

# 重要度「AA種」のため池堤体における 耐震性能照査手順

高原 祥

近畿農政局和歌山平野農地防災事業所工事第一課 (〒640-0413和歌山県紀の川市貴志川町神戸327番1)

和歌山平野農地防災事業は、地区内の農業用排水路等の整備により排水機能の回復を図る事業であるが、水路改修等が困難な箇所においては、既存ため池に洪水調節機能を付与することによるピーク流出量のカットが計画されている。改修対象のため池は、土地改良事業設計指針「ため池整備」に基づき堤体の耐震性能照査を行う必要があるが、現行指針には詳細な手順や解析手法は明記されていない。そのため、本事業の改修対象である大溜池の設計に際し、ため池堤体の耐震性能照査手順を検討し、等価線形化法による地震応答解析及び液状化判定を行った。その結果、大溜池はL2地震動に対する耐震性能を有しないことが明らかとなった。

キーワード ため池堤体、耐震性能照査、L2地震動、液状化、等価線形化法

## 1. はじめに

和歌山平野地区は、降雨形態の変化や都市化の進展による流出形態の変化に起因して、農業用排水施設の排水機能が低下しており、しばしば農地、農業用施設等の湛水被害が生じている。和歌山平野農地防災事業は、地区内の排水機及び農業用排水路等の整備により排水機能を回復し、農業生産の維持及び農業経営の安定を図るものであるが、周辺状況等から水路改修等が困難な箇所においては、水路機能を補完するものとして、既存ため池に洪水調節機能を付与することによるピーク流出量のカットが計画されている。改修対象のため池については、土地改良事業設計指針「ため池整備」<sup>1)</sup>(以下、「指針」という。)に基づき堤体の耐震性能照査を実施する必要があるが、現行指針においては、ため池堤体の耐震性能照査に関する詳細な手順や解析手法は明記されていない。

以上のことから、本事業で改修を計画している大溜池(和歌山県紀の川市馬宿)の設計に際し、ため池堤体の耐震性能照査手順を検討した。本稿では、耐震性能照査手順の検討過程並びに検討した手順に基づく大溜池の耐震性能照査結果について報告する。

## 2. 大溜池の概要

大溜池の位置図及び諸元を図-1及び表-1に示す。本池は和歌山県紀の川市馬宿地区内に位置し、下流に集落、保育園、JR和歌山線及び国道24号が存在すること、並びに

氾濫解析から算出される周辺施設への影響の大きさ(被害総額約4億円)を考慮し、重要度「AA種」と判断した。



図-1 大溜池位置図

表-1 大溜池諸元

堤高、堤頂長、天端幅	10.8m、139.4m、4.2～5.2m
天端標高	EL 81.30m
満水位	FWL 79.68m
設計洪水水位	HWL 80.08m
総貯水容量	92,000m <sup>3</sup>
設計洪水量	7.2m <sup>3</sup> /s
被害想定額	404,244千円 (住宅浸水27戸、公共施設1戸、線路浸水100m、道路浸水350m等)

3. ため池堤体の耐震性能照査手順の検討

(1) 現行指針における耐震性能照査手順

前述のとおり、大溜池は重要度「AA種」であるため、震度法によるレベル1地震動（以下、「L1地震動」という。）に対する耐震性能照査に加え、レベル2地震動（以下、「L2地震動」という。）に対する耐震性能照査及び液状化の検討を行う必要がある。現行指針においては、図-2、3、4に示すとおり、L1地震動に対する耐震

性能照査、L2地震動に対する液状化の検討、L2地震動に対する耐震性能照査を順に行うという大まかなフローは示されているものの、設計作業における詳細な手順については明記されていない。特に、L2地震動に対する耐震性能照査における具体的な動的解析手法や、液状化が発生すると判断された場合における堤体の耐震性能照査への反映方法は示されておらず、「個々のため池の諸条件を十分考慮した上で適切な方法により実施する」等の記述にとどまっている。

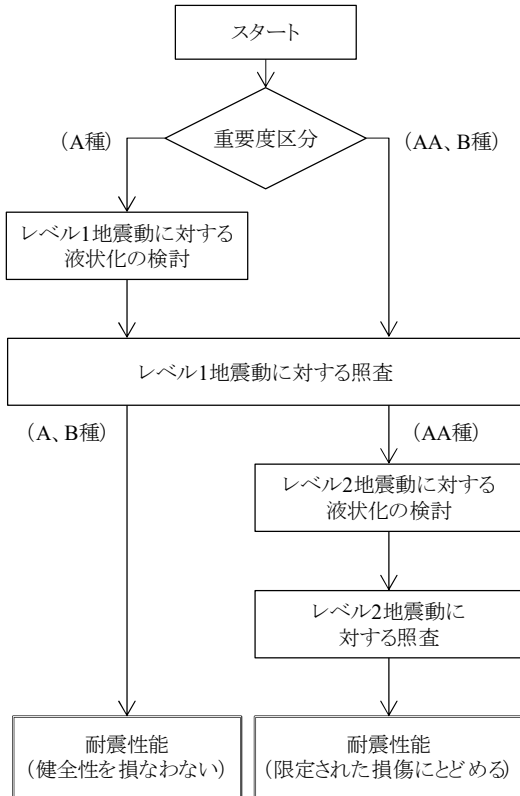


図-2 重要度区分に基づく堤体の耐震性能照査手順  
(出展：土地改良事業設計指針「ため池整備」P8)

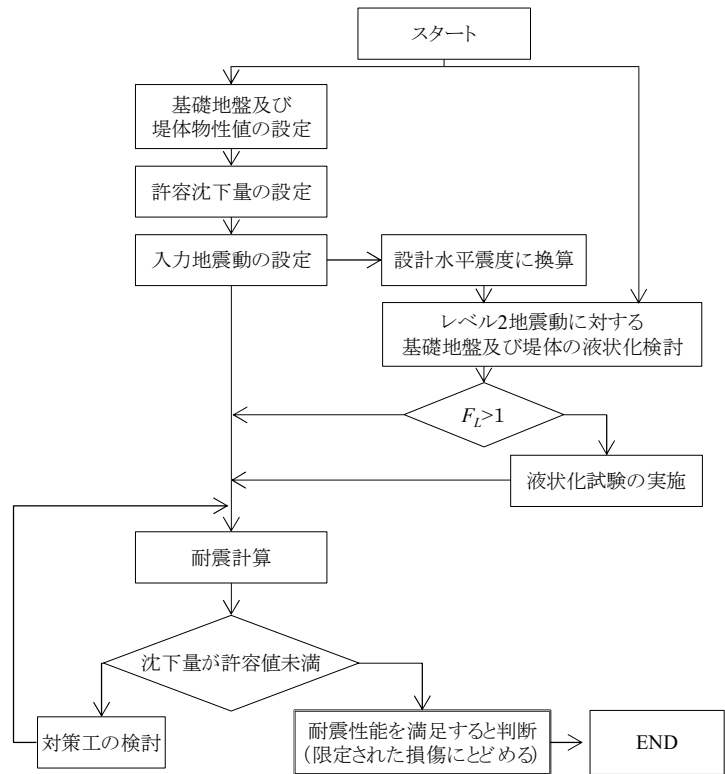


図-3 レベル2地震動に対する耐震性能照査手順  
(出展：土地改良事業設計指針「ため池整備」P123)

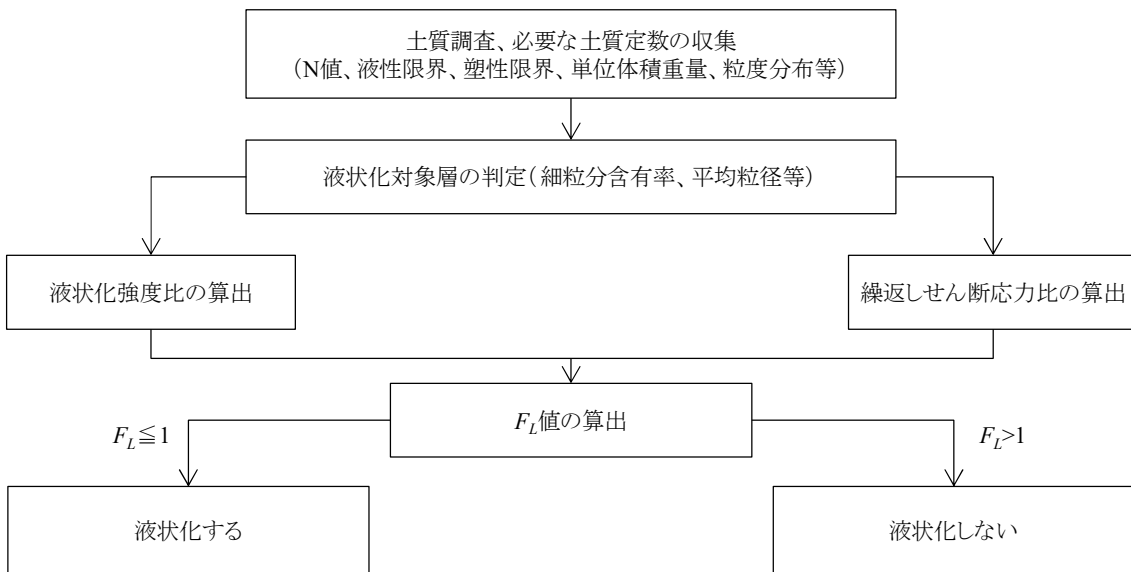


図-4 液状化判定の基本的なフロー  
(出展：土地改良事業設計指針「ため池整備」P134)

(2) ため池堤体の耐震性能照査手順の検討

ため池堤体の耐震性能照査手順の検討結果を図-5に示す。現行指針に基づき、まずはL1地震動に対する耐震性能照査(図-5中①)を行い、L2地震動に対する耐震性能照査を実施する堤体断面を設定する。次に、液状化判定を行う必要がある土層を確認(図-5中②)し、該当する土層が存在する場合には、道路橋示方書・同解説<sup>2)</sup>(以下、「道路橋示方書」という。)に基づく $K_h$ (L2設計水平震度)による液状化判定( $F_L$ 法)(図-5中③)及び液状化試験結果による繰返し三軸強度比を用いた液状化判定( $F_L$ 法)(図-5中④)を行う。次に、動的応答解析によりL2地震動における堤体内のせん断応力を算出(図-5中⑤)し、その結果を用いてより詳細な液状化判定( $F_L$ 法及び $P_L$ 法)(図-5中⑥)を実施する。解析手法

については、現行指針にフィルダムの耐震性能照査に関する検討状況を参考に示されていることから、フィルダムの設計における採用実績も多く、実用上妥当な挙動予測を得ることができると考えられる等価線形化法を採用した。動的解析結果を用いた液状化の詳細判定において、堤体の $F_L > 1$ かつ基盤の $F_L \leq 1$ (堤体は液状化せず基盤で液状化が発生)となる場合は、道路橋示方書における土質定数の低減係数を堤体基盤のせん断強度に適用する(図-5中⑦)。また、堤体の $F_L \leq 1$ (堤体が液状化)となる場合、動的有効応力解析等による沈下量の検討が考えられるが、現時点で同解析によるため池堤体の耐震性能照査として確立された手法はないことから、各事業主体にて実施の要否を判断することとした(図-5中⑧)。

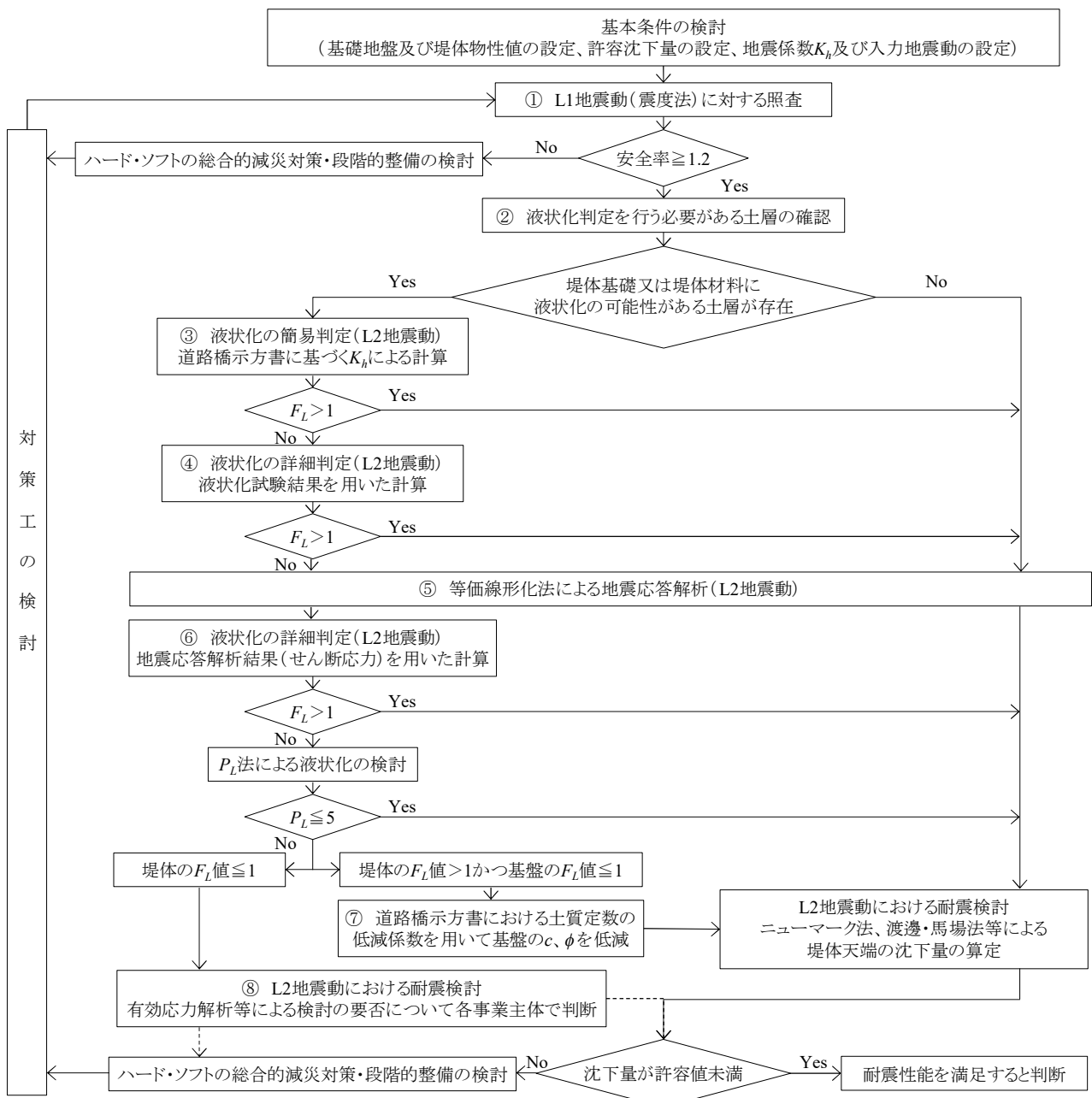


図-5 大溜池設計における耐震性能照査フロー

#### 4. 大溜池のL2地震動に対する耐震性能照査結果

##### (1) 耐震性能照査を行う大溜池堤体断面

大溜池堤体における土質調査結果及びL1地震動に対する耐震性能照査結果から、図-6に示す堤体断面を設定した。段丘堆積層は、表層にN値8~20を示す風下層が分布しており、全体としてN値8~100とばらつきが大きい。また、堤体基礎には、N値0~20程度の沖積層が1.5m程度存在している。堤体盛土は、嵩上げ盛土と旧堤体盛土の2層構造と考えられるが、物性値に大きな変化はなく、N値も1~10程度とほぼ同一であり、締固め試験の結果、嵩上げ盛土及び旧堤体盛土ともにD値は平均で90%程度であった。

##### (2) 道路橋示方書及び液状化試験結果に基づく液状化判定

内陸活断層型地震に対する液状化判定結果を表-2に示す。現行指針及び道路橋示方書に示される土層、粒径、及び塑性指数等の条件に基づき、現況堤体材料について液状化判定の要否を判断した結果、堤体盛土及び堤体基礎のいずれもが液状化判定の対象となったため、まずは道路橋示方書に基づく $K_{li}$ による液状化判定( $F_L$ 法)を実施した。その結果、液状化対象層の大部分が $F_L \leq 1$ となり、液状化の発生が懸念されることがわかった。次に、液状化試験結果による繰返し三軸強度比を用いた液状化判定( $F_L$ 法)を行ったところ、道路橋示方書に基づく判定結果と同様、液状化対象層の大部分が $F_L \leq 1$ となった。

##### (3) 等価線形化法による地震応答解析結果を用いた液状化判定

等価線形化法における解析パラメータ及び入力地震動を表-3及び図-7に示す。入力地震動は、調査対象地点に

おける東南海・南海地震または近畿圏内内陸直下型地震の内、対象施設への影響が最大となる地震動を設定した。なお、地震動は短周期地震波形(内陸活断層型地震)と長周期地震波形(プレート境界型地震)を選定しているが、本稿では、最大加速度が大きい内陸活断層型地震における検討結果について説明する。

等価線形化法による地震応答解析結果(せん断応力)を用いた液状化の詳細判定結果について、最小 $F_L$ 値の分布図を図-8に示す。また、代表要素における $F_L$ 値の時刻歴図を図-9に示す。図-8, 9に示すとおり、各要素は5~10秒間程度継続して $F_L \leq 1$ となっており、大溜池堤体について、L2地震動に対し継続的に液状化が発生することにより、堤体の強度低下が起こる可能性が高いことが明らかとなった。

図-5のフローに基づくと、次に動的有効応力解析等による追加検討の要否を判断する必要があるが、前述のとおり、同解析によるため池堤体の耐震性能照査として確立された手法はないことから、大溜池の耐震性能照査には採用しないこととした。一方、液状化発生時の堤体の強度低下による影響を確認するため、低減方法に検討の余地はあるものの、液状化範囲のせん断強度に低減係数2/3(道路橋示方書に示される液状化に伴う強度低減係数算出方法を参考に設定)を適用し、参考値としてニューマーク法により堤体の沈下量を算出した。その結果、L2地震動に対し、許容沈下量0.75 mを大きく上回る7.4 mの沈下量が算出された。

以上の結果及び現況堤体の評価(水位条件等)を踏まえ、大溜池について、現況堤体を残した改修方法では、L2地震動に対する耐震性能を満足することは困難と判断し、改修工法として、ため池堤体の全面改修を選定した。

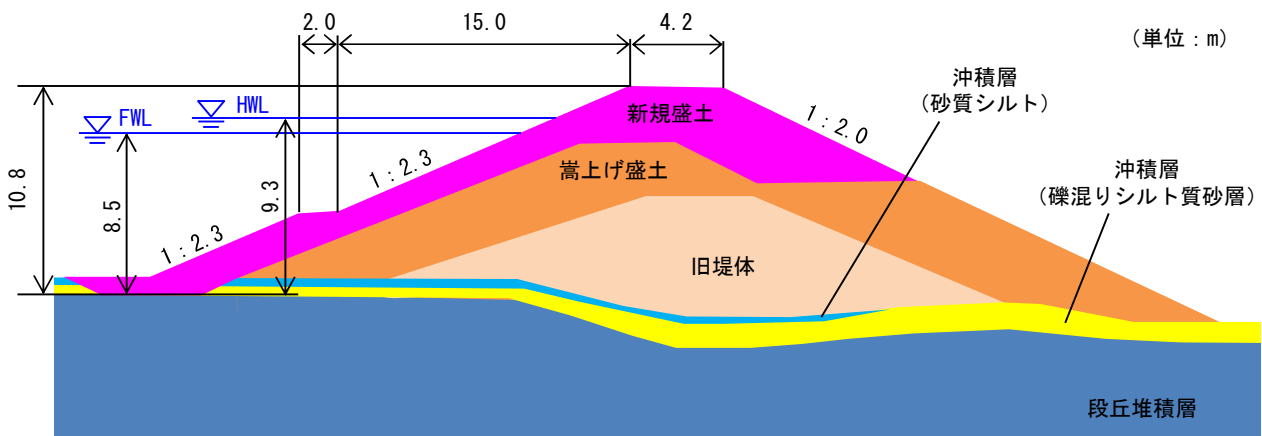


図-6 L2地震動に対する耐震性能照査を行う大溜池堤体断面の模式図

表-2 道路橋示方書及び液状化試験結果を用いた液状化判定結果 (内陸活断層型地震)

ボーリング実施年度	対象	詳細区分	深度 (m)	道路橋示方書に基づく判定			液状化試験結果を用いた判定		
				動的せん断強度比 $R$	地震時のせん断応力比 $L$	液状化に対する抵抗率 $F_L$	動的せん断強度比 $R$	地震時のせん断応力比 $L$	液状化に対する抵抗率 $F_L$
H18 (地盤高 81.85m)	堤体	嵩上げ盛土	5-6	0.441	0.637	0.69	0.246	0.637	0.39
			6-7	0.389	0.675	0.58	0.246	0.675	0.37
			7-8	0.318	0.704	0.45	0.246	0.704	0.35
			8-9	1.305	0.727	1.80	0.246	0.727	0.34
H20 (地盤高 73.38m)	基礎	沖積層	2-3	0.200	0.669	0.30	0.200	0.669	0.30
			3-4	0.335	0.753	0.45	0.335	0.753	0.45
H25 (地盤高 81.96m)	堤体	嵩上げ盛土	6-7	0.259	0.675	0.38	0.246	0.675	0.37
			7-8	0.253	0.704	0.36	0.246	0.704	0.35
			8-9	0.225	0.727	0.31	0.246	0.727	0.34
			9-10	0.291	0.743	0.39	0.246	0.743	0.33
H30 (地盤高 81.21m)	堤体	旧堤体盛土	6-7	0.165	0.675	0.24	0.246	0.675	0.37
			7-8	0.217	0.704	0.31	0.246	0.704	0.35
			8-9	0.337	0.725	0.47	0.246	0.725	0.34
			9-10	0.338	0.742	0.46	0.246	0.742	0.33
			10-11	0.236	0.753	0.31	0.246	0.753	0.33
			11-12	0.256	0.761	0.34	0.246	0.761	0.32
	基礎	沖積層	12-13	0.319	0.766	0.42	0.319	0.766	0.42

表-3 等価線形化法における解析パラメータ

ゾーン区分		線形パラメータ					非線形パラメータ (双曲線モデル)	
		湿潤重量 (kN/m <sup>3</sup> )	飽和重量 (kN/m <sup>3</sup> )	動ポアソン比	初期せん断剛性 (MN/m <sup>2</sup> )	減衰定数	$\gamma_c$ (%)	$h_{max}$ (%)
堤体	新規盛土	18.0	18.4	0.44~0.45	87~125	非線形パラメータ参照	0.035	17.76
	嵩上げ盛土	19.9	20.4	0.43~0.44	75~133			
	旧堤体	20.5	20.8	0.42~0.44	86~173			
基礎	沖積層 (砂質シルト)	19.6		0.42~0.45	34~274	0.0504	18.00	
	沖積層 (礫混りシルト質砂層)	20.3		0.42~0.44	49~335			
	段丘堆積物	20.0		0.35	410			0.05

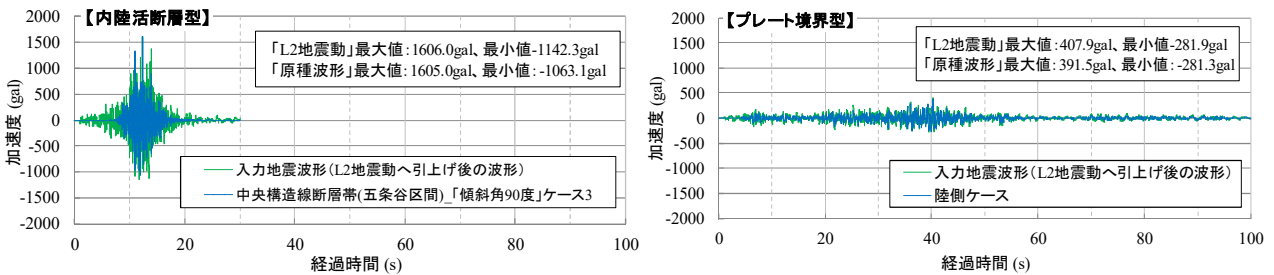


図-7 等価線形化法における入力地震動

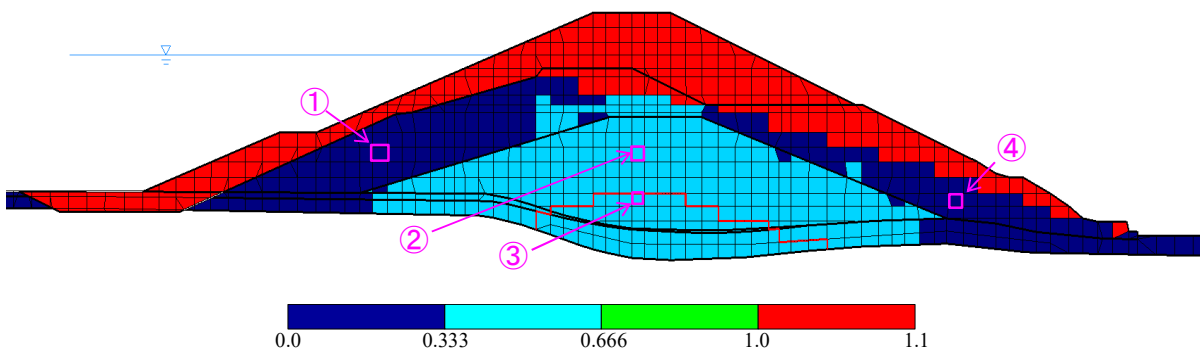


図-8 最小  $F_L$  値の分布図

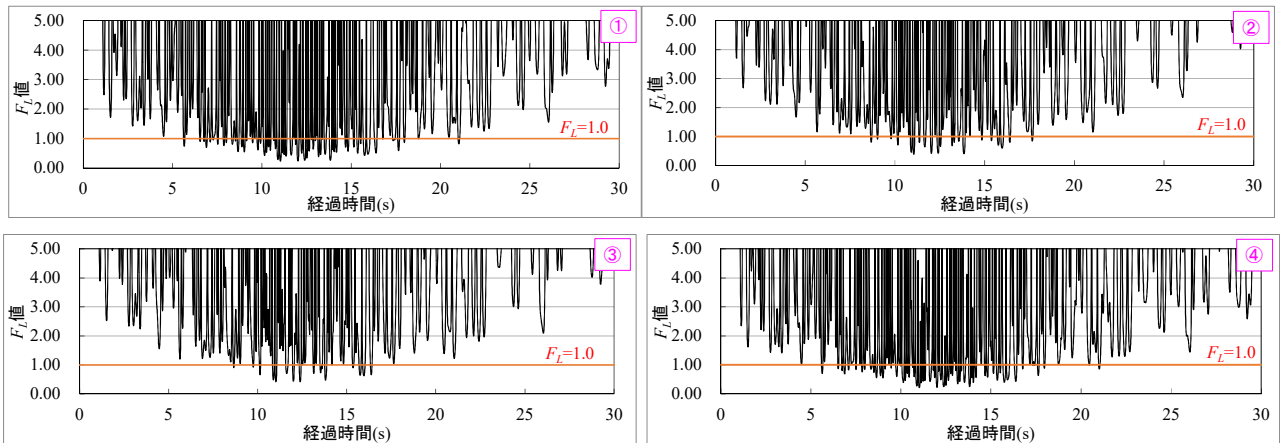


図-9 代表要素における $F_L$ 値の時刻歴図（各要素位置は図-8を参照）

## 5. まとめ

本事業で改修を計画している大溜池の設計に際し、ため池堤体の耐震性能照査手順を検討し、検討した手順に基づき耐震性能照査を実施した。現行指針で明記されていないL2地震動に対する解析手法としては、フィルダムの設計で採用実績が多い等価線形化法による地震応答解析及びその結果を用いた液状化の詳細判定を採用した。道路橋示方書及び液状化試験結果を用いた液状化判定では、所定の加速度発生時におけるボーリング孔位置の瞬間的な $F_L$ 値の算出しかできないことに対し、前述の地震応答解析結果を用いた液状化判定を行うことにより、各

堤体要素における $F_L$ 値の経時変化を確認することが可能となり、地震時における堤体内の液状化発生状況をより詳細に検討することができた。耐震性能照査の結果、大溜池の堤体は、L2地震動に対し堤体の大部分で液状化が発生する可能性が高く、耐震性能を有しないことが判明した。そのため、現況堤体を残した改修方法ではL2地震動に対する耐震性能を満足することは困難と判断し、ため池堤体の全面改修を行うこととした。

### 参考文献

- 1) 公益社団法人農業農村工学会：土地改良事業設計指針「ため池整備」2015
- 2) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編,2017