

変動水圧に起因した護岸背後地盤の吸出し現象に関する一考察

九州大学大学院 学 ○木下 智朗 フェロー 善 功企
同上 正 陳 光斉 正 平松 浩三

1. はじめに

近年、日本の人工砂浜海岸において、護岸背後地盤の埋め立て土砂の漏れ出し(「吸出し」と呼ばれている)はしばしば発生しており、未だ十分な吸出し防止方法が確立されるに到っていないという状況にある。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 地区の砂浜海岸に吸出しに起因したと考えられる陥没やくぼみが確認され¹⁾、人々の憩いの場である海浜がこのような危険性と隣り合わせにあることが明らかになった。

そこで、本研究では波浪の作用(変動水圧)の影響による裏込め土の吸出し現象に着目して、模型実験と数値解析を行うことにより、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す。砂層は豊浦硅砂を用いて、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。また、本検討では吸出しの影響要因と考えられるパラメータの中から目地幅に着目し、目地幅を 5mm, 10mm, 15mm, 20mm と変化させ 4 ケースの実験を行い、目地幅の変化が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⁾を行った。解析に用いた護岸周辺概念図を図 - 2 に示す。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。表 - 2 に示すケースで解析を行い、得られた解析結果から、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。

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

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

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

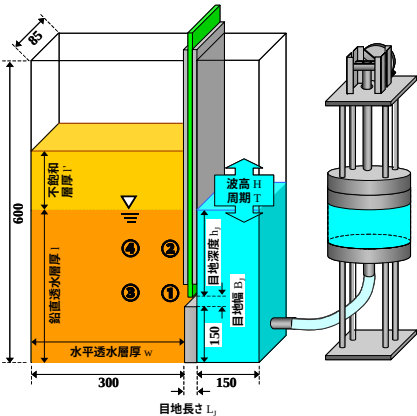


図 - 1 実験装置概略図

表 - 1 基本ケース

基本ケース			
波浪条件	波高	H (m)	3
	周期	T (s)	5
目地条件	水の単位重量	γ_w (kN/m ³)	10.1
	発生位置水深	h_j (m)	20
地盤条件	相対密度	d (%)	70
	湿潤単位重量	γ_s (kN/m ³)	15.2
	水中単位重量	γ' (kN/m ³)	19.2
	透水係数	k (m/s)	1.36×10^{-2}
	体積圧縮係数	m_v (m ² /kN)	1.65×10^{-4}
	せん断抵抗角	ϕ (°)	35
	圧密係数	C_v (m ² /s)	8.16
	伝達係数	α	1.0
	水平透水層厚	w (m)	50
	鉛直透水層厚	l (m)	50
	不飽和層厚	l' (m)	10

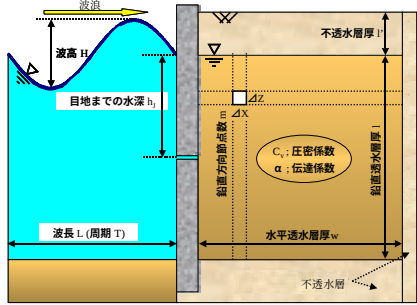


図 - 2 解析断面概念図

表 - 2 解析ケース一覧

解析ケース	波浪条件			解析ケース	波浪条件			解析ケース	波浪条件				
	波高	目地条件	地盤条件		波高	目地条件	地盤条件		波高	目地条件	地盤条件		
	(m)	(m)	(%)		(m)	(m)	(%)		(m)	(m)	(%)		
H1-1	10		50	H2-1	10		60	H3-1	10	60	50		
H1-2				H2-2				70				H3-2	70
H1-3				H2-3				80				H3-3	80
H1-4				H2-4				90				H3-4	90
H1-5				H2-5				100				H3-5	100
H1-6	20		50	H2-6	20		60	H3-6	20	60	50		
H1-7				H2-7				70				H3-7	70
H1-8				H2-8				80				H3-8	80
H1-9				H2-9				90				H3-9	90
H1-10				H2-10				100				H3-10	100
H1-11	30		50	H2-11	30		60	H3-11	30	60	50		
H1-12				H2-12				70				H3-12	70
H1-13				H2-13				80				H3-13	80
H1-14				H2-14				90				H3-14	90
H1-15				H2-15				100				H3-15	100
H1-16	40		50	H2-16	40		70	H3-16	40	70	50		
H1-16				H2-16				80				H3-16	80

3. 実験・解析結果及び考察

図-3に、解析により得られた目地深度が10m, 20m, 30m, 40mの時の、波の谷が護岸前面に差しかった際に背後地盤中に働く浸透力分布を示す。図-3から、目地深度が浅い時には、目地付近で広範囲かつ目地部において大きな浸透力が発生しているが、目地深度が増加すると地盤中に浸透力は作用しにくくなることがわかる。これは、微小振幅波理論から水深が深いほど作用する変動水圧が減少するためである。また、目地深度が増加するほど目地部地盤のせん断抵抗力も増加することを加えて考慮すると、目地深度が小さい時のほうが吸出しの危険性が高まると考えられる。この点に関しては、模型実験においても同様の結果となった。

次に、図-4に各条件下における目地部に働く最大浸透力について示す。浸透力と吸出し現象との関係を考察するために、模型実験により吸出しが確認されたケースにおいてはマーカーを白抜きとし、起こらなかったケースはマーカーをベタ塗りとしている。

図-4からわかるように、目地深度が小さい場合においては、わずかな波高でも吸出しが起こったことから、やはり目地発生位置が吸出し現象の重要な要因と考えられる。また、地盤の相対密度に関しては、発生する浸透力にそれほど大きく影響しないこともわかる。浸透力と地盤中の応力との関係については、目地が開いた場合の地盤中の応力状態が未解明であり、応力の比較が出来ないため、今後更なる研究が求められる。

図-5に目地幅の変化に伴う砂粒子が吸出される領域(吸出し領域)の規模を示す。今回の実験ケースにおいては、吸出し現象は目地幅が10mm以下の時には起こらず、目地幅が15mm以上になると起こるという結果になった。図-5からわかるように、吸出し領域は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。そして吸出しが進行すると、やがて地下に空洞が形成された。以上のことから、吸出し領域の規模については、今回の実験によれば、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いう結果になった。

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) 目地深度が浅いほど浸透力は大きくなり、吸出しの危険性は大きくなった。
- (3) 護岸背後地盤の相対密度は、地盤内に発生する浸透力にはほとんど影響しなかった。
- (4) 目地幅が増加すると、吸出し領域は拡大した。

【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

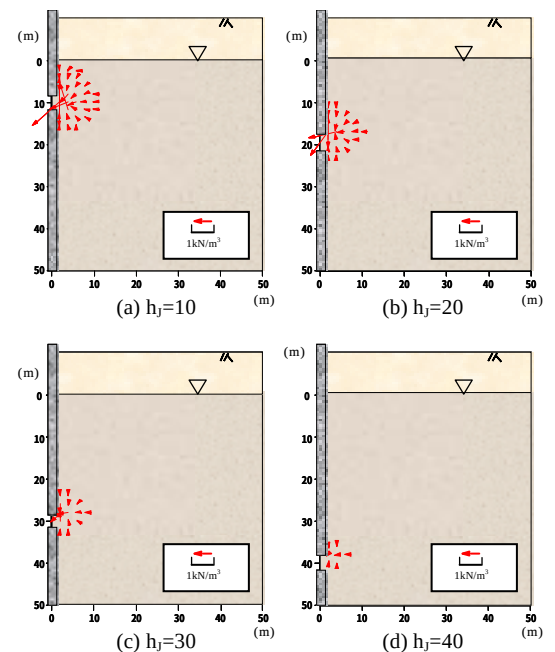


図-3 地盤中の浸透力分布
($t=3T/4$ 時)

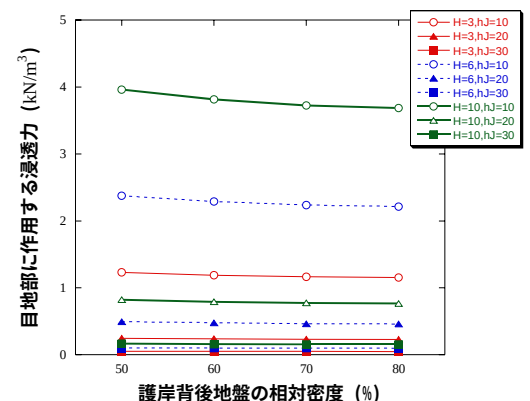


図-4 浸透力と吸出しの発生の関係

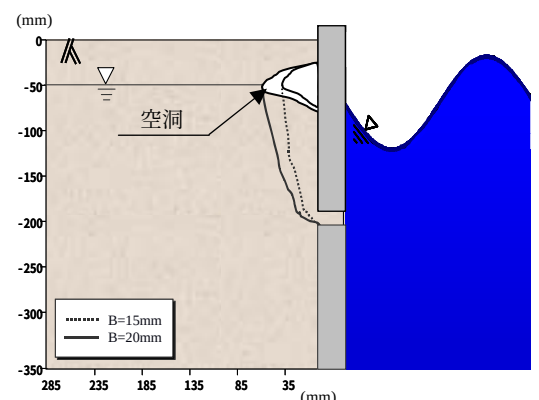


図-5 目地幅の変化に伴う吸出し領域の規模 ($h_j=20$ m 時)