

49. 冬期道路交通に影響する道路有効幅員の計測手法の検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○大上 哲也
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 住田 則行
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 三浦 豪

1. はじめに

積雪寒冷地に住む人々にとって冬期交通の確保は必要不可欠であり、そのための道路の維持管理（除雪・防雪等）に対するニーズは非常に高い。また、その一方では、近年の経済状況から、コスト削減のための効率性も強く求められており、住民のニーズを満たす、効率的な維持管理の計画・実施が必要である。

効率的に冬期道路を維持管理するためには、道路状況を把握し、その道路状況が交通に与える影響を勘案しながら除雪などを行う必要がある。例えば、道路有効幅員（写真-1）は、路肩の堆雪によって幅員が減少することにより渋滞が生じるなど、冬期交通（旅行速度）に大きく影響する要因の一つである。有効幅員と旅行速度との相関関係を把握することによって、旅行速度に著しく影響する前に必要な幅員を確保するなど効率的な維持管理（除排雪）の計画・実施が可能となる。しかし、現状の道路有効幅員の把握は、パトロール等での目視が主であり、定量的な計測は行われていない。

このことから、本稿では道路有効幅員に着目し、この計測手法の確立を目的に、レーザースキャナを用いた計測システムを試作した。そして構内で

の精度確認試験及び一般国道での現場適応性確認試験を行うなど、定量的な道路有効幅員の計測手法について検討した。

2. 必要条件の設定

計測手法の検討にあたっては、定量的な計測結果が得られるほか、安全性、効率性及び経済性についても考慮しなければならない。本検討では、計測システムに必要な条件として下記の3点を設定した。

- ① 計測員による車道上もしくは車道脇での計測は行わない（安全性）
- ② 計測員以外の機器等による車道上もしくは車道脇での計測であっても、一般交通に対する影響を最小限に抑える（安全性）
- ③ 計測対象である道路の有効幅員は、日々の降雪や除雪により刻々と変化するため、計測及び解析が速やかに行える（効率性、経済性）

3. 計測システムの構成

計測手法の必要条件を基に、道路有効幅員計測システムを試作した。道路有効幅員の計測イメージを図-1及び図-2に、計測システムの構成を図-3に、計測データ表示画面を図-4に、試作したシステムで使用しているレーザースキャナの仕様を表-1に示す。

計測機器には、雪の計測実績があり^{1), 2)}比較的安価でシンプルなシステム構成が可能な「レーザースキャナ」を採用した。これにより道路横断をプロファイルする。また、「GPSセンサー」を用いて計測位置、時間及び走行速度のデータを取得するほか、「WEBカメラ」により計測箇所の道路状況を撮影する。これら各装置のほか、計測用ソフトウェアを搭載した端末（ノートPC）などを車載し、走行しながら連続して計測することにより、一般交通に対する影響を最小限に抑え、安全で効率的な計測が可能になる。



写真-1 道路有効幅員と路肩の堆雪

表-1 レーザースキャナの仕様

SICK社製 LMS111	機器仕様	本システム仕様
計測範囲	270°	180°
	18m *1	
計測間隔	25Hz / 50Hz	1Hz~10Hz
角度分解能	0.25° / 0.5°	0.5°
システム誤差	±30mm *1	
使用周囲温度	-30°C ~ +50°C	

*1: 反射率が10%以上の計測対象物

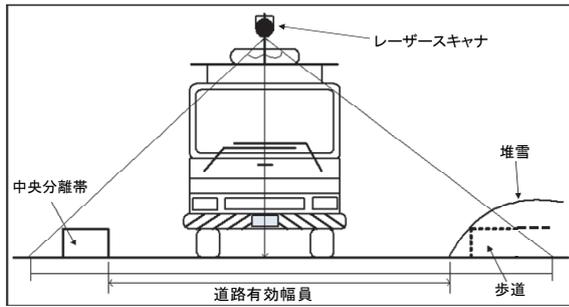


図-1 道路有効幅員の計測イメージ (1)

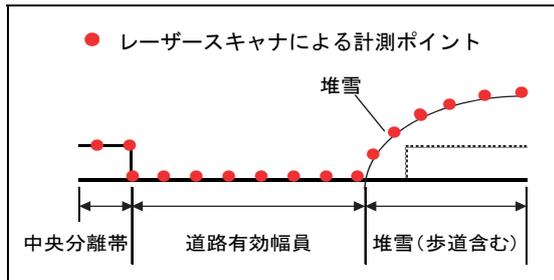


図-2 道路有効幅員の計測イメージ (2)

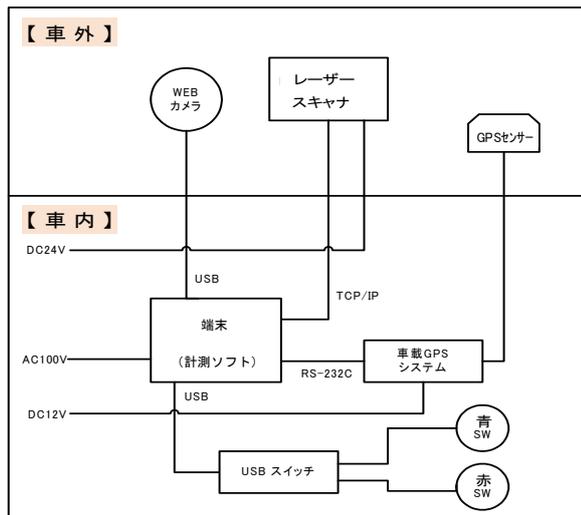


図-3 計測システムの構成

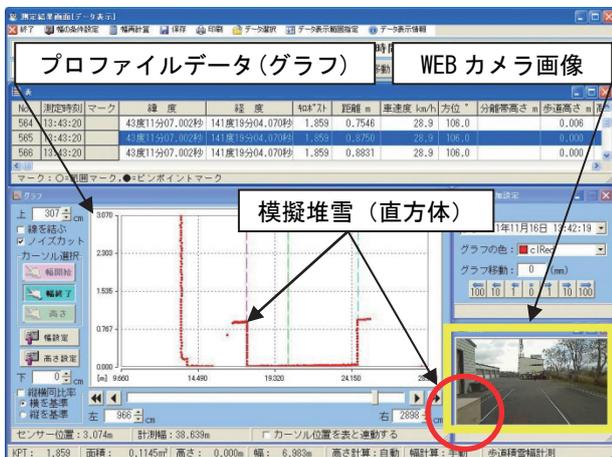


図-4 計測データ表示画面

4. 計測システムの機能

4.1 計測機能

レーザースキャナにより道路横断のプロファイルデータを取得する。例えば、計測間隔を 10Hz に設定し、計測車両が 40km/h で走行した場合には、道路横断のプロファイルデータを約 1.1m のピッチで取得する。

このプロファイルデータを基に、車道と路肩の堆雪や中央分離帯などの道路構造物の境界を自動もしくは手動で判断することにより、道路有効幅員を計測する。なお、同じプロファイルデータから堆雪高さの計測も可能である。

また、堆雪に埋もれない防雪柵などの道路附属施設を含む道路横断を夏期及び冬期に計測することにより、車道部の堆雪幅(車道にはみ出した堆雪の幅)を計測することも可能である。

4.2 計測条件の設定機能

計測システムは、正確な計測結果を得ることを目的としたキャリブレーション機能を有する。具体的には、レーザースキャナの設置位置から計測対象物が無い状態の道路表面までの距離をスキャナにより計測し、その距離をスキャナ高さ位置として計測条件に設定する。

また、レーザースキャナを中心とした左右それぞれの計測幅、計測間隔 (1Hz~10Hz)、車道と路肩の堆雪などの境界を判断するデータ条件 (道路表面からの高さとそのデータの継続数)、雪煙などのデータを誤って取得しないように異常値を判断する閾値など、各種計測条件の設定もしくは設定変更が可能である。

なお、境界を判断するデータ条件や異常値を判断するデータの閾値については、計測後の解析時に変更が可能であり、様々な条件で繰り返し解析を行うことができる。

4.3 道路状況画像の表示機能

道路有効幅員の計測と同時に、計測箇所の道路状況を「WEBカメラ」により撮影する。撮影した画像は、レーザースキャナによりプロファイルした同じ位置の道路横断のデータ(グラフ)と並べて、端末の計測データ表示画面内に表示すること

ができる (図-4)。

この表示機能により、計測結果の妥当性について、視覚的に検証することができる。

4.4 データのマーキング機能

計測中に端末に接続した青及び赤ボタンを押すことにより、任意の計測データをマーキングする機能を有する。なお、青ボタンはピンポイントデータをマークするのに対し、赤ボタンは範囲データをマークする。

この機能により、例えば、目印となる計測ポイントをマークすることで、解析時のデータ検索が容易になる。また、渋滞や路上駐車などにより正常な計測が不可能だと想定される範囲をマークすることで、解析の範囲を明確化することが可能になる。

4.5 プロファイルデータの重ね合わせ表示機能

計測データ表示画面 (図-4) において、最大5つのプロファイルデータを重ね合わせて表示することができる。

この表示機能によって、同じ位置を継続的に計測することで、時間経過に伴う道路有効幅員等の変化を視覚的に確認することが可能になる。

5. 精度確認試験

計測速度及び計測対象物表面の違いが、試作した計測システムの計測精度に与える影響を確認するため、構内において精度確認試験を行った。

5.1 試験方法

試験は、構内に片側2車線の車道及び側帯を描画し、その歩道側の側帯に形状寸法が明確である合板製の模擬堆雪を設置した模擬道路で行った。この模擬道路の有効幅員と模擬堆雪高さを計測の対象とし、試験車両 (作業車 4t) に搭載した計測システムによる計測結果とメジャーを用いて計測した実測値を比較した。

なお、計測速度の違いが計測精度に与える影響を確認するため、車両停止状態を含む3~4条件の速度で計測した。また、計測対象物表面の違いが計測精度に与える影響を確認するため、夏期及び冬期に試験を行い、冬期には模擬堆雪の表面に雪を付着させた。

5.2 夏期試験の条件

夏期精度確認試験における条件を以下に示す。また、模擬道路及び模擬堆雪を図-5及び写真-2に、試験状況を写真-3に示す。

- ・道路有効幅員 : 6,990mm (実測値)
- ・模擬堆雪高さ : 912mm (実測値)
- ・計測間隔 : 10Hz
- ・解析方法 : 手動
- ・計測速度 (想定) : 0, 10, 30, 50km/h
- ・計測回数 : 計測速度毎3回

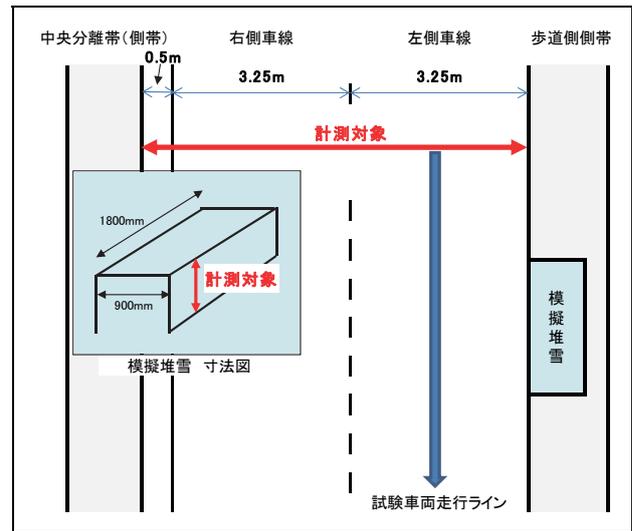


図-5 模擬道路及び模擬堆雪 (精度確認試験)



写真-2 模擬道路及び模擬堆雪 (夏期精度確認試験)



写真-3 試験状況 (夏期精度確認試験)

5.3 夏期試験の結果

夏期精度確認試験の結果を表-2に、計測データ表示画面の一例を図-4に示す。

試験車両が停止状態での計測では、道路有効幅

員の計測誤差は 20mm 以下、模擬堆雪高さの計測誤差は 9mm 以下であり、これら計測値の誤差は計測機器であるレーザースキャナの仕様値に合致する。

試験車両が走行しながらの計測では、道路有効幅員の計測誤差は、車両停止状態での計測に比べ、計測速度の上昇に伴い大きくなり、計測速度 50km/h では最大 64mm の誤差を確認した。また、模擬堆雪高さの計測誤差は、計測速度 10km/h 及び 30km/h では車両停止状態での計測結果とほぼ同じく 8mm 以下であったが、計測速度 50km/h では最大 37mm の誤差を確認した。

計測速度（車両走行速度）の上昇に伴い誤差が大きくなった原因としては、低速時に比べて路面の不陸等による車両振動（ピッチング）が大きくなり、レーザースキャナの高さ位置が変化することが考えられる。また、プロファイルデータを一定の時間間隔でサンプリングすることから、計測対象物（長さ 1,800mm）をプロファイルする回数（平均する対象データ数量）が減少し、突出したデータがある場合に平均化が困難になったことも考えられる。

表-2 夏期精度確認試験の結果

計測速度	試験 No	データ数量 *1	実速度 (km/h)	道路有効幅員			模擬堆雪高さ		
				実測値 (mm)	計測値 (mm)	誤差 (mm)	実測値 (mm)	計測値 (mm)	誤差 (mm)
0km/h	1回目	10	0.0	6,973	6,973	-17	903	903	-9
	2回目	10	0.0	6,990	6,970	-20	912	912	0
	3回目	10	0.0	6,993	6,993	3	906	906	-6
	平均誤差(絶対値)	—	—	—	—	13	—	—	5
	最大誤差(絶対値)	—	—	—	—	20	—	—	9
10km/h	1回目	4	15.2	6,967	6,967	-23	904	904	-8
	2回目	4	14.7	6,990	7,002	12	912	905	-7
	3回目	4	12.2	6,965	6,965	-25	905	905	-7
	平均誤差(絶対値)	—	—	—	—	20	—	—	7
	最大誤差(絶対値)	—	—	—	—	25	—	—	8
30km/h	1回目	2	28.9	7,007	7,007	17	906	906	-6
	2回目	2	29.6	6,990	6,958	-32	912	907	-5
	3回目	2	27.4	6,954	6,954	-36	905	905	-7
	平均誤差(絶対値)	—	—	—	—	28	—	—	6
	最大誤差(絶対値)	—	—	—	—	36	—	—	7
50km/h	1回目	1	45.9	6,952	6,952	-38	910	910	-2
	2回目	1	48.0	6,990	6,926	-64	912	875	-37
	3回目	1	45.0	6,971	6,971	-19	879	879	-33
	平均誤差(絶対値)	—	—	—	—	40	—	—	24
	最大誤差(絶対値)	—	—	—	—	64	—	—	37

*1：レーザースキャナーが計測対象物をプロファイルした回数

5.4 冬期試験の条件

冬期精度確認試験における条件を以下に示す。また、模擬道路及び模擬堆雪を 図-5 に、試験状況を 写真-4 に示す。

冬期精度確認試験では、走行路面の一部が凍結していたことから、計測速度は 30km/h を上限とした。また、計測対象である合板製の模擬堆雪の表面に水でしめらせた雪を付着させた。なお、レーザースキャナによる計測は、計測表面が明るいほ

どレーザー光を反射するため検出が容易である³⁾とされており、雪は合板に比べて明るいことから夏期精度確認試験に比べて好条件といえる。

- ・道路有効幅員 : 7,015mm (実測値)
- ・模擬堆雪高さ : 956mm (実測値)
- ・計測間隔 : 10Hz
- ・解析方法 : 手動
- ・計測速度 (想定) : 0, 10, 30km/h
- ・計測回数 : 計測速度毎 3 回



写真-4 試験状況 (冬期精度確認試験)

5.5 冬期試験の結果及び夏期試験との比較

冬期精度確認試験の結果を表-3 に示す。

道路有効幅員の計測では、計測誤差は、計測速度 10km/h までは 15mm 以下であったが、計測速度 30km/h では最大 35mm の誤差を確認した。これらの値は、夏期の試験結果と近似しており、計測速度の上昇に伴い計測誤差が大きくなる傾向も同じである。

次に、模擬堆雪高さの計測では、車両停止状態を含む全ての計測速度において、30mm～40mm 程度の誤差を確認した。しかし、車両停止状態では各計測値の差が最大 4mm であるなど各計測値の分散が小さいことから、計測条件の初期設定などが計測誤差の要因として考えられる。

以上の結果から、本システムによる計測では、計測対象物表面の違いによる明確な計測精度への影響は確認できなかった。また、計測速度の増加に伴い計測誤差が大きくなる傾向を確認したが、実際の計測対象物である雪を計測した冬期試験の最大の誤差率（誤差 35mm / 実測値 7,015mm）でも 0.5% であることから、実用には十分に耐えられると考えられる。

表-3 冬期精度確認試験の結果

計測速度	試験 No	データ数量 *1	実速度 (km/h)	道路有効幅員			模擬堆雪高さ				
				実測値 (mm)	計測値 (mm)	誤差 (mm)	実測値 (mm)	計測値 (mm)	誤差 (mm)		
0km/h	1回目	10	0.0	7,015	7,024	9	956	922	-34		
	2回目	10	0.0		7,022	7		918	-38		
	3回目	10	0.0		7,028	13		918	-38		
	平均誤差(絶対値)				—	—		10	—	—	37
	最大誤差(絶対値)				—	—		13	—	—	38
10km/h	1回目	5	9.6	7,015	7,030	15	956	925	-31		
	2回目	4	9.3		7,017	2		914	-42		
	3回目	5	11.4		7,013	-2		923	-33		
	平均誤差(絶対値)				—	—		6	—	—	35
	最大誤差(絶対値)				—	—		15	—	—	42
30km/h	1回目	1	28.4	7,015	7,009	-6	956	933	-23		
	2回目	2	30.2		7,015	0		921	-35		
	3回目	2	29.6		7,050	35		921	-35		
	平均誤差(絶対値)				—	—		14	—	—	31
	最大誤差(絶対値)				—	—		35	—	—	35

*1: レーザースキャナーが計測対象物をプロファイルした回数

6. 現場適応性確認試験

試作した計測システムの現場適応性を確認するため、精度確認試験と同様に試験車両に計測システムを搭載し、一般国道において冬期の道路有効幅員を計測する現場適応性確認試験を行った。

6.1 計測箇所

計測箇所は、目印となる道路付属施設などが付近に設置され、計測システムのマーキング機能や道路状況画像の表示機能による箇所の特定が比較的容易だと想定される4地点と、道路構造や沿道条件に変化が無く道路有効幅員の変化量が少ないと想定される直線区間約40mを対象にした。

6.2 計測速度

計測速度の違いが計測結果に与える影響を確認するため、同日に同一箇所を計測した。

計測速度は、冬期の精度確認試験での実績がある30km/hと、一般車両と同じ旅行速度の2つの条件で計測した。旅行速度での計測は、一般交通に対する影響を最小限に抑えられることから、安全かつ効率的な計測が期待できる。

6.3 検証方法

現道での計測であり、メジャーなどによる道路有効幅員の実測が不可能であることから、WEBカメラ画像と見比べることにより、計測結果の妥当性を視覚的に検証した。また、各々の計測値の差から計測速度の影響を確認した。

なお、堆雪高さの計測については、路上の堆雪高さが本計測システムの計測範囲(高さ3,074mm)を超える箇所が多かったことから、計測結果のとりまとめ対象外とした。

6.4 試験条件

現場適応性確認試験における条件を以下に示す。

- 計測箇所 : 一般国道231号(L側)
KP8.2, 8.7, 12.1, 13.8

- 計測箇所(連続) : 一般国道231号(L側)
KP8.0
- 計測間隔 : 10Hz
- 解析方法 : 手動
- 計測速度(想定) : 旅行速度, 30km/h

6.5 試験結果

計測データ表示画面の一例を図-6に、計測結果を表-4及び表-5に示す。

視覚による検証では、旅行速度(平均約46km/h)での計測でも堆雪及び道路構造物の形状を計測できたことから、本計測手法の現道での適応性を確認した(図-6)。

予め定めた4地点の計測結果は、構内で実施した精度確認試験に比べて計測値の差が大きかった。また、計測速度の影響は精度確認試験と傾向が異なっている。このことから、計測速度の違いが計測結果に与える影響については確認できなかった(表-4)。

この原因としては、本計測システムのレーザースキャナーのサンプリング間隔は0.1秒毎であり、計測速度30km/hでは道路縦断方向に83cmのピッチでプロファイルする。しかし、計測対象物の堆雪は連続した不整形状であることから、若干の計測位置のずれが計測結果に大きく影響したことが推測される。また、レーザースキャナーは0.5°(角度分解能)毎に扇状にプロファイルすることから、計測対象物までの距離の増大に伴いプロファイルする道路横断方向のピッチが広がるため、車道と車道以外の境界の位置精度が低下する。このことから、本試験で計測した道路有効幅員が精度確認試験に比べて広がったことも計測結果の差に影響したと考えられる。

ただし、道路有効幅員の連続計測(約40m)では、データ件数45件のうち87%は計測値の平均から100mmの範囲にあるなど計測結果にばらつきが少ないことから、計測結果の妥当性を確認することができた(表-5)。

以上の結果から、連続した不整形状である堆雪に対しては、少数のプロファイルデータにより一定区間の道路有効幅員の代表値として評価するのは妥当ではないと考えられる。今後の路上での道路有効幅員の計測にあたっては、計測区間を連続的に計測し、複数断面のプロファイルデータを用いて何らかの統計的処理(平均値, 中間値, 異常値カット等)を行うことにより、一定区間毎の道路有効幅員の代表値として評価することが可能であると考える。



図-6 計測データ表示画面（現場適応性試験）

表-4 現場適応性確認試験の結果

計測箇所	計測速度 (想定)	計測日時	試験 No.	実速度 (km/h)	道路有効幅員	
					計測値 (mm)	差 (mm)
K P 8. 2 (L側) ・片側3車線 ・歩道有り ・中央分離帯有り	旅行速度	1月13日	1回目	47.6	13,306	34
			2回目	48.6	13,340	
	30km/h	2月2日	1回目	27.6	13,127	53
			2回目	43.4	13,074	
	30km/h	2月22日	1回目	30.1	13,170	184
			2回目	30.8	12,986	
K P 8. 7 (L側) ・片側3車線 ・歩道有り ・中央分離帯有り	旅行速度	1月13日	1回目	44.7	13,036	131
			2回目	50.0	12,905	
	30km/h	2月2日	1回目	27.2	12,979	77
			2回目	47.0	12,902	
	30km/h	2月22日	1回目	30.0	12,886	38
			2回目	30.2	12,924	
K P 1 2. 1 (L側) ・片側2車線 ・歩道有り ・中央分離帯有り	旅行速度	1月13日	1回目	38.7	9,937	30
			2回目	45.8	9,967	
	30km/h	2月2日	1回目	27.6	9,755	208
			2回目	42.2	9,963	
	30km/h	2月22日	1回目	29.6	10,005	67
			2回目	29.6	10,072	
K P 1 3. 8 (L側) ・片側2車線 ・歩道有り ・中央分離帯有り	旅行速度	1月13日	1回目	50.2	10,027	6
			2回目	47.2	10,021	
	30km/h	2月2日	1回目	28.2	10,012	17
			2回目	48.8	10,029	
	30km/h	2月22日	1回目	31.3	9,869	8
			2回目	29.6	9,861	

表-5 現場適応性確認試験（連続計測）の結果

データ No.	K P	計測速度 (km/h)	道路有効 幅員 (mm)	データ No.	K P	計測速度 (km/h)	道路有効 幅員 (mm)
1	7.983	29.8	13,243	26	8.000	29.7	13,182
2		29.8	13,245	27		29.7	13,201
3		29.8	13,220	28		29.7	13,203
4		29.8	13,203	29	8.008	29.7	13,188
5		29.8	13,177	30		29.7	13,224
6		29.8	13,179	31		29.7	13,225
7		29.8	13,202	32		29.7	13,214
8		29.8	13,200	33		29.7	13,203
9		29.8	13,224	34		29.7	13,216
10	7.992	29.7	13,202	35		29.7	13,213
11		29.7	13,198	36		29.7	13,241
12		29.7	13,204	37		29.7	13,220
13		29.7	13,213	38	8.016	29.7	13,045
14		29.7	13,225	39		29.7	13,193
15		29.7	13,214	40		29.7	13,176
16		29.7	13,191	41		29.7	13,057
17		29.7	13,175	42		29.7	13,054
18		29.7	13,175	43		29.7	13,026
19		29.7	13,220	44		29.7	13,063
20	8.000	29.7	13,168	45		29.7	13,163
21		29.7	13,211				
22		29.7	13,169				
23		29.7	13,190				
24		29.7	13,168				
25		29.7	13,171				
			最大値				13,245
			最小値				13,026
			計測値の差 (最大)				219
			平均値 (μ)				13,184

* KP計測は1秒毎、道路有効幅員計測は0.1秒毎であるため、表記方法が異なる

7. 自動解析の精度向上の検討

試作した道路有効幅員計測システムは、レーザースキャナにより取得したプロファイルデータを基に、車道と車道以外の境界を判断するデータ条件やデータの異常値を判断する閾値の設定により道路有効幅員を自動解析できる。しかし、プロファイルデータを端末画面に表示し、車道と車道以外の境界を目視により判断した手動解析の結果と計測値が大きく乖離するなど、解析の精度が課題となっている。

計測の効率化を図るためには解析の自動化が必要であることから、自動解析での解析精度の向上を目的に、計測条件の設定に新たな閾値などを追加した。

具体的には、計測対象路線の車線数などを計測条件として入力し、この入力条件から道路有効幅員の上限値を定めることとした。また、解析した道路有効幅員の計測値と、その直後のプロファイルデータを解析した道路有効幅員の計測値の差を対象に、予め定めた閾値以上の差が生じた場合には、後のデータを異常値として判断する機能を追加した。

これらの改良により、解析対象ではない交差点部などの計測データを除外できること、また、計測車両と併走する車両が存在した場合などに生じる、その前後の計測値に比べ極端に狭い計測データを除外できるため、自動解析の精度向上が期待できる。

8. まとめ

効率的な維持管理の計画・実施に寄与することを目的に、道路有効幅員の計測手法について検討し、レーザースキャナを用いた道路有効幅員計測システムを試作した。また、試作した計測システムを用いて確認試験を行った結果、システムの計測精度及び現場適応性を確認することができた。

今後は、計測の効率化を目的とした自動解析の精度を検証するほか、道路有効幅員と旅行速度の相関を把握するなど、更なる検討を進めて行く所存である。

参考文献

- 1) 石川真大・佐々木憲弘・中村隆一・今岡大輔：運搬排雪施工管理システムの開発，第24回寒地機械技術シンポジウム，2008.11
- 2) 渡辺了・石間計夫：適切な除雪発動を目的とした降積雪量把握装置の開発，土木学会第65会年次学術講演会，2010.9
- 3) SICK社：LMS111取扱説明書，P21，2008.12