

変動水圧作用下における護岸の裏込め土砂の吸い出しに関する研究

Movement of Sand behind Reventment under Oscillating Water Pressure

岡山大学工学部 名合宏之 H. Nago

岡山大学工学部 前野詩朗 S. Maeno

1. まえがき

洪水時や波浪時における強度の水面変動は水理構造物周辺の砂地盤に変動水圧として作用し、地盤内の間隙水圧分布を時間的に変化させ、有効応力の減少による地盤の強度低下、さらには構造物の破壊をも誘起していると考えられる。このような観点から、著者らは、鉛直1次元および2次元砂層モデルを用いて変動水圧作用下における砂層内の間隙水圧・有効応力の解析を行い、変動水圧が作用することにより地盤の強度低下が発生することなどを明らかにしてきている^{1)~5)}。このような成果を踏まえ、本研究は、水理構造物の被災例のうち、変動水圧の影響が大きいと考えられる護岸の裏込め土砂の吸い出し（抜け出し）に起因するものを取りあげ、護岸前面に作用する変動水圧と土砂の吸い出しとの関係を実験的かつ理論的に検討しようとするものである。

2. 実験方法

実験には、図1に示される鉛直2次元砂層模型を用いた。模型の奥行きは40cmである。砂層材料としては高飽和状態の砂試料（豊浦標準砂 $d_{50}=0.25\text{mm}$ ）を用いている。砂層面上に約100cmの水をはり水面上に周期的変動空気圧を作用させている。変動圧振幅は水頭にして約40cmであり、周波数は約1Hzである。護岸模型の法面は勾配、浸透性、根入れ深さをそれぞれ変えることができる。実験条件としては表1に示されるcase 1からcase 8の条件のもとで行った。case 1

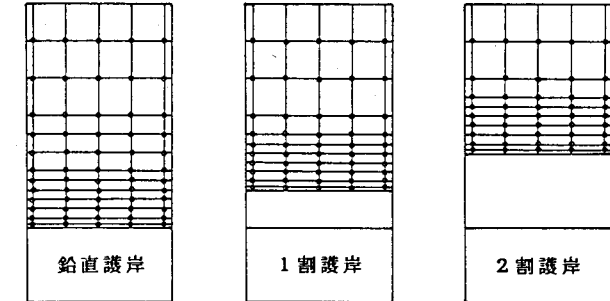


図3 吸い出し高さの計測点（平面図）

表1 実験条件

case	勾配(割)	浸透性	根入れ(cm)
1	1	無	0
2	2	無	0
3	0	無	0
4	1	有	0
5	2	有	0
6	0	有	0
7	1	有	5
8	1	無	15

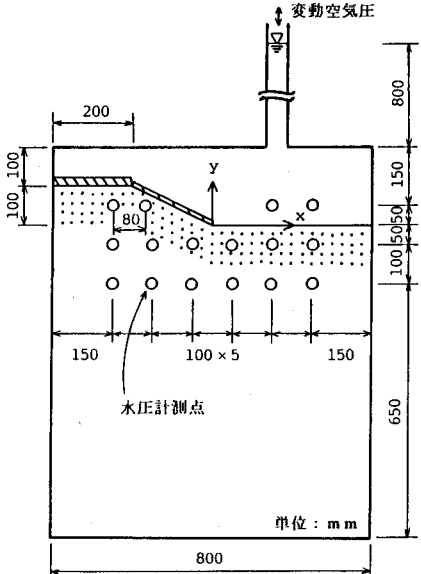


図1 実験に用いた砂層模型

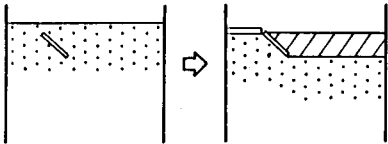


図2 モデル砂層の成型

case 2およびcase 3は不透透性法面を用いて勾配を変化させた場合であり、case 4, case 5 および case 6 は浸透性法面を用いた場合である。ここで、浸透性法面は、厚さ 1cmの鉄板に2.0cm の正方格子で直径 0.5cm の穴をあけたもので、砂が穴から流出しないように裏に金網が張ってある。さらに、case 7および case 8は根入れ深さを変化させた場合である。模型の作成にあたっては、図2に示すように法面となる鉄板を容器内に固定し、規定重量の標準砂を入れ、パイプレーターで締め固め、さらに水圧変動を加えて間隙率が0.38になったところで図中の斜線部分の砂を取り出して、上部にアクリル板を固定した。実験は変動水圧を 300分間作用させて行った。その間吸い出し量の計測は、各計測時間に達すると変動水圧をかけるのを中止して、ポイントゲージによりその高さを計測し、計測終了後、再び変動水圧をかけ実験を継続した。計測点は図3に示すように護岸法尻近傍では法面最下点から約2.5cm の間隔で、それより離れると粗い間隔で計 9～12点で、また、奥行方向には 5点をとって計測した。なお、水中および砂層内の圧力は図1の○印の位置において圧力変換器により側方から検出している。また、吸い出しの計測については、各測点における各時刻の高さから実験開始時の高さを差し引いた値を吸い出しの高さとした。

3. 結果および考察

図4は実験中における砂の吸い出し現象の様子を模式的に示したものである。吸い出しがある場合には、裏込め砂層は一定の角度（約 26° ）を保ちながら崩れていくことがわかる。こ

のような例はcase 1～case 3の不透透性法面の場合に顕著に現われ、その他の場合については、砂の吸い出し量は少なく裏込め砂層の形状はほとんど変化しなかった。図5は、case 2の実験中にみられた法尻周辺での砂粒子の移動状況を示したものである。これは、裏込め土砂が吸い出されていくうちに、固定されている法面と裏込め砂層内に水みちが形成され、裏込め砂層に直接水圧変動が伝達され表層の砂が多量に吹き出しを受けたものである。この吹き出し現象中には、

図に示すような著しい液状化現象がみられた。さらに、吹き出し現象は、時間の経過とともに吹き出された砂が法尻先端部に堆積することにより安定な状態となった。

図6から図8はそれぞれの法面勾配における法面の浸透性の有無による砂の吸い出しの時間変化を表わしたものである。同一法面勾配では法面に浸透性がある場合とない場合とでは、明らかに法面に浸透性がある場合のほうが吸い出し量が少なくなることがわかる。この傾向は、法面の勾配を変化させた場合でも同様である。また、勾配の変化による吸い出し量の変化については、はっきりとした傾向はみられなかったが、浸透性法面では、2割勾配の場合が最も吸い出し量が少ないようである。図9は法面勾配が1割で浸透性がない場合について根入れ深さによる吸い出し量の変化を示したものである。この図より、根入れ深さが深いほど吸い出し量が減少していることがわかる。さらに、図6と比較すると、法面に浸透性がない場合でも根入れを設置することにより、吸い出し量を減少させることができることがわかる。

図10および図11はcase 1の場合について護岸周辺砂層内の水圧（平均水圧からの変動量）の時間変化を示したものである。これらの図より、護岸前面砂層面上に作用する水圧変動は砂層内へ振幅の減衰および位相の遅れを伴いながら裏込め砂層内部へ伝播しているのがわかる。これらの図には、弾性砂層を仮定

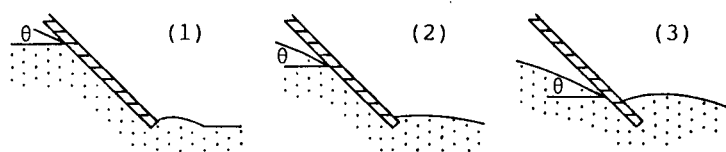


図4 吸い出しと裏込めの勾配

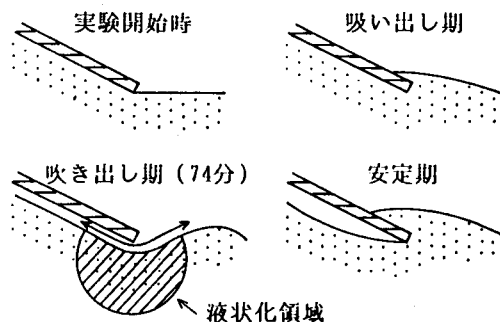


図5 case 2における法尻の時間変化

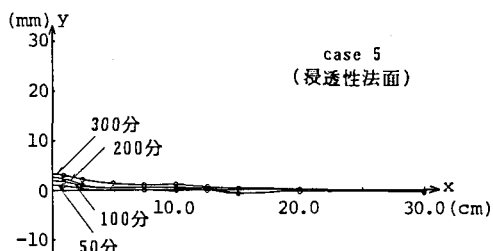
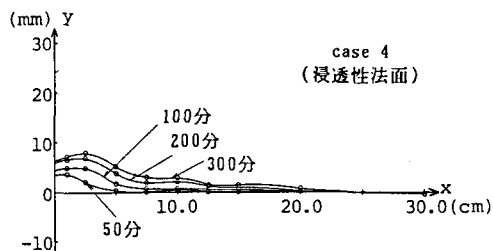
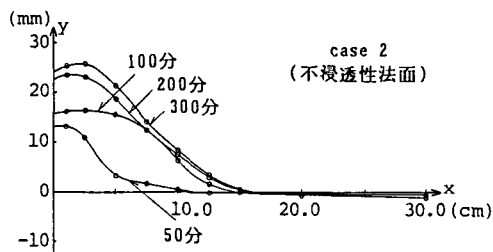
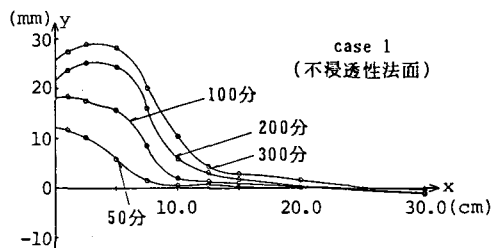


図6 吸い出しの時間変化 (勾配 1 割)

図7 吸い出しの時間変化 (勾配 2 割)

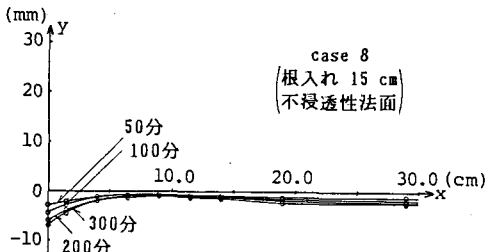
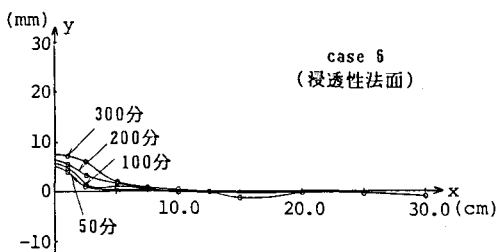
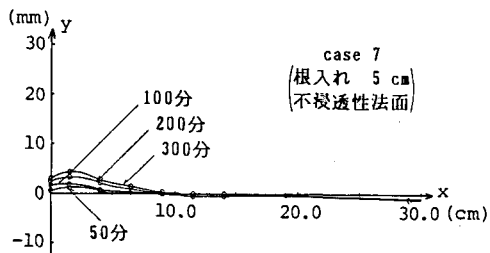
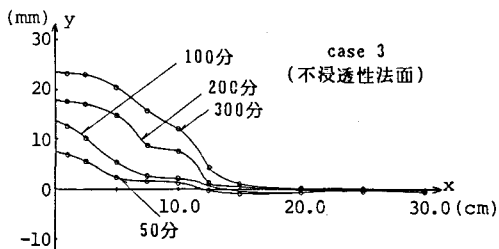


図8 吸い出しの時間変化 (勾配 0 割)

図9 吸い出しの時間変化 (勾配 1 割)

した、2次元非定常浸透流理論⁶⁾⁻⁸⁾より得られる理論解析結果も同時に示してある。これらの図より、理論解析結果は実験値をよく説明していることがわかる。

図12から図19までは、各実験条件のもとでの砂層内の水圧分布について理論解析した結果を示したものである。水圧分布は時間的に変化するが、これらの図の水圧分布は、護岸前面の水圧がもっとも低くなった状態におけるものを示したものである。図12、13および14は不浸透性護岸に対するものであり、図15、16および17は浸透性護岸に対するものである。法面勾配が同じで浸透性の有無により比較すると不浸透性護岸では護岸裏面に沿って顕著な水圧勾配が発生しているのに対し、浸透性護岸では、この部分の間隙水圧はほぼ一様であり、護岸裏面に沿う水圧勾配はほとんど発生していないことがわかる。すなわち、

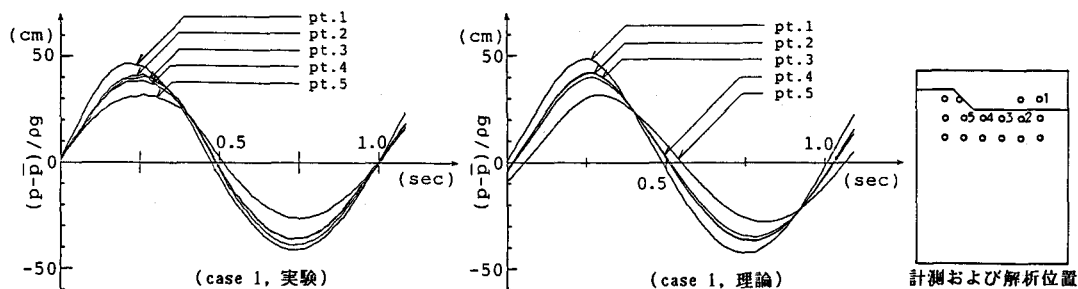


図 10 間隙水圧の時間変化

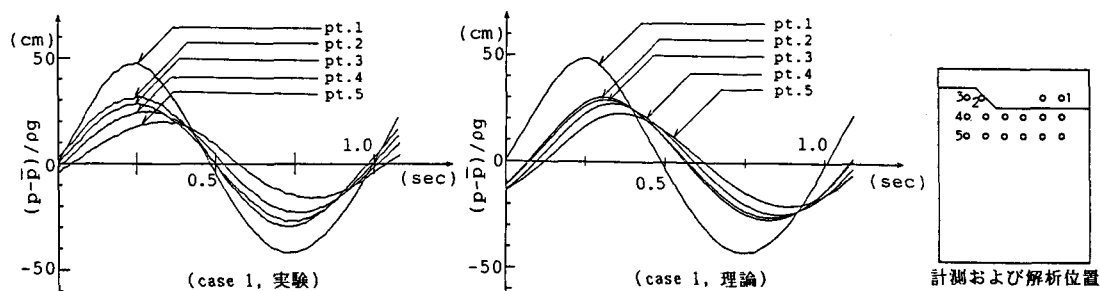


図 11 間隙水圧の時間変化

不浸透性護岸では、護岸裏面に土砂を押し出すような浸透力が発生しており、この作用により吸い出し現象が起こると考えられる。一方、このような力が発生しにくい浸透性護岸では、吸い出し現象は起こりにくくなるということがいえる。

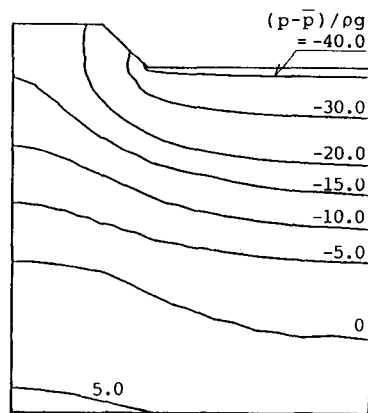


図 12 間隙水圧分布 (case 1)

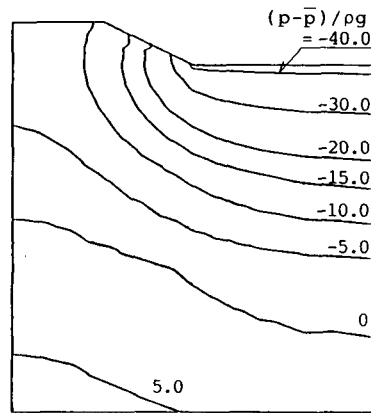


図 13 間隙水圧分布 (case 2)

図 18 および図 19 は、法尻に根入れを設置した場合の、間隙水圧分布である。この両図より、護岸裏面および根入れ部分に沿って水圧勾配が発生していることがわかる。このような水圧勾配が存在するにもかかわらず、前述のように根入れがある場合に土砂の吸い出し量が軽減されるのは、根入れ前面に土砂のかぶりがあるため、その押え効果により、土砂の流動が妨げられるためであると考えられる。

図 20 から図 22 はそれぞれ case 1, case 4 および case 8 の場合の砂層の変位を示したものである。図中の変位は水圧変動によって発生する変動変位のみを描いている。図 20 および図 21 より浸透性の有無につ

いて比較すると、浸透性がない場合には、法尻部で護岸内部から護岸前面にまわりこむような変位をみせている。浸透性がある場合には、法面に垂直な方向の変位がみられ、しかも浸透性がない場合よりも変位量は小さいことがわかる。このことは、実験においてみられる土砂の吸い出しの方向と同じ変位方向であり、しかも変位の大きさからみても浸透性がない場合のほうが砂の吸い出し量が多いという実験結果とも一致している。図22は根入れを設けた場合である。この場合も根入れがあるために護岸法尻部の変位は小さくなり、実験において砂の吸い出し量が少ないことと一致している。

4. 結語

本研究では、変動水圧の作用を受ける護岸の裏込め土砂の吸い出し現象の特性を実験的および理論的に検討し、その吸い出し機構について砂層内の水圧分布および変位の面から考察を加えた。

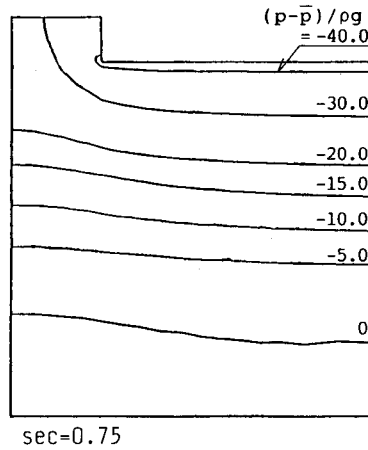


図14 間隙水圧分布 (case 3)

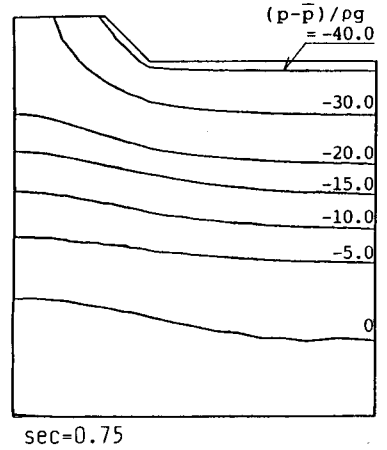


図15 間隙水圧分布 (case 4)

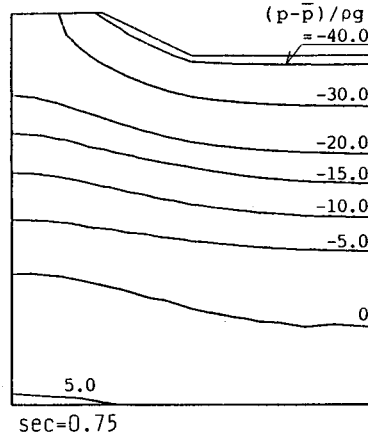


図16 間隙水圧分布 (case 5)

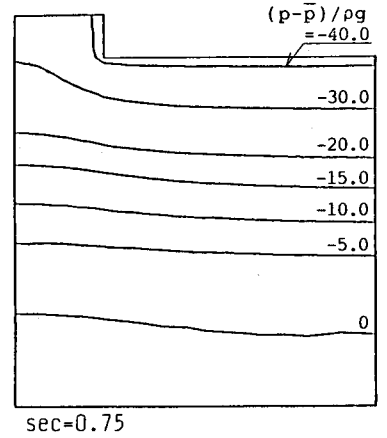


図17 間隙水圧分布 (case 6)

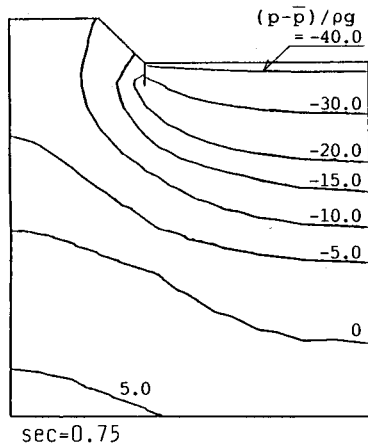


図18 間隙水圧分布 (case 7)

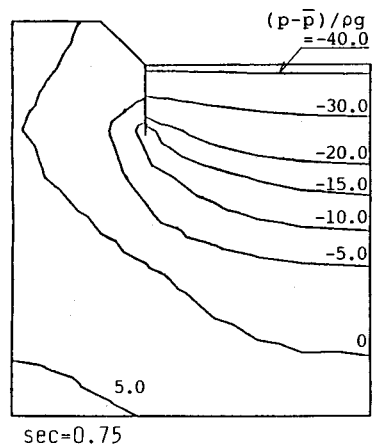
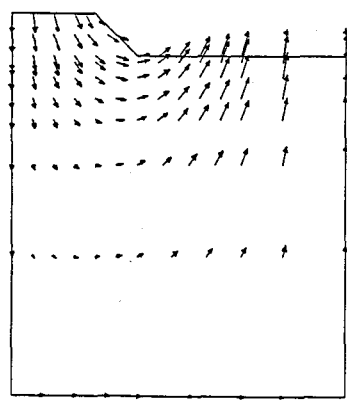


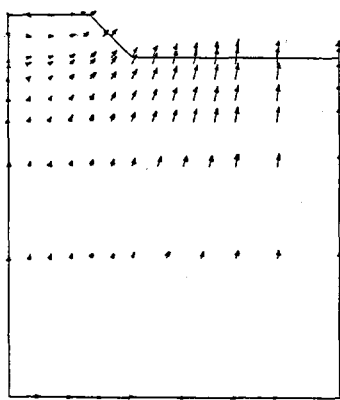
図19 間隙水圧分布 (case 8)



sec=0.75

0.0001 cm

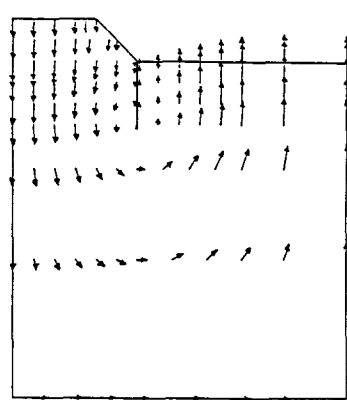
図 20 砂層内変位図 (case 1)



sec=0.75

0.0001 cm

図 21 砂層内変位図 (case 4)



sec=0.75

0.0001 cm

図 22 砂層内変位図 (case 8)

本研究の結果得られた主要な結論は以下のようである。

(1) 護岸前面に変動水圧が作用すると裏込め砂層内の水圧分布が時間的に変化し、浸透力の発生により吸い出し現象が発生する。

(2) 護岸法尻からの吸い出し現象は浸透性護岸の場合よりも不浸透性護岸の場合のほうが顕著である。これは不浸透性護岸の場合、護岸裏面に沿う浸透力が大きくなり、なおかつ変位量も大きくなるためである。

(3) 護岸前面に根入れを設けると、吸い出し量は軽減される。これは、護岸前面の土砂の押え効果によるものであると考えられる。

参考文献

- 1) 名合宏之：変動水圧による砂層の液状化に関する研究、第26回水理講演会論文集、1982
- 2) 名合宏之・前野詩朗・阿久根徹：変動水圧作用下における構造物周辺地盤内の水圧および有効応力分布特性、第29回水理講演会論文集、1985
- 3) 名合宏之・前野詩朗：変動水圧作用下における構造物周辺地盤内の応力分布特性、第32回海岸工学講演会論文集、1985
- 4) 名合宏之・前野詩朗：波による構造物周辺地盤の動的挙動に関する研究、第33回海岸工学講演会論文集、1986
- 5) H. Nago and S. Maeno: PORE PRESSURE AND EFFECTIVE STRESS IN A HIGHLY SATURATED SAND BED UNDER WATER PRESSURE VARIATION ON ITS SURFACE, Natural Disaster Science, Vol.9, No.1, 1987.
- 6) Biot, M. A : Genaral Theory of Three-Dimensional Consolidation, J. Appl. Phys. 12, pp.155-164, 1941
- 7) De Wiest, R.J. M.: Flow Through Porous Media, Acad. Press, New York and London, pp.337-344, 1969.
- 8) H. Nago and S. Maeno: Pore Water Pressure in Sand Bed under Oscillating Water Pressure, Memoirs of School of Eng., Okayama Univ. Vol.17, No.1, 1984.