直下型地震評価用実大振動試験体の動的挙動解析

Analysis of Dynamic Behavior of Full-Scale Shaking Table Specimen
to Evaluate a Strong Near-Source Earthquake

○学 田中 慎哉 (阪府大院) 正 榎田 努 (阪府大)
正 三村 耕司 (阪府大)

Shinya TANAKA, Osaka prefecture University, 1-1, Gakuencho, Sakai
Tutomu UMEDA, Osaka prefecture University
Kouji MIMURA, Osaka prefecture University

The great Hanshin-Awaji earthquake has brought a large number of structural failures, and some of them are considerably different from the failures in the past earthquakes. One of them is the brittle fracture of steel box column of a high building. In this study, to clarify the fracture process in large members such as the steel box column and H-steel beam subjected to severe land movements caused by strong near-source earthquake, dynamic behavior of full-scale shaking table specimen was analyzed. In the analysis, specimen was modeled in detail in order to compare analytical results with the experimental results. Through the comparisons, an effective earthquake-proof construction was discussed.

Key Words : Near-source earthquake, Dynamic failure, Full-scale shaking table test, Finite element method

1. 緒言

直下型地震特有の地震動初期の激しい上下・水平方向揺れにより、大型構造物の一部にその地震動初期に対応した過渡応答時において、き裂や部分的破壊が生じ、その後の引き続く揺れにより、大きな破壊や破損が生じた可能性が報告されている⁽¹⁾。

しかし、現状では構成部材の破壊条件が解明されていないため、破壊に対する設計規範が確立されていない。一方、破壊の発生しやすい応力集中箇所における塑性化を避けるために、新しい構造形式を開発することも考えられる。

本研究では鋼構造建築物が破壊に対してどの程度の抵抗能力を有しているのか、破壊抑止のためにはどのような手法が有効であるかを解明するために行われた。鋼構造物骨組の実大振動台実験に関して、その有限要素モデルを作成して三次元挙動を解析し、実験との比較を行うとともに、解析の妥当性について検討した。これらの結果に基づいて、構造骨組の性能はそのままで、制振部材を追加することにより、既存建物の架構内に制振部材を設置した場合の耐震効果について検討を行った。

2. 実大振動台試験体の解析

2.1 実大振動台実験の概略

山田ら⁽²⁾は、鋼構造建築物の梁端接合部における破壊現象を解明し、設計時に接合部に期待できる変形能力を評価するために、以下のような実大振動台実験を行った。実構造物の骨組の部分架構に注目して、これを試験体として製作し、実大の構造部材・接合部に対する動的破壊現象を再現した。実験装置の概略および概念を図1(a), (b)に示す。実験装置は振動台からの入力によって慣性力を生み出す重錘と重錘を支える加振フレーム、重錘および加振フレームに作用する重力を支える積層ゴム、試験体、そして加振フレームから水平力を試験体に伝える加力梁から構成される。また、加振に用いられる入力波は、短時間に大きな入力エネルギーがもたらされる直下型の地震波として、阪神・淡路大震災時の神戸海洋気象台で記録された加速度から求められた速度に倍率を掛けて入力レベルを調整したものを用いた。

(a) Overview (b) Schematic drawing
Fig.1 Full-scale shaking table test

2.2 実大振動試験体の解析モデル

解析に用いた試験体および加振・支持部分の概略を図2(a)に、有限要素モデルを図2(b)に示す。モデル全体の節点数は19973であり、要素数は13388である。試験体は、柱に相当する箱形柱と梁に相当する溶接組立H形鋼からなるT形部分架構である。柱材断面はUB-500×500×22 (mm)、梁材断面はH-500×300×16×25 (mm)であり、材料特性は密度 $\rho=7890\text{kg/m}^3$ 、ポアソン比 $\nu=0.28$ 、さらに真応力-真ひずみ関係については、箱形柱はSTKR490相当、梁はSM490A相当のものを用いた。用いた材料の真応力-真ひずみ関係を図3に示す。

(a) Overview (b) Analytical model
Fig.2 Specimen model and boundary conditions

Fig.3 True stress-true strain curves employed in the analysis

2.3 境界条件

本解析では、試験体下部を図2(a)に示すように剛体の上に固着し、その剛体の中心の回転はY軸回りのみ許容している。なお、剛体の中心の並進運動はX,Y,Z方向とも拘束されるものとした。加力点は加振梁の一部を弾塑性体の直方体でモデル化し、その回転中心にモデル化した弾性ピンに、図4に示すような、実験において計測された加力点位置における変位時間履歴を入力した。ピンと直方体との境界は、接触境界（摩擦なし）として取り扱った。なお図4中の t_F は、実験において試験体のスカルップ周辺で破壊が生じた時刻を示したものである。

Fig.4 Time history of input displacement

2.4 解析結果

図5は実験で破断が生じた逆T字接合部周辺でひずみ測定用に用いられたゲージの位置（NO.3）を示している。図6にこのゲージ位置において実測されたひずみ-時間履歴と今回の計算によって得られたひずみ-時間履歴との比較を示す。本解析で得られたひずみ-時間履歴と実験で計測されたひずみ-時間履歴はよく一致しており、計算結果は妥当なものと考えられる。また時刻 t_F においては両者とも著しく大きなひずみが生じているが、このときの逆T字接合部周辺の応力分布は図7に示すようになった。破断箇所に対応する部分では最大720MPaもの高い応力が生じており、これは破断が生じるに十分高い応力値であると考えられる。

Fig.5 Location of strain gauge (West flange)

Fig.6 Example time history of strain (No.3)

Fig.7 Example of distribution of stress ($t_F = 1.58$ sec)

3. 制振部材を設置した試験体

実大振動試験体の解析結果において、逆T字接合部で応力集中が起こっており、また、松本らによる実大振動台実験(9)においても、接合部において破壊が生じた結果が得られている。そこで、接合部付近の応力集中を低減する目的で制振部材を追加した場合について検討した。図8に制振部材を設置した試験体の解析モデルの概略を示す。制振部材は一部箱形の柱で構成され、材料は低降伏点鋼であるLYP100相当とした。その真応力-真ひずみ関係を図9に示す。その他の材料特性や境界条件は図2で示したモデルと同様である。なお、結果については紙面の都合上ここでは割愛し、発表当日に詳細を示す。

Fig.8 Analytical model of specimen Fig.9 True stress-true strain curves of LYP100

4. 結言

構造部分骨組の実大振動台実験の有限要素モデルを用いて解析を行い、実験結果と比較することによって、鋼構造建築物が破壊に対してどの程度の抵抗能力があるのか検討を行った。これらの結果に基づいて、応力集中が起きやすく破壊が発生しやすい梁端接合部の応力レベルを抑えるために低降伏点鋼を材料とする制振部材を設置した耐震構造について検討をおこなった。

文 献

- (1) Tanimura, S., Mimura, K., Nonaka, T., and Zhu, W., Dynamic Failure of Structures Due to the Great Hanshin-Awaji Earthquake, Int. J. of Impact Eng., **24** (2000), pp.583-596.
- (2) 山田・ほか5名, 実大振動台実験による建築鋼構造の脆性破壊過程解明と破壊抑止策の検証 その1. 実験計画, 第3回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, (2002.2), pp.119-124.
- (3) 松本・ほか5名, 実大振動台実験による建築鋼構造の脆性破壊過程解明と破壊抑止策の検証 その2. 破壊シリーズの実験結果, 第3回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, (2002.2), pp.125-130.