

劣化を伴うコンクリート橋の検査・診断に資する非破壊検査技術に関する調査検討

Research and Development on Quality Assurance Program for Nondestructive Testing Techniques and Devices for Distress in Highway Concrete Bridges

(研究期間 平成 25～26 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department, Bridge and Structures Division
主任研究官 白戸 真大
Senior Researcher Masahiro SHIRATO
研究官 北村 岳伸
Researcher Takenobu Kitamura

室 長 玉越 隆史
Head Takashi TAMAKOSHI
研究官 小原 誠
Researcher Makoto OBARA
交流研究員 狩野 武
Guest Research Engineer Takeshi KARINO

A typical inspection method of visual inspection has a huge difficulty in evaluating the internal deterioration in concrete bridges and industry and academic parties have developed different types of nondestructive testing techniques and devices (NDTs). Bridge owners highly expect new standards for the evaluation of concrete bridge soundness using NDTs and associated performance requirements for NDTs are needed. Accordingly NLIM has evaluated NDTs to develop new inspection and evaluation manuals for deteriorated concrete bridges and a related quality evaluation norm for NDTs.

[研究目的及び経緯]

コンクリート道路橋の点検方法の基本である外観目視では、コンクリート内部の変状の把握には限界がある。既設橋の高齢化が進む中、事故を未然に防止し、予防保全による合理的な維持管理を実現するために非破壊によるコンクリート内部の変状把握手法の確立が強く求められている。

本研究は、P C 橋の塩害に係わる特定点検の高度化を実現するために、P C 橋を対象に、非破壊検査技術により内部の劣化を把握し、その結果に基づき健全度を評価するための点検・診断要領や、点検・診断要領にて求める非破壊検査技術の性能や性能検証法について調査するものである。

[研究内容及び研究成果]

(1) P C 橋の内部状態等を調査する非破壊検査技術に関する調査

P C 橋内部不具合状態や残存プレストレス量の評価への適用可能性のある既存の非破壊検査技術の原理や性能に関するカタログや技術資料を収集し、開発者がどのような検査精度の検証を行ったり、検査精度をどのような指標で評価しているのか分析した。また、非破壊検査による P C 橋内部不具合状態及び残存プレストレス量の調査事例を収集した。以上から、P C 橋の内部状態の評価に用いる観点からその性

能評価において課すべき仕様や諸元などの着目項目及び性能評価指標の候補となる要素を整理した。

鋼材の配置、鋼材の断面減少、グラウト充填不良、コンクリート中の空隙、プレストレス量などについての開発・調査事例が多い。また、多くは、不具合の有無の検出という観点で検証されていた。しかし、不具合は、平面方向にも深さ方向にも広がりを持つものであり、対象とする不具合別に大きさや位置についての検査精度が系統的にまとめられた調査はほとんどないことが分かった。また、不具合の位置やひろがりの推定精度が P C 橋の耐荷力や剛性の評価に与える影響については、過去に P C 鋼材の断面減少量について実験などが行われた事例があるが、加えて、その他の要因についても研究の充実が必要である。

(2) 非破壊検査技術による計測データの整理と撤去桁の残存強度の評価

1) 検証試験体の設定

新たに損傷を模擬した供試体を作成する方法もあるが、本研究では、実際に供用されていた橋梁から撤去された桁を検証試験体に用いることにした（写真-1, 2）。検査機器の性能検証プログラムの確立に資するように、非破壊検査調査要領と調査報告様式を

作成した。また、作業性の評価も行うものとし、作業時間、気象条件の影響、可搬性などの観点での評価事項を定めた。そして、以後、これらの要領等の検証を行った。



写真-1 供用当時の状況



写真-2 供試体の状況

2) 非破壊検査の実施

公募した各種の非破壊検査技術開発者に、調査要領と報告書様式にしたがった部材内部の状態評価を依頼した。撤去直後の状態、及び、後述のように桁に载荷を実施し、大きな損傷を生じさせた状態のそれぞれで調査を依頼した。また、試験体の特定の箇所を調査を指示した場合と、特に指示しない場合とでの調査を依頼した。調査を依頼するごとに、開発者間で均質な報告がなされるように調査要領と報告書様式の更新を図った。このような与条件の違いにより報告される結果に違いがあることが分析できた。

3) 载荷実験

非破壊調査後の試験体に対して、载荷実験を行った(写真-3)。損傷をあまり進展させない程度の载荷を行った試験体や破壊するまで载荷を行った試験体がある。

今後、非破壊検査結果に基づき内部損傷をモデル化したり、また、不具合の箇所や程度をパラメトリックに変えた場合の数値解析を行い、実験結果と比較することで、各種不具合ごとに求められる非破壊検査精度の把握を行う予定である。

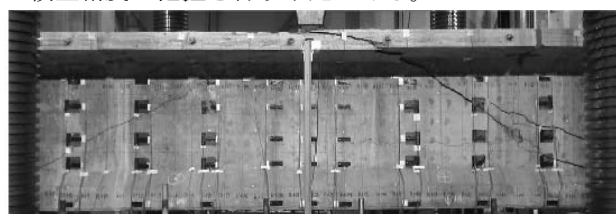


写真-3 载荷実験状況

4) 解体調査

供試体の内部損傷を進展させないように注意しながら、写真-4のように解体やコア抜きを行った。その結果に基づき、各種非破壊検査結果との照合を行い、検出性能の評価を行った。このとき、3次元座標による不具合中心位置と広がりベクトルを指標とする方法や、試験体を平面方向・奥行き方向のセグメントに分割し、ピクセルデータのような形で損傷をデジタル化とするなど、不具合の検出精度を定量化する方法の試行を行った。



写真-4 解体調査状況

【今後の課題】

- ① PC鋼材の損傷がPC橋の耐力に大きく影響することが既往の研究から指摘されているが、そのような非破壊検査技術についての検証の充実が望まれる。
- ② ひび割れについては、損傷の着目項目としてひび割れ長さや幅も大事であるが、耐力や耐久性上は、ひび割れが貫通しているのかどうかなどのひび割れ深さも大事である。しかし、非破壊検査によりひび割れ深さを判別する方法は十分でない可能性があり、今後、検証の追加が望まれる。
- ③ グラウトの充填不良についても、損傷の範囲や大きさの判別技術は十分でない可能性があり、今後、検証の追加が望まれる。
- ④ 一方で、いずれの項目も検査精度が耐力や剛性の予測値のばらつきに与える影響が明らかでないため、今後、载荷試験結果の分析を通じ、把握する必要がある。
- ⑤ 以上より、検査機器の性能検証プログラムの確立に資するよう、検証試験体の充実や、検証調査要領や報告書様式の充実を図っていくとともに、現状の非破壊検査技術の精度の把握に引き続き努める必要がある。

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文に発表予定である。

【成果の活用】

PC橋の耐力評価マニュアル、非破壊検査技術評価マニュアルの基礎資料となるものである。

道路橋定期点検の効率化に資する点検装置の検証法に関する研究

Study on Validation Method of Bridge Inspection Equipment

(研究期間 平成 25 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department Bridge and Structures Division
主任研究官 大城 温
Senior Researcher Nodoka Oshiro
研究官 石尾 真理
Researcher Mari Ishio
交流研究官 水口 知樹
Guest Research Engineer Tomoki Mizuguchi

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
研究官 小原 誠
Research Makoto Obara
交流研究員 強瀬 義輝
Guest Research Engineer Yoshiteru Kowase
交流研究員 狩野 武
Guest Research Engineer Takeshi Karino

This study focuses on three technical problems in bridge inspection. First, verification experiments of the bridge inspection equipment for the invisible area from outside by the structural reason was performed. Second, the verification experiments of the technique to identify and record exact damage position in the bridge inspection and the technique to collate the current damage situation with past inspection data were performed. Third, the basic design of the examination vehicle to measure load bearing ability for damaged bridge was conducted.

[研究目的及び経緯]

道路橋の各種点検においては、主桁に設置された水道管等の添架物や、架橋環境や構造上などの問題から、近接目視が困難となる場合がある。この近接困難箇所等の解消に加え、点検記録の合理化・効率化、更には、発見した損傷をふまえた耐荷力性能の評価手法に関する検討が必要である。

平成 25 年度は、近接目視困難箇所を再現し、近接目視困難箇所を対象とする各種点検装置の検証実験を行った。また、実橋において、点検の合理化・効率化の観点から損傷位置の特定又は記録技術の検証実験を行うとともに、損傷した実橋の耐荷力性能を把握する試験車の基本設計を実施した。

[研究成果]

1. 近接目視困難箇所等における点検装置の検証

直轄国道 1 地方整備局管内橋梁の点検調書から、近接目視困難要因 15 種(狭隘部 10 種、近接不可 5 種)に分類し、このうち 10 種を再現した施設を製作した。この施設は、任意に狭隘程度(幅)の変更が可能であり、分析した全 2,766 橋のうち約 85%の近接困難橋梁を網羅している。施設内部にひび割れ等を模擬した損傷供試体(テストパターン)を設置し、点検装置 5 技術の検証実験を行った。図-1, 2 に施設の例を示す。

点検装置が有している機能を、アクセス性に関する項目 (Ⅰ 進入部の狭隘度、Ⅱ 進入深さ、Ⅲ 曲がり度) と、変状検知に関する項目 (① 解像度情報、② 色調情報、③ 範囲情報、④ 位置情報) で評価した結果を表-1

に示す。さらに、点検対象部材別の座標等の空間情報提示方法案を図-3 に示す。例えば橋梁カルテ等に記載した点検対象部材の空間情報と点検装置の機能におけるアクセス性及び変状検知機能とを照らし合わせることで、効率的な点検計画が可能となる。

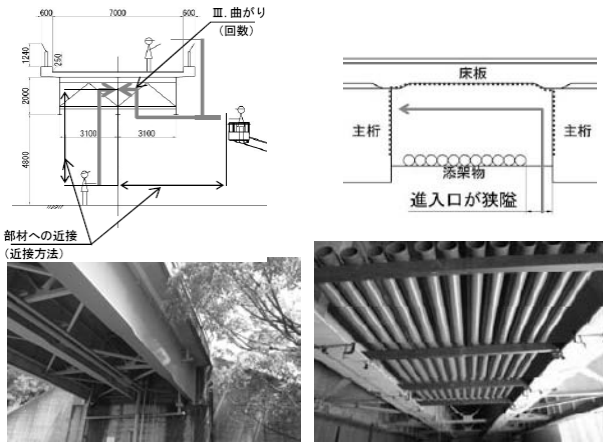


図-1 近接不可部 図-2 進入口狭隘部の検証施設

表-1 点検装置の機能の整理

点検技術	A	B	C	D	E
分類	近接不可部			狭隘部	
特徴	モニターから損傷の定量値を把握	多関節ロボットアームにより接近	アームによる接近	桁端部を面的にスキャンング	ファイバースコープで接近
アクセス性	Ⅰ 狭隘度	150mm以上	150mm以上	400mm以上	20mm以上
	Ⅱ 進入深さ	11.5m鉛直	4.8m鉛直	1.3m鉛直	10.0m水平
	Ⅲ 曲がり度	0回	0回	0回	0回
	近接方法	任意	地上	橋面	橋台、足場
変状検知	① 解像度	○	不可	△	○
	② 色調	○	○	○	○
	③ 範囲	不可	不可	△	○
	④ 位置	不可	不可	△	○

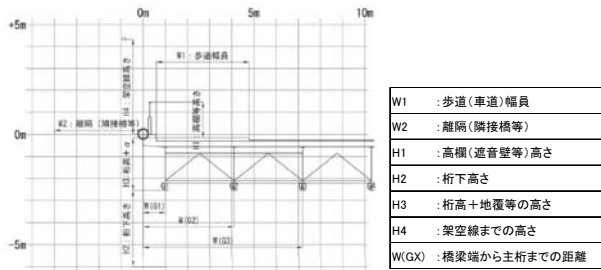


図-3 点検対象部材の空間情報

2. 損傷位置特定等点検記録の合理化・効率化技術の検証

写真-1 及び図-4 に示すように、部材数が少なく対象とする要素が大きいため損傷位置の特定が困難である、点検調査におけるひび割れのスケッチでは損傷位置や長さの把握、過去の点検結果との照合が困難であるなど、点検調査の作成や記録結果に対する課題を点検調査から網羅的に整理した。このような課題をふまえ、ひび割れや遊離石灰等が生じている部材があり、点検対象の要素が大きいのなどの条件を有する3箇所の実橋フィールド（実橋2箇所、所内のコンクリート部材1箇所）にて実証実験を行った。

検証結果は、技術の精度、適用限界、作業効率等を評価項目として整理した。精度は、定量値による評価の他、図-5 に示すように、点検対象箇所を100mmメッシュで分割し、一致した場合は「良」、一マスずれの場合においても「可」とする定性的な評価を行った。

対象部材までの距離が離れていても最小幅0.1mmの精度で検出可能な技術などが確認された。一方、現場作業以外で処理時間を要する技術や、微細なひび割れの取得や位置のズレ等により構造的に問題となる損傷かどうか判断が難しくなる場合がある等の課題が得られた。



写真-1 点検写真の例

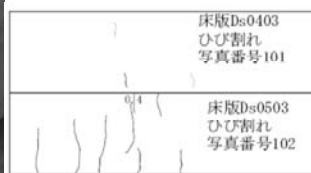


図-4 解析モデル

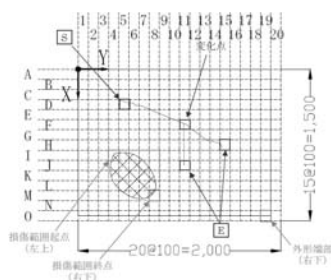


図-5 精度の評価方法

	1	3	5
	2	4	
A			
B			
C			
D			
E			
橋梁図における位置			
正誤	検出実験結果		
	判定結果		
C-3	良		
B-2, B-3, B-4			
C-2, C-4			
D-2, D-3, D-4	可		

3. 耐力性能試験車の基本仕様の設定

損傷を受けた橋梁の耐力力を評価するため、現地で載荷試験等が行える耐力性能試験車（以下「試験車」という。）の基本仕様を設定した。試験車は、主として道路法に基づく一般制限値内で自走可能であること、試験車単体での載荷と計測が可能であること、載荷による主桁のたわみが計測可能であることを条件とした。

試験車単体での載荷計測方法を図-6 に示す。試験車のアウトリガーの伸縮により載荷位置を調整するとともに、積載した荷重を移動(A→B)させて生じる主桁のたわみ差を、試験車に搭載した高精度傾斜計により傾斜角(θ)測定が可能であることがわかった。

また、構造諸元の異なる8種類の橋梁を対象に数値解析を行い、搭載する傾斜計と試験車の載荷位置、重量等から算出した傾斜角との関係を算出するとともに、過去に損傷橋梁において実施された載荷試験結果から、実測と解析方法との乖離（舗装、地覆、高欄等のモデルの省略など）を踏まえて、一般的な橋梁に対応可能な耐力評価に必要な試験車の重量や載荷位置等の基本仕様を決定した。

【今後の課題】

橋梁カルテや点検調査における対象部材別の空間情報提示方法、点検困難箇所や点検記録の合理化・効率化に対応した点検技術の評価による開発促進が課題となる。耐力性能試験車については、架橋環境に応じた試験車の適用範囲の明確化、計測結果から合理的に耐力評価を行う方法、実橋への適用性の検証が課題である。

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文で発表予定。

【成果の活用】

点検要領等に反映させる予定。

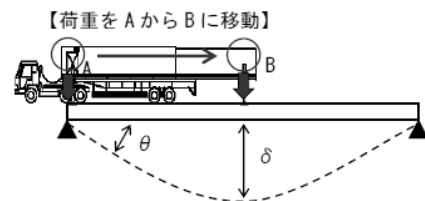


図-6 傾斜角を用いたたわみ計測



図-7 耐力性能試験車のイメージパース

橋梁等における点検手法及び予防保全技術への要求性能設定手法 に関する調査検討

Study on required performance of inspection and preventive maintenance technology for bridge and structures

(研究期間 平成 25 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department Bridge and Structures Division
主任研究官 大城 温
Senior Researcher Nodoka Oshiro
研究官 小原 誠
Research Makoto Obara
交流研究員 狩野 武
Guest Research Engineer Takeshi Karino

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
主任研究官 窪田 光作
Senior Researcher Kosaku Kubota
交流研究員 強瀬 義輝
Guest Research Engineer Yoshiteru Kowase

Required performance of countermeasures for falling concrete pieces from bridge member is extracted, through analyzing a characteristic of the damage that may cause such accident by bridge inspection data. Performance of on some Destructive Inspection technology to detect the damage in the test specimen which simulated the damage was investigated. And, evaluation method for the performance of the measures to prevent falling concrete pieces by proving test.

〔研究目的及び経緯〕

道路構造物の老朽化に伴い、コンクリート片の落下などの第三者被害を予防するための対策の確立が急務となっている。しかしこれらの予防措置技術に求めるべき具体的な性能については不明な点も多く、性能評価の方法についても統一的な技術基準等は定められていない。

今年度は、橋梁等における過去のコンクリート片等の落下事例や橋梁点検結果から第三者被害発生の恐れがある損傷の特徴を整理し、対策に求められる性能の絞り込みを行った。またこれらの事象を生じさせる可能性のある損傷を模擬的に再現した供試体を作成して非破壊検査による検出可能性について調査を行った。さらに、これらの検討を踏まえて、道路構造物からのコンクリート片等の落下を対象にこれらの防止技術に対する要求性能の設定を行うとともに、対策技術の性能を実証試験により評価する方法について実験的検討を行った。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 第三者被害発生の損傷の特徴整理

コンクリート部材の不具合事例（100 件）と第三者予防措置点検結果（100 橋）について整理し、コンクリート片落下の部材、部位、規模、落下原因、P C 橋やコンクリート部材の損傷の特徴等について傾向を整理した。結果、第三者被害の恐れのある損傷は特定の橋梁形式に限定されることはなく全ての部材・部位で発生し、コンクリート片落下の原因は主に施工不良や

雨水等による「その他」と「かぶり不足」で全体の約 60%を占め多く見られる傾向である。

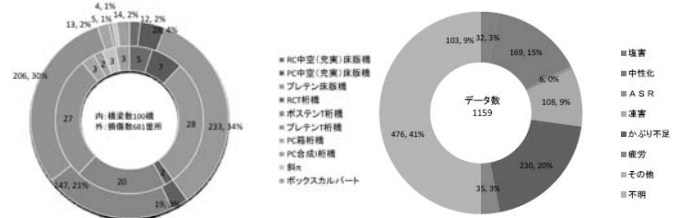


図-1 橋梁形式別剥落頻度 図-2 コンクリート片落下原因

2. 模擬損傷供試体を用いた非破壊検査技術の検証

上記 1. から整理した R C 橋及び P C 橋に発生する可能性が高い 15 種類（図-3）の損傷を模擬した供試体（写真-1）を製作し、現状の非破壊検査技術でこれらの模擬損傷をどこまで検知が可能か検証を実施した。

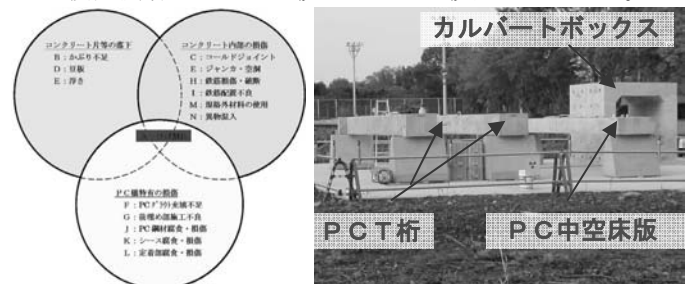


図-3 模擬する損傷

写真-1 模擬損傷供試体

非破壊検査技術の検証は検出対象とする損傷をうき・はくり、ひび割れ、P C 鋼線、グラウト未充填、

グラウト充填不足（空洞）に着目し、損傷種別に対しての測定可否、損傷の位置、損傷の大きさの観点で各検査技術の適用性と精度を検証した。また、昨今のトンネル天井板の崩落事故をうけてあと施工アンカーの耐荷力性能の低下についても模擬供試体を製作し現状の非破壊検査技術で検知可能か検証した。結果、空洞やうきの損傷は形状が小さいものほど計測が困難であることが検証された。また、P C 鋼線（グラウト充填率模擬）は、4 技術で計測できたが、Y・Z 軸とくらべ X 軸の方向の整合性が低い傾向が見られ、長辺方向の長さ、座標の読み取りには限界があることが検証された。あと施工アンカーボルトについては、ボルト長を 2 技術で計測でき、比較的精度がよいことが検証された（図-4）。不具合（施工・材料・劣化）については、7 技術で計測できたが、どの技術も不具合の種類や程度の特定には至っていないことが検証された。



写真-2 模擬損傷供試体

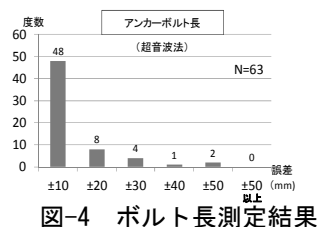


図-4 ボルト長測定結果

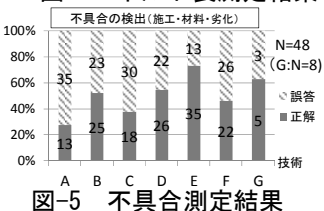


図-5 不具合測定結果

3. 第三者被害予防措置技術の要求性能の設定と性能確認試験

コンクリート片の落下事例（66件）、第三者予防措置点検結果（100橋）、既往文献（74論文）及び各機関の現行技術基準を整理して、現在の第三者予防措置技術に必要な要求性能（表-1）を設定し、コンクリート構造物のあらゆる部位・部材を想定した床版の供試体を製作して未確認の性能について検証実験を実施した。

表-1 第三者被害予防措置技術の要求性能

評価項目	検証内容	検証の有無
適用性	あらゆる部位（水平、鉛直、水切、隅角部等）、コンクリート片形状（円形、四角、三角）を想定した耐荷性試験	○
耐荷性	同上、補修材料の継手部の耐荷性試験、付着試験	○
耐久性	屋外暴露試験、養生温度、湿度を変更した耐荷性試験、ひび割れ抵抗性、塩化物イオンの透過性試験、プライマーひび割れ含浸材料試験	×
施工性	施工計画書の記載内容の確認、定期管理試験、日常管理試験の実施、付着試験	○
維持管理性	伸び性能（鉛直変位10mm以上における最大押し抜き強度）、再劣化部の検知、再補修部の耐荷性試験	○
使用材料	使用材劣の性能証明書、使用量	○

※耐久性試験については、コンクリート平板で試験可能で日数を要するため今回検証対象外とした。

文献および NETIS 登録技術の調査により、現在の第三者予防処置技術は、その目的と予防メカニズム、実

績により表-2 のように分類される。検証実験する予防措置技術は本研究で整理した現在の第三者予防措置技術に必要な要求性能に対し、満足度が高い表面被覆工法とした。

表-2 予防処置技術の分類

分類	概要	活用実績(%)
劣化部の除去+復旧	はつり落とし+断面修復	5.8
ネット系工法	ネット材をアンカーで固定	2.0
補強工法	鋼板や繊維による補強	5.0
表面被覆工法	有機系・無機系被覆材料による被覆	41.8
表面含浸工法	含浸材により劣化抑制	21.0
埋設型枠工法	せき板を構造物表面に設置	1.1
建設材料の改良	短繊維等をコンクリートに混入	23.3

今回の検証試験は実態調査から既設コンクリート構造物の様々な部位における適用性や耐荷性等を評価するために押し抜き試験を実施した。表-3 に押し抜き試験の条件を示し、図-6 に試験結果を示す。押し抜き荷重が No.2 では No.1 より低下しており、立ち上げ部ではシートは押し抜き変位に追従できず破れが発生していた。No.3 では荷重にピークは見られず、一定荷重で変位が推移している。これは押し抜き部の 2 辺をあらかじめ切断し 2 辺支持条件としているため、変位の増加に伴う抵抗周長の増加がないためと考えられる（写真-4）。

表-3 押し抜き試験条件

試験番号	試験条件	押し抜き形状
No.1	標準試験 ※ 従来試験	φ100
No.2	出隅部模擬 水平面+鉛直面の立体構造	φ100
No.3	目地部模擬 2辺支持条件	□280x280



写真-3 押し抜き試験状況

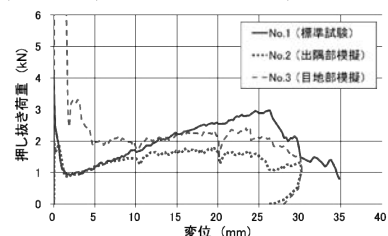


図-6 押し抜き試験結果
[今後の課題]

- ・コンクリート内部の変状についての非破壊検査技術による検出は信頼性の面で課題が多く、突発的なコンクリート片等の落下やあと施工アンカーの耐荷力性能の低下を確実に検知することには現状では限界があり、更なる技術開発が必要である。

- ・コンクリート片の落下に特化して、道路構造物で可能性の高い事象の規模や形態を発生部位との組み合わせによって絞り込み、これを模擬した試験方法によって既存の予防保全措置技術の性能評価を行った結果、対象とする事象によって必要性能に大きな差異があることが明らかになった。

【成果の活用】

基準等に反映させる予定。



写真-4 押し抜き試験状況
（目地部）

道路橋のライフサイクルコストに係る実態調査

及び分析等に関する調査検討

Study on rationalization, standardization and advancement of inspection system for highway bridges

(研究期間 平成 25 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road Department Bridge and Structures Division

主任研究官 大城 温

Senior Researcher Nodoka Oshiro

研究官 横井 芳輝

Researcher Yoshiteru Yokoi

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Yoshiteru Kowase

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

宮原 史

Fumi MIYAHARA

強瀬 義輝

NILIM has been studying a reliable method to estimate life-cycle-cost of road bridges, in order to make plans to maintain them strategically. For the purpose of providing basic data for this study, this paper conducted investigation of actual conditions of life-cycle-cost of road bridges. Furthermore, this paper programmed the BMS(Bridge Management System) which enables to estimate life-cycle-cost of road bridges based on deterioration prediction obtained from results of national bridge inspection.

〔研究目的及び経緯〕

全国には膨大な数の道路橋が整備されており、道路ネットワークの機能を担保するためには、確実に高齢化が進む道路橋資産群を限られた予算で将来にわたって合理的に維持管理していくことが求められる。このため、橋梁定期点検要領（案）（平成 16 年 3 月）に基づいた点検結果を用いて、時期の異なる 2 回の点検結果の推移から、将来の橋梁の状態を予測し、今後必要となる維持管理費及び将来の健全度を予測する手法について検討を行っている。材料や部材位置、架橋環境などの属性に応じた劣化の特性を把握し、それぞれの条件毎に劣化の進行の定式化を行ってきた。一方で、同一の属性のグループであっても劣化は全ての要素が一樣に進行するものではなく、個々の橋梁の将来の状態には大きなばらつきを有することが明らかとなっている。将来の予測はあくまでもマクロ的な資産の状態推移に着目をしているものの、試算の信頼性の評価や改善のためには、個々の橋梁に着目し、実態との乖離の程度やその原因について把握する必要がある。

これらを踏まえて、本研究では、直轄道路橋 45 橋を対象に、供用開始から現在までに行われた維持管理行為とその費用の実態について調査した。また、この結果と直轄道路橋の点検データから得られた劣化特性を用いて予測した状態の推移や費用の発生傾向と比較し、ライフサイクルコストの算出にあたっての適用性と課題を整理した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 直轄道路橋の過去の補修等の維持管理行為の調査

道路橋の建設が計画されてから撤去更新されるまでの期間には表-1 に示す行為に対して費用が発生する。ライフサイクルコストとはこれら全ての費用を含むものとも定義できるが、本研究においては、劣化特性を用いた維持管理費用の試算結果との比較を行うことから、主に劣化に伴い発生する維持管理行為（表-1 の「○」に示す行為）をライフサイクルコストの算出の対象とした。対象は、現在までに実施された補修等の工事に関連する資料が比較的入手可能な 45 橋とし、補修内容、規模、金額を調査した。なお、補修内容と数量のみ明らかで、具体的な工事費が不明な場合は標準単価を用いて費用を算出した。この調査結果と 2. で述べる試算結果とを比較した。

表-1 建設～撤去更新までに発生する費用

時期	行為	LCC 算出対象
建設時	計画・設計	
	建設	
供用期間中	定期点検	
	通常点検	
	特定点検	
	異常時点検	
	計画・調査設計(詳細調査、補修補強設計)	
	補修・補強工事(劣化に伴う措置)	○
	補強工事(基準不適格の対応(耐震補強等))	
撤去・更新	改良工事(拡張等)	
	計画・調査設計(架替え設計)	
	架替え工事(劣化に伴う措置)	○
	架替え工事(河川改修、計画変更に伴う架替え)	
	撤去	○

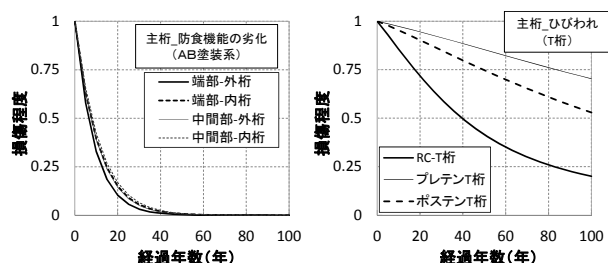
2. 劣化特性を用いた維持管理費用の試算

直轄道路橋の定期点検結果から推定した道路橋の劣化特性を用いて、各部材の劣化状態を推定し、設定し

た補修シナリオに応じて補修を行った場合の維持管理費を算出した。劣化特性はH25年4月時点までに得られた直轄定期点検要領（案）（平成16年4月）に基づく、同一要素の2回の点検データ（損傷程度の評価）を用いて得られる遷移確率を用いて算出した損傷程度の評価の期待値を劣化曲線として定式化したものとした。このとき、損傷程度の評価（a～e）は表-2により数値化して取り扱った。なお、2回の点検間に補修がされているデータは除外している。劣化曲線は、構造形式、部位、環境条件等毎に作成し、これらの違いによる劣化速度の違いが試算に反映されるように設定した。劣化曲線の例を図-1に示す。供用開始時（経過年数=0）においてすべての要素の損傷程度の評価が「a」であるとし、経年に従い劣化曲線に従って劣化するものとした。劣化により所定の閾値に達した時点で補修を行うものとし、補修費用は標準単価を用いた。補修シナリオは、予防保全シナリオと事後保全シナリオの2パターン設定し、損傷の種類にかかわらず、予防保全シナリオでは「c」、事後保全でシナリオでは「d」に達した要素を補修するものとした。なお、実際の橋梁では、他の部材の損傷との関連や足場、交通規制などを考慮して工事調整が行われるが、試算においては、これを考慮していない。

表-2 各損傷程度の評価の定量化

損傷程度	a	b	c	d	e
点数	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2



(a) 腐食の劣化曲線 (b) ひびわれの劣化曲線

図-1 設定した劣化曲線の例

3. 実態調査と試算結果の比較

図-2に鋼橋の実態調査と試算結果の比較例を示す。維持管理費用は、予防保全シナリオにより試算した結果と大差はなかった。補修の内容も主に塗装が繰り返されており、概ね整合している。ただし、試算では、補修塗装が比較的頻繁に計上されているが、これは、工事調整を考慮していないことが原因と考えられる。

図-3にコンクリート橋の実態調査と試算結果の比較例を示す。試算結果と実態とは大きな差が生じている。本橋は、ポステンT桁橋で、主に塩害による主桁の補修が維持管理費用の多くを占めている橋梁であった。一方で、試算では主桁に関する補修は行われないシナリオであり、補修内容に乖離が生じた。ポステン

T桁橋のひびわれに対する劣化曲線は、図-1(b)に示しているが、本橋の現時点の経過年数である44年時点では「b」程度の状態であることから試算では補修が計上されなかった。コンクリート主桁のひびわれのように、比較的良い状態で推移する場合と早期に悪い状態に推移する場合の二極化する傾向にある損傷については、今回設定した劣化曲線では乖離が生じる可能性が高いこと、また、損傷の種類や環境条件（塩害等）に応じて劣化特性のみならず、補修シナリオも異なる可能性があることが分かった。

以上より、実際の維持管理においては、工事調整による対策時期や個々の補修費用が条件により極めて大きな不確実性をもっている。このため、特定の橋の実態と標準化された条件で試算されるシステムの結果とには大きな乖離が生じ、個々の対策時期や費用の整合性を高めることには限界があることが確認できた。一方で、維持管理において見込まれる補修の発生傾向は、環境等の条件に応じてその傾向は整合している面もみられたことから、一定量以上のマクロ的な推計に着目すると、きめ細かな条件設定により諸条件や維持管理シナリオの相違による将来像の相対比較を行う際の有効な情報が得られる可能性も確認できた。

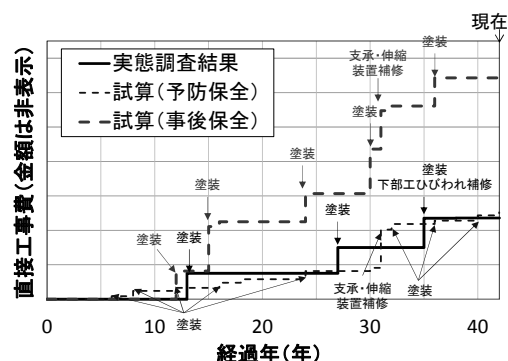


図-2 鋼橋のLCC試算の例

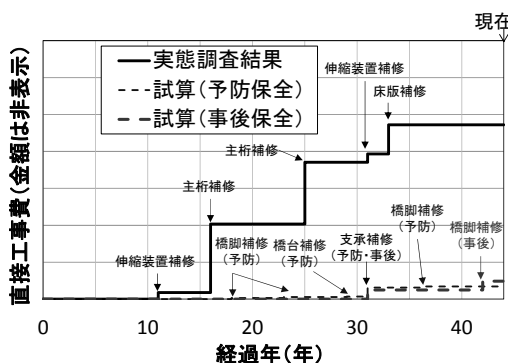


図-3 コンクリート橋のLCC試算の例

〔成果の発表〕

国総研資料及び各種論文等で発表予定。

〔成果の活用〕

橋梁マネジメントシステムの改良等への反映。

特殊車両走行経路違反模擬判定実験システムの開発支援業務

Development of a prototype system monitoring heavy vehicles' routes

(研究期間 平成 25 年度)

高度情報化研究センター
高度道路交通システム研究室
Research Center for
Advanced Information Technology
Intelligent Transport Systems Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
部外研究員
Guest Researcher

金澤 文彦
Fumihiko KANAZAWA
鈴木 彰一
Shoichi SUZUKI
田中 良寛
Yoshihiro TANAKA
佐治 秀剛
Hidetaka SAJI

To keep the existing road infrastructure in good condition, heavy vehicles must take appropriate routes. In this study, we have developed a prototype system monitoring heavy vehicles and detecting violations of rule on driving routes.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省は、「日本経済再生に向けた緊急経済対策」(平成 25 年 1 月 11 日閣議決定)に基づき、まちづくり・交通分野におけるエネルギー・環境問題への対応を進めることとしており、基幹的交通インフラ等の整備推進のため、ITS スポットを活用した経路把握・誘導社会実験を実施することとしている。

国土技術政策総合研究所では、本社会実験の一部として、特殊車両の走行経路違反を模擬判定する実験システムを構築し、必要となるデータの収集を行うこととしている。

本研究では、特殊車両の走行経路違反を模擬判定する実験システム(以下、「実験システム」という。)について、システムの概略設計、既設システムとの接続試験方法の検討、システム構築、接続試験を実施した。

〔研究内容〕

1. システムの概略設計

特殊車両走行経路違反の模擬判定方法を検討した上で、システムの機能要件定義を行い、システムの概略設計を実施した。また、システム動作確認試験の計画を作成した。

2. 既設システムとの接続試験方法の検討

接続試験に必要な既設システム(ITS スポットシステム及び特殊車両の許可重量違反判定システム等)について調査するとともに、接続試験により確認をすべき項目、各項目の確認のための接続試験方法を検討するとともに、接続試験計画及び接続試験ツールを作成した。

3. システム構築

関東地方整備局舎に、実験システムを構築し、動作確認試験を実施した。

4. 接続試験の実施

2. で作成した接続試験計画及び接続試験ツールを用いて、既設システムとの接続試験を実施した。

〔研究成果〕

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. システムの概略設計

1.1 特殊車両走行経路違反の模擬判定方法の検討

全国の高速道路上を中心に配備されている ITS スポットから得られる車両経路データ(以下、「特定プローブデータ」という。)及び、特殊車両の許可違反判定システムから得られる重量計測データ、車両番号認識結果、許可証情報等を用いて、特殊車両の走行経路違反判定(車両重量に応じた許可経路を走行しているか否かの判定)を模擬する実験システムについて、特殊車両走行経路違反の模擬判定方法を検討した。具体には、既設システムの仕様等を踏まえ、以下の事項に留意し検討した。

- ・違反判定に用いるデータ(重量、特定プローブデータ、許可証情報等)
- ・ITS スポットシステムでの抽出用 ID を複数の特定プローブ活用システムから受信し、全国各地の ITS スポットシステムへ配信する機能及び全国各地の ITS スポットシステムで抽出・送信される特定プローブデータを受信し複数の特定プローブ活用システムへ配信する機能(以下、「抽出 ID・配

- ・重量計測データ（重量計測箇所通過の有無、重量計測箇所通過時刻、重量計測結果の車両識別情報）と特定プローブデータ間のひもづけ・照合方法
- ・違反判定方法の各案を適用すべき対象、単位、タイミング、評価指標
- ・違反判定方法の判定精度の評価
- ・模擬にあたり違反判定方法の比較や違反判定対象とする特定プローブデータの抽出方法の比較をするために設定変更可能とするパラメータ等

1.1 の検討結果を踏まえ、実験システムと接続する既設システムについて、データフォーマット、処理タイミング、データ出力形式等について調査した。

1.1、1.2 の検討・調査結果を踏まえ、実験システムに求められる機能要件を定義した。具体には、実験システム内の各機能の処理内容、処理速度、処理・保存データ量、システム内他機能や既設システムとのインタフェース要件、データ保存フォーマット、表示・出力フォーマット等について整理した。なお、本実験におけるモニタ車両台数は 10,000 台、重量計測箇所は 50 箇所とした。

1.3 の機能要件定義を踏まえ、実験システム（抽出 ID・配信先管理機能を含む。以下同じ。）の概略設計を行った。具体には、1.3 で定義した機能要件を満たす機器仕様を明らかにするとともに、各機能で実施する処理部のプログラム、画面等のユーザインタフェース、既設システムとの接続に必要な機器及び設定について設計した。

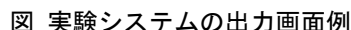
1.1～1.4を踏まえ、実験システムの動作確認試験方法を検討した。具体的には動作確認を行うべき項目、状況を検討するとともに、それぞれの項目に対する確認試験方法を明らかにした。

1.5 を踏まえ、実験システム動作確認試験計画を作成した。さらに、1.1 における検討結果を踏まえ、実験車両による走行を行い、ITS スポットシステムで収集される特定プローブデータ以外の経路データを収集し、動作確認試験を実施するための試験用データを作成した。

1.2、1.4 を踏まえ、接続試験が必要な既設システム

2.1 を踏まえ、接続試験計画を作成した。また、接続試験ツールを作成するとともに、試験用データを作成した。

1.4 を踏まえ、関東地方整備局舎に、実験システムを構築、設置した。(図)



1.6 で作成した実験システム動作確認試験計画、試験用データを用いて、3.1 で構築した実験システムの動作確認試験を実施した。

3.で構築した実験システムに対し、2.2 で作成した接続試験計画及び接続試験ツールを用いて、既設システムの接続試験を実施した。

1～4.の整理結果を踏まえ、特殊車両経路違反判定システムの実運用システムを整備する際のシステム仕様案を検討するとともに、動作確認試験計画、接続試験計画をとりまとめた。

平成 25 年 5 月の道路法改正の附帯決議では、ITS 技術の活用による特殊車両通行許可手続きの簡素化や、運転者も含めた運送事業者の負担を軽減する方策を検討することとされている。今後は、本研究で構築した実験システムにより、ITS スポットで得られる特定プローブデータを特車許可制度等の道路行政の効率化に活用するための、加工・分析方法の検討を行う。

車両走行状況のモニタリング方法に関する調査業務

Research on methods monitoring vehicles' running condition

(研究期間 平成 25 年度)

高度情報化研究センター
高度道路交通システム研究室
Research Center for
Advanced Information Technology
Intelligent Transport Systems Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
部外研究員
Guest Researcher

金澤 文彦
Fumihiko KANAZAWA
鈴木 彰一
Shoichi SUZUKI
築地 貴裕
Takahiro TSUKIJI
佐治 秀剛
Hidetaka SAJI

The purpose of this study is to investigate methods monitoring heavy vehicles' running condition, to create an overall concept for monitoring, and to try to utilize some kinds of data in order to develop a technology monitoring heavy vehicles' running condition.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省は、「日本経済再生に向けた緊急経済対策」（平成 25 年 1 月 11 日閣議決定）に基づき、まちづくり・交通分野におけるエネルギー・環境問題への対応を進めることとしており、基幹的交通インフラ等の整備推進のため、ITS スポットを活用した経路把握・誘導社会実験を実施することとしている。国土技術政策総合研究所では、本社会実験の実施にあわせ、大型車両の走行状況（経路、重量、走行時間帯、速度等）を把握するモニタリングの全体像を検討するとともに、モニタリングデータの活用方法を検討することとなった。

本研究では、ITS スポットを活用した大型車両走行状況のモニタリング方法について、必要機能の検討、全体像案の作成、施設等配備計画の作成、モニタリングデータの活用方法の試行等を実施した。

〔研究内容〕

1. 必要機能の検討

ITS スポットを活用した大型車両走行状況のモニタリングの全体像案を作成するため、関連する法令の調査・分類、関連施策動向の調査、関連技術動向の調査・分析を行った。その上で、モニタリングの利用ケースを作成し、利用ケース毎に目的を実現するために必要となる機能要件、モニタリング対象車両、必要データを明らかにするとともに、必要機能構成図を作成した。

なお、ITS スポットから収集されるプローブデータのうち、個別車両を特定せず、経路や重量、車種等を特定しないデータは、既に収集されており、利用でき

る状態にあることから、本研究では以下の 2 パターンを対象とした。

- ①個別車両を特定するデータ
- ②個別車両は特定しないが、匿名化した状態で経路、重量、車種等は特定するデータ

2. モニタリング全体像案の作成

ITS スポットを活用した大型車両走行状況のモニタリングを実施する際に必要となる装置要件の検討及び障害時対応方法の検討を行った。また、関係者の役割分担と費用分担のスキームを検討するとともに、個人情報保護対策の調査・検討を行った。さらに、今後、継続的に多くの人が各利用ケースのモニタに登録できるよう、モニタ確保策を作成した。

3. 施設等配備計画案の作成

1、2 の結果及び、既存調査結果等から得られる特定の車両（走行に許可を要する大型車両等）の交通流動特性、許可経路の実態などを踏まえ、各利用ケースの目的毎に、路側設備、センター設備、情報通信インフラ等の施設配備が必要な箇所、数量、規模等を検討し、施設等配備計画案を作成した。

4. モニタリングデータの活用方法の試行

具体的施策への支援が可能となる、モニタリングデータの活用方法を検討し、以下のとおり整理した。

- ・道路のアセットマネジメントに用いるための大型車両の走行経路分析
- ・ミッシングリンクにおける大型車両の走行経路分析

- ・災害時における大型車両の走行経路データのリアルタイム活用
- ・大型車両の首都圏 3 環状等環状道路利用状況分析

また、以下の項目の分析・表示の試行を実施した。

- ・車両重量自動計測装置と走行経路の紐付けによる経路上の橋梁の通過車両重量・台数の把握
- ・ミッシングリンク区間における大型車両の走行経路、速度、所要時間の把握
- ・緊急輸送路での大型車両の速度状況の把握
- ・主要港湾を起点とした大型車両の道路利用状況把握

〔研究成果〕

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 必要機能の検討

関連する法令及び関連技術動向の調査結果を踏まえ、モニタリングの利用ケースとして、表-1 に示す 8 つの利用ケース（道路局主管の利用ケース 5 つ、これらを応用利用するケース 3 つ）を作成した。

表-1 モニタリング利用ケース

利用ケース	目的
利用ケースⅠ	特殊車両に関する違反車両の指導・警告
利用ケースⅡ	土砂等運搬大型自動車による輸送の安全性に関する行政指導
利用ケースⅢ	危険物積載車両による水底トンネルにおける災害の防止・軽減
利用ケースⅣ	料金施策の検討、料金施策の実施、施策実施の効果検証
利用ケースⅤ	道路政策への活用
応用利用ケースⅥ	旅客自動車運送事業者の輸送の安全性に関する行政指導
応用利用ケースⅦ	貨物自動車運送事業者の輸送の安全性に関する行政指導
応用利用ケースⅧ	事業者側の労務管理、コンプライアンス対応

2. モニタリング全体像案の作成

ITS スポットを活用した大型車両走行状況のモニタリングを実施するためのモニタリング全体像案を作成した上で、今後、継続的に多くの人が各利用ケースのモニタに登録できるよう、モニタ登録方法、ASL-ID 把握方法を検討した。モニタ登録については、以下の方法を検討し、利用ケース毎に最適な方法及び登録に必要となる情報等について整理した。

- ・特車通行許可申請と合わせてモニタ登録する方法
- ・オンラインでのモニタ登録システムを構築する方法
- ・車載器セットアップ店で登録する方法

3. 施設等設備計画案の作成

1、2 の結果及び、既存調査結果等から得られる特定

の車両（走行に許可を要する大型車両等）の交通流動特性、許可経路の実態などを踏まえ、図-1 に示す施設等設備計画案を作成した。

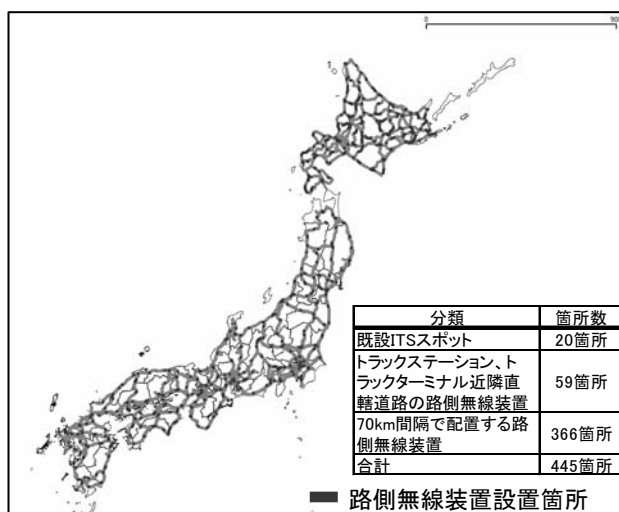


図-1 路側設備の配置方針

4. モニタリングデータの活用方法の試行

具体的施策への支援が可能となる、モニタリングデータの活用方法を検討した上で、モニタリングデータの活用方法の試行を行い、図-2 に示すミッシングリンクにおける大型車両の走行状況分析結果等の出力形式案を作成した。

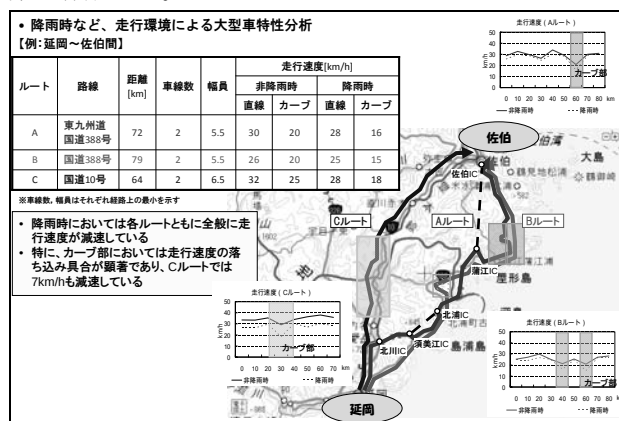


図-2 ミッシングリンクにおける大型車両の走行状況分析イメージ

〔成果の活用〕

本年度得られた成果を活用し、次年度以降は、プローブ情報を用いた大型車両の走行状況確認技術に関する調査・検討を行い、走行状況確認システムの機器仕様案等の作成を行っていく予定である。

これらにより、大型車両の走行状況をモニタリングする技術を実現し、道路法 47 条の特殊車両通行許可制度の効率的・効果的な執行に寄与することができると考えられる。

特定プローブ情報の収集・提供システムプロトタイプ構築業務

Development of specific probe data collection and provision prototype system

(研究期間 平成 25 年度)

高度情報化研究センター
高度道路交通システム研究室
Research Center for
Advanced Information Technology
Intelligent Transport System Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
部外研究員
Guest Researcher

金澤 文彦
Fumihiko KANAZAWA
澤田 泰征
Yasuyuki SAWADA
田中 良寛
Yoshihiro TANAKA
佐治 秀剛
Hidetaka SAJI

National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM) has been studying about the method of applying the probe data to road management. Although, the ITS Spot service has just started since 2011. In this study, we have developed a specific probe data collection and provision system, we studied the method of sharing data in the public and private sectors.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では、全国の高速道路本線上を中心として約 1,600 箇所にて ITS スポット（路車間通信用の無線アンテナ）を設置している。ITS スポットでは道路交通情報の提供のみならず、市販の ITS スポット対応カーナビから送信される道路プローブ情報（走行履歴等）を道路側で収集可能である。また、対象となる車両の所有者了解のもと、事前に ITS スポット対応カーナビ等のセッティングを行うことで、個別の車両を特定したプローブ情報を収集し、活用することが可能となる。この個別の車両を特定したプローブ情報を特定プローブ情報という。

国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）では、特定プローブ情報を活用した産学官連携サービスの開発を目的に、ITS スポットによるプローブ情報システムの技術的事項の評価を実施している。

本研究では、特定プローブ収集・提供システムプロトタイプ構築、プローブ情報の官民共用方法の整理を行った。

〔研究内容〕

1. 特定プローブ収集・提供システムプロトタイプ構築（平成 25 年度）

国総研では平成 24 年度までに中日本高速道路株式会社川崎管制センター他 2 箇所に特定プローブ収集装置を設置しており、必要に応じて装置に蓄積された特定プローブ情報をオフラインで取得することが可能となった。

また、「ITS スポット共通基盤を活用した産学官連携サービス開発に関する共同研究」（以下、「共同研究」という。）の中で、特定プローブ情報を活用した物流支援サービスの調査開発に取り組んできた。

平成 25 年度は、中部地方をフィールドに、官が収集した特定プローブ情報を民間事業者へ提供し、物流支援サービスに関する簡易実験を実施した。具体的には、複数の道路管理者の管轄を跨いで共同研究者が運行する車両 20 台程度について、特定プローブ情報を官が収集し、民間に提供するシステムのプロトタイプを構築し、動作確認を実施した。

2. プローブ情報の官民共用方法の整理(平成 25 年度)

1. 成果を踏まえ、プローブ情報の官民共用方法に関する整理を実施した。

〔研究成果〕

主な研究成果の概要を以下に示す。

1. 特定プローブ収集・提供システムプロトタイプ構築 1.1 特定プローブ収集・提供システムに求められる機能の整理

物流支援サービスの簡易実験を実施するため、特定プローブ情報を高速道路会社管制センターに設置されているプローブ収集装置から、民間事業者の外部システムに提供する仕組みを構築した。高速道路会社管制センターと民間事業者の外部システムを直接接続することは、高速道路会社のセキュリティポリシー上困難であることから、実験では特定プローブ収集装置と外

部システムの間に、特定プローブ提供装置を介在させることにより、官が収集した特定プローブ情報を民間事業者の外部システムに受け渡すシステム（以下、「特定プローブ収集・提供システム」という。）を構築した。

ここでは、特定プローブ収集・提供システムに求められる機能要件等を整理し、特定プローブ収集・提供システムについて3案を比較整理し、最も優れた1案について仕様案を作成した。システム案の比較整理にあたっては既設の特定プローブ収集装置との役割分担やプライバシー（個人情報や企業の営業活動上秘匿したい情報）の保護、コスト面などに留意して整理した。

さらに、効率の良いシステム案を選定するため、「同一機能を複数で開発しないこと（多重投資回避）」や、「スケールメリットの高い構成（負荷分散や拡張性）」等の視点を留意事項として設定し、機能を適切に配置した。

1.2 特定プローブ収集・提供システムプロトタイプの構築

1.1 を踏まえ、特定プローブ収集・提供システムプロトタイプとして、物流支援サービス簡易実験用システムを構築した。

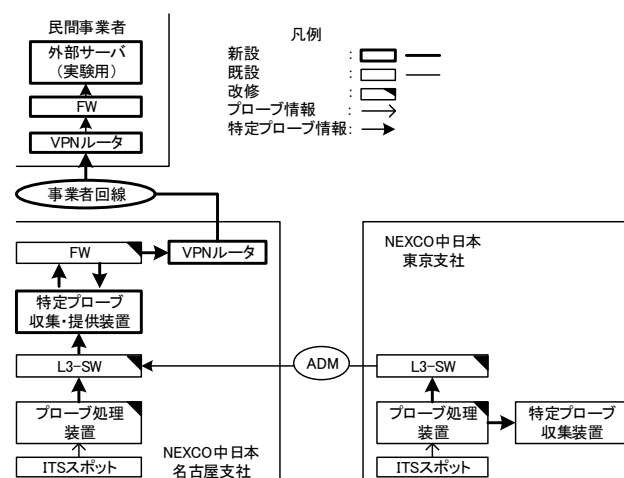


図-1 特定プローブ収集・提供システム構成図

1.3 特定プローブ収集・提供システムプロトタイプの動作確認

1.2 で構築したプロトタイプの動作確認を行うべき項目、確認方法を整理し、動作確認計画を作成した。作成した動作確認計画に基づき、動作確認を実施した。

2. プローブ情報の官民共用方法の整理

2.1 プローブ情報の官民共用実験システムの仕様案の作成

物流支援サービスの簡易実験では、物流車両の発着管理のため、民間事業者が営業拠点等にITSスポットを設置し、プローブ情報を収集する仕組みが検討されている。ここでは、民間が設置するITSスポットから収集されたプローブ情報を官が受領し、官が収集しているプローブ情報を含めてプローブ情報を官民共用する方法について3案を比較整理した。

整理にあたっては、データ精度やセキュリティ面、コスト面などに留意した。

また、プローブ情報の官民共用方法のうち、最も優れた1案をもとに官民共用実験システム※を構築するための仕様案を作成した。

※官民共用実験システム

民間が設置するITSスポットから収集されたデータを官が受領し、官が収集しているプローブ情報を含めてプローブ情報を官民共用するための実験システムであり、民間が設置するプローブ処理装置、民間が収集するプローブ情報を官が受領する装置などを含む。

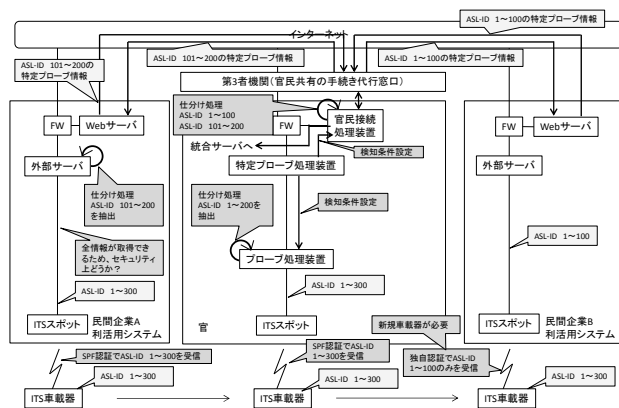


図-2 官民共用方法の構成（案）

2.2 プローブ情報の官民共用実験計画案の作成

2.1 で選定したプローブ情報の官民共用方法を踏まえて、官民共用実験システムを構築し、民間事業者が設置したITSスポットから収集したプローブ情報を、官が収集しているプローブ情報も含めて共用するため技術面を検証するための実験計画及び必要な構築・実施費用を整理した。

〔成果の活用〕

プロトタイプで得られた知見については、特殊車両走行経路違反に判定実験システムに反映された。平成26年度は、本研究で作成した官民共用実験計画案に基づき、プローブデータの共用に関する実験を行う。

