

日本道路公団 技術部 正会員 坂手 道明
 ○ 首都高速道路公団 工務部 正会員 原 光夫
 阪神高速道路公団 神戸建設部 正会員 北沢 正彦
 憐バシフィック・コンサルタンツ 正会員 林 亜紀夫

まえがき ; 構造物の強度を増すことによって地震に抵抗しようとする耐震設計に対して、構造物の動的特性を変化させることによって地震による影響そのものを低減させようとする設計方法があり、これを免震設計として定義することができる。この目的のために各種の免震装置が考案されているが、これを道路橋に適用するための基礎的検討を行った。本報告は上記の3公団の委託により昭和61年度から設置された「免震装置を有する道路橋の耐震設計研究委員会」((財)国土開発技術研究センター)において検討されたものである。

1. 免震の概念

免震設計のアイデア提案として古いものは1909年英国のCalantarientsによる特許申請、1923年には我が国の鬼頭鍵三郎による特許申請があり、これらはいずれも「絶縁」の機能による免震効果を目的とするものである。1959年にはDen Hartogによって長周期化のアイデアが紹介されている。具体的な装置の作動原理としては両者とも地盤から伝達される地震力をできる限り小さい量に止止めようとするという点で共通であるといえる。近年の提案では「絶縁」「長周期化」「減衰あるいはエネルギー吸収の効果」が加えられており、これら3機能が免震装置の基本的な機能と考えられる。これに対して振動特性を特別に調節した振動系(振子)を本

体構造系に付加するダイナミックダンパーや、構造系の応答を常に測定しこれを抑制する

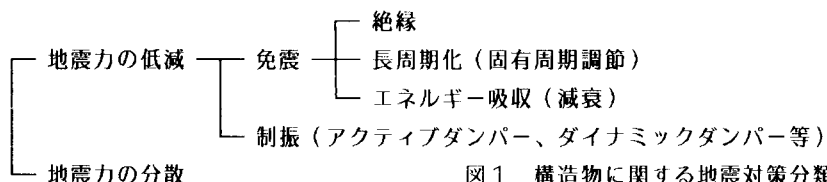


図1 構造物に関する地震対策分類

力を能動的に与えるアクティブダンパー等は制振として位置づけられる。橋梁の耐震対策としてオイルダンパーや弾性支承を用いて既に多くの設計が試みられているものは地震力の分散を目的とするものが多い。「免震」「制振」「地震力の分散」の3者を主要な構造物地震対策と考えて図1のように分類した。

2. 免震装置の力学的特性

免震装置の力学的特性は図2にその典型例を示したような荷重-変位関係の履歴曲線によって表現される。

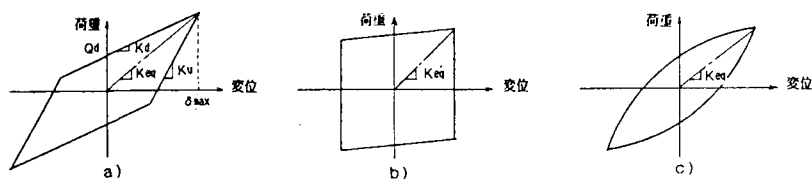


図2 免震装置の荷重-変位関係の典型例

ゴム支承によって鉛直荷重を支え、鉛プラグその他の金属製ダンパーの弾塑性特性によってエネルギー吸収の効果を与えるタイプは図1-a)となり、油等の粘性によってエネルギー吸収の効果を与えるタイプは図1-c)のような紡錘形状を、摩擦ダンパー利用あるいはすべり支承を用いるものは図1-b)の形状を呈する。

3. 動的応答解析による検討

長周期化の機能とエネルギー吸収の機能を有する免震装置の典型例として図2-a)に示したようなバイリニア型の履歴曲線をもつものに着目し、式1)、2)に示す特性値を $1.0 < T_{eq} < 3.0$ 、 $0.03 < Q_d/w < 0.07$ の範囲で変化させた9ケースの免震装置を設定し、それぞれの効果を動的応答解析によって検討した。この

ような特性は一般的にはゴム支承と金属製弾塑性ダンパーによって実現し得るものであるが、今回の解析では鉛プラグ入りゴム支承を想定し、第1勾配 K_u と第2勾配 K_d の比を6.5:1とした。構造系としてはスパン37.5mの連続PC箱桁（重量885t/スパン）を支持するRC橋脚とし、その支承部分に上記免震装置を設置したモデル

（図4参照）と比較のための固定支承設置モデル及び弾性特性の支承を持つモデルを用いた。入力地震動波形を図5に示す。この波形は1968年5月16日十勝沖地震を石狩大橋付近の地盤で測定したものを各振動数毎に振幅調整し、広い周期の成分を持つように修正したものである。解析結果の一部を下図に示す。

$$T_{eq} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{eq}}} \quad (1)$$

$$Q_d / W \quad (2)$$

ここに M ; 上部工の質量

K_{eq} ; 最大変位 δ_{Max} に対する等価勾配

W ; 常時の鉛直荷重

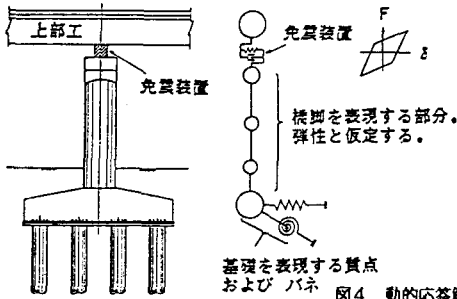


図4 動的応答解析モデル

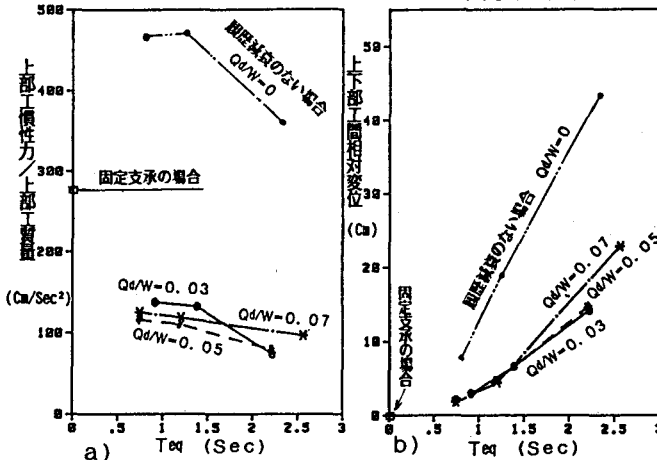


図6 応答の最大値と T_{eq} （等価固有周期）の関係

4. 考察とまとめ

上部工慣性力低減の効果を図6-a)に示したが、免震装置を有する9ケースすべてが固定支承を有するものよりも相当小さく、慣性力低減の効果がみられる。免震装置部分に生ずる相対変位は図6-b)に示したように約20cmを越えるケースもあり、設計の際には装置部分の相対変位に着目する必要があると考えられる。

実用的な免震装置特性として T_{eq} については1.5～2.0sec程度、 Q_d / W としては0.05～0.07の範囲が一案として挙げられる。この範囲は動的応答解析による免震装置部分の相対変位や、同時に行った各ケースの特性に対応する鉛プラグ入りゴム支承設計の結果として得た装置寸法等を考慮したものである。支承に弾性の特性のみを与えて履歴減衰の効果を与えなかったケースでは非常に大きな慣性力が計算されている（このケースの計算仮定等についてはさらに検討を加える予定である）。今年度は鉛プラグ入りゴム支承を中心とした慣性力低減効果の評価を行ったが、これ以外のタイプの免震装置の検討、想定した以上の相対変位に対するフェイルセーフ装置の検討、実験による検討等を引続き行う予定である。

参考文献：「免震装置を有する道路橋の耐震設計研究報告書」（昭和62年3月（財）国土開発技術センター）

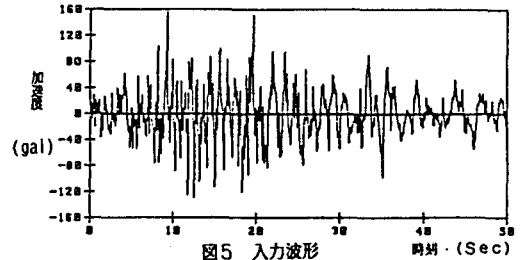


図5 入力波形

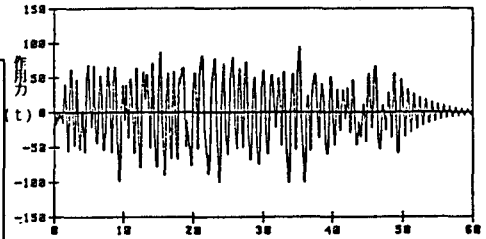


図7 免震装置作用力時刻歴（ $T_{eq}=1.18\text{Sec}$, $Q_d/W=0.05$ ）

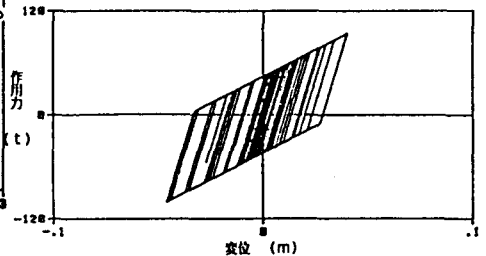


図8 免震装置の「作用力-変位」履歴