ミニチュア模型による組積造建物の耐震補強工法の実験

中央大学大学院　学生会員　○藤枝　拓海
東京大学生産技術研究所　正会員　目黒　公郎

1. はじめに

組積造は長い歴史をもった構造形式であり，現在に至っても世界各地で利用されている．地震の多発する地域にも広く分布し，そこに住む人口は世界の人口の約 6 割にも達する．地震に弱い組積造は，ひとたび地震が起こると簡単に壊れ，多くの尊い命を奪う．世界の地震による犠牲者の多くは，組積造建物の崩壊によって発生している．最近でも，2003 年のイラン・バム地震による 43,000 人の死者[1)]，2005 年のパキスタン・カシミール地震による 73,000 人の死者[2)]の大多数は組積造の崩壊による．組積造建物の耐震補強は世界規模で地震防災を考えた場合に最も重要な課題と言える．このような状況を踏まえ，目黒らは世界中で手に入る安価な材料（PP バンド荷造紐）を用いた簡単な耐震補強法を提案している[3)]．そして、これまでに縮小供試体と実大供試体を用いた振動台実験[3), 4)]を行っているが，組積造は多種多様であり未検証な部分も少なくない．そこで本研究では，ミニチュア模型と小型振動台を用いて PP バンド補強の効果を簡便に検証するシステムを構築した．ここでは，このシステムとミニチュア模型を用いて行ったいくつかの実験結果について紹介する．

2. 供試体の概要

実験供試体として，木造屋根の組積造建物とアーチ屋根の組積造建物の 2 パターン（いずれも実物の 1/12 スケール）を用意した．レンガの代用物としてはアクリル製のブロックを，モルタルの代用物としては，砂と炭酸カルシウムと水を重量比 20:5:6 で混ぜ合わせたものを使用した．これらの選定理由は，繰り返し再利用が可能なこと，材料特性が実際の材料と類似していることである．モルタルの配合は製作した小型振動台で得られる加振力の範囲内で供試体が壊れ，破壊過程が実際の組積造にできるだけ近いものを選定した．一連の実験の前に，これらの材料を使用した場合に，組積造のクラックパターンや，せん断破壊が進展していく様子が再現できる事を確認した．本研究で用いる PP バンドメッシュは，供試体サイズを考慮して市販の PP バンドを細かく加工（幅 0.75mm，厚さ 0.3mm）して，ピッチが 20mm になるようにメッシュを作成した．交差部は高周波振動による摩擦熱で溶接する方法で接合した．タイバーは引張も圧縮も持つ金属材料（真鍮）とした．

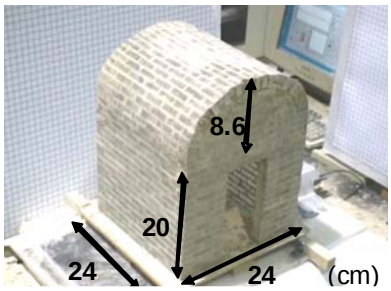

図 1　実験供試体（木造屋根）

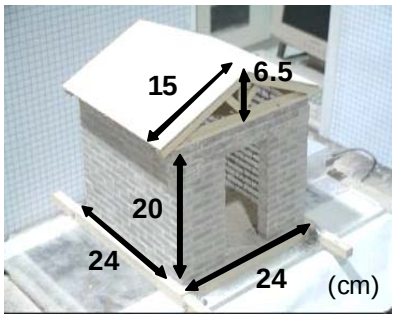

図 2　実験供試体（アーチ屋根）

3. 電動式小型振動台による起振方法

本研究では，既存の手動式小型振動台に改良を加え，持ち運び可能な小型の電動式振動台を製作した．改良ポイントとしては，電動で稼働し，周波数の制御と測定が可能で，供試体を載せる台が変更できる点である．

入力波としては，1 方向加振で，振幅を 5mm 又は 15mm の一定とし，周波数を 2Hz から 6Hz まで，10 秒間で 1Hz 上昇させ，その後 10 秒間保持する状態を繰り返す波を用いる．

4. 実験結果と考察

検証①として，木造屋根組積造の無補強，PP バンド補強の 2 つのパターンを比較し，PP バンドの効果を検証する．次に検証②として，木造屋根の重さによる組

キーワード：組積造建物，耐震補強，振動台実験，PP バンド耐震補強
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 B 棟 目黒研究室 Tel: 03-5452-6437

積造への影響を検証するため，木造屋根なしの組積造（box），木造屋根ありの組積造，木造屋根に錘を載せた組積造の 3 パターンの挙動を比較する．検証③として，アーチ組積造の無補強，タイバー補強，PP バンド＋タイバー補強の 3 つのパターンの挙動を比較する．検証①の結果としては，無補強のものは気象庁震度階(JMAI)5-で崩壊した．PP バンド補強されたものは JMAI6-でも崩壊しなかった．次に，この組積造がレンガで造られていると仮定し，その重さに相当する錘を屋根に載せた上で繰り返し載荷実験を行った．結果は，最終的に横倒しになるものの一体性を保持するため，甚大な人的被害を発生させる脆性崩壊はしなかった．検証②の結果としては，屋根なし無補強(box)と木造屋根無補強のものを比較すると，ほぼ同じ地震外力で破壊することが分かる．この実験結果からは，木造屋根による顕著な拘束効果は見られなかった．木造屋根の重さを増加させていったところ，錘が 0.5kg,1.0kg の時には影響が見られず，2.0kg の錘を追加したときに強度増加が確認された．さらに重くしていくと，垂直応力の増加によるせん断強度の向上が期待できる一方で，屋根部分に作用する慣性力の影響が大きくなり，やがては耐震性が低下していく（**図 3** 黄色部分）と考えられる．検証③の結果としては，無補強のものが JMAI4 で崩壊し，タイバー補強のものが JMAI5-で崩壊，そして PP バンド＋タイバー補強は，JMAI6-でも崩壊しなかった．これにより PP バンド＋タイバー補強が効果的な耐震補強工法であることが分かる．

5. 結論と今後の課題

本研究では，電動式小型振動台とミニチュア模型を用いて組積造建物の耐震補強工法効果を容易に検証できるシステムを構築した．そしてこのシステムを用いて PP バンド，PP バンド＋タイバー補強の効果を検証した．今後は，この構築したシステムを用い，3 連のアーチ屋根組積造などの未検証パターンの実験を行う予定である．

参考文献

1) 外務省：イラン南東部（バム）地震の概要 http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/iran,2004.4
2) 濱田政則，西川孝夫：パキスタン・カシミール地震被害調査と復旧支援，土木学会誌,Vol.91, No2, pp･28-31, 2006.2.
3) Meguro K., Mayorca P., Sathiparan N., Ramesh G., and Nesheli K:Shaking Table Tests of ¼ Scaled Masonry Models Retrofitted with PP-band Meshes, Proc. of the 4th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, pp･9-18, 2005.10.
4) K.N.Nesheli, N.Sathiparan, R.Guragain, P.Mayorca, F.Ito, H. Kagawa, T.Tsugawa and K. Meguro:Full-Scale Shaking Table Tests on Masonry Buildings Retrofitted by PP-Band Meshes Proc.of the 5th International Symposium on New Technologies of Urban Safety of Mega Cities in Asia,2006. 11

表 1　実験パターン

検証①	検証②	検証③
木造屋根組積造 ･無補強 ･PPバンド補強	･木造屋根なしの組積造無補強(box) ･木造屋根組積造無補強 ･木造屋根（＋0.5kg）組積造無補強 ･木造屋根（＋1.0kg）組積造無補強 ･木造屋根（＋2.0kg）組積造無補強	アーチ組積造 ･無補強 ･タイバー補強 ･PPバンド補強＋タイバー補強

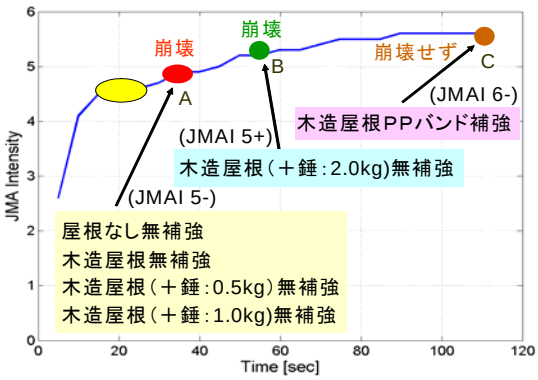

図 3　検証（①，②）結果

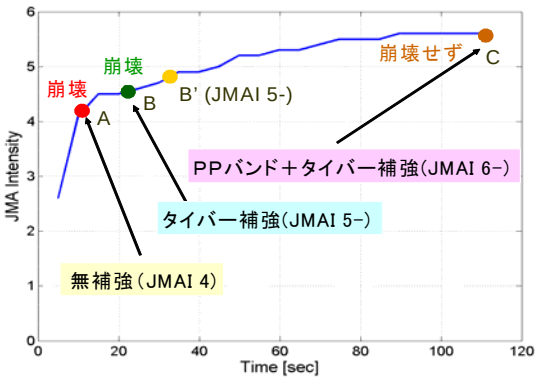

図 4　検証③結果

図 5 木造屋根組積造（図 3 の C 点）

図 6 アーチ屋根組積造（図 4 の B' 点）