

## ピストン式コンクリートポンプの吸入効率に関する基礎的研究

奥野 優希\*1・西脇 敬一\*2・岩城 圭介\*3・橋本 紳一郎\*4

## 概 要

コンクリートポンプの吸入効率に及ぼす影響要因の確認および 1 ストロークごとの吸入効率の把握を目的に、コンクリートポンプのピストン部を模擬した試験装置を用い吸入実験を行った。吸入効率の影響要因の確認は、細骨材の種類やスランプを変化させた実験を行い、細骨材の種類およびスランプが吸入効率に影響を与えることを確認した。また、1 ストロークごとの吸入効率を把握するために配管に圧力計を設置し、吸入時のシリンダ内圧力の大きさを計測し、吸入効率とシリンダ内圧力には高い相関があることを確認した。

キーワード：吸入効率，圧送，機械効率，ピストン式コンクリートポンプ，フレッシュコンクリート

## A BASIC STUDY ON THE SUCTION EFFICIENCY OF PISTON-TYPE CONCRETE PUMPS

Yuki OKUNO \*1, Keiichi NISHIWAKI \*2, Keisuke IWAKI \*3, Shinichiro HASHIMOTO \*4

## Abstract

For the purpose of confirming the factors affecting the suction efficiency of concrete pumps and to understand the suction efficiency per stroke, suction experiments were conducted using a test device simulating the piston part of a concrete pump. To confirm the factors affecting suction efficiency, experiments were conducted by changing various conditions, and it was confirmed that the type of fine aggregate and the slump affect suction efficiency. Furthermore, to evaluate the suction efficiency per stroke, a pressure gauge was installed on the pipeline to measure the cylinder pressure during the suction process. The results confirmed a high correlation between suction efficiency and cylinder pressure.

Keywords: Suction efficiency, Pumping, mechanical efficiency, Piston-type concrete pump, Fresh concrete

---

\*1 JV Shinjuku Station Improvement Office, Tokyo Railway Branch

\*2 Manager, Material Group, Research &amp; Development Center

\*3 General Manager, Research &amp; Development Center

\*4 Professor, Faculty of Creative Engineering, Chiba Institute of Technology

## ピストン式コンクリートポンプの吸入効率に関する基礎的研究

奥野 優希\*1・西脇 敬一\*2・岩城 圭介\*3・橋本 紳一郎\*4

### 1. はじめに

近年のコンクリート工事では、コンクリートポンプ車を用いた現場内でのコンクリート運搬が主流となっている。コンクリートポンプは、ピストン式コンクリートポンプとスクイズ式コンクリートポンプの2種類に分類されており、コンクリートの配合や圧送距離などの制限が少ないピストン式コンクリートポンプが用いられることが多くなっている。施工計画段階でポンプの機種や台数の選定における重要な要素であるピストン式コンクリートポンプの機械効率は、コンクリート標準示方書[施工編]<sup>1)</sup>によると、軽量骨材コンクリートを除くスランプ 6~21cm のコンクリートで 0.65~0.90 となっている。また、最新コンクリートポンプ圧送マニュアル<sup>2)</sup>では、コンクリートの種類(普通コンクリート、軽量コンクリート、高流動・高強度コンクリート)ごとの機械効率が参考値として 0.50~0.90 の範囲で記載されている。しかし、いずれも機械効率の設定値の幅が大きく、設定値はスランプごとに記載されているが、スランプ以外の要素が機械効率に与える影響については考慮されていないのが現状である。そのため、コンクリートポンプの機械効率を正確に把

握すること、スランプ以外の要因が機械効率に与える影響を明確にすることが求められている。また、コンクリートのポンプ施工指針[2012 年版]<sup>3)</sup>によると、コンクリートポンプの機械効率は、吸入効率と吐出効率に分けられ、吸入効率は、主にポンプのホoppaからシリンダへのコンクリートの流入状態の影響を受ける。吐出効率は、高圧側(吐出側)から低圧側(ホoppa側)への逆流状態の影響を受けるとされている。既往の研究<sup>4),5)</sup>では、コンクリートポンプの1日の作業内容から作業効率を求め、コンクリートポンプの機械効率やその他の圧送条件から平均圧送量を算出して機械効率を算出する手法を用いている。しかしこの手法では、吸入効率および吐出効率の影響を確認することができず、どちらの影響で機械効率の低下を引き起こしているかの判断が難しい。また、1日のコンクリートポンプの機械効率の平均を表していることから、1ストロークごとの瞬間的な機械効率を表し判断することはできない。

そこで本研究では、機械効率に影響を与える要因を明確にすること、1ストロークごとの機械効率を推定することを目的とした。そのため、コンクリートの状態による影響が大きいと想定され



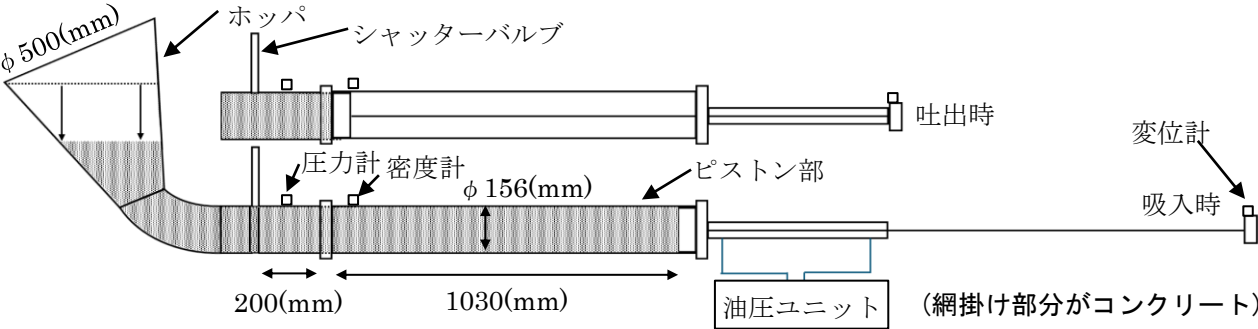
写真-1 コンクリートポンプのピストン部を模擬した試験装置

\*1 東京鉄道支店 JV 新宿駅改良作業所

\*2 建設技術総合センター 研究開発センター 材料グループ グループリーダー

\*3 建設技術総合センター 研究開発センター 所長

\*4 千葉工業大学 創造工学部 都市環境工学科 教授



図ー1 本試験装置の形状と測定点位置

表ー1 コンクリート配合

| 配合 | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |                |                |                |                |    |
|----|--------------|------------|------------|------------|-------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----|
|    |              |            |            |            | W                       | C   | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | G <sub>1</sub> | G <sub>2</sub> | Ad |
| A  | 15 ± 2.5     | 4.5 ± 1.5  | 55         | 44.7       | 172                     | 313 | 556            | 247            | 501            | 510            | 適宜 |
| B  | 10 ~ 20      |            |            |            |                         |     | —              | 820            |                |                |    |

る吸入効率に着目し、写真ー1 に示すコンクリートポンプのピストン部を模擬した試験装置（以降、「本試験装置」と記す。）を用いて、コンクリートの配合条件やスランプが吸入効率に与える影響を確認し、吸入効率に与える影響要因について検討した。また、配管に取り付ける圧力計を用いてコンクリート吸入時のシリンダ内圧力を測定し、吸入効率と吸入時のシリンダ内圧力の関係について検討を加え、1 ストロークごとの吸入効率の把握が可能であることを確認した<sup>6)</sup>。

2. 実験概要

2.1 本試験装置の概要

本試験装置を図ー1 に示す。本試験装置はフレッシュコンクリートの変形性評価試験方法（JSCE-F 509-2018）の小型圧送試験装置のテーパー管部分を除き、ホッパを模擬した装置を接続したものである。ピストン部の内径は 156mm (6B)、ピストンストロークは 1030mm とし、ピストン部のホッパ側外部に L=200mm の圧力計設置用の直管を設置した。シャッターバルブはピストン部ホッパ側外部直管に設置し、ピストン部を完全に引き切った際のシャッターバルブで閉鎖されたシリンダ容積は 0.0235m<sup>3</sup> である。また、吸入時のピストンの速度は 93~118mm/s であった。

表ー2 使用材料

| 材料   | 記号             | 物性等                                                         |
|------|----------------|-------------------------------------------------------------|
| セメント | C              | 普通ポルトランドセメント<br>密度:3.16g/cm <sup>3</sup>                    |
| 練混ぜ水 | W              | 水道水<br>密度:1.00g/cm <sup>3</sup>                             |
| 細骨材  | S <sub>1</sub> | 山砂、茨城県鹿嶋市<br>表乾密度:2.60g/cm <sup>3</sup> ,<br>実積率:61.2%      |
|      | S <sub>2</sub> | 砕砂、栃木県佐野市<br>表乾密度:2.68g/cm <sup>3</sup> ,<br>実積率:58.4%      |
| 粗骨材  | G <sub>1</sub> | 碎石 2005、茨城県笠間市<br>表乾密度:2.65g/cm <sup>3</sup> ,<br>実積率:60.1% |
|      | G <sub>2</sub> | 碎石 2005、栃木県佐野市<br>表乾密度:2.70g/cm <sup>2</sup> ,<br>実積率:60.2% |
| 混和剤  | Ad             | AE 減水剤標準形(高性能タイプ)                                           |

2.2 コンクリートの使用材料と配合

コンクリート配合を表ー1 に、使用材料を表ー2 に示す。練上り時の目標スランプは配合 A が 15 ± 2.5cm、配合 B が 15cm を基準に 12.5cm ~ 20.0cm の範囲で 2.5cm 程度ずつ異なる 4 水準(配合 B-1 ~ B-4)となるように混和剤の添加量で調整した。また、目標空気量は配合 A、配合 B とともに 4.5 ± 1.5%とした。配合 A は山砂と砕砂の混合砂を使用し、配合 B は砕砂を使用した。配合 A と配合 B-3 では、同一スランプによる骨材の違いが吸入効率に与える影響を確認した。また、配合 B-1

～B-4 では、スランプが吸入効率に与える影響を確認した。この際 B-1～B-4 の分離抵抗性等のフレッシュ性状には大きな差異がなかった。

### 2.3 実験項目と実験方法

実験手順を図-2 に示す。コンクリート練混ぜ後と静置後（吸入実験終了まで静置）並びに吸入実験後にスランプ試験（JIS A 1101）、空気量試験（JIS A 1128）、コンクリート温度測定（JIS A 1156）、単位容積質量（JIS A 1116）を測定した。

吸入実験は、写真-1、図-1 で示した本試験装置を用いて次の手順で行った。

- (1) ピストンを押し切り、シャッターバルブを開いた状態でホoppaからコンクリートを入れ、突き棒、木づちを用いホoppa開口部最低高さまでコンクリートを詰める。
- (2) 巻き込み空気の影響を考慮し、1 度コンクリートを吸入し、ホoppa部に吐き戻す。
- (3) 再度所定の高さまでコンクリートを詰める。
- (4) コンクリートを吸入し、シャッターバルブを閉じる。
- (5) ホoppa部とピストン部を切り離し、シャッターバルブを開け、コンクリートを排出する。
- (6) 排出したコンクリートの質量を測定し、吸入効率を式(1)で求める。

$$I_w = W_s / 1000 \rho_t V_{cyl} \quad (1)$$

ここに、 $I_w$ ：吸入効率、 $W_s$ ：吸入したコンクリートの質量（kg）、 $\rho_t$ ：静置コンクリートの単位容積質量（t/m<sup>3</sup>）、 $V_{cyl}$ ：シャッターバルブで閉鎖されたシリンダ容積（m<sup>3</sup>）

### 2.4 コンクリート吸入時のシリンダ内圧力、ピストン部変位の測定

コンクリート吸入時のシリンダ内圧力（負圧）を本試験装置に設置した圧力計により測定し、1 ストロークごとの吸入効率の把握が可能であるかを確認した。また、本試験装置のピストン部先端に設置した変位計により、ピストン稼働時の変位を測定した（図-1 参照）。なお、圧力計の設置位置は、図-1 に示すようにピストン部ホoppa側外部直管の中央（ピストン部から 100mm）とした。ピストン部の管径は呼び径 6B（150A）である。

## 3. 結果・考察

### 3.1 フレッシュ試験

コンクリートのフレッシュ試験結果を表-3 に示す。なお、配合 B-4 の吸入後は、吸入実験終了後のシリンダ内の試料が少なくスランプ、空気量、単位容積質量、コンクリート温度を測定することができなかった。

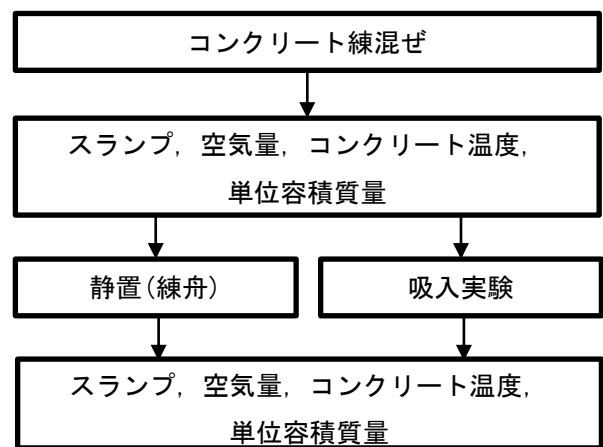


図-2 実験手順

表-3 フレッシュ試験結果

| 配合  | 練上り直後        |            |                                |            | 静置後          |            |                                |            | 吸入実験後        |            |                                |            |
|-----|--------------|------------|--------------------------------|------------|--------------|------------|--------------------------------|------------|--------------|------------|--------------------------------|------------|
|     | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 単位容積質量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | CT<br>(°C) | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 単位容積質量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | CT<br>(°C) | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 単位容積質量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | CT<br>(°C) |
| A   | 15.5         | 3.4        | 2.340                          | 11         | 9.0          | 1.8        | 2.323                          | 11         | 8.0          | 0.9        | 2.413                          | 11         |
| B-1 | 19.0         | 5.9        | 2.295                          | 11         | 16.0         | 5.1        | 2.315                          | 11         | 12.0         | 5.2        | 2.330                          | 12         |
| B-2 | 17.0         | 4.1        | 2.348                          | 11         | 13.5         | 3.8        | 2.352                          | 11         | 12.5         | 2.7        | 2.376                          | 11         |
| B-3 | 15.5         | 4.1        | 2.340                          | 12         | 10.5         | 3.1        | 2.370                          | 12         | 9.0          | 3.0        | 2.376                          | 12         |
| B-4 | 11.5         | 4.5        | 2.337                          | 11         | 7.5          | 2.9        | 2.375                          | 12         | —            | —          | —                              | —          |

すべての配合で練上り直後より静置後、吸入実験後のスランプおよび空気量は減少傾向にあった。また、静置後より吸入実験後の方がスランプ、空気量ともに減少した。これは、吸入実験時にコンクリートにかかる圧力による影響だと考えられる。

### 3.2 吸入実験

吸入効率の算出要因を表-4 に、吸入効率を表-5 に、スランプと吸入効率の関係を図-3 に示す。表-5 の吸入可否については、コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>の機械効率の目安を参考に、吸入効率 0.85 以上を○、0.65～0.85 を△、0.65 以下を×と表した。吸入可否が△となった B-3 は一度ピストンを引き切ることができたが、油圧ユニット停止後ピストンが戻り停止した。また、吸入可否が×となった B-4 はピストンを引き切ることができず、油圧ユニット停止前にピストンが戻る結果となった。そのため、B-3 および B-4 はピストン部が完全に停止した時点でシャッターバルブを閉め、変位計の値をもとにシャッターバルブで閉鎖されたシリンダ容積を求め、ピストン部が停止した時点での吸入効率として算出した。B-3 および B-4 でピストン部が戻った原因としては、負圧が戻らずに吸入が終了したことから、吸入時に閉塞気味となりシリンダ内の圧力が著しく低くなったことに起因すると考えられる。また、B-3 は、A とスランプが同じであるにもかかわらず閉塞気味になったことや吸入効率が低いことから、ピストン式コンクリートポンプの吸入効率の影響要因として細骨材の粒形判定実積率や比表面積などが関係していると推察される。これにより、粒形の良い細骨材を使用することで吸入効率が向上し、閉塞の危険性も低下する可能性が示唆された。また、配合 B-1～B-4 より、スランプと吸入効率の関係に高い相関があり、決定係数 $R^2$ は 0.965 となり、スランプの上昇に伴い吸入効率も向上する傾向がみられた。これは、スランプの上昇に伴い、コンクリートの流動性が向上し、吸入効率の向上につながったと考えられ、スランプは吸入効率の影響要因であることが確認された。以

表-4 吸入効率の算出要因

| 配合  | 吸入した<br>コンクリート<br>質量<br>(kg) | 静置コンクリートの<br>単位容積質量<br>(t/m <sup>3</sup> ) | シャッターバルブで閉鎖されたシリンダ容積<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-----|------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| A   | 54.015                       | 2.323                                      | 0.0235                                    |
| B-1 | 53.600                       | 2.315                                      | 0.0235                                    |
| B-2 | 51.071                       | 2.352                                      | 0.0235                                    |
| B-3 | 28.773                       | 2.370                                      | 0.0176                                    |
| B-4 | 14.497                       | 2.375                                      | 0.0156                                    |

表-5 吸入効率

| 配合  | 吸入効率  | 吸入可否 |
|-----|-------|------|
| A   | 0.989 | ○    |
| B-1 | 0.985 | ○    |
| B-2 | 0.924 | ○    |
| B-3 | 0.690 | △    |
| B-4 | 0.391 | ×    |

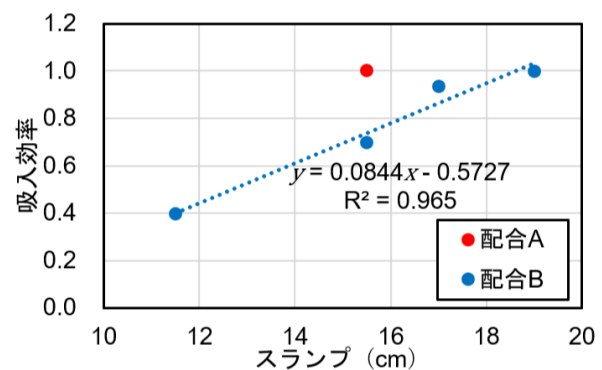


図-3 スランプと吸入効率

上のことより、本研究の範囲では吸入効率はスランプおよび細骨材の形状の影響を受けることが示唆された。ただし、本試験装置は、シリンダ径が通常の圧送ポンプと比較して小さく、また実験結果には粒形の良くない砕砂のみを使用したコンクリートの結果を含むため、スランプや骨材の品質が吸入効率に及ぼす影響は、コンクリート標準示方書等と比較してより顕著であったと考えられる。

### 3.3 シリンダ内圧力

表-5 において吸入可否が○の配合 A および配合 B-2 と△の配合 B-3 の吸入実験時のシリンダ内圧力およびピストン部先端の変位を図-4 に示す。配合 A および配合 B-2 は、吸入効率がどちらも 0.9 以上であるが、吸入時のシリンダ内圧力には

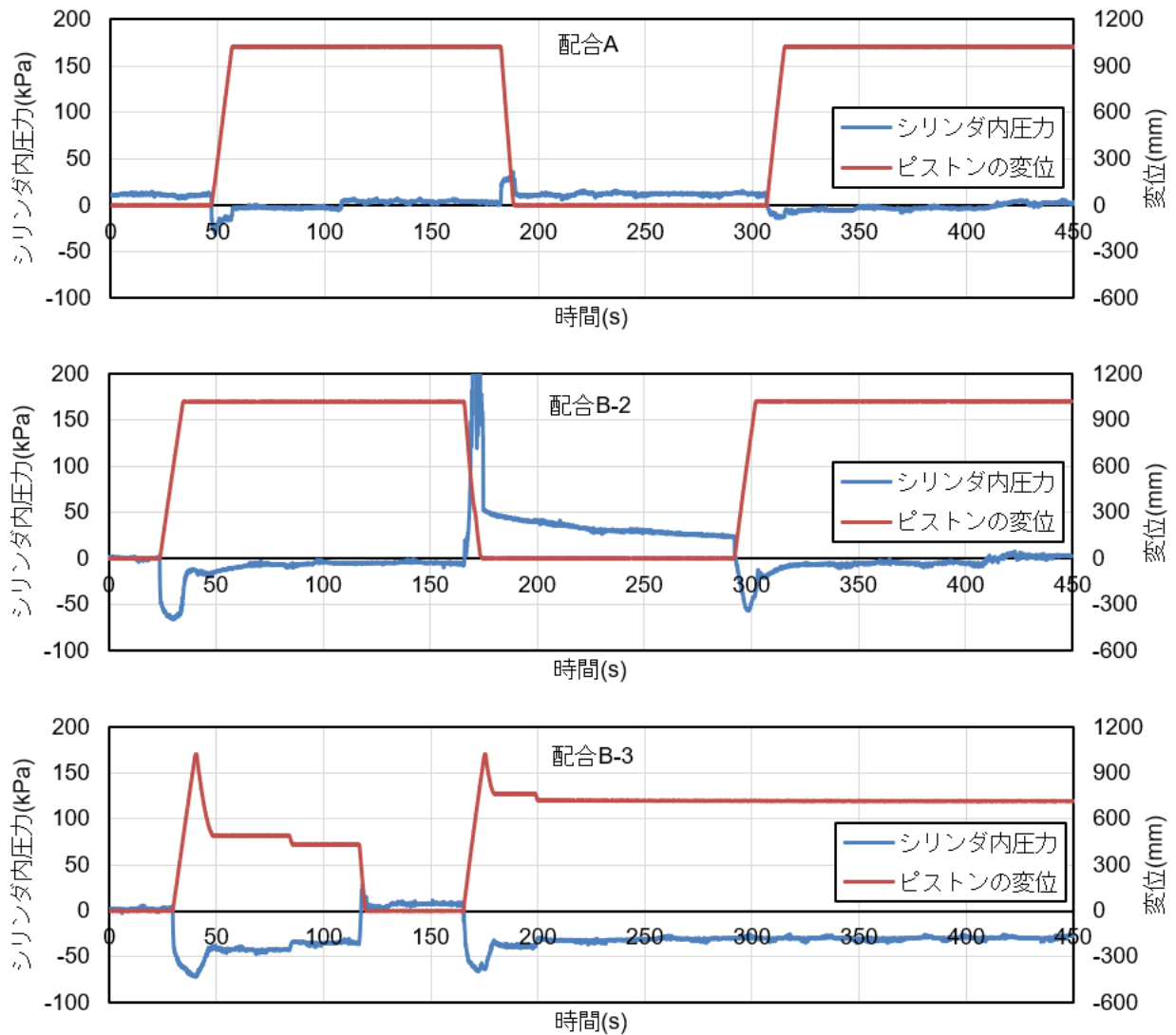


図-4 吸入実験時のシリンダ内圧力およびピストン部先端の変位

大きな差がある結果となった。また、吸入効率が0.69となった配合B-3は配合Aおよび配合B-2に比べ吸入時の負の圧力が大きくなっている。吸入時のシリンダ内圧力は、各配合で異なるものの変動形態（波形の形状）は概ね同様なことが確認された。なお、配合B-2の吐出時は管内圧力が著しく高くかつ大きな変動がみられることから一時的に閉塞に近い状態になり、吐出可能であったが粗骨材の接触等によって管内圧力が残存した可能性がある。コンクリート吸入時のシリンダ内圧力と吸入効率の関係を図-5に示す。ここで、シリンダ内圧力は、図-6に示すように吸入前でも圧力が生じていたことから、吸入直前の圧力を基準(0)として補正し、吸入過程における圧力(図-6中赤色の楕円で囲まれた範囲)の平均を算出

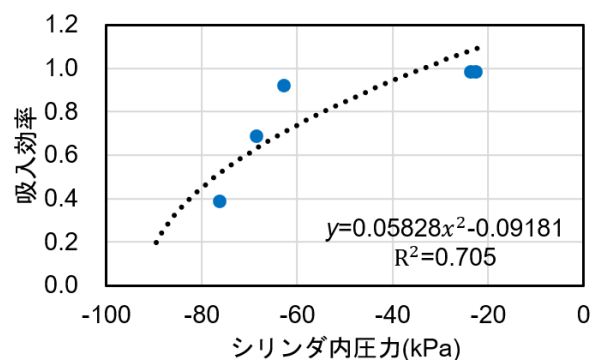


図-5 シリンダ内圧力と吸入効率

して示した。図-5より、シリンダ内圧が大きくなると吸入効率も大きな値となっており、シリンダ内圧力と吸入効率には相関性がみられた。図-5中の破線は吸入効率とシリンダ内圧力の近似式から表したものである。近似式とコンクリート吸入時のシリンダ内圧力の決定係数は0.705とな

っており、高い相関があることが確認された。

ここで、シリンダ内の圧力変動が吸入時のコンクリートに及ぼす影響を考えると、図-7 に示すように空気量の容積が変化することが推察される。そこで、吸入効率が空気量の容積のみの変化によるものと仮定すると、吸入効率は、吸入時の圧力  $P_1$  下での空気量の容積  $V_1$  と大気圧  $P_0$  下での空気量の容積  $V_0$  の差で表すことができる。

したがって吸入効率  $I_v$  は、

$$\begin{aligned} I_v &= 1 - (A_1/100 - A_0/100) \\ &= 1 - V_1/(V_1 + V_{con}) + A_0 \end{aligned} \quad (2)$$

ボイルの法則より、 $V_0 P_0 = V_1 P_1$ 、

$V_{con} + V_0 = 1$  とすると、 $V_0 = A_0$ 、 $V_{con} = 1 - A_0$ 。

よって、

$$I_v = 1 - A_0 P_0 / P_1 / (A_0 P_0 / P_1 + 1 - A_0) + A_0 \quad (3)$$

ここに、 $A_0$ :大気圧下でのコンクリートの空気量 (%)、 $A_1$ :吸入時の圧力下でのコンクリートの空気量 (%)

なお、 $P_0$ 、 $P_1$  は絶対圧である。

式(3)より、吸入効率  $I_v$  は、大気圧  $P_0$  下での空気量の容積  $V_0$  および吸入時のシリンダ内圧力  $P_1$  で推定可能となる。

吸入効率の実測値  $I_w$  と式(3)による計算値  $I_v$  を表-6 に示す。なお、吸入時のシリンダ内圧力は図-6 と同様にして求めた。

シリンダ内圧力と吸入効率  $I_v$  の関係を図-8 に示す。各配合の計算値  $I_v$  は、式(3)を用いて算出し、大気圧  $P_0$  下での空気量の容積  $V_0$  は静置後のコンクリートの結果を用いた。なお、図中には、各配合の実測値  $I_w$  を併記した。配合 A、B-1、B-2 では、計算値  $I_v$  と実測値  $I_w$  が概ね一致する結果となった。しかし、配合 B-3 および配合 B-4 では、計算値  $I_v$  と実測値  $I_w$  は、大きく乖離する結果となった。これより、吸入効率が低い場合、空気量の容積変化のみでは吸入効率を適切に表現できない可能性が示唆された。

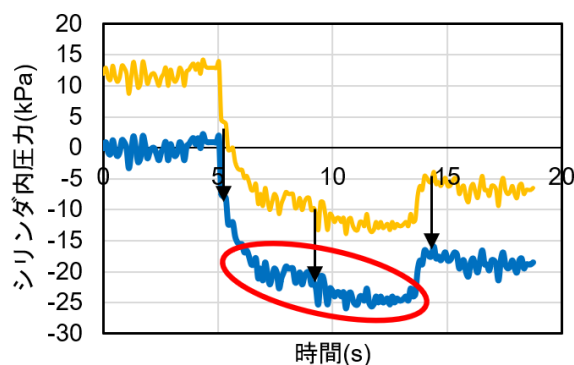


図-6 吸入時のシリンダ内圧力の例

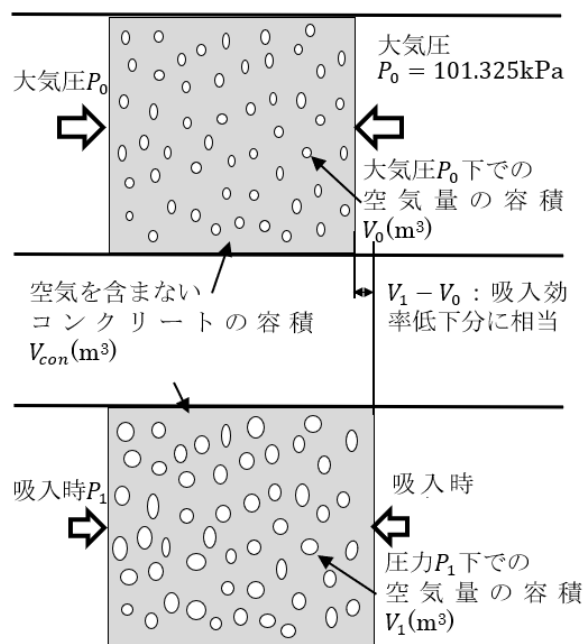


図-7 シリンダ内の圧力と空気量の概念図

表-6 吸入効率の実測値と計算値

| 配合  | シリンダ内圧力 (kPa)<br>$P_1 - P_0$ | 吸入時圧力 (kPa)<br>$P_1$ | 吸入効率         |              |
|-----|------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
|     |                              |                      | 実測値<br>$I_w$ | 計算値<br>$I_v$ |
| A   | -22.593                      | 78.732               | 0.989        | 0.995        |
| B-1 | -23.798                      | 77.527               | 0.985        | 0.985        |
| B-2 | -62.727                      | 38.598               | 0.924        | 0.944        |
| B-3 | -68.496                      | 32.829               | 0.690        | 0.941        |
| B-4 | -76.300                      | 25.025               | 0.391        | 0.923        |

#### 4. まとめ

本研究では、ピストン式コンクリートポンプの吸入効率について以下の結論が得られた。

- 1) ピストン式コンクリートポンプの吸入効率は、細骨材の種類およびスランプが影響する。
- 2) 細骨材の形状が良好であると吸入効率は向上

する傾向にある。

- 3) スランプの増加により吸入効率は向上し、スランプと吸入効率には高い相関がみられた。
- 4) コンクリート吸入時のシリンダ内圧力と吸入効率には高い相関がみられた。
- 5) 吸入効率が低い場合、吸入時の空気量の容積変化のみでは吸入効率を適切に表現できない可能性がある。

## 5. おわりに

本検討では、吸入効率が高い場合は、実測値 $I_w$ と吸入時の空気量の容積変化のみを考慮した計算値 $I_v$ がおおむね一致することが確認された。一方、吸入効率が低い場合は、実測値 $I_w$ と吸入時の空気量の容積変化のみを考慮した計算値 $I_v$ に乖離が認められた。このことから、吸入効率が低い場合、吸入時のシリンダ内への空気の混入や空気量以外のコンクリートの物性、ならびに今回製作して用いた本試験装置等が影響している可能性も考えられる。今後、吸入効率の低下の要因についてさらなる検討を進める予定である。

## 謝辞

本稿は、千葉工業大学と共同研究の成果の一部を取りまとめたものである。千葉工業大学の学生の皆様には、実験の準備から実施に至るまで多大なるご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 土木学会：2023 年制定コンクリート標準示方書[施工編]，pp.113-118，2023
- 2) 一般社団法人全国コンクリート圧送事業団体連合会：最新コンクリートポンプ圧送マニュアル，井上書院，pp.130-151，2020
- 3) 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，pp.17-26，2012
- 4) 高尾武志，和美廣喜：基礎およびスラブを対象としたコンクリートの圧送作業における作業効率と機械効率に関する一考察，日本建築学会技術報告集，第 16 巻，第 32 号，pp.17-20，2010.2
- 5) 瀬古繁喜，山口幹人，辻大二郎，小島正朗：スマートフォン内蔵の加速度計によるコンクリートポンプの圧送状況の計測方法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.1，pp.457-462，2024.6
- 6) 大野優希，西脇敬一，岩城圭介，橋本紳一郎：ピストン式コンクリートポンプの吸入効率に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.47，No.1，pp.1248-1253，2025.6