

I-4 パーソナルコンピュータによる3次元CADを活用した高速道路の路線選定

Highway Route Selection Utilizing 3D-CAD Aided by The Personal Computer

○新井伸博¹秋山道彦¹岡林隆敏²

Nobuhiro Arai

Michihiko Akiyama

Takatoshi Okabayashi

【抄録】本研究では、地形、地物の情報をもとに複数の計画路線を比較選定する概略設計において、3次元CADとCGにより3次元デジタル情報を視覚化して立体的な視点から路線を比較し、その優劣を判断する路線選定手法を実用化した。対象路線の設計や協議の過程において、設計図面や鳥瞰図だけでは線形性や走行性、さらに景観性などの空間的な広がり伝えることが難しい。そこで、道路設計に用いた3次元のデジタル情報を有効に活用する手段として、パーソナルコンピュータを用いてデータ作成方法や表現方法を実現化した。この結果、道路設計において、3次元のデジタル情報が容易に活用できることが確認できた。

【Abstract】 In this paper, several routes are selected comparatively with the application of 3D-CAD and computer graphics based on the perspective view of topographic details. During the design period of a route, it is sometimes difficult to relate the route's alignment and even aesthetics in a three-dimensional manner by merely using design and perspective view drawings. In view of this, we tried to make possible for the three-dimensional digital information in the road design to be effectively utilized by using personal mobile computing on data processing and data representation. As a result, we determined that this method proves to be an easy way in handling 3D digital information.

【キーワード】 CAD, CG, 情報の共有化

【Keywords】 CAD, CG, Sharing of Information

1. はじめに

高速道路における路線計画の段階では、対象の範囲が広範囲にわたることや道路周辺の状況が図上でしか確認できないため、空間的な広がりをイメージしながら最適な路線を決定する設計協議や、道路計画を伝える地元説明での合意形成などを困難にしている現状がある。路線選定の主たる目的が利用者の走行快適性・安全性の向上、さらに生活空間としての地域環境との調和にあることを考慮すれば、計画の早い段階から利用者・住民等が参加しやすい協議や評価方法の導入が望まれる。

路線選定を行う際、計画された道路線形の幾何学的な検討には2次元平面としての平面図と縦断図の表現が必要であるが、運転者の視点からどのように見えるかといった線形の視覚的評価は重要である。このような視覚的な評価はコンピュータグラフィックス（以下CG）が最も得意とする部分であるが、活用するには経費用、コン

ピューターの性能、さらに、データ作成にかかる時間的な制約などの問題があった。

著者らは、道路計画の初期段階において路線評価を支援する手段として3次元CADとCGを利用した研究を行ってきた^{1), 2)}。道路分野においては、従来、鳥瞰的な路線計画や景観検討等に3次元CADやCGを利用する研究も進められている^{3)~5)}。しかし、それぞれが独立した個々の設計支援技術として取り扱われており、道路線形の計画から設計を行い視覚的に評価したものを設計にフィードバックするといった、一連の作業を対象にしたコンピュータによる設計支援技術に関する研究は少ない^{6), 7)}。

本研究では、地形、地物の情報をもとに複数の計画路線を比較選定する概略設計において、3次元CADとCGにより3次元デジタル情報を視覚化して立体的な視点から路線を比較しその優劣を判断する路線選定手法を実

用化した。対象路線の設計や協議の過程において、設計図面や鳥瞰図だけでは線形性や走行性、さらに景観性などの空間的な広がりを伝えることが難しい。そこで、道路設計に用いた3次元のデジタル情報を有効に活用する手段として、パーソナルコンピュータを用いてデータ作成方法や表現方法を実現化した。この結果、道路設計において、3次元のデジタル情報が容易に活用できることが確認できた。

2. 道路設計の現状と課題

(1) 道路設計における問題点

路線選定を目的とした道路設計は一般に概略設計と呼ばれ、予備設計、詳細設計の順に構造が詰められていく。

a) 概略設計

概略設計では、制約条件となる地物などを地形図上で回避しながら複数の路線に対して道路構造令などの幾何構造基準に沿った平面線形の計画を行う。並行して縦断・横断地形を平面図から読みとりながら切り盛り土量を計算し、最終案を選定する。従来から道路専用の3次元CADが導入されているが、作業環境が制約されることやCADを利用するには紙図面から新たに3次元の地形データを作成する手間を要することから、未だに人手をかけて図面上で計画を行うことが多い。また、複数ルートから最終案に絞り込む際、根拠となる比較項目は主に図面上から読みとった情報に頼るところが大きく、それらの情報に基づいて立体的な視点から路線を比較し、その優劣を判断するのは容易ではない。

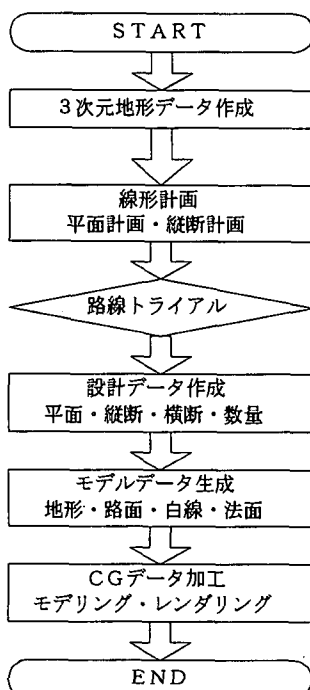


図-1 路線選定とデータの流れ

b) 予備設計と詳細設計

平面線形の決まった路線を設計する予備設計や詳細設計では、早くから計画・作図ツールとしてCADが用いられている。多くのCADは2次元的な作図機能に限定されており、線形計画等の機能を有していないのが一般的である。このため、平面設計においては平面地形、縦断設計では縦断地形、横断設計では横断地形と、基になる地形は固有であり互いに関連しているにもかかわらず、それぞれ異なる2次元の地形として取り扱われている。

(2) 3次元CADを利用する際の問題点

路線選定に3次元CADを利用する場合でも、計画・設計の中で生成された路線の設計データは、平面・縦断・横断図などの2次元の設計図面で表現される。設計の過程では平面・縦断線形毎に道路構造令の基準値と対比して優劣を判断したり、作成された設計図面と数量計算書から切り盛り土の大きさを判断しており、3次元デジタル情報（設計データ）をそのまま利用し評価する技術は確立されていない。

このように、路線選定において3次元CADの有効性は認識されながらもあまり利用されてこなかった要因には、各設計段階や協議の中で3次元のデジタル情報が容易に活用できていないことが挙げられる。

(3) 路線選定におけるデジタル情報の利用

3次元CADによる路線選定の工程を分析し、デジタル情報（設計データ）を利活用する観点からこれを整理したフローチャートを図-1に示す。このフローは次のような構成になっている。①地形データの作成、②平面・縦断設計による線形トライアルを行って路線とそれに関わる地形全体を3次元モデルデータとして生成、③CGデータに変換した後にモデリング・レンダリングである。これらを、3次元のデジタル情報として活用するものである。

このようなデジタル情報の利用は、地形に起伏があり切り盛りの土量計算が路線選定時の判断基準に大きく関係する山地部では効果が大きい。ただし、市街地では建物や公共施設等の地物が路線選定時の判断基準となることが多く、地形が平坦なこともあり、3次元地形データの代わりにラスターデータ化した地形図を利用する方が有効な場合もある。

(4) 3次元CADを利用するための課題

道路設計に3次元CADを利用する中で、取り組むべき課題を整理すると以下の通りである。

①CADを利用するには、等高線に標高を付与する等

3次元データとして地形を認識させる必要がある。

②早くから3次元CADが用いられているが、道路設計の成果は2次元の図面上で評価しており、設計図面だけでは対象路線のイメージを伝え難い。

③線形性、走行性、景観性など主観的な判断が必要な部分ではCG等による表現手段は有効であるが、容易にデジタル情報を利用できない。

このような課題を解決するには、地形データ作成から数量計算に至る道路設計の大半をデジタルデータを用いて行くと共に、地形や地物、構造物などを視覚的に扱うためのモデルデータの作成やCGデータへの変換、表現方法の工夫など3次元のデジタル情報を容易に活用するための様々な取り組みが必要である。この支援手段としては、携帯性や汎用性があり通常的设计業務に用いているパーソナルコンピュータと3次元CADを組み合わせた道路設計の一連の流れを構築するのが有効であると考えられる。

3. 数値地形データの作成

(1) 数値地形データ作成の手順

3次元CADを用いる上で電子化されたデジタル形式の地図、すなわち数値地形データの作成は不可欠である。数値地形データの作成は「建設省公共測量規程」等（以下作業規程）に基づいて行われ、地形・地物等に関する地図情報を一定の精度を保持した位置、形状を表す座標データおよびその内容を表す属性データ（レイヤまたはコード）として計算機処理可能な形態で表現したDM (Digital Mapping) データファイルの形式で規定されている。

図-2は、数値地形データの取得から数値編集を行ってCADで利用するまでの地形データ作成の流れである。

(2) 数値地形データの取得方法

数値地形データを取得する方法は、作業規程において①TS地形測量、②デジタルマッピング、③既成図数値化の3種類に分類され、目的や必要とする精度に応じて使い分けられている。

路線選定に利用する数値地形データは、道路設計の初期の段階で行われる作業であるため、設計に使われる図面は設計範囲を広範囲にとらえられるように、通常は縮尺が1/5000もしくは1/2500の平面図を用いて行われる。このような図面縮尺を使用する数値地形データの取得は、デジタルマッピングと既成図数値化の2通りの方法で行うのが一般的であるが、以下のように使い分けた。

地形原図を用いる既成図数値化の方法は、概略設計などの路線選定に適用した。この方法は、地形図の紙図面がそのままデータ化されるため地物などの制約条件を地形データ上で確認しやすく、等高線が密な地形でも空中写真（航測写真）を用いる場合よりデータの作成時間が短くなる。一方、空中写真を用いるデジタルマッピングの方法は、予備設計などである程度線形が決定していれば、必要な縦横断地形のみをデータ化することで良いため、線形の決まった路線や平地部など等高線の少ない地形の場合に適用した。

(3) 3次元CADで利用する数値地形データ

図-2に示すように、取得された数値地形データは数値編集を行った後にCADへ受け渡すデータ形式に変換される。データ形式はDMデータファイルによるのが最善であるが、測量成果を基に作成された数値地形データは地形原図（紙図面）として提供されていたことから、DMデータファイルをCADデータに変換するソフトが一般に公開されておらず、作業規程にも未規定である。現在では、測量から設計へのデータの受け渡し方法やデータ形式などの標準化については、建設CAL/ECを踏まえた取り組みを建設省や土木学会等が始めているが、明確な仕様の策定には至っていない。

著者らは、数値編集の段階で地形データをDXF (Drawing Interchange File) 形式のCADデータに変換して利用している。データ変換の際には、路線選定に

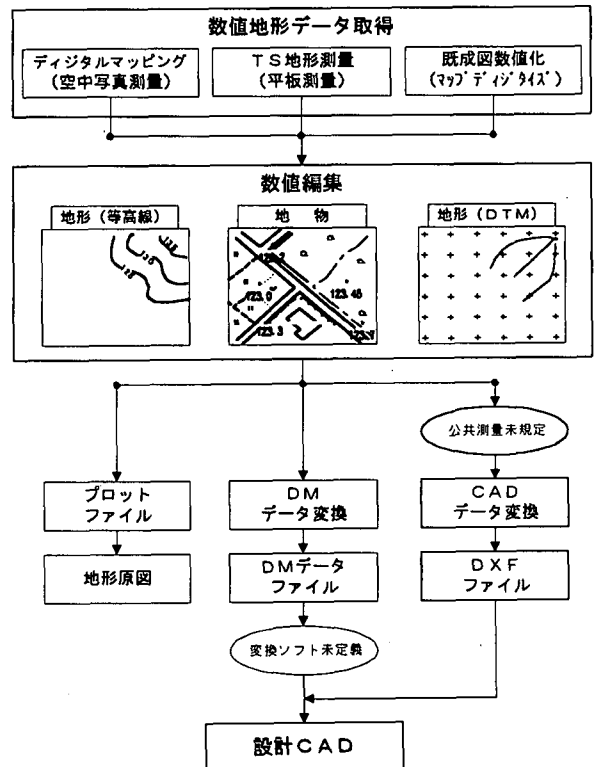


図-2 数値地形データ作成の流れ

利用することだけを考慮して、等高線の座標データのみをデジタル化した数値地形データを作成した。このため、本来のDMデータファイルとは異なる。

4. 道路設計における既存CG技術の活用

(1) 3次元CADによるモデルデータの利用

3次元CADは、土木分野でも特に道路設計の分野に早くから用いられてきた。ここでは、地形などの複雑なデータを比較的簡単にに取り込み、地形と接する法面や擁壁、平面・縦断曲線により構成される道路路面などを自動生成することが可能になっている。

このため、設計や協議の各プロセスで、3次元CADによりデジタル化された情報をモデルデータに変換し視覚的に確認する手段としてCGを活用することができれば、地形、地物の情報を含めた立体的な視点から道路路線を比較しその優劣を判断することが容易になる。また、計画の早い段階から地元説明の場にCGを持ち込むことができれば、公共事業として必要とされる透明性、合意形成、理解促進などが向上し、利用者や住民等が参加しやすい協議の場を提供できる。

(2) パーソナルコンピュータの利用

CGを設計ツールの1つとして設計協議の各段階で利用するには、専門の制作会社など外部に作業を委託していたのでは工程管理が難しく、制作期間やコスト面なども障害となるため、設計者自らがCGを行うことが前提となる。そのためには専用のグラフィックワークステーション（以下GWS）ではなく設計業務で使っているパーソナルコンピュータを利用してCGを作成する必要がある。通常的设计業務に利用しているパーソナルコンピュータとネットワークコンピューティングにより大半の作業をデジタル化して行うことにより、シームレスな作業環境と扱い易い操作環境を創出できる。さらに、ハードウェアやソフトウェアの性能向上に伴って、汎用性や携帯性に優れたパーソナルコンピュータを設計現場の判断・協議の場に持ち込むことが可能になってきた。そのことにより、あらかじめ決められたコンセプトで計画された路線線形や路線イメージのCGであっても様々な角度から視覚的に検討し、その場で場所を変えずに検討結果を設計にフィードバックすることが実現化される。

(3) CGの作成

CGを作成する作業は、図-3のように①モデリング、②レンダリング、③レコーディングの大きく3段階に分けることができる。この作業の中で最も作業量が多いの

はモデリングであり、全体作業量の7割程度を占めている。土木分野の設計のように再利用できない設計データで対象物を構築していくことを考えると、このモデリングにかかる全体作業における割合は非常に高いと言える。つまり、モデリングの作業量を減らすことがCGを行う上での効率化の条件である。

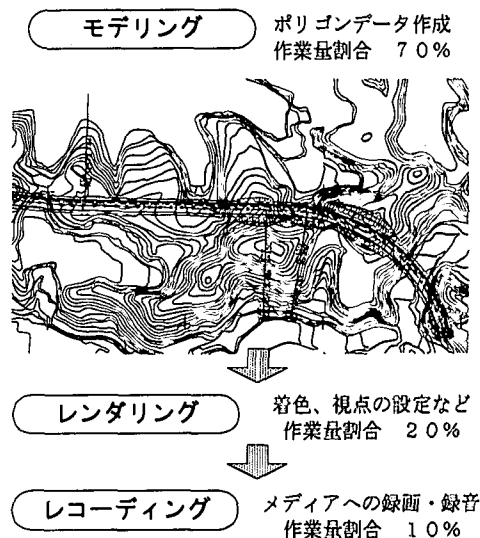


図-3 CG作成の流れ

5. 設計データのモデリング

(1) モデリングの改良点

道路設計で計画された地形・路面・法面などの設計データをフレーム（骨組）データに変換し面的に着色して視覚化できる3次元CADシステムもあるが、生成されたフレームデータは独自のデータ形式で作成されており、市販のCGソフトで汎用的に利用できるものはない。また、道路設計の3次元CADでは、橋梁やトンネル、ガードレール、樹木、家屋などはその3次元CAD上でモデリングすることは考慮されていない。そこで、著者らは、CGの素材（モデルデータ）を作成する上で、①データコンバータ、②モデラーの2つシステムを開発し、従来手間を要していたモデリングの作業量を減らし効率化を実現した。

①データコンバータは、3次元CADで生成された地形・路面・法面・白線などの設計データを、パーソナルコンピュータ上で市販のCGソフトで利用できるモデルデータに変換するシステム。

②モデラーは、複雑な線形を有する場合でも、橋梁・トンネル・ガードレールなど土木構造物のモデルデータを簡易に作成するシステム。

さらに、GWSに比べパーソナルコンピュータ環境でのハードウェアやソフトウェアの機能向上だけで足りない部分は、モデルデータを構成するポリゴンデータを構

築する際に種々の工夫を行っている。

(2) 基本モデルの作成

路線選定では、3次元CADで計画された地形、路面、白線、および法面などの設計データをCGで扱えるモデルデータに変換し、市販のCGソフトで加工することにより、これを路線全体のイメージを共有する必要のある検討の早い段階で利用可能にすることが重要である。

図-4は、著者らが開発したデータコンバータを介して、道路3次元CADで生成された地形、路面、法面、および白線のフレームデータをCGソフトで扱える基本モデルデータに変換する流れである。

データコンバータの機能は、設計データの縮尺に応じた変換や地形・路面・法面・白線の図形毎のレイヤー設定、測量座標系から数学座標系への変換およびカメラパス(走行軌跡)の設定に対応できるものとした。モデルデータの形式は、3次元CADの世界においてはいくつかの主要な形式が存在するが、この中よりDXF形式を採用している。DXFを採用したのは、事実上の標準フォーマットであることと、3次元CADの利用がさらに進んだ時点で、3次元で設計された設計対象物を2次元図面として展開する場合にも利用しやすいからである。

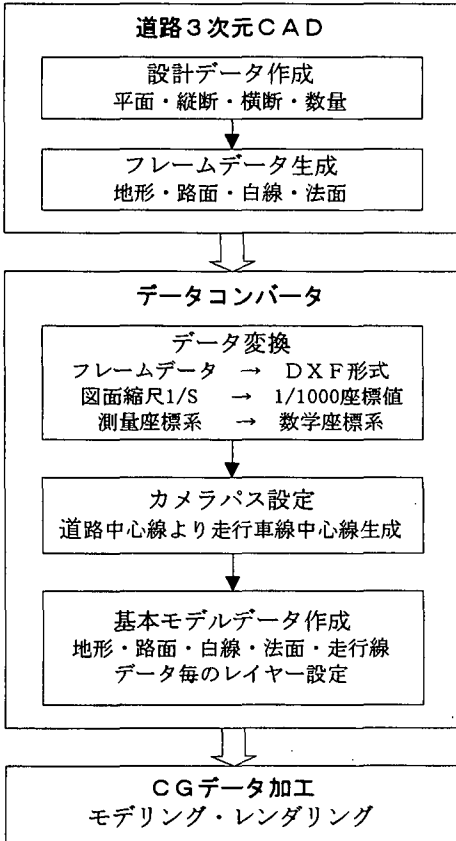


図-4 基本モデルの作成

図-5は、データコンバータを用いて作成した基本モデルの例である。図中では、切り土・盛り土法面や小段、

車線分けされた路面や白線がポリゴン化されている状況を示すために、周辺の地形モデルデータは除いている。

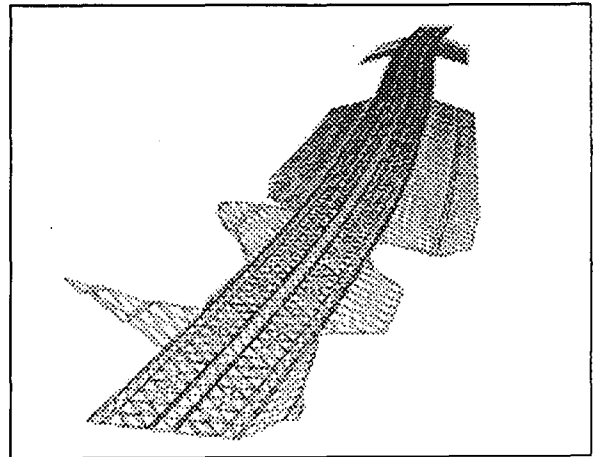


図-5 基本モデルデータの例

(3) 構造物モデルの作成

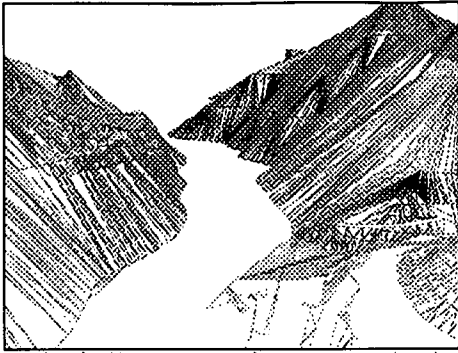
橋梁・トンネルなどの構造物は、曲線・クロソイド、縦断線形を有するため複雑な形状となる。これまでは、これらの構造物は汎用の3次元CADを利用してモデルデータの作成を行ってきたが、修正が生じた場合は作業は非常に多くの労力が必要になっていた。

著者らが開発したモデラーでは、平面・縦断線形を有する中心線上に、例えば橋梁構造物であれば、桁高変化を側面図、幅員変化を平面図、断面構成を断面図として設計図を起こすイメージでCG用のモデルデータを作成することが可能である。

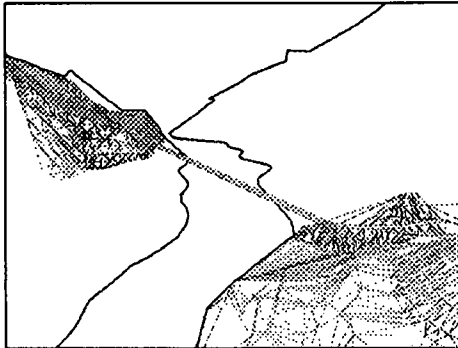
図-6は、モデラーを用いて作成した橋梁モデルの例である。図(a)は、河川を有する計画前の地形モデルである(1km×1.5km, 作成日数: 5日)。図(b)は、3次元CADと前述のデータコンバータを介して作成された路面・法面等の基本モデルである(延長550m, 作成日数: 3日)。地形モデルと接する両岸の法面が新たに生成され追加されている。図(c)は、モデラーを用いて作成したバスケットハンドル型のニールセンローゼ橋モデル(橋長230m, 作成日数: 2日)と図(b)の基本モデルとを合成したものである。各モデルは測量座標系の座標値を有しているため、修正や合成など設計を行うイメージで簡易に行うことができる。なお、図(b)、図(c)では、作成したモデルデータを明確にするため、計画前の地形モデルは省き輪郭線だけで表示している。

(4) 素材を構成するポリゴンデータの構築

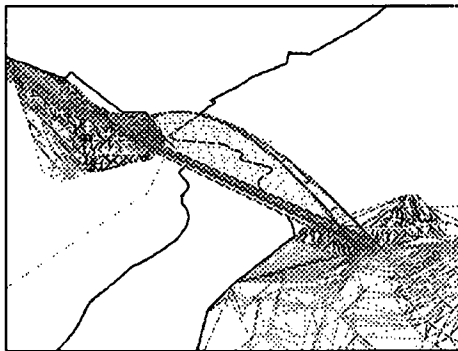
GWSではなくパーソナルコンピュータでCGを作成するには性能が不足しがちである。著者らが使用したパーソナルコンピュータ(CPU: Pentium II 400MHz, メモリ:):



ポリゴン数：30,000 データ量：11MB(DXF)
(a) 地形モデル



ポリゴン数：16,800 データ量：5MB(DXF)
(b) 基本モデル



ポリゴン数：2,300 データ量：1MB(DXF)
(c) 橋梁モデル

図-6 橋梁モデルデータの例

256MB, HD:14GB) で取り扱える限界は、ポリゴン数で約400,000, データ量で約120MB (DXF形式), テクスチャのイメージデータ量で約25MBである。性能を向上させる最良の方法は、素材(モデルデータ)を構成するポリゴン数を減らすことである。具体的には以下の工夫を行った。

①地形などの遠景は近景に比べると詳細な形状は不要である。そこで遠景は5m, 近景は1mの等高線ピッチとしてモデリングをしてから合成し、ポリゴン数を抑える。なお、一定の等高線ピッチで自動生成された地形のモデルデータをCGソフト側で間引くことも可能である。

②設計区間全てを一度に作成することは、データ量が多くなる。パーソナルコンピュータで扱えるデータ容量を考慮して、CG作成延長を最大3km程度に分割する。

③写真などを準備できるものは3次元のモデルデータとせずに、アルファマッピングを活用して2次元モデルデータを擬似的に立体視させる。

④ファイルの読込・保存時間を減らすため、モデルデータの少数桁数の精度を対象物に応じて落とす。

ただし、いずれも将来的にはパーソナルコンピュータ自体の性能が向上することで解決するものとする。

6. モデルデータのレンダリング

道路設計におけるCGによる表現手段は、大別して静止画(フォトモンタージュ・カラーパース)と動画(アニメーション)に分けられる。最近では、種々の用途で作成されたCGを目にする機会も多くなり、発注先の担当者のCGに関する知識も増えてきている。道路設計の場合、CGすなわち、走行アニメーションというイメージが強く、採算を確保したうえで発注先の要求のままにアニメーションを行うことは難しくなってきた。そこで、目的に応じて静止画や動画を使い分けるために、図-7のように写実性の程度により簡易なレンダリングと詳細なレンダリングに分け表現することが効率的である。

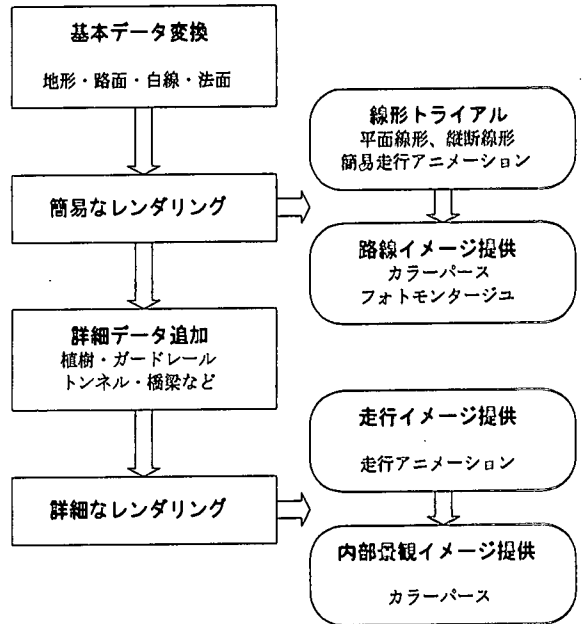


図-7 モデルデータのレンダリング

(1) 簡易なレンダリング

簡易なレンダリングの目的は、地元説明や計画の早い段階で利用し、路線全体の鳥瞰的なイメージや路線の平面・縦断性能や法面勾配などの線形イメージを視覚化して表現することである。この段階では、道路中心線上にアニメーションパスを設定してレンダリングしただけの走行アニメーションを用いて線形トライアルを行う。使

用データは設計に用いた3次元CADのデータであり、その内容は計画された設計データ（地形・路面・白線・法面）にシンプルな色付けをしたモデルデータである。さらに、路線全体のイメージを提供する際には、カラーパースや航空写真・現場調査写真などの2次元の写真上にレンダリングされた3次元のモデルデータを画像合成したフォトモンタージュにより疑似3次元的に表現した。

(2) 詳細なレンダリング

詳細なレンダリングの目的は、設計・協議の過程や最終成果の段階で利用するものであり、設計速度での実車走行イメージや法面、植栽、橋梁形式などの内部景観イメージを視覚化して表現することである。この段階では、まず、地形・路面・白線・法面の設計データにガードレール・トンネル・橋梁などの構造物モデルを追加してレンダリングを行う。次に、市販のCGソフトなどで植樹、信号機、対向車両、走行レーンなどを2次元のモデルデータとしてレンダリングし別途追加することでデータ量を抑え、パーソナルコンピュータ上で現実的な色付けを行った臨場感のある走行アニメーションを実行する。さらに、特徴的な内部景観イメージを提供する際には、走行アニメーションの一部を静止画として取り出し、実構造物に近い質感や素材感のあるテクスチャマッピングを行ったカラーパースとして表現した。

7. 本手法の道路設計への適用

(1) 線形、法面勾配の検討への適用

図-8は、本手法の3次元CADとCGにより平面・縦断計画からモデリング・レンダリングまでを行った線形・法面検討の流れである。

設計協議の際にノート型パーソナルコンピュータを持

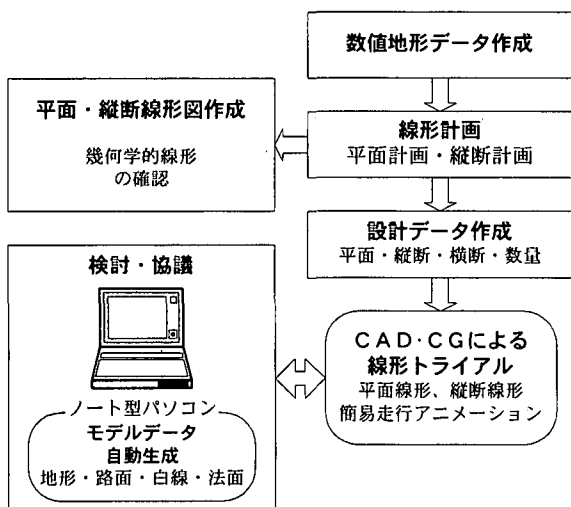


図-8 線形・法面検討の流れ

ち込み、計画された複数路線の線形をCGにより視覚化することを試みた。平面線形や縦断線形に対する検討は走行状態での評価が望ましいので、簡易なレンダリングによる走行アニメーションで検討を行い、法面状況については任意視点から静止画で検討を行った。

図-9は簡易なレンダリングによる走行アニメーションの例である。ここでは、3次元CADで計画された地形・路面・白線・法面の基本モデルデータに検討の途中段階で得られた道路幾何構造（測点表示、縦断表示、平面位置）を追加し、照査すべき内容を明確にしなが最終的な確認を行っている。

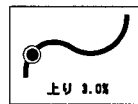


図-9 走行アニメーションの例

(2) 道路景観への適用

CGを利用し景観検討する場合、予め決められた視点から対象物を視覚化することになるため、自由な視点から視覚化できる模型に比べ融通が利かない面がある。このため、道路の走行性や景観性の検討は道路の内側に立った視点（内部景観）、周辺環境との調和などを検討する場合は道路の外側に立った視点（外部景観）で行った。

a) 内部景観

内部景観では対象道路を利用する視点から検討するため、主なる対象は運転者や歩行者などの視点になる。したがって、移動視点と固定視点の両方が必要である。著者らは、この検討に走行アニメーションとカラーパースが有効と考えた。

移動視点からは、基本モデルに植樹・ガードレール・トンネル・橋梁などの構造物モデルを別途追加し現実的な色付けを行った後、走行アニメーションとして作成した。走行アニメーションは、臨場感や走行感などの運転者の走行快適性や安全性に主眼をおいた検討に利用した。

固定視点からはアニメーションの一部を静止画として抽出し、実構造物に近い質感や素材感のあるテクスチャマッピングを行いカラーパースとして作成した。

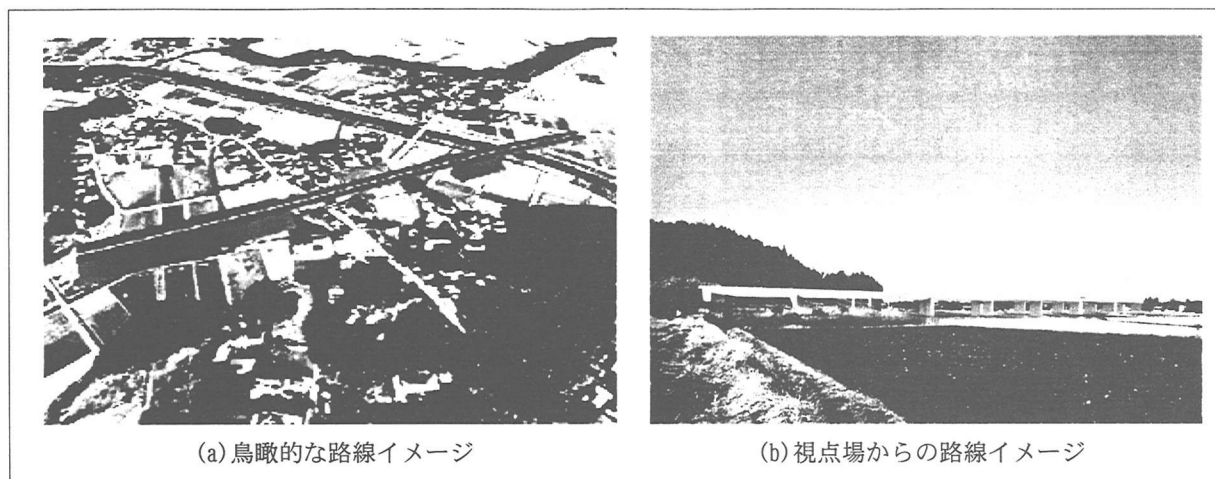


図-10 フォトモンタージュによる外部景観検討の例

b)外部景観

外部景観では対象道路を道路利用者以外の視点から検討するため、主なる対象は地域住民からの視点になる。したがって、主に固定視点となる。著者らは、固定視点から周辺地域や生活空間との調和を検討するのにフォトモンタージュを利用した。フォトモンタージュは、模型やCGだけで地形や建物など計画以外の地物を全て作成するのに比べると、非常に短時間で精巧なものを擬似的に作成することが可能になった。

図-10は、背景に航測写真や現場調査写真を利用し、路面・法面などの基本モデルと橋梁モデルをはめ込んでフォトモンタージュを作成した例である。写真に3次元モデルをはめ込むためには、CGソフトのマッチング機能を利用すれば、比較的簡単に精度良く合成することができる。

8. まとめ

本研究で得られた知見を要約すると次のようになる。

- (1) 3次元CADで計画された地形・路面・白線・法面の設計データをそのままモデルデータに変換して利用する一連のシステムを構築した。このことにより、複数案行った路線選定の結果をパーソナルコンピュータ上で3次的に考察し、試行錯誤の繰り返しの多い路線選定でも設計データへのフィードバックを容易に実行することが可能になった。
- (2) 道路設計の3次元CADデータを活用してデータ作成方法や表現方法を工夫し、さらにパーソナルコンピュータを有機的に結合させることにより、路線選定の検討段階でも低コストでCGを作成し、設計技術者自身が検討の途中段階で容易に視覚化して利用できることを示した。

- (3) 調査・計画を行い路線を選定していく過程の中で、これまで設計図面と資料などで合意形成を行っていた設計協議から、3次元CADデータとCGによる視覚データを利用した新しいスタイルを考案した。そこで、発注先を含めた計画・設計の各協議段階においてデジタル情報を有効利用するプロセスが実現できた。
- (4) 各設計プロセスの中で作成された路線イメージや走行景観イメージのCG成果は、インターネットやCD-ROMなどのマルチメディアを用いて、情報公開やプレゼンテーションツールとしての利用が可能である。

参考文献

- 1) 新井伸博, 吉田茂喜, 笹川滋: 3次元CADによる道路設計と走行シミュレーション, 第21回土木情報システム論文集, PP.1-6, 1996年
- 2) 新井伸博, 吉田茂喜, 岡林隆敏: パーソナルコンピュータによるCGと道路設計の視覚化への応用, 第22回土木情報システム論文集, PP.133-140, 1997年
- 3) 庄野豊, 井上義之, 中園真人, 中川浩二: 高速道路の景観設計方法及び手順とデザイン評価, 土木学会論文集, No528/VI-29, PP.103-113, 1995年
- 4) 蒔苗耕司, 福田正: 航空写真とCGを用いた3次元路線計画システム, 土木学会論文集 No.590/IV-39, PP.23-30, 1998.4
- 5) 福地良彦, 小林一郎, 大村祐司他: CGアニメーションを利用した協調化施工管理支援システムの開発, 第22回土木情報システム論文集, PP.149-156, 1997年
- 6) 3次元CGによる土木建築施設のための景観検討システムプロトタイプ版-, 建設省建築研究所, 建築研究資料 No85, 1995
- 7) 須藤晴夫: 景観シミュレータ・景観データベースの開発, 平成9年度(第51回)建設省技術研究会-, 平成9年11月