

東京大学工学部 正員 中村良夫
 東京大学工学部 学生員 小柳武和
 北海道南苑局 正員 中村俊行

1) まえがき

従来より、橋梁美学や道路線形設計分野で透視図を利用する景観研究が行われてきた。特に最近では、環境保全の問題が急速に高まりつつあり、道路構造物と自然景観の調和が強く要請されるようになった。従って、道路および橋梁構造物について道路外の視点をも考えに入れた景観の検討を行ない、その結果も積極的に設計に取り入れていくことが重要になりつつある。このような要請に答えるためには多量の透視図を能率的に作製することが必要となる。道路線形についてはそのような研究は数多いが橋梁構造物の透視図の自動作製もまた必要になると考え、本研究ではそれに焦点を当てた。

電子計算機を利用した図形処理技術については多くの研究があり、特に最近では隠れ線や陰影処理の課題が多いようであるが(文献①～⑥)、本研究はこのような方法を橋梁の透視図に応用したものである。

2) フローチャート概略

右にフローチャートの概略図を示す。

3) 取扱ひ物体と入力方法

今回取扱った物体は、簡単な橋梁を表わすのに充分と思われる直線分、多角形、多角柱の3つである。今後曲面等の複雑な物体の表示も可能になると思われるが、今回は適当な数の平面で曲面を近似する方法をとった。(図R-5)

データ入力については能率のよい手法の研究が充分ではないが、右の図-3のように各物体の頂点のうち物体を理解するのに最少と思われるものを適当な位置を原点としたX-Y-Z空間座標で図のような番号順に入力した。

4) 座標変換

データの入力上の扱いが容易なような座標系で入力した座標を数値計算の容易なような座標系に変換する。

そのような変換後の視点と座標系との位置関係は右の図-4に示す通りである。

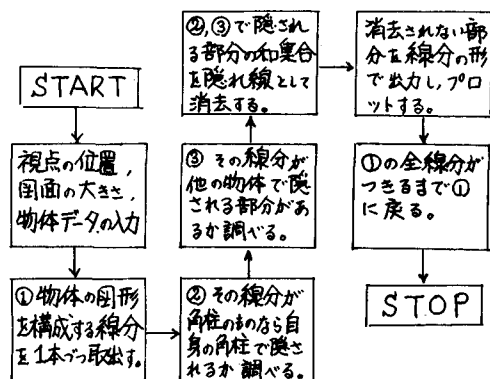


図-3
自 線

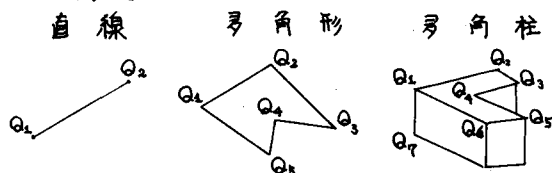
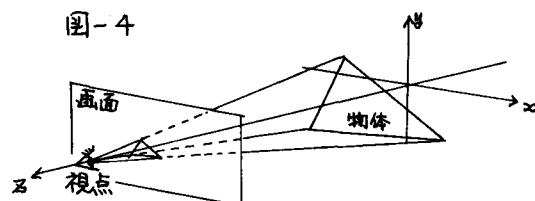


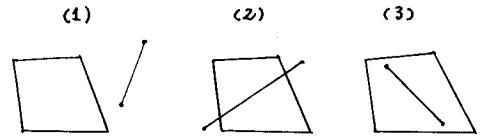
図-4



5) 線分とポリゴンの関係

ここでは各物体の辺・稜と多角形および多角柱の各面との関係と調べるのが主目的である。
今回は特にプログラム簡略化のため相量は無いと
考えている。

図5-a 線分とポリゴンの位置関係



線分と多角形(ポリゴン)の関係は透視平面上で次の3通りが考えられる。(1) 線分がポリゴンの外にある, (2) 線分とポリゴンが交わる, (3) 線分をポリゴンが包む, (以上図5-a)

(1) の場合線分は隠されることはない。(2) では線分がポリゴンの手前にあれば隠される部分は無く, 後方ならばポリゴン内の部分は隠されることになる。(3) も(2)と同様に考えられる。

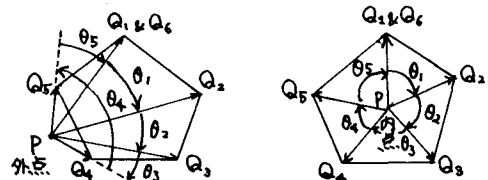
イ) (1), (2), (3) の判定

線分とポリゴンの各辺との交点の有無を調べ, 交点の無い場合(1)か(3)なので線分の中点(線分内の点ならどこでもよい)がポリゴンの内か外かを調べて判定できる。交点がある場合は(2)の関係にあるが, どの部分がポリゴン内にあるかの判定は交点によっていくつかに分割された線分の各部分の中点がポリゴンの内か外かを調べることによって行なわれる。

ロ) 内点, 外点の判定

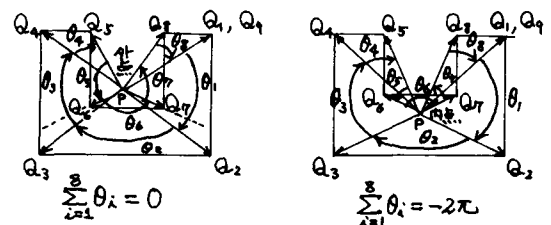
ポリゴンが凸多角形の場合, 図5-bのようにポリゴンの頂点に右回りの番号をつけ, 順次 PQ_i , PQ_{i+1} をとって $i \rightarrow i+1$ の回転角 θ_i を調べる。もし一つでも左回りの θ_i があれば点Pは外点であり, 全部右回りならばポリゴン内の点となる。

図5-b 凸多角形の内点, 外点



(凸角形でも下図の和の理論が成てはまる)

図5-c 凹多角形の内点, 外点



ポリゴンが凹多角形の場合, 図5-cのような8角形を例にとると, 凸多角形の場合と同様に θ_i を考え, 右回りのものを正とすれば, i を1~8まで変化させた時の θ_i の総和は, 理論的には点Pが内点なら -2π , 外点でゼロとなる。

ハ) 線分とポリゴンの前後関係の判定

透視平面上の線分とポリゴンの前後関係を調べる必要が生じるのは線分がポリゴン上にある

(2)や(3)の場合だけと考えると, 線分のポリゴン内に含まれる部分上の1点(例えばその部分の中点)に対応する空間座標系内の線分およびポリゴン上の点と視点と結ぶそれぞれのベクトルの長さを比較すればよい。

6) 多角柱の場合の消去過程

1つの多角柱だけを対象とする場合, その稜の見え隠れの判定は, 各面の視点からの表裏を調べ, 次のような順序で行なう。しかし, 凸多角柱では(1)の段階でこの操作は完了する。

- (1) ある稜を定める面がともに裏向きの場合, その稜を消去する。
- (2) 稜が凹部で, かつそれを定める面の一方が裏向きならその稜を消去する。
- (3) (1), (2) 以外の場合, 全表向きの面による隠れ線(前節5)の方法で調べる。

図6-aは各段階で消去される線を破線で示した例である。

視点に対する表裏の判定は、図6-bのように各面の外向きの法線ベクトル $\vec{n}_i$ と視点方向ベクトル $\vec{E}$ との角度を調べることによって行なえる。すなわち、図のように右回りの番号をとると、 $\vec{n}_i = \vec{Q}_i \vec{Q}_{i-1} \times \vec{Q}_i \vec{Q}_{i+1}$ (但し、頂点 i は $\vec{n}_i$ を外向き法線ベクトルとするため面の凸部頂点とする)となる。そこで頂点 Q_i からの視点方向ベクトル $\vec{E}$ とすると内積 $N = (\vec{n}_i, \vec{E})$ が正なら表向き、負なら裏向きと判定される。

凹凸の判定は図6-cに示す通り、稜をばさむ2つの面の外向き法線ベクトルの外積と稜を表わすベクトルの方向を調べるによって行なう。すなわち、稜ベクトル $\vec{Q}_i \vec{Q}_{i+1}$ の方向に対し右側にある面の法線ベクトルを $\vec{n}_{j_1}$ 、左側のものを $\vec{n}_{j_2}$ とおき、 $\vec{G} = \vec{n}_{j_1} \times \vec{n}_{j_2}$ 、 $N = (\vec{Q}_i \vec{Q}_{i+1}, \vec{G})$ とすると、 N が正なら凹、負なら凸となる。

複数の多角柱が存在する場合は、上記のテストを行なった上で、まだVISIBLE部をもつ稜について他の角柱の視点方向に表向きの面による隠れ線(前節5)の方法で調べる。もし、多角形物体が入力されていれば、それによる隠れ線も同様に調べる。そのように各物体が相互に隠れ合う部分の和集合を最終的な隠れ線として消去する。

7) 結果

図R-1~9は以上のアルゴリズムにより自動化された成果の例である。図R-8の例で計算時間は71秒である。(HITAC5020E) また図R-9は図R-8をモンタージュしてある。

図R-1 直線2, 4角形1, 3角柱, 4角柱各1

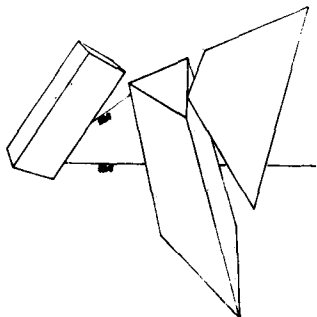


図6-a 1多角柱の隠れ線消去過程

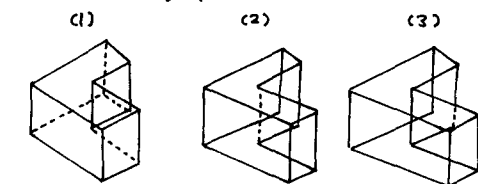


図6-b

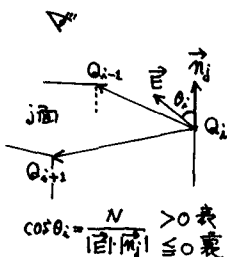
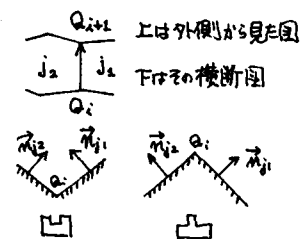
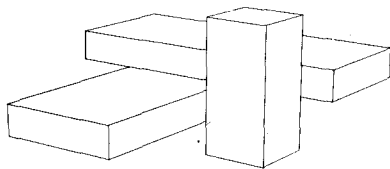


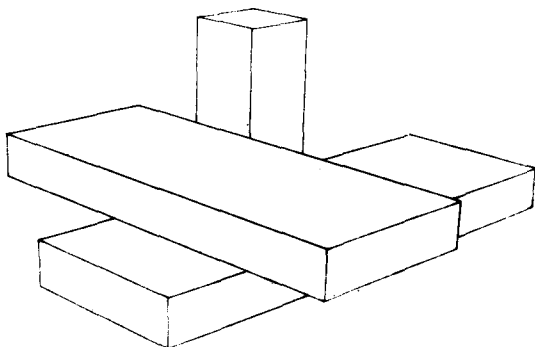
図6-c



図R-2 3つの4角柱



図R-3 上例を他の視点から見た例



8) 陰影の向題

以上のようにして作製された橋梁透視図に一定

の光源を与えた時形成される陰影を表示することは透視図の表現力を一層増大させる。これには陰影の計算の問題と、その図上での表現の問題がある。前者は詳細は略すが、一般に計算時間が長くなるという意味では隠れ線と同様、まだ完全に解決しているとは言えない。(文献②,③,④)

また図上の表現はCOMのような出力機器を用いることによって比較的容易にハーフトーンが得られる。図R-10は簡単な立体の組合せによる試験的な例である。

9) おまじ

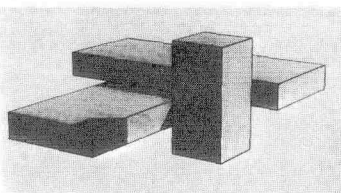
橋梁透視図の自動作製は図形処理技術の点からみると基本的な問題は次の3点につきる。

- (1) 隠れ線処理時間の短縮
- (2) 問題に即した能率のよいデータ入力方法および記憶方法
- (3) 能率のよい陰影表現アルゴリズム

一方、情報提供技術の進歩に対し、透視図の利用方法および景観上の評価の研究が充分でなく今後の研究が望まれるところである。

10) 参考文献 図R-10 例R-3の陰影表現

- ① 穂坂高橋: 3次元形状処理方式とhidden line algorithm: オ10回情報処理学会講演予稿集 1969 P.77~78



② J. Warnock:

The hidden line problem and the use of half-tone displays: Computer Sciences 1969 P.154~163

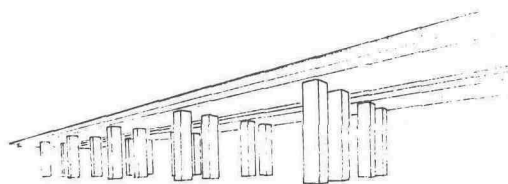
- ③ R. Galimberti, U. Montanari: An algorithm for hidden line elimination: ACM Vol.12 No.4 1969 P.206~211

- ④ 棟上昭男: 図形処理の技術: 電3科学 1970 4月号 P.31~38

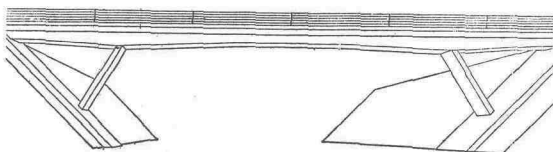
- ⑤ A. Appel: Some techniques for shading machine rendering of solids: SJCC 1968 P.37~45

- ⑥ J. Bonknight, K. Kelly: An algorithm for producing half-tone computer graphics presentations with shadows and movable light sources: SJCC 1970 P.2~10

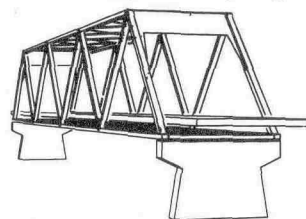
図R-4 高架橋 4角柱20, 8角柱2,



図R-5 オバブリッジ 直線26, 平面2, 角柱6



図R-6 トラス橋 平面分20, 4角柱18, 8角柱2



図R-7 吊橋 直線分476, 平面分32, 4角柱10



図R-8 高架橋 4角柱14, 6角柱2, 8角柱9



図R-9 工場の線画とその3Dモンタージュした例

