

地盤内の空洞形成に伴う地表面変位による陥没の予知および吸い出し抑止法の研究

港湾空港技術研究所 正会員 ○工代 健太
 港湾空港技術研究所 正会員 佐々 真志
 港湾空港技術研究所 非会員 梁 順普
 港湾空港技術研究所 非会員 高田 康平

1. 研究目的

吸い出しによる空洞陥没を地表面の変位観測により予知することを目標に、大型吸い出し可視化実験により地盤内の空洞の深さや大きさと地表面変位の大きさ及び範囲の関係性について検討した。また、フィルター材を用いた吸い出し抑止法の体系化に向け、様々な粒度の裏埋砂に対するフィルター材の吸い出し抑止効果を各種水理外力下において検証した。

2. 地盤内の空洞の発達と地表面変位の相関関係の検討

本検討では図-1に示す大型吸い出し可視化装置を用いた。土槽前面はガラス製であり、吸い出し過程を観察することが可能である。また、地表上 20cm、2列横 10cm 間隔の 54 台のレーザー変位計により地表面の変位の多点同時観測することが可能である。著者らの既往研究¹⁾では不飽和地盤に働くサクシオンが空洞の大きさや形状などの吸い出しによる空洞形成・陥没過程に大きく影響することが示されている。以上を踏まえて、粒径が細かくサクシオンが比較的大きい糸満産海砂と粒径が粗くサクシオンが小さい前島産海砂を裏埋砂に用いた。粒径加積曲線は図-2に示す。表-1に示すとおり地盤高及び水位変動幅を変化させた4ケースで以下の通り実験を行った。実験開始時に初期水位を土層下端から 10cm に設定し、地盤中にサクシオンが働く状態を再現した後、吸い出し口を幅 3cm 開き、左右の昇降機を約 50cm/min の速度で各ケースの水位変動幅分同じタイミングで上下動させ一次元的な水位変動を与えた。図-3に Case1 の間隙水圧およびサクシオンの経時的な変動を示す(図の凡例の番号は図-1の計測器設置位置)。また、図-4に Case1 と Case2 の地盤内で発達する空洞の写真と地盤中央線(前面から 20cm 奥)の地表面変位分布を代表的な時刻について示す。Case1 の 390 秒後(陥没 80 秒前)と Case2 の 540 秒後(陥没 6 秒前)から、空洞が発達すると空洞の直上で地表面変位が見られることが分かる。また、各ケースの時刻ごとの結果を比較すると空洞の幅 B が大きく、空洞の深さ L (L は図-4の L_C , L_L , L_R の平均)の値が小さいほど地表面変位量の最大値 d_{max} が大きいことが分かる。そこで全ケースについて d_{max} が大きく変化した各時刻で空洞の幅 B と空洞の深さ L の比 (B/L) と d_{max} の関係をプロットした結果を図-5に示す。水位変動幅によらずサクシオンが異なる砂ごとに d_{max} と B/L に高い相関があることが分かる。また、図-3に Case1 の例を示すように、全ケースとも水位が上昇しサクシオンが低下したタイミングで陥没が発生した。

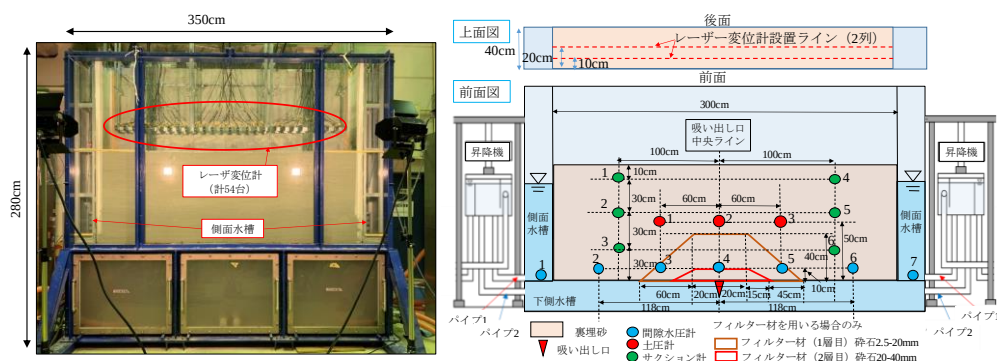


図-1 大型吸い出し可視化装置の写真(左)と各計測器の位置(右)

キーワード 吸い出し, 空洞形成, 陥没, 地表面変位, フィルター材

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 港湾空港技術研究所 TEL: 046-844-5054

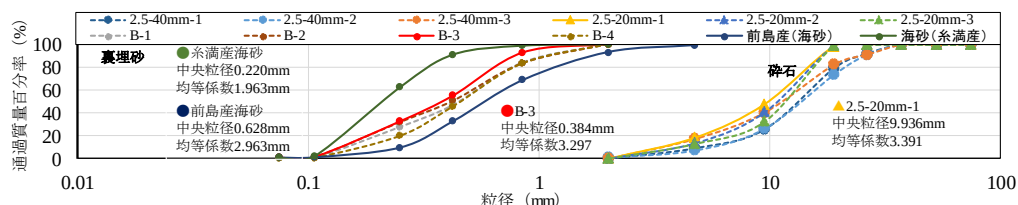


図-2 各実験で用いた試料の粒径加積曲線

表-1 ケース表

	裏埋砂	地盤高	水位変動幅
Case1	糸満産	1.0m	地盤下端から10cm～50cmの40cm
Case2	糸満産	1.5m	地盤下端から10cm～50cmの40cm
Case3	糸満産	1.0m	地盤下端から10cm～80cmの70cm
Case4	前島産	1.0m	地盤下端から10cm～50cmの40cm

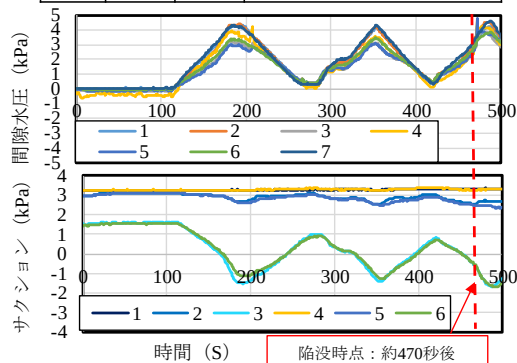


図-3 間隙水圧とサクシンの経時的変化

3. フィルター材を用いた吸い出し抑止法の実験的討

著者らの既往研究¹⁾では均等係数が3以上のフィルター材を用いた場合に中央粒径比（フィルター材の中央粒径/裏埋砂の中央粒径）20 程度以下で裏埋砂の粒度によらず吸い出しを抑止できることが示された。本研究では図-2 に示す均等係数が3以上の4種類の混合珪砂（B-1～4）と6種類の砕石を用いて系統的な要素試験を行い、裏埋砂の均等係数も3以上の場合は中央粒径比25程度まで十分な吸い出し抑止効果が示された。そこで図-1 に示す位置にフィルター材（砕石 2.5-20mm-1 図-2）と裏埋砂（B-3 図-2）（中央粒径比 25.88）をセットし、表-2 に示す3種類の水理外力を載荷し、吸い出し抑止効果の検証実験を行った。各外力の再現方法は著者らの既往研究¹⁾と同様である。図-6 に示す各外力載荷後の地表面変位分布と実験後の地盤の写真からフィルター材の直上で変位や空洞が見られず吸い出しが抑止されていることが分かる。

4. 結論

- 様々な粒度の裏埋砂を用いた一連の大型吸い出し可視化実験と系統的な要素試験により以下の結論を得た。
- ・サクシオンが異なる裏埋砂ごとに地盤内の空洞の規模や深さと地表面変位の間に密接な相関関係があり、本実験で用いた海砂の空洞の B/L と地表面変位の相関式を得た。
- ・地下水位の上昇に伴い、サクシオンが低下するタイミングで陥没が発生する。
- ・フィルター材と裏埋砂の均等係数がともに3以上の場合、中央粒径比25以下で強い水理外力下においても十分な吸い出し抑止効果を発揮する。

参考文献

- 1)工代 健太・佐々 真志・梁 順普・後藤 翔矢：「様々な水理外力下における地盤内の空洞形成・陥没の進行過程および吸い出し抑止法の研究」, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.75, No.2, I_937-I_942, 2019

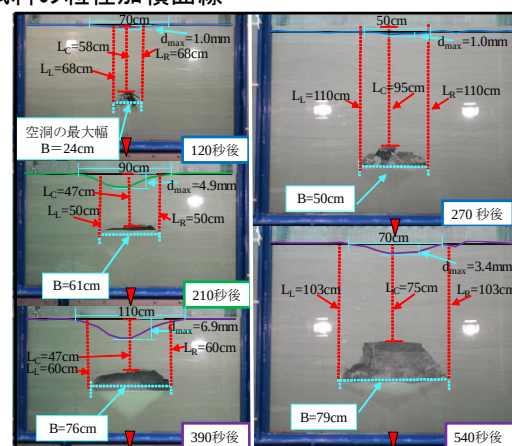


図-4 空洞形成と地表面の変位の関係 (左: Case1 右: Case2)

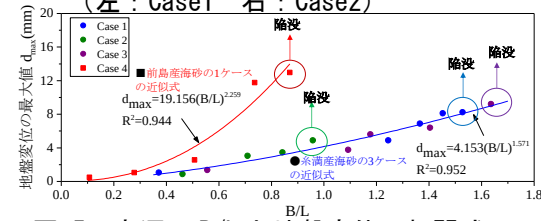


図-5 空洞の B/L と地盤変位の相関式



図-6 地表面変位の空間分布

