

伝統的木造建築物の垂れ壁付き壁構面に関する実験的研究
-土壁の有無をパラメータとした静的実験-

正会員 ○丹下 耕助*¹ 同 五十田 博*²
同 河合 直人*³ 同 岡部 実*⁴
同 中川 貴文*⁵

伝統的木造建築物 垂れ壁付き壁構面 曲げモーメント
接合部 荷重増分解析

1. 研究の目的

本研究は、伝統的木造建築物の垂れ壁付き壁構面とその構面から取り出した垂れ壁部を対象として静的加力実験を実施した。実験では、土壁の有無をパラメータとしており、土壁の有る壁構面と無い壁構面の比較から土壁の耐震性能への寄与を明らかにすることを目的としている。また、垂れ壁付き壁構面をモデル化して荷重増分解析を実施し、実験値の荷重-変位関係を追跡する。

2. 壁構面静的加力実験

2-1. 実験概要 試験体を図 1、2 に、加力前の垂れ壁付き壁構面の全景を写真 1 に、試験体リストを表 1 に示す。垂れ壁付き壁構面に土壁が有るものを A、無いものを B、垂れ壁部に土壁が有るものを C、無いものを D と称する。試験体は各 3 体ずつの計 12 体とした。軸組の材種はスギを使用しており、A、B はアンカーボルトで足固めと基礎フレームを固定し、C、D は羽子板ボルトと L 字金物により柱脚の浮き上がりと水平移動を拘束した。加力方法は、見かけの変形角 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/20、1/15、1/10、1/7.5rad で制御し、正負交番 3 回繰り返して載荷した後、引き切りを実施した。なお、A3 については振動台実験¹⁾と比較する目的で、加力スケジュールを変更しているため、A3 の実験結果は本報では考慮していない。

2-2. 実験結果

荷重-変位関係 図 3 に A、B の荷重-変位関係を比較したものと C、D の荷重-変位関係を比較したものと、表 2 に垂れ壁付き壁構面と垂れ壁部の特性値一覧を示す。なお、各試験体の荷重-変位関係は包絡線の平均とした。荷重はアクチュエータに取り付けたロードセルで測定した値とし、変位は桁に取り付けた変位計の値から柱脚に取り付けた変位計の値を引いた値とした。垂れ壁付き壁構面の最大荷重の平均値は、A で 17.1kN、B で 12.1kN となり、「土壁有り」が約 1.4 倍大きくなった。垂れ壁部の最大荷重は、C で 38.5kN、D で 27.5kN となり、「土壁有り」が約 1.4 倍大きくなった。A、C のように土壁の有る壁構面は、土壁が剥離した後、耐力の低下が見られ、土壁の無い B、D と概ね同じ耐力・挙動を示した。土壁の有る A、C は土壁の無い B、D に比べ、降伏荷重や終局荷重、剛性も大きくなった。以上のことから、土壁が壁構面の耐震性能に及ぼす影響は大きいと考えられる。

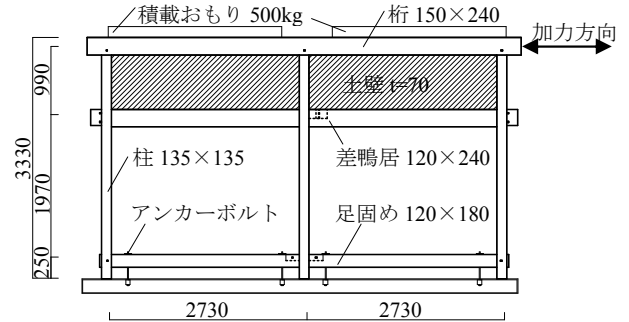


図 1 垂れ壁付き壁構面(土壁有:試験体 A)

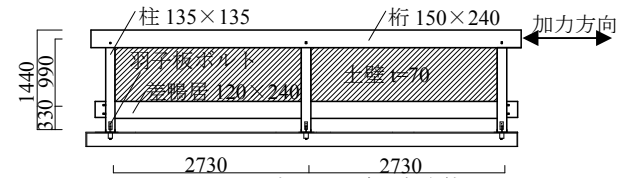


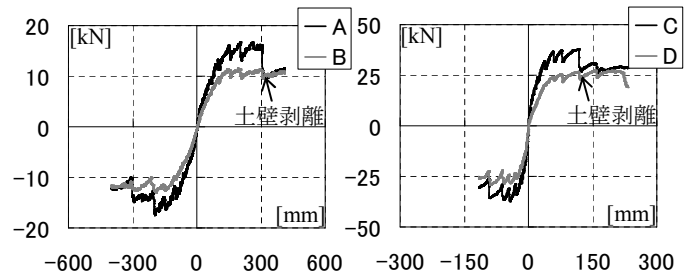
図 2 垂れ壁部(土壁有:試験体 C)



写真 1 試験体 A 全景

表 1 試験体リスト

| 試験体名 | 高さ | 土壁 |
|--------|--------|------|
| A1(B1) | h=3330 | 有(無) |
| A2(B2) | | |
| A3(B3) | | |
| C1(D1) | h=1440 | 有(無) |
| C2(D2) | | |
| C3(D3) | | |



(a) A と B (b) C と D

図 3 荷重-変位関係

表 2 垂れ壁付き壁構面と垂れ壁部の特性値一覧

| 試験体名 | Pmax[kN] | Py[kN] | Pu[kN] | K[kN/rad] | Ds |
|------|----------|--------|--------|-----------|------|
| A | 17.1 | 11.1 | 15.3 | 0.14 | 0.47 |
| B | 12.1 | 7.7 | 10.6 | 0.11 | 0.31 |
| C | 38.5 | 21.2 | 33.4 | 1.16 | 0.31 |
| D | 27.5 | 19.9 | 25.4 | 0.55 | 0.34 |

※なお、図 3、表 2 では A3 の値は平均値算出時には用いていない。

破壊性状 破壊性状の一部を写真 2、3 に示す。A は 1/100rad 時に土壁隅部がひび割れ始め、1/7.5rad 時に土壁が剥離した(写真 2)。C は 1/150rad 時に土壁隅部がひび割れ始め、1/10rad 時に土壁が剥離した。また、主な軸組の破壊性状として、A、B は雇いのせん断破壊、足固めほぞのせん断破壊、C、D は柱の折損が見られた。さらに、共通した破壊性状として、端栓の折れ、柱ほぞのせん断破壊(写真 3)または曲げ破壊が見られた。

柱の曲げモーメント 降伏荷重に至る前における A1、B1 の柱に作用する曲げモーメント分布の比較を図 4 に示す。曲げモーメントは柱に貼付したひずみゲージより算出し、ここでは土壁に損傷が始まる 1/100rad 時で、同じ外力が作用した時の分布を示している。押し引き共に差鴨居付近の柱に作用する曲げモーメントの値は、土壁の無い B1 に比べ、土壁の有る A1 の方が大きい。これは、土壁による接合部の回転拘束効果が高まったためだと考えられる。

3. 解析的検証

垂れ壁付き壁構面の荷重-変位関係を荷重増分解析により追跡する。

3-1. 解析モデル 解析モデルを図 5 に示す。接合部を曲げバネ、柱脚をピン接合とし、土壁を有する試験体は、土壁をトラスでブレース置換することでモデル化した。

垂れ壁付き壁構面における各接合部(図 6)の曲げバネの復元力特性は、既往の研究より接合部の回転抵抗実験²⁾が実施されており、それから得られた M-θ 骨格曲線より設定した(図 7)。また、土壁の荷重-変位関係は土壁を有する C から土壁の無い D を引いた P-δ 骨格曲線より設定した(図 8)。

3-2. 解析結果 荷重-変位関係の解析結果を図 9 に示す。荷重が低下し始める最大荷重時以降を除けば、A、B 共に概ね実験値を追跡できたと言える。これにより、パラメータ入力した各耐震要素は適切に評価できている。

4. まとめ

- 土壁を有する壁構面は、土壁の無い壁構面に比べ降伏荷重や剛性が大きく、最大荷重も約 1.4 倍大きくなったため、土壁が壁構面の耐震性能に及ぼす影響は大きい。
- 土壁を有する垂れ壁付き壁構面は、1/100rad で土壁隅部がひび割れ始め、1/10rad で土壁が剥離した。
- 柱-差鴨居接合部に作用する曲げモーメントの値は、土壁の無い壁構面に比べ、土壁の有る壁構面の方が大きい。これは、土壁があることで接合部の回転拘束効果が高まったためだと考えられる。
- 荷重増分解析では最大荷重時以降を除き、垂れ壁付き壁構面の実験結果を概ね精度よく追跡できた。



写真 2 土壁の剥離



写真 3 柱頭ほぞせん断破壊

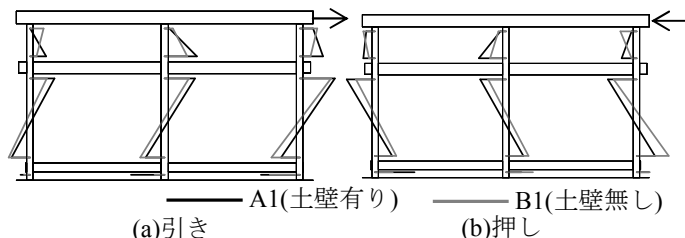


図 4 柱の曲げモーメント分布(1/100rad)

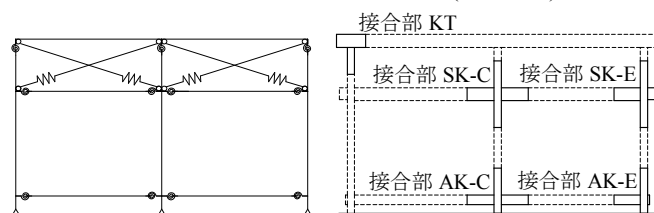


図 5 解析モデル(試験体 A) 図 6 接合部実験の接合部箇所

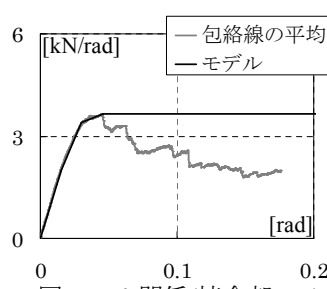


図 7 M-θ 関係(接合部 KT)

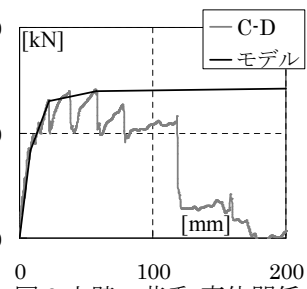


図 8 土壁の荷重-変位関係

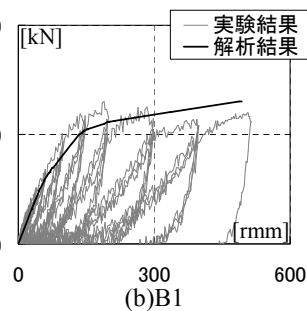
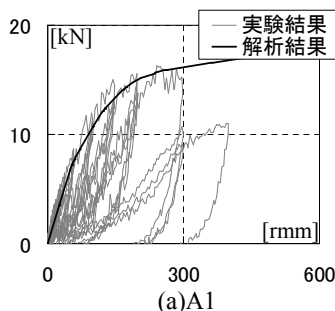


図 9 実験値と解析値の比較

参考文献 1) 桂川晋: 伝統的木造住宅の垂れ壁付き構面振動台実験 その 1 実験方法と結果の概要、日本建築学会大会学術講演概要集(東北)、pp.563-564、2009.8

2) 桂川晋: 伝統的木造住宅の垂れ壁構面付き構面振動台実験 その 7 柱曲げ試験と接合部回転抵抗試験結果、日本建築学会大会学術講演概要集(北陸)、pp.537-538、2010.9

謝辞 本実験の一部は建築研究所「伝統的木造建築物の構造設計法の開発」の一環として実施されたものである。ご指導・ご協力頂いた関係各位、並びに、実験全般にご指導頂いた桂川晋氏(2010 年度信州大学修士 2 年)に感謝いたします。

*1 信州大学大学院 修士課程

*2 信州大学工学部 准教授 博士(工学)

*3 工学院大学 建築学部建築学科 教授 工博

*4 ベターリビングつくば建築試験研究センター 主席試験研究員 農修

*5 建築研究所 材料研究グループ 研究員 博士(農学)

*1 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Shinshu Univ.

*2 Associate professor, Shinshu Univ, Dr. Eng.

*3 Professor, Faculty of Architecture, Kogakuin Univ Dr. Eng.

*4 Center for Better Living Tsukuba Building Research and Testing Lab, Ms Agr.

*5 Research Engineer, Dept. of Building Materials and Components, BRI, Dr. Agr.