

床版コンクリートの材料非線形性と 荷重分配効果を考慮した 鋼連続多主桁橋の冗長性評価の試み

Redundancy evaluation of a continuous steel multi-girder bridge
considering material nonlinearity and load distribution effect of deck concrete

平野貴大*

Takahiro HIRANO

*構造強度学研究室（指導教員：京谷孝史 研究指導教員：斉木功 准教授）

連続多主桁橋において、コンクリート床版はその荷重伝達効果により主桁損傷後の冗長性に大きく寄与していると考えられる。しかし、コンクリート床版が橋梁の冗長性に及ぼす影響を定量的に評価した事例はこれまでにない。そこで本研究では、連続多主桁橋においてコンクリート床版の材料特性や荷重伝達効果を考慮したものと考慮していないものの 2 種類のモデルに対し非線形有限要素解析を行い、結果を比較することでコンクリート床版が橋梁の冗長性に及ぼす影響を検討した。その結果、コンクリート床版のモデル化は主桁に 2% の塑性ひずみが生じる荷重が約 2 倍になるなど大きな影響を及ぼすことがわかった。

Key Words: material nonlinearity, finite element model, continuous multi-girder bridge

1. はじめに

文献¹⁾ではランガー橋においてコンクリート床版が主構損傷後の橋梁の冗長性に与える影響が示されており、主桁が主構である連続多主桁橋においてはコンクリート床版は主構損傷後の冗長性により大きく寄与すると考えられる。しかし、床版コンクリートの材料非線形性や荷重分配効果を考慮したモデル化が橋梁の冗長性評価に及ぼす影響を定量的に評価した事例はこれまでにない。そこで本研究では、4 径間連続 5 主桁 1 桁橋を対象として 3 次元非線形有限要素解析においてコンクリート床版の材料特性や荷重伝達効果を考慮したモデルと考慮していないモデルの 2 種類のモデルで解析を行い、結果を比較することでコンクリート床版の数値モデル化が橋梁全体の冗長性評価に与える影響を検討する。

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 2m, 主桁間隔 2.35m）を解析対象とした。本研究では文献²⁾と同じく損傷を第 4 径間に想定するため、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 200 GPa, 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てモデル化した。

コンクリート床版の荷重分配効果を考慮していない

モデルを「従来モデル」、考慮したモデルを「床版モデル」と呼ぶこととする。従来モデルでは床版コンクリートを Young 率 10.5 GPa, poisson 比 0.17, Drucker-Prager の降伏関数を用いて平面シェル要素でモデル化した。鉄筋は梁要素を用いて床版の要素から上下にオフセットすることでモデル化した。従来モデルでは損傷を与える桁とその隣の桁との間の床版要素にスリットを入れることで床版間で鉛直方向の荷重伝達が行われないようにした²⁾。床版モデルでは床版コンクリートを図-1 に示すように圧縮側では 21 MPa で降伏後 17 MPa まで軟化し、引張側では圧縮側の 10^{-1} の 2.1 MPa で亀裂が生じ荷重を受け持たなくなるような材料を用いてソリッド要素でモデル化した。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。

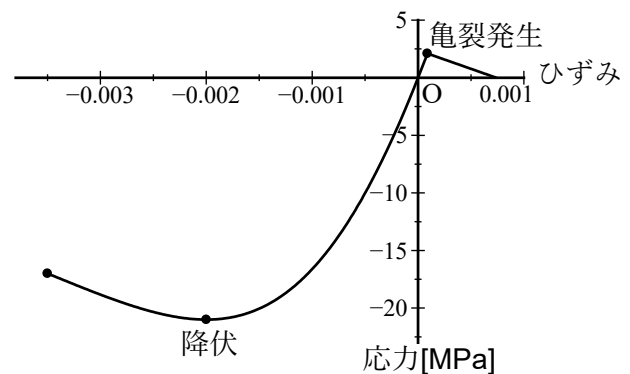


図-1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

従来モデル、床版モデルともに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²⁾と同様に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

損傷は端支点部の外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の全要素を除去した。また、従来モデルではあらかじめ主桁の損傷に合わせて床版の要素も除去することで床版の破壊を考慮した。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³⁾に基づき図-2に示すようなL荷重を载荷した。非線形解析を行うにあたり、死荷重(D)を加えた後L荷重(L)を漸増させて解析を行った。このときL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。

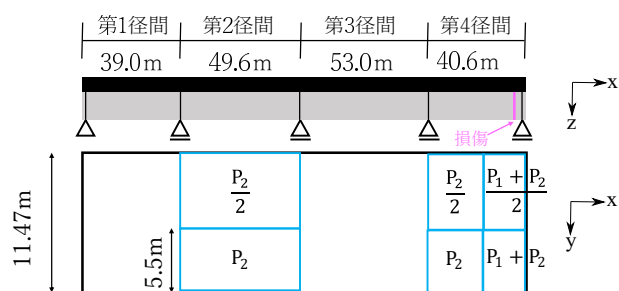


図-2 荷重载荷と損傷位置

3. 解析結果

$f = 4.8$ でそれぞれのモデルに生じた相当塑性ひずみ分布を図-3に示す。本研究では鋼材の終局ひずみを2%と定義し、鋼材に終局ひずみが生じた状態を終局状態とする。従来モデルでは主桁下フランジ、横桁、対傾構、横構に終局ひずみが生じたのに対し、床版モデルでは対傾構のみに終局ひずみが生じた。従来モデルでは $f = 4.7$ で主桁に終局ひずみが生じたのに対し、床版モデルではその約2倍の $f = 10.9$ で主桁に終局ひずみが生じた。従来モデルで主桁に終局ひずみが生じた際には第4径間全体の対傾構、横構、横桁が降伏したが、床版モデルにおいて主桁に終局ひずみが生じた際には損傷部付近の対傾構、横構のみ降伏し横桁は降伏しなかった。

損傷部のたわみと荷重パラメータ f の関係を図-4に示す。従来モデルでは死荷重段階で41mmのたわみが生じており、 $f = 0.86$ で使用性に関する限界値と報告されている⁴⁾100mmのたわみが生じた。床版モデルにおいてこのたわみに至ったのは従来モデルの約6倍の $f = 5.1$ であった。

床版モデルにおける $f = 10.9$ での床版の破壊の状態を図-5に示す。 $f = 1.8$ で損傷部の上部で下面から破壊が起き $f = 2.8$ で上面の要素も破壊した。荷重パラメータ f の増加に伴い橋軸直角方向に破壊が進展し $f = 5.2$

ではG2の上部でも破壊が起こった。その後下面ではG2桁に沿って破壊が進展し、 $f = 10.9$ では床版上面のG3上部で破壊が起こった。

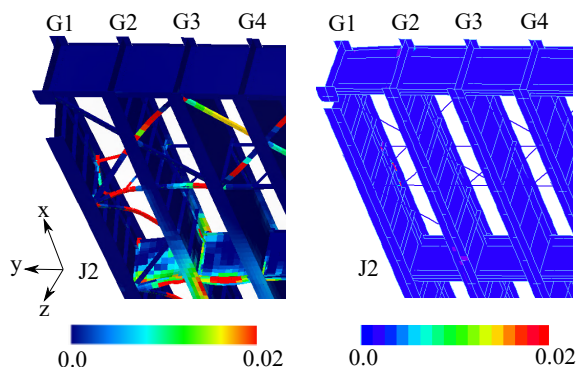


図-3 $f = 4.8$ での相当塑性ひずみ分布

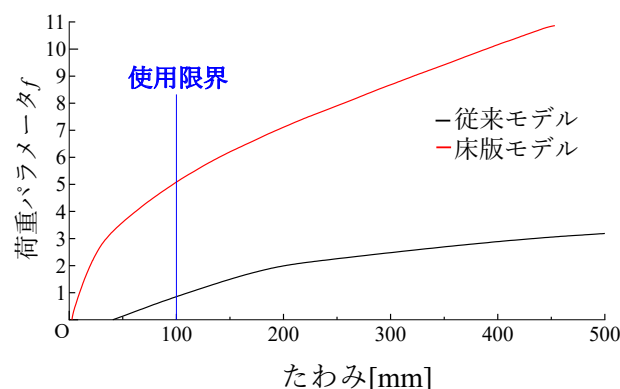


図-4 損傷部のたわみと荷重パラメータ f の関係

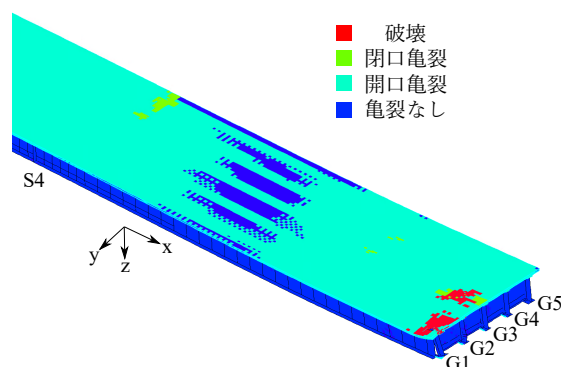


図-5 床版モデルにおける $f = 10.9$ での床版の破壊の状態

参考文献

- 1) 齊木 功, 川村 航太, 岩坪 要, 岩熊 哲夫: 非線形有限要素解析による鋼ランガー橋の冗長性に関する基礎的考察, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.61-71, 2016
- 2) 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.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 共通編, 2017.
- 4) 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.

(2022年2月7日提出)