

II-43 消波工による波の変形に関する数値解析

室蘭工業大学 正会員 近藤 俊郎
 室蘭工業大学 正会員 藤間 聡
 室蘭工業大学 学生会員 ○高玉 佳奇

1. まえがき

消波構造物と波の相互作用は海岸工学において重要な問題の一つである。波が構造物に作用する時、構造物内の流れは通常、不定常非ダルシー流れになる。未だ、不定常非ダルシー流れの動向を扱った文献は非常に限られている。著者らは遷移状態にある碎石構造物内外の流れに注目し、抵抗則としては Forchheimer 則を考え、特性曲線法を用い数値解析を行ない、構造物内外の液形及び波高分布を推定すると共に実験を行ない、両者の結果を比較検討した。

2. 基礎理論と解析方法

入射波は長周期性の波とする。構造物内外の水位変動を η 、平均流速を u とし、構造物内では添字 n 、構造物外では e を付けると、構造物内での支配方程式は次式で表わされる。

$$\frac{(\eta_0 + \eta_n)}{\lambda} \frac{\partial u_n}{\partial x} + \frac{u_n}{\lambda} \frac{\partial \eta_n}{\partial x} + \frac{\partial \eta_n}{\partial t} = 0 \quad \dots (1) \quad \frac{u_n}{\lambda} \frac{\partial u_n}{\partial x} + \frac{\partial u_n}{\partial t} + g\lambda \frac{\partial \eta_n}{\partial x} + g\lambda F u_n = 0 \quad \dots (2)$$

$$F = a + b|u| \quad \dots (3) \quad |u| = \sqrt{u_n^2 + v_n^2} / 2 \quad \dots (4)$$

ここで、 η_0 は平均水深、 λ は空隙率、 g は重力加速度、 F は非ダルシー摩擦項である。抵抗則として Forchheimer 則が使われる。 u は流量速度であり、水平及び鉛直成分が組み入れられている。 v_n は自由水面では最大で、水底では 0 であることが仮定される。よって、(4) 式はエネルギー・重み付き平均を基礎に与えられる。

構造物外部の流れに対する支配方程式は次式で与えられる。

$$(\eta_0 + \eta_e) \frac{\partial u_e}{\partial x} + u_e \frac{\partial \eta_e}{\partial x} + \frac{\partial \eta_e}{\partial t} = 0 \quad \dots (5) \quad u_e \frac{\partial u_e}{\partial x} + \frac{\partial u_e}{\partial t} + g \frac{\partial \eta_e}{\partial x} + g S_f = 0 \quad \dots (6)$$

ここで、 S_f は摩擦項であり (7) 式で与えられる。水底勾配は 0 であり、 n は Manning の粗度係数である。

$$S_f = \frac{n^2 |u_e| |u_e|}{(\eta_0 + \eta_e)^{4/3}} \quad \dots (7)$$

解析法として特性曲線法を用いる。初期条件は $u_e = u_n = 0$ 、 $\eta_e = \eta_n = 0$ である。境界条件は、碎石構造物前面より 1 波長離れた所で、入射波として 2 つの異なる正弦波で合成された入力関数を与える。構造物前面では、構造物内部の水面が降下する場合、構造物前面の水面上に追従できず、浸出面が生ずることが実験より観察される。それゆえ、重力の影響を大きく受ける構造物内部の流れの限界浸透速度 q_{lim} を考え、前面での水面降下速度がこの限界浸透速度より卓越した時に、浸出面が現われるようにする。不透壁境界では $u_n = 0$ を与える。静止の状態から急に所定の波高の波を作用させず、助走時間として、3 周期まで波高を徐々に大きくした。計算は 7 周期まで行なった。周期が短い波に対して、 $C = \sqrt{gh}$ と $C = L/T$ の関係より、補正係数を計算し波速を補正した。

3. 実験装置及び方法

実験消波水槽は長さ 18.5 m、幅 0.4 m、高さ 1.0 m の片面ガラス張りの鋼製水槽であり、水槽一端には 0.5 HP のプラップ型送液装置が設置されている。波高測定は並行抵抗稜型波高計を用いたが、構造物内部の波高測定には、モータードライブカメラ（毎秒 4 コマ撮影可能）を使用し、構造物前面及び内部の水面形状を捉え、マイクロリーダーにて波高を読み取った。碎石構造物の諸元は長さ 0.6 m、幅 0.4 m、高さ 0.75 m である。構造物に作用させた波の諸元は以下の通りである。

周期 $T = 2.4, 2.0, 1.5, 1.0$ (sec) 波高 $H_i = 4.0$ (cm) 平均水深 $h_0 = 50.0$ (cm)

比重、空隙率、等価直径 D の値は任意に抽出した 466 個の実験用碎石より決定した。(3) 式の係数 a, b の値は長さ 17.5 m, 幅 0.6 m, 高さ 0.5 m の定常流の間水路に長さ 0.53 m, 幅 0.6 m, 高さ 0.26 m の金網型枠を設置し、碎石を詰め、自由表面を持たないように、不透過箱を上置き、動水勾配を種々変化させ、動水勾配と平均流速との関係より決定した。碎石は等方的に詰め込まれているものとし、毛管現象、吸着本現象は無視した。不透壁と碎石間の空隙が平均流速に及ぼす影響は D に対し、壁面間の距離 l が約 8 倍以下の長さ互有するとき、平均流速に数 (%) の誤差を生じることが知られているが、本実験では $l/D \approx 9$ であった。碎石の物理的特性及び水理的特性は以下の通りである。

物理的特性 比重 2.69 空隙率 46.41 (%) 等価直径 2.77 (cm)
水理的特性 $a = 0.0033$ (sec/cm) $b = 0.0041$ (sec/cm)²

4. 実験及び数値解析結果

図-1 は碎石構築物に $T = 2.0$ (sec) の波を作用させた場合の構築物内部の前面及び不透壁面の水面変動を示している。実験値と解析値を比較すると、水面変動曲線の極値を持つ時間が前者と後者との間に約 $1/4$ 秒のずれを生じているが、水面変動現象をかなり良く説明できる。実験波は幾分変形しているが、解析値の方がより顕著に変形している。これは対象波の非線形性を表わすものである。前面での振幅と不透壁面での振幅を比較すると、後者は前者の 8 割程度であり、碎石構築物の抵抗がかなり大きいことを示す。

図-2 は構築物内外の波高分布を示している。実験値と解析値を比較すると、内部波高は良い一致を示す。外部波高については解析値は実験値に比較して偏平化の傾向をなす。また、位相が 20 (cm) 程ずれていることが判る。原因として、解析では構築物前面より 1 波長離れた所で与えているため、不透壁の影響が考えられる。解析値による見かけの反射率は実験値より小さくなっている。

5. あとがき

本研究で対象とした波については、構築物内部における波高分布は特性曲線法で十分推定できるが、外部における波高分布の推定は不十分である。本方法は相対水深がきわめて小さい場合以外ではその適用性に問題があると思われる。

参考文献 Nasser M.S & McCorquodale J.A

'Wave Motion in Rockfill' Journal of the waterways harbors and coastal engineering division, ASCE, Vol. 101, WW2, May, 1975.

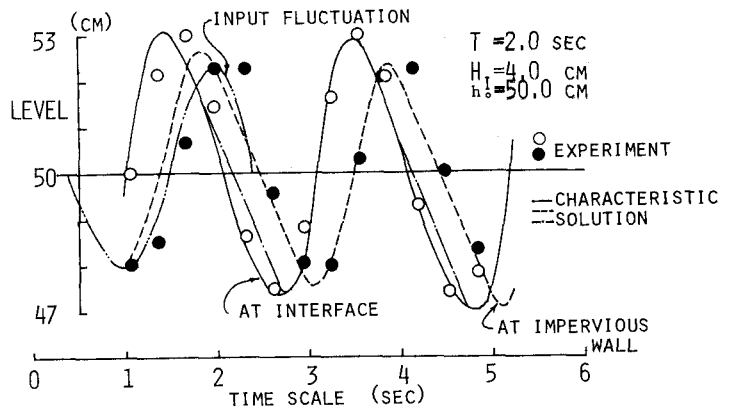


図-1 水面変動

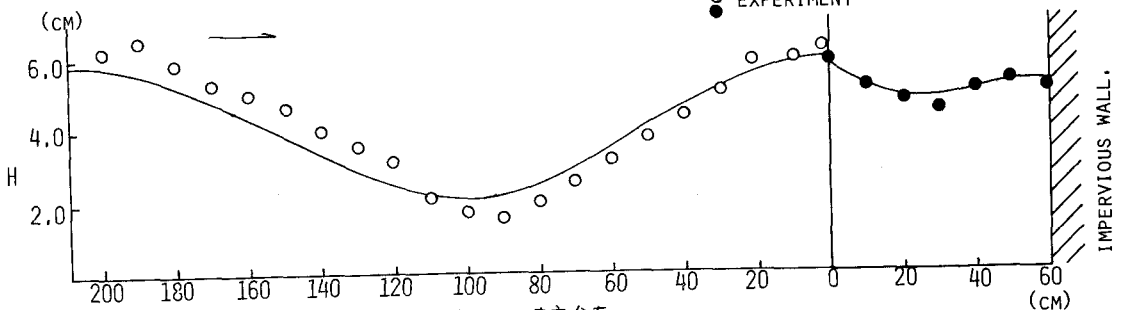


図-2 構築物内外の波高分布