

三菱重工業(株) 正員 前田 義裕
東北大学 正員 倉西 茂

1. まえがき

鋼アーチ橋の終局強度解析を行なう場合、アーチの変形及び材料の塑性化による影響を考慮しなければならない。しかし、材料の塑性化を考慮するためには、かなり複雑な解析を必要とする。そこで、本研究では、アーチの終局強度を、変形の影響を考慮した弾性2次解析の結果から評価する方法について検討を行った。

2. 解析方法と本研究で検討を行ったモデル

終局強度解析では、材料の非線形性と幾何学的非線形性を考慮し、また弾性2次解析では、幾何学的非線形性を考慮した有限要素法による骨組解析を行った。

今回主に検討を行ったモデルは、Fig.1の上に表示するような拱物線固定アーチで、非対称な荷重を受けらるものとした。断面は標準的な箱型断面とし、終局強度解析では残留応力を考慮した。また、固定アーチとしてより実用性である、端部の断面を増大させた変断面アーチ、及び端部に降伏応力度の高い鋼材を用いたハイブリッドアーチについても、検討を行った。また、Fig.1の下に表示するような、補剛筋を有するアーチについても検討を行った。このモデルは、Fig.1の上に表示したものと同一構造諸元をもつアーチ片に、標準的なI型断面の補剛筋を取り付けたもので、補剛比 μ を0.5とした。

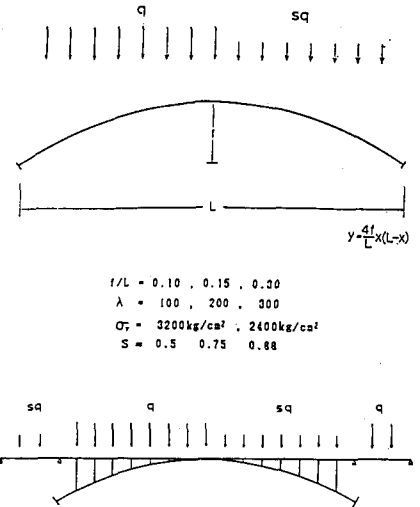


Fig.1 解析モデル

3. 固定アーチの挙動と、終局強度評価法

非対称な荷重の載荷により、2ヒンジアーチでは、2つの $1/4$ 点が塑性化して崩壊に至るのに対し、固定アーチでは、2つの固定端及び、2つの $5/16$ 点付近の点の4点が塑性化して崩壊に至る。Fig.2には、固定アーチで大きな断面力が生じるこの4点の縁応力度の変化を示す。図中の q は終局荷重である。この図に見られるように、両固定端は、載荷荷重がかなり小さいうちに塑性化し、この部分が塑性化しても、ただちにアーチ全体の崩壊には至っていない。

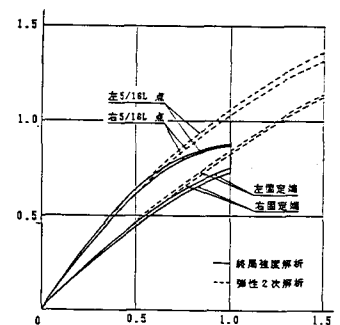


Fig.2 着目点の縁応力度

このような固定アーチの終局状態に至るまでの挙動を考慮し、弾性2次解析の結果から終局強度を評価する方法として、前述の4点の縁応力度に着目し、これら4点中3点で、縁応力度が降伏応力度以上となった時、これをも、終局強度と評価することとすると、大部分のモデルで、特にアーチに生じている軸力が大きい程、大きい目の評価を得る。そこで、この終局状態と評価した時に、アーチに生じている軸力の平均を、降伏軸力 σ_T で無次元化した値(以下これを $\bar{N}$ とする)を用いて、次頁の補正式を用いる。これは、弾性2次解析で終局荷重を載荷した時、先に終局状態を評価する基準とした3点目の縁応力(以下 σ_{or} とおく)と $\bar{N}$ の関係が、Fig.3のようになっていることから採用した。この $\bar{N}$ と σ_{or} の関係を、図中の曲線に近似した。この補正により、先の3点目の縁応力度が、降伏応力度ではなく σ_{or} に達した時を、終局状

態とする。さらに、 $\bar{N}$ がTable 2 に示す値より小さい場合は、この補正を行わずとも、終局強度よりも小さい評価値が得られるので、補正の必要はないものとした。

また、この評価法では、かなり大きい終局強度の評価を予えてしまうものがある。それは、荷重が等分布に近い $s=0.88$ のモデルで、生じる軸力が非常に大きいものである。これは、軸力により、断面全体に大きな圧縮応力が生じているため、弾性2次解析で考慮されない非線形性の影響を大きく受けてしまうためと考えられる。そこで、弾性2次解析で、1点または2点の繰戻力度が降伏力度に達した時点でも、軸力 $\bar{N}$ が Table 3 に示す値より大きければ、この時点でアーチは終局状態に至っているものと考えられ、この時の $\bar{N}$ の値を用いて先の補正を行うものとした。

以上の終局強度評価法により評価した固定アーチの終局強度は、実際の終局強度と比較すると、2割程度大きい評価を予えるものもあるが、その他では、2割程度大きい値から8割程度小さい値の範囲で与られている。評価値と実際の終局強度の比較を、 $\sigma_y = 3200 \text{ kg/cm}^2$ 、 $f/l = 0.15$ を例にとり、Table 4 に示す。なお、荷重はアーチの各節点に同じ大きさの集中荷重を載荷した時に、スプリングが軸力の半で降伏するような鉛直荷重 $8N$ で無次元化して示している。

また、この評価法を、変断面アーチ及びハイブリッドアーチに適用したところ、等断面アーチとはほぼ同じような精度で、終局強度の評価を行なうことができた。

4. 種々のアーチの弾性2次解析の結果による終局強度評価法

さらに、Fig. 1の下に示した補剛析を有するアーチについて、ここまで示してきた終局強度評価法の適用を検討した。このようなアーチでは、曲げにより、補剛析の一部にも大きな繰戻力度が生じるものもあるが、本研究では、アーチリブ上で大きな断面力が生じる4点に着目し、先に示した方法で終局強度の評価を行った。この結果、得られた終局強度評価値は、一部細長比の小さいモデルで実際の終局強度より10%以上小さい値となるが、その他のモデルでは、先の無補剛アーチと同様、設計の基準としてはよい精度で終局強度の評価を行うことができるようである。

以上から、本研究で検討した弾性2次解析の結果による終局強度の評価法では、固定アーチではない範囲で、設計の基準としてはよい精度で終局強度の評価を行なうことができた。

また、倉面により、2ヒンジアーチについて、本研究同様、弾性2次解析の結果から終局強度を評価する方法の検討が行われ、弾性2次解析で、アーチリブ上の1点の繰戻力度が降伏力度に達した荷重と、実際の終局荷重の比較が行われている。これをTable 5 に示す。2ヒンジアーチに比べ、固定アーチでは、この表中の誤差が大きくなるため補正式を用いたが、このように、弾性2次解析の結果からアーチの終局強度を評価する方法は、終局強度設計を行なう際、十分有効であると考えられる。

補正式

$$\sigma_{cr} = \sigma_y \{ 1 - (\beta \cdot \bar{N})^2 \}$$

Table.1

λ	1.24	2.43	3.73
β	0.32	0.40	1.00

Table.2

λ	1.24	2.43	3.73
$\bar{N}$	0.70	0.40	0.20

Table.3

λ	1.24	2.43	3.73
$\bar{N}$	0.80	0.80	0.40

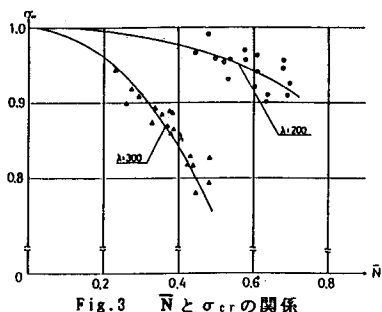


Fig.3 $\bar{N}$ と σ_{cr} の関係

Table.4

等断面アーチの終局強度と終局強度評価値

細長比 λ	荷重係数 S	終局強度 $8/g_N$	終局強度 評価値	誤差 (%)
100	0.50	0.775	0.719	-7.2
	0.75	0.848	0.818	-3.2
	0.88	0.893	0.893	0.0
200	0.50	0.454	0.451	-0.6
	0.75	0.559	0.559	0.0
	0.88	0.650	0.667	+2.6
300	0.50	0.279	0.280	+0.4
	0.75	0.355	0.355	0.0
	0.88	0.417	0.419	+0.6

Table.5

2ヒンジアーチの終局強度と弾性2次解析により
応力が降伏点に達する荷重の比較

細長比 λ	荷重係数 S	終局強度 $8/g_N$	弾性2次解析 による強度	誤差 (%)
197	0.99	0.570	0.624	+9.5
	0.50	0.312	0.287	-7.8
247	0.99	0.415	0.442	+6.4
	0.50	0.229	0.223	-2.0
296	0.99	0.300	0.312	+3.9
	0.50	0.175	0.177	+1.3