

砕石の床掘置換材の性能確認および評価手法に関する研究

九州工業大学大学院 学生会員 ○鬼塚 充明 黄 中原  
 九州工業大学大学院 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦  
 九州工業大学工学部 非会員 兵庫 悠太

国土交通省 九州地方整備局 中道 正人 山口 誠 森山 崇来  
 日建設計シビル 片桐 雅明 沿岸技術研究センター 勝呂 和之

1.はじめに

護岸の床掘置換材として、一般的には良質な砂が用いられるが、近年では経済性や安定した供給が難しくなっているという問題がある。そこで、入手が容易である0~300mmの砕石の床掘置換材への利用が考えられる。しかしながら、これら砕石の力学的特性は原粒度で試験を行うことが難しいことから、十分には明らかになっていない。本実験では、原粒度を細粒側へ平行移動させる相似粒度と粒径の大きいものを除去した尖頭粒度に粒度調整して三軸圧縮試験を行った。本研究では、この2つの粒度における力学的特性の違いを明らかにするとともにその評価方法について検討した。

2.実験方法

試料には、産地の異なる2種類の砕石(試料A、試料B)を用いた。試験装置の制約上、本実験では、最大粒径53mmとして粒度調整を行った。図1には、それぞれの試料の原粒度、相似粒度、尖頭粒度の粒径加積曲線を示す。また、表1には試料A、Bの均等係数および曲率係数を示す。

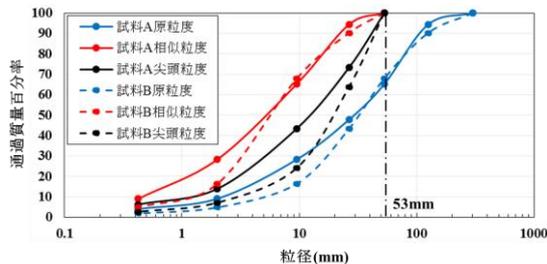


図1 粒径加積曲線

表1 均等係数および曲率係数

		原粒度	相似粒度	尖頭粒度
試料A	均等係数 $U_c$	19.09	16.96	13.26
	曲率係数 $U'_c$	1.16	1.35	1.08
試料B	均等係数 $U_c$	8.43	5.84	8.31
	曲率係数 $U'_c$	1.46	1.16	2.03

本実験では、直径15cm、高さ30cmの円柱供試体を使用した。供試体は、厚さ1mmのメンブレンを装着したモールド内で水中落下法により3層に分けて作製した。また、供試体密度は極緩詰、緩詰、中密詰(Case1、2、3)の3ケースに変化させた。側圧98kPa、196kPa、294kPa(背圧196kPa)で等方圧密したのち、セル圧一定の排水条件で軸ひずみ $\epsilon_a$ が15%に達するまで三軸圧縮せん断試験を実施した。

3.実験結果

図2は、試料A相似粒度および尖頭粒度のCase1における軸差応力-軸ひずみ曲線を示す。試料Bについても同様に図3に示す。これらより、すべてのケースで拘束圧が高いほど軸差応力は大きくなることを確認した。相似粒度と尖頭粒度の軸差応力-軸ひずみ曲線を見ると、いずれのケースでも尖頭粒度の方が小刻みな変動を伴い不安定な形状であることがわかる。これは、尖頭粒度の方が粗粒分を多く含むため、せん断による粒子移動において、かみ合わせが外れる際、一時的に変形が大きくなるような挙動を繰り返すためであると考えられる。試料Aの相似粒度と尖頭粒度を比較すると軸差応力は尖頭粒度の方が上回っている。これは、尖頭粒度の骨格構造は、相似粒度より粗い粒子によって形成されているため、粗い粒子同士でかみ合わせが生じることによって増加したものと考えられる。しかしながら、試料Bでは有

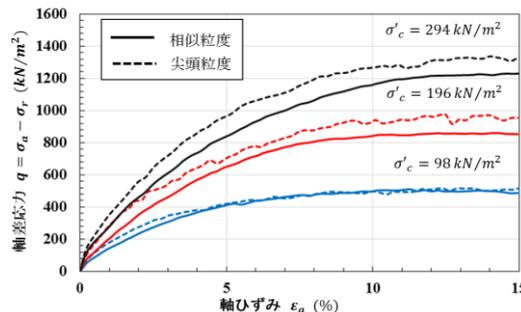


図2 軸差応力-軸ひずみ(試料A)

キーワード 砕石, 粒度調整, せん断抵抗角

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 永瀬英生 TEL 093-884-3111

効拘束圧 98kPa を除き、最大主応力差は相似粒度の方が大きくなっている。図 4 に試料 A、B の尖頭粒度 Case1 (有効拘束圧 294kPa) での実験前後の粒径加積曲線を示しているが、試料 B の結果を見ると、実験後の粒径加積曲線は試料 A より大きく内側へ遷移していることが読み取れる。これは、実験時に粒子破砕が生じたことを示している。粗粒分を多く含む試料 B の尖頭粒度は、1 接点あたりの接点力が大きいことから破砕しやすかったものと考えられる。また、試料 B の尖頭粒度で、各有効拘束圧における軸差応力を見ると軸ひずみ 15%以内でピークは見られず、15%以降も増加することが予想される。特に有効拘束圧 294kPa では、強度発現が遅いことがわかる。よって、試料 B の尖頭粒度において初期有効拘束圧が増加すると粒子破砕量は多くなり、強度発現に影響を与えたものと考えられる。

最大軸差応力より算出したせん断抵抗角  $\phi_d$  および粘着力  $c_d$  を表 2 に示す。実験結果より、試料 A の各粒度ともせん断抵抗角  $\phi_d$  は、密になるにつれて増加していることがわかる。また、試料 B の尖頭粒度 Case1 を除き、 $\phi_d$  は 40 度以上を示した。試料 B の尖頭粒度でせん断抵抗角  $\phi_d$  が他のケースよりも小さな値となった理由としては、初期有効拘束圧が高いときに粒子破砕量が多くなり、強度発現が緩やかになったためであると考えられる。しかしながら粘着力を見ると、他のケースより卓越した値となっていることがわかる。したがって、試料 B 尖頭粒度 Case1 についても十分な強度を持つことが予測される。これらの結果より、粒度および試料によって強度定数は異なることが確認された。試料による違いとしては、粒度が異なることから、均等係数に差が生じている。良配合である試料 A (均等係数  $U_c \geq 10$ ) の強度定数の値を見るとわずかながら尖頭粒度の方が上回る結果となった。尖頭粒度において、粒子破砕の影響が小さかったため、粗粒材の接点力によって相似粒度の場合を上回ったと考えられる。したがって、良配合である場合、相似粒度で強度定数を評価することで安全側を見積もれることが示唆される。

貧配合である試料 B の尖頭粒度では、初期有効拘束圧の増加とともに強度発現が緩やかになる結果となった。試料 B におけるそれぞれの粒度の曲率係数を見ると、原粒度が 1.46、相似粒度が 1.16、尖頭粒度が 2.03 となっていることから、尖頭粒度の場合、全体的な粒子寸法を大きく評価することになる。よって、原粒度よりも粒子破砕を多く評価すると考えられる。試料 B では、相似粒度により得られた強度定数を用いることで原粒度に近い評価を行うことができると示唆される。したがって、貧配合である試料については、曲率係数が原粒度に近い粒度を用いることで、強度定数を正しく評価できると考えられる。

4.結論

本研究により得られた知見として以下に記す。

- 1) 実務設計上では粒度調整を行い得られた結果からせん断抵抗角を 5 度程度低下させて評価をしているが、この点を勘案しても、試料 A、B は  $\phi_d > 35^\circ$  となり良質な材料であることを確認した。
- 2) 良配合試料の場合、相似粒度で強度定数を評価することで安全側に見積もれることが示唆された。
- 3) 貧配合試料の場合、曲率係数が原粒度に近い粒度により得られた強度定数を用いることで、原粒度に近い評価を行うことができると示唆された。

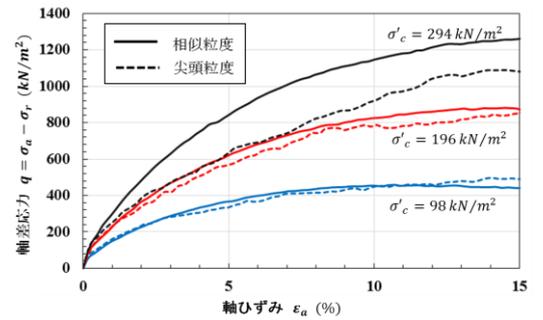


図 3 軸差応力-軸ひずみ (試料 B)

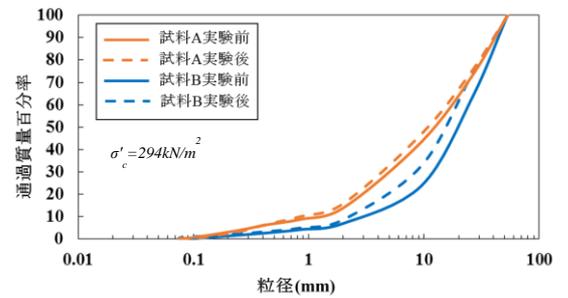


図 4 実験前後での粒径加積曲線 ( $\sigma'_c = 294 \text{ kN/m}^2$ )

表 2 強度定数

実験ケース	$\phi_d$ (°)	$c_d$ (kN/m <sup>2</sup> )
試料A相似Case1	40.3	34.1
試料A相似Case2	43.9	12.4
試料A相似Case3	44.4	29.0
試料A尖頭Case1	42.5	27.4
試料A尖頭Case2	43.9	18.2
試料A尖頭Case3	44.9	27.7
試料B相似Case1	42.2	14.2
試料B尖頭Case1	36.9	55.3
試料B尖頭Case2	40.5	38.4