

# 拡張DMデータとそれを利活用した、道路の最適線形検索システムの構築

株式会社横河技術情報ソリューションサービス  
部長 小林 明

平成19年9月

# 目次

1 はじめに .....	1
1-1 研究の背景・目的.....	1
1-2 研究概要.....	2
1-2-1 研究項目 .....	2
1-2-2 主な研究成果.....	2
1-2-3 研究工程 .....	2
1-3 最適設計研究会の概要.....	3
1-3-1 道路最適設計研究会の開催日時と主要議題 .....	3
1-3-2 メンバー .....	3
2 拡張 DM の概要 .....	5
2-1 デジタルマッピングと DM データファイル.....	5
2-1-1 デジタルマッピング (DM)とは .....	5
2-1-2 DM データファイル .....	5
2-2 拡張 DM の概要 .....	6
2-2-1 拡張 DM とは .....	6
2-2-2 “拡張 DM”と“現行 DM”の違い .....	8
2-2-3 拡張 DM における 3 次元表現.....	9
2-3 道路分野における利用状況.....	10
2-3-1 対象となる測量成果 .....	10
2-3-2 “3 次元”で作成されているか .....	10
2-3-3 DM データ利用の課題.....	11
3 遺伝的アルゴリズムによる道路線形最適設計システム OHPASS の概要 .....	12
3-1 遺伝的アルゴリズムの概要.....	12
3-2 工費算出手法.....	14
3-2-1 土工量コスト .....	14
3-2-2 附帯工事 .....	15
3-2-3 構造物コスト .....	16

3-3 幾何条件.....	18
3-3-1 線形制約条件.....	18
3-3-2 線形希望条件.....	18
3-4 コントロールポイントの取り扱い.....	19
3-5 最適化に用いる目的関数.....	20
4 3次元 CAD・VR システムとの連動機能の開発.....	21
4-1 システム構成.....	21
4-2 AutoCAD Civil 3D 2007 の概要.....	22
4-3 地形およびコントロールポイントの設定機能(OHPASS 入力インターフェース).....	28
4-4 最適結果の読み込み機能(OHPASS 出力インターフェース).....	29
5 実証実験その1 ～拡張 DM を利用した道路最適設計～.....	30
5-1 実験の目的.....	30
5-2 実験の手順.....	30
5-3 コントロールポイントおよび設計評価項目の整理.....	32
5-4 実験の対象物件.....	35
5-5 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.....	36
5-6 最適計算の実行.....	40
5-7 道路の3次元形状・図面の作成と最適設計計算結果のまとめ.....	41
5-8 DM 利用の利点と問題点の整理.....	46
6 実証実験その2 ～VR システムとの連動による景観評価～.....	48
6-1 実験の目的.....	48
6-2 連動実験に使用する VR ソフトウェア.....	48
6-3 実験の手順.....	49

6-4 VR 空間の作成 .....	50
6-5 実験の評価と考察.....	52
7 研究の成果と今後の課題.....	54
7-1 研究成果の概要 .....	54
7-2 理想とする道路最適設計システムの構築に向けて .....	56

# 参考資料一覽

【参考資料-1】第一回道路最適設計研究会資料

【参考資料-2】第二回道路最適設計研究会資料

【参考資料-3】第三回道路最適設計研究会資料

# 1 はじめに

## 1-1 研究の背景・目的

国土交通省は「国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2005」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・施工の高度化」を目標として掲げている。3次元情報を活用したシステムとして、旧日本道路公団試験研究所(現株式会社 高速道路総合技術研究所)と株式会社三菱総合研究所は、道路の計画・設計で3次元情報を活用できる、遺伝的アルゴリズムによる高速道路の最適線形探索システム「OHPASS」を開発した。

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、PI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(デジタルマッピング)形式は、現状ではDMデータそのものが不足していること、またDMデータに付加された情報にも不足があることから、OHPASSが適用可能な道路設計はごく限られている。

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と連動させることにより以下の効果を確認する。

国、地方自治体の施策としての目標である環境アセスに優れたPI手法での活用  
道路設計の効率化・高度化、経済性・施工性・維持管理のしやすさ

GIS, CALS活用の高度化・研究

実際のDMデータを利用したシステムの適用事例の追加

なお、本研究を実施するにあたり、学識経験者、受発注者、実務者、各種団体等で構成される「道路最適設計研究会」(以下、研究会)を開催し、各方面の様々な意見を参考にしながら研究を進めて行った。研究会の概要は1-3に記した。

## 1-2 研究概要

### 1-2-1 研究項目

本研究における研究項目は以下のとおりである。

- 1) 道路線形のコントロールポイントについて、地形・地質・環境等の条件を整理する。
- 2) 拡張 DM の仕様を分析し、1)のコントロールポイントの情報との対比を行う。
- 3) 現状の設計法を参考に、道路線形の新たな評価方法について検討する。
- 4) 道路線形最適化システムに求められる要件を検討する。
- 5) 過去に行われた実設計のデータを用いて、OHPASS を適用して問題点を検討する。

### 1-2-2 主な研究成果

- 1) DM データのある新たな地域を対象に拡張 DM を活用した事例  
その中では、コントロールポイントとして、用意すべきデータおよび種類を整理すること、線形の最適化を考えるためにコントロールポイントの観点から拡張 DM において用意すべき内容を検討する。
- 2) 線形の評価モデル、および、拡張 DM に関する提言  
既に様々な評価方法があるが、できるだけ定量的に測定可能指標、および、その組合せ方法による評価法を提言する。
- 3) 新しいデータを用いた最適化実行結果例  
研究会で議論した内容に基づき、最適化を実施した結果を成果物とする。

### 1-2-3 研究工程

研究の工程を表 1-1に記す。

表 1-1研究工程

	H18 9月	H18 10月	H18 11月	H18 12月	H19 1月	H19 2月	H19 3月	H19 4月	H19 5月	H19 6月	H19 7月	H19 8月
各種検討		—————										
研究会の 実施												
報告書作 成												—————

## 1-3 道路最適設計研究会の概要

以下に研究会の概要を記す。なお研究会の資料は参考資料として巻末にとりまとめた。

### 1-3-1 道路最適設計研究会の開催日時と主要議題

#### (1) 第一回

- 日時: 平成 18 年 12 月 4 日 (月) 18:30 ~ 20:00
- 場所: 三菱総合研究所 会議室
- 主要議題:  
道路最適設計研究会について  
OHPASS の説明およびデモ  
拡張 DM の現状  
道路設計におけるルート選定の評価方法について

#### (2) 第二回

- 日時: 平成 19 年 5 月 17 日 (木) 14:00 ~ 16:00
- 場所: 三菱総合研究所 会議室
- 主要議題:  
実証実験(その 1)  
設計側から求める拡張 DM に付加する属性について  
OHPASS を実利用する上での課題と対応について

#### (3) 第三回

- 日時: 平成 19 年 7 月 12 日 (木) 15:00 ~ 17:00
- 場所: 三菱総合研究所 会議室
- 主要議題:  
実証実験(その 2)  
用地補償費の考え方について  
まとめ

### 1-3-2 メンバー

以下に研究会メンバーを示す。敬称略

アドバイザー	清水 英範	東京大学大学院工学系研究科
委員	山崎 元也	中日本高速道路株式会社
		第二回より東京農業大学
委員	寺尾 敏男	株式会社ニュージェック
委員	福山 俊弘	株式会社福山コンサルタント



委員	刈谷 達之	株式会社環境・グリーンエンジニア
委員	小林 明	株式会社横河技術情報
委員	松林 豊	国際航業株式会社
	第二回研究会より森 貴之(国際航業株式会社)に交代	
委員	谷田部 智之	株式会社三菱総合研究所
委員	高尾 稔	財団法人日本建設情報総合センター
	第三回研究会より勝部 義生(財団法人日本建設情報総合センター)に交代	
オブザーバー	青山 憲明	国土交通省国土政策技術総合研究所
オブザーバー	草野 成一	中日本高速道路株式会社
オブザーバー	高田 友典	株式会社国土情報技術研究所(土木学会情報利用技術委員会)
オブザーバー	磯部 猛也	株式会社建設技術研究所(土木学会情報利用技術委員会)
オブザーバー	高島 一彦	財団法人日本建設情報総合センター
オブザーバー	関口 貴志	財団法人日本建設情報総合センター
	第二回研究会より委員へ変更	
オブザーバー	石崎 昌宏	財団法人日本建設情報総合センター
	第二回以降退任	
事務局	宮永 克弘	株式会社横河技術情報

## 2 拡張 DM の概要

### 2-1 デジタルマッピングと DM データファイル

#### 2-1-1 デジタルマッピング (DM)とは

デジタルマッピング(DM:Digital Mapping)は、公共測量作業規程に定められる数値地形測量 の手法のひとつであり、国土交通省公共測量作業規程では、以下のように定義されている。

デジタルマッピングとは、空中写真測量等により、地形、地物等にかか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をいい、地形図等の原図の作成を含むものとする。

(国土交通省公共測量作業規程 第 283 条)

数値地形測量：公共測量作業規程では、「TS 地形測量」，「デジタルマッピング」，「既成図数値化」，「数値地形図修正」に区分され、数値地形図を作成する作業をいう。

#### 2-1-2 DM データファイル

先に述べた数値地形測量では、成果として数値地形図を作成するが、その数値地形図のデータファイルを「DM データファイル」と呼ぶ。

したがって、デジタルマッピング以外の手法を含むすべての数値地形測量において、DM データファイルの作成が行われる。

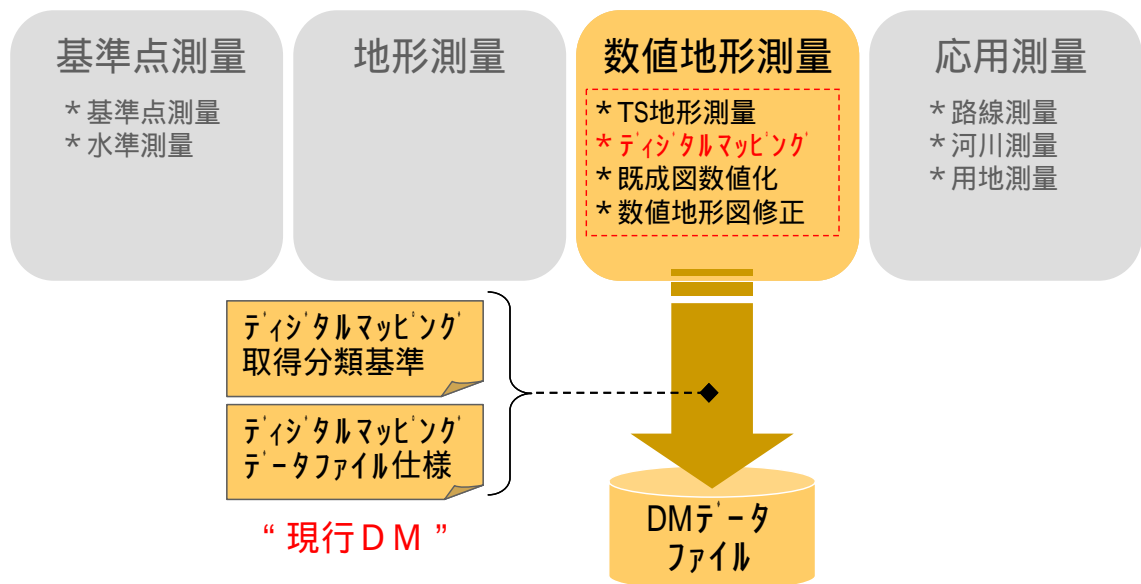


図 2-1 公共測量作業規程において規定される DM データファイル

## 2-2 拡張 DM の概要

### 2-2-1 拡張 DM とは

「国土交通省公共測量作業規程」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、数値地形測量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。

測量成果電子納品要領(案)では、DM データファイルをこの仕様(拡張 DM)にて作成することを規定しており、数値地形測量の成果のほか、基準点測量および応用測量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。

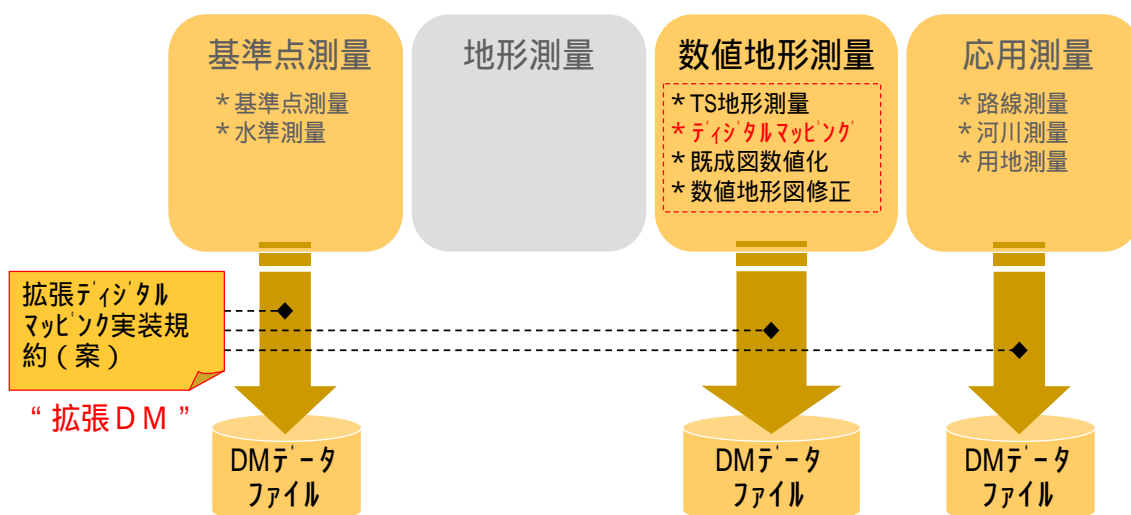


図 2-2 DM データファイルの適用の拡大(拡張 DM)

“ 拡張 DM ” で作成可能な主な測量成果を表 2-1に示す。

表 2-1 拡張 DM で作成可能な主な測量成果

	測量区分	成果等	備考			
基準点測量	基準点測量	基準点網図				
		平均図				
		観測図				
	水準測量	水準路線図				
		平均図				
数値地形測量	TS 地形測量	DM データファイル				
		DM データインデックスファイル				
	デジタルマッピング	標定点配置図・水準路線図	対空標識点一覧図			
			標定図			
			刺針点一覧図			
			空中三角測量実施一覧図			
			DM データファイル			
			DM データインデックスファイル			
			数値地形モデル			
			デジタルオルソデータファイル	TIF		
			位置情報ファイル	ワールドファイル仕様		
			応用測量	路線測量	線形図	線形決定
					線形地形図	中心線測量
詳細平面図	詳細測量					
杭打図	用地幅杭設置測量					
河川測量	等高・等深線図	深浅測量				
	線形図	法線測量				
	等高・等深線図	海浜測量				
用地測量	公図等転写連続図	資料調査				
	復元箇所位置図	復元測量				
	基準点網図	補助基準点の設置				
	設置箇所位置図	用地境界仮杭設置				
	設置箇所位置図	用地境界杭設置				
	用地実測データ	用地実測図等の作成				
	用地平面データ	用地実測図等の作成				

## 2-2-2 “拡張 DM” と “現行 DM” の違い

“拡張 DM” について，“現行 DM” からの主な変更は，以下のとおりである．

- 仕様の解釈の統一（明確化）と軽微な修正
- 応用測量，その他作業規程内の平面図のファイル仕様への適用

仕様の明確化という面では，データの取得方法などが明確に定義されたほか，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．

また，個々の地形・地物の精度情報や更新取得年月，消去年月などが追加されたが，追加項目はファイルフォーマットの中で“現行 DM” で未使用の空き領域を使用しており，ファイルフォーマットの基本構造は変更されていない．

応用測量等への適用という面では，応用測量成果，測量記録のための取得分類コードが追加された．

その他，データタイプとして点，線，面などに加え不整三角網(TIN)が追加されたほか，文字コードが JIS コードから Shift-JIS コードに変更されたことなどの違いがある．

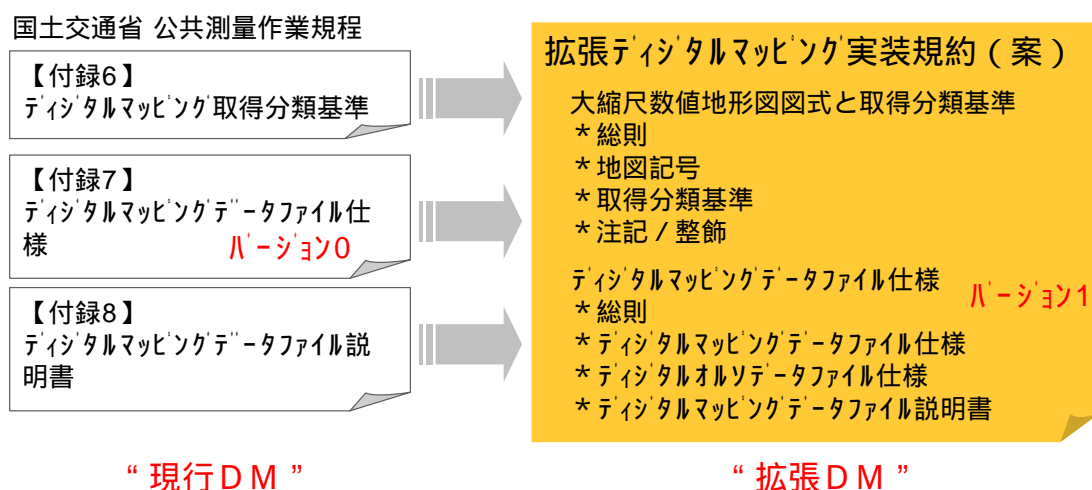


図 2-3 “現行 DM” と “拡張 DM”

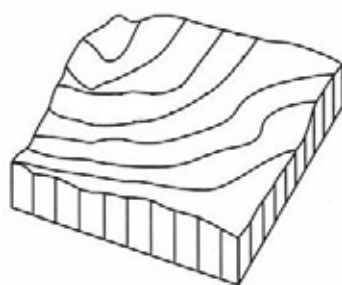
### 2-2-3 拡張 DM における 3 次元表現

拡張 DM において、地形・地物の位置・形状を表すための座標値の記述には、2 次元座標レコードと 3 次元座標レコードが用意されており、個別に選択して使用することができる。

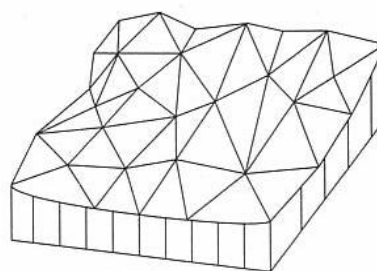
すなわち、すべての地形・地物について 2 次元でも 3 次元でも表現することが可能であるが、拡張デジタルマッピング実装規約(案)にて必ず 3 次元とすることが定められているのは、等高線、基準点(標高点等)、数値地形モデルだけである。

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。

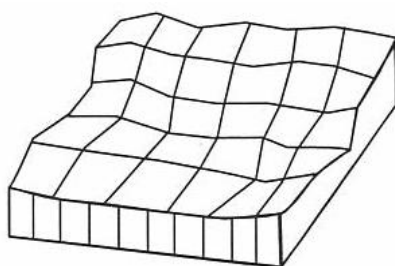
数値地形モデルとして、DM データファイルのデータ項目として用意されているものには、グリッドデータとそれを補足するランダムポイント、ブレイクラインがあり、さらに拡張 DM では不整三角網(TIN)も追加された。



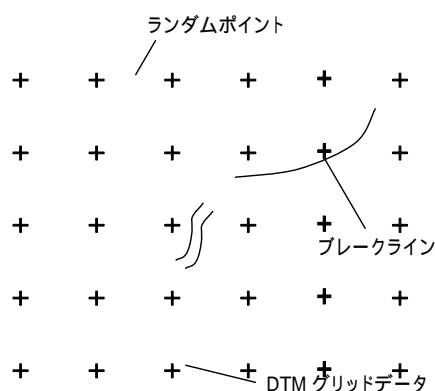
等高線による地形表現



不整三角網(TIN)による地形表現



グリッドデータによる地形表現



ランダムポイントおよびブレイクライン

図 2-4 地形の表現方法

## 2-3 道路分野における利用状況

### 2-3-1 対象となる測量成果

道路設計分野において対象となる測量成果は以下のもので、数値情報レベル 5,000 以上の地形図成果である。

- 道路概略設計のための 1/5,000 ~ 1/2,500 地形図
- 道路予備設計のための 1/1,000 地形図
- 詳細設計のための 1/1,000 ~ 1/500 地形図
- 構造物設計のための詳細平面図

これらの成果についてのファイル形式は、測量成果電子納品要領(案)では、いずれも拡張 DM とされているが、「CAD データでも納品することができる」とされている。

### 2-3-2 “3 次元”で作成されているか

デジタルマッピングにおいては、すべてのデータを 3 次元データとして取得することが可能である。しかし、数値編集に時間を要するため、DM データとしては通常、等高線および標高点以外は 2 次元データとして納品される。

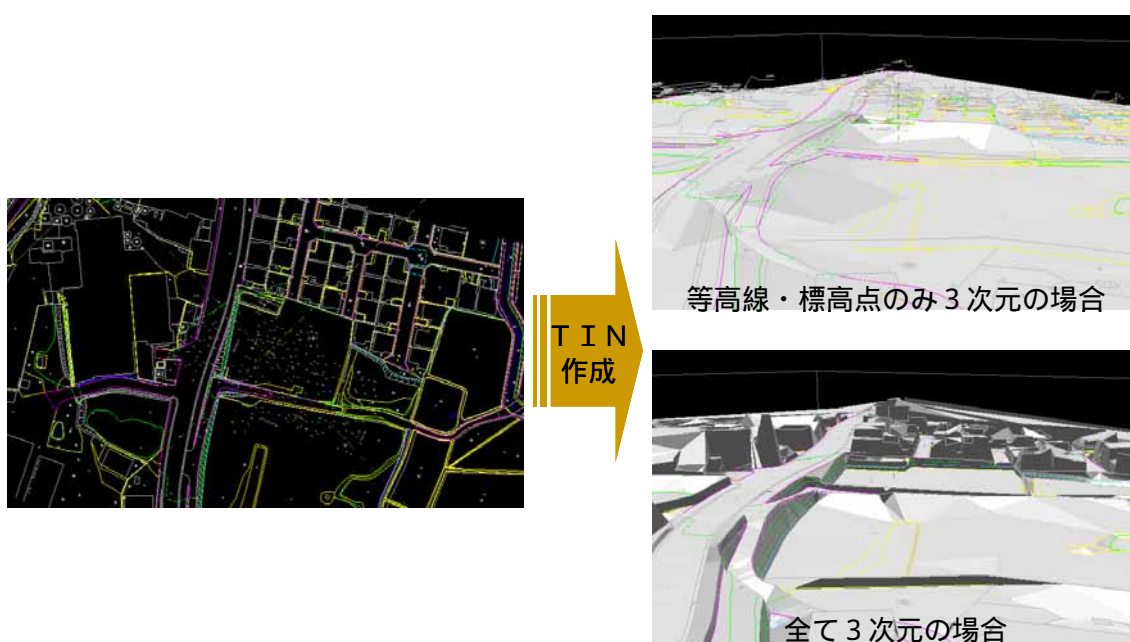


図 2-5 3 次元化の度合

### 2-3-3 DM データ利用の課題

DM データを道路設計において利用する上で、これまでは以下のような課題があった。

- CAD ソフトで直接読み込むことができない
- DM データファイルを CAD データに変換する際、データの欠落・破損等が生じる
- ペーロケを行うにあたり必要となる“地表面の高さ”情報が入っていない(等高線、標高単点、ブレークラインなど)
- 山林と荒地との境など、明確に判断できない境界は記号表示によりあいまいなまま表現される(閉じた領域となっていない)

また、従来は地形図データについて、多くが CAD データとして流通しており、設計における DM データの利用はあまり進んでいないのが現状である。

したがって、拡張 DM の設計における利用について、これまでの課題解決や、効率化・高度化など、利用検証はこれからであるといえる。



### 3 遺伝的アルゴリズムによる道路線形最適設計システム OHPASS の概要

#### 3-1 遺伝的アルゴリズムの概要

遺伝的アルゴリズムを適用するために「通過点線形モデル」と呼ばれる新しい道路線形モデルを用いている。高速道路の設計では、通常インターチェンジまたは他の道路との接続する場所と接線方向角があらかじめ決まっているため、通過点線形モデルでも平面線形の始点と終点の位置と接線方向角を既知の条件として与えられたときに、線形中に「通過点」とよぶ点を数点設定し、それらを通る道路線形を発生させる道路線形モデルである。例えば、図 3-1のように、始点および終点位置と接線方向角が与えられた 2 地点を結ぶ平面線形は、直線+曲線、曲線+直線、曲線+曲線のいずれかで生成することができる。ここで曲線区間とはクロソイド+円弧+クロソイドで構成される。同様に、標高と勾配が与えられた 2 地点を結ぶ、任意の区間長の縦断線形は、直線+放物線、直線+放物線、放物線+放物線のいずれかで生成することができる。

道路線形を部分的に変更したり、前半のみ良い線形と後半のみ良い線形があった場合に組み合わせることによりよい線形を得るという最適化プロセスが有効である。そうしたプロセスに適した手法として遺伝的アルゴリズム(GA)が考えられる。この場合、前半部と後半部を組み合わせる操作は「交叉」に相当し(図 3-2)、部分的に変更するということは「突然変異」に相当する(図 3-3)。

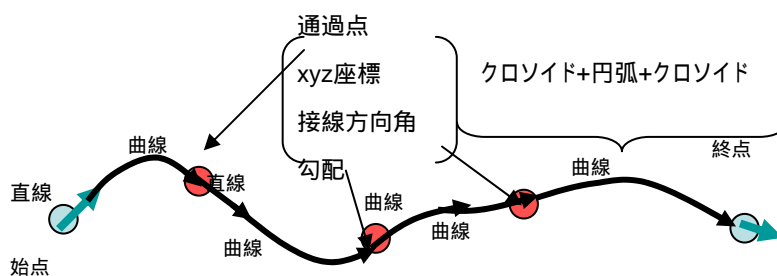


図 3-1 道路線形の通過点モデル

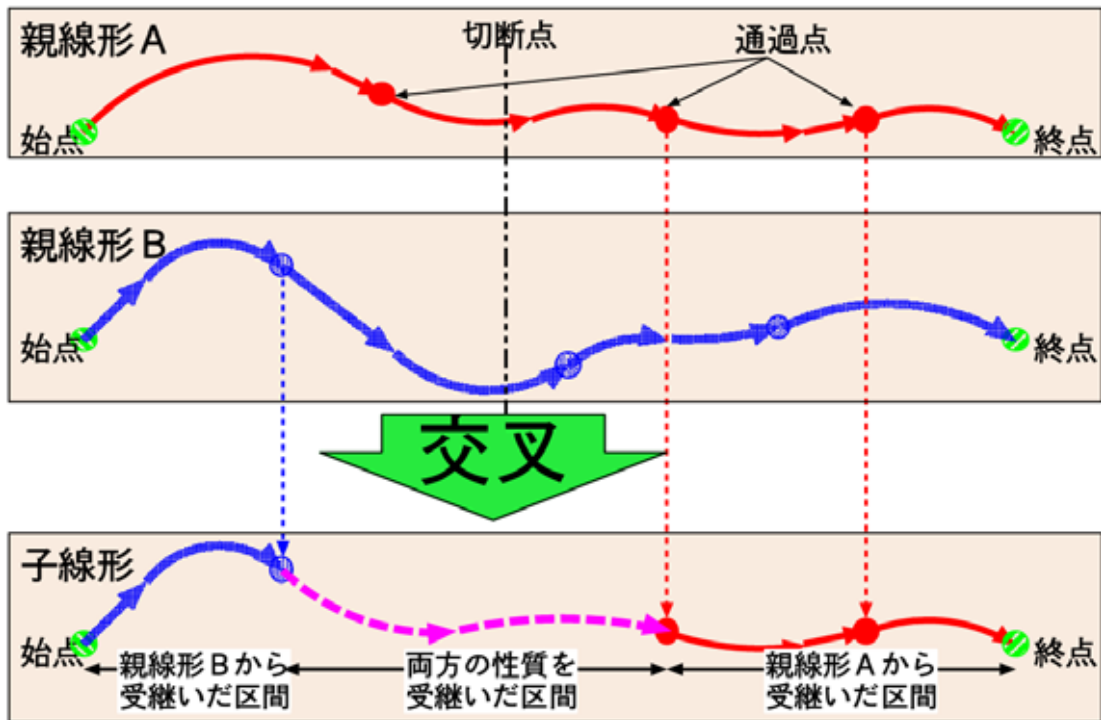


図 3-2 通過点モデルにおける交叉プロセス

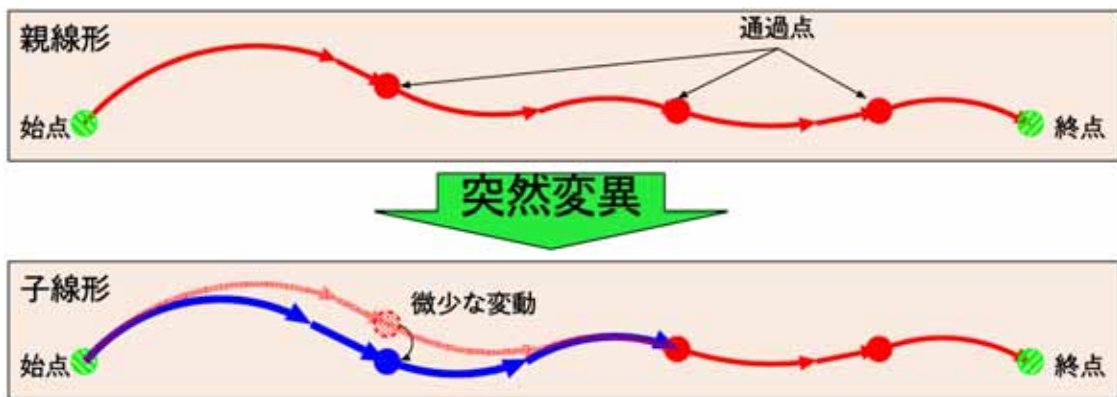


図 3-3 通過点モデルにおける突然変異プロセス

通過点モデルは、複数の線形から優れた部分を活用することにより全体の最適化を図るという GA の特性に合ったモデルである。GA による最適化プロセスの中では、交叉による組合せ操作が中心になるため、初期状態から大きく異なる状態にはなりにくい。そのため、初期状態では探索範囲を広く取ることが局所解を避けることにつながる。そこで実際の最適化プロセスでは、計画線形を中心に、位置および勾配、接線方向角のずれをパラメータとして通過点を表し、初期状態ではそれらのパラメータをランダムに決定している。

## 3-2 工費算出手法

道路線形モデルに基づいて算出した道路線形を土工量コスト、構造物コスト、幾何条件、コントロールポイントの点から評価、検討を行う。

### 3-2-1 土工量コスト

最も重要な経済性の指標は土工量コストである。土工量全体を縮小することと同時に、捨土・客土を削減し土工量バランスを考慮することが近年益々重要になってきている。それぞれの単価は実際の設計業務で使われている既往設計結果や積算単価表から平均的な値を採用した。

- 土工コスト[円] = 掘削土量[m<sup>3</sup>] × 土工費単価
- 捨土コスト[円] = 捨土量[m<sup>3</sup>] × 捨土単価
- 客土コスト[円] = 客土量[m<sup>3</sup>] × 客土単価

実際のデジタル地形データを基に横断面を測点毎に生成して掘削・捨土・客土量を積み上げる作業を行う。本稿では、旧日本道路公団の基本仕様に従い上下2車線を持ち、分離がないものとして横断面を設計している。分離によるコストへの影響は無視している。ただし、トンネルおよび橋梁に関しては上下分離しているものとした。

通常、道路掘削のコストは土質の調査に基づいて算出されており、地表からの深さによって地質が変化するモデルを用いて、切土の工費を算出する。具体的には、図 3-4 に示すように、地表からの深度に応じて、表層(土砂)、中層(軟岩)、深層(硬岩)の3層構造を持つものとする。この地層モデルを用いて、切土断面を生成し、地層毎の切土量を求めるようにしている。

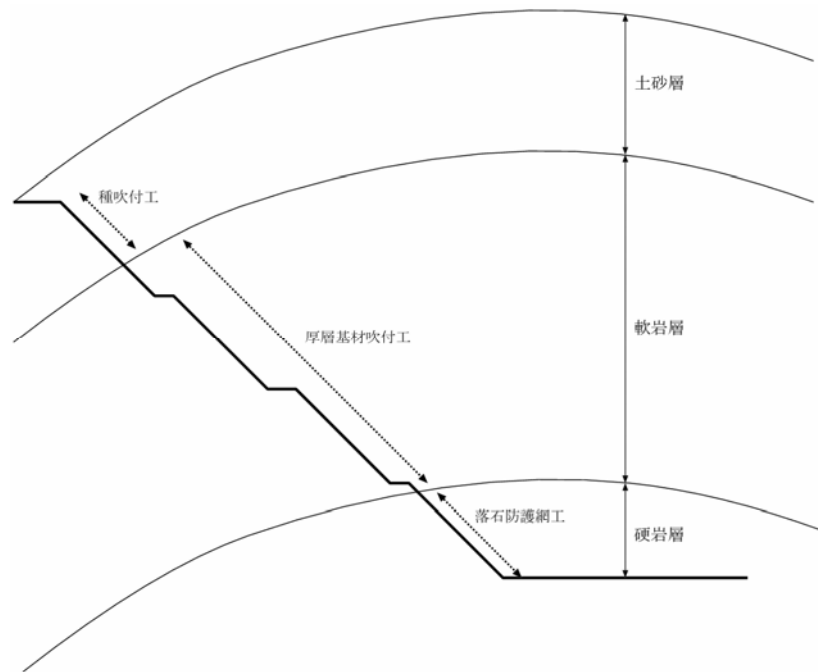


図 3-4 地層構造の扱い

### 3-2-2 附帯工事

路線を作る際には、盛土切土といった構造以外に様々な附帯設備が必要である。コストとして主なものを以下に表にまとめる。橋梁、トンネルなどの構造物に関する建設コストのみを詳細に積み上げた場合、もともと構造物よりも安価である土工にかかる費用が相対的に安価であると評価されてしまうことになり、そのまま最適化を行うと構造物のみを削減することが全体を最適化することになってしまう。そこで、絶対的なコストの算出も考えて、できるだけ概略設計に基づいた費用を積み上げるようにした。

表 3-1 附帯工事工費一覧

項目	工費単価算出方法
上部路床費(0.3m 厚)	単価[円/立方 m] × 土工延長[m] × 幅 × 厚み × 2(上下線)
のり面工費	単価[円/平方 m] × のり面の地表からの深度別面積[平方 m] × 測点間隔([m])
排水工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)
舗装費	舗装単価[円/m <sup>2</sup> ] × 土工延長[m] × 道路幅[m] × 2(上下線)
縁石工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)
中央分離帯	単価[円/m] × 土工延長[m]
交通管理施設	
標識工	単価[円/m] × (土工延長+ 橋梁延長)[m]
防護柵工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)
立ち入り柵工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)
通信管路	単価 [円/m] × (土工延長+ 橋梁延長)[m]
可変式速度規制標識	単価[円/m] × 土工延長[m]
交通管理施設	
路傍植栽	単価[円/m] × 土工延長[m]

### 3-2-3 構造物コスト

構造物コストとは橋梁およびトンネルの建設コストである。橋梁コストは、橋梁の構造によって決まるので、まず橋梁長および地盤高と計画高の差から、支間長や橋脚の本数・高さを算出する。そして、橋台、橋脚、上部構造物それぞれの単価を概算し、長さや面積を乗じて積算する。トンネルコストは、トンネル長から本体工単価を概算し、長さを乗じて積算する。

橋梁は上部構造、橋台、橋脚で構成されているものとしている。路面のある橋梁上部の支えるために、両端に橋台が必要である。橋脚の支間長を 20～120m にするという全体に対する制限があるが、構造によっても制限が異なるため、総コストからコストが最小となるような構造および支間長を選択する必要がある。また、片側 2 車線の上下線を別々に造るセパレート構造の完成路線を想定し、片側のみを対象にコストの算出を行い、2 倍を路線全体の建設コストとしている。橋梁の建設コストは橋台、橋脚、橋梁上部の各コストを積算して計算する。

- 橋梁コスト = 橋台コスト+ 橋脚コスト+ 橋梁上部コスト

なお、橋梁の構造については、RC/鋼製鈹桁/鋼製箱桁/PC 箱桁などがあり、橋脚高や支間長、土地の利用に応じて最小のコストとなるように選択する必要がある。

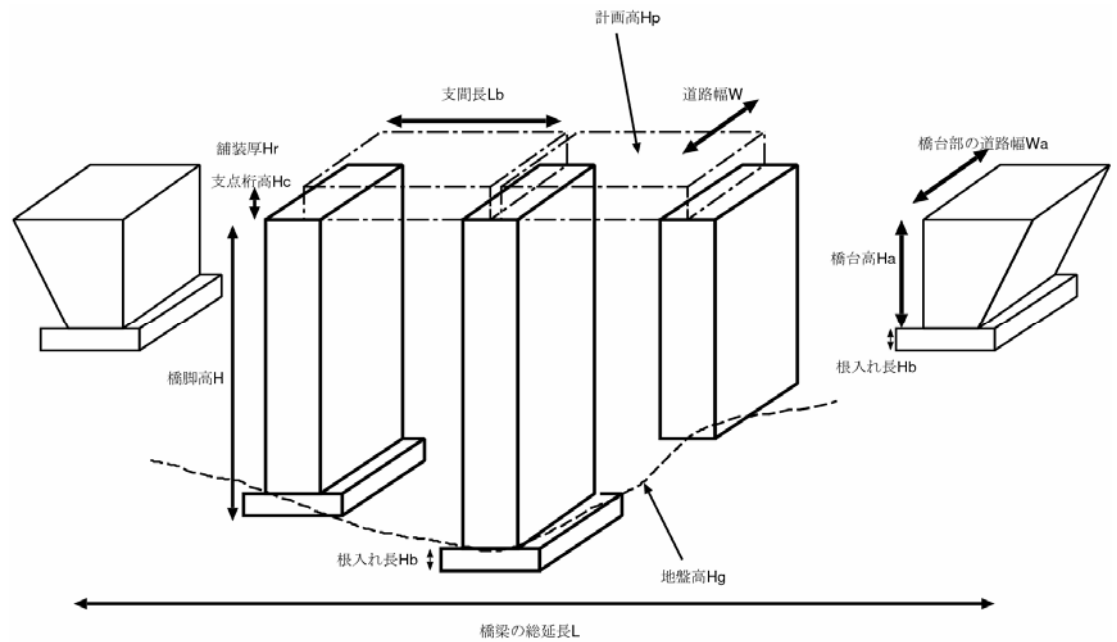


図 3-5 橋梁の構造モデル

トンネル建設にかかる費用の大部分は、トンネルの距離に比例しており、トンネルの出入口などの特別な工事、および設備分が追加される。また、トンネルには交通量とトンネルの長さで決まる防災等級が定められている。AA、A~D までの 5 段階に分類されて、等級によって付帯する設備が異なる。表 3-2 のような関連するコストが挙げられる。

橋梁と同様に完成 2 車線の上下セパレート構造を考えるため、それぞれのコストは 2 倍になる。ただし、地山評価点は、土質の割合に応じて算出される。

表 3-2 トンネル関連工費一覧

項目	トンネル関連工費
本体工	地山評価点の 2 次関数で表される単価 × トンネル延長
坑門工	1 箇所当りの単価 × 2 (出入口で 2 箇所)
照明トンネル	延長の 1 次関数
内装	トンネル延長に比例 (トンネル等級ごとに係数が異なる)
非常駐車帯	トンネル延長の 1 次関数 (750m 毎に 1 箇所)
換気塔	トンネル延長の 1 次関数
電機室建物	トンネル延長の 1 次関数
受配電設備	トンネル延長の 1 次関数 (機械換気の有無で係数が異なる)
自家発電	トンネル延長の 1 次関数 (機械換気の有無で係数が異なる)
遠方監視	トンネル延長の 1 次関数 (機械換気の有無で係数が異なる)
非常用設備	トンネル延長の 1 次関数 (トンネル等級で係数が異なる)

### 3-3 幾何条件

土工量コストと構造物コストを最小にするには、地形に沿った線形を設計すればよいことになる。しかしながら、車両が高速に走行する高速道路であるからには、曲線半径が一定以上であることなど、各種の制約条件を満たさなければならない。

#### 3-3-1 線形制約条件

法令や設計基準により必ず満たさなければならない条件である。例えば、「最小曲線半径の順守」や「直線区間におけるサグの禁止」等がこれに含まれる。

#### 3-3-2 線形希望条件

安全性・走行性の観点から、できれば満たすべき条件である。「曲線半径は大きい方がよい」等がこれに含まれる。経験上望ましいとされている値以上であれば線形としての評価には影響しないものとする。

表 3-3制約条件と希望条件

《制約条件》			1種3級			備考
区分			80			
設計速度 (km/h)			単位	標準値	特例値	
平面曲線	最小半径		m	400	250(280)	( )内は積雪寒冷地
	緩和曲線省略可能半径		m	2000		
	最小曲線長	$\theta < 7^\circ$	m	$1000/\theta$		$2^\circ$ 未满是 $2^\circ$ とする
		$\theta \geq 7^\circ$	m	140		
緩和曲線長		m	70			
縦断勾配	最大値	標準	%	4	7(6)	( )内は積雪寒冷地
		トンネル内	%	3		
	特例値 に対する 制限長	最大値+1 (5%)	m	1500		
		最大値+2 (6%)	m	700		
		最大値+3 (7%)	m	500		
最小値		%	0.3			
縦断曲線	最小半径	凸型	m	4500	3000	
	最小半径	凹型	m	3000	2000	
《希望条件》						
平面曲線	最大半径		m	10000		
	隣接半径最大比	S型曲線		3.0		
		卵型曲線		1.5		
	隣接クロソイド最大比			2.0		
卵形曲線			使わない			
平面直線	最大値		m	1600		
	最小値	背向曲線間	m	160		
		同方向曲線間	m	500		

### 3-4 コントロールポイントの取り扱い

教育・宗教・産業施設等が存在するため、平面線形そのものが通過できない禁止区域と、道路や河川等の縦断線形で回避すべき条件がある。移転費用などの高いコストを負担すれば、許されるものもあるので、条件に合わないものを便宜上金額に換算する。

表 3-4コントロールポイント一覧

タイプ	種別	制約条件
C.P. <sub>1</sub>	教育施設（学校、幼稚園）	周囲 100m 通過禁止
	医療施設（病院）	
	福祉施設（老人ホーム）	
	宗教施設（神社、仏閣、墓地）	通過禁止
	文化区域（重要文化財、特別名勝）	
	住宅区域（住宅密集地、住宅団地）	
	工業区域（工業団地）	
	主要河川の架橋地点	
	主要道路・鉄道の交差点	
	法規制地域	
	鉄塔	
C.P. <sub>2</sub>	道路	道路面よりも 4.7m 以上
	鉄道	線路より 6.0m 以上
	河川	水面よりも 2.0m 以上 河川と道路の交角が 60 度以上
	湖沼	水面よりも 2.0m 以上
	送電線	電線よりも〇〇 m 以下
C.P. <sub>3</sub>	住宅、工場、農地等	評価関数で若干のペナルティ



### 3-5 最適化に用いる目的関数

建設コストである土工量コストと構造物コストはそれぞれの金額を数値として表現することが可能であり、線形最適化はこのコストを最小化することが主要な目的である。しかしながら、上記のような幾何条件やコントロールポイント等単純に数値で測れない指標も合わせて評価する必要がある。そのため、多目的最適化問題になる。そこで、すべてを評価したものを金額として換算した式の値を最小にする線形を求めることが最適化とする。

線形1つに対して何らかの評価値が与えられるため、GAの交叉および突然変異を用いて、探索範囲を限定することで高速に最適化を行うことが可能である。

ここで算出された最適な線形とは、以下の条件を持つものであるが、すべてを完全に満たすものはないため、それぞれの項目評価した結果を数値に換算した上で、最小になったものである。

- 土工コストおよび構造物の建設コストを合計した値が小さくなること
- 幾何条件に違反しないこと
- コントロールポイントによる制限に引っかからないこと

## 4 3次元 CAD・VR システムとの連動機能の開発

### 4-1 システム構成

前章で述べた 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 4-1に示す。

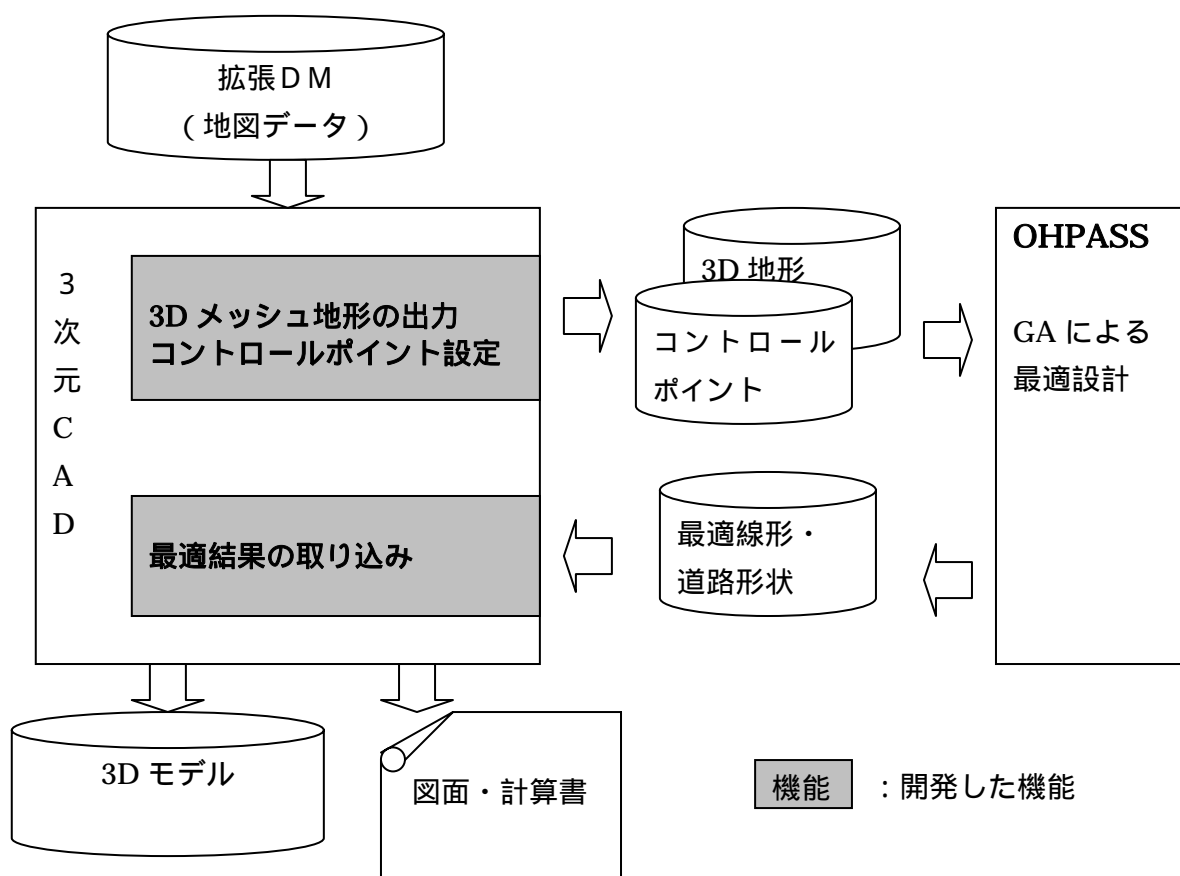


図 4-1 システム構成図

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。

## 4-2 AutoCAD Civil 3D 2007 の概要

Civil3D は、土木設計において多数利用されている CAD ソフトウェア AutoCAD をベースに、3次元土木設計専用機能を搭載したものである。Civil 3D が有する 3次元土木設計機能のうち、本研究に関連する主要な機能について以下に概略を記述する。

### 1) DM 読み込み

- 読み込む DM ファイル中に含まれる分類コードを選択して、必要な分類コードのみ読み込むことができる。

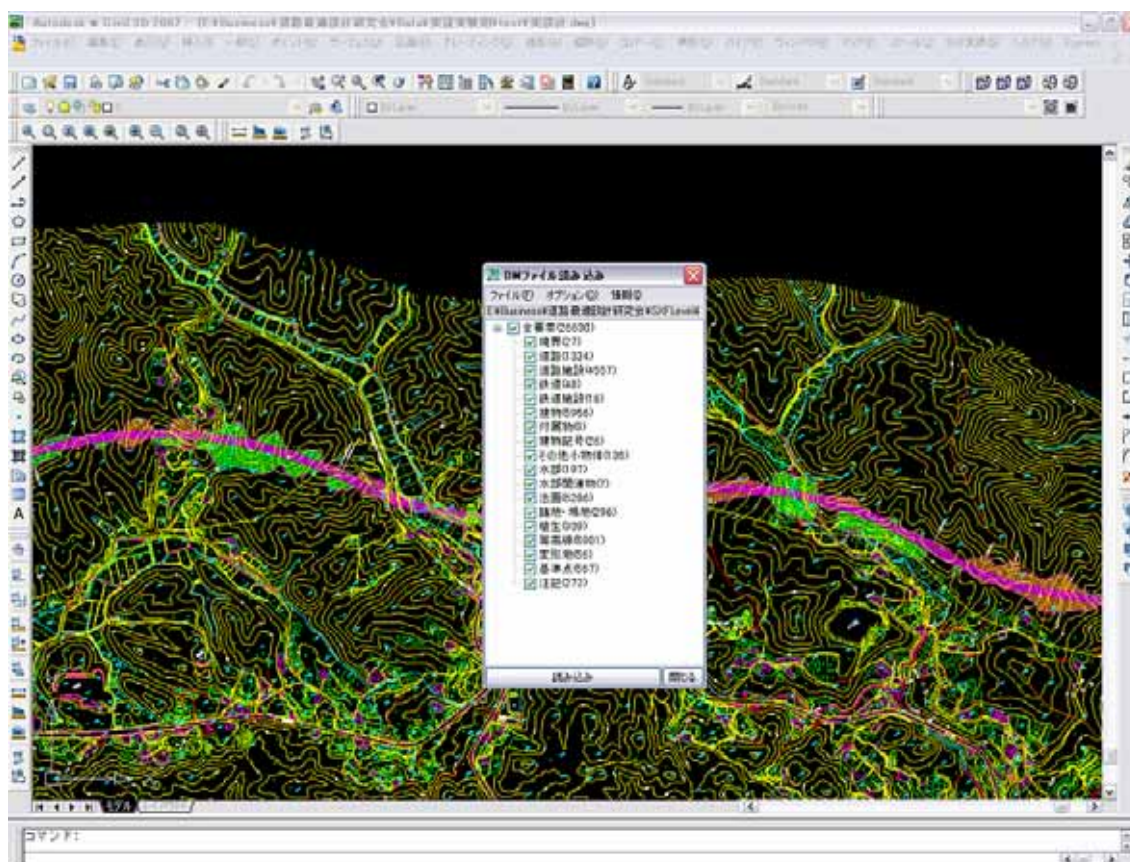


図 4-2 DM 読み込み(分類コード選択)

- 読み込んだ後は分類コード毎に、Civil 3D(CAD)上のレイヤとして保存される。

2) 地形の 3 次元化

- 等高線(Z 座標を持つ線分,折れ線)または標高点(Z 座標を持つ点)より ,3D 地形サーフェースモデルを自動生成する .
- サーフェースの表現形式は TIN サーフェースまたはグリッドサーフェースがある . Civil 3D の場合 , 内部データは TIN サーフェースまたはグリッドサーフェースで同じであるため , 同じモデルで TIN サーフェースとグリッドサーフェースを切り替えて表現することが可能である .

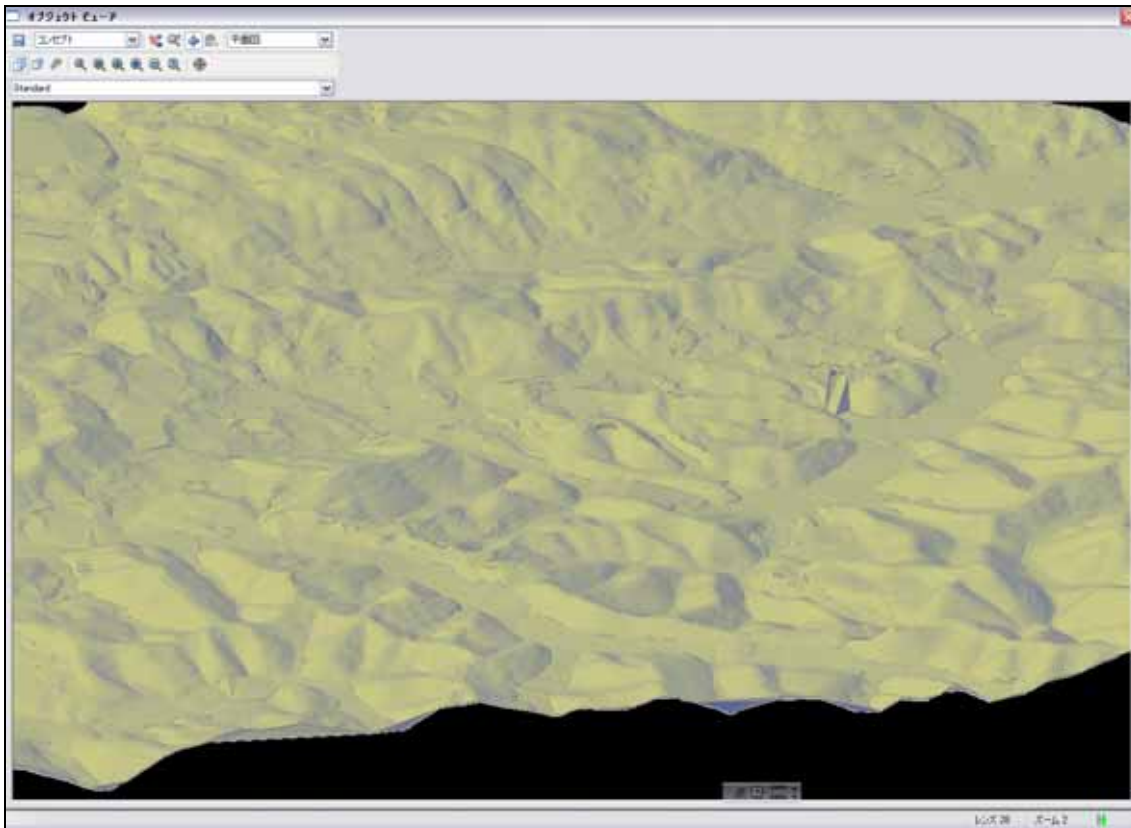


図 4-3 地形の 3D 表示

### 3) 道路設計

- 3D 地形モデルをベースに、道路の平面設計、縦断設計、横断設計を行うことができる。3D 地形をベースとしているため、数量計算も 3D モデルから計算するためより正確な度量が算出できる。
- CAD で自由に作画する感覚で、簡単に平面設計(平面線形)を作画することが可能である。

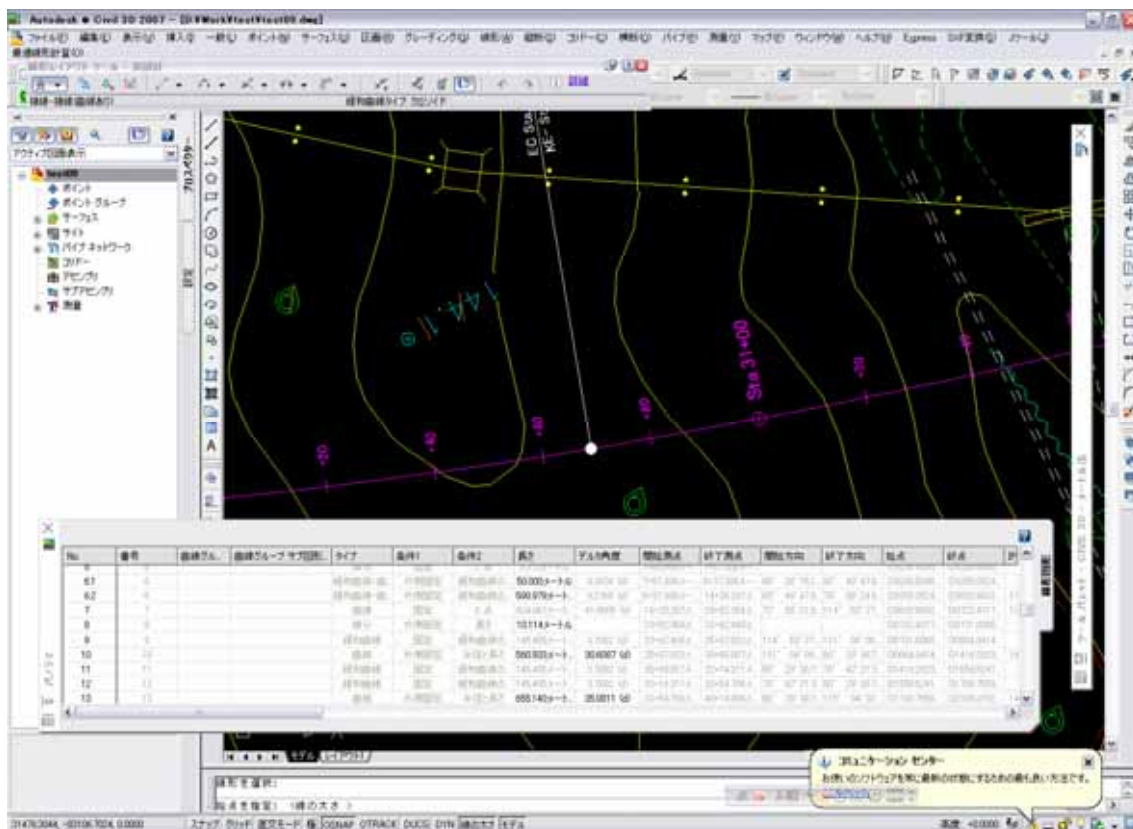


図 4-4 平面設計

- 平面線形および 3D 地形より，現況地形の縦断図を自動的に作画する．また，平面的同様縦断線形も簡単に作成することができる．

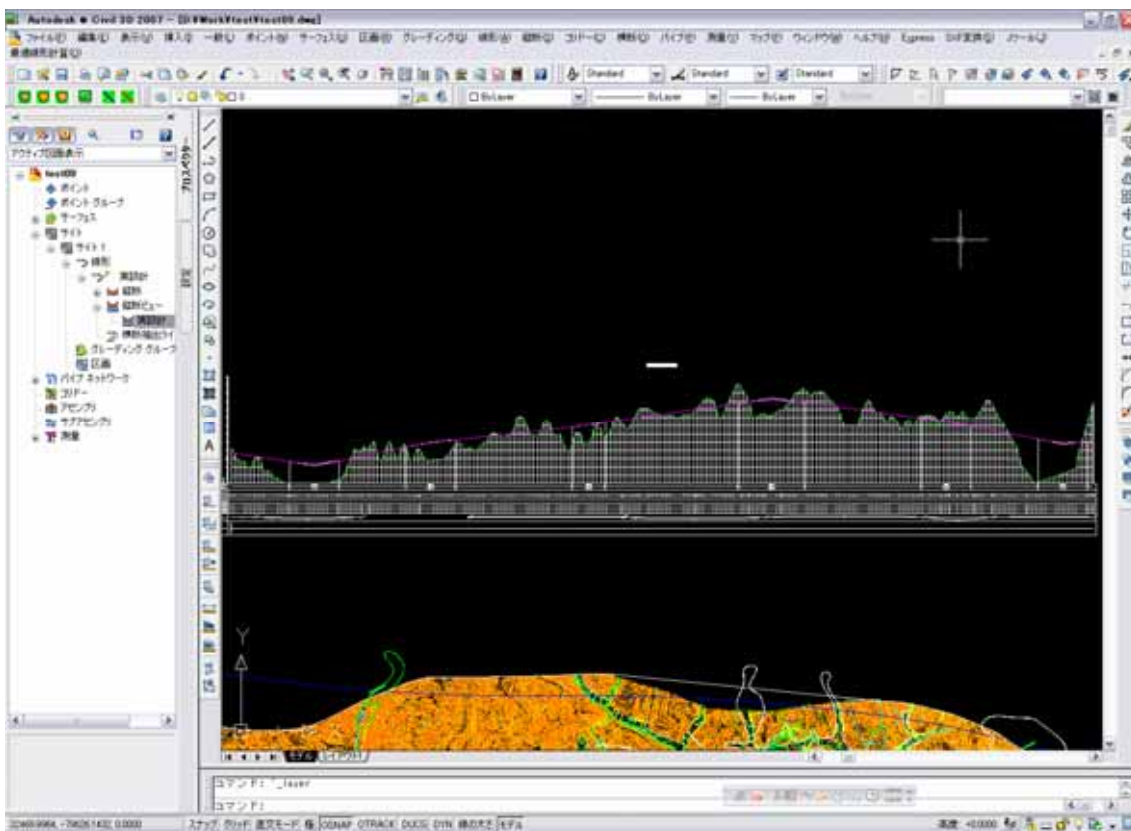


図 4-5 縦断設計

- 横断設計は、パラメトリック図形部品であるサブアセンブリと、それを組み合わせて作成したアセンブリで標準断面を作成する。そのアセンブリを平面・縦断線形に適用して、横断設計を行うとともに道路面の 3D サーフェースモデルを自動的に作成する。

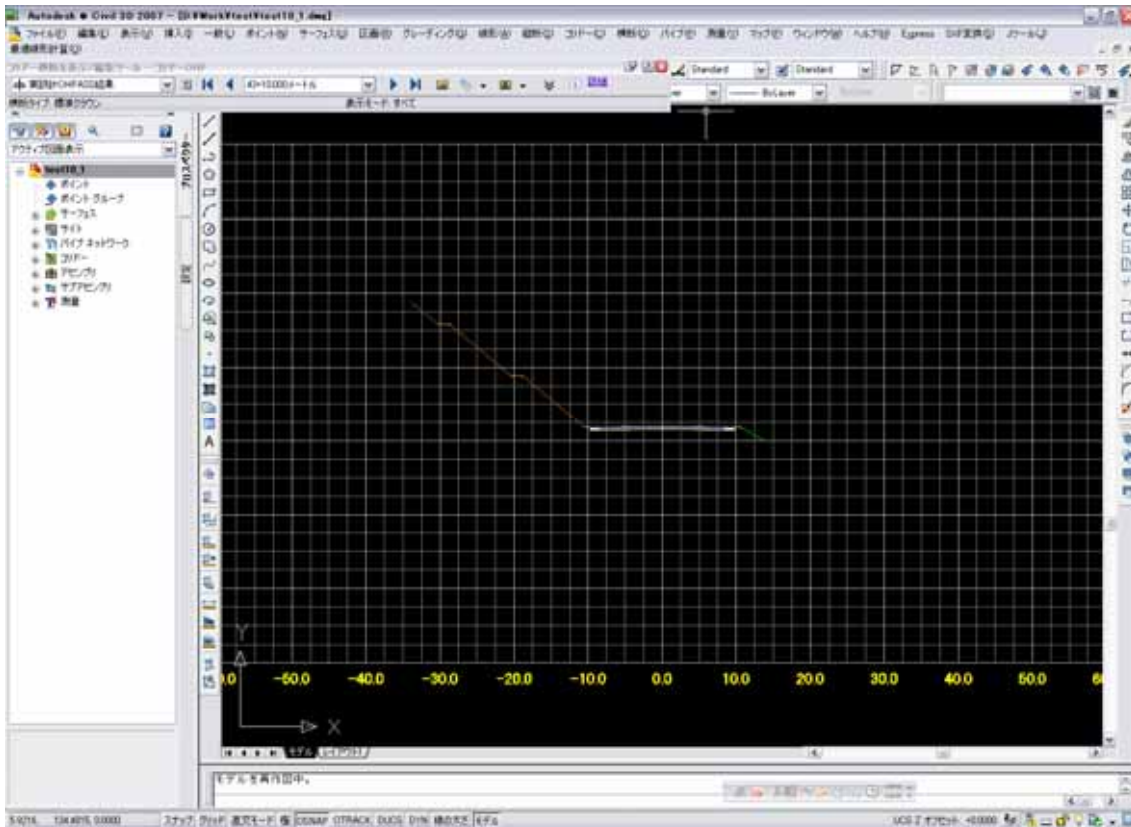


図 4-6 コリドー横断

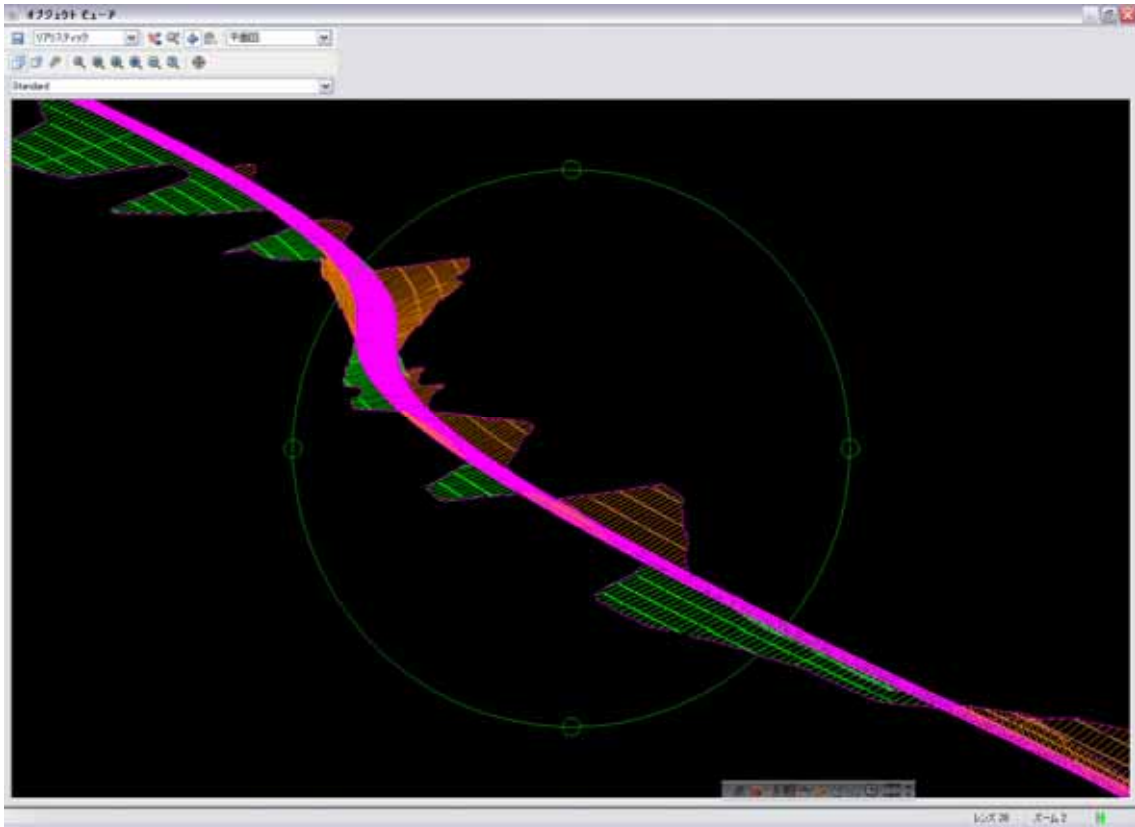


図 4-7 コリドーモデル



### 4-3 地形およびコントロールポイントの設定機能(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。

#### 1) 地形設定機能

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 は、Civil 3D 標準で提供されているが、地形データ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。

#### 2) 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。

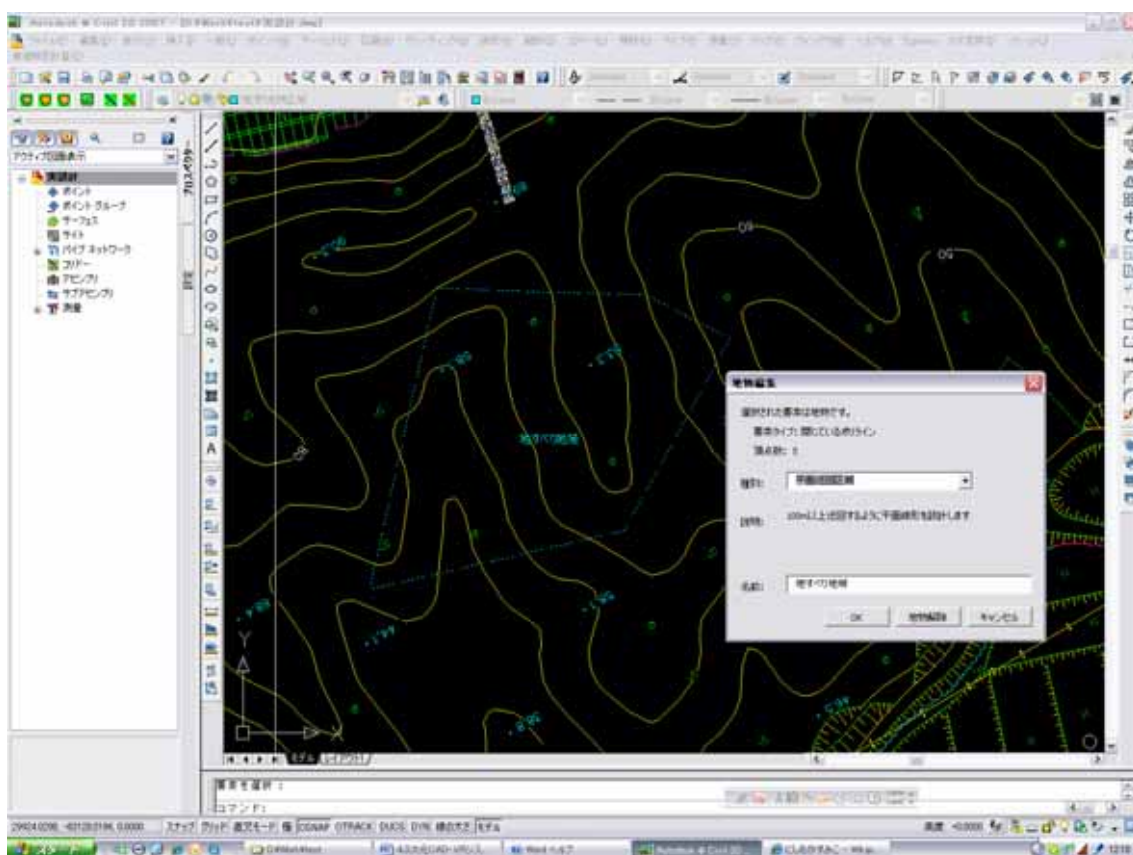


図 4-8 コントロールポイント情報付加

#### 4-4 最適結果の読み込み機能(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。

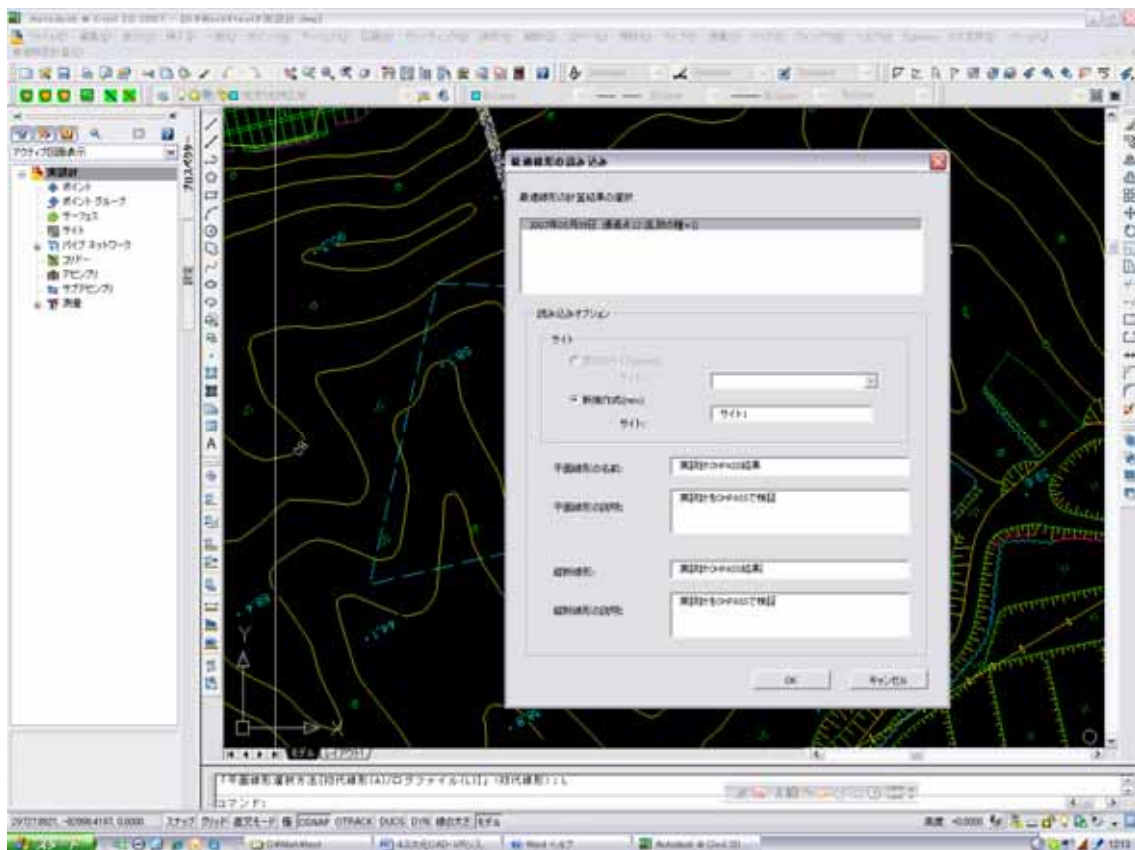


図 4-9 OHPASS 結果読み込み

## 5 実証実験その1 ～ 拡張 DM を利用した道路最適設計 ～

### 5-1 実験の目的

本実験の目的は以下の2点である。

- 1) 拡張 DM より最適設計システムの入力データを作成することが有効であることを確認するとともに、課題を抽出する。
- 2) 道路設計における設計評価項目を整理し、OHPASS の実行結果との照合を行い、OHPASS の評価を行う。

### 5-2 実験の手順

以下の手順で実験を行った。

#### 1) コントロールポイントおよび設計評価項目の整理

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、道路設計に専門家により整理した。その結果を「道路最適設計研究会」で確認する。

#### 2) 実物件による最適設計計算

過去の終了している設計物件に本システムを適用した。

##### 対象設計物件の選定

過去の設計物件で拡張 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。そのため、CAD データとして地形図が整理されて物件を選定し、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。

##### 3次元メッシュ地形作成とコントロールポイントの設定

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、レイヤなどを編集する。

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する。

##### 最適計算の実行

幾何条件、土工条件などを指定し道路性的設計計算を実行する。

##### 道路の3次元形状・図面の作成と最適設計計算結果のまとめ

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・図面を作成する。

#### 3) 実験結果の整理と評価

実験結果として以下を整理する。

- 最適設計計算の結果を(1)で整理した設計結果の評価項目に合わせて、実設計との比較表の形式でまとめる。

- DMデータ読み込みによる3次元地形作成およびコントロールポイント設定の考課および問題点を、(1)で整理した道路設計を行う上で考慮するコントロールポイントと関連付けて整理する。

以上の整理結果より「道路最適設計研究会」において、DMを用いた道路最適設計システムについて評価を行い、その効果や課題を整理する。

### 5-3 コントロールポイントおよび設計評価項目の整理

道路設計を行う上で考慮すべきコントロールポイントを表 5-1に示す。

表 5-1コントロールポイント

項目	コントロールポイント	ルート選定時の留意事項
地形・地質	地すべり地	・大規模な切盛のない線形とする ・トンネル坑口位置としては避ける
	断層	直交する方が有利
	破砕帯	大規模なものはできるだけ避ける
	軟弱地盤帯	避けることが望ましい。もしくは、できるだけ短い区間で通過する
	山腹崩壊地	崩壊性要因を持つ地質箇所はできるだけ避ける
	土石流危険箇所	切土法面内に渓流が存在することは避ける
	北側斜面	積雪寒冷地等では北側斜面を避ける。
指定地域	自然公園	・（重要度に応じ）極力指定区域を避ける。 ・地形の改変を極力抑える。
	急傾斜地崩壊危険区域	
	砂防指定地	
	貴重動植物分布地域	・生態系を避けたルートとする ・不可能な場合には生態系を確保できる道路構造とする
	鉱山権設定区	
文化財等	重要文化財，埋蔵文化財	
	神社，仏閣	
	記念物(名勝,史跡,天然記念物)	

最適計算結果の評価項目としては、表 5-2および表 5-3にまとめた。

表 5-2 ルート比較表

道路整備に求められる要件		道路整備に求められる要件	
ルート概要	起終点	良好な環境の 保全・形成	生活環境の保全・形成
	各区間の車線数等		自然環境の保全
	期待される整備効果		周辺景観との調和
諸 元	総延長	整備効果の 早期発現	供用開始時期
	土工区間		部分供用時の交通状況
	橋梁区間	走 行 性	縦断勾配
	トンネル区間		曲線半径
計画交通量 (H32)	現道(各区間毎)	施 工 性	平面・縦断線形の調和
	バイパス		工期
支障物件	各区間毎	土 地 利 用 へ の 影 響	現道への影響
概算事業費	道路費		地域への影響
	橋梁費		特殊性
	トンネル費		主な課題
	用地費	そ の 他	ルートへの地元意向 *沿線ヒアリング結果
	補償費		アクセス道路の整備
	その他		平均走行速度
合計	整備効果指標	平均混雑度	
自動車交通の 円滑化支援	渋滞解消	そ の 他	走行時間短縮・ 費用減少便益
地域活性化 の支援	ネットワークの充実		事故減少便益
	物流・産業拠点や中心市 街地等へのアクセス性 改善		便益計
	関連計画との整合		費用便益費(B/C)
安全・安心な暮らしの支援	円滑な救急・消防活動の 支援	環 境 改 善 効 果	騒音
			交通安全性の向上

表 5-3 計画上の留意点

項目	留意点	
平面線形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 長い直線はできるだけ避ける。</li> <li>・ 連続した円曲線の曲率比は 1.5 ~ 2 倍以下とする</li> <li>・ ブロークンバックカーブは避けること</li> <li>・ 長い直線の端部に曲線半径の小さい円曲線を入れることは避けること</li> </ul>	
縦断線形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 短区間で凹凸を繰り返す縦断線形は避ける</li> </ul>	
組合せ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 適当な合成勾配となる組合せを選ぶ</li> <li>・ 下り勾配で直線の先に急な平面曲線を入れない</li> <li>・ 縦断線形の頂部または底部に急な平面曲線を入れない</li> </ul>	
トンネル	平面線形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 直線よりも曲線形が望ましい。</li> </ul>
	縦断線形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 規格に関係なく勾配はできれば 2 % 以下，やむを得ない場合にも 3 % 以下とすること</li> <li>・ トンネルの中で凹勾配としない。</li> </ul>
	坑口位置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 等高線と直交することが望ましい。</li> <li>・ 谷部と尾根部では尾根部が望ましい。</li> </ul>
	併設トンネルの中心間隔は坑口部で 30m 程度確保する	
	延長	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防災上，長大トンネルは避けること。</li> </ul>
河川	交差角は直角に近い方が望ましい	
	景観上のポイントとなることが多く，通過位置に配慮が必要である。	
斜面	積雪寒冷地では斜面が南向きとなるよう計画するのが望ましい	
土量バランス	工事工区毎に土量バランスがとれていることが望ましい。	
排水	流末となる河川などに自然流下できる縦断計画とすること	
工事用アプローチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事用進入路となる現況道路から離れすぎないこと</li> <li>・ km 毎に工事用進入路となる道路があること</li> </ul>	
交差道路接続	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ インターチェンジをどこに設けるかを想定する。</li> <li>・ インターチェンジなどの接続位置では，十分な明かり区間をとるとともに緩やかな線形とすること</li> </ul>	
部分供用	事業効果を早期に発現するため，部分供用が可能なルートとするのが望ましい。	

## 5-4 実験の対象物件

本実験は、過去に設計案件を対象として行った。

実験対象として選定した設計案件は、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。

- |                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| (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(B)        |
| (7) 設計年度                  | 平成15年度           |
| (8) 完成断面で計画されている          |                  |
| (9) 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付加が大きい。そのため、データの扱い易さや研究会で実際にシステムを稼働させる時間を考慮して、約 4km を抽出して実験対象とした。

なお、実設計と OHPASS の最適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の変更を行った。

- 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。



### 5-5 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。

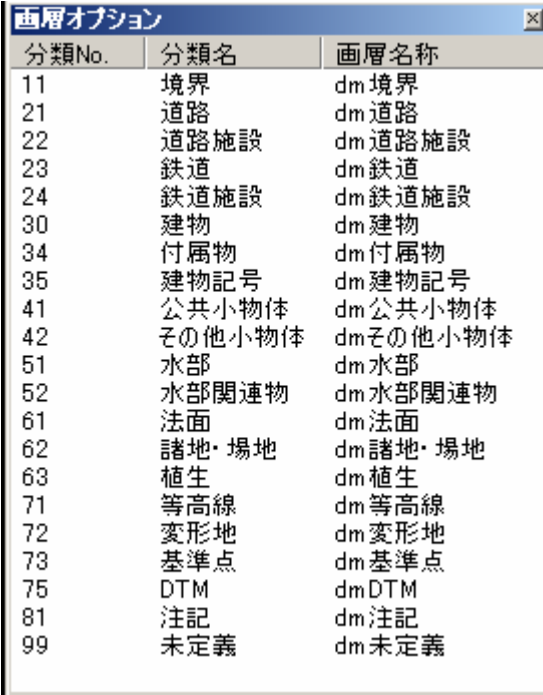
#### (1) CAD データの読み込み

対象物件の CAD データは、実験に使用した 3 次元 CAD(AutoCAD 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。

#### (2) DM 読み込みをシミュレーションするための編集

(1)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。

AutoCAD Civil 3D の DM 読み込み機能では、図 5-1に示すように、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。



分類No.	分類名	画層名称
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	公共小物体	dm公共小物体
42	その他小物体	dmその他小物体
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	諸地・場地	dm諸地・場地
63	植生	dm植生
71	等高線	dm等高線
72	変形地	dm変形地
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 5-1DM 読み込みのレイヤ指定

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ろうと想定

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。DM 読み込み状態を再現した地形図のイメージを図 5-2および図 5-3に示す。

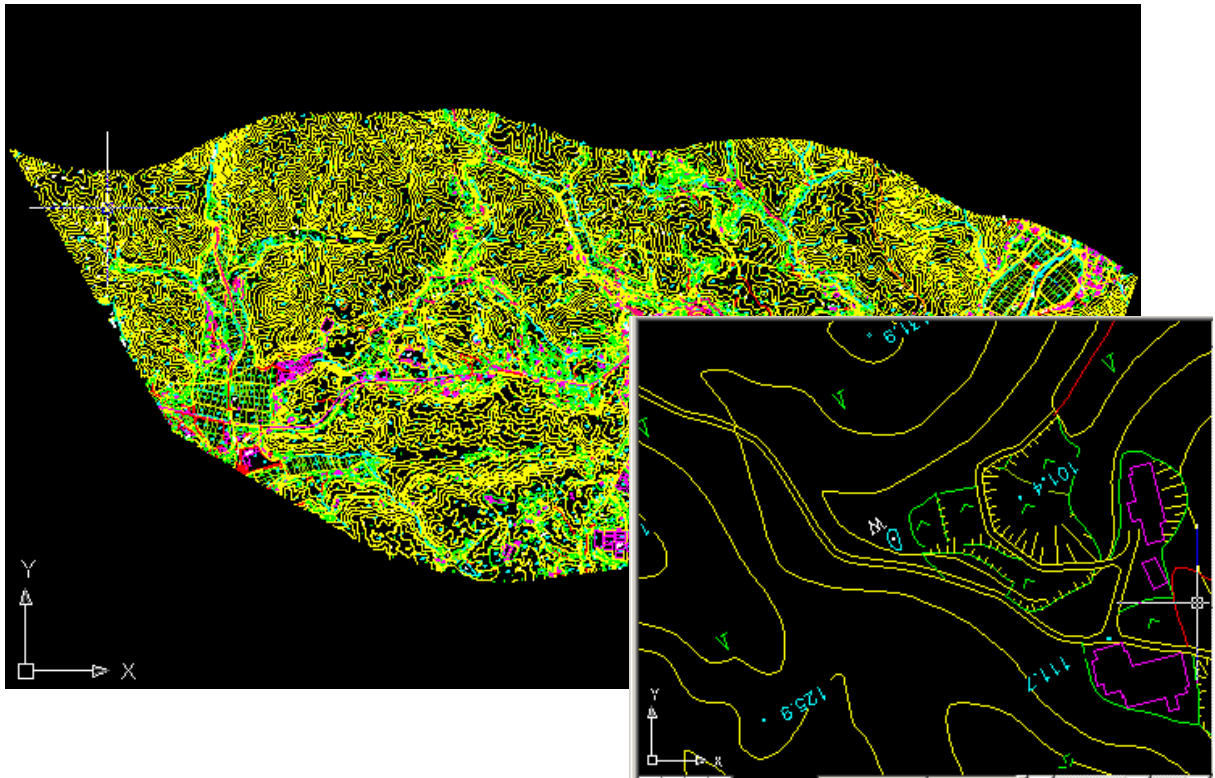


図 5-2 DM としての読み込みイメージ(平面表示)

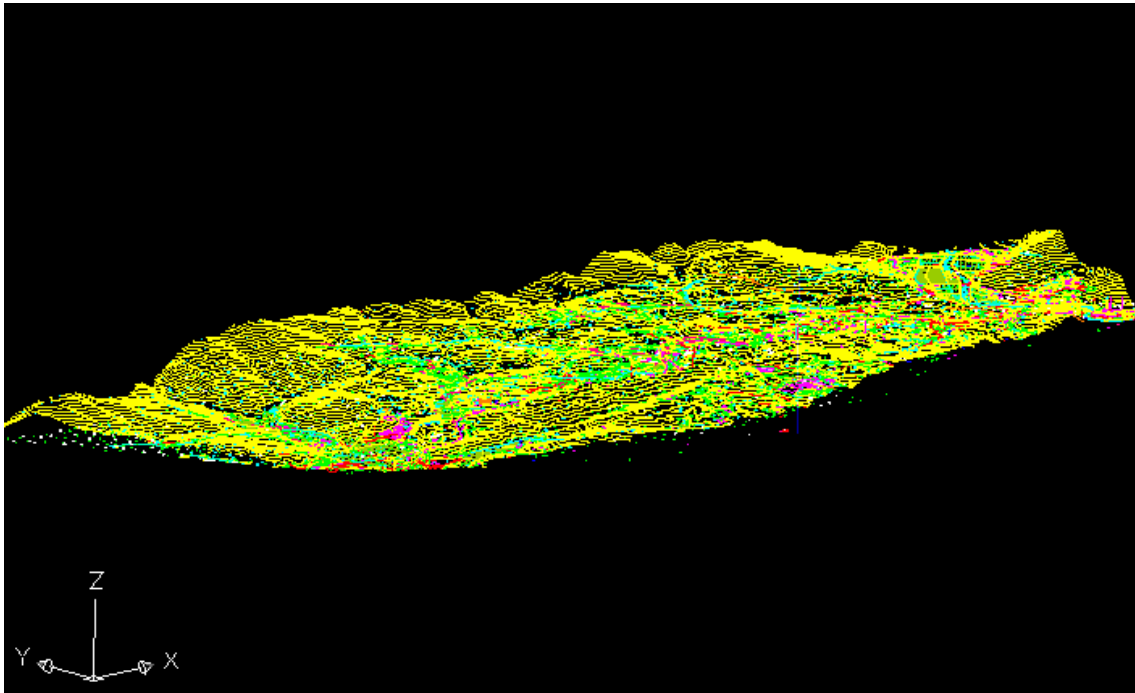


図 5-3 DM としての読み込みイメージ(3次元表示)

(3) コントロールポイントの設定

「4.3次元CAD・VRシステムとの連動機能の開発」の項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。

図 5-4および図 5-5にコントロールポイントの設定状況を示す。

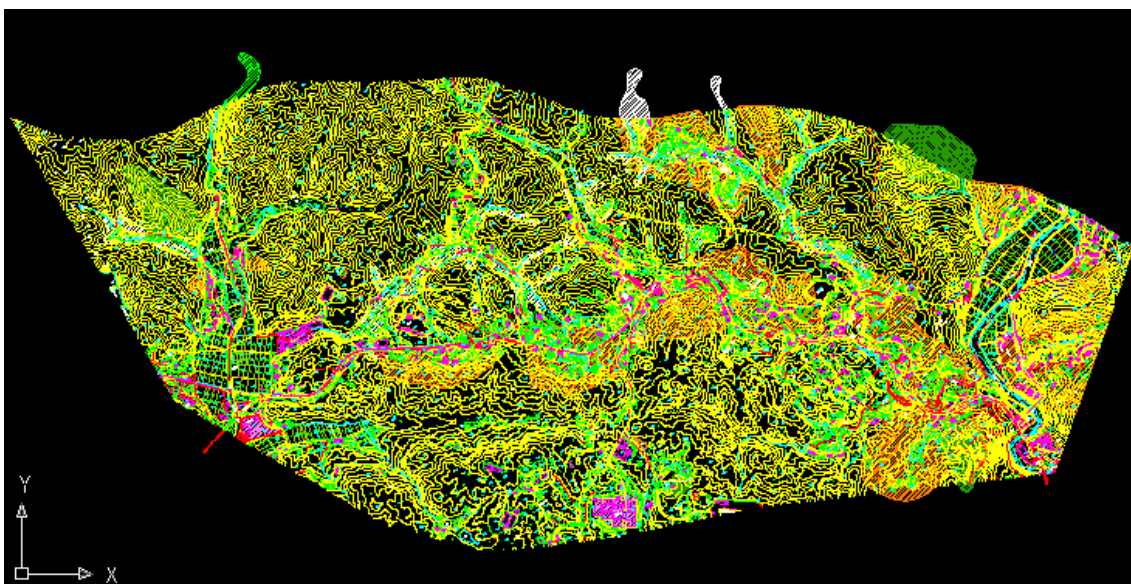


図 5-4 コントロールポイントの設定

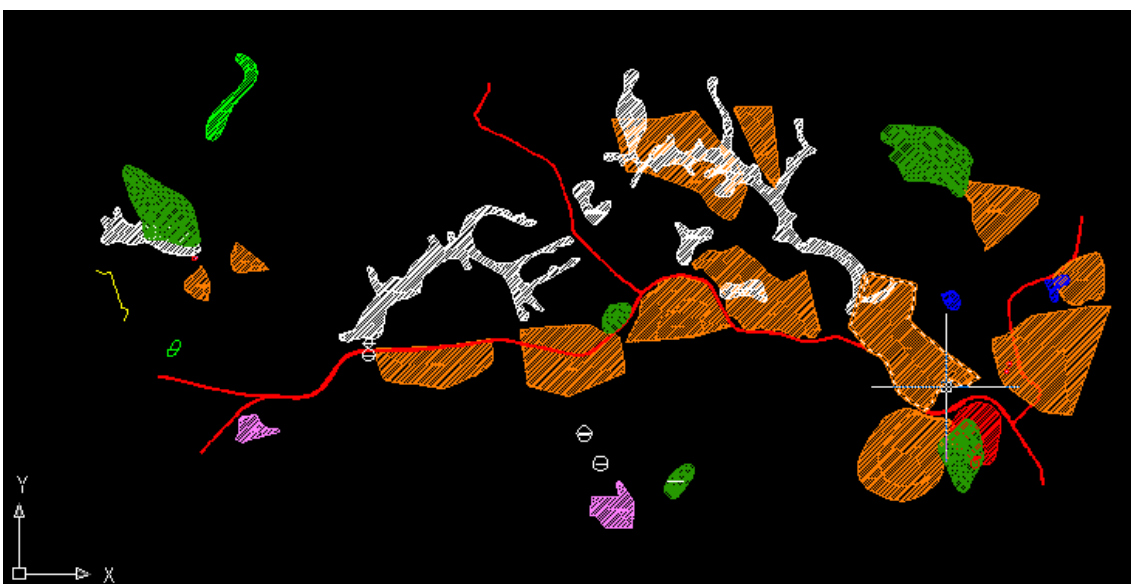


図 5-5コントロールポイントの設定(コントロールポイントのみ表示)

## 5-6 最適計算の実行

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、以下の 3 ルートを探索した。

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 5-6に示す。

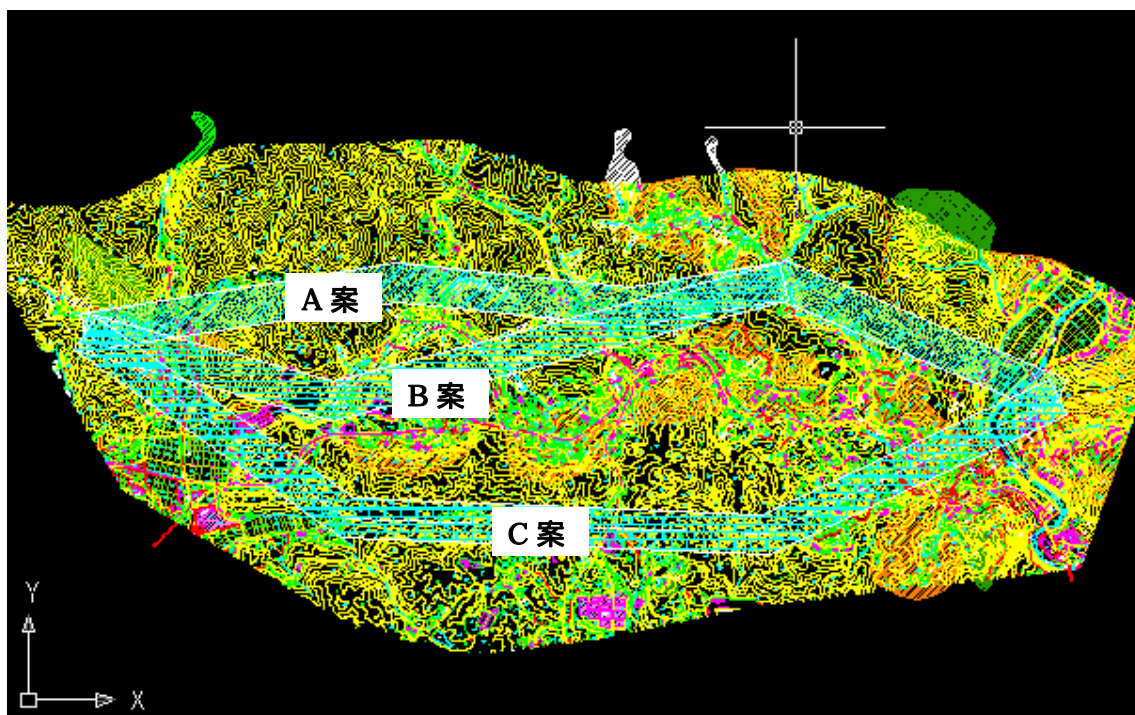


図 5-6各ルートの探索範囲

## 5-7 道路の 3 次元形状・図面の作成と最適設計計算結果のまとめ

最適計算結果を 3 次元 CAD に取り込み，道路の 3 次元モデルと図面を作成した．

図 5-7は，A 案の道路の 3 次元形状をワイヤースケルトンで表示したものである．

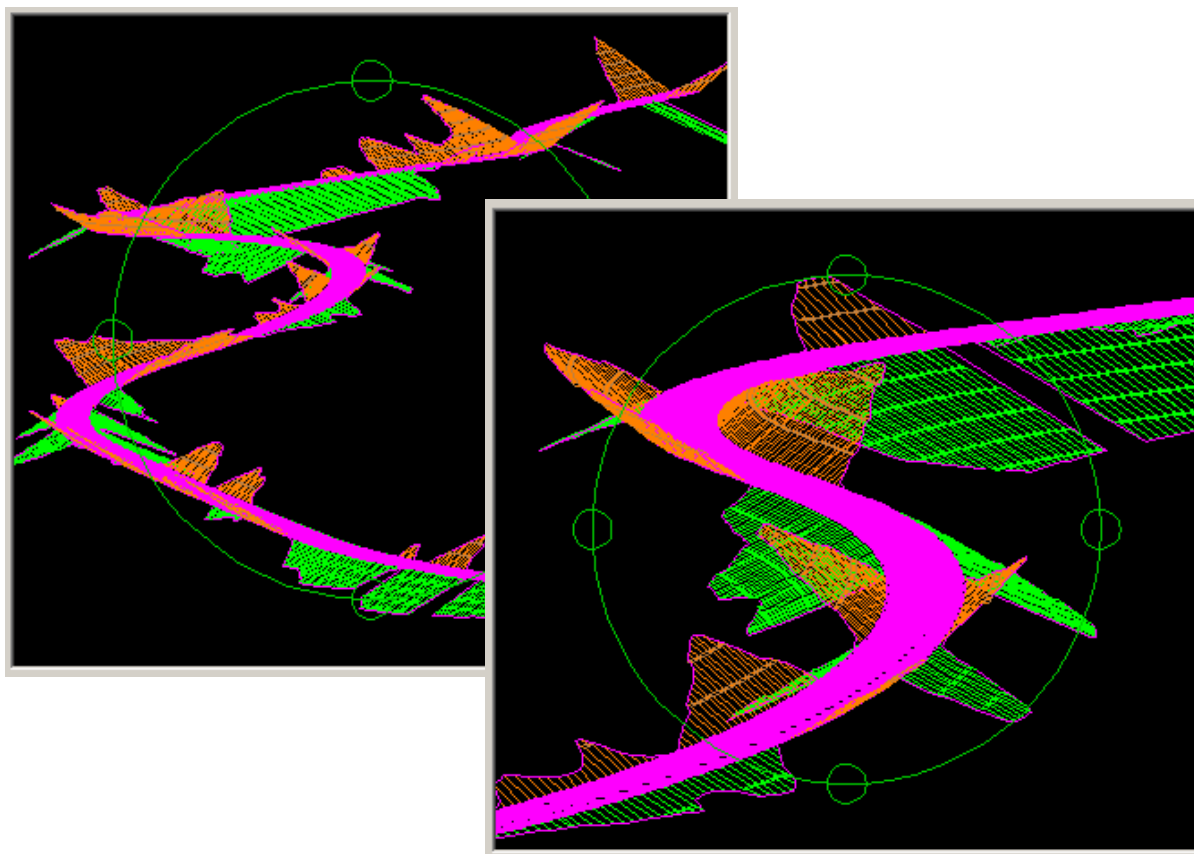


図 5-7 道路の 3 次元形状

図 5-8に平面図を示す．

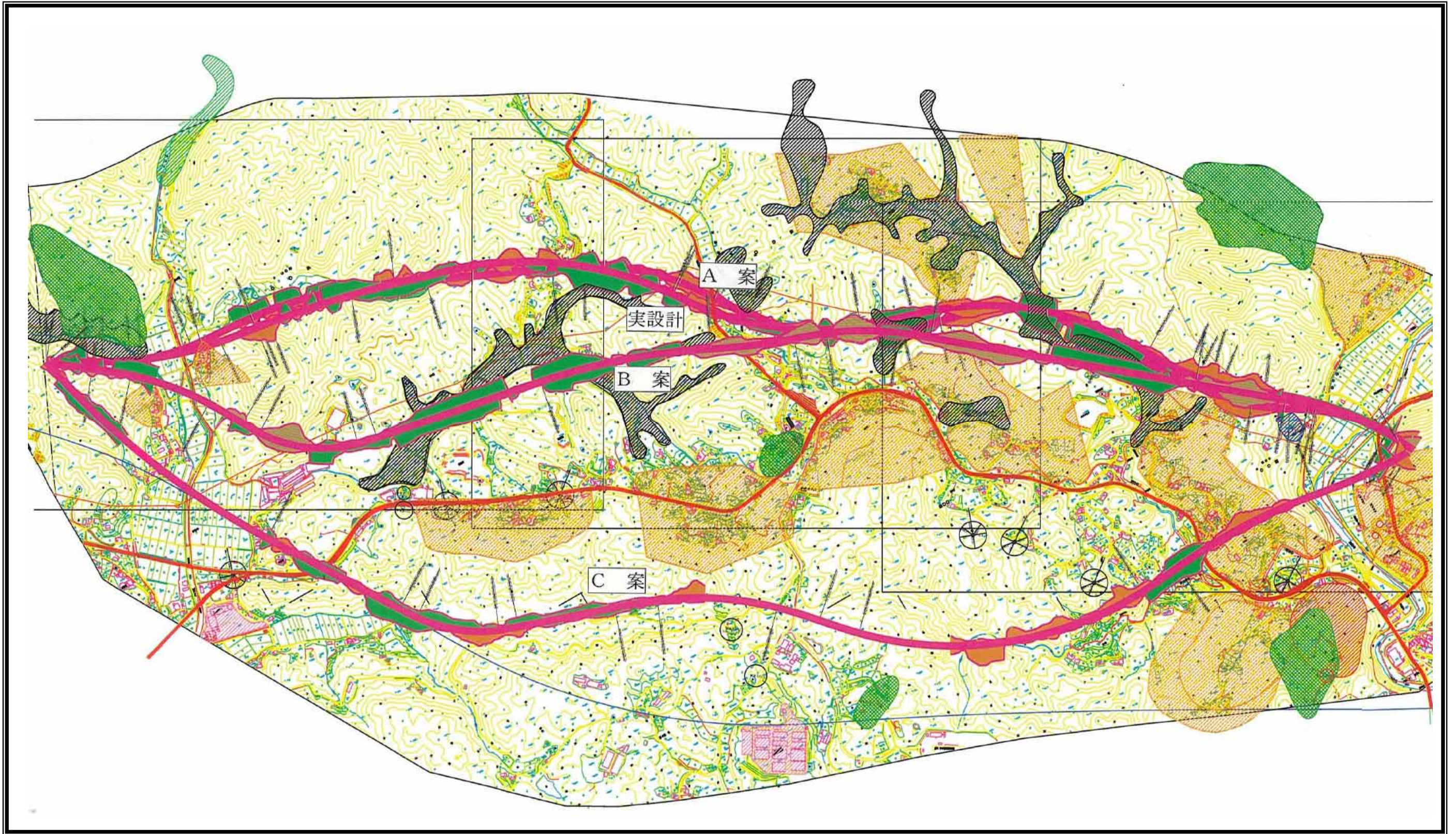


图 5-8 平面图

また，ルート比較表を表 5-4に，工費の比較表を表 5-5に示す．

工費の比較表については，実設計を含めた．実設計の工費については，設計時に算出された工費ではなく，OHPASS に線形，縦断線形，構造物区間等を読み込み，他のルート同じ基準で再計算した値である．

ルート比較表については，実設計は分離断面で設計されている区間があったが，現状の OHPASS では対応できないため単路線として近似線形を作成した．そのため，曲線半径等の比較は無意味と考え一覧表よりはずした．

表 5-4ルート比較表

項 目		A ルート	B ルート	C ルート
延 長 (M)	土工	4190	4270	3500
	橋梁	560+400	400+460	640+380
	トンネル	0		900
	計	5150	5130	5420
事業費 (百万円)	道路(土工)	20,530	23,280	16,220
	橋梁	49,220	51,970	46,340
	トンネル	0	0	39,400
	用地補償			
	計			
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
	最大合成勾配(%)			

A~C の各案とも幾何条件を満足しており問題ない結果となった．



表 5-5工費比較表

	単位	単価	実設計		A		B		C	
			数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額
(1)土工費				2,495.4		2,052.9		2,327.7		1,621.9
切土盛土工(1)	千m3			1,674.5		1,216.8		1,447.7		933.0
道路掘削	千m3		950.1	1,018.1	1,126.3	1,216.7	1,282.1	1,385.8	750.9	792.8
土砂(2.0km)	千m3	0.82	276.9	227.1	302.5	248.0	327.9	268.9	246.7	202.3
軟岩(2.0km)	千m3	1.169	676.7	791.0	828.6	968.7	955.5	1,117.0	505.2	590.5
硬岩(2.0km)	千m3	2.192	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
客土掘削	千m3	1.29	508.8	656.4	0.0	0.0	48.0	61.9	108.7	140.2
軟岩(1.0km)	千m3	1.29	508.8	656.4	0.0	0.0	48.0	61.9	108.7	140.2
捨土掘削	千m3	0.9375	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
軟岩(1.0km)	千m3	0.9375	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
法面工	千m3		259.1	246.4	243.8	256.1	267.0	289.0	191.3	199.1
種吹付工	千m2	0.65	50.1	32.6	59.9	38.9	59.2	38.5	47.7	31.0
厚層基材吹付	千m2	3.38	55.1	186.1	57.5	194.4	66.6	225.2	44.5	150.3
落石防護網	千m2	0.81	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
種散布工	千m2	0.18	154.0	27.7	126.5	22.8	141.2	25.4	99.1	17.8
排水工	m	0.0684	8,400.0	574.6	8,480.0	580.0	8,640.0	591.0	7,160.0	489.7
(2)舗装費				963.2		973.9		993.1		821.2
表層工	千m2	1	158.2	158.2	159.9	159.9	163.1	163.1	134.8	134.8
基層工	千m2	1.12	158.2	177.1	159.9	179.1	163.1	182.7	134.8	151.0
上層路盤工	千m2	2.28	158.2	360.6	159.9	364.6	163.1	371.8	134.8	307.5
下層路盤工	千m2	1.43	158.2	226.2	159.9	228.7	163.1	233.2	134.8	192.8
縁石工	m	0.0049	8,400.0	41.6	8,480.0	41.6	8,640.0	42.3	7,160.0	35.1
(3)中央分離帯				186.5		188.3		191.8		159.0
中央分離帯	m	0.0444	4,200.0	186.5	4,240.0	188.3	4,320.0	191.8	3,580.0	159.0
(4)トンネル費				0.0		0.0		0.0		3,939.6
トンネル	カ所		0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	3,939.6
(5)橋梁費				5,421.9		4,964.9		5,241.2		4,634.3
橋梁(2)	カ所		4	5,392.3	2	4,922.4	2	5,197.0	2	4,634.3
跨高速道路橋	カ所		1	29.6	1	42.6	1	44.3	0	0.0
(6)交通管理施設				232.5		233.9		236.4		209.9
標識工	m	0.0043	5,200.0	22.4	5,200.0	22.4	5,180.0	22.3	4,600.0	19.8
防護柵工	m	0.0085	8,400.0	71.4	8,480.0	72.1	8,640.0	73.4	7,160.0	60.9
立ち入り柵工	m	0.008	8,400.0	67.2	8,480.0	67.8	8,640.0	69.1	7,160.0	57.3
通信管路	m	0.0119	5,200.0	61.9	5,200.0	61.9	5,180.0	61.6	4,600.0	54.7
可変速度規制標識	m	0.0023	4,200.0	9.7	4,240.0	9.8	4,320.0	9.9	3,580.0	8.2
(7)雑工事費				22.3		22.5		22.9		19.0
路傍植栽	m	0.0053	4,200.0	22.3	4,240.0	22.5	4,320.0	22.9	3,580.0	19.0
(8)その他				292.2		253.4		274.8		227.4
工事用道路	(1+2)×3.0%			212.9		185.5		200.7		167.0
工事用防護施設	(1+2)×1.0%			71.0		61.8		66.9		55.7
防護工等	(1)×0.5%			8.4		6.1		7.2		4.7
(9)工費小計	(1)+(2)+...+(8)			9,614.0		8,689.7		9,287.9		11,623.2
(10)諸経費	(9)×31.0%			2,980.3		2,693.8		2,879.3		3,603.2
(11)工費中計	(9)+(10)			12,594.4		11,383.6		12,167.2		15,226.4
(12)附帯工費	(11)×2.0%			8.9		8.1		8.6		10.8
消費税相当額	(11)×1.02×5%			6.4		5.8		6.2		7.8
(13)工費合計	(11)+(12)			12,488.6		12,191.8		13,031.1		16,307.4

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。

また、現状の最適設計システムの機能を検証するために「表 5-3 計画上の留意点」に示した各項目に対する最適設計システムの対応状況を整理した。整理した結果を表 5-6 に示す。

表 5-6 道路計画上の留意点と OHPASS の対応状況

項目	留意点	OHPASSでの対応状況
平面線形	長い直線はできるだけ避ける。	1600m(1種3級の場合)以上の直線は作らない
	連続した円曲線の曲率比は1.5～2倍以下とする ブローケンバックカーブは避けること	卵形の場合には、1.5倍以下にする 未対応
	長い直線の端部に曲線半径の小さい円曲線を入れることは避けること	未対応
縦断線形	短区間で凹凸を繰り返す縦断線形は避ける	凹凸の場合には70m以上の区間長となるようにしているが、連続しているかどうかはチェックしていない
組合せ	適当な合成勾配となる組合せを選ぶ	合成勾配は考慮していない
	下り勾配で直線の先に急な平面曲線を入れない 縦断線形の頂部または底部に急な平面曲線を入れない	未対応 頂部、底部は平面曲線にしない
トンネル	平面線形 直線よりも曲線形が望ましい。	未対応
	縦断線形 規格に関係なく勾配はできれば2%以下、やむを得ない場合にも3%以下とすること トンネルの中で凹勾配としない。	3%以上の場合にはペナルティを与える サグの場合にはペナルティを与える
	坑口位置 等高線と直交することが望ましい。	未対応
	谷部と尾根部では尾根部が望ましい。	未対応
	併設トンネルの中心間隔は坑口部で30m程度確保する	未対応
	延長 防災上、長大トンネルは避けること。	できるだけ短くなるようにしている
河川	交差角は直角に近い方が望ましい 景観上のポイントとなることが多く、通過位置に配慮が必要である。	交差角は45度以上になるようにしている 未対応
斜面	積雪寒冷地では斜面が南向きとなるよう計画するのが望ましい	未対応
土量バランス	工事工区毎に土量バランスがとれていることが望ましい。	設計区間での土量バランスを考慮
排水	流末となる河川などに自然流下できる縦断計画とすること	未対応
工専用アプローチ	工専用進入路となる現況道路から離れすぎない	未対応
	km毎に工専用進入路となる道路があること	未対応
交差道路接続	インターチェンジをどこに設けるかを想定する。	未対応
	インターチェンジなどの接続位置では、十分な明かり区間をとるとともに緩やかな線形とすること	未対応
部分供用	事業効果を早期に発現するため、部分供用が可能なルートとするのが望ましい。	未対応

## 5-8 DM 利用の利点と問題点の整理

DM 利用の利点については、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。

### (1) 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、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。

### (2) コントロールポイントの設定作業に対する省力化

今回は、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。

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。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、例えば以下のような手順が可能となった。

- 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
  - 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。
- 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。

### (1) 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。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。例えば、寺院の情報は、拡張 DM 側では地図記号(卍)の表示される点情報として保持されているが、コントロールポイントとしては宗教施設として面(ポリゴン)情報が必要である。今回の対応としては、目視により学校敷地を判断し面(ポリゴン)情報を CAD 操作により作成した。

### (2) 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。これらについては、各種調査報告書等を参考に図形を作成した。道路設計上のコントロールポイントと拡張 DM および最適設計システム(OHPASS)での取り扱いを表 5-7に示す。

表 5-7道路設計に対するコントロールポイントと拡張 DM との関係および OHPASS での取り扱い

大項目	道路線形におけるコントロールポイント		拡張DM			道路最適OHPASS			対応分類 A:自動, B:適応可能, C:適応不可
	項目	ルート選定時の留意事項	コード	名称	データ	名称	種類	制約条件	
地形・地質	地すべり地	大規模な切盛のない線形とする トンネル坑口位置としては避ける	-	-	-	平面禁止区域で対応 1 2	面	平面迂回区域	C
	断層	直交する方が有利	-	-	-	未対応			C
	破碎帯	大規模なものはできるだけ避ける	-	-	-	平面禁止区域で対応	面	平面迂回区域	C
	軟弱地盤帯	避けることが望ましい。もしくは、 できるだけ短い区間で通過する	-	-	-	平面禁止区域で対応	面	平面迂回区域	C
	山腹崩壊地	崩壊性要因を持つ地質箇所はできるだけ避ける	7201	土がけ(崩土)	点, 線	平面禁止区域で対応	面	平面迂回区域	B
	土石流危険箇所	切土法面内に溪流が存在することは避ける	-	-	-	平面禁止区域で対応	面	平面迂回区域	C
	北側斜面	積雪寒冷地等では北側斜面を避け ず	-	-	-				C
指定地域	自然公園	(重要度に応じ)極力指定区域を避ける。 地形の改変を極力抑える。	-	-	-	トンネル強制区域で対応	面	縦断迂回区域	C
	急傾斜地崩壊危険区域		-	-	-				C
	砂防指定地		-	-	-				C
	貴重動植物分布地域	生態系を避けたルートとする 不可能な場合には生態系を確保できる道路構造とする	-	-	-	平面禁止区域で対応	面	平面迂回区域	C
文化財等	鉱山権設定区		-	-	-				C
	重要文化財、埋蔵文化財		-	-	-	文化区域	面	平面迂回区域	B
	神社、仏閣		3521	神社	点	宗教施設	面	平面迂回区域	B
			3522	寺院	点				
3523			キリスト教	点					
記念物(名勝、史跡、天然記念物)		6226	史跡・名称・天然記	点	文化区域	面	平面迂回区域	B	
その他	起終点	隣接工区との平面・縦断(固定点)	25XX	線形	点, 線	初期設定として入力	点		A
	用地・家屋等の固定点		30XX	建物	点	住宅、工場、農地	面	平面迂回区域	B
	現道・鉄道との交差	立体交差(建築限界)、平面交差(現道高)、交差角	21XX	道路	線	国道	線	縦断迂回区域	A
			21XX	道路	線	道路	線	縦断迂回区域	A
			23XX	鉄道	線	鉄道	線	縦断迂回区域	A
河川との交差	交差位置、交差角	51XX	水部	線	河川	線	縦断迂回区域	A	

1ルート選定時に切盛り段数を制限することにより可能

2 坑口位置の制御は不可能

## 6 実証実験その2 ～ VR システムとの連動による景観評価 ～

### 6-1 実験の目的

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。また、現在の技術では、ソフトウェアで景観を判断することは困難であると考えられる。本実験では、景観はコンピュータグラフィックスにより人間が判断することとして、VR(バーチャルリアリティ)システムとの連動を行い、その利用方法・効果・課題などについて検討する。

### 6-2 連動実験に使用する VR ソフトウェア

UC—Win/Road VER.3.2(株式会社フォーラムエイト製)との連動実験を行った。UC—Win/Road は、仮想空間を生成後、コンピュータグラフィックス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 AutoCAD 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。

図 6-1に製品カタログから抜粋した UC—Win/Road の機能概要を示す。

**標準データ/CADデータの活用**  
地形・地図は、標準データベースを搭載。任意地形、世界測地系変換に対応。衛星写真貼り付け機能、DXF/XML変換、3D、2D地形編集機能をサポート。LandXMLによる様々なCADとの3D/2Dデータ交換も可能です。  
■西土地理院承認(平12親使、第173号): 50mメッシュ標高(全国)/2500空間基準(東京/大阪)  
■世界測地系変換ツール承認:(国地企発第603号)

**複雑な道路構造を簡単、精緻に作成**  
道路・河川・湖沼・飛行バスなど各種線形をパラメータやフリーハンドで入力でき、道路、トンネル、橋梁、河川、歩行ルートを自動生成。道路平面線形(クロソイドスプライン対応)、縦断線形定義でトンネル、構架区間の設定、断面定義では小段を考慮した切り土盛り土処理、テクスチャ処理を実行。複雑な道路構造も線形・断面機能で簡単に作成できます。

**大規模な空間をリアルタイム表示**  
1cmのサイコロでも20kmの道路構造も同空間で作成可能。最大空間サイズ8000km<sup>3</sup>動的LODに対応した3D樹木や各種パフォーマンス設定により、スムーズな動的表示をサポートしています。

**Visual Options Toolによる各種表示。**  
道路障害による交通シミュレーションも可能。リアルタイムで時間、天候、ライトなどの制御が可能。フェイクライト機能による昼夜間表現、影の投影も可能。交通量、車線プロファイル、信号設定に基づく交通流生成や災害、事故による道路通行障害もシミュレートが可能です。

**標準モデル/テクスチャと豊富なダウンロードD Bの利用により効率的なVRデータ作成を支援。**  
3Dモデル・テクスチャなどの標準データに加え、インターネットでUC—win/RoadDBから豊富な素材を直接ダウンロードして利用できます。また、便利な編集・移動ツールが用意されており、モデルの拡大・縮小、移動、回転、傾き、配置が可能です。また、アクション設定による動作モデルの作成、動作制御が行えます。

**簡単なPC操作でリアルタイムVR自在に操作。Before/After、スクリプティング、マニュアルドライブがプレゼンターを支援。**  
各種走行モード(車速、車線変更、視点高さ、視点切り替えB方向)、視点の動的移動(他車視点、視点上下、ターンヘッド)をサポート。飛行ルートの設定(3D両面上編集)に対応による自動飛行、ウォークスルーが可能です。3Dコックピット、マルチモニタをサポートしたマニュアルドライブでさらに高度なシミュレーションを実行できます。

図 6-1UC—Win/Road

### 6-3 実験の手順

まず、実験システムは以下の構成となる。

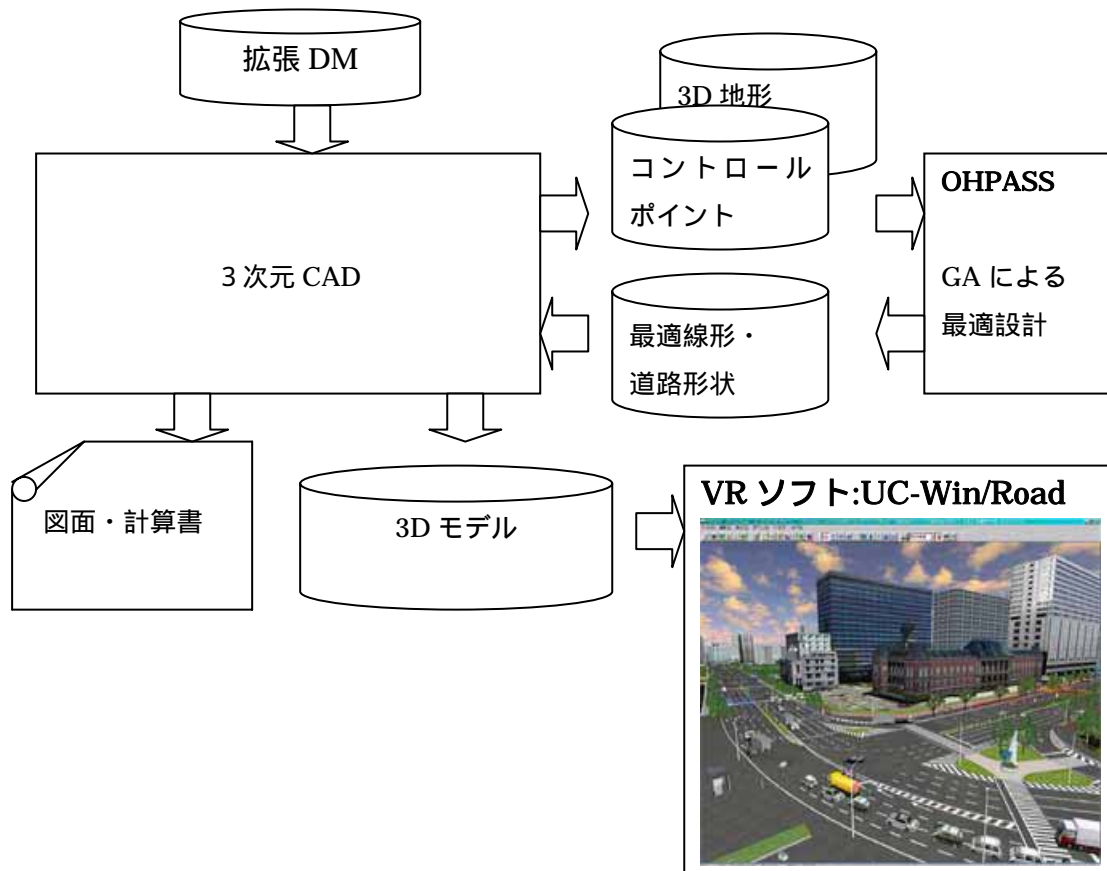


図 6-2 システム構成図

手順は以下のとおりである。

(1) 最適設計までの作業

前回実験の A 案を使用することにし、この作業は省略した。

(2) VR 空間の作成

A 案の 3 次元モデルを読み込んで VR 空間を作成する。このとき、レーンマークや法面の植生など設計データでは表現されていない項目については VR システム側で設定する。

(3) プレゼンテーションの実施と評価

研究会にて実際にプレゼンテーションを行い、評価を行う。

## 6-4 VR 空間の作成

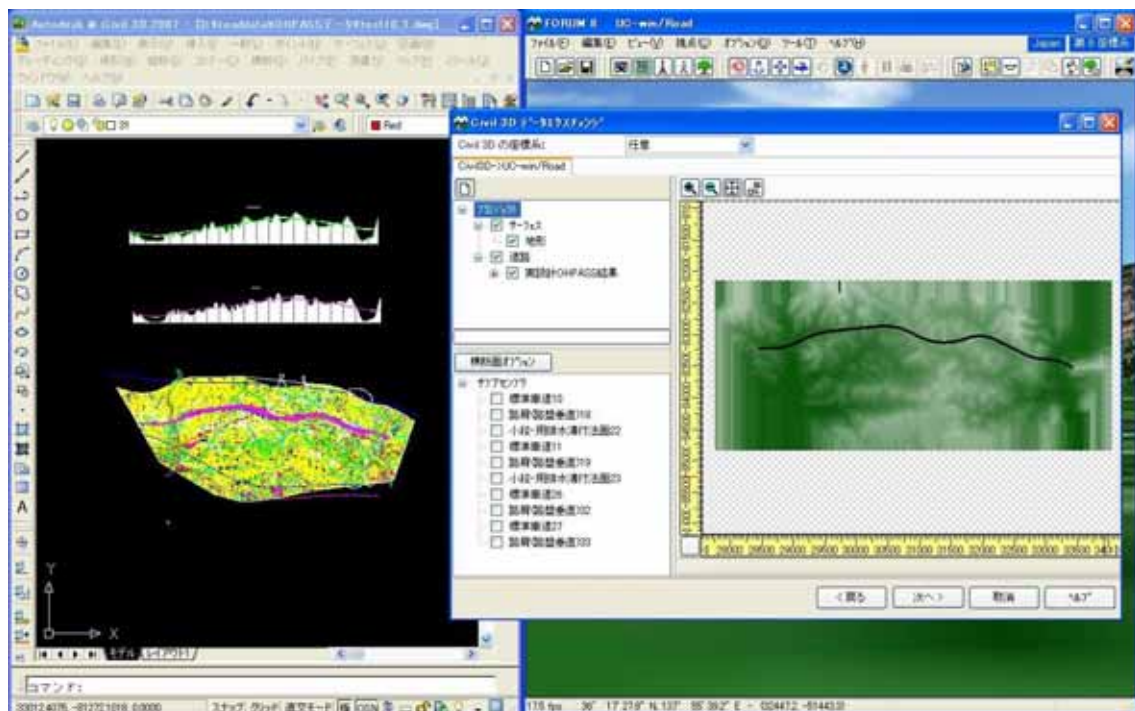
AutoCAD Civil 3D の 3 次元空間からデータを読み込み VR 空間を作成する。  
まず、以下のデータを読み込む。

- 地形の 3 次元データ
- 平面線形(線形座標, 各パラメータ)
- 縦断線形(交点測点・高さ, VCL など)
- 断面データ(道路路面の幅, 法勾配・小段間隔など)

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 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。

以下に, AutoCAD Civil 3D との連携画面を示す。



左側が 3 次元 CAD ,右側が VR システム .VR システムで左側の 3 次元 CAD の要素を参照し,読み込む要素を指定する

図 6-3 CAD と VR ソフトとの連携画面その 1



CAD データには存在しない車道のレーンマークの情報や路面のテクスチャを指定

図 6-4CAD と VR ソフトとの連携画面その 2



## 6-5 実験の評価と考察

プレゼンテーションは、コンピュータグラフィックス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 6-5に示す。



図 6-5 プレゼンテーションの画面例

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ソフトウェアの連動について、以下の結果を得ることができた。

(1) 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での評価が必要となる。

(2) 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は概ね以下のとおりである。

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
OHPASSによる最適設計計算	10分
OHPASS計算結果の3次元化	30分
VRシステムでのデータ作成	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共通作業となるので、～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) OHPASSによる最適設計計算 OHPASS計算結果の3次元化

(4) 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。

(3) 画像データ作成のための拡張DMの利用の可能性の検討

道路の沿道からの外景観の検討のためには、現況地物や土地利用状況などの作成・表す必要がある。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。

(4) 景観評価結果の最適計算へのフィードバック

運用形態から最適計算(OHPASS)の結果の評価に用いることとなる。

評価の結果で問題がある場合、OHPASSの自動最適化計算にフィードバックする仕組みを構築する必要がある。

## 7 研究の成果と今後の課題

### 7-1 研究成果の概要

本研究の成果と今後の課題を以下にまとめる。

#### (1) 3次元CADとの連動機能の開発

道路線形最適設計システムと3次元CADの連動機能を開発し、以下を実現した。

- 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。
- 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。

#### (2) 拡張DMの利活用のための実証実験

上記で開発したシステムを用いて、拡張DMを用いた実験を行い以下の結果を得た。

- 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。しかし、高さ情報を持っているのは主に等高線のみであり、詳細な地盤形状を作成するには3次元CADでの高さ情報の付与が必要である。
- コントロールポイントの設定においても拡張DMの利用は有効である。しかし、拡張DMの図形とコントロールポイントとして要求される図形が異なるものが存在し、これらについては3次元CADでの操作で図形を作成するか、専用システムの開発で解決する必要がある。
- 実証実験では、実設計とOHPASSの最適設計結果を比較した。最適設計として、実設計より工費および土量が改善された結果が得られた。しかし、以下の2点が課題として残った。
  - (1) 道路設計上考慮しなければならない事項として、「配慮する」「望ましい」「概ね」などの字句で表現される項目に対して、考慮できていない、または、考慮が不十分である。
  - (2) 最適な道路設計の要件とOHPASSの対応状況を整理した。OHPASSで考慮できていない項目については、今後のシステム開発の課題となる。

#### (3) 景観評価のための実証実験

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ム・3次元CADおよびVRシステムを連動して用いることは、景観評価に有効なことが確認できた。

なお、本システムが実現した最適設計と景観評価VRの連動は、以下に示すような場面での効果が期待できる。

- 道路（線形）計画時の景観評価および道路構造評価  
設計者が3次元のいろいろな角度からの景観面及び視認性等の安全面のチェックが出来るなど高度な道路計画が可能となる。また、OHPASSとの連携により線形変更が瞬時にでき、従来に比べて比較検討の時> 間が大幅に短縮できる大きなメリットがある。

- 設計発注者と受注者，所内会議等の打合せ時のプレゼン  
道路構造等をいろいろな角度から見て議論ができる点，分かり易く共通の認識ができる．  
また，OHPASS との連携により種々の線形及び道路構造の比較検討が瞬時に対応できる  
など，従来に比べて大きなメリットがある．
- 地元説明会等  
一般の人にも分かり易いプレゼンが可能で，その場での線形修整，構造変更等瞬時での対応ができる．

## 7-2 理想とする道路最適設計システムの構築に向けて

まず、OHPASS の最適設計計算機能を表 7-1および表 7-2に示す。

表 7-1 OHPASS の計算機能(その 1)

種別	項目	計算機能	設定根拠
平面線形	曲線	通過点モデルでの2点間を結ぶ曲線でできるだけ大きな半径を設定する	通過点モデル上の制約
		定められた最小半径を満たす。	道路構造令および設計要領
		縦断勾配から算出される値より大きい曲線長を設定する。	道路構造令および設計要領
	緩和曲線	通過点モデルに合わせてクロソイドを入れられる場合には入れるようにする	通過点モデル上の制約
		定められた長さ以上の緩和曲線長を入れる	道路構造令および設計要領
		定められた範囲のクロソイドパラメータの緩和曲線長を入れる	道路構造令および設計要領
		曲線半径が大きい場合には緩和曲線を省略できるようにする	道路構造令および設計要領
	直線	定められた直線長の最小値以上にする	道路構造令および設計要領
		直線長の最大値以下にする	道路構造令および設計要領
	連続する形状	隣接する平面曲線半径の比（S型、卵型）を調整する。	通過点モデル上の制約
隣接するクロソイドパラメータ比の範囲内になるようにする		道路構造令および設計要領	
縦断曲線	勾配	道路構造令や設計要領で定められた勾配の最大値以下になるようにする。	道路構造令および設計要領
		トンネル内では、勾配の最大値を小さくして設計する。	道路構造令および設計要領
	縦断曲線	凸型縦断曲線半径を最小半径以上にする	道路構造令および設計要領
		凹型縦断曲線半径を最小半径以上にする	道路構造令および設計要領
横断面	盛土	設計した横断面に従って、断面を作る。	設計条件による
		盛土限界を超える場合には橋梁として設計しなおす。	設計条件による
		土量と地質に合わせた単価に基づいてコストを算出	路線での工費単価による
	切土	設計した横断面に従って、断面を作る。	設計条件による
		切土限界を超える場合にはトンネルとして設計しなおす。	設計条件による
		土量と地質に合わせた単価に基づいてコストを算出	路線での工費単価による
土工量バランス	土砂運搬モデルおよび土工量バランスに従いコストを算出する	路線での工費単価による	
	捨土量に従いコストを算出する	路線での工費単価による	
道路工費	上部路床費(0.3m厚)	単価[円/立方m] × 土工延長[m] × 幅 × 厚み × 2(上下線)	路線での工費単価による
	のり面工費	単価[円/平方m] × のり面の地表からの深度別面積[平方m] × 測点間隔([m])	路線での工費単価による
	排水工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)	路線での工費単価による

表 7-2 OHPASS の計算機能(その 2)

種別	項目	計算機能	設定根拠
道路工費	舗装費	舗装単価[円/m <sup>2</sup> ] × 土工延長[m] × 道路幅[m] × 2(上下線)	路線での工費単価による
	縁石工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)	路線での工費単価による
	中央分離帯	単価[円/m] × 土工延長[m]	路線での工費単価による
	交通管理施設		路線での工費単価による
	標識工	単価[円/m] × (土工延長+ 橋梁延長)[m]	路線での工費単価による
	防護柵工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)	路線での工費単価による
	立ち入り柵工	単価[円/m] × 土工延長[m] × 2(上下線)	路線での工費単価による
	通信管路	単価 [円/m] × (土工延長+ 橋梁延長)[m]	路線での工費単価による
	可変式速度規制標識	単価[円/m] × 土工延長[m]	路線での工費単価による
	交通管理施設		路線での工費単価による
	路傍植栽	単価[円/m] × 土工延長[m]	路線での工費単価による
トンネル工費算出	本土工	地山評価点の2 次関数で表される単価 × トンネル延長[m]	路線での工費単価による
	坑門工	1箇所当りの単価 × 2(出入口で2 箇所)	路線での工費単価による
	照明トンネル	延長の1 次関数	路線での工費単価による
	内装	トンネル延長に比例(トンネル等級ごとに係数が異なる)	路線での工費単価による
	非常駐車帯	トンネル延長の1 次関数(750m 毎に1 箇所)	路線での工費単価による
	換気塔	トンネル延長の1次関数	路線での工費単価による
	電機室建物	トンネル延長の1 次関数	路線での工費単価による
	受配電設備	トンネル延長の1 次関数(機械換気の有無で係数が異なる)	路線での工費単価による
	自家発電	トンネル延長の1 次関数(機械換気の有無で係数が異なる)	路線での工費単価による
	遠方監視	トンネル延長の1 次関数(機械換気の有無で係数が異なる)	路線での工費単価による
	非常用設備	トンネル延長の1 次関数(トンネル等級で係数が異なる)	路線での工費単価による
橋梁工費算出	スパン	橋梁が最小コストになるようにスパンを決める	モデルに合わせ計算する
	橋台	橋梁端における高さに応じてコストを算出する	路線での工費単価による
	橋脚	スパンに合った測点での橋脚の高さに応じてコストを算出する	路線での工費単価による
CPのチェック	避ける施設	宗教施設、文化施設、住宅、工場等は避ける。通過するためには多大なコストが発生	設計条件による
	施設から距離をとる	学校、病院は敷地よりもある程度大きさだけ離す	設計条件による
	線状のコントロールポイント	河川、鉄道、道路等にかかるときは、高架または橋梁にする	物理的な制約

次に、理想とする道路設計を実現するものが理想的な道路最適設計システムであるとの観点より、理想とする道路の概念を図 7-1にまとめる。

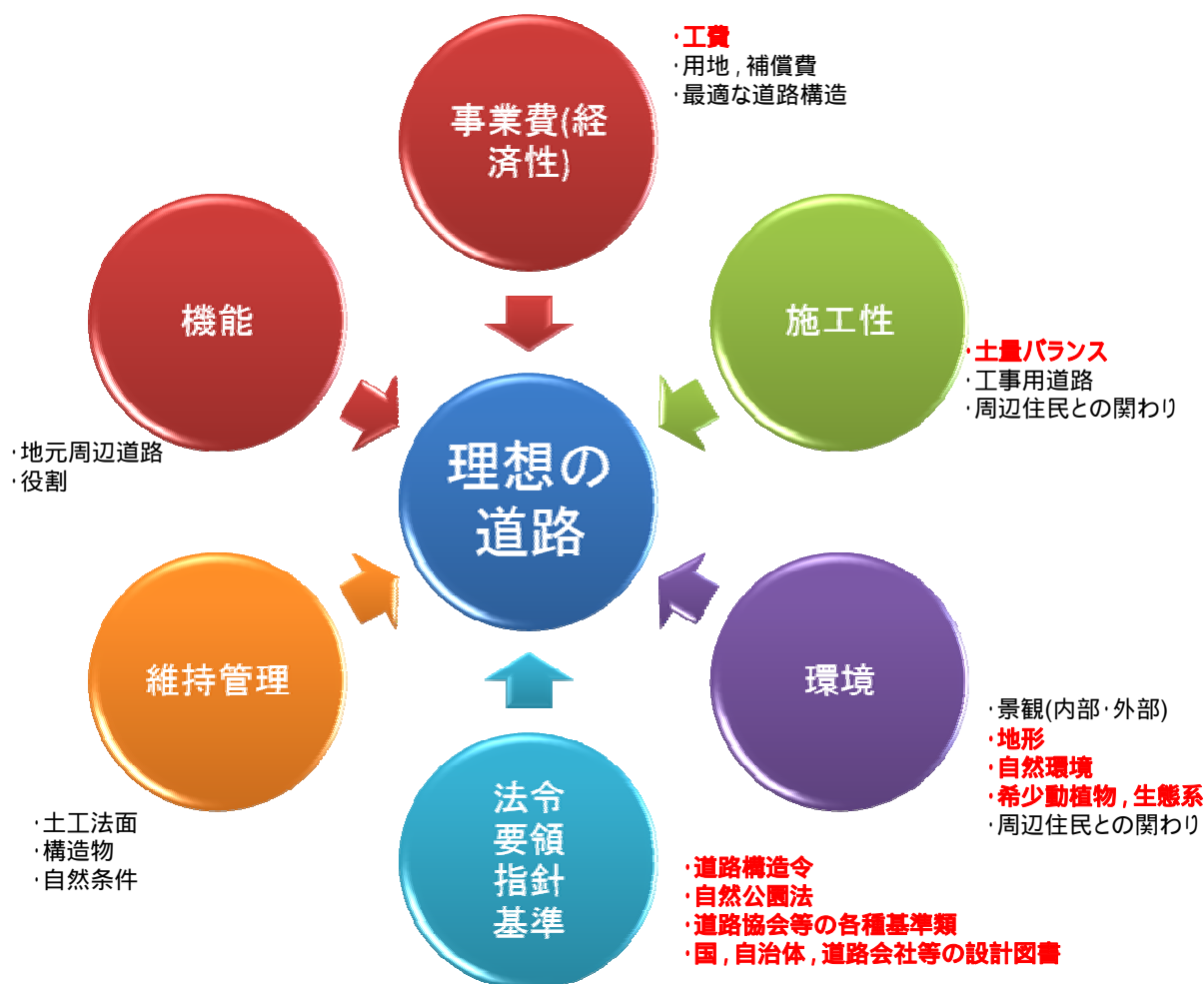


図 7-1 理想の道路の要件

上図において、赤い文字で示した項目は、表 7-1等より整理した本システムでの対応ができていない項目である。現状で OHPASS の最適設計機能が対応しているのは、土量バランスや工費などの数量項目、道路構造令などの法規・法令の規定、および比較的明確に決定できるコントロールポイントである。また、現状で対応できていても課題が内在する項目もある。これらの課題と現状、および今後の対応方針について表 7-3 にまとめた。

表 7-3 OHPASS システムの現状と今後の対応一覧

現状		対応	
項目	詳細	方針および効果	課題
拡張 DM からのデータ取得	三次元 CAD で読み込んだ後、手動でコントロールポイントの属性を付加するために作業効率がよくない	拡張 DM の属性情報からコントロールポイントの属性を自動的に作成することで作業効率の改善および、確実なデータの受け渡しを実現する	属性が正しく付加された拡張 DM の流通が不可欠である
横断面の構造物	切土盛土のみ対応のため、必要な用地が広がる	擁壁などの構造物を設置すると、必要な用地が狭くなるためトータルコストで安くなる場合がある	OHPASS で用地費の対応が必要不可欠である
本線分離断面	高規格道路のトンネル部は基本的に上下線が分離するが、分離断面ができない	分離断面に対応することで山岳地帯の最適線形の精度を上げる	分離した線形が交差しないように、最適線形を制御しなくてはならない
IC, JCT, SA・PA	設置場所は限られるため道路設計上は考慮する必要があるが、考慮できない	IC, JCT, SA・PA に対応することで高規格道路の最適線形の精度を上げる	設置場所が限定されるため、今の最適線形探索アルゴリズムへの組み込みが難しい
平面交差点	OHPASS が高規格道路向けのシステムのため、対応していない	平面交差点に対応することにより OHPASS の適用範囲を一般道路に拡大できる	通過部分が限定された自動線形探索アルゴリズムの構築が難しい
コントロールポイント	すべてのコントロールポイントに対応していない	コントロールポイントを追加することにより、最適線形の精度を上げる	すべてのコントロールポイントを表現するのは難しい
あいまいな表現	“等高線と直交することが望ましい”などあいまいな表現で表される制約条件に対応していない(対応できたとしてもペナルティを与える方法しかない)	コントロールポイントのペナルティ付与ルールを細かく設定することにより、多少は精度を上げることができる	完全な対応はかなり難しい
用地・補償費	用地・補償費が考慮できないため、市街地など用地・補償費が重要になる場合に対応できない	用地・補償費を考慮できるようにすることにより、市街地にも適用可能にする	元の用地・補償費の設定が面倒かつ難しい
景観	景観を評価できない	景観を評価する手法はいくつかあるが、まずは景観を表示することにより、PI などに対応できる	定量化についてはさらなる検討が必要となる



OHPASSに残された課題は、簡単には対応できない項目が多々ある。本研究においては実験のひとつとして、VRシステムとの連動実験を行った。これはコンピュータによる自動設計システムと人間の評価との連動実験でもある。今後の道路最適設計システムの開発の方向としては、設計要件を数値化し自動設計に組み込む部分と、人間系の評価との連動により解決する部分を切り分けて開発を進めたいと考えている。

## 助成研究者紹介

こばやし あきら  
小林 明

現職：株式会社横河技術情報 技術部 シニアリーダー

やまさき もとや  
山崎 元也

現職：東京農業大学 地域環境科学部 造園科学科 准教授

てらお としお  
寺尾 敏男

現職：株式会社ニュージェック 執行役員

まつばやし ゆたか  
松林 豊

現職：国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター  
情報基盤研究室

や た べ ともゆき  
谷田部 智之

現職：株式会社三菱総合研究所 情報通信技術研究本部 研究員

## **SUMMARY REPORT OF THE CONSTRUCTION OF OPTIMAL ROAD ALIGNMENT RETRIEVAL SYSTEM BY UTILIZING ENHANCED DM DATA**

Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan declares the promotion to utilize 3D information in the promotion project of CALS/EC. We have ‘OHPASS’; the system to output the alternatives of road alignment, by setting control points and conditions generated from 3D digital geographic data to place priority on the economic efficiency, alignments, and earthwork balance. However, we could apply it only on the limited areas because it is difficult to use and generate 3D digital geographic data. Therefore, we decided to examine to improve our system and enhance the utilization by using the enhanced DM which is put to practical use recently.

OHPASS is an road design system which is applied the genetic algorithm on the optimizing process based on the combination of passing points, using the method named “alignments model of passing points” to determine road alignments from the passing points. The input data from the geographic map to the OHPASS (land form, planimetric features, additional facility, weather, road structure, cross road, railways, rivers, etc.) is the various control points regulated on the three-dimensional topographical data and routes. Using a 3D CAD system, we developed the convert function from the enhanced DM, and experimented on the properties which are completed in planning in the previous period. As a result of the experiment, we could confirm the effectiveness of using the enhanced DM to reduce the labor in input three-dimensional land form or control points. However, we disclosed the problems, for example, the required geometry types is different between the enhanced DM and control points.

On the other hand, we arranged the items of design evaluation and requirements on the road improvement, compared and examined these factors with present feature and result of optimal design generated by OHPASS, we rearranged the requirements of optimal design function which OHPASS should equip.

As a result of rearrangement of features for optimal design function which OHPASS should be provided, we focus on the “scenery of road” as an item which is difficult to systematize. We decided to examine the connection to the CG/VR system, as one of the solutions to this problem, and made connective experiment with UC-Win/Road, which is a suitable VR system to examine scenery. This experiment was performed by exchanging the data of the optimal designing result of OHPASS with VR system through three-dimensional CAD system. As a result of this experiment, we could get the sufficient achievement in the examination of scenery within the roads of drivers’ field of vision, and there remained the action assignment in the examination of the scenery from the roadside. However, after we set the three-dimensional topographical data and control points, we could demonstrate that we can examine the scenery of the alternative designs considering earthwork balance or cost within 1 hour, so we can expect to apply in case of Public Involvement etc.

As the future works of road design optimization, we plan to divide the system into two parts and develop; one is the part to develop the automatic design based on evaluatable design requirements and, and the other part is to solve the problem by interlocking with evaluation by .people.

## 研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第2006-7号	拡張DMデータとそれを利活用した、道路の最適線形検索システムの構築	小林 明 株式会社横河技術情報

国土交通省は、CALS/EC の推進計画の中で、3次元情報の利用促進を掲げている。筆者らは、3次元の地形データを利用しコントロールポイントおよび設計条件を与えることにより経済性や線形・土量バランスを優先にした線形の候補を出力するシステム(OHPASS)を有しているが、3次元地形データの入手、作成の困難さより、限られた地域しか適用できていない。そこで、最近、活用が始まりつつある拡張DMの利用による本システムの高度化や活用場面の拡大を検討することとした。

OHPASS は、「通過点モデル」と名づけた通過点より道路線形を定義・計算する手法を用いて、通過点の組み合わせによる最適化プロセスに遺伝的アルゴリズムを適用した最適設計システムである。OHPASS への地形図からの入力情報は、3次元地形データおよび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)である。拡張DMよりこれらの入力情報を取り込む機能を3次元CADシステムを利用して開発し、過年度の設計完了物件を対象とした実験を行った。実験の結果として、拡張DMの利用は、3次元地形やコントロールポイントの入力省力化に有効であることが確認できた。しかし、拡張DMの図形タイプとコントロールポイントとして求められる図形タイプが異なる地図要素が存在するなど、課題も明らかになった。

一方、道路設計における設計評価項目および道路整備に求められる要件を整理し、これらとOHPASSの現状機能およびOHPASSによる最適設計結果を比較検討し、OHPASSが備えるべき最適設計機能について整理した。

OHPASS が備えるべき最適設計機能の整理の結果、システム化が困難である重要考慮項目として「景観」に注目した。この問題のひとつの解決策として、CG/VRシステムとの連動を検討することし、道路景観検討に適したVRシステムであるUC-Win/Roadとの連動実験を行った。実験は、OHPASSの最適設計結果を3次元CADシステムを介してVRシステムとデータ交換することにより行った。実験結果としては、運転者視点の道路内の景観検討では十分な成果が得られたが、沿道からの景観検討については現況地物の再現に課題を残した。しかし、3次元地形とコントロールポイントを設定後は、約1時間という短時間で土量バランスや工費を考慮した比較案の景観検討が可能であることが実証され、PI等の場面での活用が期待できる。

今後の道路最適設計システムの開発の方向としては、設計要件を数値化し自動設計に組み込む部分と、人間系の評価との連動により解決する部分を切り分けて開発を進めたいと考えている。