

連続合成桁の曲げ剛性分布の仮定が曲げ挙動に与える影響に関する一考察

立命館大学理工学研究科 学生員 ○藤丸 拓

立命館大学理工学部環境都市工学科 正会員 野阪 克義

1. はじめに

平成 29 年に道路橋示方書（以降、道示と呼ぶ）¹⁾が改定され、限界状態設計法の概念がより明確に取り入れられた。この改定によって、断面の曲げ耐荷力を、部材の降伏曲げモーメントではなく、全塑性曲げモーメントとするような設計も可能であると考えられ、特に鋼桁とコンクリート床版を用いた合成桁においては、床版の耐荷力を利用できる点で有利であると考えられる。

連続合成桁においては、正曲げ断面が全塑性曲げモーメントに達するかどうかは負曲げを受ける中間支点上断面の耐荷性状にも影響を受けるため、AASHTO²⁾では設計の際、あらかじめ正曲げ断面の曲げ強度を全塑性曲げモーメントから低減するケースも想定されているが、道示にはそのような記述はない。このような制限を検討するためには、連続合成桁の曲げ挙動、特に曲げモーメント分布の変化を捉える必要があるが、有限要素解析ではなく理論的に算出が可能であれば検証が簡便になると考えた。

本研究では、3 径間連続合成桁を対象に、想定する曲げ剛性分布を変化させて、その曲げ挙動について数値解析的に検討した。また、有限要素解析から得られた結果とも比較し、理論計算結果と比較した。

2. 検討対象モデル

本研究で対象にした橋梁は、鉄筋コンクリート床版を有する 3 径間連続合成 2 主桁橋である³⁾。支間長 $L=50\text{m}$ で、簡素化のため断面の変化は負曲げ域と正曲げ域のみとし、中間支点部から $0.15L$ の範囲を負曲げ域とした。図-1 に橋梁の概要を示す。モデルは SBHS500 基本としたホモジニアス桁である hm と、hm をもとにウェブ鋼材を SM490Y としたハイブリッド桁である hy の 2 つとした。どちらのモデルもウェブ厚さを、道示で示されている水平補剛材を用いないときの最小厚さ程度（ウェブ幅厚比パラメータ $R_w=1.12\sim 1.14$ ）、負曲げ断面のフランジ幅厚比パラメータ $R_f=0.7$ 程度とし弾性域で局部座屈が起らないものとした。SBHS500 は降伏強度 500N/mm^2 、SM490Y は降伏強度 355N/mm^2 とした。

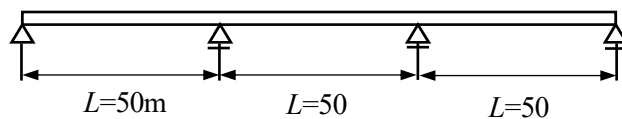


図-1 試設計橋梁概要

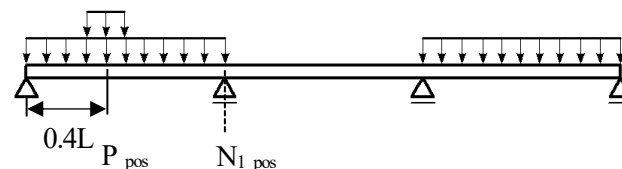


図-2 活荷重載荷位置

荷重は合成前死荷重と活荷重のみとした。合成前死荷重は鋼重と床版重量であり、活荷重はB活荷重とした。P1 荷重と P2 荷重の載荷位置は、影響線から P1 荷重載荷長の中央の正曲げモーメントが最大になるようにした。（図-2 参照）

3. 有限要素解析および理論計算概要

汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用い、1 主桁のみをモデル化した。鋼桁はシェル要素、床版はソリッド要素を用いてモデル化し、床版は有効幅のみをモデル化した。軸方向鉄筋は梁要素とし、負曲げ域のみでモデル化した。ハンチ部は再現せず、ハンチ高さの分だけ床版と上フランジを離し、その間を、剛体梁要素を用いて結合させた。

合成前死荷重による応力状態は、鋼桁のみのモデルに合成前死荷重を載荷した状態の応力分布を保存、合成断面に活荷重を載荷する際に鋼桁の初期応力として入力することで再現した。活荷重は P_{pos} 断面が全塑性曲げモーメント M_p に達する程度まで載荷した。

一方、理論計算でモーメントを求める際の桁の曲げ剛性として、桁全域で床版が有効な状態と、負曲げ域の断面が鉄筋+鋼桁の状態の 2 つを想定した。また、それぞれの状態で、正曲げ断面の下フランジが降伏強度に達したと仮定し、P1 荷重載荷長の断面の曲げ剛性を低下させた状態を想定した。まとめると、想定した曲げ剛性の状態は以下の 4 つである。

- (1) 桁全域で床版が有効な状態
- (2) 負曲げ域の断面が鉄筋+鋼桁の状態
- (1a) 全域で床版が有効で、 P_{pos} 断面の降伏を考慮した状態

キーワード 連続合成桁、全塑性曲げモーメント、曲げ挙動

連絡先 立命館大学理工学部環境都市工学科 野阪 克義 k-nozaka@se.ritsumei.ac.jp

(2a) 負曲げ域の断面が鉄筋+鋼桁で、 P_{pos} 断面の降伏を考慮した状態

断面の降伏曲げモーメント $M_{vy,f}$ は、合成前死荷重により鋼桁に生じる応力度 (σ_d) と、活荷重により合成断面の鋼桁に生じる応力度 (σ_u) を合計した値が降伏強度 (σ_{yp}) に達する状態における、死荷重モーメント (M_d) と活荷重モーメント (M_u) を合計した値である。また、下フランジが降伏した状態の曲げ剛性は、曲げモーメント-曲率関係から求めた。

なお、hy においてはウェブがフランジよりも先に降伏するが、ウェブのみが降伏した状態の曲げ剛性は、弾性時とほとんど変わらず (弾性時の 9 割程度)、曲げモーメント分布もほとんど変わらないため、hm と同じ状態 (下フランジの降伏) のみを考慮した。

2 つの方法で求めた P_{pos} と $N_{l,pos}$ の曲げモーメントを比較し、 P_{pos} が M_p に達したときの活荷重の大きさや $N_{l,pos}$ の負曲げモーメントがどの程度の値になっているかを確認した。

4. 結果および考察

図-3 に hm の、図-4 に hy の解析結果および理論計算から得られた曲げモーメントのグラフを示す。グラフの縦軸は活荷重倍率、横軸は曲げモーメントを $M_{vy,f}$ で無次元化した値である。有限要素解析から得られた曲げモーメントは●、理論計算から得られた P_{pos} の曲げモーメントは▲、 $N_{l,pos}$ の曲げモーメントは■で表している。(1)と(1a)および(2)と(2a)は、 P_{pos} の降伏までは同じ値である。その後、(1a)と(2a)の状態では M_p に達するまでの増分を計算し、降伏するまでの値に足すことでグラフを作成している。

(1)と(2)の計算結果を比較すると、(2)の方が中間支点部の曲げ剛性が低いため、負曲げモーメントが小さく、正曲げモーメントが大きくなっている。(1)の状態では計算すると安全側の評価に、(2)の状態では計算すると、モーメントが小さい分、負曲げ断面の断面積を減らし、経済的な設計ができると思われる。今回の検討対象橋梁では、 M_p に達した際の活荷重倍率を比較すると、どの状態で計算しても解析結果よりも値が低く、安全側の評価となっている。

今後検討したい点が、負曲げモーメントが耐力に達するまでに正曲げモーメントが M_p に達するかどうか、であるため、計算の簡易さも考えると(1)の状態では計算を行うのが良いとの判断に至った。

5. おわりに

本研究では 3 径間連続合成桁における曲げモーメント分

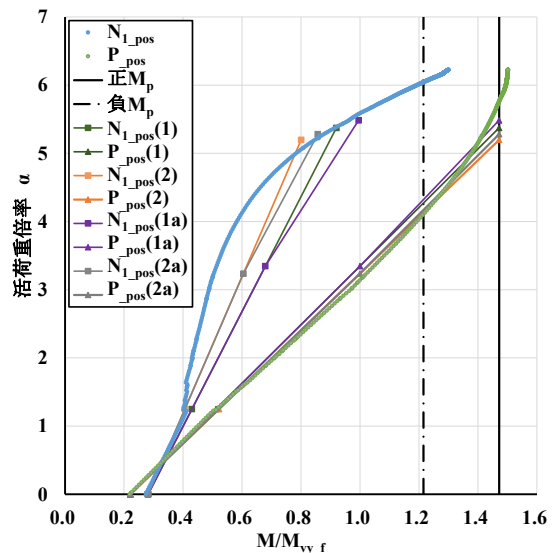


図-3 hm の曲げモーメント変化

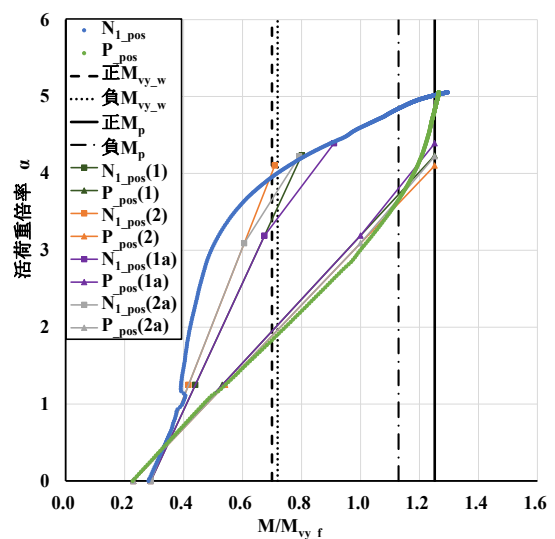


図-4 hy の曲げモーメント変化

布について、有限要素解析から得られた結果と、理論計算結果を比較した。結果から、桁全域で床版を有効とし、正曲げ断面の降伏による曲げ剛性の低下は無視して、全塑性曲げモーメントに達するまでのモーメント分布を計算することが妥当であると判断した。

死活荷重比率や支間長比率が異なる場合、曲げモーメント分布も変わるため、今後は断面諸元の異なる桁について検討し、連続合成桁の設計照査法について提案していく予定である。

参考文献

- 1) 公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ 鋼橋・鋼部材編，丸善，2017。
- 2) AASHTO：LRFD Bridge Design Specifications，6th Edition，Washington，D.C.，2012。
- 3) 藤丸拓，野阪克義：連続合成ハイブリッド I 形桁の曲げ・たわみ挙動に関する一考察，構造工学論文集，Vol67A，pp.697-709，2021。