

地下空洞を有する砂地盤の支持力特性

九州大学大学院 学 ○高松 賢一 正 善 功企
同上 正 陳 光斉 正 笠間 清伸

1.はじめに

何らかの原因により護岸裏込め地盤内に海水が浸入したとき、変動水圧の作用で地盤は液状化し、砂粒子は浸透流とともに海へと吸出されることがある。そのさい、裏込め地盤の海水面上部には地下空洞が形成されることが考えられる。地下空洞の上部から荷重が掛かり、陥没が発生したという報告は一昨年の兵庫県大蔵海岸の例をはじめ、国交省管轄の海岸で12箇所と、決して少なくない。

地下空洞の存在により地盤の支持力は低下し、その発生位置や規模によって支持力低下の程度が異なることは容易に想像できる。その一方で、空洞の存在による支持力特性や陥没のメカニズムに関して未解明な点が残されているのも事実である。そこで、本文では、アルミ棒積層模型実験を行うことで、地下空洞の発生位置と規模が支持力特性に与える影響を定量的に評価し、陥没のメカニズムを調べた。

2.実験概要

実験に用いた模型装置を図-1に示す。装置のフレームの幅、高さ、奥行きは、それぞれ、1500mm、1100mm、100mmである。二次元平面ひずみ条件下での実験を行うため、アルミ棒積層地盤の前面および背面は解放している。地盤作成に用いたアルミ棒は直径1.0mm、長さ50mmのものと、直径1.6mm、長さ50mmのものの二種類で、両者を重量比3:2の割合で混合した。さらに地盤の内部摩擦力を増加させ、空洞形成を容易にするため、アルミ棒全体に均等に小麦粉をまぶした。その際、アルミ棒積層地盤の間隙比は0.244前後、せん断抵抗角は約 26° 、粘着力は0となった。

地盤は、よく混合されたアルミ棒をまず目地部(砂粒子の流出口)まで積み上げ、2回ずつ軽く叩き、締め固め、さらに目標とする目地深度(地表から目地最下端までの距離)となる高さまでアルミ棒を積み上げ、同様に2回ずつ軽く叩き、締め固めることにより作成する。その際、目地付近には適量の水を吹きかける。空洞は、図-1に示した目地部よりアルミ棒を抜き取ることにより作成する。目標となる空洞深度 D_c (地表面から空洞上端までの距離)、空洞高さ H_c (空洞上下端間距離)の条件を整え、変位制御方式(載荷速度:5.4mm/min)で模型基礎(載荷幅 B :50mm)を用いて載荷を行う。そして、鉛直荷重はロードセルで、沈下量は変位計でそれぞれ測定する。

実験は図-2に示すように2つのパターンについて実施した。実験パターンⅠでは空洞位置が極限支持力に及ぼす影響を調べた。すなわち、一定の空洞規模(空洞高さ)を持つ空洞の位置を変化させ、極限支持力に及ぼす影響を調べた。このような実験を3種類の空洞規模について行った。パターンⅡでは、ある一定深度(D_j :85mm)の目地部から地盤上部に向かって空洞が発達する状況を想定し、極限支持力の変化を調べた。(両パターンにおける具体的な実験条件を、図-3に示した。なお、今回の実験において空洞幅 B_c は常に10mmとした。)

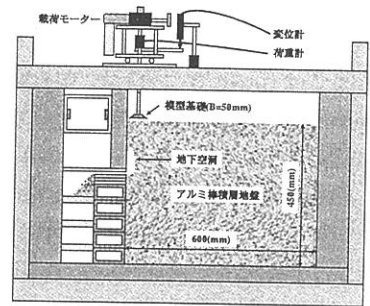


図-1 実験装置概略図

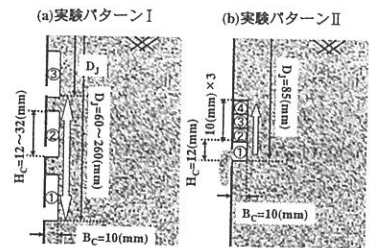


図-2 実験パターン

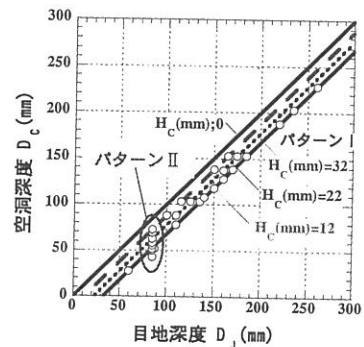


図-3 実験条件

3. 実験結果および考察

図-4 にパターンⅠの結果とパターンⅡの結果から空洞深度と極限支持力の関係に換算した結果をともに示す。縦軸に示した極限支持力比は極限支持力を空洞が存在しない場合の極限支持力 P_0 (67.6N) で正規化した指標で、支持力低下割合を示す。パターンⅠの実験結果から、空洞規模の増加、空洞深度の減少に伴って、極限支持力は P_0 から低下していくことがわかる。また、各規模の空洞について、ある深度以深では、支持力低下を受けなくなる傾向にあることがわかる。本文ではその支持力低下の影響を受けなくなる限界深度を影響限界深度(影響限界深度 D_{co})と定義し、グラフ右上端に示した。次に、パターンⅡの実験結果から、空洞未発生時における D_c と P_c/P_0 の関係は、図中の A 点で表され、以後、空洞発達とともに、B 点、C 点、D 点、E 点を経由しながら P_c/P_0 は低下し、原点へと向かうことがわかる。

図-5 にパターンⅠの実験結果より求めた深度比(空洞深度を各空洞の影響限界深度で正規化した指標)と極限支持力比の関係を示した。図より、深度比と極限支持力比の関係は、空洞規模によらず一義的であることがわかる。したがって、対象とする空洞が影響限界深度以浅に存在して、その影響限界深度さえ分かれば、その位置における極限支持力の空洞未発生時からの低下割合を求めることができる。

4. 極限支持力低下のメカニズム

今回の実験においては空洞の崩壊過程をビデオカメラで撮影した。その画像から、空洞の発生位置により地盤の破壊モードが変化することが見て取れた。そこで、空洞の存在による大幅な支持力低下は、破壊モードの変化に起因していると仮定し、図-6 のように影響限界深度を境界として地盤破壊モードを大きく二つにモデル化した。

図-6(i)については、空洞なしの場合について理論値と実験値を比較したところ、理論値が実験値を大幅に下まわった。これは、実際の ϕ_1, ϕ_2 が理論値より大きい(α, β が作用する)ためと考えられる。

図-6(ii)については、 $D_c = 53, H_c = 32$ の場合について理論値と実験値を比較したところ、両者がほぼ等しくなった。

5. 結論

- 1) 各々の空洞に対して、極限支持力低下に影響を与えなくなる空洞深度(影響限界深度)が存在する。
- 2) 影響限界深度と空洞深度の相対的深さにより、空洞規模に無関係に、空洞未発生時からの極限支持力の低下割合を求めることができる。
- 3) 空洞を有する地盤は、その空洞の発生位置によって破壊モードが異なる。今回仮定した、影響限界深度以浅にある空洞の破壊モードのモデルでは、実際の破壊モードをよく表現できることを確認した。

【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
- 2) 高松賢一, 善功企, 陳光斉, 笠間清伸; 「地下空洞の発生位置と規模が支持力に及ぼす影響に関する二次元模型実験」, 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. 67~72, 2002. 12.

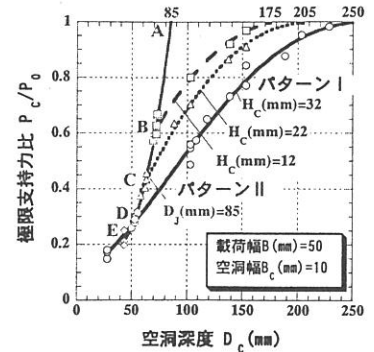


図-4 空洞深度-極限支持力比
(パターンⅠ,Ⅱ)

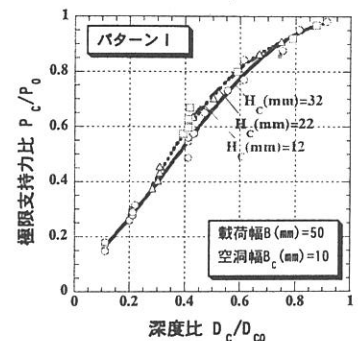


図-5 深度比-極限支持力比

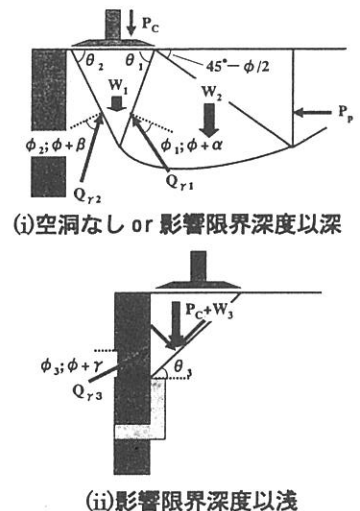


図-6 空洞発生位置の違いによる
地盤破壊モードの変化