

すべり型免震基礎を有する4径間ラーメン橋における水平2方向+鉛直方向地震入力の影響

早稲田大学 正会員 ○安 同祥
早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. まえがき 橋脚のフーチング部で下部構造と基礎構造を分離し、その間に緩衝材或はすべり材などで形成する免震層を設置した場合、大地震に対して下部構造と基礎構造との相対変位（ロッキング・すべり）によって構造系の振動周期を伸ばせると同時に、地震エネルギーも有効に吸収する事ができる。免震基礎を有する構造の基本的な力学性状や耐震性については理論分析、単体橋脚およびラーメン橋の模型振動実験並びに動的解析により既に確認されている。ただし、それらは水平1方向のみの地震入力の検討である。従来型（下部構造と基礎構造一体型）の橋梁において、水平2軸の連成及び水平と鉛直の連成の影響が小さく、設計の便宜を図るため橋梁の耐震設計において直交する2方向（一般的に橋軸方向と橋軸直角方向）に別々に慣性力を作用させて設計している。本文では水平2軸回転の連成並びに鉛直入力による構造振動特性などへの影響を調べるために、免震装置をばねにモデル化して、水平2方向+鉛直地震動同時入力して、すべり型免震基礎を有するラーメン橋において動的数値解析を実施した。

2. 対象橋梁および解析手法 解析対象とする橋梁はPCホローの上部構造を有する4径間ラーメン橋で、図-1に示す。橋長は100m（支間割：24.5m+2@25m+24.5m）で、基礎形式は場所打ち杭（φ1200mm, 4本, 杭長35m程度）である。掛け違い部（P1, P5）橋軸方向の支持条件は可動である。建設地点において耐震設計上の基盤面は現地盤面より深さ50m程度のボーリングで確認できなかった。耐震設計上の地盤種別はIII種地盤である。解析用橋脚部のモデルを図-1に示す。

解析は直接積分法による構造要素の非線形履歴モデルを直接取り込んだ非線形動的解析法とした積分はニューマークβ法によって時間刻み0.01secとした。構造の固有値解析では構造がすべっている状態に着目し、免震装置で最大すべりが計算されたときの等価剛性を用いた。また、動的解析する際、最初に免震装置の最大すべり変位量を仮定し、免震装置の等価剛性を求め、固有値解析を実施する。計算した減衰係数を用いて動的解析を行い、免震装置の最大すべり変位量を計算する。求めた最大すべり変位量と等価剛性計算用最大すべり変位量とが10%以内に収束するまで繰り返した。

3. 解析用地震波形 解析に用いた水平入力地震動は「道路橋示方書・同解説」（V耐震設計編）に記載されているレベル2のタイプII（内陸型, III種地盤）地震動とし、1995年兵庫県南部地震のポートアイランド内地盤上の記録に基づいて調整した標準波形とした。また、記録のEW成分を橋軸方向に、NSを橋軸直角方向に入力した。

4. 解析結果および考察 対象橋梁中央のP3橋脚およびP3橋脚近傍上部構造の解析結果を考察する。上部構造の応答水平変位および免震装置のすべり変位を図-2に示す。基礎免震構造の橋軸方向において、1方向入力した場合上部構造の最大応答水平変位は1.130mに対して、水平2方向+鉛直方向入力した場合の橋軸方向の応答値は0.415mになった。残留変位について、1方向の応答値は0.798m, は0.415mになった。残留変位について、1方向の応答値

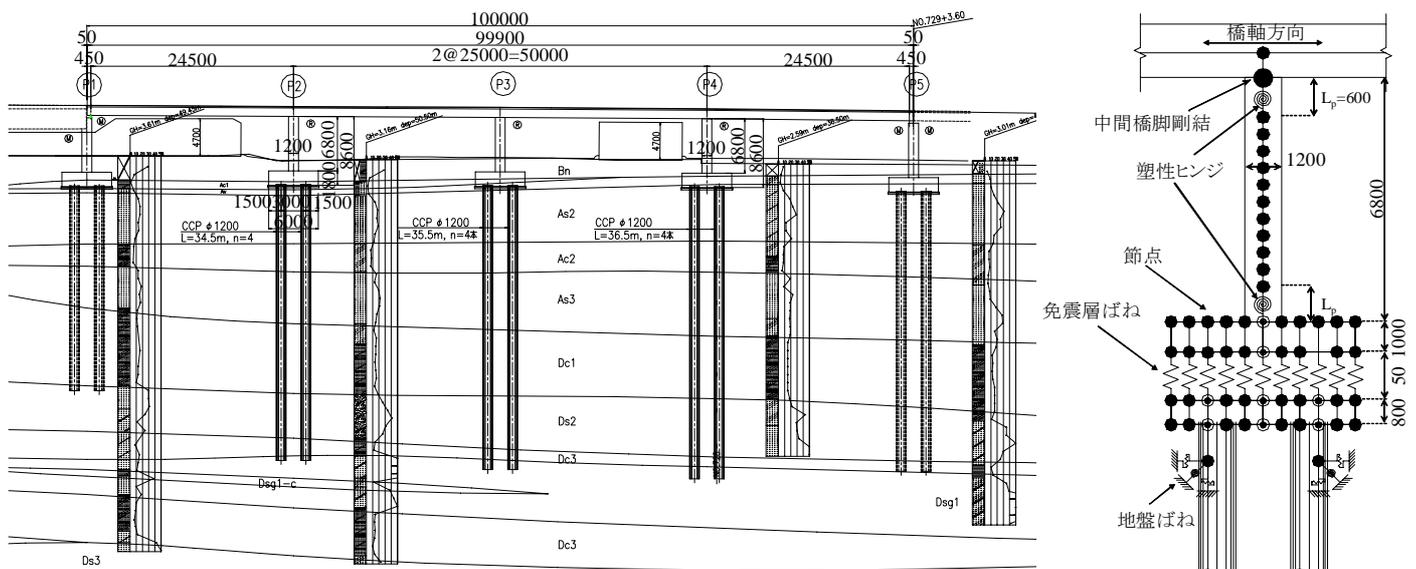
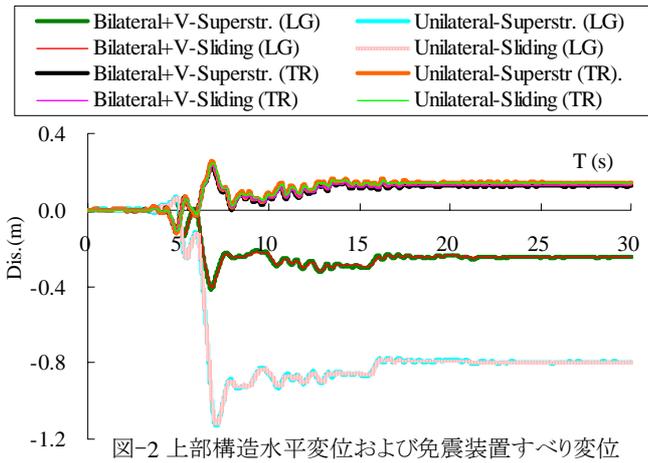


図-1 対象橋梁概要図及び解析用橋脚部モデル図（単位：mm）

キーワード すべり型免震基礎, ラーメン橋, 水平2方向+鉛直方向地震入力

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工総合研究所 TEL 03-5286-3852



は 0.798m, 水平 2 方向+鉛直入力の方は 0.247m であり, 1 方向入力の 31%程度になった. 橋軸直角方向において, 1 方向入力の上部構造の最大応答変位は 0.256m で, 水平 2 方向+鉛直方向入力の方は 0.238m であり, 1 方向入力の方より若干小さくなった. 残留変位について 1 方向入力の場合は 0.141m で水平 2 方向+鉛直方向入力の方は 0.126m であり, 1 方向入力の方より 13%程度小さくなった. 水平 2 方向+鉛直方向同時入力はすべり型基礎免震構造の応答水平変位, 特に残留変位と橋軸方向の応答変位に大きく影響を与えた. これは水平 2 方向+鉛直方向入力によって橋軸方向の回転と橋軸直角方向の回転が連成し, 構造のロッキング振動性状が変化することにより応答値が減少したと考えられる. また, 橋軸方向の方が橋軸直角方向より水平 2 方向入力の影響が大きい理由として, 橋軸直角方向では構造の回転重心が高く, ロッキングによる影響が大きく免震層のすべりの影響が橋軸方向より相対的に小さいからだと考えている. 一方, 橋軸方向では構造の回転重心が低く, ロッキング現象がほとんど生じず免震層でのすべりの影響が顕著になるからだと考える. また, 図-2 から分かるように基礎免震構造において, 入力に関係なく上部構造の水平変位は免震装置のすべり変位と殆ど同じであり, 免震装置は構造系の地震による変位を免震層に集中させ, 構造部材の変形を抑えたと言える.

上部構造での水平加速度の時刻歴を図-3 に示す. 基礎免震 1 方向入力した場合, 上部構造の水平加速度の最大応答値は 2.807 m/s^2 で, 水平 2 方向+鉛直方向入力した場合は 3.905 m/s^2 であり, 1 方向入力した場合より 40%程度増加した. これは 2 方向入力した場合免震装置のすべり変位が 1 方向入力した場合より小さくなって, 地震エネルギーの吸収が少なくなったとこと考えられる. 橋軸直角方向では, 1 方向入力した場合の応答値は 4.703 m/s^2 で, 水平 2 方向+鉛直方向入力した場合は 4.750 m/s^2 であり 1 方向入力の方とほぼ同じであった.

水平 2 方向+鉛直方向入力による免震装置のエネルギー吸収能力へ与える影響は図-4 から判明することができる. 橋軸直角方向においてエネルギーの変動はあまり見られていないが, 橋軸方向の場合は免震装置のエネルギー吸収能力は 43%程度低下した.

5. 結論 本検討から次の事を明らかにした. ①水平 2 方向+鉛直方向入力によって免震装置の橋軸方向の回転と橋軸直角方向の回転が連成し, 免震装置のすべり変位に影響を与え, 免震装置のエネルギー吸収能力は低減した. ②構造系の水平変位および残留変位が減少したが, 水平加速度などの応答値が増加した. 特にラーメン橋の橋軸方向の挙動に大きく影響した.

参考文献 ・ T. X. An and O. Kiyomiya: Dynamic Response Analyses and Model Vibration Tests on Seismic Isolating Foundation of Bridge Pier, Vol.62, No.3, pp. 623-642, JSCE, 2006 ・ 安同祥,清宮理,近藤岳史,横井康人:すべり型免震基礎を有する 4 径間ラーメン橋の模型振動実験, 構造工学論文集 Vol.52A, pp565-572, 2006.3 ・ 横井康人,清宮理,安同祥,近藤岳史:すべり型免震基礎の 4 径間ラーメン橋への適用性についての検討, 構造工学論文集 Vol.52A, pp357-364, 2006.3

