

連続高架橋模型の2方向加振実験によるゴム支承の挙動特性の検討

名工大 フェロー会員 後藤 芳顕, 正会員 ○奥村 徹, 正会員 海老澤 健正, フェロー会員 小畑 誠
 同済大 Jianzhong Li, Yan Xu

1. はじめに: 兵庫県南部地震以降, 極大地震に対する橋梁の耐震性能向上策として積層ゴム支承や免震支承が多く橋梁に採用されてきたが, 東北地方太平洋沖地震において積層ゴム支承が破断に至る極めて重大な被害が初めて確認された. このような支承破断が生じると, 免震機能の喪失により高架橋の耐震設計思想が根本的に破綻する可能性も考えられる. 積層ゴム支承の力学性能の検討では上下鋼板を平行に拘束した上での一方向のせん断挙動に関するものが圧倒的に多いが, 実際には上部構造と橋脚が変形することにより上記の境界条件が満足されない可能性もある. 実態に即した形で, 設置状況や入力地震動を再現して支承自体の挙動や支承が橋梁全体系の挙動に与える検討することが重要である. このような問題に対する先駆的な取り組みとして, 支承とRC独立橋脚柱との連成を検討したハイブリッド実験¹⁾, 多方向成分が同時入力する実地震動下での支承挙動を検討するための支承単体の水平2方向载荷実験²⁾がなされているが, いずれも部分構造の実験であり, 実橋の状況をどれだけ正確に反映しているかという点については必ずしも明らかでない. 本報では, 高架橋全体系の中に設置されたゴム支承の力学挙動をより実際に近い状態で明らかにするために最近実施したマルチ振動台による2径間連続高架橋模型(1/s=1/6.7)の2方向大型加振実験^{3),4)}において観察されたゴム支承への作用力や挙動特性について簡単に報告する.

2. 加振実験の概要: 加振実験に用いた縮尺率 1/s=1/6.7 の2径間連続高架橋の全体模型を図-1に示す. 上部構造は各橋脚横ばり上に左右2基ずつ設置されたゴム支承により支持される. 全支承の下面と横ばり上面間には支承反力6成分(力3成分+モーメント3成分)を計測するために独自に開発した高精度の6分力計を設置する. 各ゴム支承の水平2方向の相対変位は糸巻き変位計, 鉛直変位および水平2軸まわりの回転角はレーザー変位計により計測する. 橋脚供試体は無充填円形/正方形断面鋼製橋脚, CFT円形/正方形断面鋼製橋脚の4種類に加え, マルチ振動台のキャリブレーションのための予備加振用の高強度の橋脚の計5種類を準備した. ここでは無充填円形断面橋脚の加振実験の結果について報告する. 入力地震動はTsugaruのLG+TR成分を270%増幅し, 時間軸を $1/\sqrt{s}$ に縮小したものを用いる.

3. 加振実験と結果

(1) せん断挙動: 中央橋脚(P2)上のゴム支承の水平荷重・水平変位関係を図-2に示す. 参考として事前に本学で実施した支承単体の一定振幅($\gamma=100\%$)1方向繰り返し载荷実験の結果および現行設計で用いられるせん断バネの荷重変位関係を同図に示す. 加振実験では橋軸直角方向と比べ橋軸方向の応答が大きく生じているが, これはいわゆる水平慣性力の作用位置(柱の曲げモーメントが0となる位置)が橋軸方向よりも橋軸直角方向の方が高い位置にあるため橋脚基部の終局モーメントとつり合う水平力が橋軸直角方向の方が小さくなるためであると考えられる. また一定振幅($\gamma=100\%$)で行った静的载荷実験の荷重・変位関係と比較すると, ひずみ振幅が小さい振動台実験の方がせん断剛性が高く生じており, 振幅の大きさにせん断剛性が依存する傾向がみられる.

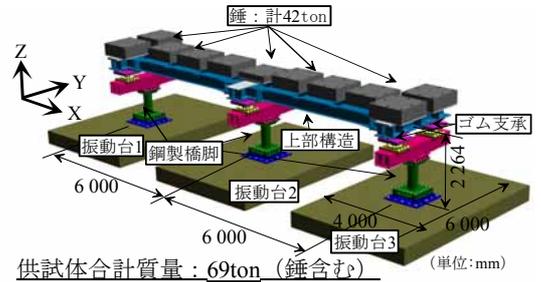
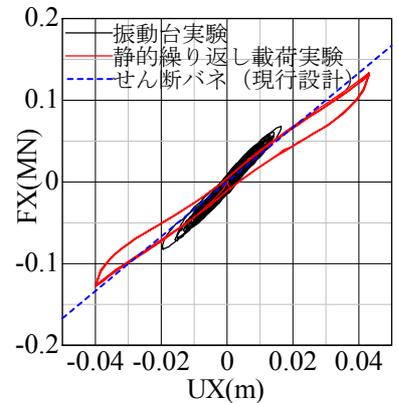
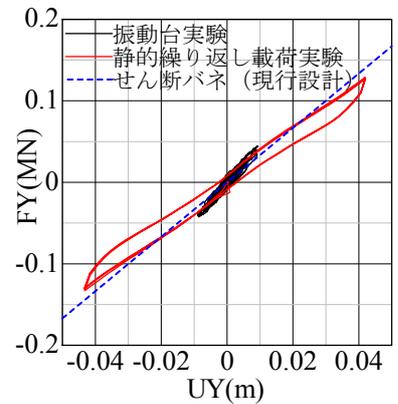


図-1 連続高架橋模型の概要



a) 橋軸方向



b) 橋軸直角方向

図-2 水平荷重・水平変位関係

キーワード: 積層ゴム支承, 連続高架橋, 多方向加振実験

連絡先: 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL052-735-5563

(2) 軸方向挙動：橋脚の限界状態と支承の挙動との関係を把握するために、中央橋脚の等価水平合力の時刻歴応答を図-3に示す。これより、12.8secで中央橋脚は終局限界に到達し、その後耐力低下が生じていることがわかる。

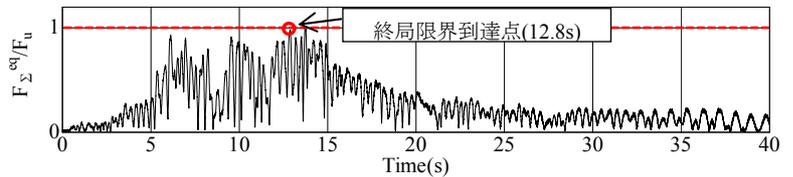


図-3 中央橋脚 (P2) の等価水平合力

P2 橋脚上の左右のゴム支承に作用する軸力の時刻歴応答 (図-4) より左右の支承には橋軸直角方向の慣性力による転倒モーメントに対して鉛直方向の偶力で抵抗するため逆位相の軸力変動が生じていることが確認できる。また橋脚が終局限界に到達した 12.8s 以降、軸力が低下する。これは軸力比の高い中央橋脚に局部座屈が先行し沈下したためである。

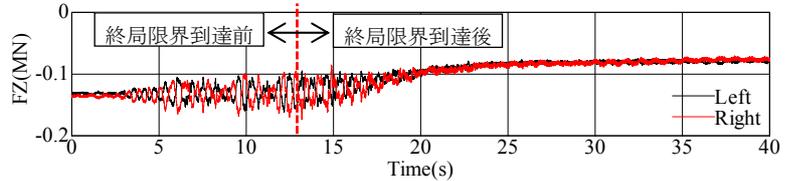


図-4 中央橋脚 (P2) 上の左右のゴム支承の軸力

(3) 曲げ挙動：中央橋脚上のゴム支承に生ずる橋軸直角軸まわりの相対回転角の時刻歴応答を図-5に示す。なお、橋軸まわりの曲げに関しては(2)で述べたように橋軸直角方向の水平慣性力による転倒モーメントに対して2基の支承の偶力で抵抗するため個々の支承に作用するモーメントは小さく、相対回転はほとんど生じない。橋軸直角軸まわりの挙動に関しては橋脚の橋軸方向の変位に伴う橋脚頂部のたわみ角により最大 0.02rad ほどの大きな相対回転角が生じている。本実験では橋脚が 12.8s で終局限界に到達していることから、少なくとも橋脚が終局限界に到達するまでに支承には 0.01rad 程度の回転角が生じている

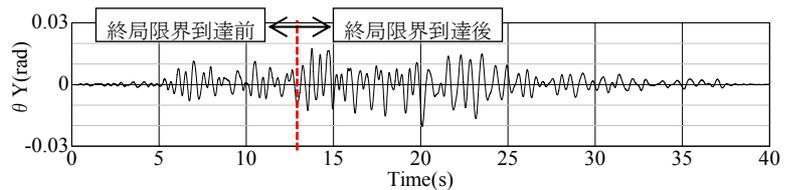
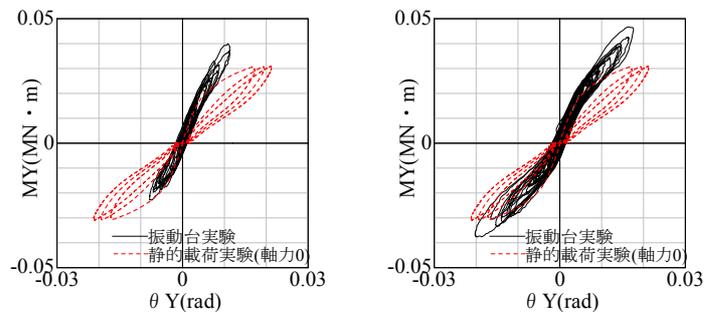


図-5 中央橋脚 (P2) 上の支承の橋軸直角軸まわりの相対回転角

(図-5). 支承高さ中央位置における橋軸直角軸まわりのモーメントと相対回転角の関係を



a) P2 橋脚終局限界到達前 b) P2 橋脚終局限界到達後
図-6 橋軸直角軸まわりのモーメント・回転角関係

図-6に示す。橋脚の限界状態への到達前と較べ到達後にはより大きなモーメントと相対回転角が生じており、非線形挙動も生じているのがわかる。参考として同図に事前に実施した支承単体の繰り返し曲げ載荷実験の結果を示す。軸力が0の状態で行った曲げ載荷実験の結果と較べ死荷重載荷状態(面圧 1MPa)での振動台実験での挙動は全般的に剛性が高く生じており、面圧の差異が曲げ挙動に影響したものと考えられる。なお、支承の上下面を平行に維持して行われる通常のせん断試験においても水平力と釣り合うための固定モーメントがゴム支承上下面で生じ、現行設計の限界値である $\gamma=250\%$ のせん断ひずみ発生時においては固定モーメント=0.0084MN・mとなるが、今回橋脚が終局限界に到達するまでに支承に生じた相対回転角(0.01rad程度)に対応する支承中央高さ位置でのモーメント(=0.04MN・m)を加えると通常のせん断試験の5.8倍のかなり大きなモーメントが支承下端に発生する。

4. まとめ： 大型振動台による連続高架橋模型の2方向加振実験において観察されたゴム支承の力学挙動特性について検討を行った。その結果、橋脚の橋軸方向のたわみ変形に伴い橋軸直角軸まわりに大きな相対回転角が生じることを確認した。本報告は簡易な検討に基づく速報的なものである。より詳細な検討については別途報告する予定である。

謝辞：本研究の一部は科学研究費・基盤研究(A)(課題番号：23246084)の助成を受けたものである。また本研究を行うにあたり、オイレス工業(株)から積層ゴム支承の製作に関してご協力をいただいた。

参考文献：1) 庄司学, 川島一彦, 加藤孝二: 高減衰積層ゴム支承の設計における橋脚の回転変形の影響, 構造工学論文集 Vol.48 A, 2002. 2) 阿部雅人, 吉田純司, 藤野陽三: 免震用ゴム支承の水平2方向を含む復元力特性とそのモデル化, 土木学会論文集 No.696/I-58,125-144,2002. 3) 後藤芳顕, 海老澤健正, 奥村徹, 小畑誠: マルチ振動台を用いた2径間連続高架橋模型の水平2方向加振実験, 土木学会第68回年次学術講演会 I-087, 2013. 4) Investigation on ultimate behavior of elevated girder highway bridges by multi-directional shaking table test and development of advanced seismic performance verification method, http://kozo4.ace.nitech.ac.jp/Shaking_Table_Test/index_e.html