

クメール宗教建築の基壇の版築技術に関する研究
 ー針貫入試験を用いた版築土の強度評価ー

Study about Rammed Earth Technique on Foundations of Khmer Architecture
 - Strength Evaluation of Rammed Earth using Needle Penetration Test -

○中村萌¹, 齋藤隆明¹, 山田雅一², 小島陽子³, 名島友基³, 道明裕毅², 柳澤慶伍⁴

*Moe Nakamura¹, Takaaki Saito¹, Masaichi Yamada², Yoko Kojima³, Tomoki Najima³, Yuki Domyo², Keigo Yanagisawa⁴

Abstract: For restoration and prevent collapse of Khmer religious constructions, it's necessary to evaluate engineering properties of rammed earth. In this paper, we use the needle penetration test to evaluate the strength of rammed earth and derive an equation to determine the unconfined compressive strength.

1. はじめに

カンボジアを中心に分布するクメール宗教建築は、土を突き固めた版築を石やレンガで被覆した基壇を有する。これらの遺構の中には、基壇沈下により上部構造が大きく変位し、倒壊の恐れがあるものも多い¹⁾。

修復や崩壊防止のためには、工学的性質の評価が不可欠である。一般的な調査方法は、ボーリングとSPT、平板載荷試験などであるが、クメール宗教建築は文化遺産であるため、これらの破壊を伴う調査は制限される。そこで、調査時に大きな損傷を与えず、物性値の連続的な分布を把握できることから、遺構で適用される針貫入試験^{2),3)}を用いることとした。

また、既往の研究⁴⁾で、針貫入勾配 N_p から一軸圧縮強さ q_u を求める評価式が提案されていることから、針貫入試験を用いた強度評価が可能であるとわかる。

本研究では、地盤工学に基づき、版築土の物理的・力学的性質を明らかにすることを目的とする。

その第1報として、本稿では現地の版築土を用いた試験の前段階として、修復工事報告書⁵⁾から判明した版築土を模擬した試料を用いて室内試験を行った。その試験結果より、版築土における針貫入勾配 N_p から一軸圧縮強さ q_u を求める評価式を導くとともに、原地盤を想定し、異なる細粒分含有率と含水比が針貫入勾配に及ぼす影響について検討を行う。

2. 試験概要

2.1 使用材料

本試験で用いた試料は、ベトナム産ラテライト粘土、三河産珪砂、および混合砂(山砂:石灰砕砂=60:40)である。粘土に砂を加え、上述した修復工事報告書⁵⁾から判明した版築土の粒度分布を模擬した土(以下、細粒分含有率 $F_c=20\%$)、模擬した土よりも粘土分が多い土(以

下、 $F_c=30\%$)、および粘土分が少ない土(以下、 $F_c=10\%$)の3種類の調整土を用意した。各調整土の物理的性質をTable 1に示す。

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

2.2 供試体の作製

型枠はφ50×100mmの銅製型枠を使用し、ランマーはJCAS L-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のものを使用した。

試料を、Table 1に示す最適含水比となるよう加水調整を行った後、ほぼ等しい量で4回に分けて投入する。各層とも試料の表面を軽く水平に均した後、ランマーを20cmの高さから自由落下させた。突き固め回数は各層12回とし、各層の上面にはへらで刻みを付し、その上の層と良く馴染むようにした。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。

成形した供試体は直ちに脱型し、含水比が約0%、5%、10%(作製時)となるようそれぞれ静置し恒量にした。

2.3 試験方法

本稿では、机上型針貫入試験後に同一供試体で一軸圧縮試験を行い、一軸圧縮強さ q_u を測定した。

机上型針貫入試験はJGS 3431に、一軸圧縮試験はJIS A1216に準拠して行った。机上型針貫入試験では、多点測定(25点)を行い、試験精度の向上と供試体のばらつきを定量化する。

針貫入箇所を決定するにあたり、貫入方向の異方性を確認した。Figure 1に異方性確認試験より得られた結果を示す。各供試体において、上下端と側面の針貫入

1: 日大理工・学部・建築 2: 日大理工・教員・建築 3: 浅野工学専門学校・教員 4: 日大理工・院(前)・建築

勾配で大きな差がみられないことから、異方性はないと考えられる。よって、本試験では側面に 90°ごと(1列のみ7点)に合計25点貫入した。

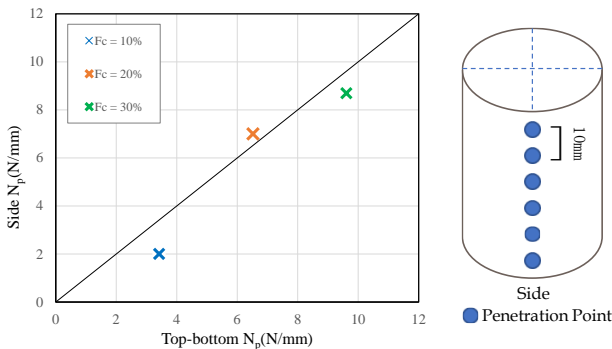


Figure 1. Relation of N_p from the side and the top-bottom and needle penetration of specimen

3. 試験結果

3.1 細粒分含有率と針貫入勾配の関係

Figure 2 に本試験で得られた細粒分含有率と針貫入勾配の関係を示す。細粒分含有率が高くなると、針貫入勾配も高くなる傾向がみられた。含水比 10%では相関が弱い、含水比 0%においては相関が強い。また、同じ細粒分含有率において、針貫入勾配の大きさは含水比 0%, 5%, 10%と小さくなることから、針貫入勾配は含水比にも依存すると考えられる。

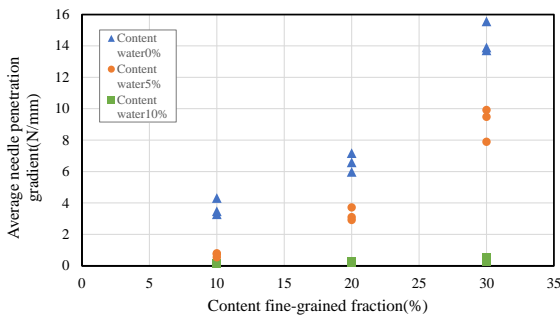


Figure 2. Relation of content fine-grained fraction and avg. needle penetration gradient

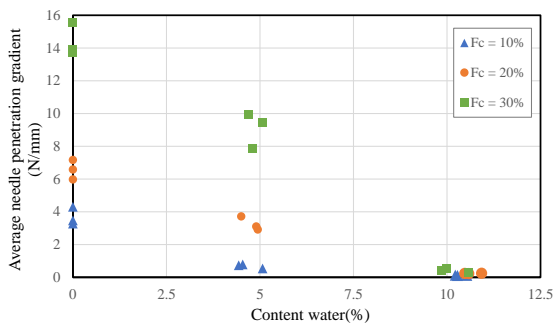


Figure 3. Relation of water content and avg. needle penetration gradient

3.2 含水比と針貫入勾配の関係

Figure 3 に本試験で得られた含水比と針貫入勾配の関係を示す。含水比が高くなると、針貫入勾配は低く

なる傾向がみられた。細粒分含有率 $F_c=30\%$ 、含水比 0% のとき針貫入勾配は最も高くなった。また、細粒分含有率に関わらず含水比が 10% 前後になると、針貫入勾配は極端に低くなり、この傾向は細粒分含有率が高いものほど認められた。

3.3 針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係

Figure 4 に本試験で得られた針貫入勾配 N_p と一軸圧縮強さ q_u の関係を示す。両者の相関が強いことから、針貫入勾配 N_p より一軸圧縮強さ q_u を推定することが可能であることがわかる。Figure 4 の黒色の実線は、本試験結果を用いて導いた評価式(式[1])である。

$$q_{u-N} = 87 (N_{p-ave}) + 47 \quad [1]$$

ここに、 q_{u-N} : 推定一軸圧縮強さ(kN/m²), N_{p-ave} : 25点の平均針貫入勾配(N/mm)である。

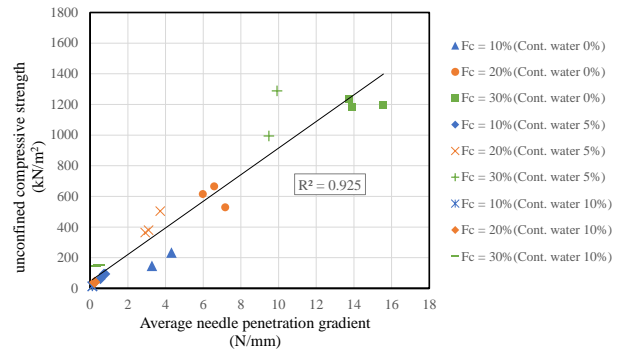


Figure 4. Relation of avg. needle penetration gradient and unconfined compressive strength

4. まとめ

本稿では、版築土における針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係、および異なる細粒分含有率と含水比が針貫入勾配に及ぼす影響について検討した。

試験結果より評価式を導いたが、既往の研究⁴⁾では説明変数として N_{p-ave} と変動係数 N_{p-cov} を用いることで、ばらつきを補正し汎用性が高い評価式を提案している。今後は、データの蓄積を図るとともに変動係数 N_{p-cov} を取り入れた評価式について検討を行う。

参考文献

- 1) 中川武：アンコール遺跡の防災と国際貢献(文化遺産を自然災害から守るために)、自然災害科学, Vol. 28, No. 1, pp. 42-46, 2009.
- 2) 三村衛ほか：史跡 足飯大塚古墳墳丘の復元と整備に関する地盤工学的検討, 地盤工学ジャーナル, Vol. 6, No. 2, pp. 141-155, 2010.
- 3) 澤田菜伊：地盤工学に基づく歴史的地盤構造物の修復と保存に関する研究, 京都大学大学院工学研究科博士論文, pp. 13-22, 2016.
- 4) 小林真貴子ほか：机上型装置を用いた針貫入抵抗の多点測定による一軸圧縮強さの換算推定とその検証, 第14回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 201-204, 2020.
- 5) 日本国政府アンコール遺跡救済チーム：プラサート・スープラ塔修復工事報告書, 財団法人日本国際協力センター, 2005.