

## 2. CFT 部材を使用した桁橋の施工技術報告 — CFT ガーダー橋の施工 —

技術委員会 架設小委員会

### 1. はじめに

近年、鋼とコンクリートの特性を生かした複合型橋梁の研究ならびに実構造物への適用がなされる中、新たな鋼・コンクリート複合型橋梁として「CFT ガーダー橋」が建設された。

CFT ガーダー橋は、圧縮側下フランジにコンクリート充填鋼管（CFT：Concrete-Filled Steel Tube）を用い、引張側下フランジを鋼管構造とした鋼・コンクリート複合型新形式橋梁である。CFT とは、鋼管にコンクリートを充填した優れた塑性変形性能をもつ圧縮部材に最適な複合構造部材である。

下フランジに CFT を用いることにより、通常の鉸桁構造に比べ主桁断面性能の向上が期待でき、長支間化が可能となるとともに、桁高を低く抑えることができる利点がある。さらに、製作コストの面からも、100m を超える支間長に対して、鋼床版箱桁橋やトラス橋といった従来の橋梁形式に比べて、部材、材片数を低減することができ、経済性に優れた新形式橋梁である（図-1）。

ここでは、神戸新交通ポートアイランド線延伸事業に適用された CFT ガーダー橋の設計要領、CFT の施工品質を確保するためのコンクリート充填試験および現地施工について報告する。

### 2. CFT ガーダー橋の設計要領

CFT ガーダー橋の主桁の設計においては、従来の許容応力度法では CFT の優れた強度特性を十分に発揮できないため、限界状態設計法が用いられた。

主桁の設計においては、主桁断面構成部材のうち、CFT 部材及び引張部材については部材降伏後も強度を保持すると考える。これより、主桁の終局限界状態における応力度状態は、以下の2ケースとなる。

①負曲げの場合：下フランジ鋼管(CFT 部材)

が全塑性状態に達した後、腹板の下縁が圧縮降伏ひずみに達する状態

②正曲げの場合：上フランジが全塑性状態に達した後、腹板の上縁が圧縮降伏ひずみに達する状態

腹板の圧縮降伏を終局限界状態と考えるのは、腹板については通常のノンコンパクト断面設計を適用し、部材降伏後の強度が保証されていないためである。終局限界状態における応力度状態の概念図を図-2に示す。

断面照査については、設計断面力（S）と、上記の終局限界状態となる設計耐力（R）を算出して、

$$S/R \leq 1.0$$

が成立することを確認する。

なお、下フランジ鋼管に圧縮応力度が発生する場合は、別途、軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける鋼管として照査を行なうこととした。

### 3. 橋梁概要

現在、神戸市では、産官学連携のもと、高度医療技術の研究開発拠点を整備し、医療関連産業の集積による神戸経済の活性化、医療サービス水準と市民福祉の向上、国際貢献を目指す「神戸医療産業都市構想」を加速させており、ポートアイランド（第2期）に、この神戸医療産業都市構想の中核施設群を整備している。また、神戸市およびその周辺の国内航空需要に対応するために、2006年2月に第3種空港（地方公共団体が設置し、管理する空港）として神戸空港が開港した。こうした都市構想の一翼を担うための公共交通機関が、神戸新交通ポートアイランド線である。

1981年に新交通システムとしては我が国で最初に営業を開始した神戸新交通ポートアイランド線（愛称：ポータルライナー）では、ポートアイランド（第2期）の整備と神戸空港開港



図-1 CFT ガーダー

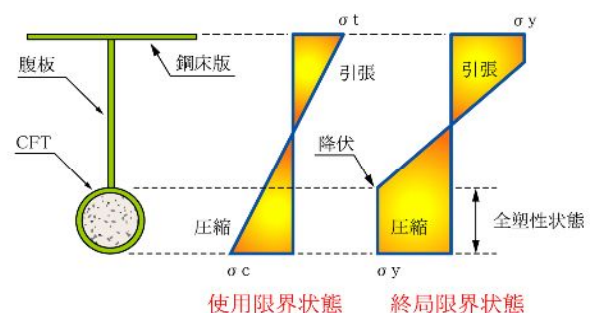


図-2 鋼床版 CFT ガーダー橋の応力状態

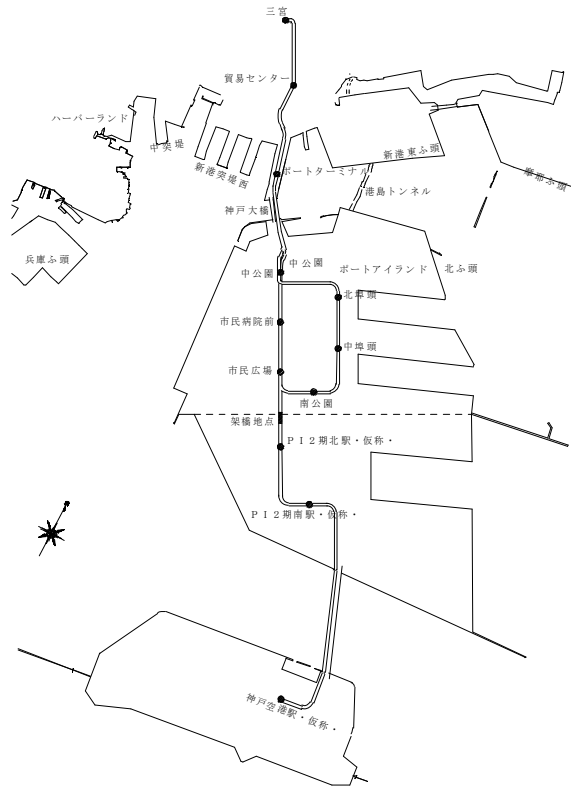


図-3 位置図

に伴う新たな交通需要への対処およびポートアイランドの利便性向上のため、既存線の一部複線化および延伸工事が行われた。

神戸新交通ポートアイランド線延伸事業は、複線化区間が約1.0km、延伸区間が約4.4km、切り替え区間が約0.3kmの総延長約5.7kmの

全線高架構造として整備され、また、複線化に伴い既存駅3駅の増改築、延伸に伴い3駅が新たに設置された。ポートライナーは、2006年2月に、神戸市中心部（三宮）と神戸空港を結ぶ利便性の向上した新たな公共交通機関に生まれ変わる事となった。本橋の施工位置図を図-3に示す

本橋は、ポートアイランド第1期と第2期の境界に位置し、ポートアイランド第2期内の利便性向上のために設置されているムービングウォークに近接している。また、架設地点直下に半地下駐車場があるため、計画段階において以下の条件を設定された。

- ① 延伸事業全体の工事費削減のために走行路面高の制限
- ② ムービングウォーク大屋根と干渉しない桁高制限
- ③ ムービングウォークの休止期間の最小限化
- ④ 半地下駐車場への影響の最小限化

以上の条件のもと、既存施設の関係及び最大支間が標準的な橋梁支間の約2倍の90m程度が必要とされることを総合的に判断、比較検討の結果、本橋が採用された。

本橋は図-4に示すように、橋長193.342m、支間割り51.650m+87.900m+52.492mの3径間連続鋼床版CFTガーダー橋である。橋梁諸元を表-1に示す。また、CFTに充填した高流動高強度コンクリートの要求品質を表-2に示す。

表-1 橋梁諸元

橋長	193.342m
支間長	51.650m+87.900m+52.492m
鋼重	約550t
桁高	2000mm
鋼管直径	800mm
幅員	7450mm
主要鋼材	SM570, SM520 SM490Y, SM400, SS400
使用コンクリート	設計基準強度 60N/mm <sup>2</sup>
架設工法	側径間 : 地組立一括架設工法
	中央径間 : 横取架設工法
	側径間 : 単材架設工法

表-2 コンクリートの要求品質

項目	目標値
① 流動性	スランプフロー 650±50mm
	スランプロス 90分間流動性保持
② 自己充填性	ランク2(U型容器、障害R2) 充填高さ300mm以上
③ 材料分離抵抗性	V漏斗流下時間 7~13sec
	500mmフロー到達時間 3~15sec
④ 圧縮強度	60N/mm <sup>2</sup> (材齢28日)
⑤ 一般管理	空気量(3.0±1.5%)
	塩化物試験(0.3kg/m <sup>3</sup> 以下)

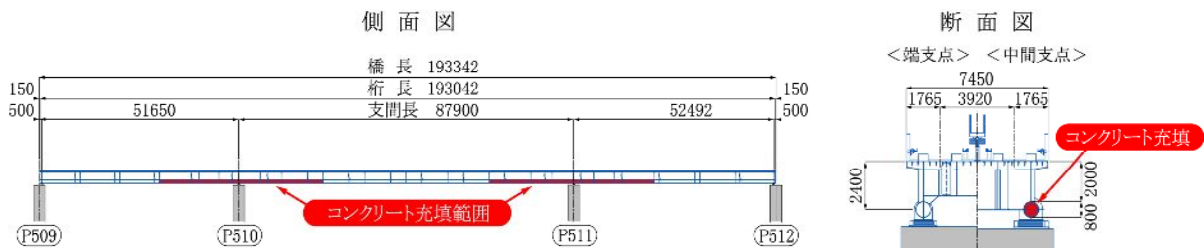


図-4 一般図

## 4. 施工確認試験

### 4. 1 コンクリート充填試験

本橋の鋼管への充填コンクリートの打設は、構造特性、架設条件等により現場水平打設となるが、CFT 部材においてコンクリートを水平打設した例はほとんどない。そこで、実施工でコンクリートの水平打設をおこなった場合のコンクリートの充填性を確認するとともに、空隙の有無を確認するための非破壊検査方法の妥当性を検証するために、コンクリート充填試験をおこなった。

高流動コンクリートの水平打設長はこれまでの試験や施工実績より 8m 程度を限度としているので、実橋のダイヤフラム間隔(約 5m)を 1 区画としてコンクリートを打設する計画とした。本試験の供試体は、図-5 に示すように水平長を約 5m とし、812.8φ×16mm の鋼管を使用した。供試体には空隙の非破壊検査のために発泡スチロール製の人工空隙を 4 種類(□50mm、□100mm、□200mm、□300mm)設置した(図-6)。試験状況を図-7 に示す。

次に、コンクリートを充填した供試体に対して材料分離の有無を確認するために切断を行った。図-8 に切断した断面の骨材分布状況

を示す。切断面の骨材の分布状況は、上側に粗骨材が若干少ないものの、骨材が分離しているような状況は認められなかった。

さらに、充填コンクリートの強度を確認するため、断面に対して上・中・下の 3 点から供試体軸方向に対してコア採取を行い、圧縮強度試験を実施した。その結果、若干のバラツキはあるものの全ての断面において設計基準強度以上の強度があることが確認でき、設計要求品質を満足する充填が可能であることが確認された。

### 4. 2 赤外線サーモグラフィによる

#### 非破壊試験

コンクリートの充填性については、充填試験で確認されており、実橋においても設計上問題となる空隙は発生しないものと予想された。しかしながら、現地において、試験と同等な条件でコンクリートを打設できるとは限らない。よって、設計上問題となる空隙が発生しているか否かを確認するために、赤外線サーモグラフィを用いた非破壊試験を実施した。構造物内の空隙は、空隙とその他の部材との熱伝導率の違いにより温度差が生じることから、構造物の表面温度を計測することにより発

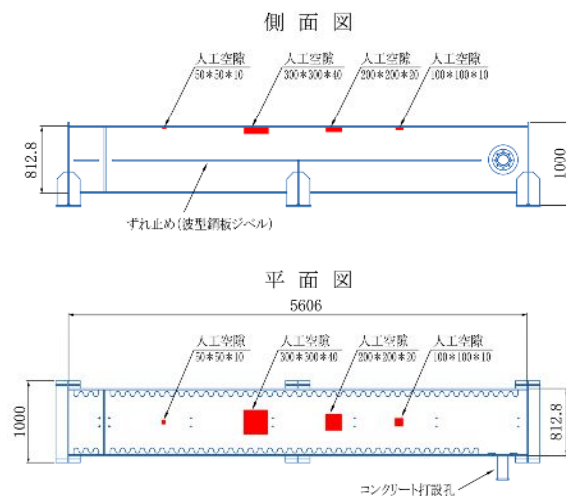


図-5 供試体



図-7 コンクリート充填状況



図-6 人工空隙(発泡スチロール)



図-8 切断面骨材分布

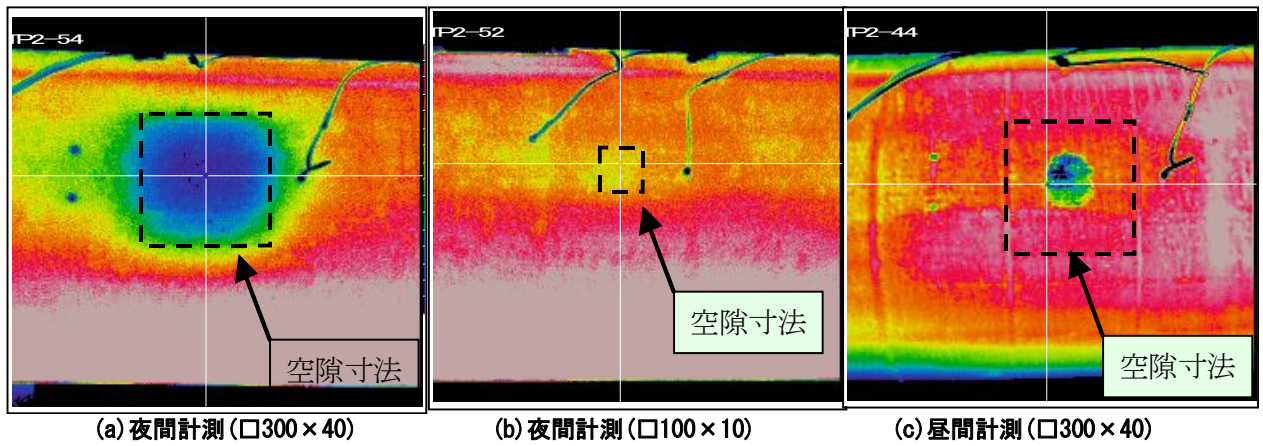


図-9 赤外線サーモグラフィによる表面温度計測結果

見ることができる。赤外線サーモグラフィを用いた表面温度分布計測は、条件の異なる次に示す計5回おこなった。

- ①コンクリート打設後1日目の夜間
- ②コンクリート打設後2日目の昼間
- ③コンクリート打設後2日目の夜間
- ④コンクリート打設後5日目の昼間
- ⑤コンクリート打設後5日目の夜間

なお、①～③はコンクリートの硬化熱の影響がある状態、④～⑤はコンクリートの硬化熱の影響がない状態である。

図-9は、打設後2日目の夜間に計測した□300mmと□100mmおよび打設2日目の昼間に計測した□300mmの人工空隙を設置した位置での計測結果である。コンクリート硬化熱による温度差により、打設後2日目の夜間で、□100mmの検出は困難であるが、□300mmでははっきりと検出できた。しかしながら、日中は空隙の有無による温度差があまり発生せず、また、太陽光の影響により□300mmが検出できないことがわかった。

本試験によりコンクリートの硬化熱の影響がある打設後1日目あるいは2日目の夜間に赤外線サーモグラフィによる表面温度分布計測を行なうことにより、設計上問題となる空隙を発見できることが確認された。

## 5. 現地施工

### 5.1 鋼桁架設

本橋は、架設地点の地理的条件により、3つの架設工法を採用した。(図-10)

その中でも中央径間は、ムービングウォーク大屋根上に架設することから、支保工が設置できないため、横取架設工法を採用した。架設位置西側ヤードにて事前に地組立をおこなった約400tの中央径間を、ムービングウォークを夜間通行止めを行い4つのユニバーサル鉛直ジャッキと2つのスライドジャッキおよび各種センサーから構成する横取装置により約4時間で横取作業をおこなった(図-11)。

その後、P509側径間を550t吊クレーンを用いた一括架設(図-12)、P512側径間をトラッククレーン・ベントによる単材架設(図-13)を行い、鋼桁架設を無事完了させた。

また、主桁は景観上の配慮から全断面溶接構造を採用した。鋼管の現場溶接には、疲労面への配慮から裏当て材を用いないこと、内面からの作業が出来ないことを考慮して初層にTIG(Tungsten Inert Gas)溶接を行い(図-14)、その後被覆アーク溶接により完全溶込み溶接を保証する施工を行った。

なお、現場溶接部の非破壊検査は、現地状況

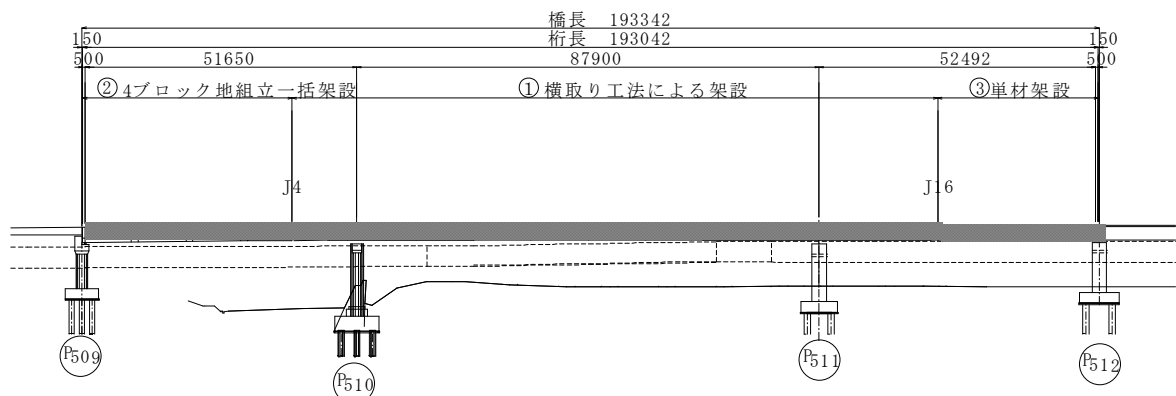
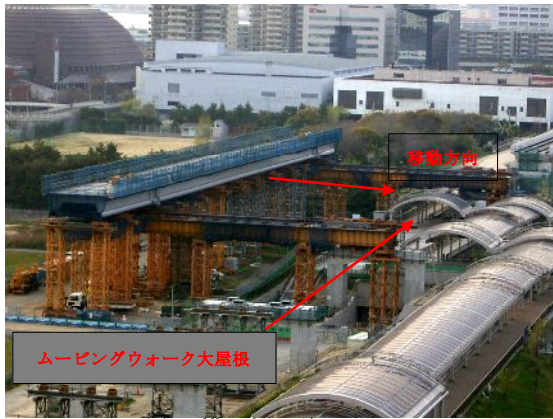


図-10 架設概要図



(a) 横取架設前



(b) 横取架設後

図-1 1 中央径間の横取架設



図-1 2 側径間の架設（一括架設）



図-1 3 側径間の架設（単材架設）



図-1 4 鋼管 TIG 溶接状況



図-1 5 超音波探傷試験状況

を勘案し超音波探傷試験(UT)を、鋼管、ウェブ、鋼床版の現場溶接部全線に対して実施、欠陥の無いことを確認した。(図-1 5)

## 5. 2 コンクリート充填

CFT の充填に用いた高流動高強度コンクリートは品質管理が重要となる。事前の充填確認試験で得た知見から経時変化等を把握した上で、コンクリート充填・品質管理要領を設定し、それに基づいて現地施工をおこなった。

打設時のコンクリートの要求品質は充填試験と同様とし、打設時の計測頻度は、試験結果を踏まえて表-3のとおりとした。品質管理状況を図-1 6に示す。

充填コンクリートの打設は、ポンプ車を桁下に配置し鋼床版上の開孔から配管を通し、鋼管に筒先を接続することにより施工した(図-1 7)。

なお、打設孔は CFT 鋼管に水平面から  $60^\circ$  の角度の位置に取り付けた。これは、今回打設

表-3 打設時の品質管理項目と計測頻度

品質管理項目		測定時期
①	スランプフロー試験	現場到着時 (全車)
②	500mm フロー到達時間	現場到着時 (全車)
③	空気量試験	現場到着時 (午前、午後各1回)
④	自己充填性	現場到着時 (午前、午後各1回)
⑤	材料分離抵抗性(Vポート流下)	現場到着時 (午前、午後各1回)
⑥	塩化物イオン量	現場到着時 (午前、午後各1回)
⑦	圧縮強度試験	現地到着時 (7日, 28日) (午前、午後各1回)



図-16 品質管理状況



図-17 打設状況

するコンクリートが高流動コンクリートであることから、水頭差を利用することにより自己充填を促し、より確実にコンクリートが充填されることを目的に採用した構造である(図-18)。CFT鋼管内へのコンクリート充填の確認は、鋼管上部に設置した空気抜き孔およびビニールパイプからコンクリートが噴出してくることで行なった。1打ち込み区間すべての空気抜き孔からそれを確認した段階で充填完了とした(図-19)。

充填後の措置として、コンクリートの硬化を待って充填口を蓋に、また空気抜きパイプを撤去しボルトに抜きかえを行った。

打設完了後に、充填試験において採用が決定した赤外線サーモグラフィによる非破壊検査を実施した。実橋に対する赤外線サーモグラフィによる非破壊検査は、事前の試験結果に基づ

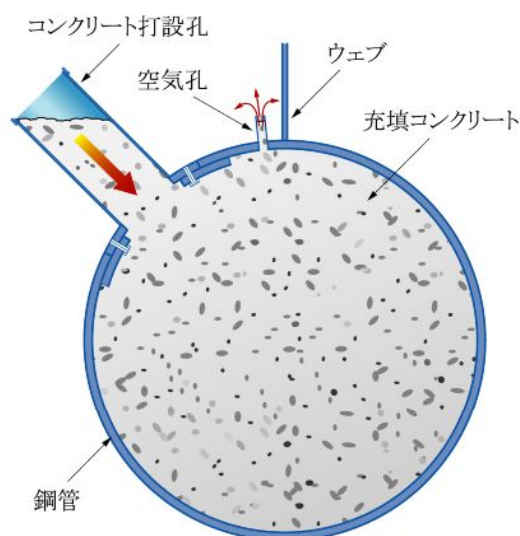


図-18 水頭差を利用した充填構造

非破壊検査は、事前の試験結果に基づきコンクリート打設後 1 日目あるいは 2 日目の夜間に実施した。検査の結果、鋼管上部の温度は一樣に分布しており、設計上問題となるような空隙が発生していないことが確認された(図-20)。

本工事は、規模は小さいながら、新しい設計法の採用や各種試験で得られた知見は有益と考える。今後増加するであろう複合構造橋梁への取り組みを積極的に推し進めていく一助になれば幸いである。

## 5. おわりに

本稿において、新たな鋼・コンクリート複合型橋梁として「CFT ガーダー橋」の特長、実施工に向けての各種試験および現地施工について報告した。

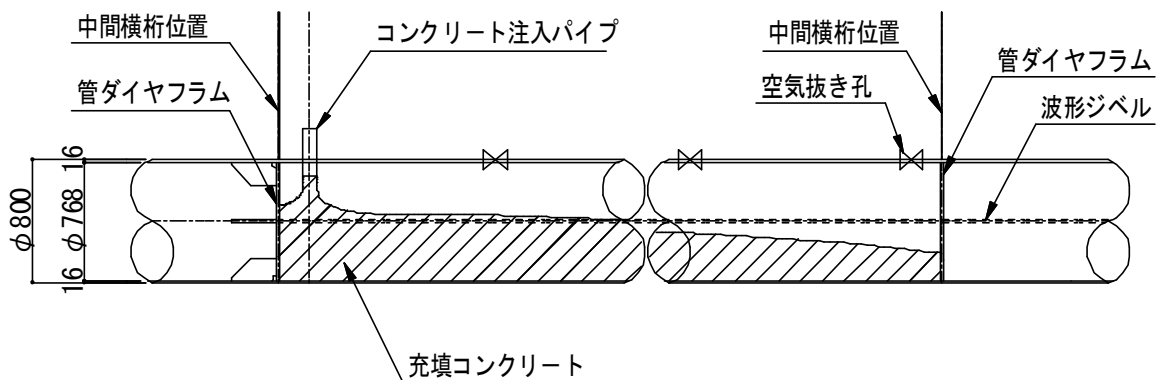


図-19 充填確認要領

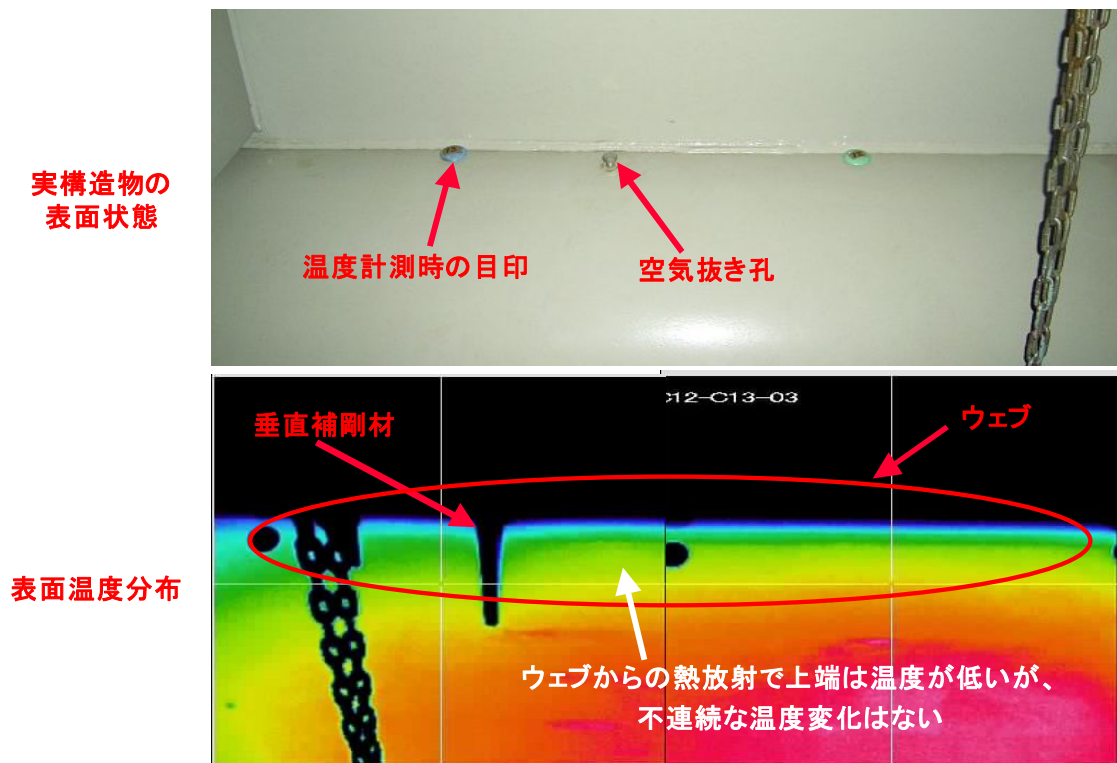


図-20 実橋梁の測定結果