拡張DMデータを利用した3次元道路景観設計システム構築に関する研究

A Three-Dimensional Road Landscape Design System Building by Extended Digital Mapping Data

山崎 元也* 寺尾 敏男** 田代 則雄***

Motoya YAMASAKI Toshio TERAOKA Norio TASHIRO

Abstract : In current road design practice, consideration for the environment and landscape usually occurs after route has been determined. Yet, an understanding of the surroundings during the route determination phase is indispensable. In this research, we have made full use of newest information technologies to build a system that can examine and express a road's surroundings, in real time, while the road's location is still being determined. The research methods were as follow. First, a three-dimensional road alignment search system was created using genetic algorithms (GA). Secondly, Extended Digital Mapping data was applied to the road design. Thirdly, an increase in the efficiency of the road design was attained. Fourthly, a three-dimensional road landscape architecture systems configuration was created in cooperation with three-dimensional virtual reality software (VR). Fifthly, a real time landscape simulation system was created and can be used for public involvement (PI). As a result, this system has the ability to take into account the environment and landscape during the route definition phase. In this research, it is now possible to better employ PI and perform environmental assessments.

Keywords: Genetic algorithms, road design, horizontal and vertical alignments, optimization, Extended Digital Mapping data, Virtual reality

キーワード: 遺伝的アルゴリズム, 道路設計, 平面・縦断線形, 最適化, 拡張DMデータ, バーチャルリアリティ

1. はじめに

日本で最初の道路設計に景観評価を導入した研究は昭和40年代初めの鈴木忠義らによる観光道路の研究や中村らによる道路景観の予測技術としての透視図自動作成手法が挙げられる^{1), 2)}。

その後、昭和50年代から日本では経済の高度成長に伴い道路の量的な充実に重点が置かれるあまり、普遍的な環境や景観の対応がおろそかにされたり、路線選定などの早期からの対応は国立公園等特化した一部の路線で展開されるに留められていた。昭和60年代に入り環境や景観に配慮した道路づくりが始められたが路線選定時点での時間的制約や、コンピュータグラフィックス(CG)等での道路の景観予測は高価なことから、環境や景観への配慮は主に、路線決定後の段階でなされることがほとんどであった。一方、道路設計は従来より紙図面で設計されて来たが、国土交通省による建設Continuous Acquisition and Life-cycle Support(CALS)の推進により道路事業の各段階での図面等の電子化研究もなされており、道路の設計には欠かせない地形データの電子化研究も行われて来た³⁾。

このような背景の中、本研究では優れた道路づくりには路線選定段階での環境や景観配慮が必要不可欠であると考え、環境や景観の配慮を最新の情報技術を駆使し、リアルタイムに検討出来かつ表現出来るシステムを構築するため以下の目的で研究を行った。

1つ目は、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm:GA)を用いた3次元道路線形探索システムの構築する事である。2つ目は、拡張DMデータの道路設計への適用に実証、3つ目は、道路設計の効率化の検証、4つ目は、3次元バーチャルリアリティ(Virtual Reality:VR)ソフトとの連携による3次元道路景観設計システム構築、そして5つ目は、国、地方自治体の目標である環境アセスメントに優れたパブリックインボルブメント(Public Involvement:PI)手法の構築である。

2. 本研究の位置づけ

(1) 現状の路線選定段階での道路設計と課題

道路設計は各々の道路が持っている、目的、機能、役割等が、その道路が供用された時に最も効果的に発揮されるように設計するものである。また、道路の中心線を表わす道路線形は、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、経済性に優れた線形であるとともに、通過する地形に沿って流れ、地形・地質・気候等の自然条件及び、貴重動植物の生態系等の自然環境と融合し、自然景観とも調和のとれたものが優れた道路線形であると言える。しかしながら現在の道路線形計画は技術者のノウハウに依存している為、限られた検討期間内では多くても数本の線形検討しか出来ていない。その為、環境や景観への配慮が十分には出来ないのが現状である。そこで本研究では道路設計分野にGAを適用した山崎らの研究^{4), 5)}を発展させ、今後の道路設計の高度化に寄与したいと考えるものである。

(2) GAによる道路設計

GAとは最適な形状や最小コストを、生物進化の過程を模擬したシミュレーションで探索するアルゴリズムで、最適な組合せを求める問題に適している。近年、土木分野でも注目を集めており、主として構造工学分野の最適解を求める手法として用いられている^{6)~8)}。

山崎らの研究^{4), 5)}では、従来の道路設計では不可能であった多数の線形を、GAを採用することで定量的に評価することを可能とした最適線形探索プログラム(Optimal Highway Path Automatic Search System:OHPASS)を構築している。道路線形検討において、多数の親線形を発生させ、それらを交叉・交配することにより、優れた子線形を作り出すことで道路線形全体の最適化を図るものである(図-1)。

(3) OHPASSの効果と課題

平成15年、GAによる道路設計手法の有効性を検証するため、既に設計済みの高速自動車道中部横断自動車道(佐久〜八千穂間)、

*東京農業大学地域環境科学部造園科学科 ** (株) ニュージェック 道路グループ *** (株) フォーラムエイト 技術サポートグループ

図-1 GA による線形設計

延長 14 km の道路概略設計 (1/1000) と比較実験を行っている。OHPASS の効果については山崎ら (2004)⁵⁾ に詳しく報告されているのでその文献を参照願いたい。

その際、OHPASS で探索した最適線形結果を設計成果で求められる図面や数量にアウトプット出来ないという課題があった。

そこで本研究では、国内では初めて、OHPASS と拡張 DM データや 3 次元 CAD との連携を実現し、道路設計の成果品まで対応できるシステムを構築することを目標とした。

3. 3 次元道路景観設計システムの構築

本研究では、国内では初めて、環境や景観に配慮したシステムを実現するため、3 次元 CAD と OHPASS を組み合わせた 3 次元道路線形探索システムに、3 次元 VR ソフトを統合した 3 次元道路景観設計システムを構築した。3 次元道路景観設計システムの全体構成を図-2 に示す。

図-2 3 次元道路景観設計システム構成図

(1) DM と拡張 DM の概要

デジタルマッピング (Digital Mapping :DM) とは、数値地形測量の手法の一つであり、“空中写真測量等により地形、地物等に関わる地図情報をデジタル形式で測定し、電子計算機技術により、体系的に整理された数値地形図を新たに構築する作業” (国土交通省公共測量作業規定 第 283 条より) をいう。本研究では、ここでの DM データを、後述する拡張 DM と区分するために“現行 DM”と呼ぶこととする。

拡張デジタルマッピングとは、現行 DM データの仕様をベースに、現行 DM の空き領域を利用して、仕様の明確化 (解釈の統一) と他の測量成果への適用を図ったものである。データ仕様

は、拡張デジタルマッピング実装規約 (案) に定められている (図-3)。

拡張 DM の現行 DM からの主な変更点は、以下のとおりである。

(i) 不整三角網レコードの追加

地形等を三角面データで記録するためのレコードで、3 点の XYZ 座標の組からなり、三角面の個数として可変データである。

■国土交通省公共測量作業規定

図-3 拡張 DM の概要

(ii) 応用測量図面等の属性コード追加

応用測量図面 (用地図, 路線図, 網図等) での測量記録について属性コードが追加されている。

(iii) 文字コード変更

DM フォーマットでの文字コードは“JIS”であるが、拡張 DM フォーマットでは“ShiftJIS”が使用されている。ShiftJIS コードは、JIS コードに比べ効率的に漢字データを扱うことか可能な日本語文字コードである。

(iv) 記号の原点等の整理

図面上で使用される記号は、平面記号、側面記号、方向記号の 3 つに分類され、それぞれの原点位置と傾きの情報を持っている。

(2) 拡張 DM と 3 次元道路線形探索システムの構築

本研究では、より高度で活用場面が多彩となる道路線形探索システムを構築するための基盤データとして拡張 DM データを用いた。拡張 DM データからは、最適線形探索解析で重要となるコントロールポイント情報を取得するが、その経路を図-4 に記す。

図-4 コントロールポイント取得経路

拡張 DM からコントロールポイント情報を取得して OHPASS による最適線形探索解析を行い、その結果を 3 次元 CAD (AutoCAD Civil3D (オートデスク社)) 図面で表現し、自動的に数量等を出力する 3 次元道路線形探索システムを構築した。

4. 3 次元道路景観設計システムによる景観評価実証実験

構築した道路景観設計システムを使用して、景観評価実証実験を行った。尚、本研究での 3 次元 VR ソフトには、様々な分野で活用事例の多い UC-win/Road ((株) フォーラムエイト社) を採用した。

(1) 実験概要と3次元道路景観設計システムの構成

本実証実験は、過去の設計案件を対象とする事とし、広島県内の高規格幹線道路の一部区間の道路概略設計を採用した。条件は以下のとおりである。

(1) 計画交通量 (H32)	16,300~21,800 台/日
(2) 道路規格	第1種第2級
(3) 設計速度	V=100km/h
(4) 設計延長	L=21.8km
(5) 幅員構成	W=20.5m, 完成4車線
(6) 設計種別	道路概略設計
(7) 設計年度	平成15年度
(8) S=1/2,500 平面図で設計業務を遂行	
(9) 実証実験実施	平成19年8月

表-1 実証実験でのシステム環境

PC 本体	PC/AT100%互換機
OS	Windows XP
CPU	Intel Pentium4 (3GHz)
メモリ	2GB
ビデオカード	256MB, OpenGL 対応
ディスプレイ	1280×1024, 32bit カラーディスプレイ

本実証実験においては、全長が L=21.8km と長く、全体を実験対象とした場合、コンピュータに対する付加が大きいため、データの扱い易さや実際のシステム稼動時間を考慮して、約 4km の区間を抽出して実施した。

尚、実設計と OHPASS の最適線形設計結果の比較においては、現状の OHPASS の機能に制限(不足)があるため、実設計を OHPASS の能力に合わせるため、以下(2)に示す変更を行った。実設計ではトンネル部周辺が分離断面で計画されているが、分離部分は中間位置を通過する単一断面で置き換えた。

(2) 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

前述の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。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。

(i) 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 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。

(ii) DM データの読み込みをシミュレーションするための編集

(i) 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。3次元 CAD の DM 読み込み機能では、図-5に示す様に、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 データが等高線の高さ情報のみを持っていた。現状の測量業務から出力される DM データでの高さ情報は、等高線のみであろうと想定さ

分類No.	分類名	画面名称
11	境界	dm境界
21	道路	dm道路
22	道路施設	dm道路施設
23	鉄道	dm鉄道
24	鉄道施設	dm鉄道施設
30	建物	dm建物
34	付属物	dm付属物
35	建物記号	dm建物記号
41	公共小物件	dm公共小物件
42	その他小物件	dmその他小物件
51	水部	dm水部
52	水部関連物	dm水部関連物
61	法面	dm法面
62	緑地・草地	dm緑地・草地
63	植生	dm植生
71	等高線	dm等高線
72	実形地	dm実形地
73	基準点	dm基準点
75	DTM	dmDTM
81	注記	dm注記
99	未定義	dm未定義

図-5 DM読み込みのレイヤ指定

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。

(3) OHPASS による最適道路線形探索

OHPASS による道路線形探索解析を実行することにより、図-6に示す3ルート(A案、B案、C案)が探索された。

図-6 各ルートの探索範囲(縮尺 1/2500, Y 軸が北)

A 案(北側ルート): 最も北側を通過するルートで実設計の初期線形として最適化する。

B 案(中央ルート): A 案に対して環境保護地域である里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山地部である南側を通過する。

(4) 3次元VR空間の自動生成

最適案とされた A 案(北側ルート)のデータを UC-win/Road で読み込み VR 空間を自動作成する。3次元 CAD から UC-win/Road へのデータ連携には、土木・測量業界で 3次元オブジェクト指向型データモデルとして利用されている LandXML 形式ファイル⁹⁾を採用した。

図-7 LandXML 形式ファイルによるデータ交換

LandXML 形式ファイルを介して、地形データを読み込み、次に、道路の平面線形情報(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次元モデルとして生成する。道路両端に生じる切土・盛土面の計画形状は、道路断面データを読み込んだ UC-win/Road 側で自動作成している。その他、道路設計時では表現されていないレーンマークや路面の質感、法面の植生等は、読み込み時 UC-win/Road 側で自動で設定表現しているが、3次元 CAD で作成した形状と異なるなどの問題は特に発生していない。

図-8に3次元道路線形探索システムとの連携画面を示す。画面左側が 3次元 CAD、右側が UC-win/Road の画面で、両者システム間で地形等の交換する要素を選択し、リアルタイムでのデータ連携を行う。

(5) 実験の評価と考察

実験結果の評価は、UC-win/Road で自動生成した 3次元 VR 画面に表示して行った。図-9は、平面線形を変更する事での前後の比較を行った VR 画面で、左画面では現況斜面に近く切土面が発生しているが、約 20m 斜面から離すことで右画面のよう

図－8 3次元道路線形探索システムと UC-win/Road との連携画面

図－9 UC-win/Road でのプレゼンテーション画面の一例

に切土面の発生を回避している。

プレゼンテーションおよび検討の結果、3次元道路景観設計システムについて、以下の結果を得ることができた。

(i) 道路内部景観（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た。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 での評価が必要となる。

(ii) 画像生成までの時間の大幅な短縮による効果

拡張 DM→OHPASS による最適線形探索→3次元 CAD→UC-win/Road による画像生成の流れは、従来、画像生成まで数日かかる設計に比べ、大幅な時間短縮が可能となった。今回の実証実験に要した時間は概ね以下のとおりである。

① 拡張 DM→OHPASS による画像生成	240 分
② OHPASS による最適設計計算	10 分
③ OHPASS 計算結果の 3 次元化	30 分
④ UC-win/Road でのデータ作成	20 分
合計	300 分

以上より、比較案を生成する時間を考えると①は共通作業となるので、②～④の作業の合計時間の 60 分程度で比較案の生成と VR によるプレビューが可能となり、PI 等の場面での有効活用が可能と考えられる。

5. 研究の成果と今後の課題

本研究では 5 つの研究目標を確認した。1 つ目は、線形プログラムである OHPASS と 3 次元 CAD を連動させ、OHPASS で

決定した最適線形を 3 次元 CAD 図面で表現し、自動的に数量等をアウトプット出来る 3 次元道路線形探索システムを構築した。

2 つ目は、OHPASS の道路線形探索に必要なコントロールポイントのうち、拡張 DM データで取り扱うことができるもの（取得分類基準に対応があるもの）については、そのまま利用することが出来ることを実証した。その結果、数日かかる従来の線形検討を数時間単位で検討でき、大幅な道路設計の効率化を実現したことが 3 つ目である。

4 つ目は、3 次元道路線形探索システムと UC-win/Road との連動を可能とし、その最終的な成果として、3 次元道路景観設計システムを構築した。そして、5 つ目として、リアルタイムな景観シミュレーションが、これらの成果から PI に有効な手法であることを立証した。但し、PI での利用を促進するためには、数分程度の景観シミュレーションが必要である為、景観評価の結果で問題がある場合、OHPASS の自動最適化計算に高速にフィードバックする仕組みを構築する必要がある。また、道路の沿道からの外部景観の検討のためには、現況地物や土地利用状況などを作成・表現する必要があるが、これらの地表面 3D 形状以外の現況モデリングへの拡張 DM の活用については今後の検討課題としたい。

今回の研究は、路線選定時から環境や景観も考慮した理想的な道路設計を実現する為の第一歩と考えている。今後は、さらに研究を重ね、本システムの拡張・普及に努めていきたいと考えている。

備考：この研究は平成 18 年度日本建設情報総合センターの研究助成金により行われたものである。

謝辞：東京大学清水英範教授には評価項目についての助言を頂いた。ここに深く謝意を表す。

補注及び引用文献

- 1) 鈴木忠義他（1966）：観光道路の研究：日本観光協会
- 2) 中村良夫他 2 名（1972）：自然景観計画のための情報処理とその応用：土木学会第 27 回年次学術講演会講演第 4 部 IV-107, 251-252
- 3) 山崎元也他 5 名（2001）：新しい DM データ仕様による道路設計 CAD への活用と今後の展開：土木学会論文集 No.674 VI-51, 73-82
- 4) 山崎元也他 3 名（2001）：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 No.1, 139-148
- 5) 山崎元也他 3 名（2004）：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/VI-63, 57-69
- 6) 古田均・杉本博之（1997）：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用：森北出版
- 7) 杉本博之他 2 名（1993）：離散的構造最適化設計のための GA の信頼性向上に関する研究：土木学会論文集 No.471/I-24, 67-76
- 8) 杉本博之他 3 名（1993）：GA による仮設鋼矢板土留工の設計最適化に関する研究：土木学会論文集 No.474/IV-20, 105-114
- 9) LandXML：公式サイト <http://www.landxml.org> 2007.12.3 更新 2008.01.11 参照