

ポンプ圧送過程における空気量モニタリング手法の提案

鉄建建設(株) 正会員 ○西脇 敬一
鉄建建設(株) 正会員 岩城 圭介
鉄建建設(株) 正会員 福岡 瑛莉奈

1. はじめに

通常、フレッシュコンクリートの品質検査では、20～150m³ごとに1回の頻度でスランプや空気量等を検査しているが、打込むコンクリート全量を対象としていない。一方、全量を対象とした品質検査手法としては、単位水量¹⁾やスランプ²⁾の報告例はあるが空気量については見られない。そこで、空気量を全量モニタリングする技術として、ポンプ圧送時に管内圧力と単位容積質量（密度）を連続して測定し、これらから空気量を推定する手法を考えた。今回、当該手法について、実際に配管を用いてコンクリートを圧送し、これらの測定結果から空気量の推定が可能であるかの検証を行った。

2. 空気量のモニタリング手法の概要

当該手法は、JIS A 1116「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」を応用し、圧送時の管内圧力と単位容積質量の実測値から大気圧下での空気量を推定する手法である。概念図を図1に示す。

管内圧力 P_1 での空気量 A_1 は、

$$A_1 = V_1 / (V_c + V_1) \times 100 = (T - M_1) / T \times 100 \quad \dots \text{式(1)}$$

ボイルの法則より、

$$V_2 P_0 = V_1 P_1 \quad \dots \text{式(2)}$$

大気圧下での空気量 A_0 は、

$$A_0 = V_2 / (V_c + V_2) \times 100 \quad \dots \text{式(3)}$$

式(3)に式(1)と式(2)を変形して代入すると

$$A_0 = P_1 (T - M_1) / (P_0 M_1 + P_1 (T - M_1)) \times 100 \quad \dots \text{式(4)}$$

式(4)は、大気圧 P_0 下での空気量 A_0 を推定するものである。 P_0 を任意の圧力とすることで任意の圧力下での空気量の推定にも用いることができる。

空気量が異なる場合の管内圧力と単位容積質量の関係の例を図2

に示す。各空気量の単位容積質量は、管内圧力が高いほどその差は小

さくなり、空気が全くないものとして計算したコンクリートの単位容積質量 T に漸近する。よって、高圧力下での単位容積質量に基づき上記の式(4)を用いて空気量を算出すると、誤差を含みやすい。誤差要因としては、材料密度等の変動による T の変動が考えられる。 T の変動に起因する空気量算出の誤差を少なくするには、実測された管内圧力と単位容積質量から T を推定する方法が有効と考えられる。そこで、圧送過程における比較的大きい管内圧力 P_{max} 、それに対応する単位容積質量 M_{pmax} と比較的小さい管内圧力 P_{min} 、それに対応する単位容積質量 M_{pmin} を抽出し、式(4)を用いて、 $T = M_{pmax}$ 、 $P_1 = P_{min}$ 、 $M_1 = M_{pmin}$ 、 $P_0 = P_{max}$ として A_0 を求める。この A_0 は、仮に $T = M_{pmax}$ とした場合の P_{max} 時の空気量の推定値 A_{pmax} に位置づけられ、式(5)を用いて A_{pmax} と M_{pmax} によって T の推定値 $T(e)$ が算出可能となる。このとき、 P_{max} はなるべく高く、 P_{min} はなるべく大気圧（ゲージ圧で0）に近いことが望ましい。

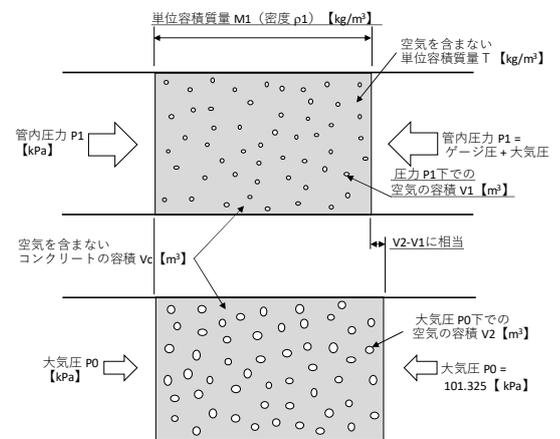


図1 空気量のモニタリング手法の概念図

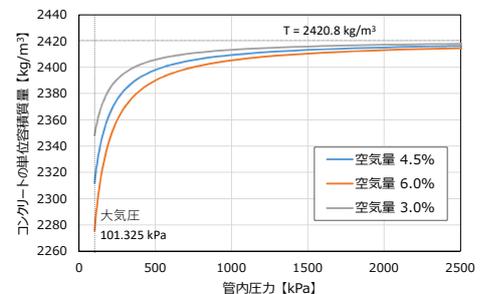


図2 管内圧力と単位容積質量

キーワード 空気量, 全量検査, 管内圧力, 単位容積質量, 密度

連絡先: 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設(株)建設技術総合センター TEL 0476-36-2355

$$T(e) = M_{pmax} / (1 - A_{pmax} / 100) \dots \text{式(5)}$$

最後に再度、式(4)を用いることで、 $T=T(e)$, $P_1=P_{min}$, $M_1=M_{pmin}$ として、大気圧下での空気量 A_0 を算出できる。

3. 実験概要

(1) 実験ケース

実験ケースは、空気量をパラメータとし、一般的な許容範囲 $4.5 \pm 1.5\%$ の上限方と下限方の2ケースとし、各ケースで吐出量を表1に示すように変化させた。

コンクリートの配合を表2に示す。Case1の実験終了後、アジテータ車に混和剤を後添加して空気量を調整しCase2の実験に用いた。

(2) 配管および計測方法

配管は、主に5B管を使用し、水平換算距離は105mとした。圧送には、ピストン式のポンプ車を用いた。

計測項目は、単位容積質量と管内圧力とした。計測器には、 γ 線透過型密度計とフラッシュダイヤフラム型圧力計を用い、ポンプ車から水平換算距離で約15mの位置に図3に示すように設置した。空気量の実測値は、JIS A 1128に準じて測定した。

4. 検証結果

空気量の実測値は、Case1において圧送前後に測定を行ったが、圧送前5.7%、圧送後5.8%であり、圧送による変化は認められなかった。Case2の圧送後の空気量の実測値は3.1%であった。

単位容積質量と管内圧力の測定結果の例を図4と図5に示す。なお、単位容積質量の測定結果は、30秒間の移動平均で表した。単位容積質量は、圧送によって未圧送時から増加することが確認された。空気量の推定に用いる単位容積質量 M_{pmax} と M_{pmin} は、該当時間における測定値の平均値を使用した。同様に管内圧力 P_{max} も、該当時間における測定値の平均値を用い、 P_{min} は M_{pmin} が未圧送時の測定値のため大気圧とした。空気量の推定結果の一覧を表3に示す。空気量の推定値は、Case1が実測値5.8%に対して5.55~5.62%、Case2が実測値3.1%に対して3.48~3.55%と算出された。また、同じ実験ケースでは、吐出量が異なる場合も空気量の推定値は、同程度となり差は認められなかった。これらより、ポンプ圧送時における単位容積質量と管内圧力の測定結果から、空気量を推定できる可能性が見出された。

5. おわりに

今回、ポンプ圧送過程における単位容積質量と管内圧力の測定結果から、空気量を推定する手法を検証した。今後は、データの収集方法や収集データのばらつき処理方法等について検討を進める予定である。

【参考文献】

- 例えば、瀬古繁喜ほか: RI水分計による単位水量連続測定方法に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.343-348, 2000
- 例えば、大友健ほか: 「生コン情報の電子化」の展開-PRISMによる現場打ちコンクリート工の生産性向上と品質管理の高度化の検証-, コンクリート工学, Vol.58, No.1, pp.39-44, 2020.1

表1 実験ケース

実験ケース	空気量(実測値) [%]	吐出量 [m ³ /h]
Case1	5.8	20, 35, 50
Case2	3.1	20, 35

表2 コンクリートの配合

W/C [%]	s/a [%]	単位量[kg/m ³]			
		W	C	S	G
50.2	43.6	171	341	761	1013

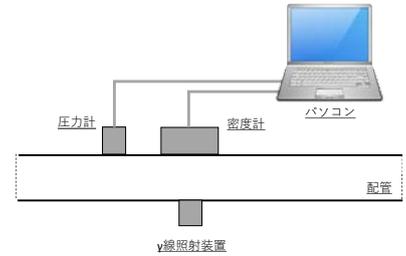


図3 計測器の配置図

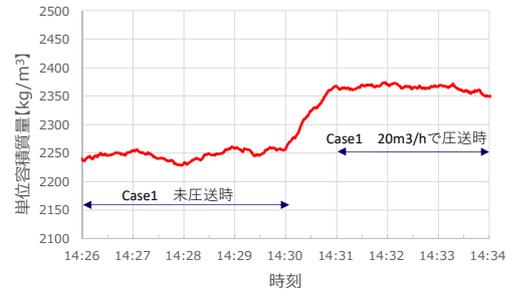


図4 単位容積質量の測定結果の例

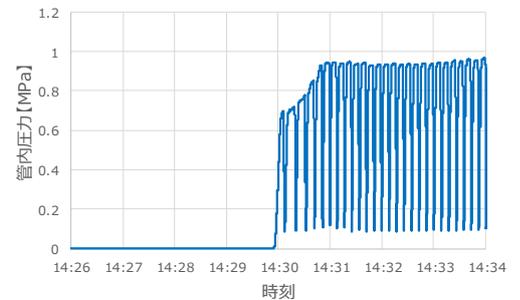


図5 管内圧力の測定結果の例

表3 空気量の推定結果

	Case1			Case2	
	吐出量 20m ³ /h	吐出量 35m ³ /h	吐出量 50m ³ /h	吐出量 20m ³ /h	吐出量 35m ³ /h
M_{pmax} [kg/m ³]	2363.5	2366.8	2369.3	2377.5	2381.0
M_{pmin} [kg/m ³]	2246.1	2246.1	2246.1	2302.5	2302.5
P_{max} [kPa]	854.69	1052.23	1256.22	965.20	1291.23
P_{min} [kPa]	101.33	101.33	101.33	101.33	101.33
A_{pmax} [%]	0.616	0.515	0.440	0.341	0.267
$T(e)$ [kg/m ³]	2378.2	2379.0	2379.8	2385.6	2387.4
空気量推定値 [%]	5.55	5.59	5.62	3.48	3.55
空気量実測値 [%]	5.8			3.1	