

6/5(金)

南海トラフ巨大地震を想定した 地層構成の異なるため池の耐震性検討

名古屋大学

海洋開発研究機構

防災科学技術研究所

香川大学

○野瀬康平

今井健太郎

高橋成実

久保栞

中井健太郎

肥前大樹

水井良暢

三好正明

金田義行

目次

- 研究の背景と目的
- 円弧すべり解析
- 弾塑性水-土連成有限変形解析 (GEOASIA) による地震応答解析
- まとめ

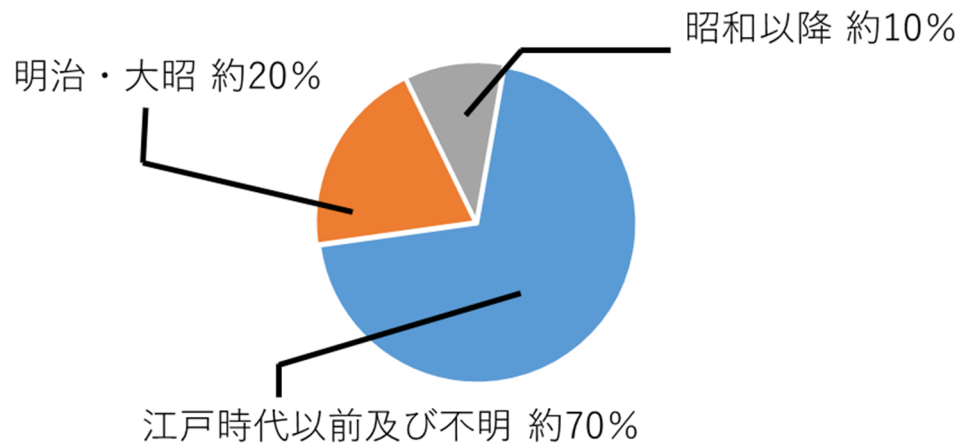
目次

- 研究の背景と目的
- 円弧すべり解析
- 弾塑性水-土連成有限変形解析 (GEOASIA) による地震応答解析
- まとめ

ため池とは

降水量が少なく、流域の大きな河川に恵まれない地域などで、農業用水を確保するために水を貯え取水ができるよう、人工的に造成された池のこと

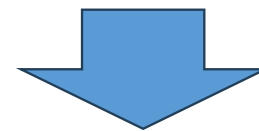
受益面積2ha以上のため池約6.1万か所の築造年代



出典：農林水産省HP

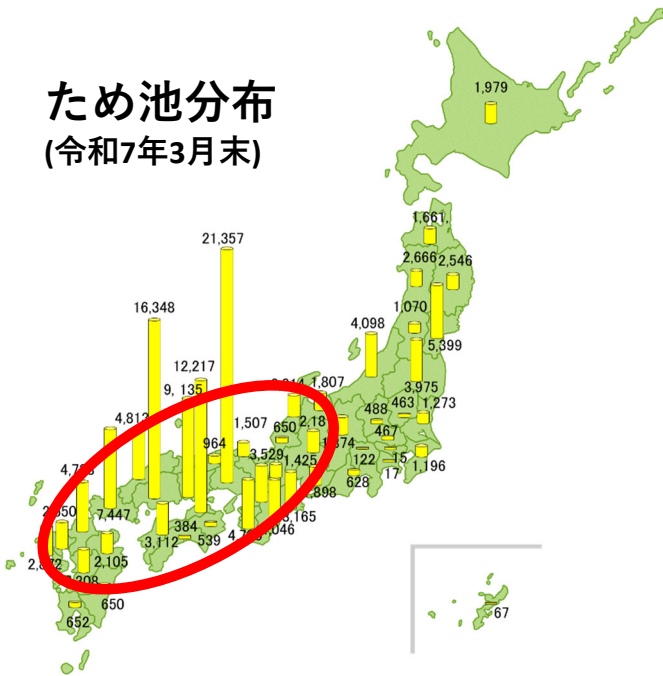
築造年代が古いものが大多数

約70%が江戸時代以前に築造もしくは築造年代が不明



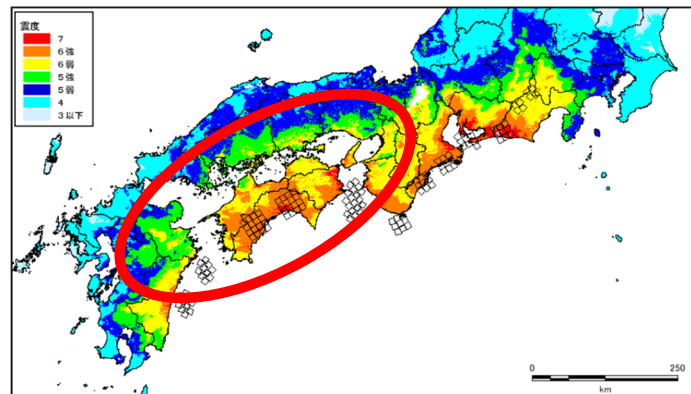
経験的な技術に基づいて築造されており
耐震性が十分でない可能性が高い

ため池分布
(令和7年3月末)



出典：農林水産省HP

南海トラフ地震(陸側ケース)
想定震度分布



出典：内閣府HP

南海トラフ巨大地震で大きな震度が予想される地域に多く分布

南海トラフ巨大地震の特徴

- ・長時間継続
- ・長周期成分を多く含む

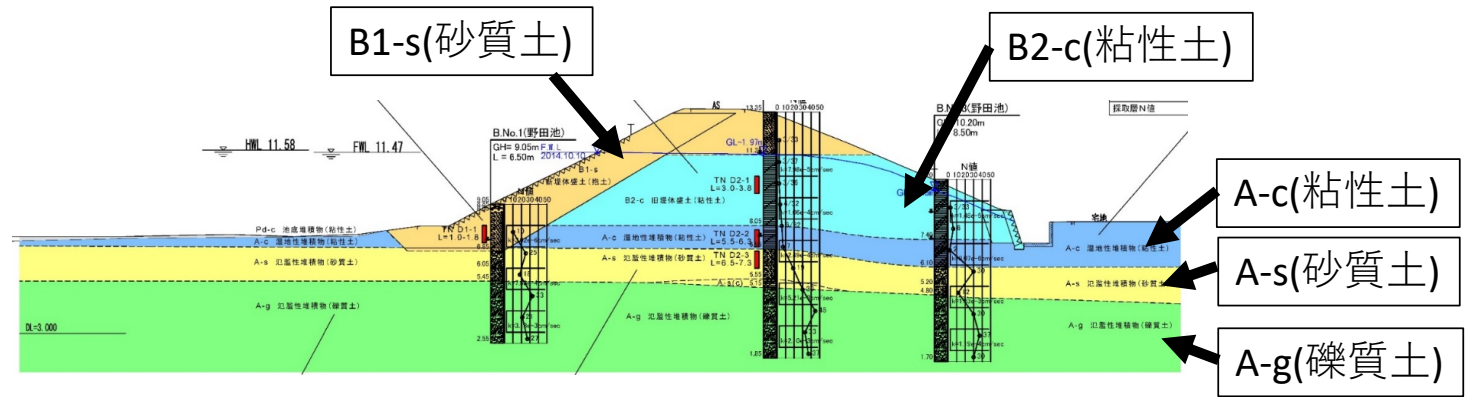
⇒従来手法では想定されていない被害が生じる可能性がある



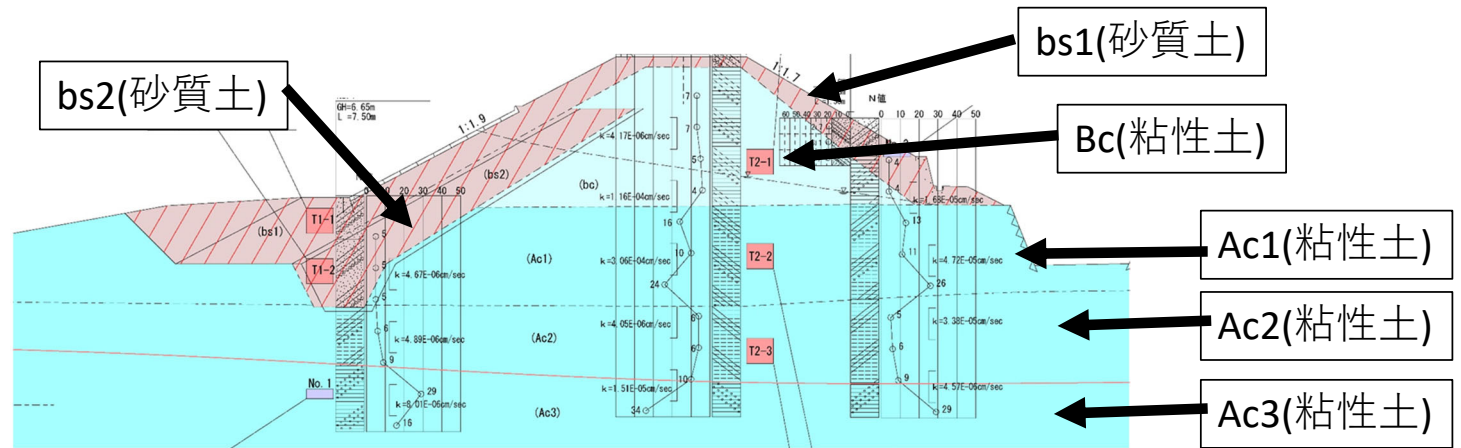
実在するため池に対して

- ・円弧すべり解析
- ・水-土連成有限変形解析(GEOASIA)

N池(粘土・砂・礫互層)



O池(粘土層卓越)

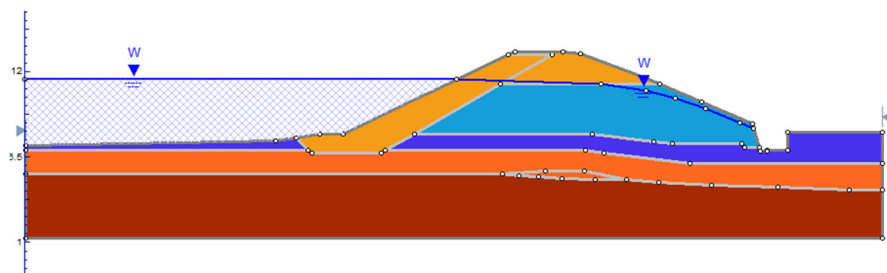


目次

- 研究の背景と目的
- 円弧すべり解析
- 弾塑性水-土連成有限変形解析 (GEOASIA) による地震応答解析
- まとめ

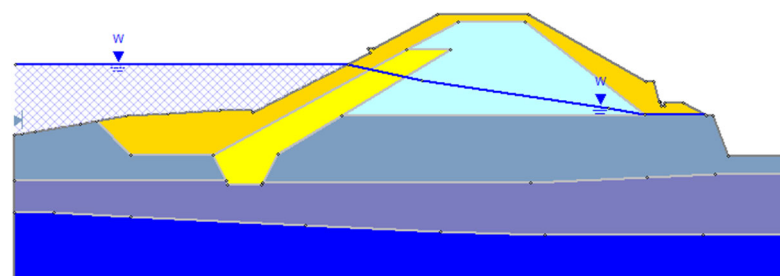
ボーリングデータをもとに作成された代表断面図に基づいてモデルを作成し計算した
 フェレニウス法を用いて**最小の安全率**を算出($k_h=0.0, 0.15, 0.30, 0.50$ の4パターンで計算)

N池(粘土・砂・礫互層)



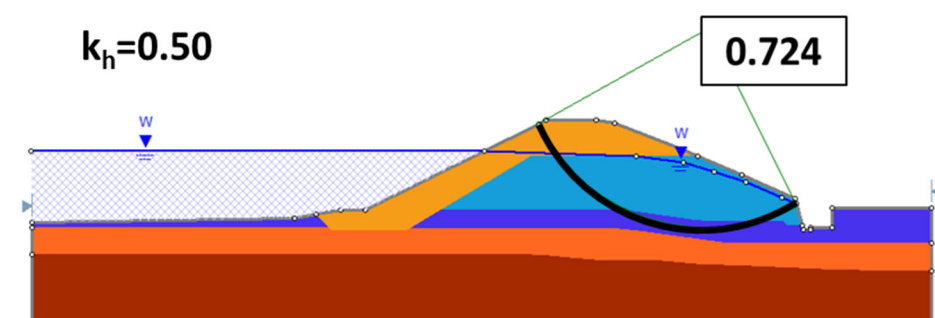
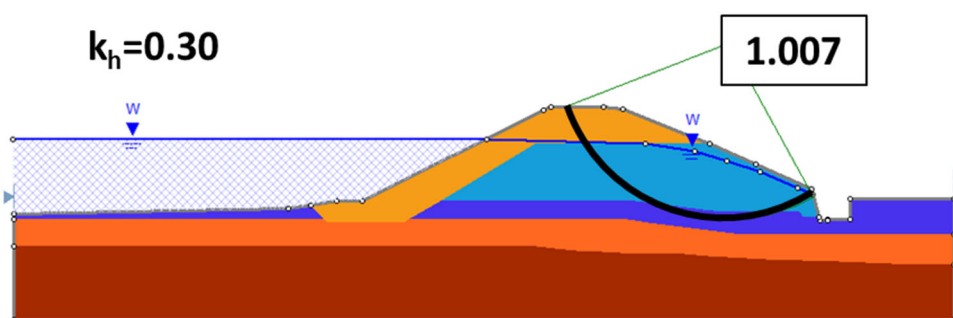
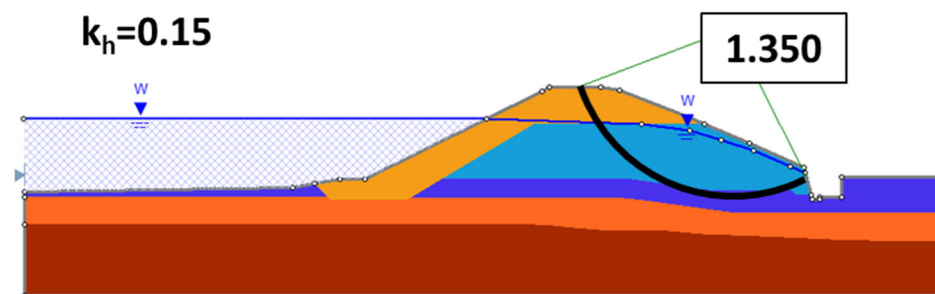
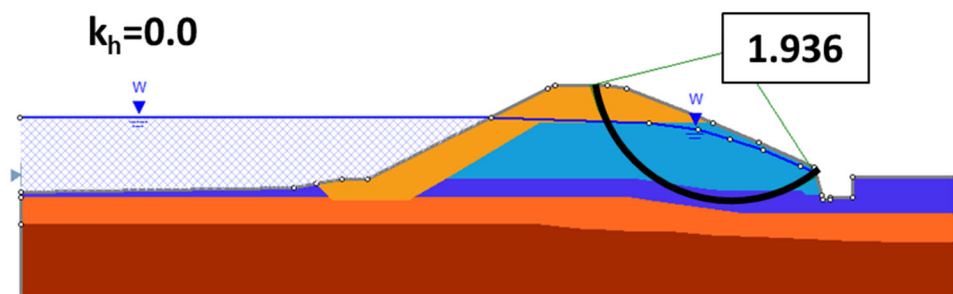
材料定数	B1-s	B2-c	Ac	As	Ag
c' (kN/m ³)	9.5	12.7	9.4	11.7	29.8
ϕ' (°)	32.0	29.2	30.4	34.7	37.4
単位体積重量(kN/m ³)	20.9	19.6	18.3	21.9	19.1

O池(粘土層卓越)

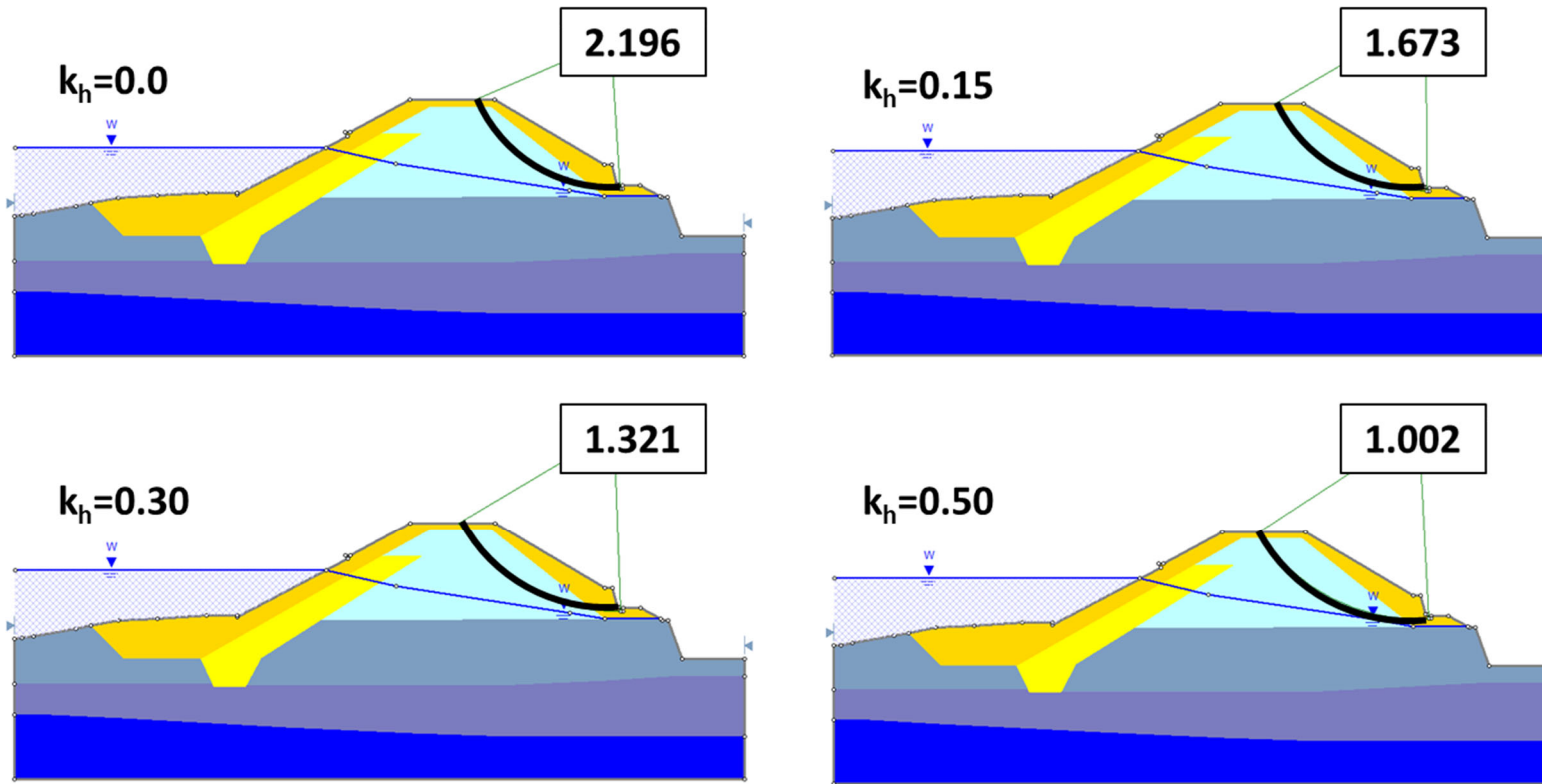


材料定数	bs1	bs2	bc	Ac1	Ac2	Ac3
c' (kN/m ³)	11.1	10.1	11.4	23.2	15.3	25.0
ϕ' (°)	32.7	30.3	31.2	24.1	30.1	31.0
単位体積重量(kN/m ³)	20.3	20.2	19.8	19.1	19.3	20.3

※ボーリングデータおよび力学試験結果から c' , ϕ' を決定した

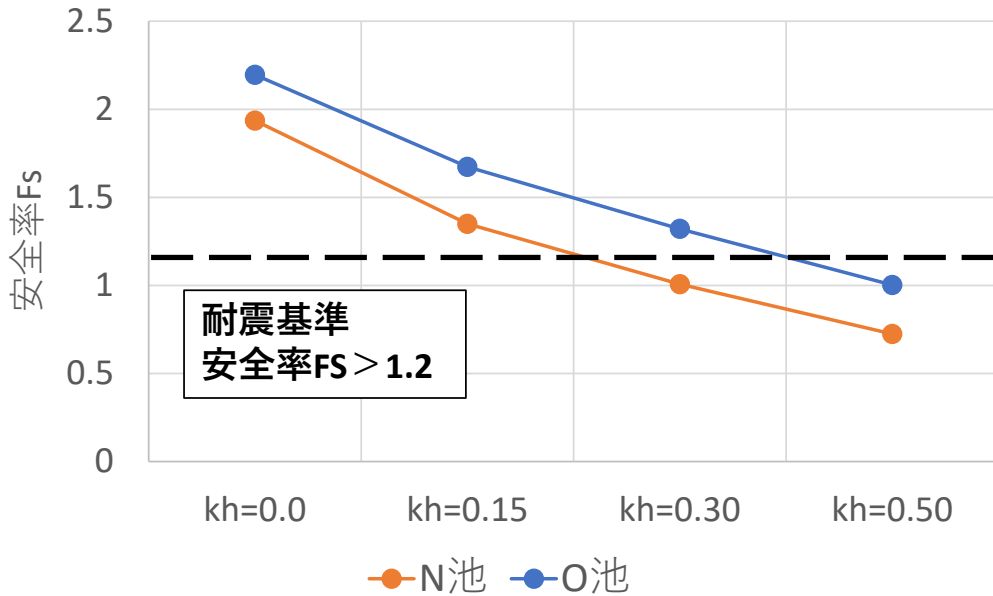


- ▷すべり面は天端から法尻にかけての小さい円弧となっている ⇒ 堤体で破壊が発生する
- ▷安全率について、 $k_h=0.30$ でほぼ1.0、 $k_h=0.50$ では1.0を下回る ⇒ きわめて危険な状態にある



- ▷すべり面は天端から法尻にかけての小さい円弧となっている ⇒ 堤体で破壊が発生する
- ▷安全率について、 $k_h=0.30$ までは安全率1.2以上、 $k_h=0.50$ では1.0を下回らないものの耐震基準1.2を下回る
⇒ ただちにすべりを生じないものの、大規模地震に対してはより詳細な解析を要する

各水平震度における最小の安全率



結果のまとめ

- ▷ L1地震動相当 ($k_h=0.15$) ⇒ どちらも安定
- ▷ より大きい地震動 ⇒ 耐震基準を下回る

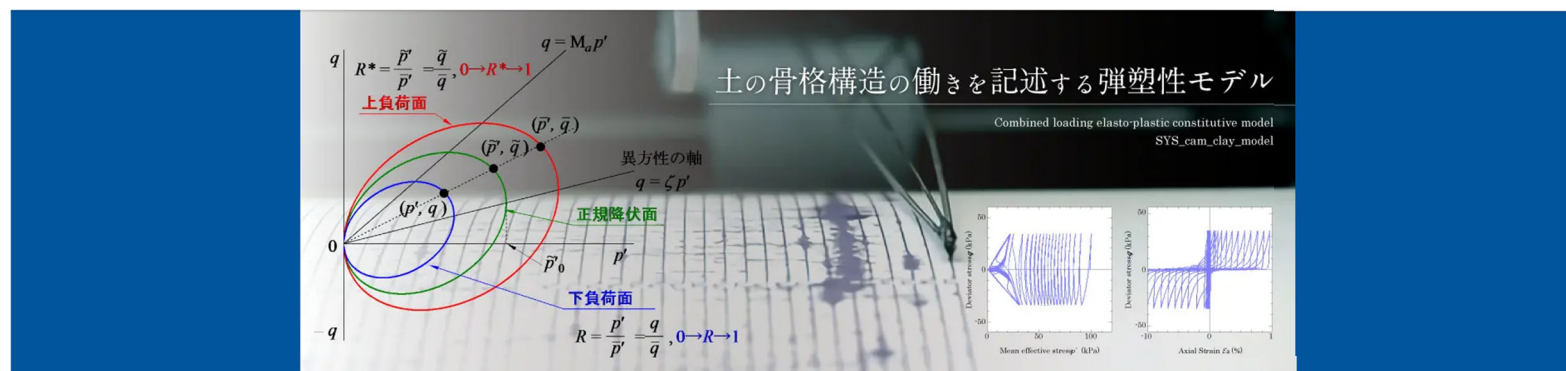
⇒ 地震被害が生じ得ることはわかるが、**安定/不安定**の判定だけで、**大規模地震発生時の地盤の変状(変形量)**はわからない

ため池の地震時の被害・耐震性を評価するためには**地震時の地盤の挙動を正確に把握**する必要がある

弾塑性水-土連成有限変形解析(GEOASIA)

- ☑砂・粘土などの種類によらず地盤材料の力学特性を考慮できる
- ☑地震時の時刻歴に沿った地盤の変形を解くことができる
- ☑長周期・長時間継続といった地震動の特性を考慮できる

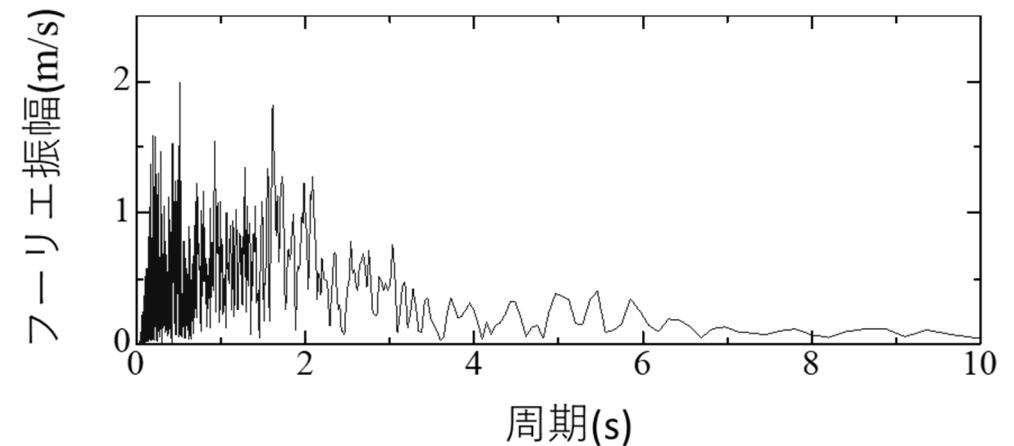
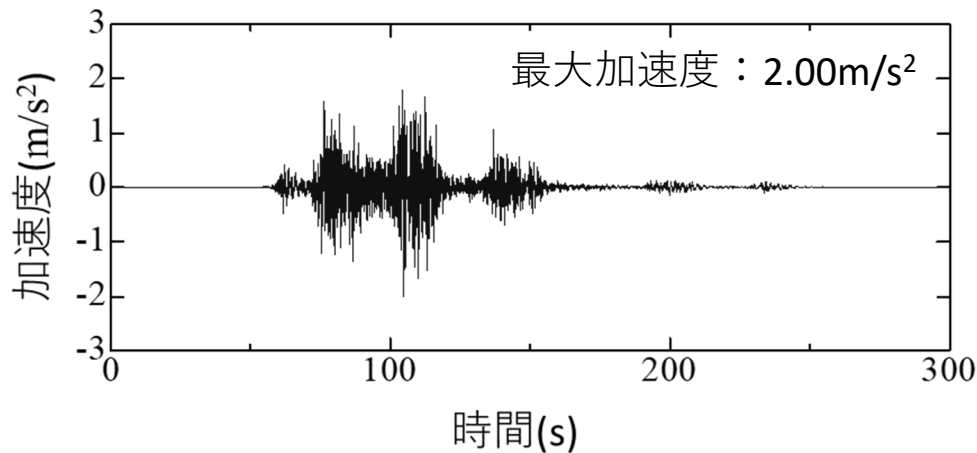
GEOASIAを用いた地震応答解析に大規模地震発生時の地盤の詳細な挙動を把握し,耐震性能を検討



目次

- 研究の背景と目的
- 円弧すべり解析
- 弾塑性水-土連成有限変形解析 (GEOASIA) による地震応答解析
- まとめ

「南海トラフの巨大地震モデル検討会」,2012,内閣府(NS成分)



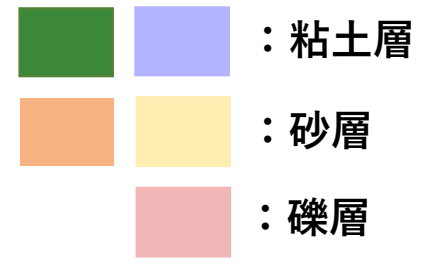
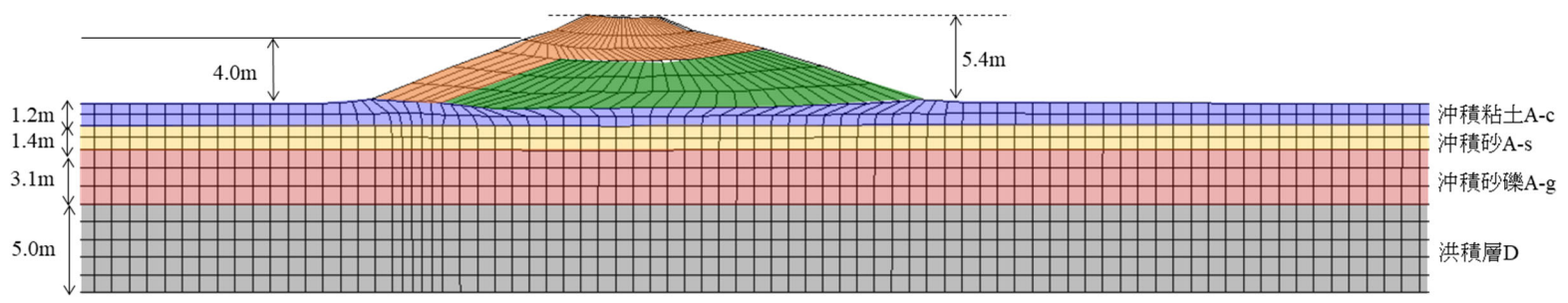
※翠川の補正式を用いて加速度振幅の調整を行った

地震動の特徴

- ▷ 検討対象のため池周辺で発生を危惧される **想定南海トラフ地震動**
- ▷ **継続時間が100秒以上と長く、1秒以上のやや長周期成分も多く含む**

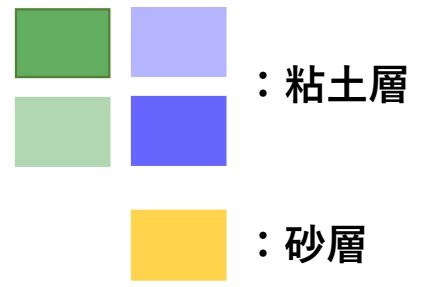
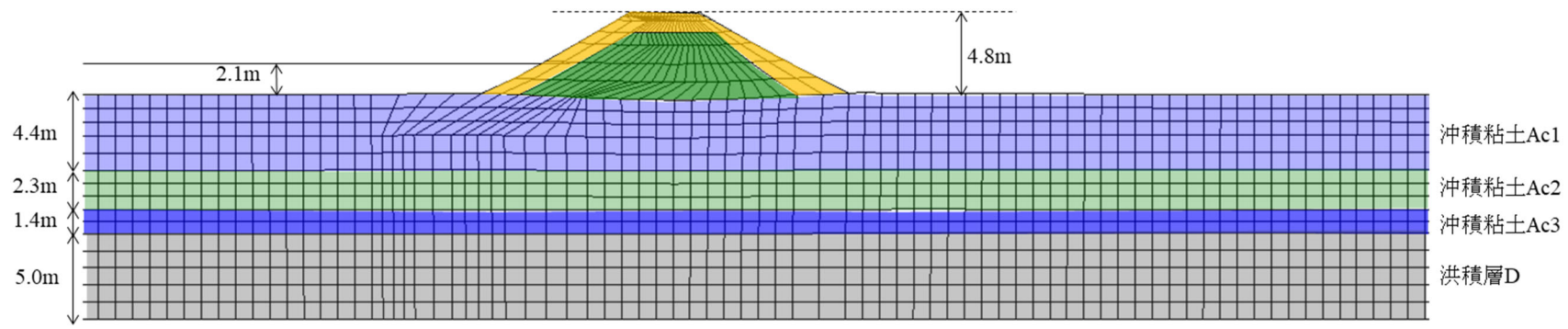
N池(粘土・砂・礫互層)

※側面：周期境界 底面：粘性境界 ※堤体内は飽和状態



盛土周辺拡大図

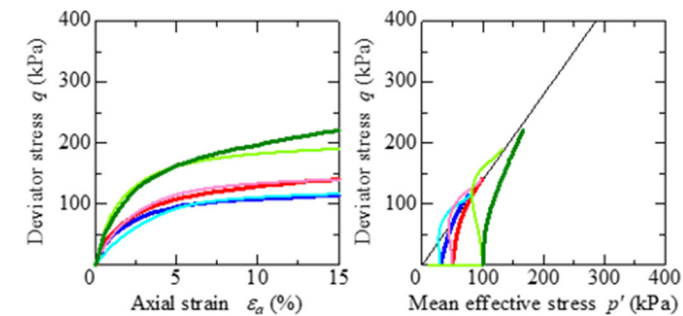
O池(粘土層卓越)



盛土周辺拡大図

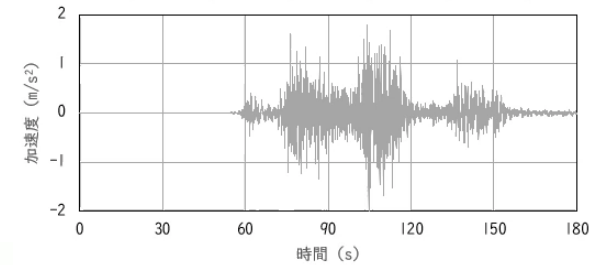
		B1-s	B2-s	A-c	A-s	A-g	D
物性	透水係数 k (cm/s)	3.93×10^{-6}	6.69×10^{-5}	9.07×10^{-6}	2.50×10^{-3}	1.80×10^{-3}	1.00×10^{-7}
	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.658	2.601	2.568	2.677	2.673	2.701
弾塑性 パラメータ	圧縮指数 λ	0.050	0.040	0.100	0.020	0.040	0.061
	膨潤指数 κ	0.020	0.015	0.035	0.010	0.0046	0.0061
	限界状態定数 M	1.400	1.350	1.400	1.400	1.148	1.148
	NCLの切片 N	1.470	1.640	1.720	1.450	1.653	1.723
	ポアソン比	0.280	0.380	0.218	0.400	0.200	0.200
発展則	正規圧密土化指数 m	0.250	0.850	0.750	0.050	0.181	0.507
	構造劣化指数 a	4.000	0.200	0.300	20.000	6.213	6.213
	構造劣化指数 b	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	構造劣化指数 c	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	塑性せん断 c_s	0.950	0.100	0.100	1.000	0.986	0.986
	回転硬化指数 br	2.500	0.300	0.070	3.100	4.897	4.897
	回転硬化限界定数 mb	0.900	1.000	1.000	0.800	0.507	0.507
初期状態	過圧密比 $1/R$	24.081	2.766	2.741	15.623	54.730	773.70
	構造 $1/R^*$	2.900	1.474	3.494	1.030	2.192	1.200

非排水三軸試験結果を再現して
パラメータを決定
A-g層は番(2022)の方法で推定



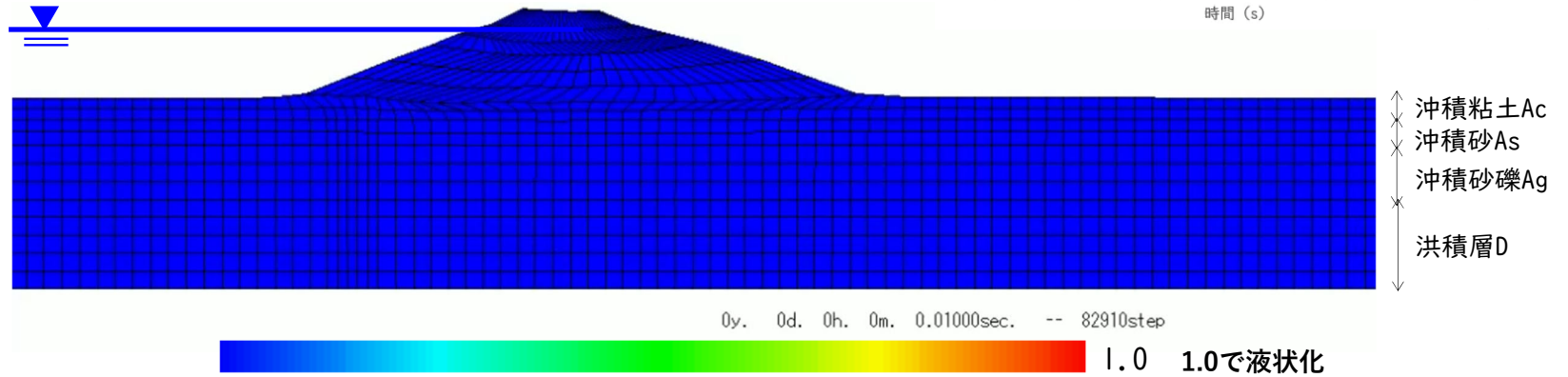
A-c層の例

		bs1	bs2	bc	Ac1	Ac2	Ac3	D
物性	透水係数 k (cm/s)	2.06×10^{-5}	4.67×10^{-6}	4.17×10^{-6}	1.77×10^{-4}	1.43×10^{-5}	8.01×10^{-6}	1.00×10^{-7}
	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.685	2.700	2.604	2.599	2.601	2.644	2.701
弾塑性 パラメータ	圧縮指数 λ	0.030	0.030	0.040	0.020	0.050	0.060	0.061
	膨潤指数 κ	0.010	0.0020	0.002	0.004	0.020	0.006	0.0061
	限界状態定数 M	1.600	1.300	1.550	1.300	1.495	1.378	1.148
	NCLの切片 N	1.400	1.625	1.400	1.705	1.670	1.717	1.723
	ポアソン比	0.380	0.400	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
発展則	正規圧密土化指数 m	0.030	0.080	0.100	0.100	0.150	3.230	0.507
	構造劣化指数 a	4.000	1.000	0.400	0.500	0.200	0.620	6.213
	構造劣化指数 b	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	構造劣化指数 c	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	塑性せん断 cs	0.850	0.900	0.100	0.100	0.378	0.617	0.986
	回転硬化指数 br	1.000	1.300	0.052	0.071	0.027	0.155	4.897
	回転硬化限界定数 mb	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.507
初期状態	過圧密比 $1/R$	24.86	3.938	8.544	4.010	5.765	61.157	773.70
	構造 $1/R^*$	1.938	1.232	3.261	1.981	1.946	2.249	1.200

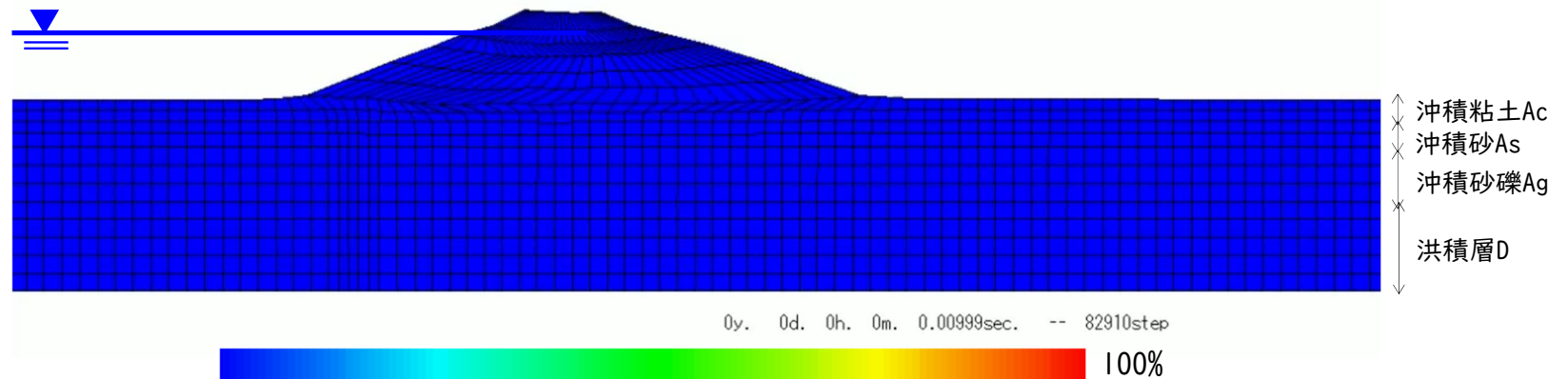


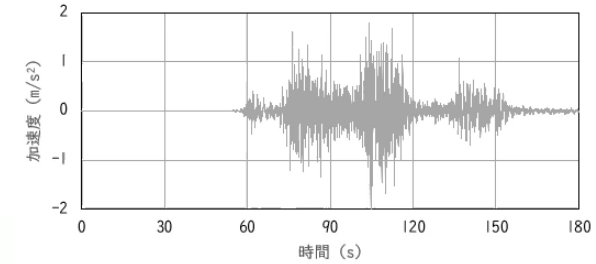
平均有効応力減少比

地盤剛性の低下の程度を表す指標。
大きくなるほど剛性の低下を意味し、
1.0は完全に剛性を失って液状化



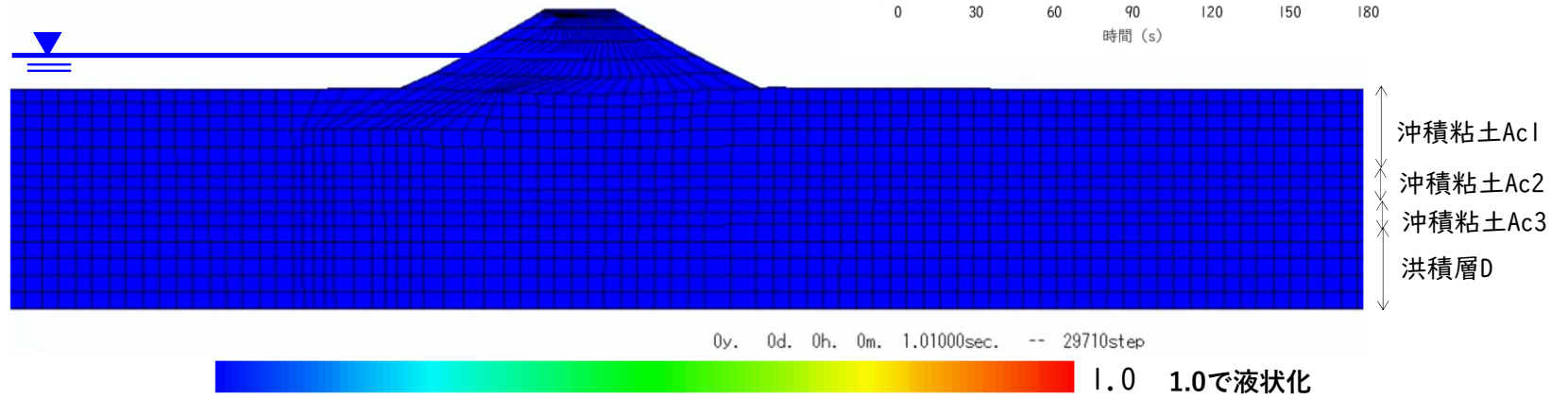
せん断ひずみ



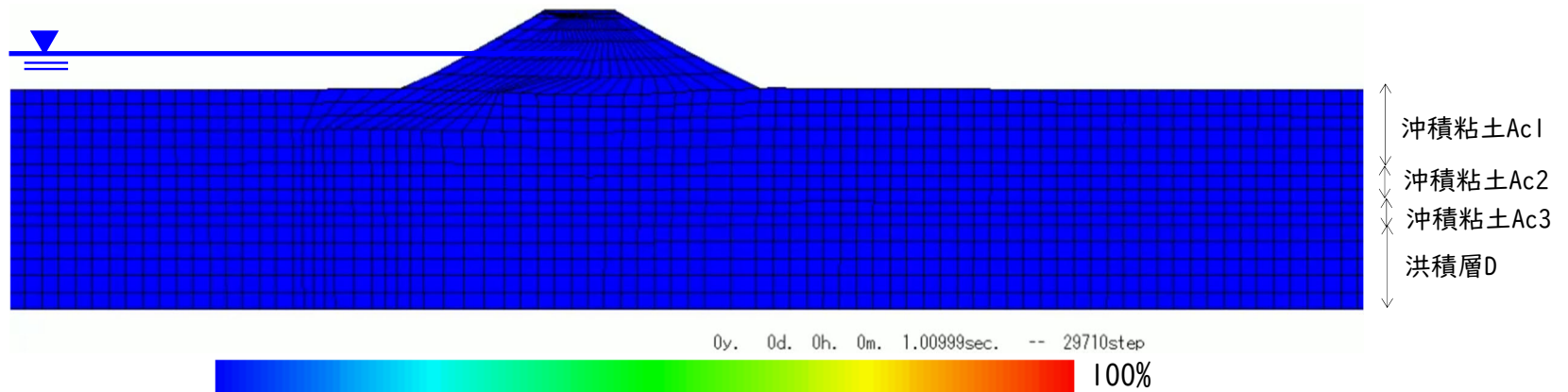


平均有効応力減少比

地盤剛性の低下の程度を表す指標.
大きくなるほど剛性の低下を意味し,
1.0は完全に剛性を失って液状化



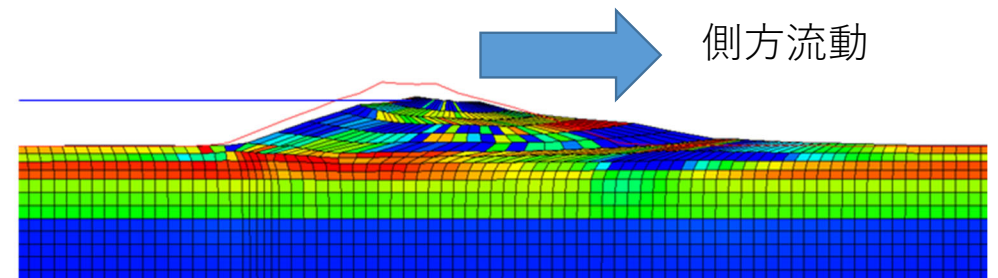
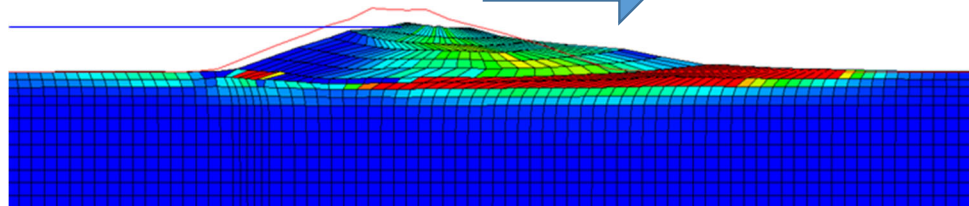
せん断ひずみ



地震発生180秒後のせん断ひずみ・平均有効応力減少比分布図

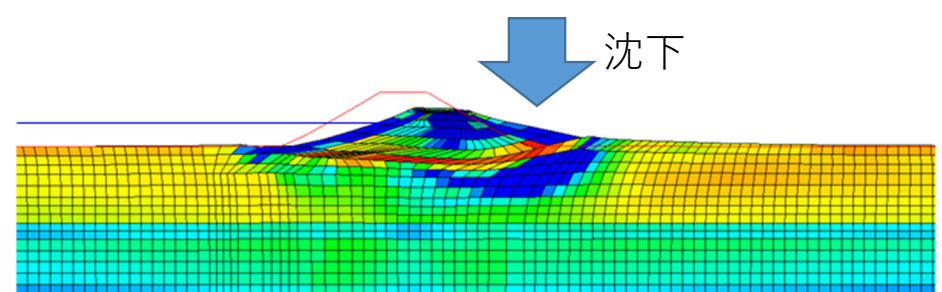
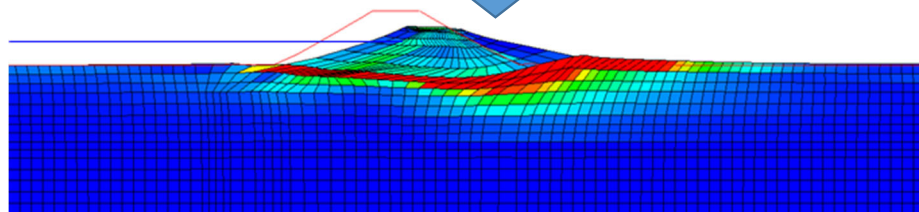
N池(粘土・砂・礫互層)

側方流動



O池(粘土層卓越)

沈下



0%  100%

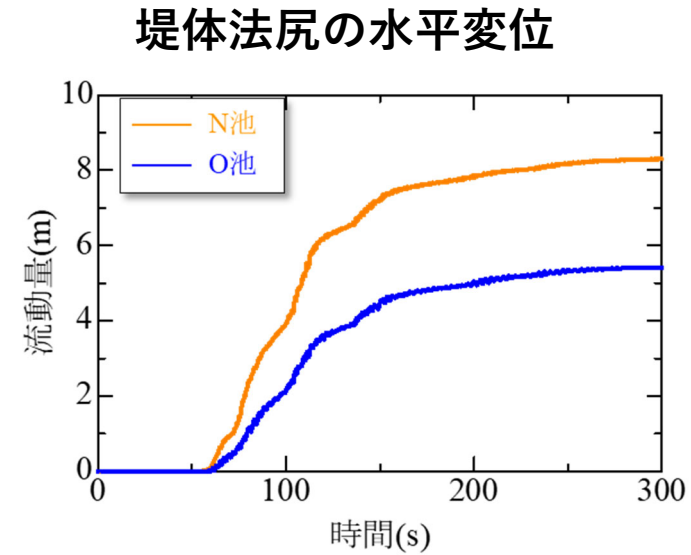
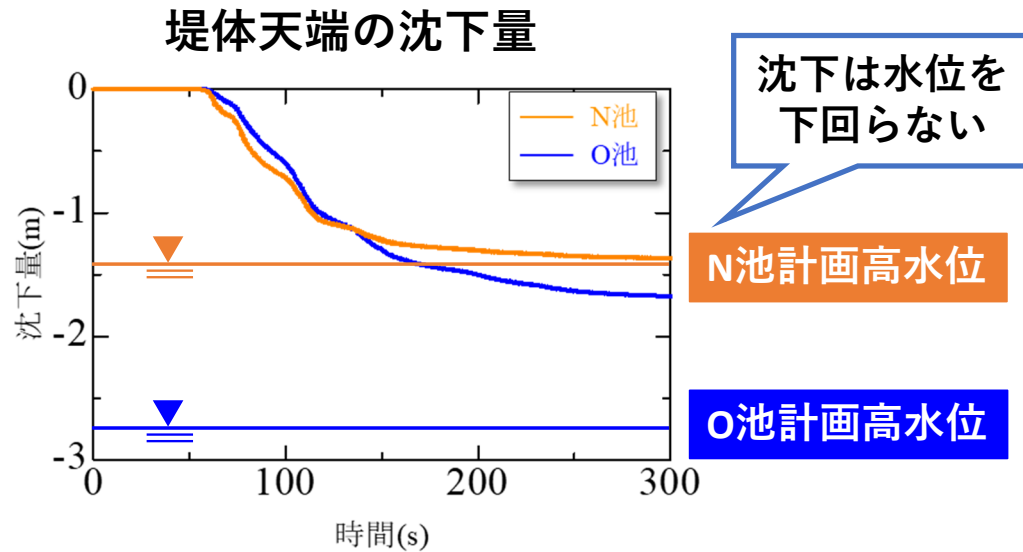
せん断ひずみ

0.0  1.0

平均有効応力減少比

▷ N池(粘土・砂・礫互層) ⇒ 砂層の液状化による堤体の側方流動

▷ O池(粘土層卓越) ⇒ 粘土層の乱れ(剛性低下)による堤体の沈下



▷沈下量について

N池(粘土・砂・礫互層) < O池(粘土層卓越)

▷水平変位量について

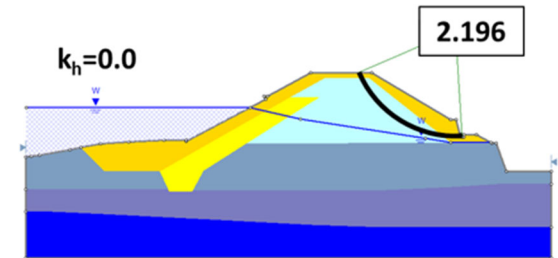
N池(粘土・砂・礫互層)では約8mもの側方変位 ⇒ 近傍の住居に被害の懸念

目次

- 研究の背景と目的
- 円弧すべり解析
- 弾塑性水-土連成有限変形解析 (GEOASIA) による地震応答解析
- **まとめ**

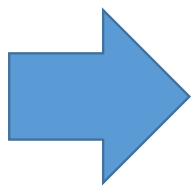
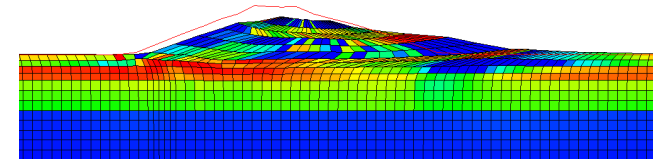
▷ 実ため池に対して従来法である円弧すべり解析を行った

- ・ L1地震動に対しては安定 ⇔ より大きい地震動に対しては不安定



▷ 南海トラフ巨大地震を想定した地震応答解析を行った(GEOASIA)

- ・ 地層構成の違いにより被災メカニズムが異なる
- ・ 沈下が水位を下回ることはないものの、大きな側方変位が生じた



円弧すべり解析は**安定/不安定**の判定のみ ⇒ **変形量は計算できない**
 ⇒ **地震動特性(周期・継続時間)は考慮しない**

弾塑性水-土連成有限変形解析による塑性変形を考慮した検討の重要性が確認された