

母材に着目した破碎応力の粒径との関係性について

九州大学工学部 学 ○中川 雄介

九州大学大学院 F 安福 規之 正 石藏 良平 正 Adel Alowaisy

日本国土開発(株) 正 中島 典昭

1. はじめに

近年、地球温暖化による気候変動により、土砂災害は増加傾向にある。それに伴い、わが国では毎年豪雨に伴う甚大な地盤災害が発生し、土木構造物、特に河川堤防や道路盛土など土工に関係した土構造物の崩壊リスクは、年々高まっている。このため、土工の質を高める上で、良質な土質材料の安定的な確保が極めて重要になってきている。

しかし、安定的に良質な土質材料を確保することは容易ではなく、これまでの実務的な対応としては、様々な種類の建設発生土を混合して使用したり、セメントや生石灰等改良剤を加えたりして、土質材料を改良する方法が検討されて来た。そうした手法の1つとして、本研究で対象とする「回転式破碎・混合試験機 (RCM)®」を用いた方法がある²⁾。現状、この工法における破碎混合後の粒度分布を予測する汎用的な方法は確立されていない。そこで本報では、RCMによる破碎後の粒度分布の予測を可能にするため、破碎後の粒度分布に影響すると考えられている破碎応力とその粒径の関係を調べた。

2. 実験材料と実験方法

2.1. 実験材料とその特色

実験には、写真1に示す茨城県つくば産の硬質砂岩のC40 (C-1, C-2, C-3)と碎石6号(D-1, D-2)を実験に使用した。試料は粒径によって分けており、C40は3つ、碎石6号は2つに分けた。

2.2. 単粒子強度試験装置の概要

単粒子の強度を得るために、単粒子強度試験を行った。単粒子強度試験では、上下2枚の鋼板の間に、ほぼ同じ大きさの3つの粒子を配置して実験が行われる場合もあるが、ここでは、土粒子強度の指標試験として、図1に示すようにより単純な点荷重として鉛直力を負荷することとした¹⁾。個々の土粒子を数多く試験することで、単一粒子の強度を算定する手順が簡略化でき、かつ実験数を増やせることから測定精度が向上することも期待された。載荷速度は0.1 mm/minで行った。

2.3. 回転式破碎・混合試験装置の概要

写真2に示される装置は、回転式破碎混合試験で用いられる「回転式破碎・混合試験機 (RCM)®」である。使用したRCM内には、複数のフレキシブルなチェーンが層建てで装着されている。装置内の上部から落とし込んだ土質材料を回転するチェーンの打撃力で各粒径の土粒子を破碎し、土質材料の粒度を調整できる構造となっている。また、種類の異なる材料を図に示すようなベルトコンベア上に置けば、チャンバー内で粉碎・混合できることもRCMの特色の一つとして挙げられる。そして、過去の実験³⁾によると、RCMによる粒度調整効率は、試料の破碎応力に影響されることが分かっている。

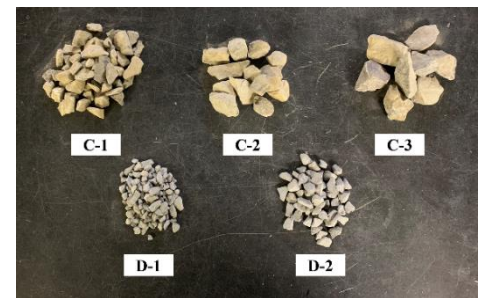


写真1 実験に使用した土質材料

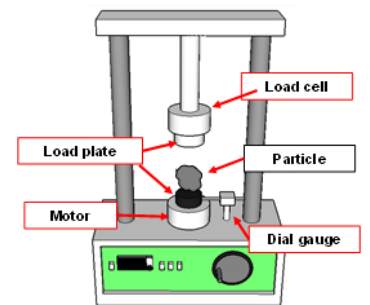


図1 単粒子強度試験装置

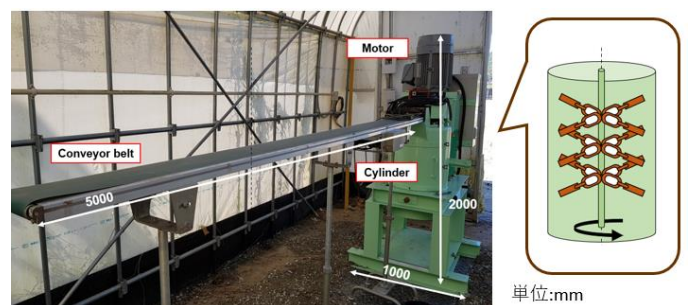


写真2 回転式破碎混合試験装置の概要

3. 実験結果と考察

図 2 は、今回使用した砕石の典型的な単粒子強度試験の結果を示している。F_{max} は土粒子の強さとして定義されたものであり、最大の軸荷重 F_{max} として求めている。表 1 には各砕石に対し、10 回の単粒子強度試験の平均 F_{max} をまとめている。次いで、土粒子の破砕応力 (σ_c) は σ_c=F_{max}/A として計算され、断面積 A は粒子の接合面が複雑であり、その面積を合理的に評価することは難しいと判断されるため、便宜上 A=(D₅₀)² としている³⁾。

ここで得られた破砕応力を D₅₀ に対して対数表示でプロットすると図 3 の結果になった。結果より、粒径が大きくなると破砕応力が線形的に低下することが分かる。したがって、平均粒径の土粒子の破砕応力を粒径に応じて概略推定することができると思う。

4. まとめ

今回新たな母材をもとに単粒子強度試験を行った結果、これまでの行われてきた実験結果と同様、平均粒径と破砕応力の間にはおおむね線形関係が見られた。この線形関係をもとに、平均粒径から破砕応力を概略推定し、RCM による破砕後の試料の粒度分布の予測をしている。

【参考文献】

- 1) Kwag, J. Ochiai, H. and Yasufuku, N. “Yielding stress characteristics of carbonate sand in relation to individual particle fragmentation strength”, Engineering for Calcareous Sediments, Balkema, Rotterdam, AI-Shafei (ed.), ISBN 90 5809 037 X. (1999)
- 2) 安福規之, Adel Alowaisy, 石藏良平, 中島典昭, 「回転式破砕・混合による低品質地盤材料の粒度調整の効率化について」地盤改良シンポジウム p687 (2022.12)
- 3) Kim J “Study on the efficiency of mechanical stabilization for geomaterials based on crushing and mixing method combination” Master course thesis in Kyushu University. (2020.3)

【謝辞】

本研究は、九州大学と日本国土開発(株)との共同研究として実施されたものであり、ご支援いただいた多くの関係者の皆さんに感謝申し上げます。また、実験や解析を進めるにあたり、技術スタッフの中島通夫氏には多大な協力を頂いた。ここに改めて感謝申し上げます次第である。

表 1 実験に使用した砕石の試験前後の基本特性

	C40			砕石6号	
	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2
D ₅₀ (mm)	14.30	22.80	32.00	7.14	14.30
U _c	1.45	1.19	1.20	1.46	1.45
F _{max} (kN)	1.62	4.41	7.58	1.50	2.06
σ _c (MPa)	7.42	8.49	7.40	29.41	10.05

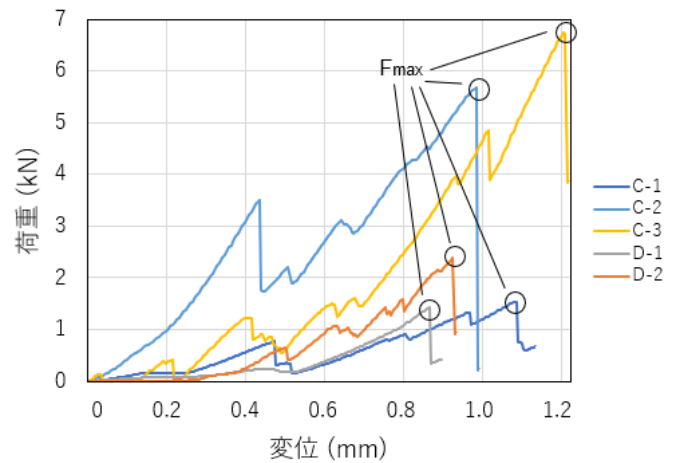


図 2 典型的な単粒子試験結果

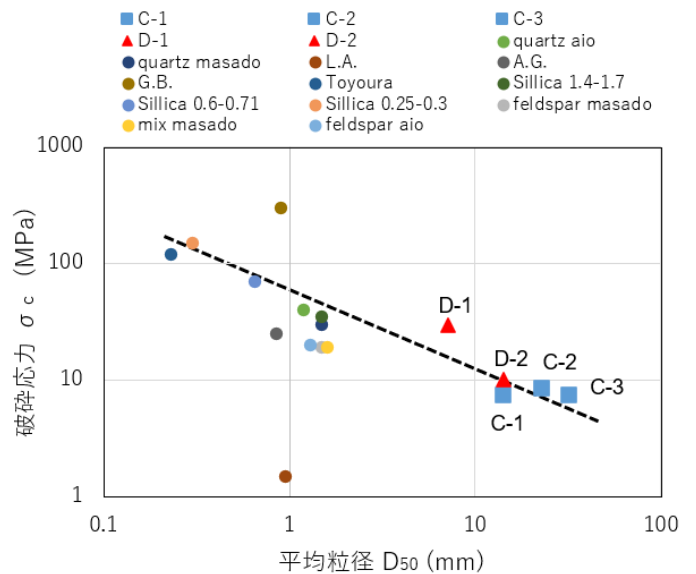


図 3 粒径の異なる各種土質材料の平均粒径 D₅₀ と破砕応力 σ_c の関係