

I-18 道路線形を考慮した地形デザインのための3次元CG表現について

Research about Features of 3D-CG for Topographical Design Relevant to Road Liner

趙晓明* 星野裕司** 小林一郎*** 緒方正剛****

Xiaoming Zhao Yuji Hoshino Ichiro Kobayashi Seigo Ogata

【抄録】 建設事業は地形を含んだ広い空間が対象となり、建設分野においても調査、設計及び施工といったライフサイクルの各段階に伴い周囲の地形に多大な影響を及ぼす。このため建設事業にとって地形に関する情報は欠かせないものである。本論文では、トンネル坑門デザインを通して、3次元CGによる効率的な地形表現を、設計支援という観点から考察する。さらに、応用事例に加久藤トンネル坑門デザインを取り上げ、その有効性を検証する。

【Abstract】

Construction project is related to not only the project site itself, but also the wide space around it. So in civil engineering, terrain information is indispensable because it will affect all the stages of life cycle, including survey, design and construction. In this paper, authors propose that use three-dimensional computer graphics technology to describe the terrain effectively. By this way, the pithead of Kakuto Tunnel was designed. Through the real application, the validation of the method is verified.

【キーワード】 地形デザイン, シークエンス景観, CG, FAA, RTA

【Keywords】Topographical Design, Sequence Landscape, Computer Graphics, Frame Accurate Animation, Real Time Animation

1. はじめに

建設 CALS/EC の推進の中で、建設業務への電子情報の活用に関するいくつかの提案がなされ、それに呼応して様々な試みがなされている¹⁾。CAD データを基盤とした CG アニメーション (以下 CGA) に関しても景観予測²⁾や施工支援³⁾等への適用の成果が報告されている。本研究では、高速道路の坑門のデザインに CGA を用いることを試みた。従来の坑門のデザインは構造物の一部として様々な意匠が施されてきた。本研究ではゴルフ場における地形デザインのように、地形をデザインの主要な要素と位置づけて坑門をデザインする。従来の土木構造物のデザインにおけるコンセプトづくりや形状の決定 (狭義のデザイン) には、スケッチや模型を使うことが一般的であるが、ここでは地形自体をデザインするという新しい試みに対し、CGA をコンセプトづくりや詳細なデザインに利用することを試みる。

地形デザインに CG を用いる有効性は、3次元の CAD データを用いることで、地形を正確に再現できる点にある。本研究では、さらに地形の多層的表現法を提案するが、これにより背景となる山並み等も CG データとして効率よく取り込むことで、アニメーションにおける大空間の景観シミュレーションが可能となる。また、3次元CGを用いることで、デザイン対象となる地形に関しては、地形形状のパラメトリックな変化を追究する事が可能となる (代替案提示の可能性)。さらに、CGA データを Web 上で共有することで、コラボレーション・デザインも可能となる。なお、CGA は、1) 録画アニメーションである FAA(Frame Accurate Animation)と2) VR 技術を利用した RTA(Real Time Animation)の2種類に大別される。FAA はある制作意図に従ったアニメーションであり、関係者間で均一に意思を伝達することができる。RTA は電子模型であり、各自の価

* 学生員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)
 ** 正会員 熊本大学工学部環境システム工学科 教授 (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)
 *** 正会員 熊本大学工学部環境システム工学科 助手 (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)
 **** 正会員 西松建設株式会社 感田出張所 (〒822-0001 福岡県直方市感田字川野724-1)

表-1 模型とCGの特徴比較

	模型	CG
① 地形	△ コンター模型等によって、局所的な地形を検討することは可能である。ただし、広域的な地形を含めて検討することは困難	△ 広域のおよび局所的な地形を製作することが可能。ただし、データ量や立体感の演出などに配慮する必要あり
② 代替	△ 多くの案を検討することは不可能ではないが、広域的な地形とあわせて検討することは困難	○ データのみでの交換になるので、簡単な代替案の検討が可能。そのため、細かなデザイン検討に有利
③ 移動	× 通常、模型は鳥瞰的な視点から検討されるものであり、アイレベルかつシークエンシャルな検討には不適	○ CGAは、映画のように実際体験する視点や速度から検討することが可能
④ 線形	× 正確に線形を表現することは可能だが、検討による線形変更やアイレベルの検討には不適	△ 正確に線形を表現することは可能だが、地形との一体的な表現が重要となるため、CG地形上に道路設計が可能となるソフトウェアが必要

値観に従って自由に視点移動を行うことで、創造性豊かな意見交換が期待される。筆者らのグループは電子模型をVM（ヴァーチャルモデル）と称し、合意形成や施工管理に関する一連の研究を行っている4),5),6)。

高速道路のデザインにおいては、①地形の多層性や②代替案提示の可能性、③視点の移動性（走行時のシークエンス景観の検討）、④3次元道路線形の正確性が要求される。これらの観点から従来の景観検討ツールである模型とCGとでその利用性を比較した結果を表-1に示す。これから、上記③、④に関しては模型における検討のみでは不十分であり、高速道路のデザインにおいてはCGを用いた検討が有効であると考えられる。

実際のCGの利用においては、コンセプトづくりという観点からは、多層性①を利用した広域的な空間で正確な道路線形④上を、視点が高速で移動する③景観をシミュレーションする事が必要であり、FAAが有効である。一方、形状の決定という観点からは、多層性①のもとで、局所的な地形の変更②が必要であり、RTAによる意見交換が有効である。なお、3次元CGデータを利用す

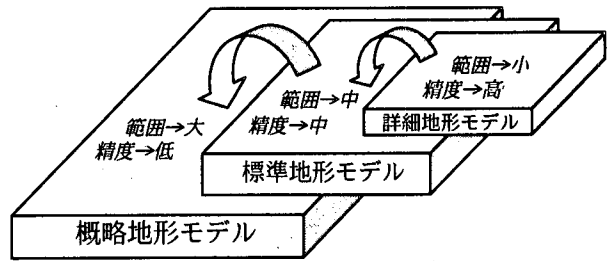


図-1 多層的な地形表現

る利点の一つは、FAAとRTAで全く同じデータを用いることができる点である。もちろんRTAを用いる際には、容量の関係もあり近景の地形のみを用いるが、すでにFAAを利用したコンセプトづくりを終えてから、RTAを用いるので、使用目的に合った使い方であると考えられる。

2. 3次元地形表現の概要

2.1 多層的な地形表現の提案

地形を含む広域的な空間のデザインを行う際、地形データは3つの用途に分けられる。

- ①詳細地形：それ自体がデザインの対象として切土、盛土といった改変を伴う地形
- ②標準地形：デザインの対象とはならないが背景とのバランスを考慮するため必要となる地形
- ③概略地形：周辺の背景となる地形

これらは、その用途に応じて必要となる精度は異なる。また、一般的にCGデータの容量は大きなものであるが、地形データの作成やCGAを用いる際にはその後のレンダリングといった作業を考慮し、データ量を極力抑えることは作業の効率上重要である。そのため、地形データを作成するにはそれぞれの用途に応じて必要最小限の精度で作成される必要がある⁷⁾。さらに、デザインの代替案が創出された場合、新たにデータを変更する必要があることも考慮する必要がある。

本研究では、これらを踏まえ用途に応じて地形データを階層化する多層的な地形表現法を提案する。本手法は地形データを階層化することで、データ量を抑えることだけでなく、いくつかのデザイン変更箇所のデータ作成や入れ替え作業を効率的に行うことを目的としている。

2.2 多層的な地形表現の構成

前節で述べたように地形データはその用途により

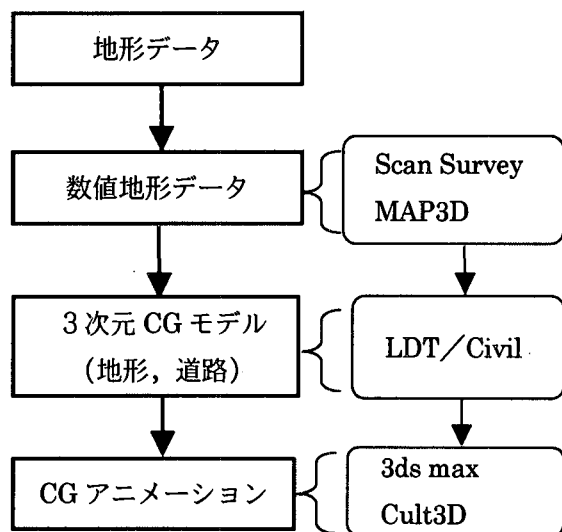


図-3 3次元地形モデル作成の流れ

おこなうてはならない。

そこで、本研究においては CAD データの汎用フォーマットの 1 つである DXF 形式を基本に、それぞれ互換性のあるソフトウェアを選択し利用した。DXF 形式は CAD の他、多くの CG ソフトとの互換性がある。

ただし、今後は CALS/EC の進展により SXF 形式が標準となってくる。現状では、レベル 2 の 2 次元データへの対応の段階であり、今後レベル 3 以降の 3 次元データへの移行が進めば SXF 形式でのデータフォーマットが有効になると考えられる。

3.2 地形モデル作成の流れ

CG において 3 次元地形を表現するには、数値地形データを用いて地形を忠実に再現する必要がある。作成の大まかな流れと使用ソフトウェアを図-3 に示す。

(1) 数値地形データ取得

数値地形データの取得には、a) 既成地図である地形図から作成する方法と b) 数値地図の利用の 2 通りがある。

a) 既成地図からの地形データ作成

既成地図である地形図(図面縮尺 1/500)からの地形データ取得は、① スキャニング、② 3次元ベクトル化の 2 段階により行う。

① スキャニング

スキャナを用いて既成地図を読み込む。その際、前もって座標変換、歪み補正用のグリッド(4点以

上)を加筆しておく。また、解像度が極力大きいものとしておく。

② 3次元ベクトル化

ベクトル変換ソフトウェア(土木サポートシステム社 Scan Survey 95)により、①によって得られたラスターデータをベクタデータに変換する。次に、白地図 3次元化ソフトウェア(KIRKWOOD 社 MAP3D)により、座標変換、歪み補正を行った後に、高さ入力することで数値地形データが得られる。

b) 数値地図の利用

国土地理院より発行されている数値地図 50m メッシュからデータを抽出し、地形データを得る。ただし、これは 1/25,000 相当の標高精度に留まる。現在、5m メッシュの数値地図が整備されつつあるが、その収録範囲は限られており、現状での汎用性を考慮すると 50m メッシュデータが適当である。

(2) 3次元地形モデル作成

本研究における地形モデル及び道路線形の作成には、Autodesk Land Desktop/Autodesk Civil Design(共に Autodesk 社、以下 LDT/Civil)を用いる。まず、(1)で数値化され、高さを持った 3次元の地形データを LDT/Civil に読み込み、TIN 構築を行う。

また、登録の際は、作成後の利便性を考慮し、地形の等高線部、斜面部、平地部などようにサーフェイスを区分してデータ入力を及び TIN 構築を行う。

次に、作成された地形モデル上で IP 法、または片押し法により平面線形の作成を行い、平面線形より現況地盤を抽出し、縦断計画を行う。

さらに、横断プレート、法面、側溝など横断計画を行う。以上作成したデータを LDT/Civil で 3次元モデルを構築する。

これらにより得られた 3次元データを 3次元 CG 作成ソフトウェア(Autodesk 社 3ds max)に読み込み、3次元地形モデルの構成を行う。

(3) CG アニメーション作成

FAA には 3ds max (Autodesk 社)を、RTA には Cult3D(Cycore 社)をそれぞれ用いる。高速道路のデザインでは、走行中のドライバーの視点からのデザイン案検討が重要である。そのため FAA は、道路

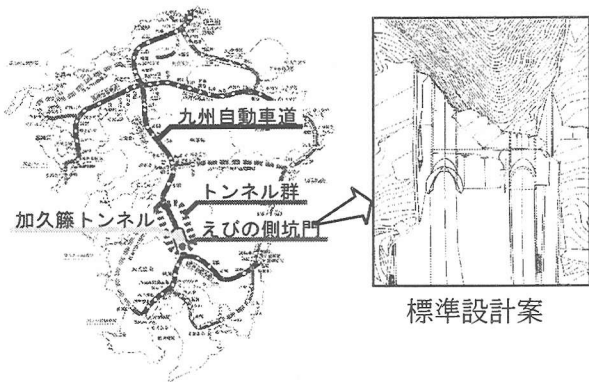


図-4 加久藤トンネル

線形に沿って対象に至るシークエンスを忠実に表現する必要がある。RTA では、デザイン検討範囲のみを対象として作成する。これによって、詳細なデザインを検討することができる。また、Cult3D は Web 上での利用を目的として開発されたソフトウェアであり、インターネット上で情報公開することも可能である。

4. 適用事例

4.1 加久藤トンネルの概要と特徴

今回多層的地形表現による高速道路デザインの適用事例として、九州自動車道の加久藤トンネルを取り上げる。加久藤トンネルは図-4 で示すように、熊本県と宮崎県の県境に位置する。熊本(人吉)側は 23 ものトンネルが連続する山岳地帯(対象はその最南端に位置する)、一方の宮崎(えびの)側は高原が広がり、開けた土地となっており、地形上も特徴的な位置にある。また、全長が 6,255m で、全国 4 番目の長大トンネルになる。現在上り線はすでに対面通行として供用されており、下り線トンネルは建設途中段階であり、デザイン対象は下り線のみとなる。

以上の特徴に対し、デザイン検討にあたっては以下のテーマが与えられた。

- a) 九州自動車道全体の文脈から、通常の坑門デザインではあまり考慮されない出口側(えびの側)を操作し、トンネル群の玄関としてデザインすること。
- b) 既存の上り線坑門のデザインを活かし、それを引き立てる空間的なデザインを行うこと。
- c) 出口側をデザインすることにより、長大トンネルに進入する際のドライバーの不安感を軽減させ、スムーズに進入できるデザインとすること。

以上 3 つのテーマは、加久藤という地域性を活かし

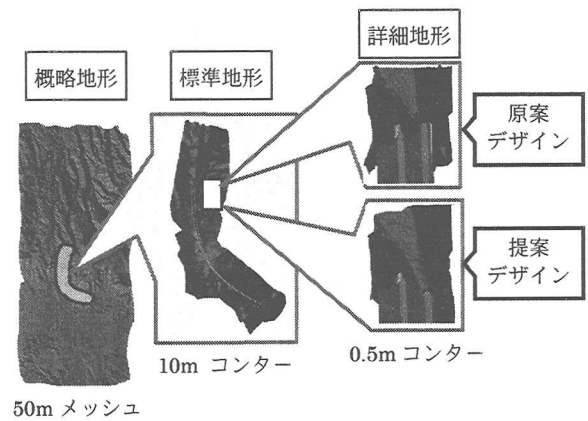


図-5 多層的地形の編集

ながらも、高速道路という施設の特徴に沿った構造物として、トンネル坑門をデザインしようというものである。上述したように、その実現のための検討媒体は CGA が最適である。

4.2 加久藤トンネル坑門デザインへの適用

4.2.1 多層的地形表現の適用

a) 坑門付近の地形(詳細地形モデル)

トンネル坑門デザインにあたって、実際の検討範囲となる部分であるため、詳細な地形表現が可能な 0.5m コンターで作成した。要点は、構造物とそれを取り巻く地形を一体でデータ化していること、また、この部分のみの操作によってデザイン改変が可能となることの 2 点である。

b) 道路沿いの地形(標準地形モデル)

トンネル進入は、それ以前からの連続的な体験となるため、この部分においてもある程度の表現性は必要であり、高速移動時における周辺視であるため 10m コンターで作成した。

c) 周辺の地形(概略地形モデル)

ドライバーから遠景となる地形のため、国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ CD-ROM よりデータを抽出し、地形を作成した。精度の高い表現性は必要ではないが、周辺地形との関係においてデザインを検討する場合、このレベルの地形も表現しておくことが重要である。

以上、作成した地形データを「周辺の地形」の中に、「道路沿いの地形」をさらに「坑門付近の地形」を組み込み地形データの編集を行う(図-5)。このような作成・編集手法をとることにより、今後の検討は「坑門付近の地形」のみ入れ替えることで、広域

的な地形空間の中で容易にデザイン検討を行うことができる。

4.2.2 3次元道路線形の作成

加久藤トンネル坑門(えびの側)までの道路構造の変化は表-3に示す。今回LDT/Civilを用いて、坑門まで約1.2kmの道路線形を作成した。このため、作成した道路線形により、現実に近いCGAの作成が可能である。

4.2.3 CGAへの適用

多層的に表現された地形モデルのうち詳細地形モデルからRTAを作成し、詳細地形～概略地形モデルと道路線形からFAAを作成した。(図-6)

4.3 Web上における情報公開

デザインに関する情報はWeb上で公開するによって、設計者、施工者、利用者など多く関係者が参加でき、議論集約、意見交換、合意形成が可能である⁸⁾。本研究では、Web上に加久藤トンネルのホームページを設けた。これにはCGAとBBSを含め各種データのやり取りが行えるファイル転送が中心的なコンテンツとして盛り込まれている。Webを中心とした議論を繰り返すことにより、以下に示す特徴

表-3 加久藤トンネルの道路構造の変化

坑門までの距離(m)	縦断勾配
1200～450	4%
450～200	0.5～4%
200～0	0.5%

的なコンセプト(4.4.1)及び形状の検討(4.4.2)がなされた。

4.4 CGAを用いたデザイン検討

4.4.1 FFAを用いたコンセプトづくり

坑門デザインにあたっては、シーケンスに配慮した段階的なデザイン検討が、ドライバーの心理を理解するのに重要な役割を果たすことができる。

そこで、最初にFAAにより対象坑門への進入時のシーケンスをチェックした。その結果、坑門の見え方によって、次のような段階があることが確認された。

- ①坑門そのものは視認できず、全体の景観と坑門に至る線形が視認されている段階(坑門から800m～450m区間、縦断勾配4%)
 - ②遠景の坑門を中心に地形空間が視認されている段階(坑門から450m～200m区間、縦断勾配0.5～4%)
 - ③坑門だけに意識が集中される段階(坑門から200m～0m区間、縦断勾配0.5%)
- 今回①②③のそれぞれに「アプローチ」、「エント

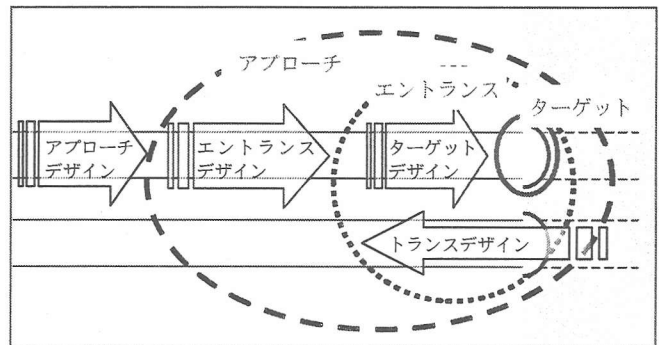
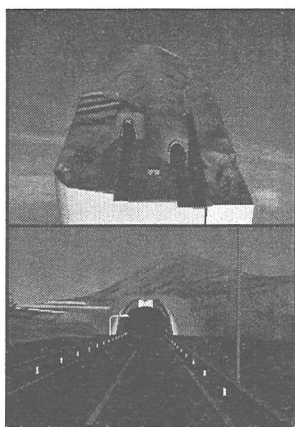
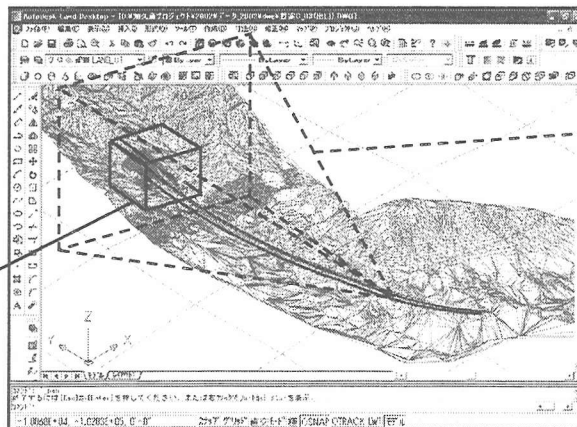


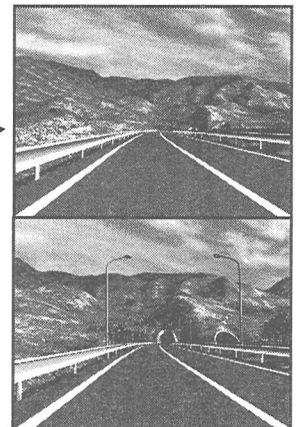
図-7 坑門デザインにおける4つのステップ



[RTA]



[3次元地形モデル]



[FAA]

図-6 3次元地形モデルからのFAA-RTAの作成

表-4 FAA と RTA を用いた形状検討

デザイン	FAA	RTA	決定事項
原案	<ul style="list-style-type: none"> ・ 進入直前まで、入口以外の構造物が見え、集中しにくい(図-8-1) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 後ろの丘が切断されているイメージ(図-8-2) ・ 出口擁壁などの構造物の存在が気になる(図-8-3) 	トンネル背後の尾根線を出口側坑門に向けて自然な形で延長する
提案 A	<ul style="list-style-type: none"> ・ 入口に集中できる時間がやや短い(図-8-4, 8-5) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 丘地形がスムーズに連続しているイメージ(図-8-6) ・ 擁壁などの構造物の処理に課題(図-8-6) 	出口の形状も地形の延長としてデザイン
提案 B	<ul style="list-style-type: none"> ・ 入口に集中できる時間も長く、地形により自然な進入 ・ 開放的な出口となる (図-8-7) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 提案 A と同様に入口が地形によって、より包まれた印象(図-8-8) 	出口側坑門の形状を非対称とし、上り線側に開いたデザイン
提案 C	<ul style="list-style-type: none"> ・ より開放的な出口 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非対称な坑門によって、より自然な進入(図-8-9) 	



図-8-1



図-8-4

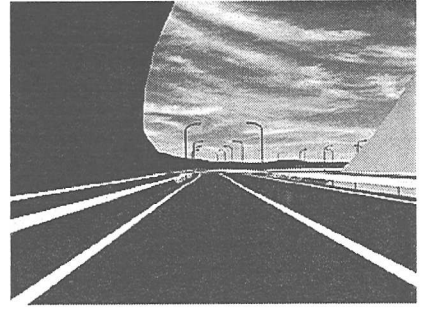


図-8-7

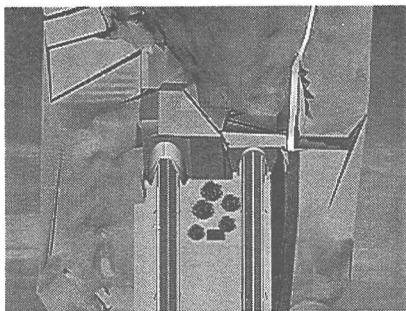


図-8-2



図-8-5

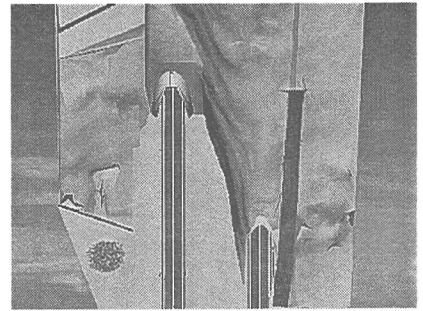


図-8-8

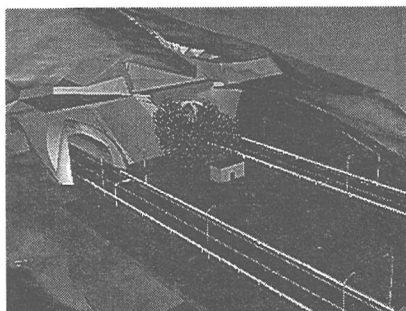


図-8-3

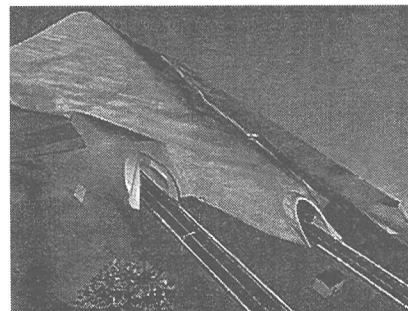


図-8-6

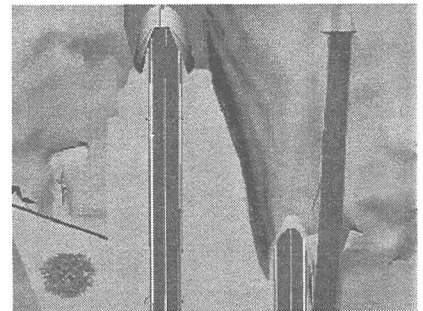


図-8-9

ランス」,「ターゲット」と名付けた(図-7)。これらの段階でドライバーの主対象をなり得るものは、
アプローチ：山並みのスカイライン
エントランス：山並みのスカイライン, 坑門
ターゲット：坑門
であることが確認された。

同様にトンネル内部から坑門の外へ脱出する際のシーケンスをチェックした結果,④トンネルを出る段階が重要であることが確認され,この段階を「トランス」と名付けた。この段階におけるドライバーの対象となりうるものは,トランス:坑門,遠景の山並みである。

このような段階的な検討が坑門単体のデザインで行われることは例が少ない。今回,CGAを利用することにより可能となった,坑門デザインに対する新しい考え方である。また,その他の道路構造物のデザインにも応用可能である。

主対象は,アプローチ,エントランス,ターゲットと進むに連れて密に見えることから,ターゲットにおける坑門の形状についてFAAとRTAによって詳細に検討することとした。

4.4.2 FAAとRTAによる形状の検討

形状に関する検討は基本的に,RTAの観察によって具体的な形を示し,その変更をFAAによって確認するといった流れで行われ,これが既存の原案デザインから提案デザインDに至るまで繰り返された。FAAとRTAを用いた検討の様子を表-4と図-8-1~8-9に示す。

このような検討は,模型やアニメーションの作成として別種の作業を従来必要としてきた。しかし今回は同一データの利用により,RTAとFAAの効率的な相補関係を構築でき,有効な形状の検討が行えることが実証できた。

5. おわりに

本研究では,トンネル坑門を含む地形デザインの適用事例を通してデザイン検討におけるCG技術の有効性を示し,地形デザインにおける3次元CG表現の作成手法の構築を試みた。以下に本稿の結論を示す。

①高速道路施設(特にトンネル坑門)の特徴を示し,CG利用の重要性を示した。

②効率的に3次元地形モデルを作成するため多層的地形表現を提案した。次に,坑門デザインを検討する際,正確な走行感を再現するため,道路線形の配慮の重要性を示した。

③加久藤トンネル坑門デザインを対象にCGによる地形表現と,FAA,RTAを併用したデザイン検討の有効性を示した。

また,今回の事例を通して明らかとなった課題として以下のことがあげられる。

①3次元地形表現に関して地形の修正や変更などの編集作業に多くの時間が必要になることが指摘された。今後地形デザインの編集作業において迅速性,簡便性が求められ,地形データのデジタル化,軽量化などが必要となる。

②FAAから抽出されるデザイン問題とRTAからの問題は異なっている。これらの相違が何に依存しているのかという点に関してはより深い考察が必要となる。今後はこれらを踏まえ高速道路線形を含めた全体のデザイン,複数の施設との兼合い等の検討に本研究で示した手法を適用し,さらなる向上を目指したい。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり,日本道路公団九州支社・八代工事事務所には,地形情報の提供等で大変お世話になりました。心より御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 建設 CALS/EC センター: <http://www.cals.jacic.or.jp>
- 2) 例えば,草間晴幸他:空港建設計画の景観予測ツールとしてのCGアニメーションシステム,土木学会第24回土木情報システム講演集,pp.25-28,1999.
- 3) 福地良彦他: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,土木学会第22回土木情報システム論文集,pp.149-156,1997.
- 4) 緒方正剛他:建設プロジェクトにおける合意形成のためのヴァーチャルモデルの利用,土木学会第23回土木情報システムシンポジウム論文集,pp.81-88,1998.
- 5) 緒方正剛他:VMを用いた工程可視化システムの構築に関する研究,土木学会第24回土木情報システムシンポジウム論文集,pp.1-8,1999.
- 6) 小林一郎他:施設計画における合意形成の道具としてのVRの利用,土木学会第52回年次学術講演会講演概要集,pp.88-89,1997.
- 7) 例えば,趙曉明他:地形表現に配慮したCGアニメーションの坑門デザインへの適用,平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集,B346-B347,2002.
- 8) 小林一郎他:ウェブを用いたコラボレーション型授業による3次元道路設計演習,土木学会第27回土木情報システム論文集,pp.103-112,2002.