

主桁が疲労損傷した二主鋼 I 桁橋の耐脆性破壊性能に関する基礎的研究

大阪工業大学 正会員 林 健治
三菱重工鉄構エンジニアリング株式会社 正会員 ○荒木 健二

1. はじめに

少数主桁形式の鋼 I 桁橋は、海外では古くから多数建造されており、一般的な構造と考えられているが、我が国では、2000年以降、鋼桁橋の合理化の観点から推進されるようになり、今後の展開が期待されているところである(図-1参照)。そのような状況下において、最近、少数主桁に関して、構造の代替性・補完性の観点から、一部で限定的な採用が必要と判断され、迂回路・代替路がある場合を除き、採用しない方針が固められた。このことは、少数主桁の推進を計る上で大きな痛手であり、その問題を解決することが喫緊の課題となっている。そこで、本研究では、その代表的な構造形式である二主鋼 I 桁橋を対象とし、単純支持形式の構造を取り上げることによって、より危険性が高いと考えられている構造に着目し、疲労損傷を受けた二主鋼 I 桁橋の有限要素法による線形弾性解析を実施し、リダンダンシーの評価¹⁾に基づき、二主鋼 I 桁橋が十分な耐脆性破壊性能を有することを明らかにすることが主な目的である。

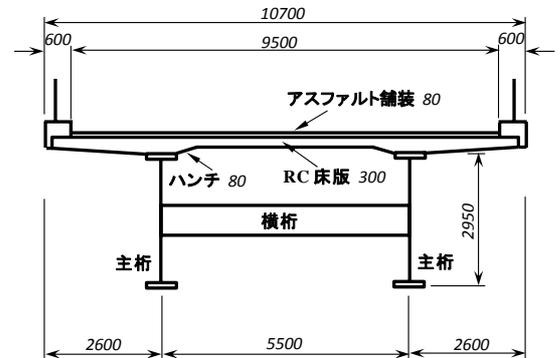


図-1 二主鋼 I 桁橋の外観(断面図)

2. 二主鋼 I 桁橋の線形リダンダンシー解析

二主鋼 I 桁橋のリダンダンシー解析を実施するために、以下のような手順¹⁾で解析を実施した。

(1)二主鋼 I 桁橋の線形弾性解析：弾性挙動の把握と設計荷重の推定

(2)疲労損傷を受けた二主鋼 I 桁橋の線形弾性解析：不安定脆性破壊への移行の可能性の検討

2.1 解析条件

二主鋼 I 桁の解析対象モデルの一例を図-2に示す。主桁モデルは既往の研究で疲労き裂の進展解析²⁾に用いられたものである。解析条件などが明らかであり、比較・参照することも可能であることから、本研究でも、このモデルを用いることとした。ここで、支間長は3000mm、主構間隔は1000mmであり、主桁の寸法はH-609×230×9mmである。また、垂直補剛材と横桁の板厚は16mm、床版の厚さを80mmとし、ハンチは省略した³⁾。疲労き裂として、支間中央部の下フランジを貫通し、腹板の中央部まで進展した状態を取り扱うこととした。解析条件として、桁、垂直補剛材、横桁、床版をすべてシェル要素で要素分割し、床版と鋼 I 桁は完全合成として取り扱い、要素の基準寸法を40mmとした。また、荷重は、図-2に示すように、き裂を挿入した側の主

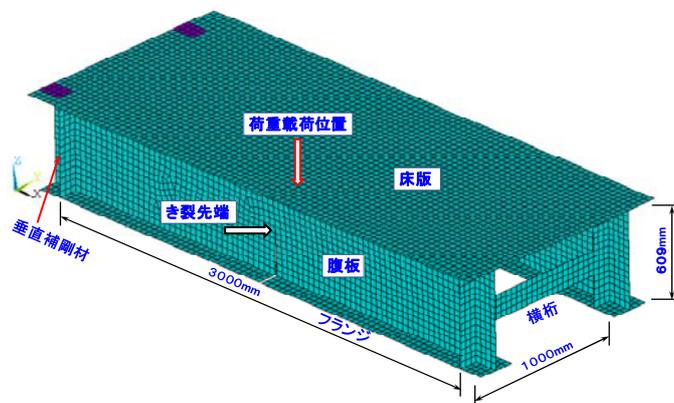


図-2 スパン中央の腹板にき裂を有する解析モデル

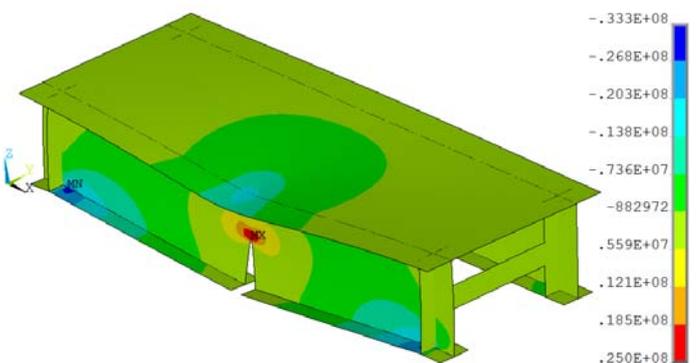


図-3 橋軸方向応力の等値図(単位: Pa)

キーワード 疲労損傷, 二主桁橋, 耐脆性破壊性能, 線形破壊力学, 線形リダンダンシー解析

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 TEL06-4300-6847

桁中央の上フランジと腹板が交差する線上の床版の節点を対象に、中央から6節点に渡り集中荷重を載荷した。ここで、鋼材はすべて SM490 材とし、そのヤング係数、ポアソン比をそれぞれ 200GPa, 0.3 とした。床版のコンクリートは、設計基準強度 50MPa, ヤング係数 33GPa, ポアソン比 1/6 とした。なお、上記の(1)の線形弾性解析により、任意点の相当応力が材料の降伏点を安全率 (=1.7) で除した値に達した時点を設計荷重として取り扱い、(2)の応力拡大係数 K_I を算出する上での基本荷重とした。

2.2 解析結果 (耐脆性破壊性能)

解析結果の一例を図-3に示す。同図は橋軸方向応力の等値図と変形図を表し、き裂先端近傍に応力が集中し、大きなき裂開口が見られる。応力場の強さを表す応力拡大係数 K_I はこの開口変位を用いて評価される。

一般に、点検等により検出された疲労き裂が脆性破壊に移行するか否かの判定には、溶接欠陥に対する Engineering Critical Assessment (EAC) の手法が用いられる。川井ら⁴⁾は、工業的に多用されているシャルピー衝撃試験の結果を用いて、鋼素材の破壊靱性 K_{IC} を推定するとともに、EACに基づく脆性破壊発生許容限界き裂長の一つの設定方法を提案している。本研究では、川井らの研究成果に基づき、鋼素材の引張強度と破壊靱性 K_{IC} には図-4に示す関係が成立するものとし、使用鋼材 SM490 の破壊靱性 K_{IC} を $233.3\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ とした。

応力拡大係数 K_I の算定には変位法を用いた。今、き裂先端に直交座標系をとり、モード I 荷重を受けるき裂体を考える。平面応力の場合、 K_I とき裂開口変位 u_y と次の関係がある。ここで、 E はヤング係数である。

$$K_I = \lim_{r \rightarrow 0} \left[\frac{E u_y}{4} \sqrt{\frac{2\pi}{r}} \right] \quad (\theta = \pi) \quad (1)$$

上記の変位外挿法により K_I を推定した結果が図-5であり、 $K_I = 44.7\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ となった。なお、き裂先端近傍の2点については、ばらつきが大きいため、線形近似の際のデータに加えなかった。

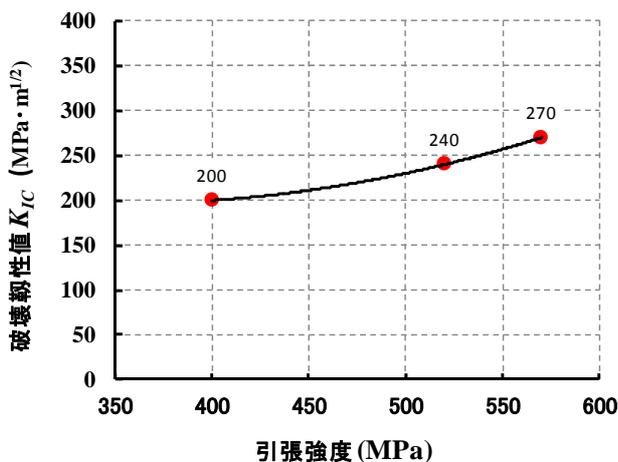


図-3 鋼素材の引張強度と破壊靱性の関係

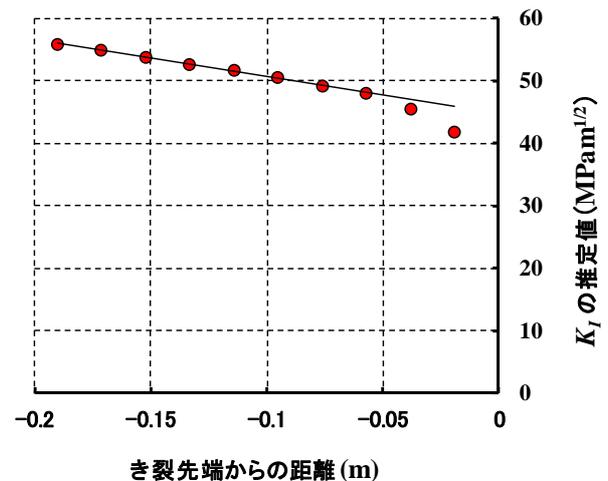


図-4 き裂先端開口変位 u_y による K_I の推定値

疲労き裂から脆性破壊に移行しないための条件は、 K_I が K_{IC} よりも小さい必要がある。すなわち、 $K_I < K_{IC}$ が成り立つことである。今回の二主鋼 I 桁橋の解析結果から、 $K_I = 44.7\text{MPa}\sqrt{\text{m}} < K_{IC} = 233.3\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ が成立するので、脆性破壊への移行の可能性はないものと判断できる。

3. おわりに

本研究では、二主鋼 I 桁橋のリダンダンシー解析に基づく脆性破壊移行の可能性の検討を行い、単純支持形式で、き裂が腹板の中央部まで進展した状態でも、十分な耐脆性破壊性能を保有することが判明した。しかし、支間長やき裂長が大きくなると、性能が低下すると推察されるので、より詳細な検討が必要となる。今後、より実橋に近いレベルにおける二主鋼 I 桁橋についてリダンダンシー解析を実施し、同性能を明らかにしたい。

参考文献

- 1) 林健治, 平成 25 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 第 I 部門, pp. I-44-I-45, 2013.
- 2) 日本鋼構造協会, JSSC テクニカルレポート, No. 83, pp. I-72-I-79, 2009.
- 3) 橘吉宏, 辻角学, 越後滋, 高橋昭一, 三木千壽, 土木学会論文集, No. 647/I-51, pp.241-251, 2000.
- 4) 川井豊, 木田哲量, 阿部忠, 水口和彦, “第 45 回日本大学生産工学部学術講演会講演概要, No. 41, 2009.