

論文の内容の要旨

論文題目 モルタル外壁の経年劣化に着目した既存木造住宅の
耐震性能評価に関する研究

氏 名 福 本 有 希

建設から年月を経過した木造住宅は、劣化した部材・部位を含む場合、これが原因で耐震性能が低下している可能性がある。地震被害においても劣化が構造被害の拡大要因となっていたと推定される物件が多く確認されている。しかし、住宅の劣化程度と耐震性能低下率の関係性は未だ定量的に明らかにされていない。中でも防火木造の外壁として普及しているラスモルタルは耐久性確保が困難であり、既存木造住宅における性能評価が難しい。

一般に、既存木造住宅の耐震性能評価にあたっては耐震診断（「日本建築防災協会編：木造住宅の耐震診断と耐震補強」）による場合が多いが、現行診断法では面材壁の劣化性状を評価する手法が規定されておらず、その耐力評価は診断者判断に委ねられている。『劣化調査法』、『調査結果の評価法』及び『建物性能へ反映する手法』の開発が要請される現状にあると言える。

そこで本研究ではモルタル外壁を有する既存木造住宅の経年劣化を考慮した耐震性能評価法の構築を目標に、既存物件の構造実験を軸とした事例的研究をおこなう。

「2章実験的評価」では、モルタル外壁を有する築30年程度の無補強・既存木造住宅と、これを新築で再現した試験体に関して、要素実験(接合部実験)、単位壁実験において両者の静的加力時の構造特性を比較すると共に、外周壁構面及び実大住宅の振動台実験において大地震時の挙動と性能を把握する。

「3章理論的評価」では、特に顕著な劣化性状が確認されるモルタル留めつけ部(ステーブル接合部)の性能に着目し、接合具の発錆による断面欠損率を指標とした劣化接合部のモデル化をおこなう。次に接合部性能に基づく幾何学的非線形解析により実大試験体性能を推定し、接合部の経年劣化が住宅の構造性能に与える影響を明らかにする。あわせて、新築試験体及び既存試験体を模した質点系モデルを構築し、時刻歴応答解析により、実大建物の耐震性能を解析的に評価する。

「4章劣化診断法」では、論文の成果をふまえた劣化診断法として、モルタル壁の劣化性状を定量的に評価するための劣化調査方法及び評価方法を新たに提案する。

また“経年劣化”の一環として中小地震経験による建物性能の変化も含めて経過を把握できるよう、建物振動特性のモニタリングの導入を提案し、評価の可能性について実大実験を通じて検証する。

各章の小節は対応関係にあるため、以下ではこの関係を明確にしながら本論の検討を示す。

<接合部実験(2.1)→ 接合部性能の理論評価(3.1)>

既存木造住宅から木ずり付きモルタル外壁の薄片を抽出し、単調加力式の一面せん断実験に供した。併せて同一の仕様で新しい材料・部材を用いた新築接合部についても同様に試験をおこない、破壊性状及びせん断性能を比較した。

接合部を構成する要素の劣化性状と、せん断特性の関係については、ラス及びステーブルの劣化度とせん断剛性の間に関係性が強い。ラスの初期引張強度が低いメタルラスを使用した試験体では、ラスの劣化度（錆びの程度）に、ラスの初期引張強度の高いワイヤラスを使用した試験体では、接合部のせん断剛性は、ステーブルの劣化度（錆びの程度）に依存する。

既存接合部のせん断性能を評価するにあたり、ラス及びステーブルの劣化度及び断面欠損率の調査が要請される。

そこで、ラス及びステーブルの断面欠損率をパラメータとして接合部のせん断荷重変形関係を理論的に評価する目的で、杭の水平抵抗算定式における一様地盤中の弾性支承梁の解を適用し、算定をおこなった。接合部実験と比較して、せん断特性のうち、特に剛性に関して、新築・既存接合部ともに良好な推定が可能であり、胴径残存率をパラメータとしてステーブル接合部のせん断剛性を評価することの有効性が確認できた。破壊モードの再現については一部の試験体において課題を残した。

<壁実験(2.2.3)→ 接合部性能を用いた非線形計算に基づく壁体性能の理論的評価(3.2)>

木ずり付きモルタル壁の耐震性能に関して、実験的に検討した。築25年の既存住宅から抽出した外周壁を試験体とするとともに、同様の仕様で新たに試験体を作成し、共に静的加力試験に供した。既存壁体には、接合具の発錆、モルタルの変色・強度低下、土台の腐朽が確認される。既存試験体と新築試験体の破壊性状、荷重変形関係等を比較・対照した結果、最も顕著に現れた両試験体の差は初期剛性であり、37%の低下があった。初期加力から剛性低下が顕著に確認されること、等価粘性減衰定数の減少、クラックの発生状況及びこの変形域と各要素の負担耐力効果を鑑みて、本研究試験体における初期剛性低下の最大要因は、ステーブル接合部の劣化によるモルタル壁面のせん断剛性低下であると推測される。ステーブルの発錆による断面残存率は80%程度であった。

続いて、上述のステーブル接合部の劣化性状を反映した接合部モデルを用いて、幾何学的非線形計算をおこなうことにより壁体の性能を理論的に評価した。新築壁・既存壁ともに、実験結果

をよく追跡し、モルタル壁を含む壁体の構造性能を評価するにあたり、接合部の幾何学的非線形解析手法の適用可能性が確認されるとともに、新築壁体と比較した既存壁体の構造耐力は、試験体が最大耐力に到達するまでの変形域において、モルタルステーブル接合部の変化（剛性及び耐力の低下）と説明できることがわかった。

<構面振動台実験(2.2.4)→ 質点系応答解析を通じた構面性能の解析的評価(3.3)>

木ずり付きモルタル壁を含む外周壁構面の耐震性能に関して、実験的に検討した。前述の外壁と同一の既存住宅から抽出した外周壁構面を試験体とするとともに、同様の仕様で新たに試験体を作成し、共に微動測定、中小加振試験及び大地震波加振試験に供した。既存試験体と新築試験体の破壊性状、荷重実験変形関係等を比較・対照した結果、新築構面と既存構面には著しい剛性差が確認され、ラスモルタルの剛性の相違が、新築試験体：柱脚先行破壊、既存試験体：ステーブルの降伏という破壊モードと構面初期剛性の違いに現れたものと考えられる。既存試験体ではステーブルの発錆によるせん断力の劣化のほか、モルタルの面内せん断強度の低下が看守された。

この構面性能を解析的に評価する目的で、質点系応答解析をおこなった。モルタル接合部の劣化性状を考慮するほか、モルタルの破壊強度及び破壊過程を評価した理論モデル化により、構面の復元力モデルを適切評価することができた。大地震下のモルタル壁の耐震性能を評価する上で、特に、ラス及びステーブルの胴径残存率とモルタルの破壊強度が工学的に有効な指標となることが明らかとなった。

<住宅実験(2.3)→ 連層効果を考慮した質点系応答解析による住宅性能の解析的評価(3.4)>

木ずり付きモルタル外壁を有する2階建て木造住宅の耐震性能に関して、実験的に検討した。築31年の既存木造住宅を震動台上に移築して試験体とすると共に、同様の仕様で新たに試験体を作成し、共に微動測定・中小加振試験及び大地震波加振試験に供した。微動測定及び大地震時の振動性状から、1-2層が連層的に振動する性状が確認され、通し柱及び1-2層にわたって連続的に施工されたモルタル外壁の効果がうかがわれる。既存住宅には接合具の発錆が確認される。発錆したラス及びステーブルの胴径残存率は90%と判断される。既存試験体と新築試験体の破壊性状、荷重実験変形関係等を比較・対照した結果、既存住宅には初期剛性及び最大耐力に大きな低下が見られる。モルタルの損傷過程で新築住宅に先行して破壊が進行している様子が窺われるほか、変形性状から、モルタル壁を含む構面の剛性低下が示唆される。

この住宅性能を解析的に評価する目的で、質点系応答解析をおこなった。上述の連層要素の効果を適切に考慮したモデル化をおこない、2階建てモルタル造住宅の大地震下での耐震性能を評価した。連層効果の影響の大きい新築住宅試験体では、1層の層せん断力の1/8の連層効果を連層曲げバネとして考慮することにより、地震時の挙動を適切に評価することができた。一方、既存住宅試験体では、連層効果を特別考慮しない場合でも、倒壊モード及び応答が妥当な範囲で評価される。前節の知見に加え、2階建て住宅の耐震性能評価においては、モルタルの劣化の影響を考慮した連層効果の設定が有効であることが明らかになった。

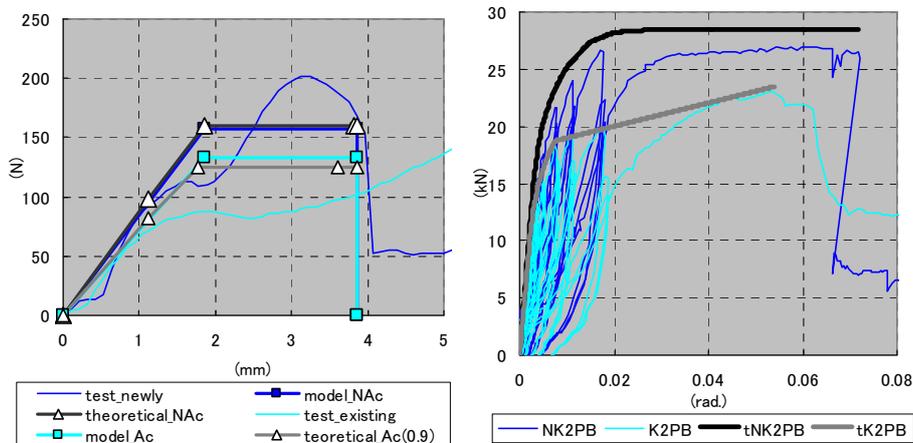
<接合部性能評価(2.1、3.1、3.2)→ モルタル壁の劣化診断(4.1.1、4.2.1)>

現行診断法で規定が見送られている面材壁の劣化性状を定量的に評価する手法を構築する目的で、モルタル壁を部分抽出し、モルタルステーブル接合部の断面形状調査及びモルタル壁の強度調査をおこなうことにより、既存モルタル壁性能を評価する手法を提案した。

<振動モニタリングによる劣化診断(4.1.2、4.2.2、4.3.2)→ 建物の微動測定(2.2.4、2.3.3)>

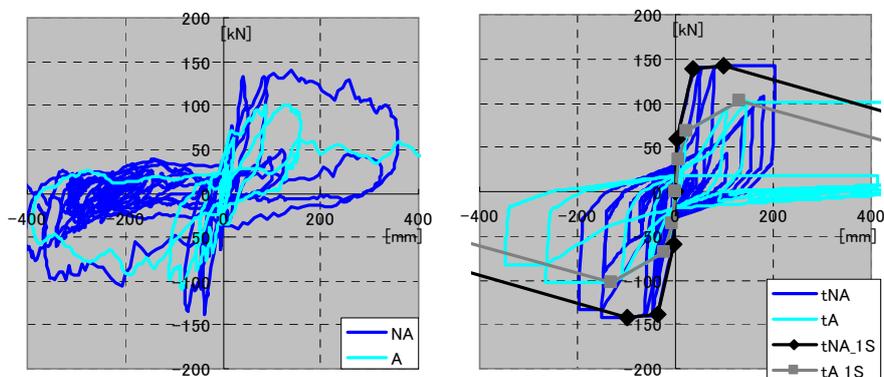
振動モニタリング結果を用いた建物剛性の変動評価は、住宅のライフイベントとの関連の中で建物性能を適切に評価にあたって有効であり、大規模調査を必要とせず、非破壊的に建物性能を評価できる点で一般に適用可能である。「劣化」「被災」「補強」の観点から、振動モニタリング結果を用いた相対的な建物剛性の評価について、2章住宅実験における大地震波加振による荷重変形関係と関連付けて実例的に示した。

このように、モルタル外壁を構成する要素の構造特性に着目した構造試験及び理論解析により、経年劣化が既存木造住宅の耐震性能に及ぼす影響について定量的に評価するとともに、一般の既存住宅として適用可能な劣化診断法として提示した。提示した手法に関して、今後実在住宅または振動台実験等を通じて、更なる検証・精度向上がなされることが期待される。



接合部性能の理論評価

壁体性能の理論的評価



住宅震動台実験結果と解析結果の比較