

調整碎石の材料特性

勝呂 和之*・山本 修司**・片桐 雅明***・山口 誠****・森山 崇来*****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 参与

*** (株) 日建設計シビル 地盤調査設計部門 技術長

**** 前 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 工務課 課長

***** 前 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 工務課 係長

軟弱地盤上に構造物を構築する際には、構造物の荷重に耐えられるような基礎地盤に改良する必要がある。床堀置換工法における置換材として、採石場で発生する0～300mmの碎石を活用できるかどうか検討するための基礎データとして、最大粒径を53mmとした調整碎石に対する室内試験を行い、調整碎石の特性を検討した。

キーワード：碎石(0～300mm)、地盤改良、三軸圧縮試験、繰返し三軸試験

1. はじめに

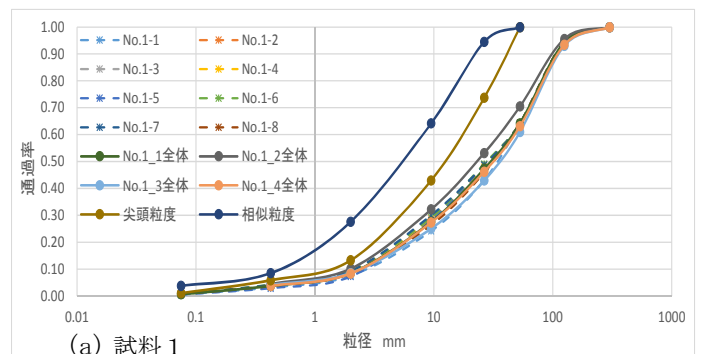
海面埋立を行う際に構築する護岸の基礎改良に用いられる床堀置換工法では大量の良質な地盤材料が必要となる。しかしながら、これら材料となる良質な砂や礫は、経済性、供給の安定性などの観点から確保することが難しくなっている。一方、碎石場で石材を生成する際に発生する碎石(0～300mm)は、比較的安価に大量に入手できることから、置換材としての性能が確保できれば、経済性・供給の安定性の面で有利となる。そこで、本調査では床堀置換材として、碎石(0～300mm)の適用性を評価する基礎データとして、最大粒径53mmの調整碎石に対して室内試験を行い、その特性を検討した。

2. 現地試料の特性と評価方針

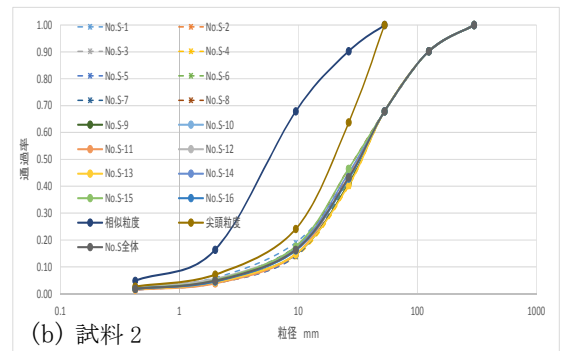
本調査では、北九州市内の2か所の碎石場から実験に供する試料を採取した。その粒度を図-1に示す。53mm以上の粒子が30～40%、2mm以下が5～10%の材料であった。

置換材料として必要となる特性は、護岸本体を支えるための強度特性、地震時の液状化特性である。これら砂質系の力学特性は、供試体の密度に依存することから、通常、相対密度で評価している。しかしながら、対象とする最大粒径53mmの試料の最大・最小密度を求めることは不可能である。そこで、実工事を模擬して、0.4m³の土槽を用いて水中投入実験を行い、水中堆積時の密度を測定することにした。さらに、振動を加えてどの程度まで密度が増加するのかも確認することにし、力学試験に供する供試体の密度を選定した。

なお、53mm以下の碎石の粒度は、一般的に用いられている相似粒度、尖頭粒度とした。



(a) 試料1



(b) 試料2

図-1 原粒度と相似、尖頭粒度

3. 調整試料の特性

3.1 物理特性

調整碎石に対して、それぞれ JIS A 1204, JIS A 1202 の JIS 基準に従って、粒度試験、土粒子密度試験を行った。表-1 に、測定した土粒子の比重、土粒子密度を示す。

採石場から採取した碎石に対して、最大粒径が53mmとなるように2種類の粒度調整試料とした。図-1に、各試料の相似粒度と尖頭粒度を示す。なお、原粒度を求める際の全体積は1m³に規定して計測した。

表-1 2 試料の土粒子比重・土粒子密度

試料		試料-1	試料-2
9.5mm 以上の 粒子	絶乾比重	2.624	2.667
	表乾比重	2.643	2.691
	吸水率	0.73	0.87
2.0mm 以下の 粒子	土粒子密度 g/cm ³	2.721	2.738

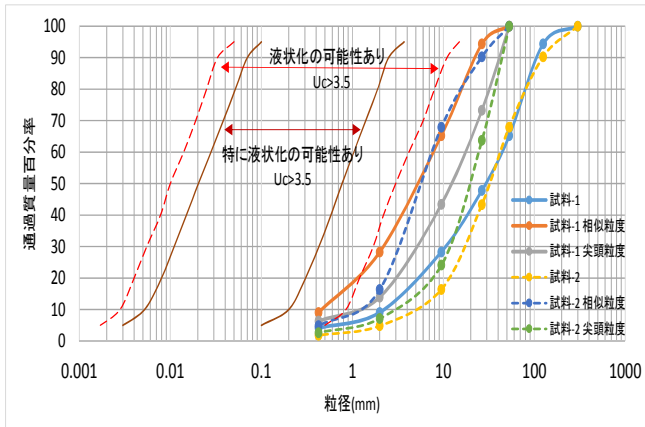


図-2 2 試料の原粒度と実験に供する粒度

図-2 は、実験に供する 2 試料の“尖頭”、“相似”粒度と原粒度である。液状化ハンドブックに示されている「液状化の可能性あり」、「特に液状化の可能性あり」の粒度も示してある。今回対象とする材料は、試料-1 の相似粒度が「液状の可能性あり」という領域に近いが、他はその範囲から離れている。

3.2 水中堆積密度と振動台実験による密度

三軸 CD 試験で想定する密度を設定するために、写真-1 に示すような状態で振動台実験を行った。

実験の再現性は、試料-1 の相似粒度を用いて実施したところ、その差が少なく、再現性は確認できた。三軸試験では、異なる 3 密度を設定するが、振動台実験は最もゆるく堆積する状態を作製し、それに対して、振動させた時の密度変化を測定することにした。

本実験では、1m×1m の振動台、高さ：幅：奥行＝700：1400：450(mm) の土槽を用いた。模型地盤は、現場での施工を模擬するため水中落下法により作製した。

気乾状態の材料を用い、試料-1 では 10 層、試料-2 では 9 層に分けて投入した。1 層あたりの投入量は 60kg を基準とし、数回に分けて部分的に投入した。その 1 回あたりの投入量は、7 層までの下層では 20kg、それ以上では 5 kg ずつを投入した。

入力波形は、正弦波形を用いて波数 30、入力周波数 5.6Hz、加振時間 5.33s、入力加速度 300gal とした。また、地盤の沈下挙動を測定するため加振前後で 15 箇所の定点において地盤表面の鉛直変位を測定した。加振については、同試料で 3 回続けて行い、

その都度、計測を行った。写真-2 にその状況を示す。

表-2 に、実施した振動台実験で得られた模型地盤の密度をまとめる。



写真-1 水中落下手法によるモデル地盤の作製



写真-2 加振後の計測状況



写真-3 加振後の地盤表面の状況 (試料-1 相似粒度)

表-2 各地盤モデルの密度変化

			加振前	加振1回目	加振2回目	加振3回目
			密度(g/cm ³)			
試料-1	相似粒度	Case1	1.934	2.004	2.046	2.067
		Case2	1.912	2.008	2.090	2.102
	尖頭粒度	Case1	1.841	1.950	1.963	1.969
		Case2	1.840	1.931	1.931	1.943
試料-2	相似粒度	Case1	1.762	1.868	1.885	1.888
	尖頭粒度	Case1	1.666	1.709	1.714	1.713

液状化試験によって、材料が破碎したかどうか確認するため、実験後の供試体の粒度を測定し、供試体作製時に調整した粒度を図-3 に示す。これより、ほとんど破碎していないと判断できた。

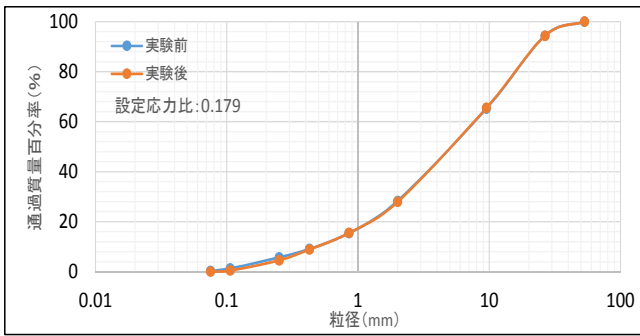


図-3 液状化強度試験後の粒度の比較

図-4 は、加振によって発生した体積ひずみと乾燥密度との関係である。0.425mm 以下の割合が多い相似粒度のものは密度が高くなること、発生した累積ひずみは密度が高いものほど大きいことが示されている。

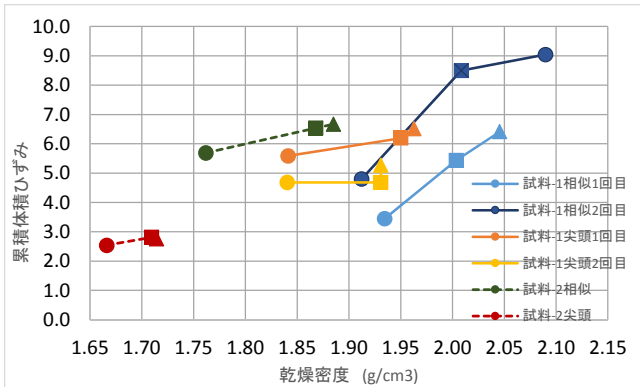


図-4 乾燥密度と発生した体積ひずみの関係

表-3 は、各振動台実験の振動ステージごとの体積ひずみと水圧比の関係をもとめたものである。ここで、水圧比とは加振時の最大過剰間隙水圧をその深度の有効上載圧で除したものである。これより、“試料-1 相似” が液状化していることがわかる。

3.3 調整試料の三軸圧縮特性

対象とする供試体の密度は、次を設定した。

- ・密度-1：水中落下法で作製した三軸供試体の密度
- ・密度-2：振動台実験において水中落下手法により作製した地盤の密度

実験条件は、礫質土であることから、圧密・排水条件とし、拘束圧は、床掘削部の水深を踏まえて、最大 300kPa とした。供試体の寸法は、直径 150mm、高さ 300mm とし、密度-1 の供試体は水中落下法で、密度-2 の供試体はその密度となるように、投入層ごとに密度を調整して作製した。

密度が低い試料-1 の相似粒度及び尖頭粒度の破壊基準線実験結果、ならびに $Dr = 85\%$ の豊浦砂の破壊基準線を図-5 に示す。これより、両試料とも、豊浦砂の $Dr = 85\%$ 程度の破壊線を有していることがわ

かる。

表-3 振動台実験の結果と評価

試料-1相似1回目	密度	0.425mm以下	体積ひずみ	累積体積ひずみ	水圧比	液状化
1.934	90.95	0	0	0	1	○
2.004	90.95	3.45	3.45	1	○	
2.046	90.95	2.05	5.43	1	○	
2.067	90.95	1.04	6.41			
試料-1相似2回目	1.912	90.95	0	0	1	○
2.008	90.95	4.80	4.80	1	○	
2.090	90.95	3.88	8.50	1	○	
2.102	90.95	0.60	9.04			
試料-1尖頭1回目	密度	0.425mm以下	体積ひずみ	累積体積ひずみ	水圧比	液状化
1.841	93.7	0	0	0	0.59	×
1.950	93.7	5.59	5.59	0.29	×	
1.963	93.7	0.64	6.19	0.18	×	
1.969	93.7	0.34	6.51			
試料-1尖頭2回目	1.840	93.7	0	0	0.16	×
1.931	93.7	4.68	4.68	0.05	×	
1.931	93.7	0	4.68	0.07	×	
1.943	93.7	0.62	5.27			

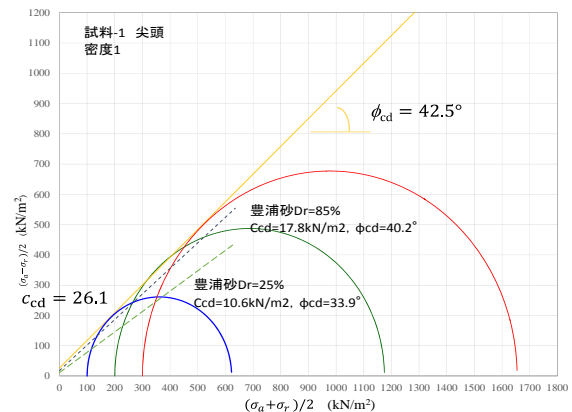
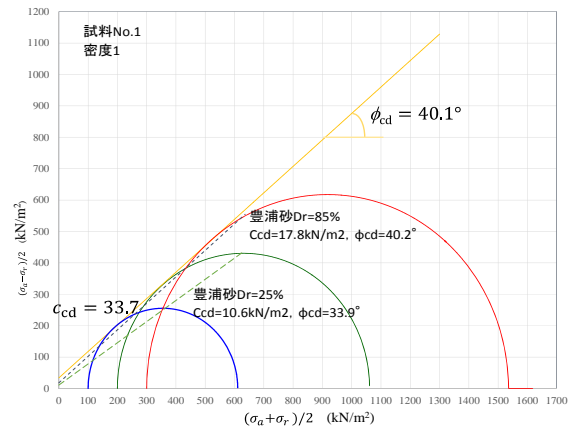


図-5 相似粒度（上）と尖頭粒度（下）の破壊基準線と豊浦砂のそれとの比較

3.4 液状化特性

液状化試験に用いた試料は、細粒分が多い相似粒度のものとした。

図-6 に、各試料の液状化強度曲線を示す。試料-1 の密度の違いに着目すると、高い密度の液状化強度曲線は上位に位置し、繰返し回数 20 回の時の繰返し応力比は、0.28 程度と非常に高くなった。非常に低

い密度の繰返し回数 20 回の時の繰返し応力比は、0.2 程度となったが、豊浦砂の $Dr = 50\%$ のそれ (0.12) よりもかなり高いことがわかる。

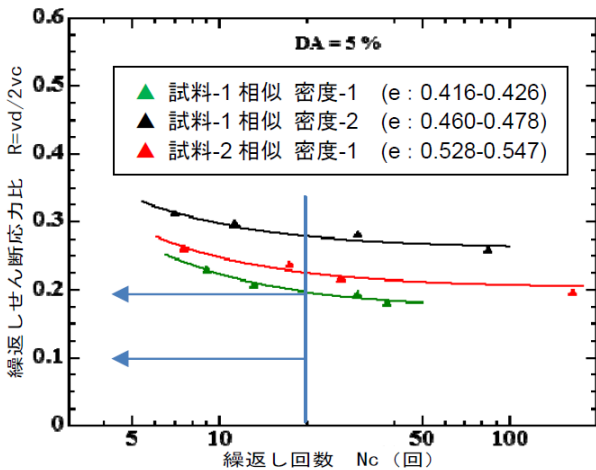


図-6 液状化強度特性の比較

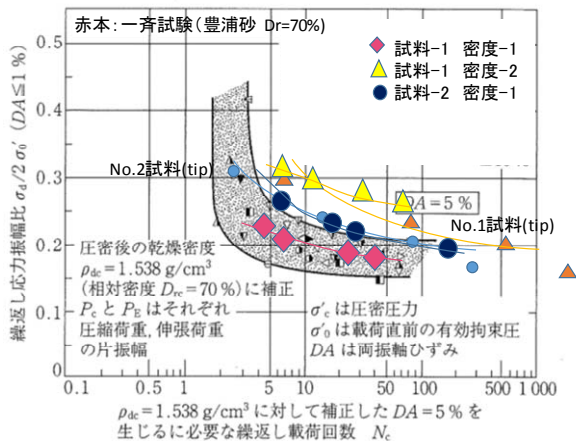


図-7 液状化曲線と豊浦砂との比較

図-7 は、相対密度 70% の豊浦砂を対象にした一斉試験の結果²⁾と比較したものを示す。試料-1 の相似粒度がやや低いけど細粒分が少ない尖頭粒度のものは液状化強度が高いことがわかる。

3.5 透水特性

液状化試験は、非排水状態で過剰間隙水圧を消散させないで行う実験であり、礫質土では透水係数が高いため、そのような状況になりえない可能性がある。そこで、実際に透水試験を行って、直接透水係数を測定してみた。

方法は、直径 15 cm の締固めモールド用いた定水位透水試験である。所定の密度となるように、試料を投入して作製した供試体 (高さ: 16cm) に対して、5 回の測定を行って、平均値を透水係数とした。

表-4 に、測定結果を示す。試料の粒度の違いによらず、透水係数は 10^{-1} (cm/sec) のオーダーとなった。

表-4 透水試験によりもとめた透水係数

供試体面積 A (cm ²)	176.71				
水位差 h (cm)	6.6				
供試体長さ L (cm)	16				
測定 NO.	1	2	3	4	5
測定時間 T (s)	100	100	100	100	100
透水量 Q (cm ³)	1537.64	1556.21	1545.53	1535.03	1521.34
透水係数 K_r (cm/sec)	2.11×10^{-1}	2.13×10^{-1}	2.12×10^{-1}	2.11×10^{-1}	2.09×10^{-1}

3.6 材料特性

粒度を調整した砕石に対して、振動台実験ならびに、三軸圧縮 CD 試験、液状化試験を行い、振動による体積変化、強度特性を把握した。その結果、応力状態の結果から求めた破壊線の傾きは、37 度から 44 度となり密度が高いほど ϕ_{cd} が高くなった。また、液状化強度曲線は、相対密度 70% の豊浦砂の液状化強度線の上限よりもはるか上位に位置し、液状化抵抗が高い材料と評価できる。細粒分が相対的に多くなる相似粒度のものはそうではないものよりも、液状化強度は低くなった。また、今回対象とした砕石は、液状化試験によって粒子破碎が生じないものと判断できた。

4. おわりに

石材を生成する際に発生する砕石が、地盤改良材としての妥当性を有しているか確認するため、調整試料の室内実験を行い、強度定数、液状化特性を求め、豊浦砂などの特性と比較評価した。

本稿は、国土交通省九州地方整備局北九州港湾・空港事務所発注の業務の成果の一部をまとめたものである。執筆にあたり関係者から貴重なご意見、指導をいただいた。また、材料特性を把握するための各種試験は九州工業大学の永瀬英生教授に委託した。ここに、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 埋立地の液状化対策ハンドブック, 財団法人 沿岸開発技術研究センター, p. 116, 1997.
- 2) 土の液状化強度特性を求めるための繰返し三軸圧縮試験, 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会, p. 730, 2009.
- 3) 塩見雅樹ら, 大型三軸試験による左岸ずりの強度特性, 第 30 回土質工学研究発表会, No. 294, p. 743-744, 1995
- 4) 山本隆信, 山本修司, 片桐雅明, 河野正文, 森山崇来: 地盤改良材料としての砕石チップ材料特性および品質管理方法について, 沿岸技術研究センター論文集 No. 15, p. 19-22