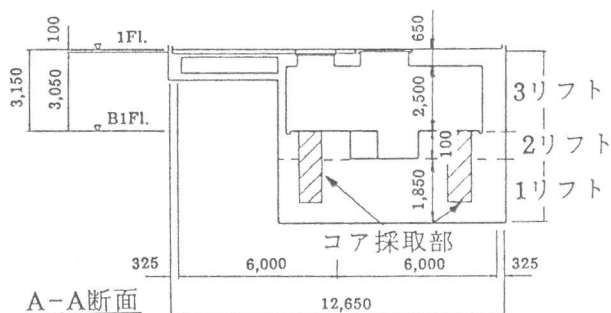
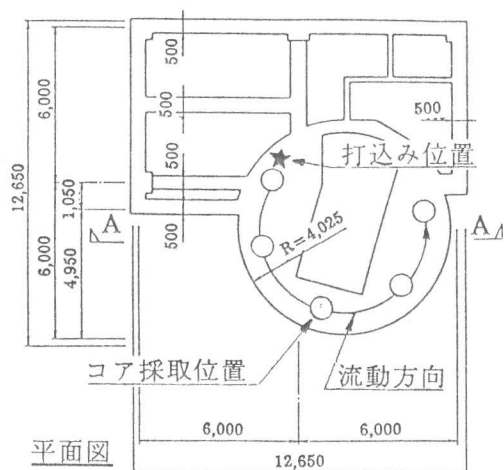


図-4 構造物の形状およびコア採取位置

3. 実構造物への打設実験

3.1 実験概要

1) 実験対象構造物

本実験で対象とした構造物は、図-4に示すような建屋の基礎、および地下1階部分である。コンクリート総打設量は約300m³で、3回に分けて打設を行った。

2) コンクリート製造・運搬方法

本実験で使用した超流動コンクリートは大型壁状試験体の打設実験時と同様の材料・配合を用いて製造し(表-2、3参照)、コンクリートの運搬もトラックミキサ車を使用して行った。

3) 実験項目

本実験では、以下の項目について調査した。

- フレッシュコンクリートの運搬に伴う品質の変化
- コンクリートポンプ圧送性の評価
- コンクリート硬化時温度の測定
- コンクリートの側圧
- 硬化コンクリートの品質

3.2 実験結果および考察

1) 運搬による品質の変化

図-5は、プラント出荷時および現場到着時におけるスランプフローの測定結果である。プラント出荷時の平均スランプフロー値は66.5cm(標準偏差2.5cm)、現場到着時は66.1cm(標準偏差4.3cm)であった。プラント出荷時のスランプフロー値の変動も小さく、安定したコンクリートの製造を行うことができ、また、運搬時間が短かった(運搬時間約20分)こともあるが、スランプフローの低下はほとんどみられなかった。

図-6は、プラント出荷時および現場到着時における空気量の測定結果である。プラント出荷時の平均空気量は3.8%(標準偏差0.5%)、現場到着時は2.1%(標準偏差0.4%)であった。現場到着時の空気量は目標値

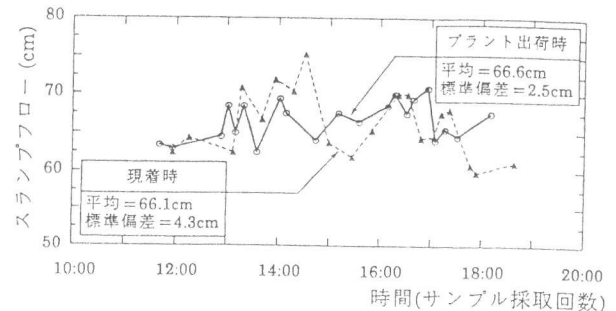


図-5 スランプフロー測定結果

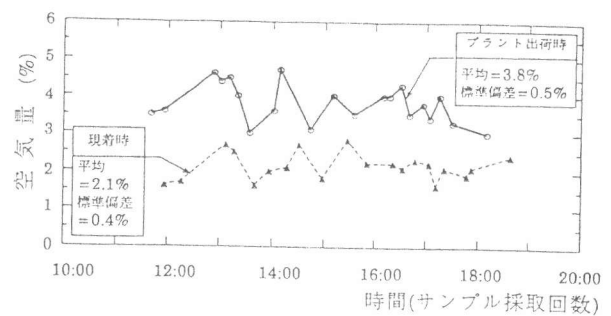


図-6 空気量測定結果

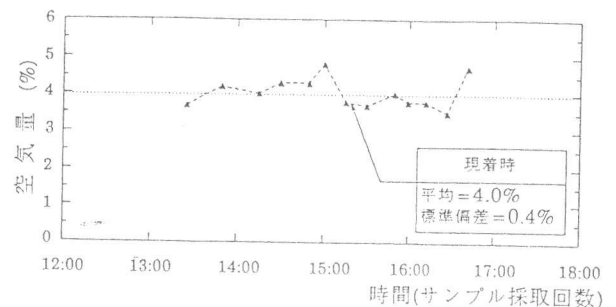


図-7 空気量測定結果(調整した場合)

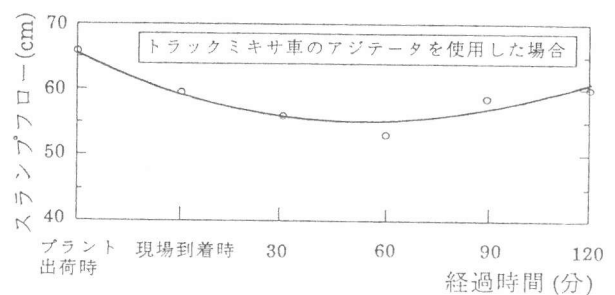


図-8 スランプフローの経時変化

4±1%より小さい値であるが、コンクリート製造時にAE剤の添加量を増すことにより、空気量の調節を行った場合には所定範囲内に納めることができた(図-7参照)。

今回の実験ではプラントが遠く、運搬時間が長時間となる場合を想定して、トラックミキサ車内でコンクリートをアジテートしながら、スランプフローの経時変化も測定した。測定結果は図-8に示すように、現場到着時と2時間経過時のスランプフローは、ほとんど同じ値となっている。したがって、トラックアジテータを使用すれば、スランプフローの経時変化は2時間程度ならばほとんど無いものと思われる。

また、スランプフローの大幅なロスが生じた場合を想定して、高性能減水剤の現場添加による流動性能の復元性について検討を行った。図-9は現場到着時のスランプフロー値が50cm程度と小さい場合(図中の配車番号3、4)に、高性能減水剤を後添加してコンクリートの流動化を行った結果である。同図から分かるように、スランプフローの大幅なロスが生じてても、高性能減水剤を現場で後添加することにより、流動化は可能であることが確認された。

2) ポンプ圧送性

本実験のコンクリート打設ではブーム付きコンクリートポンプ車(IPF-110B)を使用した。図-10に示すように、超流動コンクリートのポンプ圧送性はスランプ15cm以上のコンクリート[4]とほぼ同等であり、ポンプ圧送性に優れていることがわかる。

3) コンクリート硬化時の温度

施工時に採取したコンクリートについて断熱温度上昇試験を行った結果、断熱温度上昇量は約45℃と、単位結合材量500kg/m³のコンクリートとしては低発熱であった。これは、普通ポルトランドセメント、高炉スラグ、およびフライアッシュを適当に

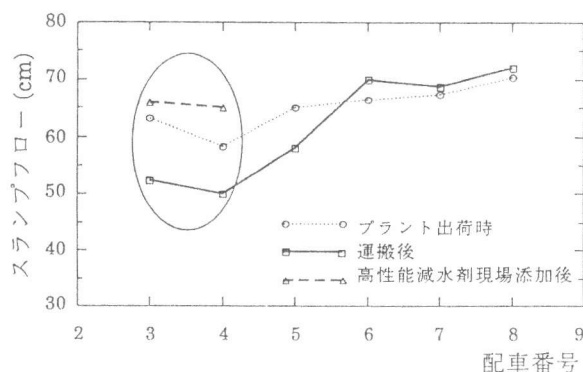


図-9 現場添加による流動性の回復

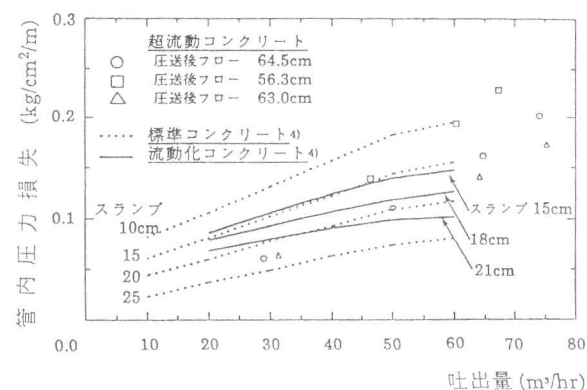


図-10 吐出量と管内圧力損失の関係

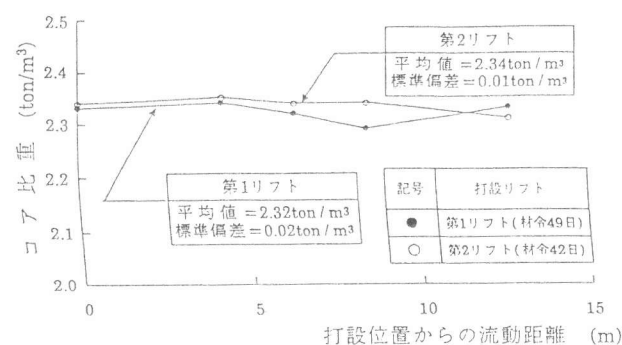
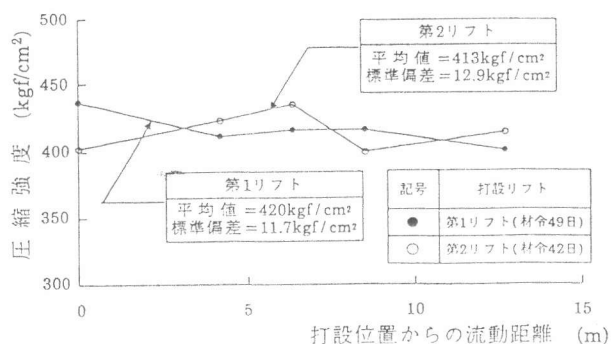


図-11 長距離流動時のコンクリート品質

混合した結合材を用いているためである。

4) 長距離流動時の品質変化

建屋の基礎打設時には図-4に示すように、コンクリート打設位置を一ヶ所に固定して締固めをせずに打設を行い、同図に示す位置からコア($\phi 10 \times$ 約2m)を採取し、その圧縮強度、および単位容積重量を測定して、コンクリートの流動に伴う硬化後の品質の変化を調べた。図-11に示すようにコアの強度、および単位容積重量は打設位置からの流動距離の長短にかかわらず、ほぼ一定であることから、構造物全体に亘って均等質なコンクリートが施工されたことが確認された。

4. まとめ

本研究では、現状のコンクリート製造システムにより製造された、締固めを必要としない超流動コンクリートを大型試験体、および実構造物へ適用し、その際に行った各種試験から本コンクリートの実構造物への適用性について検討を行った。その結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 一般のレディーミクストコンクリート工場においても、十分な品質管理を行うことにより、安定した品質の超流動コンクリートを確保することは可能である。

(2) 超流動コンクリートは、トラックアジテータを使用すればスランプフローの経時変化は2時間程度ならばロスは小さく、十分な流動性を保持できる。流動性の低下が大きい場合には、高性能減水剤を現場で後添加することにより、流動化が可能である。

(3) 超流動コンクリートの打設に際し、締固めをせずに一ヶ所から流動させても構造物全体に亘って均等質、かつ密実なコンクリートが得られる。また、硬化後のコンクリートは材令28日で約400kgf/cm²と高強度であり、鉄筋との付着強度も十分に高い。

(4) コンクリート側圧はほぼ液圧(2.4ton/m³×打込み高さ)で作用するので、型枠部材の設計時には液圧として算定した側圧の値を用いる必要がある。

以上の結果から、本実験で使用した超流動コンクリートを用いることにより、打設時に締固めをしなくても構造物全体に亘り、均等質、かつ高品質なコンクリート構造物の構築が可能であることが確認された。

[謝辞]

本研究を実施するにあたり、神奈川アサノコンクリート(株)の皆様に多大なご協力を頂いたことを、ここに記して深謝の意を表します。

[参考文献]

1) 岡村 甫:信頼されるコンクリートへの道、コンクリート工学、vol.26、No.1、pp.9-11、1988.1

2) 新藤 竹文ほか:締固め不要コンクリートのフレッシュな状態における性状、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、pp.228-229、1990.9

3) 坂本 淳ほか:締固め不要コンクリートの硬化後の品質、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、pp.230-231、1990.9

4) 日本建築学会:流動化コンクリート指針案・同解説、1983