

IoT コンクリートポンプで取得した圧送データに関する考察

鹿島建設(株) 正会員 ○柳井修司 水野浩平 松本修治 橋本 学 渡邊賢三

1. はじめに

コンクリートポンプメーカーが運用を始めている IoT 車両管理支援システムによって取得され、クラウド上に蓄積されるデータのうち、圧送時のピストンの稼働状況から時々刻々と変化する吐出量（理論吐出量）や主油圧のデータを、ほぼリアルタイムでモニタリングできるようになっている¹⁾。今回、実際の工事現場でこのシステムを搭載したコンクリートポンプ（以下、IoT ポンプと称する）から情報を取得し、圧送の実態や圧送計画にかかわる項目についての分析・評価を行ったので、その結果について報告する。

2. データ取得の概要

適用現場における圧送計画を表-1に示す。圧送には39mブーム付きIoTポンプを用い、ブーム先端に延長21mの配管を接続して圧送を開始し、途中から配管を切り離してブーム（4B先端ホース）で圧送する計画とした。圧送計画は、全圧連コンクリートポンプ圧送マニュアル²⁾を参考とし、土木学会コンクリートのポンプ施工指針³⁾の管内圧力損失を使用して定めた。ポンプの必要吐出量 Q_N と必要吐出圧力 P_N は、IoTポンプの性能曲線に対して余裕のあるものとなっている（後述：図-1の☆）。施工に供したコンクリートの配合は表-2に示すものである。

データの取得は、2021年5月東京都内の工事現場で実施した。IoTポンプでは、通常1秒ごとにデータを取得するが、今回の試行では、詳細データを取得する目的で1/6秒ごとに取得した（以下、IoTデータと称する）。データの分析は、IoTポンプが表示する吐出量と主油圧に着目し、そのデータと施工管理記録（スランブ、単位水量、実吐出量、作業状況）を照合させて、実工事における①吐出量と吐出圧の関係、②機械効率、③管内圧力損失を評価した。

3. 分析結果

(1) 吐出量と吐出圧

吐出量と吐出圧の関係をポンプの性能曲線とともに図-1に示す。図中の吐出量はIoT吐出量の表示値 Q_I （理論吐出量）であり、吐出圧はIoT主油圧に換算係数を乗じて算定したものである。実施工における吐出量と吐出圧は、性能曲線の内側で推移したが、計画時の必要吐出量 Q_N （79m³/h）を大きく上回る吐出量が計測された（最大100m³/h）。また、その際の吐出圧は4MPa（ブームによる圧送を行う際の上限界目安）^{1),2)}に達していた。施工当日は、アジテータ車が途切れ途切れで到着したこともあり、吐出量が瞬間的に大きくなったことが主な原因と思われる。

表-1 圧送計画

項目	施工条件	備考
対象部材	水処理施設の底版	
コンクリートの仕様	普通 27 12 20 M	
コンクリート数量 V	280m ³	
施工時間 T	6h	全作業時間
作業効率 η_w	0.85	アジテータ車2台付け、スラブ
平均吐出量 Q_A	47m ³ /h	$V \div T: 280 \text{m}^3 \div 6 \text{h}$
計画吐出量 Q_P	55m ³	$Q_A \div \eta_w: 47 \text{m}^3/\text{h} \div 0.85$
5 B 管部	水平換算距離	ブーム: 60.3m 39mブーム 水平管: 12.0m 延長水平管3.0m×4本 ベント管: 6.4m 500R-90°: 0.8m×1本×8 (換算係数)
	管内圧力損失 K_{5B}	0.020N/mm ² /m スラップ12cm, $Q_P=55 \text{m}^3/\text{h}$, 5B管
	圧送負荷 P_{5B}	1.574N/mm ² 0.020×(60.3+12.0+6.4)
4 B 管部	水平換算距離	テーパー管: 3.6m 1.2m×3 (換算係数) 先端ホース: 20.0m 7m×20/7 (換算係数)
	管内圧力損失 K_{4B}	0.031N/mm ² /m スラップ12cm, $Q_P=55 \text{m}^3/\text{h}$, 4B管
	圧送負荷 P_{4B}	0.732N/mm ² 0.031×(3.6+20.0)
鉛直上向き圧送負荷 P_H	0.204N/mm ²	単位重量22.7kN/m ³ , 圧送高さ9m
圧送負荷 P	2.51N/mm ²	$P_{5B} + P_{4B} + P_H$ (1.574+0.732+0.204)
必要吐出量 P_N	3.14N/mm ²	$P \times 1.25$
ポンプの機械効率 η_m	0.70	普通コン, スラップ12cm, ピストン式
ポンプの必要吐出量 Q_N	79m ³ /h	$Q_P \div \eta_m: 55 \div 0.70$

表-2 コンクリートの配合（普通 27 12 20 M）

W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S1	S2	G	Ad
54.3	12.0	4.5	168	309	257	599	980	3.09

W:上澄水, C:中庸熱セメント(密度:3.21g/cm³), S1:山砂(表乾密度:2.59g/cm³), S2:砕砂(表乾密度:2.67g/cm³), G:砕石 2005(表乾密度:2.70g/cm³), Ad:AE減水剤(リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体)

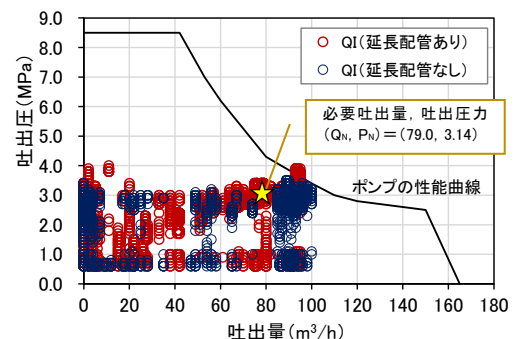


図-1 吐出量と前面圧の関係

キーワード コンクリートポンプ, IoT, 圧送, 吐出量, 吐出圧, 機械効率, 管内圧力損失

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

表-3 機械効率の算定結果

台数	受入れスランブ (cm)	連続RI 単位水量 (kg/m ³)	積載量 V _a (m ³ /台)	圧送開始時刻 (h:m:s)	圧送終了時刻 (h:m:s)	ピストン稼働時間 T _w (h)	実吐出力 Q _r ; V _a /T _w (m ³ /h)	IoT表示吐出量 Q _i (m ³ /h)	IoT表示Q _i から求まる機械効率 η _{mi} Q _r /Q _i	シリンダストロークの回数 St (回/台)	Stから求まる圧送量 q _{st} (m ³ /台)	Stから求まる機械効率 η _{ms} V _a /q _{st}	延長配管の接続
8	—	161.7	4.25	8:56:20	9:01:06	0.0794	53.5	85 ~ 90	0.63 ~ 0.59	79	6.60	0.64	あり
9	12.5	163.2	4.75	9:05:20	9:10:11	0.0808	58.8	90 ~ 98	0.65 ~ 0.60	76	6.35	0.75	
18	—	164.6	4.75	10:33:42	10:39:33	0.0819	58.0	75 ~ 76	0.77 ~ 0.76	80	6.68	0.71	
22	11.0	167.3	4.75	11:07:49	11:14:22	0.0736	64.5	90 ~ 90	0.72 ~ 0.72	80	6.68	0.71	なし
28	—	169.7	4.75	11:38:54	11:43:08	0.0647	73.4	89 ~ 96	0.82 ~ 0.76	77	6.43	0.74	
46	—	163.3	4.75	14:15:13	14:19:28	0.0708	67.1	85 ~ 90	0.79 ~ 0.75	80	6.68	0.71	
47	12.0	168.6	4.75	14:22:03	14:25:49	0.0628	75.7	90 ~ 98	0.84 ~ 0.77	79	6.60	0.72	

(平均: 0.72)

(平均: 0.71)

(2) 機械効率 η_m

機械効率の算定結果を表-3に示す。IoTデータに基づく機械効率 η_{mi}は、アジテータ車1台分の積載量 V_aを圧送に要したピストンの稼働時間 T_wで除した実吐出量 Q_rを、IoTポンプが表示した吐出量 Q_iで除して算定した。また、シリンダの稼働回数から求めた機械効率 η_{ms}についても併記した。機械効率の算定は、全58台のアジテータ車のうち、圧送の区切りが明瞭であった7台を対象とした。機械効率 η_{mi}, η_{ms}は、スランブ12cm程度のコンクリートに対して、0.59~0.84の範囲で変動したが、概ね指針³⁾に示される範囲(0.70~0.90)であった。併せて測定していた単位水量との関係で整理すると図-2に示すように、単位水量が大きいほど機械効率 η_{mi}が増大する傾向にあり、コンクリートの性質によって機械効率が変わること^{2),3)}がIoTデータからも示された。なお、延長配管が機械効率に及ぼす影響は、明確には認められなかった。

(3) 管内圧力損失

図-3にIoT主油圧と水平換算距離から算定した管内圧力損失 K値を示す。横軸は、IoT吐出量に機械効率 0.72を乗じた実吐出量 Q_rとした。今回の施工におけるIoTデータから算定したK値は、ばらつきが大きいものの、指針³⁾のものと概ね同等であった。

(4) 計画と実績の比較

表-4に計画時に用いた数値とIoTデータから算定した数値の比較を示す。機械効率や管内圧力損失は概ね合致していたが、作業効率は計画に対して大きく低下した。その理由として、底版が厚みのある配筋量の多い部材であったこと、アジテータ車が不連続で到着

したことが挙げられ、結果として、吐出量と吐出圧の増加に繋がったものと判断される。過度な打込み速度は、締固め不足などの品質低下を招き、過大な圧力は、機械や機器の故障・損壊、さらには事故の原因にもなり得る。IoTポンプのデータのモニタリングは、品質や安全の確保にも有用であるといえる。

4. まとめ

IoTポンプで取得したデータを施工管理の情報と照合させて分析・評価した。その結果、機械効率や管内圧力損失の算定や施工上の課題(作業効率や納入管理)の抽出が可能であることが示された。IoTポンプが現場における円滑かつ安全な圧送作業や、圧送計画に必要な各種データの蓄積に活用されていくことを期待する。

参考文献

- 1) 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 吉田賢治: IoTによるコンクリートポンプの稼働記録を利用した圧送データの実態分析の試み, コンクリート工学, Vol.59, No.12, pp.1004~1010, 2021.12.
- 2) (一社)全国コンクリート圧送事業連合会: 最新コンクリートポンプ圧送マニュアル, 2020.11.
- 3) (公社)土木学会: コンクリートのポンプ施工指針 [2012年版], コンクリートライブラリー135, 2012.6.

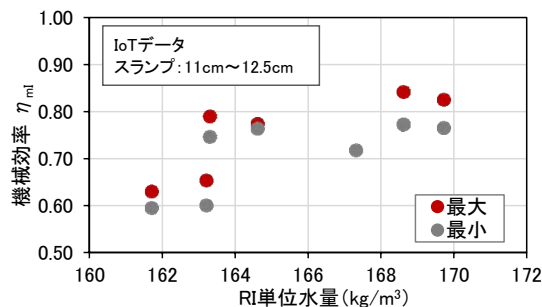


図-2 単位水量とIoT機械効率の関係

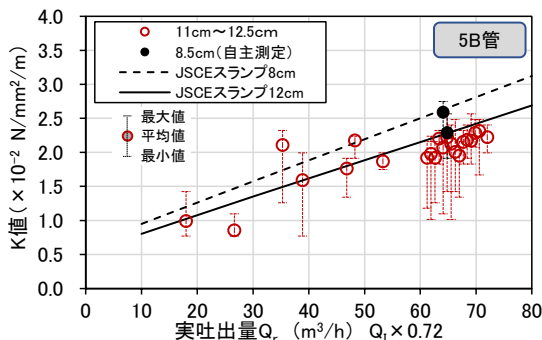


図-3 管内圧力損失 (5B管)

表-4 計画と実績の比較

	計画	実績 (IoTデータ)
機械効率	0.70	0.72
実吐出量 (m ³ /h)	55	72 (機械効率考慮)
理論吐出量 (m ³ /h)	78	100 (IoT生データ)
吐出圧力 (N/mm ²)	3.14	4.00
55m ³ /h時のK値 (N/mm ² /m)	0.02	0.02程度
全作業時間 (時間)	6.0	7.3
作業効率	0.85	0.57