

連続多主桁橋のリダンダンシー評価に及ぼす床版・主桁間のモデル化の影響

東北大学大学院工学研究科 ○学生会員 竹田 翼
 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 正会員 山本 剛大
 熊本高等専門学校専攻科 正会員 岩坪 要

1. はじめに

橋梁の耐荷力評価のための数値モデルでは、床版と主桁は剛結されることが多い。これは、非合成桁であっても設計荷重レベルでは合成桁に近い挙動を示すという報告¹⁾に基づいている。しかし、リダンダンシー解析のような損傷を有する橋梁の余耐力を評価する場合は、健全時の設計荷重レベルと同様の床版と主桁の一体化は必ずしも期待できない。そこで本研究では、床版・主桁間のモデル化が異なる連続多主桁橋の非線形有限要素解析を行い、リダンダンシー評価に対する床版・主桁間のモデル化の影響を検討した。

2. 解析手法

(1) 有限要素モデル

実際に供用されている4径間連続5主桁橋（橋長183.2m、主桁高2.3m、主桁間隔2.35m）を解析対象とした。主桁、横桁、床版のモデル化には平面シェル要素を、対傾構、横構には骨組要素を用いた。いずれの部材も弾塑性体としてモデル化した。鋼材のYoung係数およびPoisson比は道路橋示方書に従いそれぞれ200GPa、0.3とし、von Misesの降伏基準と線形等方硬化則を用い、弾塑性接線係数がYoung係数の 10^{-2} 倍になるように硬化係数を設定した。コンクリートのYoung係数およびPoisson比は道路橋示方書に従いそれぞれ23.5GPa、0.17とし、Drucker-Pragerの降伏基準に従う弾塑性体とし、降伏応力は21MPa、内部摩擦角は45度とした。数値解析では材料非線形性および幾何学的非線形性を考慮した。

(2) 床版・主桁間のモデル化

本研究で用いた5つのモデルの床版・主桁間のせん断力-ずれ変位関係を図-1に示す。床版と主桁を剛結したモデルを完全合成モデルと呼ぶ。床版と主桁を橋軸方向に1mおきに線形ばね要素で接合し、スラブアンカーの押抜き試験結果²⁾より得られたスラブアンカーのせん断力-ずれ変位関係の初期剛性を水平2方向の剛性としたモデルを線形スラブアンカーモデルと呼ぶ。線形

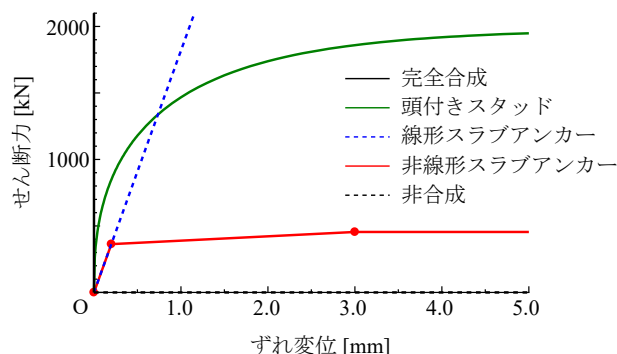


図-1 床版・主桁間のせん断力-ずれ変位関係

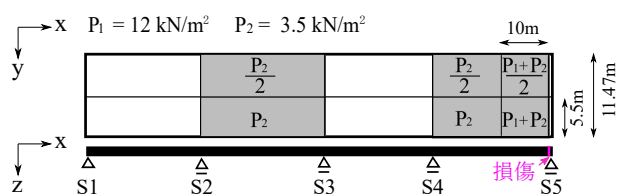


図-2 損傷と荷重载荷パターン

ばね要素を非線形ばね要素に置き換え、スラブアンカーの降伏後挙動を考慮してトリリニア型の非線形弾性としたモデルを非線形スラブアンカーモデルと呼ぶ。図中の各勾配におけるスラブアンカーの状態をそれぞれ弾性、塑性硬化域、最大せん断力と呼ぶ。頭付きスタッドの押抜き試験結果から回帰されたせん断力-ずれ変位関係³⁾を用いたモデルを頭付きスタッドモデルと呼ぶ。線形ばね要素の橋軸方向の剛性を 10^{-4} 倍することで合成効果を見逃したモデルを非合成モデルと呼ぶ。

(3) 損傷および荷重の設定

主桁端部が疲労損傷することを想定して、外桁の支承付近の上下フランジおよびウェブを橋軸方向に一要素分除去することで、損傷をモデル化した。また、主桁損傷部上の床版は局所的な破壊によって機能が低下することが予想されるため、あらかじめ床版の要素を除去することで床版の損傷を再現した。さらに、非合成桁橋の床版による荷重分配を期待できるかは自明ではないため、損傷桁とその隣接桁の間の床版に損傷部から中間支点(S4)までスリットを入れることで、床版による力の伝達が行われないようにした。荷重は損傷を与えた主桁端部に最も大きなせん断力が生じるように、図-2に示す

Key Words: 連続多主桁橋, リダンダンシー, スラブアンカー, 非線形有限要素解析

〒980-8579 宮城県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

ようにB活荷重を載荷した。非線形解析を行うにあたり、初めに死荷重(D)を与え、次に活荷重(L)を漸増させて解析を行う。このとき、活荷重に対する倍率として荷重パラメータ f を定義し、作用させる荷重は $D+f\cdot L$ とする。

3. 解析結果

非線形スラブアンカーモデルのS4-S5径間における $f = 1.0$ でのスラブアンカーの状態を図-3に示す。非線形スラブアンカーが初めて塑性硬化域に達したのは $f = 0.5$ であり、 $f = 1.0$ では隣接桁の端支点部側約8mの範囲でスラブアンカーが塑性硬化域に達している。

損傷桁は張り出し梁のような変形となり、損傷部先端と端支点部で段差が生じる。段差に関して、常田ら⁴⁾は一般車両の徐行速度（時速20km程度）では100mmが通行可能な段差の上限値である報告している。これをふまえて、本研究では損傷部先端のたわみ100mmを使用性に関する限界値と考え、使用限界と呼ぶ。損傷部先端における荷重-たわみ関係を図-4に示す。使用限界に達する荷重パラメータ f_f は完全合成モデルが $f_f = 1.15$ 、非線形スラブアンカーモデルが $f_f = 1.04$ 、非合成モデルが $f_f = 0.32$ であった。完全合成モデルに対して非線形スラブアンカーモデルが10%、非合成モデルが72%早い荷重段階で使用限界に達した。

主桁に生じる橋軸方向応力は、隣接桁下フランジの横桁取付部（S5から10.0mの位置）においてモデル内で最大となった。本研究では主桁に生じる相当塑性ひずみ2%が安全性に関する限界値と考え、終局限界と呼ぶ。隣接桁下フランジにおける荷重-相当塑性ひずみ関係を図-5に示す。初期降伏時の荷重パラメータ f_y は完全合成モデルと非線形スラブアンカーモデルでそれぞれ $f_y = 1.65$ 、 $f_y = 1.62$ でその差はわずか1.8%であったが、初期降伏後の荷重段階では非線形スラブアンカーモデルは荷重の増加とともに完全合成モデルとの差が大きくなる傾向にある。終局限界に達する荷重パラメータ f_u は完全合成モデルが $f_u = 5.48$ 、非線形スラブアンカーモデルが $f_u = 4.90$ 、非合成モデルが $f_u = 3.96$ であった。完全合成モデルに対して非線形スラブアンカーモデルが11%、非合成モデルが28%早い荷重段階で終局限界に達した。

以上より、リダンダンシー評価のための数値モデルでは、スラブアンカーの非線形特性をモデル化することが重要である。頭付きスタッドによる合成やスラブアン

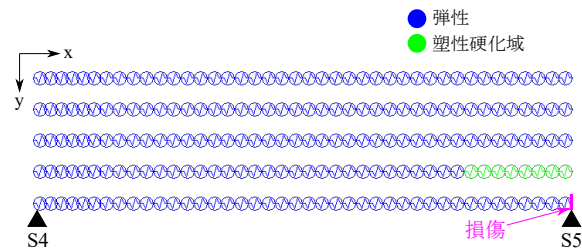


図-3 スラブアンカーの状態 ($f = 1.0$)

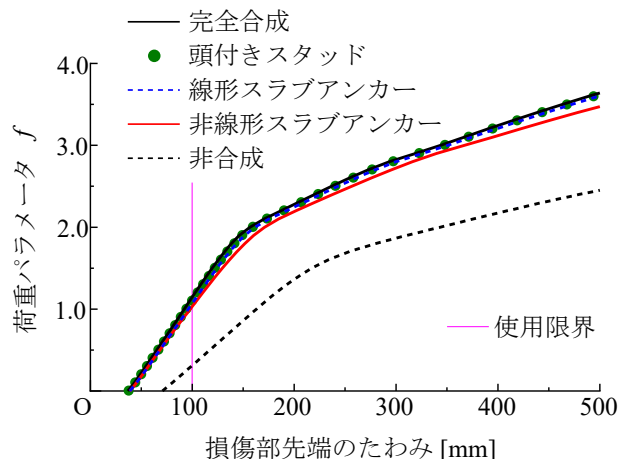


図-4 損傷部先端における荷重 - たわみ関係

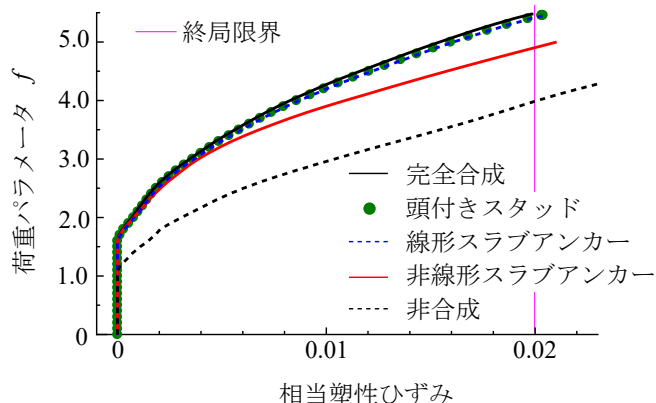


図-5 隣接桁下フランジにおける荷重 - 相当塑性ひずみ関係

カーの初期剛性のみを考慮した合成のモデル化は、リダンダンシーを議論する荷重レベルにおいても完全合成とみなすことができる。非合成桁の設計上の仮定をリダンダンシー解析の床版・主桁間のモデル化に用いると過度に安全側の評価を与える。

参考文献

- 1) 中島章典，溝江慶久：活荷重レベルにおける連続非合成桁橋の挙動に関する一考察，土木学会論文集，No.626/I-48，pp.163-172，1999。
- 2) 山田真幸，サトーンペンボン，三木千壽，市川篤司，入部孝夫：RC床版と鋼フランジ間の付着とスラブアンカーによるせん断抵抗の評価，構造工学論文集，Vol.47A，pp.1161-1168，2001。
- 3) 島弘，渡部誠二：頭付きスタッドのせん断力-ずれ関係の定式化，土木学会論文集A，Vol.64，No.4，pp.935-947，2008。
- 4) 常田賢一，小田和広，中平明憲，林健二，依藤光代：段差走行実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。