

橋梁の地震時動的応答解析における塑性ヒンジモデルに関する考察

佐賀大学大学院工学系研究科 ○学生会員 泉 卓朗

正 会 員 荒牧 軍治

正 会 員 大塚 哲哉

1. まえがき

道路橋示方書耐震編に示された塑性ヒンジモデルは、2次元で軸力が変動しない場合は相当の精度を有するが、軸力が変動する場合や3次元解析を行う場合は複雑なモデルとなり、いくつかの簡便なモデルしか提案されていない。佐賀大学の井嶋教授が開発されたファイバー要素と類似の「剛体リンクばねモデル」は軸力変動がある場合、3次元入力の場合の両方に対して、正確な解析が出来ることが期待できる。本研究は通常用いられる骨組み構造解析による解析結果と、剛体リンクばねモデルを用いた解析結果とを比較検討し、3次元地震時応答解析における塑性ヒンジモデルの問題点について考察する。

2. 解析に用いた試設計モデル

解析には、佐賀県六角川周辺での土質調査結果をもとに、道路橋示方書に定められた地震時保有水平耐力法により設計したPC橋(heavyモデル)・鋼鈑桁橋(lightモデル)の杭基礎を集中ばねに置き換え、分散支承を用いた上部構造を考慮している系と橋脚のみの系を用いた。(図-1)

3. 解析方法

上部構造・橋脚系を、はり-質点系でモデル化し、塑性ヒンジモデルに弾塑性回転ばねを用いた3次元骨組み構造解析プログラム(SESAS)と、剛体リンクばねモデルを用いた井嶋プログラムの2つを用いて解析を行った。(図-2)

弾塑性回転ばねの復元力特性には武田型トリリニアモデルを用いており、減衰はSESAS、井嶋プログラム共に剛性比例型減衰を用いている。

地震波には、道路橋示方書に準拠した標準加速度波形 1995HEPC HIGASHI KOBをもとに倍率を変えたものを用いている。地震波の入力方向は、橋軸方向、橋軸直角方向と2方向同時入力の3パターンとし、橋脚先端位置、上部構造の慣性力作用位置の応答変位を比較すると同時に、塑性率と両モデルにおける最大変位の比の関係を調べ、塑性ヒンジモデルの考察を行う。

4. 解析結果

固有値についてはSESAS、井嶋プログラム共にほぼ同じ値を得ることが出来た。(表-1) 剛体リンクばねモデルの解析結果を正解値として、SESASによる弾塑性回転ばねモデルの特性について比較検討する。

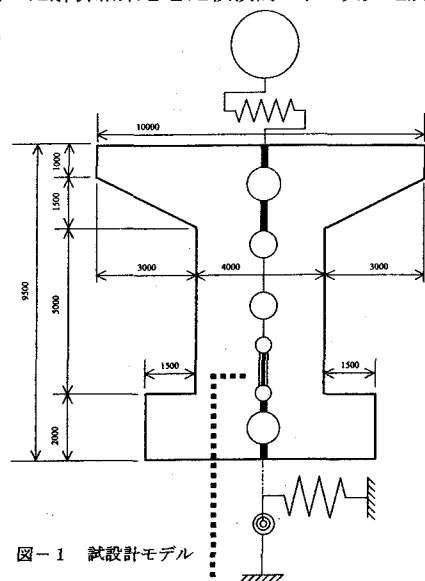


図-1 試設計モデル

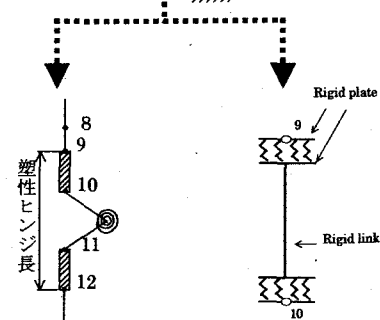


図-2 弾塑性回転ばねモデル(左)と剛体リンクばねモデル(右)

表-1 固有振動数比較

固有振動数比較		heavy		light	
		橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向
分散支承なし	SESAS	1.656771127	1.770805643	2.160703423	2.289746251
	井嶋プログラム	1.654842781	1.763365913	2.191146934	2.304842889
分散支承あり	SESAS	0.699377749	0.706764130	1.029350510	1.036840342
	井嶋プログラム	0.699671009	0.706509180	1.025147281	1.036958134

図-3に示すように、小さい地震波を入力した弾性振動の場合、2つのモデルの応答変位は、橋軸方向・橋軸直角方向共にほぼ同じ挙動を示しており、全体的にモデルの違いによる影響はほとんど見られなかった。しかし、地震波を大きくしていくと、図-4では井嶋プログラムの方は地震波を入力してから約13秒後の最大応答加速度時に最大変位を示し、降伏域に入り残留変位が発生する。一方、SESASの方は最大応答加速度時に変位は最大値を示すものの、その値は井嶋プログラムの値よりもずっと小さく、残留変位も発生していない。さらに実際には起こりえない巨大な地震波を入力してみた場合、図-5に示すように、井嶋プログラムでは最大変位がそのまま残留変位となるが、SESASの変位は小さいままで、大きな残留変位は発生しない。

図-6は、橋脚のみの系の橋軸方向、橋軸直角方向に様々な大きさの地震波を入力したときの塑性率と、最大変位の比の関係を表したグラフである。ここで、塑性率はSESASの降伏時の回転角に対する最大回転角の比であり、最大変位の比は井嶋プログラムの最大変位に対するSESASの最大変位の比である。グラフから、塑性率0.5以下では最大変位の比は1に近く、2つのモデルは一致していることが分かる。また、井嶋プログラムだけに残留変位が発生するため、塑性率が0.6を越えたあたりから、最大変位の比の値は急激に小さくなっていく。

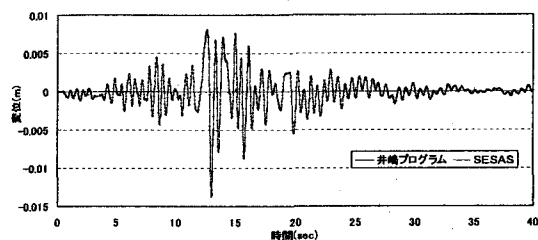


図-3 小さい地震波入力

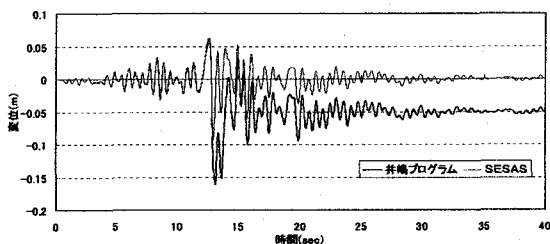


図-4 大きい地震波

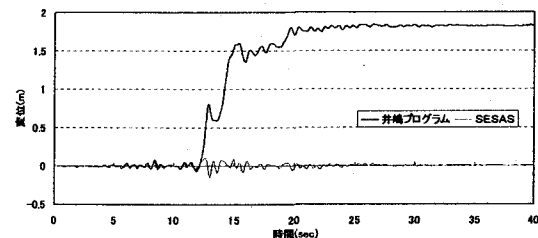


図-5 非常に大きい地震波

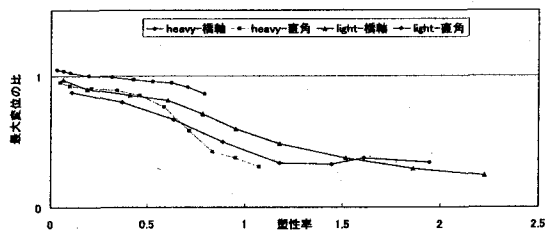


図-6 塑性率 - 最大変位の比

5. まとめ

解析結果より塑性ヒンジモデルは、小さい地震波に対しては、満足のいく結果を得ることが確認できた。大きな地震波に対しては、剛体リンクばねモデルは降伏し、残留変位が発生したが、これは、井嶋プログラムは変形後の釣り合い状態を考えた有限変形理論を用いていることから、大きな応答変位を求めることが出来たと考えられる。一方、塑性ヒンジモデルには大きな応答変位が見られなかった。SESASは、微小変形理論を用いており有限変位について取り扱っていないため、変位が大きくなり残留が発生しないのだと考えられる。また、弾塑性回転ばねの復元力特性に用いた武田型トリニアモデルが幾何学的非線形を考慮していない、時間積分法に用いた酒井らの方法が収束演算を行わない、などの理由からも2つのモデルの解析結果に大きな違いが表れたのではないかと考えられる。この結果から、塑性ヒンジモデルにはさらなる改良が求められる。

参考文献

- 1) 日本道路協会 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 2) (財)土木研究センター 平成9・10年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書