

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.19 (1987) No.1

---

長大橋用アルミ合金製点検作業車

Aluminum-Alloy-Made Maintenance Trolley for Super-Long Bridge

遠藤 伸一(Shin-ichi Endo) 志賀 厚(Atsushi Shiga) 山本 栄達 (Eitatsu Yamamoto) 福島 完治(Kanji Fukushima)

---

要旨：

本州四国連絡橋・児島－坂出ルート of 番の州高架橋向アルミ合金製点検作業車を製作した。構造部分のアルミ合金材と機械部分の鋼材との異種金属接触腐食の問題や溶接作業の重要性などアルミ合金材特有の性質を念頭において設計をスタートした。機能的には、狭い場所で安全な点検作業が行いやすいような考慮を払うとともに、コンパクト化とメンテナンスフリーに重点をおいた構造とした。また、製作に関しては、着手前に綿密な溶接の基礎実験を実施して、欠陥防止のための環境管理基準の作成や、溶接条件の設定はもとより、模型製作により、構造体に発生する溶接歪量の予測を行い、万全を期した製作工程を確立した。

---

Synopsis：

The design of the aluminum-alloy-made maintenance trollies, which was to be equipped to the Bannosu-Bridge linking the Kojima-Sakaide route spanning Honshu and Shikoku Island of Japan, was started taking into consideration the characteristics of the aluminum-alloy materials such as the galvanic corrosion problem between different materials - aluminum alloy for structural parts and steel for mechanical parts - and the welding procedure of the aluminum-alloy structure which posed most important problems. As the trollies were to be operated under the limited spaces of bridge girders, the compact size and the maintenance-free operation were emphasized in designing. For welding of the aluminum alloy, a fundamental experiment with a structure model, was carried out before starting of manufacture. Based upon the data obtained, control standards and circumstantial conditions for welding were settled, and the manufacturing process of the aluminum-alloy structure with minimum distortion was established.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

## Aluminum-Alloy-Made Maintenance Trolley for Super-Long Bridge



遠藤 伸一  
Shin-ichi Endo  
川鉄鉄構工業(株) 播磨工場品質管理グループ 部長



志賀 厚  
Atsushi Shiga  
エンジニアリング事業部 研究開発センター 施工研究室 主任研究員(課長)



山本 栄達  
Eitatsu Yamamoto  
川鉄鉄構工業(株) 開発部 企画主幹



福島 完治  
Kanji Fukushima  
川鉄鉄構工業(株) 播磨工場産業機械製造課

### 1 緒 言

本州四国連絡橋の児島・坂出ルートの四国側起点となる番の州地区には道路・鉄道併用橋と道路単独橋の2形式の高架橋が建設されている。いずれの橋梁にも保守点検作業車が設置される。今回受注したアルミ合金製点検作業車23台のうち19台は道路・鉄道併用橋部分の、上部道路桁と下部鉄道設備の間の非常に狭い空間に1径間1台ずつ設置される。残りは道路橋と鉄道橋が分岐した後の道路単独橋に設置されるもので、15径間を4台でカバーしている。いずれも橋桁下面を懸垂走行して、橋桁の損傷状態を点検し、塗装などの作業を行うことを目的としているが、両者の構造はまったく異なるものである。

アルミ合金材を主要構造部分に用いたのは、橋桁本体への負担を軽くし少しでも経済的な長大橋を設計する目的のほか、長期間の使用に耐える耐食性が良いためである。

### 要旨

本州四国連絡橋・児島-坂出ルートの番の州高架橋向アルミ合金製点検作業車を製作した。構造部分のアルミ合金材と機械部分の鋼材との異種金属接触腐食の問題や溶接作業の重要性などアルミ合金材特有の性質を念頭において設計をスタートした。

機能的には、狭い場所で安全な点検作業が行いやすいような考慮を払うとともに、コンパクト化とメンテナンスフリーに重点をおいた構造とした。また、製作に関しては、着手前に綿密な溶接の基礎実験を実施して、欠陥防止のための環境管理基準の作成や、溶接条件の設定はもとより、模型製作により、構造体に発生する溶接歪量の予測を行い、万全を期した製作工程を確立した。

### Synopsis:

The design of the aluminum-alloy-made maintenance trolleys, which was to be equipped to the Bannosu-Bridge linking the Kojima-Sakaide route spanning Honshu and Shikoku Island of Japan, was started taking into consideration the characteristics of the aluminum-alloy materials such as the galvanic corrosion problem between different materials—aluminum alloy for structural parts and steel for mechanical parts—and the welding procedure of the aluminum-alloy structure which posed most important problems. As the trolleys were to be operated under the limited spaces of bridge girders, the compact size and the maintenance-free operation were emphasized in designing. For welding of the aluminum alloy, a fundamental experiment with a structure model, was carried out before starting of manufacture. Based upon the data obtained, control standards and circumstantial conditions for welding were settled, and the manufacturing process of the aluminum-alloy structure with minimum distortion was established.

作業車は橋梁の寿命と同じ期間腐食などによる破損が許されないため、とくに高水準の溶接品質が要求されるが、アルミ合金は熱伝導率、線膨張率、融点および水素溶解度が鉄鋼材とは著しく異なり、溶接時に気孔が生じやすく、変形量が大きくなる。従来鉄鋼構造物の溶接には十分な経験を有しているが、アルミ合金材の溶接構造物については事前実験による条件選定や、歪量の把握および歪矯正法の確立を行った。さらに、環境条件のわずかな変化が敏感に溶接部の品質を左右するため、アルミ合金の溶接作業場として、外部からの粉塵を防ぎ温度と湿度を一定に保つ専用ヤードを新設した。また最も良い溶接姿勢を保つことも溶接品質確保の重要な要件となるため大型の回転治具を工夫し、これに材料をセットしてつねに最良位置で溶接作業ができるようにした。また、この治具によって25mの構造物を分割することなく一体で製作可能である。

以下に本作業車の構造を紹介するとともに、アルミ合金材を用い

\* 昭和61年9月30日原稿受付

た構造物の設計上留意した点と溶接をメインテーマとした製作工程確立の経緯を報告する。

## 2 構造概要

### 2.1 道路・鉄道併用橋用作業車

本機は Fig. 1 のごとく上部道路桁と下部鉄道設備の間の狭い空間を走行して、上部道路桁の保守点検に供される外面作業車である。構造は、2本のプレートガーダを組み合わせた点検フレームを4点で懸垂したもので、各懸垂点に走行車輪を組み込んである。走行装置を中央に配し、長軸とユニバーサルジョイントを介して車輪を駆動する。走行速度は4~10 m/min 可変である。1台当りの自重は13tで、このうち鋼製の走行装置と電気品を除いた約半分がAl合金材の重量である。なお、橋桁はカーブしているため幅方向に傾斜がついており、橋桁との取り合いのため19台の作業車はそれぞれ少しずつ寸法の異なるものとなった。走行給電はケーブル式で、リールにより巻き取る方式とした。

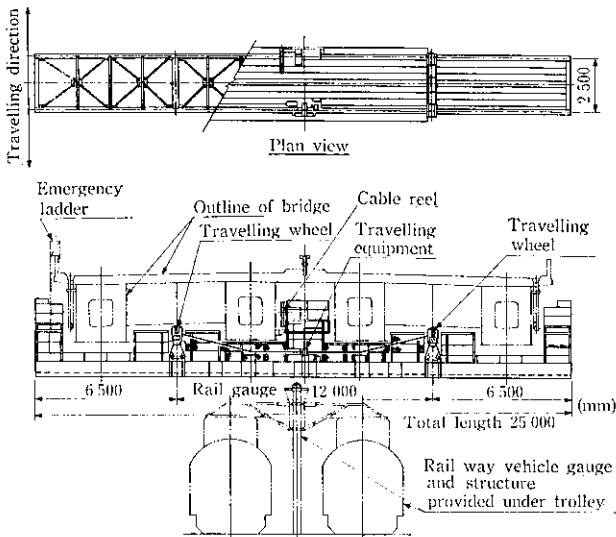


Fig. 1 Trolley for combination bridge of auto road and rail way

### 2.2 道路単独橋用作業車

本機も外面作業車であるが、15径間約1kmを2区に分け、上り線と下り線を各2台ずつ計4台でカバーする点が併用橋用と異なる。橋脚上部の狭い空間を走行して次の径間へ移動するために、Fig. 2のようにフレーム本体は昇降と旋回ができる構造とした。また、点検台や手摺も上下に伸縮可能な設計とした。運動仕様は次のとおりである。

走行: 2~10 m/min 可変, 1.5 kW ブレーキ付きかご形モータ (2台)

旋回: 0.5 rpm, 1.5 kW ブレーキ付きかご形モータ

昇降: 0.33 m/min, 5.5 kW ブレーキ付きかご形モータ

この4台も、橋との取り合いで少しずつ寸法が異なり、4基の平均自重は約12t、そのうちAl合金は約2.5tである。走行集電には多径間を移動するために絶縁トロリ線を採用した。Photo 1はテスト中の同作業車である。

主要機械部分は、走行装置、旋回装置および昇降装置を上部のブロックに集中しており、昇降部分と点検作業フレームとが旋回ベア

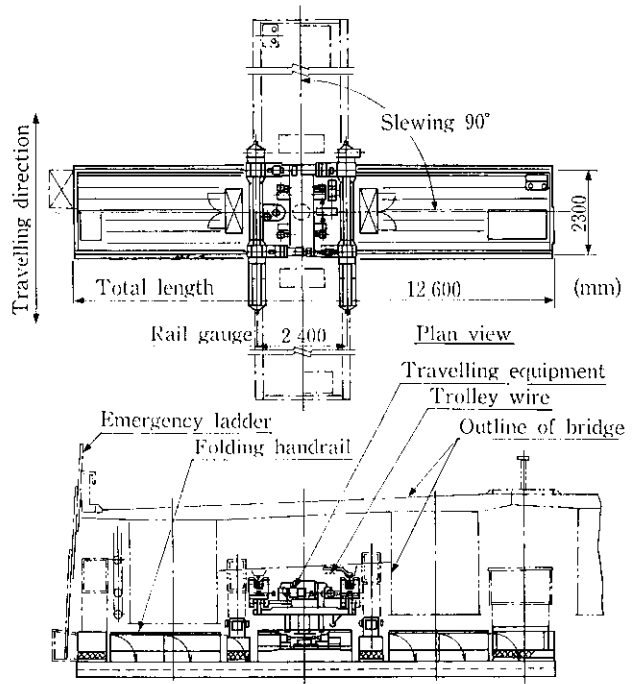


Fig. 2 Trolley for auto road bridge

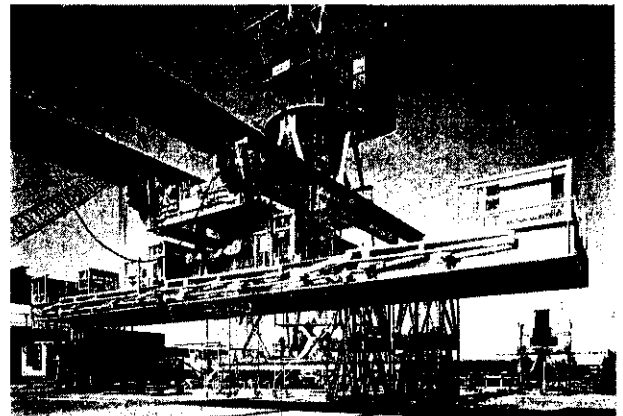


Photo 1 Trolley for Auto road bridge

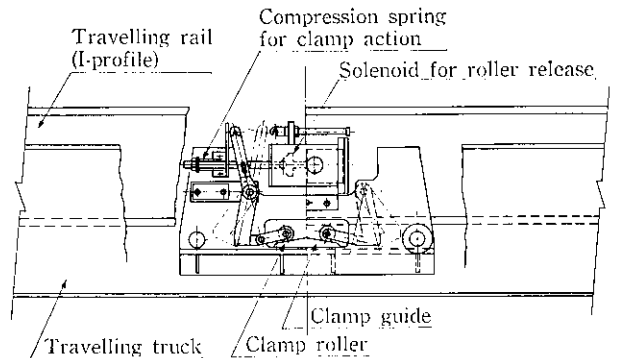


Fig. 3 Wedge-roller type rail clamp

リングを介して連結された構造である。旋回装置はギヤドモータによりウオーム減速機を介して旋回ベアリングの外輪ギヤを駆動する構造である。昇降装置はモータより減速機を経て4本のスクレージャッキを駆動する方式とした。また、走行装置は2本のサドルそれぞれにギヤドモータを配し、長軸とベベルギヤにより連結された各4輪を全数駆動する構造とした。走行サドルには Fig. 3 に示す

クサビローラ式逸走防止用のレールクランプを組み込んだ。走行停止時にはパネによってクランプローラが走行レールとクランプガイドの間に軽く押しつけられ、外力が働くとただちにローラが喰い込んでクランプの働きをする。走行時はソレノイドの働きによりローラを外側へ離しておくので、走行に支障をきたさない構造となっている。

点検作業フレームが昇降・旋回する作業車は他に例をみない特殊構造であり、全機に設置したクサビローラ式逸走防止用レールクランプとともに、新しい技術を採用したものである。

### 3 設計上の留意点

#### 3.1 設計基準

国内基準として「アルミニウム合金建築構造物設計施工基準(案)」(日本建築学会)や「アルミニウム合金土木構造物設計・施工指針(案)」(軽金属協会)があり、その他いくつかの外国の基準<sup>24)</sup>がある。しかし、アルミ合金構造物の強度検討の基準となるものは鋼構造の場合のそれとは比較にならないほど少なく、クレーン鋼構造計算基準<sup>25)</sup>のように制定されたものはない。今回は、本州四国連絡橋公団第二建設局の「点検補修用作業車製作・据付共通仕様書(案)」の規定によった。

#### 3.2 材料の選定

アルミ合金の選定にさいしては、強度、溶接性、加工性および耐食性を考慮し下記のとおりとした。

プレート材	A5083P-0 (JIS H4000)
床材	A6061S-T6 (JIS H4100)
棒材	A5083BE-0 (JIS H4040)
竊床材	A5052P-F (JIS H4000)
L材, H材	A5083S-H112 (JIS H4100)
角パイプ材	A6061S-T6 (JIS H4100)
エキスパンド	A5052P-H34 (JIS H4000)

なお、主桁上下フランジは、溶接以外の切断、歪取り、4コーナの面取り加工などの工費の削減を狙って、押型形材(A5083S-H112)を採用した。

#### 3.3 腐食対策

アルミ合金はとくに異種金属との接触腐食を起こしやすいので、今回の作業車の設計には、次の対策を盛り込んだ。

- (1) アルミ合金部に使用するボルト類は原則として SUS304 (JIS G4303) を使用するが、ハイテンボルトのように規定の強度が必要なものには溶融亜鉛メッキを施した。
- (2) モータ、減速機、軸受、電気機器などの鋼材と接触する部分には、SUS304 (JIS G4304) のシムを挿入した。
- (3) アルミ合金と接触する給脂配管には、被覆銅管を採用した。
- (4) ピン類も SUS304 を原則としたが、大物で鋼材を使用する場合は、Al 合金側に SUS304 のブッシュを挿入した。

#### 3.4 溶接施工対策

アルミ合金の溶接は、環境によって欠陥の発生が左右されるため、環境管理のできるヤード以外では溶接作業を実施しないこととした。そのため、従来現場作業で取り付けていた電気配管用ブラケットなどの小物にいたるまで図面化し、製缶工程ですべての溶接が完了し、専用ヤード外での組立時に溶接工程が発生しないように

した。また、TIG 溶接と MIG 溶接を併用するが、いずれもトーチのノズル径が大きく小回りが効かないので、部材の形状、部材間隔、溶接順序、溶接の大きさ、完了後の処理など溶接施工管理者と十分な事前検討を行って決定した。

#### 3.5 切断加工

アルミ合金材の加工はプラズマで粗切断した後、機械加工あるいはのこ切断によって行われる。したがって、曲線加工がむずかしいので直線加工を標準とした。なお、今回は小物材料にいたるまですべて開先加工を完了した切断材料23台分を一度に購入することによって、大幅な工数削減を図った。

#### 3.6 機能上の特徴

機能上両機の設計にとくに留意した点をまとめると次のとおりである。

- (1) スムーズな加減速とステップレスコントロールで任意の速度がだせるようにインバータ制御を採用した。
- (2) 小型軽量のクサビローラ形走行レールクランプを新たに開発した(実用新案出願中)。レールクランプは従来強力なパネの力によりレールをクランプする形式が多く、これを解放するために大がかりな油圧シリンダなどが必要であった。アルミ作業車では、軽量化、コンパクト化が条件であることから、小型軽量で強力なクランプ装置を設置した。
- (3) メンテナンスフリーと信頼性向上のためリミットスイッチはすべて近接タイプとし、道路単独橋用の複雑な動作に対応した。
- (4) 懸垂走行ながら、あらゆる条件下で安定した走行運転ができるよう全輪駆動とした。

### 4 溶接実験と本体製作結果

番の州高架橋向点検作業車はビルトアップ I 形断面の桁 2 本を主桁とする大型の溶接一体構造物であり、下向きの突合せおよびすみ肉溶接が主となる。

アルミ合金 (A5083) と鋼 (SS41) の物性は Table 1 のごとくであり、またアルミ合金の凝固温度での水素溶解度<sup>26)</sup>は 0.036 ml/100 g と小さいので、アルミ合金の溶接においては、鋼より気孔が生じやすく、また発生する歪量も大きい。したがって、本体製作前に溶接性試験と 1/4 長さの実大実験によって、溶接条件の確立および歪防止対策に関する検討を行った。

Table 1 Comparison of physical properties of aluminum-alloy and steel

Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Melting point (°C)	Specific heat (cal/g·°C)	Thermal expansion coefficient (10 <sup>-6</sup> /°C)	Heat conductivity (cal/cm·s·°C)
A 5083	2.66	595~640	0.23	25	0.31
SS 41	7.86	1500~1527	0.11	12	0.12

#### 4.1 溶接欠陥の防止

主構造物の溶接箇所はウェブ、フランジそれぞれの突合せ部と主桁のすみ肉溶接部がおもなもので、他はスティフナと主桁ウェブあるいは底部 H 型材とのすみ肉溶接である。欠陥防止を図るべく溶接姿勢を下向け突合せおよび水平すみ肉溶接に限定し、適正溶接条



る気孔と歪については次のごとくであった。

溶接部の気孔は溶接条件よりも環境条件の影響が大きく、4.1 節で述べたようにアルミ合金溶接専用ヤードを設置し、Table 2 の管理基準を遵守して良好な結果が得られた。

一方、溶接歪については、角変形に対し逆歪を、縦および横収縮に対し部材余長を設けることにより、満足できる結果が得られた。また、面外変形に対しては拘束治具を使用するとともに、部材加工時、主桁組立時などにおける変形を少なくすることによって対処し、最終的に面組立時に生じた歪は冷間・温間矯正を行う程度で済ませることができ、作業車製作工程を確立することができた。

## 5 結 言

番の州高架橋に納入した点検作業車は、吊橋部に使用される外面

作業車と比較すると小型ではあるが、旋回、昇降機構を備え複雑な動きをする道路単独橋用作業車や、コンパクト設計のレールクランプなど他ではみられないものを含んでいる。

アルミ合金材の溶接に関しては、十分な事前の実験を行った上で施工基準を設定し、製作時の諸問題に対処した製作工程を確立した。

橋梁の維持管理のための作業車のニーズはますます高まることが予想されるので、ここで確立した技術をもってさらに大型作業車の設計・製作を目指したい。

本プロジェクトの実施にあたっては、本州四国連絡橋公団第二建設局および坂出工事事務所の各位、大阪大学名誉教授 前田博士、京都大学教授 水野博士および川崎重工業株式会社播磨工場長 須瀬博士に有効なご指導、ご助言をいただいた。紙面を借りて深謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 社団法人軽金属溶接構造協会：アルミニウム構造物の溶接施工管理 (1981)
- 2) ASCE Paper No. 3341: Suggested Specifications for Structures of Aluminum Alloys 6061-T6 and 6062-T6 (1962)
- 3) ASCE Paper No. 3342: Suggested Specifications for Structures of Aluminum 6063-T5 and 6063-T6 (1962)
- 4) DIN 4113: Aluminium Konstruktionen unter vorwiegend ruhender Berastung (1980)
- 5) JISB 8821, クレーン構造部分の計算基準 (1976)
- 6) 水野政夫, 簗田和之, 阪口 章: 「アルミニウムとその合金の溶接」, 溶接全書第 13 巻, (1979), [産報出版]
- 7) 社団法人軽金属溶接構造協会・気孔防止研究委員会編: アルミニウム及びアルミニウム合金溶接部の気孔発生のメカニズム (1982)
- 8) 社団法人軽金属溶接構造協会: アルミニウム合金ミグ溶接部の気孔防止マニュアル (1979)
- 9) 社団法人軽金属溶接構造協会: アルミニウム合金の溶接ひずみ防止マニュアル (1983)