

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

名古屋工業大学 フェロー会員 〇後藤 芳顕
名古屋工業大学 正会員 奥村 徹

名古屋工業大学 正会員 海老澤 健正
名古屋工業大学 フェロー会員 小畑 誠

1. 背景と目的

現行の鋼橋の耐震設計では橋軸および橋軸直角方向にそれぞれ独立に水平1方向の地震動成分のみを入力して照査を行っており、実状と大きくかけ離れているため「想定外」の事象が発生する可能性を否定できない。鋼橋の耐震性能をより確実に評価するには、実状に即したシナリオ型想定地震や測定地震動の3方向あるいは支配的な水平2方向の地震動成分を同時に入力して照査する手法を確立する必要がある。著者らはこのような取組の一環として、多方向地震動を下の鋼製橋脚の耐震照査法を確立するための検討を行ってきた。まず、精密な3次元擬似動的試験装置(図-1)の開発を行い、鋼製橋脚の水平2方向地震動下の鋼製橋脚の終局挙動特性¹⁾²⁾を明らかにするとともに、高精度のFEM解析モデルを構築した。つぎに、これらの成果にもとづいた広範な検討により、多方向地震動下の橋脚単体の限界状態の解明と耐震照査法の提示を行った。さらに、照査法の妥当性は鋼製橋脚単体の3次元振動台実験(図-2)により検証した。しかしながら、実際の橋梁では桁、支承、橋脚の挙動が連成するため、より精緻な限界状態や耐震照査法を提示するには構造システムとしての扱いが不可欠である。このような検討も数値計算により行ってきたが、現在の主流であるゴム系支承の多方向地震動下の挙動など十分に解明されておらず、構造システムとしてのモデル化の妥当性や実際の終局挙動特性は必ずしも明らかでない。

ここでは、マルチ振動台で2径間連続高架橋模型に対する水平2方向地震動成分の同時入力による加振実験を行うことで、桁、支承、橋脚の連成による構造システムとしての終局挙動や進行性破壊の特性を観察するとともに、実情に近い条件下での橋脚の安全照査法の検証やより精緻な構造システムのモデル化を検討する。これとは別に、支承単体の2方向載荷実験装置の開発³⁾を行うことで挙動特性を解明し、モデル化に反映する。

2. 2径間連続高架橋全体模型の水平2方向加振実験の概要

2方向加振実験に用いる縮尺率 $s=1/6.7$ の2径間高架橋の全体模型を図-3に示す。高架橋は現行の照査法に従い、橋脚が終局状態に到達するように設計した。加振実験は写真-1に示す中国同済大学保有の橋梁用マルチ振動台で実施する。実験供試体の種類と各供試体に入力する地震動の加振倍率を表-2に示す。入力地震動は日本海中部地震津軽大橋周辺地盤上観測波(Tsugaru

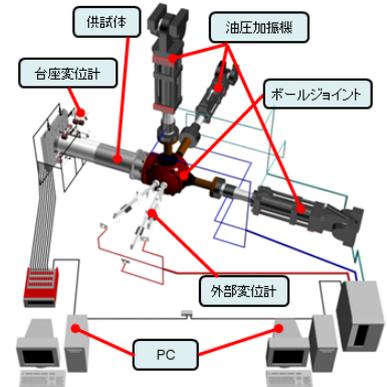
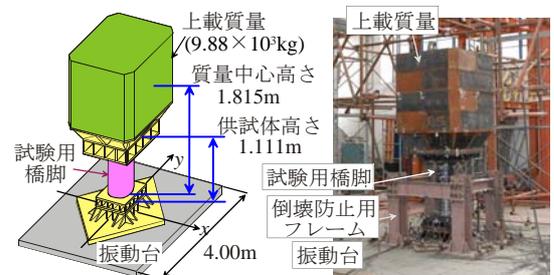
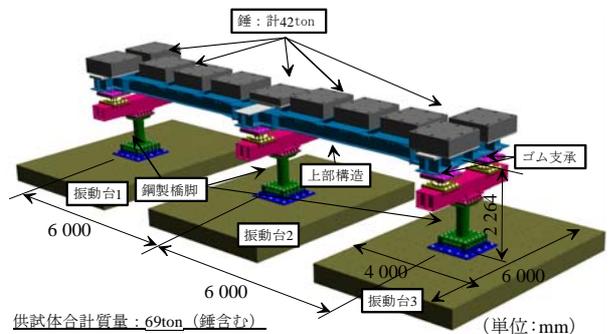


図-1 3次元擬似動的試験装置(1998-2008)

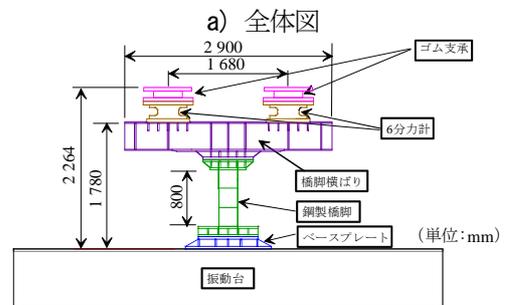


a) 概念図 b) 写真

図-2 単一橋脚の3次元振動台実験(2008-2011)



供試体合計質量: 69ton (錘含む) (単位:mm)



b) 橋脚

図-3 2径間連続高架橋全体模型の2方向加振実験(2013)

キーワード 多方向加振実験, 連続高架橋システム, マルチ振動台

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

波)のLGおよびTR成分を用い、水平2方向同時入力を行う。このとき、橋脚の発生応力が実大構造と等しくなり、その終局挙動が再現されるように時間軸を $1/\sqrt{s}$ にする。損傷しないように設計した高架橋の桁構造と橋脚横ばりは同一のものを用いるが、実験用の橋脚柱は4種類準備した(表-2)。すなわち、円形ならびに正方形断面の鋼製橋脚(無充填)、無充填と同じ鋼管断面にコンクリートを充填したCFT橋脚である。さらに、予備加振用に高強度橋脚を準備した。実験ではゴム支承を介した桁と各橋脚間の連成挙動による橋脚の進行性破壊現象を再現するために、中央橋脚と端橋脚の挙動に差異が生ずるように中央橋脚の軸力比がより大きくなるよう錘を調整した。なお、3本の橋脚は同一断面である。ゴム支承は各高架橋供試体で6基用いるが、その挙動が必ずしも明らかでなく、橋脚の終局状態までの加振で損傷や材料特性が変化する可能性もあるので、予備加振用も含め5セット準備した。主な計測項目は、橋脚と桁の変位、加速度、ひずみと支承の反力と変形である。変位計測の大部分は糸巻き変位計による。支承反力(力3成分、モーメント3成分)は6分力計(図-1 b))により計測する。

3. 2方向载荷装置によるゴム支承単体の挙動検討

支承の2方向繰り返し荷重下での挙動特性を明らかにし、モデル化や加振実験結果の考察に反映するために2方向载荷実験装置を開発した(図-4)。この装置では既存の3次元载荷システムに2方向平行維持装置(角度変化も可能)を付加することで任意の水平2方向繰り返し载荷や擬似動的実験が可能になっている。

4. 橋梁全体系の大規模有限要素モデルと事前解析

鋼製橋脚、支承、桁の連成挙動を考慮した橋梁全体系の大規模モデルを用いて加振実験の事前解析を実施し、実験における加速度倍率の検討や連続高架橋モデルの終局挙動確認を行った。解析にはABAQUSを用い、鋼製橋脚やCFT橋脚はすでに開発した高精度モデルを用いる。一例として無充填円形断面鋼製橋脚で支持された高架橋システムの加振終了後の変形形状を図-5に示す。橋脚の損傷は中央橋脚から発生するが、上部構造との連成により徐々に橋脚の挙動は同期化していく。

5. まとめ

今回の鋼製橋脚やCFT橋脚で支持された連続高架橋の2方向加振実験は過去最大級であり、小さな供試体では得られない多くの有用なデータが得られることが期待される。

謝辞：本研究は科学研究費・基盤研究(A)(課題番号：23246084, 研究代表者：後藤芳顕)の助成を受けたものである。

参考文献：1) 後藤芳顕, 村木 正幸, 海老澤健正：2方向地震動を受ける円形断面鋼製橋脚の限界値と動的耐震照査法に関する考察, 構造工学論文集, vol.55A pp.629-642, 2009. 2) 後藤芳顕, 小山亮介, 藤井雄介, 小畑誠：2方向地震動を受ける矩形断面鋼製橋脚の動特性と耐震照査法における限界値, 土木学会論文集 A, vol.65, No.1, pp.61-80, 2009. 3) 後藤芳顕, 小畑誠, 海老澤健正, 3次元構造物载荷における平行維持装置, 特願 2012-063746



写真-1 マルチ振動台 (中国・同濟大学) (2012)

表-2 加振実験用の高架橋供試体および入力地震動

供試体	高架橋模型の橋脚	入力地震動倍率 ^{*)} (予定)
A	無充填円形断面橋脚	200%
B	無充填矩形断面橋脚	200%
C	コンクリート充填円形断面橋脚	450%
D	コンクリート充填矩形断面橋脚	450%

*) 日本海中部地震津軽大橋周辺地盤上観測波(Tsugaru 波)のLGおよびTR成分の同時入力

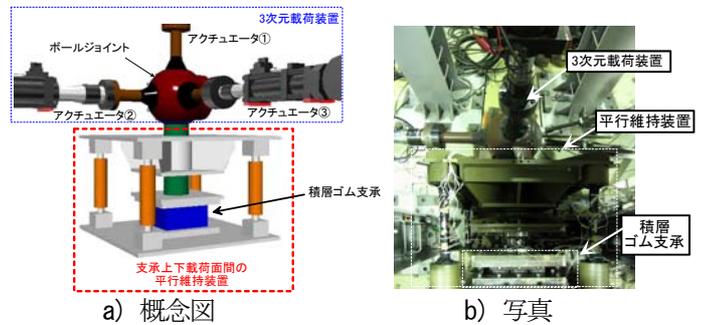


図-4 ゴム支承の2方向载荷装置

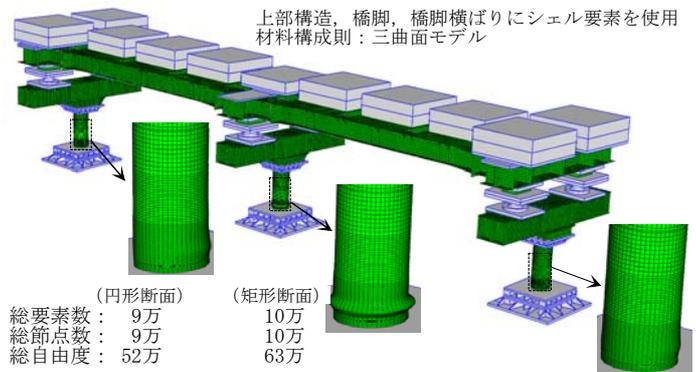


図-5 2径間連続高架橋模型高精度大規模解析モデル