20404 各種耐震補強金物部材の力学特性および接合性能評価

Jointing Performance Evaluations and Mechanical Properties of Various Earthquake-proof Reinforced Members

○ 佐藤善輝 (東京高専) 正 志村 穰 (東京高専) 峯尾一幸 (株式会社エクセル)
平間隆之 (株式会社エクセル) 正 鈴木拓雄 (産技高専荒川)

Yoshiki SATO, Tokyo National College of Technology, Kunugida-machi 1220-2, Hachioji-shi, Tokyo
Jyo SHIMURA, Tokyo National College of Technology

Kazuyuki MINEO, EXCEL Corporation, Dai-machi 4-44-4, Hachioji-shi, Tokyo

Takayuki HIRAMA, EXCEL Corporation

Takuo SUZUKI, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, Minamisenjyu 8-17-1, Arakawa-ku, Tokyo

Purposes of this study are to clarify mechanical properties of commercially available reinforced members by using Three-dimensional Finite Element Method and to evaluate jointing performances of them by tensile experiments in a prescribed method. In FEM analyses, the effects of difference among the three reinforced members "Type A, B and C" on stress distributions and deformation states were investigated. Specified tensile tests and experiments concerning strain distributions were conducted for measurement of joint strengths, for verification of numerical results, respectively. From the numerical and experimental results, it has proved that the Type A reinforced member is the most superior jointing performance of the three types.

Key Words: Antiseismic reinforcement, Jointing performance, FEM, Stress analysis, Mechanical property

1. 緒言

地震大国である日本では、昨年度発生した東北・関東大震災を代表とする大地震が度々起きており、また、世界的にも大地震によって多大な被害が生じている。日本に留まらず世界的に地震対策への関心が高まっている。今後発生し得る大地震に備えるため、建築物の耐震性の向上は必要不可欠であり、そのための研究は急務である。

本研究室ではこれまでに、木造家屋の耐震強度向上に有効である特定の耐震補強金物部材(以後、金物部材と記す)に注目し、構造解析および独自の各種実験により、強度特性の調査を行ってきた^{1,2)}。そこで本研究では、市販の各種金物部材を対象とし、(財)日本住宅・木材技術センターの強度検査試験³⁾に準拠した接合部性能実験や三次元有限要素応力解析により、各種金物部材の力学特性の調査ならびに接合部性能の評価を行う。

2. 解析・実験方法

市販の金物部材3種をFig.1に示す。Model Aは4ピース構造、Model BおよびModel Cは一体型構造となっている。外観寸法および材質をTable 1に示す。また、いずれの金物部材は木ねじにより木材に固定される。

2.1 解析方法

Fig.2は(財)日本住宅・木材技術センターの強度検査試験に準拠した試験体の解析モデルであり、柱と土台が短ほどで継がれ、その接合部に金物部材が取り付けられた状態を想定している。柱と土台の断面寸法は105×105 [mm]である。三次元有限要素応力解析では、土台側の木材底面を完全拘束し、柱側の木材上面にy方向の引張荷重 $F = 500$ [N]を与えた。接触条件として、木材-木材間、木材-金属間、金属-金属間の摩擦係数をそれぞれ0.3、0.5、0.2とし⁴⁾、木ねじ挿入部は固着条件を用いている。また、金物部材

Fig.2 Model for analysis

Fig.3 Schematic of performance experiment at joint part under tensile load

Table 1 Dimensions and materials of each object

	Dimension [mm]	Material
Model A	150×150×45, t4.5	Hot rolled steel, Sulfur free-machining steel
Model B	120×120×25, t3.2	Hot-dip zinc-coated carbon steel
Model C	120×60×35, t2.3	High corrosion-resistant surface-coated steel

Table 2 Material constants

	Young's modulus E [GPa]	Modulus of rigidity G [GPa]	Poisson's ratio ν [-]
Mild steel	206	62	0.3
Cedar wood	$E_1 = E_2 = 0.22$ $E_3 = 5.5$	$G_1 = G_2 = G_3 = 0.367$	$\nu_{12} = \nu_{13} = \nu_{21} = \nu_{23} = 0.016$ $\nu_{31} = \nu_{32} = 0.04$

各種の材質は全て鋼材を、木材は杉の無垢材を想定し、直交異方性材料として扱っている。Table 2に鋼材および木材⁵⁾の材料定数を示す。Table 2中の弾性定数は、添字3が木材の繊維方向(長手方向)を、添字1, 2が繊維方向と直交する方向をそれぞれ意味する。なお、本解析は弾性範囲内での線形静解析である。

2.2 ひずみ分布測定実験

解析結果の妥当性を検証するため、ひずみ分布測定実験を行う。Fig.3は(財)日本住宅・木材技術センターの強度検

(a) Model A (b) Model B (c) Model C

Fig.1 Various earthquake-proof reinforced members

査試験に準拠した接合部性能試験で用いる試験体の概略である。これを引張試験機に取り付け、変位速度 0.25[mm/s]の引張負荷を与えると同時に、金物部材の任意箇所貼られたひずみゲージによりひずみを検出し、共和電業社製センサインタフェース PCD-300A を介してパーソナルコンピュータに記録する。

2.3 接合部性能実験

対象とした金物部材の接合部性能試験では、その形状から柱頭柱脚の引張試験(隅柱型・中柱型)、せん断試験(隅柱型・中柱型)および面内せん断試験の計 5 種類を実施すれば十分とされている³⁾。本研究では、隅柱型の柱頭柱脚引張試験を行う。Fig.3 に示す試験体を引張試験機に取り付け、変位速度 0.25[mm/s]の引張負荷を作用させ、その際の柱の絶対変位を試験体の両側に配置した 2 本の変位変換器により検出し、センサインタフェース PCD-300A を介してパーソナルコンピュータに記録する。

3. 結果および考察

3.1 FEM 応力解析結果

各モデルに引張荷重 500[N]が作用した時の変形および von Mises 応力コンター表示を Fig.4 に示す。図中の応力値レベルは、白色に近づくほど応力が高く、黒色に近づくほど応力が低くなることを示し、白色の部分 30[MPa]以上、黒色の部分で 0[MPa]を意味する。各モデルの高応力領域に着目してみると、Model B では側板部を中心に広く分布し、Model A ではアングルの屈曲部、Model C ではパイプ部土台側に応力が集中している。また、各モデルの von Mises 応力の最大値は Model A で 78.4[MPa]、Model B で 104.6[MPa]、Model C で 166.3[MPa]である。Model B は非対称構造であり、荷重負荷の際に、ねじれを伴った複雑な変形状態となる。くわえて、Model B および Model C は Model A に比べて板厚が少なく剛性が低いことが、最大応力値の差異を生じている直接的な要因と考えられる。したがって、三種の中で Model A が最も力学的に優れると推察される。

3.2 ひずみ分布測定実験結果

Model A の金物部材のアングルおよび筋交い部分にひずみゲージを 14 枚貼付しひずみ分布を測定した。引張荷重 $F=1000$ [N]の時のひずみ測定値とひずみゲージ貼付位置に対応する FEM 解析の要素ひずみ値を比較した。紙面の都合上、図の掲載は省略するが、ひずみ分布に関する解析結果と実験結果の両者はほぼ一致しており、解析結果の妥当性を確認することができた。

3.3 接合部性能実験結果

各金物部材が取り付けられた隅柱型試験体を 4 つずつ合計 12 体製作し、0.25[mm/s]の変位制御にて引張試験を行った。実験結果の一例を Fig.5 に示す。縦軸は作用荷重[kN]、横軸は柱の絶対変位[mm]である。また、Fig.5 の荷重-変位線図をもとに平均最大荷重および平均最大変位としてまとめたものを Fig.6 に示す。最大変位は、作用荷重が最大値に達した後、その 80%に低下した際の変位値を用いている³⁾。Fig.6 より、平均最大荷重は Model A が最も高く、平均最大変位は Model B が最も大きくなっている。

以上より、接合部性能実験結果と FEM 応力解析結果を踏まえて各金物部材を評価すると、解析結果において高応力領域が少なく最大応力値が低い、かつ、接合部性能実験結果で、最も平均最大荷重が大きい Model A が力学特性に優れ、接合性能が良好であると考えられる。

4. 結言

市販の各種金物部材の力学特性の調査ならびに接合部性能の評価を行うため、三次元有限要素応力解析および接合部性能実験を行った。得られた知見を以下に記す。

Fig.4 Contour of von Mises stress σ_m and deformation

Fig.5 Applied load - absolute displacement diagram

Fig.6 Averaged value of maximum load and maximum displacement

- (1) 解析結果より、同一荷重負荷に対する各金物部材の最大応力値は Model A が最も小さくなると推察される。
- (2) 接合部性能実験結果より、平均最大荷重は Model A が最も大きく、平均最大変位は Model C が最も小さくなることを確認した。
- (3) 解析結果および接合部性能実験結果から、Model A が最も接合性能に優れることを示した。

参考文献

- 1) 志村他 3 名, 日本設計工学会平成 21 年度春季大会研究発表講演会講演論文集, (2009), 87-90.
- 2) 佐久間大海, 東京高専卒業研究論文, (2011).
- 3) ハウスプラス確認検査株式会社, 木造建築構造試験事業における接合部性能試験業務方法書.
- 4) 北原覺一, 木材物理, (1970), 73.
- 5) 千田知弘ら, 構造工学論文集 Vol.53A, (2007), 880-887.