

第5章 道路・橋梁維持管理に必要となる測定機材

5-1 測定機材調査のまとめ

(1) 日本国内および先進国

舗装、橋梁ともに、維持管理のための測定機材は数多く開発、導入されており、そのことがアセットマネジメントにおけるデータコレクションを促進した要因の一つと言えよう。

舗装では、道路を走行しながら路面の状態に関する指標を自動的に計測することができる路面性状測定車が一般的に普及し、ネットワークレベルにおいて路面の状態を把握し、その結果、補修が必要な箇所等についてより詳細な調査を行う際に FWD 試験を実施するといった階層的な測定機材の利用方法が定着している。

一方、橋梁の場合、舗装と異なり、橋梁が位置する定点での点検が主であり、目視調査を基本として、その結果から詳細調査が必要な場合に、非破壊検査試験等が実施されている。

舗装と橋梁の大きな違いは、舗装はネットワークを形成する施設であり、路面性状調査が道路上を走行しながらセンサー等を利用して路面の状態をモニタリングする手法をとっていることから、**計測位置の特定、精度の確保**が重要な課題と言える。路面性状測定作業自体が、精密測量であり、熟練の技術が必要となる。

一方、橋梁点検では、数多くの橋梁を対象とした一斉点検を行うことから膨大な作業量となり、**目視点検の効率化・高精度化**が最大の課題となる。そのため、非破壊検査技術等、最新の計測機器を用いた定量的な評価方法が採用されるが、必ずしも測定機材を用いることで精度が確保されるわけではなく、目視検査と測定機材を用いた検査の融合によって合理的な点検が実施されている。

舗装の維持管理のための測定機材は、路面性状調査や FWD 調査等、測定機材が大掛かりでオペレーションに専門技術を必要としていることから、測定機材を民間会社が保有し調査業務をアウトソーシングするケースが主流である。路面性状測定車や FWD 試験機等を提供する企業はある程度限られており、各々の企業が専門特化した機材を開発している。

一方、橋梁の場合、橋梁点検車等の大掛かりな測定機材は民間会社が保有する場合や、必要なときにレンタルすることができる仕組みが整っている。非破壊検査試験のなかでも比較的オペレーションが容易なものも多く存在しており、舗装に比べて汎用性が高い。橋梁の測定機材を提供する企業は数多く存在しており、調達可能な測定機材の数や種類も多い。

(2) 中進国

中進国では、概ね先進国と同様に、路面性状測定車や FWD 試験機、橋梁点検車等が既に調査点検業務で利用されている。

舗装維持管理のための測定機材は、民間会社から購入し道路管理者自ら運用しているケースや、民間会社へ調査業務をアウトソーシングするケース等、様々である。海外の民間会社から測定機材を導入するケースがほとんどであり、対象国に機材を提供する会社のオフィスあるいは代理店等の有無、あるいは測定機材をオペレーションすることができる国内の民間会社の有無によって、状況が異なると考えられる。

さらには、舗装の測定機材は、導入後のサポート、メンテナンスの重要性が高く、その対応を国内で十分に実施できるか否かの問題が大きい。特に路面性状調査は精密機器を搭載した複合システムであり、ほとんどがオーダーメイドシステムであることから、メンテナンスにも専門技術者が必要となる場合が多い。そのため、測定機材を海外から導入した場合、サポートの即時性等が課題となる。その課題については、タイの DRR では、海外から機材を導入した場合のサポート・メンテナンスの問題を指摘しており、国内で独自に路面性状測定車を開発する取り組みを行っている。

橋梁点検のための測定機材は、マレーシアやチリ、タイの高速道路管理（EXAT）で非破壊検査を取り入れているものの、目視点検が主流である。橋梁点検車を導入している国もあるが、全国で 1 台（チリ）の導入で充分であるとの意見であった。アセットマネジメントの重要性は、各々の国で異なるものの、全体的に橋梁より舗装の重要性が高いことが伺えることから、測定機材の導入状況についても、同様の傾向が表れているものと考えられることができる。

その他、過積載車両をモニタリングするシステムを導入している国が存在する（チリ・タイ）。道路・橋梁を維持管理するうえで、過積載車両の問題が顕著化している背景があり、制度面の対策と併せてシステム導入による効果が期待される。

(3) 開発途上国

開発途上国では、舗装、橋梁の維持管理のための測定機材の導入事例は少ないものの、維持管理を重点課題としている国でのプロジェクトでは、導入へのニーズが挙がっている。先進国や ODA 準卒業国の状況を踏まえ、今後、開発途上国へ測定機材を導入する際に考慮すべき事項を以下に整理する。

1) 求められるデータの精度と機材のスペック

調達可能な測定機材の種類は様々であり、そのスペックに応じて機材の価格、オペレーションの難しさ等が関連する。特に、測定データの精度と機材のコストはトレードオフの関係にあり、当該国で求められる測定データの精度と機材のスペックの関係を明らかにすることが重要である。

ただし、開発途上国であっても、ハイスペックな機材が必要となるケースもある。将来的な道路計画・維持管理方針を踏まえたデータの必要精度と機材を検討する必要がある。

例えば、現時点では交通量がそれほど多くなくとも、経済発展とともに、急激な交通量の増加が想定される道路においては、経済発展による交通量の増大が道路の損傷に与える影響を継続的にモニタリングすることが重要である。そのような道路では、想定される劣化指標をモニタリング可能な測定機材を導入することが望ましい。

2) 運用コスト

数多くの測定機材のなかから最適なものを選択して導入する場合、機材の導入コストを考慮すべきであることは言うまでもない。しかし、初期導入コスト（機材コスト）だけでなく、実際のオペレーションで必要となるランニングコストや影響を考慮した機材の選定が必要である。

例えば、舗装の測定機材では、走行しながらデータを取得できる測定車（Dynamic）と定点観測する機材（Static）があり、一般的には測定車の機材コストは高価である。しかし、作業効率性を考慮した場合、定点観測用の機材は、測定に時間を必要とし、さらには交通規制等が必要となるケースもある。道路・橋梁の維持管理業務は、機材を導入した時点のみならず、その後の継続的なプロセス（維持管理サイクル）の運用が重要であることから、継続的に調査点検を実施するために最適な測定機材の導入を検討することが重要である。

3) 管理・サポート

一旦導入した測定機材は、継続的に使用されることとなる。そのため、プロジェクトが終了した後での、管理・サポートを十分に受けることができる体制の有無を確認する必要がある。特に、基本的には現地（現地の民間企業等）で管理、サポートが可能な機材の導入が望ましい。

さらには、舗装・橋梁の維持管理のための測定機材の技術は日々進歩しており、常に新しい技術を取り入れることが可能である。そのため、機材のバージョンアップへの適応性を考慮することも重要である。

4) 現地の道路状況への適用性

舗装や橋梁の損傷の発生状況は、当該国によって著しく異なるケースが考えられる。さらには、調査点検を実施する現場の地形、環境条件等も異なる。先進国での前例に従った測定装置を搭載した機材を導入したとしても、現地特有の損傷を把握できない場合も考えられる。

現地の道路状況への適用性を考慮した機材の導入、導入時及び導入後のカスタマイゼーションの可能性について考慮することが重要である。

5) 測定機材のキャリブレーションと精度管理

同様に、測定機材を現地に導入したあと、現地の測定値の精度検証のためのキャリブレーションが必要となる。

また、精度管理のための定期的な検査（性能確認試験）の実施、及びその検査を確実に実施するための体制、仕組みづくりが必要である。

6) 現地での測定機材艀装の可否

特に大型の機材（路面性状測定車等）を完成された状態で当該国へ持ち込むことが困難な場合、現地のエンジニアとの共同作業によって、測定機材を艀装することの可能性について事前に確認することが必要である。現地で現地のエンジニアとの共同作業により測定機材をセットアップすることで、機材の管理、メンテナンスの技術移転に繋がる可能性がある。

7) ベーシックトレーニングの必要性

測定機材の導入と同時に機材の使用方法、運用・管理の方法についてのベーシックトレーニングの必要性を確認する。トレーニングの期間、技術移転の対象機関について事前に確認・調整のうえ、導入機材の選定、導入方法、導入後の運用方法等を確認する。

5-2 測定機材一覧（舗装）

表 5-1 に、舗装の維持管理に必要なとなる代表的な測定機材を示す。

<調査項目>

構造評価と路面評価に分類し、さらに路面評価は調査の対象となる項目（指標）別に記載している。

<測定機材>

各々の調査項目に対応する測定機材の種類を示す。

<概要>

各測定機材を用いた調査の概要を示す。

<確認できる指標>

各測定機材によって確認できる指標を示す。

<測定精度>

定量的に示すことができる精度については、各々の指標について記載している。その他、測定精度に関する定性的な評価を加えている。

<市場性/適用範囲>

各々の測定機材の導入が考えられる道路及び道路管理の考え方について記載している。

<測定機材のコスト>

各々の測定機材を導入する場合に必要なコストについて、定性的または相対的に評価している。

表 5-1 舗装の維持管理に必要な代表的な測定機材一覧

| 調査項目 | | 測定機材 | 概要 | 確認できる指標 | 測定精度 | 市場性/適用範囲 | 測定機材のコスト | 導入国の例 |
|------------------|--------------------------|----------------------------|--|--|---|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 構造評価 | 支持力 | ①FWD <Static> |  衝撃荷重（250～300kgの重鎮）によりたわみ量を測定し舗装各層の支持力を評価 | 計測したたわみ量から舗装内部の構造健全度（支持力）を判定 | — | 通常のアスファルト・コンクリート舗装での構造評価で一般的に用いられる | 高価 | ・先進国、中進国 ・一部の途上国 |
| | | ②小型 FWD <Static> |  衝撃荷重（30kg程度の重鎮）によりたわみ量を測定し支持力を評価 | 主に、路床・路盤等の支持力の評価 | — | 未舗装道路、薄層舗装（簡易舗装）の構造評価方法として用いられる | ①に比べ安価 | ・先進国、中進国 ・途上国（未舗装道路） |
| | | ③ベンケルマンビーム <Static> |  固定台に取り付けられたビームの一端をタイヤの間に置き、ダイヤルゲージにより輪荷重によるたわみ量を計測 | 舗装の支持力 | FWDに比べ、測定精度のばらつきが大きい | FWDに比べコンパクトであり汎用性は高い | FWDに比べ安価 | ・途上国 |
| 路面評価 | ひび割れ・わだち掘れ・ラフネス（IRI）・平坦性 | ③路面性状測定車（高精度） <Dynamic> |  路面性状（ひび割れ・わだち掘れ・IRI・平坦性等）を通常の速度で走行しながら、位置情報と同時に取得する測定システム | ひび割れ、わだち掘れ量、IRI、平坦性等 ※車両に搭載する計測機器に依存する。搭載機器の組み合わせ（カスタマイズ）可能 | 性能確認試験合格レベル ひび割れ：幅1mm以上識別 わだち掘れ：実測比±3mm以内 ラフネス：実測比±30%以内 | 高速道路等、高い水準での管理が要求される道路に適用 | 高価 ※車載機材（センサー等）の数、スペックに依存 | ・先進国（日本の高速道路、直轄国道） ・中進国 |
| | | ④路面性状測定車 <Dynamic> |  ③に準ずる精度 | その他、国道などの幹線道路（高速道路に準ずる管理レベル）に適用 | ③に比べやや安価 ※車載機材（センサー等）の数、スペックに依存 | ・先進国（主に日本の自治体管理道路） ・中進国 ・ベトナム等 | | |
| | ラフネス（IRI） | ⑤ラフネス計測車（高精度） <Dynamic> |  通常速度で走行しながら、ラフネス（IRI）を算出するためのデータを取得 | ラフネス（IRI） 縦断プロファイルを測定し、QCシミュレーションによりIRIを算出 | Class2相当 最新の測定装置を用いた場合、高精度 | IRIのみを路面の評価指標とする一般的な道路の路面評価に適用 | 路面性状測定車より安価（IRIに特化） | ・先進国、中進国 |
| | | ⑥ラフネス計測車 <Dynamic> | ラフネス（IRI） ラフネス指数を測定し、相関式によりIRIへ変換等 | Class3相当 使用する測定機械に依存する（相対評価） | 主に未舗装道路等、管理水準が粗い舗装路面の現状把握に適用 | ⑤に比べ安価 | ・途上国（ウガンダ等） | |
| | 道路画像（ひび割れ） | ⑦計測車 <Dynamic> |  一般車にカメラを搭載し車体前方の映像を走行しながら撮影 | 道路の前方映像、映像から目視判断するひび割れの状況 | 例えば、幅10mm程度以上搭載するカメラの性能、測定環境（視界）等に依存する | 主に交通量が少ない道路（生活道路等）に適用 | 路面性状測定車、ラフネス計測車に比べ安価 | ・先進国、中進国（簡易調査として） |
| | 路面の粗さ（texture） | ⑧レーザープロファイラ <Dynamic> |  レーザセンサを搭載した路面凹凸測定装置 | きめ深さ | 精度は測定器のキャリブレーションに依存 | 高速道路等、安全性の確保が重要な道路で適用 | — | ・先進国、中進国 |
| | すべり抵抗値 | ⑨すべり測定車 <Dynamic> |  走行しながら、路面を湿潤状態に再現し、専用の測定輪によってすべり抵抗値を測定する。 | すべり抵抗値 | 実際に走行状態を再現した計測が可能 | 高速道路等、安全性の確保が重要な道路で適用 | 高価 測定が大掛かりとなる | ・先進国、中進国 |
| | | ⑩DFテスト・BPNテスト <Static> |  測定箇所機材を設置し、直接路面へ接触させることによりすべり抵抗値を測定する。 | 測定箇所機材を設置し、直接路面へ接触させることによりすべり抵抗値を測定する。 | 簡便な方法 | ⑨に比べ安価（コンパクト） | ・先進国、中進国 | |
| | 透水量 | ⑪透水試験機 <Static> |  高い空隙率を有する舗装面の任意の箇所水で水を浸透させる時間を計測する。 | 評価対象区間の浸透水量 | — | 排水性舗装等、環境に配慮した道路で適用 | — | ・先進国 |
| | 騒音値 | ⑫舗装路面騒音測定車 <Dynamic> |  特殊タイヤ音と接触音を近接するマイクロフォンで、タイヤ/路面騒音を測定する | 騒音値 タイヤと路面との接触音 | — | 騒音対策による環境面に配慮した道路で適用 | 高価 測定が大掛かりとなる | ・先進国 |
| ⑬騒音計 <Static> | | — | 道路端または車道端に騒音計を設定して自動車のエンジン音等に起因する騒音を計測 | 騒音値（環境騒音） | — | ⑫に比べ安価（コンパクト） | ・先進国 | |

5-3 測定機材一覧（橋梁）

表 5-2 に、橋梁の維持管理に必要となる代表的な測定機材を示す。

<点検の方法>

橋梁点検の方法として、「目視点検」、「点検機材使用」、「非破壊検査」、「画像処理」に大別している。

<点検項目（損傷・計測の対象）>

橋梁点検の項目となる橋梁部材及び損傷の種類にて分類している。

<測定機材/検査方法>

各々の点検項目別に、橋梁点検に用いる測定機材及び検査方法を記載している。特に非破壊検査は、試験の名称を記載している。

<概要>

各測定機材を用いた点検・計測の概要を示す。

<測定精度>

各々の測定機材や試験、点検の方法について、定性的な測定精度または測定制度に影響を及ぼす因子等について記載している。

<市場性/適用範囲>

各々の測定機材の導入にあたっての考察、市場での導入実績、適用範囲等について記載している。

<測定機材のコスト>

各々の測定機材を導入する場合に必要なコストについて、定性的または相対的に評価している。また、一般的に販売されている機材について、概算の機材コストを記載している。

表 5-2 橋梁の維持管理に必要となる代表的な測定機材一覧

| 点検方法 | 点検項目 (損傷・計測の対象) | | 測定機材/検査方法 | 概要 | 測定精度 | 市場性/適用範囲 | 測定機材のコスト | 導入国の例 | |
|--------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|----|
| 目視点検 | 全般 | | ①橋梁点検車・高所作業車・リフト車 |  足場(架設)を組めない場所(河川上、海上)や立ち入りが必要な場所での橋梁へのアクセス | — | 点検箇所へのアクセスが困難な場所での適用 | 高価・大掛かり | ・先進国 ・一部の中進国 ・フィリピン等 | |
| | | | ②簡易橋梁点検機 (カメラ) |  橋面上からカメラを遠隔操作による近接目視にて損傷を把握する | カメラの精度に依存 | ①の利用でもアクセスが困難場所にも適用 | ①より安価 | ・先進国 (日本) | |
| | | | ③携帯情報端末システム(タブレット PC 等) |  点検結果を現場でタブレット PC 等の端末を用いて入力 | — | 点検の効率化に活用 | システム開発費やライセンス費が必要 | — | |
| 点検機材使用 | ひずみ | | ④ひずみゲージ |  橋梁部材に設置してひずみを計測 (局所型センサ) | 高精度 | 適用・応用範囲は広い | 安価 | ・先進国 ・中進国 (チリ、マレーシア等) | |
| | ひびわれ | | ⑤ひびわれ幅測定器 | コンクリート等のクラック幅を測定 | 人的誤差を解消 | 一般的な材料への適用性は高い | 安価 | | |
| | 振動 | | ⑥加速度センサ | 橋脚等に設置し振動を測定 | — | 橋梁ヘルモニタリングシステムのセンサとして利用 | 機器そのものは安価 (モニタリングシステムに依存) | | |
| | 変位 | | ⑦変位計 | 橋梁の変位を測定 | | | | | |
| | 傾斜 | | ⑧傾斜計 | 橋梁の傾斜を測定 | | | | | |
| 非破壊検査 | 鋼 | 腐食 | ⑨超音波板厚計による板厚計測 |  超音波により部材の厚さを測定 (内部欠陥検出) | 塗膜が厚いと精度が悪い | 測定が容易 使用実績多数 | 安価 (機材 5 万~20 万円) | ・先進国 ・中進国 (チリ、マレーシア等) | |
| | | 亀裂 | ⑩過流探傷試験 (ET) |  測定物に電流を与え表面及び表層部の欠陥を判別 (表面欠陥検出) | 欠陥以外の材料的因子の影響を受ける 測定に熟練を要する | 形状が単純なものでないと適用しにくい | (機材 50~150 万円) | | |
| | | | ⑪磁粉探傷試験 (MT) |  磁化した材料に磁粉又は検査液をかけ部材表面又は表面付近の亀裂を検出 (表面欠陥検出) | 測定方法が容易 亀裂深さ検出は不可能 | 鉄鋼材料等の磁性材料のみに適用 | (機材 10~20 万円) | | |
| | | | ⑫浸透探傷試験 (PT) |  表面の欠陥を、毛管現象及び知覚現象により拡大し検出 (表面欠陥検出) | 表面の亀裂のみ検出 | 材料に関する制約がない | 浸透探傷剤等の消耗品 | | |
| | | | ⑬超音波探傷試験 (UT) | 表面の欠陥を、毛管現象及び知覚現象により拡大し検出 (表面欠陥検出) | 表面の亀裂のみ検出 | 材料に関する制約がない | 浸透探傷剤等の消耗品 | | |
| | | ゆるみ・脱落 | ⑭超音波探傷試験 (UT) |  入射された超音波が欠陥部から反射され検出 (内部欠陥検出) | 測定に熟練を要する 塗膜が厚いと精度が悪い | 使用実績が豊富 持ち運びが容易 | (機材 50~150 万円) | | |
| | 防食機能の劣化 | ⑮膜厚測定 | 超音波により共振を起こして膜厚を測定 | — | 使用実績が豊富 測定が容易 | 安価 | | | |
| | コンクリート | コンクリート厚さ、圧縮強度の測定及び内部欠陥の有無、ひびわれ深さ・剥離 | ⑯衝撃弾性波試験 |  コンクリートを打撃し弾性波をセンサ観測しコンクリート表面、内部の状況を把握 | — | — | — | | — |
| | | 漏水・遊離石灰、コンクリート補強材の損傷、うき | ⑰赤外線法 (赤外線サーモグラフィカメラ) | 異常部の表面温度の違いにより欠陥位置を推定 | 温度計測の時間帯の設定に注意が必要 | 測定が容易 判別が容易 | (機材 10~100 万円) | | |
| | | 圧縮強度 | ⑱シュミットハンマー | コンクリートに打撃を与え、返ってきた衝撃により強度を推定 | 比較的やや低い | 機器が軽量であり、測定が簡便・容易 予備調査等に適用 | (機材 10~50 万円) | | |
| | | 鉄筋の位置・深さ | ⑲鉄筋探査器 (RC レーダ等) | 鉄筋のかぶり厚、配筋を非破壊で探査 | 隣接した埋設物の判断が困難な場合あり | 小型軽量で作業性・携帯性に優れている | (機材 150~200 万円) | | |
| | 画像処理 | ひびわれ | ⑳カメラ/画像処理システム | — | 画像処理によりひび割れを自動検出 | 評価にばらつきが生じる場合あり | 目視点検の省力化に有効的 | | 不明 |

5-4 日本国内および先進国における測定機材の調査【舗装】

(1) 舗装調査の技術

道路舗装の調査は、舗装（路面、構造体）の損傷状態を把握するための実施されるものであり、調査結果にもとづき補修箇所の抽出や補修方法等を判断するほか、ネットワークレベルにおける管理状態を把握するために行われる。

調査の方法は、道路パトロール時に目視によって実施する方法のほか、路面性状測定車等の計測機器を用いて損傷値を解析し抽出する方法がある。

測定機材を用いて調査する場面の違いによって、以下のように整理することができる。

・ネットワークレベル

管理対象道路全体を対象として、路面性状測定車等の計測機器を用いて一斉調査を行い、舗装の状態を定量的に把握する。

【代表的な指標】 わだち掘れ、ラフネス、ひび割れ 等

・プロジェクトレベル

ネットワークレベルの調査や日常パトロール等の目視調査結果を受けて、損傷がある一定上進行している個別の箇所について、より詳細な調査により状態を把握する。

【代表的な指標】 FWD 等によるたわみ量 等

舗装の評価方法は、舗装の各層の支持力を調査する構造評価と、路面の状態を把握する路面評価に分類することができる。

(2) 構造評価のための測定機材

道路舗装の維持管理では、路面の状態だけでなく路面下の舗装構造の評価が補修等の意思決定において重要となる。舗装構造の評価には、非破壊試験によるものと、開削調査によって各層の支持力を評価する方法が存在する。

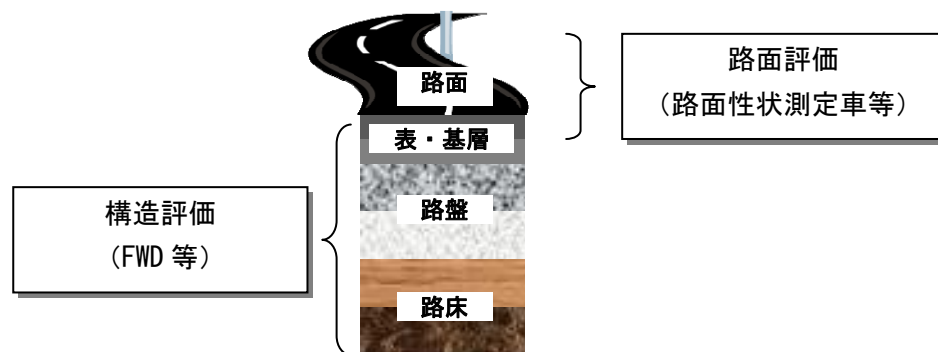


図 5-1 舗装の構造と調査

舗装の構造評価に用いる代表的な測定機材の一覧を示す。

(操作性)

平板載荷試験機等を用いる開掘調査では、舗装を一旦掘削し、調査や試料採取等を行った後、路面を現況復旧する工事が必要となる。そのため、調査員のほか、掘削や復旧のための工事作業員や施工のための建設機材が別途必要となる。また、現場から採取した試料の室内試験が必要となり、データ解析が煩雑で専門的知識を必要とする。

FWD(falling weight deflectometer)を用いたたわみ量調査は、従来の方法と比較して、測定時間が短く、簡便な操作によって開掘調査やベンケルマンビームと同等の成果を得ることができる。FWD の測定からデータ解析まで、コンピュータ制御によって行われるため、迅速かつ安全な現場作業を行うことができる。また、現場作業が簡潔で短時間であることから、交通規制の時間を短時間に最小限に留めることができる。しかし、FWD 調査によって得られた調査データについて十分な理解をしたうえで利用することが重要である。

(測定精度)

開掘調査では、舗装構造の状態を部分的にかつ詳細に調査することに優れている。舗装構成の損傷状態、路床面や路盤面の支持力等を直接測定することが可能である。

一方、FWD を用いた非破壊検査の計測データは、開掘調査と同等以上の成果を得ることができるとされている。しかし、FWD 調査は、計測されたデータを用いて舗装各層や路床の弾性係数や舗装全体の健全度を推定するものであることから、測定時の条件や得られたデータの意味や利用方法等について、十分な知識が必要となることに注意が必要である。

(機材及び調査に必要なコスト)

測定機材そのものの導入コストの比較では、FWD 試験機は牽引する車両を含め大掛かりであり、機材コストは高価である。一方、ベンケルマンビームや平板載荷試験機等の従来から用いられている試験機はコンパクトで安価に購入することが可能である。

しかし、各々の測定機材の運用面において、現場作業にかかる時間、交通規制の時間、付帯工事の必要性等によって、調査に必要なコストが異なる。機材単体のコストのみならず、その後の運用面を考慮した導入コストの算定が必要となる。

表 5-3 舗装の構造評価のための測定機材一覧

| 主な測定機材 | 用途 | 特徴 |
|--|---|---|
| <p>1) FWD (falling weight deflectometer)</p>  | <ul style="list-style-type: none"> 舗装区間の構造的な状況の把握 舗装の損傷箇所の補修工法の選択 補修後の構造的な回復具合の確認 | <ul style="list-style-type: none"> 衝撃加重によるたわみ測定 表層で各層の構造を非破壊で評価が可能 現地での計測が短時間で完了する（交通規制時間短縮） コンピュータ制御による測定とデータ解析であり、測定作業が簡便である FWD によって得られるデータの理解に専門性が必要 センサ等の精度確保のための統一的な検定が必要 装置が大きく高価である（約 3,000～6,000 千万円） |
| <p>2) 小型 FWD</p>  | <ul style="list-style-type: none"> 盛土・切土・路床・路盤等の自然及び人工地盤の剛性を短時間に非破壊で測定・評価 比較的、薄い舗装（簡易舗装等）の構造評価（各層の弾性係数、剛性の推定） | <ul style="list-style-type: none"> 人力またはキャリアで持ち運びが可能 FWD と比較して安価（約 200～500 万円） |
| <p>3) ベンケルマンビーム</p>  <p style="text-align: center;">WSDOT Pavement Guide</p> | <ul style="list-style-type: none"> 舗装区間の構造的な状況の把握（FWD 導入以前の代表的な機材） | <ul style="list-style-type: none"> 静的荷重および移動荷重によるたわみ測定 機材の導入コストは FWD に比べて安価 現地での測定に時間を要する 荷重、載荷速度の大きさにばらつきが大きい（計測データの信頼性に課題） |
| <p>4) 平板載荷試験機</p>  | <ul style="list-style-type: none"> 路盤や路床の構造的な状況の把握 | <ul style="list-style-type: none"> 静的荷重および移動荷重によるたわみ測定 路盤や路床面で調査する。 部分的かつ詳細に調査する場合に用いる 舗装の掘削、現況復旧を必要とする 膨大な労力とコストを要する |

1) FWD によるたわみ量測定

①概要

FWD(Falling Weight Deflectometer)は、舗装に動的な衝撃荷重を作用させたときの応答たわみを計測し、そのたわみの値から舗装の構造を評価する装置である。構造的耐荷力を推定する方法として、ベンケルマンビームなどいくつかの測定機材が存在するが、作業効率性や測定精度の安定性等の観点から、昨今では、FWD による測定が世界的に一般的となっている。舗装の供用後、維持管理の場面において残存耐荷力を推定し最適は補修工法を選定する際に使われるほか、道路新設時の構造設計の妥当性検証等にも用いられる。

②FWD による構造評価の目的

FWD を用いた構造評価の目的は、①補修工法の決定、②異常箇所の見つけ、③道路全体の構造的な状態の把握、等が挙げられる。

①は、舗装構造の耐荷力によってどの程度までの補修（掘削深さ等）が必要かを判断する。また、補修後の舗装構造全体の回復水準を把握することもできる。

②は、補修の対象区間において、構造的劣化が区間内においてスポット的に著しく進行している箇所等を特定し、局所的な対応を検討する。

一方、③はネットワークレベルにおいて全体の舗装構造の損傷状態を把握し、構造的補修の必要量の把握、将来的な構造劣化の進行度に応じた将来予測等を分析するために用いられる。しかし、FWD 調査は、1 測点の計測時間は短くとも、調査区間において交通規制を必要とすることから、ネットワークレベルでの調査は容易ではない。

(NPO 法人 舗装診断研究会 Pavement Diagnosis Researchers Group : PDRG)

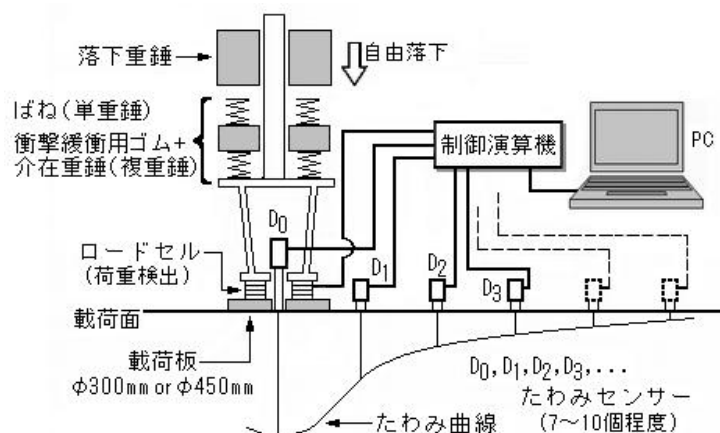


図 5-2 FWD の概念図

2) 小型 FWD

路床・路盤の支持力評価を行うことを主な目的とした、小型 FWD と呼ばれる測定機材が存在する。

小型 FWD は、盛土や切土、路床、路盤等の剛性を評価することに用いられるほか、比較的薄い舗装（簡易舗装等）の評価に用いられる。また、未舗装道路の地盤の状態を評価する際に用いられている。

小型 FWD 測定機材は、小型であり人力で持ち運びができる程度であり、操作性に優れている。

測定方法は、FWD と基本的には同じであるが、重錘は人の手で持ち上げられる程度の質量（30kg 未満）が一般的である。

小型 FWD の評価データの分析方法には、まだ研究段階のものも多く、評価方法の統一化が課題である。

(NPO 法人 舗装診断研究会 Pavement Diagnosis Researchers Group : PDRG)

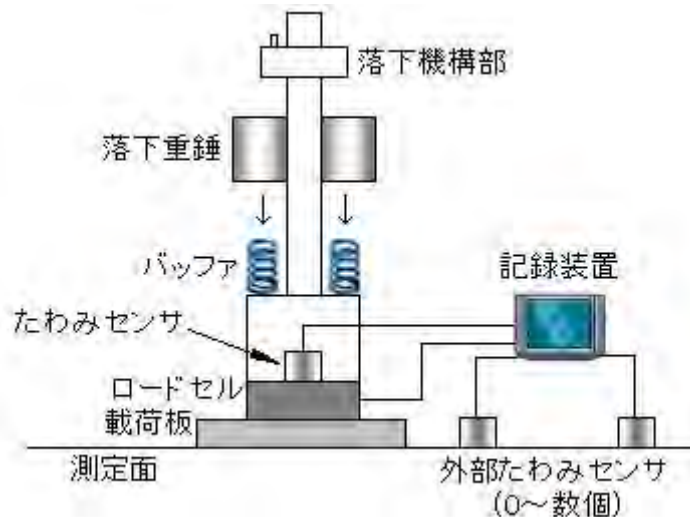


図 5-3 小型 FWD の概念図

(3) 路面評価のための測定機材

舗装路面の評価は、サービスレベル低下に伴う補修が必要な箇所の判断等に用いられる。舗装路面の損傷は様々な要因により発生し、その評価の対象となる損傷値も複数に及ぶ。

路面評価のための測定機材は、路面性状調査車等のように、道路上を走行しながらセンサー等を用いてデータを自動的に取得する方法が用いられる。路面性状を評価する計測機器の例を以下に示す。

表 5-4 路面評価のための測定機材例

| 路面性状 | 主な測定機材 |
|-----------------|---|
| わだち掘れ量 | <ul style="list-style-type: none">・ 横断プロフィルメーター・ 路面性状測定車 |
| ひび割れ | <ul style="list-style-type: none">・ 路面性状測定車 |
| 平坦性・IRI | <ul style="list-style-type: none">・ 横断プロフィルメーター・ 路面性状測定車 |
| すべり抵抗値 | <ul style="list-style-type: none">・ 測定車・ BPN テスタ (British Pendulum Number Tester)・ DF テスタ (Dynamic Friction Tester) |
| 路面の粗さ (Texture) | <ul style="list-style-type: none">・ MTM (Mini Texture Meter) |
| 透水量 | <ul style="list-style-type: none">・ 現場透水量試験機 |
| 騒音値 | <ul style="list-style-type: none">・ 舗装路面騒音測定車・ 騒音計 |

1) わだち掘れ量

舗装路面の磨耗、路盤の沈下、アスファルト混合物の流動等によって、車輪の走行位置に発生するわだち掘れ量を計測する。



図 5-4 わだち掘れの事例

①横断プロファイルメータによる計測

横断プロファイルメータは、主に舗装の供用直後の品質管理や試験舗装、あるいは維持管理の場面において個別区間の詳細なわだち掘れ量を計測する際に用いられる。車線の両端部を範囲として直線定規の上を移動させながら路面の横断形状を記録する。

横断プロファイルメータは、ある特定の箇所のわだち掘れ量を計測するための機材であり、ネットワークレベルにおける一斉調査には不向きである。



図 5-5 横断プロファイルメータによる測定

②路面性状測定車による計測

横断形状測定器を搭載した路面性状測定車を用いることで、高速かつ大量のわだち掘れ量のデータを一斉に取得することができる。いくつかの原理による測定装置が開発されているが、光を路面に投影して路面形状を計測する方式を採用している装置が多く、

昼夜を問わず計測することができる装置も存在している。



図 5-6 路面性状測定車によるわだち掘れ計測

③わだち掘れ量の解析

路面性状測定車を用いて計測したわだち掘れ量は、縦断方向に対して任意の測定間隔毎の横断形状を計測することができる。わだち掘れ量の評価区間は道路管理者によって様々であり、例えば日本の直轄国道では、100m を基本のロットとして、20m 間隔で解析したわだち掘れ量の値から、評価区間の平均値と最大値を出力する。

路面性状測定車を用いた計測の場合、あらかじめ設定した評価ロットやデータ取得間隔に応じて自動的にわだち掘れ量の値が解析されることが一般的である。測定車に搭載した計測機器のほか、解析を行うコンピュータシステムを同時に用いることが必要となる。

2) ひび割れ

路面に生じたひび割れの状況を把握し、その度合いを測定する。



図 5-7 ひび割れの事例

①路面性状測定車による計測

ひび割れの計測は、ひび割れ測定装置を搭載した路面性状測定車を用いて計測される。それ以外は、目視による計測（スケッチ法）となる。

路面性状測定車に搭載したひび割れ測定装置は、カメラにより舗装路面の連続的な画像を撮影する方法のほか、レーザー光線により計測する方法等が存在する。

ひび割れの測定装置も、昼夜の計測に対応した路面性状測定車があり、一度に大量のデータを取得することができる。

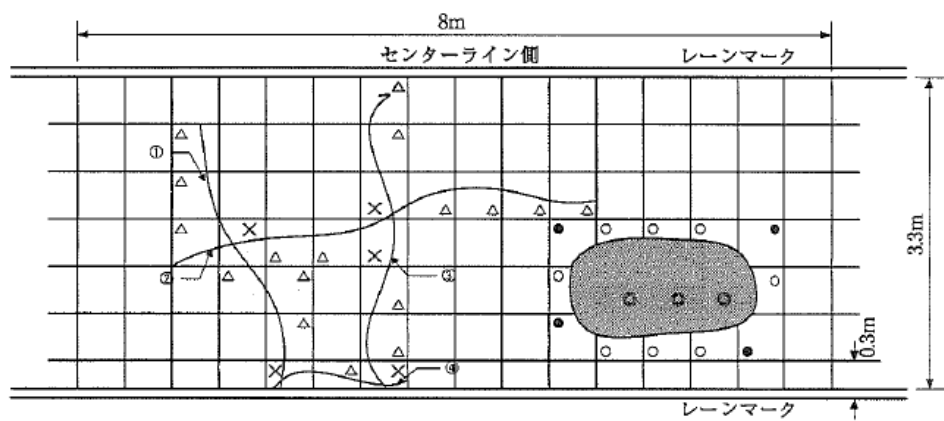


図 5-8 路面性状測定車によるひび割れ計測

②ひび割れの解析

路面に生じたひび割れの有無を解析するためには、路面性状測定車によって取得した画像等のデータを用いて、解析のためのコンピュータシステムを用いてパソコンの画面上からひび割れの有無を判読する作業を行うことが一般的である。撮影された路面の画像に、任意のサイズのマス目によって路面を分割し、ひび割れの有無や長さ等を目視によって判読する。判読は目視による作業となり、効率的な作業を行うための解析システムが必要となる。また、目視による判読作業を行うため、解析の精度を確保するためのチェックシステム等の導入が重要である。

(調査対象範囲：8m×3.3m、メッシュサイズ 0.5m 四方の例)



アスファルト舗装

ひび割れ面積

| | |
|-----------------|--|
| ひび割れ 2 本以上 (×印) | $0.25\text{m}^2 \times 3 \text{ ます} = 0.75\text{m}^2$ |
| ひび割れ 1 本 (△印) | $0.15\text{m}^2 \times 2 \text{ ます} = 0.30\text{m}^2$ |
| ひび割れ 1 本 (△印) | $0.15\text{m}^2 \times 16 \text{ ます} = 2.40\text{m}^2$ |
| | $0.09\text{m}^2 \times 1 \text{ ます} = 0.09\text{m}^2$ |

パッチング面積

| | |
|-----------------|--|
| 0%以上25%未満 (●印) | $0\text{m}^2 \times 4 \text{ ます} = 0\text{m}^2$ |
| 25%以上75%未満 (○印) | $0.125\text{m}^2 \times 8 \text{ ます} = 1.00\text{m}^2$ |
| 75%以上 (○印) | $0.25\text{m}^2 \times 3 \text{ ます} = 0.75\text{m}^2$ |
| ひび割れ率 | $= 5.29 / 26.4 \times 100 = 20.0\%$ |

図 5-9 ひび割れ解析の例(メッシュ法)

③道路画像を用いたひび割れ評価（簡便法）

車両の上部にカメラを搭載し、道路の前方映像を取得し、任意の舗装箇所のひび割れの発生状況やその他の損傷状況を把握する方法が存在する。

路面性状測定車を用いたひび割れ解析は、路面に垂直に投影した画像を用いるのに対して、前方映像を用いた評価では、判読可能なひび割れの精度には限界がある。



図 5-10 道路画像を用いたひび割れ評価の例

3) ラフネス (IRI : International Roughness Index)

IRI (国際ラフネス指数 : International Roughness Index) は、自動車の乗り心地に影響を与える路面の平坦性を示す指標であり、世界銀行により提案された。その定義は、「2軸4輪の車両の1輪だけを取り出した仮想車両モデル (クォーターカーモデル) を一定の速度で路面上を走行させたときの車が受ける上下方向の運動変位の累積値と走行距離の比 (mm/km または mm/m) を、その路面のラフネスとする」とされる。

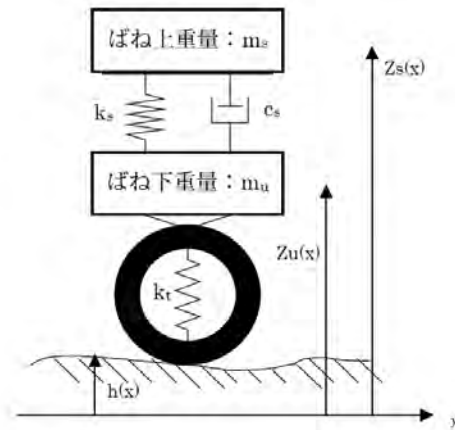


図 5-11 クォーターカー(QC)モデル

IRI の計測装置は、計測精度及び計測方法によって4つのクラスに分類される。Class 1 は、ランダム誤差を無視できる程度の高精度のものであり、真の IRI に限りなく近いものである。

表 5-5 路面の凹凸等の測定方法と IRI の算出方法

| クラス | 路面凹凸等の測定方法 | IRI の算出方法 |
|---------|-----------------------------|--|
| Class 1 | 水準測量 | 間隔 250mm 以下の水準測量で縦断プロファイルを算出し、QC シミュレーションにより IRI を算出する。 |
| Class 2 | 任意の縦断プロファイル測定装置 | 任意の縦断プロファイル測定装置で縦断プロファイルを測定し、QC シミュレーションにより IRI を算出する。 |
| Class 3 | RTRRMS (レスポンス型道路ラフネス測定システム) | RTRRMS (レスポンス型道路ラフネス測定システム) で任意尺度のラフネス指数を測定し、相関式により IRI に変換する。 |
| Class 4 | パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視 | パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視により IRI を推測する。 |

①プロファイル方式による測定

プロファイル方式による測定方法としては、人力により歩きながら測定するプロファ

イラーを用いる方法や、路面性状測定車に装置を搭載し、通常の車両の走行速度にて測定できる方法等がある。いずれの方法によって計測したデータであっても IRI を算出するためには解析のためのアプリケーションが必要となる。



図 5-12 ウォーキング・プロファイラーによる計測



図 5-13 路面性状測定車による計測

②レスポンス方式による測定

レスポンス方式による測定は、レスポンス型道路ラフネス測定システムによって任意尺度のラフネス指数を測定し、相関式によって IRI に変換する方法である。

③IRIによる路面の評価

IRIは、高速道路や幹線道路等のような縦断凹凸が少ない道路のほか、未舗装道路までを同一の指標で評価することができるものとされている。IRIの評価単位は、m/km または mm/m とされており、評価延長を任意に設定することで、IRIの計測データの維持管理での用途に合わせた評価を可能としている。例えば、評価区間を1km程度と長く設定することにより広範囲での平坦性の評価が可能となり、一方、評価区間を短く(100m)することで局所的な損傷箇所を特定することが可能となる。

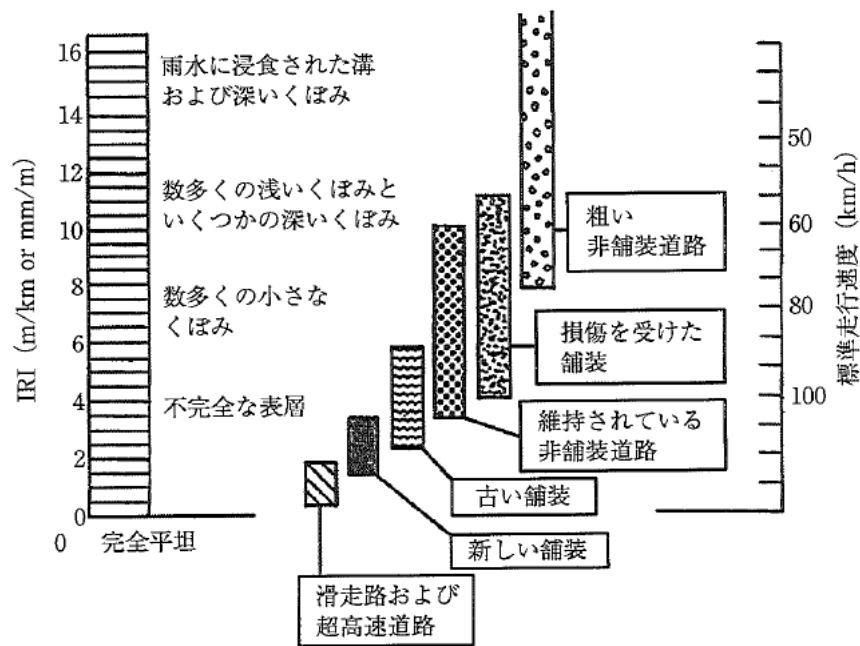


図 5-14 路面性状とラフネスの関係

4) 路面の粗さ (テクスチャ)

舗装路面の粗さ測定は、路面の粗さの目安となるきめ深さを測定する。きめ深さの測定方法には、砂を路面に散布して測定する方法と、レーザセンサを用いて路面の形状をプロファイルする方法に分類される。一般的に、高速道路等の安全性の確保が重要となる道路で適用される。

①MTM (Mini Texture Meter) による測定

レーザセンサを用いたセンサきめ深さ測定装置として、Mini Texture Meter : MTM が一般的に用いられる。MTM は、小型かつ手押し型の装置であり、調査箇所を歩きながら自動的に測定するものである。

測定の精度は、測定装置のキャリブレーションに依存するため、定期的なメンテナンス・調整が必要とされる。



図 5-15 MTM によるテクスチャの測定

5) 路面のすべり抵抗

路面のすべり抵抗値(Skid Resistance)は、路面と車両のタイヤとの間に発生する摩擦抵抗値を意味する。摩擦抵抗値の大きさによって、車両の滑りやすさに影響を及ぼす。

すべり抵抗値の計測方法としては、走行しながら路面を湿潤状態にして、専用の測定輪によって計測する、すべり測定車が存在する。実際に走行している車両が受けるすべり抵抗値に近い測定値を計測することができることから、精度のより計測が可能である一方、測定が大掛かりで機材が高価となる。

一方、簡便な方法としては、一般的に DF テスタ (Dynamic Friction Tester) や BPN テスタ (British Pendulum(Tester) Number)等を用いた定点観測による。



図 5-16 すべり測定車を用いた測定

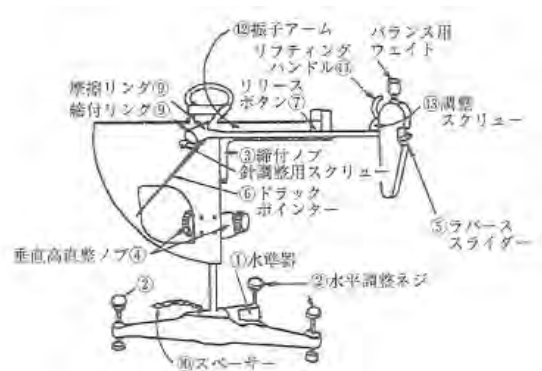


図 5-17 DF テスタ(左)・BPN テスタ(右)

6) 透水量

透水性舗装等、雨水を道路の路面下へ浸透させることを目的とした舗装構造の評価のために、現場透水試験器を用いて浸透量を測定する。ポーラス混合物等を用いる舗装区間では、道路の供用とともに塵埃等によって空隙詰まりが発生し、機能を損なう恐れがあるため、定期的な試験を行う場合がある。

ある一定量の水を浸透させた時間を算定する。

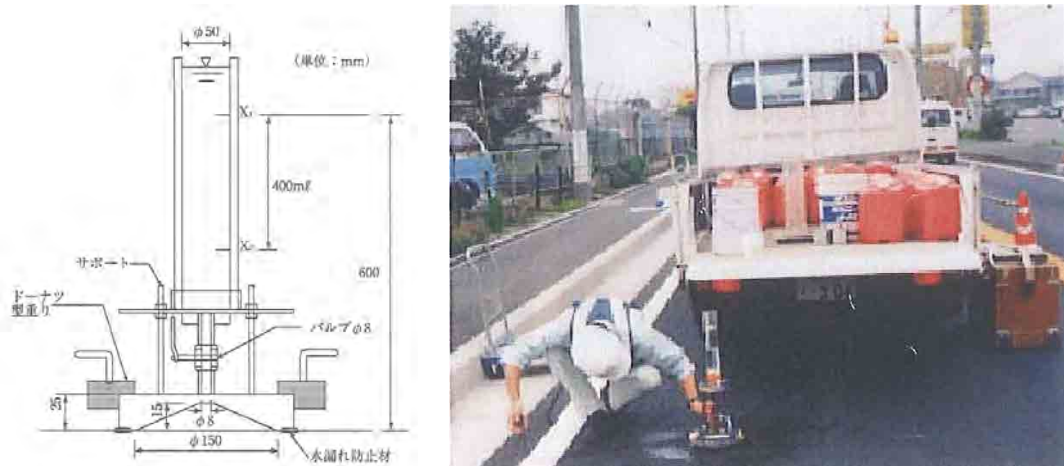


図 5-18 現場透水試験器(左)・現場透水試験状況(右)

7) 騒音値

道路上の騒音は、タイヤと路面の接触に起因するものが多く、騒音対策として排水性舗装等、空隙率の高い舗装を採用する場合がある。タイヤ/路面騒音の測定は、舗装路面騒音測定車により、走行しながら車両下部に設置したマイクロフォンによって測定する。

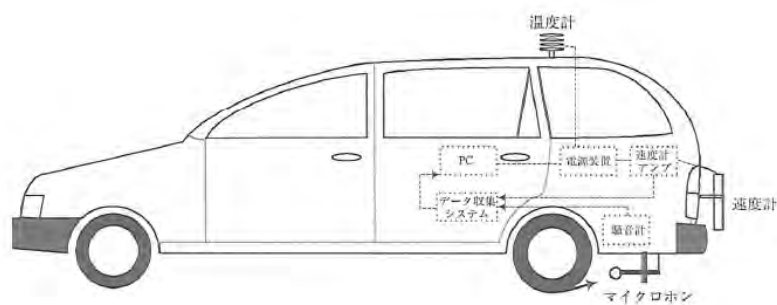


図 5-19 舗装路面騒音測定車の構成例

(4) 国内の路面評価技術

日本国内では、路面性状測定車を用いた路面の評価が定期的に行われている。その路面性状測定車は、日本国内にて開発されたものがほとんどであり、一般的には民間会社が保有し、道路管理者からの業務委託によって調査を実施している。

路面性状測定車の性能や種類は、各社、様々なタイプを保有しており、その測定精度や計測できる指標は、測定車によって異なる。一般的には、1台の路面性状測定車に、ひび割れ、わだち掘れ、平坦性（IRI）の指標を各々計測する装置を搭載し、さらに計測位置を特定するための距離計やGPS装置、測定しながら道路の前方映像を撮影するためのカメラ等を搭載している。個々の計測機材は、世界各国の機材メーカーから調達した装置を特定の車両に艤装し、キャリブレーションを行う。

測定精度は、後述する路面性状測定車の性能確認試験に合格するハイスペックのものから、簡易的な方法を採用した機材を搭載しているタイプ等、様々である。

日本国内で使用されている一般的な路面性状測定車の一覧を、表 5-6 に示す。

（５）路面性状測定車の性能確認試験

日本では、路面性状測定車の測定精度を検証するために、性能確認試験が行われている。日本での路面性状測定車は民間企業により保有されているのが一般的であり、民間企業が保有する路面性状測定車（測定車）の性能確認を依頼し、測定車によって計測される路面性状の各種計測値が、人力測定による値を基準として、適切な精度をもって計測処理できる性能を有していることを、実測計測により確認および認定することを目的として実施されている。

この性能確認試験は、年一回、（財）土木研究所によって実施され、認定を受けて試験に合格した路面性状測定車は、約 1 年間の有効期限をもった性能確認証書が発行される。

1) 性能確認試験の方法

傷みが生じている実際の舗装路面を用いて試験区間を設定し、人力作業によって路面の損傷値を正確に把握した値と、試験にエントリーされた測定車を用いて同区間を測定（試験の依頼である各企業による運転・操作）した値との比較により、所定の性能を満足しているかを判定する。

2) 性能確認試験項目及び認定性能

性能確認試験で実施される検査項目及び各々の認定性能を以下に示す。

表 5-7 性能確認試験項目及び認定性能

| 検査項目 | 認定性能基準 |
|-----------|---|
| 距離精度測定性能 | 自動測定装置による 2 回の測定値が、いずれも $\pm 0.5\%$ 以内の精度であること |
| ひび割れ測定性能 | 人力によりスケッチした幅 1mm 以上のひび割れが識別可能であること |
| わだち掘れ測定性能 | 人力により測定した基準値に対して、 $\pm 3\text{mm}$ 以内の精度であること |
| 平坦性測定性能 | 人力により測定した基準値の最大値 + 30% から最小値 - 30% の範囲内の精度であること |



図 5-20 路面性状測定車の性能確認試験の様子

出典：平成 23 年度路面性状自動測定装置の性能確認試験報告書（路性証第 2318 号）

3) 性能確認試験の意義

性能確認試験は、路面性状の測定値（ひび割れ、わだち掘れ、平坦性）及び距離について、測定車の計測精度を定期的に検査する仕組みであり、路面性状測定データの信頼性を確認することができる。日本では、民間企業が路面性状測定車を保有し、発注者は路面性状計測車を保有する会社へ調査業務を発注する。調査業務を発注する際、調査仕様に性能確認試験を受けて認定書が発行されている計測車を用いることが記載される場合がある。その発注の方法は、発注者の判断に委ねられる。性能確認試験では、精度が高い計測データが要求される。性能確認試験を受けていない簡易的な路面性状測定車も存在しており、舗装マネジメントのためのデータの要求性能に応じて道路管理者側で採用する路面性状測定車の性能を決定することができるようになっている。

(6) 舗装維持管理のための測定機材の将来性、課題等

1) ひび割れ自動解析

路面性状測定車は、ひび割れ、わだち掘れ、ラフネス（IRI）等の路面の損傷指標に関する情報を走行しながら自動で取得するシステムであり、舗装の維持管理業務における調査業務の効率化に貢献するものである。わだち掘れ、ラフネス（IRI）は、ほぼ自動的にデータを取得し解析して損傷値を導出することができる。一方、ひび割れの評価を自動化することは困難であり、路面性状測定車で取得した画像から目視判定によりひび割れの発生状況を判読する方法が一般的に採用されている。それにより、ひび割れの解析作業に多くの労力を必要としている。

ひび割れ自動解析に関する技術は、現在研究段階にあり、いくつかの事例が報告されており、実用化に向けた取り組みが行われている。完全自動化が困難であっても、半自動化技術が導入されることで、マニュアルによる判読作業が軽減され、さらに判読の精度の向上が期待できる。

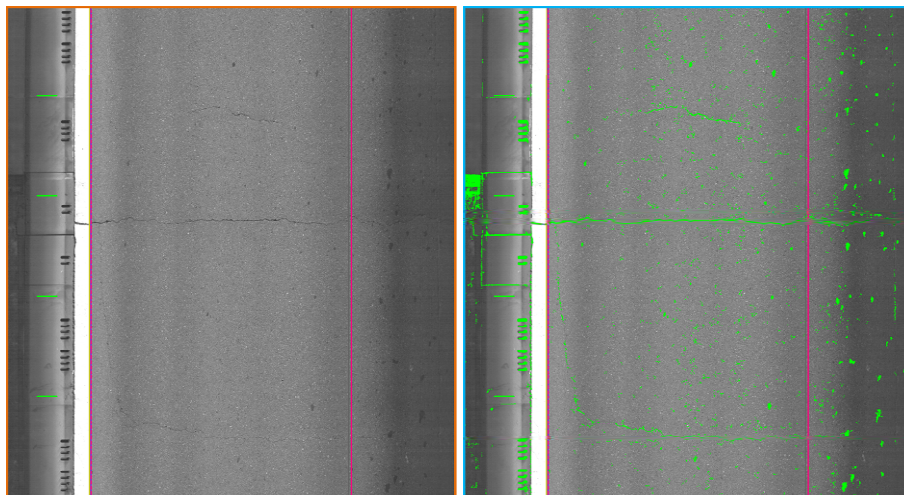


図 5-21 ひび割れ自動解析の例(左:解析前、右:解析後)

2) ネットワークレベルでの構造支持力調査

舗装構造体を評価するための試験方法としては、FWD 調査は普及している。しかしながら、FWD 調査は定点試験であることから、測定中は車両を停止させる必要があり、交通規制が必要となる。また、観測地点が離散的であり、ネットワークレベルでの構造評価が困難である。このため、高速走行しながら連続的にたわみを測定するための測定車が開発され、既に導入されているものもある。

これら移動式たわみ測定車を使用した試験はすでに多数実施されており、ネットワークレベルの構造評価に十分な精度が確保されていると報告されている。今後はネットワークレベルでの構造評価結果の舗装マネジメントでの活用方法を明確にする必要がある。

移動式たわみ測定車は、米国や欧州を中心に開発されている。既に販売実績を有するものもあるが、測定車は高価であることから、十分な導入効果の見極めが必要である。



図 5-22 移動式たわみ測定車の例

出典：FHWA FOCUS 2008 年 5 月

3) 路面性状測定車の汎用化

路面性状測定車を提供している企業は国内外に多く存在している。路面性状測定車は、各種センサー、レーザー、カメラ等を組み合わせて、1台の測定システムとして艤装される。一般的に、ひび割れ、わだち掘れ、ラフネス（IRI）の路面性状の各指標を計測する装置の他、GPSや距離計、データ蓄積のためのハードウェア等を1台の計測車に搭載する必要があるので、路面性状測定車は大掛かりなシステムとなる。さらに、高精度のシステムを搭載することにより、オペレーションは複雑となる。

以下の図に、路面性状測定車の構成例を示す。例えば、ARRB社のHawkEye2000シリーズでは、路面性状測定車に搭載する各種モジュールは、利用ニーズや新技術へ対応するための拡張性を有しているとされている。

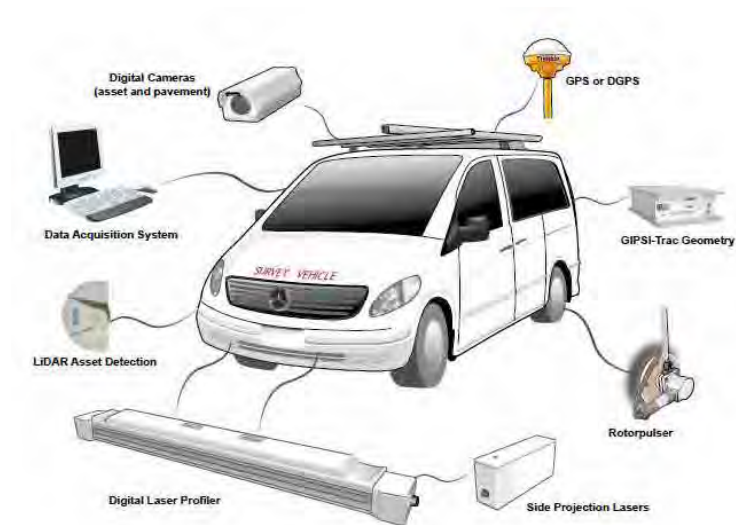


図 5-23 路面性状測定車の構成例(ARRB HawkEye)

各種搭載機材をコンパクト化して、機材のみを持ち運び可能として、艤装する車両を特定せず、路面性状測定車を組み立てる取り組みが見られる。株式会社パスコでは、性能確認試験に合格するフルスペックの測定車のほか、コンパクト化した測定車を開発し、実際のODAプロジェクトにおいて調査を実施している。

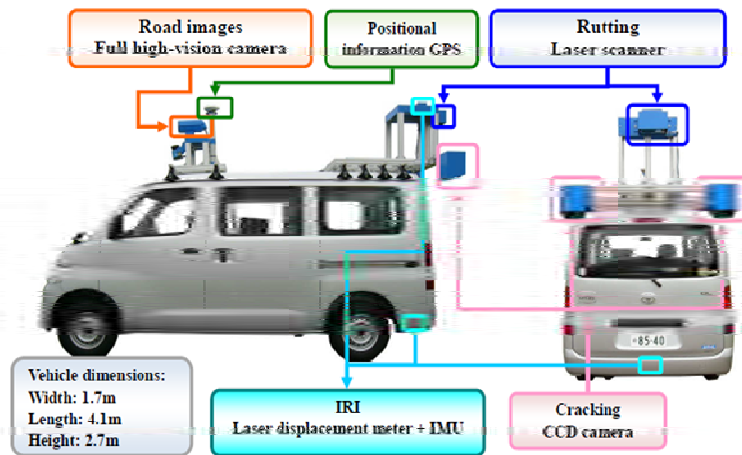
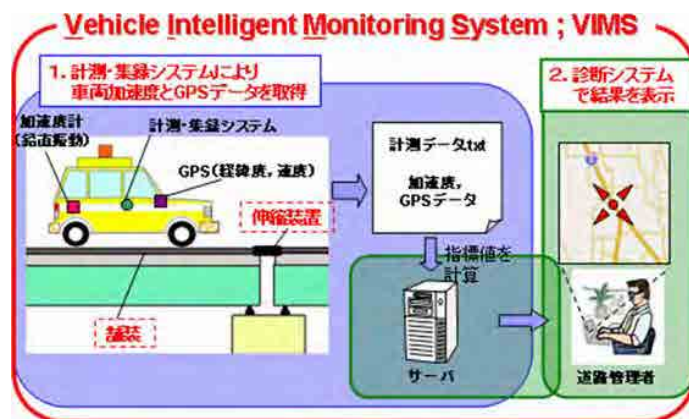


図 5-24 コンパクトタイプの路面性状測定車(パスコ)

測定精度等のスペックを性能確認試験に合格するレベルに準ずる精度を確保し、走行しながらひび割れ、わだち掘れ、ラフネス（IRI）の全てを取得することができる。今後、更なるプロジェクトでの適用が期待できる。

東京大学では、高頻度簡易診断システム：VIMS (Vehicle Intelligent Monitoring System) を開発している。伸縮装置の段差量や舗装の乗り心地（IRI）を”リアルタイム”かつ”低コスト”な計測技術で評価、診断する測定車である。IRIの測定精度は、Class3（表 5-5）に相当するものであり、計測機器に依存する。現時点では、管理レベルが粗い道路での現況把握に適用することができる。



5-5 日本国内および先進国における測定機材の調査【橋梁】

(1) 橋梁調査の技術

橋梁の点検は、一般的に、定期的実施される「定期点検」、定期点検の結果、より詳細に損傷箇所等について実施される「詳細点検」に大きく分類される。定期点検では、主に橋梁部材の外観を近接目視によって状態を把握する。一方、詳細点検では、点検の目的や損傷の種類に応じて、コア採取や非破壊検査試験等の測定機材を用いた点検が実施されることがある。

また、センサー等を用いた自動計測によるモニタリング技術が開発され、運用されている場合もあるが、橋梁の損傷の詳細な状況、損傷の原因、進行度合い等を具体的に把握することは困難であり、自動化することが点検の高度化につながらないという指摘もある。専門家による目視点検が最も優れているという意見もあり、橋梁点検では目視検査が重要視される場合が多い。

表 5-8 橋梁点検の標準的な方法

| 材料 | 番号 | 損傷の種類 | 点検の標準的方法 | 必要に応じて採用することのできる方法の例 |
|--------|----|--------------|---------------|---|
| 鋼 | ① | 腐食 | 目視、ハンマー | 超音波板厚計による板厚計測 |
| | ② | 亀裂 | 目視、テストハンマー | 渦流探傷試験、磁粉探傷試験、超音波探傷試験、浸透探傷試験 |
| | ③ | ゆるみ・脱落 | 目視 | ボルトヘッドマークの確認、たたき試験 超音波探傷 (FIT等)、軸力計を使用した調査 |
| | ④ | 破断 | 目視 | — |
| | ⑤ | 防食機能の劣化 | 目視 | 写真撮影 (画像解析による調査) インピーダンス測定、膜厚測定、付着性試験 |
| コンクリート | ⑥ | ひびわれ | 目視、クラックゲージ、写真 | 写真撮影 (画像解析による調査) |
| | ⑦ | 剥離・鉄筋露出 | 目視、写真 | — |
| | ⑧ | 漏水・遊離石灰 | 目視、写真 | — |
| | ⑨ | 抜け落ち | 目視 | — |
| | ⑩ | コンクリート補強材の損傷 | 目視 | たたき試験、赤外線調査 |
| | ⑪ | 床版ひびわれ | 目視、クラックゲージ | 写真撮影 (画像解析による調査) |
| | ⑫ | うき | 目視 | たたき試験、赤外線調査 |
| その他 | ⑬ | 遊間の異常 | 目視、コンベックス | — |
| | ⑭ | 路面の凹凸 | 目視、コンベックス、ボール | — |
| | ⑮ | 舗装の異常 | 目視 | — |
| | ⑯ | 支承の機能障害 | 目視 | 移動量測定 |
| | ⑰ | その他 | | — |
| 共通 | ⑱ | 定着部の異常 | 目視目視 | たたき試験、赤外線調査 |
| | ⑲ | 変色・劣化 | 目視 | — |
| | ⑳ | 漏水・滯水 | 目視 | — |
| | ㉑ | 異常な音・振動 | 聴覚、目視 | — |
| | ㉒ | 異常なたわみ | 目視 | — |
| | ㉓ | 変形・欠損 | 目視、水系、コンベックス | — |
| | ㉔ | 土砂詰り | 目視 | — |
| | ㉕ | 沈下・移動・傾斜 | 目視、水系、コンベックス | — |
| | ㉖ | 洗掘 | 目視、水系、ボール | カラーイメージングカメラ |

出典：橋梁定期点検要領（案）H16 国土交通省

(2) 定期点検のための測定機材

1) 橋梁へのアクセス—橋梁点検車、高所作業車

橋梁の目視点検では、点検対象の橋梁部材を近接目視により実施される場合が一般的である。しかし、山間部や海岸・河川部の橋梁、高架道路等、足場を組むのが困難な場所等で、点検対象の橋梁部材へのアクセス性を確保するために、橋梁点検車や高所作業車が用いられる。足場を組むことができる場所であっても、足場の設置・撤去のための膨大な時間と労力の削減が期待できることから、短期間で安価な点検の実施が可能となる場合がある。

橋梁点検車は、橋梁上から橋梁側面や下部工へアプローチを可能とする。一方、高所作業車は、橋梁下部から高架橋へのアクセスや、河川や海岸部の橋梁下部からアクセスする際に利用される。

一般的に、橋梁点検車、高所作業車は大掛かりな測定機材であり購入すると高価である。そのため、橋梁点検車・高所作業車をレンタルして利用することができるサービスも存在する。



図 5-25 橋梁点検車・高所作業車を用いた点検の例

2) 簡易橋梁点検機（カメラ）

橋梁点検車は高所作業者を用いた点検は大掛かりで機材が高価、点検中、橋梁点検車を停車させるために交通規制が必要となる場合がある。また、橋梁点検車や高所作業車の作業のための十分なスペースが確保できないような橋梁では、それらを用いて点検を行うことは難しい。

そのような状況を考慮し、簡易的な橋梁点検機が開発されている。カメラを搭載したシステムであり、橋面上からカメラを遠隔操作し、カメラにより撮影した映像を目視により確認し損傷を発見する仕組みである。また、大型な機材を用いることなく小規模での点検を実施することができ、点検作業の安全性を確保することができる。また、撮影した映像等を記録として残すことができるため、データの再現性を確保できる。

点検の精度は、カメラのスペックや気象条件に依存する。システムは、橋梁点検車や高所作業車に比べて安価、小規模となる。



図 5-26 カメラを用いた簡易橋梁点検機の例

出典：NETIS；CG-090005-A、構造物点検用カメラ「DSカメラ」システム

3) 携帯情報端末システム（タブレット PC 等）

目視点検を実施した結果は確実に帳票等に記録される必要がある。しかし、厳しい環境下での橋梁点検では、点検結果を単純に記録することも容易ではない場合もある。また、記録した結果を、事務所で別途、データ入力等を行う必要があり、データ整理作業に膨大な時間を要することがある。

携帯情報端末システムは、昨今、汎用化しているタブレット PC 等を用いて、点検現場で点検結果を入力する仕組みを構築したものである。携帯端末に入力した点検結果は、別途ワークを介してサーバにアップロードする等、自動的なデータ整理を可能とし、大幅な点検作業の効率化を図ることが可能となる。また、タブレット PC を用いて当該橋梁部材の過去の点検や補修の履歴情報等を参照することにより、より詳細な点検を支援することができる。

携帯端末に記載する項目等は、点検の方法、調査項目等に合わせてシステムを構築する必要があり、カスタマイズ機能を有することが必要となる。また、現場で特筆すべき事項等を自由に記述することができない場合は、システムを利用することにより、点検情報の質が落ちる場合もあり、導入する場合には、十分な運用方法についての議論が必要である。

携帯情報端末を用いた点検支援システムは、橋梁の維持管理に限らず、道路の日常パトロール等、様々な用途において、導入が始まったばかりである。



図 5-27 携帯情報端末システムの例

出典：橋梁維持管理業務におけるデータの標準化とデータ入力効率化に関する研究報告書、

平成 16 年

(3) 機材を使用する点検

目視点検を実施するなかで、測定機材を利用してより定量的な評価を行うための方法や、橋梁部材に取り付けて継続的にデータを取り続けるための装置等が存在している。

1) ひびわれ幅測定器

コンクリート等に生じたひびわれは、目視検査では目視によってひびわれの長さ等を確認、あるいはスケッチなどを行ってより詳細なひびわれの状況を把握する。ひびわれ幅測定器は、ハンディタイプの測定機材であり、コンクリート等に発生したひびわれ幅を自動的に測定することができる機器である。目視による人的誤差を解消することができる。

一般的な材料への適用範囲も高く、機材も安価である。

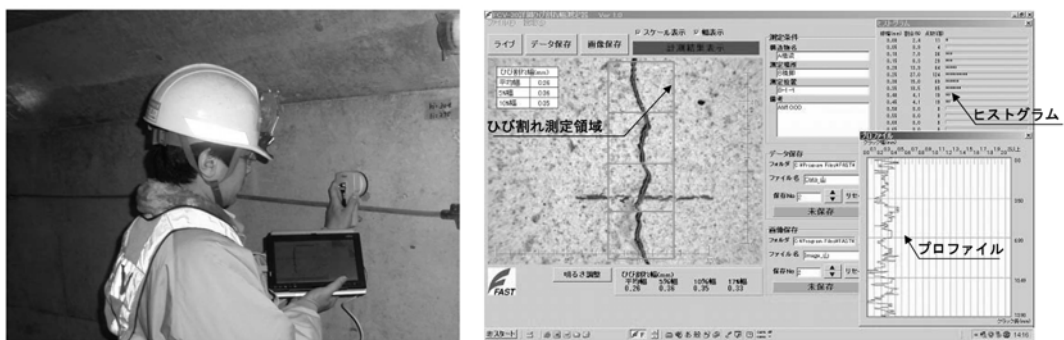


図 5-28 ひびわれ幅測定器を用いた点検の例

出典：コンクリート表面のひび割れ幅測定器、建設の施工企画、2008.

2) ひずみゲージ・加速度センサ・変位計・傾斜計等

橋梁部材のひずみ、振動、変位、傾斜の時間的な変化をモニタリングするために、橋脚等に設定してデータを取得する。単体で用いる場合や、橋梁ヘルスマニタリングのセンサーとして搭載される場合がある。

(4) 詳細点検のための測定機材（非破壊検査）

橋梁の維持管理業務では、目視点検が一般的であるが、目視では判断が困難な損傷状態、原因の把握等を行う場合、あるいは目視点検で発見された損傷箇所について、さらに詳細な点検を行う場合に、非破壊検査試験機等を用いた詳細点検が実施される。表 5-8 の国土交通省発刊の橋梁定期点検要領における橋梁点検の標準的な方法として、必要に応じて採用することができる方法に、非破壊検査が挙げられている。非破壊検査は、点検対象の材料を破壊することなく、損傷は異常を見つけ出す技術である。

1) 材料表面の欠陥検出等

橋梁部材の表面または表面直下の損傷等を検出するために用いられる試験である。あくまで表面の亀裂等の損傷検出を対象としており、内部の状況（亀裂深さ等）の検出はできない。しかし、目視のみでは検出が困難な損傷・変状を発見することができ、詳細点検における有効な手段である。

(代表的な試験)

・過流探傷試験（ET）

導電性のある試験体の近くに交流を通じたコイルを接近させ、電磁誘導現象によって試験体に発生した渦電流の変化により、試験体に発生している損傷を検出する。

- ✓ 欠陥以外の材料的因子の影響を受ける
- ✓ 測定には熟練を要する
- ✓ 形状が単純なものでないと適用しにくい

・磁粉探傷試験（MT）

磁化した材料に磁粉又は検査液をかけ材料表面又は表面付近の亀裂を検出

- ✓ 測定方法が容易
- ✓ 亀裂の深さの検出は不可能
- ✓ 鉄鋼材料等の磁性材料のみに適用

・浸透探傷試験（PT）

表面の欠陥を、毛管現象及び知覚現象により拡大し検出

- ✓ 表面の亀裂のみを検出
- ✓ 材料に関する制約がない

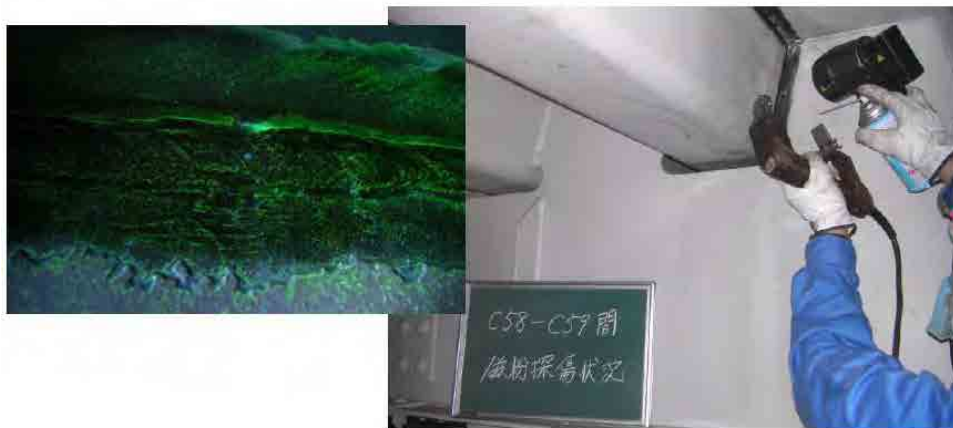


図 5-29 磁粉探傷試験による鋼床版の亀裂調査の例

出典：橋梁の戦略的予防保全型管理に向けて、東京都

2) 部材の内部欠陥検出等

超音波等を利用して、材料の内部の損傷の有無等を検出することができる試験である。超音波板厚計測や超音波探傷試験等は、豊富な導入実績がある。

(代表的な試験)

- ・ 超音波板厚計測

超音波を利用して部材の厚さを測定

- ✓ 測定が容易
- ✓ 使用実績多数
- ✓ 塗膜が厚いと精度が悪くなる

- ・ 超音波探傷試験 (UT)

超音波パルスを発信し、その一部が内部の欠陥にて反射され、その反射波により欠陥の存在位置及び大きさの程度を知る検査

- ✓ 使用実績が豊富
- ✓ 持ち運びが容易
- ✓ 測定に熟練を要する
- ✓ 塗膜が厚いと精度が悪くなる

- ・ 鉄筋探査器 (RC レーダ等)

コンクリート構造物の鉄筋の配筋状態・かぶり厚・鉄筋の直径等を検知する

- ✓ 機材は小型軽量で作業性・携帯性に優れている
- ✓ 隣接した埋設物の判断が困難な場合がある



図 5-30 超音波探傷試験による鋼床版の亀裂調査の例

出典：橋梁の戦略的予防保全型管理に向けて、東京都

3) その他の非破壊検査

赤外線法による試験は、一般部と異常部の表面温度の違いにより欠陥位置を推定する技術であり、ひびわれ、うき、空洞、塗装タイルの浮き上がり等、様々な損傷の発見に応用可能な技術である。温度変化が顕著に現れる時間帯、気象条件等、点検の条件の設定に注意が必要である。

膜厚測定は、超音波によって共振を起こして膜厚を測定するものであり、測定が容易であり、多くの使用実績がある。

シュミットハンマーは、コンクリートに打撃を与え返ってきた衝撃によりコンクリートの圧縮強度を推定する方法である。測定精度はやや低く、予備的な点検に使用される場合が多い。

(代表的な試験)

- ・ 赤外線法

赤外線サーモグラフィカメラ使用して、対象物の剥離部と健全部の熱伝導率による温度差を計測し、赤外線画像（熱画像）と可視画像の違いから劣化状況を診断

- ✓ 測定が容易
- ✓ 判別が容易
- ✓ 温度計測の時間帯の設定に注意が必要

- ・ 膜厚測定

超音波により共振を起こして膜厚を測定

- ✓ 使用実績が豊富
- ✓ 測定が容易

- ・ シュミットハンマー

コンクリートに打撃を与え、返ってきた衝撃により強度を推定

- ✓ 機器が計量であり、測定が簡便・容易
- ✓ 予備調査等に適用

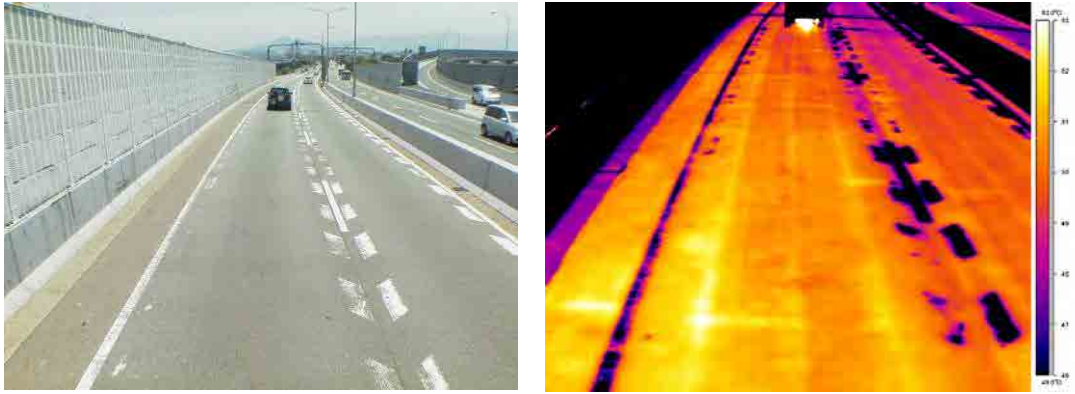


図 5-31 赤外線による調査例(左:可視画像、右:熱画像)

(5) 橋梁維持管理のための測定機材の将来性、課題等

橋梁点検は、目視検査を中心として必要に応じた非破壊検査技術の開発等、点検を確実に実施するための測定機材は整備されている。しかし、点検データの客観性の問題、熟練技術者の不足、点検にかかる膨大な時間等、課題も残されており、新たな測定機材に関する研究に期待されるところも大きい。

1) 構造ヘルスマモニタリング

構造物にセンサを取り付けて、損傷に関するデータを自動的に取得する方法として、ヘルスマモニタリングの概念が、橋梁点検においても注目されている。目視点検と比較して、データの客観化、時間短縮等の効果が期待される。

通信ネットワークを介して遠隔地から常に監視する状態を構築することにより、橋梁の状態（健全度）を常に監視することができ、目視検査では発見できない橋梁の異常を予防的に発見することができる。

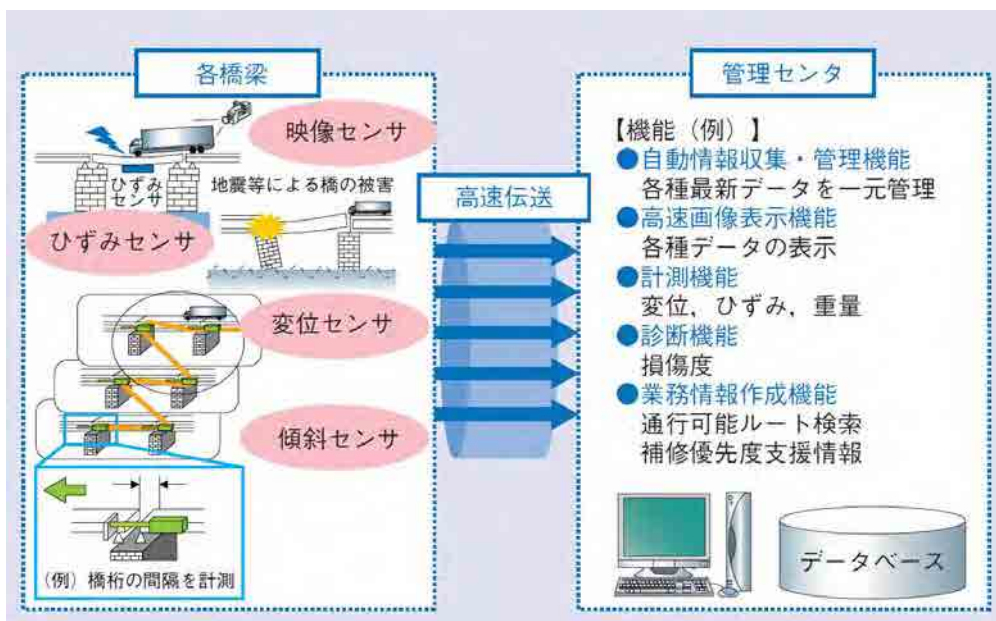


図 5-32 橋梁遠隔監視システムの例

出典：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、2006.9

ヘルスマモニタリングは、橋梁の状態とモニタリングされた振動、変位量等の物理量との相関関係から損傷を判断することが必要となるが、橋梁ヘルスマモニタリングでは、橋梁の状態との相関について不確かさが残っているとの指摘もあり、今後の課題と言える。

また、無線センサ等を用いたデータを収集するネットワークを構築する必要がある場合は、システム全体が大掛かりなものとなり、適用性に課題が残る。橋梁に常時設置するセンサ、機器の耐久性の問題も考慮する必要がある。

例えば、大掛かりなネットワークを構築することなく、安価な無線加速度センサシステムの開発や点検車等が走行しながらデータを収集する仕組み等が開発されることにより、ヘルスマニタリングシステムが普及することが期待できる。

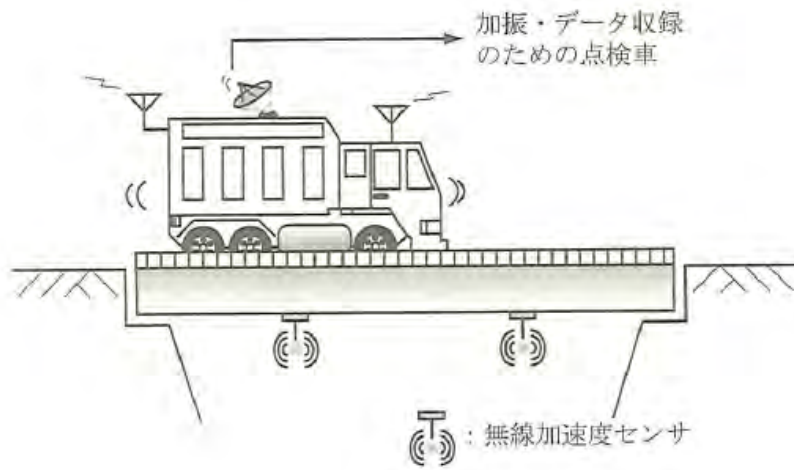


図 5-33 点検車を用いた無線化速度センサシステムの例

出典：社会資本アセットマネジメント

2) 遠隔モニタリング・クラウドサービス

目視による橋梁点検は、確実な定期点検を実施するために必要であるが、人員不足、点検に要する膨大な時間等、課題も多い。なかでも熟練の専門技術者が不足し、橋梁の損傷を判断することが困難なケースもある。

そのようななか、ICT（Information and Communication Technology）を用いた新たな取り組みとして、クラウドサービスによる橋梁の遠隔モニタリングを行うシステムの開発が進められている。

以下の例では、道路管理者が橋梁点検の現場にて、橋梁の全貌あるいは損傷箇所をカメラで撮影し、専門家へ送信する。現場からのデータを受け取ったコンサルタント等の点検の専門家は、画像データ等をもとに損傷を判定・診断するという遠隔サービスの仕組みである。撮影の方法や精度、専門家による判定・診断の方法の精度確保等、実用化に向けた課題が解決されることが期待される。

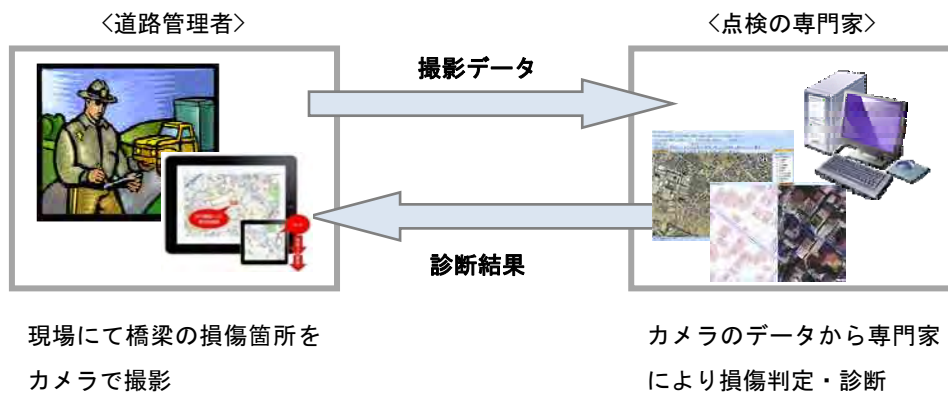


図 5-34 遠隔モニタリングによる橋梁点検の例