

床版の進行性破壊を考慮した鋼連続多主桁橋の数値的冗長性評価

東北大学工学部 ○学生会員 副島 理義
 東北大学大学院工学研究科 正会員 斉木 功
 東北大学大学院工学研究科 学生会員 平野 貴大

1. はじめに

床版が橋梁の冗長性に及ぼす影響は無視できないことが指摘されているが、橋梁全体のモデルにコンクリートの破壊を考慮した数値解析は、計算の困難さからこれまでほとんど行われてこなかった。近年、著者らによって床版の進行性破壊を組み込んだ橋梁全体モデルによる冗長性評価が可能となり、床版が橋梁の冗長性評価に及ぼす影響が定量的に評価できるようになった。そこで本研究では、床版の進行性破壊を考慮した鋼連続多主桁橋全体のモデルを用いて、損傷位置と程度が橋梁の余耐力に及ぼす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

宮城県内で供用されている4径間連続5主桁橋と同規模の橋梁（橋長183.24m、主桁高2.3m、主桁間隔2.35m）を解析対象とした。対象橋梁の側面図と断面図を図-1に示す。本研究では損傷を第4径間端支点に想定するため、第4径間の主桁・横桁・補剛材は平面シェル要素で、それ以外の径間では梁要素でモデル化した。また、横構・対傾構についても梁要素でモデル化した。これらはすべてYoung率200GPa、Poisson比0.3で降伏後は硬化係数がYoung率の 10^{-2} 倍となる等方硬化則を用いた。

コンクリート床版は圧縮側では21MPaで降伏後17MPaまで軟化し、引張側では圧縮側の10分の1の2.1MPaで亀裂が生じ荷重を受け持たなくなるような分散ひび割れモデルを用いてソリッド要素でモデル化した。コンクリートの材料特性を図-2に示す。鉄筋はロッド要素を用いて床版の要素に節点共有して配置した。アスファルト舗装や壁高欄はコンクリートの質量に加えることで死荷重のみ考慮した。また、床版と主桁間の合成効果は竹田ら¹⁾が使用していたスラブアンカーの非線形ばね要素を用いた。

(2) 損傷および荷重載荷

損傷は端支点部の桁の全断面に及ぶ損傷を想定し、ウェブ及び上下フランジ、水平補剛材の全要素を除去

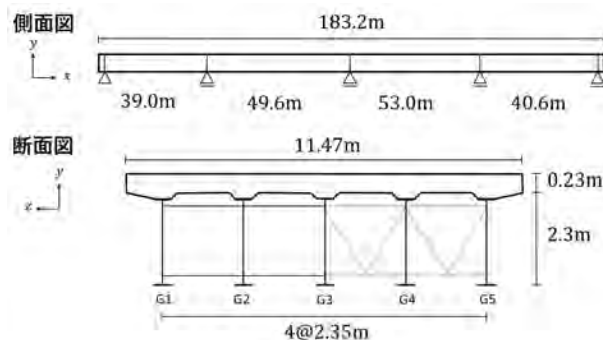


図-1 対象橋梁の側面図と断面図

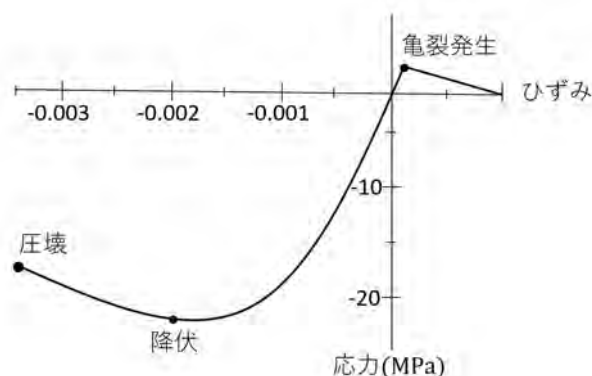


図-2 コンクリートの応力-ひずみ曲線

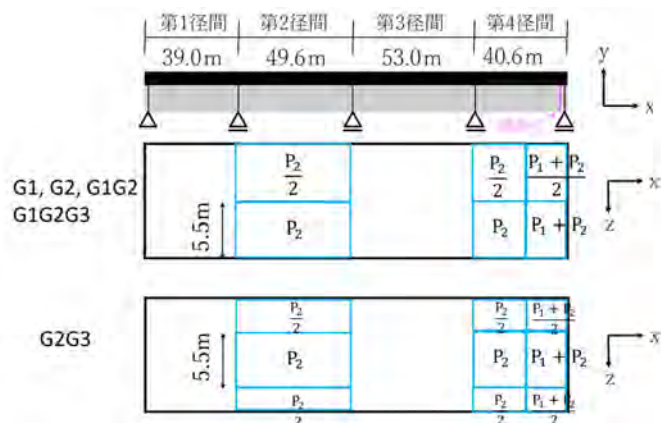


図-3 荷重載荷

した。損傷パターンはG1, G2, G1とG2, G2とG3, G1とG2とG3の5パターンを想定した。荷重は損傷部に作用するせん断力が最大となるように道路橋示方書²⁾に基づき図-3に示すようなB活荷重を載荷した。非線形解析を行うにあたり、死荷重(D)を加えた後活荷重(L)を漸増させて解析を行った。このとき活荷重(L)の倍率を表す荷重パラメータ f を定義し、解析モデルに作用させる外力を $D+f\cdot L$ とする。

Key Words: nonlinear finite element analysis, redundancy, progressive failure, steel continuous multi-girder bridge

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

3. 解析結果

使用性の指標として、端支点における走行限界とされている³⁾ 段差 100mm となる荷重パラメータを f_s とし、表-1 に各損傷パターンにおける f_s を示す。G1 損傷と G2 損傷を比較すると、使用限界となる f_s は後者が前者より約 1.8 倍大きい。G1G2 損傷と G2G3 損傷も同程度の関係であった。このことから、損傷を与える桁の本数が同じ場合、中桁よりも外桁に損傷がある方が小さな荷重で使用限界に至ることがわかる。また、G1 損傷と G1G2 損傷を比較すると、使用限界となる f_s は後者が前者の約 67% であり、G2 損傷と G2G3 損傷も同程度の関係であった。

表-1 各損傷パターンにおける f_s

損傷パターン	f_s
G1	3.65
G2	6.63
G1G2	2.35
G2G3	4.28
G1G2G3	1.70

$f=4.00$ における G1 損傷と G2 損傷の床版下側の破壊の状態を図-4 に示す。色はクラック数を表している。クラック数が 3 のとき、3 つの主方向に亀裂が生じ剛性はほとんどなくなるため、以下ではこの状態を破壊とみなす。G1 損傷、G2 損傷ともに損傷桁上部の床版が破壊されているが、G1 損傷の方が破壊の程度が大きい。

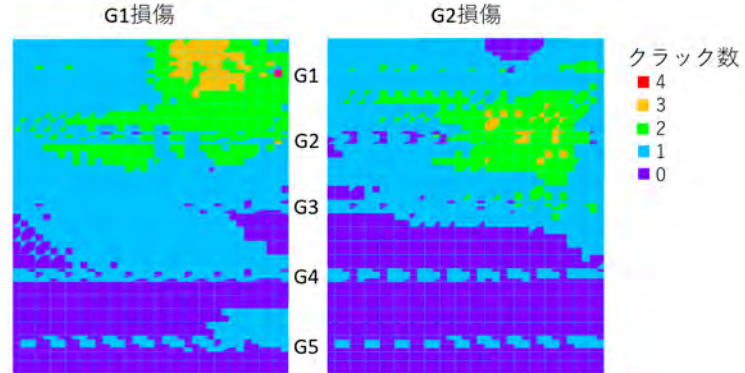


図-4 $f=4.00$ における床版の破壊の状態

$f=5.50$ における G1 損傷と G2 損傷の床版下側の破壊の状態を図-5 に示す。G1 損傷では、 $f=4.05$ で G2 桁支点部の床版が破壊され、G1 桁の方へ破壊が進展していき、 $f=5.20$ で G1 桁まで破壊が到達した。損傷を与えた G1 桁は荷重により大きくたわむが、G2 桁が床版を通じて G1 桁を支える役割を果たすため、G1 桁と G2 桁の支点付近で破壊が橋軸直角方向に進行すると考えられる。また、G2 桁上の破壊は橋軸方向にも進展していき、 $f=5.20$ では G3 桁の対傾構付近が破壊される。健全桁上部の床版で橋軸方向へ破壊が進展するのは、荷重により第 4 径間の床版が曲げを受けるためだと考えられる。G2 損傷では、G2 桁損傷部上の床版の破壊が拡大していくが、G1 損傷のように隣接する健全桁の支点部から橋軸直角方向に破壊が進展する様子は見られない。これは、G2 損傷の場合、G2 桁を G1 桁と G3 桁で支持するため、G2 桁のたわみが G1 損傷における G1 桁ほど大きくならないためだと考えられる。

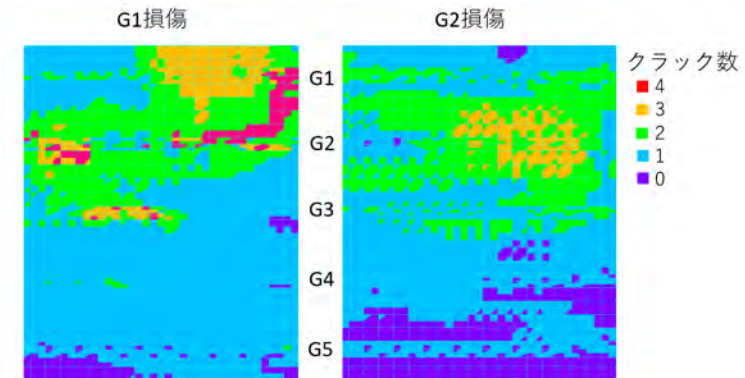


図-5 $f=5.50$ における床版の破壊の状態

4. 結論

損傷の程度が同じ場合、中桁に損傷がある場合の使用限界となる活荷重倍率は外桁に損傷がある場合の約 1.8 倍となった。損傷の位置が同じ場合、損傷桁が 2 本の場合の使用限界となる活荷重倍率は 1 本の場合の約

67% となった。

外桁に損傷がある場合、損傷桁が荷重によりたわむ影響を受けて、損傷桁と隣接する健全桁間の支点部で破壊が橋軸直角方向に進展する。中桁に損傷がある場合は、損傷桁のたわみを両隣の桁が負担するため、支点部での橋軸直角方向の破壊進展は見られない。健全桁上部の床版では、床版が曲げを受ける影響により橋軸方向へ破壊が進展していく。

参考文献

- 1) 竹田 翼, 齊木 功, 山本 剛大, 岩坪 要: 非合成連続多主桁橋の冗長性評価に及ぼすスラブアンカーの合成効果の影響, 土木学会論文集 A2, Vol.74, No.2, pp.I.579-I.590, 2018.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 共通編, 2017.
- 3) 常田 賢一, 小田 和広, 中平 明憲, 林 健二, 佐藤 光代: 段差走行試験に基づく地震時の道路の性能評価および交通運用, 地震工学論文集, pp.596-604, 2007.