三次元砂防管内図の活用と展望

堀太成[1]・井川 忠[2]・岩岸栄代[1]

[1] (株) オリエンタルコンサルタンツ関西支社（〒530-0004 大阪府大阪市北区中之島3-2-18）
[2] (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社（〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19）

六甲山系では，昭和13年の阪神大水害を契機に直轄砂防事業が継続的に推進され，調査・設計・施工・維持管理の各段階で膨大な関連データが蓄積されている．一方，我が国は急速な人口減少・高齢化により行政機関の人材・財源確保も困難となり，砂防事業の効率化・省力化・高度化が急務となっている．本論文では，行政職員の実務ニーズを踏まえた三次元砂防管内図の整備手法と活用事例を紹介する．送電網モデルの統合や全天球画像活用，施工情報の一元管理などにより事業の効率向上を図り，持続可能な砂防事業推進に寄与する取り組みを報告する．

Key Words ：*三次元砂防管内図，三次元データ，三次元モデル，情報化施工*

１．はじめに

昭和13年の阪神大水害を契機に六甲山系では直轄砂防事業が着手され，令和6年度末時点で整備済の砂防堰堤は560基余りに達している.調査・設計・施工・維持管理に至るまで砂防事業プロセスの一連を長年にわたり推進しているため，事務所には膨大な関連データが蓄積されてきた.加えて，インフラストックは年々増加しており，維持管理の対象は拡大の一途をたどっている.一方，我が国では急速に人口減少と高齢化が進行しており，行政機関においても人材・財源の確保が困難となっている．持続可能な砂防事業の推進にあたり，更なる効率化・省人化・高度化・生産性向上が求められている.

このような現状を踏まえ，事務所に蓄積された膨大なデータを一元的に管理・運用・活用することで，砂防事業の効率的且つ効果的な推進を図ることを目的に，三次元砂防管内図の整備を行った．本論文では三次元砂防管内図の整備手法とその活用事例，また今後の展望について述べる.

２．職員ニーズの把握

三次元管内図の整備において先行している河川分野では，行政職員による継続的な利用が進まず，システムが形骸化している事例がある．その要因として，実務との乖離や導入目的の不明確さ等が主に挙げられる．実際の業務と直結しない機能や煩雑な操作体系では，従来手法に回帰する可能性が高いといえる.このため，行政職員の実務実態や業務上の課題を的確に把握し，真に求められる機能を備えたシステムとすることが重要である．そこで，三次元砂防管内図の整備にあたっては，行政職員へのヒアリングを実施し，必要とされる機能を把握した(**表-1**).その結果，砂防事業プロセスの各段階において求められる機能が異なることが明らかとなった．こうした実情を踏まえて三次元砂防管内図を整備することで，行政職員が日常業務の中で自然に使い続けられる業務ツールとして定着を目指すものとした.

表-1 三次元砂防管内図に求める機能

No	事業区分	三次元砂防管内図に求める機能(ニーズ)
1	計画	既設堰堤の位置に加えて,砂防指定地やグリーンベルトなどの用地情報を併せて確認したい.
2	調査	UAVの飛行ルート検討に利用したい.
3	設計	既存資料を一元管理し,設計・検討時において資料やデータの貸与を円滑に行いたい.
4	施工	施工時の仮設方法を円滑に引き継ぎたい.
5	維持管理	現地に行かずとも事務所内で施設状況を把握したい.
6	その他	三次元砂防管内図を継続的に利用するためにも事務所が現有するサーバーとデータを連携したい.

３．三次元砂防管内図の整備

三次元砂防管内図の整備にあたり，事務所管内に位置する23水系(約128km^2)を対象とし，平成16年度から令和3年度までの期間に取得された6時期の航空レーザ測量データを地盤基礎情報として活用した.現場での持ち運びに優れるタブレット端末においても軽快な動作と高い表現力を有するゲームエンジンUnityを操作環境基盤とした.

表-1 No.1のニーズを踏まえ，基盤となる三次元地形データ上に六甲山系で整備された直轄砂防堰堤の位置情報をはじめ，流域界・砂防指定地・土砂災害(特別)警戒区域等のGIS情報を統合した(**図-1，2**).これにより単なる地形表示に留まらず，空間的に分布する法規制区域や災害リスク情報，施設配置情報等を一元的に表示できる環境を構築した．「どこに」

「なにが」「どのように」分布しているかを直観的に把握することが可能となるため，計画立案や事業管理の効率化，所内関係部署や関係機関等との円滑な合意形成や，災害時等の迅速な意思決定にも大きく寄与するものとした．

図-1 三次元砂防管内図

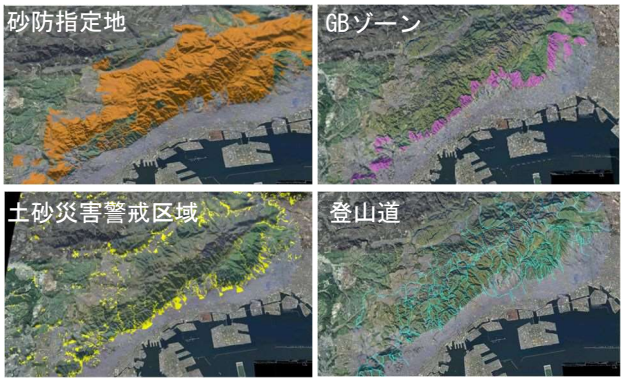

図-2 GISデータの統合例

４．三次元砂防管内図の機能及びデータ統合

(1)送電鉄塔・送電線モデルの統合

砂防事業では，近年UAVを活用した施設点検が増加しており，特に山間部における飛行ルートの設定時に送電線との位置関係の把握が不可欠となっている．また，六甲山系においては索道を用いた工事が頻繁に行われており，砂防堰堤の施工や資材搬入時にも同様に干渉リスクが課題となることが多い．しかし，六甲山系の送電線網に関する情報はこれまで体系的に整理されておらず，調査や施工時のリスク管理に支障をきたす場面は少なくなかったといえる．

そこで，表-1 No.2のニーズも踏まえて，航空レーザ測量データのDSMを主に活用し，送電鉄塔・送電線の三次元モデルを作成し，三次元砂防管内図に統合した．これにより，UAV飛行ルートの安全且つ合理的な立案，索道施工における送電線網との干渉リスクの事前確認等，多様な場面での活用が可能となることを目指した．

a)施設位置や施設高の把握

施設位置を把握するため，航空レーザ測量データを用いて差分色分け図を作成し，送電線網の強調表示を行った．差分色分け図とオルソ画像で示されている施設位置に相違が無いことが確認でき，位置確認手法として妥当と判断した(**図-3**)．

図-3 差分色分け図とオルソ画像

施設高は航空レーザ測量データのオリジナルデータを処理し送電鉄塔の頂点及び送電線の高さを確認した．オリジナルデータに欠損が見られる場合は過去の航空レーザ測量データから同様に読み取る，もしくは送電線を結ぶ送電鉄塔頂点の高さから推定を行った(**図-4**)．

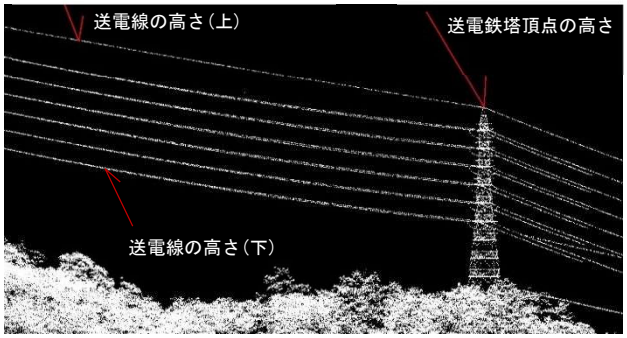

図-4 航空レーザ測量データ処理後

b)送電線網モデルの統合

前項で示した手法を用いて送電鉄塔・送電線の三次元モデルを作成した．このモデルを三次元砂防管内図に統合した（**図-5**）．

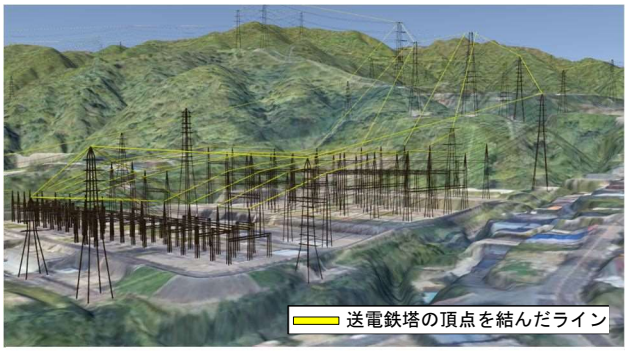

図-5 送電鉄塔，送電線モデル

三次元砂防管内図と現地写真を比較した結果，送電鉄塔や送電線の数や配置等が一致しており，モデルを正確に作成できていることが確認できた(**図-6**)．これにより，UAVの飛行ルートや索道施工計画立案時に送電線網との位置関係を踏まえて合理的に設定することが可能となる．従来は，現地踏査や図面照合に多くの時間と労力を要していたが，本システムの活用により現地に赴くことなく迅速且つ高精度な計画検討が可能となり，業務効率の大幅な向上に寄与することができる．

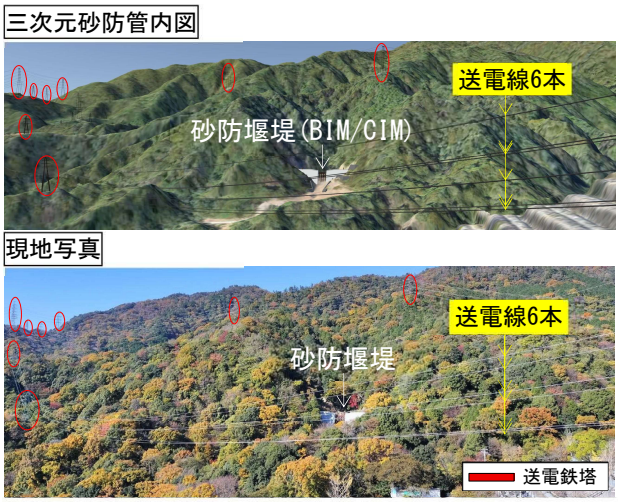

図-6 三次元砂防管内図と現地写真の対比

(2) データ格納フォルダの付与

事務所では，設計図や完成図等の二次元図面や点検台帳に加え，近年ではBIM/CIMモデルなど多岐にわたる施設関連データが蓄積されている．そこで，表-1 No.3のニーズも踏まえて三次元砂防管内図を事業推進のためのプラットフォームとして整備するにあたり，直轄砂防堰堤や斜面対策工，山腹工，流路工，光ファイバーケーブル網等に至るまで，あらゆる施設関連資料を格納する機能を設けた(**図-7**)．

本機能は，Windowsのエクスプローラー上で直観的にデータ管理できるように整備しているため，受注者への資料貸与等が円滑に行うことができるだけでなく，行政職員が日常業務の中で継続的にデータを格納・更新することも可能としている．これにより，各種施設関連情報を三次元空間と統合して一元的に扱える環境が整い，砂防事業全体の情報管理の高度化・効率化に寄与している．

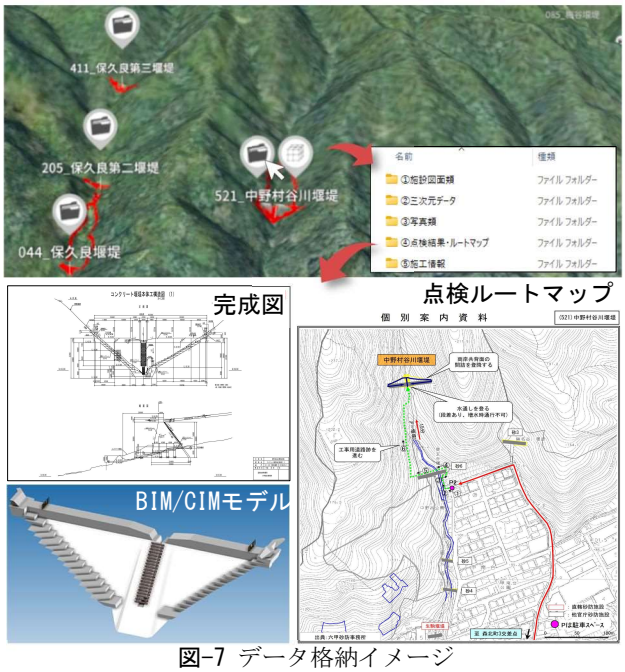

図-7 データ格納イメージ

(3) 施工情報の統合

六甲山系の砂防工事では，都市部との近接や狭隘地形であることに加え，関係機関との調整の複雑さ等から，仮設計画が難航するケースが多い．また，過去に整備された砂防堰堤に関する施工情報が一元管理されておらず，仮に資料が存在しても紙ベースで整理されていることが多い．そのため，緊急除石といった維持管理段階で再度調査や仮設計画を行う必要があり，手戻りが発生する要因ともなっていた．

こうした現状を解決すべく，既設砂防施設に関する仮設計画や用地・借地情報，工事写真，完成図等の施工関連情報を収集し，三次元砂防管内図上に統合した(**図-8，9**)．これにより，維持管理時の仮設計画や借地調整時に必要となる過去の情報を即座に参照可能とし，事業の円滑化に寄与できるものとした．

図-8 三次元施工ステップ図

図-9 借地範囲

(4) 全天球画像や点群表示機能

砂防施設は，急峻且つ狭隘な地形に位置することが多く，従来の目視調査では現地確認に多大な労力と時間を要している．特に上流域に位置する施設は，管理用道路の整備状況や地形状況によりアクセスが困難であり，点検作業の効率化と安全性の確保が課題となっている．

表-1 No.5のニーズも踏まえ，現場状況を網羅的に記録・共有する手段として，全天球(360°)画像と点群取得を実施した．これを用いて実際の現地状況に近い三次元空間を再現し，三次元砂防管内図に統合することで，現地における全方向の視界を記録可能とし，室内においても関係者間で施設状況の確認・共有できる環境を整備した(**図-10**)．従来の静止画では困難であった周辺地形等の把握も容易となり，点検記録の質と効率の向上が期待される．

図-10 全天球画像・点群表示機能

５．データ連携システム構築

三次元砂防管内図を行政職員が日常的に活用し，生産性の向上を図るとともに，導入後にシステムが形骸化を防ぐためには表-1 No.6のニーズを踏まえ，誰もがシステムを利用できる運用環境の整備が必要である.そのためには，利用環境を特定の高性能PCに利用環境を限定するのではなく，各事務所に配備されている標準的な行政PCで問題なく運用できる仕組みとすることが重要である.

このため，三次元砂防管内図に搭載する全てのデータをサーバーで一元管理し，職員PCの性能や用途に応じて実行ファイルと地形データ，GISデータ等を選択・ダウンロードできる仕組みを構築した(図-11)．行政職員が日常的にシステムを利用することで，継続的な活用が促進されシステムの陳腐化を防ぐ運用体制が確立できると考える.

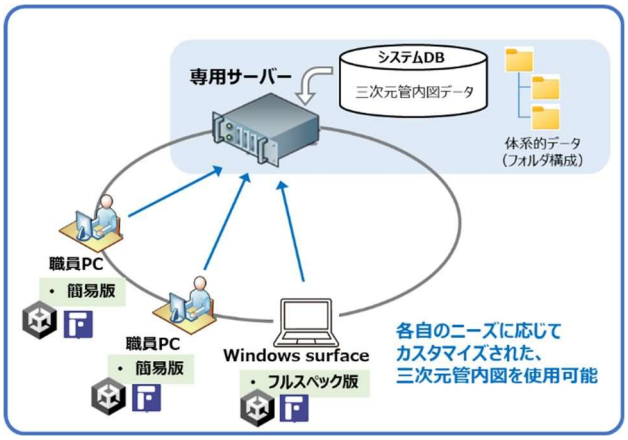

図-11 ﾃﾞｰﾀ連携ｱﾌﾟﾘと体系的ﾃﾞｰﾀ保存による運用ｲﾒｰｼﾞ

６．今後の展望

三次元砂防管内図の整備により，従来は個別に管理されていた砂防施設関連資料やGIS情報等のデータ統合を可能とした．しかし，単なるデータ集約のツールに留めるのではなく，今後は更に多様な活用ができるよう深化させていくことが重要である．具体的には，UAVで定期的に取得する点群データを三次元砂防管内図上に継続的に蓄積し，図-12に示すような差分解析を行うことで，構造物及び周辺地形の経年変状を把握し，土砂の堆積状況や構造物の変状状況の客観的且つ効果的なモニタリング，補修計画の立案やライフサイクルコスト評価にも繋げていくことが期待される.

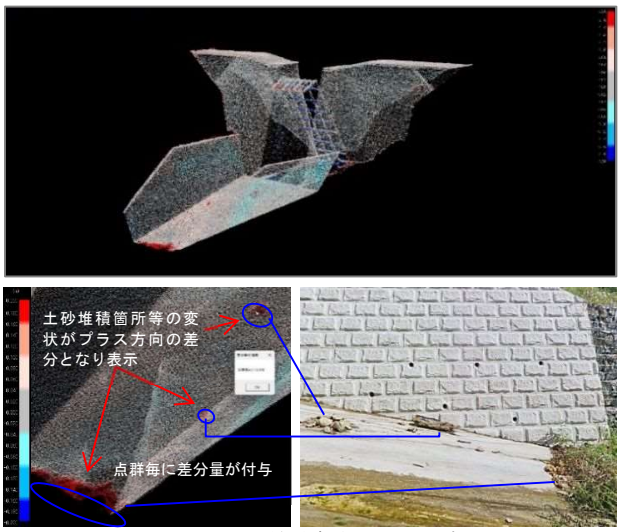

図-12 差分解析イメージ

また，建設業界においては現実空間を抽出・再現した仮想空間を用いて，シミュレーションによる予測や解析等を行い現実空間でのアクションに反映させるデジタルツインの概念が浸透し始めている．国土交通省水管理・国土保全局では流域治水デジタルテストベットの取り組みが進められている.

本論文の三次元砂防管内図は，6時期にわたる航空レーザ測量データを地盤基礎情報として三次元空間を整備しているため，これらの先進的な取り組みを推進するための実証基盤が既に構築されていると考えられる.今後，三次元砂防管内図をデジタルツインとして流域治水を考える実験場として活用し，土砂災害シミュレーションの実装や，時系列を加味した4Dハザードマップの統合により，水害リスクや対策効果の可視化を推進することで，住民との合意形成に繋げるなど，行政マネジメントのさらなる円滑化及び効率化に貢献できることが期待される.

今後も技術開発とデータ活用の深化を図るとともに，現場のニーズに即した柔軟な運用体制を構築し，持続可能な砂防事業の推進に取り組んでいく.