

桁端部の腹板に疲労き裂を有する鋼二主桁橋の残存耐荷力に関する研究

大阪工業大学 正会員 ○林 健治

1. はじめに

鋼 I 桁橋では、桁端部のソールプレートと下フランジの溶接部を起点とした疲労損傷の事例が多数報告されている。その中でも、下フランジを貫通して腹板まで達する事例については、き裂の進展性や脆性破壊への移行の可能性が検討され、維持管理上、早急な対策が必要となる可能性は低いことが指摘されている¹⁾。しかし、耐久性ではなく、耐荷性能の面から、問題となることも考えられる。そこで、残存耐荷性能に及ぼすき裂長さの影響を検討するために、鋼 I 桁単体のモデル¹⁾を用いて、有限要素法に基づく弾塑性有限変位解析を実施した結果、疲労き裂が進展しても、き裂の周辺で大きな面外変形を生じることではなく、圧縮フランジの曲げねじれ座屈が先行し、耐荷力を規定することが判明した²⁾。

以上の検討は、何れも鋼 I 桁単体について実施されたものであり、実構造の鋼二主桁橋では、圧縮フランジの変形が床版で拘束されるため、異なる結果となる可能性もある。本研究では、このような視点から、鋼二主桁橋を対象として、桁端部の腹板に疲労き裂が進展した場合、残存耐荷力にどのような影響を与えるかを明らかにするため、同様に有限要素法に基づく弾塑性有限変位解析を実施した。以下に、その概要を記述する。

2. 既往の研究

鋼 I 桁の桁端部に解析モデルの形状・寸法は、図-1のとおりであり、詳細は文献1)を参照されたい。解析事例として、き裂のない無損傷の桁 (Type 0)、垂直補剛材の中心から橋軸方向に 130mm の位置 (ソールプレートと下フランジの溶接部) において、下フランジを貫通し、腹板直上に 40mm まで疲労き裂が進展した桁 (Type 1: 便宜上、き裂長さ 40mm)、40mm の位置から橋軸方向に -40mm、鉛直上向きに 80mm まで疲労き裂が進展した桁 (Type 2: き裂長さ 120mm)、さらに、同位置から橋軸方向に -40mm、鉛直方向に 80mm まで疲労き裂が進展した桁 (Type 3: き裂長さ 200mm) の 4 タイプを取り上げ、弾塑性有限変位解析を通して、き裂長さが残存耐荷性能に及ぼす影響を検討した。

鋼 I 桁の載荷荷重 P (荷重は等分布荷重で与えたため、鉛直方向の支点反力の総和を P とした) とスパン中央の鉛直方向変位 δ との関係を図-2に示す。無損傷の桁と比較すると、残存耐荷力 P_{max} は、いずれも大きな差異が見られないが、塑性変形能力を表す鉛直方向変位 δ は、き裂長さの増加とともに大きく低下している。なお、き裂先端の節点における面外方向変位は、最大荷重 P_{max} 以降でも、大きな変位は発生していない。 δ は圧縮フランジの曲げねじれ座屈に伴う変位が支配的である。したがって、ソールプレートと下フランジの溶接部から疲労き裂が発生・進展しても、面外方向に大きく変位し、腹板のせん断座屈を生じる可能性は少ないと言える。

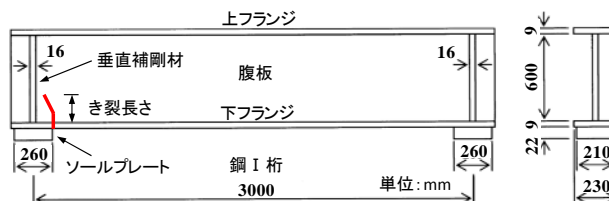


図-1 鋼 I 桁の形状・寸法とき裂挿入位置

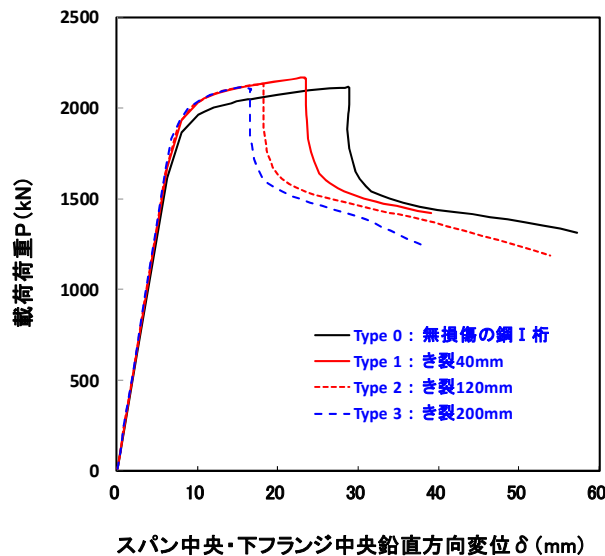


図-2 荷重 P —変位 δ 曲線

キーワード 鋼二主桁橋, 桁端部, 疲労き裂, 残存耐荷力, 弾塑性有限変位解析

連絡先 〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学工学部都市デザイン工学科 TEL. 06-4300-6847

3. 疲労損傷した鋼二主桁橋の残存耐力

2本の鋼I桁で構成される鋼二主桁橋の解析モデル(無損傷)は、図-3に示すとおりである。本モデルの基本寸法は、文献1)において数値解析に用いられたものと同じである。ここで、主桁は、H-618×230×9mm、垂直補剛材の板厚は16mmであり、支間は3000mmである。また、上下フランジ、腹板には板厚9mmの4節点シェル要素を、垂直補剛材と横桁には板厚16mmの4節点シェル要素を、床版には板厚80mm(幅1390mm×長さ3150mm)の4節点シェル要素を用いた。要素の寸法は40mmを基準とした。また、RC床版と鋼I桁との接合は、完全合成(剛結)として取り扱った。荷重は、上フランジと腹板が交差する線上に沿って等分布荷重として与えた。なお、材料はSM490材を用いることとしたため、鋼のヤング係数は200GPa、ポアソン比を0.3とした。また、コンクリートの設計基準強度は30MPa、ヤング係数は28GPaを用い、ポアソン比を0.167とした。

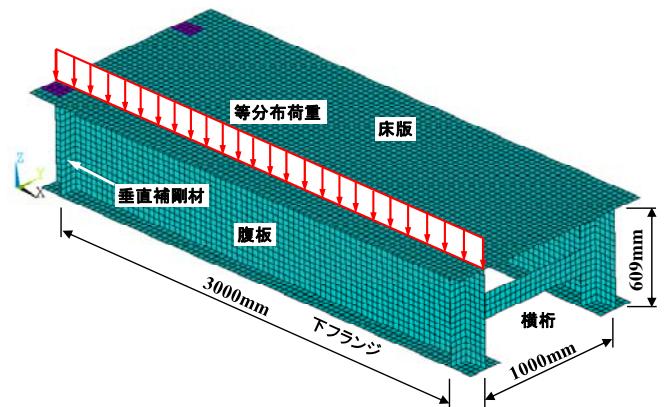


図-3 無損傷桁の解析モデル

疲労損傷有りの鋼二主桁橋の解析は、図-3の等分布荷重を載荷した側の桁に図-1のような形式でき裂を挿入した。き裂長さは200mmで前述のType-3に対応する。図-4は、載荷荷重Pとスパン中央の鉛直方向変位 δ の関係を示す。ここで、Type-1は着目桁の側に等分布荷重を載荷し、き裂(損傷)の有無による差異を、Type-2は、別途、桁中央付近の上フランジ側の6つの節点に集中荷重を載荷し、損傷の有無による差異を調べたものである。

Type-1について、損傷有りの場合の残存耐力と塑性変形能力は、損傷なしの場合と比較して、大きな差異は認められない。また、不安定破壊や桁の倒壊の可能性も低い。したがって、Type-1の損傷ありの事例について、十分な残存耐力性能を保有すると言っても過言でない。また、2.の結果とも総合的に勘案して、桁端の腹板に疲労き裂が進展しても、桁高の1/3程度では、残存耐力性能が大幅に低下する可能性は少なく、構造系が倒壊に至る危険性は少ないと言える。Type-2についても、十分な残存耐力性能を保有し、急激に不安定破壊に移行する可能性は低い。但し、き裂先端におけるひずみ集中により材料の一樣伸びに近い高いひずみを生じており、最終的には、延性破壊により桁が破断するものと推察される。

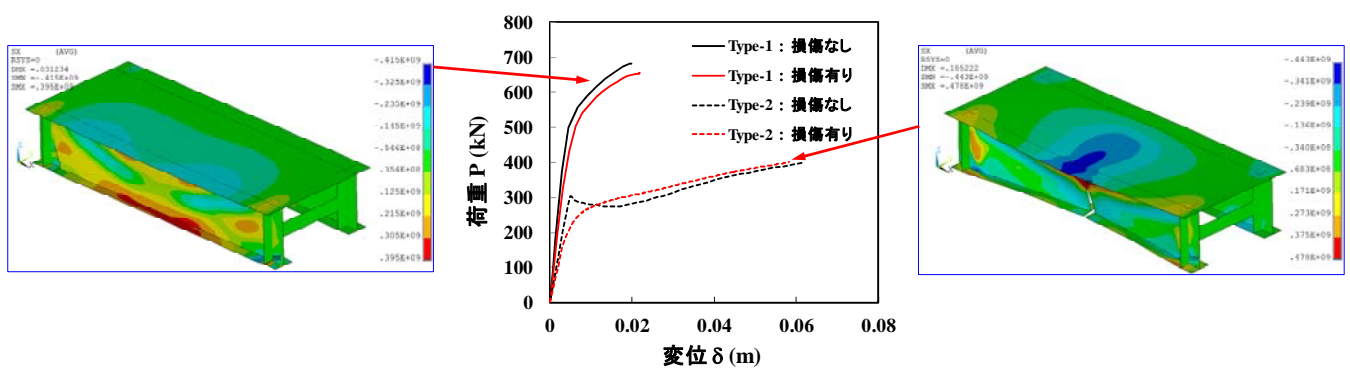


図-4 鋼二主桁橋モデルの荷重P-変位 δ 曲線

4. おわりに

本研究の範囲内では、鋼二主桁橋は十分な残存耐力性能(リダンダンシー)を有する構造物であると言える。

参考文献

- 1)日本鋼構造協会 鋼橋の性能・信頼性向上に関する研究委員会 疲労耐久性向上部会: 疲労損傷を受けた鋼橋の耐久性評価および耐久性向上技術, JSSCテクニカルレポート No.84, I-73~I-75, 2009.
- 2)林健治: 桁端付近の腹板に疲労き裂を有する鋼I桁の残存耐力性能に関する数値解析的研究, 土木学会第69回年次学術講演会, CS8-006, pp.11-12, 2014.