

I-1 MMS データを用いた視距改良設計

Improvement design of sight distance using MMS data

小林一郎¹・宮下征士²・坂口将人³・上田誠⁴

Kobayashi Ichiro, Miyashita Masashi, Sakaguchi Masato, and Ueda Makoto

抄録：本研究は道路視距について、MMS データを用いた視距確認方法を提案し、検出された視距不良箇所について改良設計を行った。MMS データは世界測地系に対し標準偏差 0.095(m)の高精度位置情報であり、位置の他に色や時間の情報を持つ点群である。視距確認を行うためには車線の中心線が必要であり、MMS データから推定を行う。提案する視距確認方法は、3D-CAD を用いて 3 次元的に見通し線を車線の中心線上に配置するものである。本研究では 2 箇所の対象地について適用を行った。視距確認により明らかとなった視距不良箇所について、3D-CAD を用いて現況道路の情報を MMS データから取得することにより、2 案の視距改良設計を行った。

Abstract: A verification method of sight distance using MMS data was proposed. Then improvements were designed for obtaining sight distance in trouble points. MMS data has high-precision position data which standard error is 0.095(m) out of World geographic coordinate system. Center line of lane is needed for verification of sight distance, so it was estimated. The method used 3D-CAD. Lines of sight were set on the center line of lane in 3D model. The method was examined in two fields and found trouble points of sight distance. Using 3D-CAD, data of road was able to be obtained from MMS data. Then two improvements were designed.

キーワード：MMS, 視距, 3D-CAD, 設計, 3次元モデル

Keywords : MMS, Sight distance, 3D-CAD, Design, 3D model

1. 序論

GPSや3次元レーザスキャナの発達に伴い、高精度GPS移動計測装置(以下、MMS)が開発され^{1) 2)}、実用化が検討され始めている。MMSは道路測量において、複数回の計測と加工によって、均一な密度で世界測地系に対し標準偏差 0.095(m)という高精度な点群データを取得することができる。現在は主に維持管理用のデータ取得を目的とし、現況道路の路面やその周辺物を計測しているが、設計への利用例は皆無である。

一方、著者らのグループは、これまで航空レーザ計測標高データを利用して、市街地の道路部を抽出しFEM解析用データを半自動で作成する手法^{3) 4)}を提案した。さらにその手法より求めたFEMデータを利用し、洪水氾濫解析⁵⁾や住民の避難シミュレーション⁶⁾に適用した。また、設計業務に関して、3次元データ利用による設計の情報化と質の向上を目的としたトータルデザインシステム⁷⁾を提案し、それを分水路設計⁸⁾と駅周辺整備に適用し改良案を提案した。

現行の視距確認は、2次元図面で実施されており、平面視距、縦断視距の見通し線を机上で個々に確認する方法で行っている。このため、長区間における視距確認は繰り返し作業となる上、現地で再確認が必要となる。

本研究では、MMS データを基に、3D-CAD を用いて道路全線において視距確認を行う方法と視距改良設計への適用事例を述べる。第2章では、MMS の概要を説明する。第3章では、MMS で取得したデータ(以下、MMS データ)のみで視距確認に必要なとなる3次元の車線の中心線を求める手順を述べる。第4章では、推定した基準線を用いて、道路全線で3次元的に視距確認を行う方法についてまとめる。第5章では、国内2箇所の対象地において視距確認を行い、視距不良箇所について視距改良設計を行った事例を示し、考察を行い、第6章で結論を述べる。

1 : 正会員 工博 熊本大学大学院 教授 自然科学研究科

(〒860-0855 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1, Tel : 096-342-3531, E-mail : ponts@gpo.kumamoto-u.ac.jp)

2 : 非会員 工修 (株)ウエスコ 地理情報事業部 情報システム課 課長代理 (Tel:086-254-2892, E-mail : m-miyashita@wesco.co.jp)

3 : 学生員 熊本大学大学院 修士2年 自然科学研究科 (Tel: 096-342-3531, E-mail : 088d8817@st.kumamoto-u.ac.jp)

4 : 正会員 工修 熊本大学工学部 技術部 環境建設技術系 (Tel: 096-342-3531, E-mail : ueda@tech.eng.kumamoto-u.ac.jp)

2. MMS の概要

MMS は図-1のような車両である。機器の詳細は文献 1)を参照されたい。トライアングルに配置したGPS と IMU を用いて車両の位置を特定し、カメラ画像・レーザ点群の位置を特定し、カメラ画像・レーザ点群の位置を標定しており、IMU とタイヤに直結したオドメトリ（車輪距離計）が微小な車の動きを正確に捕捉し、世界測地系に対し標準偏差 0.095(m)の高精度位置情報を取得することが可能である。

レーザスキャナのスキャン範囲は図-2のようであり、L1, L2 でスキャンしたデータはそれぞれ C1L1, C2L2 という名前で別々に保存され、どちらも表-1のような CSV 形式である。C1L1 は車両天井より上方にある物、C2L2 は車両天井より下方にある主に路面のデータである。MMS データは点群であり、位置情報と計測時間情報を持ち、道路周辺物と路面の点群を合わせると図-3のように見える。計測時に撮影した画像(図-4)の色を点群と同期させることによって、点群は RGB の色情報を持つ。しかし、点群が中央線や路面、または電柱や樹木といった属性を持っておらず、点群を属性毎に分類することができない。したがって、例えば路面のみの点群を抽出することはできない。しかし、点群が持つ色情報から特定の色情報を持つ点群のみを抽出することは可能であり、例えば黄色の中央線は色情報としては抽出可能である。

表-1 MMS データ(C1L1,C2L2)

X	Y	Z	緯度	経度	標高	t (s)	予想誤差	R	G	B	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	-22966.5	-25468	16.87	32.78257	130.7281	48.483	268304	0.032	60	60	60
2	-22972.3	-25469.5	17.753	32.78254	130.7281	50.376	268304	0.032	60	60	60
3	-22966.5	-25465.3	17.34	32.7826	130.7281	49.964	268304	0.032	60	60	60
4	-22966.4	-25464.3	17.779	32.7826	130.7281	50.402	268304	0.032	60	60	60
5	-22967	-25464.1	18.073	32.78259	130.7281	50.696	268304	0.032	60	60	60
6	-22965.7	-25462.7	18.187	32.7826	130.7281	50.81	268304	0.032	60	60	60
7	-22967.7	-25462.9	18.899	32.78259	130.7281	51.522	268304	0.032	60	60	60
8	-22967.8	-25462.5	19.074	32.78259	130.7281	51.697	268304	0.032	60	60	60
9	-22967.8	-25462.2	19.224	32.78259	130.7281	51.848	268304	0.032	60	60	60
10	-22967.4	-25461.7	19.255	32.78259	130.7282	51.879	268304	0.032	60	60	60
11	-22954.6	-25457	16.475	32.7827	130.7282	48.088	268304	0.032	104	135	182
12	-22948.8	-25448.2	18.068	32.78276	130.7283	50.692	268304	0.032	118	169	243
13	-22948.5	-25448.6	17.818	32.78276	130.7283	50.441	268304	0.032	76	81	112
14	-22948.3	-25448.7	17.702	32.78276	130.7283	50.326	268304	0.032	44	54	62
15	-22940.2	-25448.1	17.919	32.78276	130.7283	50.541	268304	0.032	8	15	19
16	-22948	-25448.4	17.888	32.78276	130.7283	50.311	268304	0.032	0	2	4
17	-22947.9	-25448.5	17.611	32.78277	130.7283	50.234	268304	0.032	2	3	1
18	-22947.7	-25448.1	17.733	32.78277	130.7283	50.357	268304	0.032	2	6	7
19	-22947.5	-25448.3	17.533	32.78277	130.7283	50.156	268304	0.032	4	8	8
20	-22947.2	-25449.9	16.615	32.78277	130.7283	49.439	268304	0.032	1	2	2
21	-22947.1	-25448.9	16.678	32.78277	130.7283	49.301	268304	0.032	16	23	28
22	-22947	-25448.5	17.259	32.78277	130.7283	49.682	268304	0.032	16	32	39

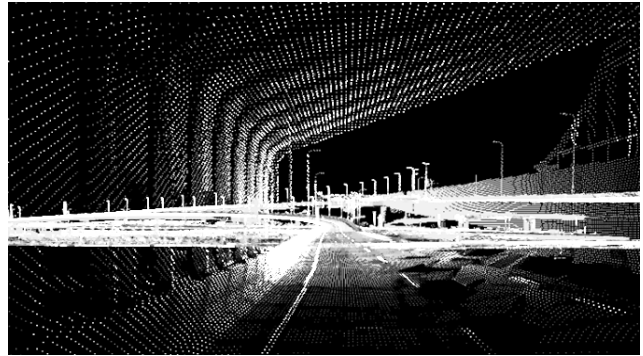


図-3 点群



図-4 カメラ画像

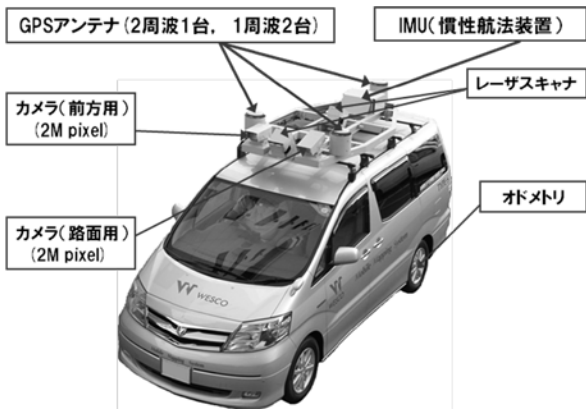


図-1 MMS

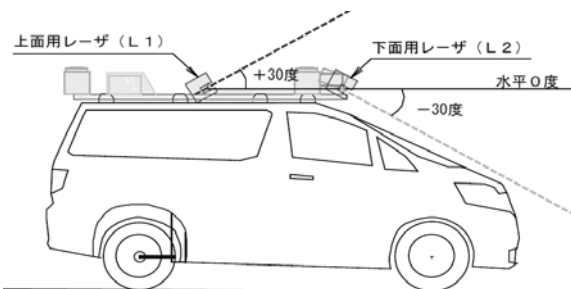


図-2 レーザスキャン範囲

3. 車線の中心線推定

道路の上下線において、車線の中心線間の相対的な車の位置関係が分かることによって視距確認が行える。図-2のL2でスキャンしたC2L2のデータのみを用い、3次元の車線の中心線を求める手順を示す。

(1) 道路の3次元モデル作成

C2L2のデータを3D-CADに取り込み、点群にTIN (triangulated irregular network)サーフェスを作成することにより、道路の3次元モデルを作成する(図-5)。しかし、3D-CAD内では、図-5は道路の様子を3次的に表現したものであり、中央の平坦な部分が路面であると確定できない。MMSデータは世界測地系に対し標準偏差0.095(m)の高精度位置情報を持っているため、この部分上に図-4にある路肩線や白線など、車線を構成する基準線があることで路面であると推定してよいと考える。

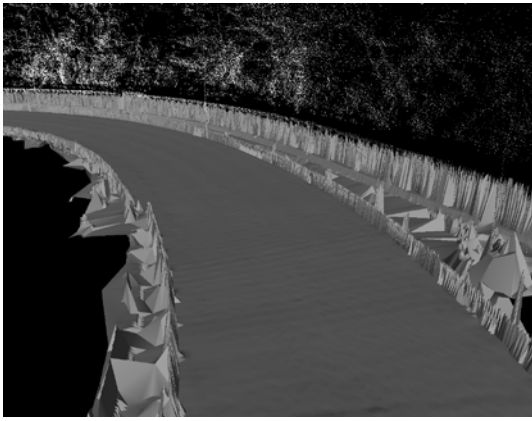


図-5 道路の3次元モデル

(2) 基準線推定手順

様々な車線の道路が存在するが、車線の中心線は中央線や車道外側線などを基準とし、車線幅員の半分の距離の場所にある。つまり、ある基準線を設けることで車線の中心線はあらゆる道路において作成することが可能であると考えられる。

C2L2のx, y情報から2次元の基準線を推定する。以下、基準線が黄色の中央線の場合について述べる。まず、全ての点から黄色の点を取り出す。しかし、道路周辺物や樹木にも黄色いものがあり、中央線点群のみが抽出されるわけではない。したがって、抽出条件に色情報の他に位置情報を加えて点群を再抽出し、そ

れらの点群を利用して基準線を推定する。図-6に基準線推定アルゴリズムのフローチャートを示し、図-7に各ステップのイメージを描いた。以下に図-6, 7に沿って詳述する。

- a) 推定を行うMMSデータを準備する(図-7.a)。
- b) MMSデータは日照や影の影響を受け、色の明るさが一様ではない。したがって、黄色のRGB値(R=255, G=255, B=0)を指定するのではなく、RGBの下限値を順に L_R, L_G, L_B 、上限値を順に U_R, U_G, U_B とし、 $L_R < R < U_R, L_G < G < U_G, L_B < B < U_B$ の範囲を指定し抽出することで、明るさがそれぞれ異なる黄色の点を抽出する。また、RGBの範囲を黄色のRGB値より大きめに設定するため、この段階では黄色以外の点群も抽出する(図-7.b)。
- c) b)で抽出した黄色の点群を $\Delta t(s)$ で分割し、点群のブロックを作る(図-7.c)。
- d) 各ブロック内の点群のx, y座標の平均値から、ブロックの重心を算出する(図-7.d)。
- e) d)で算出したブロックの重心を結び、線を作成する(図-7.e)。
- f) e)の線から片側幅 $d(m)$ にある点群のみを再抽出する(図-7.f)。
- g) f)で再抽出した点群に対し、c)と同様の作業を行う(図-7.g)。

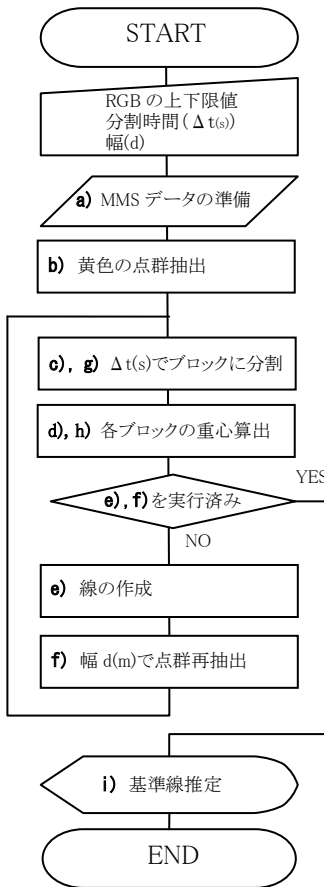


図-6 フローチャート

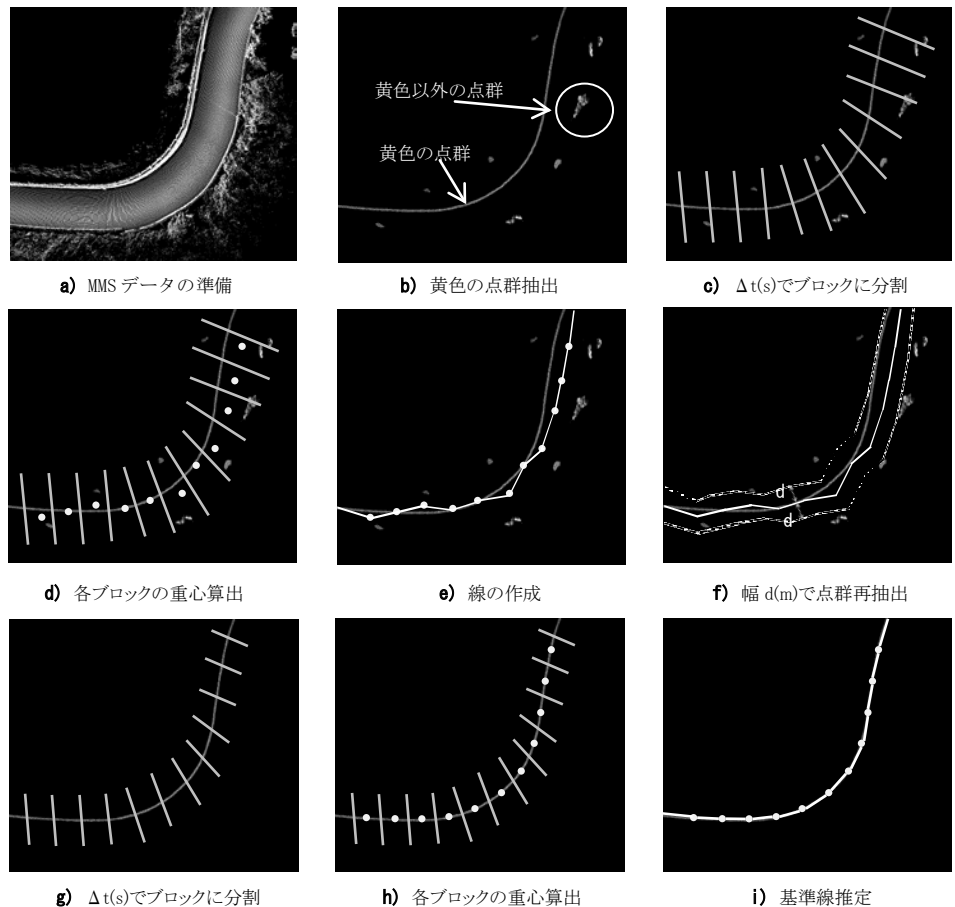


図-7 中央線の推定

h) d)と同様の作業を行う (図-7. h)) .

i) h)で算出したブロックの重心を結び基準線を推定する (図-7. i)) .

(3) 車線の中心線推定

車線の中心線は、基準線から路肩端までの幅員の半分を基準線からオフセットすることによって推定する。その後、同一の x, y 座標にある道路の3次元モデルに擦りつけることによって z 値を得ることができ、推定が完了する (図-8, 9) . 車線の中心線推定により、図-5 道路の3次元モデルの中央にある平坦な部分は路面であると推定できる。以後このような箇所を路面オブジェクトと呼ぶ。

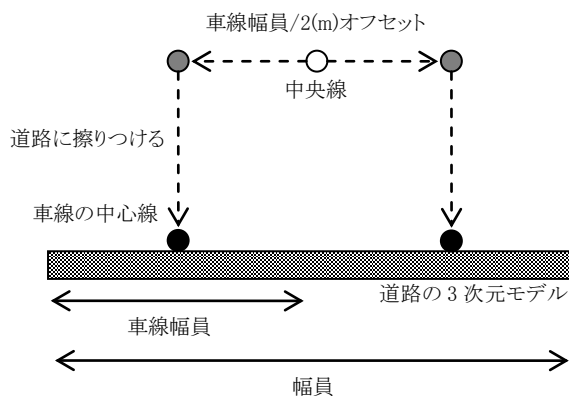


図-8 車線の中心線推定順序(道路断面図)

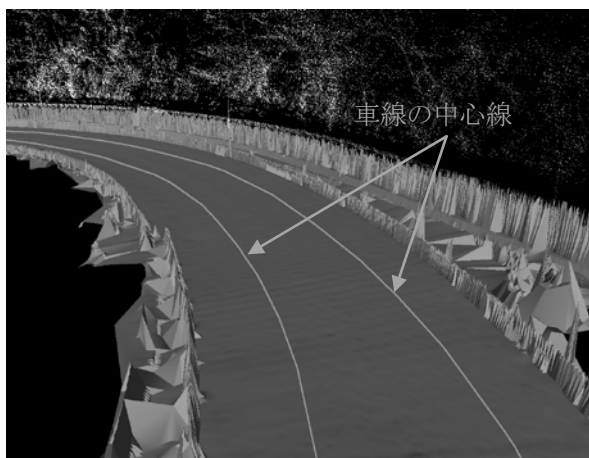


図-9 車線の中心線推定

4. 視距確認

道路構造令 (第二条二三号) によると、「視距 車線の中心線上 1.2 メートルの高さから当該車線の中心線上にある高さ 10 センチメートルの物の頂点を見とることができる距離を当該車線の中心線に沿って測った長さをいう。」と記されている¹⁰⁾。視距を説明する図を図-10 に示す。

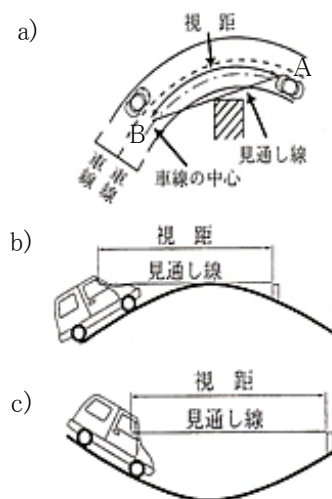


図-10 視距 (文献11)より転載)

(1) 視距確認オブジェクト

視距確認オブジェクトとは、図-10. a) の見通し線を3次的に表現したものである (図-11) . 視距確認オブジェクトの生成・配置は、3D-CAD 上で車線の中心線上の生成開始点を選択し、生成する方向、間隔や視距を与えることで、第3章で推定した車線の中心線上に、自動的に生成・配置していく (図-12) .

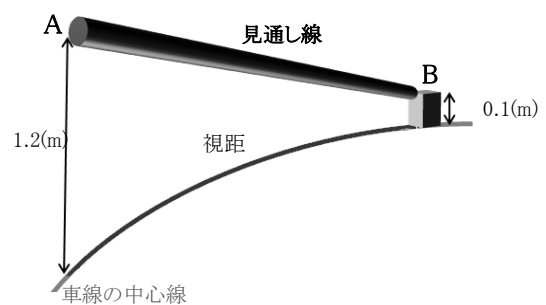


図-11 視距確認オブジェクト

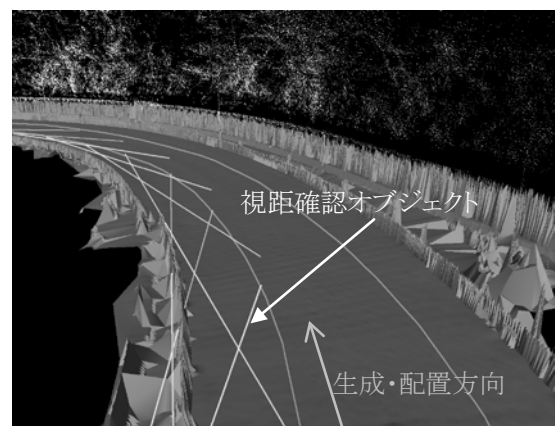


図-12 視距確認オブジェクトの生成・配置

(2) 干渉チェックによる視距確認

車線の中心線上に配置した視距確認オブジェクトと法面や擁壁、建物などの道路周辺物が干渉しているか否かによって視距を確認する。視距確認オブジェクトが道路周辺物や路面と干渉している場合、その箇所は視距不良箇所と判断される (図-13) .

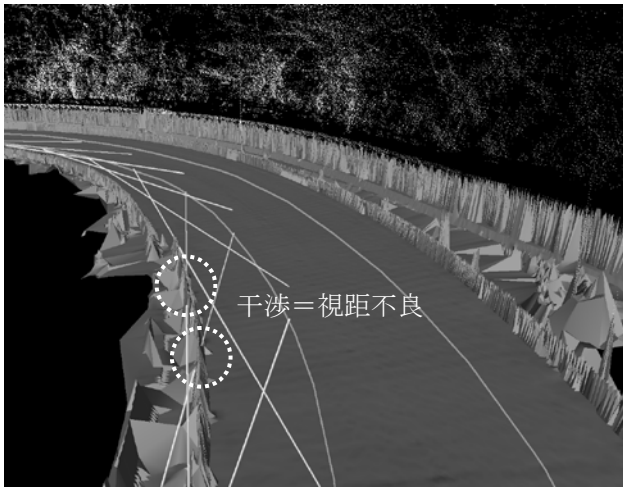


図-13 道路全線の視距確認

5. 適用事例

ケース1としてX県の道路(約500(m))について(図-14), ケース2としてY県のループ橋(約700(m))について(図-15), 2箇所を対象地で適用を行った。2箇所とも基準線は黄色の中央線とする。基準線から車線の中心線を推定し, 視距確認を実施し視距不良箇所を特定した。ケース1について視距改良設計案を提案し, 道路周辺物を含めた道路全体を考慮した視距検討を行った。尚, 3D-CADはAutoCAD Civil3D 2008を使用した。また視距確認の際, 現況道路の3次元モデルと視距確認オブジェクトの干渉確認はAutodesk Navisworks Manage 2009の干渉チェック機能を使用した。

(1) 基準線の推定

a) ケース1

RGBの範囲を $200 < R < 255$, $100 < G < 255$, $0 < B < 240$, 分割する $\Delta t = 0.5(s)$, 再抽出を行う幅 $d = 1.0(m)$ とした時, 図-14に示す目視による中央線と最も近似した基準線が抽出された。しかし, A地点では光や影の影響で中央線が黄色でスキャンされていなかったため, 正確に中央線を推定することができなかった。A地点は直線であるため, 推定できた両端の点を結ぶことにより補正を行った。

b) ケース2

RGBの範囲を $200 < R < 255$, $100 < G < 255$, $0 < B < 250$, 分割する $\Delta t = 1.0(s)$, 再抽出を行う幅 $d = 1.0(m)$ とした時, 図-15に示す目視による中央線と最も近似した基準線が抽出された。しかし, B, C地点ではケース1と同じ理由により, 正確に中央線を推定することができなかった。したがって, この地点に関しては次節の視距確認を行わなかった。

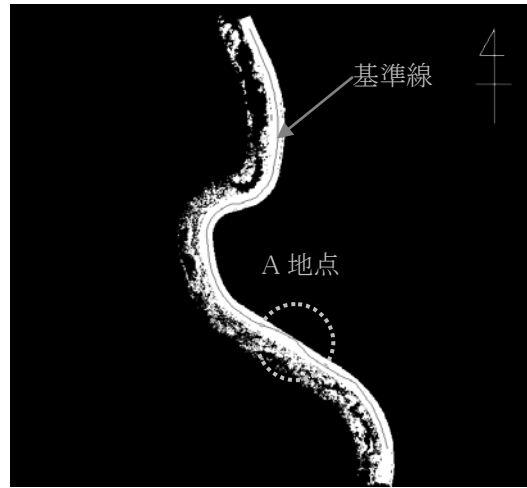


図-14 ケース1の平面図および基準線

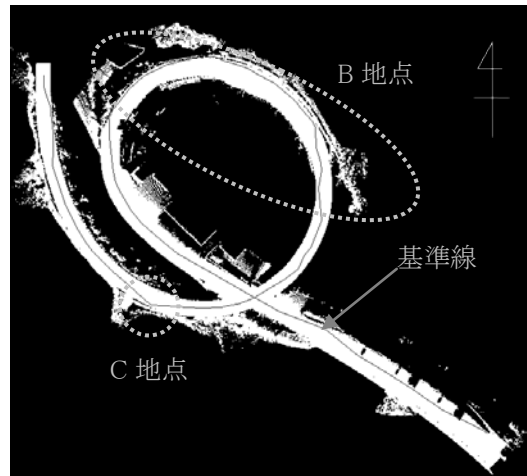


図-15 ケース2の平面図および基準線

(2) 視距確認

a) ケース1

視距確認オブジェクトを生成する間隔を10(m), 設計速度を時速30(km/h), 視距30(m)とした時, 両車線における視距不良箇所が検出された。D地点では擁壁によって3箇所, 地点Eでは雑木林によって1箇所視距が妨げられていた(図-16, 17, 18)。



図-16 視距確認

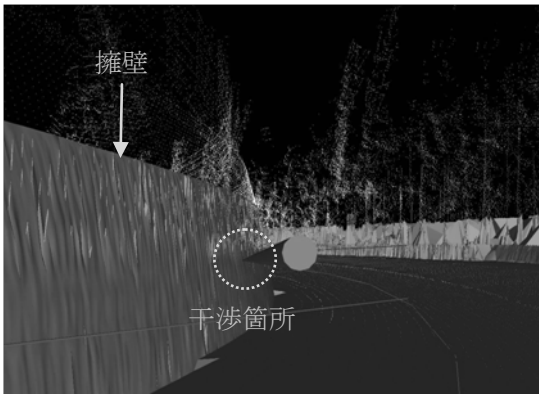


図-17 擁壁との干渉

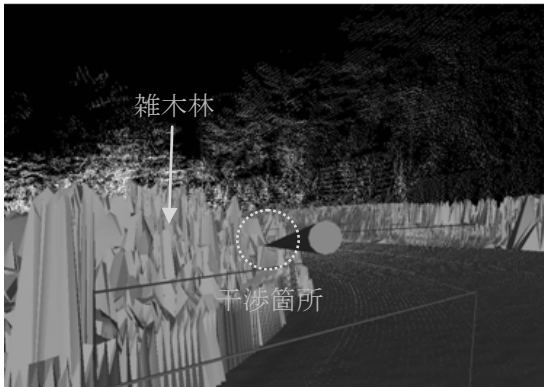


図-18 雑木林との干渉

b) ケース2

視距確認オブジェクトを生成する間隔を 10(m), 設計速度を時速 40(km/h), 視距 40(m)とした時, 右車線の F 地点において, 壁高欄により 3 箇所視距が妨げられていることが判明した (図-19, 20) .

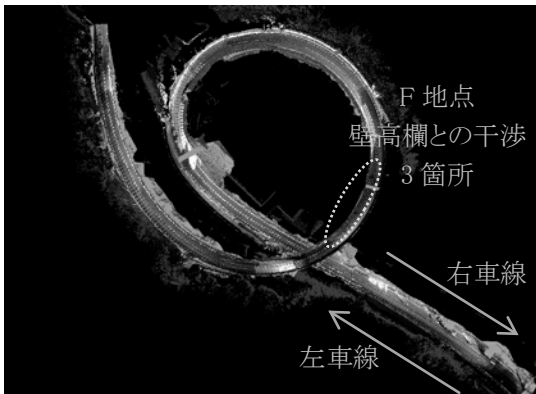


図-19 視距確認

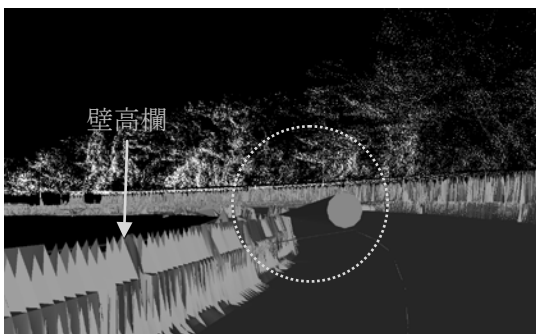


図-20 壁高欄との干渉(F 地点)

(3) 視距改良設計

最も深刻な視距不良箇所と考えられたケース1の擁壁との干渉箇所について, 障害物移設案と道路線形変更案の視距改良設計案を提案した. 3D-CAD を用いて, 現況道路の擁壁やガードレールの高さや角度, 車線幅員, 縦断図 (図-21), 横断図 (図-22) を路面オブジェクトから取得した. また, 現況の道路線形は基準線推定に利用した中央線から作成した (図-23). 車線幅員は 4.5(m), 曲線部の片勾配は 6.0(%), 曲線半径は 26(m)であった. 各改良案の縦断は現況と同じ値であり, 横断はそれぞれ現況を参考に作成した.

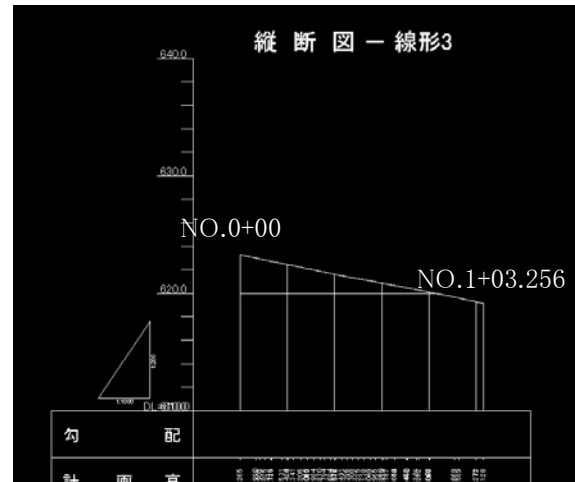


図-21 縦断図

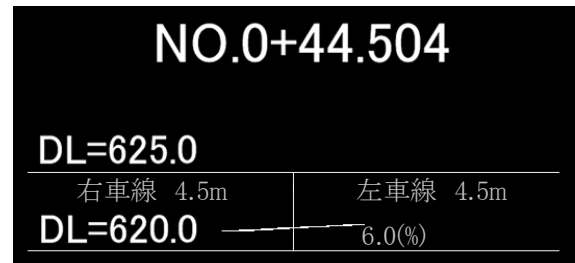


図-22 横断図

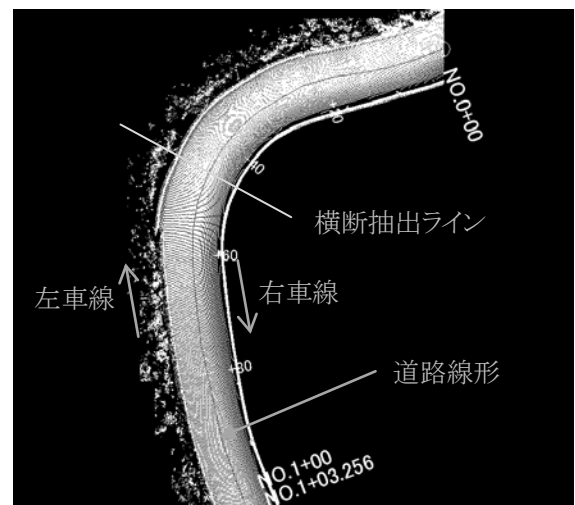


図-23 道路線形

a) 障害物移設案

擁壁を 2.0(m)移設するために、内側の車線幅員を 2.0(m)拡幅し、現況と同じ片勾配の横断を作成することによって設計を行った(図-24,25)。現況との比較を路面オブジェクト上に車を配置し、現況と同一位置において運転席からの見通しを確認した(図-26,27)。

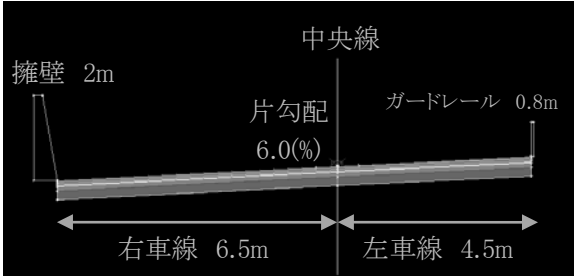


図-24 横断

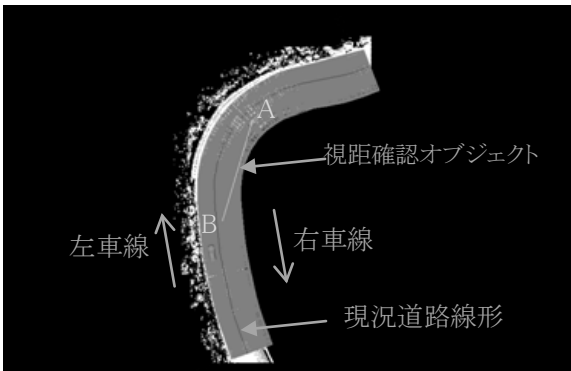


図-25 障害物移設案(平面図)

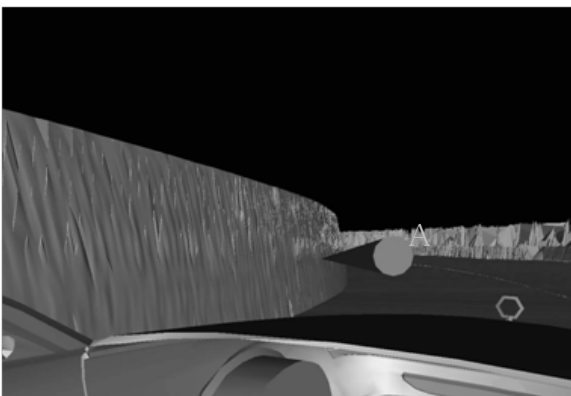


図-26 運転席からの視距確認(現況)

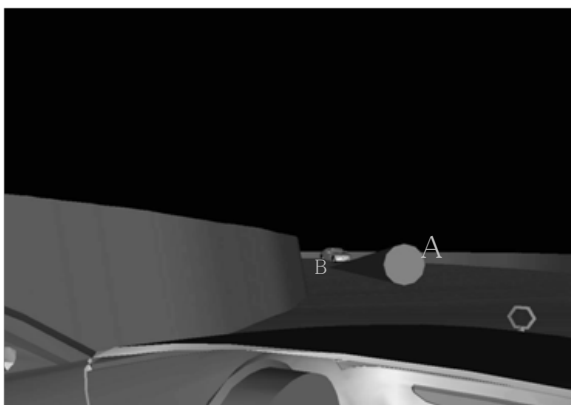


図-27 運転席からの視距確認(改良案)

b) 道路線形変更案

車線幅員と片勾配は現況と同じ値を用い、曲線半径を 26(m)から 46(m)に変更した(図-28,29)。曲線半径の変更に伴い車線の中心線も変わる。再度視距確認オブジェクトを生成・配置させ視距確認を行った。現況と同一位置で比較を行うことは不可能だが、全箇所において視距は改良された(図-30)。

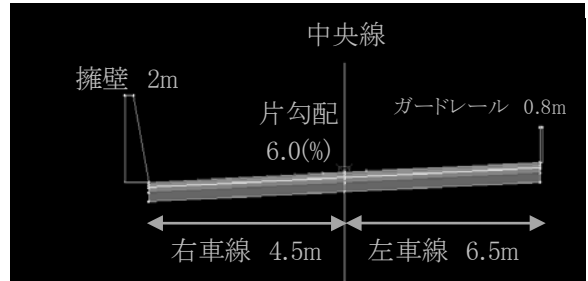


図-28 横断

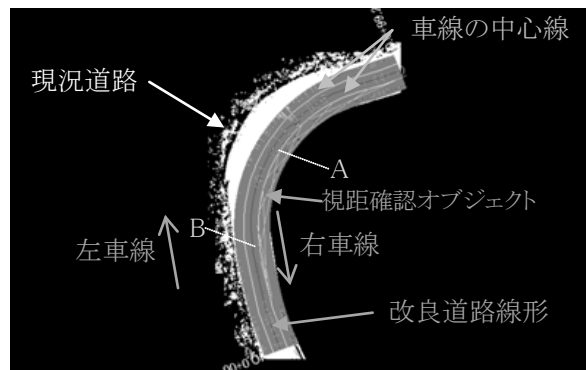


図-29 道路線形変更案(平面図)

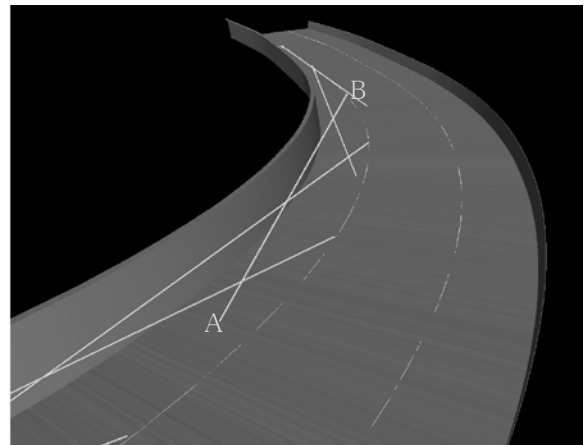


図-30 視距確認

(4) 考察

a) 車線の中心線推定

本研究では黄色の色情報を用いて点群から中央線の属性分類を行うことができた。しかし、外側線などの白線、灰色の側溝などは、白色や灰色の点群が黄色の点群と異なり、無数に散乱して存在するため、色情報を用いて属性分類することが不可能であった。したがって、本研究では、基準線から路肩端までの幅員の半分の距離を基準線からオフセットしたものを道路全線

の車線の中心線として用いた。今後の課題として、車線幅員が変化する箇所や要素毎に、自動的に対応できる車線の中心線推定法を確立する必要がある。

また、**図-31**のように、光や影の影響により中央線点群の黄色が白色や灰色でスキャンされているため、推定した中央線が本来の中央線と大幅にずれており、車線の中央線を推定できない箇所があった。**図-32**に示すのはケース2で中央線を推定することができた箇所であり、光や影の影響を極端に受けておらず、色の彩度に大きな差がない場合において基準線推定が可能であった。今後の課題として、色情報を用いた点群抽出法を改良し、異なる彩度に対応できる必要がある。

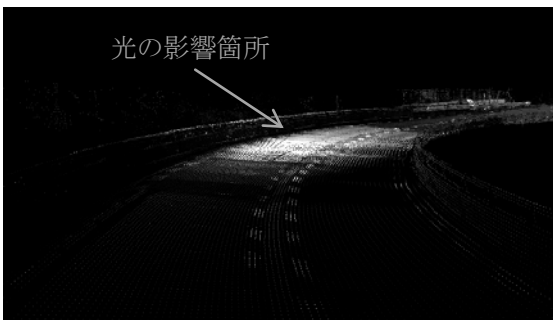


図-31 図-15 C地点

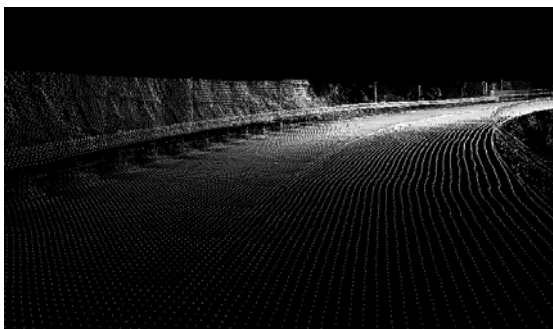


図-32 中央線推定可能箇所(ケース2)

b) 視距確認

提案する視距確認方法を用いることによって、現行の方法に比べ短時間で長い区間について視距確認が行えることを示した。今後、車線の中心線推定精度が向上し、視距確認オブジェクトの配置する間隔を細かくして視距確認を繰り返すことによって、現地での再確認箇所をあらかじめ推定できると考える。よって、業務効率の向上が期待される。

c) 視距改良設計

本事例のように、設計図面がない道路についてもMMSデータから現況道路の情報を取得することができると視距改良設計案を作成することが可能である。MMSデータは高精度位置情報であるため、今回設計に利用した情報は信頼性がある。よって、MMSデータを用いた視距改良設計は可能であることを示すことができた。また、設計後に視距確認を行うことで、改良設計案の照査を迅速に行うことができる。

6. 結論

本研究では、視距確認や視距改良設計へのMMSデータの利用について述べた。MMSデータから車線の中心線を抽出することで視距確認が行え、また、MMSデータが保持している情報を道路設計に利用することを示した。第2章ではMMSの概要を述べ、第3章ではMMSデータから車線の中心線を求める手順を示した。第4章では推定した基準線を用いて道路全線で3次元的に視距確認を行う方法の提案を行った。第5章では国内2箇所の対象地において視距確認を行い、視距不良箇所について視距改良設計を行った事例を示し、考察した。また、本研究の課題は以下の2点である。

- (1) 車線幅員が極端に変化する箇所がある場合、道路全線の車線の中心線を一度に推定することはできず、変化点毎に推定し直す必要がある。
- (2) 光や影の影響により、彩度に大きな差がある箇所は色情報を用いた基準線推定に誤差が生じる。

これらの点に関しては、今後も検討を重ねていきたい。

なお、本論文の査読者の皆様には、多くの適切なご意見を頂きました。記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 三菱電機：三菱モービルマッピングシステム高精度GPS移動計測装置、
<<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/mms/index.html>> ,
(入手 2009.5.28) .
- 2) 株式会社ウエスコ：モービルマッピングシステム(MMS),
<http://www.wesco.co.jp/new_techno/mms/mms_explain.htm> ,
(入手 2009.5.28) .
- 3) 山本一浩, 小林一郎, 上野幹夫, 橋本淳也: 自動属性判別法によるレーザ計測データの有効活用について, 土木情報利用技術論文集, Vol.14, pp.79-86, 2005年10月.
- 4) 上野幹夫, 小林一郎, 山本一浩, 竹下史朗: レーザ計測データを用いた避難経路用の道路網作成, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.195-202, 2007年10月.
- 5) 上野幹夫, 小林一郎, 山本一浩, 安重晃, 橋本淳也: レーザ計測データを用いた有限要素法による洪水氾濫解析, 土木情報利用技術論文集, Vol.14, pp.1-6, 2005年10月.
- 6) 竹下史朗, 小林一郎, 山田文彦, 上野幹夫: マルチエージェントシステムを用いた洪水・避難シミュレーションの構築, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.203-212, 2007年10月.
- 7) 朝重亜紀子, 小林一郎, 松尾健二, 竹本憲充: 3D-CADを用いた分水路設計検討に関する実証的研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.161-170, 2008年11月.
- 8) 小林一郎, 池本大輔, 竹下史朗, 坂口将人: 3D-CADを基盤としたトータルデザインシステムの提案, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.171-182, 2008年11月.
- 9) 社団法人日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 社団法人日本道路協会, pp.326-327, 2007年10月.
- 10) 前掲9, p46.
- 11) 前掲9, p52.