

中国における古代の版築技術について

A Study on the Ancient Han-Chiku Technique in China

鬼塚 克忠 (おにつか かつただ)

佐賀大学教授 理工学部都市工学科

唐 暁 武 (たん しょうう)

佐賀大学客員助教授 低平地研究センター

陸 江 (るう じゃん)

佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程

甲斐 大 祐 (かい だいすけ)

佐賀大学大学院工学系研究科博士前期課程

1. はじめに

古来、中国の民は自然界を木火土金水の五元素に分ち、それらが互いに混合して生じる産物が人間に無限の恩恵をあたえるものと考えてきた¹⁾。土と木を合わせて「土木」という名詞が生まれた。「土木」の本来の意味は版築の材料である土と道具である木の杵を利用する技術のことで、次第に広義の構築技術を指すようになった。

これまでに、著者らは中国・江南土とん墓²⁾および中国におけるいくつかの古代版築建造物の現場調査と室内試験を行ってきた。本研究はこれらの結果と文献調査に基づいて中国の古代盛土構造物に用いた版築技術を地盤工学の観点から考察する。

2. 版築とは

版築という単語は中国の「孟子」の中の一文、“…舜…伝説挙于版築之間…”に基づくものである。この意味は“舜が版築の労働者から上位のポストに抜擢されたと言い伝えられる”である。

日本の広辞苑によると版築は、「中国における土壁や土壇の築造法。板で杵を造り、一層ずつ杵で突き固める。」とある。中国の古文における「版」は木の板で造られる杵、「築」は杵を意味し、杵と杵は版築の主要な道具である。中国では、古代の城壁、河道堤防、軍営壁壘などに版築技術が用いられている。例えば、唐以前の万里の長城は版築技術により土を締め固めて造られた。

3. 版築技術

3.1 版築技術の発展

中国最早の版築について文献「詩経・大雅・綿」には B.C. 1200年の版築の工事を記載している：“…其繩則直，縮版以載，築之登登，削屨馮馮，百堵皆興…”、意味は“…草縄を強く引いて杵を縛りその中に土を積み込み、杵で締め固め、大きな城壁を建てる…”である。

(1) 新石器、殷商時代

中国新石器時代の長江下流における江南地区の良渚文化遺跡 (B.C. 5300~B.C. 4300年) から、人力で締め固めて造られた宮殿遺跡が発見された。これは中国で最も古い人工の締め固め土である。そして、B.C. 2000年頃、黄河流域において、版 (杵) と築 (杵) を利用する版築

技術が出現した。

版築技術は奴隷社会の殷商 (B.C. 1551~B.C. 1067年) まで極めて大きい発展を遂げた³⁾。商代の中期から、木の杵を広く利用することにより、版築技術は大きく進歩した。杵を使用することで、大きく、高い建物の建立が可能になった。その代表として、河南省鄭州市に位置している鄭州商城の城壁 (口絵写真一24) がある。これは、中国古代早期に建てられた中で最大のものである。南北の長さは 2 km、東西の長さは 1.7 km、残存部の高さは 4~9 m、城壁の幅は 19~21 m である。構築当時には、分段版築法を利用した。分段版築法という技術は、城壁を構築する際にいくつかのブロックに分け、そのブロックごとに労働者を割り当て、短時間で同時に仕上げるような構築方法である。このため、工事の効率と速度が向上し、城壁の全体を、一定の施工標準で同時に施工できるので工事の質と量、ともに向上した。

鄭州商城の版築層はきれいな層状を成し、各層の厚さは 8~10 cm である。版築層の水平断面を見ると、杵が突いた跡の多数の丸いくぼみ (口絵写真一25) が残っており、くぼみの直径は 2~4 cm、深さは 1~2 cm である。

(2) 春秋、戦国時代

春秋、戦国時代 (B.C. 770~B.C. 222年) になると、版築技術の成熟段階に入った。中国・江南地区における特質的な土とん墓を構築した際に版築技術を使った⁴⁾。昨年、中国の浙江省安吉で調査したある土とん墓の一部の土層はきれいな層状の断面が見えていていねいに締め固められていた。これは版築が用いられたことを示唆している。版築層の各層厚さはおよそ 10~15 cm であり、周囲の自然堆積土に細かい石と砂が混ざっていた。

そのほか、この時期に出現した、版築技術の代表として挙げられる高台建築は、高い版築土台の上に建てられた宮殿である。高台建築は元来、原始社会晩期の家屋を建てるときに基礎として原地盤より高く土を締め固めた。これは、黄土 (詳しい説明は後述する) の自然の毛細管構造を破壊して土層の密度を高くし、水分の上昇を防ぎ、増強を目的とした。時代が進むにつれて、高台建築の目的は変化する。国王が権力を誇示するために、基礎をさらに高く構築するようになった。春秋、戦国時期には、各国の王が多くの高台建築を建設した。その後の秦の時

代に建造された阿房宮は、高台建築の中で最も優れたものである。

(3) 秦, 漢時代

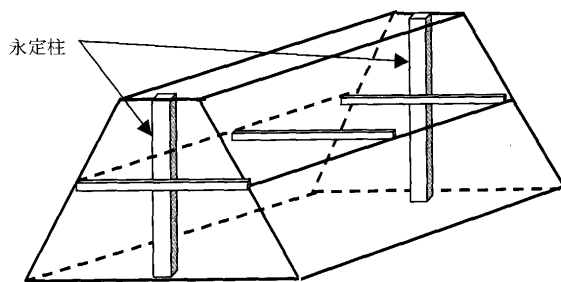
秦(約B.C. 220年)の阿房宮は西安市三橋鎮南にあり, 前殿の残存部は東西1300 m, 南北500 m, 最も高いところ(口絵写真—26)は10 m以上である。「史記・秦始皇本紀」より“…先作前殿阿房, 東西五百步, 南北五十丈, 上可以坐万人, 下可以建五丈旗…”は阿房宮の当時の巨大さを思わせる。

漢の長安(西安)城はB.C. 194年に建設が始まった。城の形はほぼ正方形, 周長25.5 kmである。城壁の厚さは16 m, 残存部の高さ8 m, 毎層8~10 cm, すべて黄土だけで版築しており, 丈夫で, 磚(レンガ)の壁の硬さに近い。

(4) 唐, 宋時代

唐代には経済が発達し, 唐長安城の内外城壁の構築にはすべて版築技術が用いられた。盛唐の時代以降は, 城壁は磚で内部の締固め土を包むようになる。

宋代の崇寧三年(1100年)には「营造法式」が李誠によって編著された。「营造法式」は版築技術の規準についてまとめたものである。築城の寸法などが記載されており, 壁断面の真中に七尺五寸ごとに永定柱を設置することを規定したものである(図—1)。版築だけでは側面が不安定であるので, 土の壁を補強するために永定柱が用いられるようになった。



図—1 永定柱の略図

(5) 明, 清および現代

明代の城壁の建造数は極めて多く, 品質は歴史上最高のものとされている。現在, 中国に残存している大部分の古城壁は明代に建てられたもので, 例えば南京の古城壁が該当する。版築土に用いられた材料は土だけでなく, 磚や小石や石灰や砂などを混ぜたものもであった。

清雍正十二年(1734年)には清政府が「工程作法則例」をまとめた。これは版築について詳しく説明したものである。

現在でも, 中国のある農村地域では版築工法で民間の壁が造られている。

3.2 版築工事の土材料

(1) 素土⁵⁾

素土は混合物を含まない, 純粋な粘性土のことである。素土は版築技術の発明によって用いられるようになった。例えば, 殷墟遺跡の基礎はすべて素土を用い, 版築工法で締め固めている。採取が容易なことから, 素土は幅広

く利用されている。現在でも, 素土が用いられる場合もある。

一般的に, 素土は中国北部の広範囲に存在する黄土である。黄土という名称は, 土の色が黄色~黄褐色であることに由来する。現場調査のうちに採取した試料の試験結果より, 自然の黄土は含水比が低く, 10~20%, 塑性指数が25未満で, また, シルト分は80~90%, 粘土分は10~20%で粘性が低く, 締固めに適している土である。しかしながら, 素土を締固めたものは, 強度や耐久性などに問題点がある。そのため, 建造物地盤の版築工事の土材料に対し, 以下のように改良が加えられた。

(2) 素土と粗骨材

粗骨材は砂や砕いた石, 磚でできている。素土と粗骨材の混合物は以下の2種類がある

一つ目は, 素土と粗骨材を混ぜた混合物である。前に記述した土とん墓と南京の古城壁が該当する。この材料は城壁など高くそびえている建物に適している。高い密度が得られると粗骨材の強度はかなり大きくなり, 構築物の安定性と耐久性が向上する。

二つ目は素土と粗骨材を互層に締固めたものである。これについて, 「营造法式」には次のような記述がある。一層毎に五寸(16 cm)の厚さの素土を敷き, これを締固めて三寸(9.6 cm)にする。粗骨材の場合は, 一層毎に三寸(9.6 cm)とし, 締固めて一寸五分(4.8 cm)にする。この材料は建造物の基礎などに対応しており, 粗骨材は排水性が良いので, 土層間に粗骨材を締固めた層を設けることで排水効果を期待できる。その上, 粗骨材自体の強度はかなり大きいので, 層状の締固めを適用すると, さらに基礎の強度と耐久性が向上する。

(3) 土と石灰の混合物

中国では土と石灰(消石灰)の混合物を灰土という⁶⁾。石灰は黄河流域の仰韶文化(B.C. 7000~5000年)遺跡の家屋の土間に, 湿気除去のために塗られていたことが分かっている。しかしながら, 基礎の部分に石灰を用いる技術は明代から発展し, 清代に成熟した。

灰土における「土」は黄土である。黄土の主要成分は SiO_2 で, 石灰と混合すると, 化学反応により $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ を生じる。 $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ は強度が高いため水浸と凍融の耐久性に優れている。黄土は細粒分が多いので, 締固めにより, 細粒分と石灰顆粒の化学反応の効果が良く, $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の量が多くなる。砂質土とシルト質土は石灰と反応しにくく, 強度と耐久性が比較的低下する。シルト質土と粘性土で石灰・土比(体積比)が3:7になるように作成した供試体の28日の改良強度を比較すると, 粘性土を用いた灰土はシルト質土を用いたものより5倍も高い強度を有することが知られている⁶⁾。仮に, 土の粘性が非常に高い場合は, 工事の際に石灰と混合しにくくなる。石灰は新鮮で, 5 mmのふるいを通したものをを用いる。

一般の構造物の基礎には3:7の石灰・土比が採用されている。構造物の規模が大きくなり, 重要性が高くなると4:6の石灰・土比が採用される。石灰の混合比率を上

論文

げると強度が増加するばかりでなく、建造物の湿気を除く効果もあるためである。しかしながら、石灰の混合率があまり高いと、余分な石灰が $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ より強度の低い CaCO_3 に変化して強度が低下する。このため、石灰と素土の配合率は常に 3:7 から 4:6 の間とされている。ただし、石灰の比率は混合する土によっては若干増量する場合もある。

灰土を用いた基礎の作成法に関しては清朝の「工程作法則例」に以下のように記載されている。工事の規定は“一層毎に七寸(22.4 cm)の厚さの灰土を敷き、締固めて厚さ五寸(16 cm)とする。”

灰土の層数は建造物の大小によって決まる。建造物が小さい場合は 1~2 層で、規模の大きい建造物には 2~3 層である。また、重要な建造物の場合はより多層からなる灰土層が設けられる。例えば、図-2 に示すように紫禁城宮殿の基礎は三十あまりの灰土層から構成されている。

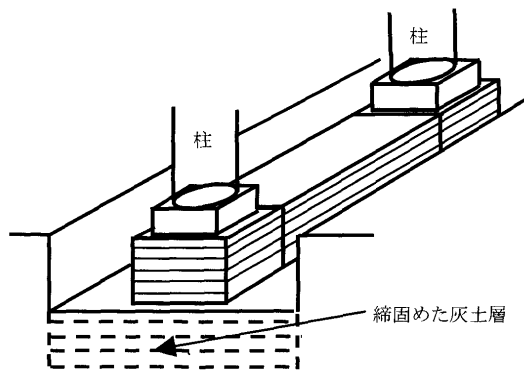


図-2 宮殿の灰土基礎

(4) 他の混合材料

石灰、砂と石のほか、古代の版築工事に様々な材料を土に混ぜた。もち米は一つの例である。例えば、秦代の万里長城を建造した時、もち米の炊き汁を土に混ぜた。既往の研究によると、石灰ともち米の炊き汁を合わせて土と混合して作った供試体の強度の増加率は、湿潤の条件で、石灰だけを土と混ぜたものの強度より、高くなった。

そのほかに、木や毛髪なども土と混ぜて版築工事に利用した。各層の間に、これらを敷いてジオグリッドのように構築物を補強するためである。

3.3 版築工事の道具、施工方法と施工管理

古代早期の版築に用いられた杵は石で作られており、主に一人で使うものである。戦国時代になると、鉄の杵が発明された。秦漢時代に木の柄が付いた鉄製と石製の杵が出現した。これにより図-3 に示すように、多人数で同時に使用できるようになった。明清の時代までに、杵の種類はさらに豊かになった。その杵は木、石、鉄の 3 種類に分けられる。特に、木の杵の種類はとても多い。口絵写真-27 は良渚遺跡復元工事に使っている道具の様子である。

中国古代の施工方法はすべて立竿の足場を用いている。城壁遺跡にはこの立竿の足場の跡が発見された。例えば

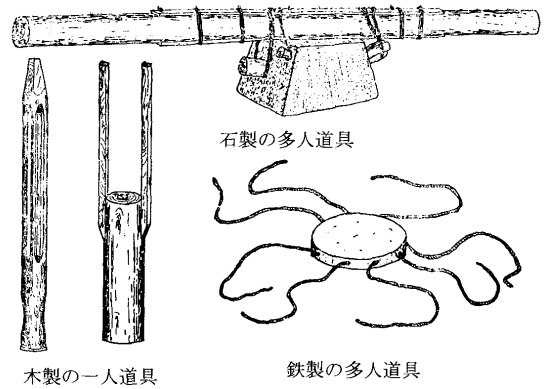


図-3 版築の道具

洛陽東周城壁の水平断面の穴がそれである。

施工管理の面では、西周の青銅器の銘文には司土、司工という構築工事を管理する官職が記されている。春秋戦国のとき、各国の間に争いが多くなって、城壁は重要な防衛手段になった。そして、大勢の奴隷を使って城壁を建造するには、施工管理が非常に重要になった。B.C. 589年と B.C. 510年、周城を建造したときの施工管理の記載によると、管理の担当者は城壁の寸法、材料の数量、労働力の数量だけではなく、全労働者の毎日の往復距離、食の数量なども計画・算定した。計画が厳密周到であったため、短い時間、かつ順調に工事が完成した。

4. まとめ

入手しやすい材料である土と簡単な道具である杵と杵を用いた版築工法で中国数千年の間に様々な構築物が建てられた。これらのほとんどが現存している。なぜなら上に記述したように、版築工法の規準は、現代の締固め方法や、安定処理工法や、補強土工法などに通じるものであり、これにより、構築物の安定性と耐久性を向上させるに至った。版築技術に対する地盤工学からの考察と知見は現代の地盤工学、特に盛土遺跡の修復や復元工事に役立てることができる。

中国古代の版築技術が日本の弥生時代における吉野ヶ里遺跡の墳丘墓、そして続く古墳の構築に大きな影響を及ぼしていると考えられる。今後はこの版築技術の日本への伝播と変遷を考究していきたい。

参考文献

- 1) 鶴間和幸：四大文明，[中国]，NHK 出版，2000。
- 2) 鬼塚克忠・唐 曉武・張 敏：中国・江南の土とん墓について，土と基礎，Vol. 44, No. 7, pp. 19~22, 1996。
- 3) 張 馭寰：中国古代建築技術史，中国科学出版社，1985。
- 4) 陸 江・甲斐大祐・鬼塚克忠・唐 曉武：中国・江南土とん墓の構築技術に関する一考察，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp. 33~34, 2001。
- 5) 陸 江・鬼塚克忠・唐 曉武・右田勝広：中国古代建造物地盤の版築工事の土材料，第35回地盤工学研究発表会講演集，pp. 381~382, 2000。
- 6) 劉 大可：中国古建築瓦石宮法，中国建築工業出版社，1993。

(原稿受理 2001.8.27)