

## 鋼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 ○橋鷹直人  
 King Mongkut's University MAHO Buchit  
 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、桁に生じる橋軸方向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、フランジ幅が広くなると、フランジ内での橋軸方向直応力の変化は無視出来なくなり、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。このような既存の研究では、有限要素解析における荷重方法や要素分割の違いにより、各研究で異なった結果が得られている。そこで、先に Lertsima らはマルチメッシュ外挿法を用いて無補剛箱桁を対象に、せん断遅れを複数の荷重条件で検討し、応力集中に関する算定式を提案した。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、応力集中係数  $K_c$  に関する算定式を提案する。解析には MSC.Nastran<sup>2)</sup>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、縦リブを含む箱桁全体をシェル要素でモデル化する。なお、縦リブは道路橋示方書・同解説<sup>3)</sup>の規定を満たす断面形状と縦リブ本数とする。また、パラメトリック解析に用いるパラメータは、 $H/L=0.025, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ ,  $B/H=0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ ,  $T_f/T_w=1.0, 1.5, 2.0$ ,  $A_s/A_f=0.0, 0.25, 0.5$  ( $A_s$ : 補剛材断面の総面積,  $A_f$ : 補剛板断面積) とする。

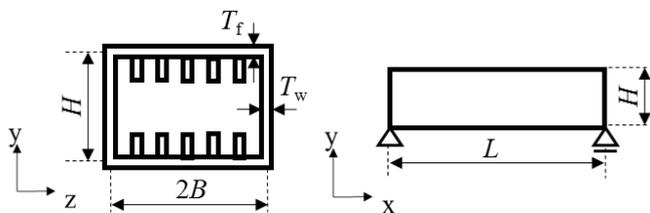


図-1 解析モデル

荷重条件は図-2 に示すようにスパン中央のウェブ中心に荷重する Load C-1, スパン中央のウェブ全体に荷重する Load C-2, ウェブ中心の荷重をスパン方向に等分布で荷重する Load D-1, ウェブ全体の荷重をスパン方向に等分布で荷重する Load D-2 の計 4 種類を考慮す

る。複数の荷重条件を検討することで、既存の研究で用いられてきた荷重条件を踏まえた検討を行う。

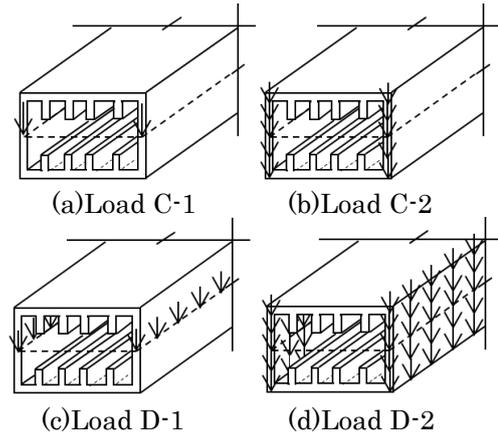


図-2 荷重条件

上記で述べた各パラメータと 4 種類の荷重パターン、以下で述べる 3 種類の要素分割の組み合わせである、計 2160 ケースの解析を行う。

### 3. 応力評価

本研究では Lertsima らにならない、箱桁フランジにおける橋軸方向最大直応力  $\sigma_{FEA}$  と初等梁理論から得られる橋軸方向直応力  $\sigma_{beam}$  の比  $\sigma_{FEA}/\sigma_{beam}$  (以後、応力集中係数  $K_c$  とする。) を求め、応力算定の誤差が要素代表長  $\Delta$  に線形依存する<sup>4)</sup>ことから、図-3 のようにマルチメッシュ外挿法を用いて線形補間により要素代表長  $\Delta$  が 0 の場合の  $K_c$  を考慮し、応力評価を行う。本研究で用いる要素分割は Mesh A, B, C (要素代表長  $\Delta$  は Mesh A, B, C において、3.125, 6.25, 12.5 mm) の 3 種類とする。

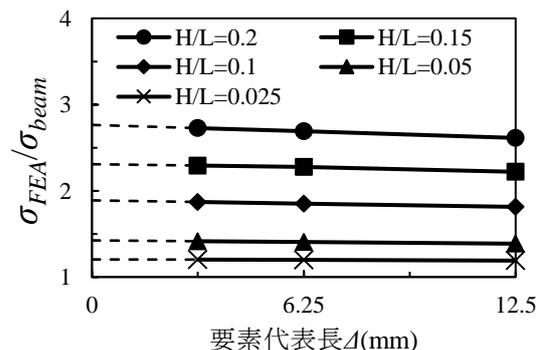


図-3 マルチメッシュ外挿法

4. 解析結果

解析結果の一例として、 $H/L=0.1$ ,  $B/H=1.0$ ,  $T_f/T_w=1.0$  を用いたモデルについて、 $A_s/A_f$  に対する  $\sigma_{FEA}$  の変化を 図-4 に、各载荷条件による  $A_s/A_f$  に対する  $K_c$  の変化を 図-5 に示す。解析結果から各パラメータ及び载荷条件と  $\sigma_{FEA}$ ,  $K_c$  に関して以下のような傾向が考察される。

- (1)  $A_s/A_f$  の増加に伴い、 $\sigma_{FEA}$  は減少する傾向にある。
- (2) いずれの载荷条件でも、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。
- (3)  $K_c$  は等分布荷重 (Load D-1, D-2) よりも集中荷重 (Load C-1, C-2) の方が大きくなる。
- (4) 集中荷重では载荷方法によって  $K_c$  が大きく異なる。

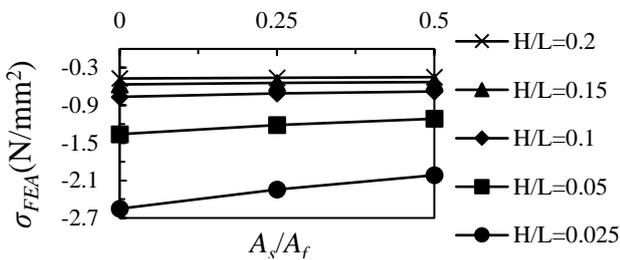


図-4 Load C-1 における  $A_s/A_f$  に対する  $\sigma_{FEA}$

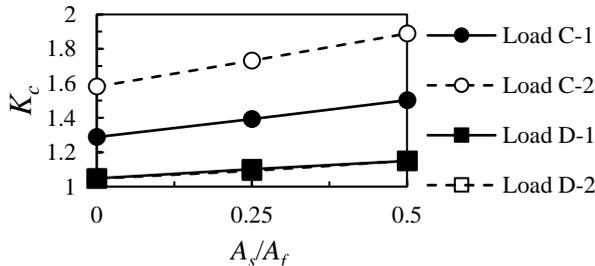


図-5  $A_s/A_f$  に対する  $K_c$

5.  $K_c$  算定式

既往の研究において、Lertsima らはせん断遅れに起因する無補剛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。本研究では補剛材の影響を考慮し、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)~(6)に示される算定式は本研究の数値解析結果を使用し、重回帰分析を行うことで決定した。各载荷条件の算定式における係数は表-1 に示す通りである。

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

Load C-1, C-2の場合  $F = (\alpha) \cdot \left( \frac{H}{L} \right) + 1 \quad (2)$

Load D-1, D-2の場合  $F = (\alpha) \cdot \left( \frac{H}{L} \right)^2 + 1 \quad (3)$

$$\alpha = (\beta) \cdot \left( \frac{B}{H} \right)^{\gamma} \quad (4)$$

$$\beta = c \cdot \left( \frac{T_f}{T_w} \right) + d \quad (5)$$

$$\gamma = e \cdot \left( \frac{T_f}{T_w} \right) + f \quad (6)$$

表-1 算定式の係数

	Load C-1	Load C-2	Load D-1	Load D-2
a	1.916	2.198	1.253	1.192
b	0.061	0.087	0.021	0.026
c	0.436	0.926	0.173	0.127
d	2.539	5.189	6.268	6.275
e	0.014	0.047	-	0.063
f	1.706	1.051	2.368	2.235

6. Eurocode 3 と  $K_c$  算定式の比較

Eurocode 3<sup>5)</sup>では実際のフランジ幅を有効幅で置換することによってフランジで生じる最大応力を評価している。また、Eurocode 3 では有効幅を求める際に、補剛材の影響を考慮した式となっている。

一例として、等分布荷重を载荷した際の Eurocode 3 による  $K_c$  と  $K_c$  算定式から得られた  $K_c$  (Load D-1, D-2) を 図-6 に示す。図-6 より無補剛箱桁における  $K_c$  は Eurocode 3 と  $K_c$  算定式で概ね同様であることが確認される。一方で、補剛箱桁における  $K_c$  は Eurocode 3 と  $K_c$  算定式で大きく異なり、Eurocode 3 では大幅に安全側に規定されていることが示唆される。

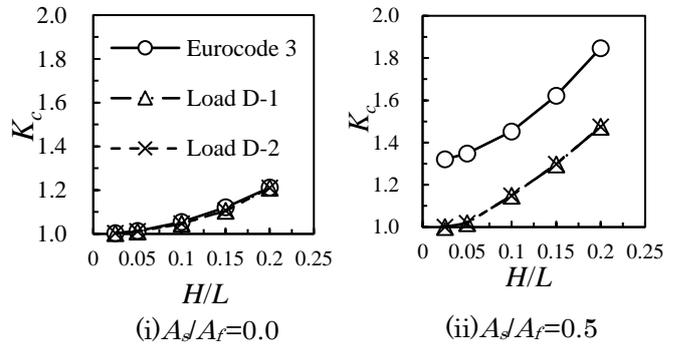


図-6 Eurocode 3 及び  $K_c$  算定式による  $K_c$  ( $B/H=1.0$ ,  $T_f/T_w=1.0$ )

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.
- 5) European committee for standardization : Eurocode 3- Design of Steel Structures-Part 1-5,2006.