

現存する日本最古の鋼板桁道路橋 明治橋の構造・材料調査*

Investigation of the Structure and the Material of the Oldest Road Bridge; MEIJI BASHI which is Steel Plate Girder Bridge

杉原伸泰** 中村聖三*** 中原智法**** 高林和生***** 山尾敏孝*****

By Nobuyasu SUGIHARA, Shozo NAKAMURA, Tomonori NAKAHARA, Kazuo TAKABAYASHI and Toshitaka YAMAO

概要

明治橋は1902年に架設された道路橋鋼2主I桁橋である。現在の位置に架設されて以来103年間、現役で供用されており明治期の鋼道路橋として非常に貴重な橋梁遺産である。今後も供用を継続し保存するべきであり、そのためにはなんらかの補修・補強対策が必要である。

そこで、明治橋を保存することを目的として平成16年3月に現地にて以下の調査を実施した。

- 1)明治橋の構造詳細の調査と図面の復元、2)構成材料の化学成分分析と強度特性試験、
- 3)損傷状況の調査、4)散水車荷重による載荷試験

調査の結果、現在のように歩道橋として供用する上では強度上十分な性能があることが確認され、補修・補強としては腐食の進行を防止する対策が必要であることが確認できた。本報告では、現地調査のうち、材料・構造および損傷度調査の結果について報告する。

1. はじめに

明治橋は国内最古の合成床版を有する鋼2主I桁橋であり、1902（明治35）年に現在の野津川に架橋されて以来103年間、移設されることなく供用を継続している。（写真-1、図-1）^{1), 2)} 1961（昭和36）年までは国道10号線として供用され、新「明治橋」開通以後は、歩道橋となっている。

国内に現存する鋼プレートガーダー橋のうち、供用中の道路橋としては最古の橋梁であり、鋼道路橋における技術の変遷に直接触れることができる貴重な遺産構造物である。³⁾

明治橋は架設後約50年を経過した時期に一度だけ塗り替えされたことが、近隣住民の記憶から確認されている。現在では架設当時は勿論のこと、塗り替えされた塗装も消失しており、橋梁全体で腐食が進行している状況にある。これまでに、明治橋の実態調査として構造および損傷部状況の簡易的な確認作業⁴⁾を行っており、その結果、明治橋の供用を継続し保存するためにはなんらかの補修・補強対策を施す必要があるとの結論に至った。

そこで、明治橋を保存することを目的として、平成16

年3月に明治橋の詳細な構造・損傷度調査および載荷試験を実施した。この結果に基づき、今後、明治橋保存のための補修・補強方法を検討し、また、明治橋の文化遺産としての歴史的価値評価を行うものとする。本報告では、今回実施した明治橋保存を目的とした一連の調査のうち、構造および損傷度調査の結果について報告する。

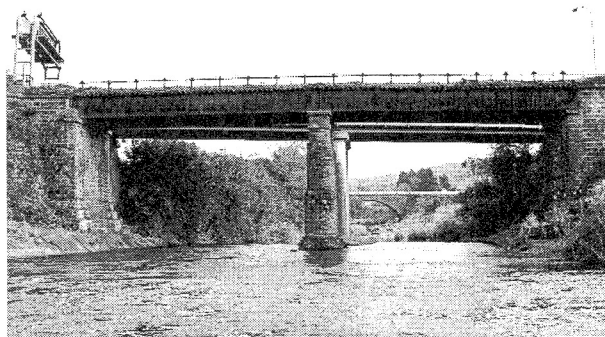


写真-1 明治橋

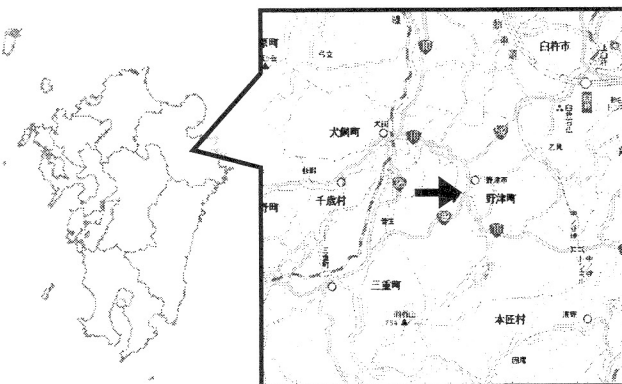


図-1 明治橋の架設位置

*keyword: 明治橋, 鋼板桁道路橋, 合成床版, 日本最古, 構造・材料調査

**正会員 工修 Hitz 日立造船(株) 技術開発部
(〒550-0002 大阪市西区江戸堀 2-6-33)

***正会員 博(工) 長崎大学助教授

****正会員 工修 日本橋梁(株) 技術開発部

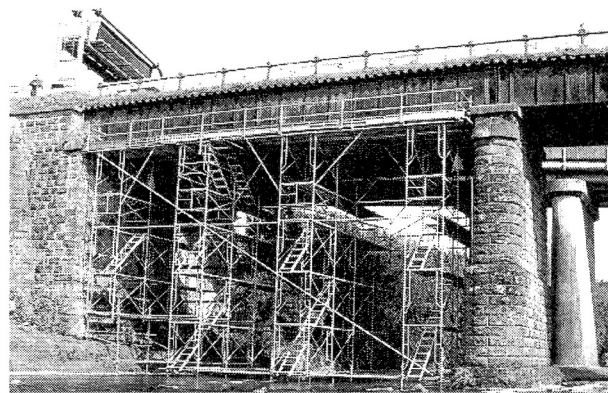
*****正会員 工修 松尾橋梁(株) 設計部

*****正会員 工博 熊本大学教授

2. 調査の概要

明治橋架設当時の設計図書はすでに残っていない。そこで今回実施した材料・構造および損傷度調査では、明治橋構造一般図の復元を行い、同時に各部材の腐食や亀裂といった損傷状態とその範囲の記録を行った。また、明治橋に使用されている鉄鋼材料のうち、対傾構斜材およびボルト・ナットについて成分および強度の調査のためのサンプル採取を行った。調査対象範囲は全体 2 径間のうち、P1 橋脚－A2 橋台間の 1 径間とした。対象区間には河床より全面足場を設置し、上部工の詳細調査に加えて、基礎部および下部工の外観調査を行った。床版コンクリートの損傷実態を調査するため、事前に床版上面の舗装および土砂を取り除き、コンクリート床版上面を露出させた。調査の状況を写真－2，3 に示す。調査項目と内容を以下に示す。

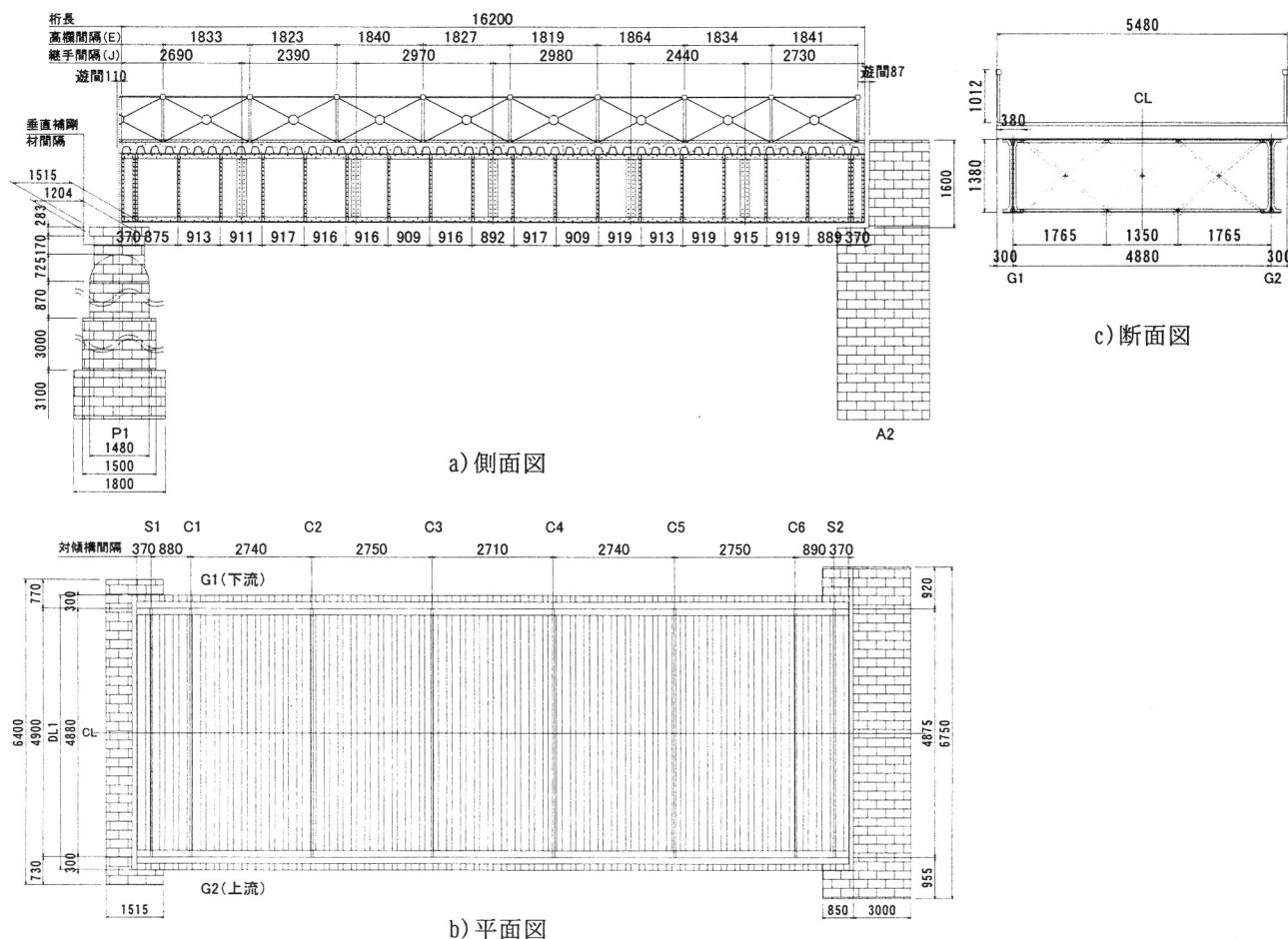
- 構造調査： 現場計測による構造一般図の復元
- 材料調査： サンプル採取による強度や成分の確認
- 損傷度調査： 目視や打音検査による損傷状態の記録
- 載荷試験： 荷重載荷によるたわみやひずみの計測



写真－2 調査状況(床組調査)



写真－3 調査状況(橋面上舗装撤去)



図－2 明治橋一般構造図

3. 構造諸元および特徴

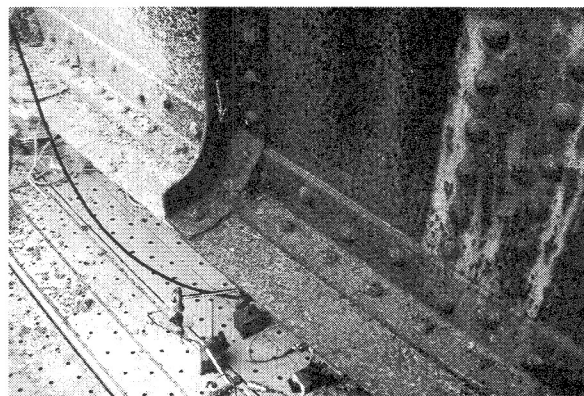
調査区間における明治橋の一般構造図を図－２に示す。本橋は支間 16.250m の単純 2 主桁橋 2 連の橋梁である。総幅員 5.48m、主桁間隔 4.88m、主桁高 1.38m、上下フランジ幅 380mm であり、約 2.7m 間隔で対傾構が設けられている。国内の明治期の橋梁としては残存している最大級の橋梁であることが伺われる。

主桁断面は写真－４に示すように、主桁の上下フランジとウェブとはアングルを介してリベットにより結合されている。フランジは平板を 1 枚もしくは数枚をリベットにより閉じ合わせ断面変化を設けている。(写真－５)

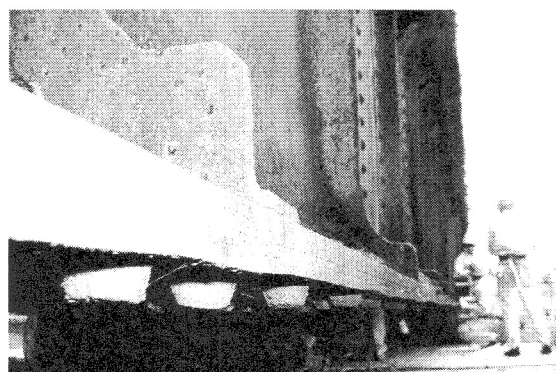
垂直補剛材は J スティフナーと呼ばれる上下端に湾曲部をもつ補剛材であり、明治期にイギリスで製作された橋梁に多く採用されている補剛材形状である。補剛材断面はアングル形状であり主桁の上下フランジおよびウェブとはリベットにより接合されている。主桁フランジ－ウェブの取り付け用アングル位置では、干渉を避けるため折り曲げ加工がなされている。

床版はトラフ状底板とコンクリートから構成される合成床版である。図－２b)平面図に示すように、トラフ状底板は主桁間で支持されるよう橋軸直角方向に配置され、コンクリート打込み時の型枠兼構造部材として用いられたと考えられる。欧米における同種のトラフ状底板を用いた床版では、底板を橋軸方向に配置した使用例が多く見受けられ、本橋の橋軸直角方向に配置する使用方法是特徴的である。床版断面の詳細を図－３に示す。床版コンクリート厚は 130mm～230mm、トラフ状底板厚は水平部で 8mm、傾斜部で 5mm である。トラフ状底板はその傾斜部で外面を合わせ、リベットにより接合されている。リベットは 1 接合面につき 1 列 100mm 間隔である。床版上面からの探査およびコンクリートコア抜き試験の結果、床版コンクリート内に鉄筋は使用されていないことが確認できている。P1 橋脚上では床版が連続した構造となっている。合成床版と主桁上フランジとはトラフ状底板谷部と主桁上フランジをリベットにより接合している。(写真－６)

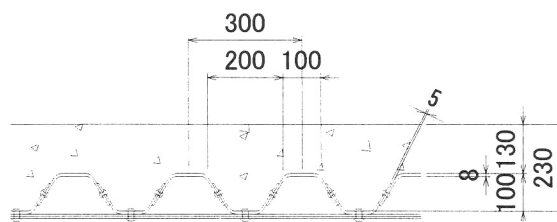
写真－７にトラフ状底板下面刻印の拓本を示す。DORMANLONG、MIDDLESBRO の文字が刻まれており、イギリスの Middlesbrough に現存する鉄鋼・橋梁会社の Dormanlong 社の刻印であることが判明した。これらの構造形式や刻印から本橋がイギリスより輸入した材料を使用した橋梁であることが推察できる。



写真－４ フランジ－ウェブ接合部



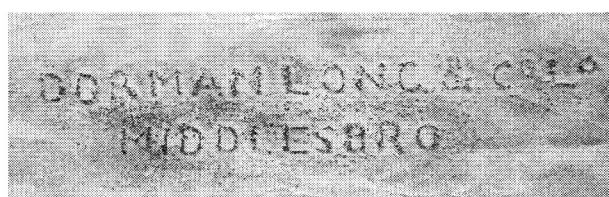
写真－５ フランジ断面変化



図－３ 合成床版断面詳細



写真－６ P1 橋脚上床版連続部



写真－７ トラフ状底板刻印の拓本

表－１ 鉄鋼材料成分分析結果

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	N	O
対傾構	0.22	0.02	0.5	0.073	0.067	0.07	0.07	0.004	0.004	0.005	0.0027	0.0106
ボルト	0.01	0.09	<0.01	0.447	0.038	0.01	0.04	0.001	<0.001	0.004	0.0077	-
ナット	0.01	0.17	0.02	0.374	0.116	0.04	0.03	<0.001	<0.001	0.003	0.009	-

(mass%)

表－２ 対傾構材引張試験結果

サンプル	上降伏点 (MPa)	下降伏点 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
対傾構	299	296	430	31
JIS G 3101 SS400	245		400～510	21以上

表－３ コンクリート強度試験結果

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	
No.1	18.7	19.0	1.11	1.14
No.2	18.9		1.44	
No.3	18.6		1.43	
No.4	19.7		0.56	
No.5	25.4	24.9	1.61	1.59
No.6	24.8		1.68	
No.7	24.6		1.48	
No.8	24.6		1.48	

４．使用材料の成分分析および強度特性

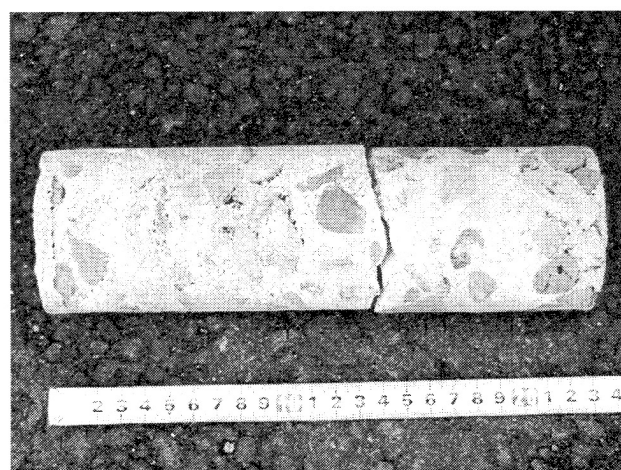
（１）鉄鋼材料

現地にて採取したサンプルを用いて明治橋に使用されている鉄鋼材料の成分分析および強度試験を行った。サンプルとしては、A2 橋台側の端対傾構斜材およびボルト・ナットである。成分分析結果を表－１、対傾構斜材の強度試験結果を表－２に示す。対傾構より採取した板材では、P(磷)およびS(硫黄)が現在のSS400材規格に比べて多く含まれており、不純物が多い鋼材であった。ボルト・ナットにおいてはP(磷)およびS(硫黄)が著しく多く含まれており、現在使用されている鋼材規格は適合しない成分であるため、鋳鉄と考えられる。対傾構斜材の降伏点、引張強さおよび伸びは、JIS G 3101“一般構造用圧延鋼材”に規定される、SS400の規格値を満足している。

明治橋が製作された1900年前後では、鋼材が一般的に供給されるようになるが依然高価な材料であった。橋梁用としての鉄鋼材料の使用法としては部材により鋳鉄、鋳鉄、鋼を使い分けていたものと考えられ、主桁や対傾構等の構造部材には鋼、非構造部材には鋳鉄、沓や高欄には鋳鉄が使用されていたと考えられる。

（２）コンクリート材料

現地調査の際に床版コンクリートをコア抜きし、採取コアより圧縮強度試験を実施した。表－３に強度試験結果を示す。圧縮強度は18.6～25.4N/mm²と現在使用されているコンクリートと同程度であるが、静弾性係数は非常に低い値を示した。写真－８に現地で採取したコアの状況を示す。コア表面を観察した結果、拡大写真に見られるように骨材周りに若干大きめの空隙が多く見られた。静弾性係数が低い結果となった要因として骨材周りの空隙の存在が考えられる。ただし、静弾性係数の値はコンクリートの配合、粗骨材自身の強度およびマトリクスと粗骨材の界面付着強度など、種々の要因の影響を受けることが考えられ、今後、コアコンクリートの微細構造の観察と分析を実施する予定である。



写真－８ 床版コンクリートコア

５．損傷度調査

（１）損傷状況の概要

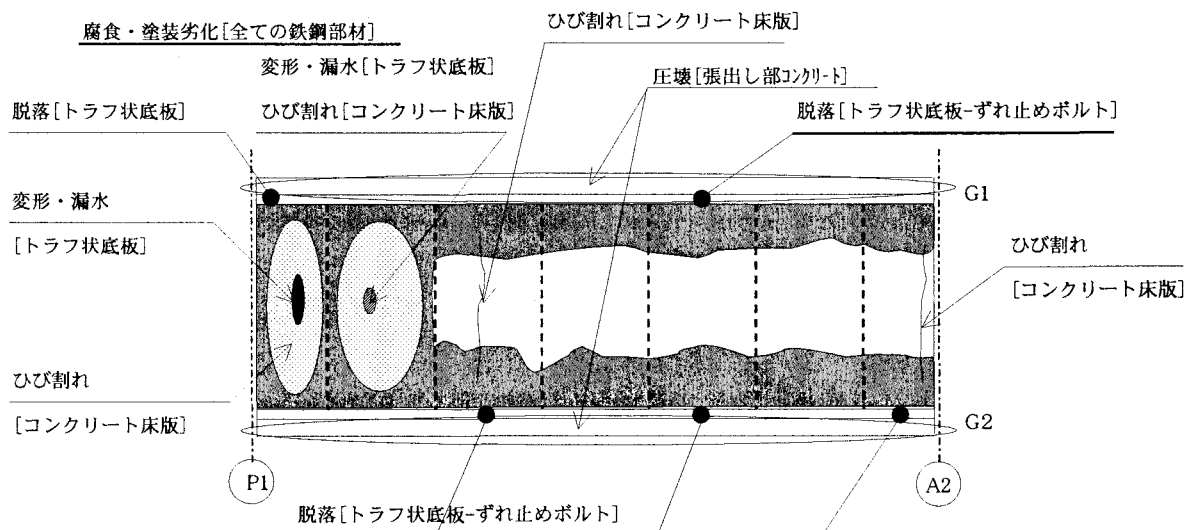
明治橋損傷度調査結果の概要を図－４に示す。損傷状況としては、

- ①主桁鋼部材の腐食・断面欠損
- ②対傾構・垂直補剛材の亀裂
- ③ボルト脱落
- ④床版コンクリートひび割れ
- ⑤床版の陥没・変形
- ⑥漏水・遊離石灰の析出

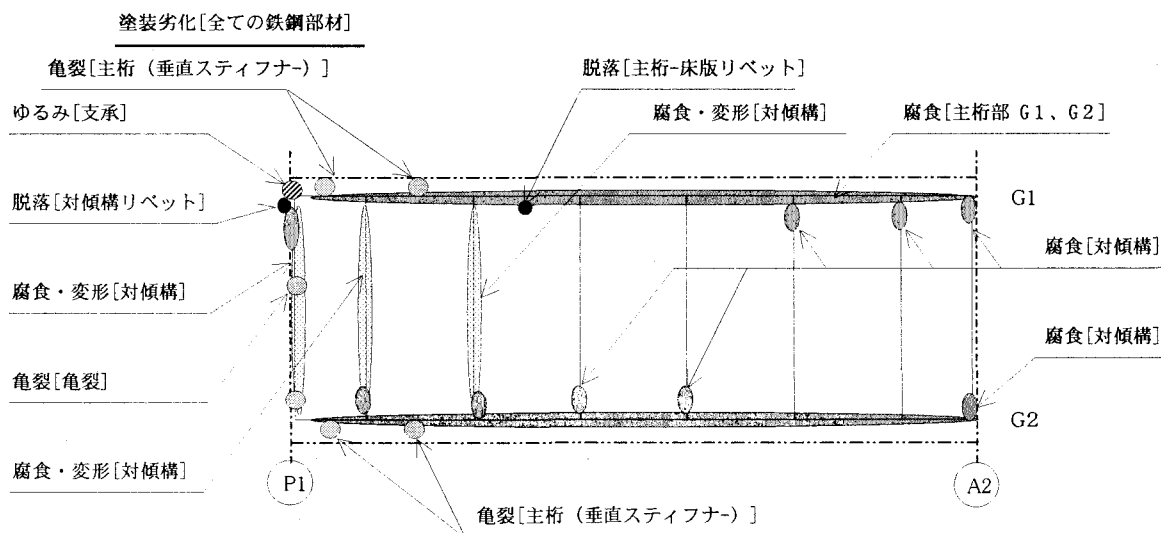
である。

明治橋架設後、塗り替え塗装は１度のみであり、腐食が橋梁全体で進行している。特に、支点部の下フランジおよびウェブ、主桁と床版の連結部周辺の上フランジおよび床版底板で腐食進行が著しい。主桁の上流側・下流側と比較すると、下流側（G1 桁）が上流側（G2 桁）に比べて腐食が進展している。今後も供用を継続し保存していくためには、腐食の進行を防止するための処置が必要である。

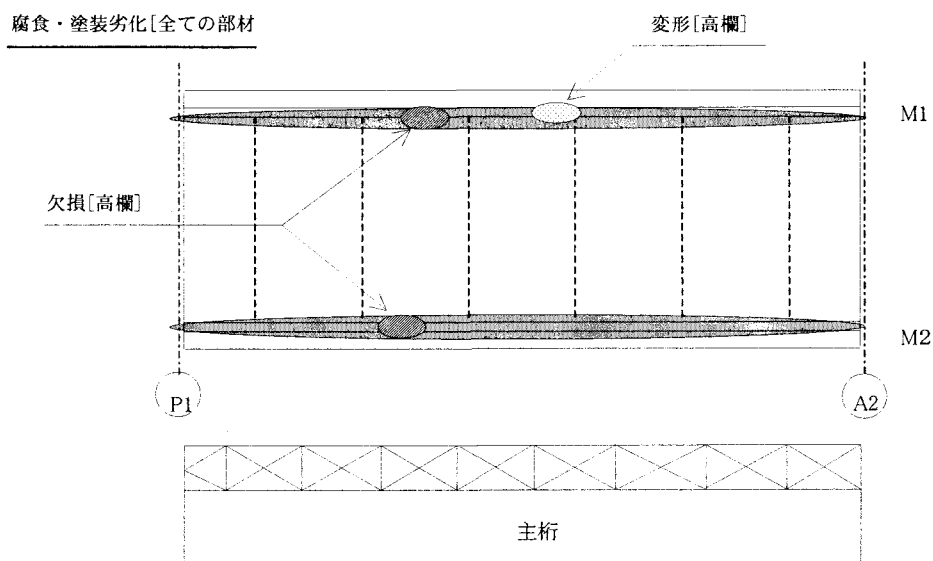
床 版



主桁・対傾構・支承



高 欄



損傷の種類	表示法
腐食	
亀裂	
漏水	
脱落	
ゆるみ	
変形	
遊離石灰	
ひびわれ	
その他	

図－4 明治橋損傷状況の概要

(2) 合成床版

調査対象範囲である A2-P1 間においては、写真-9、10に示すように、P1 橋脚側の床版が陥没している。床版コンクリート上面には亀甲状にひび割れが進展しており、一部コンクリートの圧壊が見られる。床版下面ではトラフ状底板が鉛直下方に大きく変形し、底板の連結部で漏水・遊離石灰の析出が見られる。

陥没部の鉛直方向変形量の計測結果を図-5に示す。計測は G1, G2 桁それぞれの上フランジ上面高さを基準とし、床版底板下面の相対位置を計測している。計測の結果、最大の鉛直方向変形量は、床版支間中央部で 221mm であった。

写真-11に床版張出し端部コンクリートのひび割れ状況、写真-12にコア抜きした床版内部の状況を示す。床版コンクリートのコア試験体採取箇所としては、図-6に示すようにトラフ状底板の谷部とし、床版コンクリートの健全部で5箇所、陥没部で3箇所、計8箇所にて採取した。なお、健全部とは床版コンクリート上面に亀甲状のひび割れが発生していない範囲であり、陥没部とは亀甲状ひび割れが進展した範囲を示す。

床版張出し端部のひび割れ状況より、床版コンクリートがトラフ状底板の上底面高さで水平ひび割れが進展し、上下に分割されている状況が確認できる。今回採取したコンクリートコア試験体はすべて写真-8に示したように床版コンクリート下面から約 100mm の位置で破断しており、水平ひび割れは床版コンクリート健全部と判断していた範囲においても進展している。床版コンクリート陥没部においては下面側で骨材のみが残った状態となっており、セメント成分の流出と擦りみきが原因と考えられる。

トラフ状底板の下面においては、全体に腐食が進行しているが、特に床版陥没部および床版と主桁の取り付け部で

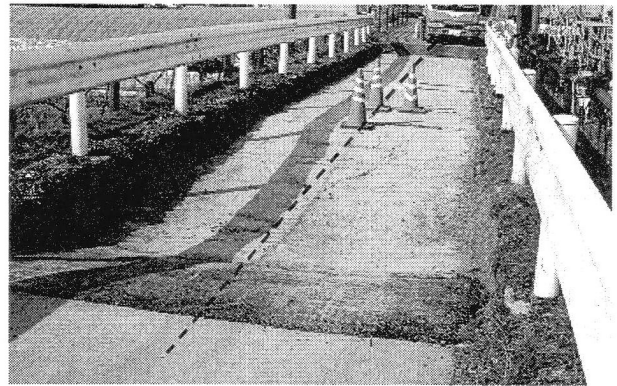


写真-9 床版陥没部上面

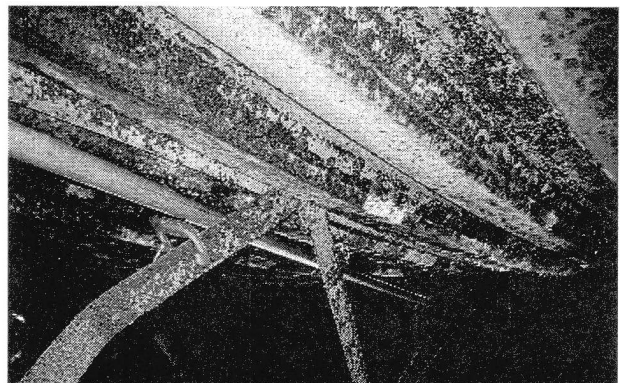


写真-10 床版陥没部下面

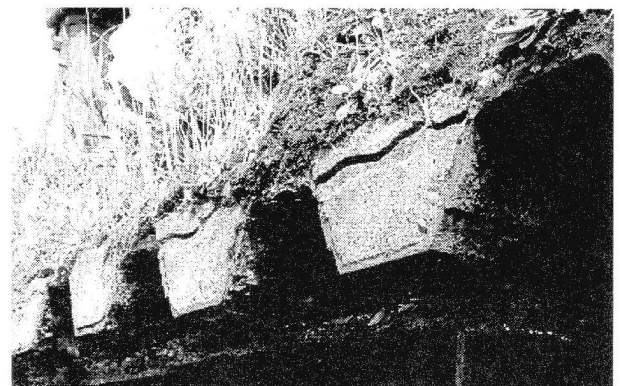


写真-11 床版張出し端部状況

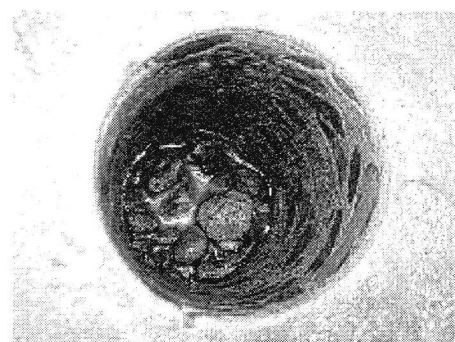


写真-12 床版コア抜き部状況

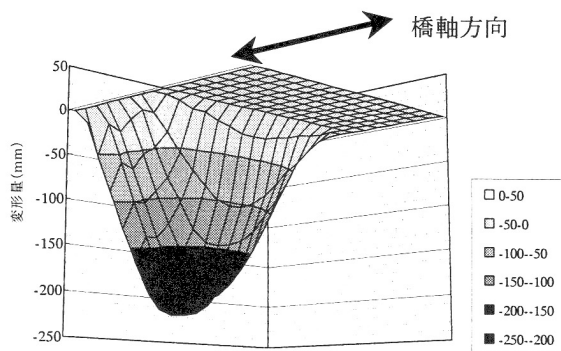


図-5 床版陥没部の鉛直変形量

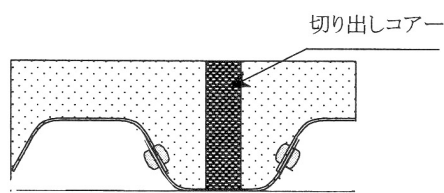


図-6 床版コア抜き形状

腐食進行程度が著しい。床版－主桁結合部の腐食状況を写真－１３，１４に示す。床版張出し端部からの水の供給により床版－桁結合部の腐食が進行し、陥没部においては床版ひび割れ内に浸透した雨水がトラフ状底板の接合部隙間より下面に流出し、腐食を進行させたと考えられる。腐食は底板、主桁上フランジのほか、結合部リベットにおいても著しく、一部リベットの脱落箇所も確認している。

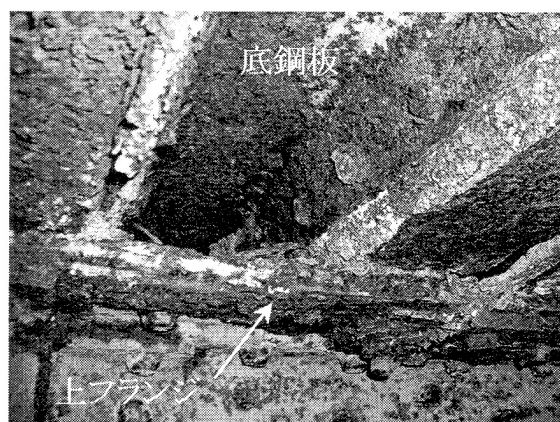
（３）主桁

主桁全体の腐食状況を写真－１５，１６に示す。主桁は全体にわたって腐食が進行している。特に腐食の著しい部材としては、①床版と主桁の結合部上フランジ、②フランジおよびウェブとアングル材の部材接触間、③フランジの重ね板間および④支点部周辺のウェブと下フランジであった。特に写真－１７に示すように支点部周辺では下フランジの断面欠損が著しい。支間部の主桁においては、上フランジで断面欠損している箇所が見られたが、写真－１８に示すようにウェブおよび下フランジにおいてはそれほど腐食が進行していない状態に留まっている。

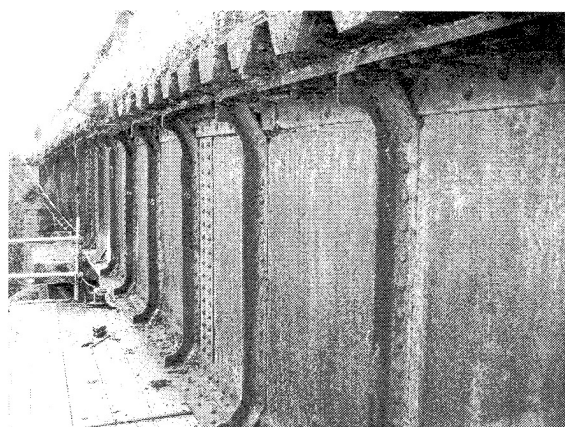
支点部においては堆積した土砂が水分の持続的な供給源となり、腐食を促進させていると考えられる。主桁で使



写真－１３ 床版－桁結合部（桁外面）



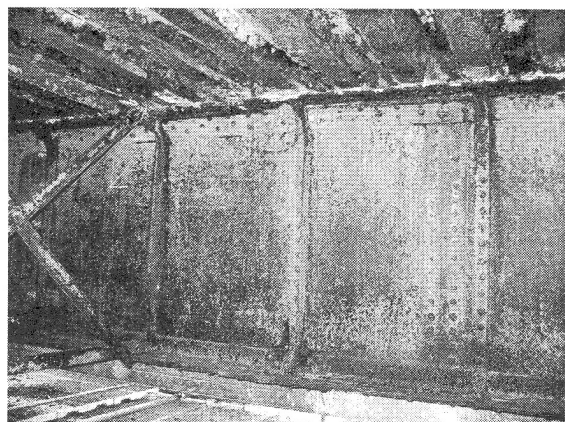
写真－１４ 床版－桁結合部（桁内面）



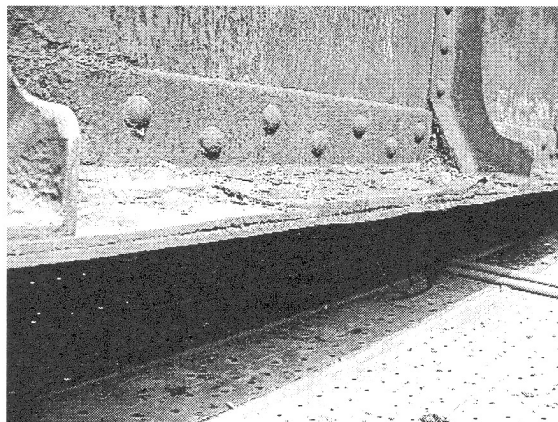
写真－１５ 主桁の状況（桁外面）



写真－１７ 主桁の状況（支点部）



写真－１６ 主桁の状況（桁内面）



写真－１８ 主桁の状況（支間部）

用されているリベットについては上フランジで腐食によるリベット頭部の欠損が見られるが、ウェブおよび下フランジではリベット頭部も残っており、損傷程度としては小さい。

主桁内側のウェブでは表面に塗装もしくは錆び止めが若干残っていた。供用 103 年を経た鉄鋼材料としては健全であり、本橋が恵まれた環境条件にあったものと考えられる。

(4) 垂直補剛材

垂直補剛材の損傷状況としては、湾曲部の亀裂と腐食進行による断面欠損である。写真－19に亀裂の発生状況を示す。亀裂は補剛材曲線部から発生している。亀裂の発生した垂直補剛材の設置範囲は、床版陥没部の範囲 S2-C2 間の 10 箇所であった。亀裂は主桁上フランジ側の垂直補剛材曲線加工部であり、上フランジとウェブを結合するアングル材の止端高さの下方から発生している。床版陥没によって主桁上フランジの首振り変形が大きくなり、アングル材止端部周辺の局部変形が大きくなったことが原因と考えられる。

垂直補剛材の腐食状況を写真－20に示す。補剛材全体に腐食は進行しているが、特に下フランジ側の補剛材湾曲部で腐食による断面欠損が著しい。また、ウェブと補剛材の接合面、アングル材と止端部周囲で局所的な腐食が進行している。

(5) 対傾構

対傾構は上下弦材にアングル、斜材に平板を使用し、リベットにより接合した構造である。主桁とは上下弦材と桁上下フランジをリベットにより固定している。

写真－21に対傾構変形状況を示す。床版が陥没している範囲で対傾構上弦材より直接荷重を受けた結果、対傾構上弦材の変形および斜材の座屈変形が発生している。今回の調査範囲においては P1 橋脚上端対傾構(S1)および中間対傾構(C1,C2)で変形が見られたが、隣接径間である A1 橋台－P1 橋脚間においてさらに広い範囲で同様の変形が生じている。

この他対傾構の損傷としては、端対傾構において腐食による断面欠損および局部変形位置の亀裂を確認している。

(6) 支承

写真－22に A2 橋台部の支承状況を示す。A2 橋台部、P1 橋脚部の支点とも下部工天端に設置したベースプレート上に直接もしくはフィラープレートを挿入して主桁を載せた構造である。ベースプレートと下部工コンクリートとはアンカーボルトによって固定されている。

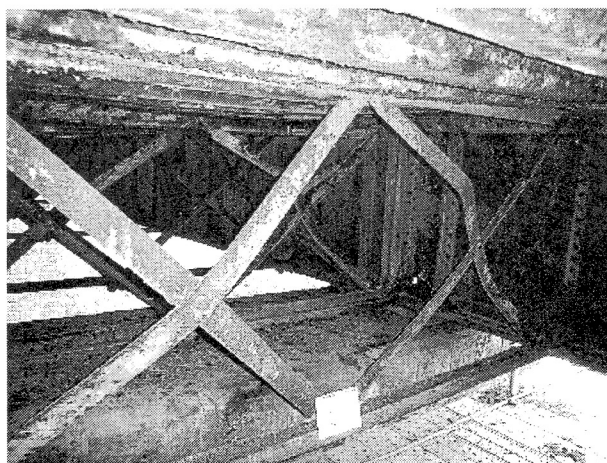
調査時には支承周りは土砂に覆われており、腐食の進行が懸念されたが、ベースプレートそのものは若干の錆が見られる程度であり、大きな損傷は見られなかった。固定用のナットは腐食により一部残っていない箇所が見られた。



写真－19 亀裂発生状況（垂直補剛材）



写真－20 垂直補剛材腐食状況



写真－21 対傾構変形状況(P1 橋脚側)

(7) 高欄および下部工

高欄は写真－23に示すように、高さ約 1.0m であり橋面からの高さとしては、50cm 程度しかないので、現在は車道用ガードレールが内側に設置されており、旧来の高欄は景観用となっている。親柱は橋面上には 1 本も残っていないが、本調査時に河川の中より発見されている（写真－24）。高欄の損傷としては、腐食と一部斜材の破断であった。

橋台および橋脚の外観状況を写真－25に示す。下部工は石造であり、外観調査からは変状はなかった。基礎が堅

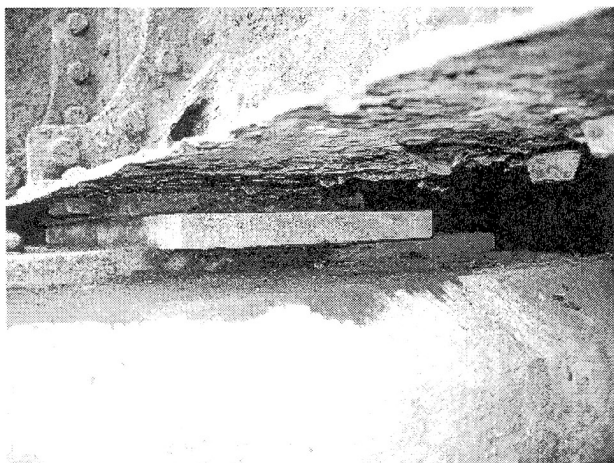


写真-22 支承(A2橋台側)

固な岩盤上にあり洗屈による変状が発生していないことも確認している。

5. まとめ

- ・ 詳細な構造調査の結果、本橋の断面諸元、接合方法、支点部構造等を確認し、明治橋保存のための構造一般図を作成した。
- ・ 本橋がイギリスより輸入された鉄鋼材料を使用し国内で製作された橋梁であることを再確認した。施工当時の設計思想や製作方法における技術的な変遷の追跡調査のための、データを蓄積した。
- ・ 本橋に使用された鉄鋼材料は不純物を多く含んだ材質の劣る材料であり、特にP(磷)とS(硫黄)が非常に多いことを確認した。
- ・ 対傾構などの板材の強度としては、現規格のSS400相当を有することを確認した。
- ・ 損傷度調査により、明治橋の腐食進展度を確認した。腐食の進行が著しい部位としては、支点部周辺の下フランジおよびウェブ、床版と主桁の接合部、床版陥没部底板である。
- ・ 今後歩道橋として供用を継続し、保存するためには腐食の進行を防止するための腐食対策が必要である。
- ・ 損傷度調査の結果および別途報告する載荷試験結果を基に明治橋の補修補強方法の検討を進めるための基礎データが蓄積できた。

あとがき

明治橋構造・損傷度調査および静的載荷試験は明治橋保存活動の一環として、(社)土木学会、(社)日本橋梁建設協会、Hitz 日立造船(株)が共同で実施したものである。

謝辞

明治橋の現地調査を行うにあたり、野津町(現、臼杵市)および(社)日本橋梁建設協会床版研究委員会にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

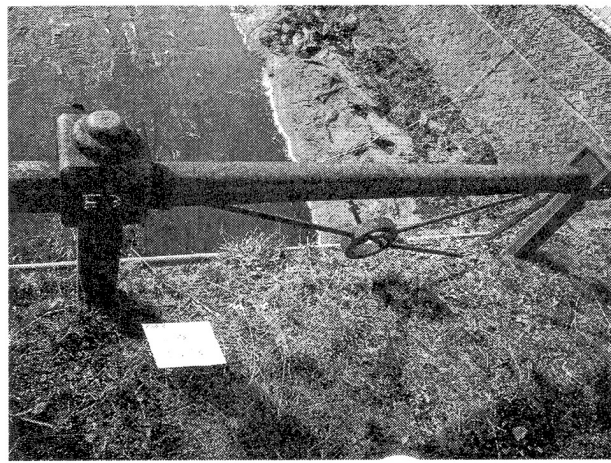


写真-23 高欄損傷状況



写真-24 高欄親柱

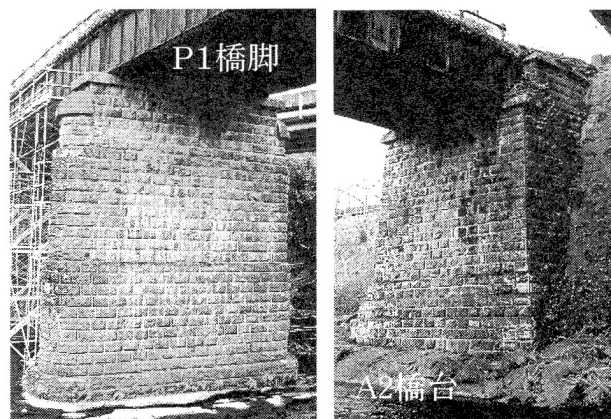


写真-25 下部工

参考文献

- 1) 岡崎文雄：架設から百年－明治橋を保存しよう，大分合同新聞，2002.2
- 2) 都松尋常高等小学校 郷土誌：1916.3
- 3) 松井, 嶽下：日本最古の合成床版を用いた鋼橋－明治橋－見聞録、第3回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2003.5
- 4) 土木学会：日本の近代土木遺産，2001.3