

固定アーチの設計法について

○東北大学 学生員 前田 義裕
東北大学 正員 倉面 茂

1. まえがき

鋼アーチの設計法に関して、現行の道路橋示方書では、有効座圧長に基く強度照査を規定しているが、同時に変形の影響を考慮しなければならない荷重の限界を示している。

固定アーチの終局強度設計においては、終局荷重はこの定められた荷重の限界を越えてしまい、変形とこれによる塑性化の影響を考慮しなければならない。そこで、この変形の影響を考慮した固定アーチの設計法として、弾性2次解析の結果から固定アーチの設計を行なう方法を検討し、これについての結果を報告する。

2. 解析方法

有限要素法を用い、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、弾性2次解析では、幾何学的非線形性を考慮した。

3. 解析モデル

解析したアーチは、Fig.1に示すような放物線固定アーチである。載荷荷重は非対称とし、Fig.1中の S を0.5, 0.75, 0.8と変化させた。またこのようなモデルでは、端部に大きな断面力が生じるので、端部から $3/2$ 点まで断面を増加させた変断面アーチ及び、この部分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、強度特性及び設計法について検討した。尚、ハイブリッドアーチの端部以外で、鋼材の σ_y は 3200 kg/cm^2 であり、ハイブリッドアーチの端部は $\sigma_y = 4600 \text{ kg/cm}^2$ とする。

4. 結果と考察

等断面固定アーチにFig.1に示すような載荷をした場合の終局強度は、すでに文献¹等、すでに明らかにされているので、ここでは、弾性2次解析について述べる。これらのアーチの弾性2次解析を行なうと、材料の塑性化の影響が考慮されないため、載荷荷重が終局荷重の60%程度より大きくなると、終局強度解析結果よりも小さな変形の値を得る。またここで残留応力の影響を見ると、残留応力を考慮しないで行った終局強度解析では、塑性化の影響が現れるが、載荷荷重の終局荷重に対する割合が80~90%となる時点からとなる。Fig.2に、それぞれの解析での荷重-変形曲線の例を示す。荷重は終局荷重 q_f で無次元化し、変形は、最大たわみ v_{max} を以て無次元化して示した。尚、残留応力は S が大きいモデルで終局強度に大きく影響を及ぼす。

これらを考慮して、弾性2次解析の結果に基づき設計法を検討する。固定アーチに非対称な載荷を行なうと、大きな断面力が生じるのは、両固

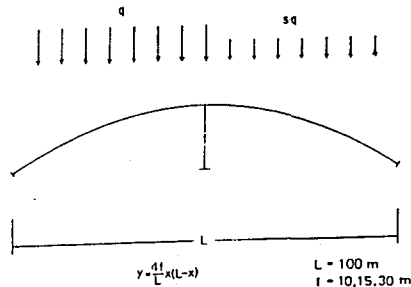


Fig.1 解析モデル

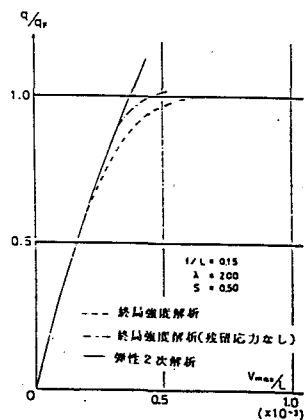


Fig.2 荷重変形曲線

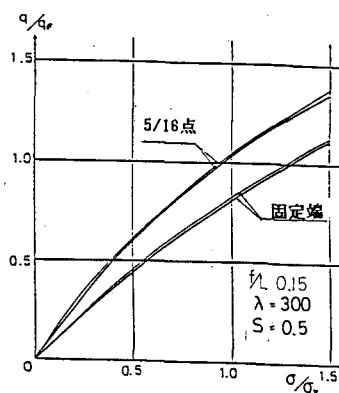


Fig.3 着目点の繰応力度

定端及び端部から $5/16$ の点の4点である。従って、弾性2次解析によって得られるこれらの点の縁応力度に着目し、4点中の3点で縁応力度が σ_{cr} の以上となった時、ほぼモデルの終局状態であるとする。しかし、この方法より得られる終局荷重は、弾性2次解析で得られるアーチの軸力が大きい場合には、危険側の値となる。そこで、ここで確定した終局状態でアーチに生じているアーチの軸力 平均値を N_0 で無次元化した値、 $\bar{N}$ を用いて以下のような補正を行なった点目に縁応力度が σ_{cr} に達する点の縁応力度の限界を σ_{cr} に低減し、この点の縁応力度が σ_{cr} に達した時に、終局状態であるとする。(注: 細長比パラメータ)

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

補正を行う $\bar{N}$ の限界			
λ	1.24	2.48	3.73
$\bar{N}$	0.70	0.40	0.20

(ただし、中間の値に関しては直線的に補間する)

λ	1.24	2.48	3.73
$\bar{N}$	0.32	0.40	1.00

また、4つの着目点のうち1点あるいは2点で縁応力度が σ_{cr} より大きくなった時点でも、 $\bar{N}$ が次に示す値より大きければ、アーチはすでに終局状態に至っていると考え、前述の補正を行う。さらに特別な例として、 λ が小さいモデルで、載荷による変形が全スパンにわたって生

λ	1.24	2.48	3.73
$\bar{N}$	0.90	0.60	0.40

(中間の値に関しては直線的に補間する)

じる場合は、Fig. 1で左側の2点の着目点で縁応力度が σ_{cr} の以上となる荷重の5%大きい値を終局荷重とする。以上の設計法で得られるアーチの強度の、実際の終局強度に対する比を Table 1 に示す。この設計法により求められるアーチの強度は、設計の基準として用いるには良い精度であると考えられる。

次に、端部でフランジ厚を大きくした変断面アーチについて、フランジ厚を1.5倍として行った終局強度解析の結果を Fig. 4 に示す。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、スワリングが軸力のみに降伏するような鉛直荷重 P_0 で無次元化した。端部の剛性が大きくなる結果 λ が小さく変形が大きいモデルに大きく現われ、強度の増加率が大きくなる。また、端部で大きなモーメントが生じる S が小さいモデルでも、強度の増加率が大きくなる。これらのアーチで前に述べた設計法により求めたアーチの強度の、実際の終局強度に対する比を、Table 2 に示す。

最後に、ハイブリッドアーチの終局強度解析の結果を Fig. 5 に示す。ハイブリッドアーチでは、 S が小さいケースで、端部で降伏応力度が大きくなった影響を大きく受け、強度の増加率が大きくなる。また細長比による強度増加率の差は小さい。Table 3 には、このハイブリッドアーチの設計で得られる強度を Table 1, 2 と同様を示した。

以上から、本報告で示した設計法により、設計の基準として用いるには良い精度で 固定アーチの終局強度が得られた。

参考文献

小松定夫・新倉敏：アーチの面内耐荷力の使用算定式について、土木学会論文報告集 267号 1977年 11月

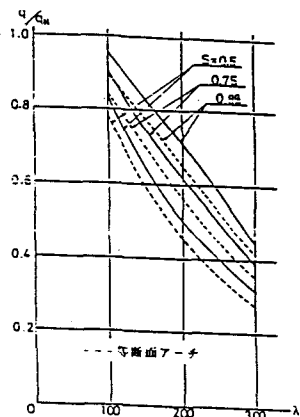


Fig. 4 変断面アーチの終局強度

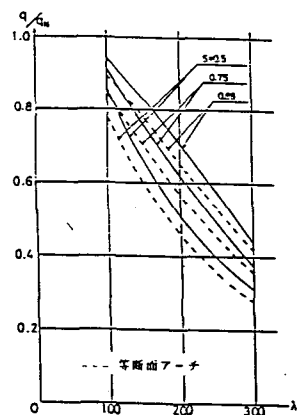


Fig. 5 ハイブリッドアーチの終局強度

Table 1 終局強度の比 (等断面アーチ)

λ	S	比
100	0.50	0.912
	0.75	0.941
	0.90	0.952
200	0.50	0.938
	0.75	1.000
	0.90	1.026
300	0.50	1.004
	0.75	0.999
	0.90	1.006

Table 3 終局強度の比

(ハイブリッドアーチ)

λ	S	比
100	0.50	0.945
	0.75	0.926
	0.90	1.003
200	0.50	0.911
	0.75	0.998
	0.90	0.928
300	0.50	1.000
	0.75	1.034
	0.90	0.936

Table 2 終局強度の比 (変断面アーチ)

λ	S	比
100	0.50	1.009
	0.75	1.011
	0.90	0.940
200	0.50	0.942
	0.75	0.955
	0.90	1.037
300	0.50	0.974
	0.75	0.946
	0.90	1.008