

RC ラーメン高架橋におけるブレース系耐震補強効果のメカニズムに関する一考察

JR 東日本コンサルタンツ（株） 正会員 ○井比 亨

同社 正会員 高橋 寛成 同社 正会員 武田 智信

同社 正会員 野上 雄太 同社 正会員 山本 忠

1. はじめに

RC ラーメン高架橋の耐震補強では、ブレース系補強材が用いられることがある。ブレース系補強材には種々のデバイスがあり、既設高架橋の耐震性能を考慮して補強材が選定される。実設計においては、多種の補強材の諸元を変えて動的解析を実施し、試行錯誤しながら最適な補強材を選定しており、労力がかかっているのが現状である。本研究は、ブレース系補強材による耐震補強効果の簡易推定手法の提案を目的とする。本稿では、その前段として、補強材の諸元をパラメータとした解析的検討により、既設高架橋の耐震補強効果について考察する。

2. 解析条件

検討に用いた解析モデルを図 1 に示す。各部材のモデル化は、柱の先行降伏を前提として、梁は線形、柱は非線形（鉄筋コンクリート部材の復元力モデル¹⁾）とした。また、杭基礎は集約ばねとした。本稿で検討の対象とした高架橋は、無補強時の等価固有周期が 0.6 秒、降伏震度が 0.5 である。

補強材は図 1 に示すように対角線状の配置とし、軸方向ばね要素としてモデル化した。補強材の諸元を表 1 に示す。補強材の降伏耐力（以下 F とする）および軸剛性（以下 K とする）は、様々なデバイスを想定してパラメータとした。また、補強材の履歴特性はバイリニア型が多いが、スリップ型も考えられることから、両者について検討した。

入力地震動は鉄道標準¹⁾の L2 地震動スペクトル II (G3 地盤用)を用いた。動的解析はニューマーク β 法を用い、積分時間間隔は 0.001 秒とした。解析プログラムは汎用三次元非線形骨組み構造解析プログラム isas を使用した。

3. 補強材の降伏耐力および軸剛性の影響

補強材の降伏耐力 F および軸剛性 K をパラメータとした解析を行った。図 2 に F と高架橋の天端における最大応答変位の関係を、図 3 に F と基礎の最大水平反力の関係を示す。まず、補強材の降伏耐力 F に着目すると、 F が大きくなるに従って天端の最大変位は減少し、基礎の最大水平反力は比例的に上昇することが分かる。次に、 $K=80000\text{kN/m}$ における F 毎の高架橋の水平震度－水平変位関係を図 4 に示す。 F が大きくなるに従って、構造全体系の降伏震度は概ね F の分だけ増加する。それと同時に構造全体系の等価剛性（原点と明確な折れ曲がり点を結んだ剛性）も高まる。したがって、構造全体系の降伏震度の上昇と等価剛性の増加（構造物の短周期化）の両者の影響を受けることで、補強材の降伏耐力 F が増加するに伴い、変位は減少し、基礎の最大反力は増加することが確認できた。

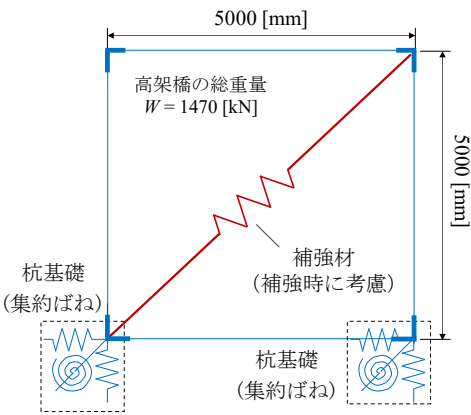


図 1 解析モデル

表 1 補強材の諸元（無補強時）

	パラメータ	備考
降伏耐力 F [kN]	200 (0.1)	200kNダンパー相当
	800 (0.4)	800kNダンパー相当
	2000 (1.0)	2000kNダンパー相当
	3500 (1.7)	-
	4000 (1.9)	H300形鋼相当
軸剛性 K [kN/m]	40000	100kNダンパー相当
	80000	200kNダンパー相当
	320000	800kNダンパー相当 もしくはH300形鋼相当
第2剛性比 K_2	0.0001	-
履歴則	バイリニア型 スリップ型	ダンパー、BRB等 ケーブル等

※()内の数値は補強材の降伏耐力の水平成分を高架橋の総重量 W で除した値を示す

キーワード RC ラーメン高架橋, 耐震性能, ブレース, ダンパー, 地震応答解析

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川 1-1-1 JR 東日本コンサルタンツ（株） TEL 03-5435-7625

次に、補強材の軸剛性 K に着目する。

図2, 図3において降伏耐力 $F=200\sim 800\text{kN}$ の場合は、 K の影響は僅かであるが、 F が大きい領域では、 K の上昇に伴って、天端の変位、基礎の水平反力ともに減少する傾向にあることが分かる。ここで、 $F=200\text{kN}$ および 4000kN における K 毎の高架橋の水平震度－水平変位関係を図5に示す。 $F=200\text{kN}$ の場合、どの剛性においても、震度0.2以下の早い段階で補強材が降伏し、降伏以降の挙動が高架橋の応答性能に支配されるため、補強後の等価固有周期および降伏震度は殆ど変わらない。そのため、 K によらず最大応答が同程度となる。 $F=4000\text{kN}$ の場合、最大応答時に補強材が降伏しておらず、 K が高くなると構造全体系の降伏点における等価剛性が高くなる、つまり等価固有周期が短くなるため、本検討では最大応答および基礎の反力が小さくなると考えられる。

以上の考察より、本検討で想定する補強材の降伏耐力および軸剛性の範囲において、降伏耐力の変化は、軸剛性の変化に比べて、天端の変位および基礎の最大反力に対する影響が大きいことが分かる。

4. 補強材の履歴法則の影響

履歴則のみが異なる時の降伏耐力 F と天端の最大変位の関係を図6に示す。補強材が降伏する材料の場合 ($F=3500\text{kN}$ 未満)、スリップ型の変位は、バイリニア型に比べて最大2.5倍となる。これは、スリップ型はバイリニア型に比べて、エネルギー吸収性能が低いためであると考えられる。基礎の反力は、補強材の2次勾配をフラットとしているため、履歴則による差がないことを確認している。以上より、基礎への負担を同程度とした場合、変位抑制効果は、バイリニア型のデバイスの方がスリップ型に比べて有利である。

5. まとめ

RC高架橋のブレース系補強による動的応答の簡易推定手法の提案を目的とし、前段としてブレース系補強材の諸元の違いが高架橋の動的応答に及ぼす影響をまとめ、以下のことが分かった。

- (1) 補強後の最大応答は、補強後の構造全体系の降伏震度と等価固有周期により傾向を把握できる。
- (2) 補強後の高架橋の動的応答に対して、補強材の降伏耐力の感度は高いが、軸剛性の感度は比較的低い。
- (3) 補強材を降伏させる場合、補強材の剛性や降伏耐力が同じであれば、バイリニア型の履歴則を有するデバイスの方がスリップ型よりも変位抑制効果が高い。

参考文献 1) 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，丸善，2012。

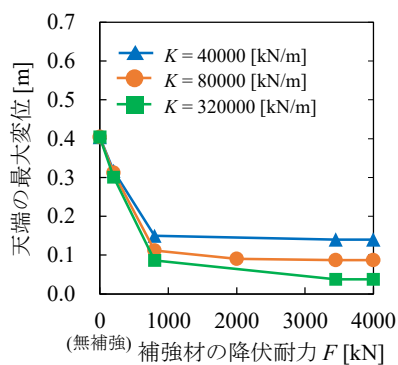


図2 天端の最大変位

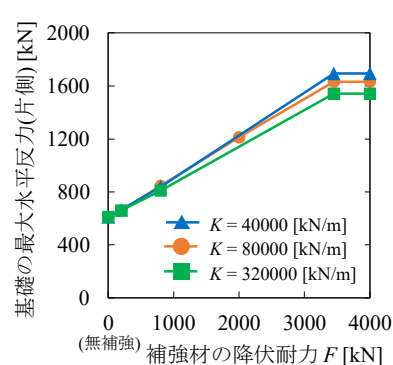


図3 基礎の最大水平反力

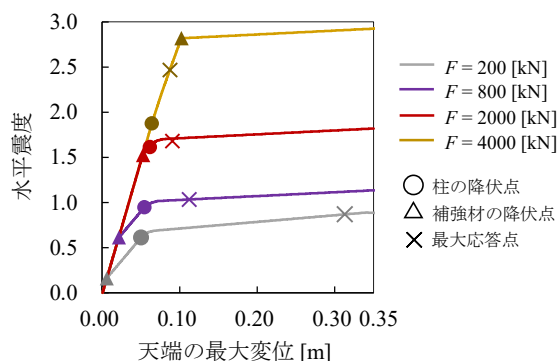


図4 水平震度-変位 ($K=80000$)

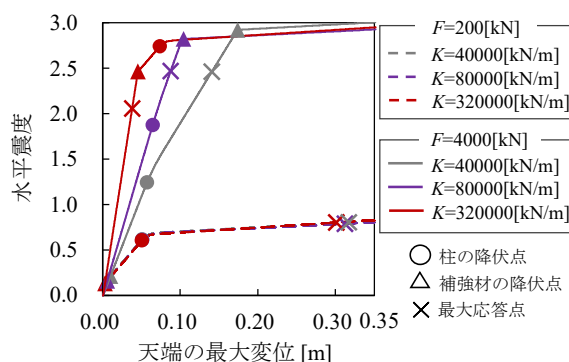


図5 水平震度-変位 ($F=200, 4000$)

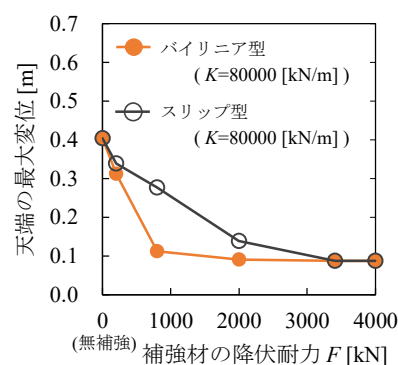


図6 天端の最大変位 (履歴則)