

大地震時の複合地盤災害の謎 にせまる

京都大学防災研究所

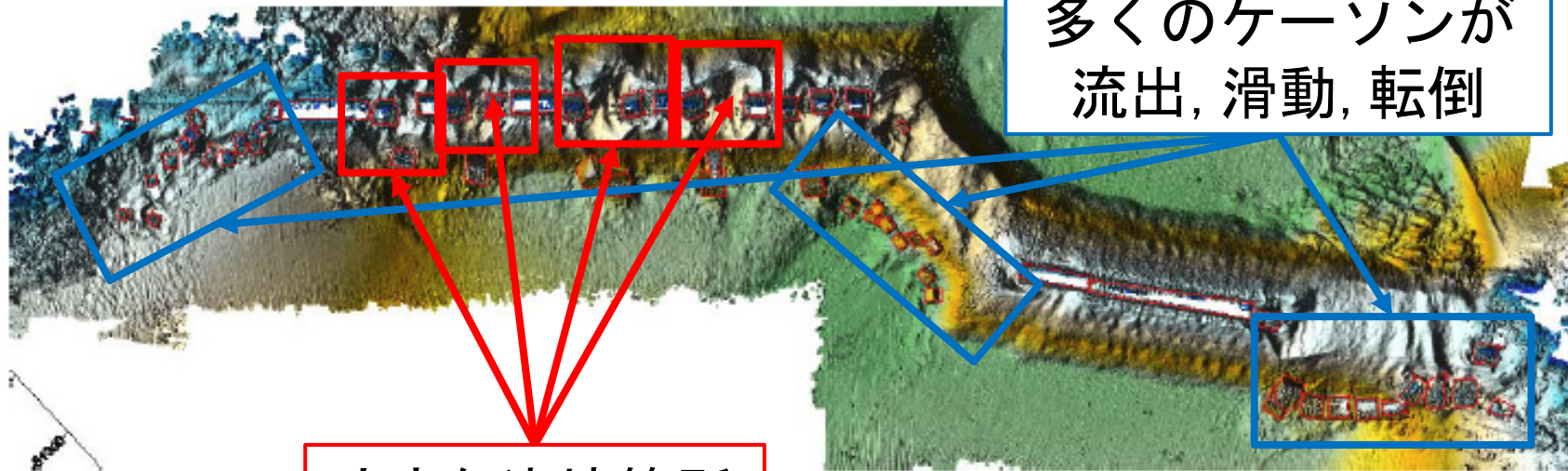
井合 進

津波による複合地盤災害の謎

- 2011年東日本大震災における防波堤の破壊機構の謎

研究背景

2011年3月11日,
東北地方太平洋沖地震によって
発生した津波により,
釜石港津波防波堤は甚大な
被害を受けた.



大きな決壊箇所

港湾空港技術研究所資料より

地震発生25分後

防波堤

釜石港湾事務所のビデオ映像より引用



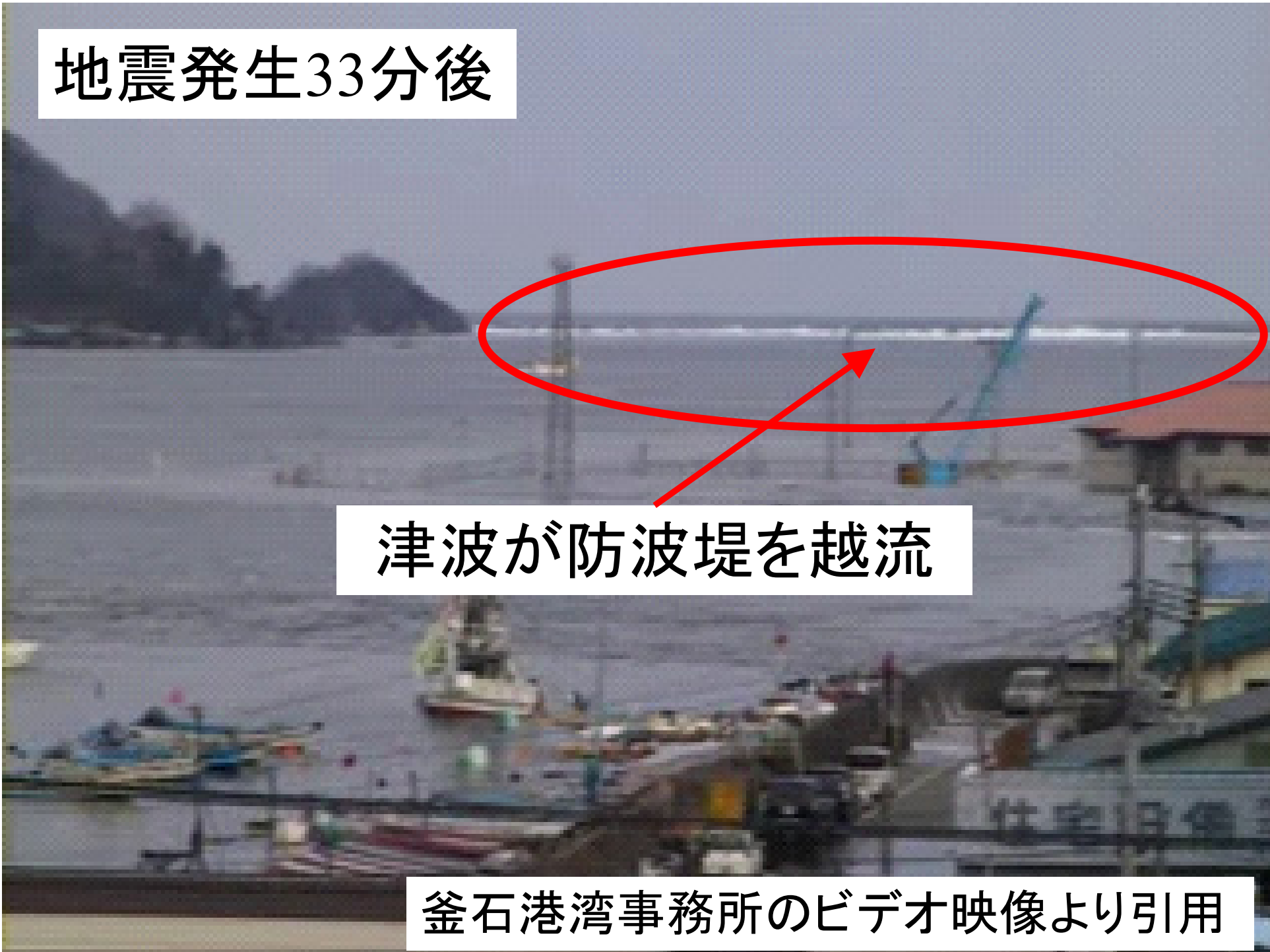
地震発生27分後

白い泡が発生

釜石港湾事務所のビデオ映像より引用



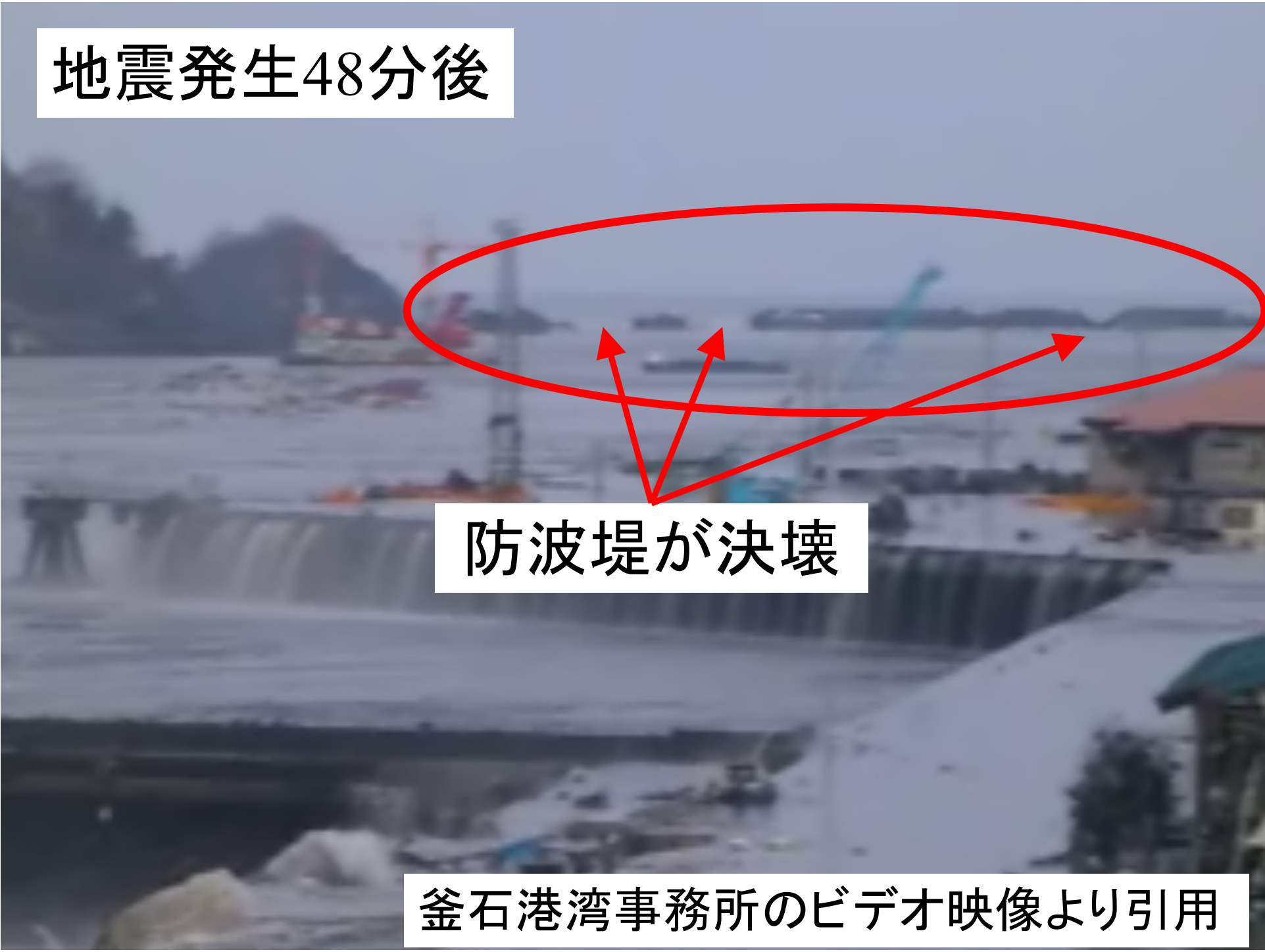
地震発生33分後



津波が防波堤を越流

釜石港湾事務所のビデオ映像より引用

地震発生48分後



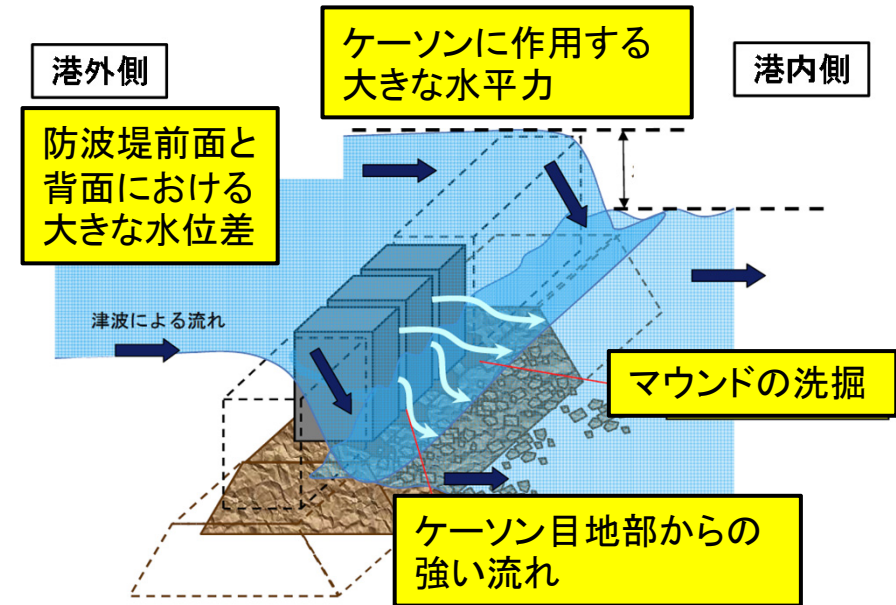
防波堤が決壊

釜石港湾事務所のビデオ映像より引用

既往の研究, 研究目的

既往の研究

防波堤の破壊機構に関して、浸透流に着目した研究はほとんどなされていない。
矢追(2012)は浸透流がマウンド内の有効応力を低下させることを示した。

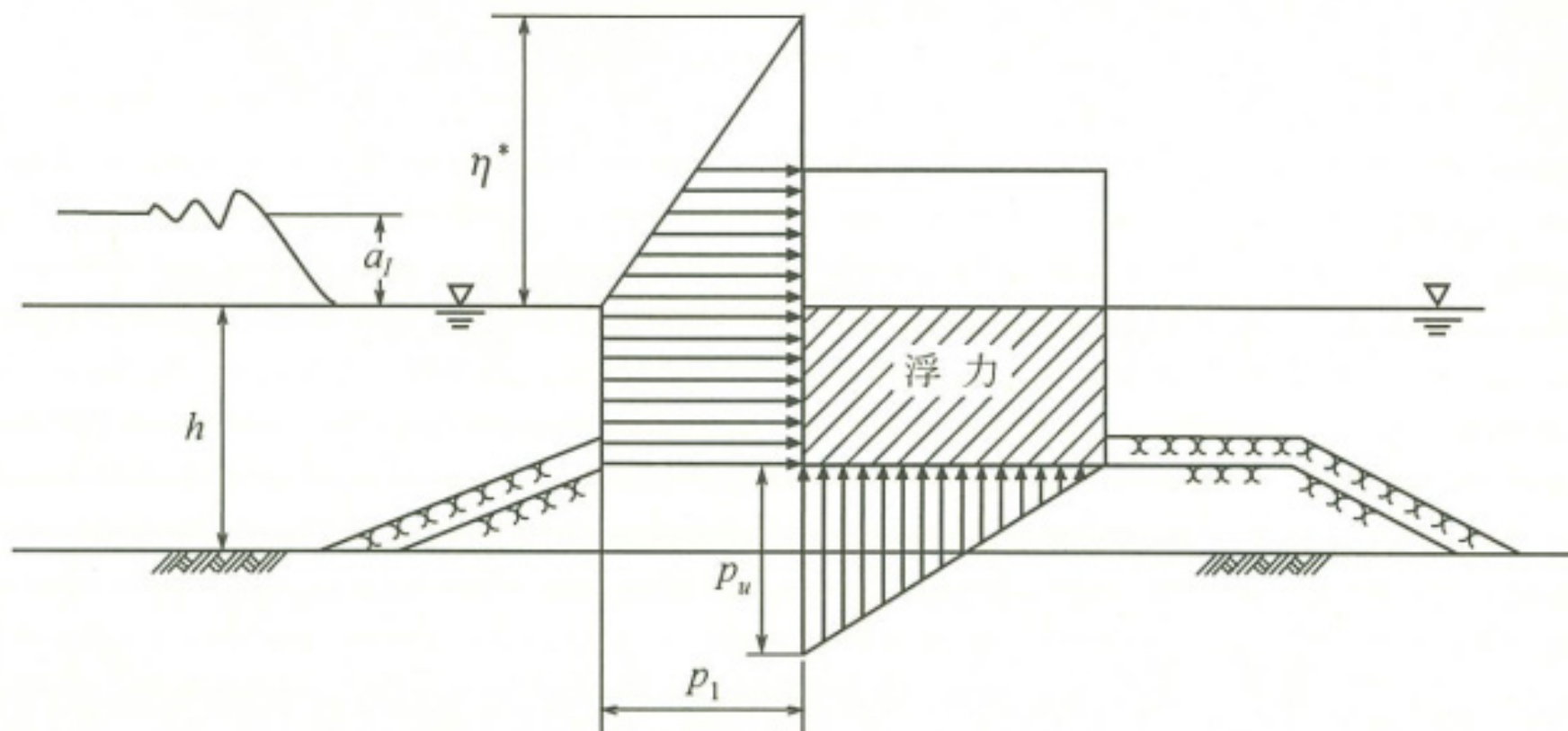


港湾空港技術研究所資料より

目的

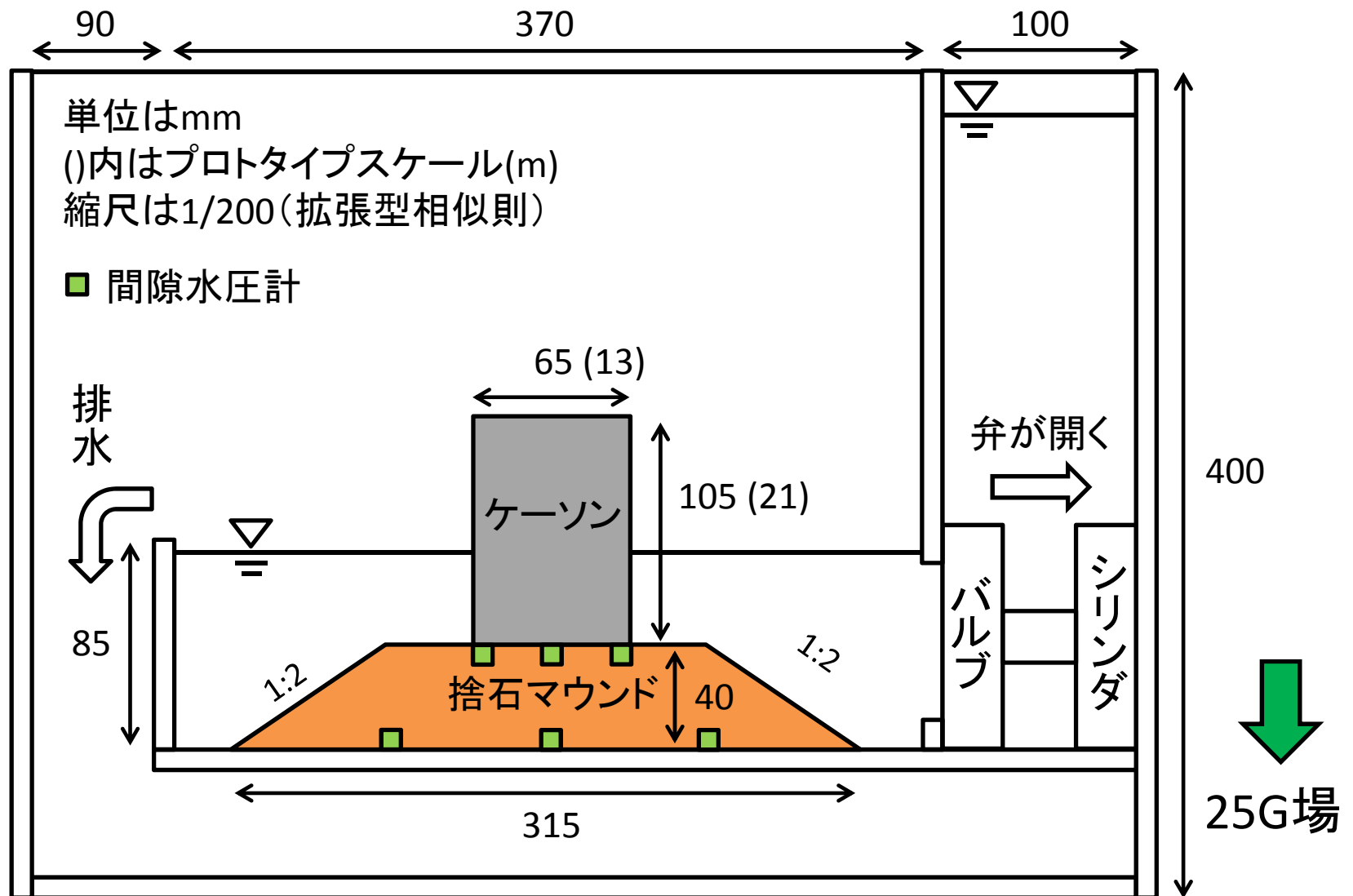
遠心模型実験と2次元有効応力解析を用いて、水位差によるマウンド内の浸透流に着目し、防波堤の破壊機構について考察を行う。

既往の設計法



遠心模型実験

実験模型

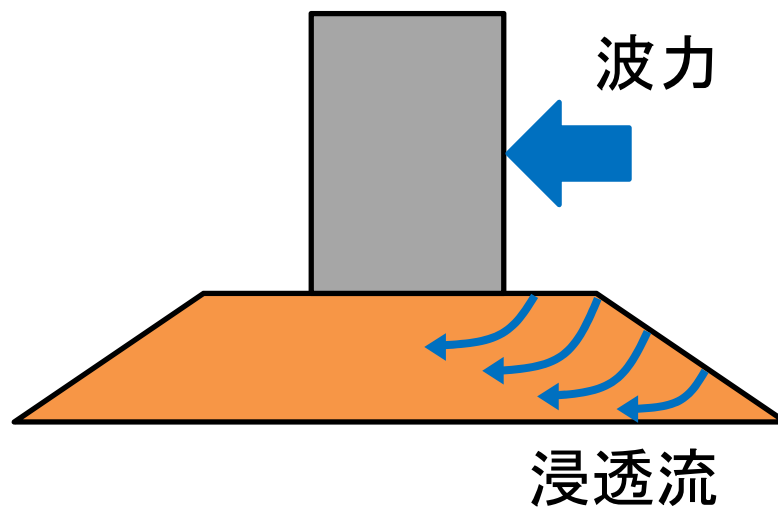


- ・京都大学防災研究所の遠心力载荷装置を使用.
- ・マウンド材料: 珪砂1号 ($Dr = 60\%$, 水中落下法)

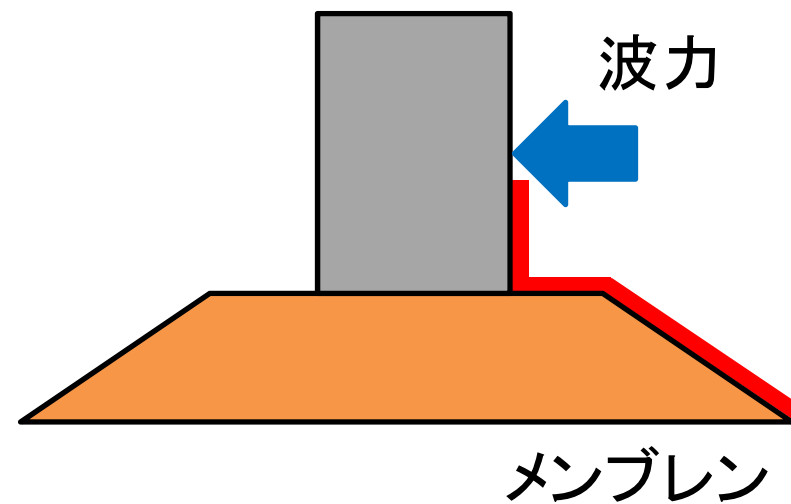
実験ケース

実験ケース	津波波力	浸透流
Case 1	○	○
Case 2	○	×

Case 1



Case 2

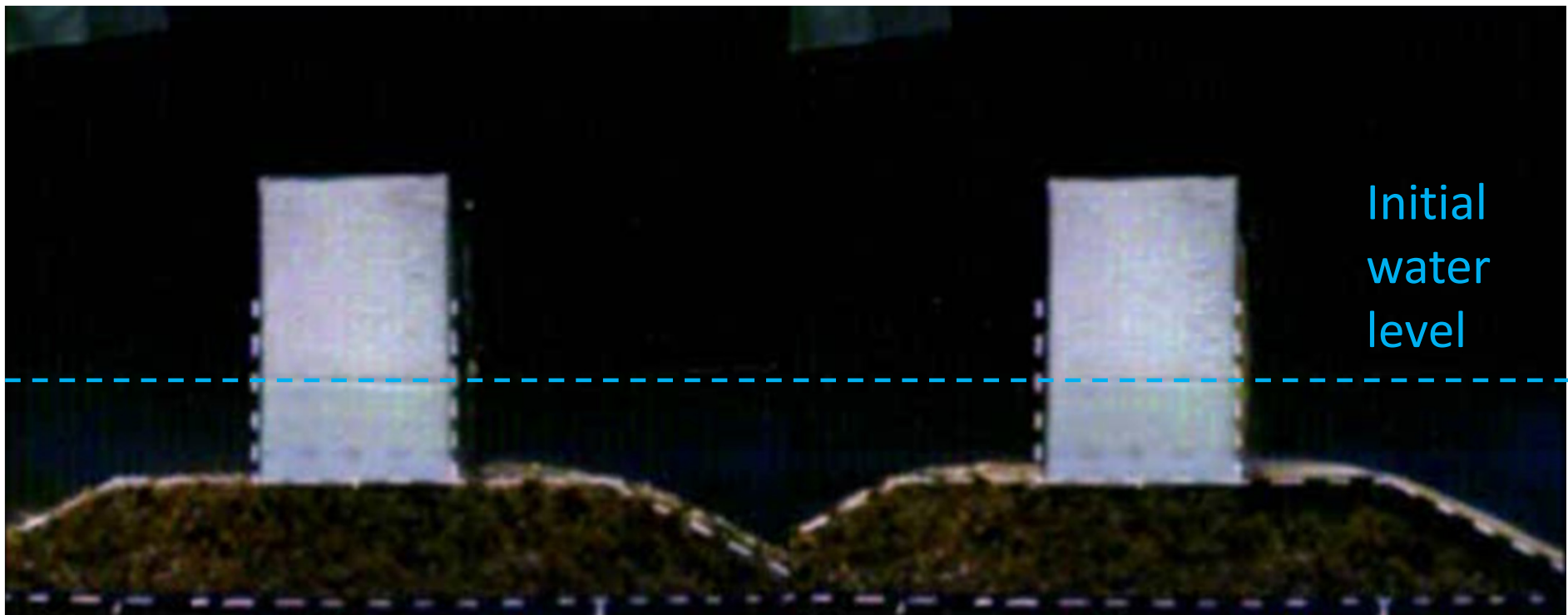


浸透流の有無で比較を行う。

実験結果(25G場)

Case 1(波力+浸透流)

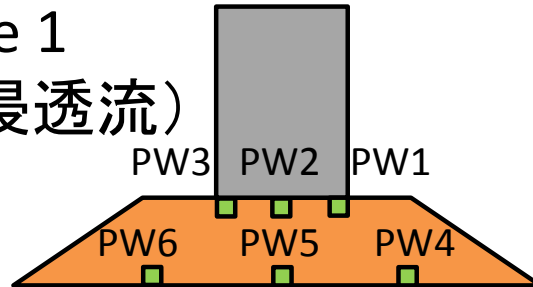
Case 2(波力のみ)



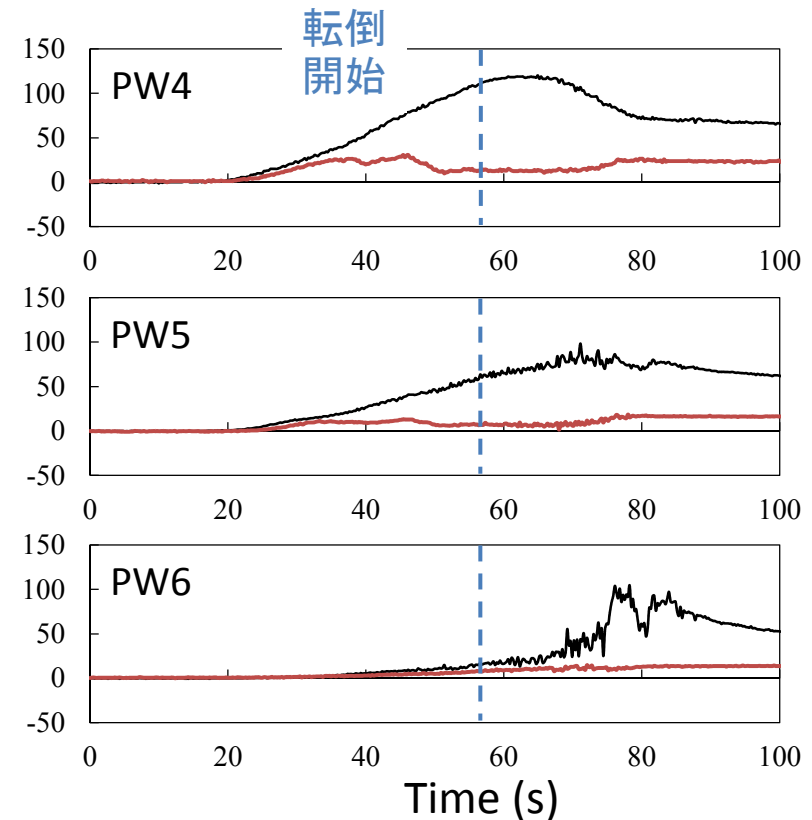
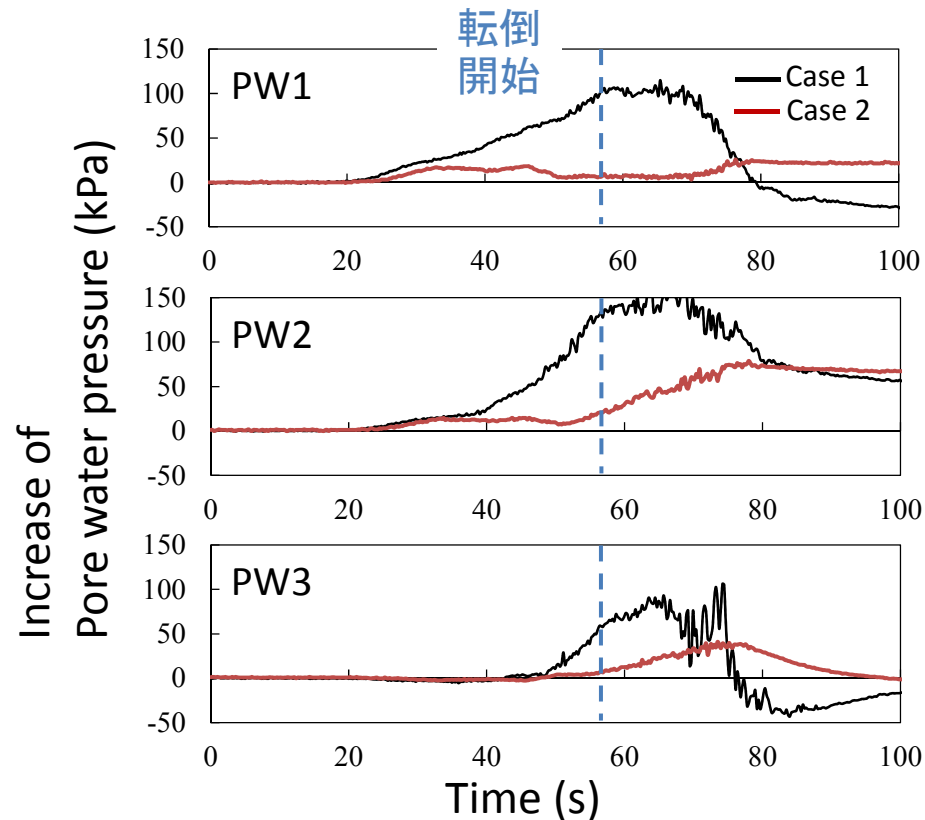
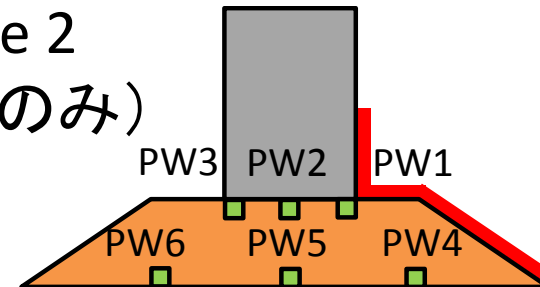
Case 1ではマウンド前面の洗掘, 背面に砂の吹き出し.
その後, マウンドがせん断変形し, ケーソンが滑動, 転倒する.

水圧上昇時刻歴

Case 1
(波力+浸透流)



Case 2
(波力のみ)



Case 1では水圧が上昇, 浸透流が発生.

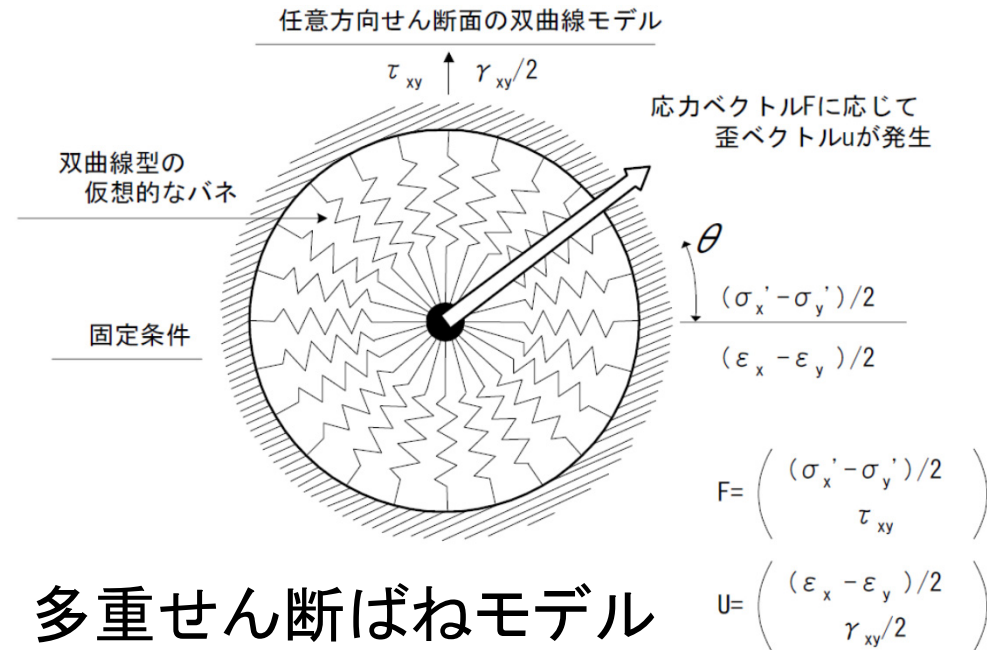
実験のまとめ

- ・防波堤前面の洗掘，マウンドのせん断変形，ケーソンの滑動，転倒といった一連の破壊機構が見られた。
- ・浸透流の流入を許さないケースに比べて，許すケースのほうがケーソンの変位量が大きくなる。これは浸透流により，ケーソン底面に揚圧力が発生したこと，マウンド内の有効応力が低下したことが理由として考えられる。

2次元有効応力解析

解析プログラムの概要

解析にはFLIP/TULIP(Ver.5.1.0)を使用



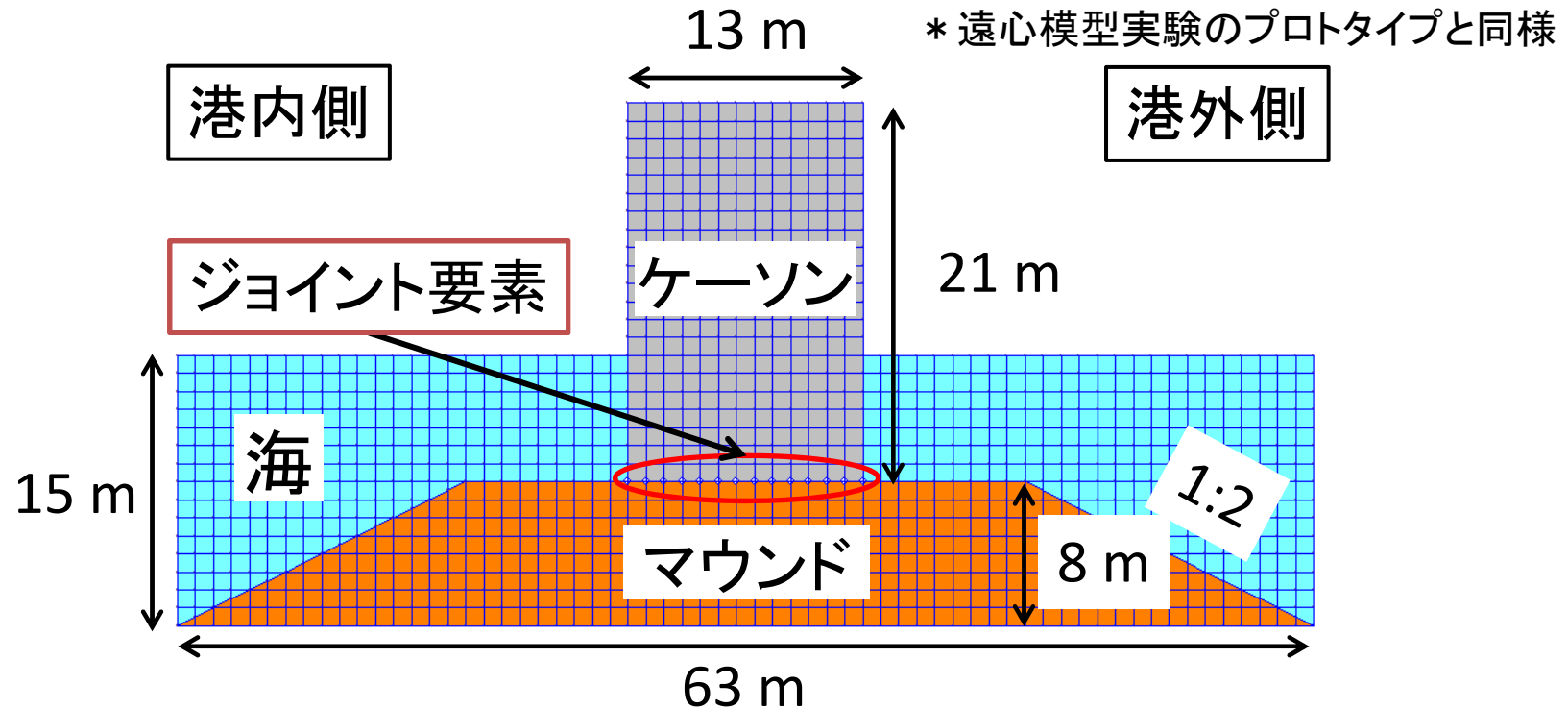
多重せん断ばねモデル
(Towhata et al 1985)

構成式: $\sigma' = -p \mathbf{n}^{(0)} + \sum_{i=1}^I q^{(i)} \mathbf{n}^{(i)} \Delta \omega$

応力の体積成分

応力のせん断成分

解析モデル



解析パラメータ

材料	質量密度	透水係数	初期せん断剛性	内部摩擦角	粘着力
マウンド	1.91 (t/m ³)	7.06×10^{-2} (m/s)	6.15×10^4 (kPa)	40.8°	20 (kPa)

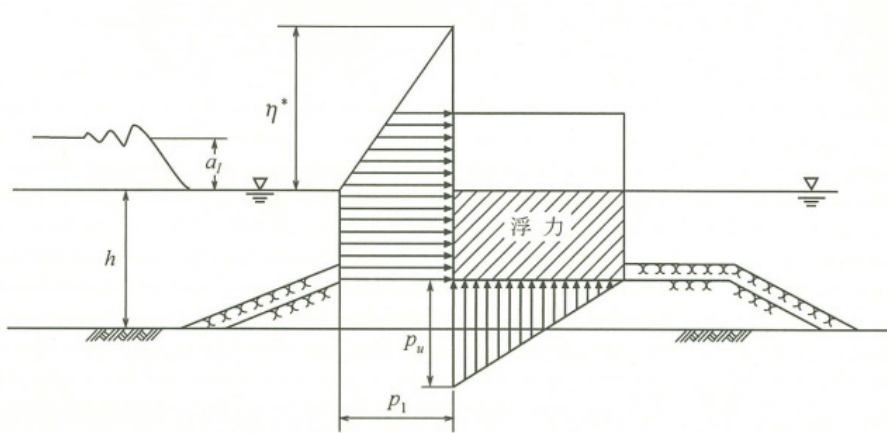
材料	ヤング率	ポアソン比	質量密度
ケーソン	2.23×10^7 (kPa)	0.17	2.45 (t/m ³)

解析ケース

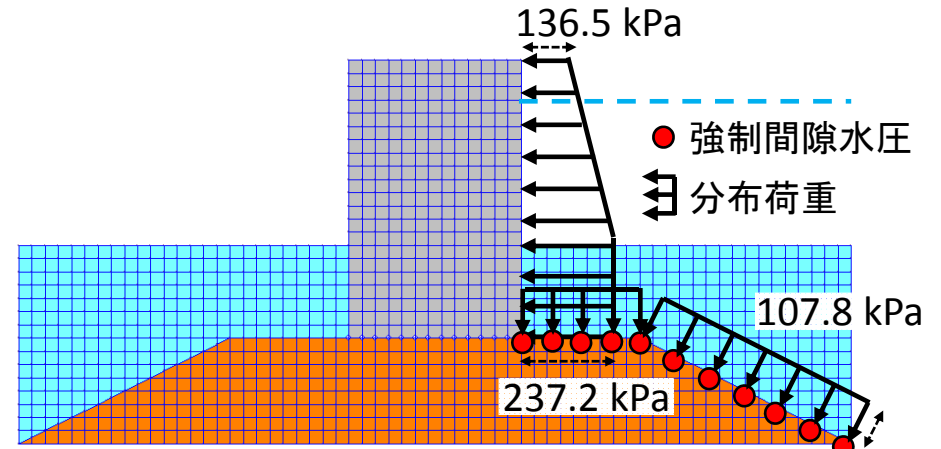
解析ケース	津波波力	浸透流
Case 1	○	○
Case 2	○	×
Case 3	×	○

- 津波波力, 浸透流の有無で比較.
- Case 1, Case 2について,
比較のため, 実験ケースと対応.
- Case 3については,
浸透流の影響を検討する目的で行った.
- 津波高さは11 mとする.

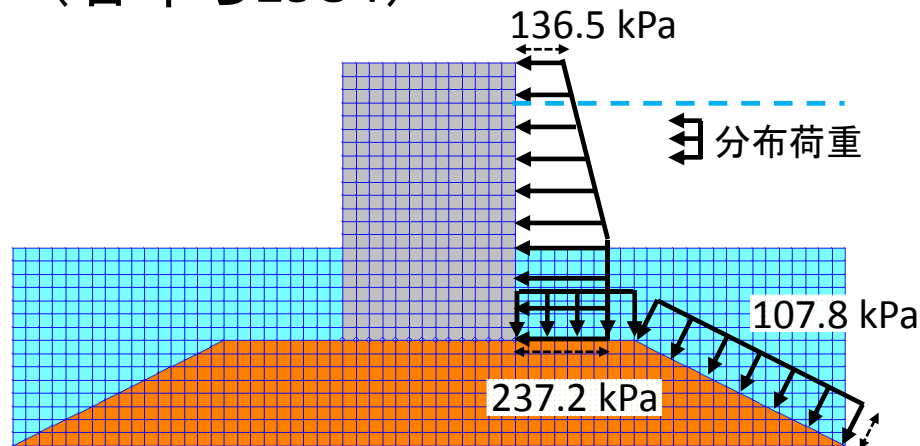
津波力の与え方



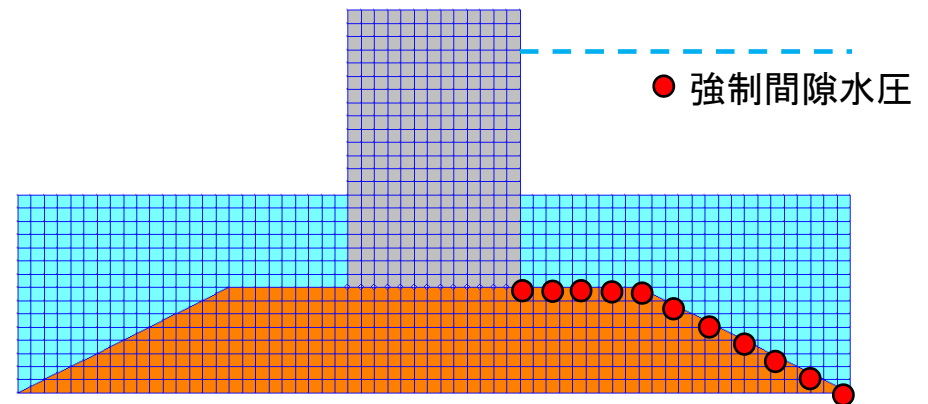
直立壁に働く津波力算定式
(谷本ら1984)



Case 1 (波力+浸透流)



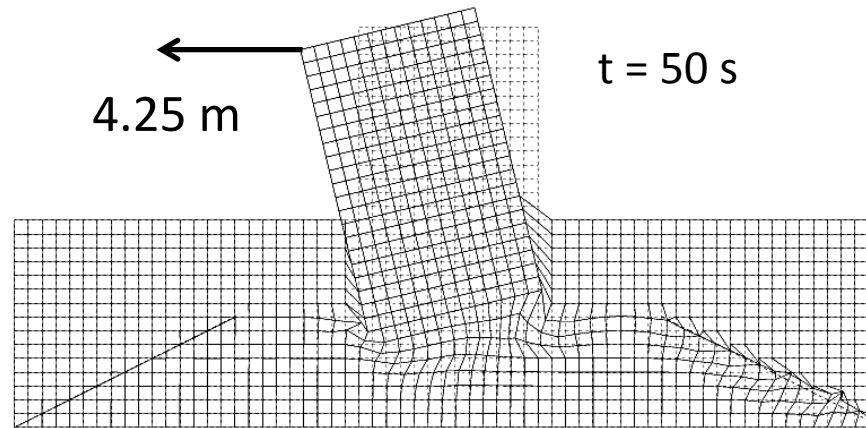
Case 2 (波力のみ)



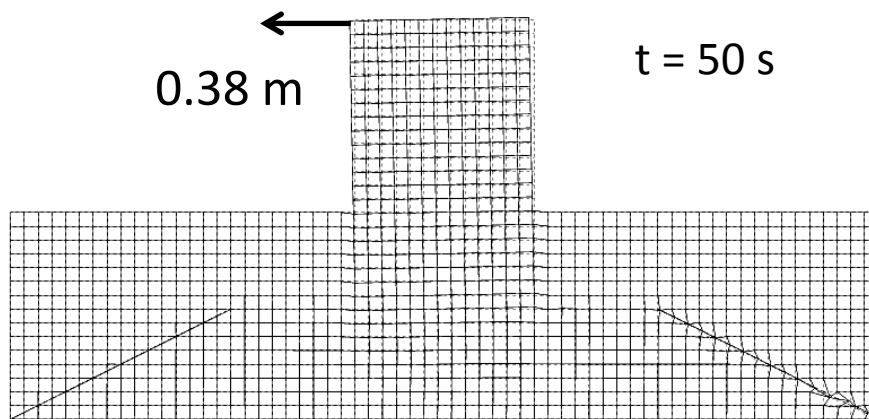
Case 3 (浸透流のみ)

*40秒かけて津波力が所定の値になるように設定し、その後10秒間津波力を加え続ける。20

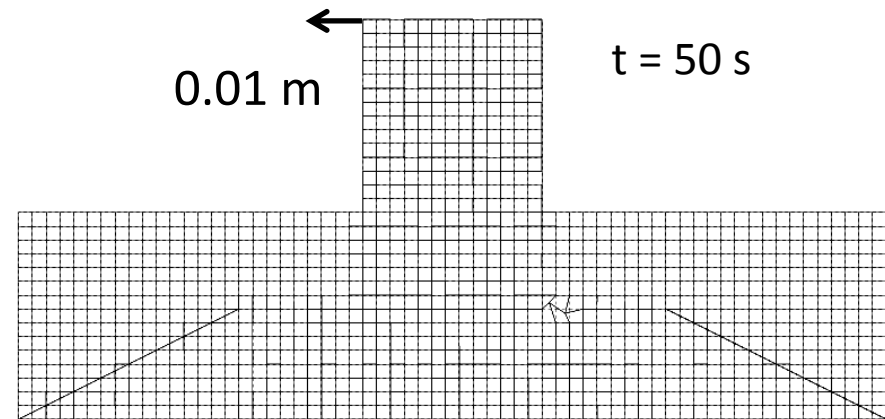
解析結果



Case 1 (波力+浸透流)

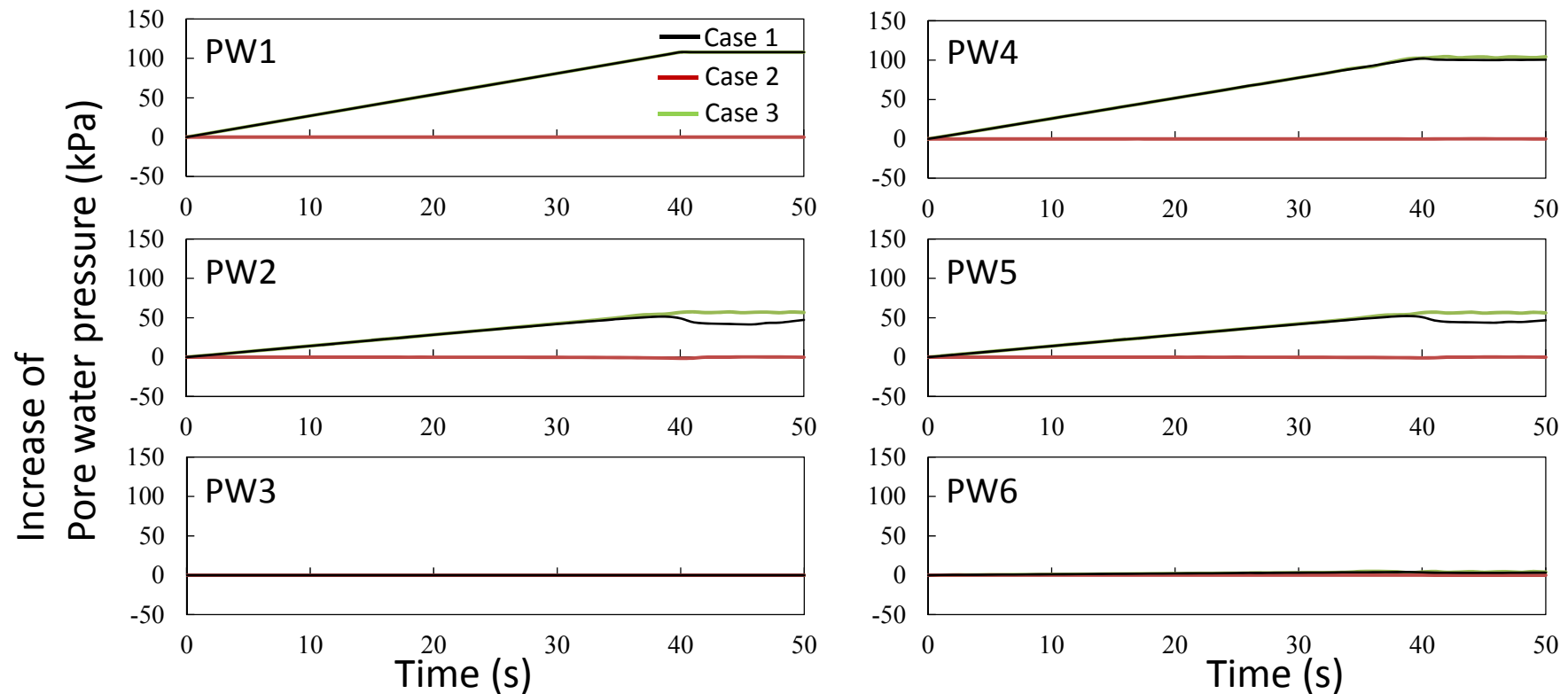
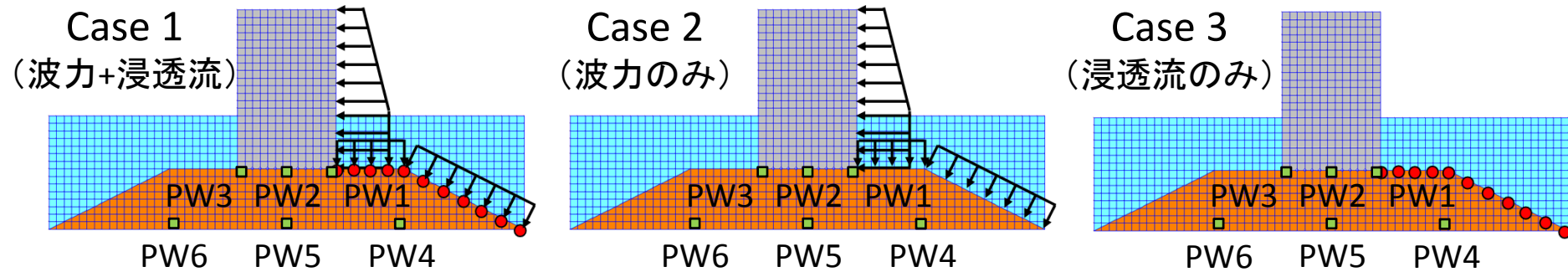


Case 2 (波力のみ)



Case 3 (浸透流のみ)

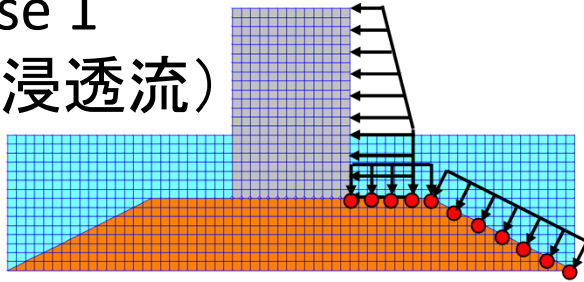
水圧上昇時刻歴



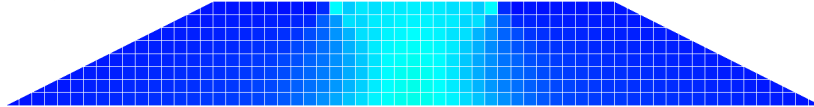
Case 1, Case 3では水圧が上昇, 浸透流が発生.

有効応力継時変化

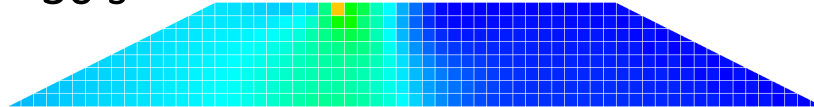
Case 1
(波力+浸透流)



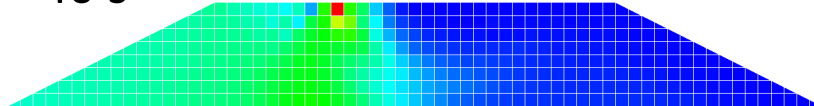
t = 0 s



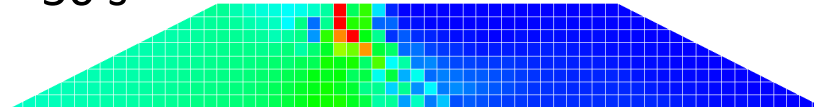
t = 30 s



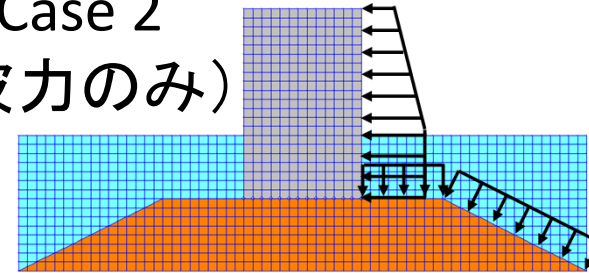
t = 40 s



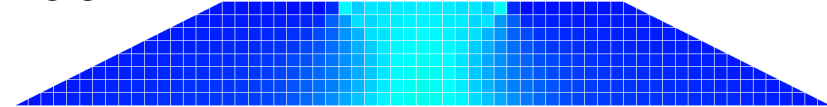
t = 50 s



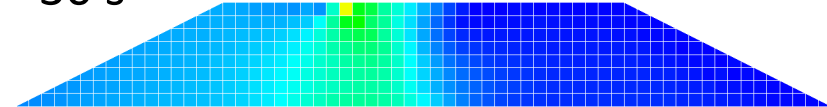
Case 2
(波力のみ)



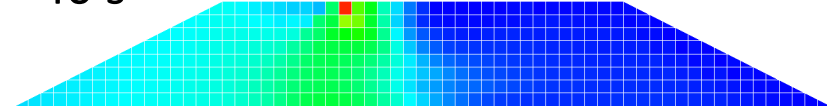
t = 0 s



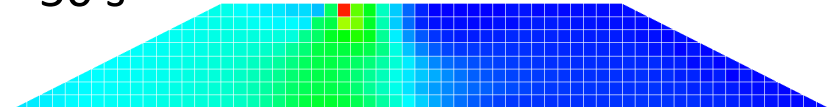
t = 30 s



t = 40 s



t = 50 s

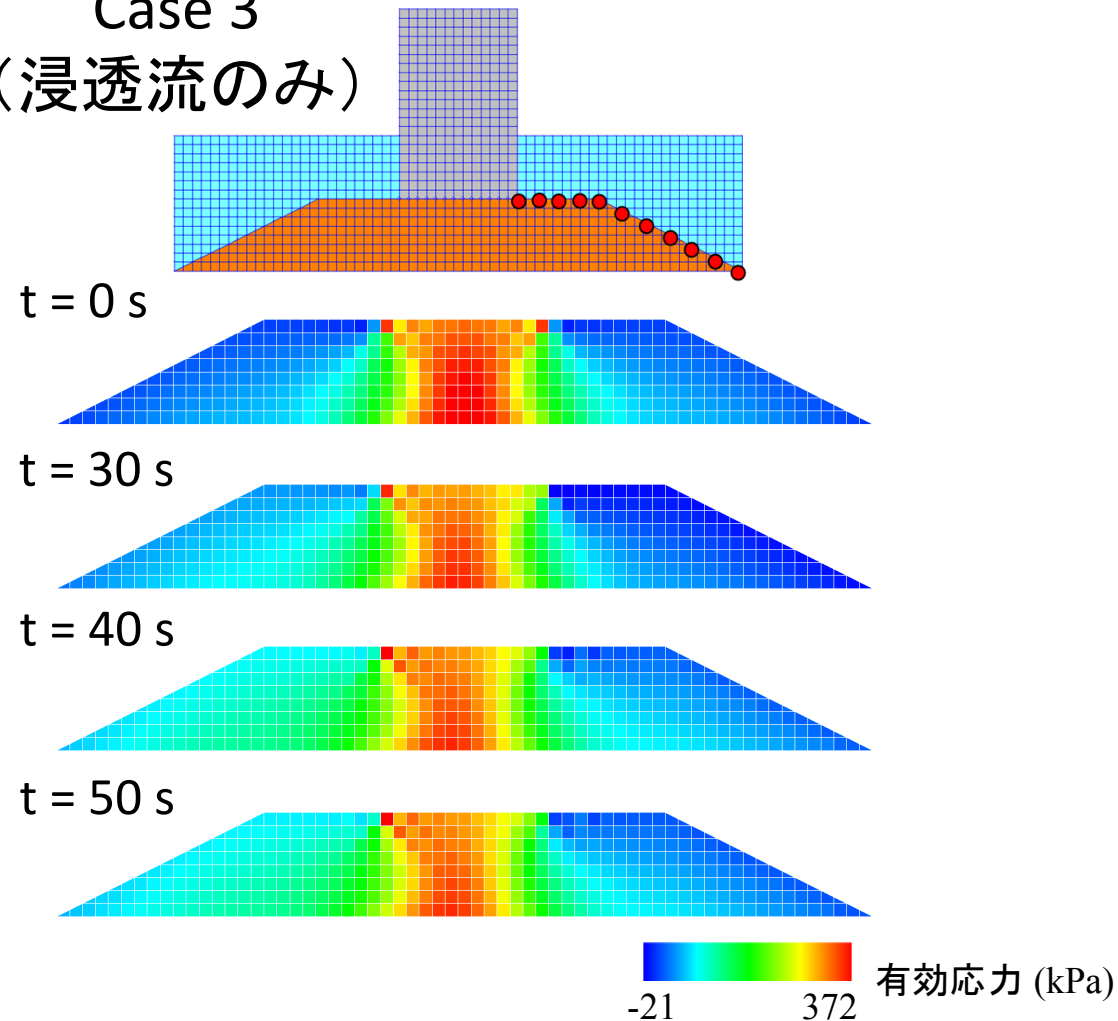


-33 1485 有効応力 (kPa)

ケーソンの傾斜により、マウンド内の有効応力が変化。
マウンド前面は減少し、背面は増加。

有効応力継時変化

Case 3
(浸透流のみ)



浸透流により、マウンド内の有効応力が変化。
マウンド前面から直下にかけて減少。

結論

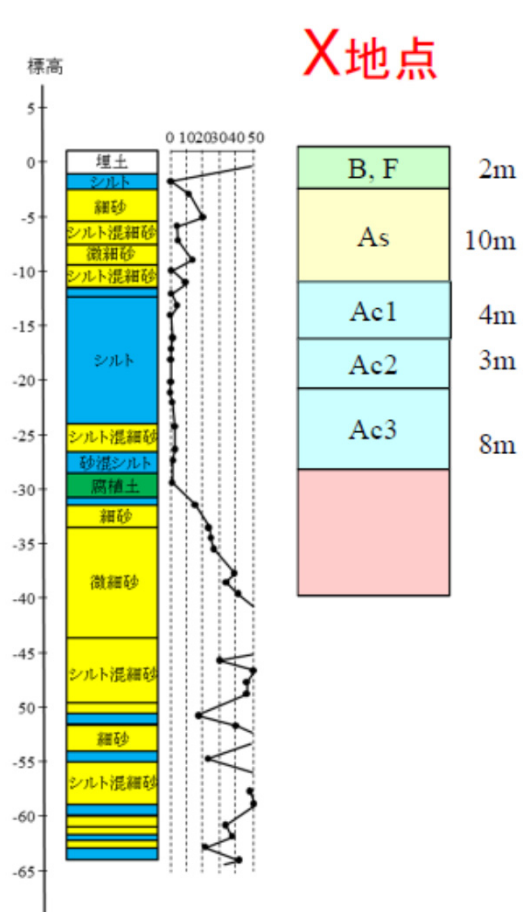
実験と解析より,

1) 防波堤前面の洗掘, マウンドのせん断変形, ケーソンの滑動, 転倒といった一連の破壊機構が確認できた.

2) マウンドへの浸透流の影響によって防波堤の破壊が進行することが示された.

これは浸透流により, ケーソン底部に揚圧力が発生し, またマウンド内の有効応力が低下するためである.

砂と粘土の互層からなる 複合地盤災害の謎



サンプリング地点

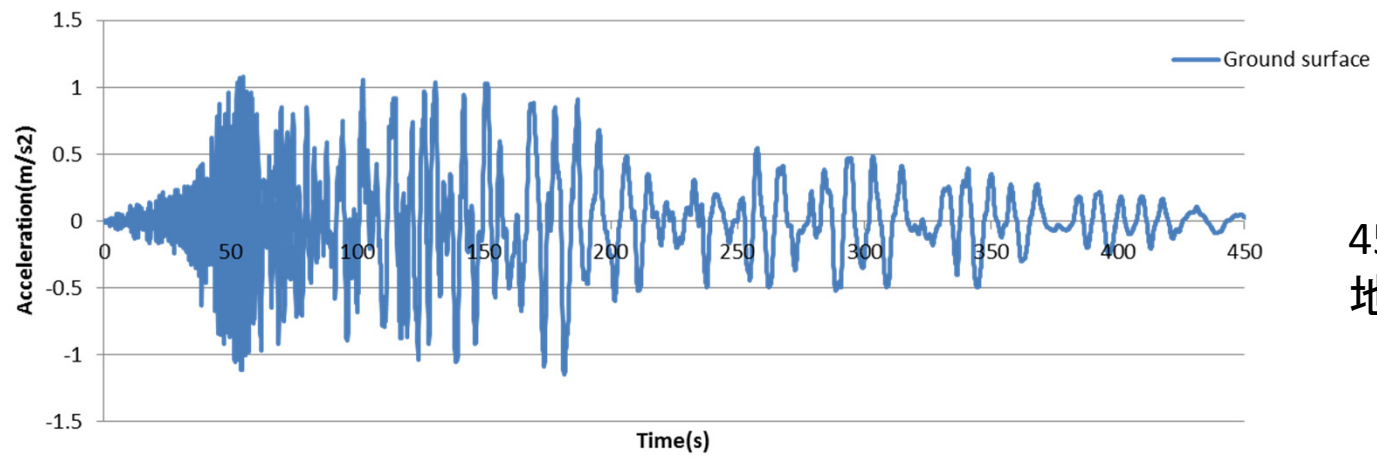


R: 基盤への地震動をE+F波として入力

解析条件と目的

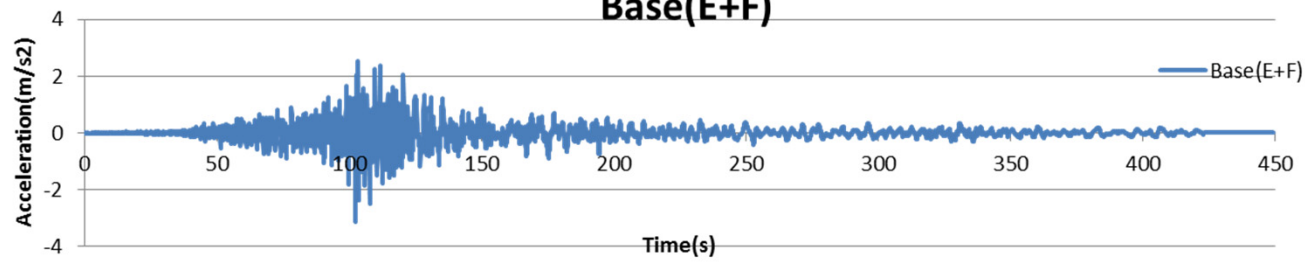
- 品川基盤EW波形の振幅を5倍⇒大地震のシミュレーションへの適用性
- 表層2mの埋土をAc1層と同じ粘性土に置き換えて解析⇒表層のClayキャップの影響を検討
- 粘性土の下の砂層の液状化が発生した際の地盤災害の現象を解析

Ground surface

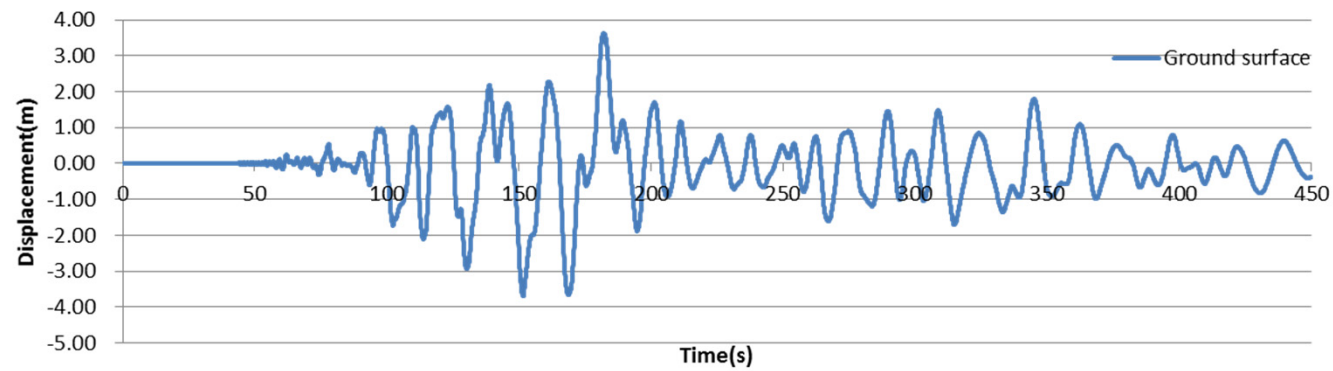


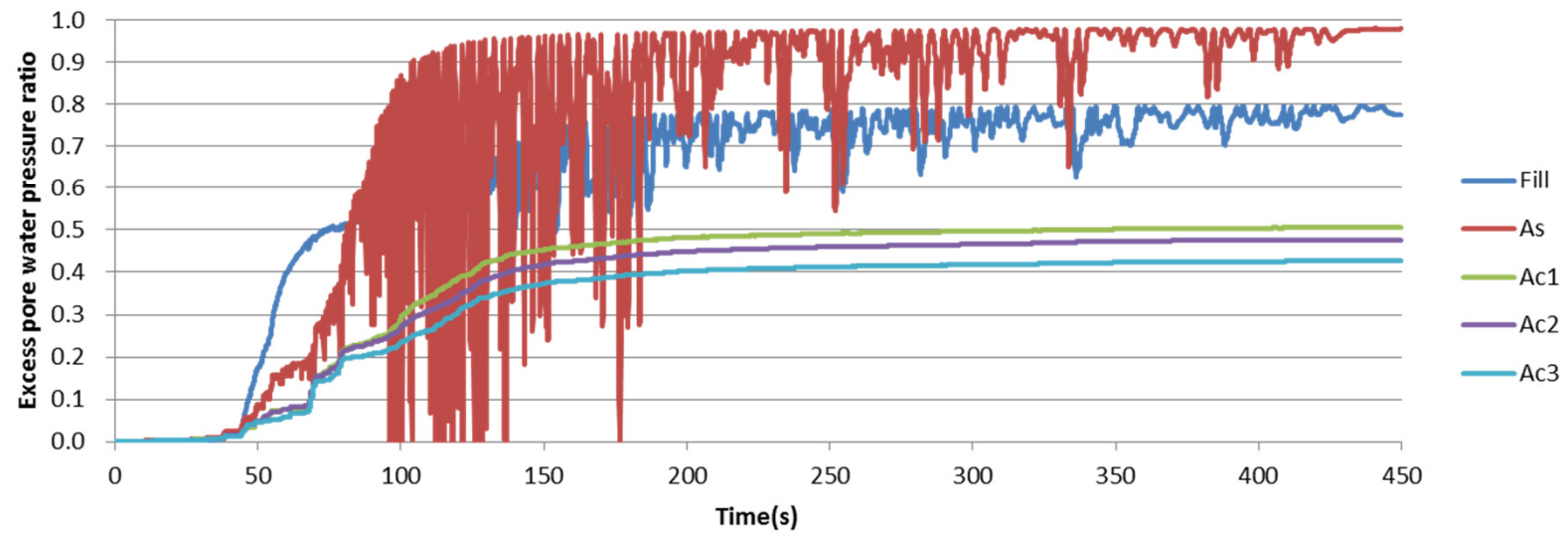
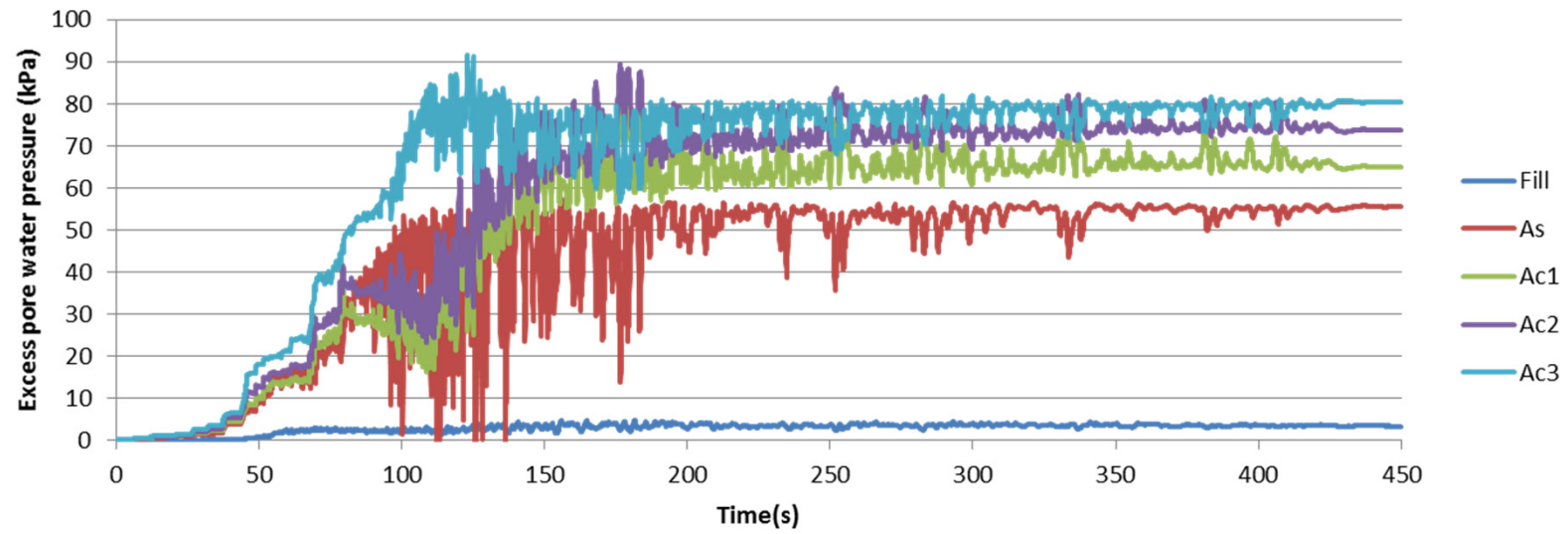
450秒間の
地震動

Base(E+F)

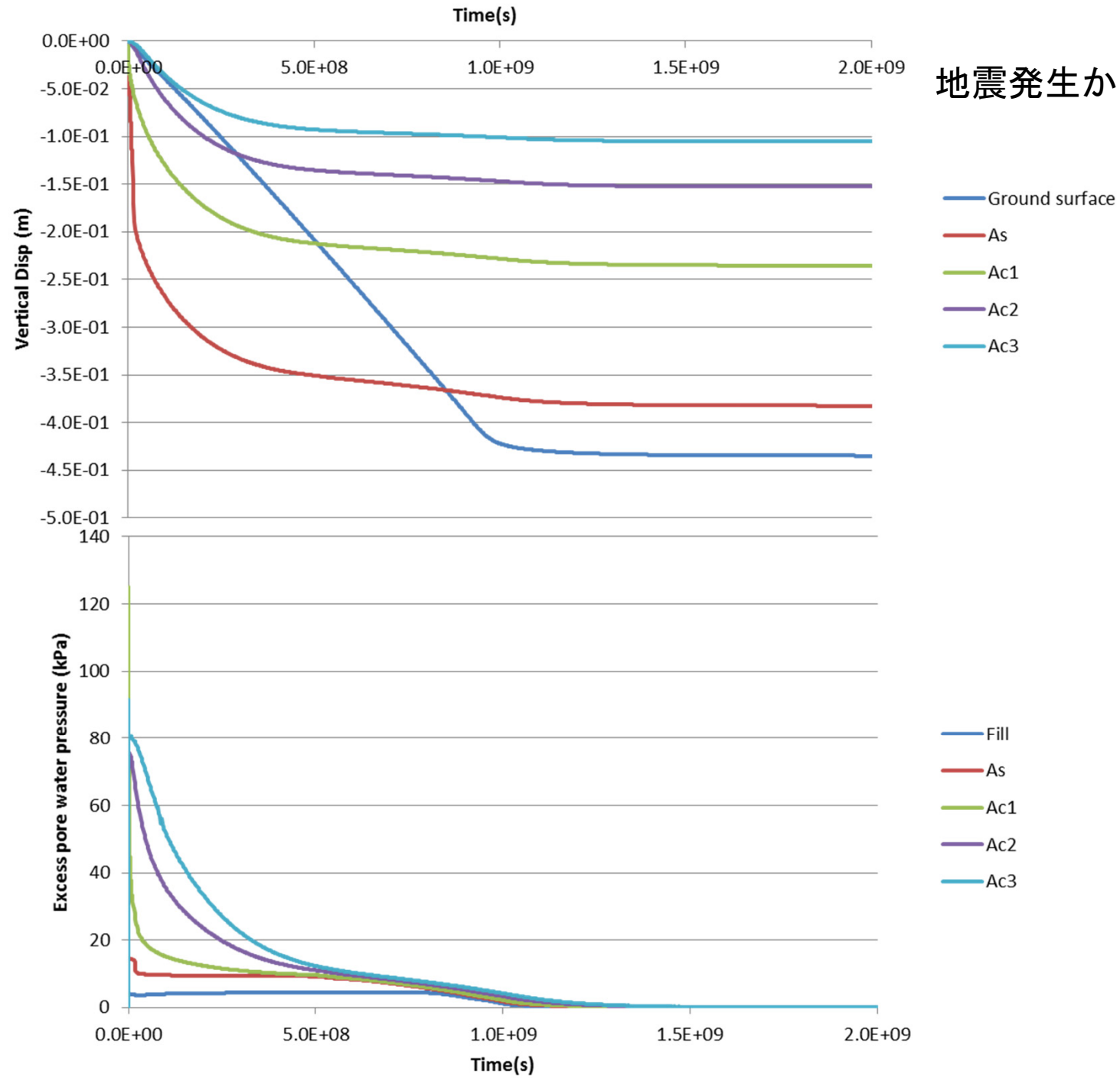


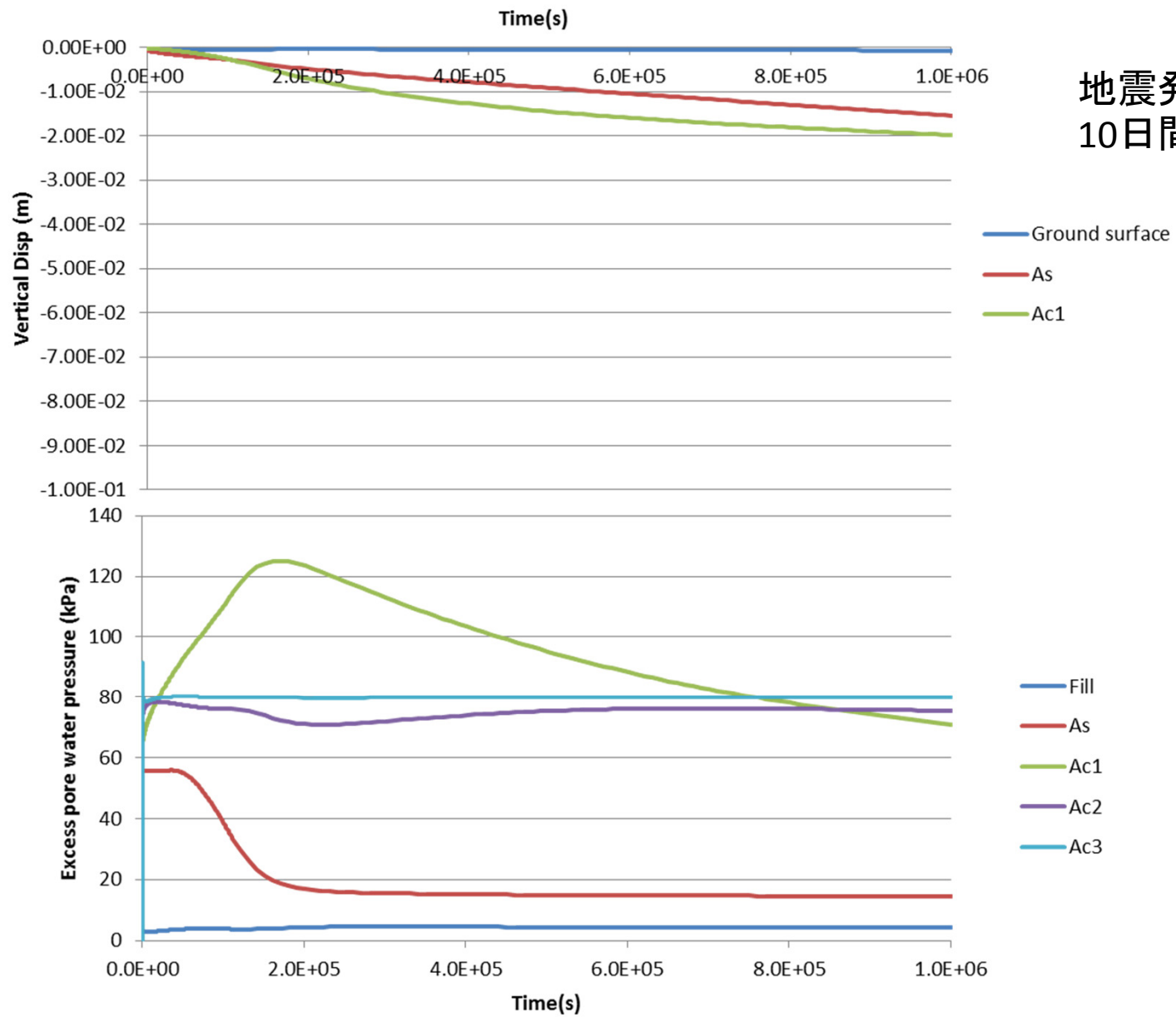
Ground surface



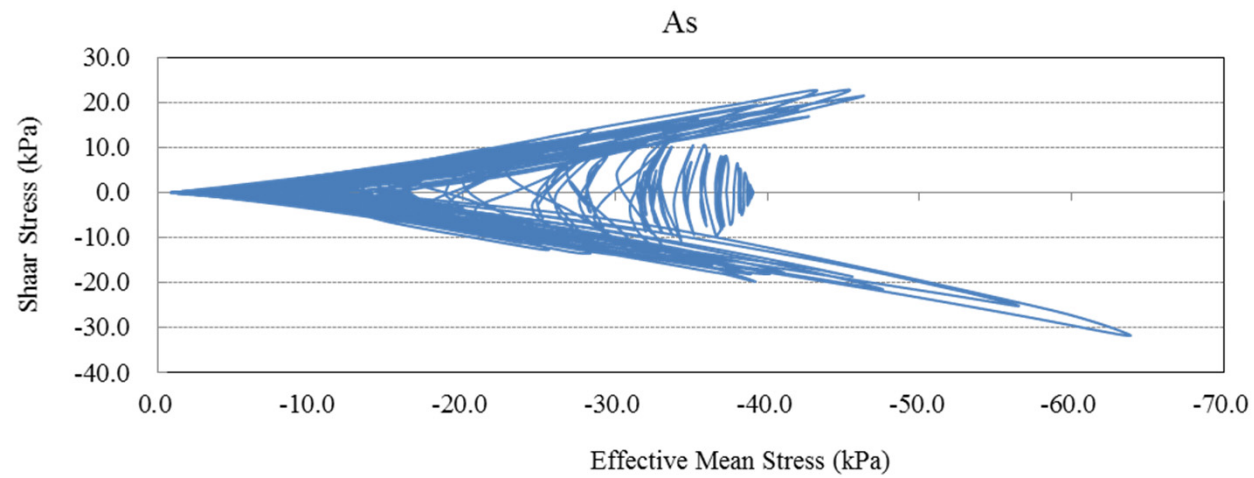
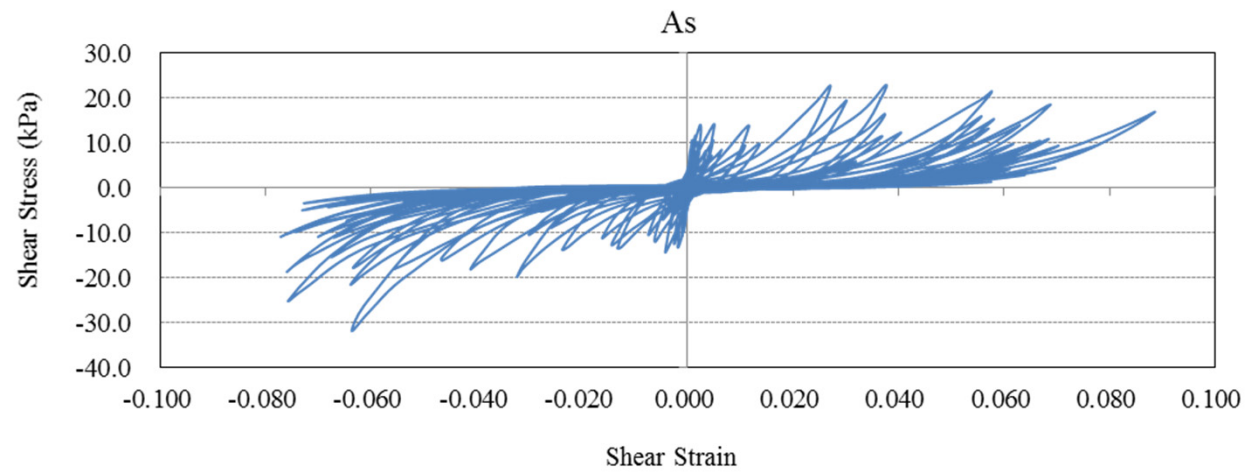


地震発生から60年間





地震発生から
10日間



砂と粘土の互層からなる複合地盤

- 大地震時において、地盤深部で液状化が発生していると、その影響が、数十年に亘る地盤沈下として現われる可能性が示唆される。

まとめ

- 複合地盤災害においては、水が地盤内でどのように浸透し、移動して行くか、について、的確な把握をすることにより、謎が解けていく。
- 地盤と水との関わり合いを明らかにすることが、新たな研究の進展につながる。