

I-3 地形設計初期段階への立方体地盤モデルの適用

Application of Geological Cube Model for the first stage of land design

小林一郎¹・竹本憲充²・高尾篤志³・山根裕之⁴・星野裕司⁵

Kobayashi Ichiro, Takemoto Norimitsu, Takao Atsushi, Yamane Hiroyuki, and Hoshino Yuji

抄録：TS 測量データや航空 LP データの利用により，3次元地形を容易に可視化できるようになった。しかし，データ利用という観点からは，出来形管理や情報化施工など，施工段階での研究が中心であり，設計段階へのデジタルデータの利用を行った例は多くはないと思われる。本研究では，建設ライフサイクルにわたる地盤データの運用に関連し，設計段階，特に概略設計における3次元地形の運用方法を提案する。地形設計の概略設計をより簡便に行うために，地形を位置情報と土質情報を保持する立方体の集合で表現した立方体地盤モデルを利用する。立方体地盤モデルを分水路設計へ適用し，トータルデザインシステムにおける地形設計の中で，概略設計のシステムを構築する。

Abstract: Total station survey data and laser profiler data can allow the user to visualize 3D-topography easily. In the viewpoint of the use for digital data, major research is about construction phase. For example, it is progress control of working form and observational construction. It seems that there are not a lot of examples of using digital data for design phase. In this paper, operation method of 3D-topography data for outline design is proposed. Moreover, this method is associated with operation of geologic data in life cycle of construction. Geological Cube Model is used for efficient outline land design. This model represents 3D-topography as mass of cubes. And these cubes have location data and geologic data. Then this model is applied floodway design, and system of outline land design is established in total design system.

キーワード：3次元CAD，3次元地形情報，分水路，地形設計，プロダクトモデル

Keywords：3D-CAD, 3D geologic data, floodway, land design, product model

1. 序論

TS 測量データや航空 LP データを利用することで，3次元地形を容易に可視化できるようになった。しかし，データ利用という観点からは，出来形管理¹⁾²⁾や，情報化施工³⁾⁴⁾など施工段階での研究が中心である。

筆者等も，建設ライフサイクルにわたる地盤データの運用に関連し，地盤情報を立方体として取り扱うことを提案し，ダム現場の土工事の工程計画の最適化を検討した⁵⁾。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(図-1)を積み上げ，地形を表現し，地形をプロダクトモデルのように建設ライフサイクルにわたり運用することを考えている。

一方，景観を配慮した地形設計へのデジタルデータを利用した例は多くはないと思われる。筆者等は，トンネル坑口のデザイン⁶⁾や高速道路全線の景観検討に3D-CADを用いる研究⁷⁾を行った後，デジタルデータを基盤としたトータルデザインシステム(TuC)を提案し，景観検討も含めた設計の可能性を追究している⁸⁾⁹⁾。

本研究では，地形設計の概略設計をより簡便に行うために，立方体地盤モデルを利用することを提案する。上述の研究の流れをみれば，本研究は，立方体地盤モデルの設計への適用事例であると同時に，トータルデザインシステムにおける，地形設計の中で，概略設計のシステムを構築するという側面もある。

第2章では，分水路設計における従来の設計手法および3D-CADを用いた設計手法の特徴を整理し，設計の精度や速度を向上させるためにモデルが備えるべき機能を述べる。第3章では，モデルの提案とともに，モデルを用いた設計手法を提示する。第4章では，提案モデルの地形設計初期段階への適用事例を示す。

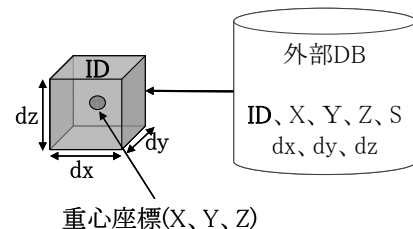


図-1 立方体が保持する情報

1：正会員 博士(工学) 熊本大学大学院自然科学研究科 教授

(〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1, E-mail: ponts@gpo.kumamoto-u.ac.jp)

2：正会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

3：学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

4：非会員 (株)伊藤忠テクノソリューションズ (〒100-6080 東京都千代田区霞ヶ関 3-2-5)

5：正会員 博士(工学) 熊本大学大学院自然科学研究科 准教授 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

2. 地形設計の概要と提案法

(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¹⁰⁾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-2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。図-3は分水路設計に用いられた横断面の模型である。いずれを用いるにしても、これらの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。

筆者等は、分水路設計に横断模型と図-4に示した3D-CADのサーフェスモデルを併用することで景観設計を行った。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-5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。

(2) 提案法

従来法の問題点は、図-5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、データ量が多く、迅速な案の比較が出来ないことである。またそのために多くの案の検討ができず、3案を検討するだけでも容易ではない。このため、概略設計案を増やすことは、検討に要する期間の増大につながり、詳細設計の着手の遅れや設計検討プロセス全体の長期化を招く恐れがある。

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-6に示す立体地盤モデルを用いる手法(提案法)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。

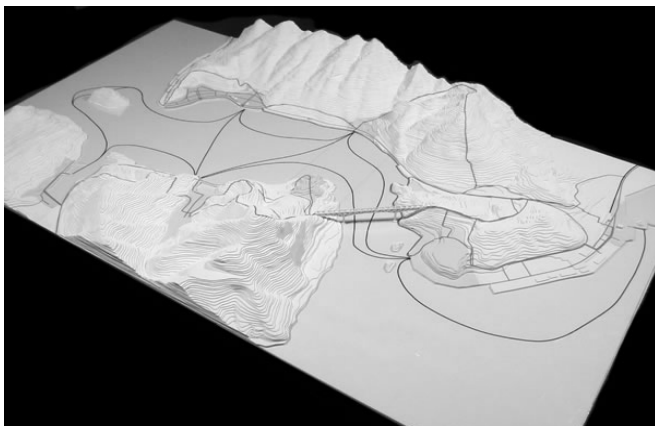


図-2 積層模型

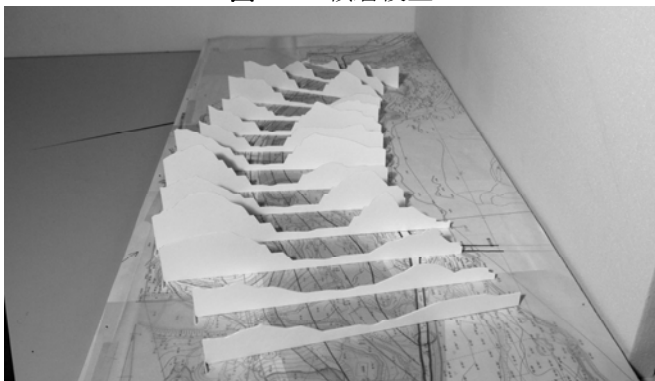


図-3 横断模型

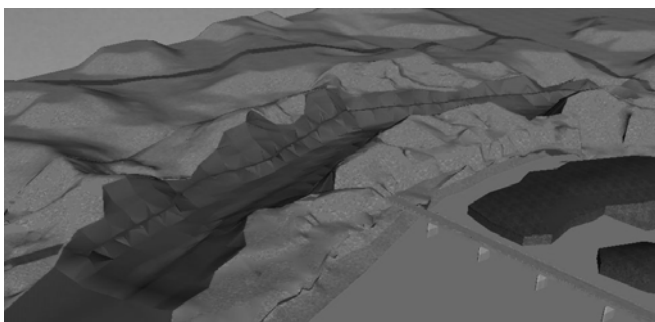


図-4 サーフェスモデル

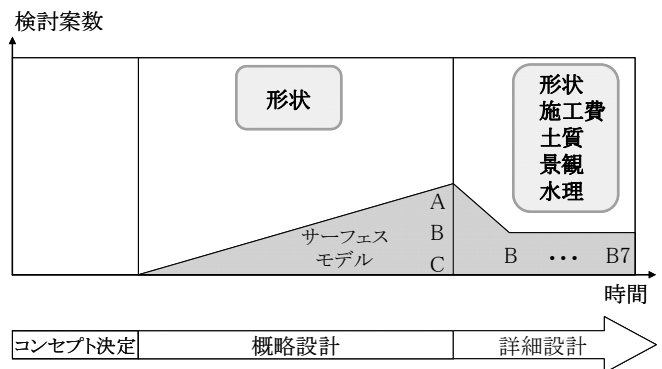


図-5 従来法による設計の流れ

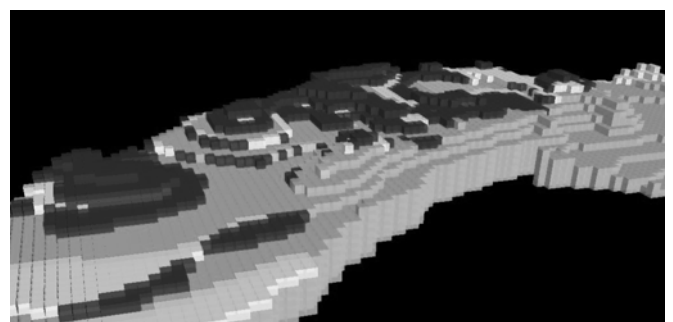


図-6 立方体地盤モデル

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-7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(β 1案から β 5案)の設計検討を行う。詳細設計に移ると、従来法(図-5)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-7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。

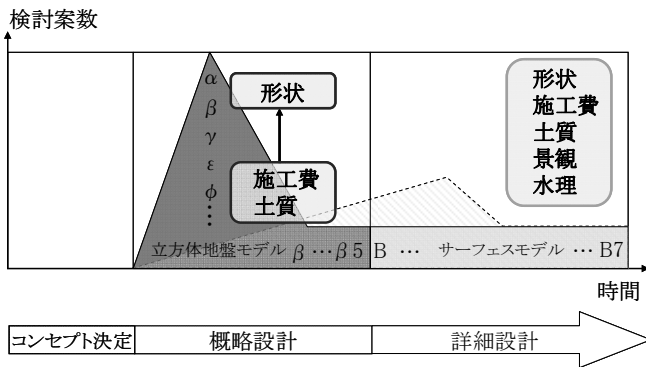


図-7 提案法による設計の流れ

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

図-1のように固有の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の情報を変化させることが可能である。

(2) 機能

立方体地盤モデルは図-8に示すように、掘削形状表示、土工量表示、土質分布表示の3つの機能を持つ。

以下にその特徴を示す。

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ファイル形式で出力する。このデータより、土質別の掘削量等を把握できる。

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。

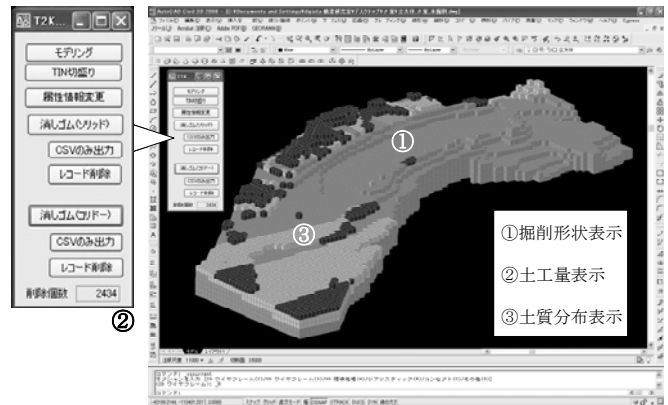


図-8 システム画面

(3) GCMtoolsの開発

立方体地盤モデルの作成には3次元地形の作成が可能な3D-CADと、ボーリング柱状図等をもとに3次元の土質分布を補間・推定できる地質推定ソフトウェアが必要である。本研究では、Autodesk社のAutoCAD Civil 3D¹¹⁾(以下Civil3D)とCTC社のCivil3DのアドオンソフトウェアGEORAMA for Civil3D¹²⁾(以下GEORAMA)を使用し、GEORAMA内で立方体地盤モデルを作成する機能の開発を行った。

立方体地盤モデルの自動生成・修正変更機能をCivil3Dのカスタマイズ用のAPIライブラリであるObjectARXを利用して開発した。以下では、本拡張機能を「Geological Cube Modeling tools(以下GCM tools)」と呼ぶ。GCMtoolsの機能を以下に示す。

a) モデリング機能

モデリング機能とはCivil3D上に立方体地盤モデルを作成する機能である。GEORAMAの機能により出力

された、任意幅のポイントの3次元座標値(X,Y,Z)と土質情報Sが記載されたCSVファイルをGCMtoolsで読み込み、3次元座標値を重心とした立方体のソリッドオブジェクトを自動作成し、土質情報より各立方体に色を割り振る。作成されたソリッドオブジェクトによりCivil3D上の3次元地形を立方体の集合としてモデル化する。作成の際に、各立方体に固有のIDを割り当て、CSVファイルと結合し、外部データベースに格納する。

b) ブロック消去機能

ブロック消去機能とはCivil3D上の設計形状より立方体地盤モデルの形状を変化させる機能である。設計形状の作成にはCivil3Dの標準機能であるコリドーモデリング機能を使用した。本機能は道路等の線形構造物を設計するための機能であり、地表面のサーフェスモデルを基準に縦断・横断・中心線形を指定することで、この3つの要素を補完して3次元的な掘削形状を面的に表現できる。また、コリドーモデル(以下、コリドー)の表面形状からコリドーサーフェスと呼ばれるサーフェスモデルの作成が可能である。

コリドーおよびコリドーサーフェス作成後、

GCMtoolsの「ブロック消去」機能を用い、立方体地盤モデル上のコリドーおよびコリドーサーフェスを指定し、コリドーサーフェスより重心のZ座標が上方にある立方体を非表示にすることで、掘削された状態を表現する。その際、外部データベースにアクセスし、非表示にした立方体の固有IDより対応するデータを取得し、固有ID、重心の3次元座標値、土質情報をCSVファイル形式で出力する。

(4) 立方体地盤モデルの運用

モデルの作成・運用の流れを図-9に示す。

a) 立方体地盤モデル作成方法

はじめにCivil3DへLPデータ、DMデータ等を入力し、サーフェス作成機能から地表面サーフェスのモデリングを行い、3次元地形を作成する。次に、前掲したGCMtoolsモデリング機能により3次元地形を立方体に分割する。最後に各立方体に土質情報を付与し、3次元地形の内部の地質分布をモデリングする。現状、地形の3次元的な土質分布を直接確認できる調査技術は確立されていないため、既存のボーリング柱状図等をGEORAMAに入力し、これと整合が取れるように3次元的な土質分布を推定・補間した結果を、各立方体

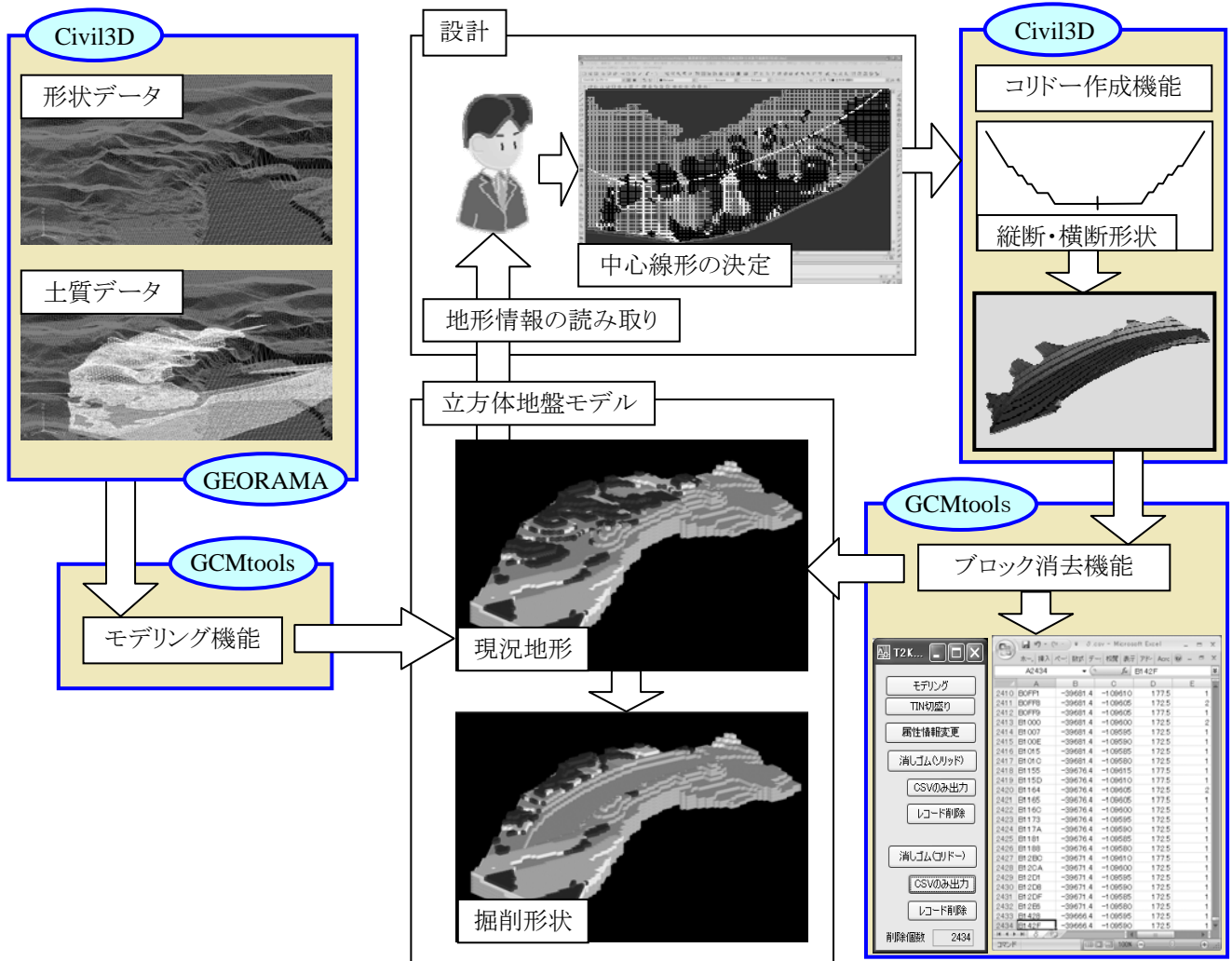


図-9 立方体地盤モデルの運用手順

の土質情報として用いた。

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、Civil3D 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対し、Civil3D のコリドーモデリング機能を用い、設計形状のコリドーサーフェスを作成する。縦断・横断形状をあらかじめ設定しておくことで、中心線形の決定のみで設計形状を作成できる。

作成した設計形状に対し、GCMtools のブロック消去機能を用い、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による。そこで、中心線形の決定から、設計案の3次元可視化までの作業を繰り返し、複数の設計案を作成する。

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。

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事業(図-10)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。

(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



図-10 現場写真

較検討を行った。水理計算により洪水を安全に疎通できることが確認されている1次案を基に、これと同じ流入高さ、縦断勾配=1/120、横断面(河床幅 20m、法面勾配 1:0.5、小段幅 2m の単一形状)を有する形状を検討案として複数提案した。なお、概略設計段階では、形状や施工費等の観点から検討案の比較、絞り込みを迅速に行うことを主目的としており、洪水に対する安全性は、別途詳細設計段階で水理計算により確認することとした。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(シラス、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。

$$\begin{aligned} (\text{土工量}) &= (\text{掘削個数}) \\ (\text{施工費}) &= (\text{土砂の掘削個数}) + (\text{軟岩の掘削個数}) \times 10^{**} \\ & \text{**軟岩の施工費用を土砂の施工費用の約 10 倍と設定} \end{aligned}$$

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-11に示す。

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

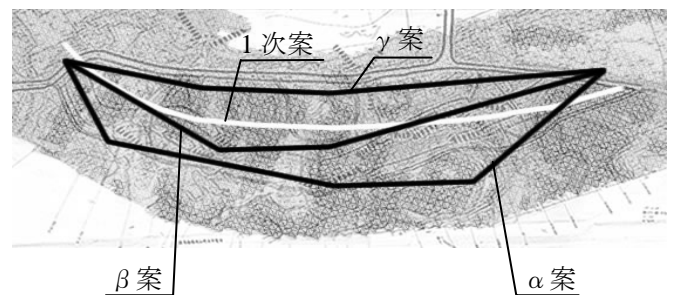


図-11 線形比較

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	◎	○	×

表-2に各案の平面図，鳥瞰図，土工量，施工費，景観性を示す。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，α案と比較して，土工量が大幅に少ない結果となった。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案の右上にシラ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ラ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，概略設計の2段階目に移る。

b) β2, β3案の設計

β案を選定後β1案とし，より詳細な設計を行い，β2案およびβ3案を作成する。β2案，β3案の特徴を表-3に示す。β2案は，β1案に対し，中心線形の一部変更を行った。下流部分の山を山側から迂回する形の線形にすることで，対岸からの法面の露出の減少を図る。β3案は，β1案に対し，中心線形はβ1案と同一のものを使用し，中央付近の土工量を減らすため，中央付近の断面を狭くし，くびれを作成した。

表-3 β1, β2, β3案の特徴

名称	中心線形	横断形状
β1案	β案と同様	β案と同様
β2案	下流部の山を迂回	β1案と同様
β3案	β1案と同様	中央付近の断面を狭める

表-4 β1, β2, β3案比較表

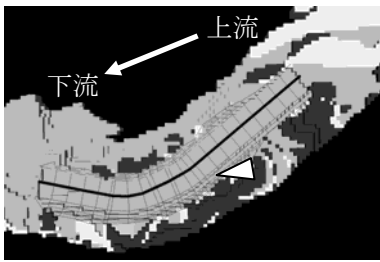
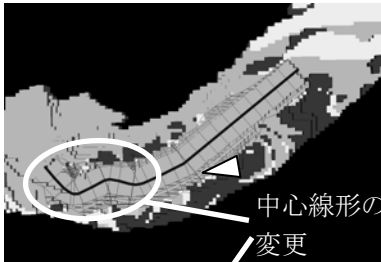
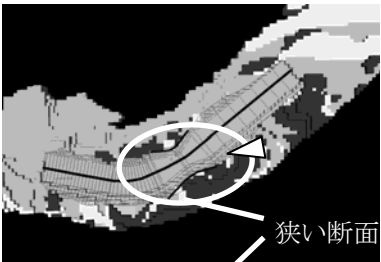
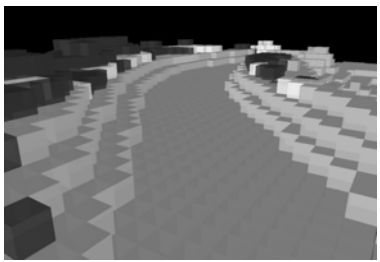
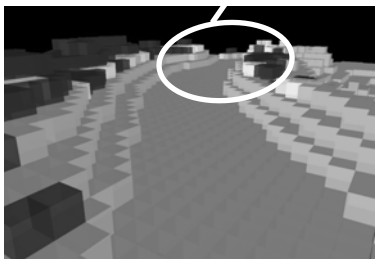
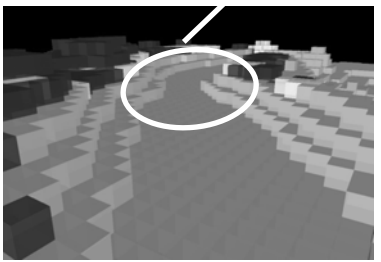
名称	β1案(β案)	β2案	β3案
平面図			
鳥瞰図			
土工量	2061	2050	1956
施工費	15732	15541	14952

表-4に β1, β2, β3 案の比較結果を示す。β2案はβ1案に対して、土工量の低減量は僅かであるが、β3案は5%程度土工量が低減しているため、最も経済性に優れていることがわかる。次に、鳥瞰図を用いて景観性の検討を行うと、β3案は、幅を狭くした区間付近で兩岸の山が残り、法面の露出が抑えられていることから、他案と比較し、優れた景観性を有すると判断される。鳥瞰図より、一部に依然、急勾配法面へのシルトの露出が見られるため、当該区間の中心線形、法面勾配について、対策工を検討する必要がある。

以上の検討結果より、β3案が経済性・景観性の面で優れていると考えられる。概略設計案としてβ3案を選定し、詳細設計案であるB3案の検討を行う。絞り込まれた本案については、別途水理計算により洪水を安全に流下できることを確認する必要がある。その後の検討の結果は文献7)の通りである。

(5) 考察

立方体地盤モデルで設計案の作成を行い、概略設計への適用性、活用効果を確認した。選定した設計案の中心線形、横断形状を変更することで、さらに設計案の検討を進めた。これらの結果から、立方体地盤モデルの設計検討への適用性と課題を以下に示す。

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、形状の3次元可視化に必要なデータが中心線形と縦断、横断形状の3つであるため、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。

b) 比較検討できる設計案の多数化

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。

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の算出が可能となった。掘削形状の作成と同時に出力されるCSVファイルを参照することで、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) 設計案の比較・評価の迅速化

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、設計結果が迅速に把握できる。そのため、形状だけでなく土工量や土質による検討が可能である。詳細設計に移行するまでに、土工量、施工費、景観性等、様々な評価項目により概略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。

h) 立方体地盤モデルの運用方法

立方体地盤モデルの地形表現は概略的であるため、地形と周辺構造物の細部にわたる詳細な検討や、遠望できる範囲内にある周辺地形を含めた綿密な景観検討には不向きである。このような正確な地形イメージの把握が重要な作業には、地表面形状を滑らかに表現できるサーフェスモデルが適している。分水路設計においては、平時の分水路の利用や各断面の詳細な形状を決定する段階ではサーフェスモデルの適用性が高いと考えられる。逆に、概略設計のような精度があまり必要でない場面で高精度だが作成に時間がかかるサーフェスモデルを使用することは非効率的である。

以上より、設計のプロセスや議論の進捗に合わせて、使用するモデルを適切に切り替えることで、効率的な設計を行うことができる。今後、両モデルの適用範囲を、モデルの用途別、工種別、現場条件別、施工数量別に明確化し、ユーザーが両モデルを適切に使い分けするための指針を示す必要があると考える。

5. 結論

本論文では、概略設計での3D-CADの利用を検討し、そのために必要な要件を示した。その要件を満たすモデルとして立方体地盤モデルを提案し、地形設計初期段階へ適用した。その結果より、3D-CADの利用による概略設計の効率化の可能性を示した。また、立方体地盤モデルの設計案に対し、中心線形・断面形状の部分的な変更を行い、より具体的な概略検討への適用可能性を検討した。設計案の修正・表示を極力自動化することで、より迅速に設計検討が実施できると考える。

今後は、更なる設計時間の短縮を目指し、議論の場におけるモデルの活用について検討する。現在、立方体地盤モデルが所持する情報は立方体の固有ID、重心の3次元座標値、土質情報だけである。掘削コスト、充填率、透水係数、ヤング率、走向・傾斜、地下水位の位置等の調査段階で得られる情報や、掘削時間、切羽の安定性等、施工中に得られる情報を属性情報とし

て加えることで、立方体地盤モデルの用途拡張が期待できる。また、調査・設計・施工・維持管理といった建設ライフサイクルにわたり地形・属性情報を流通させられるプロダクトモデルとしての利用可能性があることから、この点について今後検討を行っていく。

謝辞：本稿をまとめるにあたり、国土交通省九州地方整備局川内川河川事務所には様々なデータを提供して頂きました。ここに記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) 田中洋一, 阿部寛之, 青山憲明, 今井龍一, 金澤文彦: 出来形管理用トータルステーションの評価試験について, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.127-136, 2007年10月
- 2) 有富孝一, 松岡謙介, 上坂克巳, 奥谷正: 3次元設計情報を用いた出来形管理技術の提案, 建設マネジメント研究論文集, Vol.11, pp.81-90, 2004年12月
- 3) 篠原雅人, 竹内清二, 竹本憲充: 河川土工(掘削工)の高度化に向けたICT活用手法の提案, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.135-142, 2008年11月
- 4) 桜田明彦, 杉山佳幸: バックホウ掘削工の情報化施工の導入と普及に向けた検討~機械土工のICT施工にむけて~, 建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 平成19年度, pp.65-70, 2007年10月
- 5) 竹本憲充, 小林一郎, 九鬼裕之, 上田誠: 立方体モデルによる3次元地盤データの利活用に関する研究, 土木構造・材料論文集, 第24号, CDR, 2008年12月
- 6) 趙曉明, 星野裕司, 小林一郎, 緒方正剛: 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, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, pp.159-166, 2003年10月
- 7) 橋本大志, 小林一郎, 星野裕司: 高速道路における景観検討箇所選定への3D-CADの利用, 土木構造・材料論文集, 第20号, pp.119-126, 2004年12月
- 8) 小林一郎, 池本大輔, 竹下史朗, 坂口将人: 3D-CADを基盤としたトータルデザインシステムの提案, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.171-182, 2008年11月
- 9) 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
- 10) 国土交通省: 多自然川づくりへの展開, <<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/05/050530/00.pdf>>, (入手 2009.5.29)
- 11) Autodesk 株式会社: AutoCAD Civil 3D, <<http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/index?id=10690837&siteID=1169823>>, (入手 2009.2.13)
- 12) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社: GEORAMA for Civil 3D <http://www.engineering-eye.com/GEORAMA_CIVIL3D/index.html>, (入手 2009.2.13)