

1. はじめに

近年、日本の経済状況の悪化や材料費の高騰に伴い、公共事業のコスト削減が求められている。その中で、新形式の複合橋梁の研究および開発が積極的に進められ、一例として、二重合成 I 桁橋が注目をされている¹⁾。二重合成 I 桁橋は、連続桁橋の中間支点付近に発生する負曲げモーメント域に下床版を有し、鋼桁ウェブや下フランジと下床版が合成されていることから、局部座屈発生の危険性がなく合理的に全塑性モーメントまで達することができる構造形式である。一方、日本の設計法は、海外で多く適用されている設計規準である限界状態設計法への移行に向けての準備が進められている。限界状態設計法を二重合成 I 桁橋に適用することによって、コンパクト断面としての設計が容易となり、非常に合理的な構造となることが考えられる。

そこで、本文では、二重合成構造の断面照査にあたり、断面に曲げモーメント(M)とせん断力(Q)が同時に作用する場合の相関式を誘導するとともに、数値計算を行った結果について報告する。

2. 曲げモーメントとせん断力が同時に作用した場合の相関式の誘導

一例として、二重合成断面に負曲げモーメントとせん断力が同時に作用した時の応力分布を図-1 に示す。ここで、安全性の照査の観点から合理的な二重合成断面は、塑性中立軸が下床版上縁に位置する場合であり、その際、塑性中立軸位置(下床版厚)は、式(1)より算出される。また、せん断力は全てウェブで負担すると仮定し、M-Q 相関式は式(2)のように表される。なお、紙面の都合上、一部記号の説明は省略する。

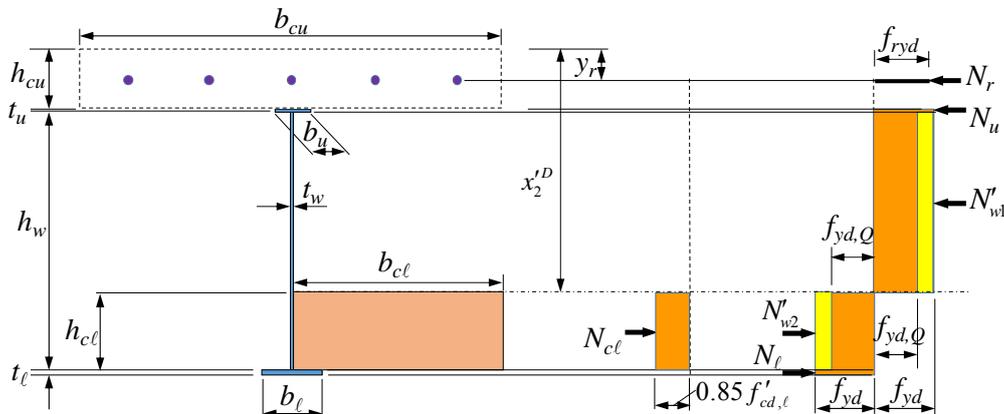


図-1 二重合成桁断面における応力分布(塑性中立軸が下床版上縁に存在する場合)

$$h_{cl} = \frac{N_r + N_u - N_l + f_{yd,Q} h_w t_w}{2 f_{yd,Q} t_w + 0.85 f_{cd,\ell} b_{cl}} \tag{1}$$

$$\left(\frac{M_d}{\beta'^D M_{pl,d}} - \frac{\alpha'^D}{\beta'^D} \right)^2 + \left(\frac{Q_d}{Q_{pl,d}} \right)^2 = 1 \tag{2}$$

ここに、

$$\alpha'^D = \frac{N_r (h_{cu} + t_u + h_w + h_{cl} - y_r) + N_u \left(\frac{t_u}{2} + h_w - h_{cl} \right) + N_l \left(h_{cl} + \frac{t_l}{2} \right) + N_{cl} \frac{h_{cl}}{2}}{M_{pl,d}} \tag{3}$$

$$\beta'^D = \frac{f_{yd} t_w \{ (h_w - h_{cl})^2 + h_{cl}^2 \}}{2 M_{pl,d}} \tag{4}$$

$$f_{yd,Q} = f_{yd} \sqrt{1 - \left(\frac{Q_d}{Q_{pl}} \right)^2} \quad (5)$$

$f_{yd,Q}$:せん断力作用時におけるウェブの降伏強度

表-1 部分安全係数²⁾

材料係数			部材係数
コンクリート	鉄筋	構造用鋼材	
1.3	1.0	1.05	1.1

3. 数値計算

二重合成構造を有するI桁橋を解析対象として、曲げモーメントとせん断力が同時に作用する場合の $M-Q$ 相関曲線を求める。ここで、鋼の材質はSM570-H材、鉄筋はD22(SD345)、コンクリートの設計基準強度は $f_{ck} = 40\text{N/mm}^2$ とし、各種材料の部分安全係数などは、表-1に示す値とする。また、引張域のコンクリートは無視し、コンクリート中に存在する橋軸方向鉄筋のみを考慮した場合、式(1)より、 $Q_d / Q_{pl,d} = 0.0$ の場合の塑性中立軸、つまり、曲げモーメントのみが作用した場合の下床版厚は、図-2に示すとおり780mmとなった。

つぎに、図-3に、作用せん断力の増加に伴う下フランジ上縁から塑性中立軸までの距離の推移結果を示す。同図より、塑性中立軸は下床版内に存在することから、せん断力が作用することで塑性中立軸位置が変化しても、ウェブに局部座屈が生じないことがわかる。

数値計算から得られた相関曲線を図-4に示す。同図には、参考のため、二重合成断面と同じ断面寸法で、下床版を有しない従来の合成断面における相関曲線も併せて示す。図-4より、二重合成断面より得た相関曲線は、 $Q_d / Q_{pl,d}$ が0.8程度まで $M_d / M_{pl,d}$ は緩やかな低下であったが、それ以降、急激に低下する結果となった。また、同図より、両曲線は、 $Q_d / Q_{pl,d}$ の値が大きくなるにつれて、 $M_d / M_{pl,d}$ の差が大きくなるのがわかった。以上より、下床版を有する場合、コンクリートが寄与することで、下床版を有さない場合に比べて、 $M_d / M_{pl,d}$ は、大幅に低下しないことがわかった。

4. まとめ

本文では、二重合成断面を対象に曲げモーメントとせん断力が同時に作用した場合の相関曲線を求めた。その結果、二重合成断面は、下床版コンクリートが寄与することで、下床版を有さない従来の合成断面と比べ、 $M_d / M_{pl,d}$ は、大幅に低下しないことがわかった。

今後の課題として、鋼・コンクリート二重合成I桁橋のさらなる長支間での適用を視野に入れた際、ラーメン構造の採用が考えられる。そこで、曲げモーメント(M)、軸力(N)ならびにせん断力(Q)が同時に作用した場合、つまり、二重合成断面の $M-N-Q$ 相関式の誘導を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 大山 理, 大久保宣人, 夏秋義広, 栗田章光: 鋼・コンクリート二重合成I桁橋の提案, 第5回複合構造の活用に関するシンポジウム, 土木学会, pp.19~22, 2003年11月.
- 2) 公益社団法人 土木学会 複合構造委員会: 複合構造シリーズ05 基礎からわかる複合構造—理論と設計—, pp.11~14, 丸善株, 2012年3月.

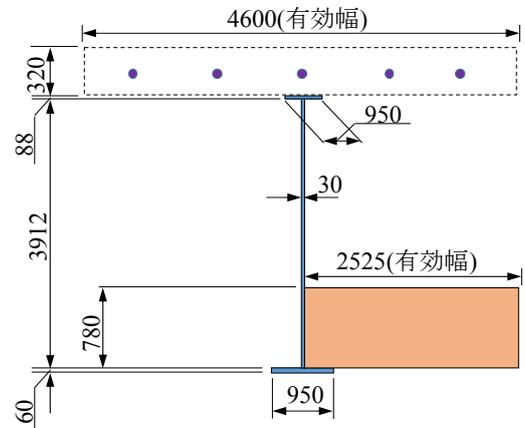


図-2 対象断面 (寸法単位: mm)

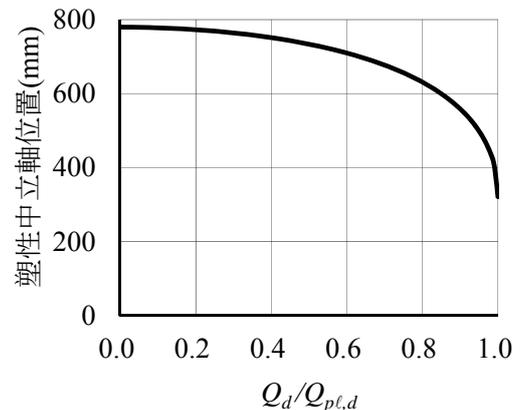


図-3 塑性中立軸位置の推移

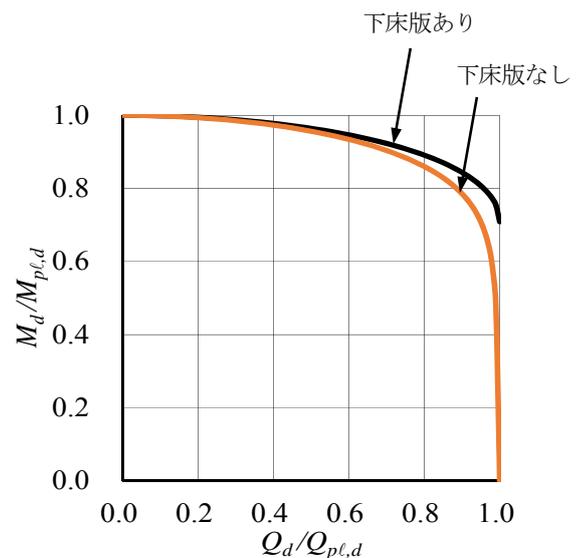


図-4 $M-Q$ 相関曲線