

## E-ディフェンスを用いた免震支承の震動実験

(独) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター フェロー会員 中山 学  
 東京工業大学 理工学研究科土木工学専攻 フェロー会員 川島 一彦  
 (株)長大 構造事業本部 耐震技術部 正会員 ○矢部 正明

## 1. はじめに

E-ディフェンスを用いた次世代型 RC 橋脚の震動実験に先立って、写真-1 に示すように RC 橋脚上の固定支承を免震支承(超高減衰積層ゴム支承, ゴム厚 15mm×6 層, 400mm×400mm,  $G10=1.0\text{N/mm}^2$ ) に置き換えた実験が行われている<sup>1)</sup>。本報告は、免震支承の震動実験の概要について述べたものである。

## 2. 加震条件

免震支承を設置した震動実験は、次世代型 RC 橋脚の震動実験の前に行われたので、次世代型 RC 橋脚躯体に損傷が生じない範囲で加震する必要があった。具体的には、1995 年兵庫県南部地震 JR 鷹取駅周辺地盤上記録 3 成分の強度を、8%, 16%, 24%, 32%, 40%と順次増加させながら震動実験を行った。図-1 は、加震強度 40% の時、加振台上で計測された加速度波形の加速度応答スペクトルである。免震支承の初期剛性を用いて算出される橋梁震動模型の橋軸方向基本固有周期が約 0.57 秒、直角方向基本固有周期が約 0.43 秒であることを考慮すると約 600gal 近い加震力で起震されたことになる。

## 3. 免震支承の地震応答

図-2 は免震支承に生じた橋軸方向と直角方向の変形のリサージュ図である。最大値は、橋軸方向から約 17° 直角方向に傾いた方向に生じており約 18mm である。図-3 は、橋軸方向、直角方向、上下方向の荷重-変位関係である。せん断ひずみは、橋軸方向が約 20%, 直角方向が約 17%で、橋軸方向の方が履歴面積が大きいことがわかる。上下方向は、死荷重を超える上揚力は生じていないが、引張力が作用していることがわかる。死荷重よりもさらに大きな圧縮力が作用している領域と、引張力が作用している領域を比較すると、引張力が大きくなると軸方向剛性が軟らかくなっていることがわかる。

図-4 は、橋軸方向の荷重-変位関係を加震強度 8%と 24%および 40%で比較したものである。加震強度が大きくなるとともに、免震支承の非線形性が強くなってい

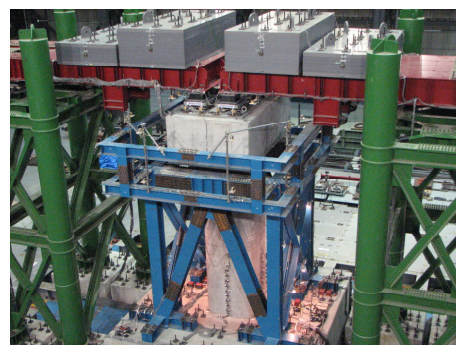


写真-1 橋梁震動実験模型

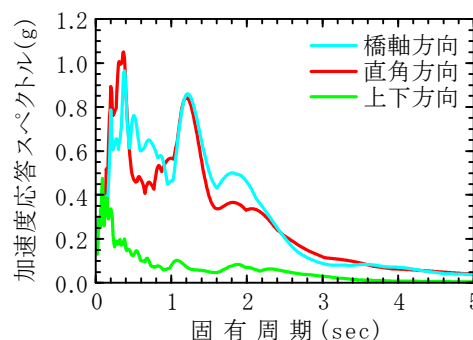


図-1 加震強度 40%時の加速度応答スペクトル

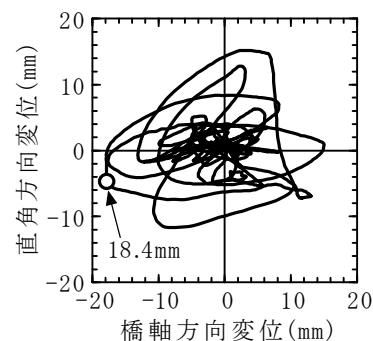


図-2 免震支承に生じる水平 2 方向変位 : 加震強度 40%  
 ことがわかる。

図-5 は、免震支承の変形と桁の変位のフーリエスペクトルを加震強度 8%, 24%, 40%で比較したものである。図より、加震強度が大きくなるにともない免震支承の非線形性が増加した結果、橋梁としての固有振動特性に長周期成分の勢力が大きくなっていることがわかる。

免震支承の設計に用いるせん断弾性係数  $G$  は、死荷重に相当する圧縮荷重を載荷した状態で、せん断ひずみ

キーワード E-ディフェンス, 免震支承, 実大三次元震動実験

連絡先 〒305-0812 茨城県つくば市東平塚 730 (株)長大 耐震技術部 矢部正明 TEL029-855-3113

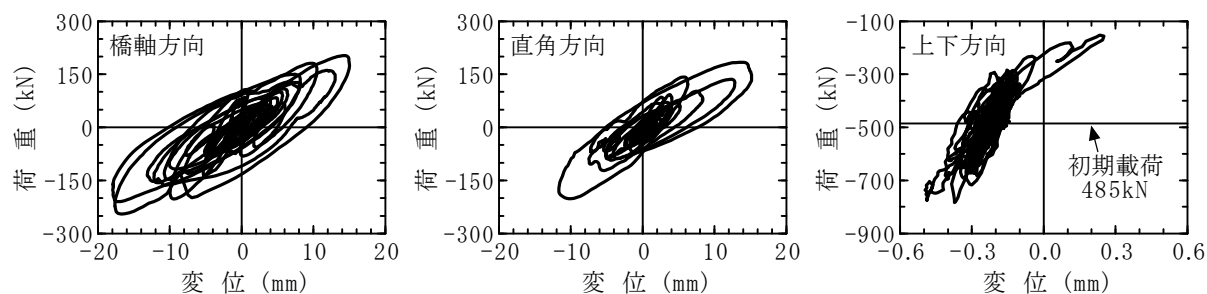


図-3 免震支承の荷重－変位関係（加震強度 40%）

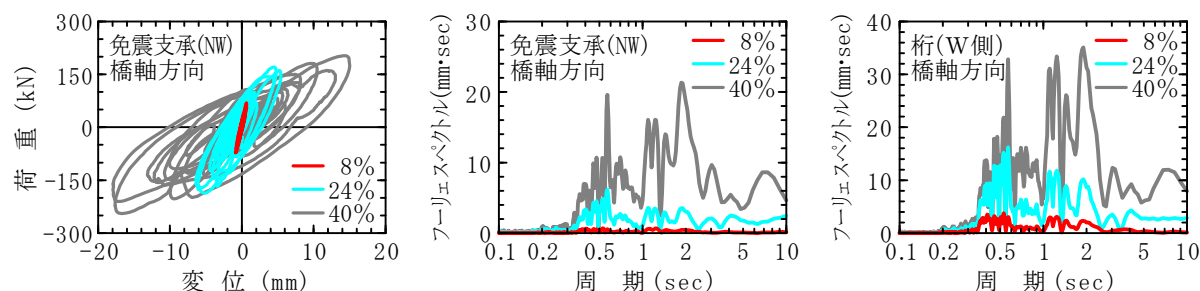


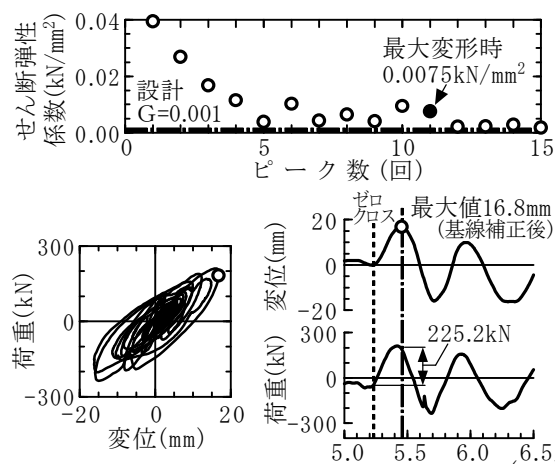
図-4 加震強度と免震支承の非線形性

図-5 加震強度と免震支承と桁の変位から求めた周期特性

175%に相当する水平方向変位を正負に 10 回繰返し載荷した場合の割線剛性の平均値として評価されている<sup>2)</sup>。ゴム支承のせん断弾性係数  $G$  は、ゴムに生じたせん断ひずみの大きさによって変化することから、今回のように、免震支承に生じるせん断ひずみが小さい領域では、せん断弾性係数  $G$  の値も設計で想定したものと大きく異なると予想される。震動実験結果から免震支承のせん断弾性係数  $G$  をどう評価するかによっても得られる値は異なるが、ここでは、図-6 に示すようにせん断変形が 0 基線を横切る区間の最大変形とその時に作用する水平力から、せん断弾性係数  $G$  を求めた。その結果、加震強度 40% では、加震開始から免震支承に最大変形が生じるまでに、せん断弾性係数は設計値の数十倍から数倍と大きな値が得られていた。これは、加震強度が小さいために免震支承に生じた変形が小さいことと、事前の要素実験において 175% という最大せん断ひずみを経験させてから長い時間が経過したことによる免震支承の復元力の回復<sup>3)</sup>や加震時の気温が低かったからと予想される。

#### 4. まとめ

E-ディフュゼンスを用いた免震支承の震動実験は、次世代型 RC 橋脚の震動実験模型を借用する形で行われたため、免震支承本来の非線形特性が現れるまでの加震を行うことはできなかった。そのため、免震支承に着目した実験としては十分な実験データが得られたとは言い難い。しかし、事前に 175% のせん断ひずみを経験させた免震支承であっても、時間が経つと従来、橋梁の免震設計で

図-6 加震強度 40% の免震支承の変形と荷重から推定したせん断弾性係数  $G$ 

はあまり着目されていなかった復元力の回復<sup>3)</sup>が生じ、免震支承に大きなせん断ひずみが生じるまでは、設計で想定したせん断弾性係数  $G$  に比較してかなり大きな値で挙動することが確認された。今後、この実験データを詳細に検討して、復元力の回復が免震橋の地震応答に大きな影響を与えるものかどうかを明らかにしていきたい。  
謝辞：免震支承の震動実験を行うにあたり、(株)ブリヂストンの近藤氏と加藤氏には大変お世話になりました。ここに記して、厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) <http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>
- 2) ㈲日本道路協会：道路橋支承便覧，pp.200-201，2004。
- 3) 大島靖樹，平田和太：高減衰積層ゴムの復元力回復特性に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），1996。