

目地を生じた護岸における背後地盤への間隙水圧応答特性

九州大学大学院
同上

学 〇木下 智朗
国際 陳 光斉

フェロー
正

善 功企
平松 浩三

1. 目的

近年日本の人工砂浜海岸において発生している突発的陥没の原因として、「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¹⁾。しかし、各過程でのメカニズムや影響要因に関しては未解明な点が多く、現在も様々な研究が行われている。著者らも現在までに、変動水圧の作用による裏込め土の吸出し現象および陥没発生を模型実験により確認した。本研究では、護岸背後地盤の水圧伝達に着目して数値解析を行い、間隙水圧の応答特性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。模型地盤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。この時、図 - 1 中に示した ~ 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、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。

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),3)}を行った。解析に用いた護岸周辺の概念図を図 - 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。式 (2)を、二次元差分法を用いて表 - 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求めた。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背後地盤の吸出し現象との比較を行い、その関連性について考察した。

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

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

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

2.3. 実験結果および考察

本実験によって、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、最大過剰間隙水圧の変動は約 0.2kN/mm^2 であり、これは水頭換算で約 2mm ということを考慮しても、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。位置的な水圧伝達については、目地から同距離にある水圧計 と水圧計 はほぼ一定の値を示しており、過剰間隙水圧の値は目地からの距離に比例するという結果になった。これより、目地近傍地盤においては、水圧は目地から同心円状に伝達されていると予想される。

キーワード 液状化 波浪 水圧伝達

連絡先 〒812 - 8581 福岡市東区箱崎 6 - 10 - 1 工学研究院共同実験棟 2F 092 - 642 - 4399

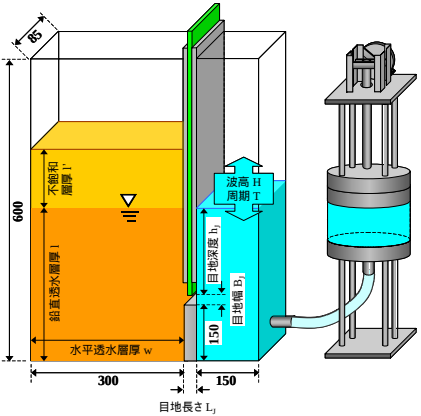


図 - 1 実験装置概略図

表 - 1 基本ケース

基本ケース			
波浪条件	波高	H (mm)	60
	周期	T (s)	5
水の単位重量		γ_w (N/mm ³)	10.0×10^{-6}
地盤条件	相対密度	d (%)	75
	湿潤単位重量	γ_1 (N/mm ³)	15.2×10^{-6}
	水中単位重量	γ' (N/mm ³)	19.2×10^{-6}
	透水係数	k (m/s)	3.0×10^{-2}
	体積圧縮係数	m_v (m ² /N)	5.1×10^{-9}
	B値	0.5	
せん断抵抗角		ϕ (°)	35
圧密係数		C_v (m ² /s)	6.0
伝達係数		α	2.0
水平透水層厚		w (mm)	300
鉛直透水層厚		l (mm)	300
不飽和層厚		l' (mm)	100
目地条件	発生位置水深	h_b (mm)	250
	幅	B_b (mm)	15
	長さ	L_b (mm)	15

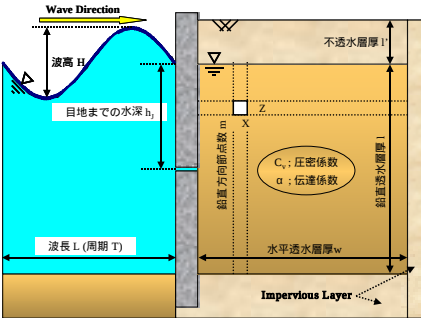


図 - 2 解析断面概念図

2.4. 解析結果および考察

図 - 4 に、砂粒子が吸出される領域(吸出し領域)および解析により求められた護岸背後地盤の水圧分布($t = T/4$ 時)を示した。図 - 4 によると、水圧発生地点(0, -150)地点の近傍において同心円状に極度の水圧低下が起きており、これにより発生する浸透力の作用によって目地部の砂粒子が吸出されると考えられる。また、理論値と実験値を比較しても、ほぼ同様の値を取っており、理論値の妥当性も確認された。吸出し領域に関しては、図 - 4 からわかるように、目地から縦長に地表へと向かっており、目地幅が増加することにより吸出し領域は拡大した。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大きいと考えられる。

また、吸出し現象を長時間継続させると地表面で陥没が発生し、吸出し領域の拡大によって、地表面で発生する陥没の規模も拡大化した。このことから、実際の砂浜海岸での陥没発生においても、目地幅の変化は最重要要素であり、目地の発生を防止することが最適な陥没発生防止対策の一つであると考えられる。

図 - 5 に、目地から水平方向に 15mm 離れた層の深度 15mm、75mm、150mm、225mm、285mm 地点における過剰間隙水圧の経時変化を示した。グラフの赤色部分は過剰間隙水圧が正の領域、青色部分が負の領域を表している。図 - 5 からわかるように、目地に最も近い位置の 150mm 地点で水圧の変動は最大となり、そして目地以浅部の方が、目地以深部よりも水圧変動は大きく、伝達されていることがわかる。この現象は、実験による結果とほぼ同じ傾向を示した。この原因として、図 - 4 での結果と同様に、海底面では被排水条件であることに起因していることが挙げられる。

図 - 6 に、目地水平地点における過剰間隙水圧の経時変化を示した。図 - 6 によると、最初の 60mm では水圧の減衰率は 39% となったが、以降は 25%、19%、18% と、水圧減衰率が水圧作用位置からの距離に反比例するという結果になった。このことから、目地近傍における急激な変動水圧が発生によって大きな浸透力が発生し、これが吸出し現象の影響要因になっていると考えられる。

3. 結論

- (1) 本実験によって、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) 目地の水平方向への水圧伝達においては、水圧減衰率が水圧作用位置からの距離に反比例した。
- (5) 護岸背後地盤の水圧分布解析においては、実験結果とほぼ同様の結果となり、定量的に評価できた。

4. 今後の課題

護岸背後地盤の水圧分布を $p = f(x, z, t)$ という関数で表すことで定量的評価を行い、地盤中に作用する浸透力の算出を試みる。これによって裏込め土の吸出し現象の解明を行っていく

参考文献

- 1) 「大蔵海岸陥没事故調査小委員会報告書」, 土木学会海岸工学委員会, 2002
- 2) 善功企: 「海底地盤の波浪による液状化に関する研究」, 運輸省港湾技術研究所, 1993.6
- 3) 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

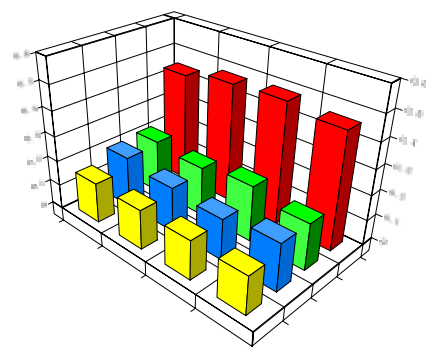


図 - 3 目地幅の変化に伴う
最大過剰間隙水圧の変動

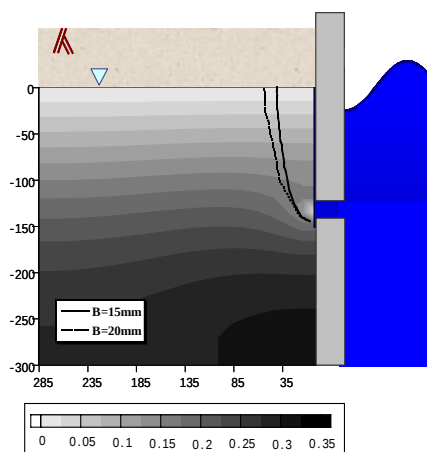


図 - 4 吸出し領域と $t = T/4$ 時における
護岸背後地盤中の水圧分布

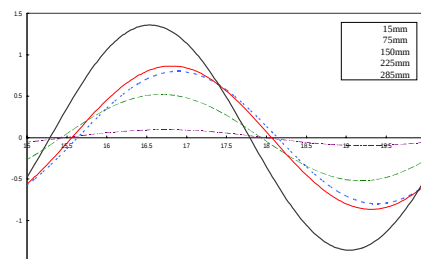


図 - 5 護岸近傍地盤における
過剰間隙水圧の経時変化

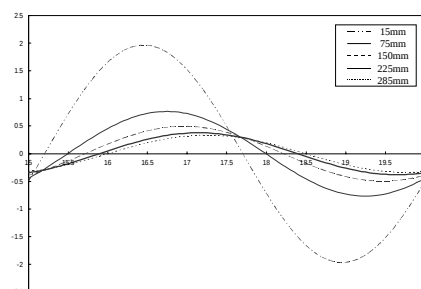


図 - 6 目地水平地点における
過剰間隙水圧の経時変化