

クメール宗教建築の基壇の版築技術に関する研究

—版築土のせん断波速度と一軸圧縮強さの関係—

Study about Rammed Earth Technique on Foundations of Khmer Architecture

—Relationship between shear wave velocity and unconfined compressive strength Rammed Earth—

○柳澤慶伍¹, 山田雅一², 小島陽子³, 名島友基³, 道明裕毅²

*Keigo Yanagisawa¹, Masaichi Yamada², Yoko Kojima³, Tomoki Najima³ Yuki Domyo²

Abstract: In Khmer religious architecture, damage due to subsidence has been serious in recent years, and evaluating the strength of the basement has become an important issue. This study proposes a strength evaluation method using shear wave velocity as a nondestructive test applicable to historic sites.

1. はじめに

9世紀から13世紀ごろ、東南アジア地域に建造された寺院建築であるクメール宗教建築では、近年、基壇の沈下による被害が深刻となっている¹⁾。修復や保全にあたり基壇の強度変形特性の把握は必須であるが、史跡に損傷を与えないよう、非破壊試験をもとに強度変形特性を評価しなければならない。

史跡に対する地盤の強度特性の評価手法として、澤田ら²⁾により、針貫入試験から推定した一軸圧縮強さをを用いた遺構保全のためのワークフローが提案されている。本研究では、より広範囲で測定可能な物性値であるせん断波速度Vsに着目し、せん断波速度Vsと一軸圧縮強さquの関係から、基壇の強度評価を試みる。本報では、原地盤を再現していくつかの異なる細粒分含有率・含水比の条件で基壇の版築土を模擬した供試体を作製し、これらのせん断波速度と一軸圧縮強さを測定した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

本報告では、日本国政府アンコール遺跡救済チーム(JSA)による『プラサート・スープラ塔修復工事報告書』³⁾から、N1塔の版築土の特性を読み取り、試料の調製を行った。粘土はベトナム産ラテライト粘土、砂は、三河産珪砂、および混合砂(山砂:石灰砕砂=60:40)を使用し、細粒分含有率Fcが10%、20%、30%となるよう

3種類の試料を調整した。各試料の物性値について、Table.1にまとめる。

2.2 供試体の作製

供試体の作製にあたり、JCASL-01「セメント系固化材による改良体の強さ試験方法」に準拠し、質量1.5kgのランマー、φ50×100mmの鋼製モールドを使用した。最適含水比まで加水調整した試料を4層に分けモールドへ投入し、20cmの高さからランマーを自由落下させ、各層を12回突き固めた。各層の上面にソイルナイフで刻みを付し、上の層に馴染みやすくした。なお、4層目の突き固め面は刻み付けをせず、平らに均した後脱型する。

養生方法により供試体の含水比を変化させ、①脱型した直後の供試体、②含水比を5%に調整した供試体、③含水比を0%に調整した供試体、④相対湿度65%の室内で質量一定になるまで気中養生した供試体、⑤同様に相対湿度35%の室内で気中養生した供試体、の5種について試験を行った。

2.3 試験方法

一軸圧縮試験は、JISA1216「土の一軸圧縮試験方法」に準拠して行った。BE試験は、文献⁴⁾で提案されているせん断波速度測定法を用いて実施した。BE試験は、試験結果の精度向上のため、一つの供試体に対し2回せん断波速度測定を行い、その平均値を試験結果とした。

3. 試験結果

3.1 一軸圧縮強さquとせん断波速度Vsの関係

Fig.1は、本試験結果から得られた一軸圧縮強さquとせん断波速度Vsの関係について、細粒分含有率ごとに整理したグラフである。試験結果から、既往の文献⁵⁾をもとに(1)式で表される近似曲線を、各グラフに実線で表した。

$$q_u = A \cdot V_s^B \quad (1)$$

Table.1 Physical properties of materials

sample	soil particle density (g/cm ³)	dry density (g/cm ³)	optimum moisture content (%)
Fc=10%	2.733	1.88	11.3
Fc=20%	2.666	1.76	11.5
Fc=30%	2.758	1.99	10.6

1：日大理工・院(前)・建築 2：日大理工・教員・建築 3：浅野工学専門学校・教員

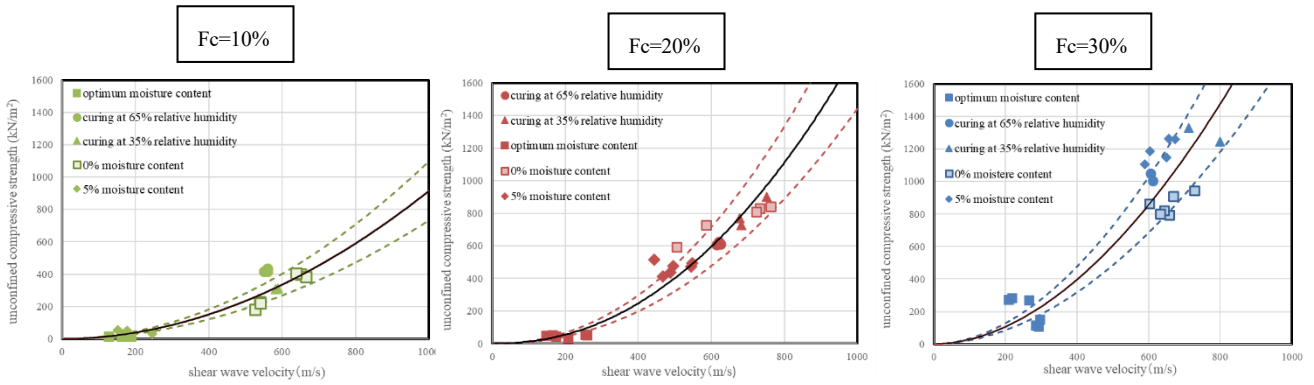


Fig.1 Relationship between shear wave velocity and unconfined compressive strength

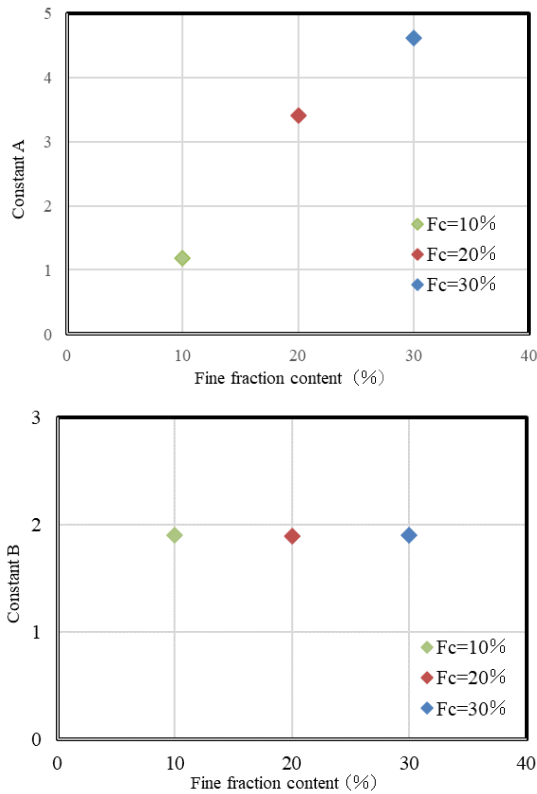


Fig.2 Relationship between fine fraction content and each constant

ここで、A と B は試料ごとに定まる定数を示す。また、近似曲線から±20%の範囲を破線で表した。いずれの細粒分含有率の試験結果についても、せん断波速度の増加とともに一軸圧縮強さも大きくなる傾向が表れた。近似曲線とも良好な関係を示しており、せん断波速度 V_s から一軸圧縮強さ q_u の推定が可能であると考えられる。細粒分含有率ごとに比較すると、せん断波速度が同程度の供試体であっても、細粒分含有率の大きい試料のほうが一軸圧縮強度も大きくなるのがわかる。

このことから、細粒分含有率の値がせん断波速度と一軸圧縮強さの関係に影響を与えられられる。また、供試体の含水比によらず、一軸圧縮強さ q_u がせん

断波速度 V_s の累乗的に変化する結果がみられた。せん断波速度 V_s と一軸圧縮強さ q_u の関係は含水比によらず評価されると考えられる。

3.2 細粒分含有率 F_c と評価式の定数の関係

Fig.1 で示した3種類の近似曲線について、細粒分含有率と各定数の関係を Fig.2 に示した。定数 B については、細粒分含有率によらず、2.0 程度でほとんど一定の値を示した。一方で、定数 A は、細粒分含有率の増加につれて定数の値も大きくなる線形に近い傾向が表れ、対象地盤の細粒分含有率 F_c から評価式の定数を導ける可能性が示唆される。

4. まとめ

本報で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- ① 版築土を模擬した供試体に対する試験の結果、せん断波速度 V_s と一軸圧縮強さ q_u に相関がみられた。
- ② 細粒分含有率・含水比ごとに比較した結果、細粒分含有率 F_c による一軸圧縮強さ q_u とせん断波速度 V_s の関係の違いが大きく見られた。また、含水比による影響は小さいことが判明した。
- ③ 細粒分含有率 F_c により評価式の定数を導ける可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 内田悦生：アンコール遺跡の石材と非破壊調査，物理探査第60巻第3号，pp. 223-234，2007
- 2) 澤田茉伊：地盤工学に基づく歴史的な地盤構造物の修復と整備に関する研究，京都大学大学院工学研究科博士論文，2016
- 3) 日本国政府アンコール遺跡救済チーム：プラサート・スーブラ塔修復工事報告書，財団法人日本国際協力センター，2005
- 4) 山田雅一ほか：セメント安定処理土の初期せん断剛性の評価，第12回地盤改良シンポジウム論文集，pp. 117-122，2016
- 5) 矢田部瑛平ほか：セメント安定処理土の三軸圧縮強度とせん断波速度の関係，第14回地盤改良シンポジウム論文集，2020