

木造軸組工法の CuAlMn 超弾性合金を用いたブレース型耐力壁に関する研究 その2 耐力壁の設計と実験

正会員 ○横山重和* 正会員 喜瀬純男**
 正会員 片岡奈々美* 正会員 荒木慶一***

木造軸組工法 超弾性合金 耐力壁
 ブレース 繰り返し地震動 安全性

1 研究の背景と目的

その1では、CuAlMn 超弾性合金を組み込んだブレースを木造軸組工法の耐力壁とする際に必要となる特性及び設計方法について示した。本報では CuAlMn 超弾性合金の性能を効果的に利用した耐力壁の設計法を示すとともに、実験により耐力壁の性能を確認した。

2 耐力壁の構成

土台梁及び上階床梁に対して四隅に金物をビスで取り付ける。羽子板付きターンバックルブレース(M14)の中間部に長ナットを用いて CuAlMn 超弾性合金を組み込んだ CuAlMn 超弾性合金組込ブレースを四隅の金物に対して対角に取り付け、羽子板と金物のガセットプレートをボルトで接続する。

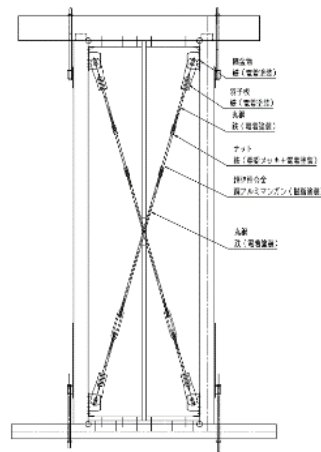


図1 CuAlMn 超弾性合金組込ブレース耐力壁

2.1 CuAlMn 超弾性合金耐力壁のモデル化

CuAlMn 超弾性合金耐力壁は、ブレースを構成する丸鋼剛性 k_s 、合金剛性 k_g 及び取付部材剛性 k_t が直列に接合されたブレース剛性 k_b を水平方向へ変換したばね K_b とフレーム剛性 K_f を並列接続したモデルで表すことができる。合金はバイリニアモデルとし、他の部材は線形モデルとした。

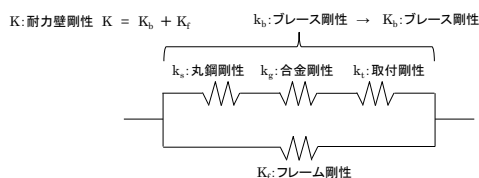


図2 耐力壁のモデル化

予備実験より、フレーム剛性 $K_f=0.03kN/mm$ 及び、取付部材剛性 $k_t=4kN/mm$ を得た。この条件より、耐力壁の目標性能を、壁倍率 2.5 及び変形能力 1/15rad とした時の CuAlMn 超弾性合金の必要長さから、軸長は 250mm とした。

2.2 CuAlMn 超弾性合金仕様概要

耐力壁に用いる CuAlMn 超弾性合金の仕様概要を表1に示す。転造ねじ加工性の点から、軸径は $\phi 12.4mm$ とした。

表1 CuAlMn 超弾性合金 仕様概要

長さ	全長 300mm、軸部 250mm
軸部	$\phi 12.4mm$
降伏応力	206N/mm ² (-15N/mm ² ,+15N/mm ²) : 23℃時
ヤング率	35×10 ³ N/mm ² (-15×10 ³ N/mm ² ,+15×10 ³ N/mm ²)
温度依存性	2N/mm ² /℃
ハードニング歪	5%以上
破断歪	23%以上

2.3 引張力に対する設計

CuAlMn 超弾性合金の降伏応力は、製造精度 $\pm 15 N/mm^2$ 及び温度依存性 2N/mm²/℃より、使用環境の最高温度を 40℃とした場合の最大値は 255N/mm² である。SS400 は JIS 規格品のため基準強度 235N/mm²×1.1=258.5N/mm² 以上となり、想定使用環境の最高温度時でも合金が鋼材の降伏応力を上回らない。CuAlMn 超弾性合金の変形がハードニング歪以上となる領域では、CuAlMn 超弾性合金の応力が鋼材の降伏応力を上回る可能性があるが、その場合には鋼材が塑性化するためブレースの軸力は鋼材の降伏応力により決まり、過度な軸力が生じることはない設計としている。また、四隅の金物については、変形角 1/50rad を 0.5Hz で 200 回繰り返した後も隅金物及びビス接合部に有害な損傷は見られずボルトのゆるみも生じないことを確認している。

2.4 圧縮力に対する設計

CuAlMn 超弾性合金は鋼材よりもヤング率が低く変形しやすいため、ブレース座屈の際には超弾性合金に局所的な変形が生じやすいことから、ブレースに圧縮力がかからない機構とした。接合具の隅金物にあらかじめ溶接された長孔を有した2枚のガセットプレート間に羽子板を設置し、羽子板がスライドする隙間を保ったまま、ボルト及びナットで接合する。耐力壁の変形によりブレースが圧縮される際には羽子板が隅金物のガセットプレートを長孔部でスライドして圧縮軸力が入らない。また、ナットは面外へののがたつきがないようにしたうえで、ダブルナットで緩み止めをする。

4. 木造軸組耐力壁の面内せん断試験

4.1 試験概要

「木造の耐力壁及びその倍率性能試験・評価業務方法書」に従い面内せん断試験を実施した。試験体寸法は梁内高さ 2770mm、柱内法 805mm とし、引張側ブレースの超弾性合金の特性は、降伏応力 192.1N/mm² (23℃)、ヤング率 24.1×10³N/mm²、実験時温度は 20.5℃であった。

4.2 実験結果

耐力壁の荷重-変形角関係を図 3(a)、引張側の CuAlMn 超弾性合金歪を図 3(b)、引張側の丸鋼歪を図 3(c)に示す。1/100~1/75rad 付近で CuAlMn 超弾性合金の降伏がみられ、1/25rad を超えたあたりから、耐力壁の履歴にハードニングが確認できる。1/15rad まで加力時もひずみ計測部では丸鋼は降伏していないが、耐力壁の水平荷重 14kN を超えたあたりから荷重が頭打ちとなっていることから、別の部位で丸鋼が降伏していると考えられる。しかしながら、除荷すると変形は大幅に回復し、CuAlMn 合金の超弾性変形分は復元したことを確認できる。CuAlMn 超弾性合金単体の履歴を確認しても、残留変形は 0.5%を下回る。

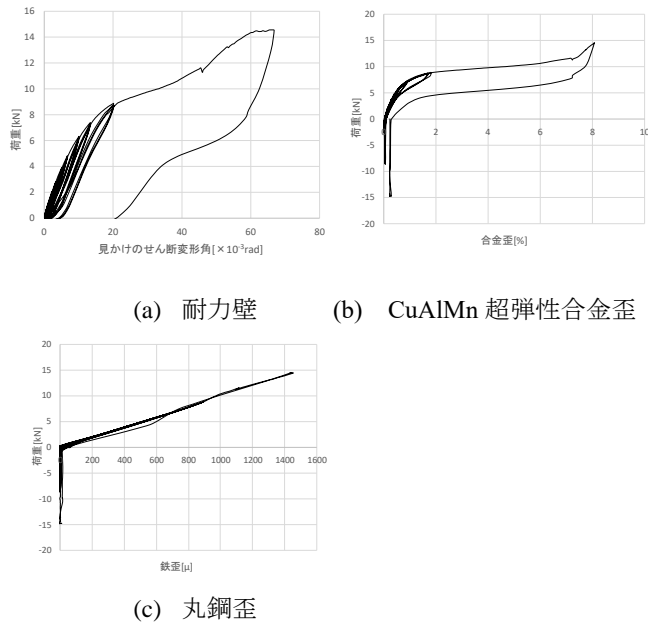


図3 荷重変形関係

耐力壁の性能を示す各値を表 3 に示す。短期基準せん断耐力は、 $0.2 \cdot P_u \sqrt{2\mu - 1}$ で決定した。CuAlMn 超弾性合金歪の実験値は、表 4 に示す通りとなり、1/100rad 付近までは予測値と良好に一致したが、1/75rad 以降に実験値が予測値に対して小さくなっていることを確認した。理由としては、取付部材剛性を線形ばねと仮定しているが、大

変形時には、接合部でのめり込み等により剛性が低下していることと、丸鋼の降伏が考えられる。

表3 耐力壁の各性能値

P_y	$0.2P_u\sqrt{2\mu - 1}$	$2/3(P_{max})$	P_{120}
7.49kN	5.28kN	9.71kN	5.58kN

表4 耐力壁の変形角と合金歪の予測値と実験値

変形角[rad]	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/15
予測値[%]	0.14	0.21	0.32	0.43	0.65	1.23	3.52	20.84
実験値[%]	0.14	0.20	0.30	0.40	0.65	0.94	1.82	8.08

4.3 CuAlMn 超弾性合金の降伏応力の耐力壁性能への影響

CuAlMn 超弾性合金耐力壁の短期基準せん断力は、 $0.2 \cdot P_u \sqrt{2\mu - 1}$ で決定していることから、CuAlMn 超弾性合金の降伏応力が壁倍率に直接的に影響することが分かる。ここで、多少フレームの構成は異なるが、同様に木造耐力壁のブレースとして CuAlMn 超弾性合金を組み込んだ試験結果より、降伏応力と P_u の関係を図 4(a)に示す。 P_u は最大耐力や剛性の影響もあるが、概ね CuAlMn 超弾性合金の降伏応力の一次関数で示すことができる。一方、ヤング率は耐力壁の剛性に影響するが、降伏応力と P_u の関係と比較すると相関が低い。

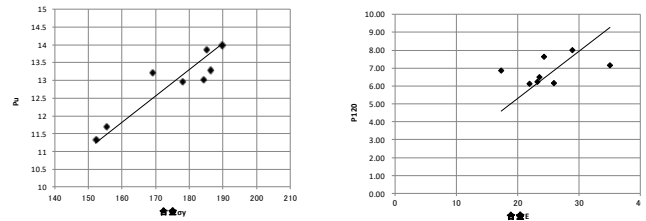


図4 合金特性と耐力壁性能の関係

5 結論

CuAlMn 超弾性合金を組み込んだブレース型木造耐力壁の実験を実施し、挙動とモデル化の妥当性を検証した。

- CuAlMn 超弾性合金耐力壁は、モデルで想定している通り、CuAlMn 超弾性合金の伸びにより耐力壁の変形を負担した。
- 耐力壁の変形角 1/100~1/75rad 付近で CuAlMn 超弾性合金の降伏が生じた。
- 耐力壁のモデル化から求めた合金歪に対して、実験では大変形時の合金の伸びが小さかった。
- 耐力壁の性能は P_y , $0.2P_u\sqrt{2\mu - 1}$, $2/3(P_{max})$, P_{120} のうち、 $0.2P_u\sqrt{2\mu - 1}$ の値で定まることを確認した。
- P_u は CuAlMn 超弾性合金の降伏応力と相関が高く、1次関数で近似することができることを確認した。

*積水ハウス株式会社

**株式会社古河テクノマテリアル

***名古屋大学大学院環境学研究科 教授

*Sekisui House LTD.

**Furukawa Techno Material Co., LTD.

***Nagoya University.