

[46] 貧配合コンクリートのポンプ圧送性について

正会員 田沢栄一 (大成建設)
正会員 ○松岡康訓 (大成建設)
坂本全布 (大成建設)

1. まえがき

コンクリートポンプは昭和41年以降急速に普及し、打設量に占める比率は年々増加の傾向を示しているが、ポンプ打設には種々の制約があり、未解決の部分もある。本研究は一般に圧送困難とされている特殊なコンクリートの圧送性を評価すると共に、その改善法を実験的に検討したものである。研究の対象としたコンクリートは、(I) 単位セメント量 200 kg/m^3 ～ 150 kg/m^3 の貧配合コンクリート、(II) 低スランプの高強度コンクリート、(III) 高性能減水剤を過剰添加して流動化したコンクリート¹⁾である。本報告は(I)に関する実験結果をまとめたものである。先ず基礎実験として加圧ブリージング試験を実施して材料としての圧送性能の評価を行ない、圧送可能と考えられる代表的な配合について圧送実験を行なった。なお、(II)、(III)については後日報告する。

2. 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、細・粗骨材は富士川、鬼怒川産の川砂、川砂利である。骨材試験の結果は表-1に示す通りである。

圧送助剤 (Pumping Aid) には、減水剤4種、増粘剤 (記号A) 及び起泡剤3種 (B、C、C5) の合計8種類の混和剤と、6号珪砂及び極微粒子2種 (D、K) の3種類の混和材料を用いた。

3. 加圧ブリージング試験

R.D.BrowneとP.B.Bamforthが提案した加圧ブリージング試験装置を図-1に示す。本装置は一定圧力 (35 kg/cm^2) のコンクリートから脱水量を測定することを目的とし、その経時変化からポンプ圧送性を評価するものである。

3.1 コンクリートの配合

貧配合コンクリートの圧送性を改善するには、1) セメントの一部を微細粒子で置換する、2) 増粘剤を混入する、3) 安定な独立気泡を形成させる。4) 減水剤を使用する、こと等が考えられる。これらのこと考慮した39種類の配合を選定した。

これらの配合には二つ以上の改善手段を組合せたものも含まれる。

3.2 Browneらの研究結果の適合性

コンクリートの圧送性能に及ぼす要因は種々あるが、この内最も大きな影響を及ぼす要因は生コンクリートの水分移動であることに着目し、Browneらはスランプと加圧ブリージング試験によって得られた脱水量差の関係から、図-2に示したキャリブレーションカーブを用い、圧送性能を評価することを提案した。そこで、現在国内で圧送可能な14種類の基本配合のコンクリートについてその適用性を実験的に検討した。その結果は図-2に標準曲線A

表-1. 骨材試験結果

骨材種類	最大寸法 (mm)	表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積重量 (kg/m ³)
砂 鬼怒川 富士川	5	2.60	2.85	2.72	1,626
	5	2.62	2.68	2.63	1,590
砂 鬼怒川 富士川	25	2.66	1.34	6.49	1,697
	25	2.66	1.45	6.73	1,667

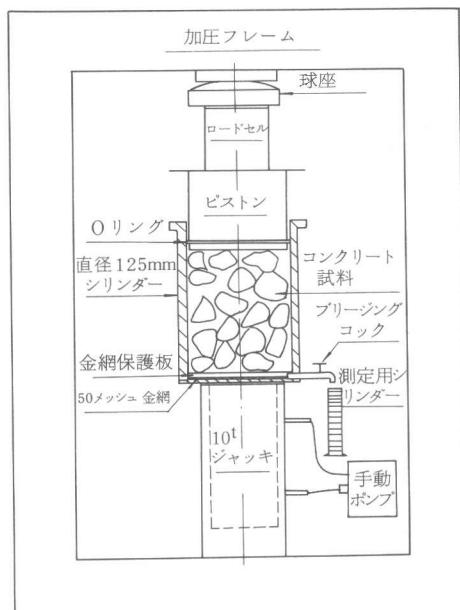


図-1 加圧ブリージング試験装置の概要

として併記した通りであり、いずれの配合もこの判定方法では圧送不能となる。したがって、筆者らは Browne らの提案したキャリプレーションカーブを修正した標準曲線 A を新たに設け、これを用いて圧送性能を評価することとした。

3.3 圧送性の新しい評価方法の検討

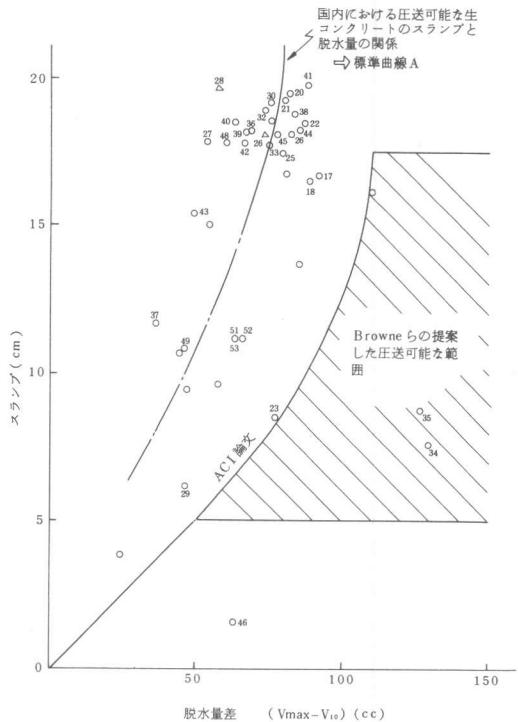
筆者らは同一の加圧ブリージング試験装置を用いて独自に圧送性を評価する方法を検討した。その方法は、圧送可能な実績を持つコンクリートについて脱水量の経時変化を求め、この結果から圧送可能と考えられる脱水量の上限値（標準曲線 B とする）を定め、これを第 1 の目安とした。また、脱水量が極端に少なくなると標準曲線 B の範囲に入ることになるが、この場合には摩擦抵抗などの他の要因によって圧送が困難になることが予想されるため脱水量の下限値（標準曲線 C）を定めた。この標準曲線 C は圧送実験によって実際に確認した。標準曲線 B、C は次項の試験結果に併記した。なお、最大脱水量の単位水量に対する比率も圧送性を判定する一つの目安となり、この値の下限値は 0.25 程度であると考えられる。

3.4 標準曲線 A 及び B、C による圧送性能評価の妥当性

図-3 は一般に圧送可能な下限値とされているセメント量 265 kg/m^3 の配合のコンクリートに関する脱水量曲線を示したものであり、全て圧送可能な領域に入っている。また標準曲線 A による判定結果も同様である。この図に示すように、No. 14 のプレーンの配合は標準曲線 B に近く、この判定方法によっても圧送限界に近い配合であることが分る。これに起泡剤及び増粘剤を添加した No. 17 ~ 22 の配合の脱水量曲線はいずれも標準曲線 B と C のほぼ中間当たりに位置しており、圧送性能が改善されている以上の結果から、加圧ブリージング試験のデーターに 3 種類の標準曲線 A 及び B、C を適用することによりコンクリートの圧送の可否を判定することによりコンクリートの圧送の可否を判定する方法はほぼ妥当であると考えられる。

3.5 圧送性改善の検討

図-4 はセメント量が 200 kg/m^3 の場合の脱水量曲線であるが、いずれも圧送可能な領域に入っている。この場合の起泡剤及び増粘剤の混入効果は、セメント量 265 kg/m^3 の配合と同様であり、水の分離抵抗が増大している。増粘剤と起泡剤を併用した場合、起泡剤のみに比較して脱水量が大きくなつた。この原因は、増粘剤によって独立気泡の生成が抑制されて空気量が減少し、そのため水の分離抵抗が低下したためと考えられる。この現象は全ての配合に対して言える。また、空気量が過大になると標準曲線 C に近づく。これは空気量にも限界があることを示している。図-5 はセメント量 150 kg/m^3 の場合の代表的な試験結果である。この図に示すように、圧送不能と推定される配合は No. 23 と No. 43 だけであり、他は全て圧送可能な領域にある。つまり、起泡剤や増粘剤を混入し、



かつ適度のW/Cによりセメント量が 150 kg/m^3 程度の貧配合コンクリートでも圧送可能であると考えられる。しかしながら、これらの圧送助剤を混入して流動性及び水の分離抵抗性を改善しただけでは圧送は可能とならず、単位水量の下限値が存在することが分る。この単位水量の限界値は水セメント比に換算して107%程度である。したがって、コンクリートの強度が大幅に低下するため、 100 kg/cm^2 以上の圧縮強度を要求される構造物には適用できないと言える。

図-6はセメントの一部を微細粒子で置換した場合の試験結果である。この図に示すように微細粒子の種類及び混入量によって脱水性状が異っている。No.41は6号硅砂を 160 kg/m^3 混入したもので圧送性能が改善されている。

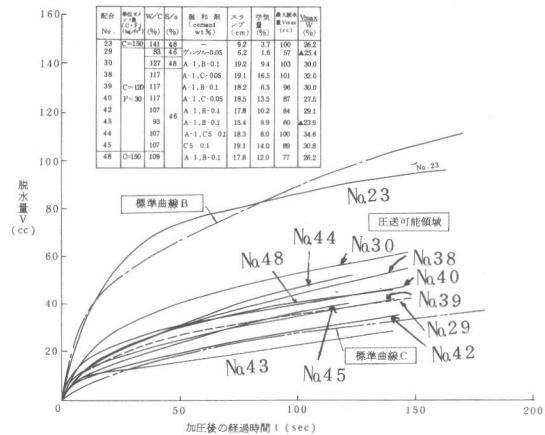


図-5 単位セメント量(C+F) 150 kg/m^3 の場合の脱水性状

4. 圧送実験

圧送実験は前節の加圧ブリージング試験の結果から、表-2に示す7種類の配合を選定した。表には圧送前・後のコンクリートの品質試験結果も併記した。

実験用の配管は図-7に示す通りで、配管径は 150A である。この配管計画はK工事の施工を想定したもので、水平約 90m 、水平換算距離にすると 220m に相当する。使用したコンクリートポンプ車はPTF85T(IHI製)である。

管内圧の測定位置は図-7に示す5カ所(A~E)とした。

表-2に示した各配合について、コンクリート圧送時の理論吐出量、主油圧及び管内圧の測定結果を表-3に示す。また、圧力波形の一例を図-8に示す。表-3に示すように、圧送可能であったNo.1~6の管内圧は極めて低く、圧力損失も $0.1 \text{ kg/cm}^2/\text{m}$ 以下であった。また、圧送時の主油圧は空運転時と同程度であり、いずれも圧送性が優れている。No.7は設定吐出量 $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ で 30m 圧送した

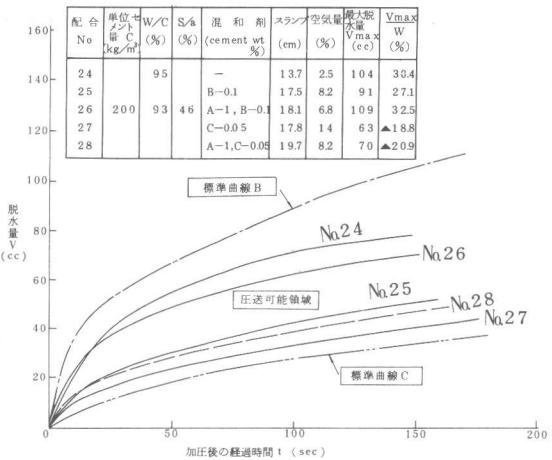


図-4 単位セメント量 200 kg/m^3 の場合の脱水性状

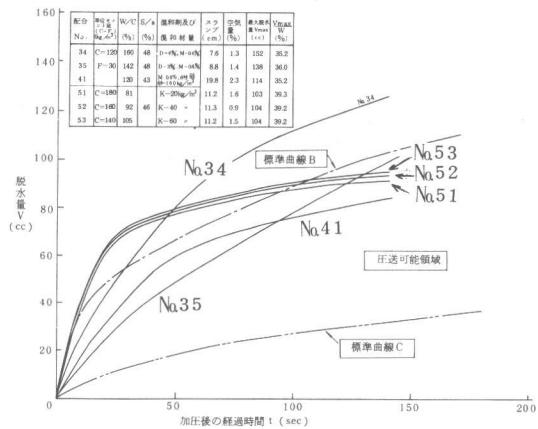


図-6 セメントの一部を微細粒子で置換した場合の脱水性状

表-2

配合番号	$\frac{\text{W/C}}{\text{C+F}}$	単位セメント量 (kg/m^3)		混和剤	スランプ (cm)		空気量 (%)	容重 (kg/m^3)
		W	C		スランプ前	スランプ後		
1	85	46	170	200	A. 1%	13.7	5.7	2,240
2	93	46	185	200	B. 0.1%	11.8	5.8	2,240
3	113	46	170	150	B. 0.1%	15.5	6.4	2,230
4	109	46	163	120	A. 1%	15.7	5.6	2,230
4	109	46	163	F30	B. 0.05%	18.0	9.6	2,140
5	109	46	163	150	M. 0.5%	7.7	2.4	2,120
5	109	46	163	150	A. 1%	20.3	11.0	2,330
5	109	46	163	150	B. 0.1%	20.0	11.0	2,304
6	88	46	158	180	P. 0.5%	10.7	4.4	2,250
6	88	46	158	180	B. 0.05%	8.2	3.1	2,350
7	90	46	162	180	B. 0.1%	7.3	9.6	2,170

後、主油圧がセット圧の 210 kg/cm^2 に達し圧送不能となった。この圧送不能の状況を調査した結果では、閉塞分離の状況は認められず、管路全長でセッティングしている状況、つまり摩擦抵抗による閉塞が原因しているものと考えられた。

圧送前後に行なった加圧ブリージング試験の結果、No. 1 ~ 6 について圧送前後における脱水量曲線の変化はほとんどなく、いずれも圧送可能な領域に入っていた。しかしながら、No. 7 の配合は初期の脱水量も少なく、かつ最大脱水量が単位水量の 20 % で、圧送可能であると推定される 25 % の下限値を下廻る結果を示した。図-9 に No. 6 と 7 の加圧ブリージング試験の結果を示す。

以上の実験結果に基づいて貧配合コンクリートの圧送性に及ぼす要因を検討すると、コンクリートの粘性が最も大きな影響を及ぼし、セメント量の若干の差異及びスランプの影響は少ないことが予想される。

5. 結 言

貧配合コンクリートのポンプ圧送は、起泡剤、増粘剤及び微細粒子などの圧送助剤を混入することによって可能になることを本実験で明らかにした。また、貧配合コンクリートのポンプ圧送性を評価する一つの目安として、加圧ブリージング試験は有効であることが分った。つまり、加圧ブリージング試験によって得られた結果から生コンクリートの圧送性能を評価する方法として、3種類の標準曲線 A 及び B、C を提案し、これらの妥当性を検討した結果ポンプ圧送性との十分な対応が得られた。この加圧ブリージング試験によって圧送可能と推定される生コンクリートは、保水効果が良く、長時間に亘って脱水が続き、かつ適度な脱水量があるコンクリートである。

本研究を進めるにあたり、御指導御協力を頂いた石川島播磨重工業（株）辺見、安田両氏に厚くお礼申し上げます。

〔参考文献〕

- R.D. Browne and P.B. Bamforth :

Tests to Establish Concrete Pumpability, ACI
JOURNAL May, 1977

- 田沢栄一、松岡康訓、坂本全布 :

特殊コンクリートの圧送性と品質に関する研究、大成建設技術研究所報 第12号

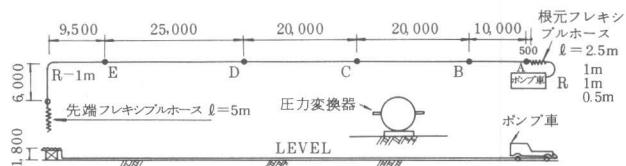


図-7 配管および管内圧力の測定位置

表-3

配合番号	単位セメント量 (kg/h)	W/C (%)	理論吐出量 (kg/cm ³)	主油圧 (kg/cm ²)	管内圧(kg/cm ²)				
					A	B	C	D	E
1	200	85	24.3	75	4.4	4.3	3.4	3.0	0
			34.9	85	6.0	5.6	4.0	3.0	2.2
			48.5	90	7.0	6.9	4.7	4.6	2.2
2	200	93	23.9	65	5.0	4.8	4.4	4.1	1.1
			33.8	80	6.5	6.3	5.9	5.6	2.0
			48.2	85	8.4	7.7	7.0	6.4	2.7
3	150	113	24.9	68	5.8	4.9	4.4	2.8	1.2
			34.9	74	6.8	5.7	5.6	5.6	3.0
			46.7	80	7.5	6.0	5.9	5.7	3.5
			59.9	87	8.1	6.2	6.0	5.8	3.7
4	C-120 F-30	109	26.2	85	4.2	3.6	2.9	2.6	1.6
			37.6	80	5.3	4.3	3.4	3.1	2.8
			46.7	80	6.8	5.8	5.6	5.5	1.1
			59.9	80	8.4	6.0	5.8	5.7	1.3
5	150		22.8	85	4.8	4.6	3.4	2.9	1.8
			31.9	85	5.4	5.1	4.0	3.6	2.0
			44.5	85	5.9	5.8	4.4	3.9	2.0
			58.0	85	7.1	6.8	5.1	4.5	2.3
6	180	88	22.8	88	8.0	7.0	4.6	3.9	1.8
			34.2	88	9.0	8.0	5.5	4.3	2.0
			45.6	88	10.1	9.0	5.7	4.5	2.2

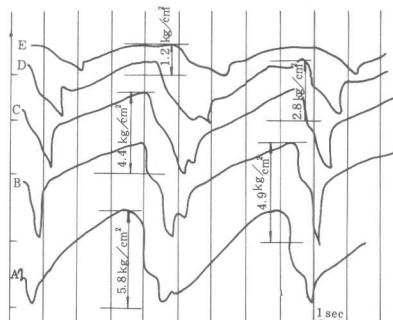


図-8 管内圧力の波形(配合3)

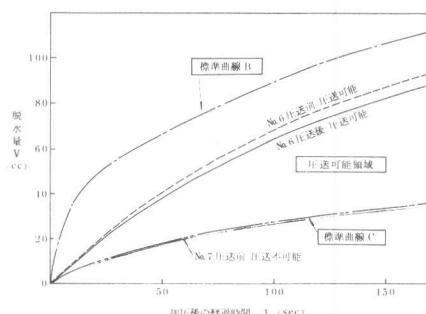


図-9 コンクリート圧送No.6, No.7の脱水量曲線