

軸力と曲げを受ける補剛箱形部材の復元力モデル特性

熊本大学 学生員○佐藤 昌司

熊本大学 正 員 山尾 敏孝

熊本大学 学生員 村本 裕樹

アジアプランニング 正 員 原田 秀則

1. はじめに アーチやラーメン橋脚などの鋼製箱形断面部材が大地震を受けたときの復元力特性は、未だに十分には明らかにされていないようである。これらの部材の地震時における挙動は非常に複雑となるため、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有用となるが、通常の骨組解析法では局部変形の影響を直接考慮できない。そこで本研究では、鋼板の局部変形を含んだ挙動を汎用構造解析プログラム MARC¹⁾を用いて弾塑性有限要素法によりパラメトリック解析し、その結果を骨組解析法に導入することを考える。まずは、補剛箱形断面部材の局部変形を考慮した圧縮-面内曲げの最大強度相関曲線と復元力モデルを作成しようとするものである。

2. 汎用プログラム MARC による補剛箱形部材の解析

図-1に示すような長方形断面の補剛箱形部材が、圧縮と面内曲げを受ける場合について MARCにより解析を行った。解析は対称条件を考慮して、1/4部分を対象とした。

鋼材は SM490Y を使い、材料諸元を弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、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。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て導入した。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(1)のようにした。

$$\frac{\delta_1}{B} = 7.5 \times 10^{-6} \frac{B}{t}, \quad \frac{\delta_2}{b} = 5.0 \times 10^{-5} \frac{b}{t} \quad (1)$$

残留応力は、引張残留応力を $\sigma_{rt}=0.6\sigma_y$ 、 $0.9\sigma_y$ 、圧縮残留応力を $\sigma_{rc}=-0.3\sigma_y$ として、自己平衡となるように図-3で与えた。要素分割数は文献 4) を参考にして補剛材間を6分割、補剛材高さ方向に4分割、板圧方向に5分割、軸方向に12分割とした。

解析パラメータとして、アスペクト比 $\alpha=H/B_w=1.0$ とし、補剛材剛比 γ/γ^* ($\gamma=1/(Bt^3/11)$, $\gamma^*=4\alpha^2 n(1+n\delta)/(\alpha^2+1)^2/n$) については、実橋のデータから算出した $\gamma/\gamma^*=-0.969+4.847R_R$ の式の値と等しくなるように補剛材形状を決定した。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と考えられる $(R_{Rf}, R_{Rw})=0.3\sim 0.7$ のうちの7通りのパターンを用いて解析を行った。さらに、軸方向変位と回転角に対する増分比を式(2)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、

$$\beta = (\theta/\theta_y)/(u/u_y) \quad (2)$$

 θ : 回転角 θ_y : 降伏回転角 u : 軸方向変位 u_y : 軸方向降伏変位

$\beta = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, \infty$ それぞれのパターンでの6通りづつ解析した。

載荷方法としては、曲げ刚度無限大の剛棒を載荷辺に取り付けて、その中央に載荷するものとする。

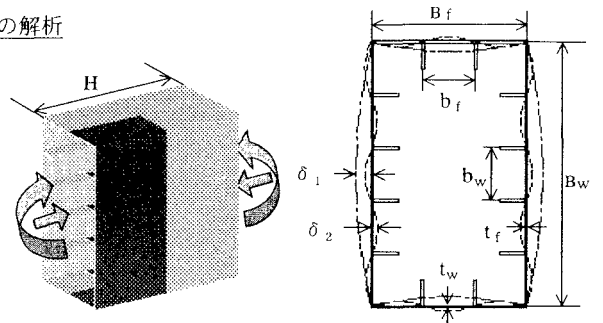


図-1 FEM 解析モデル

図-2 断面形状と初期たわみ

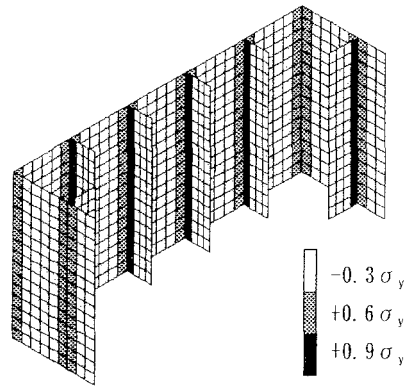
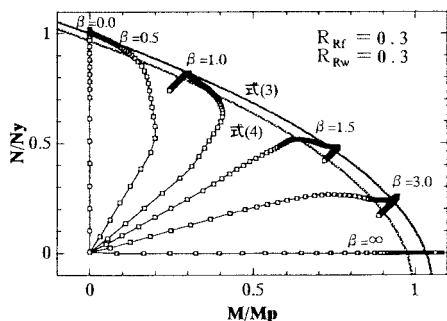
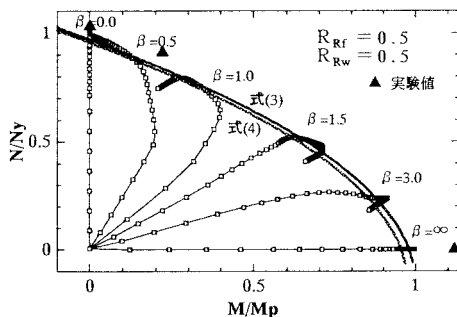


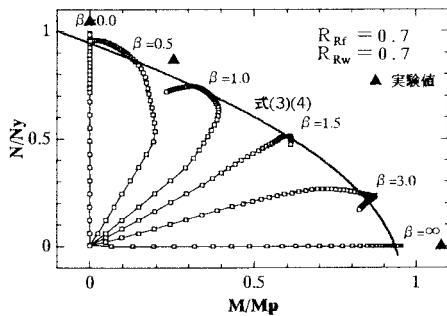
図-3 断面の分割数と残留応力



(a) $R_{Rf} = R_{Rw} = 0.3$



(b) $R_{Rf} = R_{Rw} = 0.5$



(c) $R_{Rf} = R_{Rw} = 0.7$

図-4 軸力-曲げ終局強度相関曲線

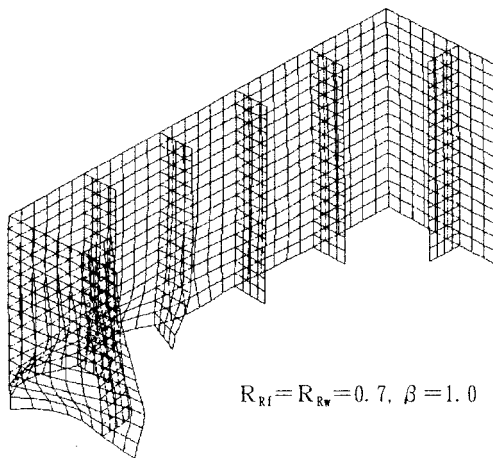


図-5 変形図 (変位は3倍で表示)

3. 解析結果と考察

軸力と曲げの単調同時載荷を行い、最大強度相関曲線を求めた。図-4は、各幅厚比パラメータを0.3から0.7まで変化させたときの、軸力-曲げ同時載荷における解析結果である。併せて示している曲線は、解析結果を最小二乗法により整理し、 R_{Rw} の関数として定式化した曲線で、式(3)は最大強度曲線を、式(4)は降伏強度曲線を表わしている。図から分かるように、いずれの結果も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。なお、 R_R が小さいモデルではひずみ効果の影響が表れていることが分かる。また、無補剛で R_R が等しい断面の実験結果⁵⁾を図-4(b)(c)に▲印でプロットして示しているが、解析結果は実験値よりも安全側となっていることが確認できる。

$$\left(\frac{Mu}{My}\right) + \left(\frac{Nu}{1.13Ny} - 1.16\right)^2 = -0.025R_{Rw} + 1.130 \quad (3)$$

$$\left(\frac{Mu}{My}\right) + \left(\frac{Nu}{1.13Ny} - 1.16\right)^2 = -0.010R_{Rw} + 1.025 \quad (4)$$

図-5は $(R_{Rf}, R_{Rw}) = (0.7, 0.7)$ 、 $\beta = 1.0$ のモデルで、終局状態での変形図である。圧縮と曲げが複合して作用しているのがよく分かる。ウェブの補剛材が大きく変形していることから、ウェブ側が最後まで抵抗していたことがうかがえる。

一定軸力下での繰返し載荷の結果と復元力モデルの定式化については、当日発表の予定である。

【参考文献】

- 1) MARC K7 : Users Manual Vol.A-E 1997
- 2) 日本橋梁建設協会：鋼製橋脚の弾塑性有限変位 FEM 解析マニュアル，1998
- 3) 小松定夫 他：補剛板の溶接残留応力及び初期たわみに関する・・・，土木学会論文集第265号 pp.233-240，1977.7
- 4) 村本裕樹：高軸力下の鋼箱型断面部材の曲げ繰返し挙動特性に関する研究，熊本大学卒業論文，1999.2
- 5) 中井博 他：組合せ断面力を受ける薄肉箱形断面短柱の局部座屈を考慮した・・・，構造工学論文集 Vol.136A pp.89-100，1990.3