

1. はじめに

近年、軽量で耐食性に優れるアルミニウム合金が注目され、アルミニウム歩道橋や道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼桁橋が建設されている。さらに、道路橋用アルミニウム床版を支える鋼桁もアルミニウム合金で製作することにより、橋全体のメンテナンスフリー化、さらなる軽量化が期待される。

アルミニウム歩道橋の桁の設計は、図-1 に示すように、鋼桁の構造形式と同じで、A5083-O の圧延板を MIG 溶接で接合して製作されるが、設計荷重の大きい道路橋には、0.2%耐力の高い A6061-T6 などの 6000 系アルミニウム合金の使用が必須である。しかし、6000 系アルミニウム合金は熱処理によって 0.2%耐力が高められているので、接合部の 0.2%耐力は母材のその約半分まで低下する。したがって、6000 系アルミニウム合金で、図-1 に示す桁を製作した場合、垂直補剛材を連結する位置で接合線がウェブを横断するために、この位置で桁の強度が低下する。そこで、図-2 に示すような、T 型断面の押出形材を摩擦攪拌接合(FSW)によって突合せ接合し、等間隔に突起を配置したアルミニウム桁が提案された¹⁾。

図-2 に示す、アルミニウム桁の設計法を確立するために、既往の研究²⁾では、アルミニウム長方形板の圧縮耐荷力や曲げ耐荷力について研究がなされた。

本研究では、面内せん断を受けるアルミニウム長方形板の耐荷力を明らかにし、その耐荷力曲線を提案することを目的とする。

2. 解析モデル

解析対象は、周辺単純支持された、縦横比 α が 1 以上の長方形板である。考慮するアルミニウム合金は、A6061-T6, A6005C-T5, A5083-O である。境界条件を図-3 に示す。 u, v はそれぞれ x, y 軸方向変位である。長方形板の上辺に水平方向に強制変位を与え、他の辺の長さ方向の変位を拘束することにより、せん断変形を導入する。全辺に対して、長さ方向に対して直角方向の変位

を自由とする。

応力-ひずみ関係を次式で与える³⁾。

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^n \quad (\sigma \leq \sigma_{0.2}) \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_{0.2} \quad (\sigma > \sigma_{0.2}) \quad (2)$$

ここに、 E : ヤング係数(=70GPa), $\sigma_{0.2}$: 0.2%耐力, n : ひずみ硬化パラメータ。アルミニウム合金の $\sigma_{0.2}$ と n の値を表-1 に示す。表中の $\sigma_{j0.2}$ と n_j は、それぞれ、接合部に対する 0.2%耐力とひずみ硬化パラメータの値である。初期たわみに対して次式を仮定する。

$$w_0 = (b/250) \sin(m\pi x/a) \sin(\pi y/b) \quad (3)$$

ここに、 m : せん断座屈のモード数

接合位置と強度低下の範囲を図-4 に示す。6000 系アルミニウム合金では、図の斜線部分が強度低下を起こす。



図-1 従来のアルミニウム桁

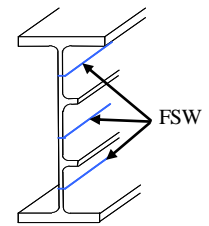


図-2 新しいアルミニウム桁

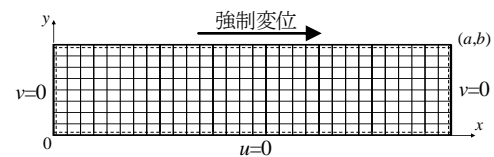


図-3 境界条件

表-1 0.2%耐力とひずみ硬化パラメータの値

アルミニウム合金	母材		接合部			
	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	n	MIG溶接		FSW	
			$\sigma_{j0.2}$ (MPa)	n_j	$\sigma_{j0.2}$ (MPa)	n_j
A6061-T6	245	29.1	108	5.3	108	5.3
A6005C-T5	175	29.1	98	5.3	98	5.3
A5083-O	127	5.3	127	5.3	127	5.3

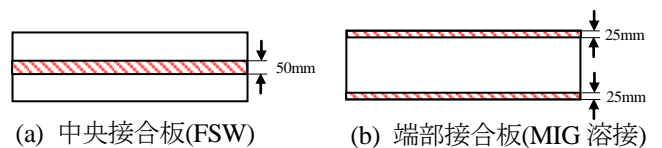


図-4 接合位置と強度低下の範囲

図-4 の各接合板に対して、一様な引張残留応力 $\sigma_r = \sigma_{j0.2}$ を斜線部分に、これと自己平衡を取るように、一様な圧縮残留応力 $\sigma_{rc} = 50 \sigma_{j0.2} / (b - 50)$ (b の単位 : mm) を斜線部分以外に与える³⁾。

3. 接合部の強度低下が耐荷力に与える影響

A6061-T6 の中央接合板の $\tau_u \tau_{0.2} - \beta$ 関係を図-5 に示す。 $\tau_{0.2} = \sigma_{0.2} / \sqrt{3}$, $\beta = b/t$ であり、 t は板厚である。縦横比は $\alpha = 6.5$ である。 $\tau_u \tau_{0.2}$ の上限は 0.44 であり、これは、 $\tau_{j0.2} \tau_{0.2}$ の値である。したがって、接合板の耐荷力の上限は、接合部の 0.2%せん断耐力である。板幅が小さくなると、接合板の耐荷力は強度低下評価モデル F (長方形板の全領域に摩擦攪拌接合部の応力一ひずみ関係を与えたモデル) の耐荷力に近づくが、これを下回ることはない。端部接合板に対しても、同様の結果が得られる。

4. 増厚接合板の耐荷力

強度低下を起こす範囲を、次式によって与えられる t_j に増厚することにより、接合部の強度低下を補う。

$$t_j = \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{j0.2}} t \quad (4)$$

増厚接合板の $\tau_u \tau_{0.2} - R$ 関係を図-6 に示す。縦横比は $\alpha = 6.5$ である。増厚接合板の耐荷力は、非接合板のそれを上回る。ここで、 R は次式で定義される。

$$R = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k}} \sqrt{\frac{\tau_{0.2}}{E}} \beta \quad (5)$$

ここに、 μ : ポアソン比 (=0.3), $k = 5.34 + 4/\alpha^2$ ($\alpha \geq 1$) : せん断座屈係数。

5. 耐荷力曲線

本研究の解析結果に基づいて、面内せん断を受けるアルミニウム長方形板の耐荷力曲線として、次式を提案する。

$$\frac{\tau_u}{\tau_{p0.2}} = \begin{cases} 1 & (R_p \leq R_{cr}) \\ \frac{Q_1}{R_p} - \frac{Q_2}{R_p^2} & (R_{cr} < R_p < R_{0.8}) \\ Q_3 \left(\frac{R_{0.8}}{R_p} \right)^{Q_4} & (R_{0.8} \leq R_p) \end{cases} \quad (6)$$

$$R_p = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{k}} \sqrt{\frac{\tau_{p0.2}}{E}} \beta \quad (7)$$

ここに、 $\tau_{p0.2}$: $\tau_{0.2}$ または $\tau_{j0.2}$ であり、 R_{cr} , $R_{0.8}$, Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 の値を表-2 に示す。

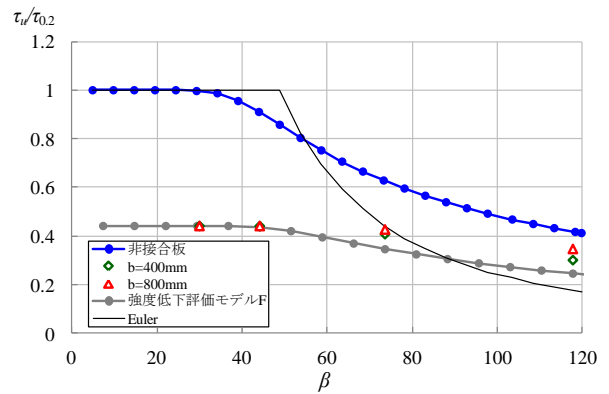


図-5 接合部の強度低下が耐荷力に与える影響

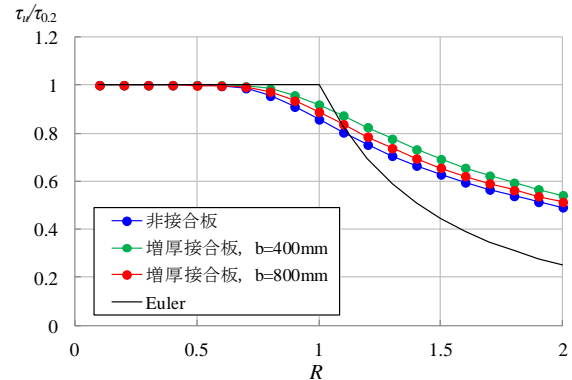


図-6 増厚接合板の耐荷力

表-2 R_{cr} , $R_{0.8}$, Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 の値

アルミニウム合金	非接合板 増厚接合板*	端部接合板 中央接合を有する端部接合板	中央接合板
A6061-T6 A6005C-T5	JA ($\tau_{0.2}$)	JB ($\tau_{j0.2}$)	JC ($\tau_{j0.2}$)
A5083-O	JB ($\tau_{0.2}$)		

* : A5083-O に増厚接合板は適用されない。

記号	R_{cr}	$R_{0.8}$	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
JA	0.63	1.09	1.23	0.38	0.80	0.81
JB	0.53	0.92	1.02	0.26	0.80	0.76
JC	0.53	0.96	1.06	0.28	0.80	0.73

6. 結論

6000 系アルミニウム合金の接合板の耐荷力の上限は、接合部の 0.2%せん断耐力である。増厚接合板の耐荷力は、非接合板のそれを上回る。本研究の成果に基づいて、耐荷力曲線を提案した。

参考文献

- 1) 大倉一郎, 北村幸嗣, 赤崎圭輔, 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.
- 2) 例えば, 大倉一郎, 小笠原康二: 接合位置を考慮したアルミニウム合金板の圧縮耐荷力, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.111-121, 2010.
- 3) 大倉一郎, 長尾隆史, 石川敏之, 萩澤亘保, 大隅心平: 構造用アルミニウム合金の応力一ひずみ関係および接合によって発生する残留応力の定式化, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.789-805, 2008.