非線形動的解析の妥当性の確認

川田テクノシステム㈱ 正会員 田巻嘉彦
正会員 西村寧人
正会員 齋藤道生

１．はじめに

平成 14 年 3 月に「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」（以下，道示）が改訂された．地震時の挙動が複雑な橋に対しては，静的照査法では地震時の挙動を十分に表すことができない場合もあるため，動的照査法によって耐震性能を照査するとされている．弾性ゴム支承を用いる地震時水平力分散構造を有する橋は，地震時の挙動が複雑な橋と位置付けられており，非線形履歴モデルを用いた時刻歴応答解析（以下，動的解析）を行い耐震性能の照査を行うことになる．動的解析を行う際，橋全体としての耐震性を確実に確保するために用いる解析モデルや解析方法等が橋の地震時の挙動を適切に表現しているかについて十分留意する必要がある．一般的には固有値解析により算出された主要なモードおよび固有周期が妥当であるか，非線形を考慮した部材の履歴ループが構成されているかを確認する．しかしながら，動的解析では静的解析のように手計算によって妥当性を検証することは極めて困難といえる．そこで，弾性ゴム支承を用いる地震時水平力分散構造を有する橋を対象にして，既往の動的解析結果をもとに，橋の固有周期と応答加速度および応答変位の関連性について検証を行った．

２．非線形動的解析

動的解析は，弾性ゴム支承を用いた地震時水平力分散構造を有する橋に対して，橋脚の非線形性を考慮した M-φモデル（武田モデル）により解析を実施した．入力する地震動は，一般には 1 波形だけでなく，3 波形程度用いるのがよいが，ここではタイプⅠおよびタイプⅡにおける 1 波目の入力地震動を用いることとした．動的解析結果は既往の動的解析結果の他に，同条件で橋脚および弾性ゴム支承の剛性を変化させた解析モデルについても行った．

３．固有周期と応答加速度の関係

各地盤種別ごとの固有周期および上部構造の応答加速度の関係（◆印）を図-1，2 に示す．また，平成 14 年道示図-解 4.3.1，4.3.2 に示されている固有周期と標準加速度応答スペクトルの関係（実線－）を併記する．なお，ここでいう固有周期とは固有値解析により算出された卓越する 1 次モードのものとする．図-1，2 からわかるように，動的解析により得られた応答加速度は，標準応答加速度スペクトルに比べて大きい応答値を示しているものの，ほぼ近似していることがわかる．つまり，橋の動的解析モデルの妥当性を確認するには，1 次の固有周期を標準加速度スペクトルと比較するとよいことがわかる．

４．固有周期と応答変位の関係

弾性ゴム支承を用いる地震時水平力分散構造を有する橋では，動的解析により耐震性能を照査する場合，弾性ゴム支承の移動量および遊間が許容値を上回ることがある．そこで，固有周期と慣性力作用位置における応答変位の関係について着目するとした．固有周期と応答変位の関係（○印）を図-1，2 に示す．ここで比較のために柱剛性を変化させた 1 質点系の解析モデルを用いて，応答スペクトル法によりタイプⅡの応答加速度および応答変位を算出した．応答スペクトル法による解析結果を図-3 に示す．非線形動的解析により得られる応答変位の分布は，応答スペクトル法によって得られる応答変位に比べて大きい応答値を示しているものの，ほぼ近似していることがわかる．各地盤種別Ⅰ種地盤では 0.7 秒，Ⅱ種地盤では 1.2 秒，Ⅲ種地盤では 1.5 秒付近に変化点があるようにみられ，これは道示の標準加速度スペクトルの変化点と一致する．また，固有周期が長くなるほど応答変位が大きくなることがわかる．

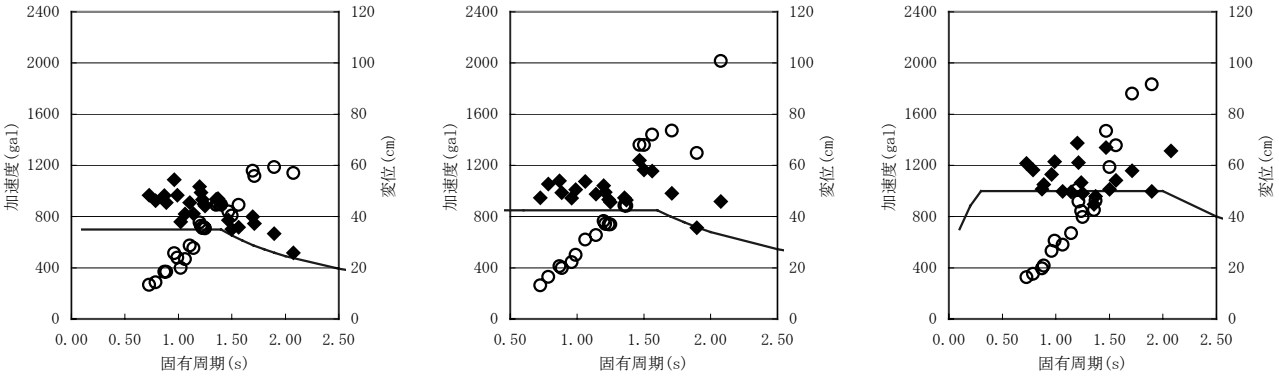
５．応答加速度と減衰定数の関係

非線形動的解析を用いて動的解析結果の検証を行っていると，応答値結果と図-1～3 に示す結果と大きな差異が見られる場合がある．この現象は，免震支承を有する橋のような履歴減衰の影響が大きいとき，減衰定数が比較的大きめに設定されているときに生じる．そこで，平成 14 年道示図-解 4.2.2 の減衰定数別補正係数 C_D の算出に着目し，モード減衰定数 h_i から先に得られた動的解析結果を式①により補正するものとした．

$$C_D = \frac{1.5}{40h_i + 1} + 0.5 \quad \cdots\cdots \quad ①$$

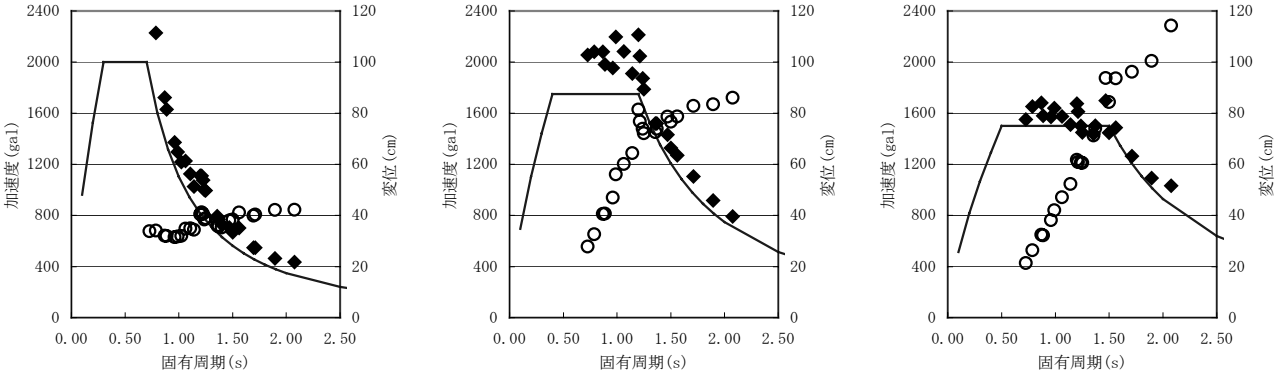
参考までに，弾性ゴム支承モデルで減衰定数別補正係数を C_D=1.02（h_i= 0.04738）とした場合，等価剛性および等価減衰を考慮した免震支承モデルで減衰定数別補正係数を C_D=0.71（h_i=0.15742）とした場合，の固有周期と応答加速度および応答変位を図-4，5 に示す．ここでは，固有値解析により算出された卓越する 1 次モードのひずみ比例減衰をモード減衰定数 h_i に代入するものとした．図-4 のように弾性ゴム支承の場合では大半の動的解析結果を事前に予測することができた．しかしながら，図-5 のように免震支承の場合では応答変位に対して多少の差異がみられた．

キーワード：非線形時刻歴応答解析，固有周期，応答加速度，応答変位
連絡先 ：〒116-0013 東京都荒川区西日暮里 2-40-3 TEL：03-3803-8600 FAX：03-3806-8600



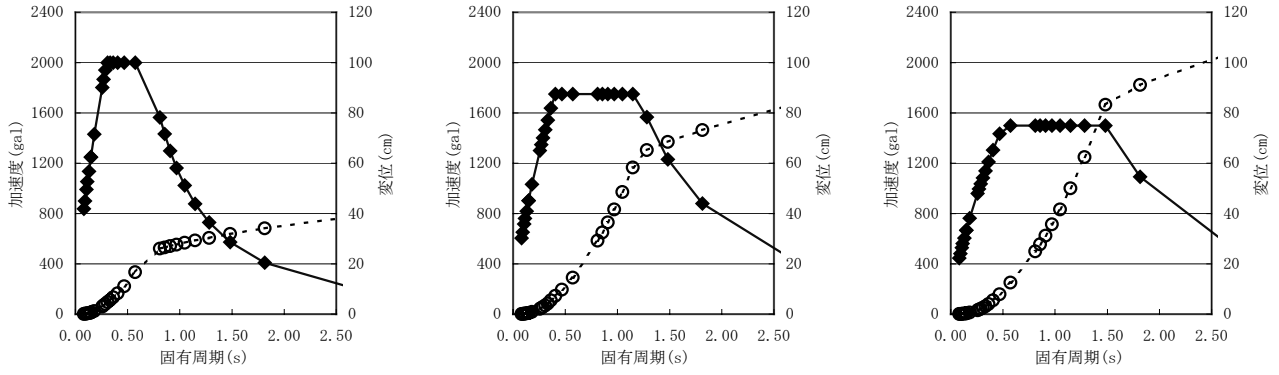
Ⅰ種地盤　　Ⅱ種地盤　　Ⅲ種地盤

図-1　固有周期と応答加速度および応答変位の関係（タイプⅠ）



Ⅰ種地盤　　Ⅱ種地盤　　Ⅲ種地盤

図-2　固有周期と応答加速度および応答変位の関係（タイプⅡ）

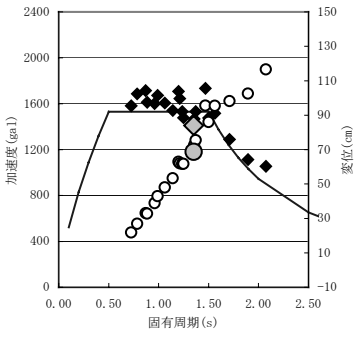


Ⅰ種地盤　　Ⅱ種地盤　　Ⅲ種地盤

図-3　応答スペクトル法による固有周期と応答加速度および応答変位の関係（タイプⅡ）

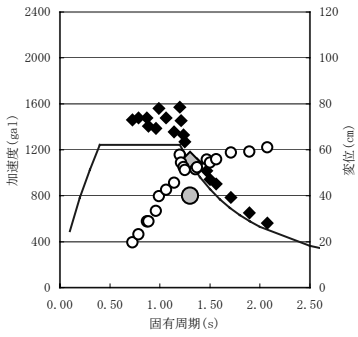
５．おわりに

本検証により，橋の固有周期と慣性力作用位置における応答加速度および応答変位には，何らかの関連性があることを確認した．その結果より，弾性ゴム支承を用いる地震時水平力分散構造を有する橋であれば，橋の固有周期から慣性力作用位置における応答加速度および応答変位を推測することが可能である．今後は，免震支承を用いる免震橋のように履歴減衰の影響が大きい構造物，ラーメン橋およびアーチ橋に対しても検証し，基礎資料を充実させたいと考えている．



Ⅲ種地盤

図-4　弾性ゴム支承モデル
（CD=1.02，hi= 0.04738）



Ⅱ種地盤

図-5　免震支承モデル
（CD=0.71，hi=0.15742）

参考文献

1) 道路橋示方書 V 耐震設計編 平成 14 年 3 月，平成 8 年 12 月．2) 道路橋の耐震設計に関する資料 平成 9 年 3 月，平成 10 年 1 月