

続々・橋の耐震照査を簡易チェック

～非線形時刻歴応答解析“EARMEST”による動的照査法～

Seismic Design System EARMEST

石井 喜代志
Kiyoshi ISHII

川田テクノシステム㈱東京設計部
設計二課

田巻 嘉彦
Yoshihiko TAMAKI

川田テクノシステム㈱東京設計部
設計二課

田中 大策
Daisaku TANAKA

川田テクノシステム㈱東京設計部
設計二課

最近、橋の動的解析専用ソフトを用いることで、橋の設計技術者が簡単に動的解析を行うことができるようになりました。しかし、非線形動的解析による橋の地震時挙動を精度良く解析するためには、固有振動特性、減衰特性、橋脚や支承などの非線形履歴特性を把握して、橋の動的特性を十分に評価できる解析モデルを作成することが重要になります。さらに、動的解析によって得られた応答値に対して、妥当性の確認を十分に行う必要があります。

川田技報Vol.22では、橋の固有周期と慣性力作用位置の応答加速度および応答変位の関係に着目し、弾性ゴム支承を有する橋であれば、応答値の予測が可能であることを紹介しました。今回は、履歴減衰の影響が大きい免震支承や機能分離型支承を有する橋に対する応答値の予測方法と、その留意事項について紹介します。

応答値を予測してみよう

動的解析の応答値を予測するためには、図1に示す手順によって行います。

今回は、免震支承を有する橋（種地盤/A地域/タイプ）に対して動的解析結果の予測方法を紹介します。ここで、固有値解析を行う際の剛性は、橋脚の降伏剛性、免震支承の等価剛性を使用しています。

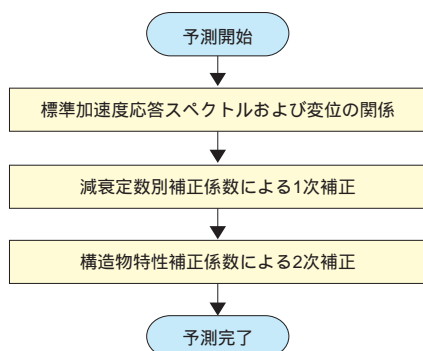


図1 応答値の予測フロー図

標準加速度応答スペクトルおよび変位の関係

橋の固有周期と応答加速度および応答変位の関係は、図2- のようになります。本例の場合、固有値解析により得られた振動に支配的なモード（1次）の固有周期は1.54秒（図2；破線）でした。予測加速度 および予測変位 と破線で示す固有周期との各交点に着目します。

減衰定数別補正係数による1次補正

次に、減衰定数別補正係数による1次補正を行います。

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

ここでは、等価減衰定数、振動に支配的なモード（1次）、振動に影響を与える各モードの減衰などが必要条件となります。本例の場合、固有値解析により得られた1次モードのひずみエネルギー減衰は $h_i = 0.01252$ でした。ここで、上式により減衰定数別補正係数を算出すると $C_D = 1.5$ となります。この係数を予測加速度 および予測変位 に対して乗ざると図2- のようになり、減衰効果があまり期待できない橋であれば、応答変位は50 cm程度と予測できます。

構造物特性補正係数による2次補正

弾性ゴム支承を有する橋であれば、上記の、の作業でおおよその応答値を予測できます。しかし、履歴減衰の影響が大きい免震支承や機能分離型支承を有する橋の応答値は、減衰定数別補正係数による1次補正だけでは精度良く予測することができませんでした。

そこで、構造物特性補正係数 C_S を応用することで、これらの橋梁についても応答値の予測が可能になると考えました。構造物特性補正係数 C_S は、本来であれば、橋脚の塑性化に対する係数ですが、ここでは支承の塑性率 μ^* に適用して構造物特性補正係数 C_S^* を算出します。

$$C_S^* = \frac{1}{\sqrt{2\mu^* - 1}}$$

支承の塑性率 μ^* は、弊社における過去の経験に基づいて表1に示す数値とします。

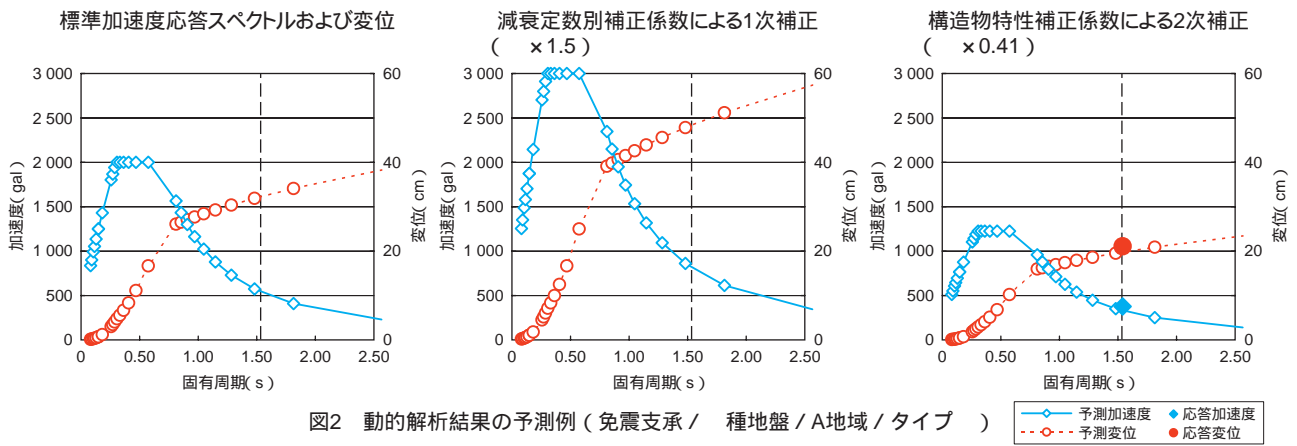


表1 支承構造別の塑性率

支承構造	μ^* : 支承の塑性率
弾性ゴム支承	1.0 ~ 1.2
免震支承	3.0 ~ 4.0
機能分離型支承	1.5 ~ 2.0

表2 動的解析結果の予測例

	応答加速度 (gal)	応答変位 (cm)
:初期予測値	560.0 ()	33.0 ()
:1次補正(C_D)	840.0 ()	49.5 ()
:2次補正(C_S^*)	344.4 ()	20.3 ()
動的解析結果	375.7 ()	21.1 ()

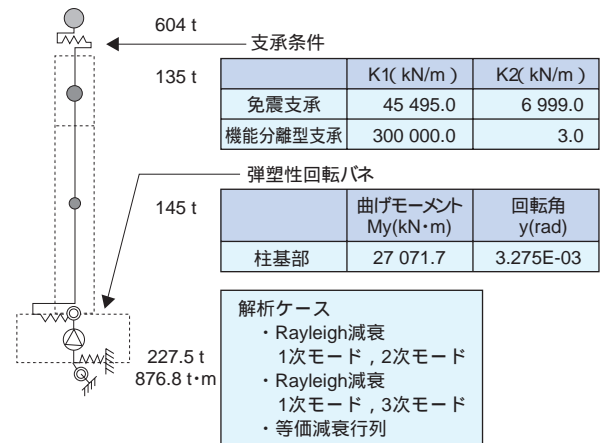


図3 解析モデル

表3 解析結果

	免震支承モデル		機能分離型支承モデル	
	応答変位	比率	応答変位	比率
Rayleigh	21.1 cm	0.97	15.6 cm	0.72
Rayleigh	21.2 cm	0.98	17.5 cm	0.81
等価減衰行列	21.7 cm	1.00	22.2 cm	1.00

本例では、免震支承を有する橋であるため、 $\mu^* = 3.5$ と仮定すると、支承の構造物特性補正係数は $C_S^* = 0.41$ となります。この係数を予測加速度 および予測変位 に対して乗ずると図2- および表2のようになり、応答変位は20 cm程度と予測できます。

なお、本例の動的解析結果は、表2の および となり、予測が困難であった免震橋などの応答値も予測可能となりますのでお試しください。

減衰の設定には気をつけて

近年の耐震設計では、動的解析で得られた応答変位から桁遊間を決定する場合があるため、精度の高い動的解析が要求されます。動的応答に影響を与えるパラメータとして減衰が挙げられます。一般的な動的解析では、減衰の設定としてRayleigh型減衰が使用されます。

$$[C] = [M] + [K]$$

[C]; 比例減衰行列

[M]; 質量行列, [K]; 初期剛性行列

ここで注意したいのは、初期剛性行列の設定により減衰を過剰に評価する場合があることです。実際に、簡単な単柱式の橋脚モデルで行った解析の一例を紹介します。

解析モデルは、図3に示す橋脚躯体を同一モデルとし、支承条件のみ異なる2モデルとします。解析ケースは、減衰設定時の初期剛性行列の影響をみるため、選択モー

ドが異なるRayleigh型減衰2ケース、および等価減衰行列の合計3ケースとしました。比較対象ケースを等価減衰行列としたのは、モード減衰比から構造物全体の減衰を考慮し高次モードの減衰効果を考慮するためです。

表3の解析結果に示すように、減衰の設定方法による応答変位の差異は、機能分離型支承モデルにおいて30%程度のばらつきがあります。このように、初期剛性行列が大きい機能分離型支承を用いる場合、減衰および初期剛性行列の設定方法に注意が必要になります。

おわりに

橋の動的耐震設計を行う場合、動的解析に必要なパラメータの理解、動的応答の予測が必要です。今後も本例のような基礎資料を充実させていきたいと思ひます。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- 2) 土木学会 地震工学委員会: 橋の動的耐震設計