

裏埋砂の粒子形状を考慮した鉛直方向の地震動下における吸い出し抑止法の研究

長岡技術科学大学
港湾空港技術研究所
港湾空港技術研究所
港湾空港技術研究所
港湾空港技術研究所
長岡技術科学大学
長岡技術科学大学

非会員
正会員
非会員
正会員
非会員
非会員
正会員

五十嵐 大輝
佐々 真志
梁 順普
○ 村田 一城
小林 千紘
山本 七輝
大塚 悟

1. 研究の背景と目的

日本を含む世界各地の港湾施設において、裏埋砂の吸い出し災害が頻発しており、近年では、波・流れなどの水の外力作用による吸い出しのみならず、地震作用による吸い出し・陥没発生の重要性が報告されている¹⁾²⁾。この対策として、二層構造のフィルター材を敷設し、その目詰まり効果によって吸い出しを抑止する手法が研究開発・実用化されている¹⁾²⁾³⁾。既往研究¹⁾²⁾³⁾では、要素試験及び実大の模型実験を通じて、フィルター材の吸い出し抑止効果を、中央粒径比（フィルター材の中央粒径 D_{F50} / 裏埋砂の中央粒径 D_{S50} ）の関係から検討し、レベル1地震動（震度5弱）に相当する水平方向の地震外力下においても十分に効果を発揮できるフィルター材の粒度条件や裏埋砂の粒子形状の違いによるフィルター材の吸い出し抑止効果が明らかになっている。本研究では、4種の裏埋砂（表1）に対して、砂の粒子形状の分析と鉛直方向の地震外力下における吸い出し抑止に関する系統的な要素試験を行い、多様な粒子形状の砂に対するフィルター材の吸い出し抑止効果に及ぼす地震動方向の影響について検討した。

表1 裏埋砂として用いた4種の砂の特性

砂	中央粒径 D_{S50} (mm)	均等係数 U_{cs}
東北珪砂	0.508～0.708	1.608～2.130
岐阜珪砂	0.325～0.587	1.634～1.661
日光珪砂	0.317	2.403
糸満海砂	0.219	1.949

2. 裏埋砂の粒子形状の分析

粒子形状を表す指標は円磨度（粒子の丸みの度合い）とし、時間を要する従来の方法（Wadell⁴⁾の円磨度）ではなく、Takashimizu and Iiyoshi⁵⁾が提案した方法を用いた。これは、顕微鏡で砂粒子を撮影し、画像処理ソフトを使用するものであり、短時間で円磨度が求められる利点がある。砂の顕微鏡写真（図1）を見ると、東北珪砂は丸く、日光珪砂・岐阜珪砂は角ばっており、糸満海砂は貝殻やサンゴ片を多く含み、いびつな形状をしていることが分

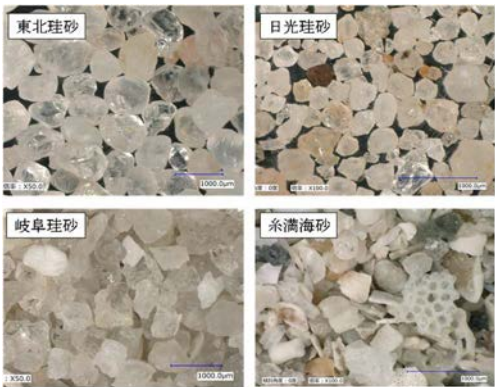


図1 砂の顕微鏡写真

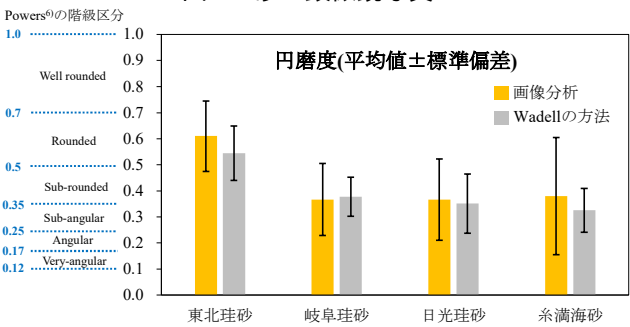


図2 4種の砂の円磨度(平均値±標準偏差)

かる。本研究で得た裏埋砂の円磨度の分析結果は、従来法の結果と比較すると（図2）、おおそ一致し、画像分析の方法でも、従来法と同様に砂の形状の違いを定量化でき得ることを確認した。

3. 鉛直方向の地震動下における吸い出し抑止に関する系統的な要素試験

鉛直方向の地震外力に対するフィルター材の吸い出し抑止効果を検討するため、図3のような試験装置を使用した。本試験では、裏埋砂として用いた4種の砂と、フィルター材は、均等係数(U_{cf})が $2 \leq U_{cf} < 3$ （グループI）と $3 \leq U_{cf}$ （グループII）となるように粒度を変化させた碎石（図4）を用いた。砂とフィルター材を組み合わせ、中央粒径比を細かく変化させて実施し、外力方向が異なること以外、既往研究¹⁾²⁾³⁾と同様の条件、手順で行った。要素試験の結果（図5）より、フィルター材の均等係数が大きいほど、砂の吸い出しが抑止される中央粒径比が大き

キーワード 吸い出し、鉛直地震動、フィルター材、円磨度

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-46-6000（代表）

なることが分かった。また、砂の種類によってその通過率が実質ゼロになる中央粒径比が異なった。粒子形状の分析より、円磨度は東北珪砂>岐阜珪砂≒日光珪砂≒糸満海砂であることから、鉛直方向の地震外力下でもその違いがフィルター材の吸い出し抑止効果に影響を与えることが分かった。なお、糸満海砂の通過率が円磨度の近い岐阜珪砂及び日光珪砂と比べて低い理由は、糸満海砂に多く含まれる貝殻やサンゴ片のいびつさによるもので、他の3種の珪砂が殆ど塊状であるのに対し、糸満海砂は、板状、刃状、棒状など多様な形状をしていることによるものと考えられる(図6)。これが、フィルター材と砂あるいは砂同士のインターロッキングを強くしており、砂粒子の形状が吸い出し抑止効果に大きく影響を与えていると考えられる。

既往研究¹⁾²⁾では、水平方向の地震外力を与えた場合、 $2 \leq U_{cf} < 3$ のグループは約17以下、 $3 \leq U_{cf}$ のグループは約20以下の中央粒径比で吸い出しが抑止される結果が得られている。これに対して鉛直方向の地震外力を与えた場合では、 $2 \leq U_{cf} < 3$ のグループIは約18以下、 $3 \leq U_{cf}$ のグループIIは約26以下で吸い出しが抑止された。いずれのフィルター材の均等係数の場合でも、鉛直方向では、水平方向よりも吸い出されにくいことが明らかになった。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 鉛直方向の地震外力下では、水平方向の地震外力下よりも砂が吸い出されにくい。
- 2) 鉛直方向ならびに水平方向の地震外力作用下ともに、フィルター材の均等係数が大きく、裏埋砂の円磨度及び図6に示すように粒子のいびつさが顕著になるほど、裏埋砂は吸い出されにくい。

参考文献

- 1) 工代健太, 佐々真志, 梁順普, 高田康平, 鈴木高二郎: 地盤及び水理外力の特性を考慮した吸い出し・空洞形成・陥没機構とフィルター材による抑止法の研究, 港湾空港技術研究所報告, Vol.59, No.3, 2020.
- 2) 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.
- 3) 梁順普, 佐々真志, 工代健太, 村田一城, 小林千紘: 臨海部の多様な外力と砂の粒子形状を考慮した吸い出し・陥没抑止法の研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.78, No.2, pp. I_121-I_126, 2022.
- 4) Wadell, H: Sphericity and roundness of rock particles, *J. Geology*, Vol. 41, No. 3, pp. 310-331, 1933.
- 5) Takashimizu, Y. and Iiyoshi, M.: New parameter of roundness R: Circularity corrected by aspect ratio, *Progress in Earth and Planetary Science*, Vol. 3, No. 2, <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0078-x>, 2016.
- 6) Powers, M. C.: A new roundness scale for sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 23, No.2, pp. 117-119, 1953.

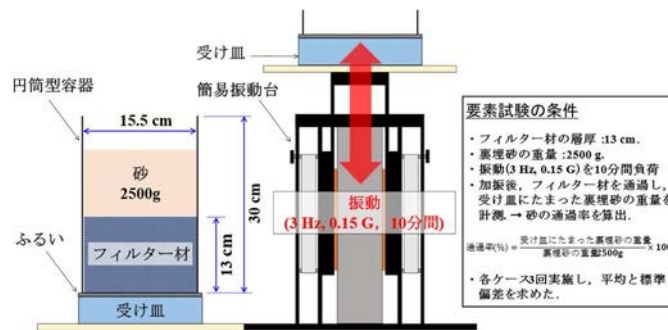


図3 要素試験装置の模式図及び試験条件と手順

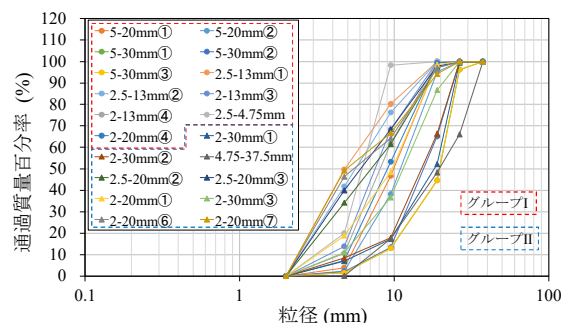


図4 フィルター材として用いた碎石の粒径加積曲線

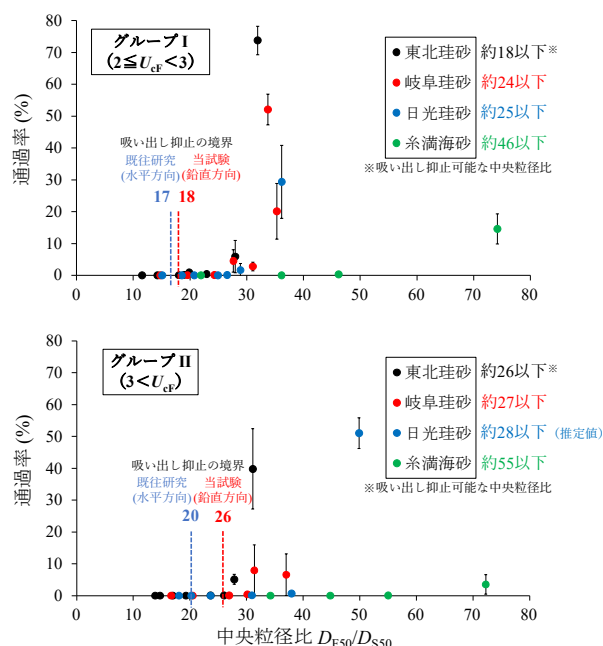


図5 中央粒径比と砂の通過率(平均値±標準偏差)

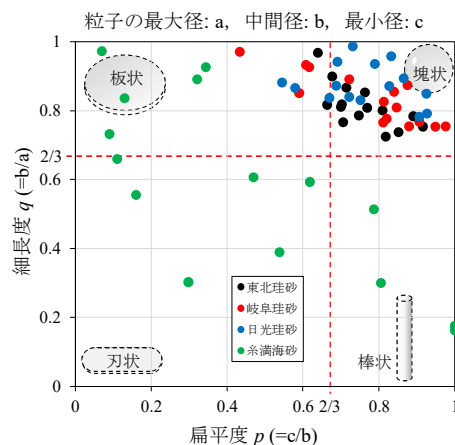


図6 4種の砂の細長度及び扁平度の関係