

I - B 24

鋼斜張橋タワーの大地震時非線形挙動について

北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川 俊郎
 北海道大学工学部 O 学生員 芳賀 康司
 新日本製鐵（株）正会員 大嶽 敦郎
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 平沢 秀之

1. まえがき

先の兵庫県南部地震によって、多くの鋼構造物が破損し、周辺地域の社会基盤に多大の被害を与えた。その後、地震時保有水平耐力法にもとづく耐震設計法が新たに規定され、そのための研究が各関係機関において積極的に進められている¹⁾。ここで、鋼製橋脚の耐震設計性能に関する研究は数多く行われているが、斜張橋の鋼製タワーに関する研究はあまりなされていない。そこで筆者ら²⁾は兵庫県南部地震において JR 鷹取駅で観測された3成分地震波を用いて、鋼斜張橋タワーの非線形挙動と免震対策について検討した。また、本研究では鋼斜張橋タワーを立体骨組構造にモデル化し、そのタワー形状の差異が動的応答特性に与える影響について考察する。さらに、タワー形状の変化が非線形挙動に与える影響についてパラメトリック解析を行うことを目的としている。

2. 解析モデル

解析の対象とする鋼斜張橋タワーは図-1に示すような逆V型、A型、H型、門型の4つの立体骨組構造とする。これら4つのタワー形状は水平梁の高さおよび長さが異なる。各タワー形状の基本寸法を表-1に示す。これらを基本タワーモデルと呼ぶこととする。

また解析モデルに関して、各タワーは全て、高さ60m、タワー基部の幅18m、基部は固定とする。斜張橋の補剛桁、ケーブルの影響を考慮し、ケーブルを水平ばね要素でモデル化し、ケーブル定着部に補剛桁の自重を鉛直下向きに作用させる。ケーブルは両側合計8本とし、死荷重は全長514mと想定した斜張橋から算定し、荷重250tfをケーブル定着部8ヶ所に作用させた。動的解析を行う場合はケーブル1本あたりのばね定数として3,000tf/mを基準としている。タワーの断面は図-2に示すような3.5m×2.4m、板厚25mmの長方形断面である。また、タワーに作用する地震力を軽減するために、鋼斜張橋タワーの水平梁中央部に鉛直方向の変形を許す装置（免震デバイス）を挿入する。免震デバイスの解析モデルとしては、水平梁中央部に水平2方向、鉛直方向、回転3方向のばね要素を取り入れ、鉛直方向には、十分小さなばね定数（1.0tf/m）を設定し、その他は剛な結合条件を表すように十分大きなばね定数（ 1.0×10^6 tf/m, tfm/rad）を設定した。

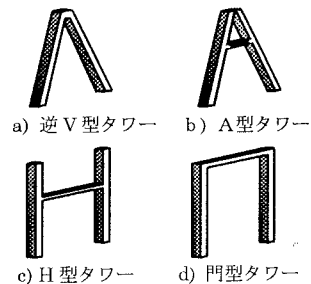


図-1 タワーモデル

表-1 各タワーの詳細

	水平梁の高さ	水平梁の長さ
逆V型	60m	6m
A型	40m	10m
H型	40m	18m
門型	60m	18m

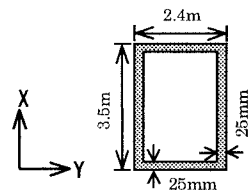


図-2. タワーの断面

3. 解析方法

本研究で採用した弾塑性有限変位動的応答解析法は、鋼材の降伏および幾何学的非線形性の影響を考慮したはり柱要素の有限要素法（変位法）と Newmark β 法（ $\beta=0.25$ ）および修正 Newton-Raphson 法を採用した方法である。弾塑性有限変位解析に際しては、鋼材の応力-ひずみ関係をバイリニア型にモデル化する。降伏応力度を $24,000\text{tf/m}^2$ 、弾性係数を $2.1 \times 10^7\text{tf/m}^2$ 、塑性域のひずみ硬化を 0.01 とする。構造減衰としては 1 次の固有振動モードに対する減衰定数 $h=5\%$ を基準とした。また、入力地震波は兵庫県南部地震 JR 鷹取駅記録の 3 成分加速度波形を用い、これをタワー基部の水平 2 方向、上下方向に作用させて時刻歴応答解析を行った。

キーワード：鋼斜張橋タワー、免震デバイス、パラメトリック解析

連絡先：北海道大学大学院工学研究科 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL：011-716-6170

4. タワー形状によるパラメトリック解析結果

4つのタワーモデルを対象として、タワー形状の変化による影響を以下のようにパラメトリック解析した。具体的には、逆V型タワーを起点として水平梁の高さの位置を5mピッチで徐々に下げてA型タワーとし、水平梁の長さを2mピッチで長くしてH型タワーにする。次にH型タワーの水平梁の高さを5mピッチで上げて門型タワーとし、水平梁の長さを3mピッチで短くして逆V型タワーにする方法で4つのタワーを関連づけた。

図-3はそれぞれ基本タワー（免震デバイスなし）、免震デバイスを挿入したタワー形状を変化させた場合のタワー頂上における橋軸および橋軸直角方向最大変位を示す。横軸は水平梁の高さと長さの変化を表す。橋軸直角方向変位に関して、基本タワーでは、門型タワー付近の形状が最も大きな応答変位を示すことが分かる。一方、免震デバイスを挿入した場合、門型に近いタワーではあまり最大変位の変化は見られない。しかし、小さな応答を示していたA型タワー付近の応答変位が増大する傾向がある。橋軸方向に関して、最大変位に大きな変化は見られない。

図-4はタワー形状とタワー基部における橋軸および橋軸直角方向の最大曲率との関係を示す。橋軸直角方向に関して、基本タワーではH型付近のタワーを中心に大きな応答を示めることが分かる。これに対して、免震デバイスを取り入れたタワーでは、全体的に最大曲率は小さくなる傾向にある。しかし、A型に近いタワー形状では最大曲率が増大することが確認される。橋軸方向の最大曲率に関して、免震デバイスによる影響は見られなかった。

図-5、図-6はタワー形状とタワー基部に発生する軸力の最大値および最小値の関係を示す。図-5から、基本タワーではいずれのタワー形状とも大きな最大軸力を示していることが分かる。一方、免震デバイスを挿入することにより軸力の最大値は低下することが確認できる。図-6から、基本タワーには大きな負反力が発生していることが分かる。このことからアンカーボルトの引き抜き現象が懸念され塔基部の安全性が問題となる。しかし、免震デバイスを挿入したタワーでは最小値が負の値から正の値へと移り、負反力が生じる可能性がなくなるものと考えられる。

5. あとがき

本研究で得られた結果をまとめると、鋼斜張橋タワーは形状によってその応答変位、曲率、軸力が複雑に変化することが分かった。また、最大変位、最大曲率ともに免震デバイスの有無による橋軸方向の変化はあまり見られなかったが、橋軸直角方向に関しては免震デバイスの影響が見られた。全体的に最大変位は大きくなり、最大曲率は減少する傾向が見られた。また、軸力に関しても基本タワーでは最大軸力は大きく、また基部に負反力が生じていたが、免震デバイスを挿入することで最大軸力は軽減され、負反力も解消される可能性があることを示した。

参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会：第1回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、1998.1.
- 2) 林川俊郎・芳賀康司・大嶽敦郎・平沢秀之：3成分大地震動を受ける鋼製タワーの非線形応答解析、土木学会北海道支部論文報告集、第号(55)、pp.116-119、1999.2.

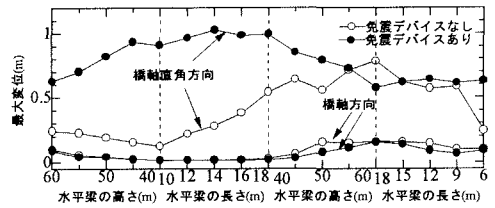


図-3 タワー形状と最大変位の関係

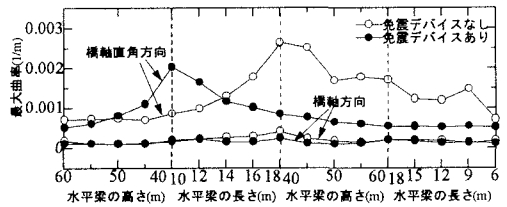


図-4 タワー形状と最大曲率の関係

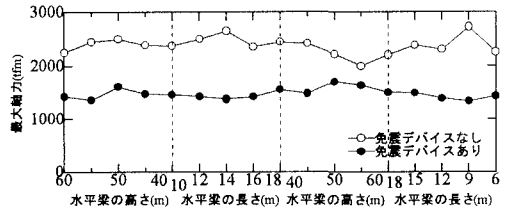


図-5 タワー形状と最大軸力の関係

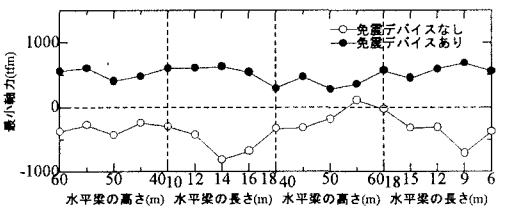


図-6 タワー形状と最小軸力の関係