

# 社会インフラ・モニタリングシステム研究会 活動現況と

## 今後のモニタリング技術の展望



次世代センサ協議会 理事

「社会インフラ・

モニタリングシステム研究会」代表

小林 彬

### はじめに

次世代センサ協議会の中に社会インフラ・モニタリングシステム研究会が設立され、順調な活動が開始されたことは本会誌 Vol. 22 No. 2 に紹介したとおりであるが、世の中の動きは真に速く、本研究会も素速い対応が求められている。

そこで以下では、研究会の中での最近の主要な議論の要点と橋梁のモニタリングの今後の展望について私見を交え基本的考えを述べてみたい。

### 1. 追い風の中で

2011年3月11日の東日本大震災、2012年12月2日の笹子トンネル事故の発生により、安全・安心に対する国民の関心は盛り上がり、社会インフラの維持管理のためのモニタリング技術についての意識も大いに高まっている。科学技術イノベーション総合戦略（平成25年6月7日閣議決定）、日本再興戦略（平成25年6月14日閣議決定）、世界最先端IT国家創造宣言（平成25年6月14日閣議決定）といった政府方針の中で社会インフラに関連する諸技術・システムの高度化の必要性が指摘され、当研究会にとって正に追い風が吹いている。当研究会が当初3年計画で考えていた世の中へ訴えたい事項、すなわち、この種の問題に対する世の中の関心の喚起と必要な技術開発体制への協調と整備があつという間に達成された形となり、今後はモニタリングの市場形成を念頭に如何に技術的中身を充実させるのかに英知を結集する段階に入ったと言える。

### 2. モニタリングシステムは何に應えるべきか

社会インフラモニタリングシステムの活用者であるユーザー側からのモニタリングシステムについての一般的要請は、インフラの管理者が活動するのに有効な、点検出動、修理修繕判定、交通規制の必要性、構造物の損傷程度の判定、等に関わる適切な情報がこのシステムから提供されることにあり、まずこの点に應えることが重要である。単にセンサ等の設置だけに終わるわけでないことは以前からいくつかのルートを通じ伝えられたことであり、さらに、実用性の観点から、耐久性と経済性・信頼性を備えた有用なシステムを開発することにも十分留意すべきである。

以上のような要請に應えるためには、言うまでもなく橋梁の劣化・損傷の状況を何らかの形で捉える必要があり、モニタリングの計測技術的柱は次のように分類できるとされる。[1]

- ① 損傷の発見と進行を直接的に測る
- ② 構造物の応答から損傷の発生と進行を間接的に知る
- ③ 損傷の原因となる自動車荷重、風、地震、温度などを測り、損傷の可能性を推測する

上の観点に立ち、具体的に計測技術としてどう対応するのかについては種々の方式が考えられるが、これこそがモニタリングシステムの大きな課題である。

現段階において、近接目視による点検作業が大きな役割を果たしている訳であるが、予想される点検作業量の今後の増加傾向や点検作業の質の確



図1 構造物の劣化の要因と連鎖

何が起きるのかについて十分な現象的認識を持つことである。

図1は劣化・損傷の要因と劣化の進行における要因と連鎖を概念的に示すものである。(図1)

図1に示すとおり、劣化は大きく構造劣化と材料劣化に分かれるが、構造劣化の主因は疲労損傷にあり、材料劣化の主因は塩害にあるとされる。また疲労損傷は、構造物に繰返し働く種々の(曲げ)応力歪の累積によるものであり、この原因の外力をなすものが先に指摘された自動車荷重、風、地震、日照、積雪等である。

疲労損傷の結果として亀裂が生じるが、小さな亀裂発生により構造物の強度が直ぐ危険状態になる訳ではなく、これが徐々に成長し限度を超えると、構造物の破壊に至る。この間ある程度の時間的余裕があり、修理修繕についても猶予されると考えられる。

一方、材料劣化は、アルカリ骨材反応や凍結防止剤の散布によるものは別として、環境要因が大きく、亀裂から浸透した塩分が内部の鉄筋を腐食させ、これに伴う鉄筋の膨張や痩せ細り等材料劣化が構造劣化を助長する連鎖ともなる。

保、安全・安心への国民の認識・意識を考慮するとモニタリングシステム導入への期待には大きなものがある。

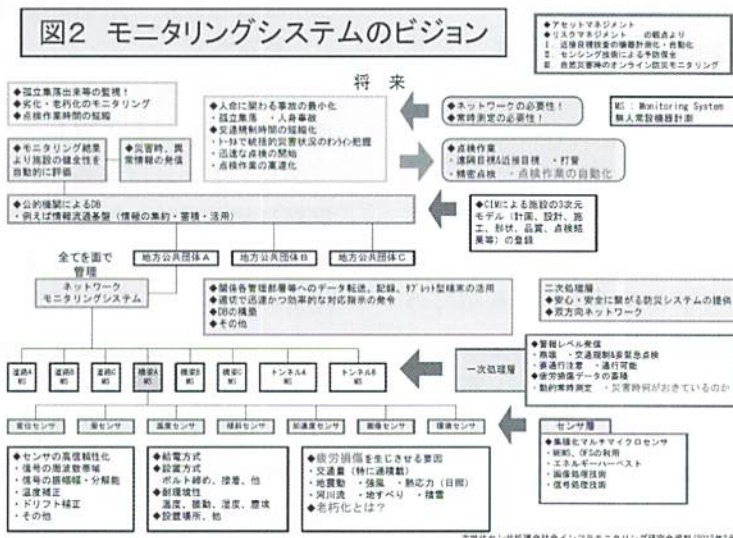
なお、ここで言うモニタリングとは「現場に配置されたセンサ類や計測機器による様々な情報収集と計測行為」を指しており、これに加え、データのサンプリングの仕方、データの記録・収集・伝送方法、有線か無線か、駆動エネルギーの供給等には幅広い組合せの可能性があり、実用的なモニタリングシステムの実現にはそれらの実務的選択と適切な最適化が必要となる。

### 4. モニタリングシステム適用の考え方

上述のような基本認識のもとに、モニタリングシステムの今後の適用等の考え方について、以下、社会インフラ・モニタリングシステム研究会(以下研究会)での議論を紹介しつつ私見を交えた展望を述べてみたい。

### 3. 劣化・疲労損傷の要因と因果関係・連鎖

既に触れたとおり、ここでのモニタリングシステムの根幹は、橋梁の劣化・損傷の状況を何らかの形で捉えることにあるが、この点重要なことは劣化・疲労損傷の要因は何で、劣化・損傷として



次世代センサ協議会社会インフラモニタリング研究会資料(2013年2月)

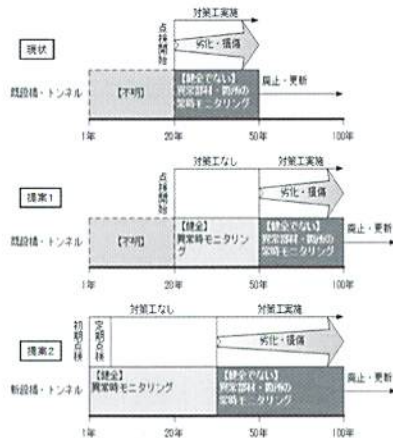


図3 橋梁等の健全度状況とモニタリング適用の考え方

まず、研究会では、今後の議論の大きな方向につき基本認識を共有するため将来のモニタリングシステムのビジョンを描いた。(図2)

図2に見られる通り、アセットマネジメント、リスクマネジメントの観点より、

- I. 近接目視検査の機器計測化・自動化
- II. センシング技術による予防保全

III. 自然災害時のオンライン防災モニタリングを目指し、橋梁の種類・橋齢・劣化要因等を考慮し適切なセンシング方式とセンサ等の設置箇所を選択する。

また、径間ごとの状況把握、いくつもの径間を持つ一つの橋梁全体についての状況把握、さらに将来の構想としては、現状の点的状況把握を高度化し、多数の橋梁をまとめて監視し地域の状況の面的管理に基づく集落の孤立状況把握に至ることまで考えられる。それらの構想の中では情報伝送のためのネットワークや無線技術の活用も当然検討される必要がある。

他方、橋梁の健全度状況に対応させたモニタリングシステム適用の考え方についても議論を進めており、図3はそれを図式化したものである。[2] (図3)

現状の対応は、定期点検等により健全でないことが検出された橋梁を対象に、異常部材・異常個所について常時モニタリングを実施し、亀裂等の成長を監視すると共に適当な修理・修繕を加えつつ、劣化・損傷が限度に達したら、廃止・更新する考えになっているようである。

これに対し研究会の提案は、先ず既設橋について、①若い橋梁は定期点検のみとし、②ある程度

老朽化した橋については、健全な橋であっても、異常検出モニタリングを実施する。③異常個所が検出された、健全でない橋梁については、異常部材・異常個所の常時モニタリングに切り替え、亀裂等の成長を監視すると共に適当な修理・修繕を加えつつ、劣化・損傷が限度に達したら、廃止・更新する。また、新設橋については、既設橋についての②の異常検出モニタリングを橋梁使用開始当初から実施する、というものである。

### 5. 疲労亀裂発生予知方式活用の提案

モニタリングシステム導入の大きな目的は、橋梁等の劣化とその進行状況を的確に把握し、交通規制、修理・修繕、廃止・更新等を判断するための適切な情報を提供して、一般使用者の安全・安心を図りつつ、LCC(Life Cycle Cost)の低減に寄与することにある。

この点を考慮し、前述の図3を再考してモニタリングシステムのメインストリームとして纏めた私案を以下に説明する。

- ① 新設橋について(5年目に)初期点検を行う。
- ② 問題なければ、暫くは定期点検を猶予する。
- ③ 状況Aに達したら、定期点検を始める。
- ④ 状況Bに達したら、異常検出モニタリングを開始する。
- ⑤ 異常個所が検出されたら、異常部材・異常個所の常時モニタリングに切り替え、適当な修理・修繕を加えつつ、亀裂等の成長を監視する。
- ⑥ 亀裂等劣化・損傷が限度に達したら、廃止・更新する。

以上において、当初初期点検を実施するのは初期故障等の意見を考慮したためで、本来施工がしっかりしていれば問題ない筈であり、最初暫くは定期点検も免除して差し支えないのではなかろうか(必要であれば10年目の点検を追加実施すればよい)。

次に状況A、状況Bとは何かである。最初暫くは定期点検を猶予するとして、この間何もしないのかに関わることである。言うまでもなく、この間は劣化・損傷について外見上確認できる兆候は得られないのであるが、劣化・損傷の主因である

点検	初期点検	定期点検頻度	定期点検方法		
			異常検出モニタリング	常時モニタリング	停止・更新
疲労損傷累積度 $\alpha$ モニタリング		$\alpha < 3,000$ 万回	$\alpha \geq 3,000$ 万回	$\alpha \geq 6,000$ 万回	$\alpha \geq 1$ 億回

時間経過 →

異常検出モニタリング	◆構造物の劣化・損傷等の発生に関する兆候を捉える ⇒ 精密点検等を促し、異常個所の検出 ・ $\alpha$ の急変を手掛かり ・コンクリート橋においては橋梁振動の固有振動数や減衰定数の変化
常時モニタリング	◆亀裂等の劣化・損傷箇所の拡大・成長を監視 ・画像計測手法の適用 ・劣化や損傷の程度を数値化
5 亀裂等の発生する部材・箇所、劣化要因による影響や被害が現れる場所 ⇒ 構造物の種類によってほぼ限定されており、対応してセンサ類の適切な配置が決まる	

図4 疲労損傷累積度 $\alpha$ のモニタリングを活用する橋梁維持管理(私案)

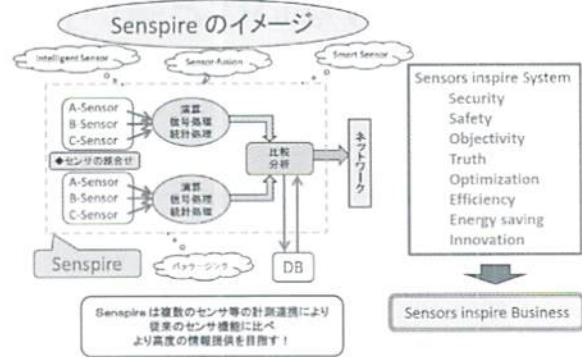


図5 Senspire の考え方と基本構成

疲労損傷についてその要因となる外力の作用の累積をモニターすることは可能であり、この種のデータを定常的に取得することを提案したい。その理由として重要なことはこの累積データが疲労亀裂発生予知に繋がることである。事実鋼橋について、10 t車換算累積軸数 3,000 万回で疲労亀裂が始まるとの報告がある。[3] このことは、その精度はどの程度であるかの分析は置くとして、疲労亀裂発生予知が可能であることを意味しており、そうだとすれば、10 t車換算累積軸数 3,000 万回に達した段階を状況 A とするのが一つの案である。

他方、状況 B は、10 t車換算累積軸数 6,000 万回に達した段階などが考えられるが、実際の亀裂発生やその成長のデータとの付き合わせにつき実績を重ねることの中で見直しを継続させれば良いと考えられる。

なお、疲労亀裂発生予知についてはその要因が自動車荷重ばかりでなく、風、地震、日照、積雪等による構造物に繰り返し掛かる曲げ応力歪が本質であることから、曲げ応力歪を統合的に計測する方式に基づき予知システムを高精度化し、拡張された 10 t車換算累積軸数、すなわち疲労損傷累積度モニタリングシステムを開発する考え方も必要である。(図4)

## 6. 異常検出モニタリングと常時モニタリング

モニタリングシステムのメインストリームの中で異常検出モニタリングの役割は、構造物の劣化・損傷等の発生に関する兆候を捉えて、精密点検等を促し、異常個所の検出に寄与することであ

る。前項の疲労損傷累積度モニタリングシステムの出力の急変を手掛かりとすることも可能と考えられ、またコンクリート橋においては橋梁の固有振動数や減衰定数の変化が利用できるとされる。異常箇所の検出については精密点検や非破壊検査との連携は欠かせない。

また、常時モニタリングにおいては、亀裂等の劣化・損傷箇所の拡大・成長を監視することになるので、画像計測手法の適用も考えられ、劣化や損傷の程度を数値化する分析方法が効果的となるに違いない。

なお、亀裂等の発生する部材・箇所、劣化要因による影響や被害が現れる場所は構造物の種類によってほぼ限定されており、対応してセンサ類の適切な配置が決まることになる。

## おわりに

研究会ではモニタリングシステムに用いられる計測機器類を新造語で Senspire と呼びたいと考えているが図式を図5に示し参考に供したい。

## 参考文献

- [1] 三木千寿：橋のメンテナンスにおけるモニタリング、次世代センサ、Vol. 22 No. 2、2~4 (2013)
- [2] 社会インフラ・モニタリングの実用化に向けて：(一社)次世代センサ協議会・社会インフラ・モニタリングシステム研究会「平成24年度活動報告書」
- [3] 「橋梁維持管理の最近の動向」(首都高速道路技術センター講演会資料、p. 4-21 (2013. 6. 4.))