

橋梁システム挙動に着目した桁端部に腐食損傷を有する鋼桁橋の支点反力分担に関する検討

大阪市立大学大学院 学生員 ○大浦 涼雅 (株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 有村 健太郎
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋ストックの老朽化が進んでいる。老朽化した鋼橋の劣化の要因は主に腐食と疲労であり、適切な耐荷力評価は重要な課題である。また、橋梁の構成部材は、独立して挙動するのではなく、一つの構造システムとして相互に関係して挙動する(以下、橋梁システム挙動)。しかしながら、現行の設計では、このような橋梁システム挙動を考慮せず部材を個別に取り扱うことが多い。

本検討では、桁端部に腐食損傷を有する鋼桁橋の支点反力分担および耐荷力を、全橋 FEM 解析により検討した。

2. 解析モデル

対象橋梁は、平成6年度版の土木構造物標準設計に記載されている支間長 30m、幅員 9.5m の標準的な単純非合成4主I桁橋(設計番号 0222)を基本とし、主桁間隔を 2.9m、床版厚が 240mm で同一となるように幅員を変化させ、主桁本数を 3 本、4 本、5 本として設計した3橋とした。解析モデルは図-1に示す全橋 FEM 解析モデルとした。解析には汎用有限要素解析ソフト Abaqus2020 を使用し、モデル化および解析条件は文献2)を参考に行った。用いた材料構成則を表-1に示す。

支承条件は、桁端部に腐食が見られる橋梁では多くの場合、支承の機能が低下していることから、両端固定(ピン支持)とした。なお、耐荷力を相対的に比較するために、健全時についても腐食時と同様の境界条件とし、境

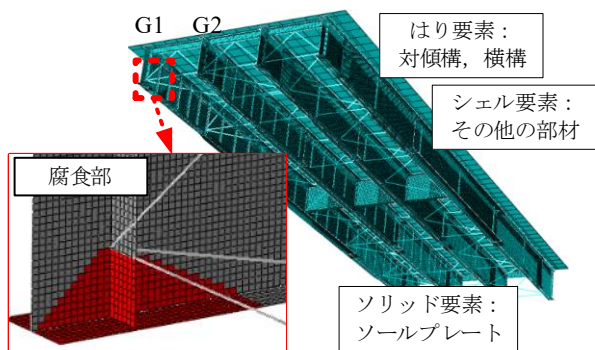


図-1 解析モデル

表-1 解析に用いた材料構成則

部位	材質	ヤング係数 E(GPa)	降伏点 σ_y (MPa)	ひずみ硬化係数 E'(MPa)
主桁ウェブ、フランジ及び当て板	SM490Y	200	355	E/100
ソールプレート	SS400	200		弾性体
その他の鋼部材	SS400	200	235	E/100
RC床版	コンクリート	25		弾性体

表-2 解析ケースの内訳

解析ケース名	主桁本数	腐食主桁	活荷重配置着目桁	腐食形状および腐食箇所		腐食減肉率
				支点上補剛材	ウェブ、下フランジ	
t25						25%
t50					246mm 300mm 500mm	50%
t75					246mm 300mm	75%
H246B300					246mm 300mm	50%
H246B150					246mm 150mm	50%
H100B300					100mm 300mm	50%
H100B150					100mm 150mm	50%
A	4	G1	G1		246mm	50%
B					246mm	50%
C					246mm 300mm	50%
D					300mm 246mm	50%
E					246mm 300mm	50%
3G	3					50%
5G	5				300mm 246mm 500mm	50%
D-G2	4	G2	G2		300mm 246mm 500mm	50%

キーワード 鋼桁橋, 橋梁システム挙動, 腐食, 支点反力分担

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

界条件をソールプレート下面に線状に与えた。荷重は死荷重およびB活荷重(L荷重)であり、死荷重は上部構造の全重量を床版全面に等分布荷重で、活荷重は腐食桁端部に対して最も厳しくなるよう荷重分配係数を算出し、載荷範囲を決定した。本検討では、設計荷重(死荷重+活荷重)に対する倍率によって耐荷性能を調べるため、設計荷重を弧長法で増分させた。設計荷重の増加量は荷重倍率 α を用いて表す。

解析ケースの内訳を表-2に示す。腐食減肉率とは、腐食のない健全な状態を0%とし、健全な状態の板厚に対する減肉率を表す。パラメータは、腐食減肉率、腐食形状、腐食箇所、主桁本数、腐食主桁であり、t50を基準とした腐食パターンを選定した。

3. 解析結果

最大荷重倍率と支点反力分担率比の関係を図-2に、最大荷重倍率と桁間鉛直剛性係数 E_r の関係を図-3に示す。図中の近似式は最小二乗法により求めた。ここで支点反力分担率比は、主桁本数および腐食主桁の影響を取り除くために式(1)を用いて補正し、式(2)より求めた。また、桁間鉛直剛性係数 E_r は式(3)より求めた。

$$R_{GI} = R_{GI1} \cdot \frac{X_{GI1}}{X_{GI1} + X_{GI2}} \quad (1)$$

$$R' = R_{GI}/R_{GD} \quad (2)$$

ここに、 R_{GI} :補正された健全桁の支点反力分担率(%), R_{GI1} :隣接する健全桁の支点反力分担率(%), X_{GI1} :隣接する健全桁の荷重分配係数, X_{GI2} :隣接していない、もしくは荷重分配係数の小さい隣接健全桁の荷重分配係数, R' :支点反力分担率比, R_{GD} :腐食桁の支点反力分担率(%)をそれぞれ表す。

$$E_r = \left(\frac{P_{yI} \cdot B \cdot h}{P_{yD} \cdot (B - a_s) \cdot (h - b)} \cdot n_D + n_I \right) / n \quad (3)$$

ここに、 E_r :桁端部の桁間鉛直剛性係数, P_y :支点部降伏耐力(N), B :径間側ウェブの鉛直補剛材間板幅(mm), h :桁高(mm), a_s :径間側ウェブの腐食幅(mm), b :径間側ウェブの腐食高さ(mm), n_D :腐食した主桁本数(本), n_I :健全な主桁本数(本), n :主桁本数(本)をそれぞれ示す。

図-2より、最大荷重倍率時の支点反力分担率比と最大荷重倍率には、一定の関係がみられる。これは腐食桁の桁端断面と、隣接健全桁の桁端断面バランスが橋梁システムの耐荷力に影響することを示唆している。図-3

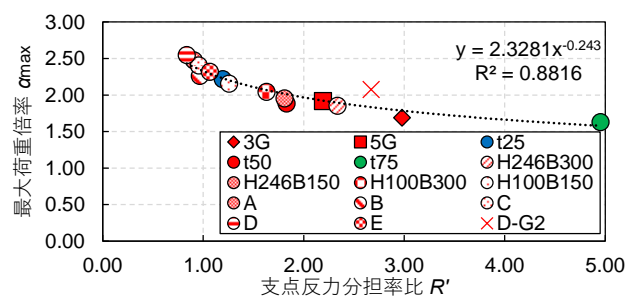


図-2 最大荷重倍率—支点反力分担率比の関係

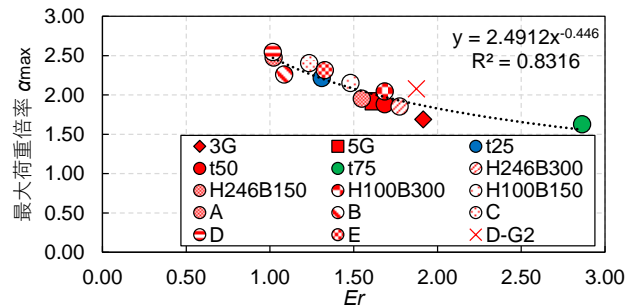


図-3 最大荷重倍率—桁間鉛直剛性係数 E_r の関係

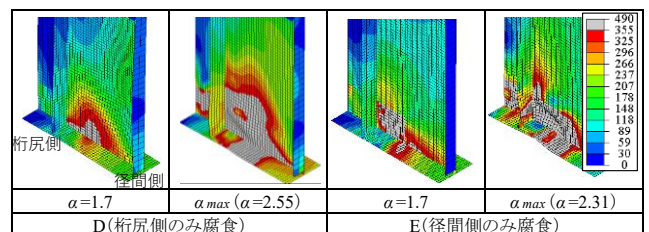


図-4 腐食桁 Mises 応力コンター変形図 (MPa)

より、最大荷重倍率と E_r に一定の関係が認められる。これはすべてのケースで支点部の降伏が先行、もしくは降伏耐力よりやや低い荷重で局部座屈が先行する2パターンの座屈プロセスであることによる。図-4にDとEの腐食桁桁端部の Mises 応力コンター変形図を示す。図中には $\alpha=1.7$ 時と最大荷重倍率時を示す。Dでは $\alpha=1.7$ で径間側ウェブが降伏しており、支点上補剛材が局部座屈することで最大荷重倍率に達する。Eにおいても同様の座屈プロセスである。また腐食箇所によらず、全ケースで径間側ウェブから降伏および座屈することを確認した。

4. まとめ

鋼I桁橋で腐食主桁が1本の場合、腐食した桁と隣接する健全桁の桁端断面から橋梁システムの耐荷力が推定できる。これは耐荷力と支点反力分担率比に相関があり、さらに E_r と支点反力分担率比に相関が認められるためである。今後は主桁断面や斜橋等に注目し、一般化に向けた詳細な検討を進める予定である。

<参考文献>

- 1) 白戸真大, 藤田裕士, 高橋慶: 橋梁の架替に関する調査結果 (V), 国土技術政策総合研究所資料, 第1112号, 2020.6.
- 2) 有村健太郎, 有山大地, 船越博行, 山口隆司: 桁端部に腐食劣化の生じた鋼I桁橋の耐荷性能評価に関する解析的研究, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.1, pp.232-247, 2017.