

I-473

固体-水-2相系物体の相互作用解析

日本大学 正会員 塩尻 弘雄

日本大学 正会員 石川 文敏

日本大学 阿布里克木 阿布都拉

1. はじめに

コンクリートダム等非透水性物体に作用する動水圧に関しては、Westergaardの先駆的論文以来数多くの研究がなされているが、間隙を有し、透水性を有する物体に作用する動水圧、あるいは、透水性物体の存在による他物体に対する動水圧の変化等についての検討は数少ない。そこで、Biotの理論に基づき、骨格、及び間隙水の変位を未知変数とする有限要素法と薄層要素法の組み合わせからなる水-非透水性固体-透水性固体連成系の解析法を開発した。また、有限要素部や薄層要素部の底部等に適用するため、2相体に対して簡易にエネルギー透過条件を与える粘性境界の開発も行った。有限要素部、薄層要素部供、異種物体間の、境界接線方向の間隙水等の変位の不連続を考慮するため、特殊な接合要素を用いた。

2. 解析法

(1) 支配方程式

透水性物体、固体、水部はそれぞれ別の要素を用い、異種要素間の境界条件をみたすよう特別の接合要素を用いる。透水性物体の方程式は、骨格の変位を u 、間隙率を n 、間隙水の変位を v 、等価相対変位 $w = n(v - u)$ 、 w についての慣性項を m とし、以下で与えられる。(他の記号については、文献(1)参照)

$$\underline{L}^T \cdot \underline{\sigma} + \rho \underline{b} - \rho \ddot{\underline{u}} - \rho_f \ddot{\underline{w}} = \underline{0}$$

$$\nabla \pi + \rho_f \underline{b} - k^{-1} \dot{\underline{w}} - \rho_f \ddot{\underline{u}} - m \ddot{\underline{w}} = \underline{0}$$

u と w を未知変数とした場合の有限要素定式化は文献(1)、薄層要素定式化は、文献(2)に述べられている。一方、水領域に対しては、速度ポテンシャルが存在するとして、有限要素定式化、薄層要素定式化とも文献(3)に述べられている。

(2) 接合条件

有限要素部についての異種物体間の境界⁽⁴⁾と同様、薄層要素についても以下の条件を与える。

①水と固体

上下方向の変位の連続、及び上下方向応力の連続より次式の条件を与える。

$$\rho_w \frac{\partial \phi}{\partial n} = \rho_w \dot{u}_n$$

②固体と2相物体

$$\sigma_n = \rho_w \dot{\phi}$$

固体部の変位の連続とともに、境界法線方向の間隙水の相対変位が0の条件($W=0$)を与える。

③水と2相物体

下式のような、水粒子の上下方向変位の連続、上下方向応力の連続条件を与える。

$$\rho_w \frac{\partial \phi}{\partial n} = \rho_w \dot{u}_n$$

$$\sigma_n = \rho_w \dot{\phi}$$

有限要素部と薄層要素部の接合については、文献(3)と同様の方法で行うが、薄層要素部から求められるインピーダンス行列は、有限要素部と同様、速度ポテンシャルに対応する行の符号を逆にする事により対称にすることができる。

(3) 粘性境界

境界波が境界法線方向から入射した場合に厳密な条件を与える境界条件を考える。接線方向については、固体部のみが寄与するので、通常の固体の粘性境界と同じである。法線方向については、間隙水と固体がともに寄与し、また、速度の異なる2種の粗密波が存在する。このため、特定の周波数 ω に対する各波の波数を α_1, α_2 とし、 V_1, V_2 を各波の固体部と間隙水の進行方向変位のモードベクトルとすれば、境界に与えるべき法線方向の荷重 F と法線方向変位 U の関係式は $[D]$ を応力-歪行列として次式で与えられる。

$$\{F\} = [D] [V_1, V_2] \text{diag} \{\alpha_1, \alpha_2\} [V_1, V_2]^{-1} \{U\}$$

3. 計算例

透水性物体が、水中で単位水平正弦加速度（ 1 cm/s ）を受ける場合に発生する動水圧について検討する。骨格の剛性は十分剛（ $\lambda = G = 1.0^{14} \text{ Pa}$ ）な場合と変形性のある場合（ $\lambda = G = 8.0 \text{ MPa}$ ）を考え、間隙率は 0.375 、慣性相互作用係数 β （ $\beta = mn / \rho_w - 1$ ）は 1 とした。高さ 32 m の長方形の背後に貯水があり、下部の $1/2$ に堆砂がある場合、水と堆砂を別種の要素で表し接合要素を用いた場合と同一の2相系要素を用い、水部については $n = 1$ とした場合を比べると（図-1）、境界付近の水圧がかなり異なる。固体壁背後の透水性物体中の間隙水圧は、堆砂の変形性の影響を強く受ける。（図-2）

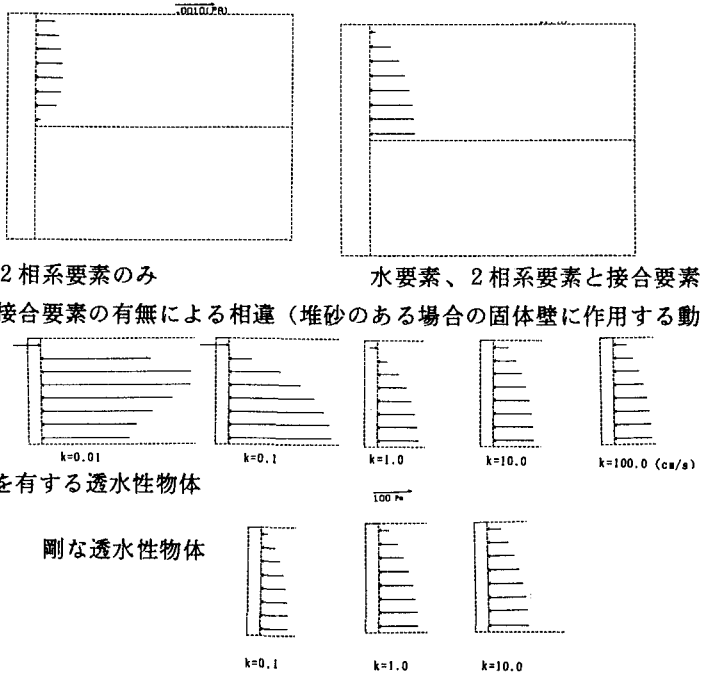


図-1 接合要素の有無による相違（堆砂のある場合の固体壁に作用する動水圧： 1 Hz ）

図-2 固体壁に作用する透水性物体内の動的間隙水圧（ 1 Hz ）

4. 結論

固体-水-2相系物体に対する、有限要素法と薄層要素法を組み合わせた解析法を開発した。水や非透水性物体との境界には特殊な接合要素を用いた。2相体に対する粘性境界も開発した。計算例により、手法の有効性と、間隙水圧の特性等を示した。

参考文献

- (1) Simon, B. R., et. al., Int. J. Numer. Anal. Meth. Geotech., Vol. 10, pp461-482, 1986
- (2) Nogami, T., Kazama, M., Soil Dyn. Earthq. Eng., Vol. 11, No. 1, pp17-26, 1992
- (3) Shiojiri, H., Aoyagi, S, Proc. 8th WCEE, Vol. V, pp87-94, 1984
- (4) 塩尻、石川、「地震時動水圧におよぼす透水性の影響」第48回年次学術講演会（共通）