

コンクリートブロック堰堤モデルの底面応力に関する個別要素法による検討

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○井上隆太、志水宏行、三上幸三
栗原淳一、香月智

1. 緒言

土砂災害の対策工事において、上流の不安定土砂による2次災害対策として、コンクリートブロックによる仮設堰堤が建設されるケースが見られる。その設計は、全ブロックが連結され一体化として振舞うとの仮定をした上で、不透過型コンクリート堰堤の設計手法¹⁾を準用している。しかし、この仮定の妥当性について十分に検討した資料は見当たらない。そこで本検討は、まず安定性照査の第一段階である沈下安定性に用いられる底面応力について、個別要素法を用いて、現行設計モデルとブロック積み堰堤モデルとの比較検討に取り組んだ結果を報告する。

2. 解析要領

2.1 解析手法

個別要素法は、要素間の接触状態を判定し、接触点に要素間のくい込み量に応じた接触力を与えて、要素ごとの運動方程式を解いて、要素の変位を求める手法である。

2.2 解析モデル

(1) 個別ブロック要素モデル

個々のコンクリートブロックの解析モデルは、図-1に示すように上下面を4枚の三角形平面要素で、側面を20個の円柱形要素で、端部を20個の球形要素で構成する、相互の位置関係が変化しない集合体要素としてモデル化した。その上で、後述する堰堤モデルA, B, Cに対応して表-1に示すモデルⅠ, Ⅱ, Ⅲを使用す

表-1 個別ブロック要素の外形と重量

タイプ	幅 ℓ_e (m)	奥行 B_e (m)	高さ h_e (m)	重量 (kN)
Ⅰ	1.2	1.0	0.5	11.6
Ⅱ	1.0	1.0	0.5	9.5
Ⅲ	0.5	1.0	0.5	4.2

る。なお、個々のブロックの質量は、相当形状のコンクリートブロックの質量相当とした。

(2) 堰堤モデル

堰堤モデルは、図-2及び表-2に示すように、上、下流に対して対称台形のタイプA, B, Cの3種類とする。奥行きは一部を切り出した1.0mである。いずれの場合も個別ブロックが半ブロック($1/2 \cdot \ell_e$)ずつずれる千鳥配置である。上下流面の側面平均勾配(S)は、 $S=1:0.5$ 、 $S=1:1.0$ 、 $S=1:1.2$ となっている。なお、これらの堤体形状は現行設計どおり一体と見なせる場合、土石流水深0.8m、流速3.0m/sの設計荷重に対して剛体安定の3条件を満足している。

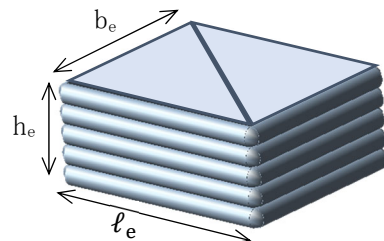


図-1 個別ブロックモデル模式図

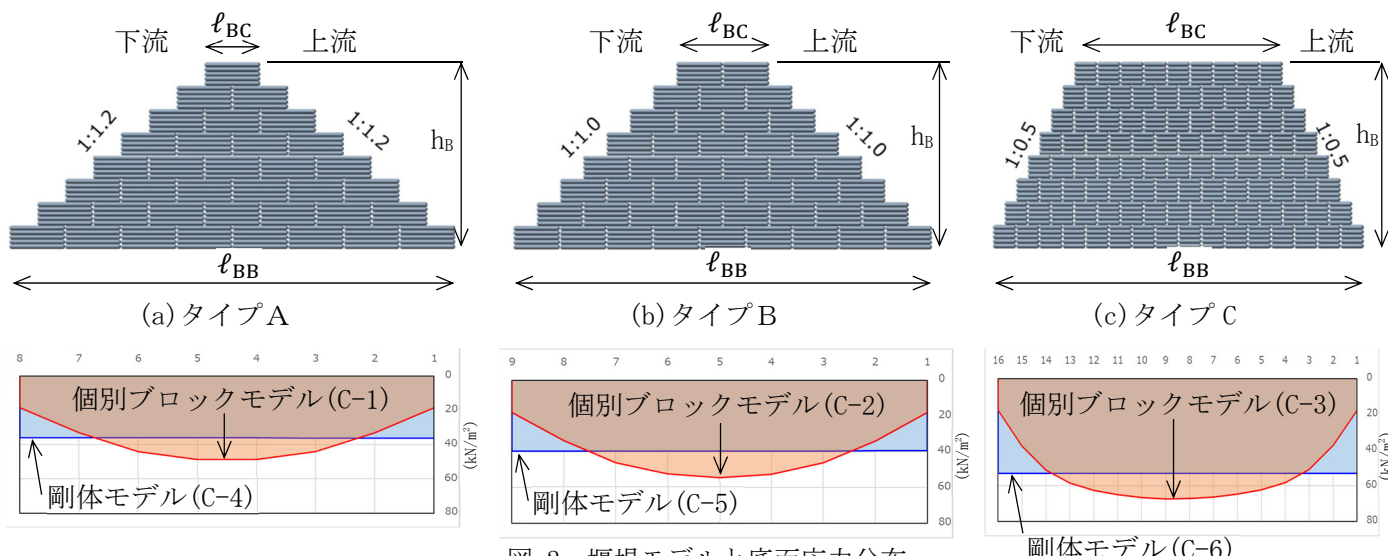


図-2 堰堤モデルと底面応力分布

表-2 堰堤モデルの形状諸元

Type	底面幅 ℓ_{BB} (m)	上面幅 ℓ_{BC} (m)	堤体高 h_B (m)	上・下流 勾配 (S)	ブロック 個数	総重量 (kN)
A	9.6	1.2	4.0	1:1.2	36	11.6
B	9.0	2.0	4.0	1:1.0	44	9.5
C	8.0	4.5	4.0	1:0.5	100	4.2

(3) 接触バネモデル

要素間には、図-3 に示すように鉛直方向、およびせん断方向の接触ばねを設定した。ばね係数は、個別ブロック要素間 (K_{nc} : 法線方向、 K_{sc} : せん断方向)、個別ブロック-底面間 (K_{nb} : 法線方向、 K_{sb} : せん断方向) について表-3 の値を用いた。

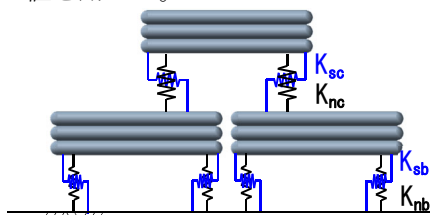


図-3 個別ブロック間および底面との接触バネモデル

表-3 バネモデル設定値

		個別 ブロック間	個別ブロック-底面間	
			軟岩 I	礫層
法線方向ばね係数 K_n		1.00E+07	2.00E+06	1.00E+05
せん断 バネ	ばね係数 K_s	1.50E+05	1.50E+05	1.50E+04
	粘着力 (C)	0.55E+00	0.70E+00	0.60E+00
	摩擦係数 ($\tan \phi$)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

2.3 解析ケース

解析ケースは表-4 に示すように、堰堤モデルが 3 種類、個別ブロックモデルと剛体モデルの 2 種類を組合せて 6 ケースを解析した。なお参考値として底面の剛性を礫層相当とした場合も実施した。

表-4 解析ケース一覧

Case	堰堤形状	壁面勾配	個別・剛体	底面地盤
C-1	タイプ A	S=1:1.2	個別ブロック	軟岩 I、礫層
C-2	タイプ B	S=1:1.0	〃	〃
C-3	タイプ C	S=1:0.5	〃	〃
C-4	タイプ A	S=1:1.2	剛体(一体)	〃
C-5	タイプ B	S=1:1.0	〃 (〃)	〃
C-6	タイプ C	S=1:0.5	〃 (〃)	〃

3. 解析結果と考察

解析ケースごとの解析結果を図-2 および表-5 に示す。

図-2 に各堰堤モデルの底面応力分布を示す。剛体(一体)モデル(青色表示)の場合、現行設計の想定どおりに

一様分布となっている。しかし、個別ブロックモデル(赤色表示)では最下面ブロックの位置によって上載されるブロックの高さが異なるため、最も堤高が高くなる部分の上載荷重が大きくなっている。すなわち、1 段目の中央のブロック下部の底面応力が大きく、逆に上・下流端は小さくなっている。

そこで、剛体モデル(現行設計想定)と個別ブロックモデルの最大応力比を求めると、表-5 に示すように個別ブロックモデルは 1.26~1.38 倍となる。つまり、現行設計の照査法で得られる最大応力は、やや過小推定となっていることになる。ただし、実際の仮設堰堤の施工においては、ブロック設置面に基礎コンクリートを打設することが推奨されており、表-6 に示す²⁾圧縮の許容値(例えばコンクリート)よりも小さく工学的な問題はない。

表-5 解析結果一覧

堰堤 タイプ	最大底面応力 (kN/m ²)		最大応力比 $\sigma_{1max}/\sigma_{2max}$
	個別 σ_{1max}	剛体 σ_{2max}	
A	48.7	36.2	1.35
B	54.6	39.6	1.38
C	67.4	53.3	1.26

表-6 地盤支持力の許容応力(支持力)²⁾

種類	許容応力 (kN/m ²)	種類	許容応力 (kN/m ²)
コンクリート(支圧)	4,500	礫層	400
岩盤(軟岩 I)	1,200	砂質層	250
岩塊玉石	600	粘土層	100

4. 結言

本検討の成果は、以下のようになる。

- (1) コンクリートブロック堰堤は底面の応力分布の一様性もしくは線形性が失われる。このため、現行設計で想定する堰堤を剛体として算出する底面応力の最大値よりも 1.4 倍程度大きな応力となる場合がある。
- (2) 応力に対応して不等沈下を防止するためには基礎コンクリートを打設することの有効性が確認できた。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 土石流・流木対策設計技術指針解説 No. 905, 2016
- 2) 社団法人全国治水砂防協会: 改訂版砂防設計公式集(マニュアル), 1986