

氏 名	た ぶち あつ し 田 淵 敦 士
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1581 号
学位授与の日付	平 成 18 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	農 学 研 究 科 森 林 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	伝統木構造における土壁の耐力発現機構の解明とその性能評価

論文調査委員 (主 査) 教 授 小 松 幸 平 教 授 川 井 秀 一 講 師 西 澤 英 和

論 文 内 容 の 要 旨

土壁の耐力発現機構に関する研究例はさほど多くはないが、既往の研究では、実大の土壁耐力壁の水平せん断実験を行い、その荷重—せん断変形の関係から、壁倍率を評価することが最終目的と思えるものが多く、土、竹等の材料定数とその配置まで掘り下げて土壁の力学的特性を研究した事例は少ない。本論文では土、竹等の材料定数とその壁体内での配置に注目した力学モデルを構築し、その上で、伝統木構造における土壁の耐力発現機構の解明と土壁の構造特性の評価を試みたものである。

最初に、土壁を構成する要素である「土」と「竹」に注目し、それらの相互作用を定量的に明らかにするため、木舞竹の3点曲げ試験、土ブロックの全面圧縮試験を行って、それぞれの材料常数がどの程度のバラツキを有するかを明らかにした。次に、寸法300 mm×300 mm×70 mmの小型土壁試験体を製作し、横架材から土壁に荷重が伝わるタイプと、柱材から土壁に荷重が伝わるタイプの2種類の試験体に対して、一方向静的水平加力実験を行い、木舞竹を含んだ土壁のせん断性能を検討した。土壁中での木舞竹の挙動を理論的に推定するために、土を弾性バネ、木舞竹を梁と見なして、いわゆる「弾性床上の梁理論」を基礎とした力学モデルを構築し、土壁内部での木舞竹の挙動を計算によって推定した。その結果、両タイプの試験体ともほぼ同様の挙動を示し、小型土壁試験体が最大耐力を迎える約5 kNの荷重レベルにおいて、土壁中の木舞竹は最大で1/150 rad. 程度の相対変形を生ずることが分かった。しかし、実大規模の土壁では、貫材の変形のように、オーダーが1桁大きな変形が壁体内部で生じるため、土と竹の相対変形は無視できる程度の微小変形として扱い、木舞竹の入った土壁を巨視的に均一な等方性複合材料と仮定して構造計算に組み込んでも耐力壁全体の変形計算には影響を及ぼさないであろうとの結論に達した。

この結果を受けて、実大寸法の京町家型の土壁耐力壁について水平せん断実験を計画した。試験体としては、2P型（長さ1820×高さ2500 mm×壁厚60 mm）、1P型（長さ980 mm×高さ2500 mm×壁厚60 mm）、小壁を有する架構（長さ1960×高さ2500 mm×壁厚60 mm）の3種類とした。各種類3体の試験体については、土壁を施工しない軸組、貫、木舞竹だけの状態で静的正負繰り返し水平加力実験を行い、変形角1/50 rad. まで加力した後、変形履歴の大きい楔、込み栓等を新品と交換してから土壁を施工した。約3ヶ月の養生期間を置いた後、破壊まで加力する静的正負繰り返し加力実験を行った。なお、軸組のみの試験体各1体については、最大耐力を知る目的で破壊まで加力した。軸組のみの試験体の変形挙動は、軸組を半剛節骨組み架構と見なし、接合部の回転バネ剛性を既往の力学モデル式を用いて誘導した。架構全体の変形は、最小コンプリメンタリーエネルギーの理論並びに仮想仕事式を適用して導いた。理論と実測値の適合性は良好であった。

一方、土壁を施工した各試験体の最大耐力は、2P型で平均15 kN、1P型で平均8.3 kN、小壁を有する架構では平均3.6 kNであった。いずれの供試体においても、規定の载荷サイクルの範囲内では土壁の剥落は起こらず、2P型のうちの1体について行った追加加力の際に変形角約1/7 radに達したときに、ようやく土壁の一部が荒壁層から剥落した。これらの実験から、供試した京町屋型土壁（大亀谷産土使用）は、他の地域の土壁に比べて剥落しにくい特性を有していることが示唆

された。全面壁タイプの試験体の損傷は、貫部分が土壁内部で回転変形することによって生じるひび割れか、もしくは、チリ隅部分での損傷のいずれかであった。開口部を有する小壁タイプの損傷は、チリ隅部分での損傷が顕著であったが、大変形時には縦貫位置での損傷も観察された。また、1P型で用意した2種類の貫のタイプ、すなわち、差し込み貫と通し貫の両者の差異に関しては、土の破壊形状において、差し込み貫のタイプがチリ隅部での破壊が顕著であったのに対し、通し貫タイプは貫位置でのひび割れが顕著に観察されるという違いが明らかになった。しかし、荷重－変位曲線を見る限り、両者の違いは明確に表れておらず、力学モデルの構築の際には両者を同等のものとして扱った。

全面土壁の耐力壁のせん断耐力発現機構を理論的に推定するため、先の小型土壁試験体における実験結果に加え、軸組から土への力の流れは主として木舞竹を通じて伝達され、また、貫の曲げ変形による土へのめり込みが生じることで架構の水平せん断抵抗力の増大されることを仮定した「弾性床理論」に基づく力学モデルを構築し、実験値との検証を行った。その結果、構築した力学モデルは実大土壁の剛性、降伏荷重を良好に推定できることが明らかになった。

最後に、土壁を小壁とし、差し鴨居をもつ木造門型架構についても実大実験を行った。この木造門型架構の場合は、土壁の厚さが京町屋仕様より厚く（仕上げ塗りを含め85 mm）力学モデルの構築にあたっては、実験での観察に基づいて、柱の曲げ変形と柱－横架材間の回転剛性を考慮し、剛性の大きな横架材と差し鴨居に囲まれた小壁部分は剛体変形するものと仮定した。計算値と実験値とを比較した結果、小壁せいの高い試験体（せい：730 mm）では力学モデルによる剛性値は実験値と良く適合したが、小壁のせいが低い試験体（せい：330 mm）では、小壁の効果が殆ど発揮されず、力学モデルの剛性計算値は実測剛性値を大きく上回った。この事より、小壁が有効に抵抗要素として働くためには、壁せいが十分大きなものであることが重要であることが明らかとなった。

以上、一連の土壁に関する研究の結果、伝統構法における土壁の耐力発現機構が明かになり、その剛性・耐力を力学モデルを適用することで評価できる途が拓かれた。

論文審査の結果の要旨

土壁は板壁と並んで最も古くから使用されているにも関わらず、その耐力発現機構は必ずしも明らかにはされていない。本論文では、土壁の耐力壁としての耐力発現機構を力学的に明らかにすることを目的として、土壁を構成している基本的材料である「土」と「竹」の基本的材料常数の測定から始めて、実際の京町屋に使われている土壁を対象として、その耐力発現モデルを構築し、力学モデルの妥当性を実大水平加力実験によって、明らかにしたもので、評価できる主要な成果は以下の通りである。

- 1) 土壁を構成している土と竹の相対的な挙動を、土を弾性バネ、竹を梁と仮定した「弾性床上の梁理論」で解析した結果、モデル土壁が最大耐力レベルに達した時点でも、土と竹の最大相対変形角は $1/150 \text{ rad}$ 程度と小さく、土壁を巨視的には均質な等方性複合材料と見なすことが可能であることを明らかにした。
- 2) 京町屋型土壁耐力壁を対象として、軸組だけの構造を半剛節骨組み架構と見なして解析した結果、実測挙動と計算で推定された剛性・降伏耐力は非常に良く一致した。
- 3) 更に、軸組内に土壁を施工した「全面土壁耐力壁」の力学モデルとして、貫と貫の間に存在する土を弾性バネ、貫を梁と見なし「弾性床上の梁理論」を適用して耐力壁を解析した結果、剛性・降伏耐力とも実測値との良好な適合性が認められた。この結果から、提案された力学モデルは実大土壁の剛性、降伏荷重を良好に推定できることを明らかにした。
- 4) 曲げ剛性の大きな横架材と差し鴨居に囲まれた領域に小壁（土壁）を有する門型架構の力学モデルに関しては、小壁せいの大きい試験体では実験値との適合性は良好であったが、小壁せいが低いモデルでは、力学モデルが架構の剛性を過大評価する結果となった。これより、木造門型架構の剛性向上に対する小壁効果は、小壁せいが一定以上大きくなければ期待できないことを明らかにした。

以上のように、本論文は、これまで必ずしもその耐力発現機構が定量的には明確でなかった伝統木構造における土壁の耐力発現機構を、竹と土からなる複合材料の巨視的なせん断性能と、壁を構成している貫や柱梁の軸組部材の接合状態を考慮に入れた力学モデルによって定量化できることを明らかにしたもので、建築構造学、木質構造学、木質材料学等に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成18年6月29日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。