

コンクリート製主塔を有する吊橋基礎の耐震設計

日本技術開発株式会社 正会員 涌田充裕 正会員 吉川悟司
正会員 宮本宏一

1. 検討目的

地震時における直接基礎の挙動の評価手法として、道路橋示方書では等価線形化法が、明石海峡大橋下部構造安定計算要領(案)では、鋼製主塔を有する剛体基礎を対象として、応答速度による転倒照査手法等が示されている。

コンクリート製主塔を有する吊橋剛体基礎の耐震検討を実施するに際して、主塔の剛性と重量が大ききことによる L2 地震時の転倒、主塔と基礎の周期帯が近似するため練成作用による主塔応答値の増加等が懸念された。

主塔と基礎の L2 地震時の挙動を把握し安全性を確認することを目的として、基礎底面の浮上り非線形を考慮した時刻歴非線形動的解析を実施した。

2. 検討条件

コンクリート製主塔は剛性・重量が大きく、従来の剛体 2 自由度モデルの適用性に問題あること、主塔の地震時挙動も把握すべきとの判断から、主塔と基礎を一体でモデル化した。(図-1)

支点条件は塔頂バネと基礎バネとし、地盤の材料非線形の影響は、支持地盤が岩盤であるため強度と減衰のひずみ依存性は小さいと考え、基礎バネは非線形弾性のバイリニア型として定義した。

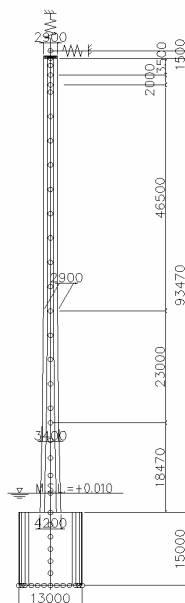


図-1 解析モデル

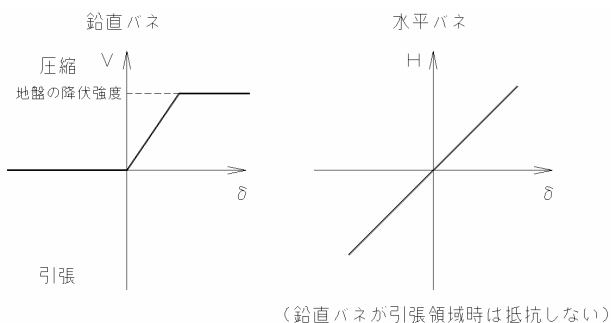


図-2 地盤バネモデル

なお、基礎バネは浮上りの影響を考慮するために、基礎底面に設定した仮想水平部材に離散系バネとして定義し、鉛直バネが引張り時には、鉛直バネ・水平バネ共に抵抗しないモデルとした。(図-2)

塔頂バネはケーブルのみの全橋モデルを作成し、塔頂部に荷重を作用させたときの荷重-変位の関係から設定した。(図-3)

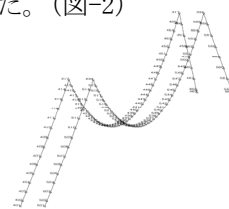


図-3 全橋ケーブルモデル

支持層は降伏強度 11000KN/m² 以上の CM 級の頁岩である。(表-1)

表-1 支持層の地盤定数

岩質	岩級	C (KN/m ²)	Φ (度)	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
頁岩	CM	3800	35	4.18	2.00

以上の解析モデルにより、図-4 に示す L2 地震波を入力し、L1 地震時で線形動的解析により設定した基礎形状に対し耐震性の検討を実施した。

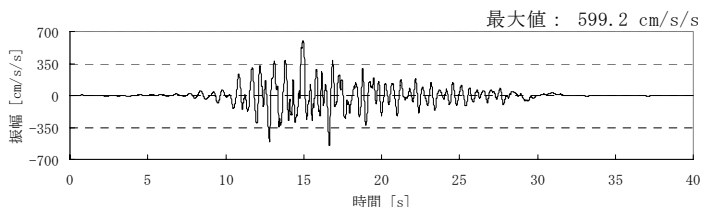


図-4 設計地震波

なお、本検討では時刻歴応答解析においてモード減衰が考慮可能な DYNA2E を使用した。

3. 検討結果

解析の結果、入力加速度が水平方向のみであるにも関わらず、応答鉛直反力の増減が確認された。

解析の妥当性を検証するために、基礎底面における M-θ の関係が、道路橋示方書参考資料に示される浮上り非線形の M-θ 関係に近似するか確認することにした。ここで、道路橋示方書では地盤反力度の上限値の影響は考慮しておらず、今回の解析結果でも地盤は降伏していないため、両者は良好な相関を示すものと考えたためである。なお、基礎底面のモーメントは以下のように定義した。

$$M = V \cdot e = \sum q_i \cdot \Delta b \cdot L_i$$

V ; 基礎底面作用鉛直力

e ; 合力の作用位置

q_i ; 基礎底面鉛直バネの反力

L_i ; 基礎中心から q_i までの距離

Δb ; 分布バネ幅

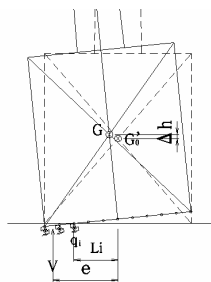


図-5 基礎底面Mの定義

解析結果を図-6に示す。道路橋示方書の $M-\theta$ 関係は鉛直力に依存して変更され、各時刻における鉛直反力に対応する $M-\theta$ 曲線を作成すれば、解析結果と合致し、鉛直反力の増減により応答 $M-\theta$ は履歴曲線を描くことが確認できた。したがって鉛直反力の増減が妥当であれば、基礎の挙動は正當に評価できているものと考えた。

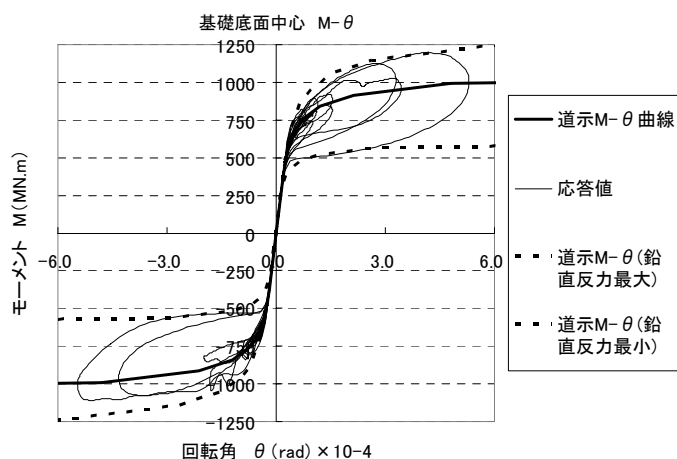


図-6 解析結果

鉛直反力の増減は以下のように考察し、解析が妥当であり、L2地震時の挙動を評価できているものと判断した。

- 鉛直変位と回転変位の周期は同期している。よって、鉛直変位は回転変位による浮上りに起因する。
(応答鉛直変位は妥当である。図-7)
- 鉛直変位は応答鉛直加速度の2回積分と合致する。
(応答鉛直加速度は妥当である。図-8)
- 応答鉛直加速度と応答鉛直反力の増減周期は近似しており、鉛直反力の増減は鉛直変位により生じる鉛直加速度に起因すると考えてよい。(図-9)

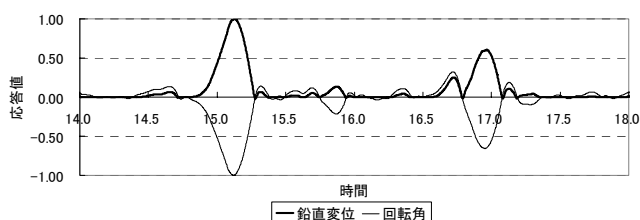


図-7 基礎重心変位

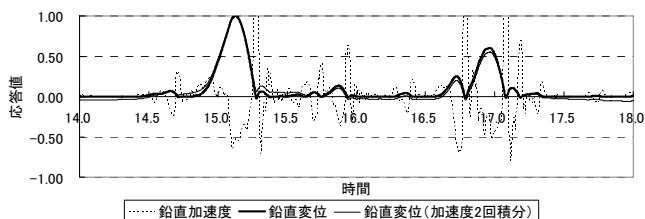


図-8 基礎重心 鉛直変位—鉛直加速度

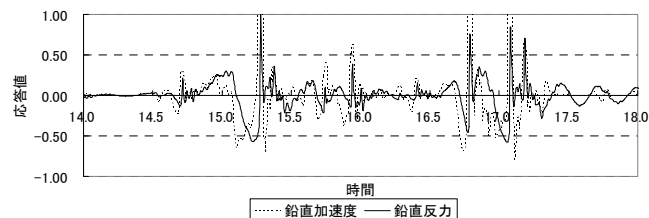


図-9 基礎重心 鉛直加速度—鉛直反力

解析の結果から、浮上りにより基礎が転倒に至ることが無いこと、支持地盤に塑性化が生じないことを確認した。また、地震時に浮上ることにより接地面積が減少することによる有効載荷面積の減少と鉛直反力の低減を考慮しても基礎が滑動することはないことを確認した ($H_u < C_B A_c + V \tan \phi_B$)。以上から、L2地震時の耐震安全性を確認し、L1地震に対して設定した基礎寸法でL2地震時の安全性が確保できるものと判断するに至った。

また、主塔基部に生じる応答値の増加も僅かであり、問題ないことが確認できた。

4. 終わりに

今回の解析では、加速度応答には誤差の影響が大きかったことから、変位応答に変換することで妥当性を検証した。加速度応答の誤差の原因としては、浮上り時の鉛直バネ剛性急変による不平衡力の影響等が考えられる。

支持地盤が比較的堅固であったにも関わらず、基礎底面の最大浮上り量は20mm以下、最大応答回転角は 5×10^{-4} rad以下であり転倒に至ることはないことが確認できた。一方、接地面積は最小15%程度まで減少する結果となったが、サクシオン効果の影響が考慮されておらず、今後の課題である。また、地盤が降伏する場合には、繰返荷重による地盤の強度低下の影響や、降伏範囲の評価手法等が課題となる。

《参考文献》

- 道路橋示方書 I ~ V
- 明石海峡大橋下部構造安定計算要領(案)
- 来島大橋剛体基礎耐震設計法(案)
- 川島一彦、運上茂樹、清水英之、向秀毅：上部構造を考慮した大型剛体基礎の地震時転倒解析法 土木技術資料 36-2(1994)