

I-41

曲げとねじりを受ける薄肉箱形断面梁の終局強度に関する解析的研究

大阪市立大学 学生員 室塚直人

大阪市立大学 正 員 中井 博

(株)栗本鐵工所 正 員 村山泰男

大阪市立大学 正 員 北田俊行

1. まえがき 著者らは、曲げとねじりとを同時に受ける薄肉箱桁の終局強度について実験的研究を行い、その特性について種々な検討を行ってきた¹⁾。しかし、実験だけでは、種々なパラメータの終局強度に及ぼす影響が十分に解明されているとは言い難い。そこで、本研究では、箱桁断面全体を解析モデルとみなした弾塑性有限変位解析を実施した。まず、文献1)の実験に用いられた補剛箱桁を対象とし、①曲げ、②ねじり、および③曲げとねじりとを同時に受けた場合の終局強度特性について、解析値と実験値とを比較した。つぎに、幅厚比パラメータなどを種々変化させて解析を行い、著者らが提案した終局強度の推定式の妥当性について検討し、それらの下限値を与える終局強度の推定式の修正を試みた。なお、解析には、文献2)で開発された薄肉シェル構造の弾塑性有限変位解析のための有限要素法プログラム PLSHELL、および汎用解析プログラムである ABAQUS を用いた。

2. 解析モデルの寸法諸元と初期不整 図-1には、対象とした解析モデルを示す。まず、無補剛箱桁の寸法は、実際の範囲内で種々変化させた。つぎに、補剛箱桁の解析モデルの寸法は、文献1)の実験結果と比較するために、 $b=39\text{cm}$ 、 $d=52\text{cm}$ 、 $a=30\text{cm}$ 、および $t_t=t_w=t_b=0.23\text{cm}$ とした。その際、解析モデルに導入した初期たわみ波形は、無補剛箱桁に対して図-1(a)中に示すように仮定した。一方、補剛箱桁に対しては、図-2に示すように、板パネルの局所的な初期たわみ波形と、補剛板としての全体的な初期たわみ波形とを重ね合わせたものとした。また、初期たわみの最大値は、道路橋示方書の製作誤差の許容値に等しい大きさとした。なお、残留応力については、今回、考慮しなかった。

3. 終局強度曲線と終局強度相関曲線の推定 文献1)の実験結果より推定した終局強度曲線に修正を施し、以下に示す下限値曲線を導いた。

1) 純曲げを受ける場合

種々な解析結果により、文献1)で提案されている純曲げを受ける箱桁の終局強度推定式が平均値曲線に対応するように修正すると、次式が導かれた。

$$\alpha = M_u/M_p = 0.944[1 + 0.5(R_b - 0.5)]^{-2} \quad (0.5 \leq R_b \leq 0.9) \quad (1)$$

ここで、係数 R_b は、純曲げを受ける場合に対する箱桁断面としての幅厚比パラメータである。

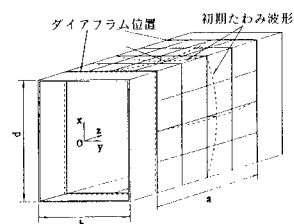
この式の標準偏差は、 4.267×10^{-2} である。そこで、上式から標準偏差だけ引いたものを、下限値曲線とした。

2) 純ねじりを受ける場合

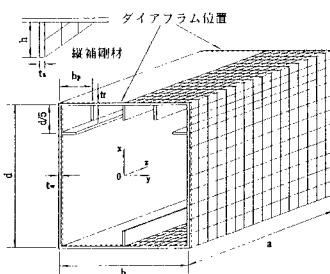
$$\beta = T_u/T_p = \tau_u/\tau_y \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_u &= \tau_y & : R_\tau &\leq 0.4 \\ &= \{1 - 0.37(R_\tau - 0.4)\tau_y\} & : 0.4 < R_\tau \leq 1.587 \\ &= \{0.74(1/R_\tau)^2 + 0.36\}\tau_y & : 1.587 < R_\tau \end{aligned} \right\} \quad (3)_{a-c}$$

なお、この曲線は、文献3)の終局強度曲線の下限値曲線を次のように修正を施したものである。すなわち、文献3)の式は $R_\tau \leq 1.2$ の範囲に対して危険側の値を与えるので（後述の図-5参照）、 $\tau_u = \tau_y$ とな



(a) 無補剛箱断面



(b) 補剛箱断面

図-1 解析モデル

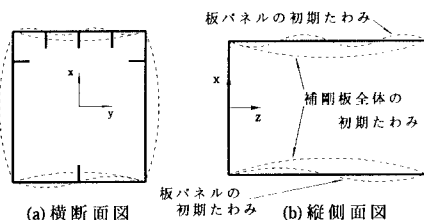


図-2 補剛箱桁モデルの初期たわみ波形

る限界幅厚比パラメータ R_r を、0.6 から 0.4 に修正した。

3) 曲げとねじりを同時に受けた場合

以上のような修正を施しても、曲げとねじりに対する終局強度は、次式の楕円形相関曲線で表すことができるものとする。

$$\left(\frac{M_u}{\alpha M_p} \right)^2 + \left(\frac{T_u}{\beta T_p} \right)^2 = 1 \quad (4)$$

4. 解析結果 まず、図-3には、純曲げ荷重を受ける箱桁の終局強度曲線と解析結果とを示す。この図より、ほとんどの解析結果は、平均値から標準偏差を差し引いた終局強度曲線を上回っていることがわかる。また、 R_b の増加に伴う終局曲げモーメントの低下の仕方もほぼ一致している。また、図-4(a)には、終局状態における断面内の応力分布図を示す。この図より、腹板の幅厚比パラメータ R_w が小さくなるほど、腹板における応力分布形状は台形になる。したがって、係数 R_w が小さい場合、圧縮フランジが終局状態に達した後、応力が腹板に再配分され終局状態に至ることが確認できる。

つぎに、図-5には、純ねじり荷重を受ける箱桁の終局強度曲線と解析結果とを示す。この図より、解析結果は、下限値として提案した式(3)の曲線とほぼ一致していることがわかる。参考のため、図-4(b)には、断面内のせん断応力分布を示す。この図より、腹板が降伏に達した後、上下フランジでは、せん断応力がほとんど上昇しないことがわかる。また、終局状態における腹板の τ_u/τ_y の値は、約 0.74 であり、箱桁としての終局強度 $T_u/T_p=0.75$ とほぼ等しくなっている。これらのことより、ねじり荷重を受ける箱桁の終局強度は、腹板のせん断終局強度により決まるという文献1)の仮定の妥当性を確認することができた。

5. まとめ まず、純曲げを受ける箱桁の終局強度の解析結果は、提案した推定式から計算される値をほぼ上回っていた。また、腹板の幅厚比を小さくすれば、応力再配分効果による終局強度の上昇が期待できる。つぎに、純ねじりを受ける箱桁の終局強度については、提案した下限値終局強度曲線にほぼ適合する解析結果が得られた。また、応力分布を調べることで、文献1)で設けた仮定の妥当性を確認することができた。さらに、式(4)の解析結果についても検討を加えた。

参考文献

- 1) 中井 博・村山泰男・北田俊行：曲げとねじりを受ける補剛材付き薄肉箱形断面梁の極限強度に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.38A、土木学会、pp.155～165、1992年3月
- 2) Nakai, H., Kitada, T. and Ohminami, R.: An Elasto-Plastic and Finite Displacement Analysis of Web Plate for Curved Girder Bridges by Using Isoparametric Finite Element Method, Memoirs of the Faculty of Engineering, Osaka City University, Vol. 23, pp.191～204, December 1982
- 3) 中井 博・北田俊行・橋本良之・南荘 淳・村山泰男：曲線箱桁橋の実績調査、橋梁と基礎、Vol.28. No5、pp.31～39、1994年5月

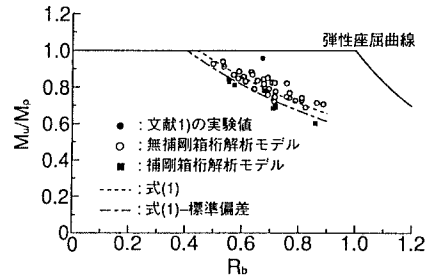


図-3 終局強度曲線（純曲げ）

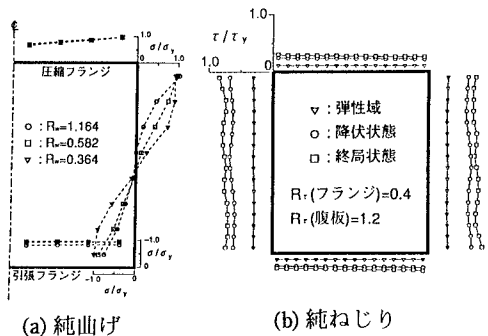


図-4 断面内の応力分布

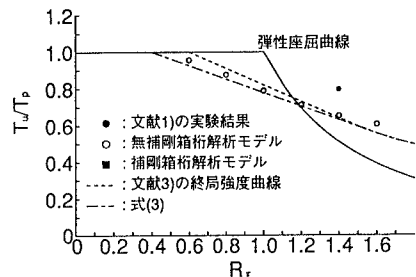


図-5 終局強度曲線（純ねじり）