

# 作用履歴を考慮した合成桁の負曲げ挙動に関する解析検討

宇都宮大学  
HRC 研究所  
宇都宮大学  
The University of Danang - University of Science and Technology

学生会員 ○ 柳沼大介  
フェロー会員 中島章典  
正会員 藤倉修一  
非会員 Nguyen Minh Hai

## 1. はじめに

一般的な橋梁形式の1つとして、鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)と鋼桁を頭付きスタッド等のずれ止めを用いて合成した合成桁が挙げられ、架設方法によって合成桁は死活荷重合成桁と活荷重合成桁に分けられる。

活荷重合成桁は、完成系の支持条件のもとで床版コンクリートを打設する。そのため、合成前死荷重に対して鋼桁のみが抵抗し、合成後の種々の作用に対してはRC床版と鋼桁が一体となって抵抗する。合成後の作用として、床版コンクリートのクリープと乾燥収縮、さらには合成後死荷重や活荷重、コンクリートと鋼の温度差が挙げられ、個々の作用による応答の算出方法は、複合構造標準示方書<sup>1)</sup>や道路橋示方書<sup>2)</sup>に記載されている。

しかし、上記の作用による応答は連続的に生じるため、それぞれの作用による応答を対応する抵抗断面で個々に考慮するのではなく、実際の作用状況と抵抗断面に即して合成桁の挙動を検討する必要があると考えられる。

そこで本研究では、剛体ばねモデル<sup>3)</sup>を用いて各部材の非線形挙動を考慮し、合成前死荷重とコンクリートの乾燥収縮、合成後死荷重、コンクリートと鋼の間の温度差、活荷重を考慮した解析プログラムを構築した。そして、これらの作用が連続的に作用した時の、特に、2径間連続合成桁の負曲げ領域の挙動について確認する。

## 2. 解析方法

本研究では、上記のように種々の作用を考慮する解析プログラムを構築した。ここでは、それぞれの作用の解析内での取り扱いについて示す。

合成前死荷重は、中島ら<sup>4)</sup>の研究を参考に、鋼桁のみに作用させる。

コンクリートの乾燥収縮は、荷重一定のままコンクリートばね要素にひずみを与えることで解析内で表現する。与えるひずみは道路橋示方書<sup>2)</sup>に従い、 $200 \times 10^{-6}$ とした。

コンクリートと鋼の温度差の影響もコンクリートの乾燥収縮と同様に、ばね要素にひずみを与えることで解析内で表現する。RC床版に比べて鋼桁が $10^\circ\text{C}$ 高温となる場合には、RC床版を構成するばね要素に $120 \times 10^{-6}$ 、RC床版に比べて鋼桁が $10^\circ\text{C}$ 低温となる場合には、RC床版を構成するばね要素に $-120 \times 10^{-6}$ のひずみを与える<sup>2)</sup>。

合成後死荷重と活荷重は、それぞれに対応する荷重分布を与え、合成後死荷重載荷後に活荷重が載荷される。

本研究では、合成前死荷重とコンクリートの乾燥収縮、合成後死荷重、コンクリートと鋼の温度差、活荷重の順に作用させるものとした。

また、床版コンクリートには図-1に示す応力-ひずみ関係を用いた。圧縮域と引張域どちらも除荷が生じた場合には、引張域の引張強度までの弾性係数 $E_c$ の勾配で除荷が生じるものとする。

ずれ止めには頭付きスタッドを用い、複合構造標準示方書<sup>1)</sup>に示されるせん断耐力-ずれ変位関係を用いた。

## 3. 解析モデル

本研究では、コンクリートがひび割れて非線形挙動が顕著に現れると考えられる負曲げ領域に着目するため、図-2、表-1に示すような2径間連続合成2主1桁橋の1本の主

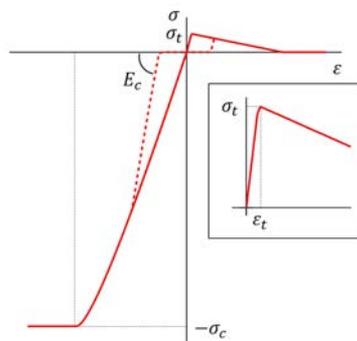


図-1 コンクリートの応力-ひずみ関係

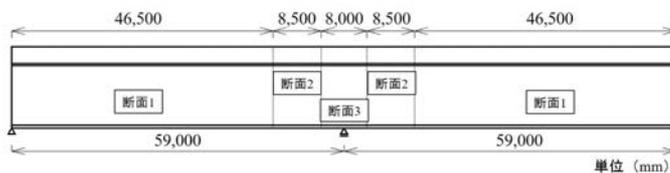


図-2 解析モデル

表-1 断面諸量

断面種類		断面寸法 (mm)	
RC床版		5200 × 310	
鋼桁	断面1	上フランジ	700 × 30
		ウェブ	2820 × 16
		下フランジ	910 × 48
	断面2	上フランジ	700 × 56
		ウェブ	2780 × 19
		下フランジ	910 × 57
	断面3	上フランジ	700 × 76
		ウェブ	2750 × 24
		下フランジ	910 × 74

桁と対応するRC床版を解析対象とする。それぞれのスパンは59mで全長は118m、RC床版は等断面で鋼桁を変断面構成とした。RC床版内には、軸方向鉄筋としてD22を1段あたり46本、2段配置した。RC床版と鋼桁の合成前死荷重は5648kN、舗装や高欄等の合成後死荷重は2596kNと算出し、それぞれ等分布荷重として作用させる。コンクリートの圧縮強度は $40\text{N/mm}^2$ とし、圧縮側の弾性係数は応力-ひずみ関係の傾きとしている。引張強度は $3.0\text{N/mm}^2$ とし、引張側の引張強度までの弾性係数は $31\text{kN/mm}^2$ とした。軸方向鉄筋の降伏強度は $345\text{N/mm}^2$ 、鋼桁の降伏強度は $355\text{N/mm}^2$ とし、弾性係数は $200\text{kN/mm}^2$ とした。頭付きスタッドのせん断耐力は、複合構造標準示方書<sup>1)</sup>を参考に $152\text{kN}$ と算出した。頭付きスタッドは1箇所あたり4本ずつ配置し、橋軸方向に配置間隔が変化している。

## 4. 解析結果

合成前死荷重と合成後死荷重、活荷重を載荷し、コンクリートの乾燥収縮が $200 \times 10^{-6}$ 生じて、RC床版に比べて

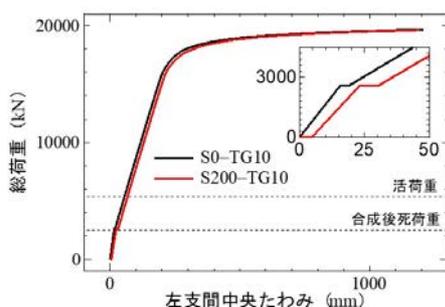


図-3 総荷重-たわみ関係

鋼桁が 10℃高温の解析ケースを S200-TG10、コンクリートの乾燥収縮が生じず、RC 床版に比べて鋼桁が 10℃高温の解析ケースを S0-TG10 とし、これらの解析ケースを比較した結果を以下に示す。

### (1) 総荷重-たわみ関係

図-3 に総荷重-たわみ関係を示す。縦軸を総荷重、横軸を左支間中央のたわみとする。総荷重に合成前死荷重は含まれていない。合成後死荷重はコンクリートの乾燥収縮後に増加して、設計荷重に達すると一定になる。活荷重はコンクリートと鋼の温度差導入直後から载荷され、最大荷重まで増加していく。図中の横の点線は、合成後死荷重と活荷重それぞれが設計荷重に達した時を示し、図中の小窓は合成後死荷重と活荷重が設計荷重に達するまでを示す。

合成後死荷重と活荷重の荷重分布が異なるため、合成後死荷重が設計荷重に達した後、活荷重が载荷され始める前後で剛性が変化する。

S200-TG10 では、コンクリートの乾燥収縮によって総荷重 0kN 時とコンクリートと鋼の温度差によって総荷重 2596kN 時に、荷重一定でたわみが増加する。一方、S0-TG10 では、コンクリートと鋼の温度差によって総荷重 2596kN 時に荷重一定でたわみが増加する。

S0-TG10 と S200-TG10 で最大荷重は概ね一致している。

### (2) RC 床版応力-ステップ数関係 (中間支点上)

図-4 に中間支点上の RC 床版上下縁応力とステップ数の関係を示す。縦軸を中間支点上の RC 床版上下縁の応力、横軸をステップ数とする。黒線が上縁を示し、赤線が下縁を示す。破線が S0-TG10 を示し、実線が S200-TG10 を示す。S0-TG10 の場合にはコンクリートの乾燥収縮を考慮しないため、20 ステップ目からとなる。図中の縦の点線は、それぞれの作用が設計荷重に達した時を示す。

S0-TG10 の場合には合成後死荷重载荷直後に上縁が引張強度に達する。その後、コンクリートと鋼の温度差および活荷重の作用とともに、劣化勾配をたどることから引張応力が減少している。そして、温度差の考慮時に上縁の引張応力が減少するのに対して、120 ステップから 130 ステップの温度差の考慮により生じる引張軸力に抵抗するため、下縁の応力が引張側に急激に大きくなり、引張強度に達している。一方、S200-TG10 の場合にはコンクリートの乾燥収縮導入中に上縁に続いて下縁も引張強度に達し、その後、合成後死荷重、コンクリートと鋼の温度差および活荷重の作用とともに劣化勾配をたどることから引張応力が減少している。

### (3) 鋼桁応力-ステップ数関係 (中間支点上)

図-5 に中間支点上の鋼桁上下縁応力とステップ数の関係を示す。縦軸を中間支点上の鋼桁上下縁の応力、横軸をステップ数とする。黒線が上縁を示し、赤線が下縁を示す。破線が S0-TG10 を示し、実線が S200-TG10 を示す。S0-TG10 の場合にはコンクリートの乾燥収縮を考慮しないため、20 ステップ目からとなる。図中の縦の点線は、それぞれの作用が設計荷重に達した時を示す。どちらの解析ケースにおいても合成前死荷重により上縁では  $127\text{N/mm}^2$ 、下

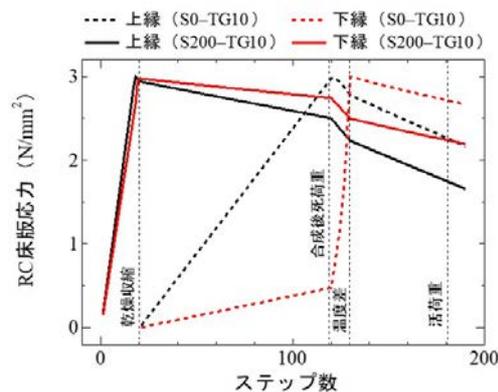


図-4 RC 床版応力-ステップ数関係 (中間支点上)

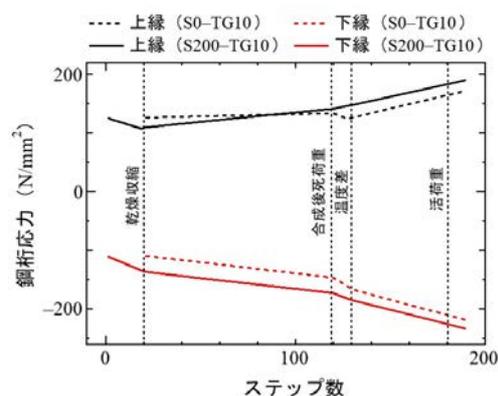


図-5 鋼桁応力-ステップ数関係 (中間支点上)

縁では、 $-109\text{N/mm}^2$  の応力が生じた状態から合成後死荷重等が作用する。

20 ステップから 120 ステップの合成後死荷重载荷段階で、上縁の応力では、黒点線で示す S0-TG10 の関係の傾きに対して、黒実線で示す S200-TG10 の関係の傾きが大きい。一方、下縁の関係の傾きは両者で同程度である。これは、S200-TG10 では乾燥収縮の導入によって床版にひび割れが生じており、合成後死荷重载荷段階では合成断面としての曲げ剛性が S0-TG10 に比べて小さいためである。また、コンクリートと鋼の温度差の考慮時では、S0-TG10 の関係と S200-TG10 の関係の傾向が異なるが、これは、図-4 に示す床版の応答の違いによるものである。その後、130 ステップ以降の活荷重载荷時では両者の傾向の違いは見られない。

## 5. まとめ

本研究では、2 径間連続合成桁を対象に、合成前死荷重とコンクリートの乾燥収縮、合成後死荷重、コンクリートと鋼の温度差、活荷重の影響を考慮した解析を行い、2 径間連続合成桁の負曲げ領域の挙動を確認した。

その結果、今回の解析モデルでは設計荷重に達するまでに、コンクリートの乾燥収縮やコンクリートと鋼の温度差によって、床版がひび割れて複雑な応答を示した。また、床版のひび割れの影響を受け、鋼桁の応答も複雑な挙動を示した。

### 参考文献

- 1) 土木学会複合構造委員会：複合構造標準示方書 (2014 年制定), 2015.5.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, II 鋼橋・鋼部材編, 2017.11.
- 3) 溝江慶久, 中島章典：合成はりの諸因子がその耐荷挙動に及ぼす影響に関する解析検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.5, pp.II 81-II 99, 2018.6.
- 4) 中島章典, 尾形圭祐, 菅原健太郎, Nguyen Minh Hai, 藤倉修一：死活荷重の載荷履歴を考慮した連続合成桁に関する解析的研究, 構造工学論文集 Vol.66A, pp.813-820, 2020.3.