

大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その2 数値モデルによるS造評価

正会員 ○鳥谷尾 駿佑^{*1}

同

長江 拓也^{*2}

同

松宮 智央^{*3}

同

岡崎 太一郎^{*4}

同

高橋 典之^{*5}

同

飛田 潤^{*6}

同

福和 伸夫^{*7}

鋼構造

破断

数値解析

1. はじめに

超高層建物は、主要部材の塑性化を許容している。一方現在、設計用地震動の強さを超えた地震動を生む地震が発生すると予測されている。そうした中、建物の終局挙動を把握しておくことは極めて重要といえる。

その2では、鋼構造の柱梁接合部における終局挙動が、骨組の応答性状に与える影響を検討する

2. 柱梁接合部破壊履歴と数値解析モデル

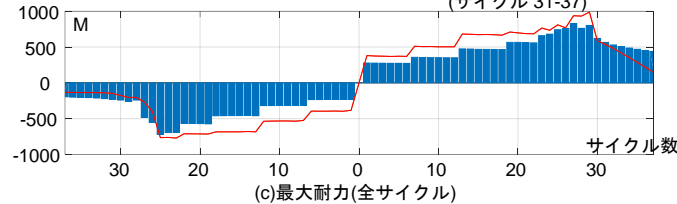
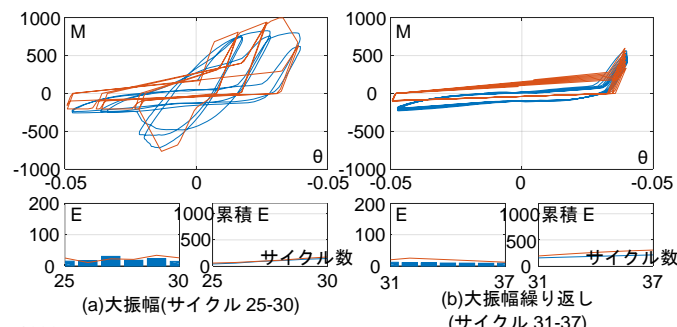
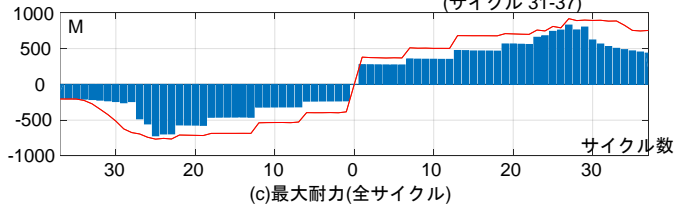
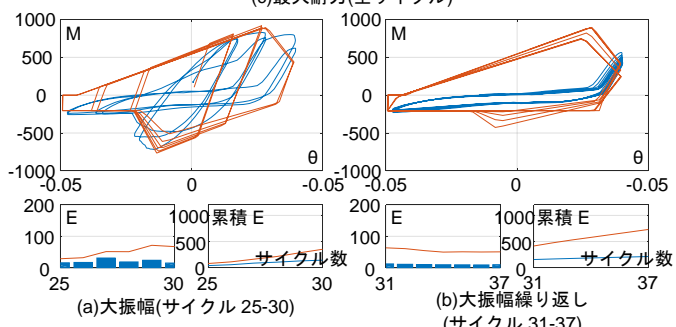
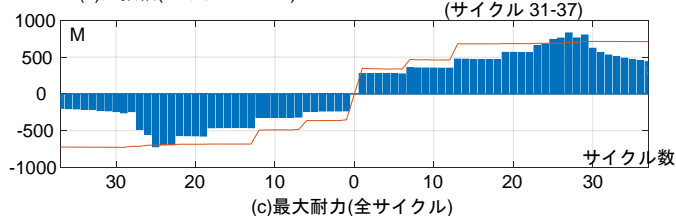
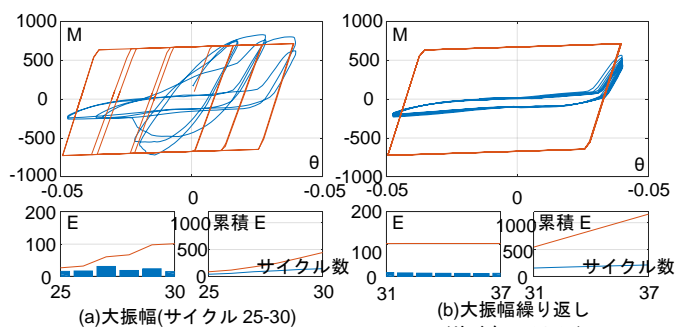
2.1. 数値解析の概要

柱梁接合部破壊に関する実験結果に基づいて数値解析を行い、実挙動の適切なモデル化を目指す。実験で使用し

た試験体を対象とし、2次元フレームモデルを作成した。柱と梁は、それらの中心線で構成される線材とし、弾性棒としてモデル化した。実験計測において変形が僅かであったパネルゾーンを剛域とし、柱梁それぞれの材端に、回転ばねを設けた。部材の全塑性モーメント、および剛性は断面寸法と公称値を用いて計算した。回転ばねの弾塑性特性として、設計時に用いられるバイリニアモデル、近年提案された Ibarra-Medina-Krawinkler (IMK)モデル¹⁾を採用した。

2.2. 履歴モデルと実験結果の対応

履歴特性のモデル化の適切性を定量評価するため、各サイクルの強度ピーク値、履歴面積から評価した吸収エネルギー E を評価の指標とした。モデル化の検討では、本実験で得られた履歴形状がピンチング性状を示すことから、バイリニアモデルの他に、ピンチングモデルの採用を考えた。耐力低下(負勾配)の有無との組み合わせで8種類のモデルを用意し、加振振幅の大きさ別に3区分で検討した。それらの内容を図1にまとめて示す。結論からいうと、大振幅以降の挙動の表現にあたり適切であると判断されたモデルは、耐力低下の負勾配を考慮したピンチングモデル(図1右下)、次いで同条件のバイリニアモデル(図1左下)であった。図1左上に示すように、強度低下を組み込まない設計用のバイリニアモデルでは、破断後の強度を相当過大評価し、吸収エネルギー E においては、実験に対し最大で6倍の評価となっている。図1左下のバイリニアモデル負勾配のみで劣化性状を表現するため、やはりエネル



M: 曲げモーメント (kNm) θ : 層間変形角 (rad) E: エネルギー (kNm*rad) 累積 E: 累積エネルギー (kNm*rad) 解析結果 実験結果

図1 実験結果と解析結果比較 (左上: 設計用バイリニア, 右下: IMK バイリニア 2, 右下 IMK ピンチング)

Subassembly tests employing a large-scale shaking table and damage analysis Part 2: Numerical assessment for the steel specimen

Toyao Shunsuke, Nagae Takuya, Matsumiya Tomohiro, Okazaki Taichirou, Takahashi Noriyuki, Tobita jun, Fukuwa Nobuo

ギーは最大で 5.7 倍の評価となった。一方、図 1 右下に示す IMK モデルでは、強度低下およびピンチングによって接合部の破断が表現できており、吸収エネルギー (1.7 倍の評価) 含め、適切に再現できている。

3. 履歴モデルの 18 層骨組解析への展開

超高層建物の 1/3 スケール模型で模擬した 18 層鋼構造骨組の試験体を用いて、2013 年に E-ディフェンス実験が行われた²⁾。この実験を対象に地震応答解析を実施することとし、公開資料に基づき 2 次元フレームモデルを準備した (図 2)。先に考察した履歴モデルを材端回転ばねに導入した。設計用バイリニア、およびこれに破断後直ちにピンとする IMK バイリニア 1 (破断時回転角は公開資料の最初の破断時回転角) の 2 種類、加えて、本柱梁接合部破壊実験結果に基づいて強度劣化特性を採用した IMK バイリニア 2、IMK ピンチングの計 4 種類である。これらに対し、実験で使用された模擬地震波の振幅倍率を 0.5 から 3.8 まで 0.1 ずつ増分させて解析を実施した。

設計用バイリニア、IMK バイリニア 2 を使用した場合の、加振倍率 2.0 倍の解析結果について、最下層の層せん断力層間変位関係を図 3 に示す。破断の有無による変形の増大と剛性の低下が明確に表れている。各解析におけるエネルギー吸収を倍率ごとに図 4 に示す。また、各モデルの場合について、倍率に対する最大層間変形角の関係を図 5 に示す。加振倍率 1.0 では、実験結果³⁾を含め、いずれの場合も同等のエネルギー吸収と最大層間変形角となっている。1.5 倍、

2.0 倍では、破断モデルにおいて最大層間変形角が急激に進み 0.05rad を超えるケースが含まれている。これら、接合部破断による強度低下を生じさせた解析においては、設計用バイリニアに対してエネルギー吸収が 2 倍近くに達した。これは固有周期の伸びと密接に関係している (エネルギースペクトルにて確認)。

破断を考慮する IMK モデルでは、破断に伴う付近の層の変形増大が顕著となる。図 6 に示すとおり、(設計用バイリニア(a)では表現できないが、)劣化を考慮した(b), (c), (d)のモデルにおいて、実験結果(e)と同様に下層部に変形が集中する傾向が表現された。

4. 結論

柱梁接合部破壊実験に基づく数値解析では、履歴形状、吸収エネルギーの推移の両面から検討し、各モデルの特徴を概観した。高層骨組崩壊実験に基づく数値解析では、4 種類の履歴モデルを用いて再現を試み、骨組の変形分布、吸収エネルギーの傾向を捉えた。また、下層部への変形集中が再現された。

参考文献

- 1) Lignos D. G. and Krawinkler H. : Deterioration modeling of steel components in support of collapse prediction of steel moment frames under earthquake loading, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.132(11), pp1291-1302, 2011
- 2) 「都市機能の維持回復に関する調査研究」報告書、京都大学防災研究所、2013
- 3) 波多野智也、飛田潤、長江拓也、福和伸夫、平山義治：鉄骨造超高層建物の振動台実験における汎用強震計による構造損傷評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II, p953, 2015

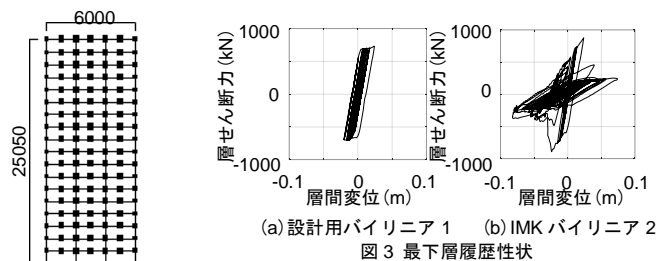


図 3 最下層履歴性状

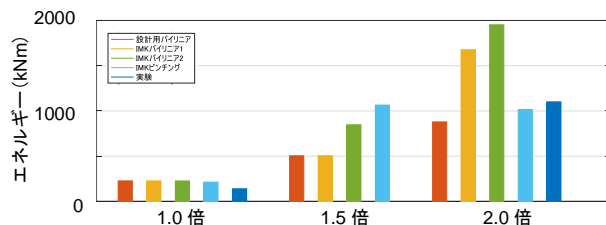


図 4 エネルギー比較

図 2 解析モデル(mm)

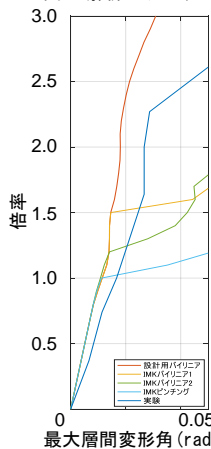


図 5 倍率と最大層間変形角

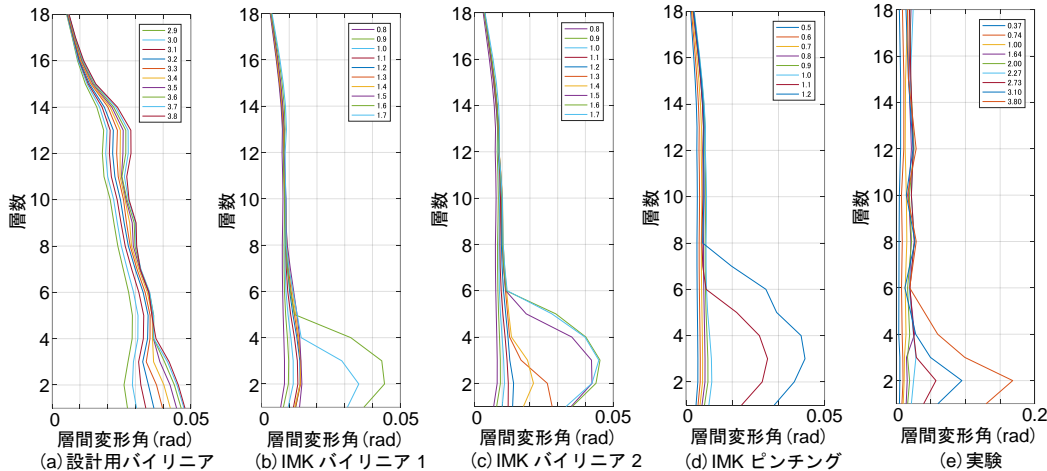


図 6 最大層間変形角の分布

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生
 *2 名古屋大学減災連携研究センター・准教授・博士 (工学)
 *3 近畿大学 准教授・博士 (工学)
 *4 北海道大学大学院 教授・Ph.D.
 *5 東北大学大学院 准教授・博士 (工学)
 *6 名古屋大学災害対策教室・教授・工博
 *7 名古屋大学減災連携研究センター・教授・工博

*1 Grad. Student, Environmental Studies, Nagoya Univ.
 *2 Associate Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr. Eng.
 *3 Associate Prof., Kinki Univ., Dr. Eng.
 *4 Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido Univ., Ph. D.
 *5 Associate Prof., Tohoku Univ., Dr. Eng.
 *6 Prof, Disaster Management Office, Nagoya Univ., Dr. Eng.
 *7 Associate Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr. Eng.