

I-5 長径間を有する連続逆ローゼ橋の応力解析

専修大学北海道短期大学 正員 ○中村作太郎
室蘭工業大学 工学部 正員 松岡 健一
室蘭工業大学 工学部 田中 功

1. 序 論

単径間の逆ローゼ橋や連続桁式逆ローゼ橋の応力解析は、すでに行なわれており、光弾性実験解析との比較研究についても著者等により発表されているが、図-1に示すような本格的な連続逆ローゼ橋については、剛性ある連続部材を引張材とした自定式補剛吊橋すなわち、ローゼ型自定式吊橋の解法に準じて解析出来ることが大阪市の平野橋の計算例などから実証されているものの、本格的な連続逆ローゼ橋としての一般解法を試みた研究は見当たらないようである。

そこで、著者等は本格的な連続逆ローゼ橋の一般解法により解式を誘導し、室蘭港に架設計画中の白鳥大橋をモデルケースとして、長径間を有する3径間連続逆ローゼ橋の応力解析を試み、予期以上の好結果を収め、各径間の応力特性を見出したのでここに発表する次第である。なお、本研究には室蘭工業大学土木工学科昭和52年卒業生角柴二氏に協力頂いたことを付記し、感謝の意を表する次第である。

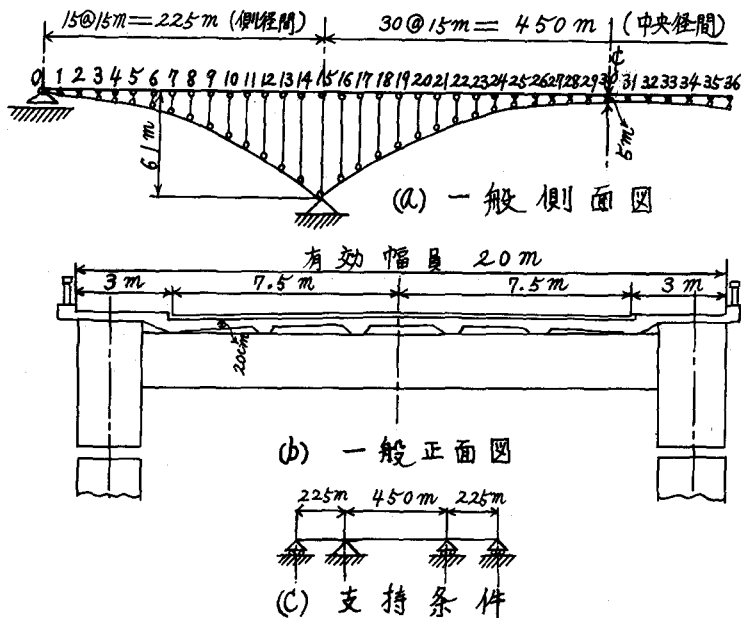


図-1 白鳥大橋をモデルケースとした長径間を有する連続逆ローゼ橋

2. 3径間連続逆ローゼ橋の応力解析

(1) 構造解析

本橋は外的には2次の不静定構造であり、内的には高次の不静定構造である。

図一2に示す通り、中間の2支点を取り去った場合を静定基本系とし、不静定反力 R_c, R_d をそれぞれ X_1, X_2 で表わし、静定基本系の荷重を取り去った型式に $X_1 = 1$ として載荷した場合を第1系とし、また $X_2 = 1$ として載荷した場合を第2系に選ぶこととする。なお基本系に属する各力を添字0で示し、第1系、第2系に属するものをそれぞれ、添字1, 2で示すこととすれば、各部材力 S は次のようになる。

$$S = S_0 + S_1 X_1 + S_2 X_2 \quad (1)$$

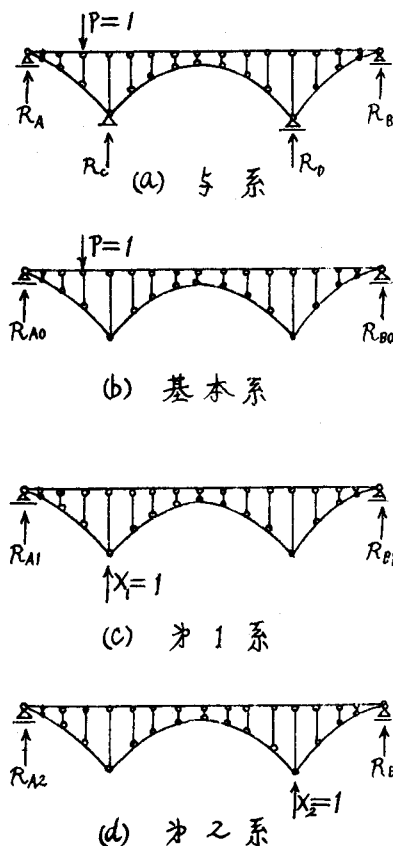
理論解析に用いた仮定はローゼ橋の弾性設計法に従い、次の通りとする。

- (a) 格間長入は全格間にわたり一定とする。
- (b) 荷重はすべて格点荷重とする。
- (c) 支柱の変形を無視する。
- (d) 格点間の弦材は直線部材とする。

また、解析に用いた記号を列記すると、次の通りとなる。

L : 支間, λ : 格間長, $(n+1)$: 格間数,
 O_k : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における上弦材の長さ,
 U_k : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における下弦材の長さ,
 α_k : 格間 $(k-1) \sim (k)$ において上弦材が支点 $(0) \sim (n+1)$ を結ぶ線となす角,
 β_k : 格間 $(k-1) \sim (k)$ において下弦材が支点 $(0) \sim (n+1)$ を結ぶ線となす角,
 h_k : k における支柱の長さ,
 A_k^0 : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における上弦材の断面積,
 A_k^u : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における下弦材の断面積,
 I_k^0 : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における上弦材の慣性モーメント,
 I_k^u : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における下弦材の慣性モーメント,
 I_c : 任意にある基準として選定した標準の慣性モーメント,
 O_k' : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における上弦材の換算長 $= O_k \cdot I_c / I_k^0$,
 U_k' : 格間 $(k-1) \sim (k)$ における下弦材の換算長 $= U_k \cdot I_c / I_k^u$,
 $U_k' = O_k' + U_k' = O_k \cdot I_c / I_k^0 + U_k \cdot I_c / I_k^u$,
 H : 弦材軸力の水平成分,
 M_k^0 : 上弦格点 k における曲げモーメント,
 M_k^u : 下弦格点 k における曲げモーメント,
 m_k : 格点 k における単純はりとしての曲げモーメント,
 Z_k : 格点 k における吊材応力,
 V_k^0 : 上弦格点 k のすぐ右側において上弦材に作用する垂直せん断力,
 V_k^u : 下弦格点 k のすぐ右側において下弦材に作用する垂直せん断力。

一般的なローゼ橋の構造解析における不静定量 $M_1^0, M_2^0, \dots, M_n^0$ および H を算出するための基本解式は、誘導の結果次式(2)によって示されるが、格点モーメント M_k^0 および M_k^u はともに部材を下向きに弯曲させようとするモーメントを正とし、角 α_k は左廻りを、角 β_k は右廻りを正とする。



図—2 3径間連続逆ローゼ橋の解析図

および,

実際の場合は、上弦材がほとんど水平と見なされるから、その断面を一定とし、更にその断面の慣性モーメントを基準として I_c とすれば、(2) および (3) 式は次のように書き換えられる。

ただし, $A_K = A^c$, $O'_K = O_K \frac{I_{O_K}}{I_{K_0}} = \lambda$, $n = 59$ (6)

従つて逆ローゼ橋の応力解は、Hの項を含む(4)式の示す59個の方程式群および未知量を全部含む(5)式を解くことに帰着するのである。不静定荷重 X_1 , X_2 が載荷された場合の部材力も同様にして求められる。(4)および(5)式をマトリックス表示すると、次式の通りとなる。

$$\begin{aligned}
 [A] &= \left[\begin{array}{c} \boxed{a_{11}, a_{12}} \qquad \qquad \qquad \boxed{a_{160}} \\ \boxed{a_{21}, a_{22}, a_{23}} \qquad \qquad \boxed{a_{260}} \\ \boxed{a_{32}, a_{33}, a_{34}} \qquad \qquad \boxed{a_{360}} \\ \hline \qquad \qquad \qquad \boxed{a_{5857}, a_{5858}, a_{5859}, a_{5860}} \\ \qquad \qquad \qquad \boxed{a_{5958}, a_{5959}, a_{5960}} \\ \boxed{a_{601}, a_{602}, \dots, a_{6057}, a_{6058}, a_{6059}, a_{6060}} \end{array} \right] \quad (8) \\
 [M] &= \left[\begin{array}{c} M_{11}, M_{12}, \dots, M_{159} \\ M_{21}, M_{22}, \dots, M_{259} \\ \hline M_{601}, M_{602}, \dots, M_{6059} \end{array} \right] \quad [D] = \left[\begin{array}{c} D_{11}, D_{12}, \dots, D_{159} \\ D_{21}, D_{22}, \dots, D_{259} \\ \hline D_{601}, D_{602}, \dots, D_{6059} \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

(a) 不靜定反力 X_1, X_2

不静定反力 X_1 , X_2 は基本系, 第1系, 第2系の各部材力を (4) および (5) 式を利用し, Castigliano の定理を用いて算出すれば, 次の通りとなる。

$$X_1 = \frac{d_{12} d_{20} - d_{22} d_{10}}{d_{11} d_{22} - d_{12} d_{21}}, \quad X_2 = \frac{d_{21} d_{10} - d_{11} d_{20}}{d_{11} d_{22} - d_{12} d_{21}} \quad (9)$$

(b) 上下弦材曲げモーメントおよび軸力の水平分力

上下弦材曲げモーメントおよび軸力の水平分力は重ね合わせの原理により求まる。すなわち、解式を示せば次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} M^o &= M_o^o + M_1^o X_1 + M_2^o X_2, \quad M^u = M_o^u + M_1^u X_1 + M_2^u X_2, \\ H &= H_o + H_1 X_1 + H_2 X_2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

(c) 支柱応力およびせん断力

上弦材の格点 K のすぐ右側に作用するせん断力は, $V_K^o = \frac{1}{\lambda} (M_{K+1}^o - M_K^o)$ (11)

下弦材の格点 K のすぐ右側に作用するせん断力は, $V_K^u = \frac{1}{\lambda} \{ M_{K+1}^u - M_K^u + H(h_{K+1} - h_K) \}$ (12)

格点 K における支柱応力は, $Z_K = V_K^o - V_{K+1}^o = \frac{1}{2} (2M_K^o - M_{K+1}^o - M_{K-1}^o)$ (13)

(2) 応力計算

設計条件, 電子計算機の利用とフロー・チャート, 応力計算の成果について順を追って述べる。

(a) 設計条件

形式: 3径間連続逆ローゼ橋, 支間: $225.0m + 450.0m + 225.0m = 900.0m$, 幅員: $20.0m$ (車道 $14.0m$, 歩道 $2 \times 3.0m$), 橋種: 1等道路橋, 床版: 鉄筋コンクリート床版, 舗装: シートアスファルト舗装, 鋼材: SM-58, 適要示方書: 鋼道路橋設計示方書, 鉄筋コンクリート標準示方書, その他: 港大橋工事誌ほか長大橋に関する各種資料, 逆ローゼ橋に関する参考文献等の適用。

(b) 電子計算機の利用とフロー・チャート

本橋のような長径間の連続逆ローゼ橋は多次元の不静定構造であるため, 北海道大学の大型電子計算機を使用し, すべて FORTRAN の機械語を用い, 図-3 に示すフロー・チャートにより計算を行なった。(連立方程式は 60 元)

(c) 応力計算の成果

応力計算の結果, 曲げモーメント M_K^o , M_K^u の影響線, せん断力 V_K^o , V_K^u の影響線, 支柱軸力 Z_K の影響線などを画いたほか, 水平分力 H の影響線, 曲げモーメントが最大の上弦材および下弦材の合成作用力, 水平分力が最大の上弦材および下弦材の合成作用力などを求め, その一部について掲載した。

すなわち, 図-4, 5 は上, 下弦材の曲げモーメントの影響線を示した図であり, 図-6 は水平分力の影響線図である。また図-7, 8 は曲げモーメントが最大の上, 下弦材の合成作用力を示した図であり, 図-9, 10 は水平分力が最大の上, 下弦材の合成作用力を示した図である。

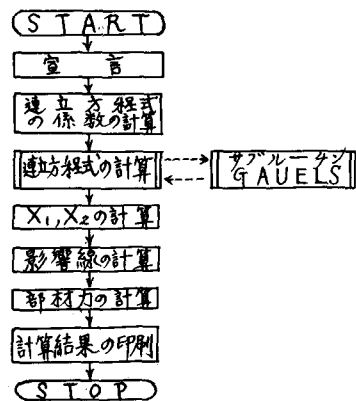


図-3 FLOW CHART

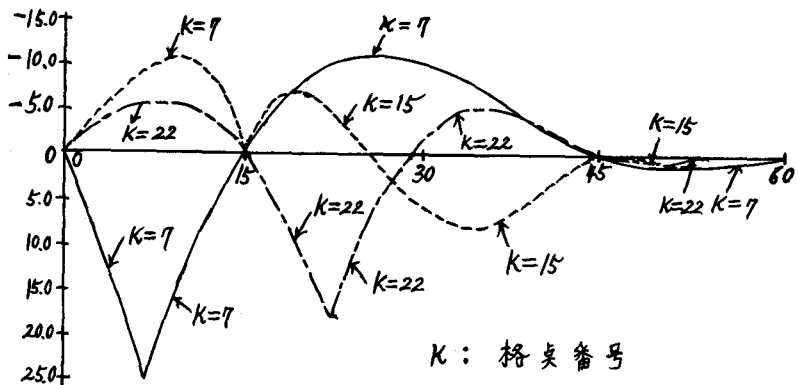


図-4 上弦材の曲げモーメント(M_K)の影響線図

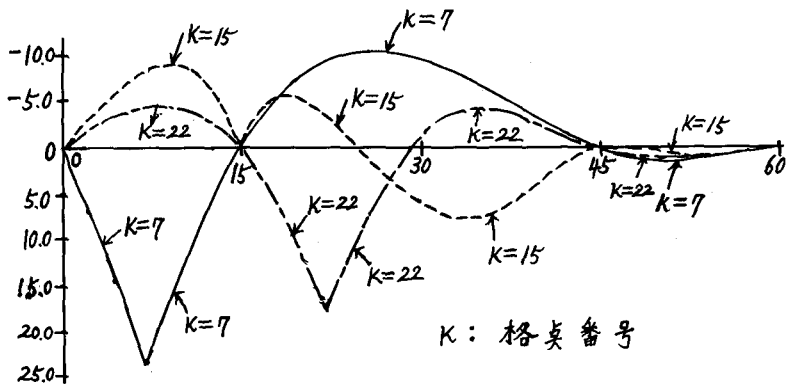


図-5 下弦材の曲げモーメント(M_K)の影響線図

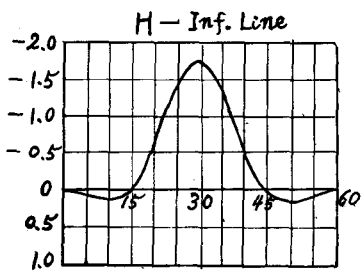


図-6 水平分力(H)の影響線図
(左右対称)

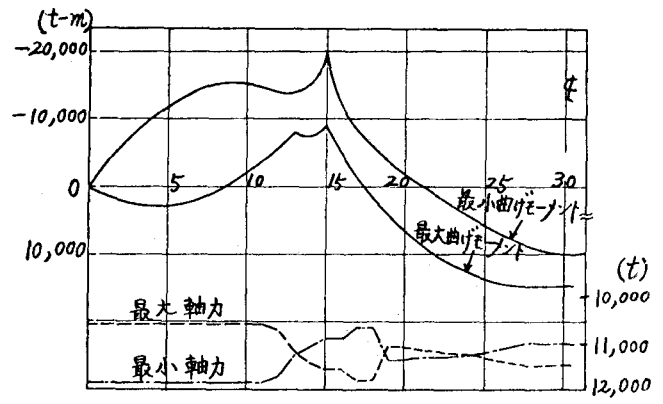


図-7 曲げモーメントが最大の上弦材の合成作用力図

3. 総 括

(1) 考 察

各格梁の曲げモーメント影響線は3径間連続橋のそれと類似しており、荷重分配率は約0.5 : 0.5であるから、上弦材および下弦材の影響線縦距はほぼ等しい値を示しているが、これは妥当な結果と思われる。

支柱軸力の算出は上弦材の曲げモーメントの値に左右されるが、支柱の各格梁の影響線は中間支梁以外では、格梁*k*における単位荷重の載荷影響は他の格梁に載荷された場合と異なり集中性を有している。

また、水平分力の影響線は支間中央支梁で対称形をなしているが、中間支梁の影響で格梁15から45の間以外の格間では、影響線縦距が正の符号となっている。

部材の算出に当っては、曲げモーメントが最大となる場合と水平分力が最大となる場合との二通りについて求めたが、これは弦材が曲げと軸方向力を同時に受ける部材であるためである。

それぞれの場合の最大および最小曲げモーメントは中間支梁付近で不連続となつてはいるが、これは死荷重による曲げモーメントの値と活荷重による曲げモーメントの値とを加算したものを合成作用力としたもので、その両者の最大値が各格梁によって必ずしも一致しないことと、その両者の符号が載荷状態によって反対の値をとるためと考えられる。

(2) 結 言

連続逆ローゼ橋の解法は、従来ローゼ型自定式吊橋の計算法に準じて解かれているが、連続逆ローゼ橋の本格的解析の可能なことを実証した点で意義があると思つてゐる。

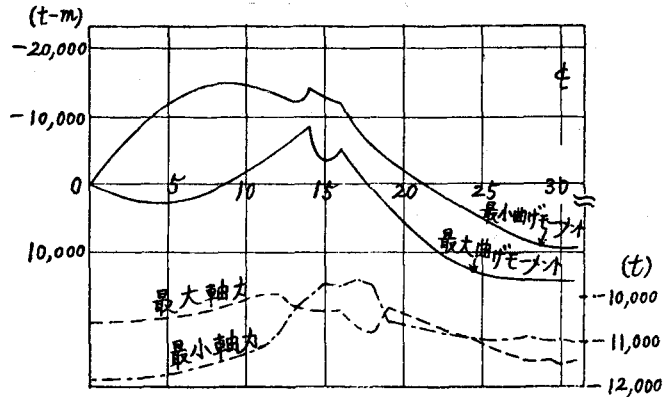


図-8 曲げモーメントが最大のときの下弦材の合成作用力図

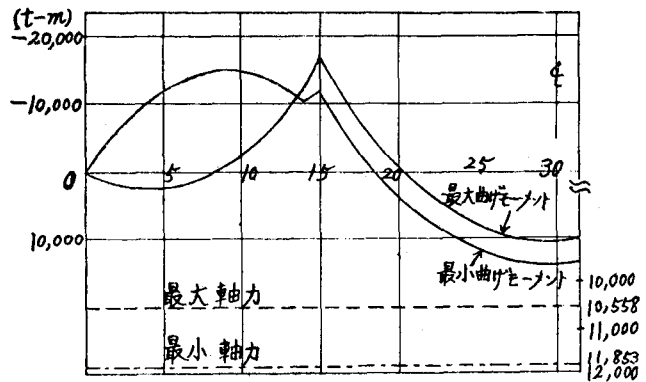


図-9 水平分力が最大のときの上弦材の合成作用力図

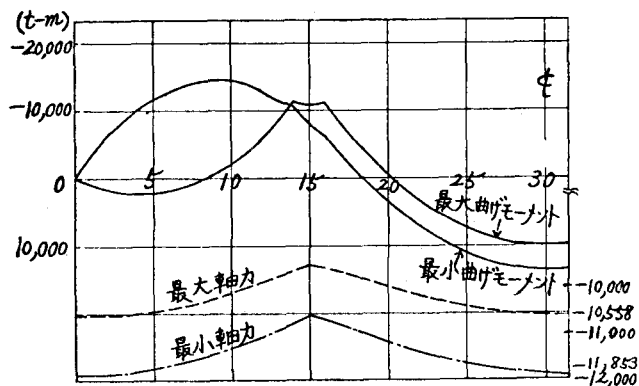


図-10 水平分力が最大のときの下弦材の合成作用力図