

近代建築における銅板屋根の維持保全

－ はぜ接合部の強度試験 －

日大生産工（院） ○田中 良 日大生産工 永井 香織
日大生産工 大久保 通則 日大生産工 松井 勇

1 はじめに

銅板屋根は経済性・加工性・耐久性に優れ、耐用年数は100年とも言われている。明治以降の近代建築物に多く普及して現在、改修のピークを迎えている。

日本における文化財の指針より、できる限り当時の姿を維持することが求められている。しかし、古い材料の物性や再利用する事例が少ないことを理由に葺き替えられているのが現状である。銅板屋根は施工後から長期間を経て、表面に保護膜として緑青を生成する為、葺き替えを行うと景観が大きく変化する。

さらに職人の減少により新しい技術や材料で修復せざるを得ない状況にあることも新規葺き替えを後押ししている。

本報告では銅板屋根の景観維持と資源の有効利用、技術の保全を目的として耐久性に影響を及ぼす、はぜ接合部の耐力を各種試験により検討した結果を報告する。

2 試験概要

銅板屋根の接合部にみられるはぜは防水及び耐風を維持する為の重要部位である。長期に渡り屋根材として使用すると金属疲労の影響で、はぜがつぶれ易くなり亀裂等を生じさせる。それにより毛細管現

象による漏水を促して防水性能が低下する。この部位の性能が維持することで、屋根材として長期に維持することができる。

近年では、青銅ではなく純銅が使用されていることや施工方法の機械化等で加工方法が変化して、銅板屋根の寿命の低下を促してしまう事例がある。

3.1 はぜの繰返し曲げ試験 (H-1)

3.1.1 目的

伝統工法である一文字葺きや瓦棒葺きの工法を用いたはぜ接合部の繰返し曲げを行い、曲げ疲れによる強度変化を測定する。近年では葺き替え等で異種金属材に置き換えられる事例があることから比較として異種金属材料も同様に試験を行った。

3.1.2 試験体・試験方法

金属板(葺板)80×80(mm)寸法を2枚重ね合わせ、折り曲げた形状の試験体とする。

図1・表1に試験体概要を示す。試験体は銅板(C1220)、ステンレス板(G4304)、溶融亜鉛めっき鋼板(G3302)、ガルバニウム鋼板(G3321)の計4種、サンプル数を3体とした。

試験方法は引張角度を0°とし、AUTOGRAPH(S社製)を用いて試験速度は4mm/minで実施した。試験体

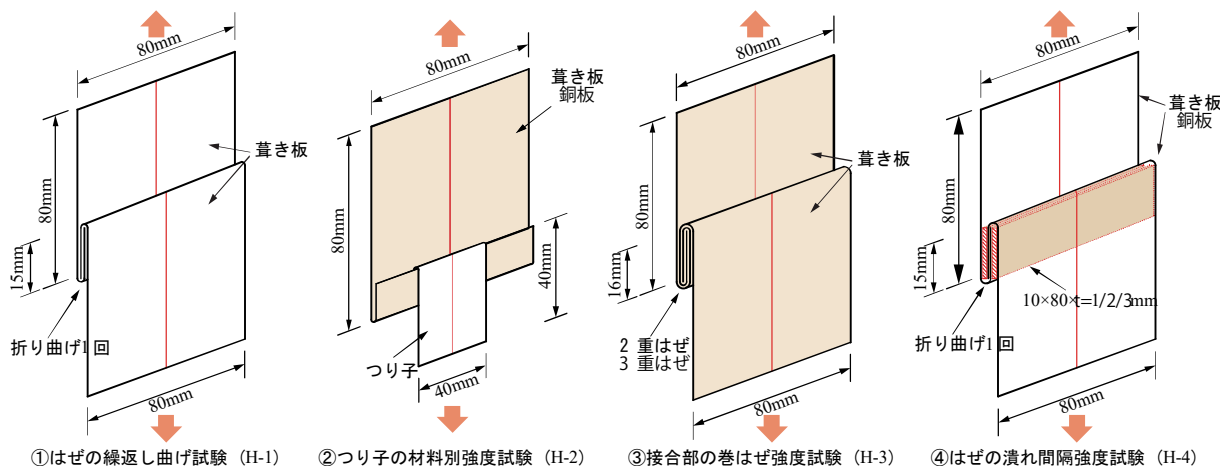


図1 はぜ耐力試験の試験体形状

A study on maintaining integrity of the copper plate roof
in historical modern architecture

－ Strength Evaluation folding of goby junction －

Ryo TANAKA, Kaori NAGAI, Michinori OKUBO, Isamu MATSUI

表 1 各試験 試験体概要

試験名	材種	試験体寸法(mm)		試験体数
はぜの繰返し曲げ (H-1)	リン脱酸銅	葺き板 80×80×15×0.4		3
	ステンレス			
	溶融亜鉛めっき			
	ガルバニウム			
つり子の材料別強度 (H-2)	リン脱酸銅板	つり子 40×40×15×0.4	葺き板 80×80×15×0.4 (リン脱酸銅板)	3
	ステンレス			
	溶融亜鉛めっき			
巻はぜ強度 (H-3)	リン脱酸銅	葺き板 80×80×16×14×0.4(2重はぜ)		3
		葺き板 80×80×16×14×12×0.4(3重はぜ)		
はぜのつぶれ間隔強度 (H-4)	リン脱酸銅	桧材 80×10× 板厚(1・2・3mm)	葺き板 80×80×15×0.4 (リン脱酸銅)	3

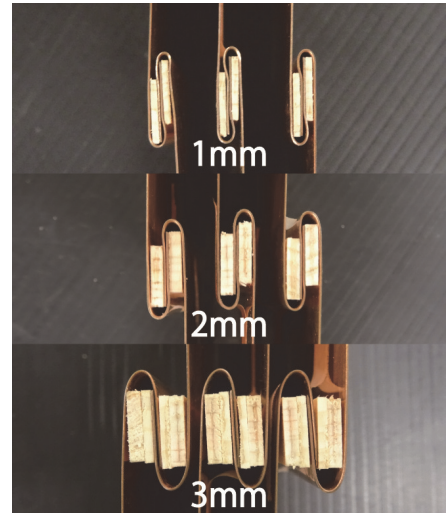


写真 1 (H-4)試験体断面形状

の折り曲げ復帰には治具を用いて復元し、金槌等で打ちながら調整を行った。試験回数 5 回までの結果より、曲げの影響による強度を比較する。

3.1.3 試験結果

表 2・図 2-4 に材種別による引張強さと変位及び試験回数による結果を示す。試験はすべての試験において折り曲げ角度が約 90°になった時点ではぜが外れた。初期値は C1220<SUS304<G3302<G3321 の順に引張強さが分布しており、G3321 は最大強度 27.70N/mm²を示し、C1220 は最小強度 14.76N/mm²を示した。試験 5 回目では G3321<C1220<G4304<G3302 の順となった。G3321 は初期値の引張強さと比較して大きく低下し、3-4 回目にはぜに亀裂が生じると、5 回目試験終了時には試験体 3 体がすべて破断した。また、図 4 より、初期値と 5 回目の引張強さを比較すると C1220 は約 0.4N/mm²の低下で一番低下率が小さくなった。

本結果より、引張強さが高いほどはぜにかかる負荷が大きく、曲げに対する耐力は低下しやすい。C1220 等の伸び率の大きい材種は負荷が小さく、強度低下は生じにくいと考えられる。

3.2 つり子の材料別耐力試験 (H-2)

3.2.1 目的

銅板と下地材を留め付けるつり子は金属疲労の蓄積により破断の影響を受けやすい。そこで、つり子を別材料に置換し、屋根工法を再現した試験体より引張試験を行い、材種別の強度を測定する。

3.2.2 試験体・試験方法

図 1・表 1 に試験体概要を示す。葺き板を銅板とし、つり子材は銅板(C1220)、ステンレス板(G4304)、溶融亜鉛めっき鋼板(G3302)の計 3 種より、サンプル数を 3 体とした。つり子の伝達幅はつり子幅 40mm の 2

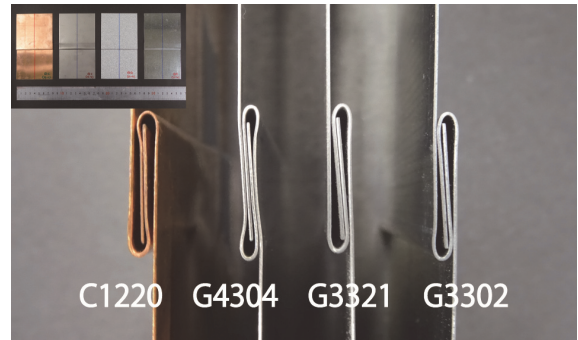


写真 2 (H-1)試験体断面形状

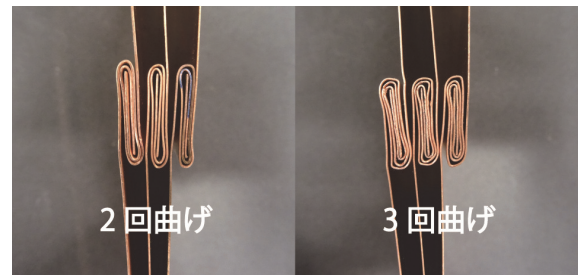


写真 3 (H-3)試験体断面形状

倍より、葺き板相当の板幅を 80mm とした。

試験は、つり子とはぜの接合試験¹²⁾に準拠して、引張角度は 0°とした。AUTOGRAPH(S 社製)を用いて試験速度は 4mm/min で実施した。はぜ接合部または留付け釘が外れた時点を試験終了とした。

3.2.3 試験結果

表 2・図 5 に材種別の引張強さ及び破断までの試験回数の結果を示す。G4304<C1220<G3302 の順に引張強さが増加し、材種による強度変化の傾向はみられなかった。最大荷重時の変位量は G4304 が最大を示したが材種別による大きな違いはみられなかった。試験後の葺き板へ変形の影響は G4304 の場合、最も大きく曲げに対するつり子の強度は最も高いとみら

れる。対して、C1220 は葺き板への変形の影響が少なく同じ材種であることも影響して、曲げに対する柔軟性が高かったと考えられる。

以上より、つり子の材種を変えることによる耐力性能は向上する可能性があるが、葺き板が銅板であることから、引張強さに大きな変化は与えないとみられる。

3.3 巻はぜ強度試験 (H-3)

3.3.1 目的

既存の施工方法の場合、はぜ接合部における折り曲げ回数は 1 回である。そこで、はぜ切れの影響を小さくする為、巻はぜ回数を増やした影響の強度変化を測定する。

3.3.2 試験体・試験方法

図 1・表 1 に試験体概要を示す。試験体寸法は前項 3.1.2 と同様とした。接合部を指定の回数巻はぜを増やすことにより試験体を作成した。巻はぜ回数は 2 回及び 3 回の計 2 種とし、サンプル数を 3 体とした。

試験方法は前項 3.1.2 と同様、引張試験により行った。接合部の巻はぜが伸びきり、はぜが外れた時までを測定した。

3.3.3 試験結果

表 2・図 6 に巻はぜ回数別による引張強さ及び変

表 2 各試験結果

試験名	材種		引張強さ (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	最大点変位 (mm)
H-1	リン脱酸銅板 C1220	初期値	7.38	1.06	0.75
		5回目	7.00	4.19	1.59
	ステンレス板 G4304	初期値	9.64	0.29	1.07
		5回目	7.68	0.32	14.24
	溶融亜鉛めっき鋼板 G3302	初期値	12.78	0.52	0.87
		5回目	9.85	2.02	0.95
H-2	ガルバニウム鋼板 G3321	初期値	13.85	4.66	0.93
		5回目破断	1.57	0.39	0.87
H-3	リン脱酸銅板 C1220	2重はぜ	14.75	1.45	33.06
		3重はぜ	14.26	3.18	61.28
H-4	リン脱酸銅板 C1220	検材1mm	5.48	0.39	1.58
		検材2mm	3.80	0.11	2.39
		検材3mm	2.56	0.12	5.22

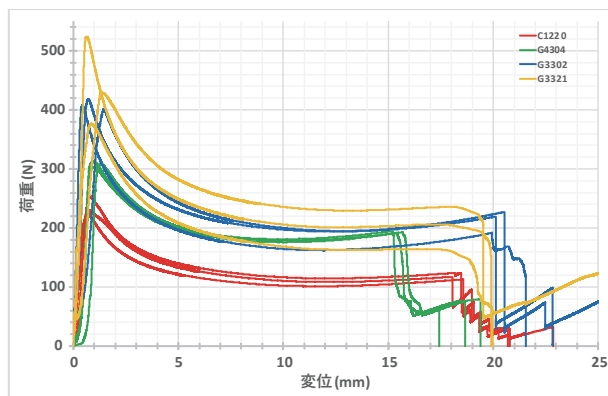


図 2 (H-1) 荷重と変位の関係 1 回目

位量の結果を示す。引張強さについて 2 回曲げ 29.50N/mm²、3 回曲げ 28.52N/mm²を示した。この結果より、巻はぜの回数を増やすことで、引張強さの上昇に影響はないと考えられる。図 2(C1220)及び図 6 より、初期のピーク時の最大荷重を比較すると、1 回巻き、2 重はぜ、3 重はぜのどの巻き方でも強度に変化はみられなかった。また、はぜが外れるまでの最大荷重と変位の関係は 30mm 間隔でそれぞれ接合部でのピーク荷重を迎え、この変位の間隔ははぜ重ね長さ(15+15mm)分である。

以上より、はぜの巻き回数を増加させても強度が大きく変化することはないとみられる。

3.4 はぜのつぶれ間隔強度試験 (H-4)

3.4.1 目的

施工時にはぜ接合部のつぶれ間隔を一定に確保できれば、防水性能を更に向上維持することができる。さらに手作業による加工のバラツキを少なく抑えることができれば、銅板屋根の長期維持につなげることができる。そこで、はぜに木材を挟み、はぜのつぶれ間隔による強度を測定する。

3.4.2 試験体・試験方法

図 1・表 1 に試験体概要を示す。試験体寸法は前項目 3.1.2 と同様とした。接合部に板厚 1・2・3(mm)の計 3 種の桧材を挟みこみ、間隔を保持させた試験体

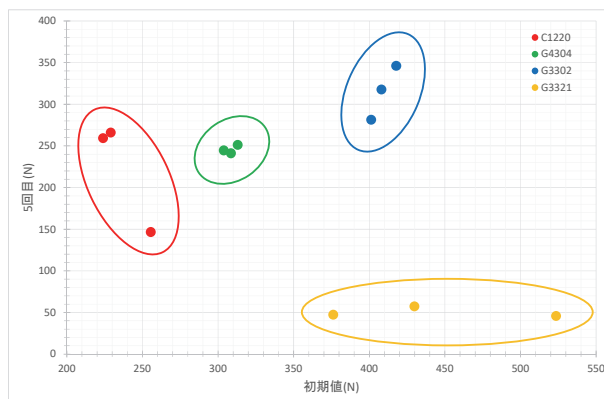


図 4 (H-1) 試験回数による荷重と変位の関係

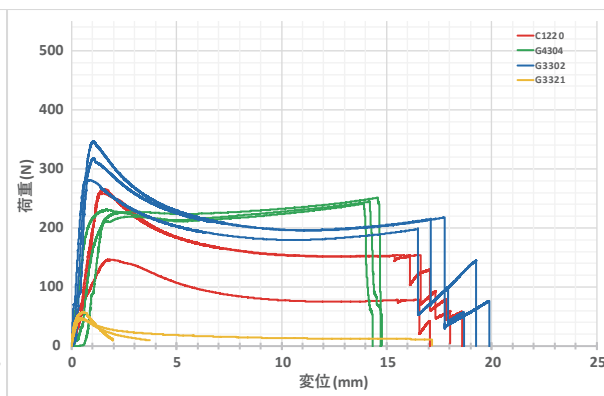


図 3 (H-1) 荷重と変位の関係 5 回目

を作成して、サンプル数を3体とした。試験方法は前項3.1.2と同様、引張試験により行った。

3.4.3 試験結果

表2・図7-8に結果を示す。つぶれ間隔別で引張強さを比較すると、1mm=5.48N/mm²、2mm=3.80N/mm²、3mm=2.56N/mm²となった。つぶれ間隔が狭いと強度は高くなり、引張強さに対する変位は間隔が広いと大きくなる傾向であった。また、間隔が広くなれば引張方向に対する偏心の影響が起きる。はぜ間隔×引張強さの式より、1mm=2.8×5.4=15.34N/mm²、2mm=4.8×3.8=18.24N/mm²、3mm=6.8×2.5=17.41N/mm²となる。これより引張強さは約15-18N/mm²で分布しており、偏心の影響を考慮すると引張強さとつぶれ間隔に大きな強度変化はみられないことが分かった。

以上より、はぜのつぶれ間隔を変化させることで偏心の影響を受けるようになるが、接合部にかかる負荷は大きく変化せず、ほぼ同じ性能であった。

4 まとめ

- (1) 引張強さが高い程、はぜにかかる負荷が大きく曲げに対する耐力は低下しやすい。
- (2) つり子の材種を変えることによる引張強さは葺き板が銅板であることによって大きな強度変化はないとみられる。
- (3) はぜの巻き回数を増加させても強度が大きく変

化することはないとみられる。

(4) はぜのつぶれ間隔を変化させることで偏心の影響を受けるようになるが、接合部にかかる負荷は変化せず、ほぼ同じ性能であった。

「参考文献」

- 1)銅板屋根構法委員会：銅板屋根構法マニュアル，社団法人日本銅センター，(2004) pp23・pp28 pp67・pp74
- 2)飯塚五郎蔵、高橋喜代志：銅板屋根の野地板留め付け耐力 (1)つり子とはぜの接合試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，(1984)
- 3)中川恭次、喜田大三、武田寿一、西村清一、住野正博、守屋正裕、中村嶽、本間義教：銅板葺き大屋根に関する研究 (その1) 丹銅板重ね葺き，大林組技術研究所報No.28，(1984)
- 4)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS12 屋根工事，丸善株式会社，(2004)
- 5)伸銅品データブック編集委員会：伸銅品データブック第2版，日本伸銅協会，(2009)

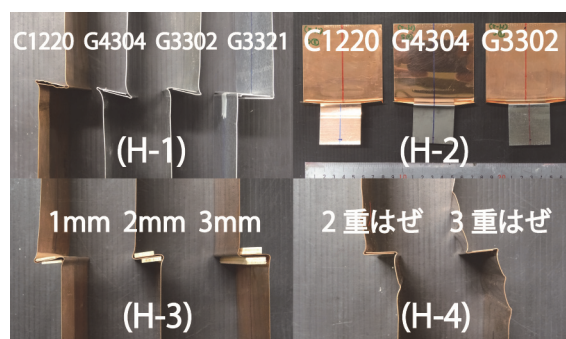


写真4 試験後試験体断面

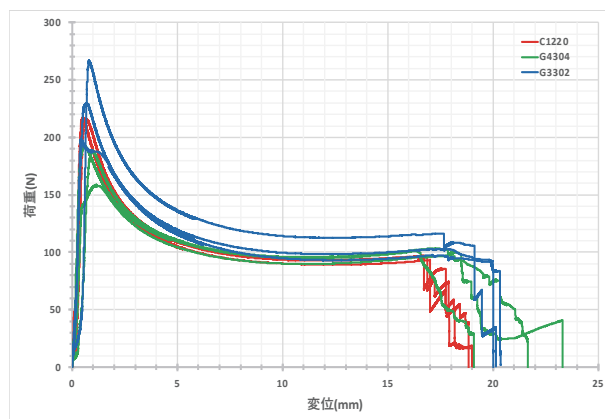


図5 (H-2) つり子の材種別比較

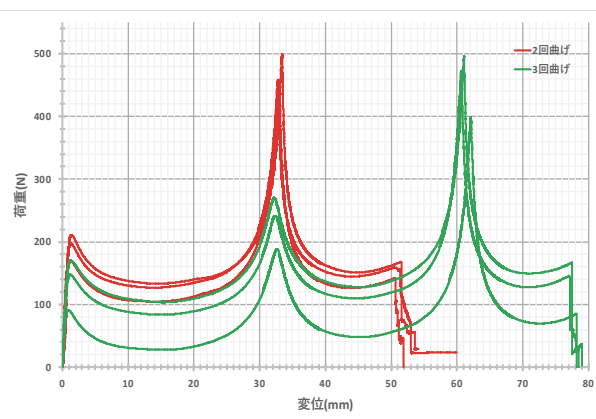


図6 (H-3) 2重はぜと3重はぜの強度比較

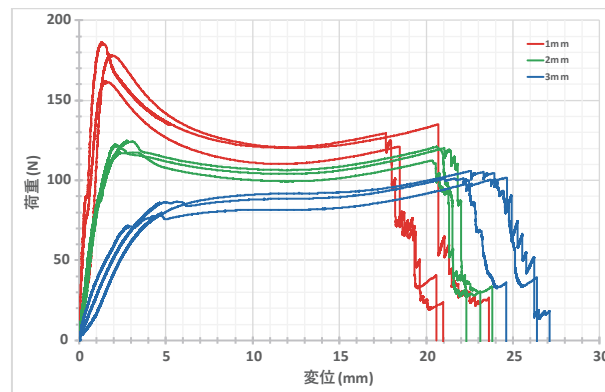


図7 (H-4) はぜ潰れ間隔の強度比較

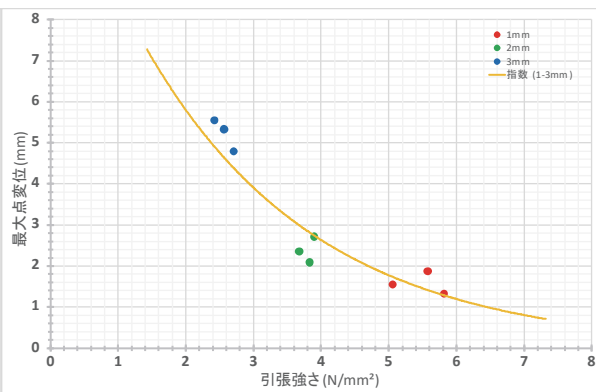


図8 (H-4) 引張強さと最大点変位の関係