

損傷を有する連続多主桁橋のリダンダンシーに及ぼす構造要因に関する考察

東北大学大学院工学部 学生会員 熊谷 宏之
 東北大学大学院工学研究科 ○ 正会員 齊木 功
 熊本高等専門学校専攻科 正会員 岩坪 要
 東北大学大学院工学研究科 学生会員 塚田 健一
 東北大学大学院工学研究科 正会員 岩熊 哲夫

1. はじめに

2007年に米国で起きた鋼トラス橋崩落事故¹⁾を教訓として、橋梁の設計において、リダンダンシーを確保することの重要性が再認識されている。米国の鋼橋における荷重抵抗係数設計法²⁾において、多主桁橋はリダンダンシーを有する構造形式とみなされているが、床版・壁高欄や横構・対傾構を含めた橋梁全体の損傷時の崩壊メカニズムについて、十分な検討はされていない。そこで本研究では、4径間連続5主桁I桁橋を解析対象として、3次元有限要素モデルを用いて非線形解析を行い、損傷時の崩壊メカニズムを解明し、さらに壁高欄や横構・対傾構が橋梁のリダンダンシーに与える影響を定量的に評価することを目的とする。

2. 解析方法

(1) 解析モデル

宮城県にある4径間非合成連続鋼板桁橋の多賀城高架橋(仮称)加瀬北地区³⁾と同規模の橋梁(橋長181.9 m, 主桁高2.3 m, 主桁間隔2.35 m)を解析対象とした。解析に用いた有限要素モデルを図-1に示す。主桁・横桁・床版・壁高欄は板要素, 横構・対傾構は梁要素を用いてモデル化し, 数値解析には, 汎用解析ソフトNX NASTRANを用いて幾何学および材料非線形性を考慮した。Young率は, 鋼材はすべて200 GPa, 床版と壁高欄はRCとして26.85 GPaとした。鋼材は部材毎に, SM490Y・SM520-H・SM400A・SS400を想定した弾塑性体とし, von Misesの降伏条件で, 初期降伏応力はSM490YとSM520-Hは355 MPa, SM400AとSS400は235 MPaとし, 硬化係数をYoung率の 10^{-2} 倍として線形等硬化則を用いた。壁高欄及びRC床版は弾塑性体とし, Drucker-Pragerの降伏条件で, 粘着力12.58 MPa, 摩擦角 10° とした。実橋におけるスラブアンカーによる主桁と床版の合成効果を考慮し⁴⁾, 本解析では剛体要素を用いて合成桁としてモデル化した。

壁高欄や横構・対傾構といった二次部材がリダンダン

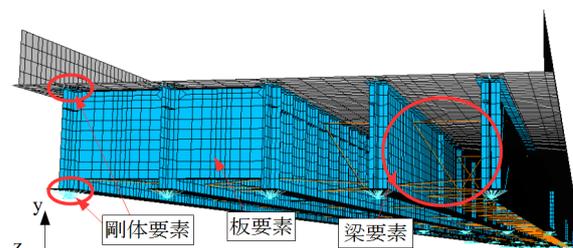


図-1 解析モデル

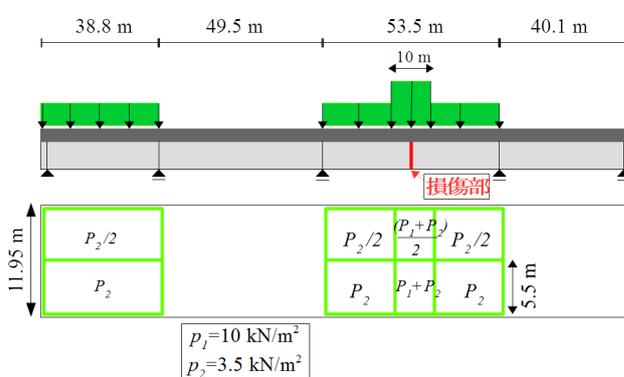


図-2 荷重载荷と損傷位置

シーに及ぼす効果を検証するために、壁高欄を削除したモデル, 横構を削除したモデル, 対傾構を削除したモデル, さらに壁高欄と横構・対傾構すべてを削除したモデルを用いて解析結果を比較する。

(2) 損傷および荷重载荷

横桁継手部の溶接位置と主桁のウェブ間にクラックが発生する疲労損傷を想定する。主桁のウェブから生じたクラックが下フランジへと進展することを想定して, 図-2に示すように, 支間長が最も長い第三径間の径間中央の外桁下フランジおよびウェブの要素を除去することで損傷を再現した。損傷部に最も大きな曲げ応力が生じるように, 図-2に示す位置にB活荷重を载荷した。非線形解析を行うにあたり, L荷重(L)を漸増させて解析を行う。このとき, L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は, 死荷重(D)を加えた後, $D+f \cdot L$ とする。本研究では, 鋼材の相当塑性ひずみが2%に達したとき, または, RCの相当塑性ひずみが0.3%に達したときを部材の終局状態とする。

Key Words: 鋼連続多主桁橋, 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

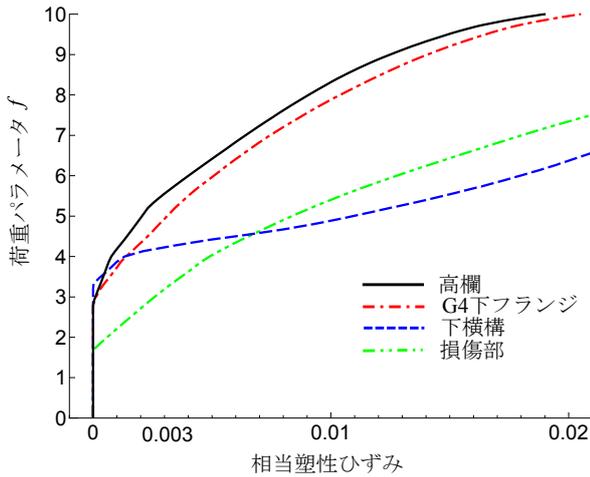


図-3 部材別の荷重パラメータ - 相当塑性ひずみ関係

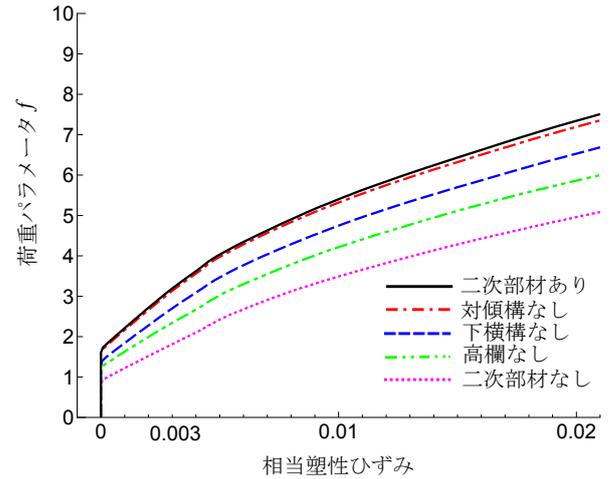


図-5 損傷部における荷重パラメータ - 相当塑性ひずみ関係

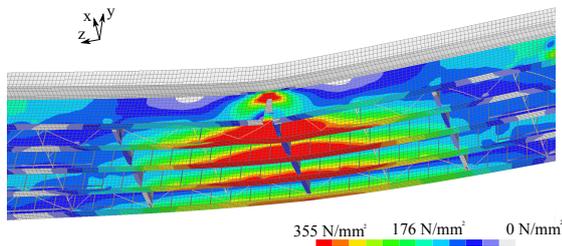


図-4 $f = 7.5$ 時の相当応力分布 (変形 10 倍)

3. 解析結果

(1) 崩壊メカニズム

図-3に荷重パラメータ f と部材毎の相当塑性ひずみの関係を示す。 $f = 5.6$ のときに、損傷部の上に位置する壁高欄において、相当塑性ひずみ 0.3% が生じ、その後 $f = 6.4$ のときに損傷部付近の下横構で相当塑性ひずみ 2% が生じた。 $f = 7.5$ において、損傷部付近で相当塑性ひずみ 2% に達し、これをもって損傷部が終局状態に至ったとみなす。図-4に $f = 7.5$ 時の損傷部付近の相当応力分布を示す。損傷部付近で応力集中が生じており、また、隣接主桁にも大きな応力が生じていることから横桁を介して荷重が分配されていることがわかる。

(2) 二次部材がリダンダンシーに与える影響

図-5に荷重パラメータ f と損傷部における相当塑性ひずみの関係をモデル別に示す。図中では、高欄と横構・対傾構の両方があるモデルを二次部材あり、両方を削除したモデルを二次部材なしとしている。二次部材ありのモデルが $f = 7.5$ で終局に至るのに対し、二次部材なしのモデルでは $f = 5$ で終局に至る。対傾構なしのモデルでは $f = 7.2$ 、下横構なしのモデルでは $f = 6.6$ 、高欄なしのモデルでは $f = 5.9$ でそれぞれ終局に至った。

4. まとめ

径間中央の外桁に損傷が生じた場合でも、損傷部付近の壁高欄が断面力を分担し、また、横構が橋軸直角方向の変形を抑えるように立体的な挙動を示した。非線形解析の結果、損傷部よりも先にこれらの二次部材が終局にいたることがわかった。また、横桁を介して隣接主桁へ荷重が伝達しており、多主桁橋の荷重経路冗長性を示す結果となった。

また、高欄なしのモデルと横構・対傾構なしのモデルの結果から、対傾構が $f = 0.3$ 、横構が $f = 0.9$ 、高欄が $f = 1.6$ 程度さらに、両方を削除したモデルの結果から、高欄と横構・対傾構を合わせると、 $f = 2$ 程度以上の終局荷重を増加させる効果を有していることがわかった。よって、これらの二次部材は、橋梁のリダンダンシーに寄与する効果を有していると言える。

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) 国土交通省東北地方整備局道路工事課: 工事課橋梁工事, <http://www.thr.mlit.go.jp/road/kouji/kouji-index.html>.
- 4) 中島章典, 溝江慶久: 活荷重レベルにおける連続非合成桁の挙動に関する一考察, 土木学会論文集, No.626/I-48, 163-172, 1999.
- 5) Ghosen, M. and Moses, F.: *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 406 Redundancy in Highway Bridge Superstructures*, 1998.
- 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 2012.