

線状加熱による鋼床版デッキプレートの補修

神戸第一建設部 山手工事事務所 原 田 耕 一
大阪第二建設部 西大阪工事事務所 岡 本 美津男
神戸第一建設部 工事第一課 広 瀬 鉄 夫

要 約

近年、阪神高速道路においては、交通量の増加に伴い、重量物の落下による路面および構造物の損傷が多くなってきている。重量物の落下の場合、舗装ばかりか床版、橋体本体まで損傷を受けるような場合が生じることもある。床版が損傷を受けた場合、RC床版ならば修復方法は全面打替、鋼床版の場合ならば取替が考えられるが、いずれも工事には通行止めが必要となり、交通に及ぼす影響は多大なものとなる。

本工事は、損傷を受けた鋼床版を、規制工事のもとで交通を開放しながら補修した例であり、床版面のくぼみの復元も行っている。補修方法としては、ブラケットの取替の際にデッキプレートのひずみも除去することとし、線状加熱という方法を用いている。線状加熱を用いる補修方法は、適切な温度管理の下に行えば、かなり有効な手法であることがわかった。

キーワード：線状加熱、損傷を受けた鋼床版、デッキプレートのひずみ、ブラケットの取替

まえがき

本報告は、平成6年1月7日に発生した、阪神高速道路大阪東大阪線が環状線へ接続する環東渡り線付近での荷崩れ事故による桁損傷に対する工事概要¹⁾について報告するものである。

事故は、同日正午過ぎに発生した。環東渡り線において、1個約15tの鋼製品を3個積載したトレーラーがカーブで荷崩れを起こし、積荷の落下および車両の横転を起こしたものである。

構造物の損傷としては、積荷の落下による舗装面および鋼床版デッキプレートのくぼみ、バルブプレートの曲がり、ブラケットの曲がり、鋼製高欄のくぼみおよび局部的塗装面のはがれ等である。

RC床版の事故による損傷については、過去にも例があり（最近では、平成5年5月19日の梅田での落下物事故）、補修した実績が存在している

が、鋼床版のデッキプレートの変形については補修例が少ない。以下、その補修方法について述べる。

1 被害状況

1-1 事故現場付近の状況

本報告で述べる事故は、既述したように、環東渡り線で発生した。現場の位置および路面損傷状況は、図-1から図-3に示すとおりである。路下は、農人橋の交差点であり、交通量の非常に多い場所である。阪神高速道路の場合、このような交通量の多い街路上に設けられていることが多く、路下条件が補修方法に大きく影響することになる。本件の場合も、このような路下条件に鑑み、補修は、吊り足場によるノーベント工法で行った。

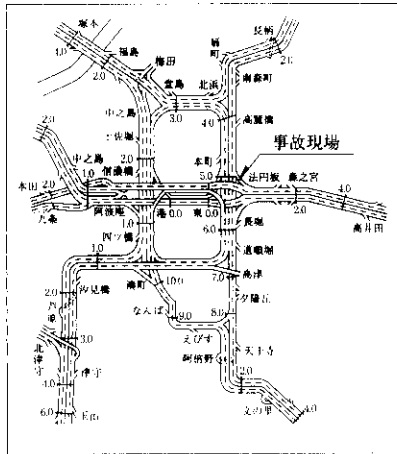


図-1 位置図

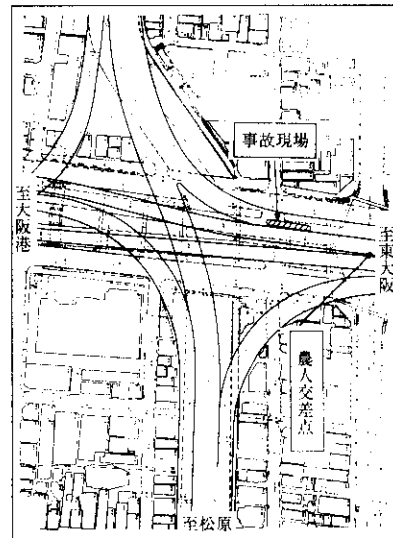


図-2 損傷箇所図

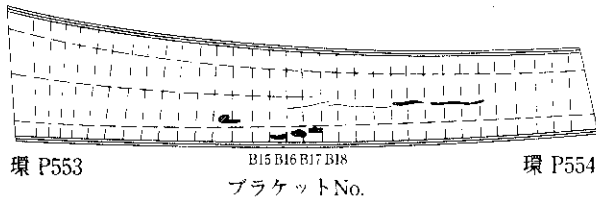


図-3 路面損傷図

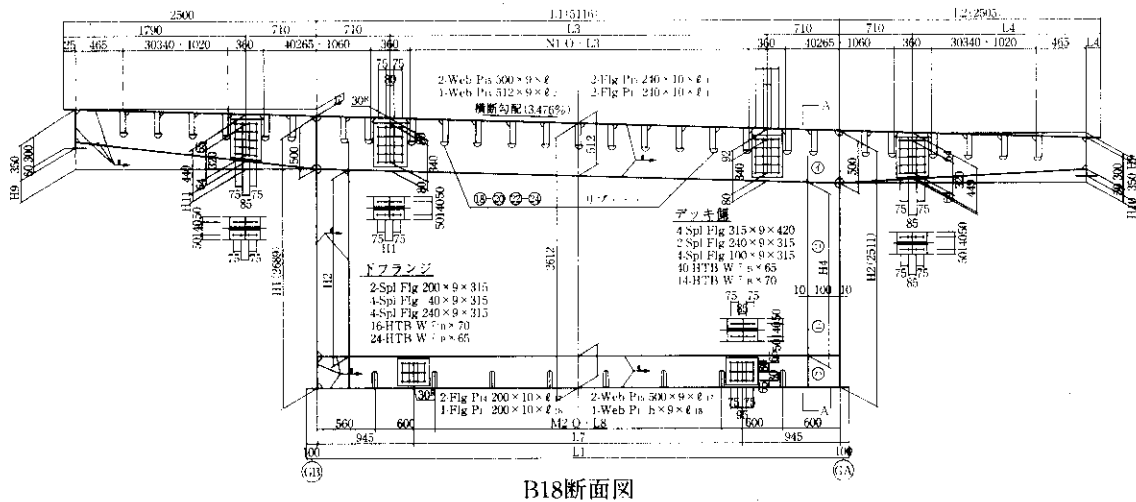
損傷を受けた橋梁の諸元を表-1に、構造一般図を図-4に示した。

1-2 損傷状況

舗装上面の損傷はかなりの範囲に及んでいたが、桁にまで損傷が及んでいると思われるような

表-1 構造諸元

形式	3径間連続鋼床版箱桁
橋格	一等橋 (TL-20)
支間割	59.363 + 90.502 + 59.102m
幅員	9.500 ~ 12.950m
舗装	アスファルト舗装 (t=80mm)
桁高	2600mm (桁中心)
桁間隔	2腹板部 4500~5117mm 3腹板部 2620~3949mm



B18断面図

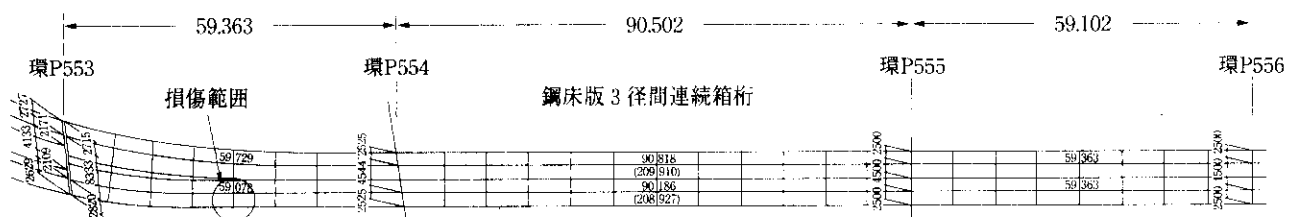


図-4 構造一般図

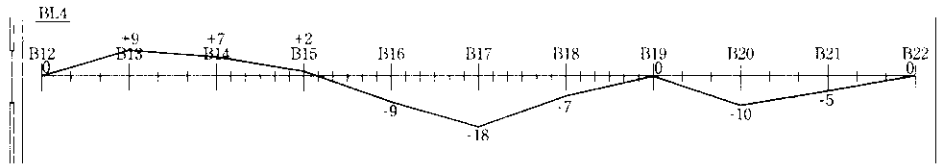


図-6 ブラケットの変形 (BL4位置)

大きな損傷箇所は東P553より21m～32mの範囲に見られる4箇所舗装のくぼみ(最大55mm)であった。

鋼製高欄内側の変形は、大きな所が3箇所程度あり、最大39mmの値が計測された。また、鋼製高欄の外側への変形は、2箇所程度の局部的な突出がみられ、突出量の最大値は22mmであった。箱桁内部については、目視調査の結果、損傷は全く見られなかった。

デッキプレートの変形は図-5に示したように、張出部のブラケットB15～B18間でそれぞれ1箇所ずつ、計3箇所見られた。変形量の最大値は、ブラケットB16～B17間で41mmの値が計測された。

バルブプレートの変形は、デッキプレート同様張出部のブラケットB15～B18内で発生しており、下端部鉛直方向変形量の最大値は30mm程度、下端部水平方向変形量の最大値は24mmであった。

ブラケットの変形については、図-6に示すようにB17部の変形が最大であり、BL4との交点で18mmの変形が生じた。また、ブラケット付け根部の塗装剥離状況から推定すると、主桁腹板から添接部の間の腹板パネルは塑性変形を生じていると考えられた。

2 補修方法

補修方法、部位の選定にあたっては、交通に与える影響も併せて検討しておく必要がある。補修方法としては、次のような方法が考えられる。

- ①塑性変形が大きいと考えられる箇所のブラケットを新規部材と交換し、その際、後述する線状加熱により、デッキ面の変形を併せて矯正する方法。
- ②デッキプレートの変形の大きい箇所に対し、ブラケットあるいは縦リブを追加し、設計上、

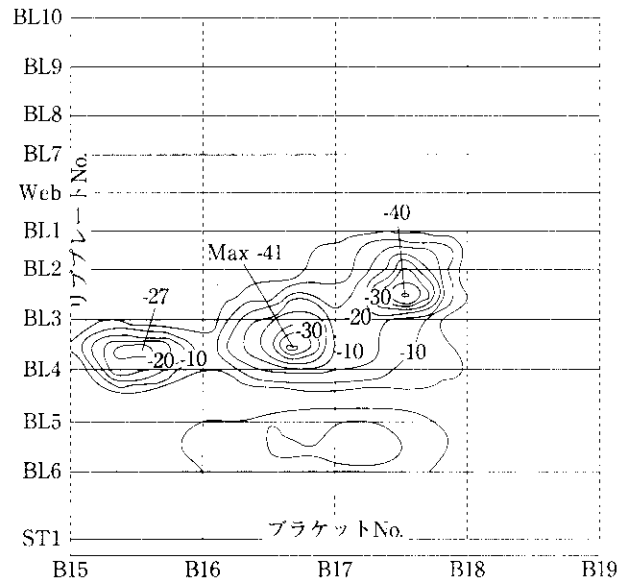


図-5 補修前のデッキプレートの変形

変形しているデッキプレート断面を無視し、新規追加の部材により所定の断面性能を確保する方法。

- ③変形の生じている箇所全てを撤去し、新材と取り替える方法。
 - ④デッキの変形をモルタル、舗装等により平坦化し、積極的には補修しない方法。
 - ⑤線状加熱のみにより、変形を矯正する方法。
- ・④～⑤については、変形をそのまま残すことの将来的な問題。
- ・大規模に部材を取替える工法ではあるが、実施にあたっては通行止めが必要となる。しかし、供用中の路線であり通行止めが困難。
- ・溶接によって、相互に固定されている構造であるので、そのまま線状加熱を実施しても十分な補修が望めない。

などから、①、②のみを比較検討することとした。

①および②を行うための工法として、表-2に示した案-1、案-2を考えた。

案-1は、必要最小限の取替えで済み、なおか

表-2 補修要領の比較

	案-1	案-2
補修概要	①塑性変形の生じていると考えられる箇所のブラケット部を新規部材と交換。 ②ブラケット取替時に、線状加熱によりデッキプレート等のへこみ矯正。	①変形の大きい箇所に対し、ブラケットあるいは縦リブを新規追加。 (設計上、変形しているデッキプレート断面を無視し、新規部材で断面性能を確保) ②線状加熱により、へこみ部矯正。
概要図		
長所	①補修範囲は最小限度のため、1車線のみの規制で対応可能。 ②ブラケット取外し時に、断面剛性が低下するため、線状加熱による矯正は容易。	①新規部材追加により所要性能が確保されるため、最上強度を確保できる。
短所	①所要性能を満足させるために、補修範囲の十分な検討必要。	①線状加熱による変形の修正は案-1と比べ困難。 ②デッキ変形に合致した追加部材の取付け困難。
評価	○	△

つデッキプレートの補修も容易である。

案-2は、新規部材の追加により強度は十分に確保できるものの、既設部材は溶接により相互に固定されたままであるので、変形の修正が線状加熱では困難なため、デッキプレート上の変形が残ったままになることが予想されるなどの問題点がある。

以上の比較により、案-1の方法でブラケットのウェブ、および下フランジの取替を実施するものとした。補修対象としては、本体構、H.T.B.取替、高欄等がある。このうち本体構の補修については、損傷度の高いB16～B18の3区間とし、表-2の案-1に示す方法で行うこととした。

この工法による場合、工事中は、2車線の内、追越し側1車線を規制した状態でブラケットを撤去することになるため、応力照査を実施した。照査は、主桁ウェブ本数が3本より2本に変化する

表-3 デッキプレート(SS400)の応力度(単位:kgf/cm²)

	死荷重時		死+活時	
	$\sigma_{u, max}$	$\sigma_{l, max}$	$\sigma_{u, max}$	$\sigma_{l, max}$
設計断面	-198	475	-596	*1462
断面欠損考慮	-229	464	-668	1430

直後のB18部で行った。なお、落下物による鋼床版部断面欠損は縦リブ1本とそれに伴うデッキプレートを考慮している。表-3に照査結果を示した。

死荷重+活荷重時において、一部応力超過が見られるものの、問題の無い範囲であると思われる。なお、設計断面でも死荷重+活荷重時で応力が超過しているが、これは当時と現在で示方書に規定される有効幅算定手法が異なること、本橋の設計がなされた当時は、影響値に基づく手計算によっ

て主桁断面力解析がなされたために、断面力の解析精度にある程度限界があったことなどに起因するものと思われる。

以上から、デッキプレートの応力は、断面欠損を考慮しても10%程度増大するものの、本体構造への悪影響はないものと推定した。

3 補修工事

本工事で行うブラケット取替、デッキプレートのみずみ矯正は、相互に関連した工種である。デッキプレートは多くのリブ、ブラケットで支持されることにより荷重に対して抵抗する構造となっているが、補修するにはこの補強が逆に補修を妨げる要因となる。そこで、今回の補修に際しては、ブラケットを取外した状態で、デッキプレートのみずみ修正を行うこととした。バルブプレートについては、これにジャッキを当てて、力を下から加えることとしたため、縁切り等は行わなかった。

3-1 ブラケット取替工事

ブラケット取替工事はB18より着手した。ブラケット取外し時に合わせて鋼床版デッキ面を加熱矯正して、B15~16、B17~18間のデッキ面みずみの矯正を行った。なお、線状加熱は通常、多量の水による冷却を併用することにより効果が增大するが、本工事においては橋梁下面が一般道であり、水処理が困難であることを考慮し、ジャッキの併用、水を含んだウエスによる冷却、気温が昼間でも10℃前後の時期であることなどから自然冷却とした。

3-2 鋼床版みずみ矯正要領

鋼床版デッキプレートのみずみについては、前出の3-1によりブラケットを取り外した段階でジャッキを併用した線状加熱によるみずみ取りを行った。

方法としては、図-7に示したように、デッキ面に治具を溶接により取付け、ジャッキを用い、デッキを上げ越した状態で線状加熱を実施し、所定の平坦度の確保に努めた。

3-3 線状加熱

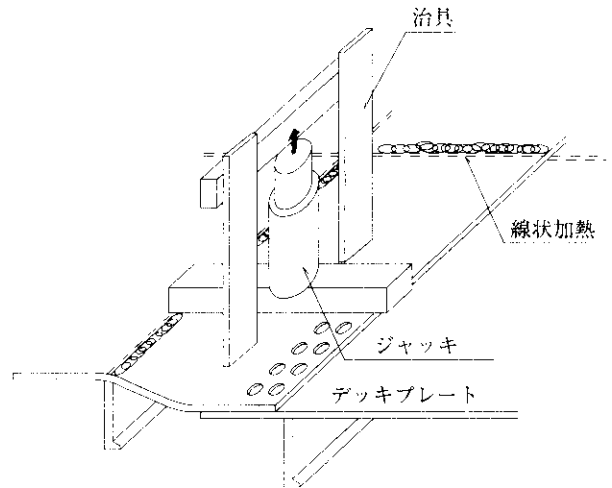


図-7 鋼床版みずみ取治具要領図

変形した部材は、常温で矯正するためには相当な加圧力を要することと、矯正後（塑性変形後）の靱性の低下などを考えると、加熱矯正が一般的である。これまでの実績によると、SS400鋼程度においては、かなりの変形も加熱矯正が可能で、これによる強度や靱性の低下もあまり問題とならない²⁾。

本工事においては、補修すべき部材はSS400鋼であり、今回のみずみ矯正程度では、強度、靱性の低下はあまり問題とならない範囲であると考えられる。

3-4 みずみ取りの原理

今回の補修に用いたみずみ取りの方法は線状加熱とよばれ、船舶、橋梁のような構造物を製作していく際に生ずる溶接みずみの除去や、鋼板の曲げ加工に従来より多く用いられている方法である。

鋼材は加熱すると、それが冷却される時に収縮するという性質を利用して、部材の溶接を行った時に生じたみずみを取る方法がある。

3-5 温度管理

加熱温度の設定については、鉄鋼の組成と熱処理を考えたものとしなければならない。図-8は鋼の炭素含有量と変態温度の関係を示している³⁾。純鉄の場合、910℃以下では体心立方格子の α 鉄、この温度以上では面心立方格子の γ 鉄、また γ 鉄

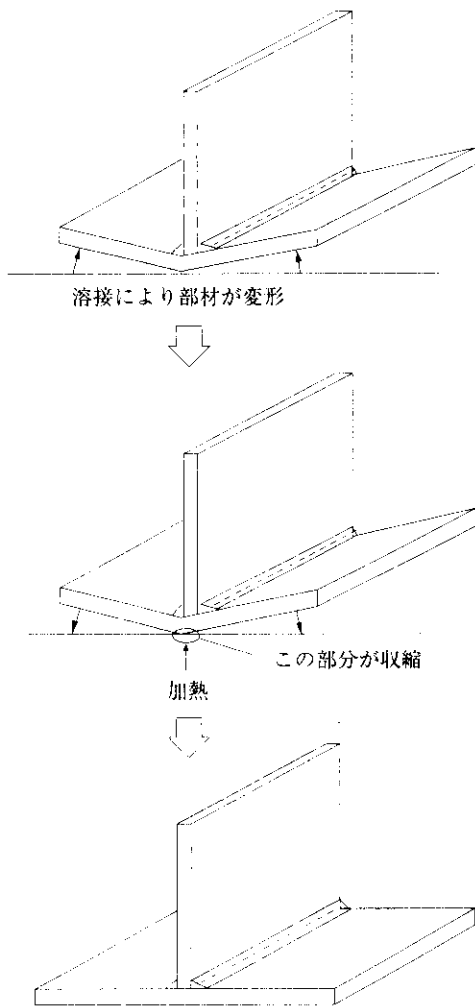


図-7 溶接のひずみ取り

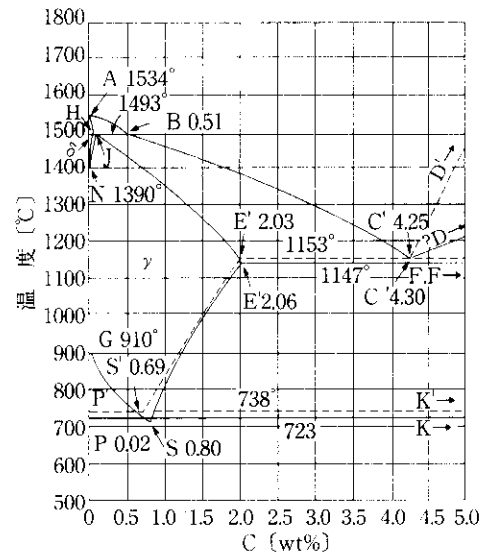


図-8 鋼の平衡状態図

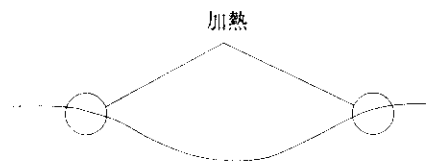


図-9 線状加熱を行う位置

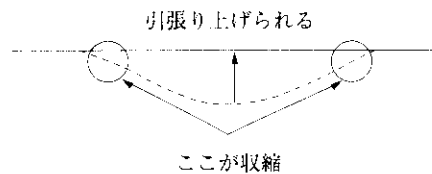


図-10 くぼみの復元

は、1390℃以上で δ 鉄 (α 鉄と同じ体心立方格子) になる。

通常の鋼の場合、炭素を含有していることから、これらの変態温度は炭素含有量に応じて変化する。本工事で補修の対象となっている鋼床版の場合、SS400鋼であるので炭素分についての具体的な設定は無いが、仮に0.2%の炭素含有量とすると、723℃以下では α 鉄、800℃以上では γ 鉄、その間では α 鉄と γ 鉄の共存領域となる。

従って、鋼の組成変化を出来るだけ少なくするには、723℃以下の温度で線状加熱を行うことが望ましいが、本工事では870℃を上限として温度管理を行った。

これは若干高めではあるが、

- ①変形した部材を矯正するために加える加圧力を出来るだけ少なくしたいこと
- ②鋼の種類がSS400であるため加熱矯正後の強度、靱性の低下も余り問題とならない範囲であること
- ③既に実用化されている基準等⁴⁵⁾との比較。

などからこの温度設定は妥当なものと言える。

3-6 鋼床版デッキプレートへの応用

この方法をデッキプレートのひずみ取りに応用したのが本件の場合である。すなわち、図-9に示したように、くぼみの回りに、温度管理の下に”

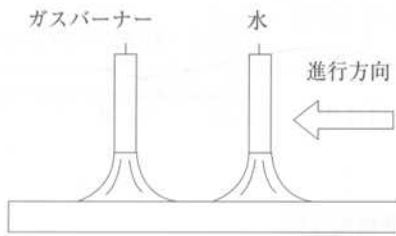


図-11 水冷を併用する場合

線状に”熱を加えれば、加熱により膨張した鋼は、連続した鋼板であることから左右に拘束されているので、自由な方向、即ち鋼板と直角な方向にしか膨張できず、左右、即ち鋼板に沿った方向については、塑性ひずみを生ずるのみである。従って、その部分が冷却されるときには全体が収縮しよう



写真-1 線状加熱によるひずみ取り



写真-2 下方からのジャッキアップ

とするから左右の鋼板を引っ張ることとなり（鋼板と直角な方向については、膨張が戻るだけ）、線状に加熱された部分の両側が縮むこととなる。これにより、あたかも”弛んだ膜の回りを引っ張って伸ばすように”くぼみが元に戻るというものである（図-10）。

線状加熱は、通常、図-11に示したように、ガスバーナーによる入熱と多量の水による冷却を併用することにより効果が增大するが、本工事においては橋梁下面が一般道であり、水処理が困難であることを考慮して、ジャッキの併用、水を含んだウエスによる冷却などの手法により、多量の水を用いないようにしたため、多少効率が悪くなっている。

写真-1、写真-2にデッキプレートの線状加熱の状況と下面からのジャッキアップの様子を示した。ひずみ取りのための線状加熱については、加熱と下方からのジャッキアップのタイミングをとることが必要であり、連携の取れた作業を行わなければならない。そこで本工事では、工場での線状加熱工程に熟練した作業班が起用され、作業員どうしが桁の上面、下面で連携を密に取り合うことによりチームワークのとれた作業が実施された。

4 補修結果

4-1 舗装、鋼製高欄、塗装

これらについては、現状に復旧することとし、舗装については1車線分の打替、鋼製高欄、塗装については局部的な補修を行った。

4-2 バルブプレートの補修

バルブプレートの補修状況は、図-12、図-13に示したとおりである。本図は、鋼床版デッキプレートの変形の最も大きかったBL3およびBL4について示している。

最大の変形が見られたBL3の16～B17間については、最大変形が補修前30mmであったものが、4mmまで回復した。BL4についても、補修後の残留変形については、6mm以下となった。

4-3 デッキプレートの補修

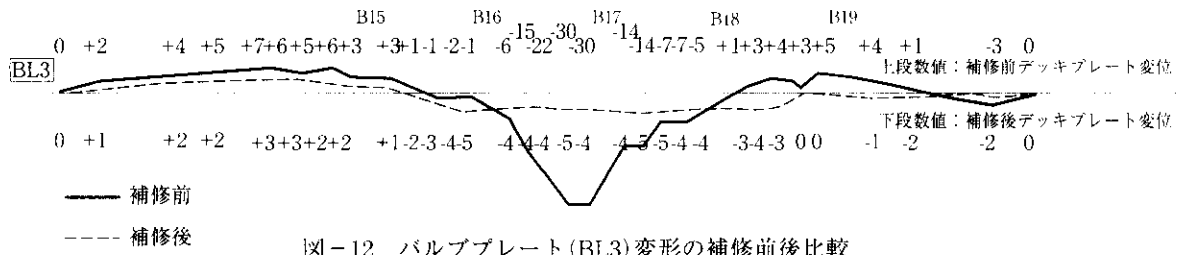


図-12 バルブプレート (BL3) 変形の補修前後比較

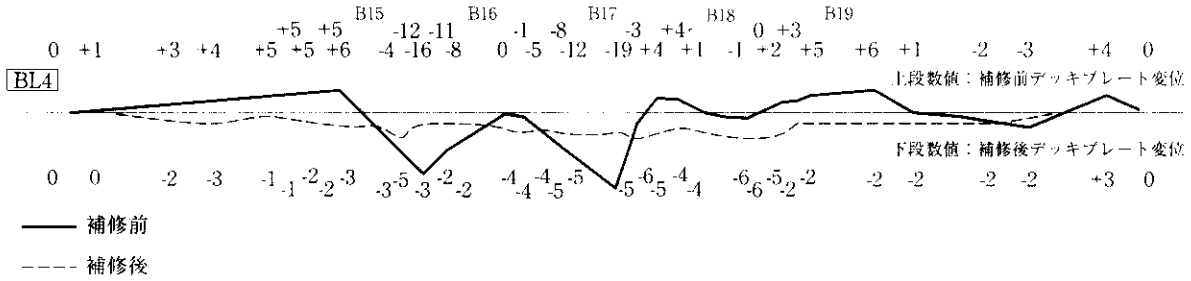


図-13 バルブプレート (BL4) 変形の補修前後比較

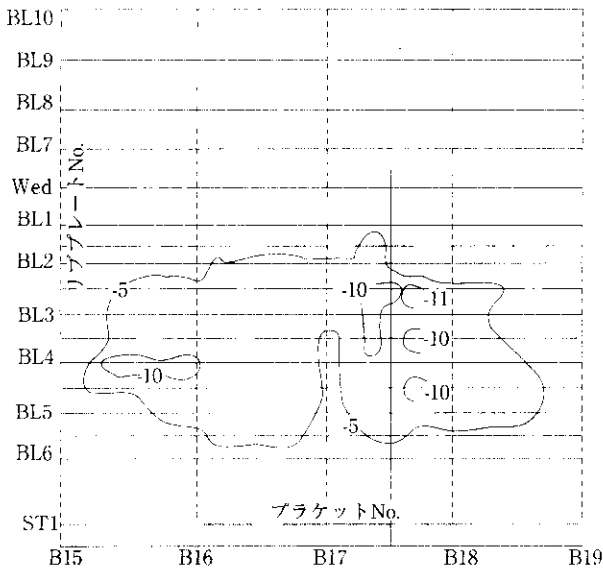


図-14 補修後のデッキプレートの変形

デッキプレートのくぼみについては、図-14に示したように、最大でも10mm前後となり、変形は支障の無い範囲に収まった。

あとがき

本工事において、骨子となる線状加熱によるひずみ取りを行うには、本文でも述べたように加熱

とジャッキアップのタイミングをとることが重要であり、上下で連携のとれた作業が要求される。今のところ、こうした作業を行うには、熟練した連携のとれた技術者が必要であり、今後、この工法の汎用性を高めていくには工法の成熟が望まれるところである。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団・三菱重工業(株)広島製作所：路面補修工事（環東渡り線）工事概要書 平成6年3月
- 2) 田中 勇：衝突被害を受けた鋼鉄道橋の補修 橋梁と基礎 1983年8月
- 3) 日本金属学会・日本鉄鋼協会編：鉄鋼材料便覧 昭和42年6月
- 4) 本州四国連絡橋公団：鋼橋等製作基準・同解説 昭和60年3月
- 5) 日本国有鉄道株式会社構造物設計事務所：J R S 鋼鉄道橋 JRS0500-IG-13ARIF 昭和56年9月