

## 論文・報告

## 箱根西麓・三島大吊橋の建設

## ～日本一の人道吊橋～

## Construction of the Longest Suspension Footbridge in Japan

長尾 悠太郎 \*1  
Yutaro NAGAO

田口 吉彦 \*2  
Yoshihiko TAGUCHI

向笠 正洋 \*3  
Masahiro MUKAIGASA

田中 寛泰 \*4  
Hiroyasu TANAKA

杉本 浩士 \*5  
Hiroshi SUGIMOTO

本江 総 \*6  
Satoshi HONGO

箱根西麓・三島大吊橋は、主径間長 400m を有する国内最大規模の人道吊橋であり、富士山や駿河湾を一望できる風光明媚な立地であることから、多くの観光客の来訪が期待される。橋梁形式は幅員 1.6m の単径間無補剛吊橋であり、谷筋からの高度約 70m に架かる可撓性に富む構造であることから、風洞試験による耐風検討が行われ、その結果としてフェアリング、グレーチング、および断続スリットの設置等が設計に反映されている。本稿は、耐風検討結果の実構造への反映、下部工施工、および上部工架設の概要について報告するものであり、今後の同形式の橋梁において有益な情報を提供するものと考えられる。

キーワード：吊橋、耐風安定性、主塔架設、ケーブルクレーン架設

## 1. はじめに

箱根西麓・三島大吊橋(写真1)は、静岡県三島市(図1)に位置する人道吊橋であり、主径間長 400 m を有する国内最大規模の人道吊橋である。本橋の架設地点からは北西に富士山を一望でき、南西方向には駿河湾を見通せる風光明媚な立地であることから、多くの観光客の来訪が期待される。橋梁形式は表1、図2のとおり幅員 1.6 m の無補剛吊橋であり、谷筋からの高度約 70 m に架かる可撓性に富む構造である上、海からの強い風を頻繁に受ける環境下であることから、風洞試験による耐風検討が行われ<sup>1),2)</sup>、その結果が設計に反映されている。

本報告では、耐風検討結果の実構造への反映、および架設の概要について報告する。



写真1 箱根西麓・三島大吊橋



図1 箱根西麓・三島大吊橋 架設位置

表1 主要諸元

<上部工>	
橋格 : 人道橋	主索 : $\phi 47.5(1 \times 91)7$ 本/片側,
吊橋形式 : 単径間無補剛吊橋	吊索 : $\phi 16 \sim 25(7 \times 7)$
主径間長 : 400.0 m	耐風索 : $\phi 47.5(7 \times 37)4$ 本/片側
主索サグ比 : 1/10	耐風支索 : $\phi 10 \sim 28(7 \times 7)$
幅員 : 1.6 m	注) 主索はスパイラルロープ、 吊索、耐風索、耐風支索は ストランドロープを使用。
主索間隔 : 2.4 m	
吊索間隔 : 4.5 m	
<下部工>	
	主索用 : 重力式アンカレイジ
	耐風索用 : グラウンドアンカー

\*1 川田工業㈱鋼構造事業部工事部東京工事課 係長

\*2 川田工業㈱鋼構造事業部工事部東京工事課 総括工事長

\*3 川田工業㈱鋼構造事業部工事部東京工事課

\*4 川田工業㈱鋼構造事業部橋梁企画室 係長

\*5 川田工業㈱北陸事業部鋼構造部工事課 係長

\*6 川田工業㈱北陸事業部富山工場生産技術課 課長

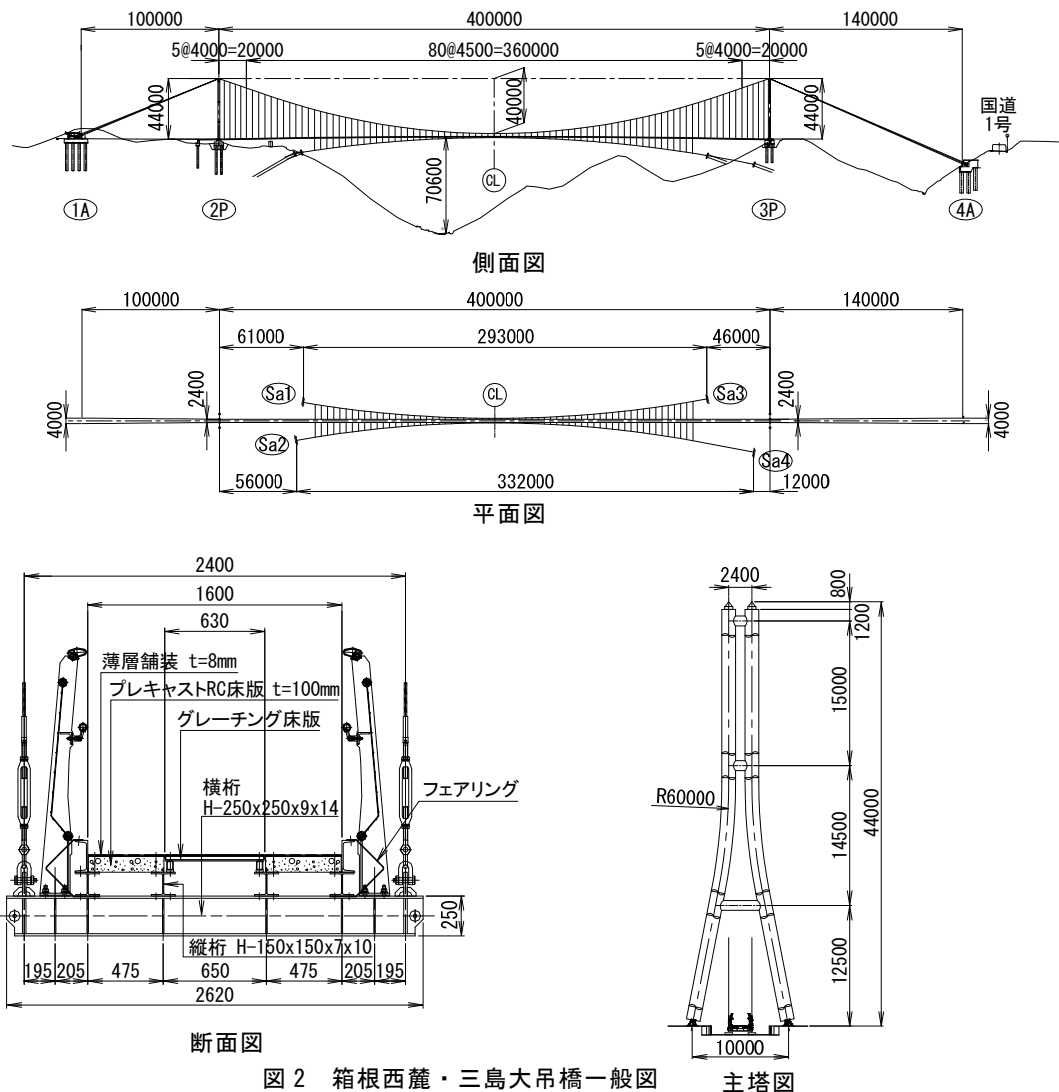


図2 箱根西麓・三島大吊橋一般図

## 2. 耐風検討結果の実構造への反映

### (1) 風洞試験の結果

耐風検討は、川田工業（株）（以降、当社）所有の水平回流式ゲッチング型風洞にて、縮尺 1/9 の 2 次元剛体模型を用いてばね支持試験を実施した<sup>1),2)</sup>。耐風性能への寄与は、当社が過去に実施した類似橋梁の耐風検討の結果から、床版開口やフェアリングの効果が大きいと、表 2 のとおり床版中央部に 500mm 幅のグレーチングと、断面両端にフェアリングを設置したものを基本断面 (G50S00) として風洞試験を行った。その結果、迎角  $-6^\circ$  の条件下で実橋換算風速  $V_p = 7 \sim 8 \text{ m/s}$  という低い風速域でねじれフラッターが発生した。

基本断面 (G50S00) のフラッターを制御するため、断面改良として床版開口部を増加させることにより、耐風性能の向上を期待した。グレーチング開口部は、歩行者および車椅子の方の通行性や、グレーチングの製品規格といった観点から開口幅を 630mm まで拡大し、さらに床版の地覆付近くに幅 20mm のスリットを橋軸方向に断続的に設けることで開口部を増加させた、改良断面

表 2 耐風検討の断面形状

名称	断面
基本断面 G50S00	
決定断面 G63S20	

(G63S20) を考案して試験を実施した (表 2)。その結果、迎角  $-6^\circ$  の条件下でフラッターの発生を抑えられることができ、またこの断面について迎角を  $\alpha = -15^\circ \sim +10^\circ$  の範囲で変化させて試験を行い、照査風速域以下でフラッターが発生しないことを確認した。よって、この断面が良好な耐風性能を有しているものとして本橋の断面として決定し、設計に反映するに至った。

## (2) 地覆部スリット構造の実構造への反映

本橋の床版には、耐風安定性の向上および歩行者によって誘起される振動を抑制するため、質量付加の観点からプレキャストのRC床版が採用され、縦桁とはボルトにて固定する構造としている。写真2のとおり、プレキャスト部材には20mm幅の断続スリットを設け、前記の風洞試験の結果を実構造に反映した。



写真2 プレキャストRC床版部のスリット構造

## 3. 現場施工

### (1) 下部工施工

#### 1) アンカレイジ

主索定着用のアンカレイジは、RC構造の重力式アンカレイジであり、1Aは平坦地盤上の場所打杭、4Aは地山斜面上の深層杭の基礎形式である。4Aは設計時のボーリングデータが、支持層に至るまで強風化安山岩～自破砕状安山岩～風化安山岩となっており、掘削を人力とクラムシェルにて行う計画となっていた。しかし、仮設土留の親杭をダウンザホールハンマーにて施工した際、硬質な転石が支持層に至るまでの間に点在していることが判明した。深層杭の施工に当たり、人力とクラムシェルでの掘削では、掘削の日当たり施工量が急激に減少することが想定され、全体工程の遅延が懸念された。そこで、本工事では発破による掘削補助工法（写真3）を採用し



写真3 発破準備作業（装薬状況）



写真4 施工完了後の4Aアンカレイジ

て深層杭を施工し、アンカレイジの工程遅延を最小限に抑えた（写真4）。

#### 2) 耐風索アンカー

本橋の耐風索アンカーはグラウンドアンカー方式が採用された。アンカー位置は地山斜面であったため、仮設構台および鋼矢板による工事用道路を構築して施工ヤードを確保し、地山の掘削、置換コンクリートおよび受圧板の打設が完了した後、耐風索の定着部となる鋼製アンカー架台をアンカー長14.5～32.5mのグラウンドアンカー（SCストランド6×φ15.2mm）により定着した（写真5）。



写真5 耐風索鋼製架台のグラウンドアンカー定着

### (2) 上部工施工

#### 1) 架設工法

架設地点の地形は図2に示すように谷間であり、桁下空間を使用できないため、主索アンカレイジにアンカーを設けたケーブルクレーン工法を採用した。また、作業ヤードの制約から、ケーブルクレーン用の別塔は設けず、主塔をケーブルクレーン用タワーとして兼用する架設工法とした。上部工架設フローを図3に示す。

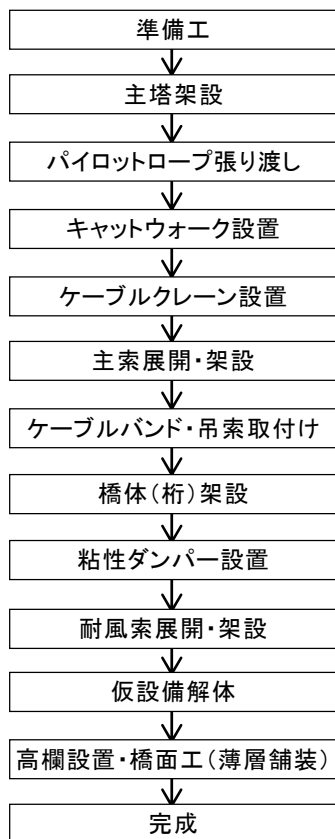


図3 上部工架設フロー

## 2) 解体計算

冒頭のとおり、本橋は主径間長 400 m を有する長大な無補剛吊橋であり、可撓性に富む構造であるため、架設の各段階において吊橋形状が大きく変動し、現場での形状管理が課題となる。そこで、架設の進捗に伴い刻々と変化する吊橋の全体形状を把握するため、完成系解析モデルから架設ステップを遡り部材を除去していく「解体計算」により、ステップ毎の変形を事前に算定した。解体計算の主な流れを図4に示す。全ての部材が設置された完成時から部材を除去していき、図4(e)は主索架設完了時に該当する。図中の数値は主塔頂部の変位量を示しており、主塔は側径間方向に傾斜している。すなわち、完成時に正規の形状とするには、主塔架設時にこれをセットバック量として反映しなければならない。

ここで、吊橋のように荷重载荷による変形が大きい構造物では、変形後の形状を用いてつり合い式を立てる有限変位理論に基づいた解析(大変形解析)により変位量を算定する必要があり、本橋の設計および解体計算に適用した。また、この解析を行うに際し、完成時に主塔を直立させることや主索のサグ値等の設計条件を満足させるため、主索および耐風索のケーブル形状と張力を事前に算定し、各節点座標および部材の無応力長を決定している。なお、主索、吊索、耐風索、耐風支索の製作にも、ここで得られた無応力長を反映している。

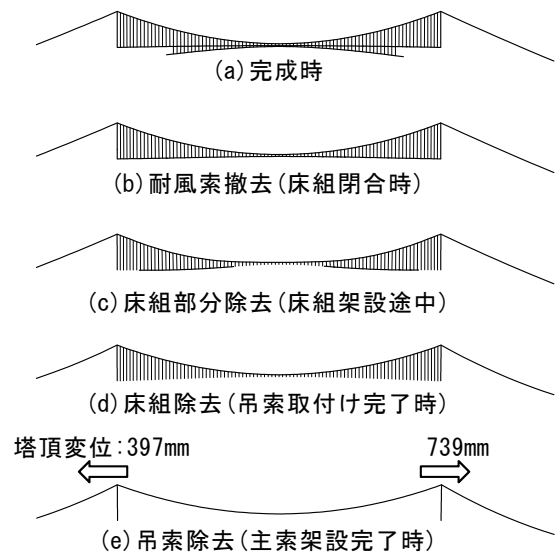


図4 解体計算の主な流れ

## 3) 主塔架設

主塔は外径 1433.4 mm の鋼管で構成されており、主塔基部には回転自由のピボット支承が設置される。主塔の架設は 11 ブロックの部材を順次油圧クレーン (2P 主塔: 220 ton, 3P 主塔: 550ton) にて架設し、工場製作時に設置したエレクションピースを用いて仮組立形状を再現した後に、現場溶接により接合した。3P 主塔は、地形上の理由から架設途中の主塔の自立を支持するための仮控え索の設置が出来ないため、写真6のとおり主塔背面に支持架台を設置した。また、主塔の外面には景観性への配慮から吊金具等の突起物の設置が認められなかったため、主塔自体への架設足場の設置が困難であった。そこで、架設足場は橋台から立ち上げることとし、以下の対応により、主塔と架設足場の挙動を追随させた。



写真6 主塔の架設状況



写真7 架設足場基部のヒンジ構造

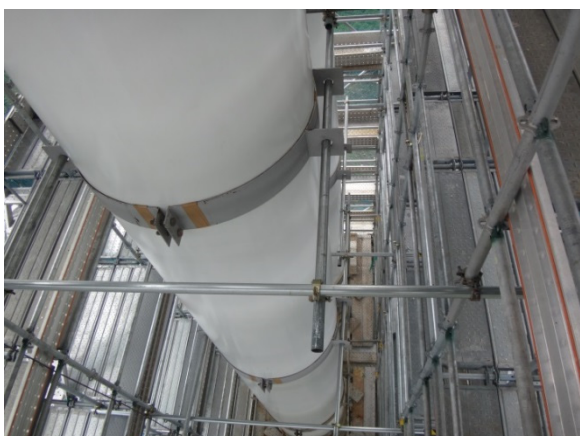


写真8 主塔と架設足場つなぐ仮設バンド

- ①基部をヒンジ構造として主塔ピボット支承の両脇に設置し、その上に架設足場を構築した（写真7）。
- ②主塔に仮設バンドを取付け、主塔と架設足場を固定した（写真8）。

#### 4) パイロットロープ張り渡し

主塔架設完了後、パイロットロープの張り渡しを行った。施工手段は、窒素ガスによる無火薬式ロープ投射機を採用し、 $\phi 4\text{mm}$ の合成繊維ロープを投射した（写真9）。張り渡し完了後、アンカレイジおよび両主塔間を結ぶ周回ロープを設置し、主索の引き出し・展開等に使用した。



写真9 無火薬式ロープ投射機

#### 5) キャットウォーク設備

キャットウォーク（以降、CW）設備は、中央径間、側径間ともに設置した。1A アンカレイジから2P・3P主塔を乗り越え、4A アンカレイジまでCWロープを6本張り渡した。CWロープの間隔調整は塔頂部に設置したナックルガーダーを介して行った（写真10）。その後、地組立した $4.0 \times 4.0\text{ m}$ の床組パネルを油圧クレーンにて荷揚げし、補助ウィンチにて引き出して設置した（写真11）。また、強風時の転覆を防止するため、耐風索定着部をアンカーとするCW用の耐風索を設けた。



写真10 CWナックルガーダー



写真11 CW床組パネル架設状況

#### 6) 主索およびケーブル付属品

1A アンカレイジの天端にアンリラーを配置し、CW上に設けた引出しローラーを介して補助ウィンチと引出し用台車を用いて、4A アンカレイジ側に向けて主索を展開した。その後、ケーブルバンドと吊索をCW上で所定の位置に設置した。

#### 7) 橋体架設

橋体架設は、2系統のケーブルクレーン相吊りにて行うため、荷取りヤードは中央径間部に設ける必要がある



写真12 橋体（床組）架設状況

が、谷筋への急な傾斜地のため工事用道路の整備が困難であった。そこで、側径間部にて橋体を地組し、主塔の柱2本の内側をスライド運搬できる台車を構築して、橋体を荷取り位置に供給した。

架設は写真12に示すように、両主塔から径間中央に向けて行った。また、プレキャストRC床版、グレーチング床版、フェアリング、耐風索展開足場等は、可能な限り地組時に取り付けることで高所作業量を低減し、作業の安全性向上に努めた。

#### 8) 耐風索の展開と架設

耐風索は、橋体の側面（吊索より外側）に耐風索展開足場を設置し、その上に配置した引出しローラーを介して、ケーブルクレーンにて引出し展開を行った。両側4本の耐風索を展開完了後、ケーブルバンドおよび耐風支索を取付けた。耐風索の吊下しは、耐風索を約20m間隔で主索からチルホールにて吊り上げ、耐風索展開足場から浮かせながらケーブルクレーンにて2Pから3Pに向けて行った（写真13）。本橋の耐風索は、図2のとおり平面的に非対称な配置であるため、橋体の出来形精度の確保が課題となったが、前述の有限変位解析に基づいた



写真13 耐風索架設状況

主索、耐風索等のケーブル長への製作反映、および解体計算による架設時の形状管理により、橋体に計画値からの大きな誤差は見られず、所定の出来形を確保することができた。

#### 9) 橋面工（高欄および薄層舗装）

耐風索架設完了後、CW設備、ケーブルクレーン設備、耐風索展開足場などの仮設備を撤去し、高欄の設置および薄層舗装の施工を行った（写真14）。この作業はケーブルクレーン解体後に実施することとし、資機材は両端部より橋体上を簡易台車にて供給した。



写真14 橋面工（高欄・薄層舗装）施工後の状況

## 4. おわりに

本稿では、国内最大規模の人道吊橋となる箱根西麓・三島大吊橋の耐風検討結果の実構造への反映、および架設について報告した。本報告が今後の同形式の橋梁にとって、有用な一資料となれば幸いである。

本橋は公募により決定した「三島スカイウォーク」という愛称で、2015年12月に無事に供用が開始された。本橋が末永く愛され、地域振興に大いに貢献することを願う。

最後に、本工事の施工にあたり、ご助言・ご指導いただきました関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1)宮澤俊二, 大村正弘, 岩井大, 畠中真一, 小笠原照夫: 箱根西麓・三島大吊橋の計画(3)耐風対策, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012.9.
- 2)畠中真一, 小笠原照夫, 大野克紀: 箱根西麓・三島大吊橋の耐風検討, 川田技報, Vol.32, pp.11-1 - 11-6, 2013.