

底泥床上の波高減衰に及ぼす弾性の影響

徳島大学工学部 正会員 中野 晋

1. まえがき 底泥床上での波高減衰を計算する方法として Dairymple and Liu¹⁾の理論を拡張した著者ら²⁾の粘性流体多層モデルが提案されている。昨年、柴山ら³⁾はこのモデルでは低含水比の底泥の運動を過大に評価する傾向があることを示し、Macpherson⁴⁾やHsiao and Shemdin⁵⁾と同様に Voigt型の粘弾性を考慮して修正した粘弾塑性多層モデルを提案し、このモデルによる計算結果が低含水比の底泥の運動特性をよく表すことを明らかにしている。しかし柴山らの研究では波高減衰については言及されていないため、本研究は底泥床上での波高減衰に焦点を絞って考察し、波高減衰に及ぼす弾性の影響について調べた。

2. 弾性を考慮した基礎式の概要 計算モデルは動粘性係数が式(4)のように複素数で表される以外は著者らが提案した粘性流体多層モデルと同じであり、底泥層を多層に分割して以下の基礎式に基づいて計算される。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial p_i}{\partial x} + \nu_{ei} \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \right) \dots (1) \quad \frac{\partial w_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial p_i}{\partial z} + \nu_{ei} \left(\frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_i}{\partial z^2} \right) \dots (2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial u_i}{\partial x} = 0 \dots (3) \quad \nu_{ei} = \overline{\nu_{ei}} + i G / \sigma \rho_i \dots (4) \quad \rho_i \nu_i = \mu_B + \tau_v / \sqrt{4II_{ei}} \dots (5)$$

ここで $u_i, w_i, p_i, \rho_i, \nu_{ei}$ はそれぞれ第 i 層の水平、鉛直流速、圧力、密度、相当動粘性係数である。また相当動粘性係数は式(4)、式(5)より各層ごとに1周期平均値として繰り返し計算より評価される。 σ は波の角周波数、 G, μ_B, τ_v はそれぞれ底泥の弾性係数、塑性粘度、降伏値である。また II_{ei} は変形速度テンソルの第2不変量の1周期平均値である。周期解の仮定や境界条件などは文献2)と同じである。

3. 弾性係数の評価 鶴谷ら⁶⁾が同心二重円筒型回転粘度計で測定した流動曲線(粘性係数～ずり速度関係曲線)の内、ずり速度が $D > 1s^{-1}$ で成立するべき乗領域での曲線から Bird⁷⁾の方法を用いて弾性係数を評価した。この方法は一般化された3次元 Maxwellモデルに基づいており厳密には Voigtモデルに対する弾性係数値とは一致しないが、高分子化合物の場合には両者の違いは20%以内であると報告されている。図-1に弾性係数と含水比の関係を示す。同図には青木ら⁸⁾が振動型回転粘度計で測定した結果も参考に示しているが、これらの値は今回の方法で求められた G より大きいことがわかる。柴山らは振動周期やずり速度が大きくなると弾性係数が小さくなることを明らかにしているが、この評価法が周期が無限度に相当する1方向回転粘度計の流動曲線から求められたことやずり速度が大きいところ ($D > 1s^{-1}$) を対象にして求めていることなどによると考えられる。

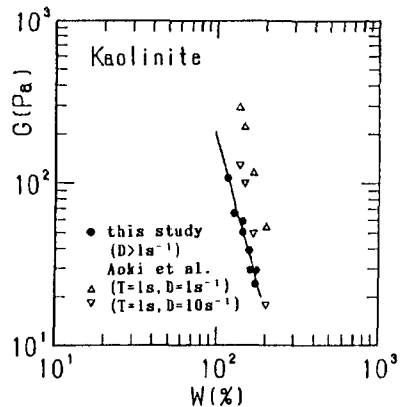


図-1 弾性係数と含水比の関係

4. 計算結果と考察 図-2、図-3は弾性係数 G によって波高減衰係数 k_i ($H_w = H_{w0} \exp(-k_i x)$) および底泥波と水面波の波高比がどのように変化するかを調べたものである。水深、底泥厚さがともに20cmで周期が1.2sの条件では $G = 350 \sim 400Pa$ で共振状態となり両者が最大となることがわかる。底泥層を一端が固定された長さ1、弾性係数 G 、密度 ρ の壁面が波の進行方向に対し直交して平面的に敷き詰められたものとする。その壁面上端に正弦波外力が軸方向に作用する場合の壁面の第1次モードの固有角振動数と波の周期が一致

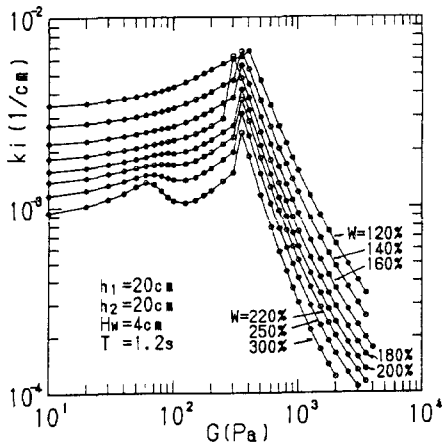


図-2 波高減衰係数のGによる変化

するときの弾性係数は $G = 16 \rho l^2 / T^2$ で表される⁹⁾。ここで $l = h_2 = 20 \text{ cm}$, $T = 1.2 \text{ s}$, $\rho = 1.2 \text{ g/cm}^3$ とすると, $G = 533 \text{ Pa}$ であり, 図-2.3 に示された共振時の弾性係数の1.4 倍程度の値が得られる。大胆な仮定による試算であり, 正確に共振状態を推定するには至らないが, 底泥厚さと周期に対してある弾性係数の時に共振が生じることが予想される。

図-4は今求めた弾性係数を用いて計算した場合(細線)と $G = 0 \text{ Pa}$ として計算した場合(太線)の波高減衰係数について比較した1例である。実験結果のばらつきが大きいので, はっきりとしたことは言えないが, G を考慮した場合のほうが考慮しない場合より波高減衰係数の計算値が大きく, 実験結果との一致度は多少良くなっているようである。

5. まとめ この研究では回転粘度計による弾性係数の評価法と波高減衰などに及ぼす弾性の影響について計算結果を基に調べた。その結果, 含水比が

200%程度と超軟弱粘土床上を波が伝播する時でも両者の相互干渉に弾性が影響することが確認された。しかし弾性を考慮する場合には共振モードが現れるなど, 計算に用いられる弾性係数によっては相互干渉を過大に見積る可能性もあり, 弾性係数の正確な評価法の確立がまず重要と考えられる。

なお, 本研究は文部省科学研究費奨励研究(A)「波・流れ共存場における底泥の舞い上がり機構に関する研究」の補助のもとに実施された研究の一部である。ここに記して謝意を表する。

参考文献 1) Dalrymple and Liu(1978): J. Phys. Oceano. 8, pp. 111-111. 2) 中野ほか(1987): 港研報告, 26-2, pp. 171-212. 3) 柴山ほか(1989): 海講論文集, 36, pp. 334-338. 4) Macpherson(1980): J. F. M., 97-4, pp. 721-742. 5) Hsio and Shemdin(1980): J. Phys. Oceano., 10, pp. 605-610. 6) 鶴谷ほか(1986): 港研資料, 556, pp. 1-29. 7) 富田幸雄(1975): レオロジー, コロナ社, pp. 361-363. 8) 青木ほか(1989): 第44回年講, II, pp. 800-801. 9) たとえば小坪清真(1973): 土木振動学, pp. 172-173.

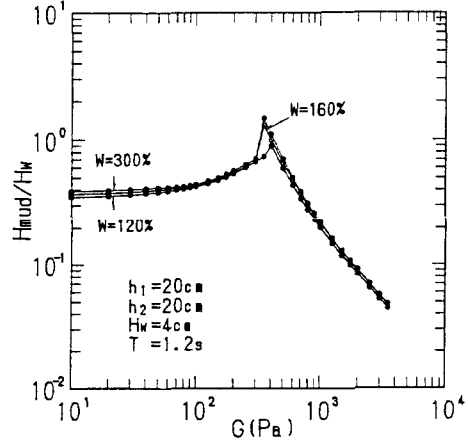


図-3 底泥波高のGによる変化

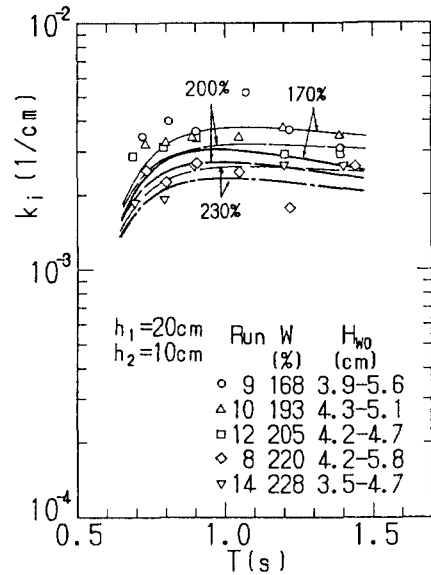


図-4 波高減衰係数についての計算値と実験値の比較