

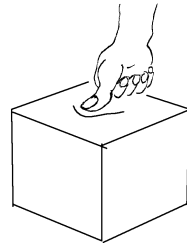
「せん断遅れ」と「応力集中」

2011.12.28
S. T.

1. まえがき

ゴムブロックの中央を指で押せば、押しした所は大きく凹むものの周りにはあまり凹もうとしない。この現象は、ゴム塊内部において横方向に力が伝わらないことによるもので、「せん断遅れ (Shear lag)」と言う。

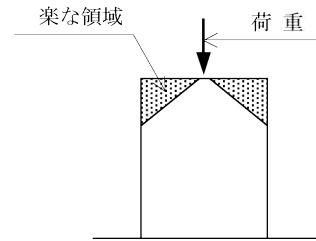
鋼板を組み合わせてなる薄肉構造物の世界ではこの「Shear lag」がしばしば問題となるので、その概要とこれが引き起こす応力集中について述べてみる。



2. 「Shear lag」とは

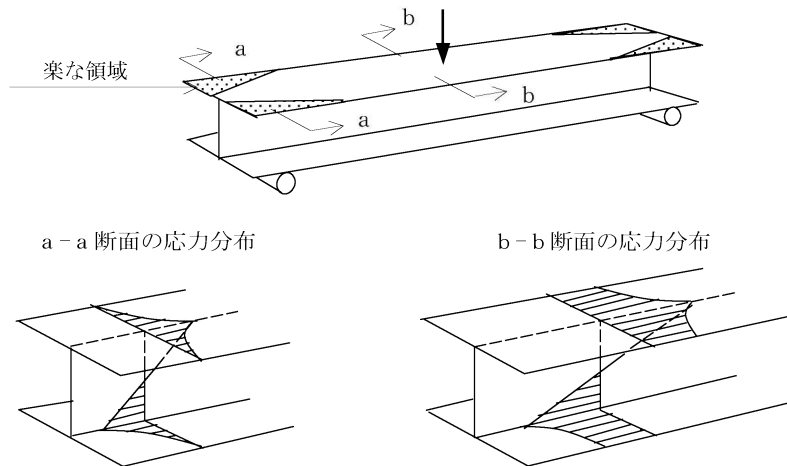
① 柱において

上図のゴム塊を鋼板に替えても同じことが言える。右図のごとく、鋼板柱の一部に荷重を載せた場合を考えて見る。鋼板はゴムよりもせん断力の伝達能力が高いため、作用軸力は急速に柱全体に分布するものの、荷重点近傍では全体に軸力が行きわたらず、脇のほうでは随分と楽をしている。



② 桁において

下図のように桁に荷重を載せると、桁端フランジのウェブから離れたところでは応力の負担が少ない。



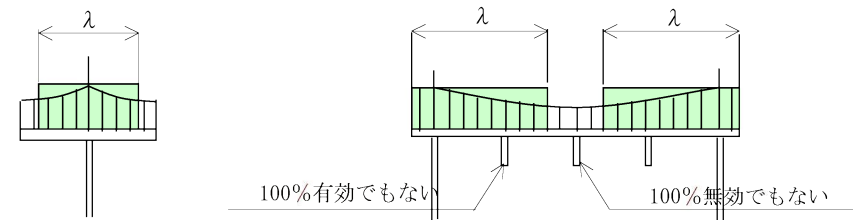
3. 設計への反映

既述「Shear lag」の度合いは、柱・桁の部位によって異なることは明らかである。橋桁の設計において大きな曲げモーメントを受ける所（支間中央など）は、概してその影響が少ないが皆無ではない。

【道路橋示方書Ⅱ 10.3.5】では、設計の便宜を考えて、フランジ突出長と影響基線長の比を以て有効幅という形で「Shear lag」の影響を設計に規定している。

① 有効幅の考え方

先に述べたフランジに偏分布する応力度の最大値が容易に求まるように、最大応力度と総軸力が同じになるように定めた幅が有効幅： λ （下図参照）である。よって、箱桁などでリブを有する場合に、有効幅から外れたリブを無効、有効幅内のリブは100%有効であるとの考え方は間違いである。しかしこの成り立ちを知った上で計算書の簡素化を目的に同手法を採用することは許される。



【道路橋示方書Ⅱ 10.3.5】で規定される有効幅の算出式は、分布荷重と集中荷重で異なっている。

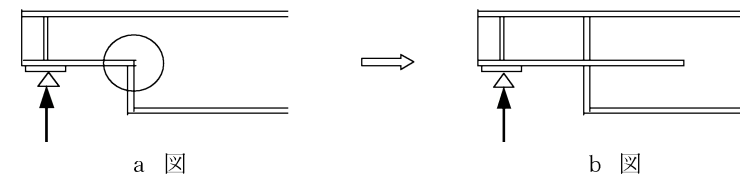
分布荷重に対して $\lambda = \{1.1 - 2(b/\ell)\} b$ ①式

集中荷重に対して $\lambda = \{1.06 - 3.2(b/\ell) + 4.5(b/\ell)^2\} b$ ②式

よって支間部では①式を、中間支点からの集中荷重を受ける所では②式を採用する。しかし、影響基線長が短く車輪が1個しか載荷されない鋼床版・縦桁などでは、支間部であっても②式を採用しなければならない。

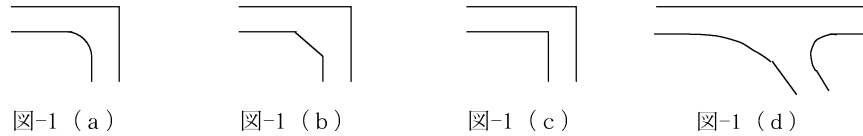
② 桁端の切欠き

下図 a のように桁端切欠き部においてフランジを角でとめられたのではたまらない。桁端ゆえフランジに生ずる軸力は僅かであるが、フランジ内を流れる軸力は角部で行き場を失い、ウェブとの節点において大きな Spot stress (局所応力) を生み出す。このため、b 図のようにフランジを延長して軸力を腹板に伝達する構造がとられる。



③ ラーメン隅角部

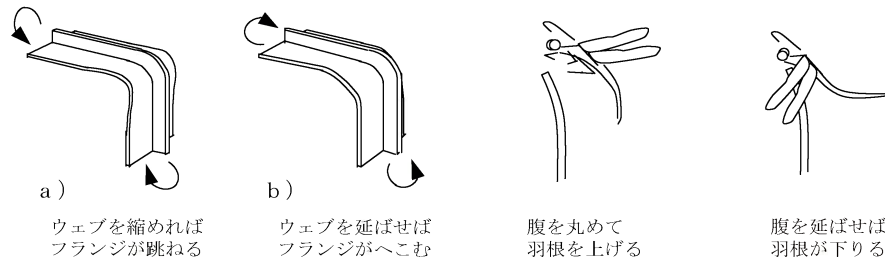
鋼構造物の多くは断面が鋼板で構成されているので、下図に示すような屈曲部には、応力の流れを考慮した断面構成が欠かせない。特に「隅角」といわれるような箇所は作用断面力も大きく断面構成上のキーポイントともなるので、要注意箇所である。



・ 変形状は「トンボの羽」

これらの隅角部が曲げ作用を受ける時、ウェブから突出したフランジは軸力によって板曲げを発生するのでウェブの形状についていけず、圧縮を受ければウェブ側に跳ね（下図：a）、引張を受ければ内に絞じる形（下図：b）となる。

この形状は、棒の先に止まるときのトンボは身体を丸め、羽根を休めるトンボは身体を反らせる姿にも似ている。



・ 応力の流れ

隅角部のフランジは、板厚方向の変形拘束材（補剛材）が無い限りウェブ近傍のごく一部しか有効ではないどころか、フランジの面外力がウェブの稜線直角の軸力として作用するので、ウェブとフランジを繋ぐ溶接には一層の負担が強くなることになる。

・ 懸念事項

上記構造欠陥の結果として以下のことが懸念される。

- ① フランジの有効幅低減による軸方向発生応力度の増加
- ② フランジの反りによるウェブ直角方向のフランジ曲げ応力
- ③ フランジ面外力（板厚方向力）によるフランジの受ける板曲げ応力
- ④ フランジ面外力（板厚方向力）による首溶接の応力増加

・ 対策

隅角部を有効に機能させるには、しかるべき変形拘束材（補剛材）を設置してフランジの面外変形を防がなければならない。特にハンチの無い図-1（c）のような場合は、局部的に強度が低下するので、作用力の大小にかかわらず剛度の急変という面からも補剛材を省略することはできない。

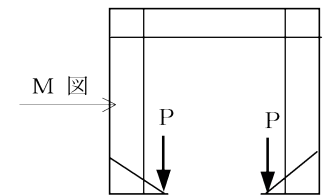
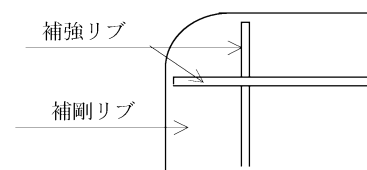
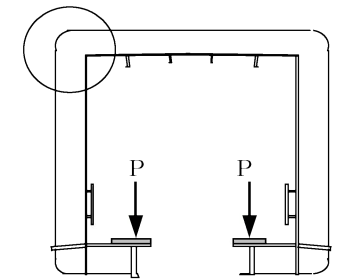


図-2 フランジの面外変形を抑える補剛材の配置例

④ 開断面箱桁

仮の話であるが、右図のような箱断面があったとする。

このような形状の桁では、載荷重：Pによって断面全体に断面開放部を開こうとする作用力が働くことになる（右下図）。こんなときに、右図丸印：隅角部に補剛材がなかったら、前頁で述べた「桁端切欠き」と同じ応力集中が生ずる。当然、下図のような裏補強リブが欠かせないことは明白である。



曲げモーメント図

4. あとがき

我々の携わっている構造物の設計には、大きな危険が潜んでいる。設計が同種構造物の繰返しであればよいが、そうはいかないし、それでは設計と言えない。実業務に際しては、基準にガイドされるものには限りがある。基準には載っていないまた、設計例もない構造にしばしば遭遇するのが現実である。このようなリスクの雨の中を生き抜くには己の技量を磨く以外に手は無い。因果なものである。この世界に入った以上は日々の自己研鑽は欠かせないものであり、自己研鑽を趣味として生きるしかないかな？