

梁・柱接合部を含む鋼製ラーメン部材のせん断遅れ現象について

大阪市立大学工学部 正員○酒造敏廣 大阪市立大学工学部 正員 中井 博

1. まえがき わが国では、橋脚やタワーなど鋼箱形部材からなるラーメン構造物を設計する際、梁・柱接合部(以下、隅角部という)のせん断遅れ現象は、奥村らによる応力算定法¹⁾に従って考慮している。一方、梁・柱部材一般部では、曲げモーメントが0となる区間から等価な単純梁を取り出し、それに対して桁橋のフランジ・プレート有効幅の設計基準²⁾を準用している場合が多い³⁾。この点は、連続する部材のせん断遅れ現象を個別に取り扱っているため、実設計では煩雑な計算が必要となる。ラーメンに作用する荷重の位置が一般に固定されていることを考えると、部材軸方向の限られた範囲内でせん断遅れ現象を考慮した方が、合理的になる場合がある。この種の設計法として、すでに奥村¹⁾や斜張橋ケーブル定着部付近に対して小松⁴⁾、中井⁵⁾らが提案した方法がある。本文は、せん断遅れ現象に起因した付加的な垂直応力を一種のモーメントに換算し、その簡易算定法と隅角部領域を含むラーメン部材の設計法について検討したものである。

2. Shear lag モーメントの定義 軸方向力 N と曲げモーメント M とが作用する2軸対称の箱形ラーメン部材において、せん断遅れの影響を受けた断面内垂直応力分布は、Fig. 1のようになる。ここで、フランジ・プレートの腹板直上において、初等梁理論による応力 σ_{eu} および σ_{el} から偏寄した垂直応力 σ_{sw} に対応する曲げモーメントをShear lag モーメント m_s とし、次式で定義した。

$$m_s = \sigma_s \cdot W_y \quad (W_y: \text{断面係数}) \quad \dots(1)$$

すると、せん断遅れを考慮した最大垂直応力 σ は、曲げモーメント M に上式を加えて、次式から算定できる。

$$\sigma = N/A \pm (M + m_s) / W_y \quad (A: \text{断面積}) \quad \dots(2)$$

3. Shear lag モーメントの一般解 これまで、箱形部材のせん断遅れ現象を梁理論で解析する方法が種々提案されている^{6)~10)}。これらの方法によると、集中荷重 P あるいは等分布荷重 q が無限梁上に作用する場合、Shear lag モーメント m_s の部材軸方向の分布は Fig. 2のように表され、その一般解は、いずれの方法によっても、次の形の式にまとめられる。

(i) 集中荷重載荷

$$m_s(x) = m_{sp} \cdot e^{-\alpha|x|} \quad \dots(3)$$

(ii) 分布幅 a の等分布荷重載荷

$$\begin{aligned} m_s(x) &= m_{sq} \cdot \{1 - 0.5(e^{-\alpha(|x|-a/2)} + e^{-\alpha(|x|+a/2)})\}, (|x| \leq a/2) \\ &= 0.5m_{sq} \cdot (1 - e^{-\alpha a}) \cdot e^{-\alpha(|x|-a/2)}, (|x| > a/2) \end{aligned} \quad \dots(4) a, b$$

ここに、 m_{sp} 、 m_{sq} ： m_s の最大値($x=0$)、 α ：断面形状・寸法に関する Shear lag パラメーターである。

本文では、箱形断面は無補剛でポアソン比を 0.3 とし、腹板のせん断変形を無視してフランジ・プレートの軸方向変位を放物線に仮定した Reissner の方法^{6), 9)}に従った。すると、 m_{sp} 、 m_{sq} および α は次式で与えられる¹¹⁾。

$$m_{sp} = \frac{0.945 \cdot P \cdot B}{\sqrt{2s^2 + 7s + 3}}, \quad m_{sq} = \frac{5 \cdot q \cdot B^2}{7(3 + s)} \quad \dots(5) a, b$$

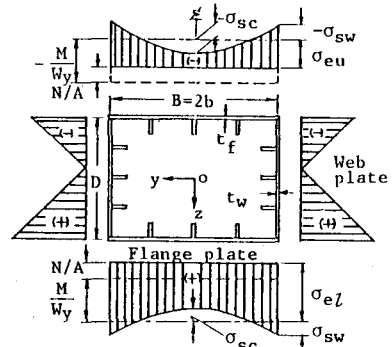
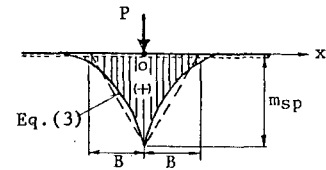
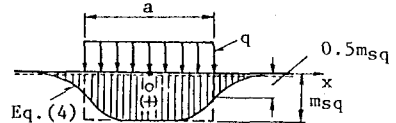


Fig. 1 Dimension of box cross section and normal stress distribution



(a) Concentrated load



(b) Distributed load

----: Approximation

Fig. 2 Distribution of additional moment m_s due to shear lag

$$\alpha = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{7(s+3)}{2s+1}} \quad \dots(6)$$

ここに、 s : 腹板とフランジ・プレートとの断面積比($=D_t w/B_t t_f$)、 $B_t t_f$: フランジ・プレートの幅、板厚、 $D_t w$: 腹板の高さ、板厚。

なお、フランジ・プレート中央の付加垂直応力 σ_{sc} に対応する Shear lagモーメントは、式(3)~(4)の $m_s(x)$ の $-0.5 \cdot (1+s)$ 倍となる。

4. Shear lagモーメントの分布特性

(1) スパン中央に集中荷重を受ける単純梁を用 Fig. 3 Variation of additional moment m_s due to shear lag とい、フランジ・プレートと腹板との断面積比 s を関数とし、Shear lagモーメント $m_s(x)$ の分布特性を調べた。式(3)と西独の設計規準DIN 18809¹²⁾のバック・データとなっている文献13)から求めた m_s をFig. 3 にプロットする。この図からわかるように、荷重作用点($x=0$)から離れると、 s 値の増大に伴って、 m_s 値の収束は緩慢になる。また、式(3)による m_s の分布形状は、文献13)と比較的よく一致していることがわかる。文献 3)によると実橋脚の s 値は 0.5~2.7 の範囲に分布している。したがって、 $s \leq 10$ で最大値 m_{sp} の約10%以下となる $|x| \leq B$ を m_s の分布範囲とした(図中の点線参照)。

(2) 等分布荷重については、式(4)から、 m_s の最大値は $a/B > 2$ の範囲で式(5)b)の m_{sq} にほぼ一致する。また、 $|x|=a/2$ における m_s 値は、 $a/B > 1$ の範囲で $0.5 \cdot m_{sq}$ になる。ここで、実際のラーメン部材で軸方向に連続して作用する分布荷重を考えるならば、 $|x| > a/2$ の範囲を無視して、 m_s が幅 a にわたって矩形分布するとしても、とくに問題はないと思われる(Fig. 2(b)参照)。

5. ラーメンの Shear lag モーメント算定法への応用

以上から、ラーメン部材のShear lagモーメント m_s は、式(5)をその最大値として、Fig. 2の破線に示すように近似できる。一般的なラーメンの m_s を推定するために必要な設計モデルと荷重の取り扱い方を Fig. 4に示す。柱基部(固定)では、骨組解析から得られる反力 R_H を $P/2$ と置いて式(5)a)を利用できる。また、隅角部では、現行の応力算定法¹⁾と同様に、作用断面力をフランジ力 F_{ij} ($=M_i/D \pm N_i/2$)に分解し、これを集中荷重とすれば、部材一般部と同様に取り扱える¹¹⁾。ただし、同図中の格点4、6の F_{41} 、 F_{62} のように自由端に相当する位置のフランジ力は、 m_s の算定には関係しない。

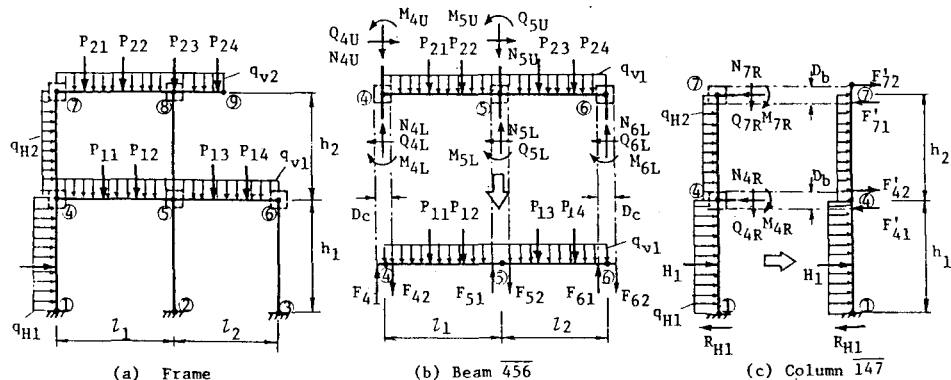


Fig.4 Design model for calculating additional moment m_s due to shear lag

参考文献 1)岡本:鋼構造の研究、技報堂、1977年6月、pp. 463-559. 2)日本道路協会:道路橋示方書・同解説、II 鋼橋編、丸善、昭和55年2月. 3)中井・河井・吉川・北田・酒造:橋梁と基礎、Vol. 16, pp. 35-40, pp. 43-49、1982年6-7月. 4)小松・北田:土木学会論文報告集、No. 254、1976年10月、pp. 13-26. 5)中井・田井戸・福岡・野口:橋梁と基礎、Vol. 19、1985年11月、pp. 21-25. 6)Reissner, E.: Journal of the Aeronautical Science, Vol. 18, No. 7, 1941, pp. 284-291. 7)倉西・宮川:機械学会論文集、Vol. 16, No. 55, 1950, pp. 109-113. 8)小松:土木学会論文集、No. 58、1958年9月、pp. 1-9. 9)近藤・小松・中井:土木学会論文集、No. 86、1962年10月、pp. 1-17. 10)塚農・薄木・堀江:土木学会論文集、No. 282、1979年2月、pp. 1-13. 11)中井・福岡・酒造:明橋:構造工学論文集、Vol. 33A、1987年3月、pp. 193-206. 12)DIN 18809:Sept. 1987. 13)H. Schmit und U. Peil:Springer-Verlag, 1976.