

道路線形の関数表現を用いた道路設計情報モデルの構築とその実装

Application and Development of the Highway Design-Information-Model Utilizing the Parametric Alignment Model

蒔苗 耕司¹

Koji Makanae

抄録: 本研究では、道路線形の関数表現モデルを適用し、距離情報を基盤情報とした道路設計情報モデルの構築を行った。道路設計情報モデルの構築にあたっては、道路構造令のオブジェクト指向分析により道路の構成要素を整理し、本研究の対象として車線、路肩、中央帯、歩道、道路付属物(防護柵、樹木、標識)を抽出した。構築した設計情報モデルの実装システムとして、道路シーケンスエディタ(HSE)の開発を行い、構築したモデルが有効であるとともに、設計の効率化を実現するシステムの構築が可能であることを示した。また本システムにより構築される設計情報データは XML により記述され、その構造も簡易であり、統一的な設計情報として取り扱うことが可能であることを示した。

Abstract: In this research, the highway design model based on distance information applying the parametric alignment model of highway alignment was developed. In development of a highway design-information-model, the composition elements of road was arranged by the object oriented analysis of the Road Structure Ordinance, and a lane, a shoulder, a center strip, a sidewalk and accessory structure(a protection fence, trees, signs) were extracted as a objects of this research. As an application system of a design-information-model, the Highway Sequence Editor (HSE) was developed, and while the built model was effective. Moreover, it was shown that the design-information-data built by this system is described by XML, the structure is also simple, and it is possible to deal with it as unific design information.

キーワード: プロダクトモデル, 道路線形, 道路幾何構造, 3次元 CAD, 設計情報モデル

Keywords: Product Model, Highway Alignment, Highway Geometry, 3D-CAD, Design-Information-Model

1. はじめに

情報技術の進歩に伴う設計情報の3次元化と標準化の必要により、機械製造分野を中心として、オブジェクト指向の概念を用いた製品情報のモデル化(プロダクトモデル)に関する研究開発が進み、既に実用化の段階に達しつつある。道路設計分野においても、同様のオブジェクト指向の概念を適用した道路情報モデルの研究開発が欧米を中心として行われている(独 OKSTRA¹)等)。一方、日本国内における設計情報の電子化は主に製図情報電子化とその標準化に主眼が置かれ、情報モデルの構築に対する関心は低い状況であり、近年、JHDM(Japan Highway Data Model²)等の研究がようやく始まった段階である。

このような背景の下、著者は道路線形の関数表現を適用した3次元展開可能な道路幾何構造モデルの構築を行うとともに³⁾、そのモデルを実装可能な設計支援システムに関する研究を行ってきた⁴⁾⁵⁾。本研究では、これまで道路幾何構造に限定して開発してきた道路情報モデルを拡張し、道路付属物を含めた統合的なモデリング環境を構築した。本論文では、構築した道路設計情報モデルにつ

いてまとめるとともに、その実装による設計支援システムのプロトタイプとして道路シーケンスエディタ(Highway Sequence Editor; HSE)の構築とその有効性について述べる。

2. 道路構造令のオブジェクト指向分析

道路情報モデルの構築にあたって、道路の構成要素を明確にする必要がある。そこで現行の国内における道路設計基準となっている道路構造令に基づき、道路構造令のオブジェクト指向分析を行い、道路の構成要素(クラス)の整理を行なった。その結果を示す UML クラス図を図-1に示す。

図に示すように、道路は線形や横断構成、設計速度等の道路構造に関わるクラスを有する他、地域や事業者、利用者等のクラスとの関連を有しており、それらはさらに多くのクラスにより構成されている。

1 : 正会員 博士(情報科学) 宮城大学 助教授 事業構想学部デザイン情報学科

(〒981-3298 宮城県黒川郡大和町学苑 1 Phone:022-377-8368 E-mail: makanae@myu.ac.jp)

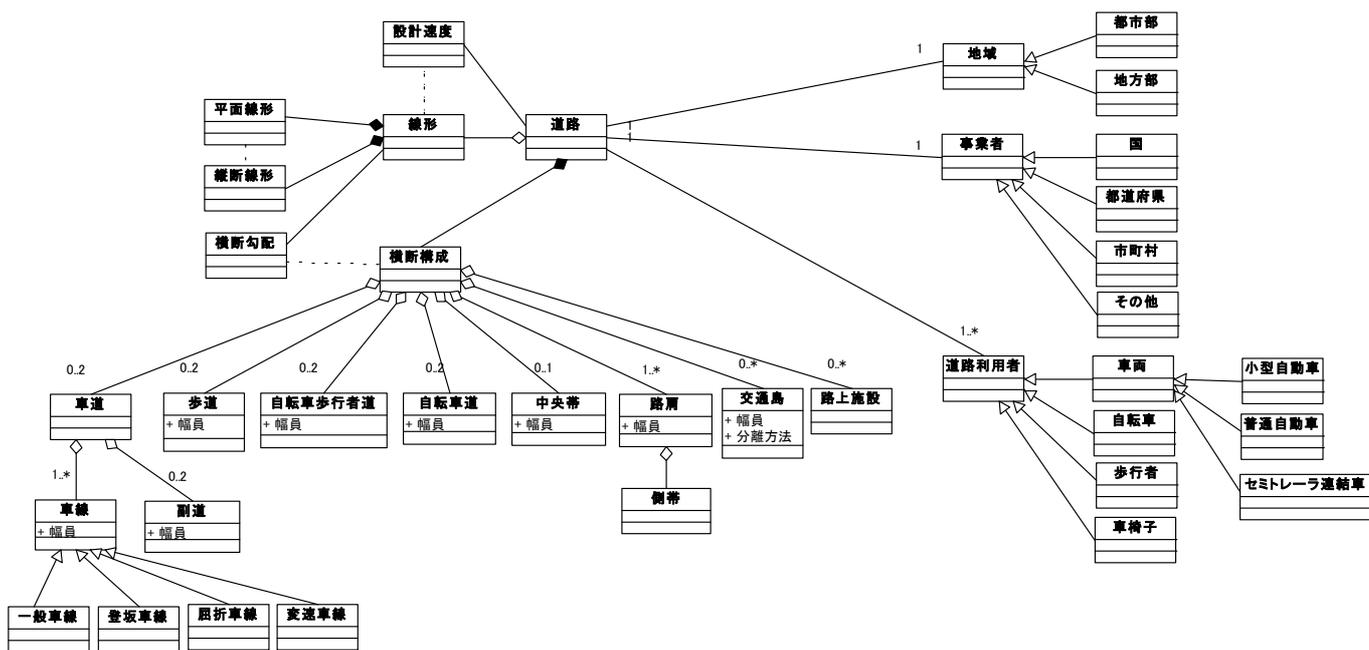


図-1 道路構造令に基づく道路構造のオブジェクト指向分析

3. 道路幾何構造モデルの構築

(1) 道路線形の関数表現

道路の設計情報モデルを構築するためには、道路の幾何構造をどのように取り扱うかが課題となる。それは幾何構造の定義のみならず、それに付属するオブジェクト(道路付属物等)の位置の定義手法を規定する条件となるからである。そこで、ここでは道路の幾何構造の定義手法について述べる。

道路の幾何構造は、道路線形(平面線形、縦断線形)と横断面により定義できる。道路線形は平面線形に対して縦断線形が従属的であり、互いに独立して存在し得ない。また横断面は線形に対して従属的に定まる。従って、これらの構成要素は相互に関連性を有しており、線形の一部の修正が全体に及ぶという特性を有する。従前の設計手法によれば、平面線形については直線、円曲線、緩和曲線(クロソイド等)という3種類の異なる線形要素、縦断線形については直線、緩和曲線(2次曲線等)により構成され、それぞれの要素の形状を定めるパラメータは様々であり、一貫性をもって取り扱うことはできないという問題がある。この問題は効率的な設計システムを構築する上でも大きな障害要因となり得る。このような問題に対し著者は、平面線形を曲率関数、縦断線形を勾配関数として個々の線形要素を考慮することなく、それぞれ距離に対する曲率、勾

配を定義し、距離をパラメータとして一貫的に取り扱うとともに、それぞれを独立的に扱う手法を示した³⁾。またこの手法の適用により、曲率に応じた片勾配や拡幅の自動設計が可能であることが明らかとなっており、効率的な設計を実現可能である。そこで、本研究では道路幾何構造の根幹において同様の手法を適用するものとし、以下に当該手法を用いた道路幾何構造モデリングの概要を示す。

a) パラメータ距離 L の定義

自動車の等速走行を前提すれば、 $L = vt$ (ただし L : 距離、 v : 速度、 t : 時間)であるから、時間-速度-曲率系、時間-速度-勾配系はそれぞれ距離-曲率系、距離-勾配系と考えることができる。それぞれの系において道路線形の距離 L を基幹的なパラメータとした関数を定義する。

b) 曲率関数

等速で走行する自動車において、ハンドルが一定であれば、その軌跡の曲率は走行距離に関わらず一定であり、直線あるいは円曲線となる。一方、運転者がハンドルを等角速度で回転させながら走行する場合には、その軌跡の曲率は走行距離に比例して増加あるいは減少する曲線、すなわちクロソイドとなる。これらの線形要素の連続である平面線形は、時間あるいは距離に対する曲率の関数として考えることができ、ここで距離 L に対する曲率変化を示す関数を曲率関数 $\Theta(L)$ とする。現行の道路設計において用いられている全ての線形要素(直線、円曲線、クロ

ソイド曲線)は、曲率関数において 1 次関数として表現できる。

$$\Theta(L) = \Delta\theta \cdot L + \theta_s \quad (1)$$

ただし、 $\Delta\theta$: 曲率変化率 θ_s : 初期曲率

連続した道路線形では、曲率関数 $\Theta(L)$ は連続した区分的 1 次関数と考えることができ、曲率関数を定義するためには、その境界条件 (L_n, θ_n) ($n=0,1,2,3,\dots$) を与えればよい。

c) 勾配関数

現行の設計手法において、縦断線形要素は直線、縦断曲線で構成され、縦断曲線には一般に放物線が用いられている。したがって、縦断線形の微分である勾配は 1 次式で表現され、ある区間における勾配変化率を Δj 、初期勾配を j_s 、起点 $L = 0$ とすれば、勾配関数 $J(L)$ は式(2)のように表現できる。

$$J(L) = \Delta j \cdot L + j_s \quad (2)$$

ここで、直線の場合には $\Delta j=0$ 、曲線の場合に $\Delta j \neq 0$ である。

平面線形と同様に縦断勾配も連続的であるから、勾配

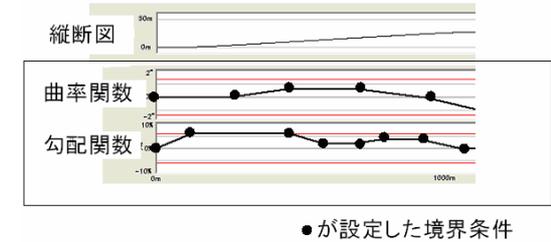


図-2 曲率・勾配関数による道路線形の定義の例

関数 $J(L)$ は連続であり、区分的に 1 次関数として取り扱うことができる。したがって、勾配関数 $J(L)$ は境界条件 (L_n, j_n) ($n=0,1,2,3,\dots$) により規定できる。

図-2 は、道路中心線の距離に対する曲率、勾配の境界

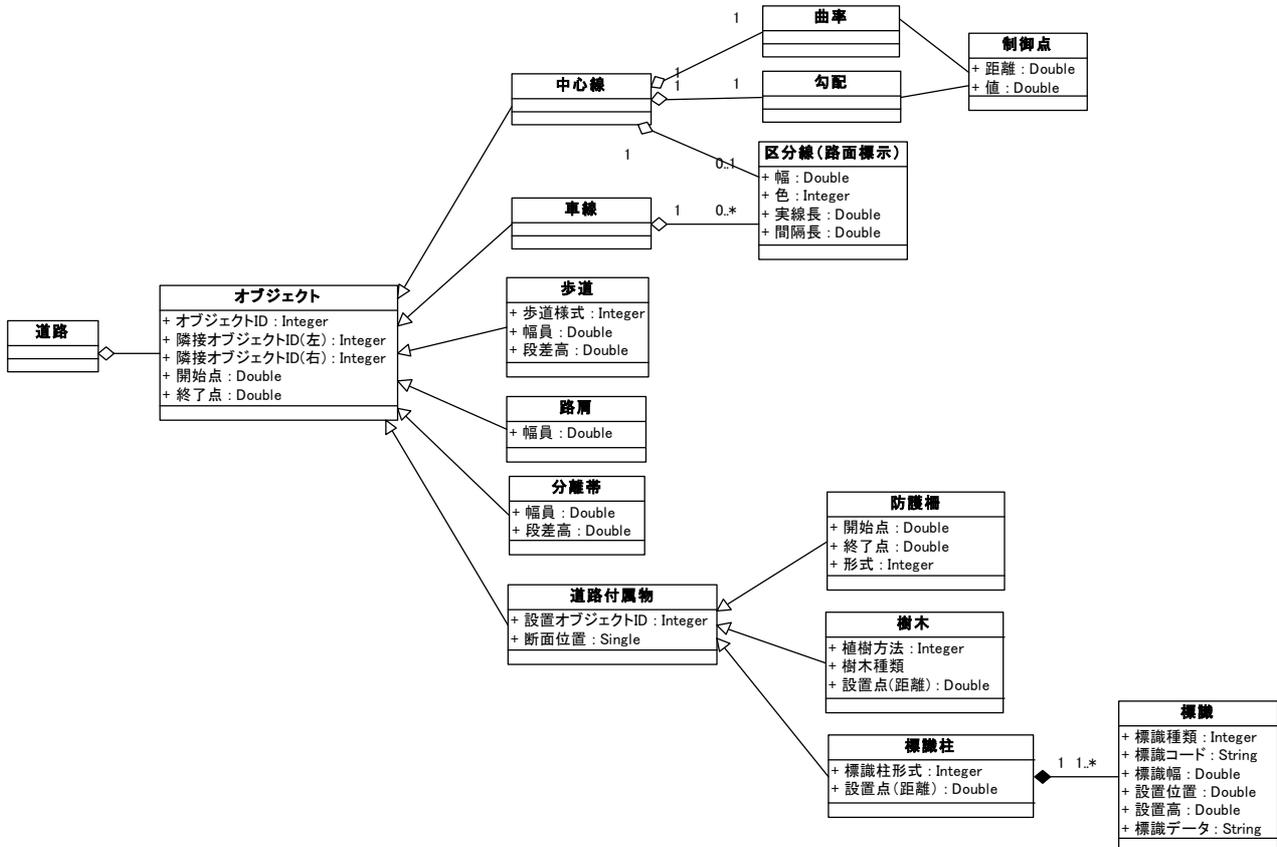


図-3 道路設計情報モデル

条件を下段の 2 つのグラフの様に定めた場合に、空間展開された平面線形、縦断線形を示した例である。

(2) 道路の構成要素の定義

2. で示したように道路構造は多くのオブジェクトにより構成される。道路構造を定義するにあたって、これらのオブジェクトと(1)の道路線形との関連を定義する必要がある。これらの定義手法を検討するにあたっては、道路の主要な構成要素として、以下の要素に限定して検討を行う。

- ・車線
- ・路肩
- ・中央帯
- ・歩道
- ・道路付属物(防護柵、樹木、標識)

道路の情報モデルの構築においては、これらの構成要素の属性情報(幅員等)を定めるとともに、基幹となる道路線形の距離情報との関連を示す必要がある。抽出したクラスに対し、必要な属性情報を付加した詳細な道路設計情報モデルを図-3 に示す。また各クラスの属性に関する説明を表-1 に示す。

4. 道路シーケンスエディタ(HSE)の開発

(1) HSE の概念

3. で構築したモデルは、道路中心線の距離情報を基幹情報とした設計情報モデルであり、線形形状、横断構成要素も距離情報に従属的に定義される。従って、本モデルに基づいた道路設計支援システムの構築においても、距離情報をベースとし、その上で曲率や勾配、横断構成、付属物の設置等の検討ができるシステムとすることを目指す。システムのイメージは図-4 の通りである。

このシステムにおける距離のように、連続的な 1 次元情報に対してさまざまな情報を付加するシステムとして、音楽作成に用いられる MIDI sequencing software がある。これは連続的な時間軸に対して、音(MIDI)の情報を付加し、それを音楽として表現するものである。本研究におけるエディタも同様の概念を有するものであり、ここで道路シーケンスエディタ(Highway Sequence Editor; HSE)と呼ぶものとする。

HSE の開発環境は以下の通りであり、開発した道路情報モデルの実装には XML を用いた。

ハードウェア: IBM PC/AT 互換機

OS: Microsoft Windows 2000/XP Professional

開発言語: Microsoft Visual Basic 6.0

OpenGL グラフィックスライブラリ

Microsoft XML (DOM; Document Object Model)

(2) 道路幾何構造モデリング

道路構成要素の属性と関数化モデルによるパラメトリックな道路線形を基に、基本的な設計条件(設計速度、基本横断勾配等)に基づき、道路構造は 3 次元的に空間に展

表-1 属性の説明

クラス	属性	説明
道路		ルートとなるオブジェクトであり、全てのオブジェクトを統括的に支配する。
基本オブジェクト		道路の基本構成要素
	オブジェクト ID	オブジェクトのシーケンシャル ID
	隣接オブジェクト ID(左)	左に隣接するオブジェクトの ID を示す。
	隣接オブジェクト ID(右)	右に隣接するオブジェクトの ID を示す。
	開始点	道路線形に対する当該オブジェクトの存在開始点(距離)
	終了点	道路線形に対する当該オブジェクトの存在終了点(距離)
中心線		曲率、勾配により規定される道路の中心線オブジェクト
	曲率	制御点の情報を有する。
	勾配	制御点の情報を有する。
制御点		曲率及び勾配の制御点
	距離	制御点の位置(距離)
	値	制御点のもつ値
車線		車線オブジェクト
	幅員	車線の幅員を示す。
歩道		歩道オブジェクト
	歩道様式	歩道の様式の情報(段差の有無等によりコード化)
	幅員	歩道幅員を示す。
	段差高	段差のある場合の段差の高さを示す。
路肩		路肩オブジェクト
	幅員	路肩の幅員を示す。
中央帯		中央帯オブジェクト
	分離帯幅員	中央帯のうち分離帯の幅員
	側帯幅員	中央帯のうち側帯の幅員
	段差高	分離帯のある場合の段差の高さ
区分線(路面標示)		路面標示オブジェクト
	幅	区分線の幅
	色	区分線の色(白/黄)
	実線長	実線部分の長さ
	間隔長	間隔部分の長さ
道路付属物		道路付属物オブジェクト
	設置オブジェクト ID	当該道路付属物が設置されるオブジェクト
	断面位置	設置オブジェクトに対する付属物の断面上の位置
防護柵		防護柵オブジェクト
	開始点	設置区間の開始位置
	終了点	設置区間の終了位置
	形式	防護柵の形式(ガードレール、ガードケーブル等)
樹木		樹木オブジェクト
	植樹形式	植樹の有無等
	樹木種類	樹木の種類
	設置点	樹木の位置(距離)
標識柱		標識柱オブジェクト
	標識柱型式	標準、F 型、門型等
	設置点	標識柱の位置(距離)
標識板		標識板を示すオブジェクト
	標識コード	標識内容を表すコード
	幅	標識板の幅
	設置位置	標識柱に対する設置の水平位置
	設置高	標識柱に対する設置高
	標識データ	標識の画像データの所在

開できる。展開される道路幾何構造は片勾配や路面排水、車線幅等も考慮した形状である。

なお文献³⁾では単純な 2 車線道路のみを対象としていたが、今回のモデルでは中央分離帯の存在する他車線のモデリングも実現している。中央分離帯の存在する場合の回転軸の設定については、それぞれの車道中心線に回転軸をとる方法を用いている(図-5)。

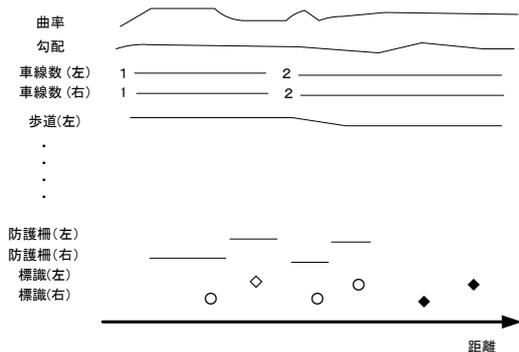


図-4 HSE の概念

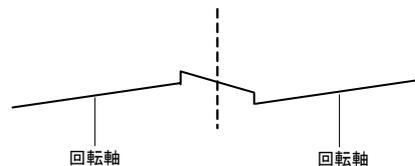


図-5 分離道路における回転軸

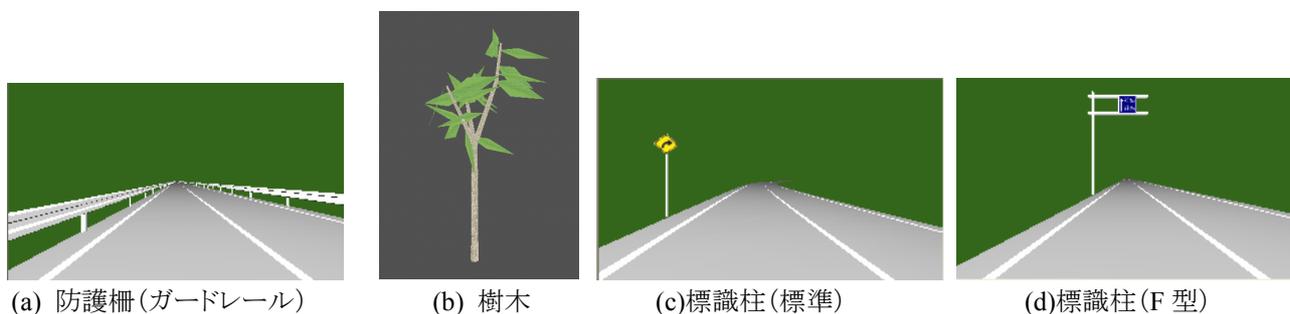


図-6 道路附属物形状モデルの例

(3) 道路附属物のモデリング

a) 防護柵

防護柵については、ガードレール(図-6(a))あるいはガードケーブルの2種類を対象とする。

防護柵のモデリングにおいては、これらが連続的な構造物であることを考慮し、左右それぞれの車線について、型式(ガードレールかガードケーブルか)をまず定め、開始点及び終了となる距離情報を設定することにより、自動的に形状生成を行うようにした。

b) 樹木

植栽としての樹木については、属性として植樹方法、樹木種類、設置点の3つが定義されているが、今回のシステム構築にあたっては、以下の通りの単純なモデルとした。

- ・植樹方法:今回は考慮しない(植樹柵を設けない)
- ・樹木種類:今回は1種類に限定
- ・設置点:樹木の設置位置(距離情報)

なお樹木には、関節モデルを用いた簡易な3次元ポリゴンモデルを適用した(図-6(b))。

c) 道路標識

道路標識は、標識柱オブジェクトとそれに付随する標識板オブジェクトにより構成される。標識柱オブジェクトは、標識柱型式(標準標識柱(図-6(c)), F型標識(図-6(d)), 門

型標識)、標識位置(距離情報)を定義することにより、路端に設置される。

標識板オブジェクトは表示内容を示す標識データとのリンクを有している。標識データには規制標識、警戒標識、案内標識が含まれ、道路標識令に基づく画像データとして蓄積されている。

(4) HSE のユーザーインターフェースとその有効性

構築したHSEのユーザーインターフェースを図-7示す。画面(a)が標準的に表示されるインターフェースであり、画面下部の背景が黒色のウィンドウが入力ウィンドウである。この入力ウィンドウは入力項目では、実際には画面のスクロールにより画面(b)のように曲率関数、勾配関数、車線数(左)(右)、防護柵(左)(右)、歩道幅(左)(右)、分離帯幅、樹木(左)(右)、標識(左)(右)等の数量、設置位置に関する設定が可能であり、その設定に応じて平面図、縦断図や片勾配、車線幅員等の計算結果がグラフィック表示される。さらにそれらに基づく3次元透視図がリアルタイムで表示される。透視図の視点位置は任意にその設定が可能である。また設計速度、標準横断勾配等の基本的な設計条件については、別の設定画面により設定する。

当該システムにより、道路の3次元形状を容易に得ることができるようになるとともに、距離標に基づく道路附属物の

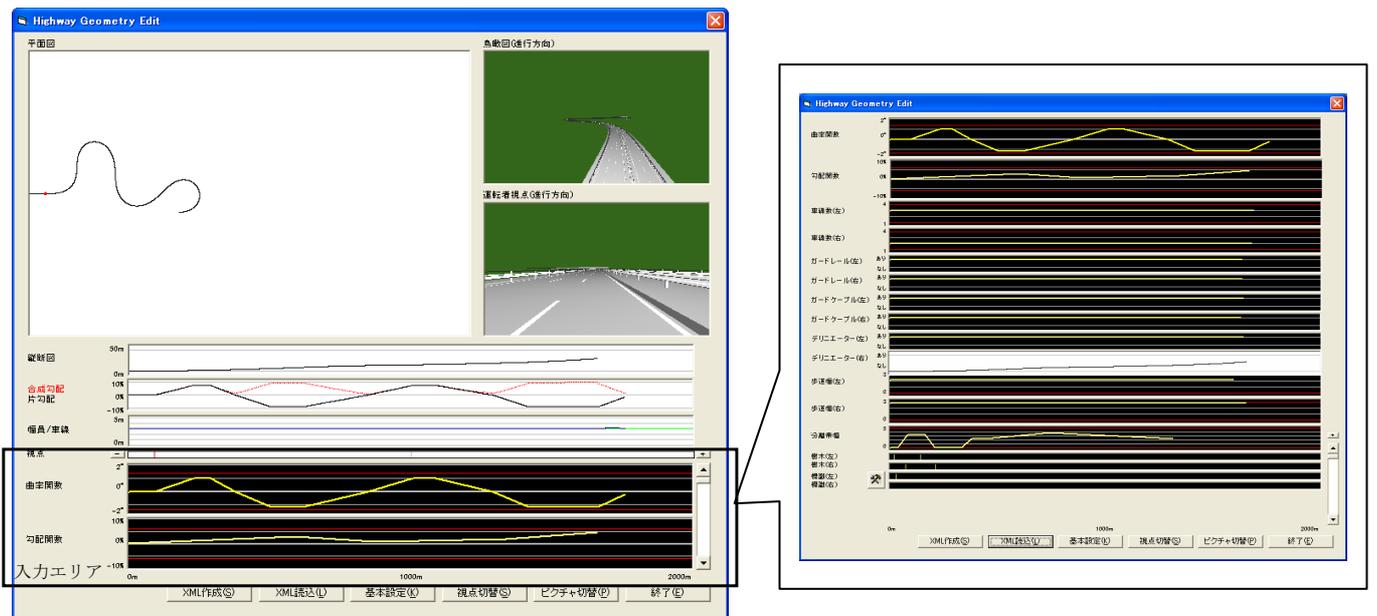


図-7 HSE のインターフェース

設計が可能であり、実空間的位置と道路空間上の位置との整合を考慮せずに設計が可能となる。

また、システム上で構築したデータについては XML 形式で保存、道路設計における本質的設計条件のみを記録する極めて簡易な形式となっている。そのため、従前の設計のように平面線形の修正が全てに影響し、再作業を要求するような問題は生じることなく、道路設計情報を統一的に扱うことを可能としている。

5. むすび

本研究では、道路線形の関数化モデルを適用し、距離情報を基盤情報とした道路設計情報モデルの構築を行った。さらにその実装システムとして、道路シークエンスエディタ(HSE)の開発を行い、構築したモデルが有効であるとともに、設計の効率化を実現するシステムの構築が可能であることを示した。また本システムにより構築される設計情報データは XML により記述され、その構造も簡易であり、統一的な設計情報として取り扱うことが可能であることを示した。

これまでの道路の空間的情報は、直交座標系により支配される実空間座標系と道路線形に沿った距離情報(距離標)を軸とする道路空間座標系の 2 つの座標系が混在しており、効率的な設計システム構築の阻害要因の一つであったと考えられる。本研究では線形設計も含めて道路空間座標系に統一したことにより、一貫性を有するシステムの構築を実現している。今後は、よりシステムを実用化レベルへと発展させるために、モデル及びシステムの有効性の検証を進めるとともに、今回は限定的に扱ってきた道路の構成要素をさらに拡充させていく必要がある。また本研究では道路構造物のみを対象としてきたが、周辺の地

形との整合を図るシステムへの発展も必要である。この段階において、実空間座標と道路空間座標をいかに関連付け、効率的なシステムを構築するかが課題となる。

また今回、開発した道路設計情報モデルの概念は、距離情報を基盤情報とすることにより、設計情報の維持管理への応用を容易にすることが期待される。また同様の概念を維持管理システムへと導入することも可能であると考えられ、これらについては今後の課題である。

謝辞: 本研究は、(財)日本建設情報総合センターの研究助成を受けて実施したものである。また本研究を進めるにあたって、株式会社トリオン 千葉洋一郎氏、国際航業株式会社 政木英一氏には調査にご協力いただくとともに、有益なご意見をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) OKSTRA Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen, <http://www.okstra.de/>, 2003.
- 2)山崎元也・本郷延悦・千葉洋一郎:Japan Highway Data Model 構築の基礎研究, 土木情報システム論文集 Vol.10, 33-42, 2001.
- 3) 蒔苗耕司: 曲率関数・勾配関数による道路幾何構造の 3 次元設計, 土木学会論文集, No.639/IV-46, pp.13-22, 2000.
- 4) 蒔苗耕司: 自動走行支援のための経路情報モデルの構築, 第 2 回 ITS シンポジウム 2003 Proceedings, ITS Japan, pp.385-390, 2003.
- 5) Koji Makanae: Highway Sequence Editor Based on the Length-based Highway Product Model, Proceedings of ICCCB2004, 2004.