

孔内局部載荷試験における載荷速度が貫入抵抗値に及ぼす影響

The Study on the Influence of Loading Speed on Penetration Resistance in the Borehole Point Load Test

井戸 康浩^{*1}, 澤口 啓希^{*2}, 田中 徹^{*1}
 Yasuhiro IDO, Hiroki SAWAGUCHI and Toru TANAKA

The authors have studied on the influence of loading speed on penetration resistance in the borehole point load test, using a manual hydraulic pump and an electric hydraulic pump, adjusting loading speed in the range of 0.8 to 8.0 kN/s.

- 1) In the electric hydraulic pump, with the loading speed was increasing, the coefficient of variation of the loading speed was not affected. But the coefficient of variation of the penetration resistance tended to increase.
- 2) Loading speed has little influence on penetration resistance value in the loading speed range of 0.8 to 4.0 kN / s.
- 3) The penetration resistance value of using the manual hydraulic pump is equivalent to that of using the electric hydraulic pump.

Keywords : Borehole Point Load Test, Penetration Resistance, Loading Speed, Core
 孔内局部載荷試験, 貫入抵抗値, 載荷速度, コア

1. はじめに

孔内局部載荷試験は、コンクリート構造物の任意の深度におけるコンクリート強度を推定する微破壊試験である¹⁾。孔内局部載荷試験装置は、写真-1に示すように、載荷装置、油圧ポンプ、データ収集装置から構成される。具体的な試験方法は、コンクリート構造物にコアを削孔し、そのコア孔に載荷装置を挿入し、載荷装置の載荷先端（直径 6mm の半球）を孔壁に貫入させて、荷重と貫入量の関係から貫入抵抗値を求める。貫入抵抗値の算出方法を図-1に、貫入抵抗値とコア強度の関係²⁾(一例)を図-2に示す。この図に示すように、孔内局部載荷試験では、荷重 ΔP を貫入量 ΔL で除した値を貫入抵抗値と定義する。この貫入抵抗値と $\phi 33\text{mm}$ コア強度には、図-2に示したように比例の相関があり、貫入抵抗値よりコンクリート強度を推定することができる。この試験は、任意の深さのコンクリート強度を調査できるという特徴を有していることから、火害による損傷や凍害による劣化などのように表層より損傷・劣化作用を受けたコンクリート構造物の調査への適用も進んでいる³⁾。

孔内局部載荷試験は、これまで写真-1に示した手動式油圧ポンプより試験を実施していた。この手動式油圧ポンプの長所は、電源が不要であり、取扱いが簡易であるという点にあるが、試験者によって、操作方法の差異があること、また、その際の載荷速度が貫入抵抗値に与える影響については未検討であった。そこでここでは、載荷速度を任意の一定値



写真-1 孔内局部載荷試験装置

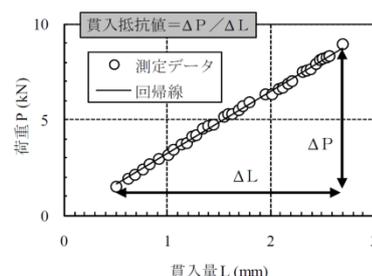


図-1 貫入抵抗値の算出方法

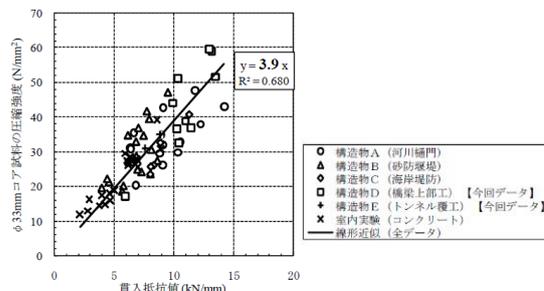


図-2 貫入抵抗値と $\phi 33\text{mm}$ コア強度の関係の一例²⁾

*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士 (工学)

*2 川崎地質構

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.
 Kawasaki Geological Engineering Co.

に設定できる電動式油圧ポンプを用いて孔内局部載荷試験を実施し、これを手動式と比較することによって、載荷速度が貫入抵抗値に及ぼす影響を実験・検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験水準

実験の要因と水準を表-1に示す。載荷用の油圧ポンプは、手動式油圧ポンプと電動式油圧ポンプの2種類とした。実験に先立ち予備実験を行い、手動式油圧ポンプの載荷速度を測定した結果、1.2kN/s程度であった。電動式油圧ポンプの載荷速度は、手動式油圧ポンプの値を参考に、0.8, 1.2, 2.0, 4.0, 8.0kN/sとした。

電動式油圧ポンプの諸元を表-2に、電動式油圧ポンプを写真-2に示す。電動式油圧ポンプは、実際の作業現場で使用することを想定して、電源は単層100V、重量は9.5kgの小型かつ軽量で取扱いが容易な機器を選定した。

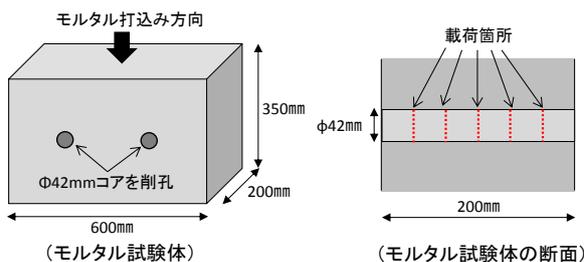
2.2 試験方法

孔内局部載荷試験は、コア孔の壁面を対象とした試験であり、コンクリートを対象とした場合、粗骨材の影響を受けるため、貫入抵抗値にばらつきが生じる。今回は、載荷速度の影響を把握することが目的であるため、粗骨材の影響を受けるコンクリートではなくモルタルを対象とし、粗骨材による貫入抵抗値のばらつきを排除した。

モルタルの配調合を表-3に、使用材料を表-4に示す。モルタルの配調合は、水セメント比は55.0%とし、使用材料は、セメントを普通ポルトランドセメント、細骨材1を茨城県行方産陸砂、細骨材2を栃木県佐野市産砕砂とした。

モルタル試験体と載荷箇所を図-3に、試験項目を表-5に、モルタル試験体と試験実施状況を写真-3に示す。モルタル試験体は、試験体寸法を600mm×350mm×200mmとした。モルタルを型枠に打込んだ後は、試験材齢まで封緘養生とし、乾燥などの影響を受けて試験体内部の強度に差が生じないように配慮した。

コア(口径φ42mm)は、1試験体につき2本を採取した。載荷は、1つのコア孔に対して深さ33, 67, 100, 133, 167mmの位置の5深度とし、1深度につき10点とした。貫入抵抗値は、1深度の10点の値を平



※試験体は、試験材齢まで封緘養生。
 ※モルタル試験体は3体作製し、1体につき2本コアを削孔。
 ※1本のコアから3本のコア供試体(φ33mm×66mm)を採取。
 ※載荷試験深度：33,67,100,133,167mm
 ※1深度で10点の載荷試験を実施。

図-3 モルタル試験体と載荷箇所

表-1 試験の水準

| 項目 | 水準 |
|------------------|--|
| 油圧ポンプ | 手動式油圧ポンプ 電動式油圧ポンプ |
| 目標載荷速度 (kN/s) | 手動 : 1.2 電動 : 0.8, 1.2, 2.0, 4.0, 8.0 |

表-2 電動式油圧ポンプの諸元

| 種類 | 諸元 |
|----------|--|
| 電動式油圧ポンプ | <ul style="list-style-type: none"> 電源(V) : 100 (単層) 出力(kW) : 0.35 回転数(min-1) : 2000 最高使用圧力(MPa) : 高圧 70 / 低圧 1 吐出量(l/min) : 高圧 0.2 / 低圧 2.0 重量(kg) : 9.5 |



写真-2 電動式油圧ポンプ

表-3 モルタルの配調合

| 水セメント比 (%) | 単位量(kg/m ³) | | | |
|------------|-------------------------|------|-------|-------|
| | 水 | セメント | 細骨材 1 | 細骨材 2 |
| 55.0 | 286 | 520 | 862 | 386 |

表-4 使用材料

| 種類 | 詳細 |
|-------|---------------------------------------|
| 水 | 上水道水 |
| セメント | 普通ポルトランドセメント、密度 3.15g/cm ³ |
| 細骨材 1 | 茨城県行方産陸砂、表乾密度 2.58g/cm ³ |
| 細骨材 2 | 栃木県佐野市産砕砂、表乾密度 2.69g/cm ³ |
| 混和剤 | AE 減水剤 |

表-5 試験項目

| 試験項目 | 試験方法 | 詳細 |
|----------|------------------------|---|
| 孔内局部載荷試験 | 文献 ¹⁾ による方法 | 試験孔径: φ42mm 載荷先端: 直径 6mm の半球 1 深度あたりの測定点数: 10 点 |
| 圧縮強度試験 | JIS A 1107 | φ 33mm × 高さ 66mm 試験材齢: 孔内局部載荷試験時 |

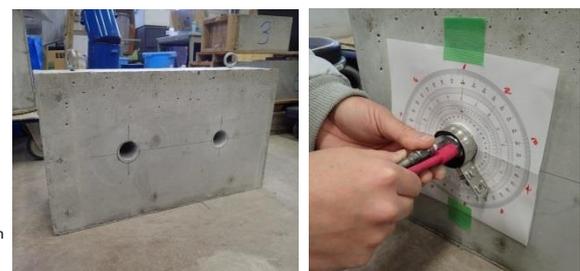


写真-3 モルタル試験体と試験実施状況

均した値とした。

圧縮強度試験は、採取した長さ 200mm コアから $\phi 33\text{mm} \times$ 高さ 66mm のコアを 3 本切り出して実施した。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度試験

コア強度試験の結果を表-6 および図-4 に示す。 $\phi 33\text{mm}$ コア強度は、コア孔ごとの平均値を見ると、最小値は 43.9 N/mm^2 、最大値は 46.7 N/mm^2 であり、ややばらつきがみられるが、全体の平均値 45.6 N/mm^2 とほぼ同等の強度であることから、載荷速度の影響を同一条件で比較検討できると判断した。

3.2 孔内局部載荷試験

孔内局部載荷試験の結果を表-7 に示す。これより試験時の載荷速度を見ると、各目標載荷速度に対して、多少の差異はあるが、いずれの水準も概ね目標値どおりの載荷速度で試験を実施できていることがわかる。

載荷速度の標準偏差と変動係数を図-5 に、貫入抵抗値の標準偏差と変動係数を図-6 に示す。載荷速度の変動係数は、手動の 2.16% に対して、電動は 0.88 ~ 9.46% の範囲であった。電動の載荷速度 2.0 kN/s の変動係数は 9.46% となっており、他と比較して大きくなっているが、それ以外は 3.0% 以下であり、載荷速度が変動係数に及ぼす影響は見られなかった。

一方、電動の貫入抵抗値は、載荷速度が早くなるにつれて標準偏差と変動係数も大きくなる傾向が見られた。電動の載荷速度 2.0 kN/s は、6% 程度となっているが、載荷速度 2.0 kN/s 以上では横ばいの傾向となる。

3.3 載荷速度と貫入抵抗値の関係

載荷速度と貫入抵抗値の関係を図-7 に示す。これより各目標載荷速度における貫入抵抗値の平均値は、手動の載荷速度 1.2 kN/s では 8.73 kN/mm 、電動の載荷速度 $0.8, 1.2, 2.0, 4.0 \text{ kN/s}$ では $8.67 \sim 8.98 \text{ kN/mm}$ の範囲にあり、ほぼ同等であることがわかる。

一方、電動の載荷速度 8.0 kN/s の貫入抵抗値を見

表-6 $\phi 33\text{mm}$ コア強度試験の結果

| 試験体 No. | コア孔 No. | $\phi 33\text{mm}$ コア強度 (N/mm^2) | | | | | 全平均 |
|---------|---------|---|--------|--------|------------|------------|------|
| | | 33 mm | 100 mm | 167 mm | 平均 (コア孔ごと) | 平均 (試験体ごと) | |
| 1 | 1 | 41.2 | 46.2 | 44.3 | 43.9 | 45.3 | 45.6 |
| | 2 | 50.0 | 40.0 | 50.2 | 46.7 | | |
| 2 | 3 | 43.2 | 49.7 | 45.8 | 46.2 | 45.5 | |
| | 4 | 48.6 | 40.7 | 44.7 | 44.7 | | |
| 3 | 5 | 46.5 | 50.0 | 43.2 | 46.6 | 46.0 | |
| | 6 | 48.6 | 42.2 | 45.7 | 45.5 | | |

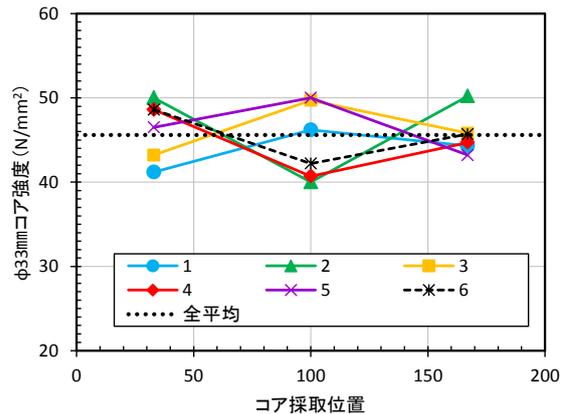


図-4 $\phi 33\text{mm}$ コア強度試験の結果

表-7 孔内局部載荷試験の結果

| 油圧ポンプ | | 電動 | | | | | 手動 |
|------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 目標載荷速度 (kN/s) | | 0.8 | 1.2 | 2.0 | 4.0 | 8.0 | 1.2 |
| 試験時の 載荷速度 (kN/s) | 平均値 | 0.92 | 1.27 | 1.95 | 4.35 | 8.13 | 1.14 |
| | 最大値 | 0.95 | 1.29 | 2.17 | 4.47 | 8.40 | 1.18 |
| | 最小値 | 0.89 | 1.26 | 1.72 | 4.22 | 7.78 | 1.12 |
| | 標準偏差 | 0.025 | 0.011 | 0.184 | 0.081 | 0.235 | 0.025 |
| | 変動係数 | 2.67 | 0.88 | 9.46 | 1.86 | 2.89 | 2.16 |
| 貫入 抵抗値 (kN/mm) | 平均値 | 8.67 | 8.98 | 8.73 | 8.69 | 9.35 | 8.73 |
| | 最大値 | 8.81 | 9.39 | 9.16 | 9.37 | 10.26 | 9.11 |
| | 最小値 | 8.36 | 8.48 | 7.83 | 8.05 | 8.76 | 8.00 |
| | 標準偏差 | 0.160 | 0.320 | 0.495 | 0.573 | 0.583 | 0.443 |
| | 変動係数 | 1.85 | 3.56 | 5.65 | 6.59 | 6.21 | 5.09 |

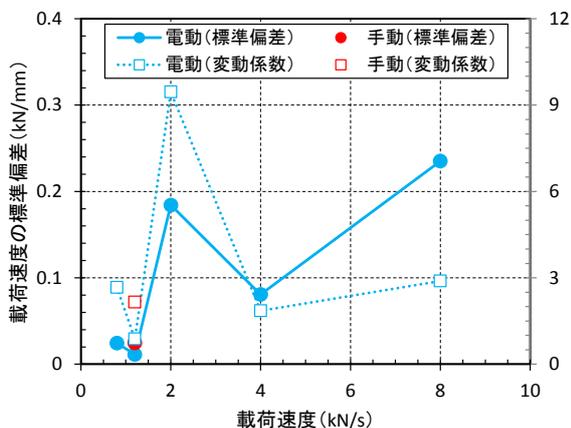


図-5 載荷速度の標準偏差と変動係数

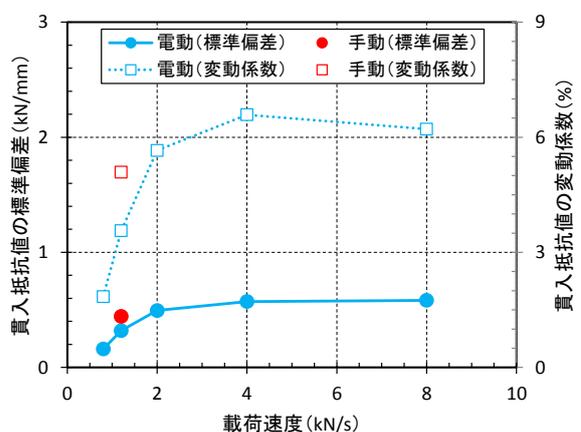


図-6 貫入抵抗値の標準偏差と変動係数

ると、平均値は 9.35kN/mm、最大値は 10.26kN/mm、最小値は 8.76kN/mm となっている。電動の載荷速度 8.0kN/s は、手動および電動の載荷速度 0.8~4.0kN/s の貫入抵抗値より、平均値は 0.37~0.68kN/mm 大きく、貫入抵抗値はやや大きくなる傾向にあった。

図中に電動式油圧ポンプの回帰線と回帰式を示す。回帰式の傾きは 0.075 となっており、載荷速度が貫入抵抗値に及ぼす影響は小さいことがわかる。

以上より、通常の手動式油圧ポンプの載荷速度である 1.2kN/s 程度の範囲で試験を実施すれば、載荷速度が貫入抵抗値に及ぼす影響は小さいことを確認した。また、手動式油圧ポンプ手動式と一定速度とした電動式油圧ポンプを比較すると貫入抵抗値の差は見られず、油圧ポンプによる影響がないことを確認した。

4. まとめ

本報告では、手動式油圧ポンプと電動式油圧ポンプを用いて、載荷速度を 0.8~8.0kN/s の範囲で調整した孔内局部載荷試験を実施し、ポンプ動力の違い（手動式と電動式）および載荷速度が貫入抵抗値に及ぼす影響を検討した。これより、以下のことが明らかになった。

- 1) 電動式油圧ポンプにおいて載荷速度を速くした場合、載荷速度の変動係数に影響は見られなかったが、貫入抵抗値の変動係数は、載荷速度 2.0kN/s 以上では大きくなる傾向が見られた。
- 2) 載荷速度 0.8~4.0kN/s の範囲では、載荷速度が貫入抵抗値に及ぼす影響は小さいことを確認した。

※プロットは、1 深度 10 点の貫入抵抗値を平均した値を示す。

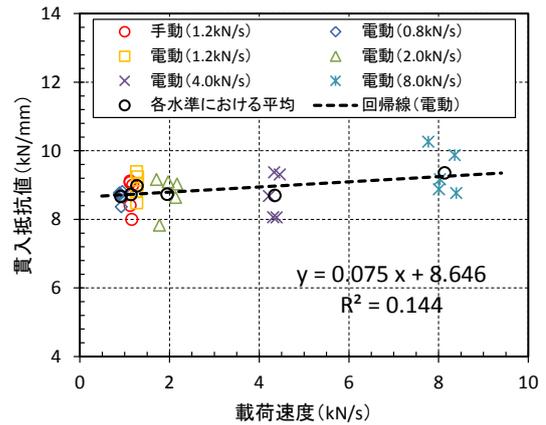


図-7 貫入抵抗値と載荷速度の関係

- 3) 電動式油圧ポンプによる載荷方法で得られる貫入抵抗値は、これまでの手動式油圧ポンプによる載荷方法と同等であることを確認した。

参考文献

- 1) 皿井剛典, 田中徹, 清水陽一郎, 高橋輝: 孔内局部載荷試験によるコンクリート性状の把握に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.709-714, 2007.9
- 2) 皿井剛典, 田中徹, 澤口啓希: 孔内局部載荷試験による構造物の深さ方向のコンクリート物性評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1828-1833, 2012.9
- 3) 澤口啓希, 春畑仁一, 内田慎哉, 池田憲一: 火害を受けたコンクリートの孔内局部載荷法による劣化に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1063-1068, 2017