

合成桁の曲げ耐力に及ぼす 断面の劣化損傷の影響に関する基礎的検討

宇都宮大学 学生員 ○川上 唯, フェロー 中島章典

1. はじめに

高度成長期から 1980 年代にかけて膨大なインフラが全国で整備されてきた。それらは維持補修管理を重ね、今もなお利用されているものが多く存在する。橋梁については、橋長 15m 以上の主要な道路橋の内、ほとんどがこの時期に整備されたものであり、我が国の橋梁の整備時期は他国と比べても明らかに偏りがある。これらの橋梁は、近年の交通荷重の増加や雨水の影響などにより材料の劣化が顕著に現れ始めており、大部分の橋梁が近い将来、一斉に寿命を迎えることが懸念されている。そのため、限りある資源の保全、また財政面においても、持続可能な維持補修管理が強く求められている¹⁾。

ここで、橋梁の主な架け替え理由としては、床版の破損、コンクリートの亀裂や剥離、鋼材の腐食が挙げられる。そこで本研究では、合成桁の有効断面が床版の疲労や鋼材の腐食により減少していくことをモデル化し、合成桁の曲げ耐力に及ぼす断面の劣化損傷の影響を調べ、維持補修管理に繋がる基礎的検討を行うこととした。

2. 対象断面と曲げ耐力の定義

ここでは、架設後 50 年ほど経過する 2 径間連続合成桁橋の断面を参考としている²⁾。図-1 に断面形状を示す。図-1-a が正曲げ、図-1-b が負曲げを受ける断面形状である。コンクリート床版内には、D16 鉄筋を橋軸方向に 200mm 間隔で 8 本ずつ上下段に配置した。かぶりは 32mm とする。ここで、コンクリートの圧縮強度 f'_{cd} を 40N/mm^2 、鋼のヤング係数 E_s を 205kN/mm^2 、降伏応力 f_{yd} を 235N/mm^2 とする。これを損傷のない健全な断面 (以下、基準断面) とし、曲げ耐力に及ぼす断面の劣化損傷の影響を検討する。

曲げ耐力の定義について説明する。まず正曲げ断面では、鋼桁下縁が降伏応力に達する時を降伏曲げ耐力 M_{uy}^+ 、コンクリート床版上縁が終局ひずみに達する時を終局曲げ耐力 M_{uv}^+ とする。終局ひずみ ε'_u は式 (1) から求めた³⁾。

$$\varepsilon'_u = \frac{155 - f'_{ck}}{30000} \quad (0.0025 < \varepsilon'_u < 0.0035) \quad (1)$$

ここで、 f'_{ck} はコンクリートの圧縮強度の特性値であり、材料係数 1.3 として求めた。

負曲げ断面では、鋼桁の最外縁が降伏応力に達する時を降伏曲げ耐力 M_{uy}^- とし、終局曲げ耐力については、鋼桁下縁がコンクリートの終局ひずみの 10 倍に達する時に全塑性での曲げ耐力に近似するため、これを終局曲げ耐力 M_{uv}^- とした。

3. 曲げ耐力の算出方法

コンクリート床版を 50 分割、上フランジを 5 分割、ウェブを 100 分割、下フランジを 5 分割し、軸方向鉄筋は上下段に分けて高さ座標、ひずみ、応力、軸力、曲げ耐力の順に数値積分を行う。高さ座標は中立軸から各分割断面中央までの距離とし、正曲げ断面では中立軸から下に正、負曲げ断面では中立軸から上に正をとるものとした。得られた高さ座標ごとにひずみを求め、応力はコンクリート床版断

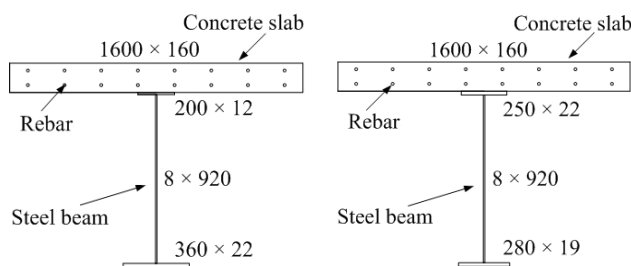


図-1-a 正曲げ断面

図-1-b 負曲げ断面

図-1 対象断面 (単位: mm)

面では式 (2) とする³⁾。

$$\sigma'_c = \begin{cases} 0 & (\varepsilon' < 0) \\ k_1 f'_{cd} \frac{\varepsilon'}{0.002} \left(2 - \frac{\varepsilon'}{0.002} \right) & (0 \leq \varepsilon' \leq 0.002) \\ k_1 f'_{cd} & (0.002 < \varepsilon' < \varepsilon'_u) \end{cases} \quad (2)$$

ここで k_1 は係数 ($= 1 - 0.003 f'_{ck}$)、 ε' は高さ座標ごとに求めたひずみ、 ε'_u は終局ひずみである。式 (2) より、コンクリート床版断面では引張側の応力を 0 としているので、負曲げ断面に関しては床版コンクリートを無視する。また、鋼桁断面での応力は式 (3) とする³⁾。

$$\sigma_s = \begin{cases} -f_{yd} & (\varepsilon < -\varepsilon_y) \\ E_s \varepsilon & (-\varepsilon_y \leq \varepsilon \leq \varepsilon_y) \\ f_{yd} & (\varepsilon_y < \varepsilon) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 ε は高さ座標ごとに求めたひずみ、 ε_y は降伏ひずみ (f_{yd}/E_s) である。式 (2)、(3) から得られた応力に各分割断面面積を乗じて軸力とし、中立軸位置における軸力は 0 となることから、中立軸から鋼桁下縁までの距離 y_0 を段階的に変化させ、軸力が 0 に最も近似した点を y_0 として中立軸を求めた。この中立軸位置における高さ座標、ひずみ、応力、軸力を同様の手順で求め、最後に軸力へ中立軸から各分割断面中央までの距離を乗じ、それぞれの定義に沿って降伏曲げ耐力、終局曲げ耐力を算出した。

4. 曲げ耐力への影響

(1) コンクリート床版の劣化損傷

コンクリート床版の疲労により床版内にひび割れが発生し、有効断面が減少していくことを想定する。ひび割れ状況を予測することは難しいことから、ここでは簡易的に、床版厚と橋軸方向鉄筋径を同時に基準断面に対して 1% ずつ減らし、床版全体が完全に機能しなくなる状態までの曲げ耐力への影響を調べた。また、有効断面が減少しても合成作用は成り立つものとする。なお、正曲げ断面の終局曲げ耐力 M_{uv}^+ に関しては、コンクリート床版上縁が終局ひずみに達する時を定義としている。しかし、基準断面からの曲げ耐力の挙動を把握するために、床版全体が完全に機能しなくなる状態では、鋼桁上縁がコンクリートの終局ひずみに達する時を終局曲げ耐力 M_{uv}^+ としている。

Key Words: 合成桁, 既設橋梁, 劣化損傷, 曲げ耐力

〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

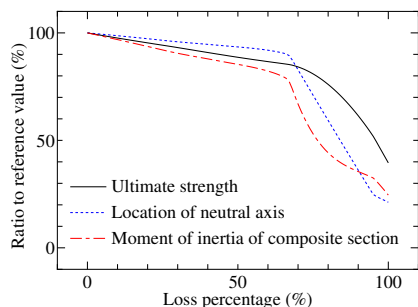
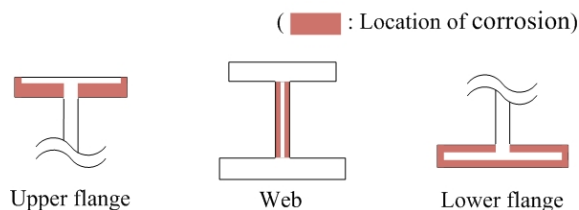
図-2 床版の劣化損傷による M_{uv}^+ への影響

図-3 仮定した腐食の進行位置

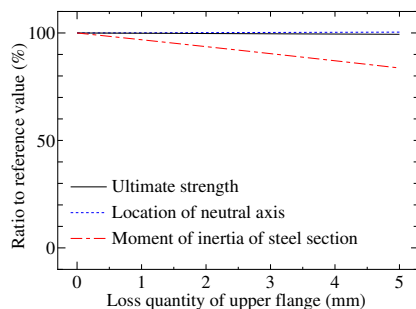


図-4-a 上フランジの腐食による影響

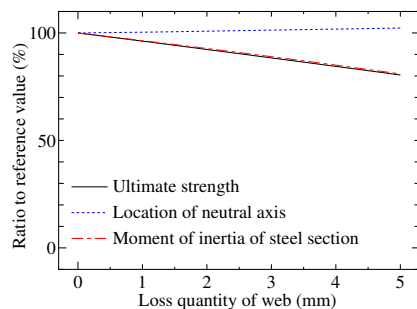


図-4-b ウェブの腐食による影響

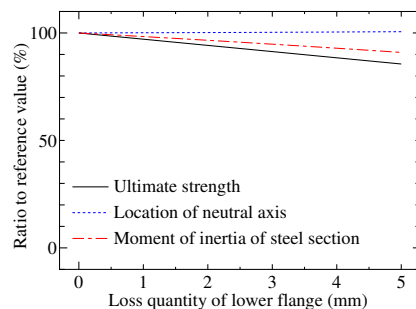


図-4-c 下フランジの腐食による影響

図-4 鋼桁の劣化損傷による M_{uv}^+ への影響

正曲げ断面での終局曲げ耐力 M_{uv}^+ への影響を、例として図-2に示す。ここで、図-2の黒線は終局曲げ耐力、青線は中立軸から鋼桁下縁までの距離、赤線は断面2次モーメントの変化を表す。縦軸は基準断面の値に対する減少断面の値の比、横軸は床版厚と橋軸方向鉄筋径の有効断面の減少した割合である。図-2より、終局曲げ耐力、断面2次モーメントの値は有効断面が減ると減少し、中立軸位置は下がっている。また、有効断面が70%減少するあたりで中立軸位置が急激に下がっていることが分かる。これは鋼桁の圧縮側が降伏し始めるためである。有効断面が95%減少するあたりでは、中立軸位置の下がる傾きが緩くなっているが、これは鋼桁の引張側の降伏域が減ることによる。

終局曲げ耐力は非線形に減少していることから、有効断面が減るほどに耐力の減少は著しくなるといえる。さらに、床版全体が完全に機能しなくなる状態では、基準断面に対して曲げ耐力は60%近く減少している。合成桁の受け持つ耐力は鋼桁のみの耐力の1.5~2倍とされていることから、床版の劣化損傷が、抜け落ちなどといった使用性に関する不備だけでなく、実際に曲げ耐力を大幅に減少させるに至るといえる。

(2) 鋼桁の劣化損傷

鋼桁が腐食し、有効断面が減少していくことを想定する。コンクリート床版の劣化損傷の時と同様に、鋼の腐食の進行については予測が容易ではない。腐食が原因で架け替えられた実橋梁の内、部材ごとで平均した腐食厚が4mm程度のものであったので⁴⁾、今回は上フランジ、下フランジ、ウェブがそれぞれ0.01mm区切りで計5mm減少するまでの曲げ耐力への影響を調べた。なお、簡易的に検討するために座屈については考慮しないこととし、有効断面が減少しても合成作用は成り立つものとする。図-3に上フランジ、下フランジ、ウェブの仮定した腐食の進行位置を示す。上フランジ上縁はコンクリート床版に接しているため、下縁からと両側から腐食が進行するものとした。ウェブは両側から腐食が進行し、下フランジは上縁下縁からと両側から腐食が進行するものとする。ここで下フランジ下縁が腐食した場合には橋梁全体の位置が下へ移動するものとして曲げ耐力を求めている。

正曲げ断面での終局曲げ耐力 M_{uv}^+ への影響を、例として図-4に示す。図-4-aは上フランジの腐食による影響、図-4-bはウェブの腐食による影響、図-4-cが下フランジの腐食による影響である。ここで、図-4の黒線は終局曲げ耐力、青線は中立軸から鋼桁下縁までの距離、赤線は断面2次モーメントの変化を表す。縦軸は基準断面の値に対する減少断面の値の比、横軸は腐食による減少厚である。図-4より、終局曲げ耐力、断面2次モーメントの値は有効断面が減ると減少し、中立軸位置はわずかに上がっている。また図-4-aより、上フランジが腐食する際の曲げ耐力への影響は小さい。図-4-b、図-4-cより、ウェブや下フランジに関しては5mm腐食が進行すると約15~20%曲げ耐力が低下していることが分かる。

5. おわりに

本研究では、合成桁の曲げ耐力に及ぼす断面の劣化損傷の影響を調べ、維持補修管理に繋がる検討を行った。得られた結果としては、コンクリート床版が完全に機能しなくなる状態では、耐力が60%近くも減ること、上フランジの腐食に関しては、曲げ耐力に影響を及ぼさないと考えられるため、ウェブや下フランジの腐食の把握の方が、維持補修管理を行う上で重要であるということが挙げられる。しかし、鋼桁の腐食に関しては今回のように、全面において5mmも腐食が進行することは実橋梁としてはあまり考えられない。そのため実際には、鋼桁の腐食が曲げ耐力に及ぼす影響は少ないと思われる。

今回は、有効断面が減少しても、合成作用は失われないものとして曲げ耐力への影響を調べたが、劣化損傷が進行することにより、徐々に合成作用を失うことも考慮しなくてはならない。

参考文献

- 1) 古市ら：保有性能と損傷から見た既設橋梁の対策優先順位決定に関する一手法，構造工学論文集，Vol.54A，pp.460-471，2008.3.
- 2) 橋 善雄：連続合成桁橋，理工図書，p.119，p.230，1966.
- 3) 土木学会：複合構造標準示方書，p.38，2009.
- 4) Voら：腐食が原因で取り替えられた実鋼橋支点部の載荷実験および解析，土木学会論文集，No.710，pp.141-151，2002.7.