

Techno Scope

道路橋を守る非破壊検査技術

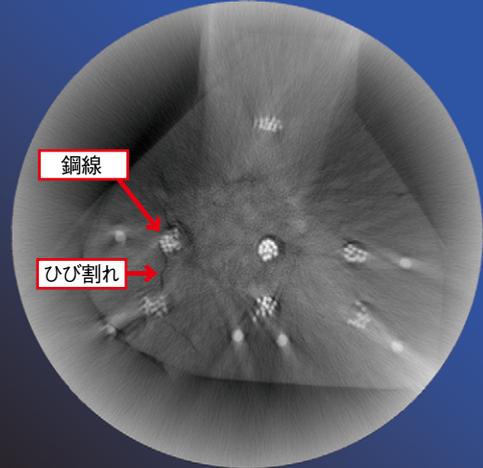
日本では、高度成長期に建設された多くの道路橋が50年を迎えようとしており、適切な保全対策が不可欠である。最近では予防保全の考え方から、定期的な点検、早期の診断対策の重要性が認識され、発見しにくい損傷を可視化する非破壊検査技術の研究が進められている。



銚子大橋
(46年間供用後
2009年に撤去)



能生大橋
(44年間供用後2011年に撤去)



高出力X線装置で撮影されたPC桁のX線CT撮影画像。0.5度ずつ回転させながら撮影した720枚の画像から構成したもの。PC鋼線の配置状況やコンクリートのひび割れも確認できる。(資料提供: (独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター)

「荒廃する日本」にならないために

1980年代に「荒廃するアメリカ」と呼ばれた状況がある。アメリカでは、1930年代のニューディール政策により多くの道路橋が建設されたが、その後約50年を経過した1980年代には、老朽化による道路橋の崩落や損傷、通行止めが相次いだ。その後、維持修繕を進めたものの、2004年時点でもなお約17万の欠陥橋梁が存在していたという。

これと似たような状況への懸念が、いま日本で高まりつつある。日本の道路橋は、1955~74年ごろの高度成長期に大量に建設された。道路橋のうち、橋の長さが15m以上の橋梁は

現在約15万橋以上に達している。1970年前後は鋼橋が多かったが、その後はPC橋の割合が増加した。現在、建設後50年を経過した橋梁は9%だが、その割合は10年後には28%、20年後には53%となり、今後飛躍的に増加する。

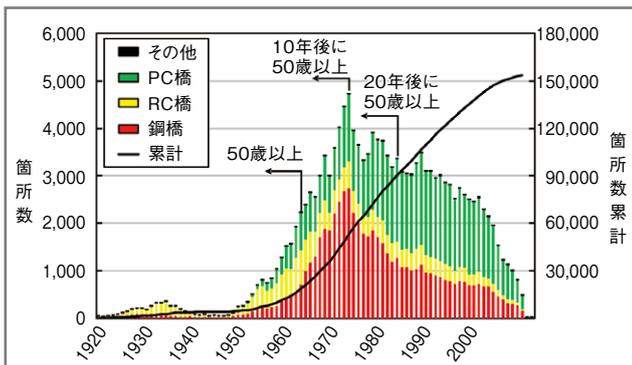
道路橋老朽化の事態は、すでに現実のものとなっている。たとえば2007年木曾川大橋のトラス部材が鋼材の腐食などによって破断した事故は、老朽化の問題を再認識させられるきっかけとなった。

このほか道路橋を取り巻く問題として、大地震への対応や、大型車両の増加による道路橋の疲労耐久性への懸念などの課題が、指摘されている。

また維持管理体制の整備も重要である。日本の道路橋全体のうち8割以上が地方自治体によって管理され、その半数以上は市区町村が担当している。維持管理を行う人や資金が十分でなく、保全においても、点検や対応が不十分だったり、損傷を見すごしたり、補修が遅れがちになったりする場合がある。いわゆる「見ない、見すごし、先送り」といわれるような状態を放置すると、重大事故のおそれがあるため、早急な対応が求められてきた。しかし、多くの橋の補修や架け替えが一時的に集中するようなことがあれば、すべての橋に適切な処置を施すのは難しくなるという問題がある。

このような流れを受け、国土交通省では2007年に「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」を開き、損傷が深刻化して

■道路橋ストックの現状



から対策を行う「事後保全」から、点検に基づき損傷が軽微な段階から対策を行う「予防保全」に向けた方策について検討され提言が出された。その後、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・補強を行うなど、具体的な対策が講じられるようになっている。

適切な補修をバックアップする臨床研究

現在、さまざまな研究機関、大学および企業が、予防保全に関する技術の開発を進めている。

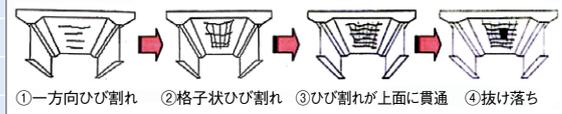
例えば、(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター(略称CAESAR)では、とくに道路橋に注目し、新設橋梁の設計施工、維持管理技術の高度化、長寿命化、ライフサイクルコスト低減など、道路橋の構造技術について総合的な研究を進めている。道路橋の安全管理は点検、診断、措置という過程に分けられる。つまり「点検」とは橋の状態を把握することや劣化や損傷を発見することであり、「診断」とは劣化や損傷の程度を把握し必要な対策を判断することである。また「措置」は交通規制を実施したり、補修、監視等の対策を講じることを指す。しかし、既設橋の劣化損傷・変状の要因は多岐にわたるので、実験室で再現するのは困難な場合が多い。そこで、医学になぞらえて、症例の蓄積、検死解剖例の蓄積、標本による残存強度実験や補修・補強効果実験の蓄積、年代別の損傷形態の分析などが必要となる。CAESARでは、このような、既設橋を活用した調査研究を「臨床研究」と呼んでいる。そして、道路橋にセンサーを設置して、劣化や損傷の進展を観測したり、劣

道路橋の「三大損傷」

道路橋で起こる代表的な損傷には、疲労、塩害、アルカリ骨材反応がある。

このうち疲労は、車両走行等による振動などを繰り返し受けることにより、道路橋に損傷が累積されて起こる現象であり、コンクリートではひび割れ、鋼材ではき裂が起こる。とくに橋の床版は、走行する自動車の荷重を直接支持するため、繰り返し荷重に対して疲労が生じやすい。

鉄筋コンクリート床版の疲労損傷の段階



床版が鉄筋コンクリートの場合、まず床版下部の乾燥収縮による一方向ひび割れが起こり、繰り返し荷重を受けるうち、ついにはコンクリートの一部が抜け落ちる。なお、最近では疲労だけでなく、その他の材料劣化との複合的な損傷事例も見られるようになっている。一方、鋼部材の疲労は、力が集中する箇所(溶接部など)からき裂が発生して損傷する。

次に塩害は、海からの飛来塩分が橋に付着、浸透することによりコンクリート中の鋼材の腐食が起こり、鋼材のさびが膨張することによりコンクリートにひび割れやはく離が起こる現象である。海岸地域のほか、道路にまかれる融雪剤やコンクリート中の塩分も塩害の原因となる場合がある。

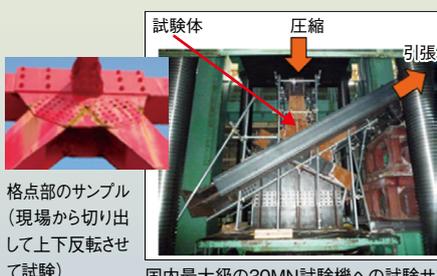
またアルカリ骨材反応とは、コンクリート中に含まれるナトリウムやカリウムなどのアルカリ金属イオンが、コンクリート骨材中のシリカなどと反応してゲルを生成し、降雨などによりゲルの膨張が起こることによりコンクリートにひび割れを生じさせる現象である。

CAESARにおける臨床研究の例

■ 銚子大橋(千葉県銚子市、1962年竣工、橋長407m、鋼トラス橋)



格点部において想定される主な破壊性状



格点部のサンプル(現場から切り出して上下反転させて試験)

国内最大級の30MN試験機への試験サンプルの設置状況

太平洋に注ぐ利根川の河口付近に位置し、飛来塩分により厳しい腐食状況にあったため、2009年に撤去された。撤去時にトラス格点部のサンプルを採取したところ、ガセット(接合部の補強板)内面側の斜材先端部の減肉が著しいことがわかった。このような腐食状態でのガセットの残存耐力に注目し、斜材の圧縮・引張軸力の2軸載荷試験を行った。

■ 能生大橋(新潟県能生市、1966年竣工、橋長141.0m、PC橋)



桁の試験サンプル

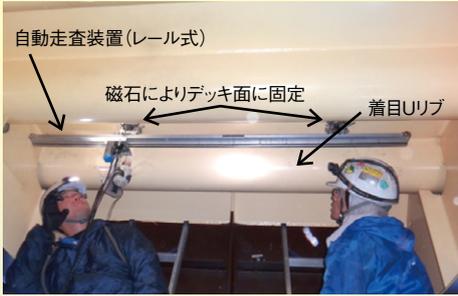


主桁下部のひび割れ箇所の例

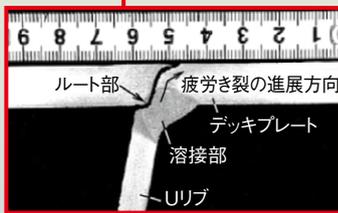
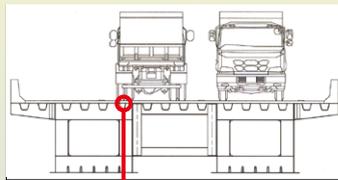
日本海沿岸の国道8号線にかかり、交通量も多い。主桁はT型断面の桁で構成されているが、これまで数度にわたり補修されてきた。補修時に桁のサンプルを観察したところ、コンクリート内部の鉄筋が腐食してひび割れなどが生じていた。

(写真提供: (独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター)

■疲労き裂の超音波探傷検査

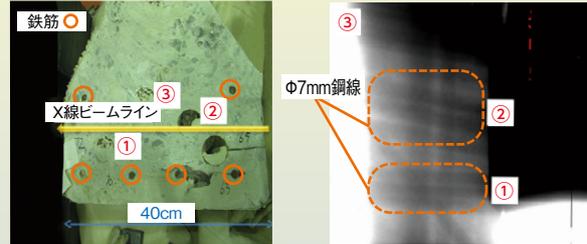
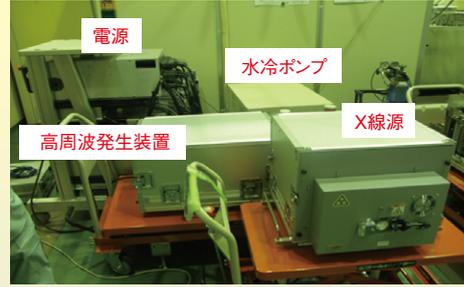


現場での適用状況。溶接線に沿って自動走査装置を磁石で固定し、探触子を自動走査することにより超音波探傷器上でデータを確認しながら記録する。



き裂の起点(ルート部)と進展方向

■コンクリート橋検査に用いられるX線可搬型3.95MeVライナック装置



PC桁下フランジ部の切断面(左)と、同じサンプルを右側面から撮影したX線画像(右)。右の画像の①②の横に水平方向に伸びる鋼線が見える。この検査では従来に比べ、撮影時間の大幅な短縮が図られている。

(資料提供: (独) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター)

化や損傷が原因で撤去された橋の部材の収集などを行い、多くのケーススタディから得られた情報を地方自治体などにフィードバックしている。

部材の内部を可視化する非破壊検査技術

撤去する予定の橋梁部材ならそのまま調査が可能だが、供用中の橋梁では部材を切断することはできない。

道路橋の部分的な劣化や損傷が発生した初期段階で、適切な診断や評価を行うためには、目視で確認できない損傷を可視化する非破壊検査技術が重要である。非破壊検査技術にはさまざまな種類が開発されており、対象物や検査方法、検査条件などの異なる、多様なニーズに対応している。

■鋼橋で疲労き裂を検出する超音波探傷技術の例

鋼橋において、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への疲労き裂が発生する場合がある。このような疲労き裂は目視点検が困難であり、超音波を利用した非破壊検査などが用いられる。CAESARが開発した疲労き裂の検査技術の例(4ページ上図参照)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装置でデータを確認しながら記録しており、1日あたり最大80mの溶接線長の調査が可能である。

なお、一般的に超音波探傷法は検査者の技量に左右されやすい。信頼性に優れ、精度の高い情報が得られるようにす

るためには、目的に応じた探触子の選定や探傷方法の検討が必要と考えられる。

■PC橋でコンクリート内部を可視化するX線利用技術の例

コンクリート内のひび割れや、鉄筋・PC鋼材の位置、直径、腐食状況を把握するためにX線透過法を用いた非破壊検査が利用されている。また、コンピュータモグラフィ(CT)技術を用いて、複雑な内部構造を可視化する技術の開発も進んでいる。

現在橋梁調査で用いられるX線源は最大出力300keV、適用限界厚さは20cm程度であるが、X線利用を規定した法律(放射線障害防止法)により橋梁検査では4MeVまでの加速器の使用が認められている。すでに開発されているX線可搬型3.95MeVライナック装置(4ページ上図参照)の例では、既存の橋梁点検車に搭載できるように重量を抑えている。X線源(140kg)と高周波発生装置(60kg)は、電源と水冷ポンプに、電線と水チューブでつながれており、X線源と高周波発生装置のみ可動で現場検査が可能となる。

今後はさらに可動装置の開発や検出効率の向上を目指した開発が進められていく。

水分を可視化する中性子線の利用技術

各種の非破壊検査技術にはそれぞれに特徴がある。超音波利用では比較的安価で装置をコンパクトにできるが、一方、X線利用では数十cm程度までなら透過できるという特徴があ

道路橋の長寿命化に貢献する橋梁用鋼材の例

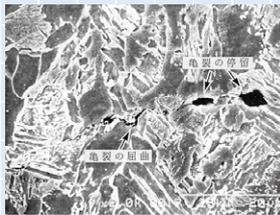
道路橋の長寿命化を図るため、一般的に使用されている鋼材以外にも、強度、じん性、溶接性、曲げ加工性、耐腐食性などを高めた鋼材が開発されている。橋梁用として使用される鋼材のなかで、すでに実用化されている代表的なものを紹介する。

■耐疲労鋼

化学組成および金属組織によって、疲労損傷に対する抵抗力を高めた鋼材である。フェライトとペイナイトとの混合組織とすることにより、疲労き裂経路を屈曲、あるいは進展を一時的に停留させることができる。最近の都市部の道路橋では、交通量増加や走行車両大型化により疲労負荷が非常に大きくなっており、耐疲労鋼へのニーズが高まっている。

■耐候性鋼

耐候性鋼は、適量のCu、Cr、Niなどの合金元素を含有し、乾湿の繰り返しにより表面に緻密なさび層を形成する。このさび層が鋼材表面を保護し、それ以上さびが進展するのを抑制する。とくに橋梁では、環境条件に配慮するとともに、適切な計画設計、施工、維持管理により、無塗装で優れた防食性能を発揮する。



耐疲労鋼の疲労き裂経路の観察例
(屈曲および停留の状況)
(写真提供:新日鐵住金(株))

■SBHS (Steel for Bridge High Performance Structure)

SBHSは、鋼橋の建設コスト削減のために開発された高性能鋼材である。従来の490N/mm²、570N/mm²および780N/mm²級高張力鋼に比べ降伏強度が高く、溶接時の予熱省略や予熱温度低減が可能であり、施工コスト低減に大きく寄与する。

■ロングライフ塗装用鋼板

現在供用されている鋼橋の7割以上が塗装仕様であり、建設時および塗り替え時とも多くの塗装費用がかかる。そこで、Cu、Ni、Tiの適量添加により、塗膜下腐食の進行抑制を図ったロングライフ塗装用鋼板が開発されている。塗膜劣化部からのさびの進行を抑制することで、普通鋼に比べて優れた塗装耐食性を確保し、塗装塗り替え周期を長期化してライフサイクルコストの低減が可能となる。



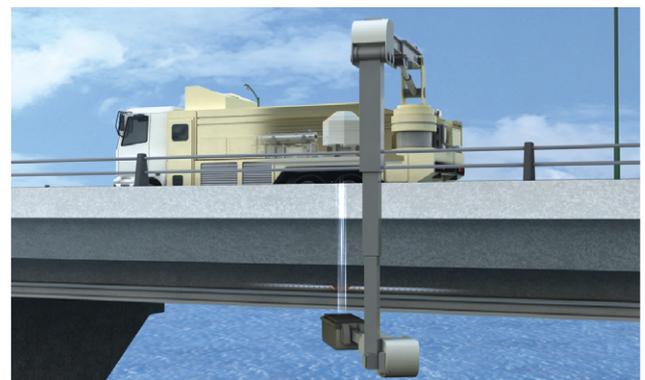
従来鋼とロングライフ塗装用鋼板の複合サイクル試験結果
(写真提供:(株)神戸製鋼所)

る。このほかにもさまざまな装置が実用化されている。

最近、新たな非破壊検査技術として注目されているのが中性子線である。これまで厚いコンクリートは超音波やX線を通しにくいという問題があったが、エネルギーが高く透過力が強い中性子線なら厚さ50cmを超えても透過することができるものと期待されている。また、中性子線は水を識別することができ、鉄筋の腐食などに影響を及ぼす水分の集中箇所を特定することができる。このほか、塩害の程度を判定する目安となる塩化物イオン濃度の測定も可能である。

中性子線検査装置の開発を進める(独)理化学研究所では、大型車に加速器を搭載した可搬型の装置を想定している(詳細は連携記事参照)。この装置で橋の上を走行しながら、コンクリートの内部を測定するという大がかりな装置であり、実用化するにはコスト低減も大きな課題である。

現在、さまざまな非破壊検査技術の研究が進められている。早期発見、早期対策の予防保全を着実に行うために、非破壊検査技術の果たす役割は極めて大きい。優れた非破壊検査技術が開発、実用化されることによって、日本中の多くの道路



橋梁非破壊検査システムのイメージ(小型中性子源およびデータ解析システム含む)。鋼材の断絶やシース内の空隙を通過する中性子線を下の検出器で検出し、その後健全性診断ソフト解析を行う。(資料提供:(独)理化学研究所)

橋においてライフサイクルコストの低減や、長寿命化が図られることが期待される。

- 取材協力(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター、(独)理化学研究所
- 文 杉山 香里