

地震動の入力方向を考慮した曲線高架橋の非線形動的応答に関する研究

北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川 俊郎
 新日本製鐵（株） 正会員 荻島 知之
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 橋本 至

1. はじめに

一般的に橋梁構造物を設計する場合、地震波を1方向に作用させた平面的な動的応答解析を行う場合が多い。曲線高架橋は上部構造が曲線であることから、地震時の挙動が複雑になるため、平面解析では設計上不利になる部分を把握することができないと考えられる。また、実際には地震力は構造物のどの方向から作用するか事前にはわからない。よって、地震波の入力方向を変化させた3次元動的な動的応答解析を行い、その非線形応答性状を調べることにより、曲線高架橋の立体的な動的挙動を明らかにすることが必要である¹⁾。

そこで本研究では、鋼製橋脚を有する2径間連続曲線高架橋を立体骨組構造にモデル化し、幾何学的非線形と材料非線形を考慮した弾塑性有限変位動的応答解析法を用いて、地震波の入力方向を変化させた3次元動的解析を行い、地震波の入力方向や支承条件の違いが曲線高架橋に及ぼす影響を比較検討する。

2. 解析モデル

本研究では、上部構造・支承部・橋脚の相互作用を考慮できる基本的な解析モデルとして鋼製橋脚を有する2径間連続曲線高架橋を対象とする。また、全体座標系(X-Y-Z座標系)を図-1に示すように設定する。

2.1. 上部構造と橋脚

上部構造は曲率半径100m、橋長80m(2@40m)、総重量約5.88MNの鋼箱桁を使用した。橋脚は、断面幅2.5m、板厚0.05mの正方形箱型断面の鋼製橋脚を採用した。橋脚高さは全て20mとし、橋脚の基礎は十分に剛である場合を考え固定とした。

2.2. 支承

本研究で用いた支承部は、水平2方向、鉛直方向、回転3方向のばね要素にモデル化する。水平方向は支

承条件に応じた非線形のばね要素特性を有している。これに対し、鉛直ばねは支承部の鉛直方向の剛な結合条件を表すために十分大きなばね定数を設定した。鉛直方向、回転方向のいずれも線形ばねとした。支承の配置方向については、図-1に示すようにP1から放射方向に配置する場合と曲線桁の接線方向に支承を配置する場合を考え、支承の配置方向をx軸、その直角方向をy軸とする局所座標系(x-y座標系)を設定する。また本研究では、x方向にのみ各支承モデルの特性を有するものとし、y方向は全てのモデルで固定条件とした。

3. 解析方法と入力地震波

本研究では、鋼材の降伏と幾何学的非線形性を考慮した弾塑性有限変位動的応答解析法を用いる²⁾。ここでは部材の面内、面外曲げ変形はそれぞれについて材料非線形と幾何学的非線形性を考慮した接線剛性マトリックスを作成し、ねじり変形は線形であるとした3次元立体骨組構造としての時刻歴応答解析を行う。また、使用する鋼材の応力-ひずみ関係をバイリニア型にモデル化し、降伏応力を235MPa、弾性係数200GPa、塑性域のひずみ硬化を0.01とする。構造減衰は質量比例型を仮定し、1次の水平固有振動モードに対する減衰定数 $\eta=5\%$ を基準とする。

入力地震波には兵庫県南部地震 JR 鷹取駅記録のN-S成分を使用する。この地震波は、最大加速度が641.73gal、卓越周期が0.806Hzである。地震波の入力方向角は、図-1に示すようにX軸からの角度とし、 θ を 0° から 180° まで 15° ピッチで変化させて動的解析を行う。入力地震波の方向角や支承条件の違いが曲線高架橋の地震時非線形挙動に与える影響について立体的な観点から比較検討する。

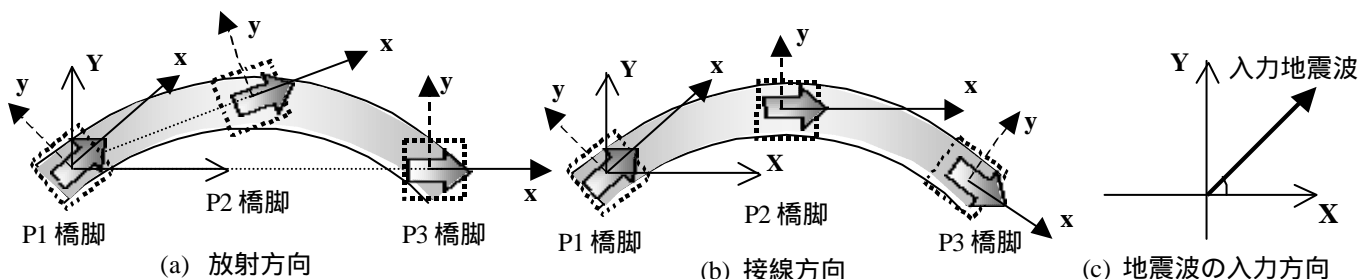


図-1 支承の配置方向と地震波の入力方向

Keywords: 非線形動的応答解析, 曲線高架橋, 地震波入力方向, 支承条件, 耐震設計

北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 札幌市北区北13条西8丁目 TEL,FAX:011-706-6172

表-1 曲線高架橋の固有振動数 (Hz)

支承モデル	放射方向		接線方向	
	X1	Y1	X1	Y1
鋼製支承	0.979	1.626	1.029	1.619
ゴム支承	1.370	1.627	1.396	1.616
免震支承	0.722	1.626	0.739	1.608

4. 数値計算結果

4.1 固有振動解析結果

動的応答解析に先立って、支承モデルを導入した高架橋全体系の固有振動解析を行った。基本モデル、鋼製支承モデルにおいては、地震時においても支承の滑る状態が支配的であると考え小さいばね定数を使用した。免震支承モデルにおいては免震支承の顕著な挙動を把握するために、保有水平耐力レベルにおける等価剛性を用いた。固有振動解析によって算出された各支承モデルの X 方向 1 次と Y 方向 1 次の固有振動数を表-1 に示す。ここで、X1 は X 方向 1 次、Y1 は Y 方向 1 次の固有振動数 f である。

X 方向の固有振動数は免震支承モデルで固有振動数が比較的小さくなっており、免震支承の特性により長周期化することがわかる。また、ゴム支承モデルは、鋼製支承モデルに比べて固有振動数が大きくなっている。一方、Y 方向の固有振動解析結果を見ると、どの支承モデルもほぼ同等の値となっている。これは、支承配置直角方向は固定としているためである。

4.2 支承の水平力と地震波の入力方向の関係

P3 橋脚上に設置した支承の x 軸面内方向に作用する最大水平力と地震波の入力方向角との関係を図-2 に示す。横軸は地震波の入力方向角、縦軸は支承の最大水平力である。(a) は支承を放射方向に配置した場合、(b) は接線方向に配置した場合である。

放射方向配置の結果を見ると、基本モデルでは、全てのにおいて水平力がほとんど発生していないことがわかる。これは、基本モデルの可動支承には変位制限構造の影響を考慮していないためである。地震波の入力方向角が 0°~45° では、最も大きな水平力が作用しているのは鋼製支承である。これは、支承が変位制限構造に衝突し、大きな水平力が発生しているものと思われる。また、ゴム支承モデルにおいても比較的大きな水平力が作用しており、これも支承の変位制限構造の影響と考えられる。が 60° においては、鋼製支承モデルと比べて、ゴム支承モデルに発生する水平力の方が大きくなっている。これは、ゴム支承の移動制限量が小さいために変位制限構造の影響が大きくなったためと思われる。が 75°~120° では、相対変位の関係と同様に、支承条件の違いによる影響が小さくなり、どのモデルも水平力がほぼ等しくなっている。

が 135°~180° では、鋼製支承モデルにおいて最も

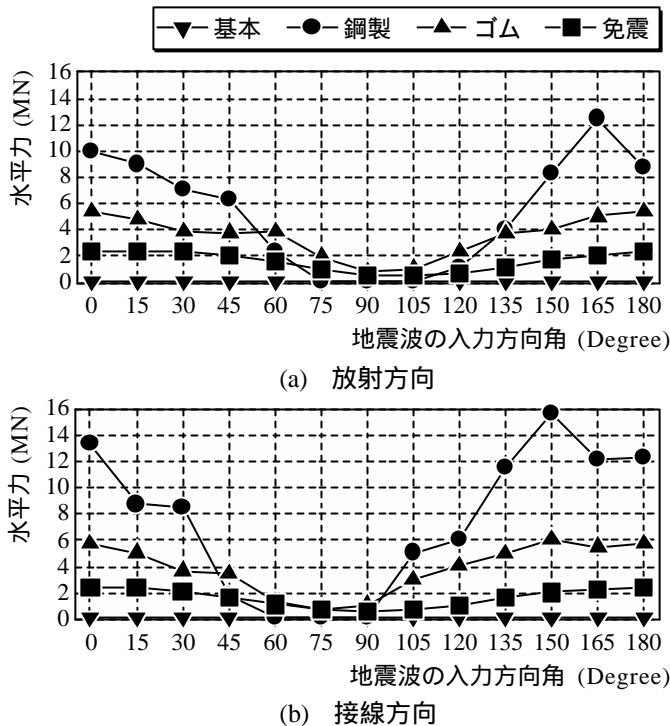


図-2 支承の水平力と の関係

大きな水平力が作用しており、 が 165° のときに最大値をとる。

接線方向配置では、基本モデルおよび免震支承モデルでは放射方向配置と同じような傾向が見受けられる。一方、変位制限構造を有する支承モデルでは、最大値が現れる が異なることが確認できる。また、接線方向配置の方が大きな水平力が作用していることがわかる。

5. まとめ

本研究は 2 径間連続曲線高架橋を対象とし、地震波の入力方向を変化させた非線形動的応答解析を行い、その支承条件、地震波の入力方向が高架橋全体系の動的応答に与える影響を比較検討してきた。

基本モデルや免震支承モデルでは、地震波の入力方向角が 0° もしくは 180° のときに、支承部の相対変位や水平力、橋脚基部の曲げモーメントなどの応答が最大となることが多い。

しかし 鋼製支承モデルおよびゴム支承モデルでは、最大応答が現れる地震波の入力方向と X 方向が必ずしも一致するわけではないことが明らかになった。これは、支承部に変位制限構造を設けることにより、発生する水平力の値が大きくなり曲線高架橋の動的挙動を複雑にしているものと考えられる。そのため、これらの支承部を使用する場合には十分注意が必要である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，耐震設計編，1996.12.
- 2) 林川俊郎・大嶽敦郎・中島章典・佐野雅章：3 成分地震動を受ける連続曲線高架橋の非線形応答解析，構造工学論文集，Vol45A，pp.849-858，1999.3.