

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

1995年1月に兵庫県南部地震(マグニチュード 7.3)が発生して甚大な人的・物的な被害が発生した。このように極めて強い地震動の発生はその後2004年中越地震(マグニチュード 6.8)、2007年中越沖地震(マグニチュード 6.8)、2011年東北地方太平洋沖地震(マグニチュード 9.0)と続き、2016年4月には熊本地震(マグニチュード 7.3)が発生した。さらに今後も震度7クラスの地震動が何時発生しても不思議はないと言われている。

上記の強い地震動の原因となった地震の発生は自然現象として「仕方ない」と受け止めざるを得ないが、最近約20年間に震度7クラスの地震動が何度も記録されていることを考えれば、地震動による建築被害に関しては「十分に備えねばならない」。

このように過酷な地震動が頻発する状況のなかで、1996年以来早稲田大学理工学研究所においてプロジェクト研究を続け、現在は「建築物の制振構造デザイン技術の高度化」をテーマとして実施している。

建物の耐震安全限界性能を確認する場合の地震動の強さとしては地表面速度50cm/sが目安とされているが、日本各地で近年記録されている震度7クラスの地震動ではその最大速度が100cm/sを超えるものも少なくない。このような過酷な地震動を受ける建築構造の変形と加速度応答低減とはトレードオフの関係を有する傾向にあり、より優れた地震応答低減効果を得るためには在来の手法にとらわれることなく新しい技術を積極的に取り込むことも必要である。

本プロジェクト研究では、建物への地震入力エネルギーを、自らは損傷する事のないエネルギー吸収装置(=ダンパ)の変形の繰り返しにより吸収させる構造システムを活用することが必要と考え、そのための要素技術に関する研究を続けてきた。2016年度はこれまでの検討を踏まえ、ダンパによる制振構造デザインのさらなる高度化を目指して以下に記す項目に取り組んだ。

2. 主な研究成果

■過酷な地震動の定量的評価と建物の最大応答予測

建築物の耐震性能評価において最大応答変形を予測することは極めて重要である。本研究ではVDRS Formatにより建物の地震時応答に関わる地震動のエネルギーと建築物の吸収エネルギーとの関係を定量化し、最大応答変形を予測する手法を提案している。今年度は同手法を用いた多層建物の地震応答最大変形の予測手法の精度向上のための検討を行った。

■リンク式流体慣性ダンパによる建築物の制振に関する研究

負剛性を有するダンパを構造物に設置することで、主構造が塑性域に至った後も建物全体の剛性を見かけ上低減し荷重の増加を防ぐことができるため、変位と加速度の低減をより効果的に行うこ

とが可能である。しかし、流体慣性質量を利用する場合、その見かけの質量は構造物の質量に対して非常に小さく効果的な負剛性制御を行うことができない。そこで、ダンパの高性能化を粘性減衰効果に対する慣性質量効果を相対的に大きくすることと定義し、具体的な高性能化手法を提案した。また、提案するダンパの層間変形制御機構の詳細な動力学特性を把握することで、効果的な制御方法について検討を進めている。(写真 1)

■接着技術の建築構造への応用 - DIY 制振補強に関する研究 -

本研究では低コスト且つ簡易な施工で実現可能な接着剤接合を用いた「DIY」制震補強工法の開発を目指しており、非専門家であっても設計、施工可能な簡易マニュアルの提案を行っている。2016 年度は接合方法として用いている構造用接着剤に関する研究として、接着強さに大きく影響を与える寸法効果による強度低下を低減させるための接合方法の検討、及び接着剤接合の材料特性を明らかにすることで解析的検討による接合部の応力分布について検討を行った。さらに、環境依存性として湿度環境に関する実験的検討を行い、接着剤接合を制振補強工法に取り入れる上での実用性を示した。(写真 2)

■摩擦式エネルギー吸収機構を内蔵する薄板軽量形鋼造耐力壁による中層建築物の耐震設計

薄板軽量形鋼造耐力壁は履歴ループに強いスリップ性状を有しているため、紡錘型の復元力特性を持つ鉄骨ラーメン構造等と比べるとエネルギー吸収能力が低く、繰り返し振幅による耐力の低下も顕著である。本研究では薄板軽量形鋼造耐力壁に摩擦式エネルギー吸収機構を内蔵することで、地震時の変形と加速度を同時に抑制し、繰り返しの地震動に対しても高い耐震性を維持し続ける構造システムを提案している。今年度は摩擦機構内蔵耐力壁を設置した 2 層縮小フレームの振動台実験を実施し、種々の地震波入力に対する耐震性について詳細な検討を行った。(写真 3)

■粘弾性仕口ダンパによる軽量鉄骨造の制振補強に関する研究

本研究では木造軸組構法の耐震補強用に開発された粘弾性仕口ダンパを、かさ上げ用部材を介して鉄骨造建築物の柱梁仕口部に設置することで、低コストながらも高い地震応答低減効果を発揮し、低層鉄骨造建築物の耐震補強促進に極めて有効であることを提案している。2016 年度は、2015 年度に実施した実大振動台実験結果を基に解析モデルを構築し、ダンパをかさ上げ設置することによる制振効果及び躯体の損傷抑制効果を解析的に示した。(図 1)

■滑り基礎構造に関する研究

戸建住宅の免震化は主にコスト面の理由から未だ普及が進んでいない。そこで本研究では、低コストかつ戸建住宅に広く適用できる免震に準じた構造として、滑り基礎構造を提案し研究を進めている。今年度は滑り基礎構造の実用化に向けた具体的な検討として、滑り基礎構造を適用した実大規模のフレームを用いた振動台実験を実施しその応答特性を検討すると共に、滑り基礎部の過大な滑り応答を抑制するデバイス開発に関する検討を行い、その性能を実験により明らかにした。



写真1 リンク式流体慣性ダンパを設置した
小型2層フレームの振動台実験



写真2 接着剤接合部の加力実験



写真3 摩擦機構内蔵耐力壁を設置した
2層縮小フレームの振動台実験

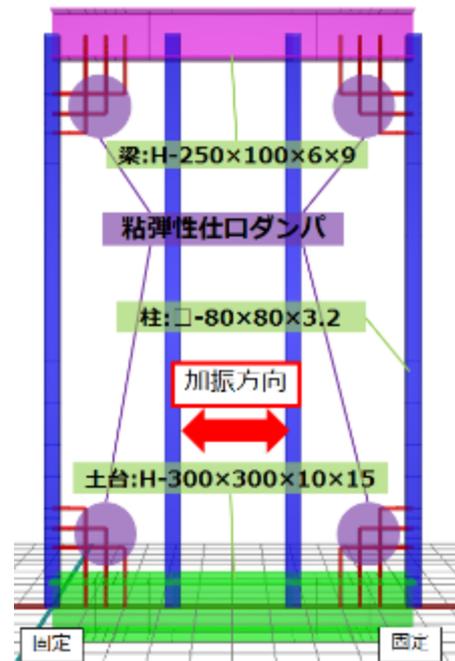


図1 粘弾性仕口ダンパによる軽量鉄骨造の
制振補強の解析モデル図

3. 共同研究者

関谷英一 ((株) 鴻池組)、袖山博 (三和テッキ (株))、齋藤光広 ((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)、中村美咲 ((株) 川金コアテック) 岩田範生 (近畿大学)、宮津裕次 (広島大学)、脇田健裕 (早稲田大学)、

4. 研究業績

■学術論文

日本建築学会構造系論文集

・リンク式流体慣性ダンパによる建物の制振に関する研究, 曾田 五月也、渡井 一樹, 日本建築学会構造系論文集 Vol81., No.725, pp.1071-1079, 2016年7月

■学会講演

日本建築学会大会(九州)

・リンク式流体慣性ダンパの高性能化に関する研究 その3.2つのピストン変位を任意の比率にする場合, 渡井 一樹, 曾田 五月也, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.263-264

・現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕ロディテールに関する実験的研究 その4 ロールHの仕ロディテールと施工方法, 的場 耕, 中込 忠男, 曾田 五月也, 金子 洋文, 堤 成一郎, 卷島 淳, 増田 開, 藤田 哲也, 板谷 俊臣, 笠原 基弘, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.1215-1216

・現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕ロディテールに関する実験的研究 その5 ロールHの変形性能, 卷島 淳, 中込 忠男, 曾田 五月也, 金子 洋文, 堤 成一郎, 増田 開, 藤田 哲也, 的場 耕, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅱ, pp.1217-1218

・現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕ロディテールに関する実験的研究 その6 ロールHの破壊性状及び歪分布, 増田 開, 中込 忠男, 曾田 五月也, 金子 洋文, 堤 成一郎, 卷島 淳, 藤田 哲也, 的場 耕, 西澤 淳, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.1219-1220

・低層鉄骨造の損傷抑制用DIY制震補強に関する技術開発 その11 接着剤の接着強さの寸法効果に関する検証実験, 大入 慎也, 曾田 五月也, 花井 勉, 皆川 隆之, 神谷 佳祐, 渡辺 啓太, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.907-908

・低層鉄骨造の損傷抑制用DIY制震補強に関する技術開発 その12 被着面の表面処理方法が接着強さに与える影響に関する実験的検討, 神谷 佳祐, 曾田 五月也, 花井 勉, 皆川 隆之, 大入 慎也, 渡辺 啓太, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.909-910

・低層鉄骨造の損傷抑制用DIY制震補強に関する技術開発 その13 接着剤接合強さに対する温度変化の影響に関する実験的検討, 花井 勉, 曾田 五月也, 皆川 隆之, 神谷 佳祐, 大入 慎也, 渡辺 啓太, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.911-912

・高靱性・高減衰・高耐力型薄板軽量形鋼造建築物の開発 その1. 実大耐力壁を用いた振動台実験, 大岩 奈央, 曾田 五月也, 脇田 健裕, 京田 隆寛, 齋藤 健寛, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.845-846

・高靱性・高減衰・高耐力型薄板軽量形鋼造建築物の開発 その2. 摩擦式エネルギー吸収機構に用いるめっき処理鋼板の摩擦特性, 齋藤 健寛, 曾田 五月也, 渡邊 力, 脇田 健裕, 京田 隆寛, 大岩 奈央, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.847-848

・高靱性・高減衰・高耐力型薄板軽量形鋼造建築物の開発 その3. 摩擦機構内蔵耐力壁の仕様改良と静的加力試験結果, 京田 隆寛, 曾田 五月也, 脇田 健裕, 齋藤 健寛, 大岩 奈央, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.849-850

・高靱性・高減衰・高耐力型薄板軽量形鋼造建築物の開発 その4 高耐力ホルダダウン金物の性能比較, 渡邊 力, 西村 信男, 曾田 五月也, 脇田 健裕, 川上 浩史, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.851-852

・高靱性・高減衰・高耐力型薄板軽量形鋼造建築物の開発 その5. 改良型摩擦機構内蔵耐力壁を適用した建築物の地震応答解析, 脇田 健裕, 曾田 五月也, 京田 隆寛, 大岩 奈央, 齋藤 健寛, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.853-854

・摩擦の待機時間依存性が滑り基礎構造の応答に与える影響に関する研究 その1. 静摩擦係数の待機時間依存性測定試験, 牟田神 遼平, 曾田 五月也, 石田 寛人, 高橋 篤史, 2016年, 学術講演

梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.429-430

・摩擦の待機時間依存性が滑り基礎構造の応答に与える影響に関する研究 その2.解析的検討, 高橋 篤史, 曾田 五月也, 石田 寛人, 牟田神 遼平, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.431-432

・拡張 NCL モデルによる非対称な復元力特性のモデル化手法, 宮津 裕次, 曾田 五月也, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅲ, pp.255-256

・VDRS Format を用いたエネルギー授受に基づく建築物の最大地震応答変形予測に関する研究 その1 建築物への地震入力エネルギーの予測手法の提案, 氏家 章宏, 曾田 五月也, 古島 優希, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅱ, pp.811-812

・VDRS Format を用いたエネルギー授受に基づく建築物の最大地震応答変形予測に関する研究 その2 建築物への地震入力エネルギーの過酷度指標に関する検討, 古島 優希, 曾田 五月也, 氏家 章宏, 2016年, 学術講演梗概集 DVD.構造Ⅱ, pp.813-814

日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2016

・高性能リンク式流体慣性ダンパの開発, 曾田 五月也, 渡井 一樹, 金井 佳吾, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2016, USB 論文集 233,2016.8

溶接学会全国大会

・現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕口ディテールに関する実験的研究 その1, 卷島 淳, 中込 忠男, 金子 洋文, 曾田 五月也, 堤 成一郎, 増田 開, 溶接学会全国大会講演概要 2016f(0), 386-387, 2016

・現場溶接型柱梁溶接接合部における梁端仕口ディテールに関する実験的研究 その2, 増田 開, 中込 忠男, 金子 洋文, 曾田 五月也, 堤 成一郎, 卷島 淳, 溶接学会全国大会講演概要 2016f(0), 388-389, 2016

■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5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, 2016年9月20日

5. 研究活動の課題と展望

本年度も各研究テーマにおいてこれまでに積み重ねてきた検討内容をさらに発展させると共に、数多くの実大規模の構造実験等も行うことで実用化に通じる重要な研究成果を数多く得ることが出来た。次年度は、本プロジェクト研究の最終年度として既往の研究成果を整理・集約と共に、新たな検討を加えることで研究成果の体系化を行い、実勢設計への適用に向けた道筋をつける。