

チタン建材用途開発

芦原幸一

鉄鋼カンパニー・チタン営業部

New Titanium Markets in the Building and Construction Field

Koichi Ashihara

More than 20 years have passed since titanium materials were first used in the building and construction field. At present, about 150~200 tons per year are used in Japan alone. In this paper, actual building and construction projects that use Kobe Steel titanium are introduced. The characteristics of titanium in these fields, the advantages of Kobe Steel's titanium, and the future of titanium in these industries are also explained.

はじめに=鉄、アルミに次ぐ第三の金属を目指すチタンが、21世紀にむけて大きく飛躍するためには、チタン関連業界が一丸となって、強力な需要開拓活動を展開する必要がある。このため、1983年に(社)日本チタニウム協会(現:日本チタン協会)内に開発会議が新設され、海水淡水化、海洋開発とともに、「建材へのチタンの利用」を目的とした建築グループが設置され、業界あげての建材用途開発がスタートした。

その後、防火材料品質管理委員会を設置し、1987年7月に建設省建築基準法に定める「不燃材料」としての通則的認定を受けた。これにより防災上の各種制限のある大規模建築物や、特定行政庁が指定した区域での屋根、内外装材料として使用することが可能となり、その後の発展へとつながってきている。

1. 当社におけるチタン建材の推移

当社においても、(社)日本金属屋根協会に入会し、金属屋根会社に対し個別のPRを開始し、また、全国板金工業組合連合会に対しても、各県ごとにPR、講習会を開催し、全国各地をまわりなじみのうすいチタンの啓蒙活動を展開した。当時の建築業界におけるチタンの知名度といえば、「宇宙・航空機に使用されていて、高価で加工しやすい材料」といった程度であり、実際に現物を見たり、さ

わったりした人はほとんどいない状況であった。そのため、PRに際しては、10cm角の切板サンプルを多量に準備し、講習会に出席する会員に配布して実際に建材用ハサミで切ってもらったりもした。

溶接の勉強をしたいという会社に対しては、当社に会社してもらったり、先方に出向いたりして、実際の指導をおこなった。建築設計事務所に対しては、屋根材料としてのほかに類を見ない特性や、宇宙・航空機といったハイテク材料イメージなどでPRし、新素材による斬新なデザインの可能性をうたえ、また、業界誌に積極的に広告を掲載したりポスター、カレンダーを作成したり、物件完成時には記事として紹介し、チタン建材の知名度をあげるべく努めてきた。

第1表にチタン建材の主な利用状況を時系列的に示した。チタン建材の実用例は、1973年の大分県佐賀関町の早吸日女神社の屋根(約50m²)に始まる。その後小規模な物件に散発的に使用されたが、建材用チタンの近代的公共物件への採用は11年後、1984年オープンの東京電力(株)電力館の屋根(東京・渋谷・約720m²/1トン)であり、これがチタン建材の実質的なスタートである。

当社においては、1979年にバルテノン神殿(ギリシャ・アテネ)のカリアティデス乙女像などへの耐食補強材料(約7トン)として使用されたのが最初である。チタ

第1表 チタン建材の利用状況

Table 1 Applications of titanium to building and construction

歴 年	1975		1980				1985				1990				1995				2000			
	73	74	76	77	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	95	93	94	96	97	98	99
屋 根	早吸日女神社						東京電力電力館 須磨海浜水族園				RICインターナショナルビル オーシャンドーム マリンメッセ福岡				島根県立美術館 東京国立博物館平成館							
外 壁							三栄金属ビル				GINZA SEIビル 養命酒製造本社ビル				東京ビッグサイト 戦没者追悼平和祈念館							
その他			バルテノン神殿				虹の塔(モニュメント)				横浜みなとみらい(親水欄)				鹿島神社(大鳥居)							

ンはまったく錆びないので、補強材として乙女像に内蔵しても、錆が石を押して肝腎の像を破壊に至らしめるような恐れがない。また、熱膨張係数が $8.4 \times 10^{-6}/$ と、ステンレスの半分、アルミの $1/3$ と小さく、“あばれ”が少ない点から採用されたものであり、当社におけるチタン建材の夜明け前であった。

その後、当社関連の小物件をいくつか施工し、1986年、三栄金属ビル外壁(5トン)、1987年には、神戸市立須磨海浜水族園屋根(建築延面積 $10,400\text{m}^2$ 、チタン屋根 $2,330\text{m}^2$ 、 0.4t 、連続焼鈍酸洗肌、12トン)に採用された(写真1)。この水族館は開港200年を記念して神戸市が建設したもので、海岸沿いのためいつまでも錆びない金属として、チタンが採用されたものである。屋根工法は瓦葺工法であるが、テーパー状の瓦葺形状となっており、特殊なロール成形機を当社で開発し施工をおこなった。当社施設部のエンジニアリングのもとで、㈱淀川製鋼所に工事外注し完成した。この物件の成功が、当社におけるチタン建材への取組みに自信と、勢いをもたらしたといえる。

さらに、同年、群馬県生涯学習センター内に、カラーチタンモニュメント「虹の塔」を完工した。陽極酸化法による7色のカラー発色の円柱で、モニュメントとしては最初の大規模物件であった(直径 0.8m 、高さ 8m)。

1989年には、日本の中心的繁華街である銀座6丁目に「GINZA SEIビル」外壁3トンを、渋谷区道玄坂上に「養命酒製造本社ビル」外壁30トンを完工した。

1991年には、横浜みなとみらい21地区の臨港パークに、親水柵 520m を完工した(写真2)。これは構想から5年をへて、ようやく受注し納入したものである。デパートの展示会でチタンのスプーンや、装飾品を展示、PRしていたところへ、設計者が来展され、目にとまったのがきっかけであった。親水公園であるため、海と陸を区分する柵の要否が、コンセプトと安全性とのかねあいで長い間議論され、横浜博覧会をへて、必要との結論が出された。岸壁ギリギリに設置され、年中海水をあびるため、柵本体はもちろんアンカーボルト、止めボルトなど、すべてチタンで製作された。同地区の新港パークでも同形柵が1998年に施工されている。同地区は観光スポットであり時々テレビでも紹介される。1992年には、神戸市六甲アイランド地区に、高級高層マンション「RICインターナショナルビル」屋根10トンを完工した。

1993年には、宮崎県シーガイアの「オーシャンドーム」屋根18トンを完工した。全天候型の大型プール場を中心としたアミューズメントプレイスで、当社環境エンジニアリング部のガラス工事部門との共同作業となった。

さらに1993~94年にかけて、チタン建材としては、世界最大物件(総量 140 トン)である「東京国際展示場・会議棟」通称「東京ビッグサイト」の外壁材料を納入した(写真3)。本件は㈱新日本製鉄との半量づつの受注であったが、当社の表面肌が採用された結果、仕上製造工程は全量当社で実施した。本物件はウォーターフロント都市開発「臨海副都心」の中心的建築物であり“ふるさとシリーズ”で日本郵便切手にもなっている。逆三角形状



写真1 神戸市立須磨水族園/チタン屋根
Photo 1 Kobe Municipal Suma Aquarium/titanium roofing



写真2 横浜みなとみらい21/チタン柵
Photo 2 Yokohama Minato Mirai-21/titanium fence



写真3 東京ビッグサイト/チタン外壁
Photo 3 Tokyo Big Sight/titanium wall

の建物であるためメンテナンスもままならず、また埋立地に建設されているため、海塩粒子による錆が心配され、チタン以外には考えられなかったものである。

この物件を納入した年がチタン建材のピークであった。次いで、1994年には、福岡市の「マリンメッセ福岡」屋根 20 トンを納入した。

1996年には、「東京国立博物館平成館」屋根 13 トンを完工した。これは皇太子殿下御成婚を記念する建物で、100年設計をコンセプトに、現代で考えられる最適の材料を使用し、後世につたえるものとするとのことで、屋根材料としてチタンが採用された。

1998年には、「島根県立美術館」屋根 22 トン、「戦没者追悼平和祈念館」外壁 17 トンを納入した。

また、兵庫県高砂市の鹿嶋神社に、チタン製大鳥居を納入した(写真4)。高さ 26m、幅 35m、柱直径 3m、チタン 10 トンの大型鳥居である。鳥居は木材又は石材を使用するのが常であるが、大型となると木材の入手も困難であり、コンクリートや鉄鋼が多くなっている。しかしながらコンクリートは耐震性や汚れに問題があり、鉄鋼は耐食性や美観から 10 年ごとに塗装しなければならない。同神社では後世に残る鳥居として、耐食性、美観、メンテナンスを考慮してチタンを採用したものであり、この分野はチタン建材にとって有望なものとなりつつある。

2. 建築材料におけるチタンの特性

2.1 優れた耐食性

チタンの建材における特性は、高耐食につきるといっても過言ではない。自然環境下においては、100%の耐食性を有する。ステンレスやアルミとくらべ、耐紫外線性(変色)、耐海塩粒子性(孔食)、耐酸性雨性(孔食)耐もらい錆性など、すべてにおいて優れている。とくに近年地球環境の悪化にともない、酸性雨による石や金属の被害が報告されているが、チタンは、脱不動態化する pH 値が 1 以下であり、現実的にみて、酸性雨中では腐食しないと考えられる。また、耐食性比較として、チタンと、ステンレスとの複合サイクル試験をおこない、



写真 4 鹿嶋神社/チタン大鳥居

Photo 4 Kashima Shinto Shrine/Titanium Big Sacred Arch

SUS304, SUS316L はもちろん、SUS447J1 にも発錆が認められるのに対し、チタンには一切認められないことが確認された。このように、優れた耐食性を有する金属であるが、使用においては、ガルバニック腐食を充分考慮に入れて、補強材や、ボルトナットの材質を選定することが肝要である(通常、SUS304 を勧めている)。

2.2 建材としての適度な機械的性質

第 2 表にチタンと他金属との物性比較を示す。チタンの比重は 4.51 で銅の約 50%、ステンレスの約 60% と軽いため、高所での作業性に優れている。

熱膨張係数はステンレスの 1/2、アルミの 1/3 であるため、気温の変化による変形や継目への応力集中が少なくすむ。さらに、ガラス、コンクリートと近似値にあるので、多種材質の組合わせである建築に適している。また、熱伝導率が低く、保温性に富んでいる。いっぽう、ヤング率は鉄の半分で、たわみやすい性質を持っているため、曲げ加工においては、この点を考慮して曲げる必要がある。強度は普通鋼と同程度であり、機械加工は容易である。

2.3 陽極酸化法によるカラー発色が可能

チタン素地は銀白色(シルバーグレイ)であるが、陽極酸化法により多彩な色調の調整が可能である。

第 2 表 チタンと他金属との物性比較
Table 2 Comparison of physical properties of titanium and other metals

	Unalloyed Titanium	Iron	18-8 Stainless Steel AISI304	Aluminum	Copper
Melting point	1 668	1 530	1 400 ~ 1 427	660	1 083
Density g/cm ³	4.51	7.86	8.03	2.70	8.93
Young's Modulus kgf/mm ²	10.85 × 10 ³	19.60 × 10 ³	20.32 × 10 ³	7.05 × 10 ³	11.90 × 10 ³
Thermal Conductivity cal/cm ² /sec/ °C	0.041	0.145	0.039	0.487	0.923
Coefficient of Thermal Expansion cm/cm/ Δ ~ 100	8.4 × 10 ⁻⁶	12.0 × 10 ⁻⁶	16.5 × 10 ⁻⁶	23.0 × 10 ⁻⁶	16.8 × 10 ⁻⁶

2.4 自然にやさしい金属

有害物質が溶出しなため、自然環境をみだすことなく、生態系を変えることもなく、まさに、21世紀に人類が期待する金属といえる。

3. 当社 AP (連続焼鈍酸洗) 材料の特徴

3.1 屋根材におけるポケットウェーブ(ペコ)の少ない材料

ポケットウェーブとは長尺金属屋根に時々見られるペコつき現象のことで、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こえた場合に生ずる弾性座屈に起因する凹凸のことで、美観を損うため設計者にきらわれる点である。当社においてはこの問題を解決するべく AP 処理により結晶粒径を均一微細にコントロールすることにより成形時のポケットウェーブ発生を大幅に改善することに成功している(詳細は本号 p.35 参照)。

3.2 光の反射によるギラツキの少ない材料

酸洗仕上のため、真空焼鈍材とくらべて光沢度が 1/3 ~ 1/2 と小さくなり、ギラツキが少い(詳細は本号 p.35 参照)。

3.3 変色の少ない材料

AP 仕上材と VA (真空焼鈍) 材の表面分析をみると、VA 材には表面の酸化皮膜中に多量の炭素が存在するとともに、基材のチタンの中にも炭素が侵入している。この炭素が選択的に酸素と置換され酸化が進みやすくなるものと考えられる。VA 材の素材中の炭素の混入は真空焼鈍炉の炉壁に吸着していた有機物質(油など)が焼鈍時にチタン基材中に拡散侵入したものと考えられる。いっぽう、表面近傍の炭素は、軽圧延後の脱脂で除去されなかった残留圧延油分とみなされる。AP 材の場合は、酸洗により表面近傍の炭素など汚染物質が除去されるため、清浄な表面となり変色は少ない。

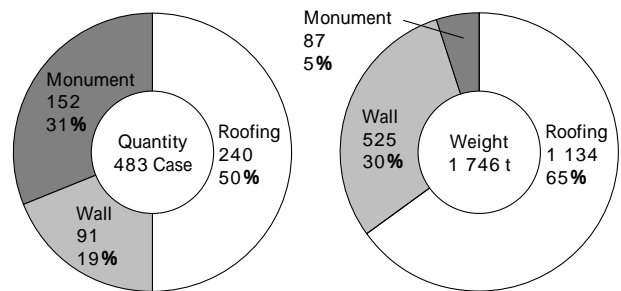
変色の要因についてはまだ十分に解明されたとはいえず、日本チタン協会が主体となって研究中である。

4. 今後の展望

チタン建材は全国で年間 150~200 トンの規模に達し、高品質材料として定着したが、今後、さらに数量を拡大していくためには、引続き臨海地域や、恒久的建築物への屋根、外壁といった意匠材としての適用を働きかけていく一方で、換気フードや櫛などの建材商品の開発、また、構造材としての認定取得や海外への展開など、分野の拡大を図ることが必要と考える。

4.1 臨海地域、恒久的建築物への拡販

ライフサイクルコストから見れば安価なチタンであるが、初期投資の割高感は否めない。材料、工事両部門の



第1図 1986~1998年全国チタン建築物実績(完工、歴年ベース)
Fig. 1 1986~1998 Actual Result of the Building and Construction using Titanium Material in Japan

コスト低減をおこなうことにより金属特性を生かした対象として引続き建材用途の主流となろう。

4.2 寺社への適用

天然木材は環境保護の点から今後、増々入手困難となってきている。また、酸性雨による影響は、文化財に深刻な被害を及ぼしつつあり、従来の材料に代って耐食性の高いチタンが注目されてきている。

4.3 建材商品の開発(換気フードなど)

無毒性、環境にやさしい金属、錆による汚れがない金属といったコンセプトでの商品化が進むものと考ええる。

4.4 海外展開

チタン建材はそのほとんどが日本国内での使用であるが、1997年スペインのグッゲンハイム美術館の外壁にチタンが使用され、そのデザインとチタンがマッチしすばらしい建築物と評価されている。これを機会に海外でもチタンが注目されてきており、欧米を主体に大きな潜在市場が出現したといえる。

むすび=およそ地球上に人類が誕生して以来、雨露をしのぐ居住空間を確保し、あるいは集落を形成するための“建築”という行為は、人類にとってまさに欠くことの出来ない根本的な営みであった。時を経て、信仰のシンボルとして、また権力の象徴として、さらには芸術の表現として、建築物はより荘厳に、より華麗に、変遷してきた。

古代国家から中世、近代を経て現代に至るまで、また東洋と西洋という異文化のなかで、多くの建築家たちがその情熱とロマンとイマジネーションを建築物に託してきたといっても過言ではない。今、現代から未来にかけて、建築は快適空間の創造、地球環境への積極的配慮といった新しいビジョンと課題のもとに、次なる展開を迎えようとしている。チタンが本格的に建築分野に進出して、すでに20年がすぎ、150~200トン/年で定着、推移しているが、ライフサイクルアセスメントと地球環境という21世紀のキーワードを軸に大ブレイクする可能性があると期待する。