3D-CADを用いた分水路設計検討に関する実証的研究

Empirical study on a floodway design using 3D-CAD

朝重亜紀子¹・小林一郎²・松尾健二³・竹本憲充⁴

Tomoshige Akiko, Kobayashi Ichiro, Matsuo Kenji, and Takemoto Norimitsu

抄録：近年，住民参加型事業の増加に伴い，景観や環境に配慮した設計が求められている．しかし，従来の設計方法では，主に紙図面など2次元データを使用しているため，周囲の地形や対象地全域を含めた景観を考慮することは困難である．さらに，コストや工学的要件も独立して照査されている．ある検討のために作られた2次元データはその他の検討には転用しにくいことが多い．そこで，本研究では，景観を考慮した地形デザインの一例として，分水路設計検討を対象に，3D-CADを利用することで，景観性・経済性・機能性を考慮した設計検討を行う．3D-CAD上で3次元データを検討項目に合わせて修正・加工し，データ相互運用を図ることで，分水路設計検討における3D-CAD利用の有効性を検証する．

Abstract: Recently, Aesthetic and ecological design was needed with increasing community residents' participatory projects. But It was difficult to considerate the design because of using 2D-data. Furthermore, Construction cost and Engineering requirement were checked as individual. Nearly all, 2D-data for one inspection was difficult to use another inspection. So in this research, we design floodway consider with aesthetic, economic, and functional using 3-DCAD. Try to adjust 3D-data to inspections to manage data between each other. And we verify 3D-CAD's affectivity for floodway design consideration.

キーワード： 3次元CAD, 3次元データ, 設計検討, 分水路

Keywords : 3D-CAD, 3D-data, design consideration, floodway

1. はじめに

現在，測量段階では，測量機器の発達に伴い，トータルステーションや航空レーザなどを用いた，3次元座標での計測が可能となっている．一方，設計段階でも，情報技術の進展により，3次元データを扱うことができる3D-CADが開発されており，設計への3次元データ利用も可能となりつつある．

また，設計では，主に機能性や経済性に重点が置かれ，それぞれの技術的検討項目に対して個別に照査が行われていた．しかし，近年の住民参加型事業の増加に伴い，機能性，経済性に加えて，景観や環境にも配慮した設計が求められている．景観に配慮した設計を行うためには，空間全体を3次元的に捉えることが必要不可欠であり，従来の設計で用いられている2次元図面では限界がある．そのため，一般的な景観検討ツールとして模型が利用されている．しかし，模型の形状を，2次元の設計図書として納品することは，データの運用上非効率である．

そこで，本研究では，設計対象構造物の3次元形状を3次元データで一元管理することを考える．一元管理され

た3次元形状データを，関係者間で運用・共有することにより，従来の2次元図面と比較して，より正確な形状の確認，完成イメージの共有が可能となる．また，3D-CADを用いて，設計案を3次元データとして取り扱うことで，これまでは独立して照査されていた機能性や経済性といった検討項目について，シームレスな設計検討を行うことが可能になると考えられる．

本論文では，景観を考慮した地形デザインの一例として，分水路設計検討への3D-CAD利用を行い，有効性を検証する．分水路建設は，大規模な地形改変を伴うため，周辺の環境に多大な影響を与える．そのため，景観検討を行う場合は，地形の3次元の把握が重要である．対象地の地形，既存構造物を基盤データとして作成し，分水路自体の形状と合わせて，分水路掘削後の地山との調和，周囲からの眺望の変化なども検討する．また，分水路モデルを3D-CADで作成することで，分水路のモデル形状による景観検討だけでなく，水理計算や土工量計算へのデータ運用を行う．また，その計算結果を設計案に反映させることで繰り返し検討を効率良く行い，設計の時間短縮，質の向上を目指す．

1 : 正会員 日本工営株式会社 コンサルタント国内事業本部 交通運輸事業部 交通計画室

(〒102-8539 東京都千代田区麹町5丁目4番地)

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

3 : 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)

4 : 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丁目39-1)

2. 分水路設計

(1) 設計検討の流れ

分水路¹⁾は河道計画²⁾の治水対策として建設される。本川と分岐した新たな川を建設するため、本川の河道拡幅を避け、改修工事区間を短くできるメリットがある。

河道計画は図-1のフロー図に従って行われる。まず、計画高水流量の計算を行い、その流量を基準として計画を進めていく。現況の河川の状況や、過去の災害状況などを考慮し、利水・治水・環境保全などの目的を明確にした上で、改修区間を設定する。河道ルートは、現況河道の形成過程や過去の災害状況、現場周辺の地質や地形、土地利用形態などから検討を行う。その現場に応じた適切な改修方法を選択することが重要である。河道ルート決定後は、洪水時に必要流量を安全に流せるように、河道縦断面形・河道横断面形を検討していく。そして、作成した設計案の経済性や機能性の照査を行い、その検討結果が思わしくない場合は、河道ルートの決定から繰り返し検討を行う（図-1の左下赤枠内）。

(2) 景観を考慮した設計における問題点

a) 検討項目

景観を考慮した分水路設計における検討項目として、景観性、経済性、機能性の観点から考える。従来の設計では、機能性と経済性に重点が置かれており、工学的な機能を満たしていること、コストとの整合性がとれていることが主な条件となっている。しかし、景観を考慮した設計を行う場合は、機能性と経済性だけではなく、構造物の美しさ、空間の居心地、周囲の環境との調和などの景観性も考慮して設計を進めていく必要がある。これ

らの要件を満たす設計を行うためには、検討項目毎に、作成した案を照査し、その照査結果を反映させながら検討を進めていく必要がある（図-2）。その際、経済性と機能性はデジタルデータで数値化が可能であるが、景観性の数値化は困難であるという問題がある。そこで、3章では、検討項目・関係者間の相互のデータ運用を仲介するツールとして、3D-CADの利用方法を提案する。データの相互運用によって、各検討項目の照査結果を連動させた検討を行うことが可能となる。

b) 景観性の検討に使用する表現媒体

景観検討を行う際には、個別の構造物だけでなく、影響を受ける周囲の地形など、対象地の空間全体を考慮しなければならない。特に、本論文で対象としている分水路は、大規模な地形改変を伴う地形デザインといえる。そのため、地形を3次元的に把握することが重要である。ここでは、地形を3次元で検討するための表現媒体^{4)~7)}の中から、以下の2つに注目し、それぞれの特徴をまとめ、検討段階による役割について述べる。

VR

Virtual Reality（以下VR）は、CADデータを基に作成しているため、構造物や地形が実際の寸法で表現されている。そのため、鳥瞰視点だけでなく、アイレベルの視点を設定しておくことで、施工後の空間を疑似体験することが可能である。現場の将来像を共有できる為、合意形成に有効である。視点は任意に設定でき、定点での静止だけでなく、移動や、見回すなどの行動も自由に操作できる。縮尺を変更しながらの比較、検討も容易であり、対象地の全体像から構造物の細部に至るまで表現可能である。色彩や、光の設定、写真の貼り付けなどでリアルな空間を再現できる。しかし、スケール感に乏しいという問題があり、人間や建物など、大きさが既知の物体をVR内に配置するなど、スケール把握の補助が必要である。

形状の変更や修正は、基としているCADデータの形状の変更や修正を行うことで対応可能である。オブジェクトの表示・非表示などの機能を用いて複数の案を入れ替えて検討を行うなど、設計案の比較にも効果的である。

また、VRML（Virtual Reality Modeling Language）に変換することで、Web3Dとしてインターネット上での閲覧が可能となる。多人数を対象とするプレゼンテーション

図-1 河道計画フロー図（文献3）より加筆）

図-2 設計概念図

の場合は、オペレーターの操作によって視点が決定される。しかし、Web上で各個人が閲覧する場合、自分のマウス操作で見た場所、方向からリアルタイムに自由に観察でき、仮想空間への没入感をより感じることができる。さらに、Web3Dに変換することで、インターネット環境が整っていれば、離れた現場でも完成イメージ、形状や寸法の確認が可能となる。そのため、工事関係者間で、設計変更や修正を早い時期に指摘できるなどの効果が考えられる。

模型

模型は、検討用のスタディーモデルからプレゼンテーション用のモデルまで、目的に応じて様々な種類がある。VRが3次元空間を2次元平面上に投影したものに対して、模型はそのものが立体である。そのため、空間を直感的に把握させることに優れており、リアルな立体感、スケール感を表現できる。さらに、各個人が自由な視点から見るができるため、複数メンバーでのディスカッションを行う際に有効である。モデルスコープやCCDカメラを使用することで、アイレベルでの眺めも検討可能である。

また、作成時には、担当者の頭の中にあるイメージを具体化させていく過程で、実際に手を使って考えながら作業を進めることになる。そのため、作成していく中で新たな考えが浮かびやすい。修正や変更に関して、部分的な修正はその場で対応可能な場合も多いが、大幅な変更や修正があった場合は、もう一度始めから作り直す必要があるため、時間を要する。

c) 検討過程と表現媒体の活用

発想から定着までの思考過程と、それに沿った表現媒体の活用を考える。図-3に概念図を示す。

まず、発想の段階では、コンセプトや大まかな形状などアイデアを出すことが目的となるため、空間把握に優れ、直感的に作業ができる模型などのアナログな媒体の方が適している。VRを作成するには、CADを用いての作業を要するため、ある程度の形や寸法が決定した後でなければ作成は難しい。

図-3 思考過程に沿った利用媒体の概念図

次に試行・修正の段階では、立体的な形状、全体のバランス、様々な場所・角度からの見え方の確認などに、模型とVRのどちらも有用である。ただし、縮尺の変更を伴う比較検討や、設計案のストックという面では、VRの方が優れている。

定着の段階では、設計を行う設計担当者だけでなく、設計に携わっていない施工者などの第三者にも理解可能な表現を行う必要がある。ここで、多くの場合は図面が用いられている。CAD上で設計した場合は、正確な寸法で作られているため、図面の作成は容易である。

以上から、設計の流れを考えると、それぞれの表現媒体を活かすためには、模型で概略の案を決定した後に、VRで正確に具体化して検討を行う方法が考えられる。

ここで、土木構造物の設計を行うことを考える。図-3に示したように、成果品として最終的に設計図書を作成する。また、機能性や経済性の照査は、構造物の寸法などの数値を用いて行われる。そのため、検討を行っていく中で、なるべく早い段階でアナログからデジタルへのデータ移行を行うことが望ましい。

しかし、ここで模型のデータ化が困難であるという課題が挙げられる。現在は、数値取得のために、模型を針などを用いて採寸する方法が取られているが、時間と手間がかかり、非効率である。そのため、模型での検討結果を効率よくデータ化する方法を考える必要がある。

3. 3D-CADを用いた設計検討の提案

本章では、3D-CADを基盤とする分水路設計検討の方法を提案する。3次元データを用いて、3D-CAD上で各検討項目に適する形に修正・加工を行い、設計検討に使用する。尚、今回使用したソフトはAutodesk⁸⁾社のAutoCAD Civil 3D 2008である。

(1) 3D-CADを用いた設計検討

3D-CADを用いた設計検討全体の流れを図-4に示す。検討の流れは2章(1)の河道計画のフローに従っている。計画水量、改修計画区間は設定済みとする。河道計画に3D-CADモデリングの項目を追加し、分水路設計検討の場合における検討項目を具体的に示している。図-4内の赤枠で囲まれた部分が繰り返し検討を行う部分であり、そこでのデータ運用概念図を図-5に示す。

模型や地形図、3D-CAD上の地形データを用いて、分水路の線形、横断面図、縦断面図を作成し、それを基に分水路の3次元形状を作成する。3D-CAD上で、分水路を現況地形に埋め込んだときの法面形状や地山との調和などの景観検討、土工量の算出を行い、検討を進めていく。また、作成した線形、横断、縦断から水理計算を行う。そして、水理計算の結果を景観検討にフィードバックし、再検討を行う。この流れを何度も繰り返すことで、設計の質を高めることを目指す。

図 - 4 3D-CAD を用いた設計検討フロー図
(文献9)より加筆)

ここで、基盤となる地形と構造物のデータを一度作成しておけば、そのデータをコピーして使用することで、複数の設計案について再現可能であるというメリットがある。そのため、複数案を比較し、試行錯誤しながら検討を進めるために、3D-CAD を利用することは効果的であるといえる。

(2) 3D-CAD利用における可能性

本節では，設計検討に 3D-CAD を利用することで可能となることを示す。

a) 分水路掘削後の法面形状検討

3D-CAD 上で現況地形と設計した分水路のデータを作成する．そして，そのデータにレンダリングエンジンを用いてマッピングを行うことで，施工後の完成予想図を作成できる．法面形状の検討として，分水路計画地の主要な視点場からの眺望，切土法面の形状，それに伴う周辺地形の形状の確認が可能となる．また，他の設計案にも同じ視点を設定することで，複数案の眺望を比較することができる（図 - 6）．

b) 施工範囲検討（用地条件との関係）

線形，計画縦断，標準横断から，現況地形上に分水
路の簡易モデルを作成する．そのモデルから法面の切
り始めの位置を確認することで，施工範囲の把握が可
能である．そのため，施工範囲検討用のデータを一つ
作成しておき，線形や横断のパラメータを変更してデ
ータを再作成することで，複数案を繰り返し検討・比
較することができる．これは，線形と法面の基本形状
を決定する段階で，施工範囲が用地条件内に収まって
いるか否かの確認に役立つと考えられる．

図 - 5 3次元データ運用図

c) 土工量算出 (積算指標)

3D-CAD の土工量算出機能を用いると、現況地形と計画地形の差から切土、盛土の算出が可能である。そのため、2章(2).a)でも述べたように、複数の設計案のモデルを作成し、土工量を算出することで、概略のコスト比較が可能となる。これにより、検討段階では土量計算を別途発注する必要がなくなるため、設計担当者が複数案のコスト比較を行いながら、効率の良い検討が可能となる。

d) 水理計算用縦横断面描画

作成した分水路のデータから任意の箇所の横断面を抽出可能である。分水路の水理計算用には、管理断面の横断面を描画する。また、縦断面は、分水路モデリング時に側点の標高や縦断面勾配を指定して作成する。これらのデータを基に水理計算担当者が計算を行う（図 - 7）。

景観検討の際は、複雑な横断面になる場合が多い。そのため、標準横断面を作成して、簡易モデルを用いて水理計算を行い、通水が可能と確認された後に詳細検討を行う、という方法をとることで総合的な時間短縮が可能である。

e) 模型作成

3D-CAD上で作成した地形データを基に、3次元プリンタ(4章(4).b)で詳細は後述)などを用いることで、模型の作成が可能である。さらに、手作業での模型作成と比較し、詳細な地形表現が可能となる。

図 - 6 法面形状検討

図 - 7 水理計算用縦横断面図

図 - 8 工事用図面

4. ケーススタディ

(1) 目的

本章では、分水路設計検討を対象に、3D-CAD を基盤とした設計検討を行う。景観性・経済性・機能性の各検討項目で3次元データを相互に運用し、それぞれの照査結果を反映させることで、設計案の繰り返し検討をスムーズに行うことを目的とする。

(2) 工事概要

対象の分水路は洪水被害を受けての河川激甚災害対策特別緊急事業の一環として建設が予定されている。現在の本川流量約3,900m³/sのうち、200m³/sを分水路に分担させることで、外水氾濫による家屋浸水被害の解消を目的としている。計画当初の1次案では、分水路の河床幅約60m、施工延長約700mとなる大規模工事である。

図 - 8 の水色部分が分水路の河床幅を表している。対象地の近隣には、景勝地である滝(図 - 9)があり、既存の展望所からの景観に配慮した設計が求められている。本工事は、学識経験者を座長とした、市長、地元の商工会、観光協会の関係者、地域住民らからなる景観検討委員会が組織されており、そこでの意見を受けて、発注者・技術系コンサルタント・大学の三者間で検討を進めている。

(3) 工事の課題

本工事は、河川激甚災害対策特別緊急事業の一環であるため、極めて短期間での設計が求められている。また、機能性・経済性を担保した上で景観性も考慮するため、分水路線形を3次的に考える必要がある。分水路線形を3次的に考えるに当たり、景観性・経済性・機能性の観点から以下の項目について検討・照査を行う。

a) 法面形状¹⁰⁾(景観性)

対象地の右岸には、売店や公園、展望所があり、その展望所から分水路の法面が見えるため、景勝地の眺望を損なうことが懸念されている。また、分水路下流に斜張橋が新たに建設中であり、その斜張橋から分水路の出口

図 - 9 現場の景勝地

が見えることも問題視されている。このため、法面形状は、対象地全体の調和を考え、できる限り違和感のないように修景することが求められている。

b) 土工量(経済性)

分水路掘削予定地は標高180m以上の山地と170m前後の平地が混在する起伏の激しい地形である。そのため、直線的に掘削すると土工量が増加する。掘削工法や法面保護工などを固定した場合、土工量が主な経済性の指標となる。そのため、複数の設計案の土工量を算出することで、コスト比較が可能となる。これは、コスト削減を考える上で重要な評価指標となる。

c) 流量(機能性)

計画流量の200m³/sを流すための断面積確保が必要である。通常時も分水路に1m³/s程度の通水が可能となったため、通常時の利用方法も含め、横断形状の検討を行う(詳細は4章(5)で後述)。

(4) データ・模型作成

測量から得たデータを基に、3D-CAD・模型等を用いて設計案を作成し、検討を進めた。その作成過程を示す。

a) 基盤データ(現況地形・構造物)作成

1/500の工事用平面図、レーザプロファイラ(LP)データ、1/25000の地形図を用いて現況地形を作成する。

対象地の道路・地形から、分水路工事により影響が及ぶ範囲は分水路を中心に約12km²と判断し、現況地形を作成した。最も重要な分水路の部分は、1/500の工事用平

図 - 10 基盤データ(現況地形)

面図を、視点場となる場所や眺望を考える上で重要な範囲には、LPデータを用いた。残りの範囲は、周囲の大まかな地形と位置関係の把握が目的であるため、1/25000の地形図から作成し、データ量を抑えた。このように、設計をする上での重要度に応じて三段階の密度で作成した。図 - 10は、現況地形データを使用したデータによって色分けしたものであり、緑色が1/500の工事用図面、黄色がLPデータ、茶色が1/25000の地形図を示している。

b) 全体模型作成

対象地全体の位置関係や地形を把握するため、1/1000縮尺の全体地形模型を作成する。通常では、等高線に沿って切断したスチレンボードなどを重ねて地形を作成する方法が一般的だが、今回の対象地は地形の起伏が激しく、手作業では時間がかかり過ぎる。そこで、作成した基盤データを用い、3次元プリンタを使用して地形模型を作成した。3次元プリンタは、Roland DG Corporation¹¹⁾のModel MDX-500を使用した。材料はスタイロフォームを用い、全体の大きさは1500mm×900mmで、500mm×300mm×100mmの9ユニットに分け作成した。製作時間は1ユニット3～4時間で、計30時間程となった。その後、鑢をかけ、ジェッソを3回塗装し、橋や道路などを配置して完成した(図 - 11)。

今回作成した模型は、地形の凹凸を確認することが重要であるため、地形の形状を表すことを優先し、加工を最小限に抑えている。また、この模型は対象地の位置関係と人の回遊性を把握することにも使用しているため、道路網や橋、展望所、公園などを作成し、設置している。

c) プレゼンテーション用データ・VR作成

景観検討委員会の資料用に、現況地形と計画(1次案)地形のプレゼンテーション用データとVRを作成した。

3D-CADで作成したデータにレンダリングエンジンを用いて、テクスチャマッピングを行う。次に、展望所などの主要な視点場に視点を設定し、キャプチャを保存する。レンダリングエンジンには、Autodesk社のAutodesk 3ds Max 8を使用した。その後、テクスチャマッピング

図 - 11 全体地形模型(加工後)

を施したデータに、CycoreSystem¹²⁾社のCult3Dを用いてWeb3Dオーサリングを行った。

今回作成したVRでは、陸地部分を森・岩場・砂場に分類し、現場航空写真などを用いてテクスチャマッピングを行っている。また、分水路部分は、河床と法面を2種類の茶色で区別し、河床幅や法面の高さを説明する際に分かりやすいよう心掛けている。

d) 分水路作成

今回の設計案作成では、まず平面線形・各側点の横断面・縦断面図を手書きで作成した。景観・水理学的要件などを考慮しながら検討を行う。手書きで作成した平面線形・横断面図・縦断面図を基に、3D-CAD上に分水路を作成する。今回は、手書きの横断面図を画像として取り込み、3D-CAD上でデータ化を行っている。各横断面図の断面間は3D-CADの機能を用いて補間した。作成した分水路モデルにテクスチャマッピングを行い、主な視点場からの法面の見え方・法面形状・対象地の全体像などを確認し、再度検討を繰り返す。

e) 縦横断面図作成・土工量算出

作成した3D-CADデータから抽出した、平面線形・横断面図・縦断面図を水理計算担当者に送付し、水理計算を行う。計画流量を流下させた場合の流速・フルード数・水位を算出し、その結果から、流下可能かの判断、または改善が必要な箇所、改善方法についての検討を行った。また、土工量については、現況地形と計画地形の差から、3D-CADの機能を用いて算出した。

(5) 設計検討

具体的な設計検討の流れを以下に示す。

a) デザイン検討(A・B・C案)

1次案から抽出した景観性・経済性・機能性の課題を考慮してA・B・C案の平面図を提示した(表 - 1, 平面図)。ここでは、流し方のパターン検討を行うため、小段付の単一横断で作成している。

A案は、地形の形状を残すために、可能な限り標高180m以上の等高線に分水路の河床の線形がかからないよう

表 - 1 1次・A・B・C案比較表

名称	1次案	A案	B案	C案
完成予想図(CAD)				
平面図				
河床幅	48～60m	20～50m	22～50m	28～58m
重点	必要量の流量を余裕をもって流す	1)なるべく地形を残らない 2)河床幅にメリハリ	1)特徴的な地形を残す 2)分水路入口を広く	1)河床幅を広く 2)本川と分水路を近接
水理	水位・流速ともに安定．余裕をもって洪水を流すことができる．	上流に土砂が堆積するため、水位・流速の変動が大きく、洪水を流すのは困難．	入口が広く、河床幅の変化が少ないため、水位・流速は安定．A、C案の中間的な案．	一部流速が早くなる箇所があるが、全体的に河床幅が広いため、安定．
土工量比	100.0	65.9	72.8	90.5

に設計を行った．B案では、地形の形状を残すことを分水路の線形よりも重要視し、上流から下流にかけて河床幅に変化のついた、メリハリのある設計を行った．C案は、地形の形状を残すことよりも、洪水を流すことを重要視しており、1次案に近い設計を行った．

b) デザイン案の決定

デザイン案の決定のため景観性・経済性・機能性の評価を行った．

景観性では各案のVRを作成し、全体の形状と切土面の見え方の確認を行った．図 - 12で示すように、1次案と比較してA～C案は切土面が減少している．

図 - 12 1次・A・B・C案切土面比較図

経済性では現況地形との差分から土工量計算を行った．土工量比は1次案を100とした場合の比率を記載している(表 - 1)．

機能性ではこの段階では技術系コンサルタントに平面図のみを送付し縦横断面図を作成してもらい水理計算を行った．評価結果が出るまで水理計算は12日間を要した．その間に3D-CADで分水路を作成し、VRの作成と土工量計算から景観性と経済性の確認を行うまでに7日間を要し、水理計算結果が出るのを待つこととなった．

以上の各検討項目を総合的に考慮した結果、B案を

基に検討を進めていくこととなった．対象地の地形を生かした案であり、入口を広くし、線形の極端な蛇行もないことから、水理学的にも安定しているという結果を得たためである．

c) 詳細検討(B2～B5案)

基本となる線形をB案と決定した後に、詳細検討を行った．詳細検討では主に、横断形状・縦断勾配・通常時の利用法を検討しており、現在はB2～B5案まで再検討が進んでいる．表 - 2に各案の概要を示す．

各案の水理計算に関してはA～C案を提示した時の時間の結果を踏まえ、先に3D-CADを作成して水理計算に必要な洪水断面の4点の座標を取得し、手書きの横断面図・平面図と一緒に技術系コンサルタントに提出し水理計算を行った．

結果、3D-CAD作成の7日間は変わらなかったが、水理計算に要した時間が2日間になり、合計9日間となった．

横断面について、B3案以降は、横断面を3つの用途に分けて検討を行った．せせらぎ水路と称した、常時水を流すために河床の一部を深く掘った部分を親水断面、河床から一段目の小段までを洪水断面、それ以上を景観断面と位置づけている(図 - 13)．これは、水理計算上、

図 - 13 横断面図比較

表 - 2 B2 ~ B5 案比較表

名称		B2 案	(B3)・B4 案	B5 案
完成 予想図 (CAD)
平面図
評価	地形	河床幅が B 案より狭くなったために、河床幅の変化が分かりづらい印象。	洪水断面の河床幅は、最低 15m までは絞る事が可能（景観サイドで河床幅を決定）。	分水路出口の急激に屈曲した線形に対する検討が必要。
	法面	小段を設けたことによって、法面のラインが見え、あまり良い印象を受けない。	景観断面の法面は、以前より柔らかい印象になったが、依然として小段が目立つ。 景観断面の法面は、法面勾配を緩やかにすることで、小段を全てなくす方針で決まる。 洪水断面形状は、法肩・法尻を丸くすることで、台形となることを避ける。	景観断面と洪水断面が、これまでで最も柔らかな印象となった。
	利用	洪水断面と親水断面を同じ断面で検討しているため、人が水際に降りることは困難。 断面の変化により、分水路・中ノ島全体の動線・溜まりの再検討が必要。 せせらぎ水路に本川からどれだけ導水可能か流量の決定を行うことが必要。	分水路左岸の管理用通路は、設ける必要はないと指摘される。 避難用の人道橋の架橋が必要となる（分水路左岸には、何かしらの歩道は必要）。 人の動線と溜まりが重なっており、棲み分けを行う必要性がある。	分水路左岸の遊歩道と人道橋の存在によって、分水路自体に回遊性が生まれ、利用しやすい空間となった。
	水理	縦断勾配を変化させたことにより、洪水をスムーズに流すことが難しくなった。 以降は、洪水断面の縦断勾配を 1/120 で固定し、親水断面を河床高より低い位置に設定する方針を決定。	B4 案で洪水をスムーズに流すことは可能と判断される。 分水路の粗度係数をどの値で取るかが問題となる（現計画は $n=0.045$ で計算されている）。	B5 案は、 $n=0.035$ であれば、洪水を流すことに関しては問題ない。しかし、河床幅を狭くしたことで、分水路中央部で射流が発生しており、河床幅について再検討が必要。
土工量比		65.9	68.9	74.6

最低河床幅は20m、その場合の縦断勾配は1/120とされていたが、河床以下にせせらぎ水路を設置する場合は、縦断勾配を自由に設定可能となったためである。

今後は、B5案の一部で射流が発生しているという課題を受け、部分的な河床幅の拡幅を行ったB6案を作成する予定である。

(6) 考察

a) 3D-CADの利用

3D-CADを基盤としたことで、設計対象構造物である分水路をデータとして扱うことができ、そこから必要な情報を抽出することで、土工量算出、水理計算という検討項目に3次元データ運用が可能となった。

本事例では、土工量が経済性の重要な評価指標であった。そのため、土工量は設計案の重要な評価指標となり、複数の設計案において、コスト比較を行いながら検討することができた。また、複数案の検討を進めていく中で、線形や横断を変更した際に、自動的に土工量を再計算できることが有効であった。随時土工量算出を行いながら、

設計案を改善していくことで、結果的に、1次案からB5案では25.4%の土工量が削減された。

水理計算についても、平面線形・横断図・縦断図をCADデータで提供したことにより、フリーハンドの線形から平面図・横断図を作成し数値を抽出する方法と比較して、A～C案の水理計算結果が出るまでの作業日数12日間が、B2案以降は9日間と3日間短縮できた。このように、設計のプロセスにおいて3D-CADを基盤とすると検討に要する時間の短縮に効果があったといえ、CADの作成などでも工夫次第で更なる時間短縮も期待できると考える。

今回のケースでは、河川激甚災害対策特別緊急事業を対象としたことから、設計検討期間が短いという特徴があった。1次案からB5案までの合計7案の設計検討を行い、その期間は約3ヶ月である。設計期間が限られているため、より効率的に検討を進めることが求められていた。また、景観性・経済性・機能性といった3項目を検討するために、3D-CADを用いて3次元データの相互運用を行った結果、活発な意見交換、データ共有を実現でき、発注者、技術系コンサルタント、大学の三者間で設計案を

より深めることが可能となった。案毎に模型を作成することと比較して、3D-CAD上では短時間で設計案の可視化が行え、検討の時間短縮ができたと考えられる。

さらに、設計対象構造物の3次元データを保持することにより、設計段階の2次元図面の納品は元より、施工や維持管理の段階でも利用が可能であると考えられる。

b) 景観検討

景観検討に関しては、法面形状の確認や、主要な視点場からの眺望確認などで、成果をあげることができた。平面線形、横断面図、縦断面図から断面を補間して作成することができるため、様々な形状への変更に対応でき、法面形状の検討が可能となった。

また、デザイン検討の段階で流し方のパターン検討を行い、流下可能と判断された線形を基に詳細検討を行ったため、機能性が担保された上での、景観検討を行うことができた。景観検討の際、管理断面だけでは横断面図の数が不十分との意見を受けたが、3D-CADを用いて、基盤データとして現況地形を作成していたことにより、必要な任意の横断をその場で抽出することができた。この結果、作業を中断することなく継続できた。必要な横断を一から作成し直すことを考えると、大幅な時間短縮の効果が得られた。設計を進めていく中で新たに発見された問題点にも、データの抽出や加工により柔軟に対応できたことで、3次元データの有効性を示すことができた。

しかし、3D-CADで設計を行う場合、線形などが決定していない段階から景観検討を始めることは困難であり、今回の事例でも、一度図面や模型等で景観検討を行った結果を3D-CAD上で再現することから始まった。さらに、フリーハンドの線形を3D-CAD上に読み込む際、画像からラインの作成を行っている。また、合意形成や議論では模型の方が良い場合はあるが、模型のみで進めていくと模型から読み取る作業が必要であり、3次元スキャナや写真測量を用いて座標取得など、時間短縮と正確に座標を読み取る方法を考える必要がある。

5. 結論

本論文では、分水路設計検討に3D-CADを用いることで、景観性（切土形状）・経済性（土工量）・機能性（流量）の検討項目間における3次元データの相互運用を提案した。また、分水路設計検討における3D-CADの利用可能性についても言及した。データの相互運用が可能となったことにより、設計案の繰り返し検討も効率的に行えるということを、ケーススタディによって確認することができた。

(1) 2章では、分水路設計検討の流れを示し、その中で景観を考慮した場合のデータ運用と表現媒体に関しての問題点を示した。

(2) 3章では、3D-CADを用いた分水路設計検討法の提案を行った。設計検討の流れ、また、その中で3D-CADが果たす役割を示し、3D-CAD利用の可能性を述べた。

(3) 4章では、3章で提案した3D-CADを用いた設計検討方法に沿って、ケーススタディを行った。実際の設計検討結果を示し、3次元データの相互運用についての考察を行った。さらに、景観検討における3D-CAD利用と表現媒体についての有効性を検討した。

今回は分水路という土工量が経済性に直結している特徴的な構造物を対象とした。そのため、設計案の土工量を算出することで、コスト比較をしながら検討を進めることができた。また、3D-CADと模型を用いて、地形を3次的に捉えた設計検討を行えたこと、水理計算へのデータ移行もスムーズに行えたことから、3D-CAD利用、3次元データの有効性、可能性を示すことができた。また、本研究の提案の成果としては、土工量の削減や水理計算の算出時間の短縮があげられるが、河川激甚災害対策特別緊急事業という特殊な条件のもと3ヶ月間の短期間に複数案を発注者・技術系コンサルタント・大学の3者間が常に合意しながら各検討項目に配慮した設計検討を行ったことにある。今後、3次元データの利用が進み運用が行われていくことで、さまざまな設計の質が向上をすることを期待する。

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提供を戴きました。(財)日本建設情報総合センターには研究助成をしていただきました。ここに記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) 吉川秀夫：朝倉土木工学講座 17 河川工学 朝倉書店、86p、1966。
- 2) 岩佐義朗：最新土木工学シリーズ 17 最新 河川工学、森北出版、108-112p、1979。
- 3) 前掲 2、109p、
- 4) 新井欣弥：景観設計 新・土木設計の要点、鹿島出版会、27-41p、2003。
- 5) 毛利洋子：景観設計における模型とCGの活用について、熊本大学工学部環境システム工学科平成12年度、卒業論文
- 6) 瀬田恵之：ビジュアルシミュレーション技術の発展、都市計画、No.6、Vol.56、17-20p、2007。
- 7) 三宅 諭：模型を応用したイメージによる合意形成、都市計画、No.6、Vol.56、35-38p、2007。
- 8) オートデスク株式会社 HP：
<http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/home?siteID=1169823&id=3551938>、2008年5月現在
- 9) 前掲 2、109p、
- 10) 前掲 4、88-97p、
- 11) ローランド ディー・ジー株式会社 HP：
<http://www.rolanddg.co.jp/product/3d/3d/mdx-500.html>、2008年5月現在
- 12) Cycore Systems HP：<http://www.cycoresystems.com/>、2008年5月現在