

車両の走行性を考慮した免制震デバイスによる既設鋼橋の耐震性能向上

○ 東京工業大学 学生会員 Nguyen Khac Thanh  
東京工業大学 正会員 判治剛

東京工業大学 フェロー 三木千壽  
新日鉄エンジニアリング 佐伯英一郎

1. 目的

兵庫県南部地震のような大地震で、都市内高速道路の鋼製橋脚の局部座屈や破壊、桁の落下といった様々な損傷が報告された。このような被害を防ぐためには、地震時の橋の挙動を明らかにし、耐震性能向上の対策を講じる必要がある。近年建築分野では、多様な形状や性能を有する免制震デバイスによる既存構造物の耐震補強が盛んに行われており、土木分野でも種類は限定されるが、デバイスの適用が普及しつつある。そこで本研究では、既設鋼道路橋に対して動的解析を行い、地震時の耐震性能を評価するとともに、免制震デバイスによる耐震性能向上の可能性を検討する。

2. 解析モデル

対象橋脚を図1、2に示す。本研究では既設の1層または2層鋼ラーメン橋脚を有する連続鋼桁橋を対象とした。橋脚の基部にはコンクリートが充填されている。解析モデルの全体を図3、4に示す。コンクリート床版のみをシェル要素で、その他の部材は梁要素でモデル化した。鋼材の構成則はトリリニア型とした。

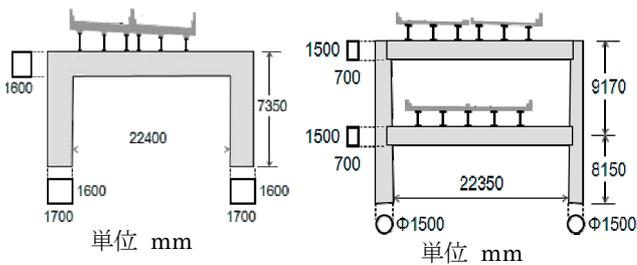


図1 断面図モデル①

図2 断面図モデル②

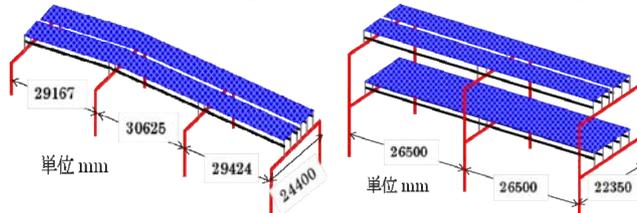


図3 モデル①

図4 モデル②

過去の研究<sup>(1)(2)</sup>を参考にし、固定支承は耐力  $F_y$  に到達後、支承が破損し、動摩擦力  $F_{df}$  が作用する復元モデルとした。可動支承も支承破損後の動摩擦力を考慮してモデル化した(図5参照)。耐力  $F_y$  は死荷重反力に設

計水平震度(0.2)を乗じたもの、動摩擦力  $F_{df}$  は死荷重反力に動摩擦係数(0.15)を乗じたものとした。支承変位が1mmのとき耐力に達するように初期剛性  $K$  を設定した。橋脚の下端に神戸海洋気象台地盤上の地震動を3方向から同時に入力し、動的応答解析を行った。

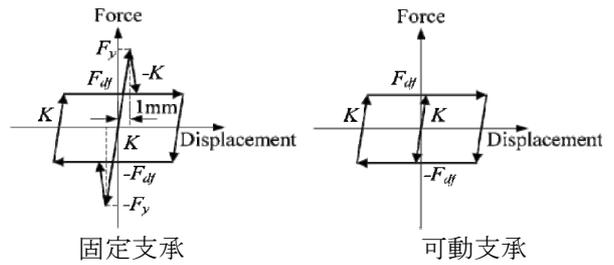


図5 固定支承、可動支承のモデル

3. 耐震性能評価項目

橋の耐震性能を評価する上で「橋脚が破壊しない、桁が落下しない、車両の走行安全性を保つ」という3つの項目を設定した。橋脚の局部座屈はひずみ照査法により評価した。照査に用いたひずみは有効破壊長領域内の要素の平均ひずみ<sup>(3)</sup>とした。桁の落下については桁かかり長を限界値とし、支承の変位量がそれを超えないことを確認した。走行安全性の評価は床版の速度応答に限界値を設けることにより行った。丸山らの解析的検討<sup>(4)</sup>を参考にし、床版の応答速度の限界値を0.2m/sとした。それぞれの限界値を表1にまとめる。

表1 限界値

| 許容ひずみ | モデル①                 |                      | モデル②                 |                      |                      |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|       | 脚基部<br>コンクリート        | 脚基部<br>コンクリート        | 橋脚<br>鋼              | 横梁<br>鋼              | 横梁<br>鋼              |
|       | 0.011 <sup>(3)</sup> | 0.011 <sup>(3)</sup> | 0.01                 | 0.011 <sup>(5)</sup> | 0.011 <sup>(5)</sup> |
| 桁かかり長 | 832mm <sup>(5)</sup> |                      | 845mm <sup>(5)</sup> |                      |                      |
| 最大速度  | 床版                   |                      | 下層床版                 | 上層床版                 |                      |
|       | 0.2 m/s              |                      | 0.2 m/s              | 0.2 m/s              |                      |

4. 耐震性能照査

図6~9に脚基部のひずみ履歴と床版の速度履歴を示す。モデル②では脚基部のひずみの最大値が0.032となり(図8)、またどちらも床版の速度の最大値がそれぞれ0.93m/s、0.54m/sとなり(図7,9)、限界値を超えた。ただし、支承の変位は桁かかり長以下であった。

キーワード 耐震性能 免制震デバイス 鋼ラーメン橋脚 走行安全性

連絡先 東京工業大学理工学研究科土木工学専攻 三木研究室 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 M1-2)

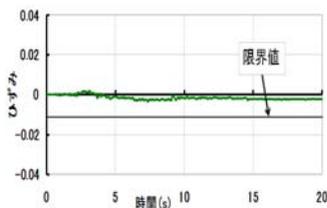


図 6 モデル① (ひずみ)

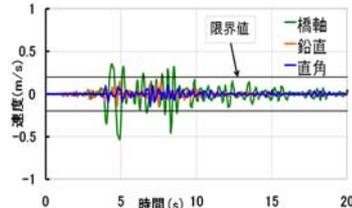


図 7 モデル① (速度)

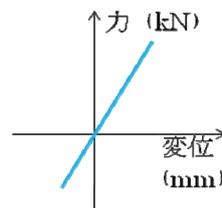


図 12 ゴム支承

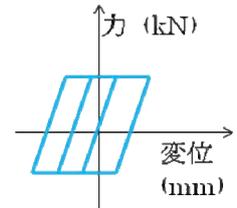


図 13 免震支承

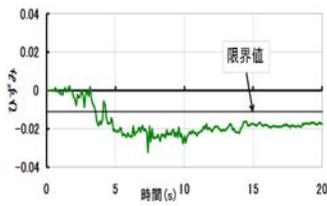


図 8 モデル② (ひずみ)

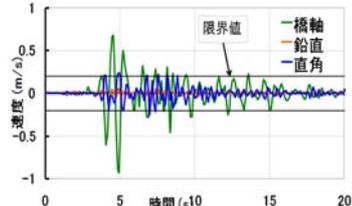


図 9 モデル② (速度)

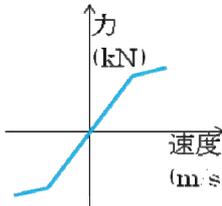


図 14 粘性ダンパー

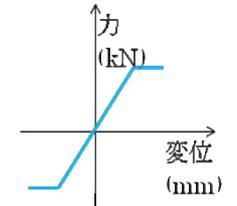


図 15 ダンパーブレス

5. 免制震デバイスによる耐震性能向上

耐震性能向上を図る目的でゴム支承、免震支承、粘性ダンパー、ダンパーブレスを取付けて解析を行った。それらの取付位置とモデルを図 10~15 に示す。デバイスのパラメータは数パターンを試解析の結果として決定した。ダンパーは脚下端から 5m の位置と桁のスパン中央を繋げるように設置した。

それぞれのデバイスを用いた場合の効果を以下に述べる。ゴム支承の場合、橋脚基部のひずみを許容値以内に低減することができず、また支承の変形量が大きくなることで床版の速度応答も増加した。免震支承の場合も床版の速度応答が増加したが、脚基部のひずみ応答を限界値以下に収めることができた。ダンパーブレスも同様な効果があることが分かった。粘性ダンパーの場合は床版の速度応答を許容範囲に抑えることができ、脚基部のひずみ応答を減らす効果もあった。

以上のそれぞれのデバイスの特徴から全体の耐震性能を向上するためにモデル①に粘性ダンパーのみ、モデル②に免震支承と粘性ダンパーを併用し取り付けた。図 16~19 はデバイス設置前後の脚基部のひずみ履歴と床版の速度履歴である。モデル①では床版の速度が 0.2m/s 以下となった。モデル②では脚基部のひずみが 0.011 以下となり、床版の速度は許容値を若干超えたが、著しく減少することが分かった。

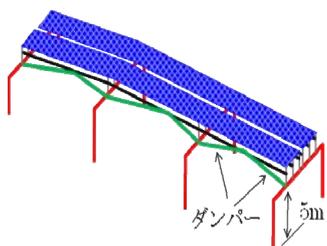


図 10 取付位置 (モデル①)

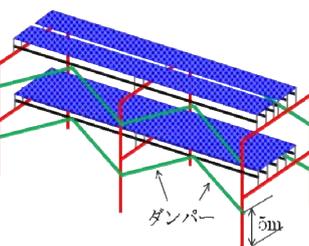


図 11 取付位置 (モデル②)

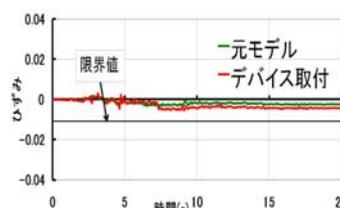


図 16 モデル① (ひずみ)

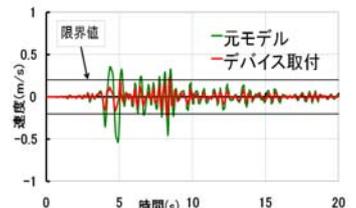


図 17 モデル① (速度)

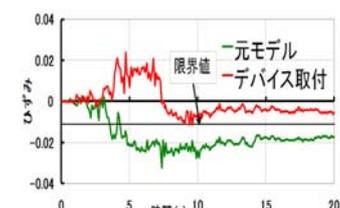


図 18 モデル② (ひずみ)

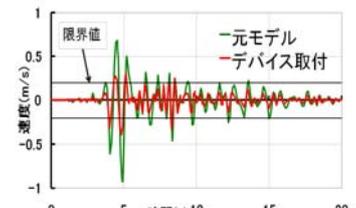


図 19 モデル② (速度)

6. 結論および今後の課題

本研究では新たな試みとして、橋梁上を走行する車両の走行性を考慮に入れた耐震性能評価を行った。今回適用した免制震デバイスの中では粘性ダンパーが最も効果的なデバイスであった。免震支承やダンパーブレスは橋脚基部の負担を減少できるが、床版の速度応答を大きくする可能性があることがわかった。今回は地盤の影響を考慮しておらず、今後は地盤もモデル化する必要があると考えている。本成果は限られた解析ケースから得られたものであり、橋梁の形式や構造が変化した場合の適用性については別途検討する必要がある。最終的には最適なデバイスの選定方法の開発へと結び付けたい。

参考文献

1. Kawashima et al.: J. of Earthquake Eng., 2005.
2. 梶田ら: 構造工学論文集 Vol. 45A, 1999.
3. 宇佐美勉: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 1998.
4. 丸山ら: 土木学会論文集 No.696/ I-58, 2002.
5. 道路橋示方書耐震設計編, 2002.