

木材の特性を活用した 「木製摩擦接合」 による耐震構造

都産技研では、実証試験セクターの松原独歩 主任研究員が、平成 27 年度から平成 29 年度にわたり、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「スギの圧縮と摩擦特性を活かした高減衰耐力壁の開発」に参画しました。この研究では、富山県農林水産総合技術センター木材研究所の若島嘉朗 副主幹研究員が代表を務め、合計 6 名の研究グループを結成。特許出願中の成果なども得られています。

地震による木造住宅の 損傷を制御したい

研究グループでは、これまでに木造住宅のさらなる耐震性能向上に向けて、鋼製ダンパーを用いた簡易な制振壁の開発に取り組み、一定の成果を上げてきました。しかし、大地震後も建物を継続利用するには、地震力による建物の変形を極力小さくして損傷を抑える必要があります。鋼製ダンパーは、鋼材の弾性範囲を超え塑性域まで変形することによって初めて効果を発揮するため、中小規模の地震発生時はやや効果が薄いといえます。

そこで着目したのは、ボルトなどの金物を締付けることで木材同士もしくは木材と鋼材間に生じる摩擦抵抗です。鋼材同士の摩擦抵抗は、物体の変形がしにくい非常に高い剛性とエネルギー吸収能力が期待できることが知られていますが、木材同士もしくは木材と鋼材間の摩擦抵抗に関しては、これまであまり研究されていませんでした。これを検証するために、木材による摩擦接合部の試験を予備的に行ったところ、小刻みに耐力が変動する「スティックスリップ」という挙動のない、非常に安定した摩擦挙動を確認することができました。

■ 研究グループのメンバー

富山県農林水産 総合技術センター 木材研究所 副主幹研究員 若島 嘉朗	福井大学学術研究院 教授 石川 浩一郎	京都大学 生存圏研究所 助教 北守 顕久
福山女学園大学 講師 清水 秀丸	富山県農林水産 総合技術センター 木材研究所 副主幹研究員 藤澤 泰士	東京都立産業 技術研究センター 実証試験セクター 主任研究員 松原 独歩

参考書に書かれた 「常識」を覆すために

こうして木材の摩擦を用いたダンパーの開発がスタートしますが、解決すべき問題は多々ありました。まず、木質構造の参考書にも記されていることですが、摩擦力を発生させるために必要なボルト締付け力(以下、「締付け軸力」)は、木材の収縮および応力が抜けてしまう応力緩和という現象を勘案すると、長期的には期待することはできないとされています。時間の経過とともに締付け軸力が抜けてしまうわけです。さらに、湿度が変動する環境下では木材の応力緩和は著しくなることも知られています。

もう一つの大きな問題は、締付け軸力をいかに正確に与えるかです。締付け軸力はトルクレンチなどの工具を用いたトルク管理による締付けによって付与することを考えましたが、トルクはナットと座金、およびねじ部の間の摩擦の影響を受けます。鋼構造においてもボルトのトルク管理は非常に難しいものとされており、木材の締付け軸力の管理についてはほとんど研究されていませんでした。

そこで、締付け軸力の管理方法について、所定の厚さの座金を締付けることによって、木材面にフラットになるまでめり込ませる変位管理法について検討しました。これはボルトの塑性変形を用いる塑性域締付けと同様に、ナット回転角のバラツキに対する締付け軸力のバラツキが小さくなることを期待しており、鋼材を塑性化させる代わりに木材を塑性化させる方法です。木材の塑性域における応力緩和挙動は知見が少な

かったことから、塑性域における応力緩和試験を実施しました。その結果、室内環境では5年を経過しても応力が維持されることがわかりました。しかし、木材にとって非常に厳しいと思われる高温高湿環境下に数日間さらす「促進処理」後、予想以上に緩和が進んでしまいました。

そこで発想を変え、近年世界で急速に普及し始めた木材繊維を直交させて集成した材料であるCLT(Cross Laminated Timber)の弾性範囲内での締付けについて検討しました。木材は繊維方向の応力緩和は小さいことが予想されましたが、この場合に摩擦力が生じる直交方向への耐力は強くありません。しかし、CLTではこの異方性の弱点を克服できると考えられました。同様の趣旨から、木ダボを木材に挿入接着した接合部のみを直交集成させる材料についても検討しました。ここで再度問題となるのが、弾性締付けによる締付け軸力の管理法です。

そこで高性能な潤滑油を用いたトルク試験を行ったところ、非常に安定した締付け軸力が得られました。また、これらの応力緩和試験を実施すると、期待どおり高い応力を維持することができました。さらに、一度促進処理を実施すると2回目以降の処理では緩和が生じない、記憶効果を確認しました。これは、先に接合部に促進処理をしておくことで以降は安定した摩擦力が得られることを意味しています。

また、促進処理後に再締付けすることも非常に効果的であることがわかりました。この直交集成材料にはさらに、湿度変動に対する締付け軸力の変動が非常に小さくなることもわかりました。これらの結果から、木材を直交集成した材料を用いることにより、木製摩擦接合の可能性が大きく開けたといえます。

私たちは、これらの知見を基に開発した接合部(図

1 木製摩擦ダンパー)を合板壁に装着し(図1 制振壁)、2層振動台実験を行ったところ(図2)、剛性・エネルギー吸収性能に非常に優れ(図3)、大地震時においても建物の変形を小さく抑えることが可能であることを見出しました。

大きな可能性を持つ 木材による摩擦接合

本研究は木造住宅の耐震性能向上を目的に、摩擦接合のエネルギー吸収に期待するダンパーとしての機能に力点を置いたものです。極めて高い剛性を持つ摩擦接合部は、木質構造では困難とされる剛接合が実現できる可能性も秘めています。これは、接合部の性能が建物の性能を大きく左右する木質構造においては極めて大きな意味を持ちます。より簡単な応用として、極端な高温高湿状態にならない限り、室内環境においては一般的なボルト接合部も座金を塑性域までめり込ませる方がナットの緩みを抑制でき、かつ摩擦による耐力の向上も期待できるでしょう。

これまでに開発した木製摩擦接合部は、まだ実現の可能性を示した段階で、実用化に向けてはさらなる研究が必要と考えています。例えば、締付け軸力の管理には潤滑油を利用していますが、多数のボルトを施工するにはやはり煩雑なため、ここでも木材の特性を活かした締付け法を開発したいと考えています。そのほかにも最適な促進処理方法や再締付け方法、木製摩擦接合を用いた新しい用途についても開発していきたいと考えています。また、いくら良いものができても価格や施工性に問題があるものは使われませんので、今後は企業との共同研究も視野に入れながら、実用化を目指したいと考えています。

図1 開発した木製摩擦ダンパーと制振壁(特許出願中)

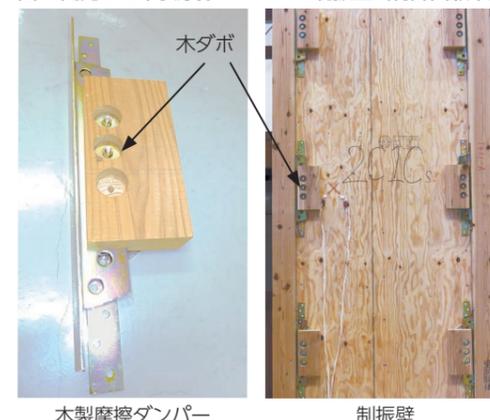
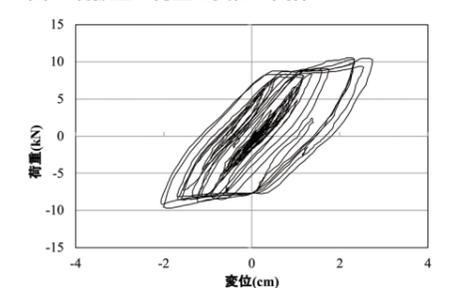


図2 2層振動台実験の様子



図3 制振壁の荷重と変位の関係



■ お問い合わせ

実証試験セクター〈本部〉
TEL 03-5530-2193