

版築の築造と室内外の環境温度測定結果

日大生産工(院)
日大生産工

○室井 英孝
川村 政史

1. まえがき

本論文は筆者らが以前より提案している土の表乾状態から最適含水比を推定し、水量を管理しながら版築の小屋を築造した経過報告並びにその版築小屋の内部空間および外部の環境温度を測定した結果について報告する。

2. 土の表乾状態と最適含水比との概念

土の含水状態をコンクリート工学における骨材の含水状態と同様に分類できるものとし、絶乾状態、気乾状態、表乾状態までの水を吸水、表乾状態を越え湿潤状態の水(土粒子表面と粒子間に存在する水)を自由水とした。吸水(表乾状態)と自由水との境界は、湿潤土を一定乾燥条件の下で乾燥させ、自由水を取り除くことによって判定できるものとした。従って、拘束水と自由水との境界(遠心分離によって得られる)と筆者らが区分した吸水(表乾状態)と自由水との境界は異なり、図-1に示すように表乾状態の含水比は最適含水比における(自由水+拘束水)から吸水を差し引いた分だけ小さくなる。

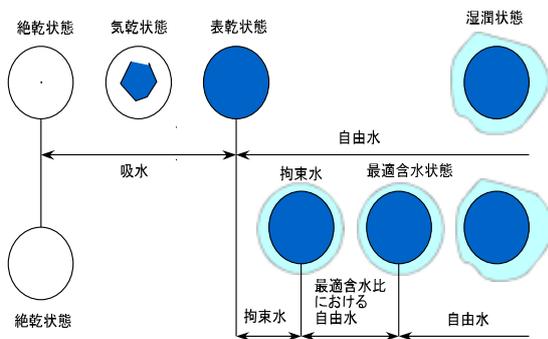


図-1 土の含水状態の模式図

3. 実験方法

3.1 使用土

土の粒径加積曲線を図-2に示した。このうち⑪で示す○印が版築工法に用いた土である。

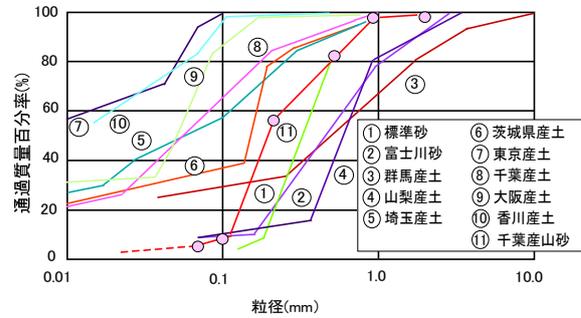


図-2 粒径加積曲線

3.2 土の表乾状態を求めるための試験法(乾燥加速度法)

土の表乾状態を求めるための試験法は筆者らが提案する乾燥加速度法による。この試験方法は直径6cm、厚さ5mmの時計皿に表面を平らに均した土試料を盛り、温度40℃、相対湿度40%の恒温恒湿容器内で乾燥させながら等時間間隔で恒量になるまで質量変化を測定し、その結果から、乾燥加速度が正から負の加速度に変わる特異点における含水比を土の表乾状態の含水比とする試験方法である。測定時間間隔は砂が10分間隔、粘性土は適宜30~60分間隔とし、飽和状態から恒量になるまで乾燥させながらその質量変化を記録した。図-3は版築工法に使用した千葉県産の山砂の場合を一例として示した。

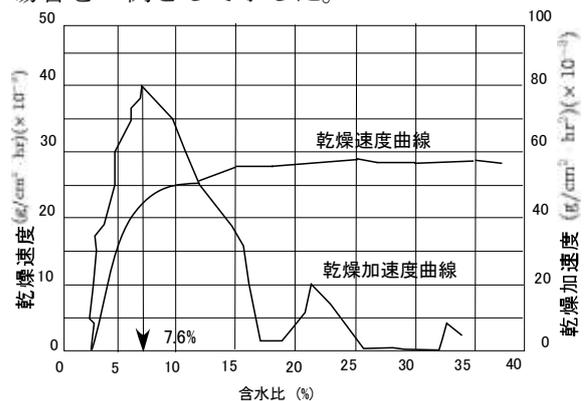


図-3 乾燥加速度法試験結果の一例

3.3 最適含水比の試験

JIS A 1210:1999「突固めによる土の試験方法」に準拠して試験した。モールドはφ1000×h1000で、ランマーは2.5kgのものを使用した。

4 版築工法

4.1 計画

図-5に今回計画した版築の平面図および図-6にE-E断面図を示した。この版築は壁の厚さを350mmとし、軒高は南側が2500mm、北側が2400mmの片流れの屋根を有している。屋根の材料はアクリル製のもので葺いてある。

4.2 使用土、使用固化材

土は千葉県産の山砂を使用した。図-2の粒径加積曲線で示すように砂分が90%以上である。物理定数は密度：2.604 g/cm³、自然含水比：25.1%、最適含水比：25.7%であった。このような自然含水比と最適含水比がほぼ同じなのはまれであるために若干の水を加えれば良いと言う結果になった。

固化材には市販の消石灰（密度：2.179 g/cm³）を使用した。版築工法に使用した山砂の絶乾状態における質量を基準とし、0から35（%）まで5%間隔で消石灰を混入した供試体を作製し、材齢3、7、28日で一軸圧縮試験を行って、消石灰の最適な混入量を決定した。

4.3 型枠、締固め道具、築造方法

型枠はコンクリート打込みで使用する一面に塗料を塗布した合板を用いた。外側は一枚の合板で建ち上げ、内側には分割した合板を高さ方向に順々に積み上げる方法で行った。締固め道具は質量6.68kg、底面積（15×15cm）225cm²の木製（樫）の「タコ」および木槌を用いて突固めた。突固めの回数は特に決めず締固めた後、親指・中指による指圧の感覚によって硬さの状況を把握した。水量の管理は型枠一枚分（高さ45cm）を突固める毎に含水比を電子レンジ（測定：500W、3分間で2回の乾燥で恒量になることを予め実験した）を用いて測定し、最適含水比になるように加水量を調整した。

4.4 室内外の環境温度測定

版築建設後、熱電対を用いて室内外の温度測定を行った。測定位置を図-5および図-6に1～13の番号で示した。1はアクリルで葺いた屋根面とした。室内の空間に取り付けた2～5は上部から約500mm間隔とした。室内側の壁7、9、11、13と外側壁の表面の6、8、10、12における温度は東西南北の各方位に設置した。

測定は熱電対-UCAM-PCにより自動測定した。測定時間間隔は5分とした。外気温度は現地より約6kmの位置にある気象庁船橋支所で記録された10分間隔の温度を使用した。測定時期は2009年8月上旬～10月中旬のものである。

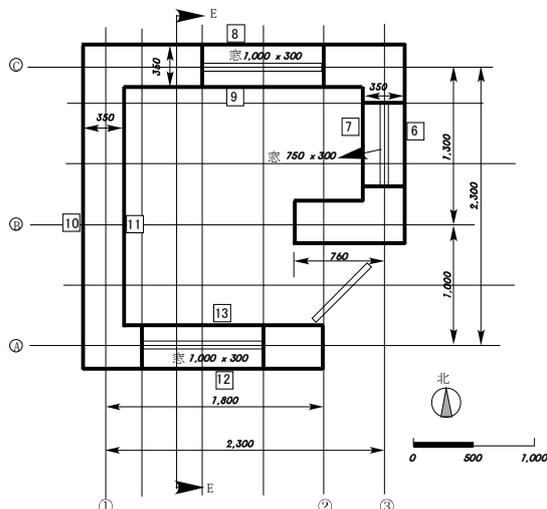


図-5 平面図と熱電対設置位置

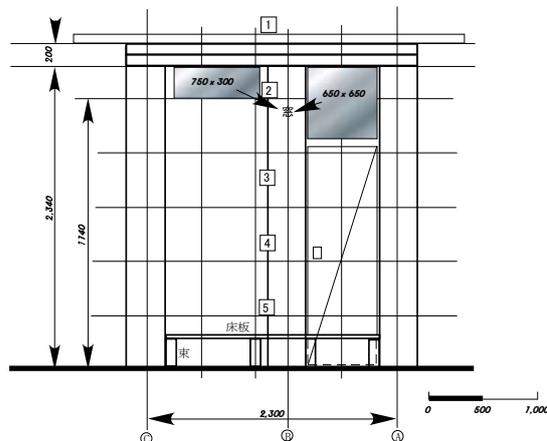


図-6 E-E断面図と熱電対設置位置

5 結果と考察

5.1 乾燥加速度法による土の表乾状態の含水比

表乾状態の含水比は図-2に千葉県産の山砂を一例で示したように、乾燥加速度曲線においてピークを示す点における含水比とした。

5.2 土の表乾状態と最適含水比との関係

図-4は各土に対して乾燥加速度法により求めた表乾状態の含水比と最適含水比との関係を示した。これらの関係は(1)式で示される。相関係数は0.947であった。

$$W_{opt} = 2.7 W_{ssd} + 5.2 \dots (1)$$

従って、最適含水比を決定する方法として、上記のように土の表乾状態を求め、式(1)により推定することが可能であることが分かる。

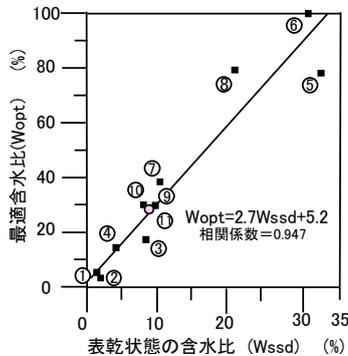


図-4 表乾状態の含水比と最適含水比との関係

5.3 版築工事に使用した消石灰添加量と一軸圧縮強度との関係

図-7は消石灰添加量と（千葉県産の山砂+消石灰）混合土の一軸圧縮強度との関係を示したものである。図より消石灰の添加量は山砂の絶乾状態の質量の15%を添加量とした。

また、消石灰添加量と密度との関係では添加量が多くなるにつれて密度が低下しており、更に材齢が大きくなるにつれて小さくなった。

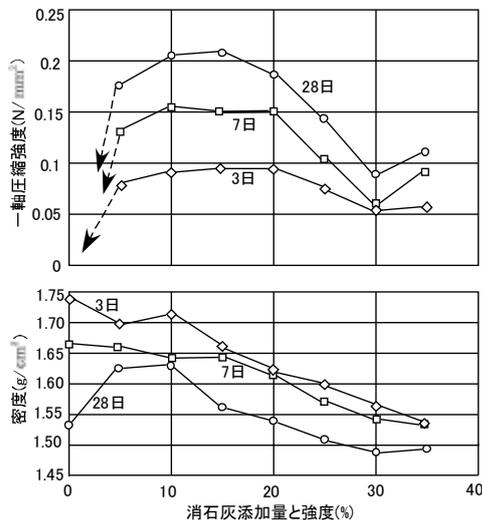


図-7 消石灰添加量と一軸圧縮、強度

5.4 版築による建造物

版築工法及び建造した建造物を写真1～3に示した。本学津田沼校舎旧12号館跡地に建っている。築造後1年経過し、その間風雨に遭遇することがあったが外見上特にこれといった変化は見られない。



写真1 土と消石灰の攪拌状況



写真2 タコによる突固め状況



写真3 版築工法による小屋

5.5 版築内部・外部の環境温度測定結果

図-8、図-9に版築内部・外部の環境温度測定結果を示した。図-8は2009年8月29日～30日における昼間の外気温度が32.5度と翌日の外気温が23.5度の場合の室内および壁の内側、外側の温度測定の結果である。図-9は10月8日～9日における結果である。すなわち、10月8日は台風18号が日本列島を縦断した時の関東における温度であり、10月9日は台風が通り過ぎた後の晴天になった日のものである。ただしこの日(9日)は風が強く昼間でも外気温が25度に満たなかった。

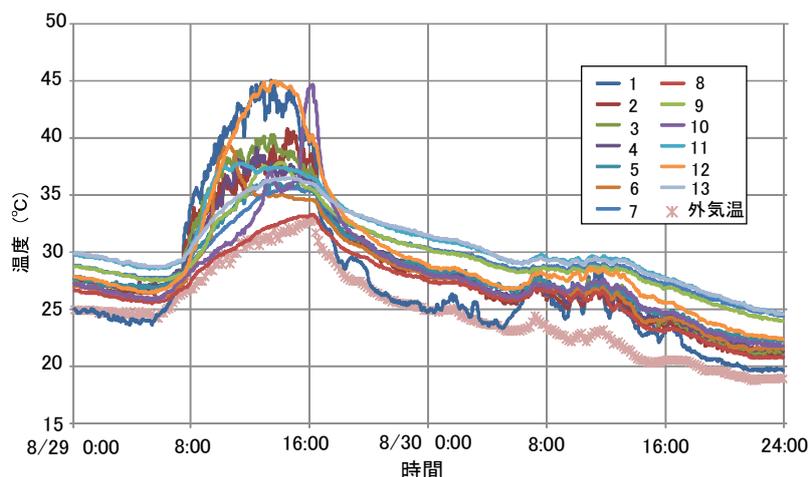


図-8 環境温度測定結果（2009年8月29日（晴れ）～8月29日（曇り））

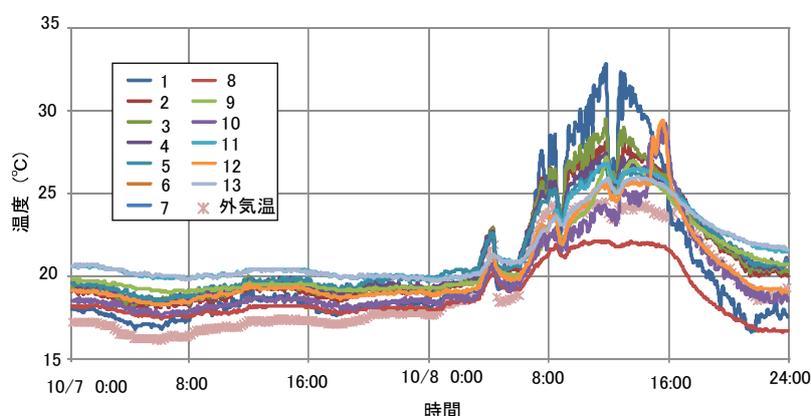


図-9 環境温度測定結果（2009年10月8日（雨）～10月9日（晴れ））

測定箇所・時間帯の変化による室内外の温度変化は、図-8より外気温が高い場合は室内は室外より気温が低く、外気温が低い場合は室外に比し室内の方が温度は高くなる傾向が見られる。

また、天気の良い悪しによる室内外の温度変化は、図-8および図-9より天気の良い場合は外気温の時間経過による上昇に伴って各測定点の位置で室内温度に差異があるものの上昇しているのが分かる。一方、天気の悪い場合は外気温の時間経過とともに室内の測定点の位置で大きな差異は見られなかった。

これらのことから、版築構造物は屋根については屋根材料、壁の外側については、外気温、太陽の向きに大きく影響されるが内部空間ではそれらの影響は少ないと思われる。

6. まとめ

以上より本実験の範囲内で次のようにまとめられる。

(1) 土の表乾状態から最適含水比を推定し、その含水比を基にして、水量を調整して版築

による建物を築造することが出来る。

(2) 版築に使用する消石灰は使用土の絶乾状態の質量の 15%の添加量程度が強度を確保できる。

(3) 版築工法によって築造してから4ヶ月経過し、その間風雨に遭遇することがあったが外見上特にこれといった変化は見られない。

(4) 版築構造物は屋根については屋根材料、壁の外側については、外気温、太陽向きに大きく影響されるが内部空間ではそれらの影響は少ないと思われる。

参考文献

1) M. Kawamura and Y. Kasai: Methods to Determine the Saturated Surface-Dry Condition of Soils, , Geotechnics of High Water Content Materials, ASTM Stock No: STP 1374, pp. 196-208

2) 橋本, 藤井, 川村: 版築による土堀の築造方法に関する研究 (その 1: 最適含水比と固化材添加量), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), pp. 729-730 2005