

国鉄鉄道技術研究所 正員 那須 誠
 鉄道建設公団 正員 小倉 正巳
 国鉄鉄道技術研究所 安田 祐作

1. まえがき

土に接する構造物の耐震設計には、土の動的変形係数が必要である。軟弱地盤において実測を行なうと共に、採取試料を用いて室内試験を行ない、ヒズミレベルを考慮して変形係数を整理して各種測定法による変形係数の違いと、静的変形係数と動的変形係数の違いを明らかにすることを試みた。

2. 測定概要

変形係数の測定法による違いは、いわゆる普通の良好な地盤においては既に明らかにされているが、耐震性が特に問題となる軟弱地盤では未だ明らかにされていないので、今回は新潟平野の沖積層軟弱地盤で測定を行なった。図1に示すように、地表から約3mの深さまでN値が0~2、 $\gamma_c \approx 2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ の極く軟弱なシルト質粘土地盤である。(その他、 $\gamma_s \approx 1.6 \text{ g/cm}^3$, $\gamma_u \approx 0.65 \text{ kg/cm}^2$, $C \approx 0.33 \text{ kg/cm}^2$ である。)この地盤の地表から0.5~0.9mの深さで5種類の測定試験を行なった。この内、平板載荷試験は直径30cmの剛性円板を用いて静的繰返し(多サイクル載荷法)、静的急速(時間、荷重制御法)と動的載荷(振動数一定(0.25 Hz)、振動数変化のA試験、振動数変化(1~0.125 Hz)、振動荷重一定のB試験と振動数一定(0.25 Hz)、平均荷重一定、振動荷重変化のC試験)を行なった。ボーリント孔内水平載荷試験は、フレスコータによる静的試験と動的フレスコータによる動的試験(0.5 Hz)を行なった。また、一軸圧縮試験は静的試験のみ、三軸圧縮試験は静的と動的(0.5 Hz)の面試験を行なった。その他に弾性波速度測定試験も行なった。各試験の載荷法を図2に示す。動的載荷では各方法とも正弦波に近い波形の荷重を約15浪ずつ、土被り荷重と降伏荷重の間の大きさで変化させた。



図1 土質柱状図

また、一軸圧縮試験は静的試験のみ、三軸圧縮試験は静的と動的(0.5 Hz)の面試験を行なった。その他に弾性波速度測定試験も行なった。各試験の載荷法を図2に示す。動的載荷では各方法とも正弦波に近い波形の荷重を約15浪ずつ、土被り荷重と降伏荷重の間の大きさで変化させた。

のり、三軸圧縮試験は静的と動的(0.5 Hz)の面試験を行なった。その他に弾性波速度測定試験も行なった。各試験の載荷法を図2に示す。動的載荷では各方法とも正弦波に近い波形の荷重を約15浪ずつ、土被り荷重と降伏荷重の間の大きさで変化させた。

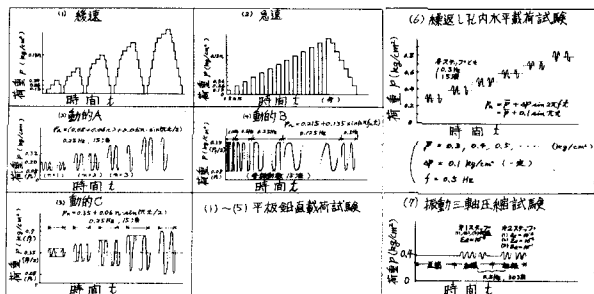


図2 載荷法

3. 測定結果

変形係数E(割線係数)とヒズミ ϵ は、以下に述べるような方法によって求めた。なお、動的試験の変形係数は、地震時応答計算に用いることの多い10浪目の係数を求めた。

(1) 平板鉛直載荷試験 (1) 静的試験: $E = (P/\delta) \times B$, $\epsilon = \delta/B$ (2) 動的試験: $E = (\Delta P/\Delta \delta) \times B$, $\epsilon = (\Delta \delta/2)/B$ ここに、 P : 荷重, δ : 変位, B : 載荷巾, ΔP : 振動荷重全振巾, $\Delta \delta$: 振動変位全振巾 (2) 孔内

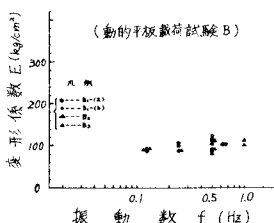


図3 変形係数と振動数との関係

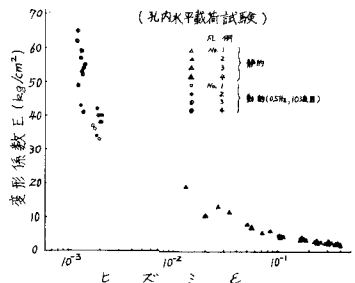


図4 変形係数とヒズミとの関係

水平載荷試験 (1) 静的試験: $E = 2.6(520 + V_m) dp/dV$, $\epsilon = \Delta r/r$ (2) 動的試験: $E = 2.6(1940 + V_m)(\Delta P/\Delta V)$, $\epsilon = \Delta r/r$ ここに、 V_m : 平均体積, Δr : 半径変化量, r : 半径, ΔP : 荷重振巾, ΔV : 体積変化量 (3) 一軸圧縮試験: $E = P/\epsilon$ (4) 三軸圧縮試験 (1) 静的試験: $E = (\sigma_1 - \sigma_3)/\epsilon$ ここに、 $\sigma_1 - \sigma_3$: 軸差

応力 (ロ) 動的試験: $E = \Delta P / \Delta E$, $E = \Delta E / 2$ ここに、 ΔE : ヒズミ全振巾 である。図3より、振動数の変化範囲は小さいけれども、データのばらつきを考慮すると変形係数は振動数によらずほぼ一定であることが認められる。図4は孔内水平載荷試験試験の結果であり、ヒズミの小さいうちは変形係数は大きくしかもばらつきも大きい、ヒズミが大きくなるとともに係数とはばらつきが小さくなることが認められる。図5は各試験法によって得られた変形係数(平均値)とヒズミとの関係であり、図6は任意の大きさのヒズミのときの変形係数と 10^2 のヒズミのときの変形係数の比とヒズミとの関係である。変形係数はヒズミが大きくなると共に小さくなり、動的試験と静的試験による変形係数はヒズミの大きさに差はあるものの一つの曲線上にあるように見うけられる。変形係数は平板載荷試験では動的Aと静的急速では動的Cと静的緩速より約20%大きく、ヒズミの小さい範囲では振動三軸試験の係数が最も大きく、孔内載荷試験の係数は全ヒズミ範囲に渡って最も小さく出ている。ヒズミが 10^2 のときの変形係数は、平板載荷試験の静的緩速での係数を基準にとると、動的Cではそれと同じであり一軸と三軸試験では約1.3倍、静的急速と動的Aでは約1.5倍、孔内載荷試験では約0.6倍である。また、今回の試験で加えたヒズミの範囲と地震時に地盤内に発生すると考えられるヒズミの大きい方の 10^3 と、平常時に発生すると考えられるヒズミの 10^2 のときの変形係数と比較すると、動的変形係数は振動三軸試験の約4倍であるが他の試験では静的変形係数の約2倍である。

振動三軸試験による変形係数が大きい理由として、他の動的平板載荷試験と比べて土と載荷板の密着性が良いこと、試験精度、データ計測精度が良いこと等が考えられる。孔内載荷試験による変形係数が小さいのは、他の試験が鉛直載荷であるのにこの試験だけ水平載荷であるためと考えられる。即ち、土粒子配向性と圧密時とせん断試験時の主応力の方向転換が関係しているのである。その他に試験機の構造、載荷法等の違いも変形係数に差が出てくる原因であると考えられる。

4. あとがき

ヒズミレベルを考慮して変形係数の測定法による違いと、静的と動的係数の違いを求めた。が、変形係数の静的試験と動的試験による違いは加えるヒズミの大小だけで説明できるのか、また測定法による違いと動的静的係数の違いの今回の結果が他の地域の軟弱地盤にも当てはまるのかどうかを調べるための追加測定を行なう必要があると考えられる。以上の測定は、国鉄本社技術課題「耐震設計に関する研究」の一環として、岡本瞬三研究委員長はじめ新幹線建設局工事第二課、構造物設計事務所他の委員会メンバーと室町前鉄研土質研究室長から多大の助言と指導を受けて行なったものであります。また、実際の測定に当っては鉄道建設公団燕三条建設所並びに基礎地盤コンサルタントKKにお世話になりました。以上の関係の方々に厚く御礼申し上げます。

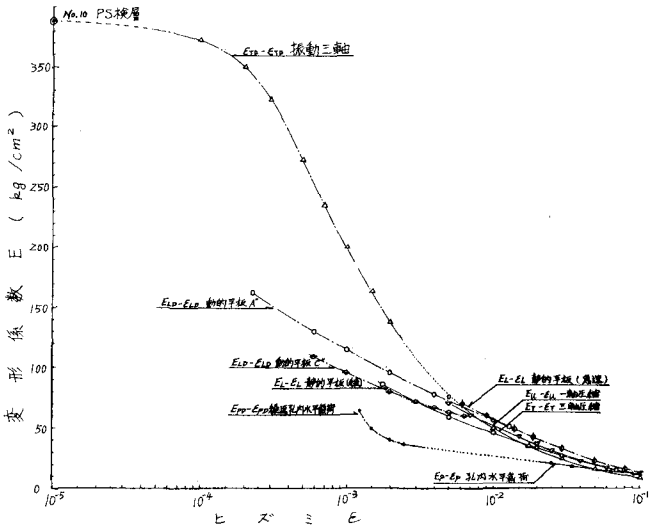


図5 変形係数とヒズミとの関係

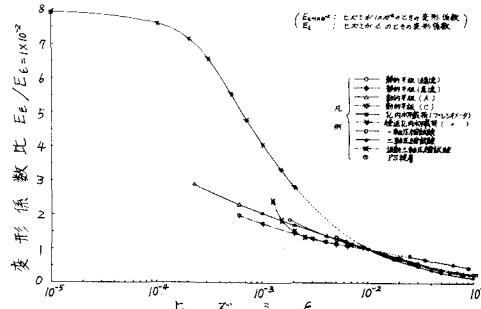


図6 変形係数比とヒズミとの関係