

護岸背後地盤の砂粒子の波浪による吸出し挙動に関する模型実験

九州大学大学院 学 ○木下 智朗 正 善 功企
同上 正 陳 光斉 正 笠間 清伸

1. はじめに

2001 年 12 月に、兵庫県明石市の大蔵海岸で砂浜の陥没による女児の生き埋め事故が発生した。土木学会海岸工学委員会の大蔵海岸陥没事故調査報告書によると、2002 年 5 月までに全国 13 地区の砂浜海岸において陥没やくぼみが確認されている。このような陥没発生の原因として、「施工不良や目地の老朽化など、何らかのアクシデントにより堤体に隙間が生じ、波浪の作用によって裏込め土が吸出され、護岸内部に空洞が発生し、その空洞が拡大して陥没がおこる」といった一連の現象が考えられている。上述の陥没の原因とされる一連の現象の中から、本文では裏込め土の吸出し現象に着目して、砂浜・突堤・海を模造した模型装置を用いて実験を行うことにより、吸出し現象のメカニズムや影響要因を解明することを目的とした。

2. 内容

2.1. 実験概要

図 - 1 に本研究で用いた装置概略図を示した。砂層は豊浦珪砂を用いて、表 - 1 に示した条件で作製した。水槽内に波高 60mm・周期 5 秒の水圧変動を起こし、堤体に生じた隙間(目地)を通じて砂の吸出しを発生させた。この際、図 - 1 中に示した①～④の位置(75mm 四方)に水圧計を設置して、砂地盤中の水圧の変動を計測した。本研究では、目地幅に着目し実験を行い、目地幅を 5mm、10mm、15mm、17.5mm、20mm と変化させ 5 ケースの実験を行い、目地幅の変化が水圧伝達や吸出し現象に与える影響について考察した。なお、装置の奥行きは 85mm として、砂の動きを二次元的に扱うものとした。

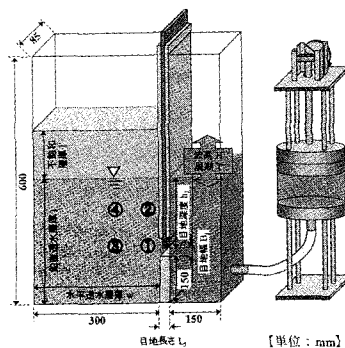


図 - 1 実験装置概略図

2.2. 解析概要

今回実験と併行して、変動水圧の作用による護岸背後地盤の水圧分布解析²⁾を行った。解析に用いた護岸周辺概念図を図 - 2 に示した。海水の浸入口となる目地部において護岸背後地盤に作用する水圧 P_b の時系列変化を微小振幅波理論により式 (1) で与えた。次に、地盤内を伝播する水圧 P_m を圧密方程式型の基礎方程式(式 (2))でモデル化した。二次元差分法を用いて、式 (2) を表 - 1 に示した条件の下で解くことにより、波が経過する間に地盤内で発生する間隙水圧分布の時系列変化を調べた。解析結果から、護岸に波の峰が到達する時刻(波の谷が護岸前面に差しかかった時刻; 図 - 2 から $T/4$ 秒経過時)における水圧分布を求め、模型実験で再現した護岸裏込め土の吸出し現象との関連性について考察した。

表 - 1 基本ケース

基本ケース		
波浪条件	波高 周期	H (mm) T (s)
		60 5
水盤条件	水の単位重量	γ_w (N/m ³)
		10.0×10^{-4}
	相対密度	d (%)
		75
	海側単位重量	γ_s (N/m ³)
地盤条件	水中単位重量	γ (N/m ³)
	透水係数	k (m/s)
	体積圧縮係数	m_v (m ² /N)
	B 値	0.5
せん断抵抗角	せん断抵抗角	ϕ (°)
	圧密係数	C_v (m ² /s)
	伝達係数	α
	水平透水層厚	w (mm)
	鉛直透水層厚	l (mm)
目地条件	不飽和層厚	l' (mm)
	発生位置水深	h_b (mm)
	幅	B ₁ (mm)
	長さ	L ₁ (mm)
		15

$$P_b = -\frac{\gamma_w \cdot H}{2 \cosh(\lambda \cdot h_j)} \sin 2\pi \left(-\frac{t}{T} \right) \quad \dots (1)$$

$$C_v \left(\frac{\partial^2 P_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_m}{\partial z^2} \right) = \alpha \frac{\partial P_m}{\partial t} \quad \dots (2)$$

$$\alpha = \frac{\partial P_b / \partial t}{\partial P_m / \partial t} : \text{伝達係数}$$

ここで、 $\lambda = 2\pi/L$: 波数、 C_v : 圧密係数、 H : 波高、 D : 水深、 γ_w : 海水の単位体積重量である。

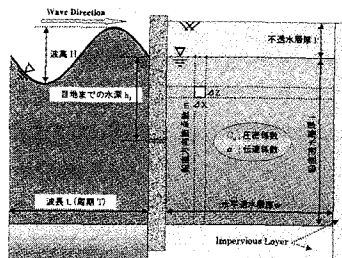


図 - 2 解析断面概念図

3. 実験・解析結果及び考察

3.1. 実験結果

裏込め土の海側へ流出は、通常目地幅 B_j と目地長さ L_j 、そして砂のせん断抵抗角 ϕ との関係により決定される。 $L_j < B_j / \tan \phi$ となった時は、波浪の作用なしに裏込め土が海側へ当然流出する。一方、 $L_j \geq B_j / \tan \phi$ となった時は、裏込め土の海側への流出は通常発生しないはずである。しかし、表-2にあるように $L_j \geq B_j / \tan \phi$ にも関わらず、波浪の作用により裏込め土が流出する現象(吸出し現象)が、本実験により確認された。

図-3に、各水圧測定点における目地幅の変化に伴う最大過剰間隙水圧の変動を示した。図-3によると、その変動は最大でも約 0.2 kN/mm^2 であり、水頭で換算すると 2 mm であることから考慮しても、今回の実験ケースでは目地幅の変化は地盤中の水圧伝達には殆ど影響しないという結果になった。また、実験中ビデオ撮影により砂粒子が吸出されて滑る境界線を調べたところ、吸出し領域は目地から縦長に地表へと向かっており、この吸出し領域は目地幅が増加することにより拡大した。以上のことから、吸出し領域の変動については、水圧変動はそれほど影響せず、概して目地幅に起因するところが多いのではないかと考えられる。この点に関しては、更なる研究が求められる。

図-4に、各水圧測定点における目地入り口部(水圧計①地点)との変動水圧の位相差 Δt_x と、水頭 H_x を水圧計①の水頭 H_1 で正規化した H_x/H_1 との関係を示した。図-4から、全ての測定点において、目地からの距離に比例して Δt は増加し、 H_x/H_1 は減少するという結果となった。また、 H_x/H_1 と Δt の相関係数 r_{xy} を算出したところ $r_{xy} = -0.83$ となり、 H_x/H_1 と Δt は強い負の相関を持った。このことから、 H_x/H_1 と Δt の関係は、ほぼ直線形の分布をとることがわかる。

3.2. 解析結果

図-5に解析により求められた、 $t=T/4$ 時における間隙水圧分布を示した。図-5から、(0, -150)地点にある目地の近傍において間隙水圧の乱れが生じているが、目地から離れていくにつれて水圧の乱れは小さくなり、やがて静水圧に落ち着くということが確認された。また、図-4の理論値と実験値を比較してみても分かるように、解析により得られた水圧伝達特性は、その傾向や経時変化は実験データとほぼ同様の結果となった。

4. 結論

- (1) 本実験により、波浪の作用による裏込め土の吸出し現象が確認された。
- (2) 目地幅が変化しても、各地点での水圧変動には変化はなかった。
- (3) 目地幅が増加すると、吸出し領域は拡大した。
- (4) H_x/H_1 と Δt の関係は、ほぼ直線形の分布をとった。
- (5) 護岸背後地盤の水圧分布解析においては、多少ばらつきはあるものの実験結果とほぼ同様の結果となった。

【参考文献】

- 1) 土木学会海岸工学委員会：大蔵海岸陥没事故調査報告書，土木学会，2002
- 2) 高松賢一：護岸背後地盤の陥没機構に関する一考察，九州大学修士論文，2003

表-2 吸出し現象発生の有無

	目地幅 B_j (mm)	$B_j/\tan\phi$ (mm)	目地長さ L_j (mm)	吸出し現象
B_j-1	5	7.15	23.5	—
B_j-2	10	14.3	23.5	—
B_j-3	15	21.5	23.5	○
B_j-4	17.5	25.0	23.5	○
B_j-5	20	28.6	23.5	○

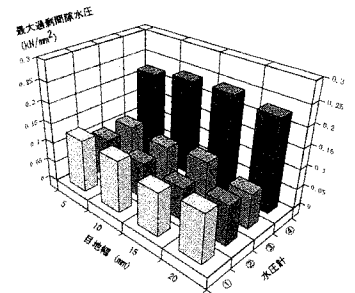


図-3 目地幅の変化に伴う
最大過剰間隙水圧の変動

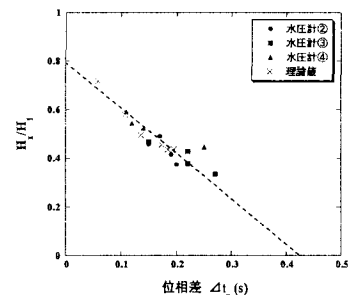


図-4 水圧伝達特性

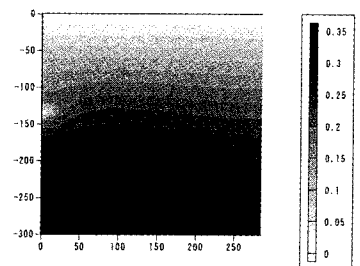


図-5 間隙水圧分布 (基本データ)
 $t=T/4$ 時