

Cu-Al-Mn 超弾性合金を用いた残留変形抑止型の構造部材の開発
その1 ねじ継手の設計正会員 ○ 三好 拳*
同 聲高裕治**
同 荒木慶一**超弾性合金 Cu-Al-Mn 合金 ねじ継手
载荷実験 形状回復特性

1. はじめに

超弾性合金は、形状記憶合金の一種であり、負荷時には歪の増加に伴って相変態による見かけの塑性化が生じ、除荷によって元の形状に回復する形状回復特性を有している。本研究では、優れた形状回復特性を示す Ni-Ti 合金とほぼ同程度の機械的性質を有し、さらに素材が安価で加工性に優れた Cu-Al-Mn 合金¹⁾を活用して、残留変形の抑制を意図した構造部材の開発を目指している。本論では、Cu-Al-Mn 合金の棒材を、ねじ継手によって鋼棒などに接合する場合を想定し、ねじ部の力学挙動を载荷実験によって確認することを目的としている。実験では、ねじのかみ合い長さ、ナットの強度をパラメータとして、ねじ部の降伏耐力の実験結果と既往のねじ部の設計式²⁾を比較・考察する。

2. ねじ継手の設計

ねじ継手の設計²⁾では、ねじ部の降伏を防止するために、次式を満たすように設計する必要がある。

$$\min(N_{yb}, Q_{yb}, Q_{yn}) > N_{\max} \quad (1)$$

$$N_{yb} = \frac{\sigma_{yb}}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \pi \quad (2)$$

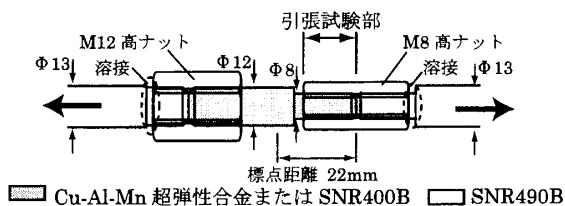


図1 試験体形状

表1 試験体パラメータ一覧および試験体の設計値・実験値一覧

試験体名	実験パラメータ			破壊形式	降伏耐力 (kN)		最大耐力 (kN)	
	かみ合い長さ (mm)	おねじの材質	ナット強度		設計値	実験値	設計値	実験値
15-SMA-4T	15	Cu-Al-Mn 超弾性合金	4T	有効断面引張破断	9.3	14.0	21.4	21.6
8-SMA-4T	8		6T		9.3	13.0	21.4	25.2
8-SMA-6T			SNR400B		9.4	16.8	21.8	26.0
8-SNR-6T					11.1	13.8	16.9	20.5
5-SMA-4T	5	Cu-Al-Mn 超弾性合金	4T	ねじ山せん断破壊	5.7	6.9	13.3	17.6
5-SMA-6T		SNR400B	6T		5.8	9.6	13.4	17.5
5-SNR-6T			10.4		11.3	15.9	16.0	
2.5-SMA-4T	2.5	Cu-Al-Mn 超弾性合金	4T		2.6	5.2	6.0	7.6
2.5-SMA-6T		6T	2.7		4.0	6.2	6.8	

図2 ねじ山の各種寸法

$$Q_{yb} = \frac{\sigma_{yb} \cdot D_1 \cdot \pi \cdot z}{\sqrt{3}} \left\{ \frac{P}{2} + (d_2 - D_1) \tan \frac{\alpha}{2} \right\} \quad (3)$$

$$Q_{yn} = \frac{\sigma_{yn} \cdot d \cdot \pi \cdot z}{\sqrt{3}} \left\{ \frac{P}{2} + (d - D_2) \tan \frac{\alpha}{2} \right\} \quad (4)$$

(1)式の N_{yb} はおねじの有効断面の降伏引張耐力、 Q_{yb} はおねじのねじ山の降伏せん断耐力、 Q_{yn} はめねじのねじ山の降伏せん断耐力、 $N_{\max}$ はねじ継手の設計最大引張軸力である。(2)～(4)式中の記号は図2を参照とする。

3. 実験概要

試験体は、図1に示すように M8 のおねじに高ナット（めねじ）を取り付けたものである。表1に示すようにねじのかみ合い長さ・おねじの材質・高ナットの強度を実験パラメータとしている。おねじの材質は、Cu-Al-Mn 超弾性合金 (SMA) と SNR400B (SNR) とする (表2参照)。ねじのかみ合い長さに応じて、表1に示すように想定される破壊形式が変化する。

実験では、20kN オートグラフを用いて図1の試験体に繰返し引張力を与え、変位振幅を1サイクルごとに図1に示す標点距離の変形を 0.05mm ずつ漸増させる。载荷の変形速度は 0.07mm/min とする。

4. 実験結果と考察

図3に、ねじ部の引張荷重と変形 (図1の標点距離の相対伸び) の関係を示す。図中の○は、荷重-変形関係の接線剛性が弾性剛性の 1/3 まで低下した時点を表してお

表2 素材試験結果一覧

鋼種	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
Cu-Al-Mn 超弾性合金	191	442	—
SNR400B	315	481	41.4

Development of structural members restrain residual deformation using Cu-Al-Mn superelastic alloy

Part 1 Mechanical behavior of screw joint

MIYOSHI Ken, KOETAKA Yuji and ARAKI Yoshikazu

り、これを降伏耐力の実験値と定める²⁾。また、●は最大耐力に到達した時点である。横軸に平行な破線は降伏耐力の計算値、実線は最大耐力の計算値を表している。各試験体の耐力の計算値は、ねじ山の各種寸法の実測値および表2の機械的性質に基づいて算出している。

図3および表1より、すべての試験体で実験結果の降伏耐力および最大耐力は計算結果を上まわっており、本論で提案した設計式は概ね妥当であるといえる。また、全試験体で表1に示す破壊形式と同様の終局状態が確認された。

図4にサイクルごとの負荷による変形増分 δ_d と除荷により回復した変形 δ_r の関係を示す。図3および図4より、超弾性合金は除荷により変形が回復しており、有効断面破断型の試験体は高い形状回復特性を有していることがわかる。特にかみ合い長さ8mmの試験体はナットの強度に関係なく、良好な形状回復特性を示した。ねじ山せん断破壊型の試験体では5-SMA-6Tの形状回復特性が高かったが、それ以外の試験体は有効断面破断型より低い結果を示した。その理由としてナットのねじ山が塑性変形し、残留変形が発生したことが考えられる。一方、鋼材の試験体では、サイクルごとの変形増分とほぼ同量ずつ

残留変形が生じており、図4中のプロットはいずれのサイクルもほぼ同じ値を示している。

図5に各サイクルのエネルギー吸収能力を示す。縦軸は荷重-変形関係より得られた各サイクルの消費エネルギーを最大耐力と変位振幅で除した値である。おねじに鋼材を用いた試験体およびねじ山せん断破壊型のナット強度4Tの試験体では、各サイクルでの残留変形が大きく、消費エネルギーの増加量は微小であるため、変位振幅が漸増するに伴ってエネルギー吸収能力が低下している。それ以外の試験体では、エネルギー吸収能力はほぼ一定値を示している。

5. まとめ

実験結果より、降伏耐力の実験値は設計値を上まわっており、超弾性合金を用いたねじ継手にも既往のねじ部の設計式を適用できることを確認した。有効断面引張破断を先行させるようにねじ部を設計することで、降伏耐力や最大耐力、形状回復特性を高めることができる。このとき、ねじのかみ合い長さはねじ部の直径と同程度にしておけば、ナットの強度に関係なくおねじに用いる超弾性合金の特性を十分に発揮することを明らかにした。

参考文献

- 1) 荒木慶一, 木村寛之, 聲高裕治, 大森俊洋, 須藤祐司: 建築用ダンパー材料としてのCu-Al-Mn超弾性合金の機械的性質, 銅と銅合金 第47巻1号, pp.73-77, 2008.8
- 2) 三田純義, 朝比奈圭一, 黒田李春, 山口健二: 機械設計法, 2000
- 3) 建築研究所, 日本鉄鋼連盟: 鋼構造建築物の構造性能評価法に関する研究, 2002.4

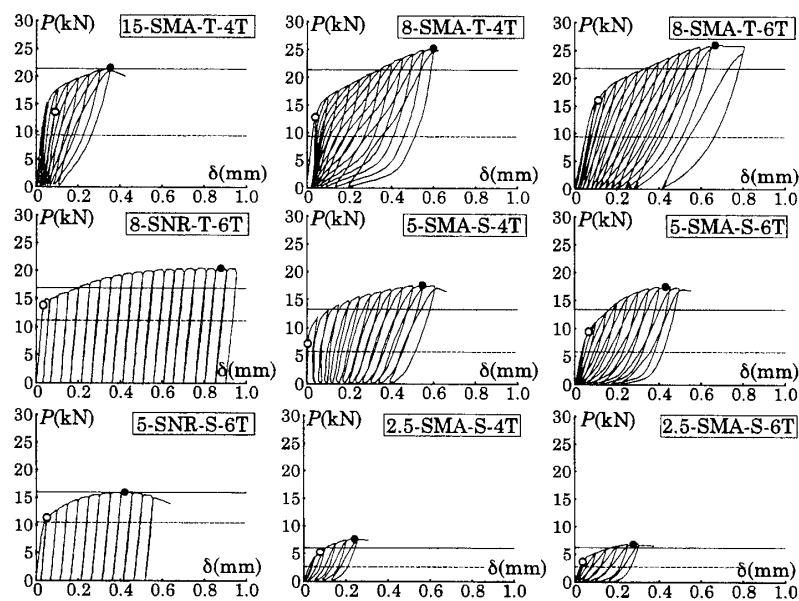


図3 各試験体の荷重-変形関係

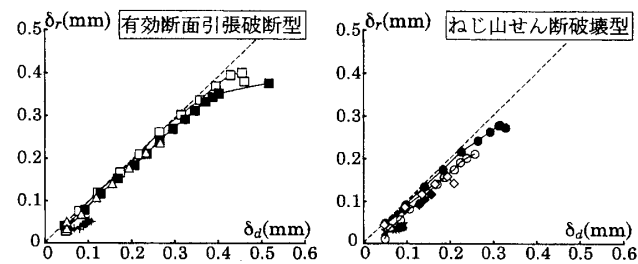


図4 形状回復特性

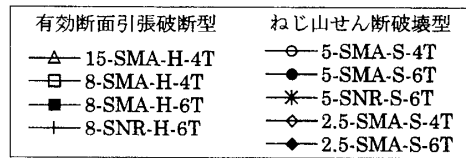


図5 エネルギー吸収能力

*大阪工業大学大学院工学研究科建築学専攻

**京都大学大学院工学研究科建築学専攻

*Major in Architecture, Osaka Institute of Technology

**Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Kyoto Univ.