

砂供試体せん断波測定におけるディスク型圧電素子の適用

東京大学大学院

学生会員 ○海老塚裕明

東京大学大学院

L. P. SUWAL

東京大学生産技術研究所 正会員

桑野玲子

1. はじめに

室内試験において地盤材料の弾性変形係数を測定する方法には、供試体に微小な変形を与えその応力ひずみ関係から求める静的な方法と、弾性波を入力しその伝達速度から求める動的な方法の2種類がある。動的な計測法としては、パイモルフ型圧電素子を用いたベンダーエレメント BE 法が近年急速に普及している。また、東京大学生産技術研究所では、三軸試験装置においてトップに設置した小型加振機 (Trigger) と供試体側面に装着した加速度計 (Accelerometer) を用いる TA 法も従来から使用している。しかしながら、BE 法は素子を供試体内に差し込む必要があり、供試体を乱す可能性が指摘されている (Wicaksono ら、2008) ため、ディスク型の圧電素子を用いたせん断波速度測定を試行した。これをここでは Plate Transducer (PT) と呼ぶ。PT 法は十分な加振を得るために BE 法と比べて高電圧をかける必要があるが、高価な加速度計を使用しないため TA 法に比べ安価である。これまでに、Mulmi ら (2008) が、径 5cm、高さ 10cm の供試体において PT 法で P 波および S 波の計測を行った。本研究では、φ75mm、高さ 150mm の豊浦砂供試体で PT 法及びその他の計測手段によって求めた弾性変形係数の比較について報告する。

2. Plate Transducer の構造

Plate Transducer は、図 1 に示すように、薄い電極に分極した圧電セラミックスが挟まれた構造をしている。

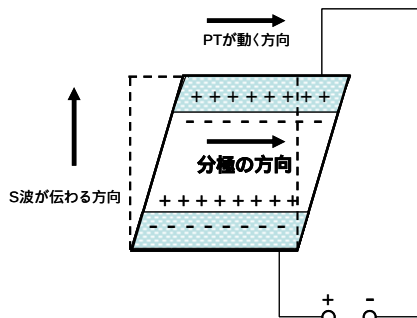


図1 Plate Transducer の構造

これに電圧が加わると発振器として働き、力が加わるとセンサーとして働く。分極の方向が電極と直角な素子は、P 波の発信・計測に使用されている。図 2 に本研究で使用した S 波用 PT センサーの写真と、その断面図を示す。写真のセンサーに埋め込まれている PT の直径は 22mm、厚さは 5mm である。このセンサーを、1 つを S 波発振用として三軸試験装置のトップキャップに、1 つを計測用としてペDESTルに、それぞれ供試体表面と直接接するように埋め込み、弾性波の伝達速度を計測した。なお、素子上面には供試体との良好な接触を確保するためにアラルダイトを用いてコーティングを行い、表面に溝を作っている。

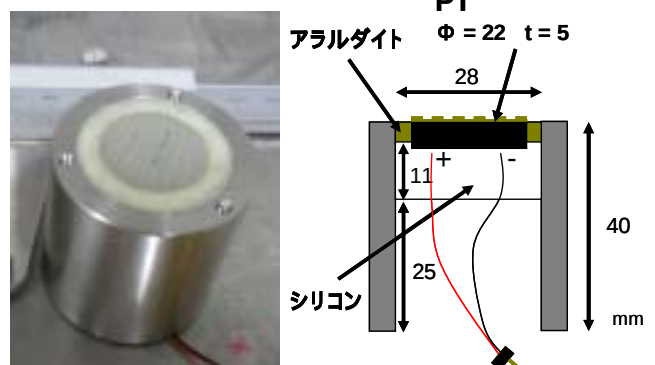


図2 本研究で使った PT センサー

3. 試験方法及び動的・静的な弾性変形係数の算出法

気乾状態の豊浦砂 (土粒子密度 2.621g/cm^3 , 最大間隙比 0.946、最小間隙比 0.637) で直径 7.5cm、高さ 15cm、相対密度 D_r が約 95% の円柱供試体を空中落下法により作成し、等方圧密した。試験装置にひずみ制御による微小ひずみ繰り返し载荷試験が可能な三軸試験機を用い、等方応力 $\sigma_h' = \sigma_v'$ が 50, 100, 200, 400kPa の各段階において静的なヤング率を求めるための微小ひずみ繰り返し载荷と、動的なせん断剛性を得るための供試体への微小加振、及びセンサーによる波の測定を PT 法、TA 法で行った。

Plate Transducer, 弾性変形係数, 弾性波速度, 微小ひずみ繰り返し载荷, 三軸圧縮試験

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 Bw304 東京大学生産技術研究所 Tel: 03-5452-6843

TA 法では 0～50V の正弦波 (1.85～7.4Hz) を、PT 法では ±85V の正弦波 (3.0～166.0Hz) を入力し、受信波の読み取りが容易な周波数 (TA:1.85kHz, PT:31.25kHz) を採用した。図 3 に、PT 法によって得られた波形と、そこから波の伝播時間を求める例を示す。入力波と受信波の立上りをゼロクロッシング法で求めた時間を伝播時間とした。

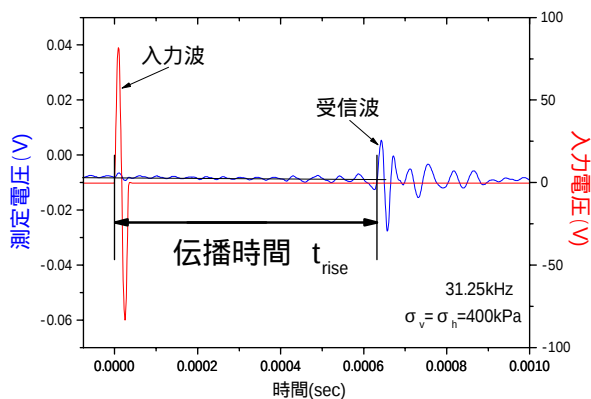


図 3 弾性波の伝播時間の求め方

トップキャップに埋め込まれた PT から、ペDESTALに埋め込まれた PT までの距離は既知であるので、上のようにして得られた弾性波の伝播時間 t_{rise} から弾性波の速度 V_s を割り出し、式(1)よりせん断剛性 G を得る。

$$G = \rho_d V_s^2 \quad \dots (1)$$

ここで、 ρ_d は供試体の乾燥密度 (本研究では 1.56g/cm³)

3. 試験結果

図 4 に、それぞれの方法によって得られたせん断剛性 G を示す。ここで、 G_{PT} は PT 法、 G_{TA} は TA 法で得られたものである。 G_{PTTA} は PT で加振して加速度計でその波を計測したもの、 G_{TAPT} は TA 法で用いられるトリガーでトップキャップを加振し、その波を PT で計測したものである。 G_{TAPT} の場合のみ、波の起こりを捉えることが難しかったので、波のピークからピークまでの時間を伝播時間とした。 G_{sta} は微小ひずみ繰り返し載荷試験によって求められたヤング率 E を以下の式(2)を用いてせん断剛性 G に変換した。

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \dots (2)$$

ただし、豊浦砂のポアソン比 ν は 0.17 とした。

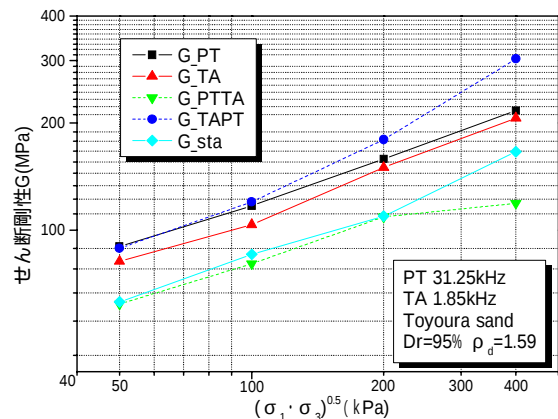


図 4 せん断剛性の比較

PT 法によって得られたせん断剛性は、静的に求められたものよりは大きい、TA 法で求められたものとはほぼ一致している。一方、加振と測定をそれぞれ違う方法で行った G_{PTTA} と G_{TAPT} の結果は、拘束圧依存性の傾向が異なっている。それぞれの測定方法に適した周波数が大きく異なっており、加振側に適した周波数のみで測定をした結果、ノイズが発生して受信波の読み取りの障害となった可能性があり、測定精度の検証が必要である。

4. まとめ

円板型の圧電素子を利用して三軸砂供試体のせん断波測定を試みたところ、豊浦砂供試体において BE 法や TA 法と同様の計測が可能であることがわかった。今後適用範囲や測定精度について精査する予定である。

<参考文献>

- Wicaksono, R.I., Tsutsumi, Y., Sato, T., Koseki, J., and Kuwano, R. (2008), "Stiffness measurements by cyclicloading, trigger accelerometer, and bender element on sand and gravel", Proc. of 4th international symposium on deformation characteristics of geomaterials, IS-Atlanta 2008, Vol.2, pp.733-740.
- Mulmi, S., Sato, T. and Kuwano, R. (2008), "Performance of Plate Type Piezo-ceramic Transducers for Elastic Wave Measurements in Laboratory Soil Specimens", Seisan Kenkyu, Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Vol.60, No.6, pp.565-569.