

圧縮とねじりを受けるアーチ断面部材の終局挙動と相関強度関係

熊本大学 学生員○東原 聡 熊本大学 正 員 山尾 敏孝
 熊本大学 学生員 原岡 雅史 構造計画研究所 正 員 金山 亨

1. はじめに: 鋼アーチ橋梁が大きな地震を受けたとき、アーチリブには圧縮、曲げ、そしてねじり力が同時に作用するために、その挙動は非常に複雑となり、耐震設計を行う際には非線形動的解析を行う必要がある。非線形動的解析では、はり一柱要素を用いた骨組解析法がよく用いられるが、圧縮とねじりを受ける場合の補剛箱形断面部材の終局挙動や相関強度特性は、あまり明らかにされていない。そこで本研究では、まず、鋼アーチ橋梁で用いられる補剛箱形断面を対象に、圧縮とねじりを受ける場合について、弾塑性有限要素法によりパラメトリック解析した。この結果をもとに補剛箱形断面部材の局部変形を考慮した圧縮-ねじりの最大強度相関曲線を作成し、骨組解析に導入しようとするものである。

2. 補剛箱形部材の解析:

図1に示すように長方形断面の補剛箱形部材が、圧縮力 N とねじり力 T を受ける場合についてMARC¹⁾により解析を行った。ねじりを想定した解析では、対称条件を考慮できないのでダイアフラム D_h 間を取り出した全体解析モデルとした。鋼材はSM490Yを用い、材料諸元として弾性係数 $E = 206\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y = 353\text{MPa}$ 、ポアソン比 0.3 とし、応力度-ひずみ関係は文献2)よりMulti-linearタイプを用いた。

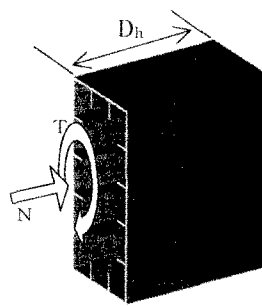


図1 FEM 解析モデル

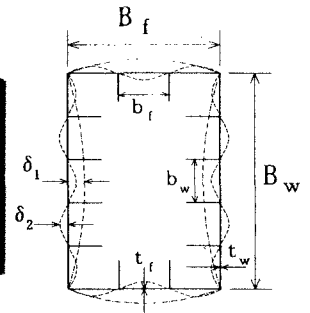


図2 断面形状と初期たわみ

解析モデルは、図1に示すフランジとウェブに補剛材を2本と4本有する、長方形箱形断面部材 ($B_f = 120\text{cm}$, $B_w = 210\text{cm}$, $D_h = 210\text{cm}$) とした。アスペクト比 $\alpha = (D_h/B_w)$ は、既存の研究²⁾より 1.0 とした。解析パラメータは、幅厚比パラメータ R_R (式(1))、 R_τ (式(2)) 板厚、補剛材剛比を選んだ。補剛材剛比 γ/γ^* ($\gamma = I/(B_f t_f/11)$, $\gamma^* = 4\alpha^2 n(1+n\delta)(\alpha^2+1)^2/n$) については、実アーチ橋梁の形状データから算出した $\gamma/\gamma^* = -1.141 + 5.346 R_R$ より求め、補剛材形状を決定した。式(2)で与えられる、せん断に対する幅厚比パラメータ R_τ は、実橋のデータをもとに $R_\tau = 0.150 \sim 0.350$ とした。また、フランジの幅厚比パラメータを R_{Rf} 、ウェブの幅厚比パラメータを R_{Rw} とし、実橋で多く見られる (R_{Rf}, R_{Rw}) $= 0.3 \sim 0.7$ のうちの5通りのパターンを用いて解析を行った。さらに、軸方向変位とねじり回転角に対する増分比を式(3)に表わすような無次元化パラメータ β を用いて示すこととし、圧縮とねじりの同時載荷 ($\beta = 0.3, 1.0, 2.5$)、および順次載荷の4通りづつ解析した。

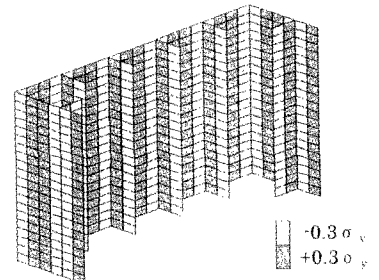


図-3 断面の分割数と残留応力

$$R_R = \frac{B}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

$$R_\tau = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\tau_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{k_\tau \pi^2}} \quad (2)$$

$$\beta = (\theta/\theta_y)/(u/u_y) \quad (3)$$

B : 全幅 t : 補剛板の板パネルの板厚
 k : 座屈係数 ($= 4n^2$)
 n : 補剛材で区切られる一辺のパネル
 α : アスペクト比
 b : 単一パネルの幅 (b_f, b_w)
 k_τ : 純せん断を受ける単一パネルの座屈係数²⁾
 θ : ねじり回転角, θ_y : 降伏ねじり回転角
 u : 軸方向変位, u_y : 軸方向降伏変位

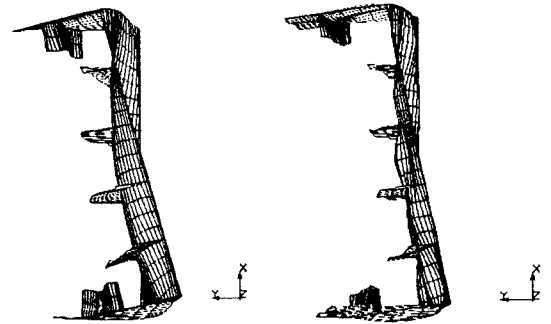
初期たわみは、解析モデルが補剛材を有しているため、ウェブ、フランジともに図2に示すように2種類のモードを組み合わせで導入した。その最大値 δ_1 および δ_2 は既往の実験値³⁾を参考に式(4)で定義した。

$$\frac{\delta_1}{B} = 7.5 \times 10^{-6} \frac{B}{t}, \quad \frac{\delta_2}{b} = 5.0 \times 10^{-5} \frac{b}{t} \quad (4)$$

残留応力は、最大引張残留応力を $\sigma_{rt} = 0.3\sigma_y$ 、最大圧縮残留応力を $\sigma_{rc} = -0.3\sigma_y$ とした。これは解析モデルと自己平衡条件を満たす必要から、図3のように与えた。要素分割数は文献3)を参考にして、補剛材間を4分割、補剛材高さ方向に2分割、板厚方向に5分割、軸方向に20分割とした。荷重は、曲げ剛度無限大の剛棒を載荷辺に取り付けて、その中央に作用させた。

3. 解析結果と考察:

図4は $(R_{Rf}, R_{Rw}) = (0.3, 0.3)$ 、 $(0.7, 0.7)$ のモデルで、 $\beta = 1.0$ の同時載荷した場合の、それぞれの最大強度時の変形図である。変形が分かりやすい



$$(R_{Rf}, R_{Rw}) = (0.3, 0.3) \quad (R_{Rf}, R_{Rw}) = (0.7, 0.7)$$

図4 変形図 (変位は20倍で表示)

ように半分で示したが、せん断幅厚比パラメータ R_r が小さいため、変形も極めて小さいものとなった。両者を比較すると、 $R_R = 0.3$ のモデルでは、補剛板全体でのせん断座屈が補剛材を横切って起きていることがわかる。しかし、 $R_R = 0.7$ のモデルでは、前者に見られたような補剛板全体でのせん断座屈をほとんど起こさず、補剛材の影響でパネル間での座屈が起きている事がわかる。

図5は、軸力とねじりの単調同時載荷、単調順次載荷の結果を示したものである。縦軸は降伏軸力 N_y 、横軸は降伏ねじり力 T_y で無次元化して示した。各幅厚比パラメータ R_R を0.3から0.7まで変化させても、軸力-ねじり同時、及び

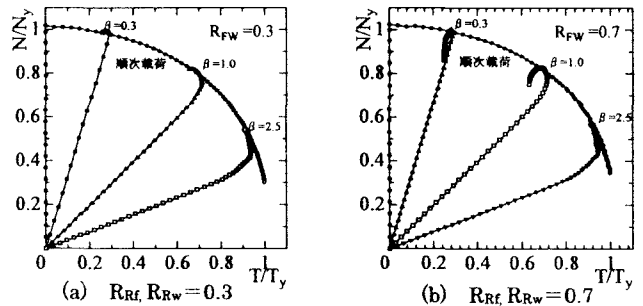


図5 単調同時、順次載荷解析結果

順次載荷における解析結果に大きな差はない。順次載荷の解析結果は、同時載荷の最大点をうまくとらえているといえることがわかる。そこで、単調順次載荷の解析結果をもとに、 $N-T$ 相関曲線を定式化したものが図6で、式(5)が提案する $N-T$ 相関曲線式となっている。

図6から分かるように、式(5)は解析値と比べて多少低めに評価しており、安全側の式となっている。 $R_R = 0.7$ の強度が $R_R = 0.3$ のモデルより強くでていることから、圧縮とねじりを載荷した場合、 R_R が大きいモデルでも補剛材が機能することによって、終局強度や強度劣化において違いがでてくることが分かる。

$$\left(\frac{N}{N_y} \right)^{1.8} + \left(\frac{T}{T_y} \right)^{2.5} = 1.0 \quad (5)$$

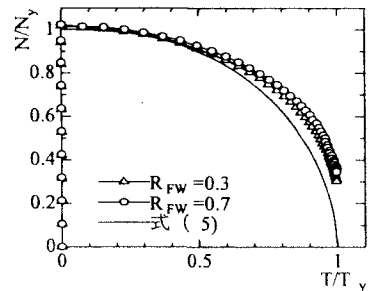


図6 $N-T$ 相関曲線

【参考文献】1) MARC K7: Users Manual Vol.A-E 1997 2) 増永寿彦: ねじりと局部座屈を考慮した..., 熊本大学修士論文, 1999.2

3) 村本裕樹: アーチ橋の復元力モデルの作成と非線形動的解析に関する研究, 熊本大学修士論文, 1999.2