

風波・降雨・越波等の継続作用下における吸い出し・空洞形成・陥没過程

港湾空港技術研究所 非会員 梁 順普
 港湾空港技術研究所 正会員 ○佐々 真志
 元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 村田 一城
 港湾空港技術研究所 非会員 小林 千紘

1. 研究の目的

護岸や岸壁などの港湾施設において、水理外力の継続的な作用により裏埋砂が捨石やケーソン目地部を通じて吸い出され、地盤内に形成される空洞に起因する陥没が頻繁に発生しており、このような地盤の陥没を引き起こす外力として降雨や越波が考えられている。本研究では、大型吸い出し可視化装置¹⁾を用い、風波・降雨・越波等の継続作用下における地盤内の吸い出し・空洞形成・陥没過程について詳しく検討した。

2. 風波・降雨・越波等の継続作用下における吸い出し・空洞形成・陥没過程の検討

本研究で用いた大型吸い出し可視化装置(図-1)は、左右に設置した2機の水位調整用昇降装置を通じて地盤内の水位をコントロールし、地盤に様々な水理外力(潮汐, 風波, 流れ, 越波等)を与えることができる。さらに土槽上部には、降雨装置を導入設置しており、当該装置は、10~80 mm/hの降雨強度で自然降雨に近いランダムな雨滴落下が再現可能である。本実験(表-1)には、裏埋砂として粒径が大きく異なる糸満海砂(D_{50} : 0.216 mm; U_c : 1.922)及び前島海砂(D_{50} : 0.7 mm; U_c : 3.189)を用いた。地盤高は150 cm、地下水位は土槽下端から57.5 cmまたは77.5 cmに設定し、地盤中に異なるサクシオンが働く状態を再現した。次に土槽下端中央の吸い出し口を幅3 cm開き、空洞の長辺が数センチメートルに達した段階で風波を与え、空洞を形成・発達させた。その後、吸い出し口を閉じ、降雨、越波及び地下水位の上昇等の様々な外力を与え空洞の陥没過程について検討した。本実験で与えた外力の概要は、表-2のとおりである。まず、外力の順が風波→降雨→地下水位の上昇である実験(表-1のCase 1, Case 2及びCase 4)より得られた結果について説明する。風波によって空洞が形成され(図-3(a), (b), (d)), 降雨の影響によりサクシオンが低下し始め(図-2(a), (b), (d)のCh.1及びCh.5), 降雨強度が30 mm/h(Case 1, 累計降雨量: 約44 mm), または20mm/h(Case 2,

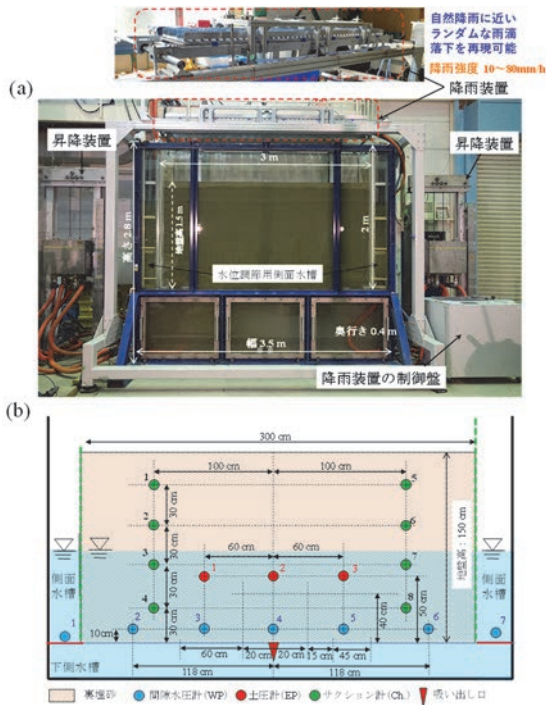


図-1 (a) 大型吸い出し可視化装置の写真；
 (b) 各計測機の位置

表-1 大型吸い出し可視化実験ケース

裏埋砂	地盤高 (cm)	初期水位 (cm)	外力	
Case 1	糸満砂	150	57.5	風波 → 降雨
Case 2	糸満砂	150	77.5	風波 → 降雨 → 地下水位の上昇
Case 3	糸満砂	150	57.5	風波 → 越波(越波流量: 0.001 m ³ /s/m)
Case 4	前島砂	150	57.5	風波 → 降雨 → 地下水位の上昇
Case 5	前島砂	150	57.5	風波 → 越波(越波流量: 0.001 m ³ /s/m)

表-2 大型吸い出し可視化実験で与えた外力の概要

外力	外力の概要
風波	左側の側面水槽から一定の周期(約10秒)を持つ波(水位変動幅: 地盤下端から15~100 cmの85 cm)。
降雨	水槽の上部に設置した降雨装置(10~80 mm/hの降雨強度が再現可能)を用いて、自然降雨に近いランダムな雨滴落下を再現。
越波	左側側面水槽から一定の周期(約19秒)を持つ越波(越波流量: 越波量の測定を3回繰り返して総越波量を求め、これを総波数で割って1波当たりの平均越波量とし、更に波の周期及び水槽の幅で割って単位幅当たりの越波流量を算出)
地下水位の上昇	潮位の上昇を想定したものであり、上方向の一次的な水位上昇(水位上昇高: 地盤下端から57.5~120 cmの62.5 cm; 上昇速度: 約50 cm/min)。

キーワード 吸い出し, 空洞, 陥没, 降雨, 越波

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

累計降雨量:約 12.3 mm; Case 4, 累計降雨量:約 18.3 mm の際に、空洞が崩落し地表が陥没した(図-2 及び図-3 の(a), (b), (d)). その後、降雨強度の増大(図-2 (a))または潮位・地下水位の上昇(図-2 (b), (d))によるサクシジョンの更なる低下によって、陥没規模が拡大した(図-3 (a), (b), (d)). 次に、外力の順が風波→越波である実験(表-1 の Case 3 及び Case 5)より得られた結果について説明する. 風波によって空洞が形成された後(図-3 (c), (e)), 越波の作用によりサクシジョンが下がり始め(図-2 (c), (e)の Ch. 1), 越波開始から 13 波目(Case 3)または 8 波目(Case 5)の越波作用時点で空洞が崩落し地表が陥没した(図-3 (c), (e)). その後の継続的な越波作用に伴うサクシジョンの低下と地盤侵食によって陥没が海側にさらに拡大したことが、図-2, 3 の(c), (e)よりみてとれる.

3. 結論

大型吸い出し可視化装置を利用し、様々な外力(風波、降雨、越波、潮位の上昇)下における吸い出し・空洞形成・陥没過程について詳しく検討し、以下の結論を得た. (1) 風波による吸い出しと空洞の発達後、降雨・越波の作用に伴うサクシジョンの低下によって陥没が発生した. (2) 降雨による陥没は、地盤内に空洞が形成された直上地点においてのみ発生し、継続的な降雨及び降雨強度の増大によるサクシジョンの更なる低下によって、陥没範囲が拡大した. (3) 陥没は、地下水位によって激しい降雨強度(30 mm/h)または強い降雨強度(20 mm/h)で発生しており、当該強度でしばしば陥没が生じる現場事実と整合する. (4) 越波の作用下では、空洞が発生した地点のみでの陥没ではなく、地盤侵食によって陥没口が海側に向けて拡大し、広範囲の陥没をもたらした. (5) 吸い出し・空洞・陥没発生後の潮位・地下水位の更なる上昇によるサクシジョンの低下によって、陥没範囲が拡大した. (6) 地下水面上部の地盤中に発達するサクシジョンの消長が、地盤内に形成される空洞の大きさや降雨や越波にともなう陥没過程に強い影響を及ぼしている.

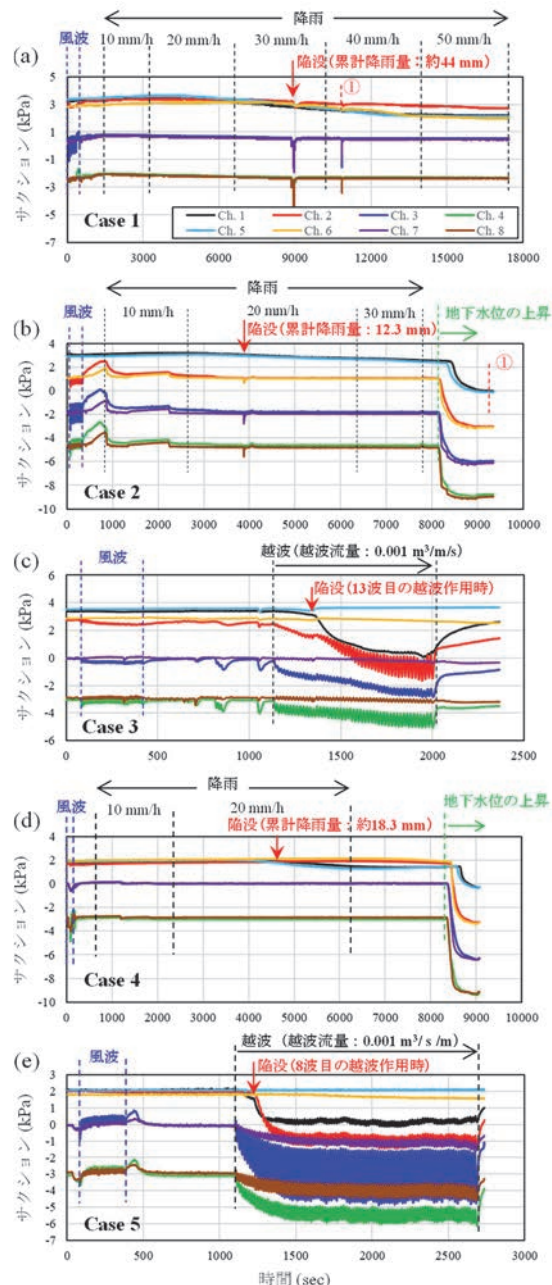


図-2 大型吸い出し可視化実験の様々な外力下におけるサクシジョンの経時的変動

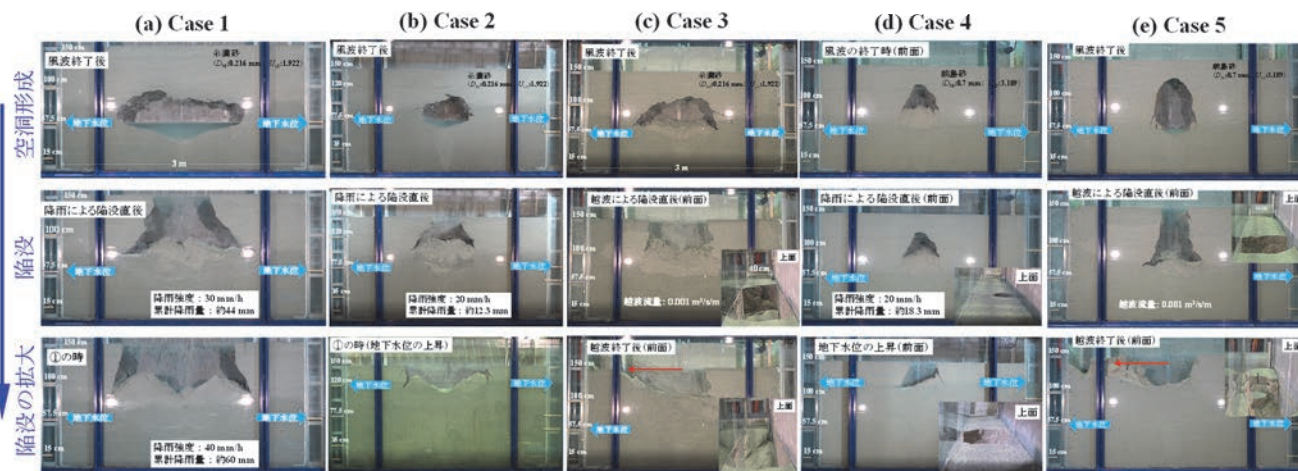


図-3 風波・降雨・越波等の継続作用下の吸い出しによる空洞形成、陥没及び陥没拡大過程

参考文献

1) Kudai, K., Sassa, S., Yang, S., and Takada, K.: Influence of soil and hydraulic conditions on the processes of internal erosion, cavity formation and collapse behind coastal structures, Coastal Engineering, Vol 170, 104013, 2021.