

床版コンクリートの材料非線形性を考慮した鋼連続多主桁橋の冗長性評価の試み

東北大学工学部

○学生会員 平野貴大

東北大学大学院工学研究科

正会員

斉木 功

1. はじめに

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、床版コンクリートの材料非線形性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。本研究では、4径間連続5主桁I桁橋を対象として、3次元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の冗長性評価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主桁鋼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。解析に用いた有限要素モデルを図-1、図-2に示す。本研究では損傷を第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。

コンクリート床版の荷重伝達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。従来モデルではコンクリート床版をYoung率10.5GPa、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。従来モデルでは床版の荷重伝達効果を考慮しないため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かった。床版モデルではコンクリート床版を圧縮側では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

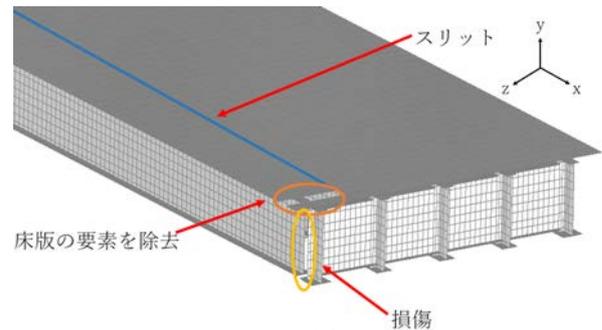


図-1 従来モデル

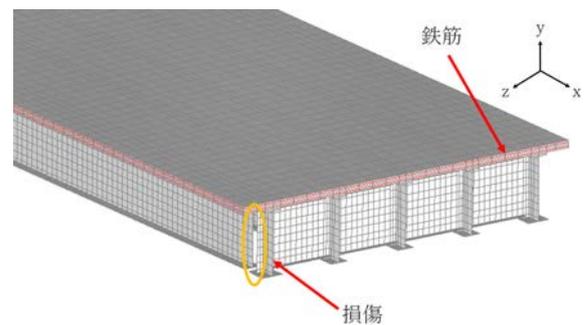


図-2 床版モデル

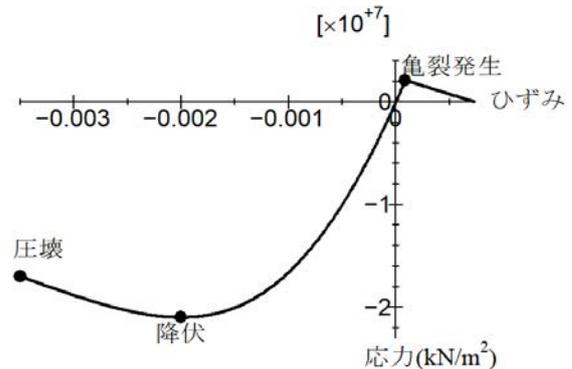


図-3 コンクリートの応力-ひずみ曲線

るような材料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-3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。

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。

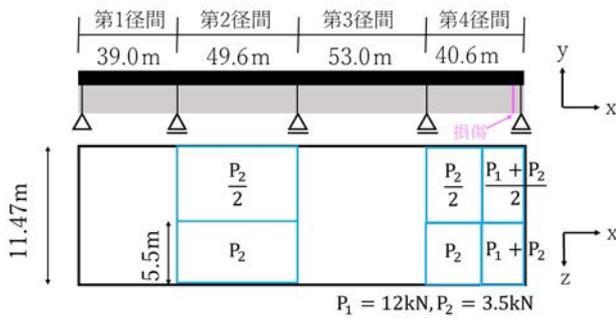


図-4 荷重載荷と損傷位置

また、従来モデルにおいては床版の破壊を考慮しないため、あらかじめ主桁の損傷に合わせて床版の要素も除去した。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-4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。本研究では鋼材の終局ひずみを2%と定義し、主桁に終局ひずみが生じた時点で荷重を終了する。

3. 解析結果

従来モデルでは $f=5.0$ の時に損傷部から中間支点側の横桁の下フランジに終局ひずみが生じた。図-5に $f=5.0$ の時の損傷部付近の鋼材に生じた相当塑性ひずみの分布を示す。従来モデルではG2桁の下フランジ、横桁、対傾構、横構などほとんどの部材で終局ひずみに達したのに対し、床版モデルでは対傾構の一部で終局ひずみに達したものの、ほとんどの部材が降伏しなかった。G2桁の下フランジについて、従来モデルでは $f=1.8$ で降伏し $f=4.9$ で終局ひずみに達したのに対し、床版モデルでは $f=5.9$ の段階においても降伏しなかった。対傾構については、従来モデルでは死荷重段階で終局ひずみに達していたのに対し、床版モデルでは $f=3.6$ で降伏し $f=3.9$ で終局ひずみに達した。

床版モデルでは $f=5.9$ の時に損傷部付近のG2桁の上フランジが降伏した。この時、G2桁のウェブのせん断応力分布は従来モデルと比較して損傷部付近に集中していた。これは、従来モデルではスリットを入れていたことで荷重が対傾構、横構、横桁など損傷部から離れた部材によって伝達されていたのに対し、床版モデルでは損傷部付近の床版によって荷重が伝達されたからだと考えられる、また、図-6に $f=5.9$ の時の床版の状態を示す。損傷部の上部では $f=2.8$ で圧壊が生じ荷重パラメータが増えるにつれて範囲が広がり、G2

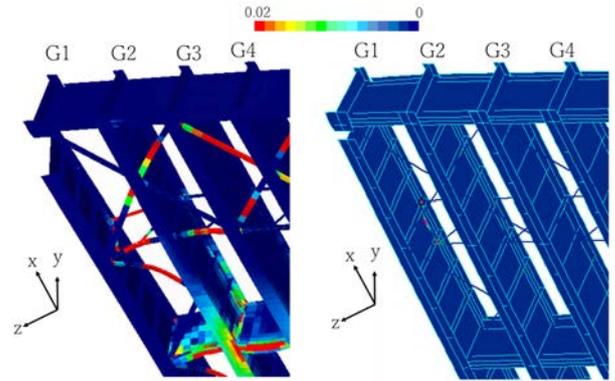


図-5 $f=5.0$ における損傷部付近の鋼材の相当塑性ひずみ分布(左:従来モデル 右:床版モデル)

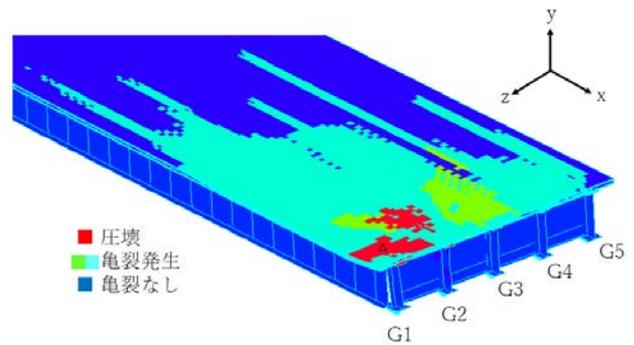


図-6 $f=5.9$ における床版の圧壊の状態

桁の上フランジに塑性ひずみが生じた際にはその上部も圧壊した。

4. 結論

コンクリート床版の荷重伝達効果を考慮しなかった場合、荷重を伝達する対傾構、横構、横桁に終局ひずみが生じG2桁の横桁付近から降伏したのに対し、床版の荷重伝達効果を考慮した場合は、横構、横桁は降伏せず、床版が伝達した荷重によって発生したせん断力によりG2主桁に終局ひずみが生じることが分かった。また床版について、損傷部の上部だけでなく塑性ひずみが生じたG2主桁の上部でも圧壊することがわかった。床版コンクリートの材料非線形性を考慮した数値モデル化は主桁の終局状態への至り方を左右することから橋梁全体の冗長性評価に大きな影響を与えると考えられる。

参考文献

- 1) 竹田 翼, 斉木 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.