

長大吊橋橋梁における地盤の移動を考慮した主塔の安全性の一考察

中央大学 学生員 蔦 広輝
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1.はじめに

今後に向け、長大吊形式橋梁を中心とする海峡横断プロジェクトが計画されている中、我が国の環境下で耐震安全性の確保は必要不可欠である。特に、兵庫県南部地震での当時施工中だった明石海峡大橋の主塔が約1m動いた報告があり完成後についても、基礎の移動が上部構造に与える影響を考慮した耐震性の検討を行う必要がある。本研究では静的線形解析、動的非線形解析を行い、主塔基部が地盤破壊に伴う基礎の支点移動が及ぼす影響について、解析結果をもとに安全性の比較、検討を行った。

2.静的線形解析

解析対象としたモデルは、図1に示すような中央径間長3000m、側径間1500mの3径間連続補剛吊橋である。使用材料は補剛桁、主塔の水平部材がSM400、主塔の塔柱がSM570を使用し、主ケーブルはST1770、ハンガーはST1570を用いる。また、補剛桁と主塔はBEAM3D要素、主ケーブル及びハンガーは引張のみに抵抗するTRUSS3D要素とした。

荷重ケースとしては、死荷重・活荷重・ケーブル温度荷重により主塔断面力を算定する。本四基準に基づき、活荷重に関しては等価L荷重、ケーブルの温度荷重に関しては30とした。また、活荷重の載荷方法は、全長にわたり一定とした等分布荷重を用いることとし、主塔に発生する曲げモーメントが最大となるよう主径間と片側径間(P1側)に載荷した。なお支点条件としてはすべての支点において固定とした。

3.動的非線形解析

設計地震入力波は、道路橋示方書耐震編に示される種地盤用の加速度応答スペクトルを用いる。主塔基礎に関しては直接基礎で支持し、図1に示す主塔基礎(P1)の地盤と基礎をバネで結合した。また地盤の支点移動との比較を行うためアンカレイジ(A1、A2)、主塔基礎(P2)に関しては固定とする。部材の減衰定数に関しては、構造物は2%、地盤バネは20%とした。また補剛桁と主塔材の応力ひずみ関係は完全弾塑性型、主ケーブル及びハンガーはバイリニア型を仮定した。

4.地盤変位モデル

地盤の支点移動としては、主塔基礎(P1)に単位の変位を仮定し、主塔の変形及び断面力によってその影響を考慮することとする。解析ケースとしては、P1が橋軸方向(P2側)に単位移動量1m、逆方向(A1側)に1m、橋軸直角方向に1m移動するといったケースを仮定する。静的線形解析、動的非線形解析をそれぞれのケースで行い、静的線形解析においては、塔基部に変位を与えた状態で解析を行う。また動的非線形解析においては、最大加速度時直後に支点が強制的に剛体移動するものと仮定し、単位移動量を与えるものとする。

5.安全性評価

主塔の安全性を次式に示す耐力照査式により比較・検討を行う

$$r = n P / P_{cr} + n M_y / \{ M_{ya} (1 - n P / P_{ey}) \} + n M_z / \{ M_{za} (1 - n P / P_{ez}) \} \leq 1.0$$

r : 安全指数、 n : 安全率、 P : 作用軸圧縮力、 P_{cr} : 軸圧縮強度、 M_y 、 M_z : 作用曲げモーメント

M_{ya} 、 M_{za} : 降伏曲げモーメント、 P_{ey} 、 P_{ez} : オイラーの座屈荷重

キーワード : 長大吊橋、地盤移動、耐荷力、安全性

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 設計工学研究室 Tel:03-3817-1816

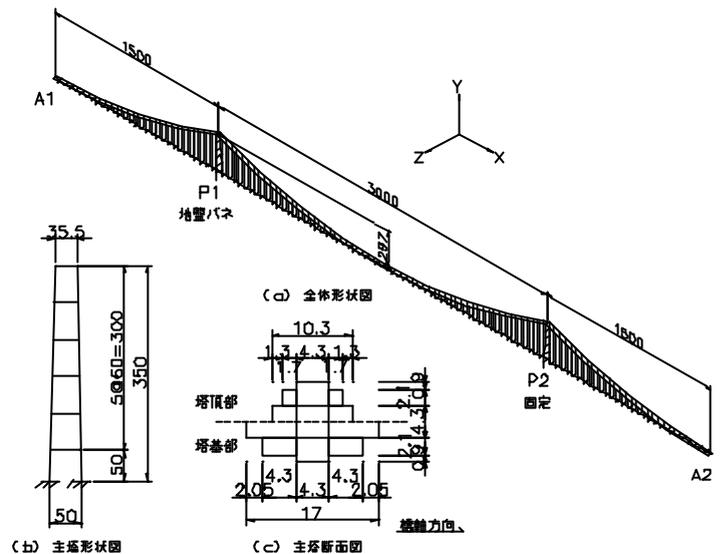


図1 吊橋の基本モデル (単位 : m)

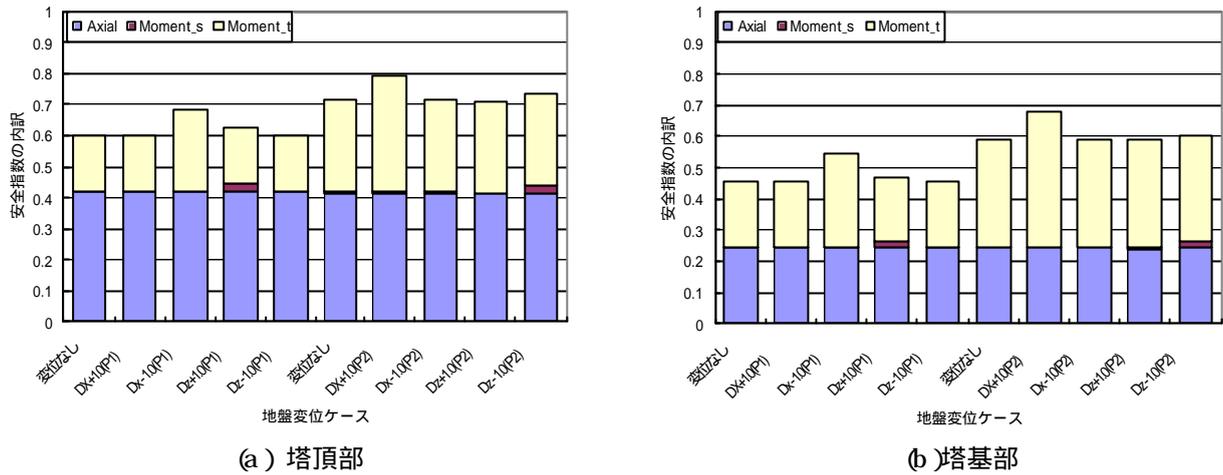


図2 地盤変位による安全指数の影響(静的解析)

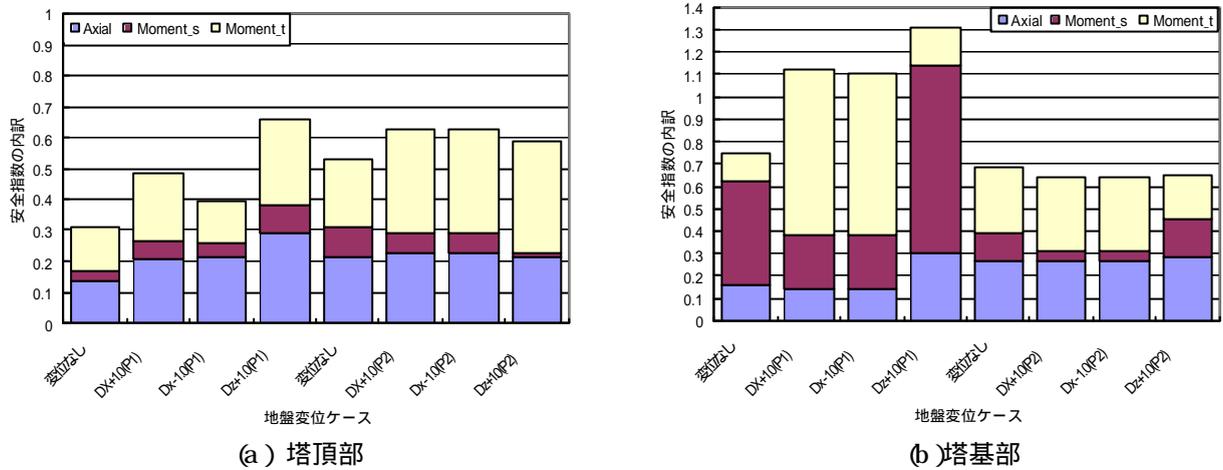


図3 地盤変位による安全指数の影響(非線形動的解析)

6. 照査結果

地盤変位による主塔の安全性の照査結果を図2, 3に示す。図2(a), (b)の静的解析による安全指数を見ると、橋軸および橋軸直角方向曲げモーメントに比べて軸圧縮力が卓越していることがわかる。地盤変位による影響においては、P1, P2ともに中央径間側への支点移動による影響がなかったため、P1基部にDx-1.0m、P2基部にDx+1.0m変位を与えた結果とする。また、橋軸直角方向の支点移動に関してはP1, P2基部にDz+1.0mの変位を与えた。塔頂部材、塔基部材の安全指数をみると、支点移動を与えた主塔に関して安全指数の増加がみられたが、それに伴う一方の主塔に関しては、増加量はわずかであった。また活荷重を載荷していないP2の支点移動による安全指数への影響が橋軸、橋軸直角方向ともにP1に比べると大きいことがわかる。安全指数の内訳をみると、軸圧縮力の安全指数の変動は見られなかったが、曲げモーメントの変動が卓越している結果となっている。全体的には主塔の安全指数にあまり影響を及ぼすとは言い難い結果となった。

次に図3(a), (b)の非線形動的解析による安全指数をみると、塔頂部材に関しては橋軸方向の曲げモーメント、塔基部材に関しては橋軸直角方向の曲げモーメントが卓越していることがわかる。地盤変位による影響においては、基部を地盤バネで支持し、単位移動量を与えたP1の安全指数の増加量が大きく、P2に関してはあまり影響を及ぼさなかった。安全指数の内訳をみると、塔頂部材に関して、橋軸方向の支点移動に伴う影響としては、橋軸方向曲げモーメントの変動比率が大きく、一方橋軸直角方向の支点移動に伴う影響としては、橋軸直角方向曲げモーメント及び軸圧縮力の変動比率が大きいことがわかる。塔基部材に関しては、塔頂部材と同様の結果が得られるが、曲げモーメントの変動比率が大きいこと、安全指数に大きく影響を及ぼす結果となっている。これは地盤移動をおこした状態で、なおかつ連続的に地震動の影響を考慮しているためであり、その結果塔基部には、さらに付加曲げモーメントが発生したからであると考えられる。

【参考文献】

- 1 野上 斎藤・長井 藤野 超長大橋の終局強度に着目した主ケーブル、ハンガー及び主塔の安全率の合理化、土木学会論文集、2000
- 2) 中村 鋼・コンクリート合成主塔の長大吊橋の適用、構造工学論文集、2000