

# 3次元DMWG 研究結果報告書

財団法人日本測量調査技術協会 空中計測・マッピング部会 3次元DMWG

## 1. はじめに

空中写真測量は、空中写真を用いて、数値図化機等により図化オペレータが対話式に数値情報を取得する作業である。取得される数値情報には、水平位置 (X, Y)、高さ (Z)、及び所定のコードがある。取得された数値情報は、利用目的に応じて高さ情報を保有した3次元データと高さ情報を除外した2次元データに分別され、数値地形図データとして利用されている。

現在、国及び自治体等が定めている規程類の多くが対象としている数値地形図データは、2次元データと一部の3次元データ（基準点、標高値、等高線等）で構築された2.5次元データである。道路、河川、家屋、構造物等、地理情報の骨格となる3次元データを構築するための規程は、整備が進んでいない。

3次元デジタルマッピング（以下、3次元DM）WGは、ユーザが求める3次元情報の調査と空中写真測量において取得した全ての3次元情報を効率的に利用するための仕様を検討することを目的として平成18年4月、空中計測・マッピング部会に設立された自主研究WGである。

まず、3次元DMの現状を把握することを目的として、3次元データ構築業務の実績、利活用の事例、作業時に発生した問題点についてアンケート調査を実施した。

アンケート調査結果については、紙面の都合により割愛する。

次に、調査結果を分析した結果に基づき、3次元データを取得するための基準、項目

（これを「3次元地形図データモデル」と呼ぶ）及び自動処理による数値編集作業の効率化を図る仕組みについて研究を行った。

研究成果の一部について、平成21年6月17日（水）～6月19日（金）の期間で開催された「地理空間情報フォーラム2009」において報告を行った。

本稿では、3次元地形図データモデルとDMデータの3次元モデル化処理について報告する。

## 2. 研究の目的

空中写真測量により作成される地形図データの全座標値が適切な標高を保持している地形図データモデルを「3次元地形図データモデル」という。これを実現するため、標高を地盤位置で取得したデータをもとに、地盤を3次元の面として分割し、標高を空中位置で取得した場合は、立体形状を表現できるデータモデルとして構成可能な手法を開発し、新しい仕様を作成して技術の向上と市場の活性化を図ることを目的とした。

## 3. 次元地形図データモデル

国及び自治体が所有する既存の数値地形図データを利用して、3次元データを取得する方法等について実証実験を行った。対象地区は、以下の3地区とした。縮尺レベル2500については、同一地区である。

- ・平坦地（市街地）レベル1000 1地区
- ・緩傾斜地（田園）レベル2500 1地区
- ・傾斜地（山地）レベル2500 1地区

実施した研究の手順を図1に示す。

(1) 3次元取得方法

既存の数値図化データを利用して、地盤高取得の地物に地性線、標高単点を加えて、これらを制約条件とする数値地形モデル（以下、「TIN」という）から等高線を発生し、図化オペレーターが作成した等高線と傾向が近似しているかについて評価を行った。

近似していない箇所は、問題点を明らかにした。国土基本図図郭の南北方向に平行に等間隔で検証ラインを発生し、自動発生した等高線との交点を読定し、その較差を整理した。

(2) 高さの取得精度

地盤の地物は、等高線が自動で描画できる精度とした。

空中の地物は、図化に支障が少ない現行の取得基準を踏襲した。

(3) 3次元取得基準の整理

地盤と空中で高さ位置を決定する基準についても検討した。

3次元地形図データモデルを構築するために必要な取得要素を整理し、取得基準(案)として取りまとめた。取得基準(案)は、公共測量作業規程において定義されている取得物については、その基準をそのまま踏襲し、3次元情報を取得する高さの基準を空中及び地盤に区分している。3次元地形図データモデル取得基準(案)の一部を表1に示す。

4. DMデータの3次元モデル化処理

地性線及び標高単点を追加した2.5次元のDMデータを活用し、地形に矛盾しない状態で特定の地物を擬似的に3次元モデル化するための研究を行った。

対象地物として、空中地物データとして取得されている建物や、空中地物として取得されていないがモデル化が比較的

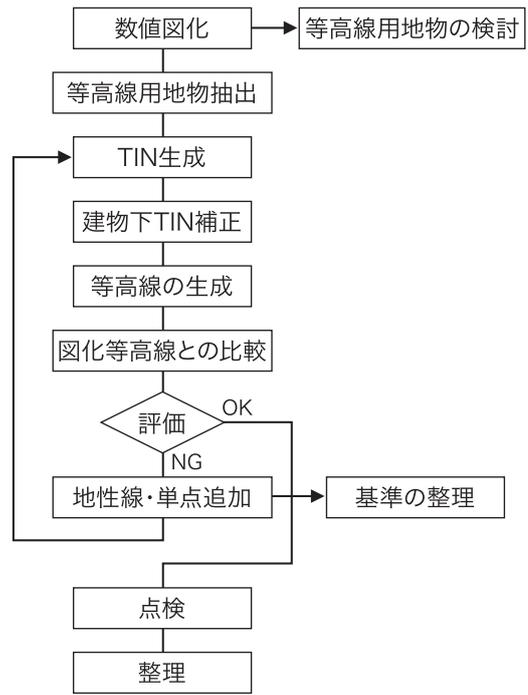


図1 研究の実施手順フロー

表1 3次元地形図データモデル取得基準(案)抜粋

3次元地形図データモデル取得基準(案)				(1/2)			
コード	項目	基準	コード	項目	基準	コード	項目
11 XX	行政界	-	23 15	トンネル内の鉄道・特殊鉄道	-	35 49	発電所
11 00	未分類	-	24 XX	鉄道施設	-	35 50	変電所
11 01	道府県界	-	24 00	未分類	-	35 52	浄水場
11 02	北海道の支庁界	-	24 01	鉄道線(高架部)	▽	35 53	排水機場
11 03	都市・東京部の区界	-	24 11	踏線	▽	35 57	排水機場
11 04	町村・指定都市の区界	-	24 12	地下通路	▽	35 59	公衆便所
11 06	大字・町・丁目界	-	24 19	鉄道のトンネル	△	35 60	ガソリンスタンド
11 07	小字界	-	24 21	停留所	△	41 XX	公共施設
11 10	所属界	-	24 24	プラットホーム	△	41 00	マンホール(未分類)
11 11	行政区の代表点	-	24 25	2等・小等・一等上層	▽	41 01	マンホール(共同溝)
21 XX	道路	△	24 26	モノレール線	▽	41 11	マンホール(共同溝)
21 00	未分類	△	24 28	鉄道の常備い等	▽	41 19	有線柱
21 01	真鍮道路(街区線)	△	25 XX	線形	-	41 21	マンホール(ガス)
21 02	徒歩道	△	25 01	IP(IP線)	-	41 21	マンホール(電話)
21 06	広域路等	△	25 02	IP方向線	-	41 32	電話柱
21 07	トンネル内の道路	△	25 03	交差点(仮設)	-	41 31	マンホール(電話)
21 09	道路中の道路	△	25 04	中心点(中心線)	-	41 32	電話柱
22 XX	鉄道施設	△	25 05	中心線	-	41 41	マンホール(電気)
22 00	未分類	△	25 06	その鉄の路線結線	-	41 42	電力柱
22 03	道路橋(高架部)	△	25 07	夜航引線	-	41 51	マンホール(下水道)
22 04	木橋	△	25 11	多角点(記号)	-	41 61	マンホール(水道)
22 05	橋	△	25 12	引線(記号)	-	42 XX	その他の小物体
22 06	橋渡橋	△	30 XX	建物	▽	42 00	未分類
22 11	橋歩道	△	30 01	普通建物	▽	42 01	橋脚
22 12	地下埋設歩道	△	30 02	梁上建物	▽	42 02	記念碑
22 13	歩道	△	30 03	柱	▽	42 03	立像
22 14	石垣	△	30 04	梁上無蓋倉	▽	42 04	路標
22 15	地下街・地下鉄等出入口	△	34 03	たき	▽	42 05	灯台
22 19	道路のトンネル	△	34 04	プール	△	42 06	給水
22 21	バス停	□	34 XX	建物の付属物	□	42 07	商店
22 22	安全地帯	□	35 01	分岐	□	42 11	官民境界
22 26	分岐帯	□	35 02	交差	□	42 15	消火栓
22 27	駅止	□	35 03	官公署	□	42 16	消火栓 立型
22 28	道路の常備い等	▽	35 04	裁判所	□	42 17	地下湧乳孔
22 31	橋脚	△	35 05	診療所	□	42 18	坑口
22 33	橋脚 U字溝有蓋	△	35 06	役所	□	42 21	独立線(広葉樹)
22 34	橋脚地下部	-	35 07	役所等	□	42 22	独立線(針葉樹)
22 35	雨水側	□	35 08	税関	□	42 23	橋
22 36	雨水側	□	35 09	郵便局	□	42 24	井戸
22 38	草木	□	35 10	森林管理署	□	42 25	油井・ガス井
22 39	植樹	□	35 11	消防署	□	42 26	貯水槽
22 41	道路情報板	□	35 12	職業安定所(ハローワーク)	□	42 27	燃料槽
22 42	道路標識 案内	□	35 13	土木事務所	□	42 28	起重機
22 43	道路標識 警告	□	35 14	出張所	□	42 29	クレーン
22 44	道路標識 規制	□	35 15	警察署	□	42 30	給水塔
22 46	信号灯	□	35 16	消防署	□	42 31	火の見
22 47	信号灯 専用ポールのないもの	□	35 17	職業安定所(ハローワーク)	□	42 32	火の見
22 51	交通量観測所	□	35 18	土木事務所	□	42 34	煙突
22 52	スロープ	□	35 19	出張所及び出張所	□	42 35	煙突
22 53	クレーン	□	35 21	神社	□	42 36	電線塔
22 55	距離標(1m)	□	35 22	寺院	□	42 37	照明灯
22 56	距離標(m)	□	35 23	キリスト教	□	42 38	防犯灯
22 61	電話ボックス	▽	35 24	学校	□	42 41	灯台
22 62	郵便ポスト	▽	35 25	幼稚園・保育園	□	42 42	防犯灯
22 63	火災報知器	▽	35 26	幼稚園・保育園	□	42 43	灯台
23 XX	鉄道	△	35 27	博物館	□	42 45	ハリボテ
23 00	未分類	△	35 28	図書館	□	42 51	水信観測所
23 01	普通鉄道	△	35 29	図書館	□	42 52	流量観測所
23 02	地下鉄地上部	△	35 31	警察署	□	42 53	雨量観測所
23 03	路面電車	△	35 32	病院	□	42 54	雨量観測所
23 04	モノレール	△	35 33	銀行	□	42 55	流量観測所
23 05	特殊鉄道	□	35 34	協同組合	□	42 56	流量観測所
23 06	未通	□	35 39	デパート	□	42 61	輸送管(地上)
23 09	建設中の鉄道	-	35 45	倉庫	□	42 62	輸送管(空中)
23 11	トンネル内の鉄道・普通鉄道	-	35 46	火薬庫	□	42 65	送電線
23 12	地下鉄地下部	-	35 48	工場	□		
23 13	トンネル内の鉄道・路面電車	-					
23 14	トンネル内の鉄道・モノレール	-					

注:作業者が概念的に分かるように大枠で基準を分類する。ただし、観測は地盤取得する基準とした。  
 △:地盤で取得し、地形モデルの作成に利用する。  
 ▽:空中で取得し、正確なCG作成に利用する。  
 □:取得位置は問わず、内線により地盤高さ、任意の高さで空中高を与える。  
 -:対象外の地物

容易な塀、電柱を選択した。

3次元モデルを厳密な意味で定義することは困難であるが、ここでは取得されている地物が空中に浮いた状態（2.5次元）ではなく、地盤と一体となった構造となるように地物をモデル化、表現した状態を指すものとする。

#### 4.1 建物地盤領域の3次元モデル化

一般に多くの建物の基礎（地盤領域）は水平面により近似が可能である。そのため、以下に示すアルゴリズムによって建物領域の地盤面をモデル化する。

##### (1) 建物領域を考慮した地盤面のモデル化

###### 1) 地盤地形地物を用いた地盤面のモデル化

DMデータのうち、等高線や標高点に代表される地盤地形を抽象化した地物（これらを「地盤地形地物」と称する）を使用して、制約付きDelaunay分割（地性線を保持するDelaunay分割）により地盤をTINで近似する。

TINによって近似された地形の集合を記号 $\{T\}$ で表す。

###### 2) 建物地盤領域のモデル化

建物DMデータを使用し、建物領域 $S$ を $\{T\}$ に対して鉛直方向に写像する。写像領域 $S'$ は $S$ の輪郭ノード $N$ と、 $N$ の $\{T\}$ への写像位置（ $\{T\}$ の部分三角形の面）との交点位置（ノー

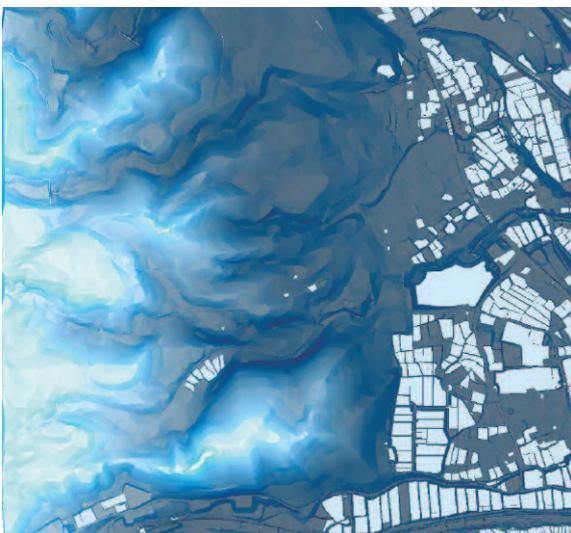


図2 建物地盤領域の生成例

ド $N'$ とする)で形成される領域である。

$S'$ を構成する $N'_i$ の中から最小の高さ $Z_{min}$ を取り出し、 $N'_i$ の $Z$ 座標を全て $Z_{min}$ で置き換える（地盤面の水平化）。以上の処理で生成された領域 $S''$ を建物の地盤領域とする。

##### 3) 建物の地盤領域の拡張

一般に、2.5次元の制約付きDelaunayの生成アルゴリズムは、同一平面位置に高さの異なる頂点や辺が存在していないことを前提としている。一部のアルゴリズムは重複箇所においてより標高の高い方のデータを使用してこれを回避するが、建物の上面と建物周辺の地物によって建物に相当する地形が台形状に近似される問題が依然として残る。

上述した問題は、次の処理により解決できる。生成した領域 $S''$ を微小な幅 $d$  ( $d > 0$ ) の分だけ平面方向に広げた領域 $S'''$ を生成する。 $S'''$ を地盤を形成する地物として組み入れることにより、建物地盤領域を反映した地盤地形のモデル化が実現される。

図2に建物地物の地盤領域（建物領域より10cm広く設定）を生成し、水平面に近いほど明るく着色した例を示す。図より、建物地盤領域が水平面で近似されていることが確認される。

#### 4.2 建物の3次元モデル化

##### (1) 建物モデルの高さの設定

建物地物に設定されている高さ情報に基づいて建物モデルの立ち上げを行った。建物地物に対して高さ属性が1つの場合はその値を使用し、建物地物のノードごとに $Z$ 座標が設定されている場合には、それらの平均または最大値等で高さを代表させる。すなわち、今回の研究では同一の高さを有するポリゴン構造として建物をモデル化した。

##### (2) 建物壁面の生成

建物の壁面は建物領域 $S$ を構成するノード

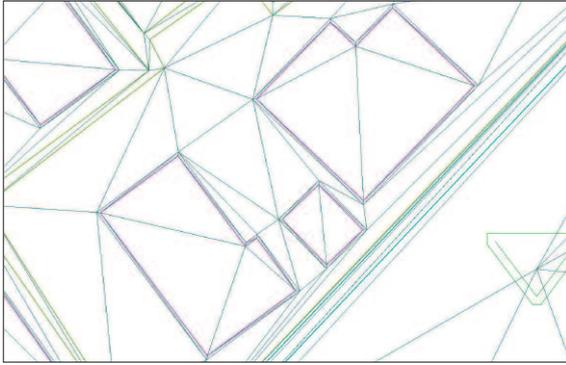


図3 建物地盤領域と建物3次元モデルを使用して生成した地形TINの例

$N_i$ とその写像領域 $S''$ を形成するノード $N''_i$ 、およびそれらに隣接するノード $N_{i+1}$ 、 $N''_{i+1}$ の4点で形成される矩形の面によってモデル化する。全ての建物地物において、建物領域 $S$ を囲む全ての壁面を生成する。

以上の処理により、建物地物の3次元モデル化が実現される。

図3は図2で適用した処理に3次元モデル化した建物も加えて生成した地形をTINで表現した例である。一般的なTINの生成アルゴリズムを用いた場合にも、地形に矛盾しない形で建物領域のTINが生成されていることが確認される。図4に面情報として生成した建物の3次元モデルを鳥瞰図にした模式図を示す。

本研究では、建物の屋根を水平面で近似したため、生成された建物モデルのリアリティーといった観点において、モデルの再現性がやや低い面があった。今後は層構造を持った建物や、家屋の屋根面の再現が必要であると考える。

#### 4.3 塀や電柱の3次元モデル化

一般的なDMデータでは塀や電柱の幅や高さなどの属性は保持されていないため、これらを仮定してモデル化を行った。ここでは、塀の形状は一条線（線情報）、電柱の位置はシンボル（点情報）にて地盤上のデータとして取得されているものとする。処理手順は次の通りである。

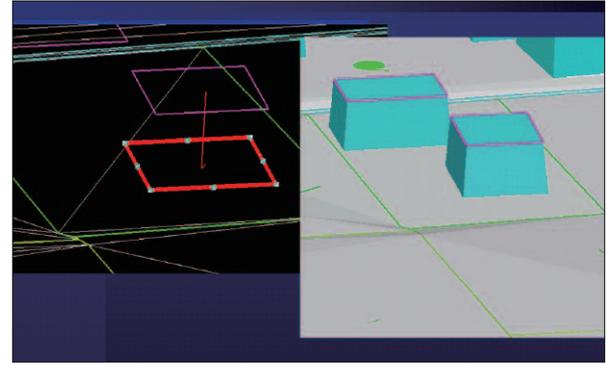


図4 建物地物の3次元モデル化

##### (1) 地物のポリゴン化

塀の場合には塀の幅 $dw$ を、電柱の場合には水平断面を円で近似し、その半径のサイズ $r$ を仮定する。

塀を記述しているポリライン図形 $L$ における各辺に対して距離 $dw/2$ だけ離れた位置に平行線を生成し、隣接する平行線同士を連結する。これにより、 $L$ の両側に平行線の線分列が2つ生成される ( $L_1$ および $L_2$ )。  $L_1$ 、 $L_2$ の始終点において、 $L$ に対して直交して連結可能な位置にあるノード同士を連結することで、塀のポリゴンを生成する。

電柱の場合には、電柱のシンボル位置を中心として、設定した刻み角 $\alpha$ で離散化した半径 $r$ の円周ポリゴン（線分列）を生成することでポリゴン化を行った。

##### (2) 地物ポリゴンへの高さの付与

生成した塀や電柱を表すポリゴン $P_0$ に対して仮定した高さ ( $Z_E$ ) を付与する。具体的には、 $P_0$ を構成する各ノードの $Z$ 座標に対して $Z_E$ を加算して得られる座標列のポリゴン $P_m$ を生成する。

##### (3) 壁面データの生成

建物の場合と同様に、 $P_m$ を構成するノード $N_i$ と、その鉛直直下方向にある $P_0$ を構成するノード $N'_i$ 、およびそれらに隣接するノード $N_{i+1}$ 、 $N'_{i+1}$ の4点で形成される矩形の面によってポリゴンの壁面をモデル化する。

図5には、点情報から生成した電柱の3次

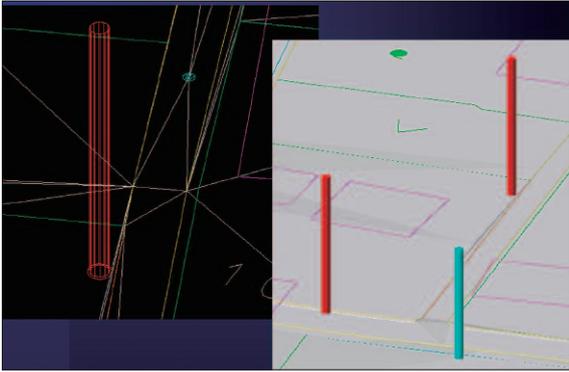


図5 点情報の3次元モデル化

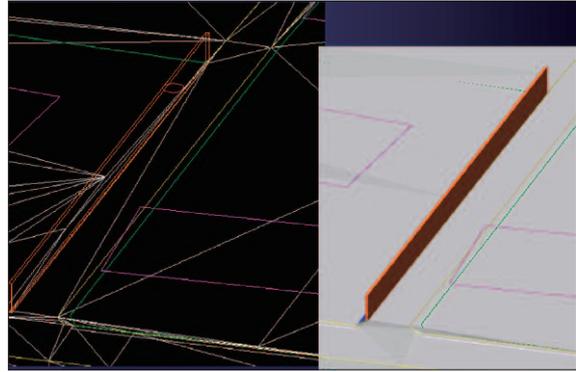


図6 線情報の3次元モデル化

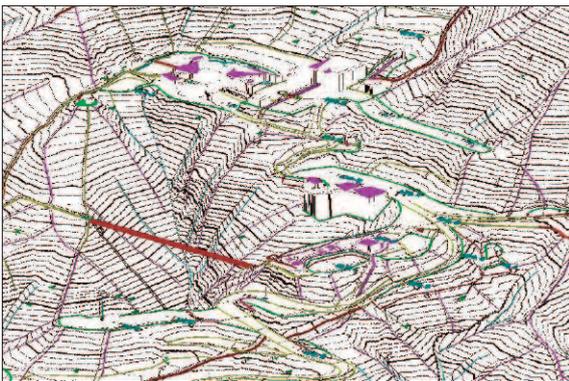


図7 処理対象データの鳥瞰図（山間部）

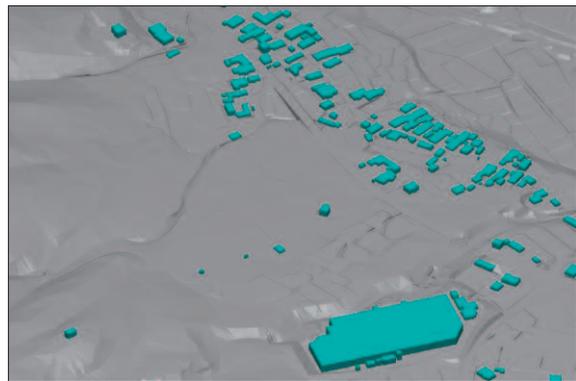


図8 建物の3次元モデリング処理の適用例（山間部）

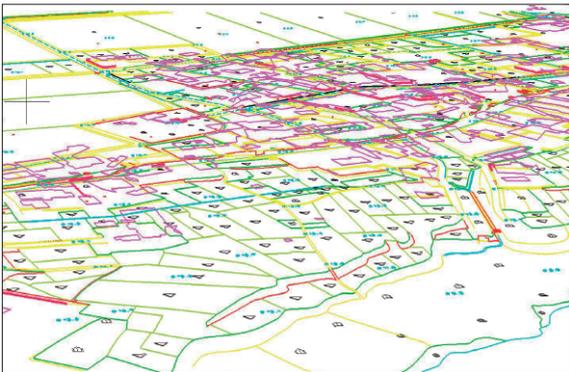


図9 処理対象データの鳥瞰図（郊外）

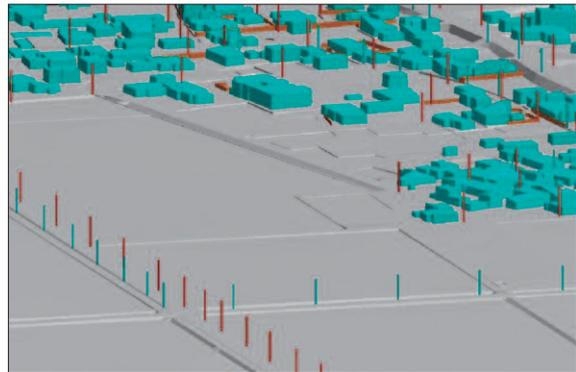


図10 建物・塀・電柱の3次元モデリング処理の適用例（郊外）

元モデルを図6には線情報から生成した塀の3次元モデルを鳥瞰図にした模式図を示す。

#### 4.4 処理の適用例

図7は3次元モデル化の対象とした山間部のDMデータであり、図8はそのデータを用いて建物を3次元モデル化した結果である。同様に、図9は郊外におけるDMデータの例であり、図10はそのデータを用いて建物、塀、電柱を3次元モデル化した結果である。図7、図9による2.5次元のDMデータの鳥瞰表示では、

地形と地物との関係性（位置関係）の把握が容易ではない。一方、提案手法による結果（図8、図10）では、地物の3次元モデル化によって地形や地物に関する視認性が向上していることが分かる。

### 5. 3次元地形図データモデルの活用

3次元地形図データモデルは、3次元座標値の集合体であり、ユーザの利用目的に応じた加工が可能である。本研究では、3次元バーチャリアリティーシステム（以下、「3次元

VR」という)及び道路シミュレーション分野における3次元地形図データモデルの利活用に関する可能性とデータフォーマット等の適応性について検討した。利用したソフトは、株式会社フォーラムエイトが開発した3次元VRシミュレーションソフト「UC-win/Road」である。

3次元地形図データモデルのデータフォーマットについては検討段階であるが、汎用性の高いShape形式を採用した。

3次元地形図データモデルは、複数の3次元データが格納されているため、「4.DMデータの3次元モデル化処理」においてモデル化の検証が完了した、面情報(建物)、点情報(電柱)及び線情報(等高線)に対するの適応性について検証を行った。その結果、これらのデータから適切に3次元VRモデルが生成されることが確認できた。



図11 3次元VR 道路シミュレーションモデル その1



図12 3次元VR 道路シミュレーションモデル その2

図11及び図12は、生成した3次元VRモデルに道路シミュレーションでは必須となる道路及び関連付属物をテキストチャー化したものである。

## 6. まとめ

本研究を実施した結果、空中写真測量において地形標高モデルと地上地物の3次元地形図モデルデータの取得手法を確立することができた。従来からも3次元地形図データの取得仕様に関する調査研究が実施されているが、データの取得方法及び取得基準とその評価に十分及んでいるとは言い難い。多くの空中写真測量事業者にとって、今後、3次元地形図データを取得するうえで、本研究の成果が活かされるものと考えられる。

最近では、3次元地形モデルについては航空レーザー測量の成果を基に作成する手法が着目されているが、既に撮影されている膨大な空中写真を利活用するという観点からも、この手法は有益であると考えられる。

本研究によって得られた成果と課題について以下のようにまとめる。

### 【評価】

- ・全ての高さ情報を取得する場合の空中、地盤を区分した取得対象を提示した取得基準(案)を作成することができた。
- ・全ての3次元データを利用した地形モデルを作成する仕組みの基礎が確立できた。

### 【課題】

- ・利用したサンプル数が少ないため、高さの精度を十分に検証できていない。
- ・取得する全ての高さ情報に対する精度を検討する必要がある。
- ・道路や樹木等の3次元モデル化を行っていくこともDMデータの有効活用を図る上で

重要なテーマである。

- ・DMデータの3次元モデル化処理の理論は確立したが、対応するソフトの開発が必要である。また、全ての3次元DMデータについての適応性について検討する必要がある。
- ・作業規程の準則等に定義されている取得基準以外において、公共的な3次元に関する規程の整備が必要である。

本研究を題材として、3次元に関する統一規約が制定されることにより、作成側と利用者側の相互共通認識が現実的なものとなり、今後、3次元地図の利活用が進んでいくものと考えられる。

#### 【謝辞】

成果の利用に関して、燕市都市整備部土木課に感謝の意を表す。

#### 【メンバー】

WG長：水野 誠司（中日本航空株式会社）

副WG長：石黒 定雄（株式会社オリス）

上野 博志（朝日航洋株式会社）

坂元 光輝（アジア航測株式会社）

椎名 剛史（アジア航測株式会社）

小糸 裕（株式会社東京地図研究社）

山田 健司（株式会社フジヤマ）

横山 泰久（東武計画株式会社）

路 毅（シービーエス株式会社）

田代 則雄（株式会社フォーラムエイト）

平成21年6月20日時点