京都大学防災研究所公開講座 第28回 キャンパスプラザ京都 2017.10.11

近年の地震における地盤の液状化災害

京都大学 防災研究所 地盤災害研究部門 渦岡良介

内容

- 近年の地震における液状化災害の特徴
 - 2016年熊本地震
 - 2011年東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)
 - 1995年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)
 - 1964年新潟地震
- 液状化被害とその後の津波や降雨の問題
 - 河川堤防の液状化被害と高水(河川水位の上昇)

川岸町アパート(1964年新潟地震)

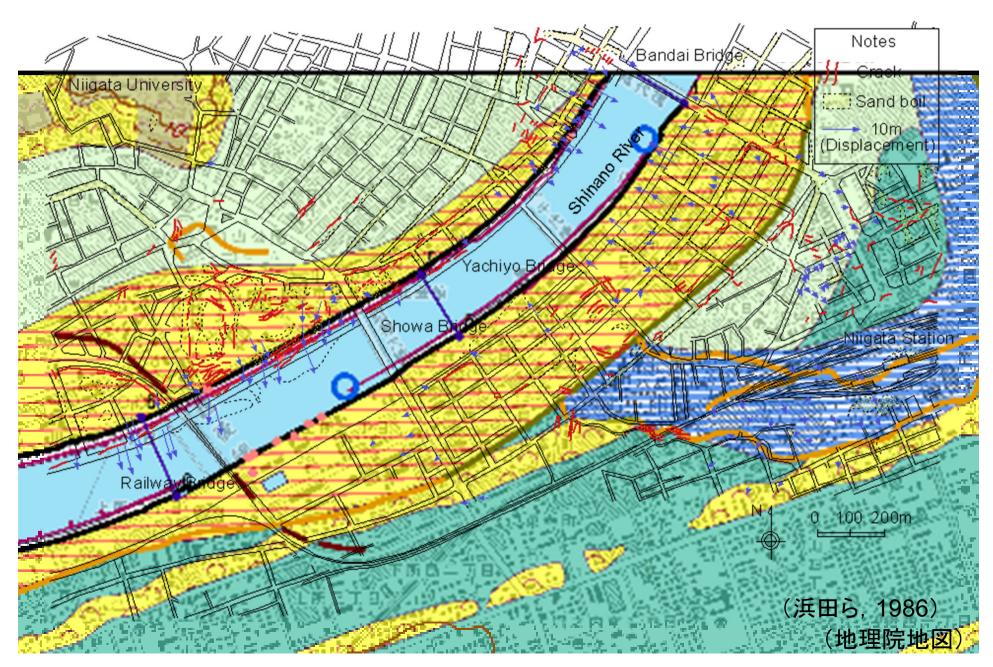


新潟空港ビル(1964年新潟地震)



(地盤工学会)

地盤の永久変位(1964年新潟地震)



凡例

河川管理施設等

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地	也			
台		段丘面		
台地·段丘		崖(段丘崖)		
臣		浅い谷		
低	山麓堆積地形			
地	扇状地			
	氾濫平野			
	氾濫平野	後背湿地		
	扇状地, 氾濫平野	微高地(自然堤防)		
		旧河道	旧河道(明瞭)	
			旧河道(不明瞭)	
		落堀		
	砂州-砂丘			
人		干拓地		
人工改変地形	盛土地・埋立地			
変地		切土地		
形		連続盛土		
そ		天井川の区間		
Ø		現河道•水面		
他		旧流路	S.30 年代後半~ S.40 年代前半	
o u			S.20 年代	
地			T.末期~S.初期	
形等			M.末期~T.初期	
77		地盤高線	主曲線	
			補助曲線	

		ı		
; ;	旧堤防	旧堤防	S.30 年代後半~ S.40 年代前半	
			S.20 年代	
			T.末期~S.初期	
			M.末期~T.初期	
	河川管理施設	堤防	完成堤防	
	(許可工作物		暫定堤防	
	も含む)		暫々定堤防	
		護岸		
		河川工作物	水位観測所	A
			流量観測所	
			水質観測所	0
			雨量観測所	0
			樋門·樋管	
			水門•閘門	
			揚排水機場	
		事務所•出張所	事務所	
			出張所	
		距離標	•	
		測線		

(地理院地図)

ポートアイランド(1995年兵庫県南部地震)

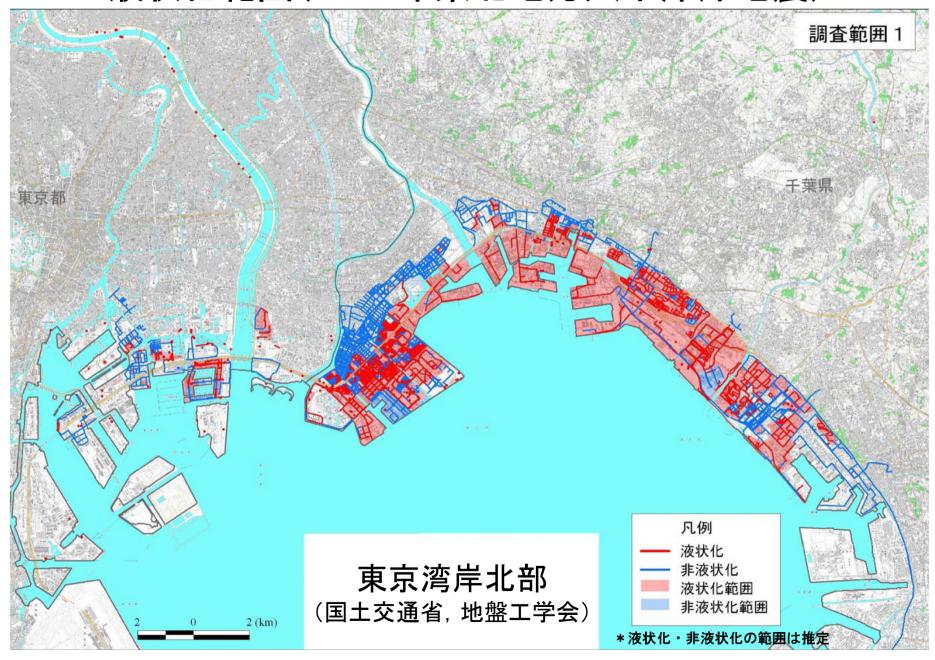


人工島で広範囲な液状化 とそれに伴う地盤流動 (ポートアイランド)

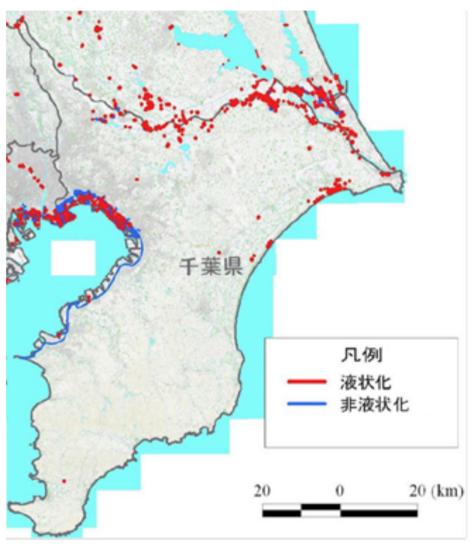
岸壁と背後地盤の変形 (ポートアイランド)

(地盤工学会)

液状化範囲(2011年東北地方太平洋沖地震)



液状化による住宅被害

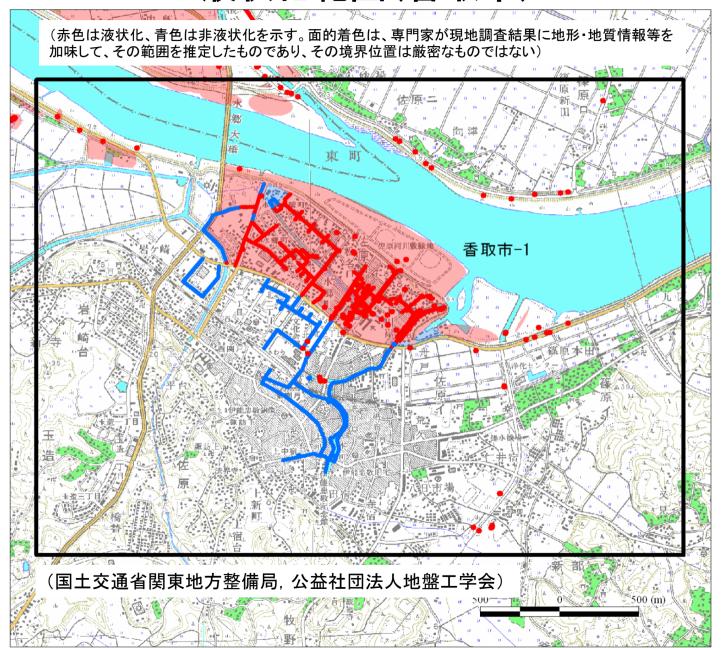


関東地方の液状化発生箇所(国土交通省 関東地方整備局・地盤工学会,安田進)

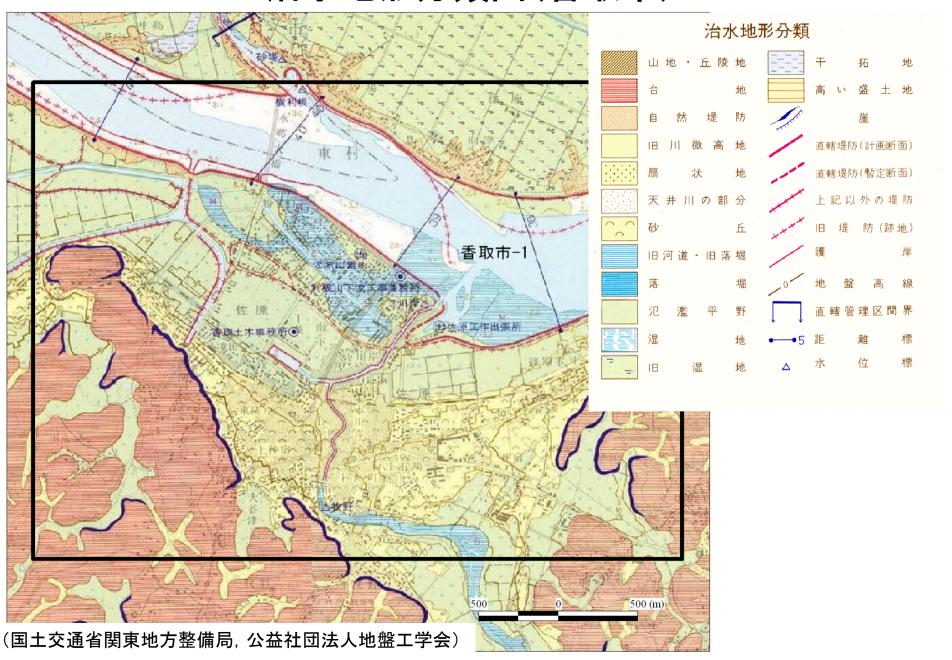
液状化	液状化による住家被害		
岩手県	3 棟		
宮城県	140 棟		
福島県	1, 043 棟		
茨城県	6, 751 棟		
群馬県	1 棟		
埼玉県	175 棟		
千葉県	18, 674 棟		
東京都	56 棟		
神奈川県	71 棟		
合計	26, 914 棟		
	(9 都県 80 市区町村)		

(国土交通省都市局, 平成23年9月27日調査時点, 安田進)

液状化範囲(香取市)



治水地形分類図(香取市)



迅速測図:明治18年測量(香取市)



液状化地点(2011年東北地方太平洋沖地震)

- 関東地方が対象
- 埋立地, 三角州で発生
- 埋立地, 旧河道の割 合が高い

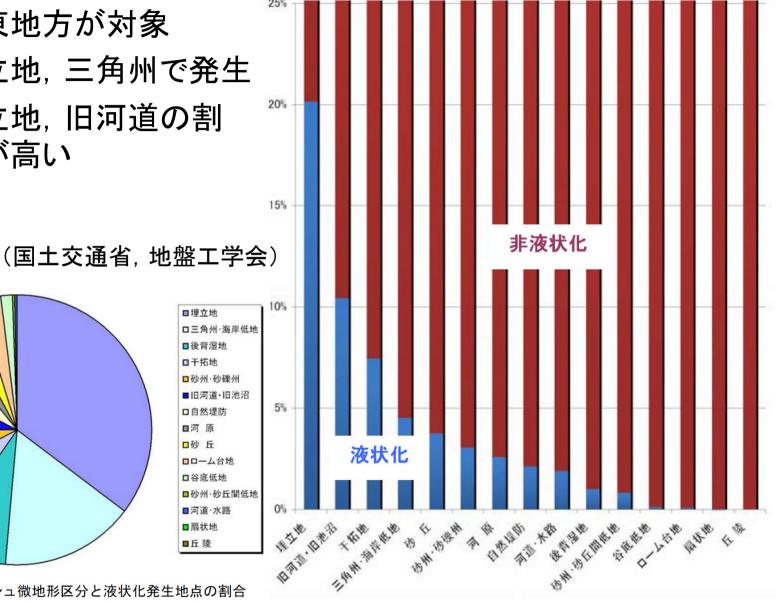
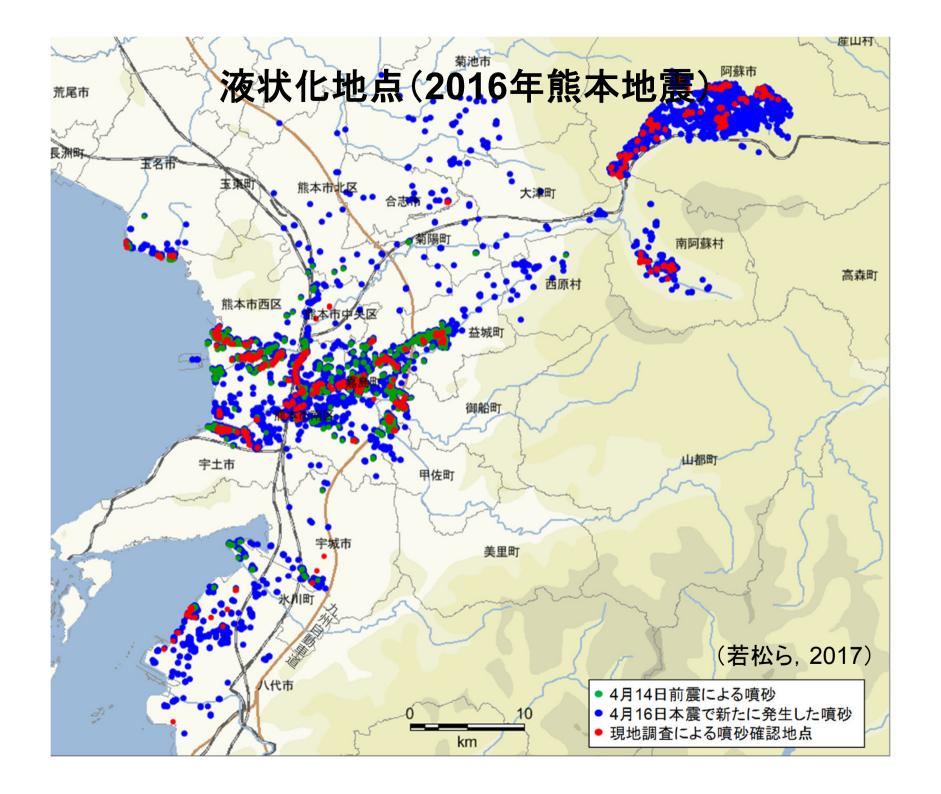
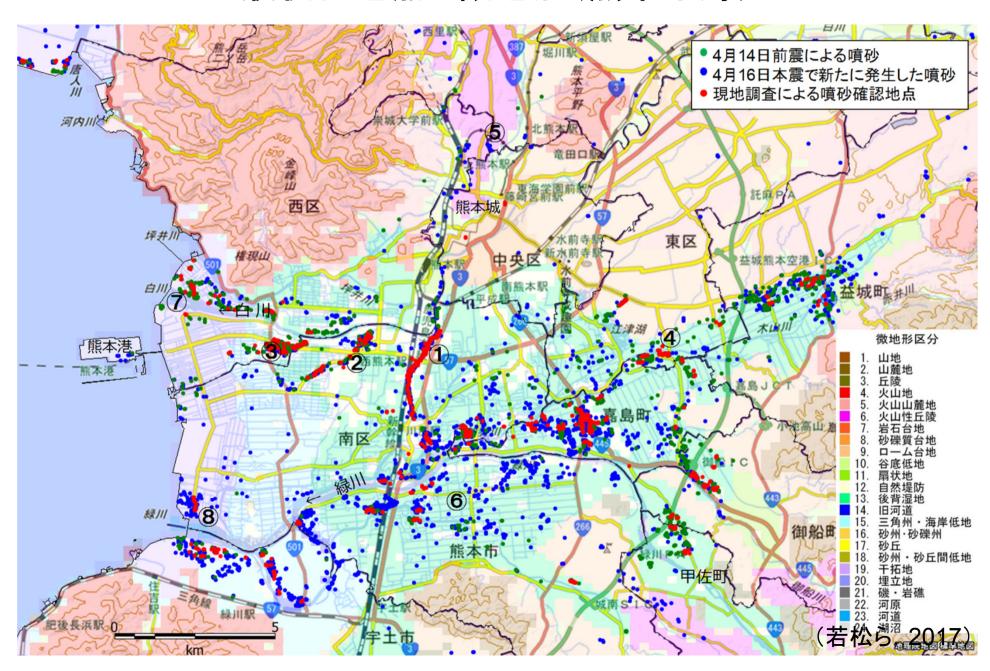


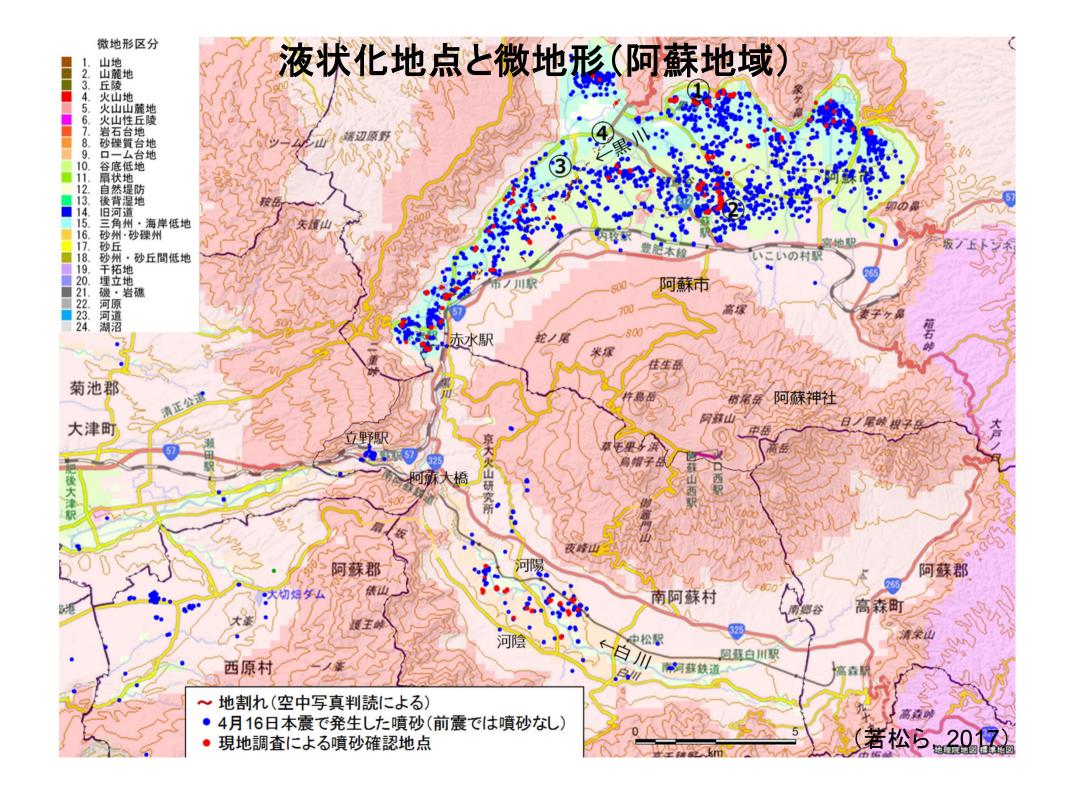
図 3.5.15 250m メッシュ微地形区分と液状化発生地点の割合

図 3.5.16 微地形ごとの液状化発生傾向

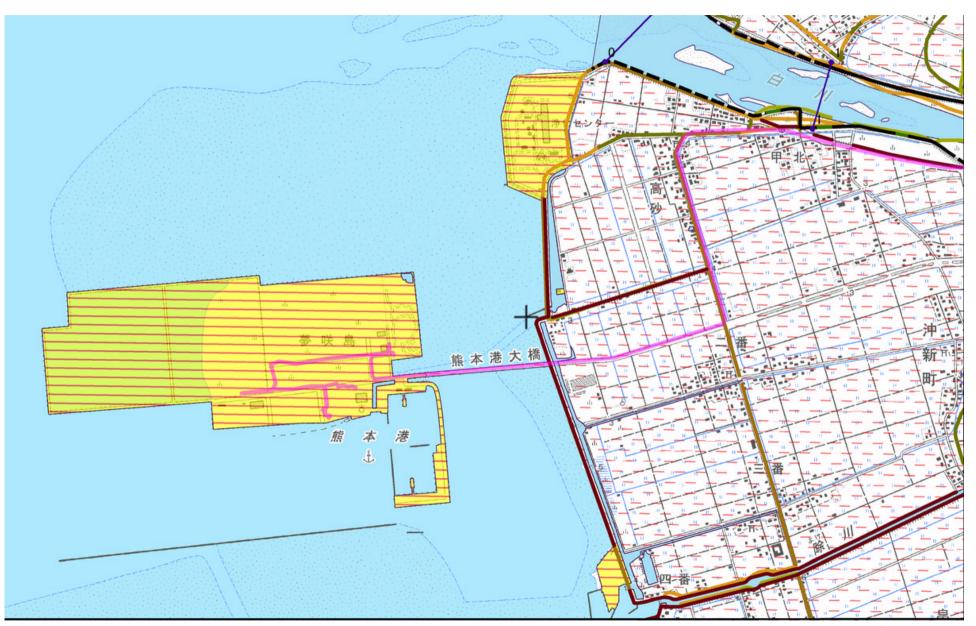


液状化地点と微地形(熊本平野)





熊本市西区新港



(地理院地図)















岸壁と背後地盤の変形(1995年兵庫県南部地震)



相馬港1号埠頭(2011年東北地方太平洋沖地震)

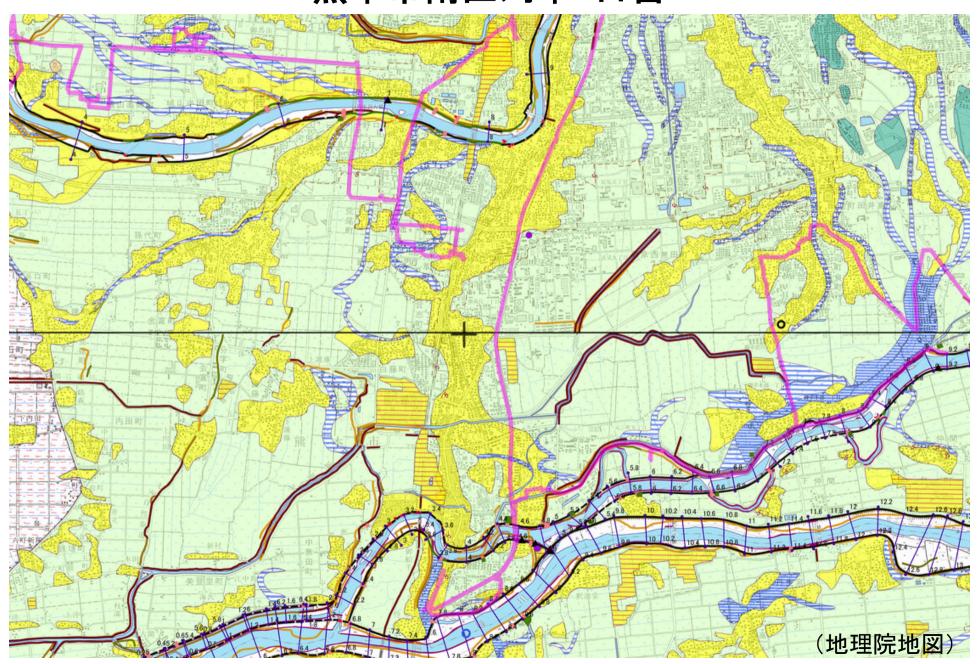




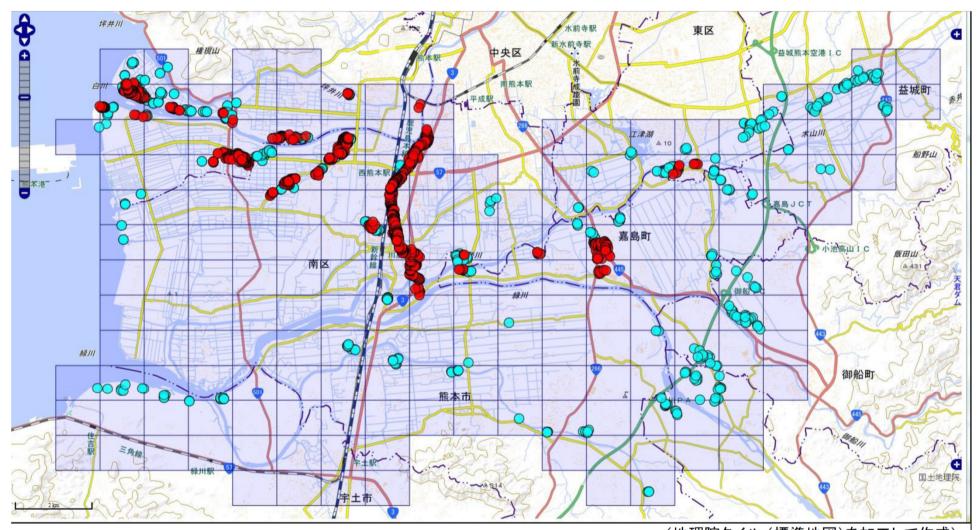
小名浜港3号埠頭(2011年東北地方太平洋沖地震)



熊本市南区刈草•日吉



現地調査・空中写真判読による液状化地点



(地理院タイル (標準地図)を加工して作成)

●現地調査による液状化確認 ●空中写真判読による液状化確認

(福岡大学村上哲教授)







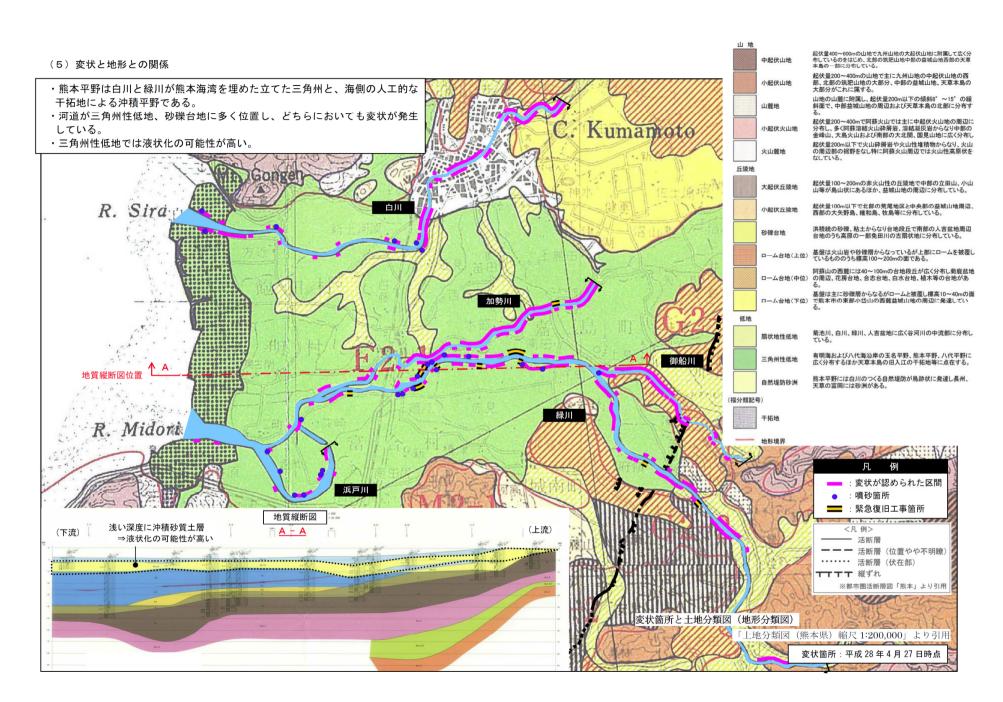








(福岡大学村上哲教授)



(国土交通省)













道路の被害(2011年東北地方太平洋沖地震)







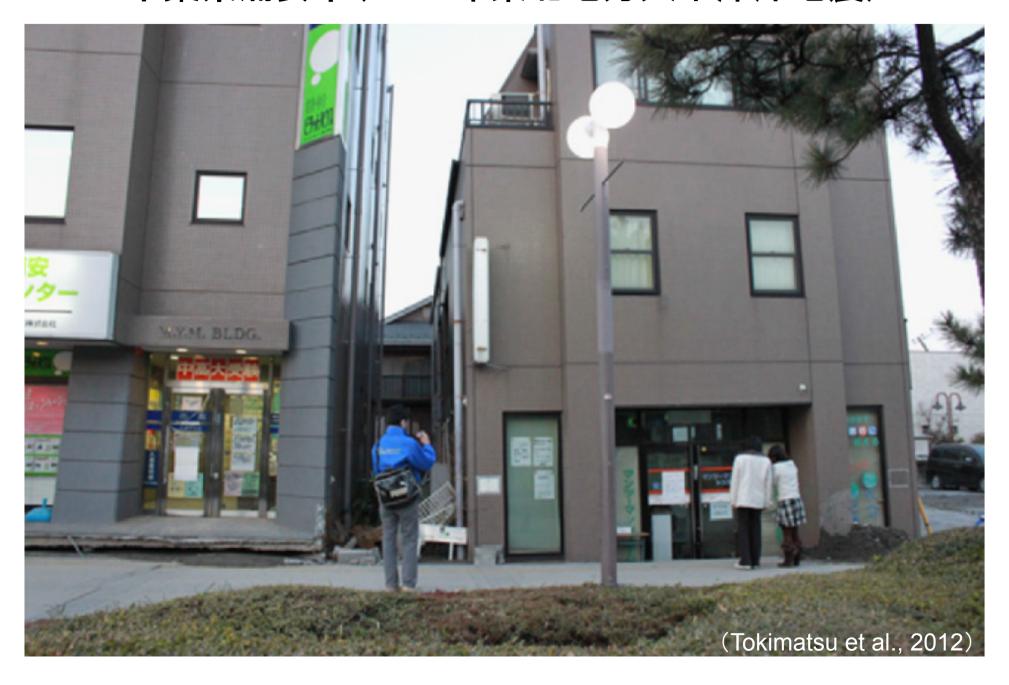


(浦安市)

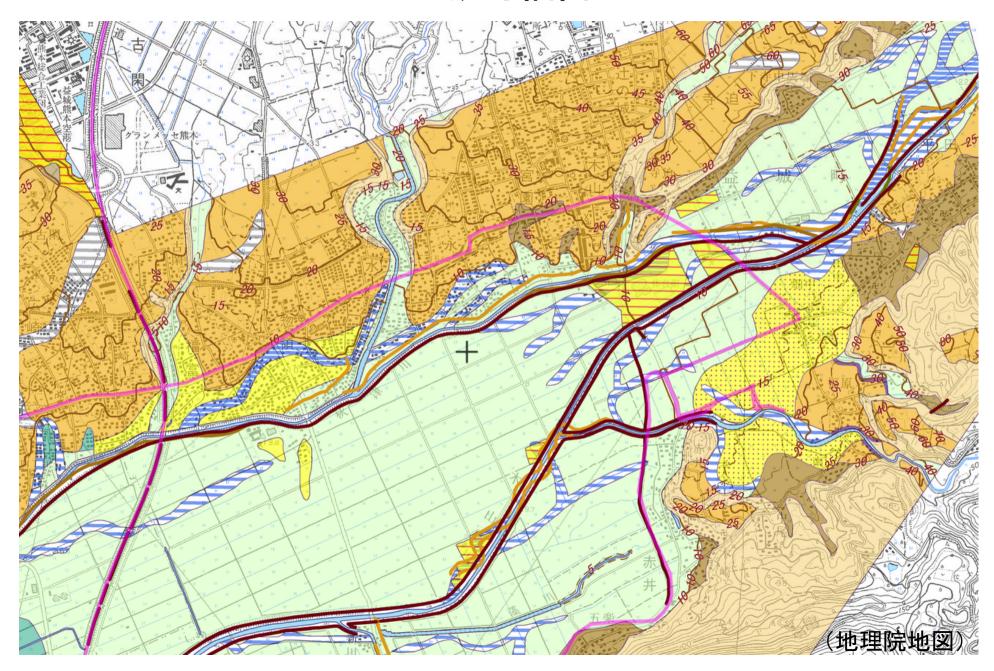








益城町福富





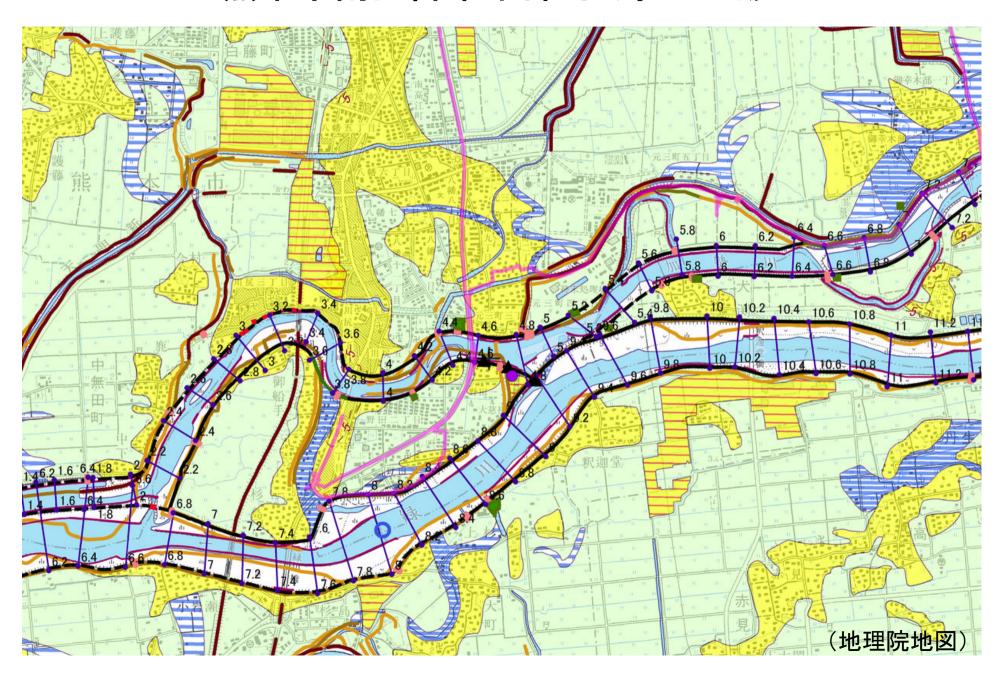








熊本市南区御幸木部町・野田・川尻



2016年4月15日(前震後)



2016年4月16日(本震後)







3-2. 緑川(直轄管理区間)における被害発生状況



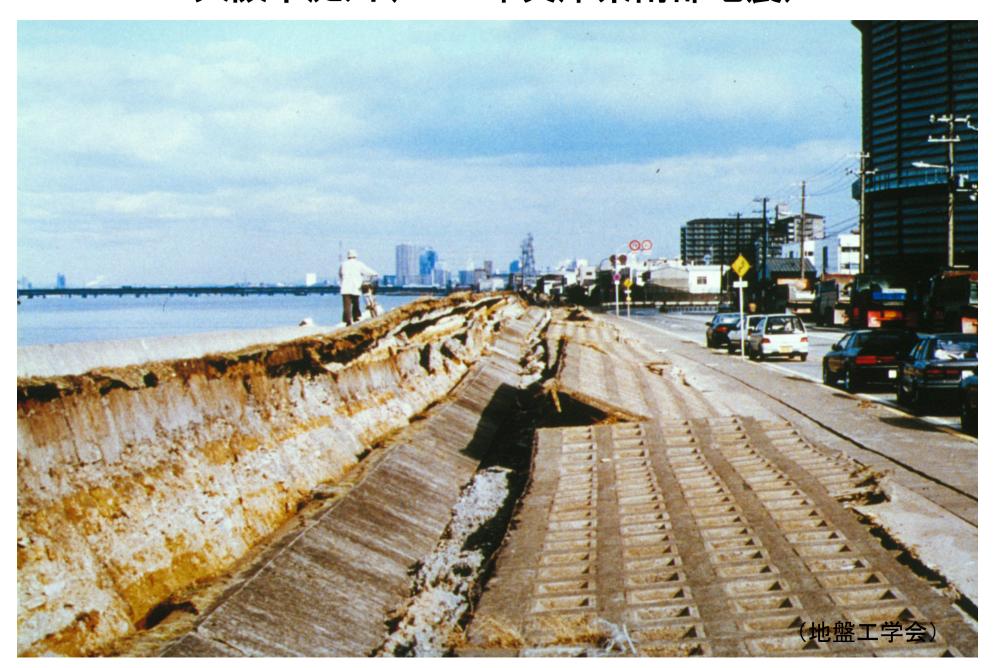
く被害概要>

・緑川水系の直轄管理区間では、4河川105箇所において堤防天端の亀裂や特殊堤の損傷等の被災を 確認。被災を確認した箇所は、その都度応急対策を実施済み。 (国土交通省)

・被災規模の大きい11箇所については、緊急的な復旧工事を実施。



大阪市淀川(1995年兵庫県南部地震)





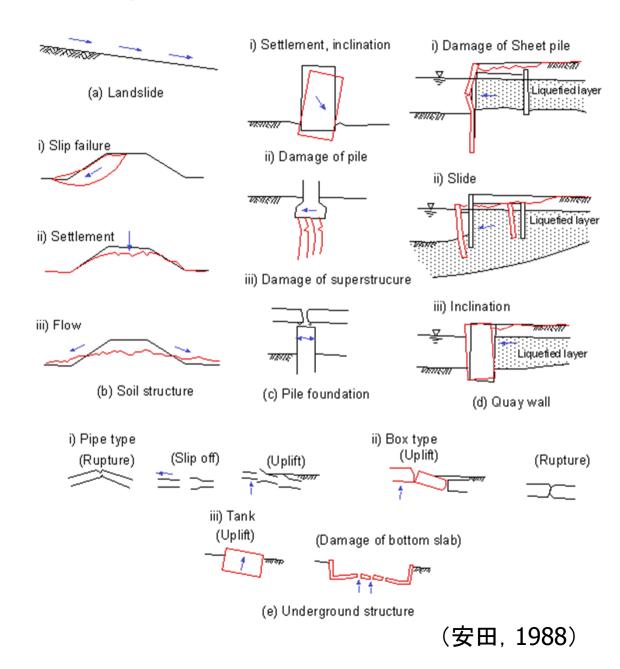


堤防の破壊(2011年東北地方太平洋沖地震)



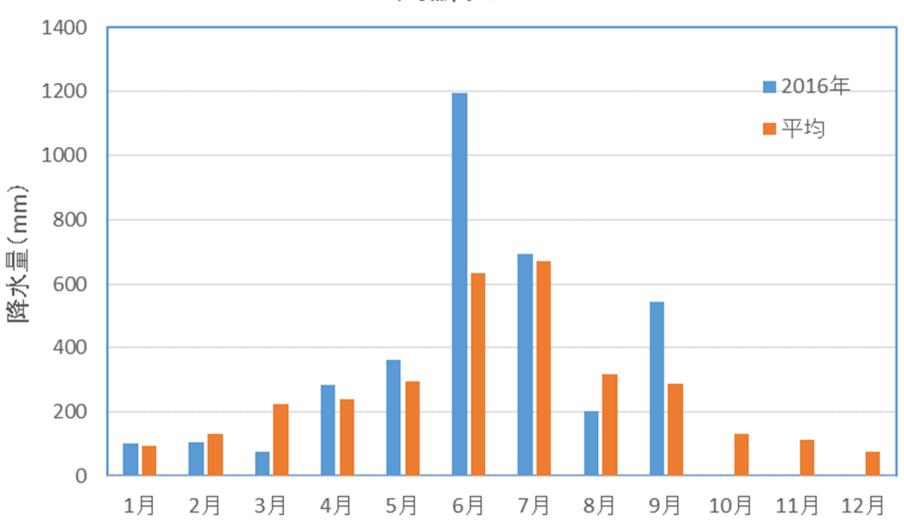
液状化災害のまとめ

- 主に重力の作用方向に変形
- 重力作用下で地盤 剛性が低下したこと が原因
- 埋立地, 旧河道, 自 然堤防などの液状 化被害が顕著
- 液状化に伴う側方 変位が発生する場 合がある
- 埋設管, 杭基礎の 破損は過大な地盤 変位の影響



降水量

阿蘇山

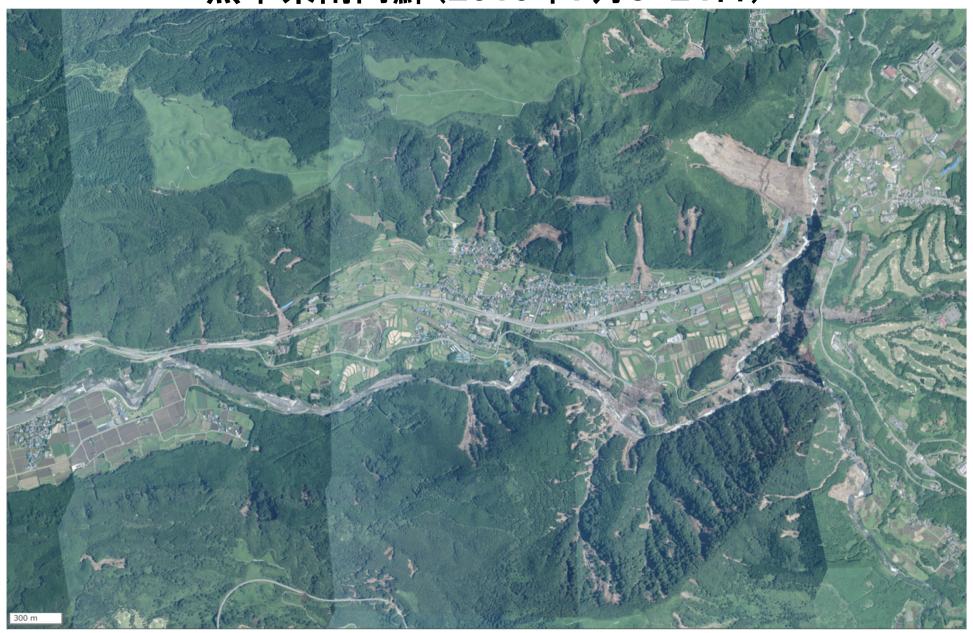


熊本県南阿蘇(2016年4月20日)



(国土地理院)

熊本県南阿蘇(2016年7月5~24日)



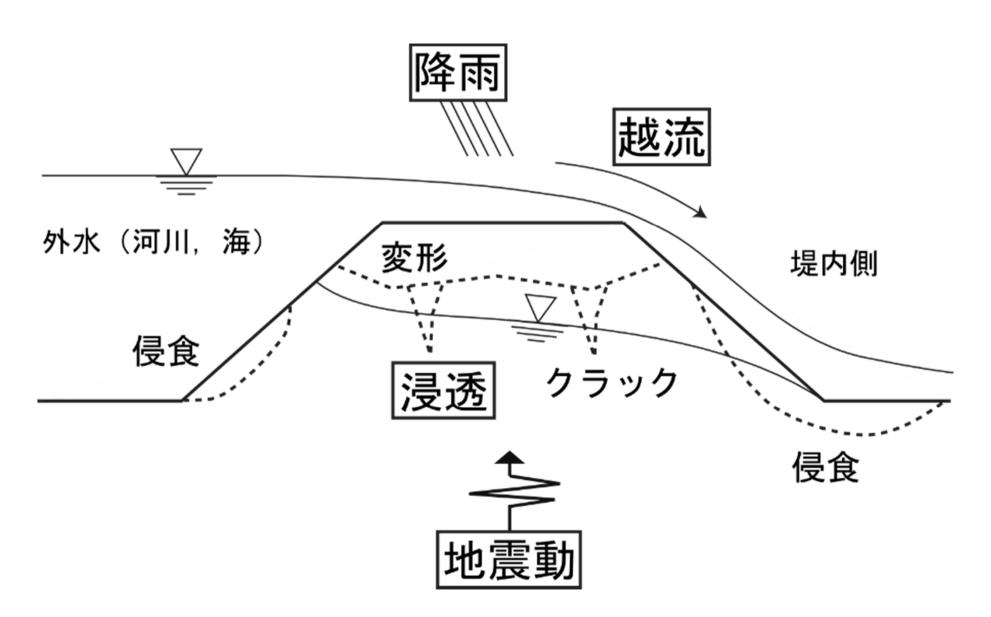
熊本県益城町(2016年6月21日, 朝日新聞)



地震後堤体にクラックがあり、トンパックが置いてあったが流された(熊本県、岡二三生京大名誉教授)。



地震・降雨・浸透の複合作用



実験内容

: Acceleration Transducer + : Pore water pressure cell 130 130 CH09 River side Land side 65 Embankment Supply CH10 Settlement part CH07 CH06 CH04 CH05 CH08 Solenoid valve Solenoid valve 220 250 20 Foundation ground CH01 Air pressure CH18 Supply Water storage tank Unit: mm *Model scale

土槽寸法:

幅375mm×高さ175mm×奥行200mm 間隙流体: メチルセルロース溶液, 25cSt ※基礎地盤は不透水性モルタルを使用

実験手順

A. <u>重力</u>場(1G)

1. 間隙流体及び試料の作製

2. 沈下盛土層(Dr=50%)及び盛土 (Dc=80%)の作製

B. 遠心力場(25G)

3. 沈下盛土層に間隙流体注水

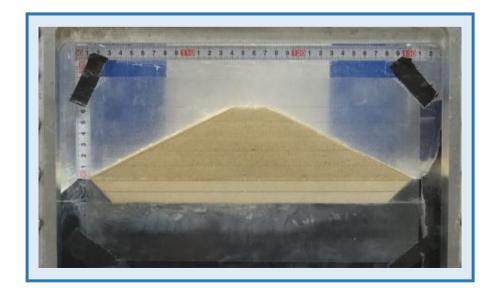
4. 加振実験(Tc S-1 - L-1)

5. 浸透実験(Tc N-1 - L-1)

実験ケース

*Prototype scale

Test	沈下盛土層の	盛土の締固め度	加振条件		
code	相対密度 (%)	(%)	入力周波数(Hz)	加振時間(sec)	
N-1	48.4	78.6	-	-	
S-1	47.8	79.6	0.7	37.5	
S-2	48.0	80.6	0.7	37.5	
M-1	50.3	79.6	0.7	37.5	
M-2	46.3	80.2	0.7	37.5	
L-1	51.0	77.6	0.7	50.0	



混合砂(豊浦砂: 珪砂7号)の 物理的性質

ρ_s (g/cm ³)	2.569		
<i>w</i> _{opt} (%)	13.2		
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.61		
ρ_{dmin} (g/cm ³)	1.33		

加振実験

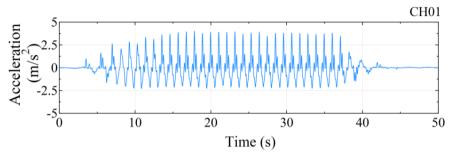
Test code: L-1



入力加速度

(法尻)

*Prototype scale



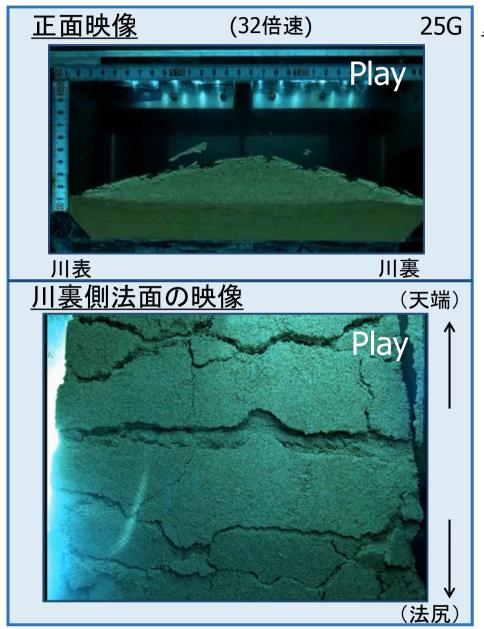
加振実験結果(外力と天端沈下量)

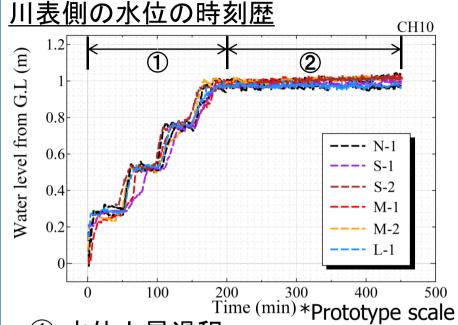
Test code	平均加速度×入 力波数 (m/s²)	天端沈下量(m)	
S-1	2.64x25=66.0	0.068	
S-2	2.65x25=66.3	0.109	
M-1	2.91x25=72.8	0.263	
M-2	2.76x25=69.0	0.178	
L-1	2.76x34=93.8	0.495	

*Prototype scale

浸透実験

Test code: L-1





- ① 水位上昇過程 50分毎に0.25m水位を上昇させる 過程を4サイクル実施.
- ② 水位保持過程 地表面から1.0mまで上昇させた 後,250分間水位を保持.

加振で発生したクラックが起点となり、局所的な浸透破壊が発生.

浸透実験結果

浸透実験後の川裏側法尻部の状態

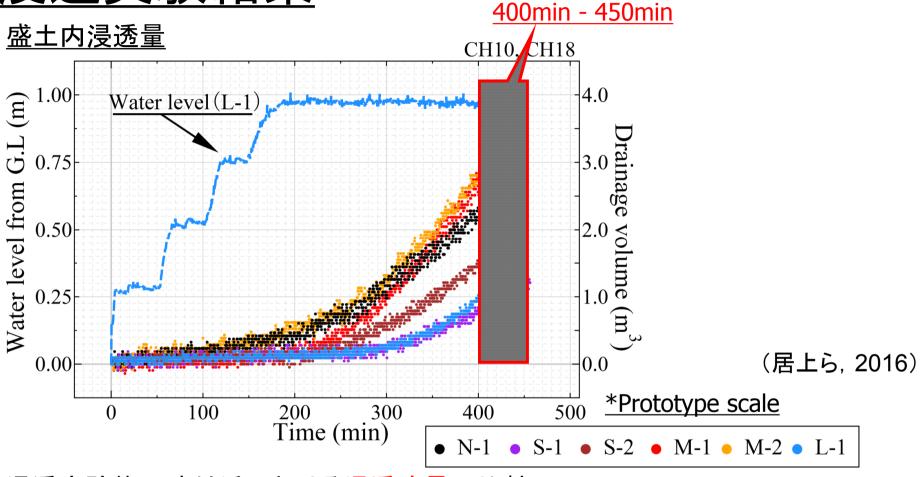


- 大きな浸透破壊は確認されなかった
- ・盛土内部の細粒分が川裏側へ流出



- 局所的な浸透破壊が確認された
- ・加振で発生したクラックが起点となり局所的な浸透破壊が発生(居上ら, 2016)

浸透実験結果



浸透実験終了時付近における浸透流量の比較

Test code	N-1	S-1	S-2	M-1	M-2	L-1
Seepage flow rate (m³/min)	0.0093	0.0074	0.0084	0.0186	0.0168	0.0112
Crest settlement (m)	_	0.068	0.109	0.263	0.178	0.495

まとめ

川表側からの高水を想定した水位上昇における浸透実験を、加振したケースと加振しないケースに分け、遠心模型実験にて実施

- 加振により発生したクラック箇所を起点とし、川裏側法尻部から、 徐々に破壊していく様子が確認された。
- 天端沈下量が大きな値を示したケースに関しては、浸透実験時に 局所的な浸透破壊が発生し、実験終盤においては浸透流量が加 振を行っていないケースを上回る結果となった。

加振により発生するクラックが起点となり、浸透による局所的な破壊を誘発することで浸透流量が増加する可能性