

建設省土木研究所 正員 ○高木義和  
建設省土木研究所 正員 龍岡文夫  
日本大学大学院 学生員 須藤秀雄

§ 砂の  $G/G_0 \sim \gamma$  関係

Hardin and Drnevich<sup>1)</sup>によると砂の変形係数  $G$  の歪依存性は次式で表わせる。

$$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma/r} \quad \text{----- (1)}$$

$$\gamma_r = \tau_{max}/G_0, \quad \gamma: \text{せん断歪} \quad \text{--- (2)}$$

$$\tau_{max} = \left\{ \left( \frac{1+k_0}{2} \right) \cdot \sin \phi \right\}^2 \cdot \left( \frac{1-k_0}{2} \right)^2 \cdot \sigma_v' \quad \text{--- (3)}$$

$$G_0: \gamma = 0 \text{ の } G \quad \text{--- (4)}$$

この式によると実際にある砂の  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線を求めるためには  $G_0, \tau_{max}$  を実験的に求めなくてはならない。これにより求めた (2) 式の  $\gamma_r$  を代入した (1) 式が実際に求めた  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線と必ずしも一致しているとは限らない。従って (1) 式は、一般的法則性を表わした近似式だと言える。<sup>2)</sup>一オ、筆者の研究によると  $G_0$  は  $p, e$  を同じにしても砂によって相当異なる。しかし、共振法土質試験と低周波動的せん断試験で求めた同じ拘束圧での  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線は、図-1に示すように  $\{G/G_0\}_{p=1.0}$  が大きく異ってもあまり変わらない様である<sup>3)</sup>。従って、実験結果をなるべく直接用いるという考えから、次式を解

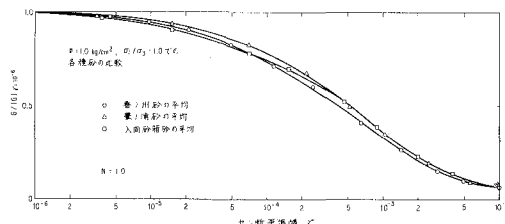


図-1.3 種類の砂の  $G/G_0 \sim \gamma$  関係 ( $p=1.0 \text{ kg/cm}^2$ )

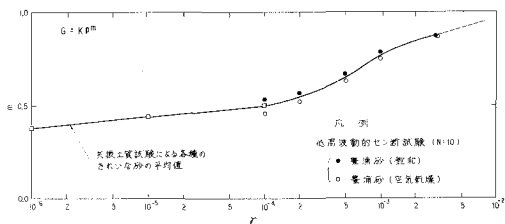


図-2.  $p$  のべき  $m$  と  $\gamma$  の関係 ( $G = Kp^m$ )

$$\begin{aligned} \text{析に用いている。} \{G/G_0\}_{p=1.0} &= \{G/G_0\}_{p=1.0}^{1/2} \cdot p^{m(r)-m(r=1.0)} \\ &= f(r) \cdot p^{m(r)-m(r=1.0)}, \quad f(r) = \left[ \frac{G}{G_0} \right]_{p=1.0}^{1/2} \quad \text{--- (5)} \end{aligned}$$

ここで、 $f(r)$  は図-1に示してあり、 $m(r)$  は図-2に示してある。この  $m(r)$  は前回に発表した値<sup>3)</sup>に新たな  $\gamma$  を加え、修正したものである。(5)式より、 $p=1.0$  以外の  $p$  に対する  $\{G/G_0\}_{p=1.0} \sim \gamma$  関係を求めることができる。又、 $G_0$  の関係による変数は歪レベルによらずに同一であるが、(5)式は関係比によらず成り立つと考えられる。

§  $G/G_0 \sim \eta$  関係

Hardin and Drnevich<sup>1)</sup>によると  $G$  と  $\eta$  には次式の関係がある。

$$\frac{\eta}{\eta_{max}} = 1 - \frac{G}{G_0} \quad \left( \eta \text{ は履歴減衰係数} (\eta \text{ と表わす: } \frac{1}{2\pi} \frac{dW}{dN}), \eta_{max} \text{ は } \gamma_r \text{ が十分大きい時の } \eta \text{ の値} \right) \quad \text{--- (6)}$$

図-3に豊浦砂での  $\eta \sim G/G_0$  関係を示す。 $\{G/G_0\}_{p=1.0}$  は共振法土質試験で求めたものであり  $\eta, G (r=10^{-4} \times 5 \times 10^3)$  は低周波動的せん断試験で求めた  $N=10$  回での値である。尚、ある  $\gamma$  に対する  $G/G_0, \eta$  は  $e$  によらないことがわがえる。図に示すように、 $\eta$  と  $G/G_0$  には  $p, \gamma, e$  によらずに一定の関係がある。又、(6)式の直線関係は近似的にあてはまる。図-4に3種の砂の  $\eta \sim G/G_0$  プロットを示すが、この関係は一般的には次式で表わせることがわがえる。

$$\frac{\eta}{\eta_{max}} = g(X), \quad X = G/G_0 \quad \text{--- (7)}$$

ここで  $\eta_{max}$ ;  $X=0$  での  $\eta$  の値、及び  $\{G/G_0\}_{p=1.0}$  は砂によるが、 $g(X)$  の型は砂によらない。従って、(6)式は  $g(X)=1-X$  であることを意味している。従って、 $X$  と図-4を用いて  $\eta$  を推定することができる。ただ、 $\eta_{max}$  の値は、砂によって異なるが  $\eta_{max}$  を求めない時は、推定値に幅がでさう。非線型の砂の応力歪関係と等価な線型の応力歪関係で

おきかると、 $\pi = \{G + iG'\} \delta$ ,  $\eta = G'/2G = 4W/2\pi W$  ----- (8)  
 で表わされる。 $\pi$ ,  $\delta$  はせん断応力とせん断歪の複素表現であり、 $G$  はせん断変形係数 (Shear modulus),  
 $G'$  は損失係数 (Loss modulus) である。こゝで  $G'$  と  $\Delta W$  (1サイクルの載荷の間に単位体積で失われるエネルギー)

は  $\Delta W = \pi \gamma^2 G' \dots \dots (9)$  と表わせる。

図-6 に豊浦砂における、 $G' \sim \gamma$  関係を示す。  
 こゝで、特徴的なことは  $G'/\{G\}_{r=10^6}$  の最大値は  $p$  の大  
 きさによらない砂固有の値になつてゐるこゝである。

(7), (8) 式より、  

$$\frac{G'}{\{G\}_{r=10^6}} = \frac{2G\eta}{\{G\}_{r=10^6}} = \frac{2G\eta_{max} \cdot g(x)}{\{G\}_{r=10^6}} \dots \dots (10)$$

となる。 $g(x) \cdot X$  は、砂によらないが、その最大値も  
 砂によらない。又、 $\eta_{max}$  は  $p$  によらない砂固有の値

であるから(10)式から、 $G'/\{G\}_{r=10^6}$  の最大値は  
 $p$  によらない砂固有の値である。又、 $\eta$  を

$\eta = \eta_1 \cdot p^m$  ( $\eta_1$  は  $p=1.0 \text{ kg/cm}^2$  の  $\eta$  の値) ----- (11)

で表わした時の  $\eta$  の値を図-6 に示す。

$G'$  は (8), (11) 式から

$G' = L \cdot p^{m+n} \dots \dots (12)$

で表わせるから、図-2 と図-6 から  $m+n$  を  
 求めたものを図-7 に示す。 $\gamma$  が非常に小さ  
 ければ  $m+n$  は 0 に近い値となり、 $\gamma$  が十分  
 に大きければ  $m+n$  は 1.0 に近くなる。

このことと (9) 式より、減衰エネルギー  $\Delta W$  は  $\gamma$  が  
 非常に小さければ、 $p$  によらないことがわかる。これは、  
 非摩擦性の物性である。 $\gamma$  が十分大きければ  $\Delta W$  は  $p$  に  
 比例する。これは摩擦性の物性の性質である。 $\gamma=10^{-6}$   
 / $10^{-3}$  まで増加するに従つて、砂は非摩擦性の物性が  
 摩擦性の物性に移つてくことを意味してゐるのである。

### 5. 参考文献

- Hardin, B.H., and Drnevich, V.P. (1972). Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves, SMFD, ASCE Vol. 98, SM7.
- 柴田徹, Soelarno, D.S. (1975) "繰返し載荷を受ける砂質土の応力ひずみ特性," 土木学会論文報告書, 第239号
- 高木義和, 岩崎敏男, 龍田次 (1976) "室内実験による砂の動的変形特性の歪依存性," 第31回 土木学会年次学術講演会 第II部

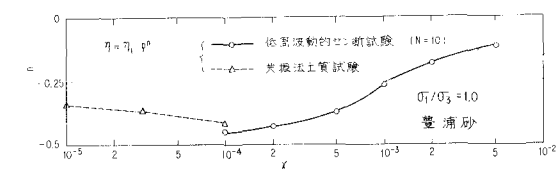


図-6.  $\eta$  と  $\gamma$  の関係

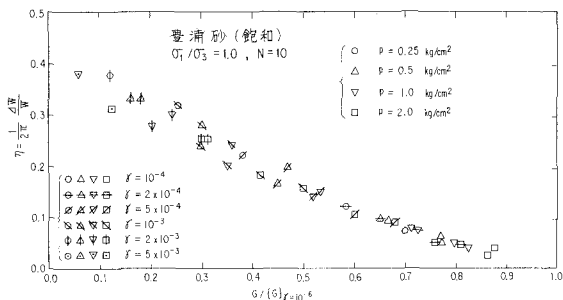


図-3. 豊浦砂の  $\eta \sim G'/\{G\}_{r=10^6}$  関係 (飽和)

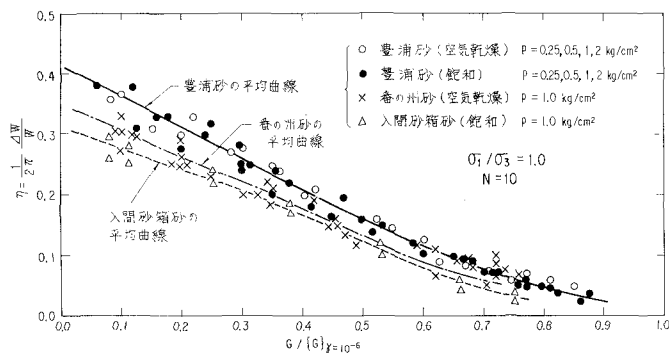


図-4. 3種類の砂の  $\eta \sim G'/\{G\}_{r=10^6}$  関係

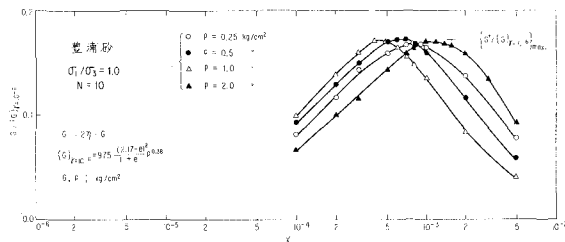


図-5 豊浦砂の  $G'/\{G\}_{r=10^6} \sim \gamma$  関係

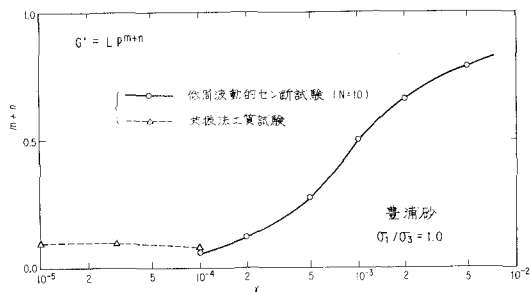


図-7.  $m+n$  と  $\gamma$  の関係