

## 新型道路融雪技術に関する検討

北陸地方整備局 北陸技術事務所 機械課 機械設計係主任 齋藤 剛

### 1 はじめに

北陸地方における冬期の円滑な交通確保、除雪作業の効率化を図るために、消融雪設備は重要な役割を担っている。

このような中、地下水の取水規制等の問題から、無散水融雪設備が多く採用されてきている現状にあり、道路融雪設備のトータルコスト縮減及び環境負荷の低減を目的に新たな融雪技術の検討を行ったものである。

### 2 既存無散水融雪設備の課題

舗装内に放熱管などの配管が敷設されている場合、舗装下にあるライフライン等の維持管理が困難であることや施設が老朽化すると配管から不凍液等の媒体が漏れるなどの課題があり、これらに対応するため、配管レス化及び無水化(不凍液等を使用しない)を図った空気熱媒体融雪システムを開発した。

### 3 空気熱媒体融雪システムの検討

空気熱媒体融雪システムは、融雪路面内部に暖かい空気を通気することで路面を加熱し融雪を行うシステムである。

一般の融雪システムは、図 - 1 に示す4つの要素から構成される。これを図 - 2 のように本システムにあては

めると、エネルギー源は、独立熱源により加熱した空気を利用する方法(独立型)と、ビル排気・ボイラー排気等様々な排熱の暖かい空気を利用する方法(排熱利用型)などが考えられ、排熱の有効活用に結び付ける事が可能である。媒体は配管から漏れても無害な空気、エネルギー輸送は送風機、放熱は維持管理が容易となるダクト付タイルとなる。

本システムの実用性を高めるため、エネルギー源の異なる独立型と排熱利用型の2通りについて実証実験を実施し、目標とする対象施設である歩道部等の小規模な箇所への適応を図るため、以下の項目について検討した。

空気熱を効果的に融雪利用できる歩道用平板融雪タイルの検討。

空気熱媒体融雪システム対応型の排水性舗装の検討。

空気熱媒体融雪システムの放熱能力、必要な送気温度と送気量の関係及びコスト評価。

#### 3.1 空気熱を効果的に利用できる配管レス化の検討

##### 3.1.1 歩道用平板融雪タイルの検討

本システム用に新規開発した平板ブロックは、空気を通す通気溝をあらかじめつけた融雪タイルである。これは配管を不必要とする新熱媒体の空気と平板融雪タイルを組み合わせることにより、無水化、配管レス化を図ったものである。また、平板融雪タイルはプレキャスト化を図り、施工性を容

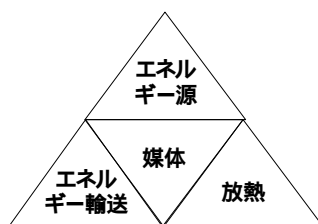


図 - 1 一般的な融雪システムの基本4要素

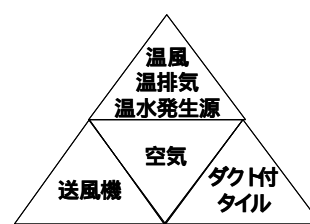
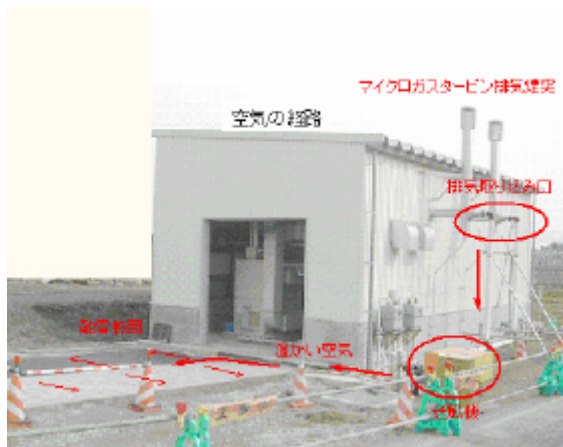


図 - 2 空気熱媒体融雪システムの基本4要素





矢印は空気の流れを示す

写真 - 4 排熱利用型の実験施設



矢印は空気の流れを示す

写真 - 5 融雪状況

### 3.2.2 独立型の実験

北陸技術事務所(新潟市)構内で実験した独立型のエネルギー源は、水加熱ヒータを単独運転とし、熱媒体はそこから発生した温風を使用し、排水性舗装をタイル型に改良した以外は、熱輸送方法、放熱部は富岡ICと同等とした。独立型のシステム概略を図-5、独立型の実験施設及び融雪状況を写真-5に示す。



写真 - 6 独立型の実験施設及び融雪状況

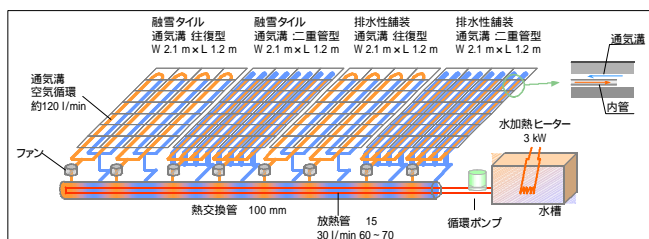


図 - 5 独立型のシステム概略

#### < 熱の流れ >

熱源の水加熱ヒータで水を温める。温水をポンプにて循環させる。その温風から得た温風を送風機にて融雪タイル内へ送風する。

## 4 実証実験からの評価

### 4.1 放熱能力、必要な送気温度と送気量の関係の評価

実証実験結果から平均放熱能力は、排熱利用型では1m<sup>2</sup>当り90W(送気温度33、送気量1m<sup>2</sup>当り毎分159)、独立型では1m<sup>2</sup>当り66W(送気温度20、送気量1m<sup>2</sup>当り毎分190)という結果となった。これは実用化されている地熱型ヒートパイプ施設の1m<sup>2</sup>当り104W

表 - 1 放熱能力比較

試験結果	融雪施設	場所	舗装構造		送気温度( )		平均放熱能力 (w / m <sup>2</sup> )
			排水性舗装	平板融雪タイル	( )	( / min / m <sup>2</sup> )	
排熱利用型 空気熱媒体	富岡IC	国道18号	排水性舗装	平板融雪タイル	33	159	90
			排水性舗装	排水性舗装			70~80
独立型 空気熱媒体	北陸技術事務所構内		排水性舗装	平板融雪タイル及び排水性舗装	20	190	66
参考	地中熱交換方式	国営越後丘陵公園内	歩道				160
	地熱型ヒートパイプ方式	国道7号海老ヶ瀬IC	コンクリート舗装				104

独立型空気熱媒体の熱源は、水加熱ヒータである。

に比べ低い値であるが、送気温度と送気量をアップさせることで実用可能な放熱能力を得ることが可能である。送気温度と送気量の関

係を整理した結果、例えば送気温度 40、送気量 1m<sup>2</sup>当り毎分 200 とすることで新潟市での必要な放熱能力 1m<sup>2</sup>当り 120Wを得られることを推測した。放熱能力比較を表 - 1、送気温度と送気量の関係を図 - 5に示す。

#### 4.2 コスト評価

トータルコストでは、従来型(エネルギー源:ボイラー、媒体:不凍液、熱輸送方法:ポンプ、放熱部:ガス管)を100%とすると排熱利用型で70%、独立型で86%となった。イニシャルコストでは、主に放熱管を施工しない分、従来型と比較して排熱利用型と独立型が20~30%安くなるのが特徴である。ランニングコストでは排熱利用型の場合、送風機のための電気料金だけであり安くなる。逆に独立型は、送風機の電気料金に加えて、ボイラーのガス料金が加算されることから従来型よりも高くなるのが特徴である。コスト比較を表 - 2、図 - 6~8に示す。

#### 5 まとめ

これまでの無散水融雪施設は不凍液や地下水などの液体が、配管の腐食などから液漏れすることや舗装下に配管が敷設されているとライフラインの維持管理も困難であるという課題に対応するため、配管を不必要とする新たな熱媒体の「空気」と「平板融雪タイル」などを組み合わせることにより、配管レス化及び無水化を実現させることができた。別熱源施設を利用した排熱融雪効果や歩道部での適用性も実証されたことから、本システムは、歩道やバス停などの部分的な箇所への導入が期待される。今後の普及に向けて、放熱部については、熱効率の高いタイル製作及び排水性舗装の配管レス化や新エネルギー等で熱源の検討を実施していくことが必要である。

#### 6 あとがき

施設の普及に向けて設計方法等が存在しないので、試験施工などを通じて「路面・消融雪施設等設計要領」への反映を図る必要がある。

最後に本検討の実施にあたり調査等に御協力頂いた多数の関係者に感謝する。

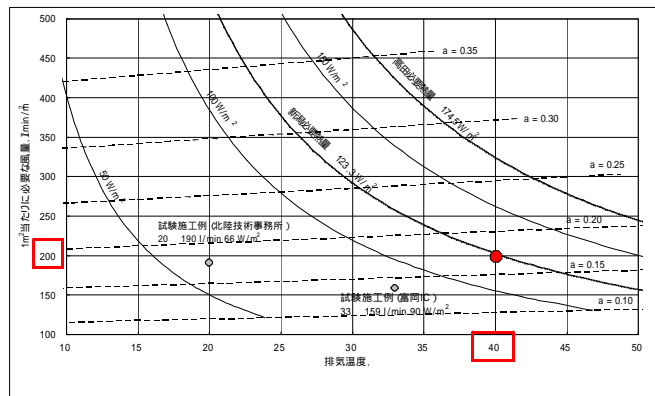


図 - 5 送気温度と送気量の関係

表 - 2 コスト比較条件

	1m <sup>2</sup> 当り		
熱源	従来型 ボイラー	独立型 ボイラー	排熱利用型 オールマイティ
媒体	不凍液	空気	
放熱部	ガス管	平板融雪タイル	
比較年数	15年		

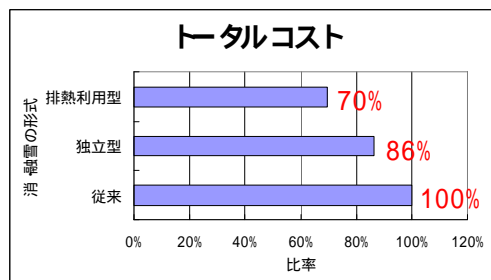


図 - 6 トータルコスト比較表

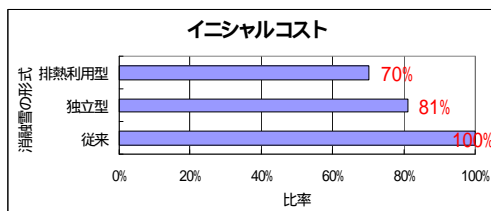


図 - 7 イニシャルコスト比較表

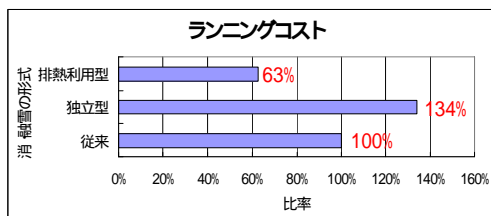


図 - 8 ランニングコスト比較表



# GPS携帯電話を用いた情報提供システムについて

四国地方整備局 松山河川国道事務所 調査第一課 林 雄介

## 1、はじめに

松山都市圏では、近年の著しい交通需要の増大や、急激な市街地の拡大などにより、各所において深刻な交通渋滞の問題を抱えている。

特に、国道 11 号小坂、国道 33 号天山と捨町、国道 196 号空港通 2 丁目の各交差点は、朝の通勤・通学時間帯を中心に混雑が著しく、抜本的な渋滞緩和対策が求められている。

これら渋滞交差点については、現在立体交差事業(ハード施策)の検討等が行われているが、これらハード施策では事業化には時間を要すとともに、事業中には交通渋滞の更なる悪化が予想されるため、TDM、ITS 等、早期に実施でき、かつ効果的な施策(ソフト施策)が求められている。

本調査は、松山都市圏における渋滞対策の一つとして GPS 携帯電話を用いた道路交通情報の提供調査(モニター調査)を実施し、その効果検証を行ったものである。具体的には、道路利用者(モニター)に GPS 携帯電話を通して交通予報(所要時間予測情報)や道路現況情報(渋滞情報)を提供し、利用者に出発時刻の変更や経路変更等の交通対応行動を促し、最終的に交通需要の平準化や減少といった渋滞緩和効果が出るかを調べた。

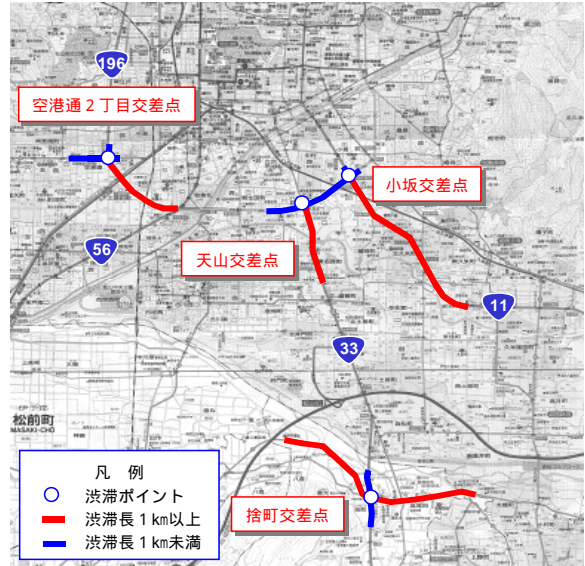


図 1 松山都市圏主要渋滞箇所



図 2 小坂交差点の渋滞状況

## 2、モニター調査の概要

### 2.1、調査概要

モニター調査は以下のように実施した。

ア. 調査期間：平成 16 年 1 月 25 日(月)～2 月 29 日(日)の 35 日間

うち情報提供を行わない期間：1 月 25 日(月)～2 月 8 日(日) 14 日間

情報提供を行う期間：2 月 9 日(月)～2 月 29 日(日) 21 日間

イ. 対象地域：松山都市圏(松山市，伊予市，北条市，重信町，川内町，砥部町，松前町)

ウ. モニター数：311 名

## 2.2、情報提供システム全体イメージ

本調査では、交通予報や道路現況情報など道路情報を提供するために、図3に示すシステムを構築し、モニター調査期間中運用した。GPS 携帯電話で収集された利用者の位置情報と併せることで、利用者にとって必要な情報を効率よく提供できるようにした。

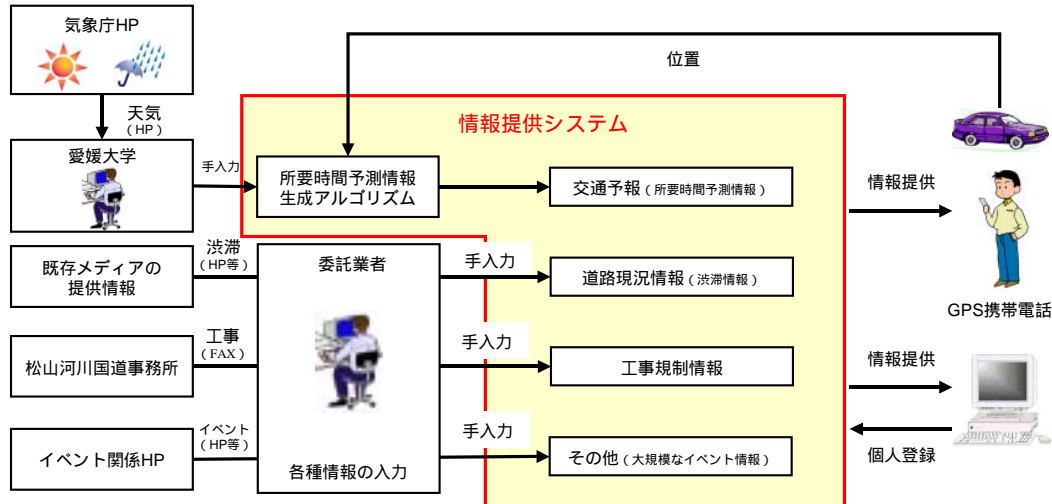


図3 モニター調査期間中における情報提供システムの概略イメージ

## 2.3、情報提供システム提供イメージ

GPS 携帯電話の最も大きな特徴である道路利用者の現在地を収集する機能を活かし、従来から提供されている道路現況情報（渋滞情報）だけでなく、交通予報という形式で現在地 - 目的地間や特定区間の所要時間予測情報の提供を行った。

### (1) 交通予報（所要時間予測情報）

#### ア. 交通予報

GPS 携帯電話で収集する「現在地」とあらかじめ登録された「目的地（施設）」間の交通予報 [現在, 30分後, 1時間後, 2時間後] を利用者がリクエストしたときにいつでも提供する。

#### イ. 配信情報

事前に登録された特定区間（主要渋滞区間等）の交通予報を、事前に登録された時刻に自動的に配信する。

### (2) 道路現況情報（現在の渋滞情報）

#### ア. 着信音情報

GPS 携帯電話により走行中の位置を把握し、前方交差点の道路現況情報（渋滞情報）を着信音 [音声] により通知する。

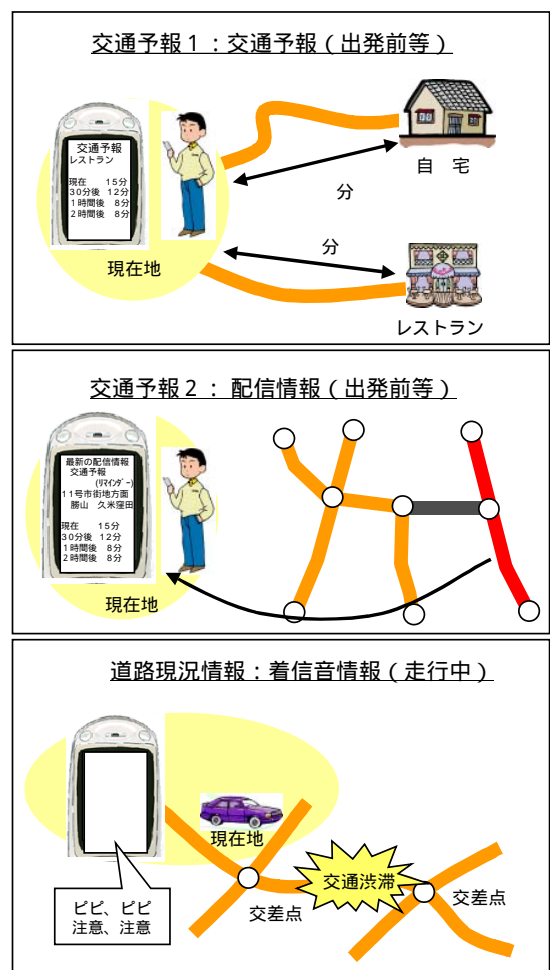


図4 利用者に提供される情報提供のイメージ

### 3、調査結果と効果検証

本調査で提供した各情報(交通予報・道路現況情報)についてトリップごとの交通行動の変更結果についてアンケート調査を実施した。その上で、愛媛大学の技術協力のもと MITSIM を用い、本システムを実用化した場合の渋滞対策の効果検証を行った。

なお、ここでは効果検証を行う対象を松山都市圏で最も渋滞が激しい国道 11 号をよく利用する人とし、その人のアンケート結果とそれを用いた効果検証(国道 11 号市街地方面行き(久米窪田交差点 小坂交差点)6:00~10:00)を行った。効果検証を行うにあたり、はじめに各情報を提供することにより期待される効果を整理する。

表 1 本調査で提供する情報と期待される効果の整理

提供情報	期待される主な効果	備考
交通予報	出発時刻の変更	<ul style="list-style-type: none"> <li>両者を組み合わせることにより、効果の向上を図る。</li> <li>他交通機関(鉄道,バス)情報や施設情報等を組み合わせることにより、交通手段の変更,目的地の変更などの促進が図れる。 これからの課題</li> </ul>
道路現況情報	経路の変更	

#### 3.1、交通予報(所要時間予測情報)提供の効果

モニター調査期間中に実施したトリップごとのアンケート調査(図5参照)によると、朝の通勤・通学時間帯である7時台での交通予報の情報取得率は45.1%と、全体の時間帯での情報取得率(27.7%)と比較して高く、情報のニーズが高いことが分かった。また、情報取得後の交通行動の変更は、出発時刻の変更が最も多く、その割合は7時台で13.5%と高く、所要時間予測情報により効果的に交通行動の変更を促すことが出来ることが分かった。

このうち渋滞が激しい7時台の結果を利用し、以下の条件で MITSIM を用いた効果検証(図6参照)を行った。その結果、交通予報を提供し、利用者が出発時刻を変更することにより、久米窪田 - 小坂交差点間の最大旅行時間が 20.4 分から 18.6 分(1.8 分短縮) に、朝の通勤・通学時間帯の平均旅行時間が 15.2 分から 13.0 分(2.2 分短縮) となった。

##### 【効果検証の条件】

- アンケート調査結果より出発時刻の変更割合を以下のように設定する(出発時刻の変更は、アンケート調査により変更時刻を15分単位で把握)。
  - ・7:00 から 7:30 に出発する車両
    - : 10分早める車両(10.0%) ,
    - 30分早める車両(1.2%)
  - ・7:30 から 8:00 に出発する車両
    - : 10分遅らせる車両(2.4%) ,
    - 30分遅らせる車両(0.0%)
- 対象者全員が情報を取得する(情報取得率100%)。

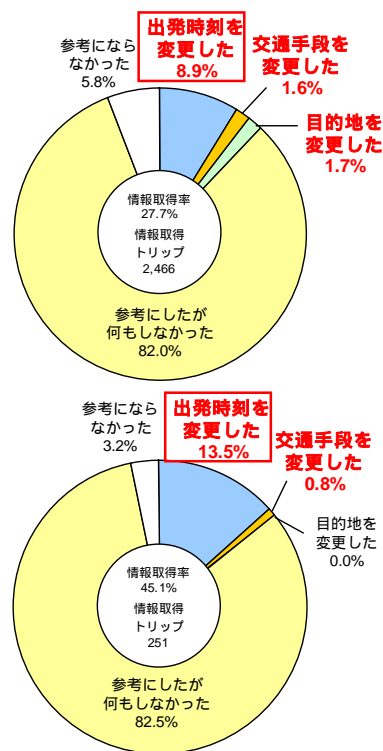


図5 交通予報取得結果 (上:全時間帯,下:7時台)

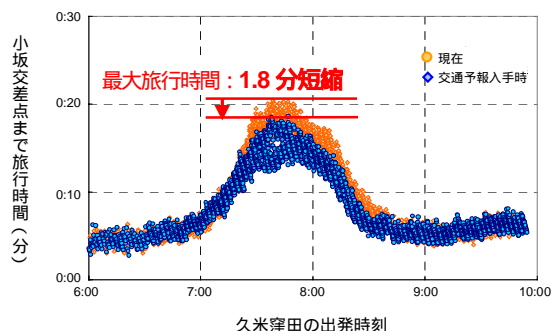


図6 交通予報有無の旅行時間の比較



### 3.2、道路現況情報（渋滞情報）提供の効果

今回の情報提供システムでは、道路現況情報は着信音情報という方式で提供されている。着信音情報は渋滞が発生しているときのみ提供されるため、渋滞が頻発する朝の通勤・通学時間帯における道路現況情報（渋滞情報）の情報取得率は、42.8%と高くなった。

一方、情報取得後に経路変更をした割合は、全時間帯では12.6%であったのに対し、7時台では5.0%に留まり、交通予報提供時の出発時刻の変更とは異なり、朝の通勤・通学時間帯ではあまり経路変更は行われないう傾向となった（図7）。

交通予報同様、渋滞が激しい7時台の結果を利用し、以下の条件で MITSIM を用いた効果検証（図8参照）を行ったところ、道路現況情報を提供し、利用者が経路を変更することにより、久米窪田 - 小坂交差点間の最大旅行時間が 20.4分 から 17.1分（3.3分短縮）に、朝の通勤・通学時間帯の平均旅行時間が 15.2分 から 11.7分（3.5分短縮）となった。

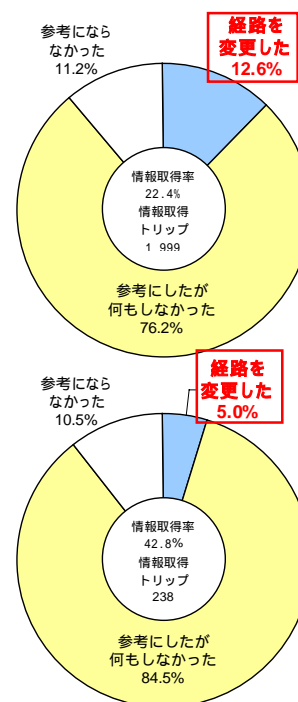


図7 道路現況情報取得結果  
（上：全時間帯，下：7時台）

#### 【効果検証の条件】

- アンケート調査結果より経路変更の割合を以下のとおりを設定する。
  - ・7:00 から 8:00 に出発する車両
  - ：他経路への変更により減少させる車両（5.0%）
- 対象者全員が情報を取得する（情報取得率 100%）。

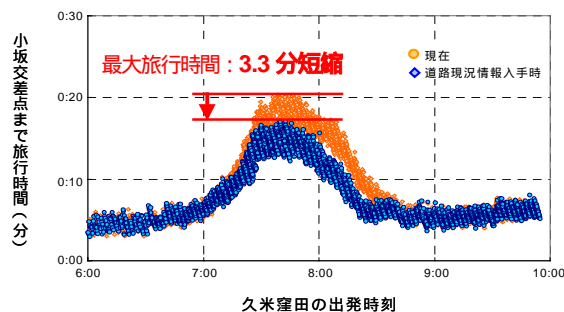


図8 道路現況情報有無の旅行時間の比較

### 3.3、まとめ

3.1, 3.2 では、交通予報，道路現況情報を個別に提供した場合の効果検証を行った。その結果、それぞれわずか数%の交通対応行動の変更にもかかわらず、国道11号市街地方面行き（久米窪田交差点 小坂交差点）の朝の通勤・通学時間帯における旅行時間の短縮効果があることが検証できた。

実際の情報提供システムでは、交通予報・現況情報が同時に提供されており、それぞれの情報を個別に提供した場合の効果検証と比較して、さらに大きな効果を見込むことができると考えられる。

### 4、おわりに

本調査では、道路利用者（調査モニター）に交通予報（所要時間予測情報）や道路現況情報（渋滞情報）を提供することにより、出発時刻の変更や経路変更など利用者の交通行動の変更が確認でき、渋滞区間の旅行時間短縮効果が期待できることがわかった。

今後、GPS携帯電話が普及し、情報提供サービスを継続できれば、さらに多くの人々が情報を入手し、この情報提供システムが渋滞緩和に大きく寄与するものと期待される。



# 秋田県“角館の桜まつり”における渋滞対策について ～マネジメントサイクルの実践～

東北地方整備局 秋田河川国道事務所 角館国道維持出張所

木村 孝 佐藤 康弘

## 1、はじめに

角館町は、秋田県東部中央に位置する人口約1万5千人程の町であるが、幕藩時代からの武家屋敷が今なお残る歴史の香り漂う町である。そのため年間240万人もの観光客が訪れる東北屈指の観光地となっている。特に桜の季節には、「武家屋敷の枝垂れ桜」「桧木内川堤の染井吉野」を見物するため沢山の観光客が訪れる。

平成15年「角館の桜まつり」では、過去最高の観光客133万4千人を記録し、町内は休日を中心に大変混雑した。そのため、国道46号・国道105号と言った町内を通る道路は、大渋滞を引き起こし、観光客ばかりでなく、地域生活全般に大きな影響を与えることとなった。

そこで、昨年11月から角館町を中心とする祭りの主催者に道路管理者と警察が加わり”角館観光期渋滞対策検討会”(メンバ-は、国土交通省角館国道維持出張所・秋田県仙北地域振興局・角館町・道路公団秋田管理事務所・角館警察署・角館町観光協会/以降検討会と呼ぶ。)を組織し、幹線道路の渋滞緩和に取り組んできたところである。

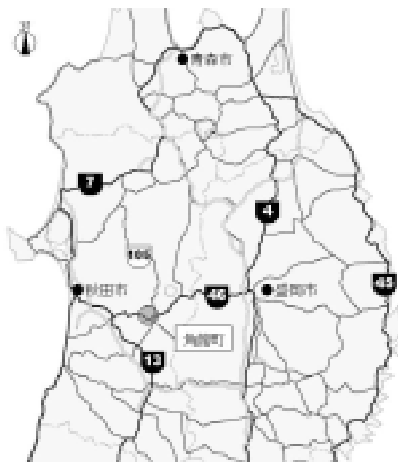


図 - 1 位置図

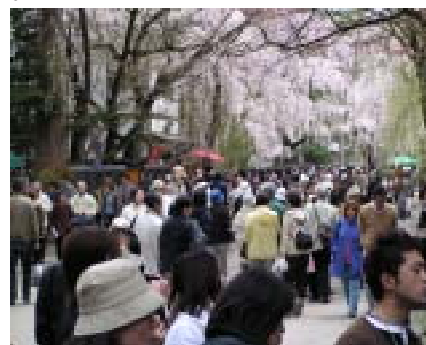


写真 - 1 角館の桜まつり



写真 - 2 角館市街地全景



写真 - 3 検討会開催状況

## 2、渋滞対策の進め方

検討会は、立案（PLAN）～施策の実行（DO）～施策の効果測定・評価（SEE）といった行政マネジメントサイクルの考え方を取り入れて、進めることとした。具体的には、既存データの整理・問題点の抽出～検討方針・スケジュールの確認～現地調査・施策検討～施策の実行・調査～調査結果の整理・解析～施策の評価～《次回に向けての取り組み検討》といった流れで進めた。

短期施策目標（平成16年に向けて）を観光期（桜まつり・ゴールデンウィーク・夏休み・紅葉シーズン）の国道46号通過車両1台当たりの渋滞損失時間をソフト的施策で2割削減させることとした。また、中期施策目標（概ね5年後に向けて）については、ハード的施策で角館町民1人当たりの渋滞損失時間を3割削減させることとした。

なお、計画については、平成15年度秋田のみちのサービス目標計画書（アウトカム・プラン）の観光渋滞緩和に向けた取り組み（角館地区）として公表している。



写真 - 4  
平成15年度秋田のみちの  
サービス目標計画書(業績計画書)

## 3、渋滞原因と対策

既存資料に基づく平成15年「角館の桜まつり」における国道46号の渋滞状況は、最大渋滞長4.2km、最大通過時間50分であった。

検討会において、幹線道路の交通容量不足、駐車場の不足、大型観光バスによる交通阻害（駐車場への出入り、駐車場待ち、観光客の乗降）が渋滞の主な原因という認識で一致した。

渋滞緩和に向けた短期施策として、駐車場容量の拡大（角館バイパス用地・桧木内河川敷などの活用で倍増）

計画的な交通誘導（大型観光バス専用駐車場・乗降場所の設置、進入方向別で利用駐車場の固定）交通・駐車場の情報提供の充実（道路情報板等道路施設の活用、ホームページ・携帯サイトの充実・活用、案内看板の充実、リフレットの充実・配布）を計画・実施した。

また、中期施策として平成19年供用を目標に現在整備を進めている角館バイパスの整備を位置づけた。



写真 - 5 ホームページ  
(交通・駐車場の情報提供)

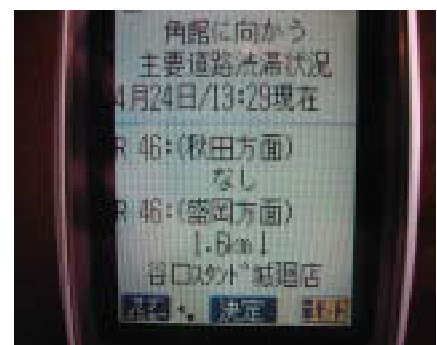
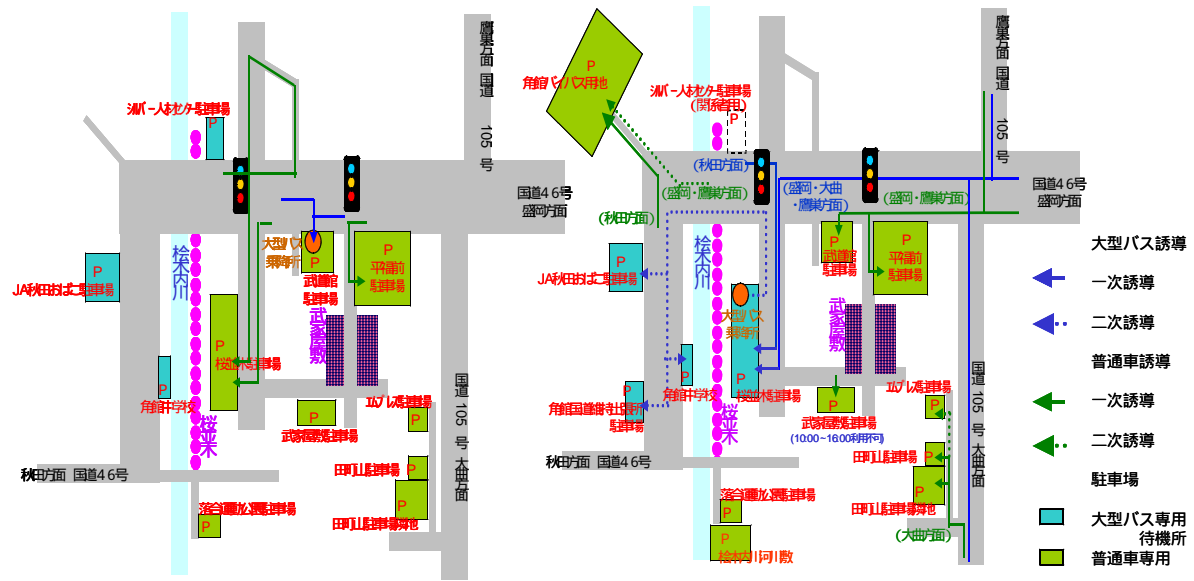


写真 - 6 携帯電話サイト  
(交通・駐車場の情報提供)



平成15年  
(大型バス88台、普通車1,365台)

平成16年(H15比:9割UP)  
(大型バス110台、普通車2,625台)

図-2 渋滞緩和に向けた短期施策

#### 4、施策効果の検証

平成16年「角館の桜まつり」は、4月17日～5月5日の19日間、133万1千人の観光客を集め、大変な賑わいをみせた。特に、満開の4月25日(日)には、20万人もの観光客が訪れ、角館町は大変な人出となった。

施策効果については、観光期の国道46号通過車両1台当たりの渋滞損失時間36分27分と短期施策目標である2割減を達成する結果(25%減少)となった。

国道46号の最大渋滞長・最大通過時間については、盛岡方向で4,200m(50分)2,600m(35分)と言う効果が確認された。しかし、一時的ではあるが、秋田方向で3,200m(30分)3,500m(43分)と渋滞の増長も確認された。これは、専用駐車場から乗降場所へ移動する大型観光バスが、ある時間帯に集中してしまったことに起因するものと考えられ、今後の検討課題となっている。



写真-7 昨年度渋滞状況  
(国道46号表町交差点付近)



写真-8 今年度渋滞状況  
(国道46号表町交差点付近)

国道105号においては、1,000m(40分)と言う渋滞が見られた。(平成15年はデ-タ無し)これは、交差する国道46号の渋滞の影響によるもので、中期施策としている国道46号角館バイパスの整備で緩和するものと考えられる。

町へ寄せられた苦情件数が147件 5件と激減、アンケート調査結果でも約9割が満足・やや満足となっており、観光客には概ね好評であったと思われる。

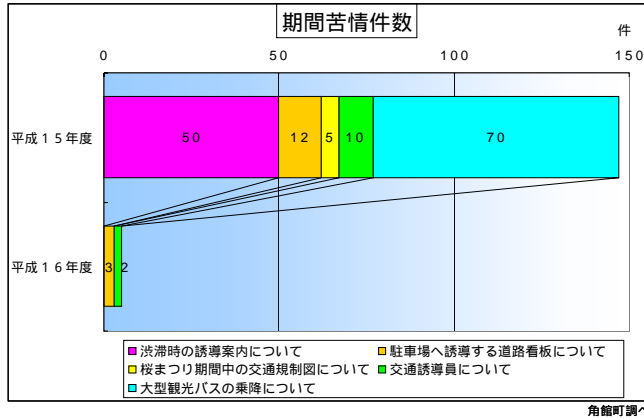


図 - 3 桜まつり期間中苦情件数

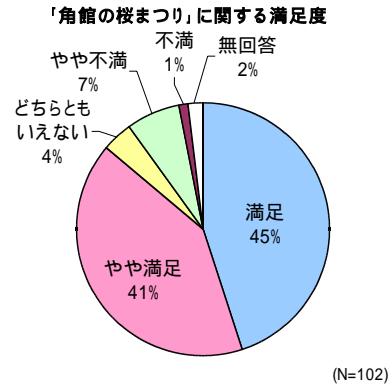


図 - 4 アンケート結果 (角館の桜まつりに関する満足度)

## 角館の桜祭り 苦情激減

武家屋敷のシダレザクラや松本内川土平のソメイヨシノで有名な角館町で6月6日まで桜祭りが開かれている。写真は、交通規制の解除に、今年は駐車場を整理し、観光バスと自家用車の駐車場を区別。誘導員も増員した。祭りが始まり最初の週末だった17、18日には観光バス関係者から苦情が4件出た。効果が見られたようだ。

町商工観光課によると、角館町の桜祭りには100万人以上の観光客が訪れる。例年、大型観光バスは町家敷敷道の駐車場に観光客を降ろしていたが、待機場所が狭いため、近頃は別の場所になっていた。

このため祭り期間中、「観光客が苦子になった」という苦情が同課に1日

**駐車場増など、渋滞対策が効果**

平均20件ほど寄せられていた。また、国道46号や105号では、駐車場を確保す自家用車の渋滞が起き、車を降りられず帰ったという苦情もあったという。

そこで今年は、町町や町観光協会などで、前年の約2倍に当たる約200台分の駐車場を確保。松本内川土平の駐車場を観光バス専用の乗降口にした。

一方、自家用車の駐車場の多くは国道沿いにあり、花見ができる場所まで最大で約20分歩かなくてはならない。同課は誘導員を前年の約4倍配置した。「多くの人が満足できるように、誘導員の配置に注いで欲しい」と呼びかけている。

関連新聞記事

## 角館の桜まつり 総決算

### 渋滞緩和策が奏功 流動客を引き留める

「角館の桜まつり」は、今年も大盛況で幕を閉じた。観光客の満足度は、前年より大幅に向上した。渋滞緩和策が効果的だったと、関係者は評価している。

角館町の桜祭りは、今年も大盛況で幕を閉じた。観光客の満足度は、前年より大幅に向上した。渋滞緩和策が効果的だったと、関係者は評価している。

角館町の桜祭りは、今年も大盛況で幕を閉じた。観光客の満足度は、前年より大幅に向上した。渋滞緩和策が効果的だったと、関係者は評価している。

## 5、おわりに

今回の取り組みのポイントは、関係機関が連携してソフト的施策に取り組んだことと行政マネ-ジメントサイクルを実践したところにある。あまりコストを掛けずに満足できる成果を上げられ、一般の方々に目標・施策・効果を目に見える形で示せたことは、大変有意義な取り組みであったと言って良いであろう。

大型観光バスの乗降場所の機能的な運営、携帯サイトなど情報提供のPRと内容の充実と言った課題については、引き続き本検討会で取り組んでいくこととしている。



# 年末年始 伊勢神宮（内宮）周辺パーク＆バスライド社会実験

中部地方整備局 紀勢国道事務所 調査設計課 調査係長 石田 英之

## 1. 要 旨

伊勢神宮内宮には正月三が日で40万人を超える参拝客が訪れ、周辺駐車場が満車となりあふれた車で伊勢自動車道や国道23号などのアクセス道路は激しい渋滞が発生しています。

そこで、この問題を解決するため地域代表・民間企業・行政機関が一体となり「内宮周辺交通渋滞対策協議会」を組織し、年末年始においてシャトルバスによるパーク＆バスライド社会実験を実施することとしました。

実施にあたっては、シャトルバスのルート、周辺道路の交通規制、利用者への広報、関係機関の役割分担、実験当日の運営方法など数多くの課題を幾度かにわたる関係機関協議において解決し社会実験を実施することができました。

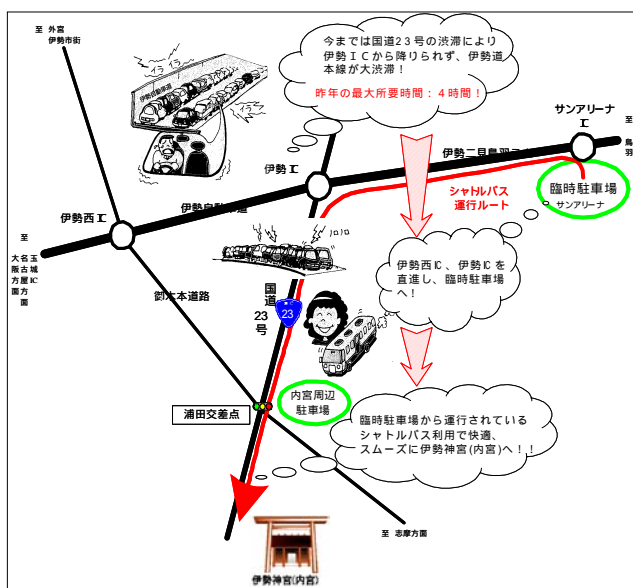
社会実験の成果として、伊勢自動車道の最大渋滞長が13.9 km から2.2 km へと大幅に減少しました。また日本道路公団へ寄せられた苦情も5,000件から2件へと激減し、利用者満足度調査では5段階評価で4.4となるなど、社会実験に参加頂いた方からも好評を頂きました。

## 2. 本 文

### 2.1 内宮周辺の現状と課題

伊勢神宮内宮周辺の渋滞は初詣り客による集中交通によるもので、年末年始に限定された一時的に発生する課題です。

この何十年も毎年繰り返される年末年始の渋滞のため、自動車で初詣りをする方にとって”渋滞は付き物”という認識が定着し、近年においては参拝客も年々減少するとともに、伊勢志摩地域への観光客も減少傾向でにぎわいの復活が地域の課題となっています。



【図 - 1 : パーク＆バスライド社会実験のイメージ】

### 2.2 パーク＆バスライド社会実験の概要（図 - 1）

実施時期 : H15.12.31 22時 ~ H16.1.1 16時  
H16.1.2 9時 ~ H16.1.2 16時  
H16.1.3 9時 ~ H16.1.3 16時

実施箇所 : 伊勢神宮（内宮）～ 県営サンアリーナ

実験目的 : 正月時期における内宮周辺の交通渋滞解消・緩和

実験内容 : 県営サンアリーナをP&B R駐車場として参拝客を内宮までシャトルバス35台で輸送

実施主体 : 内宮周辺交通渋滞対策協議会（会長：松井 寛 名城大学教授）

## 2.3 パーク&バスライド社会実験の成果

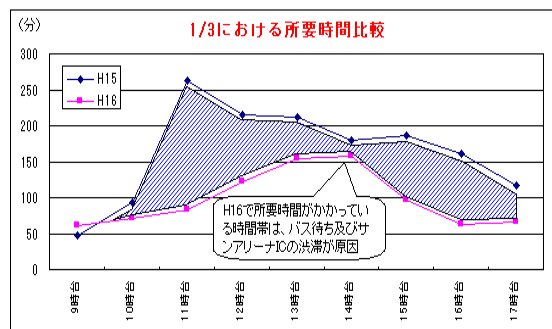
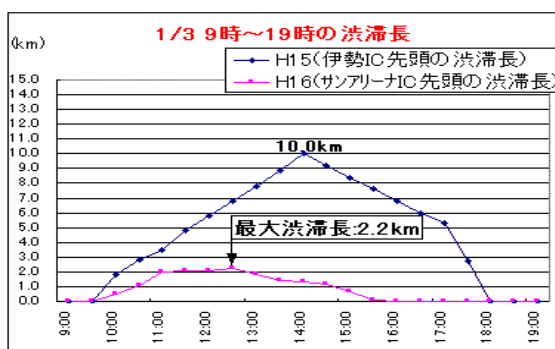
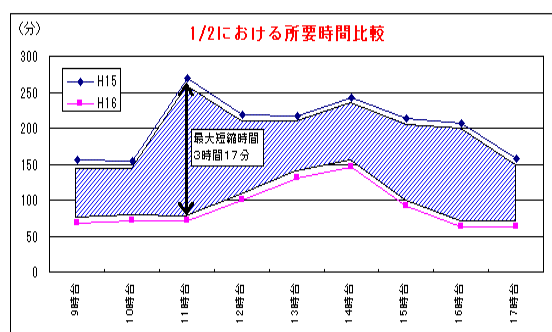
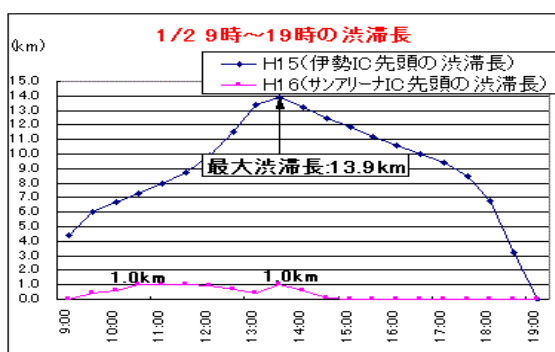
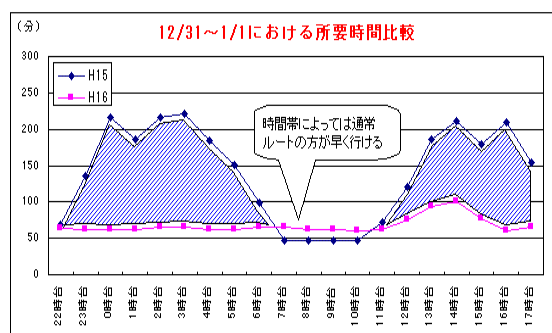
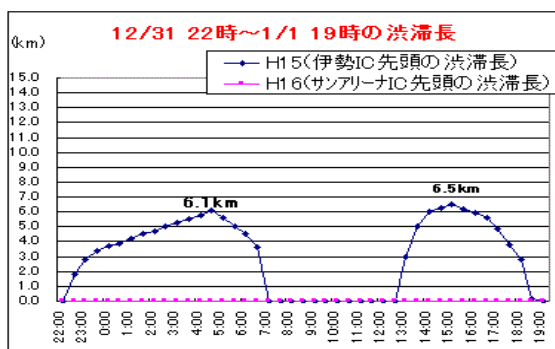
### 2.3.1 伊勢自動車道の渋滞緩和

正月3日が日の最大渋滞長は、平成15年の13.9kmが平成16年は2.2kmとなり大幅に減少しました。日付別にみると、元日において渋滞は完全解消、2日・3日はピーク時に集中した車両により県営サンアリーナ駐車場入り口において渋滞が発生していますが、昨年と比較すると大幅な改善が図られました。(図-2)

正月3日における勢和多気ICから内宮までの往復47kmの渋滞損失時間は、平成15年の91,213時間から平成16年は31,936時間となり約59,000時間削減することができました。

所要時間を比較してみると、3日が平均で1時間24分の短縮、最大では2日の午前11時に3時間17分の短縮が図られるなど今回の社会実験によって所要時間の平準化を図ることができました。(図-3)

また、正月3日に日本道路公団に寄せられた苦情が、平成15年に5,000件を超えていたものが平成16年は2件となるなど利用者の不満も改善されたことが伺えます。



※図の青線部がパーク&バスライド社会実験の効果を表す。

【図-2：社会実験における渋滞長の比較】

【図-3：社会実験における所要時間の比較】

### 2.3.2 国道23号の渋滞緩和

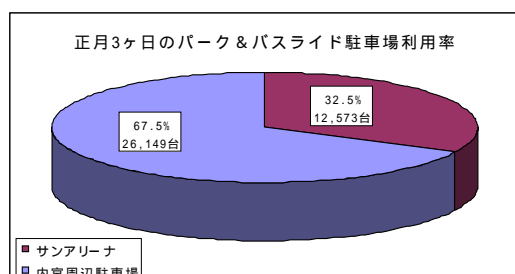
実験時においても2～3 km程度の渋滞は発生しましたが、伊勢ICから内宮間においては、例年に比べると車の流れはスムーズでした。これは駐車場が内宮周辺と県営サンアリーナに分散されたため、内宮周辺駐車場の利用がスムーズになり駐車待ち車両が減少したためと考えられます。

### 2.3.3 パーク&バスライドの利用状況

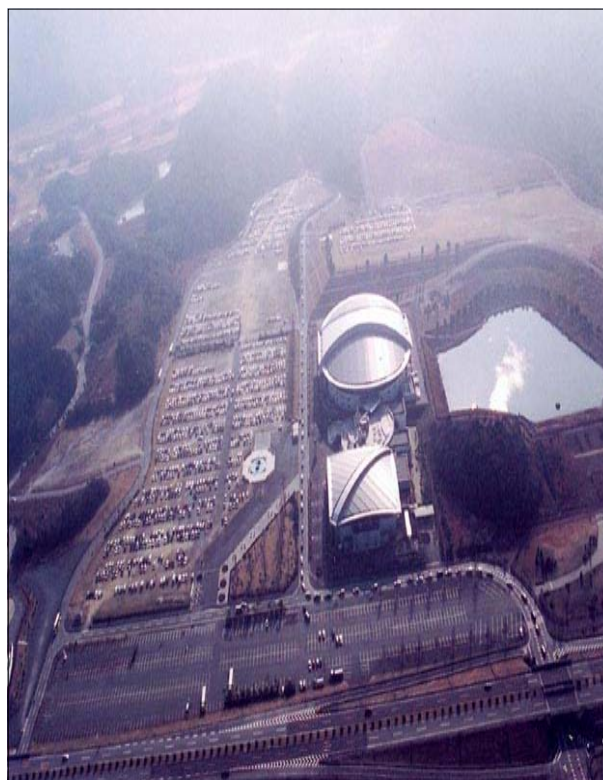
今回の実験において、パーク&バスライド駐車場の利用台数は約12,500台で、正月3日が日に伊勢神宮内宮にマイカーで訪れた方の3割強にあたります。

(図-4、写真-1)

シャトルバスは、県営サンアリーナから内宮間の片道7.5 kmを15分以内でスムーズに運行しシャトルバス専用レーン導入の効果は発揮されました。(写真-2)



【図-4：社会実験における駐車場利用率】



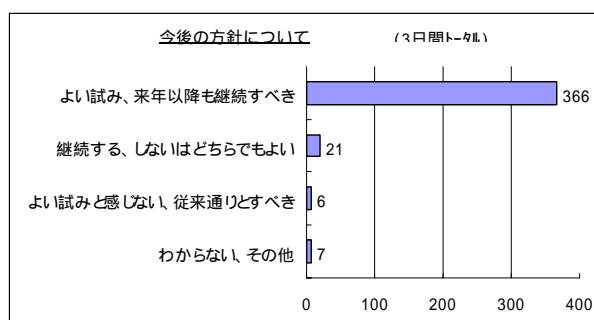
【写真-1：県営サンアリーナ臨時駐車場の状況】



【写真-2：渋滞を横目に走り抜けるシャトルバス】

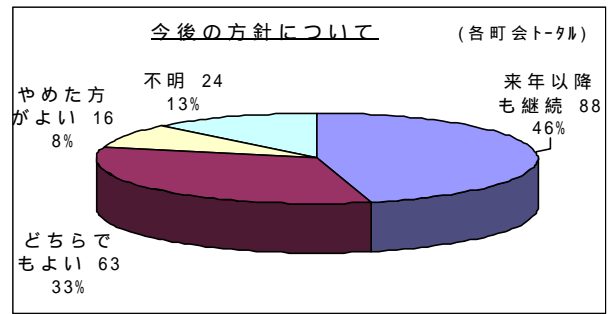
シャトルバス利用者へのアンケート結果においても、満足度は5段階評価で4.4ポイントと良好で、9割の方が「良い試みなので、来年以降も継続すべき」との回答を頂きました。

(図-5)



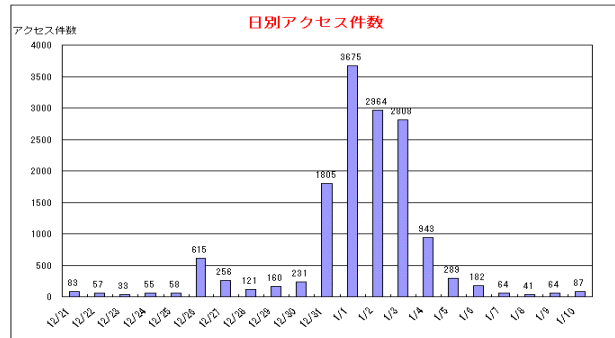
【図-5：シャトルバス利用者へのアンケート結果】

また、社会実験の実施に伴う地元の方へのアンケート結果においても、「交通状況は実施前よりスムーズ」との回答が4割を越え、社会実験の継続を望む方がやめた方がよいと答えた方を大幅に上回り、地元からも賛成する声を頂いています。(図 - 6)



【図 - 6 : 地元の方へのアンケート結果】

社会実験実施中は携帯電話を活用し、駐車場案内(満空情報)、シャトルバスの所要時間、国道23号の渋滞長をリアルタイムで情報提供を行ないました。実験期間中のアクセス件数は約11,200件でパーク&バスライド利用台数とほぼ同数の利用件数がありました。(図 - 7)



【図 - 7 : 携帯電話へのアクセス状況】

## 2.4 本格実施向けの課題

運営面での課題としては、夕方ピーク時における内宮前でのバス待ち時間の改善、県営サンアリーナ駐車場における料金収受、案内誘導等の改善について検討が必要であると考えます。

また、本格実施に向けて、採算性の検討、民間主導への移行が必要不可欠であり、今後協議会の場で活発な意見交換が必要であると考えます。

## 3. むすび

今まで「正月時期の渋滞は仕方がない」とあきらめて誰もが重い腰を上げなかったが、今回の社会実験の実施に向けて地域代表・民間企業・行政機関が一体となり汗をかき知恵を出し合った結果、伊勢神宮内宮周辺の交通渋滞は改善出来ることが実証できました。

社会実験終了後に開催された協議会で、地域代表の方が「行政だけでなく、民間や地域が組織に参加し協議出来たことが一つの成功である。社会実験により正月3が日の車の流れも良かった。今回の取り組みがこの地域の活性化につながればと思う。」と発言を頂きました。この一言が全てを物語っている様に思われます。

協議会では今年度の年末年始も引き続き社会実験を予定しており、継続することで地域にパーク&バスライドが定着し、初詣り渋滞が解消され伊勢志摩地域の活性化、にぎわいにつながることを期待します。



# 橋梁を用いた車両重量計測

国土技術政策総合研究所 道路研究部 橋梁研究室 研究員 石尾真理  
室長 玉越隆史 研究官 中洲啓太

## 1. 目的

現在、道路橋の設計基準を部分安全係数設計法の書式に改訂する作業が進められている。道路橋の設計には、道路構造令で規定している設計自動車荷重に大型車の交通状況等を勘案して設定された活荷重を用いる。したがって、設計活荷重における基準の改訂を行うにあたって、実交通が橋梁に及ぼす影響を把握する必要がある。また、設計活荷重の検討にあたって必要な、交通荷重、車間距離などの交通特性の実績に基づくデータを取得する際には、全国多数の地点において、できるだけ安価に、必要な精度で計測するシステムが必要である。

現在、通行車両の重量を計測する場合、マット式ないしは埋め込み式の軸重計が用いられることが多い。しかしながら、これらの装置は、その設置に多額の費用を要するなどの課題も多い。

一方、橋梁部材の応答を用いた車両重量計測システム(以下、「BWIM(Bridge-Weigh-in-Motion)」という。)は、部材応答の測定機器として、ひずみゲージや変位形などの汎用的な製品を用いることができるため、軸重計などと比較して安価に計測できる場合が多ことから、国総研でも開発を行ってきた。

ここでは、大型車が橋梁に及ぼす影響について把握した。また、BWIMを用いた車両重量の計算には、載荷荷重の影響範囲が短い部材を用いる方法と、影響範囲が長い部材を用いる方法があり、それぞれの応答を用いた場合の留意点について考察した。

## 2. 大型車が橋梁に及ぼす影響

車両が、路面に及ぼす影響を計測するため、



図-1 試験車走行ルート(約30km)

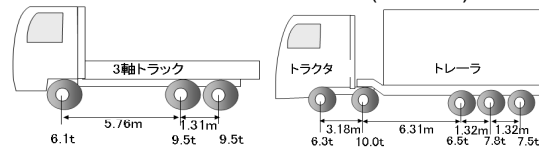


図-2 試験車

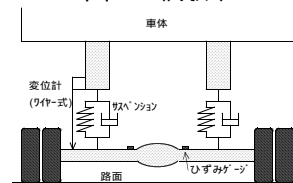


図-3 車両側計測位置

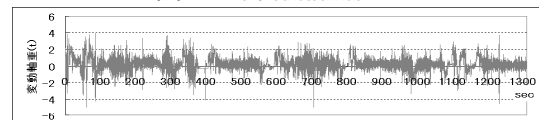


図-4 軸重の動的変動(5軸トレーラ駆動軸)

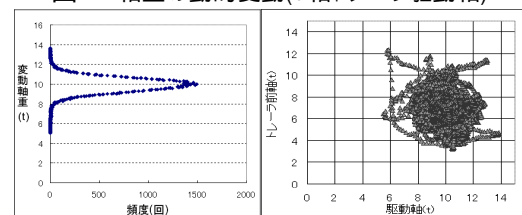


図-5 軸重頻度分布(駆動軸) 図-6 動的軸重の相関

図-3のように設置した車軸のひずみと軸重値の相関関係から動的軸重を計測した。図-2の5軸トレーラを茨城県つくば市の一般的な道路(図-1参照)を、時速約35kmで走行させて得られた、トラクタ駆動軸の動的軸重値を図-4に、軸重頻度分布を図-5に示す。

大型車両走行中は、車両振動特性や路面の凹凸の影響を受けて激しく変動し、静的軸重10tに対して4t前後変動していることがわかる。また、図-6は同じ車両にある軸同士の動的軸重の相関を示したものである。大型車両走行中は、動的軸重の変動に、位相的な相関はほとんど見られず、各車軸間で激しく変動していることがわかる。

### 3. 影響範囲が短い部材の応答

床版のように载荷荷重の影響範囲が短い部材を用いた方法は、他車線の影響や、車線数、橋梁形式といった条件の制約が少ないと考えられる。

しかしながら、载荷荷重の影響範囲が短い部材で得られる軸重に対応する応答値には、激しく増減する軸重変動波形から、ある瞬間的な値を取り出した値しか得られず、その値から静的軸重を精度良く推定することは困難と考えられる。さらに、得られた軸重値から車両総重量を求める場合には、車軸相互間の軸重変動波形の相関関係を明らかにした上で考慮しなければ適切に推定できない。

そこで、図-8に示す国総研所内の試験橋梁(単純鉸桁橋)にて図-2の試験車を走行させ、表-1に示す部材応答を計測した。図-9に示すひずみ応答のピーク値は、それぞれ計測条件が同じになるよう、走行速度や車線内の走行位置をできるだけ同じにするようにした複数回の走行を行ったが、各走行回ごとにばらつきが大きい

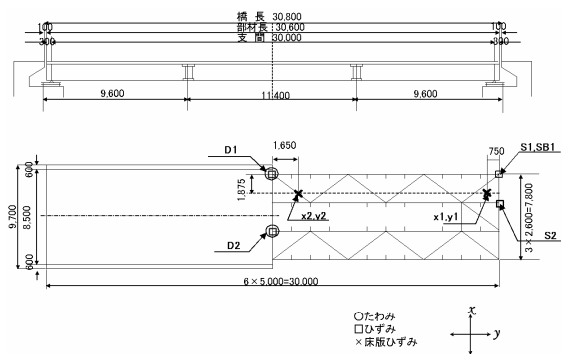


図-8 試験橋梁

表-1 計測位置

測点記号	種類	単位
D1	G1桁たわみ	mm
D2	G2桁中央たわみ	mm
X1	床版ひずみ(橋軸直角方向)	$\mu$
X2	支間中央床版ひずみ(橋軸直角方向)	$\mu$
Y1	床版ひずみ(橋軸方向)	$\mu$
Y2	支間中央床版ひずみ(橋軸方向)	$\mu$
S1	G1支承部補剛材ひずみ	$\mu$
S2	G2支承部補剛材ひずみ	$\mu$
SB1	端対傾構ひずみ	$\mu$

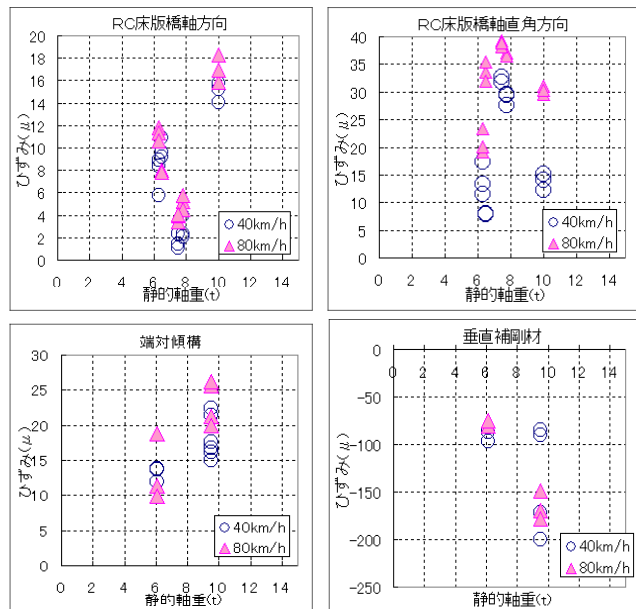


図-9 部材応答のばらつき

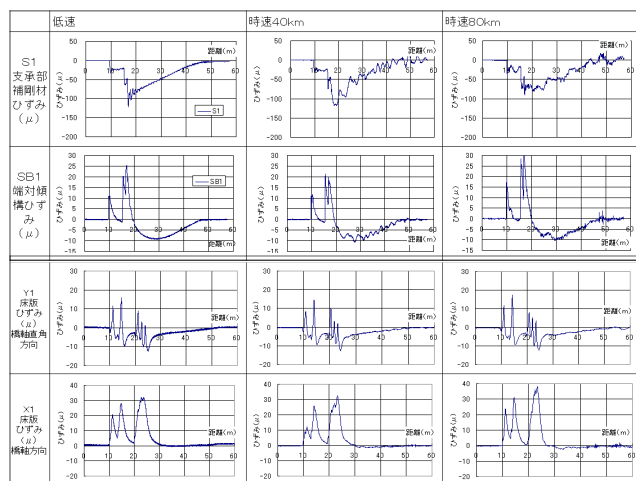


図-10 走行速度の違いによる部材応答波形

い。さらに、走行速度が上がると、応答波形が乱れ(図-10)、ピーク値のばらつきが大きくなっている。

したがって、影響範囲の短い部材を用いて静的軸重値を精度良く推定することは困難である。

#### 4. 影響範囲が長い部材の応答

主げたのように影響範囲が長い部材を用いる場合、計測されるひずみの応答は、そのとき載荷されている荷重それぞれに対応したひずみの影響線の重ね合わせとなっていることを用いて求める方法が考えられる。

国総研では、主げた下フランジのひずみ応答値とあらかじめ軸重が既知である荷重車を走行させ、一次式で求めておいた影響線を用いる(図-11参照)。

主げたにおいては、図-13の上段に示すように、橋梁の振動の影響を受けていることがわかる。そこで、無載荷時の主桁の振動成分をフーリエスペクトル解析により分析したところ(図-12参照)、固有振動数が2Hzを超える成分が存在していた。2Hz以下のローパスフィルター処理を行った上で、計測ケースT-40における精度の比較を行った結果、フィルター処理による振動成分が除かれる一方で(図-12参照)、重量算出結果(表-2参照)には顕著な差が現れなかった。これは、影響線形状を一次式で近似していることから、橋梁の振動の影響は相殺されていると考えられる。

しかし、計測区間で車両の走行速度が変化する場合、任意時刻の車両位置が2点の床版計測位置間の異動時間から推定した、影響線の重ね合わせと乖離することで、重量算出過程で重要な誤差を持つことがわかった(図-14～16参照)。

以上のように、主桁のひずみ応答による方法では、大型車の動的軸重の影響を受けにくく、橋梁の振動が顕著に現れたとしても重量算出の精度に影響は少ないが、計測区間で車両の走行速度が変化する

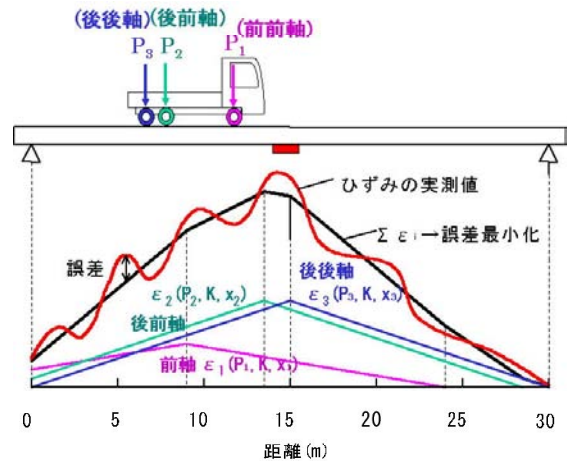


図-11 影響範囲が長い部材の重量算出方法

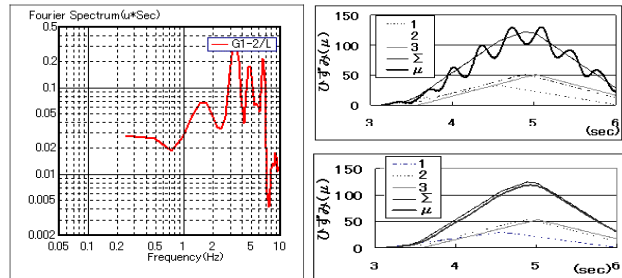


図-12 FFT結果 図-13 フィルター処理波形比較  
表-2 フィルター処理による比較の結果

解析ケース	P1	P2	P3	ΣP	精度(%)
フィルターなし	6.1	9.71	9.71	25.53	102
フィルターあり	5.57	10.14	10.14	25.84	103
実軸重	6.29	9.36	9.36	25.01	-

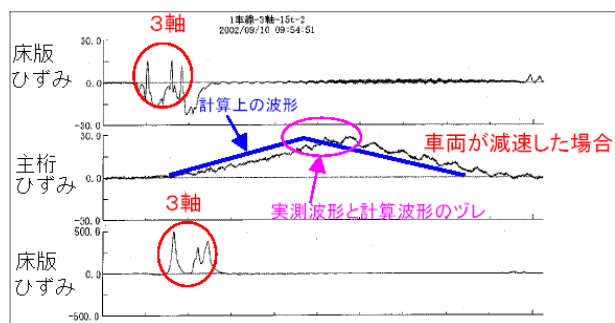


図-14 速度変化したときの波形



場合には、軸重算出時に著しい誤差が生じる。したがって、計測に用いる橋梁の選定の段階で、付近に信号が内筒所やキャンバーの少ない橋梁を選ぶなどの配慮が必要である。

## 5. 結論

試験車両を用いた調査により、設計活荷重における基準の改訂を行うにあたって必要な、実交通が橋梁に及ぼす影響及び部材応答についての知見を得た。

路面凹凸を受けて、車両重量は各車軸で常に変動している。

影響範囲の短い部材は、衝撃や変動軸重の影響を受けやすい。

影響範囲の長い部材を用いた算出方法は、衝撃や変動軸重の影響を受けにくく、重量算出精度に及ぼす影響は少ないが、車両の速度変化が重量算出時に著しい誤差を生じるため、橋梁選定の段階で注意が必要である。

また、国内外で開発されているBWIMは、用いる部材や計算方法によって誤差の要因が異なるため、目的に応じて選定すればよいが、全国の交通実態を反映する設計自動車荷重の検討には、同じ方式のBWIMを使用すべきである。

## 6. 今後の課題

以上をふまえて、主げた下フランジの応答を重量計算に利用した国総研BWIMを用いて、計測した結果例を図-17に示す。総重量の頻度分布は、大型車交通量及び大型車混入率が高くなるほど、重量の高い方へシフトしている。

今後は、全国通行実態調査を行うことにより、このような交通特性や橋梁各部の応答を分析し、各種設計基準への反映、ならびに橋梁の耐荷力、耐久性評価の検討を行っていく必要がある。

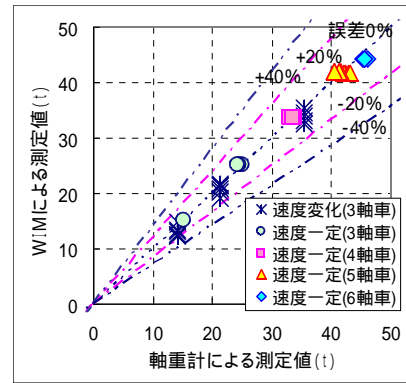


図-15 総重量算出結果

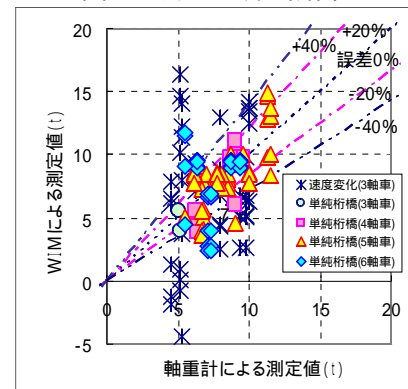


図-16 軸重算出結果

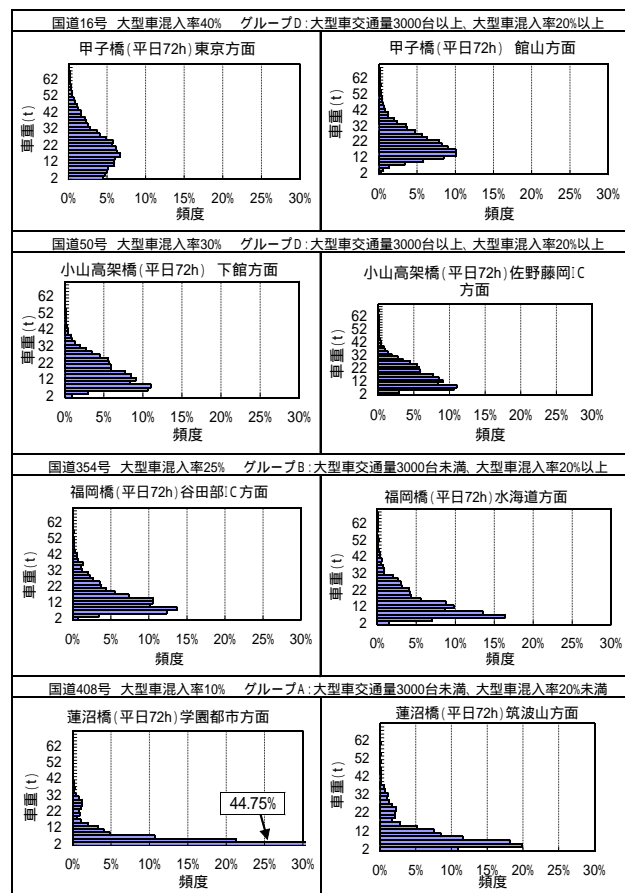


図-16 実橋の交通特性計測結果



# 路上工事規制情報のリアルタイム管理の取り組み

中国地方整備局 道路部交通対策課 伊本浩之

## 1. はじめに

道路上で行われている工事は、舗装修繕工事など道路管理者自らが行う工事の他、ガス、水道などの公益事業者や自治体が行う工事も行われており、路上工事に伴う交通規制は、通過時間の遅延や交通渋滞などの要因の一つとなっている。

そこでこれらの要因の解消・縮小を目指し、リアルタイムに規制情報を迅速、正確に収集管理し工事規制のマネジメントを行うと共に、道路利用者に的確な情報を提供するシステムを構築した。

## 2. 従前の路上工事規制情報の問題点

平成8年度から工事規制情報は、施工者が前日の16時までに電話やFAXにより規制予定を道路管理者に連絡し、道路管理者が確認後、道路情報システムに予定情報として入力、当日の朝9時までに気象状況などを勘案し規制実施の確定を行い、VICSやインターネットなどで規制情報を提供していた。

しかし、連絡が人的手段のため、規制時間の変更があっても、システムの規制時間を変更されないことがあった。また、天候による急な規制の中止をした場合も確定入力の遅延により朝9時以降に中止情報が提供されるなど、労力を費やす割には、現場状況にマッチしない情報提供となっている。このため、情報板などで提供している規制情報と現地規制状況の不一致に対する苦情が寄せられることもあった。

## 3. 携帯電話等を活用したリアルタイム路上工事規制情報のシステムの構築

規制状況を正確で迅速に把握し道路情報システムに反映する手法として、携帯電話などのメール及びインターネットを利用し、施工者がその規制の開始、終了などの情報を道路情報システムに入力するシステムを平成14年度に構築し、平成15年度から運用している。

従前とリアルタイム化後の工事規制情報フローを図-1に示す。リアルタイム化後のフローは、工事規制時間延長の場合を示しているが、この場合でも手順が少なくリアルタイムな情報を道路利用者に提供できる。

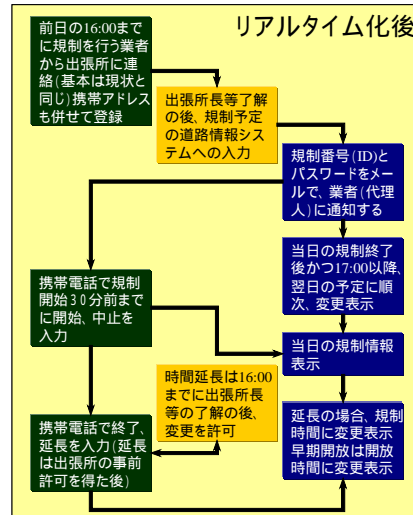
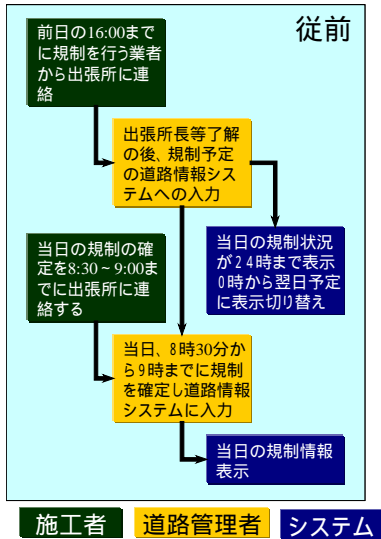



図 - 1 工事規制情報フロー図

**通知メール**  
前日19:00頃に施工者に翌日分の規制入力用メールが届く。



< 本文 >  
2003年08月15日規制の(規制NO56789,一般国道2号12.3kp～12.8kp:路肩規制)についてのIDとパスワードを通知いたします。  
ID  
9999999  
パスワード  
12345678  
となります。  
規制通知入力ページ  
<http://www.cals.cgr.mlit.go.jp/kisei/login.asp?id=9999999&pass=12345678>

**情報入力画面**

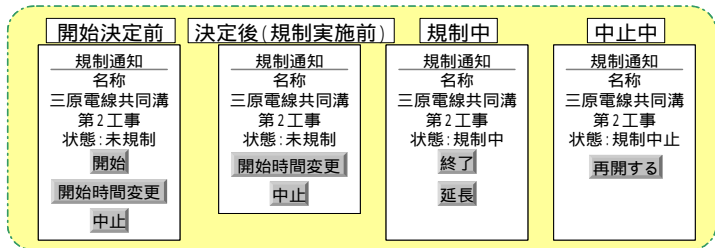


図 - 2 携帯電話による規制情報操作手順

**4. システムの利用状況と整備効果**

システム運用開始時のシステム活用状況は、施工者のこのシステムによる登録率は約79%と、やや低い状況であった。その後、システムへの慣れや、システム活用による規制情報連絡の効率化への理解が高まるとともに利用が進み、平成16年2月の登録率は約98%となり、システムが有効に活用されていることが伺える。

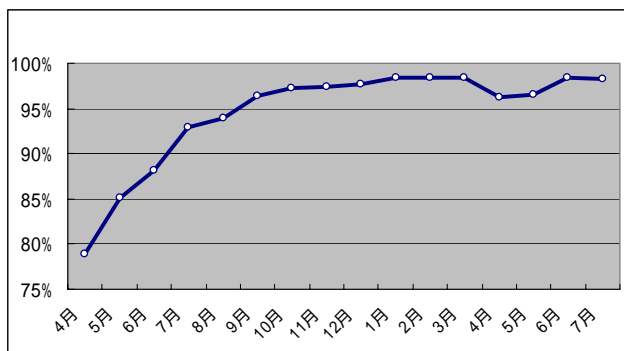


図 - 3 施工者の登録状況

システムを利用することによる整備効果としては、平成15年7月の約3000件で試算すると、施工者で1日当たり延べ90時間（年間21,600時間）、道路管理者で1日当たり延べ18時間（年間4,320時間）と両者とも連絡・登録作業などの効率化が図られている。

また、工事規制予定や実施時間の管理の徹底や規制時間の公表などにより効率的な工事規制を実施する意識の高揚を図り、規制マネジメントによる規制箇所の縮減や規制時間の短縮に寄与することなども期待できる。

道路利用者に対しては、規制情報がリアルタイムで正確に提供されることにより、道路情報の信頼度が向上し、ゆとりを持った移動や迂回路選択など道路利用者の行動の変化が促進され、渋滞緩和や事故減少の効果が期待できる。

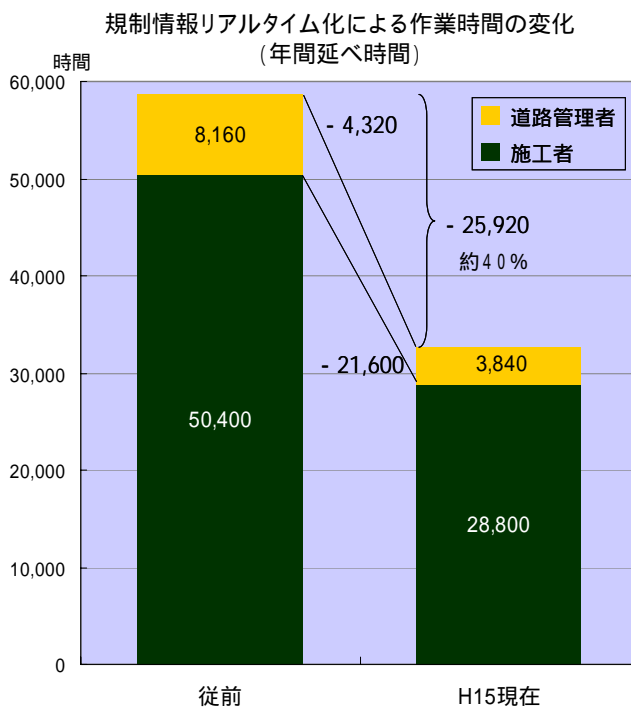


図 - 4 リアルタイム作業導入による作業時間の変化（試算）

## 5. リアルタイム規制情報を活かした情報提供

本システム運用開始により、道路利用者にはVICSやインターネット、携帯電話を使ったリアルタイムな情報提供ができるようになった。

道路情報板については、ガイダンスシステムとオンライン接続することにより、道路管理者が道路情報システムで確認をしながら情報板制御装置を操作する作業が不用となった。（一部の事務所で運用中）

道路情報ガイダンスシステムのイメージを図 - 5 に示す。

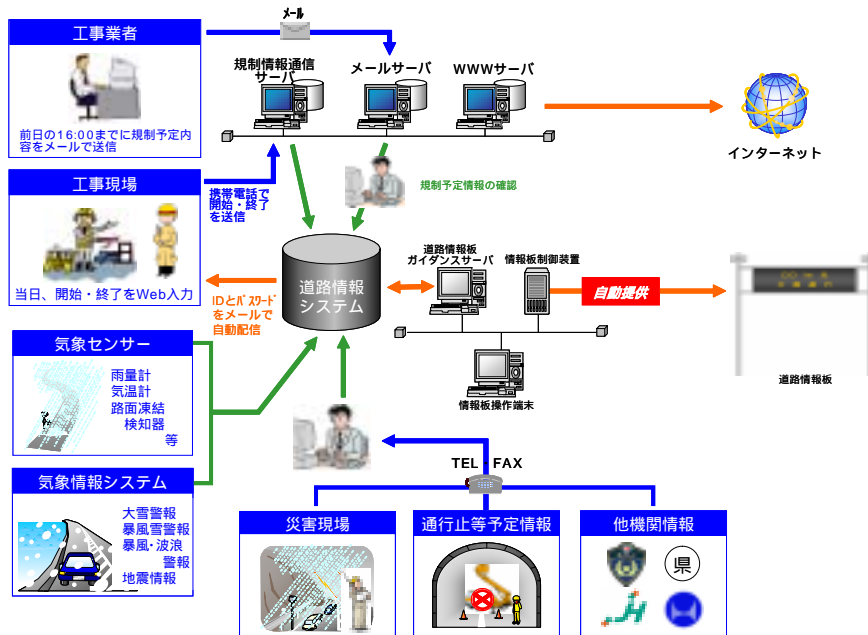


図 - 5 道路情報板ガイダンスシステムイメージ

## 6. 今後のシステムの改良予定

今後は、規制情報入力の変更効率化とVICISへの規制情報提供の効率化を図ることを目指してWeb-GISを使用したシステムの運用を目指している。

このシステムにより、規制情報管理の効率化と共に、当整備局で管理している国道だけでなく、自治体の規制情報入力や災害による規制情報入力も可能となり、面的で詳細なリアルタイム規制状況管理が可能となると考えている。

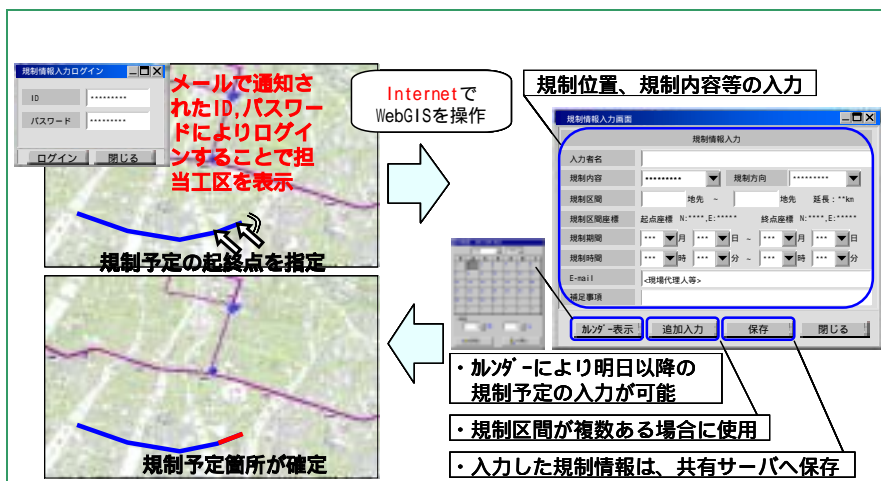


図 - 6 Web-GISによる規制情報入力のイメージ

## 7. おわりに

現在は、「道路情報システム」を中心に今回紹介した「リアルタイム規制情報システム」のほかに「道路情報板ガイダンスシステム」「防災体制支援システム」等を開発するほか、河川情報システムや自治体等とのシステム連携を図っており、総合的な道路情報収集提供システムと道路情報管理の高度化、効率化を進めている。



# 既設橋に用いる床版防水の検討

日本道路公団試験研究所道路研究部橋梁研究室大橋岳

## 1、はじめに

コンクリート床版の耐久性能の向上を目的として、日本道路公団では平成 10 年度より全ての橋種に床版防水を施工することとしているが、修繕工事において床版防水を施工する場合、舗装切削にともなう凹凸の影響、交通規制にともなう施工時間の制約等により十分な性能を満たす床版防水が施工されていないのが現状である。本文は、既設橋床版に適した防水材料、工法を検討するために実施した模擬床版を用いた試験施工について報告するものである。

## 2、試験施工の概要

### 2.1、試験手順

既設床版では、舗装切削にともない床版面に凹凸が生じる。床版面の凹凸は、凹部の空気溜りや塵芥が原因となって、防水層の膨れやはがれ等の損傷を生じさせる。また、凸部では防水層厚が確保できなくなること、舗装骨材や交通荷重によって局部的な力が作用することによる防水層の破れ等の損傷が生じ、防水層の性能低下を招くことになる。そのため、本試験施工では5m×30mの2連の模擬床版を用意し、模擬床版上に施工した舗装を切削機を用いて切削し、写真1のように床版面の凹凸を再現した後、床版防水を施工した。床版防水施工後は砕石マスチック舗装をレベリング層(t=35mm)まで施工した後、コアを採取し室内試験等を実施した。試験手順および調査項目を図1に示す。



写真1 模擬床版の凹凸状態

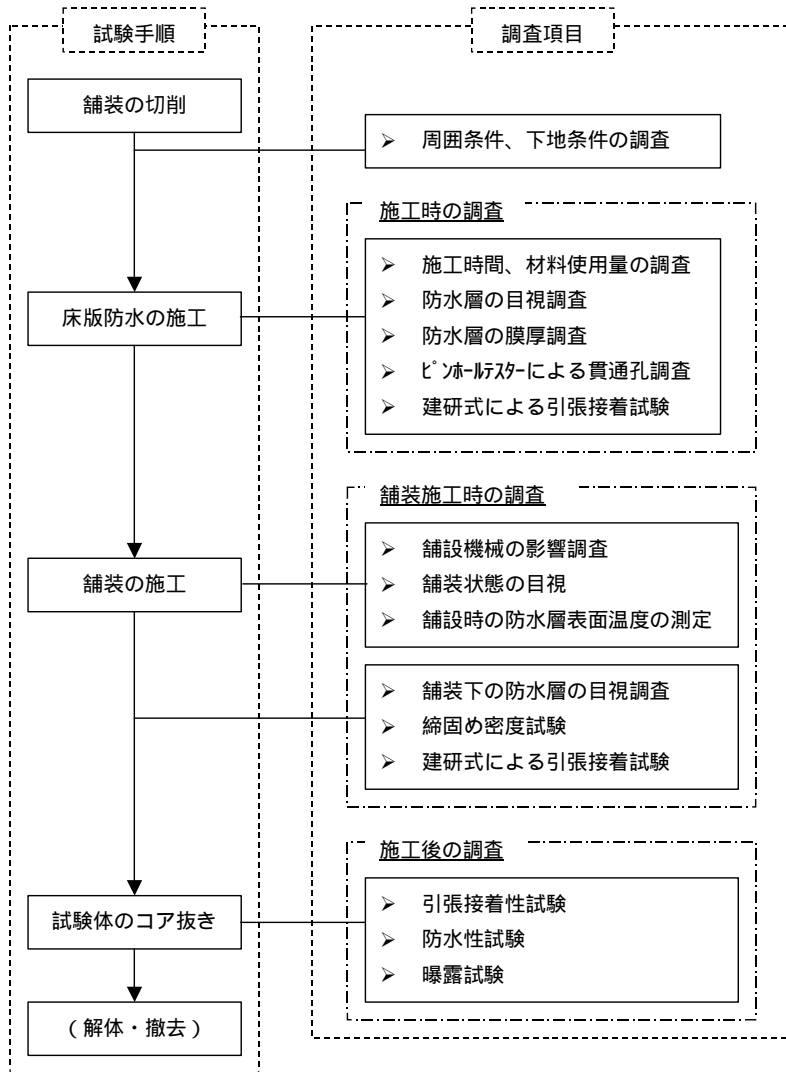


図1 試験手順および調査項目

## 2.2、 調査項目

主な調査項目は、床版防水施工時の調査として作業・養生時間等の施工性、床版面の不陸に対する追従性、舗装施工時の調査として舗設機械や舗装骨材による影響、施工後の調査として試験体から採取したコアを用いての室内試験による防水性能および接着性能を確認することとした。

## 2.2、 床版防水の選定

本試験施工に用いた床版防水の種類を図2に示す。従来から一般的に使用されている加熱アスファルトの塗膜系防水(A)以外に常温自着型のシート系防水(B)、ウレタン樹脂の塗膜系防水(C)、浸透系防水(D)、浸透系防水を施工した後に加熱アスファルトの塗膜系防水を施工する工法(E)およびポリマーセメントにより凹凸を均した上にシート系防水を施工する工法(F)の6つを選定した。このうちウレタン樹脂の塗膜系防水については、防水システム設計・施工マニュアル(案)<sup>1)</sup>に示す耐久性試験に合格している製品である。また、試験施工における1製品当りの床版防水の施工面積は50m<sup>2</sup>とした。

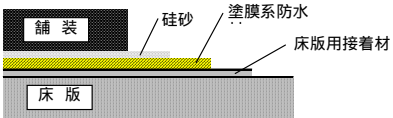
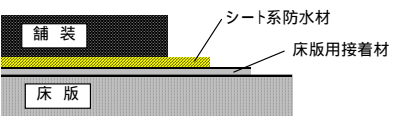
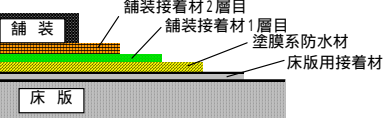
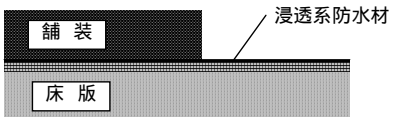
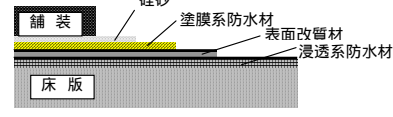
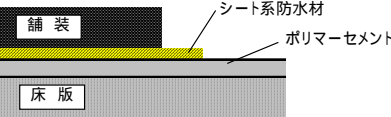
A	B	C
 <p>舗装 砂 塗膜系防水 床版用接着材 床版</p>	 <p>舗装 シート系防水材 床版用接着材 床版</p>	 <p>舗装 舗装接着材2層目 舗装接着材1層目 塗膜系防水材 床版用接着材 床版</p>
アスファルト系の材料を作業時に加熱溶融して塗布する塗膜系防水	常温自着型のシート系防水	ウレタン樹脂からなる塗膜系防水
D	E	F
 <p>舗装 浸透系防水材 床版</p>	 <p>舗装 砂 塗膜系防水材 表面改質材 浸透系防水材 床版</p>	 <p>舗装 シート系防水材 ポリマーセメント 床版</p>
無機系の浸透性改質材を塗布する浸透系防水	浸透系の特殊アスファルト樹脂を塗布後、加熱アスファルトの塗膜系防水を施工する工法	不陸調整工としてポリマーセメントを施工しながら同時にシート系防水を施工する工法

図2 床版防水の種類

## 3、 調査結果

### 3.1、 施工時の調査

本試験施工における床版防水の施工および養生に要した時間を図3に示す。A、B、C、Eは、概ね2時間以内で施工、養生とも終了した。しかし、Fは、不陸調整工のポリマーセメントの養生およびシート敷設のための器具の設置にかなりの時間を要した。Fの施工状況を写真2に示す。また、

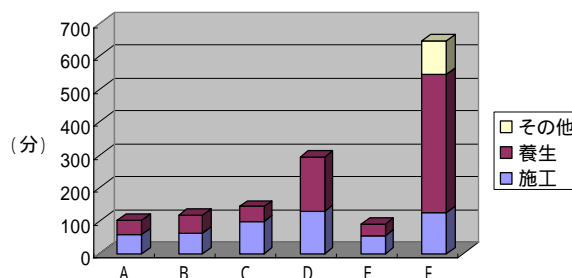


図3 床版防水の施工、養生時間

Dは改質材散布機の吐出量が小さく施工のみに2時間程度を要した。



写真2 床版防水Fの施工状況

床版防水施工後の膜厚調査では、Cの膜厚は床版の凹凸によらず概ね均一であったが、加熱アスファルト塗膜系防水材料を使用しているA、Eの膜厚は防水層の厚さが凹部では4mm程度、凸部では1mm程度と不均一であった。また、ピンホールテスターを用いて貫通孔の調査を実施したところ、A、Eとも多数の貫通孔が確認された。舗装施工前に現地にて実施した建研式による引張接着試験の結果を図4に示す。常温自着型シートであるBは、写真3に示すように床版の不陸にほとんど追従できず、シートの大部分が浮いているような状態であったため、床版と防水層はほとんど接着していなかった。

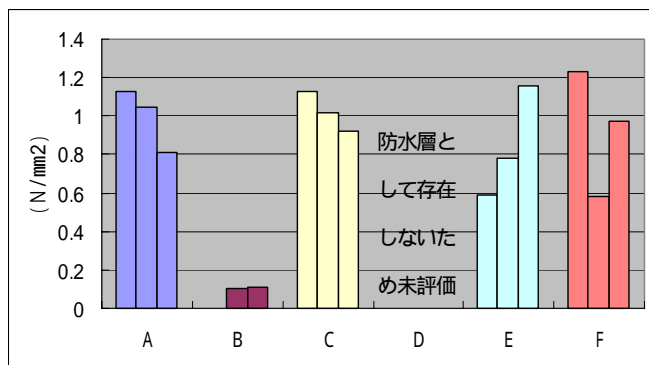


図4 建研式による引張接着試験 (床版+防水層)



写真3 床版防水Bの凹凸追従性

### 3.2、 舗装施工時の調査

舗設機械による床版防水の損傷等は全ての工法において確認されなかった。

舗装施工時の舗装骨材の押し込み荷重による床版防水の破れ等の損傷を確認するため、一部分に床版防水の上下面に剥離紙を設置し舗設後舗装を除去し床版防水層を取り出した。その結果、写真4に示すようにBは多数の貫通孔が確認された。A、Eについては、防水層、剥離紙、舗装接着材が接着し防水層を取り出すことができず、骨材による影響を確認することができなかった。



写真4 床版防水Bの貫通孔

### 3.3、 施工後の調査

床版防水の水を通さない性能である防水性能および床版と舗装とはがれない性能である接着性能を確認するため、舗装施工後模擬床版から 100 mmのコアを採取し防水性試験

(JHERI410-10-<sub>2001</sub>) および引張接着性試験 (JHERI410-11-<sub>2001</sub>) を実施した。試験状況を写真5、防水性試験結果を表1、引張接着性試験結果を図5に示す。C, Eについては防水性能、接着性能とも施工後の段階では十分に保持している結果となった。A, Dについては防水性能を全く保持していない結果となった。また、Dは舗装と床版が全く接着しておらず接着試験を実施することが不可能であった。Bは、床版防水施工時に大部分が浮いていたこともあり舗装後も十分な接着力は得られない結果となった。



写真5 性能照査試験状況

表1 防水性試験結果

製品名	合格数/試験数
A	0 / 3
B	3 / 3
C	3 / 3
D	0 / 2
E	3 / 3
F	2 / 3

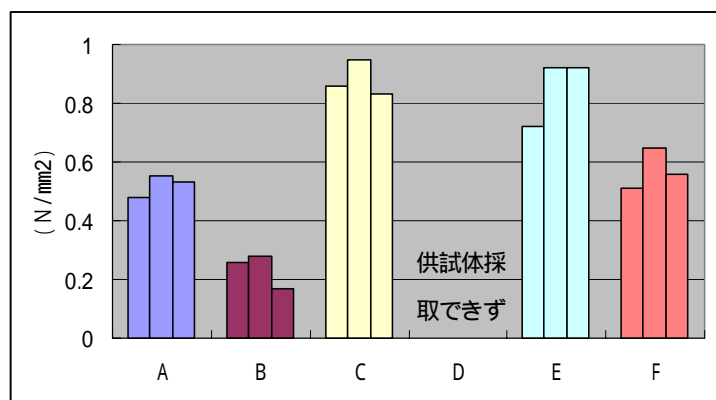


図4 引張接着性試験結果 (床版+防水層+舗装)

写真6に本試験施工において床版防水を施工しなかった箇所から採取したコアを用いて実施した防水性試験の結果とA, Dの試験結果との比較を示す。これより、A, Dは防水効果をほとんど保持していないことがわかる。



写真6 防水性試験漏水状況

#### 4、 おわりに

本試験施工により、従来から用いられてきた加熱アスファルトの塗膜系防水はほとんど防水としての効果がないことが確認された。本試験施工に用いたウレタン樹脂の塗膜系防水は、既設床版の凹凸による影響を受けず床版防水に必要な性能を十分に保持していることを確認した。また、浸透系防水と加熱アスファルトの塗膜系防水からなる工法も同様に既設床版の凹凸による影響を受けず初期の段階では必要な性能を保持していることがわかった。ただし、この工法に関しては今後耐久性を確認する必要がある。

1) 日本道路公団試験研究所：防水システム設計・施工マニュアル(案), 平成13年6月



## 1、はじめに

コンクリート構造物のひび割れ補修工法や断面補修工法には、それぞれ様々な施工方法や補修材料が提案されており、それらが現場で数多く施工されている。しかしながら、施工方法や材料の選定手法、評価方法は確立していない。そこで、コンクリート構造物に対する各種ひび割れ補修工法や断面補修工法について、特徴や留意点を整理することを目的に実験的な検討を行った。

## 2、ひび割れ補修に関する実験

### 2.1、実験方法

RC構造物はひび割れを許容する構造であるので、ひび割れを全て補修する必要はない。しかし、塩害等を受ける地域では鉄筋腐食を防止する目的でひび割れ補修を行う必要がある。そこで本実験では塩分環境下での鉄筋腐食に対する補修効果について検討した。

コンクリートの配合はGmax20mm、スランプ8cm、空気量4.5%、水セメント比は40, 55, 70%の3水準とし、図-1に示す10×10×40cmの角柱試験体を製造した。この試験体には異形鉄筋D10を配置し、コンクリート表面からのかぶり厚さを15mmとした。

コンクリートを打設した翌日に脱枠し、14日間湿布養生を行った。その後、中央点載荷法によるコンクリートの曲げ強度試験方法（JIS A 1106 付属書）により、試験体中央に幅0.2～0.5mmのひび割れを発生させた。

このひび割れに対して表-1に示す各方法により補修を行った。表面塗布と表面被覆は、実際の施工ではコンクリート表面の全面に施工が可能だが、今回の実験ではひび割れの周囲幅10cm程度までの範囲を覆うこととした。さらに図-1に示す試験体の底面以外の表面はエポキシ樹脂でシールした。

この試験体に対して塩分環境を想定した促進試験を実施した。試験方法は、以下の工程を1サイクルとし、20サイクルまで行った。

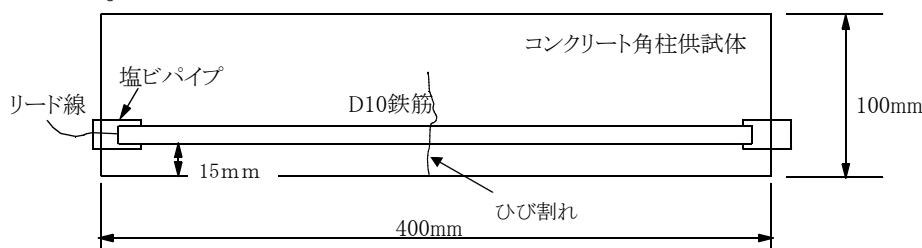


図-1 試験体形状図

表-1 実験を行ったひび割れ補修工法

名称	概要	施工場所
表面塗布	ひび割れへの含浸作用のあるエポキシ樹脂をコンクリート表面に塗布	ひび割れの周囲幅10cmの範囲
低圧注入	ひび割れに低粘度エポキシ樹脂を低圧で注入	ひび割れ部
充填	ひび割れ表面を深さ1cm程度までUカットしシーラント系充填材で充填	ひび割れ部
表面被覆	コンクリート表面を塗装により被覆	ひび割れの周囲幅10cmの範囲
充填+表面被覆	充填と表面被覆を併用	ひび割れの周囲幅10cmの範囲

- ・ 20 °C、3 %の食塩水に浸漬、1日間
  - ・ 温度 65 °C、相対湿度 95 %、2日間
  - ・ 温度 18 °C、相対湿度 40 %、4日間
- 試験終了後に鉄筋をハツリ出し、鉄筋の腐食状態を観察し、腐食による鉄筋質量減少率を測定した。

## 2. 2、実験結果

実験から得られる鉄筋質量減少率を図-2に示す。図から、補修効果が最も良かったものは表面塗布と低圧注入であり、どちらもひび割れを完全に塞ぐ工法であった。最も補修効果が小さかったのは充填であり、この理由としては、充填深さがコンクリート表面から 1cm 程度なので、塩水がこの深さ以下に達するとひび割れ沿いに深部まで浸透するためと考えられる。また、充填材の存在によりひび割れ内の塩水が乾燥時に容易に排出されないことも予想される。

また、水セメント比の高い試験体ではひび割れ無しでも鉄筋が腐食する結果となった。

さらに、充填+表面被覆では実験開始直後から補修材表面にひび割れが発生するものがあった。これは充填材と表面被覆材の熱膨張係数の違いによるものと考えられる。

## 3、断面補修に関する実験

### 3. 1、実験方法

断面補修工法には図-3に示す3通りがあり、実験では表-2の11種類の補修材を使用した。吹き付けとコテ塗りは兼用のものが多い。補修材の配合は非公開がほとんどであったが、洗い出しによって配合を推定した結果、大半がW/C=40%程度のモルタルをベースとした配合であった。

試験体の製造は 15 × 15 × 53cm の型枠内に 2cm 低い高さまで母材コンクリートを打設し、打設面のレイタンスを除去し、28 日間養生し、これに各種補修材を施工した。補修材施工時の母材コンクリートの表面は乾燥、湿潤、プライマー塗布の3条件を設定した。

補修材を施工してから3日間の湿潤養生を行った後、試験体を実験室内で気乾放置し、乾燥収縮によるひび割れ発生状況を観察した。また 28 日経過後に建研式接着力試験によって母材と補修材との付着面の付着強度を測定した。

さらに同様の方法で作成した 10 × 10 × 40cm の角柱試験体を凍結融解試験(JIA A

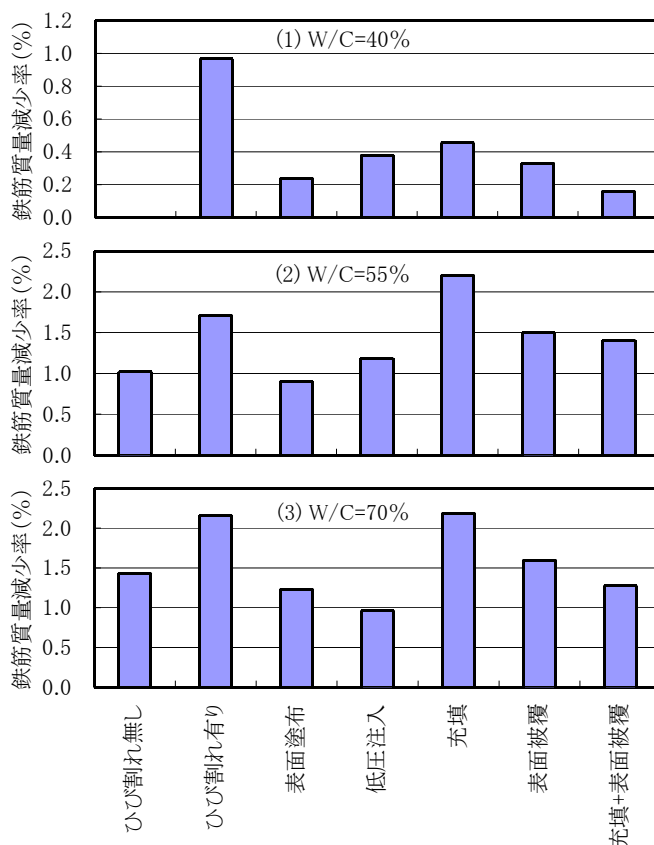


図-2 鉄筋質量減少率

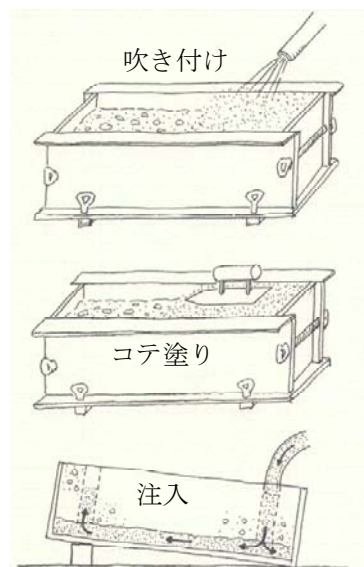


図-3 補修材の施工方法

1148) についで、300 サイクルの試験を終了した後に建研式接着力試験によって付着強度を測定した。

### 3. 2、実験結果

#### 3. 2. 1、乾燥ひび割れ

乾燥ひび割れの発生状況を表-3 に示す。発生パターンとしては、(1) 母材と補修材の付着面沿いに発生、(2) 補修材の表面に数本発生、(3) 発生なし、の3とおりであった。(1)

は主に付着面を乾燥状態とした試験体で認められた。(2)は Mc, Ec, Rc, GMc, GKpa で認められ、膨張材やポリマーの有無との関連は明確でなかった。

補修材の打設後のひずみ変化を測定した例を図-4 に示す。Mc は打設当初から収縮しているが、市販の補修材には膨張材が混入されている影響で打設直後は膨張し、その後、収縮に転じている。このため、膨張のピークのひずみ量を原点として材齢 28 日の収縮量を求め、この値と補修材表面のひび割れ本数との関係を見ると図-5 のようである。この図では収縮量とひび割れ

発生状況とは概ね対応しており、収縮ひずみ量が  $320 \times 10^{-6}$  以下の補修材ではひび割れの発生は認められなかった。

#### 3. 2. 2、付着強度


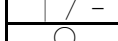
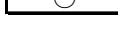
材齢 28 日に測定した付着強度を図-6 に示す。図から、付着強度が低いケースは(1)乾燥し

表-2 実験に使用した断面補修材

補修材の種類	分類 (PC:ポリマーセメント)	添加材料			
		繊維	膨張材	ポリマー	
吹付け コテ塗り	Mc	モルタル	—	—	
	E社	Ec	モルタル	○	—
		Epa	PCモルタル	○	アクリル系
		Rc	モルタル	○	—
	R社	Rps	PCモルタル	○	SBR系
		Tpa	PCモルタル	○	アクリル系
注入	GMc	モルタル	—	—	
	E社	GEc	モルタル	—	○
		GKc	モルタル	—	○
	K社	GKpa	PCモルタル	—	○
		GSps	プレバットコンクリート	—	○

表-3 ひび割れ発生状況

施工方向 表面処理	順打ち			逆打ち		
	乾燥	湿潤	プライマー	乾燥	湿潤	プライマー
吹付けコテ塗り材	Mc					
	Ec					
	Epa		○	○		○
	Rc					
	Rps	○	○	○		
	Tpa	○	○	○		
注入材	GMc				/	
	GEc			○	○	○
	GKc			○	○	○
	GKpa			/ - //	○	
	GSps					○

凡例：  
 付着面沿いにひび割れ  
 表面に発生したひび割れの位置と方向  
 ひび割れ発生なし

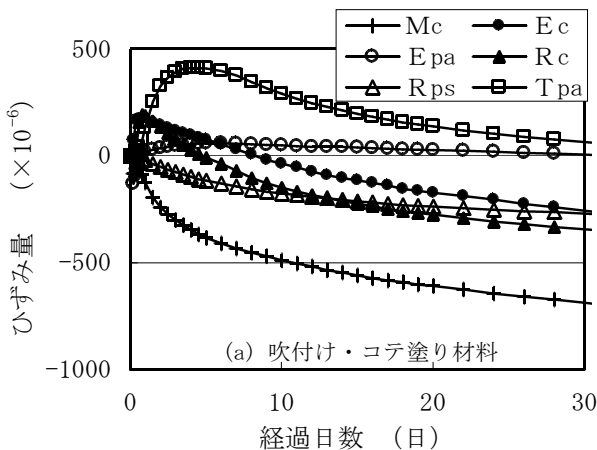


図-4 補修材のひずみ変化

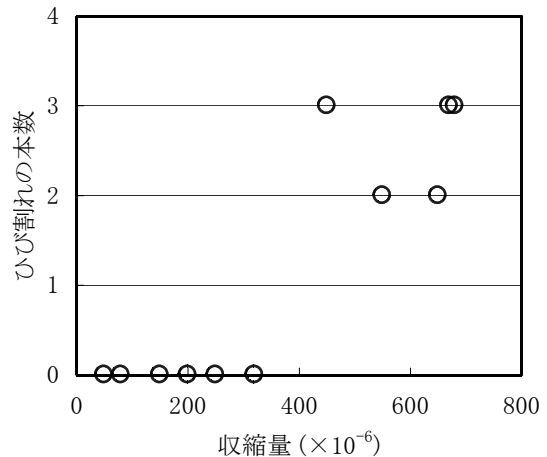


図-5 膨張のピークからの収縮量とひび割れ本数

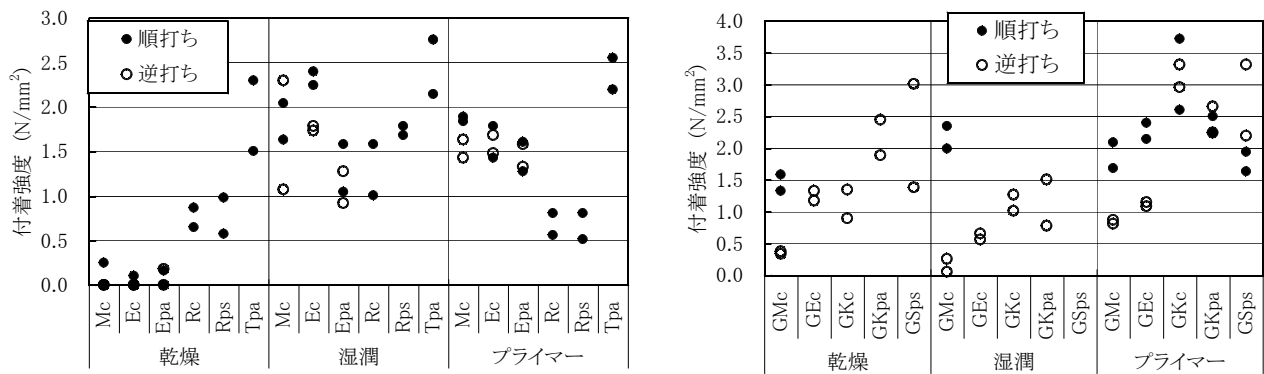


図-6 材齢28日時点の付着強度試験結果

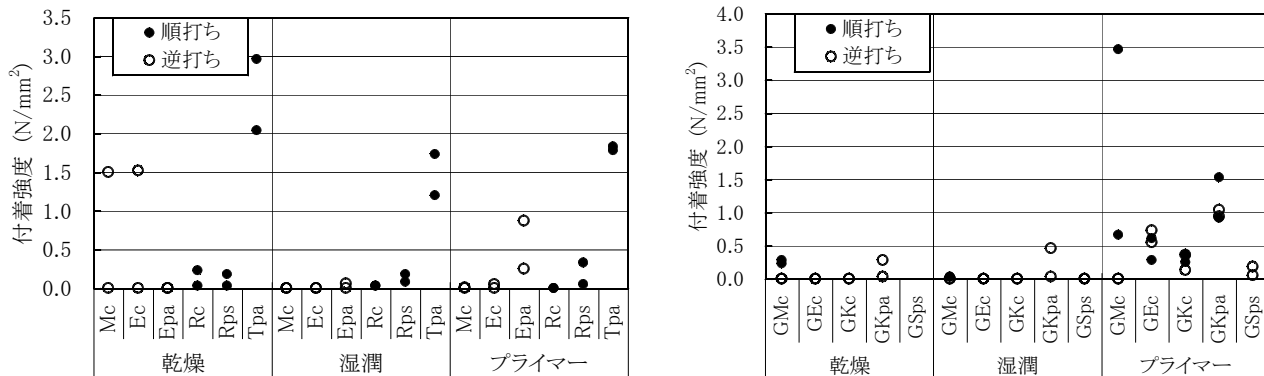


図-7 凍結融解試験終了後の付着強度試験結果

た面に吹き付け・コテ塗りしたケース、(2)湿潤面に逆打ちで注入したケース、であった。この結果から、付着面にはプライマー塗布を行う方法が良いと考えられる。

### 3. 2. 3. 凍結融解試験後の付着強度

凍結融解試験終了後の付着強度を図-7に示す。これを図-6と比較すると Tpa を除いて付着強度は大きく低下した。図-7の付着強度試験における破断位置を調査すると、多くの試験体が付着面に沿って破断しており、凍結融解に対しては、補修材自体が十分な耐久性を有していても、打継面の耐久性に留意が必要であることが分かった。

## 4. まとめ

本実験結果から得られた各種補修工法の留意点を以下に整理する。

ひび割れ補修に関する実験結果より、①厳しい塩分環境下ではひび割れを完全に塞ぐ注入工法（ひび割れ幅が小さい場合には表面塗布を含む）の効果が高く、充填工法の効果は低い。②厳しい塩分環境下では水セメント比の高い配合ではひび割れが無くても鉄筋が腐食する。③補修工法を組み合わせる場合には、補修材同士の变形性能（熱膨張係数等）の違いで補修材自体にひび割れが発生する可能性があるので注意が必要である。

断面補修に関する実験結果より、①補修材表面に生じる乾燥ひび割れの発生を低減するためには、補修材の膨張のピークを原点とした収縮量の小さな補修材を選定する必要がある。②付着強度を確保するためには、補修材を施工する母材コンクリートの表面にプライマーを塗布することが望ましい。③補修材自体の耐久性以外に付着面の耐久性を照査することが重要である。なお、耐久性の照査方法や判定基準については今後の課題である。



# 積雪寒冷地における舗装のライフサイクルコスト分析

(独)北海道開発土木研究所 維持管理研究室 清野 昌貴

## 1. はじめに

舗装道路を長期間に渡り健全に保ち、利用者に快適なサービスを提供するには、限りある予算をより効率よく、かつ有効に運用することが求められる。そのためには、舗装-車両-道路利用者-環境を一つの系とみなし、その中で道路管理者費用(建設費、補修費等)と利用者費用(車両走行費用、工事の影響による損失費用等)を、費用便益分析を通して最適化する考え方が有効である。この考え方を「舗装マネジメントシステム(Pavement Management System: PMS)」と呼ぶ。

本研究では、ネットワークレベルでのライフサイクルコスト(以下LCCと略す)分析のケーススタディを実施し、道路利用者費用を考慮した舗装修繕の優先順位付けを行うことによるLCCの低減効果を明らかにした。さらに、プロジェクトレベルでのLCC分析のケーススタディを行い、舗装の設計期間の見直しによる長寿命化や定期的な舗装修繕を行うことによるLCCの低減効果を明らかにした。

## 2. 新予測式の作成

スパイクタイヤの使用が平成2年に法的規制、同4年には罰則適用となり、以降スパイクタイヤの装着率はほぼ0%となった。これに伴い舗装の劣化傾向は当然緩やかなものとなり、特にわだちぼれ量は規制前には年間10mm超だったものが、規制後は2mm以下に激減した。従って、路面劣化の将来予測をさらに精度よく、現状に合わせるため、スパイクタイヤ規制後の路面性状データから新予測式を設定しなおした<sup>1)</sup>。これによりMCIの予測誤差が±0.5以内となる割合は66%となり、現行予測式によるものに比べ60%程度精度が向上した。以降のLCCのケース・スタディは、この新予測式を用いて行った。

## 3. 分析ケース内容

### 3.1 ネットワークレベル分析

ネットワークレベル分析の目的は、道路管理者が、管轄する道路網の中で、どこを、いつ、修繕すればよいのか、を明らかにすることである。ここでは、北海道の留萌開発建設部内の道路網をモデルとしてケーススタディを行った。分析の基礎条件は以下のとおりである。

対象：留萌開発建設部管内の国道のアスファルト舗装道路網5路線 延長257km(図-1)

交通量：平成11年度道路交通センサスの24時間平均交通量(表-1)

路面評価指標：維持管理指数(Maintenance Control Index: MCI)

利用者費用：車両速度50km/h時の小型車(図-2)及び大型車のMCI別走行費用<sup>2)</sup>

修繕工法：路面切削+オーバーレイ(施工費=1,500円/m<sup>2</sup>) 社会的割引率:4%<sup>3)</sup>

分析基準年：平成14年 分析期間：20年間 評価区間単位：100m

以上の基礎条件のもとで、補修の優先順位付け手法を変えた2ケース(表-2)を分析ケースとして設定し、舗装データバンクを参考に両ケースとも年間補修量500千 $m^2$ と仮定し、図-3のフローに従いLCCの比較分析を行った。

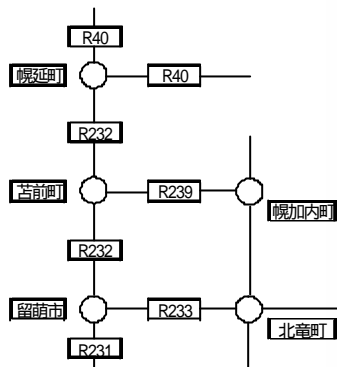


図-1 分析対象道路網

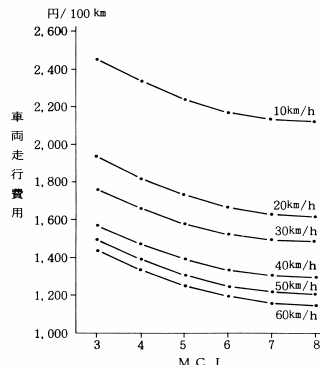


図-2 走行費用とMCI(小型車)

表-1 交通量

路線名	小型車	大型車	全車
40号	1,797	907	2,704
231号	4,585	299	4,884
232号	4,400	547	4,947
233号	5,842	3,975	9,817
239号	836	297	1,133

資料 H11センサス(留前開建管内平均)

表-2 ネットワークレベル分析ケース

ケース	条件
N1	年間の修繕量(=予算)を固定し、MCIの低い区間から順次修繕する
N2	年間の修繕量(=予算)を固定し、修繕後の利用者費用縮減量大きい区間から順次修繕する

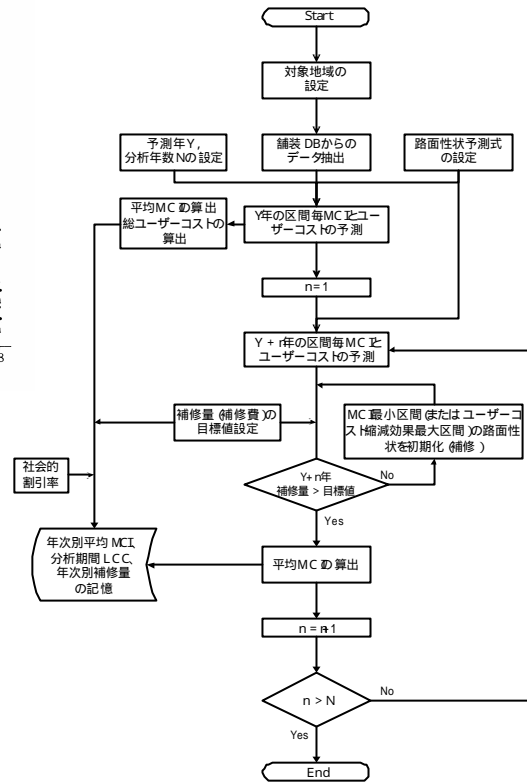


図-3 ネットワークレベル分析フロー

### 3.2 プロジェクトレベル分析

プロジェクトレベル分析では、個々の修繕箇所での舗装設計手法や修繕工法の選定が主目的となる。このことから、LCCの算出において考慮すべきことは、設計/修繕手法を変えて、コストパフォーマンスのよいものを如何に選定するかということである。ここでは、表-3の現場条件で複数の修繕計画を立案し、比較を行った。

舗装の設計条件は、路床CBR3、舗装計画交通量250台/日以上1,000台/日未満、置換え深さ70cm、設計信頼性90%とし、 $T_A$ 法により10年設計及び20年設計断面を設定した。

舗装断面の寿命、すなわちアスファルト層の全層打換えが必要となる時期は、10年設計及び20年設計断面について多層弾性理論解析を行って求め、アス層および路床の破壊年数のうち短い年数時点とした。設計期間10年断面では16年、20年断面では34年となった(表-4)。

表-3 現場条件

工事延長	300m			
幅員	9.50m 2車線(3.25m x 2 + 1.50m x 2)			
交通量	交通量 5,814 台/日			
	乗用車	小型貨物車	普通貨物車	バス
	2,947	1,616	1,190	61
	(夜12時間) 交通量 1,163 台/日			
	乗用車	小型貨物車	普通貨物車	バス
	687	295	158	23
走行速度	60km/h			
工期	切削オペレイ			
	打ち換え 8h/day x 3日			
	8h/day x 9日			

表-4 アスファルト層および路床の破壊年数

設計期間(年)	10				20				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
As層下面	温度条件								
	引張りずみ ( $\times 10^{-6}$ )	116	149	219	300	98	127	191	269
	疲労破壊輪数	2,207,873				3,375,656			
路床面上	破壊年数(年)				22				
	34								
As層下面	圧縮ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )								
	351	388	448	501	282	315	367	414	
	疲労破壊輪数				1,555,843				
路床面上	破壊年数(年)				16				
	38								

費用算出項目は、道路管理者費用として初期建設費、修繕費（切削オーバーレイ）、改築費（打換え）とし、道路利用者費用はMCI別車両走行費<sup>2)</sup>と工事による時間損失費用及び燃料損失費用とした<sup>3)</sup>。ここで、工事による車両走行時間の遅れは2分<sup>2)</sup>、さらに60km/hの走行速度は工事区間では20km/hに低下すると仮定して算出を行った

分析期間は50年とし、修繕（切削オーバーレイ）を行う時期は、MCI < 4となった時点とした。また、舗装の場合、ライフサイクル終了時にも材料が使用可能であったり、サービス期間が残っていたりといった価値が残るため、MCIが4以下となるまでの年数分の切削オーバーレイによる修繕費用を残存価値とした。

以上の条件で、LCCの算出を表-5に示す3ケースで行い、比較分析を行った。

表-5 プロジェクトレベル分析ケース

ケース	設計期間	修繕工法
P1	10年	アスファルト層総打換のみ
P2	10年	切削オーバーレイ+アス層総打換
P3	20年	切削オーバーレイ+アス層総打換

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 ネットワークレベル分析

表-6はある年度のケースN1とケースN2の優先順位例をわかりやすいように模式的に表したものである。MCI順の修繕(ケースN1)の優先順位を見ると、必ずしもMCIの低い箇所が、利用者費用削減額が大きいとは限らないことがわかる。

表-6 優先順位リスト(例)

一方、利用者費用削減量が大きい順(ケースN2)では、MCIの高低と交通量の双方が優先順位付に関わっていることがわかる。このため、交通量が多い国道233号の区間が修繕箇所に優先的に選出されている。

優先順位	N1ケース(MCIの低い順)						N2ケース(利用者費用削減量の大きい順)					
	路線	測点	区間番号	交通量	MCI	費用削減額	路線	測点	区間番号	交通量	MCI	費用削減額
1	232	65.3 ~ 65.4	232-a	4,947	2.7	625	233	37.7 ~ 37.8	233-a	9,817	3.0	1,773
2	239	277.4 ~ 277.5	239-a	1,133	2.7	175	233	37.9 ~ 38.0	233-b	9,817	3.0	1,773
3	40	172.8 ~ 172.9	40-a	2,704	2.8	455	233	42.1 ~ 42.2	233-c	9,817	3.0	1,773
4	40	173.9 ~ 174.0	40-b	2,704	2.8	455	233	37.8 ~ 37.9	233-d	9,817	3.1	1,694
5	40	174.7 ~ 174.8	40-c	2,704	2.8	455	233	37.6 ~ 37.7	233-e	9,817	3.3	1,614
6	233	37.7 ~ 37.8	233-a	9,817	3.0	1,773	233	41.4 ~ 41.5	233-f	9,817	3.3	1,614
7	233	37.9 ~ 38.0	233-b	9,817	3.0	1,773	233	41.6 ~ 41.7	233-g	9,817	3.3	1,614
8	233	42.1 ~ 42.2	233-c	9,817	3.0	1,773	233	42.2 ~ 42.3	233-h	9,817	3.3	1,614
9	232	108.2 ~ 108.3	232-b	4,947	3.0	622	233	36.1 ~ 36.2	233-i	9,817	3.6	1,386
10	40	182.6 ~ 182.7	40-d	2,704	3.0	450	233	41.1 ~ 41.2	233-i	9,817	4.1	1,095
11	233	37.8 ~ 37.9	233-d	9,817	3.1	1,694	233	36.2 ~ 36.3	233-k	9,817	4.7	816
12	232	165.4 ~ 165.5	232-c	4,947	3.1	609	233	28.8 ~ 28.9	233-l	9,817	4.7	816
13	232	167.8 ~ 167.9	232-d	4,947	3.1	609	232	65.3 ~ 65.4	232-a	4,947	2.7	625
14	232	124.3 ~ 124.4	232-e	4,947	3.1	609	232	108.2 ~ 108.3	232-b	4,947	3.0	622
15	40	173.2 ~ 173.3	40-e	2,704	3.1	434	232	165.4 ~ 165.5	232-c	4,947	3.1	609
16	40	190.4 ~ 190.5	40-f	2,704	3.1	434	232	167.8 ~ 167.9	232-d	4,947	3.1	609
17	40	201.2 ~ 201.3	40-g	2,704	3.1	434	232	124.3 ~ 124.4	232-e	4,947	3.1	609
18	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

■は、N1・N2ケースとも補修区間に選定されている箇所

表-7に両ケースのLCC分析結果の比較を示す。20年後の管内全路線平均のMCIは、修繕の優先順位を利用者費用削減量の多い区間からとした場合のケースN2が優先順位をMCIの低い区間からとした場合のケースN1に比べ0.7程度低くなっている。20年間で101億円の投資に対して、ケースN2では道路利用者費用がケースN1と比較して13億円のコスト削減となった。予算固定のため管理者費用は同額となり、利用者費用(舗装修繕による車両走行費用の低減額)の差が総コストの差となっている。以上の結果が

ら、道路利用者費用は路面性状と交通量の影響を受け、これらを考慮した舗装修繕箇所の優先順位付けを行うことによってLCCの低減が可能であることが示唆された。

表-7 ネットワークレベル分析結果

ケース	20年後 平均MCI	20年間コスト比較(億円)		
		管理者	利用者	総コスト
N1	4.7	101	1,093	1,194
N2	4.0	101	1,080	1,181
差	0.7	0	13	13

#### 4.2 プロジェクトレベル分析

道路管理者費用は、修繕回数が最も多いケースP2で最も高価となり、設計期間を20年としたケースP3は舗装破壊までのサイクルタイムが長くなり、総打換え回数が少ないため最も安価となった(図-4)。他方、利用者費用はケースP1で際立って高くなる(図-5)。これは、P1では途中で修繕が行われず、破壊が起こるまで供用し続けるため、MCIが一般的管理レベルを超えて大きく低下し(図-6)、走行費用の増大を招くためである。トータルコストを図-7に示す。ケースP3が最も安価となり、舗装を長寿命化し、定期的な小修繕を繰り返しながらの供用でLCCの縮減が可能であることが示唆された。

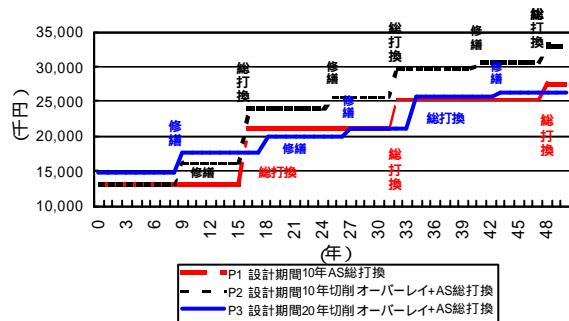


図-4 道路管理者費用

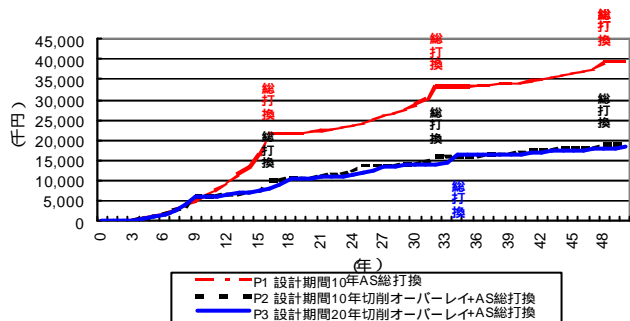


図-5 道路利用者費用

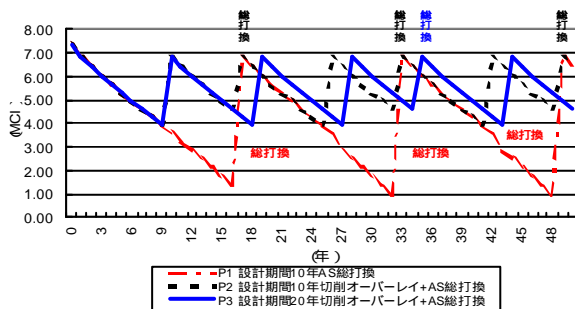


図-6 MCIの推移

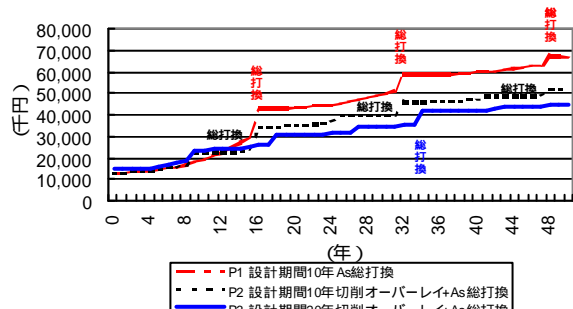


図-7 トータルコスト

#### 5. おわりに

本検討から、道路利用者費用を考慮した道路網修繕計画の優位性と、舗装寿命の長期化によるコスト縮減の可能性が示唆された。LCC解析を実地適用に耐えるものとするには、考慮すべき各費用の算定方法を確立し、解析精度を高めることが求められる。

#### 参考文献

- 1) 森, 岳本, 丸山(2003.3)、積雪寒冷地における舗装マネジメントに向けた路面性状予測について、北海道開発土木研究所 月報
- 2) 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究論文(1987)、第40回建設省技術研究会
- 3) 道路投資の評価に関する指針(案)(2000)、道路投資の評価に関する指針検討委員会編



# レーザー計測による山間部の地形調査について

四国地方整備局 土佐国道事務所 調査第二課 調査第一係 たけうち よしのり 武内 慶了

## はじめに

近年、普及してきた航空機搭載型レーザー計測は、樹林の隙間を通過して地形が計測可能なため、等高線精度が格段に向上している。今回、一般国道 33 号の越知町～吾川村間において道路設計の基礎資料作成にレーザー計測を適用した結果、標高点精度が 5cm、等高線精度が 27cm となり、国土交通省公共測量作業規程に定められる精度を十分に満たした。また、この成果が微地形をも表現していることを利用し、レーザー計測を用いた新しい道路設計手法やその他利活用方法について考察を行なった。

## 1. 国道 33 号道路整備への新技術導入

### 1.1 背景と目的

一般国道 33 号は、地域間交流の強化や事前通行規制区間の解消を目的に、高規格道路を補完し、地域連携の強化を図る地域高規格道路が計画されている。今回レーザー計測を実施した区間は、現道の利活用、及び抽出された最適ルートやトンネル坑口に対する安全性、落石・地すべりによる対策工等を幅広く検討する必要がある。そこで、新たにレーザー計測による微地形分析を行ない、現道・計画路線の坑口周辺一帯における三次元データ取得及び等高線図を作成した。

### 1.2 レーザー計測の実施

レーザー計測を実施した区間は、高知県高岡郡越知町越知丙～吾川郡吾川村橋（延長 26.9km）である。この区間においてヘリコプター搭載型レーザー計測装置を使用し、現道および計画道路の詳細な地形的要因を把握、地図縮尺 1/1,000 の等高線図を作成した。レーザー計測の概要を図-1 に示す。

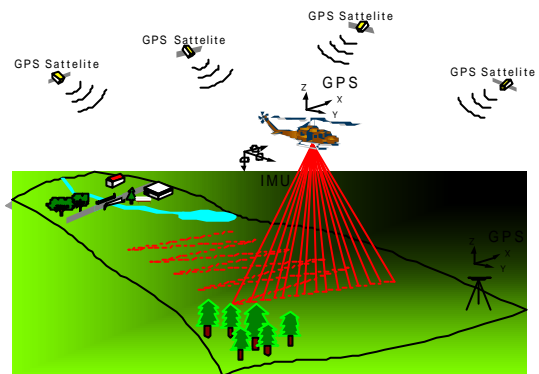


図-1 航空機搭載型レーザー計測の概要

### 1.3 地形調査結果

レーザー計測（計測間隔 0.5m）と空中写真測量（縮尺 1/2,500）でそれぞれ作成した地形図（等高線 1m 間隔）を比較し図-2 に示す。現地写真と比較し、起伏状況が詳細に表現できていることから、レーザー計測の優位性が定性的に理解できる。

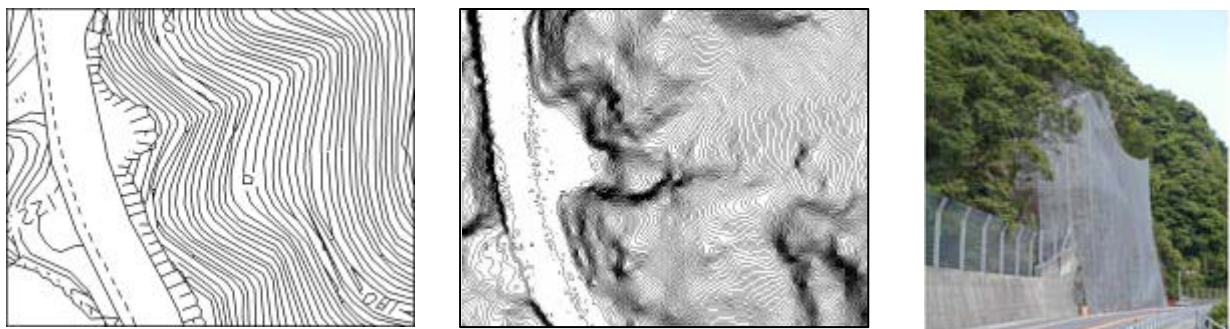


図-2 等高線図による地形評価（左：空中写真測量、中央：レーザー測量、右：現地写真）

レーザー計測の結果を陰影図表現したものを図-3に示す。従来の地形図に比べると地形起伏に加え微地形までが表現され、岩石等の起伏形状も表現されている。これにより、地形形状や岩石等の危険物要因の判断が容易となり、道路設計におけるルートを選定、土砂災害対策工の設計、あるいは安全性検討などがより効率的に行えることが期待できる。

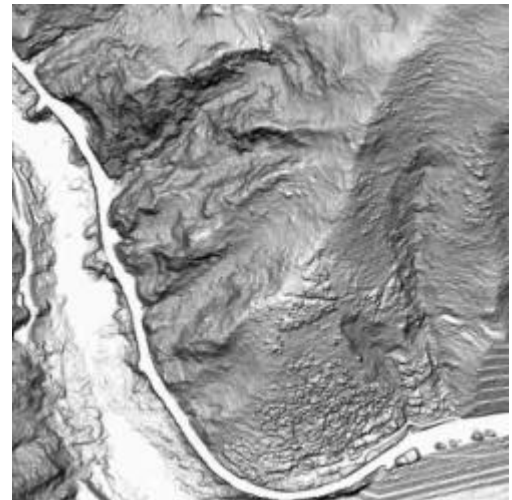


図-3 レーザー計測で得られた陰影図

## 2. レーザー計測技術の評価

レーザー計測の結果に対して精度検証等、多方面からの評価を行なう。

### 2.1 平坦地による標高精度検証

レーザー計測による標高の計測精度を検証するため、道路面などの平坦地を使用して検証を行なった。6m 四方に当たったレーザー計測データを平均し、国家水準点から水準測量によって得た標高との比較を 15 箇所で行なった。結果を図-4に示す。全体での平均値が-1.5cm、絶対最大値が-9.0cm、標準偏差が5.1 cm となり、作業規程に定められた標高点精度 33cm(縮尺 1/1,000)を十分に満たした。

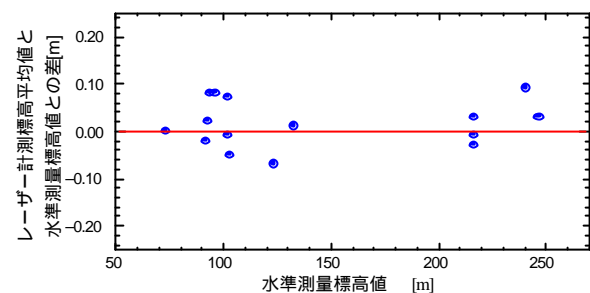


図-4 平坦地における標高精度検証結果

### 2.2 斜面での等高線精度検証

レーザー計測による等高線精度を検証するため、樹木に覆われた斜面において水準測量による断面図を作成し、その断面から一定間隔での較差を算出し標準偏差を求めた。その結果を表-1に示す。これより、作業規程の規定する等高線精度 0.5m(縮尺 1/1,000)を満たした。

表-1 斜面での等高線精度検証結果[m]

	緩傾斜の谷	緩傾斜の尾根	急傾斜の谷	急傾斜の尾根	全体
検証点数	25	14	20	23	82
最大値	0.73	0.33	0.30	-1.19	-1.19
標準偏差	0.26	0.16	0.18	0.39	0.27

### 2.3 植生通過率

植生の密生度によって、レーザー光線が地表面に到達する通過率は異なる。針葉樹林帯 10 箇所、広葉樹林帯 9 箇所において、レーザー光線の通過率を算出した。計測時期は、落葉期の 2004 年 1 月である。結果を図-5に示す。針葉樹について、樹高/樹木密度によらずレーザー通過率は 20%前後を保つ。広葉樹について、樹高/密度が同等でも、幼木の存在等によりレーザー通過率のばらつきが大きい

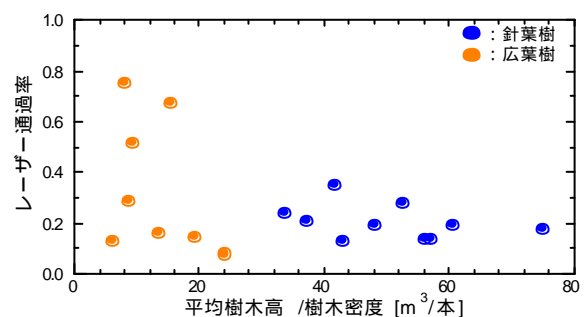


図-5 樹高/樹木密度と通過率の関係

密度が同等でも、幼木の存在等によりレーザー通過率のばらつきが大きいですが、レーザー通過率は 10%程度以上が確保されている。但し上記数値は、冬季であり、樹木の下に草が生い茂っておらず、山が荒れてツタ等が絡まっていない条件下での値と考えられる。以上より、植

生分布地域における測量においてレーザー計測が有効であることがわかった。

## 2.4 レーザー計測技術の評価

前述までの結果や文献調査等により、航空機搭載型レーザー計測は、樹林に覆われた山間地の地形調査には有効であり、検討ルートの増加など、道路設計への活用が期待できることが明らかになった。また、幅広い工程にわたってデジタル処理が可能なことから、今後も工期短縮やコスト縮減が期待できる。道路設計の視点から、現行の地形調査手法である空中写真測量とレーザー計測の特性を比較し、表-2 に示す。

表-2 道路設計のためのレーザー計測と空中写真測量の特性比較（注：参考文献 1）に加筆）

特徴	レーザー計測	空中写真測量
樹林下の地形計測		×
微地形の把握		×
樹林下の地物抽出		×
総合的な地物の抽出		
計測 / 撮影条件	落葉期	晴天
自動化の可能性	大	小
限界縮尺	1/1,000	1/1,000 ~ 1/2,500
安全性（現地調査）		
検討可能ルート数	10 以上	3 以上
工期短縮		
原価低減		×

## 3. レーザー計測技術の活用

### 3.1 新しい道路設計手法の提案

#### 3.1.1 予備設計までのレーザーデータの活用

道路設計において、初期の測量から予備設計までの工程に着目する。通常、概略設計を行なう際、まず 1/2,500 ~ 1/5,000 の精度で空中写真測量を実施し、ルート選定する。次に 1/1,000 の精度で空中写真測量を実施し、線形を確定する。この間に 2 回測量を行なう必要がある。一方でレーザー計測は 1/1,000 の精度を保つ。

1/2,500 ~ 1/5,000 の精度を必要とする概略設計にレーザー計測データを用いれば、予備設計までに行なう測量が 1 度になるため、工期短縮に貢献するとともに、コスト縮減に寄与することが期待される。

#### 3.1.2 調査・設計等への成果の活用と工期短縮・コスト縮減

レーザー計測の成果（等高線図や陰影図）は、高精度に微地形を解析可能である。これより地形判読や地質調査等に用いる資料として、非常に有効なツールであると考えられる。一方で、地形調査にレーザー計測データを用いた、CAD ソフトによる道路設計（図-6）も促進されつつある。これより土量・法面等の概算数量が即座に把握でき、高密度・高精度地形情報により、確実なルート選定が可能になる。従来の「検討ルート数」と「設計作業の迅速性」

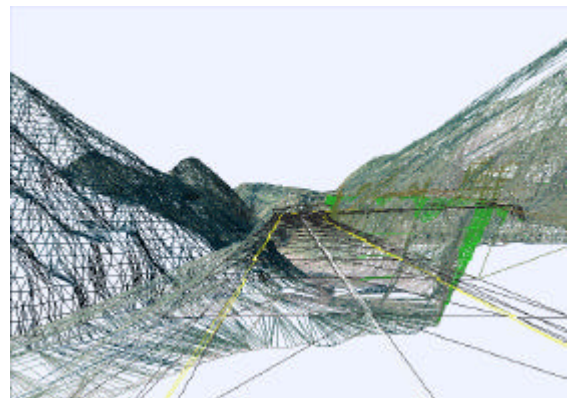


図-6 CAD ソフトによる道路設計の三次元化



の反比例関係が覆され、ルート決定がより高度なものになると考えられる。

次に、レーザー計測三次元データと CAD ソフトを用いた場合に短縮されるコスト・工期を試算した。結果を表-3、表-4 に示す。まず、検討したレーザー計測による道路設計の経済性を評価するため、10km 区間で地形調査に掛かる必要経費を試算した。概略設計時の検討ルート数は便宜上3とした。結果、レーザー計測による方法が約 10%有利であった。

表-3 経済性評価（検討区間 10km で試算） [単位：万円]

現行手法		提案手法		備考
空中写真測量 1/2,500	850	レーザー計測 0.5m 等高線 2m 間隔	870	10km <sup>2</sup>
棚笥設計 (ルート選定)	850	棚笥設計 (ルート選定)	720	10km
空中写真測量 1/1,000	1,030	等高線 1m 間隔	230	3km <sup>2</sup>
		空中写真測量 1/1,000 平面	420	3km <sup>2</sup>
予備設計 (線形の確定)	2,000	予備設計 (線形の確定)	2,000	10km
合計	4,730	合計	4,240	

経済性とともに、短縮され得る工期について試算した。これより、提案する手法では、必要な測量が1度で済むことが大きな要因となり、初期の測量から予備設計(線形の確定)までに工期が約 18%短縮され得ることがわかった。

表-4 工期評価（検討区間 10km で試算） [単位：ヶ月]

工程		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
現行手法	空中写真測量 1/2,500										
	概略設計 (ルート選定)										
	空中写真測量 1/1,000										
	予備設計 (線形の確定)										
提案手法	レーザー計測 0.5m 等高線 2m										
	概略設計 (ルート選定)										
	等高線 1m 間隔										
	空中写真測量 1/1,000 平面										
	予備設計 (線形の確定)										

### 3.2 各種施策へのレーザーデータの活用

レーザー計測データは高密度・高精度な三次元情報であり、住民説明や日常点検への活用など、これまで検討はされてきたが実用が困難であった各種施策の実現も期待できる。

公共事業を進めるにあたっては、安全対策だけではなく「美しい国土づくり」のために景観評価や地域住民とのアカウンタビリティなどを取り入れた多角的な評価が求められている。レーザー計測の成果は三次元数値を活用し、設計 CAD を使った道路設計を行ない、鳥瞰図、走行シミュレーション等でわかりやすい地域住民への説明が可能となる。

現行の二次元地図データによる GIS では十分な管理は困難であるが、レーザー計測で得られた標高データを用いて三次元的に管理することにより、地滑りや落石危険箇所等の高度な管理が期待できる。

## 4. 今後の課題

本論は、道路計画策定に新たな方向性を示す一考察であるが、レーザー計測技術は通過率が不十分な箇所への対処や、データ交換の標準化、成果レベルに関する基準の統一等、改善すべき点も少なくない。今後も考えられる課題を抽出するとともに解決を重ね、積極的にレーザー計測技術を事業に活用していくメリットは大きいと考える。

参考文献：1) 下井田実, 有澤俊治, 黒田竜二, 津留宏介, 板屋勇, 藤原輝芳：砂防調査における航空写真測量と航空レーザー測量の比較検証月刊『測量』平成 13 年 6 月号