

セメント改良砂の強度・変形特性  
その20 セン断波速度と三軸圧縮強度の関係

Deformation and Strength Characteristics of Cement-Treated Sands  
Part 20. Relationship between Shear Wave Velocity and Triaxial Compressive Strength

○佐々木諒太郎<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>2</sup>, 近藤壮一郎<sup>3</sup>  
Ryoutaro Sasaki<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>2</sup>, Soichiro Kondo<sup>3</sup>

Abstract: The purpose of this study is to obtain the strength and deformation characteristics of cement stabilized sand from the relationship between shear wave velocity and triaxial compressive strength. For this purpose, hollow torsional shear tests and bender element tests were performed using cement-stabilized Kashima sand and Toyoura sand. In this paper, we investigate the relationship between shear wave velocity  $V_s$  and triaxial compressive strength  $q_{max}$  for cement-stabilized sand.

1. はじめに

セメント安定処理地盤の設計や品質管理は一軸圧縮強度  $q_u$  で評価する場合が多い。また安定処理地盤の品質検査方法の一つとして、せん断波速度測定による非破壊検査方法が利用されている<sup>1)</sup>。一方で、筆者らは一軸圧縮強度  $q_u$  を主要なパラメータとする三軸圧縮強度  $q_{max}$  と三軸残留強度  $q_r$  の破壊規準式を提案している<sup>2)</sup>。

本報告では、室内で作製したセメント改良砂を対象として、既往の研究<sup>3)~6)</sup>および本試験結果に基づきせん断波速度  $V_s$  と三軸圧縮強度  $q_{max}$  との関係について検討する。

2. 一軸圧縮強度とせん断波速度の関係

Fig.1 には、既往の研究<sup>3)~6)</sup>と本試験で得られた室内で作製されたセメント改良砂の一軸圧縮強度  $q_u$  とせん断波速度  $V_s$  の関係の試験結果を示した。なお同図中に

示した本試験結果および既往の研究<sup>3)~6)</sup>の配合条件と試験方法をそれぞれ Table1, 2, 3 に示す。

Fig.1 に示した本試験での中空ねじりせん断試験結果によるせん断波速度  $V_s$  は、Table1 に示した配合条件と試験条件により、 $\gamma = \pm 10^{-5}$  の微小ひずみレベルでの繰返し載荷を行って求めた初期せん断弾性係数  $G_{max}$  から式(1)で求めた。また一軸圧縮強度  $q_u$  は、中空ねじりせん断試験と同一材齢で別途一軸圧縮試験を行った。ベンダーエレメント試験 (BE 試験) は、Table2 に示した

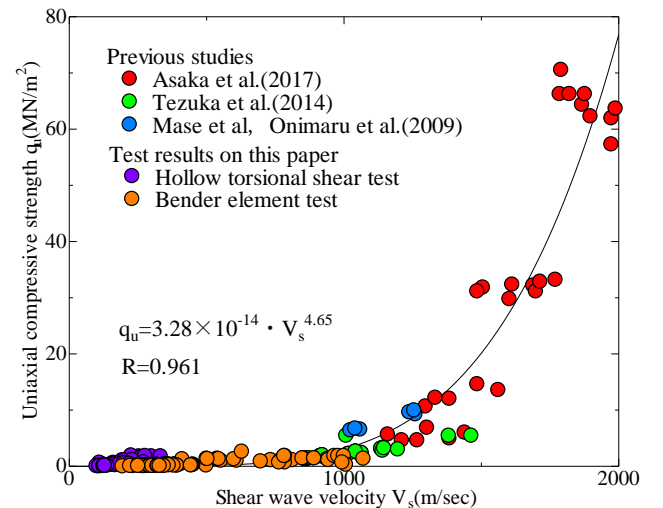


Fig.1. Relationship between uniaxial compressive strength  $q_u$  and shear wave velocity  $V_s$

Table1. Compounding conditions and test conditions for the hollow torsional shear test

Sample	Stabilizer type	Stabilizer amount	Mean effective stress $\sigma'_m$ (kN/m <sup>2</sup> )	Water-to-stabilizer ratio	Anisotropic consolidation stress ratio	Age (days)
		C (kg/m <sup>3</sup> )		W/C (%)		
Kashima sand	Cement-based solidifying material	50,120	43,32,62,85	100	0.4	7~408
Toyoura sand		50,100,120,160		60,80,100		6~7372

Table2. Bender element test formulation and test conditions

Sample	Stabilizer type	Stabilizer amount	Water-to-stabilizer ratio	Age (days)
		C (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	
Toyoura sand	Cement-based solidifying material	50,100,160	80,100	6138~7514

Table3. Formulation conditions and test conditions of previous studies

Sample	Stabilizer type	Stabilizer amount C (kg/m <sup>3</sup> )	Measuring method of shear wave velocity	References
Sandy soil	portland blast-furnace slag cement type B	400~1300	Vendor element test	Asaka et al.(2017)
Sandy soil of the original ground	portland blast-furnace slag cement type B	591	Shock wave velocity test	Tezuka et al.(2014)
Sandy soil including viscous soil of the original ground	portland blast-furnace slag cement type B	200~400	Ultrasonic propagation velocity measurement test	Mase et al.(2009)
Sandy soil including viscous soil of the original ground	portland blast-furnace slag cement type B	200~401	Ultrasonic propagation velocity measurement test	Onimaru et al.(2009)

1 : 日大理工・建築 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

配合条件と試験条件により、文献(8)で提案したせん断波速度測定方法を用いた試験結果である。一軸圧縮試験は、BE 試験後に行った。

$$G_{max} = \rho \cdot V_s^2 \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1)$$

Fig.1 より、室内で作製されたセメント改良砂に対する一軸圧縮強度  $q_u$  とせん断波速度  $V_s$  の関係には、試料の種類、固化材の種類と添加量、材齢に依らない一義的な関係が見て取れる。同図中には、一軸圧縮強度  $q_u$  とせん断波速度  $V_s$  の関係式を実線で併せ示した。

### 3. 三軸圧縮強度の破壊規準

既報 2)では、既往の研究で報告されたセメント安定処理粘土の三軸圧縮強度  $q_{max}$  が提案したべき関数型の破壊規準 (式(2)) に適合することを報告した。また、セメント安定処理地盤の一軸圧縮強度  $q_u$  と安定処理地盤中の応力状態を表す平均有効主応力  $\sigma'_m$  を適切に評価することで、式(2)から三軸圧縮強度  $q_{max}$  が得られることを示している。

三軸圧縮強度に対する規準式：

$$\frac{q_{max} q_{uo}}{\sigma'_{mo} q_u} = \gamma_{TRI} + \alpha_{TRI} \left( \frac{\sigma'_m q_{uo}}{\sigma'_{mo} q_u} \right)^{\beta_{TRI}} \quad (2)$$

ここに、 $q_{uo}$  は基準一軸圧縮強度(=98kN/m<sup>2</sup>)、 $\sigma'_{mo}$  は基準平均有効主応力(=98kN/m<sup>2</sup>)、 $\sigma'_m$  は圧密時の平均有効主応力(kN/m<sup>2</sup>)、 $\alpha_{TRI}$ 、 $\beta_{TRI}$ 、 $\gamma_{TRI}$  は強度定数である。

### 4. 三軸圧縮強度とせん断波速度の関係

本報告では、既往の研究において得られる三軸圧縮試験の試験結果を用いた。

既往の研究の試験結果で得られたせん断波速度  $V_s$  から Fig.1 で一軸圧縮強度を評価して、式(2)から求めた三軸圧縮強度  $q_{max}$  と既往の研究で得られた三軸圧縮試験結果である三軸圧縮強度  $q_{max}$  をそれぞれ比較する。今回既往の研究として、三軸圧縮試験結果が記載されている間瀬<sup>4)</sup>ら、鬼丸<sup>5)</sup>らの試験結果と手塚<sup>6)</sup>らの試験結果を本検討に用いた。手塚<sup>6)</sup>らの試験結果に関しては、非排水試験結果に基づいて破壊線を求め、初期有効拘束圧から排水三軸圧縮強度を推定した値を用いた。

Fig.2 には、三軸圧縮強度  $q_{max}$  の推定値と実験値の比較を示す。同図より、三軸圧縮強度  $q_{max}$  の推定値と実験値は概ね良い対応を示していることがわかる。このことから、セメント安定処理砂の三軸圧縮強度  $q_{max}$  はせん断波速度  $V_s$  から評価できる可能性が示唆された。

### 5. まとめ

セメント安定処理砂の強度・変形特性において、せん断波速度  $V_s$  と三軸圧縮強度  $q_{max}$  との関係について検討するために、中空ねじりせん断試験とベンダーエレ

メント試験を実施した。

本報告をまとめると以下の通りである。

- ①セメント改良砂のせん断波速度  $V_s$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の関係には、試料の種類、固化材の種類と添加量、材齢に依らない一義的な関係が見られた。
- ②せん断波速度  $V_s$  から求めた三軸圧縮強度  $q_{max}$  の推定値は、実験値と概ね良い対応を示した。このことから三軸圧縮強度  $q_{max}$  はせん断波速度  $V_s$  から評価できることが示唆された。
- ③既報 9)で報告されたセメント安定処理粘土における三軸圧縮強度  $q_{max}$  とせん断波速度  $V_s$  の関係と本報告のセメント改良砂における三軸圧縮強度  $q_{max}$  とせん断波速度  $V_s$  の関係から試料の種類に関わらず、三軸圧縮強度  $q_{max}$  はせん断波速度  $V_s$  から評価できることが示唆された。

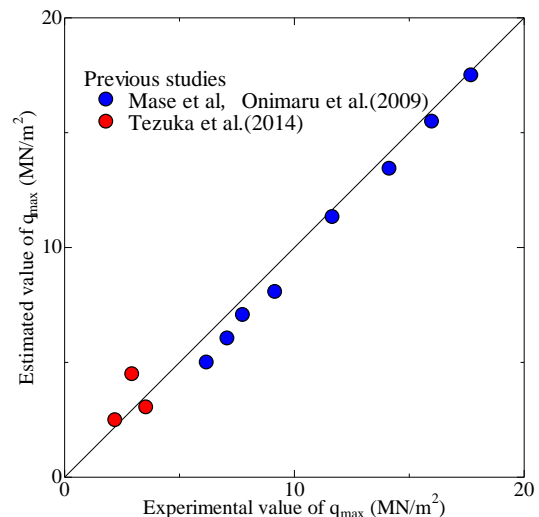


Fig.2.Comparison of estimated and experimental values of triaxial compressive strength  $q_{max}$  【参考文献】

- [1]浅香美治ほか：ベンダーエレメントを用いたせん断波速度測定によるセメント系改良地盤の非破壊検査方法，日本建築学会構造系論文集，第 612 号，pp.103-110，2007。
- [2]山田雅一ほか：セメント安定処理粘土の強度・変形特性—三軸圧縮強度の破壊規準—，日本建築学会大会学術講演会梗概集，pp.677-678，2017。
- [3]浅香美治ほか：高強度ソイルセメントの圧縮強度および弾性波速度に関する実験的検討 その 3：一軸圧縮強さと弾性波速度の関係，第 52 回地盤工学研究発表会，pp.675，2017。
- [4]間瀬辰也ほか：セメント系固化材による粘性土を対象とした高強度改良地盤の力学試験 その 1 試験方法および試験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1105-1106，2009。
- [5]鬼丸貞友ほか：セメント系固化材による粘性土を対象とした高強度改良地盤の力学試験 その 2 力学特性の比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1107-1108，2009。
- [6]手塚広明ほか：高圧噴射攪拌工法によるセメント改良地盤の変形・強度特性の評価手法，土木学会論文集 C，Vol.70，No.2，pp.248-264，2014。
- [7]山田雅一：セメント安定処理砂の力学特性，セメント・コンクリート論文集，Vol.68，pp.529-536，2014。
- [8]山田雅一ほか：セメント安定処理粘土の初期せん断弾性係数の評価，第 12 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.117-122，2016。
- [9]近藤壮一郎ほか：セメント安定処理粘土の強度・変形特性—せん断波速度と三軸圧縮強度の関係—，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.637-638，2019。