

(50) ASTERGDEMを利用した道路最適線形探索システム OHPASSによる3DVRモデルの構築

山崎元也¹

¹正会員 東京農業大学教授 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

本研究では、すでに開発している道路最適線形探索プログラムOHPASSの中に、世界中の地形データをカバーするASTER 全球3次元地形データ (ASTERGDEM) を利用できる機能を開発した。さらに、OHPASS から出力されたファイルを3次元VR上で閲覧・評価できるシステムを構築した。これにより、世界のあらゆる地域でOHPASS を利用した、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に有効に利用できることが期待できる。

Key Words : *astergdem, road design, virtual reality, genetic Algorithms*

1. はじめに

理想の道路を構築するためには、建設コストの低減や道路構造の制約条件の順守、自然環境および良好な道路景観の保全等、様々な評価項目を満足させる必要がある。そして、道路線形最適化の自動モデルの開発はこれまでも数々研究されて来た。

まず、道路線形最適化の自動モデルの開発は、主要なコストを把握し、効率的なアルゴリズムを開発し、実際の地形情報システム (GIS) と連動させる必要があった。主要コストとは通常、総コストに占める割合が比較的高いコストである。

著者らは既に、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^{1,2)}。本研究ではこれまで発表していない新たな取り組みを報告する。それは、世界中の地形データをカバーするASTER 全球3次元地形データ (ASTERGDEM) とOHPASSを連動させ、同時に3D-CADとVRシステムを連携させることにより、最適化した線形を可視化する、すなわち、道路線形最適化・景観シミュレーションシステムを構築するものである。

2. ASTERGDEMの概要

(1) ASTERGDEMデータ利用の有効性

ASTER 全球3次元地形データ (ASTERGDEM) は、世界中の何所でも、どのような範囲でも、誰でも簡単に利用できる、高精度のDEMです。全球3次元地形データ (ASTERGDEM) を使うことにより、誰でも鳥瞰図やフライトムービーを簡単に作成することが可能となり、視覚的に優れた地図表現が実現する。その一方で、災害・水・エネルギー・環境分野などの専門機関においては、ASTERGDEMをプラットフォームとして活用することにより、より高度な解析をすることが可能となる。

(2) ASTERGDEMデータの仕様

ASTER 全球3次元地形データ (ASTERGDEM) は2009年から配布された。ASTERがカバーしている地球の全陸域のDEMデータである。同一地域に重なる多数のASTERデータを利用するので、精度が向上しており、1ピクセルは30mである。

データの仕様を表-1に示す。

2. 3次元CADとASTERGDEMとVR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-1に示す。

本システムは、土木設計専用CADであるAutoCAD Civil

3D（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。

(2) 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、平面図および縦断面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。

(3) 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や路面の質感、法面の植生等をテクスチャで表現した。

そして、3次元モデルVRシステムの一つであるUC-Win/Road（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。

4. 実証実験1（ASTERGDEMの利用）

(1) 実験の目的と手順

ASTERGDEMを利用する利点は、世界中の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

表-1 ASTERGDEMの仕様

	ASTERGDEM	SRIM3*	GTOPO30
データソース	ASTER	スペースシャトルレーダ	世界中のDEMデータ所有機関から入手
作成・配布機関	METI/NASA	NASA/USGS	USGS（米国地質調査所）
ピクセル間隔	30m	90m	1000m
DEMカバー域	北緯83度～南緯83度	北緯60度～南緯56度	グローバル（全球）

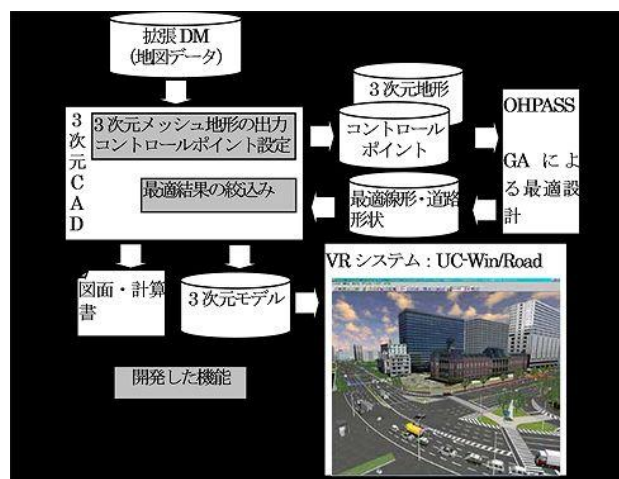


図-1 システム構成

の手間が省ける。等高線以外の高さ情報が必要な場合は、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 ASTERGDEM では、1ピクセルが30mメッシュであり、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、ASTERGDEM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-2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-2における2.の(a)では、過去の設計物件ではASTERGDEM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ASTERGDEM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、ASTERGDEM読み込み機能をシミュレートするために、ASTERGDEM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=100km/h |
| (d) 設計延長 | L=21.8km |
| (e) 幅員構成 | W=20.5m, 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=21.8km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

(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) ASTERGDEM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、ASTERGDEMを読み込んだ場合と同様となるように編集した。Civil 3DのASTERGDEM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ASTERGDEM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。出力されるASTERGDEM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次元CAD・ASTERGDEMおよびVRシステムとの連携

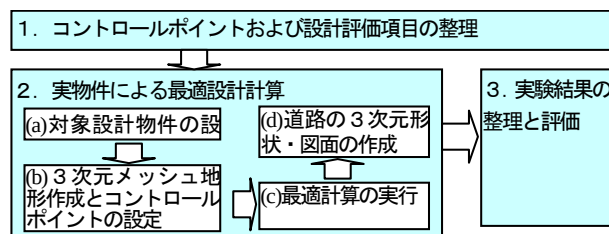


図-2 ASTERGDEMを用いた道路最適設計の手順

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-3に示す。図-3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-2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い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) ASTERGDEM利用の結果と問題点

ASTERGDEMは世界中のあらゆる地域を範囲とする高精度なDEMデータであり、今後の多様な利用が期待されている。本研究では30mメッシュの地形データが道路設計にどの程度利用できるか検討した。

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。時間計測等を行っていないが、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。

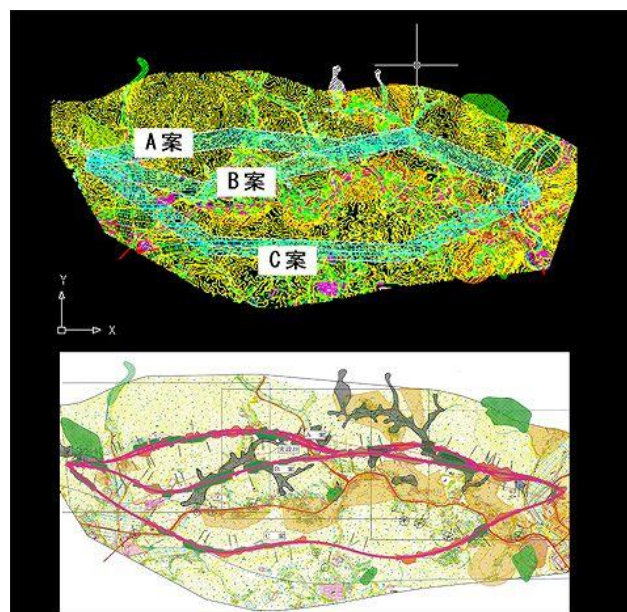


図-3 各ルートの探索範囲

表-2 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	3,500
	橋梁	230+260+240+300	560+400	400+460	640+380
	トンネル	0	0	0	900
	計	5,180	5,150	5,130	5,420
事業費 (百万円)	道路(土工)	24,954	20,529	23,277	16,219
	橋梁	53,923	49,224	51,970	46,343
	トンネル	0	0	0	39,396
	その他	17,263	17,144	17,632	14,274
	計	96,140	86,897	92,879	116,232
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

5. 実証実験2 (VRとの連動による景観評価)

(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や路面の質感、法面の植生等をテクスチャで表現した。

6. 結論

本研究では、道路最適線形探索プログラムOHPASSに世界中のあらゆる地域を範囲とする高精度なDEMデータであるASTERGDEMを利用できる機能を開発した。具体的には、ASTERGDEM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、ASTERGDEM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、ASTERGDEMを用いた擬似的実証実験を行った。ASTERGDEM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。ASTERGDEMを入力データとして利用し、道路線形最適設計システム・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対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。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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