

2. 版築により構築した薄型壁に対するアンカー定着性能

Strength of Anchor on Thin Wall Building with Rammed Earth

森 浩二^{*1} 古東 秀文^{*1} 山内 豊英^{*1} 山崎 順二^{*2} 加藤 猛^{*2}

要 旨

版築工法により構築した壁をオフィスビルの屋内に設置するため、通常よりも壁厚を薄くすることで軽量化を図った版築壁を、背面型枠とアンカーで支持する構造を採用した。地震時に版築壁が受ける慣性力はアンカーによって背面型枠に伝達させ、転倒などを防止する。版築壁に対するアンカーの強度を確認するため、アンカーを定着した版築壁要素試験体を吊り上げる実験を行った。実験の結果、アンカーの負担領域に生じる版築壁の自重、および 0.5G 相当の追加の積載荷重に対して、アンカー部分を含む試験体が破壊しないことを確認した。

キーワード：版築／薄型壁／アンカー／地震荷重

1. はじめに

版築とは、土を用いて構造物を構築する伝統技法の一つである。板で作成した枠の中に土を突き固め、層を重ねることで構造体を作る手法で、日本における版築技術は中国から伝来した。版築は中国では城壁や堤防など、日本では寺社仏閣などの壁として利用されてきた¹⁾²⁾³⁾。

版築壁の施工手順の例⁴⁾を図-1に示す。版築壁は型枠の内部に作業員が入って突き固めを行うので壁厚は大きい。また、壁は上方に層を重ねるごとに薄くなり、一定厚ではない。図-2に示す平城京築地回廊²⁾は比較的小規模な版築壁ではあるが、現代建築で通常用いられる壁の厚さと比べると相当に大きいことが確認できる。通常、型枠内に作業員が入って版築を構築する場合の型枠幅（壁厚に相当）は 700mm 以上とされている⁵⁾。

多くの伝統工法と同様に、版築の設計・施工は様々な経験則により成立しているが、版築を工学的に評価する試みとして、構造材料としての定量的な評価⁶⁾や、版築により構築した塀（版築塀）の加振実験による強度特性の握⁷⁾などが行われている。版築壁の工学的な課題の一つは耐震性であり、剛体回転による転倒や曲げ引張破壊に対し、壁内に竹⁷⁾やボルト²⁾を埋め込むなどの補強を施すことで耐震性能の向上を図る検討が実験的に行われている。版築壁に対する補強としては壁脚から壁頂部に補強筋を貫通させることが効果的ではあるとの結論が得られているが、補強筋を貫通させない場合においても補強筋と版築壁との間には一定の付着効果が期待できることが確認されている。

屋内に版築を構築する場合、施工方法、重量、強度など

様々な課題を解決する必要がある。前述したように、通常の版築壁の厚さは 700mm を超えるため、伝統的な版築壁をそのまま構築することは現実的ではない。そこで、内装材としての版築壁として、薄型の版築壁に水平アンカーを設置することで、軽量化と転倒防止を行った。本報では、版築に対するアンカーの定着性能について確認実験を行った結果について述べる。

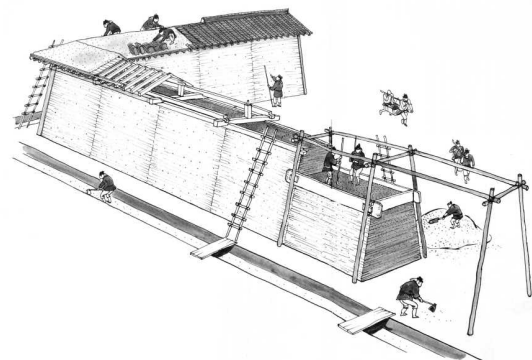


図-1 伝統的な版築壁の施工例⁴⁾

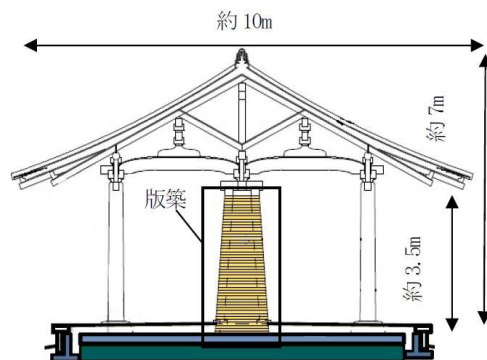


図-2 平城京築地回廊の断面図²⁾

*¹ 技術研究所建築構造研究グループ *² 技術研究所建築材料研究グループ

2. 薄型版築壁

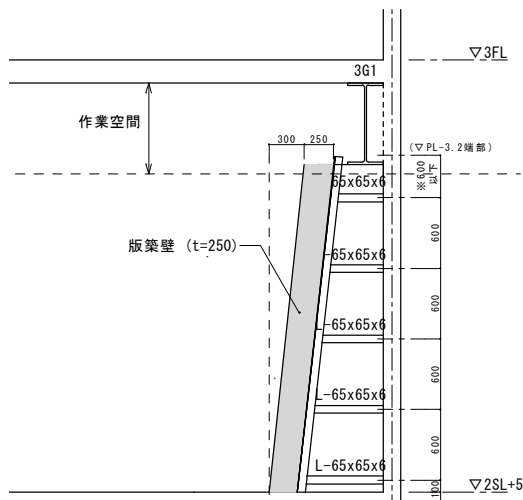
オフィスの2階に版築壁を設置するには、床の耐荷重や建物重量の問題を解決するための軽量化を行う必要があった。そこで、一般的な版築壁のような自立する構造ではなく、**図－3**に示すように比較的厚さの薄い ($t=250$) 一定壁厚の版築壁が、背面型枠により支持される構造とした。通常の版築壁と同様に、壁面は鉛直ではなく、傾斜している。

背面型枠と版築壁とはメタルラスとアンカーにより一体化を行った。アンカーは地震時に版築壁が剥離しないように先端に定着板を設けたものを一定間隔で設置した (**図－4**)。型枠間隔が250mmと狭いため、土の突き固めは**写真－1**のように型枠バイブレータを用い、アンカーの取り付けと突き固めを交互に行った。版築壁施工後の状況を**写真－2**に示す。

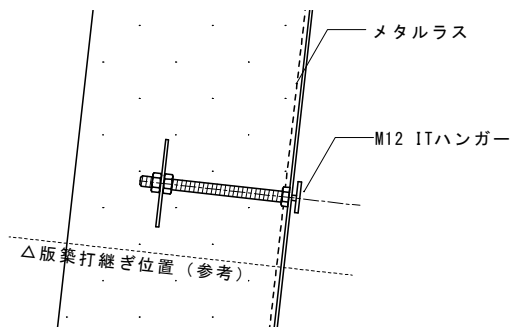
3. 実験方法

3.1 試験体

試験体は版築壁のアンカー周辺部を対象とした実大試験体とした。版築壁の厚さを実大と同じ250mmとし、ア



図－3 薄型版築壁の概要



図－4 版築壁へのアンカー定着仕様

ンカーのピッチを版築壁に対する負担範囲として、試験体の形状を決めた。すなわち、アンカーのピッチが水平方向に600mm、鉛直方向に450mmであれば、試験体の形状は600mm×450mm×250mmである。アンカーの先端に取り付ける定着板は3.2mmの鋼板をアンカーボルトにナットで固定し、アンカーの埋め込み深さは150mmとした。実験パラメータは試験体の大きさと、定着板の大きさで、試験体の大きさは600mm×600mm、600mm×450mmの2通り、定着板の大きさは200mm×100mm、600mm×100mmの2通りである。試験体の一覧を**図－5**に示す。

試験体の製作手順を**図－6**に、試験体を**写真－3**に示す。試験体の製作は、実際の版築壁と同様に、型枠バイブレータを用いて定着板下部の高さまで土を突き固めた後、背面型枠にアンカーを取り付け、土を投入し、複数回に分けて土を突き固める方法で行った。版築の材料試験結果を表－1に示す。

3.2 載荷方法

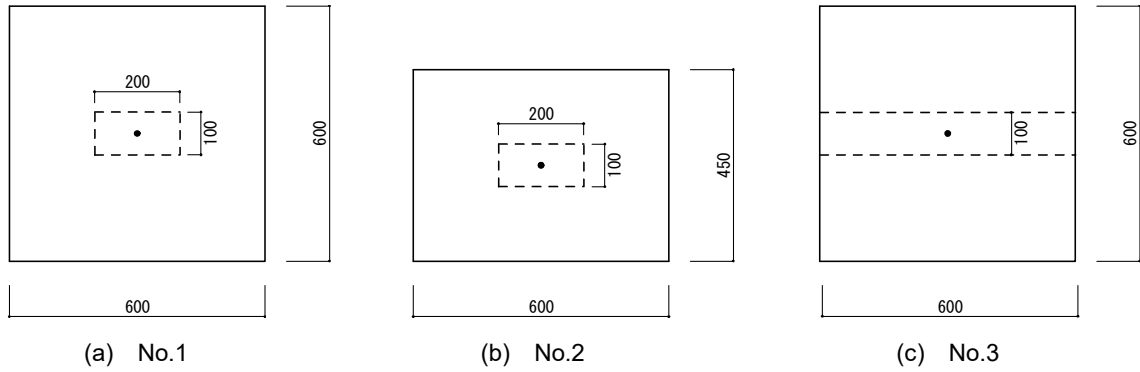
試験体の載荷は、横倒しにした試験体のアンカー部分を4.8t天井クレーンで吊り上げる方法で行った。クレーンの巻き上げは段階的に行うことで、急激な荷重変動が生じないようにした。吊り上げ後は吊り上げた状態で1分間保持し、試験体の損傷状態を目視で観察した後に



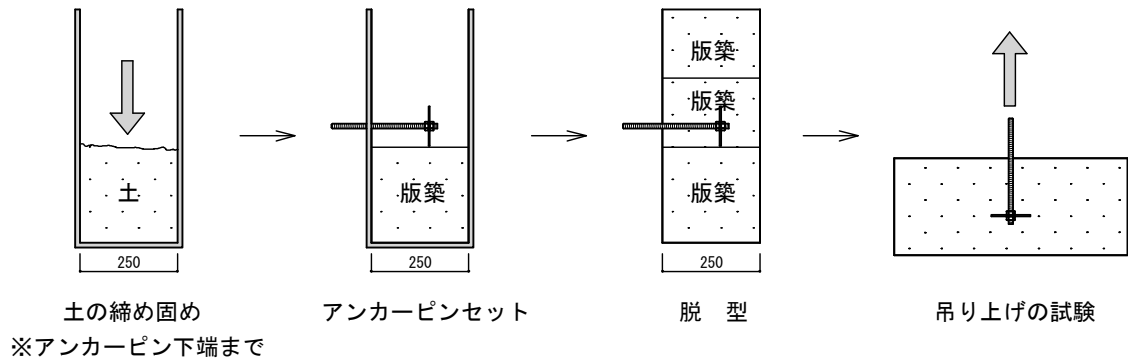
写真－1 薄型版築壁の施工状況



写真－2 薄型版築壁施工後の状況



図－5 試験体一覧



図－6 試験体作成手順

表－1 材料試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ引張強度 (N/mm ²)
	3.8	0.70
	4.5	0.47
平均	4.2	0.59

表－2 加力一覧

	試験体 重量 (kg)	積載荷重 (kg)			
		1.0G	1.2G	1.5G	1.67G
No.1	180	0	40	90	120
No.2	135	0	30	80	—
No.3	180	0	40	90	—



写真－3 試験体



写真－4 荷重計

クレーンを降下させて除荷した。クレーンと試験体の間には写真－4に示す20kN引張型荷重計を設置し、1秒間隔で荷重の計測を行った。

吊り上げられた試験体は、アンカーを反力として地震時に水平方向1.0Gの慣性力が作用する版築壁に相当する。実験では、試験体重量の0.2倍および0.5倍の積載荷重を加えた状態についても载荷を行った。試験体No.1については試験体重量の0.67倍の積載荷重についても载荷を行った。加力一覧を表－2に、積載荷重を加えた場合の载荷状況を写真－5に示す。



写真－5 载荷状況 (No.1)

3.3. 実験結果

荷重の計測結果を図-7に示す。グラフの横軸は時間(秒)、縦軸は荷重(kN)を表す。吊り上げの開始から完了まではおおむね40秒前後であり、クレーンの巻き上げの制御を人力で行ったため載荷速度にばらつきはあるものの、段階的に荷重を増加させ、急激な荷重変動を避けるという目標は達成できている。計測結果から算定した試験体重量および各載荷における荷重を表-3に示す。表中の括弧内には試験体重量に対する全重量の比率を示した。試験体重量は、積載物がない状態における、吊り上げ荷重が安定した区間の平均値を採用した。各荷重についても同様の算定方法を用いた。

表-3に示す全ての条件における、吊り上げ時、載荷終了時について、試験体は破壊せず、アンカー付近のひび割れ発生なども観察されなかった。したがって1Gの慣性力に対して、アンカーの定着が十分に機能することが確認できたといえる。試験体の縁の付近に若干のひび割れが認められたが、吊り上げとの関係は不明である。

表中では便宜上、試験体重量の0.5倍を積載した状態を1.5Gと表現したが、1.5Gの加速度が作用した状態と積載物による状態とでは、試験体内部の応力分布は異なる。したがって、1Gを超える加速度に対するアンカー定着性能の把握については、実験方法の改善や、解析的な検討などを含めた考察など、今後さらなる検討の余地がある。

4. まとめ

伝統的な版築工法によって構築した壁を屋内に設置するという課題に対し、軽量化のため薄型の版築壁を背面型枠とアンカーで支持する構造を採用した。

薄型版築壁に対するアンカーの定着性能を確認するため、アンカーの定着板および試験体の大きさをパラメータとして要素試験体の吊り上げ実験を行った。実験の結果、アンカーの負担領域に生じる版築壁の自重、および0.5G相当の積載荷重に対して試験体が破壊しないことを確認した。

[参考文献]

- 1) 鬼塚克忠, 陸江, 唐曉武, 甲斐大祐: 中国における古代の版築技術について, 土と基礎, 50-5, pp.26-28, 2002.5
- 2) 山村真行, 山田洋次: 平城宮跡歴史公園第一次大極院東面回廊の「版築」の復原について, 平成28年度近畿地方整備局研究発表会論文集, 調査・計画・設計

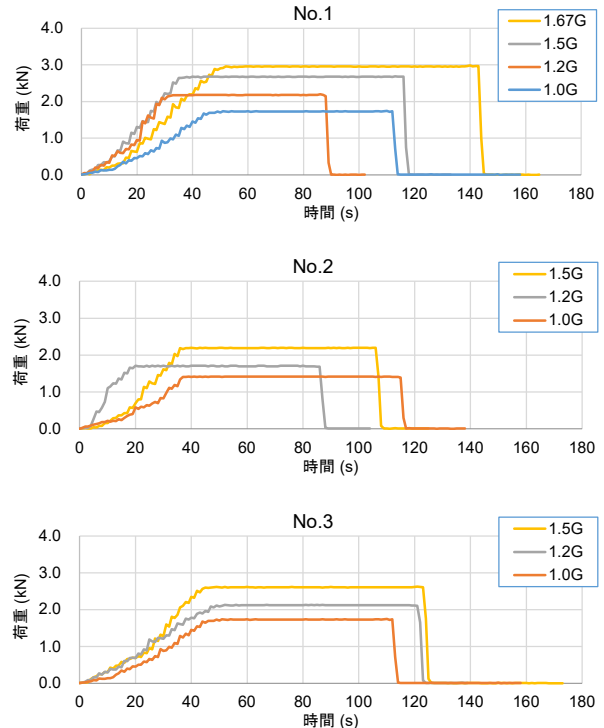


図-7 荷重計測結果

表-3 実験結果一覧

	重量 (kg)	荷重 (kN)			
		1.0G	1.2G	1.5G	1.67G
No.1	183	1.79	2.18 (1.22)	2.67 (1.49)	2.96 (1.65)
No.2	144	1.41	1.70 (1.21)	2.19 (1.55)	—
No.3	176	1.72	2.12 (1.23)	2.61 (1.51)	—

※括弧内は試験体重量に対する全重量の比率

部門, No.01, 2016.6

- 3) 齊藤正, 寺井雅和, 難波義郎: 瀬戸内に建つ版築建築の設計および施工 —版築の材料特性に関する実験的研究—, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第57号, pp.487-490, 2018.6
- 4) 宮本長二郎: 平城京 古代の都市計画と建築, 草思社, 1986
- 5) 齊藤正: 意匠的側面から見た版築の再考とその手法, 近畿大学大学院システム工学研究科博士論文, 2019.1
- 6) 赤谷樹一郎, 大塚秀三, 竹村雅行, 遠野未来, 稲川幸司: 伝統技法を用いた版築壁の強度性状に及ぼす調合および施工要因の影響に関する研究, ものづくり大学紀要, 第3号, pp.42-29, 2021.3
- 7) 高達暁子, 腰原幹雄: 版築塀における面外方向の耐震性能と補強方法に関する研究, 生産研究, 62巻4号, pp.439-443, 2010.11