

大阪大学大学院工学研究科 正会員 ○三好 崇夫

大阪大学工学部 羽原 健雄

大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

1. はじめに

腐食損傷を有する鋼橋の補修・補強や架け替えの要否は、残存耐荷力などの客観的な指標を用いて、合理的に判断する必要がある。非破壊的に残存耐荷力を予測できる有限要素解析法は、その判断のための有力なツールの一つであることから、多くの研究に利用されている。しかし、それらの多くは、残留応力を無視し、腐食の影響を単に部材の形状変化とした解析モデルを用いた手法（以後、この手法を従来法と呼ぶ。）を採用している。腐食に伴う断面欠損が鋼構造物に生ずると、剛性や強度の低下はもとより、断面欠損過程で残留応力などの作用応力が再分配されるとともに付加的な変形が生ずることが考えられる。そこで、本研究では、残留応力や断面欠損過程の解析上の取り扱いが、残存耐荷力に及ぼす影響について検討することを目的として、腐食に伴う断面欠損過程での応力の再分配挙動や付加的な変形の発生が考慮できる解析モデルを対象とした平面骨組弾塑性有限変位解析プログラムを開発した。さらに、それを用いた解析手法（以後、本手法と呼ぶ。）によって単純支持柱およびπ形ラーメン橋の残存耐荷力を求め、それらの結果と従来法による解析結果との比較を行ったので結果を報告する、

2. 解析プログラムの概要

開発した解析プログラムの定式化は、基本的には文献 1)と同様であるが、本研究では、残留応力を考慮するため、断面内では、図-1 のようなファイバー要素分割を採用し、ファイバー要素の境界上に積分点を配置して、積分点間で応力が線形変化するものと仮定して精度を向上させた。また、腐食に伴う体積欠損過程では、図-1 に示すように、ファイバー要素の総数は変化させず、ファイバー要素の厚さ t_{ig} 、幅 w_{ig} と図心座標 y_{ig} が線形変化するものと仮定した。ただし、板要素の局部座屈の影響については考慮していない。

3. 単純支持柱の残存耐荷力

図-2 のように、単純支持箱形断面柱に初期断面の降伏軸力 P_Y の 20%を圧縮力として作用させた状態で、断面内部に二軸対称な腐食欠損が進行したものとし、その後に圧縮力を漸増载荷して残存耐荷力を算定する問題について検討した。検討に際して、柱の細長比パラメータ λ_c は 0.2, 0.5, 1.0 および 1.5 と設定し、その影響は柱の長さ L を変化させて考慮した。また、初期たわみはその最大値 $L/1000$ が支間中央で生ずる正弦半波形、初期状態の残留応力分布は図-2 に示すように仮定した。検討結果として、 $\lambda_c=1.0$ の場合について、圧縮力 P を P_Y で除したパラメータと支間中央点での y 方向変位 v を L で除して百分率表示したパラメータの関係を図-3 に示す。なお、同図中には、比較として、断面欠損のない初期状態での荷重-変位曲線、および各々の終局強度 P_{max} を示した。これより、 $\lambda_c=1.0$ の初期状態での

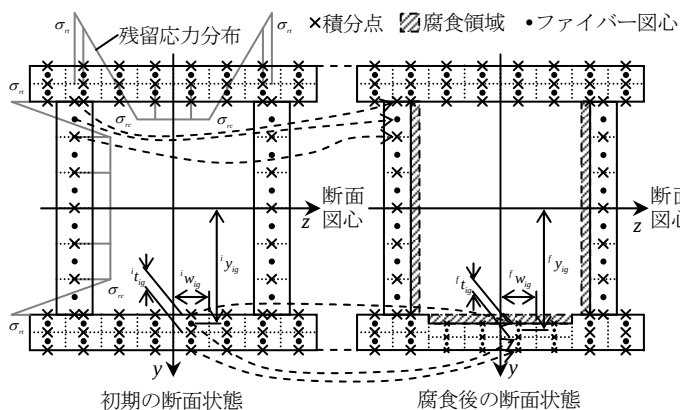


図-1 断面内のファイバー要素分割

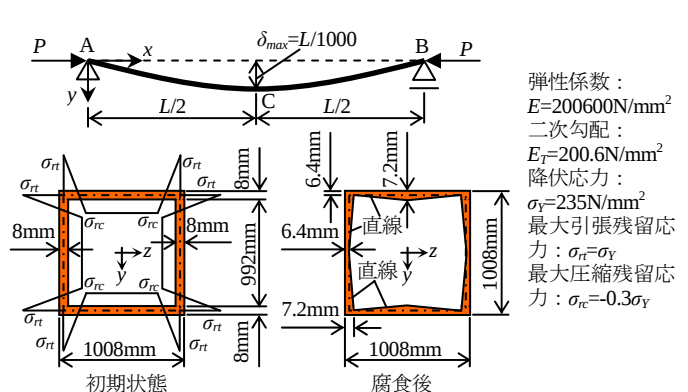


図-2 単純支持柱の解析モデル

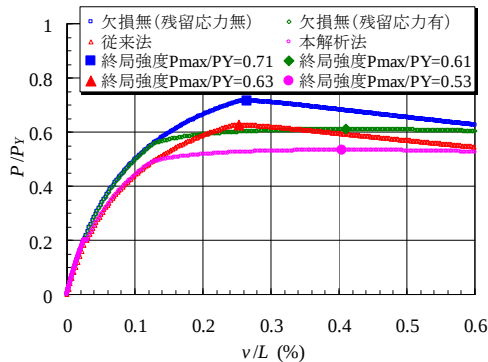


図-3 圧縮力-変位関係

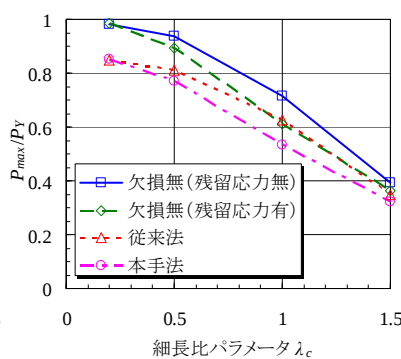
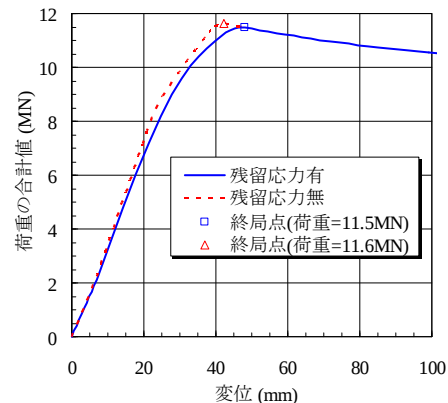
図-4 P_{max}/P_Y と λ_c の関係

図-6 初期状態の荷重-変位関係

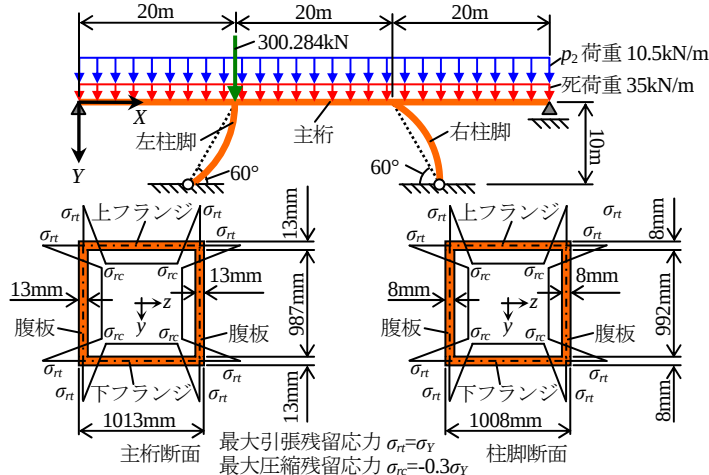
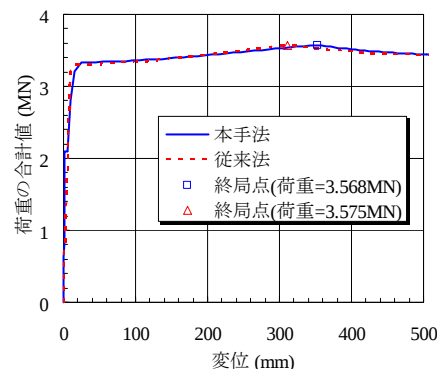
図-5 π 形ラーメン橋の平面骨組解析モデル

図-7 柱脚断面内に一樣な断面欠損が生じた場合の荷重-変位関係

耐力は残留応力によって約 14%低下し、従来法による残存耐力は本手法に比して約 16%危険側に評価されることがわかる。次に、圧縮力の最大値（耐力） P_{max} を P_Y で除したパラメータと λ_c の関係を図-4に示す。これより、 λ_c が0.5以上では、従来法は本解析法に比べて危険側に残存耐力を算定し、その差は初期状態での残留応力による耐力の低下量に概ね対応することが分かる。

4. π 形ラーメン橋の残存耐力

文献 1)に報告されている諸元を有する π 形ラーメン橋は、その主桁と柱脚を図-5のようにモデル化し、弾性係数 $E=200.6\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_Y=235\text{MPa}$ 、および二次勾配 $E_I=2006\text{MPa}$ のバイリニア型構成式で応力-ひずみ関係を与えた。また、残留応力は図-5の分布形状、初期たわみは柱脚中央でその最大値が部材長比の1/1000となる正弦半波形として与えた。荷重条件は、図-5に示すように、死荷重と道路橋示方書²⁾のB活荷重のうちの p_2 荷重を等分布荷重として主桁上に満載し、左柱脚が不利となるように、 p_1 荷重を集中荷重に換算して左柱脚上に載荷した。検討結果として、死荷重載荷後に活荷重を漸増載荷して初期状態の終局挙動を求めたケースについて、(y軸方向)荷重の合計値と主桁中央のy軸方向(鉛直)変位の関係を図-6に示す。これより、この π 形ラーメン橋は、初期状態での残留応力による強度低下の小さい構造諸元であることが分かる。次に、断面内の板要素が腐食により失った平均板厚を腐食前の板厚で除して板厚欠損率 β を定義し、死荷重作用下で $\beta=85\%$ まで柱脚断面内部を一樣に断面欠損させ、その後活荷重を漸増載荷して終局挙動を求めたケースについて、荷重と主桁中央の鉛直変位の関係を図-7に示す。これより、従来法は本手法よりも若干危険側に残存耐力を算定するものの、いずれの手法による結果もほぼ一致することが分かる。

5. まとめ

単純支持柱の検討結果より、残留応力と体積欠損過程を無視する従来法は、本手法よりも危険側に残存耐力を評価するが、本研究で対象とした π 形ラーメン橋では、初期状態での残留応力による強度低下が殆どないため、両手法による残存耐力の差異が小さいと考えられる。今後は、初期状態での残留応力による強度低下が大きいと考えられるトラス橋などを対象として両手法による残存耐力の差異について検討する必要がある。

【参考文献】 1) 後藤芳顕, 川西直樹: 腐食や補修の影響を考慮した長期間の力学性能評価のための構造解析法の開発, 土木学会論文集, No.689/I-57, pp.85-100, 2000., 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II. 鋼橋編, 丸善, 2002.