

ブレース補強した鉄道高架橋の変位制限効果の振動台実験

東海旅客鉄道 正会員 ○吉田 幸司, 正会員 阿知波 秀彦
東海旅客鉄道 正会員 荒鹿 忠義, フェロー 関 雅樹

1. はじめに

既存鉄道高架橋の耐震補強では、耐力や変形性能の向上だけでなく、列車走行性の向上も視野に入れた構造物強化が必要である。地震時の列車走行性には構造物の横方向の振動変位などが影響することから、これらを制限することが肝要である。

これまで著者らは、構造物の振動変位を制限する手段として、既存高架橋の耐震補強工法の一つとして実用化している X 型鋼製ダンパー・ブレース補強（以下、「ブレース補強」）^{1),2)}に着目し、地震時の高架橋の橋軸直角方向の振動変位の制限効果について検討³⁾してきた。本研究では、ブレース補強による変位制限効果について鉄道高架橋の縮小試験体を用いた振動台実験により検証する。

2. 実験概要

試験体の概要を図-1 に、使用材料の性質を表-1 に、また相似則の一覧を表-2 に示す。試験体は標準的な鉄道高架橋を模擬し、架構寸法 1/5、柱断面 1/4 縮尺として、せん断余裕度を実際の高架橋と等価となるようモデル化した。柱主筋の引張鉄筋比は $p_t=1.79\%$ 、せん断補強筋比は $p_w=0.07\sim 0.21\%$ 、せん断余裕度は 1.31 である。ブレース補強は、高架橋本体の 2 倍程度の降伏耐力を有するよう設計し、橋軸直角方向断面に 2 基 (1 対) 設置した。なお、耐震補強された既存高架橋を想定し、柱部材には鋼板巻き補強 (鋼板厚 $t=1.2\text{mm}$) し、その上からブレースを設置した。また、地上部での補強を意識し、土被り分 $1.5D$ (D : 柱幅) 柱下端を空けた。

入力は、鉄道設計地震動 (耐震設計) の L2 地震動スペクトル II (G4 地盤)⁴⁾ を用い、相似則にしたがって、高架橋降伏震度と地震波加速度振幅の比、高架橋固有周期と地震波の周波数特性の比が整合するように、加速度と時間軸を調整した入力地震動で加振した。

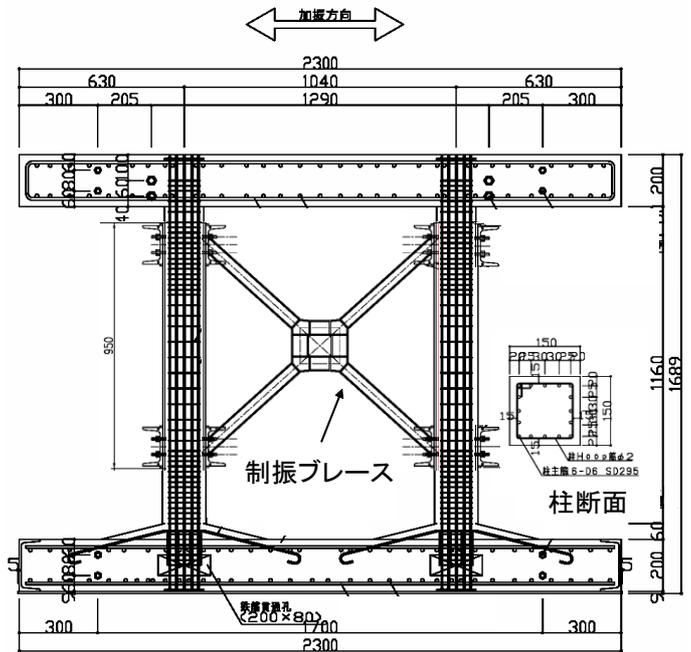


図-1 試験体概要

表-1 使用材料

| 鋼材使用部位 | 寸法 | 材質 | 降伏強度 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (10 ⁵ N/mm ²) |
|----------|------|----------|---------------------------|---------------------------|--|
| 柱鉄筋 | 主筋 | D6 SD295 | 368 | 536 | 1.87 |
| | 帯筋 | φ2 規格外 | 189* | 285 | 1.17 |
| 柱鋼板巻き補強 | t1.2 | 規格外 | 230* | 347 | 1.98 |
| ダンパーパネル材 | t3.2 | SS400 | 287* | 453 | 2.07 |

*: 0.2%オフセットひずみにより降伏強度を算出。

| コンクリート | 材令 | 圧縮強度 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (10 ⁴ N/mm ²) |
|-----------|-----|---------------------------|---------------------------|--|
| 24-18-13N | 32日 | 31.6 | 2.39 | 2.42 |

表-2 相似則

| 物理量 | 相似比 | 物理量 | 相似比 |
|-----|----------------------|---------------|-------|
| 長さ | 1/λ | 剛性 | 1/λ |
| ひずみ | 1 | 固有周期 | 1/√βλ |
| 応力度 | 1 | | |
| 加速度 | β | 速度 | √β/λ |
| 質量 | 1/(βλ ²) | | |
| 力 | 1/λ ² | (λ=5, β=1.55) | |

キーワード 鉄道高架橋, ブレース補強, 変位制限, 振動台実験

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 東海旅客鉄道(株)技術開発部 TEL.0568-47-5375 FAX.0568-47-5364

3. 実験結果・考察

本研究での振動台実験の状況を図-4 に示す。また、L2 地震動スペクトルⅡ（加振方向：橋軸直角方向）による試験結果として、加振時の荷重変位関係を図-5 に、応答変位波形を図-6 にそれぞれ示す。なお、各図においてブレース補強の補強効果の比較として、過去の振動台実験結果¹⁾より、ブレースなしの試験ケースの結果（せん断余裕度，加振条件が同一）を重ねて表記した。

ブレースなしでは、L2 地震動により柱部材が降伏して、さらに大きく塑性変形する挙動を示したのに対し、ブレース補強における荷重変位関係は、ほぼ弾性的な挙動を呈しており、高架橋の応答変位の制限効果を発揮している。また、応答変位においても、ブレースなしの場合では最大応答変位 133mm（部材角 1/9 程度）であったのに対し、ブレース補強により、最大応答変位は 5.7mm（部材角 1/210 程度）と大幅に変位が抑さえられ、残留変位もない高い変位制限効果を示した。

今回の実験では、地上部での補強を意識して土被り分相当を空けてブレースを設置する仕様としたが、L2 地震動に対して、柱下端部ならびに他部位への特段の損傷は認められなかった。また、事前解析では下側ブレース定着部での柱主筋降伏が想定されたが、実験では降伏しなかった。これは、巻立て鋼板やブレース定着のブラケットによる曲げ負担があったためと考えられる。

4. まとめ

高架橋の縮小試験体を用いた振動台実験により、以下の知見を得た。

- (1) ブレース補強により、高架橋の横方向の振動変位が抑制され、L2 地震動に対し、概ね損傷レベル 1 以内（部材弾性域）となり、高い変位制限効果が得られることを確認した。
- (2) 地上部での補強を意識して土被り分相当（1.5D）を空けてブレースを設置する仕様で、L2 地震動に対しては、柱下端部等への特段の損傷もなく、柱鋼板巻き補強との併用により、地上部のみのブレース補強で高い変位制限効果が得られる。

謝辞 振動台実験では、(株)大林組技術研究所の武田篤史氏にご協力を賜り、ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 吉田,喜多,岡野,関：圧縮型鋼製ダンパー・ブレースによる RC ラーメン高架橋の補強効果に関する振動台実験及び解析,土木学会構造工学論文集 Vol.51A, pp.839-846, 2005.3. 2) 喜多,吉田,岡野,関：鉄道 RC ラーメン高架橋を対象とした圧縮型鋼製ダンパー・ブレース工法の実用化,土木学会論文集 F,Vol.63,No.3,pp.277-286,2007.7. 3) 吉田,関,曾我部：ブレース補強による鉄道高架橋の列車走行性に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.29,3152,2007. 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）,1999.10.

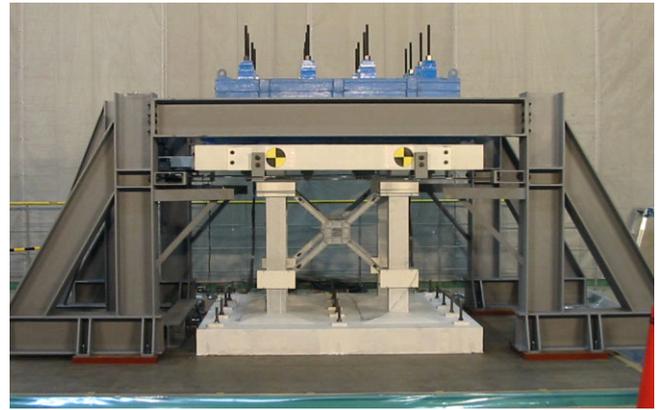


図-4 振動台実験の状況（ブレース補強）

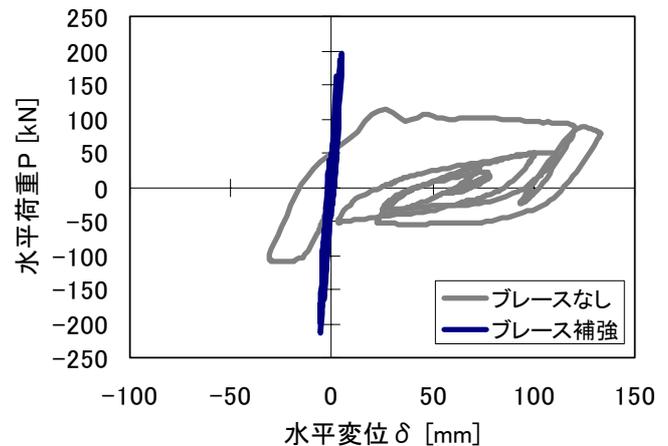


図-5 荷重変位関係の比較

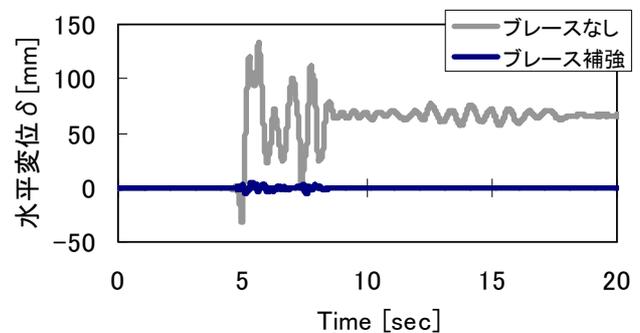


図-6 応答変位波形の比較