

各種建築物の制振構造デザイン手法の高度化

研究代表者 曾田 五月也
(創造理工学部 建築学科 教授)

1. 研究課題

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生した。大規模津波が沿岸部を襲い未曾有の災害をもたらした事が特筆されるが、内陸部での地震動による構造被害も多く発生した。最近の20年ほどの間に震度7クラスの地震動が何回も発生し、古い建築物の多くが倒壊したばかりでなく、比較的新しい建築物にも取り壊しを余儀なくされる程の構造被害が発生している。低層戸建住宅を例にして、その地震防災に取り組むための合理的な手法の開発に取り組んでいる。阪神淡路の大震災で失われた人命の約8割が戸建住宅の倒壊を原因としており、今後、本研究プロジェクトでは想定される大地震における同様な被害の再発を防止したいと考えるからである。1996年4月に理工学研究所で開始したプロジェクト研究「粘弾性ダンパの開発と耐震設計・耐震補強への適用」から現在の「各種建築物の制振構造デザイン手法の高度化」へと継続してきている。得られた主要な成果は、地震動の多様性を考慮して建築物の耐震性能を十分に上げるためには、建築物の剛性・耐力を増すという従来型の構造法を踏襲するよりも、減衰性能を付加することがより効果的であることを明らかにした。特に、オイルダンパ、粘性ダンパ、粘弾性ダンパという速度依存性を有するダンパは、低レベルから高レベルの地震動に対して建築物の変形・加速度を抑える効果が高い。

本研究では、現行の建築基準法で想定する地震動の強さをはるかに超える地震動(過酷な地震動)に対する建築物の耐震安全性を保障するために地震入力エネルギーを積極的に吸収する制振デバイスを併用する構造法を更に飛躍的に向上させる技術につき、コスト低減を可能とするDIY手法も視野に入れて検討することにする。

2. 主な研究成果

■拡張NCLモデルによる建築物の地震応答解析

強い地震動の作用により、建物に大きな塑性変形が生じる場合の応答性状を正確に予測するためには、建築物の復元力特性に顕著にみられるスリップや、ピンチング等に代表される強い非線形性、また、繰返し変形に伴う剛性や耐力の低下、さらには最大強度発揮後の崩壊過程をも考慮する必要がある。本年度は、拡張NCLモデルを用いて一般木造軸組だけではなく薄板軽量形鋼造、土壁造、さらに鉄筋コンクリート造の復元力特性を高精度に模擬できることを明らかにした。

■コンクリートブロックの滑りに関する振動実験および摩擦振動の数値解析

滑り基礎構造に関しては実大振動台実験や時刻歴応答解析によってその優れた応答加速度低減効果を確認してきたが、それらの検討は主に水平1方向からの外乱に対するものであった。そこで、今年度の研究では滑り基礎構造の実用化に向けて、多方向から外乱が同様に作用することによる様々な応答への影響を明らかにした。また、各種の摩擦振動の解析モデルを用いて実験のシミュレーション手法の検討も行った。

■地震動の過酷度指標と最大地震応答予測

建築物の耐震性能評価において、最大変形の予測精度の高さが極めて重要となる。簡易計算による最大変形の予測手法としては限界耐力計算やエネルギー計算があるが、それぞれが対象とする構造に明確な差がある。本研究では、構造種別によらず高い予測精度を有する新たな最大応答変形予測手法を地震入力エネルギーと建築物の吸収エネルギーとのバランスにより最大変形が決まるという理論に基づいて提案した。

■滑り基礎構造

戸建て住宅において、ダンパ等による制振構造は徐々に普及しており、実用化されている例も多い。しかしながら、地盤に接した1層床には地震動と同じ加速度が発生するため、建築として低コストで設置可能な免震構造に準ずる構造として滑り基礎構造を提案した。本年度は、滑り基礎の実用化に向けて、すべり面の施工法の詳細を検討した(図1)。

■DIY工法のための接着剤接合

建築分野への接着剤の適用は昨今活発に行われてきており、その施工性の良さから適用範囲が広がってきている。しかしながら、構造部材同士の接合材としては一般的に認められてない。現在開発中のDIY制振補強工法においても、金物と鉄骨柱梁との接合工法が必要であり、施工性、耐久性の両面から検討した(図2)。

■リンク式流体慣性ダンパの制振効果に関する研究

アクティブ、セミアクティブ手法による構造制御では複雑な制御装置が必要となるため、費用がかかり、また制御自体の信頼性なども懸念されている。本研究では、リンク式流体慣性ダンパを用いた多層建築物に対する損傷集中抑制効果、また偏心を有する建築物に対するねじれ振動抑制効果について振動台実験および解析により有効性を確認した(写真1)。

■小規模建築物の外付け制振パネル

大地震時に小規模な低層建築物が特定の層への変形の集中により倒壊に至る事例が、多数報告されている。本研究では、2層木造住宅の各層の層間変形を一様化するメカニカルリンク装置と粘性系ダンパを併用した外付け制振パネルを提案し、実験と応答解析により本システムの有効性を確認した。(図3)

■高靱性・高減衰耐力壁工法

過酷な地震動に対して、薄板軽量形鋼造を用いて合理的に対応するためには、変形や加速度を過大にすることなく地震により建物に入力されるエネルギーを吸収する構造システムを構築する必要がある。本年度は、薄板軽量形鋼造に用いられる耐力壁の高靱性化及び高減衰化手法を提案した。本工法は従来型の工法に比べて、変形や加速度を過大にすることなく薄板軽量形鋼造の耐震性能を向上して、同構造の中層化を可能にする工法であることを示した(図4)。

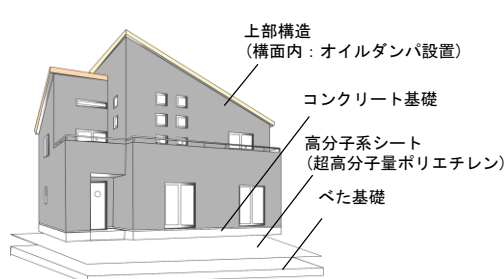


図1 滑り基礎構造概略図

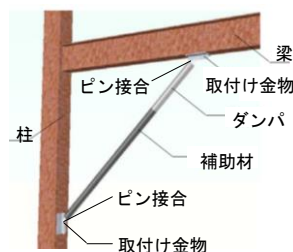


図2 接着材を用いたダンパの設置状況

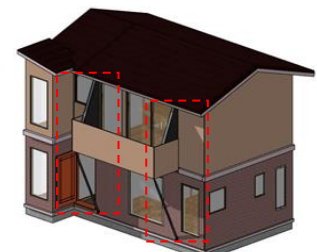


図3 外付け制振パネルを適用した2階建て木造住宅のイメージ

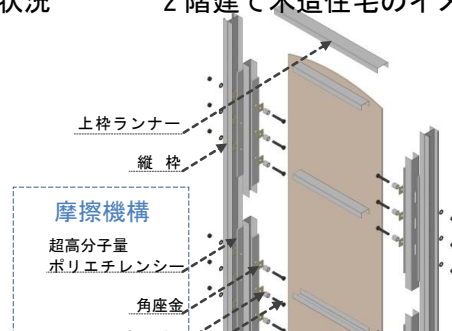


写真1 リンク式流体ダンパを設置した試験体

図4 摩擦機構付耐力壁の仕様

3. 共同研究者

宋成彬（早稲田大学）、宮津裕次（広島大学）、岩田範生（近畿大学）、関谷英一（（株）鴻池組）、袖山 博（三和テッキ（株））、高橋 治（（株）構造計画研究所）、平田裕一（三井住友建設（株））、岡野照美（光陽精機（株））、山崎久雄（ユニオンシステム（株））、武市英博（（株）ハウジングソリューションズ）、鶴野禎史（（株）川金コアテック）

4. 研究業績

■学会講演（日本建築学会大会）

- ・宋成彬，曾田五月也：エネルギー応答に基づいた制振構造を適用した木質構造の最大変形予測手法，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-3 分冊，pp.123-124，2014 年
- ・曾田五月也，久保和民，中原政人：薄板軽量形構造の高減衰化に関する研究 その 3.摩擦式エネルギー吸収機構を内蔵する高減衰耐力壁の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2 分冊，pp.1149-1150，2014 年
- ・曾田五月也，渡井一樹，瀬戸純平，矢嶋遥：リンク式流体慣性ダンパの高性能化に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2 分冊，pp.807-808，2014 年
- ・曾田五月也，宮津裕次（広島大学），宇平壮：外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答低減効果に関する研究 その 1. 工法の概要と時刻歴地震応答解析による検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-3 分冊，pp.437-438，2014 年
- ・曾田五月也，宮津裕次（広島大学），宇平壮：外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答低減効果に関する研究 その 2. 小型 2 層木造軸架構の強制載荷実験による効果検証，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-3 分冊，pp.439-440，2014 年

■シンポジウム

- ・早稲田大学創造理工学部建築学科曾田研究室主催：第 3 回 制振構造デザイン技術の高度化に関するシンポジウムー過酷な地震動にどう備えるかー，早稲田大学西早稲田キャンパス 57 号館 2 階 201 教室，2014 年 9 月 18 日

5. 研究活動の課題と展望

来年度は、既往の研究成果をさらに拡充して建築物の実施設計により適合しやすい形に整理する。また、地震動予測に関する近年の研究成果を反映させることで、より合理的な耐震性能評価手法を構築し、建築構造のさらなる耐震化により社会の地震防災に資することを目指す。