

連続多主桁橋のリダンダンシーにおよぼす初期損傷箇所の影響評価

東北大学大学院工学研究科 ○学生員 塚田健一
 東北大学大学院工学研究科 正員 斉木 功
 東北大学大学院工学研究科 正員 山田真幸
 東北大学大学院工学研究科 正員 岩熊哲夫

1. はじめに

2007年の鋼トラス橋崩落事故¹⁾を契機に、橋梁の健全性を評価するにあたり、リダンダンシーを評価することの重要性が認識されるようになってきた²⁾。多主桁橋は一般的に、リダンダンシーを有する構造形式とみなすとされている³⁾。しかし、近年では、鋼桁橋においてソールプレート等の溶接部を起点とした疲労破壊が報告されるようになってきた³⁾。AASHTO LRFDにおけるリダンダンシーに関する報告書⁴⁾では、疲労破壊のような損傷を考慮したリダンダンシー評価に関して十分な検討をしているとはいえない。そこで本研究では4径間連続4主桁橋を解析対象として、桁の損傷箇所ごとにリダンダンシーを定量的に評価することを目的とした。

2. リダンダンシー解析

(1) 解析モデル

解析対象は文献⁵⁾で用いられている非合成4径間連続4主桁橋とした。対象橋梁については、载荷試験で計測されたわたみと合成桁としてモデル化したFEMモデルの解析値が、非常によく一致していると報告しているため、合成桁としてモデル化した。図-1にFEM解析モデルを示す。FE解析には、汎用解析ソフトNX NAS-TRANを用いて幾何学および材料非線形性を考慮した。壁高欄を有するRC床版は弾塑性体とし、板要素を用いた。コンクリートは粘着力12.5MPa、摩擦角 10° としてDrucker-Pragerの降伏条件を用いた。鋼材は全てSM400を仮定した弾塑性体とし、主桁、補剛材は板要素、それ以外の部材は梁要素を用いた。鋼はvon Misesの降伏条件、初期降伏応力235MPa、硬化係数をYoung率の 10^{-2} 倍として等方硬化則を用いた。

初期損傷箇所としてともに耳桁の端支点付近(case1)、端径間中央部(case2)を想定した二つの解析モデルを用いる。また、損傷は下フランジから生じたクラックがウェブへと進展するものと想定して、下フランジおよびウェブの要素を除去することで再現する。

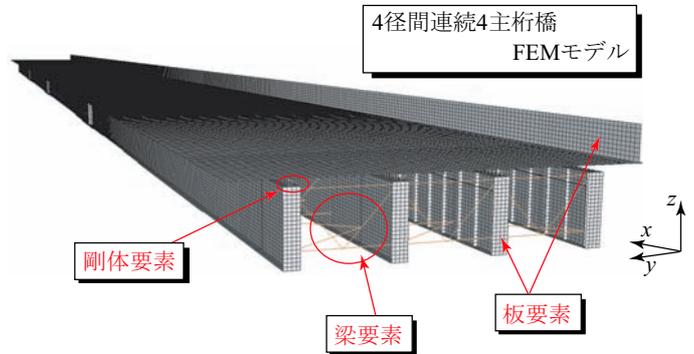


図-1 有限要素モデル

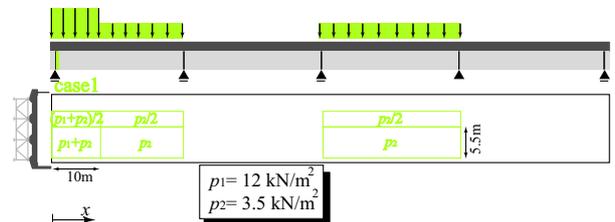


図-2 case1の活荷重載荷パターン

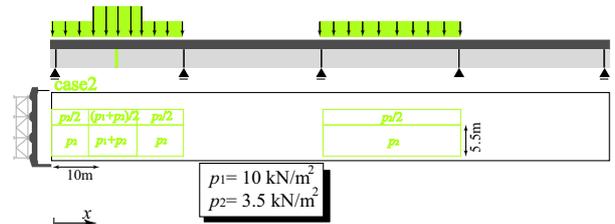


図-3 case2の活荷重載荷パターン

(2) 解析方法

活荷重(L)の载荷方法として、case1では、損傷箇所である桁端部に最も大きなせん断応力が働くように载荷させ、case2では損傷箇所である端径間中央部に最も大きな曲げ応力が働くように载荷させる。図-2にcase1、図-3にcase2のときの活荷重載荷パターンを示す。

本研究では非線形解析を行うにあたり、まず死荷重(D)を漸増させて漸増载荷させる。死荷重(D)の载荷後、L活荷重(L)を漸増させ、L活荷重(L)に対する倍率として荷重パラメータ f を定義し、解析モデルに作用させる荷重の大きさを $D+f\cdot L$ とした。

本研究では相当塑性ひずみが2%に達したとき、または非線形解析において f が増加せず一定となるときの荷重パラメータ f を解析モデルの終局限界荷重 f_c と定義した。

Key Words: 連続多主鋼桁, 非線形FEM, リダンダンシー

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 構造強度学研究室

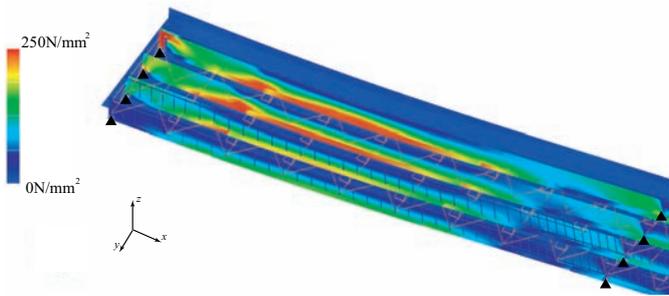


図-4 case1 の $f_c = 4.9$ 時の von Mises 応力 (変形 5 倍)

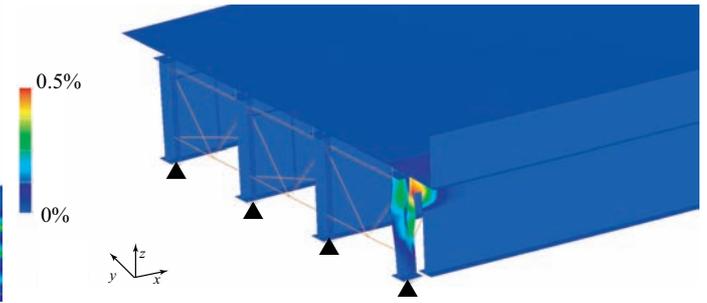


図-5 case1 の $f_c = 4.9$ 時の相当塑性ひずみ (変形 5 倍)

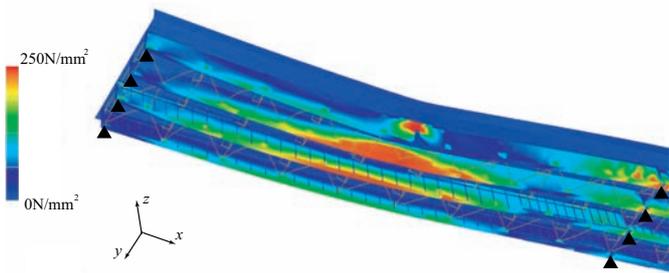


図-6 case2 の $f_c = 3.1$ 時の von Mises 応力 (変形 5 倍)

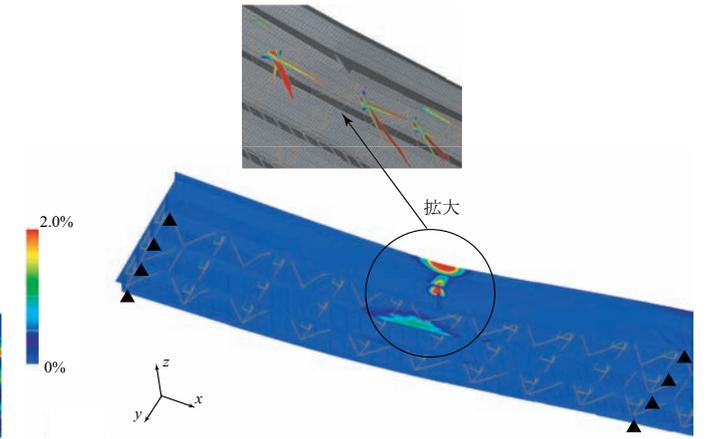


図-7 case2 の $f_c = 3.1$ 時の相当塑性ひずみ (変形 5 倍)

3. リダンダンシー解析結果

(1) case1

$f_c = 4.9$ となった。図-4に f_c 時の von Mises 応力を示す。損傷を与えた桁において、スパン中央部や損傷箇所で応力が大きくなっていることがわかる。また、図-5に f_c 時の相当塑性ひずみを示す。損傷付近の端補剛材の上部が面外方向に塑性変形していることがわかる。このことから、端補剛材の剛性がゼロとなることで、耳桁は張り出し梁として挙動を示すと考察できる。

(2) case2

$f_c = 3.1$ となった。図-6に f_c 時の von Mises 応力を示す。損傷箇所の応力分布より、亀裂は今後も進展するといえる。また、隣接主桁に大きな応力が作用していることがわかる。図-7に f_c 時の相当塑性ひずみを示す。RC床版と下横構に相当塑性ひずみを確認することができる。このとき、RC床版は曲げを負担していた。一方で、下横構に生じた塑性ひずみは変形の煽りを受け大きくなっていった。以上から、荷重経路としてRC床版を通じて、隣接主桁に荷重が分配されると考察できる。

4. 結論

本研究により得られた知見を以下に列挙する。

- case1, case2 ともに、 $f_c > 1$ であることから、対象橋梁は疲労破壊に対して十分なリダンダンシーを有するといえる。
- case1 のようなソールプレート付近で損傷を受ける場合、端補剛材の剛性低下によって、その桁は片持ち梁として機能すると予測できる。
- case2 のような曲げにより初期損傷を受ける場合、荷重伝達経路としてRC床版が曲げを受け持ち、隣接主桁へ荷重が伝播する。

参考文献

- 1) National Transportation Safety Board: Highway Accident Report, Collapse of I-35W Highway Bridge Minneapolis, Minnesota August 1, 2007, NTSB/HAR-08/03, Washington, D. C., 2008
- 2) American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO Guide Specification for Fracture Critical Non-Redundant Steel Bridge Members, 1978.
- 3) 国土交通省：道路橋の重大損傷，<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>
- 4) Ghosen, M. and Moses, F.: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 406 Redundancy in Highway Bridge Superstructures, 1998
- 5) 三木千壽, 山田真幸, 長江進, 西浩嗣：既設非合成連続桁橋の活荷重応答の実態とその評価, 土木学会論文集, 2000.