

## 水圧変動に起因した地下空洞形成に関する実験的研究

九州大学大学院 正会員 木下 智朗 正会員 善 功企  
 正会員 陳 光斉 正会員 笠間 清伸

### 1. 目的

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。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、波浪の影響によって裏込め土が吸出され、護岸内部に空洞が発生し、その空洞が拡大化していき陥没がおこる<sup>1)</sup>」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と空洞形成過程に着目して、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・空洞形成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. 実験概要

図1に、本研究の装置概略図を示した。砂層は、豊浦硅砂で相対密度を70%として作製した。水槽内に振幅50mm・周期Tの水圧変動を起こし、目地を通じて砂の吸出しを発生させ、空洞が形成されたときの状況をビデオで撮影し空洞の様子を観測した。また、図1中に示した～のように、砂層中の目地水水平方向75mm地点から四方75mmの位置にそれぞれ水圧計、を設置して、砂地盤中の水圧の変動を計測した。

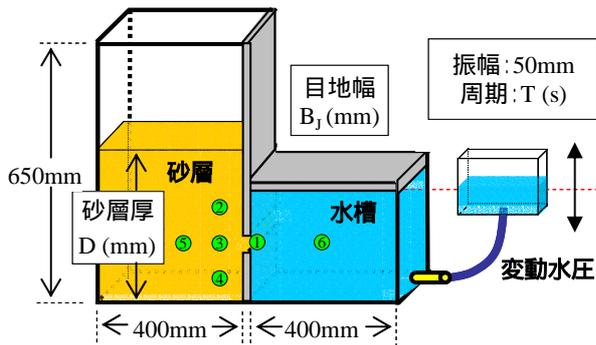


図1 実験装置概略図

本実験ではT=5s、D=400mmを基本データとした。本文では、変動水圧の周期の影響に注目するため目地幅を10mmに固定し、周期T=3s、5s、8sの3ケースの実験を行い、変動水圧の変化が空洞規模に及ぼす影響について考察した。

### 3. 実験結果および考察

#### 1) 緩み領域と空洞形成過程

図2に実験条件を基本データとした時の、液状化により発生した砂地盤内の緩み領域を示した。緩み領域は図2のように放物線状の滑り線に沿って発生した。緩み領域内の砂層は吸出しに伴い、砂粒子が個々に変位するのではなく、一つの集合体として目地に向かって滑るように下降していった。緩み領域の境界上面がアーチ作用やサクシヨンの影響により自立することで空洞が形成されるので、滑り線の延長線が空洞幅初期値と一致した。吸出しに関しては、波浪的作用によって砂地盤内に伝播する変動水圧の位相の遅れと振幅の減衰により、目地周辺地盤の有効応力は減少する。その結果液状化が起こり、緩み領域が発生することで地盤支持力が低下することに加え、裏込め土を流出させようとする浸透力の発生、もしくは掃流力的作用によって起こると考えられる。

空洞形成過程として、空洞がある程度拡大化すると、空洞のバランスが崩れて自立していた上面の一部の砂塊が崩落し、その後も拡大 上面の崩落を繰り返すという一連のサイクルが確認された。崩落を数度繰り返すと地表面で陥没が起こった。図3は、基本データ時における崩落

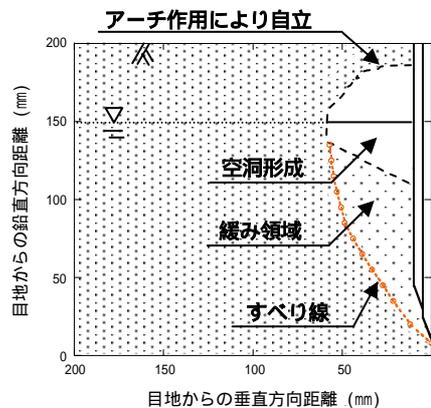


図2 緩み領域（基本データ時）

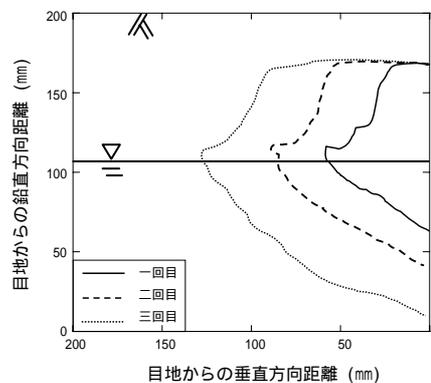


図3 自立限界時の形態（基本データ時）

キーワード 液状化 波浪 有効応力 吸出し

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

直前の空洞の自立限界状態を示した。図 3 からわかるように、空洞の自立限界状態は、相似性を持っていた。また、空洞の鉛直方向への発達については、終始下方向への発達のみで、上方向にはほとんど発達しなかった。

## 2) 周期の変化に伴う空洞形成過程の変動

本実験では地盤中の危険度を調べるために、過剰間隙水圧を平均有効応力で除した過剰間隙水圧比を指標として用いた。図 4 に、水圧計設置地点の中で最も危険度の高い結果となった水圧計 3 地点における、周期の変化に伴う過剰間隙水圧の変動を示した。グラフから、周期の増加に伴って過剰間隙水圧比が増加していることがわかる。この傾向は全ての測定点においても共通の結果が得られた。また、今回の実験では過剰間隙水圧比が 1 となる点、つまり液状化が発生している測定点はなかった。しかし、液状化は発生していないものの、過剰間隙水圧比の最大値が 0.5 を超える点も確認され、地盤内で著しい強度低下が発生していることが判明した。また、今回は確認されなかったが、目地近傍や壁面付近では液状化の可能性が高いものと考えられる。

水圧が作用する位置的考察のために、図 5 に  $T=8s$  における実験開始から 250 - 300 秒間の各測定点での過剰間隙水圧比の変動を示した。過剰間隙水圧比の変動幅に着目すると、水圧計 2 が最も大きく、以下、水圧計 4、水圧計 3、水圧計 5 の順に小さくなっている。これは、目地部で発生する水圧変動がどの程度伝わっているかを示す指標でもあるから、水圧は目地部から水平方向が最も伝わりやすいことがわかる。そして、目地から上下方向に等距離にある水圧計 3 と水圧計 5 の変動幅を見ると、水圧が伝わりやすいのは水圧計 3 地点であることがわかる。

図 6 に本実験で行った周期毎に比較した、最大過剰間隙水圧比の変動を示した。それぞれの周期に共通して、最大過剰間隙水圧比は水圧計 2 が最も大きく、以下、水圧計 4、水圧計 3、水圧計 5 の順に小さくなっている。そして、周期の変動については、 $T=5$  時では最大過剰間隙水圧比は全ての測定点において  $T=3$  時の約 120%、 $T=8$  時では  $T=3$  時の約 150% となっており、変動水圧の周期が増加するほど最大過剰間隙水圧比も増加する傾向にある。このことから、周期が増加するにつれて、同一波数時においては空洞規模も拡大化することがわかる。しかし、経時的観点から見ると、同一時刻においては、本実験から空洞規模は周期の変化に関わらずほぼ一定であるという結果となった。つまり、周期の変動に対して、危険度はあまり変化がないことが判明した。空洞規模に及ぼす影響要因としては、変動水圧の周期、振幅、そして目地深度が考えられるが、危険度は後者の二つの要因が支配的であると思われる。今後これらの要因について実験を行っていく予定である。

## 4. 結論

- (1) 裏込め土吸出しに起因した地下空洞の形成は、水平方向と鉛直下方向の発達 上面の崩落を繰り返すという一連のサイクルがあることが確認された。
- (2) 変動水圧の周期が増加するほど、任意地点における過剰間隙水圧比は増加し、地盤内の砂粒子が移動しやすくなる。
- (3) 同一波数時においては、護岸背後地盤の液状化および裏込め土砂の吸出しの危険率は高まった。しかし、同一時刻においては周期の変化に関わらず、空洞規模の変動はほぼ一定であった。

【参考文献】1) 「大蔵海岸陥没事故調査報告書」, 土木学会海岸工学委員会, 2002

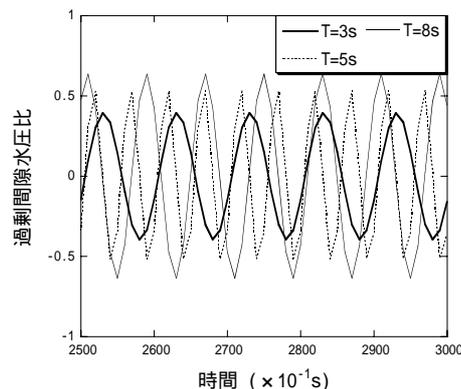


図 4 水圧計 3 地点における過剰間隙水圧比の変動

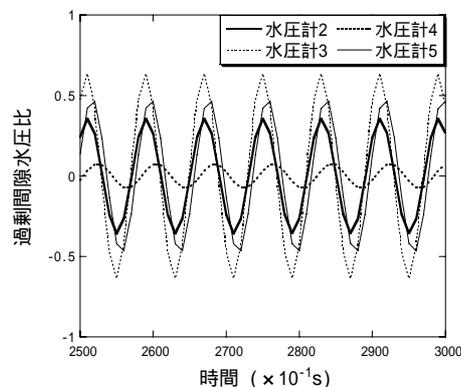


図 5 過剰間隙水圧比の変動 ( $T=8s$ )

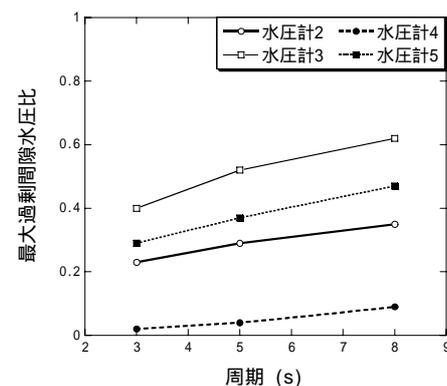


図 6 周期の変化に伴う最大過剰間隙水圧比の変動