

定ひずみ速度圧密試験 - 構成パラメータの精度とデータの選択 -

鳥取大学工学部 正会員 清水 正喜
鳥取大学大学院 学生会員 ○遠藤 圭一

1. はじめに

定ひずみ速度圧密試験(以下 CRS 試験)では測定間隔を短くして圧縮・圧密に関するパラメータの連続的な変化を知ることができるが、その反面、測定したすべてのデータを用いて結果の整理を行なうと、算定されたパラメータの値は激しく変動する。変動を抑えるためにはデータを取捨選択することが有効である¹⁾。また、測定精度の異なる試験結果を用いてパラメータの変動特性に対する測定精度の影響について考察した²⁾³⁾。本研究では、測定精度および結果の整理に用いるデータの間隔とパラメータの相対誤差との関係を調べ、データ選択の有効性を理論的に明確にすることが目的である。

2. 測定方法

CRS 試験では軸圧縮荷重、軸変位および間隙水压を測定することが必要である⁴⁾。本研究ではそれらをひずみゲージ式変換器で測定した。軸圧縮荷重の測定精度だけ異なる2つの試験の結果を用いて考察する。各試験に用いた測定器の性能を表1に示す。各測定器で測定された量はA/D変換機能を有したデータロガーで計測した。計測器の出力単位は 1×10^{-6} ひずみ($\mu\epsilon$)である。出力単位当たりの物理量が読み取り可能な最小の値であり、これは測定精度を表わす。最小読み取り値が小さいほど測定精度が高いことを意味する。なお、計測値の電気的変動は、JIS⁴⁾で定められている許容差の範囲内におさまっていた。測定時間間隔は3秒で統一した。

3. 結果の整理

結果の整理はJIS⁴⁾の方法に準拠した。体積圧縮係数 m_v を例にとる。 m_v は次のように表される。

$$m_v = \frac{\Delta d}{\Delta p \times h_{av}} \quad (1)$$

ここに、 p ：圧縮応力(軸圧縮荷重 P を供試体断面積で除したものの)、 d ：軸方向変位、 Δp ：時間 Δt 間の p の増加量、 Δd ：時間 Δt 間の d の増加量、 h_{av} ：時間 Δt 間の平均供試体

表1 測定器の性能と試験の種類

測定量	測定器	最小読み取り値	試験	
			A	B
軸圧縮荷重	ロードセル1	0.003332kN/ $\mu\epsilon$	○	
	ロードセル2	0.001667kN/ $\mu\epsilon$		○
間隙水压	圧力変換器	0.246568kPa/ $\mu\epsilon$	○	○
軸変位	変位計	0.002 mm/ $\mu\epsilon$	○	○

$\mu\epsilon : 1 \times 10^{-6}$ ひずみ

高さ。

データ整理を行なうに当たり、予めデータを吟味する必要がある。式(1)より $\Delta p \neq 0$ 、さらに、CRS 試験は単調載荷試験であるので $\Delta p > 0$ 。よって軸圧縮荷重データ P の増加量 ΔP が0以下になるようなデータを省いた。また、一定の速度で軸変位を与えているため $\Delta d \neq 0$ になるような軸変位データ D を省いた。このようにして得たデータを一次データと呼ぶことにする。一次データは ΔP および ΔD が1以上であるようなデータである。この一次データからさらにデータを選択して ΔP と ΔD の値を大きく取ることも可能である。そのような $\Delta P \geq M$ (ここに $M \geq 2$)となるデータを二次データと呼ぶことにする。

4. パラメータに含まれる誤差

体積圧縮係数 m_v の結果を例として、結果に含まれる誤差の因子とその影響を評価する。本研究では、データロガーで計測した値に校正係数を乗じて物理的な量を得ており、データロガーの単位出力に相当する物理量を測定量に含まれる誤差の推定値として採用する。

m_v の相対的な誤差は理論により次式で表わされる⁵⁾。

$$\frac{\delta m_v}{m_v} = \frac{\delta \Delta d}{\Delta d} + \frac{\delta \Delta p}{\Delta p} + \frac{\delta h_{av}}{h_{av}} \quad (2)$$

ここに、 δx は測定量 x の誤差である。 m_v の相対誤差の因子を定量的に評価した。軸圧縮荷重を例に述べる。

任意の時間 $t_i(i=0,1,\dots,N)$ における軸圧縮応力を $p(t_i)$ とすると、

$$p(t_i) = \{P(t_i) - P(t_0) \pm \delta P\} K_p / A + p_0 \quad (3)$$

ここに、 K_p ：ロードセルの校正係数($1\mu\epsilon$ 当たりの力)、 A ：供試体断面積、 p_0 ： $t=t_0$ のときの圧縮応力、 δP ：軸圧縮荷重データ P に含まれる誤差である。ただし、 $P(t_0)$ には誤差がないものとした。即ち、 $t=t_0$ のとき $\delta P=0$ 。よって、 $p(t_0)=p_0$ 。

式(3)より、時間 t_i から t_{i+1} までの p の変化量 $\Delta p(t_{i+1})$ は、 $\Delta p(t_{i+1}) = p(t_{i+1}) - p(t_i) = \{P(t_{i+1}) - P(t_i) \pm 2\delta P\} K_p / A$

(4)

$\Delta p(t_{i+1})$ の誤差は、 $\delta \Delta p = \pm 2\delta P \times K_p / A$ であり、相対誤差は、

$$\frac{\delta \Delta p}{|\Delta p(t_{i+1})|} = \pm \frac{2\delta P}{P(t_{i+1}) - P(t_i)} = \pm \frac{2\delta P}{\Delta P} \quad (5)$$

となる。ここで、 δP は $1\mu\epsilon$ であり、 ΔP は1次データの場合、最低でも $1\mu\epsilon$ であるので、 $\Delta p(t_{i+1})$ の相対誤差が最大で2となる。

キーワード 定ひずみ速度圧密、誤差、測定精度

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101番地 鳥取大学工学部土木工学科

図1は試験(A)のデータから求めた m_v の相対誤差の各因子の大きさを示したものである。図より Δp の相対誤差がもっとも大きく、よって、 m_v の相対誤差には Δp の相対誤差が最も大きく影響していることがわかる。式(5)からわかるように、 Δp の相対誤差は ΔP の大きさに依存する。従って、データを選択することにより、 m_v の相対誤差の大きさを変えることができる。図2は試験(A)の m_v の相対誤差に対する ΔP の影響を表わしている。図から、 ΔP の最小値が大きくなるにつれて m_v の相対誤差は減少していることがわかる。

図3は試験(A)と(B)における一次データを用いて計算した m_v の相対誤差を表わす。これより m_v の相対誤差は、一次データを用いた場合、測定精度の優れている試験(B)のほうが大きいという一見矛盾した結果になっている。これは次のように説明できる。測定精度を下げると、 P は同じ値が連続することが多くなるため、一次データにおいてはより多くのデータが省かれ、データが省かれた区間では軸圧縮荷重以外の軸変位データ D の増加量 ΔD の値が大きくなる³⁾。それによって、 Δd の相対誤差が小さくなり m_v の相対誤差も小さくなる。

測定精度の異なる試験の一次データを比較した場合には、軸圧縮荷重データ P の増加量 ΔP が同じであっても、 ΔP に相当する物理的な量 Δp は異なるため、算定した m_v の値に含まれる誤差を比較することは適切ではない。従って、 Δp の値を同程度にして比較する必要がある。そのために二次データを用いて比較した。

図4に二次データを用いて計算した m_v の相対誤差を比較する。試験(A)は $\Delta P=5$ ($\Delta p=0.0005893\text{kN/m}^2$)、試験(B)は $\Delta P=10$ ($\Delta p=0.0005897\text{kN/m}^2$)とした。物理量 Δp の最小値を同程度にして比較すると、測定精度の優れた試験(B)のほうが m_v の相対誤差が小さくなるという結果になっている。このことから、圧縮・圧密に関するパラメータの相対誤差を小さくするためには、測定精度を上げるだけでは不十分であり、軸圧縮荷重データ P の間隔を吟味して適切なデータを選択することが必要である。

5. 結論

CRS試験では、 Δp や Δd のようなある時間間隔における増加量を用いて圧縮・圧密に関するパラメータの値を求める。各パラメータの相対誤差には Δp や Δd の相対誤差が影響する、パラメータの相対誤差を小さくするためには測定精度を上げるだけでなく、結果の整理に用いるデータの間隔を選択することが重要である。データ間隔を大きくすることによって、結果に含まれる相対誤差を小さくできる。高い測定精度で試験した場合は、結果の整理に用いるデータの間隔を十分広くとって高い精度でパラメータを決定できる。

6. 参考文献

- 1) 清水, 今村: 定ひずみ速度圧密試験における計測データの吟味法, 土木学会第55回年次学術講演会, A172,

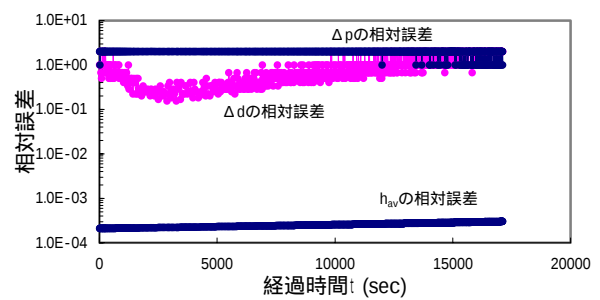


図1 m_v に含まれる相対誤差の影響因子

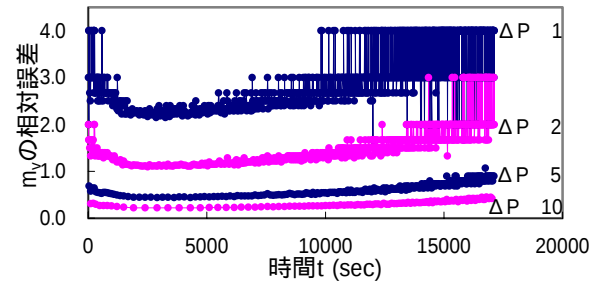


図2 m_v の相対誤差に対する ΔP の影響(試験(A))

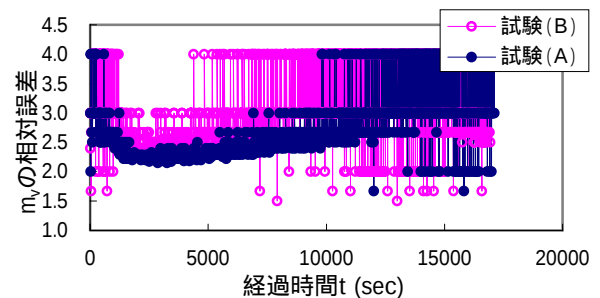


図3 1次データから計算した m_v に含まれる相対誤差

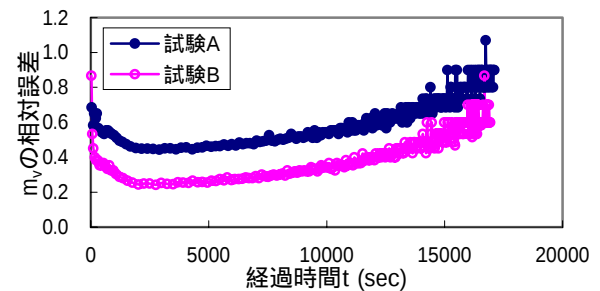


図4 2次データから計算した m_v に含まれる相対誤差

- 2000
- 2) 清水, 遠藤: 定ひずみ速度圧密試験における測定精度の影響評価, 第37回地盤工学会研究発表会, pp299 - 300
- 3) 清水, 遠藤: 定ひずみ速度圧密試験における測定精度の影響に関する研究, 鳥取大学工学部研究報告, 2002
- 4) JIS A 1227:「土の定ひずみ速度載荷による圧密試験方法」, 土質試験の方法と解説—第一回改訂版—, 地盤工学会, 2002
- 5) 例えば, Taylor, J.R. (森, 馬場訳): 計測における誤差解析入門, 東京化学同人 p.28, 2000.