

1) 構造研究グループ

1) - 1 極大地震に対する鋼構造建築物の倒壊防止に関する設計・ 評価技術の開発【安全・安心】

Study on Seismic Design and Performance Evaluation Method for Collapse Prevention of Steel Building Structures against Huge Earthquake Ground Motions

(研究期間 令和元～3年度)

構造研究グループ Dept. of Structural Engineering 建築生産研究グループ Dept. of Production Engineering 国際地震工学センター International Institute of Seismology and Earthquake Engineering	長谷川 隆 HASEGAWA Takashi 沖 佑典 OKI Yusuke 中川 博人 NAKAGAWA Hiroto	森田 高市 MORITA Koichi 伊藤 麻衣 ITO Mai	岩田 善裕 IWATA Yoshihiro 鹿嶋 俊英 KASHIMA Toshihide	廣嶋 哲 HIROSHIMA Satoru
---	---	--	--	--------------------------

Seismic design and performance evaluation method for collapse prevention of steel building structures against huge earthquake ground motions beyond the current seismic design level were investigated in this research. Multi-cycle loading test of square hollow section columns, earthquake response analysis of model buildings and shaking table test of SHS columns were conducted. From the results of these tests and analysis, ultimate-limit-state evaluation formula for SHS columns and seismic design method for collapse prevention of steel building structures against huge earthquake ground motions were presented in this research.

【研究開発の目的及び経過】

相模トラフ沿いの地震等、今後発生が懸念される首都直下地震や巨大海溝型地震では、これまでの設計の想定よりも大きな地震動が建築物に作用する可能性がある。このような地震動では、現状の耐震基準で設計されている建築物にも大きな被害が生じる可能性があり、建築物の倒壊や崩壊を防止するためには、建築物の終局状態の挙動の解明と倒壊防止のための評価法、設計法の確立が急務と考えられる。

本研究では、鋼構造建築物を対象として、柱部材の局部座屈や破断に伴う耐力劣化現象の解明と疲労限界性能の検討を行い、建築物の倒壊や崩壊を防止するための評価法や設計法を検討する。また、地震時の鋼構造建築物の損傷検知手法について、外装材等の非構造部材の影響に関する実験的検討や実用化に向けた実証実験を行う。

【研究開発の内容】

本研究では、上記の研究目的に対応して、以下の3つの研究項目について検討を行う。

1) 柱部材の破断等に関する終局限界性能の検討

鋼構造柱部材の繰り返し変形に対する局部座屈や破断までの限界性能に関する実験と限界性能曲線式の検討。

2) 建築物の倒壊防止のための評価法と設計法の検討

梁や柱部材の破断等による建築物の倒壊を防止するためのエネルギー法による安全性評価法と振動台実験による検討。

3) 非構造部材の影響を考慮した損傷検知手法の検討

地震計の加速度記録を用いる方法の非構造部材の影響に関する振動台実験と実用化のための実証実験。

【研究開発の結果】

1) 柱部材の破断等に関する終局限界性能の検討

繰り返し変形に対する角形鋼管柱の局部座屈等による耐力劣化までの限界性能を把握するため、鋼管柱試験体の多数回繰り返し変形実験を行った¹⁾。振幅、幅厚比、軸力比等をパラメーターとした48体の試験体の実験結果を整理し、柱の局部座屈及び破断で決まる限界性能評価式をそれぞれ提案した。図2に、局部座屈の評価式(幅厚比20、25、30を例示)と破断の評価式を示す。

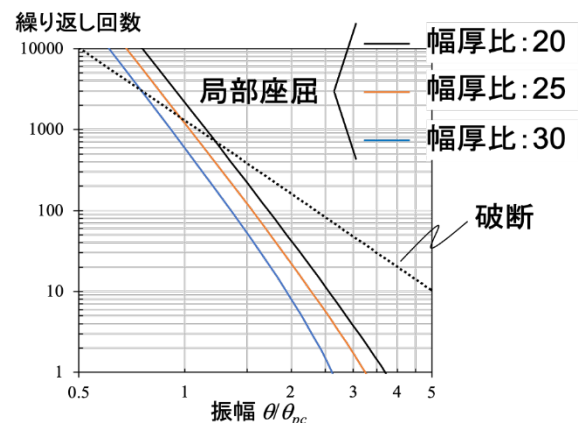


図1 提案した評価式による繰り返し性能の例示

この図から、振幅が小さい場合や幅厚比が小さくなる場合に、終局状態として破断が生じやすくなることがわかり、実験結果を反映した限界性能評価式を構築することができた。

2) 建築物の倒壊防止のための評価法と設計法の検討

極大地震動に対する建築物の倒壊に対する安全性を検証する方法として、エネルギー法告示による方法を検討、提案した。それを用いて、5つの建築物の安全性検証を行った。ここでは例として、8層事務所建築物の結果を表1に示す。ここで提案された検証方法を用いて設計と評価を行うことで、設計者は、地震動の特性とレベル及び設計条件（梁端部仕様やダンパー強度等）によって、どのように性能（必要エネルギー/保有エネルギー）が変化するか、容易に比較可能となる。

表1 8層建築物の地震動と設計条件による性能比較

2Fの判定	倍率	ND スラップ	ND ノンスラップ	D1 スラップ	D2 スラップ	D3 スラップ	D2 ノンスラップ	D3 ノンスラップ
告示極種	1.0	○ 0.617	○ 0.365	○ 弾性	○ 弾性	○ 弾性	○ 弾性	○ 弾性
	1.5	× 1.619	▲ 0.966	▲ 0.928	○ 0.679	○ 0.513	○ 0.404	○ 0.303
	1.75	×	× 1.357	× 1.397	× 1.060	▲ 0.851	○ 0.635	○ 0.509
	2.0	×	×	×	×	× 1.241	▲ 0.902	○ 0.746
直下	1.0	○ 0.689	○ 0.431	○ 0.290	○ 弾性	○ 弾性	○ 弾性	○ 弾性
	1.5	× 1.812	× 1.144	× 1.101	▲ 0.829	○ 0.659	○ 0.524	○ 0.415
	1.75	×	×	×	× 1.258	× 1.039	○ 0.799	○ 0.660
	2.0	×	×	×	×	×	× 1.116	▲ 0.942
長継続時間	1.0	× 1.914	○ 0.866	○ 0.814	○ 0.494	○ 0.238	○ 0.209	○ 0.087
	1.25	×	× 1.393	× 1.636	× 1.156	○ 0.821	○ 0.518	○ 0.360
	1.5	×	×	×	×	× 1.535	○ 0.895	○ 0.694

既往の研究の角形鋼管柱の一定振幅の繰り返し荷重実験の妥当性を検証するために、写真1に示す加振装置によって、地震動特性、幅厚比、軸力比をパラメータとした18体の鋼管柱試験体の振動台実験を行った。図2に、この振動台実験の結果（ライン）と既往の静的荷重実験の結果（プロット）を塑性率振幅と繰り返し回数との関係で比較して示す。幅厚比に応じて性能が区分されることがわかり、両者は概ね同程度の傾向となり、静的荷重実験の結果は地震応答下でも有効であることが確認できた。

3) 非構造部材の影響を考慮した損傷検知手法の検討

本研究では、地震計の加速度記録の積分と梁端部の限界性能評価式から損傷度 D を計算して建築物各層の損傷を推定する方法を提案した。その実用化技術の検討として、実際の建築物に地震計を設置し、実証実験を開始した。写真2は、地震計を設置した7階建て建築物と各階に設置した無線式地震計である。図3に示すような被災状況を表示するPCを事務室に設置した。この図は、R3年10月7日の震度5強の地震における、当該建築物の地震計の観測記録から計算したPC画面上の被災状況の表示

である。このように、建築物の管理者は、設置したPCの画面から、被災状況（無被害）を確認することができる。

【参考文献】

- 1) Takanori Ishida, Yang Dong, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada, Takashi Hasegawa: Cyclic behaviors of SHS columns subjected to small amplitude loading, Engineering Structures 252, 2021.12

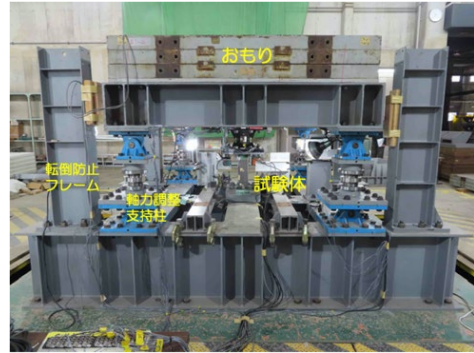


写真1 角形鋼管柱の振動台実験のセットアップ

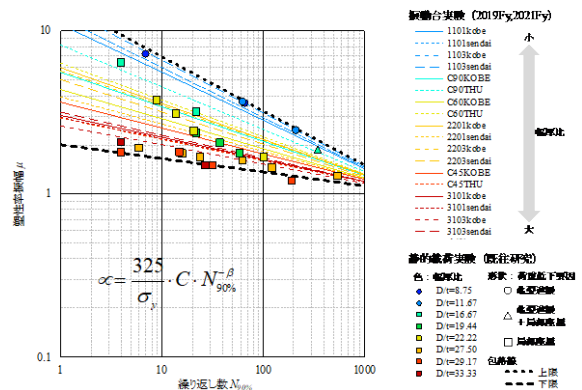


図2 静的荷重実験と振動台実験の比較



写真2 地震計設置建築物と各階の無線式地震計

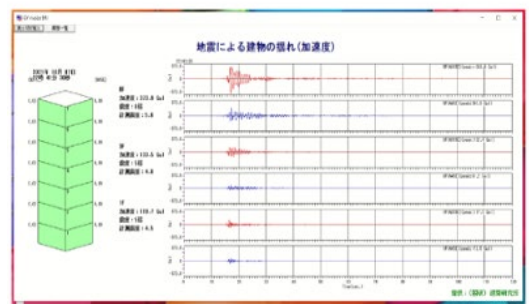


図3 PC画面の被災状況の表示例（R3.10.7の地震）