

I-48

鋼アーチの終局強度を考慮した断面決定法(と法)

(株)建設技術研究所 正員 山元 隆

熊本大学 正員 崎元 達郎

熊本大学大学院 学生員 田中 朝一

1. まえがき: 現行のアーチの設計法では、格点間を有効長さとした部材としての断面決定を行い、設計された部材で全体を構成し、全体座屈、又は構造全体の耐荷力は、断面決定後照査する形となっている。したがって、部材断面の決定と全体構造の安定照査が同時に満足されない場合には、繰返し計算が必要となるという問題が存在する。一方、ラーメン構造については、有効長さの概念を用いずに、有限変位解析による設計応力に対して、直接各部材の剛性低下率 ζ を求めて、構造系全体の固有値解析を行う方法(以後と法と略称する。)が提案されている。¹⁾

本研究では、このと法を箱形断面を有する一本のリブアーチの断面決定法に用いた場合の適用性について報告する。なお、各解析モデルについて、面内耐荷力に対する評価に限定して解析を行い、断面決定は、できる限り鋼重の小さな断面を決定することを主旨とした。

2. と関数: 文献2)にあるように、と関数は、道路橋示方書における直柱の基準耐荷力曲線より求められ、次式で与えている。

$$\begin{aligned}\zeta &= 1 - 0.773 \frac{\sigma}{\sigma_y} & : & \frac{\sigma}{\sigma_y} < 0.564 \\ \zeta &= 3.367 \left\{ 1.109 - \frac{\sigma}{\sigma_y} \right\}^2 \frac{\sigma}{\sigma_y} & : & 0.564 \leq \frac{\sigma}{\sigma_y} < 1.0 \\ \zeta &= 0.04 & : & 1.0 \leq \frac{\sigma}{\sigma_y}\end{aligned} \quad (1)$$

3. 設計計算の方法

- 1) 照査荷重の設定: 照査荷重 F^* は、設計荷重 F 、荷重係数 γ_t として $F^* = \gamma_t \times F$ とする。
- 2) 初期照査断面の設定: 照査荷重より、フランジ厚 $\geq$ ウェブ厚の条件で初期照査断面 A を設定する。
- 3) 構造解析: 有限変位解析を行い、各部材の断面力及び平均軸応力度を求める。
- 4) 部材の剛性低下率 ζ の計算: 3)で計算された平均軸応力度を、式(1)に代入して算出する。
- 5) 固有値計算: 各部材のヤング係数を $E_t = \zeta_i \cdot E$ として、構造全体の固有値計算を行い、最小固有値 κ を求める。

$$6) \text{ 限界状態照査}^{1)} : \gamma_t \left(\frac{N_t}{N_{crt}} + \frac{M_t}{M_{crt}} \right) \leq 1.05 \quad (2) \quad \text{を用いる。} \quad (i \text{ は部材毎を表す。})$$

ここで、 γ_t : 構造物係数 N_t : 設計圧縮力 M_t, M_{crt} : 設計曲げモーメント, 設計曲げモーメント耐力 N_{crt} : と関数を考慮した、構造全体の固有値解析により求まる設計圧縮耐力

$$N_{crt} = \kappa N_t \quad (\kappa \text{ は固有値}) \quad \text{ただし、} N_{crt} \geq N_y \text{ の時は、} N_{crt} = N_y \text{ とする。}$$

$$M_{crt} = M_y = W \sigma_y \quad (W: \text{断面係数})$$

- 7) 照査断面の変更: 式(2)の値が範囲外の部材については、フランジ厚 $\geq$ ウェブ厚の条件の下、断面積、断面二次モーメントが増加する断面となるように以下に示す板厚サイズを用いて断面を変更する。

$$\text{板厚サイズ(cm): } 0.8, 0.9, 1.2, 1.6, 2.2, 2.5, 2.8, 3.2, 3.8, 5.0$$

4. 解析モデル: 本研究では、図-1のような1本のリブアーチについて、両端支点部分をヒンジ端とする2ヒンジアーチと固定端とする固定アーチの2つのケースについて検討した。アーチ断面は、図-2に示すような二軸対称な箱形断面とし、断面幅 B 、断面高さ H は固定する。よって、各部材の断面変更の際は、板厚 (TW, TF) のみ変更するものとする。また、本解析モデルの面内耐荷力を支配するパラメータは、支間長 L 、ライズ f 、ライズスパン比 f/L 、断面高さ-幅比 H/B 、断面幅 B 、支間長の半分に載荷した分布荷重強度(半載荷重) p と、満載荷重強度 w との比 p/w である。ここでは、 $L=150 \text{ m}$ 、 $f=22.5 \text{ m}$ 、 $f/L=0.15$ とし、荷重比 p/w を、0.05 (満載状態)、0.5、1.0 (半載状態) と変化させ、

それぞれ断面高さ一幅比 $H/B = 1, 2, 3$ について解析を行った。

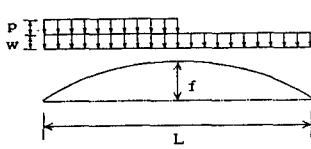


図-1 解析モデル

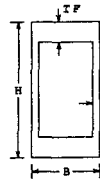


図-2 断面形状

B : 断面幅
H : 断面高さ
TW : ウェブ厚
TF : フランジ厚

5. 結果：終局強度の比較は、 ξ 法による決定断面における面内耐力を、弾塑性有限変位解析したときの終局荷重 P と、 ξ 法での照査荷重 P_ξ を比較することで行った。図-3、図-4 は2ヒンジアーチの結果、図-5、図-6 は固定アーチの結果で、断面高さ一幅比 H/B を横軸に、終局強度 P/P_ξ を縦軸にとり、 ξ 法による解析値と弾塑性有限変位解析値を荷重比 p/w を変化させてプロットしたものである。ただし、 ξ 法による解析値は、荷重固定のため全て $P/P_\xi = 1$ として表される。図-3～図-6より、2ヒンジアーチ、固定アーチともに共通して、断面高さ一幅比 H/B が大きくなる程、断面幅 B が大きくなる程、比較的安全側の断面設計がなされたといえる。これは、 H/B 、 B が大きくなる程、曲げ剛性の大きな断面となるためであると考えられる。また、一部危険側の設計がなされている所は、最大板厚（5.0 cm）の断面に達しており、今回の設計条件で限界の断面に達しているからと考えられる。

6. まとめ： ξ 法は断面を固定し、荷重を変更する場合、軸力が支配的な場合には弾塑性有限変位解析値の良い近似値となるが、外力による曲げの影響が大きな場合には、照査式(2)中の曲げの項 M_i/M_{er} の増大に伴い、安全側に評価され易くなるという問題があった。一方、本研究では荷重を固定し、断面を変更させることで断面係数 $W (= I_z/y)$ が変化し、それに伴い M_{er} が変化する。よって、曲げの項が増大するのを防ぎ、照査式中において軸力支配の状況に近づくため、曲げを有する場合においても曲げに影響されないで比較的正しい評価をすることが出来たと思われる。しかし、各部材の照査値の曲げの項を細かに見ると、断面諸量の増大、すなわち曲げ剛性の増大に伴い、当然小さくなっていくべき場合に、部材によっては一義的に小さくはならない等、不静定構造における変断面による影響が考えられる。よって、今後の課題として、この問題を考慮した限界状態照査式、または断面変更の方法について検討していく方針である。

参考文献 1) 野上・山崎： ξ 関数を用いた鋼ラーメン構造の一設計法，土木学会第47回年次学術講演会，1992.9 2) 野上：鋼ラーメン柱の実用的座屈設計法に関する一提案，土木学会論文集 No. 459/I-22, PP. 159-162, 1993.1. 3) 土木学会：鋼構造の終局強度設計 鋼構造終局強度研究小委員会 平成4年 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ，共通編，Ⅱ，鋼橋編）平成4年2月。

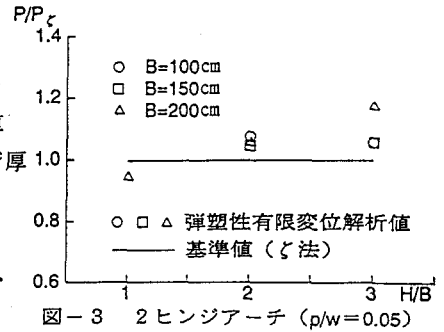


図-3 2ヒンジアーチ ($p/w = 0.05$)

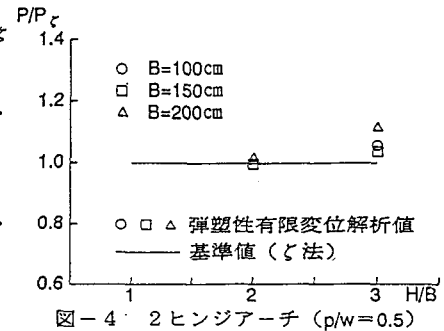


図-4 2ヒンジアーチ ($p/w = 0.5$)

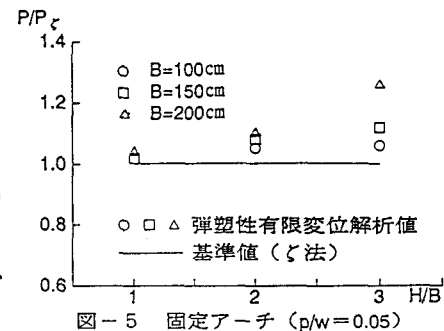


図-5 固定アーチ ($p/w = 0.05$)

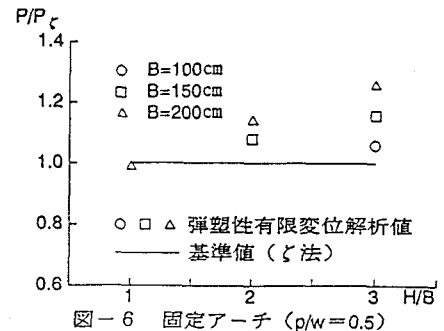


図-6 固定アーチ ($p/w = 0.5$)