

拡張デジタルマッピングデータを利用した道路最適線形探索システムによる3Dモデルの構築

山崎 元也¹・寺尾 敏男²・保田 敬一³・田代 則雄⁴

¹正会員 東京農業大学准教授 地域環境科学部 (〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1)
E-mail: m3yamasa@nodai.ac.jp

²正会員 株式会社ニュージェック 道路グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)
E-mail: teraots@newjec.co.jp

³正会員 株式会社ニュージェック 道路グループ (〒135-0007 東京都江東区新大橋 1-12-13)
E-mail: yasudakc@newjec.co.jp

⁴非会員 株式会社 フォーラムエイト 技術サポートグループ (〒153-0051 東京都目黒区上目黒2-1-1)
E-mail: tashiro@forum8.co.jp

CALS/ECの推進により、3次元情報の活用が促進される環境になってきている。本研究では、拡張DMデータの中に地形・地質・環境といった情報の属性を持たせ、道路最適線形探索プログラムであるOHPASSと3次元CADを連動させることを試みた。さらに、3次元CADと連携し、出力された3-DデータをVR上で閲覧・評価できるシステムを構築した。3次元VRとの連動により、道路線形計画時の景観評価および道路構造評価、関係者との合意形成や説明会に有効に利用できることが期待できる。

Key Words : 3-D CAD, road design, virtual reality, extended digital mapping data

1. はじめに

道路設計は、その道路が供用された時に、各々の道路が持っている目的、機能、役割等が最も効果的に発揮されるように設計する。道路設計では、道路の中心線を表す道路線形を決定することが目的といっても過言ではない。道路線形は、各々の道路が持っている道路規格に応じた安全性が確保され、かつ経済的に優れているとともに、通過する地形に沿って流れること、地形・地質・気候等の自然条件および生態系等の自然環境とも融合し、自然景観とも融合がとれていなければならない。しかし、道路線形計画は技術者のノウハウに依存しており、限られた検討期間内では多くても数本程度の線形検討しか実施できないため、環境や自然への配慮が十分にできていたとは言い難い。また、自然環境との融合を検討するためのフォトモンタージュやCG利用は高価であることから、これまでは路線決定後の段階で実施されることがほとんどであった。

一方、従来より、道路設計は紙図面で設計されてきたが、国土交通省による建設CALS/ECの推進により、道路事業の各段階での電子データ、特に地形データの利用は盛んになりつつある¹⁾。さらに、国土交通省は、「国土

交通省CALS/ECアクションプログラム2005」²⁾の中で、「3次元情報の利用を促進する要領整備による設計・施工管理の高度化」を目標として掲げている。

以上から、著者らは道路線形計画において、従来の道路設計では検討できなかった多数の線形を定量的に評価することを目的に、遺伝的アルゴリズムによる最適線形探索プログラム (OHPASS : Optimal Highway Path Automatic Search System) を構築している^{3,4)}。OHPASSは、道路のルート決定に3次元の地形データを利用し、ルート上で規制される各種のコントロールポイント (地形・地物・施設・気象・道路構造・交差道路・鉄道・河川等) および、線形設計に必要な設計条件 (道路規格・設計速度・幅員構成・標準断面等) を与えることにより、経済性を優先した線形・土量バランスを優先にした線形の候補を出力する。OHPASSを活用すると、住民参加型 (PI : Public Involvement) 手法による事業の執行にも活用できるように地域住民の要望を取り入れた場合の最適線形など、目的に応じた最適線形を検索することも可能になる。

しかしながら、OHPASSを活用するためには測量フェーズで得られた3次元の地形情報を必要としているが、測量フェーズの電子納品データのDM (Digital Mapping)

形式は、現状ではほとんど納品されておらず、OHPASSが適用可能な道路設計はごく限られている。また、OHPASSにより、最適線形を探索できても設計成果で求められる図面や数量は出力できないという課題もあった。

一方、DMデータも機能を改良した拡張DMが策定された。これから電子納品を通じて拡張DMデータは流通することが予想される。そこで、OHPASSで拡張DMデータを取り込み、有効に活用することができれば、拡張DMの活用場面の広がりが期待できる。

本研究では、拡張DMデータの中に、地形・地質・環境といった情報の属性を持たせ、OHPASSと連動させることを試みた。さらに、特定の3次元CADソフトウェアと連携し、出力された3次元データを特定のVR (Virtual Reality) システム上で閲覧・評価できるシステムを構築した。これにより、地元説明でのプレゼン、他機関との協議など広範囲に利用が可能となることをVRとの連動による景観評価によって確認できた。

2. 拡張DMの概要

(1) DMデータ利用の課題

道路設計においては、道路設計用CAD等のツールを利用し、地形図のデータを活用した設計が行われることも多くなっている。しかし、現DMデータの等高線・標高点の高さ情報が地形測量の成果として求められていないため、測量時には取得していてもDMデータには反映されていない。そのため、道路設計には利用できないという課題があった。この課題を解決するために拡張DMデータの仕様が検討されている。

(2) DMと拡張DM

「国土交通省公共測量作業規程」⁵⁾では、DMデータファイルの仕様を「デジタルマッピング取得分類基準」および「デジタルマッピングデータファイル仕様」にて定めているが、データファイル仕様の解釈を統一し、明確化を図るとともに、数値地形測定の成果以外にも適用するためにDMデータファイルの仕様の拡張が図られ、「拡張デジタルマッピング実装規約(案)」としてとりまとめられている。一方、測量成果電子納品要領(案)では、DMデータファイルをこの拡張DM仕様にて作成することを規定しており、数値地形測定の成果のほか、基準点測量および応用測定の成果の一部の電子納品形式として適用している。同要領(案)では、「国土交通省公共測量作業規程」で定められている仕様と「拡張デジタルマッピング実装規約(案)」で定められる仕様を区別するために、それぞれ“現行DM”，“拡張DM”と呼んでいる(図-1参照)。

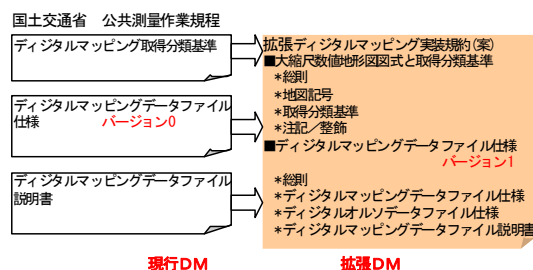


図-1 現行DMと拡張DM

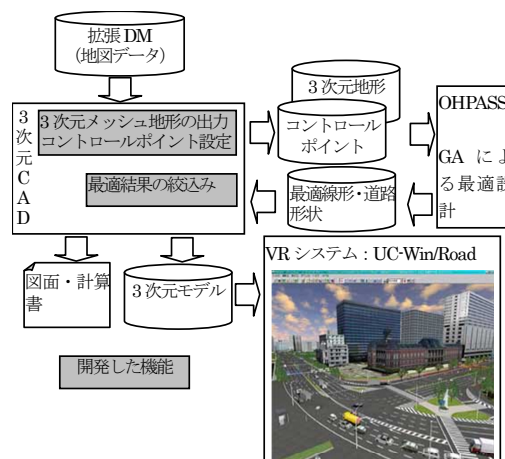


図-2 システム構成

“現行DM”，“拡張DM”の大きな違いは道路設計で利用できることを目的として、主な変更は、1) 使用の解釈の統一（明確化）と軽微な修正、2) 応用測量等への適用である。特に拡張DMでは等高線、標高点の標高値を必ず記述することなどが明記された。ここで、地形の表現については、等高線による表現に加え、数値地形モデル(DTM)による表現があり、両者の併用も公共測量作業規程において認められている。

3. 3次元CAD,拡張DMおよびVRシステムとの連携

(1) システム構成

OHPASSの入力データ作成機能および出力結果より3次元道路形状と成果図面を作成する仕組みを構築した。システム構成図を図-2に示す。

本システムは、土木設計専用CADであるAutoCAD Civil 3D 2007（以下、Civil 3D）をベースとして開発されている。開発した機能は、Civil 3Dにより入力データである3次元地形およびコントロールポイントを作成する機能と、計算結果をCivil 3Dに取り込む機能である。

Civil 3Dでは、DM読み込み、地形の3次元化、道路設計（平面設計、縦断設計、横断設計）などの機能がある。また、3次元モデルをVRを行うソフトウェアの一つであるUC-Win/Road Ver.3.2（株式会社フォーラムエイト製）とを連動させることを試みる。UC-Win/Roadは、3次元VR空間を生成後、CGにより様々なリアルタイムプレゼン

ンテーションが可能で、景観検討、設計協議、事業説明などに利用されている。また、今回の研究で利用した Civil 3Dとは、データ交換機能が実装されており、特別なソフトウェアを開発しなくとも連動実験が可能である。

(2) 地形データ変換およびコントロールポイントの設定 (OHPASS入力インターフェース)

OHPASSの入力データを効率よく作成するために、地形データの変換およびコントロールポイントを設定して、OHPASSに渡すインターフェースを開発した。

a) 地形データ変換機能

OHPASSでは地形はメッシュデータである。また計算用は2mメッシュ、表示用は20mメッシュが必要である。このため、Civil 3Dで作成した3Dサーフェースモデルから2mおよび20mのメッシュファイルを作成する機能を開発した。3Dサーフェースから指定したポイントの標高を出力するAPI (Application Program Interface) は、Civil 3D標準で提供されているが、地形データのファイルサイズが大きい場合に不要な標高をスキップするなど、処理の高速化を行った。

b) コントロールポイント設定機能

OHPASSではコントロールポイントは線（鉄道、河川など）または面（住宅、平面禁止区域など）で表現される。Civil 3DのCAD標準機能で作成された線（閉じていないポリライン）または面（閉じたポリライン）に、OHPASSのコントロールポイントの情報を付加する機能を開発した。

(3) 最適検討結果の読み込み (OHPASS出力インターフェース)

OHPASSで得られた線形の検討結果をCivil 3Dに読み込み、平面図および縦断図に表示する機能を開発した。OHPASSの特徴として設計条件を変更して複数の線形検討が行えるが、今回複数の検討結果から読み込みが行うことができるよう、線形を選択して読み込む機能を実装した。

4. 実証実験1 (拡張DMの利用)

(1) 実験の目的と手順

DMを利用する利点は、以下の2点から得られる地形データ作成とコントロールポイント設定の省力効果である。なお、省力効果は、単なる2次元CADデータとして地形データが与えられた場合との比較を想定している。

a) 3次元地形作成作業に対する省力化

等高線に高さ情報が付加されている事より、3次元化の手間が省ける。等高線以外の高さ情報が必要な場合は、

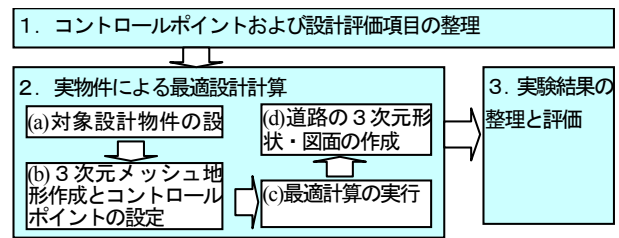


図-3 拡張DMを用いた道路最適設計の手順

別途、高さ情報を付加する必要があるが、本システムが対象としている1/2,500地形図では、等高線情報のみから3次元化による十分な設計精度が得られると想定される。

b) コントロールポイントの設定作業に対する省力化

本研究では、拡張DMを地図要素の種別毎にレイヤ分けしてCADシステムに読み込むことを想定してコントロールポイントの設定を行った。

実験の手順を図-3に示す。まず、1.で道路設計を行う上で考慮すべきコントロールポイントと設計結果の評価項目を道路設計の専門家が整理した後、2.で実物件による最適設計計算を行い、最後に3.で結果の整理と評価という流れになる。図-3における2.の(a)では、過去の設計物件では拡張DMで地形図が整理されている物件を選定することは困難であると予想されたため、CADデータとして地形図が整理された物件を選定し、本システムに実装されているDM読み込み機能をシミュレーションすることとして物件を選定した。(b)では、(a)で選定した物件の地形図をAutoCAD Civil 3Dに読み込み、DM読み込み機能をシミュレートするために、DM読み込み機能で読み込んだ状態になるようにレイヤなどを編集した。その後、今回開発した機能を用いて、3次元地形およびコントロールポイントを作成した。(c)では、幾何条件や土工条件などを指定し、道路最適設計計算を実行した。(d)ではAutoCAD Civil 3Dに最適設計計算結果を読み込み、道路の3次元モデルと図面を作成した。

(2) 実験対象

実験対象として選定した案件は、高規格幹線道路の一部区間の道路概略設計で、概要は以下のとおりである。

(a) 計画交通量(H32)	16,300~21,800台/日
(b) 道路規格	第1種第2級
(c) 設計速度	$V=100\text{km/h}$
(d) 設計延長	$L=21.8\text{km}$
(e) 幅員構成	$W=20.5\text{m}$, 完成4車線
(f) 設計種別	道路概略設計(B)
(g) 設計年度	平成15年度
(h) 完成断面で計画されている	
(i) $S=1/2,500$ 平面図で設計業務を遂行	

実証実験においては、上記設計案件は全長が $L=21.8\text{km}$ と長いため、全体を実験対象とした場合、コンピュータ

に対する負荷が大きい。そのため、データの扱い易さや演算時間の短縮を考慮して、約4kmを抽出して実験対象とした。

(3) 3次元メッシュ地形の作成とコントロールポイントの設定

実験手順で述べたように、実験対象物件の地形データは、CADデータであり拡張DMデータではない。この理由は、本来、拡張DM仕様のデータを用いて実験を行うことが望ましいが、現時点では拡張DM仕様を作成中であり、拡張DM用のデータは成果品として存在しないことによる。実験の目的を達成するために地形データを読み込んでから拡張DMを読み込んだときに想定される形式に編集してから、3次元地形メッシュの作成とコントロールポイントの設定を行った。作業内容と作成されたデータを以下に示す。

(a) CADデータの読み込み

対象物件のCADデータは、実験に使用した3次元CAD(Civil 3D)のデータ形式であるDWG形式であったため、問題なく読み込むことができた。

(b) DM読み込みをシミュレーションするための編集

(a)の操作で読み込んだデータを、拡張DMを読み込んだ場合と同様となるように編集した。Civil 3DのDM読み込み機能では、地図要素の種別毎にレイヤ分類して読み込む。この方法は、CADシステムにDMデータを読み込むときの一般的な方法と考えられる。今回は読み込み後の状態をシミュレーションするため、CADデータを読み込み後、地図要素の種別毎にレイヤを分けた。

高さ情報については、元のCADデータは等高線のみ高さ情報を持っていた。現状の測量業務から出力されるDMデータにおける高さ情報は等高線のみであると想定されること、および、対象としている道路設計では等高線で高さが付与されていれば精度は十分であると考えられるため、新たな高さ情報の付与は行わないこととした。

(c) コントロールポイントの設定

「3. 3次元CAD・拡張DMおよびVRシステムとの連携」で説明したコントロールポイントの設定機能を使用して、コントロールポイントを設定した。

(4) 最適線形探索結果

道路最適線形計算システムは、初期線形に対して左右200mの幅で最適線形を探索する。今回は、A,B,Cの3ルートを探した。

A案：北側ルート（最も北側を通過するルートで実設計を初期線形として最適化する。実設計（初期線形）と最適計算結果を比較する意味を持つ）

B案：中央ルート（A案に対して環境保護地域である里

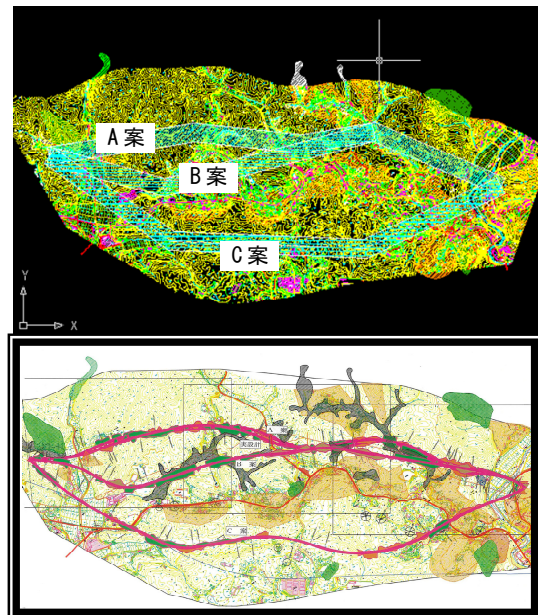


図4 各ルートの探索範囲

表-1 工費比較表

項目	実設計	Aルート	Bルート	Cルート
延長 (m)	土工	4,150	4,190	4,270
	橋梁	230+260+240+300	560+400	400+460
	トンネル	0	0	0
	計	5,180	5,150	5,130
事業費 (百万円)	道路(土工)	24,954	20,529	23,277
	橋梁	53,923	49,224	51,970
	トンネル	0	0	39,396
	その他	17,263	17,144	17,632
	計	96,140	86,897	92,879
線形要素	最小曲線半径(m)	550	500	550
	最小曲線長(m)	230	259	308
	最小緩和曲線(m)	550	500	550
	最小緩和曲線長(m)	80	73	71
	最急縦断勾配(%)	3.8	4	
	最急縦断曲線半径(m)	2486	12092	7446
	最急縦断曲線長(m)	154	472	268

山を南側に迂回する)

C案：南側ルート（地すべり地域や環境保護地域が多い北側を避けて山地部である南側を通過する）

各案の概略探索範囲を図-4に示す。図-4の上図は概略探索範囲を示しており、下図はGAにより探索した最適ルートを示している。

工費の比較表を表-1に示す。A～Cの各案とも幾何条件を満足している。実設計の左右両側200mを探索し、工費が最小となるように最適化した結果がA案となる。この実設計とA案の工費を比較すると、A案のほうが若干小さくなっており、想定したとおりの結果が得られた。ただし、実設計の線形は一部上下線分離断面であったものを単路線で近似させたものであること、また、実設計は21.8kmの設計延長であった全体のうち4kmを取り出したため土量が完全にバランスしてないなどの問題もある。

A～C案を比較すると工費としてはA案が最も小さく優れている。Aルートは実設計の線形の最適結果であり、実設計が妥当であることの検証にもなった。

(5) DM利用の結果と問題点

今回開発したシステムは、CAD要素を選択してからコントロールポイントの種別を指定する非常に単純な機能である。CAD要素とは、図面上の地物を記述した線や記号などの要素をいう。この単純な機能を使用しても、単なるCADデータに比べて、レイヤ分け等構造化されているデータに対してコントロールポイントを設定することは、当然ながら作業者の負担軽減になる。時間計測等は行っていないが、例えば、(1) 道路のレイヤだけを表示させて一括選択してコントロールポイントに設定、(2) コントロールポイントに関係のない要素のレイヤを非表示にして視認性を向上のような手順が可能となった。

なお、今後の機能開発により、レイヤからコントロールポイントへの自動変換、すなわち、コントロールポイントに設定する地図上の要素を決められたレイヤに作画し、そのレイヤ上の要素をコントロールポイントに一括で自動変換する事も可能である。

一方、有効利用を阻害する以下のような問題点も明らかになった。

a) 図形の不一致

拡張DMの図形タイプとコントロールポイントとして要求される図形タイプが異なるものが存在する。例えば、拡張DMの図形タイプとは、地図作成のためのデータ、すなわち、地図の仕様であり、道路設計上のコントロールポイントとは、文化財区域や地すべり地域などを指す。これらは主に拡張DM側で地図記号で表される地物が該当する。

b) 拡張DMに存在しない

当然のことながら道路設計におけるコントロールポイントで拡張DMに定義がないものが存在する。

これらの問題点は長期的にはDM仕様の改定により、短期的には目視によるコントロールポイントの判断と手作業によるCAD操作によるデータ作成などで対応する。

5. 実証実験2 (VRシステムとの連動による景観評価)

道路景観は、道路計画をする上での重要考慮項目であるが、OHPASSではそれを考慮する機能を持っていない。本実験では、景観はCGにより人間が判断することとして、VRシステムとの連動を行い、その利用方法・効果などについて検討した。使用したVRシステム構成は3.(1)に示す。

(1) VR空間の自動生成

Civil3Dで作成した3次元データから、LandXML形式ファイルを介して地形データを読み込む。次に、道路の平

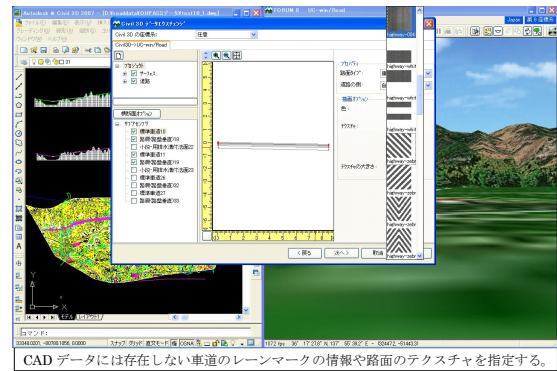


図-5 CADとVRシステムとの連携



図-6 プレゼンテーション画面例

面線形情報（線形座標、各パラメータ）、更に、縦断線形（交点測点、高さ、VCLなど）、道路断面データ（道路路面の幅、法勾配・小段間隔など）を読み込んで全てのデータを合成し3次元VR空間を作成する。

計画形状は、3次元形状を直接3次元CADデータから読み込むのではなく、断面データを読み込んでVRソフト側で再作成している。3次元CADで作成した形状と異なるなどの問題は発生していない。

また、3次元VR空間作成時に設計時の3次元モデルでは表現されていないレーンマークと路面の質感、法面の植生をテクスチャで表現した。図-5に、Civil 3Dとの連携画面を示す。

(2) 実験の評価と考察

プレゼンテーションは、CGによる動画をリアルタイムに表示して行った。代表的なプレゼンテーション画面を図-6に示す。プレゼンテーションおよび検討の結果、最適設計システム・3次元CADおよびVRシステムの連動について、以下の結果を得ることができた。

a) 運転者視点での景観評価

視距の状況や線形の視認性などの安全性に関連する項目についての検討・評価には十分活用できる。

土工形状や構造物の運転者へ影響については、部分的な効果にとどまる。例えば、長大法面が運転者に与える圧迫感などはある程度評価できるが、トンネル坑口形状の検討については、今回の実験のフローとは別作業により形状検討とモデリングを行ってからVRシステムでの評価が必要となる。

b) 画像生成までの時間の大幅な短縮による効果

拡張DM→OHPASSによる自動設計→3DCAD→UC-

Win/ROADによる画像生成の流れは、従来に比べて画像生成までの大幅な時間短縮が可能である。

今回の実験に要した時間を表-2に示す。ここで、実証実験1と2は連続したものであり、実証実験1では拡張DM仕様に変換したデータを用いてOHPASSで最適線形を探索し、実証実験2ではOHPASSの結果をVRと連動させている。以上より、比較案を生成する時間を考えると(a)は共通作業となるので、(b)～(d)の作業の合計時間の60分程度で比較案の生成とVRシステムによるプレビューが可能となる。例えば、盛土と高架構造を比較する場合、以下の手順で短時間に工費や土量を最小とする線形を計算した上で両案の比較が可能となる。

- (1) 盛土形状で一連の作業でVRシステムまでを生成
 - (2) 高架構造にする箇所一帯を、OHPASSの機能で「強制高架区間」コントロールポイントに設定する。
 - (3) (b)OHPASSによる最適設計計算→(c)OHPASS計算結果の3次元化
 - (4) (d)VRシステムでデータ生成し、(1)の結果と比較検討
- これらのことを考えるとPI等の場面での有効活用が可能と考えられる。

6. おわりに

本研究では、道路最適線形探索プログラムであるOHPASSと3次元CADを連動させることを試みた。具体的には、拡張DMからの3次元地形の作成とコントロールポイントの設定機能により、拡張DM活用の基盤を整えたことと、最適設計計算結果の3次元CADへの取り込みを実現し、設計成果の図化やVRシステムとの連動を可能とした。

開発したシステムを用いて、拡張DMを用いた擬似的実証実験を行った。拡張DMを用いることは、最適設計システムへの入力データとして不可欠な3次元現況地形の作成に、時間短縮の面で有効であるという結論を得た。

さらに、VRシステムとの連動実験を行った。拡張DMを入力データとして利用し、道路線形最適設計システ

表-2 作業時間の比較

作業内容	従来手法 作業時間	本システム 作業時間
(a) DMからの3次元地形生成・ コントロールポイント設定	240分	240分
(b) OHPASSによる最適設計計算	420分	10分
(c) OHPASS計算結果の3次元化	180分	30分
(d) VRシステムでのデータ作成	240分	20分
合計	1,080分	300分

ム・3次元CADおよびVRシステムを連動して用いることは、迅速に景観評価を行うことや様々な景観評価を短時間に実施できることに對して有効なことが確認できた。OHPASSとVRとの連動により、道路線形計画時の景観評価および道路構造評価、関係者との合意形成や説明会に有効に利用できることが期待できる。

今後の課題は、拡張DMを用いる際の等高線以外の地物に関する高さ情報の付与方法やコントロールポイントとして要求される図形の作成、OHPASSで考慮できていない項目への対応などである。

なお、本研究は、平成18年度 財団法人日本建設情報総合センターの研究助成金により実施したものである。

参考文献

- 1) 山崎元也, 本郷延悦, 高橋広幸, 安達伸一, 大友正晴, 加藤哲: 新しい DM データ使用による道路設計 CAD への活用と今後の展開, 土木学会論文集, No. 674/IV-51, pp. 73-82, 2001.4.
- 2) 国土交通省: 国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2005, 2006.3.15.
- 3) 山崎元也, 本郷延悦, 今村 博, 比屋根一雄, 飯尾 淳, 谷田部智之, 加賀屋誠一: デジタル地形データと遺伝的アルゴリズムによる最適縦断設計の基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, pp.139-148, 2001.
- 4) 山崎元也, 本郷延悦, 比屋根一雄, 谷田部智之: 遺伝的アルゴリズムによる高速道路線形最適化のための線形モデルの検討, 土木学会論文集, No.758/IV-63, pp.57-69, 2004.4.
- 5) 国土交通省: 国土交通省公共測量作業規程, 日本測量協会, 2002.6.

(2008.2.1 受付)

A 3-D MODEL FOR OPTIMAL ALIGNMENT SEARCH SYSTEM OF HIGHWAY DESIGN BY EXTENDED DIGITAL MAPPING DATA

Motoya YAMASAKI, Toshio TERAOKA, Keiichi YASUDA and Norio TASHIRO

Inflection of the three-dimensional information is promoted by CALS/EC. In this study, we try that we let three-dimensional CAD link OHPASS which is a road optimal alignment search program. We handle a Control Point by a road optimal alignment search program by GA with the three-dimensional topography provided through 3-D CAD from extended Digital Mapping data. We took the result in 3-D CAD and tried that we let the 3-D model that we made link VR. By VR, we can expect scene evaluation at the time of the road linear plan and that road structure evaluation, the consensus building and a briefing session can use it effectively.