

論文内容の要旨

論文題目 金属薄板の防水屋根への適用と
その性能に関する研究

氏名 飛田 春雄

「建物の上方に位置し外部に面して空間を覆うもの」(建築大辞典、彰国社)である屋根は、過酷な自然環境に耐え居住性に欠かせない建築物の根幹をなす基本的な要素である。特に、直接「雨」「露」「雪」「風」「日射」などの厳しい自然環境に曝される外装材は防水性を始めとする重要な役割を負っている。

古来、日本建築の屋根は、幕末以前は、日本列島の多降水量および豊富な森林資源の側面もあり勾配屋根が全てであったが、明治に入り RC 造が普及して屋上階が利用されるようになり、これに伴い陸屋根の宿命である過酷な防水性に対応するためアスファルト防水を始めとする高分子材料系を用いた各種防水工法が開発採用されてきた。

一方、勾配屋根に使用される屋根葺き材は、古くから大半が瓦が主体であったが、瓦は重量があり、屋根勾配を大きくとらなければならないため、この欠点を補う屋根葺き材として金属を用いた屋根が台頭してきた。とくに、1919年の「屋上制限令」の施行に伴う屋根の不燃化並びに 1953年の連続溶融亜鉛めっきに始まる長尺亜鉛鉄板の生産で金属を用いた長尺屋根工法の時代が招来し今日に至っている。

大規模建築物の増加と共に増加の一途を辿った長尺屋根工法については、JISA6514「金属製折板葺屋根構成材」として制定されている板厚 0.8mm,1.0mm が主体の折板屋根構造として用いられる折板系屋根が多く採用される一方、建築物の多様化と相まって、屋根形状も変化し「軽量」で「成形性」に優れた特徴を活かし、躯体に追従出来る板厚 0.4mm 主体の瓦棒工法に代表される立ちハゼ葺き系工法が横葺き工法と共に採用されている。

使用される葺き材料については、塗装技術と表面処理技術の進歩と共に、着色亜鉛めっき鋼板に代表される各種の塗装鋼板が主体であるが、建築物の耐久性の高まりと共に、耐候性の優れたフッ素鋼板及び耐食性の優れたステンレスが多く用いられる様になってきた。

特に、屋根葺材の長期耐久性が要求される今日、「基材」の耐食性が優れたステンレス及び最近では海浜地域を始めどのような環境にでも耐える抜群の耐食性を有するチタンも採用されて来た。

これらを背景として、「陸屋根に対応できる防水性」「多様化する屋根躯体に対する追従性」「素材の耐久性」及び「大規模物件に対する適応性」の要求に応えられるステンレスシートをシーム溶接で一体化しメンブレン（防水層）として用いたステンレスシート防水工法が 1980 年頃から上市され、その革新的技術が評価され、1986 年 3 月本工法が日本建築学会の「建築工事標準仕様書・同解説 JASS8 防水工事」に「ステンレスシート防水工事」として新規に制定された。

立地条件問わず長期耐久性の要求に応えられるチタンについては、高温において活性な金属のためシーム溶接に伴う脆化が発生しやすいが、溶接条件の最適化に関する本研究の結果及び実績を経て、2000 年 7 月 JASS8 の改訂で現状のステンレスに追加して対象材料となった。

さらに、本工法の信頼性に関して筆者は、風圧（負圧）に対する本工法の信頼性を左右する溶接部の評価に風圧によるメンブレンの変位曲線にカタナリを当てはめた耐風性近似解析法を導出した評価法により信頼性を確立した。素材のステンレスについては、海岸地域での飛来海塩粒子によるステンレスメンブレンの耐食性特に、耐孔食性を考慮した腐食環境での適用指針、他方チタンについては、相手の金属との接触腐食（電食）問題及びスプリングバックなどの成形性解析評価研究に取り組み、本工法の信頼性確立に繋げた。

長期に亘り実用化研究したこれらの研究については、以下の通り 7 章に分けて報告する。

第 1 章「序論」では、研究の背景と目的及び既往の研究を紹介した。

第2章「チタンのメンブレンとしての性能分析と考察」では、チタンをステンレスシート防水工法のメンブレンとして用いる場合の、スプリングバック特性並びに電位が貴な電位のための電食問題を自然電位測定解析により工法上接触する金属材料を中心に組み合わせて比較解析した。本解析考察内容は、防水工法としての性能は無論、一般の屋根葺き材も含めた金属外装材の検討にも有効に適用出来る。

第3章「ステンレス鋼のメンブレンとしての耐食性考察」では、酸性雨に対するステンレスの耐食性能をアノード分極曲線測定及び腐食減量調査により、ステンレスの高耐食性の検証を行った。また、飛来海塩粒子による耐孔食性能については、ステンレスシート防水工法の場合、陸屋根に使用される事が多く、通常の勾配屋根による雨水の洗浄作用によるCl⁻イオンの洗浄が期待できなく、濃縮する危険があるため、飛来海塩粒子と離岸距離との相関関係を求めると共に、孔食進展則による孔食深さの経年推移を推定した。本考察は、特にステンレスをメンブレンとして使用する際に、防水の信頼性上、有効な考察となる。

第4章「チタンを用いた防水工法のシーム溶接最適化と評価」では、高温で脆化するチタンを溶接機の電極先端の形状も含めて最適な溶接条件を得るための溶接実験を実施して最適な溶接条件を求めた。特に実施工での溶接管理上必要不可欠な電流値とピール強度値(剥離強度値)の相関を実験により提示した。さらに、耐風性能に直結するこのピール強度の評価解析方法を風圧力により板厚0.4mmのメンブレンが変位する曲線にカタナリを当てはめた耐風性能近似解析法を導出することにより可能になった。著者が導出したこの近似解析法は本論文の中心であり、本章で導出過程及び耐風性試験、有限要素法による検証を詳述した。

第5章「ステンレス鋼を用いた防水工法の耐風性能と評価」では、第4章で導出した近似解析法を同類のステンレスシート防水工法に適用して検証した。本章ではさらに、実際の施工状態に準じたメンブレン周辺を溶接した密閉状態での耐風性能試験を開放状態と併せて実施し近似解析法と照合して溶接部のピール強度及び、風圧力により溶接下部境界に働く応力を解析した。この最大応力が働く部位に付いては、変動する風速に対するステンレス鋼の累積疲労損傷度を求める手法で疲労強度解析を実施したが、この解析手法は今後シート防水

工法の長期耐久性の評価法の有効な手段となると考える。

第6章「耐風性能解析法の勾配屋根工法への応用」では、第4章で導出し、第5章で同類の工法であるステレス防水工法に適用検証した耐風性能近似解析法をさらに発展応用させるために、断面形状が類似し、金属長尺屋根の代表工法である防水性能の高いスタンディングシーム葺工法に対して理論解析を展開して検証した。また、解析対象にした本工法の板厚は0.6mmであり、既存の金属屋根の瓦棒工法から各種の縦葺き工法まで本解析法が幅広く応用できることが確認できた。

第7章「結論」では、本論文の結論及び成果を述べると共に、今後の課題を最後に記した。

本研究の成果は以下の通りである。

- (1) チタンをメンブレンとして用いたシーム溶接の最適溶接条件を求め、電流値とピール強度値の相関関係を指標化した。
- (2) ピール強度の耐風性能評価が風圧力でメンブレンが浮き上がる曲線にカタナリを当てはめた耐風性能近似解析法の導出により可能になった。
- (3) 防水工法で適用した、耐風性能近似解析法を板厚0.6mmのフッ素鋼板を用いたスタンディングシーム葺工法に理論展開して本解法が薄板金属長尺屋根工法に応用出来ることを明らかにした。
- (4) 変動する風速に対する防水工法に用いたステンレス鋼の累積疲労損傷度を求め長期に亘り疲労破壊しないことを推測した。
- (5) 板厚0.4mmチタンのスプリングバック特性を理論式及び実験値を用いて解析した。また、自然電位測定により電食評価を行いチタンが防水工法の適材であることを検証した。
- (6) ステンレス鋼の酸性雨に対する耐食性をアノード分極曲線測定により検証すると共に、飛来海塩粒子による耐孔食性において、孔食進展則を用い長期耐久性の推定並びに、飛来海塩粒子量と離岸距離との相関関係を明らかにすることにより、海岸地域の腐食環境範囲を明確にした。

ここに、長期に亘りステンレス鋼及びチタンを用いた防水工法の諸課題に取り組んだ研究内容を勾配屋根への技術適用も含めて本研究論文として報告することにより、金属薄板を用いた防水屋根工法のさらなる信頼性構築に繋げたい。