

液状化による噴砂発生における細粒分とせん断ひずみの影響

東北大学 学 ○吉井拓海 フ 風間基樹
正 河井 正 正 金 鍾官

1. はじめに

液状化した地盤の沈下量の算定は、過剰間隙水圧の消散に伴い生じる体積ひずみをもとに行われている¹⁾。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震での浦安市のように、大量の土砂が噴出した場合、従来の算定方法では沈下量を過少に評価してしまう可能性がある。大量の噴砂が発生する要因として、地盤に亀裂が生じ、その付近に構造物がある時、亀裂下と、構造物下の地盤で上載圧が不釣合になり、応力差を釣合させるように原地盤が噴出することが考えられる。この時、地盤の剛性は小さい。地盤に与えるせん断ひずみが大きくなると、剛性は回復しにくくなる。また、細粒分含有率も剛性の回復し易さに影響する。

本研究では、せん断ひずみの大きさと細粒分含有率が、噴砂発生量に与える影響を把握することを目的として、小型せん断土槽を用いた噴砂実験を行った。

2. 試料

浦安砂、基本砂、Q50、Q30、Q10の5種類の試料を用いた。ここで、浦安砂は実際に浦安市で噴出した砂であり、浦安市で発生した噴砂の再現を目的とした。細粒分含有率は約50%である。基本砂とは、石英粉、飯豊珪砂5号、飯豊珪砂6号、飯豊珪砂7号を、61:13:13の割合で配合した砂のことである。粒度分布を浦安砂に近づけ、浦安砂との挙動の違いを把握することを目的として、作成した。図1に浦安砂、基本砂の粒径加積曲線を示す。Q50、Q30、Q10は、それぞれ飯豊珪砂7号に細粒分として石英粉を、細粒分含有率が50%、30%、10%になるように配合した砂であり、細粒分含有率が噴砂発生に与える影響を把握することを目的とした。

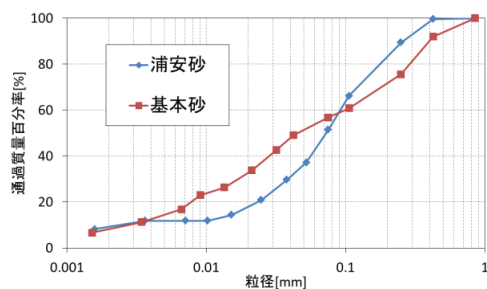


図1 粒径加積曲線

3. 実験方法

せん断方向長さ 100mm×奥行き 100mm×高さ

100mmのせん断土槽による噴砂実験を行った。図2に示すように、載荷板に内径13mm、高さ120mmのパイプを設置し、噴砂口とした。東京湾岸地域で発生した液状化による路面下空洞は、深さ50cm付近に広く分布していた²⁾。それを踏まえ、上載圧は深さ50cmを想定し、9.5kPaを載荷板の上に重りを載せ、与えた。地盤作成後、圧密を行い、その後、せん断を行った。せん断ひずみは、片振幅10%とした。せん断時、パイプには栓をしておき、せん断終了後、栓を抜き噴砂の発生を確認した。栓の長さは120mmで地盤表面に届き、せん断中にパイプ内に砂が入らないようにした。

基本砂、Q50の2試料はせん断ひずみの大きさの影響を検討するため、モーターによるせん断の代わりに、ハンマーで打撃を行った。具体的には、供試体のせん断方向側面を左右50回ずつ、ハンマーで打撃した。打撃によるせん断ひずみは、最大で片振幅1.2%であり、モーターによるせん断よりも小さいせん断ひずみを与えることを目的とした。せん断または打撃は、水圧の上昇が止まった時点で終了した。過剰間隙水圧比はCASE1, 2, 4, 8, 9で0.9を上回り、CASE3, 5, 6, 7では0.8を上回った。

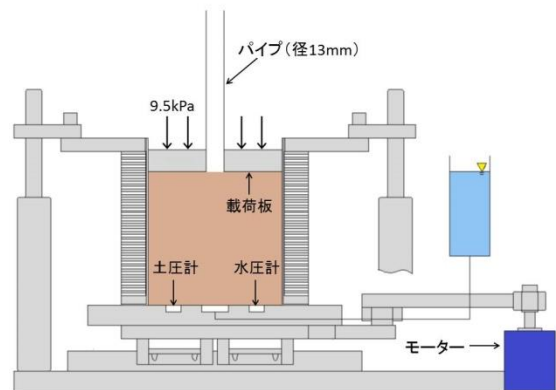


図2 小型せん断土槽模式図

4. 実験結果

表1に実験結果を示す。ここで、パイプ先端から砂が噴出した場合を、噴砂発生とした。噴砂が発生した場合、噴出した砂と、パイプ内に残った砂の乾燥質量を測定した。せん断直前の地盤の乾燥密度を求め、噴出した砂の乾燥質量を、せん断直前の地盤の密度での体積に換算し、噴砂量[cm³]とした。噴砂が発生しなかった場合においても、砂がパイプ途中の高さまで上昇

Key Word : 液状化, 噴砂, 細粒分, せん断ひずみ

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 人間環境系教育研究棟 303 地盤工学研究室

したので、パイプ内の砂の乾燥質量を、せん断直前の地盤の密度での体積に換算し、噴砂量とした。図3は、各実験の噴砂量を示している。

表 1 実験結果一覧

試料	浦安砂		基本砂		
実験回	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
初期間隙比	1.31	1.47	0.73	0.70	0.72
初期相対密度[%]	41.7	20.7	87.1	90.0	87.5
圧密後間隙比	1.18	1.28	0.51	0.53	0.55
圧密後相対密度[%]	59.1	46.4	108.9	107.1	105.1
せん断ひずみの与え方	せん断	せん断	せん断	せん断	打撃
噴砂量[cm ³]	18.5	21.6	39.0	32.5	17.8
噴砂発生の有無	有	有	有	有	有
試料	Q50		Q30	Q10	
実験回	CASE6	CASE7	CASE8	CASE9	
初期間隙比	0.71	0.65	0.66	0.84	
初期相対密度[%]	79.7	87.2	73.3	35.0	
圧密後間隙比	0.54	0.59	0.59	0.80	
圧密後相対密度[%]	101.1	94.2	82.4	55.5	
せん断ひずみの与え方	せん断	打撃	せん断	せん断	
噴砂量[cm ³]	27.9	2.9	8.5	8.6	
噴砂発生の有無	有	無	無	無	

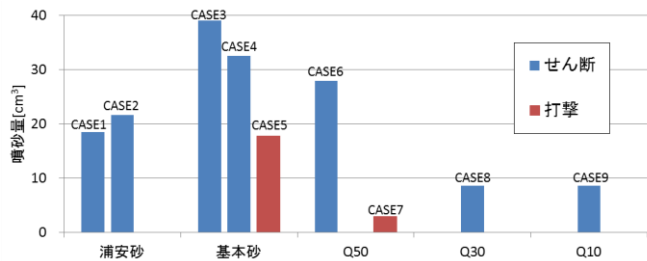


図 3 各実験の噴砂量

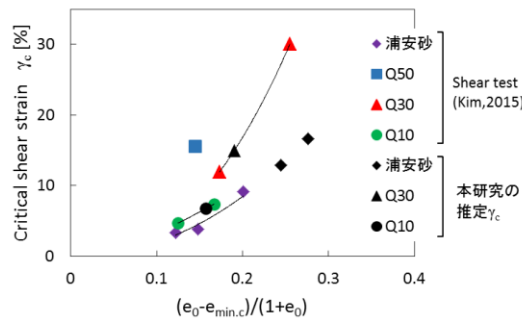


図 4 限界せん断ひずみと体積ひずみポテンシャルの関係

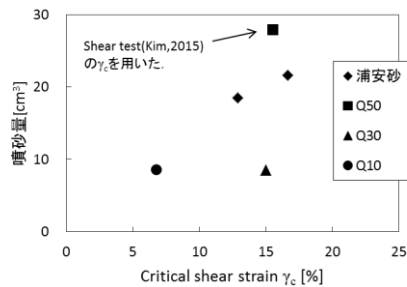


図 5 噴砂量と限界せん断ひずみの関係

CASE1, CASE2において噴砂が発生した。浦安市の地震発生から半年以上経過した時点での、貫入試験結果³⁾から計算した深さ 50cm 前後の相対密度は約 60～70%であった。地震発生前の相対密度が同程度だとするならば、浦安市での噴砂を再現できたといえる。

CASE3, CASE4, CASE5 の基本砂は、本研究におい

て最も噴砂しやすい試料であった。粒度分布が似ている浦安砂よりも、噴砂が発生しやすかった理由として、細粒分の性質、透水性の違いが考えられる。

CASE3～CASE7 から、打撃よりもせん断のほうが噴砂量が増加することが分かった。打撃によるせん断ひずみは最大で 1.2%であり、地盤を液状化させることはできたが、土骨格を壊すには至らなかったと考えられる。その結果、基本砂では噴砂量が少なくなり、Q50では砂の上昇がほとんどなかったと考えられる。一方、モーターによるせん断の場合は、せん断ひずみ 10%であり、土骨格を壊すことができたと考えられる。

Kim⁴⁾は液状化後の変形を評価するために、限界せん断ひずみ (γ_c) と体積ひずみポテンシャルの関係を示した (図 4)。ここで、限界せん断ひずみとは、液状化後の地盤の剛性が回復し始めるせん断ひずみのことである。限界せん断ひずみが大きいということは、地盤の流動性が高いことを表している。また、横軸は体積ひずみポテンシャルであり、液状化により発生する体積ひずみを表している。図 4 の近似曲線から、本研究での γ_c を推定し、図 5 に噴砂量との関係を示した。なお Q50 は近似曲線からの推定ができなかったため、図 4 中の Kim が求めた γ_c の値を用いた。図 5 から、 γ_c が大きくなるほど噴砂量が増加する傾向が見られる。しかし、Q30 は噴砂量が少なかった。 γ_c は非排水条件下で求めたものであり、本研究のような排水条件下では、透水性を考慮する必要がある。Q30 は、浦安砂、Q50 に比べ透水性が高く、過剰間隙水圧の消散が速やかに行われたため、噴砂量が少なかったと考えられる。

5. 結論

小型せん断土槽を用いて、噴砂実験を行い、以下の結論が得られた。

- 1) 浦安砂が噴砂しやすい砂であったことを確認した。
- 2) 地盤に与えられるせん断ひずみが大きいほうが噴砂が発生しやすくなることが分かった。

今後、液状化した地盤の沈下量に、噴砂により流出した土粒子の体積が及ぼす影響を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 宮田正史, 井合進, 一井康二: 液状化による不同沈下の予測手法の開発, 港湾技研試料 NO.908, 1998
- 2) 瀬良良子, 小池豊, 桑野玲子, 桑野二郎: 東日本大震災液状化箇所における路面下空洞の特徴と発生メカニズム, 地盤工学ジャーナル Vol.9, No.3, pp.323-339, 2014
- 3) 三村衛, 吉村貢: 室内試験・原位置試験結果の設計への反映 6. 原位置試験による液状化評価, 地盤工学会誌, Vol.61, No.8, pp.65-72, 2013
- 4) Jongkwan Kim : Deformation Properties of Liquefied Soils with Fines, 2015