

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06184

研究課題名(和文) 車両の衝突により損傷を受けた跨道橋鋼桁の安全性評価基準と対処法

研究課題名(英文) Safety Assessment of Steel Girder of Overpass Damaged by Collision

研究代表者

山口 栄輝 (YAMAGUCHI, Eiki)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90200609

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：衝突によって損傷した2橋梁をもとに橋梁モデルを作成し、有限要素解析で検討した。2橋の損傷パターンは相異なるものである。まず橋梁の損傷状況を再現し、損傷した鋼桁およびウェブパネルの耐荷力を求め、無損傷の場合と比較した。衝突による損傷で、耐荷性能は変化する。鋼桁、ウェブパネルともに、耐荷力は必ずしも低下せず、増加することもあった。安全性を脅かすのは耐荷力の低下であるが、設計時の安全率に比すれば低下の度合いは大きくなく、桁下の走行車両の衝突により、直ちに橋梁の安全性が脅かされることはない判断される。ただし、支承部の損傷や主桁に亀裂が生じた場合は、別途、慎重な検討が必要である。

研究成果の概要(英文)：Based on two bridges actually damaged by collision, bridge models were constructed and investigated by FEA. The damage patterns of the two bridges are quite different. The damage due to collision was reproduced first. Then the load-carrying capacity of the damaged steel girder and that of the damaged web panel were obtained. The results were compared with those of the intact girder and the intact web panel, respectively. The load-carrying capacity was found changed by collision: it either increased or decreased. The decrease of the load-carrying capacity may threaten the safety of the bridge, but the obtained reduction was insignificant compared with the safety factor implemented in the bridge design. Therefore, it may be stated that the collision doesn't readily lead to the threat of the bridge safety. However, this is for the case when major damage is displacement only. If a bearing is damaged and/or a crack is initiated in the main girder, more careful investigation has to be done.

研究分野：橋梁工学，構造工学，応用力学

キーワード：鋼橋 車両衝突 変形 鋼桁 ウェブパネル 耐荷力

1. 研究開始当初の背景

鉄道網は昭和初期に整備が進み、道路との交差点で十分な桁下空間を確保できていないところがあるため、鉄道橋に車両が衝突して、損傷した事例が数多く報告されている¹⁾。道路橋においても、同様に、下を走行する車両が衝突し、跨道橋が損傷することがある。研究代表者は、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。

衝突によって損傷が生じると、橋梁の安全性に影響を及ぼす可能性があるが、その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が、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あるものの、損傷や応急措置を記すことが主な内容となっており、損傷が及ぼす影響を定量的に示すものではない。その中で中山らの研究は貴重で、衝突の影響も定量的に検討している²⁾。

中山らは、まず衝突による損傷の特色を調査している。調査した14件のうち、8件は支承からの落下や亀裂の発生など、損傷がひどく、直ちに閉鎖されていた。残りの6件は主桁の変形に留まっていた。主たる変形は次の3グループに分類されている。局所的な下フランジの上方への変形、下フランジの水平方向の変形、そして両者の組み合わせである。中山らはこうした損傷による変形に着目し、耐荷力への影響を検討している。変形量は、実橋で見られた最大値を参考に決められた。しかしながら、研究代表者が安全性評価に関わった道路橋の衝突による変形は、中山らが検討した鉄道橋の桁より大きい。そのため、衝突による損傷が桁の力学的性状に及ぼす影響は、さらなる検討が必要である。また、中山らの検討は、桁の曲げ挙動に限られている。損傷による変形がウェブパネルに及ぼす影響など、基本的な情報はまだまだ不足しているのが実状である。

2. 研究の目的

道路を跨ぐ道路橋が、下を走行する車両に衝突され、損傷を受けることがある。そうした衝突による損傷が、橋桁の安全性に及ぼす影響を検討する。具体的には、鋼桁の耐荷力、ウェブパネルの耐荷力を対象とする。この検討により、衝突事故が発生した場合の対応に資することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 有限要素法を用いた数値解析が、本研究で採用する方法である。耐荷力評価は複合非線形解析で行う。すなわち、材料非線形、幾何学的非線形の両方を考慮して、解析する。橋梁のモデル化においては、主桁にシェル要素、2次部材に梁要素とシェル要素を用いる。損傷状況からして、衝突時の床版の主な役割

は変位拘束であったと考えられるため、床版は簡素化してモデル化する。

(2) 実際に下を走行する車両に衝突された、損傷パターンの異なる2橋(橋梁A、B)を参考に、研究を進める。そのため、まず有限要素解析で、衝突による損傷の再現を試みる。なお、いずれも鋼橋であり、中山らの研究対象橋桁²⁾より、かなり大きな変形を有している。

(3) 橋梁Aは、鋼床版2主桁桁の単径間跨道橋で、スパンは29m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、走行車両はG2桁のみに衝突した。主たる損傷は、図-1に示す通り、下フランジの水平方向外側への変形であり、G2桁下フランジの残留水平変位が測定された最大値は186mmで、スパンの1/155に相当する。



図 - 1 橋梁Aの損傷

(4) 橋梁Bはスパン37mの単純鋼桁橋で、5主桁を有している。道路を跨ぐ直橋であるが、下の道路は斜めに交差している。衝突による損傷はG1桁がもっとも大きく、図-2に示す通り、局所的な下フランジの鉛直方向変位が顕著である。最大で、122mmの残留鉛直変位(上向き)が計測されている。



図 - 2 橋梁Bの損傷

(5) 衝突による損傷を再現した跨道橋鋼桁の耐荷力を算出する。具体的には、損傷区間両端の垂直補剛材位置に、鉛直荷重を作用させる。荷重を漸次増加させ、最大荷重(耐荷

力)を求める。無損傷の鋼桁の解析も行う。2つの鋼桁の耐荷力の差が、衝突による損傷の影響である。

(6) 衝突によって損傷したウェブパネルの耐荷力を算出する。ウェブパネル両縁の垂直補剛材位置に、鉛直荷重を作用させる。曲げ応力が卓越して最大荷重に達する場合と、せん断応力卓越して最大荷重に達する場合を考慮し、2種類の載荷方法を採用する。

4. 研究成果

(1) 主たる損傷が下フランジ外側への水平変位の場合

橋梁Aの衝突による損傷の再現を試みた。下フランジ下面の塗膜剥離の状況から、最大残留水平変位発生箇所近傍に車両が衝突したと推定して解析し、測定された残留変位を再現できる最大荷重を求めた。こうして得られた下フランジの残留水平変位分布を図-3に示す。解析結果は測定結果とよく一致しており、損傷状況を概ね再現できたと考えられる。

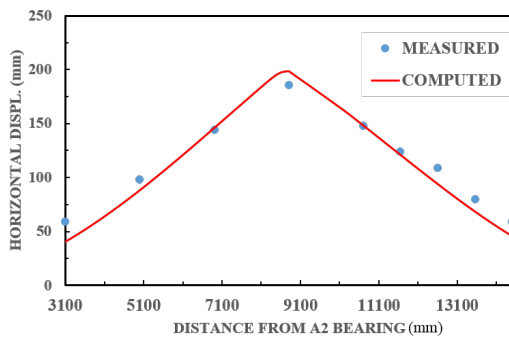


図-3 下フランジの残留水平変位分布 (橋梁A)

で得られた最大荷重を作用させることで損傷を再現した鋼桁を用いて、衝突による損傷が及ぼす鋼桁の耐荷力への影響を検討した。図-4に示すように、損傷区間両端の垂直補剛材位置に載荷し、得られた結果を図-5に示す。衝突による損傷で、剛性は8%程度低下しているが、最大荷重は逆に243kNから253kNに、4.1%増加している。また、塑性変形に大きな違いが見られる。無損傷の桁では塑性変形があまり認められないのに対し、損傷桁では明確な塑性変形が見られる。

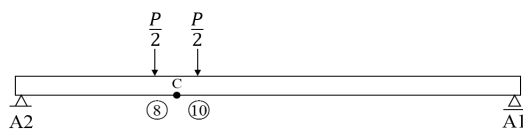


図-4 下フランジの残留水平変位分布 (橋梁A)

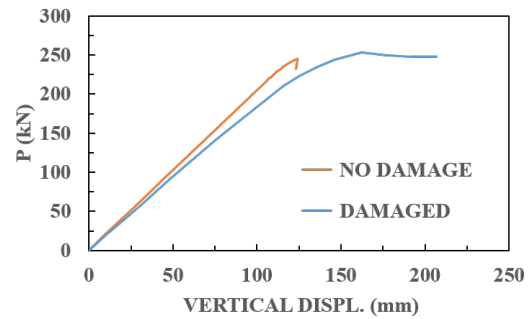


図-5 荷重 - 変位関係 (橋梁A)

損傷により耐荷力が増加する原因を探るため、鋼材の応力 - ひずみ関係における2次勾配を変化させ、耐荷力に及ぼすひずみ硬化の影響を調べた。2次勾配が耐荷力に及ぼす影響はなく、ひずみ硬化が耐荷力増加の原因とは認められなかった。

衝突による損傷は、主桁の幾何形状の変化のみならず、残留応力も生じさせる。幾何形状の変化が及ぼす影響を調べるため、残留応力を除去して解析を行った。その結果、図-6に示す通り、幾何形状のみを変化させた鋼桁耐荷力(GEOM.)は、衝突によって損傷した鋼桁の耐荷力(DAMAGED)よりも大きくなった。変形性状を子細に調査すると、衝突損傷による主桁の残留水平変位が、鉛直荷重によって減少していた(図-7)。無損傷桁とは全く異なる変形挙動である。この現象が、耐荷力を増加させる主因と考えられる。

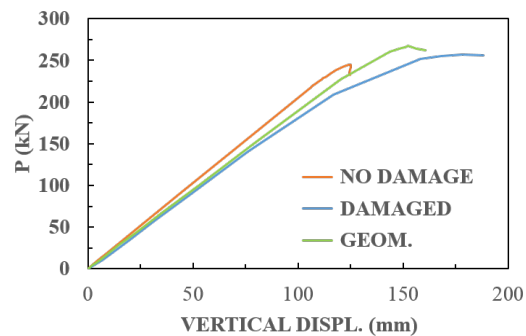


図-6 幾何形状の変化が及ぼす影響

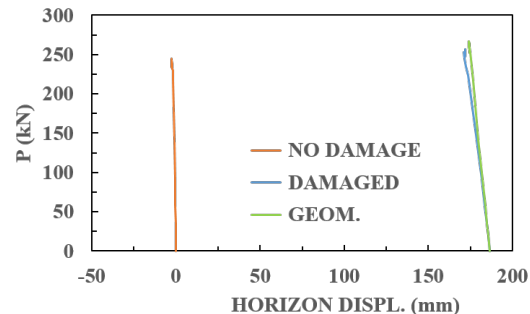


図-7 下フランジ水平変位 (橋梁A)

主桁単独でなく、G1桁とのつながりを考慮して解析を行うと、衝突による損傷で耐荷

力は低下した。低下の割合は8.1%である。

損傷がウェブパネルの耐力に及ぼす影響を検討した。そのために、ウェブパネル両縁の垂直補剛材位置に荷重し、図-8に示す3通りの荷重条件を考慮した。図-8(a)は、曲げ応力が卓越した応力状態でウェブパネルが最大荷重に達する荷重方法、図-8(b)、(c)はせん断応力が卓越した応力状態でウェブパネルが最大荷重に達する荷重方法である。曲げモーメント、せん断力はパネルの鋼桁内の位置により変化する。それに応じての値を変え、左右2つの荷重の比を調整した。曲げ応力卓越の荷重方法の場合、すべてのウェブパネルで、損傷により耐力は大きくなり、最低でも12.9%の増加であった。せん断応力卓越の荷重方法では、荷重の作用させ方で違いが生じた。図-8(b)の場合には、4.8%以上の耐力増加となったが、図-8(c)の荷重下では、損傷によりすべてのウェブパネルで耐力は低下した。最大低下率は15.7%であった。

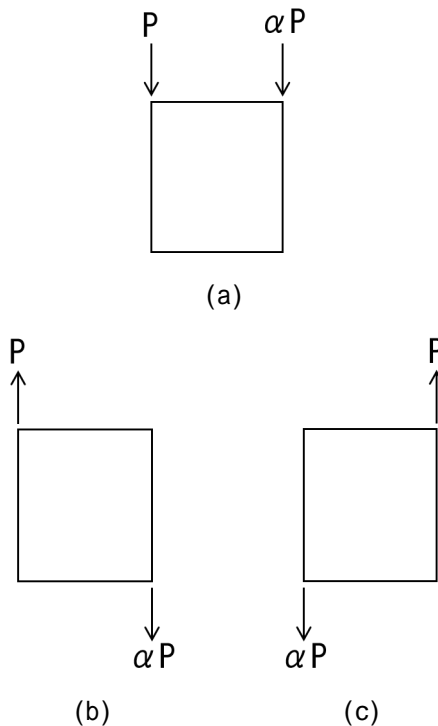


図-8 パネルの耐力力検討用荷重

(2) 主たる損傷が局所的な下フランジの鉛直変位の場合

橋梁Bの衝突による損傷の再現を試みた。大きな変形が複数箇所で見られることから、3箇所衝突されたと推定された。この推定に基づいて解析し、測定された残留変位を再現できる最大荷重を求めた。こうして得られた下フランジの残留鉛直変位分布(上向き)を図-9に示す。解析結果は測定結果とよく一致しており、損傷状況を概ね再現できたと考えられる。

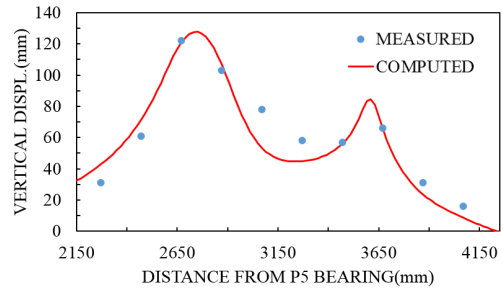


図-9 下フランジの残留鉛直変位分布(橋梁B)

で得られた最大荷重を作用させることで損傷を再現した鋼桁を用いて、損傷が及ぼす鋼桁の耐力への影響を検討した。橋梁Aの場合と同様に、損傷区間両端の垂直補剛材位置に鉛直荷重を作用させ、得られた結果を図-10に示す。衝突による損傷で、剛性は11%程度、最大荷重9.9%低下している。

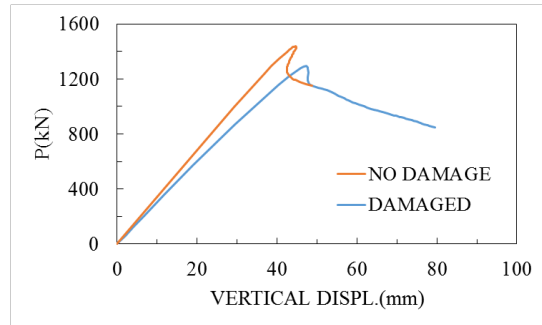


図-10 荷重-変位関係(橋梁B)

損傷がウェブパネルの耐力に及ぼす影響を検討した。そのために、橋梁Aの場合と同様の荷重方法を用いた。曲げ応力卓越の荷重方法の場合、損傷により耐力は低下するが、2.0%以内に収まっている。せん断応力卓越の荷重方法の場合でも、耐力は低下した。低下の割合は、図-8(b)の荷重下で最大7.3%、図-8(c)の荷重下で最大10.0%であった。

(3) まとめ

衝突による損傷で、鋼桁の耐荷性能は変化する。しかしながら、衝突による変形は、必ずしも鋼桁やウェブパネルの耐力低下を引き起こすものではない。衝突による変形が通常の荷重によって相殺されるものであれば、耐力が上昇することもある。耐力が低下する場合においても、設計時の安全率に比すれば低下の割合は小さく、直ちに橋梁の安全性が脅かされることはない判断される。本研究では考慮していないが、実橋では床版や横桁等により荷重が分配されることを思えば、危険性はさらに小さいと考えられる。なお、本研究で対象としたのは、主たる損傷が変形のみの場合である。支承部の損傷や主桁に亀裂が生じた場合は、別途、慎重

な検討が必要である。

<参考論文>

- 1) 例えば, 渡辺孝一, 徳田浩一: 鋼橋の衝突による損傷と補修・補強, JSSC, 第8回鋼構造物の補修・補強技術報告会論文集, pp24-29, 2002.
- 2) 中山太士, 木村元哉, 他: 衝突変形を受けた鋼 I 方リベット桁の残存耐力の評価, 構造工学論文集, Vol. 54A, pp.68-79, 2008.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Eiki Yamaguchi, Hiroyuki Tsuji, Yukito Tanaka: Load-carrying capacity of steel girder damaged by collision, Journal ce-papers, Vol. 1, Issue 2-3, PP. 4230-4235, 2017, 査読有.
DOI: 10.1002/cepa.481

[学会発表](計4件)

田中優樹人, 天本拓也, 山口栄輝: 衝突により変形した鋼桁の力学的挙動に関する一考察, 土木学会西部支部研究発表会, 1-029, pp.57-58, 2018, 査読無.

Eiki Yamaguchi, Hiroyuki Tsuji, Yukito Tanaka: Influence of collision on mechanical behavior of steel girder, 13th International Conference on Steel, Space and Composite Structures, Keynote 8, 2018, 査読有.

Eiki Yamaguchi, Hiroyuki Tsuji, Yukito Tanaka: Load-carrying capacity of deformed steel girder, 9th International Symposium on Steel Structures, pp.281-282, 2017, 査読有.

Eiki Yamaguchi, Hiroyuki Tsuji, Yukito Tanaka: Influence of collision damage on load-carrying capacity of steel girder, Keynote Lecture, 4th World Congress and Exhibition on Construction & Steel Structure, 2017, 査読無.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 栄輝 (YAMAGUCHI, Eiki)
九州工業大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 90200609