

長大コンクリートアーチ橋 (別府橋)のメラン材の設計と架設

Design and Construction of Melan Members for Long-Span Concrete Arch Bridges—the Case of Beppu-bashi Bridge

久保田 幸 男* 木 越 俊 夫** 松 本 泰 成***
 Yukio KUBOTA Toshio KIGOSHI Yasunari MATSUMOTO

Summary

The Beppu-bashi Bridge which is under construction will become the concrete arch bridge with the longest span in the East upon its completion. For the erection of this long-span concrete arch bridge both the truss cantilever method and Melan method were adopted.

This report describes the outline of the design of the Melan members which are in the middle of the arch. The bridge's bearing-shoe structure and the erection method during which the whole of the Melan members, 70m in total, was lifted are also described.

1. まえがき

別府橋は、長崎と大分を結ぶ九州横断自動車道の終点近く、別府市に建設中のコンクリートアーチ橋である。アーチスパンは235mで、昭和64年春の完成により東洋一の長大アーチ橋となる(図-1)。

別府橋の架設工法としては、種々検討の結果、水平材、鉛直材及び斜吊材によりトラスを形成しながらリングを張出し架設するトラスカンチレバー工法が採用された(図-2、写真-1)。アーチリングが両側アバットから約85mの張り出し架設が完了すると、残る中央クラウン部約70mの間に、メラン材と称する鋼製のアーチ部材を先

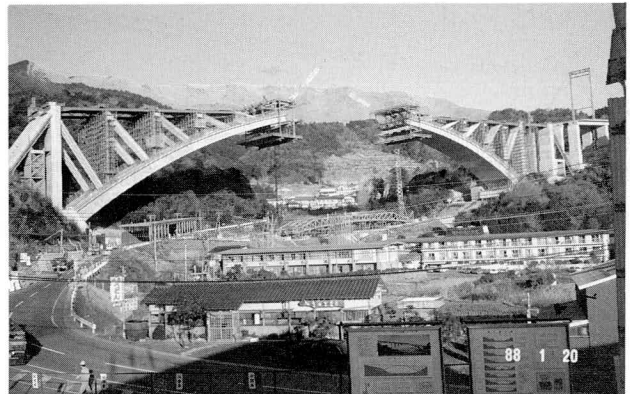


写真-1 アーチリングのトラスカンチレバー架設

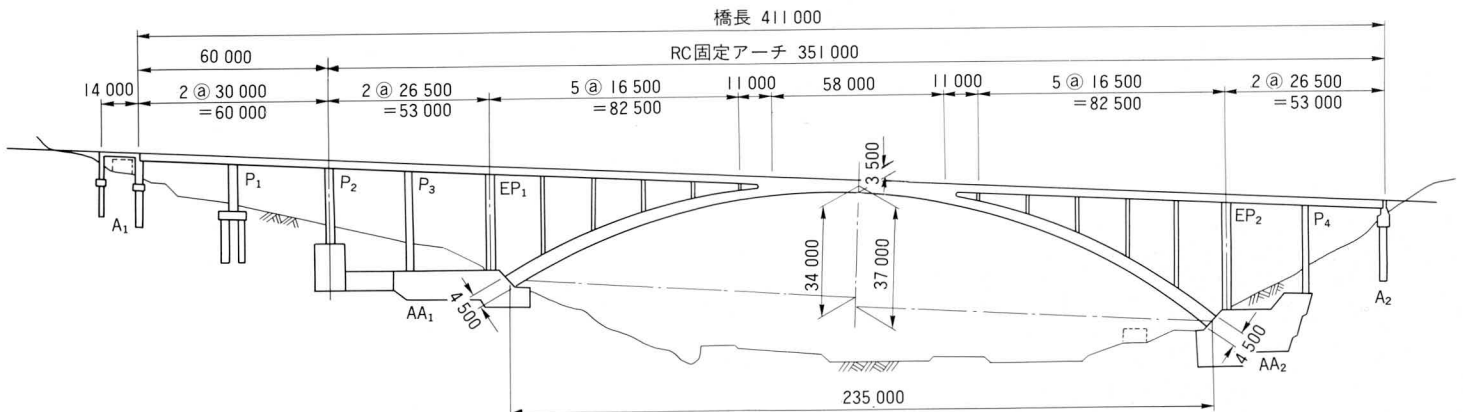


図-1 別府橋一般図

* 技術本部設計部設計第一課長
 ** 千葉工場工事部工事計画課長

*** 宮地建設工業(株)大阪支店工事部計画課課長補佐

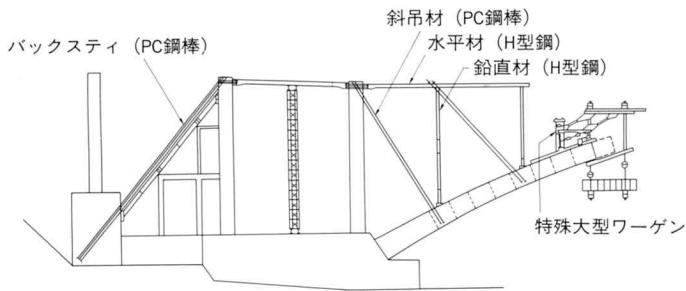


図-2 トラスカンチレバー工法

行架設する。このメラン材により左右のアーチリングを連結し、仮閉合が終了する。メラン材は、クラウン部コンクリート重量を支持する支保工の役目と、コンクリートと鋼より成る複合アーチを形成する役目を兼ねる部材である。

本文では、このメラン材の設計の概略と、一括架設について報告するものである。

2. メラン材の設計

(1) メラン主構

メラン材の構造は、図-3、図-4に示す様にプラットトラス4主構面で構成される2主構を単位として上下に横構を設けて、疑似箱桁を形成している。それぞれの桁は間隔保持のため、仮支材で連結する。この仮支材は、コンクリート打設が進むに従い撤去する。又、コンクリート打設ブロックにある対傾構についても順次撤去していくものである。メラン材には、

メラン材鋼材自重 (約530 t)

ワーゲン自重 (約250 t/基×2基)

打設コンクリート自重 (約10 t/m)

等の大きな荷重が作用する。その他に作業荷重、風荷重、地震荷重、温度変化、支点移動の影響及び、コンクリートの乾燥収縮、クリープの影響を考慮している。

メラン材の断面力は、水平、鉛直材等すべてを含めた全体架設系で解析され、施工段階ごとに逐次構造形を変化させて求めている。即ち、メラン材自重に対しては、

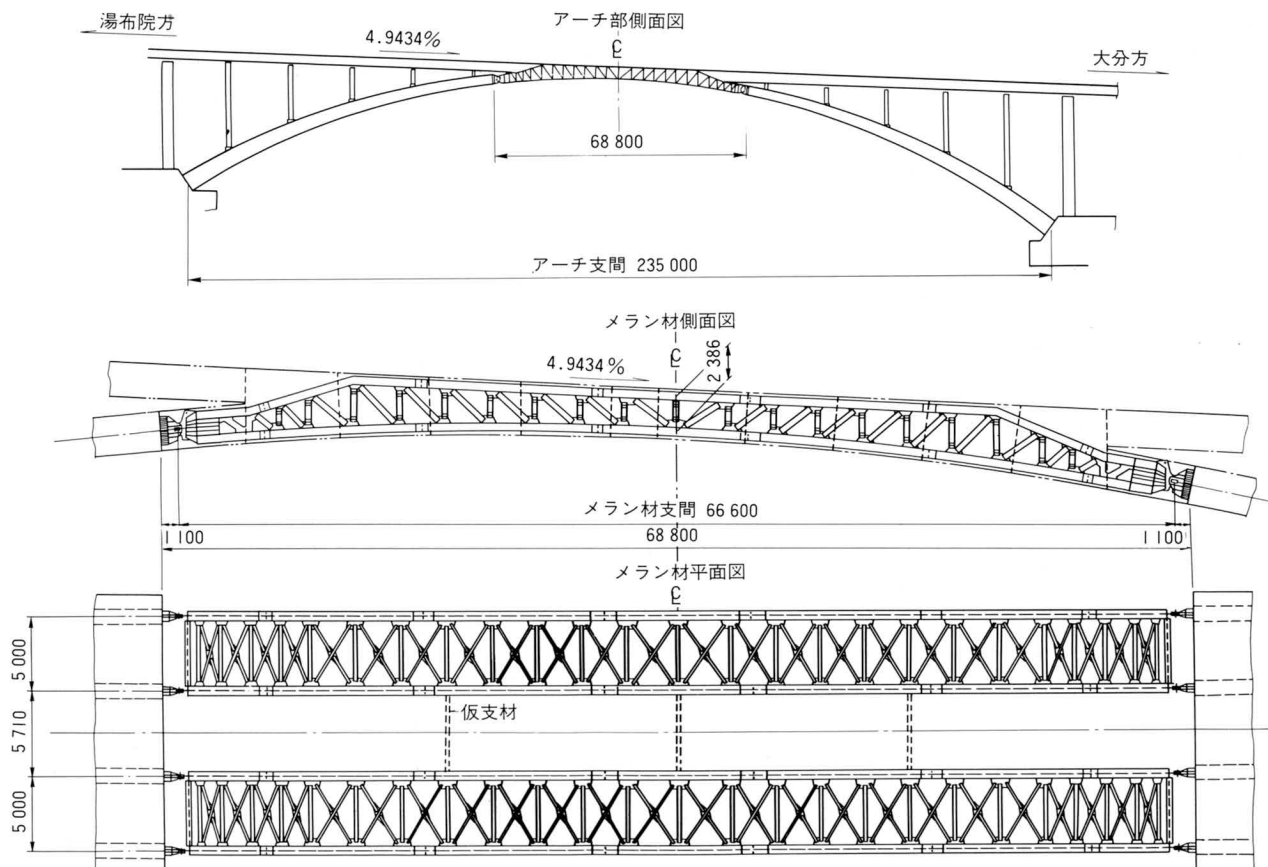


図-3 メラン材一般図

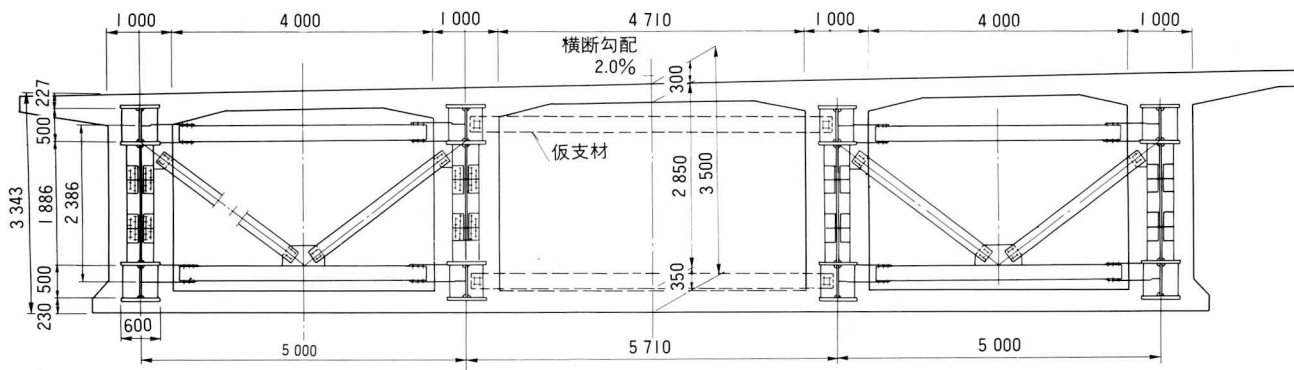


図-4 アーチクラウン部断面図

メラン両端は単純支持（一端ピン、他端可動）状態であり、メラン部最初のコンクリートブロック打設時には、両端ピン支持になり、次のステップでは、前回の打設ブロックは硬化し、メランの両端はアーチリングと剛結状態に変化していく如くである。なお、この様な全体架設系の解析は、別府橋工事の元請である鹿島建設・住友建設共同企業体にて行なわれた。

図-5 にメラン材の最大断面力図と、メラン上下弦材の断面構成図を示す。最大断面は支間中央部で、SM58材の板厚50mmが必要となった。

部材の連結には、高力ボルトM24（F10T）を使用し、ボルト本数を少なくし、ボルト列が10列以上になるのを避けた。

(2) メラン支承部の構造について

メランの支承は、メラン材の一括架設に先だって、アー

チリング先端の所定の位置に、P C鋼棒で定着固定される。機能的には、メラン材の架設完了時において、メランは両端ピン支持である。

コンクリートのアーチリング側、鋼のメラン材側共に製作誤差、架設据付誤差、計算誤差等の種々の誤差が考えられるので、メラン支承には、これらの誤差を吸収できる構造にしておく必要がある。

メラン支承で、特に大きな誤差を吸収しなければならないのは、支間長の誤差である。このため、メラン材側のピン孔は丸孔で、支承側は長方形の角孔とし、ピンとブッシュを納めた後、ブッシュの前後にフィラープレート挿入して、ピン位置を固定する構造とした。支間長の誤差の吸収は、この前後のフィラープレート厚を増減することにより可能である。誤差の吸収量としては十分余裕を取り、±120mmとした。

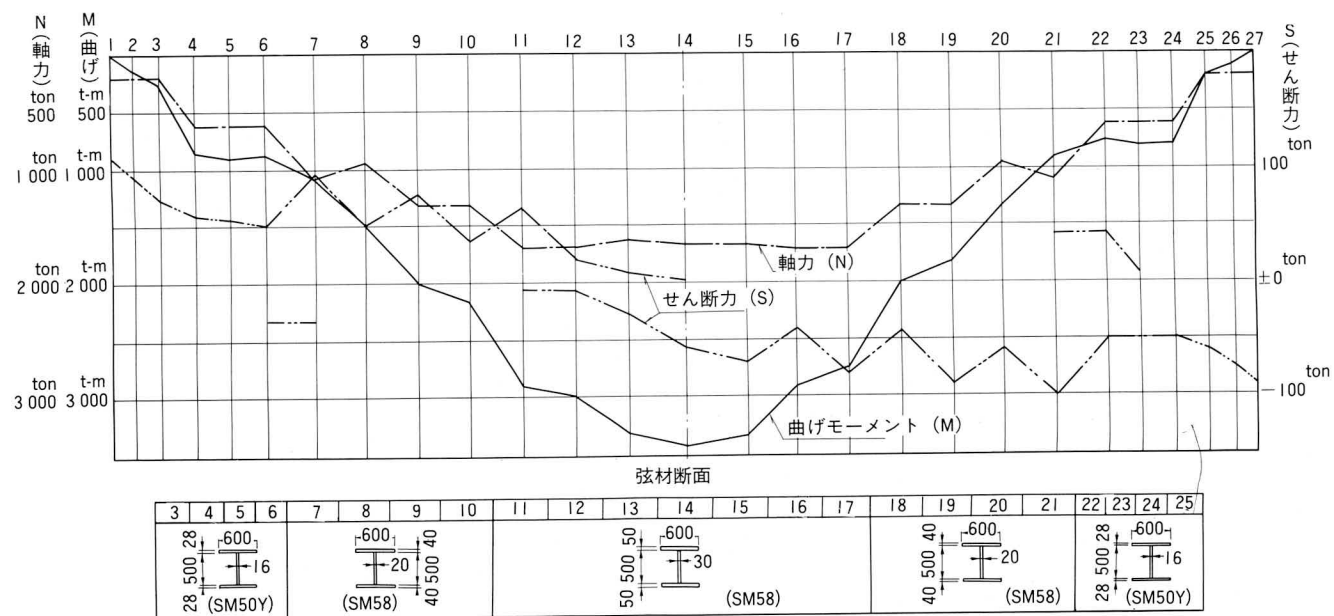


図-5 メラン断面力図及び弦材の断面構成

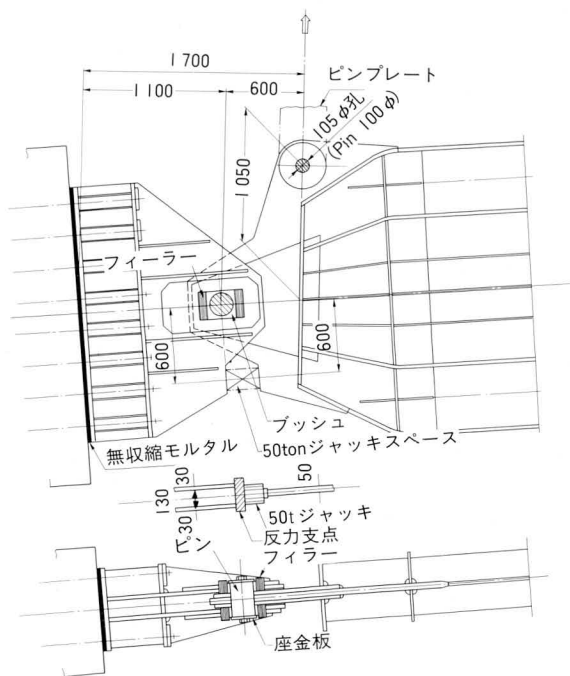


図-6 メラン支承構造図

図-6にメラン支承構造図を示すが、メラン材位置の微調整のためのジャッキスペース構造、及びメラン材一括架設時の吊点位置、構造も示す。

(3) メラン材の変形量

メラン材の変形量の算出は、断面力の算出の場合と同じく、施工段階ごとに逐次構造形を変化させた全体架設系にて解析され、コンクリートの乾燥収縮、クリープの影響も考慮されている。

メラン部は、アーチリングと補剛桁が一体となっている部分であるため、上面は直接道路面になる。このためメラン材の変形量の誤差は路面の出来型に直接影響すると共に、下面はアーチリングの下面になるので、アーチの軸線の誤差に関係し、断面力にも影響を及ぼす。従って、メラン材の変形に対しては十分な精度が要求された。

図-7にメラン材の製作キャンバー図を示す。

メラン材の自重による変形量は、工場内での仮組立時に支点支持することにより、あらかじめ確認が可能である。そこで仮組立検査終了後に片側のみこれを実施した。その結果、計算値との誤差は微少で、わずかにプラス側の傾向であった。写真-2、3に仮組立状況、及びメラン支承との取り付け状態を示す。

メラン材一括架設による各部材の変形量の計算値を図-10に実測値と比較して示す。



写真-2 メラン材の仮組立状況

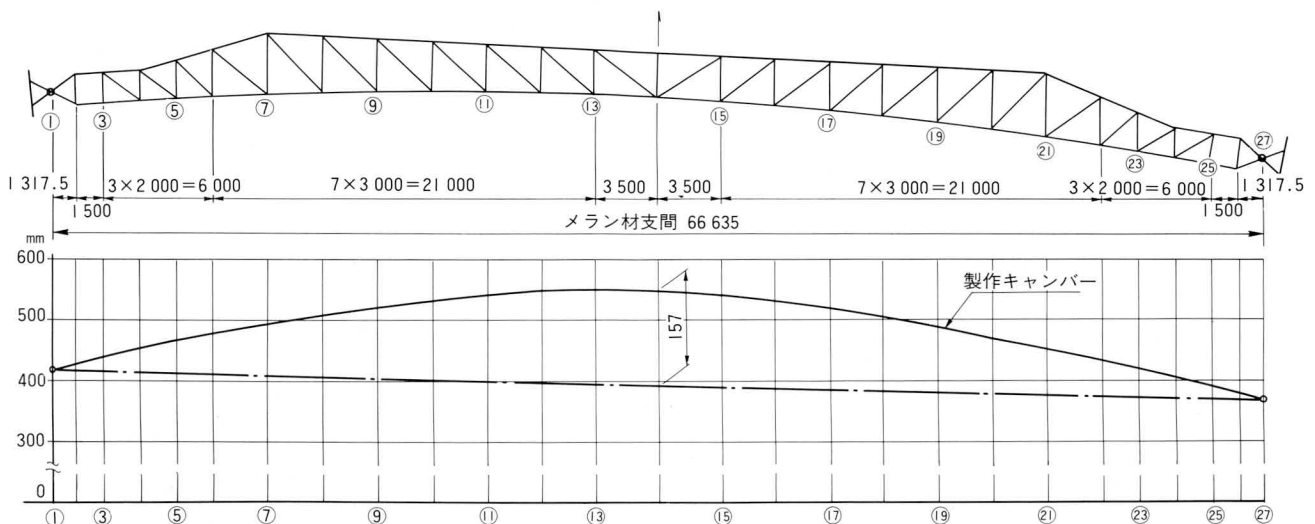


図-7 製作キャンバー図

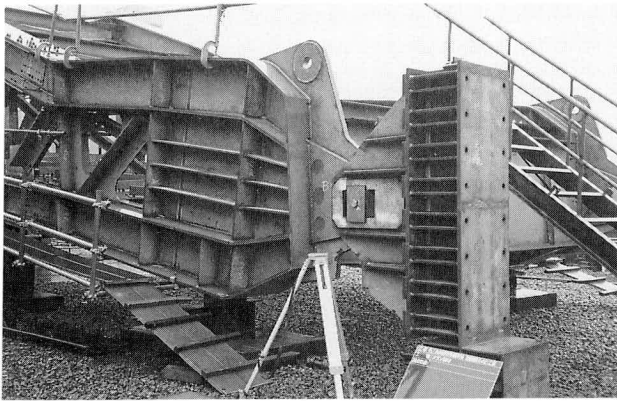


写真-3 メラン支承の取合い状態

3. メラン材の架設

(1) 架設の概要

メラン材の架設は、アーチリングの張り出し架設が所定の位置（18ブロック）まで完了後、あらかじめ地組みされたメラン材（ $W \approx 530.0t$ ）を、ワーゲンに組み込まれた吊り上げ設備（リフトアップジャッキ）にて一括吊上げし、アーチリング先端の脊にピンを固定し架設するものである。

(2) メラン材の架設

(a) メラン材の地組位置の決定

メラン材の架設工法がリフトアップによる一括吊上げなので、地組みされるメランの位置関係が架設時に非常に影響する事になり、地組み位置の実側の精度が高度のものを要求された。実測に際しては、工場での仮組み段階のメランの支間（多点支持、支点支持状態）、キャンバー（多点支持、支点支持）の確認、現地でのアーチリングの支承位置との関連を考慮して、ベント基礎コンクリート上に地墨を出し、その地墨を基にしてメラン材地組み位置を決定した。

(b) メラン材の地組み

メランの地組み立ては、パイプベントをA、Bラインの所定の位置、高さに設置した後、Bラインより100t吊りクローラークレーンを用いて組み立て行なった。組立方法は単体で行ない、順序は下弦材→下弦材対傾構→下横構→垂直材→斜材→下弦材防護工→上弦材→対傾構→上横構の順で行った（写真-4）。組立に際しては、アーチリング先端の支存取付け位置を基準にして、吊上げ時

のアーチリング部、メラン材のたわみや温度変化等、各種の変位量を算定し反映させた。メランの組立後、キャンバー測定を行った後、高力ボルトの本締め、塗装（添接部）をして地組み立てを完了した（写真-5）。

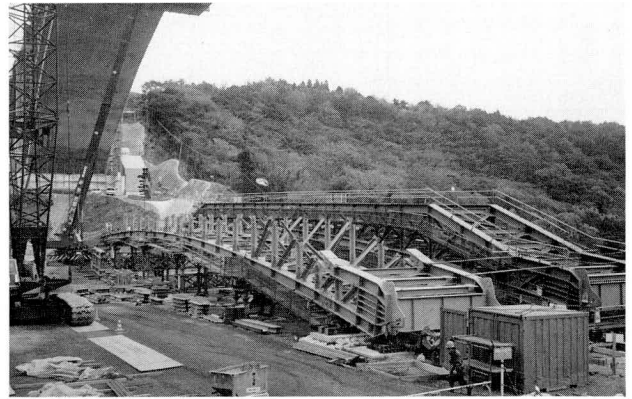


写真-4 メラン材地組中

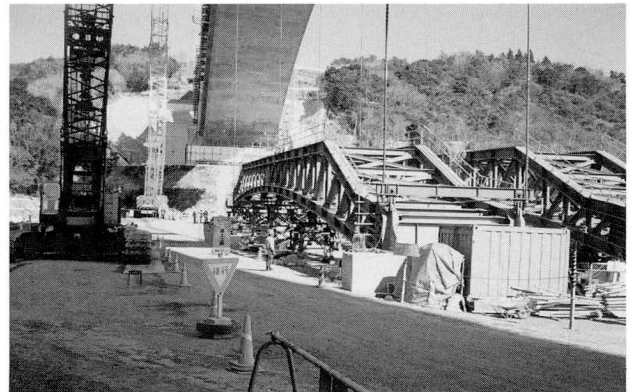


写真-5 地組、塗装完了、ステップロッド取付完了

(c) 吊上げ

1) 吊上げ方法の選定

吊上げ方法は

- ① 油圧ジャッキによる吊上げ
- ② ウィンチによる吊上げ
- ③ 大型クレーンによる相吊り

の3案について比較検討した結果、表-1に示すように、高い精度が得られること、安全性が高いこと、さらにアーチリングおよびワーゲン構造に不均等荷重を与えたくないこと、等の理由により、油圧ジャッキ案のうちリフトアップジャッキ案を採用した。

2) 吊上げ手順

吊上げは特殊大型ワーゲンにA、Bライン各4台、

表-1 吊り上げ方法の比較

	架 設 概 要 図	特 徴	問 題 点
センターホール ジャッキ	<p>センターホールジャッキ 大型特殊ワーゲン ワーゲン補強鋼材 吊りテンションロッド 吊りビーム メラン鋼材</p>	<ul style="list-style-type: none"> 既設ワーゲンの補強改造を行い、16台のジャッキで2連同時に吊上げ可能。 微調整操作ができ、据付け精度を確保できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 吊上げに時間を要す（18.5時間）。 ロッド径状より大型ジャッキ500tが必要となる。 盛替え（ロッド受け）に手間がかかる。 吊りロッドが新製品となり割り高となる。 気象（風）に作業日の制約を受ける。
リフトアップ ジャッキ	<p>リフトアップジャッキ 大型特殊ワーゲン ワーゲン補強鋼材 吊りステップロッド 吊りビーム メラン鋼材</p>	<ul style="list-style-type: none"> 既設ワーゲンの補強改造を行い、8台のジャッキで2連同時に吊上げ可能。 ジャッキ遠隔集中制御システムほか荷重均等化、速度調整等ができる。 微調整操作により高い据付け精度を確保できる。 大容量の吊上げも可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 吊上げに時間を要す（10.0時間）。 気象（風）に作業日の制約を受ける。
ウインチ案	<p>大型特殊ワーゲン ワーゲン補強鋼材 吊上げ固定滑車 吊上げワイヤ 吊上げ可動滑車 メラン鋼材 アンカーブロック 案内滑車 単胴ウインチ</p>	<ul style="list-style-type: none"> 既設ワーゲンの補強改造を行い、8台のウインチで2連同時に吊上げ可能。 短時間（2時間）で吊り上げることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ワーゲン部材を利用して吊り上げると巻上げ代の取合いで大改造が必要となる。 8台ウインチでの合吊り作業のため連携が難しい。 不均等荷重がかかる。
大型クレーン案	<p>吊りビーム メラン鋼材 大型クローラークレーン</p>	<ul style="list-style-type: none"> 既設ワーゲンの補強、改造がほとんどない。 2台の大型クレーンで短時間に吊り上げることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 大容量クレーンの確保が難しい。 2連同時の吊上げは、クレーン足場がないため難しい。 合吊り時の連携が難しいため、クレーン能力に余裕幅が必要となる。 不均等荷重がかかる。

計8台のリフトアップジャッキ（油圧ジャッキ最大揚力95t）を設置し、最大径85mmの吊上げ用鋼棒（ステップロッド）を使用して行った。また油圧ポンプユニットを各々のワーゲン上に1台設置し、一方のワーゲンに設置された操作盤で遠隔操作により吊上げた。吊上げ途中でのロッド抜き取り等の揚重設備として、150t吊クローラータワークレーン2台を配置した。吊上げ要領およびジャッキ作業手順を図-8、9に示す。

3) リフトアップ前の確認

リフトアップ用鋼棒のセット完了後、表-2の手順でリフトアップ前の確認を行った。

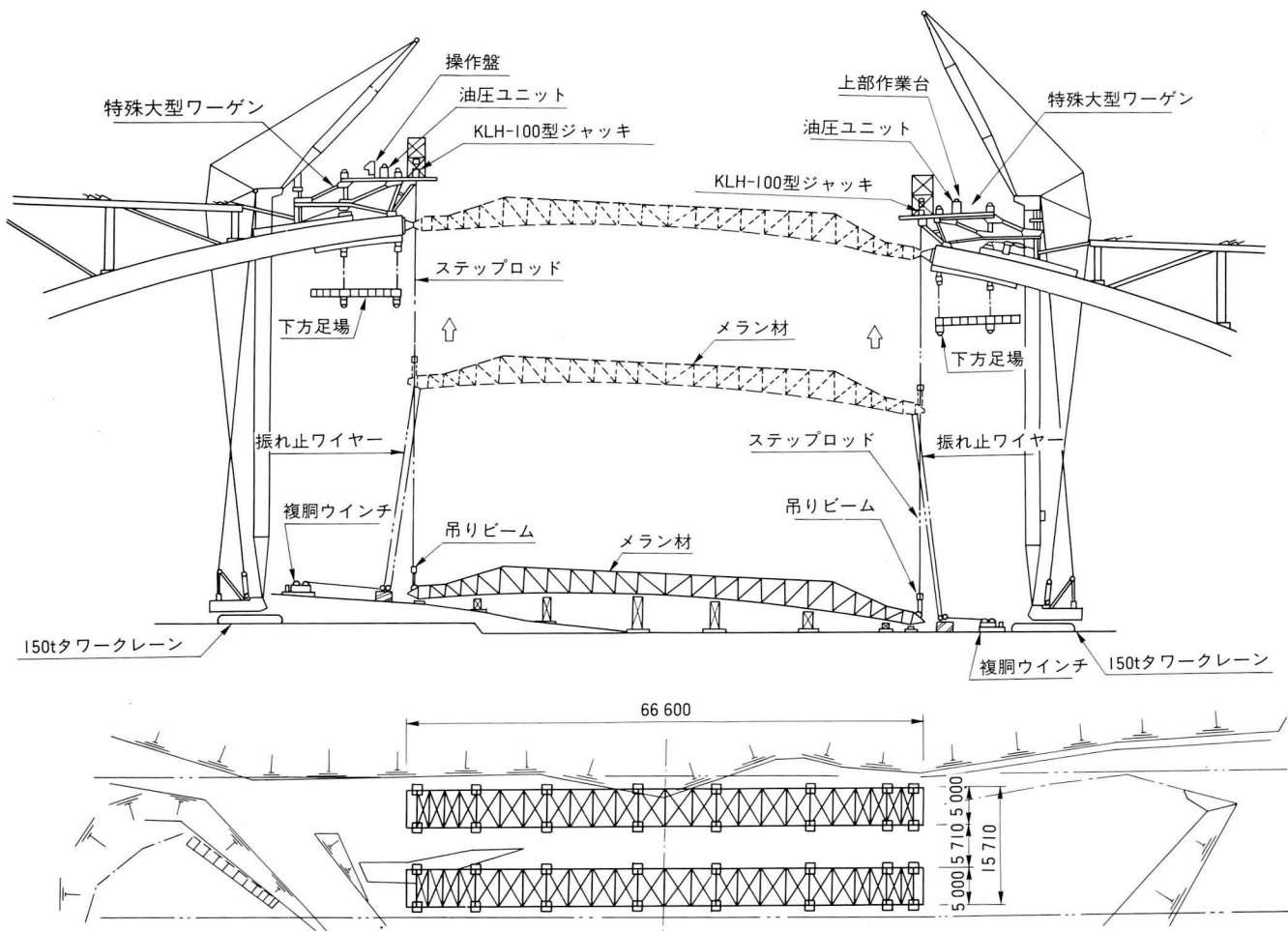


図-8(a) 一括架設要領

表-2 リフトアップ前の確認フローチャート

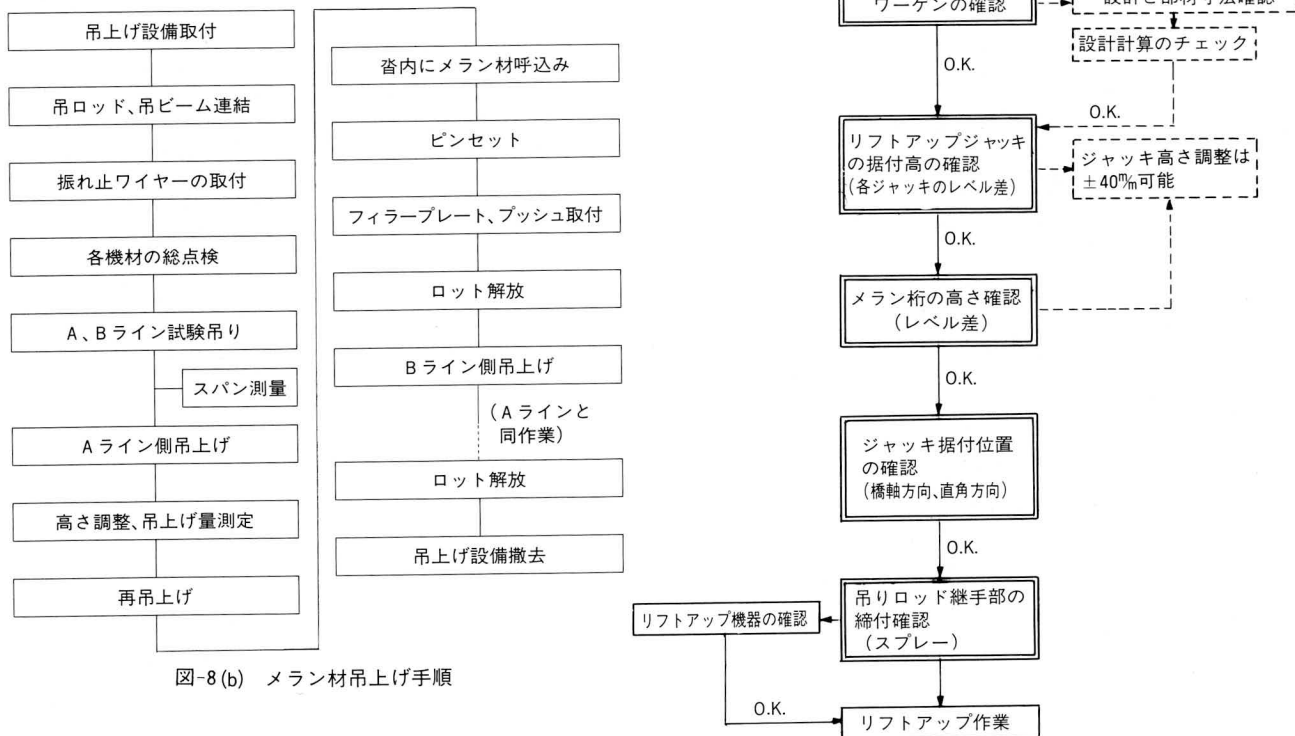
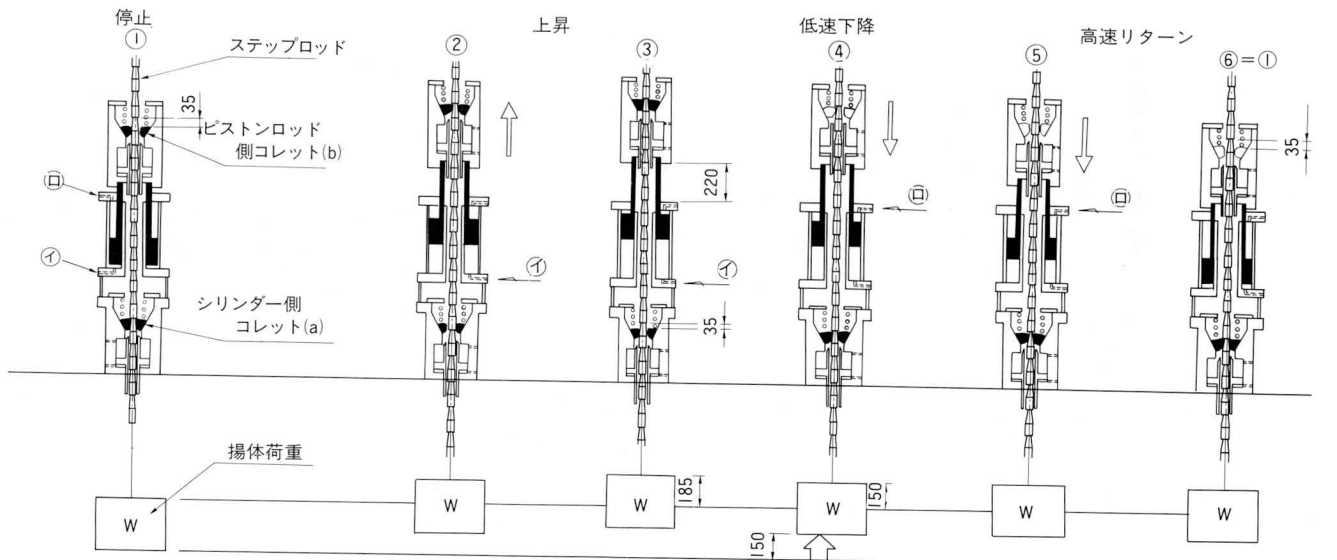


図-8(b) メラン材吊上げ手順



- | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 荷重はシリンダー側コレット(a)に架っている。 2. 操作盤の上昇スイッチONで①に送油する。 3. ピストンが伸び始める。 4. 揚体は上昇せず。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. ピストンは35%伸びた所でピストンロッド側コレット(b)がステップロッドのステップ部に架かる。 2. 荷重が(a)コレットから(b)コレットに変換する。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. (a)コレットは1段下のステップロッドのステップを通過し35%上げ越した状態になる。 2. ピストンはストロークエンド 220%伸びた状態。 3. 揚体は 185%上昇する。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 操作盤の低速下降スイッチONで下降側②に送油する。 2. ピストンは低速下降し始める。 3. 揚体を下降する。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. ピストンは35%低速下降した所で(a)コレットがステップロッドのステップ部に架かる。 2. 荷重が(b)コレットから(a)コレットに変換する。 3. 揚体は35%低速下降する。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 操作盤の高速下降スイッチONでピストンは高速リターンする。 2. (b)コレットは1段下のステップロッドを通過し35%下げた状態になる。 3. 揚体は 150%上昇した事になる。 |
|--|--|--|--|---|--|

図-9 ジャッキ作動説明図

4) 試験吊り

本リフトアップ前日に、アーチリングとメラン材との形状、寸法、及びワーゲン等の仮設備、ジャッキの能力、スピード、ロッドの能力、撤去時間を確

認する目的で試験吊りを行った(写真-6、写真-7)。

吊上げはA、B両ライン同時にアーチリングに荷重を負荷する事でリフトアップジャッキに30%→60%→100%の段階で負荷しながら、ワーゲン、アー



写真-6 リフトアップ設備全景

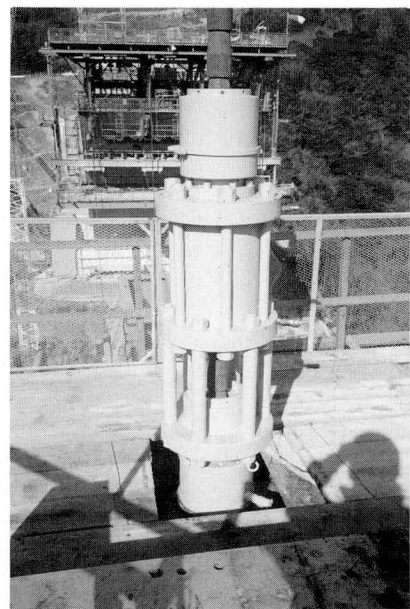


写真-7 リフトアップジャッキ (耐力95t)

チリング、メランの変位等を確認しながら地切りを行った。その後Aラインだけで2mのリフトアップ試験吊りを行い、メラン、アーチリングの実測（支間、たわみ量、通り）をして計画値と照合し確認した。又、ロッドの撤去時間も全体の時間工程に影響が出るので計画時間との比較を行い確認した。計画値（計算値）と実測値との比較を図-10に示す。

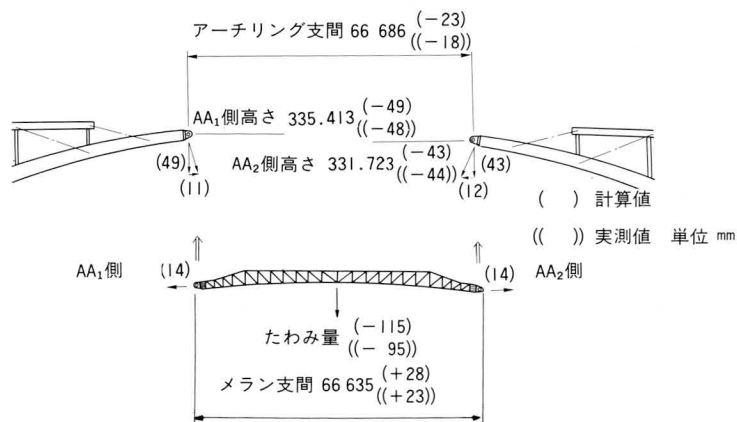


図-10 メラン材一括架設による各部材の変形量

5) リフトアップ

リフトアップはAラインとBラインのメラン材を2日に分けて行った（写真-8、9、10）。Aラインについては予定通り風の影響もないとの判断で常時3m/sec~5m/secの中で早朝5時より13時30分まで



写真-8 Aライン、リフトアップ状況



写真-9 Aライン、リフトアップ完了状況



写真-10 Bラインリフトアップ状況

の8時間半をかけて行ったが、Bラインのメランについては強風警報が出たため、2日間は作業を休止し、3日目にある程度の風が出るが常時10m/secは吹かないという予報だったので強行し、早朝5時から15時迄の10時間でリフトアップを完了した（写真-11）。吊上げ速度は計画では1時間当たり4.5mであったが、ロッド抜き取り時間等により実績では6.0m/hであった。吊上げ実績を表-3に示す。また、吊上げ途中での各部材応力の計測管理においても異常な数値は認められなかった。

① リフトアップ時のジャッキ負荷

メラン材約530t（265t×2連）を8台のジャッキで同時に地切りするので、ワーゲンへの偏荷重を避けるためロードイコライザーを使用してジャッキ

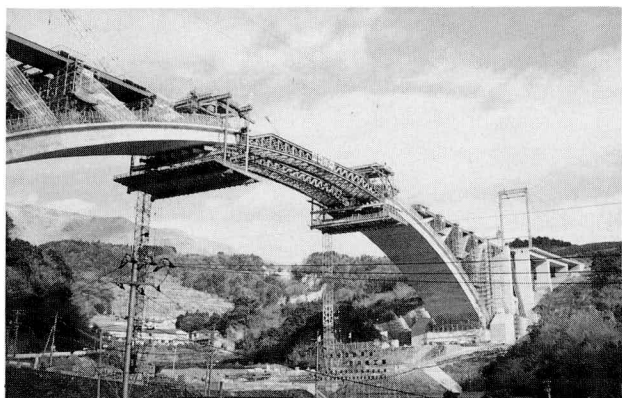


写真-11 A、Bライン共リフトアップ完了

表-3 リフトアップ作業実績表

	S. 63. 2. 5 Aライン(1回目)	S. 63. 2. 8 Bライン(2回目)
実リフトアップ量	43.0m	45.0m
作業時刻	5:00~13:30	5:00~15:00
作業時間	510分	600分
実作業時間	410分	405分
リフト所要時間	359分	351分
ロット抜取時間	36分	36分
ピンセット時間	15分	18分
点検補修時間	100分	75分
待機時間	—	※120分

ただし、点検補修は振れ止めワイヤ盛替えとリフトジャッキの補修時間である。

※ Bラインの吊上げ開始時、前日の強風の余波があったため、風がおさまるまで作業開始を延ばした。

の速度差、およびロッドのレベル差による変動荷重を吸収することとした。またその時の荷重変動をロードイコライザーに取り付けられた油圧計で圧力管理を行った。管理値はワーゲン部材強度より計画値の115%までとした。リフトアップジャッキの反力は下記の範囲で管理を行った。即ち、

$$\text{常時荷重 } P = \frac{540}{8} = 67.5t$$

$$\text{吊上げ時の上限値 } P_{\max} = 1.15P = 76.0t$$

$$\text{下限値 } P_{\min} = 0.95P = 62.7t$$

で制限した。

実際にかかった荷重は66.0t~70.0tという荷重でほとんどバラツキは生じなかった。

② 風による横振れ対策

吊上げ途中、風によるメラン材の横振れが予想さ

れ、ステップロッドの振れ角が3°を超えると吊上げが不可能となるため、今回は余裕を見て1°を許容振幅として横振れ対策を行った。基本的には気象情報による最大風速10m/sec以下の日を選んでの作業としたが、吊上げ中に予期せぬ突風によってメラン材の振幅が許容値を超えることを想定して図-11に示すような横振れ対策を実施した。尚表-4にBライン吊上げ時の風によるメラン材の横振れを示すが、瞬間的に1°を超えたもの特に以上は認められなかった。

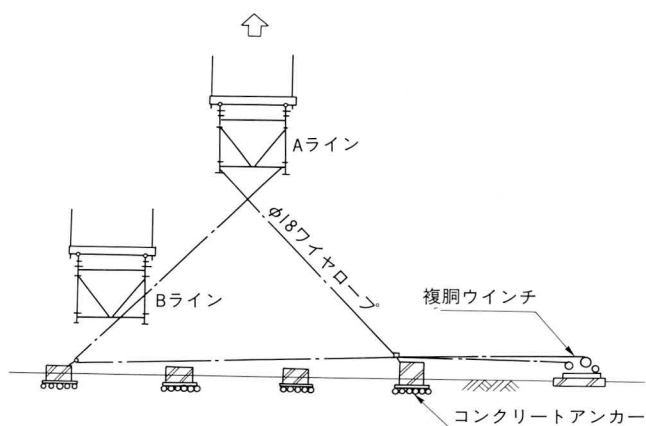


図-11 メラン材横振れ対策要領

表-4 メラン材吊上げ時の横振れ測定値 (Bライン材)

リフト高(m)	測定時	瞬間最大	橋軸方向	耐風対策		
				AA ₁ 側	AA ₂ 側	
		風速(m/s)	最大振れ(mm)			
45.0						
40.0	10~15	15	12	30	30	振れ止めワイヤ緊張
35.0	5~8	14	35	80	50	振れ止めワイヤ緊張
30.0	5~10	15	80	250	200	振れ止めワイヤ緊張
25.0	5~12	15	145	330	330	振れ止めワイヤ緊張調整
20.0	6~10	10	115	100	100	
15.0	3~5	7	30	50	50	
10.0	5~6	8	90	60	45	
5.0	0~2	5	32	32	45	
2.0	0~2	3	20	7	8	振れ止めワイヤセット
0.0	0					

直角方向振れ

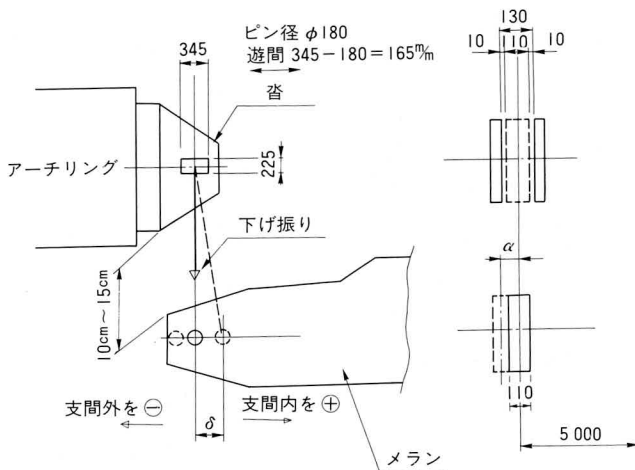
(d) 沓セット

アーチリング支承とメラン支承部が10cm迄接近した位置で、残揚程量、位置、方向を確認しメランの振れ止めのレバーブロックを図-12、13の要領でセットした。4点の沓の内、最初の1点にピンが挿入出来る状態でリフトアップをストップし、リフトアップジャッキをリングで固定する。他の3点も同じ要領でリフトアップジャッキを固定した後4点のピンを挿入し(図-14)、橋軸方向の確認を行いA A₁側のピン位置を決定後A A₂側のフィラープレートを挿入し取り付ける。A、Bライン共同じ要領で行なった後、A A₁側のフィラーを挿入し、リフトアップジャッキの反力を解放して沓のセットを完了した。

尚、アーチリング付きの沓については、リフトアップ前にアンカーボルトに所定の軸力をセンターホールジャッキにて導入し、無収縮モルタルを注入し、沓を固定した。

(e) ストラットの架設

リフトアップジャッキの解体及び沓フィラープレート挿入完了後、150t吊クローラータワークレーンでストラットの取付けを行い全作業を完了した。

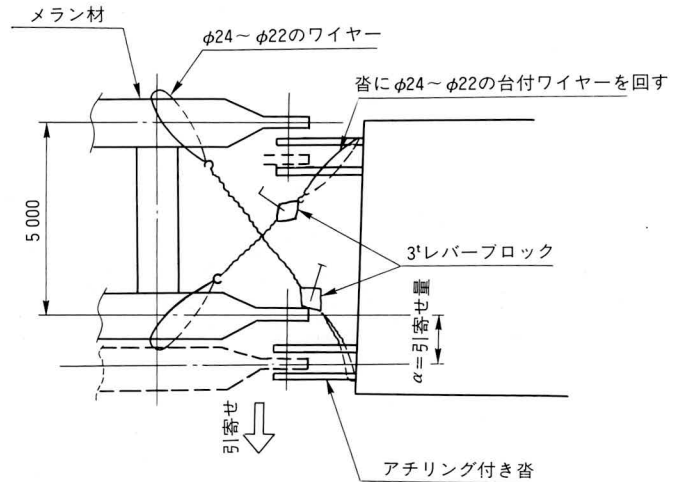


<実績>

湯布院側で+20%だったので遊間量には全んど影響なく差込みを行なった。

図-12 沓位置より10cmの所での確認要領図 (残揚程量、位置、方向の確認)

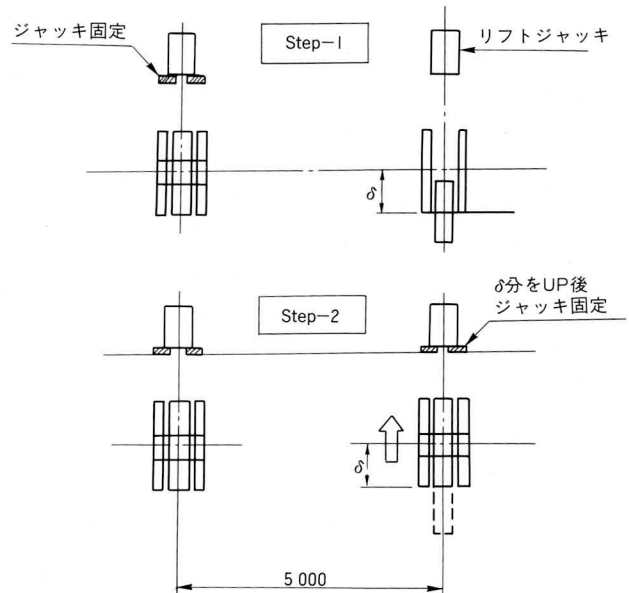
沓に引込む段階でαの値がそのまま入らないようであればレバーブロックで引張り、引寄せながらアップする。



<実績>

引寄せ作業は中心に合わせるだけの作業でリフトアップを完了した。

図-13 平面方向のメラン引き寄せ要領図



4点の沓で最初にピン挿入可能になったヶ所で吊上げを中止してジャッキにリングを施工し、吊上げを再会して次に挿入可能になったヶ所と順次施工して4点を合わせリング固定を行なった。

図-14 ピン挿入手順図

4. あとがき

最大リフトアップ量が45m、吊上げ重量約540tのメラン材を気象条件が悪かったにもかかわらず、無事工事を完成させることができました。これはひとえに日本道路公団福岡建設局を始め鹿島建設・住友建設共同企業体の皆様の御協力のたまものと思います。誌上を借りてお礼を申し上げます。