

ランガー水管橋上弦材の横座屈の実験と解析 (シングルコード)

三菱重工	神戸造船所	正員	矢野 謙
"	神戸研究所		今政修郎
"	技術本部	正員	大坂憲司
"	神戸造船所	"	高橋三郎
"	神戸研究所		新井浩一

一般にランガー橋などのアーチ系橋は、トラス橋と同様に2個の構面が上部縦構により結合されるが、4個の支承箇間に不等沈下のおそれがある場合、または橋面走行時の上部視野を広げるために、上部縦構を省いておのおの独立した構面を必要とする場合がある。とくに、水管橋のようにパイプビームの補剛型式としてランガータイプを採用する場合、構面を1個にすることにより経済性を高めることができる。こゝに水管橋を対象としたシングルコードランガー橋のアーチリブの安定性について報告する。

1. 理論的考察 トラス、ラーメンまたは混合形など任意の骨組構造物の弾性座屈荷重解析法について述べる。まず構造物を構成している部材の結合点には付番 i が、また部材には付番 k がつけられているとして記述を一般化しやすくしておく。部材の長手方向を基準とした部材固有の直交座標系と構造物全体に共通する直交座標系との座標変換関係を表わすマトリックスを R_{ik} とし、部材座標系に基づく軸方向の部材端力および軸回りのモーメントをベクトル $\bar{f}_{ik}$, $\bar{m}_{ik}$ 、さらに基準座標系に基づく軸方向および軸回りに作用する外力およびモーメントをベクトル $\bar{F}_i$, $\bar{M}_i$ で表わせば、平衡状態にある構造物の i 結合点の釣合方程式は、

$$\sum_k R_{ik} \cdot \bar{f}_{ik} + \bar{F}_i = 0, \quad \sum_k R_{ik} \cdot \bar{m}_{ik} + \bar{M}_i = 0 \quad \text{.....(1)}$$

と書ける。ここに $\sum_k$ は、 i 点に結合されるすべての部材について総和することと表わし、 R_{ik} , $\bar{f}_{ik}$, $\bar{m}_{ik}$ はすべて k 部材の i 端を基準とした i 点に関するマトリックスおよびベクトルであることを表わしている。

ところで、平衡状態にある構造物に微小な付加変位を与えたときに別の平衡状態が存在するとすれば、(1)式は高次の微少項を省略して

$$\left. \begin{aligned} \sum_k R_{ik} \bar{f}_{ik} + \sum_k R_{ik} \delta \bar{f}_{ik} + \sum_k \delta R_{ik} \cdot \bar{f}_{ik} + \bar{F}_i &= 0 \\ \sum_k R_{ik} \bar{m}_{ik} + \sum_k R_{ik} \delta \bar{m}_{ik} + \sum_k \delta R_{ik} \cdot \bar{m}_{ik} + \bar{M}_i &= 0 \end{aligned} \right\} \text{.....(2)}$$

と表わせる。(2)式に(1)式を代入すると、

$$\left. \begin{aligned} \sum_k R_{ik} \delta \bar{f}_{ik} + \sum_k \delta R_{ik} \cdot \bar{f}_{ik} &= 0, \\ \sum_k R_{ik} \delta \bar{m}_{ik} + \sum_k \delta R_{ik} \cdot \bar{m}_{ik} &= 0. \end{aligned} \right\} \text{.....(3)}$$

となる。 R_{ik} , $\bar{f}_{ik}$, $\bar{m}_{ik}$ は、結合点における基準座標の関数として表わされるから、結局、 δR_{ik} , $\delta \bar{f}_{ik}$, $\delta \bar{m}_{ik}$ は結合点における付加変位の1次関数として表わすことができる。すなわち(3)式中の1項は、付加変位による部材力およびモーメントの変化量であり、2項は付加変位が生ずる前の部材力の基準座標軸方向成分が付加変位によつて受ける

変化量である。結合式における釣合式③も構造物全体についてまとめれば、

$$F \cdot \bar{u} + P_E G \bar{u} = 0 \quad \text{--- (4)}$$

となる。ここに部材力は、外力に比例するとして基準外力に対する比例定数を P_E とおいて (4) 式を満足するのではない P_E と $\bar{u}$ が求める座屈荷重と座屈モードを表わすことになる。

本法の利点は、トラス、ラーメン構造も同様に一般的な骨組構造の座屈解析法として容易に数値計算が可能なることである。

2. 実験結果 上記計算式により、横倒れ弾性座屈を生じないもの model 1、生ずるもの model 2、を製作した。(写真 1)

model 1 は写真 2 に示す実橋の相似模型であり、座屈荷重以下でアーチリブが極限圧縮力に達する計算結果が得られたものである。載荷方法は格尺 8 箇所同等の集中荷重が作用するリンク装置を用いた。model 1, 2、とも剛結合 (図-1 No.1) として製作した。

model 1: 荷重 14 ton がアーチリブの曲がりが始まり、このときの圧縮応力は $2,450 \text{ Kg/cm}^2$ で比例限界とみられ、最終荷重 21.3 ton ($3,740 \text{ Kg/cm}^2$) で圧縮破壊を起した。理論上の座屈荷重は 93.3 ton 。

補剛桁部の弾性範囲内の変位は計算と一致し、model 2: 荷重の増加とともにアーチリブの変形が急激に増大したので最終荷重は 730 Kg にとどめた。計算値 630.4 Kg を大幅に上回ったのは、計算時の吊材の部材長に橋としての骨組線をとっているため、モデルの実長より長くなり、このため補剛桁取付近の吊材の剛性が上り、とくにアーチリブの端部においてアーチリブ変形の拘束が大きくなった結果と思われる。即ち設計上、安全側となる。

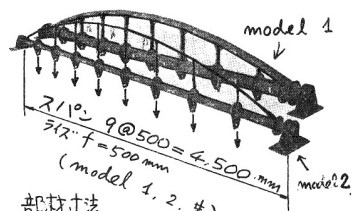
図-1 は剛結合とヒンジ結合の種々の組合せによる耐力の比較を示す。

3. 在来式との比較 吊材をもつアーチリブの座屈式として model 2 の解析値と比較すると、

座屈水平力 H_{cr} 本実験解析 $H_{cr} = 113 \text{ Kg}$ (座屈荷重 $= 630 \text{ Kg}$ と $L/t = 3$)、DIN 4114 $H_{cr} = 50.1 \frac{E I_y}{L^2} = 259 \text{ Kg}$ 、P. Stein $H_{cr} = 44.0 \frac{E I_y}{L^2} = 304 \text{ Kg}$ 、(ただし $\frac{L}{t} = 0.1$) となり、在来式は非常に安全側の値を与える。

参考文献 (1) P. Stein, Die Anwendung des „Durchbiegungsverfahren“ zur Ermittlung der kritischen Last von Bogenträgern beim Ausweichen senkrecht zu ihrer Ebene unter Berücksichtigung von biegeweichen Häusern. Der Eiseningenieur (1961) Heft 5 (2) 藤野 大政、補造物一般の弾性座屈解析法とその応用、1922 回土木学会年次大会講演集

写真 1 試験体



部材寸法	model 1	model 2
アーチリブ	76.3φ×2.9t	17.3φ×2.3t
吊材	48.6φ×2.4t	丸鋼 9φ
補剛桁	139.8φ×4.5t	76.3φ×2.9t

図-1 鉛直座屈荷重値の比較 (計算) W×8 Kg W: 格尺荷重

	model 1	model 2
No. 1	11,668 × 8 = 93,344 Kg	78.8 × 8 = 630.4 Kg
No. 2	776 × 8 = 6,164 Kg	53.4 × 8 = 427.2 Kg
No. 3	4,012 × 8 = 32,096 Kg	29.5 × 8 = 236.0 Kg

図-2 model 2 のアーチリブ変形モード

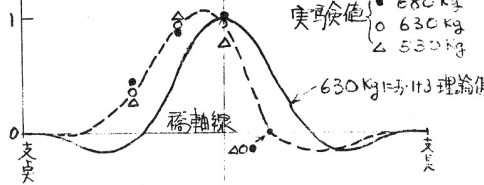
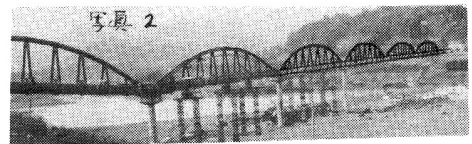


写真 2



大分県 (昭和井路地区) 大野川ササキ水管橋
橋長 51m 52m (21.5m) $L = 10 @ 9.96 = 99.6 \text{ m}$
6連
アーチリブ 600φ 矢高 $t = 12 \text{ mm}$
吊材 H 鋼 200 × 200 × 5 × 12
補剛桁 (水管) 1,300φ mm $t = 12 \text{ mm}$