

新都市社会技術融合創造研究会

「疲労亀裂調査の効率化に関する研究」研究成果報告会

2016年11月22日

# 渦流探傷を用いた 疲労き裂調査の効率化の試み

担当： 日本非破壊検査工業会  
姫路河川国道事務所  
関西大学

○ Luiza H. Ichinose  
小山 雅弘  
坂野 昌弘

# 1. 概要



～新都市社会技術融合創造研究会～

## 鋼橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究

プロジェクトリーダー 坂野 昌弘 関西大学教授

### ■研究期間:平成25年度～平成27年度

年 度	研 究 内 容
平成25年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>○疲労亀裂調査手法の現状把握と課題抽出：対象橋梁に対して現地調査を行い、疲労亀裂等に関して現状を把握し課題を抽出する。</li> <li>○疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検討：荷重条件や各部位の応力状況、FCM等の部材の種類や構造詳細、材料特性等に着目し、解析や実験により調査個所の優先順位付けを行う。</li> </ul>
平成26年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>○疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検証：提案する優先順位付けの妥当性を解析や実験、実橋での亀裂調査や応力計測等によって検証する。</li> <li>○疲労亀裂調査後の補修方法の検討：亀裂発見後の応急対策と恒久対策、亀裂発生が予想される部位に対する予防保全対策等を含めた補修方法を解析や実験により検討する。</li> </ul>
平成27年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>○疲労亀裂調査後の補修方法の検証：提案する補修方法の妥当性を解析や疲労実験、実橋での応力計測等によって検証する。</li> <li>○効率的な疲労亀裂調査方法等の取りまとめ：上記の検討結果を取りまとめ、効率的で信頼性の高い疲労亀裂調査方法と予防保全も含めた補修方法を提案する。</li> </ul>

### ■参加予定メンバー(体制)

産： 橋梁調査会、日本非破壊検査工業会、建設コンサルタンツ協会、日本橋梁建設協会、  
阪神高速道路、本州四国連絡高速道路、西日本高速道路

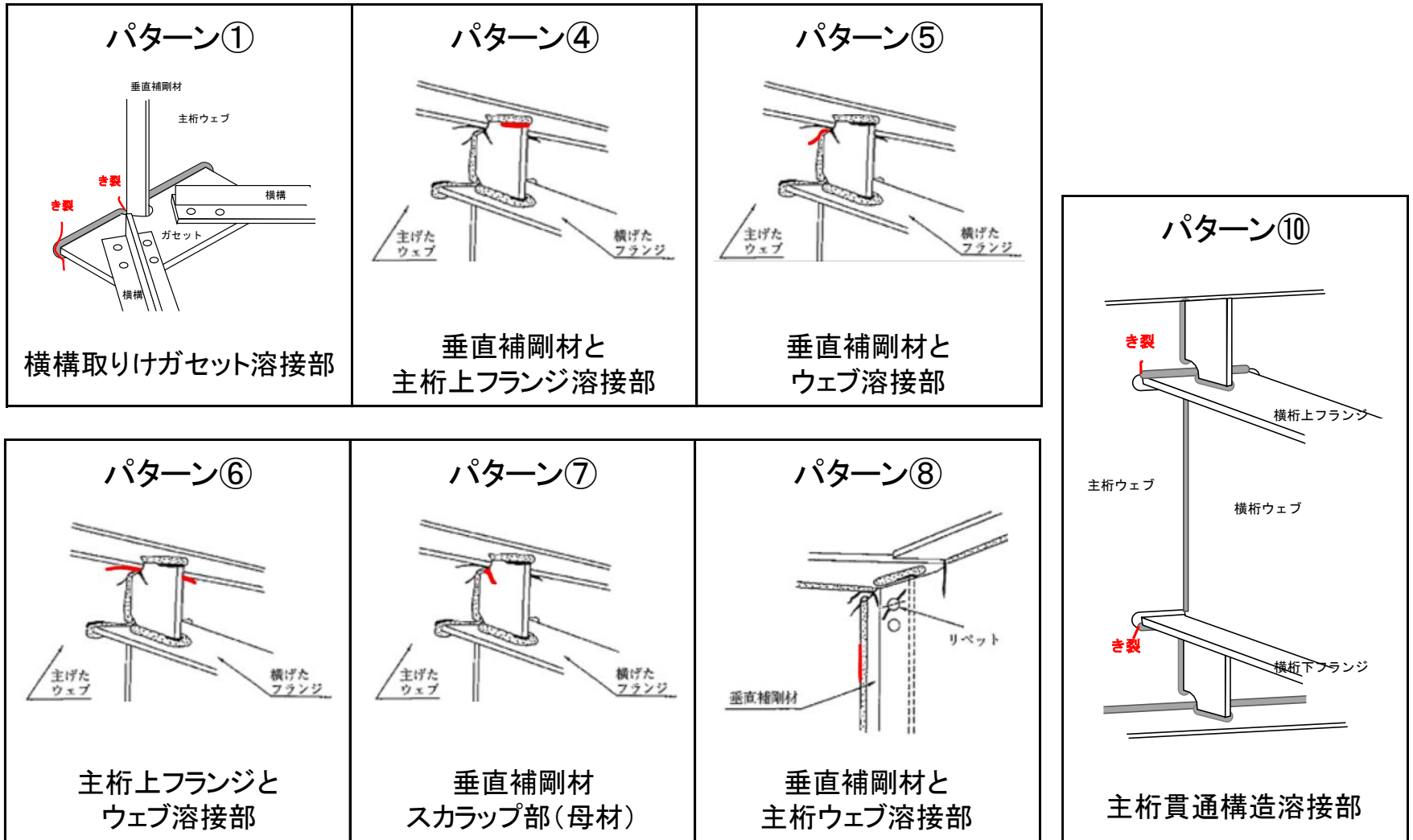
学： 関西大学、京都大学、東京大学

(国土交通省 近畿地方整備局 新都市社会技術融合創造研究HP)



- 単純鋼合成鈹桁橋  
支間: 6@41.2m, 幅員: 18.8m
- 1972年 竣工 (44才)  
2004年 塗装工事实施
- 交通量: 約12万台/日  
(大型車両混入率=21.2%)  
(平成22年度センサス)



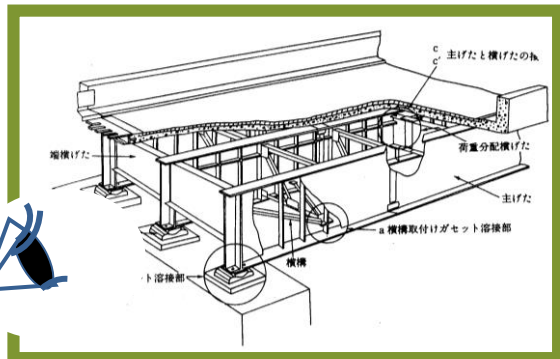


## 調査対象の損傷パターン

## 損傷パターン別塗膜割れ（対象橋梁全箇所数）

損傷パターン	下り線	上り線	合計
パターン①	345	212	557
パターン④	631	560	1191
パターン⑤	214	208	422
パターン⑥	123	118	241
パターン⑦	304	274	578
パターン⑧	92	68	160
パターン⑩	456	421	877
合計	2165	1861	4026

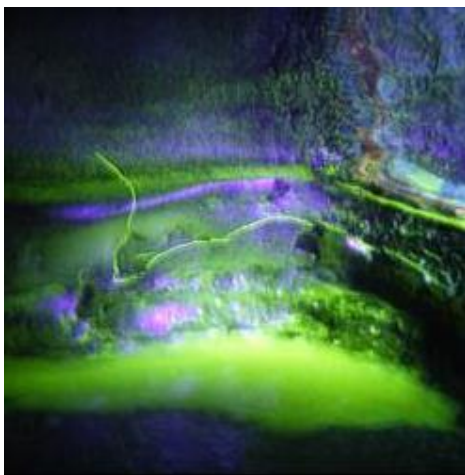
# 非破壊検査による合理化の提案



近接目視点検

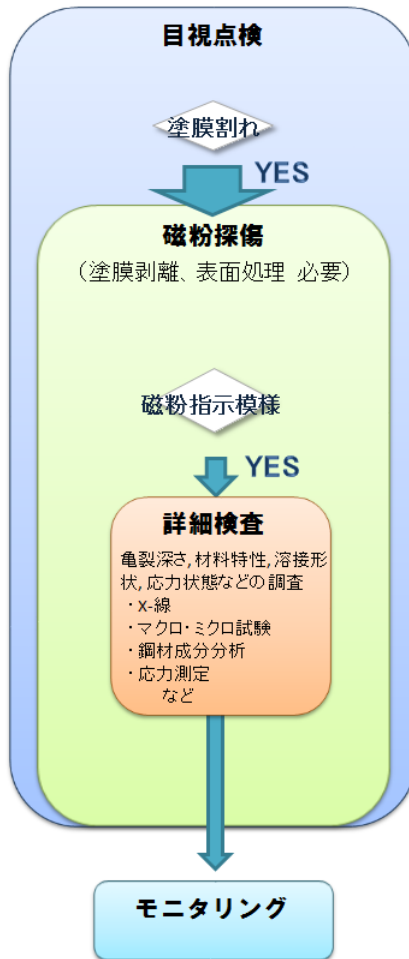
**問題点**

- ・塗膜割れ全箇所を実施
- ・塗膜剥離・復旧
- ・多大な時間と費用が必要

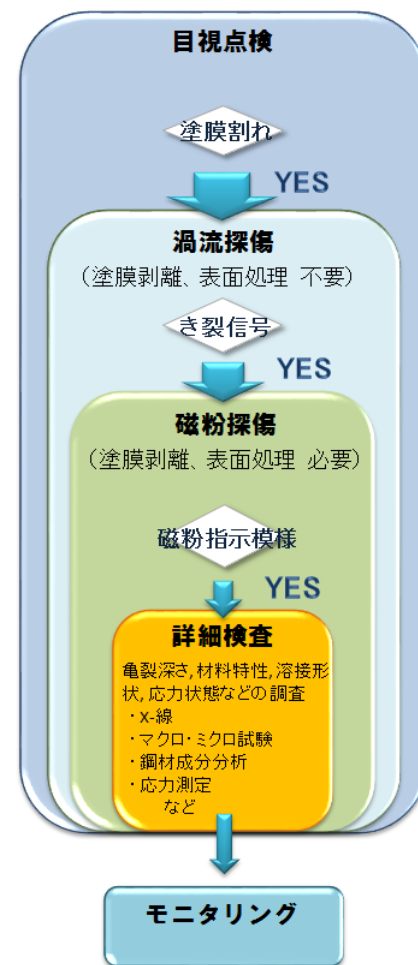


磁粉探傷試験

**\* 従来の調査**

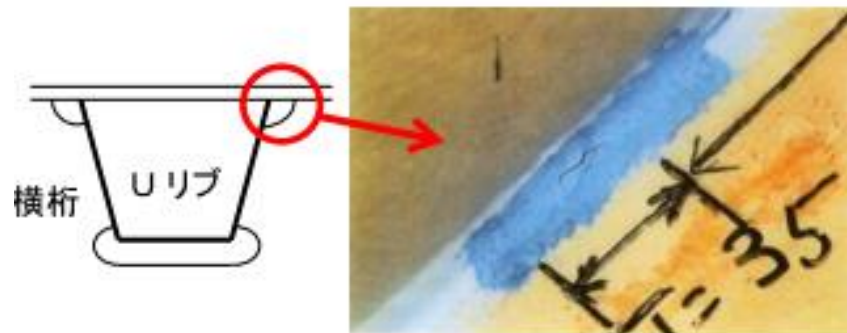


**\* 調査の合理化案**



渦流探傷試験の導入により、目視点検時に検出された塗膜割れが鋼材き裂によるものか、塗膜劣化によるものかを判別し、磁粉探傷試験数量を低減する。

# 携帯式渦流探傷装置

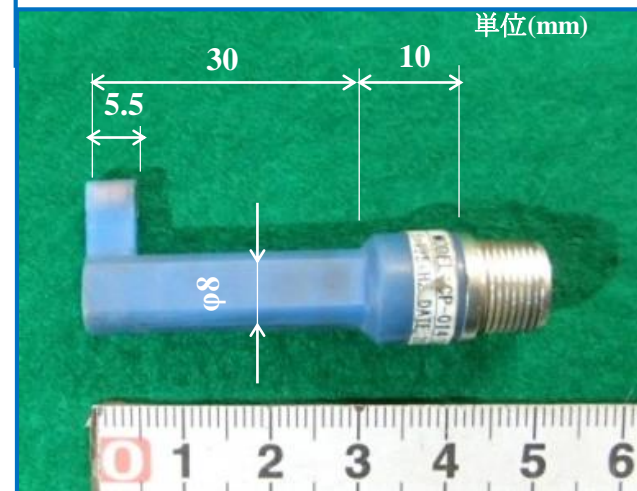


## 特長

- ・塗装上から高速で検査ができる。
- ・装置が小型・軽量で作業性に優れている。
- ・きずを信号と音で判別できる。

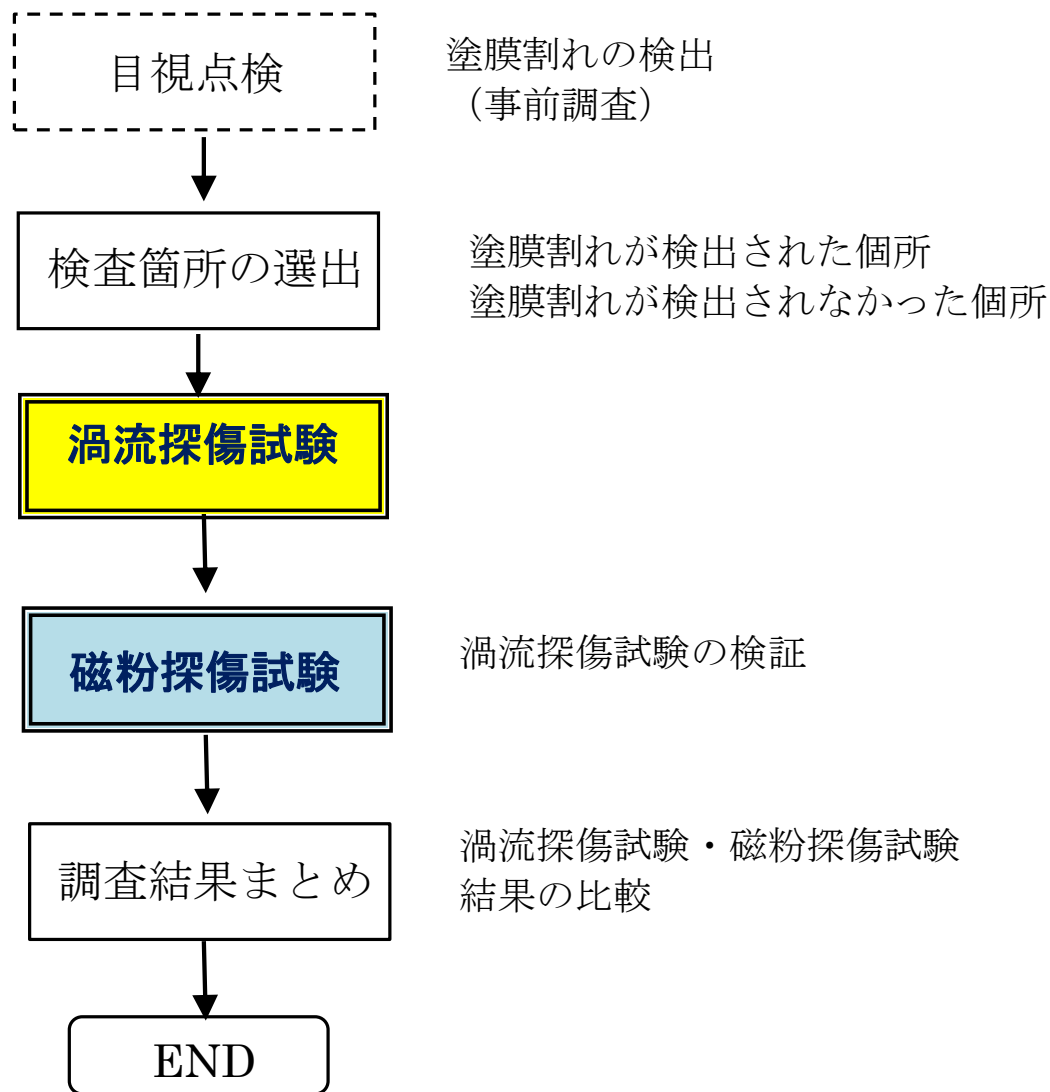
## 新型狭所用センサー

単位(mm)





## 調査の流れ



## 2. 平成25年度調査





Field Work 開始



実橋での確認



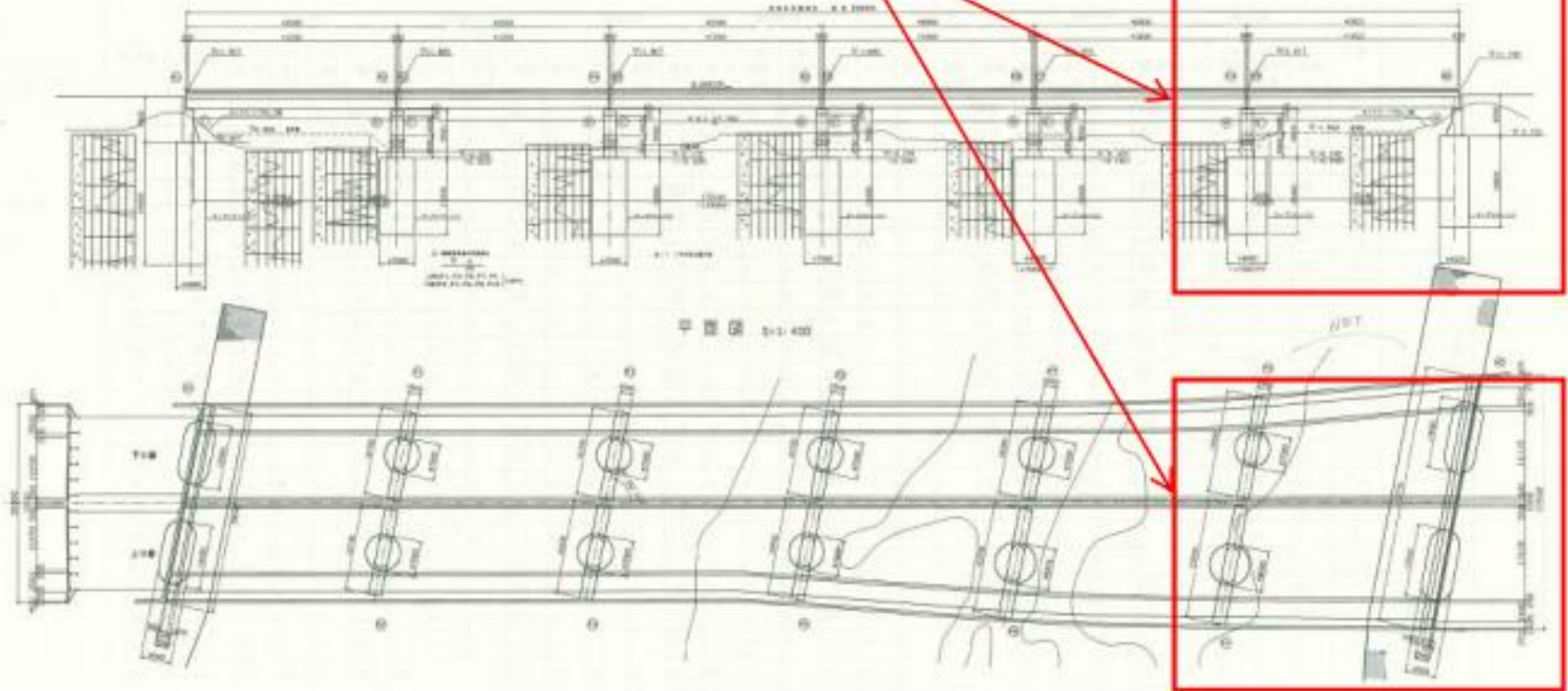
ET デモ・体験



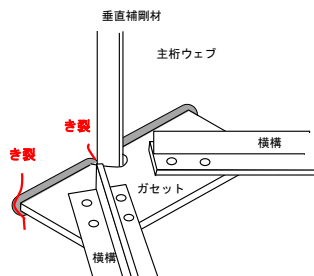
ET デモ・体験

調查範圍

第6徑間(P5-A2)

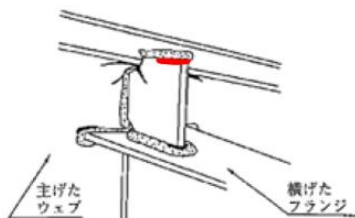


パターン①

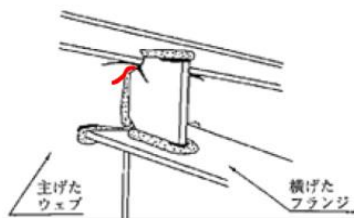


横構取りけガセット溶接部

パターン④

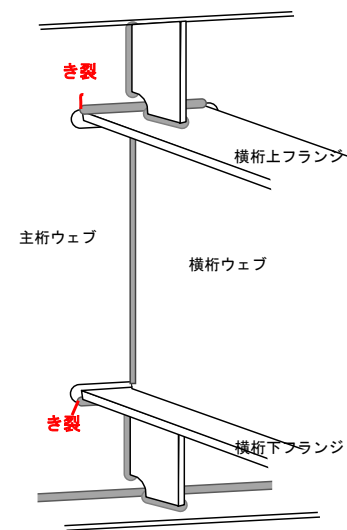
垂直補剛材と  
主桁上フランジ溶接部

パターン⑤

垂直補剛材と  
ウェブ溶接部

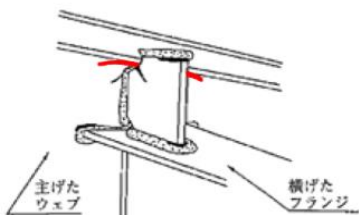
H25年度調査対象

パターン⑩

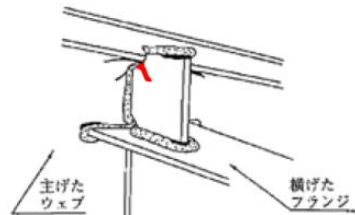


主桁貫通構造溶接部

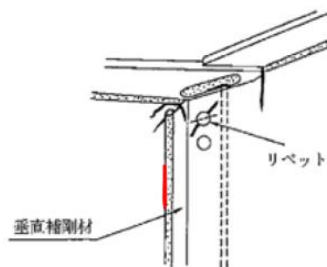
パターン⑥

主桁上フランジと  
ウェブ溶接部

パターン⑦

垂直補剛材  
スカルップ部(母材)

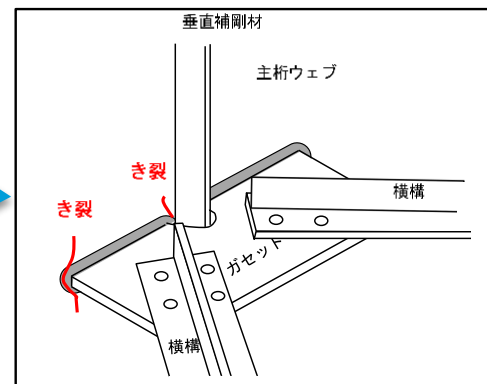
パターン⑧

垂直補剛材と  
主桁ウェブ溶接部

H25年度調査対象の損傷パターン

## 対象橋梁全箇所数

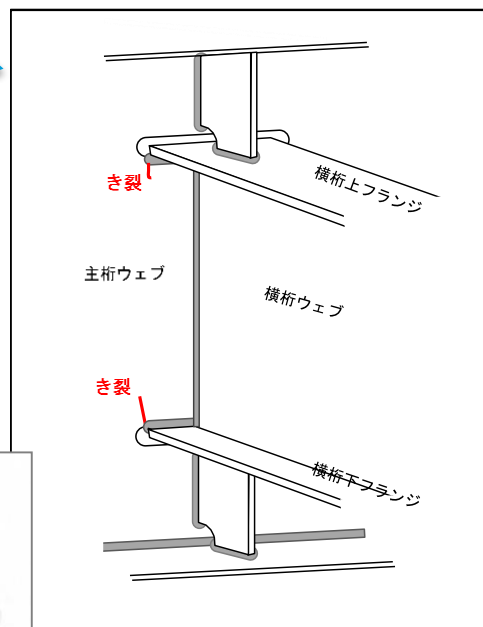
損傷パターン	下り線	上り線	合計
パターン①	345	212	557
パターン④	631	560	1191
パターン⑤	214	208	422
パターン⑥	123	118	241
パターン⑦	304	274	578
パターン⑧	92	68	160
パターン⑩	456	421	877
合計	2165	1861	4026



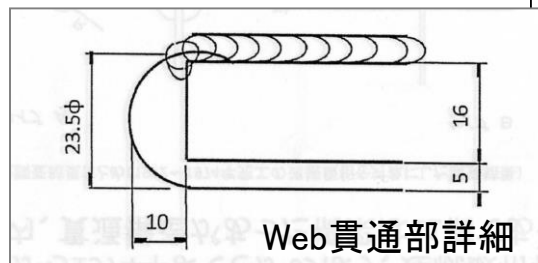
損傷パターン①

## 対象径間（第6径間）調査箇所数

損傷パターン		塗膜割れ 有り	塗膜割れ 無し	合計
上下線合計	パターン①	80	0	80
	パターン⑩	131	18	149
合計		211	18	229



損傷パターン⑩



高所作業車



ET パターン⑩ U. Flg.



ET パターン① Gus.

## 渦流探傷試験結果

損傷パターン		渦流探傷試験(ET) (個所数)		
		き裂の疑いの 反応有り	き裂の疑いの 反応無し	合 計
上下線合計	パターン①	11 (14%)	69 (86%)	80 (100%)
	パターン⑩	30 (20%)	119 (80%)	149 (100%)
合 計		41 (18%)	188 (82%)	229 (100%)


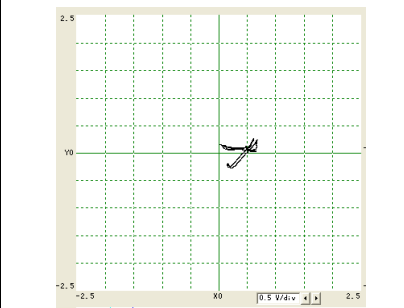
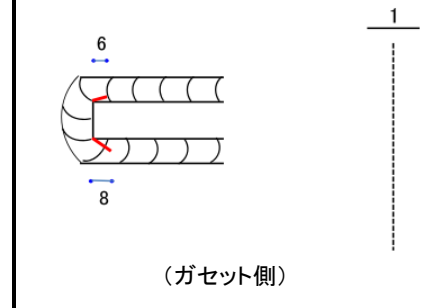



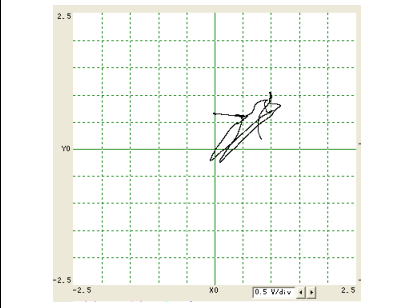
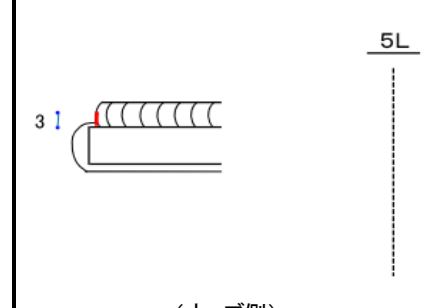
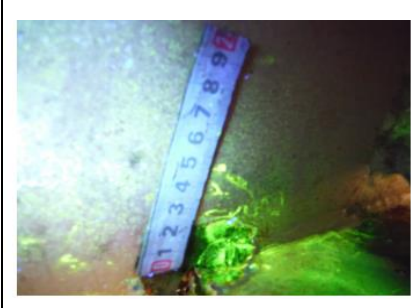
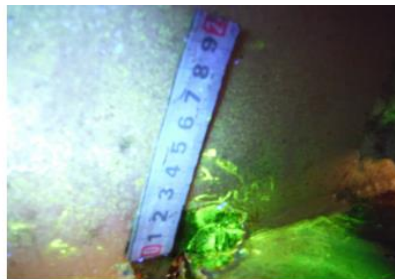
## 磁粉探傷試験結果

損傷パターン		磁粉探傷試験(MT) (個所数)		
		き裂有り	き裂無し	合 計
上下線合計	パターン①	8 (10%)	72 (90%)	80 (100%)
	パターン⑩	15 (10%)	132 (90%)	147 (100%)
合 計		23 (10%)	204 (90%)	227 (100%)

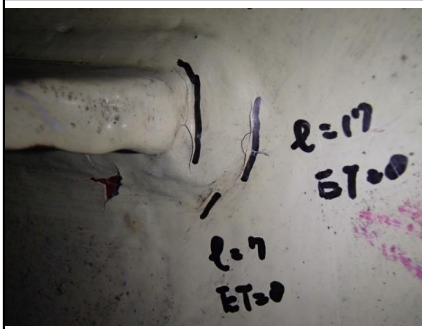
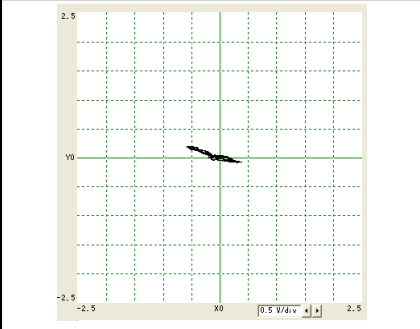
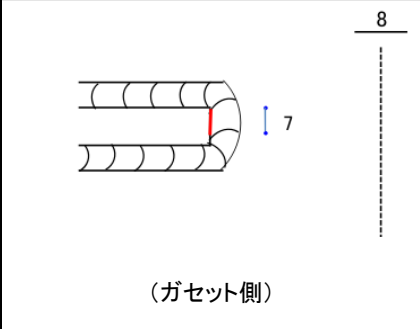


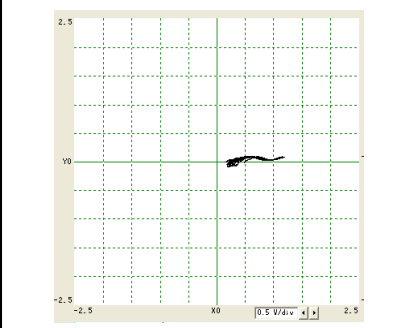
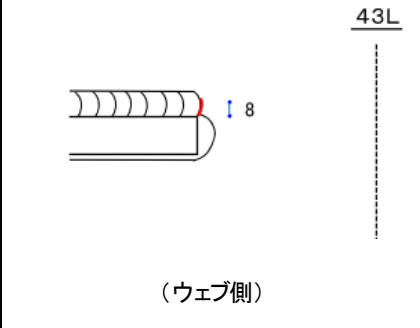
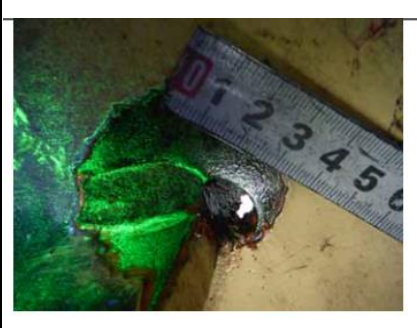


## 渦流探傷試験と磁粉探傷試験の比較

		ET調査結果							
		有	(%)	無	(%)	合計	(%)		
M T 調 査 結 果	有	8カ所 「一致」	ET有りの	20%	5カ所 「見逃し」	ET無しの	3%	13カ所	100%
			MT有りの	62%		MT有りの	38%		
			全カ所の	4%		全カ所の	3%		
	無	33カ所 「空振り」	ET有りの	80%	143カ所 「一致」	ET無しの	97%	176カ所	
			全カ所の	17%		全カ所の	76%		
	合計	41カ所	100%	148カ所	100%	189カ所	100%		

ET番号 25 Mg0608	パターン①	下り線	MT番号 1	パターン①	下り線
塗膜われ $l=50$ ET反応有り ET=10 ▲			き裂形状		
					
ET番号 45 Mg0407			MT番号 5L		
塗膜われ $l=5$ ET反応有り ET=15 ▲			き裂形状		
					

渦流探傷試験および磁粉探傷試験の例（「一致」個所）

ET番号 21 Mg0507	パターン①	下り線	MT番号 8	パターン①	下り線
塗膜われ $l=23,17,7$ ET反応無し ET=0,0,0 ×			き裂形状		
				8	
ET番号 5 Mg0402			MT番号 43L		
パターン⑩	下り線	パターン⑩	下り線	パターン⑩	下り線
塗膜われ $l=8$ ET反応無し ET=0 ×			き裂形状		
				43L	

渦流探傷試験および磁粉探傷試験の例（「見逃し」個所）

# 渦流探傷試験と磁粉探傷試験の作業日数 (パターン①+⑩の場合)

調査箇所： 189か所  
 渦流単勝試験 延べ 6日  
 磁粉探傷試験 延べ11日

全箇所でMTのみ実施の場合：11日

渦流探傷試験によるスクリーニング

⇒ 磁粉探傷試験を実施した場合

	実施箇所数(箇所)	日数(日)
ET(塗膜割れ箇所全箇所数)	189	6
MT(ETで反応有箇所のみ)	41	2.4
合計(ET+MT)		8.4



2.6日、24%短縮

損傷パターン①および⑩についてMTの前にETでスクリーニングを行う場合を想定すると、

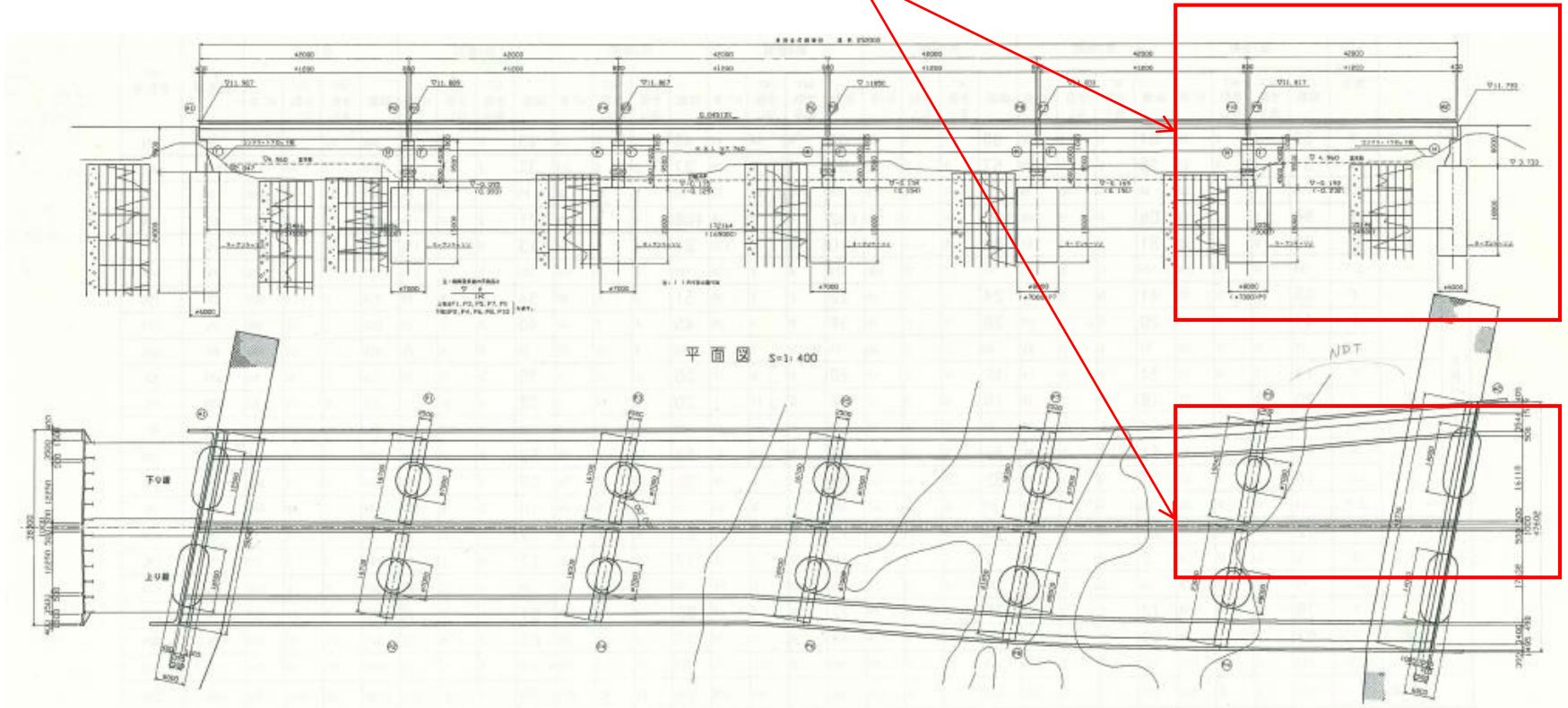
- 189個所の内148個所（78%）は「き裂無し」なので、「き裂有」と判定した残りの41個所（22%）についてMTを行えば良いことになり、MTの実施箇所数を1/5に減らすことが可能となる。
- その場合には148個所のうちの5個所（3.4%）のき裂を見逃してしまう可能性がある。この数字は、13か所のき裂の内、約4割を見逃してしまう可能性があるとのことを示しているため、その重要性については、き裂の危険度（発生位置や進展性）を考慮して判断すべきと考える。
- 作業日数を比較すると、き裂の数が塗膜割れの数の半分以上の場合には作業効率の観点からは、MTの前にETを用いてスクリーニングを行うことにより作業工程の短縮化が可能となる。

# 3. 平成26年度調査

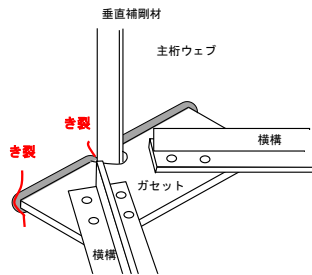


調査範囲

第6径間(P5-A2)

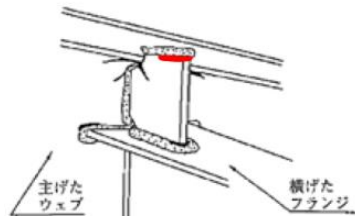


パターン①

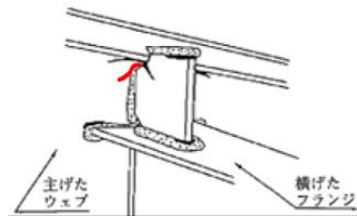


横構取りけガセット溶接部

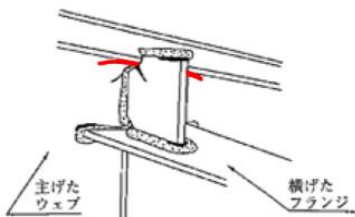
パターン④

垂直補剛材と  
主桁上フランジ溶接部

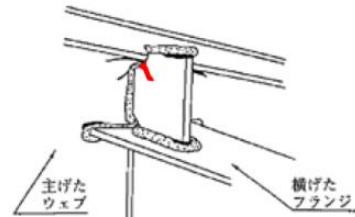
パターン⑤

垂直補剛材と  
ウェブ溶接部

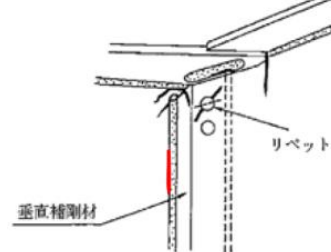
パターン⑥

主桁上フランジと  
ウェブ溶接部

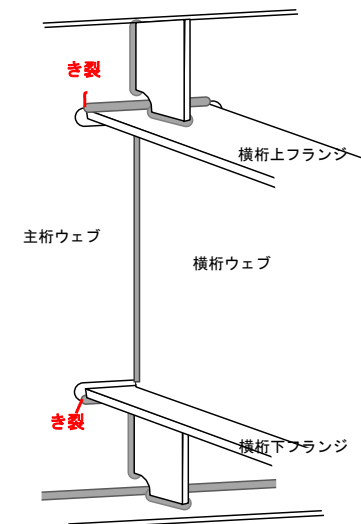
パターン⑦

垂直補剛材  
スカラップ部(母材)

パターン⑧

垂直補剛材と  
主桁ウェブ溶接部

パターン⑩



主桁貫通構造溶接部

 H26年度調査対象

## H26年度調査対象の損傷パターン



## 損傷パターン別に分類した塗膜割れ (対象橋梁全箇所数)

損傷パターン	下り線	上り線	合計
パターン①	345	212	557
パターン④	631	560	1191
パターン⑤	214	208	422
パターン⑥	123	118	241
パターン⑦	304	274	578
パターン⑧	92	68	160
パターン⑩	456	421	877
合計	2165	1861	4026

H26年度調査対象

### 調査対象箇所数

損傷パターン		第6径間 MT未実施 (箇所)
下り線合計	パターン④	109
	パターン⑤	29
	パターン⑥	10
	パターン⑦	35
	パターン⑧	6
合計		189

高所作業車



ET パタ



ET パターン④

## 渦流探傷試験結果


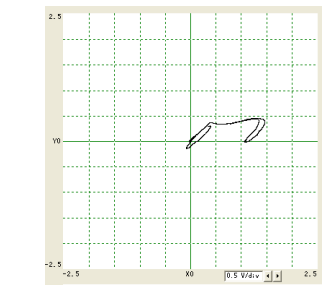
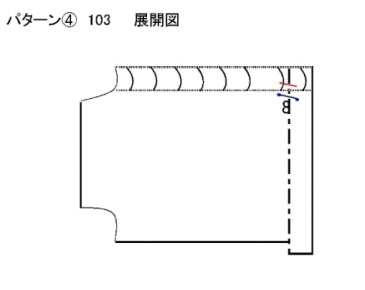
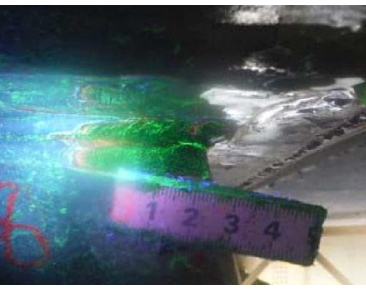

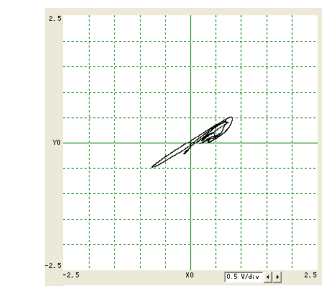
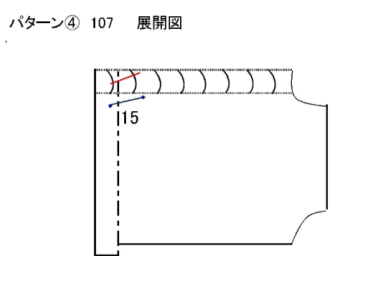
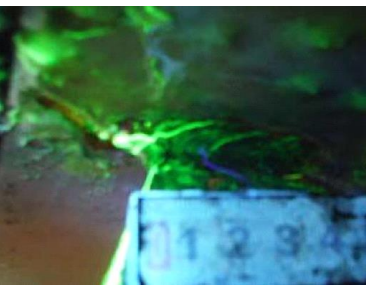
損傷パターン		渦流探傷試験(ET) (個所数)		
		反応有り	反応無し	合計
下り線合計	パターン④	48 (44%)	61 (56%)	109 (100%)
	パターン⑤	8 (28%)	21 (72%)	29 (100%)
	パターン⑥	1 (10%)	9 (90%)	10 (100%)
	パターン⑦	0 (0%)	35 (100%)	35 (100%)
	パターン⑧	2 (33%)	4 (67%)	6 (100%)
合計		59 (31%)	130 (69%)	189 (100%)

## 磁粉探傷試験結果


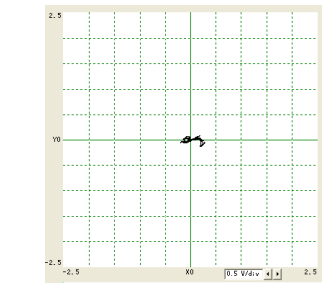
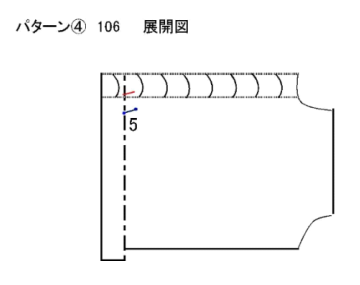
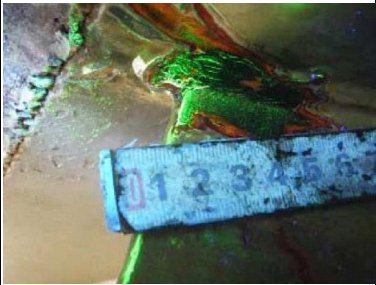

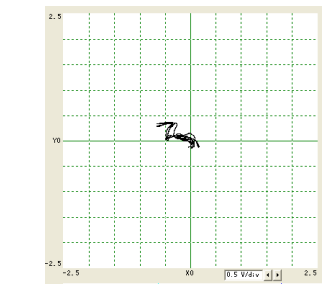
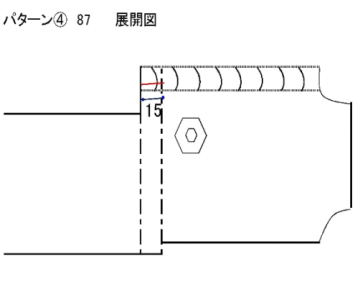
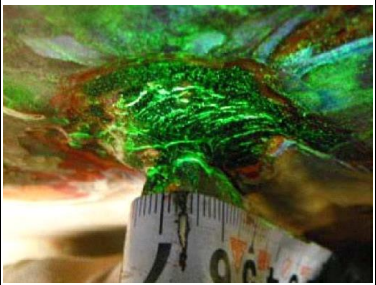
損傷パターン		磁粉探傷試験(MT) (個所数)		
		き裂有り	き裂無し	合計
下り線合計	パターン④	37 (31%)	82 (69%)	119 (100%)
	パターン⑤	1 (3%)	28 (97%)	29 (100%)
	パターン⑥	0 (0%)	10 (100%)	10 (100%)
	パターン⑦	0 (0%)	55 (100%)	55 (100%)
	パターン⑧	0 (0%)	7 (100%)	7 (100%)
合計		38 (17%)	182 (83%)	220 (100%)

## 渦流探傷試験と磁粉探傷試験の比較

		ET調査結果							
		有	(%)	無	(%)	合計	(%)		
M T 調 査 結 果	有	22カ所 「一致」	ET有りの	39%	14カ所 「見逃し」	ET無しの	11%	36カ所	100%
			MT有りの	61%		MT有りの	39%		
			全カ所の	12%		全カ所の	7%		
	無	35カ所 「空振り」	ET有りの	61%	114カ所 「一致」	ET無しの	89%	149カ所	
			全カ所の	19%		全カ所の	62%		
	合計	57カ所	100%		128カ所	100%		185カ所	100%
31%			69%						

ET番号 28 Mg0402		MT番号 103		評価
塗膜われ $l=25$ ET反応有り ET=25 ○ (下側塗膜割れ有り)		き裂形状		
		パターン④ 103 展開図 		「一致」
ET番号 94 Mg0702		MT番号 107		
塗膜われ $l=35$ ET反応有り ET=15 ▲		き裂形状		評価
		パターン④ 107 展開図 		

渦流探傷試験および磁粉探傷試験の例（「一致」個所）

ET番号 74 Mg0602		MT番号 106		
塗膜われ $\ell=20$ ET反応無し ET=0 × (下側塗膜割れ有り)		き裂形状		
		パターン④ 106 展開図 		「見逃し」
ET番号 98 Mg0703		MT番号 87		評価
塗膜われ $\ell=40$ ET反応無し ET=0 ×		き裂形状		
		パターン④ 87 展開図 		「見逃し」

渦流探傷試験および磁粉探傷試験の例（「見逃し」個所）

## 渦流探傷試験と磁粉探傷試験の作業日数

(パターン④+⑤+⑥+⑦+⑧の場合)

調査箇所： 185か所  
 渦流単勝試験 延べ 6日  
 磁粉探傷試験 延べ11日

全箇所でMTのみ実施の場合：11日

渦流探傷試験によるスクリーニング

⇒ 磁粉探傷試験を実施した場合

	実施箇所数(箇所)	日数(日)
ET(塗膜割れ箇所全箇所数)	185	6
MT(ETで反応有箇所のみ)	57	3.4
合計(ET+MT)		9.4



1.6日、15%短縮

損傷パターン④～⑧について，MTの前にETでスクリーニングを行う場合を想定すると，

- 185個所の内128個所(69%)は「き裂無し」と判定されたので，「き裂有」と判定されて残りの57個所(31%)についてMTを行えば良いことになり，MTの実施箇所数を31%に減らすことができる。
- しかし，128個所のうちの14個所(11%)のき裂は見逃してしまうことになる。この数字は，き裂の数36個所で見ると約4割を見逃してしまうことになるので，この数字の重要性については，き裂の危険度（発生位置や進展性）を考慮して判断すべきと考える。
- 作業日数については，き裂の数が塗膜割れの数の半分以下の場合には，MTの前にETを用いてスクリーニングを行うことにより作業工程の短縮化が可能となる。



# 3. 結論

疲労き裂調査の効率化を図る手法として磁粉探傷試験の前に渦流探傷試験を行う方法を検討した結果、以下が明らかになった。

- ① 磁粉探傷試験の前に渦流探傷試験でき裂調査を行い、き裂有と判定された箇所について磁粉探傷試験を適用すること（スクリーニング）によって、作業工程を短縮できる場合がある。
- ② ただし、き裂の半数近くを見逃す可能性があることから、き裂の重要性、進展性等に十分配慮する必要がある。
- ③ 渦流探傷試験で「き裂有」と判定される塗膜割れの個数が全体の半数以上である場合には、工程は短縮されないため、初めから磁粉探傷試験を行う方が良い。

# END

---

ご清聴ありがとうございました。