

鋼およびアルミニウム合金製 BRB を持つ鋼トラス構造のハイブリッド地震応答実験

名城大学大学院 学生会員 ○今瀬 史晃 名城大学 フェロー会員 宇佐美 勉
名城大学大学院 学生会員 篠田 将旭

1. 序論

座屈拘束ブレース（以下、BRB と略称する）の設置は、鋼橋の耐震性向上策として非常に効果的であり、これまで数多くの研究が行われ、施工実績も近年急増している。一般的には鋼材を用いた BRB が主流だが、軽量であることや耐食性が良好である等の利点があるアルミニウム合金製 BRB(以下アルミ製 BRB と略称)の研究が宇佐美らによって行われている^{1,2,3)}。文献3)では、鋼トラス構造の斜材に鋼製、アルミ製二つの BRB を用いることによる耐震性能向上効果を比較検討している。本論では、東北地方太平洋沖地震で観測された地震動（複数回強震動、長時間継続）による構造物の応答について検討するために、文献3)と同一寸法の実験供試体を使用したハイブリッド地震応答実験および複合非線形地震応答解析を実施した。

2. 実験供試体

図-1に実験供試体を示す。これは文献3)と同様の鋼平面トラス構造で、支持条件は両端基部がピン、中央基部がローラー支持である。3本の鉛直ジャッキによって均等な一定鉛直荷重 V （鉛直材の降伏軸力の20%）が各鉛直材の軸線上に载荷されている。上下弦材および鉛直材にはH形鋼（H100x100x6x8で材質はSS400）を弱軸回りに使用した。供試体一覧を表-1に示す。BRB-Hyは鋼製BRBを斜材に持つ供試体、BRB-AL-Hyはアルミ製BRBを斜材に持つ供試体である。固有周期は、鉛直荷重を等価な質量（ V/g ）に置き換え、トラスの質量を無視して1自由度系として算定した。実験供試体の詳細および材料定数については文献3)を参照されたい。

3. ハイブリッド地震応答実験および結果

本研究で用いたハイブリッド地震応答実験は鋼製橋脚の地震応答実験のために名古屋大学で開発されたもの⁴⁾で、相似則を厳密に考慮することにより、想定実構造物の応答を模型実験から求めることが出来る。本研究では、相似比 $S=10$ とし、模型を用いたハイブリッド地震応答実験から、10倍スケールの実構造物の応答を実験から求めている。入力地震動としてK-Net仙台観測地震波（MYG0013 N-S成分）（図-2）を使用した。図-3は実験結果を示し、(a)は応答水平変位 Δ 、(b)は復元力 Q —水平変位 Δ 関係である。いずれも、応答値は実構造スケールに換算してある。BRB-Hyの応答水平変位の時刻歴は、二つのピークを持つ連動型地震動に特有な形状を持っている。1波目のピーク（ $t =$ 約50秒）でドリフト $\Delta/h=1/63$ 、2波目のピーク（ $t =$ 約100秒）で最大ドリフト $\Delta_{max}/h=1/23$ と非常に大きな応答となった。残留ドリフトは $\Delta_R/h=1/33$ と大きくなった。ここで、 h はトラスの高さで、供試体モデルでは

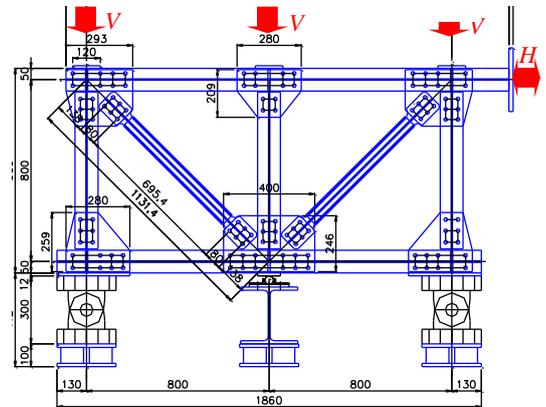


図-1 実験供試体

表-1 実験供試体の種類

供試体名	斜材			固有周期 (Prototype)	
	材質	断面・部材長	ℓ/r ℓ'/r		
BRB-Hy	鋼材	$b=50\text{mm}$, $A_D=904\text{mm}^2$ $r=9.69\text{mm}$, $\ell=1,130$	117	80.0	1.61
BRB-AL-Hy	アルミ	$\ell'=775\text{mm}$			2.03

Note: ℓ = 骨組長, ℓ' = 連結高力ボルト群の重心間距離, A_D = 斜材断面積, b = フランジ幅, r = 弱軸回りの断面2次半径

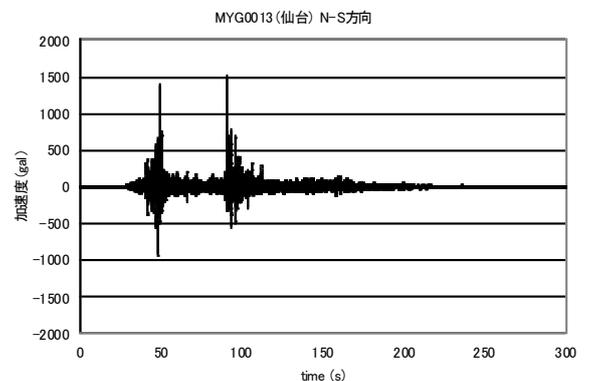


図-2 入力地震動

1.01m, 実構造では10.1mである。実験終了後に変形・損傷状態を観察したものを写真-1に示す。支承部周辺の下弦材の変形は確認されたがその他の部材には変形や亀裂といった損傷はみられなかった。

BRB-AL-Hyは1波目のピーク ($t = \text{約} 50 \text{秒}$) でドリフト $\Delta/h=1/67$, 2波目のピーク ($t = \text{約} 90 \text{秒}$) で最大ドリフト Δ_{\max}/h

$=1/30$ と非常に大きな応答となった。実験終了後の確認では損傷はまったく見られなかった。これは、文献3) で述べられているが斜材の軸方向剛性の違いによるもので、**BRB-Hy**より支承周辺部材の変形が比較的小さくなった。また、周辺の損傷が少ないため残留ドリフトは $\Delta_R/h=1/73$ と非常に小さくなった。

4. 地震応答解析と結果

使用した解析モデルは鉛直力を等価な質量 (V/g) に置き換えた以外は文献1) ~ 3) と同様である。地震動は両ピン支承に入力した。使用した構成則は、バイリニア型移動硬化則 (2次勾配: **BRB** は $E/60$, その他の部材は $E/100$) である。材料定数は引張試験で得られた値を使用している。図-4 に解析結果 (応答水平変位 Δ) を実験結果と併せて示す。2波目のピーク辺りから解析の応答変位が若干小さくなっている。1波目, 2波目の最大ドリフトは実験と解析はほぼ一致しており、解析モデルは実験結果を概ね模擬できていると言える。しかし、残留ドリフトに違いが見られた。特に **BRB-Hy** に顕著に見られたことから支承周辺部材の変形が必ずしも模擬出来ていなかったと考えられる。

5. 結論

ハイブリッド実験より、鋼 **BRB** トラスはアルミ **BRB** トラスに比べ応答変位は非常に大きくなり残留変位も大きくなった。これは支承部周辺部材の損傷が鋼 **BRB** トラスの方が大きかったことによる。提案解析モデルは、実験と概ね整合する結果を与えたが、残留変位に関しては応答値との違いが生じた。これは支承周辺部材のボルト穴の損傷が解析では考慮できないことによる。

参考文献

(1) 宇佐美勉ら: 構造工学論文集, 土木学会 Vol.55A, pp.719-729, 2009.3 (2) 舟山淳起ら: 構造工学論文集 Vol.58A, 2012.3. (3) 宇佐美勉ら: 構造工学論文集 Vol.59A 投稿中, (4) 才塚邦宏ら: 土木学会論文集, pp.179-190, 1995.1.

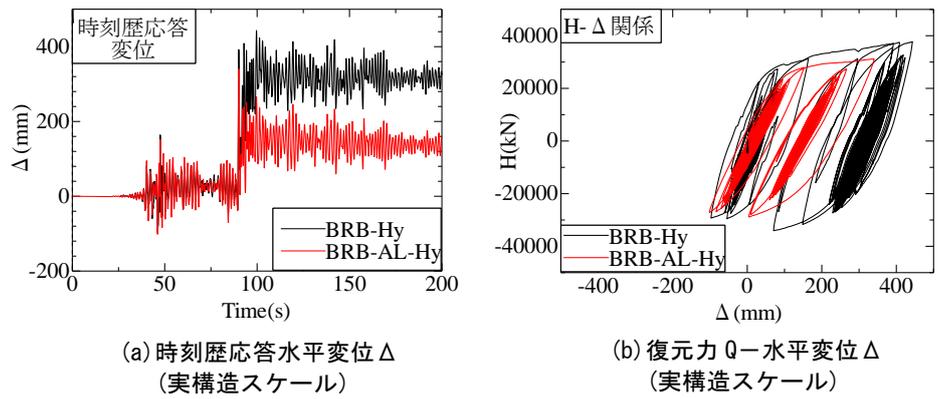


図-3 ハイブリッド地震応答実験結果



写真-1 左支承部周辺部材の変形

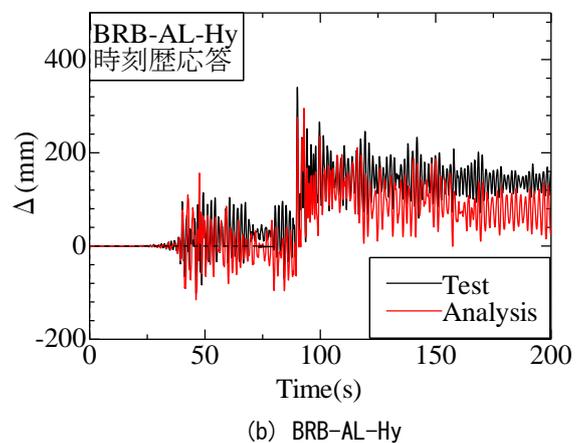
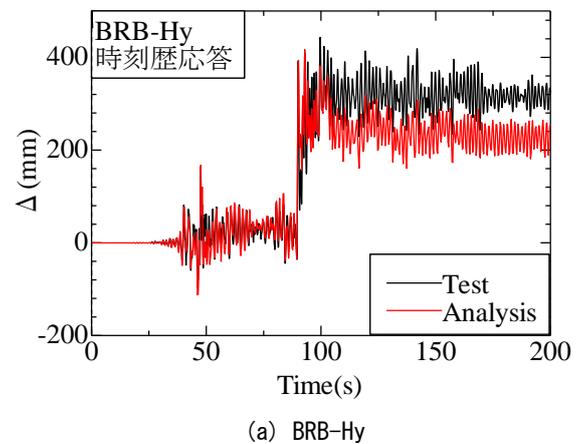


図-4 解析結果