

制震化したラーメン橋脚のハイブリッド実験による損傷推定の検証

名城大学 学生会員 ○川上 峻幸 名城大学 正会員 渡辺 孝一

1. はじめに

著者らは、鋼製ラーメン橋脚の座屈拘束ブレース (Buckling-Restrained Brace, 以下「BRB」と略記する) による制震効果について研究している。本研究では BRB の接合部に配慮して、より精密な推定を得るための解析モデルの構築を行っている。ここでは、ガセットと橋脚基部の接合部をモデル化してハイブリッド地震応答実験^[1]を実施し、地震応答時に損傷が集中する橋脚基部の再現性を報告する。

2. 実験概要

図1(a)にハイブリッド実験で適用するラーメン橋脚 (以降、「橋脚」と略記する) 全体の解析モデル外形を示す。また、図1(b)にはBRBを接合するブラケットとガセット接合部の拡大図を示す。橋脚の高さと橋脚の梁幅をそれぞれ10,000mmとしファイバー要素を与え、地面に対して完全固定の境界条件としている。柱と梁の断面内にはリブを設け、柱フランジ幅は2,000mm、ウェブ幅は1,000mmとした。橋脚の頂部に死荷重相当の8,000kNをそれぞれ作用させ、軸力比は $P/P_y=0.15$ とした。橋脚の各部材に適用した材料定数は鋼種SS400を想定して、降伏応力320MPa、ヤング率 $E=206\text{GPa}$ を与え、2次勾配を $E/100$ とするバイリニア型構成則とした。

本研究で用いたハイブリッド実験のシステム概要を図2に示す。図1のラーメン橋脚の数値解析モデルのうち、BRBをEX-truss要素^[1]で置き換えることで、BRBの逐次地震時応答変位を実験で載荷し、その変位に対する軸力を実験装置から取得して解析PCへフィードバックするシステムを用いる。この演算に使用するFEMソフトは、SeanFEM^[2]である。図2に示すとおり橋脚基部とBRB供試体の接合ガセットを、解析モデルの1/5とした縮小供試体で実験を行う。演算側には、BRBからの軸力成分が反映されるものであるが、本研究では、図1(b)のようにラーメン橋脚のBRB接合部もガセットとブラケットを構築して実構造に近づけることで、地震応答解析時の橋脚基部に集中する損傷を推定可能なモデルとしている。ハイブリッド実験で入力する地震動はJR鷹取駅の観測地震波を振幅調整した強震記録「II-II-2」である。制震効果を得るために使用するBRBは、事前解析により想定する強震時の最大応答変位、残留変位が橋脚の地震応答後の健全度2^[3]を満足する変形性能が得られること、さらに、ハイブリッド実験装置の載荷能力に配慮して、断面形状を決定したBRBを使用する。紙面の都合によりBRBの細部形状や材料定数は参考文献[4]を参考にされたい。ここでは、ハイブリッド実験によって得た制震効果について報告する。

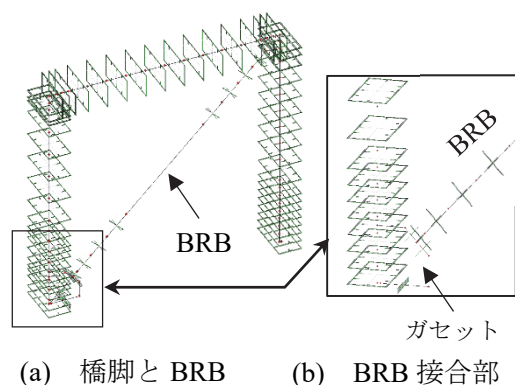


図1 制震化したラーメン橋脚モデル

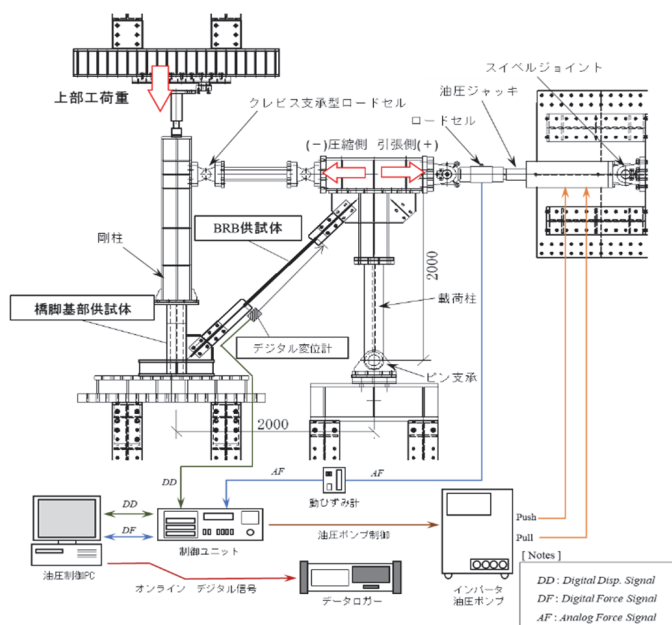


図2 ハイブリッド実験システム概念

キーワード BRB, ハイブリッド実験, FEM 解析, ガセット

連絡先 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学 TEL052-832-1151

3. ハイブリッド実験結果

図3にハイブリッド実験の結果を示す。橋脚全体系のハイブリッド実験による最大応答や残留変位は事前解析よりもわずかに5%程度大きめとなった。図の赤色の実線はハイブリッド実験結果、青色の破線は事前地震応答解析の推定値を表す。図3(a), (b)は橋脚全体系の水平荷重—水平変位履歴と時刻応答履歴であり、橋脚の基部が降伏する時の橋脚頂部の水平変位 $\delta_{h,y}$ (=71mm)と水平荷重 H_y (=6,200kN)で無次元化表示している。図3(c), (d)はBRBの軸力—変位関係および伸縮変位の時刻応答履歴であり、BRBの降伏変位 $\delta_{b,y}$ (=1.42mm), 降伏荷重 $P_{b,y}$ (=128kN)で無次元化表示している。

図3(a), (b)から、事前解析と概ね応答が一致する結果となった。ハイブリッド実験での橋脚の最大応答変位は $1.41\delta_{h,y}$ となり降伏変位を上回っているが、図3(b)の通り地震応答後の残留変位は1.15mmとなった。図5に実験終了後の外観を示しているが、橋脚

に局部座屈などの損傷は見られなかった。BRBの挙動に着目すると、図3(c)に示す通り安定した紡錘形の履歴が得られ、塑性変形により地震エネルギーを吸収したことが分かる。最大応答時の変位は引張側で $8.96\delta_{b,y}$ となり、BRBの変形限界値^[3]である3% (BRBの降伏変位 $20\delta_{b,y}$ 相当) に収まった。地震応答によるBRBの累積塑性エネルギー吸収量(CID^[3])は0.42となった。

次に、図4に橋脚基部ガセット接合部の損傷再現性に着目するため、最大応答変位時のミーゼスコンターを示す。コンターにはガセットに設けたサイドリブ(図5の赤矢印)と橋脚フランジに応力が集中しているが、実験供試体ではコンター図の位置のほか、橋脚基部のひずみも卓越する結果が得られた。以上から橋脚の地震応答時の損傷を正しく推定するのに解析モデルを改良する必要がある。

4. 考察と結び

今回構築した解析モデルは橋脚基部のガセット接合部にもファイバー要素を適用したモデルであるが、局部的な損傷の再現には困難であるため、シェル要素モデルの適用なども考慮して、改善した解析モデルによるハイブリッド実験を継続して実施予定である。

(参考文献)

[1]渡辺孝一, 吉野廣一, 篠田将旭, 山口亮太: サブストラクチャ応答実験による高機能座屈拘束ブレースの地震時応答解析, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.459-470, 2012.3. [2]SeanFEM ver.1.22: 理論マニュアルと検証, (株)耐震解析研究所, 2007. [3]宇佐美勉: 座屈設計ガイドライン, 改訂第2版, pp.412-413, 2005.10. [4]渡辺孝一ほか: 座屈拘束ブレースで制震化した鋼製ラーメン橋脚の変形性能, 鋼構造論文集, Vol.26 No.101, pp.57-67, 2019.3.

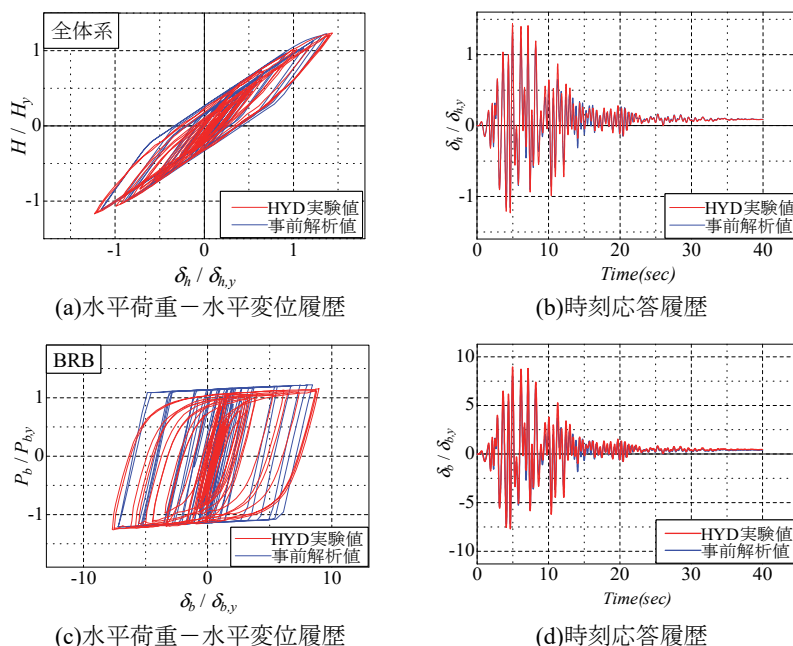


図3 ハイブリッド実験結果と事前解析の対比

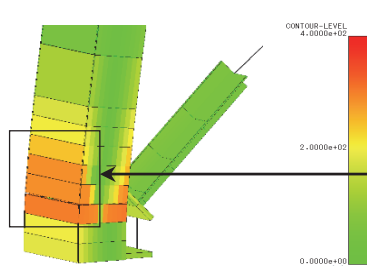


図4 橋脚基部ミーゼスコンター (7.13s 時)

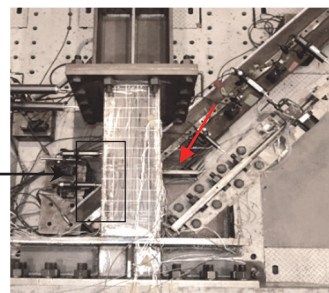


図5 ハイブリッド実験後 供試体基部