~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、荷室条件や各部位の広力の状況、FCM等の部状の種類、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 ・ 成労 単裂調査 手法の現状把握と課題抽出 対象構象に対して現地調査を行い、成労 亀裂等に関して現状を把握し課題を抽出する。 2、成労 亀裂調査 のスクリーニング方法の検討 荷 重条件 や各部 位の方 が沢、FCM 等の部がの 建築 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構での 亀裂調査 や応力計測等によって検証する。 3、成労 亀裂調査 役の活体方法の次引、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構での応力計測等 により検証する。 3.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

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し 疲労亀裂等に関して現状を把握し課題を抽出する。
	〇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	〇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。
	〇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죟
	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
	□ により快耐する。 ○ 広労集烈調査後の結核方法の検証・提案する結核方法の空当性を解析した。
平成27年度	国家の目後の目後の特徴が広め後継、提案する特徴が広め受当任を解析や扱う 実験、実種での応力計測等によって検証する。
100-110	Q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。
●加予定メンバー	(体制)
一	口太非动博绘态工業会 建铅气 计间方 心协会 口太场沙建設协会

平成25年度の研究計画

下記の内、③の橋梁を研究対象とした

 ①淀川大橋(単純鋼トラス橋6連、単純鋼非合成鈑桁橋24連、1926 年供用開始、88歳)
 ・トラス橋横桁端部の予防保全
 ・鋼桁部の調査

- 「動竹市の調査
- ②木津川大橋(3径間連続鋼合成鈑桁橋3連、1966年供用、48歳)
 ・塗膜割れ(約1000か所)
- ③姫路大橋(単純鋼合成鈑桁橋6連、1972年竣工、42歳)
- ・塗膜割れ(約4000か所)

研究の進捗状況(1)

①非破壊検査手法のレビューを行って 今回適用な可能な手法を絞り込み、 現地での疲労亀裂調査方法を決定した。

②現地調査を行って、 10パターンの塗膜割れに対して、 優先度の高い2パターンを選定した。

研究の進捗状況(2)

③渦流探傷法(ET)で亀裂調査を行い、後に実施した磁粉探傷法(MT)の結果と比較して的中率や見逃し率、空振り率について詳細に検討した。

④ETとMTの実際の作業日数から、 ETでスクリーニングを行った場合の作業日数 の短縮化について検討した。

研究の進捗状況(3)

⑤疲労実験を行い、横桁貫通構造の疲労挙動 について詳細に検討し、他の亀裂パターンと の違いを明らかにした。

⑥拡張有限要素法(XFEM)による亀裂進展シミ ュレーションを行い、疲労亀裂の進展挙動や 進展寿命が予測可能であることを示した。 御橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究

本橋梁建設協会の平成25年度調査結果と26年度の予定

1

パターン①横桁フランジ貫通構造について

パターン①使析のフランジが主桁のウェブを

賞通する構造は、疲労損傷が顕著化し始めた1980年

以以降はだんだん使用されなくなったと考えられるが、

姫路大橋が完成した1972(昭和47)年頃には一般に使
われていたと考えられる。そこで、日本橋梁建設協会
(以下橋建と略す)会員会社にアンケートを実施して、
この構造の実績を調べてみた。













今年度の調査研究

- パターン⑩構造の実績の追加調査 (何年頃まで採用されているかなど)
 補強方法の検討と試験体による疲労割
- ・補強方法の検討と試験体による疲労試験
 ・疲労亀裂補修補強事例の調査

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

日本非破壊検査工業会	正会員	\bigcirc	Luiza H. Io	chinose
近畿地方整備局	非会員		水江 正	弘
関西大学	正会員		坂野 昌	弘

1. 概要

近年,鋼橋の疲労損傷が多数報告されており,その数は年々増加傾向にある¹⁾.発見された疲労き裂の状況 に応じて適切な対策を実施するためには,き裂の疑いがある全個所でのき裂調査が必要となる.調査個所数 が膨大な場合には全数調査に時間がかかるため,き裂調査に対して効率化が求められている.

本稿では、国土交通省近畿地方整備局に設置された「新都市社会技術融合創造研究会」の新規プロジェクトとして立ち上げられた「鋼橋の疲労亀裂調査の効率化 PJ」の一環として、渦流探傷試験と磁粉探傷試験を 実施し、それらの結果を比較して、効率化に関する検討を行った.

2. 対象橋梁

フィールドワークの対象橋梁として,1972年に竣工 された単純鋼合成鈑桁橋(支間:6@41.2m,幅員:18.8m) の第6径間を選定した.平成22年度のセンサスで,1 日の交通量が約12万台(大型車両混入率=21.2%)であ った.対象橋梁では,目視点検の結果,約4000個所の 塗膜割れが検出された.本調査では,検出された損傷 パターンの内,最も緊急性が高いと思われる損傷パタ ーン①および⑩(図1)に着目し,渦流探傷試験を実施 した.

3. 調査の流れ

調査は、図2の流れに従い、実施した. 渦流探傷試 験は、定期点検で塗膜割れが検出された個所の内で磁 粉探傷試験未実施の個所(211個所),および塗膜割れ が検出されなかった個所(18個所)の合計229個所に 対して実施した. 渦流探傷試験は、検査個所の塗膜を 除去せず、携帯式渦流探傷装置を用いて実施した. 渦 流探傷試験結果の検証にはその後実施された磁粉探傷 試験の結果を用い、両者の比較を行った.

4. 渦流探傷試験および磁粉探傷試験結果

4. 1 渦流探傷試験結果

渦流探傷試験は,前述のように磁粉探傷試験未実施の個所(合計229個所)に対して実施した.渦流探傷 試験結果の総括を表1に示す.







図 2-調査の流れ

表 1- 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	き裂の疑いの		<u>م</u>	±∔
		反応有り		反応無し			P
上下始人士	パターン①	11	(14%)	69	(86%)	80	(100%)
工「禄百訂	パターン①	30	(20%)	119	(80%)	149	(100%)
合計		41	(18%)	188	(82%)	229	(100%)

キーワード 鋼橋,非破壊検査,渦流探傷試験,磁粉探傷試験,疲労き裂,維持管理 連絡先 〒101-0047 東京都千代田区内神田 2-8-1 冨髙ビル 3F (社)日本非破壊検査工業会 TEL. 03-5207-5961

CS5-009

4. 2 磁粉探傷試験結果

渦流探傷試験の検証には,別途調査で実施された磁 粉探傷試験の結果を用いた.磁粉探傷試験は渦流探傷 試験を実施した全個所に対して実施された.その結果 を表2に示す.

4.3 渦流探傷試験および磁粉探傷試験結果の比較

渦流探傷試験と磁粉探傷試験結果の比較を表3に表す.

まず,調査個所全数の 189 個所で見てみると,MT と ET の評価結果が一致した個所は,有有 7 個所と無 無 143 個所の合計 150 個所で的中率は 79.4%,MT で 有なのに ET で無とした(見逃し)個所は 5 個所なの で見逃し率は 2.6%,逆に MT で無なのに ET で有とし た(空振り)箇所は 34 個所で空振り率は 18.0% となる.

次に, MT で亀裂有と判定された 12 個 所で見ると, ET でも有りと判定された個 所は7個所なので的中率は58%, ET で無 と判定された箇所は5 個所なので見逃し 率は42%となる.

また, ET で亀裂有と判定された 41 個所 について見ると, MT でも有は 7 個所だか ら的中率は 17%で, MT で無は 34 個所な ので空振り率は 83%となる. 一方, ET で 亀裂無と判定された 148 個所で見ると, MT でも無は 143 個所だから的中率は 96.6%で, MT で有は 5 個所だから見逃し 率は 3.4%となる. 表 2-磁粉探傷試験結果

損傷パターン		磁粉探傷試験(MT)(個所数)						
		き裂れ	有り	き裂無し 合計			計	
トマ伯ム社	パターン①	8	(10%)	72	(90%)	80	(100%)	
工下稼苗訂	パターン①	15	(10%)	132	(90%)	147	(100%)	
合 計		23	(10%)	204	(90%)	227	(100%)	

表 3- 渦流探傷試験 × 磁粉探傷試験の比較

	ET調査結					結果			
		有	(%)		兼	(%)		合計	(%)
			ET有りの	17%		ET無しの	3%		
	有	7ヵ所	MT有りの	58%	5ヵ所	MT有りの	42%	12ヵ所	100%
M		「一致」	全ヵ所の	4%	「見逃し」	全ヵ所の	3%		
調] 新 新	4 04 + FF	ET有りの	83%	140+75	ET無しの	97%	177.4 武	
企 結		「空振り」	全ヵ所の	18%	143万所 「一致」	全ヵ所の	76%	ומנלוו	
果	合計	41ヵ所	1009	6	148ヵ所	1009	6	189ヵ所	100%



図 3-渦流探傷試験 x 磁粉探傷試験「一致」・「見逃し」の一例

図3に的中したき裂と見逃したき裂の例を示す.き裂の大半は回し溶接部に位置し、そのき裂長は「的中」の場合、L=3mm~10mm、「見逃し」の場合がL=5mm~10mmであった.

5. まとめ

ここで、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%)は亀裂無なので、亀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に減らすこともできそうであるが、その場合、148個所のうちの5個所(3.4%)の亀裂は見逃してしまうことになる。3%という数字は小さいように思えるが、亀裂の数12個所で見ると4割(半分近く)を見逃してしまうことになるので、この数字が大きいか小さいかは、亀裂の危険度(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(ET=延べ6日;MT=延べ11日)と,作業効率の観点からは,塗膜を除去せず,塗膜上から実施可能な渦流探傷試験の方が,塗膜の除去・復旧が必要となる磁粉探傷試験に比べて作業工程の短縮 化が期待できる.

参考文献

1)国土交通省道路局国道・防災課監修,鋼橋疲労対策技術検討会編:実務者のための鋼橋疲労対策資料,2012.3

スリット付き横桁下フランジ貫通構造の疲労挙動

関西大学 学生会員 〇吉田 直人, 正会員 坂野 昌弘 日本橋梁建設協会 正会員 小西 日出幸, 姫路河川国道事務所 非会員 藤井 隆

1. はじめに

名阪国道山添橋では主桁ウェブの横桁下フラン ジ貫通部から長さ 1m のき裂が発生した¹⁾. この き裂は主桁を破断させる恐れのある極めて危険な き裂である. このタイプの貫通構造を有する道路 橋は国内に相当数存在すると考えられることから, これらの疲労強度特性を把握することは火急の課 題である.

しかしながら、横桁下フランジ貫通構造の疲労 実験例は非常に少ない^{2),3)}. そこで、本研究では主 桁ウェブのスリット付き横桁下フランジ貫通構造 を有する桁試験体の疲労実験を行い、それらの疲 労挙動を明らかにすることを目的とする.

2. 実験方法

(1)試験体の設計・製作

図1に試験体の形状・寸法とひずみゲージ貼付 位置を示す. 主桁ウェブ中央下フランジ側にスリ ットを有し、スリットの上部に横桁下フランジが すみ肉溶接で取り付けられている. 鋼材は全て SM490YA を用いた. 溶接方法はウェブとフラン ジ間はサブマージアーク溶接, それ以外は CO₂溶 接である.

(2)静的載荷試験

貫通部周辺の応力性状を把握することを目的と して,両端支持の中央1点載荷で静的載荷試験を 行った.横桁下フランジ貫通部の応力集中の影響 を避けるため、横桁下フランジ緑端から水平方向 に 100mm 離れたウェブの表裏両面に 3 軸ひずみ ゲージを貼付した.また、上フランジ上面と下フ ランジ下面にも、ウェブの 3 軸ゲージ貼付位置と 同じ断面に 1 軸ひずみゲージを 3 枚ずつ (フラン ジ幅方向の中央と両縁端から 10mm の位置に) そ れぞれ貼付した.下フランジの最大引張応力が 50MPa 程度となるように、載荷荷重は 100kN に 設定した.

(3) 疲労実験

疲労実験は静的載荷試験と同様に両端支持の中 央1点載荷で行った.荷重繰返し速度は 6Hz とし た.荷重の大きさは Pmax=300kN, Pmin=200kN とし、△P=100kN とした.2 箇所の試験部の一方 のき裂が進展した場合、ストップホールと HTB 締付によるき裂進展防止対策を行い、疲労試験を 続行した.き裂の検出は渦流探傷法と磁粉探傷法 を用い、横桁下フランジ両縁の回し溶接部4箇所 に対して行った.

3. 実験結果

(1)静的載荷試験結果

図2に静的載荷試験の結果を示す.計算値については横桁下フランジや補剛材を無視し,一様断面のI型ばりと仮定して曲げモーメントとせん断力から求めた.疲労き裂の発生進展に対して影響の大きい最大主応力範囲⊿σ1を比較すると,



図−1 試験体の形状・寸法とひずみゲージ貼付位置

キーワード:スリット付き横桁下フランジ貫通構造,疲労実験,疲労き裂発生進展挙動,疲労寿命 連絡先:〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 鋼構造デザイン研究室 Tel:06-6368-1111 (内線 6506) 最大で 6%程度の差はあるもののゲージ位置では ほとんど梁理論通りの主応力が生じていることが 確認できた.

(2)疲労実験結果

図3に載荷回数とき裂長さの関係を示す.載荷 回数20万回の時点で,横桁下フランジ縁のすみ 肉回し溶接止端部に沿って長さ8mm程度のき裂 が検出された.その後,しばらくき裂長さに変化 が無かったが,載荷回数80万回時点でA断面表 と裏,120万回時点でB断面表,230万回時点で B断面裏においてき裂がウェブへ進展しているの が確認できた.その後き裂は最大主応力方向とほ ぼ垂直にウェブを斜め上に進展した.また,載荷 回数250万回時点でA断面のき裂の進展を止める 為(写真-1),ストップホールとHTBによる締付 けを行った.なお,A断面のき裂が進展するにつ れて荷重伝達が途切れるため,B断面のき裂の進 展が遅くなっている.

図4に最大主応力範囲で整理したS-N関係と設 計曲線 4を示す. 試験体の疲労寿命は,疲労き裂 発見寿命 Nd で評価すると H'等級の 1/4~1/6,ウ ェブへのき裂進展寿命 Nw で評価すると H'等級 以下,き裂長さ 30mm の時の繰返し回数で定義し た破断寿命 N₃₀ で評価すると H'等級となる.

4. おわりに

(1)疲労き裂は横桁下フランジ縁端部のウェブ側 溶接止端に沿って発生し,最大主応力方向とほぼ 垂直にウェブを斜め上に進展した.

(2)試験体の疲労寿命は、疲労き裂発見寿命 Nd で 評価すると H'等級をはるかに満たさず、ウェブへ のき裂進展寿命 Nw で評価すると H'等級以下、破 断寿命 N₃₀ で評価すると H'等級となる.

参考文献

1)奈良国道ホームページ

http://www.kkr.mlit.go.jp/nara/

2)坂野,三上,村山,森脇:フランジ貫通型鉄道 橋床組連結部の疲労強度,構造工学論文集,
Vol.41A, pp.965-973, 1995.3.
3)坂野,宝角,下良,三上:主桁・横桁接合部ウェ

ブガセット溶接継手の長期疲労強度、鋼構造論文

集, 第5巻第18号, pp.31-40, 1998.6.

4)日本道路協会:道路橋示方書・同解説(I共通 編・Ⅱ鋼橋編),2012.3.



図-4 最大主応力範囲で整理した S-N 線図





















合理的な亀裂進展解析コードの開発

解析コードの構成

汎用ソフトウェアABAQUSに以下のプログラムを追加

- PU-XFEM近似を実装するプログラム
- ■応力拡大係数の評価,疲労亀裂の進展方向・伝播速度の算出 を行うプログラム
- ■解析コード全体のフローを制御するプログラム





























	雨#¤ • ソ	リッド	何 要素	い時央 Eデルと	実験編	ま果の比較
			実測値 [MPa]	ソリッド要素 「MPa1	誤差[%]	
	△淅而	表側	-46.2	-43.6	6.08	
トフランジ	2 1007 SAN	中央	-47.4	-44.3	6.90	
	B断面	表側	-44.8	-44.0	1.91	
		中央	-44.4	-45.7	-2.87	
	A断面	表側	48	49.5	-3.05	
下フランジ		中央	49.4	49.9	-0.90	
	B断面	-10x10	40.0	47.0	-1.21	and the second sec
		+7	20.1	20.2	-2.00	
		主	38.4	39.3	-2.24	
	Афіш	平均	38.4	39.3	-2.24	
ウェブ		表	34.6	35.9	-3.49	
	B断面	裏	34.7	35.9	-3.21	
		平均	34.6	35.9	-3.49	
	すべて	の範	囲で79	%以下(の誤差	









