

I-24 複合ラーメン橋による耐震性向上に関する研究

(株)釧路製作所 正員 佐藤 孝英 北見工業大学 フェロー 大島 俊之
 北見工業大学 正員 山崎 智之 (株)釧路製作所 正員 井上 稔康
 (株)釧路製作所 大島 巖 北見工業大学 学生員 石川 義樹

1. はじめに

連続鉄桁とコンクリート橋脚とを二つの中間支点で剛結することによって上・下部工を一体とした鋼・コンクリート複合ラーメン橋は、支承が不要となり維持管理の上で有利であり、コンクリートラーメン橋よりも上部工の重量が軽く下部工への負担を軽減することや耐震性が向上するなどの特徴を有している。本研究ではその内の耐震性に着目し、山形自動車道の阿古耶橋(1990年竣工)を対象モデルとして振動解析を行い、一般の鋼連続桁形式の地震時の挙動と比較することにより鋼・コンクリート複合ラーメン橋の耐震特性を評価し、更に端支点に免震支承を設けることによる耐震性の向上について検討する。

2. 阿古耶橋の構造

阿古耶橋は橋長 251mで鋼4径間連続鉄桁と鋼・コンクリート複合3径間ラーメン橋からなっている。その内の複合ラーメン部を図1に示す。本研究のモデルとなる図1の鋼・コンクリート複合ラーメン橋は二つの中間支点部に箱桁状の横梁を設け、横梁内にコンクリートを打設し、橋脚にあらかじめ埋め込んでいたPC鋼棒とで緊結することにより剛結合となっている(図2, 3)。平面格子桁の静的解析による通常の連続桁と複合ラーメンとの曲げモーメントの比較を図4に示す。これによると連続桁に比べてラーメン構造にすると、支点部の値は大きくなるが、支間中央部では20%程度小さくなる。室内実験及びFEM解析により、支点部は横梁内で応力は低下することが確認されているため横梁外側を設計断面としている¹⁾。また主桁部材だけの鋼重を比較すると本橋の場合5~6%の鋼重減となるという結果が得られている²⁾。

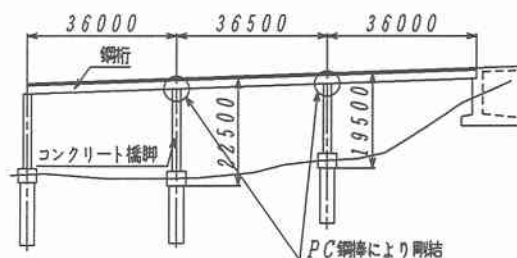


図1 一般図

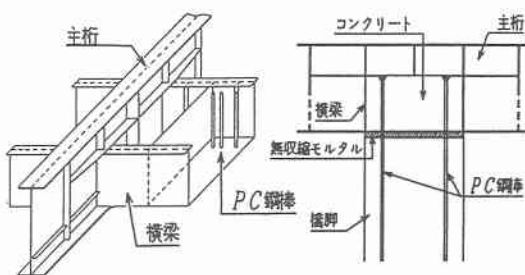


図2 横梁概略図

図3 横梁断面図

3. 動的応答解析

3.1 解析方法

橋脚部は非線形要素とし鉄筋コンクリート断面のモーメント曲率曲線を算出するが、一般に使われている道路橋示方書・耐震設計編による中立軸の位置を試算によって求めながら計算を行う方法では、除荷時に断面外に中立軸が移動してしまうことがあるために正確に値が求められなかったり、計算できない場合がある。そこで本研究では断面内のひずみの

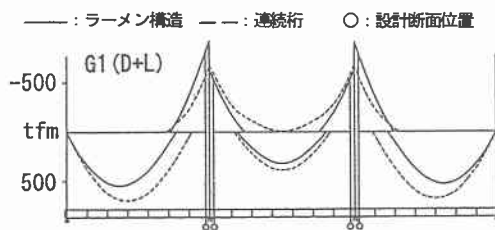


図4 連続桁とラーメン橋との曲げモーメントの比較

分布を中立軸の位置と曲率で定義せずに、断面図心位置のひずみと曲率で表してモーメント-曲率関係を計算する方法³⁾を用い解析を行った。橋脚断面(図5)は縦2000mm横11000mmの長方形で鉄筋が158本配置されている。解析においてはコンクリート部を50分割しモデル化した。鉄筋とコンクリートの応力-ひずみの関係をそれぞれ図6(a),(b)のように仮定し鉄筋は弾塑性硬化型のバイリニアモデルを使用し、塑性時の弾性係数は弾性時の弾性係数の1/10とした。コンクリート材料は応力-ひずみ曲線を直線で近似したモデルを使い、圧縮ひずみが0.02以上になると残留ひずみが発生し、引張りでは原点指向をとり残留ひずみがないものとした。以上のようにして解析した曲げモーメント-曲率曲線を図7に示すように断面の弾性限界e、引張側鉄筋の降伏点y、圧縮側降伏点u、圧縮側コンクリートが終局ひずみに達する点tの4点を結んだ直線でモデル化した。また除荷時の履歴特性は引張側鉄筋が降伏に至っていないy点までは原点指向に、それ以上の経験をした場合はy点と原点を結ぶ直線の傾きを有するようにモデル化した。また、せん断応力-せん断ひずみ、軸応力-軸ひずみ曲線についても算出した。

次に各計算モデルに対して平面骨組構造によるマトリクス構造解析を行った。増分法によりWilsonの θ 法を用い($\theta=1.4$)、応答変位、速度及び加速度を求める。そして前述したせん断応力-せん断ひずみ、モーメント-曲率、軸応力-軸ひずみの関係と応答変位から各要素のせん断弾性係数G、曲げ剛度EI、弾性係数E、を求め、剛性マトリクスを組み替えることによって弾塑性解析を行う⁴⁾。

3.2解析モデル

本解析には従来の構造形式と複合ラーメン橋、免震構造を付加した複合ラーメン橋とを比較する上で図8(a)~(d)のようにモデル化した。(a)通常の連続桁のモデル1、(b)橋脚上をヒンジとしたモデル2、(c)橋脚と桁とを剛結した複合ラーメンのモデル3、そして(d)端支点部に免震支承を設けたモデル4の4ケースとした。尚、図8(b)~(d)については橋脚要素は4ケースとも同一なので、桁部分と支持条件のみ示している。図中に書かれた数字は節点番号と要素番号を表す。これらのモデルは橋全体を簡略化し、橋脚と桁の2要素を組み合わせでモデル化しており、このうち橋脚要素のみ非線形要素とし、他の要素は線形とした。各基礎と地盤の間には地盤バネを用いた。免震水平バネ定数 1102tf/m、免震垂直バネ定数

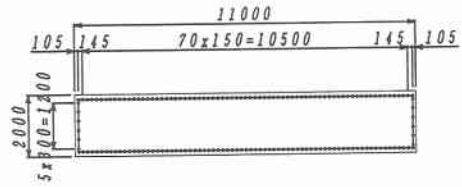
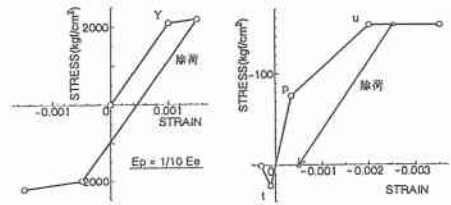


図5 橋脚断面図



(a)鉄筋 (b)コンクリート

図6 応力ひずみ曲線

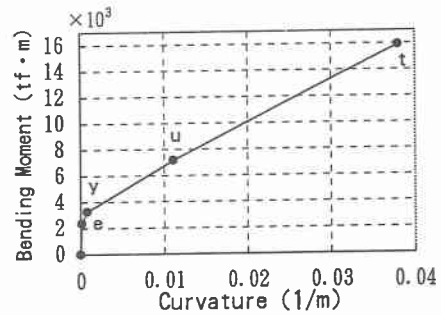


図7 モーメント曲率曲線

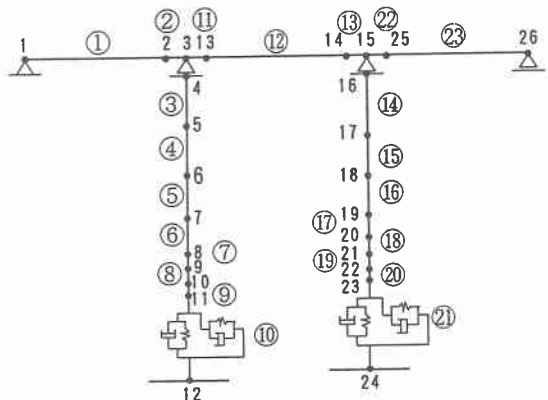


図8(a) 解析モデル1(従来形式)

26200tf/m、P 5 橋脚水平地盤バネ定数 387756tf/m、垂直地盤バネ定数 356690tf/m、P 6 橋脚水平地盤バネ定数 434078tf/m、垂直地盤バネ定数 356690tf/m とした。また減衰定数は免震支承をモード減衰比 27.6%とし、他の要素についてはモード減衰比3%とした。

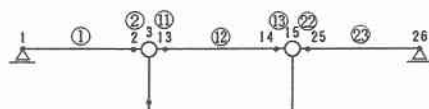


図8(b) 解析モデル2(ヒンジ)



図8(c) 解析モデル3(剛結)

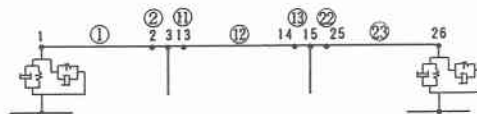


図8(d) 解析モデル4(免震)

3.3入力波形

解析に使用した波形は、周期1sec振幅200galのsin波である。それぞれのケースについて基礎要素の各節点部分に刺激係数を乗じた力の量で入力した。解析時間は6sec、解析時間間隔は1msecとした。

4. 解析結果

複合ラーメン橋と従来形式の橋のモデルの固有振動モードを図9(a),(b)に示す。図9(a)は桁と橋脚を剛結合とした複合ラーメン橋の場合、図9(b)は桁と橋脚との接合部の回転バネ定数を0 tf・m/radとした中間支点上がヒンジである場合のモードを示しており、振動によるそれぞれの特徴を有した挙動が得られている⁵⁾。

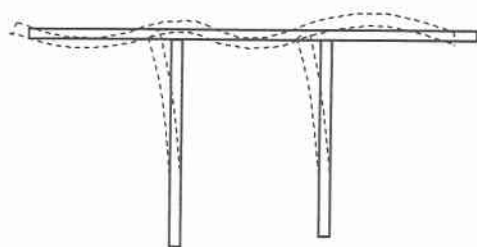


図9(a) 剛結合のモード図

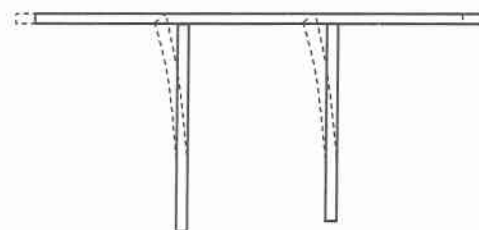
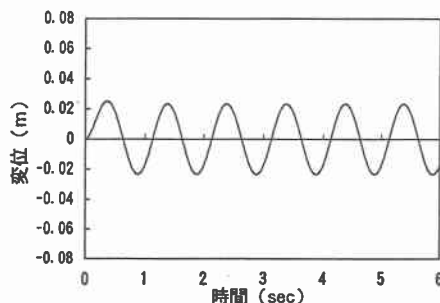


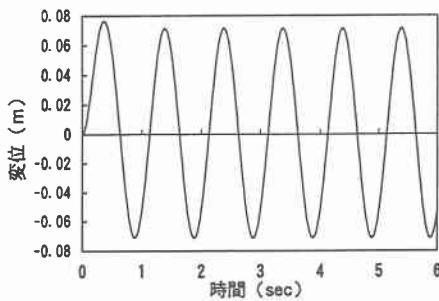
図9(b) 中間支点上ヒンジのモード図

次に図8(a)~(d)のモデルにsin波を入力したときの節点3の水平方向の時刻歴応答変位を図10(a)~(c)に示す。図10(a)は中間支点上をローラ支点とした通常の連続桁橋の変位、図10(b)は桁と橋脚とを剛結した複合ラーメン橋の変位、図10(c)が複合ラーメン橋の端支点到免震支承を設けたときの変位を表している。まず図10(a)通常の連続桁橋と図10(b)複合ラーメン橋とを比較すると、明らかに通常の連続桁橋の方が水平変位が小さく現れていることがわかる。図10(b)複合ラーメン橋と図10(c)免震支承を設けたモデルとで比較した場合、その免震効果により水平変位が複合ラーメン橋に対して半分以下の変位に抑えられているこ

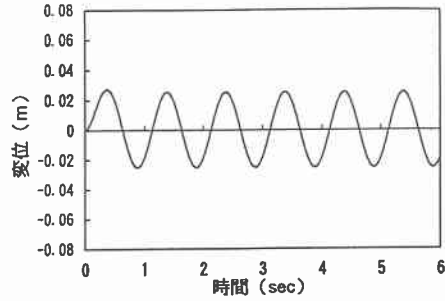


(a) モデル1

図10 時刻歴応答変位



(b) モデル3



(c) モデル4

図10 時刻歴応答変位

とがわかる。複合ラーメン橋と通常の連続桁橋とでは水平変位においては通常の連続桁橋の方が小さいが、上部工は地震時の振動に対しては一つの固定支点に力が集中し、固定支点側の橋台等の負担が大きくなる傾向にある。しかし、複合ラーメン橋では二本以上の橋脚が上部工と組み合わせた形で地震動に対して抵抗するので、通常の連続桁橋より有利である。また複合ラーメン橋の水平変位の大きさは免震支承を端支点に設けることで解決でき、より一層の耐震性向上につながると考える。

5. まとめ

以上により、今回解析により得られた結果をまとめると、

- (1) sin波入力による時刻歴応答水平変位より桁と橋脚とを剛結合とした複合ラーメン橋は、通常の連続桁より大きな変位を示す。
- (2) 複合ラーメン橋の端支点到免震支承を設けることによって水平変位が半分以下に抑えられる事が確認できた。

今回は複合ラーメン橋の剛結部の節点での各モデルでの水平変位の大きさを表したが、振動解析は現在も継続中であり、各解析モデルの橋脚部の節点での変位や断面力等を算出して、各モデルとの比較をし、鋼・コンクリート複合ラーメン橋の耐震特性について評価していく。

謝辞：本研究を行うに当たり北見工業大学土木開発工学科三上修一助教授、橋梁工学研究室鈴木雅之君に多大なるご支援を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉田修、町田篤彦、田島二郎：鋼・コンクリート複合ラーメン構造接合部の性状、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、第I部、pp322-323, 1989. 9
- 2) 大山進司、白木勝美、田島二郎、町田篤彦：鋼・コンクリート複合ラーメン橋(笹谷橋)の設計、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、第I部、pp528-529, 1990. 9
- 3) 大島俊之、三上修一、小倉祐介、佐藤昌史：段落とし部を有するRC橋脚の強震時非線形挙動とエネルギー分布、構造工学論文集Vol41A、pp745-754, 1995
- 4) 青地知也、松井義孝、大島俊之、三上修一、山崎智之：免震支承を用いた連続橋の振動軽減効果の検討、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、第I部、pp70-71, 1996. 9
- 5) 青木圭一、田島二郎：鋼・コンクリート複合ラーメン橋(笹谷橋)の動的性状、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、第I部、pp374-375, 1991. 9