

合成前死荷重の载荷履歴を考慮した連続合成桁の挙動に関する研究

宇都宮大学 学生員 ○尾形圭祐 フェロー会員 中島章典
 正会員 Nguyen Minh Hai 正会員 藤倉修一

1. はじめに

活荷重合成桁では、合成前死荷重は鋼桁断面のみで受け持たれ、活荷重は鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）が合成された後、合成断面で受け持たれる。したがって、荷重の载荷履歴に則して合成桁の挙動を数値解析により追跡する際には、鋼桁のみで支持した死荷重による鋼桁断面の応力状態を初期状態として考慮する必要がある。しかし、合成桁の解析モデルに死荷重による鋼桁断面の応力状態を初期応力として導入すると、合成桁断面内で自己つり合いが取れないため、鋼桁の応力は減少し、それに伴ってRC床版にも応力が負加されてしまい、本来の活荷重合成桁の状況を再現できていない。そこで菅原ら¹⁾は、上記のような問題に対処する活荷重合成桁の解析方法を提案し、単純合成桁の挙動を確認している。しかし、活荷重合成桁と死活荷重合成桁の挙動の差異を検討すべき問題として、連続合成桁の負曲げ領域の挙動が挙げられる。

そこで本研究では、連続合成桁を対象として、合成前死荷重による鋼桁断面の応力を考慮しない場合と考慮する場合について、剛体ばねモデルを用いた弾塑性解析²⁾を行い、特に、中間支点部の負曲げ領域の挙動を確認する。

2. 初期応力を考慮した合成桁の解析

合成前死荷重を合成断面の鋼桁部分に初期応力として考慮し、解析を行うと、活荷重載荷前に合成断面内の自己つり合いが取れていないため、鋼桁断面の応力は減少する方向に変化し、それに伴いRC床版断面の応力が増加する方向に変化する。このことを図-1に示すような直列につないだ2本のばねで説明する。なお、図-1の上のばねはRC床版、下のばねは鋼桁を表している。

図-1の(a)のように初期応力として下のばねにのみ圧縮軸力を作用させて2つのばねを結合すると、(b)のように下のばねの圧縮軸力は減少しようとし、それに応じて上のばねに想定していない圧縮軸力が作用する。つまり、前述の合成桁の鋼桁断面の応力が減少し、RC床版断面の応力が増加する場合と同様の現象が生じる。これは(b)のばねの結合点において内力のつり合いが取れていないためである。そこで、見かけ上(b)において、下のばねの圧縮軸力とつり合う力を下向きに作用させる。これによって内力のつり合いが取れ、(c)のように上のばねは無応力、下のばねには導入した圧縮軸力が生じた状態で、それ以降の荷重に抵抗することができる。

3. 解析例に用いた合成桁モデル

2径間連続合成桁の解析モデルを図-2に、その断面諸元を表-1に示す。支間部と中間支点部で鋼桁断面を変化させているが、全長でRC床版の断面は一定である。また、鋼桁とRC床版間には、ずれ止めとして軸径22mmのスタッド

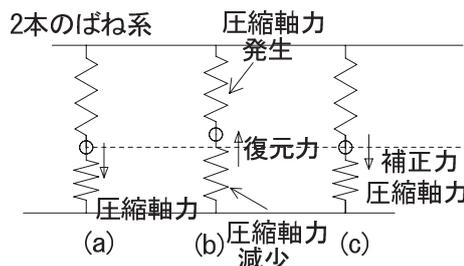


図-1 ばね要素による活荷重合成桁の説明



図-2 2径間連続合成桁の解析モデル

表-1 断面諸量

断面種類		断面寸法 (mm)	
RC床版		2400 × 210	
鋼はり	断面1	上フランジ	350 × 25
		ウェブ	1800 × 9
		下フランジ	350 × 25
	断面2	上フランジ	500 × 28
		ウェブ	1800 × 9
		下フランジ	500 × 28

表-2 使用材料の特性

材料		特性値
コンクリート	圧縮強度 (N/mm ²)	30
軸方向鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	345
	弾性係数 (N/mm ²)	205000
鋼桁フランジ部	降伏強度 (N/mm ²)	315
	弾性係数 (N/mm ²)	205000
鋼桁ウェブ部	降伏強度 (N/mm ²)	325
	弾性係数 (N/mm ²)	205000
スタッド	せん断耐力 (N)	304000

ドを橋軸方向に330mmの等間隔で、1箇所あたり2本ずつ配置している。ここで、解析に用いた使用材料の特性を表-2に示す。なお、合成前死荷重を試算したところ全長で約1700kNであった。

Key Words: 活荷重合成桁, 死活荷重合成桁, 連続合成桁, 初期応力, 残留応力

4. 活荷重のみを載荷した場合の解析結果

2 径間連続合成桁の RC 床版のひび割れなどの挙動を追跡するに際し、合成断面に活荷重のみを載荷し、その応答値を算定する解析方法と、合成前死荷重を考慮した新しい解析方法とで比較を行う。

まず初期応力として、活荷重合成桁には合成前死荷重および溶接によって生じる残留応力を、鋼桁部分に導入し、鋼桁の初期の内力を補正した状態にした。一方、死活荷重合成桁では初期応力として残留応力のみを、鋼桁に導入した状態にした。その後、両合成桁とも同様に支間全長に B 活荷重に相当する荷重を分布荷重を比例的に増加させた。なお、B 活荷重の載荷に際しては、中間支点部の曲げモーメント影響線図から、 p_1 荷重を左支間中央部に、 p_2 荷重を全長に亘って³⁾、それぞれ各節点に対して載荷を行い、等倍率で増加させた。ここで、鋼桁のフランジに導入した残留応力を図-3 に示す。ただし、フランジの残留応力は左右で対称なので、ここでは左側部分のみを示している。解析に際しては、鋼桁のフランジ、ウェブを断面分割しており、その位置に応じて図-3 のような残留応力を与えている。なお、この残留応力によっては、合成断面内の自己つり合いが取れているため、図-1 のような応力の再分配は生じない。

(1) 荷重-たわみ関係

図-4 に載荷した総荷重と左支間中央のたわみ関係を示す。黒線は残留応力のみを考慮した死活荷重合成桁の関係を、赤線は残留応力に加え、合成前死荷重を考慮した活荷重合成桁の関係を示している。この図から、死活荷重合成桁のほうが、活荷重合成桁よりも最大荷重は大きいことが分かる。これは、活荷重合成桁では合成前死荷重による初期応力を考慮しているため、鋼桁が塑性しやすくなり、小さい総荷重で曲げ耐力に達するためである。

(2) けた高方向のひずみ分布

次に図-5 には、活荷重の大きさが設計荷重時におけるけた高方向の鋼桁のひずみ分布を示す。黒色は死活荷重合成桁の分布を、赤色は活荷重合成桁の分布であり、四角はフランジ部のひずみ、線と丸はウェブ部分のひずみである。また、図中の小窓に床版内鉄筋のひずみ分布を三角で示している。なお、鋼桁ウェブのひずみが平面保持を満たしておらず、フランジのひずみも断面分割位置で異なる大きさを示しているのは、残留応力の影響である。この図から、床版内鉄筋のひずみは黒三角で示す死活荷重合成桁に比べ、赤三角で示す活荷重合成桁の方が大きいことが分かる。これは、合成前死荷重を考慮しない場合に比べ、合成前死荷重を考慮した解析では、鋼桁断面のひずみが大きく、上フランジが引張側、下フランジが圧縮側の降伏ひずみを超えており、それに伴って、RC 床版の曲率も大きくなったためと考えられる。

すなわち、設計荷重時において従来の解析では、鋼桁部分に合成前死荷重を初期応力として考慮していないため、RC 床版の引張りひずみを小さく見積もる可能性がある。

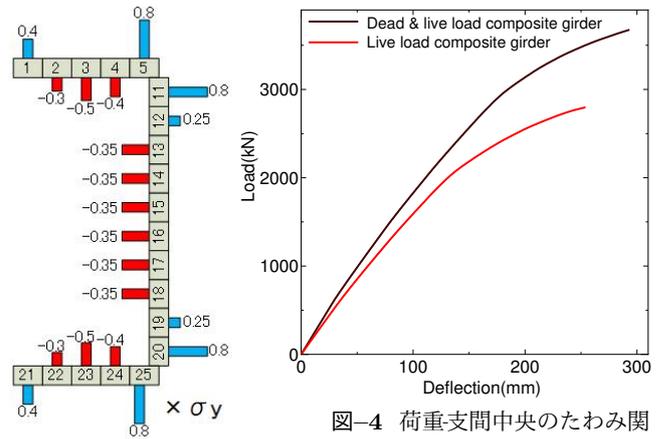


図-3 残留応力

図-4 荷重支間中央のたわみ関係

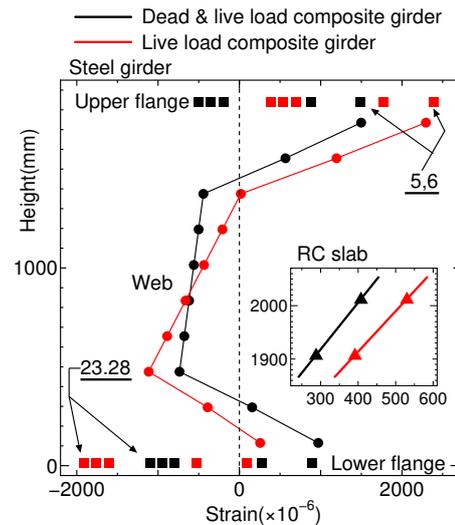


図-5 けた高方向のひずみ分布

5. まとめ

本研究では、2 径間連続合成桁を対象として、合成前死荷重による鋼桁断面の応力を考慮しない場合と、考慮する場合の解析を行い、特に、中間支点部の負曲げ領域の挙動を確認した。

その結果、鋼桁断面に対して、残留応力の影響に加えて合成前死荷重による初期応力を考慮した場合、2 径間連続合成桁の中間支点部において、鋼桁断面の一部が降伏することに伴って RC 床版の引張りひずみが影響を受けることが分かった。

ここでは負曲げ領域について挙動を確認したが、正曲げ領域の挙動の確認を行う必要もあり、比較位置以外にも、初期応力として乾燥収縮の影響を考慮した場合、活荷重の載荷位置を変更した場合など、活荷重合成桁の挙動の追跡には、様々な観点から挙動を確かめる必要がある。これらについては今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 菅原ら：死活荷重の載荷履歴を考慮した合成桁の挙動に関する研究，第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，I-73，2018.3.
- 2) 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.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2012.