

令和 6 年能登半島地震で発生した津波堆積土の物理・力学特性の把握と有効利用への提案

地盤災害 廃棄物 力学的性質

名古屋大学 特別会員 ○山本 和毅
名古屋大学 国際会員 中野 正樹 酒井 崇之

1. はじめに

令和 6 年能登半島地震では日本海沿岸に津波の襲来が確認され、それにより被災地において災害廃棄物・津波堆積物が発生し、復旧・復興の妨げとなった。本研究では、発生した津波堆積土を採取し、その物理・力学特性を把握し、東日本大震災で発生した津波堆積物および通常の盛土材との比較を通じて、地盤材料としての有効利活用の可能性を検討することを目的とする。

2. 試料の採取場所および性状

本研究で用いた試料は能登町内浦総合運動公園内の津波堆積土で、発災から4ヶ月たった時期に、公園内12地点より採取した。図1に示すように、公園は能登町布浦地区に位置し、津波痕跡高は公園周辺で2.5~4.2mであり、長時間の浸水が推定された¹⁾。採取した試料はほとんどが2mmふるいを通過する粒度であり、津波によって混入したと考えられる木片や石などが点在していた。表層4cm程度の採取試料では粘土層と砂層との互層が確認できたが、各試験には全体を均一に混ぜてから使用している。

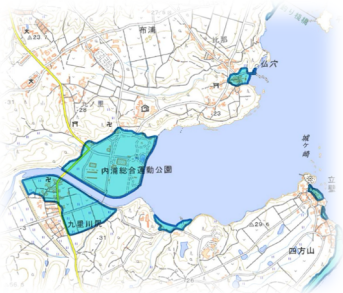


図1 能登町布浦地区の津波浸水域（推定）¹⁾

3. 津波堆積土試料の物理特性

物理試験から、土粒子密度は津波堆積土では2.60g/cm³前後に収まる傾向が見られ、一般的な土粒子の範疇であると言える。図2は粒度試験より得られた粒径過積曲線を示す。これより津波堆積土では細粒分含有率が30%~47%と試料により大きく偏りがあり、細粒分の中でも粘土分が10%前後に位置する試料と、15~20%に位置する試料に二極化している。これは公園内での津波の滞留時間や障害物の有無、海岸からの距離などに影響を受けたことが考えられる。図3は東日本大震災で発生した津波堆積物も合わせた粒径加積曲線である²⁾。採取した試料は、東日本大震災で発生した津波堆積物の砂主体の曲線よりも上に位置しているが、別途、液性限界・塑性限界試験も実施しており、津波堆積土は細粒分を有するもののNP(非塑性)であり、工学的分類ではSF(細粒分質砂)に分類される。

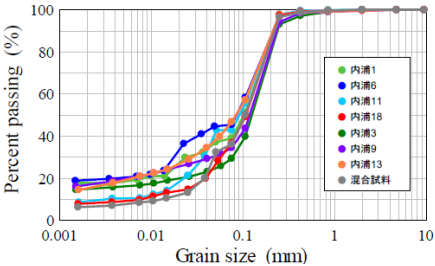


図2 津波浸水域津波堆積土の粒径加積曲線

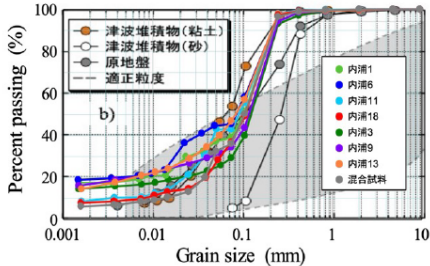


図3 津波堆積土 粒度分布比較図

4. 津波堆積土試料の力学特性

4.1 締固め試験結果

図4は締固め試験より得られた締固め曲線を示す。最大乾燥密度は1.26g/cm³と小さく、逆に最適含水比は30%を超えてかなり大きな値を示した。含水比40%前後になってからは、締固め時にモールド底部から水が染み出すようになった。粒度分布(細粒分含有率)の割には締固め曲線が右下方に位置し粘性土に近い傾向のようであり、これは本試料の大きな特徴と言える。

4.2 コーン指数試験結果

図5に示すコーン指数と含水比の関係から、最適含水比(30%前後)よりも低い含水比では、コーン指数は4000kN/m²付近で推移しているが、最適含水比よりも高い含水比でコーン指数は急激に低下した。含水比40%前後から適切な締固めに困難が生じていたことから、コーン指数が低下したと考えられる。

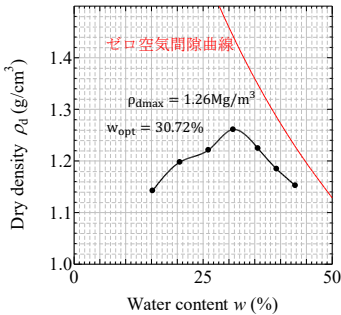


図4 締固め曲線

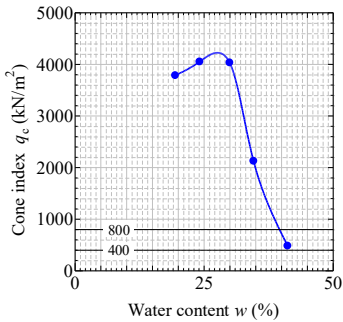


図5 コーン指数と含水比の関係

4.3 一軸圧縮試験結果

図6はDc95%の一軸圧縮試験結果を示す。最適含水比($w=30\%$)付近での一軸圧縮強さは 67.0kN/m^2 で、含水比が増えると強度は減少する。別途行った $Dc=82\%$ の強度は $Dc95\%$ の半分にまで減少した。締め固めて作製した供試体は自立するものの一軸試験のように拘束圧のない試験では、高い一軸圧縮強さを有することはできないようである。

4.4 圧密非排水三軸圧縮試験(CU試験)結果

図7はCU試験結果である。拘束圧 100kPa において、せん断が進むにつれ塑性膨張を伴う硬化挙動が現れ、 Dc の上昇に伴いその傾向が顕著になり、最大軸差応力が増加した。密な砂の挙動と類似しており、過圧密比が大きくなった土と解釈される。 $Dc=95\%$ の拘束圧 300kPa では、拘束圧 100kPa よりも $100\sim 150\text{kPa}$ 程度、最大軸差応力大きい、ともに過圧密であり、正規圧密土よりも拘束圧の影響は小さいようである。図8、図9は、Sakai and Nakano が実施した3種類の代表的な土試料(Material A~C)のうち、締め固めに適した材料である Material A および適さない材料である Material C の圧密非排水CU試験結果を示す³⁾。図8より材料が異なるので一概に Dc での比較はできないが、 $Dc=95\%$ 以上で軟化挙動を起こさずに軸差応力が増加している。一方、津波堆積土は若干の軟化は示すが、比体積が大きい割に、Material A よりも大きな軸差応力を示している。また、図9のような塑性圧縮を伴う軟化挙動は見られない。

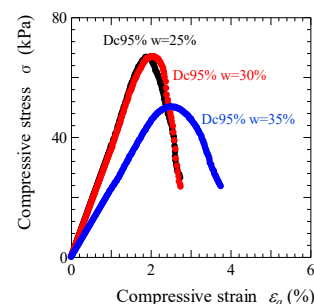


図6 一軸圧縮試験結果 $Dc=95\%$

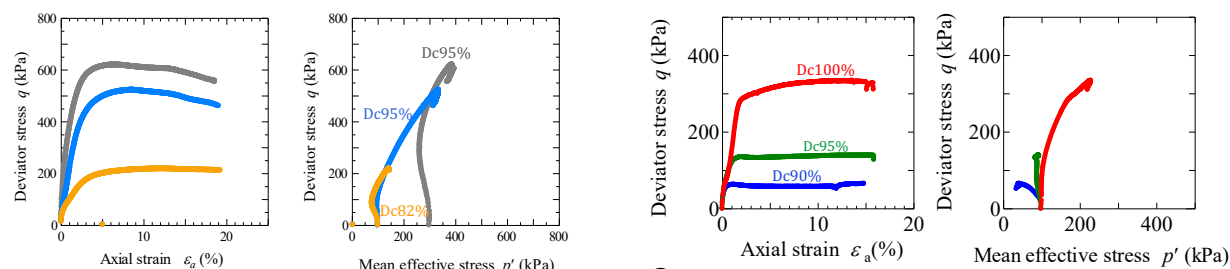


図8 Material A (締め固め度 90, 95, 100%)

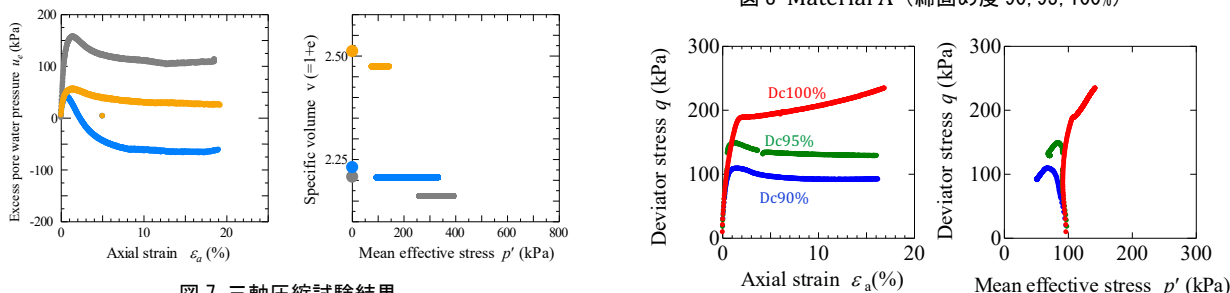


図9 Material C (締め固め度 90, 95, 100%)

5. おわりに一土砂系廃棄物の有効利活用に向けて

土質区分基準⁴⁾に基づく、含水比 35% 程度までは第2種建設発生土、 40% を超えると第3種建設発生土に区分される。さらに粒度試験の結果より津波堆積土はSF(細粒分質砂)に分類されることから、第2種建設発生土のうち第2b種、第3種建設発生土のうち第3a種に細区分される。また、三軸圧縮試験の結果からは、盛土材に適した試料と同等の力学特性を有することもわかった。今回の津波高さが 4m で、海岸近くに堆積した津波堆積土は、発生量が多くはないものの、夾雑物も少なく分別もしやすいことから、早期に採取・調整することで、通常的地盤材料として利用することが可能であると考えている。

謝辞：試料採取の際には、能登町、(株)奥村組の方には大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

参考文献：

- 国土交通省 国土地理院(2024)：令和6年(2024年)能登半島地震に関する情報
https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html#7 (2025年3月29日閲覧)
- 高井敦史, 保高徹生, 遠藤和人, 勝見武(2012)：東日本大震災における津波堆積物の分布特性と物理化学特性, 地盤工学ジャーナル, vol.8, No.3, pp.391~402
- Sakai, T. and Nakano, M.(2015)：Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure, Soils and Foundations, Vol.55, Issue 5, pp.1069-1085
- 国土交通省(2006)：発生土利用基準
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/recyclehou/manual/180810hassei.pdf> (2025年1月18日閲覧)