

III-532

局所軸ひずみ測定装置 -理論と測定例-

東京大学生産技術研究所 正 ○ 渡谷 啓・龍岡 文夫・佐藤 剛司・金 有性(学)
大成建設技術研究所 正 後藤 聡

はじめに：東京大学生産技術研究所地盤工学研究室では、室内土質試験供試体の $10^{-6} \sim 10^{-2}$ （超微小からピークまで）の広範囲なひずみを一貫して直接に測定する局所軸ひずみ測定装置(Local Deformation Transducer, LDT)を開発してきた^{1)~4)}。ここでは、装置の概要と若干の測定例を示す。

装置の概要：LDTは、リン青銅の薄板(strip)とヒンジから成る(図1)。stripの中央部の両面に片面2枚、計4枚のstrain gauge(例えば、共和KFG-2N-120-C1-16、抵抗120 Ω)を貼り付け、4ゲージ法で配線している(図2)。LDTの供試体への設置方法を図3に示す(方法の詳細は、文献3)の図3を参照)。LDTの原理は、供試体の変形に伴うヒンジAB間の距離の変化割合(軸ひずみ)をゲージの曲げひずみの変化として測定する。ゲージ長さに応じた適切なstripの寸法を選定し、ヒンジはメンブレインに過剰な応力集中を生じない範囲で小さい程良い(図1に例を示す)。

理論：両端ヒンジ支持の柱のエラスティカの問題である。図4に示すx-y軸において、LDTの中央部での曲げひずみを ε_0 、ヒンジAB間の距離の変化を Δ とする。微小変形では、薄板の長さおよび厚さを l 、 t とし、たわみ変形モードとしてsin関数 $y = a \times \sin \{(\pi/l)x\}$ ($l=L-\Delta$)を仮定すると、 Δ と ε_0 の関係係は、 $\Delta = \{l^3/(\pi^2 t^2)\} \varepsilon_0^2 \dots (1)$ となる。 $l=L-\Delta$ であるから Δ/L が十分小さいとき、 Δ と ε_0 は二次方程式で表される(文献4参照)。供試体の軸ひずみは、 $\varepsilon_s = -\log(l_0 - \Delta/l_0) \dots (2)$ (l_0 :測定開始時のLDTの長さ=ゲージ長)で定義し、ゲージ長さはヒンジの中央で定義する。

測定例：ゲージひずみ ε_0 は、アンプで増幅した後12ビットのA/DコンバーターによりA/D変換し、出力電圧Vを得る。あるLDT($L=90\text{mm}$, $t=0.2\text{mm}$)のキャリブレーション結果(Δ とVの関係)を図5に示す。式(1)より、 $\Delta = AV^2 + BV + C \dots (3)$ (A, B, C :キャリブレーション係数)で近似できる。キャリブレーション係数は、 Δ の測定範囲全般のキャリブレーション(図5a)と、せん断初期の超微小ひずみを正確に測定するために、ひずみ出力をさらに10倍にして求めた Δ の小さい範囲のキャリブレーションの場合(図5b)とで若干異なる。現行のA/D変換器の入力は $\pm 5\text{volt}$ であるから、読み取り精度は $10/2^{12} = \pm 2.44 \times 10^{-3}\text{volt}$ である。また式(3)から、 $(dV/d\Delta) = 1/(2AV+B)$ となり、 $L=90\text{mm}$ のLDTの場合の読み取り精度(図5b)は、 $\pm 0.06\mu\text{m}$ である。これは、 7×10^{-7} の軸ひずみの測定精度に相当する(式(2))。

図6は、鉄製のダミー供試体を用いてLDTの安定性を検討した実験結果である。 1kgf/cm^2 に加圧した三軸セル内で、ヒンジをダミーに直接貼り付けたもの(Type1)とメンブレイン上に貼り付けたもの(Type2)の2種類の条件下での、見かけ上の軸変位を時間に対してプロットしている。温度の変化に対する出力の変化は小さい。また、何れの場合もLDTが伸びる方向に変位が僅かに進行しているが、Type2ではメンブレインの性質の変化および接着剤のクリープのためにヒンジの移動量が多少大きい。何れにしても通常の試験に要する時間内で、十分に安定した出力が得られる。

図7は、礫の排水三軸圧縮試験での軸ひずみの測定例である。 2×10^{-5} のひずみレベルでの軸方向の応力とひずみのループが正確に求まる。LDTを用いて各種土質材料の軸ひずみを測定した結果は、文献2)~5)を参照されたい。

まとめ：局所軸ひずみ測定装置を用いると、 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ のひずみ範囲での供試体の変形特性が求まる。

参考文献

- 1) 後藤聡・龍岡文夫(1988)：粒状体の三軸圧縮時の強度変形特性に与える試験条件の影響、第21回土質工学研究発表会、237~240頁。工学研究発表会、237~240頁。
- 2) 佐藤 剛司・渡谷 啓・金 有性・龍岡 文夫・木村 勝(1989)：セメント改良土の三軸圧縮試験方法、第24回土質工学研究発表会、649~652頁。
- 3) 渡谷 啓・龍岡 文夫・後藤 聡・佐藤 剛司・金 有性(1990)：各種室内土質試験における微小ひずみ測定システムーその1三軸試験、地質と調査、通巻第43号、60~64頁。
- 4) Goto, S., Tatsuoka, F., Shibuya, S. and Sato, T. (1990): Simple gauge for local strain measurements in the laboratory, submitted to S & F.
- 5) Tatsuoka, F., Shibuya, S., Goto, S., Sato, T. and Kong, X.J. (1990) Discussion on the Paper by C.R.I. Clayton, S.A. Kharrush, B.V.D. Bica and A. Siddique, Geotechnical Testing Journal, Vol.13, No.1, pp.83-85.

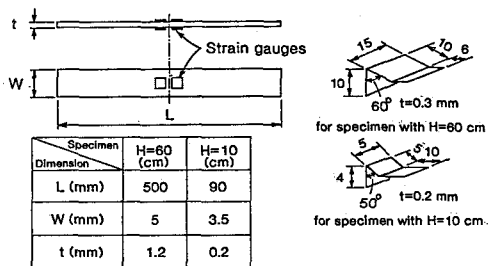


図1 局所軸ひずみ測定装置(LDT)の例

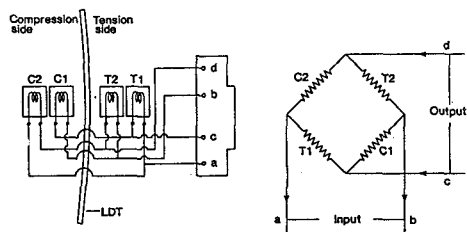


図2 配線図(4ゲージ法)

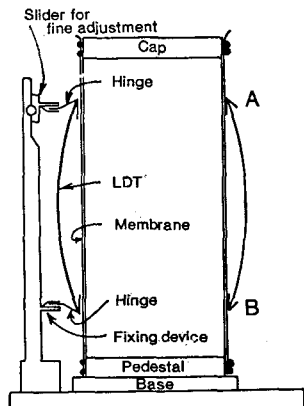


図3 供試体への取り付けの模式図

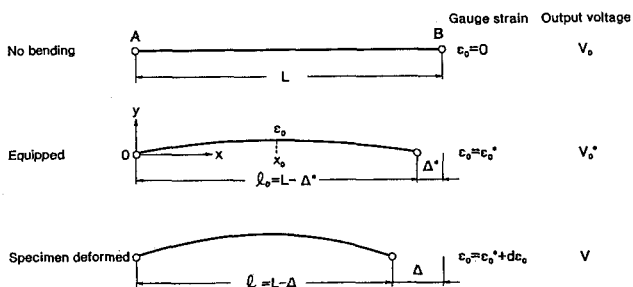


図4 LDTの変形モード

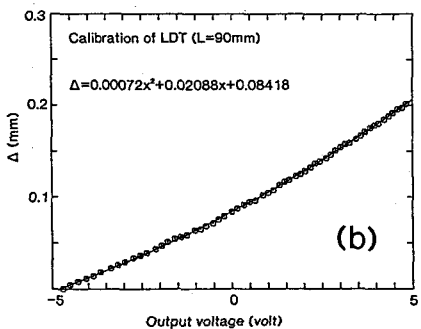
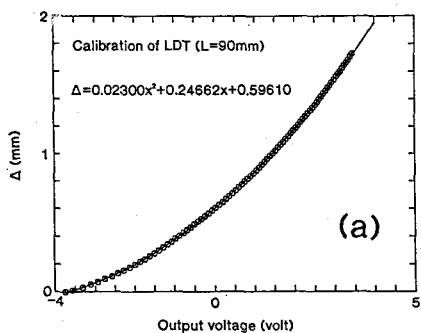


図5 LDTのキャリブレーションの例

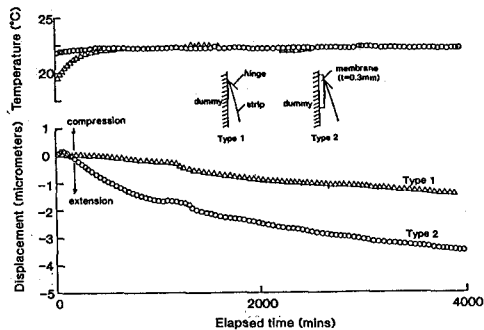


図6 LDTの出力の時間変化

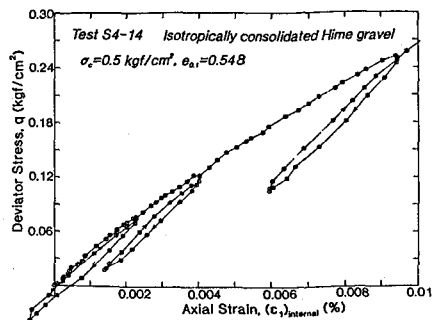


図7 LDTによる応力・ひずみ関係の測定例
(姫礫、三軸排水試験)