

砂防堰堤設計における対象土砂量算出の手法及び結果の整理と考察

～施設効果量の算出に着目した研究～

応用地質株式会社 ○武藤 弘典, 山田 祐司, 中川 昌浩, 大角 達夫, ニツ寺 隆宏

1. 背景

近年、建設業界ではBIM/CIMの導入が推進されており、砂防事業においても、特に国土交通省の発注する業務ではBIM/CIM活用業務が年々増加している。令和4年時点では、年間549件の業務が実施されている。BIM/CIMを導入する目的は、建設事業で取り扱う測量、設計、積算、施工、維持管理の各段階における情報をデジタルデータとして一元的に統合管理することによって、受発注者間でのデータ活用・共有を容易にし、建設生産・管理システム全体の効率化を図ることである。

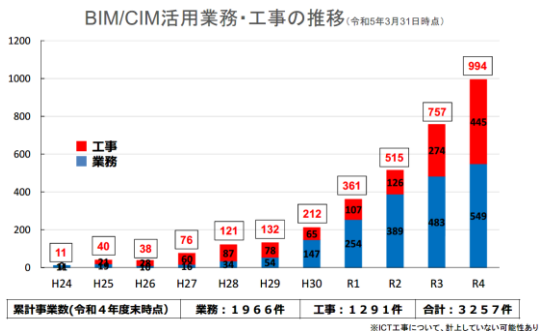


図1 BIM/CIM活用業務の推移

出典：国土交通省 第10回 BIM・CIM推進委員会 参考資料2 (令和5年8月10日)

一方で、3次元モデルの構築には高度な技術的知見が必要であるため、砂防堰堤の施設設計においては、多くの設計検討が依然として2次元で実施されている。例えば、施設効果量の算定、土工数量や施設コンクリート数量の算定、掘削形状の検討などが挙げられる。

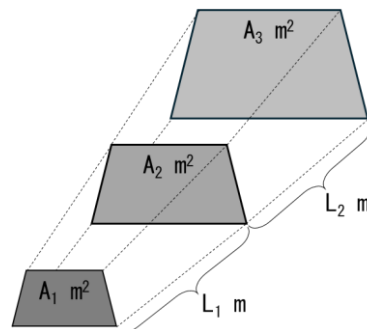
2. 目的

本研究では、平均断面法および3次元モデルを活用した手法のそれぞれを用いて施設効果量を算出し、その結果を比較することで、各手法における算出値の特性について考察する。さらに、その考察を踏まえ、砂防堰堤の施設設計段階における3次元モデルの活用について、今後の展望を示すことを目的とする。

3. 方法

3.1. 平均断面法

平均断面法は図2に示すとおり、等間隔に作成した横断面図を用い、上下流に連続する断面の面積平均に区間延長を乗じて体積を算出する手法である。しかし、本手法では断面間の地形形状を直接表現できないため、堆砂地の地形条件によっては、算出精度を高めるために検討横断面数を増やす必要がある。その結果、作業量の増大を招くという課題がある。



$$V = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \times L_1 + \frac{(A_2 + A_3)}{2} \times L_2 + \dots$$

図2 平均断面法の模式図と計算式

3.2. 3次元モデルを活用した手法

3次元モデルを活用した手法では、地形モデルと堰堤モデルから堆砂空間モデルを作成し、その体積を施設効果量として算出する。なお、本手法による算出結果は使用する点群データの精度に大きく依存するため、適用にあたっては事前に測量を実施し、可能な限り高精度な地形データを取得することが前提となる。

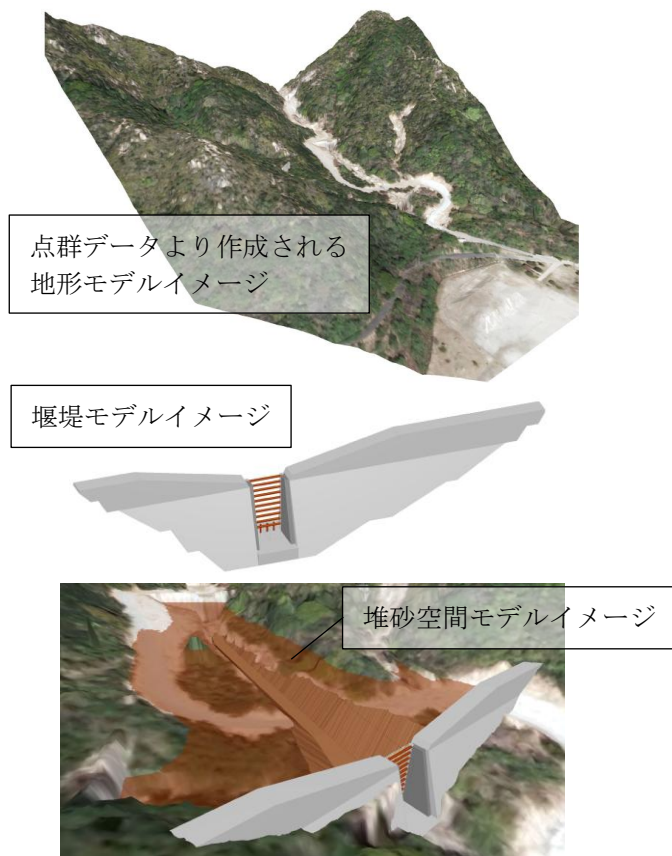


図3 3次元モデル活用法

4. 結果

施設効果量の算出結果を表1に示す。本研究では4つの事例を対象とし、事例1～3までは同一流域、事例4は異なる流域である。また、事例1～3は流域面積0.01 km<sup>2</sup>の小流域であるのに対し、事例4は流域面積が0.32 km<sup>2</sup>の比較的大きな流域である。表中では、3次元モデル活用手法による算出値が平均断面法による算出値よりも大きい場合を赤字、小さい場合を青字で示した。事例1及び2では3次元モデル活用手法の算出値が大きく、事例3及び4では小さくなった。

5. 考察

まず、流域面積の小さい事例1～3について考察を行う。これらの事例では平均断面法と3次元モデル活用手法による施設効果量の差は100 m<sup>3</sup>未満であり、両手法による算出値は概ね近い値を示した。これは、流域面積が小さい場合には必要な施設効果量が小さく、小規模な堰堤で対応可能なためと考えられる。その結果、堆砂延長が短くなり、平均断面法で用いる測線数も少なくなることから、測線間に起因する誤差の累積が小さく抑えられたものと推察される。

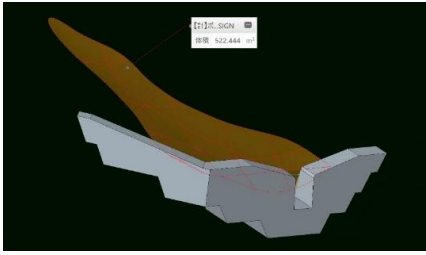
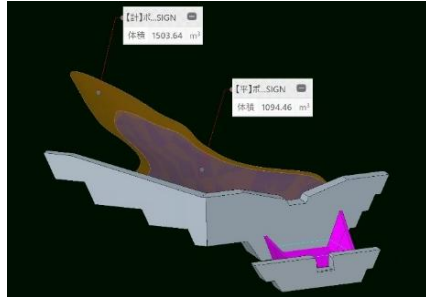
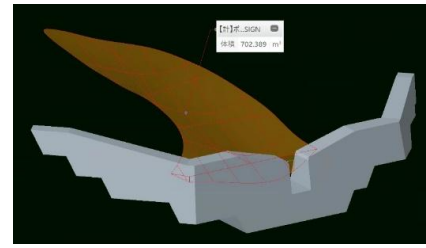
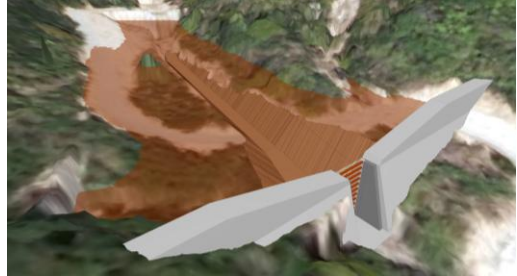
次に流域面積の大きい事例4について考察を行う。事例4では両手法による施設効果量の差は520 m<sup>3</sup>となりやや大きい値を示した。これは、流域面積の増大に伴い必要な施設効果量が大きくなり、大規模な堰堤が必要となるためである。これにより堆砂延長が長くなり、平均断面法で用いる測線数が増加するため、測線間に起因する誤差の累積が大きくなったものと推察される。また、3次元モデルを用いることで、断面間の凹凸等の地形形状をより正確に反映できており、この点においては、平均断面法よりも実態に即した算出結果が得られていると考えられる。

6. 今後の展望

本研究により、3次元モデル活用手法は従来の平均断面法と同程度の算出結果を示すとともに、条件によってはより実態に即した施設効果量を算出できることが確認された。今後は、河道が蛇行する地形や、起伏のより複雑な地形を対象として3次元モデル活用手法の適用事例を増やすことで、両手法による算出結果の差異を明確にし、3次元モデルによる手法の有効性を検証していく必要がある。

砂防堰堤の施設設計においては、コンクリート量や土工数量、掘削形状の検討などで3次元モデルの活用が進んでいる。一方、施設効果量の算出には十分に活用されていないのが現状である。しかし、堆砂地の地形条件によっては、算出される効果量の違いが施設規模（堰堤高）に影響を及ぼす可能性があることから、今後はより高精度な3次元モデルを用いた検討を行うことが望ましい。

表1 検討結果の一覧表

事例1					
	<p><b>【概要】</b> 小流域（流域面積0.01 km<sup>2</sup>）の谷出口付近に位置する狭窄部において透過型砂防堰堤の配置を検討した事例である。右岸側の地形条件により比高差が小さく、必要な袖高分を確保できなかったため、右岸側を袖折れ構造とした。堰堤規模は堤高7.5 m、堤長49.0 mである。</p> <table border="1"> <tr> <td>①平均断面法</td> <td>742.0 m<sup>3</sup></td> <td rowspan="2">② - ① = 17.4 m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>②3次元モデル活用手法</td> <td>759.4 m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	①平均断面法	742.0 m <sup>3</sup>	② - ① = 17.4 m <sup>3</sup>	②3次元モデル活用手法
①平均断面法	742.0 m <sup>3</sup>	② - ① = 17.4 m <sup>3</sup>			
②3次元モデル活用手法	759.4 m <sup>3</sup>				
事例2					
	<p><b>【概要】</b> 事例1と同じ位置において、不透過型砂防堰堤の配置を検討した事例である。事例1と同様に、右岸側を袖折れ構造とした。堰堤規模は堤高7.5 m、堤長63.5 mである。</p> <table border="1"> <tr> <td>①平均断面法</td> <td>745.0 m<sup>3</sup></td> <td rowspan="2">② - ① = 0.4 m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>②3次元モデル活用手法</td> <td>745.4 m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	①平均断面法	745.0 m <sup>3</sup>	② - ① = 0.4 m <sup>3</sup>	②3次元モデル活用手法
①平均断面法	745.0 m <sup>3</sup>	② - ① = 0.4 m <sup>3</sup>			
②3次元モデル活用手法	745.4 m <sup>3</sup>				
事例3					
	<p><b>【概要】</b> 事例1の位置より25 m下流側へ堰堤軸を移動させた点を対象として、透過型砂防堰堤の配置を検討した事例である。狭窄箇所からやや下流側に位置することにより、左右両岸ともに必要な高さを確保することが困難であったため、左右両岸を袖折れ構造とした。堰堤規模は堤高7.5 m、堤長65.5 mである。</p> <table border="1"> <tr> <td>①平均断面法</td> <td>1,102.0 m<sup>3</sup></td> <td rowspan="2">② - ① = -71.2 m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>②3次元モデル活用手法</td> <td>1,030.8 m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	①平均断面法	1,102.0 m <sup>3</sup>	② - ① = -71.2 m <sup>3</sup>	②3次元モデル活用手法
①平均断面法	1,102.0 m <sup>3</sup>	② - ① = -71.2 m <sup>3</sup>			
②3次元モデル活用手法	1,030.8 m <sup>3</sup>				
事例4					
	<p><b>【概要】</b> 事例1～事例3までとは異なる流域を対象として検討した事例である。比較的大きな流域（流域面積0.317 km<sup>2</sup>）の谷出口付近に設置された既設不透過型砂防堰堤について、透過型砂防堰堤への改築設計を行った。堰堤規模は堤高12.5 m、堤長62.0 mである。</p> <table border="1"> <tr> <td>①平均断面法</td> <td>9,506.1 m<sup>3</sup></td> <td rowspan="2">② - ① = -524.9 m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>②3次元モデル活用手法</td> <td>8,981.2 m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	①平均断面法	9,506.1 m <sup>3</sup>	② - ① = -524.9 m <sup>3</sup>	②3次元モデル活用手法
①平均断面法	9,506.1 m <sup>3</sup>	② - ① = -524.9 m <sup>3</sup>			
②3次元モデル活用手法	8,981.2 m <sup>3</sup>				