

鋼斜張橋の耐震性向上策の検討に関する研究

九州大学大学院 学生員 ○楠田広和
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
住友重機械工業 正員 山平喜一郎

1. まえがき

斜張橋等「地震時の挙動が複雑な橋は、動的解析を行い、その結果を設計に反映させる」ことが必要である¹⁾。それ以前に設計された既設の橋梁であっても、その被害が社会に大きな影響を及ぼすような重要な橋梁では、同様の手法で耐震性を照査し、被害に至ることが明らかになった場合には、速やかに対策を講じることが必要であると考えられる。ここでは橋長346mの鋼斜張橋の材料非線形性を考慮した地震応答解析を実施し、本斜張橋の耐震性を検討したところ、支承部の損傷や桁の塑性化などの問題点が明らかとなった。それぞれの問題点について力学的見地からいくつかの耐震補強策を検討したところ、桁支承の免震化案が有効であることが判明した。ここでは、全6ケースの免震化案について検討した。

2. 解析手法

今回対象とした鋼斜張橋は昭和59年に設計が完了している。図-1は橋梁概要、図-2は解析モデルである。表-1に設計条件を示す。主桁、主塔、橋脚は梁要素で、ケーブルは曲げを受け持たない弦要素でモデル化した。

減衰にはレーリー減衰を用い、検討モデルに対して次数を決定した。なお、非線形復元力特性として、RC橋脚(P2)はトリリニア武田モデル、主塔、鋼製橋脚(P1、P3、P4)はバイリニアモデルとした。

本モデルの特徴は、杭およびケーソン基礎と地盤との相互作用を考慮できる地盤バネをモデル化した点と、実際の断面性状から支承部および横桁の剛性を算出し、詳細なモデル化を行った点である。なお入力地震動には標準地震波であるJR鷹取EW成分、NS成分を使用し、橋軸方向にEW成分、橋軸直角方向にNS成分を入力した。

3. 解析結果および考察

(1) 耐震性の検討

図-2の解析モデルで全ての鋼製橋脚で降伏耐力を若干超える応答を示しており、RC橋脚(P2)については、面内方向で初期降伏耐力を、面外方向ではひび割れ耐力を超えているが終局耐力には至っていない。また、橋軸直角加震時に主桁の曲線区間(節点4-14間)において降伏耐力を30%程度上回る応答を示した。主塔は降伏耐力範囲内であるが、主塔3支承部の桁支承において、圧縮側では設計反力以内であったが、引張側で支承取付ボルトの引張強度の約2.5倍の支承軸力が生じた。

(2) 桁支承免震化案の検討

上記の問題点を踏まえ、耐震補強対策として、桁支承の免震化について検討を行った。

免震支承の使用が支承の圧縮・引張軸力を低減するという点に関しては、鋼製橋脚上の鋼床版箱桁橋に関して、既に報告がなされている²⁾。これらを踏まえて、構造形式が異なる斜張橋の場合にも同様に、桁支

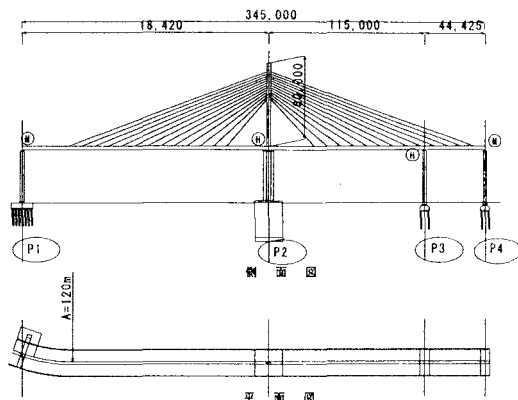


図-1 対象橋梁概略図

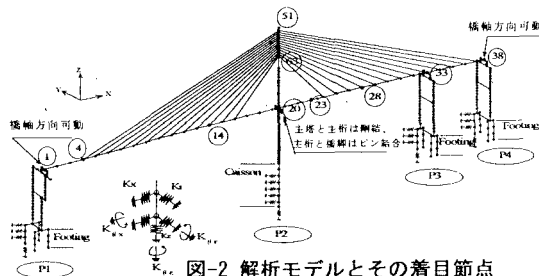


図-2 解析モデルとその着目節点

表-1 対象橋梁の概要

上部工形式	鋼3径間連続斜張橋
橋格	1等橋
橋長	L = 345.0 m
支間長	184.2 m + 115.0 m + 44.425 m
幅員	W = 8.5 m
下部工形式	P1橋脚(M)：鋼製T字橋脚
	P2：RC中空断面橋脚
	P3橋脚(H)：鋼製T字橋脚
	P4橋脚(M)：鋼製T字橋脚
基礎工形式	P1橋脚：場所打ち杭φ1200 n=36本
	P2橋脚：ニューマチックケーソン基礎
	P3橋脚：場所打ち杭φ1200 n=12本
	P4橋脚：場所打ち杭φ1200 n=12本
地盤種別	II種地盤
地域区分	C
適用示方書	道路橋示方書(昭和55年)

承反力の低減に繋がるのではないかと考え、支承の免震化の検討を行った。ただし、斜張橋はプレートガードに比べて構造が複雑であることと、塔支承の受け持つ反力が非常に大きいことを考慮に入れて6つの免震化案を作成して解析を行い、その結果を比較検討した。また、減衰にはレーリー減衰を用い、全てのケー

スについて4次、11次モードを用いて減衰を設定した。

第1の案は、P3橋脚上の支承は常時でも上揚力が働くので鋼製支承のままとし、P1、P2、P4橋脚上の6つの桁支承を免震支承に置き換える案である。塔支承については非常に大きな反力を受け持っているので、施工上の問題等を考慮して鋼製支承のままとした。(「6支承免震化案」と呼ぶ)第2の案は第1の案で鋼製支承とした塔支承も免震化する案(「7支承免震化案」と呼ぶ)。第3の案は第1の案の塔支承に用いられている鋼製固定支承(ピボット査:3方向の回転は自由)を橋軸直角方向に可動とした案である。(「6支承免震化+塔支承スライド案」)

全体系の地震応答解析に先立ち、橋脚の剛性を考慮して免震支承の試設計を行った。免震支承のタイプとしてはHDR(高減衰ゴム支承)を想定した。免震支承はゴムと鋼板の積層構造になっており、同じ支承高であっても層数の増減によって鉛直剛性は容易に変化させることが可能である。したがって、上記3案それぞれにおいて、免震支承の鉛直剛性大、小の2ケースの計6ケースについて解析を行った。表-2に支承免震化ケースを示す。鉛直剛性小のケースでは

表-2 支承免震化案

ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
免震6支承 鉛直剛性小	免震6支承 鉛直剛性大	免震7支承 鉛直剛性小	免震7支承 鉛直剛性大	免震6支承、 スライド 鉛直剛性小	免震6支承、 スライド 鉛直剛性大

鉛直剛性の値を1/16とした。問題となる橋軸直角加震時について結果を示した。図-3は主塔3支承部の応答軸力である。支承を免震化することで、支承の圧縮・引張軸力を低減でき、また、免震支承の鉛直剛性が支承軸力に関係することがわかった。図-4に各検討ケースにおける主塔頂部の応答水平変位を示す。ここでの変位率は(免震モデル応答値)/(鋼製支承モデル応答値)である。鉛直剛性が小さいモデルほど変位が大きくなる。図-5は各ケースにおける応答断面力を比較したものである。鉛直剛性が小さいモデルで主塔基部の応答が低減している。また、主塔基部の塔支承を免震化した場合、P2橋脚の応答が大きく低減した。桁支承応答軸力が低減した場合は塔頂変位が増加し、塔基部曲げモーメントが低減する傾向がある。本橋の耐震補強案としては、補強対象の支承数が少なく、反力の大きい塔支承は補強する必要がない6支承免震化案で、鉛直剛性を小さくしたケース1が最も適している。図-6はケース1における主桁の面外モーメントである。P1、P4橋脚を免震化したことにより、主桁は固定されているP2、P3橋脚を中心とした変形モードを示し、応答性状が変化することでP1-P2間および桁端の応答が低減した。応答は降伏耐力内に収まる結果となった。ただし、免震化することで橋脚P2、P3の応答分担が増加(5%程度)しているが、降伏耐力以下である。

4. まとめ

対象とした鋼斜張橋に兵庫県南部地震相当の地震動が作用した場合、主桁の曲線区間(節点4-14間)において降伏耐力を上回る応答を示し、支承部において設計反力を超える応答を示したが、桁支承の免震化によってこれらの問題点が解決し、免震化が耐震補強策として有効であることがわかった。なお本研究の詳細に関しては文献3)を参照されたい。

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, 1996. 12

2) 山平 他：橋梁全体系の非線形地震応答解析と免震支承の機能評価, 土木学会第52回年次学術講演会概要集, pp244-255, 1997. 9

3) 大塚・山平・楠田：鋼斜張橋の非線形地震応答解析による耐震補強対策の検討, 構造工学論文集, Vol. 47A, 2001. 3. (掲載予定)

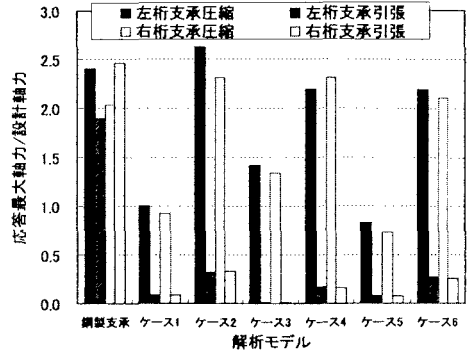


図-3 免震ケースによる応答軸力比較

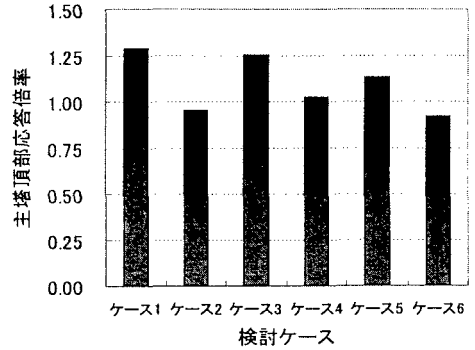


図-4 免震ケースによる塔頂変位比較

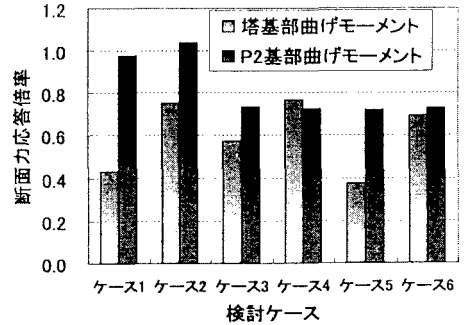


図-5 免震ケースによる応答断面力比較

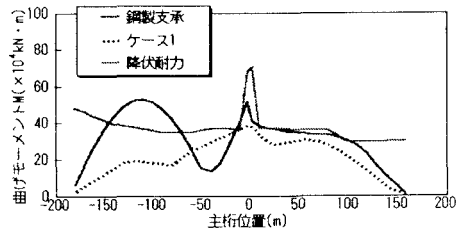


図-6 主桁面外応答曲げモーメント