

(20) 軟岩の繰返し三軸試験の変位測定方法に関する検討

応用地質株式会社

正会員 西田 和範

○板橋 利昭

斉藤 英光

Comparison of testing procedures by for displacement measurements
in cyclic triaxial tests on soft rock

Kazunori Nishida,

OYO Corporation

Toshiaki Itabashi,

//

Hidemitsu Saito,

//

Abstract

For the construction of important large scaled structures based on soft rock, it is necessary to determine its deformation characteristics for detailed dynamic analysis. In such a case, measurements at the very small strain level (10^{-6} to 10^{-4}) are especially important. To clarify the choice of measurement method, for a series of specimens in the cyclic triaxial test, the displacements were measured by three methods: the strain gauge, the gap sensor, and the LDT. Comparison of the results shows:

1. By the strain gauge, the reliable and accurate results for a saturated specimen were gained.
2. Poisson's ratio was acquired by strain gauge. For example, under undrained condition, Poisson's ratio of the silty rock was $\nu = 0.5$.
3. The results of the three methods were almost coincident for the specimen of a comparatively small strength. The larger the strength, the more important the difference among the three results.
4. However, normalization of shear modulus, G , with the value at very small strains, G_0 , lead to very similar results for the three methods.

1. はじめに

近年、軟岩上に大型重要構造物を建設する事例が増加している。そして、これらの重要構造物の耐震設計に際しては、地盤の動的特性を十分な精度で把握することが重要となる。しかし、軟岩の動的特性を求める室内試験については、変位の測定方法等、詳細を規定した指針や基準が必ずしも整備されておらず各機関ごとに独自の方法で試験しているのが実情と思われる。

今回、軟岩の動的変形特性を精度よく求めることを目的に3種類の方法による変位測定を行い変位測定手法がせん断弾性係数ならびに減衰定数に及ぼす影響等について検討を行ったので以下に報告する。

2. 予備検討

軟岩の動的変形特性を求める試験に用いた載荷装置¹⁾は、電気-油圧サーボ型三軸試験機で、垂直荷重は最大±10 ton、10 Hzまでの繰返し載荷が可能である。また、三軸室は内部にロードセルと非接触型微小変位計を設置し、荷重ならびに変位を精度よく測定できるようになっている。更に、三軸室の底盤には各種センサー類のリード線が取り出せる機構となっている。

今回の試験では、ひずみゲージ、ギャップセンサー、LDT²⁾の3種類により繰返し載荷時の変位測定を行っ

た。

各変位計の配置を図-1に示す。

繰返し三軸試験を実施するにあたって、ひずみゲージの飽和供試体への適用性等について若干の予備検討を行った。以下にその結果を示す。

2-1. 水浸による検討

水浸によるひずみゲージの劣化の有無等を確認するための実験を実施した。

実験は、鉄製のダミー供試体と凝灰岩供試体にひずみゲージを接着し表面を防水処理したものを水浸して経過時間とひずみ量の関係を調べた。

結果を、水浸時間とひずみ変化量の関係にして図-2に示す。

凝灰岩供試体では、3600minで30 μ の変化が見られた。鉄製のダミー供試体は3600minで3 μ の変化が見られた。

凝灰岩供試体では、ひずみゲージが伸びる方向に変位が進行している。これは、岩石とゲージベースの吸水による変化であると考えられる。

実験中、ひずみゲージの絶縁不良等の現象は起こらなかった。

ひずみゲージの水浸状態での安定性は十分確認できた。また、通常実施する繰返し三軸試験では、この程度のひずみの変化は、十分無視し得る範囲と思われる。

2-2. 周波数の影響

鉄製ダミー供試体にひずみゲージを接着して周波数の影響を調べた。

実験した周波数は、0.01Hz, 0.1Hz, 1Hzの3種類である。

実験結果を図-3に示す。

ひずみゲージの位相のずれは極めて小さい。これは、ひずみゲージが供試体に直接接着しているためと思われる。

図中には、LDTの結果も併記した。これは、弾性バネを用いた測定結果である。LDTでは、この結果を基に周波数による補正を行っている。

2-3. ひずみゲージの接着に関する検討

シルト岩を対象にひずみゲージの接着の有効性を検討した。

実験では、同じ型のひずみゲージを4枚用意し

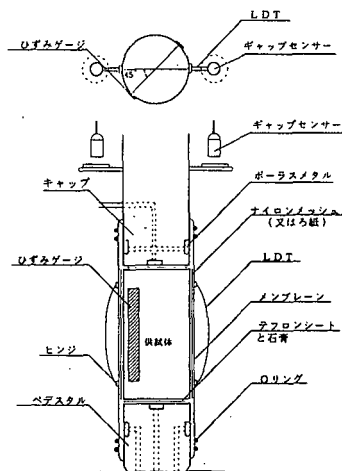


図-1 各変位計の配置

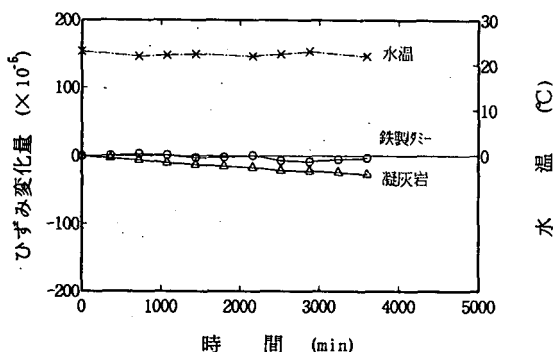


図-2 水浸による影響の実験結果

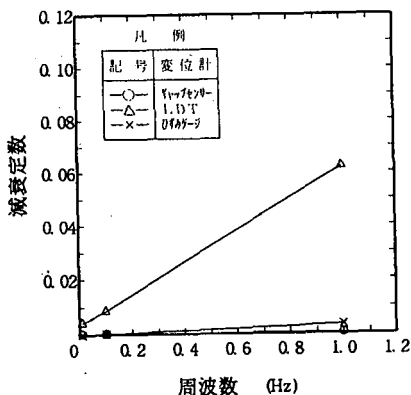


図-3 周波数の影響に関する実験結果

て2枚1組を2組準備した。1組のひずみゲージは接着剤で供試体に接着した。残りの1組は三軸室に供試体をセットする時ゴムスリーブと供試体の間にゲージをはさみ込むのみとし、接着はしていない。

実験は、まず拘束圧 0.5 kgf/cm^2 でせん断ひずみ γ が 1×10^{-3} 程度まで繰返し荷重を加え、載荷終了後、次ぎの拘束圧で圧密した後、同様に載荷するという手順で繰り返した。

図-4に実験結果を示す。

0.5 kgf/cm^2 では、接着の差が見られるが 2 kgf/cm^2 以上となると両者の差がなくなることがわかった。

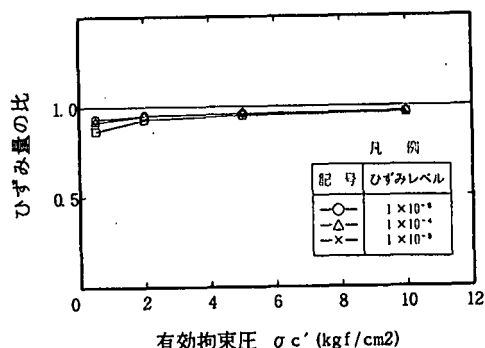


図-4 ひずみゲージの接着に関する実験結果

2-4. ひずみゲージの長さの検討

実験に用いたのは、シルト岩供試体で、測長70mmと測長10mmの2種類のひずみゲージを接着した。

実験結果を図-5に示す。

測長10mmのひずみゲージでは、ひずみ量が小さく求められ、測長70mmのひずみゲージで求めたせん断弾性係数より大きな値が得られた。

ちなみにLDT、ギャップセンサーの結果も示したが、測長70mmのひずみゲージと良い対応を示す。減衰定数は、ひずみゲージの長さによらずほぼ同じ値となった。

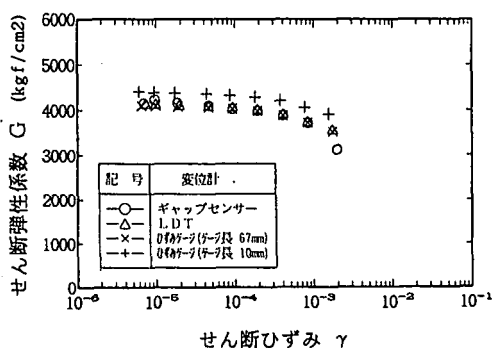


図-5 ひずみゲージ長さに関する実験結果

2-5 ポアソン比の検討

繰返し三軸試験の非排水条件では、ポアソン比を $\nu = 0.5$ として取り扱っている。今回測長10mmのひずみゲージを用いてポアソン比の測定を行った。

実験は、飽和したシルト岩を用いてバックプレッシャーを加え有効拘束圧 $\sigma_3' = 10 \text{ kgf/cm}^2$ とした。繰返し載荷は、 0.1 Hz で非排水条件で行い、せん断ひずみ 1×10^{-3} 程度まで載荷した。

図-6に実験結果を示す。

図から明らかなように、今回行ったひずみの範囲ではポアソン比 $\nu = 0.5$ となることが確認できた。

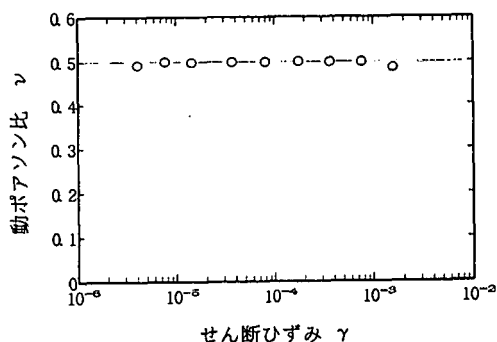


図-6 ひずみゲージによるポアソン比に関する実験結果

3. 各種試料を用いた繰返し三軸試験

ひずみゲージの飽和供試体への適用性について各種の検討を行った結果、ひずみゲージは、繰返し三軸試験にも十分適用可能であると思われる。

そこで、4種類の試料を対象に繰返し三軸試験を実施し、ひずみゲージの適用性について確認した。

試験に用いた試料の基本物性を表-1に示す。

試料番号は一軸圧縮強度の大きな試料からA～Dとした。

試験は、等方圧密した後一軸圧縮強度の1/3程度の初期軸差応力に加え、周波数0.1Hzの荷重制御で繰返し三軸試験を行った。

図-7～図-10に、せん断ひずみとせん断弾性係数の関係を示す。

一軸強度の比較的小さいC試料、D試料は、ギャップセンサー、LDT、ひずみゲージの3者の試験結果が良く対応している。一軸圧縮強度が大きいA試料、B試料ではLDTとひずみゲージの結果は良い対応を示すが、ギャップセンサーによる結果は、一軸圧縮強度の大きな試料ほどせん断弾性係数の差が大きくなっている。これは、硬い試料ほど供試体端面の影響等が大きく現れLDTやひずみゲージのように供試体側面で計測することによりこれらの影響が低減したためと考えられる。

図-11に初期せん断弾性係数G。で正規化したA試料の試験結果を示す。正規化し G/G_0 で表した結果は、LDT、ギャップセンサー、ひずみゲージの差はほとんど見られず同様の結果となった。

B試料、C試料、D試料も同じように初期せん断弾性係数G。で正規化した結果、A試料と同様に3者の計測方法による差は、ほとんど見られなかった。

図-12に局所変位計(LDT)で求めた減衰定数とひずみゲージで求めた減衰定数の関係を示す。

両者の減衰定数は、小さい値から大きなところまで比較的良好な対応を示している。

図-13はLDT、ひずみゲージとギャップセンサーで求めた減衰定数の関係を示す。

特に小さな減衰定数の部分でギャップセンサー

表-1 試験に用いた試料の基本的物性

試料名	岩種	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	超音波による 動せん断弾性係数 (kgf/cm ²)
試料A	凝灰岩	2.35	14.7	210.5	55900
試料B	泥岩	1.86	22.0	70.8	14600
試料C	泥岩	1.65	55.0	40.0	4740
試料D	洪積粘土	1.88	27.2	6.0	—

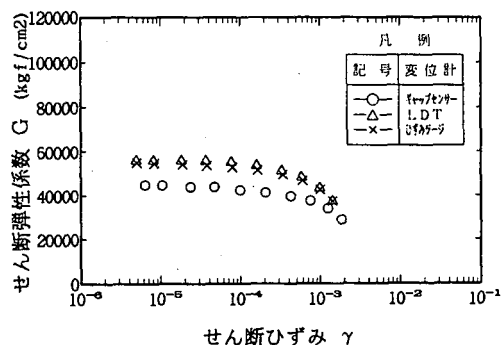


図-7 繰返し三軸試験結果 (A試料)

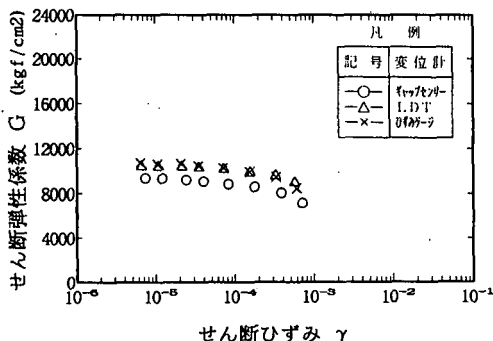


図-8 繰返し三軸試験結果 (B試料)

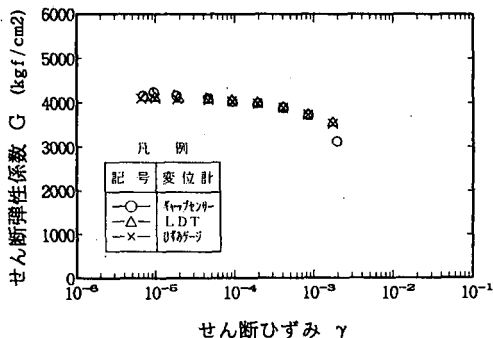


図-9 繰返し三軸試験結果 (C試料)

の計測結果が若干大きめの値となる傾向が見られる。

減衰定数の小さな部分は、せん断ひずみも小さくギャップセンサーでは供試体端面の影響等により減衰定数を若干大きめに評価したものと考えられる。

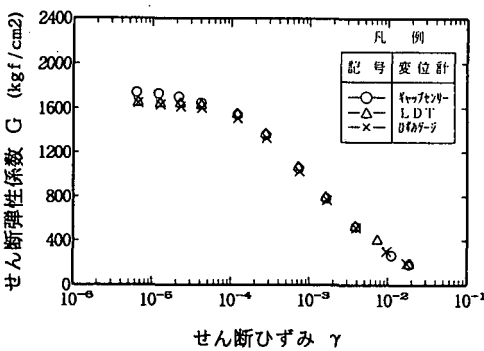


図-10 繰返し三軸試験結果 (D試料)

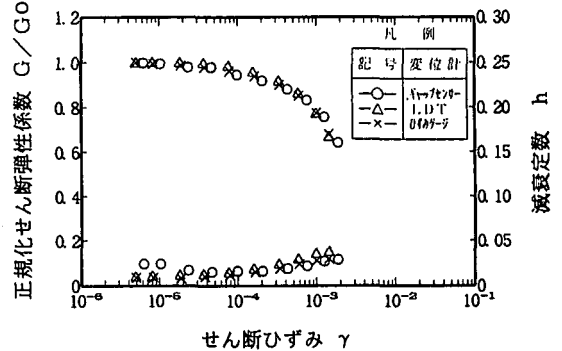


図-11 繰返し三軸試験結果 (A試料)

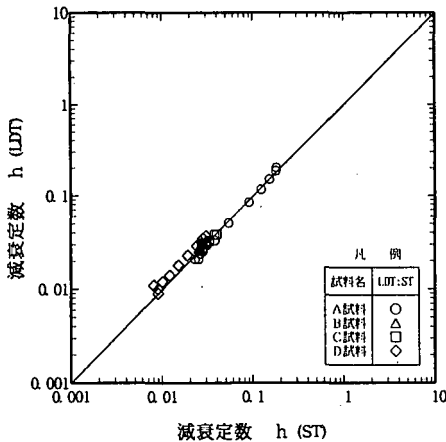


図-12 減衰定数の比較 (LDT～ひずみゲージ)

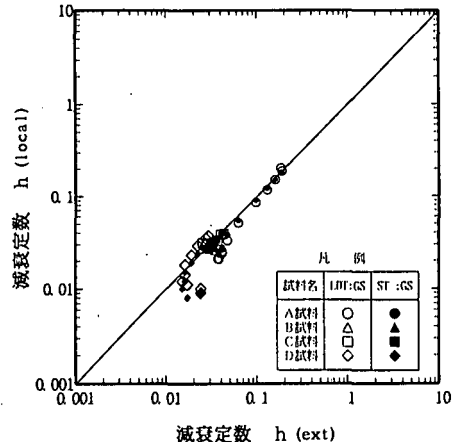


図-13 減衰定数の比較 (LDT・ひずみゲージ～ギャップセンサー)

4. おわりに

今回、繰返し三軸試験においてひずみゲージ、ギャップセンサー、LDTの3種類により変位計測を行った。試験結果から次のことが明らかとなった。

飽和供試体に対しても、ひずみゲージは適応可能で精度のよい試験結果が得られる。また、ひずみゲージによるポアソン比計測は可能で、非排水条件下では、シルト岩で $\nu = 0.5$ となった。

比較的強度の小さな試料では、ひずみゲージ、ギャップセンサー、LDTでの計測結果はおおむね一致するが、強度が大きくなるにつれてギャップセンサーとひずみゲージ、LDTの結果との差が若干見られた。ただし、初期せん断弾性係数 G_0 で結果を正規化すると、せん断弾性係数の低下率は各変位計の計測結果とも同等であることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 谷瀬正寿・板橋利昭・岩本健・田中荘一：繰返し三軸試験機による軟岩の動的変形試験に関する検討、第8回岩の力学シンポジウム, pp.345～350, 1990
- 2) Goto, S., Tatsuoka, F., Shibuya, S., Kim, Y. S. and Sato, T.
: A Simple gauge for local small strain measurements in the laboratory, Soils and foundations (submitted), 1990