

## 軸力と曲げを受ける補剛箱形部材の復元力モデルの一提案

熊本大学 学生員 佐藤 昌司      熊本大学 正員 山尾 敏孝  
 (株)横河ブリッジ 正員 村本 裕樹    アジアプランニング(株) 正員 原田 秀則

1. はじめに アーチ橋梁に用いられる鋼製箱形断面部材は、圧縮、曲げやねじりなどの組み合わせ断面力を受け、複雑な挙動を呈する。特に、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 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座屈の影響を直接考慮できない。そこで本研究では、鋼板の局部座屈を含んだ挙動を汎用構造解析プログラム MARC<sup>1)</sup>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。特に、圧縮-面内曲げを受ける補剛箱形断面部材の、局部座屈を考慮した最大強度相関曲線と復元力モデルを提案するものである。

### 2. 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、1/4部分を対象として行った。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

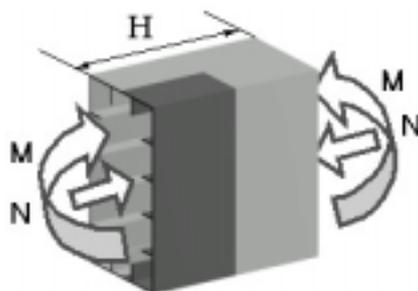


図1 FEM 解析モデル

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導入した。その最大値  $\delta_1$  および  $\delta_2$  は既往の実験値<sup>3)</sup>を参考に式(1)で与えた。残留応力は、最大引張残留応力を  $\sigma_{rc} = 0.6 \sigma_y, 0.9 \sigma_y$ 、最大圧縮残留応力を  $\sigma_{rc} = -0.3 \sigma_y$  として、自己平衡となるように図2に示す分布で与えた。

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、板厚方向に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  $\lambda = H/B_w = 1.0$  とし、補剛材剛比  $R_R$  については、実橋のデータから算出した  $R_R = -0.969 + 4.847 R_R$  の式の値と等しくなるように補剛材形状を決定した。なお、 $R_R$  は幅厚比パラメータで式(2)より求め、 $B$  は断面の幅で添字  $f$  はフランジ、 $w$  はウェブを示す。また、フランジとウェブの幅厚比パラメータをそれぞれ  $R_{Rf}$ 、 $R_{Rw}$  とし、実橋で多く見られる  $(R_{Rf}, R_{Rw}) = 0.3 \sim 0.7$  から7通りのパターンを用いて解析を行った。荷重方法としては、曲げ剛度無限大の剛棒を載荷辺に取り付け、その中央に荷重した。

3. 解析結果と考察 図3は、軸力と曲げの単調同時荷重から求めた最大強度相関曲線で、解析結果と近似曲線である。 $R_R$  が小さいモデルは、降伏後ひずみ硬化の影響により強度が増加しているのに対し、 $R_R$  が大きいモデルは、降伏後すぐに強度劣化を生じていることが分かった。しかし、最大強度のモデルによる差はあまり大きいものではなかった。さらに、解析結果から最大強度は  $R_{Rf}$  と  $R_{Rw}$  のうち大きい方の幅厚比パラメータに支配される傾向にあることが分かった。そこで、今回の解析は  $R_{Rf}$ 、 $R_{Rw}$  としているので、相関曲

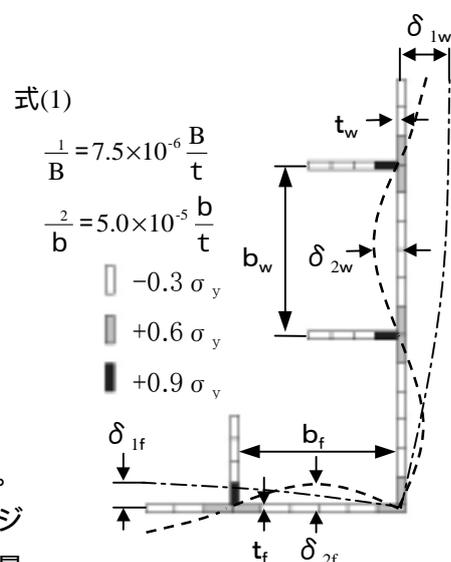


図2 1/4 断面形状と初期不整

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

キーワード：補剛箱形部材、相関強度曲線、履歴曲線、復元力モデル

連絡先：〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1 熊本大学工学部環境システム工学科・電話 096-342-3533・FAX096-342-3507

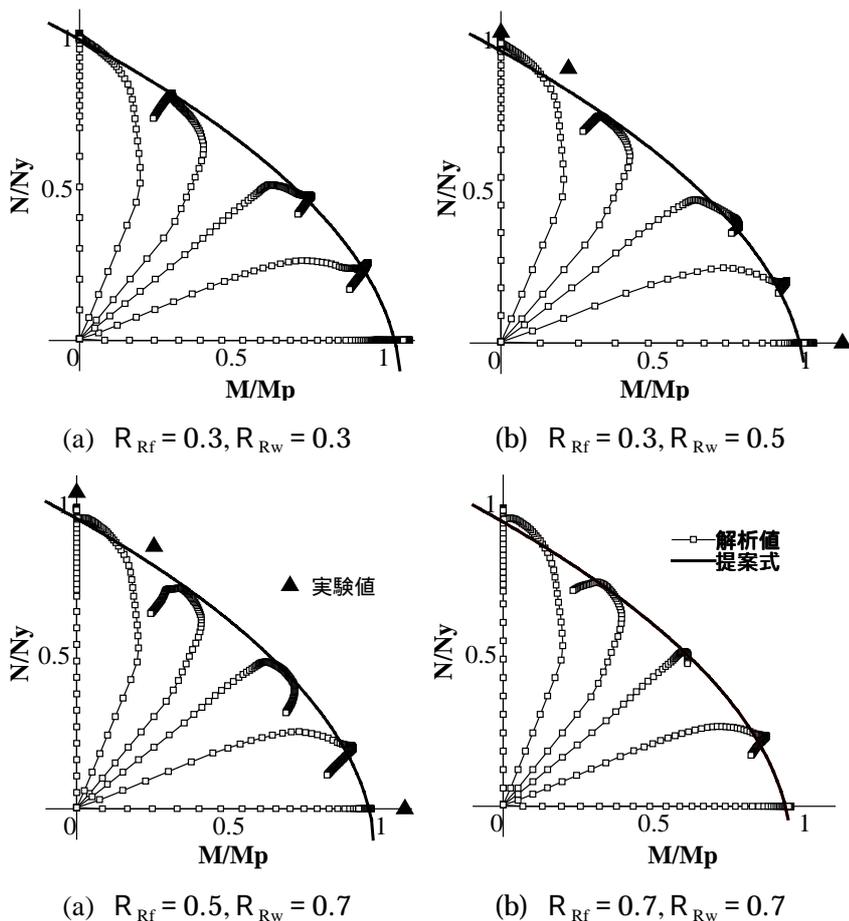


図3 最大強度相関曲線と解析結果の比較

$$\left(\frac{Mu}{Mp}\right) + \left(\frac{Nu}{1.13Ny} + 0.16\right)^2 = -0.25R_{Rw} + 1.130 \quad (2)$$

線を式(2)のように  $R_{Rw}$  の関数として表すことにした。図からわかるように相関曲線式は、解析結果に比べ多少低めに評価しており、安全側の結果となっている。また、無補剛で  $R_R$  が等しい断面を用いた実験結果<sup>5)</sup>を印のプロットでして示しているが、これらの結果ともよく対応している。図4は、各軸力のもとでの曲げ繰返し載荷解析から得られたスケルトンカーブ（骨格曲線）とポリリニアで近似した近似式の比較である。両者の結果から、最大強度の大きさに大きな違いは見られなかったが、最大強度到達後の強度劣化は  $R_R$  が小さいほど激しくなることがわかった。また、軸力が大きくなると強度劣化に及ぼす影響は大きくなることもわかる。

次に、復元力モデルは使用頻度が高いと思われる  $y = 3$  以下の部分について、幅厚比パラメータのうち大きい方である  $R_{Rw}$  と軸力比  $N/Ny$  の関数として近似化を試みた。図5は、この近似式をもとに鋼材の標準型の履歴特性により履歴ループを作成して提案した復元モデルと解析結果の比較を示したものである。近似した履歴ループは最大強度までではあるが、よく近似出来ていることが見て取れる。強度劣化後の履歴や載荷パターンが不規則な場合については、今後検討していく予定である。

【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・・・，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.36A pp.89-100，1990.3

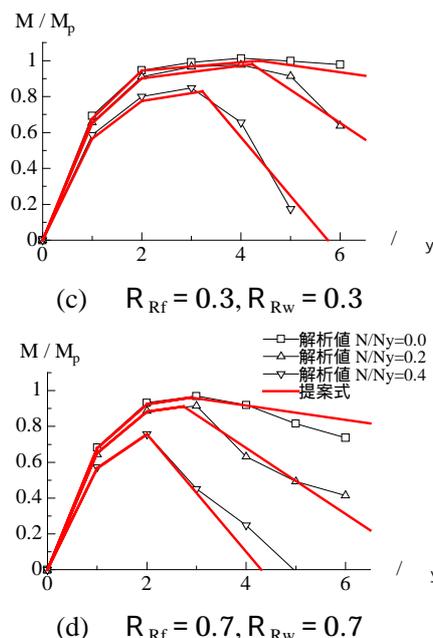


図4 解析結果と近似式の比較

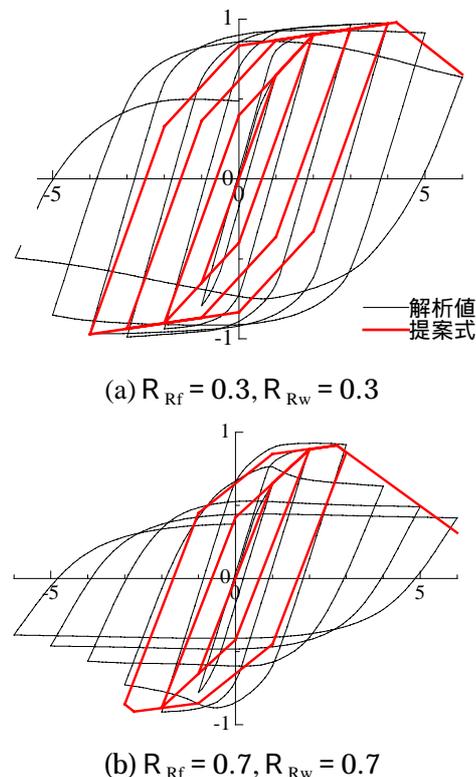


図5 履歴曲線