

横荷重あるいは偏心鉛直荷重をうける
単弦ローゼ桁橋の耐荷力について

大阪大学工学部 正員 小松定夫
大阪大学受託研究員 正員 〇小林 潔

① まえがき 単弦ローゼ桁橋を図-1のように、剛節骨組構造物にモデル化し、有限要素法により耐荷力の解析をおこなう。面外挙動が問題となる単弦ローゼ桁橋を対象とするため、立体弾塑性解析をおこなうが、断面は比較的ストックキーな断面であるため、幾何学的非線型性は比較的小さいとした。アーチ部材は部材軸方向だけでなく、断面方向にも分割し、降伏域のひびがりと残留応力の影響を考慮した。材料の非線型性に関しては、荷重増分前後の降伏域の変化による不釣り合い力を考慮し、初期応力法と接線剛性法をミックスした文献(1)の方法により解析した。

② 解析法 おもな仮定は、①材料は完全弾塑性材料あるいはひずみ硬化材料とする、②Misesの降伏条件に従い、降伏後の応力-ひずみの増分関係はPrandtl-Reuss則に従う、③アーチ断面は2重対称閉断面とする、④断面のどりが直ひずみ、せん断ひずみにおよぼす影響は無視する、⑤幾何学的非線型は考えない、である。仮定④によりひずみ変位の増分関係は次のようになる。

$$\Delta \varepsilon = \Delta u' - y \Delta v' - z \Delta w' \quad (1)$$

$$\Delta \sigma = E_s \Delta \theta_z \quad (2)$$

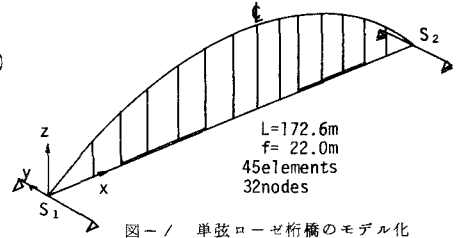


図-1 単弦ローゼ桁橋のモデル化

図-2に示すように薄肉要素とさらに分割して得られる「細要素」を用いても仮定④により、自由度は増加しない。いっぽう、軸力、2軸曲げ、ねじりをうける多軸応力状態においても、断面内の降伏域の境界を求めることが容易であり、残留応力の分布形状にも制限されない。ある荷重増分に対して、a)弾性、b)弾性から塑性に移行する、c)降伏している、各細要素に対して応力-ひずみの増分関係はそれぞれ次式を用いる¹⁾(図-3参照)

$$\Delta \sigma = \begin{cases} D_e \Delta \varepsilon & (3) \end{cases}$$

$$\Delta \sigma = \begin{cases} D_p \Delta \varepsilon & (D_p = D_e - D_a) \end{cases} \quad (4)$$

$$\Delta \sigma = \begin{cases} D_e \alpha \Delta \varepsilon + D_p (1-\alpha) \Delta \varepsilon & (5) \end{cases}$$

$$\alpha = (\text{降伏にいたるまでのひずみ増分}) / (\text{ひずみ増分}) \quad (6)$$

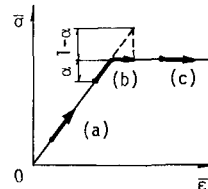


図-3 $\sigma - \varepsilon$ 曲線

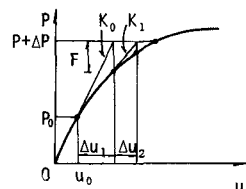


図-4 $P - u$ 曲線

応力-ひずみマトリックス D_e, D_a の内容および α の

求め方は文献(2)参照。以下、増分後の平衡状態に対して仮想仕事の原理を適用する。内力の仮想仕事 $w_i^* = \int_V \sigma \varepsilon (\sigma_0 + \alpha \Delta \sigma) dV$ を細要素の状態により式(3)~(5)を用いて積分を実行すれば、

$$W_i^* = \delta u^{*T} (R_o^* + K_o^* \Delta u^* - F^*) \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし } R_o^* &= \int_{V_o} B^T \sigma_o dV, \quad K_o^* = \int_{V_o} B^T D B dV, \\ F^* &= \int_{V_{ep}} B^T D_{\alpha} (1-\alpha) B dV \Delta u_o^*, \quad \Delta \varepsilon = B \Delta u^* \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式(8)の体積積分は R_o^*, K_o^* などは、増分前の降伏域の分布について、 F^* だけは移行した細要素についてのみ実行する。外力の仮想仕事 $W_e = \delta u^T (P_o + \Delta P)$ と W_i^* を集成した W_i とを等置して、次式を得る。

$$K_o \Delta u = \Delta P + F \quad (9)$$

式(9)の解法は、まず $F=0$ として変位 Δu_1 を算出し、新しい降伏域の分布に対し F_1, K_1 を求める。次に $\Delta u_2 (=K_1^{-1} F_1)$ を求め、 F_2, K_2 を得る。以下 F が十分小さい値になるまでくりかえす。(図-4参照)

③数値計算 図-1、表-1に示す単弦ローゼ桁橋に設計荷重(D:死荷重, L_1 :活荷重満載, L_2 :活荷重偏載, W:風荷重)を比例載荷した。残留応力は $\sigma_{rc} = -0.4\sigma_y$ の台形分布とした。計算はまず弾性限界荷重を求め、以後修正増分法による。Kの修正は新しく降伏した要素についておこなった。図-5では、残留応力のため、降伏域が各ウェッジ、フランジの中央に生じ、アーチ軸方向にほぼ一様ひろがっている。図-6のP-W曲線において、面外たわみの程度により、極限荷重に差異がみられる。荷重-たわみ曲線の勾配がやや立ちあがった状態を matrix K が ill になり、とくに $D+W$ の場合には他と比べ、降伏域が十分に発達してゐないことなどから、横荷重が作用する場合にはさらに幾何学的非線型性を考慮した解との比較も必要と思われる。これについては後日発表する予定である。なお本解析結果による安全率および荷重係数を示す表-2によれば、本橋は所定の値を有している。同表の*印のついた値には残留応力の影響が表われている。

④あとがき 本研究において、熊本大学の崎元達郎講師、文政大学の北田俊行助手、ならびに学部学生の浜建樹氏(現鹿島建設)のご協力があったことと記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小松・北田; 有限要素法による平面弾塑性問題の解析について, 第28回年次講演会 I-43, 昭和48年.
- 2) 山田; 塑性・粘弾性(コンクリートによる構造工学講座 II-2-A) 培風館

表-1 構造モデルの各部材の断面諸量

	A m ²	I _y m ⁴	I _z m ⁴	J m ⁴
アーチ部材	0.3642	I _y =0.3471	I _z =0.3621	0.4476
補剛桁	0.8602	I _y =1.5543	I _z =38.98	3.5932
補剛桁	0.8899	I _y =1.6948	I _z =39.45	3.5932
端横桁	0.7080	I _y =1.2820	I _z =5.178	2.3910
つり材	0.0577	I _y =0.0395	I _z =0.0037	0.0111

表-2 各荷重状態に対する安全率と荷重係数

荷重状態	Pe/Pw	Py/Pw	Pmax/Pw
1 D+L ₁	1.31	2.18>1.77	2.20>2.00
2 D+L ₂	1.38	2.30>1.77	2.15*>2.00
3 D+W	1.48	2.46>1.42	2.09*>1.60
4 D+L ₁ +W/3	1.27	2.12>1.42	1.94*>1.60
5 D+L ₂ +W/3	1.33	2.22>1.42	1.96*>1.60
6 1.3(D+LW ₁)	0.84	1.40	1.24*>0.80
7 1.3(D+LW ₂)	0.89	1.48	1.32*>0.80

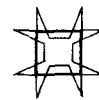
$$LW_i = 5(L_i + W/3)/3 \quad i=1, 2$$

Pw ; 設計荷重

Pe ; 弾性限界荷重 ($\sigma_{rc} = -0.4\sigma_y$)

Py ; 残留応力のないときの弾性限界荷重

Pmax ; 理論極限荷重 ($\sigma_{rc} = -0.4\sigma_y$)



$$\sigma_{rc} = -0.4\sigma_y \quad [D+L_1]$$

$$\sigma_{rt} = \sigma_y \quad \sigma_y = 4600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SM59)}$$

— yielded zone

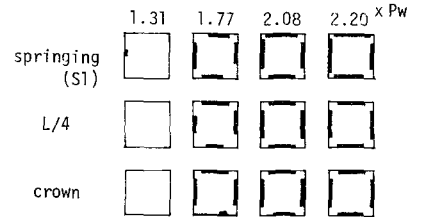


図-5 アーチ断面の降伏域のひろがり

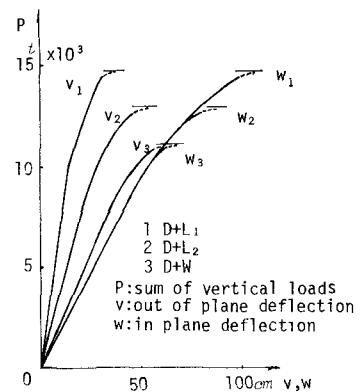


図-6 アーチクラウンの荷重-たわみ曲線