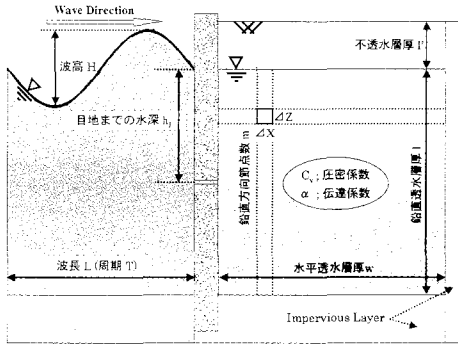


**** 正 会 員 工 博 九州大学助手 大学院工学研究院



図一2 解析断面概念図

表一2 解析条件基本ケース

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_t (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_f (mm)	250
	幅	B_f (mm)	15
	長さ	L_f (mm)	23.5

の谷が護岸前面に差しかかった時刻；図一2から3T/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。

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

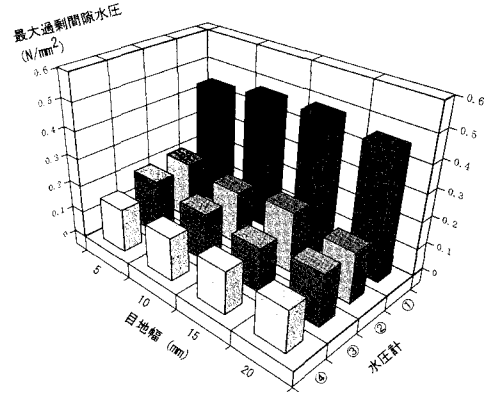
$$C_v \left(\frac{\partial^2 P_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_m}{\partial z^2} \right) = \alpha \frac{\partial P_m}{\partial t^2} \dots \dots \dots (2)$$

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。

3. 結果及び考察

(1) 実験結果及び考察

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。そして、図一3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

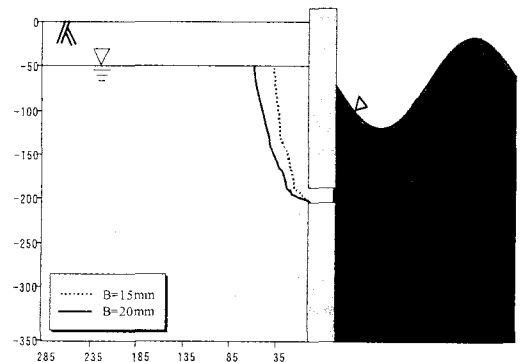


図一3 目地幅の変化に伴う最大過剰間隙水圧の変動

水圧の変動を示した。図一3によると、その変動は最大でも約0.2 kN/mm²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。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②と水圧計③はほぼ一定の値を示しており、総合的に比較しても、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となった。このことから、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のではないかと予想される。

図一4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）の変動を示した。図一4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。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。

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



図一4 目地幅の変化に伴う吸出し領域の変動

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。

(2) 解析結果及び考察

a) 有効応力分布

図-5に基本ケースにおいて、波が静水位の状態から、最高位、最低位を経て静水位に至るまでの一波が経過する過程における地盤内の有効応力分布を示した。有効応力は地盤の液状化発生を判定する指標であり、有効応力が正であれば液状化しておらず、負であれば液状化していることになる。

図-5より、水圧変動の影響を受けて目地近傍では有効応力が時系列的に変化をし、護岸から離れるにつれて、水圧変動の影響を受けず、有効応力は変化をしなくなることがわかる。また、 $t=T/4$ のとき、目地近傍で有効応力は上昇し、 $t=3T/4$ のとき、目地近傍で有効応力は低下し、最も目地に近い節点では有効応力が負となっている。このことから、 $t=3T/4$ のときは、目地近傍の砂地盤は液状化し、さらに護岸方向に浸透力も作用するので、裏込め土の吸出しが起こる可能性が極めて高いと考えられる。

b) 波高 H が護岸背後地盤の液状化に及ぼす影響

図-6に波高 H が6 m, 9 m, 12 mの場合の、 $t=3T/4$ における地盤内の有効応力分布を示した。 $t=3T/4$ で比較したのは、護岸背後地盤の液状化、および護岸裏込め土砂の吸出しに対する危険性が最も高い時刻と判断したからである。図-6より、波高の増加に伴って、地盤全体の有効応力は減少し、目地近傍で有効応力が負となる液状化領域も拡大することがわかる（各波高の詳細な液状化領域については、図-7、図-8を参照）。これは、微小振幅波理論からもわかるように、波高の増加は、目地部の水圧が作用する節点の水圧変動幅を直接増加させることになり、結果として地盤内で発生する過剰間隙水圧が全体的に増加するためと考えられる。

図-7に各波高における $t=3T/4$ における液状化地点および最大液状化高さを示した。図-7より、波高6.0 mのときは、液状化が発生していない。そして、波高9.0 mのときは、6.07 mから5.90 mまで0.17 m、周期12.0 mのときは、6.29 mから5.61 mまで0.90 m、それぞれ目地近傍の地盤が液状化している。この液状化高さの結果から、波の影響によって液状化しやすいのは目地上部の地盤であるが、波高が増加するとその領域は目地の下部にまでおよぶことがわかる。そのため波高がある程度大きくなると、目地直下部から巻き上げられるようにして吸い出される砂粒子が存在する可能性があると考えられる。

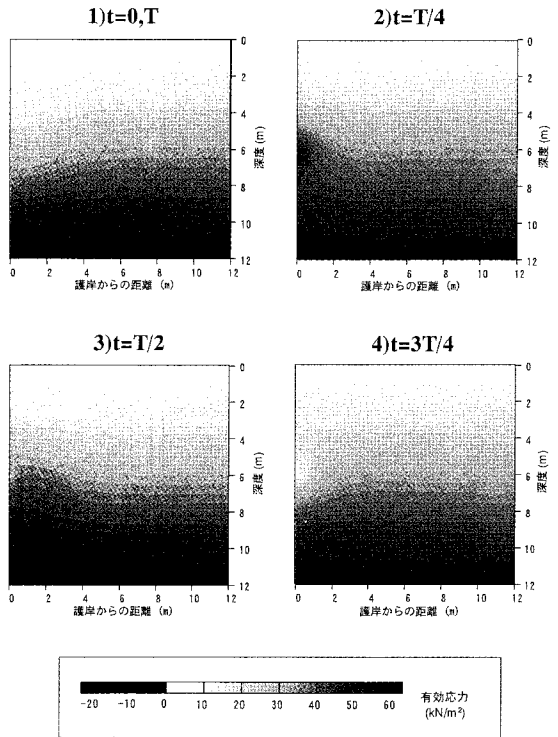


図-5 地盤内の有効応力の時系列変化（基本ケース）

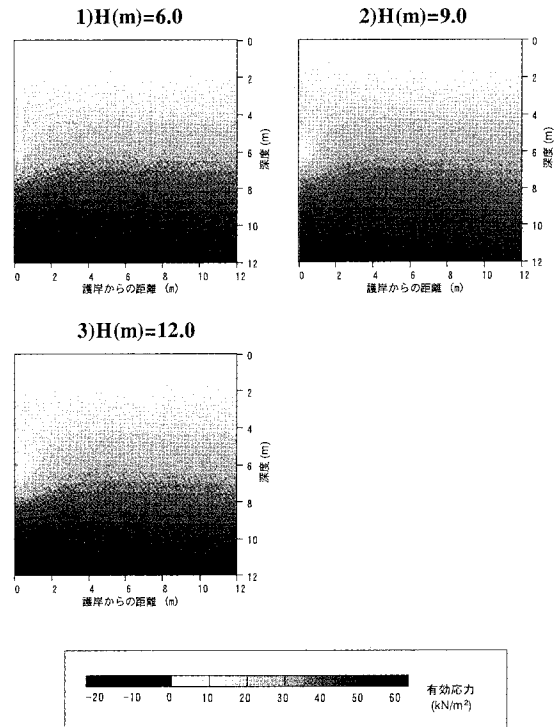


図-6 波高が護岸背後地盤の液状化に及ぼす影響

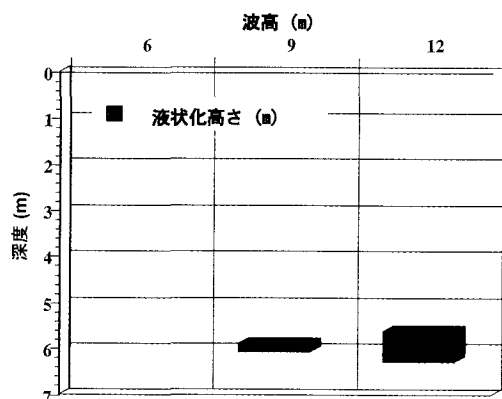


図-7 波高と最大液状化高さの関係

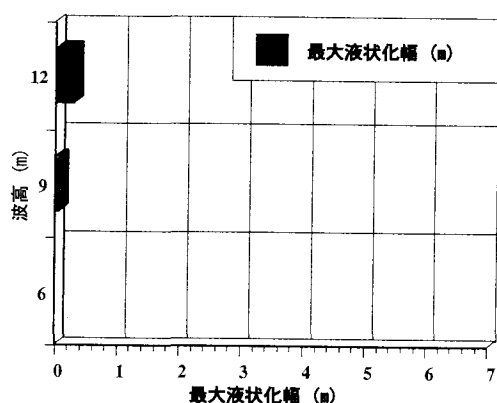


図-8 波高と最大液状化幅の関係

図-8に最大液状化幅を示した。図-8より波高6.0 mのときは液状化が発生していない。そして、波高9.0 mのときは0.08 mまで、波高12.0 mのときは0.30 mまで、それぞれ目地近傍の地盤が液状化している。

護岸背後地盤の液状化する領域を総合的にみても、周期を変化させた場合と同様に、最大液状化高さは最大液状化幅の倍以上となり、また、波高が大きくなると最大液状化幅に対する最大液状化高さの比も大きくなる、すなわち液状化領域が縦長になることがわかる。これらの結果より、液状化領域は、目地直下部から地盤上部方向に、護岸に沿って縦長にいきわたると考えるのが妥当である。

c) 圧密係数 C_v が護岸背後地盤の液状化に及ぼす影響

図-9に圧密係数 C_v が3.0, 6.0, 12.0, の場合の、 $t=3T/4$ における地盤内の有効応力分布を示した。

微小振幅波理論より、目地部の水圧作用節点に作用する水圧は波浪条件の影響は受けるものの、圧密係数 C_v の影響を受けない。そのため、以下に示した目地部水圧作用節点での有効応力はどのケースにおいても同じ値と

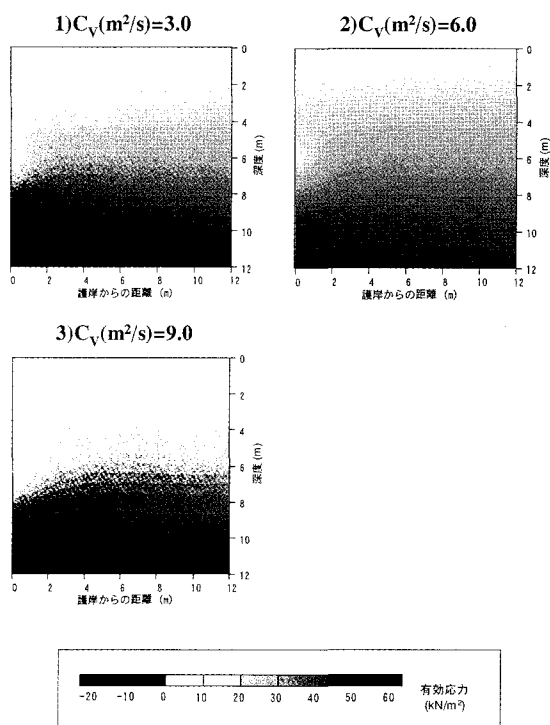


図-9 圧密係数が護岸背後地盤の液状化に及ぼす影響

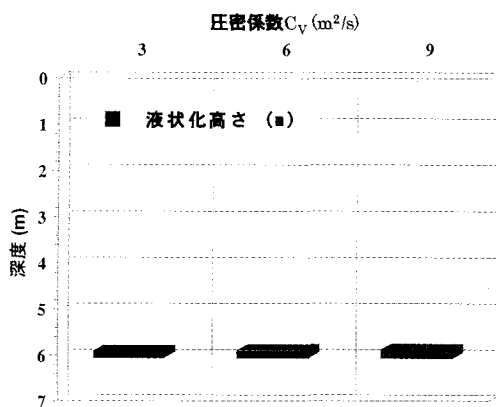


図-10 圧密係数と最大液状化高さの関係

なっている。また、目地近傍での有効応力分布を比較すると、圧密係数 C_v の増加に伴って、僅かではあるが全体的に有効応力が減少している。但し、この変化は非常に微妙なものとなっており、この範囲内での圧密係数の変化が護岸背後地盤内で発生する間隙水圧分布、および、そこでの液状化にそれほど影響を与えないことを意味している。なお、本解析を行う上で採用した3種類の圧密係数 C_v は現実的にあり得る範囲を網羅している（どのような相対密度の地盤にも対応し得る）。

図-10に各圧密係数における $t=3T/4$ における液状

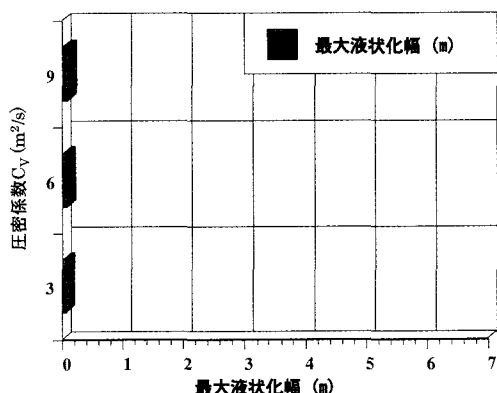


図-11 圧密係数と最大液状化幅の関係

化地点および最大液状化高さを示した。図-10より、 $C_v=3.0$ のときは、6.06 mから5.92 mまで0.14 m、 $C_v=6.0$ のときは、6.07 mから5.90 mまで0.17 m、 $C_v=9.0$ のときは、6.08 mから5.89 mまで0.19 m、それぞれ目地近傍の地盤が液状化している。この結果から、圧密係数 C_v は、護岸背後地盤内の液状化高さの変動にはほとんど影響しないことがわかる。

図-11に各圧密係数における $t=3T/4$ における最大液状化幅を示した。図-11より $C_v=3.0$ のときは0.07 mまで、 $C_v=6.0$ のときは0.08 mまで、 $C_v=9.0$ のときは0.09 mまで、それぞれ目地近傍の地盤が液状化している。

これらの最大液状化高さと最大液状化幅の結果より、圧密係数 C_v は、護岸背後地盤内の液状化領域の変動にはほとんど影響しないことがわかる。

圧密係数 C_v の増加により、地盤の排水性が高まり、目地で作用した水圧の減衰量が減少するため、目地近傍で発生する過剰間隙水圧が増加すると考えられる。しかし、

現実にかかる圧密係数の変動の範囲内では、その変動は液状化領域にはほとんど影響しないという結果になった。

4. 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が、吸出し領域は拡大した。
- (3) 変動水圧の作用により、条件によっては、護岸背後地盤は海水の浸入口である目地近傍で液状化する。その液状化領域は目地直下部から地盤上部に向かって発達していく。
- (4) 波の谷が護岸に差し掛かる際の護岸背後地盤内の浸透力は、目地直下部で上向きに、さらに、目地周辺では護岸方向に作用する。すなわち、このときの目地近傍にある砂粒子は吸出される可能性が極めて高い。

参 考 文 献

- 土木学会海岸工学委員会(2002): 大蔵海岸陥没事故調査報告書, pp. 109-114.
- 善 功企 (1993): 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, pp. 17-64.
- 高松賢一 (2003): 護岸背後地盤の陥没機構に関する一考察, 九州大学大学院修士論文, pp. 27-50.
- 前野・後藤・坪田・原田 (2001): DEM-FEM モデルによる変動水圧場における護岸周辺地盤の流動解析, 海岸工学論文集第48巻, pp. 976-980.
- 陳・善・笠間 (2003): DDA による海岸砂浜陥没の数値シミュレーション, 変動水圧と水中地盤に関するシンポジウム講演論文集, pp. 73-78.
- 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2002): 波浪による砂層内における空洞形成に関する模型実験, 変動水圧と水中地盤に関するシンポジウム講演論文集, pp. 55-60.