

鋼曲線ラーメン橋の地震時応答特性に関する研究

九州工業大学 学生員 ○清水俊彦 正会員 山口栄輝
 正会員 久保喜延 正会員 加藤九州男
 ヤマト設計 正会員 野中哲也

1. はじめに

平成 8 年に改訂された道路橋示方書(耐震設計編)では、地震時の挙動が複雑な橋等について、動的解析を行うことが要求されている。ここで取り上げる曲線橋も、地震時の挙動が非常に複雑になることが予測されるが、その地震時挙動は十分明らかにされているとは言えない。そこで本研究では、4 径間の鋼曲線ラーメン橋を対象として、地震時応答特性について、解析的に検討する。

2. 解析モデルおよび解析手法

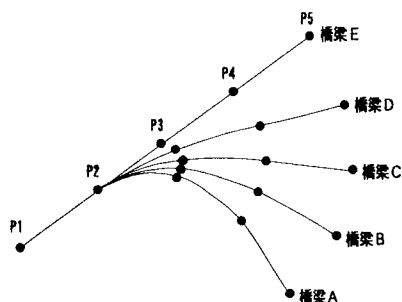
解析対象は、図-1 に示す 4 径間連続鋼曲線ラーメン橋である。この解析モデル 5 橋すべてにおいて、P1-P2, P4-P5 区間はほぼ直線であり、P2-P4 区間が主たる曲線部となっている。曲率半径は橋梁 A から順に大きくなり橋梁 A で 55m, 橋梁 D で 200m となっており、橋梁 E は直線橋である。橋脚は P3 橋脚が円形断面、他は矩形断面であり、鋼材の応力-ひずみ関係には、降伏応力を 3600kgf/cm^2 とする完全弾塑性モデルを仮定する。上部構造主桁と橋脚の結合条件は、P2~P4 では剛結、P1 橋脚、P5 橋脚上では 2 個の支承による支持である。支承条件は、橋軸直角方向と鉛直方向変位のみ拘束とする。

以下で行う動的解析では、兵庫県南部地震時に東神戸大橋で記録された加速度を用いる。減衰モデルにはレイリー減衰を適用し、減衰定数は 0.02 とする。地震荷重の入力方向は、P1 橋脚から P5 橋脚に向かう方向を基準(0 度)とし、そこから時計回りに測った角度で定義する。なお、解析は全て Y-FIBER3D で行った。

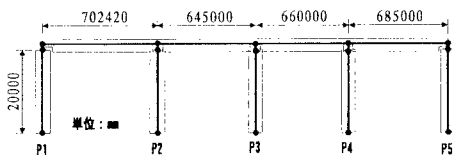
3. 解析結果

3.1 固有値解析

各橋梁の基本的な振動特性を把握するために固有値解析を行い、1 次と 2 次の固有振動モードに着目する。図-2 に各橋梁ごとの固有振動数を示す。記述に際しての便宜上、ねじれモード、たわみモードと



(a) 平面図



(b) 側面図

図-1 解析対象橋梁

の表現を用いているが、ねじれモードは主桁にねじれが生じるモードであり、たわみモードは系全体が橋軸直角の同じ方向に変形するモードである。

図-2 から明らかなように、曲率半径が増加するにつれ、たわみモードの固有振動数は減少する。これは、アーチ効果による橋軸直角方向の剛性増加の度合いに関連していると思われる。すなわち、曲率半径の小さな橋梁では大きなアーチ効果があるが、曲率半径の増加とともにアーチ効果による剛性の増加は小さくなり、たわみモードの固有振動数が減少していくと考えられる。

一方、ねじれモードは曲率半径の影響を受けず、各橋梁においてほぼ一定の固有振動数となっている。そのため、曲率半径が小さい橋梁 A や橋梁 B では、1 次の固有振動モードがねじれモードであるのに対し、橋梁 C 以降は、たわみモードが 1 次の固有振動モードとなる。

3. 2 動的解析

橋梁の解析で用いられる梁要素は、弾塑性解析の観点からすれば、 $M-\phi$ 要素とファイバー要素に大別される。しかしながら、 $M-\phi$ 要素では降伏基準を断面力で記述するため、軸力が大きく変動したり、大きな二軸まわりの曲げモーメントが作用するような場合、厳密な梁理論や塑性論を適用するのは困難である。そこで、ここでは、鋼曲線ラーメン橋の地震応答解析において橋脚に生じる軸力変動、二軸曲げモーメントの大きさを調べた。

解析結果として、地震荷重入力方向が0度、90度の場合の各橋脚に作用する最大軸力と初期軸力の比を図-3に示している。初期軸力の20%に近い軸力変動もかなり見られる。0度入力では、曲率半径が軸力変動に及ぼす影響はそれほど大きくないが、90度入力時のP3橋脚のように曲率半径の大きな影響が認められる箇所では、曲率半径の小さな橋梁で軸力変動が大きくなる傾向が見られ、橋梁Aの90度入力では初期軸力の1.9倍もの軸力が作用している。

二軸曲げモーメントの解析結果として、図-4に時刻歴を示している。これは、地震動入力方向が150度の場合の橋梁Dの橋脚P4に作用する、橋軸まわりと橋軸直角まわりの曲げモーメントである。図-4より、ほぼ同じ大きさの曲げモーメントが二軸のまわりに作用していることがわかる。

以上のように、鋼曲線ラーメン橋では、地震時の軸力変動が大きく、また大きな二軸曲げモーメントが作用する。 $M-\phi$ 要素で弾塑性解析を行う際には、軸力変動や二軸曲げモーメントの影響を近似的に取り扱う必要があり、その近似度のレベルには種々のものがある。鋼曲線ラーメン橋を $M-\phi$ 要素で解析する際には、その近似度に応じた適用性に留意する必要がある。

4. まとめ

- (1) 低次の固有振動モードは、ねじれモードとたわみモードである。曲率半径が大きくなるとたわみモードの固有振動数は減少するが、ねじれモードの固有振動数は曲率半径の影響をあまり受けない。そのため、曲率半径が小さな橋梁ではねじれモード、曲率半径が大きくなるとたわみモードが1次の固有振動モードとなる。
- (2) 初期軸力の1.9倍もの軸力変動が認められ、またほぼ同じ大きさの曲げモーメントが二軸のまわりに作用することが確認された。 $M-\phi$ 要素を用いて曲線ラーメン橋の弾塑性解析を行う際には注意を要する。

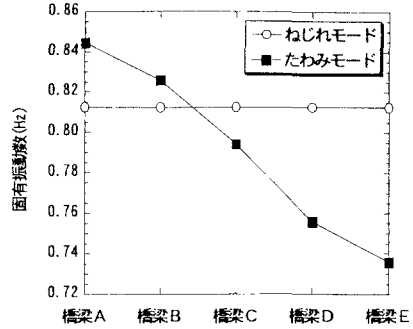
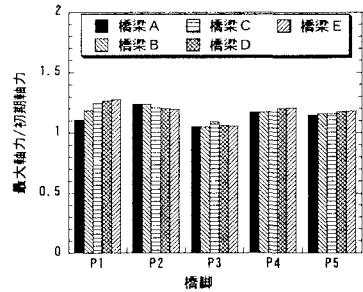
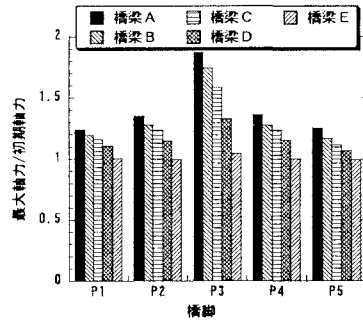


図-2 固有振動数



(a) 0度入力



(b) 90度入力

図-3 軸力変動

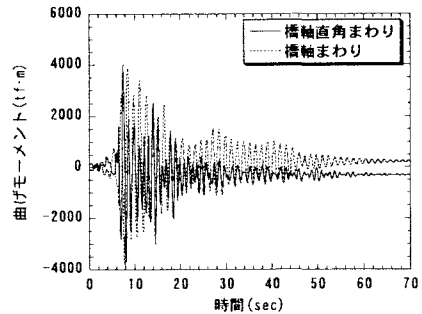


図-4 二軸曲げモーメントの時刻歴