

I-10 応力再配分による余剰強度を考慮した鋼箱桁の終局強度の算定法

関西大学工学部 正会員 三上市蔵
日本電子計算機 正会員 ○丹羽量久

1. まえがき

著者らはこれまでに鋼箱桁の終局強度算定法¹⁾²⁾を提案してきた。この算定法は、腹板とフランジが縦・横に補剛されている上下非対称断面箱桁が、曲げモーメント・せん断力・ねじりモーメントを受ける場合にも適用できる。フランジの縦補剛材は、不等寸法のものが不等間隔に配置されていてもよく、その断面形状は、平板、T、L、U形断面であってもよい。また、圧縮フランジの縦補剛材が、ダイヤフラムを貫通していない場合でも、その影響を考慮して圧縮フランジの終局強度を評価することができる。さらに、この算定法では、純曲げを受ける場合に限り、腹板からフランジへの応力再配分が考慮されている。

一方、鋼箱桁の終局強度を算定できる設計示方書のうち、英国のBS 5400 Part 3³⁾と米国F H W Aの鋼箱桁橋設計示方書案⁴⁾では、腹板からフランジへの応力再配分を認めている。

本報告では、既算定法¹⁾²⁾では考慮していなかった、応力再配分による余剰強度を考慮する方法を述べ、この理論値を既報の実験結果¹⁾²⁾⁵⁾と比較・検討する。

2. 曲げ強度

既算定法¹⁾²⁾では、箱桁が曲げモーメントMを受けて、腹板の座屈が先行する場合の応力再配分による余剰強度はすでに考慮されている。ここでは、圧縮フランジの座屈が先行した場合、その後の曲げモーメントの増加分ΔMは腹板のみが分担すると考える。その限界は腹板の終局強度であるので、応力再配分による余剰強度を考慮した終局曲げ強度は次式で計算できる。

$$\frac{M + \Delta M}{M_{yfc}} = \frac{\sigma_{ult,fc}}{\sigma_{yfc}} \times \left\{ 1 + \frac{(1-\phi)(\sigma_{ult,w} / \sigma_{ult,fc} - 1)}{2(1+\phi+\phi^2) + \frac{3(A_{fc} + n_{sc}A_{sc})}{A_w} + \frac{3\phi^2(A_{ft} + n_{st}A_{st})}{A_w}} \right\} \quad (1)$$

ここに、

$$M_{yfc} = \sigma_{yfc} W_{fc}^* \quad (2)$$

$$\phi = -(A_{fc} + n_{sc}A_{sc} + A_w) / (A_{ft} + n_{st}A_{st} + A_w) \quad (3)$$

W_{fc}^* は腹板の圧縮縁に対する断面係数の近似値¹⁾、 A_{fc} 、 $\sigma_{ult,fc}$ 、 σ_{yfc} は圧縮フランジの断面積、終局圧縮強度、降伏応力、 A_w 、 $\sigma_{ult,w}$ は腹板の断面積、終局曲げ強度、 A_{ft} は引張フランジの断面積、 A_{sc} 、 n_{sc} は圧縮フランジの縦補剛材の断面積、本数、 A_{st} 、 n_{st} は引張フランジの縦補剛材の断面積、本数である。

3. 曲げ・せん断強度

箱桁が曲げモーメント(照査対象パネルの最大曲げモーメント)Mとせん断力Vを受けて、腹板の座屈が先行した場合、その後の曲げモーメントの増加分ΔMとそれまで腹板が分担していた曲げモーメント M_w の一部Δ M_w とがフランジで分担され、余力の生じた腹板がせん断力の増加分ΔVを分担すると考える。すなわち、腹板からフランジへ応力再配分が行われた後、腹板においては次の相関式が成り立つ。

$$\left\{ \frac{C_w(M_w - \Delta M_w)}{\sigma_{ult,w} W_{wc}} \right\}^4 + \left\{ \frac{V + \Delta V}{2\tau_{ult,w} A_w} \right\}^4 = 1 \quad (4)$$

ここに、

$$M_w = M W_{wc} / W_{fc}^* \tag{5}$$

$$W_{wc} = \frac{2}{3} \frac{1 + \phi + \phi^2}{1 - \phi} A_w B_w \tag{6}$$

$\tau_{ult,w}$ は腹板の終局せん断強度, C_w は腹板に着目した場合の曲げモーメントの換算係数²⁾, B_w は腹板高である.

ΔM_w を変形すると, 応力再配分による余剰強度を考慮した終局曲げ・せん断強度は次式で計算できる.

$$\left\{ \frac{C_w (M_w - M_{ult,r} / C_r + M_r + \Delta M)}{\sigma_{ult,w} W_{wc}} \right\}^4 + \left\{ \frac{V + \Delta V}{2 \tau_{ult,w} A_w} \right\}^4 = 1 \tag{7}$$

ここに,

$$M_r = M W_{rc} / W_{fc}^* \tag{8}$$

$$M_{ult,r} = \sigma_{ult,rc} W_{rc} \tag{9}$$

$$W_{rc} = \left\{ \frac{A_{rc} + n_{sc} A_{sc} + \phi^2 (A_{rt} + n_{st} A_{st})}{1 - \phi} \right\} B_w \tag{10}$$

である. C_r は圧縮フランジに着目した場合の曲げモーメントの換算係数²⁾, M_r は腹板座屈時にフランジが分担している曲げモーメント, $M_{ult,r}$ はフランジが分担できる最大曲げモーメントである.

4. 曲げ・せん断・ねじり強度

箱桁が曲げ・せん断・ねじりを受けて, 片方の腹板の座屈が先行した場合, 応力再配分が生じるためには, 圧縮フランジは, 腹板が負担していた曲げモーメントの一部と曲げモーメントの増加分のほかになねじりによるせん断力も分担しなければならない.

著者らが行った実験⁵⁾では, 腹板が終局強度に達した後も応力再配分に伴う若干の余剰強度がみられ, 最終的に圧縮フランジの座屈で桁が崩壊に至った. しかし, Imperial Collageでの実験⁶⁾では, 腹板と圧縮フランジの強度にかなりの差があったにもかかわらず, 腹板が終局強度に達した後, ほとんど余剰強度が発揮されずに桁が崩壊している. したがって, 曲げ・せん断の他にねじりが作用する場合は, 応力再配分による余剰強度を常に期待できるとは限らないようなので, 無視することにする.

5. 理論値と実験値の比較

理論値と実験値の比較をTable 1に示す. ただし, P_{max} は実験値, P_{ult} は算定法¹⁾²⁾による応力再配分を考慮しない理論値, ΔP は応力再配分によって生じた余剰強度である.

Table 1 Statistical values of P_{max}/P_{ult} and $P_{max}/(P_{ult} + \Delta P)$

Loading	Number	P_{max}/P_{ult}		$P_{max}/(P_{ult} + \Delta P)$	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Bending	6	1.27	0.092	1.15	0.085
Combined bending and shear	11	1.41	0.150	1.30	0.151

参考文献 1) 三上・丹羽・藤崎: 土木学会関西支部年次学術講演概要, 1991.6, I-37. 2) 三上・丹羽・藤崎: 土木学会年次学術講演概要集, 1991.9, I-108. 3) BS 5400 Part 3, 1982. (財)建設コンサルタント協会近畿支部長大鋼橋研究委員会訳, 1983.12. 4) Wolchuk, R., et al: Proposed Design Specifications for Steel Box Girder Bridges, Report No. FHWA-TS-80-205. 5) 三上・丹羽・藤崎: 構造工学論文集, 土木学会, Vol.38A, 1992.3, pp.279-292. 6) Dowling, P.J., et al: Experimental and Predicted Collaspe Behaviour Steel Box Girders, Steel Box Girder Bridges, Institution of Civil Engineers, London, 1973, pp.77-94.