

豊田高専
名古屋工業大学

正会員 川西直樹, ○学生会員 今井啓恵
正会員 後藤芳顕

1. まえがき

長期的に橋の供用期間を考えた場合、腐食劣化や地震による損傷、またこれらに付随した補修・補強などが行われ、橋はその供用期間中にさまざまな履歴特性を受ける（図-1）。特に鋼橋の場合、常に死荷重が载荷された状態において腐食が進行し、その状態から補修が行われるため、その応力分布や変形は時系列的な履歴特性に影響され複雑なものとなる。しかしながら、これまでこのような観点から研究されてものはほとんどなく、未解明な点が多い。

ここでは、腐食や補修による断面変化とその際に部材内部で起こる応力の再配分や残留変位について正確に追跡することのできる有限要素法¹⁾を用いて、このような履歴特性がトラス橋の限界状態にどのような影響を及ぼすかについて解析的に検討する。

2. 腐食過程の追跡方法

死荷重などの荷重载荷状態における応力、ひずみ、

変位、断面積および節点外力をそれぞれ $\sigma_{ij}, e_{ij}, u_i, A, f_i$ とする。この状態から断面が ΔA 変化し、同時に節点外力が Δf_i だけ増加したとき、弾塑性有限変位解析の基礎方程式となる増分型仮想仕事の原理を表現すると、以下ようになる。

$$\int_L \int_{A+\Delta A} (\sigma_{ij} + \Delta \sigma_{ij}) \delta(e_{ij} + \Delta e_{ij}) dA dx$$
$$= (f_i + \Delta f_i) \delta(u_i + \Delta u_i)$$

(1)

上式に変位関数を代入し、変分量に関して整理すると荷重载荷状態から腐食による断面変化を連続的に考慮した接線剛性方程式が得られる。

3. 数値計算モデルと解析ケース

解析対象とするワーレントラス橋は、昭和 30 年代に実際に架設されたものである。この寸法諸元を図-2に示す。死荷重作用下で引張り力が作用する斜材は H 型断面であり残りの部材は箱型断面となっている。ここで用いる材料構成則は設計基準値に基づいた降伏

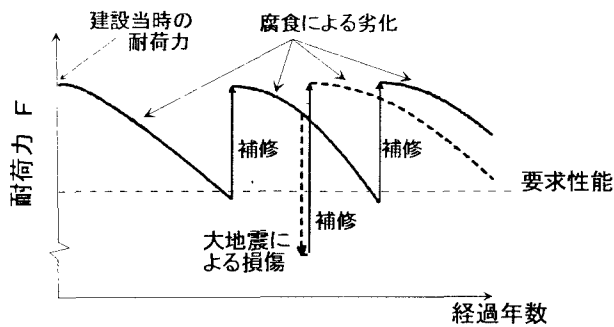


図-1 耐荷力の経年変化

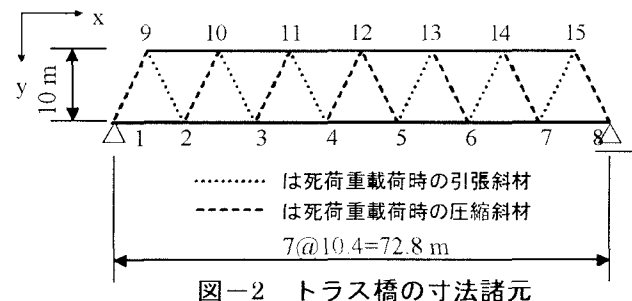


図-2 トラス橋の寸法諸元

表-1 基本的な解析ケース

	step1	step2	step3	備考
Case 0	死荷重 A_0	死荷重 $A_0 \rightarrow (1-\beta)A_0$ (断面減少)		腐食に関する終局挙動の解析
Case 1	死荷重 A_0	死荷重 $A_0 \rightarrow (1-\beta)A_0$ (断面減少)	死荷重 + 活荷重 $(1-\beta)A_0$	腐食のある場合の残存耐力の計算
Case 2	死荷重 A_0	死荷重 $A_0 \rightarrow (1-\beta)A_0$ (断面減少)	死荷重 + 活荷重 $(1-\beta)A_0 \rightarrow A_0$ (補修)	腐食前と幾何学的に等価な断面に補修したときの耐荷力計算
Case 3	死荷重 $(1-\beta)A_0$	死荷重 + 活荷重 $(1-\beta)A_0$		従来の手法による腐食のある場合の残存耐力の近似計算
Case 4	死荷重 A_0	死荷重 + 活荷重 A_0		腐食のない場合の耐荷力の計算

注 1) A_0 : 腐食前の断面
注 2) β : 断面減少率, $\beta = \frac{\text{腐食により減少した部材断面積}(\sum \Delta A)}{\text{初期の部材断面積}(A_0)}$

応力およびヤング係数 E を用い、塑性化後の硬化則は移動硬化則とし、硬化係数は $E/100$ とする。

解析ケースを表-1 に示す。

4. 解析結果

腐食により各部材の断面が均一に減少した場合の解析結果を図-3 に示す(Case0)。 $\textcircled{1}\textcircled{2}$ は引張材であり、 $\textcircled{3}\textcircled{4}$ は圧縮材である。引張材より圧縮材の方が変形の小さな領域で断面減少率のピークを迎えていることが分かる。これは、断面減少していく過程で圧縮部材断面が塑性化し、それに起因して座屈が生じると、それとほぼ同時に構造系全体が急激に不安定となるためである。よって、崩壊までの変形の増加や剛性の低下が明確に現れないため、現場計測により崩壊を予測することは難しいと考えられる。逆に、引張材は部材の座屈が生じないため、腐食とともに大きく変形した上で崩壊する。

図-4 は、縦軸に鉛直荷重の合計値 P_z 示し、横軸に鉛直変位を示す。厳密な残存耐力の計算法である Case1 と近似的な計算法である Case3 の荷重-変位曲線は死荷重載荷以降においてほぼ完全に一致し、残存耐力も数値的には同一の値となる。特に、断面減少率が 0.75 の場合は、腐食による変形が非常に大きいにも拘わらず、下弦材の死荷重満載状態以降において Case1 と Case3 の荷重変位曲線は一致している。

図-5 は、下弦材が腐食し、それを補修したトラス橋の限界状態を示した図であり、縦軸に活荷重係数 λ_f 、横軸に鉛直変位を示す(Case2, Case4)。断面減少率(β_f)が 50%、60% の場合の崩壊過程は、断面減少が全くない場合($\beta_f = 0\%$)の崩壊過程とほぼ等しい。 $\beta_f = 70\%$ を超えると死荷重載荷状態から腐食による鉛直変位が増大し、この幾何学的な変形の影響により補修後の耐力も低下する。 $\beta_f = 75\%$ では、 $\beta_f = 70\%$ に比べ、さらに残留変位が増大し、耐力が低下する。

5. まとめ

解析結果より、残存耐力は腐食により大きな残留変形が生じる場合には、履歴特性の影響が顕著となるが、残留変形が小さく収まっていれば、履歴特性の影響は小さい事が分かった。

また、死荷重載荷条件下での腐食過程を正確に解析した後、活荷重を漸増して残存耐力を計算する厳密

な方法 (Case1) と、初期形状として腐食した断面の構造を無応力状態で与え、その後死荷重を載荷した上で活荷重を漸増し耐力を計算するという従来から用いられてきた近似的な方法 (Case3) とは数値的には等価な結果を与えることが分かった。

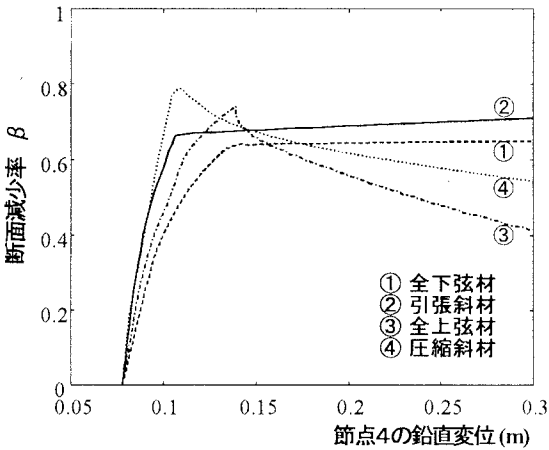


図-3 腐食による崩壊過程(Case0)

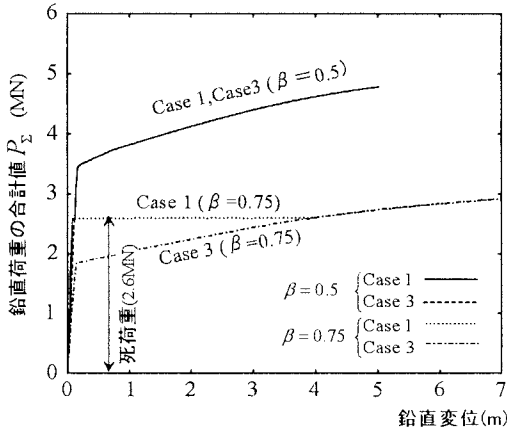


図-4 2手法による残存耐力の比較(Case1, Case3)

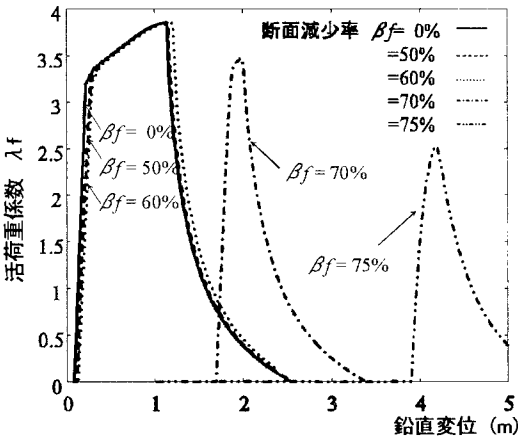


図-5 下弦材を補修したトラス橋の限界状態 (Case2, Case4)

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構造物の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. pp85-100. 2001.10