

アルミニウム合金材の特徴を活かした新しい補剛桁の提案

Hitz 日立造船㈱ 正会員 ○北村 幸嗣 大阪大学大学院 正会員 大倉 一郎
 ブダペスト工科・経済大学 学生員 Vigh Laszlo Gergely 大阪大学大学院 学生員 卯瀧 高久
 Hitz 日立造船㈱ 正会員 三河 克己

1. はじめに

アルミニウム合金は新幹線車両、船舶、近年は自動車、建築の構造体として用いられている。アルミニウム合金を橋梁に適用した場合、その軽量性（密度が鋼の 1/3）から、地盤耐力が弱い場所での架橋、既設上部工のアルミニウム合金製橋への架替えによる地震荷重の低減、工事作業性の向上、また、その耐食性の良さから、再塗装が困難な場所や海浜地区での架橋等において有利であると考えられる。これまで国内でいくつかのアルミニウム合金製橋梁が建設されているが、そのほとんどが歩道橋である。また、それらの設計法は道路橋示方書に準じており、鋼材をアルミニウム合金に置き換えただけといった感は否めない。今後、本格的なアルミニウム合金製橋梁を実現していくためには、アルミニウム合金材の特徴を活かした合理的な設計法が望まれる。本研究では、アルミニウム合金材の特徴をいかした補剛桁構造を提案し、その設計式を導出し、さらに実験によりその妥当性の検証を行っている。ここではその概要を紹介する。

2. 新しいアルミニウム合金製補剛桁

道路橋示方書に準じた現状のアルミニウム合金製補剛桁は、ウェブとなるアルミニウム合金プレートに水平補剛材および垂直補剛材をすみ肉溶接で接合することにより製作される。この方法による問題点は、溶接による熱影響部の強度低下とひずみ変形、ウェブ厚・補剛材厚の増大によるコストアップ等である。

さて、アルミニウム合金材は、押出形材による比較的

自由な断面で長尺材の製造が可能であり、また、ひずみ変形が小さい摩擦撹拌接合（FSW）による接合が可能である。これらの特徴をいかした新しい補剛桁構造として、図 1 右に示すように T 型断面の長尺の押出形材を FSW を主として必要に応じて MIG 溶接やアルミニウム合金製ボルト・リベットにより接合して製作する補剛桁を今回提案する。新しい補剛桁は、従来型とは異なり、複数の等間隔に配置される水平補剛材のみを有し、垂直補剛材は設けない。仕上がり形状は単純であるが、この方法により従来型に比べて、製作における省力化を図りながら、ひずみ変形が小さく、また、少ない材料によりアルミニウム合金製補剛桁が実現できると考えられる。

3. 座屈理論解と設計式

複数の等間隔に配置された水平補剛材を有する補剛板に対しては、現行の設計式は適さないため、新たに座屈理論解を求めて設計式を導出する。まず、図 2 に示すように、純曲げが作用する場合、純せん断が作用する場合のそれぞれについて理論解を求める。

純曲げが作用する場合のたわみを

$$w = \sin \frac{m\pi x}{L} \left(A_1 \sin \frac{\pi y}{b} + A_2 \sin \frac{2\pi y}{b} \right) \quad (1)$$

と仮定する。エネルギー法から全体座屈の座屈係数は、

$$k_{gb} = 10.62(1 + 1.25\sqrt{1 + s\gamma}) / (1 + s\delta) \quad (2)$$

ここで、 s : パネル数、 $\gamma = EI / (Db)$: 曲げ剛性比、 $\delta = A_1 / (bt)$: 断面積比。細長比パラメータは、

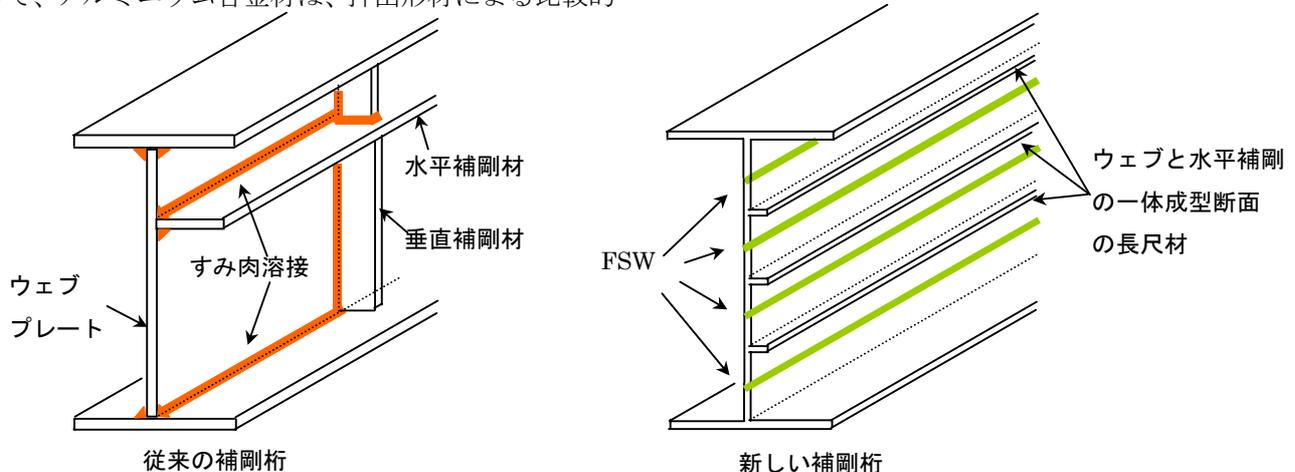


図 1 従来型および提案するアルミニウム合金製補剛桁構造

キーワード アルミニウム合金、押出形材、摩擦撹拌接合、補剛桁

連絡先 〒551-0022 大阪市大正区船町 2-2-11 Hitz 日立造船㈱技術研究所 北村幸嗣 kitamura_k@hitachizosen.co.jp

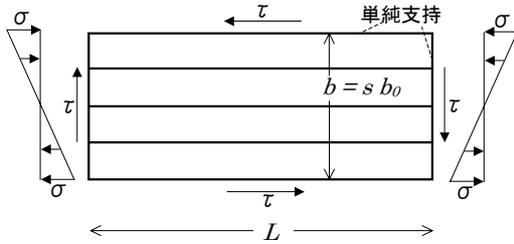


図2 解析対象の補剛板

$$R = \sqrt{12(1-\nu^2)/k_{gb}} \sqrt{\sigma_Y/E} \beta / \pi \quad (3)$$

ここで、 β は幅厚比。一方、最上段パネルが局部座屈する場合の座屈係数は、

$$k_l = 8.4s^3 / (2.1s - 2) \quad (4)$$

限界細長比パラメータは、

$$R_{cr} = \sqrt{12(1-\nu^2)/k_l} \sqrt{\sigma_Y/E} \beta_{cr} / \pi \quad (5)$$

ここで、 β_{cr} は局部座屈時の幅厚比。全体座屈と局部座屈が同時発生する条件 $R=R_{cr}$ から必要補剛材比 γ^* は、

$$\gamma^* = \frac{1}{s} \left[\left\{ \frac{s^3(1+s\delta)}{3.161(1.05s-1)} \left(\frac{\beta}{\beta_{cr}} \right)^2 - 0.8 \right\}^2 - 1 \right] \quad (6)$$

$\gamma < \gamma^*$ のとき全体座屈、 $\gamma > \gamma^*$ のとき局部座屈となる。

次に、純せん断が作用する場合のたわみを

$$w = A \sin \frac{m\pi(x-\theta y)}{L} \sin \frac{\pi y}{b} \quad (7)$$

と仮定する¹⁾。エネルギー法から全体座屈の座屈係数は、

$$k_{gs} = 3.78 \sqrt{1 + 0.81 \sqrt{1.52 + \gamma s}} \quad (8)$$

以上をもとに、曲げとせん断が作用する場合の座屈条件として以下の式を提案する。設計の方針は、曲げに対しては最上段パネルの局部座屈、せん断に対しては全体座屈するものとする。

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2 \leq 1 \quad (9)$$

ここで $\sigma_{cr} = k_l \sigma_e$ 、 $\tau_{cr} = k_{gs} \sigma_e$ 。一方、材料降伏の条件を以下の von Mises の式により与える。

$$\sigma^2 + 3\tau^2 \leq \sigma_Y^2 \quad (10)$$

座屈条件式(9)と降伏条件式(10)を満たす領域を図示すると、図3の斜線部となる。

4. 実験による設計式の検討

提案した設計式の検証のために実験を行う。提案するアルミニウム合金製補剛桁の製造体制は現在整っていないため、今回は鋼により試験体を製作した(3体)。試験体1は、4点曲げの梁の中央部に、着目する補剛桁を設けて純曲げを作用させるものである(図3上)。試験体2と3は、中央を補剛した3点曲げの梁によりせん断と曲げを作用させるものであり、それぞれフランジ厚が異なり、曲げとせん断の比率が異なる(図3下)。設

計条件は $\sigma_Y = 235 \text{MPa}$ (SM400)、弾性係数 $E = 200 \text{GPa}$ 、 $s = 3$ 、 $R_{cr} = 0.7$ とした。図4に荷重-変位履歴を示す。図5に、各試験体について、曲げとせん断の比率の関係を破線により示し、また、試験の結果得られた応力の履歴と終局強度(☆)を示した。実験の終局強度は設計終局強度の範囲を上回っていることがわかる。応力が降伏条件線を越えているのは実際の材料特性 ($\sigma_Y = 353 \text{MPa}$ 、 $E = 214 \text{GPa}$) が設計時の仮定と異なることによる。

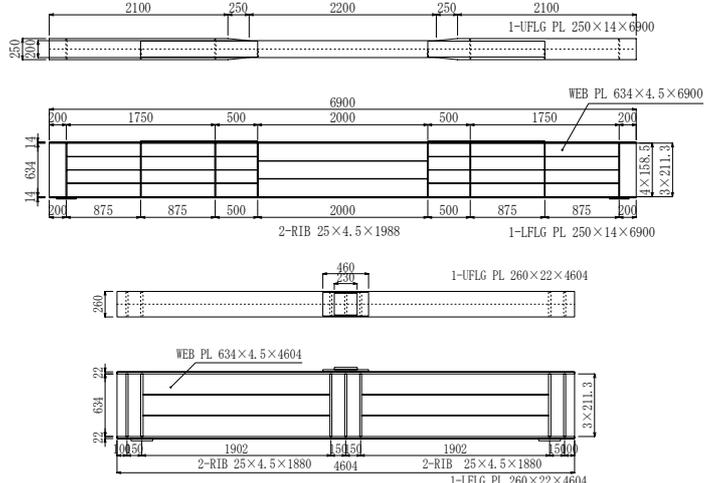


図3 試験体1(上)と試験体2(下)

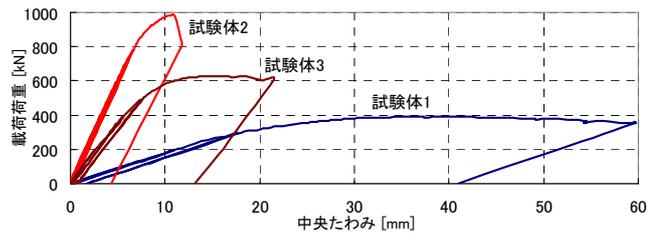


図4 荷重-中央変位履歴結果

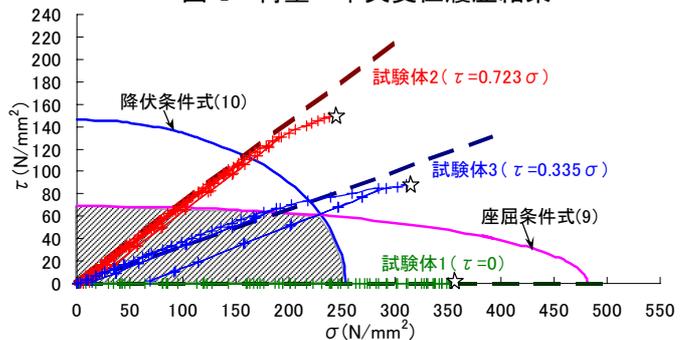


図5 終局強度の設計範囲と実験結果

5. まとめ

- 1) アルミニウム合金材の特徴を活かした補剛桁構造を提案した。
- 2) その強度設計式を導出した。
- 3) 今回の実験の範囲では、提案式は安全側の終局強度を与えることを確認した。

今後はアルミニウム合金を用いた供試体による実験を行い、提案式の妥当性を検討する予定である。

謝辞 本研究は大阪大学 阪大フロンティア研究機構の助成を受けました。また、石川敏之氏(阪大博士課程)には実験に多大なご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献 1) Timoshenko : Theory of Elastic Stability, 1963