

衝突により変形した鋼桁の力学的挙動に関する一考察

九州工業大学大学院 学生員 ○田中優樹人, 天本拓也

九州工業大学大学院 正会員 山口栄輝

1. はじめに

跨道橋は、下を走行する車両の積み荷が衝突し、損傷することがある。損傷は、橋梁の安全性に影響を及ぼすが、影響度合いはあまり研究されておらず、維持管理上、支障をきたしている。例えば、衝突による損傷発生後、交通規制等の緊急対応要否の判断を直ちに行う必要があるものの、現状では適切な判断を行うための十分な知見は存在しない。衝突された桁の調査報告は、特に鉄道橋に関して発表されているが、損傷の影響を定量的に示すものは、中山らの研究程度である¹⁾。著者の一人は、衝突により変状をきたした道路橋の安全性評価に関与した経験を有する。その橋梁の損傷は、中山らが検討した鉄道橋の桁よりかなり大きい。ここでは、この道路橋を対象に、衝突による損傷が及ぼす影響を検討する。すべての解析において、ABAQUS²⁾を用いる。

2. 橋梁概要

対象とするのは、スパン 29.0 m の単径間跨道橋である。橋梁形式は鋼床版 2 主桁桁で、鋼床版は縦リブ（バルブリブ）、横リブ、主桁は垂直補剛材に加え、2 本のパイプを渡すための横支材が桁下部に設置されている。

3. 損傷状況

衝突によって損傷したのは、G2 桁である。車両は G1 桁から G2 桁に向う方向に走行しており、この向きに路面が若干上り坂になっているため、G2 桁のみに衝突し、外側に変形させたと推察される。鋼床版横リブの拘束効果により、変形は主桁下部のみに発生し、G2 主桁下フランジの残留水平変位が計測された。計測結果を図-1 に示す。この図の丸で囲まれた数字は、垂直補剛材設置断面に付けられた番号である。

断面 9 の水平変位が最も大きく、また断面 9 近辺の下フランジ下面に塗膜がこすり取られたような跡があったため、衝突は断面 9 付近で起こったと判断される。衝突による損傷はウェブの曲げ変形に留まらず、垂直補剛材の変形や、横支材と垂直補剛材連結部の破損などもあったが、支承部の損傷や主桁の亀裂は生じていなかった。

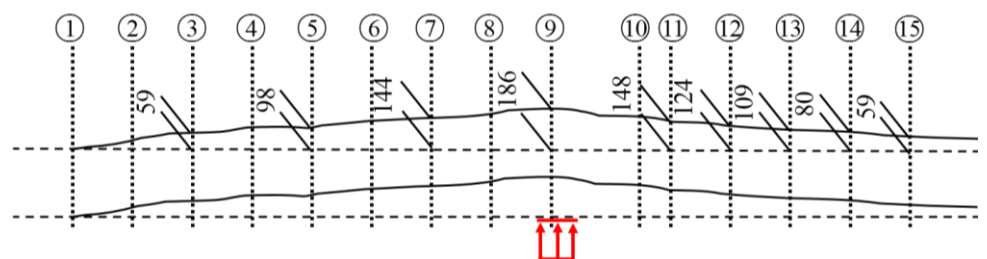


図-1 G2 桁下フランジの残留水平変位（計測値：mm）

4. 衝突荷重の推定

断面 11 において、横支材と垂直補剛材の連結部が破損し、横支材が主桁下フランジに挟まれていた。断面 11 の残留水平変位は 148 mm であるため、衝突時、断面 11 の下フランジ最大水平変位が 148 mm を超え、かつ横支材がなければ残留水平変位は 148 mm より小さくなる必要がある。断面 11 の横支材は主桁に挟まれて偏心軸圧縮力を受け、8 mm のたわみが生じていた。このたわみを引き起こす軸圧縮力を、複合非線形解析で求めた。使用鋼材は SM490Y であり、降伏応力にはその基準値を用い、応力-ひずみ関係の 2 次勾配はヤング率の 1/100 とした。シェル要素 968 個でモデル化した解析の結果、断面 11 の横支材に作用する軸圧縮力として 45.0 kN が得られた。

次いで、衝突と同等の残留変形を生じさせる静的荷重を衝突荷重とし、その大きさを推定した。この推定も、複合非線形有限要素解析で行った。橋梁のモデル化は、横支材に梁要素、それ以外にはシェル要素を用いた。変形は主桁の下部のみで生じており、衝突時のデッキプレート役割は、横リブ、主桁の上縁を拘束することであったと考えられる。そこで、簡素化のために、デッキプレートは剛な板とし、要素分割には、シェル要素 4944 個、梁要素 60 個を使用した。

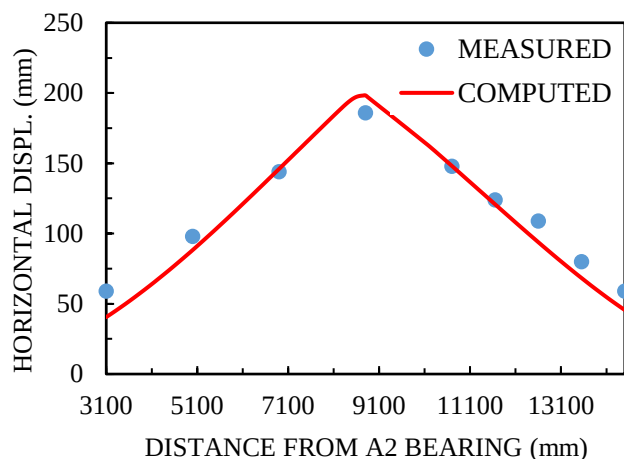


図-2 G2 桁下フランジの残留水平変位

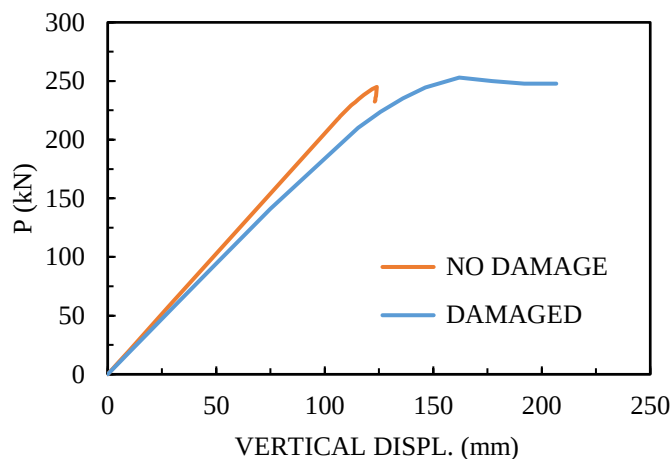


図-3 荷重 P と点 C の鉛直変位の関係

断面 9 付近の下フランジ下面の塗膜損傷が概ね 400mm の範囲であることから、断面 9 を挟む 400mm 区間に等分布の水平荷重を作用させることとした。図-1 に赤矢印で示すのが、この荷重である。加えて、断面 11 の下フランジに、横支材からの反力 45.0 kN を作用させた。

こうした条件下で、断面 11 の下フランジ残留水平変位が 148 mm になる変形挙動を求めたところ、最大荷重は 2120 N/mm となり、これが衝突荷重と推定された。この荷重は、400 mm の範囲に等分布荷重として作用させているため、荷重の大きさは 848 kN であり、道路橋示方書³⁾に定める衝突荷重 1000 kN に見合った大きさである。ここで求めた衝突荷重が作用した場合の、G2 桁下フランジの残留水平変位の解析結果を図-2 に示している。この図には、計測結果も示しているが、両者は概ね合致している。

5. 損傷桁の耐荷力

衝突が及ぼす影響を検討するため、損傷桁単体の耐荷力を複合非線形解析で求めた。解析対象の損傷桁は、上記の橋梁解析結果から取り出した G2 桁である。桁単体の解析では、桁上端の面外方向水平変位、桁軸と鉛直軸まわりの回転を拘束し、損傷（残留変形）が大きい領域を挟む断面 8 と断面 10 の上縁に、鉛直荷重 $P/2$ を作用させた。衝突の影響を見るため、無損傷桁の解析も行った。

解析結果として、荷重 P と点 C（断面 8 と 10 の中間断面ウェブ下端）の鉛直変位の関係を図-3 に示している。衝突により剛性は約 8% 低下しているが、最大荷重は逆に 245.0 kN から 253.0 kN に約 3% 増加している。

同様の検討を中山らも行っており、損傷桁の方が耐荷力は大きいとの実験結果が報告されている⁴⁾。中山らは、鉄道橋損傷事例での最大面外水平変位をもとに、スパンの約 1/200 の水平変位を与えているが、本研究の桁は面外水平変位がスパンの 1/144 であり、約 1.4 倍大きな損傷での検討結果である。

6. まとめ

衝突により主桁下フランジが変形した道路橋を対象に、損傷の影響を検討した。衝突による水平変形はかなり大きいですが、桁の曲げ変形挙動については大きな心配がないとの結論を得た。なお、本研究では、主たる損傷が主桁の水平変位のみの場合が対象である。支承部の損傷や主桁に亀裂がある場合は、別途、慎重な検討が必要である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K06184 の助成を受けたものである。ここに記して深謝します。

参考文献

- 1) 中山太士, 木村元哉, 他, 構造工学論文集, Vol. 54A, pp.68-79, 2008.
- 2) ABAQUS: User's Manual, ABAQUS Ver. 6.8, Dassault Systemes Simulia Corp., 2008.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 丸善, 2012.