

世界の建築を彩るチタン建材



近年、国内外でチタン建材の採用が増えている。世界的に活躍する建築家が次々と大型物件に採用し、建材としてのチタンの優れた機能性と意匠性に注目が集まっている。主な採用事例を通してチタン建材の可能性を探る。

中国国家大劇院(2007年) (図1)
(写真提供:新日鐵住金(株))

日本のものづくり力が切り拓いた チタン建材の可能性

フランスの建築家ポール・アンドリュースは、北京の中国国家大劇院(2007年)(図1)の外装材に日本製のチタン複合材を採用した。この中国最大となる国立劇場は、人工湖に浮かぶ宇宙船のようなドーム形状にデザインされた。その丸みのある外装は、1枚ずつチタン複合材を43,000 m²配置することで、幾千もの星がまたたいているかのような表情を醸し出し、世界の輝かしい未来を象徴している。

アンドリュースは設計当初から、アルミニウムハニカム材を芯材として、薄いチタンとステンレスで挟んだ複合材を使いたいというアイデアを持っていた。世界のチタンメーカーは、アンドリュースのアイデアに沿った試作品をつくったが、コストが高くなり折り合わなかった。しかもハニカムを芯材にした複合材は厚みがあるため、切ったり曲げたりという加工性も劣った。

こうしたなか、三菱化学産資(株)がビルの外壁・内装材や看板・標識などに用いられていたアルミニウム複合材の技術を応用し、アンドリュースのアイデアに合うチタン複合材の開発に成功した。チタン複合材は厚さ3.4 mmの不燃性芯材を間に、厚さ0.3 mmのチタンとステンレスを挟み込んだ構造になってい

る。特長としては、同じ剛性のチタン単板と比べて大幅な軽量化を実現できること、不燃性芯材を使用しているため燃えにくいこと、チタンを芯材と貼り合わせることで高い平面性を持っていること、加工性に優れることがあげられる。

実は、同社はかつてチタンを用いた複合材の試作を行ったが、マーケットを見つけることができず、当時、この技術は目のみすることはなかった。しかし中国国家大劇院への採用を契機に、中国国内では合肥の合肥滨湖国際会展中心(2011年)、寧波のNingbo Seaport Museum(2014年)、蕪湖のWuhu Urban Planning Exhibition Centre and Museum(2015年)など、次々と日本製のチタン複合材が採用された。この複合材には日本の鉄鋼メーカーが生産する高品質なチタンが使われており、日本のものづくり力がチタン建材の可能性を切り拓いたエポックメイクとなった。

また日本の鉄鋼メーカーのチタン建材が注目される契機となった事例として、スペインのホテル・マルケス・デ・リスカル(2004年)(図2)があげられる。世界的に活躍するカナダ出身の建築家フランク・オーウェン・ゲーリーが設計し、三次元の独創的な建築を創り上げた。採用された日本製のチタン建材はピンクやゴールドの発色を放ち、その色調と均一な表面に世界の注目が集まった。

ゲーリーは設計当初から、スペイン王室御用達の高級ワイン

● ホテル・マルケス・デ・リスカル (2004年) (図2)



● 九州国立博物館 (2004年) (図3)



(写真提供:新日鐵住金(株))

の産地として知られるホテルの立地にちなんで、赤ワインや白ワインが流れる様子を表現したいというアイデアを持っていた。そこで鮮やかな色調を醸し出すチタンを外装に取り入れることとし、日本の鉄鋼メーカーの豊富な発色チタン製品群に着目した。そして約2,400 m²に1.0 mm厚の発色チタンを採用した。ホテル・マルケス・デ・リスカルは、見る角度や天候、時間帯によって、チタン外装がさまざまな表情に変化する。独創的な美しいチタン外装のホテルを見るために世界中から多くの観光客が訪れている。

LCCMという価値観の提案

チタン建材は海外での評価が高まるとともに、日本国内でも需要を伸ばしている。日本ではまずチタンの優れた耐食性に注目が集まった。チタンは海水に対しても高い耐食性を示す。その理由は、不動態皮膜が塩化物イオンにも破壊されないためだ。万一表面が疵ついても不動態皮膜は瞬時に自己修復する。そのため、海水という厳しい腐食環境にさらされても白金並みの高耐食性を発揮することができる。

このようにチタンは高耐食性を発揮することから、潮風が吹く海浜地区に建設された東京ビッグサイトでは、当時チタン建材として世界最大規模となる総量140トンが採用された。東京のウォーターフロントを代表する建築として、逆三角形にデザインされた壁面はメンテナンスが難しく、海塩粒子による錆びが懸念された。チタンは他の素材に比べて、イニシャルコストが高くなるものの、ほぼメンテナンスフリーでランニングコストは極めて低い。建築物を20～30年以上にわたり長期使用する場合、ライフサイクルコストミニマム (LCCM) に優れ(次

頁図5)、経済的であるという価値観の提案についても評価された。

歪みの少ない長尺施工

チタンの熱膨張係数はステンレス鋼の1/2、アルミニウムの1/3で、温度の変化による伸縮や継目への応力集中が少ないため、長尺施工に有利である。

しかし、長尺金属屋根では、板の中央部にポケットウェーブと呼ばれるペコつき現象が発生することがある。ロールフォーミングなどの加工により面内に生じた残留圧縮応力が素材の座屈限界応力を超えた場合に発生するもので、美観を損なうため、意匠材として大きな課題であった。

ペコつき対策として、日本の鉄鋼メーカーは連続焼鈍酸洗で結晶粒を微細化する技術や、チタン板の端部にあらかじめ耳波を付与する技術などを開発した。一方、日本の屋根施工会社も、ロール成形の際にリブ加工やシーム溶接技術の構築に取り組んできた。その成果は福岡の九州国立博物館(2004年)(図3)で発揮され、120 mもの長尺屋根で歪みの少ない仕上がりを実現している。

寺社仏閣へもチタンを適用

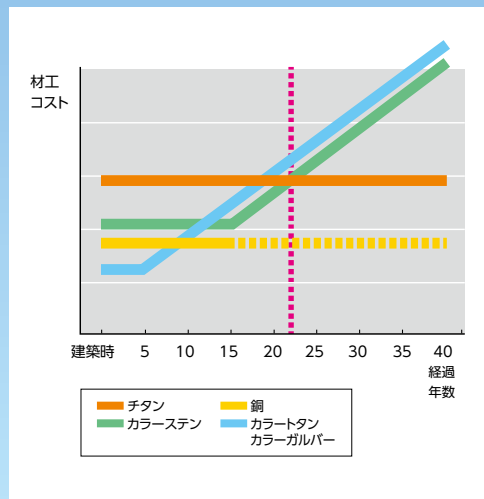
建材の選定では強度とともに重量もポイントになる。チタンの比重は、銅の8.9に対してチタンは4.51と約半分で、日本の寺社仏閣に多く使われてきた銅葺き屋根をチタン屋根に葺き替えることで重量を半減することができる。また比強度についても、アルミニウムの約3倍、鉄の約2倍と優れているため、屋

●浄土真宗本願寺派 本願寺鹿児島別院(図4)

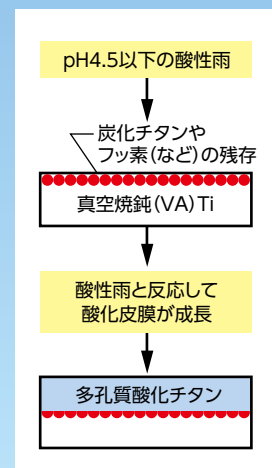


(写真提供:元旦ビューティ工業(株))

■金属屋根におけるLCCM比較(図5)



■変色に及ぼす材料や環境などの要因例(図6)



材料、環境さまざまな要因でチタン酸化皮膜が成長すると、光の干渉により着色しているように見えることがある。

根重量軽減による耐震性改善や、瓦落下防止による安全性、高所での作業性の向上に寄与することができる。

例えば南九州最大級の寺院である鹿児島の浄土真宗本願寺派本願寺鹿児島別院(2013年)(図4)では、本瓦に比べて1/14の軽量化が図られることによる耐震性向上への効果、そして桜島の火山灰による腐食の懸念がない優れた耐食性が高く評価され、チタンが屋根材として採用された。その背景には、日本の鉄鋼メーカーがチタン薄板の表面に酸化皮膜を適切に生成させることにより、瓦らしい落ち着いた色調にするとともに変色を抑えることに成功し、さらには酸化皮膜

により得られる優れた潤滑性を活かした高いプレス成形性によってチタン瓦の生産性を向上させた技術革新があった。

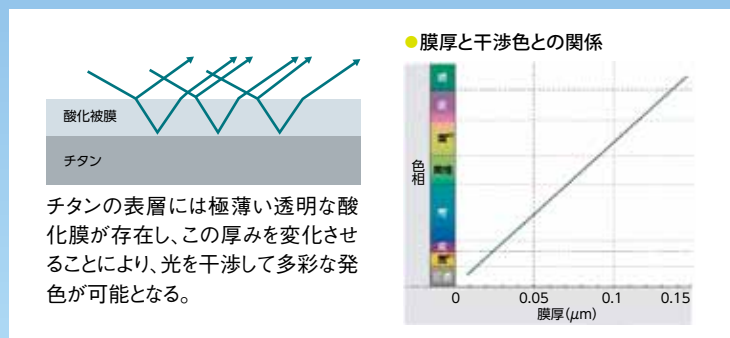
チタンは硬いため切断工具にダメージを与えたり、ヤング率が鉄の半分でたわみやすいため、曲げ加工においてスプリングバックが大きく、割れが生じやすいといった課題があった。しかし軟らかく加工性に優れたチタン材が開発され、鬼瓦などの複雑な形状も製作可能となっている。

チタン外装材の金字塔 ビルバオ・グッゲンハイム美術館(1997年)



スペインのビルバオ・グッゲンハイム美術館は、建築家フランク・オーウェン・ゲリーの最高傑作と称えられ、複雑な曲面で構成された彫刻のような外観は圧倒的な存在感を放っている。外装材についてゲリーは鉛、銅、アルミ、亜鉛、チタンを検討し、最終的には色、テクスチャー、光に対しての反射性、耐候性を考慮してチタンに決定した。複雑な三次元形状を、加工が難しいチタンでどうつくるか。航空宇宙産業で開発された3次元コンピュータモデリングプログラムを取り入れ、比類なき巨大建築を創り上げた。これを契機として、世界でチタン外装材の適用が増えるなど、多大な影響を与えた。

■ 干渉色の原理 (図7)



■ イオンプレーティング法の応用例 (図8)



(写真提供:東洋ステンレス研磨工業(株))

表面にイオンプレーティング法、裏面に陽極酸化法を施した発色チタン。耐候性に優れ、曲面加工にも耐え得ることから、形状の自由度が高い。

● 龍王神社 (2013年) (図9)



(写真提供:東洋ステンレス研磨工業(株))

意匠性研磨加工技術と イオンプレーティング技術との複合化

チタン建材は機能性ととも、多様化する意匠性のニーズにも応えてきた。チタンは塗装しなくても陽極酸化法により表面の薄い酸化皮膜(無色透明)の厚さを変えることで、100種類を超える美しい発色が可能となる。これはシャボン玉の薄い透明皮膜や水面に薄く浮いた油脂による虹色と同じ原理で、無色透明な不動態皮膜がさまざまな波長の光を反射するとき、光の干渉作用に伴い、強められた波長の光のみが色となって見えるためだ(図7)。

さらに最近では、チタンにイオンプレーティング(IP)法によりゴールドコーティングを施す技術が開発され、ものづくり日本大賞(2013年)の優秀賞を受賞した。従来よりゴールド仕上げの内外装材は、例えば銅の下地に金箔貼りを施したものなどが使用されているが、接着層の劣化等によってメンテナンスや再施工が必要となる。一方、IP法は、真空中でチタンをイオン化し、雰囲気中の窒素と反応させて、強い電気的な引力で金属表面に衝突させることでゴールドに加飾している。TiN層の厚みは塗装やめっきに比べ非常に薄いため、母材となる金属の表面にブラストや研磨を行いバリエーションをもたせることで、さまざまな意匠性を実現することができる(図8)。

実用化の段階では課題もあったが、日本の鉄鋼メーカーがこれまで培ってきた表面の酸化皮膜の分析、加工試験、経年変化を確認する促進試験といった論理的検証のもと、工業的に安定な品質を実現する技術を確認し、京都の六波羅

蜜寺本坊壁面や熊本龍王神社神殿屋根(2013年)(図9)など、荘厳性の求められる案件で採用が進んだ。なお、龍王神社神殿屋根は先の熊本地震でも被害はみられなかった。

良好な耐変色性能を発揮

外装材に使用したチタン板に腐食が発生した例は報告されていないが、長期間曝露されたチタン板の表面が暗い金色に変わることが報告されている。このような変色は、酸化皮膜中あるいは表面に微量な炭化チタン(圧延油残りに起因)やフッ素(酸洗の成分)が残存している場合、酸性雨と反応して酸化皮膜が成長すると起こり得る(図6)。現在では微量な炭化チタンやフッ素をチタン表面から適切に取り除く技術が確立され、課題を克服した。

チタン建材は本格的に使用され始めて数十年とまだ短い。しかしながら、優れた耐食性や意匠性などの特性から高機能建材として認知され、さらなる可能性に満ちた金属として注目を集めている。日本のものづくりの絶え間ない技術革新と、建築家や施主などの要望に応えるきめ細やかな対応力や提案力によって、今後ますますチタン建材の需要が広がっていくことが期待される。

●取材協力 新日鐵住金(株)、(株)神戸製鋼所、東洋ステンレス研磨工業(株)
●文 藤井 美穂