

構造物の検査・計測技術

—検査機器，検査方法，健全度評価法—

小西 真 治

経年 50 年を過ぎた構造物が急増している現在，維持管理の技術に関する関心が高まっている。鉄道分野では，今年，国土交通省より鉄道構造物の維持管理標準が制定され，すべての鉄道事業者が構造物の維持管理を同じ体系で行うことになった。このようなことから，膨大な対象構造物を，検査時に，的確に正しいデータを収集し，状態を把握し，健全度を評価するための様々な技術が開発されている。ここでは，構造物の維持管理に関する検査・計測機械，検査方法，分析方法などの検査技術ならびに健全度評価技術についての最近の話題を，鉄道に関するものを中心に紹介する。

キーワード：鉄道，維持管理，検査，健全度評価

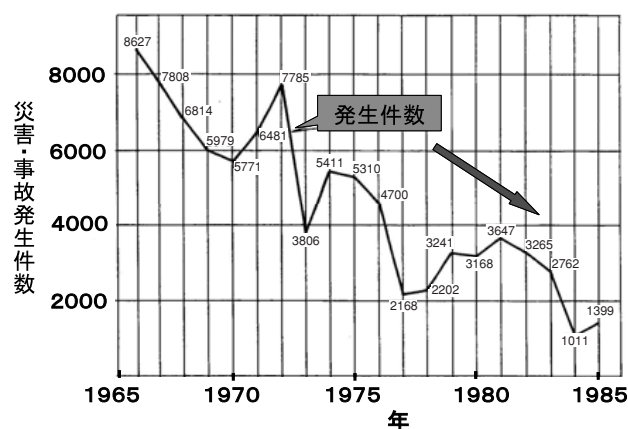
1. はじめに

約 130 年前に新橋～横浜間に初めて鉄道が開通してから，我が国では数多くの構造物が建設され，維持されてきた。特に，高度成長期に建設された大量の構造物の経年が 40 年～50 年を超えてきており，メンテナンスの対象となる構造物の量が加速度的に増加している。また，近年，現場における技術継承の困難さならびに深刻な労働力不足などの問題も浮上してきている。施設の需要の飛躍的な増加が望めず，施設の改良や新設が困難な現状では，現在ある構造物を少ないリソースで効率的にメンテナンスし，安全の確保と構造物の長寿命化を図っていくことが必要であり，確実に効率的な維持管理手法の研究開発が望まれている。ここでは，鉄道総研や鉄道事業者の，検査・モニタリング技術，健全度判定の考え方等，構造物のメンテナンスに関する最近の技術や取り組みを紹介する。

2. 維持管理の変遷と現在の課題

(1) 維持管理の変遷¹⁾

従前の維持管理体系は，何か問題が発生してから対処する，いわゆる事後保全であった。戦争中の構造物の荒廃などから事故が多発するようになったが，先輩たちの努力の末，昭和 40 年頃を境に事後保全から事後・予防を組み合わせた効率的な保全に変わり，自然災害等による事故が急激に減少した（図—1）。昭和 48 年には，取替え標準が制定された。この体系は，現在の維持管理体系であり，事前に定期的に検査を行



図—1 災害発生件数の減少²⁾

って健全度判定を行い，弱点箇所や変状箇所を抽出し詳細な検査を行い，必要な場合は措置（監視，補修・補強等）を行うものである。

その後，昭和 50 年代には，高性能のコンクリートや無塗装鋼材などを用いるメンテナンスフリーの考え方が生まれてきた。しかし，近年，コンクリートの中酸化や剥落の問題等が顕在化し，小まめに調査し，悪いところに手を入れて使っていくことの大切が見直され，現在はミニマムメンテナンス（必ず定期的に手を入れる）という考え方になっている。

(2) 維持管理標準^{3) 4)}

維持管理標準は，鉄道施設等の検査方法や検査周期など維持管理に関する技術基準で，国土交通省におい

て平成19年2月から施行され、すべての鉄道事業者が同じ体系で維持管理を行う事になった。この体系とは、①性能照査型の体系、②全ての鉄道事業者に適用できる体系、③全ての鉄道構造物に共通な体系、④国鉄時代から行われてきた構造物維持管理を大きく変更しない体系である。内容は、コンクリート構造物、鋼・合成構造物、基礎・抗土圧構造物、土構造物（盛土・切土）、トンネルを対象に、総則、維持管理の基本、初回検査、全般検査、個別検査、随時検査、措置、記録および付属資料といった構成になっている。新しい内容としては、維持管理における構造物の性能レベルの設定方法、条件に応じた通常全般検査周期の見直し、検査員の定義、記録およびその保存方法等が記述されている。設計・施工のみならず維持管理を含めて供用中の構造物の性能をある水準以上に確保する、といった性能規定型の体系の基本的な考え方でまとめられている。図-2に性能の確認の考え方、図-3に維持管理の手順を示す。

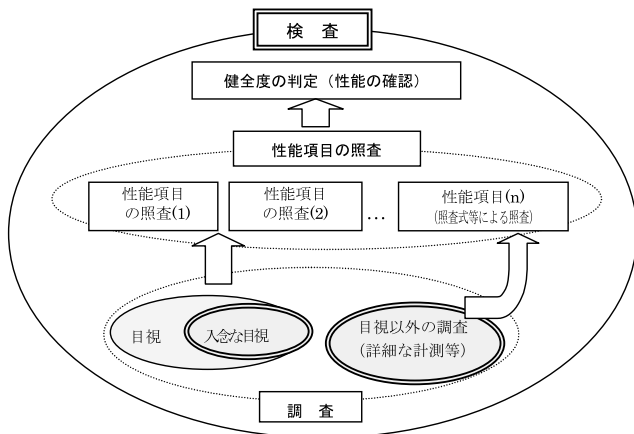


図-2 性能の確認の考え方⁴⁾

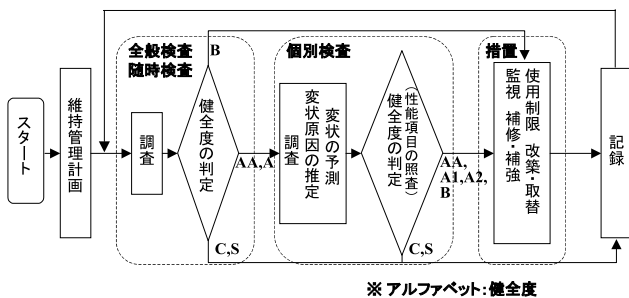


図-3 維持管理の手順⁴⁾

3. 新しい検査・診断・モニタリングシステムおよび健全度評価支援システム

(1) センサを用いた検査法

実際の検査では、地中、被覆や高所、トンネル内、

危険箇所等、直接目視することが困難な場合が多い。そこで、センサを用いてこれらをサポートする研究開発が進められており、最近の例を紹介する。

(a) 疲労亀裂検知センサ⁵⁾

疲労亀裂センサは、図-4に示す切り込みを入れた長方形の小片（120～270mm）を橋梁に貼り付け、橋梁および小片が繰り返し荷重を受け疲れにより発生した小片切りこみ部分の亀裂の長さを調べることで、疲労亀裂の発生を事前に検知し損傷度の目安を示すものである。亀裂長さそのものを構造物の受ける累積疲労損傷度として評価するもので、数十年程度の長期間における構造物の応力履歴の評価が可能である。構造が簡単で電源も不用であるため、複数箇所への設置や取替えも容易である。従来の検査では鋼橋に生じる疲労き裂を小さいうちに発見する必要があったが、本手法を導入することによって橋梁本体の疲労亀裂発生前に検知することが可能となり、構造物の安全性、信頼性を高めるとともに、検査の大幅な効率化を図ることができる。

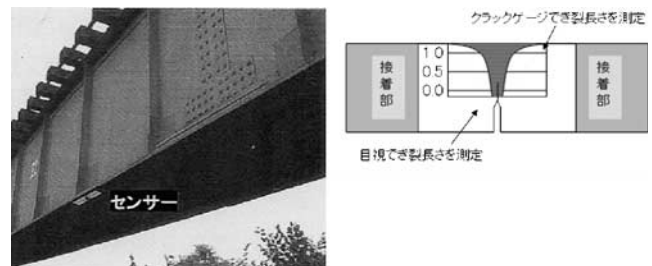


図-4 疲労検知センサおよび設置状況⁵⁾

(b) 橋梁下部構造物診断システム⁶⁾

地中にある基礎構造物の健全性を直接目で確かめることは難しいため、基礎の健全度を判定する方法として「衝撃振動試験法（IMPACT IIIシステム）」（図-5）を開発した。この試験では、橋脚や高架橋の天端を重錘で打撃し、それにより得られる振動応答波形を収録し、フーリエスペクトル解析を実施し橋脚や高架橋の固有振動数を決定する。そして、この実測固有振

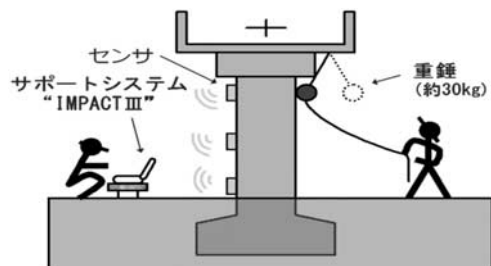


図-5 衝撃振動試験法の概要⁶⁾

動数と健全な場合の固有振動数を比較することで、健全度を評価する。また、変状を発見するだけでなく、補強効果の確認にも用いられている。

(c) 河川増水時の橋脚基礎安全性評価システム⁶⁾

河川増水時には橋脚周りの地盤が洗掘され根入長が少なくなり橋脚基礎の安定性が低下する場合があるが、同時に橋脚の固有振動数も低下する。このシステムでは、橋脚の微動データを基に橋脚の固有振動数を自動的に算定し、それと橋脚基礎の状態に応じて予め定めた基準の固有振動数とを比較し、橋脚基礎の健全性をリアルタイムで評価し列車の運転規制の可否を判断する際の定量的な情報のひとつを提供する。システムは、橋脚天端に設置する振動センサ、計測処理装置、水位計、電源部と橋梁上で操作する表示装置とで構成されている(図-6)。可搬型のため設置移動が容易で、また、バッテリー駆動のため新たな電気設備が必要ない。このシステムにより、作業者が増水時に点検する場合の安全が保たれる。



図-6 河川増水時の橋脚基礎安全性評価システム設置状況⁶⁾

(d) コンクリート剥離検知システム(赤外線法)⁴⁾

コンクリート剥離検知は至近距離での目視検査と打音が用いられているが、足場の問題から膨大な時間と費用を費やしている。このようなことから、鉄道総研では、赤外線法によるコンクリート剥離検知システムの開発も進めている。この方法は、コンクリート表面で剥離等の変状箇所と健全な箇所とで温度差が生じることを利用して、赤外線カメラで変状を検出するもので、自然の温度分布差を利用するパッシブ赤外線法とコンクリート表面を強制的に加熱するアクティブ赤外線法がある。前者については、変状検出精度と気象条件の関係を調査分析し、年間約75日程度の稼働率であることがわかった。後者については、キセノンアークランプを用いた方法を開発した(図-7)。また、赤外線および可視光線の撮影画像を現場においてリアルタイムに高精度処理し、融合補正処理した画像を出力することが可能なシステムを構築した。

(e) トンネル覆工の検査技術⁴⁾

トンネルの維持管理において、従来の目視観察・ス



図-7 アクティブ赤外線法実施状況⁴⁾

ケッチに変わり、覆工表面の鮮明な映像を連続的に撮影し、画像処理を行うことで変状展開図を作成したり、ひび割れ等の変状の自動抽出や健全度判定を行う技術が鉄道総研や各鉄道事業者で研究され開発されている(表-1)。

トンネル覆工の非破壊検査は、覆工の表面、内部、背面を破壊せずに調査する方法で、打撃音法、超音波法、弾性波法、電磁波法、熱赤外線法等が、鉄道総研および各鉄道事業者で開発・実用化されている。表-2に各方法の適用性を示す。図-8には、JR東日本で実用化されている電磁波法のシステムを示す。

また、トンネル外の遠隔から、光ファイバーや導電塗料などを利用してトンネル覆工の動きを常時監視する方法も研究している。前者は、光ファイバーをトンネル覆工に貼りつけ光の散乱によってひずみの発生位置と大きさを長距離に渡って計測するものである。トンネルのひずみ分布、ひび割れの発生あるいは補強・補修部分の剥離等がわかる。後者はトンネル覆工に導電塗料を帯状に塗布し、その両端で通電性をチェックするもので、ひび割れが生じると通電しなくなることを利用した検知方法である。安価にひび割れの発生とその時期を調べることができ、場所の特定や変形の大きさまではわからない。現在、どちらの方法についても実用化に向けて実際のトンネル等で、現実性、耐久性、施工性等を検証しているところである。

(2) モニタリングシステム⁷⁾

現在、鉄道総研で開発に取り組んでいる、ITを積

表一 1 覆工表面を撮影・記録するシステム（鉄道事業者の場合）⁴⁾

手 法	概 要	主な仕様	適用実績
ラインセンサ カメラ (連続走査画像)	走行しながら壁面を走査して画像を得、連続走査画像から展開図を作成	JR 東海 撮影可能最高速度 15 km/h (単線), 27 km/h (複線, 片側) 幅 1 mm のクラック検出	・ 1999 年度～稼働 ・ 在来線
		JR 北海道 撮影可能最高速度 10 km/h 幅 1 mm のクラック検出	・ 1999 年度～稼働
スリットカメラ	走行速度とフィルムの送り速度を同調したカメラにより連続壁面写真得る	30 - 40 km/h 幅 1 mm 以下の解像度	JR 西日本 ・ 1999 年度に新幹線全線にて実施
レーザー	レーザービームで全周をスキヤニングし画像処理を施して連続壁面画像を得、展開図を作成	JR 東日本 撮影速度 4 ~ 7 km/h 以下 幅 0.5 mm のクラック検出	・ 2000 年度～稼働 ・ 新幹線・在来線 (箱形トンネルでの実績あり)
		JR 西日本 撮影速度 2.8 ~ 17 km/h 幅 0.5 mm のクラック検出	・ 2001 年度～稼働 ・ 新幹線・在来線
赤外線カメラ 可視カメラ	走行時ヒーターで強制加熱し、赤外線放射量を赤外線カメラで撮影し、画像処理後、剥離を検出。可視カメラ (CCD) によりクラック、漏水等を検出し、展開図を自動作成	撮影速度 2 km/h 深さ 5 mm の剥離、幅 1 mm のクラック、等を検出	営団 ・ 1999 年度～稼働 (箱形トンネルでの実績あり)
パノラマカメラ	パノラマカメラによりトンネル輪切り方向に撮影したものを画像処理により繋ぎ合せ、連続壁面展開図を作成	1 晩で 1 km 撮影 幅 0.2 ~ 0.3 mm のクラックも検出可能	近鉄 ・ 1991 年度～稼働

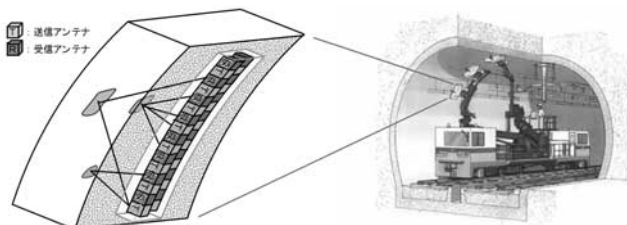
表一 2 非破壊検査法の適用性⁴⁾

手 法	現在の適用性			調査範囲
	表層	内部	背面	
①打撃音法	○	△	△	点
②超音波法	○	○	△	点
③弾性波法	△	○	△	点
④電磁波法	△	○	◎	線～面
⑤赤外線法	○	△	△	面

*表層：覆工の表面に近い部分、内部：覆工の内部
背面：覆工の巻厚、空洞の有無等

凡例

- ◎：実用化され広く利用されている。
- ：実用化されているが、広く利用されるには改善が必要である。
- △：試験的に用いられている。



図一 8 マルチパス方式レーダ（電磁波）を搭載したトンネル覆工検査車⁴⁾

極的に導入した「構造物ヘルスマニタリングシステム」を紹介する（表一 3）。

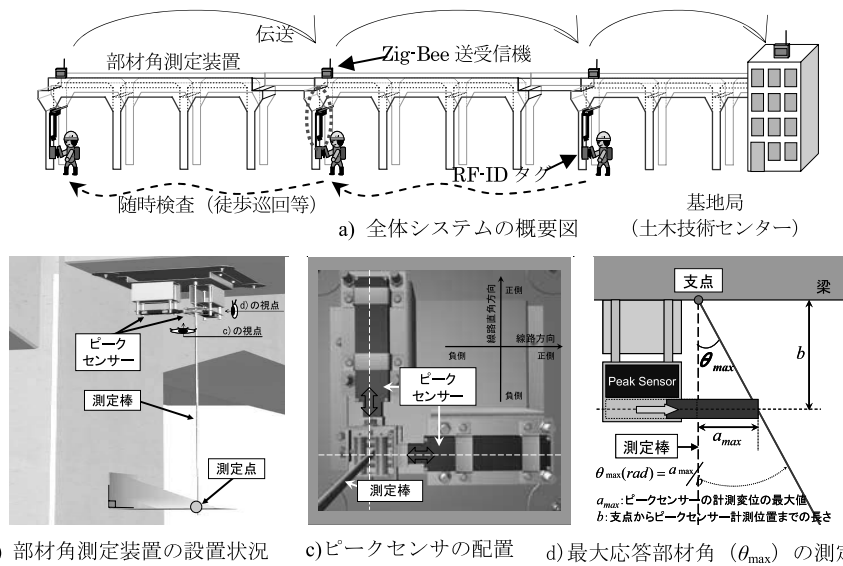
(a) 異常時モニタリングシステムの開発⁷⁾

① RC ラーメン高架橋損傷レベル検知システム

地震時の RC ラーメン高架橋の柱の損傷は、通常、被災後の随時検査において目視により確認している。しかし、柱の耐震補強として鋼板補強が用いられる事例が増加しており、目視による損傷の把握が困難となっている。そこで、地震時に生じる柱の傾きの最大値（最大応答部材角）と柱に発生する損傷（損傷レベル）の関係が概ね把握されていることを利用して、RC ラーメン高架橋柱の損傷レベル検知システムを開発した（図一 9a）。具体的には、部材角測定装置により得られたデータを、地震発生直後に Zig-Bee 無線により送受信機を中継しながら、土木技術センター等の基地局へ伝送するシステム、もしくは地震後の徒歩巡回等による随時検査において、RF-ID タグによりデータを回収するシステムである。最大応答部材角は、高架橋に設置された部材角測定装置（図一 9b）内の測定棒が傾くことにより計測位置に生じる最大変位を、線路方向と線路直角方向に配置したピークセンサ（図一 9c）により測定し、計測した変位と支点から計測位置までの長さから求めている（図一 9d）。この装置により、地震後早期に柱の損傷レベルの評価が可能にな

表一 3 開発中のシステムの概要⁷⁾

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)	FGB 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

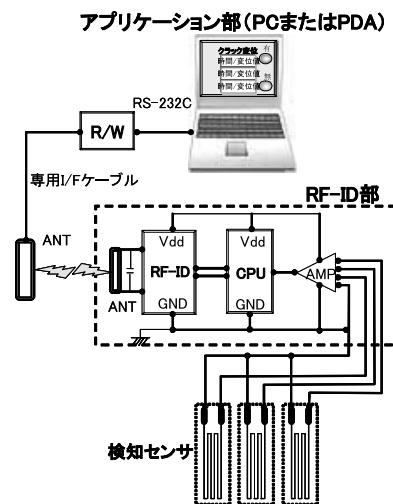


図一 9 RC ラーメン高架橋損傷レベル検知システム⁷⁾

り、被災後の復旧作業の効率化や、地震発生から列車運行再開までの時間短縮が図れる。

②地中部材の損傷自己検知システムの開発

地中にある構造物の基礎や地中梁の損傷を検知するシステムも開発している。このシステムは、損傷検知センサと RF-ID タグ、R/W (リーダライタ)、制御・データ収集用 PC (または PDA) により構成されている (図一 10)。RF-ID タグ部は、外部より電源供給を受けた際にひずみゲージの抵抗値を検出し、データを伝送する。パッシブ型のためセンサ部の電池交換等が不要で、RF-ID タグをコンクリートに埋設することが可能である。センサ部は、損傷を確実に検知するため 3 枚のひずみゲージで構成し、あらかじめ損傷が発生しやすい部位に貼り付けている。PC (または PDA) と R/W (リーダライタ) は地上で検査担当者が用いるもので、R/W から電磁誘導方式により RF-ID タグを起電させ、抵抗値の検出から収録までを制



図一 10 システムの基本構成⁷⁾

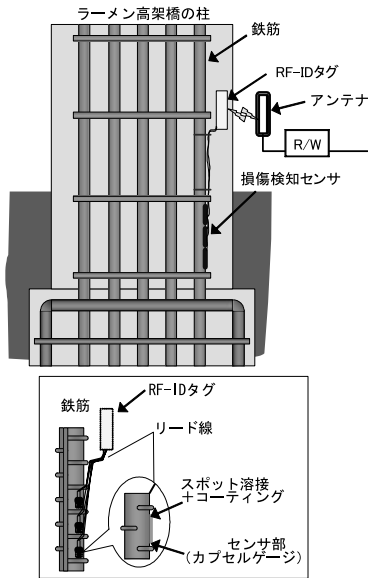


図-11 施工時の据付イメージ⁷⁾

御させる。図-11に据付イメージを示す。

(b) 常時モニタリングシステムの開発⁷⁾

①鋼橋のためのシステム⁷⁾

鋼橋の疲労亀裂の発生を予測するため、従来、電気式ひずみゲージによる応力測定で累積疲労を評価する。しかし、毎回足場等が必要であることから十数年に一度程度しか実施されず、少ない測定データで供用開始から将来までの疲労を推定しており、評価の精度が問題となっていた。現在開発中のシステムでは、FBG センサ（光ファイバセンサ）を半永久的に設置し、応力測定の頻度を増やすことで評価精度を向上できる。鉄道橋では列車荷重や列車の通過本数がある程度既知であり、1年に一度程度の測定を長期間続けることで十分な精度を確保できる（図-12）。現在、実橋梁にFBG センサを設置し、センサの適用性について検討を行っており、ひずみゲージと同等の測定精度が得られることを確認している（図-13）。また、得られた応力履歴から累積疲労を算出し、余寿命等を評価するソフトウェアの開発も進めている。

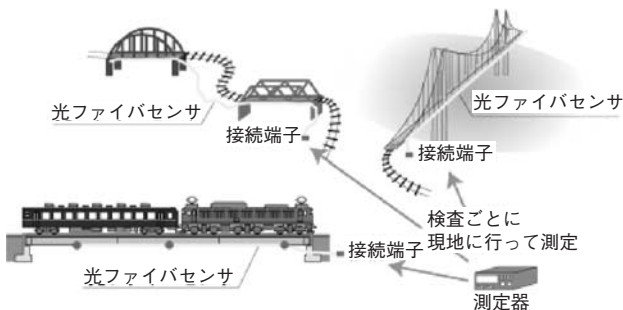


図-12 FBG センサシステムの運用方法⁷⁾

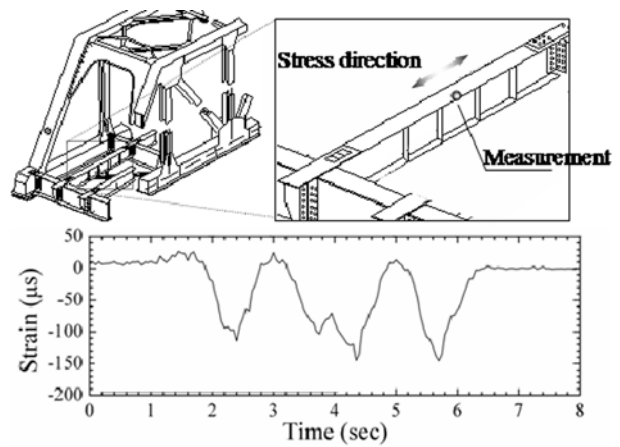
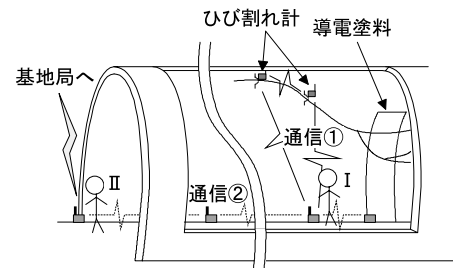


図-13 ひずみ履歴の比較⁷⁾

②トンネルのためのシステム⁷⁾

トンネルでは維持管理や近接施工の影響度合を把握するためにひび割れ計や内空変位計によりモニタリングが実施される場合がある。しかし、列車上空にある構造物であるため、計測器を多数設置する場合には配線が障害になる。また、施工時の費用、剥離等の安全性の問題も懸念されるため、無線通信（図-14）の適用性を検証している。現在、(1) トンネル坑内の小型計測器間の通信、(2) トンネル構内から坑口までの長距離通信、の2種類の無線システムを検討している。

現時点では、(1) に対応する無線計測器の作成、PC を利用したトンネル保守台帳とのリンクを中心として開発している⁹⁾。無線計測器は、 π 型変位計、ア



I : 検査員がトンネル脚部でデータ回収する場合
II : 検査員が坑口、駅でデータ回収する場合

図-14 無線システム概念図⁷⁾

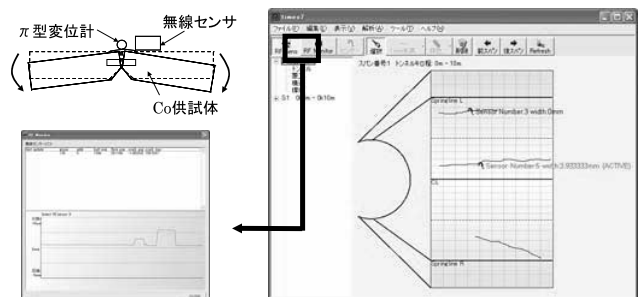
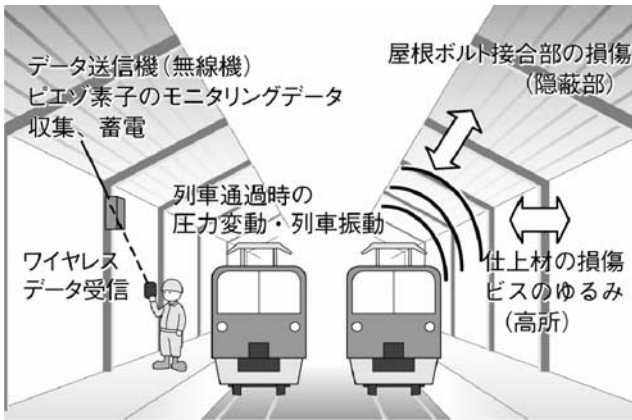
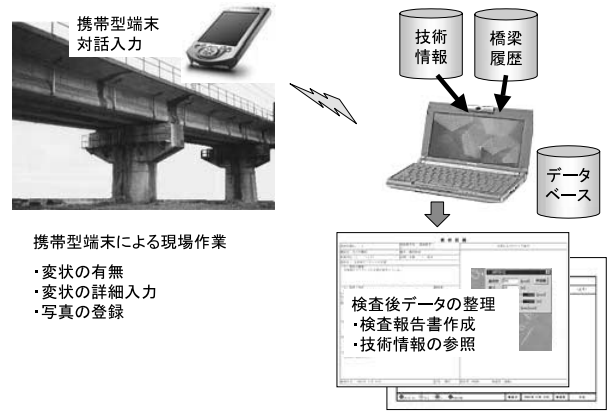


図-15 簡易供試体を使用した測定例⁷⁾



図一 16 鉄道建築仕上材モニタリングシステム⁷⁾



図一 17 目視検査支援システムの概念図⁶⁾

ンプ、アクティブ型 RF-ID タグを組み合わせたもので、鉄道トンネルでの適用性を確認中である。また、計測したデータをトンネル覆工の変状展開図上で可視化できるシステムを作成した(図一 15)。

③ 鉄道建築物のためのシステム⁷⁾

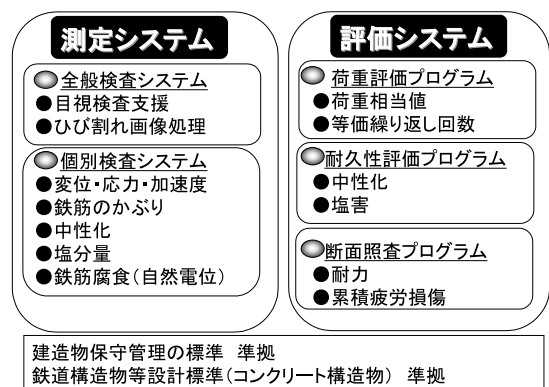
駅舎等の鉄道建築物は、風雨や列車通過時の圧力変動・列車振動により仕上材等で損傷や劣化が生じることがある。これを事前に検知するためには、仕上材の挙動を詳細に測定する必要がある。そこで、 piezoelectric elements をセンサとし、列車通過時の圧力変動や列車振動により生じる部材の変形・振動から、損傷に応じた部材の固有振動数やひずみの相対変化等を推定するコンパクトな損傷モニタリングシステムを開発している。このシステムでは、データ収集に特定小電力無線機を想定しており、測定データを不揮発性メモリ等に一度蓄積し、必要に応じてホーム上まで転送することでデータ通信に必要な電力消費を軽減している。また、piezoelectric elements が発生する電気エネルギーを補助電源として利用することで、電源の長寿命化を目指している(図一 16)。

(3) 健全度評価支援システム

鉄道構造物の検査および健全度診断には、多くの経験と労力および知識を必要とする。様々な研究成果から、鉄道構造物維持管理標準・同解説の解説や付属資料、各種マニュアル、手引き、事例集等に健全度評価をサポートする考え方、図表、事例が記載されている。これらに加え、具体的な業務を支援するシステムの開発も行われているので紹介する。

(a) 鋼橋・コンクリート構造物健全度診断支援システム(橋守)⁶⁾

このシステムは、鋼橋・コンクリート構造物の総合的な健全度診断システム(図一 17, 18)であり、測

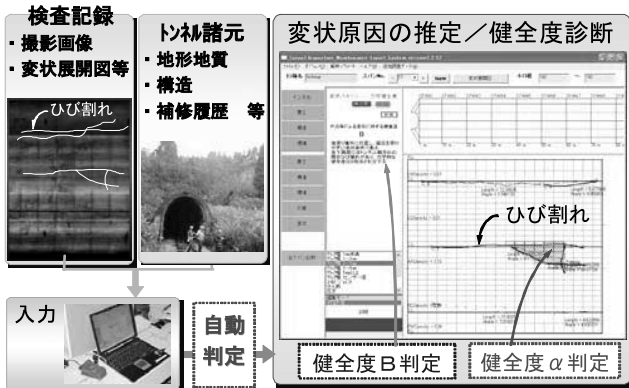


図一 18 全体システムの概要⁶⁾

定システム、評価システム、データベースより構成されている。全般検査の支援としては、目視検査支援システム、ひび割れ記録等の機能があり、携帯型端末を用いた検査の実施や、検査後の結果記録、報告書作成を支援する他、過去の検査履歴をリンクしたデータベースから呼び出すことができる。また併せて、維持管理標準の判定基準、過去の同種変状の事例、対策事例なども表示させることができる。個別検査については、鉄筋かぶり、中性化深さ、塩化物イオン量などを測定する機器、評価システムは、荷重相当値、等価繰返し回数等の荷重評価、中性化、塩害の変状予測、耐荷力の算定などによる構造物の健全度判定を行うプログラムから構成されている。特徴は、実橋測定から耐荷力、耐久性や走行性などの定量的診断を一貫して行うことができ、さらに算定結果も報告書の書式で出力される。

(b) トンネル健全度診断システム⁸⁾

鉄道総研では、古くからトンネル健全度診断の自動化の研究も進めてきた。このシステムは、撮影画像や電子化された変状展開図等の検査記録、およびトンネル諸元、地形地質、構造、補修履歴等の基本情報を入力することにより、自動的に変状を抽出し、変状の原

図一十九 トンネル健全度診断システム⁶⁾

因推定および健全度診断ができるシステムである（図一十九）。このシステムを用いることにより、全般検査の省力化が図れるだけでなく、変状現象を自動的に診断することにより、経験の少ない技術者でもより精度の良い分析が既存の検査データからできる。このシステムは、前述した打音検査装置や光ファイバーによるトンネル覆工常時監視システム等、最新の研究・開発している検査技術から得られたデータも盛り込んで判定できるように構築されている。このシステムは「Tunos」として、商品化されている。

(c) 構造物維持管理支援システム⁶⁾

鉄道総研は「鉄道構造物等維持管理標準」の制定に合わせて全国14の鉄道事業者（大手民鉄及び公営地下鉄）と共同で、鉄道構造物の検査業務を支援するシステムを開発した。開発にあたってのコンセプトは、①検査の効率的な実施をサポート、②検査結果のばらつきを抑制するシステム、③検査結果の保管および活用をサポートするシステム、の開発で、鉄道事業者と鉄道総研で同じシステムを使い維持管理のばらつきをなくし、また、共に維持管理に関する勉強を進め、ノウハウ等を共有すること、システム開発費・維持費を複数の鉄道事業者で按分し1社あたりの費用負担の軽減を図ることである。この考え方をもとに上記①についてはデータベース、事務所端末、現地端末のネットワーク化、②については健全度の判定補助機能の開発、③についてはデータベースシステムの構築を行った。

特に、健全度の判定補助機能は、現場において端末上で変状の位置、程度、規模などの情報を3×3の簡単なマトリックス（表一4）上で選択すると、目安の判定が自動表示される（図一20）もので、これを参考に検査員が判定を下す仕組みになっている。検査時の健全度判定の考え方を、データとして残したり、初任者の教育システムとして活用するといった利点もある。現在、各鉄道事業者で運用が始まると共に、運営

表一4 目安判定マトリックスの入力例⁶⁾

項目	大	中	小
規模	幅3mm以上	幅1～3mm	幅0.5～1mm
分布	閉合	平行 or 交差	単独
漏水	連続的に流下	滴下 or 滲み	漏水なし

図一二十 目安判定マトリックスの入力画面⁶⁾

協議会を立上げ、システムの改良の検討や維持管理手法の勉強・情報交換の場として利用している。また、14事業者以外の鉄道事業者にも参加を広く呼びかけており、協議会会員は現在20社を超えている。

4. おわりに

鉄道構造物について、メンテナンス対象構造物量の増加、労働力・技術者の不足、技術力の低下、技術継承の困難さ等の現在の問題点の解決を目指し、鉄道総研や各鉄道事業者で取り組まれてきた、検査、モニタリング、健全度評価技術に関する研究開発について述べてきた。これらを要約すると、より少ない人員で、経験の少ない技術者でも、確実にバラツキのない維持管理を、経済的に行えるようなシステムを、実現象に対する地道な分析・研究をもとに、IT等の先端技術を活用して構築していくことが、当面の課題と考えられる。

また、機器や書物によるサポートだけでなく、維持管理に従事する技術者の技術力の維持向上、人員の確保を図っていくことも必要であり、ハード面のみならずソフト面でのシステム化も必要と考えられる。具体的には、

- ①現場の技術者と研究者あるいは若手技術者とベテラン技術者が意見交換をし、一緒に勉強できるシステムの構築
- ②ITを応用した自動判定システム等を用いた教育システムの構築
- ③維持管理に関する資格制度の充実

等である。

最後に、今後は、ハードとソフト両面での研究開発を進め、安全で信頼される構造物の維持に寄与したいと考えている。



《参考文献》

- 1) 市川篤司：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（維持管理標準），平成 18 年度 鉄道総研 鉄道技術推進センター講演会「維持管理標準の概要と土木構造物・軌道のメンテナンス実務」テキスト，2006.
- 2) 片寄紀雄：最近の災害と対策，JREA，日本鉄道技術協会，Vol.29，No.9，pp8-12，1986.
- 3) 市川篤司：鉄道構造物の新しい維持管理体系，鉄道総研報告，Vol.19，No.12，pp1-5，2005.
- 4) 国土交通省鉄道局監修，(財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編），丸善，2007.
- 5) 杉館政雄，後藤貴士，阿倍允：疲労き裂センサーの鋼橋への適用に関

する検討，RRR，鉄道総研，Vol.57，No.6，pp8-11，2000.

- 6) 鉄道総研：鉄道事業者等に利用されている鉄道総研の成果，鉄道総研，2007.
- 7) 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：鉄道構造物におけるヘルスマニタリングシステムの開発，検査技術，2007. 9 月出版予定
- 8) 津野究，小島芳之，栗林健一，蒲池秀矢：トンネル健全度診断システムの開発，平成 16 年度土木学会全国大会 第 59 回年次学術講演会概要集，6-086，2004.

[筆者紹介]

小西 真治（こにし しんじ）
財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部
部長



建設の施工企画 2005 年バックナンバー

平成 17 年 1 月号（第 659 号）～平成 17 年 12 月号（第 670 号）

1 月号（第 659 号）

建設未来特集

6 月号（第 664 号）

建設施工の環境対策特集

10 月号（第 668 号）

海外の建設施工特集

2 月号（第 660 号）

建設ロボットと IT 技術特集

7 月号（第 665 号）

建設施工の環境対策—大気環境特集

11 月号（第 669 号）

トンネル・シールド特集

3 月号（第 661 号）

建設機械施工の安全対策特集

8 月号（第 666 号）

解体・再生工法特集

12 月号（第 670 号）

特殊条件下での建設施工機械特集

4 月号（第 662 号）

建設機械施工の安全対策特集

9 月号（第 667 号）

専門工事業・リースレンタル特集

■体裁 A4 判

■定価 各 1 部 840 円
(本体 800 円)

5 月号（第 663 号）

災害復旧・防災対策特集

■送料 100 円

社団法人 日本建設機械化協会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>