

# 東名足柄橋（PC 斜張橋）

## — わが国初の高速道路斜張橋 —

木村 秀夫\*1・貞光 誠人\*2・田中 茂義\*3・長尾 賢二\*4

東名足柄橋は、東名高速道路改築事業の一環として、御殿場インターチェンジの北東約5kmの地点に架橋された橋長785mの橋梁であり、現東名の横過部はPC3径間連続斜張橋が架橋された。本橋は、わが国初の高速道路PC斜張橋として、平成3年3月末の開通から20年余りが経過した現在においても、東名高速道路の良きランドマークとして位置づけられている。本稿では、直面した技術的課題を振り返りながら、本橋の設計・施工における代表的な取組みを紹介する。

キーワード：PC斜張橋、景観設計、HiAm アンカーケーブル、風洞試験、急速施工、施工管理システム

### 1. はじめに

東名足柄橋は、東名高速道路改築事業の一環として大井松田IC～御殿場IC間に建設された橋長785mの橋梁であり、そのうち370mはPC斜張橋、415mはPC連続ラーメン橋で構成される。東名改築事業は、当時事故や渋滞が多発していた本区間の走行性の向上と交通容量の増大を目的としたものであった。両側に1車線ずつ新設して4車線を6車線に拡幅する区間と、従来の4車線を下り線とし、別線として3車線を新設して上り線として使用する区間に区分される。本橋は、3車線を新設する区間に位置する。

現東名の横過部に架橋されたPC3径間連続斜張橋は、高速道路橋としてわが国初のPC斜張橋である。架橋地点は西に富士山、北に丹沢山系を望む風光明媚な場所であるため、桁高が低くスレンダーで、景観上優れた構造形式であるPC斜張橋が採用された。以下に斜張橋部にのみ着目し、本橋の概要、設計・施工上の特徴について述べる。

### 2. 検討課題の克服

本橋は、道路橋本線に適用される初めてのPC斜張橋で

あった。欧米では、すでにスパンが300mを優に超えるPC斜張橋が次々に建設され、まさに斜張橋の時代の到来を告げていた。欧米におくれを取ったが、わが国でも、長大橋の代表的な形式として採用されていくことが予想されたため、基礎的な課題を含め、多くの設計課題が提示され、それぞれ専門家達によって検討された。本橋でなされた技術開発は、それ以後のPC斜張橋の発展に大いに寄与していくことになる。

#### 2.1 地震に対する検討

東海地震の震源地が相模湾内に想定され、本橋は嚴重な耐震構造であることが求められた。まず、震源地の海底断層から本橋まで地震波の伝播をシミュレーションし、地震解析に用いる地震波を作成した。そして、その地震波を入力した動的解析を実施した。

塔と主桁には、多数の地震計を設置し、PC斜張橋の地震時動的挙動と動的解析結果を照合できるようにした。東海地震はまだ発生していないが、震度4程度の地震に見舞われたので、その折には実測値と解析値の比較検討が行われている。



\*1 Hideo KIMURA

現職

中日本ハイウェイ・メンテナンス中央(株)  
代表取締役社長



\*2 Makoto SADAMITSU

大成建設(株) 国際支店

当時

日本道路公団 東京第一建設局 松田工事事務所  
構造工事長

大成建設(株)・住友建設(株) 共同企業体 工事課長



\*3 Shigeyoshi TANAKA

大成建設(株) 九州支店

大成建設(株)  
土木本部 土木設計部



\*4 Kenji NAGAO

大成建設(株)  
土木本部 土木技術部

## 2.2 風に対する検討

鋼橋に比べて、PC橋に対する耐風検討例は、これまでPC橋の規模が小さいこともあり、わずかだったが、スパン長の長いPC斜張橋が出現することになり、その必要性が叫ばれた。本橋の桁断面は、幅員/桁高の比が大きくスレンダーであったが、桁高より高い防音壁（高さ3m）が両側に設置されるため、振動が発生する可能性が指摘され、部分模型を用いた風洞試験で検証された。

本橋でとくに問題視されたのは、斜ケーブルの振動で、とくに、降雨時のレインバイブレーションの発生だった。長崎の三菱重工の風洞試験室で、実際に降雨を再現した試験が実施された。筆者の一人は、その試験に立ち会ったが、降雨が始まり、斜ケーブルを伝う雨水の流れが定常的になってくると、風向によっては、そよ風程度の風により、ケーブルが振動を始めたことは衝撃的だった。この試験結果から、6段目から10段目までの長い（固有周期の長い）斜ケーブルに、防振対策として粘性ダンパーを設置することが決定した。

## 2.3 景観設計

橋梁の設計において、景観設計が本格的に議論され始めたのは、バブル経済が全盛のこの時期ではなかったかと思う。本橋の景観設計を手掛けたのは、高名な工業デザイナーである柳宗理氏であった。氏は、昨年末に96歳で亡くなられたが、家具、照明、食器のほか、札幌冬季オリンピックの聖火台、土木構造物では、東名高速道路東京料金所の防音壁や関越自動車道関越トンネル坑口などが代表作としてあげられる。氏は、構造計算とは無縁の芸術家であったが、構造設計者と議論を交わしながら、あるときは妥協しても、信念とする景観美を追求する姿勢が、景観にな

じみのない建設業の橋梁設計者にとっては、新鮮だった。

橋脚、塔、塔の横梁の形状は、氏が幾とおりもの模型を製作し、決定した。断面に曲線が多く取り入れられていたため、工事は難渋した。塔の一部は帯状に青色塗装が施された。斜ケーブルの色は、当時の技術では、紫外線対策のため、カーボンブラックしか選択肢がなかったが、氏がもっと明るい色の採用を強く主張したことをよく覚えている。

コンクリート表面に3重の塗装をしたのだが、数年で剥げはじめ、橋を通行するドライバーから修復するように声が上がっていたが、避雷針維持管理用の足場しか設備されていなかったため塗装箇所付近に近寄らず、長期間放置してしまっただけは反省点である。

主桁、防音壁の形状や透明アクリル板の使用は、横からの視点で、桁が薄く見えるようにとの配慮であった。

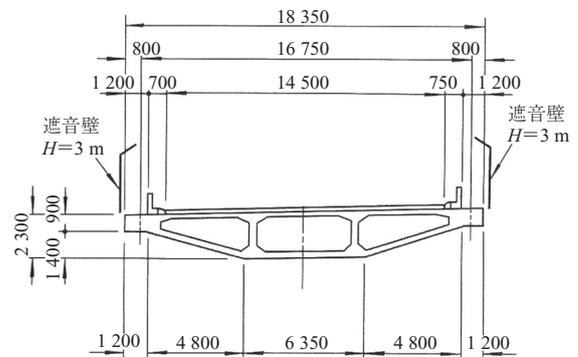


図 - 1 東名足柄橋の主桁断面図

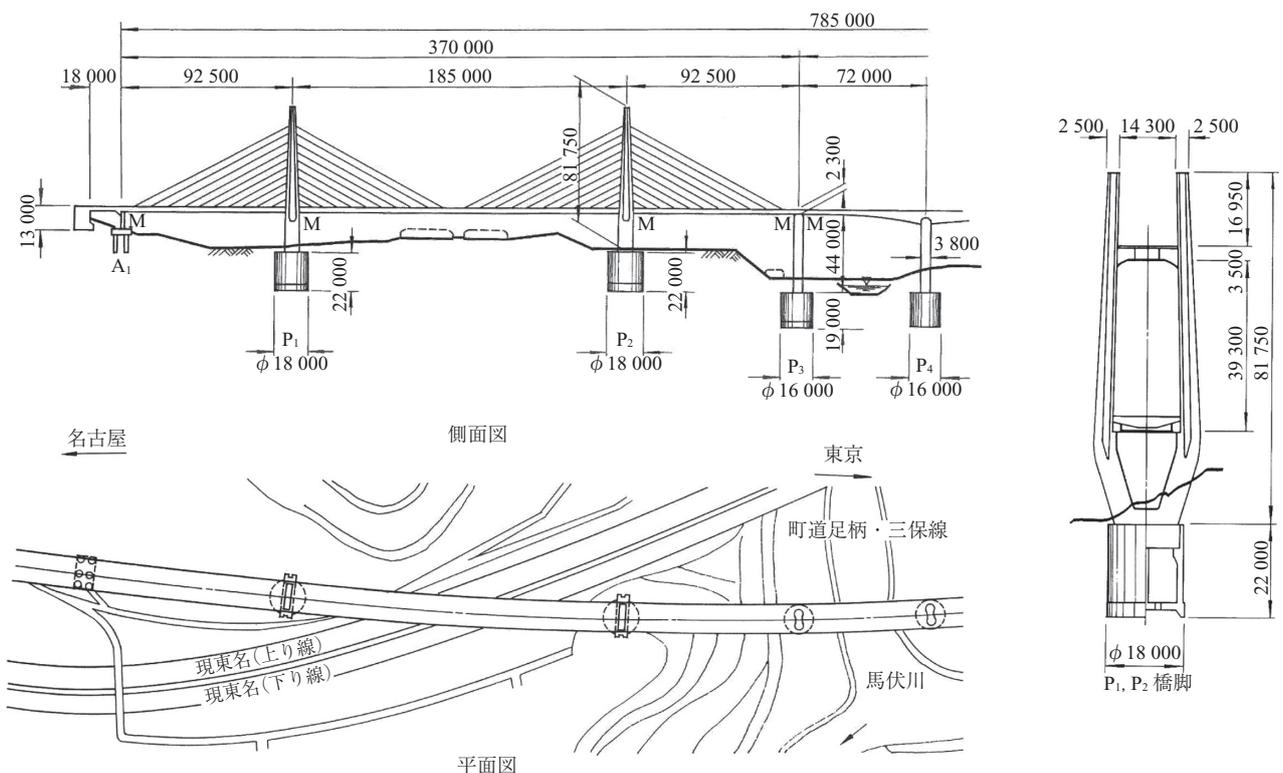


図 - 2 東名足柄橋の一般図および主塔形状図

### 3. 東名足柄橋の構造概要

本橋の主桁断面図を図 - 1 に、一般図および主塔形状図を図 - 2 に示す。本橋の桁高は、移動式架設作業車による場所打ちの張出し施工が可能となる最小桁高として 2.3 m とした。主塔は、基礎天端からの高さが 81.75 m であり、将来の斜ケーブルの点検、維持補修を考慮し、斜ケーブルが本線上になく、通行止めを行うことなく対応が可能との理由から、H 形状を採用した。また、本橋は東京方面への 3 車線であり、中央分離帯を設けることができないため、斜ケーブルの定着部を両路肩側に設けた 2 面吊構造となっている。

架橋地点の地盤条件は、深度 5 m 以深で  $N$  値が 70 以上の転石混じりの砂礫層であった。基礎は、深さ 22 m、直径 18 m の円形断面で、地上より約 82 m の高さを有する主塔に作用する地震時転倒モーメントを支えるため、P1、P2 ともに剛体基礎となっている。河川に近接し、湧水が予想されたことから、両基礎ともニューマチックケーソン工法を採用した。橋脚はこのケーソン基礎の直径をできるだけ小さくするため、逆台形形状とした。

### 4. 斜ケーブルの設計

本章では、斜張橋の主要部材である斜ケーブルの設計について述べる。

#### 4.1 斜ケーブルの選定

本橋の斜ケーブルは複数のケーブルを近接させて構成するタイプではなく、大容量の単一ケーブルである HiAm アンカーケーブルを採用した。これは、近接した複数のケーブルは、風によるウエイクギャロッピング振動が生じやすく、ケーブル定着部の曲げ疲労の可能性を高める懸念があったためである。最大張力は、過去の事例を参考にして常時 6 000 kN とし、1 本のケーブルとして、 $\phi 7$  mm の鋼線が 139 ~ 211 本使用された。なお、本斜ケーブルは工場製作ケーブルであるが、これは現場製作に比べ、交差する東名高速道路上での作業を短縮できるとの理由による。ケーブルの防錆は、耐候性ポリエチレン管で被覆し、内部にセメントグラウトを充填することで行った。

定着部構造は、鋼線の先端をボタンヘッド加工して定着し、アンカーソケット内に鋼球をつめてエポキシ樹脂を充填したものである (図 - 3)。

#### 4.2 斜ケーブル定着部の構造検討

本橋の斜ケーブル定着部構造を図 - 4 に示す。主塔側の斜ケーブル定着部は、美観上定着体が躯体外面に突出しないよう、切欠きを設ける構造とした。主塔側定着部の切欠きは最終的には膨張コンクリートで充填する計画であったが、風雨にさらされるうえ、点検も容易ではない。万一雨水の浸透などで定着材料が腐食しても補修工事を容易にするため、定着具に防錆処理を施し、鋼製キャップをかぶせた。相対する定着切欠き部により、断面欠損が生じているだけでなく、交差する 2 本の斜ケーブル張力によるねじれ、さらに  $R = 2\ 000$  m の平面曲線に起因する地震時などのねじりモーメントに対し、特別な補強を実施した。

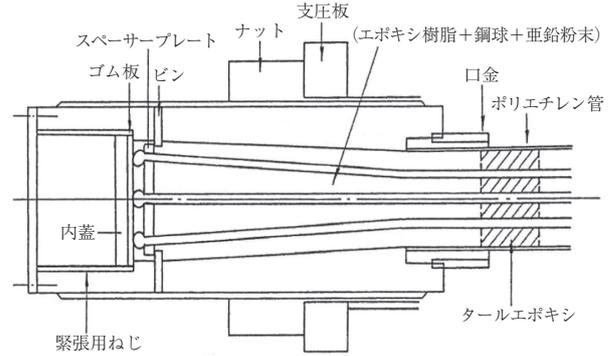


図 - 3 斜ケーブル定着具の構成 (HiAm アンカーケーブル)

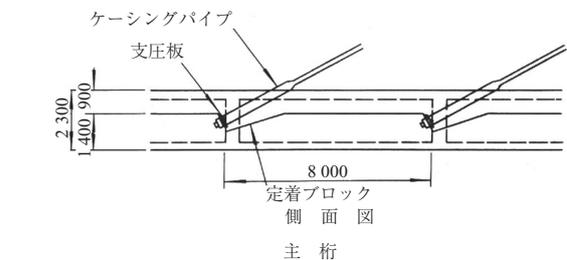
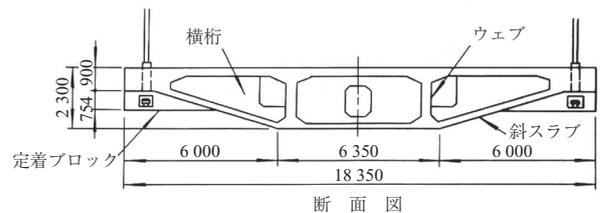
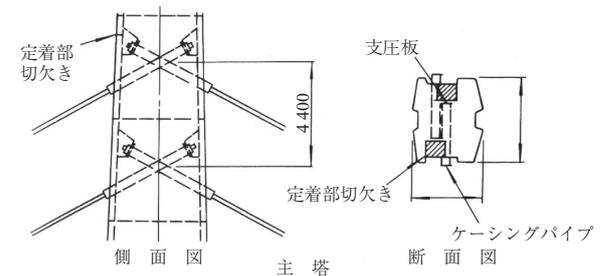


図 - 4 主塔および主桁の斜ケーブル定着部の構造

一方、主桁側の斜ケーブルは、主桁両端に張り出したコンクリートブロックに定着されており、橋軸直角方向に設けられた横桁を介してせん断力の大部分をウェブに伝達し、この横桁が主桁を支える構造である。当時、同様の支持形式の橋梁実績は、海外ではすでにみられたが、大地震の発生確率の高いわが国の橋梁に適用できるかどうかは明らかにされていなかった。

以上の課題から、本橋では 1/4 および 1/2 の模型を用いた載荷試験を実施し、これにより、部材の耐荷性能、設計手法の妥当性を検証し、安全性を確認した。載荷試験の詳細は既報<sup>2)</sup>によるが、本実験により得られた知見をもとに効果的な補強方法を検討し、実構造に適用した。

## 5. 急速施工への取組み

本橋は、平成3年春の完成が必達であったが、地元協議および用地買収の難航により、工事着手が約7ヵ月遅れた。以下では、この工事工程の遅れを取り戻すべく実施したいいくつかの急速施工法を中心に、施工上の課題および工夫について紹介する。

### 5.1 橋脚の施工

工程短縮を図るため、鉄筋コンクリート（RC）構造から鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）構造に変更し、橋脚鉄骨を柱頭部の支保工として先行利用した。これにより、柱頭部と橋脚の同時施工を実現した。橋脚の施工手順を図-5に示す。

コンクリート打設は、工期短縮のため、1回の打設高を高くして、リフト数を可能なかぎり少なくし、昼夜連続して最大1200m<sup>3</sup>の一括打設を行った。ただし、橋脚内には鉄骨およびスターラップが密に配置されており、作業員

および圧送ポンプの筒先の横移動はほぼ不可能であった。そこで、ポンプ車を3台利用して打設天端に分岐管を設け、ポンプ車1台から筒先を4カ所に分岐させる計画とし、一括打設を可能とした。

### 5.2 主桁の施工

柱頭部の施工は前述のとおり、橋脚との同時施工を行った。柱頭部の長さは工程短縮のため、移動式作業車を2基同時に組み立てることができるように17mとし、橋脚の鉄骨と主鉄筋（D51）の施工完了後に図-5に示すように、鉄骨とパイプサポートを支保工として製作ステージを構築した。

張出し施工部の1ブロック長は斜ケーブルの配置間隔8mの1/2である4mとし、4600kN・mの能力を有する移動式作業車で施工した。斜ケーブル定着ブロックにおける中間横桁は、主桁と同時にコンクリート打設を行うと、移動式作業車の移動時に内型枠を同時に移動させることができず、毎回組立て解体しなければならないという問題が

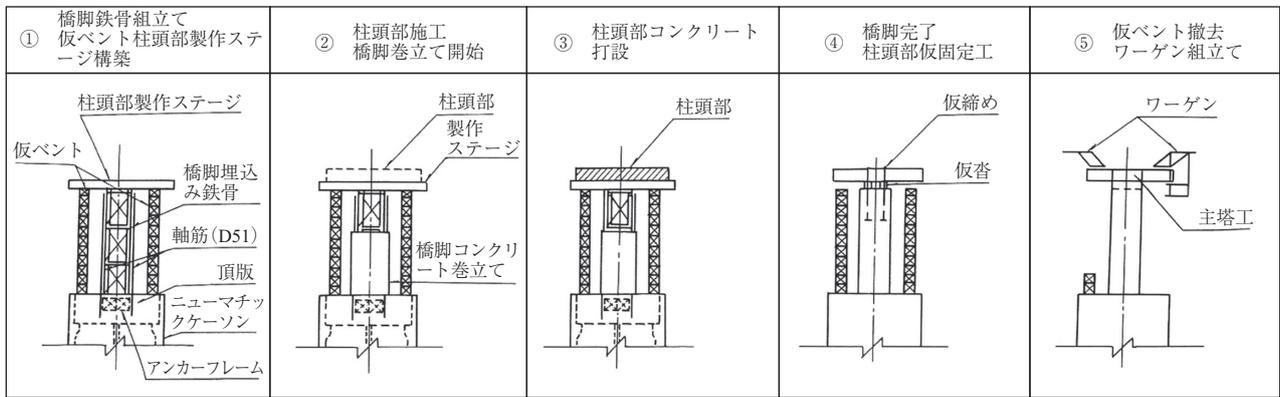


図 - 5 橋脚の施工手順

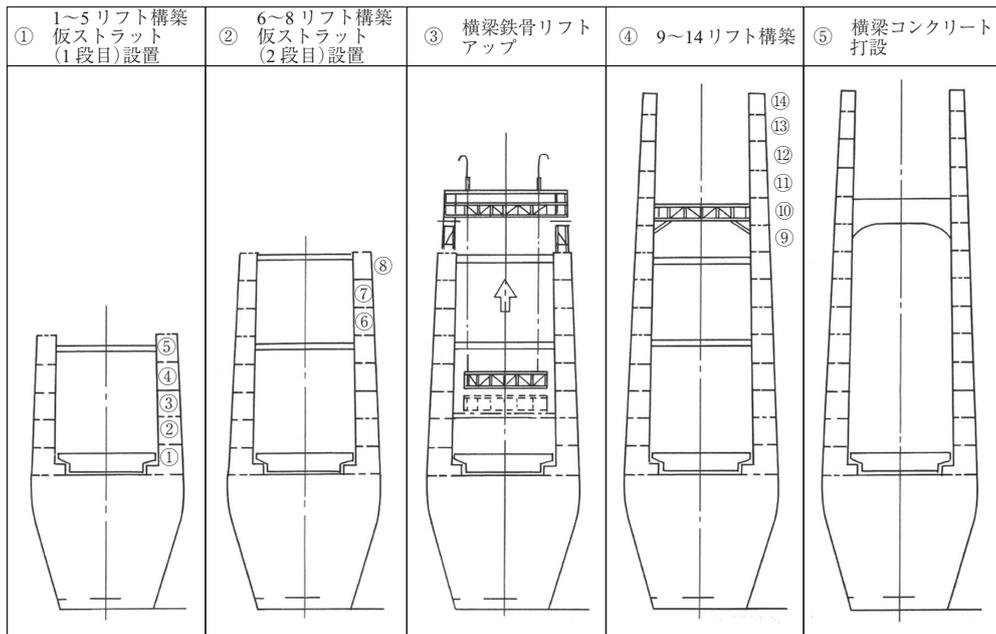


図 - 6 主塔の施工手順

生じるため、後打ち方式とした。なお、標準ブロックの施工から定着ブロックの施工、斜ケーブルの架設・緊張までを1サイクルとした場合の標準工程は、実稼働日で18日、暦日で21～22日であった。

### 5.3 主塔の施工

主塔は全高60.365mを14リフトに分割して施工し、1リフト高さは斜ケーブル定着間隔と同じ4.4mであった。主塔の施工は、主桁および斜ケーブルの施工と並行させる必要があったため、横梁を当初設計のRC構造からSRC構造に変更し、架設時には鉄骨構造のみで外力に抵抗させることとして主塔の施工を先行させた(図-6)。なお、この横梁鉄骨は重量が約25tにも及んだため、主桁上で地組し、4台のPCストランドジャッキで一括リフトアップを行った。主塔完成後に横梁コンクリートを打設し、型枠は鉄骨からの吊支保工にて支持した。

### 5.4 斜ケーブルの施工

本橋の斜ケーブルには前述のとおり、工場製作ケーブルを採用した。ケーブルリールの直径が最大4mであったため、製作工場から先導車つきの超低床トレーラにて夜間輸送した。斜ケーブルの架設については詳細<sup>3)</sup>を省略するが、タワークレーンと主桁上のトラッククレーンにより、主桁側、主塔側の順でケーシングパイプに引き込んだ。

緊張作業は、交差する東名高速道路への安全対策上主塔側で行い、架設直後の1次緊張、1段上の斜ケーブル緊張後の2次緊張、閉合後の3次緊張と計3回の緊張作業を各ケーブルについて行った。

### 5.5 そのほかの施工上の工夫

本橋の施工にあたっては、張出し架設の各施工ステップを正確にシミュレートして解析し、計画値を算出するとともに、施工ステップごとに主桁レベル、斜ケーブル張力、各部材応力度の実測値と計画値を比較検討し、必要に応じて誤差補正までを行える施工管理システムを導入し、施工精度の向上を図った。

また、日交通量が約6万台(当時)にもなる東名高速道路と交差するため、施工時の落下物の防護には細心の注意を払った。張出し施工に使用する移動式作業車を完全に防護したほか、2重の安全対策として本橋が交差する高速道路上120m区間には、桁長30m、桁高1.1m、桁幅2.35mの鋼トラス構造の防護桁を48本並列に架設した。

## 6. おわりに

本橋は平成3年3月の開通から20年余りが経過し、現在も変わらぬ姿で東名高速道路の重交通を支えている(写



写真-1 現況写真

真-1)。わが国初の高速道路斜張橋として、当時は多くの技術的課題に直面したが、本稿で紹介した取組みを中心に、関係者の多大な尽力によりそれらを克服することができた。

本橋の建設において得られた知見や経験は、その後建設された数多くの斜張橋工事において、大いに参考となったのではないと思われる。本橋は現在、点検補修工事中で主塔の塗装は新しいはく落防止対策工を適用し、より良い形にその姿をかえつつあることをこの機会に報告しておきたい。

最後に、栄えあるPC技術協会作品賞を受賞した本橋の建設に携わったすべての関係者の方々にあらためて御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 角谷 務, 熊谷紳一郎, 太田哲司, 今井義明: 東名足柄橋(PC斜張橋)の設計上の主要な留意点, 橋梁と基礎, 1990.2
- 2) 角谷 務, 熊谷紳一郎, 太田哲司, 今井義明: 東名足柄橋(PC斜張橋)の設計上の主要な留意点(下), 橋梁と基礎, 1990.3
- 3) 木村秀夫, 太田哲司, 金井壯次, 富田邦甫, 貞光誠人: 東名高速道路(改築)東名足柄橋(PC斜張橋)の施工, 橋梁と基礎, 1990.9

【2012年8月30日受付】