

免震支承のハードニングを考慮した曲線格子高架橋の3次元非線形地震応答解析

北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川 俊郎

北海道大学大学院工学研究科 ○ 学生員 阿部 健次

北海道大学大学院工学研究科 学生員 中井 仁太郎

北海道大学大学院工学研究科 カルロス メンデス

1. まえがき

1995年に発生した兵庫県南部地震では、多くの橋梁構造物が被害を受けた。レベル 規模の地震が起きた場合、個々の部材耐力のみで抵抗するには物理的、経済的に限界がある。そこで、高架橋全体を1つの構造物として捉え、高架橋構造物の全体系が大地震を受けた場合の動的挙動を調べる必要がある。免震性能向上として免震支承が普及している。免震支承は、せん断変形が大変形領域になると、剛性値が急激に大きくなるハードニング現象が発生する。これまでは免震支承の復元特性はハードニングを考慮しないバイリニアモデルが採用されている。また免震支承は、橋軸方向に対しては各橋脚に加わる慣性力を分散し、地震力低減が期待される。しかし、橋軸直角方向に対しては伸縮装置の損傷などが考えられることから、橋軸直角方向の免震化の適用事例は数少ない¹⁾²⁾。

そこで本研究は、免震支承を有する3径間連続曲線格子高架橋を3次元立体骨組構造にモデル化し、幾何学非線形性と材料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て免震支承のハードニング現象の有無が曲線高架橋動的応答性状に及ぼす影響、曲線高架橋の橋軸直角方向の免震化による影響について比較検討を行う。

2. 対象とした曲線高架橋

対象構造物は図-1のような3径間連続鋼製曲線格子高架橋とし、上部構造は曲率半径100m、橋長120m(3@40m)、幅員15.0m、総重量約8.82MNの鋼箱桁を使用する。正方形箱型断面の鋼製橋脚を用い、橋脚高さは20mとする。橋脚の基礎は固定とした。支承形式は鉛プラグ入り積層ゴムタイプ免震支承が各橋脚上に3つ設置されている。支承は図-2のように接線方向に配置し、支承の接線方向をx、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。また各橋脚上の支承の内側をI、中間をM、外側をOとする。免震支承のハードニング特性を考慮しないバイリニアモデルは図-3(a)、考慮したトリリニアモデルは(b)となる。また橋軸直角方向免震化の影響を考察するため、Case1として全橋脚の橋軸直角方向を固定とした片免震支承モデル、Case2としてP1,4橋脚の橋軸直角方向を固定としP2,3橋脚の橋軸直角方向を免震とした両免震両端固定モデル、Case3として全橋脚の橋軸直角方向を免震とした両免震支承モデルを作成し比較を行う。

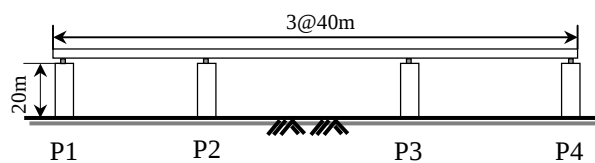


図-1 3径間連続曲線格子高架橋

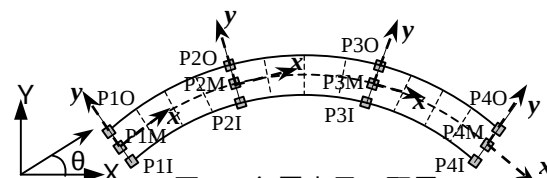


図-2 免震支承の配置

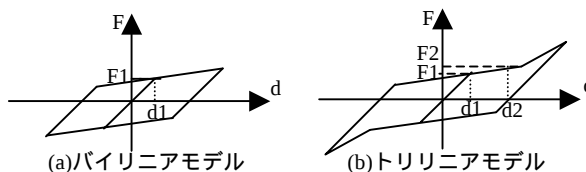


図-3 免震支承のモデル化

3. 解析方法・入力地震波

本研究では材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮したはり柱要素の有限要素法とNewmark β 法($\beta = 0.25$)および修正Newton-Raphson法を併用した弾塑性有限変位動的応答解析法を用いる。上部構造、橋脚をはり柱要素にモデル化し、さらにそれぞれの要素をファイバー要素に分割する。構造減衰は質量比例型減衰を仮定し、1次水平固有振動モードに対する減衰定数 $h=5\%$ 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3成分を使用地震波の入力方向角 θ は、図-2に示すようにX軸からの角度とする。本解析では曲線高架橋の橋軸直角方向に最も大きく振動する $\theta=135^\circ$ とした地震波を用いる。

Keywords: 3次元非線形動的応答解析、曲線格子高架橋、免震支承、ハードニング、橋軸直角方向免震化

北海道大学大学院工学研究科環境創生工学専攻 札幌市北区北13条西8丁目 :011-706-6170 FAX011-757-8159

4. 動的応答解析結果

4.1. 上部構造の応答変位軌跡

橋脚中央支承部上の上部構造応答変位軌跡を、図-4 に示す。橋軸直角方向免震化した Case2 の P2M、P3M、Case3 では橋軸直角方向に変位制限が無いいため大きく上部構造が応答している。橋軸直角方向固定とした Case1、Case2 の P1M、P4M では変位制限を有するため、支承の配置方向である接線方向に揺れていることがわかる。バイリニア、トリリニアモデルを比較すると、5~10%程度ではあるが、トリリニアモデルの方が応答変位は小さい。

4.2. 支承部の水平力-水平変位関係

橋脚中央支承部の水平力-水平変位関係の y 方向を図-5 に示す。橋軸直角方向免震化した Case2 の P2M、P3M、Case3 の支承では地震力を吸収しているが、固定条件とした Case1、Case2 の P1M、P4M 支承では大きく水平力が作用していることがわかる。バイリニアモデルと比較してトリリニアモデルでは水平力の増加と水平変位の減少が確認できる。ハードニングを考慮したことにより、免震支承の剛性が上がりストッパーのような役割を果たし、水平力が増加し、水平変位が減少したためである。

4.3. 橋脚基部の曲げモーメント - 曲率関係

橋脚基部における曲げモーメント - 曲率関係の y 方向を図-6 に示す。橋脚基部の曲げモーメントは支承部に作用する水平力と比例関係にあるため、全体的にトリリニアモデルが大きな曲げモーメントの値を示していることがわかる。また、Case2 と Case3 を比べると、大きな違いがないことがわかる。Case2、3 のバイリニアモデルでは全橋脚が概ね弾性域内に収まるが、Case1 では大きく塑性化していることが確認できる。これは橋軸直角方向の固定条件が大きく影響しているものと考えられる。

5. あとがき

免震支承のハードニング効果の有無についてはバイリニアモデルに比べトリリニアモデルではハードニング効果により剛性値が上がり支承に加わる水平力が増加するため、橋脚基部は塑性化する可能性があることがわかった。大地震時には免震支承(LRB)はハードニング現象が発生するため、設計時には注意する必要がある。また橋軸直角方向免震化については地震力の低減、桁端部の応答変位などの理由から、Case2(両免震両端固定モデル)が設計上有利な支承の支持形式と考えられる。

参考文献

- (1) 林川俊郎：橋梁工学 朝倉書店 2000.4
- (2) 足立幸郎：免震支承のハードニングに着目した免震支承と橋脚に塑性化が生じる免震橋梁の地震応答特性に関する研究、構造工学論文集 Vol.47A, pp.905-916, 2001.3.

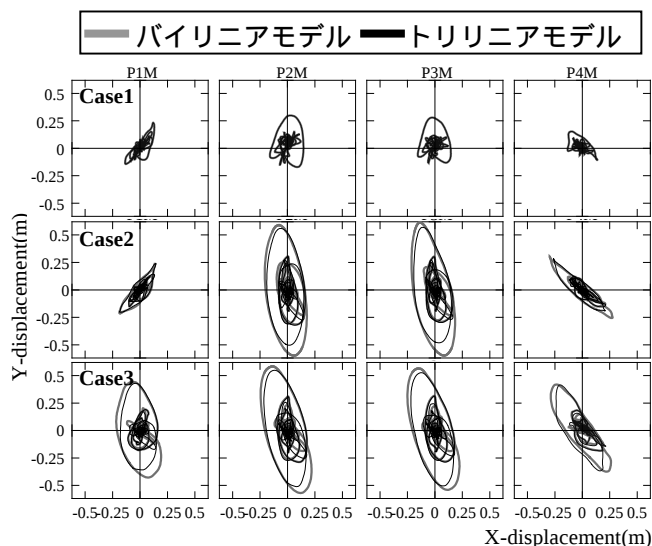


図-4 上部構造応答変位軌跡

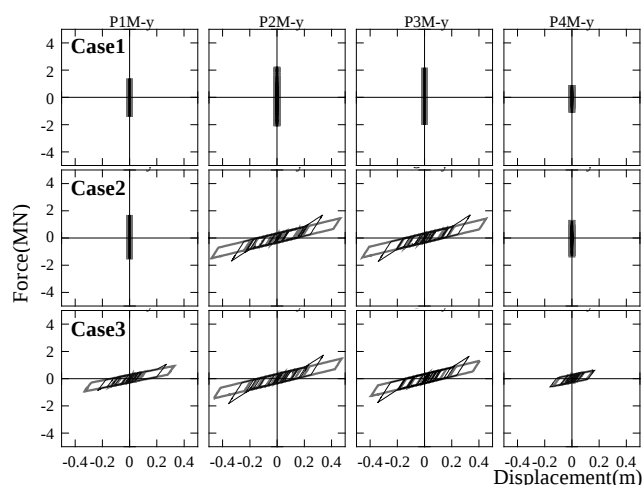


図-5 支承部における水平力-水平変位関係

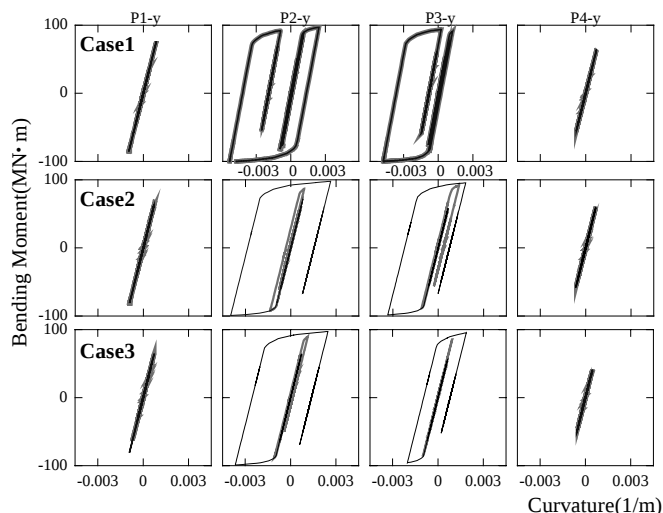


図-6 橋脚基部における曲げモーメント-曲率関係