

35年間使用した溶接構造鋼鉄道橋の解体調査

伊藤裕一¹・関 雅樹²・名取 暢³・三木千寿⁴・市川篤司⁵

¹正会員 工修 東海旅客鉄道㈱ (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)

²フェロー 工修 東海旅客鉄道㈱ (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)

³正会員 ㈱横河ブリッジ橋梁本部 (〒108-0023 東京都港区芝浦4-4-44)

⁴フェロー 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152-8852 東京都目黒区大岡山2-12-1)

⁵正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152-8852 東京都目黒区大岡山2-12-1)

日本の大動脈である東海道新幹線は、開業以来約35年が経過した。それを支える構造物に対して、従来からきまこまかな維持管理が行われている。このような中で、開業以来供用されてきた鋼桁が、新駅工事に伴い撤去された。そこで、製作の状況及び設計と製作の相違点を把握することを目的に、撤去された桁を工場内で非破壊検査・破壊検査等を行った。その結果、製作当時の鋼材・溶接の品質、供用後に発生した疲労損傷の補修状況が明らかになった。これらのデータは、今後の維持管理に有用な情報を与える他、鋼橋の耐久性を論ずる際に貴重な資料になると考えられる。

Key Words: steel bridge, welded railway bridge, non-destructive test, destructive test

1. まえがき

東海道新幹線は、1964年に開業されて以来約35年が経過した。この間、構造物は、列車本数の増加等設計時の想定を上回る厳しい荷重条件の下で日本の大動脈を支えてきた。

構造物の中でも鋼橋は、軽量ゆえに列車荷重の影響が大きく表れる開床式構造のものが多いこともあり、二次部材を中心に疲労損傷の発生が認められ、それが原因で橋梁の取替が懸念された時期もあった。そのため、様々な調査研究が精力的に行われてきた。また、鉄道構造物では、通常2年に1回の点検(全般検査という)と、それにより何らかの異常が発見されたときに行われる詳細な調査(個別検査という)を行うが、東海道新幹線の鋼橋では、加えて塗装塗替時(周期:8年)に応力測定を含む精密な点検(特別検査^{1)・2)}を行っている。このような調査研究及びきまこまかな維持管理の結果、どの橋梁のどの部材にどの程度の応力度が発生しているか、またどのような損傷が発生し得るか等が把握され、取替が必要になるような重大な損傷の発生は当面考えられないことなどが明らかになった。

このような背景のもと、1999年から2000年にかけて、鋼桁数連が新駅の建設工事に伴い建設後35年ぶりに撤去された。

約1,500連ある東海道新幹線の鋼橋は、一つの路線としては初めて本格的な溶接構造が全面的に採用されるとともに、設計にあたっては標準化が取り入れ

表-1 調査対象桁諸元

| | |
|-------|--|
| 名 称 | 品川跨線線路橋 |
| 図面番号 | WTG.N111(4)-101 |
| 付 属 図 | NSA-20, NSA-30, NSA-45, NSA-100 |
| 形 式 | 開床式下路プレートガーダー(単線2主桁) |
| 連 数 | 4連 |
| 支 間 割 | 4@27.5m+3@0.54=111.62m |
| 設 計 | 日本国有鉄道構造物設計事務所 |
| 設計基準 | 新幹線構造物設計基準案 (1961年6月26日,幹工設第410号) |
| | 鋼鉄道橋設計示方書 (1956年9月,総裁達630号) |
| | 溶接鋼鉄道橋設計示方書解説 (1960年7月,土木学会高張力鋼鉄道橋研究委員会) |
| 設計活荷重 | N荷重 |
| 列車速度 | 120km/h |
| 設 計 | 要求:1961年2月23日,完成:1963年10月24日 |
| 架設工事 | 着手:1961年11月15日,竣工:1964年10月30日 |
| 鋼 材 | (主部材)SM400A,B (JIS G3106(1959)) (2次部材)SS400 (JIS G3101) |
| 製作会社 | 横河橋梁 |
| 製作基準 | 鋼鉄道橋製作示方書 |
| | 溶接鋼鉄道橋製作示方書(案) (1961年3月,土木学会高張力鋼鉄道橋研究委員会) |

られている^{3)・4)}。したがって、発生桁を調査することにより、当該桁のみならず他の桁についても、当時

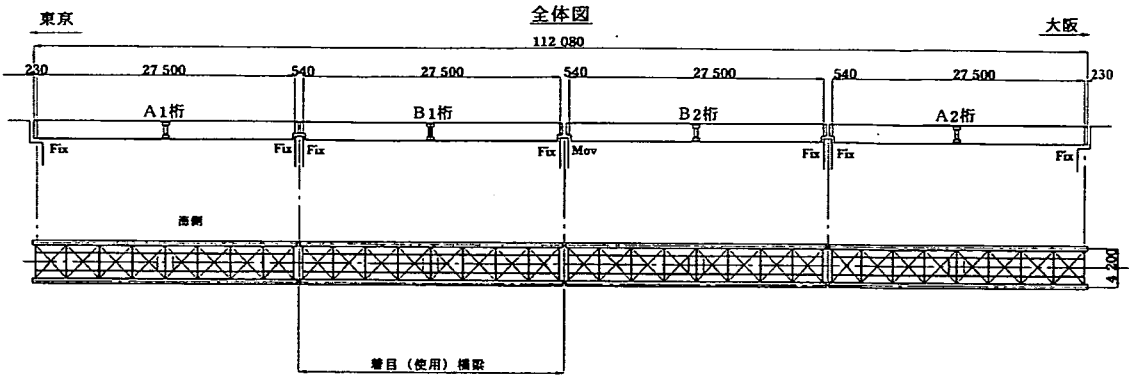


図-1 品川Bi全体図

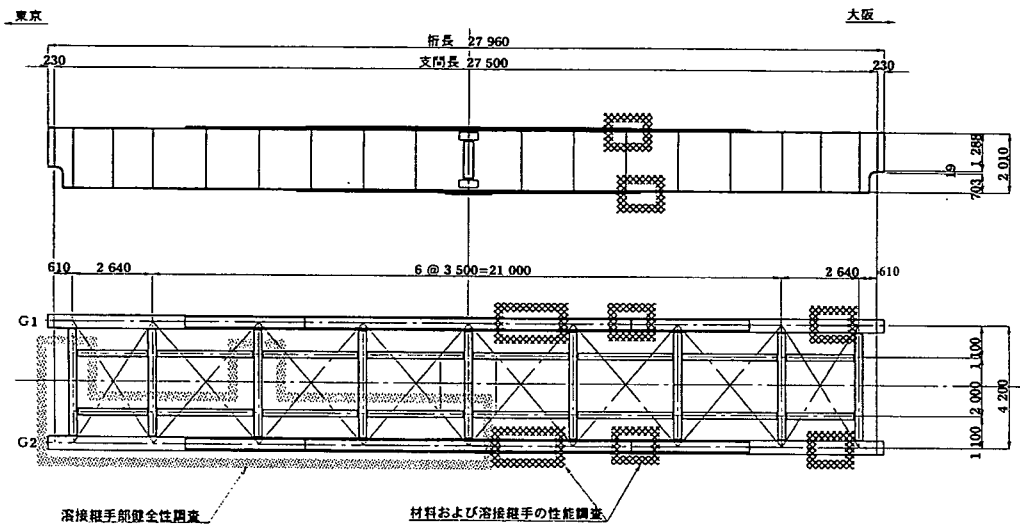


図-2 B1桁詳細図及び調査位置

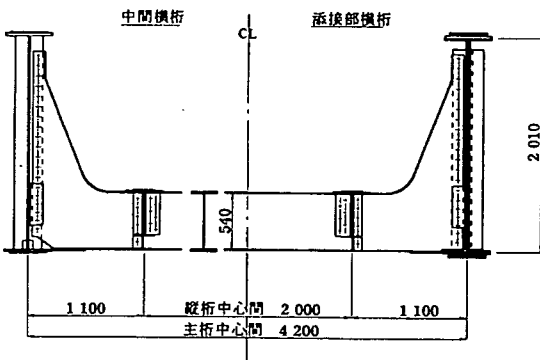


図-3 品川Bi断面図

使用した材料，製作方法，製作精度，供用後発生した損傷の補修状況等，維持管理上貴重な情報を得ることができる。また，疲労損傷の有無を詳細に調査することにより点検レベルとの関係を確認すること

もできる。さらには，設計と製作との相違点が明らかになることから，鋼橋の耐久性能を論ずる場合の貴重な資料にもなる。このようなことから，発生した桁1連及び若干の部位を橋梁工場に搬入し，非破壊検査，材料試験等を実施したので報告する。

2. 調査対象橋梁

調査対象は，東京～新横浜間6k346mに架設されていた，品川跨線線路橋（以後，品川Bi）1～4連目である。諸元を表-1に，また全体図・断面図を図-1，図-2，図-3に示す。品川Biはかつて品川地区にあった新幹線の車両基地へ向かう引込線を跨ぐ単線桁であったが，平成4年に基地が大井地区に移転したため，当初の目的を失っていた。さらに品川新駅の工事に伴い，付近の高架橋を含め線路を地平化することになり，今回撤去されたものである。

表-2 品川Biで過去に発生した損傷

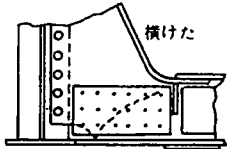
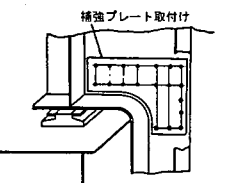
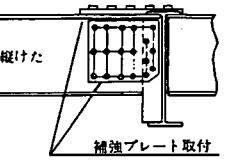
| 番号 | 発見 | 場所 | 損傷概要 | 対策 | |
|-----|---------------------|----------------------|--|--|--|
| (1) | 1974年 ⁵⁾ | 2連目 Y2横桁 端部及びその周辺 | (1-1)横桁腹板端部切欠部から発生した亀裂が斜め上に進展 (1-2)主桁垂直補剛材下端廻し溶接部から主桁腹板に亀裂進展(1-1.取付部) (1-3)主桁垂直補剛材亀裂(Y2横桁1-1と反対側上部) (1-4)主桁腹板下フランジ首溶接部亀裂(1-1.取付部) | (1-1) あて板補強 (1-2) ストップホール (1-3) あて板補強 (1-4) ガウジング+再溶接 |  <p>プレート厚 9mm H・T・B M22 FIOT</p> |
| (2) | 1991年 ⁹⁾ | 1~4連目 主桁桁端切欠部 (計6箇所) | 主桁桁端切欠部コーナー頂点のすみ肉溶接し端から発生した亀裂が、溶接に沿って接線方向に進展 (最大300mm) | (2)ガウジング+再溶接+あて板補強 (+主桁下フランジふれ止め設置) |  <p>補強プレート取付け</p> |
| (3) | 1993年 | 3連目 縦桁横桁 連結部 | 縦桁腹板上フランジ側端部切欠部から発生した亀裂が、首溶接に沿って進展した後、縦桁上フランジを破断 | (3) ガウジング+再溶接+ウエブあて板補強+上フランジモメントプレート拡大 |  <p>補強プレート取付</p> |

表-3 列車荷重による応力範囲(5列車平均)

単位: MPa

| 測定部位 | 《端縦桁 | 《中間縦桁 | 《中間横桁 |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| | 下フランジ下 面中央》 | 下フランジ下 面中央》 | 下フランジ下 面中央》 |
| 品川Bi (1連目) | 40.5 | 47.5 | 41.2 |
| 品川Bi (2連目) | 48.3 | 51.2 | 47.2 |
| 品川Bi (3連目) | 40.9 | 42.2 | 37.0 |
| 品川Bi (4連目) | 38.9 | 45.7 | 30.4 |
| 同種桁 34連 | 平均 | 34.5 | 40.3 |
| | 標準偏差 | 11.8 | 6.4 |

品川Biは、開床式下路プレートガーダーと呼ばれる構造形式で、同種構造の桁は、東海道新幹線全線に品川Bi撤去時点で30連ある。また品川Biには、溶接フランジガセット、溶接枕木受け、主桁桁端切欠構造等、維持管理上興味深い構造が含まれている。

なお、品川Biでは過去数度にわたり疲労損傷が発生したことが知られている^{5), 6), 7)}。損傷の概要と補修方法について表-2に示す。疲労損傷はそれぞれ原因が究明され、補修が行われるとともに、表-2に示す損傷(1-1)、(2)に対しては、品川Biのみならず、東海道新幹線にある同種構造を持つ全ての桁について、事前補強を実施している。

品川Biに対する特別検査は平成5年度に実施され、その際、表-2に示す(3)の損傷が発見された以外、補修等を必要とする異常は発見されていない。また2年に1回実施する全般検査でも異常は発見されてい

ない。縦桁・横桁の列車荷重による発生応力測定は平成4年度に実施し、表-3に示す結果を得ている。

3. 調査要領

発生した桁は現地で小割りにして、工場内に搬入した上で、以下の3点について調査を行った。

(1) 溶接継手部の健全性調査

溶接継手部の健全性の確認、建設時の溶接方法・品質の検証、通常検査の結果と比較し定期検査の損傷発見能力を確認、の3点を目的に、主要溶接継手(突合せ溶接・フランジとウエブを接合するすみ肉溶接(縦ビード)・すみ肉溶接等)について、各種非破壊検査及び破面試験を実施。

(2) 既損傷箇所の補修状況調査

過去損傷が発生した部位について、補修状況・類似損傷の有無を確認。

(3) 材料及び溶接継手の性能調査

鋼材及び突合せ溶接部の機械的性能の調査を目的に、母材2組と突合せ溶接部から採取した試験片2組に対し、引張試験・衝撃試験、硬さ試験等を実施した。また、母材の化学成分分析(2箇所)、突合せ溶接部及び縦ビード溶接部の小型試験片による疲労試験(各6体)を実施。

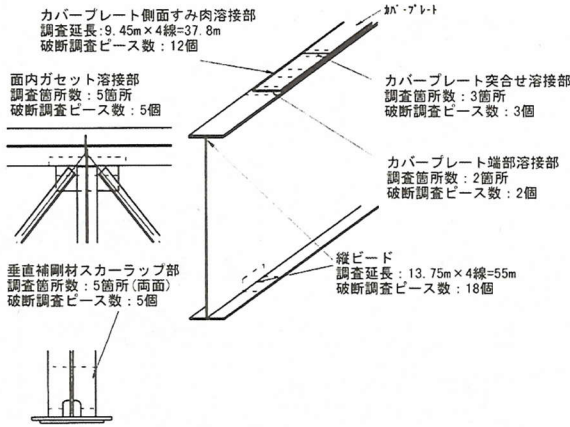


図-4 溶接継手健全性調査着目部位 (主桁)

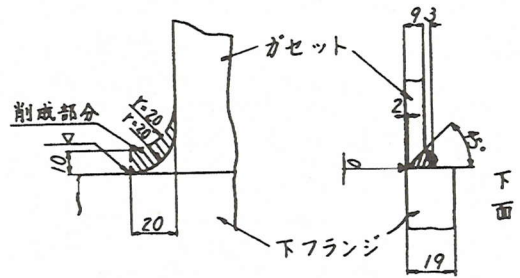
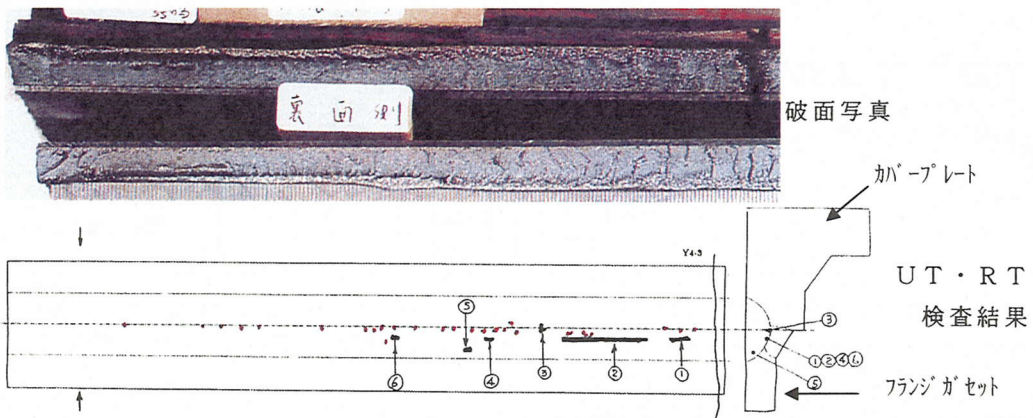


図-5 主桁面内ガセット設計図



同一部位の破面写真およびUT・RT検査結果
図-6 主桁面内ガセット溶接部破面及び非破壊検査結果

表-4 各部溶接方法 (主桁)

| 部 位 | 溶接方法 | |
|---------------------------------|------------|------------------|
| 縦ビード | サブマージアーク溶接 | |
| 面内ガセット溶接部 | 被覆アーク溶接 | |
| 垂直補剛材取付溶接部 | 被覆アーク溶接 | |
| カ バ ー プ レ ー ト | 前面すみ肉 | サブマージアーク+被覆アーク溶接 |
| | 側面すみ肉 | サブマージアーク溶接 |
| | 突合せ溶接部 | サブマージアーク溶接 |
| 桁端切欠部R部 | 被覆アーク溶接 | |

4. 調査結果

(1) 溶接継手の健全性の調査

a) 主桁

図-4に調査着目部位を示す。各部の溶接方法は外観及びマクロ試験の結果から表-4の通り推定される。エンドタブの設置ができないカバープレート側面すみ肉溶接などを含め、サブマージアーク溶接が比較的多用されているのが特徴である。

縦ビード溶接部は、大きな欠陥及び損傷はなく、

溶接の品質も良好で健全な状態であった。非破壊検査 (PT, MT) で、表面のブローホールを1箇所のみ検出 (UTでも確認) したが、同部位の破面調査ではその欠陥を確認することはできなかった。欠陥が小さいことや破面位置との関係によるものと思われる。破面試験においては、小さいものの集中したブローホール (2φ程度) が1箇所確認された。

面内ガセット溶接部 (設計図: 図-5) は、UT, RT で細かなブローホールが点在する程度で (図-6)、不溶着部や亀裂は検出されなかった。

破面試験結果においても、不溶着部などの欠陥や疲労亀裂は認められなかった。この部位の溶接は、裏はつりを行わず部分溶け込み溶接となっている場合があると考えていたが、本橋では、マクロ試験 (写真-1) より、裏はつりを行っていることを確認した。

主桁カバープレート (設計図: 図-7) は、前面・側面すみ肉溶接、突合せ溶接部共に欠陥及び損傷はなく健全な状態であった。前面すみ肉は設計通り不等脚で仕上げられていた (写真-2)。溶け込み深さからは手溶接とは考えにくく、初層をサブマージ溶接で施工した上、手溶接を行った可能性がある。側面す

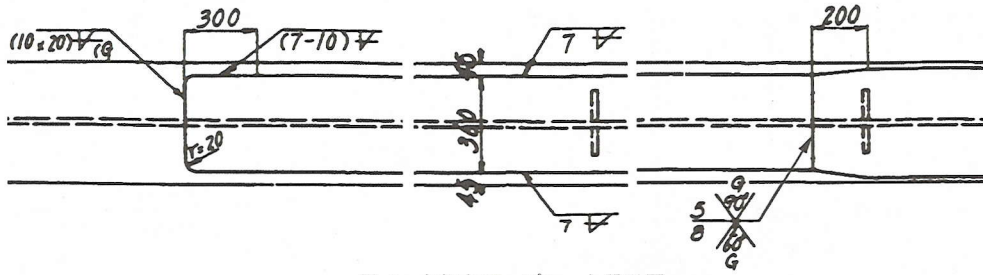


図-7 主桁カバープレート設計図

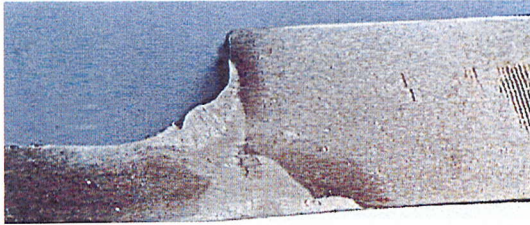


写真-1 主桁面内ガセット溶接部マクロ試験結果

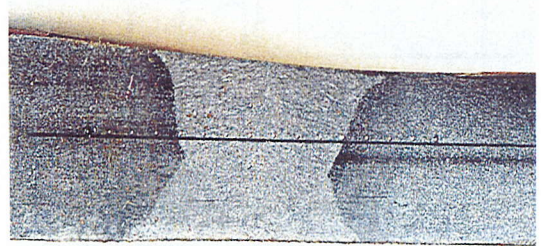


写真-4 カバープレート突合せ溶接マクロ

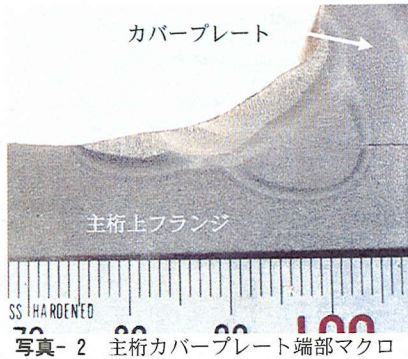


写真-2 主桁カバープレート端部マクロ

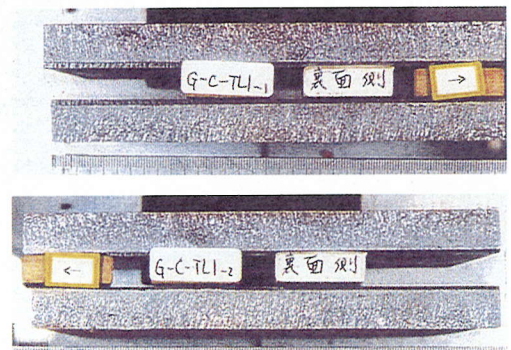


写真-5 カバープレート突合せ溶接破面調査

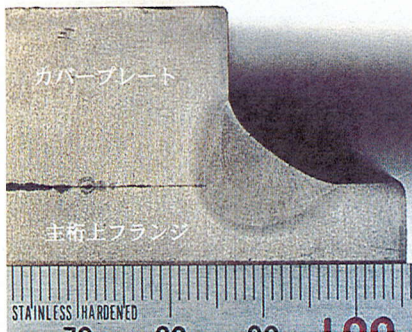
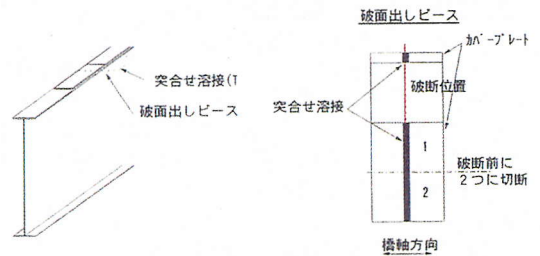
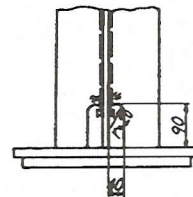


写真-3 主桁カバープレート側面マクロ



み肉溶接(写真-3)及び突合せ溶接(写真-4)はサブマージ溶接で施工されている。突合せ溶接部はUT, RTでも指示箇所は殆ど検出されなかった(写真-5)。

横桁が取り付け、主桁中間垂直補剛材下端の回し溶接部(設計図:図-8)には、既知の亀裂(表-2-(1-2))が1箇所あったのみで、他の部位には、表面上溶接欠陥や疲労亀裂は認められなかった(破面検査結果は既損傷箇所の補修状況調査とあわせ後述)。



* 溶接端部はまわし溶接使わせる

図-8 主桁中間垂直補剛材下端設計図

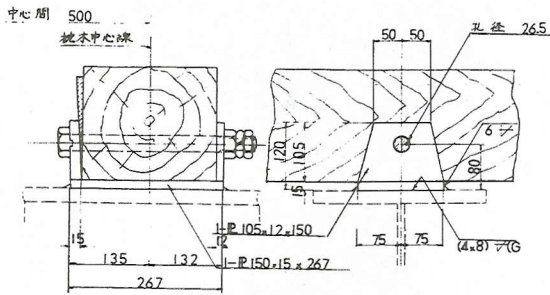


図-11 枕木受け設計図

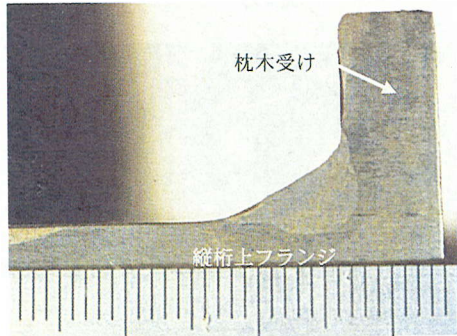


写真-8 縦桁枕木受け前面溶接部マクロ



写真-9 縦桁面内ガセット溶接部マクロ試験結果

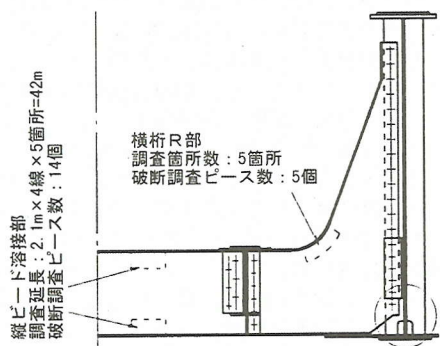


図-12 溶接継手部健全性調査着目部位 (横桁)

c) 横桁

図-12に調査着目部位を、表-6に溶接方法を示す。縦ビードには、大きな欠陥及び損傷はなく、溶接の

表-6 各部溶接方法 (横桁)

| 部 位 | 溶接方法 |
|---------|------------|
| 縦ビード | サブマージアーク溶接 |
| ニーブレスR部 | 被覆アーク溶接 |

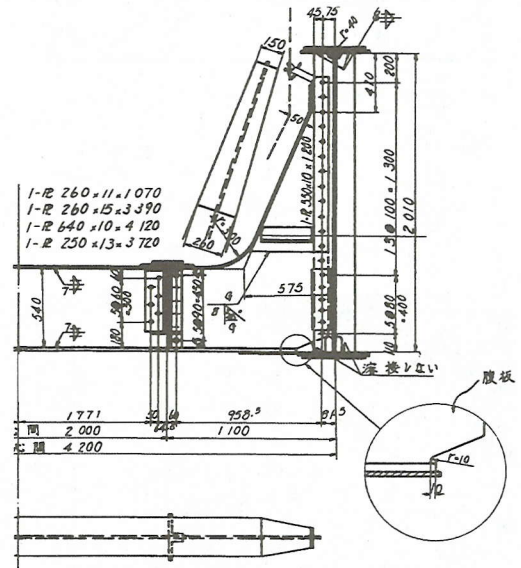


図-13 横桁設計図

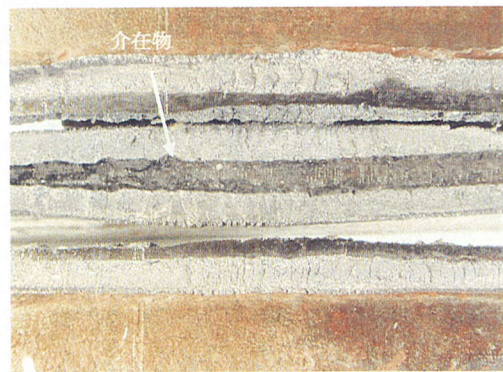


写真-10 横桁R部ルート部介在物 (Y1)横桁

品質は良好で、健全な状態であった。破面試験において、小さいものの集中したブローホールが1箇所確認された程度であった。

横桁ニーブレスR部 (設計図: 図-13) には、疲労亀裂などの損傷は見られなかったものの、調査した5ヶ所中1箇所で、フランジとウエブのR加工の差によるルートギャップが生じており、そのためルート部に介在物 (写真-10) が散見された。

横桁腹板端部に関する調査結果は、既損傷箇所の補修状況調査とあわせ後述するが、切欠部の形状不良 (設計上のR10より、小さな曲率) が見られた。

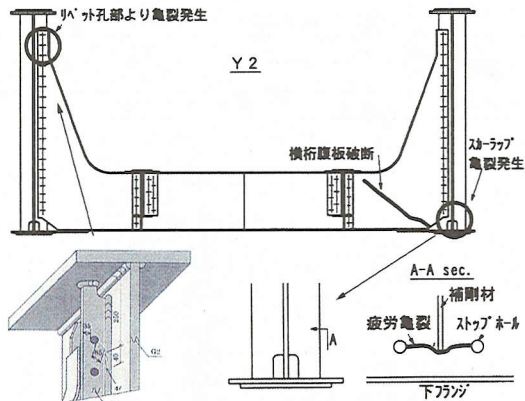


図-14 横桁の損傷箇所

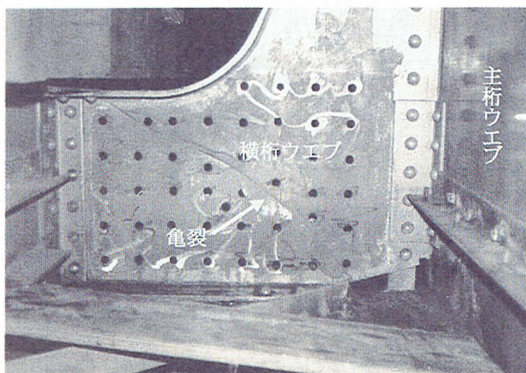


写真-11 亀裂(1-1)発見時(あて板取付ボルト孔削孔後)



写真-12 桁端切欠部形状

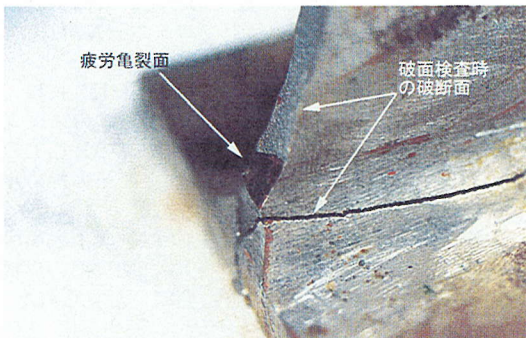


写真-13 桁端切欠部破面試験結果

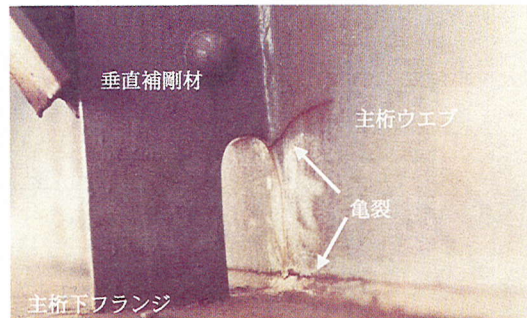


写真-14 垂直補剛材下端亀裂(1-2)・主桁首溶接亀裂(1-4)(発見時)



写真-15 亀裂(1-2)破面

(2) 既損傷箇所の補修状況調査

過去損傷が発生した部位について、補修状況・類似損傷の有無を確認した。

a) 横桁及び周辺の損傷(図-14)

過去、横桁腹板端部切欠部に発生した損傷(表-2, 1-1)箇所(写真-11)は、あて板による補修が行われていたが、あて板を撤去した所、亀裂の進展は認められなかった。この部位から亀裂が発生する原因の一つに、この部分の形状不良が指摘^{10), 11)}されているが、今回の調査でも写真-12の通り確認された。

なお同種構造桁の全ての同種部位には、事前補強として小型のあて板をボルトで設置している。今回、あて板を撤去したところ、調査した7箇所中4箇所に最大20mmの亀裂(写真-13)を発見した。当時の資料に、位置は明らかではないが、品川Biに損傷(1-1)と同種の小さな亀裂があるとの記述があり、あて板施工前に既に発生していたものと考えられる。

損傷(1-2)(写真-14)は、横桁腹板破断箇所(1-1)と同時に発見され、スリッパホールが施工されていたが、今回の調査の結果、亀裂の進展した様子は見られなかった。破面(写真-15)からは、亀裂は桁内側(横桁が取り付く側)ルート部と桁外側補剛材側止端部から発生したと考えられる。なお、既損傷箇所とは別の、表面上健全と思われた横桁が取り付く主桁垂直補剛材下端回し溶接部のマクロ試験(写真-16)には、回し溶接部のど厚不足(3mm)及び、ルート部に微細な疲労亀裂が見られるため、損傷(1-2)もルート部の亀裂が先に発生した可能性がある。

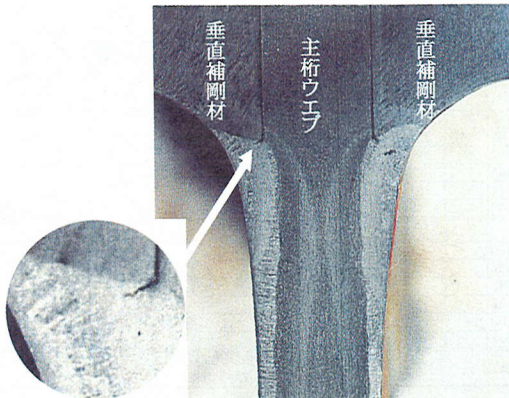


写真-16 垂直補剛材下端回し溶接部マクロ



写真-17 主桁首溶接補修溶接部マクロ

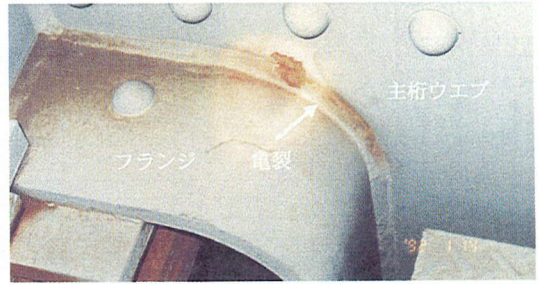


写真-18 主桁桁端切欠部亀裂(2)発生状況



写真-19 主桁桁端切欠部亀裂補修部マクロ

損傷(1-3)は、あて板補強されており、亀裂の進展は見られなかった。また損傷(1-4)は、マクロ試験(写真-17)より、腹板側の止端から発生したもので、完全に溶接補修されていることを確認した。

b) 主桁桁端切欠部の損傷

桁端切欠部に発生した損傷(2)(写真-18)の補修溶接部を調査した所、調査した5箇所中3箇所では裏はつりが不十分、もしくはなされていないため、すみ肉溶接の腹板側止端部から発生した疲労亀裂が完全に除去しきれておらず、その内1箇所では補修溶接に微細な割れが進展(写真-19)していることが判明した。

なおこの亀裂は、桁端切欠部の存在のため、端横桁及びラテラルが主桁の支点位置に取り付いておらず、横荷重に対する主桁の横剛性が桁端で低く、列車通過時に桁端切欠部に生じる面外曲げが原因であることが、応力測定等の結果明らかにされており、本対策として当て板補強を行った他、桁端部と鋼製橋脚を結ぶふれ止めを施工した結果、面外曲げが大幅に低減されている。

c) 縦桁横桁連結部の損傷

縦桁横桁連結部に発生した損傷(3)は、縦桁桁端上部の腹板切欠部から発生し、しばらく首溶接にそって進展した後、縦桁上フランジを破断したものである。今回の調査で、腹板リベット孔が上下方向に拡大(写真-20)していることが確認され、添接板と

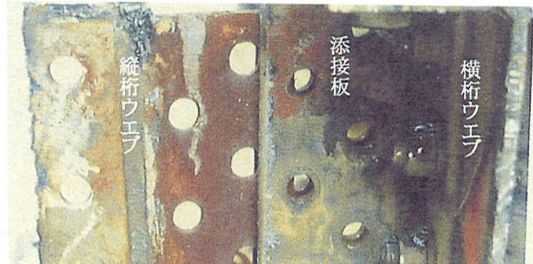


写真-20 縦桁横桁連結部リベット孔の拡大

縦桁間がこの面で滑っていたと考えられるが、リベットの緩みの発生と亀裂発生の前後関係は不明である。

(3) 材料および溶接継手の性能調査

設計図面によれば、品川Biでは、板厚によりSM41A($t \leq 15\text{mm}$)、SM41B($t \leq 25\text{mm}$)、SM41C($t=28\text{mm}$)の3種類の鋼材が使用されている。

今回このうちSM41A、B材について主桁原材料の機械的性質を、カパープレート突合せ溶接部(母材SM41B)について溶接施工試験を実施した。結果を表-7に示す。主桁原材料の機械的性質は、全試験片とも、引張試験・衝撃試験の規格値を満足している。

なお、SM41A材は衝撃試験(Vノッチシャルピー試験値)は規定されていないがSM41B材の規格値をも満足していた。突合せ溶接部の機械的性質も、判定基準を満足していた。

表-7 主桁原材料及びカバープレート突合せ溶接部の機械的性質

| 部位 | 材質 | 試験片番号 | 引張試験 | | | | | | | | | | 曲げ試験 180度 R=1.5t | 衝撃試験 | | 硬さ試験 最高硬さ (Hv) | マクロ試験 マクロ面状 況 | |
|-----------------|-------------|-------|------------|-----------|---------------------------|---------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------|-----|------------------------|---------------|----|----------------------|---------------------|------------|
| | | | 試験片寸法 | | | | 降伏点 | | 引張強度 | | 伸び | | | 破断位置 | | | | 吸収エネルギー(J) |
| | | | 板厚 (mm) | 幅 (mm) | 断面積 (mm ²) | 標点間距離 (mm) | KN | N/mm ² | KN | N/mm ² | mm | % | 破断 位置 | 180度 | 平均 | | | |
| 主桁 原材料 | SM41A | MA-1 | 13.2 | 40.1 | 529 | 201.0 | 152 | 287 | 234 | 442 | 70.4 | 35% | A | | 37 | 49 | 49 | - |
| | | MA-2 | 13.2 | 40.1 | 529 | 201.3 | 155 | 293 | 234 | 442 | 64.7 | 32% | A | | 37 | | | |
| | | MA-3 | 13.2 | 40.1 | 529 | 201.4 | 152 | 287 | 234 | 442 | 65.3 | 32% | A | | 37 | | | |
| | SM41B | MB-1 | 13.3 | 39.9 | 531 | 201.3 | 156 | 294 | 236 | 445 | 63.7 | 32% | A | | 49 | | | |
| | | MB-2 | 13.3 | 40.0 | 532 | 201.3 | 156 | 293 | 236 | 444 | 59.0 | 29% | A | | 49 | | | |
| | | MB-3 | 13.4 | 40.0 | 536 | 199.7 | 156 | 291 | 236 | 440 | 62.5 | 31% | A | | 49 | | | |
| 規格値(JIS Z 2201) | | | - | | | | 245N/mm ² 以上 | | 400~510N/mm ² | | 17%以上 | | - | 27J以上※ | | - | - | |
| 突合せ 溶接 | 母材 SM41B | A-1 | 15 | 40 | 600 | | | | 294 | 490 | | | 止端 | 亀裂なし | 62 | 76 | 240 | 欠陥なし |
| | | A-2 | 15.2 | 40 | 608 | | | | 294 | 484 | | | 止端 | 亀裂なし | 71 | | | |
| | | A-3 | 15.2 | 40 | 608 | | | | 293 | 482 | | | 止端 | 亀裂なし | 94 | | | |
| | | B-1 | 15 | 40 | 600 | | | | 293 | 488 | | | 止端 | 亀裂なし | 45 | | | |
| | | B-2 | 14.7 | 40 | 588 | | | | 294 | 500 | | | 止端 | 亀裂なし | 54 | | | |
| | | B-3 | 14.9 | 40 | 596 | | | | 299 | 502 | | | 止端 | 亀裂なし | 45 | | | |
| 判定基準 | | | - | | | | - | | 母材の規格値以上 | | - | | - | 溶着金属で母材の規格値以上 | | Hv≦370 | 欠陥のないこと | |

※B材のみ規定

表-8 化学成分分析結果

| 記号 | 採取箇所 | 材質 | 化学成分% | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|--------|--------|-----------|----------|---------|-------|-------|----------|---------|-----------|----------|---------|--|
| | | | C(炭素) | Si(珪素) | Mn(マンガン) | P(リン) | S(硫黄) | Cu(銅) | Ni(ニッケル) | Cr(クロム) | Mo(モリブデン) | V(バナジウム) | B(ホウ) | |
| g004909 | 主桁ウェブ | SM41A | 0.17 | 0.055 | 0.73 | 0.011 | 0.026 | 0.18 | 0.04 | 0.054 | 0.007 | <0.001 | <0.0001 | |
| g003208 | 主桁フラッシュ | SM41B | 0.19 | 0.039 | 0.94 | 0.01 | 0.023 | 0.13 | 0.03 | 0.023 | 0.006 | <0.001 | <0.0001 | |
| 規格値(JIS G 3106) | SM41A※1 | 0.23以下 | - | 2.5×C以上 | 0.035以下 | 0.035以下 | - | - | - | - | - | - | | |
| | SM41B※1 | 0.20以下 | 0.35以下 | 0.60~1.40 | 0.035以下 | 0.035以下 | - | - | - | - | - | - | | |

炭素等量 = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 + (Cu/13) Cuは0.5%以上の場合に加; ※1 現在のSM400A, B材

溶接低温割れ感受性組成 PCM = C + Ci/30 + Mn/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B
= 0.21%(SM41A)
= 0.24%(SM41B)

原材料の機械的性質試験片と同じ部位において、化学成分分析を行った。結果を表-8に示す。また、炭素等量及び溶接低温割れ感受性組成についても計算して示した。本橋の化学成分は、JIS規格値を十分満足している。また、溶接性を表す炭素等量(C_{eq})及び溶接割れ感受性組成(P_{cm})ともに低く、溶接性はかなり優れていたといえる。参考として図-15に、カバープレート突合せ溶接部(写真-4)のビッカース硬さ分布を示す。

(4) 溶接継手の疲労試験

カバープレート突合せ溶接部及び主桁縦ビードについて、桁から切り出した小型試験片による疲労試験を行った。試験片の形状を図-16に、またS-N線図を図-17にそれぞれ示す。

カバープレート突合せ溶接部(余盛り削除・強度等級:B等級)の疲労試験による破断位置は全て母材であり、溶接部から破断したものはなかった。なお、RTの結果から溶接内に欠陥の存在はなかった。S-N線図を見ると、1点低いものがあるが、これは傾向を見るため極端に大きな応力範囲(336MPa)を与えた試験結果であり、通常の応力範囲内ではB等級以上を十分に満たしていた。

主桁縦ビード(強度等級:JSSCでD等級、鉄道でC等級)については、試験機の関係からA,Bの2タイプの試験片について試験を行った。Aタイプにおいては全て完全溶け込み溶接に加工した回し溶接部から破断

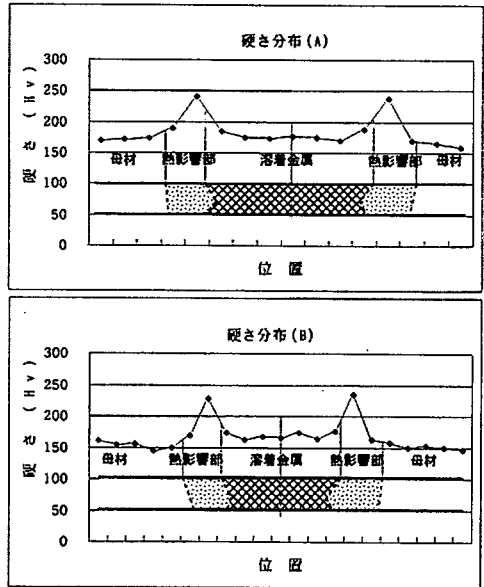
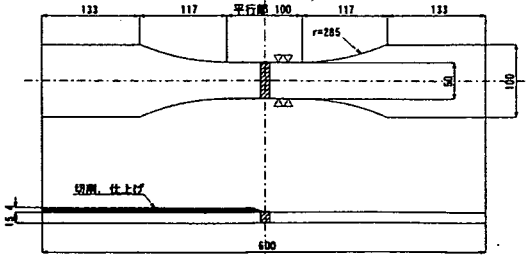


図-15 ビッカース硬さ分布図

したため、S-N線図では別記号で示した。さらに参考までに、過去に実施された同様の試験結果¹²⁾についてもS-N線図中に示した。今回の実験結果と過去の実験結果はほぼ一致しており、S-N線図上で少なくともC等級以上を十分に満足していると判断される。

突合せ溶接疲労試験片



すみ肉溶接疲労試験片

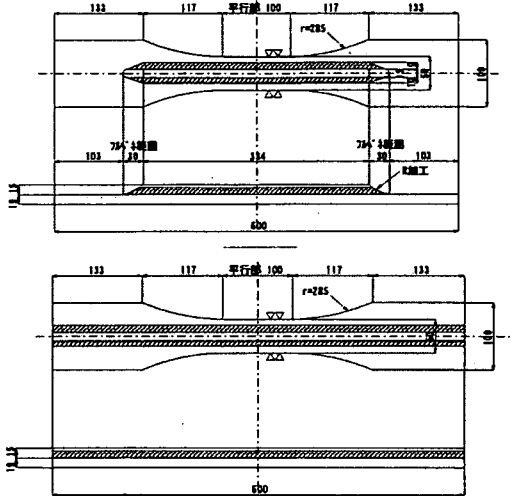


図-16 試験片形状

5. まとめ

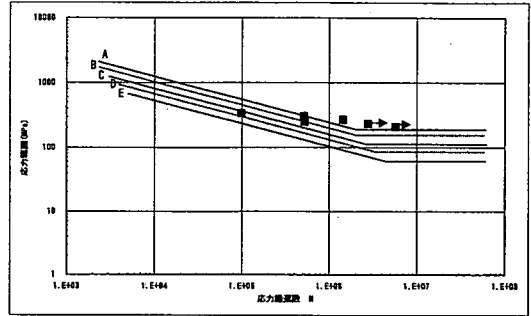
本研究により得られた成果は以下の通りである。

1) 品川Bi各部位の溶接継手部について非破壊検査および破面試験を行った結果、特異的にブローホールなどの欠陥はあったものの、全体的に溶接の品質は高く、溶接自体は健全なものと判断された。

なお、一部に設計図通りの施工がされていない箇所があった。今後、必ずしも設計図通りの施工がなされていない場合があることを前提に、維持管理を行う必要があると考えられる。また、最近、構造物の耐久性の議論が盛んに行われているが、今回の調査の結果、設計耐用期間中の鋼橋の性能を保証するためには、設計で想定している品質を製作時にどのように実現するかも重要な課題の一つと考えられる。

2) 今回の調査では、過去に横桁桁端切欠部から発生する疲労亀裂に対する事前対策として施工したあて板に隠れて、微細な疲労亀裂が確認された等、目

突合せ溶接試験片S-N曲線 (継手等級：B等級)



すみ肉溶接試験片S-N曲線 (継手等級：D等級)

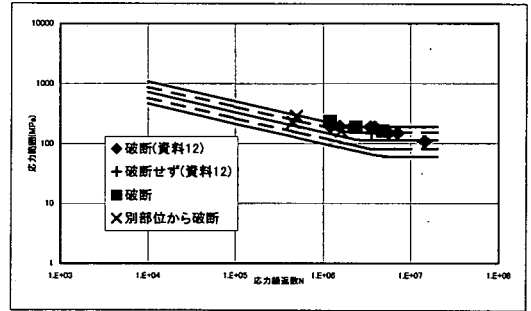


図-17 S-N曲線

視検査では発見不可能な亀裂はあったものの、目視検査で発見可能な新たな亀裂は見つからなかった。この結果は平成5年度に実施された詳細な定期検査「鉄桁特別検査」の結果と一致しており、鉄桁特別検査が十分な精度で実施されていることが確認できた。このことは、検査で損傷を発見し補修することを大きな柱としている東海道新幹線の鋼構造物の維持管理を肯定する結果である。

3) 過去に損傷が発生し、溶接による補修が行われた箇所を調査した所、亀裂の除去が不十分な事例があることが明らかになった。補修溶接の施工管理については従来施工者に任される部分が多くあったが、今後補修溶接の管理レベルを向上させる必要がある。

4) 母材・突合せ溶接部に対して実施した、材料試験の結果、引張試験、衝撃試験共に、現在の規格値をも十分満足していた。また、母材の化学成分分析の結果、現在の規格値を十分満足していた。さらに、突合せ溶接部・主桁縦ビードの小型試験片による疲労試験の結果、JSSCのそれぞれの強度等級(B等級、C等級)を十分満足していた。表-3に示した当該橋梁に列車通過時に発生していた応力範囲はこれらの疲労限を下回ることから、対象橋梁についてはこれら部位については将来にわたり疲労損傷が発生する可能性が低かったと考えられる。

参考文献

- 1) 後藤克彦: 東海道新幹線土木構造物の新しく魅力ある検査体制のスタート, 日本鉄道施設協会誌, pp. 486-488, 1994.
- 2) 鍛冶秀樹, 後藤克彦, 宮部光一: 東海道新幹線の鋼橋の検査手法の一考察について, 土木学会第49回年次学術講演会, pp. 492-493, 1994.
- 3) 日本国有鉄道編: 東海道新幹線工事誌(本社・土木編), 日本国有鉄道東海道新幹線支社, pp. 240-260, 1965.
- 4) 日本国有鉄道東京幹線工事局編: 東海道新幹線工事誌(東京幹線工事局・一般編), 日本国有鉄道東京幹線工事局, 1965.
- 5) 野沢太三, 山田幸男: 新幹線橋梁の現状と諸問題, 鉄道土木, vol. 19, pp. 162-172, 1977.
- 6) 水谷道雄, 下澤眞吾, 駒山健次: 東海道新幹線橋りょうの保守, 鉄道土木, vol. 24, pp. 184-190, 1982.
- 7) 阿部允: 最近の鉄けた変状の対策, 鉄道土木, vol. 26, pp. 565-568, 1984.
- 8) 谷口紀久, 阿部允: 鋼桁の中間補剛材下端の疲労変状, 構造物設計資料, No. 78, pp. 24-27, 1984.
- 9) 坂井直之, 内藤繁, 阿部允: 桁端切欠構造部における変状調査に関する一考察, 土木学会第49回年次学術講演会, pp. 502-503, 1994.
- 10) 田中勇, 阿部允: 鋼鉄道橋の検査(2), 鉄道土木, vol. 21, pp. 625-628, 1979.
- 11) 阿部允, 井口光雄: 有限要素法による横けた切欠部の検討, 構造物設計資料, No. 47, pp. 23-26, 1976.
- 12) 谷口紀久, 阿部允: 長期使用した鉄道橋縦桁の疲労強度試験, 構造物設計資料, No. 75, pp. 28-32, 1983.

(2001. 10. 15受付)

DEMOLITION INVESTIGATION OF THE WELDED STEEL RAILWAY BRIDGE USED FOR 35 YEARS

Yuichi ITO, Masaki SEKI, Tohru NATORI, Chitoshi MIKI and Atushi ICHIKAWA

35 years has passed since the Japan's main stem line - Tokaido Shinkansen opened. Recently, a metal girder, which has been used since the opening of Tokaido Shinkansen, was removed due to the construction of a new station. We took this opportunity to carry out non-destructive inspection and destructive inspection in a factory in order to understand the production condition and any discrepancies between design and production. It made clear the quality level of initial metal material and welding together with the repair method for fatigue damage, which was applied afterwards. I believe that it doesn't only give us useful information for future maintenance, but also supplies precious information for discussing the durability of metal bridges.