

第 I 部門 桁端部が腐食した鋼 I 桁の動的性能評価

関西大学環境都市工学部 学生会員 ○肥田 夏実 関西大学大学院理工学研究科 学生会員 木野村 宏昭
 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣 正博

1. まえがき

鋼橋の維持管理において、劣化の主な要因である腐食と橋の保有性能との関係を把握しておくことは極めて重要である。既往の研究では、車両の走行時のような動的な荷重作用を静的な作用に置き換えて腐食した鋼桁の耐荷性能が評価されている。しかしながら、交通振動が腐食鋼桁へ及ぼす影響に限らず、腐食しやすい桁端部に設けられた伸縮継手部の段差上を通行する車両で起こる衝撃作用はあまり検討されていない。

ここでは、上述の腐食、衝撃、車両と橋梁の連成振動を同時に加味した鋼桁の非線形過渡応答解析を汎用有限要素プログラム MARC2012 に備わる複数の機能を適用して行い、解析の有効性について検討する。

2. 数値解析法と解析の条件

2.1 腐食した橋梁と車両のモデル化

支間 20m の RC 床版を含む単純 I 桁を対象とする。断面図を図 1 に、部材要素の材料特性を表 1 に示す。なお、対象橋梁の詳細は文献 1) に譲る。

国総研の損傷事例をもとに、解析に用いる腐食形態を図 2 に示す Case 1~3 とした。図中、 h は腹板高である。また、腐食量を表すパラメータとして、板厚の減少を表す比 $\alpha = t'/t$ を導入する。ここに、 t は健全時の、 t' は減少した板厚である。 $\alpha = 0$ は健全な桁を表す。

20t 級の 3 軸トラックを車両モデルとした。その諸元の詳細は文献 2) に譲る。解析ではこれを 1 軸車両に置き換えた。その重量、速度、等価ばね定数、等価減衰定数は表 2 のようである。解析上、車輪を剛体でモデル化し、それと車体との間にばねとダッシュポットを設けた。車両の並進と回転の速度を車輪の中心に、車体にその重量を与えて表現した。また、車輪と橋面との間に起こる接触を逐次判定し、伸縮継手部の段差によって生じる衝撃力を捉えた。

2.2 有限要素の分割と数値解析の条件

RC 床版をソリッド要素で、鋼 I 桁をシェル要素で離散化した。鋼材とコンクリートの降伏条件に von Mises の等価応力を用いた。有限要素の定式化に Updated Lagrangian 法、動的応答の数値解法に Newmark

の β 法 ($\beta = 1/4$, $\gamma = 1/2$, $\Delta t = 1/100$ s)、非線形解の収束計算に Newton-Raphson 法を用いた。総要素数は RC 床版が 5,952 要素、I 桁が 2,540 要素である。

3. 数値解析結果とその考察

汎用プログラムに含まれる機能のうち、ここでは ①3 次元変形挙動を把握するためのモデル立体化機能、②段差部と車輪の接触による衝撃力を評価するための接触解析機能、③車輪の上下振動を再現するばねとダッシュポットによる接続機能、④動的問題を解くための時刻歴応答解析機能、⑤腐食による弾塑性状態を再

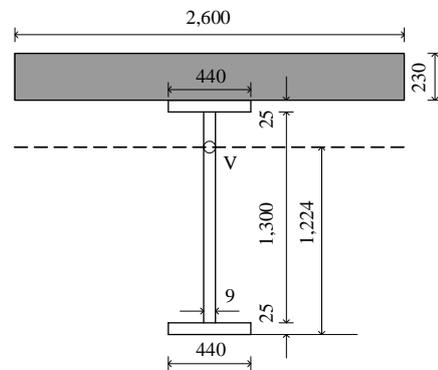


図 1 解析モデルの断面図

表 1 部材要素の材料特性

	鋼種	圧縮強度 降伏応力 (MPa)	ヤング率 (GPa)	ポアソン 比	密度 (g/cm ³)
床版		16	26.5	0.2	2.5
上フランジ	SM41	235	206	0.3	7.8
腹板		245			
下フランジ		235			
端補剛材		235			
支間の補剛材		245			

※支点上の鉛直補剛材と隣接の鉛直補剛材で囲まれる腹板パネルを1パネル'a'とする。

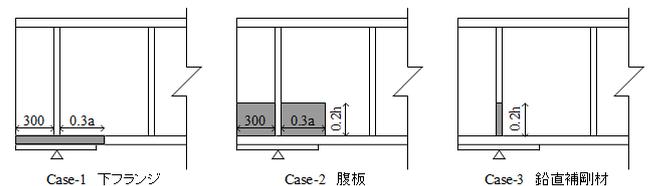


図 2 腐食の形態

表 2 車両に関するパラメータ

車両重量(kN)	121
走行速度(km/h)	30
等価ばね定数(kN・m)	9,484
等価減衰定数(kN・m/s)	47

現する非線形解析機能を用いた。これらの機能を解析に反映すれば、上述の課題が解決できる。

上述の機能を用いて得られた数値解析結果の妥当性を検討する。左端から速度 30km/h で走行する車両によって生じる支間中央のたわみいわゆる影響線を描けば、図3を得る。ただし、段差も腐食も考えていない。図中、走行荷重による応答の理論値は、有限要素解析で用いる車両モデルと同じ重量と速度のもとで求めたたわみの影響線である。ただし、車両の走行時に上下に変動する軸重は一定とした。図から明らかなように、数値解析結果は車両の上下振動による慣性力の影響で理論値に比べて大きな振幅を呈しているが、振動の周期は等しく、車両と橋梁の連成振動の再現性や接触解析による荷重伝達はうまくなされている。

つぎに、左端の支点における車両の走行による反力の変化いわゆる影響線を描けば、図4を得る。図から明らかなように、数値解析結果は静的な荷重が左端から右端に移動する場合の支点反力の影響線を軸に上下に変動している。車両が左端から遠ざかるにしたがって減少し、橋面上を通過した後は死荷重による振動のみが桁に残っている。ただし、段差の有無で変位の量が異なるものの、文献3)の走行試験結果のような段差の量による応答量の違いは認められなかった。このことから、段差部での車輪と桁との接地にまだ課題が残っている。この場合、接触による荷重の伝達はなされているので、車両モデルの再検討が必要であろう。

桁端部の一部が腐食し、板厚が減少した $\alpha=0.8$ の桁の場合に作用荷重のもとで支点反力と支点上の鉛直変位が推移する関係を描けば、図5を得る。図から分かるように、走行荷重の衝撃的な作用によって生じる支点反力と支点上の鉛直変位が弾性から弾塑性の状態に時々刻々と推移する様子を捉えている。弾性域での荷重-変位曲線は静的解析の場合と同じで、その後、弾塑性状態に移行し、非線形挙動を呈するようになる。

4. あとがき

腐食した桁端の伸縮継手部に生じた段差の上を車両が走行するとき生じる衝撃力を加味した非線形過渡応答解析を汎用有限要素プログラム MARC2012 によって行った。数値解析結果から過渡応答解析による車両と橋梁の連成振動の再現性、接触解析による車両の接地力の伝達の再現性が確認できた。

参考文献

- 1) 西井・中島・木野村・堂垣：土木学会全国大会第67回年次学術講演会，I-136，2012-9.
- 2) 川谷・山田・獄下：土木学会論文集，No.584/I-42，pp.79-86，1998-1.
- 3) 横山・井上・永原：構造工学論文集，Vol.35A，pp.757-764，1989-3.

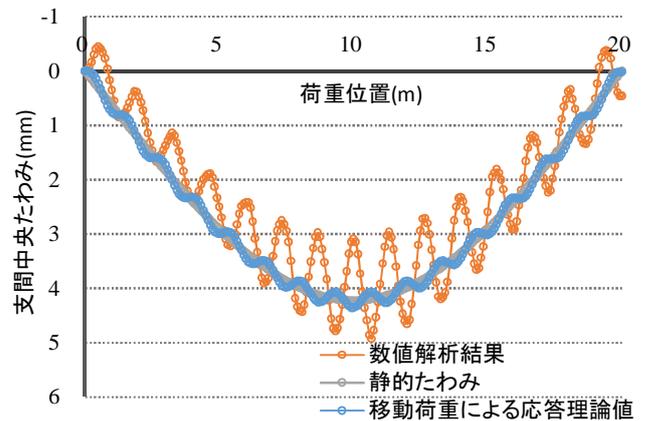


図3 支間中央の動的たわみ

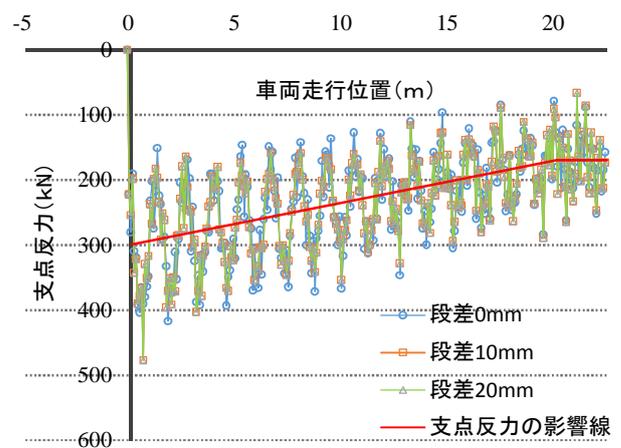


図4 健全時の段差別作用荷重

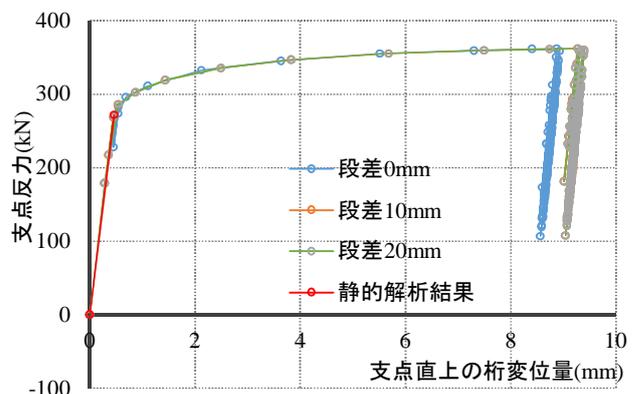


図5 耐荷力曲線($\alpha=0.8$)