

液状化対策杭への砂混入に及ぼす破碎貝殻の粒径の影響

茨城大学 学生会員 ○堀口 正隆 茨城大学大学院 正会員 小林 薫
 エーバイシー フェロー会員 本多 顕治郎 エーバイシー 正会員 宮崎 航

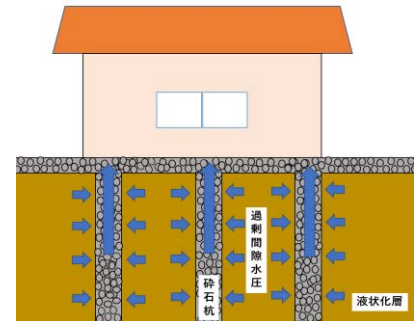
1. はじめに

大規模な液状化被害が発生した地震は 2011 年の東北地方太平洋沖地震、2016 年の熊本地震などがあり、熊本地震の際には、短期間で最大震度 7 の地震が 2 度観測されており、繰り返して大きな地震動を受けている¹⁾。一方、液状化被害を抑制する過剰間隙水圧消散工法の 1 つにグラベルドレーン工法 (GD 工法) がある。図—1 に過剰間隙水圧消散工法の概要を示す。GD 工法は、液状化層中に透水性の高い $\phi 500$ mm の砕石杭を打設し、過剰間隙水圧の上昇の抑制および早期消散を図るものである。しかし、図—2 に示すように、地震動を受けて液状化した際に杭周辺の液状化層を構成する細やかな砂が、杭内に混入する。これに伴い、対策杭の排水性能が低下し、熊本地震の様に複数回にわたり大きな地震動を受けた場合に当初期待したような液状化抑制効果が発揮されない可能性がある。そこで、砕石と同程度以上の透水性があり、砕石より砂混入を抑制する代替材による新たな液状化対策杭の開発が必要である。循環型社会の構築に向けて水産系副産物であるホタテ貝殻を砂と混合し、裏込土としての活用が試みられている²⁾。また、中房ら³⁾は、貝殻の粒径によっては sin 波振動による上部の砂層から下部の貝殻層への砂混入が少ないことを明らかにしている。そこで本研究では、破碎貝殻杭による液状化対策工法の開発を目的とし、砕石および破碎貝殻の粒径の違いによる砂混入特性の比較を行った。

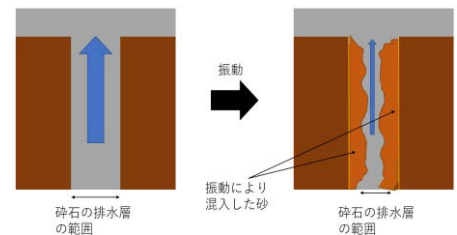
2. 加振による振動実験

2.1 実験概要・手順

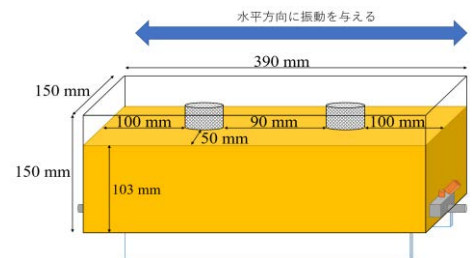
本実験は、模型杭の粒径が模型杭への砂混入率に及ぼす影響の評価を目的として行った。本実験の実験概要図を図—3 に示す。実験装置は 5 mm 厚の亚克力板で作成したもので、内寸は幅 390 mm、奥行き 150 mm、高さ 150 mm である。また、模型杭の試料が砂層へ流出することを防止する治具を使用する。治具の寸法は杭径 $\phi=50$ mm、高さ $h=150$ mm の円柱状で、側面にはジオテキスタイル、底部には円形の亚克力板を用いて作製した。表—1 に実験ケースを示す。以下に、実験手順を示す。図—3 に示した模型杭の設置位置に砕石および破碎貝殻の模型杭を設置した。このとき、加振前の砂混入を防ぐために治具にシートを巻いた。その後、土槽内に空中落下法で相対密度 $D_r=30\%$ になるように豊浦砂を入れた。次に、砂層を飽和させるために十分な時間をかけて注水し、水位を土層表面まで上昇させた。その後、水位を GL-9 cm まで低下させて 30 分間整地した上で、巻いていたシートをゆっくりと引き抜いた。再度注水し水位を土層表面まで上昇させた



図—1 グラベルドレーン工法の概要図



図—2 振動による砂混入の影響



図—3 実験概要図

表—1 実験ケース

case	杭材	粒径 (mm)
A-1	砕石	2.0~4.75
A-2		4.75~9.5
A-3		9.5~19.0
B-1	破碎貝殻	2.0~4.75
B-2		4.75~9.5
B-3		9.5~19.0

キーワード 液状化, 対策杭, 砂混入

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学 TEL : 080-1945-0965 E-mail : 19t50581@vc.ibaraki.ac.jp

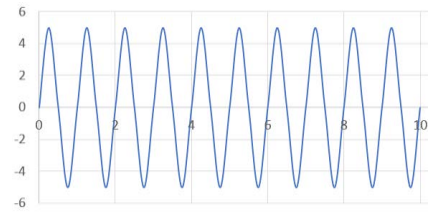
後に、振幅 10 cm、周波数 1 Hz、波数 10 波の水平振動を模型地盤に与えた。図—4 に振動波形を示す。加振後、水位を低下させた上で模型杭を取り出し、炉乾燥を行った後にふるい分けし、混入した砂の質量を計測した。

2.2 試料の物性値

試料の物性値を表—2、粒径加積曲線を図—5 に示す。地盤材料に豊浦砂、杭材に碎石およびホタテの破碎貝殻を使用した。また、碎石は 5 号、6 号、7 号碎石を混合したものを使用した。

2.3 結果・考察

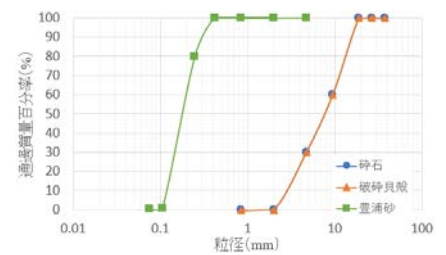
表—3 に実験結果、図—5 に実験ケースごとの砂混入率の比較を示す。砂混入率は、式(1)により算出した。貝殻は粒径が小さくなるにつれて砂混入量、砂混入率ともに減少する傾向が確認された。また、貝殻に比べて減少量は少ないが碎石でも粒径が小さくなるにつれて砂混入量は減少する傾向が確認できた。これは、粒径が小さくなることで間隙の大きさが小さくなり、砂の混入が抑制されたと考えられる。一方、碎石の砂混入率は 2.0~4.75 mm と 4.75~9.5 mm では貝殻と同様な変化が確認されたが、4.75~9.5 mm と 9.5~19.0 mm の砂混入率に顕著な変化は確認できなかった。また、粒径によって異なるものの、碎石杭への砂混入率は同じ粒径の破碎貝殻の砂混入率に比べて 1.63~1.98 倍であった。



図—4 振動波形

表—2 試料の物性値

試料	ρ_s (Mg/m ³)	ρ_{dmin} (Mg/m ³)	ρ_{dmax} (Mg/m ³)
豊浦砂	2.66	1.338	1.646
碎石	2.69	—	—
貝殻	2.67	—	—



図—5 粒径加積曲線

$$\text{砂混入率}[\%] = \frac{\text{混入した砂の体積}[\text{cm}^3]}{\text{模型杭の間隙の体積}[\text{cm}^3]} \times 100 \tag{1}$$

3. 結論

本実験から以下の知見が得られた。

- 1) 貝殻杭では粒径が小さくなるにつれて、砂混入率が減少することが確認された。
- 2) 粒径がいずれの場合も貝殻杭への砂混入率が碎石杭への砂混入率より減少することが確認された。

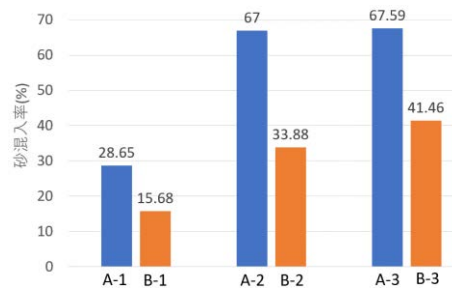
また、土粒子間の間隙が大きいほど透水性が大きくなるため⁴⁾、砂が混入することで間隙比が小さくなり、透水係数が低下する。これにより、液状化対策工の効果が低下し、被害の拡大が懸念される。そのため、今後は透水係数への影響も明らかにしたうえで社会実装を目指す。

参考文献

- 1) 気象庁：平成 28 年（2016 年）熊本地震。
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/index.html (2022 年 11 月 7 日閲覧)
- 2) 坪井幸雄、佐伯公康：水産系副産物（貝殻）の裏込材への有効利用に関する基礎的研究（その 3）、海洋開発論文集，Vol.22，pp.391-396，2006。
- 3) 中房悟、小林薫、森井俊広、松元和伸：水産系副産物（貝殻）を用いた砂混入防止型キャピラリーバリア地盤に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.68，No.2，pp.1_462-1_467，2012。
- 4) 公共社団法人地盤工学会，土質試験—基本と手引き—（第二改訂版），p.99，丸善出版，2021。

表—3 砂混入率に関する実験結果

case	乾燥密度 (Mg/m ³)	砂混入量 (g)	砂混入率 (%)
A-1	1.75	52.15	28.65
A-2	1.78	118.53	67.00
A-3	1.72	127.45	67.59
B-1	1.05	49.51	15.68
B-2	0.93	115.06	33.88
B-3	0.88	145.29	41.46



図—6 砂混入率の比較