

死荷重の載荷履歴を考慮した合成桁の挙動に関する研究

宇都宮大学 学生員
正会員

○ 菅原健太郎
NGUYEN MINH HAI

フェロー会員 中島章典
正会員 藤倉修一

1. はじめに

合成桁には架設時の合成方法の違いにより、活荷重合成桁と死荷重合成桁があり、現在では活荷重合成桁が一般的である。そして、活荷重合成桁の安全性の照査式では、合成前の死荷重の項と合成後の死荷重および活荷重の項を分けている¹⁾。また、解析によって活荷重合成桁の挙動を追跡する際には、一般に合成後の断面に死荷重および活荷重を載荷し、載荷履歴を正確には考慮していない。しかし実際には、合成後に載荷される荷重による応答を求める場合には、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ことが必要であるが、これまでこのような挙動を追跡する適切な方法はないように思われる。

そこで本研究では、合成前死荷重の載荷履歴を考慮した活荷重合成桁の荷重-たわみ関係などを追跡する方法を新たに提案し、従来の解析方法による荷重-たわみ関係や断面内の応力分布との差異を確認する。

2. 死荷重による初期応力を考慮した合成桁の解析

合成前の死荷重による鋼桁の応力を、合成後の鋼桁断面に初期応力として考慮した場合、自己つり合いが取れていないため、鋼桁の応力は減少する方向に挙動し、それに伴ってコンクリート床版（以下、RC床版）にも応力が発生する。このような挙動は活荷重合成桁の挙動を正確に表していない。このような現象を説明する例として、図-1に示すように上下端が固定された2本のばねが直列に配置されたばね系を考える。上のばねがRC床版を、下のばねが鋼桁を表している。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とRC床版の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(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。

一般に非線形解析では、荷重を段階的に増加させ、各荷重段階で不釣り合いを修正する方法が適用され、以下のようないり式が用いられる。

$$\Gamma_n^{(i)} = F_n^{(i)} - R_n^{(i)} \quad (1)$$

ここに、 $\Gamma_n^{(i)}$ 、 $F_n^{(i)}$ 、 $R_n^{(i)}$ はそれぞれ荷重段階 n 、収束計算段階 (i) における、不釣り合い力、外力、内力である。上記の2本のばね系の問題の初期では、外力は作用していないのに、内力 $R_n^{(i)}$ が存在するため、不釣り合い力 $\Gamma_n^{(i)}$ が生じ、収束計算ではその不釣り合い力を修正しようとするために下のばねの圧縮軸力が減少し、その分上のばねに圧縮軸力

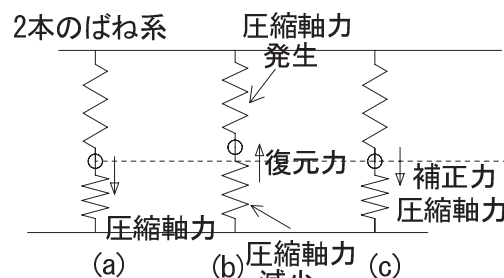


図-1 バネ要素による活荷重合成桁の説明

断面1 3,000	断面2 4,000	断面3 16,000
ずれ止め1 20×150=3000	ずれ止め2 12×250=3000	ずれ止め3 15×300=4500
30000		
ずれ止め4 25×360=9000		

図-2 合成桁

表-1 断面諸量

断面種類			断面寸法 (mm)
RC床版			2250 × 210
鋼はり	断面1	上フランジ	220 × 10
		ウェブ	1750 × 9
		下フランジ	340 × 11
	断面2	上フランジ	260 × 13
		ウェブ	1750 × 9
		下フランジ	440 × 19
	断面3	上フランジ	290 × 16
		ウェブ	1750 × 9
		下フランジ	540 × 25

が生じることになる。そこで、初期の内力に対応する補正力 P_n を下記のように加え、初期応力による不釣り合い力を修正する。

$$\Gamma_n^{(i)} = F_n^{(i)} - R_n^{(i)} + P_n \quad (2)$$

以上のような手続きをとることによって、活荷重合成桁における合成前死荷重を考慮した解析を行うことができる。なお、実際の合成桁において初期の内力に相当する補正力は合成断面において非常に小さい荷重を載荷した場合の最初の段階の不釣り合い力となる。

3. 解析例に用いた合成桁モデル

解析例に用いた合成桁モデルを図-2、表-1に示す。このモデルは道路橋示方書で設計されたスパン30mの単純合成桁で、鋼桁断面は3種類に変化しているが、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 $\phi 22$ mm、全高150mmのスタッドを1列当たり3本配置で部材軸方向に間隔を変えながら配置している。解析に用いた材料特性を表-2に示す。なお、合成前の全死荷重は約600kNであった。

Key Words: 活荷重合成桁, 死荷重合成桁, 頭付きスタッド, 初期応力

〒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

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
	弾性係数 (N/mm ²)	26400
軸方向鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	295
	弾性係数 (N/mm ²)	200000
鋼材	降伏強度 (N/mm ²)	365
	弾性係数 (N/mm ²)	200000
スタッド	せん断耐力 (N)	152000

4. 解析結果

合成前死荷重の載荷履歴を考慮した活荷重合成桁と従来の解析方法とした死活荷重合成桁について以下のような解析を行った。活荷重合成桁では合成前の死荷重による応力を鋼桁断面のみに導入し、鋼桁の初期の内力を補正した状態で解析を行う。この活荷重合成桁の支間全長に B 活荷重に対応した荷重を各節点に分布荷重で載荷し、各節点の荷重を等倍率で増加させた死活荷重合成桁では、支間全長に合成前死荷重+B 活荷重に相当する荷重を分布荷重で載荷し、各節点の荷重を等倍率で増加させた。なお、鋼桁の溶接で発生する一般的な残留応力も考慮した。また、B 活荷重は曲げに不利になるように載荷を行った²⁾。

図-3 に荷重-たわみ関係を示す。縦軸が合成後に実際に載荷された総荷重、横軸がスパン中央のたわみである。黒線と赤線は合成後からの荷重たわみ関係を表している。また、赤線の活荷重合成桁には合成前死荷重は、図-3 の縦軸には考慮されていない。そこで実際に合成桁に作用している総荷重を合わせるために活荷重合成桁に合成前死荷重分の 600kN を加えた青線も示す。図-3 を見ると死活荷重合成桁の方が活荷重合成桁に合成前死荷重を加えた場合よりも作用する総荷重が大きいことが分かる。このようになった理由として活荷重合成桁では B 活荷重を等倍率で増加するが、死活荷重合成桁では分布荷重の合成前死荷重と B 活荷重の和を等倍率で増加したためと考えられる。B 活荷重は曲げに不利になるように、スパン中央部において支点部よりも大きな分布荷重強度を載荷する。B 活荷重のみを等倍率で増加した方が B 活荷重と合成前死荷重の和を等倍率で増加するよりも支点付近の分布荷重の増加に対するスパン中央部の分布荷重の増加の割合が大きい。そのため、活荷重合成桁の方が少ない総荷重で曲げ耐力に達したと考えられる。

図-4 に活荷重合成桁の合成前死荷重 600kN 時と死活荷重合成桁に総荷重 600kN が載荷された時のスパン中央のけた高方向の応力分布、コンクリート床版上縁圧壊時のスパン中央のけた高方向の応力分布を示す。縦軸が桁の下フランジ下縁から床版上縁までの距離、横軸の下側の目盛線は鋼桁の応力を表し、横軸の上側の目盛線は RC 床版の応力を表している。鋼桁位置で応力が高さ方向に変化している理由は残留応力の影響である。図-4-a では青線の活荷重合成桁の鋼桁の応力は黒線の死活荷重合成桁の応力よりも圧縮に生じている。RC 床版では死活荷重合成桁では圧縮応力が作用しているが活荷重合成桁では応力が生じていない。このことから、死活荷重合成桁では RC 床版と鋼桁に応力

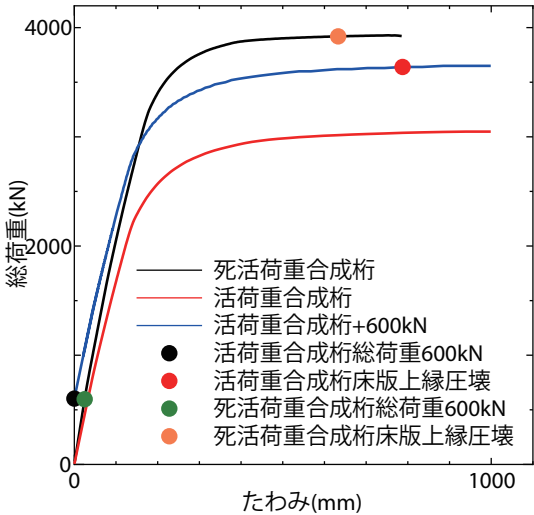


図-3 荷重-スパン中央部のたわみ

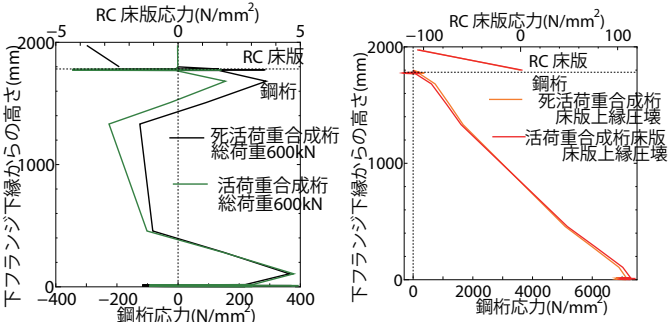


図-4-a 総荷重が 600kN 時

図-4-b 床版圧壊時

図-4 スパン中央部のけた高方向応力分布

が生じるが、活荷重合成桁では合成前死荷重の影響で RC 床版には応力が発生せず、鋼桁のみに応力が生じている。また、図-4-b の床版上縁圧壊時にはけた高方向応力分布にあまり明確な差がないことが分かる。

5. まとめ

本研究では、合成前死荷重の載荷履歴を考慮した活荷重合成桁の挙動を追跡する方法を新たに提案し、従来の解析方法による荷重-たわみ関係や断面内の応力分布との差異を検討した。その結果から得られた知見を以下にまとめる。

1. 合成前死荷重の載荷履歴を考慮した活荷重合成桁の新たな解析方法を示した。
2. 合成桁の載荷方法の違いにより曲げ耐力に差が生じるため、適切な載荷方法を選択する必要がある。
3. 合成前死荷重が作用した時の活荷重合成桁の応力分布は死活荷重合成桁の応力分布と異なる。一方、RC 床版上縁圧壊時の応力分布にはあまり明確な差が見られない。

なお、ここでは合成桁の解析について主に死荷重、残留応力を初期応力と考慮して解析を行った。今後、初期応力と乾燥収縮の影響を含めた解析を行う予定である。

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。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2012。