

道路橋の長寿命化に向けた非破壊検査技術の開発

桑原徹郎* 木村嘉富** 村越 潤*** 星隈順一****

1. はじめに

我が国では、特に1960年代から70年代の高度経済成長期を中心として、多くの道路橋が建設されてきている。現在、橋長15m以上の橋梁は15万橋以上であるが、これらの建設時期を示したのが図-1である。1970年前後の橋梁は鋼橋が多かったが、その後はPC橋が多く建設されるようになってきている。現在は、建設後50年以上経過した橋梁は9%であるが、10年後にはその割合は28%、20年後には53%となると見込まれる。

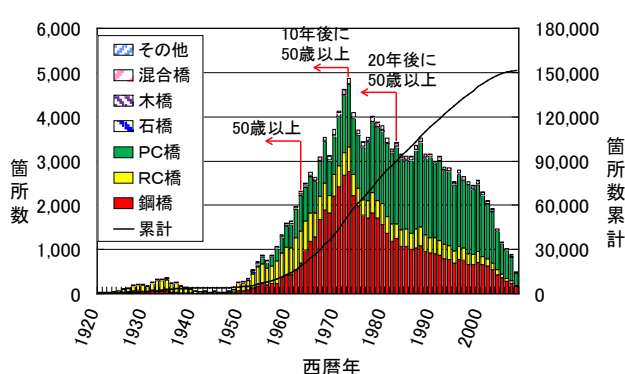


図-1 道路橋ストックの現状 (橋長15m以上)
(文献1)をもとに作図)

このような状況を踏まえ、道路橋の維持管理を充実させ、調査・点検を定期的に行い、早期に適切な診断・評価および補修・補強を行う予防保全に取り組むことで、橋梁のライフサイクルコストを低減し、長寿命化を図ることが重要である。特に構造物の劣化・損傷の初期段階などで、適切な診断・評価を行うためには、目視確認できない状態を可視化する非破壊検査技術が有効であり、多様なニーズに対応した非破壊検査技術の開発が求められている。

本稿では、構造物メンテナンス研究センターで開発に取り組んでいる非破壊検査技術について、その概要と今後の取り組みの方向性を報告する。

2. 鋼橋における疲労き裂の検出技術

道路橋の鋼床版デッキプレートとUリブの溶接ルート部からデッキプレート板厚方向に進展する疲労き裂（以下、デッキ進展き裂）が報告されている（図-2参照）。この目視点検が困難なき裂の検出を目的として、き裂の進展初期の段階で検出できる信頼性を確保した、超音波探傷法による非破壊調査技術を提案している。

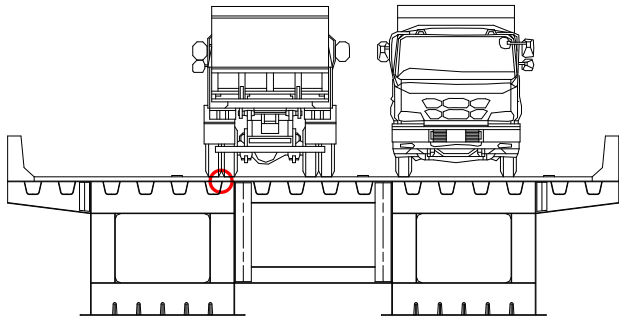
溶接内部のき裂を検出する方法としては超音波を利用した方法が一般的であるが、超音波探傷法は検査技術者の技量に左右されやすい面がある。要求性能に見合った客観性・信頼性の高い情報を得るためには、探触子の選定、探傷方法、き裂とエコー高さの関連付け等による検出結果の評価方法について十分な検討が必要である。実用面では、鋼床版の鋼材表面の塗装を剥がさずに探傷することが効率的であり、塗膜等による探傷面の状態の違いが探傷結果に及ぼす影響について検討しておく必要がある。さらに、上向き姿勢での探傷となるため、輪荷重直下の溶接線を橋長全長にわたって調査するには作業性の高い探傷法であることが求められる。これらの技術的課題の解決を目指して超音波探傷法を開発を行っている。

写真-1に現場での適用状況を示す。現場では対象とする溶接線に沿って、自動走査装置を磁石で固定し、探触子を自動走査することにより超音波探傷器上でデータを確認しながら記録する。既に探傷マニュアル案²⁾を作成しているが、超音波探傷試験の資格を有する非破壊検査技術者であれば、基本的に使用することができる技術である。1日当たり最大80m/日程度の溶接線長の調査が可能であることを確認している。

図-3は、探傷結果の一例であり、Uリブ溶接部の周辺のみを表示した例である。図中の矢印の部分は反射波の強さと位置からき裂と判断されたものである。

本技術についてはき裂の非破壊調査技術として既に現場に適用されているが、今後、実き裂に対

する探傷を積み重ね検証・改良を重ねていくことで、探傷法としての信頼性や現場での作業性を高めていく予定である。また、疲労損傷に対して必要な対策を進めていくためには、各種の調査結果を基にした総合的な診断が求められるが、本技術の適用場面、探傷結果の解釈及び活用方法についても詰めていく必要がある。



a) 鋼床版の断面図の例



b) き裂の起点(ルート部)と進展方向

図-2 鋼床版デッキプレート内に進展する疲労き裂の概要



写真-1 現場での適用状況

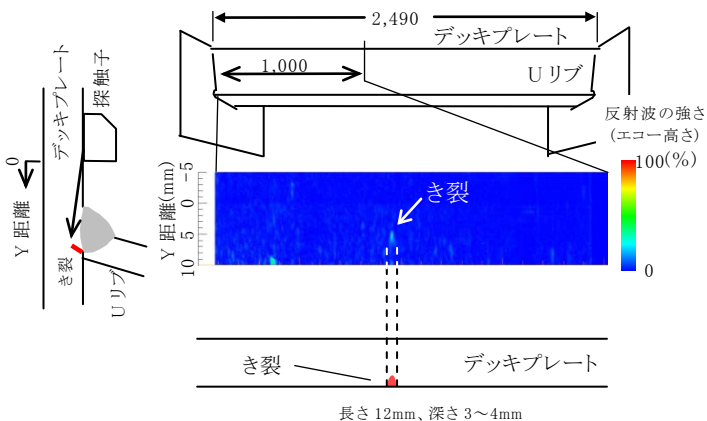


図-3 探傷結果の例

3. X線源によるコンクリート橋検査技術

既設コンクリート部材の耐荷力評価のためには、コンクリート内のひび割れ状況や、鉄筋・PC鋼材の位置、直径、腐食状況を把握する必要がある。非破壊検査技術の一つであるX線透過法ではこれらの情報を得ることができ、また、コンピュータトモグラフィ (CT) 技術を用いることにより複雑な内部構造を可視化できる可能性がある。現在橋梁調査で用いているX線源はその出力が300keVまでであり、適用限界厚さは30~40cm程度といわれている。一方、X線の利用を規定している放射線障害防止法においては、屋外で使用する場合、橋梁検査に限って4 MeVまでの加速器の使用が認められており、東京大学等と連携して高出力X線源によるコンクリート橋検査技術の開発に取り組んでいる。

X線源として、上坂ら³⁾が開発した可搬型3.95 MeVライナックを用いた。全体像を写真-2に、加速管のイメージを図-4に示す。装置は、X線源、高周波発生装置、電源、水冷ポンプから構成されている。高出力他装置に比べ重量が小さいのが特徴であり、既存の橋梁点検車に搭載可能なよう、X線源等を200kg以下に抑えている。

開発装置の基本性能を確認するため、撤去橋梁より切り出したプレストレストコンクリート桁の下フランジ部 (写真-3) を撮影した。この部材の寸法は40 cmであり、従来の装置では撮影時間に1時間程度を要していたが、わずか1秒で写真-4の画像を得ている。この桁はポストテンション方式による桁であり、一つのシース内に直径7mmのPC鋼線が12本配置されている。写真-4は1方向からの撮影であるため、各シース内のPC鋼線は、3本しか確認できていない。また、撮影中心から離れたシース③では、本数までは確認できない。本装置は、角度を変化させた複数枚の画像も短時間で撮影することが可能であり、検出精度向上のため、装置開発と並行してCT技術にも取り組んでいる。

今後は、実橋梁でCTを撮像するための可動装置の開発や、高出力X線源に対して検出効率を向上させた検出器の開発に取り組んで行く必要がある。

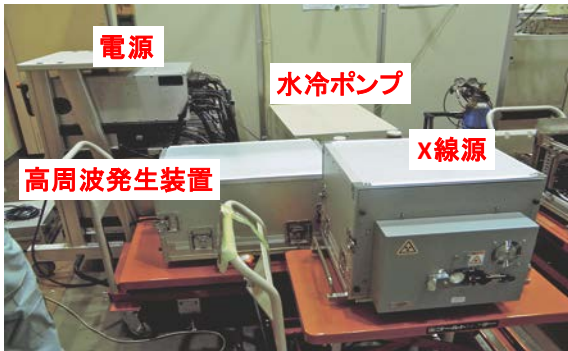


写真-2 3.95MwVライナック全体像

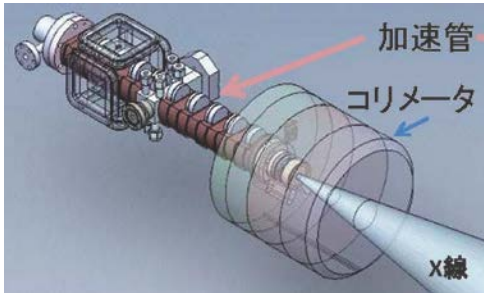


図-4 加速管イメージ

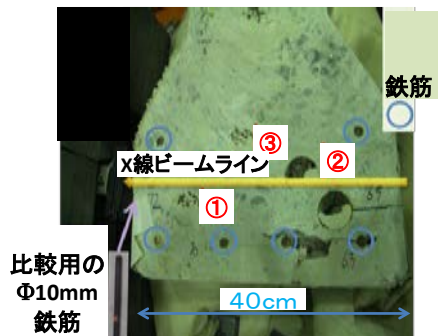


写真-3 撮影対象 (PC桁下フランジ部)

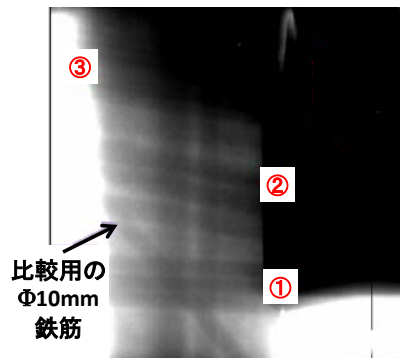


写真-4 X線画像 (撮影時間 1秒)

4. 橋の地震被災度判定システム

これまでに紹介した技術は、橋の日常の維持管理における点検に活用するものであるが、次に、地震後の橋の点検に活用することを想定した技術を紹介する。

大規模な地震が発生した場合、道路橋などのラ

イフライン構造物の被災の有無および被災程度の把握とそれに基づく災害時道路ネットワークの確保は、地震直後の救急救命活動、被災者の避難、救援物資輸送等の震後対応において極めて重要である。そこで、センシング技術の活用により大規模地震による橋の損傷を迅速かつ客観的に検知・判定できる技術（橋梁地震被災度判定システム）の開発を目指して研究を行った。

図-5は、橋梁地震被災度判定システムの概要⁴⁾を示したものである。本システムは、道路管理者が地震発生後に実施する緊急巡視点検の際に利用することを想定している。本システムの特徴を以下に示す。

- ・ 地震直後に橋の地震被災度判定が可能
- ・ センサが小型で設置、取り扱いが容易
- ・ センサの製作および設置が安価
- ・ 道路管理者が緊急巡視点検車から降りずに情報を収集可能
- ・ 停電時の対策として非常用のバッテリーを登載

本システムは、子機（被災度判定センサ）、中継器、親機から構成されるものであり、橋脚の損傷度をセンサにより検知する子機は橋脚天端に設置し、子機で得られた橋脚の損傷度を表示する親機は緊急巡視点検車の車中に設置する。中継器は、無線により子機から親機にデータを転送するために、必要に応じて用いる。

ここで、地震被災を判定する技術が重要となる。橋の地震後の使用可能性等は、局所的な損傷程度よりも橋全体の被災程度により判断されることから、開発にあたっては、橋脚の応答の周期が損傷によって変化する特性を利用して、橋脚天端に設置する加速度センサにより計測される応答加速度をもとに橋脚に生じる変形量を推定し、その変形量の度合いから被災度を判定する方法を用いている。本方法は、様々な断面形状を有する鉄筋コンクリート橋脚に対する振動台加震実験における応答の周期の変化と被災程度等の評価・分析に基づいて構築されている⁴⁾。

ただし、実橋では、振動台実験において考慮されていない基礎や地盤が被災度の判定結果に影響する可能性があるため、この影響に対する検証が必要である。このため、これらの影響の評価や地震後の緊急巡視点検に活用する上での課題点を抽出することを目的に、これまでに実橋に設置し、

*土木用語解説：コリメータ

実地試験を行ってきている。また、東北地方太平洋沖地震のあとには、道路管理者からの依頼を受けて、被災後に応急対策が施された橋の監視のために本技術が活用されている（写真-5）。

本システムを設置したこれらの実橋においては、その設置後に鉄筋コンクリート橋脚に損傷が生じようような大規模な地震（余震を含む）はまだ経験してはいないが、今後、実際の地震による計測結果の蓄積に基づいて、被災度判定方法の高度化に取り組んでいきたいと考えている。

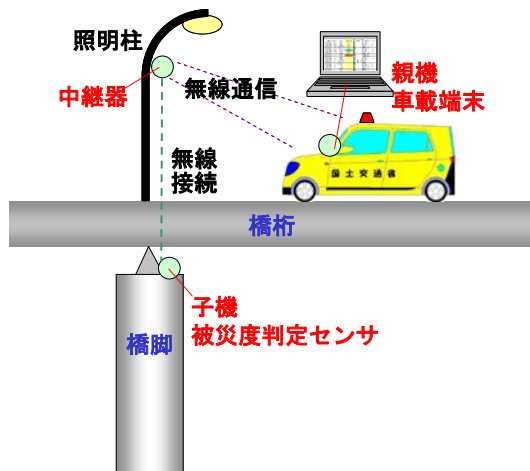


図-5 橋梁地震被災度判定システムの構成



写真-5 被災後に応急対策が施された橋への適用例

5. おわりに

非破壊検査技術は、構造物の長寿命化を推進するために非常に重要な分野である。開発してきた技術についてその適用性を確認するとともに、更なる開発に取り組んでいくこととしている。

また、道路橋の半数以上は、市町村が管理している。膨大なストックを体制的にも財政的にも厳しい状況の中で、維持管理していかなければならない。非破壊検査技術についても、管理体制や技術力・財政力に応じて、より簡便で低コストな技術の開発にも取り組む必要がある。

2011年8月には、施設管理者と研究者、技術者が一体となって技術開発を推進する「CAESARメンテナンス技術交流会」が発足している。これまで、老朽化や震災により損傷した実橋梁に開発技術を適用し、その有効性を確認するなどの活動を活発に行っている。今後とも、非破壊検査技術を中心とした橋梁メンテナンス技術の開発を、産学官一体となって進めて参りたい。

参考文献

- 1) 玉越隆史、大久保雅憲、北村岳伸：平成21年度・平成22年度道路構造物に関する基本データ集、国土技術政策総合研究所資料、第645号、2011.7
- 2) 村越潤、木村嘉富、高橋実：鋼床版デッキプレート進展亀裂の調査のための超音波探傷マニュアル(案)、土木研究所資料、第4138号、2009.3.
- 3) Mitsuru Uesaka et.al：“950 keV, 3.95 MeV, 6 MeV X-band Linacs for Nondestructive Evaluation and Medicine”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, NIMA53737, S0168900211014586, 10.1016/j.nima. 2011.07.026
- 4) 堺淳一、運上茂樹：インテリジェントセンサを用いた橋梁地震被災度判定手法の開発に関する研究、土木研究所報告、第213号、2009.

桑原徹郎*



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター構造橋梁研究
グループ長、修(工)
Tetsuro KUWABARA

木村嘉富**



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター構造橋梁研究
グループ 上席研究員、
修(工)
Yoshitomi KIMURA

村越 潤**



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター構造橋梁研究
グループ 上席研究員、
修(工)
Jun MURAKOSHI

星隈順一****



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター構造橋梁研究
グループ 上席研究員、
博(工)
Dr. Jun-ichi HOSHIKUMA