

伝統的な版築壁の材料特性

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 ○荒木 裕行
 東京大学生産技術研究所 正会員 古関 潤一
 複合技術研究所 正会員 佐藤 剛司

1. はじめに

砂や粘土等突き固めることによって土壁等の構造物を築造する版築工法は、古来より世界中で使用されてきた伝統的な建築技法の一つである¹⁾。我が国においては、社寺等における築地塀として版築工法を用いた土壁をしばしば見ることができ、文化財として保護されている土壁も数多い。また、近年では版築壁が耐熱・湿度調整機能を有している点²⁾や、版築壁の作製は環境負荷が小さい点³⁾、一般的に自然素材を用いる点などから、建築部材として版築壁を用いる動きも見受けられる⁴⁾。しかしながら、版築壁の力学的な性質に関しては未だ十分に明らかになってはいない。さらに、歴史遺産として現存している版築壁の維持・管理に関しては経験的知見に基づいて実施されることが多く、工学的なアプローチがなされることは稀である。本研究では法隆寺に現存する版築壁を対象に、その版築材料の物理特性、締固め特性および一軸圧縮強度の検討を行った。

2. 試験材料

本研究で対象としたのは、2006～2009年に改修された法隆寺西院大垣東面である。改修工事では、旧版築壁を解体・粉砕した後に10mmふるいにかけた古土と、新たに準備した補足土とを混合し、経験的手法を用いて新たな版築壁が築造された⁵⁾。本研究では、この古土($\rho_s = 2.64 \text{ g/cm}^3$)と補足土($\rho_s = 2.66 \text{ g/cm}^3$)を使用した。両土試料の配合比は、改修手法⁵⁾を参考に乾燥質量比で古土を65%、補足土を35%と決定した。この配合比で混合した試料を配合土として用い、実際の改修と同様に石灰などの改良材は用いないものとした。

両材料および推奨されている最適粒度¹⁾の粒径加積曲線を図-1に示す。古土は粘土分が25.0%、シルト分が23.4%、砂分が47.2%、礫分が4.4%であり、比較的幅広い粒度分布を示す。なお、粒径425 μm 未満の液性限界 w_L は28.8%、塑性指数 I_p は9.1%であった。一方で、補足土は砂分が大半(72%)を占める。一般的に版築工法には粒径幅が広い土が適しているといわれているが、配合土は細粒分の多い古土に補足土を加えて砂分の増加を図ることで、より最適粒度に近づけられていることがわかる。

3. 締固め試験

古土および配合土を用いて締固め試験を実施した。試験法はC-b法とし、締固めエネルギーは 2700 kJ/m^3 (Modified proctor test相当)を用いた。試験結果を図-2に示す。配合土は古土よりも砂分が増加したことで ρ_{dmax} の増加と w_{opt} の低下が見られるが、両試料の差異はあまり明確ではない。改修工事では乾燥した配合土に対して容積比で5～9%の水が適宜加えられ、作製された版築壁の乾燥密度は $1.95 \sim 2.07 \text{ g/cm}^3$ であった⁵⁾が、これらの値は配合土の締固め特性曲線の w_{opt} および ρ_{dmax} と概ね一致する。つまり、経験的知見に基づく版築技法は、工学的にも概ね最適な状態で締固めを行う

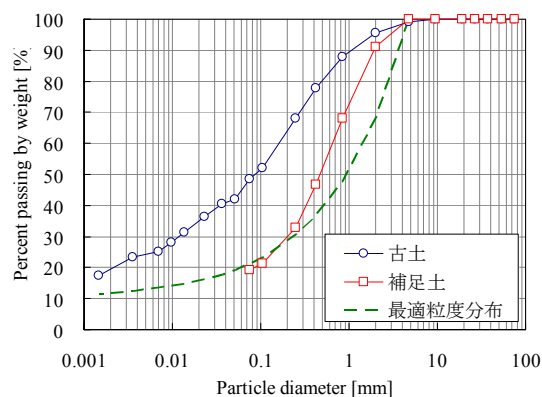


図-1 版築材料の粒度分布

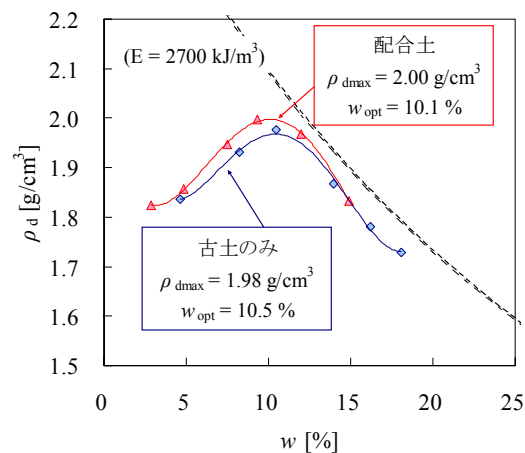


図-2 締固め特性曲線

キーワード 版築工法, 一軸圧縮強さ, 土壁, 締固め

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所 基礎地盤工学研究室 TEL 03-5452-6421

手法であるといえる。

4. 一軸圧縮試験

配合土を用いて版築工法を模擬した供試体を作製し、一軸圧縮試験を実施した。供試体は直径 50 mm、高さ 100 mm の寸法であり、最適含水比に調整した配合土を 10 層に分け、各層におけるエネルギーの合計が 2700 kJ/m^3 となるよう突固めた後、室温で気中養生を行った。養生期間は 7 日、14 日、28 日、56 日である。载荷速度は $1 \text{ \%}/\text{min}$ とし、軸変位は外部変位計によって測定した。また、供試体の上下端面は石膏を用いてキャッピングを行った。

試験結果を図-3 から図-5 に示す。一軸圧縮強度は養生日数が増すにつれて徐々に増加しており、56 日時点でも未だ増加傾向にある。建築部材として版築壁を使用する場合、一般的な版築土の圧縮強度を $1.96 \sim 4.90 \text{ MPa}$ (DIN 18954) として考慮する事例¹⁾に鑑みれば、配合土は概ね一般的な強度であるといえる。

本試料には改良材を混合していないことから、養生期間の増加に伴う強度上昇は、含水比の低下に伴うサクシヨンの上昇に起因しているとみられる。例えば、同様の手順で作製した石灰改良土の試験結果⁶⁾と比較すると(図-6)、7 日強度はほぼ同等であるが、配合土の強度の増加率は小さく、56 日強度で比較すれば配合土の強度は石灰改良土の強度の半分程度となる。

5. まとめ

法隆寺に現存する版築壁を対象に、その材料物性および築造手法の検討を行った。その結果、経験的手法による版築技法によって作製された版築壁は、工学的にも概ね最適な締固めが行われていることが明らかとなった。また、版築土の圧縮強度は 2 MPa 程度であり、含水比の低下に伴う強度の上昇が確認できた。

謝辞：旧築土(古土試料)を使用するに当たっては、法隆寺に格別の配慮を戴いた。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献：1) Minke G.: *Building with earth*, Birkhauser Publishers for Architecture, 2006. 2) Hall M. R.: Assessing the environmental performance of established reamed earth walls using a climatic simulation chamber, *Building and environment* 42, pp.139-145, 2007. 3) Morel et al.: Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction, *Building and Environment* 36, pp.1119-1126, 2001. 4) マテリアルデザイン 2008 (特集 土と石の新たな性能), ディテール 3 月号別冊, 彰国社, 2008. 5) 奈良県教育委員会事務局文化財保存事務所編: 重要文化財法隆寺西院大垣東面(東大門北方)修理工事報告書, 2009. 6) 古関潤一, リジナ, 佐藤剛司: 石灰添加量と含水比を変化させた石灰混合土の一軸圧縮試験, 生産研究 61(6), pp.109-112, 2009.

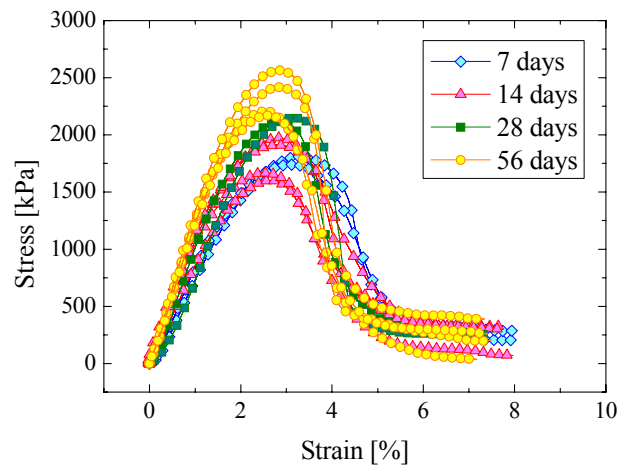


図-3 応力ひずみ関係

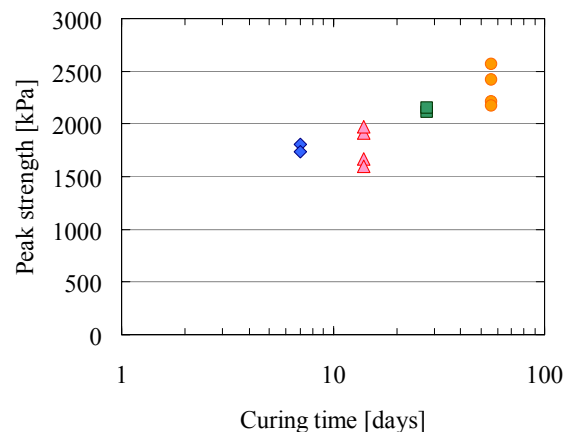


図-4 ピーク強度と養生期間の関係

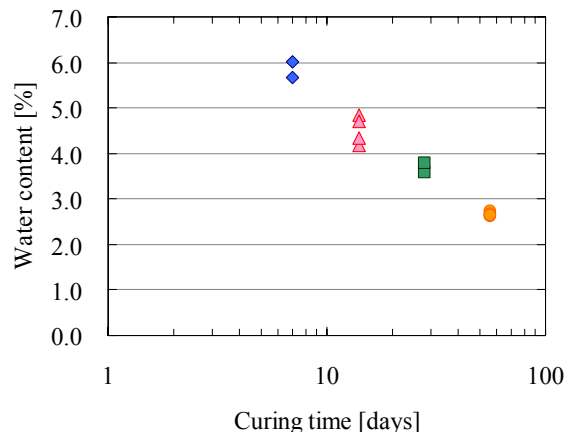


図-5 含水比と養生期間の関係

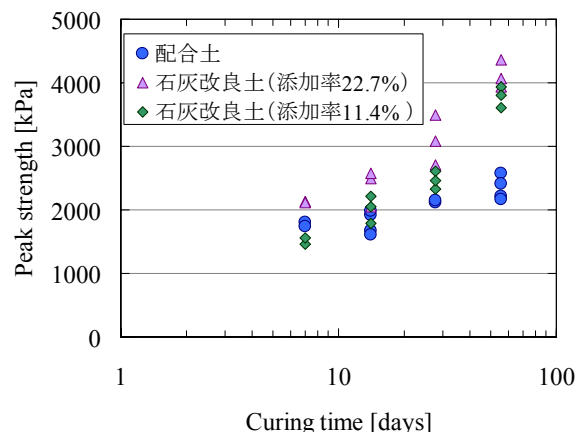


図-6 配合土と石灰改良土⁶⁾の強度変化