

熊本大学 正会員 崎元達郎
国 鉄 “ 田上 博
大阪大学 “ 小松定夫

1) まえがき; 著者らは、先に、幾何学的及び材料的非線形性を考慮した三次元骨組のマトリックス解析法を公表した¹⁾²⁾。この方法により、塑性ヒンジ理論に立脚する解析法では十分に明らかにできない軸力が支配的な骨組構造物の種々の三次元挙動をも、明確にすることができると。その種の問題の内、鋼アーチの弾塑性域における面外座屈を考慮した耐荷力については、未だに明らかにされていない。本報は、上記の方法を用いて、閉断面部材で構成された2-ヒンジ鋼アーチの耐荷力解析を行ったものである。細長比、アーチ形状、スパン・ライズ比、残留た力の有無、面外初期たわみなどが耐荷力に及ぼす影響について以下に述べる。

2) 数値計算法; 解析対象を図-1に示す。有限要素法に立脚する変位法であるから、アーチを14の直線部材(15節点)に分割し、等分布満載荷重は、13個の節点集中荷重に置きかえる。この種の弾塑性解析では、断面に具体的な寸法を与える必要があり、図示の寸法とした。断面内の弾塑性域の追跡のため、断面も40の要素に分割した。断面寸法を固定し、スパンやライズを変化させ、細長比、形状を変動させる。材質は、SS-41を想定し、荷重方向は変形後も鉛直を保つものとした。面外初期たわみは、支間中央で最大値をとる正弦波に仮定した。Newton-Raphson法を用いた荷重増分法で計算し、解が発散した荷重をもって最大荷重とした。以下の図表の荷重軸は、線形理論による限界時の水平反力を断面積で除した限界た力度を降伏た力度で無次元化したものであるが、図-1中の式に示したように、 σ_{cr} は、 λ の関数であるから、同じ λ の時に耐荷力と直接の対応関係を持つ。耐荷力は、 $\frac{8f}{L} \cdot A \cdot \sigma_y (\sigma_{cr})$ で与えられる。

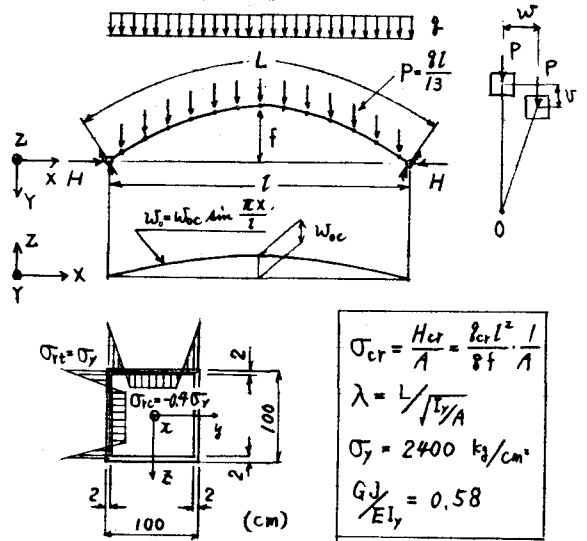


図-1 断面及び形状諸元

3) 解析結果; 耐荷力以外に得られる結果を図-2

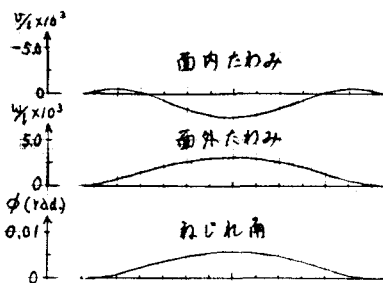


図-2 最終つり合状態の変形モード

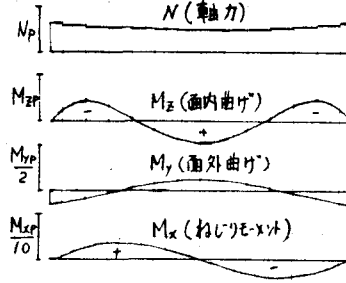


図-3 最終つり合状態の断面力分布

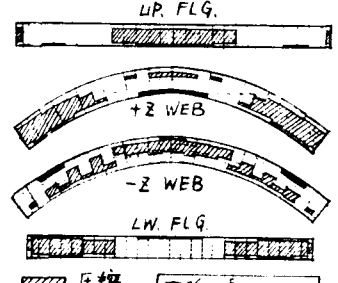


図-4 最終つり合状態の塑性域

～図-5に示す。図-2より、この例の場合、限界時の面内最大たわみは $1/400$ 、面外たわみは $1/330$ であり、面外たわみが面内たわみと同程度またはそれ以上になることが解る。また、面外たわみ、ねじり角のモードは、弾性座屈のそれとくうべて、支支付近の変化が急である。図-3より、断面力の内、軸力、面内曲げ、面外曲げ、ねじりの順で影響が大きい事がわかるが、放物線アーチの場合は、面外曲げの影響が面内曲げの影響を上回る傾向にある。図-4より、軸圧縮力に加えて、面内曲げと横倒れによる面外曲げが複合して、塑性域を形成している様子が良く理解される。面内曲げの影響の大きい円弧アーチにおいても、塑性域は、軸方向に長い帯状に分布し、塑性ヒンジの形成には至らない。図-5は、細長比の違い、残留た力の有無の場合の荷重-面外たわみ曲線を示している。残留た力の存在による早期降伏の結果、たわみ剛性と共に耐荷力も減少する。また、細長比が大きい場合は、相当大きな変位を生じて後、耐荷力を失う。図-6は、アーチ形状(円弧、放物線)の差とスパン-ライズ比の影響を示したものである。 $f/t=0.1$ の場合は、形状の差による耐荷力の差は生じない。 $f/t=0.2$ の場合に、円弧が放物線にくうべて耐荷力が低下するのは、放物線形がうのずれによる面内曲げに起因する。この例で、 $f/t=0.2$ の場合は、 $f/t=0.1$ に比較して円弧で 30～56%，放物線で 65～70% 耐荷力が大きい。図-7は、残留た力が耐荷力に及ぼす影響を示す一例であるが、通常用いられている細長比 $\lambda=150 \sim 200$ で約 20% の耐荷力の低下が見られる。 λ が 100 以下の Stocky なアーチでは、残留た力の影響は小さい。図-8は、面外初期たわみが耐荷力に及ぼす影響の一例を示している。鋼道示の規定 $1/1000$ を規準にすると $1/5000$ の場合には、6～17% 増、 $1/500$ の場合には、6～10% 減であり、残留た力の影響と異り、細長比が大きいほど影響が大きい。図-9は、円弧の場合について、文献3)の弾性座屈荷重と比較したものである。本解析値は、文献3)の結果に漸近するが、 λ が、300～350 以下では、弾塑性座屈を考慮する必要があることを示している。数値計算には、九大電算センターの FACOM 230-75 を用いた。

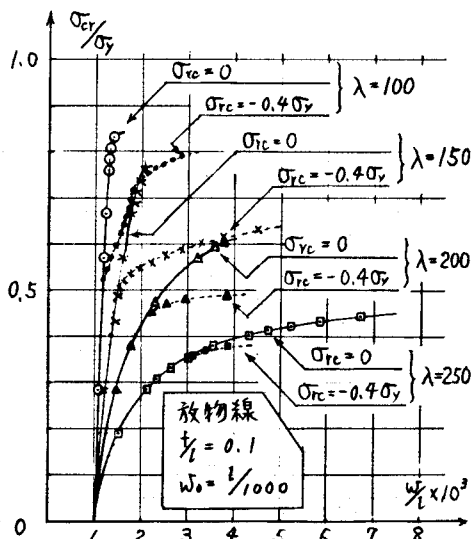


図-5 荷重-面外たわみ曲線(アーチ)

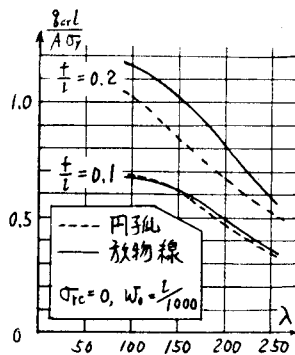


図-6 アーチ形状と f/t の影響

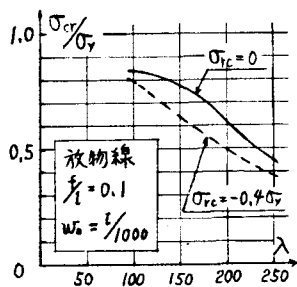


図-7 圧縮残留た力の影響

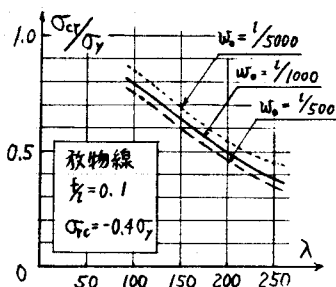


図-8 面外初期たわみの影響

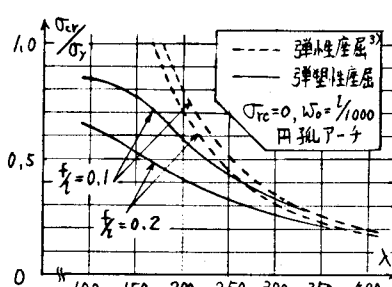


図-9 弾性座屈荷重との比較

- 1) 小松、時元「三次元骨組の非線形解析」土木学会 30 周年次講演概要集、1-49 昭和50年10月
- 2) 小松、時元「Nonlinear analysis of spatial frames...」Proc. of JSCE, 1976 (投稿中)
- 3) 波田 凱夫「曲線状の変形理論とアーチの面外座屈問題への応用」(独文) Trans. of JSCE, No.155, July, 1968.