

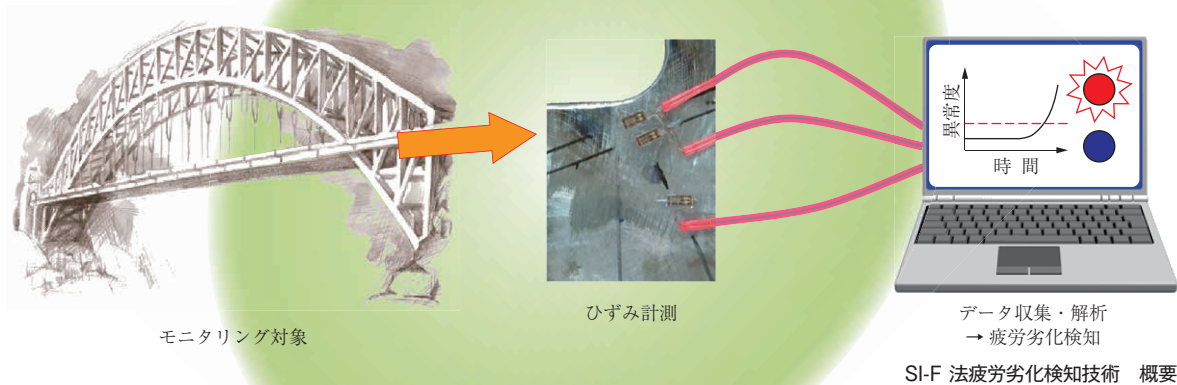
老朽化インフラの 声なき悲鳴をキャッチ！

ひずみ計測による疲労劣化の検知技術を開発 モニタリング手法の進化を目指す 「SI-F 法疲労劣化検知技術」

社会・産業インフラの老朽化が進むなか、安全・安心な運用を低コストで実現する要請が高まってきている。構造健全性を担保するため、各種センサーを用いた「モニタリング技術」の活用が広がっており、さらに劣化の有無を自動検知・診断する手法について、実用化を目指した開発が世の中で広く進められている。ここでは、IHI 独自の「SI-F 法疲労劣化検知技術」を、周辺技術と併せて紹介する。

株式会社 IHI
技術開発本部 構造研究部

宮崎 信弥



インフラ老朽化の実情

橋梁・トンネルなどの社会インフラや、化学・貯蔵プラント、荷役機械などの産業インフラの老朽化が進んでおり、社会的な課題として現れ始めている。老朽化に伴う耐力低下は疲労破壊を引き起こし、大規模な人身事故および経済的損失を発生させる場合がある。

橋梁の疲労破壊の具体例としては、本荘大橋：秋

田県（橋齢 41 年）や木曾川大橋：三重県（橋齢 44 年）などで腐食が生じ、構造部材が疲労破断に至った事例がある。いずれも点検により発見されて補修されたが、もし見落とされていれば大規模な崩落事故になった可能性が高い。

老朽化した橋梁でも、適切な定期点検と補修を行うことで大規模崩壊を防ぐことは可能である。ただし、国内には長さ 15 m 以上の道路橋がおよそ 15 万

7 000 あり、2030 年には半数以上が橋齢 50 年を超える。急速な劣化の進行による破壊を防ぐために、点検の詳細化や頻度を上げる必要が生じており、点検費用の増大が懸念されている。このため、低コストの点検技術の実用化が望まれている。

産業インフラについても、高度経済成長期に製造された 50 年を超える設備が増加しており、老朽化が深刻になり始めている。さらに産業活動のグローバル化に伴い、最近では国内過剰設備の削減が進んでおり、限られた生産設備のトラブルによる突発的な稼働停止が、企業の生産活動に大きな影響を与える。そのようななか、老朽化した設備を安定して運用するため、不具合発生を未然に防ぐ予防保全技術が存在感を増している。

モニタリング技術の普及と課題

社会的要請である、点検コストの低減や予防保全の実現のためには、センサーを用いて常に状態を監視するモニタリング技術が有効と考えられ、世の中で広く開発が進められている。

例として東京ゲートブリッジの加速度、ひずみ、変位などのモニタリングが挙げられる。センサーからのデータを蓄積し、リアルタイムでの状態監視を実現している大規模な事例である。ただし異常有無の診断は人の手で行われており、疲労破壊をリアルタイムで検知する技術は適用されていない（日経コンストラクション 2013 年 8 月 26 日号）。

モニタリング手法を点検コストの低減や予防保全に役立てるためには、特に人の手を介さずに解析して、高い精度で異常検知できる自動診断技術の確立が重要と言える。

老朽化インフラのモニタリングにおける自動診断技術は、政策面でも中長期の技術開発対象として注目されている。総務省は低コストのデータ収集技術を確立したうえで、「多数センサーでの社会インフラ維持管理システム実証」を 2018 年までに実現する目標を掲げている（ICT 成長戦略会議）。また、経済産業省は 2020 年までに「補修・改修時期の推測のためのデータ解析技術」を確立することを目指して、開発プロジェクトを立ち上げている（戦略市場創造プラン）。いずれも民間の技術力を活用して進められる予定である。

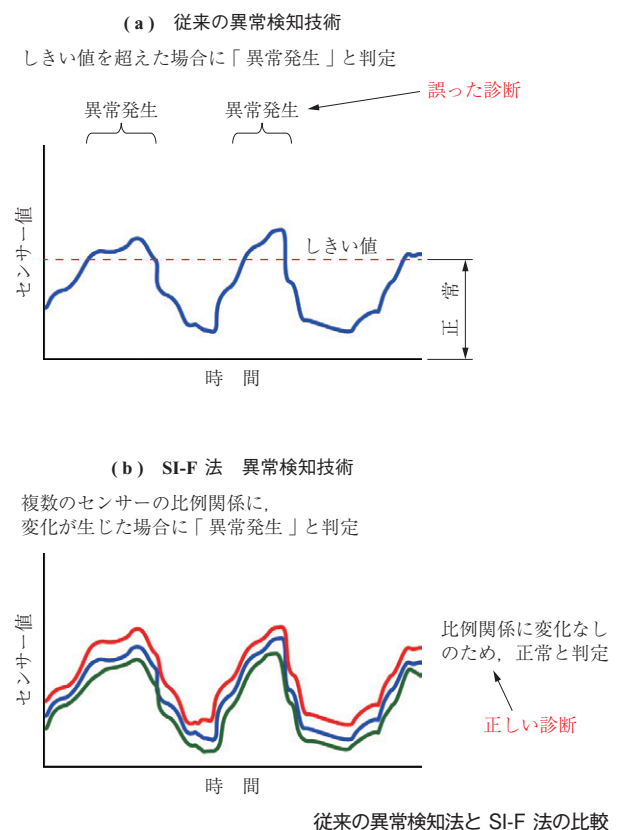
官民が力を合わせて技術開発を推し進めることから、2020 年ごろには多数の実証試験が行われ、商用化が広がると予想される。IHI では、低コストで構造健全性を維持するモニタリング手法の独自技術を確立するために、異常の自動検知技術である「SI-F 法疲労劣化検知技術」の開発に取り組んでいる。

SI-F 法による疲労劣化検知技術

SI-F 法は、東京工業大学の轟研究室により提案された統計的手法で、異常発生の有無を検知する技術である。

従来の異常検知技術は、個々のセンサーデータをしきい値と比較するのが主な方法である。この方法では外乱（温度変化、荷重変化など）によりしきい値を超える場合があり、誤った診断を行うことが多い。また、誤診断を防ぐためにしきい値を大きく設定すると、異常検知精度が下がり、真の異常発生を見逃してしまう恐れがある。

これを防ぐためには、複数のセンサーデータの比例関係に着目して、その変化により異常発生を判定する



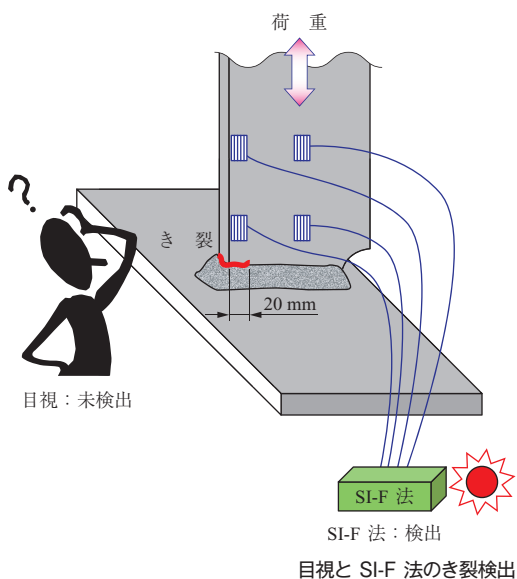
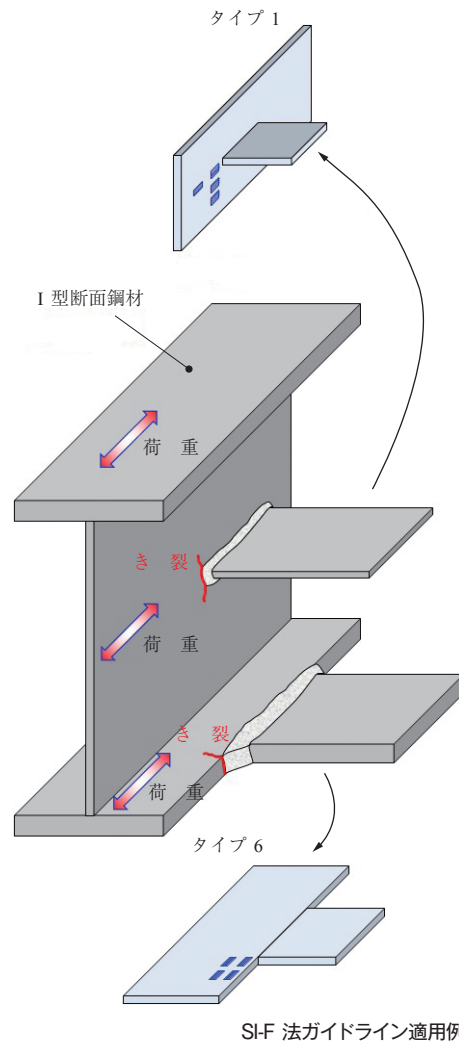
ことが有効である。複数のセンサーデータの比例関係は、温度変化や荷重変化といった外乱の影響を受けにくいため、誤診断の回避と高精度化の両立が可能になる。

SI-F 法では、正常な時の比例関係に対して、診断時の比例関係が同一とみなせるか否かを判定し、同一とみなせない場合に異常発生と診断する。その判定には、データ同士の同等性を検定する統計的手法である、F 検定を用いる。算出された F 値は外乱の影響を受けにくく、値が大きいほど異常度が高いことを示す単一の数値であるため、しきい値を設けて自動診断が可能である。IHI では F 値算出および自動診断処理の基本プログラムを完成しており、実機適用が可能な段階にある。

SI-F 法はさまざまな異常発生を検知する技術である。本記事では、ひずみの異常を捉えて疲労劣化（き裂発生・き裂進展）を高精度で検知する技術を紹介する。また、次項目からは「SI-F 法による疲労劣化検知技術」を「SI-F 法」と呼ぶ。

自動診断ガイドライン作成

実機の溶接部で目視検査により発見できる疲労き裂の長さは、30 mm 以上といわれている。本技術の開発では、橋梁や荷役機械の実機形状に近い試験体で疲労試験を行い、き裂長さが 30 mm よりも短い状態で検出できる SI-F 法を確立した。現在、基礎研究の段



階を終了し、製品への適用を目指した開発に取り組んでいる。

SI-F 法の実機適用のため、モニタリング手法のガイドラインを作成した。適用対象は溶接部とし、目視で検出されるよりも早い状態での疲労劣化検知を実現するため、長さ 20 mm までの疲労き裂発生を検知する方針とした。鋼構造物の疲労設計指針の溶接継手分類を参考にして、5 種類の形状を選定し、荷重の掛かり方の違いを考慮して 8 タイプの対象を選定した。き裂なしの状態と、長さ 20 mm のき裂が発生した状態を有限要素法でモデル化し、応力解析を行って、き裂発生によるひずみ変化の傾向を整理した。ひずみ計測位置を 3 点以上決定して、比例関係の変化を調べることで、精度の高い疲労き裂発生の検知が可能になる。

SI-F 法による自動診断を行う際は、形状と荷重の

掛かり方から、ガイドラインに掲載されているなかで最も近いタイプの溶接継手を選び、そのタイプの疲労劣化モニタリングに適した位置のひずみを計測する。

SI-F法を活用するためには、荷重によるひずみ変動データを長期間にわたって収集する技術、および世界中の製品のモニタリングを行うためのデータ伝送システムが必要になる。以下、それら周辺技術について述べる。

無線データ収集技術の開発

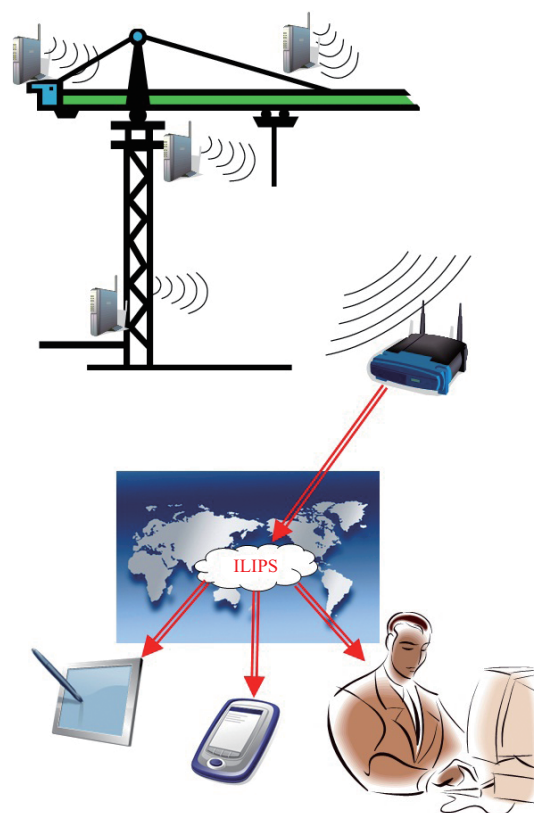
IHIグループの製品には、長さ100mに及ぶ長大な部材をもった機械や、数kmにわたる橋梁などが含まれる。長大な構造物のひずみデータの収集を有線で行うとコストが高くなる。コスト低減のために無線通信が有効である。

IHIでは、社内外の技術を結集して、SI-F法に適した機能をもつ無線ひずみデータ収集装置の開発に取り組んでいる。デジタル通信を用いることで、安定性と信頼性について実用レベルを達成した。実機の計測に用いる際の最大の課題は電源である。

モニタリング装置は、定期点検（1～5年）以上の期間を、電池交換などのメンテナンスなしで稼働できることが期待される。計測器の省電力化と併せて、太陽光発電や振動発電、あるいは温度差発電などの「環境発電技術」による給電を可能にすることで、稼働期間を数年単位に延ばすことを目指している。

ILIPSの活用

世界中の製品をリアルタイムでモニタリングするためには、データを遠隔地に送る技術が必要となる。IHIグループではそれを実現するために、リモートメンテナンス共通プラットフォーム：ILIPS（IHI group Lifecycle Partner System）を開発しており、SI-F法もこれを活用する予定である。ILIPSは現地で取得したデータを、Web経由で蓄積および伝送するシステムである。それに加えて、異常を検知した場合に警報メールを送信するといった機能ももつため、SI-F法の疲労劣化自動検知技術と組み合わせることで、多数の製品について見落としなく異常を発見できる。



無線データ収集装置とILIPSの連携

モニタリング技術の展開

SI-F法は精度検証とガイドライン化を完了し、実証試験の段階に進んでいる。現在はIHI運搬機械株式会社安浦工場（広島県）のジブクレーンでの長期ひずみ計測を2012年11月から実施している。

今後は、より多くの製品の実証試験に適用して商用化を図っていきたいと考えている。適用の候補になる製品があれば、ぜひご提案いただきたい。

問い合わせ先

株式会社 IHI

技術開発本部 管理部

電話（045）759-2213

URL：www.ihico.jp/