

研究報告

土木構造物のリスクマネジメントとインフラ・イノベーション ～良質な社会資本を将来世代に引き継いでいく、そのための解に関する一考察～



森田 康夫

技術・調達政策グループ
首席研究員

次世代のための新しい装置インフラを考える (安全で安心できる社会の実現に向けて)

今後 30 年以内に首都直下地震や海溝型巨大地震が高い確率で発生すると言われているなか、安全で安心できる社会を維持し、次世代に豊かな国土を引き継いでいくためには、これまでも増して、社会資本の防災化・減災化を進めていく必要がある。また、過去に建設された膨大な社会資本ストックの高齢化が急速に進展していく中で、わが国のおかれた厳しい自然条件・社会条件が引き起こす様々な問題（塩害、腐食、疲労損傷等）を想定し、土木構造物を健全な状態で適切に維持管理していくことも求められている。

こうした困難な課題に対応していくためには、従来の枠組みにとらわれることなく、高い目標を設定しそれに果敢に挑戦していくこと、また、変化のスピード速い現代にあって、俯瞰的なものの見方に立った決断と実行のスピードが求められている。

1 構造物モニタリングシステムの現状と課題

1-1 モニタリングシステムの適用イメージ

安全で安心できる社会を実現していくための新たなインフラとして、ここでは、土木構造物のモニタリングシステムの開発を一つのターゲットとして取り上げる。モニタリングシステムとは、対象物にセンサを設置し、ひずみ、振動等の物理量を長期間測定し、分析することによって、対象物の状態変化を捉えようとするものであり、これまでも多くの研究開発が行われており、いくつかのインフラ

管理の現場では既に様々な形で活用されている。

土木構造物へのモニタリング技術の適用にあたっては、適用対象、必要性及びその効果を検討した上で、それに見合った技術を抽出することが重要である。橋梁を対象とした場合、モニタリング技術の適用可能性や活用方法については必ずしも十分に整理されているわけではないが、ここでは、橋梁の健全度と維持管理の各場面を想定し、モニタリング技術による業務支援イメージ（適用対象、計測方法、留意点）を以下に整理する。（村越潤ほか「鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法に関する調査」による）

① 点検時における目視点検等の支援

[適用対象]

- ・ 目視点検の効率化
- ・ 目視点検が困難な部位の状態把握

[測定方法]

- ・ 不連続的（時系列に計測）

[留意点]

- ・ 汎用的な（低コストの）技術であること
- ・ 損傷の想定される構造部位を絞り込んだ上での適用

② 損傷発見後、対策実施後の調査支援

[適用対象]

- ・ 損傷に対する原因究明、対策検討が必要な場合
- ・ 耐荷力、耐久性の診断が必要な場合
- ・ 対策後の変状の進展性の監視
- ・ 補修・補強対策後の効果確認 等

[測定方法]

- ・ 連続的又は不連続的

③ 橋梁の状態の長期・連続的な監視

[適用対象]

- ・ 目視点検の補完
- ・ 予防保全のための情報取得
- ・ 災害時等の危機管理 等

[測定方法]

- ・連続的（橋梁に機器を継続設置）

[留意点]

- ・費用対効果に関する十分な検討が必要
- ・センサの長期耐久性・信頼性についての検討が必要
- ・管理体制（人員）との整合性について検討が必要

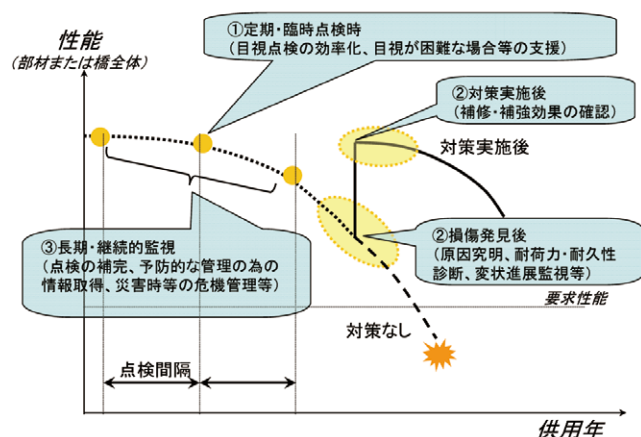


図-1 モニタリング技術による維持管理業務支援(鋼橋)¹⁾

1-2 最近のモニタリングシステム適用事例

また、最近の適用事例としては、以下のような取り組みをあげることができる。

(1) 京奈和自動車道「垂井高架橋」(PRC 橋梁)

[実施目的]

- ・大規模修補を実施したPRC橋梁の通行可否を判断するための長期モニタリング

[実施主体]

- ・工事施工会社（土木学会コンクリート委員会に設置された「モニタリング評価委員会」の技術指導の下で実施）

[実施期間]

- ・平成19年8月～（供用後10年間）

[システム概要]

- ・橋梁上下部に取り付けられた各種センサにより、橋梁全体及び個別箇所の変状、変位、損傷の発生を連続的に計測。計測データは橋梁たもとの現地計測室で蓄積・処理するとともに、インターネット回線で関係機関（河川国道事務所、土木学会、施工会社）に配信する方法で長期モニタリングを実施中。

[管理者の関わり方]

- ・モニタリング期間中に、異常が確認された場合は、現地における臨時点検、「モニタリング評価委員会」に

よる検討を踏まえ、通行の可否を道路管理者が判断する。

(2) JR東海道新幹線の2橋（いずれも鋼橋）

[実施目的]

- ・破断検知線を用いた鋼橋の疲労損傷モニタリング手法の開発（定期的な目視検査を補完するシステムの開発）

[実施主体]

- ・JR東海と日本車輛製造による共同開発プロジェクト

[実施期間]

- ・平成15年度～

[システム概要]

- ・トラスの縦桁2本（長良川橋梁）と上路プレートガーダー1連（中島川橋梁）を対象に、疲労亀裂発生の可能性がある全ての箇所（ソールプレート前面溶接部・垂直補剛材上下端等）に検知線を貼付。検知線の破断情報を制御盤を通してメールで構造物管理者に通報するシステム。

[管理者の関わり方]

- ・定期的な目視検査（新幹線は2年に1回遠望目視、8年に1回近接目視）を補完し、鋼橋の疲労損傷を早期に発見する（定期検査における見逃し危険性の回避する）ためのシステムとして試験施工を実施。JR東海でモニタリング継続中。

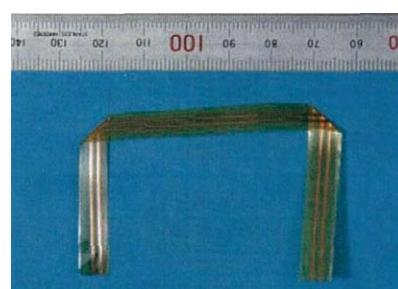


図-2 破断検知線⁹⁾

(3) 首都高速道路(3号線・4号線・中央環状線)の3橋(鋼橋)

[実施目的]

- ・リアルタイム橋梁遠隔監視システムの開発
 - ①地震時：被害状況の即時把握（通行可否判断）
 - ②常時：重量超過車両の監視
 - ③アセットマネジメントの基礎データとしての活用

[実施主体]

- ・東京工業大学、横浜国立大学、NTTデータの3者に

による共同開発プロジェクト

[実施期間]

・平成 18 年度～平成 20 年度

[システム概要]

・歪みセンサ、変位センサ、傾斜センサ、映像センサを光ファイバー通信網で管理センター（首都高本社 & NTT データ）とネットワーク化。橋梁の長期モニタリングを実施。

[管理者の関わり方]

・首都高（株）はフィールド提供者としてプロジェクトに参画（H18.4～H21.3）。

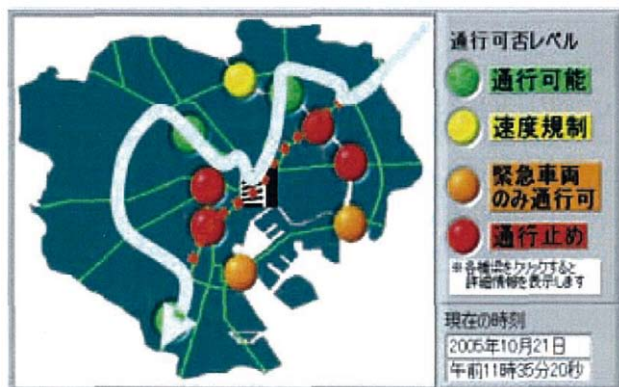


図-3 通行可否判定結果と迂回ルートの提示¹⁰⁾

1-3 これまでの取り組みから見る課題

このように、橋梁モニタリングシステムの研究開発事例、フィールド適用事例は少なくないが、損傷が過度に進行した塩害橋において本橋架替までの期間中の状態監視を実施した「国道7号暮坪陸橋」の事例や、補修・補強対策後の変状の進展性を監視している「垂井高架橋」の事例など、損傷発見後及び対策実施後の調査支援として実施している場合を除いては、概ね以下のような基礎的・共通的課題が存在しており、このことは、構造物管理者側の積極的取り組みの欠如にも、大きな原因があるのではないかと考えられる。

■シーズからのアプローチ（…出来る）に偏りすぎている

・センサー技術や情報発信機器、ネットワークシステムといった道具立ての方が先行しており、モニタリングで「橋のどんな変状を」「どの段階で」「どのような精度で」キャッチし、「どんな対策に」つなげていくのか？その時、「定期目視点検との役割分担」や「費用対効果面での効率性」をどう考えるのか？といった点についての整理が不十分。

■センサーやシステムの特性と橋に生じる変状の特性との適合性に関する考察が手薄

- ・ 事前に橋の変状発生位置の特定は出来るのか？
- ・ 計測指標、計測値から橋の変状を正確にキャッチできるのか？
- ・ センサーやシステムの寿命は、変状待ち時間と整合しているのか？

また、土木研究所の重点プロジェクト研究「社会資本ストックの健全度評価・補修技術に関する研究」（平成12～15年度）の一環として実施された『鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法に関する調査』では、鋼道路橋へのモニタリング技術の活用について、「各種変状の感度解析を行い、橋梁各部の応力変化は損傷部位近傍を除き、外力変動と比較しても小さく、変状を特定した上で局所的な応力集中箇所をねらった測定を行うか、橋梁全体に網羅的にセンサを設置しない限り、変状監視のためのモニタリングは実務的には難しい」と、とりまとめている。

2 構造物モニタリングの新たな潮流

しかし最近になって、これまでの研究開発やフィールド適用の経験を踏まえ、また、各種センサー技術や電子タグ技術の進歩と相まって、構造物管理者の問題意識に基づくモニタリングシステムの開発に関する挑戦が始まった。以下に紹介するシステムはいずれも、管理者が鉄道構造物や道路構造物を、如何に効率的に、確実にメンテナンスしていくか、といった観点に立って技術開発が進められているものであり、今後のシステム展開の参考となる先駆的チャレンジであるといえる。なお、鉄道橋の場合、道路橋と比較して、

- ・ 定期点検の頻度や内容が異なる（→鉄道橋の場合、目視による「全般検査」は2年に一度実施することが義務付けられているが、全般検査には、橋側歩道や桁下からの目視で行う「通常全般検査」と、足場等を利用して近接した状態で目視を行う「特別全般検査」の2種類があり、一般的には「通常全般検査」が行われ、塗装の塗替えが行われるときにその足場を利用して「特別全般検査」が行われている）、
- ・ 新幹線など標準構造物が多い（→異常・正常の設定が比較的しやすい）、

・不特定多数が利用するわけではない(→通行荷重・時間帯、利用形態は自ら精緻にコントロール可能である)、といった特徴(条件の差異)があることは認識しておく必要がある。

2-1 (財) 鉄道総研で開発中の構造物ヘルスマonitoringシステム

JR グループ鉄道事業 7 社の負担金によって運営されている(財) 鉄道総合技術研究所では、鉄道構造物の維持管理業務のサポート、具体的には、コンクリートの劣化や鋼材の腐食・疲労などの様々な変状の検査・診断精度と確実性の向上を目指して、IT を導入した「構造物ヘルスマonitoringシステム」の開発が総合的に進められている。システムの概要は以下の通りであり、モニタリング技術の実用化・普及といった点では未だ開発途上の段階にあるようだが、現場体制や業務内容の効率化、コスト削減等を意識した上で、管理者の視点から総合的かつ積極的にチャレンジしているという点において、大いに評価できる取り組みである。

①異常時モニタリングシステム

i) 大きな地震で損傷が集中しやすく、耐震補強工事により目視による損傷の把握が困難となっている鉄筋コンクリート(RC)ラーメン高架橋の損傷レベルを、部材角測定装置(ピークセンサ)とRF-ID(Radio Frequency Identification) タグ又は Zig-Bee 無線によりモニタリングするシステム

ii) 目視による点検が不可能な地中部材(基礎や地中梁)の損傷レベルを、コンクリート内に埋設した損傷検知センサ(ひずみゲージ)とパッシブ型 RF-ID タグによりモニタリングするシステム

iii) 河川増水時に橋脚基礎の安定性が低下する状態を、橋脚の固有振動数を計測することによって把握し、橋脚基礎の安全性を評価するシステム

②常時モニタリングシステム(目視点検の補完ツール)

iv-1) 鋼橋の累積疲労損傷度を、半永久的に設置する FBG (Fiber Bragg Grating) センサ(=光ファイバセンサ)と現地運搬型測定器を用いてモニタリングするシステム(→効果は大きいが高コストのため、新幹線等の橋梁を対象として研究開発中)

iv-2) 導電性表面材料の断線によって疲労き裂の発生を早期に検知し、検知した情報を特定小電力無

線と圧電素子(桁の振動で自己発電する電源)で発信、通行列車により収集するシステム(→コストが比較的安価ですむため、一般的な橋梁を対象として研究開発中)

iv-3) 疲労き裂が発生した直後に導電性表面材料を塗布し、補修・補強を実施するまでの間、き裂が重大な長さに進展していないかモニタリングするシステム

v) トンネル内のひび割れや内空変位を、センサ(ひび割れ計や導電塗料)とアクティブ型 RF-ID タグを活用した微弱無線計測器によりモニタリングするシステム

表-1 鉄道総研で開発中のセンサ、伝送システムの概要¹³⁾

検知時	対象構造物	対象部位	検知(損傷)対象	使用センサ	伝送装置
異常時(地震時)	RC ラーメン高架橋	(鋼板巻立て)柱	応答部材角の最大値	ピークセンサ	RF-ID タグ Zig-Bee 無線
	RC ラーメン高架橋基礎構造物	(新設構造物)柱、地中部	軸方向鉄筋のひずみ	ひずみゲージ	
常時	鋼橋	同左	疲労(繰返し応力等)	FBG センサ	特定小電力無線
	トンネル	同左	ひび割れ内空変位	ひび割れ計導電塗料	微弱無線
	駅	仕上材	振動特性(亀裂、金具の緩み)	ピエゾ素子	特定小電力無線

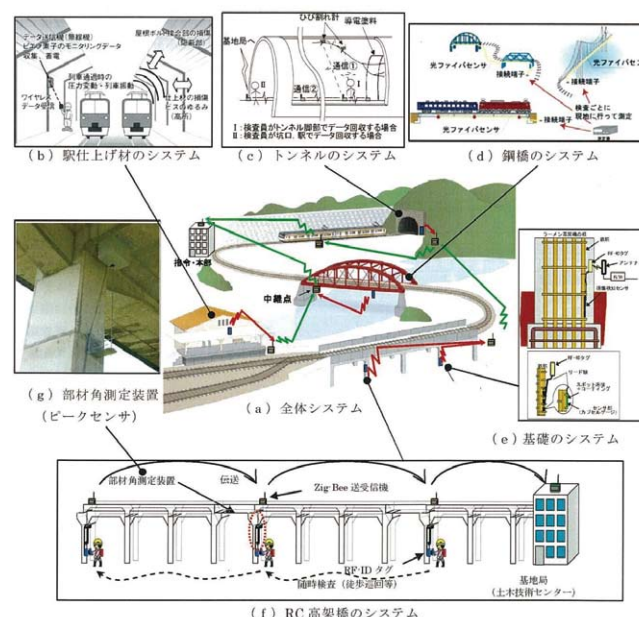


図-4 鉄道総研で開発中の構造物ヘルスマonitoringシステム¹⁴⁾

vi) 風雨や列車通過時の圧力変動・列車振動により生じる駅舎等鉄道建築物(仕上材)の損傷(亀裂、

金属の緩み)を、センサ(ピエゾ素子)と特定小電力無線によりモニタリングするシステム

2-2 (株)ネクスコ東日本エンジニアリングで開発中の「夢シス」

一方、道路管理者の先駆的取り組みとしては、(株)ネクスコ東日本エンジニアリングが YRP ユビキタス・ネットワークング研究所およびユーシーテクノロジー(株)と共同開発中の「ユビキタスマンテナンス情報収集システム」(=「夢シス」)を挙げることができる。「夢シス」は、高速道路の構造物等(橋梁、トンネル、のり面、標識、照明等)に、維持管理に必要な各種センサを取付け、センサで得られたデータを IC タグを利用して収集・更新・伝送するシステムで、走行する車両から異常箇所を特定でき、点検の省力化や効率化、損傷や劣化の予測、異常の早期発見等に利用可能なシステムをめざして、技術開発が進められている。周辺環境に係る技術開発を含め、「夢シス」の取り組みの特徴(学ぶべきポイント)は概ね以下の通りである。

i) 現場の道路管理業務を前提とした多様なデータ収集方法の組み込み

- ・光ケーブルによるデータ収集(定期通信、異常時通報)
- ・80km/h 走行の道路巡回車両によるデータ収集
- ・徒歩点検によるデータ収集

ii) 個別のセンサー技術を極めることにはまっていない研究開発体制

iii) オープンでイノベティブな IC タグ(ucode) 活用システム)

- ・道路管理者、道路管理業務支援者、大規模地震時の調査団(学識経験者)など、多様な主体がデータ共有できるユビキタスネットワークが構築可能
- ・80km/h 走行の道路巡回車両=アクティブ IC タグの活用
- ・徒歩点検=パッシブ IC タグの活用

iv) 新規アイデアと民間技術の活用

- ・高速走行中にもデータ受信可能な「ガラスフィルム・アンテナ」の開発
- ・橋梁や標識柱・照明柱の振動(低周波数)から電力を取り出す環境発電が可能な「発電機能付き地震センサ」の開発

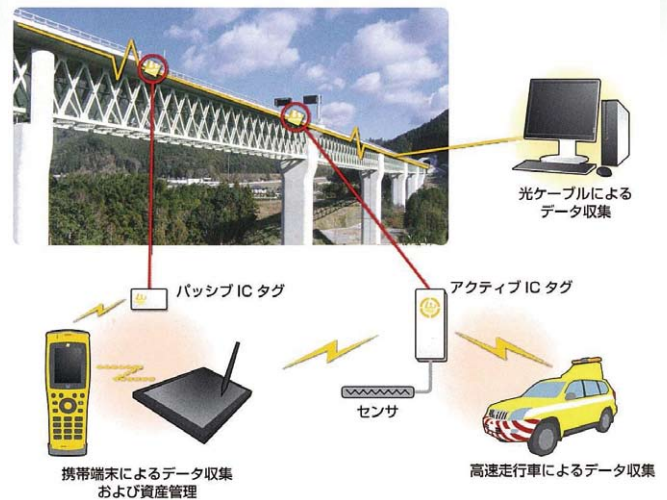


図-5 ネクスコ東日本エンジニアリングで開発中の「夢シス」¹⁷⁾

3 構造物モニタリングシステム開発の方向性

3-1 技術開発が低迷してきた原因と解法のシナリオ

先行して進められている技術開発プロジェクトと連携を図りながら、構造物モニタリングシステムの実用化・普及を図っていくためには、イノベーションにつながる技術開発が低迷してきた原因を整理した上で、構造物管理者側が明確に「技術開発ニーズ」(=開発リスクが判断できる情報)を提示し、「技術開発ニーズ≒市場規模」と「要求レベル≒開発コスト」の関係から、開発主体を想定する(市場原理に委ねる、官が支援する、等)ことが必要である。

【開発が進まない理由】“開発リスクが解らない”

■そもそも構造物管理者が・・・

- ・要求している技術(診たいもの)が解らない
- ・要求している精度が解らない
- ・どのような状況で使うか解らない

■要求は理解しているつもりだが・・・

- ・要求されている精度が高すぎる
- ・診れそうもない(諦め)
- ・他の事象を測れば良いことに気付かない
- ・僅かな改良で良いことに気付かない

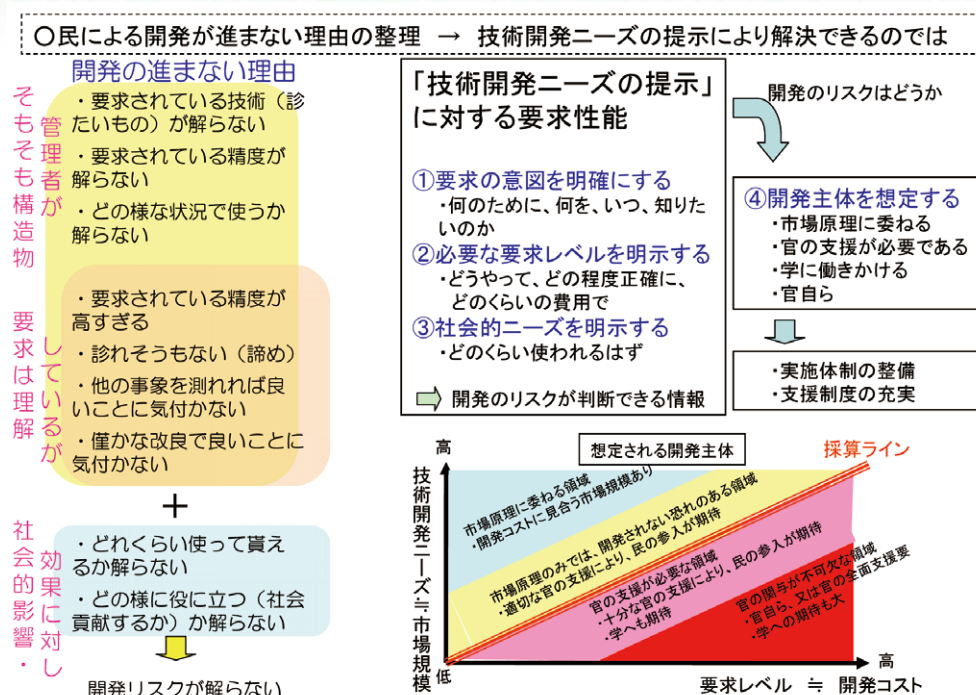
■社会的影響・効果に関して・・・

- ・どれくらい使って貰えるか解らない
- ・どの様に役に立つ(社会貢献する)か解らない

【提示が求められる技術開発ニーズ(要求性能)】

■要求の意図を明確にする

- ・何のために、何を、いつ、知りたいのか



図－6 構造物管理者に求められる「技術開発ニーズの明確化・提示」（国総研提供資料を一部修正）

■必要な要求レベルを明示する

・どうやって、どの程度正確に、どのくらいの費用で

■社会的ニーズを明示する

・どのくらい使われるはず

3-2 構造物管理上の「リスク」を再考する

技術開発ニーズの具体化に当たっては、構造物管理業務の目的や内容、現在発生している維持管理上の課題、維持管理体制や予算の枠組み等を前提として、「落橋等の致命的な事象から国民の生命を守る」、「孤立集落の発生防止など国民の日常生活を守る」、「高度化・多様化する国民ニーズに対応してサービスレベルを向上させる」といった幅広い視点から、構造物管理上のリスクを再整理することが必要である。その際、特定のセンサー技術や指標の計測精度にのみ固執し、それが故に「出来ない」「わからない」といった消極的な姿勢に自らを閉じこめるのではなく、IC タグを活用して、ID 番号を付与することによって、「構造物管理を高度化・効率化できないか?」、「国民の安心感をこれまで以上に醸成できないか?」というふうに、構造物モニタリングという命題を、もっと広範な問題意識に置き換えてみては、というのが筆者の提案である。このような姿勢で構造物管理上のリスクを再考した場合、例えば、以下のような視点があるのではないかと考える。

①大規模災害時の危機管理（クライシス・マネジメント）

大規模地震やテロの発生など有事に当たっては、それら事象の発生直後に、管理者として、構造物の異常の有無・程度を速やかに把握・判断し、「通行止め」等の初期対応を実施しなければならない。しかし、地震等発生後の所管構造物の緊急巡回点検では、目視により点検・確認を行っているのが現状であり、構造物の状況の把握に多大な時間を要するとともに、夜間などの構造物点検では、正確な状況把握が困難となっている。

このため、例えば、橋脚の天端に取り付けた加速度センサからの固有周期の変化に基づき橋脚の被災度を判定するシステムなど、**早期の交通啓開や二次災害による危険回避**を目的として、橋梁（橋脚）の震後点検を迅速化するとともに目視点検によらない定量的な状況把握を可能とする地震時橋梁モニタリング技術の開発が求められている。（①－1）

また、構造物に甚大な被害が生じた場合、とりわけそれが救援・復旧作業を支える広域幹線道路であった場合には、原因究明とともに、極めて迅速に機能復旧を行う必要があるが、こうした原因究明や**迅速な機能復旧**にあたっては、被災構造物固有の様々な情報が必要不可欠となる。例えば、ミネソタの事故では、落橋に至った原因の究明や類似橋梁への影響について、全世界の注目が集まったが、各国の政府機関・研究者たちは、海外からでも被災橋梁や類

似橋梁に関する関連情報の収集が可能であった。

これは、米国では「NBI（国家橋梁資産データシステム）」というシステムが構築・運用されており、連邦内の全ての橋梁に付与された固有の ID 番号が、橋梁毎の設計図書、補修・補強履歴、点検結果などの情報を管理し、これら橋梁固有のデータはオープンにされ、被災橋梁固有のデータだけでなく、類似橋梁の検索、管理状態・履歴データまでもが取得可能であったことによる。こうした ID 番号を活用した資産データシステムの構築は、被災の影響のない遠隔地にデータをおくことで危機管理向上につながるし、構造物管理者の別に関係なく、同種・類似の検索、特定等が容易に可能となり、緊急対策の指示等の国家レベルの危機管理施策の高度化・適正化にも絶大な効果を発揮することになる。(①-2)

一方、IC タグ等を活用したモニタリングシステムは、大規模災害発生時のコミュニケーション機能を活性化する。大規模地震等発生直後に通行可能区間を把握し、通行可能なルート情報を沿線住民や道路利用者に提供することが可能となるし、通行規制について、解除の見通しも含めた現地での詳細な情報提供が可能となる。また、関係する国・都道府県・市町村などが連携して情報を共有することで、異なる管理者間の情報連絡不足によるトラブル（例えば複数箇所の通行止めで車両を孤立させてしまうこと等）回避、資機材の迅速な調達、地方公共団体への応急復旧支援など、関係機関が連携した取り組みが拡充される。(①-3)

②対象ルート・対象構造物を重点化する（ネットワーク・マネジメント）

非常時の対応にせよ、日常（常時）の対応にせよ、全ての構造物を対象に、あらゆる高度な情報システムを当てはめて、構造物モニタリングを展開することは、システム全体の非効率を生む。とりわけ、現代は情報過多、選択肢過剰の時代であり、高度な機能があっても、操作の複雑化を招き、多くの人が使えないという状態にあることは周知の事実である。必要なのは、「その人にとって」「そのとき」必要な情報が「自動的に」得られるシステムであり、状況に応じて、最適なデジタル化された情報が活用できるための情報基盤を作ることである。

こうした視点に立った場合、構造物モニタリングを適用する対象の優先順位については、「個別構造物の安定度」の視点だけでなく、「個別構造物の安定度」と「ネットワー

クの機能の確保」の双方の視点へから考えていくことが求められる。具体的には、構造物の建設年代、設計時の適用技術基準、補修・補強履歴、最新の点検結果、当該地点の地震発生履歴、地盤の現況等のデータを基に科学的な分析を行うとともに、交通量、迂回路の有無等の路線の重要度を考慮して、優先的にモニタリングを実施する路線・構造物を選定する必要がある。例えば、「緊急輸送道路」や「新幹線や高速道路を跨ぐ橋梁」は重要な路線に該当するであろうし、これらの路線であっても「長さ 40 m 程度の橋」は応急の機能復旧の観点で見れば、応急組立橋が適用可能であるが故に対象から除外するといった重点化も考えられる。

いずれにしても、ネットワーク効果を最大限発揮するため、「ネットワークの機能の確保に着目した構造物モニタリングを考える」といった視点が重要である。

③想定外を想定する（フェール・セーフ）

道路橋の耐震基準の変遷や耐震対策の歴史がそうであったように、社会資本の整備にあたっては、常に予想外の事象が発生し得ることを認識しておかなければならない。「未曾有」を想定する、「想定外」を想定し準備しておく、ということである。構造物の維持・管理も同様で、これまでに経験したことのない大規模地震は十分発生し得るし、また、構造物の構成要素（部材）全てが常に 100% 有効に機能するわけではない。

こうした中、未曾有の地震が発生しても、メンテナンスがしっかり行われていれば、構造物全体の安全率が致命的な危機を回避することもあり得るし、また、目視点検では見ることの出来ない部分の損傷や、5 年間という点検サイクルではフォローしきれない突然の損傷、更には目視という人間主導の点検では回避不可能な見落としによる損傷も、IC タグとセンサーでモニタリングしていれば、目視による定期点検を補完する機能が有効に働き、最悪の事態を未然防止することされ可能となる。

「フェール・セーフ（Fail Safe）」の思想は、例えば一気に壊れない、致命的な壊れ方をしない、壊れても復旧に手間取らない、あるいは予め壊れることを想定しておくことであり、少なくとも第三者に危害を加えない、二次的な被害拡大を起こさない、といった考え方である。平成 11 年 6 月に発生した山陽新幹線のトンネル内壁崩落事故は、コールド・ジョイントと呼ばれる施工不良箇所を原因とす

る事故であったが、この事故は、土木構造物（とりわけコンクリート構造物）の信頼性に関する大きな問題を提起し、また、フェール・セーフという設計思想が注目される背景となる事件であった。

このフェール・セーフの思想を構造物のアセット・マネジメントの場面にも反映させていく、つまり、被災した場合でも人的・物的損害が限定的となる災害リスクの小さい社会資本マネジメントを推進していくためにも、構造物モニタリングの導入は効果的なアプローチであり得る。

④問題のある構造物を特定する（トレーサビリティ）

…食品分野適用事例の応用

食品管理の分野では、「トレーサビリティ（Traceability）」という概念が近年、脚光を浴びている。トレーサビリティとは、「生産、加工及び流通の特定の一つまたは複数の段階を通じて、食品の移動を把握できること」（Codex, 2004）であり、いつ、どこから入荷し、どこへ出荷したかを各事業者が個々に記録しておくことにより、食品がどこから来てどこへ行ったかわかるようにしておくことである。

このトレーサビリティが確立されていれば、問題が発生した際に、

- 商品を特定した迅速な回収
- 問題発生箇所の速やかな特定
- 安全な他の流通ルートの確保、安定的供給

が可能となり、生産者、消費者等にとって大きなメリットが生じる。つまり、トレーサビリティによって、食品事故のリスクを減らし、消費者への安心感を高めることができる。例えば、日本では BSE 対策として、迅速な牛や牛肉の出自と行き先の追跡能力の確保、表示の信頼性の確保のために、牛と牛肉にトレーサビリティが法的に義務化されたが、これを有効に機能させるシステムとして IC タグと識別コード（ID 番号）によるユビキタスネットワークシステムが活用され始めている。このシステムを機能させれば、食品表示の偽装を防ぎ、誠実な事業者の潔白を証明する、自らの製品を守る手段にもなり得る。

こうしたトレーサビリティという概念は、構造物のモニタリングシステムにも応用することが可能である。つまり、昨今、土木構造物の品質確保が大きな話題となっているが、構造物（を構成する各部材）をいつ、どこから調達し、どこへ施工したかを各事業者が個々に記録し、これを追跡することが可能な情報基盤を官・民共通のインフラとして整備しておくことで、構造物の履歴が明確となり、問題が発生した際の対象構造物の速やかな特定や、点検・補

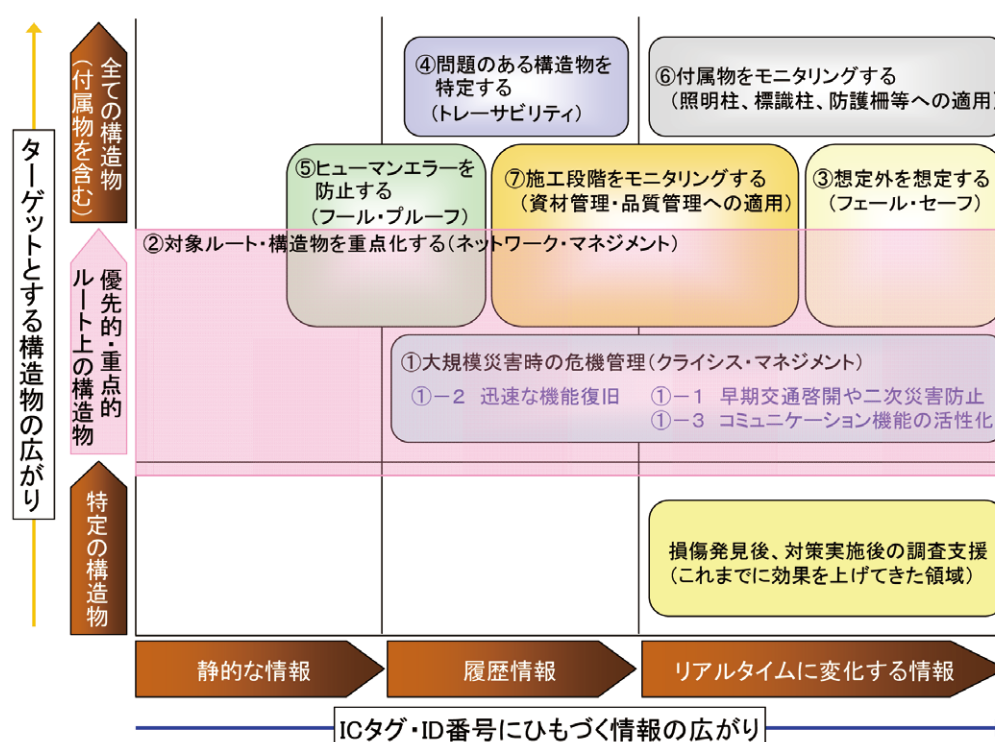


図-7 構造物管理上のリスクと構造物モニタリング・マップ

修の実施等が可能となる。また、構造物の偽装対策としても効果が期待でき、管理者及びユーザー双方にとって大きなメリットが期待できる。

この場合、とりわけ重要なことは、いろいろなモノにそのモノが生まれた最初の時点から識別コード（ID 番号）を割り付けることにより、いつ・誰が・製造したか・施工したか・点検したかが誰からも追跡可能となるようにシステム化することであり、そのためには、全ての関係者（部材の生産者から下請け業者、元請け施工者、そして工事発注者、構造物管理者まで）が、システムの有用性を理解し、積極的に導入・活用するようにならなければならない。

⑤ ヒューマンエラーを防止する（フール・プルーフ）

…医療分野適用事例の応用

パトロールカーによる日常点検から、トラブル発生時の緊急一斉点検、目視による定期点検に至るまで、構造物の点検に当たっては、常にヒューマンエラー（点検漏れや操作ミス等）が発生し得る。万一、道路管理者（又は管理補助者）の判断や評価、情報提供にミスがあれば、重大な管理瑕疵を引き起こしかねない。とりわけ、維持管理に投入出来る予算・組織に大きな制約がある現状においては、道路管理のサービス水準が、点検業務を委託された民間業者等の技術者個人のスキルに依存せざるを得ないなど極めて厳しい環境下にあることを再認識しておかなければならない。

従って、点検対象や点検項目に漏れや間違いが起きにくくする、もしくは操作漏れや間違いが起きたときに、道路管理者（又は管理補助者）がそれにきちんと気づいて、点検作業を直ちに補正できることが重要となる。「フール・プルーフ（Fool Proof）」とは、人間が誤って不適切な操作を行っても危険を生じない、あるいは正常な動作を妨害されることがないように、設計の段階で安全対策を施しておく概念であり、IC タグを用いた構造物の点検システムを構築することにより、構造物に添付した IC タグから構造物の設計情報、補修・補強履歴、前回の点検結果等を読み出し、点検項目や評価指標の妥当性等の確認を行うことで、ヒューマンエラーの防止、適切な点検実施が期待出来る。

既に、医療分野、例えば調剤の現場では、医療事故の発生を防止するため、フール・プルーフの概念に基づく、ほぼ 100% と言ってよいほどの安全なシステムが構築さ

れている。このシステムでは、医師による調剤の作業指示書が出ると、薬剤師は、まずバーコードリーダーで二次元バーコードを読み込ませた上で、それぞれの薬の場所に行って薬を集めるときに、このバーコードでチェックをする。そして、画面上での正誤表示、音声とランプによる正誤表示といった複数の媒体により、間違いがないか機械的チェックがなされ、もし、ここで間違いがあると、この機械は一時的にフリーズする。そして、第三者にそのフリーズを解除してもらい、間違いを確認してからでないと新しい作業には入れない。といったシステムが運用されているのである。

⑥ 付属物をモニタリングする（ターゲットの拡大）

…照明柱、標識柱、防護柵等への適用

首都高速 3 号線で案内標識柱が落下するなど、平成 11 年は道路付属物の落下が大きな社会問題として取り上げられた年であったが、その後も、道路や高架橋上の照明柱や標識柱等では、地震や台風といった自然災害による影響のみならず、橋梁の振動（繰り返し荷重）による金属疲労の影響や根本部の腐食による影響等により、倒壊や折損事故の事例が後をたたない。最近では、橋梁など新設構造物の設計に当たっては、疲労設計の考え方が導入され始めているが、既存の付属物、たとえば照明柱や標識柱などはそのような設計を前提としていないものが依然として多く、今も過酷な環境下に置かれている。こうした付属物は、橋梁やトンネルに比して設置数が圧倒的に多いため、コスト面で目視による点検が困難であり、また、地震発生時にはこれら付属物の倒壊・落下が道路管理上の大きなウィークポイントとなり得る。

そこで、モニタリングのターゲットを構造物（橋梁やトンネル）から付属物（標識、照明等）まで広げ、長柱構造物を対象に、主として応力が集中しやすい根本の溶接リブと上部の「首」部分にセンサーを設置し、金属疲労や腐食を（振動・歪みゲージで）計測・モニタリングするシステムを構築することも考えられる。

また、平成 17 年には、ガードレールの金属片問題が大きな社会問題として取り上げられたが、車両防護柵への IC タグ設置により、自転車利用者や歩行者の安全確保につなげていくことも考えられる。なお、いずれにせよ、こうした付属物を対象としたモニタリングシステムを確立するためには、如何にシステムのコストを抑えられるかがボ

イントとなり、逆に、IC タグやシステムのコスト低減が図られれば、大きなマーケットになり得る。

⑦施工段階をモニタリングする（時間軸の拡大）

…資材管理、品質管理への適用

IC タグを活用した構造物のマネジメントシステムという広い視野に立てば、資材管理や品質管理といった施工段階へのシステムの適用（維持管理とはステージの異なる分野への適用）も考えられる。

例えば、現在、鋼材流通の現場においては、一部の品種でバーコードを利用した現品管理が普及しつつあるが、鋼材の大半は形状の制約や錆・油等によって表面が汚れており、バーコードを貼ることが不可能である場合が多い。このようなケースでは、鋼材を取り扱う企業の現品管理で行われる出荷、入庫、棚卸、加工等の作業における目視確認・手書き作業を、超小型 IC タグと、タグに記録された ID 情報を読み取る非接触型のリーダによる確認作業に移行することで、作業の大幅な工数削減や効率化、精度の向上を図ることができる。

また、コンクリートの品質管理に IC タグを活用した事例として「電脳コンクリート」をあげることができる。これは、コンクリート打設後に IC タグを埋め込み、硬化したコンクリートの品質（強度）を IC タグによって管理するもので、従来は手作業で行われていた年間約 1,000 万本にも上ると供試体サンプルの試験結果を、IC タグを活用することによって自動入力することが可能となり、試験の効率化や正確性の向上を図ることができるものである。

3-3 システムを制度設計する

これまでに示したモニタリングシステム（IC タグ活用システム、ID 番号活用システム）を構造物管理等の現場に実現していくためには、民間の技術開発を待つという消極的姿勢に甘んじることなく、システムの主たる利用者である構造物管理者が主体的・積極的に、以下のようなスタンスを踏まえ、システム全体のデザイン（制度設計）を考えていく必要がある。

（１）取り組むべき２つのシステム開発

①インフラ ID 管理システム

（＝主要社会インフラ総背番号制）の提案

既に述べた米国の NBI（国家橋梁資産データシステム）を参考に、土木構造物をはじめとする国内の主要な社会インフラを対象として、統一フォーマットによる ID 番号の付与と、ユビキタス技術（IC タグ技術）の活用による情報ネットワークを介して、社会インフラの情報を公開し、高度で柔軟・多様な利活用環境を提供する「国家インフラ ID 管理システム（National Infrastructure Inventory System）」の構築を目指す。

ID 番号を活用したシステムとしては、例えば、「自動車登録番号システム（自動車ナンバープレート）」をイメージしていただければよい。陳腐化・劣化しないナンバープレート（固有番号）を全ての車両に付与し、公開掲示することで、現地等でナンバープレートを特定すれば、いつでも・どこでも・必要な情報の入手が可能となっている。このシステムが、車両番号から所有者、犯罪との関わり、事故履歴など、多様な情報の特定・検索に利活用されていることは周知の通りである。

同様に、「国家インフラ ID 管理システム」では、国内の主要な社会インフラに付与された固有の ID 番号が、インフラ毎の設計図書、補修・補強履歴、点検結果などの情報を管理するとともに、データは管理者・国民・マスコミ・産学の区別無くオープンにされ、また、IC タグ等により現地レベルで引き出し可能となるようなシステムを想定する。

これにより、災害や不具合が発生した場合には、現地等で固有番号を特定すれば、いつでも・どこでも・必要な情報入手が可能となり、インフラ管理者の別に関係なく、同種・類似の検索、特定等が容易に可能となり、緊急対策の指示等の国家レベルの危機管理施策の高度化・適正化に絶大な効果を発揮することになる。更に、被災の影響のない遠隔地にデータをおくことで、危機管理向上にもつながる。

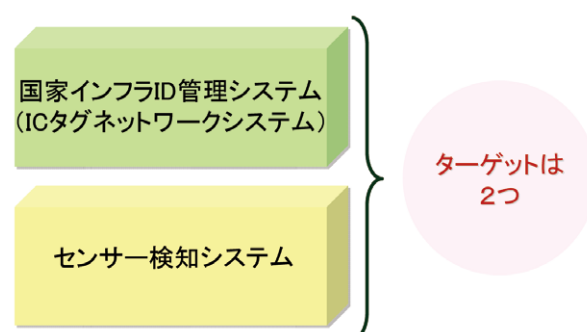


図-8 研究・開発のターゲット

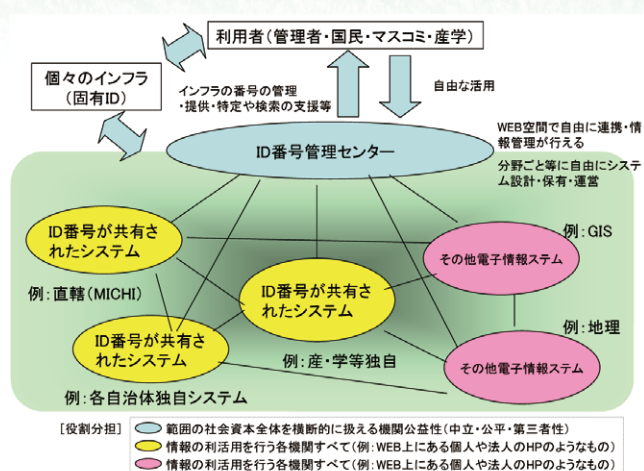


図-9「国家インフラ ID 管理システム」のイメージ (国総研提供)

また、日常においても、公開された情報とシステムから、インフラのアセット・マネジメントに関する調査研究や、国民への情報公開(統計データ、基礎情報など)など、多様なデータ利活用が容易となる。

②センサー検知システムの高度化・汎用化

一方、センサー技術やデータ転送技術に関しては、既に民間主導で様々な取り組みが展開されており、前に紹介した(財)鉄道総合技術研究所の「構造物ヘルスマonitoringシステム」だけみても、ひずみゲージ、部材角測定装置(ピークセンサ)、ひび割れ計、導電性表面材料、FBGセンサ(光ファイバセンサ)、ピエゾ素子、Zig-Bee無線、パッシブ型RF-IDタグ、アクティブ型RF-IDタグ、特定小電力無線、など多種多様な技術開発・技術活用が検討されている。

(株)ネクスコ東日本エンジニアリングのチャレンジにも共通する姿勢であるが、重要なことは、「漸進主義」の姿勢であると考え。つまり、「現在のセンサー技術では構造物の損傷を完全には判別できないから、研究・開発が進められない」といった局所的な理想論を追い求める(が故に何も出来ないという)アプローチではなく、「最初から完璧を求めないし、目指さない。点検の省力化や効率化、損傷や劣化の予測、異常の早期発見など、現場の構造物管理業務が少しでも改善されないか?」といった相対的ものの見方、漸進的な考え方で前向きにチャレンジしてみることが重要である。

また、センサー技術やデータ転送技術の開発にあたっ

ては、センサーの精度向上や関連機器の低コスト化、長寿命化、小型軽量化等がポイントであることは確かであるが、それにも増して(個別のセンサー技術を極めることにはまり込まず)、まずは既存技術の活用を前提として、構造物管理者のニーズを踏まえて、システム全体をデザインしてみる。そういう取り組みが求められているように思う。

(2) ケース・スタディ(社会実験)の実施

社会資本マネジメントの分野において、このような新しいシステムを導入するにあたっては、場所や期間を限定して、構造物管理者等のシステム利用者とともに試行する「ケース・スタディ(社会実験)的取り組み」が不可欠となる。これは、新たなシステムの課題や効果などを、本格導入の前に把握することが目的で、とりわけ、どういう場合に、どういう情報を取得し、どういうコンテンツを作成して、どう伝えるのかといったソフトの部分を汎用化し、誰もが効率的・効果的に使えるユーザー・フレンドリーなシステムを構築する上で重要な役割を果たすこととなる。

(3) イノベーションを誘発する制度インフラの構築

新たなシステムの導入によって、社会資本マネジメントの分野におけるイノベーションのブレイク・スルーを引き起こすためには、センサーやICタグ等の技術開発(=ハード)のみでなく、知的所有権の問題や責任・役割分担、セキュリティ、プライバシー、それらにかかわる法律の整備から社会意識の醸成まで、様々な社会的枠組み(=ソフト)を技術開発とあわせて構築していくことが必要である。

食品トレーサビリティの事例でいうと、BSE対策として2003年に「牛の個体識別のための情報の管理及び伝達に関する特別措置法」(略称:牛肉トレーサビリティ法)が施行された。このため、国内流通の牛肉については、ほぼ完全に履歴が取れるようになり、これを前提としたユビキタス・コンピューティング・システムが構築されているが、鳥インフルエンザや豚コレラ、未認可添加物や未認可農薬の問題など、その他の食品に関するトレーサビリティは牛肉ほど進んでいないのが現状である。このことは、法律など社会的枠組みの整備が如何に重要であることを端的に示している。

また、民間活力を最大限引き出していく仕組みも求められる。米国では、デジタル・デバイド(社会階層毎のインターネット利用率において、情報をもつ者ともたない者

との間に生じる経済的社会的格差)の解消を図るため、民間企業(パソコン・メーカー)による学校や図書館などへのパソコン寄付・出資に対し、政府が税制面の優遇処置を講じたことが、財政的に厳しい公的機関への迅速かつ高質な(最新鋭の)インターネット環境を実現させたし、また、西欧や北欧では、道路等の公共空間における例外的な広告規制の緩和措置が、広告付きバス停留所の整備や広告付きレンタ・サイクル事業といった公共サービスのイノベーションを生んでいる。こうした官民の新たな役割分担のデザインも、効果的な制度インフラを設計する上で、極めて重要な視点である。

社会資本マネジメントの分野にモニタリングシステム(ICタグ活用システム、ID番号活用システム)を導入していく際に有効なソフト・インフラとしては、例えば、

- 維持管理の基準を作る(目視点検+モニタリングを標準とするルール化を考える)
- 工事受注業者によるID番号付きICタグの付置義務化
- モニタリング付きの維持工事発注を考える

等をリストアップすることができる。

(4)「国家戦略」としての取り組み

米国政府主導の国家プロジェクトとして、国防総省の莫大な研究開発予算を前提に進められ、技術が確立した時点でそれを商用開放し、産業界が競って利用を広げたことにより、イノベーションのブレイク・スルーが引き起こされたという「インターネット」の研究開発着手から普及に至る歴史は、他の社会資本のイノベーションを考える上で貴重な経験と言える。

道路をはじめとする社会資本の維持・更新は、わが国の経済・国際競争力を支える基盤そのものであるが故に、これに資するシステムの開発は「国家戦略」として政府主導で行う、国土交通省が率先して進める、といった枠組みで研究開発に取り組むべきであるし、そのための冒険的研究予算、失敗してもいい実験的研究予算があっても良いのではないかと、また、国家戦略に資する「実証実験」として、国直轄のフィールド(地方整備局、事務所)で積極的にケース・スタディに取り組んでいくことも必要ではないかと考える。

また、初期需要を生み出し、また技術革新を加速させるため、公的部門がわが国発の新技术・製品・サービスを

率先して調達、活用、評価する取り組みも重要であろう。

更に、政府の役割として、国際標準化のイニシアティブをとっていくための努力も求められる。ISOのテクニカル・コミッティ(略してTCという)についてみると、日本が幹事国の専門委員会は227個のTCのうち僅か11個しかないが、非破壊試験(TC135)がその一つに含まれている。今回のモニタリングシステムの開発と関連付けて、ジャパン・スタンダード(デファクト・スタンダード)を作り、それを国際標準まで持ち込む、といった国家として有益なアプローチもあり得るのではと考える。

3-4 今後の展開について

以上、ICタグやID番号を活用した社会資本のマネジメントシステム(構造物のモニタリングシステム)を実現していく必要性について整理してきたが、最も重要なことは、「ユビキタス情報社会にむけた次世代の構造物管理のあり方」に関する戦略を立案するとともに、構造物を管理する公的主体が中心となって、ニーズとシーズを統合できる研究開発体制を早急に構築し、戦略を持ってシステム開発に取り組んでいくことではないかと考える。

なお、河川管理に関しては、社会資本整備審議会河川分科会及び「ユビキタス情報社会にむけた次世代の河川管理のあり方検討小委員会」(委員長 坂村 健 東京大学大学院情報学環・学際情報学府教授)における審議を経て、平成20年8月27日に「ユビキタス情報社会における次世代の河川管理のあり方」について提言がとりまとめられ、既に当該提言を踏まえ、ユビキタス情報社会における次世代の河川管理の具体化に向けた施策が推進され始めている。

おわりに

250年にもおよぶ世界的にも類を見ない平和な時代を築いてきた徳川幕府が、文明(Civilization)を有する欧米列強の開国圧力に屈し、また、幕末安政期に首都・江戸を幾度となく襲った大規模自然災害にダメージを受けた結果、尊皇攘夷運動や国内物価の著しい高騰がわが国の政治・経済を大混乱に陥れ、徳川慶喜をじて大政奉還(政権交代)に至らしめた150年前の幕末・維新の歴史。

一方、大東亜戦争の後、21世紀に入った現在ですら世

界的にも類を見ない平和憲法の庇護下にあって、国民全体が60年以上も続いた平和社会に惑溺してきた平成の御代、“グローバル・スタンダード”と“神の国”を掲げる米国発の平成大恐慌に苦しみ、また、“情緒主義”で“危機主義”で“円満主義”であるわが国国民性にも起因する政局の混迷に嘆き、そして、首都・東京を今にも襲うかもしれない巨大地震の襲来に怯えるなど、戦後初ともいえる未曾有の危機に直面している現代の日本。

どうも、現在われわれが直面している時代背景は、幕末・明治維新の時代背景と酷似していると思えてならない。

幕末・維新の著述家であり、啓蒙思想家であり、そして慶應義塾の創設者である福澤諭吉(1835 - 1901)は、わが国の独立を得んがため、わが国の「国体」を維持せんがため、西洋文明、なかんずく「西洋に行はるる文明の精神」の移入・普及と、当時のわが国国民に深く根ざした封建意識の打破に渾身を傾けたことは周知の通りである。が、そうした福澤の思想が、彼が「惑溺」と呼んだ日本人の思考形態、つまり、一つの方向に流されてしまうという状況主義・情緒主義的思考を真っ向から否定し、政治・学問・教育・商売などあらゆる活動は相対的な視点で状況認識し、その上で物事の本質を見極めなければならないとする、価値判断の相対(比較)主義、真理原則主義、機能主義にあったことはあまり知られていない。

「台風や大規模地震が頻発する」「大都市が軟弱地盤上に立地する」「大型車混入率や過積載車両の割合が高い」「都市内の環状道路ネットワークが未整備で、リダンダンシーが確保されていない」など、欧米より厳しい自然条件・社会条件下にあるわが国が『荒廃する日本』とならないために、そして、これまでの世代が国土にたゆみなく働きかけることで実現してきた、この安全で安心できる豊かな社会を将来世代へ引き継いでいくため、われわれは、「国体」を支える共通基盤である社会資本のイノベーションに、「国家戦略」を持って取り組んでいかなければならない。

福澤は、その著書『福翁自伝』において、64歳をして、残る生涯で更に取り組みたいこととして、「全国男女の気品を次第々々に高尚に導いて真実文明の名に恥ずかしくないようにすることと、仏法にても耶蘇教にても孰れにても宜しい、これを引き立てて多数の民心を和らげるようにすることと、大いに金を投じて有形無形、高尚なる学理を研究させるようにすることと、およそこの三力条です。」

と語っている。幕末・維新の経験、福澤諭吉の思想に学ぶことは少なくない。

謝辞

本研究報告をまとめるにあたり、問題の提起から、“国土学”の思想、幕末・維新を自然災害死史観で見る視点、“ネットワーク・マネジメント”の考え方など、俯瞰的で示唆に富んだご指導と格別のご鞭撻を賜った当センターの大石久和理事長に、深甚なる感謝を捧げます。また、橋梁技術や耐震設計、モニタリング技術の認識を高め、考察の「解」の方向性を定めるにあたり、有益な示唆を賜るとともに、貴重な資料を提供していただいた、国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センターの運上茂樹地震災害研究官、道路構造物管理研究室の玉越隆史室長ならびに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の木村嘉富上席研究員、中谷昌一上席研究員、村越潤上席研究員に、この場を借りましてあらためてお礼申し上げます。そして、当センター情報・企画部の沼尻明子さんには、本研究報告の作成・編集に当たり、ひとかたならぬご協力をいただきました。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 村越潤・麓興一郎・高木伸也 平成16年3月 『鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法に関する調査』(土木研究所重点プロジェクト研究/社会資本ストックの健全度評価・補修技術に関する研究)
- 2) 構造工学委員会橋梁振動モニタリング研究小委員会 平成12年7月 『Intelligent Bridge/Structure and Smart Monitoring 研究の動向』 土木学会論文集 No.654/I-52
- 3) コンクリート委員会コンクリート構造物のヘルスマニタリング研究小委員会 平成17年8月 『コンクリート構造物の構造ヘルスマニタリング(SHM)の研究動向と設計手法』 土木学会論文集 No.795/V-68
- 4) 三浦尚・西川和廣・見波潔・松村英樹 平成6年1月 『暮坪陸橋の塩害による損傷と対策』 橋梁と基礎 1994-1
- 5) 三木千壽・水ノ上俊雄・小林裕介 平成13年9月 『光通信網を使用した鋼橋梁の健全度評価モニタリングシステムの開発』 土木学会論文集 No.686/VI-52
- 6) 小林裕介・三木千壽・田辺篤史 平成16年10月 『リアルタイム全自動処理 Weigh-In-Motion による長期交通荷重モニタリング』 土木学会論文集 No.773/I-69
- 7) 岡崎慎一郎・魚本健人 平成17年 『RC 橋梁の建設年代別構造性能の評価と常時モニタリングデータの評価法』 生産研究 57 巻4号 (2005)
- 8) 土木学会コンクリート委員会垂井高架橋の損傷に関する調査研究特別委員会 平成20年3月 『垂井高架橋の損傷に関する調査研究特別委員会最終報告書(維持管理分科会)』
- 9) 伊藤裕一・松尾昌武・蔣立志 平成17年9月 『破断検知線による鋼構造物疲労損傷モニタリング手法の開発』 土木学会第60回年次学術講演会
- 10) 石川裕治・竹本健一・宮崎早苗(NTT データ) 平成18年9月 『リアルタイム橋梁遠隔監視システムの開発』 NTT技術ジャーナル
- 11) 西川和廣 平成15年12月 『「橋梁マネジメント」分野におけ

- る技術展望』土木構造・材料論文集第19号
- 12) 村越潤 平成20年8月 『橋梁の維持管理に関する研究・技術開発』橋梁と基礎2008-8
- 13) 小西真治 平成19年11月 『構造物のメンテナンス』第20回鉄道総研講演会
- 14) 小西真治 平成20年3月 『鉄道構造物のメンテナンス』ベース設計資料No.136土木編(2008年前期版)
- 15) 仁平達也・小林裕介・峯岸邦行・磯野純治・仲山貴司・山田聖治・佐藤紀生・小西真治 平成19年11月 『鉄道構造物におけるヘルスマonitoringシステムの開発』検査技術2007/11/01号
- 16) 小林裕介 平成19年12月 『鋼鉄道橋における疲労モニタリング』検査技術2007/12/01号
- 17) (株)ネクスコ東日本エンジニアリング 平成20年10月 『夢シス(ユビキタスマンテナンス情報収集システム)』リーフレット
- 18) 山本和範 平成19年8月 『建設関連分野におけるICタグの活用動向』RICE MONTHLY(建設経済研究所だより)No.222
- 19) 坂村健 平成18年9月 『ユビキタスでつくる情報社会基盤』東京大学出版会
- 20) 坂村健 平成17年10月 『グローバルスタンダードと国家戦略』NTT出版
- 21) 坂村健 平成17年3月 『変わる国・日本へ イノベート・ニッポン』アスキー新書
- 22) 総務省情報通信政策局 平成19年3月 『「安心・安全な社会の実現に向けた情報通信技術のあり方」に関する調査研究会最終報告書』
- 23) 総務省情報通信政策局 平成16年3月 『ユビキタスネットワーク時代における電子タグの高度利活用に関する調査研究会最終報告書』
- 24) 社会資本整備審議会河川分科会・ユビキタス情報社会にむけた次世代の河川管理のあり方検討小委員会 平成20年8月 『ユビキタス情報社会における次世代の河川管理のあり方(提言)』
- 25) 永井道雄(責任編集) 昭和59年7月 『福澤諭吉』中公パックス 日本の名著33
- 26) 丸山眞男 平成13年6月 『福澤諭吉の哲学 他六編』岩波文庫

本稿は、自主研究論文『自然災害死史観と社会資本イノベーションーわが国の国土条件が規定する「装置インフラ」の過去・現在・未来ー』の一部(後半部分)を抜き出して掲載したものである。論文全体については、JICE ホームページの「自主研究」の頁(<http://jice.or.jp/jishu/index.html>)を参照していただきたい。

【全体目次】

- ・はじめに
- ・わが国を襲った自然災害の歴史
- ・国土学の視点から見た幕末・明治維新
- ・自然災害を克服してきたわが国の社会資本整備(道路橋を例に)
- ・次世代のための新しい装置インフラを考える(安全で安心できる社会の実現に向けて)
- ・おわりに