

S 3. 掘削工事の概略設計への立方体地盤モデルの適用

(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○竹本 憲充

1. 掘削工事における概略設計の概要と新手法の提案

(1) 地形設計の概要

景観デザインの普及に伴い、河川の多自然設計をはじめ、地形デザインの可能性が追求されている。しかし、3次元的に変化する地形の改変を設計として取り扱うのは容易ではない。図-1は従来から多用される等高線によって切り出された積層模型である。このような模型をベースに自由にあるいは、ある工学的意図に沿って、地形を変えることは模型の制作・修正等、多大な労力を要する。

また、分水路の景観設計には図-2に示す3D-CADのサーフェスモデルが用いられる。サーフェスモデルとは、境界で閉じられた面の集合によって、地形を表現するモデルである。サーフェスモデルを用いる利点は、改変した地形データから解析用の入力データが容易に得られる、土工量が算出できる、等であるが、形状の変更は、容易ではない。

サーフェスモデルを用いた地形設計(従来法)の概要を、図-3に示す。幾つかのデザイン案(たとえばA,B,C案)を検討し、その中から詳細設計の対象となる案(ここではB案)を選び、景観性、機能性、経済性等を配慮した検討を行い、最終案に至る。

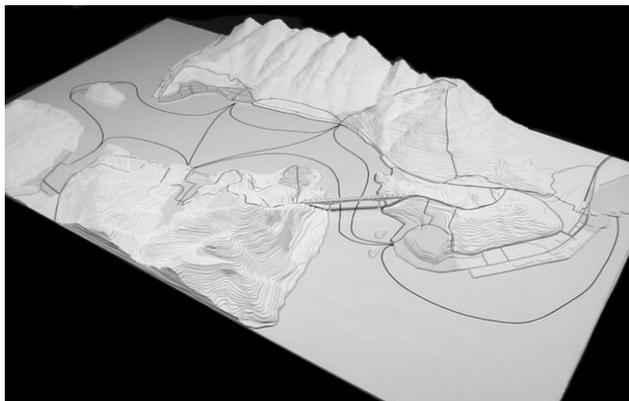


図-1 積層模型

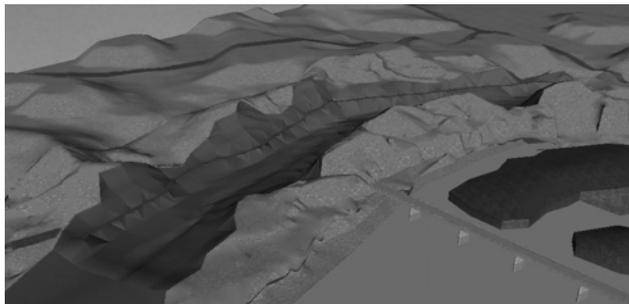


図-2 サーフェスモデル

(2) 新手法の提案

従来法の問題点は、図-3にも示したように、各案に、概略設計の段階でもサーフェスモデルを用いるため、データ作成に多大な労力を要し、迅速に多くの案の比較検討ができず、3案を検討するだけでも容易ではない。このため、本来、より多くの時間を費やして検討すべき、詳細設計の時間が削られ、細部の検討が十分にされない恐れがある。

そこで、筆者等は概略設計段階でサーフェスモデルの代わりに図-4に示す立体地盤モデルを用いる手法(提案

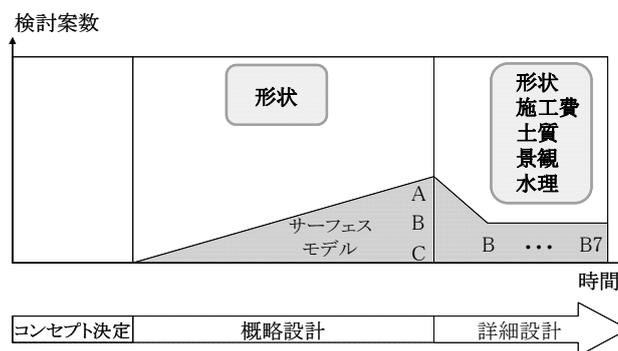


図-3 従来法による設計の流れ

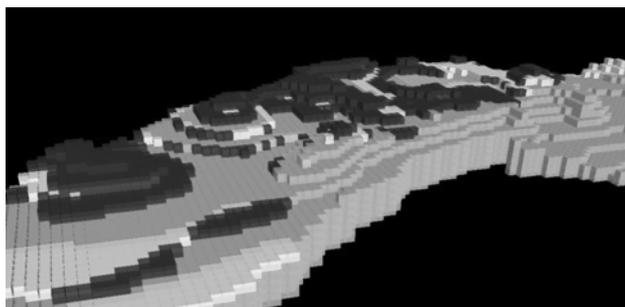


図-4 立方体地盤モデル

法)を考えた(図-7)。3章で後述するように、地形を離散的な立方体に置き換え、各要素に土質情報を付加することによって、次のような利点があることが判る。

a) 迅速な3次元可視化

不要な立方体を取り除くことで、容易に施工後の表面形状の概要が理解できる。さらに、土質の種類を色分けしておけば、掘削面の土質の概要も理解できる。

b) 土工量算出

取り除いた立方体の個数に1個の立方体の体積を掛けることで土工量の概要が把握できる。

c) 施工費算出

各立方体の土質に施工単価を掛ければ、施工費の概算

が算出できる。

ここで、強調したいのは、提案法において概略設計にのみ立方体地盤モデルを用いる点である。これにより図-5に示したように、施工性や施工費を勘案しつつ、より迅速の多くの案(たとえば、 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$)を検討できるだけでなく、検討時間を大幅に短縮できる。仮に β 案(立方体モデル案)が採用されれば、概略設計の2段階目として、概略設計の範疇で詳細な案($\beta 1$ 案から $\beta 5$ 案)の設計検討を行う。詳細設計に移ると、従来法(図-3)と同様に、サーフェスモデルを用い、サーフェスモデル案(B案)の検討を行う。重要なのは、図-5では、詳細設計に残された時間が十分にあるだけでなく、従来法のB案では景観的な検討しか行われていないのに対し、提案法で採用されたB案は同じ案であっても、大まかな施工上の担保がすでに得られている点にある。

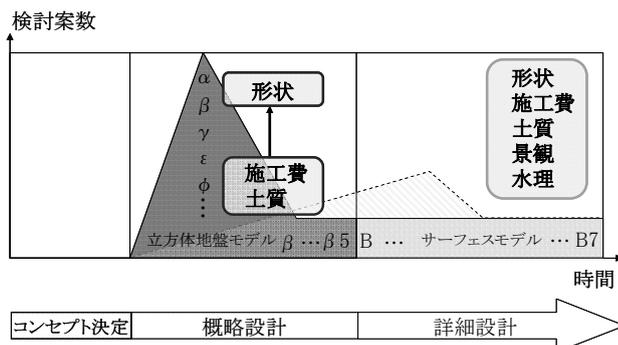


図-5 提案法による設計の流れ

3. 立方体地盤モデルの作成手順

(1) 立方体地盤モデルの概要

本モデルは固有のID、重心の3次元座標値(X,Y,Z)、土質情報Sを保持する立方体の集合で地形形状を表現する。立方体の辺長は作成時に任意の大きさを指定でき、使用目的に合わせて変更できる。立方体の保持している土質情報ごとに色を割り振り、土質分布を色情報によって表現する。立方体の持つ各種の情報はIDを同期させた外部データベースによって管理されている。データベースの情報を書き換えることでモデル上の立方体に対して土質以外にも任意の属性を追加することが可能である。

(2) 機能

立方体地盤モデルは下記の機能を有する(図-6)。

a) 掘削形状表示機能

立方体地盤モデルで表現された現況地形と、3D-CAD上に描いた3次元的な掘削範囲を重ね合わせることで、両者が重なる範囲にある立方体を消去し、掘削後の形状を表現できる。

b) 土工量表示機能

モデル上での掘削形状の作成の際に、自動で消去した立方体の個数を表示させる。立方体ひとつの体積は一律なので、消去した立方体の個数より、概算の土工量が算出可能である。また、掘削個数の表示と同時に掘削した立方体のID、重心の3次元座標値(X,Y,Z)、土質情報SをCSVフ

イル形式で出力する。このデータより、土質別の掘削量を把握できる。

c) 土質分布表示機能

土質情報ごとに立方体に色を割り振ることで、掘削面の土質分布を視覚的に把握できる。また、任意の縦断面・水平断面で表示することで、地表面だけでなく内部の土質分布も確認可能である。

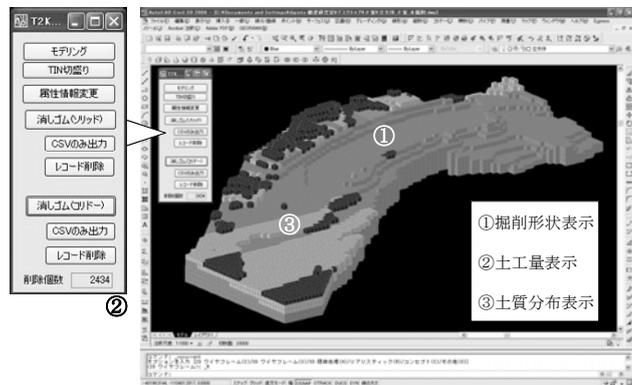


図-6 システム画面

(2) 立方体地盤モデルの運用

b) 立方体地盤モデルを用いた設計方法

モデルの色分布より取得できる土質情報を参考にしながら、3D-CAD上に中心線形を作成する。中心線形の作成後、設計形状の作成を行う。作成した中心線形に沿って、標準横断を入力し、設計形状のサーフェスを作成する(図-7)。作成した設計形状と、工事着手前の地形を立方体モデル化したものを重ね合わせ、設計形状のサーフェスの上にあるブロックを自動的に削除し、設計案の立方体地盤モデルを作成する。各案共通の縦断勾配、横断形状を用いているため設計案の違いは中心線形の違いだけである。そこで、中心線形だけを変えて、複数の設計案を迅速に作成できる。モデル作成後、前掲の掘削形状表示機能や土工量表示機能を用いて、形状、土工量、土質分布等の観点から設計案の比較・選定を行う。

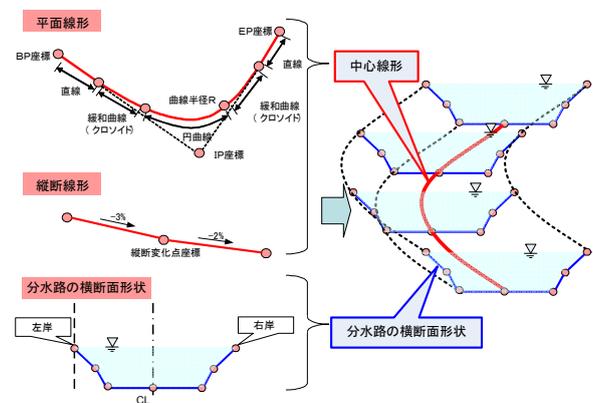


図-7 設計形状の作成

4. 適用事例

(1) 目的

本適用では、立方体地盤モデルで設計案の作成を行い、案の比較を行うことで設計へ適用した際の立方体地盤モデルの効果の確認を行う。設計案の検討を進め、立方体地盤モデルでの検討の可能性を確認する。

(2) 適用対象地の概要

九州で行われている分水路工事業(図-8)に対し、立方体地盤モデルを適用し設計検討を行う。対象とする分水路工事計画は当初、河床幅 60m, 延長 700m の大規模な地形改変を伴う事業であった。計画当初の案である 1 次案に対し、周辺に存在する観光地からの分水路の眺望が問題となったため、機能性以外のことも考慮した設計を行う必要がある。



図-8 現場写真

(3) 適用方法

立方体地盤モデルで複数の案を設計し、設計案の比較検討を行った。設計案が満足する必要がある要件は、流入口の高さは当初設計どおりとする、縦断勾配=1/120 とする、横断面は単一形状(河床幅 20m, 法面勾配 1:0.5, 小段幅 2m)を用いる、の 3 点である。立方体は地形の概略が把握できる大きさとし、一辺を 5m とした。土質に関しては、既存の地質調査結果をもとに、土砂(シルス、シルト質)、軟岩(軟岩 I, 軟岩 II)に分類した。

設計案の検討は、平面図、鳥瞰図による形状の確認、景観性の検討、土工量、施工費による比較を行う。土工量、施工費は以下の式により算出される。

$$(\text{土工量})=(\text{掘削個数})$$

$$(\text{施工費})=(\text{土砂の掘削個数})+(\text{軟岩の掘削個数})\times 10^{**}$$

※軟岩の施工費用を土砂の施工費用の約 10 倍と設定

景観性は、対岸からの分水路法面の露出によって検討を行う。法面の露出は中ノ島の掘削量により判断する。中ノ島が多く残っていれば、法面の露出が少なく、掘削量が多くなるほど、露出が増加する。

(4) 設計案の比較検討

a) α , β , γ 案の設計

設計対象として 1 次案をもとに α ・ β ・ γ の 3 案を作成し、比較検討を行った。 α , β , γ 案の中心線形の特徴を表-1, 図-9 に示す。

表-2 に各案の平面図, 鳥瞰図, 土工量, 施工費, 景観

表-1 α , β , γ 案の中心線形

名称	特徴
α 案	1 次案に対し、川から遠い山側に大きな弧を描くように線形を設定
β 案	標高が低い箇所をたどる様に線形を設定 (α 案と γ 案の中間の線形)
γ 案	1 次案より川側を通り、分水路の入り口と出口をほぼ直線で結ぶ

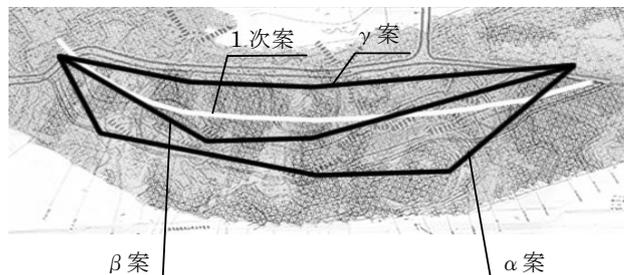


図-9 線形比較

性を示す。土工量に着目すると、中心線形が本線から大きく遠ざかり、大きく弧を描いているため、延長も長く、かつ比較的高地を掘削範囲に含む α 案が最大となった。一方、 γ 案は本川に近い位置をほぼ直線の中心線形で作成しているため、1 次案に対して土工量が大幅に減少している。 β 案は 2 案の中間的な結果となっている。

鳥瞰図では法面形状と土質分布に着目した。 α 案では図の中央にシルトを表現する立方体が 2 個垂直に並んでいる。1 つのモデルで高さが 5m であるためこの勾配は 1:0.25 と急な可能性があり安定性に問題があることがわかる。これは β 案にもみられ、それぞれ 2 箇所を確認した。つまり、法面に対して他よりも特別な補強が必要であることがわかる。また、 β 案の右上にシルスを表現する立方体が分布しており、平常時は安定しているが水を含むと極端に弱くなるため、法面の崩壊が懸念される。これに対し、 γ 案では中心線形の違いから、 β 案で問題となったシルスの露出がわずかであり、また、法面の地質は軟岩が主であること、分水路全区間で立方体が階段状に積み重なっていることから、法面の安定性が高いと考えられる。

表-2 より土工量, 施工費の観点からは γ 案が優れている。対象地が観光地であるということから、本川対岸からの法面の見え方を考慮する必要がある。 γ 案は川側の標高が山側よりはるかに低いため、法面の大部分が本川の対岸から見えてしまう。したがって、景観的な観点から γ 案は不適となる。 α 案と β 案は中ノ島が残されているため、 γ 案と比較して対岸側から見える法面が少なく、より現況に近い景観が保存される。景観的に優れている α 案と β 案の比較では、法面の露出は α 案の方が少ない。しかし、土工量の観点から 2 案を比較すると、 α 案は β 案に比べ、土工量が非常に大きい。したがって、土工量の観点からの比較により、 β 案を選定した。

(5) 考察

立方体地盤モデルの概略設計への活用効果は以下のとお

りである。

a) モデル作成時間の大幅短縮

サーフェスモデルを用いた設計では、中心線形の決定は等高線トレースを用いたスタディにより行う。等高線トレースの作成は手作業で行うため、1~2日の時間を要する。また、3D-CADによる形状の3次元可視化も1案の作成に2日程度の時間がかかるため、設計案の作成に多くの時間が必要となる。これに対し、立方体地盤モデルでは詳細な地形サーフェスは不要であり、等高線トレース作業が省略できるため、作業時間が短縮される。さらに、立方体地盤モデルでの形状の3次元可視化に必要なデータは中心線形と縦断、横断形状の3つのデータであるため、中心線形の決定から掘削形状の作成まで10分程度で行うことができ、作業時間が飛躍的に短縮された。

c) 設計形状等のイメージ共有

議論の場において立方体地盤モデルを使用しながら検討を行い、検討の結果をその場で3次元可視化を行うことで迅速に完成イメージを共有することが可能となると考える。

d) 鳥瞰図表示による簡易的な景観検討

本モデルで作成した3次元地形を様々な視点から表示することにより、各設計案の景観性を簡易的に確認できる。

e) 土工量等算出の迅速化・容易化

掘削個数を自動的に表示する機能により、容易に概算の土工量が算出でき、概略設計の段階で土工量の把握が可能となった。また、岩の割合や施工費、土質ごとの掘削量等も算出でき、それらによる案の比較も行える。

f) 法面の安定性確認

立方体の色情報より土質分布からの案の比較、検討が行える。法面の立方体の色および積み方を見ることで、 α 、 β 案の鳥瞰図にあるような構造的に問題がある断面を見つけることが出来る。この情報をもとに、地質に応じた法面勾配となるよう、断面形状をきめ細かく変更するといった対応が可能となる。

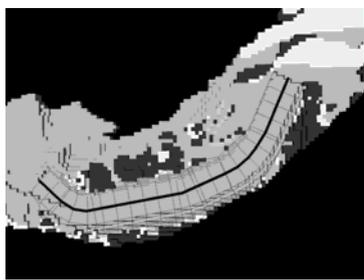
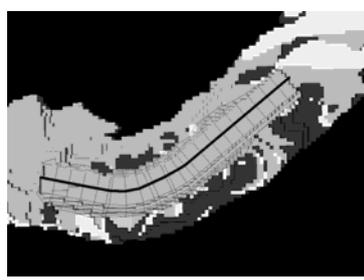
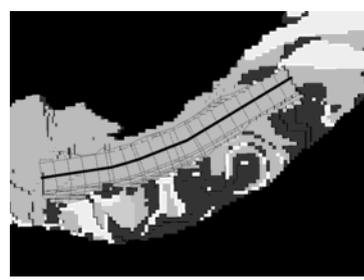
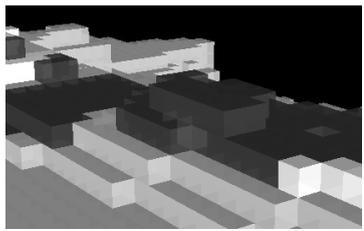
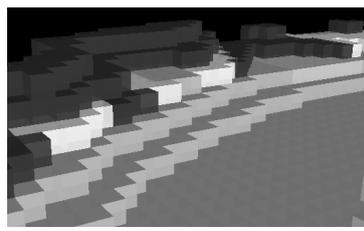
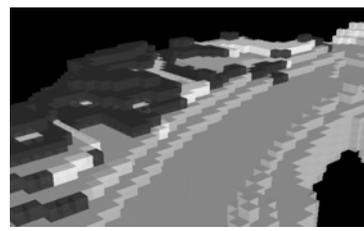
g) 比較検討できる設計案の多数化・評価の迅速化

立方体地盤モデルを用いることで1つの案を短時間で作成でき、概略検討において、多数の案を検討することが可能になる。また、設計案の作成と同時に概算の土工量が算出され、視覚的に土質分布を確認できることから、各設計案の比較・評価を、土工量、施工費、景観性、法面の安定性等、様々な観点から実施できる。詳細設計に移行するまでに、複数の評価項目により最適な設計案が絞り込まれているため、詳細設計の質が高まるとともに、詳細設計段階での設計案の件数が減少し、全体的なコストを削減できる。

参考文献

- 1) 朝重亜紀子, 小林一郎, 松尾健二, 竹本憲充 : 3D-CADを用いた分水路設計検討に関する実証的研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.161-170, 2008年11月
- 2) Autodesk 株式会社 HP : <http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/home?siteID=1169823&id=3551938>,
- 3) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 HP : <http://www.etc-g.co.jp/>,

表-2 α, β, γ 案比較表

名称	α 案	β 案	γ 案
平面図			
鳥瞰図			
土工量	2610	2061	1667
施工費	19575	15732	13439
景観性	◎	○	×