

最適設計による補剛材の最適剛比

名古屋大学 学生員 O浅野 清
名古屋大学 正 員 宇佐美 勉

緒言 構造物の長大化に伴いプレート・ガーダー及びボックス・ガーダーにおいては経済的な理由からフランジ、腹板、補剛材に薄板が用いられる傾向にある。この場合、多くは腹板の座屈強度を向上させるために、垂直補剛材及び水平補剛材で補剛されるが、日本道路橋示方書では、多補剛の場合についての断面設計が取扱われていない。またプレート・ガーダーでは腹板の座屈後もかなりの強度（後座屈強度）が期待できるが、安全率の低減によりこれらを考慮した水平補剛材は腹板が座屈を起こさないように補剛材位置が決められている。そこで、ここでは箱形断面部材及びプレート・ガーダーに対し多補剛に適用できしかも座屈を考慮した方法を用いて耐荷力を算定し、最適設計の観点から補剛材の位置及び剛比（道路橋示方書の必要剛度との比）を求め、検討を行う。

最適設計による補剛材の最適剛比

1. 中心軸圧縮正方形箱形断面部材 これまで我々の研究室において中心軸圧縮を受ける補剛箱形断面の短柱について最適設計を行ってきたが、いずれも補剛材が過大となり板パネルの局部座屈が起きないような非実用的な断面が最適解に得られた。そこで著者らは今回これを長柱に適用し、局部座屈を許すような柱の強度式を用い最適設計を行った。

耐荷力 箱形断面部材が中心軸圧縮を受ける場合の耐荷力は、短柱に対して求めたものを長柱に応用する。耐荷力算定には有効幅理論を用いる。箱形断面部材の場合、ウェブ、フランジは一枚の補剛板と考えることができるので両端板パネルが降伏応力に達した場合の応力分布は図1のようになり、これを有効幅により斜線部分のように近似する。補剛材部分については、補剛材と板パネルの有効部分からなる柱（有効補剛材）として強度を計算する。極限状態としては、有効補剛材が柱としての極限強度に達する場合を考える。ただし、両端板パネルは降伏応力に達しているものとして耐荷力を計算する。

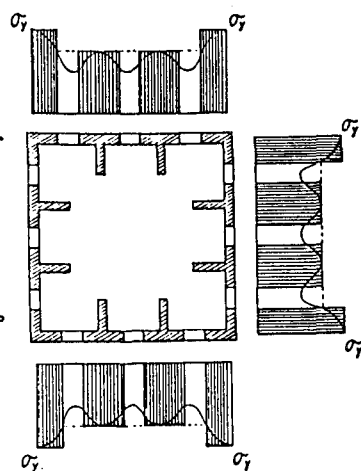


図1. 有効幅による応力の近似

以上のように得られた短柱箱形断面部材の耐荷力を用いて、長柱に適用した場合は強度低減係数 $Q=P/P_y$ を考える。ここに P は短柱として求めた耐荷力で、 P_y は降伏荷重（ $=\sigma_y A$ ）である。さらに等価細長比 $\bar{\lambda}$ を強度低減係数 Q により修正した修正細長比 $\bar{\lambda}'$ により、長柱の場合の耐荷力を求める。

定式化 以上の方法を用いて定式化を行う。定式化に際し、以下のように仮定する。

- ① 正方形箱形断面を考え、フランジ、ウェブとも板幅、板厚は等しい。
- ② ウェブ、フランジともに等しい補剛材を有するものとし、補剛材本数は与えられるものとする。
- ③ 部材の長さ方向は等間隔にダイヤフラムで仕切られており、間隔は与えられるものとする。

目的関数： $F = AL \rightarrow \min$. (体積最小化)

$$\begin{aligned} \text{制約条件: } g_1 &= R - 1.2 \leq 0 \\ g_2 &= L/r - 120 \leq 0 \\ g_3 &= SP - Pu \leq 0 \\ g_4 &= Rs - 0.7 \leq 0 \end{aligned}$$

設計変数： $\{X\} = \{B, T, B_s, T_s\}$

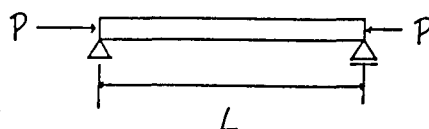
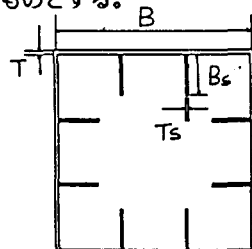


図2. 中心軸圧縮力を受ける箱形断面部材



ただし、 R : 補剛材で囲まれたサブパネルの等価幅厚比、

Q : 補剛される板の強度低減係数で $Q=P/P_0$ (P は短柱として求めた耐荷力) である。

L/r : 細長比パラメータで L, r はそれぞれ部材長、断面2次半径である。

S : 安全率 ($=1.7$)、

P_0 : 長柱の耐荷力で、

$$\begin{aligned} P_0 &= Q \sigma_y A & (\bar{\lambda}' \leq 0.2) \\ &= (1.109 - 0.545 \bar{\lambda}') Q \sigma_y A & (0.2 < \bar{\lambda}' \leq 1.0) \\ &= Q \sigma_y A / (0.773 + (\bar{\lambda}')^2) & (1.0 < \bar{\lambda}') \end{aligned}$$

結果

SM50材について縦補剛材を2本として最適設計を行った。その結果を図3に示す。図3は縦軸に最適剛比 m を、横軸に荷重パラメータ $n\bar{p}$ をとってある。この図から分かるように、長柱の場合ほぼ実用的な補剛材剛度が最適剛比として得られた ($m=3 \sim 15$)。これは、これまで柱の板要素が全体座屈より先に局部座屈が起こると柱の崩壊につながると考え、これを防ぐよう板厚を決定していたのに対し、全体座屈が局部座屈とともに起こるとした連成強度を考えた今回の計算で、全ての荷重条件で局部座屈を許す方が経済的であるという結果が出た。これは荷重が増加するとそれに対してウェブの板厚が増加するが、ウェブの板厚の増加で荷重を負担するよりもその分、補剛材が剛になることによって荷重増分を受け持った方が経済的であることを示しているものである。即ち、最近の薄板に補剛材を用いることでより経済的な設計が可能であるという考えが最適設計の観点からも言えることが分かった。

2. プレート・ガーダー 最後にプレート・ガーダーの場合も箱形断面部材と同様に以下のように最適設計による最適剛比を求めることができる。最適設計を行うには、まず水平・垂直に補剛されたプレート・ガーダーの耐荷力を明確にする必要がある。

プレート・ガーダーの曲げ耐荷力 プレート・ガーダーの曲げ耐荷力 (M_{ult}) も有効幅理論を用い、補剛材部分については補剛材と板パネルの有効幅部分とからなる柱 (有効補剛材) として強度を計算する。ただし上下フランジとも水平座屈、ねじれ座屈は起きないものとし、全断面有効で降伏応力に達するものとする。極限状態としては、a) 上端あるいは下端の板パネルが腹板の降伏応力 ($\sigma_{y,w}$) に達する場合。b) これより先に最上段の有効補剛材が極限強度に達する場合。以上の2通りがある。(図4)

結言 今回、2本の縦補剛材を有する箱形断面部材が中心軸圧縮力を受ける場合について補剛材の最適剛比を求め実用的な値が得られた。同様に、現在曲げを受けるプレート・ガーダーの最適剛比についても上記のプレート・ガーダーの曲げ耐荷力式を用いて計算中であり当日発表できればと思っている。

参考文献

- 1) 三上市蔵、大谷孝彦、武田八郎：多数の補剛材を有するプレート・ガーダーの曲げ強度算定法、橋梁と基礎 Vol.17 NO.1 1983-1 pp.32-38
- 2) 福本晴士ら：座屈設計ガイドライン、土木学会 1987 pp.161-234
- 3) 吉野精二：第43回年次学術講演会講演概要集第1部、1988 pp.260-261
- 4) 薄板構造の強度と設計に関する調査研究グループ編：薄板構造の強度と設計に関する調査研究、1988

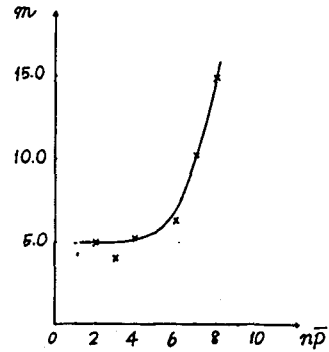


図3. 荷重パラメータ $n\bar{p}$ と最適剛比 m の関係

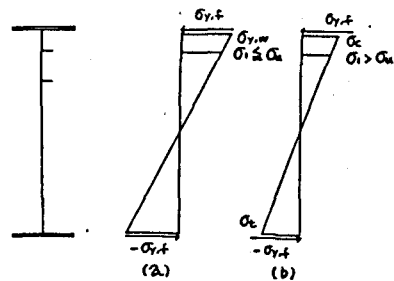


図4. 極限状態における応力分布