

階層型意思決定手法に基づくアースダムの簡易な耐震性能評価手法

(株)東京建設コンサルタント 正会員 ○綿島敬太
九州大学 フェロー 大塚久哲 京都大学 正会員 古川愛子

1. はじめに

土質材料を盛りたてて施工されるアースダムは、老朽化したダムが多く、近年の新潟県中越地震・新潟県中越沖地震では亀裂が生じるなどの被害が報告されている。来る大地震での惨事を避けるためには、限られた時間と予算の中で効率的に耐震補強を進める必要があり、補強の必要性と優先順位を簡易に決定する手法の開発は重要である。本研究では、階層型意思決定手法を援用して、様々な寸法、剛性、強度を有するアースダムの耐震性能評価点数を簡易に決定する方法を提案する。

2. 解析概要

解析モデルを図1に示す。堤体の中央に幅6mの遮水層があり、堤体の上流側にダム高の1/2の高さまでの貯水があるモデルとした。有限要素法に基づく地震応答解析により堤体の応答加速度を求め、応答加速度を入力としたすべり変形解析によりすべり量を算定した。有限要素解析において、底面の境界条件は固定とした。解析に用いた遮水層の地盤定数と、堤体のポアソン比、単位体積重量、減衰定数を表1に示す。堤体の勾配1:2、ダム高20m、N値15、粘着力0 kN/m²、内部摩擦角40°のモデルを基準モデルとし、評価項目（勾配、ダム高、N値、粘着力、内部摩擦角）が様々な異なる全405モデルの解析を行った。地震動は、道路橋示方書V編のレベル2地震動TYPE II-I-1を用いた¹⁾。

3. 階層型意思決定手法によるアースダムの耐震性能評価点数の算出

いくつかの代替案の中から1つを決定するとき、人間は判断の過程で様々な評価項目に基づいて各代替案を吟味し、代替案に優先順位を付け、総合的に最も好ましいものを選択している。階層型意思決定手法は、数量化が困難な主観的価値基準や選択候補の優先度を数値化することで、客観的、合理的に意思決定を行うための手法である²⁾。本研究では、階層型意思決定手法によってすべり量の大きいアースダムの耐震性能評価点数が高くなるように手数付けを行う。以下に、耐震性能評価点数の決定の手順を示す。

- ① 評価項目*i*を設定する。本研究では、堤体の勾配、ダム高、N値、粘着力、内部摩擦角の5つを設定した。
- ② 評価項目*i*毎に評価基準*j*を設定する。本研究では、勾配の評価基準は1:2, 1:2.5, 1:3の3通り、ダム高の評価基準は20, 30, 40, 50, 60mの5通り、N値の評価基準は15, 10, 7の3通り、粘着力の評価基準は0, 2.5, 5, 7.5, 10 kN/m²の5通り、内部摩擦角の評価基準は35, 37.5, 40, 42.5, 45°の5通りとした。
- ③ 各評価項目*i*のウェイト（重要度） $\hat{w}_i$ を算出する。まず、評価項目ごとに仮のウェイト w_i を設定する。本研究では、数値解析で求めたすべり量から仮のウェイト w_i を設定した。次に、評価項目を互いに一対比較し、仮のウェイトの比をとる。各評価項目のウェイト（重要度） $\hat{w}_i$ は、評価項目*i*と*k*の仮のウェイト w_i, w_k の比 $a_{ik} = w_i/w_k$ を用いて幾何平均法の式(1)から求まる。

$$\hat{w}_i = \sqrt[n]{a_{i1}a_{i2} \cdots a_{i5}} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{a_{i1}a_{i2} \cdots a_{i5}} \tag{1}$$

- ④ それぞれの評価項目*i*について、各評価基準*j*のウェイト $\hat{v}_{ij}$ を算出する。③と同様に、すべり量から仮のウェイト v_{ij} を設定し、一対比較によりウェイト $\hat{v}_{ij}$ を決定する。

キーワード アースダム, 耐震性能評価, 階層型意思決定手法

連絡先 〒810-0801 福岡市博多区中洲 5-6-20 明治安田生命福岡ビル (株)東京建設コンサルタント

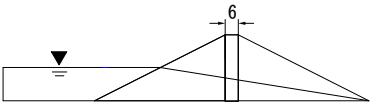


図1 解析モデル

表1 地盤定数

	N値	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	ポア ソン比	単位体積重量 (kN/m ³)	減衰 定数
遮水層	4	37	11	0.45	20.6	0.10
堤体	変動	変動	変動	0.45	22.1	0.05

表2 評価項目（堤体の地盤定数）

項目	a	b	c	d	e
勾配	勾配1:2	勾配1:2.5	勾配1:3		
ダム高	20m	30m	40m	50m	60m
N値	15	10	7		
粘着力(kN/m ²)	0	2.5	5	7.5	10
内部摩擦角(°)	35	37.5	40	42.5	45

⑤ 各アースダムの耐震性能評価点数を、100 点満点として $100 \sum \hat{w}_i \hat{v}_{ij}$ により求める．表 3 各評価項目のウェイト

本研究では、すべり量のばらつきの範囲が大きい評価項目ほど耐震性能を支配する重要な変数であると考え、405 個のアースダムの中から評価項目 i の値のみ異なるものを抽出し、(最大すべり量—最小すべり量) / (すべり量の平均値) を評価項目 i の仮のウェイト w_i と置いた．評価基準の仮のウェイトも同様にして設定した．

評価項目	ウェイト
勾配	0.238
ダム高	0.305
N値	0.027
粘着力	0.192
内部摩擦角	0.239

4. ウェイトおよび閾値の算定

前述の手順により、各評価項目と各評価基準のウェイトを算出した．各評価項目のウェイトを表 3 に示す．各評価項目の重要度を数値として定量的に比較することが可能となった．表 4 に各評価基準のウェイトを評価項目毎に示す．表 3,4 のウェイトより、解析を行った 405 のモデルの耐震性能評価点数を算出した．図 2 にすべり量と評価点数の関係を示す．すべり量の大きいモデルの評価点数が高く見積もられている．

次に、評価点数から耐震補強の必要性を判断するための閾値を設定する．土木研究所資料³⁾に「沈下量が 1m 以下のときに耐震性能が満足される」とあるので、すべり量 1m を基準とすることにした．しかし、図 3 において、すべり量が 1m となるダムの評価点数は 25 点～35 点の範囲でばらついていることから、評価点数を越流、危険、安全の 3 つのゾーンに分類した．越流ゾーンは、全てのダムが 1m 以上すべる評価点数、安全ゾーンは全てのダムのすべり量が 1m 以下の評価点数、危険ゾーンはその間とした．

5. 提案手法の妥当性検証

提案手法の妥当性を確認するため、表 6 に示す実在する農業用アースダムを単純化した 8 通りのモデルに対して、数値解析によりすべり量を、提案手法により評価点数を算出した．照査結果も表 6 に併せて示す．越流ゾーンに分類されたケース 5 は 1m 以上、安全ゾーンに分類されたケースは 1m 未満のすべり量となっており、提案手法により算定された耐震性能評価点数と閾値の妥当性が確認できた．

6. まとめ

本研究では、様々な寸法、剛性、強度を有するアースダムの地震応答解析とすべり変形解析によりすべり量を算定し、階層型意思決定手法に基づいて、すべり量の大きいアースダムの耐震性能評価点数が高くなるように点数付を行う手法を提案した．実在する 8 つのアースダムを単純化したモデルを用いて、提案手法の妥当性を示すことができた．評価項目間の相関を考慮に入れることにより、評価の精度が向上するものと考えられる．

参考文献

1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002． 2) 木下 栄蔵：入門 AHP—決断と合意形成のテクニック，日科技連出版社，2000． 3) 土木研究所資料：大規模地震に対するダム耐震性能照査（案）・同解説，2005．

表 4 評価項目毎の各評価基準のウェイト

勾配	ウェイト	ダム高 (m)	ウェイト	N値	ウェイト
2.0	0.709	20	0.467	15	0.412
2.5	0.195	30	0.257	10	0.327
3.0	0.096	40	0.145	7	0.261
		50	0.098		
		60	0.033		

粘着力 (kN/mm ²)	ウェイト	内部摩擦角 (°)	ウェイト
0	0.328	35	0.423
2.5	0.242	37.5	0.249
5	0.184	40	0.161
7.5	0.139	42.5	0.101
10	0.106	45	0.065

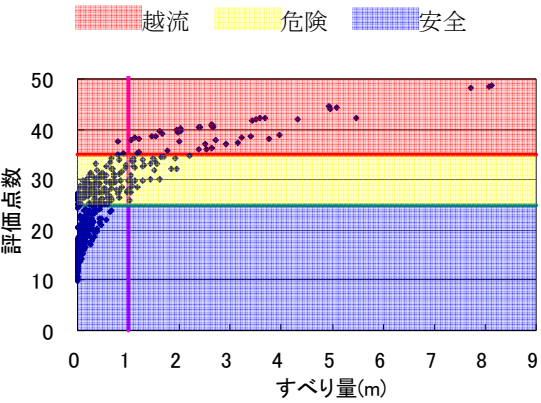


図 2 すべり量と評価点数の関係

表 5 解析諸元および照査結果

ケース	勾配	ダム高 (m)	N値	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/mm ²)	数値解析による照査		提案手法による照査	
						すべり量 (m)	判定	評価点数	判定
1	2.5	21	20	43	0	0.89	1m以下	28.1	危険
2	2.5	37	19	39	0	0.65	1m以下	22.4	安全
3	2.5	32	20	45	0	0.43	1m以下	21.0	安全
4	2.2	32	19	44	0	0.76	1m以下	28.6	危険
5	2.0	16	20	45	0	1.27	1m以上	42.8	越流
6	2.3	22	20	45	0	0.92	1m以下	31.7	危険
7	2.3	22	18.5	42	0	0.80	1m以下	32.7	危険
8	2.5	32	18	40	0	0.86	1m以下	23.2	安全