

[37] 流動化コンクリートによる施工性の改善について

正会員 〇田 沢 栄 一 (広島大学工学部)
 正会員 米 倉 垂州夫 (広島大学工学部)
 正会員 石 橋 忠 良 (国鉄構造物設計事務所)
 大 野 俊 洋 (国鉄下関工務局)

1. まえがき

流動化コンクリートは従来のコンクリートに比べて品質の向上や施工性の改善が期待できるので、近年その利用が急速に拡大しつつある。しかし、実際の土木構造物を対象に流動化コンクリートの施工性や品質について、現場実測した報告は、まだ数多くないと思われる。特に、海砂を用いた流動化コンクリートについては少ない。

本報告は、国鉄三原工事区で施工中の高架橋において、海砂を用いた流動化コンクリートをポンプによって打設した実験に基づくものである。この種のコンクリートの品質、施工速度、ポンプ圧送性、締固め性、等を普通コンクリートの場合と比較検討し、流動化コンクリートの施工上の問題点を明らかにし、施工性の改善を目的としたその利用方法について検討を加えたものである。

2. 実験の概要

本実験は、山陽本線三原駅付近高架化工事における東部および西部の高架橋の2ヶ所で実施された。構造物の1例を図-1に示す。構造形式は、2線2柱式の3径間連続のラーメン構造であり、1ラーメン当りのコンクリートの打設量は、東部高架(1層式)：基礎83㎡、柱54㎡、スラブ126㎡、合計263㎡、西部高架(2層式)：基礎83㎡、柱122㎡、スラブ122㎡、合計327㎡となっている。

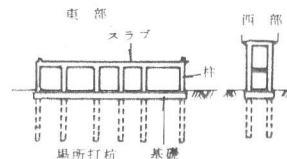


図1 構造物の横断面図

試験対象ブロックは東部6ヶ所、西部5ヶ所で、この内、普通コンクリートの場合が重点測定ブロックとして1ヶ所ずつ含まれている。試験項目は表-1に示すように、コンクリートの品質試験、ポンプ圧送性試験、締固めに要する電力量の測定などである。スランブ試験は、ベースコンクリートの場合、生コン車数台おきに行ない、流動化および普通コンクリートの場合は、ポンプ車に排出する際に全生コン車について行なった。電力量およびポンプ圧送性の測定は全生コン車について行ない、各生コン車ごとに、実圧送時間も秒単位で計り、その時々1回の圧送に要したピストン回数および圧送圧力を毎回測定した。強度試験用供試体の採取、ブリージング、空気量、水セメント比の測定は、各構造部材ごとに2~3回行なった。生コン車は工場出発後、約20分で現場に到着し、流動化コンクリートの場合、ただちに流動化剤をバケツ(西部)又はタイマー、流量計(東部)を用いて添加し、生コン車を2分間高速回転(1部のものは高速1分、中速1分)させて流動化し、5~20分後にポンプ車にコンクリートを圧送に応じて少しずつ排出した。

表1 試験項目

コンクリート 種別 試験目	重点測定	
	普通コン クリート	流動化コンクリート ベース 流動化度
スランブ	○	○
空気量	○	○
圧縮強度	○	○
弾性係数	○	○
引張強度	○	○
比重計法	—	○
逆滴定法	—	○
ブリージング	—	○
圧送記録	○	○
電力量の測定	○	○

2.2. 使用材料

使用材料は表-2に示すように、各々の工区で2,3異っている。両工区とも海砂を用いたが、その粒度曲線を図-2に示す。粒度は土木学会

表2 使用材料

工区	セメント	細骨材	粗骨材	普通コンクリートおよび ベースコンクリート用添加剤	流動化剤	水
東部	普通ポルトランドセメント(〇社)	広島県瀬田町・海砂	三原市西野町・砕石	リゲニススルフェン酸塩系減水剤	ナフタリンスルフェン酸塩系	河川水の上澄み+地下水
西部	普通ポルトランドセメント(M社)	幸崎沖海砂	同上	同上	メラミン系	同上

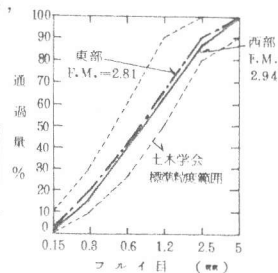


図2 海砂の粒度曲線

の標準粒度の範囲内であるが、0.15mm以下の微粒子が、東部3%、西部1%(通過百分率)と極めて少ない。なお、塩分含有率は0.04%で極めて少なく、水洗が良く行われている。

流動化剤は、東部はナフタリンスルホン酸塩系、西部はメラミン系のものを用いた。流動化剤の添加量は、ベースコンクリートのスランブを測定して、流動化後所定のスランブとなるように定めた場合もあるが、大半は目視によってベースコンクリートのスランブを判断して所要量を定めた。表-3に普通コンクリートおよび流動化コンクリートのベースコンクリートの配合を示す。

表3 コンクリートの配合

種別	工区	深部	部	流動化剤の種別	流動化剤の添加率(%)	配合材料の単位量	スランブの増大率	空気量の増大率	W/C	S/C	単位量 (kg/m³)				配合比
											W	C	S	G	
普通コンクリート	由緒・西	基礎	壁	OF	2.70	1.0	8+2.5	1.1	5.0	10.5	16.9	33.8	7.27	10.98	84.5
						2.0	8	1.1	5.0	4.5	17.8	35.6	7.93	9.93	89.0
流動化コンクリート	由緒・西	基礎	壁	OF	2.70	4.0	8+1.5	1.1	5.0	10.5	16.9	33.8	7.27	10.98	84.5
						2.0	8	1.1	5.0	4.6	18.2	36.4	7.87	9.51	91.0
流動化コンクリート	由緒・東	基礎	壁	BF	2.70	4.0	8+1.5	1.1	5.0	10.5	16.9	33.8	7.27	10.98	84.5
						2.0	8	1.1	5.0	4.6	18.2	36.4	7.87	9.51	91.0

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートの品質

1) 流動化剤の添加効果および適性スランブ

図-3は、流動化剤の添加量とスランブの増大値との関係を示したものである。この図は、目標スランブ8cmのベースコンクリートをスランブ12~18cmの流動化コンクリートにした場合について示しており、ベースコンクリートのスランブのばらつきに応じて、流動化剤の添加量を加減したために、このように多数のデータが示されている。この図より、スランブの増大値は、流動化剤添加量と密接な関係がみられ、添加量で施工管理することの妥当性を示している。同一添加量に対するスランブの増大量は、流動化剤の種別によって異っている。ベースコンクリートのスランブは当初6cmを目標としていたが、5cmのコンクリートが到着した場合は、アジテータ車による練混ぜが困難であったことと、流動化に要する流動化剤添加量が増大したため、目標スランブを8cmに変更した。又、流動化後のスランブを18cmとした場合、ブリージング水が著しく増大した場合があったことや、コンクリートがポンプのホース排出口より速くまで流れ出したことなどより、流動過多と判断された。又、流動化後のスランブが12cmで、スラブ下の梁部を打設した場合は、コンクリートが鉄筋上に山積み状態となり施工性が悪くなることが認められた。スランブが15cmの場合は、施工性が良好で適性スランブと認められ、以後大部分の流動化コンクリートのスランブは15cmとし、柱やスラブの一部に必要なに応じて12cmや18cmが採用された。

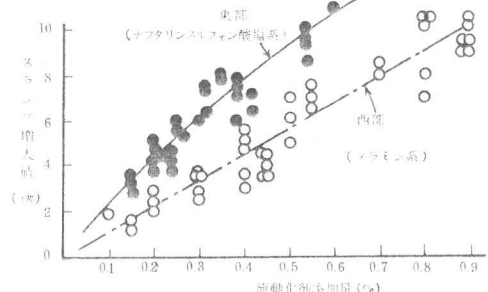


図3 スランブ増大値と流動化剤添加量との関係

2) コンクリートの品質管理試験結果

表-4は普通コンクリートおよび流動化コンクリートのスランブの変動について示したものである。両者とも、相当変動が大きくなっている。ベースコンクリートのスランブの変動が流動化コンクリートのスランブの変動の主要因となるので、骨材の含水状態の管理、計量精度の維持等を厳しく行なうことが必要である。

表4 スランブの変動

コンクリート種別	構造物	打設日	目標スランブ (cm)	観測数	スランブ		
					平均値 (cm)	標準偏差 (cm)	変動係数 (%)
普通コンクリート	基礎	8/12	12	12	11.0	2.0	18.2
	柱	8/26	12	11	10.5	2.4	22.7
	スラブ	10/18	12	8.1	11.6	1.3	11.2
流動化コンクリート	基礎	9/1	8+1.5	2.0	15.7	1.8	11.5
	柱	10/1	8+1.2	9	10.8	2.5	23.0
	スラブ	11/20	8+1.8	2.3	16.3	2.7	16.8
			8+1.2	6	16.3	2.1	12.6

図-4はベースおよび流動化後のコンクリートの空気量を示したものである。流動化後の空気量は、ベースコンクリートの場合と比べて、ナフタリン系の流動化剤の場合(東部)、やや減少しているが、メラミン系の場合(西部)はほぼ等しくなった。

図-5はコンクリートの圧縮強度の変動を示しているが、どのコンクリートの場合も、変動は相当大きく同様な傾向を示している。流動化コンクリートの圧縮強度はベースコンクリートの強度とほぼ等しくなったので、流動化コンクリートの圧縮強度の変動はベースコンクリートの強度の変動に支配され流動化剤の影響はほとんどない。

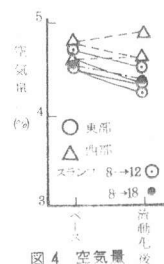


図4 空気量

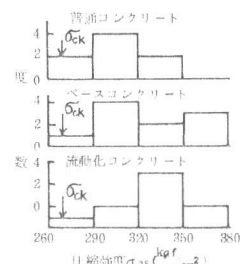


図5 圧縮強度の変動

4) ブリージング

図-6は流動化剤添加前後のブリージングを比較したものである。ほとんどの場合、流動化前後でブリージングは変化していないが、ベースコンクリートのブリージングが多い場合に流動化後のブリージングが著しく増大することがある。すべての場合にこのような傾向が生じるのではなく、ある確率で起るようである。図に示すように室内実験においても同様な結果が得られた。この原因として、海砂および流動化剤の種別、又は試料のサンプリング

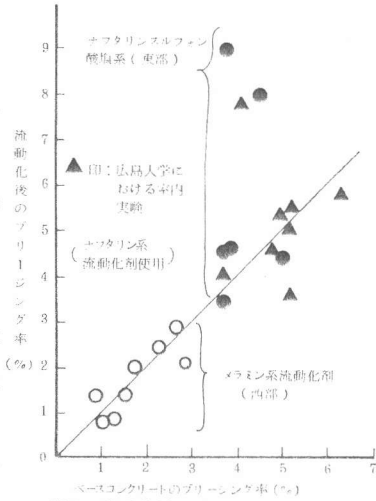


図6 流動化剤がブリージングに及ぼす影響

材料分離、等が考えられるが明確でない。海砂を用いたコンクリートのブリージングは川砂や山砂を用いた場合より著しく大きい場合が多い。これは、前述のように、海砂の場合、水洗するため微粒分が著しく少くなることが原因の1つと考えられる。そこで、0.15mm以下の微粒分を補ったり、微石粉を加えた場合のブリージング試験を行なった(図-7)。その結果、微粒分を増大させることにより、ブリージングを著しく減少させることが出来ることが認められた。

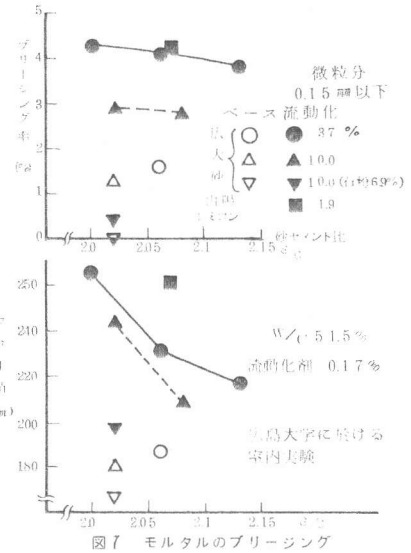


図7 モルタルのブリージング

3.2. 流動化コンクリートの施工

1) 施工速度

図-8より、流動化コンクリートの施工速度は、どの構造物の場合も、普通コンクリートの場合よりも大きく、基礎では最大65%、柱では60%、スラブでは80%に施工時間を短縮出来た。柱の施工速度が他の場合より著しく小さいのは、図-9に示すようにポンプ圧送の休止回数が多いためである。これは、柱の場合、8本の柱を少しづつ均等に打設するためポンプの筒先を移動する間に、圧送を休止するためである。

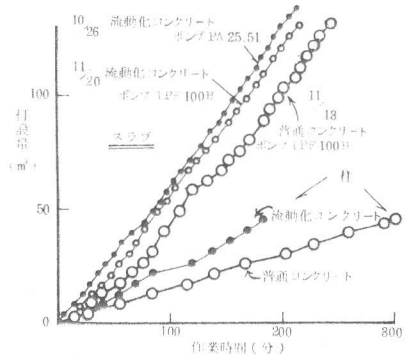
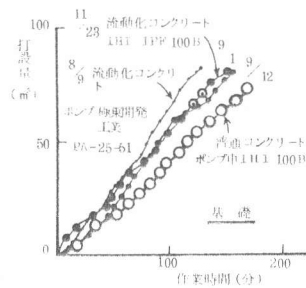


図8 コンクリートの打設速度

2) ポンプ圧送性

図-10は、圧送量とスランブとの関係を、普通および流動化コンクリートの場合について、種々の圧送圧力の場合について示している。この図より、圧送量は、圧送圧力とスランブが大きいと大きくなるのは当然のことであるが、スランブ14~20cmの流動化コンクリートの圧送量がスランブ8~14cmの普通コンクリートの場合より、同一

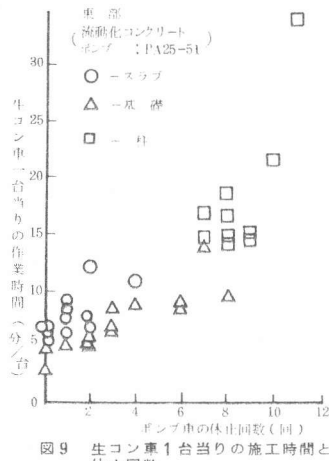


図9 生コン車1台当りの施工時間と休止回数

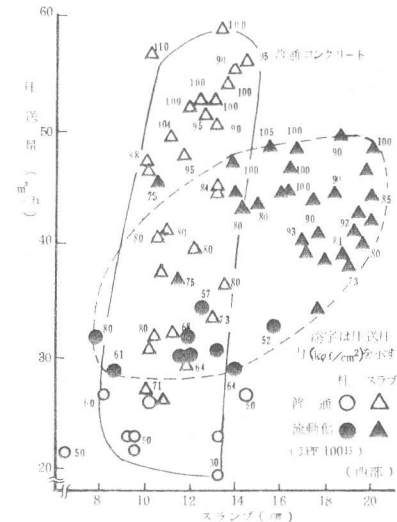


図10 圧送量とスランブとの関係

圧送圧力において、小さいか同程度であることは注目に値する。8~14cmのスランブの場合の流動化コンクリートの圧送量は同一スランブの普通コンクリートの場合と比べて、やゝ小さい圧力でも同程度の値となっており、

圧送しやすいといえる。このことを圧力損失と圧送量との関係で示したのが図-11である。流動化コンクリートの水平管1m当りの圧力損失は、流量が40~50^{m³}/hrのときは、普通コンクリートの場合よりスランブが大きいにもかかわらず同一圧送量においてほぼ等しいが、圧送量が小さい範囲では小さくなっている。圧送量の増大に対する圧力損失の増加の割合は、流動化コンクリートの方がやゝ大きくなっている。以上のことにより、流動化コンクリートをポンプ圧送する場合は、パイプ径の大きいものを用い、ゆっくり圧送する場合や配管長が長く、ゆっくり送る場合には普通コンクリートの場合より有利である。しかし、早く送ろうとすると、管内抵抗が増大し、圧送圧力の大ききの割合には圧送量が増大しない。

図-12は生コン車1台当りの作業時間およびポンプ圧送時間とスランブとの関係を示している。作業時間は、普通コンクリートの場合、スランブが小さいほど増大しているが、流動化コンクリートの場合は、スランブ10~20cmの範囲内において、スランブによる差は存在せず、ポンプ圧送時間よりやゝ大きい程度である。ポンプ圧送時間は、普通コンクリートの場合、スランブ12cm以下の範囲で流動化コンクリートの場合よりやゝ大きくなっている程度で、両者のコンクリートで大差はないといえる。以上のことにより、流動化コンクリートの打設速度は普通コンクリートの場合よりも大きく(図-9参照)作業時間が短縮されるのは、ポンプ圧送性の影響が少ないことがわかった。

作業時間の短縮は下記の理由による。

3) パイプレーターによる締固めに要する電力量

図-13はコンクリート1^{m³}当りの締固め電力量とスランブの関係である。締固め電力量は、スランブ13cm以下の場合に著しく増大し、この範囲のスランブが大部分である普通コンクリートの場合の電力量が、スランブ13cm以上が大部分の流動化コンクリートの場合より著しく大きい。すなわち、流動化コンクリートの振動締固めは、普通コンクリートの場合より容易であるため、図-12に示すようにポンプ圧送の休止回数が少なくなっている。従って、振動締固めの容易さが作業時間を短縮する主要因である。

4. まとめ 流動化コンクリートの施工性についての現場実験により次のようなことが明らかになった。

(1) 流動化コンクリートは施工時間の短縮に効果的である。(2) スランブ、空気量、強度、等のコンクリート品質は、ベースコンクリートの品質に支配され、空気量や強度は流動化によってあまり影響されない。(3) 海砂を使用した流動化コンクリートのブリージングは、大部分の場合、ベースコンクリートと同様であるが、たまに、著しく大きい場合がある。ブリージングを減少させるためには、微粒分を補うことが有効である。(4) 流動化コンクリートのポンプ圧送は管径が大きく、ゆっくり圧送する場合に普通コンクリートの場合より有効となる。(5) 流動化コンクリートによる施工性の改善は、主として振動締固めの容易さ、打込作業の容易さ等によって得られる。

5. あとがき 本現場実験は、土木学会流動コンクリート小委員会の活動の1つとして行なったものであり、樋口委員長はじめ委員各位に感謝すると共に、実験に御協力いただいた飛鳥建設(株)および(株)間組の三原作業所、サンフロー(株)、ボゾリス物産(株)、山陽レミコン(株)、新菱生コン(株)の各位に御礼申し上げる。

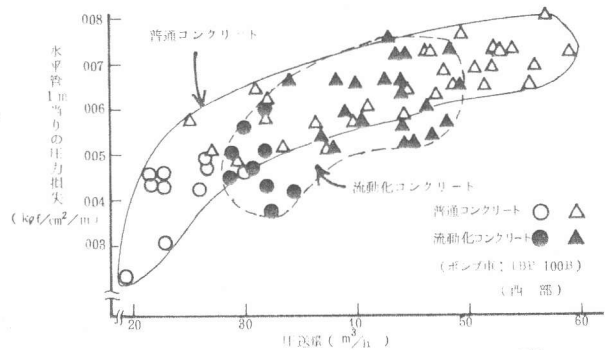


図11 水平管1m当りの管内圧力損失と流量との関係

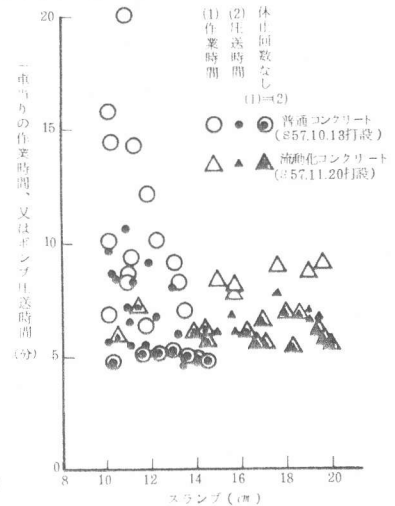


図12 作業時間、圧送時間とスランブ

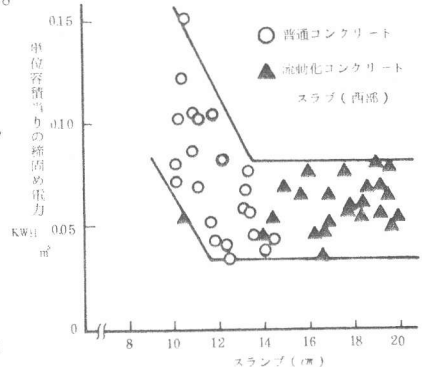


図13 スランブと単位容積当りの締固め電力量との関係(2)