

橋梁特集—最近の橋梁の架設工法と維持管理機械—

エアキャスタを用いた鋼桁橋の送出し架設

—第二東名高速道路駒瀬川橋の施工事例—

寺田 典生・牧野 卓也・佐藤 秀行・高橋 慶成・松村 達生・清水 健介

主桁間隔 10 m で緩やかな曲線を持つ 4 径間連続 2 主桁桁の駒瀬川橋梁の架設は送出し工法となった。地組立てヤード内は地耐力及びカルバートボックスへの影響といった立地条件のほかにカーブ桁による送出し時の偏芯処理及び送出し駆動装置の推進力等から面圧の小さい、かつ摩擦係数の小さいエアキャスタ (A/C) を用いた架設工法を採用した。本報文はエアキャスタの概要と、その送出し工事について報告する。

キーワード：橋梁，架設，エアキャスタ，送出し工事，バウンス現象（上下運動）

1. はじめに

第二東名高速道路「駒瀬川橋」(図-1) は静岡県沼

津市愛鷹山麓の駒瀬川を跨ぐ橋長 247.4 m の鋼橋である。

本橋は、施工や維持管理における省力化と合理化を追求した広幅員連続 2 主桁桁橋で、有効幅員 16.5 m、床版支間 10.0 m であり、床版支間については道路橋示方書の適用範囲を超えた規格となっている (図-2)。また、支間長はいずれも 60 m を超えるため、部材厚・

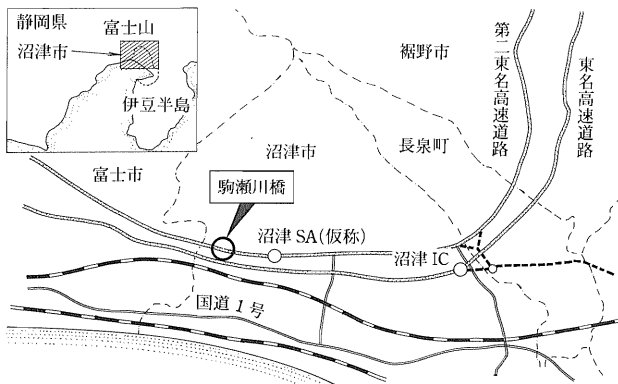


図-1 位置図

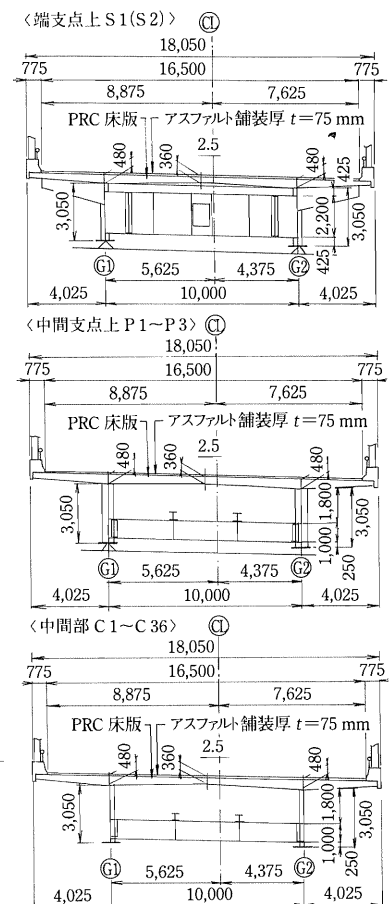
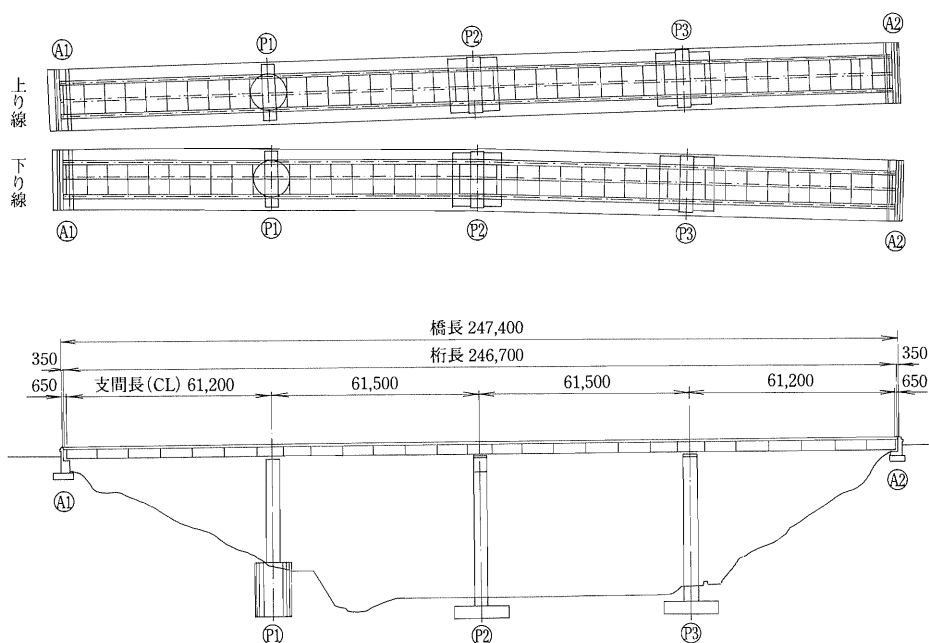


図-2 一般図

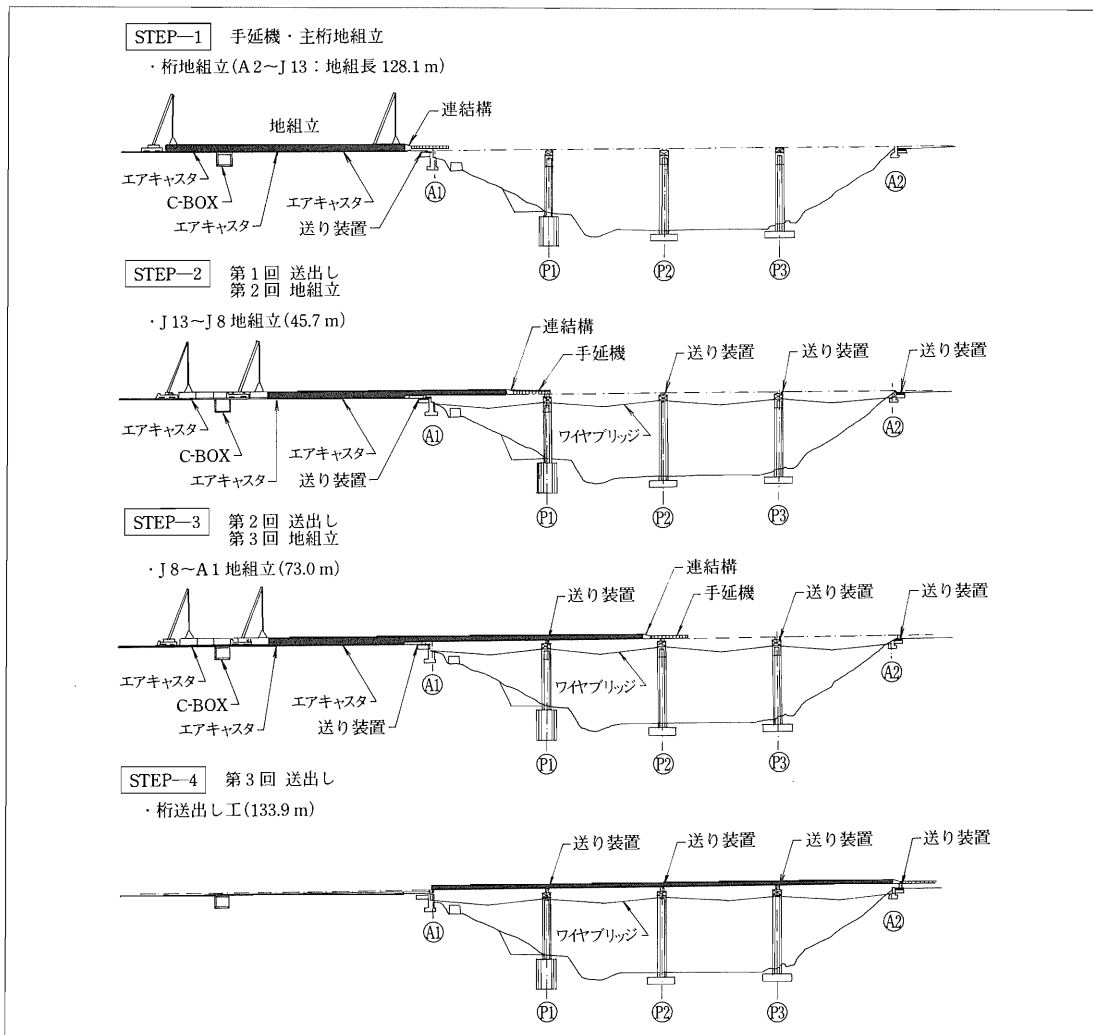


図-3 施工ステップ図

桁高が増大し、桁の地組みでは一般的なボルト継ぎ手ではなく全断面溶接継ぎ手を採用した。橋長当り 54 ブロックに分割された主桁部材を図-3 に示す施工ステップに従って桁の組立て及び送出し架設を繰返し、上下線 2 回施工した。

送出し架設の特徴は地組みヤード下のコンクリートカルバートボックス（図-3 中の C-BOX）への影響を最小限度に抑えること、また、送出し装置の小規模化の試みとして、圧縮空気力で桁を浮上させて送出不用エアキャスタ工法を採用したことである。

本報文ではエアキャスタ（以下、A/C という）工法及び送出し設備について詳しく説明する。

2. 工事概要

駒瀨川橋橋梁の架設送出し工事概要を表-1 に示す。

表-1 駒瀨川橋概要

箇所	沼津市荒久～沼津市石川
構造形式	鋼 4 径間連続 2 主桁桁橋
橋長	247.4 m
支間	61.2 m + 61.5 m + 61.5 m + 61.2 m
全幅	18.05 m
有効幅員	16.50 m
橋脚高	(上り) 32.5 m, 43.0 m, 42.0 m (下り) 31.0 m, 41.5 m, 40.5 m
鋼重	約 2,200 t
縦断勾配	1.1% (東側に上がる)
横断勾配	2.5% (北側に上がる)

3. A/C についての概要

(1) A/C の歴史

1950 年代に米国ゼネラルモーターズ社 (GM 社) がエアベアリング理論を使って数個の小さな孔のあるフレキシブルな円環状の袋を鋼板 (注入口付き) に接着させ、エアの注入によって物体が浮上がる装置を開発した。いわゆる A/C の原点である。

1960 年代にボーイング社は、工場内での航空機の

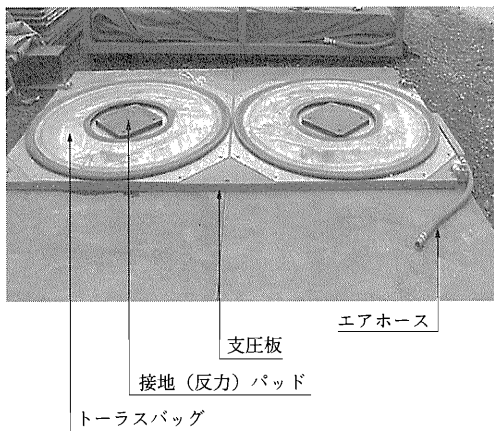
コンポーネントをより容易に取扱うために GM 社のデザインを改良し「A/C」という商品を開発した。その後ボーイング社から独立したエアログ社は製造・販売を行い、米国では主要な航空機工場・宇宙産業関連で数多く A/C が使用され、それ以外の業種においてもスタジアムの観客席の移動、工場への機械設備の搬入、6,000 トン級ケーソンのロールオン等に使用されている。日本でもケーソンの移動、LNG タンクや沈埋函のロールオン、高炉改修時のマルテンブロックの搬送、シールドマシンの U ターンなどをはじめとして、屋外での重量物移動や工場からの浜出しにも使用されている。

橋梁架設工事への適用は阪神・淡路大震災復旧工事において鋼橋脚の横梁を横移動するのに使われた実績はあるが、橋梁全体を送出したのは本橋が初めてであり、世界的にも類を見ない。

(2) A/C の仕様

A/C にはいろいろなタイプがあるが、写真—1 は今回用いたもので、タイヤチューブ状の強化ゴム製トーラスバッグ 2 個を 1 枚の支持板に取付けたものである。構造をわかりやすく見せるために本体を上向き状態にしてあるが、通常の使い方はこの逆で、エアを床面に吹付ける。

表—2 にトーラスバッグ 1 個当たりの仕様を示す。



写真—1 A/C 本体 (裏面)

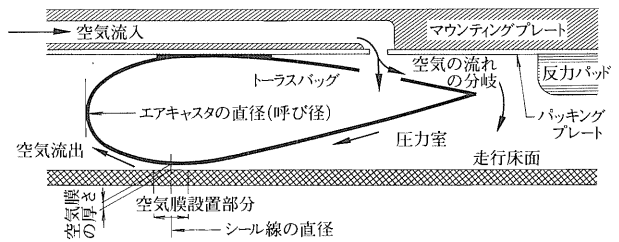
表—2 エアキャスタの仕様

最大支持力	54.43 t/個
内 圧 (最大荷重時)	0.35 MPa
消費空気量	2.38 m ³ /min
直 径 (最大荷重時)	1.52 m
厚 さ (休止中)	70 mm
厚 さ (操作中)	159 mm ^(*)
自 重	145 kg

(*) : 最大支持力時の値を示す。支持力が小さくなると最大 230 mm 位まで膨らむ

(3) A/C の原理と作業手順

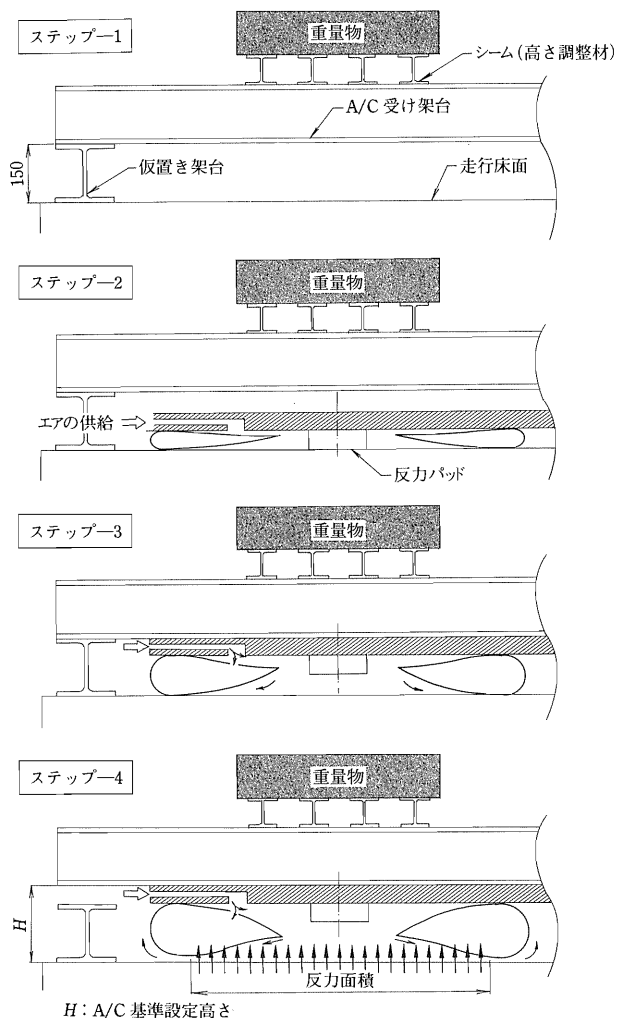
図—4 に A/C の空気の流れと空気膜を形成する原理について示す。



図—4 空気の流れと空気膜を形成する原理

トーラスバッグと走行床面との間に出来る薄い空気膜の厚さは 0.08~0.13 mm で、ここからエアがゆっくり(床面が濡れているとシャボン玉のような風船がでる程度)と逃げる。この状態で外力を与えると 0.001~0.005 の摩擦係数で動きだす。図—5 に作動手順と浮上原理についてのステップを示す。

① ステップ 1 : 地組立てが完了した鋼桁本体を送



図—5 作動手順と浮上の原理

出し用架台に受替え、この架台と走行床面との間に A/C 本体が挿入できるスペースを作る。

- ② ステップ 2：A/C 本体を挿入させ、位置決め及び受け点部にシム（高さ調整材）をセットする。
- ③ ステップ 3：エアを注入すると、弾力性に富むトラスバッグは走行床面に対し密封状態（圧力室）を保持しながら膨張し、架台下面にタッチする。更にエアを注入すると圧力室に圧が加わり、橋体は浮上寸前となる。
- ④ ステップ 4：圧力室内の圧力が支持荷重と釣り合う大きさになると、トラスバッグと走行床面との間に薄い空気膜が形成され、空気がゆっくりと均等に逃げ、橋体は薄い空気のカッションの上に浮かんだ状態になる。
- ⑤ 更に A/C への空気の注入量を増やすと、内圧が上昇してトラスバッグが膨らみ（圧力面積は減少する）浮上量が増加する。A/C の支持荷重が小さいほどこの浮上量の変化は大きい。これらの操作はコントロールボックスのレギュレータによって行うことができる。
- ⑥ 桁が浮上したとき、押すか引張るかすると橋体は動く。

（4） 走行床面

A/C は、トラスバッグと走行床面との間に形成される非常に薄い空気膜によって成立している。

この空気膜を形成するために必要な床面仕様は次の通りである。

（a） 表面の滑らかさ

表面の滑らかさが牽引時の摩擦抵抗と空気消費量に最も大きく影響する。「磨いた板ガラス」上の空気消費量を 1 とした場合、下記表面での空気消費量は次の通りとなる。

- ① コンクリート（金属コテ仕上げの滑らかな表面にシーラントを塗布）の場合：2
- ② コンクリート（手コテ仕上げ/コテをかけた跡がある程度）の場合：3～5
- ③ 圧延鋼板の場合：1～2
- ④ 滑らかなエポキシ塗装の場合：1～2

（b） 表面の間隙率（多孔率）

表面が多孔性の場合、そこを通じて空気は逃げて消費されるため、空気膜が形成されにくくなる。

（c） 平面性

滑らかな平面性は、1 台の A/C の範囲で $\pm 6 \text{ mm}$ 以内、全体で $\pm 12 \text{ mm}$ 以内を基準とする。

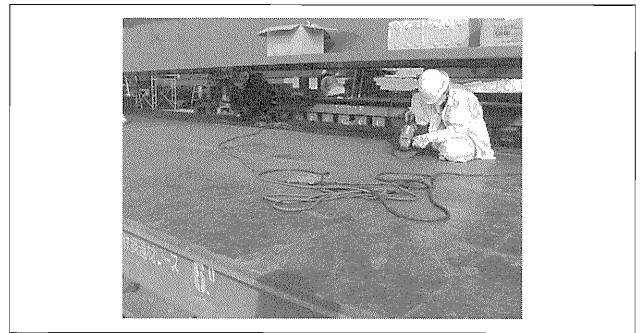
（d） 連続性

空気がもれるような段差、間隙、継ぎ手は無くす。間隙は充填し、段差は滑らかなスロープになるよう $1/10 \sim 1/20$ のテーパで仕上げる。

（e） 水平性

傾斜面での作動は可能であるが、逸走の危険性等を避けるためにも水平面を作りあげることが基本となる。

以上のようなことから、今回の工事ではエアの流失を少なく、かつ各条件を満足するよう水平に組上げられた架台 H 鋼上に 25 mm 厚の鋼板を敷並べ、繋ぎ部は現場溶接後切削し走行床面を作りあげた（写真—2）。



写真—2 走行床面の仕上げ

4. A/C 工法による橋体送出し工事

（1） 概 要

従来工法は軌道レール上の運搬台車と送出し駆動装置との組合せ、または腹板直下のエンドレスキャリアと送出し駆動装置との組合せ等で直線桁や曲線桁を送出してきた。当然、支持点部には大きな力が発生し桁及び地盤、さらには地下構造物への影響、設備の組合せからくる摩擦係数の増加に伴う駆動装置の大型化、更にカーブ桁による軌道修正等、検討事項が多い。

今回これらの問題点を解決する代案として A/C 工法が採用されたが、A/C 工法も特有の課題をかかえている。すなわち、

- ① 従来工法では最後尾台車が桁端に固定された状態でレール上を移動するのに対し、A/C 工法は桁端が走行床面から離れた瞬間から、前方の A/C に荷重が乗移り、桁応力及び撓みに関する安全性の検討、
- ② シンプルで確実な反力管理手法の確立及び低荷重でのバウンシング現象（上下運動）の処置方法、
- ③ 摩擦係数が小さいことによる逸走、横移動対策があった。

（2） 送出し設備の配置

図—6 に送出し設備の全体配置図を示す。

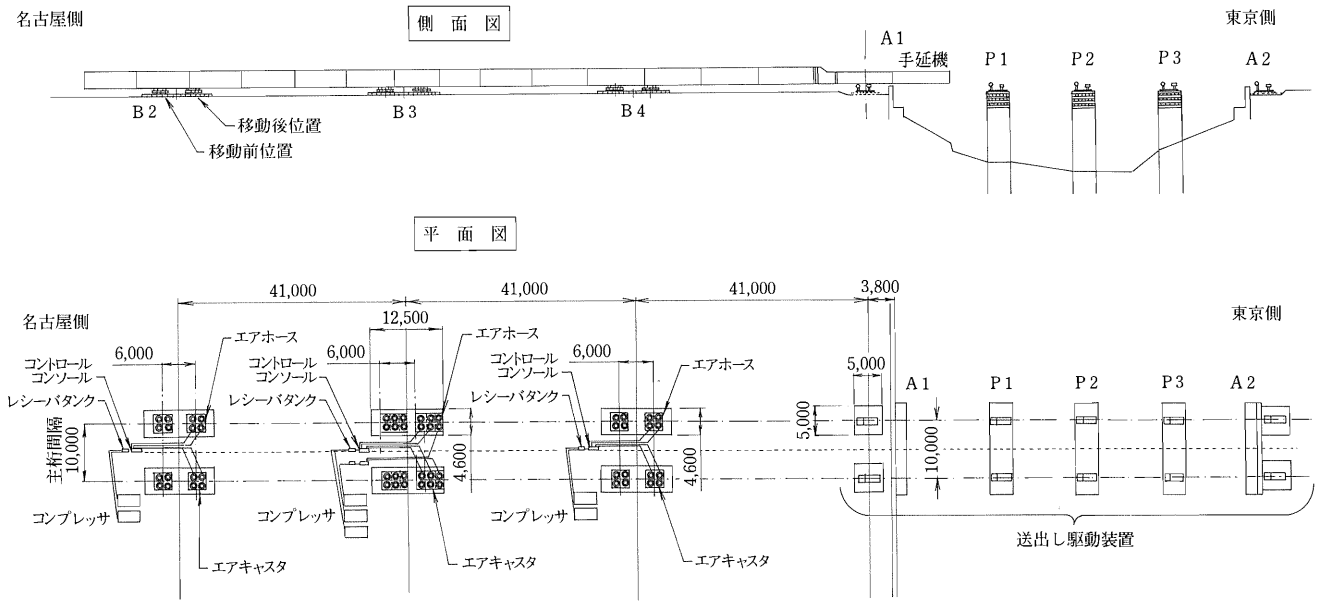


図-6 送出し設備の全体配置図

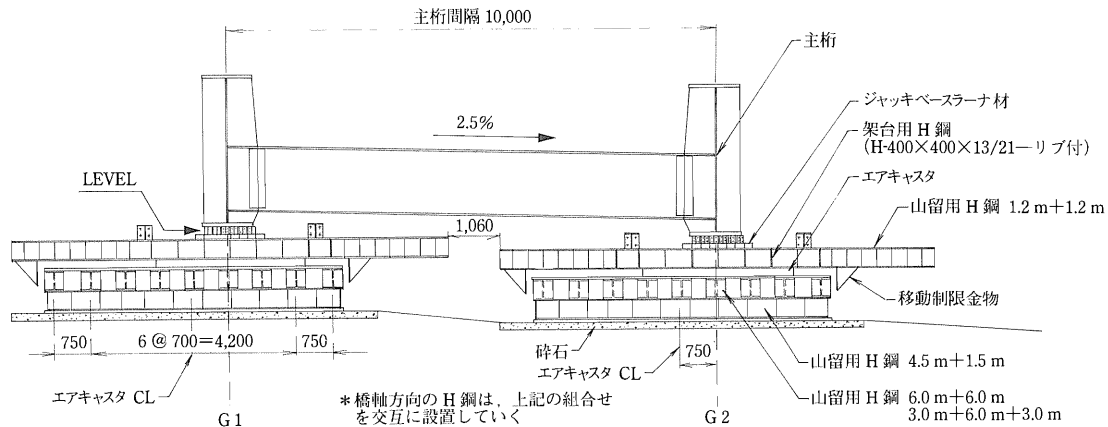


図-7 B3部・A/C 架台設備図

A/Cの配列は上述の片持ち状態での桁応力及び撓みの検討から40m間隔とした。また、A/Cの1主桁当たりの設置個数は、B2及びB4が2個ずつ、B3は通過荷重が大きいとため3個とした(図-7)。走行床面の基礎は碎石を敷並べた後、400H鋼を井桁に2段積上げ、その上に滑り面となる25mm厚の鋼板を設置した。また、A/Cの盛替えストロークが6mになるように走行床面の大きさを12.5m×4.6mとした。送出し駆動装置はA1、A2橋台及びP1、P2、P3橋脚に設置し、A1近傍にて集中コントロールが出来るようにした。

(3) 桁送出し時のA/C反力管理

鋼桁本体にはキャンバ、桁のたわみ、縦断勾配等があり、A/Cの走行床面と主桁下フランジの空間が1ステップ毎に変化するため、あらかじめ1ステップ毎のシム(調整用ライナ)量とA/Cの反力で管理を行っ

た。

シム量の調整には桁受け点の基準高を設定する必要性があり、A/Cの基準設定高さ(A/Cの台板上面から走行床面までの高さ)を180mmになるようエア量を調整して送出し作業を実施した。これに基づきA/Cと主桁下フランジの空間にシムを挿入し高さの管理を行った(図-8)。また、A/Cが所定の高さになった時にA/C基礎と主桁下フランジの空間高さを測定し、所定の送出し高さになっているかどうかを確認した。

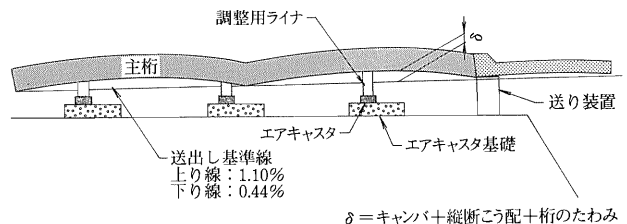


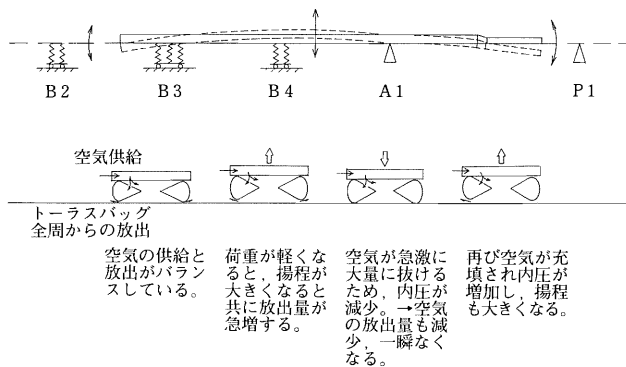
図-8 送出し時の高さ管理

各点の反力管理は各 A/C 及び仮受けジャッキ部に圧力変換器を取付け、内圧に圧力面積を乗じて反力を算定する方法をとり、計測室にて集中管理した。A/C の反力の変化は事前に計算しておいた反力管理表と相違がないかを確認した。

このように管理表に基づき桁高さを管理し、反力については上限値を超えないように管理とチェックをしながら送出し作業を行った。

(4) A/C のバウンシング（上下振動）現象

A/C に作用する反力（支持荷重）が極端に小さくなると、図—9 に示すバウンシング現象が発生する。



図—9 A/C のバウンシング現象

特に送出し架設の場合、支持位置の変化に伴って支持力が逐次変化し、ある受け点では極端に小さい値（計算上の負反力になるときもある）となる。

今回、第2回送出し時において後方桁端が B2 から離れた瞬間、バウンシング現象が発生した。その時の1主桁当たりの計画支持力は B3=191t, B4=9t, A1=181t, P1=56t であった。B4 の A/C はバウンシング現象によって桁を小刻みに突上げ、共振現象によって手延べ機先端が大きく上下動した。このように極端に小さい反力（または負反力）が通過するとき

- ① A/C 部直上の桁を計画値より高い調整ライナ材もしくはジャッキで突上げ、支持力を増す、
 - ② B2～B3 間に補助用スライドジャッキを設ける、
 - ③ B3 上の A/C を完全に無負荷状態にする等の処置をする、
- 必要がある。

今回は A/C を完全に無負荷状態にし、更に B2～B3 間に補助用スライドジャッキを設けるなどして、それ以降の送出し作業においてバウンシング現象を回避した。

(5) 橋軸直角方向への桁位置のずれと逸走防止

送出し時の横方向へのずれ原因は、

- ① カーブ桁による影響、
- ② 走行床面の横傾斜による影響、
- ③ 左右の摩擦係数差による影響、
- ④ 左右の送出し駆動装置の機械的性能差による影響、
- ⑤ 横風による影響、

等が挙げられる。

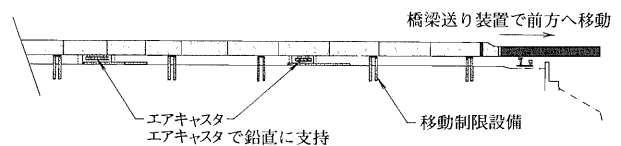
今回の場合、鋼桁本体には緩やかな曲線（下り線で最大 1,484 mm の偏芯量）が付いていたため、橋台・橋脚上は送出し駆動装置に装着されている横移動ジャッキとレバーブロックの組合せにて軌道修正した。また地組立てヤード内では仮設杭を打込み、桁をチルホールにて軌道修正する方法をとった。また、橋軸方向への逸走防止は惜しみワイヤとチルホールの組合せで行った。

5. A/C 工法の特徴

A/C 工法の特徴を以下の①～⑥に挙げる。

- ① 軌条設備が要らず、現場設備の小規模化が図れる

通常の軌条設備を用いる架設の場合では、厳密な精度管理を要する基礎の設置が桁延長にわたって必要であるが、A/C 工法では基礎が部分的に点在するだけで済み、基礎工事の削減が図れる（図—10）。



- ② ある程度任意の箇所に基礎が設置できる

本現場のように大きな荷重をかけられない箇所（土被りの小さな C-BOX との交差箇所など）が送出しヤードの下にある場合には、それを避けて基礎を設置することが可能であり、特別な補強対策を必要としない利点がある。

- ③ 橋軸方向の傾きにも対応できる

橋軸方向の傾きにも、前後の A/C の空気圧を調整することで対応できる。

- ④ 基礎と桁との摩擦が低減され、桁送出しの推進力を大幅に低減できる

摩擦係数が非常に小さく、桁の送出しのための推進力は A/C の静止摩擦力分のみとなり、推進のための

ジャッキ設備の縮小が可能となる。縦断方向の角度微調整も人力で可能である。

- ⑤ ④の反面、桁の予期せぬ過大な移動や橋軸直角方向への逸脱が懸念される

本橋の架設ではA/C両端に逸脱防止ガイドを、また架台前後には桁の移動を制限するストッパを設置した。

- ⑥ A/Cはジャッキの代用としても有効利用できる

6. あとがき

本橋の架設では日本で初めてA/Cを用いた送出し施工が採用された。本工法には支持基礎部分の材質や盛替え方法などに改善の余地が残されているものの、A/C基礎の部分的配置は、現場設備の小規模化に非常に有効な手段であり、ジャッキ反力の低減や基礎設備などの縮小は、施工の安全性向上、工期短縮に寄与することが明らかとなった。A/C工法は今後の送出し施工の有効な一手段となった。

また、更なる開発として大型FCの代替工法として、A/Cによる地組立てヤードから台船へのロールオン工法及び主桁間隔が変化するバチタイプ橋梁への送出し工法の適用、さらに立体交差橋架設や地下構造物建設への適用等いろいろ考えられる。

JICMA

《参考文献》

- 1) 高橋慶成, 牧野卓也, 佐藤秀行: エアーキャスターを用いた鋼桁橋の送出し架設—第二東名高速道路駒瀬川橋—, ハイウェイ技術, No. 23, pp. 76-78, 2002年10月

【筆者紹介】

寺田 典生 (てらだ のりお)
日本道路公団
静岡建設局
建設部
構造技術課
課長



牧野 卓也 (まきの たくや)
日本道路公団
静岡建設局
構造技術課



佐藤 秀行 (さとう ひでゆき)
日本道路公団
静岡建設局
沼津工事事務所
工事長



高橋 慶成 (たかはし よししげ)
日本道路公団
静岡建設局
沼津工事事務所



松村 達生 (まつむら たつお)
JFE エンジニアリング株式会社
鋼構造事業部
橋梁設計部
副課長



清水 健介 (しみず けんすけ)
JFE 工建株式会社
橋梁構造計画部
開発技術室
部長



建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々、そして建設事業に関心のある一般の方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格 2,500円 送料 600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289