

三島大橋 直轄診断報告書

目次



1. はじめに	1
2. 橋梁諸元と点検・補修経緯	1
(1) 橋梁諸元	1
(2) 点検・補修経緯	2
(3) 三島町による点検結果の概要	2
3. 直轄診断の実施内容	2
(1) 調査方法	2
(2) 高力ボルトの破断・脱落状況調査結果	3
(3) 高力ボルトの各種室内試験結果	19
4. 高力ボルトの現状評価と診断	28
(1) 部材毎のボルト損傷の推移	28
(2) 破断原因について	32
(3) 現状評価と今後の進行予測	32
(4) 高力ボルトに関する今後の対策（案）	35
5. 高力ボルトを除く部材の調査結果と診断	36
(1) 現地調査結果	36
(2) 各部材の現状評価	40
(3) 今後の進行予測	40
(4) 今後の対策（案）	40
6. 技術的助言	42
7. 現地調査資料(別冊)	

平成27年 1月
国土交通省

1. はじめに

三島町においては、昭和 62 年に高力ボルトの落下が発生してから平成 25 年までボルト損傷を中心とした点検調査を行い、損傷ボルトの交換も実施されてきたところであるが、損傷が現在も継続的に発生している状況である。

今回の直轄診断では、橋梁点検車や高所作業車などを活用し、診断に必要な情報を得るために橋梁工学の専門家を含む技術者による詳細な現地調査と、町より提供された完成図や設計資料等の分析、また高力ボルト自体の強度試験・成分調査等を実施した。

本橋の現状評価および今後の対策方法に関して、技術的観点から以下のとおり報告する。



写真 2-(1)-1 右側面全景 (左が A1)

2. 橋梁諸元と点検・補修経緯

(1) 橋梁諸元

- ・対象橋梁名 : 三島大橋【ミシマオオハシ】
- ・橋梁形式 : 鋼アーチ橋 (トラスドランガー橋)
- ・橋長 : L=131.0m
- ・全幅員 : W=8.0m (有効幅員 : w=7.0m)
- ・竣工年 : 昭和 50 年
- ・径間数 : 1 径間
- ・交差物件 : 只見川
- ・活荷重・等級 : 2 等橋
- ・適用示方書 : 道路橋示方書 (昭和 47 年)
- ・道路管理者 : 三島町

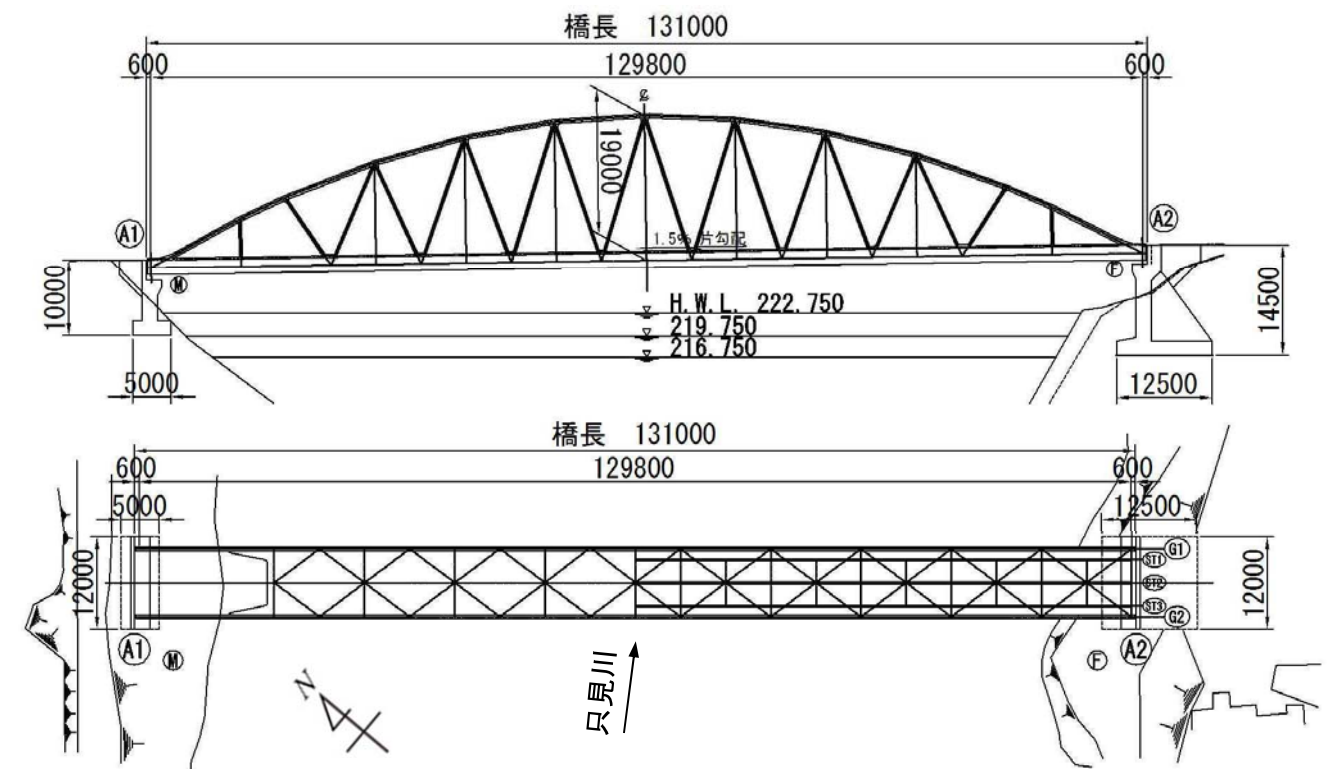
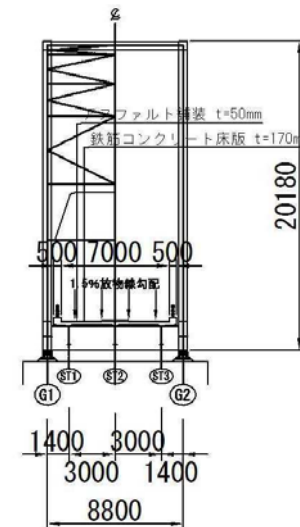


図 2-(1)-1 橋梁一般図

(2) 点検・補修経緯

表 2-(2)-1 点検・補修の経緯

年度	工事・調査内容	ボルト損傷本数【累計】	全ボルトに対する損傷率	ボルト交換済本数【累計】	備考
昭和 50 年度	竣工	—	—	—	—
昭和 59 年度	塗装工事	—	—	—	—
昭和 62 年度	点検調査	18	0.09%	18	橋全体
平成 7 年度	塗装工事	—	—	—	—
	点検調査	76	0.39%	76	橋全体
平成 10 年度	点検調査	98	0.50%	98	上面のみ
平成 12 年度	点検調査	106	—	104	上面のみ
平成 17 年度	点検調査	143	0.73%	138	上面のみ
平成 18 年度	点検調査	149	—	145	上面のみ
平成 19 年度	点検調査	163	0.84%	145	橋全体
平成 25 年度	点検調査	183	0.94%	145	橋全体

※全ボルト本数 : 19,468 本

※点検調査は、年度毎に調査対象範囲が異なる。

※備考欄の上面のみとは、アーチリブ、斜材、橋門構、上横構、補剛桁を指す。

(3) 三島町による点検結果の概要

- ・昭和 62 年を最初に、平成 7 年、10 年、12 年、17 年に高力ボルトの落下が発生。
- ・平成 18 年、19 年にも点検を実施。平成 25 年には近接目視・たたき点検を実施。
- ・これまでに 183 本の損傷を確認。その都度ボルト交換を実施（F10T に交換。H17,18 は S10T に交換）
- ・平成 25 年の点検結果を受け、添接部に使用されている F11T は遅れ破壊の恐れがあるため、S10T に全交換必要と診断した。また、交換する場合の応力度を照査し、S10T でも全箇所許容値を満足することを確認した。

3. 直轄診断の実施内容

- ・ボルトの破断・脱落状況調査
高力ボルトの破断・脱落状況及び交換状況について、現地における近接目視・たたき点検による調査と、町所有の資料の分析を実施した。
- ・ボルトの破断原因の把握
破断原因を把握するため、破断ボルトの破断位置（ねじ部など）の確認と破面観察・ボルト自体の強度や成分調査等の室内試験を実施した。
- ・現状評価と今後の進行予測
ボルト脱落状況・推移を現地調査及び過年度資料等から整理し、継手単位毎の応力照査による現状評価と今後の進行予測を行い、時間的及び位置的な破断リスクの把握を実施した。
- ・ボルトの損傷対策に関する提案
ボルトの現状評価を踏まえ、ボルト交換方法と交換時に配慮すべき事項を提案する。

なお、ボルトを除く橋全体についてもボルト破断の影響が懸念されるため、現地調査を行い、部材毎に診断を実施した。

表 3-1 調査内容・調査実施日

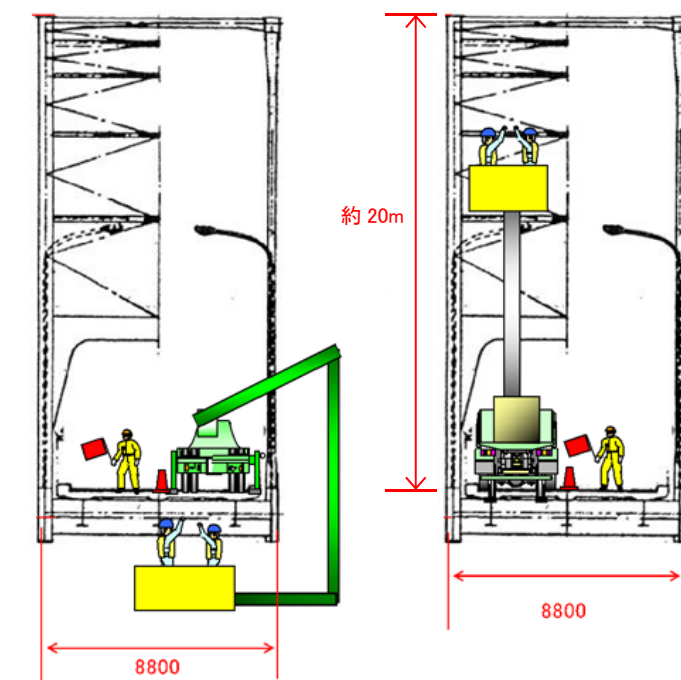
調査内容	調査実施日
①高力ボルトの破断・脱落状況調査	平成 26 年 9 月 29 日 平成 26 年 10 月 20 日～24 日
②高力ボルトの各種室内試験	平成 26 年 10 月 30 日～12 月 8 日
③高力ボルトを除く部材の現地調査	平成 26 年 10 月 20 日～24 日

(1) 調査方法

アーチ橋の主要部材であるアーチリブ、斜材、補剛桁の他、目視調査可能なものは、全て近接目視調査を実施した。

これらの中でも、特に損傷度合いが著しく健全性に影響を及ぼす高力ボルト（F11T）の破断・脱落に着目し、調査を行った。

なお、調査にあたっては、構造が複雑な橋梁（アーチ橋）であるため、橋面より下側は、アーチ部材(吊材)の間から点検車バケットを挿入するため橋梁点検車(BT200)を使用し、橋面より上側は、上弦材頂部まで路面から約 20m あることから、高所作業車(22m 級)を使用した。



点検模式図（桁下調査状況）
橋梁点検車（BT200）

点検模式図（桁上状況）
高所作業車（22m 級）

図 3-(1)-1 調査方法

「道路メンテナンス技術集団」 隊員

東北地方整備局 道路部 道路保全企画官 浜岡 正 (リーダー)

道路部 道路管理課 道路構造保全官 赤平 勝也

郡山国道事務所 事務所長 原田 吉信、副所長 舟山 義弘、

東北技術事務所 総括技術情報管理官 松前 好則、

維持管理技術課長 田村 正樹、維持管理技術第三係長 千葉 洋

国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室長 玉越 隆史

主任研究官 白戸 真大、研究官 横井 芳輝、併任職員 松岡 龍治、

併任職員 道長 光夫、併任職員 松藤 洋照

独立行政法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター

橋梁構造研究グループ 上席研究員 村越 潤、主任研究員 田中 良樹

(2) 高力ボルトの破断・脱落状況調査結果

現地調査の結果、ボルトの破断・脱落状況と、ボルトの回収状況は次のとおりである。

表 3-(2)-1 ボルトの破断・脱落本数 (H26.10.24現在)

	アーチリブ*	補剛桁	斜材 ※1	橋門構 ※2	上横構	横桁	縦桁	対傾構	下横溝	計
上流側	上フランジ	10	5	1	0	0	1	0	0	17
	ウェブ	25	3	1	2	0	0	0	0	31
	下フランジ	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	小計	35	8	2	2	0	1	0	0	49
下流側	上フランジ	1	1	2	0	0	2	3	0	9
	ウェブ	16	0	4	2	0	0	0	0	22
	下フランジ	2	0	1	0	0	0	0	0	3
	小計	19	1	7	2	0	2	3	0	37
センター ※3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
計	54	9	9	4	0	3	3	0	6	88

※1. 斜材の上フランジはアーチリブ側を、下フランジには補剛桁側を、ウェブは中間部を記載。

※2. 橋門構のボルト破断・脱落はA1側のみ。

※3. センターとは、縦桁（中桁）と下横構の連結部を指す。

表 3-(2)-2 ボルトの回収本数 (H26.9.29~H26.10.24)

	アーチリブ*	補剛桁	斜材 ※1	橋門構 ※2	上横構	横桁	縦桁	対傾構	下横溝	位置不明	計
上流側	上フランジ	7	2	1	0	0	0	0	0	—	10
	ウェブ	18	1	1	0	0	0	0	0	—	20
	下フランジ	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
	不明	14	0	0	0	0	0	0	0	—	14
	小計	39	3	2	0	0	0	0	0	—	44
下流側	上フランジ	1	0	1	0	0	0	0	0	—	2
	ウェブ	11	0	3	0	0	0	0	0	—	14
	下フランジ	2	0	1	0	0	0	0	0	—	3
	不明	8	0	0	0	0	0	0	0	—	8
	小計	22	0	5	0	0	0	0	0	—	27
センター ※3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	—	1
不明	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25	25
計	61	3	7	0	0	0	0	0	1	25	97

※1. 斜材の上フランジはアーチリブ側を、下フランジには補剛桁側を、ウェブは中間部を記載。

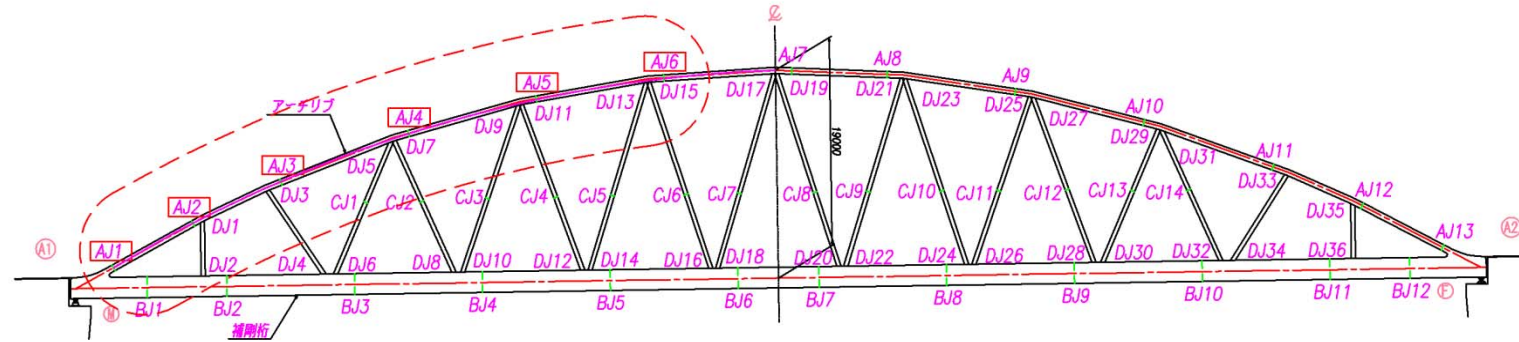
※2. 橋門構のボルト破断・脱落はA1側のみ。

※3. センターとは、縦桁（中桁）と下横構の連結部を指す。

なお、高力ボルトの破断・脱落、また回収したボルトの位置及び写真を次ページ以降に示す。

【調査日：平成26年10月20日～24日】

アーチリブ（上流側）
A1～支間中央区間



凡例

- ◎ ボルト脱落(残あり)
- ボルト脱落(完全脱落)
- S10Tに交換
- F10Tに交換

アーチリブ（上） AJ1
左ウェブ 全40本中 0本脱落 1本取替済み
右ウェブ
上フランジ
下フランジ
AJ1 合計 168本中 0本脱落 1本取替済み

アーチリブ（上） AJ2
左ウェブ 全40本中 0本脱落 5本取替済み
右ウェブ
上フランジ 全48本中 6本脱落 0本取替済み
下フランジ
AJ2 合計 168本中 6本脱落 5本取替済み

アーチリブ（上） AJ3
左ウェブ
右ウェブ 全40本中 3本脱落 2本取替済み
上フランジ
下フランジ 全40本中 0本脱落 2本取替済み
AJ3 合計 168本中 3本脱落 4本取替済み

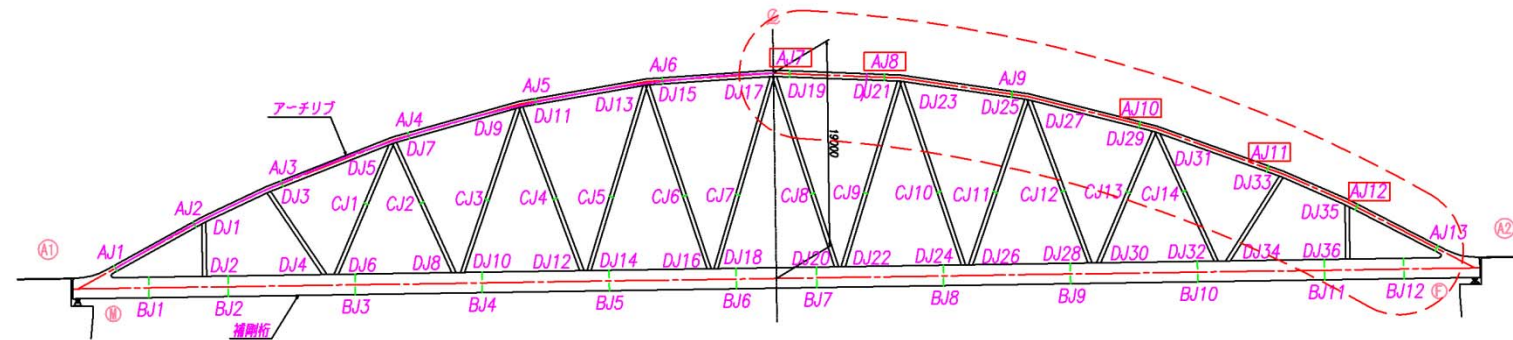
アーチリブ（上） AJ4
左ウェブ 全40本中 0本脱落 3本取替済み
右ウェブ 全40本中 1本脱落 0本取替済み
上フランジ
下フランジ 全40本中 0本脱落 1本取替済み
AJ4 合計 168本中 1本脱落 4本取替済み

アーチリブ（上） AJ5
左ウェブ 全40本中 5本脱落 3本取替済み
右ウェブ 全40本中 6本脱落 0本取替済み
上フランジ
下フランジ
AJ5 合計 168本中 11本脱落 3本取替済み

アーチリブ（上） AJ6
左ウェブ
右ウェブ 全40本中 1本脱落 1本取替済み
上フランジ 全48本中 0本脱落 1本取替済み
下フランジ
AJ6 合計 168本中 1本脱落 2本取替済み

【調査日：平成26年10月20日～24日】

アーチリブ（上流側）
支間中央～A2区間



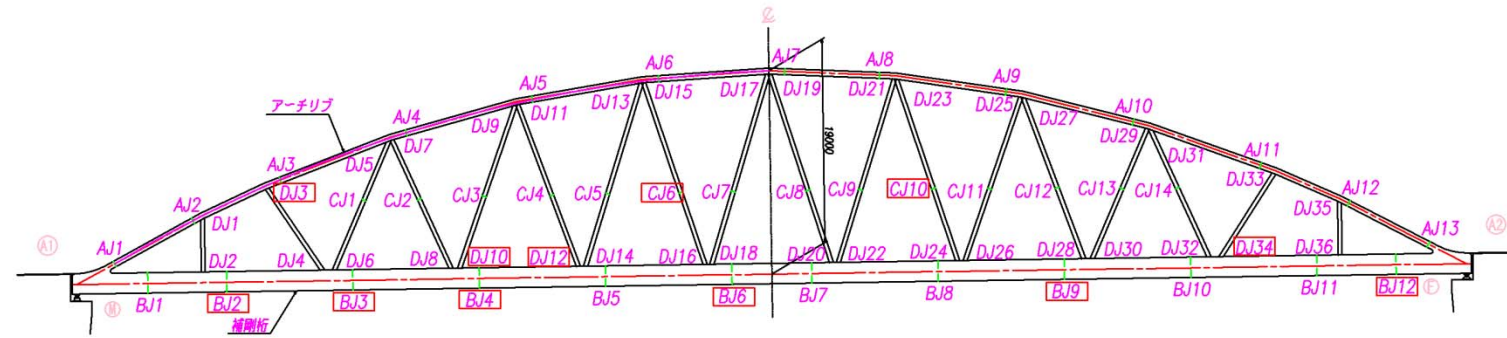
凡例

- ボルト脱落(残あり)
- ボルト脱落(完全脱落)
- S10Tiに交換
- F10Tiに交換

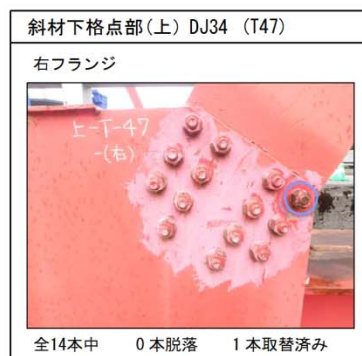
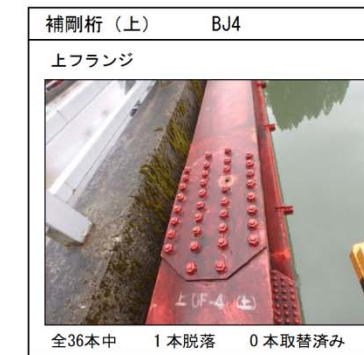
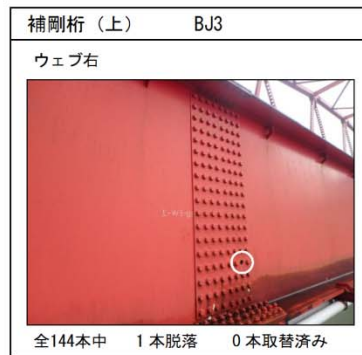
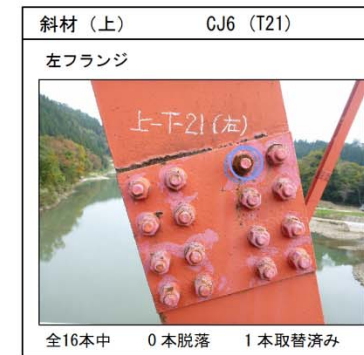
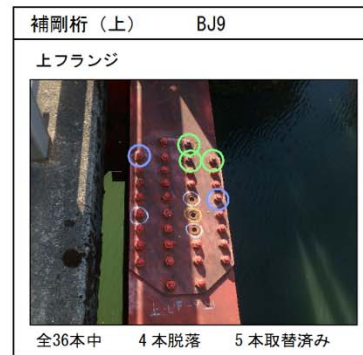
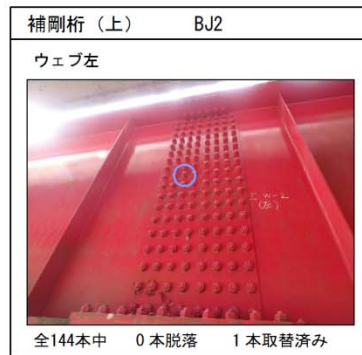
アーチリブ（上） AJ7	アーチリブ（上） AJ8	アーチリブ（上） AJ10	アーチリブ（上） AJ11	アーチリブ（上） AJ12
<p>左ウェブ</p> <p>全40本中 0本脱落 3本取替済み</p>	<p>左ウェブ</p> <p>全40本中 6本脱落 4本取替済み</p>	<p>左ウェブ</p> <p>全40本中 0本脱落 3本取替済み</p>	<p>左ウェブ</p>	<p>左ウェブ</p>
<p>右ウェブ</p> <p>全40本中 1本脱落 1本取替済み</p>	<p>右ウェブ</p> <p>全40本中 1本脱落 2本取替済み</p>	<p>右ウェブ</p>	<p>右ウェブ</p> <p>全40本中 1本脱落 2本取替済み</p>	<p>右ウェブ</p>
<p>上フランジ</p> <p>全48本中 1本脱落 0本取替済み</p>	<p>上フランジ</p>	<p>上フランジ</p> <p>全48本中 1本脱落 0本取替済み</p>	<p>上フランジ</p>	<p>上フランジ</p> <p>全48本中 2本脱落 2本取替済み</p>
<p>下フランジ</p>	<p>下フランジ</p> <p>全40本中 0本脱落 1本取替済み</p>	<p>下フランジ</p>	<p>下フランジ</p>	<p>下フランジ</p>
<p>AJ7 合計 168本中 2本脱落 4本取替済み</p>	<p>AJ8 合計 168本中 7本脱落 7本取替済み</p>	<p>AJ10合計 168本中 1本脱落 3本取替済み</p>	<p>AJ11合計 168本中 1本脱落 2本取替済み</p>	<p>AJ12合計 168本中 2本脱落 2本取替済み</p>

【調査日：平成26年10月20日～24日】

補剛桁・斜材（上流側）

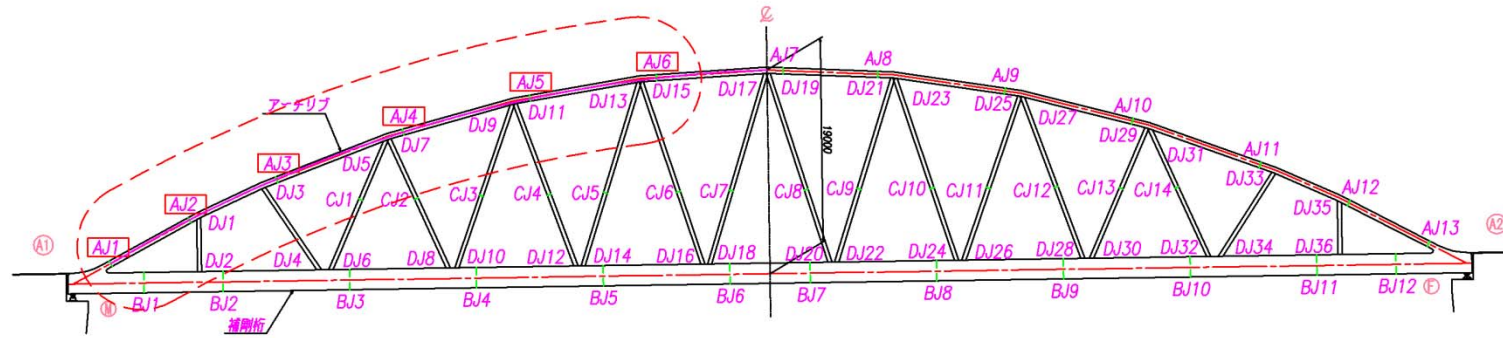


- 凡例
- ボルト脱落(残あり)
 - ボルト脱落(完全脱落)
 - S10Tiに交換
 - F10Tiに交換



【調査日：平成26年10月20日～24日】

アーチリブ（下流側）
A1～支間中央区間



- 凡例
- ◎ ボルト脱落(残あり)
 - ボルト脱落(完全脱落)
 - S10Tiに交換
 - F10Tiに交換

アーチリブ（下） AJ1 左ウェブ	左ウェブ	右ウェブ	全40本中 4本脱落 1本取替済み
右ウェブ	上フランジ	上フランジ	全48本中 1本脱落 1本取替済み
下フランジ	下フランジ	下フランジ	全40本中 1本脱落 0本取替済み
AJ1 合計 168本中 6本脱落 2本取替済み			

アーチリブ（下） AJ2 左ウェブ	左ウェブ	右ウェブ	全40本中 0本脱落 0本取替済み
右ウェブ	上フランジ	上フランジ	全48本中 0本脱落 1本取替済み
下フランジ	下フランジ	下フランジ	全40本中 0本脱落 0本取替済み
AJ2 合計 168本中 0本脱落 1本取替済み			

アーチリブ（下） AJ3 左ウェブ	左ウェブ	右ウェブ	全40本中 1本脱落 0本取替済み
右ウェブ	上フランジ	上フランジ	全48本中 3本脱落 4本取替済み
下フランジ	下フランジ	下フランジ	全40本中 0本脱落 0本取替済み
AJ3 合計 168本中 4本脱落 4本取替済み			

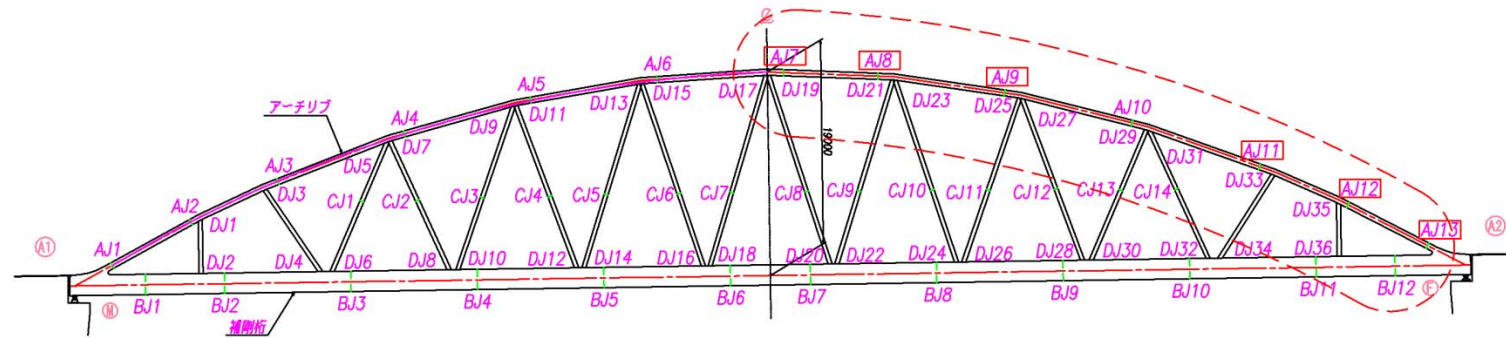
アーチリブ（下） AJ4 左ウェブ	左ウェブ	右ウェブ	全40本中 1本脱落 0本取替済み
右ウェブ	上フランジ	上フランジ	全48本中 0本脱落 2本取替済み
下フランジ	下フランジ	下フランジ	全40本中 0本脱落 1本取替済み
AJ4 合計 168本中 1本脱落 3本取替済み			

アーチリブ（下） AJ5 左ウェブ	左ウェブ	右ウェブ	全40本中 0本脱落 1本取替済み
右ウェブ	上フランジ	上フランジ	全48本中 0本脱落 0本取替済み
下フランジ	下フランジ	下フランジ	全40本中 0本脱落 1本取替済み
AJ5 合計 168本中 0本脱落 2本取替済み			

アーチリブ（下） AJ6 左ウェブ	左ウェブ	右ウェブ	全40本中 1本脱落 1本取替済み
右ウェブ	上フランジ	上フランジ	全48本中 0本脱落 2本取替済み
下フランジ	下フランジ	下フランジ	全40本中 1本脱落 0本取替済み
AJ6 合計 168本中 2本脱落 3本取替済み			

【調査日：平成26年10月20日～24日】

アーチリブ（下流側）
支間中央～A2区間



- 凡例
- ボルト脱落(残あり)
 - ボルト脱落(完全脱落)
 - S10Tiに交換
 - F10Tiに交換

アーチリブ（下） AJ7
左ウェブ 全40本中 2本脱落 3本取替済み
右ウェブ [Diagonal line]
上フランジ [Diagonal line]
下フランジ 全40本中 0本脱落 2本取替済み
AJ7 合計 168本中 2本脱落 5本取替済み

アーチリブ（下） AJ8
左ウェブ [Diagonal line]
右ウェブ 全40本中 0本脱落 1本取替済み
上フランジ [Diagonal line]
下フランジ 全40本中 0本脱落 2本取替済み
AJ8 合計 168本中 0本脱落 3本取替済み

アーチリブ（下） AJ9
左ウェブ [Diagonal line]
右ウェブ 全40本中 0本脱落 1本取替済み
上フランジ [Diagonal line]
下フランジ [Diagonal line]
AJ9 合計 168本中 0本脱落 1本取替済み

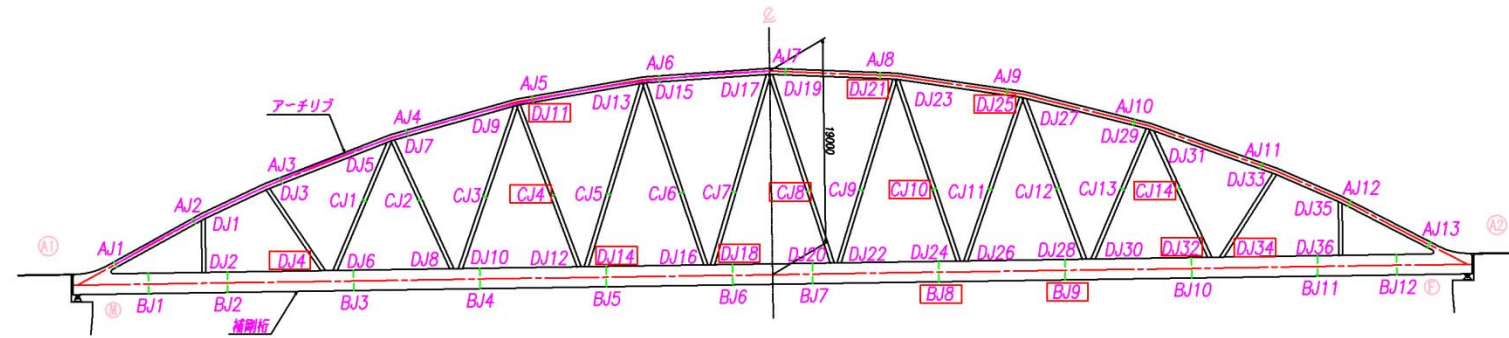
アーチリブ（下） AJ11
左ウェブ 全40本中 4本脱落 1本取替済み
右ウェブ [Diagonal line]
上フランジ [Diagonal line]
下フランジ [Diagonal line]
AJ11 合計 168本中 4本脱落 1本取替済み

アーチリブ（下） AJ12
左ウェブ [Diagonal line]
右ウェブ [Diagonal line]
上フランジ 全48本中 0本脱落 5本取替済み
下フランジ [Diagonal line]
AJ12 合計 168本中 0本脱落 5本取替済み

アーチリブ（下） AJ13
左ウェブ 全40本中 0本脱落 1本取替済み
右ウェブ [Diagonal line]
上フランジ 全48本中 0本脱落 1本取替済み
下フランジ [Diagonal line]
AJ13 合計 168本中 0本脱落 2本取替済み

【調査日：平成26年10月20日～24日】

補剛桁・斜材（下流側）



凡例

- ボルト脱落(残あり)
- ボルト脱落(完全脱落)
- S10Tiに交換
- F10Tiに交換

補剛桁(下) BJ8



全72本中 0本脱落 1本取替済み

下フランジ左



全24本中 0本脱落 1本取替済み

下フランジ右



全24本中 0本脱落 1本取替済み

補剛桁(下) BJ9



全36本中 1本脱落 2本取替済み

斜材上格点部(下) DJ11 (T14)



全14本中 0本脱落 1本取替済み

斜材上格点部(下) DJ21 (T31)



全14本中 1本脱落 0本取替済み

斜材上格点部(下) DJ25 (T37)



全14本中 1本脱落 0本取替済み

斜材下格点部(下) DJ14 (T17)



全14本中 0本脱落 1本取替済み

斜材(下) CJ4 (T15)



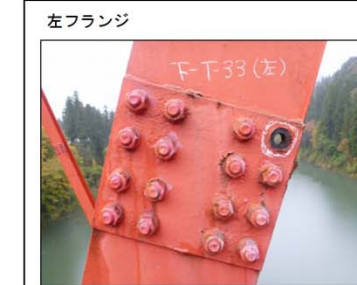
全16本中 1本脱落 0本取替済み

斜材(下) CJ8 (T27)



全16本中 2本脱落 0本取替済み

斜材(下) CJ10 (T33)



全16本中 1本脱落 0本取替済み

斜材(下) CJ14 (T45)



全16本中 0本脱落 1本取替済み

右フランジ



全14本中 0本脱落 2本取替済み

斜材下格点部(下) DJ4 (T4)



全14本中 1本脱落 1本取替済み

斜材下格点部(下) DJ18 (T23)



全14本中 0本脱落 1本取替済み

斜材下格点部(下) DJ32 (T46)



全14本中 0本脱落 1本取替済み

斜材下格点部(下) DJ34 (T47)



全14本中 0本脱落 1本取替済み

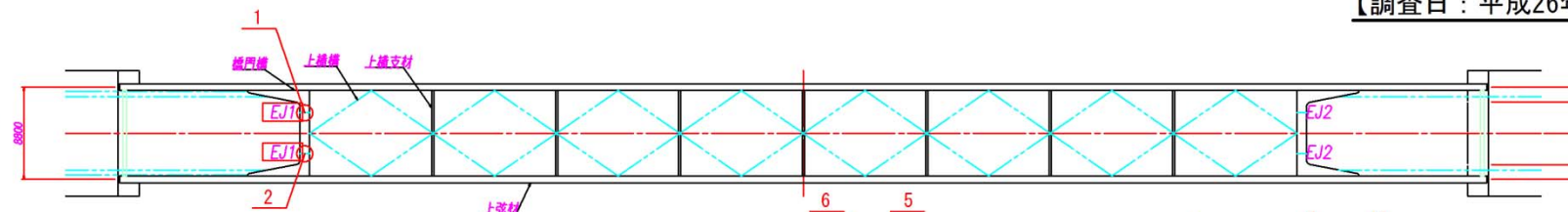
【調査日：平成26年10月20日～24日】

橋門構・縦桁・横桁・下横構

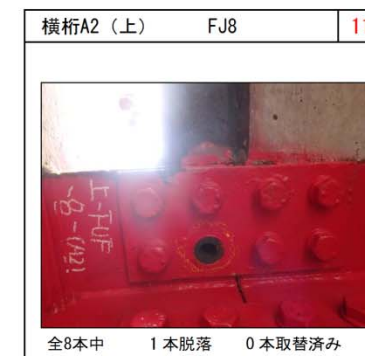
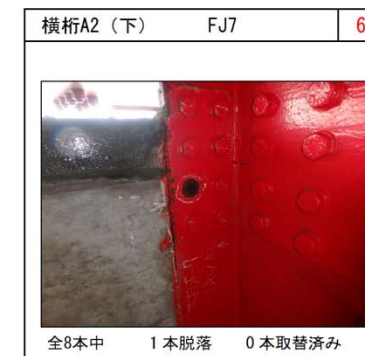
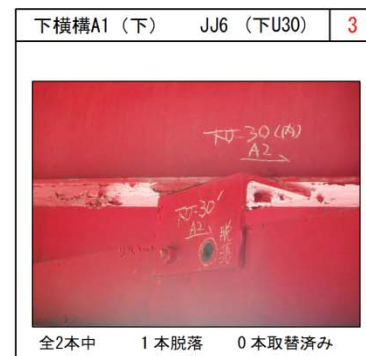
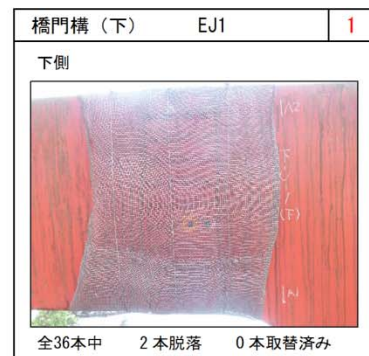
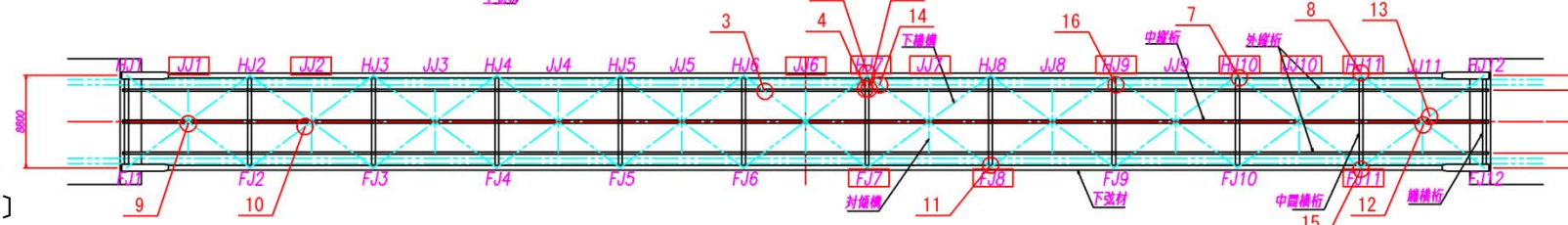
凡例

- ◎ ボルト脱落(残あり)
- ボルト脱落(完全脱落)
- S10Tに交換
- F10Tに交換

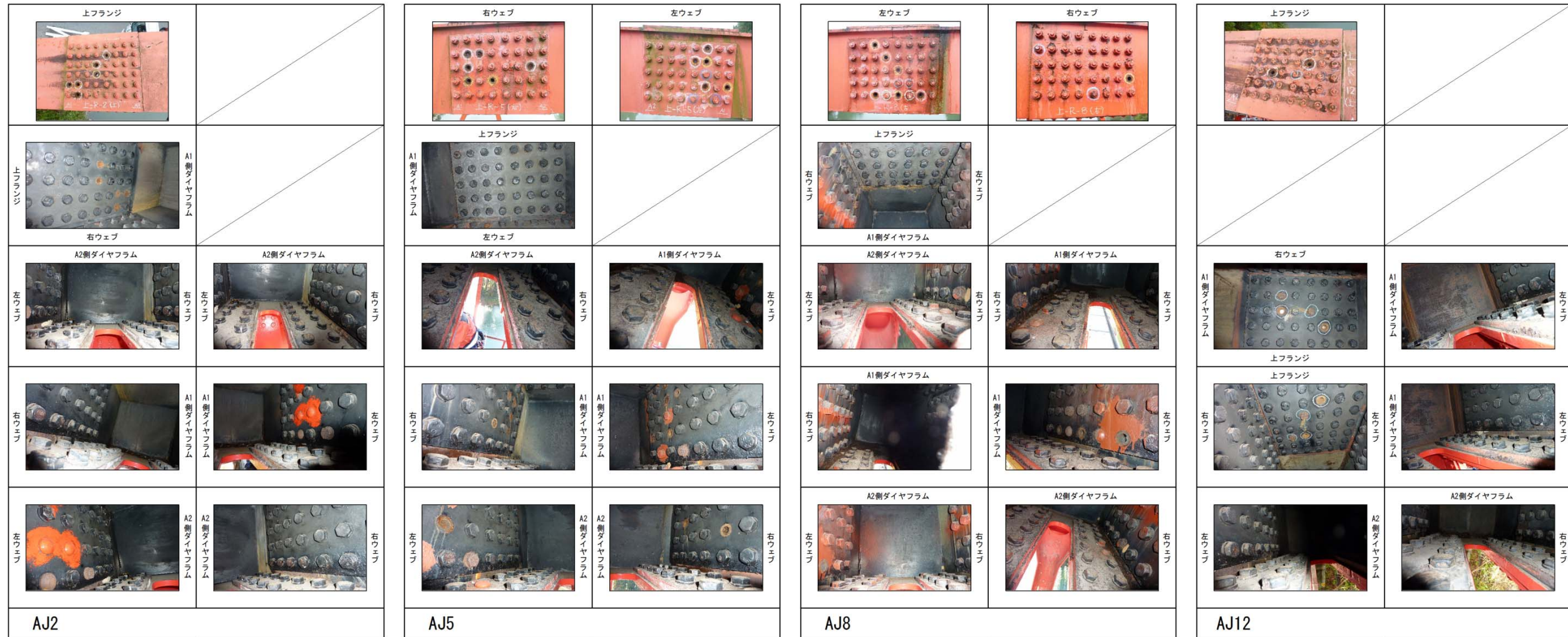
平面図 S=1:300
(上面)
[橋門構]



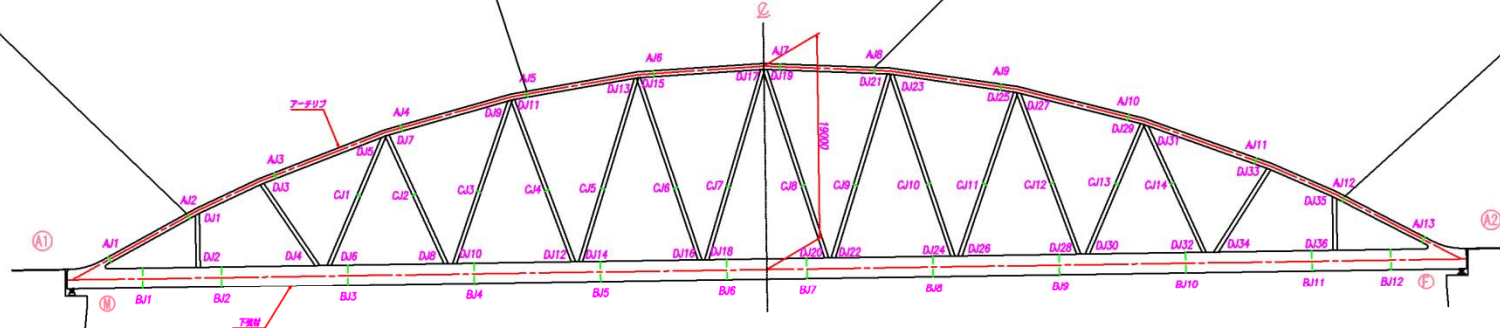
平面図 S=1:300
(下面)
[縦桁・横桁・下横構]



アーチリブ箱内写真位置図（上流側）



側面図 S=1:300
(上流側)



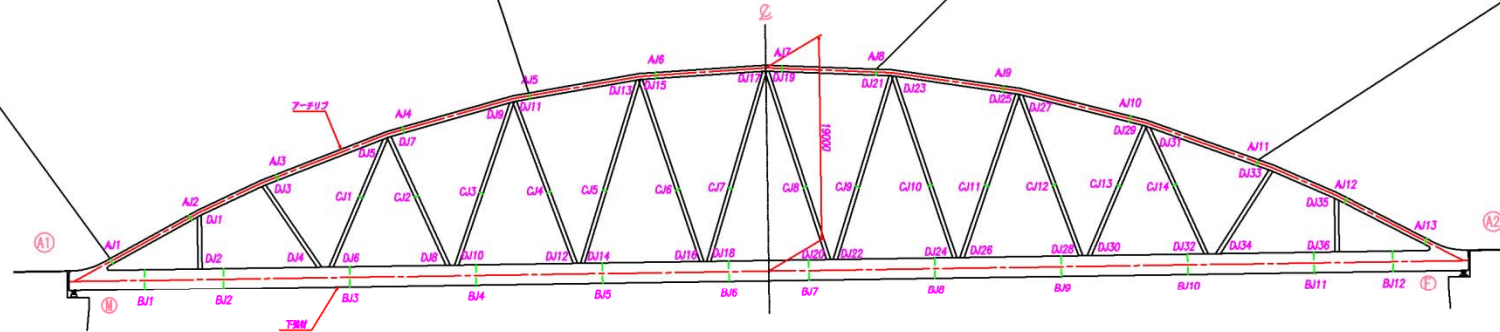
平成	年度	工事番号	策	号
大沼郡三島町大字宮下乙田地内				
アーチリブ箱内写真位置図（上流側）				
縮尺	図示	図面	番号	
測量		主任	技術者	
設計		管理	技術者	

(調査日 2014.11.17)

アーチリブ箱内写真位置図（下流側）



側面図 S=1:300 (下流側)




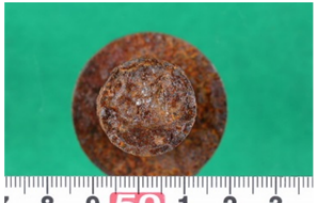

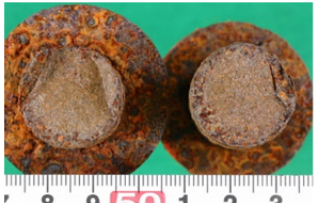




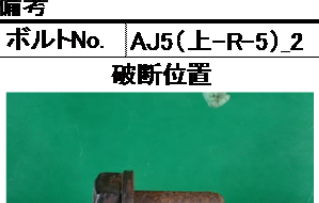

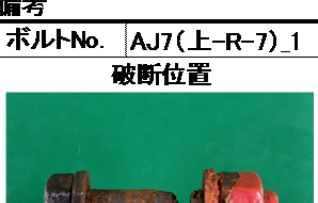

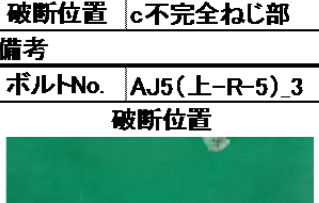
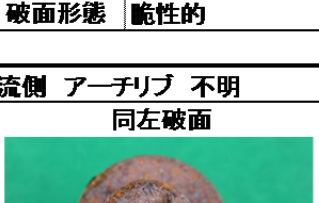
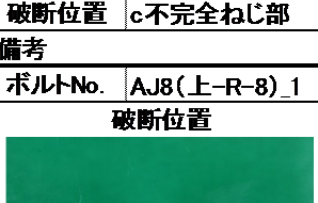

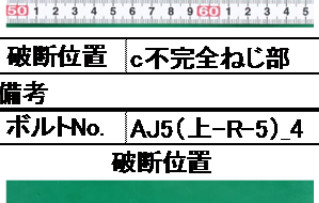
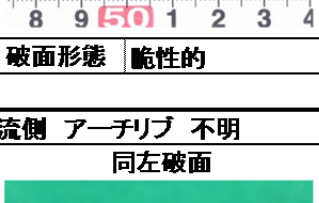
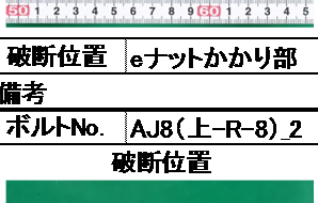
平成	年度	工事番号	第	号
大沼郡三島町大字宮下字乙田地内				
アーチリブ箱内写真位置図（下流側）				
縮尺	図示	図面番号		
測量		主任	技術者	
設計		管理	技術者	

(調査日 2014. 11. 17)


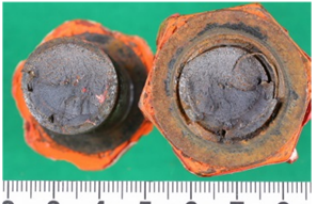

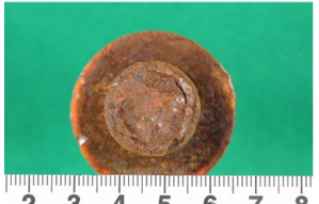




























平成 26 年 10 月 20～24 日の調査時に回収した破断ボルトの状況写真 (1) ……上流側アーチリブ (その 1)

ボルトNo. AJ2(上-R-2)_1 上流側 アーチリブ 上フランジ	ボルトNo. AJ2(上-R-2)_2 上流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ3(上-R-3)_2 上流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ5(上-R-5)_2 上流側 アーチリブ 左ウェブ
破断位置 	破断位置 	破断位置 	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面 	同左破面 
破断位置 a首下	破断位置 dねじ部	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 c不完全ねじ部
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的
備考	備考	備考	備考
ボルトNo. AJ2(上-R-2)_2 上流側 アーチリブ 上フランジ	ボルトNo. AJ3(上-R-3)_1 上流側 アーチリブ 右ウェブ	ボルトNo. AJ3(上-R-3)_3 上流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ5(上-R-5)_3 上流側 アーチリブ 左ウェブ
破断位置 	破断位置 	破断位置 	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面 	同左破面 
破断位置 a首下	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 未破断	破断位置 c不完全ねじ部
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 未破断	破面形態 脆性的
備考	備考	備考 腐食(ナットなし)	備考
ボルトNo. AJ2(上-R-2)_3 上流側 アーチリブ 上フランジ	ボルトNo. AJ3(上-R-3)_2 上流側 アーチリブ 右ウェブ	ボルトNo. AJ4(上-R-4)_1 上流側 アーチリブ 右ウェブ	ボルトNo. AJ5(上-R-5)_4 上流側 アーチリブ 左ウェブ
破断位置 	破断位置 	破断位置 	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面 	同左破面 
破断位置 a首下	破断位置 dねじ部	破断位置 cねじ部	破断位置 b軸
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的
備考	備考	備考	備考
ボルトNo. AJ2(上-R-2)_4 上流側 アーチリブ 上フランジ	ボルトNo. AJ3(上-R-3)_3 上流側 アーチリブ 右ウェブ	ボルトNo. AJ4(上-R-4)_1 上流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ5(上-R-5)_1 上流側 アーチリブ 右ウェブ
破断位置 	破断位置 	破断位置 	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面 	同左破面 
破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 b軸	破断位置 c不完全ねじ部
破面形態 脆性的	破面形態	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的
備考	備考	備考	備考
ボルトNo. AJ2(上-R-2)_1 上流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ3(上-R-3)_1 上流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ5(上-R-5)_1 上流側 アーチリブ 左ウェブ	ボルトNo. AJ5(上-R-5)_2 上流側 アーチリブ 右ウェブ
破断位置 	破断位置 	破断位置 	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面 	同左破面 
破断位置 dねじ部	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 c不完全ねじ部
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的
備考	備考	備考	備考



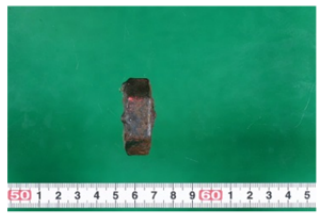



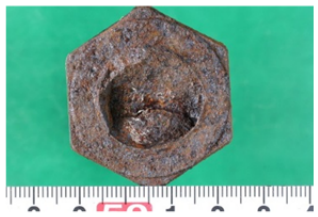





















平成 26 年 10 月 20～24 日の調査時に回収した破断ボルトの状況写真（2）……上流側アーチリブ（その2）

ボルトNo. AJ5(上-R-5)_3 上流側 アーチリブ 右ウェブ 破断位置  破断位置 dねじ部 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ6(上-R-6)_1 上流側 アーチリブ 右ウェブ 破断位置  破断位置 b軸 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ8(上-R-8)_3 上流側 アーチリブ 左ウェブ 破断位置  破断位置 a首下 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ10(上-R-10)_3 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 c不完全ねじ部 破面形態 脆性的 備考
ボルトNo. AJ5(上-R-5)_1 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 b軸 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ7(上-R-7)_1 上流側 アーチリブ 上フランジ 破断位置  破断位置 b軸 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ8(上-R-8)_4 上流側 アーチリブ 左ウェブ 破断位置  破断位置 c不完全ねじ部 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ11(上-R-11)_1 上流側 アーチリブ 右ウェブ 破断位置  破断位置 c不完全ねじ部 破面形態 脆性的 備考 起点c→d
ボルトNo. AJ5(上-R-5)_2 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 c不完全ねじ部 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ7(上-R-7)_1 上流側 アーチリブ 右ウェブ 破断位置  破断位置 c不完全ねじ部 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ9(上-R-9)_1 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 未破断 破面形態 未破断 備考 腐食(ナットなし)	ボルトNo. AJ12(上-R-12)_1 上流側 アーチリブ 上フランジ 破断位置  破断位置 a首下 破面形態 脆性的 備考
ボルトNo. AJ5(上-R-5)_3 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 c不完全ねじ部 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ8(上-R-8)_1 上流側 アーチリブ 左ウェブ 破断位置  破断位置 eナットかかり部 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ10(上-R-10)_1 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 b軸 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ12(上-R-12)_2 上流側 アーチリブ 上フランジ 破断位置  破断位置 a首下 破面形態 脆性的 備考
ボルトNo. AJ5(上-R-5)_4 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 未破断 破面形態 未破断 備考 腐食(ナットなし) ねじ山潰れ	ボルトNo. AJ8(上-R-8)_2 上流側 アーチリブ 左ウェブ 破断位置  破断位置 c不完全ねじ部 破面形態 脆性的 備考	ボルトNo. AJ10(上-R-10)_2 上流側 アーチリブ 不明 破断位置  破断位置 b軸 破面形態 脆性的 備考	破断位置 同左破面 破断位置 破面形態



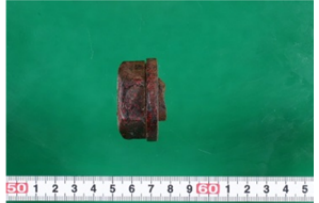















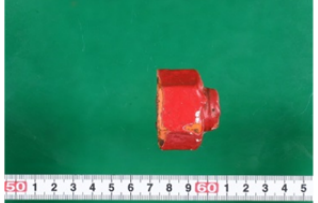

平成 26 年 10 月 20～24 日の調査時に回収した破断ボルトの状況写真（3）……上流側斜材、上流側補剛桁、下流側アーチリブ（その1）

ボルトNo. DJ3(上-T-3)_1 上流側 斜材 左フランジ	破断位置 	同左破面 	破断位置 	同左破面 	ボルトNo. AJ1(下-R-1)_1 下流側 アーチリブ 上フランジ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo. AJ3(下-R-3)_1 下流側 アーチリブ 左ウェブ	破断位置 	同左破面 	
破断位置 eナットかかり部	破面形態 脆性的	備考	破断位置 dねじ部	破面形態 脆性的	備考	破断位置 a首下	破面形態 脆性的	備考	破断位置 eナットかかり部	破面形態 脆性的	
ボルトNo. CJ10(上-T-33)_1 上流側 斜材 右フランジ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo.	破断位置	同左破面	ボルトNo. AJ1(下-R-1)_1 下流側 アーチリブ 下フランジ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo. AJ3(下-R-3)_1 下流側 アーチリブ 右ウェブ	破断位置 	同左破面 
破断位置 eナットかかり部	破面形態 脆性的	備考	破断位置	破面形態	備考	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的	備考 ねじ部破断(ナットなし)	破断位置 b軸	破面形態 脆性的	
ボルトNo. JJ11(上-CU-11)_1 上流側 クロス縦桁 右	破断位置 	同左破面 	ボルトNo.	破断位置	同左破面	ボルトNo. AJ1(下-R-1)_1 下流側 アーチリブ 右ウェブ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo. AJ3(下-R-3)_2 下流側 アーチリブ 右ウェブ	破断位置 	同左破面 
破断位置 eナットかかり部	破面形態 脆性的	備考	破断位置	破面形態	備考	破断位置 c不完全ねじ部	破面形態 脆性的	備考	破断位置 c不完全ねじ部	破面形態 脆性的	
ボルトNo. BJ9(上-UF-9)_1 上流側 補剛桁 上フランジ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo.	破断位置	同左破面	ボルトNo. AJ1(下-R-1)_2 下流側 アーチリブ 右ウェブ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo. AJ4(下-R-4)_1 下流側 アーチリブ 右ウェブ	破断位置 	同左破面 
破断位置 c不完全ねじ部	破面形態 脆性的	備考	破断位置	破面形態	備考	破断位置 dねじ部	破面形態 脆性的	備考	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的	
ボルトNo. BJ4(上-UF-4)_1 上流側 補剛桁 上フランジ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo.	破断位置	同左破面	ボルトNo. AJ1(下-R-1)_3 下流側 アーチリブ 右ウェブ	破断位置 	同左破面 	ボルトNo. AJ4(下-R-4)_1 下流側 アーチリブ 不明	破断位置 	同左破面 
破断位置 c不完全ねじ部	破面形態 脆性的	備考	破断位置	破面形態	備考	破断位置 fナット内部	破面形態 脆性的	備考	破断位置 c不完全ねじ部	破面形態 脆性的	

平成 26 年 10 月 20～24 日の調査時に回収した破断ボルトの状況写真（４）……下流側アーチリブ（その２）、下流側斜材

ボルトNo. AJ4(下-R-4)_2 下流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ9(下-R-9)_1 下流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ12(下-R-12)_3 下流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. DJ4(下-T-4)_1 下流側 斜材 不明
破断位置 	破断位置 	破断位置 	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面 	同左破面 
破断位置 dねじ部	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 a首下	破断位置 分類不可
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的
備考	備考	備考	備考 ねじ部破断(ナットなし)
ボルトNo. AJ4(下-R-4)_3 下流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. AJ11(下-R-11)_1 下流側 アーチリブ 左ウェブ	ボルトNo. AJ12(下-R-12)_4 下流側 アーチリブ 不明	ボルトNo. CJ4(下-T-15)_1 下流側 斜材 左フランジ
破断位置 	破断位置 	破断位置 	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面 	同左破面 
破断位置 dねじ部	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 a首下	破断位置 dねじ部
破面形態 延性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態 脆性的
備考 ねじ部伸び破断 腐食大	備考	備考	備考
ボルトNo. AJ6(下-R-6)_1 下流側 アーチリブ 下フランジ	ボルトNo. AJ11(下-R-11)_2 下流側 アーチリブ 左ウェブ	ボルトNo.	ボルトNo. CJ8(下-T-27)_1 下流側 斜材 左フランジ
破断位置 	破断位置 	破断位置	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面	同左破面 
破断位置 c不完全ねじ部	破断位置 分類不可	破断位置	破断位置 fナット内部
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態	破面形態 脆性的
備考	備考 ねじ部破断(ナットなし)	備考	備考
ボルトNo. AJ7(下-R-7)_1 下流側 アーチリブ 左ウェブ	ボルトNo. AJ12(下-R-12)_1 下流側 アーチリブ 不明	ボルトNo.	ボルトNo. CJ10(下-T-33)_1 下流側 斜材 左フランジ
破断位置 	破断位置 	破断位置	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面	同左破面 
破断位置 dねじ部	破断位置 c不完全ねじ部	破断位置	破断位置 eナットかかり部
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態	破面形態 脆性的
備考	備考	備考	備考
ボルトNo. AJ7(下-R-7)_2 下流側 アーチリブ 左ウェブ	ボルトNo. AJ12(下-R-12)_2 下流側 アーチリブ 不明	ボルトNo.	ボルトNo. DJ25(下-T-37)_1 下流側 斜材 左フランジ
破断位置 	破断位置 	破断位置	破断位置 
同左破面 	同左破面 	同左破面	同左破面 
破断位置 分類不可	破断位置 dねじ部	破断位置	破断位置 eナットかかり部
破面形態 脆性的	破面形態 脆性的	破面形態	破面形態 脆性的
備考 軸部破断(頭なし)	備考	備考	備考

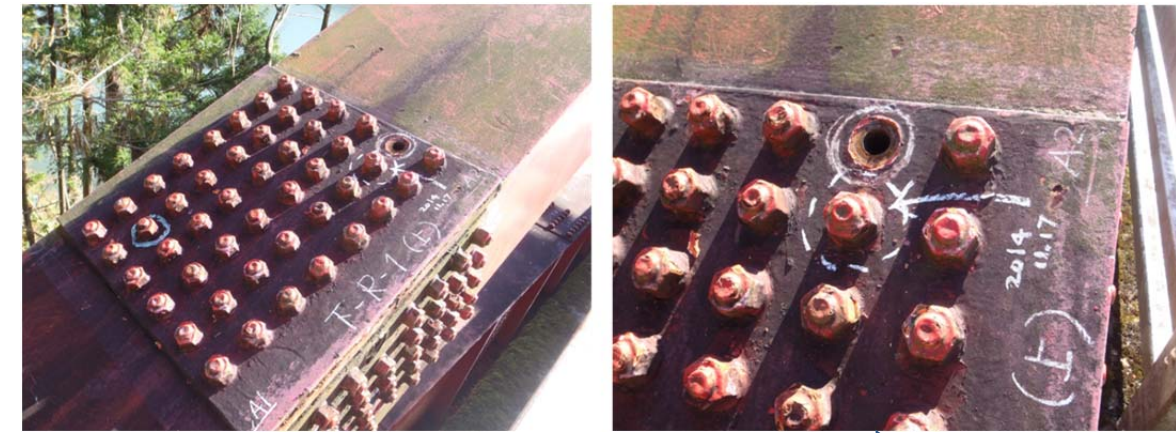
平成 26 年 10 月 20～24 日の調査時に回収した破断ボルトの状況写真（5）……一位置不明（その 1）

ボルトNo. 不明_1 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_6 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_11 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_16 破断位置 	同左破面 
破断位置 b軸	破面形態 脆性的	破断位置 dねじ部	破面形態 脆性的	破断位置 未破断	破面形態 未破断	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考		備考		備考 腐食(ナットなし)		備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)	
ボルトNo. 不明_2 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_7 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_12 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_17 破断位置 	同左破面 
破断位置 b軸	破面形態 脆性的	破断位置 c不完全ねじ部	破面形態 脆性的	破断位置 未破断	破面形態 未破断	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考		備考		備考 腐食(ナットなし)		備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)	
ボルトNo. 不明_3 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_8 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_13 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_18 破断位置 	同左破面 
破断位置 dねじ部	破面形態 脆性的	破断位置 未破断	破面形態 未破断	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考		備考 腐食(ナットなし)		備考 軸部破断(頭なし)		備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)	
ボルトNo. 不明_4 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_9 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_14 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_19 破断位置 	同左破面 
破断位置 c不完全ねじ部	破面形態	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考		備考 ねじ部破断(ナットなし)		備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)		備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)	
ボルトNo. 不明_5 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_10 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_15 破断位置 	同左破面 	ボルトNo. 不明_20 破断位置 	同左破面 
破断位置 dねじ部	破面形態 脆性的	破断位置 未破断	破面形態 未破断	破断位置 分類不可	破面形態 脆性的	破断位置 eナットかかり部	破面形態 脆性的
備考		備考 腐食(ナットなし)		備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)		備考	

平成 26 年 10 月 20～24 日の調査時に回収した破断ボルトの状況写真（6）……一位置不明（その 2）

ボルトNo. 不明 21	
破断位置	同左破面
	
破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)	
ボルトNo. 不明 22	
破断位置	同左破面
	
破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考 ねじ部破断(頭から軸までなし)	
ボルトNo. 不明 23	
破断位置	同左破面
	
破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考 軸部破断(頭なし)	
ボルトNo. 不明 24	
破断位置	同左破面
	
破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考 軸部破断(頭なし)	
ボルトNo. 不明 25	
破断位置	同左破面
	
破断位置 分類不可	破面形態 脆性的
備考 軸部破断(頭なし)	

【参考】 高力ボルトの調査完了日（H26/10/24）以降に確認された脱落



平成 26 年 11 月 17 日に追加調査を実施したが、下流側 J1 継手のトッププレートに、新たにボルトのゆるみ箇所が見られ、高力ボルトの損傷の進行が確認された。

(3) 高力ボルトの各種室内試験結果

F11T ボルトに発生している破損事象について、金属材料面からその性状を確認し、損傷原因を推定するため、ボルトの室内試験を行った。

以下に、各試験項目と試験結果を示す。

1) 試験項目及び試験結果

表 3-(3)-1 試験項目及び試験結果

試験項目	アウトプット	試験の目的	試験結果	使用ボルト本数
① 外観目視検査	外観写真 (破断位置・破断様相の記録分類)	ボルト破断位置の確認 破面形態の確認	多くのボルトが、首下及びねじ底の応力の集中し易い位置で破断。 多くのボルトは、変形を伴わない脆性的な様相を呈している。	102本 破断ボルト:97本 未破断ボルト:5本 (ボルト全数)
② SEM (走査型電子顕微鏡) による破面j状態の観察	破面写真	破面形状 (破壊形態) の確認	破面の上部は結晶粒界に沿った粒界割れによる脆性破壊を確認。下部では延性破壊 (ディンプル模様) を確認。	4本 破断ボルト:4本 (No. 1, 2, 3, 4)
③ 断面の損傷形態と金属組織観察 (光学顕微鏡)	断面マクロ、ミクロ写真	ボルト組織の偏析や異常等の確認	組織異常、組織偏析はない。	4本 破断ボルト:3本 (No. 1, 2, 3) 未破断ボルト:3本 (No. 8)
④ ボルトの強度確認 (引張試験及び断面の硬さ測定)	引張強度 ロックウェル硬さ (Cスケール)	ボルトの引張強度及び硬さの確認	ミルシートに記載された規格値内であることを確認。	6本 破断ボルト:3本 (No. 1, 2, 3) 未破断ボルト:3本 (No. 7, 8, 9)
⑤ ボルトの成分分析	化学成分の組成	金属成分の確認	ミルシートに記載された数値と同等の値であることを確認。	2本 破断ボルト:1本 (No. 5) 未破断ボルト:1本 (No. 10)
⑥ ボルトの水素含有量	水素量	水素含有量の確認	水素の含有 (2~3ppm) は認められるが、破断ボルトと未破断ボルトで有意な差はない。	2本 破断ボルト:1本 (No. 6) 未破断ボルト:1本 (No. 11)

表 3-(3)-2 ボルト試験に使用したボルト

ボルトNo.	ボルト採取位置		備考
破断ボルト	No. 1	アーチリブ L (下流側) 下-R-1-右の1	平坦な粗い破面で腐食が多い。
	No. 2	アーチリブ L (下流側) 下-R-1-右の3	平坦な粗い破面で腐食が少ない。
	No. 3	アーチリブ L (下流側) 下-R-4-残の3	全体が腐食。
	No. 4	アーチリブ R (上流側) 上-R-2-上の2	凹凸のある粗い破面で全域腐食。
	No. 5	アーチリブ R (上流側) 上-R-5-左の1	平坦な粗い破面 (脆性的) で腐食が激しい。
	No. 6	補剛桁 R (上流側) 上-W-4 (ウェブ)	平坦な粗い破面 (脆性的) で腐食が少ない。
未破断ボルト	No. 7	アーチリブ R (上流側) 上-R-9-左 (車道側)	<ul style="list-style-type: none"> 脱落が多い: アーチリブ、補剛桁 脱落が少ない: 下横構 脱落が無い: 対傾構
	No. 8	アーチリブ L (下流側) 下-R-10-右 (車道側)	
	No. 9	補剛桁 R (上流側) UF-7 (上フランジ)	
	No. 10	下横構ウェブ	
	No. 11	対傾構	

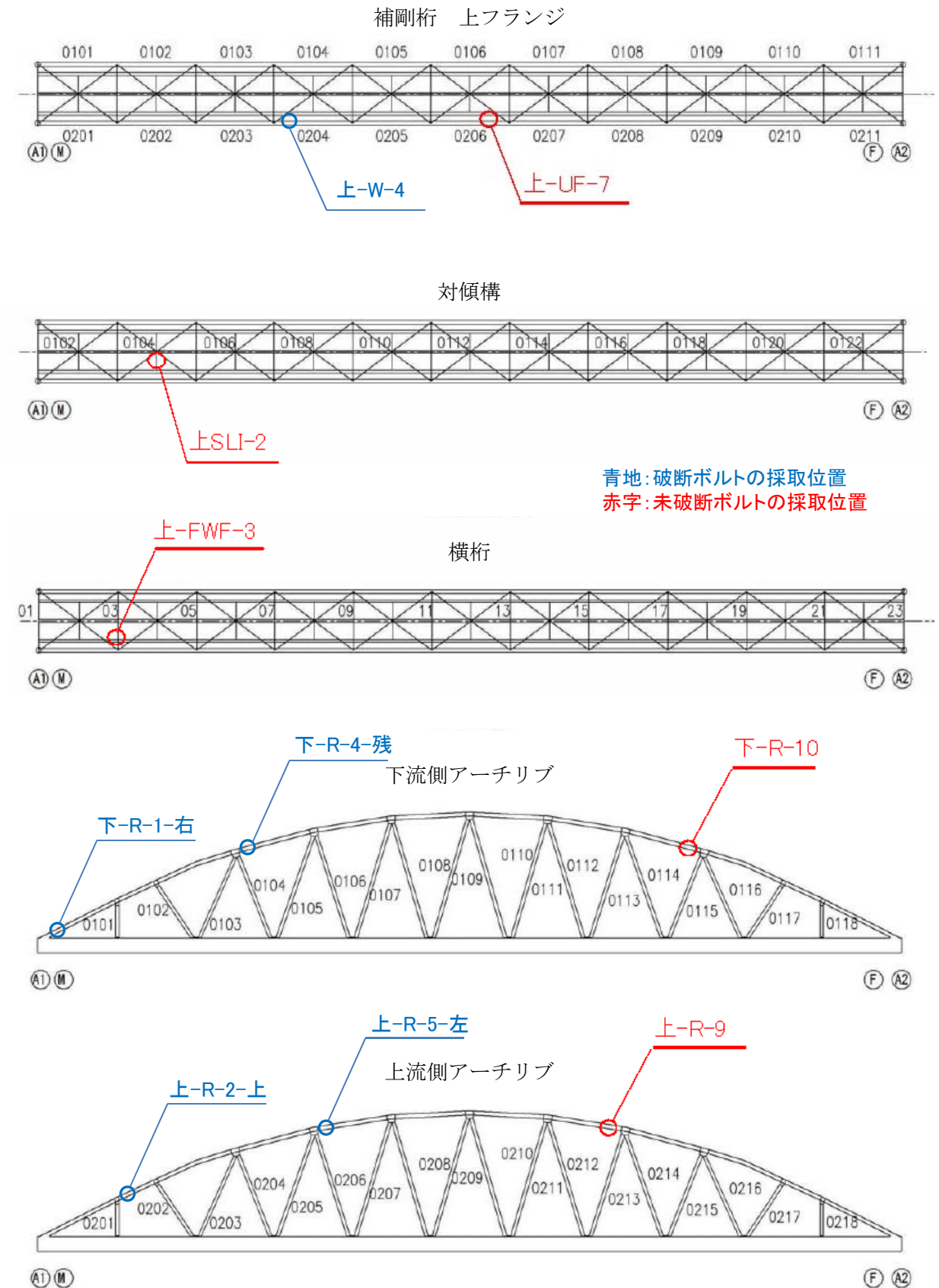


図 3-(3)-1 試験に使用したボルト位置図







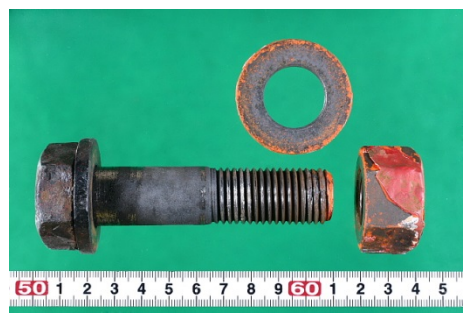
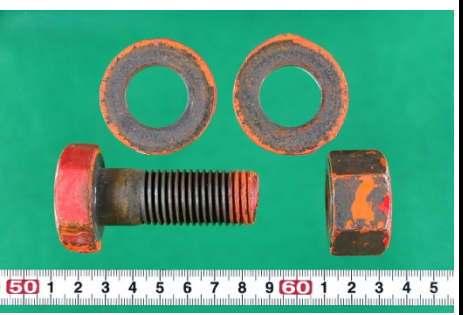
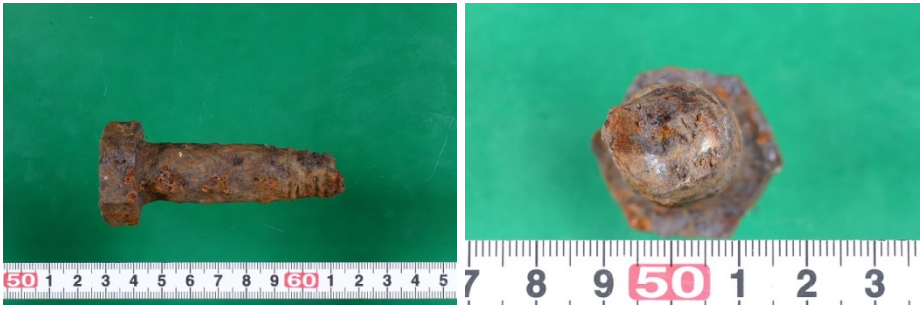


破断ボルト		未破断ボルト	
<p>下-R-1-右の1</p>  <p>破断位置 同左破面</p>	<p>上-R-2-上の2</p>  <p>破断位置 同左破面</p>	<p>上-R-9-左 (車道側)</p> 	<p>上-FWF-3</p> 
<p>下-R-1-右の3</p>  <p>破断位置 同左破面</p>	<p>上-R-5左の1</p>  <p>破断位置 同左破面</p>	<p>下-R-10-右 (車道側)</p> 	<p>上-SLI-2</p> 
<p>下-R-4-残の3</p>  <p>破断位置 同左破面</p>	<p>上-W-4 (ウェブ)</p>  <p>破断位置 同左破面</p>	<p>UF-7 (上フランジ)</p> 	

図3-(3)-2 ボルト試験に使用したボルト

2) 外観目視検査

現地調査で回収した破断ボルト (97 本) と未破断ボルト (5 本) について、ボルトの損傷状況や、破断位置の記録・様相を確認するために、外観目視検査を実施した。

目視検査の結果は、以下のとおりである。

①破断ボルト (97 本)

- ・変形を伴わない脆性的な様相を示している……………89 本
- ・6 本のボルトが腐食による減肉でナットが外れている (未破断) ……………6 本
- ・上-R-5(残)_4 はねじ山が潰れナットが外れている (未破断) ……………1 本
- ・下-R-4(残)_3 は破断部が引き延ばされており、延性的な様相を示している……………1 本

②未破断ボルト (5 本)

- ・全て腐食による減肉およびき裂は認められない。

破断ボルト 97 本について、ボルト破断位置を整理すると、多くのボルトが首下および ねじ底の応力が集中し易い位置で破断しており、一部のボルトは軸で破断していた。図 3-(3)-3 に破断位置を a~f に分類した結果を示す。

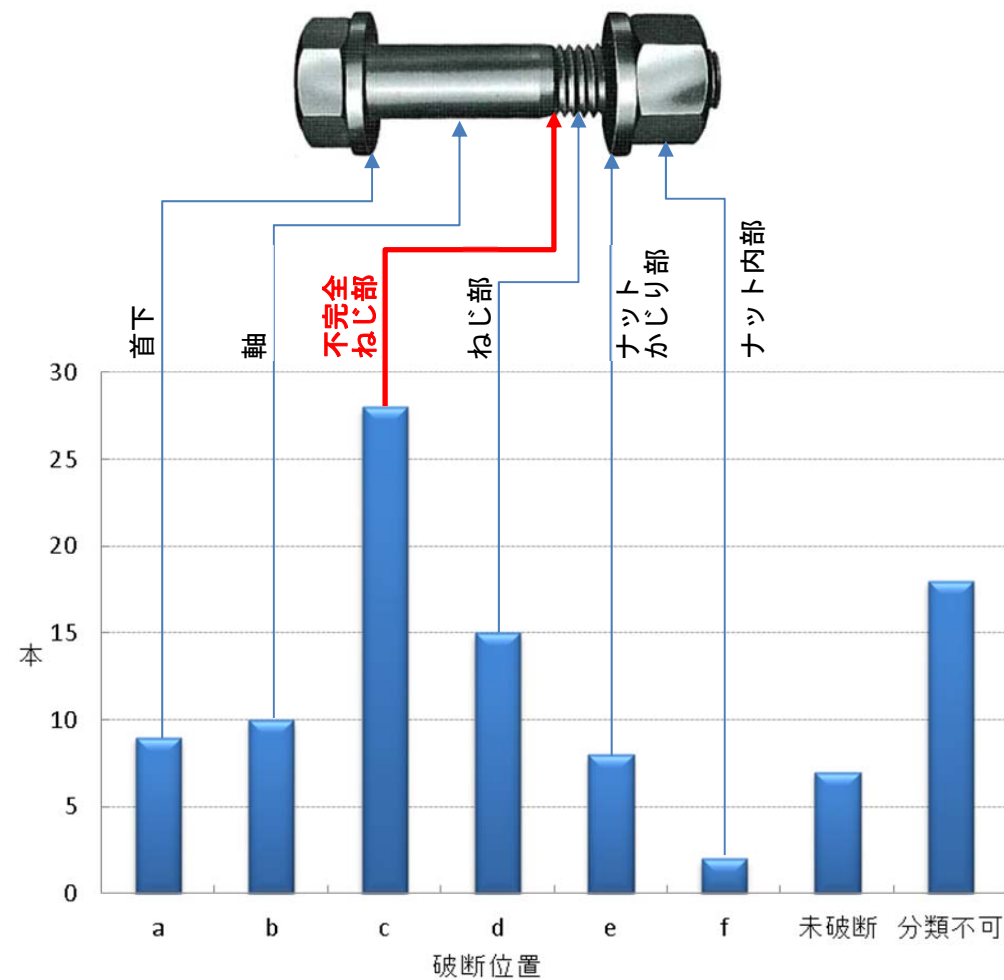


図 3-(3)-3 ボルト破断位置の分類

また、破断ボルト 97 本の目視観察による破面形態の分類結果を図 3-(3)-4 に示す。脆性的、疲労的、延性的、未破断 (ナット外れ) の 4 つに分類したが、その多くは、変形を伴わない脆性的な様相を示していた。

図 3-(3)-5 には、代表的なボルトの破断状況を示す。

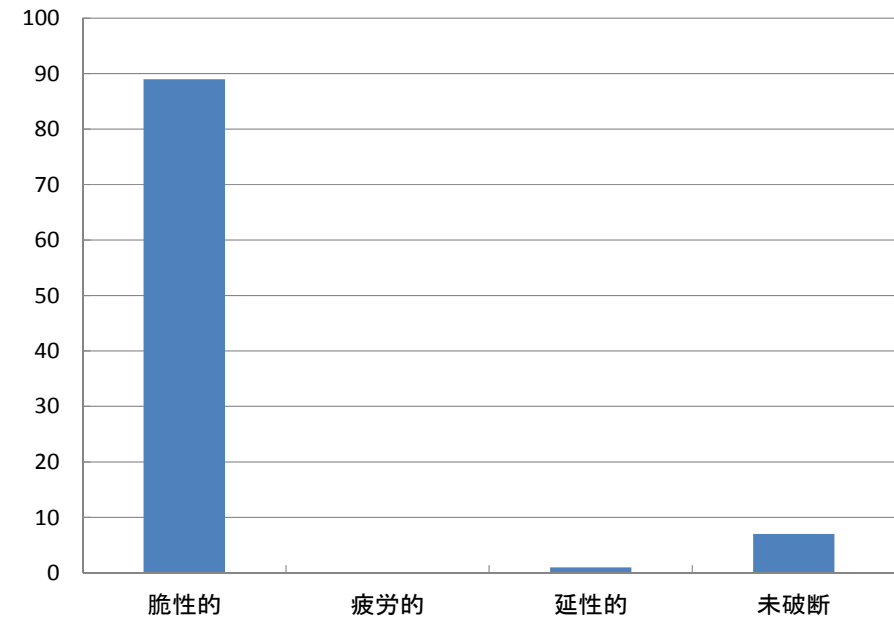


図 3-(3)-4 目視観察による破面形態

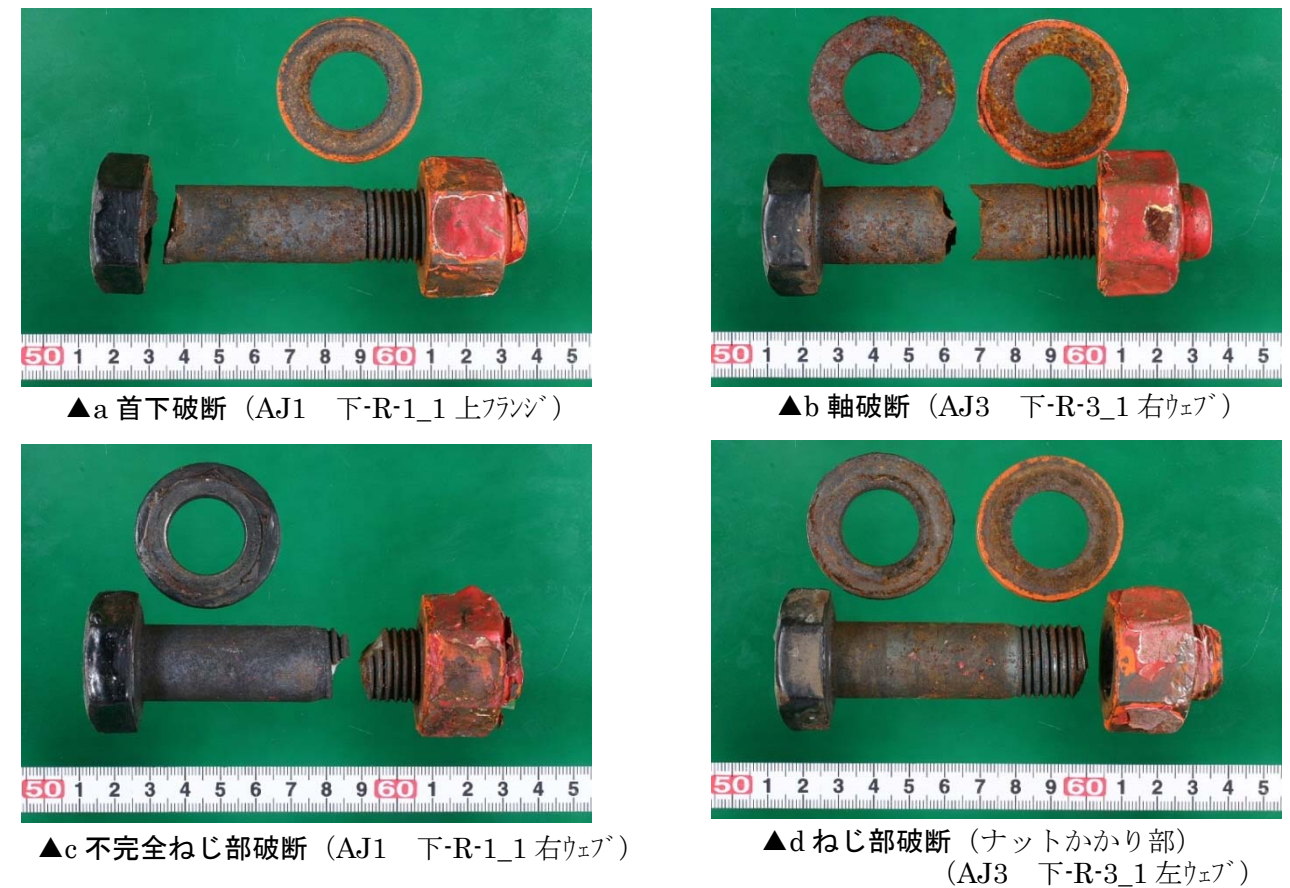


図 3-(3)-5 ボルト破断位置の分類(2)

平成 26 年 10 月 20 日～24 日の調査時に回収された破断ボルト一覧

(1/3)

	ボルトNo.				破断位置		破面形態	備考		
	上流側	アーチリブ	上フランジ		a	首下				
1	AJ2	(上-R-2)	_1	上流側	アーチリブ	上フランジ	a	首下	脆性的	
2	AJ2	(上-R-2)	_2	上流側	アーチリブ	上フランジ	a	首下	脆性的	
3	AJ2	(上-R-2)	_3	上流側	アーチリブ	上フランジ	a	首下	脆性的	
4	AJ2	(上-R-2)	_4	上流側	アーチリブ	上フランジ	c	不完全ねじ部	脆性的	
5	AJ2	(上-R-2)	_1	上流側	アーチリブ	不明	d	ねじ部	脆性的	
6	AJ2	(上-R-2)	_2	上流側	アーチリブ	不明	d	ねじ部	脆性的	
7	AJ3	(上-R-3)	_1	上流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
8	AJ3	(上-R-3)	_2	上流側	アーチリブ	右ウェブ	d	ねじ部	脆性的	
9	AJ3	(上-R-3)	_3	上流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
10	AJ3	(上-R-3)	_1	上流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
11	AJ3	(上-R-3)	_2	上流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
12	AJ3	(上-R-3)	_3	上流側	アーチリブ	不明	未破断	未破断	脆性的	腐食(ナットなし)
13	AJ4	(上-R-4)	_1	上流側	アーチリブ	右ウェブ	d	ねじ部	脆性的	
14	AJ4	(上-R-4)	_1	上流側	アーチリブ	不明	b	軸	脆性的	
15	AJ5	(上-R-5)	_1	上流側	アーチリブ	左ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
16	AJ5	(上-R-5)	_2	上流側	アーチリブ	左ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
17	AJ5	(上-R-5)	_3	上流側	アーチリブ	左ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
18	AJ5	(上-R-5)	_4	上流側	アーチリブ	左ウェブ	b	軸	脆性的	
19	AJ5	(上-R-5)	_1	上流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
20	AJ5	(上-R-5)	_2	上流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
21	AJ5	(上-R-5)	_3	上流側	アーチリブ	右ウェブ	d	ねじ部	脆性的	
22	AJ5	(上-R-5)	_1	上流側	アーチリブ	不明	b	軸	脆性的	
23	AJ5	(上-R-5)	_2	上流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
24	AJ5	(上-R-5)	_3	上流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
25	AJ5	(上-R-5)	_4	上流側	アーチリブ	不明	未破断	未破断	脆性的	腐食(ナットなし) ねじ山潰れ
26	AJ6	(上-R-6)	_1	上流側	アーチリブ	右ウェブ	b	軸	脆性的	
27	AJ7	(上-R-7)	_1	上流側	アーチリブ	上フランジ	b	軸	脆性的	
28	AJ7	(上-R-7)	_1	上流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
29	AJ8	(上-R-8)	_1	上流側	アーチリブ	左ウェブ	e	ナットかかり部	脆性的	
30	AJ8	(上-R-8)	_2	上流側	アーチリブ	左ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
31	AJ8	(上-R-8)	_3	上流側	アーチリブ	左ウェブ	a	首下	脆性的	
32	AJ8	(上-R-8)	_4	上流側	アーチリブ	左ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
33	AJ9	(上-R-9)	_1	上流側	アーチリブ	不明	未破断	未破断	脆性的	腐食(ナットなし)
34	AJ10	(上-R-10)	_1	上流側	アーチリブ	不明	b	軸	脆性的	
35	AJ10	(上-R-10)	_2	上流側	アーチリブ	不明	b	軸	脆性的	
36	AJ10	(上-R-10)	_3	上流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
37	AJ11	(上-R-11)	_1	上流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	起点c→ d
38	AJ12	(上-R-12)	_1	上流側	アーチリブ	上フランジ	a	首下	脆性的	
39	AJ12	(上-R-12)	_2	上流側	アーチリブ	上フランジ	a	首下	脆性的	

(2/3)

	ボルトNo.				破断位置		破面形態	備考		
	上流側	斜材	左フランジ		e	ナットかかり部				
40	DJ3	(上-T-3)	_1	上流側	斜材	左フランジ	e	ナットかかり部	脆性的	
41	CJ10	(上-T-33)	_1	上流側	斜材	右フランジ	e	ナットかかり部	脆性的	
42	JJ11	(上-CU-11)	_1	上流側	クロス縦桁	右	e	ナットかかり部	脆性的	
43	BJ9	(上-UF-9)	_1	上流側	補剛桁	上フランジ	c	不完全ねじ部	脆性的	
44	BJ4	(上-UF-4)	_1	上流側	補剛桁	上フランジ	c	不完全ねじ部	脆性的	
45	BJ4	(上-W-4)	_1	上流側	補剛桁	ウェブ	d	ねじ部	脆性的	
46	AJ1	(下-R-1)	_1	下流側	アーチリブ	上フランジ	a	首下	脆性的	
47	AJ1	(下-R-1)	_1	下流側	アーチリブ	下フランジ	分類不可		脆性的	ねじ部破断(ナットなし)
48	AJ1	(下-R-1)	_1	下流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
49	AJ1	(下-R-1)	_2	下流側	アーチリブ	右ウェブ	d	ねじ部	脆性的	
50	AJ1	(下-R-1)	_3	下流側	アーチリブ	右ウェブ	f	ナット内部	脆性的	
51	AJ3	(下-R-3)	_1	下流側	アーチリブ	左ウェブ	e	ナットかかり部	脆性的	
52	AJ3	(下-R-3)	_1	下流側	アーチリブ	右ウェブ	b	軸	脆性的	
53	AJ3	(下-R-3)	_2	下流側	アーチリブ	右ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
54	AJ4	(下-R-4)	_1	下流側	アーチリブ	右ウェブ	分類不可		脆性的	ねじ部破断(ナットなし)
55	AJ4	(下-R-4)	_1	下流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
56	AJ4	(下-R-4)	_2	下流側	アーチリブ	不明	d	ねじ部	脆性的	
57	AJ4	(下-R-4)	_3	下流側	アーチリブ	不明	d	ねじ部	延性的	ねじ部伸び破断 腐食大
58	AJ6	(下-R-6)	_1	下流側	アーチリブ	下フランジ	c	不完全ねじ部	脆性的	
59	AJ7	(下-R-7)	_1	下流側	アーチリブ	左ウェブ	d	ねじ部	脆性的	
60	AJ7	(下-R-7)	_2	下流側	アーチリブ	左ウェブ	分類不可		脆性的	軸部破断(頭なし)
61	AJ9	(下-R-9)	_1	下流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
62	AJ11	(下-R-11)	_1	下流側	アーチリブ	左ウェブ	c	不完全ねじ部	脆性的	
63	AJ11	(下-R-11)	_2	下流側	アーチリブ	左ウェブ	分類不可		脆性的	ねじ部破断(ナットなし)
64	AJ12	(下-R-12)	_1	下流側	アーチリブ	不明	c	不完全ねじ部	脆性的	
65	AJ12	(下-R-12)	_2	下流側	アーチリブ	不明	d	ねじ部	脆性的	
66	AJ12	(下-R-12)	_3	下流側	アーチリブ	不明	a	首下	脆性的	
67	AJ12	(下-R-12)	_4	下流側	アーチリブ	不明	a	首下	脆性的	
68	DJ4	(下-T-4)	_1	下流側	斜材	不明	分類不可		脆性的	ねじ部破断(ナットなし)
69	CJ4	(下-T-15)	_1	下流側	斜材	左フランジ	d	ねじ部	脆性的	
70	CJ8	(下-T-27)	_1	下流側	斜材	左フランジ	f	ナット内部	脆性的	
71	CJ10	(下-T-33)	_1	下流側	斜材	左フランジ	e	ナットかかり部	脆性的	
72	DJ25	(下-T-37)	_1	下流側	斜材	左フランジ	e	ナットかかり部	脆性的	

(3/3)

	不明	破断位置		破面形態	備考	
		b	軸			
73	不明	_1	b	軸	脆性的	
74	不明	_2	b	軸	脆性的	
75	不明	_3	d	ねじ部	脆性的	
76	不明	_4	c	不完全ねじ部	脆性的	
77	不明	_5	d	ねじ部	脆性的	
78	不明	_6	d	ねじ部	脆性的	
79	不明	_7	c	不完全ねじ部	脆性的	
80	不明	_8	未破断		未破断	腐食(ナットなし)
81	不明	_9	分類不可		脆性的	ねじ部破断(ナットなし)
82	不明	_10	未破断		未破断	腐食(ナットなし)
83	不明	_11	未破断		未破断	腐食(ナットなし)
84	不明	_12	未破断		未破断	腐食(ナットなし)
85	不明	_13	分類不可		脆性的	軸部破断(頭なし)
86	不明	_14	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
87	不明	_15	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
88	不明	_16	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
89	不明	_17	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
90	不明	_18	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
91	不明	_19	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
92	不明	_20	e	ナットかかり部	脆性的	
93	不明	_21	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
94	不明	_22	分類不可		脆性的	ねじ部破断(頭から軸までなし)
95	不明	_23	分類不可		脆性的	軸部破断(頭なし)
96	不明	_24	分類不可		脆性的	軸部破断(頭なし)
97	不明	_25	分類不可		脆性的	軸部破断(頭なし)

3) SEM (走査型電子顕微鏡) による破壊状態の観察

外観目視検査により分類した破断ボルトの破面様相について、その損傷形態を詳細に確認するため、SEM (走査型電子顕微鏡) による破面観察を実施した。

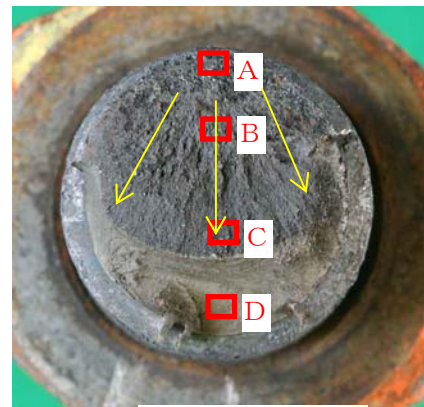
観察に使用したボルトは、下記の4本を使用した。

- ①下-R-1(右)_1: 平坦な粗い破面を示しており腐食(赤錆)が多い。
- ②下-R-1(右)_3: 平坦な粗い破面を示しており腐食(赤錆)が少ない。
- ③下-R-4(残)_3: 延性的な損傷形態を示している。
- ④上-R-2(上)_2: 凹凸のある粗い破面を示しておりサンプル全域が腐食している。

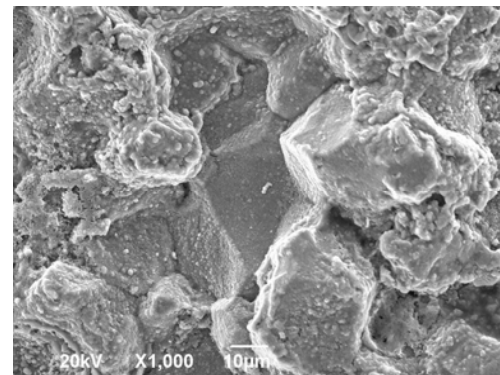
以下に観察結果を示す。

①下-R-1(右)_1

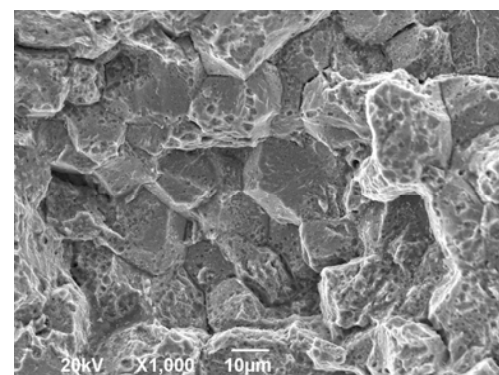
- ・損傷はねじ底を起点とし、破面に縦の線(黄色矢印)が写真の上部から下部に向かって放射状に進展している。
- ・観察位置A・Bは粒界割れが観察された。(破面の表面は粗い)
- ・観察位置C・Dは延性破壊の特徴であるディンプル模様が観察された。



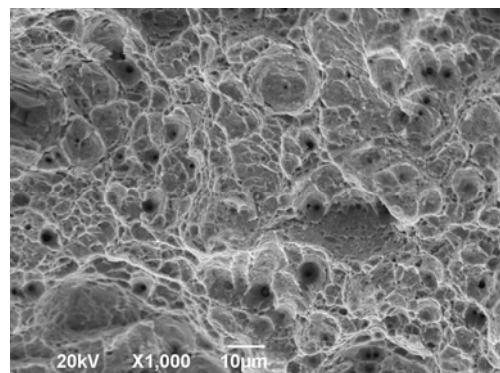
SEM観察位置



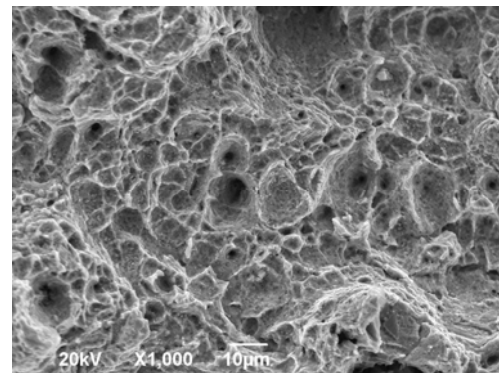
A部: 脆性破壊(粒界割れ)



B部: 脆性破壊(粒界割れ)



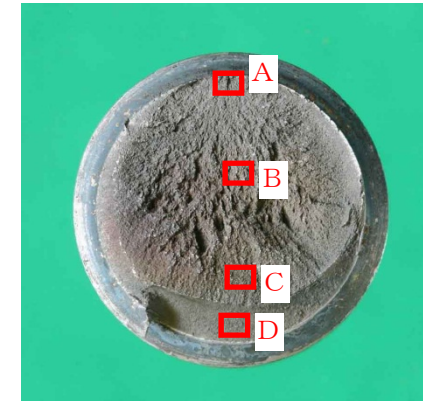
C部: 延性破壊(ディンプル模様)



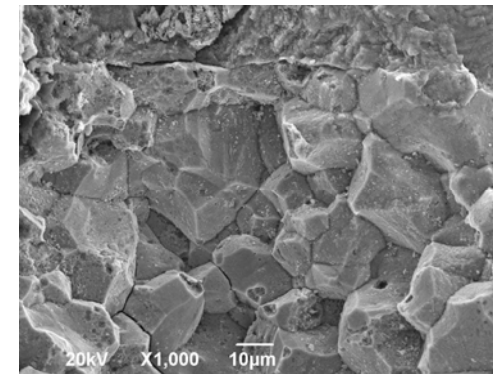
D部: 延性破壊(ディンプル模様)

②下-R-1(右)_3

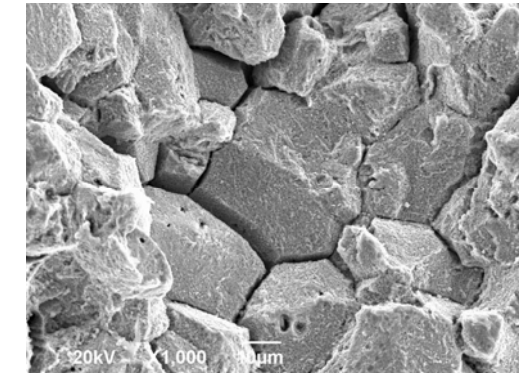
- ・損傷はねじ底を起点とし、写真の上部から下部に向かって放射状に進展している。
- ・観察位置A・B・Cは粒界割れが観察された。(破面の表面は粗い)
- ・観察位置Dは延性破壊の特徴であるディンプル模様が観察された。



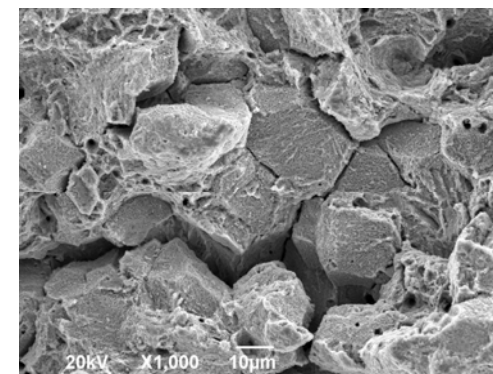
SEM観察位置



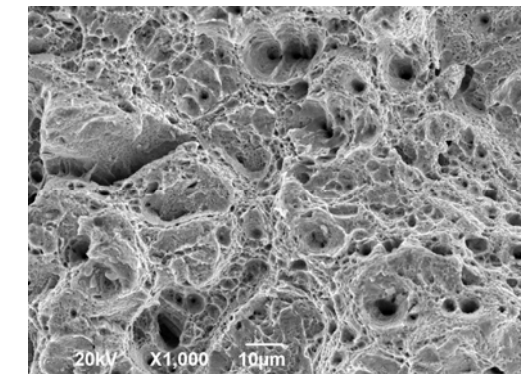
A部: 脆性破壊(粒界割れ)



B部: 脆性破壊(粒界割れ)



C部: 脆性破壊(粒界割れ)

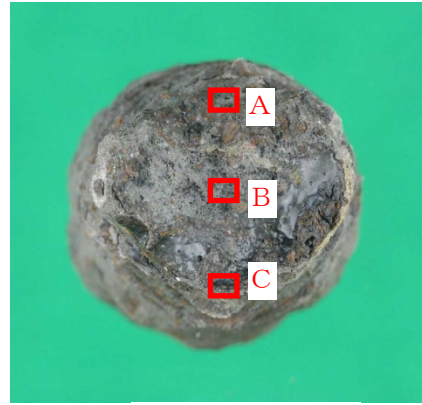


D部: 延性破壊(ディンプル模様)

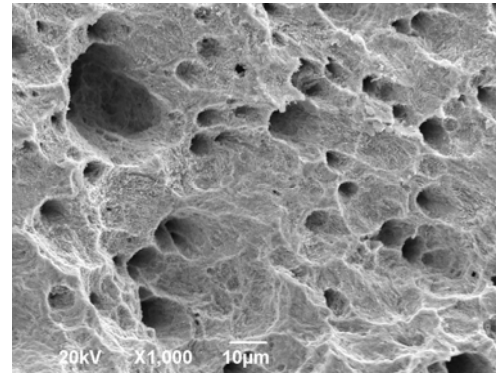
③下-R-4(残)_3

- ・破面全域で延性破壊の特徴であるディンプル模様が観察された。

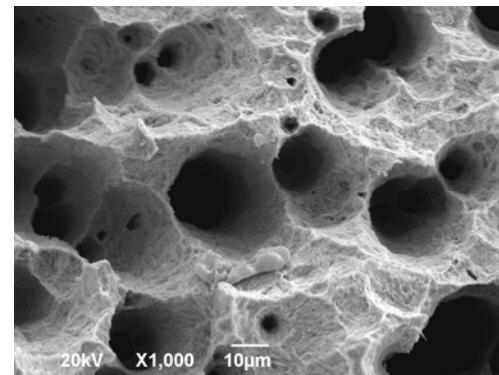
※なお、下-R-4(残)_3は、他のボルトと違い、破断部が引き延ばされており（細くなっており）、延性的な様相を示していたことから、調査を実施した。しかし、このボルトは、アーチリブ箱内で確認されたボルトで、腐食が相当進んでおり、ボルト頭部に「F11T」の記載を確認することができなかったことから、本締めを使用していないボルトの可能性はある。



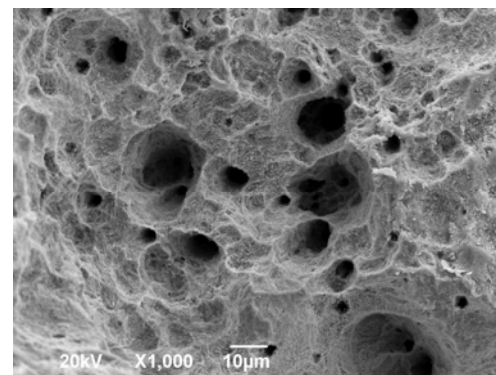
□:SEM観察位置



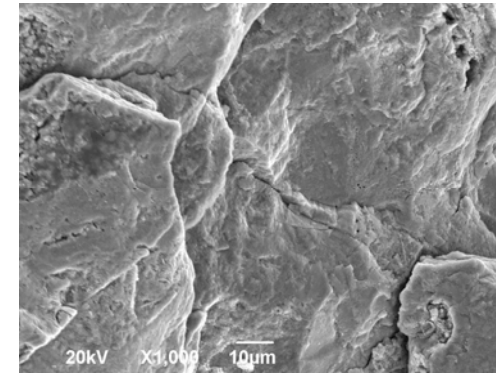
A部：延性破壊（ディンプル模様）



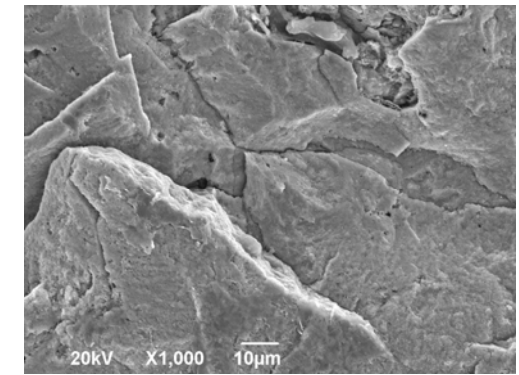
B部：延性破壊（ディンプル模様）



C部：延性破壊（ディンプル模様）



B部：脆性破壊（粒界割れ）



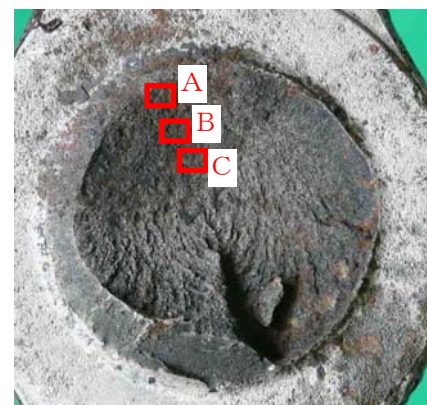
C部：脆性破壊（粒界割れ）

以上、4本のボルトのSEM（走査型電子顕微鏡）による破壊状態の観察の結果、以下のことが確認された。

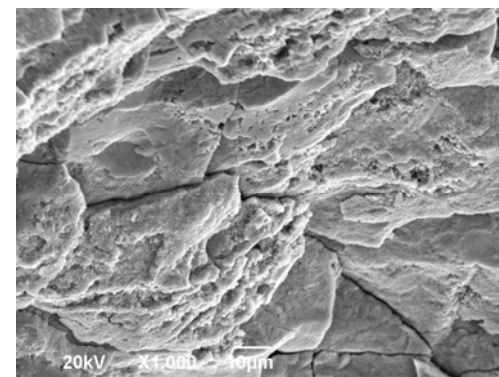
- ・破面の上部（起点側）で凹凸のある結晶粒界が観察されたことから、粒界割れによる脆性破壊（遅れ破壊）が生じていたことが分かった。
- ・ボルトの破壊は、上部（破壊の起点）から下部に向かって放射状に進展していた。
- ・損傷が進展した破面の下部では、ディンプル模様が観察されたことから延性破壊により破断に至ったことが分かった。

④上-R-2(上)_2

- ・観察位置A・B・Cで粒界割れが認められた。（破面の表面は粗い）
- ・その他の領域では腐食の影響によって、損傷の特徴的な破面は認められなかった。



□:SEM観察位置



A部：脆性破壊（粒界割れ）

4) 断面の損傷形態と金属組織観察

破断ボルトの金属組織に偏析や異常等の有無を確認するため、光学顕微鏡による断面組織観察を実施した。

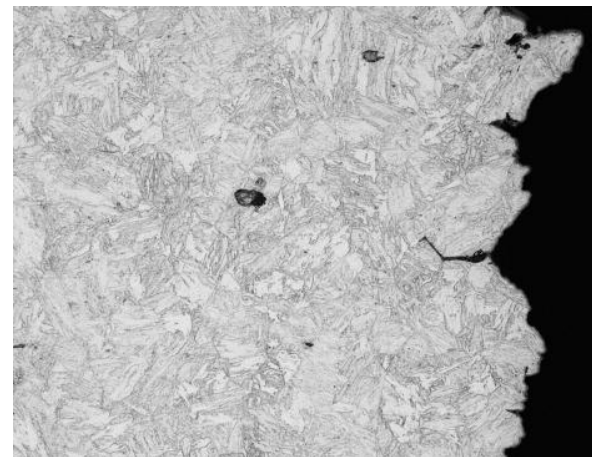
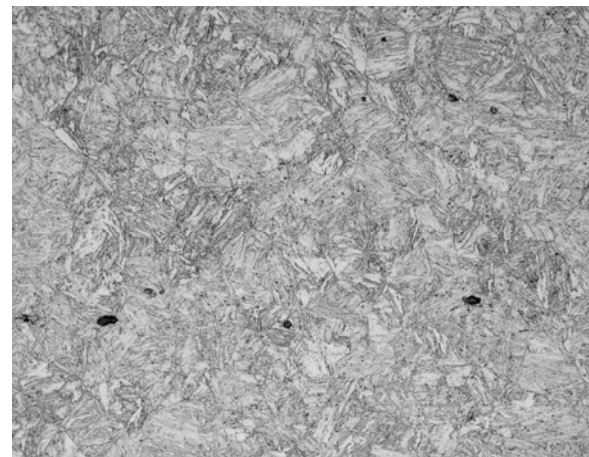
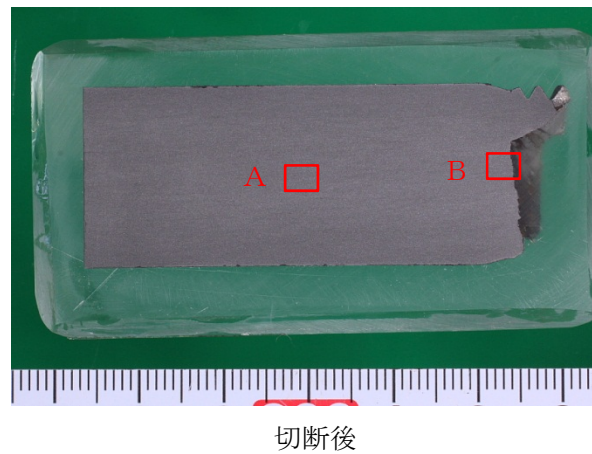
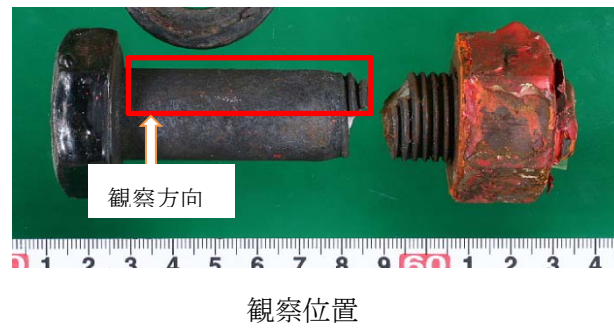
観察に使用したボルトは、下記の4本を使用した。

- ①下-R-1(右)_1:「3)SEM(走査型電子顕微鏡)による破壊状態の観察」と同一の破断ボルト。
- ②下-R-1(右)_3:「3)SEM(走査型電子顕微鏡)による破壊状態の観察」と同一の破断ボルト。
- ③下-R-4(残)_3:「3)SEM(走査型電子顕微鏡)による破壊状態の観察」と同一の破断ボルト。
- ④下-R-10 : 未破断ボルト。破断ボルトとの組織比較のため観察した。

以下に観察結果を示す。

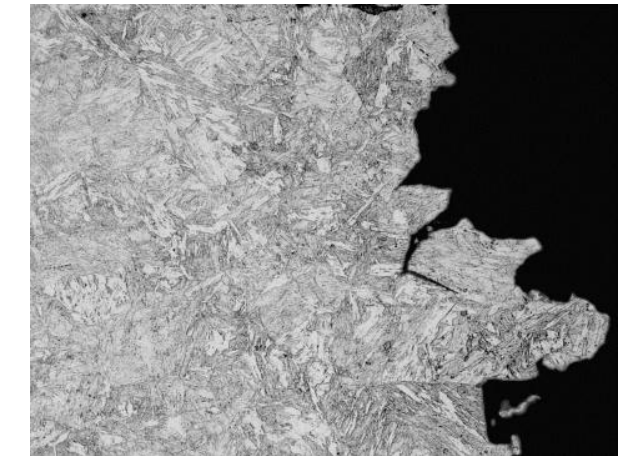
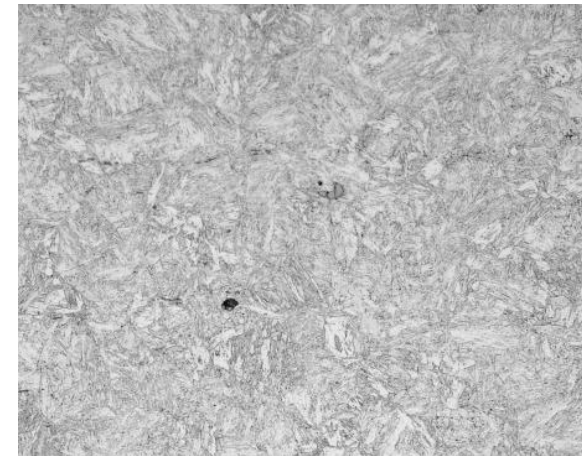
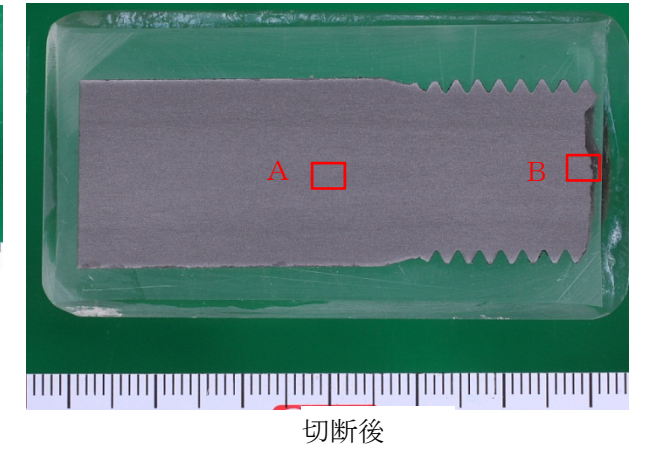
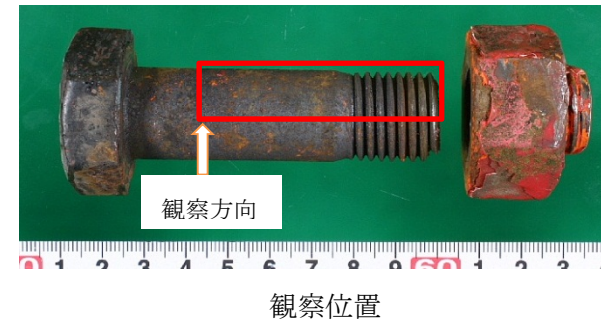
①下-R-1(右)_1

- ・ボルトの組織は表面側、中央部、破断部近傍全ての領域で針状マルテンサイト組織*を示しており、組織異常、組織偏析は認められなかった。
- ・破断部については、結晶粒界に沿って破壊が進展しており、金属組織に変形の痕跡は認められず脆性的な破壊形態であることが分かった。



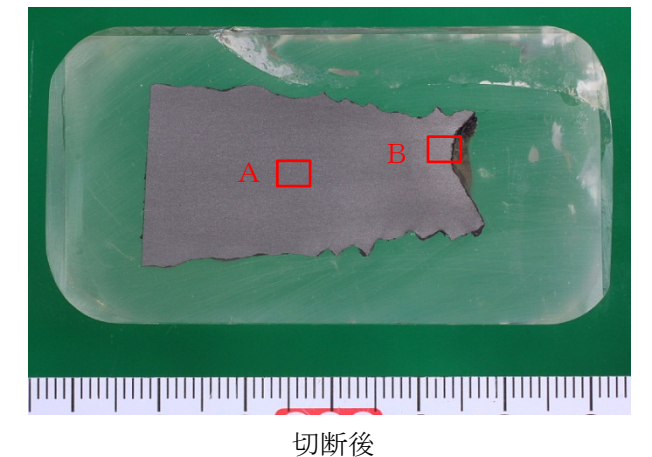
②下-R-1(右)_3

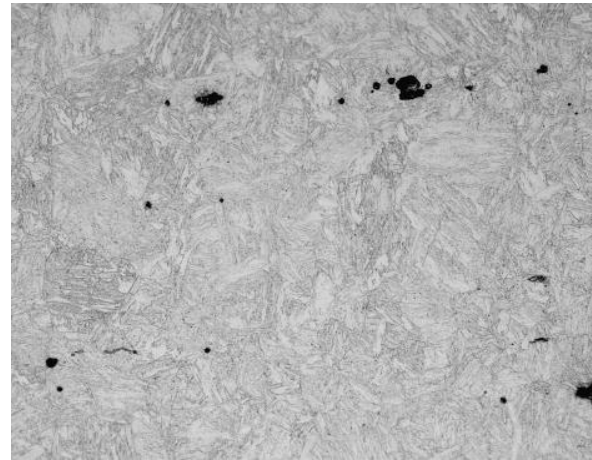
- ・ボルトの組織は表面側、中央部、破断部近傍全ての領域で針状マルテンサイト組織*を示しており、組織異常、組織偏析は認められなかった。
- ・破断部については、結晶粒界に沿って破壊が進展しており、金属組織に変形の痕跡は認められず脆性的な破壊形態であることが分かった。



③下-R-4(残)

- ・ボルトの組織は表面側、中央部、破断部近傍全ての領域で針状マルテンサイト組織*を示しており、組織異常、組織偏析は認められなかった。
- ・破断部については、破断部近傍の金属組織において塑性流動が起きており、変形を伴う延性的な破壊であることが分かった。





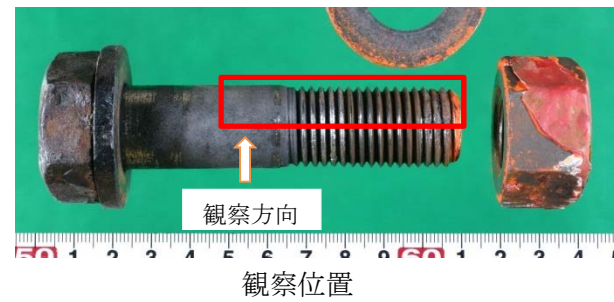
A部拡大



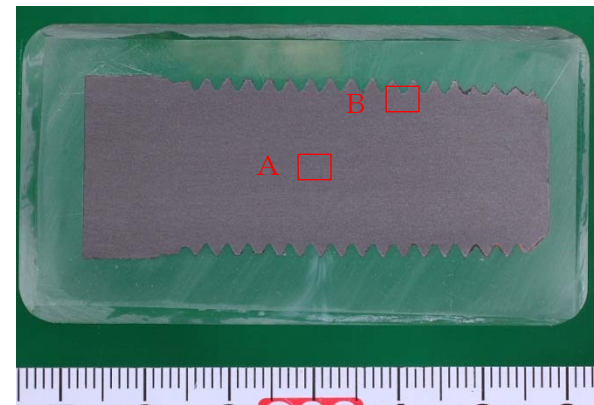
B部拡大

④下-R-10 (未破断ボルト)

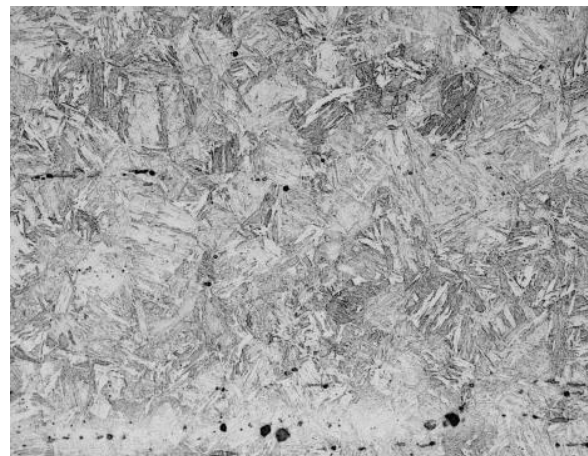
- 未破断ボルトにおいても、ボルトの組織は表面側、中央部、破断部近傍全ての領域で針状マルテンサイト組織*を示しており、組織異常、組織偏析は認められなかった。



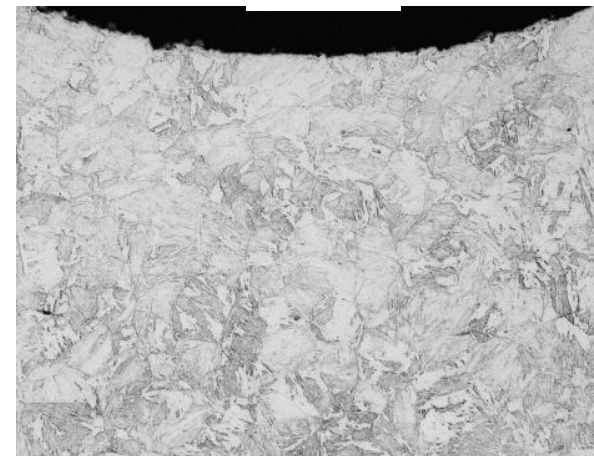
観察位置



切断後



A部拡大



B部拡大

*マルテンサイト組織

鋼材をオーステナイト域から急冷して得られる針状組織で、非常に高い硬さをもつことを特色とする。マルテンサイト変態はパーライト変態と異なり、炭素の拡散が充分に行われないうちに格子の変態によってできた組織で、個々の針状マルテンサイトの生成に要する時間は極めて短く、素早い冷却が必要である。

以上、3本の破断ボルト及び1本の未破断ボルトの断面組織観察により、以下のことが確認された。

- ボルトの組織は表面側、中央部、破断部近傍全ての領域で針状マルテンサイト組織*を示しており、組織異常、組織偏析は認められなかった。
- 下-R-1(右)_1、下-R-1(右)_3、下-R-10 (未破断ボルト) の3本の破断部については、結晶粒界に沿って破壊が進展しており、金属組織に変形の痕跡は認められず脆性的な破壊形態(遅れ破壊)であることが分かった。
- SEM(走査型電子顕微鏡)により延性破壊が見られた下-R-4(残)_3の破断部については、破断部近傍の金属組織において塑性流動が起きており、変形を伴う延性的な破壊であることが分かった。

5) ボルトの強度確認(引張試験及び断面の硬さ測定)

破断ボルト及び未破断ボルトの強度が、規格値を満足しているか確認するため引張試験及び硬さ試験(ロックウェル硬さ試験(Cスケール))を実施した。

i) 引張試験

引張試験に使用した使用したボルトは、以下の2本を使用した。

- ①上-R-9: 未破断ボルト(脱落が多い)
- ②上-UF-7: 未破断ボルト(脱落が少ない)

試験方法は、「JIS Z 2241 金属材料引張試験方法」に基づき実施した。

ii) 硬さ試験〔ロックウェル硬さ試験(Cスケール)〕

硬さ試験に使用したボルトは、以下の4本を使用した。

- ①下-R-1(右)_1: 「4)断面の損傷形態と金属組織観察」と同一の破断ボルト。
- ②下-R-1(右)_3: 「4)断面の損傷形態と金属組織観察」と同一の破断ボルト。
- ③下-R-4(残)_3: 「4)断面の損傷形態と金属組織観察」と同一の破断ボルト。
- ④下-R-10: 「4)断面の損傷形態と金属組織観察」と同一の未破断ボルト。

試験方法は、「JIS Z 2245 ロックウェル硬さ試験方法」に基づき実施した。

試験結果を、表3-(3)-3に示す。

また、図3-(3)-7、図3-(3)-8に、引張試験片および硬さ計測に用いた試験片を示す。

表 3-(3)-3 ボルトの引張強さおよびロックウェル硬さ (HRC)

サンプル名		引張強さ MPa (規格値:1079-1275)	ロックウェル硬さ(Cスケール) HRC (規格値:30.0-40.0)			平均	備考
下-R-1(右)	1	(1130-1170)※	36.8	37.0	37.2	37.0	HRCから引張強さを換算
下-R-1(右)	3	(1130-1170)※	37.4	37.4	37.4	37.4	
下-R-4(残)	3	(1130-1170)※	36.8	37.1	37.0	37.0	
下-R-10	-	(1170-1205)※	37.7	37.8	38.1	37.9	
上-UF-7	-	1084				(34.4-35.5)※	引張強さからHRCを換算
上-R-9	-	1107				(35.5-36.6)※	

※表中の薄青色で示した数値は、JIS 参考資料「鋼のロックウェル硬さに対する近似的換算値」を用いた、引張強さまたはロックウェル硬さからの換算値であることを示す。



図 3-(3)-7 引張試験片 (試験後)

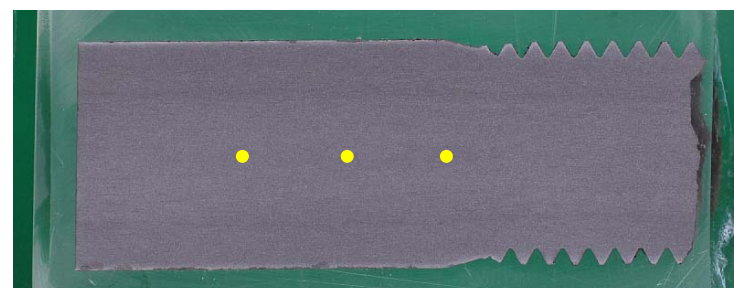


図 3-(3)-8 硬さ計測位置

試験結果より、破断ボルト、未破断ボルトともに、ミルシートに記載された引張強さ及びロックウェル硬さの規格値を満足していることが確認された。

このことから、ボルトの強度不足による破断ではないことが分かった。

6) ボルトの成分分析

破断ボルト及び未破断ボルトについて、ミルシートに記載された成分含有量と相違がないか確認するため、ボルトの金属成分分析を実施した。

成分分析に使用したボルトは、以下の2本を使用した。

- ①上-FWF-3：未破断ボルト (脱落が少ない)
- ②上-R-5(左)_1：破断ボルト (平坦な粗い破面 (脆性的) で腐食が激しい)

試験方法は、以下のとおりである。なお、分析試料はボルトねじ部中央より切子を採取した。

- ・C: 「JIS G 1211 鉄及び鋼-炭素定量方法」
- ・S: 「JIS G 1215 鉄及び鋼-硫黄定量方法」
- ・B: 「JIS G 1227 鉄及び鋼-ほう素定量方法」
- ・その他の元素: 「JIS G 1258 ICP 発光分光分析方法」

分析結果を、表 3-(3)-4 に示す。

表 3-(3)-4 ボルトの金属成分分析

No.	元素(%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	B
ミルシート値	0.26~ 0.30	0.22~ 0.30	1.44~ 1.54	0.008~ 0.010	0.009~ 0.015	0.05~ 0.07	0.03~ 0.04	0.15~ 0.16	0.0014~ 0.0020
上-FWF-3(未破断)	0.24	0.26	1.49	0.008	0.012	0.065	0.036	0.17	0.0017
上-R-5(破断)	0.29	0.26	1.52	0.009	0.013	0.060	0.030	0.15	0.0015

分析結果より、破断ボルト、未破断ボルトともに、ミルシートに記載された数値と同等の値であることが確認された。また、破断ボルトと未破断ボルトでは、ボルトの成分に有意な差は認められなかった。

7) ボルトの水素量

破断ボルト及び未破断ボルトの水素含有量を確認するため水素分析を実施した。水素量分析に使用したボルトは、以下の2本を使用した。

- ①上-W-4：破断ボルト (平坦な粗い破面 (脆性的) で腐食が少ない)
- ②上-SLI-2：未破断ボルト (脱落がない全く生じていない)

試験方法については、鉄鋼材料に水素定量方法の規格が無いことから、「JIS H 1619 チタン及びチタン合金-水素定量方法」に準拠して分析を実施した。

分析結果を、図 3-(3)-5 にボルトの水素含有量を示す。

表 3-(3)-5 ボルトの水素含有量

試料名	元素	
	単位	H
上-SLI-2(未破断)		3
上-W-4(破断)		2

分析結果から、破断ボルトは 2ppm、未破断ボルトは 3ppm の水素が検出された。破断ボルトと未破断ボルトでは、水素含有量に有意な差は無く、未破断ボルトにおいても破断ボルトと同等以上の水素量が既に蓄積されていることが確認された。

なお、参考として、新品の高力ボルト (S10T) 1 本の水素量分析を同様の方法で行った。結果、機械の検出精度 (1ppm) 未満の水素量しか確認されなかったことから、三島大橋の高力ボルトでは、時間の経過とともに水素が浸入し鋼中に蓄積されたものと考えられる。

4. 高力ボルトの現状評価と診断

(1) 部材毎のボルト損傷の推移

本橋においては、1975年(S50年)の竣工から12年経過後の1987年(S62年)に高力ボルトの脱落が確認されて以降、今回の調査までに確認された高力ボルトの脱落状況を部材別に整理すると表4-(1)-1のとおりである。

表4-(1)-1 部材別のボルト損傷状況 (S62年～H26年累計)

部材名	全使用本数	累積脱落本数	累積損傷発生率	断面形状	風雨の影響	第三者被害の懸念
アーチリブ	4,368	135	3.09%	箱	大	有
補剛桁	4,704	24	0.51%	I	大	無
斜材	3,568	38	1.07%	H	大	有
橋門構	448	14	3.13%	箱	大	有
上横構	480	0	0%	H	大	有
縦桁	2,236	3	0.13%	I	微少	無
横桁	2,016	8	0.40%	I	微少	無
対傾構	264	0	0%	L鋼	微少	無
下横構	1,384	11	0.79%	CT鋼	微少	無
合計	19,468	233	1.20%	—	—	—

※赤文字は、第三者被害の可能性がある部材。

高力ボルトの脱落について、さらに既往の調査結果を分析すると、以下の1)～5)の特徴がある。

1) ボルト損傷本数の推移

図4-(1)-1に示すように、12年経過後の1987(S62)年に高力ボルトの脱落が発見され、以降は経年とともにほぼ一定の割合で脱落ボルトが増加しており、今後も増加が予想される。

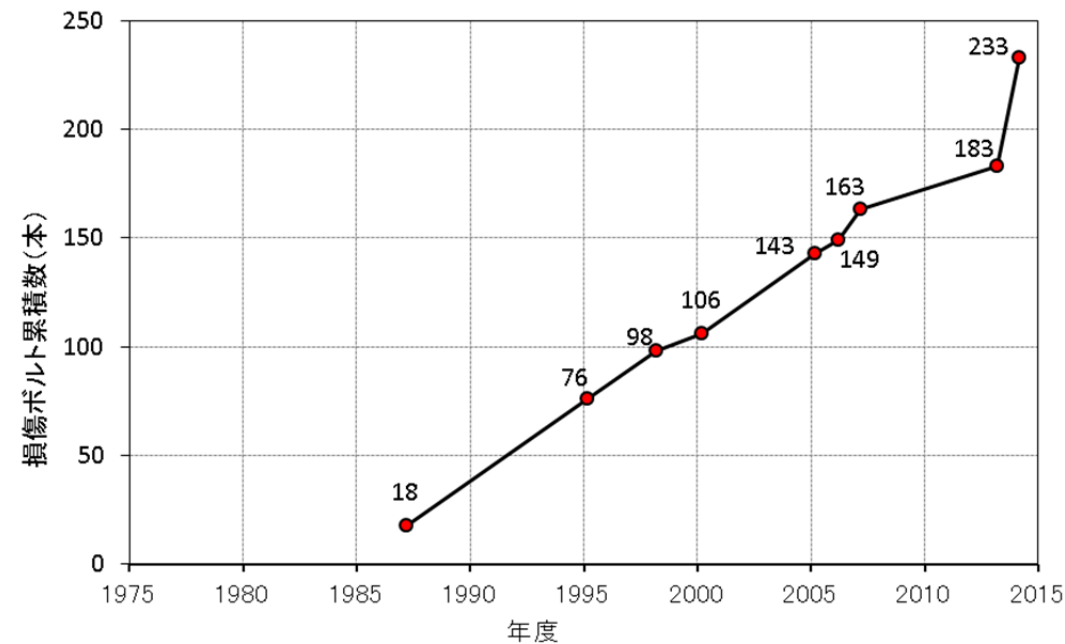


図4-(1)-1 損傷ボルト本数の推移

部別では、図4-(1)-2に示すように、上下流側ともアーチリブでの発生が顕著であり、次いで下流側の斜材となっている。

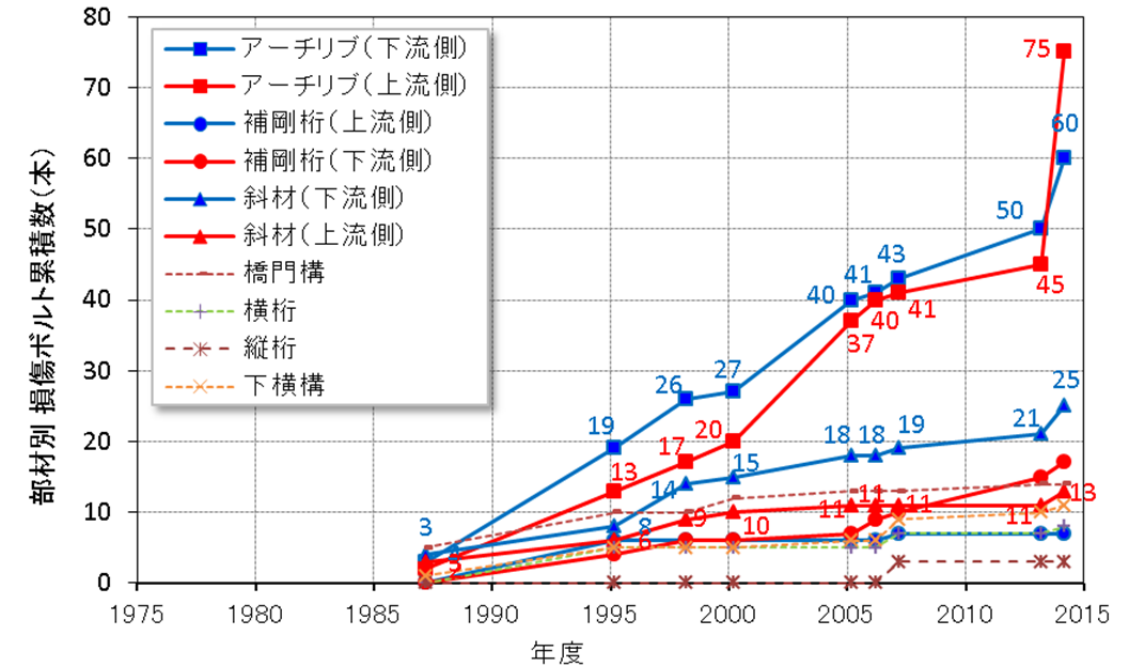


図4-(1)-2 部別損傷ボルト本数の推移

2) 部材別のボルト使用本数、損傷ボルト本数

図4-(1)-3、4に示すとおり、アーチリブでの使用ボルト本数は全体の22%であるが、損傷ボルト全体の中では58%と過半数を占めている。また、使用本数の多い補剛桁と比較すると、橋面から上に位置する部材である斜材、橋門構での損傷の割合が高い。

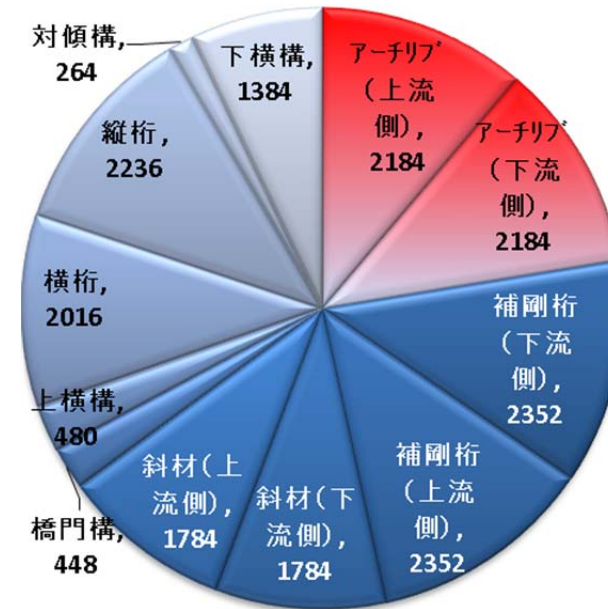


図4-(1)-3 部材別使用ボルト本数

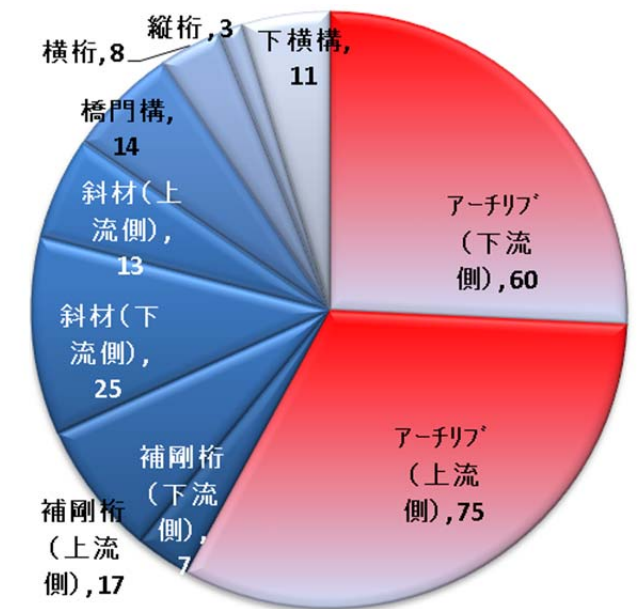


図4-(1)-4 部材別損傷ボルト本数

環境面に着目すると、図4-(1)-4に示した損傷の割合が高い部材は、図4-(1)-5に示すとおり、橋面から上の常時風雨にさらされる位置にあり、その影響を多く受ける部材であるアーチリブ、斜材、橋門構に脱落が多い傾向にある。

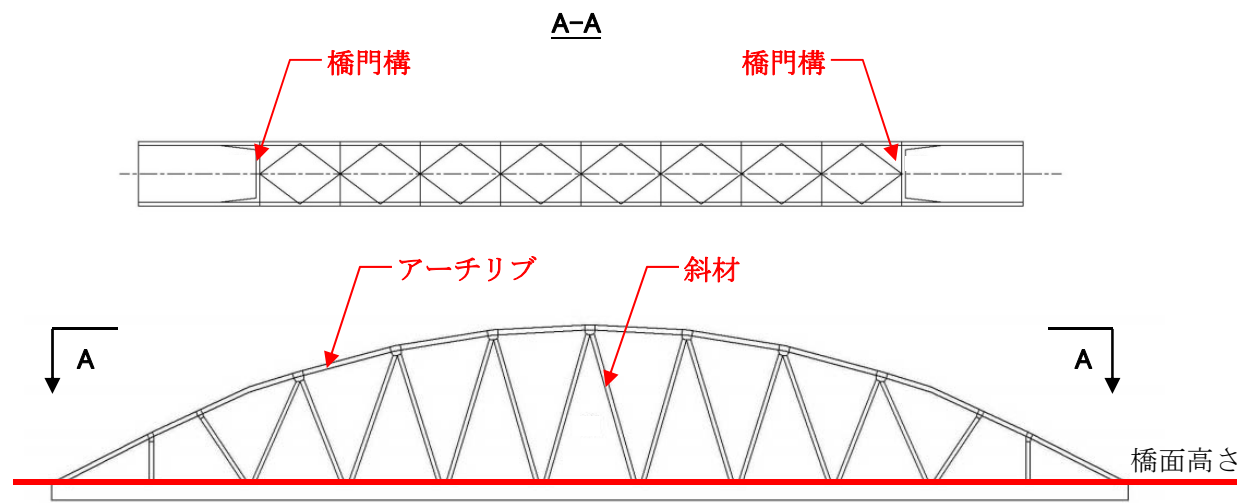


図4-(1)-5 ボルト損傷の多い部材の位置

3) アーチリブ、斜材、橋門構の損傷発生傾向

ボルト損傷が多く見られた橋面上に位置する部材のアーチリブ、斜材、橋門構について、さらに各部材の構成部位に着目して部位別の損傷発生状況を整理すると、図4-(1)-6（次ページ）のとおりである。

箱断面形状を有するアーチリブと橋門構のウェブでの損傷発生が多い傾向にあり、H形断面の斜材ではウェブ部での使用本数が少ないこともあり、すべてフランジ部での発生となっている。

表 4-(1)-2 アーチリブの部位別損傷発生傾向

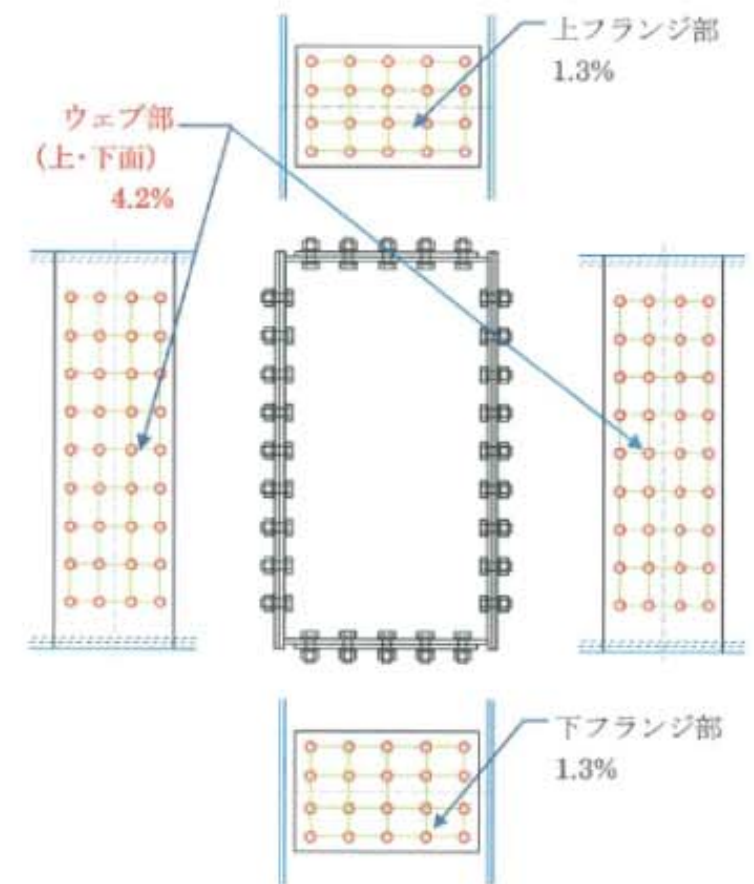
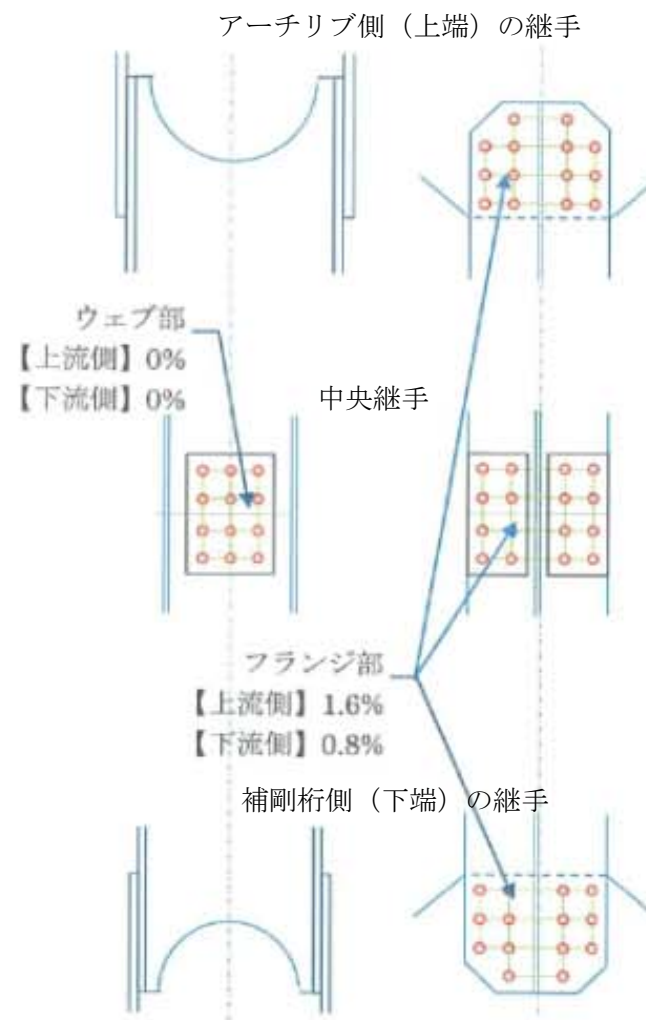
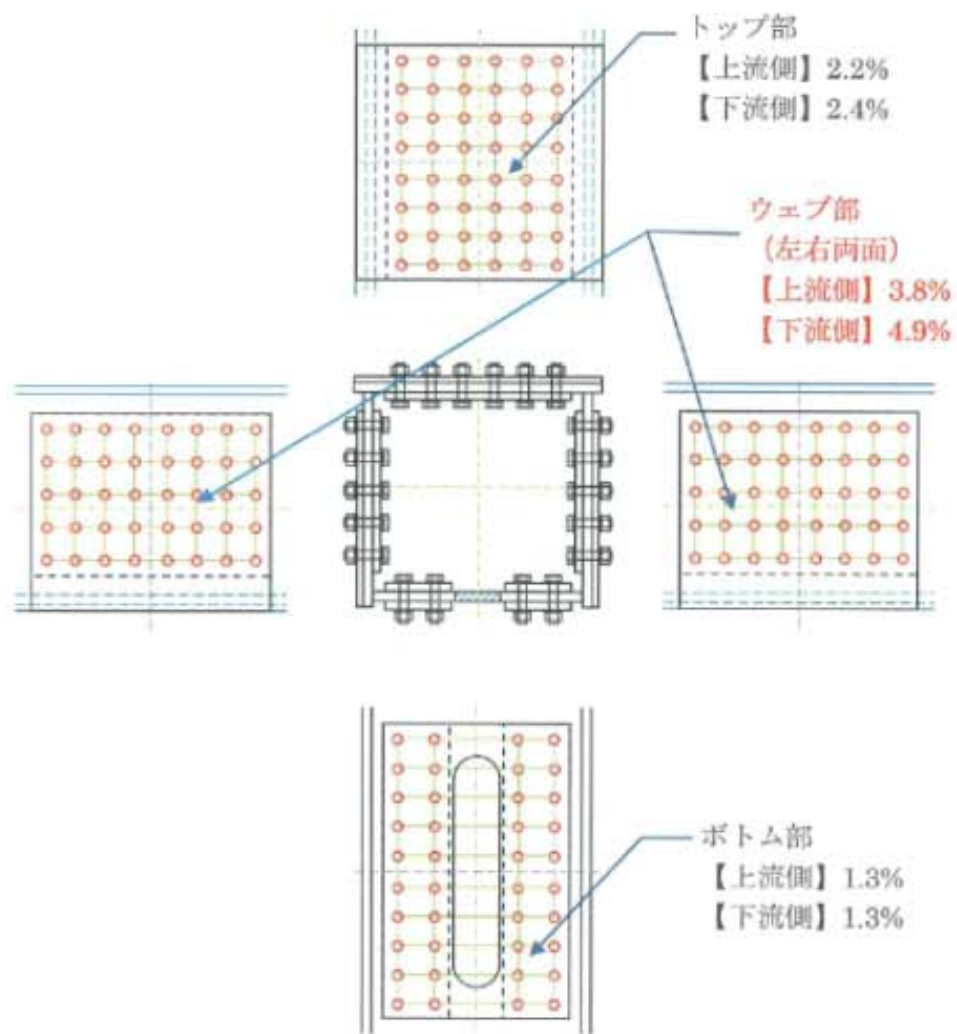
発生部材		全体本数	損傷本数 (交換済本数含)	損傷発生率	
アーチリブ	下流側	トップ部	624	14	2.2%
		ウェブ部	1040	39	3.8%
		ボトム部	520	7	1.3%
	小計		2184	60	2.7%
	上流側	トップ部	624	15	2.4%
		ウェブ部	1040	51	4.9%
ボトム部		520	9	1.7%	
小計		2184	75	3.4%	

表 4-(1)-3 斜材の部位別損傷発生傾向

発生部材		全体本数	損傷本数 (交換済本数含)	損傷発生率	
斜材	下流側	フランジ部	1568	25	1.6%
		ウェブ部	216	0	0.0%
		小計	1784	25	1.4%
	上流側	フランジ部	1568	13	0.8%
		ウェブ部	216	0	0.0%
		小計	1784	13	0.7%

表 4-(1)-4 橋門構の部位別損傷発生傾向

発生部材		全体本数	損傷本数 (交換済本数含)	損傷発生率
橋門構	上フランジ部	80	1	1.3%
	ウェブ部	288	12	4.2%
	下フランジ部	80	1	1.3%
	小計	448	14	3.1%



【最も損傷発生率が高い上流側アーチリブのウェブ部のボルト損傷速度】

S62～H18 までの 20 年間で 26 本損傷 ⇒ 1.3 本/年
 H19～H26 までの 8 年間で 25 本損傷 ⇒ 3.125 本/年

図 4-(1)-6 橋面上に位置する主要部材の部位別損傷ボルトの発生状況

4) アーチリブウェブの損傷発生傾向

ボルト損傷が最も多発している部材であるアーチリブにおいて、ウェブ面での損傷発生が多い傾向が見られたため、ウェブに着目してさらにそのボルト群の中での損傷発生位置の傾向を整理すると図4-(1)-7のとおりである。アーチリブのウェブ面の縦断勾配が低い側を常にC1として付番して全現場継手（13箇所×2主構=26箇所）の累積損傷度数（脱落本数）を示す。

縦断勾配の低い側（C1列からC4列の範囲）でより多くボルト脱落が発生している傾向にあり、さらに縦断勾配の低い側のボルト群（C1列からC4列の範囲）の中でも、下段にあるボルトの方（R4行とR5行）が損傷を受けやすい傾向にある。

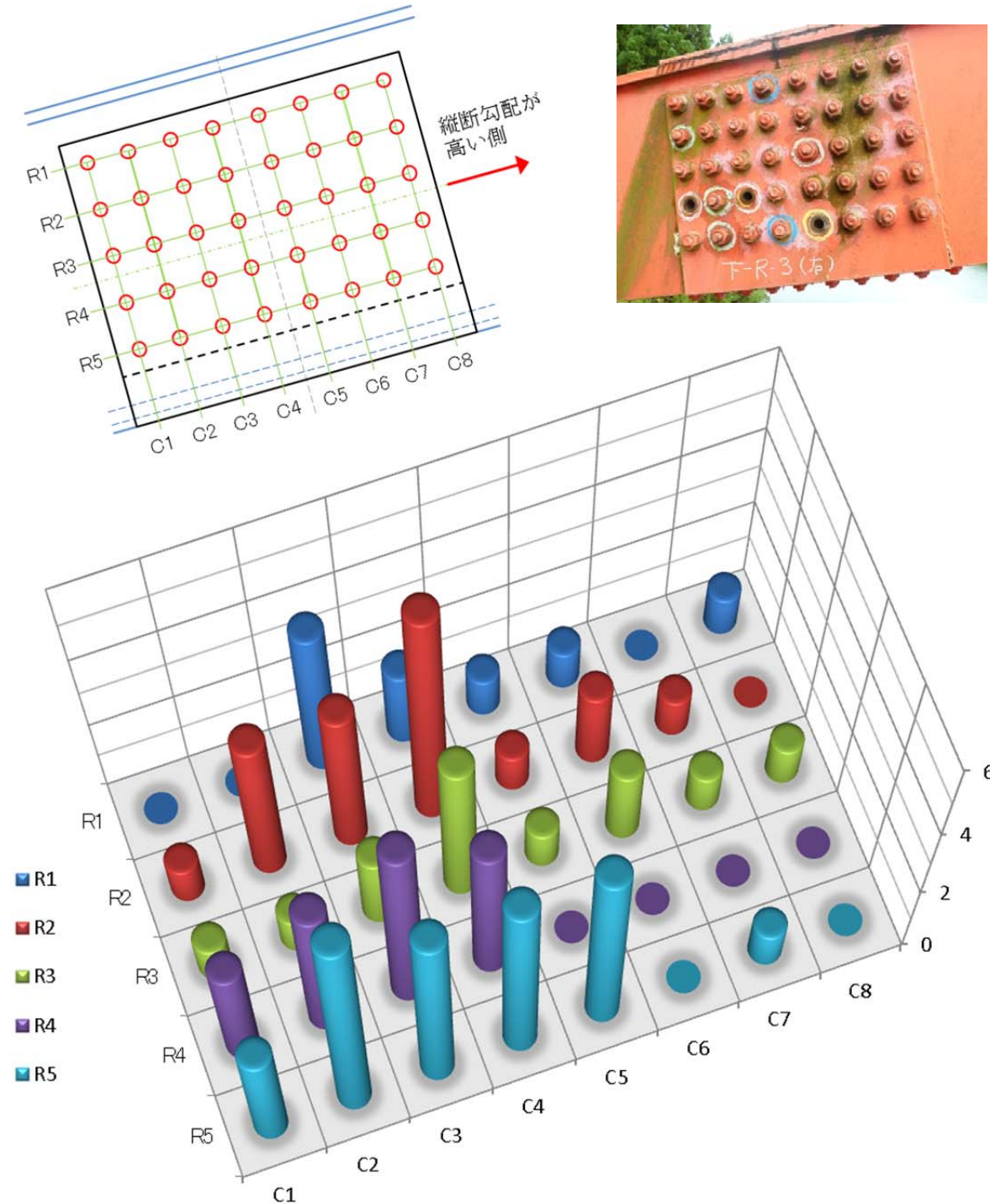


図4-(1)-7 アーチリブの継手損傷度数

5) アーチリブ上部継手ボルトの脱落順序

最も脱落本数の多いアーチリブのウェブに着目して、さらに最も脱落本数が多いウェブ3継手を抽出し、継手ボルト群における脱落箇所や時系列的な脱落順序を整理したものが、図4-(1)-8である。最初にボルトが脱落すると、その周辺で連鎖的に脱落が生じる傾向にあり、特に下段のボルトが多く脱落している。

現地調査で回収したボルトは、腐食がかなり進行していた。一継手のボルト群の中で、最初にボルトの脱落が生じることにより、ボルトの抜けた穴や、脱落部周辺の母材と連結板との間に肌隙が生じて水が浸入しやすくなり、脱落部近傍のボルトにも腐食がひろがっていると推定され、腐食が連鎖反動的なボルトの脱落に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

継手番号	AJ5(上-R-5) 上流側 アーチリブ 左ウェブ	AJ8(上-R-8) 上流側 アーチリブ 左ウェブ	AJ3(下-R-3) 下流側 アーチリブ 右ウェブ
H26 継手 写真			
	←A2側 A1側→	←A2側 A1側→	←A1側 A2側→
脱落 推移 (推定)			
脱落本数	8	10	9
順番①	3	2	2
順番②	0	2	4
順番③	5	6	3

【凡例】
 ○ F10Tで交換 →H10以前にボルト交換を実施【脱落順番①】
 ● S10Tで交換 →H17、H18にボルト交換を実施【脱落順番②】
 ● 抜け
 ◎ 破断(中にボルトの一部が残存) →H19以降に脱落・破断を確認【脱落順番③】

図4-(1)-8 アーチリブウェブ継手におけるボルト脱落の推移

(2) 破断原因について

今回の高力ボルトの現地調査結果及び各種室内試験結果、また、部材毎のボルト損傷推移から、ボルト破断原因は以下のとおりと考えられる。

- ① ボルトの詳細調査の結果より、ボルトの破断は、ボルトの首下や不完全ねじ部、ねじ底の応力集中し易い位置が起点となっており、その破断上部において、結晶粒界（粒界割れ）が確認されたことから、遅れ破壊である可能性が高い。
- ② 遅れ破壊の原因としては、ボルトの水素含有量試験で水素の蓄積が確認されたこと、また回収されたボルトは、腐食が相当進行していたことから、腐食過程で生ずる水素がボルトに蓄積されたことによる水素脆化の可能性が高い。

(3) 現状評価と今後の進行予測

ボルトの破断・脱落は、橋の耐荷力に影響を及ぼすことから、耐荷力（応力状態）について、部材毎及び橋全体としての現状評価と今後の進行予測を行った。

1) 部材毎の現状評価

①部材毎の当初設計時の継手応力について

当初設計における各部材毎に継手の設計耐力（F11T）と再現設計に基づく実作用応力度を算出し、その設計上の応力余裕の状況を整理すると、図4-(3)-1のとおりである。各継手とも総じて10%以上の十分な応力余裕代があるが、補剛桁のJ4, J9継手の下フランジでは、継手の許容応力度に対する余裕がほぼ5%程度であり余裕がない状態にあるが、同位置では下フランジのボルト脱落はこれまでに生じていない。

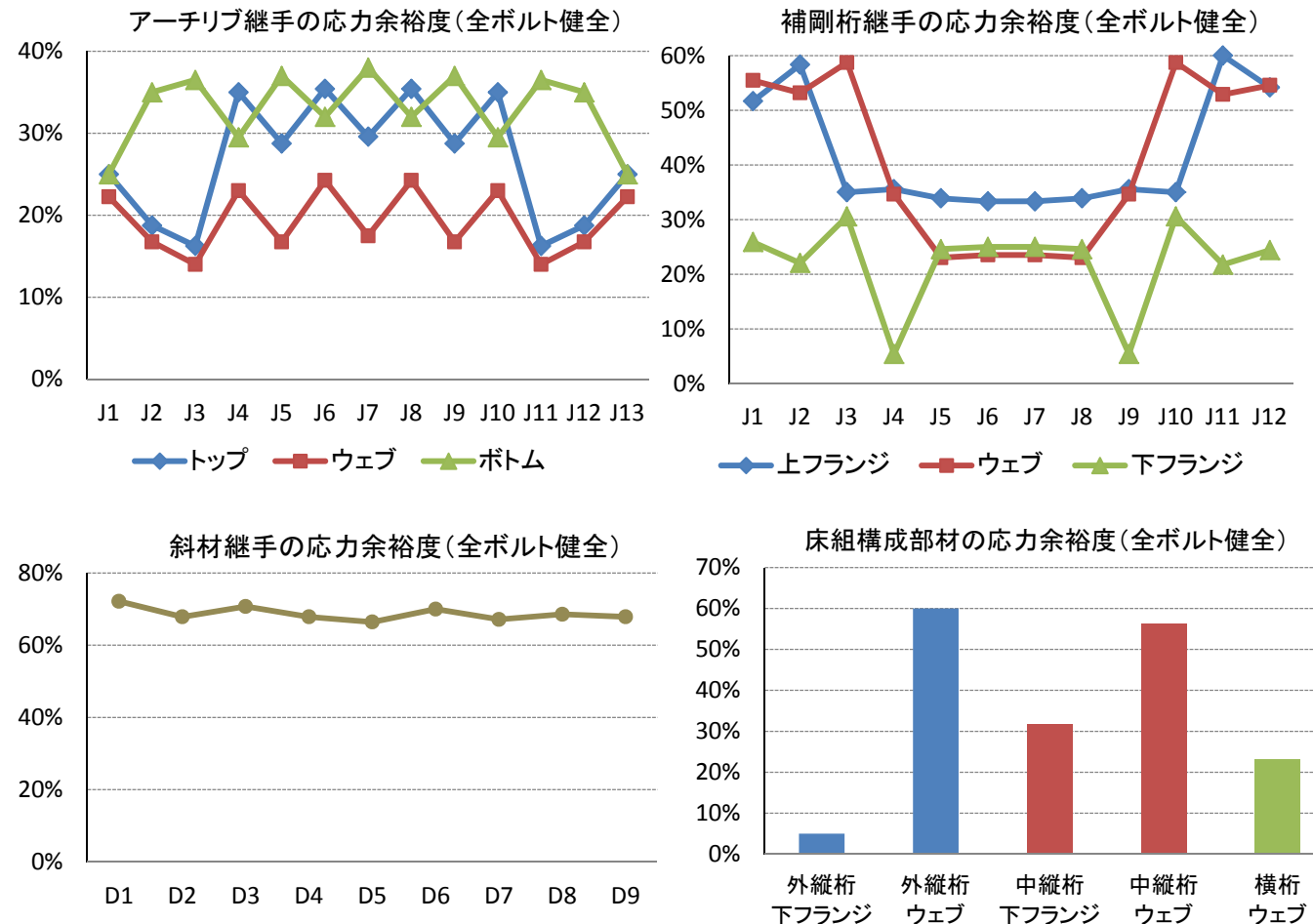


図4-(3)-1 全ボルト健全時の継手の応力余裕

②部材毎の継手の現状評価について

現状では、ボルトの脱落と復旧補修を経て88本のボルトが脱落した状態（H26年10月24日時点）となっている。このため、継手耐力の低下の影響を照査した結果（88本ボルト無し）を図4-(3)-2に示す。ただし、残存ボルトの実際の荷重分担が不明であることなどから、あくまで推定値として示すものである。

図4-(3)-1で示したとおり、設計時の継手耐力にはある程度の余裕を有しているものの、上流側アーチリブJ2継手のトッププレート、上流側アーチリブJ5継手のウェブプレートの2面においては、脱落本数が多いため計算上は許容値を超過している状況であった。しかし、この上流側アーチリブJ2, J5の2箇所の継手は、箱断面の部材形状であることから、添接板単位ではボルト本数の不足が生じているものの、継手全体としては強度の高い側（ボルト本数として余裕のある側）と一体となって作用力を伝達しているものと推定される。

以上のことから、損傷ボルトが多い添接板はあるものの、橋全体としては直ちに致命的な損傷が生じるような状態ではない。

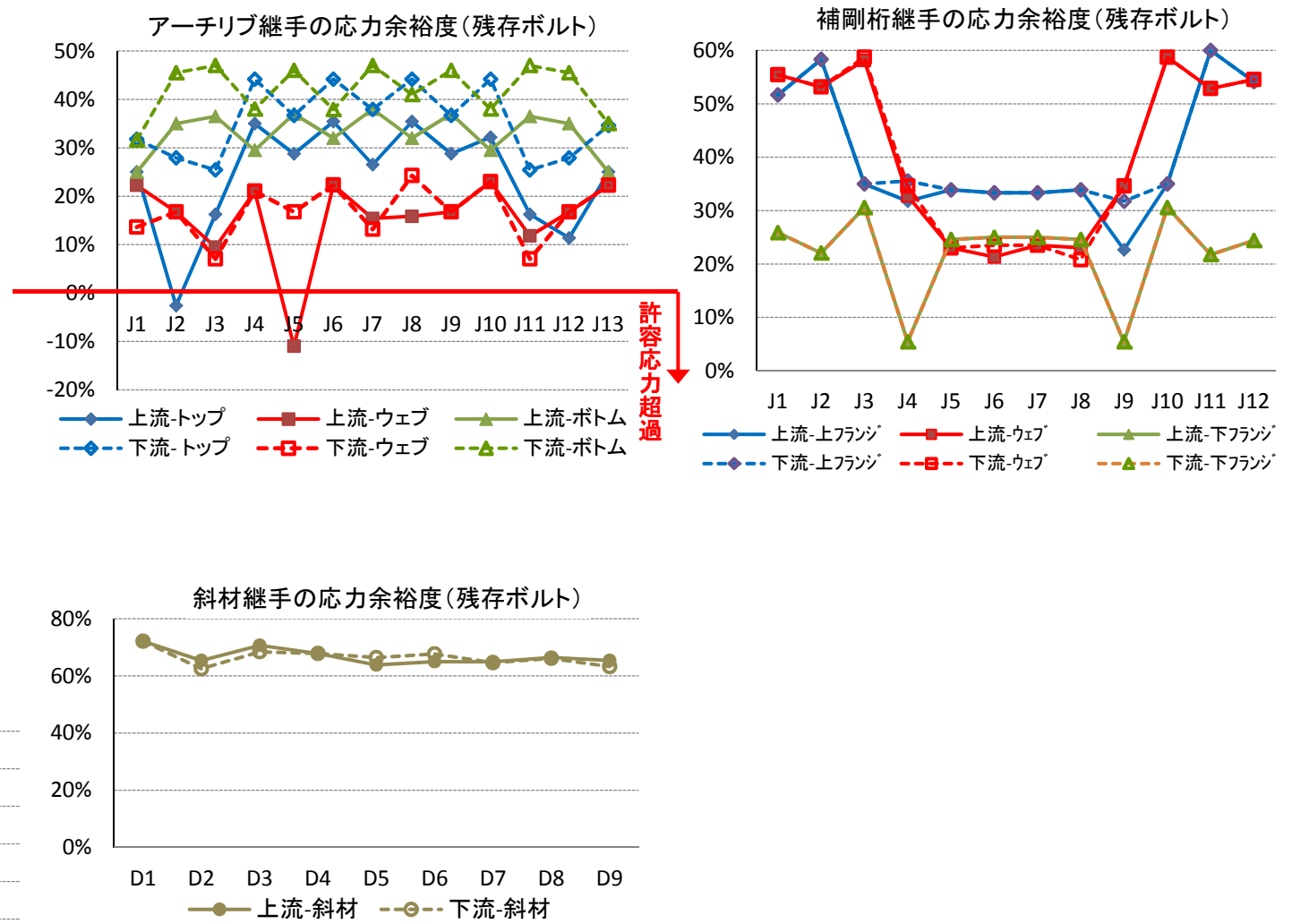


図4-(3)-2 脱落を考慮した継手の応力状態評価

以上の検討より、本橋継手部の現在の応力状態の評価をまとめると以下のとおりである。

- ・現状では、ボルトの脱落と復旧補修を経て 88 本のボルトが脱落した状態であった。設計時の継手耐力にはある程度の余裕を有しているものの、上流側アーチリブの 2 箇所での継手の一部で計算上は許容値を超過している状況が確認された。しかし、アーチリブは、箱断面の部材形状であることから、添接板単位ではボルト本数の不足が生じているものの、継手全体としては強度の高い側（ボルト本数として余裕のある側）と一体となって作用力を伝達しているものと推定されることから、橋全体としては直ちに致命的な損傷が生じるような状態ではない。
- ・現在まで脱落したボルト 233 本のうち、145 本は F10T あるいは S10T により再設置済みであるが、死荷重作用下での再設置であるため、死荷重が継手内各ボルトに再分配されていない可能性が考えられる。（残存ボルトの分担力が高くなっている危険性が考えられる。）
- ・残存ボルトにおいても、外見上健全なように見えていても、腐食が進行しており、既に遅れ破壊などボルト損傷が進行している可能性が考えられる。

【参考】 継手に作用する死荷重の応力比率について

平成 25 年度に三島町の修繕工事設計委託業務において、立体骨組解析による再現設計が行われており、成果品にその出力が添付されているが、部材断面力は、死荷重と活荷重の合計値のみの部分が添付されており、死荷重のみの内訳は省略されている。構造解析結果による死荷重による応力分担率が直接成果品から参照できないため、本橋に載荷される死・活荷重強度の総計を算出し、それぞれの荷重強度比によって継手部の応力度比を推計すると、継手に作用する死荷重と活荷重の分担比率はそれぞれ 84%、16%程度と推定され、死荷重の占める割合が非常に高い。

死荷重（雪荷重は考慮しない）			活荷重（L14） 衝撃係数を考慮		
種類	荷重強度 (tf)	算出根拠	荷重の種類	载荷領域	荷重強度 (tf)
鋼重	462.698	竣工図書 数量計算書	等分布荷重	主载荷部 (5.5m 幅)	151.305
床版、ハンチ	488.104	設計形状から算出		従载荷部 (1.5m 幅)	22.963
地覆	97.361	設計形状から算出	線荷重	主载荷部 (5.5m 幅)	21.368
鋼製防護柵	13.246	竣工図書 数量計算書		従载荷部 (1.5m 幅)	2.914
舗装	104.315	設計形状から算出	—	—	—
死荷重合計 (比率)	1165.724 (84%)		活荷重合計 (比率)		215.134 (16%)

本橋の架設工法は図 4-(3)-3 に示すケーブルクレーン直吊り架設工法であり、無応力状態で全ての鋼部材のボルト締めを行ってから、ケーブルクレーン解体によってボルト継手部に鋼重による応力が作用する。

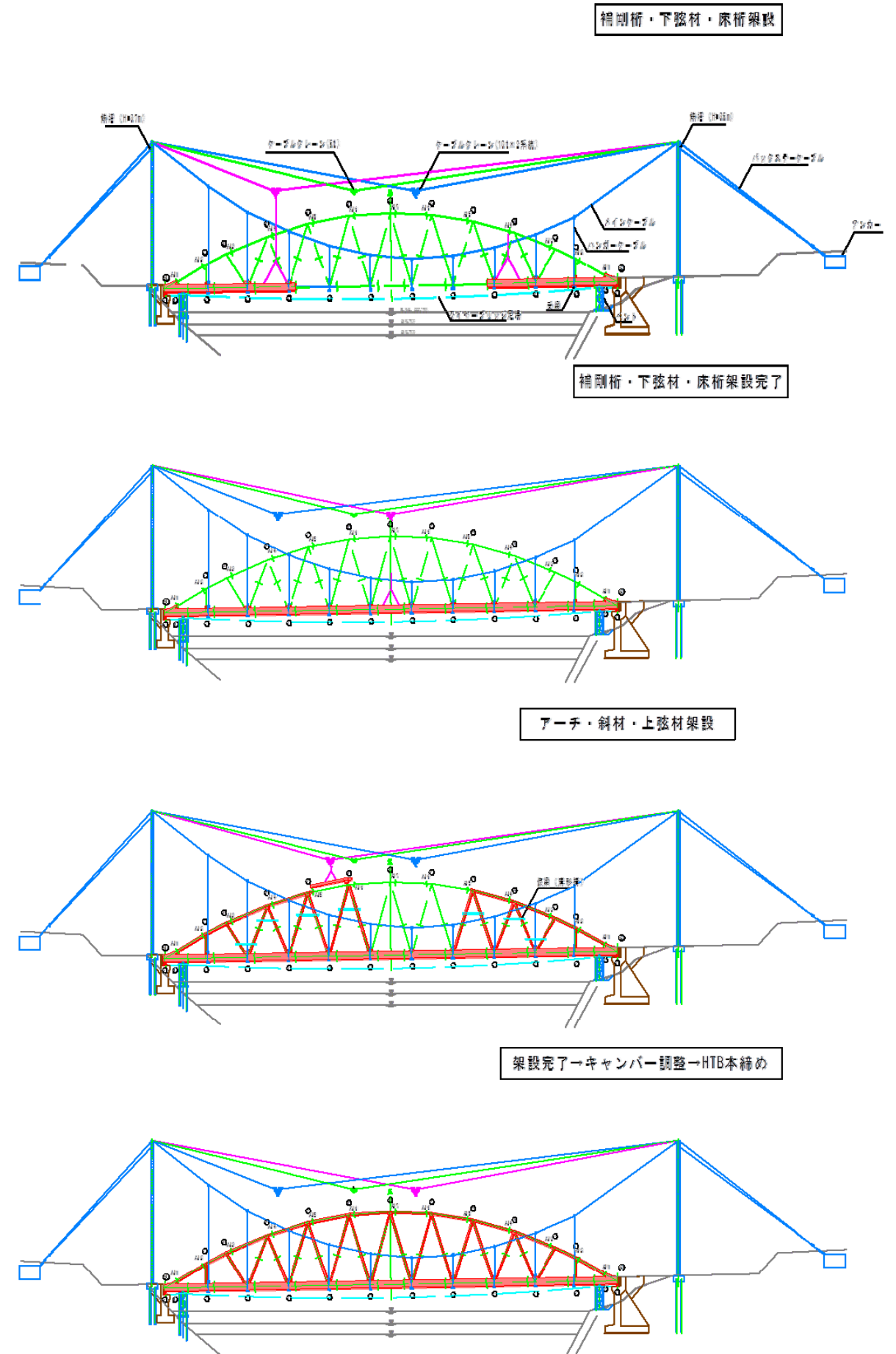


図 4-(3)-3 ケーブルクレーン架設ステップ図

2) 橋全体としての現状評価と今後の進行予測

ボルトの脱落推移、応力状態の推定、破断ボルトの性状調査結果から橋梁としての現状評価及び今後の破断損傷の進行予測は次のとおりと考えられる。

- ① 耐荷性能の観点では、現状では、継手全体として応力を伝達していると推定され、橋全体としては直ちに致命的な損傷が生じるような状態ではないが、図4-(1)-2に示すように、特にアーチリブのボルト脱落は、年々増加傾向にあり、今後の安全性について検討する必要がある。
- 次に、ボルト脱落の今後の進行性について、図4-(1)-2の過去の脱落履歴に基づき、定期点検間隔である5年、10年後の脱落ボルト本数について試算を行った。以下にアーチリブの結果を示す。今後は、加速的に脱落本数が増加する可能性が考えられる。

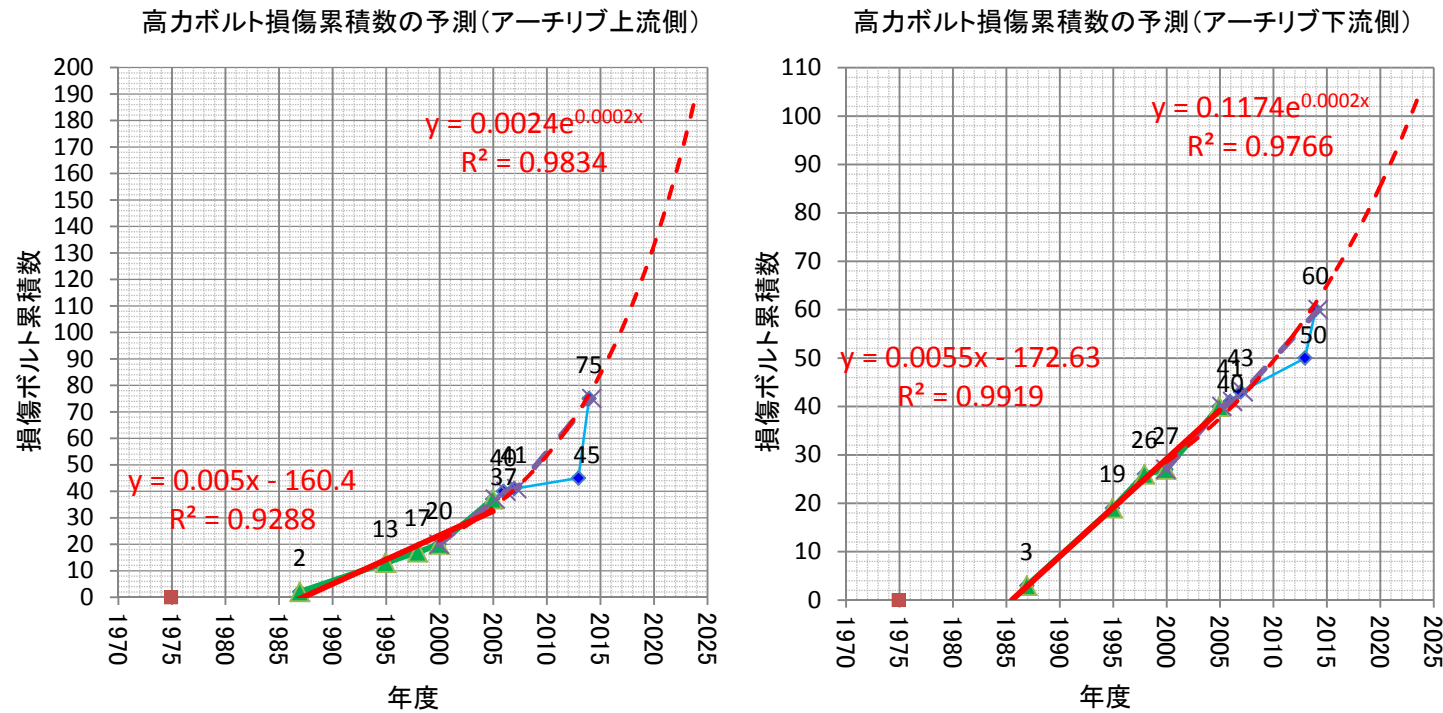


図4-(3)-4 アーチリブの高力ボルト損傷累積数の予測

上図グラフより、アーチリブ部材の5年後、10年後の総脱落本数を予測し、アーチリブ部材の各部位別のボルト脱落発生予測本数は、表4-(3)-1に示されるように、これまでと同じ発生割合で現れると仮定して算出したものが、下表である。

表4-(3)-1 アーチリブの高力ボルト脱落発生予測本数

部材		5年後	10年後
上流側アーチリブ		49本脱落	120本脱落
内訳	トッププレート	10本脱落	25本脱落
	ウェブ	33本脱落	81本脱落
	ボトムプレート	6本脱落	14本脱落
下流側アーチリブ		22本脱落	50本脱落
内訳	トッププレート	5本脱落	13本脱落
	ウェブ	17本脱落	31本脱落
	ボトムプレート	0本脱落	6本脱落

また、この予測本数をもとに、将来のボルト脱落状態での継手応力度照査の結果を示すと、以下のとおりである。

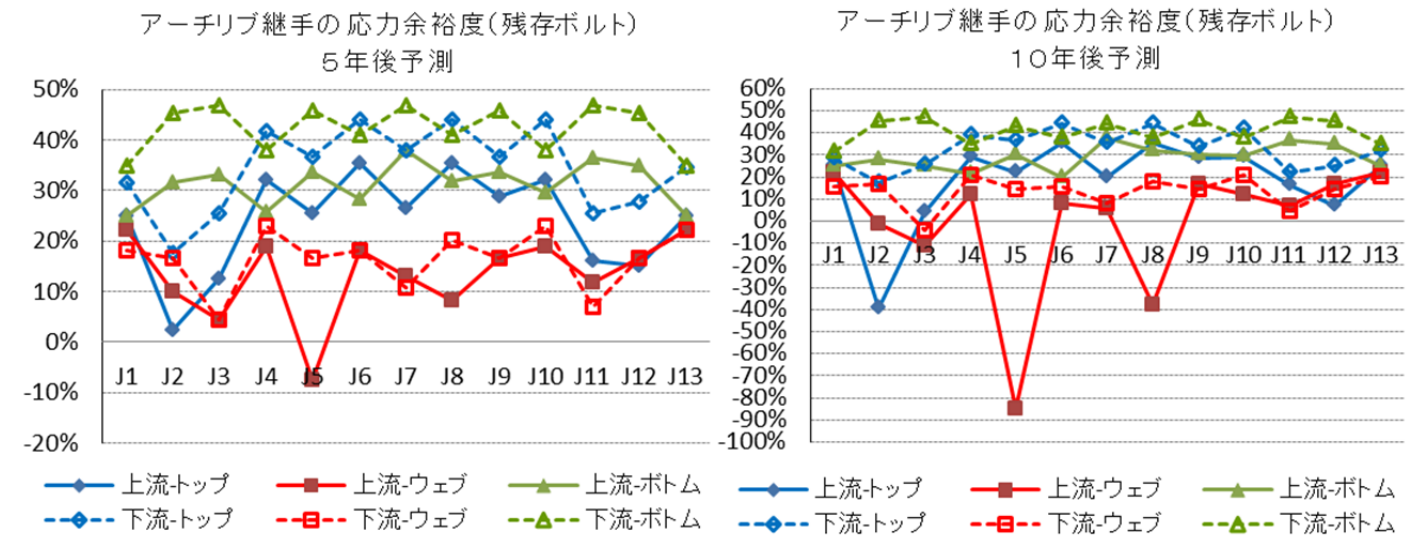


図4-(3)-5 アーチリブの5年度、10年後の継手応力予測

この試算結果から、5年後には上流側アーチリブで許容応力度を超過する継手が1箇所(J5上流側ウェブ)、ほぼ許容応力度の限界に近い応力状態となる継手が3箇所(J2上流側上フランジ、J3上・下流側ウェブ)と予想される。10年後には、許容応力度超過となる継手が6箇所(J2、J3、J5、J8上流側ウェブ、J2上流側上フランジ、J3下流側ウェブ)、2箇所(J3上流側上フランジ、J11下流側ウェブ)と予想され、アーチリブ継手が十分な安全性を有していない状態となる可能性が考えられる。

また、上流側J5継手のように、1箇所の継手で脱落が集中する傾向が現れており、この点を考慮に入ると、ボルト脱落による安全性の低下はさらに早まると予想される。その他に、工事期間や地震などの不測事態も考慮すると、すみやかに全数のボルト交換を開始すべきタイミングである。

- ② 耐震性能の観点では、風、地震の横荷重に抵抗する部材のうち橋門構は、損傷発生率が高い部材であり、上記①と同様に、危険な状態にあると考えられる。それ以外の横荷重抵抗部材である上横構、下横構、対傾構についても、現状では損傷発生率はまだ小さい状況ではあるが、各継手の一群のボルト本数が少ないため、ボルトが一本脱落することによる継手耐力の低下度合いは、アーチリブや補剛桁の一継手における複数ボルトの脱落よりもはるかに影響が大きいため、危険な状態になる可能性が高い。
- ③ 耐久性能の観点（遅れ破壊、腐食）では、残存ボルトの健全性が不明なこと、また常時風雨にさらされる部材が多いことから、ボルトの遅れ破壊及び腐食が今後も進行する可能性は高い。
- ④ 耐久性能の観点（疲労）については、現状では交通荷重や風による疲労亀裂や塗膜割れは確認されていない。しかし、ボルト脱落による継手部の剛性低下などにより、今後、想定していないところで亀裂が発生する可能性が考えられる。

（４）高力ボルトに関する今後の対策（案）

1) 対策内容

前節での現状評価と今後の進行予測により、本橋で使用されている **F11T** 高力ボルトは、全数 **S10T** トルシア形高力ボルトへの交換をすみやかに実施すべきである。

S10T 高力ボルトへの交換は全箇所を対象とすべきであるが、横桁と縦桁の上フランジ継手のコンクリート接触部は、以下の理由により交換対象としないことも考えられる。

- ① ボルト交換のためには、コンクリート床版の部分的にはつって上フランジ上面を露出させる必要があるが、現時点では本橋の当該部位のボルト脱落は、5本と少ない。
- ② 上記1)でボルト脱落が発生している床組継手は、応力的にも余裕があり、構造的安全性の観点からはボルト交換の緊急度は高くない。
- ③ 当該部の直下は河川であり、ボルト脱落による第三者被害発生のおそれはない。

なお、**F11T** で設計された継手に対して、許容応力度が小さい **S10T** へ交換することにより、継手耐力は低下するが、両者の許容応力度の差は5%であり、4.(3)で示したとおり、継手に総じて十分な応力度余裕があることから問題はない。また、応力度余裕が約5%と少ない補剛桁下フランジの **J4,J9** 継手も、補修時には次のようなことによつて、これを補うことができるものと考えられる。

- ① 補修時はすでに添接板が母材になじんでいて、締め付け後の高力ボルト軸力は、ばらつきが少なく、かつ板のなじみによる軸力減少が少ないので、継手部全体の摩擦力の期待度が高まっていると考えられる。
- ② 死荷重作用下で高力ボルトを取り替える場合、取替順序を適切に選ぶことによつて、各高力ボルトへの摩擦伝達力が平均化されると考えられる。

2) 橋全体におけるボルト交換方法

ボルトの交換方法については、全体構造系における継手耐力と実作用応力度との余裕や、現状の損傷状態を勘案しながら検討する必要があり、以降に示す事項に留意し継手毎に安全余裕が担保できるよう施工するのがよい。なお、具体的な施工手順等については十分な検討をすべきである。









- ① 現状でボルトの脱落が少なからず生じているため、最初に全てのボルト脱落箇所に **S10T** 高力ボルトを設置し、ボルト脱落箇所が無い状態とする。
- ② 今後、どの継手・どのボルトから抜けていくか推測できないことから、交換可能なところから順次実施する。ただし、ひとつの部材で同時に2箇所の更新を行うことは危険なことから実施しない。
- ③ 継手内でも同時に2本以上抜けた状態はつくり、1本ずつ完全に置き換えていく。また、ボルト締めの順番が正規にならないことから、最後に増し締めボルト軸力の確認も実施する。

5. 高力ボルトを除く部材の調査結果と診断

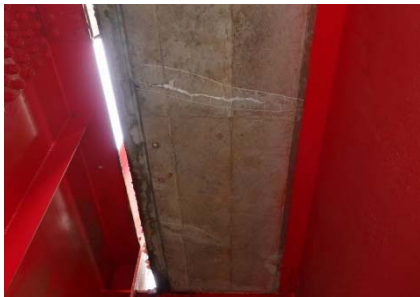


(1) 現地調査結果

高力ボルトの破断・脱落以外の損傷について、現地調査で確認された結果を以下に示す。






1) 鋼部材

部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定	部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定
アーチリブ	腐食		アーチリブの添接部やエッジ部に腐食が生じている。 防食塗膜の経年劣化とともに、風雨にさらされているため、腐食が進行したものと推定される。	橋門構	腐食		橋門構の添接部やエッジ部に腐食が生じている。 防食塗膜の経年劣化とともに、風雨にさらされているため、腐食が進行したものと推定される。
斜材	腐食		斜材の添接部やエッジ部に腐食が生じている。 防食塗膜の経年劣化とともに、風雨にさらされているため、腐食が進行したものと推定される。	上横構	腐食		上横構のエッジ部に腐食が生じている。 防食塗膜の経年劣化とともに、風雨にさらされたため、腐食が進行したものと推定される。
格点部	腐食		格点部に腐食と土砂堆積が生じている。 防食塗膜の経年劣化とともに、風雨にさらされているため、腐食が進行したものと推定される。	横桁	腐食		横桁の下フランジのエッジ部(アーチ補剛桁との現場継手部近傍)に減肉を伴う腐食が生じている。 防食塗膜の経年劣化とともに、直上の地覆側面からの水かかり影響で、腐食が生じたものと推定される。
補剛桁	腐食		アーチ補剛桁の桁間部の下フランジ上面に腐食が生じている。 添接部やエッジ部の腐食がやや顕著である。 防食塗膜の経年劣化とともに、車両走行時の水跳ねの影響で、腐食が進行したものと推定される。	下横構	防食機能の劣化		下横構は全体的に塗装被膜のうき、変色が発生している。 防食機能の経年劣化により生じたものと推定される。

2) 床版

部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定
床版	床版ひびわれ		張出床版は全体的に0.1mm程度の床版ひびわれが見られ、遊離石灰を伴っている。床版ひびわれは主として1方向で、ひびわれ幅は0.1mm以下が主である。防水層の設置はなく、直上の橋面舗装に異常は生じていない。水切りは機能している状況である。乾燥収縮によるものと推定される。
			補剛桁間の床版に床版ひびわれが全体的に見られ、総じて0.2m以下の格子状であり、ひびわれ幅は0.2mm以上が目立つ。特にA2側桁端部では、0.35mm程度/0.1m間隔のひびわれが見られ、部分的な角落ちも認められる。橋面防水層の設置はない。直上の橋面舗装に異常は見られず、また床版支間部には遊離石灰の析出も見られない。乾燥収縮により生じたひびわれが活荷重による疲労の影響で、2方向に進展したものと推定される。
	剥離・鉄筋露出		支間中央部付近の下流側の張出床版下面に豆板状の剥離が生じている。剥離が見られるのは本箇所のみである。鉄筋の露出はなく、比較的軽微な表面剥離である。コンクリート打設時の締め固め不足により、生じたものと推定される。






3) 下部工

部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定
縦壁	ひびわれ		A2橋台縦壁正面のほぼ中央に鉛直方向に幅0.35mm程度のひびわれが見られる。ひびわれは鉛直方向に1本のみである。コンクリート打設後の温度応力及び乾燥収縮の影響により生じたものと推定される。
	漏水・滞水土砂堆積		A1, A2橋台とも沓座面に漏水・滞水と土砂堆積が見られる。伸縮装置からの漏水とともに、路面の土砂が供給されたものと推定される。排水型の伸縮装置のため、漏水や土砂の供給は継続しているものと思われ、躯体コンクリートや支承部の劣化損傷要因にもなっていると考えられる。
胸壁	剥離・鉄筋露出		A1橋台胸壁にコンクリート剥離(0.1m×0.4m)が生じている。損傷範囲は限定的である。コンクリート打設不良箇所に伸縮装置からの漏水により、劣化が進行したため剥離に至ったものと推定される。
	ひびわれ		A2橋台胸壁に0.1mm程度のひびわれ、遊離石灰の析出が見られる。コンクリート打設後の乾燥収縮により生じたものと推定される。
フーチング	洗掘		A1橋台フーチング基礎の上端角部に土砂の洗掘が見られる。フーチング底面の露出には至っていない。法面が急勾配であるため、雨水の影響で表層土砂が流出したものと推定される。





4) 舗装

部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定
舗装	路面の凹凸		A2橋台背面の舗装面に30mm程度の段差が生じている。また、舗装にひびわれ(5mm程度)が見られる。損傷は局部的である。 車両走行による衝撃等の影響で生じたものと推定される。
	舗装の異常	A2 から L/4 点近傍の舗装面 	上り線 A2 側の舗装にひびわれ(5mm 程度)が見られる。現時点では局部的であり、土砂の吹き出しなども見られない。直下の床版に変状(漏水・遊離石灰)は生じていない。橋面防水層は未設置である。 車両走行に伴う振動や衝撃の影響で生じたものと推定される。
		A2 側桁端近傍舗装面 	

5) 支承部

部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定
支承本体	腐食		A1側のピンローラー支承のローラーカバーに減肉を伴う腐食が見られ、アンカーボルトにも腐食が見られる。 伸縮装置からの漏水や支承周りの土砂堆積の影響で腐食が進行したものと推定される。
			
沓座 モルタル	うき		A1橋台側G1沓座モルタルにうき(0.3m×0.3m)、欠損(0.1m×0.6m)が見られる。 A1橋台側G2沓座モルタルにうき(1.0m×1.1m)、欠損(0.4m×0.4m)が見られる。 A2橋台側G1沓座モルタルにうき(0.2m×0.7m)が見られる。 伸縮装置からの漏水による凍結融解やモルタルの経年劣化により、うきが生じたものと推定される。
			
			

6) 伸縮装置

部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定
伸縮装置 (A1側)	漏水・滞水		排水型の伸縮装置のため、雨天時には漏水が生じている。 橋台壁面にも漏水が見られ、下部工に滞水が生じている。
			上記写真の拡大
伸縮装置 (A2側)	漏水・滞水		排水型の伸縮装置のため、雨天時には漏水が生じている。 橋台壁面にも漏水が見られ、下部工に滞水が生じている。
			上記写真の拡大

7) 防護柵・地覆

部材名	損傷の種類	損傷写真	損傷状況・周辺状況および原因の推定
防護柵	腐食		防護柵は全体的に表面錆が発生している。雨掛かりのある箇所である。 防食塗膜の経年劣化とともに、雨風にさらされたことで劣化が進行し、腐食が生じたものと推定される。
防護柵	変形・欠損		下り線側の支間中央部の防護柵に変形が見られる。損傷は局部的である。 支柱内に浸入した水が凍結膨張し、変形が生じたものと推定される。
地覆	ひびわれ		地覆は全体的に0.2mm程度のひびわれ、遊離石灰の析出が見られる。 コンクリート打設後の乾燥収縮と防護柵支柱基部の腐食膨張の影響で生じたものと推定される。
地覆	変形・欠損		上り線側のA1付近の地覆に断面角部の欠損が見られる。 除雪時等の車両接触により、生じたものと推定される。

(2) 各部材の現状評価

- 1) 橋体工、支承等の鋼部材は全体的に下塗りまでは劣化が及んでいないものの、特に風雨に晒されている箇所や格点部等においては塗装の劣化が進行している。
- 2) 床版は、全体的に2方向性を呈し、幅0.2mm以上のひびわれもみられることから、耐荷力が低下傾向にある可能性が考えられる。ただし、現状では橋面からの漏水・遊離石灰はみられない。
- 3) A1 橋台胸壁にコンクリート剥離、A2 橋台の堅壁に鉛直方向のひびわれ（幅0.35mm、一部に遊離石灰あり）が見られるが、損傷は限定的であり、現状耐荷力低下には至っていない可能性が高い。また、A1 橋台フーチング右の基礎部は、法面が急勾配であるために前面の土砂が洗掘を受けているが、現状支持力低下には至っていない可能性が高い。
- 4) 伸縮装置は排水型の構造であるため、橋面から橋座面に水や土砂などが供給され、桁や支承などの損傷原因となっている可能性が高い。なお、伸縮機能に異常はみられない。
- 5) 舗装に橋軸直角方向のひびわれが等間隔に見られ、床版へ水が浸入している可能性が考えられる。現状、車両走行性に影響はない。

なお、ボルト脱落損傷の影響によるとみられる亀裂や変状等の損傷は認められなかった。

(3) 今後の進行予測

- 1) 鋼部材の腐食は、減肉を伴うものも確認され、伸縮装置や地覆側面などからの水かかりの影響がある場所や格点部等では、損傷の進行が早い可能性があると考えられる。
- 2) 床版は、ひびわれに漏水・遊離石灰は確認されなかったものの、橋面防水が未施工であり舗装にはひびわれが確認されていることから、床版への水の浸入により耐荷力が急激に低下する可能性が考えられる。
なお、今回の調査時には、大型車（土砂満載のダンプトラックとみられる）の通行も確認された。



ダンプトラックの通過状況

- 3) A1 橋台胸壁の剥離、A2 橋台の堅壁の鉛直方向のひびわれは、今後雨水が浸入した場合、耐荷力の低下に至る可能性が考えられる。また A1 橋台フーチングは、今後の増水等の不測事態によって、フーチングの支持力が低下する可能性が考えられる。
- 4) 伸縮装置から橋座面に水や土砂など供給されると、主要部材である橋台や橋体などの損傷原因となり、損傷が急速に進行する可能性が高い。
- 5) 舗装のひびわれから、床版に水が供給されると、床版の耐荷力が急激に低下する可能性が高い。

(4) 今後の対策（案）

部材	損傷の種類	対策工と留意点
鋼部材	腐食 防食機能の劣化	塗替え塗装工 (Rc-IV 塗装系、一部 Rc- II 塗装系) 鋼部材の腐食は、横桁に一部減肉を伴うものも見られ、また全体的には損傷深さや損傷範囲が軽微であるものの、塗装の劣化が進行していることから、高力ボルトや継手部の塗装とあわせて、全体の塗替え塗装を実施するのがよい。 ボルト取替のための全足場設置に合わせ、塗替え塗装も施工する方が、トータルコストとしては有利である。 現況の塗装系は、旧 C 塗装系（エポキシ樹脂下塗+ポリウレタン樹脂中・上塗り）であり、下塗りには劣化が及んでいないと推定されるため、塗替えは Rc-IV 塗装系を基本とし、横桁下フランジや継手部分に見られる局所的な腐食部については Rc- II 塗装系を適用することも考えられる。
床版	床版ひびわれ	橋面防水工 (シート防水) 桁間の床版ひびわれは2方向性を呈し、0.2mm以上のひびわれも存在するが、現状では漏水箇所は見られない。 しかし橋面防水が未施工であり、床版への水の浸入により耐荷力が急激に低下する可能性が考えられ、また床版内に埋め込まれた高力ボルトへの漏水を防ぐため、すみやかに橋面防水工を実施すべきである。
下部工 堅壁 胸壁	ひびわれ 剥離	ひびわれ注入充填工、断面修復工、伸縮装置の非排水化工 A1 橋台胸壁にコンクリート剥離、A2 橋台の堅壁に鉛直方向のひびわれ（幅0.35mm、一部に遊離石灰あり）が見られ、伸縮装置からの漏水が継続していることから、今後耐荷力の低下に至る可能性が考えられる。 このため、0.2mm以上のひびわれ注入と剥離損傷部の断面修復補修を実施するのがよい。
基礎工 フーチング	洗掘	法面保護工 A1 橋台フーチング右の基礎部の角が露出している。支持地盤面の露出まで至っていないが、法面が急勾配であり、増水時等にさらに洗掘が進行し、フーチングの支持力が低下する可能性が考えられることから、法面保護工を実施するのがよい。
舗装	路面の凹凸 舗装の異常	舗装打換工、橋面防水工 (シート防水) 支間中央から A2 にかけての上流側車線部の舗装に橋軸直角方向のひびわれが等間隔で発生しているが、下方の床版には漏水は見られない。 橋面防水が未施工であり、床版への水の浸入により耐荷力が急激に低下する可能性が考えられることから、すみやかに橋面防水工と舗装の打換えを実施すべきである。

部材	損傷の種類	対策工と留意点
支承部 支承本体 アンカーボルト 沓座モルタル	腐食	支承防錆工(金属溶射)、伸縮装置の非排水化工 伸縮装置からの漏水により支承本体とアンカーボルトに腐食が生じ、局所的な減肉も見られる。 支承は上部工反力伝達と同時に、上部工の移動・回転が円滑に行う機能も確保する必要があるが、狭隘な桁端部に位置するため腐食が生じやすい環境であり、腐食によって支承機能が阻害される可能性が考えられる。 このため、支承防錆工（金属溶射）を実施するのがよい。
	うき	断面修復工、伸縮装置の非排水化工 堅壁天端面には、伸縮装置からの漏水や土砂堆積によって滞水が生じており、沓座モルタルにもうきや欠損が見られる。 支承部の腐食補修と合わせて、沓座モルタル劣化損傷部の断面修復を実施するのがよい。
伸縮装置	漏水・滞水	非排水化工 フィンガー遊間からの漏水が、支承部、下部工、橋体工の損傷原因となっているため、原因排除の観点からすみやかに非排水構造とする補修を実施すべきである。 なお、桁端部は広く、設置空間、施工作业空間とも支障はない。
防護柵	腐食 防食機能の劣化	塗替え塗装工(Rc-IV塗装系、一部 Rc-II 塗装系) 防護柵の腐食は、損傷の深さ及び範囲は軽微であるが、上部工本体の塗替え塗装と合わせて、防護柵の塗替えを実施するのがよい。 適用塗装系は、上部工本体と同様に Rc-IV 塗装系を基本とし、腐食が生じている箇所は、Rc-II 塗装系を適用することも考えられる。 なお、現状の防護柵は、現行基準（H20.1,「防護柵の設置基準・同解説」）に適合したブロックアウト構造へと取り替えることが望ましいが、現状では車両衝突による変形もなく、上記のとおり腐食も局所的な状態であるため、既存防護柵の塗替え塗装のみを行うことでも問題ないと考えられる。
地覆	ひびわれ 剥離	ひびわれ注入充填工、断面修復工 橋軸直角方向のひびわれ（w=0.1mm～0.2mm、一部に遊離石灰あり）が散見される他、断面角部の欠損が見られる。 このため、0.2mm 以上のひびわれ注入と剥離損傷部の断面修復補修を実施するのがよい。
排水ます	土砂詰り	調査時に土砂詰りが確認されたため、土砂撤去を行って処置済みであるが、路肩部の縦・横断勾配が緩やかであるため、土砂堆積を生じやすい。 今後も定期的な維持管理によって、土砂堆積が見られた場合には、除去清掃を実施するのがよい。

部材	損傷の種類	対策工と留意点
排水管	漏水・滞水	排水管取替工 鋼製排水管の先端に腐食による欠損が見られる。 欠損が進行して、橋梁本体への流末水飛散を生じる可能性が考えられることから、新規部材への取換えを実施するのがよい。
添加物	腐食	伸縮装置の非排水化工 A1,A2 橋台の胸壁からの添加管接続部において、伸縮装置からの漏水による腐食が見られるため、伸縮装置非排水化によって腐食の進行は抑制されると考えられる。

6. 技術的助言

本橋の現状評価および今後の対策方法に関して、技術的観点から以下のとおり助言する。

(1) 橋全体について

橋梁現地調査及び高力ボルトの各種室内試験結果から、橋梁全体としては直ちに致命的な損傷が生じるような状態ではないが、今後加速度的にボルトが脱落損傷する可能性が考えられ、通行車両の安全を確保するためには、すみやかに高力ボルトの全数交換の補修を実施すべきである。

また、床版の劣化、アーチリブ・斜材・補剛桁などで腐食及び塗装の劣化が進行しつつあり、耐久性確保の観点から、これらについてもボルト補修とあわせて補修を実施すべきである。

(2) 高力ボルトについて

高力ボルト(F 1 1 T)については、橋梁全体にわたって破断による脱落が見られ、全ボルト本数 19,468 本のうち 88 本が損失しており(H26.10.24 現在)、さらに脱落が進行傾向にある。特に上流側のアーチリブウェブ継手部においては、直近の平成 19 年以降 8 年間に脱落した本数が、それまでの 20 年間の脱落本数とほぼ同程度となり、約 2 倍以上の速さで脱落損傷が進行しており、今後 5 年以内には設計計算上の応力を超過する箇所が発生する危険性があるとともに、さらに加速化が進む可能性が考えられる。

その他の部材においても高力ボルトの脱落に伴い、残存ボルトの分担力が高くなり、各継手部では作用力に対する耐荷力が低下している可能性が考えられる。

ただし、継手全体としては、複数面が一体となって作用力が伝達していることから、直ちに致命的な損傷が生じるような状態ではない。

高力ボルト破断の原因については、過去の調査結果、現地の状況及び回収ボルトの各種室内試験結果から、遅れ破壊である可能性が高い。

各種室内試験では、走査型電子顕微鏡による破面の破壊形態の確認、光学顕微鏡によるボルト組織の異常の確認、ボルトの引張強度及び硬さの確認、ボルトの金属成分の確認、水素含有量の確認を行った。

回収した破断ボルトは応力の集中しやすい不完全ねじ部で破断しているものが多く、また破面はほぼ全てが変形を伴わない脆性的な様相を呈しており、その破面を詳細に観察すると、まず大部分が脆性的な割れが急激に進み、残りの部分はその後に引き延ばされるように延性破壊し、破断に至るといった進展過程(遅れ破壊)となっていることが確認できた。ボルト自体の引張強度や硬さ、金属成分などは所定の規格値を満足しており、強度不足による破断ではない。

破断ボルトのほかに、複数の部材から未破断ボルトも採取し同様に性状確認を行ったが有意な差は認められなかった。

したがって、現時点でボルトの脱落損傷が多い部材かどうかにかかわらず、橋梁全体において同じ性状のボルトが使用されていることから、各部材で環境条件等の違いにより破断に至る時間の違いはあっても、破断のリスクは全てのボルトにおいて同程度である可能性が高い。

残存ボルトは、外見上健全なように見えても、すでに遅れ破壊が生じ、急速な損傷の進行が危惧される状況である可能性が考えられる。

そのため、通行車両の安全を確保するため、また、ボルトの補修に要する期間や地震発生などの不測の事態も考慮すると、すみやかに高力ボルトの全数交換(F 1 1 TからS 1 0 Tへ)の補修を実施すべきである。

高力ボルトの交換補修を実施する場合には、既に脱落している箇所も含めて残存ボルトの状況などから現況の継手性能を確認し、十分監視しながら実施するのが良い。

ただし、同一部材で同時に 2 箇所の交換は危険であり、また、同一継手内で同時に 2 本以上脱落した状態にはせず、1 本ずつ確実に交換を実施していくなどの実施手順や最後に交換ボルトの軸力が満足しているか確認する等、十分な施工管理を実施するのが良い。

なお、高力ボルトの全交換の補修が完了するまでの間に車両を通行させるためには、十分な監視を実施すべきである。

(3) 床版について

床版は全体的に、ひび割れが 2 方向性を呈し、幅 0.2mm のひび割れも存在するが、現状では橋面からの漏水の痕跡は見られない。

しかし橋面防水が未施工であり、床版への水の浸入により耐荷力が急激に低下する可能性が考えられ、また床版内に埋め込まれた高力ボルトへの漏水を防ぐため、すみやかに橋面防水工を実施すべきである。

(4) 伸縮装置

伸縮装置は非排水構造となっていない(橋面の水が直接桁下へ排水されるタイプ)ことから、支承や下部工等桁端部の劣化防止の観点から、すみやかに非排水構造とする補修を実施すべきである。

(5) 鋼部材の塗装

橋体工、支承等の鋼部材は全体的に下塗りまでは劣化が及んでいないものの、特に風雨に晒されている箇所や格点部等においては塗装の劣化が進行していることから、高力ボルトや継手部の塗装とあわせて、全体の塗替え塗装を実施するのがよい。

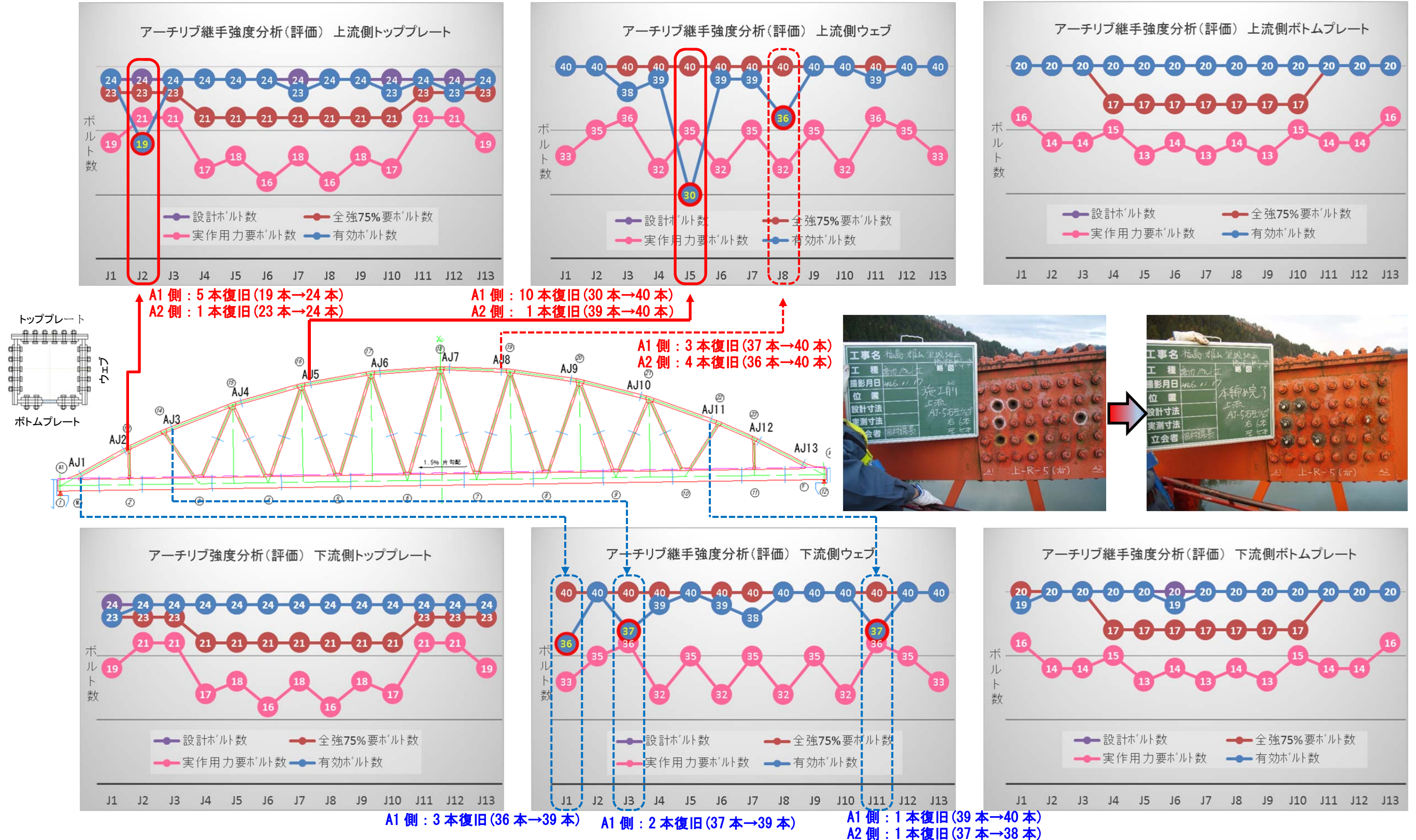
(6) 下部工(橋台)

A1 橋台の胸壁上部に、幅 0.1m×長さ 0.4m のコンクリートの剥離がみられるとともに、A2 橋台縦壁中央に幅 0.35mm の鉛直方向ひびわれがみられ、今後雨水の浸入により耐荷力の低下に至る可能性が考えられることから、断面修復とひび割れ注入による補修を実施するのがよい。

また、A1 橋台フーチング右の基礎部において、前面の土砂が洗掘を受けており、増水や洪水等によりさらに洗掘が進行した場合、フーチングの支持力が低下する可能性が考えられることから、法面保護工を実施するのがよい。

平成 26 年 11 月 17 日に実施した応急処置について

アーチ部材において、特に F11T 遅れ破壊によりボルト損傷・抜け落ちが多いことから継手部の強度・所要本数を照査したところ、実作用力に対して強度不足（ボルト本数不足）が2箇所【上流側 J2-トッププレート、上流側 J5-ウェブ（下図の **部**）】見られ、今後本格的な降積雪期を迎えて現地作業が困難となること予想されたため、応急措置として抜落ち孔に高力ボルト S10T を設置した。さらに他の強度余裕の少ない箇所についても、手持ち予備本数状況、調査作業の中で可能な範囲において高力ボルトを設置することとし、4箇所【上流側 J8-ウェブ（下図の **部**）下流側 J1,J3,J11-ウェブ、下図の **部**】にも同様に高力ボルト S10T の設置を行い、アーチリブ部材の強度回復措置を行った。（合計 31 本設置）（平成 26 年 11 月 17 日実施）



図一（補足）アーチリブの現状耐荷力評価と応急処置