

第I部門 ストライプパネル桁の提案

大阪大学工学部 学生員 ○佐藤 純
 大阪大学大学院 正会員 大倉 一郎
 大阪大学大学院 正会員 石川 敏之

1. 研究背景

近年、世界中で環境問題が大きく議論されており、省エネルギー化、省資源化、CO₂の削減が主な課題となっている。建設業においては、多くの材料を使って部材を製作し、施工や部材の運搬に多くのエネルギーを使い、CO₂を排出している。部材を軽量化することができれば、施工や運搬に必要なエネルギーや排出ガスの量を減らすことができ、同時に省資源化にもなる。他方、近年の日本は少子高齢化社会になりつつあり、建設現場の労働者も高齢化が進んでいるので、作業効率や安全性の低下が考えられる。部材が軽量化されれば、人力での運搬や設置を容易にし、作業効率や安全性の向上も期待できる。防災においても、軽量化は有益であり、既存の構造物を軽量化部材で置き換えることにより、地震時の慣性力を低減し、耐震性を高めることができる。このような背景から本研究では、部材を軽量化する手法について考える。

2. ストライプパネルの着想

桁が大きな曲げを受けると、上フランジが横倒れ座屈を起こす。しかし、ウェブが薄いと、上フランジが横倒れ座屈を生じる前にウェブが板座屈を起こす。そこでウェブを薄肉化する際、従来はウェブの圧縮側にリブを設けることにより座屈強度を高めていた。この場合、ウェブが座屈するとき、リブが節となって変形する。本研究ではリブに比べて小さな突起を設ける。突起はリブに比べて剛性が小さいので、節とならずにウェブの変形に合わせて移動する。しかし小さな突起を一つ設けただけでは、リブほどの座屈強度を高める効果はない。そこで複数の突起を等間隔に設けることにより、リブと同等以上の効果が期待できる。このパネルを正面から見るとストライプ柄に見えるので、これをストライプパネルと呼ぶ。

従来の補剛桁には水平補剛材と垂直補剛材が設けられており、それぞれ板座屈、せん断座屈に抵抗している。図-1 に示すストライプパネル桁では、突起が水平補剛材に代わって板座屈に抵抗する。突起によってウェブが小さく区切られることにより、せん断座屈にも抵抗することが期待できるので、垂直補剛材を省略することが考えられる。そのため、鋼桁では溶接の自動化が容易となり、アルミニウム桁では強度の高い 6000 系アルミニウム合金の使用が可能となる¹⁾。このストライプパネルによって、桁の断面積を減らせる可能性を明らかにする。

3. ストライプパネルの理論

曲げを受ける突起無し長方形板の座屈強度および図-2 に示すストライプパネルの座屈強度はそれぞれ次式で与えられる。

$$\sigma = k_0 \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\beta_0^2} \quad (1)$$

$$\sigma = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\beta^2} \quad (2)$$

ここに、 $k_0 = 23.9$: 突起無し長方形板の座屈係数、 $k = 10.62(1 + 1.25\sqrt{1 + s\gamma}) / (1 + s\delta)$: ストライプパネルの座屈係数²⁾、 $s = b/b_1$ 、 $\gamma = 4(1-\mu^2)\beta_r^3 \xi^4 / (s\beta_1)$ 、 $\beta_r = b_r/t_r$: 突起の幅厚比、 $\xi = t_r/t$ 、 $\beta_1 = b_1/t$ 、 μ : ポアソン比、

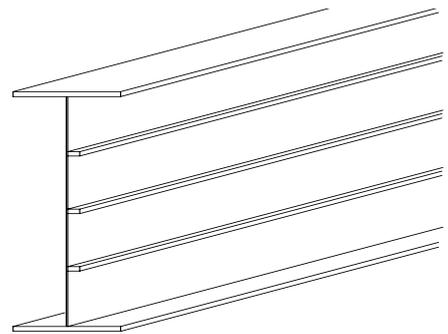


図-1 ストライプパネル桁

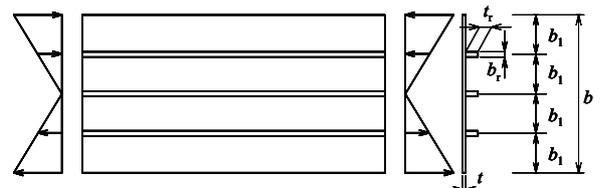


図-2 曲げを受けるストライプパネル

$\delta = b_r t_r / (bt)$, E : ヤング率, $\beta = b/t$: ストライプパネルの幅厚比, $\beta_0 = b/T$, T : 突起無し長方形板の板厚.

式(1)と式(2)を等しく置いて, ストライプパネルが, 突起無し長方形板と同じ座屈強度を持つようにする. このとき突起無し長方形板に対するストライプパネルの断面積比 η が次式で与えられる.

$$\eta = \left\{ 1 + \frac{(s-1)\beta_r \xi^2}{s\beta_1} \right\} \sqrt{\frac{2.25 \left(1 + \frac{\beta_r \xi^2}{\beta_1} \right)}{1 + 1.25 \sqrt{1 + \frac{4(1-\mu^2)\beta_r^3 \xi^4}{\beta_1}}} } \quad (3)$$

例として, 鋼種 SM490Y で $\beta_0 = 123$ の, 突起無し長方形板にストライプパネルを適用した場合の, 断面積比 η と幅厚比 β の関係を図-3 に示す. ストライプパネルの突起の幅厚比は $\beta_r = 14$ である. この図からわかるように, ストライプパネルは, 突起無し長方形板に比べて断面積を小さくできる.

4. 桁への適用

ストライプパネルをウェブに適用すると, ウェブの断面積が減るので桁全体の断面二次モーメントが小さくなる. そこで, フランジ幅を大きくすることにより, ストライプパネル桁の断面二次モーメントを突起無し長方形板桁の断面二次モーメントと等しくする必要がある. この場合, ストライプパネル桁の断面積が突起無し長方形板桁の断面積より小さくなるか否かを調べる.

突起無し長方形板桁の断面積 A_0 とストライプパネル桁の断面積 A は, それぞれ次式で与えられる.

$$A_0 = bT + 2b_f t_f \quad (4)$$

$$A = bt + 2b_f t_f + (s-1)b_r t_r \quad (5)$$

鋼種 SM490Y で, 図-4 (a) に示す突起無し長方形板桁と図-4 (b) に示すストライプパネル桁の断面二次モーメントを等しく置いた場合の, 断面積比 $\phi = A/A_0$ と幅厚比 β の関係を図-5 に示す. ストライプパネルの突起の幅厚比は $\beta_r = 14$ である. この図からわかるように, ストライプパネルを桁に適用し, 断面二次モーメントを突起無し長方形板桁の断面二次モーメントと等しくするためにフランジ幅を大きくした場合に対しても, 突起無し長方形板桁の断面積より小さくできる.

参考文献

- 1) 大倉一郎・萩澤亘保・花崎昌幸：アルミニウム構造学入門, 東洋書店, pp.31~57, 2006.
- 2) 大倉一郎・北村幸嗣・赤碕圭輔・卯瀧高久・ビッグラズロ ゲルゲリ・三河克己：新しいアルミニウム合金製補剛桁の提案, 構造工学論文集Vol.51A, pp.203~210, 2005.

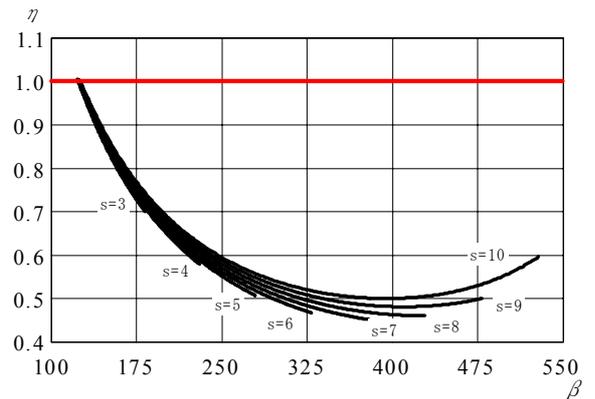
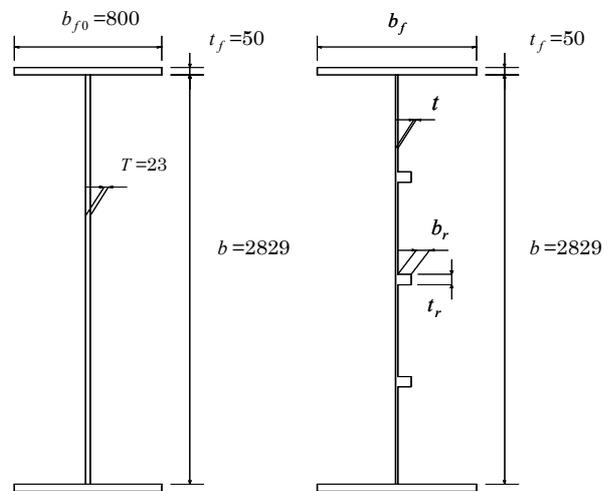


図-3 η - β 関係



(a) 突起無し長方形板桁 (b) ストライプパネル桁

図-4 桁の寸法

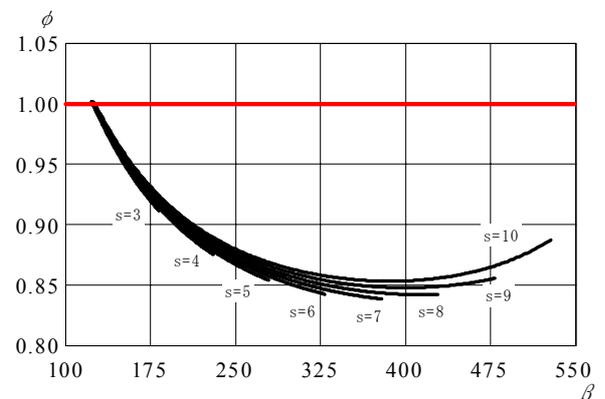


図-5 φ - β 関係