

# 一定軸力下におけるアルミニウム製角形パイプの繰り返し弾塑性挙動に関する研究

熊本大学 学生会員 ○橋本 洸平  
熊本大学 正会員 葛西 昭

## 1. 諸言

土木構造物に適用するという観点において、アルミニウム合金は、これまで橋梁の付属品的な用途以外に用いられることはほとんどなかった。しかし、初期コストだけでなく、耐用年数を考慮に入れたライフサイクルコストを重視する傾向から、維持管理コストが少なくすむアルミニウム合金を土木構造物に積極的に活かそうという動きが出ている。最近では、歩道橋や床版<sup>1)</sup>が建設されている。

また一方で、鋼製橋脚は、局部座屈を防ぐために補剛材を適用する、いわゆる補剛断面を用いるが、松村ら<sup>2)</sup>は鋼製橋脚の変形性能を高める補剛形式として、十字型に組んだ鋼製板を配置することを提案し、この橋脚の強度と変形性能特性について検討し、変形性能を有することを明らかにした<sup>2)</sup>。このような構造は、断面形状が箱型の集成であるため、ねじり挙動に対しても通常の補剛箱型断面よりも高い性能を示す可能性がある。

このような状況を受けて、本研究では標準設計の可能なアルミニウム製角形パイプを集成し、箱型断面を有する柱部材を形成させ、これを用いることで土木用構造物に代わる新たな部材の開発を念頭に置いた基礎的な検討を行う。

## 2. 実験

本研究は、アルミニウム製橋脚の強度と変形能を基礎的に検討するものである。これを実験的に把握することを試みる。

本実験では、アルミニウム製橋脚として、押し出し加工による無補剛箱型角パイプを4本集成し、その四隅に溶接を施した橋脚を用いた。図-1に供試体図面を示す。製作には、板厚3.0mmのA6063材を用いた。供試体上下部には、載荷フレームとの接続のため、厚さ25mmのアルミニウム板を取り付けた。試験区間下方にも、厚さ25mmのアルミニウム板がベースプレートとして取り付けられている。ベースプレートは載荷フレームとの接続をするためのものである。

本実験の概要図を図-2に示す。水平方向の載荷には、反力壁に固定したアクチュエーターを用いる。また、鉛直方向の載荷には上部フレームに固定されたアクチュエーターを用いる。2つのアクチュエーターの反力壁・フレームの固定部はピンで固定し供試体の変位に追従できる機構となっている。また、供試体の設置台は、大フレームを4本と小フレームを2本利用し、門型の設置台を組み立てた。また、供試体設置台の横倒れを防ぐために、左右に大フレーム1本、小フレーム5本をつなげた機構にしている。供試体治具と2台のアクチュエーターの固定も、ピン結合で連結し、アクチュエーターが供試体に追従できる機構にした。

供試体の変位を正確にとらえるために、上天板に変位計を水平方向に4台取り付け、供試体の水平変位を測定する。次に上下天板に鉛直方向に変位計を、4台ずつ8台取り付け、上下天板の回転角を求める。下天板水平方向に変位計

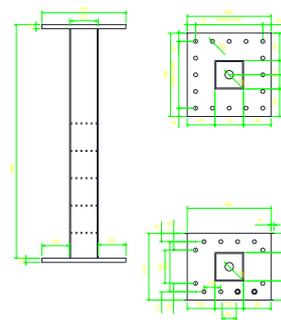


図-1 供試体図

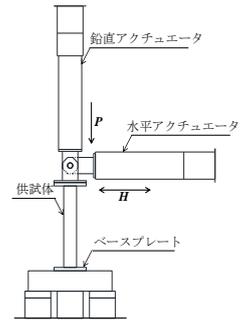


図-2 実験概要図

を4台用いて、計14台の変位計で供試体の動きを把握することとする。

## 3. アルミニウム材の引張試験

使用するアルミニウム板から試験片を製作し、引張試験を行った。塑性ひずみゲージを引張試験片の表裏に貼り付け、データロガーに接続し、測定を行った。試験片は3体準備し、それぞれ同じ条件で試験を行った。

本研究では、応力60~120MPaの範囲内を弾性域とし、弾性域内の応力-ひずみの関係から最小二乗法を適用しその傾きをヤング係数 $E$ とした。また、応力が0でひずみが0.001および0.002の点から決定したヤング係数 $E$ を傾きに持つ直線を引き、この直線と応力-ひずみ関係が交差する点を0.1%耐力 $\sigma_{0.1}$ 、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ とした。さらに、 $0.9\sigma_{0.2}$ を比例限度 $\sigma_0$ とし算出した。上記した計算結果を表-1に示す。本研究ではそれぞれの結果を平均した値を用いることとする。

表-1 引張試験結果

	1本目	2本目	3本目	平均
$E(\text{GPa})$	60.0	63.7	63.2	62.3
$\sigma_{0.1}(\text{MPa})$	191	189	190	190
$\sigma_{0.2}(\text{MPa})$	195	193	194	194
$\sigma_0(\text{MPa})$	175	174	175	175

## 4. 載荷方法

実験の供試体をはり要素を用いてモデル化し、実験を制御する水平変位をPushover解析により算出した。なお、解析には汎用有限要素解析プログラムABAQUS<sup>3)</sup>を用いる。なお、事前解析では板厚が3mmの無補剛箱型断面による簡易的なモデルとした。また、構成則として、Ramberg-Osgood式<sup>4)</sup>に基づいた応力-ひずみ関係を用いた。

引張試験の結果から決定した比例限度 $\sigma_0$ とヤング係数 $E$ より比例限度ひずみを求め、その値をそれぞれプロットすることで降伏変位、降伏荷重を求めた。ここで降伏ひずみ $\epsilon_y$ となる降伏変位 $\delta_y$ は13.9mm、降伏荷重 $H_y$ は12.7kNである。この降伏変位 $\delta_y$ を基準とし、実験を制御する水平

変位とする。

実験は、供試体上部の治具の載荷点で水平変位を制御することとし、変動変位を繰り返すことで載荷した。載荷方法を、図-3に示す。

図-3は降伏変位 $\delta_y$ を基準として、 $1\delta_y \rightarrow -1\delta_y \rightarrow 2\delta_y \rightarrow -2\delta_y \rightarrow 3\delta_y \rightarrow -3\delta_y$ のサイクルで繰り返し載荷を表すものである。

また、軸力なしのパターンと一定軸力載荷パターンの2つのパターンで実験を行う。

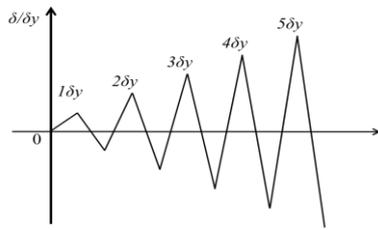


図-3 載荷パターン

### 5. 実験結果と考察

図4軸力なしのパターンの実験結果の荷重-変位曲線を示す。なお、それぞれの軸は降伏荷重と降伏変位で除した無次元化をおこなったものである。実験は4 $\delta$ を折り返す前に供試体から破損する音がしたために中止した。また、表-2は各サイクルの最大荷重，最大変位を示している。この表から2サイクル目の荷重が最大荷重であり、それ以降低下していることがわかる。

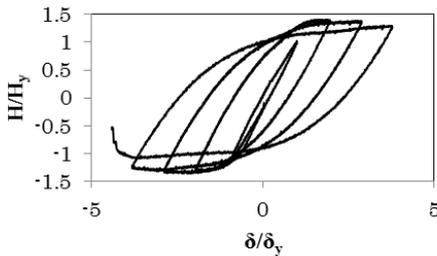


図-4 繰り返し実験時荷重-変位曲線

表-2 各サイクル最大荷重-最大変位

	1 $\delta$	-1 $\delta$	2 $\delta$	-2 $\delta$	3 $\delta$	-3 $\delta$	4 $\delta$	
実験値	荷重	23.4	-27	32.2	-30.4	32	-31.2	30
	変位	13.86	-13.34	27.22	-27.22	40.02	-39.86	52.42

図-5には一定軸力載荷パターンの実験結果の荷重-変位曲線を示す。実験は5 $\delta$ を折り返した後に中止した。また、表-3は各サイクルの最大荷重，最大変位を示している。この表から軸力なしの結果と同様に2サイクル目の荷重が最大荷重であり、それ以降低下していることがわかる。しかし、2つのパターンの結果では、軸力ありの結果の荷重の低下が著しいことがわかる。

また、図-6は実験結果と繰り返し解析の結果のそれぞれの包絡線を示す。本研究では、橋本らの解析モデル(完全十字モデル，接触集成モデル)と比較を行う。丸印でプロットしたものは完全十字モデルを，四角印でプロットしたものは実験結果をそれぞれ示す。繰り返し解析において、弾性域に関しては完全十字モデルと実験結果は同じような挙動をしている。その後は、常に実験結果よりモデルの強度が低いことがわかる。図-7は一定軸力載荷パターンを包絡

線に示したものである。図-6と同様に実験結果と同じような動きをしている。

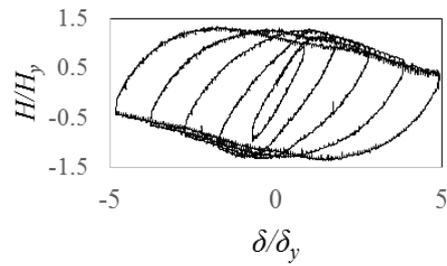


図-5 繰り返し実験時荷重-変位曲線

表-3 各サイクル最大荷重-最大変位

	1 $\delta$	-1 $\delta$	2 $\delta$	-2 $\delta$	3 $\delta$	-3 $\delta$	4 $\delta$	-4 $\delta$	
実験値	荷重	20.2	-19.2	22.8	-22.2	19.4	-18.4	11.8	-12.6
	変位	14.02	-13.59	28.12	-27.73	42.06	-41.44	55.56	-55.01

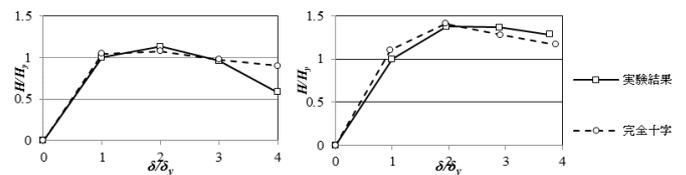


Fig.16 実験と解析結果荷重-変位包絡線

### 6. 結言

アルミニウム部材を構造材料として適用するために、角パイプを集成したものの繰り返し載荷によって実験及び解析を行った。以上の結果から、アルミニウム材の基本的性能の把握を行った。

### 7. 今後の展望

- ・アルミニウム材を橋梁の圧縮部材として用いるための解析を行うためのモデル化を行うこと。
- ・アルミニウムと鋼材の比較を解析で行い、鋼材の代用を行うための検討を行うこと。

### 参考文献

- 1) 土木学会,アルミニウム構造小委員会:アルミニウム合金材の土木構造物への活用に関するシンポジウム,2012
- 2) 松村新也,原岡雅史,岩坪要,山尾敏孝:十字型補剛壁を有する鋼製橋脚の耐震性能に関する研究,構造工学論文集,Vol.47A, pp. 809-818, 2001.
- 3) ABAQUS,Inc ABAQUS Standard User's Manual, 2012
- 4) 大倉一郎,長尾隆史,石川敏之,萩澤亘保,大隈心平:構造用アルミニウム合金の応力-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.
- 5) 橋本洗平,葛西昭:集成したアルミニウム製角パイプを橋脚に適用した場合の基本性能,土木学会西武支部発表会 I-011, pp. 21-22