

建築, 土木, 海洋分野へのチタン材の適用状況と今後の展望

Application of Titanium to Construction, Civil Engineering and Ocean Development



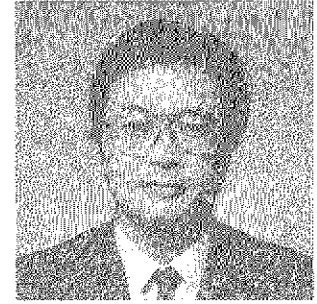
木 村 欽 一^{*(1)}
Kinichi KIMURA



木 下 和 宏^{*(1)}
Kazuhiro KINOSHITA



徳 野 清 則^{*(1)}
Kiyonori TOKUNO



清 水 寛 史^{*(1)}
Hiroshi SHIMIZU

抄 録

新日本製鐵では、建材、土木、そして船舶等の海洋分野での新規用途開発に力を入れている。建材分野ではユーザーニーズにこたえるため種々の表面仕上げを開発している。土木分野では鉄骨鋼材へのチタンの各種ライニング技術を開発し、最近では大阪湾の夢洲～舞洲連絡橋のポンツーンに採用されている。海洋分野ではオールチタン製船舶を開発し、それを契機に船舶の各種部材へのチタン適用に関心が高まっている。

Abstract

Nippon Steel is exerting efforts to open up new applications for titanium such as materials for buildings, civil engineering and ships, and other marine structures. In the building materials area, the company has realized various surface finishes to meet customers' diverse needs. In the civil engineering area, it has developed techniques for lining structures with titanium-clad steel sheets. Recently, the company has applied titanium to the pontoons of a floating bridge linking Yumeshima and Maishima Islands in the Port of Osaka. In other marine applications, Nippon Steel has produced all-titanium ships, spurring interest in the wider use of titanium in shipbuilding.

1. 結 言

チタン、特に工業用純チタンは、主に優れた耐食性から、化学、発電プラントにおいて使用されている。最近、チタンが眼鏡、ゴルフクラブといった身近なものへ使われるようになってきており、建材にも使用されてきている。当初、屋根、壁への適用は、耐食性の理由から使用されていた。しかし、その需要が広がるにつれ、表面の意匠性をも要求されてきており、新日本製鐵ではユーザーニーズに応えるべく種々の表面仕上げ材を開発している。

土木分野では、鋼の腐れ代を考慮した設計思想から、メンテナンスフリーを指向した防食を目的とした思想に変わりつつある。そこで、防食のためにチタンを活用する事例がでてきている。その防食(防護)方法としては、基本的に鋼構造物の上をチタンでカバーするものであるが、チタンと鋼は溶接できない。そこで、新日本製鐵は、長期間の使用に耐えうるチタンによる防食方法を開発してき

た。

チタンは、海水中では、ほぼ絶対的な耐食性を有しており、耐食性の観点からは、船舶に使用される最適の材料と考えられるが、一部軍用で使用されたとの情報があるものの一般にはほとんど使用されていない。そこで、新日本製鐵は造船メーカーに協力しつつオールチタン製の船が完成し、注目されている。

ここでは、建材、土木、そして海洋、船舶への新日本製鐵のチタン適用開発状況について述べる。

2. 建材分野

2.1 チタンの建材需要および採用理由

27年前に初めてチタンが建材に使われてから、図1でわかるように、増減があるもののこの約10年間は全国での使用量は着実に伸びてきている¹⁾。1993年から1995年にかけては、福岡ドーム(1993

^{*(1)} チタン事業部 マネジャー

東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-7982

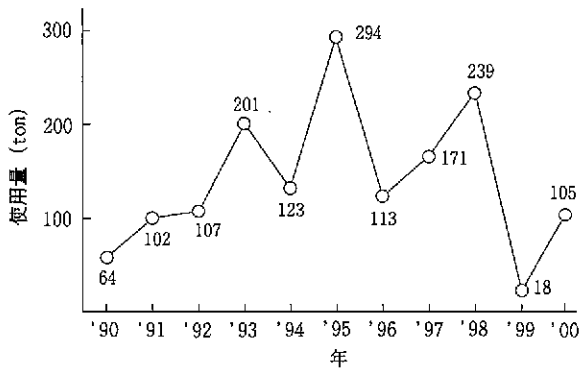


図1 1990～1999年の建材実績の推移(完工ベース)

年、120 t)、首都高速道換気塔(1994年、68 t)、東京国際展示場(1995年、140 t)、福岡マリメッセ(1995年、60 t)のような大型物件にチタンが採用されている。一方、1996年、1997年は、大型物件が無いにもかかわらず、多くの小型物件にて各々113 tおよび171 tの量がでていいる。そして、1998年には、島根県立美術館(60 t)、東京の昭和館(57 t、写真1)、陽光子友乃会(20 t)がある。ただ、1999年は低迷したが、2000年は大分スタジアム(80 t)などがある。このように、建材分野におけるチタンの適用が定着した感がある。

用途別では、1986年から1997年にかけての使用割合では、屋根が64%、外壁が30%、その他モニュメント等となっており、チタンは屋根に多く使用されている¹⁾。

チタンは厳しい自然の腐食環境に対して抜群の耐食性を有しており、2000年に集計したチタン採用理由(複数回答)では、耐食性51%、意匠性43%および軽量性6%となっており、耐食性を理由に挙げる件数が他を圧倒している¹⁾。特に、海浜地域、火山地域、さらには、昨今の酸性雨対策としても他材料を凌駕する抜群の耐食性を有している。それらの例として、過酷な環境下である海浜地域では、沖縄県立武道館(1997年、23 t)や東京/お台場のフジテレビ本社ビル/球体展望室(1996年、14 t)など多数あり、火山地域としては、鹿児島県庁舎・議会議事堂、警察署、行政棟(1995、1996年、70 t)などが挙げられる。また、昨今の酸性雨の影響として神社等の文化財に被害を及ぼし始めており、そのため、一休寺(1992年、1 t)および北野天満宮(1998年、4 t、写真2)の屋根にチタンが採用されている。

1997年には、100年建築をコンセプトとした東京国立博物館/平成館(18 t)および奈良国立博物館(13 t)の両国立博物館にチタンが採用されている。

ただ、チタンの採用理由として意匠性およびチタンイメージを挙げる件数が多くなってきて、チタン独自の素地、そして発色やアルミナプラストなどによる色彩が好まれるようになってきており、耐食性のみではなく、表面の意匠性の要求が従来より一層強くなっている傾向がある。

2.2 建材向けチタン板の表面意匠

チタンの抜群の耐食性は、チタン素地そのものが有しており、防食のための特殊な表面処理等は全く不要である。建材にチタンが使用され始めた頃は、その表面は建材用途に特別に製造管理されたものでない場合があった。

しかし、その需要が増えるにつれ、チタンにも意匠性がより強く

要求されるようになり、各チタン製造メーカーは、その要求に応えるべく研究開発を行ってきており、新日本製鐵は建材用チタンの素地の製造法および仕上げとして、下記の表面仕上げを開発、実用化してきた。

1) ロールダル

調質圧延(スキンパス)等の圧延において、ダルロールを用いてチタン表面にロールの凹凸を転写する方法である。表面は比較的光沢を有している。物件例としては、フジテレビ本社ビル/球体展望室(前述)や沖縄県立武道館(前述)、大阪市港区スポーツセンター(1995年、21 t)などがある。

2) ロールダル+酸洗の組み合わせ

硝酸などでチタン表面を酸洗する方法と、上記のロールダル法の組み合わせで、白さの中にチタン固有の金属色のある色調である。最近では、この表面仕上げが大型物件に多く採用されており、三重県立看護大学(1997年、30 t)、島根県立美術館(1998年、60 t)や宗教団体/陽光子友乃会神殿(1998年、30 t)などがある。

3) アルミナショットブラスト

新日本製鐵が独自に開発した表面意匠材で、アルミナのショットブラストで表面をダルにする方法である。表面の光沢度が比較的低く灰色っぽい色調である。物件例としては、一休寺(前述)、東京国立博物館/平成館(1997年、18 t)や東京の昭和館(1998年、57 t)などがある。

4) 発色材

チタン素地の上記の各意匠性に加えて、陽極酸化法で発色させて、青色や金色等のチタンでしか得られない鮮やかな色を着ける方法があり、大阪/花屋敷ゴルフ場のクラブハウス(1993年、5 t)や、ニューヨークのコンデナッサ社ビルのカフェテリアの内装(1998年、5 t)には、鮮やかな青色に発色されたチタンが使用されている。

また、酸性雨で被害がでている神社屋根において、緑青の生成した銅板の代わりに、アルミナショット後に緑色を発色させて銅の緑青色に似せた表面のチタンが大徳寺/黄梅院(1996年、2 t)や、京都/北野天満宮(1998年、4 t)などに使用されている。また、奈良国立博物館では既設の博物館の屋根(コルテン鋼)に合わせるためにアルミナショット後に茶色(コルテン色)を発色させたチタンが使用されている。

ここ数年、各製造メーカーが多様な市場ニーズに応えてきた開発努力の成果として、ステンレス鋼板と同じような酸洗ダルなどに加えて、アルミナショットや発色材などチタン独自の表面仕上げも加わり、幅の広い表面意匠性の世界を造り上げてきている。

2.3 貴重な歴史的文化的財を守るチタン建材

大気中のCO₂濃度(約350ppm)と併行状態にある水のpH(水素イオン濃度)は約5.6であり、それ以下のpHの雨を酸性雨という。酸性雨によって、ギリシアのパルテノン神殿などの貴重な歴史的文化的遺産が損傷を受けていると報告されている²⁾。日本でも、京都市北区の光悦寺で谷桶に使用された板厚0.5mmの銅板が使用後16年で腐食により貫通穴が発生している³⁾。そこで、酸性雨の実態を調査した結果、京都でもpH4程度の酸性雨が降っており、その成分にはSO₄²⁻が多く含まれていることが確認された⁴⁾。このような酸性雨によって銅板に被害が及び始めていると考えられる。

そこで、模擬酸性雨による再現試験を行った結果、チタンでは全く腐食が発生しないのに比べて、銅板では腐食が認められた⁵⁾。チ

タン建材は銅イオンの流出のような問題もなく、後世に残すべき貴重な文化遺産の保存に適しており、さらに歴史的景観にもマッチするので和風建築物でも注目されている。

最近クロースアップされている建材の課題として、施工後、数年を経過すると次第に施工当初の銀色から茶色味を帯びた色に変わっていくとの変色問題がある。これは、チタンが腐食したり穴があく等の機能上の問題ではない。

しかし新日本製鐵では、その原因について暴露試験材および実際の施工物件で変色の程度に差異があるものについて、成分、材質等詳細に分析した。また、変色の程度を定量的な評価方法を確立した。そして、材料が使用中に変色するかどうかを、従来は暴露試験等で長時間要していたものを、試験室にて短時間に評価することができるようになった。すなわち、従来は変色有無を評価するのに、暴露試験によって数年要したものをわずか数週間で評価し、製造条件との関係も定量的に関連づけることが可能となり、変色に及ぼす影響因子を明確化した。これらによって変色し難い材料を開発することができた。この結果、従来材に比べて格段に変色し難い材料を開発し、既に大分スポーツ公園メインスタジアム(写真3)の屋根には新日本製鐵の耐変色性の優れた材料が使用されている。

さらに建材の場合、建物としての見映えの均一性が重要視される。つまり、屋根等の外装の表面色調が部分的に異なると見映えが悪くなり問題となる場合がある。大半の物件は、1ロット(コイル)で充当できるものではなく、複数ロット(コイル)を充当しなければならない。熱間圧延～冷間圧延～製品に至るまでの製造条件を制御しても、コイル間では表面性状が僅かながら微妙に異なる。そのため新日本製鐵では、ロット管理を徹底して行い、また、施工に際しては各ロット(コイル)の表面色調を把握して、ロット毎の施工位置を施工を行うファブリケーターへ提示するなどの対応を行って、建物としての均一性を確保している。

3. 海洋分野へのチタン適用状況

3.1 海洋構造物への適用

海洋鋼構造物においては、40年前頃までは防食という考え方はなく鋼材の腐食代でもって設計されてきていた。今でもこの考え方は残っているが、1997年に改訂された(財)沿岸開発技術研究センターの“港湾構造物 防食・補修マニュアル”⁶⁾では腐食代の考え方を廃止し、何らかの防食をする事を推奨している。これは、メンテナンスに掛かる費用をミニマム化して将来へ負の遺産を残さないとの建設省の指針⁷⁾にも合致している考え方である。このように時代の流れは強度部材は安価な鋼で構築し、その鋼を何らかの方法で防護(防食)することで構造物の長寿命化を図る方向へ移っている。この中でチタンを適用した工法は最も長寿命を期待されているのは言うまでもない。この防食法にチタンを適用した具体的な工法としては、チタンクラッド鋼板ライニング防食とチタン薄板ライニング防食が開発されている。

前者は鋼構造物にチタンクラッド鋼板を溶接で直接接合しライニングするもので、100年規模の耐用が期待されている。後者は鋼管杭の防食にチタン薄板をライニングする工法で既設鋼管杭の補修工法と新設鋼管杭へのプレ被覆法がある。

3.2 チタンクラッド鋼板ライニング防食

超長期に渡る耐用を期待する大型の海洋鋼構造物において、その干満帯付近の防食は最も難しい課題であった。チタンクラッド鋼板

ライニングによる防食法の開発はその課題を解決すると共に耐用年数のより長期化を実現する画期的な工法となった。このチタンクラッド鋼板ライニング防食法は東京湾横断道路(TTB)橋脚の飛沫干満帯(写真4(a))^{8,9)}に採用されたのが最初であった。以後、基本的な構造は同様で、次の紋別氷海展望塔(写真4(b))¹⁰⁾まではコンクリートとのハイブリット構造の鋼材の防食であった。メガフロート研究組合での研究で浮体構造物¹¹⁾の防食に広がり、夢洲～舞洲連絡橋のポンツーンで浮体の実機工事を実現した。

大阪湾に埋め立て建設中の夢洲と舞洲を結ぶ夢洲～舞洲連絡橋で、チタンクラッド鋼板ライニング防食工事は1998年11月～1999年2月に施工された。橋の構造は2つのポンツーンを基礎としてそこに橋脚を建て、橋桁で繋ぐことで一体化した橋梁全体が浮体となっている世界初の旋回式浮体橋である。チタンクラッド鋼板ライニング防食はこの2つのポンツーンの喫水帯に対して施工されている。基本的な構造は先に述べたように東京湾横断道路の橋脚に施工されたものと同様である。

3.3 チタン薄板ライニング防食

3.3.1 既設鋼管杭の防食

約15年前から既設鋼管杭の防食法としてペトロラタム被覆に0.5mm程度の薄板チタンカバーをした防食工法の開発を行ってきた。従来の防食法は、水中塗装、モルタル被覆、ペトロラタム被覆+FRPカバー等の工法が施工されてきたが、何れも耐久性が十分でなかった。この寿命の理由として材質の劣化が挙げられるが、ペトロラタム被覆+FRPカバーの場合ペトロラタムよりFRPの劣化が原因であった。1985年に施工した新日本製鐵名古屋製鉄所でのペトロラタム被覆+チタンカバー防食を1995年に解体し、調査を行った結果、チタンは言うまでもなくペトロラタムにも全く劣化が見られず、良好な結果が得られた¹²⁾。チタンカバーによる紫外線劣化の防護の効果と考えられる。この結果を元に近年徐々にこの工法の適用が広がって来ている。

3.3.2 新設鋼管杭のプレ被覆

防食鋼管杭として樹脂ライニングされたものが商品化されているが、何れも強度や耐久年数が十分なものではない。工場で鋼管にチタン薄板を被覆し鋼管杭として打ち込むことで、強度と耐食性に優れた防食鋼管杭が開発されようとしている。

4. 船舶への適用

船舶分野へのチタンの適用は旧ソ連が先行していたと思われるが、主に軍事用であった為にその詳細は明らかにされていない。従って、ここでは国内の状況についてのみ述べたい。オールチタンの船の建造は意外と古くからあって、1985年にオールチタン製ヨット“摩利支天”が建造されており¹³⁾、その発想は昔からあったものである。しかしながら、残念なことに近年になるまで2隻目の建造がなされずに至っていた。約3年前に唐津の(有)江藤造船所がオールチタン船製造を決意し、溶接技術を習得、2隻の漁船を建造してから業界の船舶分野への関心が高まり、昨年、(社)日本チタン協会内に船舶ワーキンググループが結成され、船舶分野への展開の可能性を追求して活動している。その中で、周辺部材にもチタンの適用を検討する造船所が現れ、幾つかの部材に適用が実現している。

これまでに建造されたオールチタン船と言えるものは、ヨットでは、摩利支天、タイタンレディ、漁船では、第二朝日丸(写真5)、

昭丸の4隻である。この内、タイタンレディ、第二朝日丸、昭丸の3隻は船長12~14m、排水量5 t未満で、このクラスの公的検査であるJCIの船舶検査に合格している。

周辺部材としてチタンを使用する目的は、耐食性と軽量化である。これまでに実現してきたものを挙げると、排気冷却管、消音器(耐食性)、消火用等海水導水管およびバルブ(耐食性)、舵、シャフトブラケット(軽量化)、プロペラ、シャフト(耐食性、軽量化)等がある。これらの実績は数量的に少数であるばかりでなく、適用が始まったばかりの部材もある。

5. 今後の展望

上述した建材、土木および船舶へのチタン適用は、いずれとも国内での事例ばかりである。

しかし、建材に関しては、1997年にスペインのGUGGENHEIM美術館の外装に約80 tものチタンが採用され、これを機に海外においてもチタンが着目されるようになってきている。低迷を続ける建設需要の中で、国内では、大分スタジアム(80 t)以後、大型プロジェクトが少なく、端境期の様相を呈している一方、今後は、海外での需要が見込まれ、期待できるところである。

土木分野ではまだ限られた分野に留まっている。その理由として、ユーザー側に、チタンが高価である、加工が難しい、などの情報不足によるところも考えられる。そのため、使用者サイドの情報不足に対しては日本チタン協会のPR活動等により、より多くの

ユーザーにチタン適用の可能性を追求して貰えるようにしていくことが必要である。また、製造コストの低減については、製造メーカーによる材料価格の切り下げに期待するだけでなく、特に船舶に関しては、接合作業が多く、そのため、例えばMIG溶接の開発など、加工法の工夫や開発が実施されることが不可避である。そして、これらが一体となって実現していくことによって、チタンが本来最も得意とする海洋分野での大いなる発展が期待できる。

参考文献

- 1) 山本喜孝:チタン, 49 (3), 98(2001)
- 2) 古明池哲人:材料と環境, 41, 118(1992)
- 3) 紀平寛, 松橋亮, 添田精一, 田籠直子, 木下孝一:第42回腐食防食討論会講演集, 1995, p.23
- 4) 田籠直子, 紀平寛, 木下孝一, 中村利則, 添田精一:腐食防食'94講演集, 1994
- 5) 高橋康雄, 田所裕, 武藤泉, 田籠直子, 等俊一:新日鉄技報, (352), 9(1994)
- 6) 港湾構造物防食・補修マニュアル(改訂版), (財)沿岸開発技術研究センター, 1997
- 7) 平成6年度建設技術研究開発の概要要求概要, 建設省, 1993
- 8) 香川祐次ら:土木学会論文集, (435), VI-15(1991)
- 9) 田所裕ら:新日鉄技報, (344), (1992)
- 10) 佐藤完久ら:Marine Voice21, 195, (1997)
- 11) 松岡和己ら:材料と環境, 47 (8), (1998)
- 12) 木下和宏ら:防錆管理, 41 (12), (1997)
- 13) 上瀧洋明:チタン, 48 (1), (2000)

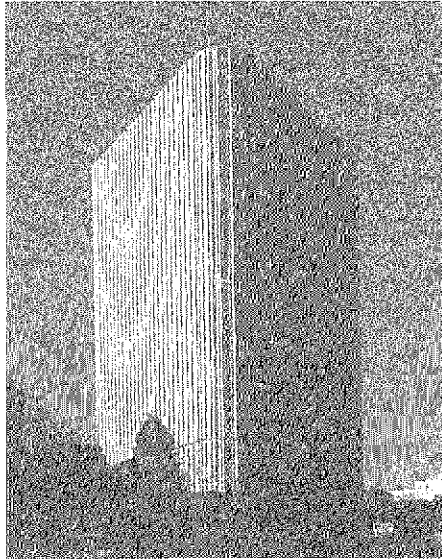
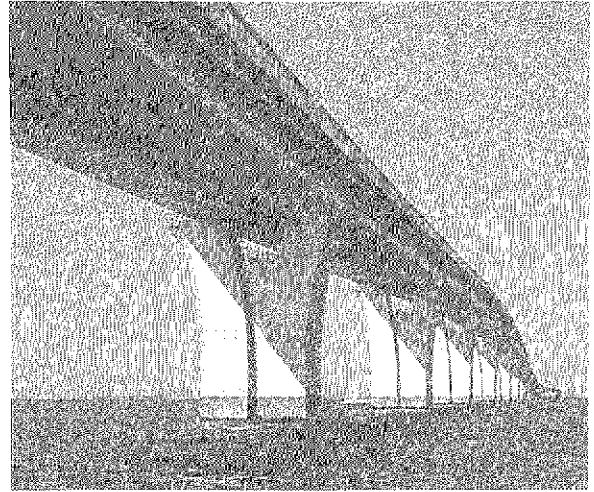


写真1 独自の表座懸垂性を持つ建材：昭和館外壁（東京九段下、アルミナプラスト仕上げ）



(a) 東京湾横断道路（アクアライン）の橋脚

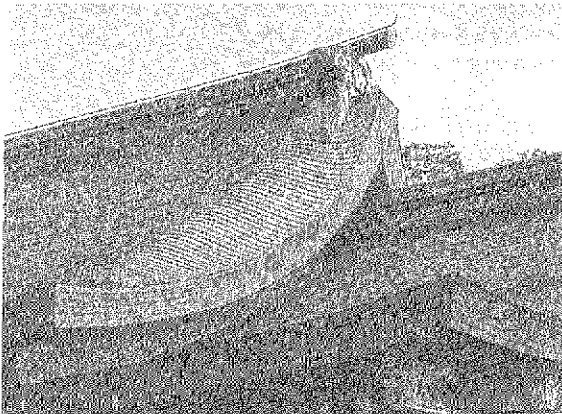
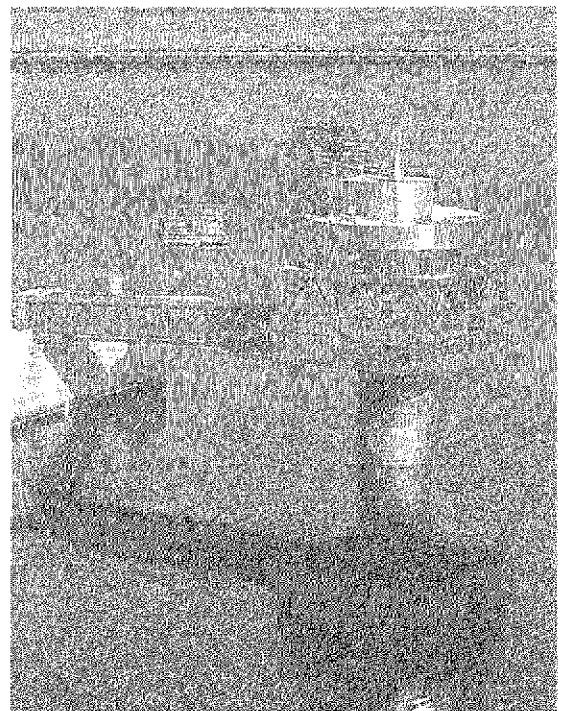


写真2 貴重な歴史的文化財を守るチタン建材：北野天満宮宝物殿屋根（京都上京区、アルミナプラスト仕上げ～緑色紫色）



(b) 穀別湾水海展望塔

写真4 海洋鋼構造物の超長期防食法に用いられるチタンクラッド鋼板

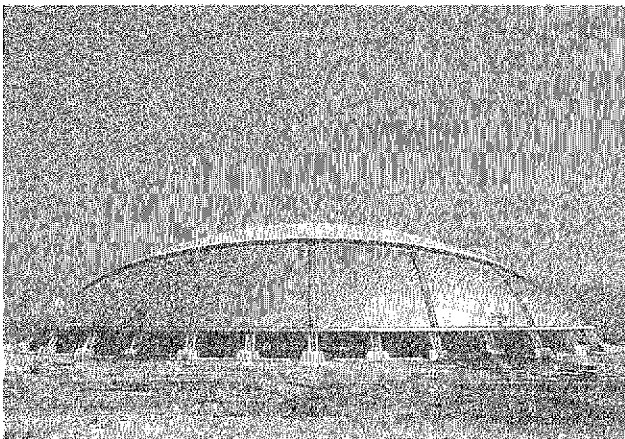


写真3 大分スタジアム

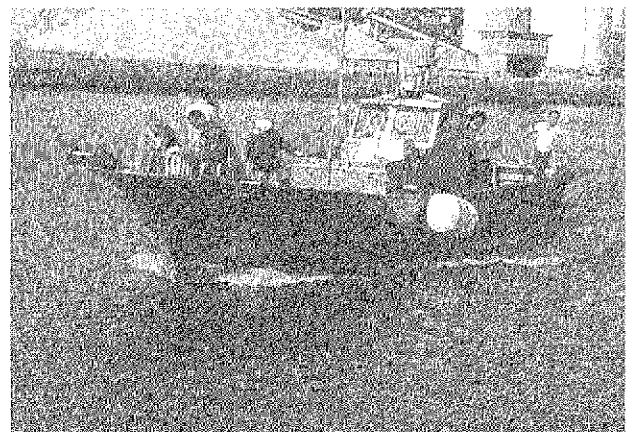


写真5 全チタン製小型船舶（佐賀県唐津市、1998年進水）