

透過性堤体斜面への波のうちあげ

新日本技術コンサルタント 正会員 ○増田 寛
 藤井基礎設計事務所 正会員 野々内利幸
 鳥取大学工学部 正会員 木村 晃・瀬山 明

1. はじめに：傾斜防波堤に波が入射する場合，堤体外の斜面上への波のうちあげとそれに伴う堤体内への波の透過が生じる．これら堤体内外の波の運動のシミュレーションに際しては，両領域の運動は一連の現象として総合的に評価されるのが望ましいが堤体斜面での境界の取り扱いの困難さから従来別々に解析されてきた．本研究では碎石からなる傾斜堤を対象として，孤立波のうちあげに関する一連の運動を数値モデル化し，堤体内外の運動を同時に解析することを試みた．また実験によってこのモデルの適合性を検討し，堤体が不透過の場合との比較を行った．

2. 基礎方程式：堤体外の斜面上での波の運動では斜面に対し直角方向の流速が微小であると仮定し，差分による1次元解析を行う¹⁾．堤体内の流体運動は空間変化については有限要素法による2次元解析，時間変化については差分による1次元解析を適用する²⁾．

〔堤体外〕図-1 領域Ⅰのように斜面上に x^* 軸，斜面に直角上向きに y^* 軸を取れば，摩擦と浸透の影響を考慮した運動方程式と連続式は次式で与えられる．

$$\frac{\partial u^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + g \cos \gamma \frac{\partial h^*}{\partial x^*} + g \sin \gamma + f \frac{|u^*| u^*}{h^*} - \frac{u^*}{h^*} q^* = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h^*}{\partial t^*} + \frac{\partial (u^* h^*)}{\partial x^*} + q^* = 0 \quad (2)$$

ここに h^* は全水深， u^* は x^* 方向の流速， t^* は時間， g は重力加速度， γ は斜面勾配， f は摩擦損失係数（定数）， q^* は単位時間，単位面積当りの浸透流量である．*印は次元量を表す．

〔堤体内〕図-1 領域Ⅱのように x^* ， y^* 軸を取り，堤体内の碎石が流れに及ぼす抵抗が Dupuit-Forchheimer 則で表されるとすると，その1次元の運動方程式及び連続式は次式のようになる．

$$C_{vm} \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + C_{vm} \frac{u^*}{\lambda} \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + C_p \lambda g \frac{\partial h^*}{\partial x^*} + g F^* \lambda u^* = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial h^*}{\partial t^*} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial (u^* h^*)}{\partial x^*} = 0 \quad (4)$$

ここに λ は透水層の空隙率， C_{vm} は質量係数， C_p は圧力分布補正係数， F^* は抵抗係数である．また流量流速 $\bar{q}^*$ の x^* ， y^* 方向の成分をそれぞれ u^* ， v^* とし，慣性項を無視すれば2次元の運動方程式及び連続式は次式で与えられる．

$$\nabla \phi^* = -\frac{\bar{q}^*}{K^*} \quad (5) \quad \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \quad (6)$$

$$\text{ここに} \quad K^* = \frac{1}{a+b|\bar{q}^*|} = \frac{1}{F^*} \quad (7)$$

であり， a, b は Forchheimer 定数（実験定数）である． ϕ^* はビエズ水頭である．

3. 計算方法：計算手順を図-2 のフローチャートに示す．計算は便宜上，不透過の一樣水深部から一樣

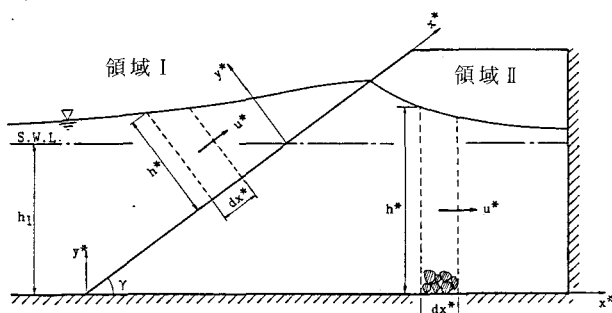


図-1 堤体外・堤体内の座標系

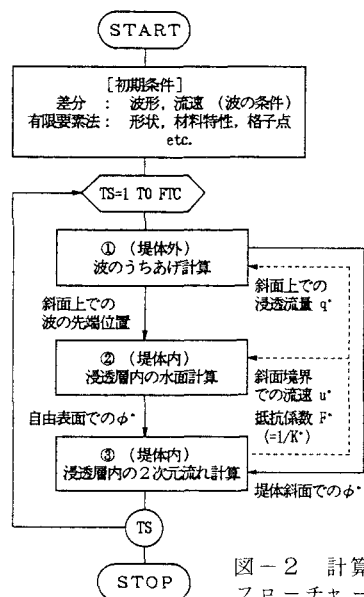


図-2 計算のフローチャート

勾配の透過性堤体が始まる場合を取り扱う．また堤体背面は直立不透過であるとする．差分による1次元解析では一様水深 h_1 を基準量として基礎方程式を無次元化し，Lax-Wendroff法によって波形と流速を計算する．有限要素法では領域を三角形要素に分割し，(5)，(6)式から得られる次式を，差分で得られた結果を境界条件として計算して，2次元の流速分布と抵抗係数 ($=1/K^*$) を求める．

$$\frac{\partial}{\partial x^*} \left(K^* \frac{\partial \phi^*}{\partial x^*} \right) + \frac{\partial}{\partial y^*} \left(K^* \frac{\partial \phi^*}{\partial y^*} \right) = 0 \quad (8)$$

有限要素法で得られた結果は次の時刻での差分計算に用いる．

4. 計算結果：図-3に斜面上の波先端位置の時間変化を示す． R^* は静水面から波先端までの鉛直距離である．なお計算条件は，斜面勾配 $\gamma=3/4$ ，孤立波の波高 $H^*=4\text{cm}$ ，一様水深部の水深 $h_1 = 24\text{cm}$ ，摩擦損失係数 $f=0.005$ (不透過)， 0.2 (透過)，透水層の空隙率 $\lambda = 0.4$ ， $a=0.007$ ， $b=0.015$ ， $C_{vm}=1$ とし，斜面上では静水圧分布を仮定した．図-3から計算結果は透過，不透過の場合とも実験値と比較的よく一致している．もどり流れ時に若干のずれが生じているが，これは一様水深部での実験波形が峰より後方の部分で理論値と幾分差異が生じていたためである．また透過性堤体では不透過の場合に比べ摩擦，透水性の影響によって最大うちあげ高さが低下し，流下が遅れるのがわかる．

図-4に斜面上のうちあげ波形とそれに伴う堤体内の波形の時間変化を示す．計算条件は図-3と同様である．斜面上のうちあげ波形の計算結果と実験値の対応は各時刻とも良好である．透過，不透過の場合の比較では汀線付近で若干異なる程度で，摩擦，透水性の影響は顕著には現れなかった．透過性堤体の場合の堤体内部の波形の計算結果と実験値との比較では，うちあげ時にはよい一致を示すが，もどり流れ時に堤体背面付近で計算結果の方が高くなる．これは波形計算を長波近似による1次元解析で行

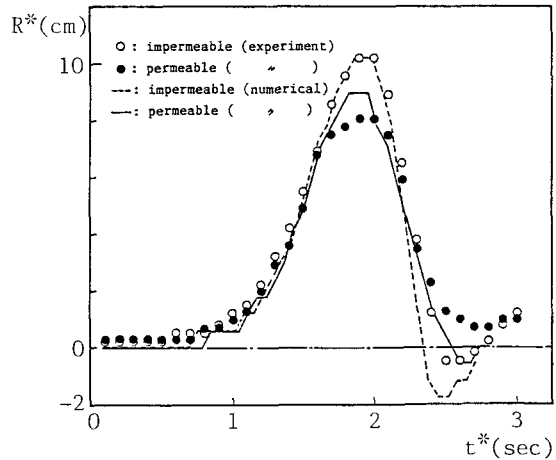


図-3 波先端の時間変化

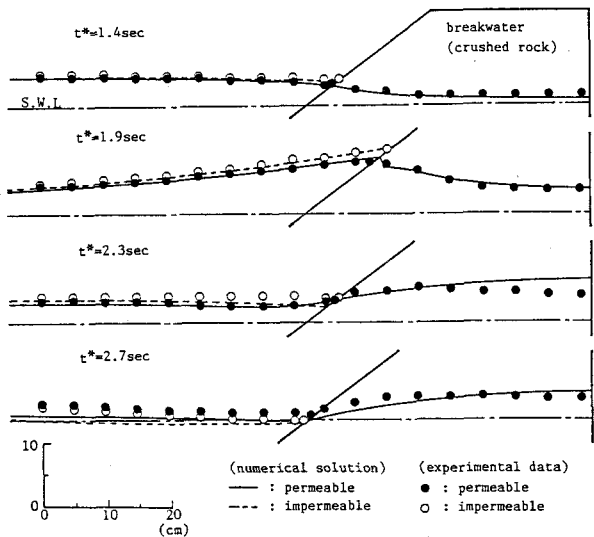


図-4 波形の時間変化

い， y^* 方向の流速 v^* に対する抵抗や慣性効果を見逃していることなどによると考えられる．

5. おわりに：本研究で示した数値モデルの適合性はおおむね良好であったが，堤体内部の流体運動の過度の単純化により，仮定が成立しない領域での計算精度に問題があり，今後さらに検討する必要がある．

参考文献：

- 1) Hibberd & Peregrine : Surf and run-up on the beach, J.Fluid Mech., Vol.95, pp.323-345, 1979.
- 2) Hannoura & McCorquodale : Rubble Mounds, Journal of W.P.C.O.Eng., Vol.111, pp.783-816, 1985.