関西大学　環境都市工学部　坂野昌弘教授

鋼橋疲労亀裂調査と補修方法の研究

近畿地整の産官学研究会

H25～27、プロジェクトに参画

インタビュー

現状の様々な課題を解決する新技術の開発を促進するため、産官学の連携として行っている近畿地整の「新都市社会技術融合創造研究会」。そこに近年、対策が求められている鋼橋の疲労亀裂について、信頼性の高い調査方法と補修方法の研究を、平成25～27年の3カ年でリーダーとしてプロジェクトを進めている関西大学の坂野昌弘教授に伺った。（北澤宏美）

関西大学
環境都市工学部
都市システム工学科教授
坂野　昌弘氏

——今回は、産官学の連携である近畿地整の「新都市社会技術融合創造研究会」についてお願いします

坂野教授　近年、増加傾向にある鋼橋の疲労亀裂について状況に応じた適切な対策を講じるためには、亀裂の疑いがある個所での亀裂調査が必要となりますが、調査個所数が膨大な場合には全数検査に時間がかかるため、効率化が求められてきました。そこで、平成25～27年度までの3カ年の活動で「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」を行っています。

——研究内容として

坂野　(1)対象橋梁の現地調査を行い、疲労亀裂に関して現状を把握し課題を抽出。(2)疲労亀裂調査のスクリーニング方法の検討として、荷重条件や各部位の応力状況、FCMなどの部材の種類、構造詳細、材料特性などに着目し、解析や実験によって調査個所の優先順位付けを行う。(3)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などによって検証する。(4)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という手順です。

——具体的には

坂野　目視点検の結果、約4000カ所の塗膜割れが検出された姫路河川国道事務所が管理する姫路大橋を対象として検討を行うこととしました。

同橋は交通量が約12万台/日、大型車両混入率21・2%で、1972年竣工（42歳）で橋長252㍍、支間長41・2㍍、幅員18・8㍍、6径間単純鋼合成鈑桁橋です。

現地調査を行って塗膜割れに対し、10パターンに分類しました。パターン⑩が名阪国道の山添橋と同様な貫通構造です。

過流探傷試験（ET）と磁粉探傷試験（MT）の比較

表上パターン①と⑩　表下パターン④～⑧

		ET調査結果					
		有	(%)	無	(%)	合計	(%)
MT調査結果	有	7カ所 「一致」	ET有りの 17% MT有りの 58% 全カ所の 4%	5カ所 「見逃し」	ET無しの 3% MT有りの 42% 全カ所の 3%	12カ所	100%
	無	34カ所 「空振り」	ET有りの 83% 全カ所の 18%	143カ所 「一致」	ET有りの 97% 全カ所の 76%	177カ所	
	合計	41カ所	100%	148カ所	100%	189カ所	100%

		ET調査結果					
		有	(%)	無	(%)	合計	(%)
MT調査結果	有	22カ所 「一致」	ET無しの 39% MT有りの 61% 全カ所の 12%	14カ所 「見逃し」	ET無しの 11% MT有りの 39% 全カ所の 8%	39カ所	100%
	無	35カ所 「空振り」	ET有りの 61% 全カ所の 19%	114カ所 「一致」	ET有りの 89% 全カ所の 62%	149カ所	
	合計	57カ所	100%	128カ所	100%	185カ所	100%

〈分類されたパターン1～10について〉

パターン⑩は名阪国道の山添橋と同様な横桁貫通構造、①はウェブガセット継手部の、両者とも主桁腹板に生じる危険な亀裂です。
パターン④～⑧は、ウェブギャップ部や垂直補剛材上端部付近に生じる亀裂で、放置すると主桁に進展する可能性のある亀裂です。
今回は②、③、⑨はありませんでした。

姫路大橋で　MTとETの比較検証　実測結果から判断材料を

非破壊検査方法として一般的に用いられる磁粉探傷法（MT）が表面塗膜を除去・復旧の必要があり、検査に日数を要するので、表面塗膜を除去しなくても検査のできる渦流探傷法（ET）によってスクリーニングが可能かどうかを検証するため、両者の亀裂調査の結果を比較して、詳細に検討しました。

——平成25年度では

坂野　まず、優先度の高い①と⑩の2パターンを選定し、優先的に調査する個所を4分の1の1000カ所程度に絞り込みました。定期点検で塗膜割れが検出された個所のうち、MT未実施の211カ所と塗膜割れが検出されなかった個所の合計229カ所に対してETを実施しました。

両者の比較が可能な189カ所全体で見てみると、MTとETの結果が一致した有有が7カ所、無無が143カ所の合計150カ所で的中率は79・4%。MTで有なのにETで無となった「見逃し」は5カ所で見逃し率は2・6%。逆にMTで無なのにETで有とした「空振り」は34カ所で空振り率は18%となりました。MTで有と判定された12カ所で見ると、ETで有と判定されたのは7カ所なので、的中率は58%、見逃し率は42%。ETで有と判定された41カ所についてみると、MTの有は7カ所なので、空振り率は83%になりました。ETで無と判定された148カ所で見ると、MTでも無は143カ所ですから的中率は96・6%で、見逃し率は3・4%でした。

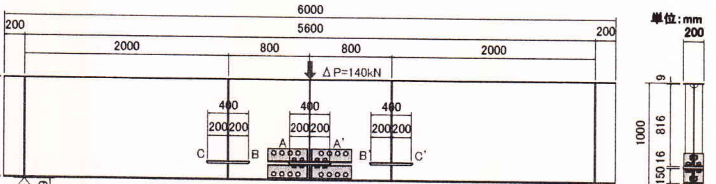
——結論としては

坂野　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カ所のうち、148カ所（78%）は無なので、有とした残りの41カ所（22%）についてMTを行えばよいことになり、MTの実施個所を5分の1に減らすこともできそうですが、その場合、148カ所のうちの5カ所（3・4%）、亀裂の数12カ所で見ると約4割を見逃してしまうことになります。このタイプの亀裂の危険性を考えると、4割の見逃しは厳しい結果と思います。

——26年度には

坂野　前年度に続き、損傷パターン④～⑧について定期点検で塗膜割れが検出された個所のうち、MT未実施の189カ所に対して行いました。

比較可能な185カ所全体で見てみると、MTとETの評価結果が一致したのは、有有が22カ所、無無が114カ所の合計136カ所で的中率は74%、MTで有なのにETで無とした「見逃し」は14カ所で見逃し率は8%。逆にMTで無なのにETで有とした「空振り」は35カ所で空振り率は19%となります。次に、MTで有と判定された36カ所で見ると、ETで有と判定されたのは22カ所なので、的中率は61%、見逃し率は39%となります。また、ETで有と判定された57カ所についてみると、MTの有は22カ所なので、的中率は39%、空振り率は61%になります。一方、ETで無と判定された128カ所で見ると、MTでも無は114カ所ですから的中率は89%で、見逃し率は11%となります。



試験体の形状と寸法

——結論としては

坂野　185カ所のうち、128カ所（70%）は無なので、有とした残りの57カ所（30%）についてMTを行えばよいことになり、MTの実施個所を3割に減らすこともできそうですが、その場合、128カ所のうちの14カ所（11%）、亀裂の数36カ所で見ると約4割を見逃してしまうことになります。ETの適用性については、見逃した亀裂に対して、次の点検時までの進展性状を十分に考慮して判断すべきと考えます。

作業日数につきましては、ETは延べ6日、MTは延べ11日です。しかし、ETをスクリーニング法として用いる場合、ETで有の個所のみに対してMTを実施するので、全行程（ET＋MT）の作業日数は9・4日となり、1・6日15%の短縮になりますが、4割の亀裂を見逃す可能性があるということになります。なお、亀裂の数が塗膜割れの半数以下の場合には作業工程の短縮になりますが、半分以上ある場合には二度手間になり、逆に工程が増えてしまいます。このように、客観的に実測結果を比較すると、様々な判断の材料になります。

——その他になさった研究内容は

坂野　26年度では、一つは、近畿管内の横桁貫通構造H'等級の実態調査を実施しています。今はもう作ってはいけない一番低い等級で、それが最も優先順位が高いわけです。

近畿圏内の橋を点検した結果、直轄では107橋、自治体では624橋で貫通構造の可能性があるそうです。全国でどのくらいの数になるのか気になります。

——具体的には

坂野　そこで、一つ目は、スリット下側溶接タイプの横桁貫通構造を有する桁試験体を用いて、当て板による予防保全対策を施し、静的載荷試験によって応力の低減効果の検証を行いました。

その結果、ボルト締めに関しては1面より2、3面の方が応力を低減でき、2面と3面ではほとんど変わらないという結果が出ました。また、当て板取り付けの位置に関しては、下側より上側、上側より上下当て板の方が応力を低減できることが明らかとなりました。さらに、上下当て板の3面と2面締め付けで4割程度、上側当て板の3面と2面の締め付けで5～6割程度まで応力集中を軽減できることが明らかとなりました

——2つめは

坂野　また、前述と同じ試験体を用いて、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についても行いました。図の通り、貫通部を3カ所設けて止端仕上げと当て板の両方で疲労実験を行いました。

結果としては、亀裂は載荷回数20万回で溶接したままのC断面で表側4㍉、裏側5㍉、100万回で止端仕上げしたC'断面で表側12㍉、裏側10㍉、140万回でC断面で35㍉、C'断面で30㍉程度に対してSHとHTB締め付けを行いました。また、200万回で当て板のA断面で表側4㍉が発生しました。

止端仕上げにより、疲労寿命は5倍程度向上する、当て板により10倍以上向上する、止端仕上げ＋当て板により、疲労寿命は25倍以上向上するという結果が得られました。

疲労亀裂対策　計画的な予防保全が必要　「その一助になれば幸い」と

——これらの検証実験を総括して

坂野　今回対象とした貫通構造のように、5年ごとの点検で見逃した場合に危険な状態となる亀裂に対しては、計画的な予防保全が必要です。その際に、40年で亀裂が出ていない個所については、対策によって寿命が5倍になれば200年、10倍になれば400年、25倍だと1000年以上亀裂が出ないことになります。通常は、100年以上持てば十分と思います。

虫歯の治療と一緒で、虫歯になってしまうと削り込みや当て物など大袈裟な対応が必要ですが、虫歯になる前であれば、歯磨きなどの簡易な対策で十分です。

危険性の高い疲労亀裂に対して、点検による早期発見と早期対策はもちろん大切ですが、膨大な数の対象橋梁に対しては、計画的な予防保全対策が必要です。我々の研究がその一助になれば幸いです。