

II-365

正弦振動型同心二重円筒を用いた底泥の粘弾性係数の測定例

大林組(株)

正会員 青木 徹

横浜国立大学工学部 正会員 柴山 知也・佐藤 慎司

1. はじめに 軟らかい底泥床上を波が進行する場合、波と底泥は相互干渉を起こすことが知られている。こうした現象は、最近注目されており研究例もいくつか報告されている。このうち中野ら¹⁾の研究では底泥を複数層の粘性流体とし、Bingham 流体に対するモデルを提案している。柴山ら²⁾によれば、このモデルは200%以上の含水比に対して底泥の運動をよく説明できるが、200%以下の含水比に対しては、計算値が実験値を大きく上回ってしまうことが指摘されており、こうした含水比の底泥に対して彼らは、弾性の影響を考慮した粘弾性体モデルを提案している。ところがここで対象とするような軟らかい底泥では、弾性係数の評価は難しくその測定方法も確立されていない。そこで本研究では、新たに製作した正弦振動型の同心二重円筒を用いて、底泥の粘弾性係数を測定した。

2. 測定の原理 Nakagawa³⁾は、粘弾性流体の粘性係数および弾性係数の測定法として、次のような方法を提案している。図-1のような同心円筒A(半径 r_1)、B(半径 r_2)の間に試料をいれ、ねじれ定数 k (dyne·cm)の針金でつる。円筒Aの上端に角振幅 Θ_0 で回転角が

$$\Theta = \Theta_0 \exp(i \omega t) \quad (1)$$

で示されるような正弦的往復運動を与える。すると内円筒は、外円筒に比べていくぶん遅れた同一周期の振動を起こす。内円筒Aの回転角を θ 、慣性モーメントを I とし、試料の力学的インピーダンスを Z とすると内円筒Aにかかる力は、試料から受ける抵抗力 $-Z \dot{\theta}$ および針金から受けるねじれ復元力 $k(\Theta - \theta)$ であるからその運動方程式は、

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -Z \frac{d\theta}{dt} + k(\Theta - \theta) \quad (2)$$

となる。一方 Voigt型の粘弾性体にかかるせん断応力はヒズミを ε とすると

$$\tau = \mu \frac{d\varepsilon}{dt} + G \varepsilon \quad (3)$$

であるからこれを式(2)に代入して整理すると

$$\frac{\Theta}{\theta} = \frac{1}{k} (-\omega^2 I + \frac{G}{c} + k + i \omega \frac{\mu}{c}) \quad (4)$$

を得る。ここに c は形状因子で

$$c = \frac{1}{4 \pi h} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \quad (5)$$

である。ここで式(4)の右辺は複素数でありその偏角は

$$\phi = \tan^{-1}(\omega \mu / a c) \quad (6)$$

ここで

$$a = -\omega^2 I + G/c + k \quad (7)$$

であり、 ϕ は Θ と θ の位相差角に相当する。ここで Θ と θ の比を m とすると式(6)、式(7)から

$$G = c \{ k(m \cos \phi - 1) + \frac{4 \pi^2 I}{T^2} \} \quad (8)$$

$$\mu = \frac{c}{\omega} m k \sin \phi \quad (9)$$

となる。ここに T は振動の周期である。以上から Θ と θ の振幅の比および位相差角を測定することにより、粘性係数と弾性係数が、求められる。

3. 測定結果および考察 以上の方法を用いて粘土の粘性係数および弾性係数を測定した。測定は138%~202%の含水比に対して、1秒、2秒、3秒の3種類の周期で行った。その結果を図-2~図-4に示す。図におけるずり速度 D は、内円筒と外円筒の間の粘土層内の流速分布が直線的であると仮定した場合の速度勾配の最大値であり r_1, r_2, θ_0 を用いて

$$D = \frac{r_1 \omega \theta_0}{r_2 - r_1} \quad (10)$$

で示される。これらの結果をみると G も μ もずり速度が大きくなるにつれてその値が減少していく傾向がみられる。また同じずり速度であっても振動の周期が長くなると G は値が小さくなり、 μ は逆に大きくなる傾向がみられる。

4. 結論 本研究における結論を以下に示す。

㉑ 軟らかい粘土の粘性係数と弾性係数は、正弦振動型の同心二重円筒を用いて測定できる。

㉒ 弾性係数 G はずり速度が大きくなると、その値は減少する。

㉓ 同じずり速度であっても振動の周期が長くなると G はその値が小さくなり、 μ はその値が大きくなる。

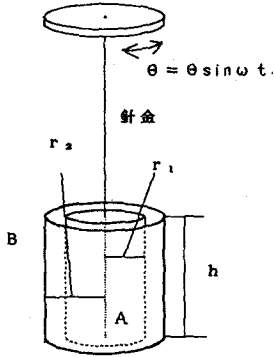


図-1 内円筒駆動式同心二重円筒

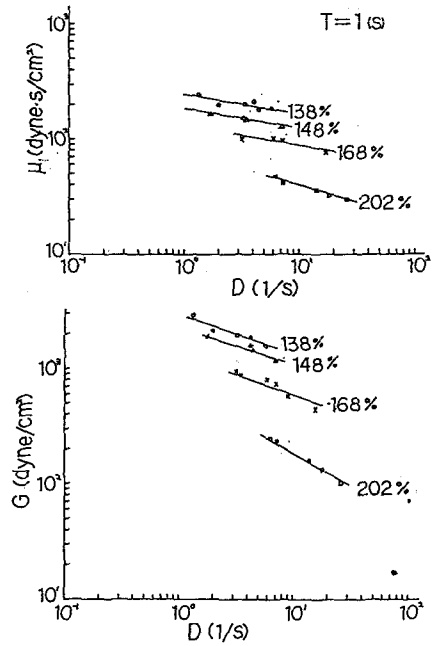


図-2 粘性係数 μ 弾性係数 G の測定結果

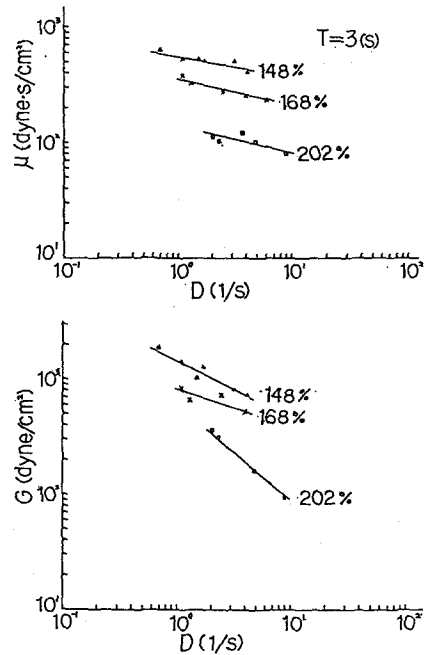
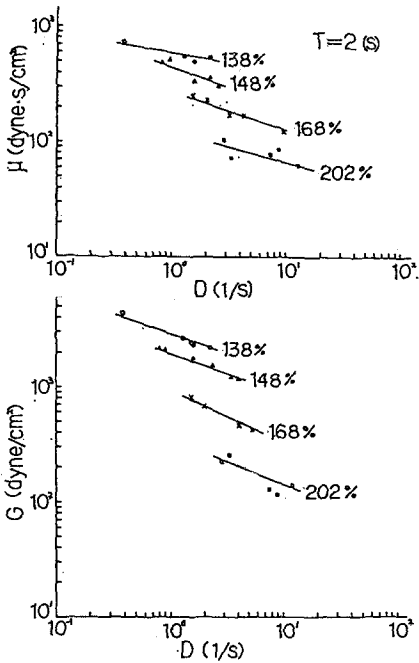


図-3 粘性係数 μ 弾性係数 G の測定結果

図-4 粘性係数 μ 弾性係数 G の測定結果

参考文献 1)中野晋・鶴谷広一・藤濱潤:波と底泥の相互干渉による波高減衰と底泥の流動について,港湾技術研究所報告,第26巻,第2号,1987. 2)柴山知也・佐藤慎司・平出和也・青木徹:波による底泥の質量輸送速度,第35回海岸工学講演会論文集,pp.347-351,1988. 3)Nakagawa, T: Spinnability of Liquid. A Visco-Elastic State II. Spinnability and Visco-Elastic Property, Bull. of Chemical Society of Japan, Vol.25, pp.93-97, 1952.