

テキスタイルセンサーを用いた鋼構造物用き裂検知手法の開発

橋梁や鉄塔、トンネルなどの都市を支えるインフラの多くは、製作されてから長期間を経ており、老朽化に伴う安全性の低下が懸念されています。鋼材についても老朽化とともにき裂が発生する場合があります。数 mm 程度のき裂を発生初期で発見するには熟練者の目視検査を要するなど、多大な労力が注がれています。そこで、都産技研は公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）と共同し、テキスタイルセンサーの開発を行いました。

鋼構造物インフラの安全・安心

鋼構造物は鉄道橋梁、道路橋梁や鉄塔など鋼材で形成されている構造物です。毎日の通勤で鉄橋を渡っている方も多いと思いますが、交通など都市機能を支える重要なインフラでもあります。これらの構造物は建築後かなりの年数を経ているものがあり、検査と補修によって安全性が維持されています。例えば鉄道橋梁では安全性を確保するため、定期的な目視検査が行われています。このようなインフラの維持管理には膨大なコストが生じており、また老朽化する構造物も今後増えていくのが現状です。「国土交通省所管分野における 社会資本の将来の維持管理・更新費の推計(平成30年)」によれば2048年までの30年間で176兆円を超える維持コストが試算されています。維持コストを低減するには、老朽化によって生じる劣化を発生初期で発見し補修を行う予防保全が重要とされています。



図1 鋼材の疲労き裂

鉄道橋梁の劣化と診断手法

首都圏の鉄道橋梁は、一日に数百回列車が通過する過酷な環境下のもものあります。鉄道橋梁の上を列車が通過すると、列車の荷重が橋梁を構成する各部材に作用します。このとき、各部材は折れたり過度に曲がったりしないように設計されていますが、鋼材の腐食によって部材の板厚が減ると、特定の部材に対して集中的に荷重が繰り返し作用する場合があります。このような状態が長期間続くと、鋼材にき裂が発生する危険性があります。き裂の開口量は、き裂が発生した部位や進行程度によって異なりますが、小さいものだと図1に示すような数十 μm 程度の場合があります。このため、き裂を早期発見するには熟練者の目視が必要です。このような背景から、目視以外にもさまざまなき裂検知法が検討されています。鉄道総研では、導電性塗膜による鋼構造物のき裂検知手法を提案しています。この手法では図2のように、き裂の発生が予測される箇所に導電性塗料を帯状に塗装します。鋼材にき裂が発生・進展すると、導電性塗膜も破断するため、塗膜の電気抵抗変化をモニターすることで、き裂の発生・進展状況の診断を行うことができます。き裂の進展を物理量で計測できる優れた手法ですが、この手法ではき裂検知用の帯のほか、帯から配線用のパターンを塗装する必要があるため、施工の簡略化には改善の余地がありました。

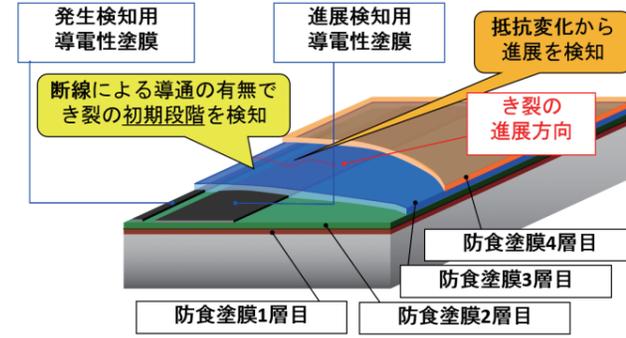


図2 き裂検知部の構成イメージ
坂本他：導電性塗料を用いた疲労き裂検知手法の開発、鋼構造年次論文報告集、vol.18 pp.145-150、2010

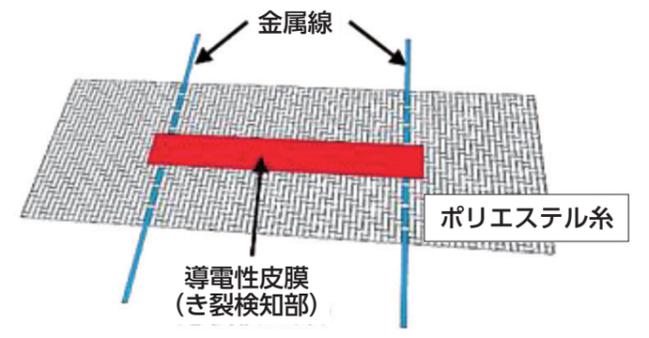


図3 テキスタイルセンサーの概要

テキスタイルセンサーを活用した劣化診断システム

テキスタイルとは、織物や編物(ニット)などの生地のこと、従来衣料品として親しまれてきました。テキスタイルの特徴である柔軟性を活かして近年注目される技術にe-テキスタイルと呼ばれる電子回路の機能を持つテキスタイルがあります。さまざまな電子回路形成が試みられており、テキスタイル上で機能するセンサー、ディスプレイ、ラジオなどが報告されています。テキスタイル上にセンサーを形成したテキスタイルセンサーは、その柔軟性により人体の複雑な形状にも追随するため、身体活動に関する各種数値の計測などへの応用が期待されています。都産技研と鉄道総研は共同研究によりテキスタイルセンサーを開発し、鋼構造物のき裂検知への活用を検討しました(特開2019-105543)。開発したテキスタイルセンサーの基材は、図3のようにポリエステル糸と金属線を複合した織物です。この基材テキスタイル上に、金属線をまたいで導電性皮膜がプリント形成されています。この導電性皮膜が塗装手法のき裂検知用の帯に相当し、金属線は計測用の配線として機能します。これを鋼材に貼り付けて振動試験機によって鋼材に疲労き裂を発生させ、リード線間の抵抗変化を計測したのが図4になります。縦軸が抵抗変化率(初期抵抗に対する抵抗変化量)、横軸がき裂の長さです。き裂が進展するにつれて導電性皮膜と基材のテキスタイルが破断していくため、リード線間の抵抗変化率が増加していることが分かり

ます。き裂長さ5 mm以降は明瞭に抵抗変化率が増加し始め、1 cmに満たない発生初期のき裂の検知が可能であることが示唆されました。テキスタイルを用いたこの手法では、貼付だけで計測が可能になるため、塗装による前述の手法よりも大幅に施工時間を短縮できます。また、テキスタイルセンサーである柔軟性を活かせば、曲面、屈曲部分、締結部など鋼構造物の複雑な形状部分でも適用が見込めます。これらのセンサーと近年発達しているIoT技術を組み合わせることができれば、き裂検知の省力化や高精度化による維持コスト低減が期待でき、鉄道事業以外にもさまざまな都市インフラの安全・安心に貢献できると考えます。

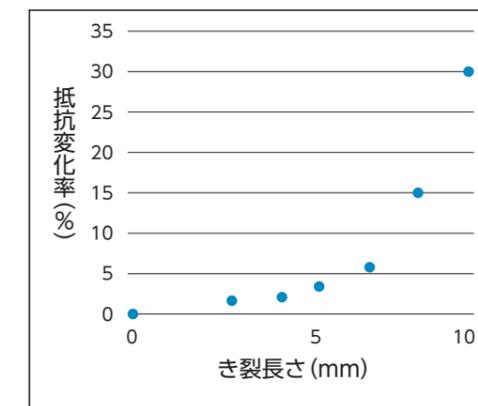


図4 き裂の進展と抵抗変化率の関係

複合素材開発セクター
主任研究員
窪寺 健吾

お問い合わせ
複合素材開発セクター
(多摩テクノプラザ)
TEL 042-500-1290

