

(45) ダム撤去工事における水中施工への モデル空間の利用

小林一郎¹・高田哲聖²・野間卓志³・山中孝文⁴

¹正会員 工博 熊本大学教授 工学部自然科学研究科 (〒860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1)

E-mail: ponts@gpo.kumamoto-u.ac.jp

²学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (〒860-0862 熊本市中央区黒髪2丁目39-1)

E-mail: 138d8816@st.kumamoto-u.ac.jp

³正会員 博(工) 熊本県企業局 荒瀬ダム撤去室 参事 (〒862-8570 熊本市中央区水前寺6丁目18-1)

E-mail: noma-t@pref.kumamoto.lg.jp

⁴正会員 博(工) 熊本大学イノベーション推進人材育成センター 特別研究員

(〒862-0862 熊本市中央区黒髪2-39-1)

E-mail: yamatak@kumamoto-u.ac.jp

一般的に土木構造物の耐用年数は30-50年である。1970年代に建設されたダムの多くは、近い将来寿命を迎える。よって撤去工事の増加が考えられ、より安全かつ的確な手法の確立が求められる。一方、建設業務においては、2次元データの3次元化による設計や施工の質の向上が図られているが、撤去工事における3次元モデルの適用事例は少ない。本論では、周辺の自然環境を含む各種データをモデル空間に一元化し、関係者間でのデータ共有や施工検討などの円滑化を目的として、ダム撤去工事に適用する。荒瀬ダム撤去事業において、全体計画の撤去工程および工事初年度における水位低下設備の事例をもとに、有用性の検証を行う。

Key Words : Dam dismantlement, Model space, Under water placement, Surroundings

1. 序論

近年では、建設業務での2次元図面の3次元化によって、設計や施工の質の向上が図られている。そこで、筆者らはモデル空間を用いて、設計および施工段階に発生する問題を可視化させ、設計と施工の質を向上させる3次元設計の手法を提案した¹⁾。先行研究では、3次元化がほとんど行われていない撤去工事への応用を行ってきた。しかし、この手法では広範囲にわたる周辺環境や地形を同時に考慮していないため、一般土木構造物の撤去工事に応用する場合、更なる改善を余儀なくされている。

本論では、ダム撤去工事において、各種データを一元化し関係者間での共有を可能にするモデル空間の適用を行うことの有用性を示し、設計、施工の質の向上を図る。

主に設計図、施工図の異なる2つの2次元図面によって行われている。それに伴う課題を以下に示す。

(1) 広範囲の考慮

図面では、それぞれの尺度に応じて設計対象物と、その周辺物との関係性を把握することができる。しかし、ダム撤去工事のように、図面に記載することができない広範囲にわたる地形や地物を配慮する必要がある場合、地図や他の設計図をその都度参照しなければならない。範囲外に存在する周辺交通機能との関係性、山や川などの自然環境、ダム周辺の河床データや構造物などは表記されていない。それら全ての情報を設計者、施工者自身が、関係する複数の図面から読み取り、把握することは困難である。したがって、必要とされる多種多様な情報の追加、併用を容易に可能にする手法が求められている。

(2) 立体での検討

従来、土木構造物における施工検討は2次元図面を用いて行っているが、これでは対象地を立面的（3次元）に把握することは困難である。2次的に表現され

2. ダム撤去工事における施工検討の課題

現行の土木構造物の撤去工事では、データは2次元図面（平面図、縦横断図）によって管理され、施工検討も

た情報を頭の中で組み合わせ3次元の空間を構築する作業が必要とされる。図面を読み慣れているはずの行政担当者やコンサルタントにも、詳細部分の空間把握は困難である。ダム撤去工事は、他の撤去工事に比べて工期が比較的長く、施工も複雑で特殊な工事となる。また、荒瀬ダムは日本で初のダム撤去工事であり、事例がまだないため、新規にダムを建設する場合と比較して、撤去する際の施工性や、撤去時に周辺環境にもたらす影響についての知識は乏しい。さらに、設計図、施工図の異なる2つの図面による検討により、設計者、発注者、施工者間での認識の食い違いが発生しかねない。その結果、工期の遅れや安全性の低下を招きかねない。

3. ダム撤去工事へのモデル空間の利用

(1) モデル空間の概要

モデル空間²⁾とは、設計対象やその周辺を3次元的に表現した空間である(図-1)。モデル空間を用いることにより、任意の視点からの確認が可能となる。モデル空間の構成要素としては、CADデータ、点群データ、2次元図面データ等が挙げられている。

(2) モデル空間の有用性

モデル空間を利用する利点として、以下の2点を考える。①設計対象だけでなく、周りの環境を含めた広範囲で、設計対象が与えたインパクトの影響把握が可能となる。②設計者、施工者等を始めとする様々な関係者が挙げる課題を視覚的に表現することにより、問題点の共有を可能にし、議論を深化する。これらの条件を満たすには、モデル空間は、任意の視点からの確認が可能であることが必要である。以下、モデル空間の有用性を示す。

a) 相互関係の確認

発注者、設計者、施工者それぞれが、自身が必要とする様々な情報の全てを図面上で把握することは困難である。モデル空間では、図面や写真、オブジェクト、点群データなど、様々なデータが併用でき、縮尺は任意で変更可能である。したがって、設計対象物とその周辺との関係性や、複数の設計対象物が存在する際の連続性を、広範囲にわたって考慮することができる。

b) 時間変化の確認

モデル空間に時間軸をもたせることで、変化する様を時系列で可視化できる。これにより、対象物の施工過程、周辺環境の変化にも対応が可能となる。また、モデル空間内のオブジェクト自体に時間変化を付与できる。具体的には、ゲートの開閉の動作による干渉のチェックや、重機の稼働範囲の確認などが挙げられる。

c) 作業目線でのイメージ共有

モデル空間は、空間の3次元情報を数値化して記憶し、自動的に可視化を行う。数値を変更することによって、作成、操作した結果の確認を容易に行うことができる。さらに、視点移動、物体移動の自由度が高いため、協議の場での変更ニーズにも即座に対応が可能である。このモデル空間を用いて、発注者、設計者、施工者の三者が、実際に施工を行う時の目線でイメージを共有できる。これにより、問題の早期発見や施工前の段階での現実的な施工手順の確認が可能となる。したがって三者間の連携が円滑化し、結果として安全管理の効率化や、施工性の向上による施工期間の短縮が期待される。

(3) 先行研究の課題

先行研究では、2次元図面データ、オブジェクトデータ、点群データにより構築したモデル空間を歩道橋撤去計画に適用した³⁾(図-2)。しかし、この手法を用いた場合、周辺地形や環境の影響は考慮できない。歩道橋撤去の際は、平面の道路上かつ河川等の自然環境の影響を受けないため弊害はないが、ダムや橋梁といった大型の土木構造物の場合は周辺の自然環境の影響を大いに受ける。よって、山間部に建設されたダム撤去に、この2次元図面を併用する手法の適用は有効とはいえない。

(4) 撤去及び周辺環境を考慮したモデル空間の構築

本論では、新たに周辺環境データ(地形、河川等)を付加したモデル空間を適用する。これによって、先行研究で述べられた従来の手法とは異なり、可能な限り広範囲かつ具体的な周辺環境を考慮して検討することができる。モデル空間を構成する要素としては、①地形データ、②河川データ、③オブジェクトデータとする。地形データは、数値地図データをもとに作成を行う(図-3)。河川データは、河床の等高線データを基に河床モデルの作成を行う(図-4)。さらに、オブジェクトデータは、設計図、施工図をそれぞれモデル化することにより、2つの図面による認識の違いを補うことが可能となる。



図-1 モデル空間

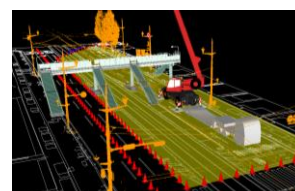


図-2 先行研究

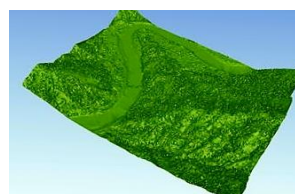


図-3 地形データ

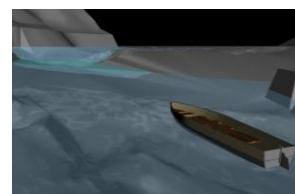


図-4 河床データ

4. 荒瀬ダム撤去事業

(1) 概要

対象現場は一級河川、球磨川水系球磨川に建設された荒瀬ダム撤去事業である(図-5)。荒瀬ダムの撤去工事にあたっては、漁協など地元の意見を踏まえ河川環境(球磨川の代表的な魚類であるアユの生息成育等)に配慮し、河川内の水に触れる部分の工事については、11月中旬から2月末までとし、河川工事の撤去期間を平成24年度から6段階(6ヵ年)と設定している。各段階における施工概要は図-6に示す。

(2) 撤去工程の確認

対象地のモデル空間の構成は、AutoCAD Civil3D 2013、Autodesk Navisworks 2013⁴⁾を使用した。

荒瀬ダム撤去事業において、6年という長期施工が計画されている。このような長期の撤去工事となる場合、事前の施工計画の確認は必要不可欠である。しかし、2次元図面で長期的な計画の確認を行うことは難しい。ここで、モデル空間を用いて撤去工程の再現を行うことにより、撤去対象であるダム本体の経年変化の可視化が可能となり、課題を確認した。課題として認識された点は2点である。1点目は、第3段階においてみお筋部の撤去を行ったことによる自然流下後に、第4段階で縦断方向に仮締め切り工事を行うことの実現性である。2点目は、各段階毎の仮設を含めた施工が制約のある工期内に完成できるかという点である。今後、第4段階において、自然流下上における仮締め切りの設置は可能であるか、並びに各段階のタイムスケジュールの検討の必要性を示した(図-7)。

(3) 水中施工の検討

水位低下設備は、堤体にトンネル状に設置する放流工と、放流工の掘削を行う際の仮締め切りも兼ねて上流側に設置する仮締め切りゲートで構成されている。流量等の関係から幅5m高さ4mの放流工を2門設置することとしている(図-8)。ダムの貯水位を低下させることにより、下流河川や工事現場内の安全性を向上させるとともに、工事の仮設規模を抑え、撤去工事の工期短縮が可能になることから、水位低下設備の設置が採択されている。設置作業は、視界が悪い水中施工において作業員が潜水し、直接堤体へと設置を行う。したがって、危険かつ施工が困難であるため施工前での検討が必要であった。

a) 設計図による検討

協議者は、熊本県、施工業者(3社)、大学である(図-9)。水位低下設備の設置における施工検討を行った。図-10は、設計図を基に水位低下設備を作成、本手法によるモデル空間に付加したものである。これによ



図-5 荒瀬ダム

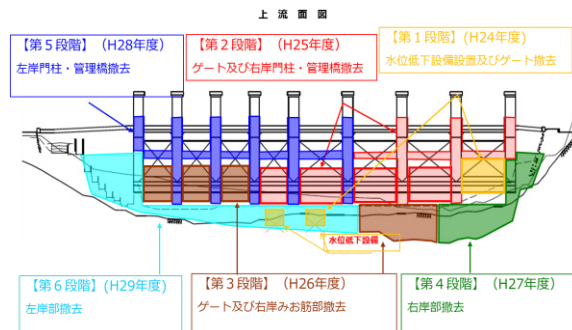


図-6 全体計画

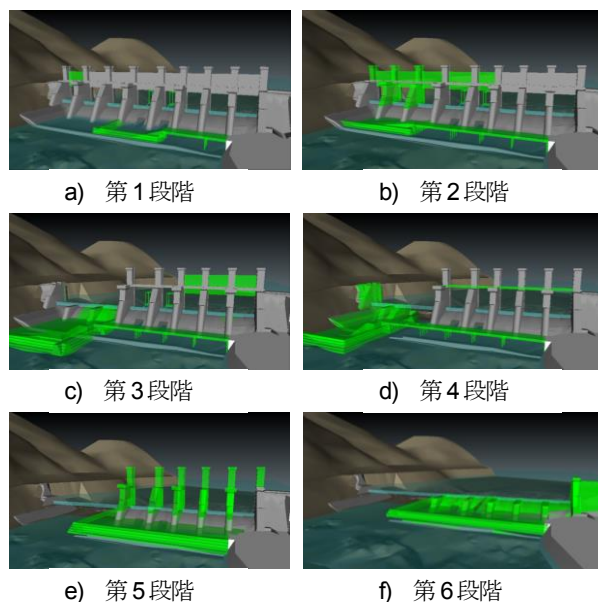


図-7 撤去シミュレーション

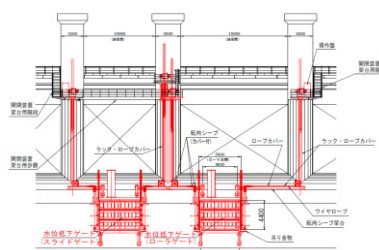


図-8 水位低下設備



図-9 施工協議

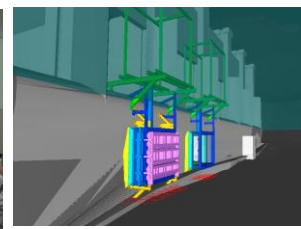


図-10 モデル空間

り、施工工程の経過を示した。仮設ステージ設置後、吊装置により、水中へゲートの吊り込みを行う。これは危険度の高い施工となる上に、実際は視界が悪い水中の作業となるため、施工が難化することが想定されていた。そのため、施工工程を検討段階にて確認ができたことは有用であった。また、設置には河床岩盤の掘削が必要であることが、ボーリング調査により明らかになった。図-11の赤線は、水位低下装置を設置するための掘削位置を示したものである。潜水士の作業スペースとなる掘削位置を、堤体からの距離を含めた確認を行うことができた。掘削された中での安全な作業スペースの確保には、更なる検討が必要とされた。図-12は、水位低下設備とダム本体との設置面を示したものである。設計図上での各部材の長さでは、堤体までの距離が足りず、再確認が必要であることが判明した。

b) 施工図による検討

前節、施工協議にて使用したモデルは、設計図を基に作成したものである。しかし、実際に施工で使用される施工図では多くの変更がなされている。より実施に近い検討を行うには、設計図だけでなく施工図から作成したモデル空間による新たな施工協議が必要であった。協議者は、熊本県、施工業者、大学である(図-13)。図-14は、施工図を基に新たに作成したモデル空間である。協議において、一番の論点となったのは、ゲートを設置するための戸当たり型枠の施工である。前節の協議では行うことができなかった施工者提案の垂直ゲージ設置後、4方型枠、モルタル施工からの下流ブロック設置までの施工工程を忠実に再現することができた。図-15は水位低下設備とダム本体との設置面を示したものである。前回の検討では、部材が堤体まで達していなかったが、施工図によるモデルではその改善がなされていることが確認できた。前節の協議で掘削位置を検討したが、今回の協議中に該当する堤体への掘削スペースのモデル作成を行った(図-16)。

(4) 考察

実際に協議を行った際、発注者、設計者、施工者それぞれが、自身が必要とする様々な情報をモデル空間によって把握することができ、合意形成が行われた。また、広範囲の周辺環境データ付加は具体的な課題の発見や施工性の向上だけでなく、関係者がスムーズにモデル空間へ入り込むことができ、全体の状況を正確に把握することに繋がった。ダム撤去工事において、各種データを一元化したモデル空間の適用を行うことにより、設計、施工の質の向上を図ることができたといえる。これは特に、今後の大型土木構造物の撤去工事における検討上、有用な資料となる。現在、水位低下装置は完成し、水位低下が始まっている(図-17 a),b))。

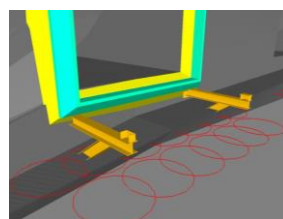


図-11 掘削位置

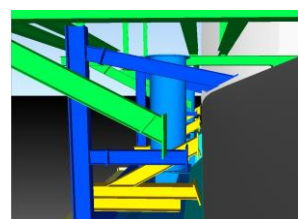


図-12 部材の不具合



図-13 施工図による協議

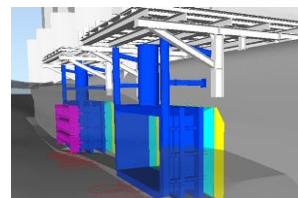


図-14 モデル空間

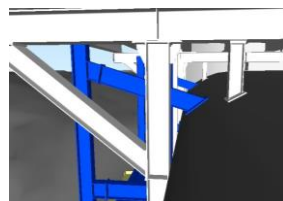


図-15 部材の変更後

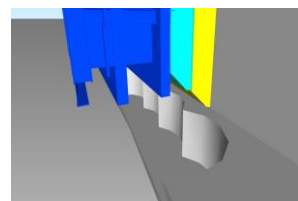


図-16 掘削スペース



a) 水位低下の様子



b) 水位低下装置

図-17 設置後の状況

5. 結論

ダム撤去工事に限らず、周辺環境を考慮しなければならぬ大型の土木構造物の撤去工事において、本手法におけるモデル空間を用いて施工検討を行うことは、問題点の事前発見、共有、解決を可能にする。本論では、主にダム撤去工事初年度における水中施工への適用を行ったが、今後はダム本体撤去への適用も期待される。

参考文献

- 1) 小林一郎,吉田史朗,野間卓志,小林優一:モデル空間を用いた予備設計協議への点群データの活用,土木学会,土木情報利用技術論文集,Vol.19,pp.154-164,2010.
- 2) 小林一郎,吉田史朗,小林優一,高橋優介:モデル空間での2次元図面データ利用に関する一提案,土木学会,土木情報利用技術論文集,Vol.36,pp.69-72,2011.
- 3) 小林一郎,嶋津卓郎,明瀬健一,藤田陽一:3次元写真計測データを用いた歩道橋撤去計画,土木情報利用技術論文集,Vol.37,pp.41-44,2012.
- 4) Autodeskホームページ: <http://usa.autodesk.com/> (入手2013.02.15)