

砂防堰堤の安定計算に関する一考察

(一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋丈示、○吉田圭佐、澤田和宏
京都大学大学院 水山高久

1. はじめに

重力式コンクリート砂防堰堤の安定計算に用いるミドルサードの規定は、堤体の上流端に引っ張りが発生しないことと等価である。この安定計算は堰堤を剛体と仮定し、荷重を受けた堤体が剛体回転するものとして堤体基部に発生する地盤反力を算定している。しかし、堰堤は自重や外力により堤体自身がわずかながら歪む。そこで、堰堤を弾性体と仮定しFEMにより地盤反力を求め、安定計算の妥当性について考察した。

2. 安定計算に用いる条件

図1に重力式コンクリート砂防堰堤の安定計算に使用した形状及び荷重図を示す。堤体の形状は、堤高10.0m、天端幅3.0m、下流法勾配1:0.2、これに外力として洪水時を想定し越流水深1.5mとした。この状態で安定計算を行い、地盤反力が三角形分布になるよう堰堤上流法勾配を1:0.4とした。この堤体の形状と外力を使って、FEMにより堤体内部に発生する応力及び地盤反力を求め、安定計算結果と比較した。各物性値および解析内容は下記のとおりである。

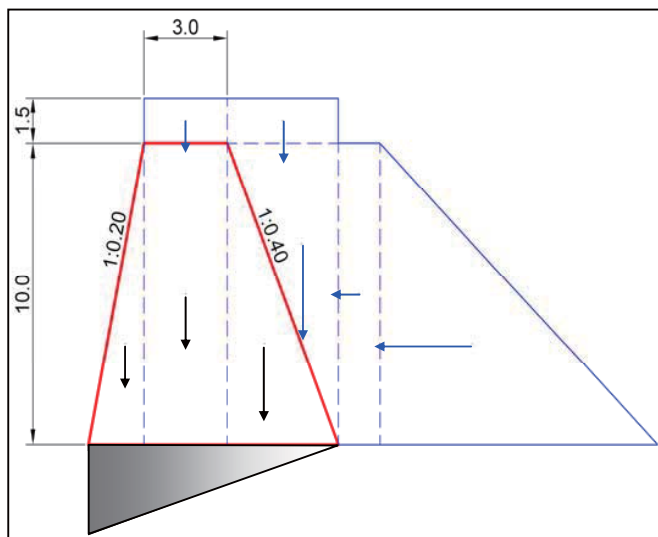


図1 堰堤形状及び荷重図

表1 弾性係数とポアソン比^{1) 2)}

	コンクリート	砂礫	岩盤
弾性係数	20,000N/mm ²	19,200kN/m ²	40,300kN/m ²
ポアソン比	0.20	0.35	0.30

表2 解析内容

	解析内容
Case1	堤体自重のみ
Case2	静水圧のみ(堤体自重なし)
Case3	Case1とCase2の組み合わせ
Case4	Case3+地盤(砂礫)
Case5	Case3+地盤(岩盤)

3. 計算結果及び考察

地盤反力は、自重のみ(図2)、外力のみ(図3)、合力(図4)で表した。なおFEM解析における堤体の支持条件は固定とし、端部から各々0.5mについては除外した。

(1) 自重 (Case1)

図2は自重のみを作用させたときの地盤反力図である。安定計算では堤体を剛体と仮定しているため、堤体の自重は鉛直方向に一樣に作用する分布荷重であり、堰堤の形状は偏心として反映されるため地盤反力は台形分布となる。これに対してFEMの結果では、堰堤の形状は分布荷重の違いとして反映される。つまり、上流端及び下流端に行くにしたがい自重が小さくなり、天端のある中央部が最も大きい鉛直荷重となる。このため、中央部に凸上の反力分布となって現れているものと考えられる。

(2) 外力 (Case2)

図3は外力として静水圧のみ作用させたものである。堤体の物性値は保持したまま自重をゼロとして、外力の影響を見た。安定計算では堤体基部の中央付近を中心に下流側に圧縮、上流側に引張が発生する。FEMの結果も同様に下流側に圧縮、上流側に引張が発生しているが直線ではなく、自重のときと同様に上下流端に近づくにつれ傾斜が急となるS字曲線の反力分布となった。この理由は、静水圧が堤体内部を伝って水平力から鉛直力に転換し基礎部に達する際に、上下流端に近づくにつれ断面が小さくなるため、歪み量が大きくなるものと考えられる。このとき、地盤の固定条件から、下流端は静水圧により水平方向に圧縮され形状が鉛直方向にはらむ。このため、地盤には圧縮側に応力が発生する。これとは逆に上流端は水重と静水圧により形状が鉛直方向に細るため、引張側に応力が発生するものと考えられる。

(3) 合力 (Case3)

図4は、図2と図3を重ねたもので、安定計算である三角形分布に対応するものである。この図から中央部の勾配は三角形より水平に近い程度に緩く上下流端に近づくにつれ急になっておりS字カーブを描く。FEMで端部に応力が集中するなどの性質から、ここでは上下流端部の絶対値については問題としない。ここで言えることは、地盤反力の積分は安定計算の合力とほぼ同じであることから、自重及び静水

圧が地盤反力に反映されていると判断される。ここで安定計算時の合力の作用位置はミドルサードに掛かるような形状としたが、FEMの合力の作用位置はミドルサードの中央より若干下流側である。つまり、安定計算上ではミドルサードで判定したものより、安定性が保持されている可能性がある。このことは、堤体を剛体と仮定した安定計算の前提条件とは異なり、自重や外力が堤体内部を伝搬するとき堤体自体が歪むからである。この結果、堤体の基部は直線ではなく堤体形状や外力の作用の仕方により直線的な沈み込みになっていないものと考えられる。

(4) 地盤による影響 (Case4~5)

CASE 1~3は、堤体の支持条件を固定としたが、実際には地盤は砂礫や岩着であり、堤体の自重や外力に反応して地盤も変形する。そこで、CASE 4及びCASE 5では砂礫地盤及び岩着を想定し、基礎地盤を表1の物性値の弾性体として計算を行った。

この結果、CASE 3と比較してCASE 4及びCASE 5は中央部の地盤反力が小さくなった。ちょうど両端固定の梁を下方から押し上げたような形状となっている。これは、地盤を弾性体としていることによる。つまり、堤体を介して地盤に外力が作用するが、このとき地盤が変形するため堤体自体の発生応力が緩和されるからである。ただし、堤体の上下流端は断面形状が小さいため地盤への作用外力も小さく、地盤の変形量も小さい。このため地盤反力はあまり緩和されずCASE 3とほぼ同じ値に留まったと考えられる。

砂礫と岩着を想定したCASE 4とCASE 5を比較すると、砂礫の方が若干ではあるが上下流端が小さくなった。これは先の考察のとおり砂礫の方が変形量が大きいため緩和されたものと考えられる。

4. おわりに

今回は堤体を弾性体とし、支持条件も固定としている。実際には、砂防堰堤の施工を考慮した地盤への段階的な荷重載荷や、地盤や堤体のクリープによる応力再配分など、実態とはいささか異なるものである。しかしながら、単純化した条件ではあるが、安定計算結果と異なる応力分布であることを示すことで、安定性がどのように保持されているのか、あらためて考えるきっかけになるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 設計用地盤定数の決め方—土質編—：社団法人地盤工学会，平成19年
- 2) 設計用地盤定数の決め方—岩盤編—：社団法人地盤工学会，平成19年
- 3) 水山ら(1989)：砂防ダム of 安定性，砂防学会誌，Vol.41，No.2，P.26-30
- 4) 改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編〔Ⅱ〕

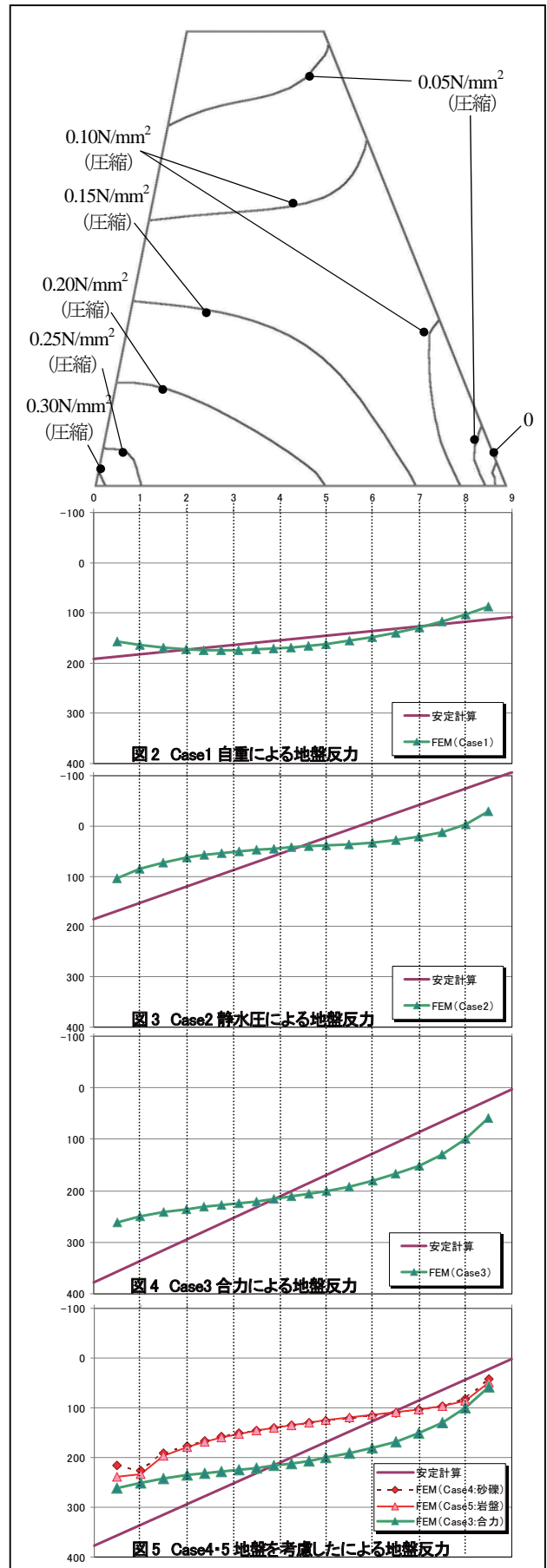


図6 合力による応力分布図と各Caseの地盤反力