

ハシヅキコノサルツツ(橋) 正会員 林 亜紀夫 東京都立大学 正会員 成田 信之

首都高速道路公団 井野 勝彦 東京都立大学大学院 伊藤 栄章 東京都立大学 正会員 前田 研一

1. まえがき 建設省土木研究所官民共同研究において行われた免震設計検討の成果を「道路橋の免震設計法マニュアル(案)」¹⁾としてまとめることが先に報告され²⁾、同マニュアル(案)は平成4年10月に刊行されている。同マニュアル(案)では免震による効果を計算する段階で等価線形法を用いており、その結果得られる慣性力を下部構造頂部に載荷し、エネルギー一定則による保有耐力(靱性)の計算を行うという2段階の計算手法を提案している。道路橋示方書V耐震設計編では、地震時保有水平耐力法を規定しており、下部構造の一部が塑性化した後の保有耐力(靱性)を検討する手段を示しているが、この計算の基本原理はエネルギー一定則であり、同マニュアルにおいては、道路橋示方書V耐震設計編における規定と整合すること、現実の設計計算の簡素化を図ること、の2点を配慮してこのように規定することを提案している。理想としては、免震装置と下部構造の非線形の復元力特性をそのまま構造モデルに反映する計算手法を用いるのが良いが、現実の設計の現場での計算の労力を考えると、“等価線形法”および“エネルギー一定則”を適用するのが適切であると考えられる。この設計計算の方法が適切であるか否かを考えるために、さらに厳密な視点に立つと、次のような点に着目した検討をすることが必要と考えられる。

- ① “等価線形法”と“エネルギー一定則”という異なる種類の計算原理が、連成するひと続きの構造系の内に混在することになる。
- ② 免震装置による慣性力低減を計算する際には下部構造の剛性を降伏時剛性と仮定しており、下部構造が塑性化することによる影響を正確には反映していないが、そのことによって免震装置の慣性力低減の効果を二重に見込むことにならないか。

これらの点を考える手始めとして、本論文では免震装置と橋脚の両方を等価線形法によってモデル化し、応答スペクトル法によって動的解析をすることを試みた。またマニュアル(案)では、研究上の提案であるとして限定して設計地震力を低減することを提案している。本論文の検討対象橋梁を設計するにあたっては、思い切った長周期化を行って設計震度を低減し、設計震度の低減を利用して橋脚柱部材を節減することを試みた。

2. 検討対象橋梁の設計 「道路橋の免震設計法マニュアル(案)」に示された手法で免震橋梁を試設計し、これを検討モデルとした。上部構造は、支間 50m程度の連続鋼箱桁を想定して、750t/λm²(1橋脚当り2支承)とし、下部構造は図3に示す鉄筋コンクリート張り出し式橋脚、地盤種はⅢ種地盤とした。免震装置は鉛プラグ入りゴム支承とし、その降伏荷重を設定するにあたっては、次に説明するような2種類の設計方針をとった。降伏荷重とは、バイリニア型にモデル化した場合の荷重-変位履歴曲線の二次剛性を延長した線と荷重軸が交わる点に相当する荷重である。

案1) 図1に示すように、免震装置の降伏荷重を十分に大きくとって、震度法による変位に対しても地震時保有水平耐力法による変位に対してもエネルギー吸収の能力を発揮するようにする。ただし、このようにすることによって地震時保有水平耐力法による変位に対する免震装置の等価剛性は十分に柔軟になって長周期化による設計震度の低減が得られるが、震度法による変位に対する免震装置の等価剛性は比較的剛となって長周期化による設計震度の低減が得られない。

案2) 図2に示すように、免震装置の降伏荷重を比較的強く抑えることによって、震度法による変位に対する免震装置の等価剛性と地震時保有水平耐力法による変位に対する免震装置の等価剛性が顕著に変化しないようにする。このようにすることによって、震度法時と地震時保有水平耐力法時の両方において長周期化による設計震度の低減が得られる。ただし、地震時保有水平耐力法時には免震装置の荷重-変位履歴曲線が偏平となってエネルギー吸収の能力は低くなる。

3. 検討の結果 図1～図4に示す案1) 案2) の各モデルについて免震装置と下部構造の両方を等価線形手法で取り扱い、動的解析を行った結果を表1に示す。動的解析は、変位の70%を有効値と考えて等価線形法を適用し、応答スペクトル法によって地震時保有水平耐力法で想定している程度の大きさの地震動を受けた際の応答を求めたものである。この表の橋脚柱に発生する塑性率 μ の値を見ると、案1) についてはほぼ問題がないといえるが、案2) については、終局塑性率 μ_v を越える値が得られている。

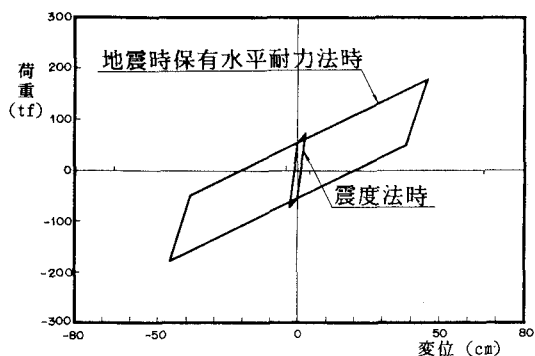


図1. 案1) 設計による免震装置の荷重-変位履歴曲線

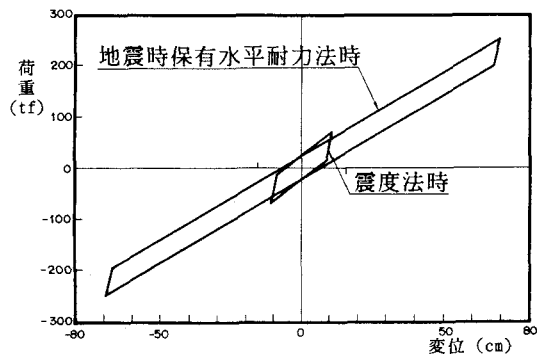


図2. 案2) 設計による免震装置の荷重-変位履歴曲線

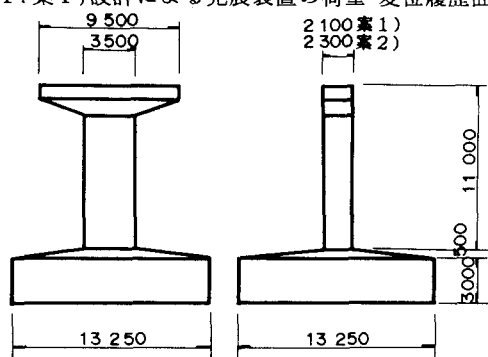


図3. 免震設計による橋脚の一般形状

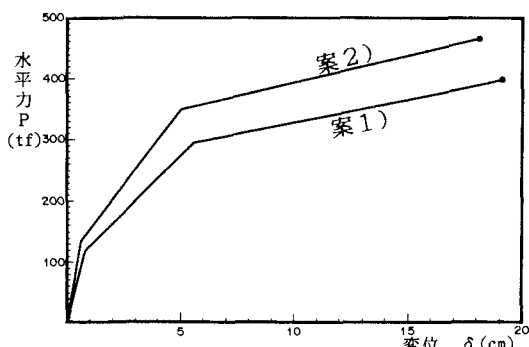
図4. 下部構造の荷重-変位曲線(P- δ 関係)

表1. 動的解析(応答スペクトル法・変位の70%を有効値と考えて等価線形法を適用)による結果

	1 次の固有 周期 (sec)	免震装置		橋脚柱			備考
		等価減衰定数(%)	変位 (cm)	たわみ変位(cm)	発生塑性率 μ	終局塑性率 μ_v	
案1)	2.17	16.9	61.2	16.9	3.01	3.41	$\mu < \mu_v$
案2)	2.21	5.7	73.0	20.5	4.07	3.56	$\mu > \mu_v$

4. 考察と結論 一般的に、地震時変位応答の内で最大値を示す挙動に依存する部分は瞬間的なものであって、下部構造が塑性域に入る時間は非常に限られたものである。その点を考えると“エネルギー一定則”を適用することが適切であるが、免震装置のように地震動の比較的初期の段階から既に塑性化する部材を用いる場合には、その応答が定常応答に近くなることも予想されるので、“等価線形法”による扱いをする必要もあると考えられる。本論文では、後者の考え方にしたがって検討を試みた。その結果、長周期化とエネルギー吸収の効果について適正なバランスを保ちながら免震装置特性を設定した場合には問題がないが、主に長周期化による設計震度の低減のみを追求して免震装置にエネルギー吸収の能力をあまり付与せず、しかも免震効果を期待して下部構造の部材節減を行った場合には、地震時保有水平耐力法で想定している比較的大きな地震に際して下部構造が過度に塑性化する場合があることが分かった。

(参考文献) 1)建設省土木研究所及び28社：道路橋の免震設計マニュアル(案)、1992

2)川島一彦：道路橋の免震設計マニュアル(案)、土木学会第47回年次学術講演会、1992