

補剛箱桁のせん断遅れによる応力集中に関する解析的研究

九州工業大学大学院 学生員 ○前山啓太, 井上卓也
九州工業大学大学院 正会員 山口栄輝

1. はじめに

初等梁理論では、桁に生じる直応力は中立軸からの距離に比例し、フランジ内で一定である。しかしながら、フランジ幅が広がると、フランジ内での直応力の変化は無視できなくなり、フランジとウェブの接合部で最大となる。この現象はせん断遅れと呼ばれ、多くの研究者により研究されている。しかしながら、既存の研究では、それぞれの結果に大きな差が見られる¹⁾。

有限要素解析を用いた場合に関しても、応力集中は要素分割に敏感であることから、異なった結果が得られている。先に Lertsima らはマルチメッシュ外挿法を用いて有限要素解析で要素分割により誤差を小さくして、無補剛箱桁を対象にせん断遅れ現象を検討し、応力集中に関する算定式を提案した¹⁾。この研究を拡張し、本研究では、補剛箱桁における応力集中を検討し、算定式を提案する。解析には MSC.Nastran²⁾を用いる。

2. 解析モデル

本研究では図-1 に示す単純支持された補剛箱桁の解析モデルを用いる。縦リブを含む箱桁全体をシェル要素でモデル化する。縦リブは文献 3) の規定を満たすよう設定する。

荷重条件は、図-2 に示す集中荷重と等分布荷重を考慮する。本研究では以下のパラメータ、値を採用して解析する。また、対称性を考慮して 1/4 モデルを使用する。

$$H/L = 0.025, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$$

$$B/H = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$$

$$T_f/T_w = 1.0, 1.5, 2.0$$

$$A_s/A_f = 0.0, 0.5, 1.0$$

ここで、 A_s は補剛材の総面積であり、 A_f はフランジの面積を表す。

上記パラメータ値と 2 種類の荷重パターン、

以下で述べる 4 種類の要素分割の組み合わせである、計 1440 ケースの解析を行う。

3. 応力評価

せん断遅れを論じる際には、フランジとウェブの接合部で生じる応力集中が重要である。端的には、文献 1) にならない、フランジ内の最大応力 σ と初等梁理論から得られる直応力 σ_{beam} の比を求める。よく知られているように、応力集中は要素分割に敏感であり、解析結果は要素サイズに大きく依存する。そのため、本研究ではマルチメッシュ外挿法により、応力集中を考慮する^{1),4)}。大きさの異なる 4 種類の要素分割 Mesh A~Mesh D (代表要素長 Δ は Mesh A, B, C, D において、6.25, 12.5, 25, 50 mm) を用いて得られた解析結果である最大応力 σ と初等梁理論から得られる直応力 σ_{beam} の比を図-3 に示している。

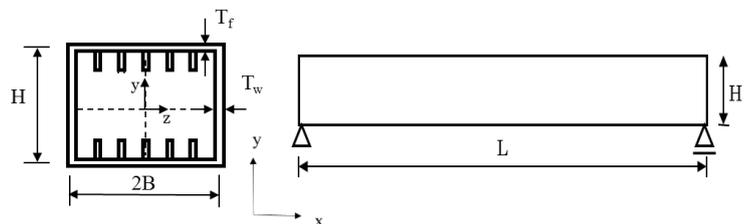


図-1 解析モデル

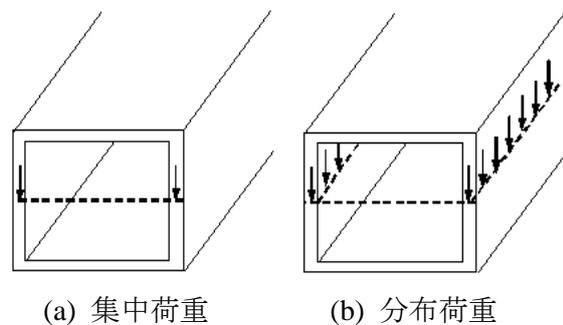


図-2 荷重パターン

この図-3に見られるように、代表要素長 Δ と応力比 σ/σ_{beam} は、 Δ が小さくなるにつれ、ほぼ線形的に変化する。これは応力算定の誤差が Δ に線形依存するという理論⁴⁾からも説明できる。このことを利用し、線形補間により Δ が 0 の場合の σ を求める方法がマルチメッシュ外挿法である。こうして得られた、 Δ が 0 の場合の最大応力 σ と初等梁理論から得られる直応力 σ_{beam} の比が、本研究の応力集中係数 K_c である。

4. 解析結果

解析結果の一例として、 A_s/A_f に関する K_c の変化を表す結果を図-4 に示す。これらの解析結果から、 K_c に関して次のような傾向が見られる。

- ① 本研究で用いたパラメータ、 H/L 、 B/H 、 T_f/T_w 、 A_s/A_f の増加に伴い、 K_c は増加する傾向にある。
- ② パラメータの小さい値については、上記に述べた K_c の増加は小さい。
- ③ K_c は集中荷重のケースの方が分布荷重のケースよりも大きくなる。

5. 算定式

既往の研究¹⁾において、Lertsima らはせん断遅れに起因する単純支持箱桁の応力集中係数 K_c に関する算定式の提案を行った。本研究では縦リブの影響を考慮し、新たなパラメータを導入することで、算定式の修正を行う。

以下の(1)～(5)に示される算定式は本研究の数値解析結果を使用し、回帰分析を行うことで決定した。また、各荷重における係数は表-1 に示す通りである。

$$K_c = F \cdot \left[1 + \left\{ (a) \cdot \left(\frac{H}{L} \right) + (b) \cdot \left(\frac{B}{H} \right) \right\} \times \left(\frac{A_s}{A_f} \right) \right] \quad (1)$$

$$F = (\alpha) \cdot \left(\frac{H}{L} \right) + 1 \quad (2) \quad \alpha = (\beta) \cdot \left(\frac{B}{H} \right)^\gamma \quad (3)$$

$$\beta = (c) \cdot \ln \left(\frac{T_f}{T_w} \right) + (d) \cdot \left(\frac{T_f}{T_w} \right) + e \quad (4)$$

$$\gamma = (f) \cdot \ln \left(\frac{T_f}{T_w} \right) + (g) \cdot \left(\frac{T_f}{T_w} \right) + h \quad (5)$$

参考文献

- 1) C. Lertsima, T. Chaisomphob, E. Yamaguchi: Stress concentration due to shear lag in simply supported box girders, Engineering Structures, Vol. 26, No.8, 2004.
- 2) MSC SOFTWARE : MSC.Nastran for Windows 2004 リリースガイド, 2004.
- 3) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 丸善, 2012.
- 4) Cook, R.D.et al.: Concepts and Applications of Finite Element Analysis, John Wiley & Sons, 2007.

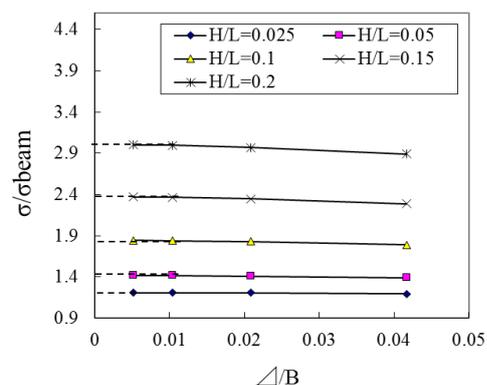


図-3 代表要素長 Δ に関する直応力変化
(集中荷重, $A_s/A_f=0.0$, $B/H=2.0$, $T_f/T_w=1.0$)

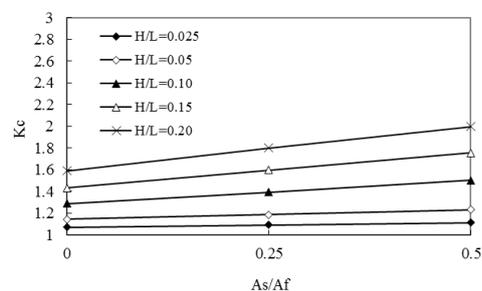


図-4 A_s/A_f に関する K_c の変化
(集中荷重, $B/H=1.0$, $T_f/T_w=1.0$)

表-1 算定式の係数

	集中荷重	分布荷重
a	1.951	1.610
b	0.060	0.018
c	0.776	1.080
d	-	-0.349
e	2.909	6.090
f	-0.030	-0.020
g	-	-0.008
h	1.717	2.348