

連続桁の剛性と中間支点部の曲げモーメントの関係についての考察

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

鉄筋コンクリート床版を有する連続桁を設計する際、断面力（曲げモーメントやせん断力）の算出時には全長にわたり鉄筋コンクリート床版が有効であると仮定するが、断面の作用応力度を算出する際には、負曲げ領域においてはコンクリート床版を無視するのが一般的である。一方、床版のひび割れによる剛性低下を考慮して、断面力算出時にも床版を無視する設計法が検討され¹⁾、負曲げ域とする範囲を中間支点部から0.15程度としている例もある。文献²⁾では、負曲げ域の範囲が曲げモーメントに与える影響について理論式を導出した。今回は、連続桁の断面二次モーメント分布が変化した際の負曲げモーメントの変化について検討した。

2. 検討対象モデル

本研究で対象とした橋梁には、「新しい鋼橋の設計」³⁾の3径間連続2主桁橋を用いた。すべての支間長が50mである。

載荷条件は、図1に示すように活荷重のみを想定しており、従載荷荷重は全体に、主載荷荷重は支間中央に載荷した。活荷重はB活荷重を用いた。最終的に無次元化値を用いるため、従載荷荷重=3.5kN/m、主載荷荷重=10kN/mと設定している。A点のみがヒンジ支点であり、その他はローラー支点とした。

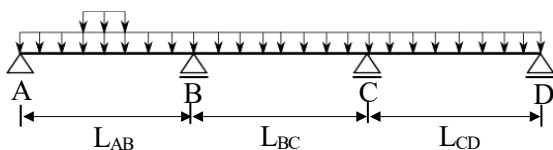


図1 検討対象モデル

負曲げ域の剛性が曲げモーメント分布に与える影響を確認するために、2種類の状態を想定した。全域で床版を有効としたモデル（図2）、および負曲げ域で床版を無視したモデルである（図3）。図中、 α は負曲げ域と仮定し、床版を無視した断面とする範囲を表す支間長に対する比率である。

文献¹⁾を参考に、正曲げ域の断面二次モーメントを $I_p=3.413 \times 10^{11} \text{mm}^4$ 、負曲げ域の床版を含む断面二次モーメントを $I_n=4.344 \times 10^{11} \text{mm}^4$ 、負曲げ域の床版を含まない断面二次

モーメントを $I_n'=2.410 \times 10^{11} \text{mm}^4$ とした。これらの値は鋼材（ヤング係数 $E=200,000 \text{N/mm}^2$ ）換算の値である。

両方のモデルにおけるB点のモーメントの比 M_B'/M_B を求め、断面二次モーメント I_p, I_n および I_n' との関係を考察した。

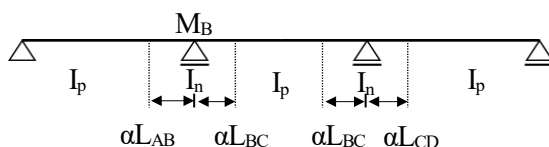


図2 負曲げ域で床版を無視しない梁モデル

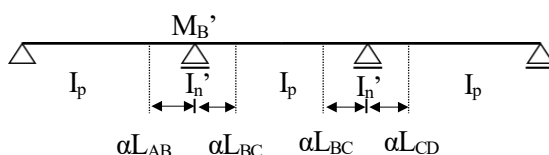


図3 負曲げ域で床版を無視する梁モデル

3. 有限要素解析および理論計算概要

数値解析には汎用有限要素解析ソフトウェアMARCを用い、連続梁をはり要素を用いて再現し、骨組み弾性解析を行った。材料特性は前述の鋼材のヤング係数を、形状特性として前述の断面二次モーメントを用いた。

理論計算では図2、図3の2つのモデルにおいて文献²⁾と同様に、三連モーメントの定理を用いて M_B'/M_B を式(1)の通り求めた。荷重による回転角は、単径間ごとに載荷状況から曲げモーメント分布を算出し、共役梁を考えることで算出した。

$$\frac{M_B'}{M_B} = \frac{\frac{1}{m^2} \left\{ -\theta_{BPR} - \theta_{BPL} \frac{n}{\alpha} (-\theta_{CPR} - \theta_{CPL}) \right\}}{\frac{1}{m^2} \left\{ -\theta_{BPR} - \theta_{BPL} \frac{n}{\alpha} (-\theta_{CPR} - \theta_{CPL}) \right\}} \quad (1)$$

ここで

$$m = \frac{1}{EI_p} \left\{ \left(-\frac{\alpha^3}{3} + \alpha^2 - \alpha + \frac{1}{3} \right) L_{AB} + \left(-\frac{2\alpha^3}{3} + \alpha^2 - \alpha + \frac{1}{3} \right) L_{BC} \right\} + \frac{1}{EI_n} \left\{ \left(\frac{\alpha^3}{3} - \alpha^2 + \alpha \right) L_{AB} + \left(\frac{2\alpha^3}{3} - \alpha^2 + \alpha \right) L_{BC} \right\} \quad (2)$$

$$n = \frac{1}{EI_p} \left\{ \left(\frac{2\alpha^3}{3} - \alpha^2 + \frac{1}{6} \right) L_{BC} \right\} + \frac{1}{EI_n} \left\{ \left(-\frac{2\alpha^3}{3} + \alpha^2 \right) L_{BC} \right\} \quad (3)$$

キーワード 連続合成桁、断面二次モーメント、負曲げ域、断面力、理論値計算

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

$$o = \frac{1}{EI_p} \left\{ \left(-\frac{\alpha^3}{3} + \alpha^2 - \alpha + \frac{1}{3} \right) L_{CD} + \left(-\frac{2\alpha^3}{3} + \alpha^2 - \alpha + \frac{1}{3} \right) L_{BC} \right\} + \frac{1}{EI_n} \left\{ \left(\frac{\alpha^3}{3} - \alpha^2 + \alpha \right) L_{CD} + \left(\frac{2\alpha^3}{3} - \alpha^2 + \alpha \right) L_{BC} \right\} \quad (4)$$

である。また、 θ_{BPR} は荷重によるB点右側の回転角、 θ_{BPL} は荷重によるB点左側の回転角、 θ_{CPR} は荷重によるC点右側の回転角、 θ_{CPL} は荷重によるC点左側の回転角を表している。 m' 、 n' 、 α' および、 θ'_{BPR} 、 θ'_{BPL} 、 θ'_{CPR} 、 θ'_{CPL} は、それぞれ I_n を I_n' に置き換えて求めた値を意味する。

4. 結果および考察

理論計算式(1)を用いて、断面二次モーメントおよび α を変化させた際の M_B'/M_B の値を示したグラフを図4-6に示す。横軸を I_n'/I_n とし、0.5~1.0まで変化させた。 I_n のみを変化させた場合と I_n' のみを変化させた場合を考え、また、それぞれの場合で α を0.15~0.25まで変化させた際の値をグラフに記載した。また、 I_p による影響を確認するため、初期値($1.0 \cdot I_p$)に加えて、 $1.25 \cdot I_p$ 、 $1.5 \cdot I_p$ と変化させた3つケースをそれぞれ別のグラフに示してある。

$1.0 \cdot I_p$ のグラフには骨組み弾性解析から求めた M_B'/M_B の値も「解析値」として示した。断面二次モーメントは初期値を用い、 $\alpha=0.15$ とした。解析値は $M_B'/M_B=0.853$ であり、同じ条件で式(1)を使って値を求めると $M_B'/M_B=0.852$ となるので、式(1)は解析とほとんど同じ値を算出できると言える。

図4-6から I_p は M_B'/M_B にほぼ影響を与えないことがわかる。また I_n と I_n' のいずれを変化させても得られる値にほぼ差はないことから、 M_B'/M_B は単に I_n'/I_n に左右されることがわかった。これは、式(1)は分子が I_n' を、分母が I_n を使った式であり、分母と分子の形が同じため、 I_n と I_n' のいずれを変化させても計算される割合はほぼ変わらないためである。

I_p が大きくなるにつれて α による値の偏差が小さくなっていることもわかる。式(2)~(4)から、 I_p が大きくなるほど α の影響が小さくなるためである。

以上から、図4-6のグラフの横軸が同じ値の点の平均値を求め、標準偏差が小さくなるように近似式を求めると、以下の関係式(5)を導くことができた。

$$\frac{M_B'}{M_B} = 0.4 \frac{I_n'}{I_n} + 0.6 \quad (5)$$

式(5)はグラフにも「近似式」として記載した。式(5)を使うことで、様々な断面を持つ連続桁に対して、骨組み解析を実行することなく中間支点部の断面力の比を簡便に得ることができる。

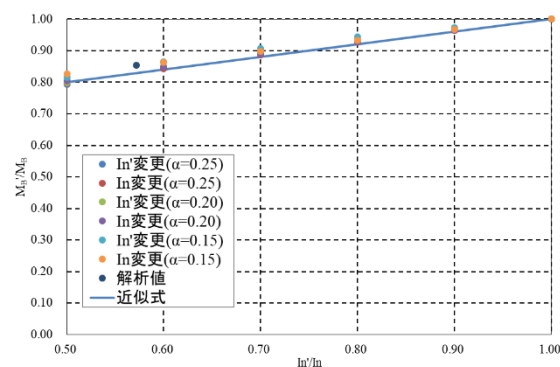


図4 断面力と断面二次モーメントの関係($1.0 \cdot I_p$)

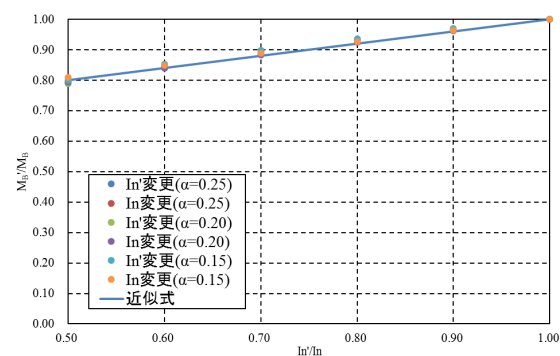


図5 断面力と断面二次モーメントの関係($1.25 \cdot I_p$)

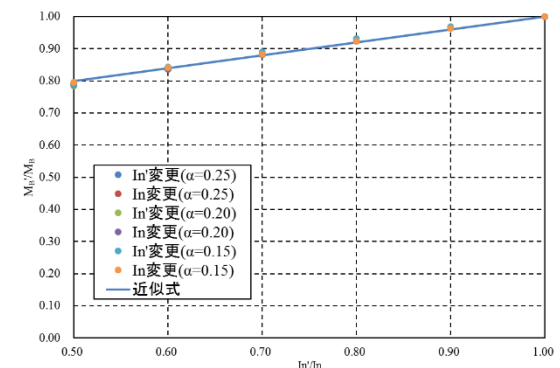


図6 断面力と断面二次モーメントの関係($1.5 \cdot I_p$)

5. おわりに

本研究では、連続合成桁の負曲げ域で床版を有効とするモデルと、無視するモデルの中間支点上断面の断面力の比を表した理論値計算式を用いて、断面二次モーメントの変化が断面力に与える影響について考察した。その結果、断面力と断面二次モーメント比の簡便な関係式を導くことができた。

参考文献

- 1) 中藺明広ほか：PC床版を有する鋼連続合成2主桁橋の設計，株式会社建設図書，橋梁と基礎，No.2，pp.27-35，2002。
- 2) 藤丸拓，野阪克義：連続桁中間支点付近の断面剛性変化が曲げモーメントに与える影響に関する考察，土木学会関西支部年次学術講演会，2020。
- 3) 「新しい鋼橋の設計」編集委員会：新しい鋼橋の設計，山海堂，2002。