

疲労亀裂調査の効率化と予防および事後保全対策に関する提案

平成28年11月22日

関西大学 坂野 昌弘

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

■研究の背景と目的

疲労亀裂対策は発見された亀裂の状況に応じて講じられることから、**疲労亀裂に対しては全数調査が原則**である。しかしながら、調査箇所数が膨大な場合には全数調査に時間がかかることから、現実的には何らかの方法で**優先順位付け**を行い、**効率化**をはかる必要がある。

本研究では、荷重条件や各部位の応力の状況、FCM等の部材の種類、構造詳細、材料特性等に着目して**優先順位付け**を行い、**効率化**をはかるとともに、同時に**高い信頼性**も確保できるような**疲労亀裂調査方法**を提案し、さらに**予防保全も含めた補修方法**も提案する。

■研究の内容

1. 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。

2. 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。また、提案する優先順位付けの**妥当性**を実橋での亀裂調査や応力計測等によって**検証**する。

3. 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**等を含めた補修方法を解析や実験を行って検討する。また、提案する補修方法の**妥当性**を実橋での応力計測等により**検証**する。

4. 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補修方法**を提案する。

鋼橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究

■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	○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。 ○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。
平成26年度	○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。 ○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。
平成27年度	○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。 ○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。

■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

(4) 効率的な疲労亀裂調査方法等の 取りまとめ

以上の検討結果より、

効率的で信頼性の高い疲労亀裂調査方法と補修方法を提案する。

1) 効率的で信頼性の高い疲労き裂
調査方法

2) 合理的な補修方法

1) 効率的で信頼性の高い疲労き裂調査方法

- 塗膜割れに対して、
 - まず初めに、部材の重要度や亀裂であった場合の進展性に着目して優先順位をつけることができる。
 - 亀裂の進展性は、継手の疲労強度等級や作用応力、材料特性等を配慮してある程度推定可能である。
- 次に、非破壊検査手法のレビューを行って
10種類の非破壊検査手法から今回適用な可能な手法を絞り込み、
渦流探傷法ETと磁粉探傷法MTの二つに決定した。

- 磁粉探傷の前に渦流探傷法で亀裂調査を行い、亀裂有と判定された箇所について磁粉探傷法を適用することで、作業工程を短縮できる場合がある。
- ただし、亀裂の半数近くを見逃す可能性があることから、亀裂の重要性、進展性等に十分配慮する必要がある。
- なお、渦流探傷で亀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、初めから磁粉探傷を行うほうがよい^{8),9)}。

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 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 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%

渦流探傷試験と磁粉探傷試験の作業日数

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

2) 合理的な補修方法

- 横桁下フランジ貫通部
- 分配横桁・対傾構取合い部の垂直補剛材上端部

横桁下フランジ貫通部(事後保全)

亀裂発生後の事後保全については、

ストップホールがかけられる程度の長い亀裂に対しては、
ストップホールと高力ボルトの締め付けで亀裂の進展を防止可能。

亀裂が長い場合や応力が大きい場合には、
更に当て板等の対策が必要になる場合もある。

ストップホールがかけられないような短い亀裂に対しては、
バーグラインダーによる削り込みで亀裂を削除し、
削除痕を滑らかに整形することにより亀裂の再発を防止可能。
応力が大きい場合には更に当て板等の対策が必要になる場合がある。

横桁下フランジ貫通部（**予防保全**）

亀裂が生じていない箇所に対する**予防保全**対策として、

応力条件が厳しくない場合には、
溶接部の止端仕上げが可能である。
ただし、仕上げ状態に対する**施工管理**が重要となる。

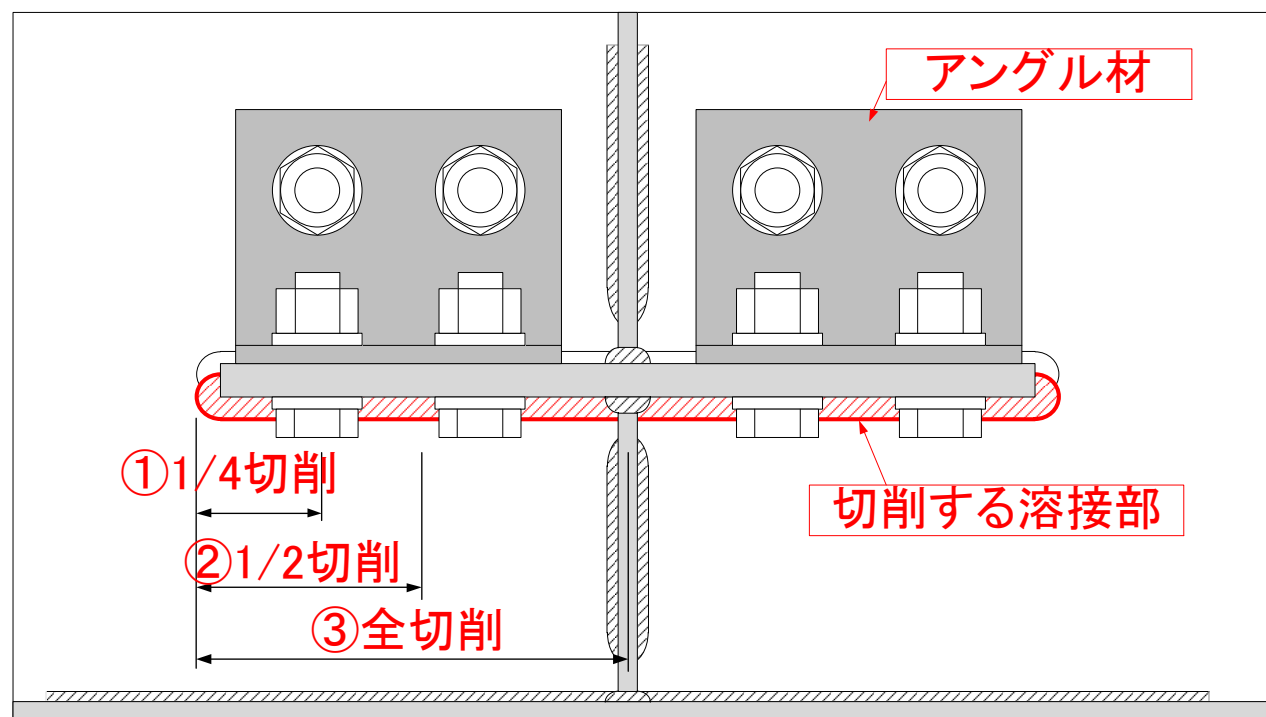
応力条件が厳しい場合には、
横桁下フランジと主桁ウェブの間の**ビードを切削し**、
切削したビードの分を**小型のアンガル材**で補強してお
けばよい。

ビード切削方法

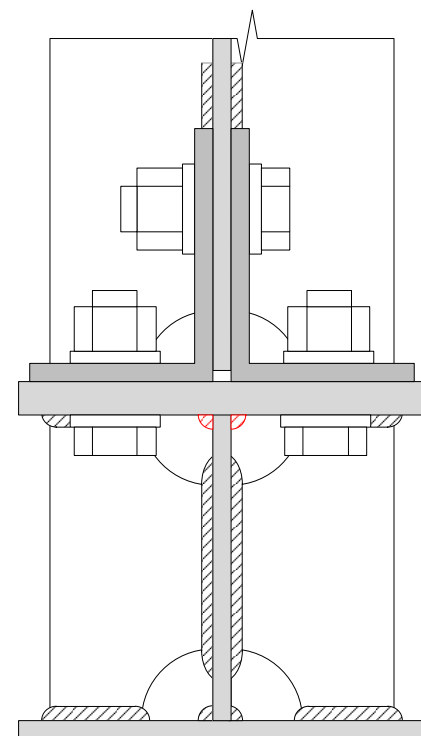
ビード切削 & アングル材

切削長さ

- ① 1/4 切削
- ② 1/2 切削
- ③ 全切削



(1) 貫通部側面図



(2) 貫通部断面図

パターン⑩

横桁貫通部
(ビード切削＋
小型アングル材取付)



対策前



対策後



分配横桁・対傾構取合い部の垂直補剛材上端部

予防保全対策として、

アンガル材を主桁の上フランジ下面にタッピングボルトで密着させ、

ウェブギャップ板あるいは垂直補剛材に高力ボルトで固定する方法がよい。

事後保全対策として、

長い亀裂の場合には亀裂先端にストップホール、

亀裂が短い場合には亀裂を削り込みで除去した後で

上記のタッピングボルトとアンガル材を用いた補強を行えば良い。

パターン④

垂直補剛材
(TRS工法)



対策前



対策後



パターン④

ウェブギャップ板
(TRS工法)



対策前



対策後



参考文献

- 1) 坂野昌弘：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，土木学会第70回年次学術講演会講演概要集，CS4-004，2015.9.
- 2) 田辺篤史，松本理佐，小山雅弘，坂野昌弘：主桁と分配横桁・対傾構との交差部の疲労対策による応力低減効果の解析的評価，土木学会第71回年次学術講演会，CS6-005，2016.9.
- 3) 吉田直人、坂野昌弘、小西日出幸、藤井隆：横桁貫通構造に対する当て板による予防保全対策効果の検討，平成27年度土木学会関西支部年次学術講演会，I-36，2015.5.
- 4) 吉田直人、坂野昌弘、小西日出幸、藤井隆：横桁貫通構造の疲労損傷に対する予防保全対策効果の検討、土木学会第70回年次学術講演会、CS4-006，2015.9.

5) 吉田直人, 坂野昌弘, 小西日出幸, 小山雅弘: 横桁下フランジ貫通構造に対するビード切削による予防保全対策, 土木学会 第71回年次学術講演会, CS6-002, 2016.9.

6) 坂本千洋, 岡田康暉, 坂野昌弘, 小西日出幸, 小山雅弘: 対傾構取付け垂直補剛材上端部の疲労対策効果に関する実験的検討, 土木学会 第71回年次学術講演会, CS6-004, 2016.9.

7) Luiza H. Ichinose, 小山雅弘, 坂野昌弘: 応力頻度測定による分配横桁・対傾構取合い部の疲労対策効果の検証, 土木学会 第71回年次学術講演会, CS6, 2016.9.

8) 一ノ瀬伯子ルイザ、水江正弘、坂野昌弘: 渦流探傷試験を用いた鋼橋の疲労き裂調査の効率化に関する検討、鋼構造年次論文報告集、第22巻、pp.825-832, 2014.11.

9) 一ノ瀬伯子ルイザ、水江正弘、坂野昌弘: 渦流探傷試験を用いた鋼橋の疲労き裂調査の効率化に関する検討(その2)、鋼構造年次論文報告集、第23巻、pp.356-363, 2015.11.