

1) 科学研究費助成事業

1) - 1 中高層木質構造物における高軸力を受ける柱脚接合部の汎用設計法の提案【持続可能】

Proposal of general design method of column base connections subjected to large axial force for mid-to-high-rise wooden buildings

(研究開発期間 令和2~4年度)

材料研究グループ 山崎義弘
Dept. of Building Materials and Components YAMAZAKI Yoshihiro

In this study, a seismic design method of tensile-bolted glulam column base connection subjected to large axial force is proposed. Repeated compression/tension test for glulam with rectangular notched hole was conducted in order to investigate the effect of compression crease on the tensile strength. In addition, full-scale test of column base connection was performed.

【研究開発の目的及び経過】

木造建築物の中高層化にあたり、各部の破壊モードを制御しつつ建物全体としての塑性変形能力を確保することが重要である。本研究では主に引きボルト式接合を用いた柱脚部の検討を行った。中高層木造建築物では隅柱のように変動軸力が大きな柱脚部において、高い圧縮軸力下で接合部曲げ耐力が上昇するため母材耐力に対する余裕度が低下しがちであり、さらに引きボルト式集成材柱脚接合部の座彫部では圧縮縁の損傷後にその部分が引張応力下に転じると、繊維の屈曲部を起点とした引張破壊が生じ、通常の引張強度より低い応力レベルで破壊することも確認されている²⁾。以上より、圧縮／引張の繰り返し交番応力に対する集成材の強度低下現象の把握、ならびに繰り返し変動軸力と曲げモーメントを受ける柱脚接合部の実験による性能評価を行った。

【研究開発の内容】

1) 圧縮／引張の交番応力を受ける集成材の強度低下

試験体は図1に示す引きボルト式接合部の座彫部を模したもので、材中央に設けた四角穴周辺を破壊部とした。材料は同一等級構成集成材で表1に示すオウシュウアカマツとスギを用意した。各仕様6体ずつ試験を行った。

図2に示す加力装置を用い、(i)単調圧縮荷、(ii)単調引張荷、(iii)圧縮後引張荷の3種の荷を行った。(i)と(ii)で単調圧縮強度 σ_c と単調引張強度 σ_t の平均値を求め、(iii)ではまず σ_c の α 倍の圧縮応力を1回与えた後に引張応力を与えて破壊に至らしめ、そのときの引張破壊強度の σ_t に対する比 R_t を求めた。 α は3水準(各6体ずつ)とした。

2) 実大接合部実験

図3(左)に示す引きボルト接合による柱脚部を模した試験体である。本実験では、図3(右)の装置を用いて、変動

軸力下での逆対称曲げを再現した。軸力3水準と、単調／繰り返しの荷により計12体を試験した。

【研究開発の結果】

圧縮後引張荷で得られた R_t - α 関係を図4に示す。6体平均値に加え、信頼水準75%の5%下限値と、単調引張荷と圧縮後引張荷を独立した標本と見なした t 検定による p 値を併記した。オウシュウアカマツ・座彫幅80の例では、 $\alpha = 0.9$ で R_t の有意な低下が見られた。

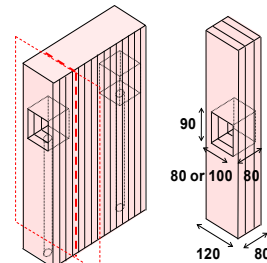


図1 試験体

表1 材料特性

強度等級	樹種	比重	座彫幅	名称
E105-F300	オウシュウアカマツ	0.51	80	ES
			100	EL
E65-F240	スギ	0.42	80	CS

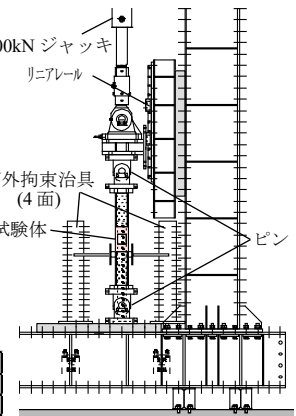


図2 加力装置

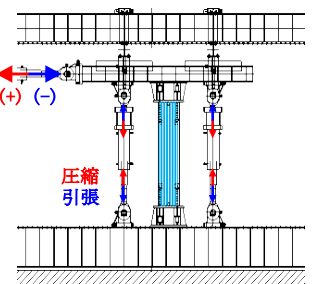
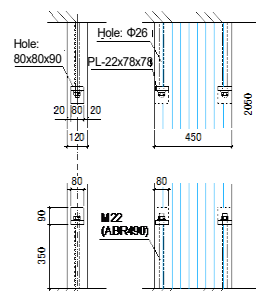


図3 実大接合部実験の試験体(左)と荷装置(右)

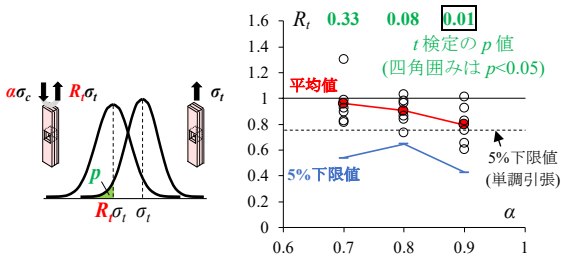


図4 圧縮応力経験後の引張強度の低下率
(オウシュウアカマツ・座彫幅 80(ES)の例)

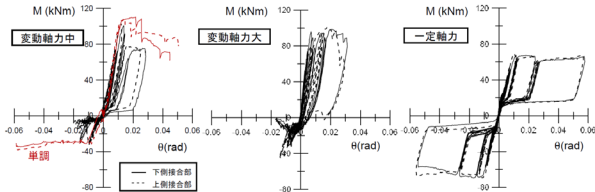


図5 接合部のモーメント M-回転角 theta 関係

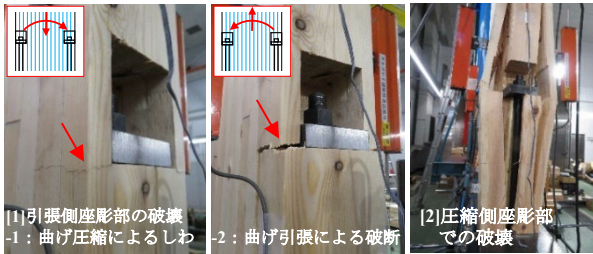


図6 破壊性状

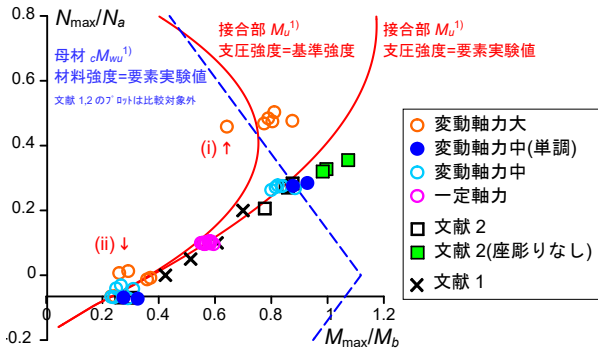


図7 M-N 相関関係

図5に実大接合部実験の各試験体の曲げモーメント M - 回転角 θ 関係を、図6に破壊性状を示す。変動軸力中・大の試験体において、繰り返し载荷により曲げ圧縮で座彫近傍にしわが生じた後に曲げ引張を受けることで、そのしわから引張破壊が生じた(図6[1])。これが前述の実験で見られた現象であり、これにより、繰り返し载荷と単調载荷では、曲げ耐力は単調载荷の方が僅かに高い程度だが、変形性能は単調载荷の方が優れていた。

図7に実験で得られた最大曲げモーメント M_{max} と最大軸力 N_{max} の関係を示す。文献1の接合部の終局曲げ耐力 M_u および母材の曲げ耐力 cM_{wu} の理論式に基づく M - N 曲

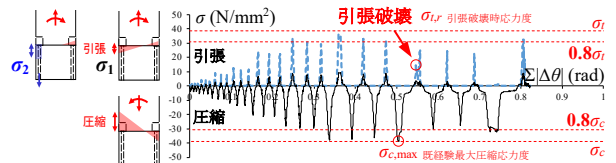


図9 座彫のある断面の縁応力履歴(変動軸力中の例)



図9 破壊状況

A_r : 網掛け部の面積
座彫(欠損)
 A_e, Z_e : 欠損を考慮した断面面積、断面係数
 $\sigma_1 = M/Z_e + N/A_e, \sigma_2 = T/A_r$
 M, N : 座彫のある断面のモーメント、軸力
 T : アンカーボルトの引張力

図8 応力の評価

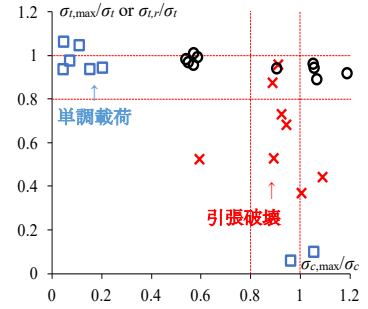


図10 引張破壊時応力と既経験最大圧縮応力度の関係

線も重ねて示す。いずれも理論値に概ね一致している。変動軸力大で接合部曲げ耐力・母材曲げ耐力の理論値のいずれも下回っているもの(図7の(i)や(ii))は、繰り返しの影響と考えられる。

座彫のある断面について、図8のように求めた座彫部の縁応力履歴の一例を図9に示す。以下では引張応力は σ_2 で評価する。図9より $0.9\sigma_t$ 程度の引張応力に耐えつつ σ_c に近い圧縮応力を複数回経験したあと、 $0.4\sigma_t$ 程度で引張破壊が生じた。このような応力履歴の分析を全試験体を実施し、最大引張応力度 $\sigma_{t,max}$ (破壊しなかった試験体) または引張破壊時応力度 $\sigma_{t,r}$ (破壊した試験体) と、その前に経験した最大圧縮応力度 $\sigma_{c,max}$ の関係を図10に示す。1体のみ外れたプロットがあるものの、要素実験結果と同様、 $\sigma_{c,max}$ が σ_c の $0.8 \sim 0.9$ 倍を超えると、 σ_t 未満の低応力で引張破壊が生じる可能性があると言える。

なお、木材の基準強度は信頼水準75%の5%下限値で規定され、座彫部の圧縮縁応力を基準強度以下とすれば σ_c (実強度の平均値) の 0.8 倍ほどには達しないと考えられるが、保証設計においては確率論に基づく検討も必要であり、今後の課題としたい。

【参考文献】

- 1) 秋山信彦, 岡本滋史, 山崎義弘, 榎本敬大: 引きボルト式集成材ラーメン構造の耐震設計法に関する研究 軸力を考慮した柱脚接合部の剛性および耐力の推定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 87 巻, 第 793 号, pp.295-306, 2022.3
- 2) 山崎義弘, 溝口比菜, 松田和浩, 秋山信彦: 曲げモーメントと軸力の複合応力を受ける集成材柱脚部および CLT 壁脚部の性能評価, 日本建築学会技術報告集, 第 28 巻, 第 68 号, pp.161-166, 2022.2