

令和元年7月26日
鋼橋の維持管理全体の高度化に関する講習会

トラス部材の耐震補強について

本州四国連絡高速道路(株) 保全部 橋梁保全課 鈴木 翔太



Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited

目次

2

- TRSの鋼製閉断面部材の耐震補強への適用
- 密閉性試験について
- 疲労耐久性試験について



背景

瀬戸大橋耐震補強工事において
高力ボルト摩擦接合継手を用いて補強部材を設置
(座屈に対する断面パラメータの改善)

→トラス部材閉断面にボルト孔をあける必要有り



ボルト孔からの腐食因子 (塩分・水 etc) の浸入による
部材内部の防食性能の低下が懸念



「スレッドローリングねじ (以下、TRS) φ16」
による補強部材の設置 (補剛材接合) を検討



高力ボルトによる補強部材設置例

適用を検討中



スレッドローリングねじ
(Thread Rolling Screw)

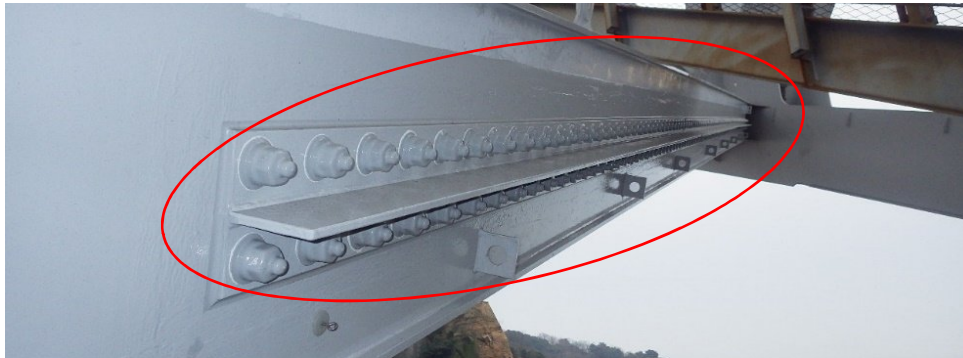


課題

○補剛材の接合方法

→ 高力ボルト摩擦接合継手

- ・ HTB (トルシア高力ボルト)
- ・ MUTF (ハック高力ワンサイドボルト)



○懸念事項

補剛材設置による

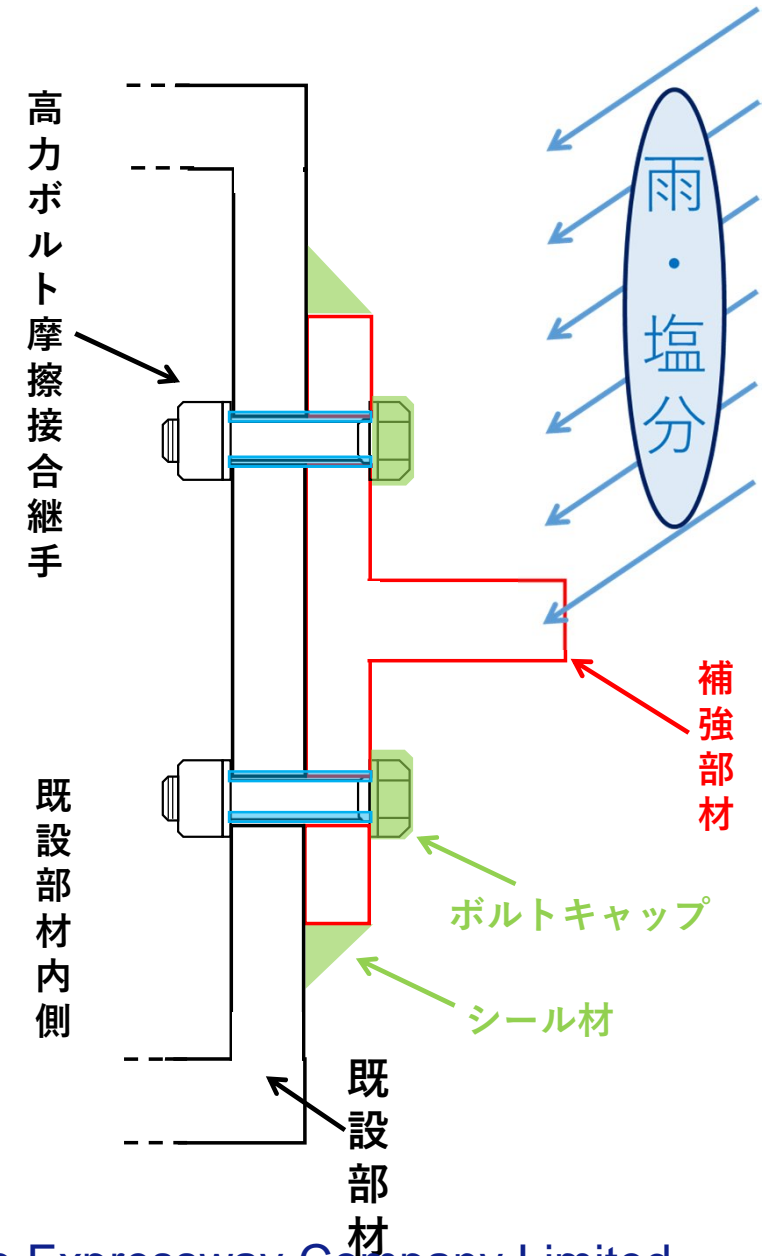
トラス部材閉断面内への雨水及び塩分の浸入

①施工時に、ボルト孔明け部より浸入

→水に浸入に配慮した施工を実施

②維持管理時に、ボルト軸部の隙間より浸入

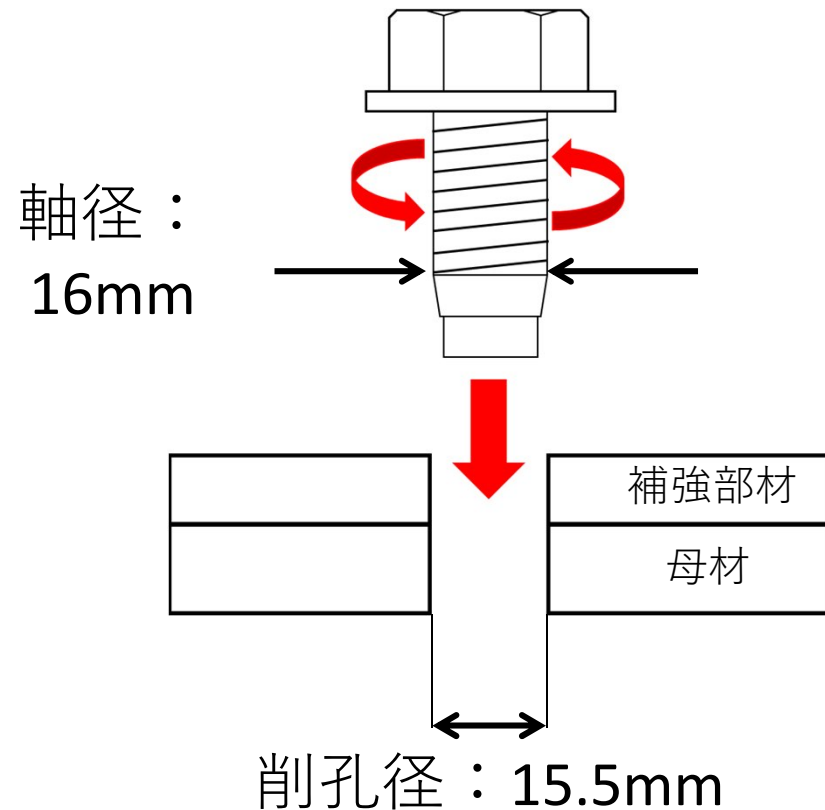
→シーリング ボルトキャップを施工を実施



TRSについて

スレッドローリングねじ（Thread Rolling Screws）とは

→ボルトねじ部にねじ山が施してあり、鋼部材壁面を塑性変形させ
雌ねじを形成しながら、部材同士を接合するタッピングボルトの一種

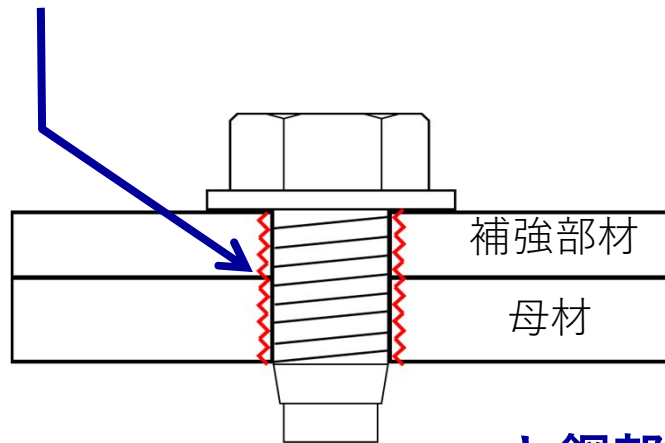


TRSについて

スレッドローリングねじ（Thread Rolling Screws）とは

→ボルトねじ部にねじ山が施してあり、鋼部材壁面を塑性変形させ
雌ねじを形成しながら、部材同士を接合するタッピングボルトの一種

締め付け時にTRSのねじ山が
鋼部材を塑性変形

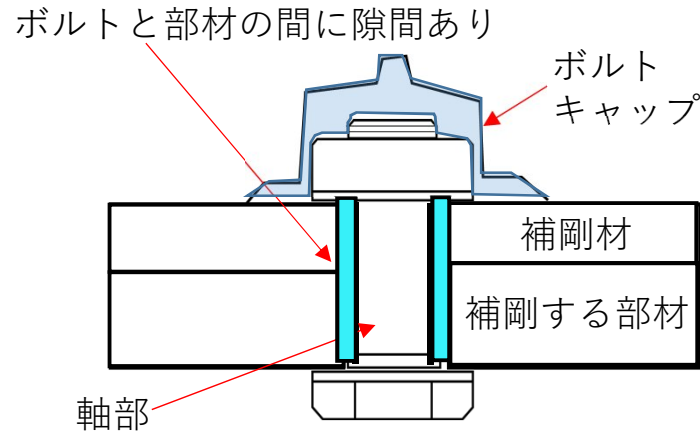


TRSと鋼部材を塑性変形させることで
ボルトと鋼部材が噛み合うため隙間ができない。
⇒水の進入経路とならない。



高力ボルト摩擦接合とTRS接合の違い

高力ボルト



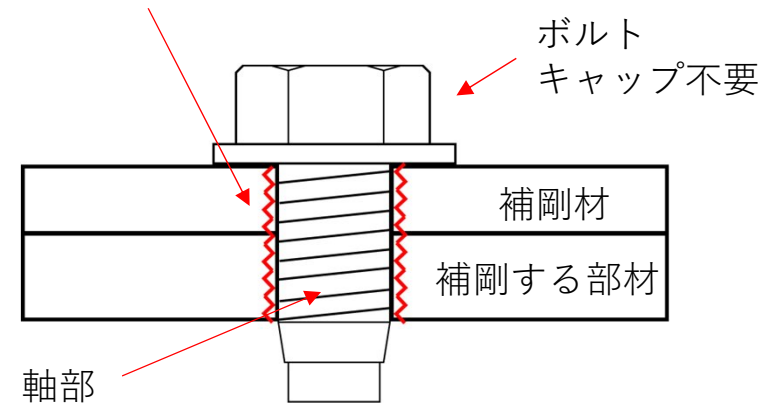
高力ボルト摩擦接合

摩擦接合

摩擦接合であるため、
ボルト軸部と鋼部材との間に
隙間ができる。
⇒水の浸入経路となる。

TRS

部材をねじ切りして締め付けるため隙間なし



TRS接合

支圧接合

TRSと鋼部材を塑性変形させるこ
とでボルトと鋼部材が噛み合うた
め隙間ができない。
⇒水の浸入経路とならない。



適用性検証について

• 検証項目

①密閉性

- ・ 気密性試験：TRS軸部から空気が浸入しないことを確認
- ・ 水密性試験：TRS軸部から水分が浸入しないことを確認

②耐荷力

- ・ 座屈試験：TRS接合が従来の接合方法と同程度の耐荷力を有することを確認

③疲労耐久性

- ・ 疲労試験：TRSによる接合方法の疲労耐久性を確認

④一面継手試験

- ・ せん断試験：TRSのせん断耐力を確認し、TRS接合での必要ボルト本数を確認

⑤塗膜影響確認試験

- ・ 塗膜試験：塗膜のある状態でTRSを締付け解体し、塗膜割れの有無等を確認

⑥施工性試験

- ・ 施工性試験：実大試験体による固定方法、締付順序等の確認



気密性・水密性に関する検討



TRSφ16を用いた継手の防食性能の検証

☆確認事項

TRSφ16の軸部から、①空気中の水分・飛来塩分 及び ②雨水が浸入しないこと

☆試験項目


- ①気密性 ☞ 発泡漏れ試験 (JIS Z 2329:2002 発泡漏れ試験方法)
- ②水密性 ☞ IPX試験 (JIS C 0920:2003 電気機械器具の外郭による保護等級)

雨水がかかる状況を想定

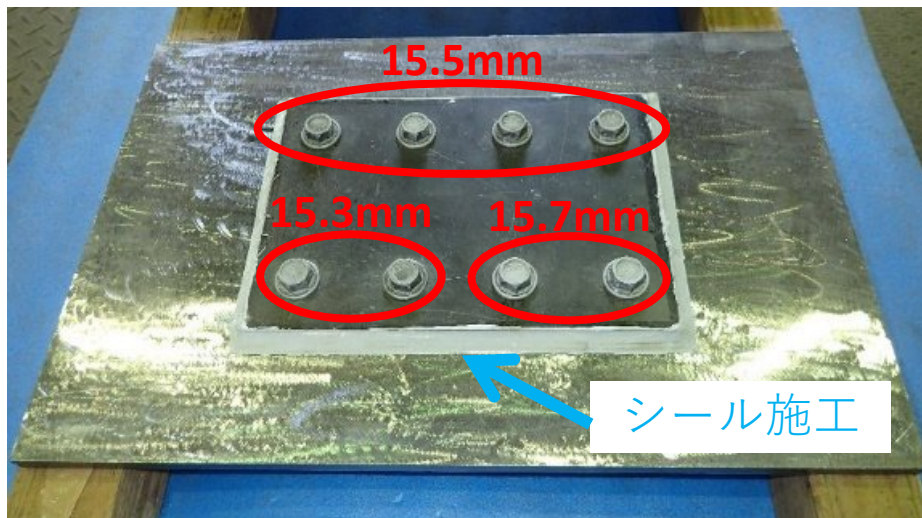
等級	試験条件
<u>IPX6</u>	直径12.5mmの注水ノズルを使用し、100リットル/minの水を器具の表面積1m ² 当り1分、最低3分間、放水する。 器具はターンテーブル上に設置し回転させる。 注水ノズルと器具間の距離は2.5～3mとする。
<u>IPX7</u>	器具を深さ0.15～1mの水中に30分間没する。 高さが850mm以上の器具は最上端から水面までの距離は150mm、高さが850mmに満たない場合は器具の最下端が水面から1mの位置とする。
<u>IPX8</u>	器具を水圧試験機の中に置き水圧をかける。 水圧、試験時間等の試験条件は個別製品規格で特に規定がない

ボルト部の滞水状況を想定

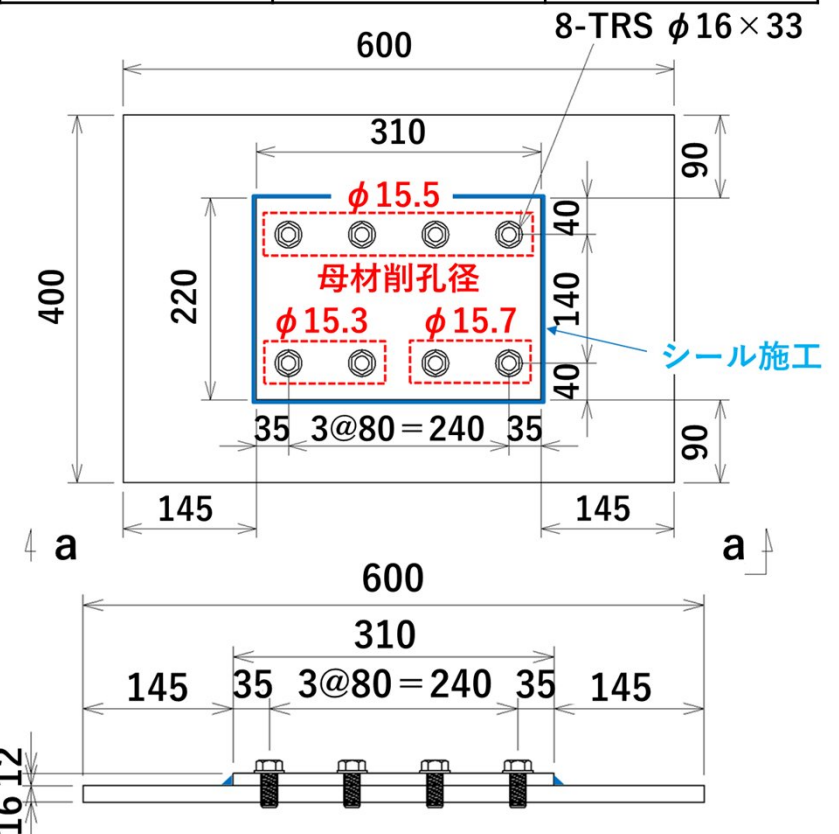
気密性試験①

試験方法	既設部材 厚さ	補強部材 厚さ	削孔径	TRS 本数	試験体数
 発泡漏れ試験	16mm	12mm	$\phi 15.3$	2本	1体
			$\phi 15.5$	4本	
			$\phi 15.7$	2本	

※気圧差により生じる空気の漏洩を確認する。



※ボルト軸部からの空気の漏洩を確認するため
あて板周りにシーリングを施工する。



気密性試験②

※閉断面部材の内部と外部で温度差 30°C となった場合の気圧差 100hPa に対し、本試験では真空状態とするため、 $700\sim 800\text{hPa}$ の気圧差として、供用下より厳しい条件とした。

13

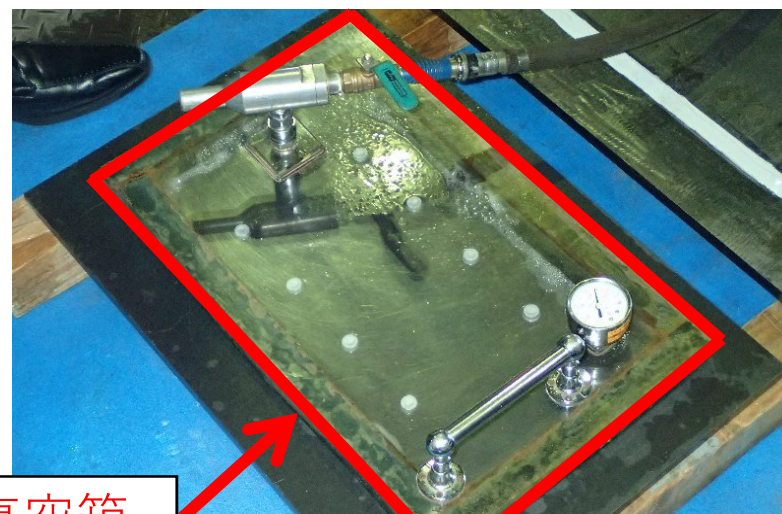
○試験方法

- ①TRSに**空気の漏洩に対して発泡する検知液**を吹き掛ける。
- ②試験体に真空箱を載せ、**箱内を10秒間真空状態**にする。
※真空状態時の**箱内部の気圧は、 $0.015\sim 0.03\text{MPa}$ (高度1.5万m相当)**である。

○試験状況



ボルト頭側



ボルト軸底面側

真空箱

○試験結果

- ・ $0.015\sim 0.03\text{MPa}$ 程度の圧力下において、検知液の発泡は確認されなかった。



水密性試験①

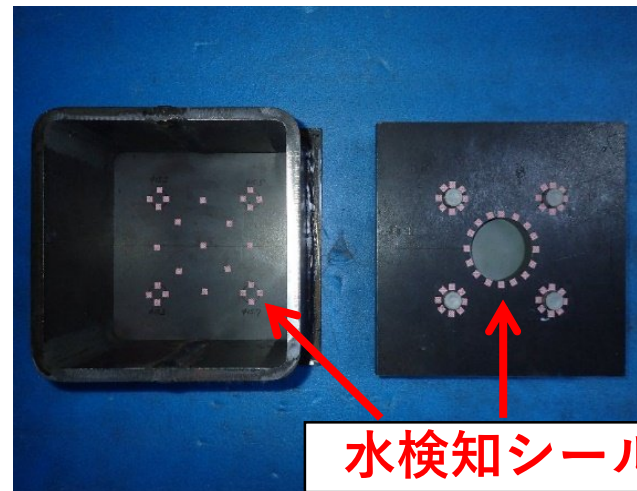
試験方法	既設部材 厚さ	補強部材 厚さ	削孔径	TRS 本数	試験体数
IPX6 試験	16mm	12mm	$\phi 15.3$	1本	1体
			$\phi 15.5$	2本	
			$\phi 15.7$	1本	
IPX8 試験	16mm	12mm	$\phi 15.3$	1本	1体
			$\phi 15.5$	2本	
			$\phi 15.7$	1本	

○試験体形状

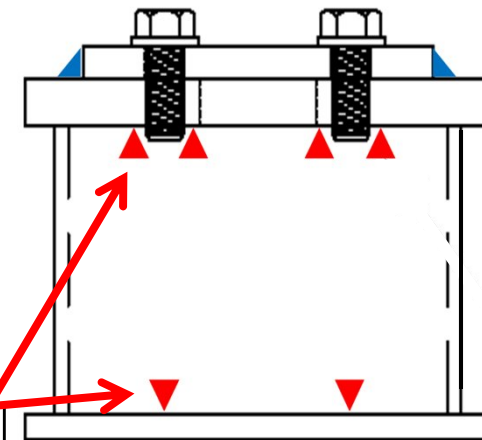
外観



内部（水検知シール貼付状況）



断面図



水密性試験②

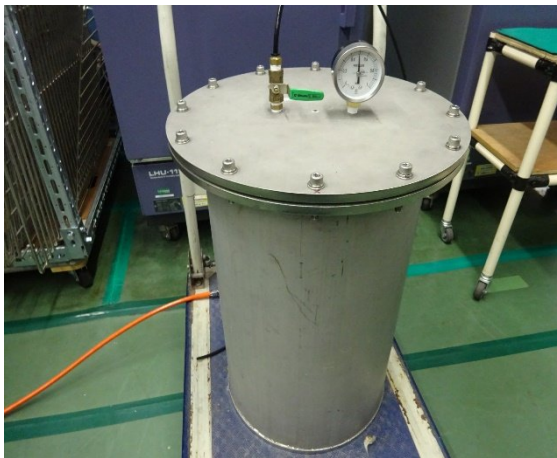
IPX6



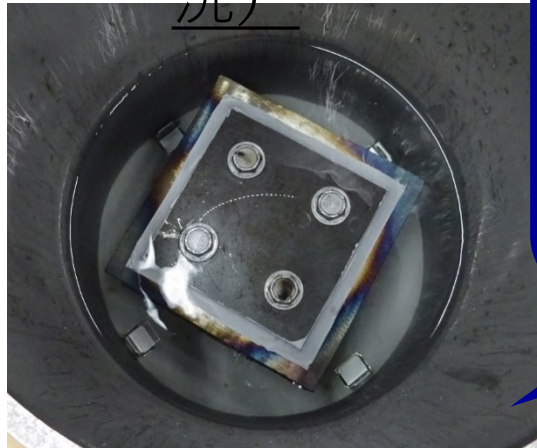
○試験方法

100リットル/minの水を3分間、放水
器具はターンテーブル上に設置し回転させる。
注水ノズルと器具間の距離は2.5～3mとする。

IPX8（外観）



IPX8（浸漬状況）



○試験方法

- ・ 負荷圧力
→ 5 気圧(試験機の最大能力)
- ・ 試験時間
→ 3 0 分間



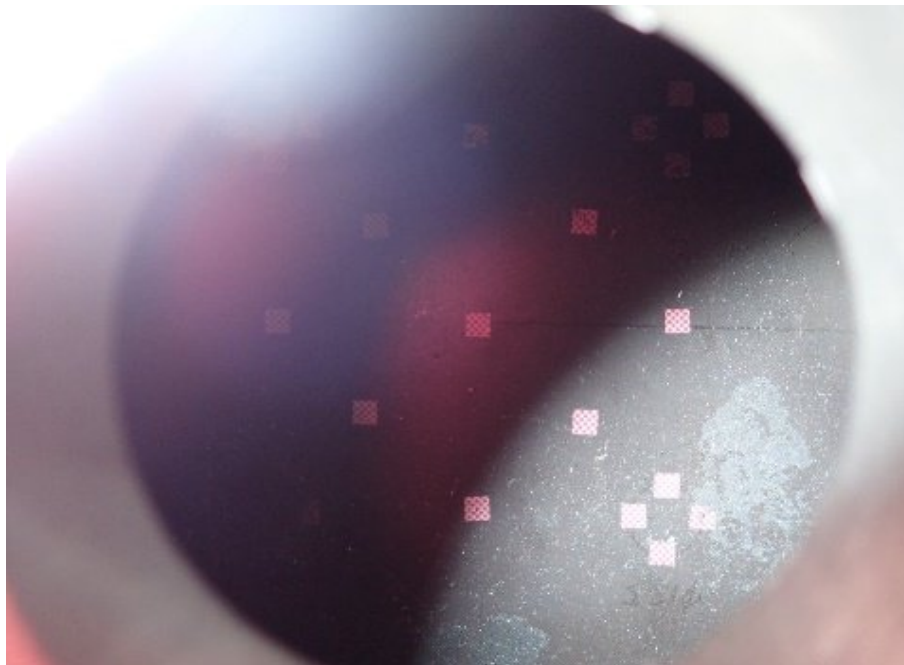
水密性試験③

○試験結果

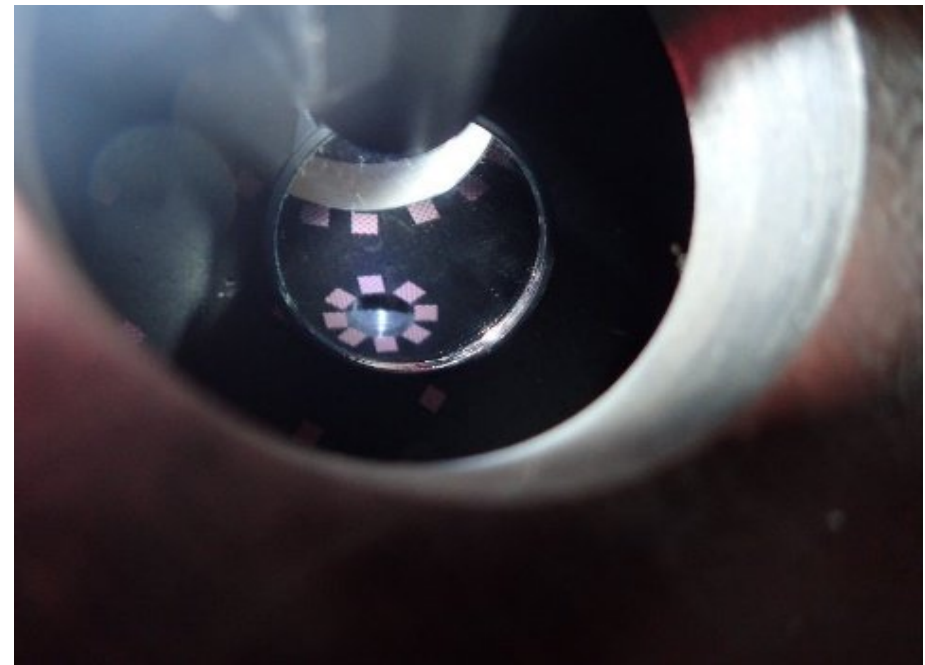
試験後、TRSφ16 及び 当て板を撤去、水の侵入を確認。

- ・ IPX6試験及びIPX8試験ともに水検知シールの変色なし
- ・ 母材と当て板の接触面に水滴等なし

☞6気圧の圧力下において、水の浸入なし



試験体底部



TRS軸部周辺



密閉性試験のまとめ

TRSφ16で接合された継手の気密性および水密性の確認

○気密性試験

①発泡漏れ試験 → 0.015～0.03MPa程度の圧力下において、
空気の漏洩なし

○水密性試験

①IPX6試験 → ①100リットル/minの水が直接かかる状況
②IPX8試験 → ②6気圧の水圧下
いずれの試験において漏水なし

結論

気密性・水密性ともより厳しい条件下において、
空気の漏洩・水の浸入がない。

→補強部材を設置する環境において、気密性・水密性を確保できると考えられる。



疲労耐久性に関する検討



TRSφ16を用いた継手の疲労耐久性の検証

○確認事項

- ①実橋における実働応力範囲の把握
- ②TRSφ16を用いた継手の疲労強度の把握

○検討項目

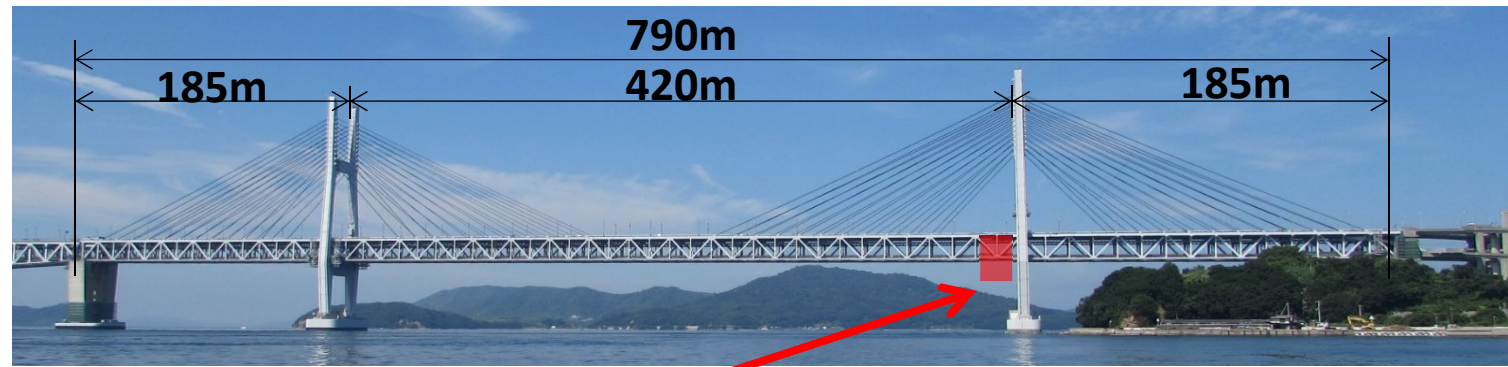
- ①TRSφ16の適用を検討している斜張橋（岩黒島橋）での
ひずみゲージによる応力計測
- ②TRSφ16を用いた継手の疲労耐久性試験（TRS1本）
～疲労耐久性の試験ケース～
 - 〔A〕 貫通型
 - 〔B〕 非貫通型の2パターンを実施



実橋の応力計測①

○対象橋梁

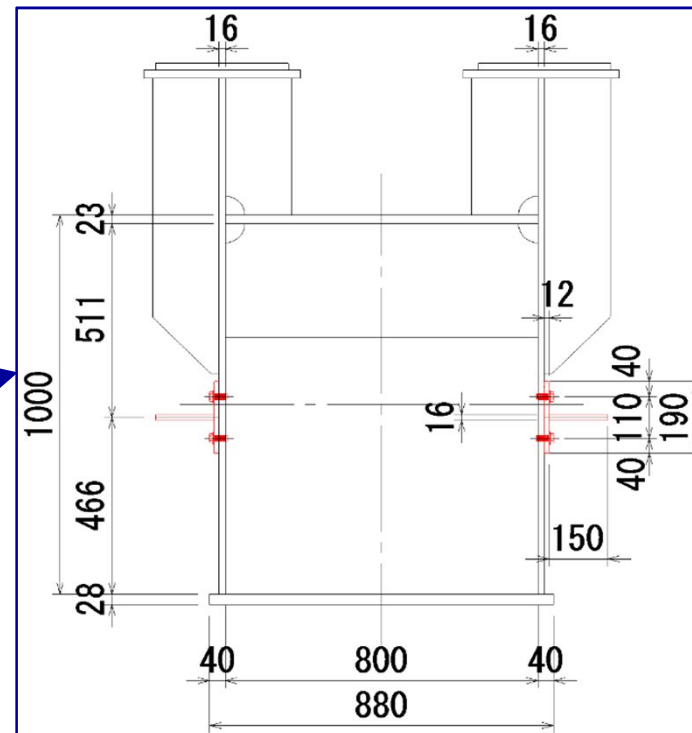
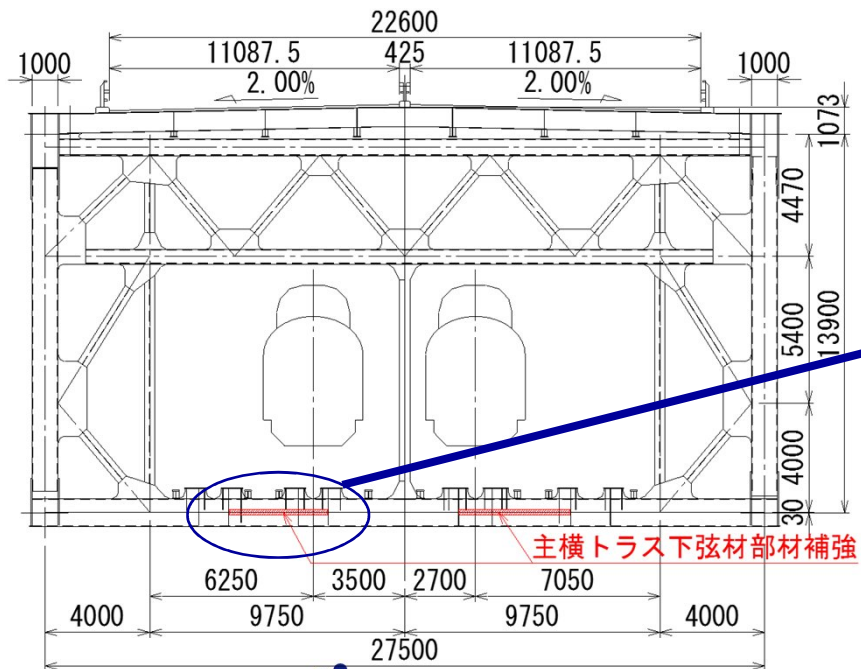
岩黒島橋



本州

計測箇所

四国



Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited

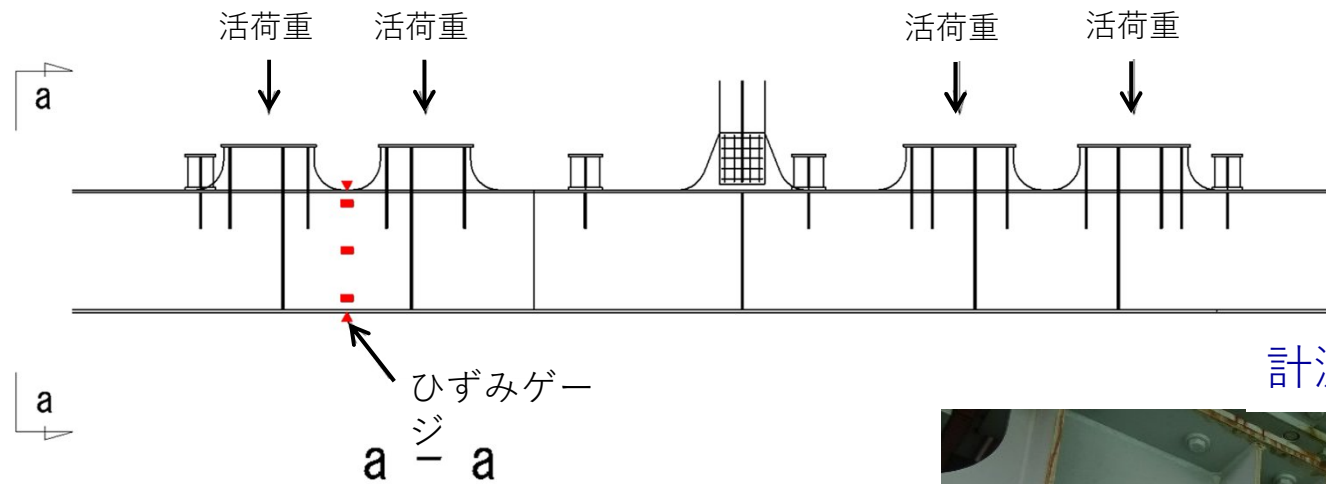
実橋の応力計測②



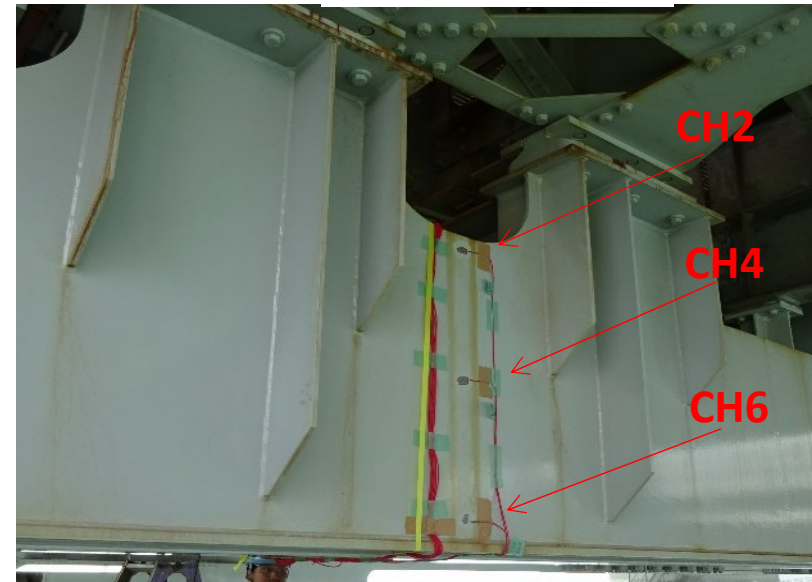
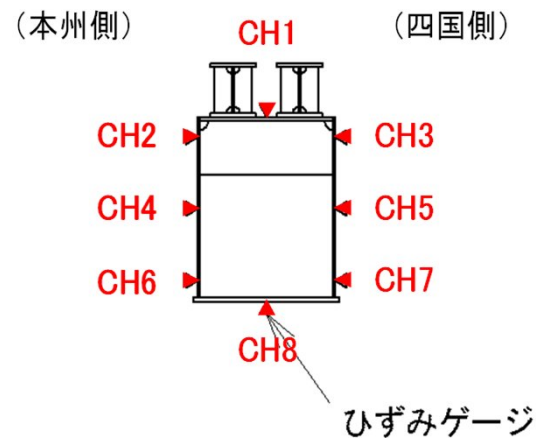
適用予定部材の例



実橋の応力計測③



計測状況



※200Hzのサンプリング周波数で24時間計測を実施

※実働応力が卓越する断面（下り線列車軌道直下）において計測

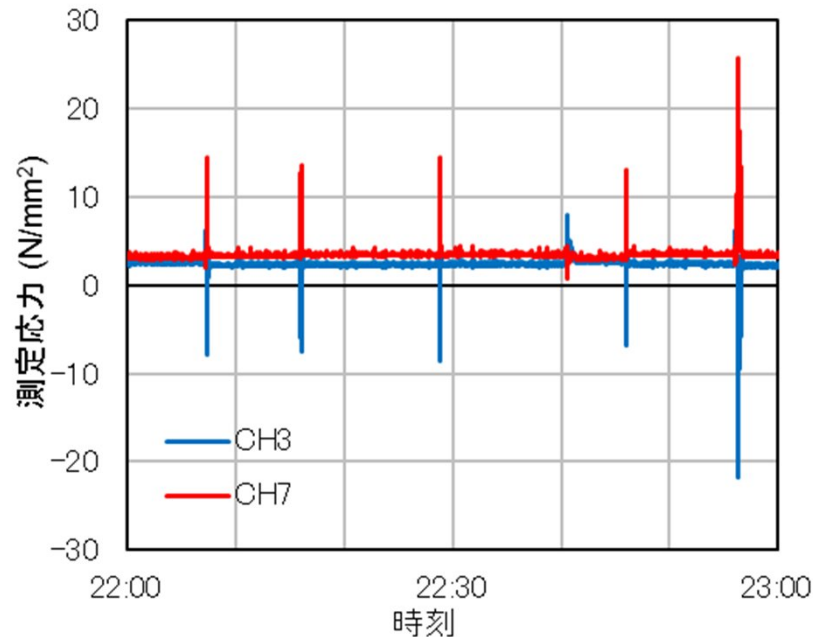


Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited

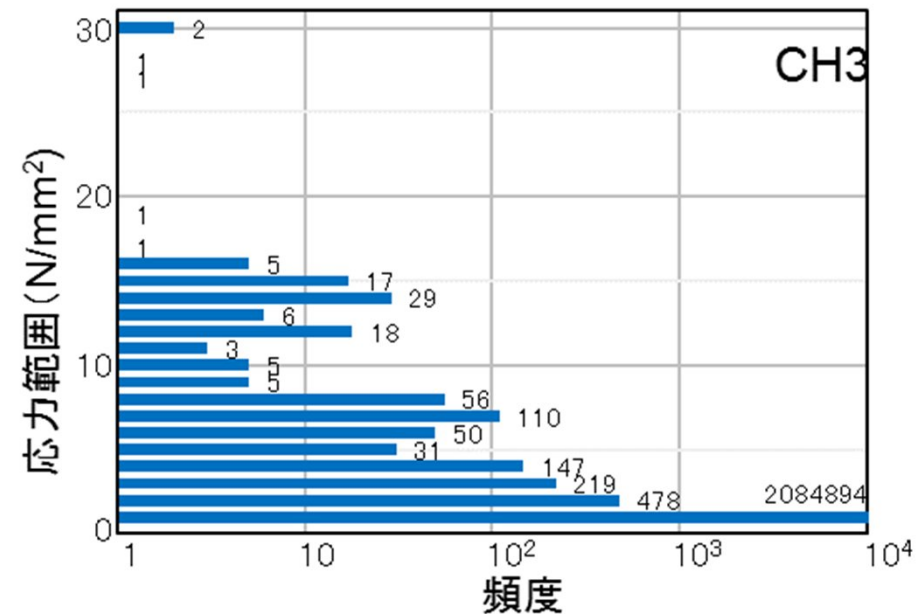
実橋の応力計測④

CH3 : 最大応力範囲発生箇所

CH7 : CH3と中立軸に対して対象箇所



最大応力が発生した時刻を含む応答波形



CH 3 における応力範囲頻度分布

※レインフロー法により実働応力範囲と応力頻度分布を算出。

応力範囲の最大値は約 30N/mm^2 = F等級の変動振幅応力の打ち切り限界以下

※TRS接合位置であるCH 4 及びCH5における応力範囲は最大で 7.6N/mm^2

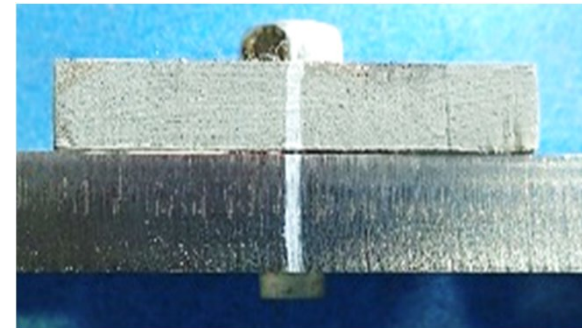
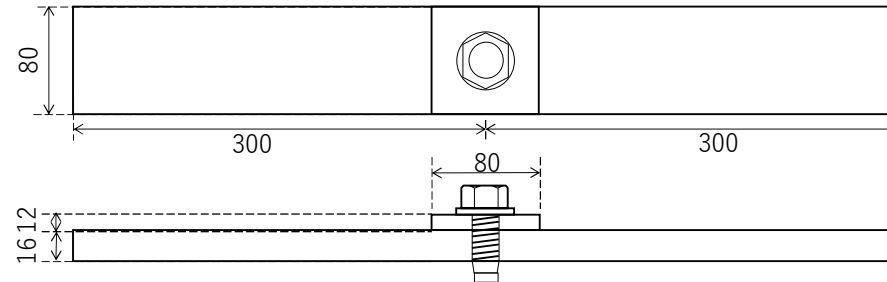
Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited



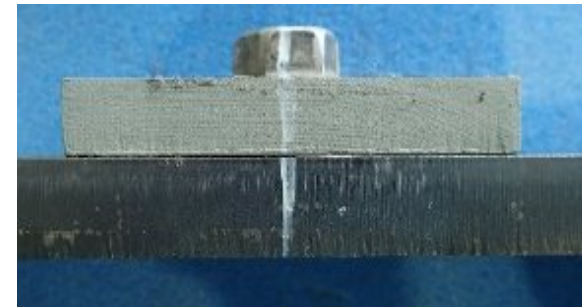
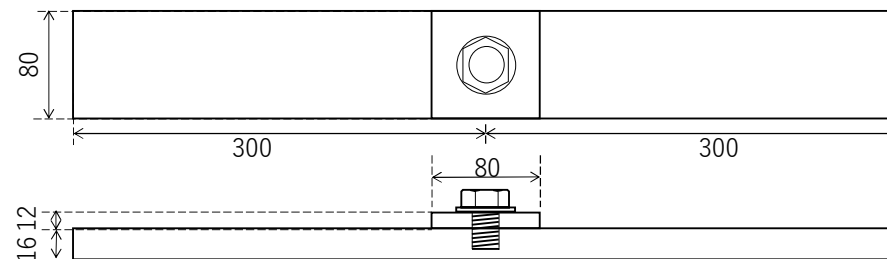
疲労耐久性試験①

試験ケース	継手形式	試験体数	TRS本数	削孔径	削孔深さ	削孔先端形状
Case-1	貫通継手	6体	1本	15.5mm	16mm(貫通)	—
Case-2	非貫通継手	6体			8mm(非貫通)	直角

CASE-1 (貫通型)



CASE-2 (非貫通型)



※载荷速度 : 10Hz

※最大トルク260N・mのインパクトドライバーで締め付け



Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited

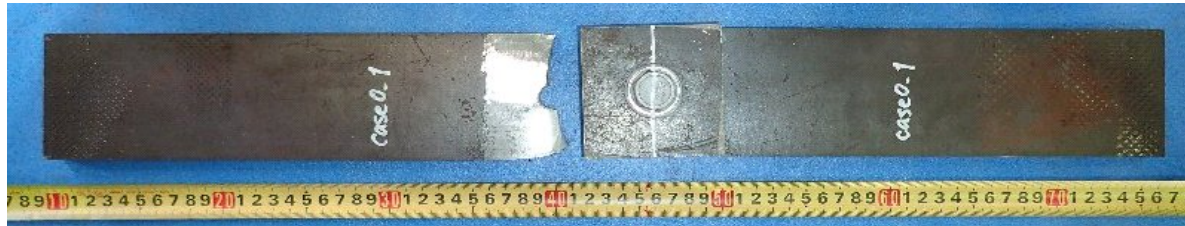
疲労耐久性試験②

No.	応力範囲 (N/mm ²)		疲労寿命 (万回)	破壊形態
	総断面	純断面		
Case1-1	180	223	60.9	ねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊
Case1-2	180	223	50.6	ねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊
Case1-3	120	149	500以上	未破断
Case1-4	150	186	84.0	ねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊
Case1-5	130	161	154.7	ねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊
Case1-6	130	161	500以上	未破断
Case2-1	180	199	70.0	ねじ底コーナ一部又はねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊
Case2-2	180	199	71.8	ねじ底コーナ一部又はねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊
Case2-3	120	133	500以上	未破断
Case2-4	150	166	133.4	ねじ底コーナ一部又はねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破断
Case2-5	130	144	438.0	ねじ底コーナ一部又はねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊
Case2-6	150	166	131.9	ねじ底コーナ一部又はねじ孔側面からの亀裂進展による疲労破壊



疲労耐久性試験③

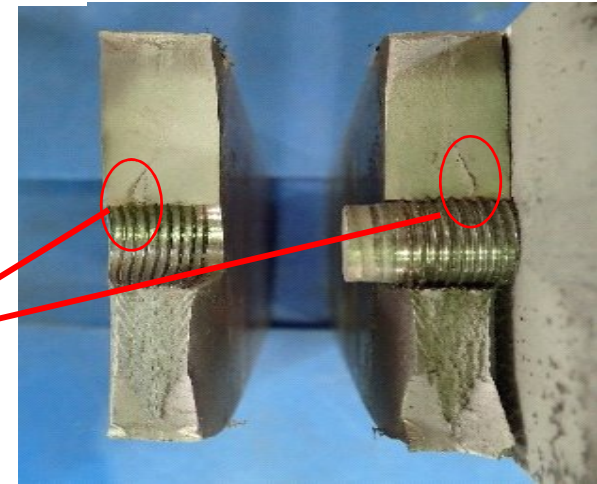
貫通継手 (CASE1-1)



○破断形態
母材孔側面（ねじ山側面）から亀裂が発生

↓
板幅方向に進展

↓
破断



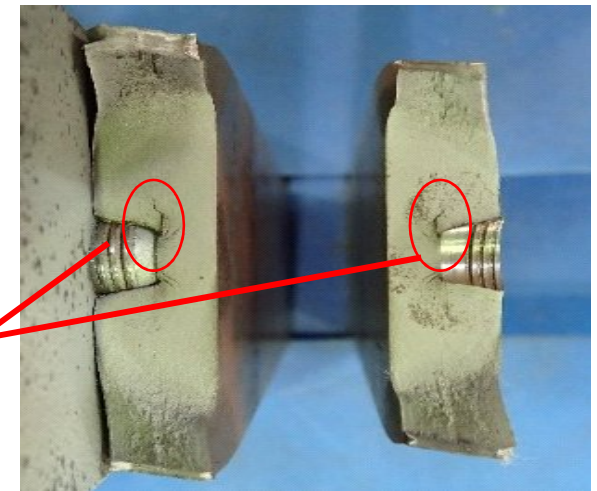
非貫通継手 (CASE2-1)



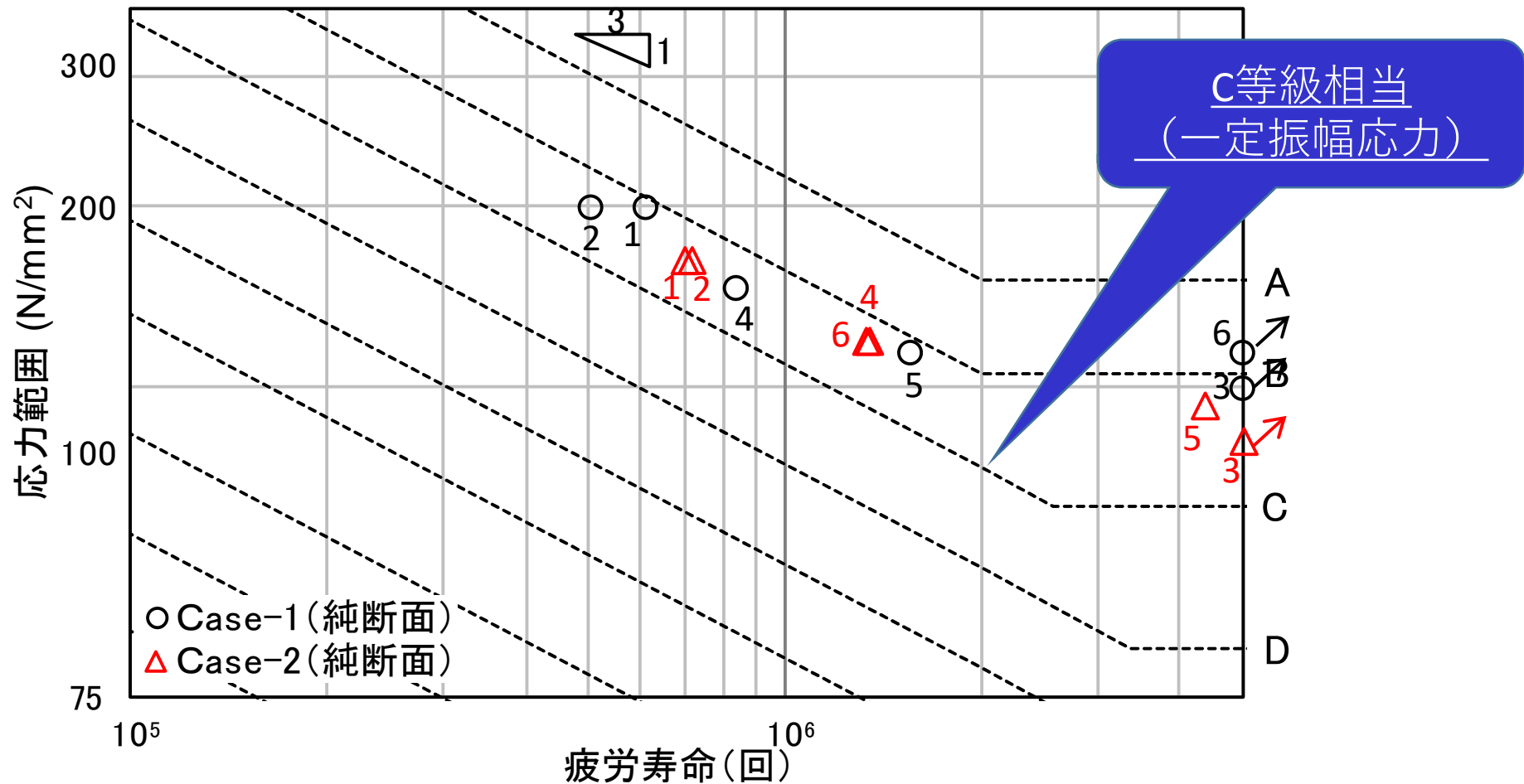
○破断形態
ねじ底コーナー部から亀裂が発生

↓
板厚・板幅方向に進展

↓
破断



疲労耐久性試験④



※純断面で疲労耐久性を評価

☞ 疲労設計指針で高力ボルト支圧接合継手の分類に純断面応力を適用



Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited

疲労耐久性検討のまとめ

(1) 実橋の応力計測

- ・頻度分布解析の結果、最大応力範囲は 30N/mm^2
 - F等級(電車・内燃動車荷重)の変動振幅応力の打ち切り限界以下
- ・TRSΦ16を用いて補強部材を設置する位置での最大応力範囲は、 7.6N/mm^2

(2) TRSΦ16で接合された継手の疲労耐久性の確認



○結論

TRSΦ16の適用を検討している箇所において

発生する最大応力範囲(30N/mm^2)が、TRSΦ16による継手の疲労強度曲線(少なくともC等級以上)を超えない。

⇒TRS1本の場合、TRSΦ16を用いた継手を適用しても疲労耐久性を満足する。



- ・ 補剛材接合への**TRS**の適用性検証は完了
- ・ 今秋に本施工を実施予定

