

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2015

課題番号：15K14065

研究課題名(和文) 高強度・高靱性の損傷制御型ブレース耐力壁の開発

研究課題名(英文) High strength and High ductility timber bearing wall system with damage control mechanism

研究代表者

難波 尚 (Namba, Hisashi)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30314503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：中大規模木造建物を対象に高強度・高靱性の損傷制御型ブレース耐力壁の開発ならびに設計法を提案した。提案した耐力壁は、耐力壁に多段のたすき掛けブレースを配置することで高強度化をはかり、各ブレース交点に棒鋼ブレースに先行して降伏する鋼製リング型接合部設けることで、高いエネルギー吸収能力を発揮させるものである。

鋼製リング型接合部の要素試験を実施し、剛性、耐力および変形能力を把握した。要素試験に基づき耐力壁の実験を実施し、1/10radの変形角まで安定した荷重変形挙動を示した。壁倍率および最大耐力は9.9および60kNであった。

研究成果の概要(英文)：Aiming to the application for the large scale timber structures, high strength and high ductility timber bearing wall system is developed. The proposed wall system is consisted multiple X type brace systems toward to the vertical direction in the wall to achieve high strength, and also steel ring connections which are provided to the connections of each braces at the center of the each brace systems for the damage control. The connection element tests were conducted to investigate elasto-plastic behavior of the connection under cyclic reversal load. According to the tests results, the design method of the connection and deformation capacity of the connections are made cleared. Finally, the proposed bearing walls were tested with varying the numbers of the X type brace systems and geometry of the steel ring connection. The tests results show that the proposed bearing wall system can achieve high strength and high deformation capacity.

研究分野：建築構造工学

キーワード：木質構造 耐力壁 高強度 高靱性

1. 研究開始当初の背景

日本の国土の3分の2は森林が占めており、資源に乏しいわが国において、人工林資源を有効利用する意義は高い。2010年10月には「公共建築物における木材の利用の促進に関する法律」が施行され、中大規模木造建築物の普及への期待が更なる高まりを見せている。2010年5月には、国土交通省の官庁営繕部より、官庁施設を対象とした「木造計画・設計基準及び同資料」が制定され、非住宅の規模の大きい木造建築を計画・設計する上での留意点等が整理されている。また、中大規模木造建築の構造設計を行う際に必要となる従来の住宅木造建物に比べ高強度の接合部や耐力壁等に関する検証実験が進められると共に、構造解析に必要な各部挙動のデータ集も公開され、中大規模木造建築物を構造設計するための環境整備が進められている。大規模木造建築物を対象とした高強度耐力壁は、いずれも高強度化に成功しているものの、住宅用耐力壁に比べ変形能力が減少している傾向が見受けられる他、接合部で生じる2次元的な応力で最終的に柱が曲げ破壊している例も見受けられている。木造耐力壁の靱性確保に関する設計法には不明確な部分も残されており、中大規模木造建築物の耐力壁においては、より明快地靱性を保証するメカニズムと設計法が必要と考える。本研究では、ブレース交点の鋼製リング接合部を塑性化させることで、地震時のエネルギー吸収を行うとともに、軸組部材および他の接合部の損傷を制御する新たな耐力壁を開発すると共に、その設計法を示すものである。

2. 研究の目的

中低層中大規模木質構造建築を対象とした高強度・高靱性の損傷制御型ブレース耐力壁の開発を行うと共に、その設計法の提案を実施する。提案する耐力壁は、軸組に構造用集成材(柱:150x150, 桁:150x300)を、ブレースにターンバックル SNR400-M20 を用いたすき掛けターンバックルブレースの交点に鋼製リング接合部を有するもので、ブレース交点の鋼製リング接合部をバランスよく塑性化させることで、鉛直荷重を支持する軸組の損傷制御を図るものである。

3. 研究の方法

(1) 耐力壁の特徴 図1に本研究で提案する高耐力・高靱性木質耐力壁の校正を示す。X型ブレースを耐力壁の高さ方向に多段設けることで、ブレースの取り付け勾配を抑え高強度化を図っている他、各X型ブレースの交点位置に鋼製リング接合部を設けている。リング接合部は、引張力のみには抵抗するように詳細を工夫しているが、図2に示すようにリング接合部は引張力を受ける引張側直径と同程度に、その直交方向の直径に圧縮変形が生じるため、荷重方向が反転する際に、圧縮側ブレースとリング接合部の離間が生じずに、耐力壁はスリップ性状の少ない荷重-変形挙動を示すと期待される。

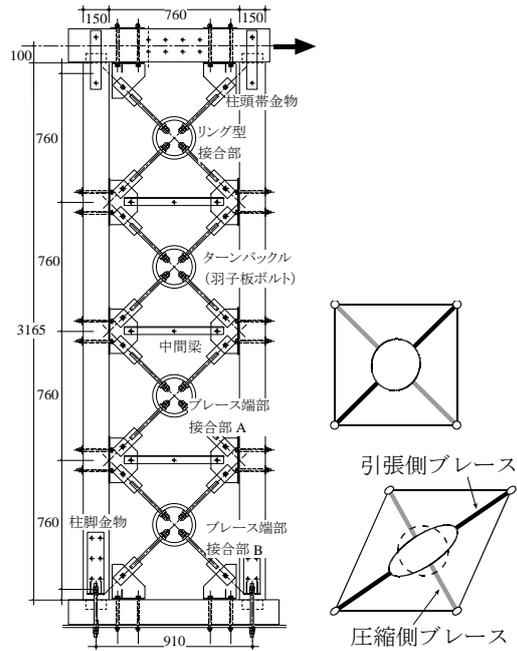
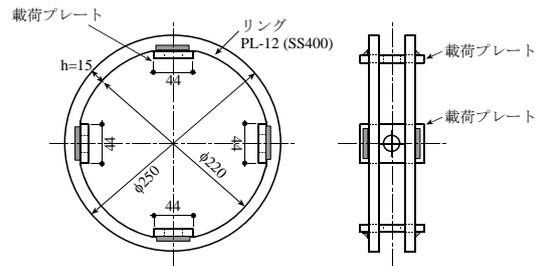
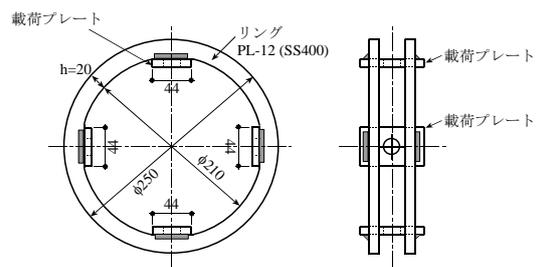


図1 耐力壁の構成

図2 構造特性



(a) $h=15\text{mm}$



(b) $h=20\text{mm}$

図3 鋼製リング接合部

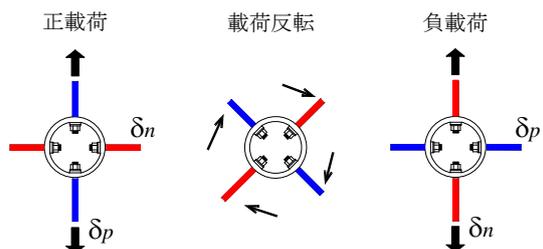


図4 要素実験荷重方法

(2) 接合部要素実験

提案する耐力壁の挙動は、リング接合部の特性に大きく影響を受ける。リング接合部の弾塑性挙動と変形能力の把握のため、耐力壁の載荷実験に先行して、図3に示す鋼製リング接合部の要素実験を実施した。リングはSS400の鋼板から切出した2枚のリング状鋼板を4載荷プレートと計8カ所で隅肉溶接接合することで製作した。表1に試験体の寸法および線材計算値の一覧を示す。要素実験の載荷は、実際の耐力壁での正負繰返し載荷時の応力状態を想定し、図4に示すように直交する接合部直径方向に取付けた2組のPC鋼棒に交互に引張力を作用させることで実施した。載荷は、リング直径方向の接合部変形をリング直径の15%までで正負に2回繰返す漸増形式で、その後、正方向に単調に載荷した。

表1 要素試験体一覧

	リングのサイズ (mm)			計算値		単体実験結果	
	径 D	幅 h	厚 t	Py (kN)	K (kN/mm)	Py (kN)	K (kN/mm)
H15	250	15	12	19.1	5.73	21.2	7.21
H20		20		35.0	14.5	38.6	14.4

(3) 耐力壁載荷実験

図1に示す形状の耐力壁に対し、柱頭に水平力を作用させることで、正負漸増交番繰返載荷実験を表1に示す4体について実施した。実験の変数は、図3に示すリング幅 h=15mm、20mmに加えて、Xブレースフレームを耐力壁に図3のように4個とした場合と、最上部と最下部の2個のみとした場合の合計4ケース設定した。

表2 壁試験体一覧

試験体	リング幅 h(mm)	フレームの数
H15_F4	15	4
H15_F2	15	2
H20_F4	20	4
H20_F2	20	2

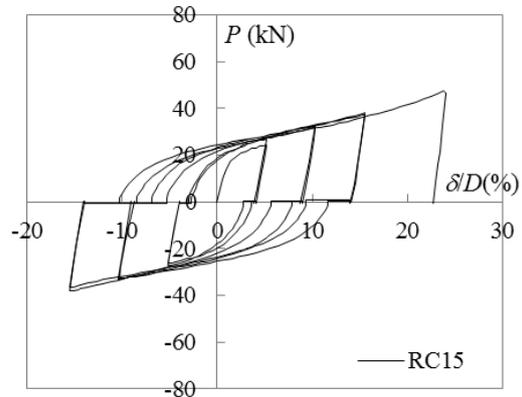
Xブレースには、軸部降伏が保障された建築用ターンバックルに用いられる羽子板ボルト JIS A 5542 を用いた。羽子板ボルトは、リング型接合部の降伏耐力計算値の2倍で降伏するように設計しており、H15 および H20 の試験体それぞれに対して M14 と M20 を用いた。ブレース端部と軸組のボルト接合部は、ブレースの十分な塑性変形を保障するため、羽子板ボルトの降伏耐力の1.2倍の存在応力に対して短期許容応力度以下となるように設計する。ブレース端部接合部については、接合部剛性を確保するため、柱との接合面が純せん断状態となる様、図1で示すようにブレース中心線の交点と柱芯をずらす偏心接合とした。これに伴い水平力の一部を柱が負

担する。柱頭および柱脚に位置するブレースへの軸力伝達は、ブレース端部接合部により、横架材から直接ブレースに伝達することで、柱頭および柱脚接合部に作用する応力を低減した。柱脚には引き寄せ金物を用い、軸部降伏が保障された建築構造用アンカーボルト (ABR400) を、H15 および H20 試験体それぞれに対して M16 と M22 を用いた。

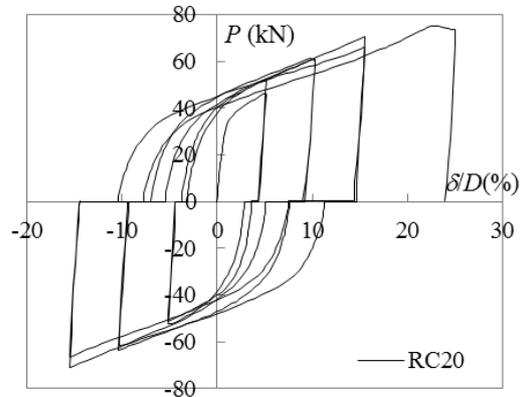
4. 研究成果

(1) 接合部要素実験

図5に要素実験で得た荷重 - 変形関係を示す。図中の縦軸は PC 鋼棒に作用させた引張力を表しており、正載荷時には正載荷側 PC 鋼棒に作用させた引張力を正として用い、負載荷時には、負載荷側 PC 鋼棒に作用させた引張力を負として用いた。また図の横軸は、リング接合部の載荷点での直径の変化を接合部変形 δ を、リング外径 D で除したものである。縦軸と同様に横軸も、正載荷時に正載荷側接合部変形の伸び変形を正として用い、負載荷時には負載荷側接合部変形の引張変形を負として用いている。図5の縦軸が0の辺りで荷重 - 変形関係が不連続に変化するギャップが見られるが、これは載荷側の接合部変形 (伸び) に対して、その直交方向の接合部変形 (縮み) の絶対値の大きさが小さく生じたことで、載荷反転時にこの様なギャップが現れる。



(a)RC15



(b)RC15

図5 荷重 - 変形関係 (要素実験)

この様に荷重反転時にスリップが生じるものの、その繰返し荷重時の荷重 - 変形関係の履歴面積は、一般的なスリップ挙動のものに比べて優位に大きいことが分かる。

両試験体共に接合部変形がリング径の 10% の変位振幅では特に損傷は確認されておらず、15% の変位振幅の 2 回目の繰返しで荷重直交方向の荷重プレート近傍のリング内面に亀裂が生じた。その後、20% を超える変形に至るまで、安定した荷重 - 変形挙動を示した。

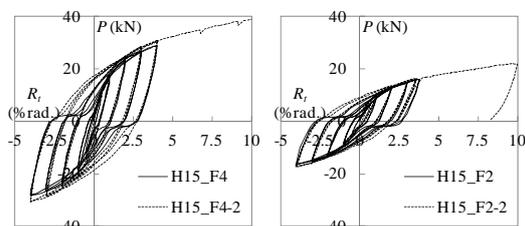
(2) 耐力壁実験

図 6 に耐力壁実験で得た荷重 - 変形角関係を示す。横軸は見かけの層間変形角で柱脚接合部変形による耐力壁の回転を含むものである。なお図 6(a), (b) 中に示す破線の結果は、変形角が 0.04rad まで正負漸増交番繰返し荷重を実施した後、試験体を残留変形角が 0 となるまで立て直し、緩みの生じたボルトのナットを締め直した後に、再度、荷重を実施した結果によるもので、地震で損傷を受けた耐力壁を立て直して再使用した場合の挙動に相当する。

いずれの試験体も亀裂等の破壊は認められず、リング接合部の変形が卓越して増加しており、その他の接合部や軸組部材には顕著な塑性変形や損傷は認められず、設計意図どおりの挙動を示した。

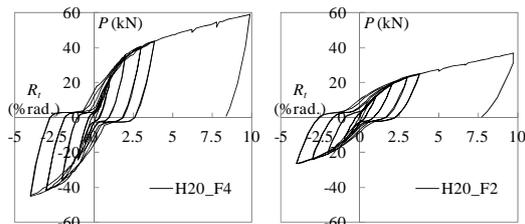
X プレースフレームを 2 個に減らした F2 の結果は、概ね F4 に比べて同一変形時の抵抗力が 1/2 であった。

処女荷重の実験結果では、荷重反転時に殆ど荷重を負担せずに変形角が進むスリップ領域が見られたが、これは要素試験で見られたリング接合部のスリップ挙動の影響が大きいと考えられる。なお、図 6(a), (b) で立て直し後に再荷重した破線の実験結果はスリップ挙動がほとんど見られず、処女荷重よりもエネルギー吸収性能が上昇している。この原因については今後、検討を行う必要がある。



(a) H15-F4

(b) H15-F2



(c) H20-F4

(d) H20-F2

図 6 荷重 - 変形関係 (耐力壁実験)

H20-F4 について、壁倍率を評価したところ、9.9 となり、また最大耐力は 60kN となった。

本研究により、高強度・高靱性の新たな損傷制御型の中大規模用の耐力壁の構成方法を新たに提案するした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

ホームページ等：無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

難波 尚 (Namba Hisashi)

神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：

30314503

(2) 研究分担者

— (—)

研究者番号：

—

(3) 連携研究者

— (—)

研究者番号：

—