

熊本地震による宅地地盤災害

村上哲(福岡大学)

sato4murakami@fukuoka-u.ac.jp

<http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/>

地震による地盤の沈下と変状

- 広い範囲での沈下と変状
 - 地盤そのものの沈下
 - 谷埋め盛土の地すべりの変状
 - 斜面の大規模崩壊
- 狭い場所での沈下と変状
 - 局所的に変化する地盤に起因するもの
 - 構造物との相互作用に起因するもの
 - 擁壁など抗土圧構造物の変位や損傷によるもの
- 地震時と地震後の沈下と変状

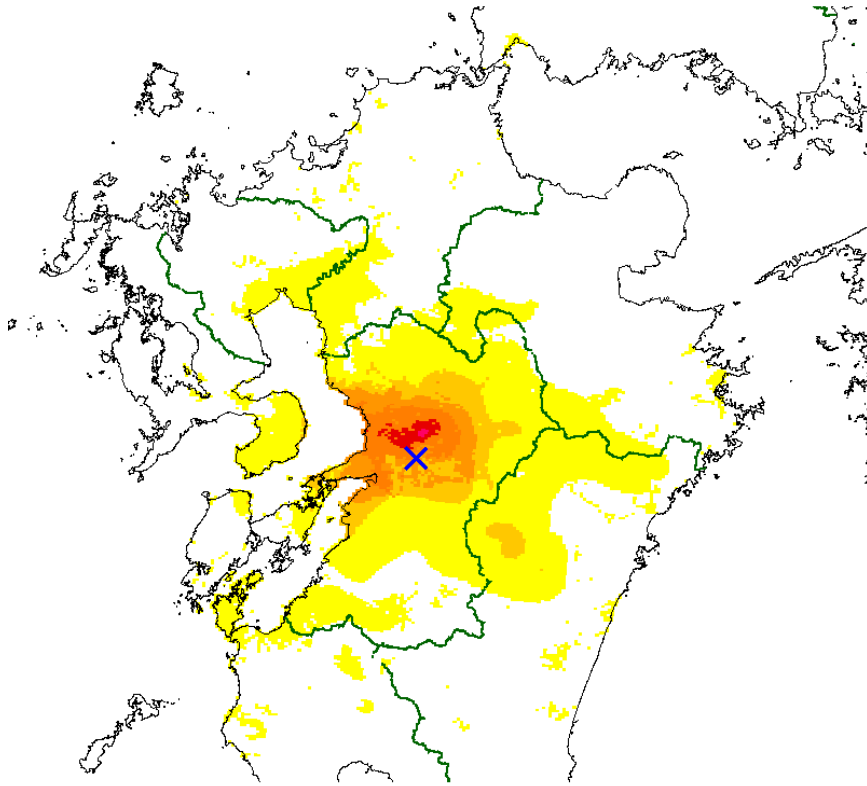
地震による地盤の沈下と変状

- 地震動など外力の作用
 - 地盤に直接作用するもの
 - 構造物を介して付加的に作用するもの
- 繰返し外力による土の強度・剛性の低下
 - 砂質土→液状化する
 - 粘性土→液状化しない……………。

前震と本震の震度分布図

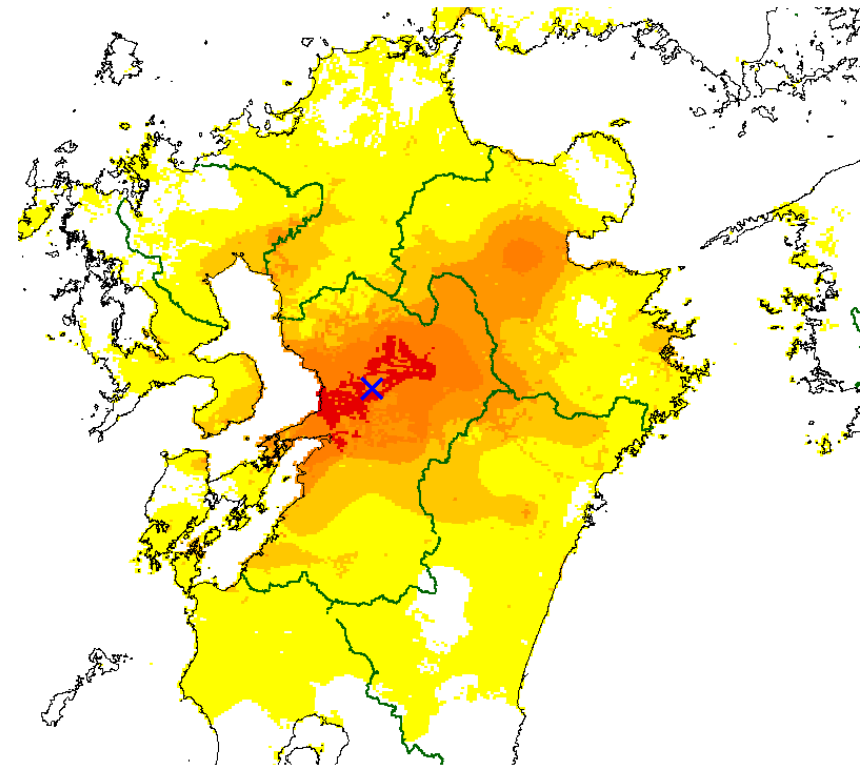
15 843

54 1143



(震源要素)
平成28年04月14日 21時26分 熊本県熊本地方 M6.4
(情報時刻)
平成28年04月14日 21時36分

震度 4 5弱 5強 6弱 6強 7



(震源要素)
平成28年04月16日 01時25分 熊本県熊本地方 M7.1
(情報時刻)
平成28年04月16日 01時40分

震度 4 5弱 5強 6弱 6強 7

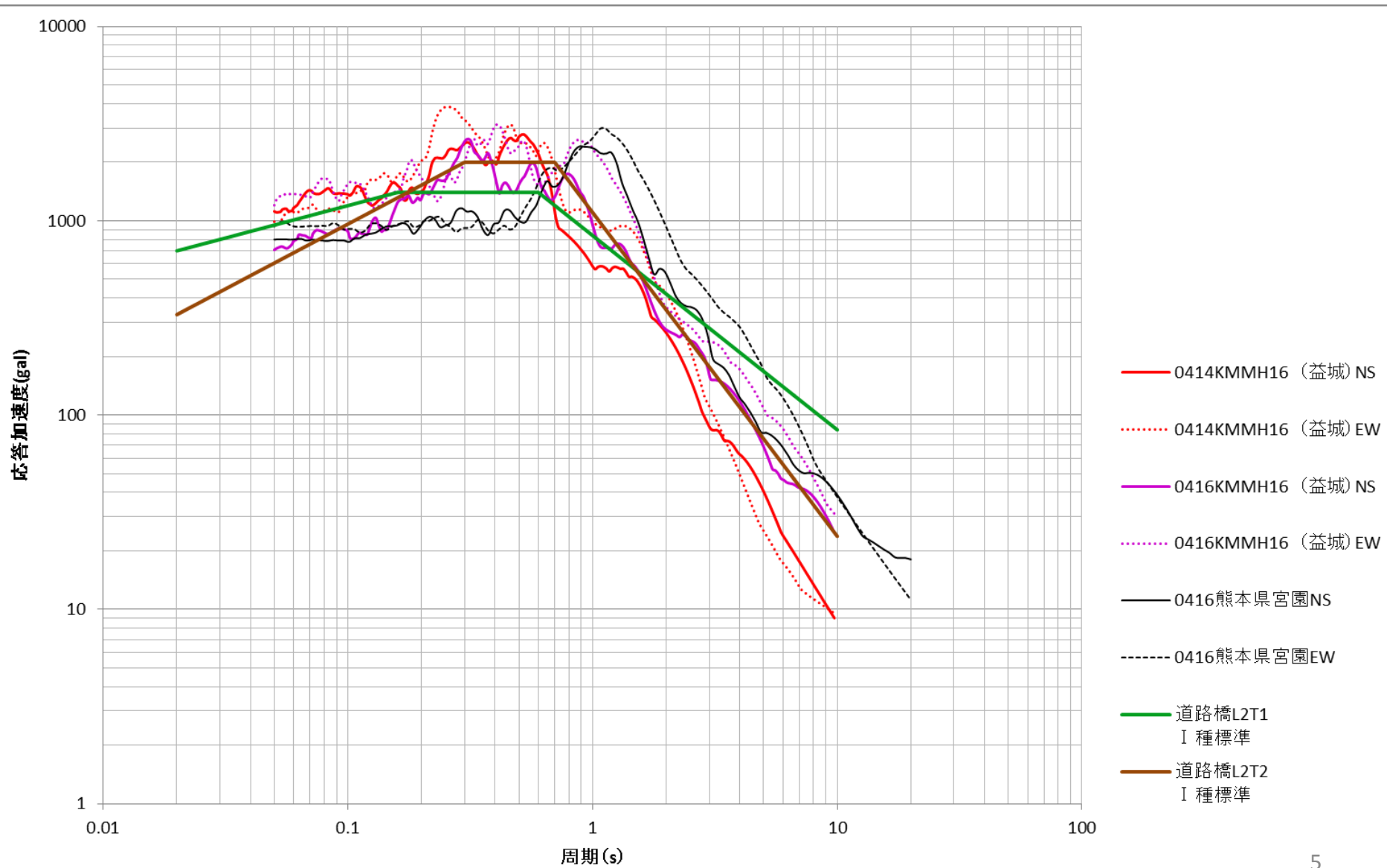
4月14日21時26分M6.4

http://www.data.jma.go.jp/svd/ew/data/suikei/201604142126_741/201604142126_741_2.html

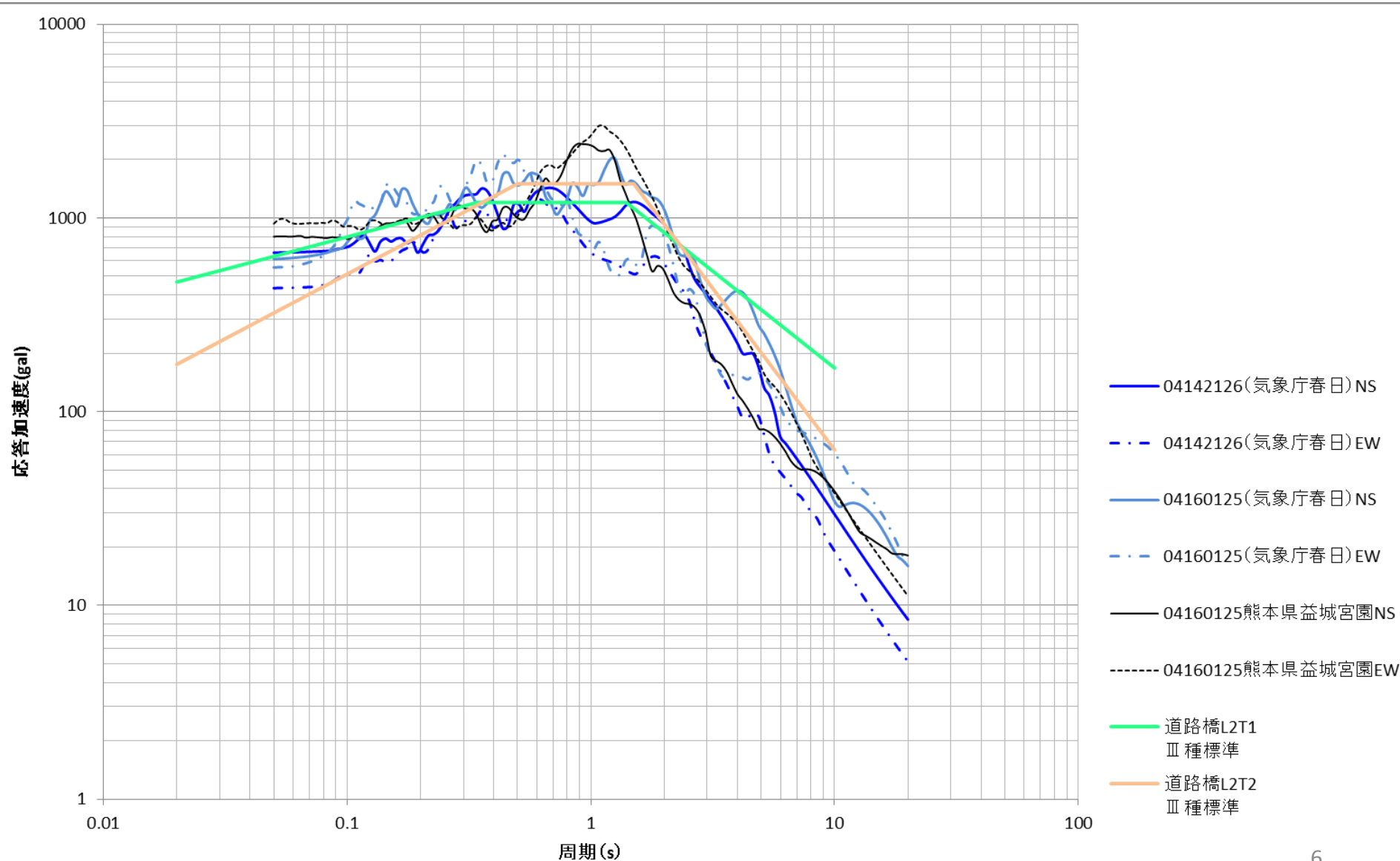
4月16日01時25分M7.1

http://www.data.jma.go.jp/svd/ew/data/suikei/201604160125_741/201604160125_741_2.html

標準スペクトルと加速度応答スペクトル比較 (益城KMMH16 I種地盤, 熊本県益城宮園 III種地盤)



標準スペクトルと加速度応答スペクトル比較 (気象庁春日, 熊本県益城宮園 III種地盤)



H28年熊本地震による地震動の特徴

- 前震・本震・余震と複数回の地震
 - 前震:4月14日21時26分M6.4
 - 本震:4月16日01時25分M7.1
 - 特に、本震では広範囲で揺れている
- 加速度応答スペクトル
 - 益城Ⅰ種地盤
 - 前震ではレベルⅡタイプ2標準より、周期0.2～0.7sで超過
 - 本震ではレベルⅡタイプ2標準より、EW成分が周期0.2～2.0sで超過
 - 益城宮園Ⅲ種地盤
 - 本震ではレベルⅡタイプ2標準より、周期0.2～1.5sで超過
 - 熊本市春日Ⅲ種地盤
 - 前震、本震ともレベルⅡタイプ2標準相当

4月15日（前震後）と4月16日（本震後）



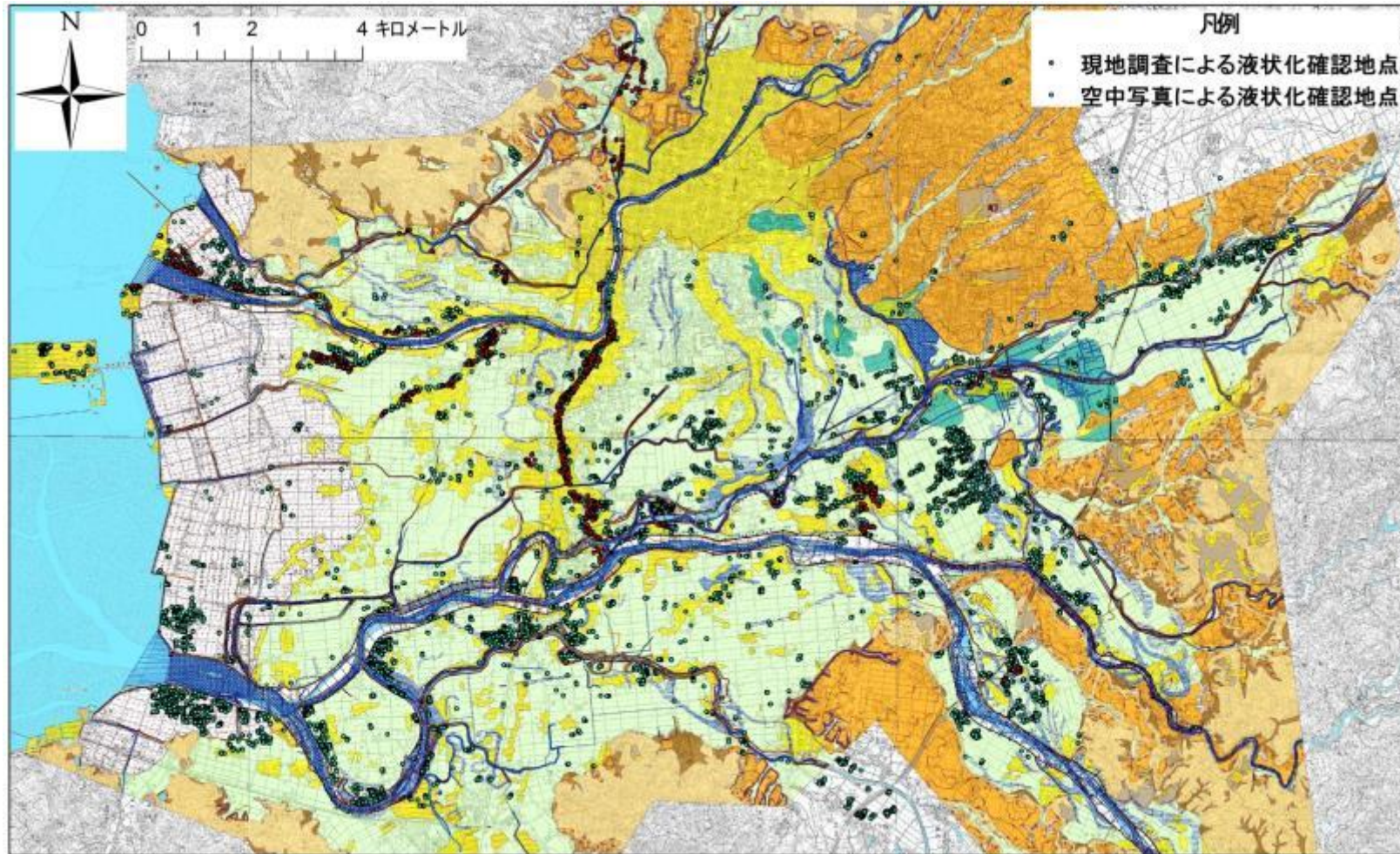
4月15日(前震後)と4月16日(本震後)



JGS熊本地震調査団：液状化班調査

- 平成28年4月22日
 - 嘉島町犬渕・上島・鯨
 - 熊本市南区近見・刈草
 - 熊本市東区秋津
- 平成28年4月24日
 - 阿蘇市
- 平成28年4月29日
 - 熊本市南区近見、刈草、南高江
- 平成28年4月30日
 - 阿蘇市
- 平成28年5月1日
 - 熊本市南区南高江、八幡、川尻
- 平成28年5月7日
 - 熊本市南区土河原、砂原・孫代
 - 熊本市西区城山薬師、城山半田、中島、沖新町、小島新町
- 平成28年5月20日
 - 熊本市西区松尾、高橋町、上代、花園、上熊本、池亀町
 - 熊本市中央区横手、島崎
 - 熊本市北区釜尾町
- 平成28年5月28日
 - 甲佐町他
- 平成28年6月15日
 - 熊本市南区学科・鯨油・貳拾町
 - 御船町
- 平成28年6月17日
 - 熊本市中央区壺川
 - 熊本市東区沼山津、益城町広崎
 - 熊本市南区富合町杉島、川尻6丁目
 - 熊本市南区富合町小岩瀬
 - 宇土市直築・切所
- 平成28年7月2日
 - 益城町福富・惣領、安永・宮園

熊本平野における地盤に関わる被害地点



「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料D1-585,586)をもとに作成

液状化調査のまとめ

- 平成28年熊本地震では
 - 熊本県内11市町村で液状化
 - 前震、本震と短期間に大きな地震を複数回作用したこと
 - 東北地方太平洋沖地震で生じた面的な広がりをもつ埋立地盤における液状化だけでなく、旧河道部や自然堤防部の一部で液状化の帯として現れたような限定的に生じているのが特徴的である。
 - 噴砂を確認したところ、その多くが火山性由来の土質と思われる火山灰質砂であり、この影響が液状化被害を甚大化した可能性も指摘される。

噴砂試料の粒度特性



噴砂試料の粒度特性

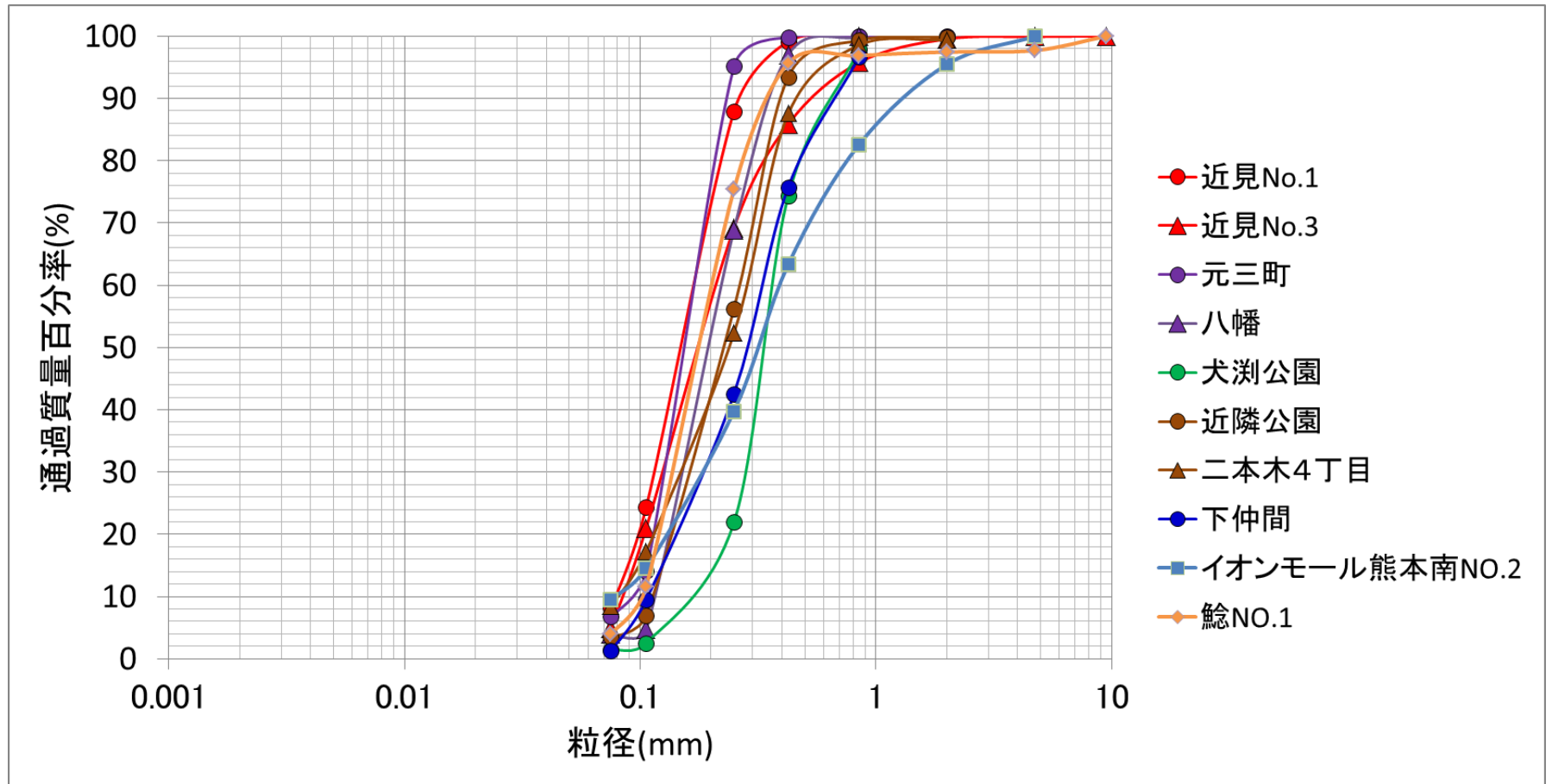
例) 熊本市南区近見一丁目の噴砂した土
乾燥前



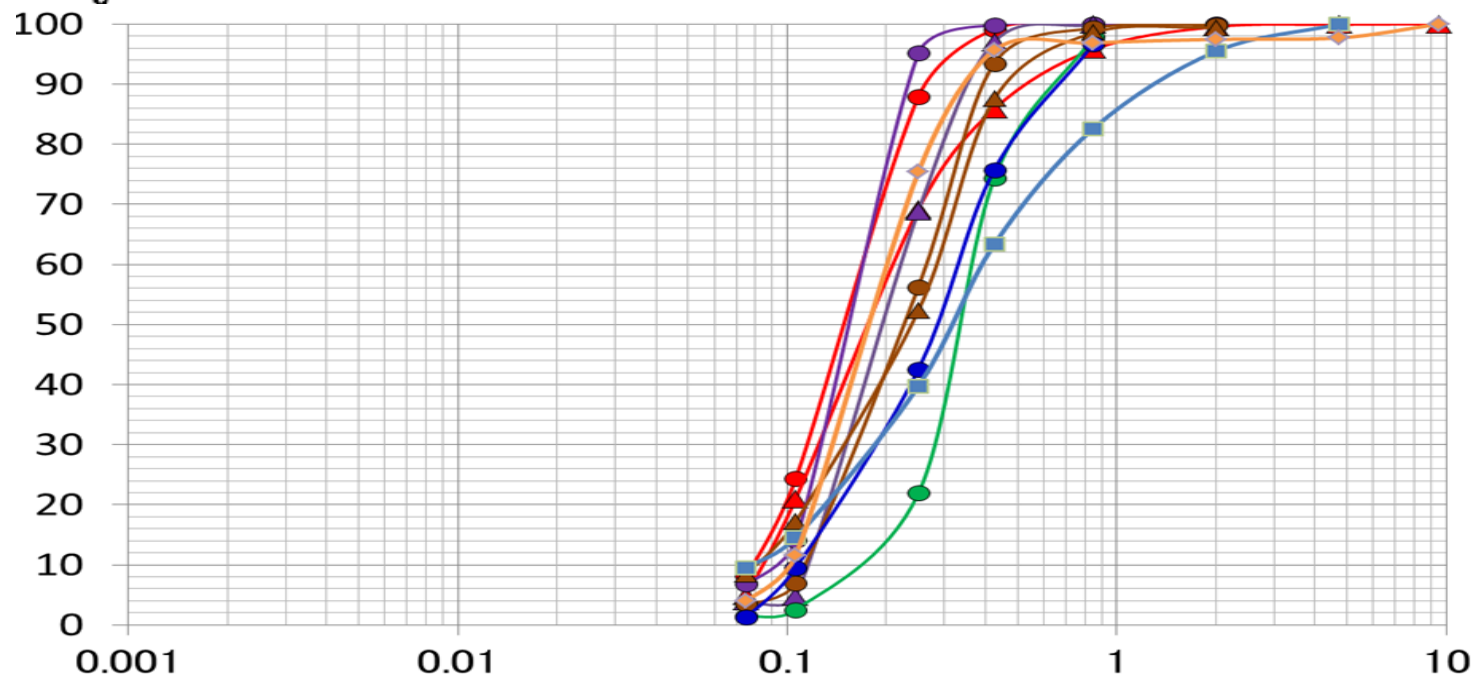
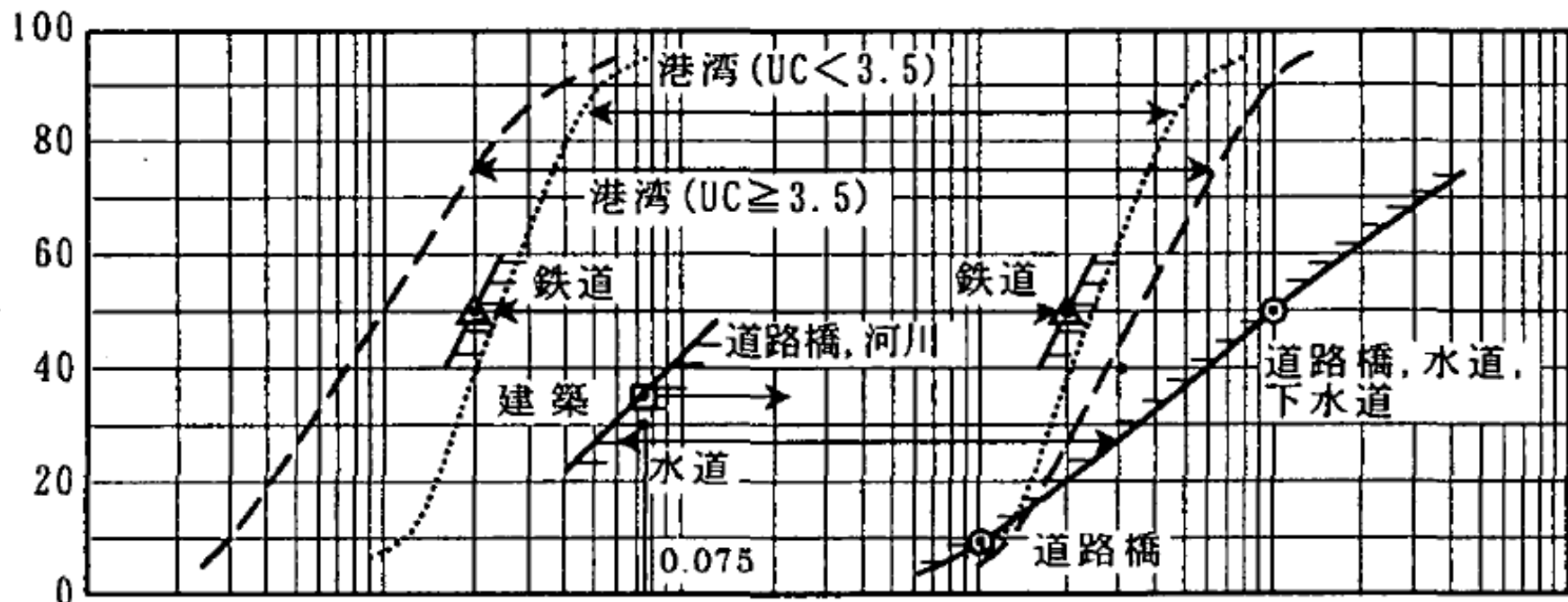
乾燥後



噴砂試料の粒度特性



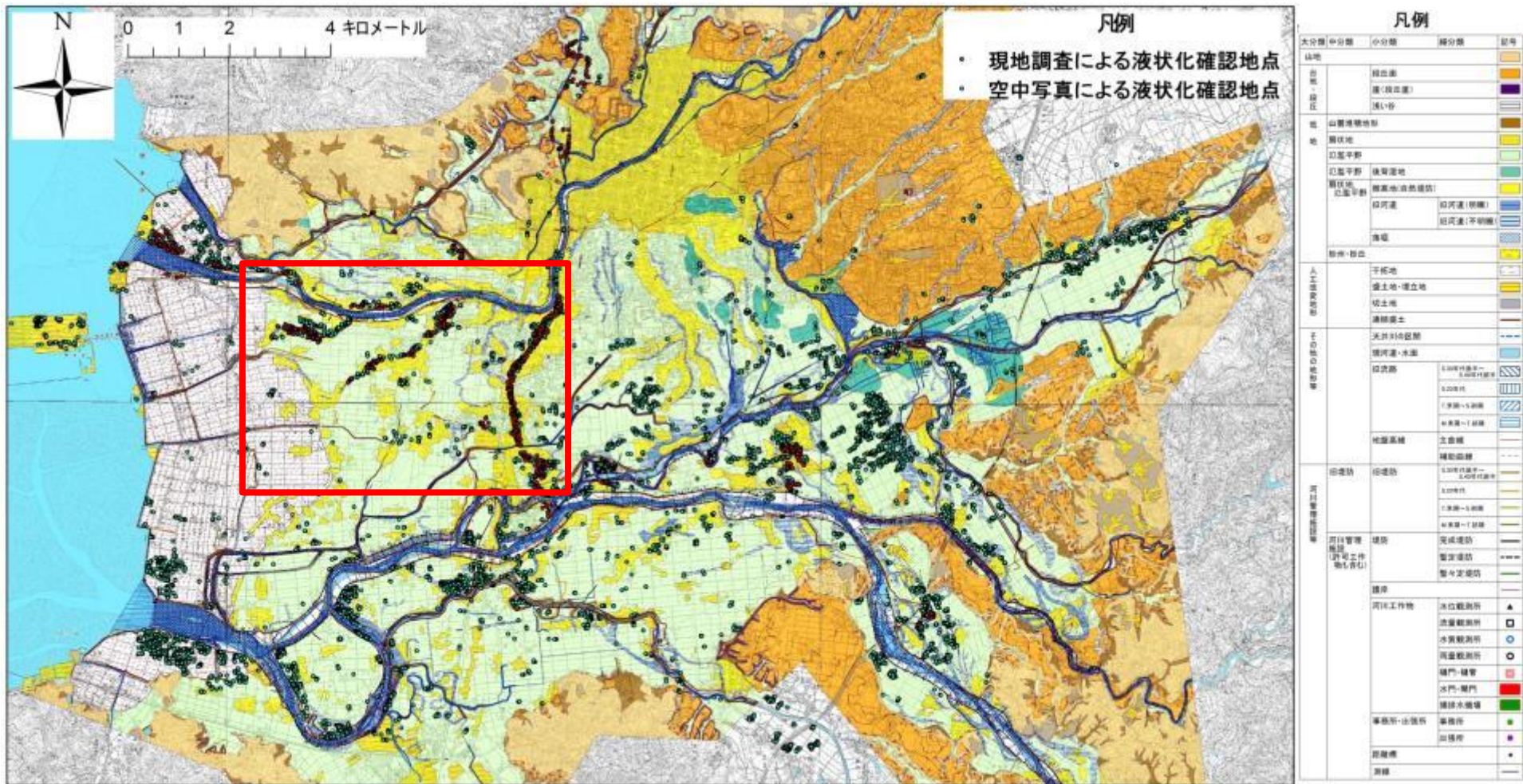
噴砂試料の粒度加積曲線



噴砂試料の特性から

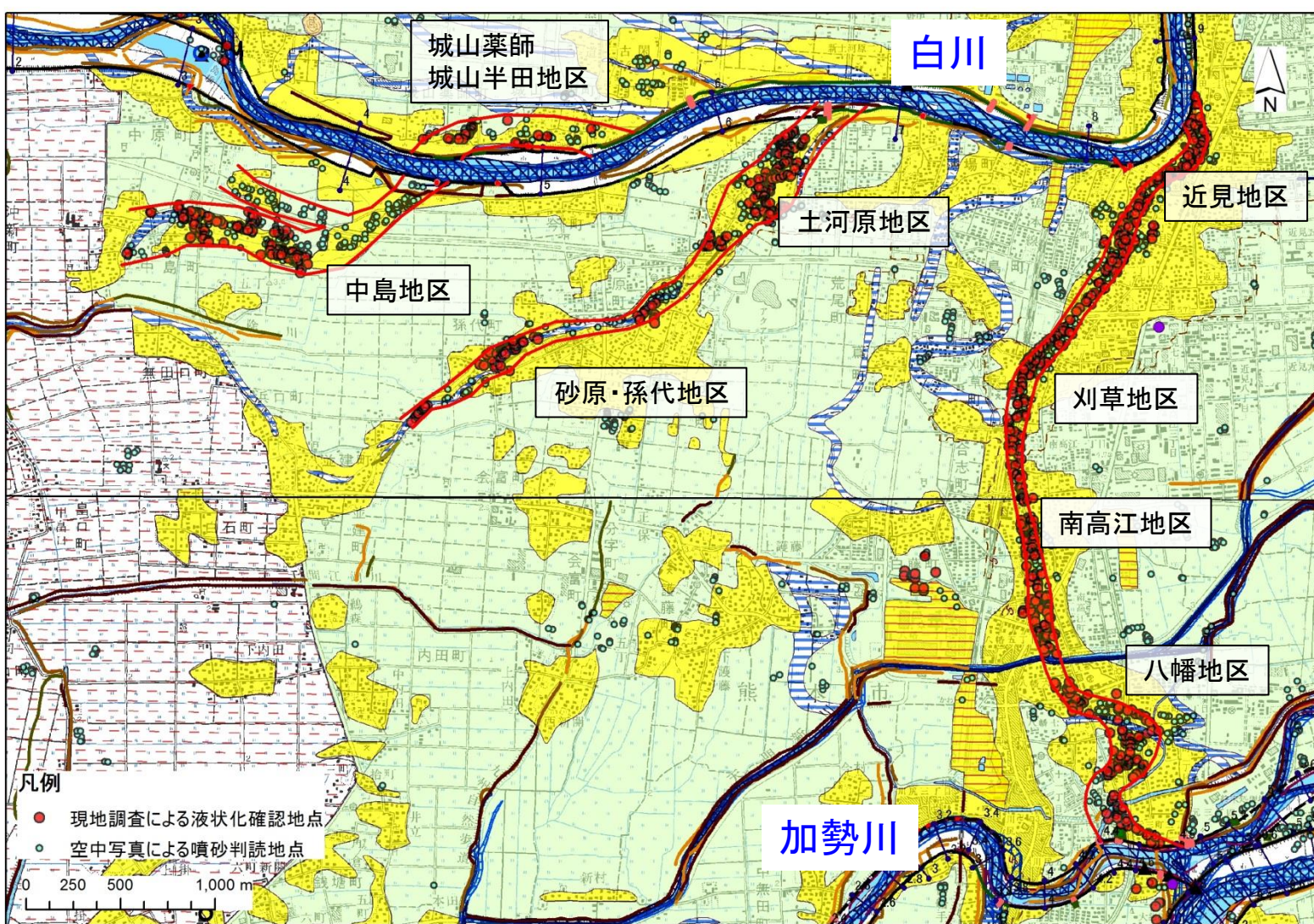
- 噴砂の多くは灰黒色の砂であり、土粒子の一部には軽石を含んでいることから、噴砂は火山性由来の土質、すなわち、火山灰質砂と思われる。
- 採取試料に対し、簡易粒度試験（沈降分析を行わないふるい分けのみの試験）を実施した結果、粒径加積曲線は、港湾基準の液状化しやすい砂の分布範囲に収まっており、**火山灰質砂だから液状化した**ということはいえない。
- 工学的分類では細砂あるいは細粒分混じり細砂に分類されることから、河川上流部から流されてきた砂が分級され堆積した土質と推察される。

白川沿岸に表れた液状化の帯



「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料D1-585,586)をもとに作成

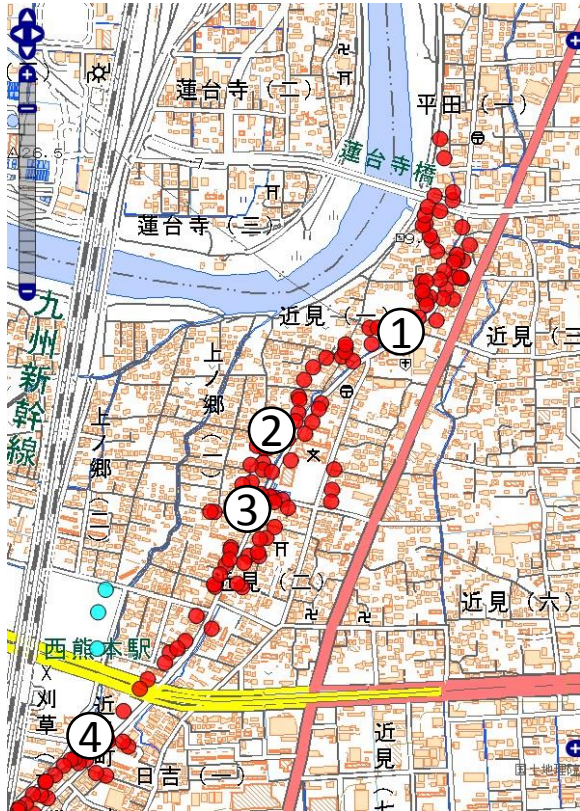
白川沿岸に表れた液状化の帯



凡例						
大分類	中分類	小分類	細分類	記号		
山地	台地 段丘	段丘面		[Orange]		
		崖(段丘崖)		[Dark Purple]		
		浅い谷		[Light Blue]		
	低地	山麓堆積地形			[Brown]	
		扇状地			[Yellow]	
		氾濫平野			[Light Green]	
		氾濫平野	後背湿地		[Light Green]	
		扇状地 氾濫平野	微高地(自然堤防)		[Yellow]	
	扇状地 氾濫平野	旧河道	旧河道(明瞭)		[Blue]	
			旧河道(不明瞭)		[Light Blue]	
落堀				[Blue]		
砂洲・砂丘					[Yellow]	
					[Yellow]	
人工 改変地形	干拓地	盛土地・埋立地		[Yellow]		
		切土地		[Grey]		
		連続盛土		[Grey]		
		天井川の区間		[Blue]		
	現河道・水面				[Blue]	
		旧流路			[Blue]	
	その他の地形等	地盤高線	主曲線		[Blue]	
			補助曲線		[Blue]	
		旧堤防	旧堤防			[Blue]
			旧堤防			[Blue]
河川 管理施設等	堤防	完成堤防		[Blue]		
		暫定堤防		[Blue]		
		暫々定堤防		[Blue]		
		護岸		[Blue]		
	河川 管理施設 (許可工作物も含む)	河川 工作物	水位観測所		[Triangle]	
			流量観測所		[Square]	
			水質観測所		[Circle]	
			雨量観測所		[Circle]	
			樋門・樋管		[Square]	
			水門・閘門		[Square]	
揚排水機場		[Square]				
事務所・出張所	事務所			[Circle]		
	出張所			[Circle]		
距離標				[Circle]		
測線				[Line]		

「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料D1-585,586)をもとに作成

■ 近見地区(熊本市南区)

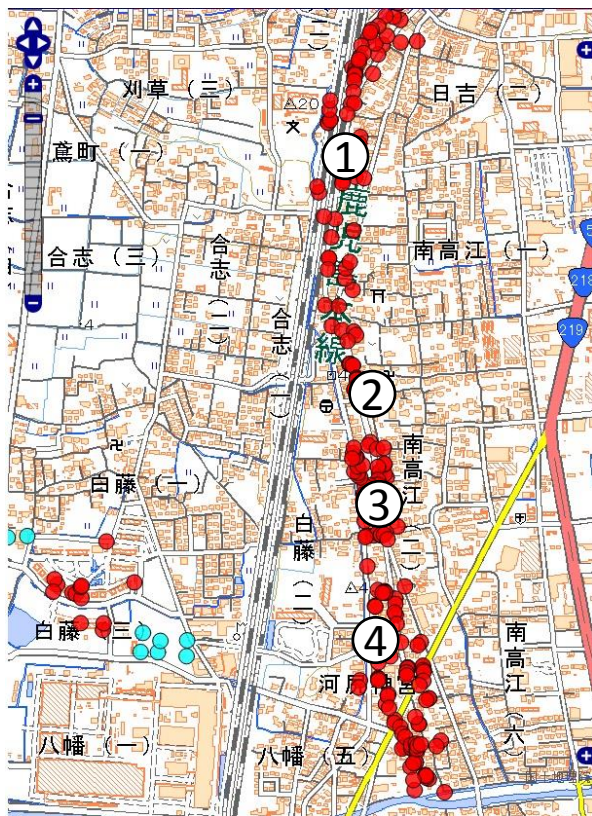


(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)



液状化による建物の傾き、沈下、建物周りの沈下被害が鹿児島街道(旧3号線)の両脇で多数生じている。噴砂地点も多数存在。噴砂は黒色の火山灰質砂と思われる。前震で液状化し、本震でさらに液状化被害が拡大したようである。建物周りの沈下では①で75cm、④では30cmを観測した。このうち、④では前震で10cm、本震で20cmと建物と地面の段差が拡大したとのことである。井戸を有する住宅では、井戸から噴き出した砂が敷地に堆積し、土嚢袋200袋でも足りなかったとのこと。地下水位は比較的浅いと思われる。一方、この街道から離れると液状化の痕跡がなくなり、地震による被害も見当たらなくなる。

■ 刈草・南高江地区（熊本市南区）

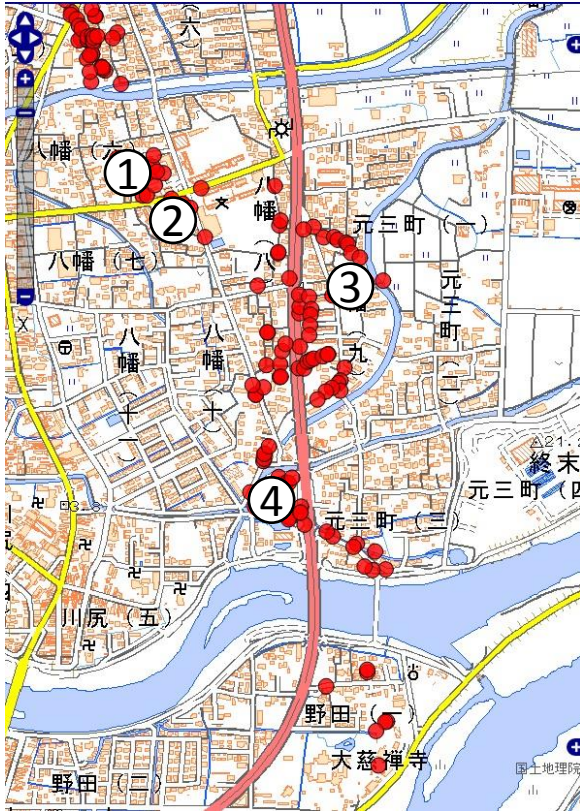


(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)



近見地区に比べ激しい噴砂や建物被害は確認されないが、建物の傾き、沈下、建物周りの沈下被害が生じている。噴砂地点も多数存在。噴砂は黒色の火山灰質砂と思われる。前震では比較的被害は少なかったものの、本震で液状化が生じ、被害が出た地区である。暗渠の浮き上がりと周辺沈下による段差が生じている(写真③)。また、液状化の帯から外れるが、白藤団地では噴砂は確認されないものの建物周りの沈下が生じる被害が出ている。

■八幡地区(熊本市南区)

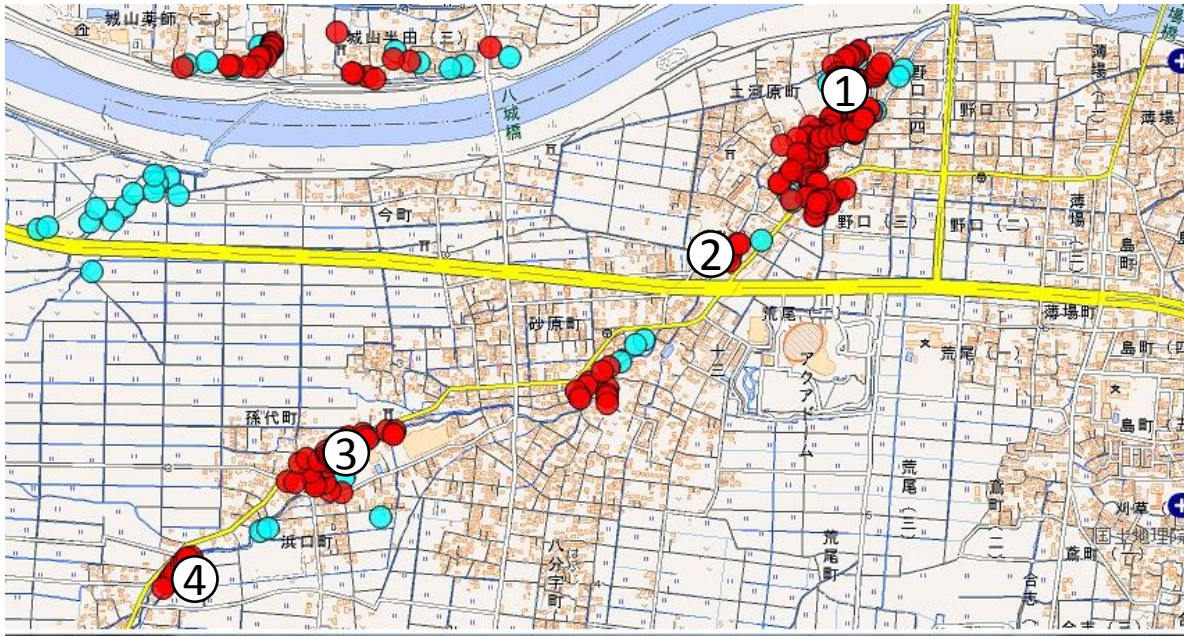


(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)



建物の傾き、沈下、建物周りの沈下被害が生じている。①～③では噴砂地点も存在するものの被害の多さと比べ、比較的少ない印象である。写真③では噴砂が生じていないものの段差を伴う沈下が生じている。噴砂は黒色の火山灰質砂と思われる。①～③においては前震では比較的被害は少なかったものの、本震で液状化が生じ、被害が出た地区である。城南中に避難した住民の話によると、本震で避難した際、城南中のグラウンドが徐々に水浸しになっていったとのことである。④の加勢川近くは前震で液状化が生じ、本震で再度液状化が生じ、甚大な被害が生じた。水路底盤が割れ、その隙間から吹き上がったと思われる噴砂が残っていた(写真④)。

■土河原地区、砂原・孫代地区(熊本市南区)

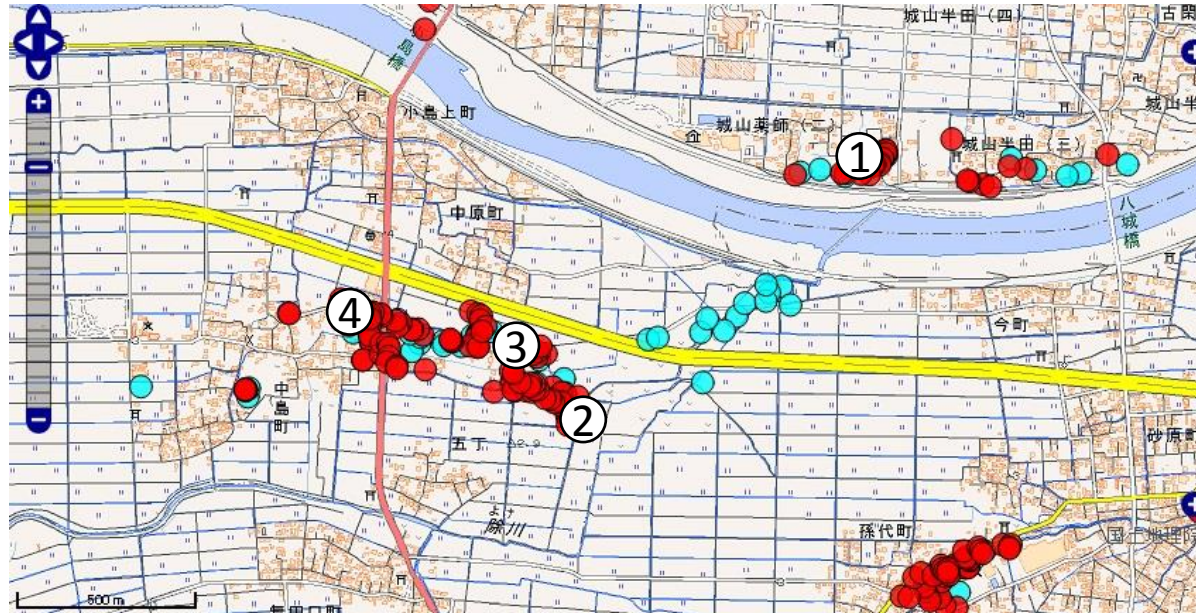


(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)

液状化による建物の傾き、沈下、建物周りの沈下被害、および農地における埋設管の破損等が生じている。噴砂地点も多数存在し、黒色の火山灰質砂と思われる。前震で液状化し、本震でさらに液状化被害が拡大したとのことである。液状化が確認された地点は自然堤防の地形区分に相当するが、被害が大きい地区はホットスポット的に生じていることから、地形だけでなく地盤の違いが影響したと思われる。



■城山薬師・城山半田地区、中島地区 (熊本市西区)

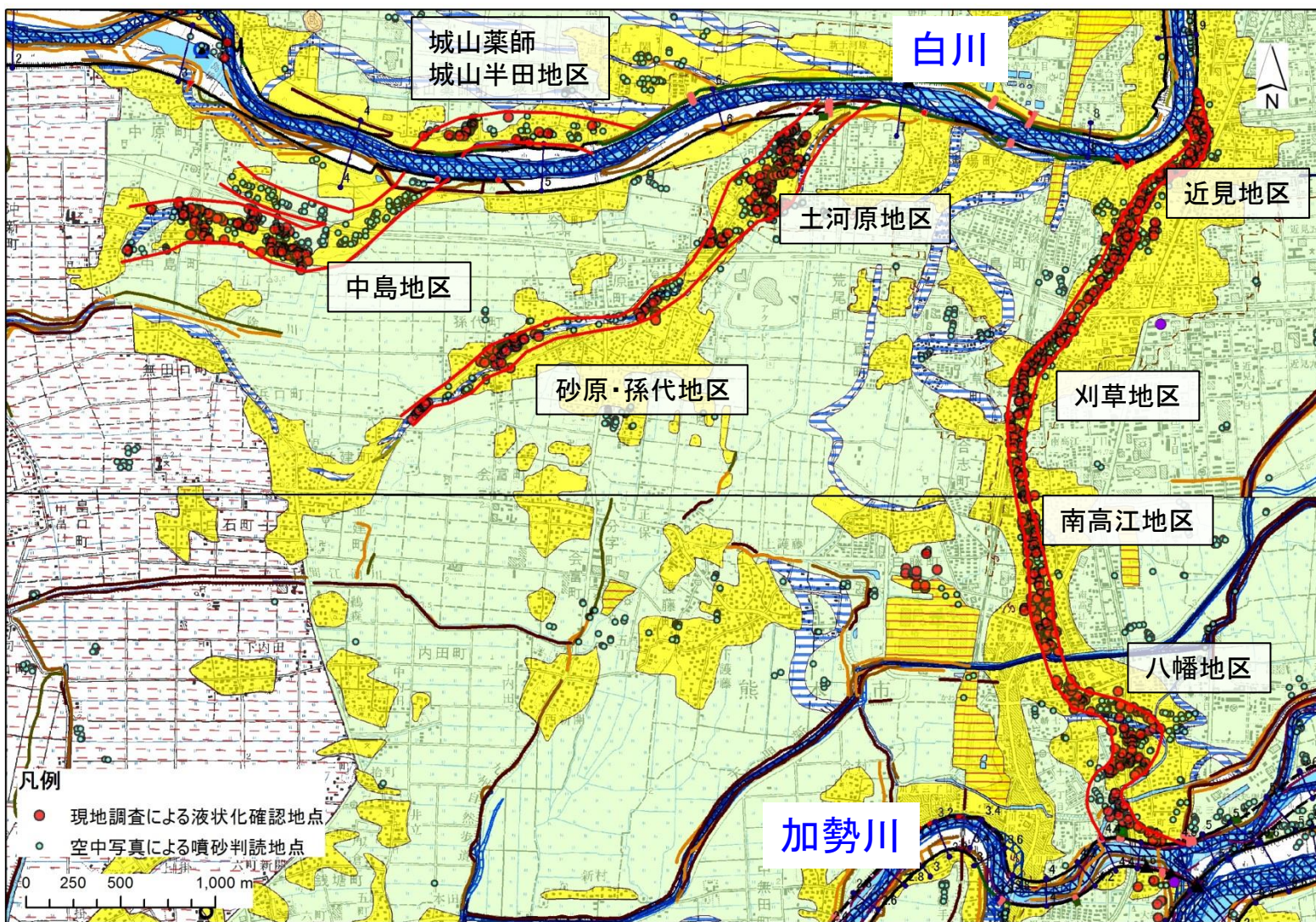


(地理院タイル (標準地図)を加工して作成)

液状化による建物の傾き、沈下、建物周りの沈下被害、および農地における埋設管の破損や用水路の浮き上がり、破損等が生じている。噴砂地点も多数存在し、黒色の火山灰質砂と思われる。本震で液状化被害が生じたとのことである。液状化が確認された地点は自然堤防あるいは氾濫平野の地形区分に相当するが、被害が大きい地区はホットスポット的に生じていることから、地形だけでなく地盤の違いが影響したと思われる。



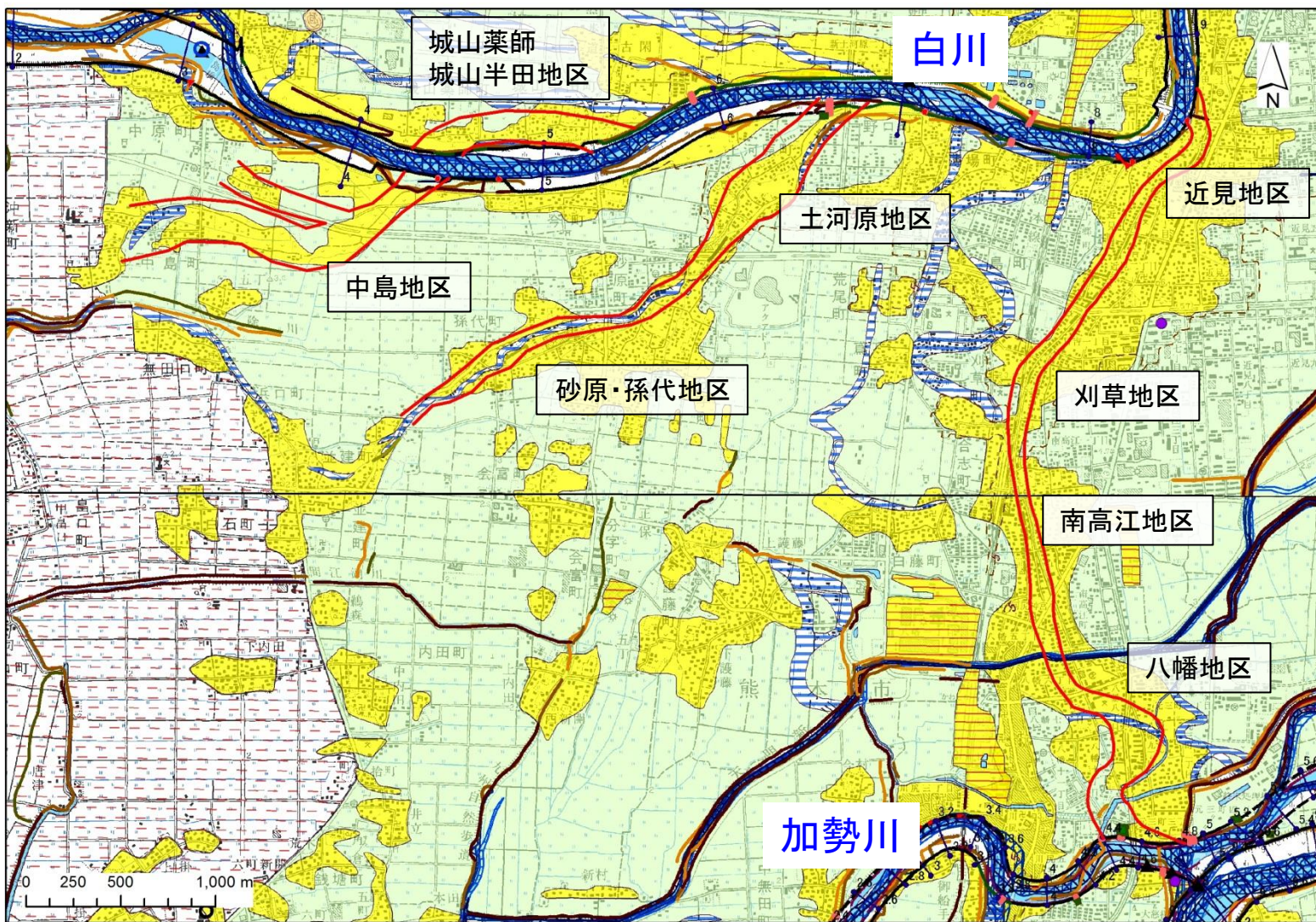
白川沿岸に表れた液状化の帯



凡例					
大分類	中分類	小分類	細分類	記号	
山地	台地 段丘	段丘面	崖(段丘崖)		
			浅い谷		
	低地	山麓堆積地形	扇状地		
			氾濫平野		
		扇状地	氾濫平野	後背湿地	
			氾濫平野	微高地(自然堤防)	
			氾濫平野	旧河道(明瞭)	
		砂洲・砂丘		旧河道(不明瞭)	
				落堀	
人工改変地形	干拓地	盛土地・埋立地			
		切土地			
		連続盛土			
	その他の地形等	天井川の区間			
		現河道・水面			
		旧流路	S.30年代後半~S.40年代前半		
			S.20年代		
			T.末期~S.初期		
		地盤高線	主曲線		
補助曲線					
河川管理施設等	旧堤防	旧堤防			
	河川管理施設(許可工作物も含む)	堤防	完成堤防		
			暫定堤防		
			暫々定堤防		
	護岸	河川工作物	水位観測所		
			流量観測所		
	事務所・出張所	事務所	事務所		
			出張所		
距離標					
測線					

「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料D1-585,586)をもとに作成

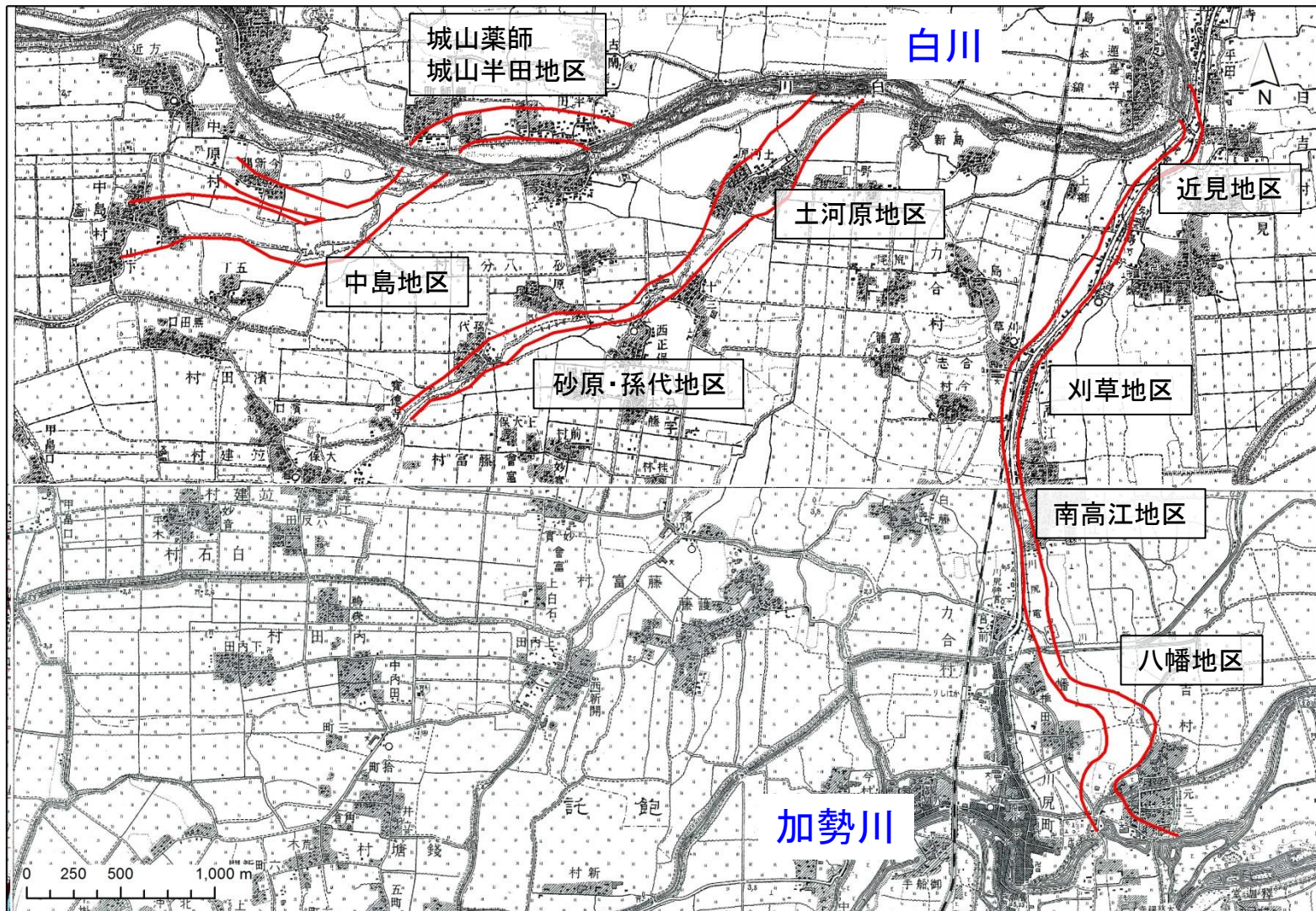
白川沿岸に表れた液状化の帯



凡例				
大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地	台地	段丘	段丘面	[Orange]
			崖(段丘崖)	[Dark Purple]
			浅い谷	[Light Blue]
	低地	山麓堆積地形	扇状地	[Light Green]
			氾濫平野	[Light Green]
	扇状地	氾濫平野	後背湿地	[Light Green]
			微高地(自然堤防)	[Yellow]
		旧河道	旧河道(明瞭)	[Blue]
			旧河道(不明瞭)	[Light Blue]
			落堀	[Blue]
砂洲・砂丘			[Yellow]	
			[Yellow]	
人工改変地形		干拓地	[Yellow]	
		盛土地・埋立地	[Yellow]	
		切土地	[Grey]	
		連続盛土	[Grey]	
その他の地形等	天井川の区間	現河道・水面	[Blue]	
		旧流路	S.30年代後半~S.40年代前半	[Blue]
			S.20年代	[Blue]
	地盤高線	主曲線	[Blue]	
		補助曲線	[Blue]	
			[Blue]	
	旧堤防	旧堤防	S.30年代後半~S.40年代前半	[Blue]
			S.20年代	[Blue]
			T.東期~S.初期	[Blue]
	河川管理施設(許可工作物も含む)	堤防	完成堤防	[Blue]
暫定堤防			[Blue]	
暫々定堤防			[Blue]	
			[Blue]	
護岸	河川工作物	水位観測所	[Blue]	
		流量観測所	[Blue]	
事務所・出張所	事務所		[Blue]	
		出張所	[Blue]	
	距離標		[Blue]	
			[Blue]	
	測線		[Blue]	
			[Blue]	

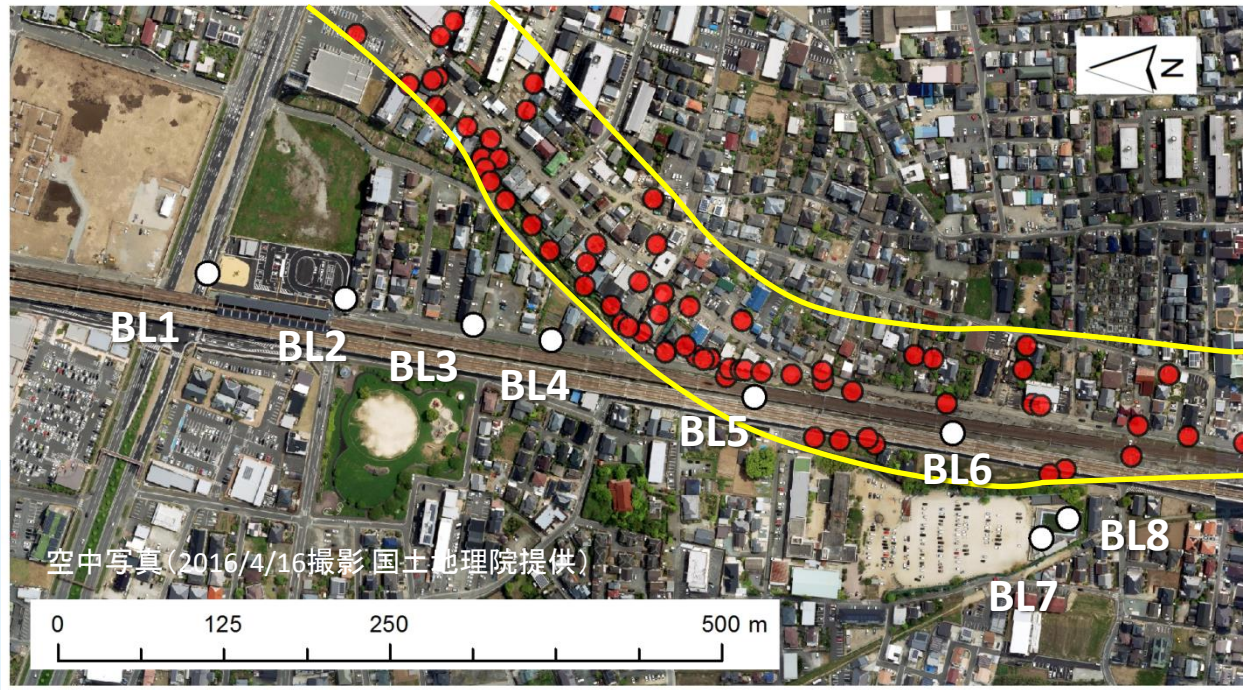
「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料D1-585,586)をもとに作成

白川沿岸に表れた液状化の帯

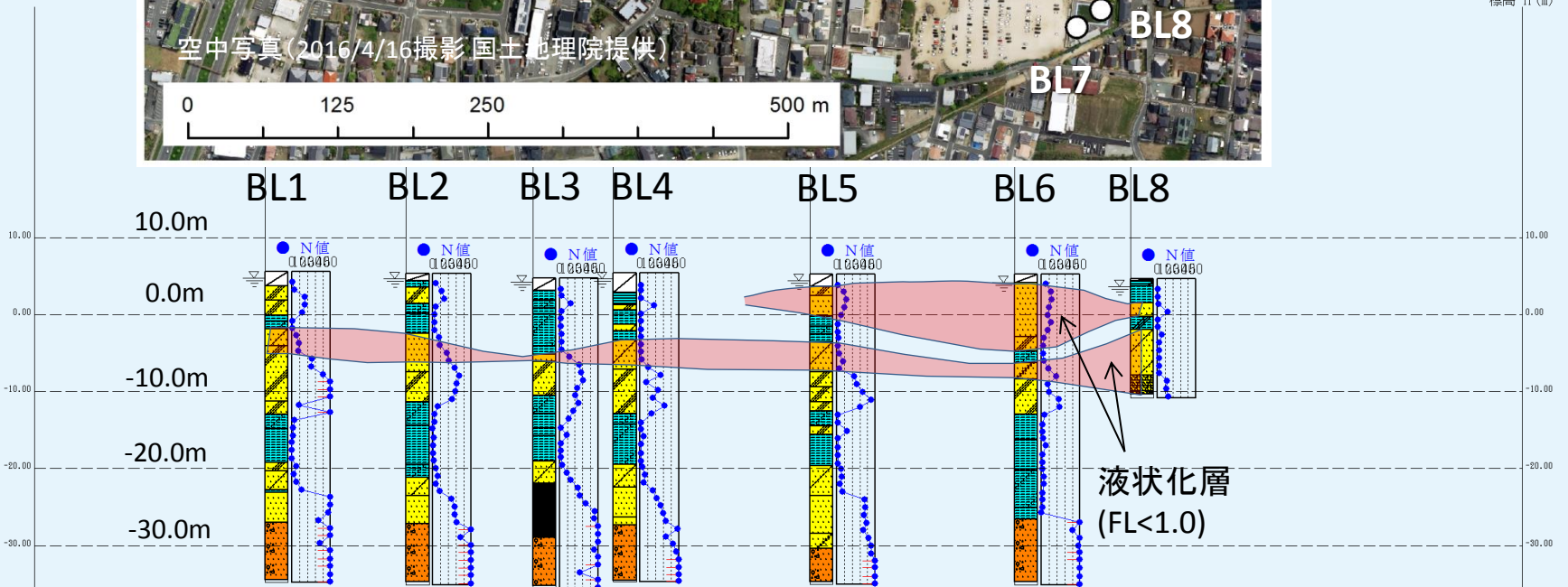


「旧版地形図(大正15年測量)」をもとに作成

白川沿岸に表れた液状化の帯



標高 TP(m)



標高 TP(m)

PL=16.1

9.5

2.5

22.0

23.6

35.8

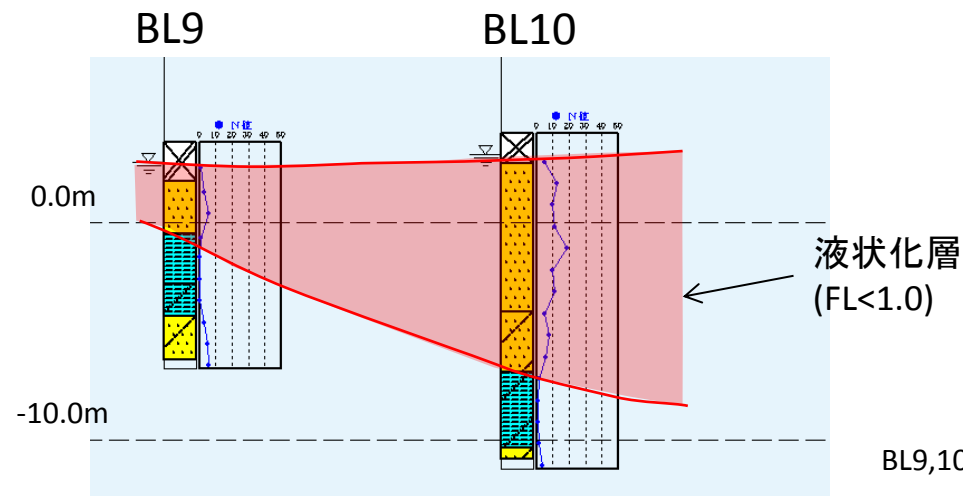
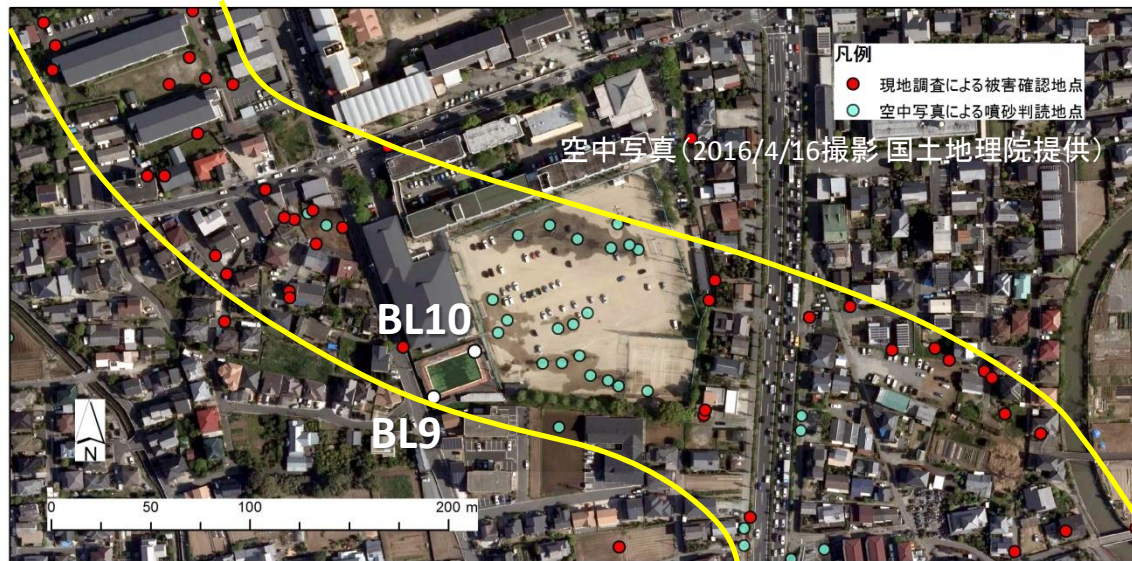
28

BL1~6は九州旅客鉄道(株)提供

BL7,8は熊本市提供

道路橋示方書(平成24年)レベルⅡタイプ2地震動

白川沿岸に表れた液状化の帯



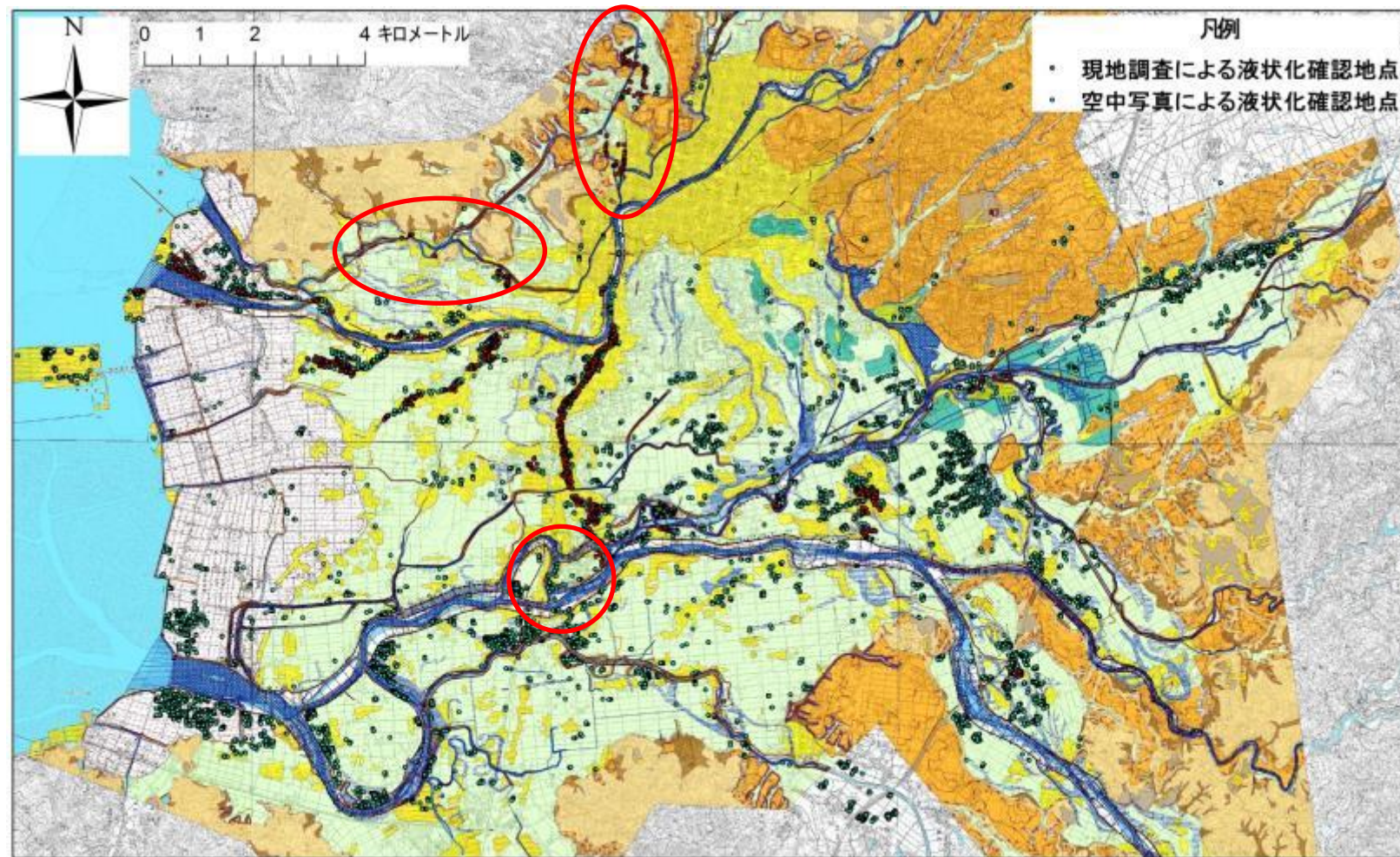
BL9,10は熊本市提供

道路橋示方書(平成24年)レベルⅡタイプ2地震動

白川沿岸に表れた液状化の帯

- 刈草付近
 - 地下水位が高い。液状化層 (FL<1.0) は、いずれの地点も下部に液状化層が存在するが、液状化の帯の地点では上部にも液状化層が存在する点が特徴的である。
- 城南中学校付近
 - 地下水位が高い。地盤も液状化の帯へ向かうに従い、上部で液状化層が厚くなっている傾向が確認できる。
- 液状化の帯で上部の液状化層が厚くなっていることが確認されることから、液状化の帯として現れた地盤では表層に液状化の可能性のある砂質土層が堆積したためであると考えられる。
- このように、液状化は地盤の堆積構造に密接に関係していることから、地盤調査の重要性が改めてわかる。
- また、敷地内でも液状化の程度が違う場合もあることに十分注意することが必要。
 - このことは、次に示す旧河道部の液状化被害からも分かる。

旧河道部における被害



凡例		記号	
大分類	中分類	小分類	
地形	平地	緑地	緑地
	谷	谷	谷
	山麓地帯	山麓地帯	山麓地帯
	山頂部	山頂部	山頂部
河川	河川	河川	河川
	河川	河川	河川
	河川	河川	河川
	河川	河川	河川
道路	道路	道路	道路
	道路	道路	道路
	道路	道路	道路
	道路	道路	道路
施設	施設	施設	施設
	施設	施設	施設
	施設	施設	施設
	施設	施設	施設

「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料D1-585,586)をもとに作成

■富合・川尻地区(熊本市南区富合町杉島、川尻6丁目)

調査日:2016年6月17日



(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)

富合町杉島と川尻の境界に位置する水路(洪水調整池?)の両岸において、噴砂が確認された。護岸の変位による側方流動やすべり破壊、それに起因したインフラや建物被害や被害が生じている。



■富合・川尻地区(熊本市南区富合町杉島、川尻6丁目)

調査日:2016年6月17日



空中写真(2016/4/16撮影 国土地理院提供)



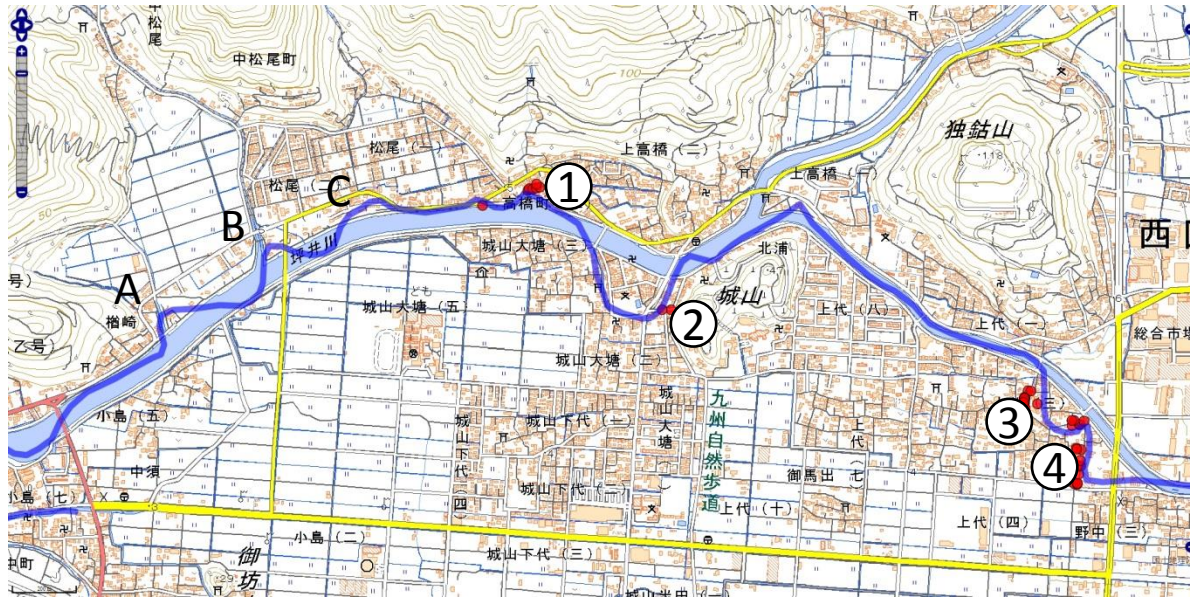
旧版地形図(大正15年測量)



治水地形分類図(国土地理院提供)

旧版地形図および治水地形分類図と重ね合わせると、現地調査による被害地点や空中写真による噴砂判読地点は一部は自然堤防に存在するものの、大部分は旧河道部である。このことから、旧河道部を埋め立てた地盤で被害が生じたと思われる。前ページで示した噴砂の色が灰色だけでなく、黄土色もあり、埋め立て土も単一でない可能性がある。詳細な地盤調査が必要であると思われる。

■ 松尾・高橋・上代地区(熊本市西区)

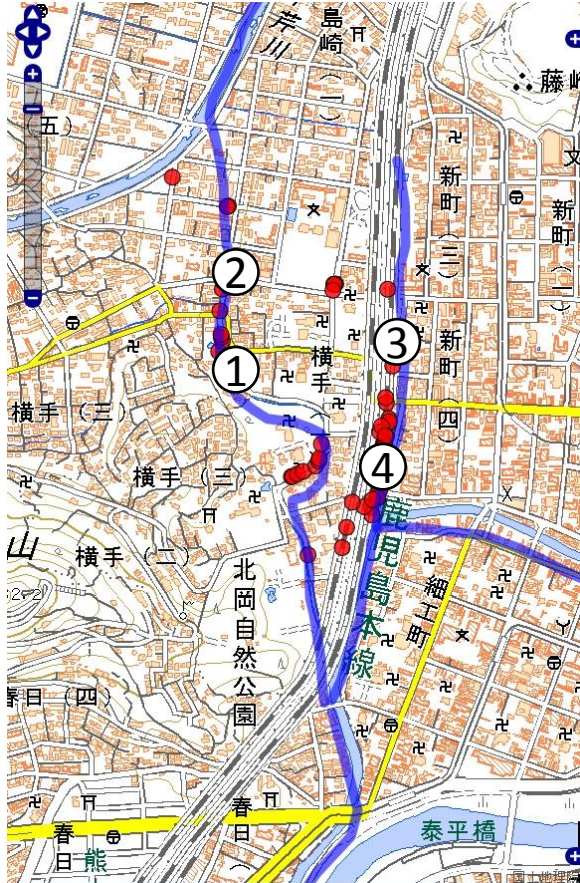


(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)

液状化による建物の傾き(①、③、④)、建物周りの沈下(①、③、④)、および、埋戻し土部での沈下(②)が生じている。調査日が5月20日と地震発生後1か月以上経過しており、噴砂を確認することはできなかったが、③、④付近では、その痕跡と思われる箇所もいくつか見られた。また、**被害状況から推察すると多くが液状化に起因する被害**と思われる。一方、A,B,Cにおいても踏査を行ったが、液状化によるものと思われる被害等は確認されなかった。これらの地区は地盤が高く、地下水位が深い位置にあり、液状化に至らなかった可能性が考えられる。



■横手・島崎地区(熊本市中央区)

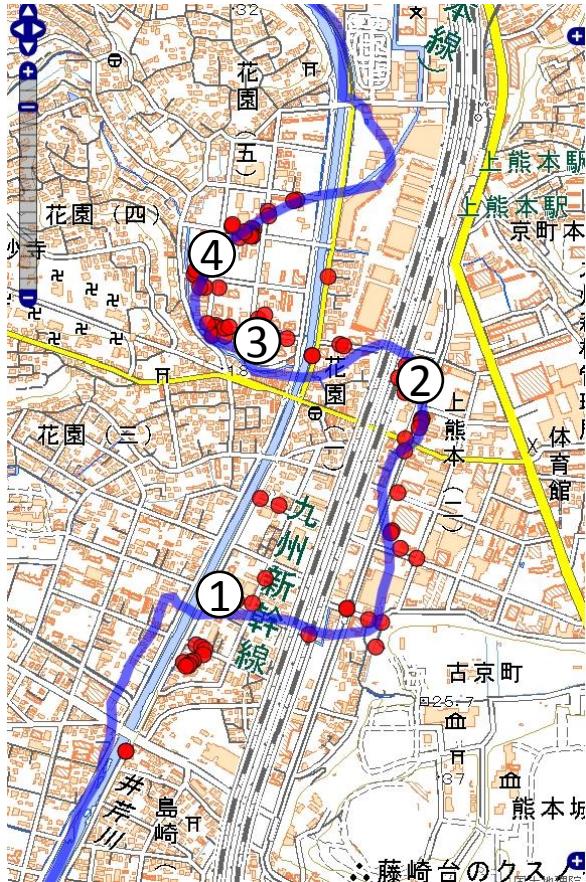


(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)



井芹川旧河道部の地点ではその道路部の一部区間で沈下が生じ、隣接宅地や歩道との間で段差が生じている(①、②)。旧河道部以外では埋戻し土の液状化と思われる沈下被害が確認された。JR鹿児島本線に平行に伸びる旧河道は現在暗渠となっている。この地区では、建物の沈下(③)や建物周りの沈下(④)が確認されたことから液状化により沈下が生じたものと思われる。調査日が5月20日と地震発生後1か月以上経過しており、噴砂を確認することはできなかった。**被害状況から推察すると多くが液状化に起因する被害と思われる。**

■花園・上熊本地区(熊本市西区)

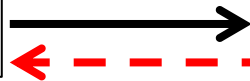


(地理院タイル(標準地図)を加工して作成)

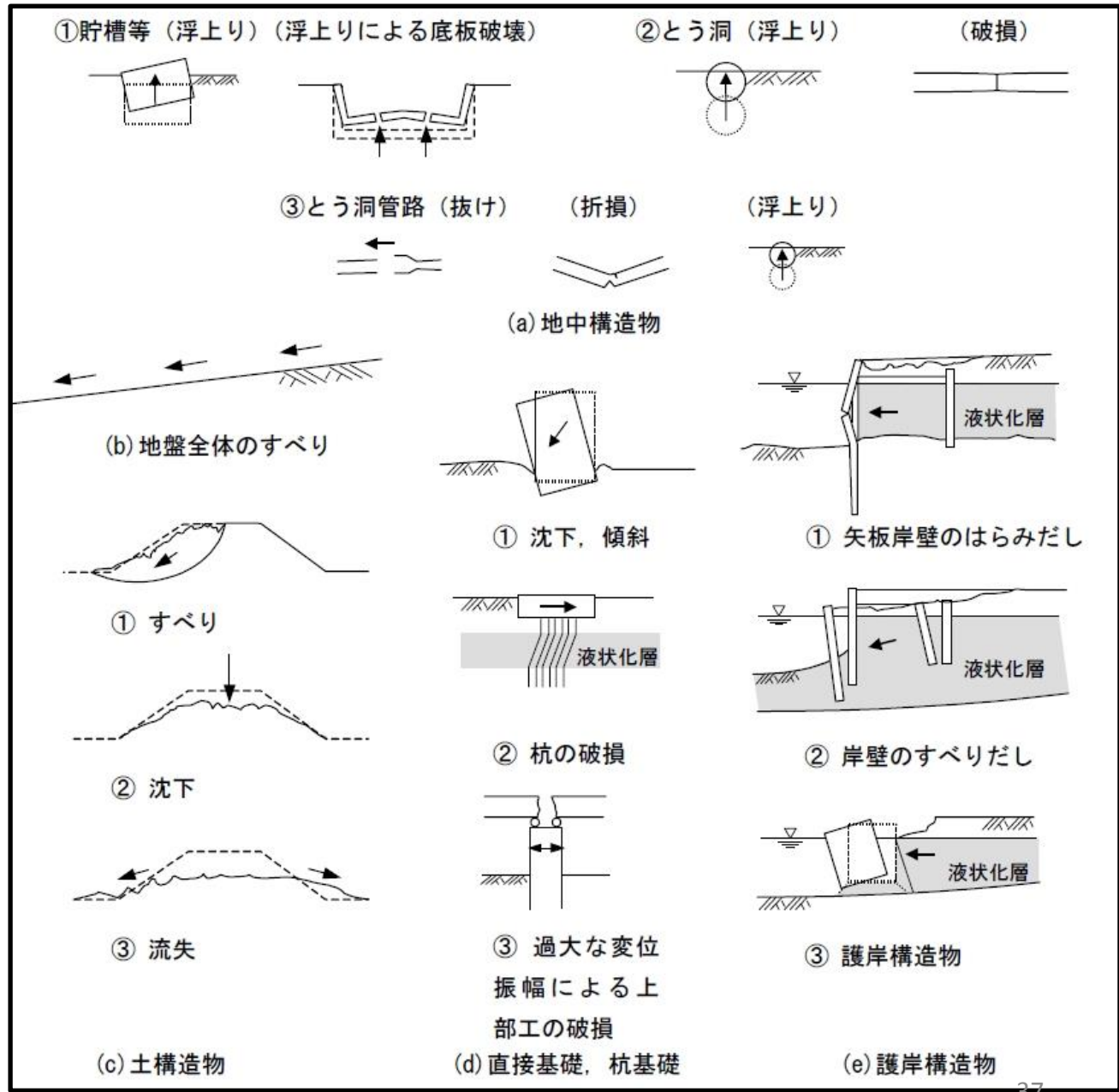
杭基礎を用いていると思われる建物周りの沈下被害が顕著であった。調査日が5月20日と地震発生後1か月以上経過したこともあり、噴砂を確認することはできなかった。一方、戸建て住宅の傾斜や沈下被害については、調査した範囲では顕著な被害は確認できなかった。旧河道部以外でも建物周りの沈下被害が確認されたことから、この沈下被害については、液状化のみならず、建物周囲の盛土・埋土を含む上部不飽和土層の振動圧縮によることも考えられるため、広範囲の建物周りの沈下状況ならびにその沈下量の分布を分析し、地形や地盤との対比により要因を検討することが必要であると思われる。

液状化によって受ける被害のパターンの概要

液状化



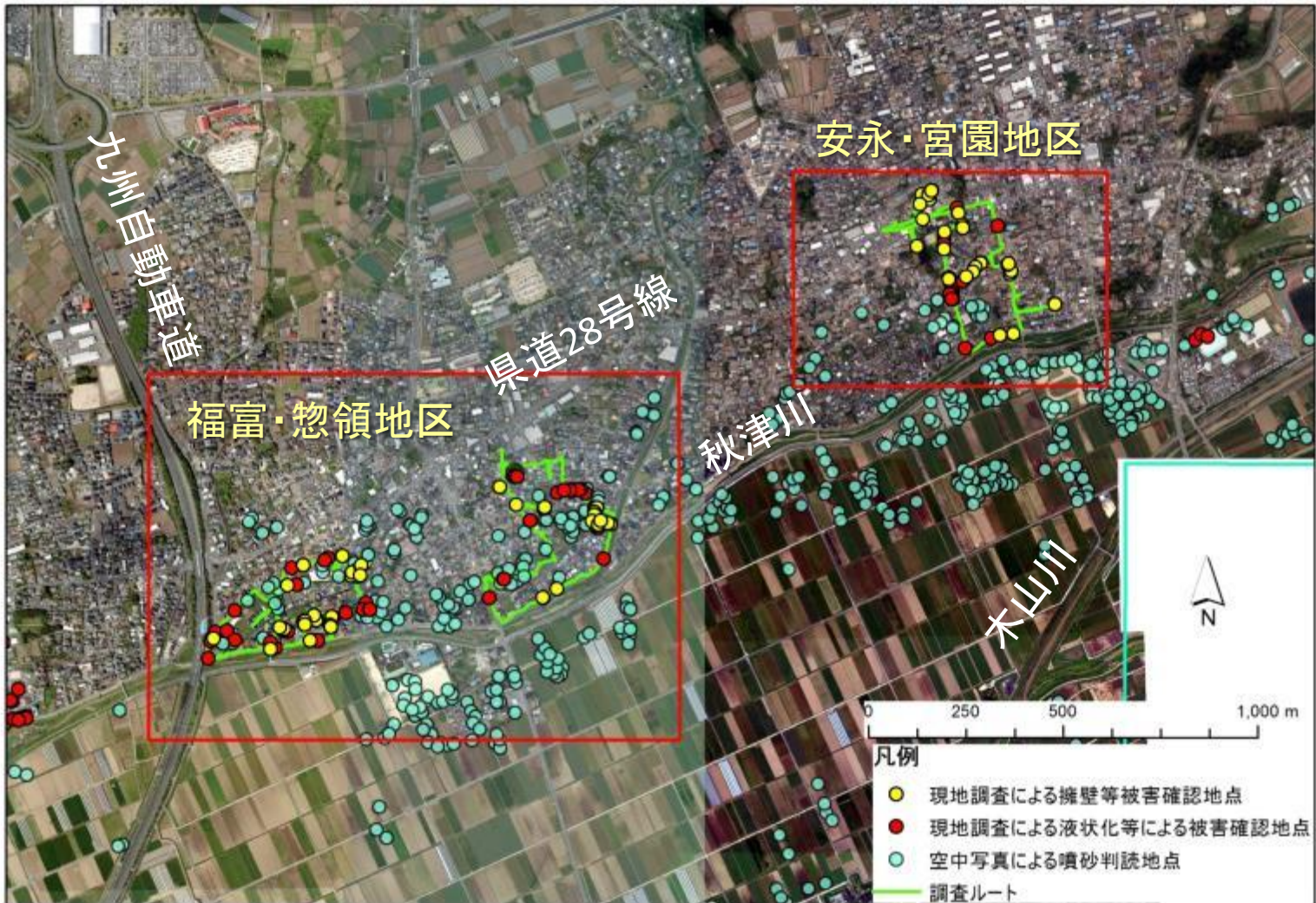
?





東北地方太平洋沖地震による腹付け盛土部の沈下
(茨城県水戸市)

液状化だけが問題か？：益城町の例



空中写真(2016/4/16撮影 国土地理院提供)

■ 福富・惣領地区の被害の状況

調査日：2016年7月2日



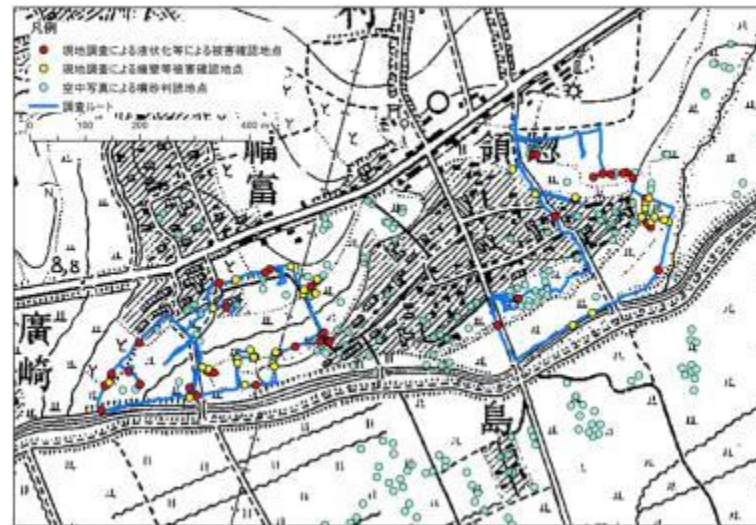
建物周りの沈下、建物の傾斜および不同沈下、擁壁や水路などの倒壊・破損、マンホールの浮き上がりや道路の凸凹、電柱の沈下・傾斜、井戸の破損など多様な被害が生じている。本調査では、明瞭な噴砂跡は確認できなかったが、自然地盤の液状化による被害と埋戻し土のそれとが混在しているように見受けられた。また、液状化に起因する被害だけでなく、粘性土やその他の土層による地盤変状が生じている可能性も否定できない。

福富・惣領地区(微地形・土地利用履歴)

調査日:2016年7月2日



空中写真(2016/4/16撮影 国土地理院提供)



旧版地形図(大正15年測量)

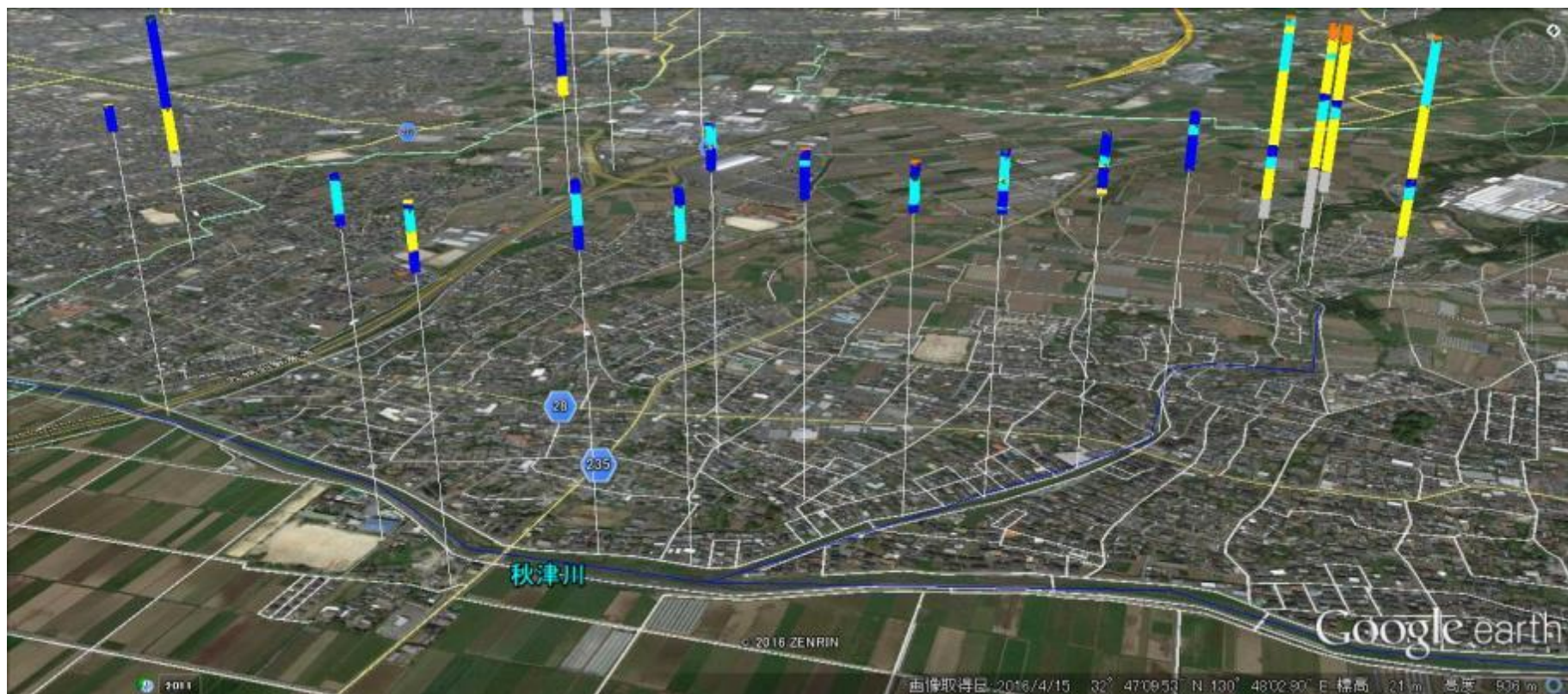


治水地形分類図(国土地理院提供)

現地調査による被害地点や空中写真による噴砂判読地点は、旧版地形図および治水地形分類図と重ね合わせると、その多くが、旧河道部とその周辺の地盤に位置することが分かる。また、旧版地形図では、自然堤防上に居住区が認められることから、被災地点の多くは近年宅地化した地盤、特に、湿田を埋め立て造成した地盤であることがうかがえる。

■福富・惣領地区(地盤特性)

九州地盤情報共有データベースを利用して可視化



黄:砂質土、水色:シルト質土、青:粘土、茶:表土・埋土、灰:礫

当該地域の地盤情報は希薄であり、限られた情報での判断となるが、旧湿田地域における表層地盤はおよそ深度7~10mまでは軟弱な粘性土層である。この粘性土層は、鋭敏な粘性土という観察記録があり、粘性土層が地震による繰返しせん断により強度・剛性が低下することによって、建物や宅地に影響を及ぼした可能性が考えられる。10m以深の地盤特性は不明であるが、液状化が生じたとすれば表層の埋土層や埋戻し土の液状化の可能性が高いと考えられる。

■福富・惣領地区（被害の要因）

益城町の宅地の被害は甚大で、家屋の倒壊の要因は建物そのものの問題もあるが、擁壁の倒壊、水路へのはらみ出しなど、地盤変状に起因する宅地と建物被害が顕著である。また、熊本市沼津山地区同様、場所によっては湧水が豊富で、この湧水が次のような理由から被害を拡大させた可能性が考えられる。

湧水は自然自噴ではなく、40m、70mの被圧帯水層（場所によっては被圧地下水水頭GL+3mの被圧との住民の話）へ管を挿入し、ポンプを利用することなく自噴させて利用しているとのことである。

この自噴管および地区の排水路が長年の利用で損傷を受けていれば、**表層地盤への漏水浸透が生じ、表層の不圧地下水の水位を押し上げてた可能性がある**。表層地盤の地下水水位が上昇することは、造成地盤の安定性の立場からするとマイナス要因である。加えて、前震により排水施設の損傷や自噴管の損傷に加え、孔壁と管の間に隙間が生じていれば、表層地盤への地下水浸透はさらに増していたことも考えられる。



埋設管の損傷によってブロック擁壁の隙間から排水される水



排水施設の損傷により地表面にできた水たまり



損傷した擁壁より噴出する水 43



建物周りの沈下、建物の傾斜および不同沈下、擁壁や水路などの倒壊・破損、道路の凸凹、電柱の沈下・傾斜など多様な被害が生じている。本調査では、(後述する)水部埋め立て地と低地部では噴砂らしき砂が確認できた。なお一部では下水道埋設などでの埋戻し土が液状化したと思われる。また、液状化に起因する被害だけでなく、**宅地地盤の変状、とりわけ、擁壁等壁体構造物が、基礎地盤の支持力不足によるめり込みと損傷により大きく地盤変位が生じ、建物被害を甚大化させた様子が見え**た。場所によっては、広い範囲にわたって地すべり的な滑動を生じている可能性もある。より詳細な調査が必要だと思われる。



空中写真(2016/4/16撮影 国土地理院提供)



旧版地形図(大正15年測量)



治水地形分類図(国土地理院提供)

現地調査による被害地点や空中写真による噴砂判読地点は、旧版地形図および治水地形分類図と重ね合わせると、その多くが、氾濫平野、旧河道および水部の埋め立て地盤であることが分かる。擁壁などの壁体構造物の被害は丘陵地あるいは先の水部を埋め立てた地盤で生じている。

※現在地盤情報を整理中

地震による地盤の沈下と変状

- 地震動など外力の作用
 - 地盤に直接作用するもの
 - 構造物を介して付加的に作用するもの
- 繰返し外力による土の強度・剛性の低下
 - 砂質土→液状化する
 - 粘性土→液状化しないが、強度・剛性の低下は生じる。また、地震中に発生した過剰間隙水圧の消散による体積変化も生じる。

宅地地盤災害と対策

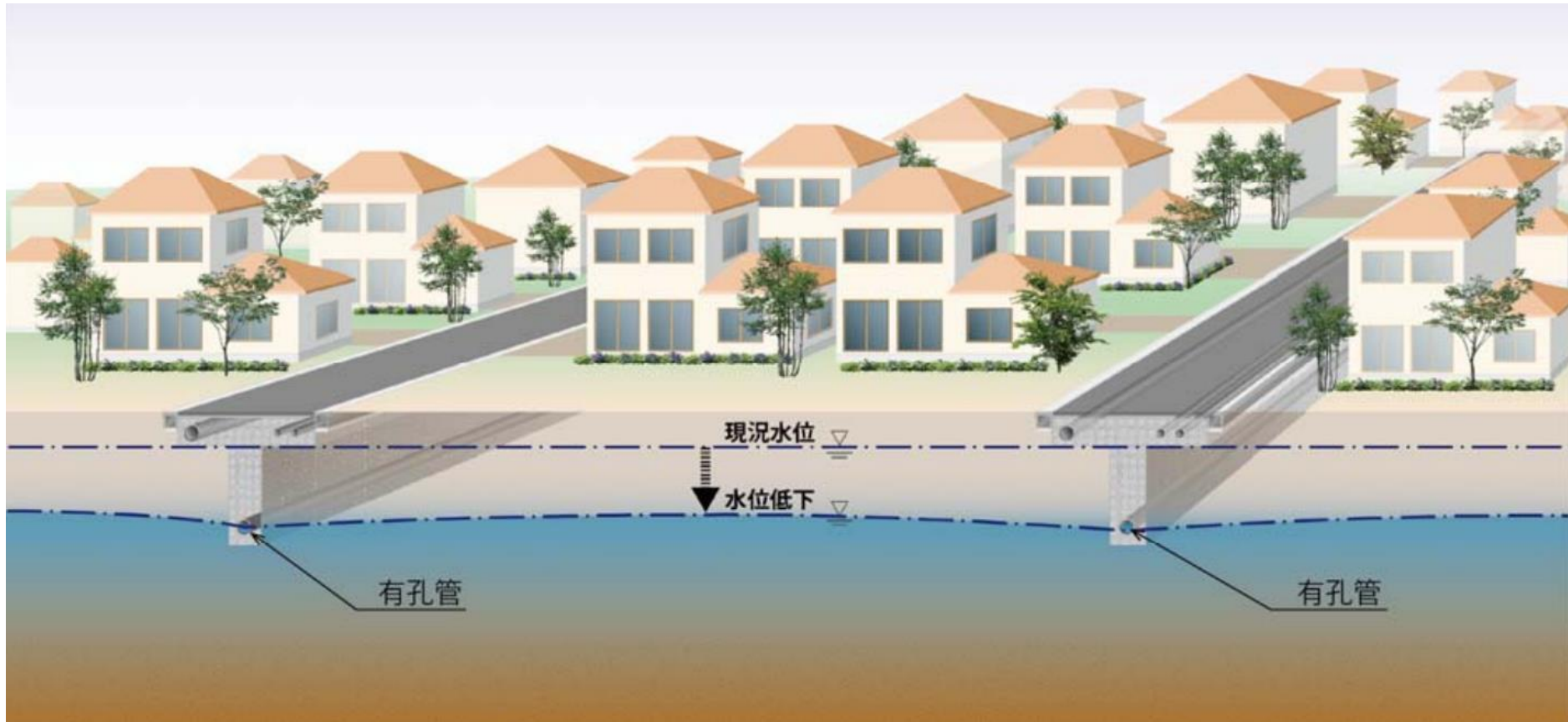
液状化の対策を考える



液状化対策工法

原理		目的	工法
液状化の防止	土の性質の改良 (MOVIE)	密度増加	締固め工法
		強度増加	固化処理工法
		粒度の改良	置換工法
		飽和度の低下	地下水位低下工法 不飽和化工法
	力学的環境の改良	有効応力の増大	盛土工法
		間隙水圧の抑制消散	ドレーン工法
		せん断変形抑制	地中壁工法
液状化被害の防止・低減	沈下抑制	沈下抑制	杭基礎工法
		変位抑制	補強土工法
	浮き上がり抑制	浮き上がり抑制	浮き上がり抑止杭
		重量増大	密度増大
液状化後の修復	復旧・回復	沈下・傾斜修正	ジャッキアップ工法

地下水位低下工法



柱状改良工法



建物傾斜の復旧 液状化対策



戸建住宅における液状化調査の現状

日本建築学会住まいづくり支援建築会議 情報事業部会

- 戸建住宅の場合、液状化判定に必要な土質定数を得るための調査や試験が行われることは**まれ**で、地盤調査としてスウェーデン式サウンディング試験(以後、SWS試験と呼ぶ)だけが行われるのが一般的です。
- 戸建住宅のように軽量の建造物の液状化による被害は、過去に発生した中規模地震動の場合で見ると、概ね地表面から5m程度の深さまでの層の液状化に起因していることがわかっています。
- このことから、**日本建築学会小規模建築物基礎設計指針**では、**液状化発生の可能性の検討は、地表面から5m程度までの地下水で飽和した砂層について行っています。**
- ただし、この判定は液状化の影響が地表面に及ぶ程度を判定するもので**簡易判定法**と呼ばれています。

液状化対策が効果的だったか？

●液状化した地域で柱状改良した住宅の不同沈下の度合

地区名		改良体の深さ(m)	改良体を支えている層の換算N値	不同沈下・傾き(mm)
浦安市入船		7	4.4	なし
		5.75	2.8	なし
	★	5.5	4.8	1000分の3
		5	8	1000分の20
浦安市高洲		6	6.6	目視で傾きなし
	★	6	4.8	目視で傾きなし
	★	8.25	4.4	1000分の6.6
浦安市弁天		6	8.6	目視で傾きなし
		5.5	4.8	目視で傾きなし
		5.25	8.8	目視で傾きなし
		不明	不明	1000分の6
		不明	不明	1000分の4
浦安市今川	★	8.5	13	1000分の2
浦安市富丘		5.5	4.2	1000分の7
千葉市美浜区磯辺		8.5	4	目視で傾きなし
		3	5	1000分の18
習志野市香澄		5.5	7.6	目視で傾きなし
		5.25	7.6	目視で傾きなし
		2	10	1000分の13
香取市佐原		8.75	5.7~16.0	なし
		6	5.7~9.7	なし
		不明	不明	1000分の3

傾き度合の凡例

- 小・なし
- 中
- 大

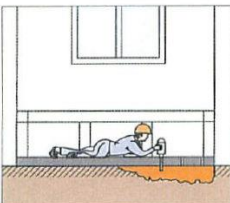
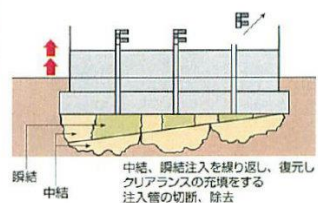
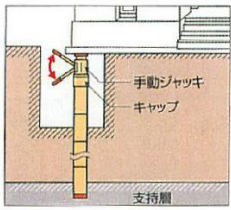
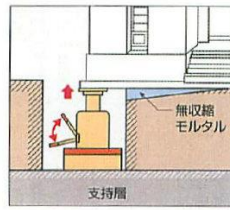
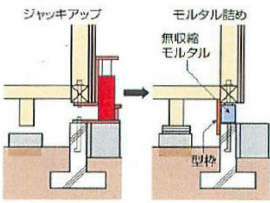
住宅会社と沈下修正工事を手掛ける地盤調査会社から聞いた情報を本誌がまとめた。データはすべて千葉県内。
表中の換算N値が大きいほど地盤の支持力が強い

液状化対策を実施するにあたって

- 液状化層をしっかりと見極めること。
 - 5mまでの調査ではダメ。
 - スウェーデン式サウンディング試験での簡易判定法ではなく、きちんと地盤調査(ボーリング調査など)を実施すること。
 - 液状化層層厚が敷地内で変化している場合は十分注意する。
- 液状化層より上をいくら地盤改良しても効果はない。
 - 上部構造物の不同沈下の抑制にはなるかもしれない。
- 液状化対策は、液状化しにくくするのであって、完全に液状化しなくなるとは考えない方がよい。
 - 液状化するかしないかは、地盤だけでなく地震力の大きさや作用時間にもよる。
 - もちろん、液状化層のすべてを改良すれば液状化は生じない。

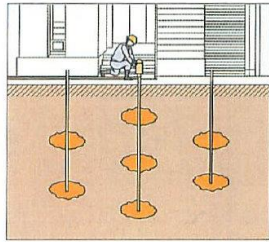
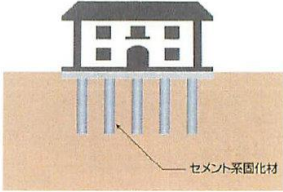
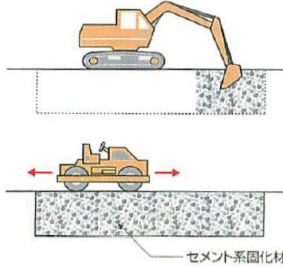
傾斜住宅の修復方法

傾斜住宅の修復工法

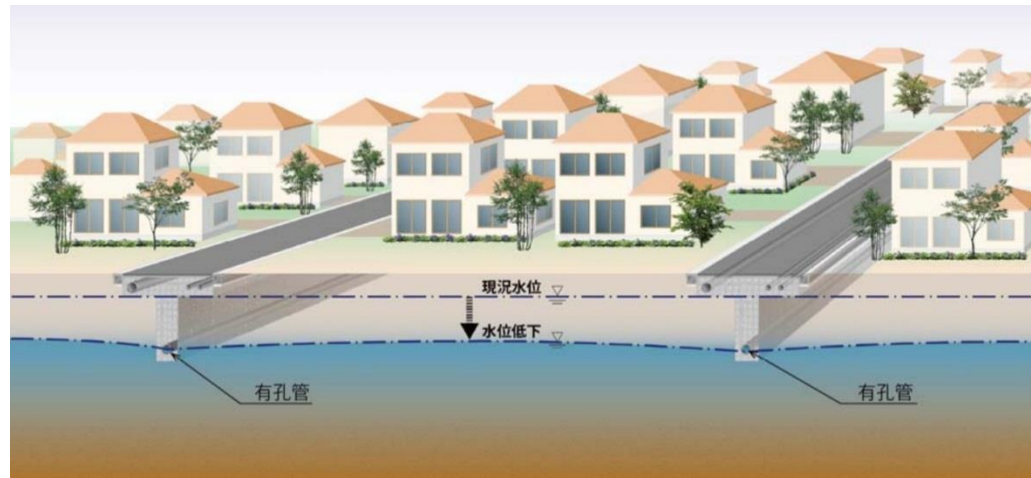
工法名	硬質ウレタン注入工法	グラウト注入工法	アンダーピニング工法	耐圧板工法	プッシュアップ工法
工法の内容	 <p>1階床下に潜り込み、基礎下にウレタン樹脂を注入。その発泡圧力で基礎を押し上げ傾斜した住宅を元に戻す</p>	 <p>1階床下に潜り込み、セメント系薬液を注入。注入量と注入圧により傾斜した住宅を基礎ごと元に戻す</p>	 <p>家の基礎下の土を掘り起こし、家の荷重とジャッキの力を利用して地盤に杭を打ち込む。その支持力によって傾斜した住宅を基礎ごと元に戻す</p>	 <p>家の基礎下の土を掘り起こし、固定ベースジャッキを設置。ジャッキで修正後、地盤との隙間に無収縮モルタルなどを圧入し、傾斜を戻す</p>	 <p>土台よりジャッキアップし、束の高さをスペーサーで調整。基礎と土台をアンカーボルトで留め、隙間を無収縮モルタルで埋める</p>
施工条件	ベタ基礎。傾き5cm程度まで。隣地間隔条件なし	ベタ基礎。傾き5cm程度まで。隣地間隔条件なし	基礎の形状を問わない。傾きの条件なし。隣地間隔は100cm程度必要	基礎の形状を問わない。傾きの条件なし。隣地間隔100cm程度必要	基礎の形状を問わない。傾き10cm程度まで。隣地間隔条件なし
工事費の目安 *1	350万～600万円程度	300万～600万円程度	600万～1000万円程度	500万～700万円程度	200万～300万円程度
工期	1～3週間	1～2週間	1～2カ月	2～5週間	2～3週間
床・壁の補修の必要 *2	床面の撤去や復旧の必要なし	床面の撤去や復旧の必要なし	1階の床面の解体・復旧が必要	床面の撤去や復旧の必要なし	床面の撤去や復旧の必要なし
メリット	床下から施工をするので生活にほとんど支障がない。部分沈下の修正に向く。液状化した地盤の上層部を一部改善できる	工期が短く比較的安価。場合によっては内部の床の解体・復旧工事が必要。液状化地盤の上層部は一部改善可能	打ち込んだ杭をそのまま支持杭にするので、再沈下の危険が少ない	支持層が浅い場合や地盤沈下が収束している場合に向く	工期が短く、費用が安価。ただし、基礎が傾斜した状態での処置となるため、傾斜が大きい場合は注意が必要

既存地盤の液状化対策

既存地盤の液状化対策

工法名	硬質ウレタン注入工法	柱状改良工法	表層改良工法	杭工法
工法の内容	 <p>建物下の弱い地盤に膨張性硬質ウレタンを注入して地盤を強化し、沈下の進行を止める</p>	 <p>水を加えて液状にしたセメント系固化剤を地盤に注入しながら柱状に混合攪拌する。柱状に固化させることで建物の荷重を良好な地盤まで伝達させる</p>	 <p>建物の基礎下端の地盤へ全面的に粉体状のセメント系固化剤を混ぜ込む</p>	<p>鉄筋コンクリート製杭もしくは鋼製杭を支持層に貫入させる</p>
施工条件	既存建物下の地盤のみ	敷地面積100m ² 以上	敷地面積80m ² 以上	敷地面積100m ² 以上
工事費の目安 *1	500万～800万円程度	300万～400万円	150万～200万円	400万～500万円
工期	2～5日	3～4日	2～3日	5～6日
メリット	地中に注入された硬質ウレタン樹脂が膨張することで地盤の弱い部分の土を押し固め、地中の間隙を埋める。砂礫・砂層には効果が期待できる。ただし水分の多い粘土質の地盤には不向き	均質な固結柱体を造成できる	比較的安価で短期間で施工できる。ただし、改良できる深さは基礎スラブ直下2m以内。水位が高い場合は別途仮設工事が必要	杭により支持するため、建物が沈下する可能性は低い

市街地液状化対策事業



「市街地液状化対策事業」

東日本大震災による地盤の液状化により著しい被害を受けた地域において、再度災害の発生を抑制するため、道路・下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策を推進する。

費用の負担：国（1/2）、地方公共団体（1/2）

液状化対策事業計画の区域の面積が3,000平方メートル以上でありかつ、区域内の家屋が10戸以上であるもの
液状化対策事業計画の区域内の宅地について所有権を有する全ての者及び借地権を有する全ての者のそれぞれ3分の2以上の同意が得られているもの
公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われていると認められるもの

液状化対策「期限」の壁

復興交付金、来年度限り

県内5市



復興交付金を受け、2016年3月までの工期で行われている液状化対策の工事＝神栖市堀野地区

東日本大震災、液状化被害を受け、道路や土地の被害に陥る復興地区。復興交付金を活用する計画をめぐり、県内5市の市町村は、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

液状化対策4地区断念へ

鹿嶋市工法、効果見込めず

東日本大震災からの各地区に住民明43・2、地権者3に、効果見込めず。復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

我孫子市は、東日本大震災で被害を受け、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

鹿嶋市は、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

市は、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

市は、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

市は、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

市は、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

市は、復興交付金を活用する計画をめぐり、復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。復興交付金の活用が、今年3月15日までの期間に完了する必要がある。

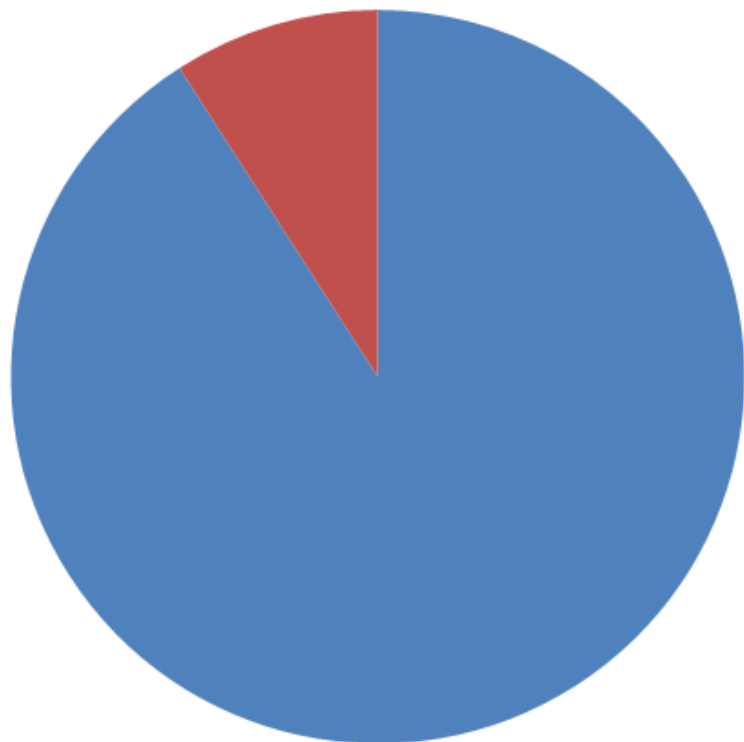
東北地方太平洋沖地震による液状化が確認された市町村



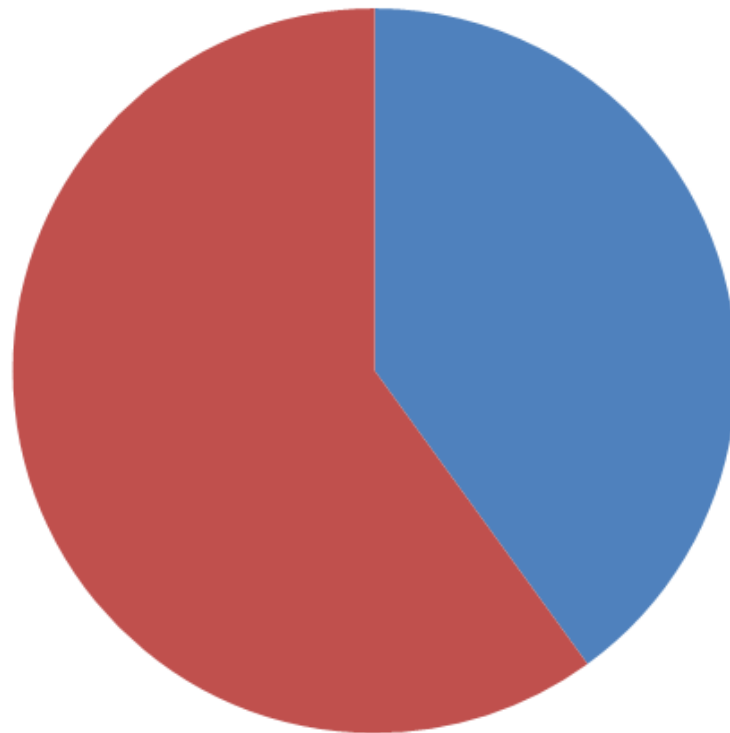
置き石容疑、高3速捕 石岡署
石岡署と偵察捜査一帯の疑いで、小美玉市の男R、東日本の業を妨害
課長11日、威力業務妨害、担任、私立高3年の男R、東日本の業を妨害

速くからわざわざ尋ねてくる
皮膚病漢方薬専門
日産薬局
常陸太田市栄町2474 TEL0294-72-0351
毎週木曜日は定休です

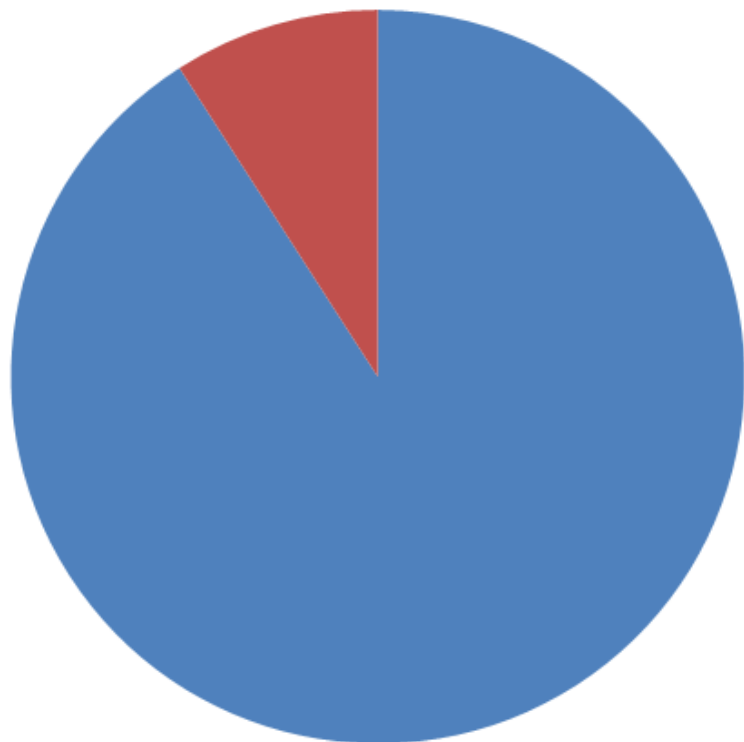
浦安市



ひたちなか市



浦安市



30万円/m²

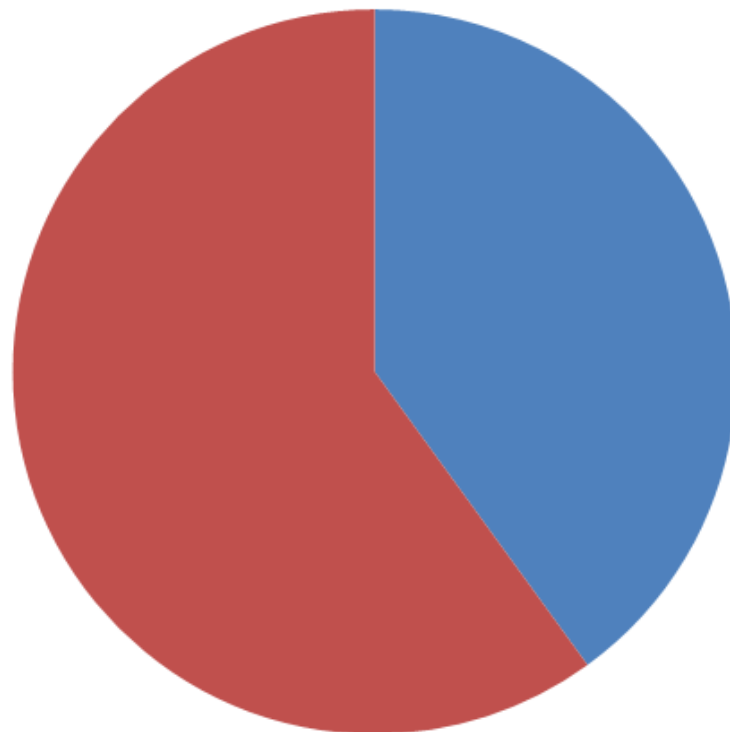
3000万円

1戸建の
土地費用

液状化
対策費用

1戸建て住宅当たりおおよそ300万円

ひたちなか市



2万円/m²

200万円

1戸建の
土地費用

液状化
対策費用

1戸建て住宅当たりおおよそ300万円

液状化の可能性のある地盤

防止策

低減策

無対策

地震

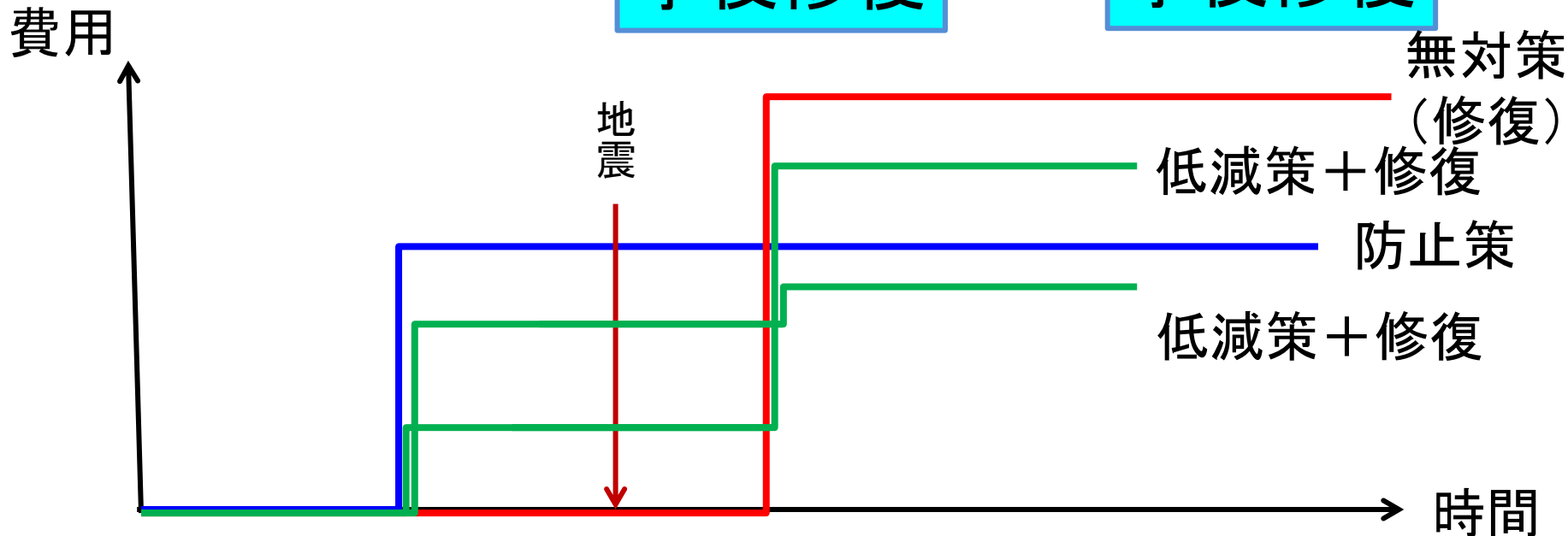
無被害

軽微な被害

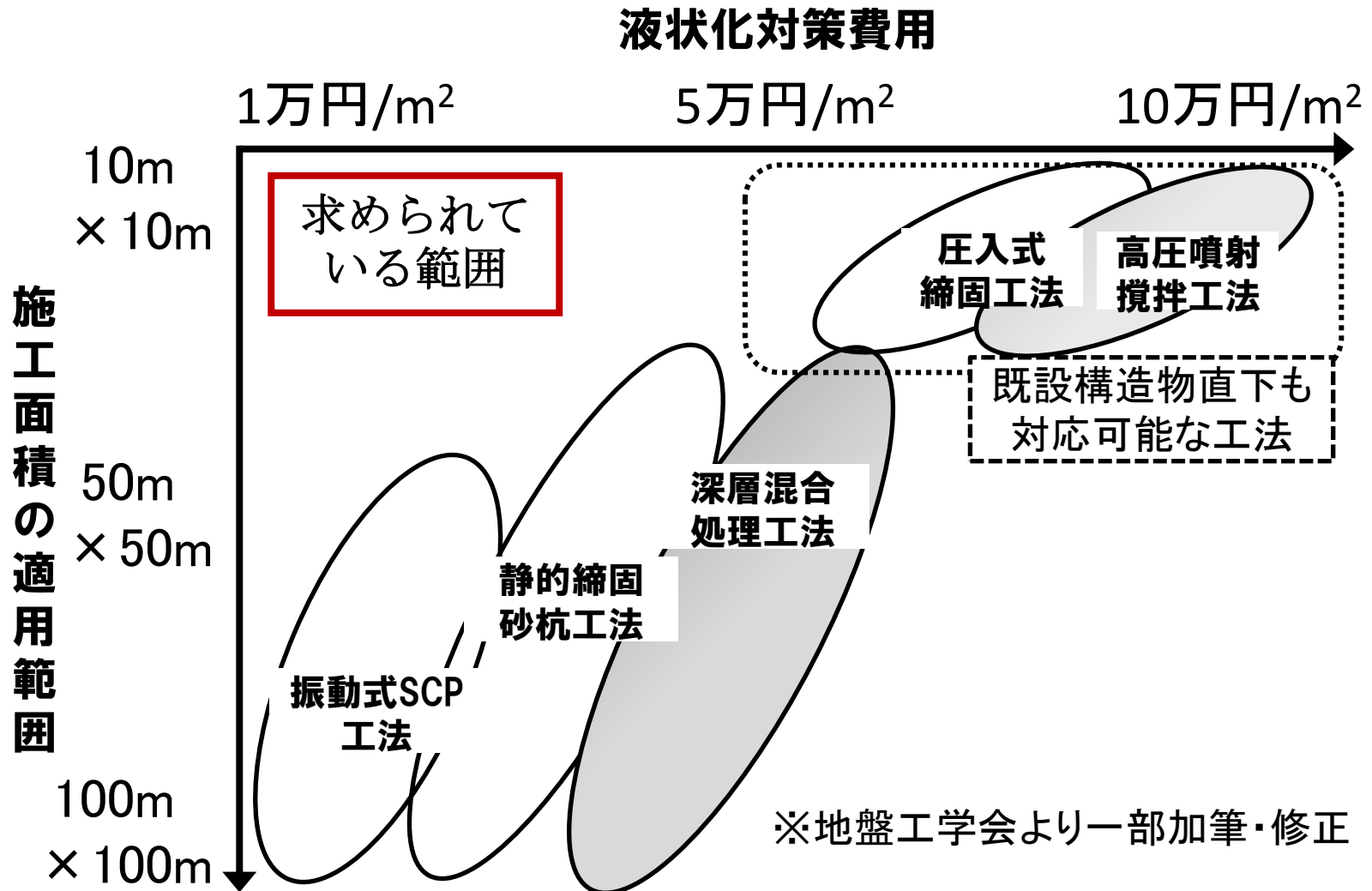
被害

事後修復

事後修復



液状化対策の普及：特に戸建て住宅

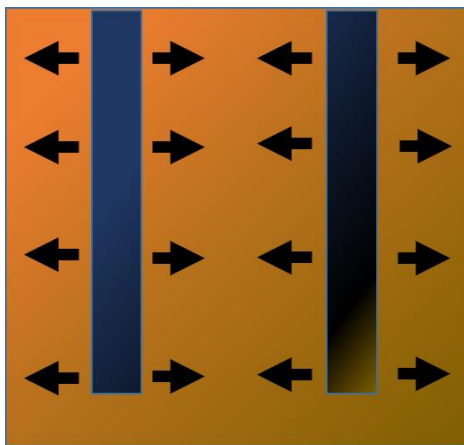


安価な対策工法の例：CPS工法

碎石杭



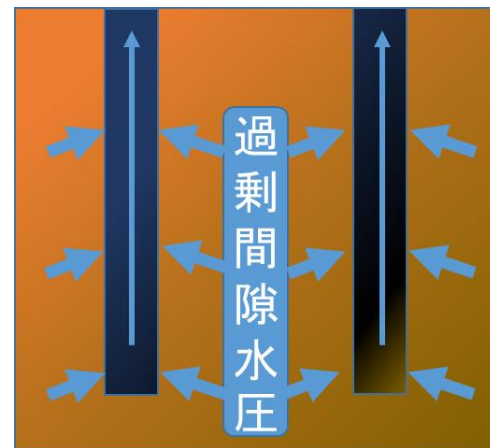
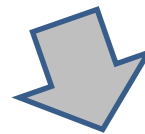
地盤補強



締固め効果

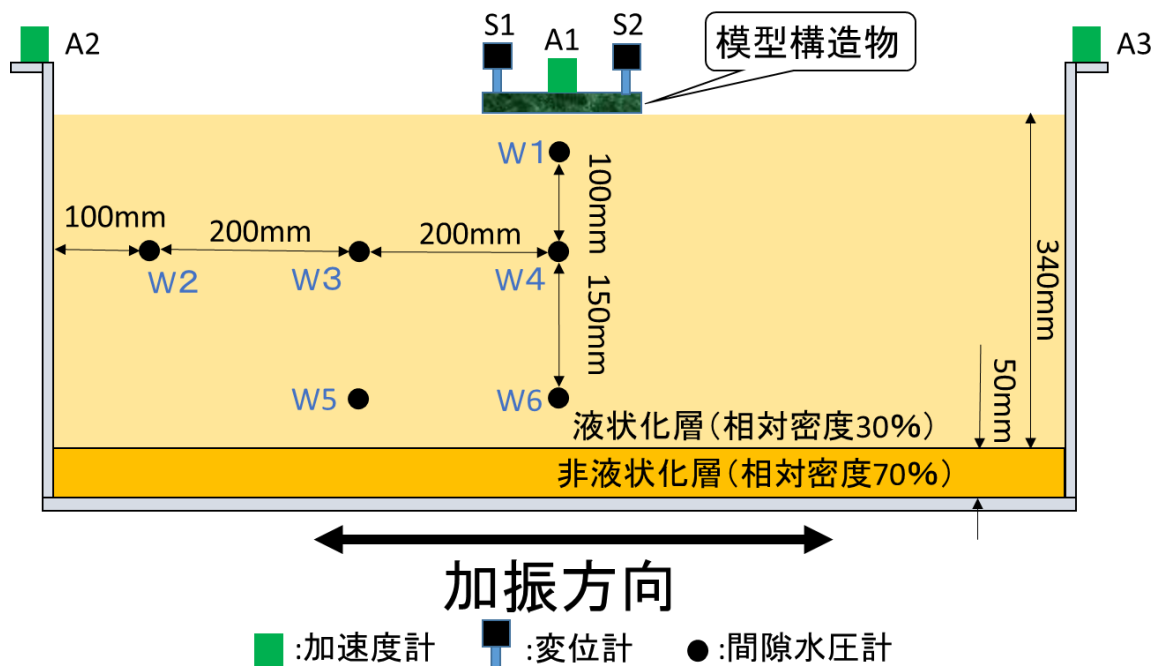
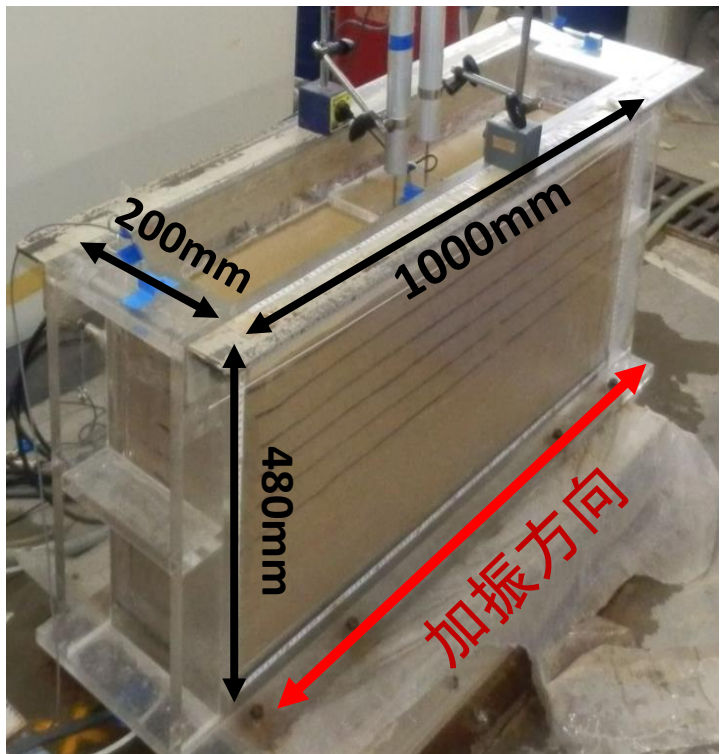


地盤改良



排水効果

1g場震度台模型実験装置



振動台

加速度: 200gal

周波数: 5Hz

加振時間: 6sec

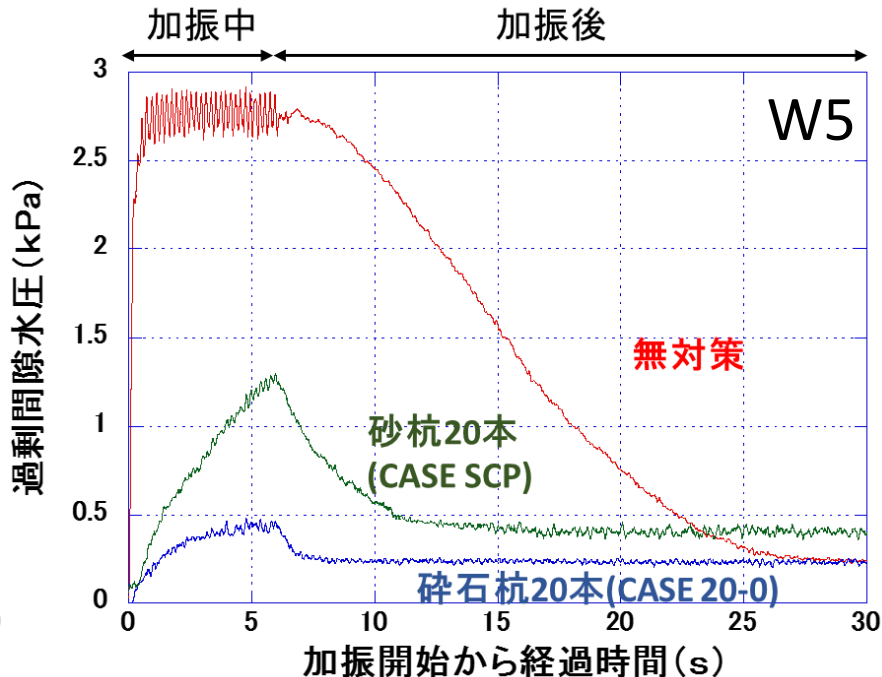
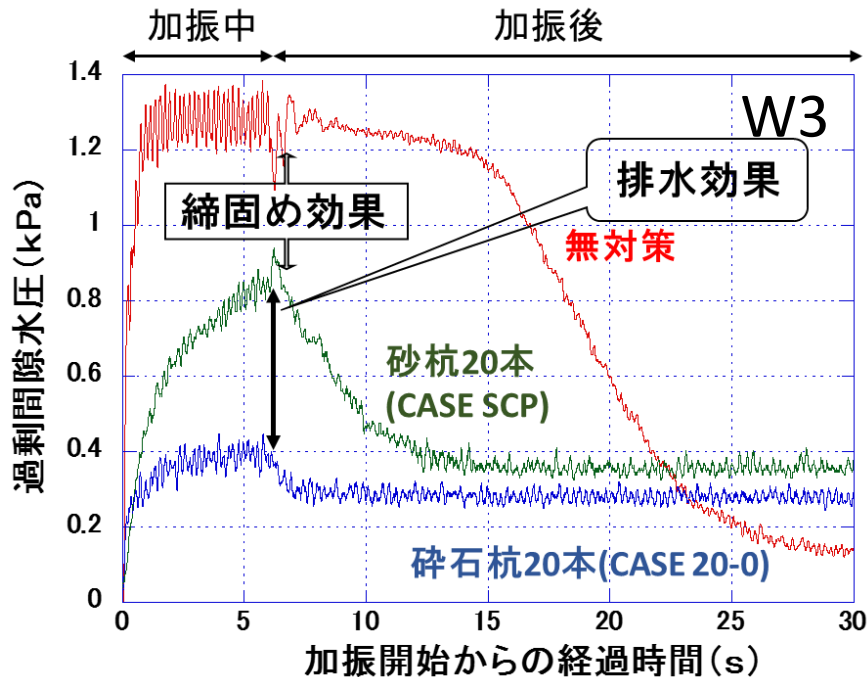
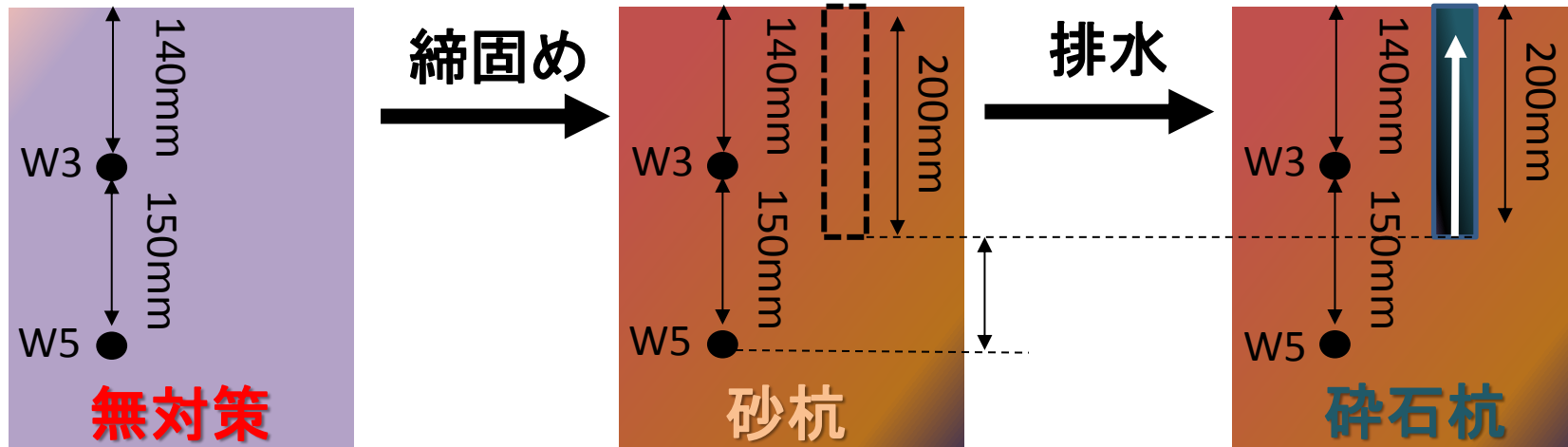
測定器

加速度計
A1, A2, A3

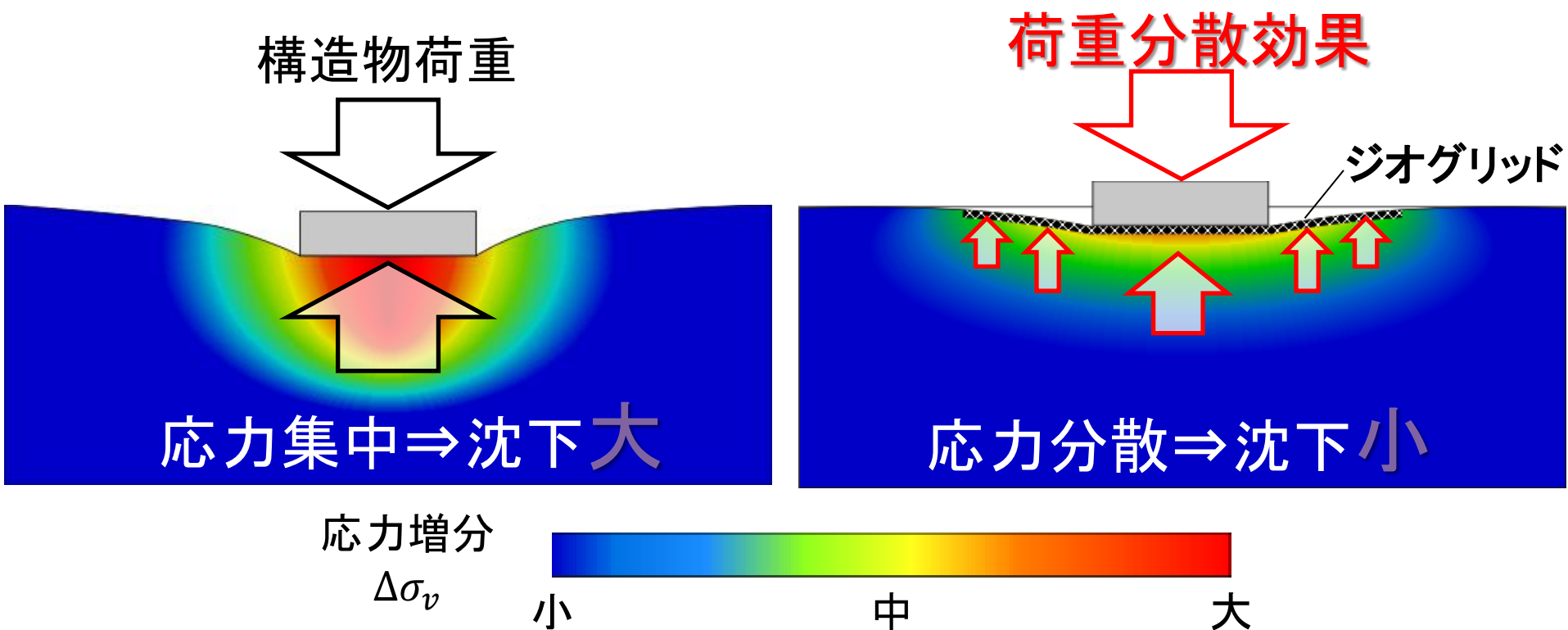
変位計
S1, S2

間隙水圧計
W1, W2, W3, W4, W5, W6

実験結果—締め固め効果—排水効果



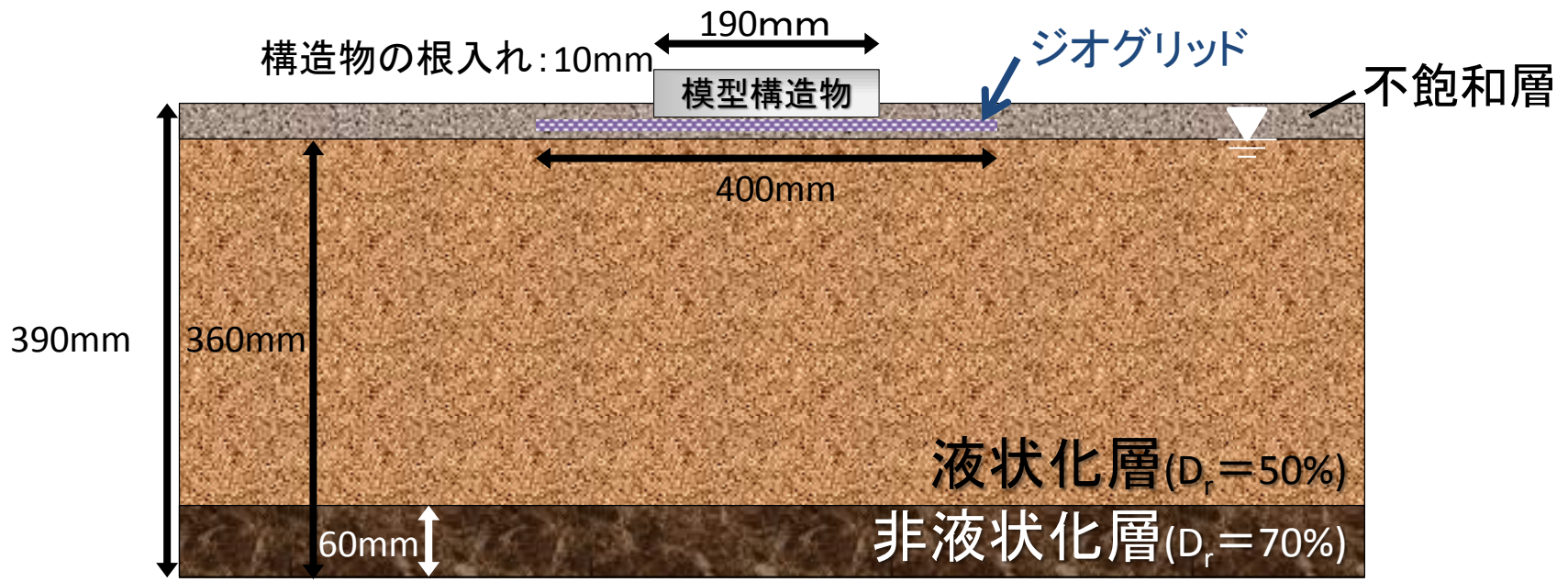
被害低減：ジオシンセティックス適用例



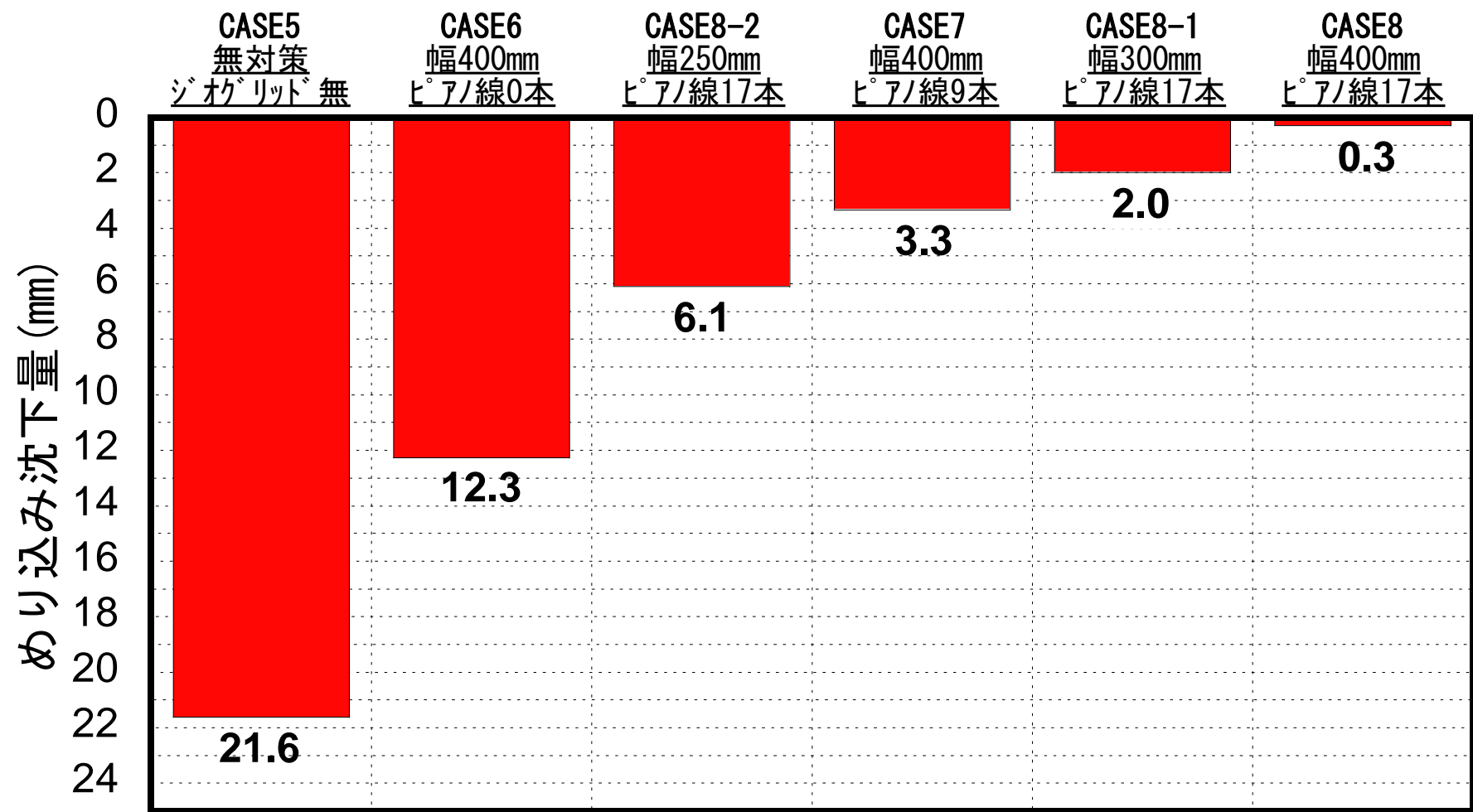
加振中に構造物荷重がジオグリッドによって分散され
地盤内で生じる応力が小さくなり沈下が抑制される

実験条件ジオグリッドの液状化時沈下抑制効果

	構造物質量	ジオグリッド幅	ピアノ線本数	曲げ剛性(N・m ²)
CASE5	1.9kg	無対策	—	—
CASE6		400mm	0	2.30×10^{-4}
CASE7			9本	5.93×10^{-2}
CASE8			17本	6.45×10^{-2}
CASE8-1		300mm		
CASE8-2		250mm		

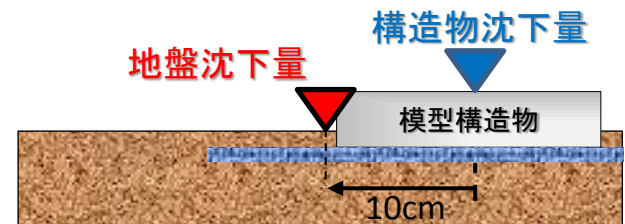


実験結果(めり込み沈下)

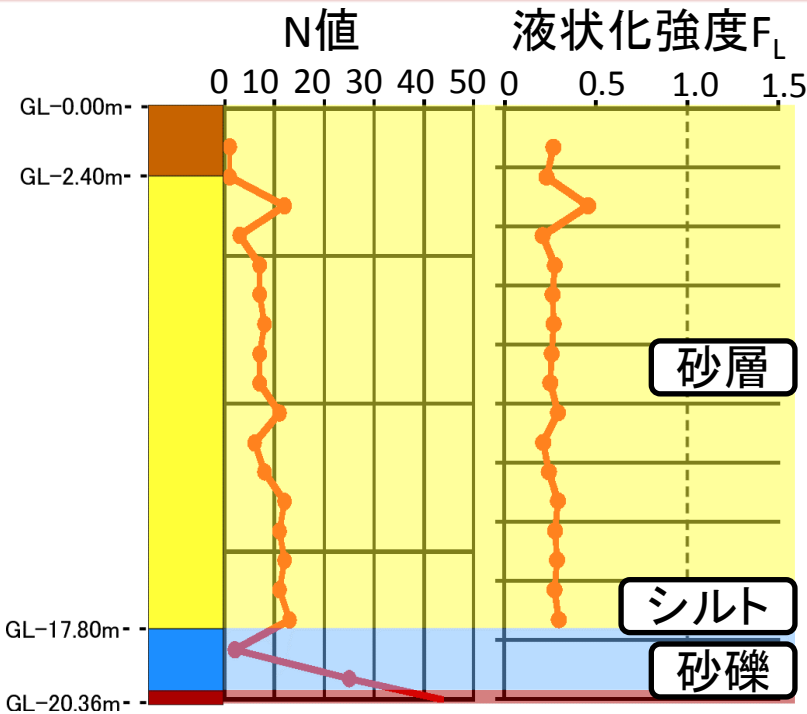


<本研究での定義>

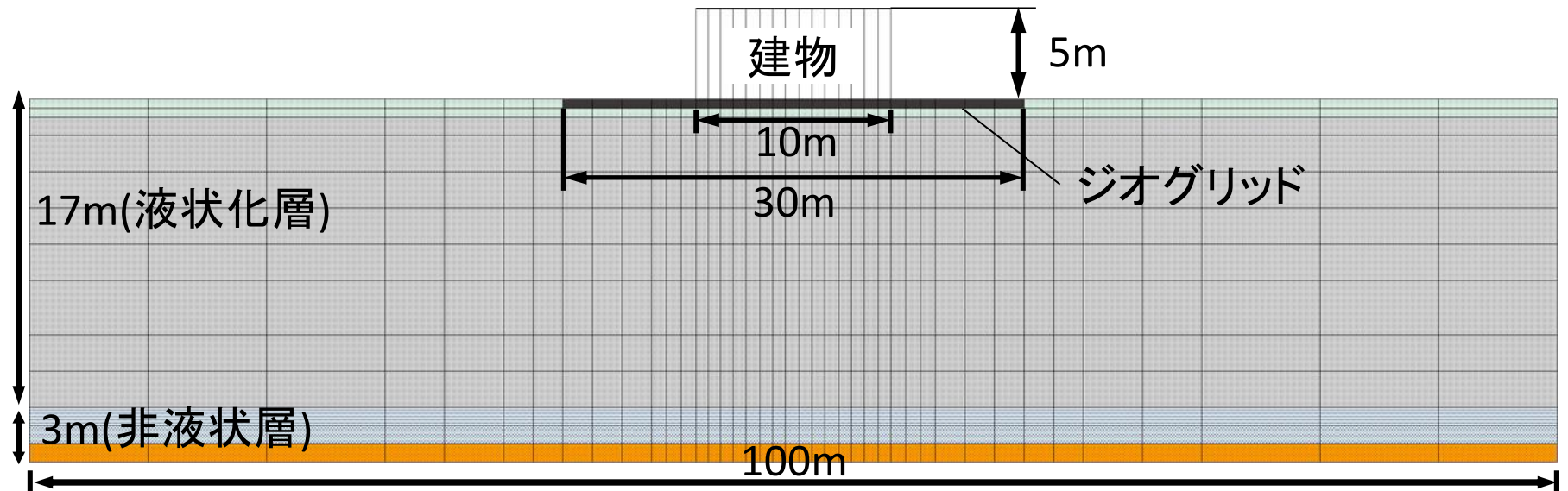
めり込み沈下量 = 構造物沈下量 - 地盤沈下量
(構造物付近の地点)



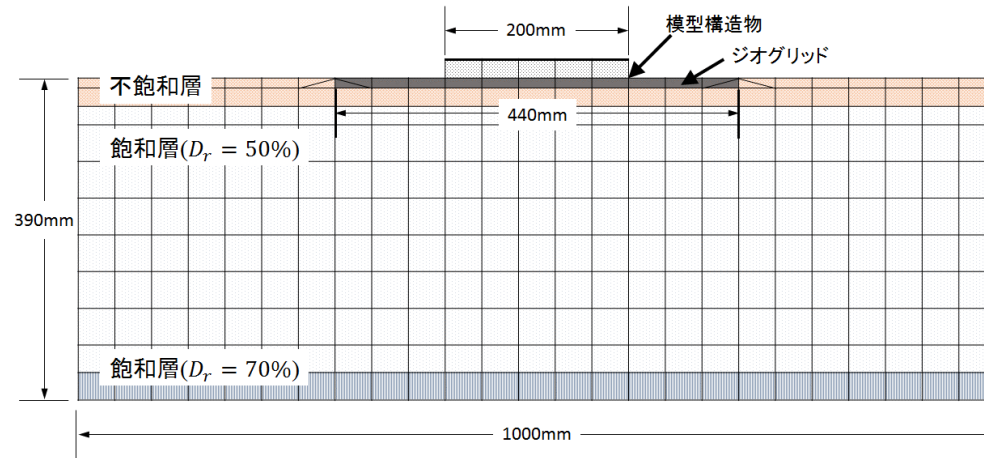
解析条件 海門町の液状化地盤をモデル化



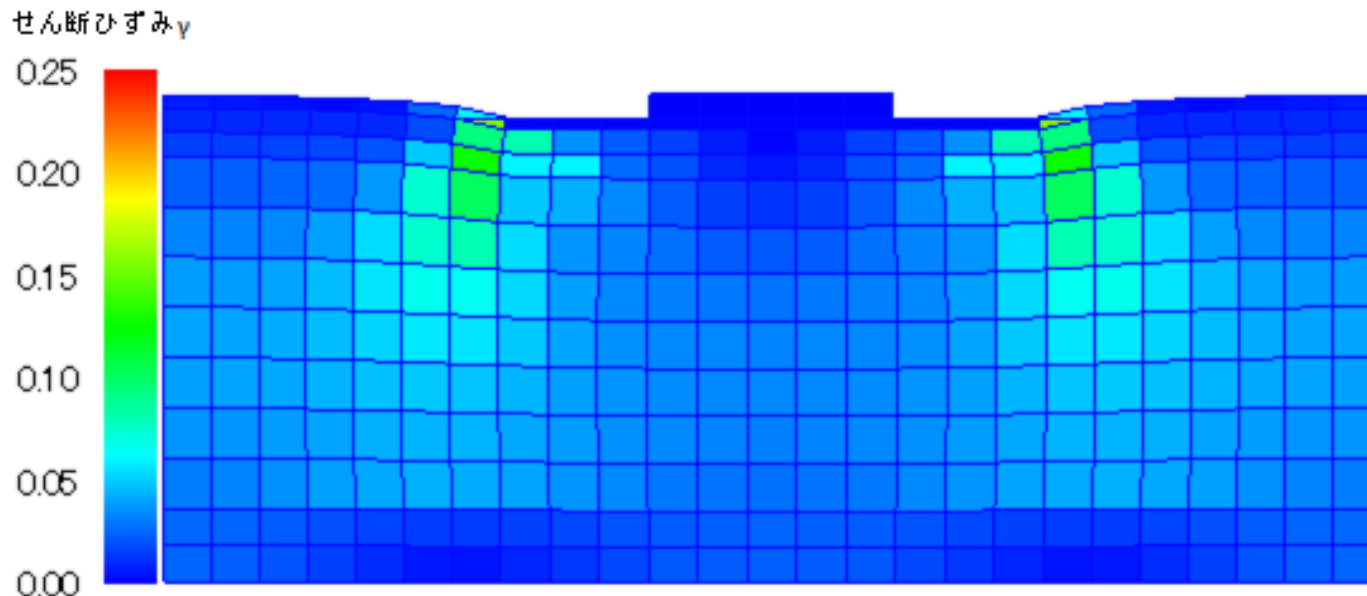
地盤	変形係数	N値から算出
	変形係数比	N値10以上: 1/50 N10未満: 1/100
ジオグリッド	ポアソン比	0.33
	変形係数	30m
	ポアソン比	0.3
構造物	変形係数	3.0×10^3 MPa
	ポアソン比	0.35
	接地圧	10kN/m ²
ジオグリッド	曲げ剛性	A: 2.30×10^{-4} N・m ²
		B: 5.93×10^{-2} N・m ²
		C: 6.45×10^{-2} N・m ²



2次元有限要素解析を用いた地盤変形予測

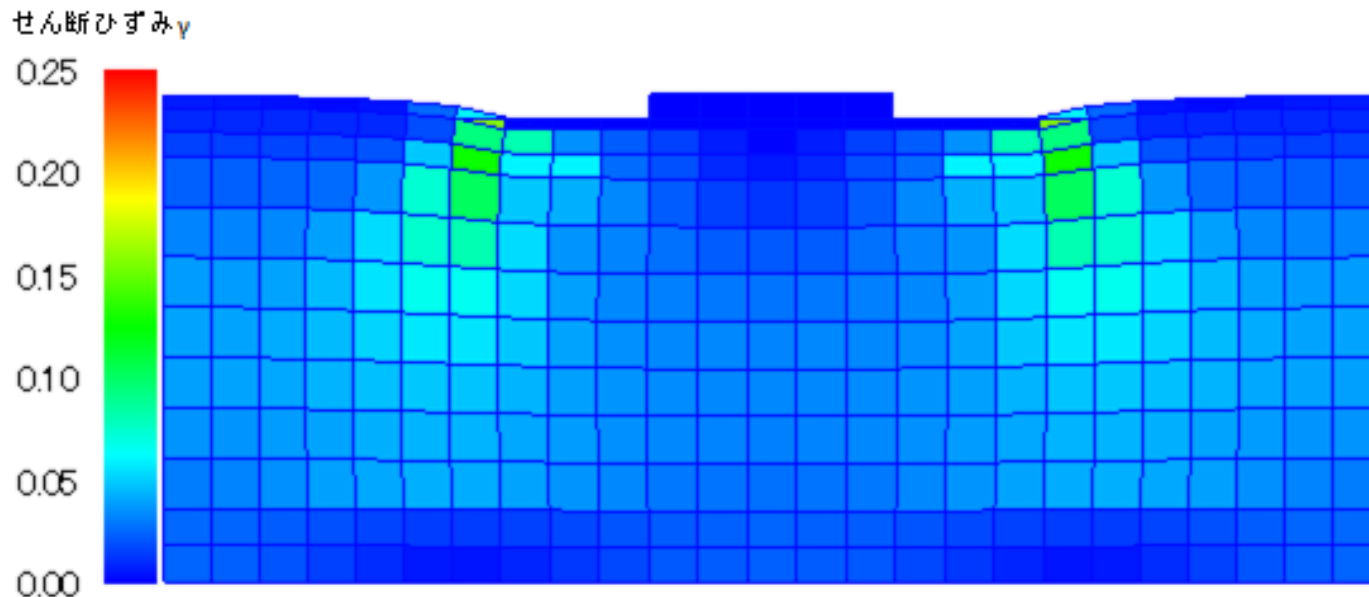
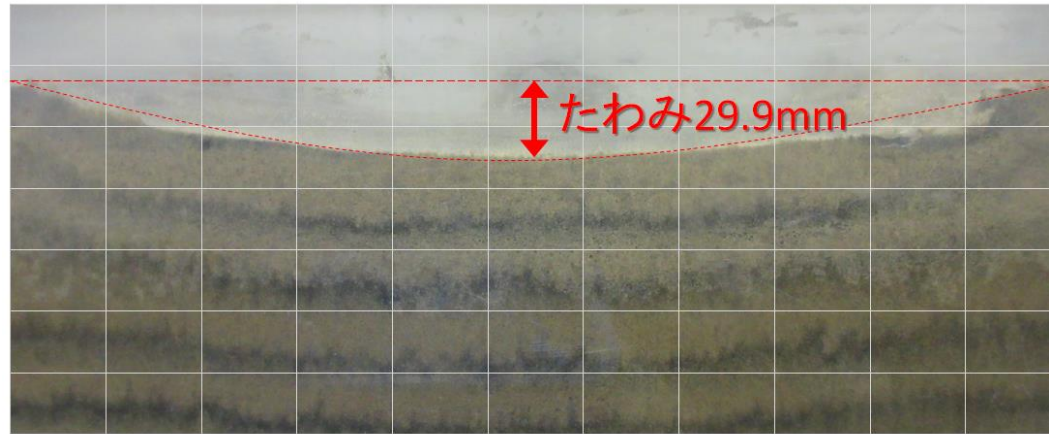


(c) ジオグリッド(幅:40cm, ピアノ線17本)



ジオグリッドおよび構造物が一体となり荷重を分散させる挙動は再現できたが、模型実験で見られた構造物自重によるジオグリッドのたわみが見られなかった

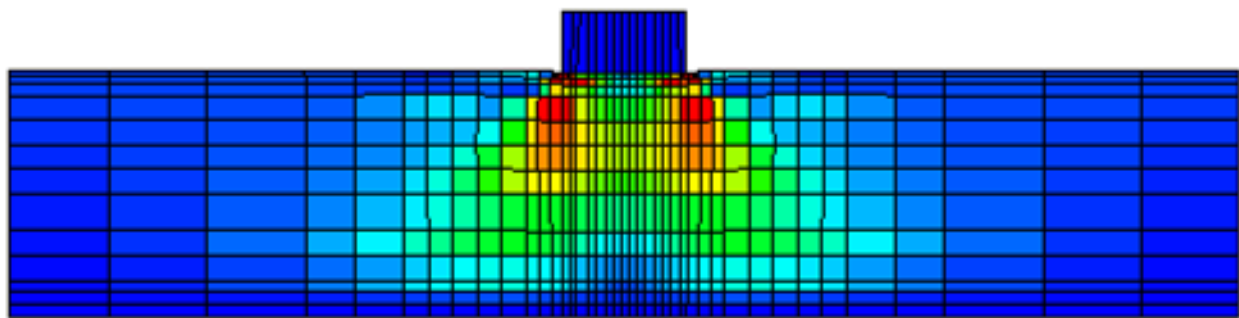
2次元有限要素解析を用いた地盤変形予測



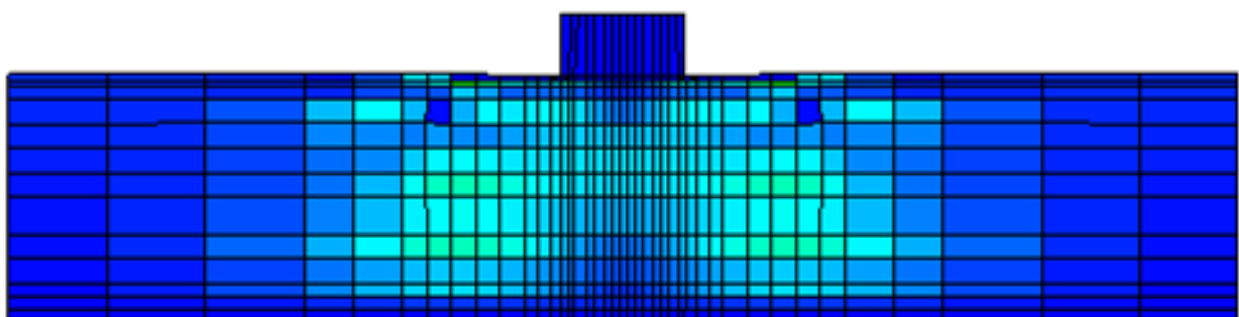
ジオグリッドおよび構造物が一体となり荷重を分散させる挙動は再現できたが、模型実験で見られた構造物自重によるジオグリッドのたわみが見られなかった

解析結果 剛性の違いによる影響

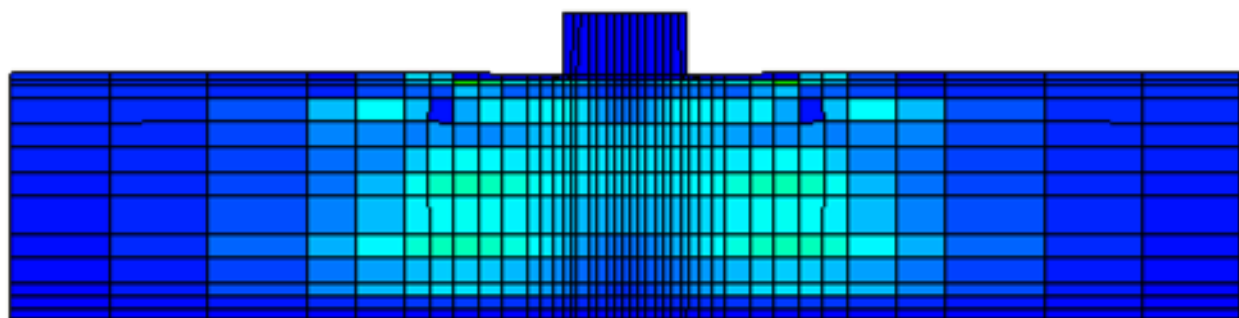
無対策
ジオグリッド無し



ジオグリッドB
 $EI=5.93 \times 10^{-2}[\text{N}\cdot\text{m}^2]$



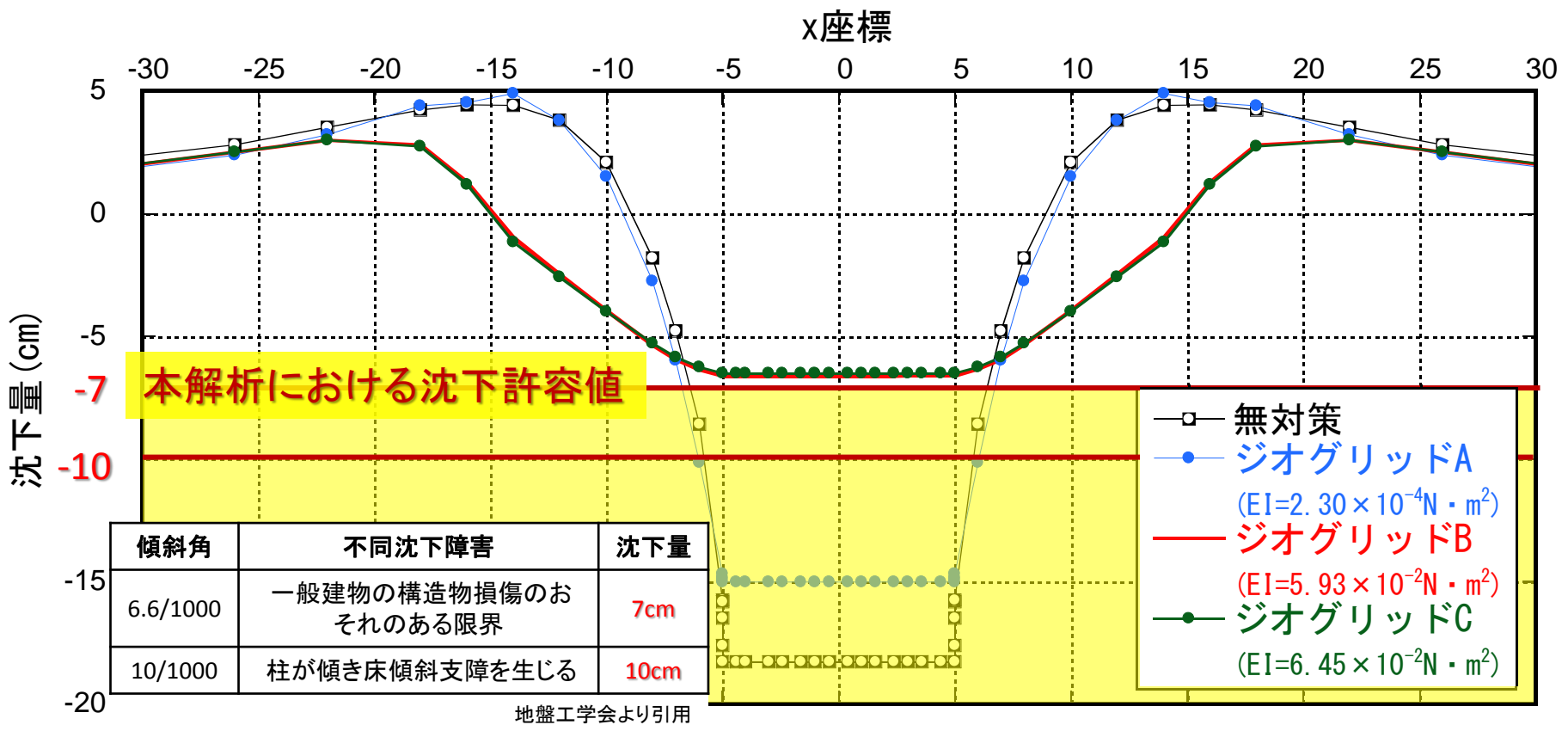
ジオグリッドC
 $EI=5.93 \times 10^{-2}[\text{N}\cdot\text{m}^2]$



ジオグリッド剛性高 → せん断変形小

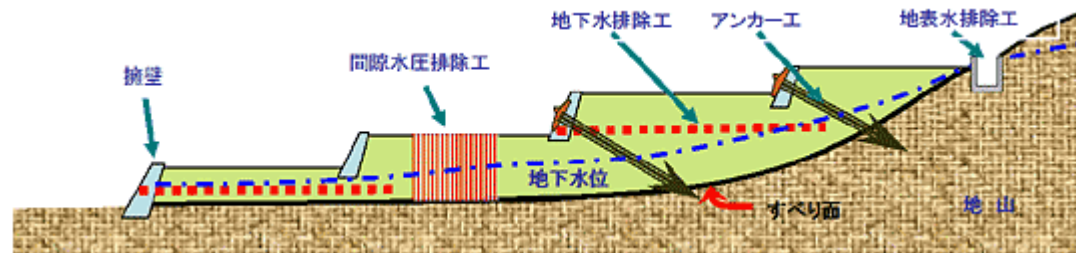
解析結果 剛性の違いによる影響

□ 地表面沈下量



本解析条件において海門町でジオグリッドを敷設する場合は、構造物許容沈下量7cm以下に抑えるジオグリッドBおよびCが適切である

ハード対策：地盤耐震化（造成地変動対策）



宅地耐震化推進事業(国土交通省)より

• 盛土造成地変動対策

－ 一体型対策

- 大規模盛土造成地を対象とした「宅地耐震化推進事業」による対策

－ 個別対策

- 擁壁などの耐震性の診断・補修・補強技術の開発

福岡市内においても、意外に急傾斜地が多い。
今回の地震でも損傷を受けている擁壁などがある。

ソフト対策：地盤リスクの評価

- 地盤リスク評価のための情報整備

- 地盤に関わるハザードマップ

- ◎液状化ハザードマップ

- 土砂災害警戒区域等のマップ

- 急傾斜地、地すべり、土石流を対象。

- ただし、地形のみの評価にとどまる

- × 造成地崩壊・変状については未整備

- 切盛図程度？

- 地盤情報の整備が不可欠

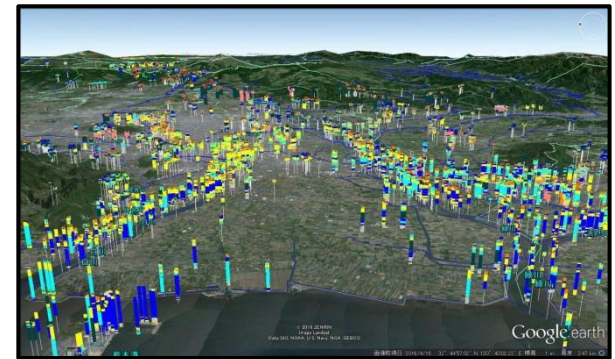
- 地盤情報データベースの活用

- 公共事業の地盤情報は現在公開利活用されつつある。

- ただし、市町村すべてではない。まだ、まだ、これから。

- 居住区のデータが不足する。公共事業だけでなく、民間データの集約も必要。

九州地盤情報共有データベースを利用して可視化



ソフト対策：立地適正化が進む中で

立地適正化計画の策定

立地適正化計画の概要パンフレット(国土交通省)より

立地適正化計画の区域等

立地適正化計画には、区域を記載する他、基本的な方針、その他必要な事項を記載するものとします。

【区域】(必須事項)

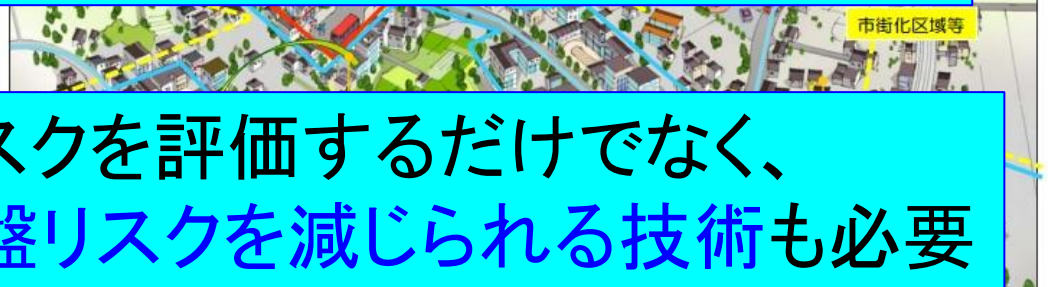
- 立地適正化計画の区域は、都市計画区域内でなければならず、都市計画区域



地盤リスクを考えた
都市のコンパクト化・スマートシュリンク化が不可欠

○区域の設定(必須事項)

- 都市機能誘導区域は、医療・福祉・商業等の都市機能を都市の中心拠点や生活拠点に誘導し集約することにより、これらの各種サービスの効率的な提供を図るべき区域です。



現状の地盤リスクを評価するだけでなく、
手を加えることで地盤リスクを減じられる技術も必要

- 生活サービスやコミュニティが持続的に確保されるよう、居住を誘導すべき区域です。

跡地等管理区域

○区域の設定(任意事項)

- 空き地が増加しつつあるが、相当数の住宅が存在する既存集落において、跡地等の適正な管理を必要とする区域です。

災害に強い都市へ



駐車場配置適正化区域

○区域の設定(任意事項)

- 歩行者の移動上の利便性及び安全性の向上のための駐車場の配置の適正化を図るべき区域です。

ご清聴ありがとうございました。

域・定制度 区域外の居住の振やかなコントロール
事項 空き家再生等推進事業