

道路有効幅員計測に関する試験報告について

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○大上 哲也
住田 則行

効率的に冬期道路を維持管理するためには、冬期道路状況を把握し、その道路状況が交通に与える影響を勘案しながら除雪等を行う必要がある。しかし、日々の降雪や除雪により変化する冬期道路有効幅員については、冬期交通に直接影響するにもかかわらず、これまで定量的な把握（計測）は行われていない。

このことから、安全で効率的な道路有効幅員の計測手法の確立を目的に、レーザースキャナーを用いた計測システムを構築し、精度確認試験及び路上計測試験を行った。この結果、計測精度、計測速度の対応性及び計測結果の再現性を確認することができた。

キーワード：道路有効幅員、計測技術、レーザースキャナー、冬期道路、維持管理

1. はじめに

積雪寒冷地に住む人々にとって冬期交通確保は必要不可欠であり、そのための維持管理（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、維持管理に対するコスト削減のための効率性も強く求められている。

効率的な維持管理を実施するためには、冬期道路状況を把握し、その道路状況が交通に与える影響を勘案しながら除雪等を行う必要がある。最近では、計測車両による連続的な路面のすべり抵抗について測定が行われているなど、冬期道路における実証データも収集されつつある¹⁾。しかし、日々の降雪や除雪により変化する冬期の道路有効幅員（写真-1）については、冬期交通に直接影響するにもかかわらず、これまでパトロール等での目視による確認などしか行われてなく、定量的な道路有効幅員の把握（計測）は殆どなされていない。

このことから、効率的な維持管理を実施するため、未だ定量的な計測がなされていない道路有効幅員に着目し、安全で効率的な計測手法の確立を目的に、レーザースキャナーを用いた計測システムを構築し、精度確認試験及び一般国道での路上計測試験を行うなど、道路有効幅員の計測手法について検討した。

2. 計測の必要条件

道路有効幅員の計測にあたっては、定量的な計測結果を得るほか、安全性、効率性及び経済性等についても考慮しなければならない。本検討では下記3点を計測シ

テムにおける必要条件とした。

【必要条件】

- ① 道路有効幅員を定量的に把握できる計測システムとする。
- ② 道路有効幅員を安全に計測できるシステムとする。そのため、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。また、計測員以外の計測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。
- ③ 日々の降雪や除雪により刻々と変化する道路有効幅員が計測対象であることから、計測延長が長いことが想定される。そのため、道路有効幅員の計測及び解析をスピーディに行えるなど、効率的かつ経済的な計測システムとする。



写真-1 冬期の道路有効幅員

3. 道路有効幅員計測システムの概要

道路有効幅員計測の必要条件を踏まえ、道路有効幅員システムを構築した。

計測機器は、道路有効幅員を定量的に計測できる対象技術（画像計測、レーザー計測等）を調査した結果、雪の計測実績があり²⁾³⁾、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 scanner を使用することとした。

また、このレーザー scanner を搭載することで、計測員等の安全性を確保するとともに、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るほか、効率的な計測が可能になる。

道路有効幅員の計測イメージを図-1に示す。

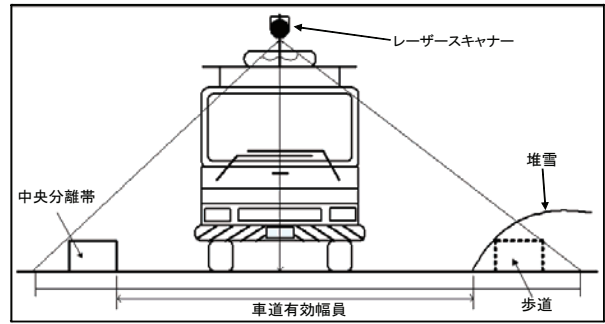


図-1 道路有効幅員の計測イメージ

(1) 計測システムの構成

計測システムは、計測機器である「レーザー scanner」のほか、「GPSセンサー」、「WEBカメラ」及び計測ソフトをインストールした「ノートPC」等で構成され、これらは全てを搭載する。

具体的には、レーザー scanner により道路横断をプロファイルし、GPSにより計測位置、時間、走行（計測）速度のデータを取得する。さらに、WEBカメラにより計測箇所の道路状況を撮影する。この撮影した画像は、レーザー scanner によるプロファイルデータと比較することで計測結果の確認検証が可能となる。これら各装置により取得したデータは、計測用ソフトをインストールしたノートPCに取り込み、道路有効幅員の計測結果として表示する。

システム構成を図-2に、レーザー scanner の仕様（設定条件）を表-1に示す。

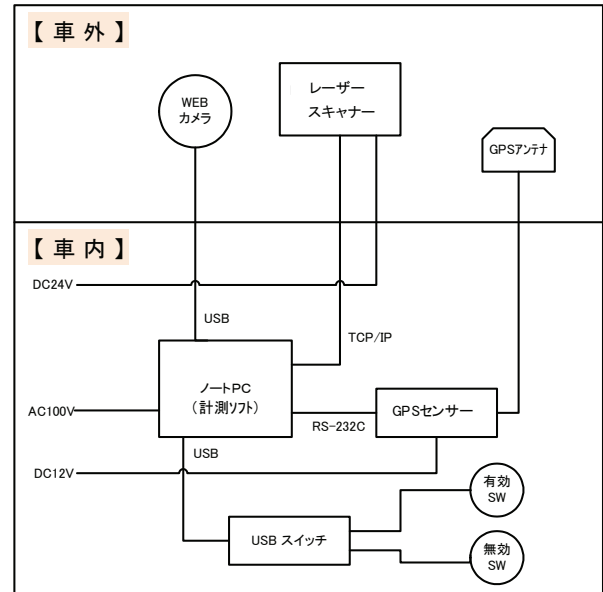


図-2 システム構成

表-1 レーザー scanner の仕様（設定条件）

レーザー scanner (SICK社製 LMS111)	
計測範囲(最大)	270°
	18m *1
角度分解能(設定条件)	0.5°
システム誤差	±30mm *1
最小サンプリング間隔(設定条件)	0.1sec
使用周囲温度	-30°C ~ +50°C

*1: 反射率が10%以上の計測対象物

(2) 計測システムの機能

a) 計測条件の設定機能

レーザー scanner を中心とした左右それぞれの計測幅、道路有効幅員として認識するデータ条件（データの値及び継続数）及び計測異常値の閾値など、計測条件の設定を行う。

b) キャリブレーション機能

より正確な計測結果を得るため、計測日毎にレーザー scanner の設置位置から計測対象物が無い状態の地面（直下）までの距離を計測し、その距離をセンサー設置高さとして計測条件に設定する。

c) 連続計測機能

搭載した計測システムにより、走行しながら道路横断をプロファイルし、堆雪や道路構造物等の開始地点を自動もしくは手動で判断することにより、道路有効幅員及び堆雪高さを計測する（図-3）。

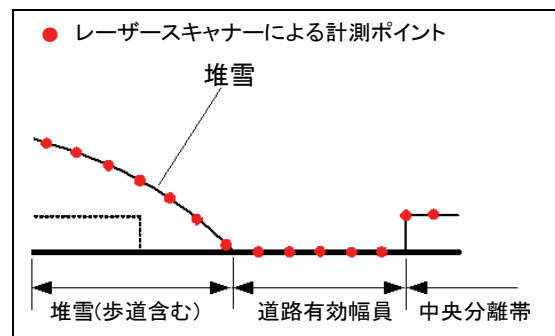


図-3 連続計測機能の計測イメージ

d) データの無効表示機能

連続計測において、道路有効幅員計測の障害となる道路上の一般車両などの影響により、道路横断を正確にプロファイルできないと想定される場合には、誤ったプロファイルデータの混入を防ぐため、計測員がデータ無効スイッチを押すことにより、計測結果の帳票にデータ無効と表示する。

e) 基準点計測機能

夏期（無雪期間）に、冬期でも堆雪に埋もれない道路付属物等（基準点）を含む道路横断を計測し、さらに冬期に同じ地点を計測してデータを比較することにより、道路有効幅員及び堆雪高さのほか、車道部の堆雪幅（車道にはみ出した堆雪の幅）を計測する（図-4）。

f) 道路状況画像の表示機能

計測結果の検証を行うため、道路横断のプロファイルと同時に、WEBカメラにより計測箇所の道路状況を撮影する。具体的には、道路有効幅員の計測結果表示画面において、同じ地点のプロファイルデータと撮影した実際の道路状況画像を並べて表示させることにより、プロファイルデータの妥当性を視覚的に確認する。

4. 計測試験

作業車（以下、試験車両）に計測システムを搭載し、構内での精度確認試験を行ったほか、一般国道において夏期及び冬期道路有効幅員の路上計測試験を行った。

(1) 精度確認試験

精度確認試験は、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（図-5）。

この模擬道路の道路有効幅員及び模擬堆雪高さを試験車両に搭載した計測システムにより計測し、メジャーを用いて計測した実測値との比較を行った。なお、計測速度は、車両停止状態での計測も含め4パターンを行い、計測速度（試験車両走行速度）の違いによる計測精度への影響についても確認した（写真-2）。

a) 計測条件

○試験日時及び場所

- ・試験日時 : 2011年11月16日
- ・試験場所 : 北海道開発局 札幌開発建設部 花畔除雪ST構内

○試験道路構造

- ・車道有効幅員 : 6,990mm (実測値)
- ・模擬堆雪高さ : 912mm (実測値)

○計測条件

- ・計測速度(想定) : 0km/h、10km/h、30km/h、50km/h
- ・計測回数 : 各3回

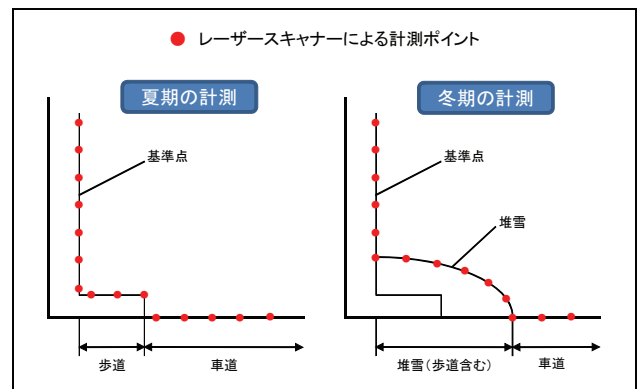


図-4 基準点計測機能の計測イメージ

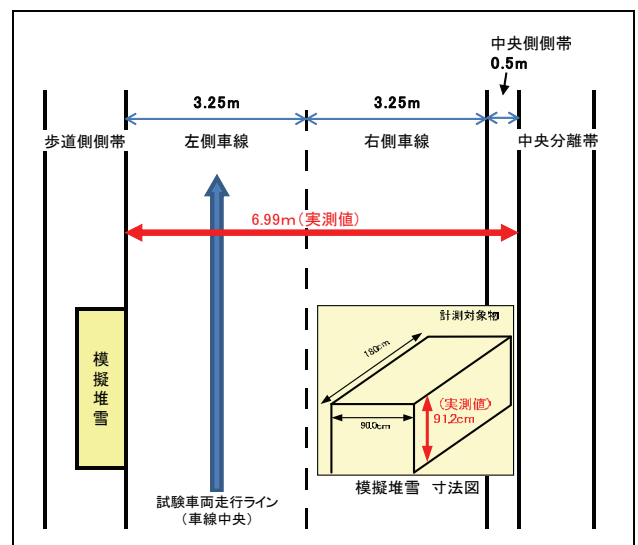


図-5 模擬道路及び模擬堆雪



写真-2 試験状況 (精度確認試験)

b) 試験結果

試験車両が停止した状態での計測では、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10mm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 scanner の仕様と合致する。

試験車両が走行しながらの計測では、模擬堆雪高さの計測誤差は、計測速度10km/h及び30km/hでは試験車両が停止した状態での計測結果と同じく10mm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。また、道路有効幅員の計測では、試験車両が停止した状態での計測に比べ、計測速度が速くなるほど計測誤差が大きくなり、計測速度50km/hでは最大64mmの誤差を確認した。

計測速度に伴い計測誤差が大きくなる原因は、試験車両の走行速度の上昇に伴い、路面の不陸などの走行環境が試験車両の走行姿勢に大きく影響（ピッチング等）し、車両停止状態に比べてレーザースキャナーの設置高さが変化していると想定される。また、本計測システムではプロファイルデータを一定時間間隔でサンプリングすることから、計測速度の上昇に伴いプロファイルする縦断距離の間隔が広がり、レーザースキャナーが計測対象物をプロファイルする回数が減少したことも計測誤差が大きくなる原因の可能性として考えられる。

精度確認試験の結果を表-2に示す。

表-2 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	
				計測値 (mm)	誤差 (mm)	計測値 (mm)	誤差 (mm)
0km/h	1回目	10	0.0	6.973	-17	903	-9
	2回目	10	0.0	6.970	-20	912	0
	3回目	10	0.0	6.993	3	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	-23	904	-8
	2回目	4	14.7	7.002	12	905	-7
	3回目	4	12.2	6.965	-25	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	17	906	-6
	2回目	2	29.6	6.958	-32	907	-5
	3回目	2	27.4	6.954	-36	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	-38	910	-2
	2回目	1	48.0	6.926	-64	875	-37
	3回目	1	45.0	6.971	-19	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

(2) 路上計測試験

a) 夏期試験

北海道開発局札幌開発建設部が管理する一般国道において、無雪状態での路上計測試験を行った。なお、様々な現場条件への適応性を確認するため、道路形状（車線数、歩道及び中央分離帯の有無等）が異なる複数の路線を対象とした。

路上計測試験は、連続計測と基準点計測の2種類の計測を行った。連続計測では、計測速度の違いによる計測の可否（速度対応性）を確認するため、試験日毎に異なる

3パターン（10km/h、20km/h、30km/h）の計測速度（試験車両走行速度）で試験を実施した。基準点計測では、冬期でも堆雪に埋もれない道路附属物（基準点）を含む道路横断の計測が可能な40箇所を対象に、試験車両が停止した状態での計測試験を実施した。

b) 夏期試験の計測条件

○試験日時及び計測内容

- ・ 2010年11月11日(連続計測: 20km/h)
- ・ 2010年11月12日(連続計測: 10km/h)
- ・ 2010年11月15日(基準点計測)
- ・ 2010年11月16日(連続計測: 30km/h)

○計測路線及び基準点箇所数

- ・ 一般国道231号 KP1~KP20(基準点数: 34箇所)
- ・ 一般国道337号 KP87~KP90(基準点数: 6箇所)

c) 冬期試験

夏期試験と同じ路線及び箇所において、冬期における路上計測試験を行った。連続計測では、夏期試験と異なる計測速度3パターン（20km/h、30km/h、40km/h）で試験を実施した。基準点計測では、夏期試験と同様に計測車両が停止した状態で計測を実施した。

また、各々の試験において、時間経過による堆雪の形状変化が少ないと想定される試験日を気象状況などを勘案し定め、2回連続で同じ内容の計測をすることにより、計測結果の再現性確認を行った。

d) 冬期試験の計測条件

○試験日時及び計測内容

- ・ 2011年1月13日(連続計測: 30km/h)
- ・ 2011年1月19日(連続計測: 20km/h)
- ・ 2011年1月19日(基準点計測)
- ・ 2011年1月25日(連続計測: 40km/h)
- ・ 2011年1月25日(連続計測: 20km/h: 同日2回目)
- ・ 2011年2月18日(基準点計測)
- ・ 2011年2月18日(基準点計測: 同日2回目)

e) 連続計測試験の結果

夏期及び冬期に計測速度を変化させ連続計測試験を行った結果、時速40km/hの計測速度でも、堆雪及び道路付属物の形状を本計測システムにより再現できていたことから、本計測手法の時速40km/hまでの速度対応性を確認することができた（図-6）。

また、連続計測ではサンプリング間隔を1秒としたことから、全く同じ地点を計測することはほぼ不可能であるが、WEBカメラによって撮影した画像を確認し、ほぼ同一であると想定される地点の各速度における計測結果の比較を参考として行った。この結果、夏期の車道幅員を除き、歩道高さ、堆雪高さ及び車道有効幅員の計測では、計測値の差は100mm以下であった。

夏期及び冬期の連続計測試験の各速度における計測結果の比較を表-3、4に示す。

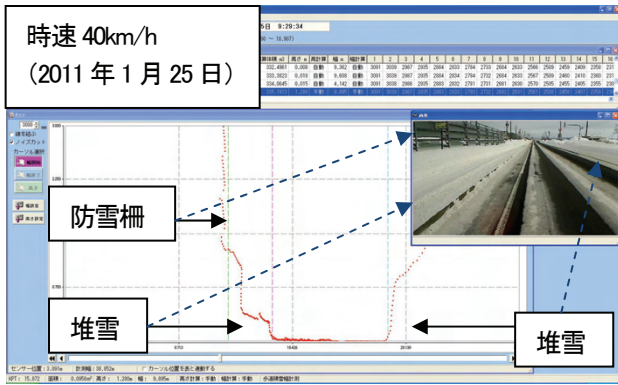


図-6 連続計測の結果表示画面(計測速度:40km/h)

表-3 夏期連続計測試験の結果(参考値)

R231 KP16 (L)	10km/h(11/12)	20km/h(11/11)	計測値の差
歩道高さ	171mm	174mm	3mm
車道幅員	12,660mm	12,934mm	274mm
R231 KP6 (R)	10km/h(11/12)	20km/h(11/11)	計測値の差
歩道高さ	178mm	180mm	2mm
車道幅員	16,031mm	15,989mm	42mm

表-4 冬期連続計測試験の結果(参考値)

R231 KP16 (L)	20km/h(1/25)	40km/h(1/25)	計測値の差
堆雪高さ	1,280mm	1,378mm	98mm
車道有効幅員	9,895mm	9,991mm	96mm
R231 KP19 (R)	20km/h(1/25)	40km/h(1/25)	計測値の差
堆雪高さ	1,777mm	1,792mm	15mm
車道有効幅員	10,057mm	10,000mm	57mm

f) 基準点計測試験の結果

夏期及び冬期に基準点計測試験を行った結果、夏期の堆雪が無い状況と冬期の堆雪の有る状況での計測結果を比較することにより、道路有効幅員及び堆雪高さのほか、車道部の堆雪幅(車道にはみ出した堆雪の幅)を計測することができた(表-5)。

また、冬期試験において同日に同じ内容の計測を2回連続で行い、1回目と2回目の計測値を比較した結果、各箇所の計測値の差は概ね50mm以下であり、全計測箇所(40箇所)でも最大75mmの計測値の差であったことから、本計測手法の計測結果の再現性を確認することができた(表-6)。

計測値の差が生じた原因は、計測対象物の堆雪は連続した不陸形状であることから、若干の計測位置のずれが計測結果の違いとなると想定される。

表-5 夏期及び冬期基準点計測試験の結果

R231 KP4 (R)	11/15	1/19	変化量
歩道(堆雪)高さ	155mm	2,467mm	2,312mm
歩道(堆雪)幅	1,330mm	5,568mm	4,238mm

表-6 冬期基準点計測試験の結果(再現性確認)

計測路線及び箇所		基準点計測 1回目 (2011年2月18日)		基準点計測 1回目 (2011年2月18日)		計測値の差 (1回目-2回目)		
号線 (LR)	K P	堆雪高さ	堆雪幅	堆雪高さ	堆雪幅	堆雪高さ	堆雪幅	
R231 (L側)	1.5	856	725	857	669	-1	56	
	2	563	1,693	560	1,628	3	65	
	4	479	836	476	849	3	-13	
	5	658	727	661	755	-3	-28	
	6	598	655	601	598	-3	57	
	7	654	1,572	643	1,540	11	32	
	8	1,868	4,563	1,871	4,567	-3	-4	
	10	2,180	9,878	2,180	9,900	0	-22	
	12	771	1,089	770	1,083	1	6	
	13	2,052	7,204	2,056	7,217	-4	-13	
	14	2,210	4,632	2,210	4,609	0	23	
	15	2,288	5,919	2,287	5,885	1	34	
	16	728	4,174	719	4,185	9	-11	
	16.5	554	3,139	562	3,121	-8	18	
	17 *1	-	3,052	-	3,056	-	-4	
	18 *1	-	3,091	-	3,091	-	0	
	19	368	3,001	363	3,029	5	-28	
	R231 (R側)	1.5	834	623	840	623	-6	0
		2	531	981	523	928	8	53
4		262	1,541	262	1,576	0	-35	
5		1,286	1,517	1,278	1,592	8	-75	
6		1,305	1,921	1,298	1,927	7	-6	
7		604	775	619	800	-15	-25	
8		505	1,122	516	1,108	-11	14	
10		1,517	4,063	1,515	4,041	2	22	
12		592	1,568	591	1,602	1	-34	
13		1,674	4,718	1,673	4,727	1	-9	
14		1,325	4,995	1,304	4,944	21	51	
15		2,385	6,032	2,392	6,024	-7	8	
16		954	6,734	953	6,800	1	-66	
16.5		478	1,134	498	1,176	-20	-42	
17 *1		-	594	-	601	-	-7	
18 *1		-	470	-	475	-	-5	
19		1,173	1,516	1,175	1,525	-2	-9	
R337 (L側)		87.86	2,178	3,139	2,103	3,069	75	70
		88	946	1,891	953	1,896	-7	-5
	89	778	1,332	790	1,343	-12	-11	
R337 (R側)	87.86	1,739	5,142	1,740	5,095	-1	47	
	88	940	7,689	934	7,680	6	9	
	89	1,241	10,006	1,238	10,001	3	5	

* 1 : 計測箇所が橋梁(高欄)であるため、堆雪高さの計測が不可能
 : 50mm以内
 : 100mm以内

5. まとめ

安全で効率的な道路有効幅員の計測手法の確立を目的に、レーザースキャナーを用いた道路有効幅員計測システムを構築し、各種計測試験を行った。この結果、計測車両停止状態及び各計測速度における計測精度のほか、計測速度の対応性及び計測結果の再現性についても確認することができた。

今後は、計測対象物の違いによる計測精度への影響について調査試験を行うほか、より実用的な計測システムに向けた改良を行うなど、更なる知見を深めていく所存である。

参考文献

- 1) 徳永ロベルト, 高田哲哉, 高橋尚人: 寒冷地域における冬期道路の性能評価に関する研究, 第43回土木計画学研究会発表会, 2011. 5
- 2) 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
- 3) 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回年次学術講演会, 2010. 9