

屈曲した堤体を有するため池における決壊要因の解析的検討

Estimation of the Failure Factor for an Earth Dam with Winding Embankment by 3D FEM

○松田理恵*・小林範之**

Rie MATSUDA and Noriyuki KOBAYASHI

1. はじめに

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が発生し、三つのため池が決壊した。地震によってため池が決壊した例は過去にもあまり見受けられず、原因解明が必要とされている。三つのうち、福島県本宮市の青田新池は約90度に屈曲した堤体を持つ廻り堰であり、破壊は屈曲部で起きた。そこで、本ため池の形状的な特徴を表現するために有限要素法を用い、その動的挙動を解析して堤体に起こった被害の要因を検討した。

2. 解析手法

ため池堤体及び周辺地盤を3次元有限要素で離散化し、時間領域の積分にはNewmark-β法、材料非線形特性には修正Ramberg-Osgood(修正R-O)モデルを用いた。図1に解析領域と決壊箇所を示す。節点数は7,721、要素数は35,084に分割した。入力地震動は、震央距離および地質状況の類似性を考慮し、2011/3/11に計測されたKiK-net郡山観測点(FKSH09)のG.L.-20mにおける東西・南北・上下の3成分の加速度を用いた。境界条件は、底面を全拘束、他は自由とした。表1に材料特性を示す。基礎地盤部の弾性係数E、せん断弾性係数Gおよびポアソン比νはFKSH09のS波速度Vsから求めた。解析では堤体のみ非線形性を考慮し、基礎地盤は線形とした。また、Newmark-β法のパラメータβは3(戸川, 1975)、最大減衰定数h_{max}は0.2(安田ら, 1985)を使用した。

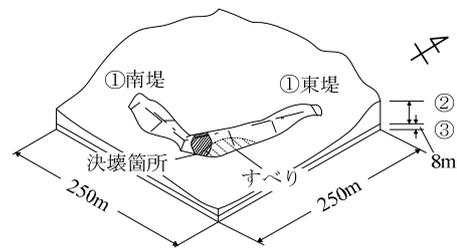


図1 解析モデルと決壊箇所

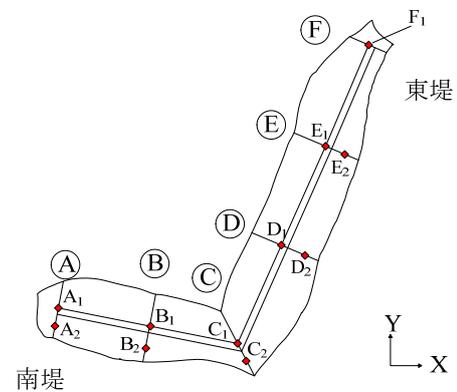


図2 出力節点

3. 解析結果, 考察

3.1 節点の応答加速度

加速度を出力した節点を図2に示す。出力箇所は、南堤から東堤における地点A~Fとした。添え字はそれぞれ、1:天端、2:下流法面の節点

表1 材料特性

	ν	E (kN/m ²)	G (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	Vs (m/s)	c (kN/m ²)	(°)	γ _r	h _{max}	レーリー減衰の定数	
										α	β
①築堤土	0.30	27,000	11,000	19.50	-	4.00	28.00	5.58×10 ³	0.20	2.28×10 ²	5.75
②基礎地盤(上)	0.45	103,163	35,672	18.20	140.00	-	-	-	-	2.28×10 ²	5.75
③基礎地盤(下)	0.48	638,928	216,000	24.00	300.00	-	-	-	-	2.28×10 ²	5.75

γ: 単位体積重量, c: 粘着力, φ: 内部摩擦角, γ_r: 修正R-Oモデルにおける基準ひずみ, h_{max}: 修正R-Oモデルにおける最大減衰定数

*愛媛県 Ehime Prefectural Government **愛媛大学農学部 Faculty of Agriculture, Ehime Univ.

キーワード: ため池, 廻り堰, 動的解析

を表している。表 2 には節点加速度の最大値とその発生時間を示す。これより、屈曲部の節点 C における X, Y 方向の加速度は他の節点よりも大きくなる傾向があり、波が集中しやすいことがわかる。出力箇所 B と D・E を比較すると、B は Y 方向に揺れやすく、D・E は X 方向に揺れやすい。これは東堤と南堤の堤頂長・堤軸の方向が大きく関係しており、二つの堤体における揺れの方向や大きさの違いが屈曲部に負荷をかけたと考えられる。図 3 に入力地震動を基準とした B, C, D における X 方向加速度の伝達関数を示す。どの地点も約 3Hz で応答しており、屈曲部に特有の挙動は示さなかった。なお、Y, Z 方向についても同様の結果を示している。

表 2 節点加速度の最大値

地震波	1:天端上の節点			2:下流法面上の節点		
	X	Y	Z	X	Y	Z
B	418(114.48)	425(121.32)	232(121.22)	418(114.48)	425(121.32)	232(121.22)
C	242(121.44)	368(114.32)	187(121.40)	170(121.42)	314(114.32)	143(114.30)
D	289(121.44)	271(114.02)	177(122.42)	214(121.32)	210(114.28)	173(121.36)
E	297(121.42)	297(114.32)	216(121.40)	243(121.40)	251(114.30)	147(114.06)

単位:cm/s²(s)

図 4 に最大主応力の時系列中における最大値 σ_{1max} の分布を示す。圧縮を負、引張を正とし、ため池堤体部のみを表示している。 σ_{1max} が大きな値になるとクラックが発生し、破壊の原因となることが考えられる。堤体の多くの部分で正の値を示しているが、屈曲部付近では特にその値が大きくなっており、屈曲部が決壊するという実際の挙動と一致する。ただし、 σ_{1max} の大きいところは南堤の方が広範囲であるが、実際に決壊していた場所は東堤の屈曲部付近である。

3.2 最大主応力

図 5 に堤体の局所安全率の分布を示す。屈曲部付近で安全率が 1 を下回っていることがわかり、特に東堤屈曲部付近においては、1 以下の部分が広範囲にわたっている。この部分は実際にすべりが起きた部分であり、実際の挙動と一致している。

3.3 局所安全率

4. おわりに

解析結果より、屈曲部は加速度や応力の面から見ても決壊しやすいということが確認できた。ただし、破壊時の水位はほぼ満水だったため、堤体内の間隙水圧の影響も考慮するべきである。

参考文献：[1]堀ら(2012)：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震による福島県のため池被災の特徴と応急対策，農村工学研究所技法，第 213 号，pp. 175-199. [2]戸川隼人(1975)：有限要素法による振動解析，サイエンス社，pp. 1-177. [3]小林ら(2003)：石灰処理されたコアを有するため池の動的挙動-芸予地震による被害事例からの検討-，農業土木学会論文集，第 225 号，pp. 17-24.

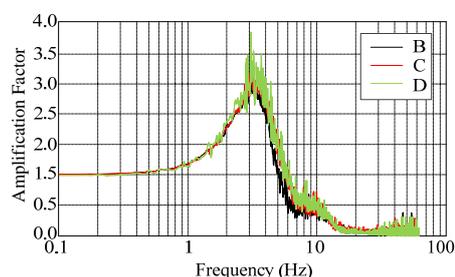


図 3 伝達関数

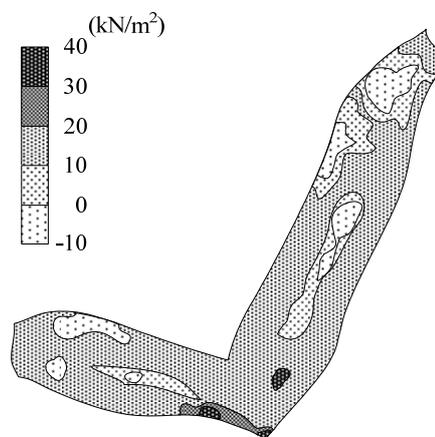


図 4 最大主応力分布

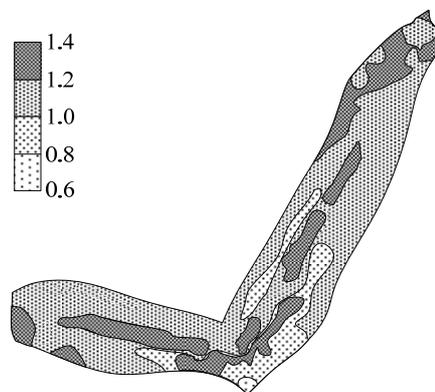


図 5 局所安全率分布