

タワーステイを有する長大吊橋の解析

大同工業大学 正会員 事口壽男
大同工業大学 ○勝川隆之
大同工業大学 井納仁志

【はじめに】明石海峡大橋クラスの長大橋になるとタワーステイをとりつけて、その力学的挙動を改善できる場合がある。タワーステイの構造形式には種々であるが本文では吊橋タワー上でピン支持されたタワーステイを考える。吊橋のモデルとして明石海峡大橋を用いて、タワーステイが無い場合と、存在する場合について吊橋の力学的挙動の差異を比較するものである。なお計算は伝達マトリックス法を用いた。

【明石海峡大橋の概説】本州四国連絡道路のひとつ”神戸・鳴門ルート”の明石海峡大橋は、神戸市垂水区舞子と淡路島側の津名郡淡路島松帆との間に架かる橋長3,910m、中央支間長1,990m、主塔高さは海面上約297mの3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋である。(図1参照)

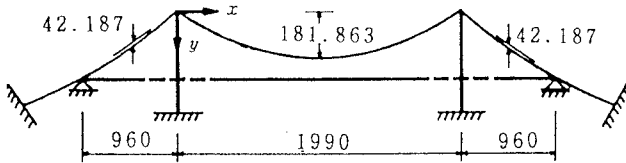


図1 明石海峡大橋の構造諸元

【基礎方程式】たわみ理論によると、図1に示す吊橋補剛桁のたわみ η に関する基礎方程式は次式で与えられる。

$$EI \frac{d^4 \eta}{dx^4} - (H_w + H_F) \frac{d^2 \eta}{dx^2} = q(x) - \frac{1}{R} H_F$$

ここに、 η : 補剛桁のたわみ $q(x)$: 分布活荷重強度

$R = H_w / \omega$: スパン中央におけるケーブルの曲率半径

EI : 補剛桁の曲げ剛度 ω : 死荷重強度

H_w : 死荷重によるケーブル水平張力

H_F : 活荷重によるケーブル水平張力

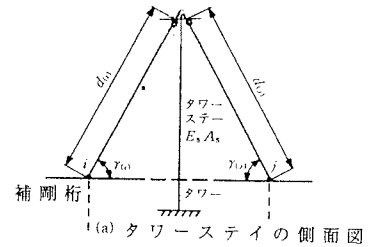
また、式(1)の H_F は未知であり、これを定めるためには、次式で与えられるケーブル方程式を満足させなければならない。

$$H_F \frac{L_R}{E_s A_s} + \alpha_t L_T - \frac{1}{R} \int_0^L \eta dx = 0$$

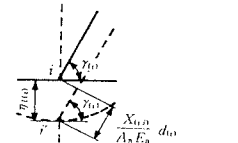
【タワーステイの取り付け】吊橋にはタワーステイやケーブルステイを取り付けて力学的挙動を改善する場合があり、その構造形式も種々なものが考えている。そのうち、最も簡単なものとして、図2(a)に示すようにタワーステイをタワーに固定し取り付けた場合を考える。タワーステイと補剛桁との変位の適合条件は、図2(b)より明らかなように、ステイ張力を $X_{(i)}$ とすれば次式で与えられる。

$$\eta^*_{i(i,j)} \sin \gamma_{(i,j)} = \frac{X^*_{(i,j)}}{E_s A_s} d_{(i,j)}$$

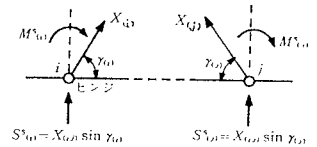
ここに、 $E_s A_s$: タワーステイの伸び剛度 $d_{(i)}, d_{(j)}$: ステイの長さ



(a) タワーステイの側面図



(b) タワーと補剛桁との変位



(c) 計算精度の向上のためのヒンジの挿入

図2 タワーステイを有する吊橋¹⁾

【結果と考察】表-1に明石海峡大橋の諸元を示す。解析した結果を図-3 たわみ曲線図と図-4 曲げモーメント図に示す。たわみ曲線図を見ると、タワーステーが無い場合よりも、ある場合の方がたわみの度合いの上下幅が小さくすんでいる。実際には、最大で63%にまで減少している。これは、明らかにタワーステーが設置されたことによるものである。タワーステーがあることにより、補剛桁が本来支えていた荷重が、減少したものと考えられる。次に曲げモーメント図だが、あまり変化がないように見えるが塔の支点部分の値がタワーステーがない場合よりもある場合の方が小さくなっている。これはステーが補剛桁に設置された部分である程度の荷重を支えることによりモーメントを小さく抑えているのではないと思われる。そして、せん断力もタワーステー挿入前と挿入後で約92%に減少している。また表にはしていないが、活荷重によるケーブルの張力を見た場合、中央支間に取り付けられたタワーステーには、約818(tf)の引張力が、また側径間がわには約976(tf)の圧縮力が掛かることが解析結果から解った。この場合、圧縮力はステーが座屈を起こしていることを示している。以上のことからタワーステーを挿入することは、たわみや、モーメント、せん断力を減少させるのに役立つであろうと思われる。

【あとがき】最後に、今回タワーステーを挿入した寸法を図-5に示す。今回は、タワーステーを4本挿入したことによる解析結果となったのだが、実際にはどの程度の規模のものに、何本のタワーステーを挿入すると効率がいいのか、ということが課題として残っている。しかし、今回の結果から見てもタワーステーを使うことは十分に考慮の余地があるとみても良い。

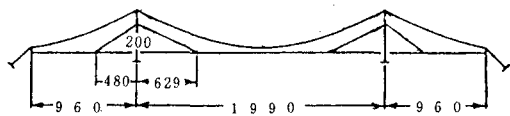


図-5 タワーステーの挿入位置

表-1 明石海峡大橋の諸元

明石海峡大橋	
補剛桁のE	$2.1 \times 10^7 \text{ (t/m}^2\text{)}$
ケーブルのEs	$2.1 \times 10^7 \text{ (t/m}^2\text{)}$
塔のEc	$2.0 \times 10^7 \text{ (t/m}^2\text{)}$
ケーブルのAc	$3.955 \text{ (m}^2\text{)}$
スパン	960, 1990, 960(m)
サグF	42.187, 181.836, 42.187(m)
塔長間勾配 β	0.2443, 0, 0.2443(rad)
線膨張係数 α	0.12×10^{-4}
死荷重強度W0	43.155(t/m)
断面2次モーメント	$25.73 \text{ (m}^4\text{)}$
集中荷重P	35(t)
等分布荷重Q	3(t/m)

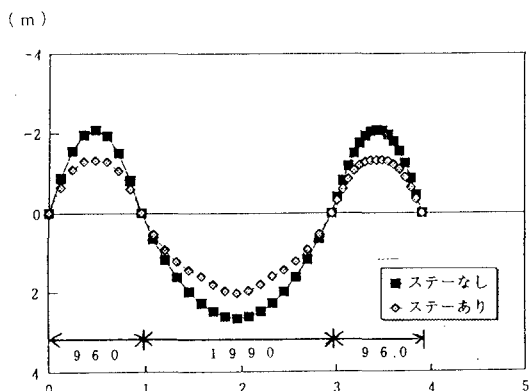


図-3 たわみ曲線

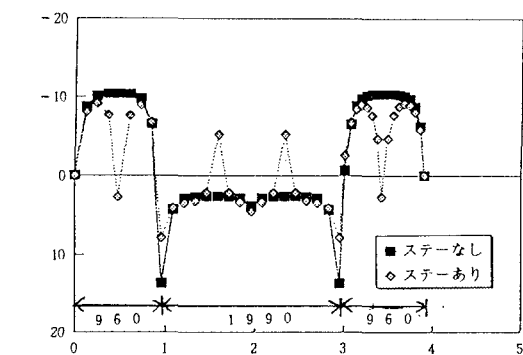


図-4 曲げモーメント図

- 【参考文献】 1) 「伝達マトリックス法による鋼橋の解析」 中井 博/事口 壽男 共著
2) 「明石海峡大橋」 本州四国連絡公団