

主論文の要約

論文題目： 建築構造用Cu-Al-Mn超弾性合金部材の基本特性評価と機械式接合技術の開発

Assessing fundamental properties of Cu-Al-Mn superelastic bars for building structures and development of mechanical splicing techniques

所属： 環境学研究科 都市環境学専攻

氏名： 喜瀬 純男

本論文では、既存の Ni-Ti 合金ではコスト、加工性、温度依存性などの問題のために難しいとされていた、建築構造用耐震部材としての超弾性合金の実用化に向けた諸課題を解決すべく、近年、開発が進められている新しい銅系超弾性合金(Cu-Al-Mn 合金)を対象に、各種基本特性評価と異種部材との機械式接合技術の開発を行った。本論文は以下の 8 章で構成されている。

第 1 章では、緒論として、研究背景および先行研究の課題について述べた。

第 2 章では、形状記憶合金の概要と特性発現のメカニズム、本研究の対象になる Cu-Al-Mn 合金の特徴について述べた。

第 3 章では、疲労特性の検討を行った。既存の銅系形状記憶合金の課題となっていた粒界破壊の抑制効果を検討するために、サイクル熱処理で作製した単結晶と、比粒径(粒径/棒の直径)の異なる多結晶とバンブー結晶の Cu-Al-Mn 合金試料を作製し、繰返し引張疲労試験を行った。得られた応力ひずみ特性線図および試料の表面観察と内部の組織観察から、初期特性については比粒径が 0.2 以下の多結晶の場合は特性が悪いが、比粒径 2 のバンブー結晶と単結晶では良好な特性を得た。繰返し引張サイクル疲労特性は結晶粒界間の拘束力により生じる転位が影響するため、小さい結晶粒が集まっている多結晶は疲労特性が最も悪い。大きい結晶粒の大きいバンブー結晶も初期特性は良好でありながら、繰返し変形による劣化が促進された。一方、単結晶の劣化因子はほぼ残留マルテンサイト相のみのため、最も疲労特性が良好となった。単結晶材は粒界破壊のリスクが回避されるだけでなく、製品として使用される際の繰返し変形の疲労特性にも優れていることが判った。

第 4 章では、耐食性の検討を行った。構造物の耐用年数中に遭遇する可能性のある条件を想定し、10 wt%塩水の噴霧と乾燥、5wt%硫酸、5wt%硝酸、5wt%塩酸の酸性水溶液、5 wt%水酸化ナトリウムのアルカリ水溶液、水道水の浸漬と乾燥を繰り返した環境下での耐食性を検討した。比較材に建築・土木分野で一般的に使用されている SS400 鋼を同じ条件で腐食させた。これらの質量変化、引張強度の変化、腐食した表

面付近の SEM-EDS 観察を調査した。その結果、Cu-Al-Mn 合金は、全ての試薬による腐食環境下で、SS400 鋼と比較して同等もしくは高い耐食性を示した。さらに海水と同等の塩分濃度 3.5wt% 水溶液におけるアノード分極特性を測定した。その結果、Cu-Al-Mn 合金の耐食性が既存の銅系形状記憶合金 Cu-Al-Ni 合金および純銅と同様であり、SS400 鋼よりも優れている結果を得た。

第 5 章では、塑性変形と破壊の結晶方位依存性を検討した。異なる結晶方位を持つ単結晶棒材を対象に、ひずみ 10% までの繰返し引張試験を行い、その後、破断まで単調引張試験を行った。弾性及び超弾性挙動の範囲内では、弾性係数、変態ひずみ、変態臨界応力などの結晶方位依存性の傾向が既往文献と一致することを確認した。塑性変形と破壊においても強い結晶方位依存性が確認された。結晶方位が $\langle 101 \rangle$ に近い場合、延性は不十分または中程度であるが、結晶方位が $\langle 112 \rangle$ 、 $\langle 113 \rangle$ さらに $\langle 001 \rangle$ に近い場合、最大 92% の破断ひずみを伴う非常に高い延性が確認された。結晶の大きな回転とすべり面の縦方向への長距離の伝播が見られたことから、複合的なすべりではなく主すべり系のみの転位の運動により加工硬化が抑制され、高い延性が得られた理由と考えられる。このような非常に高い延性は、特に耐震用途の建築構造材料として有用である。

第 6 章では、鉄筋等の異種部材との機械式接合方法として、熱間ヘッダー加工の実現可能性について検討を行った。ヘッダー加工を両端に施した試験片の引張試験の結果、全ての試験片で破断はヘッダー加工部ではなく軸部で生じ、ヘッダー加工部に十分な強度が有ることが判った。ヘッダー加工部の顕微鏡、SEM、EBSD による組織観察および解析結果から、ヘッダー加工部での破断が起らなかった理由は、ヘッダー加工部と軸部の境界近傍は $\alpha + \beta$ の二相領域とベイナイト相が析出した領域で構成されており、これらの領域の強度が高く脆性破壊しない組織であるためであることを指摘した。

第 7 章では、鉄筋等の異種部材との機械式接合方法として、転造ねじ加工の実現可能性を検討した。Cu-Al-Mn 合金は焼入れ時の不規則な $L2_1$ 構造では、一般の金属ほどではないが塑性変形が可能であり、回転ダイス転造機での転造ねじ加工が可能であることが判った。また、その後の時効処理により優れた超弾性特性が得られることも確認された。さらに、同一の単結晶素材から、同一形状の転造加工ねじと切削加工ねじを持つ棒材試験片を製作し、ひずみ 5% 引張り 500 サイクルまでの疲労試験を行った。切削加工ねじ試験片は全て 500 サイクルに至る前に破断したが、転造加工ねじ試験片は 500 サイクルでも破断しなかった。これらのことから、安価で疲労強度の高い転造ねじ付の超弾性部材の実現可能性を確認した。

第 8 章では、結論として、本研究で実施した実験結果から得られた知見と今後の課題についてまとめた。