

I-15

3次元CGの橋梁景観設計への適用

北海道立工業試験場	正員	大崎恵一
㈱橋梁設計コンサルタント	正員	林 義税
同 上		星野善昭

1. はじめに

急激な社会資本整備を達成するため、機能性・経済性が優先され、画一的に設計されてきた公共土木構造物にも質が求められる時代がきた。昨今、建造される構造物には、機能性に加えて魅力ある空間を創出することが求められてきている。

橋梁などの大型構造物は景観に与える影響が大きいため、構造物自体の美しさとともに、周辺環境との調和を考慮して設計する、いわゆる、景観設計の必要性が多くなった。設計段階で景観を視覚的に表現する手法として、従来はパース、フォトモンタージュ、模型などが一般的であったが、最近ではコンピュータ技術の飛躍的發展によりCG（コンピュータ・グラフィックス）技術を利用した景観評価が用いられている。

景観設計の評価に3次元CGを用いることには次のような利点がある。

- ① 形状認識が正確である。地形、構造物のデータを一度入力すれば、移動消去などが自由である。
- ② あらゆる視点から見ることができる。（視点、注視点、画角の設定の自由度）
- ③ 色彩・材質感の表現、光源や影、霧の表現など色々な組合せの評価ができる。（天候・日時の設定、自然物のモデル化など、変化の自由度）
- ④ CADなどの設計データを利用できるなど、地形や構造物の形状データの入力がある程度自動化できる。
- ⑤ 出力手段が豊富である。（動画出力なども可能）
- ⑥ 3次元CGの出力結果をフォトショップなどの2Dペイントソフトで加工できる。

以下、3次元CGによる画像生成の概要及び橋梁の景観設計への適用例について述べる。

2. 3次元CGによる画像生成の概要

3次元CGはコンピュータの中に構築した仮想的な3次元空間に入り込み、ある方向を見た時に見える景色を計算で求め、画像を作成する技術である。画像作成の手順は入力、処理、出力の3つに分けることができる。入力では必要なデータをコンピュータに取り込み、処理（レンダリング）ではデータに基づいて画像データを生成し、出力では画像をディスプレイなどへ表示する。

2.1 3次元CGの入力データ

3次元CGに用いるデータは物体の形状・位置、物体の色と材質感、視点・注視点、画角・画像解像度、光源などである。

- (1) 表示したい物体の形状と位置を3次元データで定義する。通常は形状定義した物体を仮想的な3次元空間の中に配置して位置を決める。この仮想空間の座標系を世界座標系（ワールド座標系）とよぶ。
- (2) 物体表面の色はRGBの各成分値で指定し、材質感は滑らかさや光沢度を表す各種の係数で指定する。また半透明な表面では透過度や屈折率を指定する。これらのデータは陰影計算に使われる。
- (3) 視点・注視点は仮想空間内の位置を表し、世界座標系で指定する。視点は写真を撮る場合のカメラ位置に相当し、注視点は被写体の位置に相当する。
- (4) 画角は写真を撮る場合のカメラのレンズ（広角、望遠など）に相当し、画像解像度は生成される画像

Use of 3-Dimensional Computer Graphics to Landscape Design of Bridge
by Keiichi OHSAKI, Yoshichika HAYASHI and Yoshiaki HOSHINO

である。

(5) 仮想空間の中にある光源の種類と明るさ、方向、位置などを指定する。光源の種類は平行光源（太陽光）、点光源、スポットライトなどがある。平行光源は特定方向に光を照射し、点光源は特定の位置から全ての方向に光を照射し、スポットライトは特定の位置から特定の方向へ円錐形に光を照射する。

2.2 3次元CGの基本手法

入力データを使って画像生成（レンダリング）する基本手法には座標変換、隠面消去、陰影計算などがある。具体的な計算方法は隠面消去の方法で異なるが、概ね次のようである。すなわち、定義された物体が生成画像上でどう見えるのか、生成画像上のひとつのピクセルにはどの物体が見えるのかを計算し、ピクセルの色を求めて画像ファイルに記録する。図1に3次元CGの概要をまとめたものを示す。

(1) 物体の形状表現には境界表現（B-Reps）、CSG表現などがある。境界表現は物体表面を細かく分割してポリゴン（多角形）の集合で定義し、複雑な形状を表現しやすい。CSG表現は2次曲面や直方体などの幾何学的な形状の論理演算で定義する。境界表現のCGシステムにはプリミティブとよばれる基本形状が用意されており、パラメータを指定して形状を定義する。このような機能をモデラーとよぶ。

(2) 座標変換は画像を生成するために使われる様々な座標系への変換に用いられる。視野変換は視線を基本軸とした座標系である。また、投影変換には平行投影と透視投影がある（図1）。

(3) 隠面消去（隠面処理）はどの物体のどの面が見えるのかを求める。代表的な手法としてZバッファ法（デプスバッファ法）、スキャンライン法、

レイトレーシング法（光線追跡法）などがある。Zバッファ法はアルゴリズムが非常に簡単で、大量のデータに対応できる長所をもつ。レイトレーシング法は映り込みや屈折などを表現した非常に高品質な画像を作成できるが、処理に莫大な計算時間を必要とする欠点がある。

(4) 陰影計算（シェーディング）は物体表面の各種の反射を計算して色を求め、材質感や立体感を表現する。通常は周囲光（環境光）、拡散反射光、鏡面反射光の強度を求める。計算モデルとしてLambertの法則、Phongのモデル、Blinnのモデルなどがある。

(5) クリッピングは視野からはみ出す部分を除外する。

(6) 走査変換（スキャンコンバージョン）は多角形の内部のピクセルを求める。

(7) マッピングは物体表面の模様や凹凸などを表現し、画像の質感を高める。表1に主なマッピングの種類と概要を示す。写真7にマッピングの例を示す。

(8) CGで生成した濃淡陰影画像データの出力機器の代表的な種類を表2に示す。

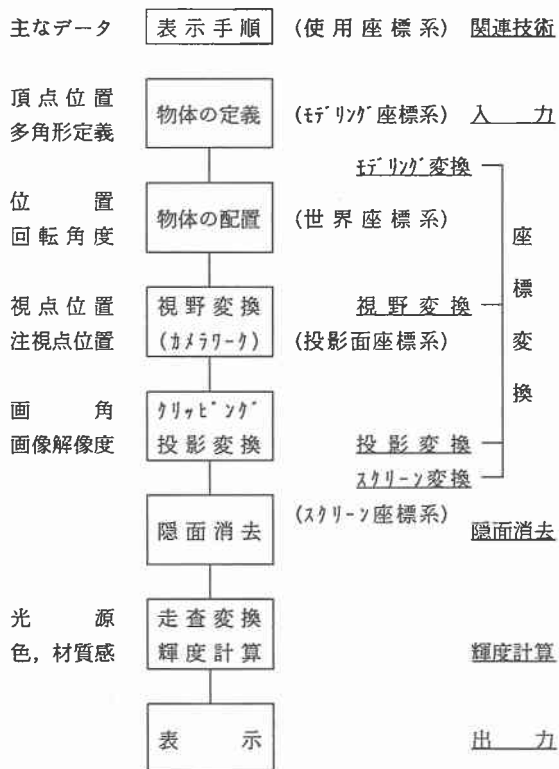


図1 3次元CGのデータ、表示手順、座標系、関連技術の概要（Zバッファ法で多面体を表示する場合の例）

表1 主なマッピングの種類と概要

テクスチャマッピング	物体の表面に模様を張り付ける。表面の座標から対応するイメージデータの座標を求め、色データを利用する。皮などの細かいパターンの表現にも有効
バンプマッピング	面の法線ベクトルを張り付けて、表面の微妙な凹凸を表現
反射マッピング	映り込みの計算ができないZバッファ法などで反射を表現
シャドーマッピング	影の計算ができないZバッファ法などで影を表現
α マッピング	内部に穴のあるイメージデータを、 α データに応じて張り付ける

表2 CGの出力機器の分類

ラスタースキャン方式	溶融型熱転写、昇華型熱転写、インクジェット、静電型、レーザー型、銀塩写真式
フィルムレコーダ	ベクタースキャン方式デジタル型（写真方式）、ラスタースキャン方式アナログ型
ビデオ録画機器	VTR、NTSCコンバータ

3. 橋梁のCG画像の生成と景観設計への適用

CG画像の生成に用いている3次元CGシステムの概要と景観設計への適用例について述べる。CG画像生成システムは隠面消去にZバッファ法を用いたポリゴン専用のCGシステムである。プログラムはC言語で作成した。ハードウェアはメインメモリ16Mバイト、ハードディスク760MバイトのWSである。

3.1 データの入力

データはテキストファイルとして作成する。データファイルの種類と主な内容は次のとおりである。

- ①環境ファイル：視点、注視点、画角、画像解像度と関連ファイル名
 - ②形状ファイル：モデラー番号及びパラメータ、回転角度、平行移動量、材質名
 - ③光源ファイル：光源の数及び種類とパラメータ、背景色
 - ④材質感ファイル：材質名、色、材質感のパラメータ、マッピングファイル名
 - ⑤形状を定義するための座標リスト、頂点番号リストの例を次に示す。
- (1) 構造物の形状定義に使用する主なモデラーは①球／楕円体、②直方体、③円柱／円錐／円錐台、④回転体、⑤ボール、⑥掃引体、⑦メッシュなどである。

掃引体の形状例を図2に示す。掃引体は輪郭点の座標リスト（図3）と引き抜き方向の座標リスト（図4）で形状を定義する。

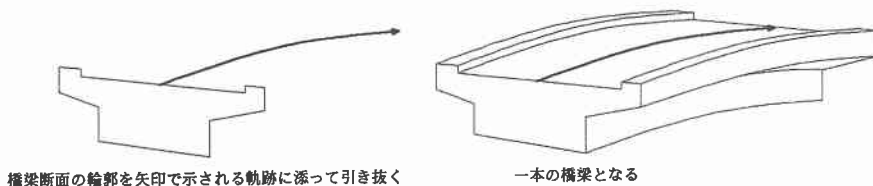


図2 掃引体の形状の例

-5000 0 -695	-8000 0 -445	-8000 0 -495	646583	306215	248321	643543	310146	247987
-8150 0 -495	-8150 0 1279	-7900 0 1279	628128	330081	246294	612611	349937	244600
-7900 0 279	-7750 0 279	-7750 0 -195	608793	354519	244200	604547	359616	243754
-4530 0 -195	-4530 0 115	-4330 0 115	586811	377502	242061	577059	385474	241215
-4250 0 -85	-4250 0 -195	4250 0 -195	566705	392650	240368	555816	398982	239522
4250 0 165	4500 0 165	4500 0 1065	544444	404398	238675	532659	408847	237829
4750 0 1065	4750 0 -495	4600 0 -495	520544	412297	236983	511767	413905	236383
4600 0 -445	1600 0 -695		495768	416836	235290	470718	419569	233597

図3 掃引体の輪郭座標リストの例

図4 掃引体の軌跡の例

(2) 地形をデータとして取り込む例を図5に示す。入力処理は3次元を扱え、プログラミング機能を持ったCADシステムを用いた。

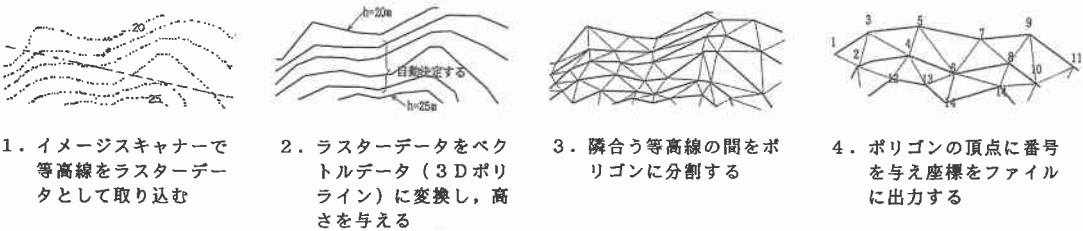


図5 地形データの生成例

地形を定義するデータの数値例を以下に示す。地形などのメッシュ構造のモデラーは頂点座標リスト(図6)と頂点番号リスト

(図7)で形状を定義する。頂点座標リストはメッシュの頂点番号とその座標を列記し、頂点番号リストは、1枚のポリゴンを構成する頂点数とメッシュの頂点番号を列記する。

1	574651	25236	265000
2	586439	25236	260000
3	560451	45959	265000
4	573063	46164	260000
5	545435	66259	265000
6	561433	68317	260000
7	532389	87774	265000
8	546811	88283	260000
9	519045	107439	265000
10	529819	104138	260000

頂点番号 頂 点 座 標

図6 頂点座標リストの例

3	1	2	3
3	2	3	4
3	3	4	5
3	4	5	6
3	5	6	7
3	6	7	8
3	7	8	9
3	8	9	10
3	9	10	11
3	10	11	12

頂点数 頂 点 番 号

図7 頂点番号リストの例

3. 2 レンダリング

- (1) 扱える光源は平行光源、点光源、スポットライトの3種類である。昼間の景観は平行光源(太陽光)だけでも生成できるが、夜間の景観を作成するためには点光源やスポットライトが必要である。最大7個まで光源を指定できる。陰影計算は指定した光源それぞれについて独立に計算する。
- (2) 影付けは画像の立体感を増大させる。影付けはシャドウマッピングで計算する。任意の点と各光源の間に物体があればその光源からの光が当たらないため影になる。
- (3) 霧や霞の表現は遠方の景観が表示される屋外の景観を表示する場合に重要である。視点と視野内の個々の物体との距離によってコントラストを変え、大気中の光の散乱を表現する(写真6)。
- (4) 樹木は自然景観の中の重要な構成要素である。通常は樹木の写真を利用して、 α マッピングで樹木を表現しているが、近景の樹木をリアルに表現したい場合には樹木の形状を3次元データで作成して表現する(写真8)。また、林や森を表現する場合には樹高の分布や植生密度を考慮することも重要である。

3. 3 画像データの出力と活用

生成した画像データをディスプレイに表示して、画像の確認などを行う。その他の出力方法は次のとおりである。

- (1) 表示された画像のハードコピーを作成する。ただしディスプレイは発光で画像を表示するのに対し、ハードコピーは印刷で画像を表現するため、ディスプレイの感じとハードコピーの感じは必ずしも一致しない。そのため、ディスプレイのイメージを正しく表現したい場合にはブラウン管の発光面を直接写真撮影する。
- (2) 3次元CGの生成画像はイメージデータであり、フォトショップなどの2Dペイントソフトによる加

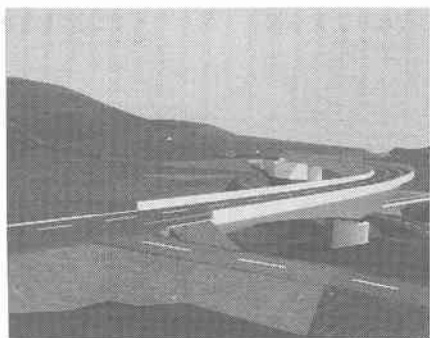


写真1 視点1からの景観

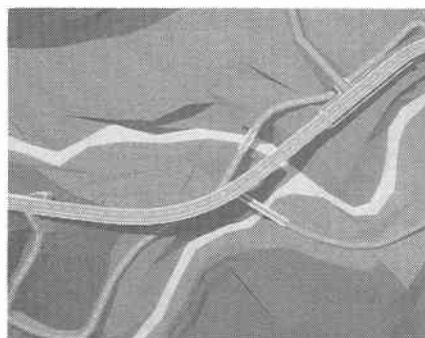


写真2 視点2からの景観

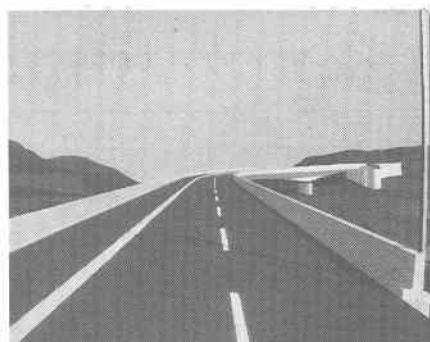


写真3 視点3からの景観

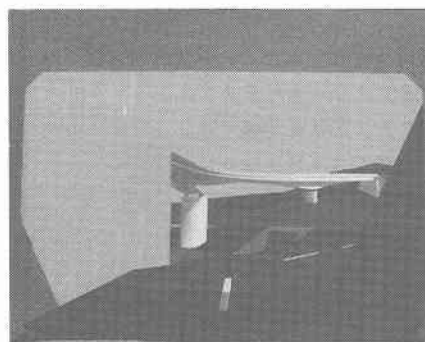


写真4 視点4からの景観

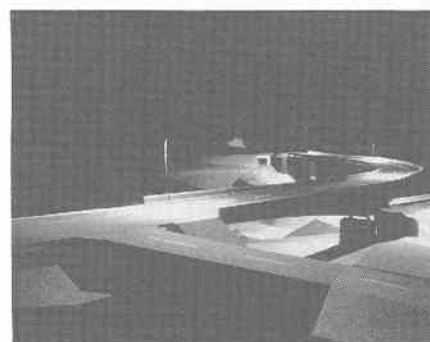


写真5 夜間の景観の例



写真6 霧の景観の例

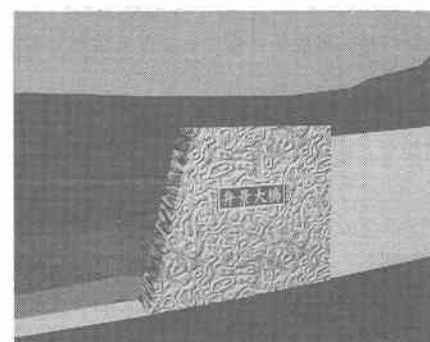


写真7 マッピングの例



写真8 3次元形状の樹木表示例

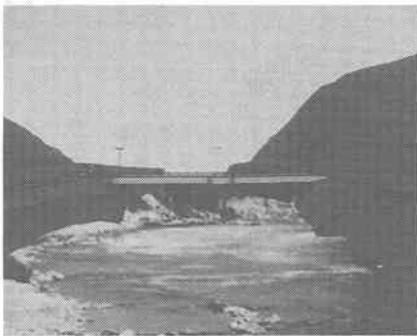


写真9 CGと写真との合成例

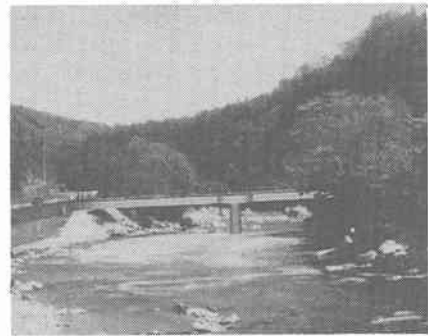


写真10 写真とCGの合成例

工が可能である。こうしたソフトを利用することにより、地形や植生のテクスチャーを2次元的に張り付けたり（写真9）、現況の写真とCGで作成した橋梁を合成したりできる（写真10）。

さらに、いろいろなタイプの橋梁の画像データを多数用意しておけば、予備設計の際の橋梁のタイプの検討資料の作成が容易に行える。また、計算時間のかかる影付けや映り込みの表現も可能であろう。

3.4 生成画像例

上記システムを用いて作成したCG画像の例を写真1～写真10に示す。

4. おわりに

大手のゼネコンなどでは大型の工事の際には高価な3次元CGシステムを用いた景観表示が常識化している感があるが、一般にはそうしたシステムの導入は難しい。しかし、一方では公共構造物の設計に対してもCGによる景観設計が求められることが多くなってきた。

ここでは土木関係の技術者が3次元CGについて基本的な手法の概要を知ることが狙いとして、3次元CGで画像データを生成する手法の説明と景観設計に応用した例について述べた。

基礎知識をお持ちの方には内容的に不満であろうし、紙面の都合で説明不足の点は否めないが、本報告により3次元CGが少しでも身近で活用できる助けになれば幸いである。

参考文献

- 1) 大崎恵一, 山本 寧, 林 義税, 星野善昭, "橋梁の景観シミュレーション技術に関する研究", 北海道立工業試験場平成4年度共同研究報告書, 1993
- 2) "CGシステム・機器総覧", 図形処理情報センター, 1990
- 3) S. Upstill, "実践CGへの誘い", 共立出版, 1991
- 4) 中前栄八郎, "コンピュータグラフィックス", オーム社, 1987
- 5) 山口富士夫監修, "実践コンピュータグラフィックス", 日刊工業新聞社, 1987
- 6) 水上孝一, "コンピュータ・グラフィックス", 朝倉書店, 1989
- 7) 大崎恵一, 山本 寧, 鈴木悌司, 佐藤 創, "景観表示のための針葉樹の生成手法", 北海道立工業試験場報告, No291, p. 107-113, 1992
- 8) 大崎恵一, 鈴木悌司, "光環境を考慮した特定樹木の成長モデル", 第8回札幌国際コンピュータグラフィックスシンポジウム論文集, p. 7-12, 1994