

ずれ止めの合成効果を考慮した不完全合成桁としての非合成桁の設計法

宇都宮大学 学生会員 ○ 桑原伸太郎 フェロー会員 中島章典
 正会員 NGUYEN MINH HAI 藤倉修一
 川田工業(株) 正会員 溝江慶久

1. はじめに

鋼道路橋として最も一般的な橋梁形式に非合成桁がある。非合成桁では、I形あるいは箱形の鋼桁だけが荷重に抵抗し、設計上の煩雑さから、その上に配置される鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)の主桁作用を期待しない。しかし、非合成桁においても、RC床版と鋼桁の相対的位置の確保を目的としてスラブ止めなどの柔なずれ止めが設けられている。このため、非合成桁は実際にはいわゆる不完全合成桁として挙動することが知られており、RC床版はある程度主桁作用に寄与する^{1),2),3)}。そのため、実際に鋼桁に作用する応力は、設計上の応力より小さく安全側となり、RC床版は想定外の応力を受けることになると考えられる。また、ずれ止めには対応するせん断力が作用する。

そこで本研究では、上述のように非合成桁の設計上の挙動と実際の挙動が大幅に異なる現状を踏まえ、適切なずれ止め配置を検討し、そのずれ止め配置における非合成桁の挙動を把握し、各構成要素が限界状態を満足する非合成桁のあり方を検討する。

2. 非合成桁の解析

(1) 剛体ばねモデル解析

非合成桁の解析に際し、ここでは不完全合成桁などの挙動を明らかにする有効な解析方法の1つとして挙げられる、剛体ばねモデル⁴⁾を用いた弾塑性解析を行う。剛体ばねモデルを用いて非合成桁を解析するにあたり、図-1に示すようにRC床版及び鋼桁を橋軸方向に分割し、それぞれの要素は複数の軸ばね、せん断ばねを設ける。また、RC床版と鋼桁間には、ずれ止めを模擬し、鉛直ばねと水平ばねを設定する。このとき、各ばねにはそれぞれの材料特性を設定する。

(2) 非合成桁の解析モデル

ここでは、スパン30m、2車線4本主桁を有する単純非合成桁の1つの主桁と対応するRC床版部分をモデル化した。解析モデルの概要を図-2に示す。鋼桁は桁端部に向けて断面が小さくなる変断面構成としている。鋼種はSM490であり、その降伏応力は道路橋示方書・同解説II鋼橋編⁵⁾に則して設定し、RC床版のコンクリートの圧縮強度は30N/mm²とした。頭付きスタッドを用いてずれ止めの照査を行った結果、ここでは非合成桁のずれ止め配置として、図-2の断面1,2の領域には軸径22mm、高さ150mmのスタッドを0.5m間隔で3本ずつ、断面3の領域では1mの間隔で2本ずつ配置する場合を考える。そのせん断力-ずれ変位関係は複合構造標準示方書⁴⁾に準拠して設定した。

(3) 荷重倍率-たわみ関係

上述のようにずれ止めを配置した非合成桁モデルに、図-3,4に示す死荷重とB活荷重を増加させながら最大荷重まで載荷した際の荷重倍率と支間中央のたわみの関係から、非合成桁の挙動を確認する。図-5に非合成桁モデルの荷重倍率と支間中央たわみの関係を示す。図中の縦軸が設計荷重に対する荷重倍率、横軸が支間中央のたわみを表しており、赤実線が非合成桁モデルの結果、赤点線が非合成桁の設計上考えられる挙動、つまり鋼桁のみで解析した結果を示している。この図より、RC床版の合成効果を考慮した非合成桁の剛性、曲げ耐力は共に鋼桁のみのそれを大きく上回り、非合成桁の最大荷重は死荷重と活荷重の約2.7倍となり、鋼桁のみの最大荷重の約1.3倍程度であった。ここで、

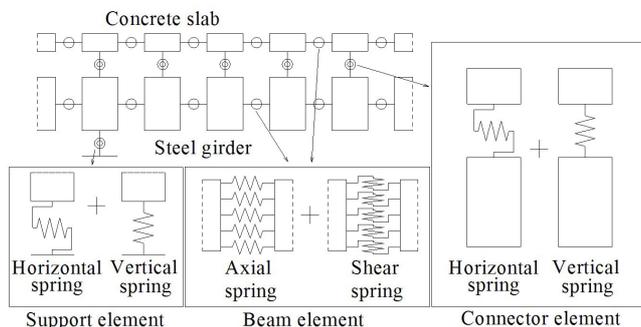


図-1 剛体ばねモデル

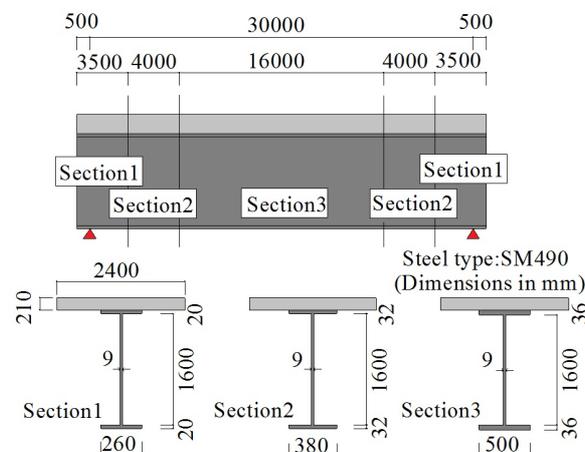


図-2 スパン 30m 非合成桁の解析モデル

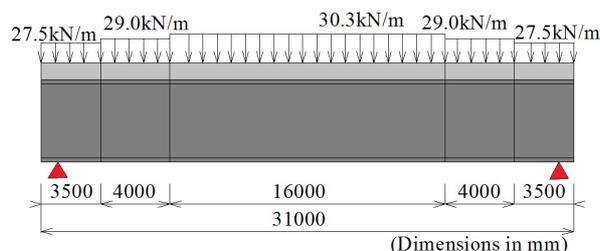


図-3 死荷重 (D)

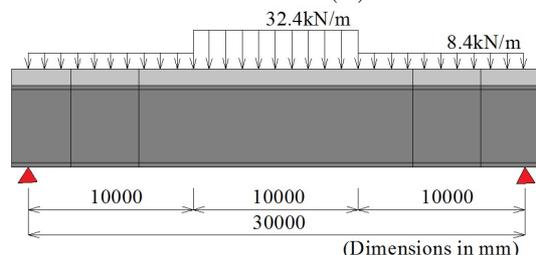


図-4 活荷重 (L)

図-2の断面3における合成断面の全塑性モーメントは、その鋼桁のみの全塑性モーメントの約1.3倍であった。このことから、ずれ止めを適切に配置した非合成桁モデルは設計上考えられる挙動と異なり合成桁の挙動に近く、合成断面で考えた場合と同程度の耐力を有することが確認された。

Key Words: 非合成桁, 剛体ばねモデル解析, 頭付きスタッド, 合成効果

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

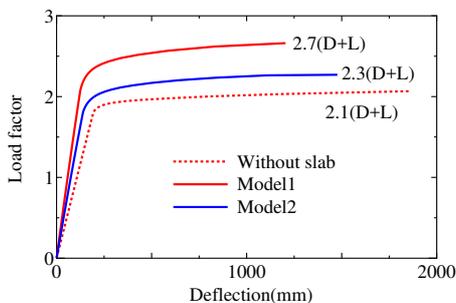


図-5 荷重倍率-たわみ関係

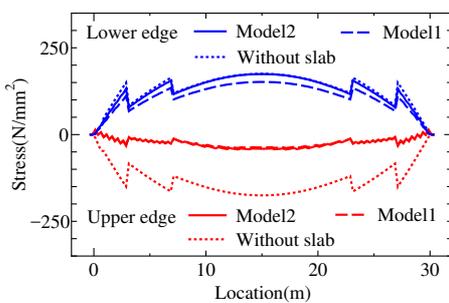


図-6 鋼桁上下縁応力分布

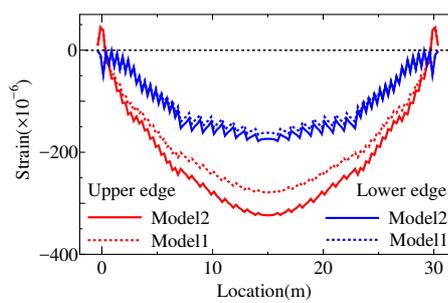


図-7 床版上下縁ひずみ分布

(4) 合理的断面構成の検討

上述のようにRC床版の合成効果を考慮した非合成桁の挙動は設計上考えられている挙動と大きく異なり、その最大荷重は鋼桁のみの最大荷重の1.3倍程度であった。このことから非合成桁はずれ止めの合成効果により安全側となっていることが確認できる。そこで、非合成桁においてずれ止めの合成効果を考慮した場合の合理的な断面構成について検討する。

以下では図-2の鋼桁ウェブ高さを1600mmから1400mmへ12.5%縮小させた場合について考える。ここで、鋼桁ウェブ高さ縮小前のモデルをModel1、縮小後のモデルをModel2とする。この場合の荷重倍率と支間中央たわみの関係を図-5に青線で示す。図より、鋼桁断面を縮小したモデルは、縮小前のモデルに比べ剛性、最大荷重共に減少するが、それでもなお設計上考えられる鋼桁のみのそれを上回る。このように、非合成桁モデルにおいて鋼桁の断面を縮小した場合でも設計上考えられる場合より安全側となり、非合成桁を不完全合成桁として考え、鋼桁断面を縮小することができる可能性がある。

この際的设计荷重時における鋼桁の上下縁応力分布を図-6に示す。縦軸が応力、横軸が左支点からの橋軸方向位置を表し、赤、青実線がそれぞれModel2の鋼桁上下縁の応力、赤、青破線がModel1の上下縁応力、赤、青点線が設計上考えられる上下縁応力を示している。図より、上縁では鋼桁断面縮小前後で応力の大きさがほぼ同程度であるのに対して、下縁においては鋼桁断面縮小後の応力は縮小前に比べ大きくなっている。しかしそれは、設計上考えられる鋼桁のみの場合の応力と同程度であった。

また、設計荷重時におけるRC床版の上下縁ひずみ分布を図-7に示す。縦軸がひずみ、横軸が左支点からの橋軸方向位置を表し、赤、青実線がそれぞれModel2のRC床版上下縁のひずみ、赤、青点線がModel1のRC床版上下縁ひずみを示している。図より、鋼桁断面縮小により、RC床版の圧縮ひずみは上下縁ともに増加することが確認できる。しかし、負曲げによる支点上の引張ひずみは両者で同程度であった。

さらに、設計荷重及び2.1(D+L)時におけるスタッドのせん断力分布を図-8に示す。青丸がModel2のせん断力、赤丸がModel1の結果を示している。図より、鋼桁断面縮小後のせん断力は鋼桁断面縮小前に比べ増加していることがわかる。しかしこの場合において、その増加は小さく、スタッドは使用性及び安全性の限界状態を満足している。

上述のように、鋼桁上下縁応力、RC床版上下縁ひずみ及びスタッドのせん断力、ずれ変位の観点から鋼桁断面縮小による影響は小さく、非合成桁を不完全合成桁として考え、鋼桁断面を縮小することができる可能性が示された。

3. まとめ

本研究では、剛体ばねモデルを用いた弾塑性解析により、ずれ止めの合成効果を考慮した非合成桁において、どのような鋼桁断面やずれ止めの配置が合理的であるかを解析的に検討した。得られた結果をまとめると以下ようになる。

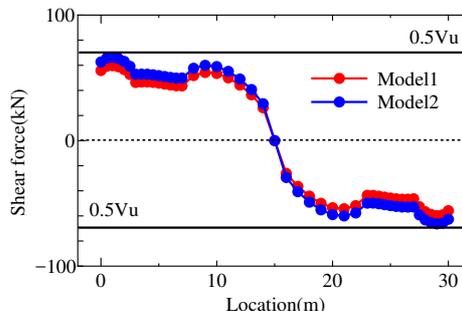


図-8-a 1.0(D+L)時

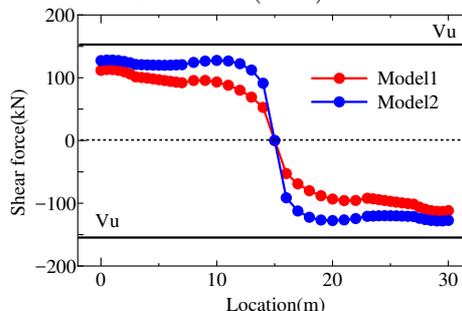


図-8-b 2.1(D+L)時

図-8 鋼桁断面縮小後せん断力分布

1. ずれ止めを適切に配置した非合成桁モデルは設計上考えられる挙動と大きく異なり、合成断面で考えた場合と同程度の曲げ耐力を有する。
2. 非合成桁モデルにおいて、ウェブ高さを12.5%縮小した場合でも、鋼桁のみの場合の最大荷重を上回り、非合成桁を不完全合成桁として考え、鋼桁断面を縮小することができる可能性が示された。

また、ずれ止めとして非合成桁にスラブ止めが配置されている場合についても検討したが、スラブ止めは形式上、密に配置することが困難であり、スラブ止めを用いて、安全性の観点から十分な配置とすることは不可能であることが確認された。

なお、本研究の一部は、一般財団法人橋梁調査会の「橋梁技術に関する研究開発助成」の補助を受けて実施しました。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) Newmark, N.M., Siess, C.P. and Viest, I.M. : Test and analysis of composite beams with incomplete interaction, Proceedings of the Society for Experimental Stress Analysis, Vol.9, No.1, pp.75-92, 1951.
- 2) 橋善雄, 足立義雄 : 不完全合成桁について, 土木学会論文集, No.112, pp.11-19, 1964.12.
- 3) 浜田純夫, 有住康則 : 不完全連続合成桁有限要素解析, 土木学会論文集, No.265, pp.1-9, 1977.9.
- 4) Kawai, T : New element models in discrete structural analysis, 日本造船学会論文集, No.141, pp.174-180, 1977.
- 5) 社団法人日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, I 共通編, II 鋼橋編, 2002.3.
- 6) 土木学会 : 複合構造標準示方書, pp.158-160, 2015.