

I-57

最適設計から求められる補剛材の最適剛比

清水建設㈱ 正員 ○浅野 清
名古屋大学 正員 宇佐美勉

1. 緒言 補剛板縦方向補剛材の必要剛比および配置は、従来から線形座屈強度を最大にするという観点から定められてきたが、研究では、それを最適設計（最小重量設計）の観点から定める一手法について述べる。

2. 簡易強度計算法の手順 本研究では強度計算にあたり座屈した板パネルには有効幅を用いている。昨年、等間隔に補剛材を配置した補剛板について文献3)で述べたので、ここでは不等間隔に補剛材が配置された場合の例としてプレートガーダーについて述べる。まず図1のような不等間隔に補剛材が配置されたプレートガーダーが曲げを受ける場合、極限状態では板パネル中央部で局部座屈による応力の欠損が見られるのでこれを有効幅を用いて図のように近似する。また補剛材と板パネルの有効部分からなる有効補剛材については柱として強度を求め、プレートガーダー全体についてはこのような有効断面を用いて、強度を求める。そこで極限状態としてはウェブの上端あるいは下端板パネルが降伏応力に達する場合とウェブ最上段の有効補剛材が柱としての極限強度に達する場合、以上の2通りを考える。この簡易強度計算法を用いて土木研究所の実験値と比較を行う。図2は縦軸に実験値を降伏モーメントで除した値 $(M_u/M_y)_{test}$ を、横軸には計算値を降伏モーメントで除した値 $(M_u/M_y)_{comp}$ を取っている。なお図には比較のため、同様の供試体に対する三上の計算値⁴⁾も示す。図より今回の計算値は実験値に対して非常に精度のよい解が得られ、三上の計算値と比較しても実験値に近い値が得られていることがわかる。

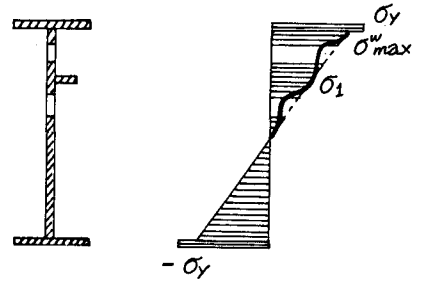


図1.有効幅による応力の近似

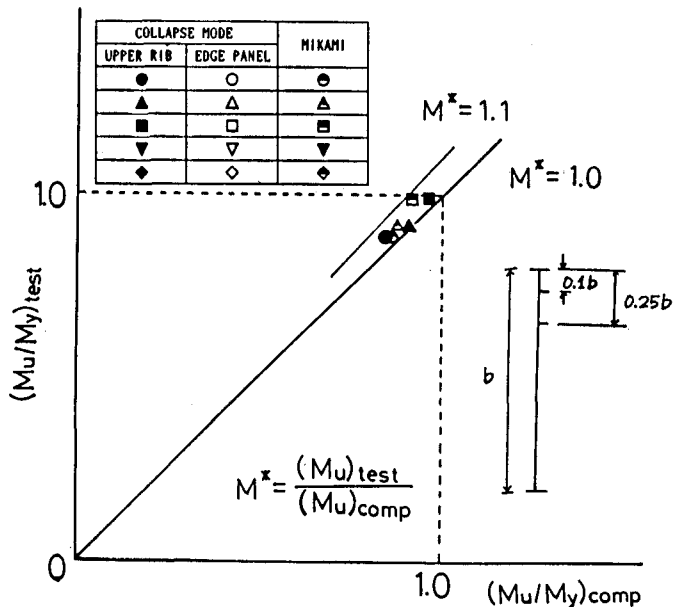


図2.実験値（土木研究所）と計算値の比較

3. 中心軸圧縮正方形箱形断面部材の補剛材最適剛比

定式化 以下に述べる条件、仮定のもとで補剛材付き板を構成要素とする中心軸圧縮柱の最適設計を考える。

- 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、フランジともに等間隔に配置された等しい補剛材を有し、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： $F = AL \rightarrow \min.$ （重量最小化）

制約条件： $g_1 = R - 1.2 \leq 0, g_2 = L/r - 120 \leq 0, g_3 = P - P_u \leq 0$

$g_4 = R_s - 0.7 \leq 0, g_5 = 8 - t_s \leq 0, g_6 = 8 - t \leq 0$ （ただし g_5, g_6 は case2 のみ）

設計変数： $\{X\}=\{b, t, b_s, t_s\}$

ただし、 R_s =補剛材で囲まれたサブパネルの幅厚比パラメータ、 R_s =補剛材の幅厚比パラメータ、 L/r =細長比。

$$P_u = Q \sigma_v A \quad (\bar{\lambda} \leq 0.2)$$

$$= (1.109 - 0.545 \bar{\lambda}) Q \sigma_v A \quad (0.2 < \bar{\lambda} \leq 1.0)$$

$$= Q \sigma_v A / (0.773 + (\bar{\lambda})^2) \quad (1.0 < \bar{\lambda})$$

Q =柱断面の短柱としての強度、 $\bar{\lambda} = \sqrt{Q} \bar{\lambda}$,

$\bar{\lambda}$ =細長比パラメータ。

4. 結果および考察 図3に示すように補剛材を2本として最適設計を行った。計算はcase1として板厚制限がない場合と、case2として板厚制限（8mm以上）のある場合の2通りについて行った。

その結果を図4に示す。図4は縦軸にそれぞれ補剛材剛比と道路橋示方書縦方向補剛材必要剛比の比 m 、板パネルの厚さ t 、補剛材の断面積 A_s を、横軸に荷重パラメータ $\bar{P}$ をとる。ここに $\bar{P} = P \alpha \sqrt{\beta} / (4 \sigma_v L^2)$ である。図よりcase1の場合、 $\bar{P}$ の全領域において補剛材の最適剛比は道路橋示方書で定められた値（すなわち $m=1.0$ ）よりも大きい値が最適解に得られた（ $m=3 \sim 19$ ）。これはこれまでの道路橋示方書の設計法では荷重が増大すればフランジ、ウェブの板幅が増大するのに伴い座屈を防ぐために板厚も厚くするのに対し、最適設計においては板厚を厚くするよりも、その分、補剛材の断面を大きくすることで荷重を負担した方が経済的であることを示している。しかし荷重増分に対しすべて補剛材を大きくした方が経済的とは言えず、例えばcase1で $\bar{P}=2$ から $\bar{P}=3$ に荷重が大きくなる場合、板厚はそのまま補剛材の断面積を大きくしたものが最適解となっており、このような場合には m の値も大きくなっている。しかし $\bar{P}=3$ から $\bar{P}=4$ では板厚をそのまま補剛材を大きくするよりも、むしろ補剛材の断面積はあまり大きくしないで板パネルの厚さを大きくした方が最適となっている。そして板厚が大きくなった分 m の値は小さくなっている。また板厚の下限値を設けたcase2の場合も同様に、 $\bar{P}=1 \sim 8$ ではすべて板厚が下限値8mmの場合が最適解となり、補剛材の断面を大きくすることで荷重の増分に対処している。そのため $\bar{P}=1 \sim 8$ の領域では m の値は常に大きくなっている。

5. 結言 今回、補剛箱形断面長柱が中心軸圧縮力を受ける場合について最適設計を行い、板パネルには薄板要素を用い、代わりに補剛材の剛比を高めた場合に最も経済的に設計を行えることがわかった。なお補剛材が不等間隔に配置された場合の最適設計については、講演当日発表する。

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)福本嘯士ら：座屈設計ガイドライン、土木学会 1987 pp.161-234

3)吉野精二、宇佐美勉：第43回年次学術講演会講演概要集第1部、1988 pp.260-261

4)三上市蔵ら：薄板構造の強度と設計に関する調査研究、1988

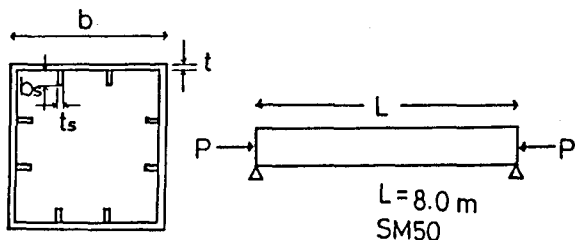


図3.中心軸圧縮力を受ける補剛箱形断面長柱

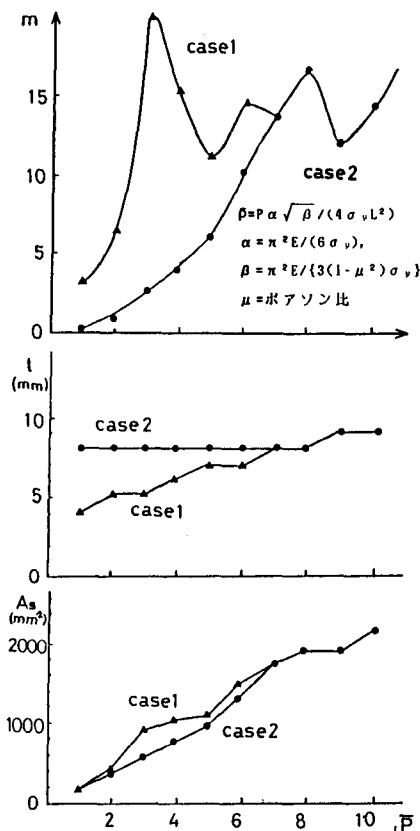


図4.荷重パラメータ $\bar{P}$ と断面諸量