コンクリートポンプ工法における先送りモルタルの低減に関する実験的研究

REDUCTION OF PRELIMINARY MORTAR IN THE CONCRETE PUMPING PRACTICE

毛見虎雄 ———*1
中田善久 ———*2
長尾信夫 ———*3
小池 茂 ———*4
藤井和俊 ———*5

Torao KEMI
Yoshihisa NAKATA
Nobuo NAGAO
Shigeru KOIKE
Kazutoshi FUJII

The preliminary mortar pumping has been recommended so as to assure lubrication between pipes and concrete slurry. However, technical parameters for the mortar actually employed in practice have not been surveyed so far. Research on the state-of-the art of the preliminary mortar pumping was made on the basis of 267 respondents over the country in addition to our own experiments. As a result, method, material and amount of the preliminary mortar pumping were reexamined, and the possible means to reduce it is presented.

キーワード：
コンクリートポンプ工法, 先送りモルタル, ポンプバビリティ, 圧送コンクリートの品質, アンケート, 低減

Keywords:
The concrete pumping practice, Preliminary mortar, Pumpability, Quality of concrete pumping, Questionnaire, Reduction

1 はじめに

近年, コンクリートポンプ工法は, 建築現場において汎用工法の一つとなっている。この中のコンクリートポンプは, 1965 年頃から建築現場に登場し, 今ではこの圧送方式も配管からブーム式に変わり, そのブーム長さも 29~32 m クラスが主流となっている。この背景には, コンクリートポンプの高圧化, 大容量化および機動性などの能力向上が一つの技術進歩¹⁾としてあげられる。また, もう一つの技術進歩として, 圧送するコンクリートの調合上の配慮, 圧送前後におけるコンクリートの品質, 圧力損失の究明, 型枠の補強および圧送施工技能士のレベルアップ等が現場施工の経緯の中で向上してきたためである。これより, 日本建築学会では 1994 年に「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」²⁾(以下, 施工指針という)が改訂された。しかし, この中で先送りモルタルは, コンクリートの圧送に先立ち, 水およびモルタルを圧送するように定められているが, この先送りモルタルの必要性は森永らの実証実験³⁾のみに過ぎず, 構造体コンクリートへの打設および処理については実務上の問題が残されている。

そこで, 本研究は, コンクリートポンプ工法における圧送開始時

のポンプ圧送性を向上させ, さらにコンクリートの品質を低下させずに資源の節約およびリサイクルの観点から先送りモルタルを低減させるため, 先送りモルタルの実態調査を行い, セメントを主とした先送り材の種類・量および圧送方法について実験検討を行った。

本報告は, これまでに報告^{4)~8)}したものに加筆検討してとりまとめたものである。

2 「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」²⁾ における先送りモルタルと本研究との関係

施工指針中では, 先送りモルタルを閉塞防止のために「コンクリートの圧送開始に先立ち, ポンプおよび配管の内面の潤滑性保持のために, 水およびモルタルを圧送する。」ように定められ, クリーナボールなどの詰物を用いて水を封入した後でモルタルを圧送し, 水およびモルタルが管内に十分充填されるようにして圧送するように解説されている。また, この水およびモルタルの圧送方法は, 一つの例としてピンバル穴から給水し, モルタルはホッパーへ投入するように解説されている。この先送りモルタルの調合および必要量は, 圧送するコンクリートの調合および配管の径ならびに長さにより定め, 先送りされた健全なモルタルは, 薄い層になるように広い

*1 足利工業大学工学部建築学科 教授・工博

*2 西松建設技術研究所 研究員・工修

*3 日本コンクリート工事 代表取締役 (全国コンクリート圧送事業団体連合会技術委員長)

*4 木暮産業 代表取締役 (全国コンクリート圧送事業団体連合会技術副委員長)

*5 三菱建設技術研究所 副所長

*1 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Ashikaga Institute of Technology, Dr. Eng.

*2 Research Engineer, Technical Research Institute, Nisimatsu Construction Co., LTD., M. Eng.

*3 Nihon Concrete Construction Co., LTD

*4 Kogure Industry Co., LTD

*5 Assistant Director, Technical Research Institute, Mitsubishi Construction Co., LTD.

た、このポンプ車の仕様概要は、コンクリートシリンダを2個有し、シリンダ口径×ストローク長が210×1,600 mmであり、標準時におけるピストン前面圧が最大4.9 MPa (50 kgf/cm²) のものである。

④ 先送り材を変えた圧送実験概要

この先送り材の種類・量および圧送方法を変えた圧送実験概要を表1に示す。圧送実験は、大きく分けて5つのシリーズとし、配管の種類、先送り水の使用量、クリーナボールの有無、先送り材の種類・使用量および圧送したコンクリートの種類を変えた14種類の圧送方法について行った。先送り材は、先送り材を用いない場合、セメントペースト、1:3モルタル(W/C=42.1%)、1:2モルタル(W/C=34.2%)および特殊モルタルについて検討した。また、セメントペースト(W/C=50%)はセメント1袋を簡易なハンドミキシング装置を用いて混練したものを圧送し、特殊モルタル⁸⁾はポンプ用に調合したプレミクスタイプ(珪砂+増粘材+繊維含)のものを簡易なハンドミキシング装置を用いて混練したものを圧送した。1:3モルタルならびに1:2モルタルは、生コン工場において製造されたものである。クリーナボールは、角スポンジ(150×150×150 mm)を用いた。これらの先送り材を用いて圧送したコンクリートの調合を表2に示す。ここで、呼び強度:21 N/mm² (210 kgf/cm²) のものを標準調合とし、呼び強度:27 N/mm² (270 kgf/cm²) のものを富調合として圧送した。

⑤ 先送り材の圧送方法

本実験における先送り材の圧送方法は、施工指針と異なり、先送り材をホッパーへ投入するのではなく、図3に示すようにテーパ管

図3 テーパ管の先に設けたT字管による投入口

の先にT字管の投入口を設け、先送り水ならびに先送り材を給入し、また、コンクリートはホッパーから投入して圧送した。この圧送実験では、吐出量を低速20 m³/h一定とし、圧送方法を変えて先送り材をコンクリートとともに圧送した。このT字管による投入口を設ける圧送方法は、先送りモルタルならびに先送り材の量を低減させるために行ったものである。この中で、クリーナボールを用いた圧送方法は、角スポンジを先送り水の後に圧送した。

⑥ 実験項目

先送り材の種類・量および圧送方法がコンクリートのポンプ圧送性ならびに圧送したコンクリートの品質におよぼす影響を比較検討するために、コンクリートの圧送距離(閉塞箇所の確認)、圧送したコンクリートの状態観察、圧送先端より吐出した水(残水)の量、圧送したコンクリートのスランブ(閉塞した場合、その箇所より各配管1~4本目のスランブ)およびスランブ測定後の材齢28日圧縮強度ならびに静弾性係数を測定した。また、図2に示すP₀~P₄の5箇所(ポンプ車からP₀;ポンプ車主油圧、P₁;ピストン前面圧、P₂;吐出口から約8.5 m、P₃;吐出口から約17.5 m、P₄;吐出口から約26.7 m)について圧力を測定し、P₂~P₄の管内圧力はスチール製ダイヤフラム式圧力計を用いて測定した。

図4 先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズと圧送距離の関係

表1 先送り材の種類・量および圧送方法を変えた圧送実験概要

実験 No.	配管 径	先送り水の 使用量 (ℓ)	クリ-ナの 有無	先送り材の種類 および使用量 (ℓ)	圧送したコンクリートの 種類
I : 1A	100A	0	×	なし	標準調合
2A	100A	10	×	〃	
2B	125A	10	×	〃	
3A	100A	10	○	〃	
II : 4A	100A	0	×	セメントペースト10ℓ	
5A	100A	10	×	〃	
5B	125A	5	×	〃	標準調合
6A	100A	5	○	〃	
III : 7A	100A	0	×	1:3モルタル10ℓ	
8A	100A	5	×	〃	
8B	125A	5	×	〃	
8C	100A	5	×	1:2モルタル10ℓ	
9A	100A	5	○	1:3モルタル10ℓ	標準調合
IV : 10A	100A	0	×	特殊モルタル10ℓ	
11A	100A	5	×	〃	
11B	125A	5	×	〃	
12A	100A	5	○	〃	
V : 13A	100A	0	×	なし	富調合
14A	100A	5	×	〃	

表2 圧送したコンクリートの調合

呼 び 強 度 (N/mm ²)	コンクリートの種類	目標スランブ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水	セメント	粗骨材 ^{*1}	細骨材 ^{*2}	減水剤
21	標準調合	18.0	4.0	59.0	49.3	180	305	873	364	556
27	富調合	18.0	4.0	49.7	47.5	181	364	823	364	562

*1:普通ポルトランドセメント ($\rho=3.16$), *2:利根川水系川砂 ($\rho=2.63$),

*3:粗骨材混合比 普通:砕石=2:3 ($\rho=2.63$),

*4:普通砂利 ($\rho=2.64$), *5:両神産砕石 ($\rho=2.70$)

(2) 結果および考察

① 先送り材の種類・量および圧送方法を変えたポンプ圧送性

先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズと圧送距離の関係を図4に示す。この結果から先送り水ならびに先送り材を用いずに圧送した場合は、圧送距離は著しく短く、25 m程度で閉塞を起こしており、これに先送り水を用いて圧送しても、何も用いずに圧送した場合に比べ、若干圧送距離が長くなるが先送り材を用いないと閉塞を起こしている。また、施工指針通りクリーナボールを用いて圧送した場合は、先送り水および先送り材を用いて圧送した場合に比べ圧送距離が短くなる傾向となっており、先送り材に特殊モルタルを用いて圧送した場合以外は、閉塞を起こしている。これは、クリーナボールの大きさが配管内においてポンプ圧送性に悪影響をおよぼしているためと考えられる。先送り水および先送り材を用いて100 A管に圧送した場合は、先送り材の種類としてセメントペースト、モルタル、特殊モルタルの順に圧送距離が長くなり、特に1:2モルタルならびに特殊モルタルは、10ℓ程度で閉塞せずに圧送できることが確認された。先送り材に1:3モルタルを用いて圧送した場合は、配管径の違いにより圧送距離が長くなっていることが確認された。この理由として、ポンプの吐出口φ210 mmから各配管径へのテーパ管が影響をおよぼしていると考えられる。圧送したコンクリートの種類が単位セメント量の多い富調合を圧送した場合は、先送り水を用いても圧送距離が著しく長くなり、圧送するコンクリートの調合を考慮してもコンクリートのみで配管距離70 m程度の圧送はできないと考えられる。

次に、先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおける圧力測定結果を表3に示す。ポンプ主油圧、ピストン前面

表3 先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおける圧力測定結果

実験 No.	ポンプ主油圧 P_0	ピストン前面圧 P_1	管内圧力		
			P_2	P_3	P_4
I	1A	17.96	4.08	2.96	0.00
	2A	8.99	2.04	1.59	1.45
	2B	6.54	1.48	—	—
	3A	15.93	3.61	3.12	3.10
II	4A	8.99	2.04	1.56	1.31
	5A	21.24	4.81	4.28	3.94
	5B	15.66	3.55	—	—
	6A	20.88	4.73	4.37	4.51
III	7A	20.88	4.73	3.81	3.67
	8A	12.45	2.82	2.20	2.25
	8B	4.02	0.91	—	—
	8C	4.82	1.09	0.57	0.47
	9A	14.46	3.27	2.38	2.54
IV	10A	20.08	4.56	4.29	4.04
	11A	5.63	1.27	0.67	0.56
	11B	4.82	1.10	—	—
	12A	5.22	1.19	0.57	0.47
V	13A	19.28	4.37	3.47	3.57
	14A	13.65	3.10	2.44	2.20

(単位: MPa)

図5 圧送距離とピストン前面圧の関係

る傾向を示していた。また、 $P_2 \sim P_3$ 間の圧送距離約9 mにおける圧力損失は、0.1~0.3 MPa (1~3 kgf/cm²)程度となっており $P_3 \sim P_4$ 間の圧送距離約9 mにおける圧力損失も同様な結果であった。この中で、先送り材・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおける圧送距離とピストン前面圧の関係を図5に示す。先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズのピストン前面圧は、先送り材の種類・量および圧送方法により異なり、閉塞を起こさない場合、ピストン前面圧が低くなるのがわかる。この中で、10 Aのように圧送距離が長い場合でも閉塞を起こすとピストン前面圧は高くなっている。閉塞を起こさない良好な圧送方法は、ポンプの性能における最大ピストン前面圧4.9 MPa (50 kgf/cm²) に対して約30% (1.47 MPa : 15 kgf/cm²) 程度以下のピストン前面圧で圧送できれば良好な圧送と考えられる。

② 先送り材の種類・量および圧送方法を変えて圧送したコンクリートの品質

先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおけ

図6 先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズとスランプの関係

圧および管内圧力は、先送り材の種類・量および圧送方法により同様な大小関係を示しており、圧送距離が長くなるにつれて小さくな

る圧送距離とスランプの関係を図6に示す。先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおけるスランプは、閉塞を起こした場合、その先端部分のスランプが管理値内に入らず、目視によるコンクリートの状態観察も先送り水を用いずに圧送した場合、ほとんどがばさばさな状態であった。また、先送り水を用いて圧送した場合、ほとんどが分離状態であり、さらにクリーナボールを用いて圧送しても影響は見られなかった。しかし、先送り材を用いて圧送した場合、スランプも2本目から管理値内に入る傾向にあり、コンクリートの状態観察も2本目から良好な状態になっていた。このことから考えると先端部分から1本目のコンクリートは先送り水を用いると分離を起こし、先送り水を用いないとばさばさな状態となり、また、先送り材を用いたとしても先端部分から1本目のコンクリートの品質は良好でないため、先送り材を用いても先端部分から1本目のコンクリート(約25ℓ)は、廃棄する必要があると考えられる。

次に、先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおける圧送距離と材齢28日圧縮強度の関係を図7に示す。先送

図7 先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズと材齢28日圧縮強度の関係

り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおける材齢28日圧縮強度は、先端部分から1本目のコンクリートではほとんどの場合圧送前の圧縮強度に比べ小さくなっている傾向(圧送前の圧縮強度比に換算すると0.08~1.20)が確認された。この中で、先送り水を用い圧送した場合などの2B, 8Aおよび8Bは、圧送前に比べ著しく小さくなっていた。また、ポンプ圧送性が良好であった先送り水と1:2モルタルおよび特殊モルタルを圧送した場合の先端部分から1本目のコンクリートの圧縮強度は、圧送前とほぼ同等(圧送前の圧縮強度比に換算すると0.79~1.20)であった。しかし、2本目以降の圧縮強度は、先送り材の種類・量および圧送方法に関わらずばらつきも小さく、圧送前の圧縮強度とほぼ同等程度(圧送前の圧縮強度比に換算すると0.91~1.16)となり圧縮強度の面からも

図8 先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズと静弾性係数の関係

先端部分から1本目のコンクリートは、問題があり廃棄すべきと考えられる。

次に、先送り材の種類・量および圧送方法を変えた実験シリーズにおける圧送距離と静弾性係数との関係を図8に示す。静弾性係数は、スランプおよび圧縮強度に比べばらつきが小さく比較的安定した結果となった。また、スランプならびに圧縮強度とは異なり、先端部から1本目のコンクリートが小さくなる傾向ではなかった。

③ まとめ

先送り材の種類・量および圧送方法を変えた圧送実験を行い、先送り材の評価は表4に示すようになり、圧送方法を踏まえると次のことがいえる。

表4 先送り材の評価

配管径 (mm) \ 先送り材		なし	ペースト	モルタル		特殊モルタル	富調査コンクリート
				1:3	1:2		
なし	100A	×	△	△	○*	○	×
先送り水	100A	×	△	○	◎	◎	△
	125A	△	△	○	◎*	◎	△*
先送り水+クリーナー	100A	×	△	○	○*	○	×*

◎: 良, ○: やや良, △: やや不可, ×: 不可 (*印は推定による)

- (a) 先送り材は、ホッパーからの投入でなくテーパ管の先にT字管の投入口を設けて圧送すると先送り材の量を低減できる。
- (b) 先送り材に1:2モルタルおよび特殊モルタルなどの高品質のモルタルを用いることから先送り材の量を低減できる。
- (c) 先送り材の種類に関わらず先端部分から1本目のコンクリート(約25ℓ)は、廃棄する必要があると考えられる。

5 先送りモルタルの低減

先送りモルタルを低減するための圧送方法は、次の方法があげられる。

① 先送りモルタルを全く用いない圧送方法

アンケート調査結果の中から先送りモルタルを全く用いない場合として、主に配管距離が短い場合、ブームポンプ車の場合、圧送するコンクリートの調合による場合などがあげられ、圧送施工技能士の技術ならびに経験により先送りモルタルを全く用いないで圧送する。しかし、閉塞の危険性が多分にあるため、十分な注意を要する。

② 先送り材の種類および圧送方法を変えた圧送方法

先送り材は、ホッパーからの投入ではなくテーパ管の先に T 字管の投入口を設けて圧送し先送り材の種類として 1:2 モルタルおよび特殊モルタル（プレミックスタイプ）などの高品質なモルタルを用いて圧送する。

本報告中に提案した圧送方法により、先送りモルタルの低減率は次のように推測される。アンケート調査によると先送りモルタルは約 90%以上が使用されている。また、その調合は、1:3 モルタルが約 80%であり、1 回の使用量は、 0.5 m^3 と 1.0 m^3 が最も多いことから、年間の先送りモルタルの消費量 (V) を推定してみると次式で計算される。

条件 a : 先送りモルタルの 1 回の消費量: $0.5 \sim 1.0 \text{ m}^3$

b : コンクリートポンプ車大手 4 社過去の 10 年間の台数
4 870 台 $\approx$ 5 000 台

c : ポンプ車の稼働数

ポンプ車 1 台当たり月 13~26 回 $\approx$ 20 回
年 $20 \times 12 = 240$ 回

α : 全先送り材に対するモルタルの使用割合

$$\begin{aligned} \therefore V &= [a(b \times c)] \times \alpha \\ &= [0.5 \sim 1.0(5,000 \times 240)] \times 0.76 \\ &= [600,000 \sim 1,200,000 \text{ m}^3] \times 0.76 \\ &= 45.6 \sim 91.2 \text{ 万 m}^3 \quad \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

すなわち年間のモルタルの消費量としては、45 万 m^3 から 90 万 m^3 が消費されていることになる。圧送方法も踏まえ 1:3 モルタルに比較して、1:2 モルタルは 1~2 倍程度、特殊モルタルで 2~3 倍程度の効果が見いだされた。したがって、先送りモルタルに 1:2 モルタルを用いると 20~30 ℓ で、特殊モルタルを用いると 10~20 ℓ で 50~100 m の圧送が可能となる。1 回に 20~50 ℓ の使用として上記(1)式から年間にモルタル量を計算すると、20~50 ℓ では、24,000 $\text{m}^3 \sim 60,000 \text{ m}^3$ となり 1/15~1/20 の低減率となる。

6 まとめ

本研究を行い、先送り材の種類・量および圧送方法を変えることから現状の先送りモルタルの低減に方向性を見いだした。この先送

りモルタルの低減は、躯体となるコンクリートの品質、資源の節約およびリサイクルの観点に大きな意義をもたらすと確信する。また、本実験では水平管のみの 70 m の圧送実験であったが、今後はブーム車による圧送、配管条件、垂直管、天候、気温およびコンクリートの種類などを含めた検討を行い、先送りモルタルの適切な圧送方法および廃棄量の低減をさらに検討していきたい。

謝 辞

本研究を行うに当たり、日本建築学会コンクリートポンプ小委員会の方々からご意見を頂き、全国コンクリート圧送事業団体連合会および(社)建築業協会の方々にアンケートを回答して頂いた。また、このアンケート調査は、廃棄物の抑制という観点から(財)国土開発技術研究センター「建設副産物の発生抑制・再利用技術の開発」(委員長 東京大学友澤教授)の一部において行ったものである。実験を行うに当たり群馬県生コン中央協会、全国コンクリート圧送事業団体連合会技術委員会、地頭園氏ならびに今泉氏(三菱マテリアルセメント研究所)、吉川氏(新潟建機営業推進本部)、宮池氏(足利工業大学大学院)の多数の方々に協力を得た。ここに付記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 森永繁:『コンクリートポンプ工法施工指針・同解説』改訂の要点, セメント・コンクリート, No. 566, pp. 68~72, 1994
- 2) 「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」, 日本建築学会, 1994
- 3) 森永繁, 野萱勝久, 成田一徳, 妻島淳二: コンクリートポンプ工法における先送りモルタルの品質, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp. 381~382, 1979.9
- 4) 長尾信夫, 小池茂, 毛見虎雄, 中田善久: コンクリートポンプ工法における先送り潤滑材に関する研究 その 1 圧送業における先送り潤滑材の実態調査, 日本建築学会関東支部研究報告集構造系, 1993.3
- 5) 毛見虎雄, 中田善久: コンクリートポンプ工法における先送り潤滑材に関する研究 その 1 研究主旨および建設業における先送り潤滑材の使用状況実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp. 253~254, 1994.9
- 6) 長尾信夫, 毛見虎雄, 中田善久, 藤井和俊, 小池茂: コンクリートポンプ工法における先送り潤滑材に関する研究 その 2 各種潤滑材の圧送実験計画とその適応性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp. 255~256, 1994.9
- 7) 小池茂, 毛見虎雄, 中田善久, 地頭園博, 長尾信夫: コンクリートポンプ工法における先送り潤滑材に関する研究 その 3 各種潤滑材の圧送実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp. 257~258, 1994.9
- 8) 今泉裕隆, 毛見虎雄, 藤井和俊, 地頭園博: ポンプ圧送用先送り特殊モルタルに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp. 251~252, 1994.9

[1995 年 6 月 15 日原稿受理 1995 年 8 月 25 日採用決定]