

本州四国連絡橋公団

正員 榎波義幸

日本建設コンサルタント(株)

正員 ○ 添田勝雄

1. まえがき

近年我国では多くの長大スパン吊橋の建設が計画されており、一部はすでに実現している。この一連の吊橋は、高張力鋼等の使用にとまらぬ、構造面では多くの進歩が見られる。塔柱について述べれば、セル数が少なくシリアルとなりフレキシブル性に富み利点が多くなって来た。しかしながら、塔柱基部において、コンクリート橋脚への応力分散に苦慮する所も出て来た。本文は、この異質な材料の節点である塔基部を取上げ、一体変形についての解析をした。この解析法は、コンクリート橋脚を半無限版とし、塔基部補強構造(鋼)を面外格子として取扱い、両構造の剛性マトリックスを合成して一体解析を行うものである。

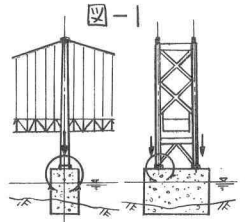


図-1

2. 構造概要

一般に吊橋の塔柱は、図-2のように鋼構造で構成されている。従って塔基部においては、コンクリート橋脚の項版に応力が伝達しやすく図-3のように格子状の補強構造を設けている。一方、コンクリート橋脚の項版上部には、塔からの大きな荷重を底板を介して受けている。(底板は、塔柱とは一体ではなく、塔基部構造の変形にはあまり影響せず、局部的な応力の分散にのみ役立っている。)又、

図-2 (中間部断面)

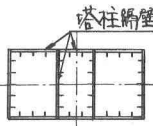
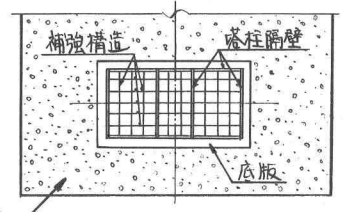


図-3 (塔基部断面)



コンクリート橋脚項版の表面付近には多少鉄筋で補強されているが、コンクリートの強度が大きく変わるものではない。一般に、中央径間1000Mクラスにおける塔基部での鋼板の材質はSM5B相当が多い。それに対し、コンクリートの強度が $f_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$ 相当の材料を使用するとすれば、許容応力度での強度比は2.6となる。従って、この2.6倍もの応力分散が、図-3の様な構造でしか分散するか、それを可能にする補強構造は、又、補強構造の剛度はどれ位必要か等を調べるのが本文の目的でもある。

3. 解析概要

塔基部の補強構造は、格子状に構成されたせん断伝達構造であるから、次のようなせん断変形の式を用いる。

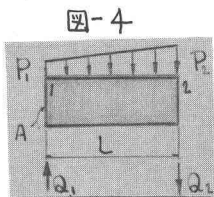


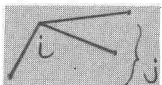
図-4

$$Q_1 = GA \cdot \frac{w_2 - w_1}{L} + \frac{1}{6} \cdot (2P_1 + P_2) \quad \text{--- (1)}$$

$$Q_2 = GA \cdot \frac{w_2 - w_1}{L} - \frac{1}{6} \cdot (P_1 + 2P_2) \quad \text{--- (2)}$$

i点での釣合式は(3)式のようになる。

図-5



$$\left(\sum_j \frac{GA_{ij}}{L_{ij}} \right) w_i - \sum_j \frac{GA_{ij}}{L_{ij}} w_j = w_i + \sum_j \frac{L_{ij}}{6} (2P_i + P_j) \quad \text{--- (3)}$$

一般化されたせん断変形の式をマトリックス表示すれば、(4)式となる。

$$[P] = [A] \cdot [w] \quad \text{--- (4)}$$

[P] ; 荷重マトリックス

[A] ; せん断剛性マトリックス

[w] ; 変形量マトリックス

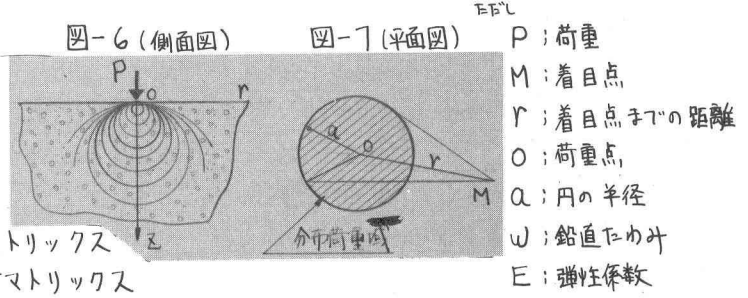
コンクリート橋脚については、いろいろの検討の結果、半無限版として取扱うことが一般性ある解法として適していることがわかり、Boussinesq によつて与えられた弾性解¹⁾を使用した。一般式は(5)式である。

$$w = \frac{4(1-\nu^2)q_0 r}{\pi E} \left[\int_0^{\frac{r}{a}} \sqrt{1-(a^2/r^2)} \sin^2 \theta d\theta - (1-\frac{a^2}{r^2}) \cdot \int_0^{\frac{r}{a}} \frac{d\theta}{\sqrt{1-(a^2/r^2)} \sin^2 \theta} \right] \quad \text{--- (5)}$$

(5)式をマトリックス表示すれば(6)式とおける。

$$[w] = [P] \cdot [B] \quad \text{--- (6)}$$

$[P]$; 荷重マトリックス
 $[B]$; 半無限版の撓性マトリックス
 $[w]$; 半無限版の変形量マトリックス



次に、塔のせん断格子と、コンクリート橋脚の半無限版を合成して一体解析を行うが、合成するには(6)式を(7)式のように変形しなければならぬ。(7)式は(6)式の両辺に $[B]$ マトリックスの逆マトリックスをかけた式である。これで(7)式と(4)式は、剛性マトリックスを持つ同様の式となる。

$$[P] = [B]^{-1} \cdot [w] \quad \text{--- (7)}$$

今、塔基部のコンクリート面下の変形が同じとすれば、 $[B]^{-1}$; 半無限版の剛性マトリックス

(4)式の $[A]$ マトリックスと(7)式の $[B]^{-1}$ マトリックスは、剛性マトリックスの合成が可能となり、

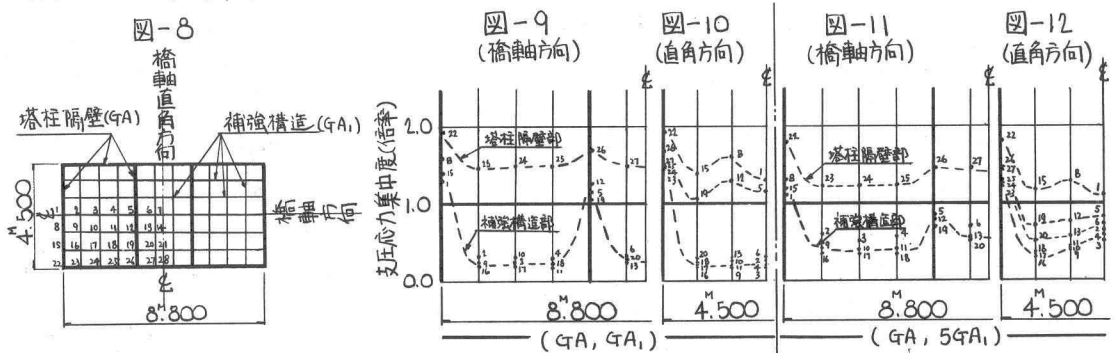
$$[P] = ([A] + [B]^{-1}) \cdot [w] \quad \text{--- (8)}$$

(8)式となる。同様にして(9)式が導かれ、一体解析の解が求まる。

$$[w] = ([A] + [B]^{-1})^{-1} \cdot [P] \quad \text{--- (9)}$$

4. 解析例

解析例としては、図-8のような構造モデルを使用した。まず、コンクリートの支圧応力度が、等分布応力度と仮定した状態に対し、どの位の集中度になるか調べた。(図-9, 10)又、補強構造のせん断剛度のみを変化させた場合はどうかを調べた。(図-11, 12) これらの結果から、補強構造をより剛にすれば支圧分布は分散する傾向にあるけれど、塔柱隔壁部には1.5~2.0倍もの集中度となっており、補強構造部の集中度は小さく、効果が少ないことがわかった。



おわりに、本論文に適切な助言をいただいた、本州四国連絡橋上部構造研究小委員会構造分科会の委員の方々に感謝の意を表します。

1) Theory of Elasticity ; S.D.Timoshenko, J.N.Goodier