(I － 4) 上路アーチ橋細部構造に生じる局部板曲げ応力のモデル化

木更津高専　学生員 ○鈴木雅晴 正員　佐藤恒明
関東学院大学　正員　倉西 茂
東北大学　正員　中沢正利
木更津高専　正員 嶋野慶次 学生員　須藤貴也

1. まえがき

近年の交通量の増大に伴って、上路アーチ橋の補剛桁下フランジやアーチリブ上フランジの支柱ガセット端部から亀裂が発生した事例が示されている[1)、2)]。補剛桁およびアーチリブと支柱はガセットプレートを介して接合されており、設計時のピン結合の仮定に対して曲げモーメントが伝達される構造である。橋梁全体の三次元的変形に伴ってガセットに作用する曲げモーメントをガセット両端部に作用する集中荷重で置き換え、ガセット端部のフランジに生じる局部的な板曲げ応力を平板モデルで評価することを試みる。

2. 平板モデル

ガセット端部のフランジに生じた亀裂から、ガセット端部に応力集中が起こると考えた。ガセット先端部を含んだフランジの一部を取り出し、図 - 1 に示すような 3 辺単純支持 1 辺自由端の平板を解く。

(1) 形　状　　: 平板の長さ a はガセットの長さ l_g 、幅 b は下フランジ幅の半分とする。

(2) 部分分布荷重 : ガセットに作用するモーメント荷重 M_g を等価な一対の集中荷重 P で置き換える。ガセットの板厚 t_g を一辺の長さとする正方形の面積に集中荷重 P を作用させる。

$$P = M_g / l_g \quad ; \quad q = P / t_g^2 = M_g / (l_g \cdot t_g^2) \qquad (1)$$

(3) 部分分布荷重が作用する 3 辺単純支持 1 辺自由端の平板に生じる板曲げ応力の解

誘導の全体的な流れを示すと次のとおりである。

① 境界条件を満足するたわみ形の式の誘導　② 板曲げのひずみエネルギー U の式の展開

③ 外力ポテンシャル V の式の展開　④ ポテンシャルエネルギー停留原理により未定係数 a_{mn} の決定

⑤ たわみ式から曲げモーメントおよび板曲げ応力の求解

境界条件を満足するたわみ形を $w(x,y) = t\sum\sum b_{mn}\cdot \sin(m\pi x / a)\cdot g_n(y)$ とする。ここで、$\sum\sum$は $m = 1 \sim \infty$, $n = 1 \sim \infty$ までの総和を表わす。はりの自由振動方程式の一般解[3)]の形を採用すると

$$g_n(y) = C_1\cdot \sin(\beta_{mn}\cdot y / b) + C_2\cdot \cos(\beta_{mn}\cdot y / b) + C_3\cdot \sinh(\beta_{mn}\cdot y / b) + C_4\cdot \cosh(\beta_{mn}\cdot y / b)$$

y 方向の境界条件から $C_2 = C_4 = 0$, $C_3 = X(m,n)\cdot C_1$ となる。$X(m,n)$を式(2)に示す。

$$X(m,n) = \frac{(\beta_{mn} / b)^2 + \nu (m\pi / a)^2}{(\beta_{mn} / b)^2 - \nu (m\pi / a)^2}\cdot\frac{\sin \beta_{mn}}{\sinh \beta_{mn}} \qquad (2)$$

$C_1 \cdot b_{mn} = a_{mn}$ とし境界条件を満足するたわみ形が式(3)で表される。

$$w(x,y) = t \sum \sum a_{mn}\cdot \sin(m\pi x / a)\cdot \{\sin(\beta_{mn}\cdot y / b) + X(m,n)\cdot \sinh(\beta_{mn}\cdot y / b)\} \qquad (3)$$

固有関数β_{mn} は式(4)の超越関数から求められる。

$$(\sin\beta_{mn} / \tanh\beta_{mn}) - \cos\beta_{mn} \cdot \frac{\{(\beta_{mn} / b)^2 - \nu(m\pi / a)^2\}\{(\beta_{mn} / b)^2 + (2-\nu)(m\pi / a)^2\}}{\{(\beta_{mn} / b)^2 + \nu(m\pi / a)^2\}\{(\beta_{mn} / b)^2 - (2-\nu)(m\pi / a)^2\}} = 0 \qquad (4)$$

ポテンシャルエネルギー停留原理から未定係数a_{mn}を求めて式(3)に代入し、たわみ式から曲げモーメントを求めると x 軸直交断面の板の上下面に生じる応力 σ_xが式(5),(6)から求まり、同様に σ_yも得られる。

$$M_x = D\, t \sum \sum a_{mn}\cdot \sin(m\pi x / a)\cdot [\sin(\beta_{mn}\cdot y / b)\cdot \{(m\pi / a)^2 + \nu(\beta_{mn} / b)^2\} + X(m,n)\cdot \sinh(\beta_{mn}\cdot y / b)\cdot \{(m\pi / a)^2 - \nu(\beta_{mn} / b)^2\}] \qquad (5)$$

$$\sigma_x = \pm\, 6\, M_x / t^2 \qquad (6)$$

D:曲げ剛性 $Et^3/12(1-\nu^2)$

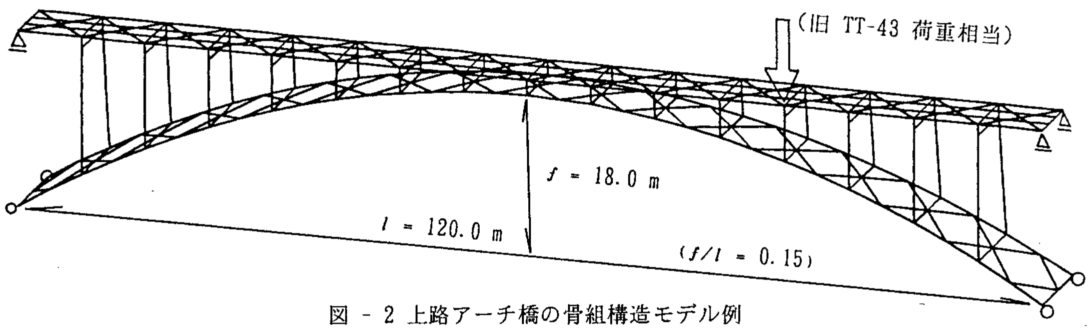

図 - 2 上路アーチ橋の骨組構造モデル例

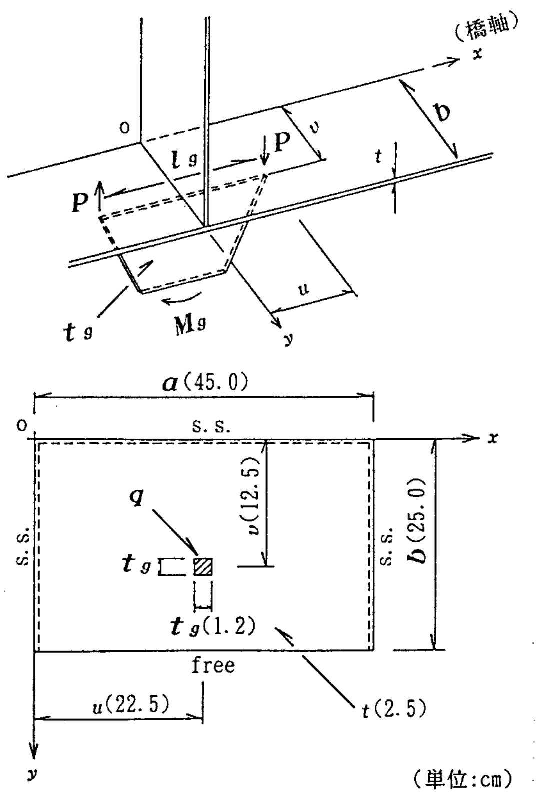

図 - 1 平板モデルと境界条件

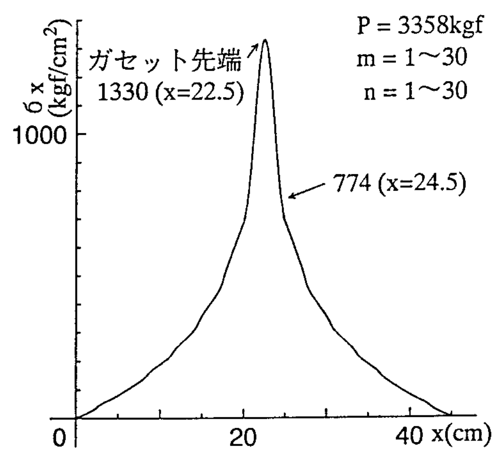

図 - 3 平板モデルによる板曲げ応力

3. 解析例および考察

図 - 2 に示す骨組構造モデルを作成し旧 TT-43 荷重相当をスパンの1/4点に載荷して直下のガセット一対に作用する $2 \cdot M_g \fallingdotseq 3.0$ tf・m を得た。式(1)によって置き換えた荷重を図 - 1 の( )値の平板モデルに載荷し、橋軸(x軸)直交断面の補剛桁下フランジ下面に生じる応力 σ_x を図 - 3 に示す。平板モデルは局部的な板曲げ応力を表現している。

4. 結論

ガセットが垂直補剛材を支点として剛体的な回転変形をし、ガセット端部のフランジに局所的な板曲げ変形を強制することに着目した 3 辺単純支持 1 辺自由端の平板モデルは、上路アーチ橋補剛桁下フランジのガセット先端部に生じる局部的な板曲げ応力の性状評価手法として有効である。

参考文献

1) 土木学会鋼構造委員会鋼橋の余寿命評価小委員会:鋼橋の劣化現象と損傷の評価,土木学会論文集,No.501/I-29, pp.21～36, 1994.10.

2) 名取暢・浅岡敏明・稲田育朗:鋼橋の補修・補強,横河ブリッジ技報,No.21, pp.63～90,1992.1.

3) 中沢正利・倉西茂・横幕清:種々の境界および荷重条件を統一的に考慮した弾性矩形板の線形座屈解析法,構造工学論文集,Vol.39A, pp.105～114,1993.3.