銅板葺き大屋根に関する研究（その１）

——丹銅板重ね葺き——

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

Study on Copper-Shingled Roof (Part 1)

——Red Brass Lap Method——

Kyoji Nakagawa　Daizo Kita
Toshikazu Takeda　Seiichi Nishimura
Masahiro Sumino　Masahiro Moriya
Takashi Nakamura　Yoshinori Homma

Abstract

On the occasion of construction work on a copper-shingled roof, experiments were conducted on wind effects, watertightness, frost damage, condensation, weather resistance and color changing of copper. (1) The design wind load of the roof was taken as 350 kg/m^2 based on the results of wind tunnel test. (2) The tensile strengths of clips averaged 42.3 kg. (3) Average strengths of flat lock seams were 3.8 kg/cm for vertical and 1.3 kg/cm for horizontal seams. (4) The average strengths of copper nails were 42.9 kg for Century Board and 22.5 kg for Sky Mortar. (5) The strength of the red brass lap method was 1,032 kg/m^2. (6) In freezing tests, displacement increased with elapsed time in case of flat lock seams, whereas in case of the lap method, though displacement was initially greater than that of flat lock seams, ultimate displacement was smaller. (7) Regarding color changes of copper and red brass, as a result of using INCRALAC coating, the target of a 3-year period of protection was achieved and it was considred that good corrosion protection was provided within the scope of the tests.

概　要

古来から屋根の銅板葺き仕上げは，数多くあるが，施工は，経験的になされている例が多く，その大部分は一文字葺きであり，銅板に緑青の発生を期待するものである。今度，某宗教法人世界総本山建家の大屋根を銅板葺き仕上げとする計画があり，施工に当たり，銅板葺きに対し，耐風圧力，防水性，耐凍害性，耐結露性，耐久性，更に，銅板生地の光沢の長期維持を要求された。この報告は，設計仕様に基づく各種実験により得た知見を述べるものである。(1)銅板大屋根の設計用風荷重は，風洞実験結果を基に法令等に準じて，350 kg/m^2 とした。(2)吊子（銅板厚さ 0.4 mm，幅 30 mm，銅釘 ϕ2.5 mm）の引張り強度は，42.3 kg であった。(3)はぜ（銅板厚 0.4 mm）の平均強度は，縦はぜ (16 mm) が 3.8 kg/cm，横はぜ（上はぜ 16 mm，下はぜ 20 mm）が 1.3 kg/cmであった。(4)平均保釘力（銅釘ϕ2.5 mm，長さ 25 mm）は，センチュリーボード（厚さ 25 mm）では 42.9 kg，スカイモル（厚さ 40 mm）では 22.5 kg であった。スカイモルは混練，施工による品質のバラツキがあり，保釘力の低下を生じる恐れがあり，施工管理が大切である。(5)丹銅板重ね葺きの耐力は，1,023 kg/m^2 であった。これは，設計風荷重に対し，2.92倍あった。(6)はぜ部の凍結実験の結果，一文字葺きでは，変位量が凍結初期より経時的に増大する傾向がみられた。重ね葺きでは，凍結初期は一文字葺きより変位量は大きいものの，その後の進行は緩慢であり，最終的な変位は少なかった。(7)銅板生地の変色防止は，変色防止塗料としてインクララックを使用し，施工方法，耐候性等について試験を行なった。その結果，防食機能は３年を目標とした今回の実験範囲では，優れた性能を有するものと推察した。

1. はじめに

某宗教法人世界総本山建屋の大屋根は，銅板葺きである。銅は，人類が一番始めに発見し，使用した金属である。屋根に銅板を使用した歴史は古く，紀元前の建家にもみられ，現存しているものでは，ギリシャ建築の最大の傑作の一つであるパンテオン（紀元前27年）の屋根の一部に使用されている。日本の建物では法隆寺夢殿(635～650年）の屋上にある大宝珠や薬師寺東の塔（681年）の水煙相輪などがある。

明治の始めに伸銅工業が我が国に導入され，多量の銅が一時に溶解，鋳造され，厚延機を用い多量の均質な銅板が製造されるようになり，日本銀行本店，横浜正金銀行本店，青山離宮，東京駅，帝国ホテル，ニコライ堂，宮内庁，米国大使館，湯島聖堂，大阪府庁，北海道庁などで使用された。

第二次大戦後，世間の安定と共に建築界も活気を呈するようになり，又，銅板の表面処理を工夫することも始められ，第一銀行本店，帝国ホテル新館，ロイヤルホテル，東京ヒルトンホテル，皇后陛下還暦記念ホール，日本武道館，秋田県立美術館，国立劇場，親和銀行本店などの工事に多く使用された。最近の例では，新宮殿（昭和39年9月～昭和43年11月）の工事に使用された。

このように使用されている事例は多いのであるが，葺き方は一文字葺きであり，緑青の発生を期待しているものが多い。又，設計・施工については，経験的に行なわれているのが現状であり，多くの問題点を含んでいる。

本銅板葺き工事では，風圧力により銅板が剝離を生じないこと，熱影響による銅板の伸縮による暴れを吸収できる仕口であること，凍害による影響を受けないこと，結露による影響を受けないこと，施工時の色調を維持し変色を防止することなど，重要な問題が多く，種々の予備検討の結果，重ね葺きを採用することとした。

本報告は，前述した問題点を解決すべく，各種の実験を実施した結果について述べるものである。なお，重ね葺きとの比較の為に，一文字葺きについても一部同様の実験を実施した。

本工事には，丹銅板の重ね葺きを採用した。丹銅板単体は，流れ方向にS字が2段に連続している形状で，銅板の表面にはロール模様がある。

実験の種類は，銅板大屋根風洞実験，銅板葺きの耐力実験，銅板葺きの凍結実験，銅板葺きの変色防止実験である。

2. 設計風圧力

2.1. 目的

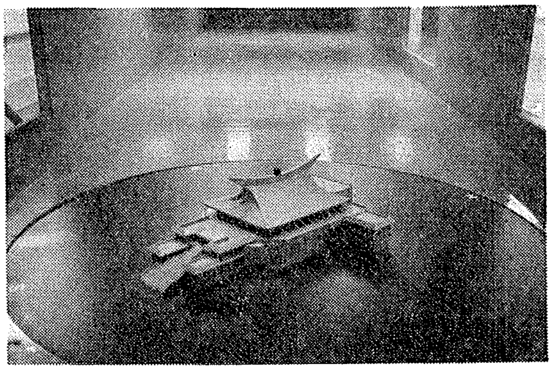
本調査は，大屋根に作用する風圧力を風洞実験で調査し，最適な設計用風荷重を決定することを目的として行なったものである。

2.2. 実験装置

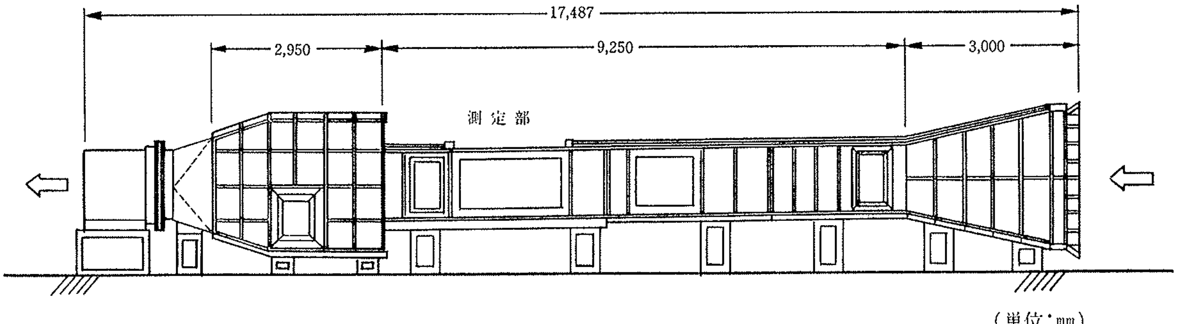
2.2.1. 風洞　実験は，(株)大林組技術研究所所有のエッフェル型吸込式風洞（図－1，写真－1）で実施した。

風洞の測定部にはターンテーブル装置があり，これに模型を取付け回転させることにより任意の風向に設定することができる。また，測定部上方にはトラバース装置があり，計測室からの遠隔操作により，風速計などを任意の位置に移動させることができる。

2.2.2. 風速測定装置　風速の測定には，定温度型熱線風速計（Model 21, KANOMAX）を用いた。この風速計の較正は，ピトー静圧管とゲッチンゲン型マノメータで行なった。この風速計は，風の変動に対する応答性能が良く，風の乱れを測定するのに適している。



写真－1　風洞内部



図－1　風洞外観図

風速の記録は，風速計の出力をデジタルボルトメータで刻み時間 $\Delta t=0.08$秒で A/D 変換し，平均化時間 T＝30秒（データ個数 N＝375個）として計算機（FC3200, 精工舎）に取込み，平均値および標準偏差を算出した。

2.2.3. 風圧力測定装置　風圧力の測定には，差圧タイプの圧力変換器（PD80-002, ST 研究所）を用いた。この変換器の較正は，風速計と同様にピトー静圧管とゲッチンゲン型マノメータで行なった。

模型表面に作用する力は，模型表面に設けた 1 mmφ の測定孔に作用する圧力をビニールチューブを介して圧力変換器に導き，風洞内の静圧との差圧から求めた。

風圧力の記録は，風速と同様に，刻み時間 $\Delta t=0.08$秒で A/D 変換し，平均化時間 T＝30秒（データ個数N＝375個）で，平均風圧係数を算出した。

2.3. 実験方法

2.3.1. 風洞気流　風洞気流は，建設地の自然風の性状を模擬した気流とすることが望ましいが，当建家の建設地が山間部であるため一様気流とした。

2.3.2. 模型　模型は，縮尺 1/250 で製作した。周辺部の建物や地形の高低差などは模型化しなかった（写真―1）。

2.3.3. 調査風向　調査風向は，A面に正対する風向を0度とし時計回りに45度ピッチに8風向とした（写真―1手前がC面）。

2.3.4. 測定点　風圧力の測定孔は，大屋根面180点，棟木6点の総計186点とした。

2.4. 実験結果

模型屋根面に作用する風圧力は，模型頂部高さでの速度圧で無次元化した風圧係数として求めた。

各風向とも peak-suction は，陵線沿いで発生しており風向90度屋根D面において，最小値－1.54を示した。

2.5. 設計用風荷重

設計用風荷重は，日本建築学会“建築物荷重指針・同解説”の外装用風荷重算出式を用いて算出した。

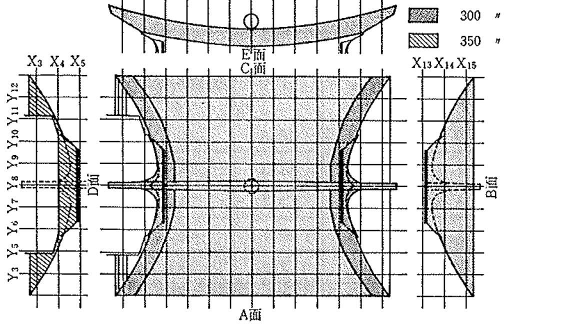
$$P=q\cdot C\cdot G \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ここで，P: 設計風荷重（kg/m）

q: 地上 z(m) での速度圧（kg/m）

C: 実験で得た風圧係数

G: ガスト影響係数



図―2　設計用風荷重

式(1)中の速度圧は，再現期間1,000年の風速を基準として算出した。式(1)を用いるに当り，岐阜県建築基準条例第14条および現地測候所の気象資料を基に風荷重を算出し比較検討したが，式(1)より算出した風荷重は，県条例および気象資料より算出した風荷重よりも大きな値であった。

計算の結果，設計用風荷重は，図―2に示した荷重値とした。

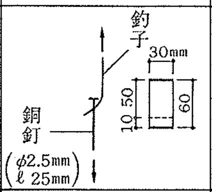
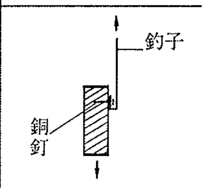
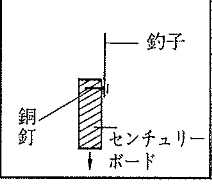
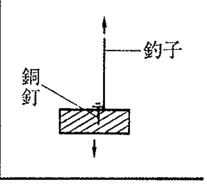
3. 丹銅板重ね葺きの耐力試験

3.1. 目的

丹銅板重ね葺きの耐力が，設計用風荷重に対し十分か否かを確認するため，各種実験を実施した。実験は，基本試験として小型試験片による吊子の強度試験，はぜの強度試験，下地に対する保釘力試験を行なった。下地材は，センチュリーボードとスカイモルの二種類とした。基本試験では，一文字葺きを対象とした試験も行なった。また，荷重の伝達機構や，全体的な耐力を調べるために，銅板葺きの一般部分の試験体の耐力試験を行なった。

3.2. 釣子の強さ試験

3.2.1. 目的　釣子の耐力を求めるために，試験体を製作，引張試験を実施し，最大引張強さを求めた。

試験体記号	試験体形状	試験体記号	試験体形状
T－1		T－3	
T－2		T－4	

表―1　吊子の強さ試験体

試験記号	最大強さ (kg)	最小強さ (kg)	平均値 引張強さ (kg)	平均値 変位量 (mm)	標準偏差 (kg)
T－1	48.3	37.3	42.3	3.3	3.3
T－2	98.8	59.0	74.8	1.9	16.2
T－3	48.0	45.4	47.1	2.3	1.1
T－4	58.9	46.3	51.0	1.8	3.9

表―2　吊子の強さ試験結果

3.2.2. **方法**　銅釘（2.5 φ, 長さ 25 mm），釣子（幅 30 mm, 長さ 60 mm）を用いて試験体（表—1）を作製し，オートグラフ（引張速さ 50 mm/min）を使用して引張強さを求めた。

3.2.3. **結果**　試験結果は表—2に示す。センチュリーボードの場合，約 40 kg/個以上の引張強さがあることがわかった。

3.3. はぜの強さ試験

3.3.1. **目的**　一文字葺きのはぜの強さをもとめるために，試験体を製作，引張試験を実施した。

3.3.2. **方法**　銅板（厚さ 0.4 mm）の縦はぜ，横はぜ，端末の各試験体（表—3）を作成し，オートグラフ（引張速さ 5 mm/min）による引張試験を実施し，はぜの強さ，変位量をもとめた。

3.3.3. **結果**　試験結果は（表—4）に示した。横はぜ（T-5）の引張強度は，1.32 kg/cm であった。

3.4. 保釘力試験

3.4.1. **目的**　銅板葺き下地材，スカイモル（ゴム粉混入モルタル），センチューボード（木毛セメント成型板）に打込んだ銅釘の引抜き耐力を把握するために，試験体の製作，釘打，引抜き試験を実施した。

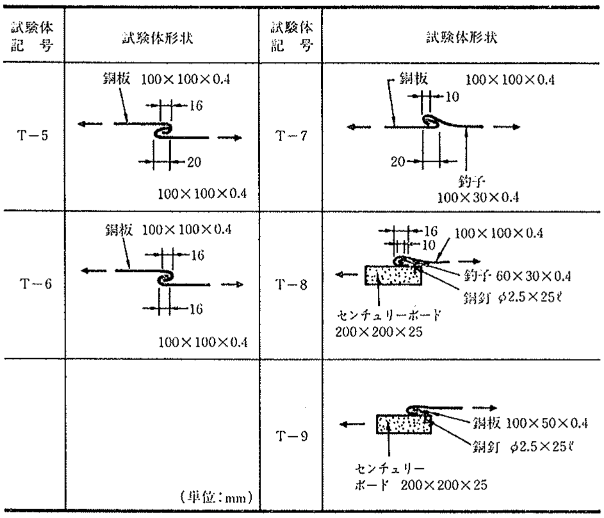
3.4.2. **方法**　スカイモル(厚さ 45 mm)，センチュリーボード（厚さ 25 mm）に銅釘（2.5 φ, 長さ 25 mm のストレート釘）を打込み，釘頭に水平方向の衝撃をあたえるなど種々の条件で作成した試験体（図—3，表—5）の銅釘を，オートグラフによる引抜き試験（引抜き速さ 5 mm/min）を行ない，引抜き強さ，変位量を求めた。

3.4.3. **結果**　本実験の範囲では，引抜き試験結果（表—6）にみられるように，センチュリーボードの平均最低保釘力は 42.9 kg，スカイモルは 22.5 kg であり，センチュリーボードはスカイモルの約2倍の保釘力があった。センチュリーボードは各種の試験方法による影響を受けにくく，試験結果が比較的安定していた。

スカイモルは，ゴムチップ混入モルタルの現場施工型であり，混合，施工の品質により保釘力のバラツキが生じるため，施工管理が必要である。

3.5. 丹銅板重ね葺きの耐力試験

丹銅板重ね葺きの試験体は，トーナメント方式により



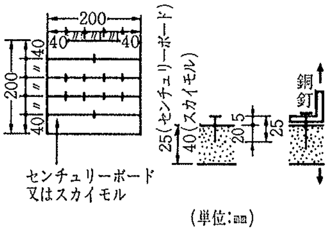
表—3　はぜの強さ試験体

試験記号	最大強さ (kg)	最小強さ (kg)	平均値 引張強さ (kg)	平均値 変位量 (mm)	標準偏差 (kg)
T−5	14.1	12.6	13.2	2.5	0.6
T−6	42.7	32.5	38.3	1.6	3.8
T−7	9.6	8.7	9.1	2.2	0.4
T−8	13.9	9.2	11.4	1.5	1.7
T−9	57.5	43.9	49.9	3.3	5.0

表—4　はぜの強さ試験結果

試験記号	試験条件
A	銅釘打ち後、直ちに引抜く。
B	銅釘打ち後、14日間放置し、引抜く。
C	銅釘打ち後、24時間水中浸漬し、直ちに引抜く。
D	銅釘打ち後、24時間水中浸漬し、その後室温乾燥し、直ちに引抜く。
E	銅釘打ち後、銅釘頭に衝撃を加え、直ちに引抜く。
F	銅釘打ち後、24時間水中浸漬し、直ちに銅釘頭に衝撃を加えて、引抜く。

表—5　保釘力試験体種類



図—3　保釘力試験体

試験記号	センチュリーボード 最大強さ (kg)	最小強さ (kg)	平均値 引抜き強さ (kg)	平均値 変位量 (mm)	標準偏差 (kg)	スカイモル 最大強さ (kg)	最小強さ (kg)	平均値 引抜き強さ (kg)	平均値 変位量 (mm)	標準偏差 (kg)
A	59.0	31.2	46.6	1.2	9.8	36.3	18.3	24.1	1.1	5.6
B	53.4	32.2	42.9	1.7	7.6	38.5	11.3	25.4	1.5	7.5
C	67.0	44.2	51.3	1.4	6.3	35.2	9.1	22.5	1.2	7.8
D	71.8	32.2	54.9	1.3	11.4	54.0	30.7	42.5	1.2	7.5
E	51.0	29.2	43.5	1.1	7.0	31.8	7.3	23.8	0.8	8.3
F	58.5	38.2	48.4	1.5	5.8	36.7	9.0	23.3	1.3	8.8

表—6　保釘力試験結果

等分布引張の繰り返し荷重を加力して，耐力および変形状況を検討した。

3.5.1. 試験体　丹銅板重ね葺きの試験体は，図—4，写真—2に示した。試験体の下地はセンチュリーボードで，使用した丹銅板は縦 455 mm，幅 420 mm，厚さ0.4 mm で流れ方向にロール模様があり，S字が2段に連続した形状に折曲げて重ね葺きとした。試験部の葺き足は 150 mm，葺き幅は 380 mm で釘の本数は 1 m² 当り36本である。

3.5.2. 実験方法　写真—3にトーナメント方式による丹銅板重ね葺きの試験体の加力装置を示す。この方式の特徴は，試験部の引張り治具をトーナメントに組み上げ，最頂部の一点を引っ張ることにより，試験部全体に等分布引張荷重を与えることができるものである。

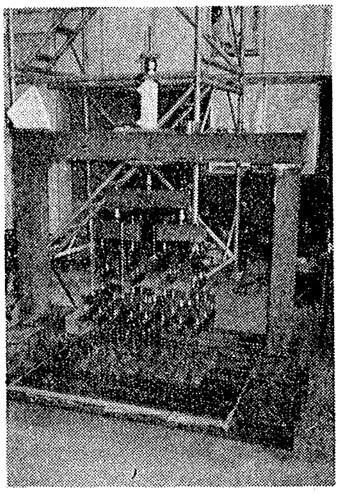
丹銅板重ね葺きの試験体の加力サイクルは以下のように設定した。第1サイクルは設計用風荷重（350 kg/m²）まで等分布引張荷重を与えてから除荷し，第2サイクルほぼ弾性限荷重（約 600 kg/m²）まで，再び等分布引張荷重を与えてから除荷する。最終サイクルとして，破壊に致るまで，等分布引張荷重を加力する。

測定項目は引張荷重，トーナメント最頂部の変位，試験部の丹銅板葺き足中央部およびはぜの変位である。

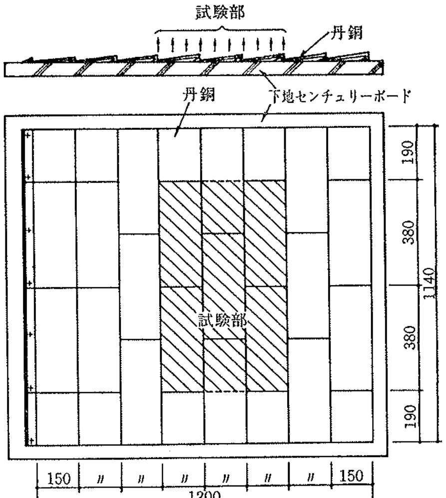
3.5.3. 実験結果　耐力試験結果を表—7に，荷重—変位曲線を図—5に示した。荷重はロードセルの出力，変位はトーナメント最頂部の変位である。

最大耐力は，1,023 kg/m² であり，設計用風荷重 350 kg/m² に対して，約2.92倍の耐力を有しており，設計用風荷重は弾性域内に収まると考えられる。破壊状況を写真—4に示した。破壊は，はぜの変形(最大耐力時での試験部中央のはぜの変形は約 25.8 mm，葺き足中央部の変形は約 33.5 mm）によるもので，一部の釘に若干の抜け出しが生じているが，釘の完全な抜け出しには致っていない。なお，最大耐力時に釘にかかる平均引抜力は，28.4 kg/本である。保釘力は，釘単位の引抜き試験ではセンチュリーボード下地の最低平均保釘力 42.9 kg/本であったが，本結果では 28.4 kg/本と0.66倍に低下した。これは単純な釘単位の引抜き試験に比べ，丹銅板重ね葺きの試験体は，荷重の伝達機構（てこの作用等）により低下したものと考えられる。従って，設計用風荷重に対してセンチュリーボード下地の丹銅板重ね葺きでは，必要釘本数を丹銅板1枚当り 3本（単位面積当り 36本/m²）と設定した。

横はぜの平均最大耐力は，単位面積当りの横はぜの長さで割って求めた。横はぜの破壊時の耐力は，1.53 kg/cm であった。この値は，はぜの強度試験結果の横はぜの耐力1.32 kg/cmより少し高いものとなった。これは，はぜの折返しの拘束により耐力が増したものと考えら



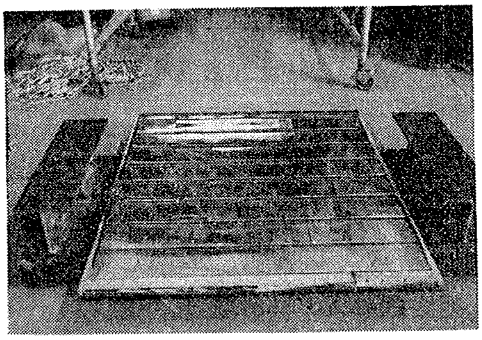
写真—3　トーナメント式載加装置



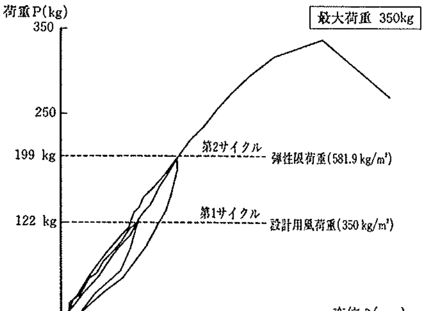
図—4　丹銅板重ね葺き試験体

銅板葺きの種類（下地）	最大耐力（m²当り）	銅釘の本数m²当り（銅板1枚当り）	銅釘の平均最大引抜力(kg/本)	横はぜの平均最大荷重(kg/cm)
丹銅板重ね葺き（センチュリーボード）	1,023kg/m²	36本/m²（3本/枚）	28.4kg/本	1.53kg/cm

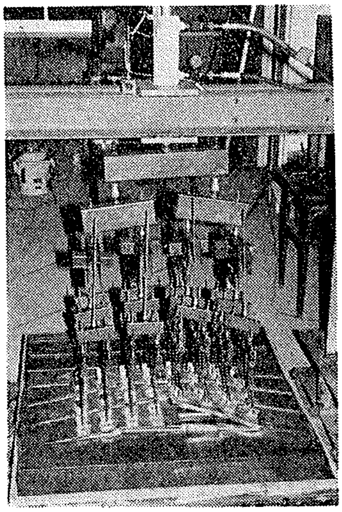
表—7　丹銅板耐力試験結果



写真—2　丹銅板重ね葺き試験体



図—5　丹銅板重ね葺き変位—荷重曲線



写真—4　丹銅板重ね葺き試験体破壊状況

れる。

3.6. 耐力の評価

丹銅板葺きの耐力試験においては，横はぜが外れて破壊に致っている。一般的に，銅板葺きの耐力は保釘力，或いははぜの強度により決まるものと考えられるが，葺き足の長さも耐力に大きな影響を及ぼすものと考えられる。これは，葺き足の長さが大きいと，銅板がたわみ易くはぜの変形が大きくなり，しかも単位面積当りの横はぜの長さが短くなり，かつ銅釘の本数も少なくなるため耐力は低くなる。逆に，葺き足の長さが小さいと，耐力は高くなる。特に，スカイモル下地の場合は，保釘力試験の結果，保釘力が低く，そのバラツキも大きいため施工管理が重要であり，銅釘の本数を多くする必要がある。

参考に，スカイモル下地の丹銅板重ね葺きの安全指標や耐力を，荷重・耐力係数設計法（LRFD: Load and Resistance Factor Design）の考えに従って検討してみた。その結果，丹銅板1枚当り釘3本（36本/m^2）の場合は安全指標β（=2.24）が小さく，保釘力のバラツキを考慮して低減した耐力Rも367 kg/m^{2}と，設計用風荷重（350 kg/m^2）よりほんの少し大きい程度で問題がある。しかし，釘4本（48本/m^2）の場合には，安全指標β(=3.01)の値も3以上あり，低減した耐力Rも425 kg/m^{2}と設計用風荷重に対して安全となることが確かめられた。

4. 一文字葺きおよび重ね葺き凍結実験

4.1. 目的

一文字葺きおよび重ね葺きの冬季の降雪，降雨時の凍結によるはぜ部分，重ね部分の変形，破壊などの性状を把握するために，実大の試験体を製作，散水，凍結し挙動を測定，観察する。

4.2. 方法

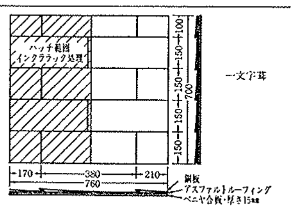
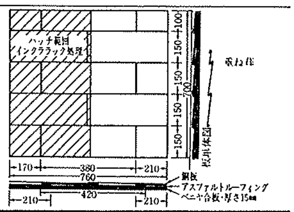
一文字葺き，重ね葺きの試験体(表—8)を，15°, 45°の架台に設置し，はぜ部分，重なり部分の段差(初期値)を測定(図—6)後，ゴムホースで散水(1.5 kg/cm^2, 5分間）し，直ちに−25℃冷凍庫内において凍結実験を開始し，実験開始時，48時間後，120時間後，432時間後に散水，凍結，段差測定，全体の観察を行なった(写真—5)。

4.3. 結果

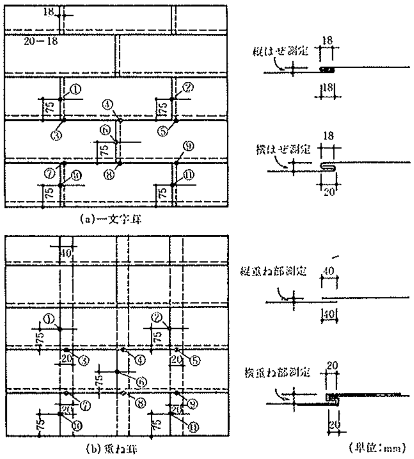
本実験の範囲では，はぜ部分，重ね部分の極端な立上り，変形破断，などは見当らなかった。

段差の測定結果(表—9)から，一文字葺きは横はぜよりも縦はぜの動きが多くみられ，経時に伴い累積されるようである。重ね葺きでは重ね部の水の出入は自由であるから或程度の水が入る影響で初期の立上りは多いが，経時による累積はみられなかった。

散水時，一文字葺きの施工当初のはぜには水の侵入が困難であるが，散水の繰返しに従い，はぜと下地を連結する釣子の部分に毛細管現象による侵水がみられるようになり，その部分に凍結が生じていた。

葺方	板厚 (mm)	設置角度	試験体形状 (mm)
一文字葺	0.3	45°	
		15°	
	0.4	45°	
		15°	
重ね葺	0.3	45°	
		15°	
	0.4	45°	
		15°	

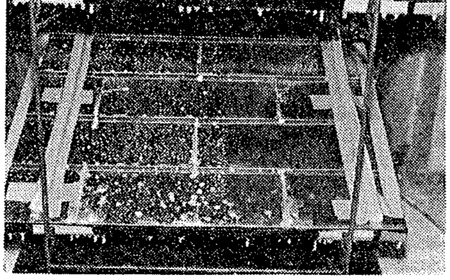
表—8 凍結試験体



図—6 段差測定位置

測定時間	板厚 (mm)	一文字葺 たて	一文字葺 よこ	重ね葺 たて	重ね葺 よこ
初期	0.3	0	0	—	—
	0.4	0	0	0	0
48時間	0.3	0.08	0.07	—	—
	0.4	0.05	0.07	0.58	0.40
120時間	0.3	0.12	0.29	—	—
	0.4	0.07	0.08	0.51	0.45
432時間	0.3	0.81	0.33	—	—
	0.4	0.46	0.27	0.97	0.46

表—9 凍結試験結果



写真—5 凍結状況

重ね葺きの縦の重ね部は，当初から水の侵入が容易であるが，重ね葺きの特徴は侵入した水を順次水下に流下させることが可能であるように，雨水を下地迄到達させない構造になっている。しかし，重ね部の隙間が大きいと侵入水量が多く，奥深くなり好ましくなく，特に勾配が緩い場合には毛細管現象による下地への漏水が著しくなるので，十分な防水対策が必要である。

インクララック（変色防止塗料）の塗布面には撥水作用がみられ，水滴の付着が少ないので凍結時は有利である。

5. 変色防止試験

5.1. 目的

銅板葺き屋根は，数十年の年月を経てその表面に緑青が自然に形成されるため，古くからその独特の外観が珍重されている。今日の建物においても銅板葺き屋根の場合，緑青の自然形成を期待する一方では，緑青発生を促進するための化学処理や一種の古色塗装である人工緑青仕上なども適用されている。

しかし，当建物の場合，耐久性（耐食性），施工性等に優れた銅系材料の使用を前提に金属光沢を有する金色仕上げが求められた。しかも，この光沢と金色の保持期間について，工事期間を含めた3年間が強く要望された。そこで，金色塗装，金メッキ，金クラッドなどの案が次々と検討され，最終的には素地が金色に近い丹銅板（亜鉛含量10%）を屋根材とし，その色あいと光沢保持のために特殊な変色防止塗料で塗装する方法に決定した。

この試験は，上記の検討課程において，銅系材料の色調および光沢を保持するための変色防止塗料について，その実用性の評価および施工技術の確立を目的として実施したものである。

5.2. 供試材料

(1) 屋根材

リン脱酸銅板　JIS H3100C1201P 1/4H 0.4 t
無酸素銅板　JIS H3100C1011R 1/4H 0.4 t
丹　銅　板　JIS H3100C2200P 1/4H 0.4 t

(2) 変色防止塗料

インクララック

この塗料は，銅および銅合金の防食，変色防止剤として古くから知られているベンゾトリアゾールをアクリルクリアー塗料に配合したもので，1964年に国際銅研究会（International Copper Research Association）が開発した。銅板葺き屋根に適用された例は非常に少なく，一般には装飾品や金具等の細工品に使われている。

5.3. 試験内容

5.3.1. 予備試験　施工性を考慮した変色防止塗料の最適シンナー希釈率，塗装方法と塗膜厚，塗装性，乾燥特性，付着力等について試験検討した。

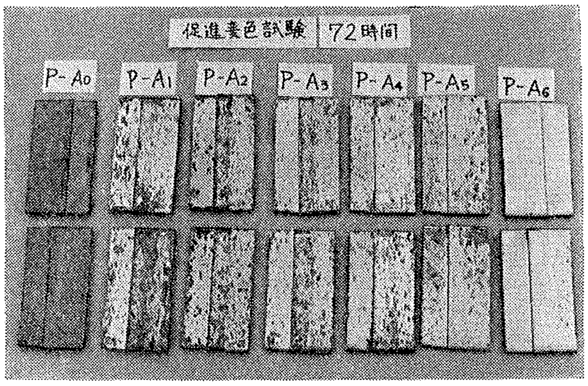
5.3.2. 変色促進試験　塗装後の切断，はぜ加工等に伴う塗膜の損傷状況の把握，最適膜厚および補修塗装の効果等について検討した。

試験は，各種の条件で塗装したテストピースを硫化ナトリウム（$Na_2S \cdot 9H_2O$）の0.1%水溶液中に浸漬し，塗膜欠陥部を短時間で判定する方法によった（写真－6）。

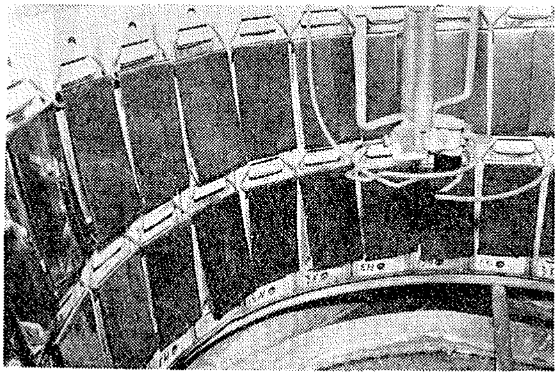
5.3.3. 促進耐候性試験　塗膜性能の持続性，特に紫外線による劣化を検討するために各種の条件で塗装したテストピースをウェザーメーターで最長600時間劣化促進し，耐候性を判定した。なお，この暴露時間は通常の屋外での3年暴露にほぼ匹敵するといわれている。試験状況を写真－7に示す。

5.3.4. 屋外暴露試験　無塗装の場合の経時的な変色状況の把握，変色防止効果の確認および補修塗装の時期とその効果の確認等を目的として，各種の条件で塗装したテストピースについて当技術研究所敷地内で暴露試験を実施した。試験状況を写真－8に示す。

5.3.5. その他の試験　銅板，丹銅板の現場折り曲げ加工部における応力腐食割れ感受性を検討するための促進試験，棟部分に使われる厚板丹銅板のプレス曲げ加工部の割れ発生状況等について試験検討した。試験後の状況を写真－9に示す。



写真－6　変色促進試験



写真－7　促進耐候性試験

5.4. 試験結果

上記の各種試験によって得られた主な知見を以下に列記する。

(1) インクララックの最適シンナー希釈率は重量比で塗料：シンナー＝6：4である。適用可能な塗装方法はエアレススプレー，フローコーター，ディッピングであり，部分補修には刷毛塗りが適用できる。一方，エアースプレーは適さない。

(2) 塗装性，乾燥性などの点から1回塗りの適当な膜厚は7～15 μである。

(3) 銅および丹銅板に対する塗膜の付着力は十分であり，実用上の問題はない。

(4) 無塗装の銅および丹銅板を屋外暴露した場合，1日から2日で既に変色が目立ち始め，数日後には厚い酸化膜による黒褐色の外観を呈する。この黒褐色の外観は暴露開始から1年経過後もほとんど変化しない。このような傾向はリン脱酸銅，無酸素銅，丹銅ともに全く同様であり，材質のわずかな差異による影響は認められない。

(5) 上記のように銅および丹銅ともにきわめて変色し易いので，出荷前に工場での変色防止塗装が必要である。

(6) 1回塗りの膜厚は7～15 μと薄く，またピンホールも多い。したがって，十分な変色防止効果を得るには最低2回塗りする必要がある。

(7) アングルバッタやつかみによる折り曲げ加工は塗膜損傷を必ず伴う。したがって，現場での曲げ加工部分には必ず補修塗りする必要がある。

(8) 折り曲げ加工等による塗膜損傷部は1日経過すると変色し，金属固有の色や光沢を失う。したがって，この部分の補修塗りは屋根葺き作業と並行するかたちで，直ちにその日のうちに実施する必要がある。

(9) 重ね葺きの場合にあらかじめ実施するロールによる屋根材の波状加工では，塗膜の損傷は発生しない。

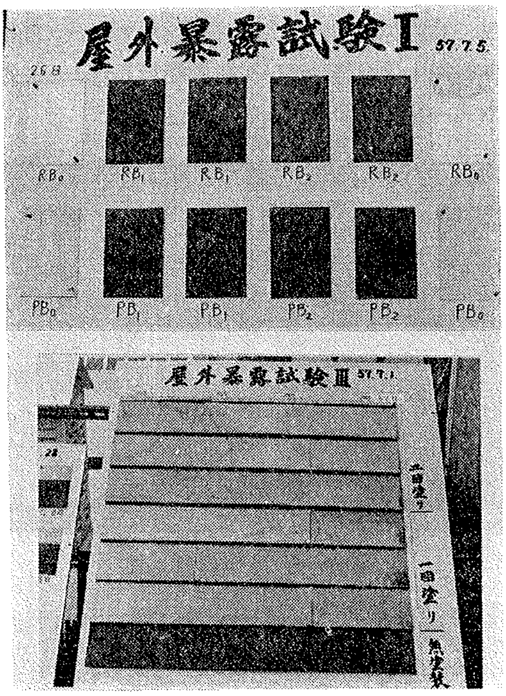
(10) 屋外暴露1年経過後も変色防止効果は十分に発揮されており，銅および丹銅板ともに初期の素材の色調，光沢が保持されている。

(11) 促進耐候性試験600時間後でも塗膜劣化はなく，また変色防止効果も十分に発揮されている。したがって，施工を適正に行なえば変色防止効果は少なくとも3年間，持続すると予想される。

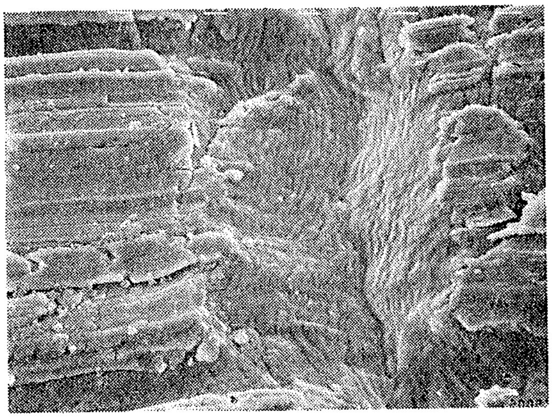
(12) 銅，丹銅板ともに曲げ加工部の応力腐食割れ発生の可能性はきわめて少なく，実用上問題ない。

(13) 棟用の厚板丹銅板のプレス曲げ加工は，内側のアールを3 mm以上とする必要がある。

なお，以上の結果に基づき塗装仕様，施工指針を確立した。



写真―8 屋外暴露試験



写真―9 曲げ加工部の割れ発生状況
(電子顕微鏡2,000倍)