

高減衰型薄板軽量形鋼造による省資源・長寿命建築システムの開発

研究代表者 脇田 健裕

(理工学研究所 理工研が募集する次席研究員 (研究院講師))

1. 研究課題

薄板軽量形鋼造(通称:スチールハウス)は、板厚 2.3mm 未満の薄板軽量形鋼に、構造用合板等の面材をドリルねじで留め付けた耐力パネルを用いて、壁及び床を構成する構法である。20 年ほど前より我が国への導入が始まり、現在では主に 2 階建て以下の低層建築物に適用されている。薄板軽量形鋼造は各部の仕様が簡素かつ省資源であり、設計・生産・施工が簡易で、高い経済性・耐久性を發揮する等の特徴を持つが、わが国では未だ一般的な認知度は低く普及には至っていない。壁式構造である薄板軽量形鋼造建築物の耐震性能は耐力壁のせん断性能に依存し、耐力壁に作用するせん断力は主に面材と枠材のドリルねじ接合部の耐力によって負担される。このドリルねじ接合部は耐力壁の変形角がおおよそ $1/30[\text{rad.}]$ に達すると、ねじの破断及びパンチングによって急激に耐力を失うため靱性に乏しい。また、ドリルねじ接合部は面材へのめり込みにより、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に比べると、薄板軽量形鋼造耐力壁のエネルギー吸収能力は極めて低く、繰り返し振幅による耐力低下も顕著である。

2012 年の国土交通省告示第 1641 号の改定により、薄板軽量形鋼造は 4 階建て迄の建築が可能となった。しかし、現行の耐力壁(合板+石膏面材)を用いて、4 階建て建築物の試設計を行うと、低層階には相当量の壁数が必要となるため、建築計画の自由度は大きく阻害されることが分かる。また、従来のような剛性・強度型の耐力壁を用いて 4 階建て建物の耐震性能を確保しようとする、加速度応答が過大となるだけでなく、耐力壁を支えるたて枠や金物、基礎に作用する応力が非常に大きくなるため、これに対応するための各部仕様が大型・複雑化することとなる。その結果、生産性・施工性の大幅な低下とコスト増大が避けられないものとなり、スチールハウスの省資源かつ簡素な仕様という長所を大きく減ずる結果となる。

そこで、本研究ではスチールハウスの長所を減ずることなく、耐震性能を飛躍的に向上させる手法として、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(摩擦内蔵型耐力壁)を用いて、中層建築物にも適用可能な建築構造システムを構築することを目的とする。

2. 主な研究成果

■実大耐力壁を用いた振動台実験

摩擦機構内蔵耐力壁のランダム振動下における動的な力学的特性及び履歴法則の把握等を目的とした振動台加振実験を行った。実験結果より、摩擦機構内蔵型耐力壁が動的加振時においても一般の耐力壁に見られる進行スリップ型の履歴特性を大幅に改善し、極めて高いエネルギー吸収性能を發揮することが分かった。また振動台実験後の試験体に残存する構造性能の評価を目的として、正負交番繰り返し載荷試験を行った。本耐力壁が入力エネルギーの非常に大きい地震動を経験した後においても高い構造性能を維持することが明らかとなった。(図 1)

■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

摩擦機構内蔵耐力壁の摩擦機構に使用する各種めっき処理鋼板の力学的特性についての検討を行った。潤滑被膜処理を施しためっき鋼板を用いることで優れた摺動性・耐摩耗性を有することが分かった。また、摩擦面が有する面圧依存性及び速度依存性が摩擦力に与える影響を明らかとした。(図2)

■摩擦機構内蔵耐力壁の仕様改良と静的加力試験結果

摩擦機構内蔵耐力壁の実用性を向上させることを目的とし各部仕様の変更を検討した。耐力壁各部の構成を単純化すると共に、面材を片面型とすることにより、耐力壁同士の納まりの簡潔化やパネル製作時の施工性が改善された。また、本耐力壁を用いた正負交番繰り返し載荷試験を実施した結果、改良耐力壁が極めて高い靱性とエネルギー吸収能力を有していることが明らかとなった。(図3)

■高耐力ホールダウン金物の性能比較

現在一般に使用されている薄板軽量形鋼造用ホールダウン金物を用いて3階建て及び4階建ての建築物を設計する場合、低層階において発生する高軸力に対して、接合部耐力が不足する場合が多い。本検討では摩擦機構内蔵型耐力壁を中層建築物に適用した場合に想定される耐力壁脚部への引拔力が伝達可能な、高耐力ホールダウン金物の開発を目的とした。各種薄板軽量形鋼造耐力壁用高耐力ホールダウン金物の接合部耐力についての比較実験を行い、金物形状及びドリルねじ径・本数の違いが接合部耐力に与える影響を明らかとした。(図4)

■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

4階建て迄の薄板軽量形鋼造建築物を対象とした地震応答解析により、一般的な耐力壁を適用したモデルと、摩擦機構内蔵耐力壁を適用したモデルの応答比較を行った。いずれのケースにおいても摩擦機構内蔵耐力壁の適用することで、応答変形及び応答加速度の増大を大幅に抑制しており、摩擦機構内蔵耐力壁の適用が薄板軽量形鋼造による中層建築物の耐震安全性能の向上に極めて有効であることが分かった。(図5)

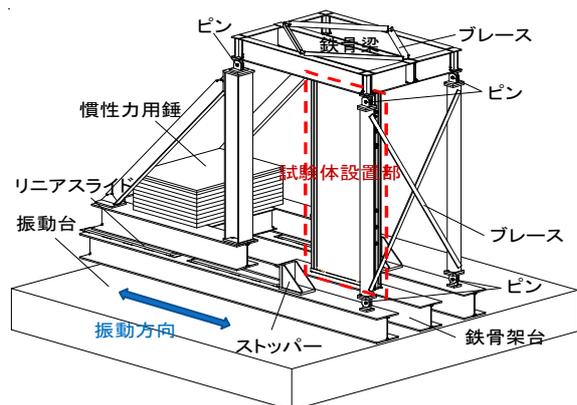


図1 摩擦機構内蔵耐力壁の振動台実験システム

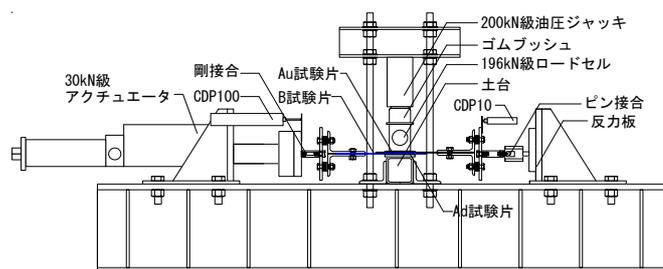


図2 めっき処理鋼板の摩擦特性評価試験

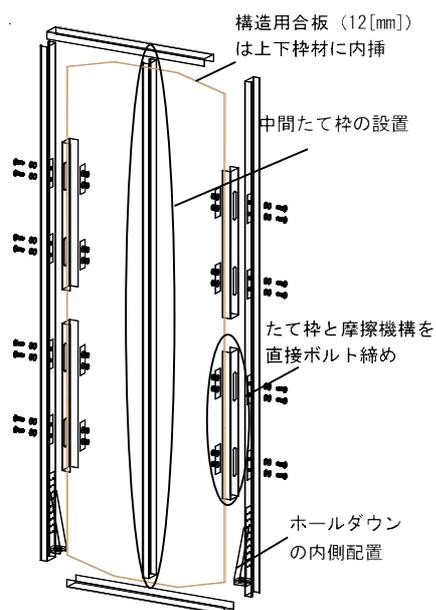


図3 摩擦機構内蔵耐力壁の仕様改良

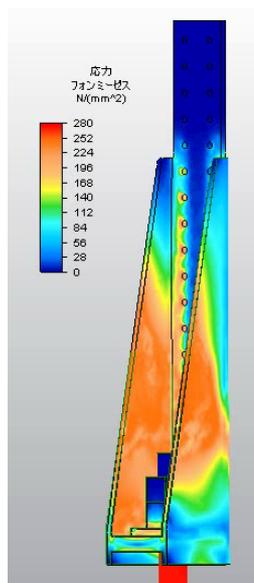


図4 高耐力ホールダウン金物のFEM解析

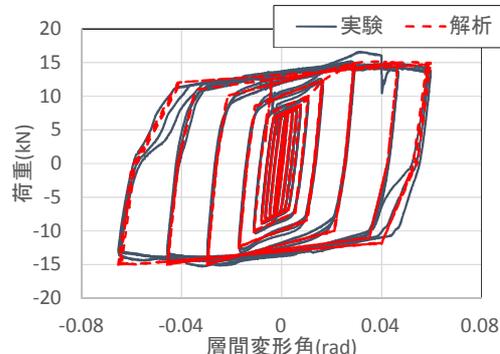


図5 摩擦機構内蔵耐力壁の地震応答解析用復元力特性モデル

3. 共同研究者

曾田五月也(早稲田大学)、西村信男、川上浩史(ワークスタッフ)、渡辺力、下田章(日新製鋼)、中西伸行(NoBu 建築エンジニアリング)、藤倉均(ケーシーフレーム)、八木英剛(東京日釘)

4. 研究業績

■学会講演

垂井町の民家調査と耐震補強, 水谷忠彦, 石山央樹, 脇田健裕, 江口清, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2015(構造 III), 査読無, pp. 432-432, 2015年9月

■シンポジウム

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パネルによる中層住宅の耐震設計, 曾田五月也, 脇田健裕, 京田隆寛, 斎藤健寛, 第4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, 査読無, pp. 32-45, 2015.9

5. 研究活動の課題と展望

今年度は本研究で提案する摩擦機構内蔵耐力壁の実用化に向けた具体的な検討を、スチールハウス建設に関わる実務家と協力しながら大きく進めることが出来た。次年度は、実用を想定した長期供用時の性能変化についての検討の他、提案する構造システムの耐震性を正確に評価可能な解析手法についての検討や、簡易で実用的な構造設計法の構築を行い、研究成果の早期実用化を目指す。