第5回熊本市液状化対策技術検討委員会 説明資料 【近見地区】

熊本市 震災宅地対策課

平成30年6月27日

- 議事(1) 液状化被害の要因
- 議事(2) 有効応力解析による想定地震動の確認
- 議事(3) 液状化対策の目標値
- 議事(4) 実証実験の経過報告(中間)

【液状化推定箇所の地形分類】

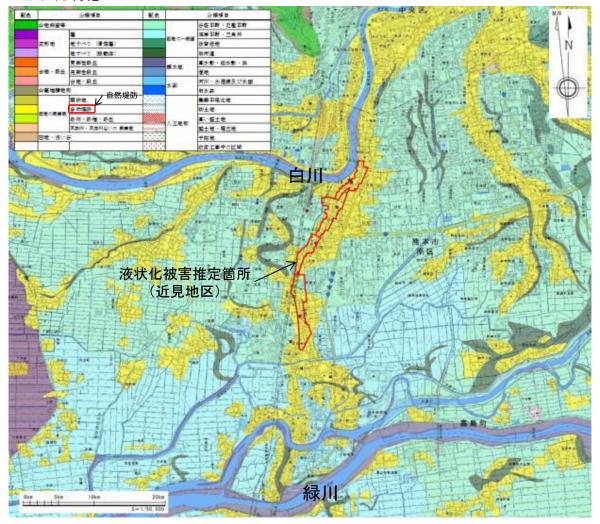


図1-1 土地条件図と液状化被害推定箇所(国土地理院土地条件図を基に作成)

- ・熊本地震による液状化被害は、白川から緑川にかけて存在する自然堤防上で帯状に発生している
- ・今回の被害と完全に合致するような河川・水路の存在は読み取れない
- ・細長く発達した自然堤防と後背湿地の形成過程より、河川との関係性があると考えられる
- ⇒文献資料・絵図、遺跡・貝塚、液状化被害箇所の地質から、液状化被害の要因について考察する

液状化被害の要因 議事(1)

【文献資料・絵図】

中世(鎌倉時代から室町時代(1192年頃~1573年頃))

歳務茲在、幸八旬余挑法燈、

義尹大渡橋勧縁疏

僧侶転一乗、高顕塔光映水黴、長連橋影聳雲騰、祝 仏閣荘厳鐸路興、抛来弓箭詣兢々、自然男女礼三宝、

君万

勅賜大慈禅寺開闢住持比丘義尹

涯分、如今何無済人之思、惟憑他力、盖俗云、聖人常善救 身命、爰義尹屢見此事、独廻思慮、但昔未有橋梁之跡、暫省 之西東、而碧潭似藍、謂之緑河也、終其雙流一合、今見海陸 都津而已、貴賎襲集両岸、喧諍前後、人馬競上、扁舟没、失 鎮西肥後州大渡者、 、故無藥人焉、仏言未度者令度云、誠夫聖主之無黎元也 而激浪如漿、謂之白河也、遠廻甲佐霊嶽 九州第一難処之也、尋其源流者、遥出

顧危必安、仏陀愍衆生也、見苦與楽者乎、伏望、文武両官緇

大慈寺文書(建治2年(1276年)) 資料1-1

【出典:新熊本市史 史料編 第二巻 大慈寺文書】

赤線部 書き下し文

恐惶謹以述

大慈伽藍草創深願 **血略擬拙偈日**



(下略ー原漢文) はたり、此れを緑川と云ふ其の 遠久甲佐霊嶽の西を廻り、東上 出で激流の如く此れを白川と云 出で激流の如く此れを白川と云 は、遥かに阿蘇 ||と云なり。| ||阿蘇神地の|| ||ポーの難処な 3二川合流す ij 南北

資料1-2 書き下し文 【出典:川尻町史】

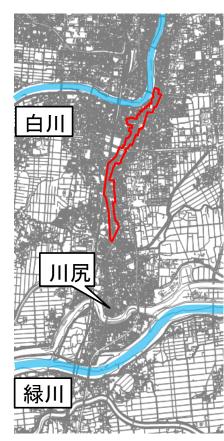


図1-2 液状化被害地区周辺の地形図

旧河道がわかる絵図等は残っていないが、建治2年(1276年)の頃には、白川が川尻で 緑川と合流していたことが記載されている

【文献資料·絵図】

近世(安土桃山時代から江戸時代(1573年頃~1868年頃))



図 1 - 3 肥後国絵図(慶長国絵図) (1605年に描かれたとされる)



奉書 寛永17年(1640)12月14日条(10.7.20)

でに出来るようにと、の当庸子行からの報告を受けて、忠和、川舟を一艘二月二十日頃には完成するように命じ、高橋舟のように舟を少し長く、全体を屋がにして、御座所の部分に畳を敷き、お小姓衆・お伽衆それぞれに段々にうすべりを敷くようにと、阿部弥一右衛門を通じて奉行衆に命じた。そして、関右所舟は高橋川のものを召し置けと、弥一右衛門から担当者に口上で伝えさせた。白川から川までの運河はこの年の六月、「熊本城のきわから川までの運河はこの年の六月、「熊本城のきわから川郡・で、と指示しているとで、といので、高橋川の高瀬舟と同じような形をので、それに合わせて念願の高瀬舟の建造をがるので、それに合わせて念願の高瀬舟の建造をがるので、それに合わせて念願の高瀬舟の建造をされたものであった。高橋川の高瀬舟と同じような形に大のだった。高橋川の高瀬舟と同じような形で、と指示しているところから、熊本から高橋にで、と指示しているところから、熊本から高橋にで、と指示しているところから、熊本から高橋にで、と指示しているところから、熊本から高橋にで、と指示しているところから、熊本から高橋にで、と指示しているところから、熊本から高橋にで、と指示しているところから、熊本から高橋にで、と指示しているところから、熊本が高り、しかも御子による。

資料1-3 奉書 寛永17年(1640年)12月14日条 【出典:第33回熊本大学附属図書館貴重資料展 (解説目録 近世熊本城の被災と修復)】

- 当時の絵図に河道は描かれていないが、液状化被害が発生したあたりに郡界がある
- ・元々あった小さな井手を拡張し、白川から川尻にかけて運河が整備されたと記載されている

奉書 寛永十七年(1六四〇)十二月十四日条

【文献資料・絵図】

近世(安土桃山時代から江戸時代(1573年頃~1868年頃))

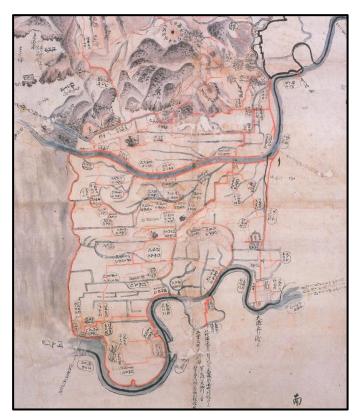


図1-4 飽田郡之図(正徳元年(1711年)の絵図)

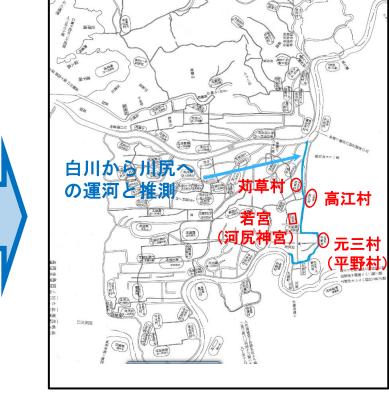


図1-5 飽田郡之図解説

・奉書が書かれた以降の1711年の絵図には、白川から川尻への運河と推測されるものが描かれている

【文献資料・絵図】

近現代(明治維新以降(1868年頃~))

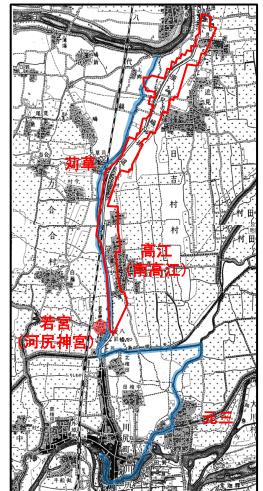
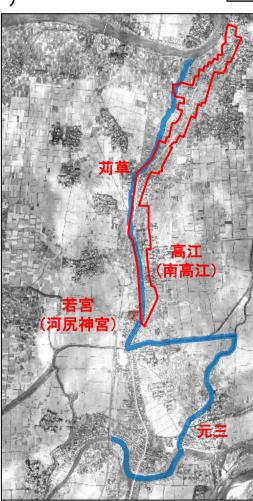


図 1 - 6 明治34年(1901年)地形図 【出典:国土地理院】



凡例

図1-7 空中写真 (昭和20~25年(1945年~1950年)) 【出典:国土地理院】

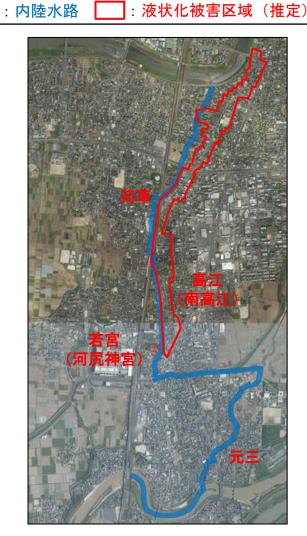
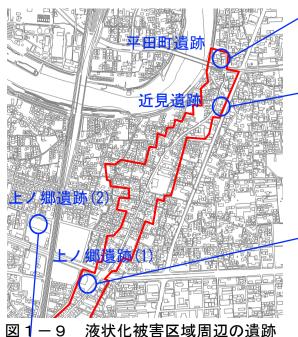


図1-8 空中写真(全国最新写真) 【出典:国土地理院】

・近世の時代に整備された白川と川尻を結ぶ運河と推測されるものの名残が現在も残っているが、液状化被害区域(推定)と完全には一致しない

【遺跡・貝塚】

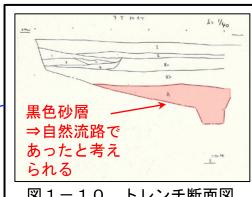


- ・調査区西側で溝と自然流路が重複して確認された
- ・溝、自然流路の主体は中世であるが、一部古代以前に遡る可能 性のある土師器甕(はじきがめ)がある

【引用:熊本市埋蔵文化財調査年報 第9号 2007年熊本市教育委員会】

中世以降の遺構は、溝を3条検出している

【引用:熊本市埋蔵文化財調査年報 第6号 2004年熊本市教育委員会】



・黒色砂層が検出されたことから、 以前は自然流路であったと考えら れる

【出典: H16-存55

上ノ郷遺跡 埋蔵文化財処理票】

図1-10 トレンチ断面図

【出典:上ノ郷遺跡 I 上ノ郷遺跡第4次調査区発掘調査報告書 2012年熊本市教育委員会】

- 弥生時代以前に形成されたと考えられる低地堆積層が検出
- 調査地東側で比高差2m以上の崖面(段丘岸)を検出

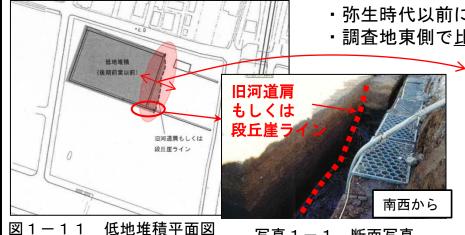
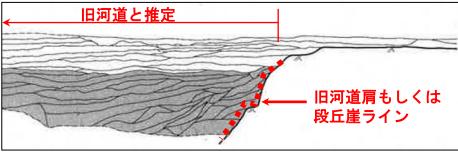


写真 1 - 1 断面写真



低地堆積断面図 図1-12

【遺跡・貝塚】



図1-13 熊本平野の貝塚分布 【出典:ふるさとの歴史 川尻】



図1-14 熊本平野の主な弥生時代の遺跡と海岸線 【出典:ふるさとの歴史 川尻】

- 縄文時代中頃は貝塚の分布状況から近見地区周辺は海であったと考えられる
- ・弥生~古墳時代には近見地区周辺が陸地となり、遺跡が分布していることから、何らかの水 辺があったことが考えられる

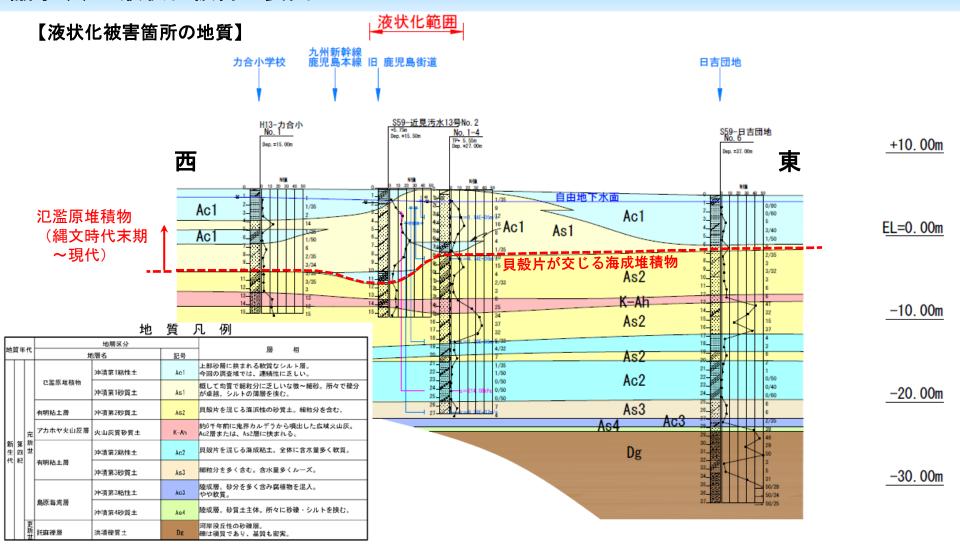


図1-15 想定地質断面図

- ・As2層は貝殻片が交じる海成堆積物であることから、現在の熊本平野が形成される以前の 地質である
- ・被害区域内には表層に砂質土層 (As1) が分布し、被害区域外では表層に粘性土層 (Ac1) が分布する

【液状化被害箇所の地質】

近見地区では、写真のように黒褐色の噴砂が確認されている。この土は、<u>阿蘇山に由来する火山灰(通称「ヨナ」)を含む火山</u>灰質土と考えられる



写真1-2 噴砂

噴砂試料の粒度曲線がAs1層と近似した勾配 を示す

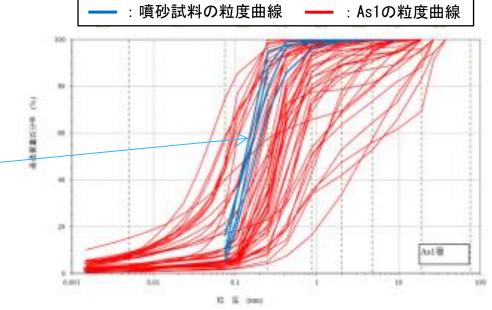


図1-16 As1、噴砂試料の粒径加積曲線 【出典:第1回熊本市液状化対策技術検討委員会資料】

・噴砂試料の特徴から、液状化した地層は、白川の氾濫により堆積した氾濫原堆積物により形成されたものであると考えられる

【まとめと考察】

●文献資料·絵図

- ・中世の時代までは、白川が川尻で緑川と合流していたと言われている
- ・近世の時代には、元々あった井手を拡張し、白川から川尻にかけて運河が整備された。
- ・現在もその名残が残っているが、液状化被害区域(推定)と完全には一致しない

●遺跡·貝塚

- ・近見地区周辺は、縄文時代中頃は海であったが、弥生~古墳時代には陸地となり、遺跡が分布していることから、何らかの水辺があったと考えられる
- ・遺跡発掘調査から、古代・中世には白川の旧河道もしくはいくつかの流路が存在していたことが考えられる

●液状化被害箇所の地質

・地質調査から、液状化した地層は、氾濫原堆積物(縄文時代末期~現代)により形成されたものと考えられる



【考察】

埋立などの人工的な地盤や旧河川の存在は見られないものの、地形分類上においては 自然堤防のへりであって、熊本平野は度重なる河川の氾濫により堆積した自然地盤で あることから、帯状液状化の発生は旧河川との関係性が要因の一つと考えられる

【検討手順】

・第3回委員会で承認された波形を用いて、液状化を考慮した有効応力解析を実施し、液状化地点で発生した地表面加速度について検討を行った。

既往検討 KiK-net益城 孔中観測記録 一次元全応力等価線形解析(SHAKE)による 想定地震動の解析(地震基盤⇒地表) 今回検討 工学的基盤の入射波(E)を抽出

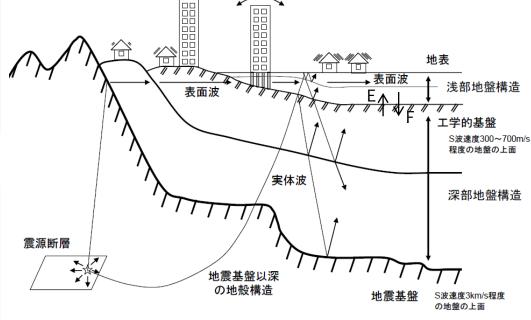


図2-2 地下構造モデルの模式図 出典【地震調査研究推進本部 地盤調査委員会(2016)震源断層を特 定した地震の強振動予測手法】

一次元非線形有効応力解析 (YUSAYUSA-2)

增幅解析 (工学的基盤⇒地表)

【解析地盤モデル】

ボーリングNo1-2:日吉小学校(液状化地点)

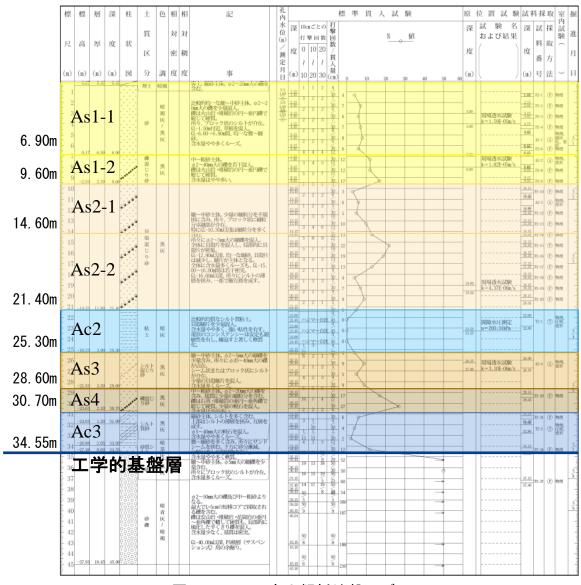


図2-3 日吉小解析地盤モデル

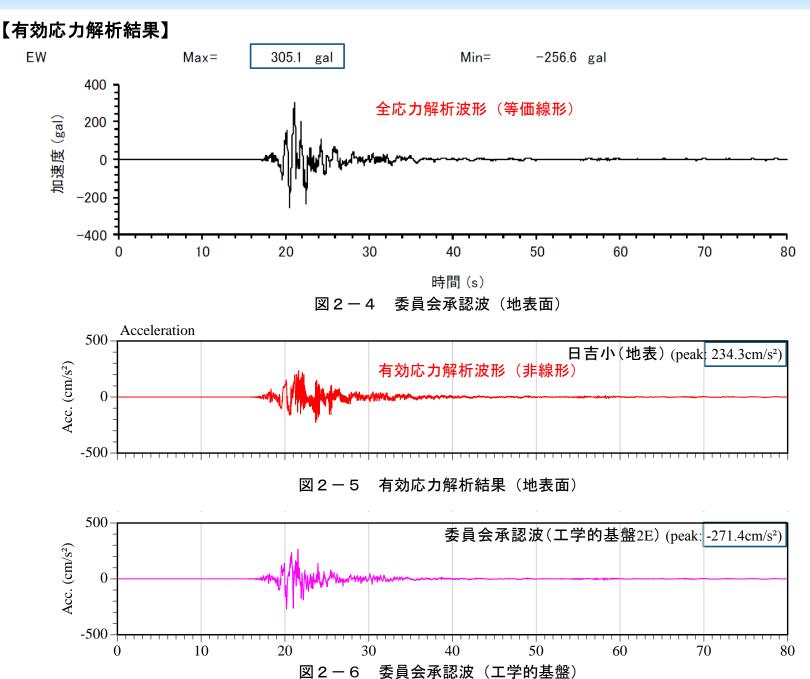
【解析定数】

- ・全応力解析(SHAKE)によって設定されているS波速度、密度などの定数は踏襲する。
- ・有効応力解析(YUSAYUSA-2)で新たに必要となる液状化強度に関する定数のみを新たに設定する。

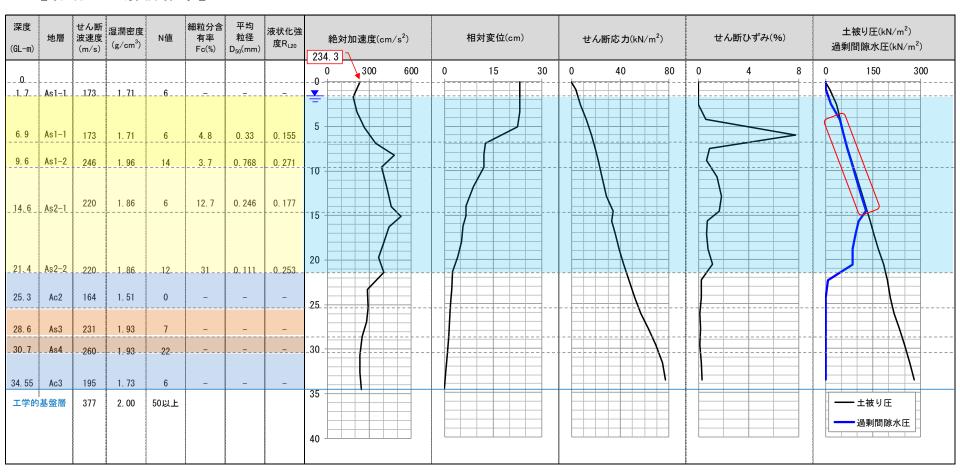
表2-1 有効応力解析で使用した地盤定数(日吉小解析モデル)

	深度 m	層厚 m	$ ho$ g/cm 3	Vs m/s	N値	R _{L20}	Вр	Bu
As1-1	6.90	6.90	1.71	173	6	0.155	8.70	0.50
As1-2	9.60	2.70	1.96	246	14	0.271	2.90	0.14
As2-1	14.60	5.00	1.86	220	6	0.177	7.00	0.35
As2-2	21.40	6.80	1.86	220	12	0.253	3.40	0.14
Ac2	25.30	3.90	1.51	164	0			
As3	28.60	3.30	1.93	231	7			
As4	30.70	2.10	1.93	260	22			
Ac3	34.55	3.85	1.73	195	6			
基盤	_	_	2.00	377	50以上			

※太字は計算値



【有効応力解析結果】



液状化対象層

【有効応力解析結果のまとめ】

- 〇地表面最大加速度は、日吉小モデルにおいて全応力解析では305.1galであったが有効応力解析では234.3galであり、その差は約70galであった。
- ○有効応力解析の結果より、地表面に近い位置で液状化が発生していることが確認された。

表 2-2 各地点における地表面最大加速度 (α_{max})

	有効応力解析結果	全応力解析結果
地表最大加速度	234. 3gal	305. 1gal



有効応力解析結果から液状化地点の想定地震動は「M7.3 地表面最大加速度 240gal」を採用

【市街地液状化対策推進ガイダンスにおける液状化対策の基本的な考え方】

〇公共施設・宅地一体型液状化対策の目標値に限り、図3-1のB1をAと同様に「顕著な被害の可能性が低い」として扱うこととする。これは、対策工事を行った場合、自然地盤(対策前)に比べて一様に非液状化層厚H₁が確実に確保されることが想定されるためである。

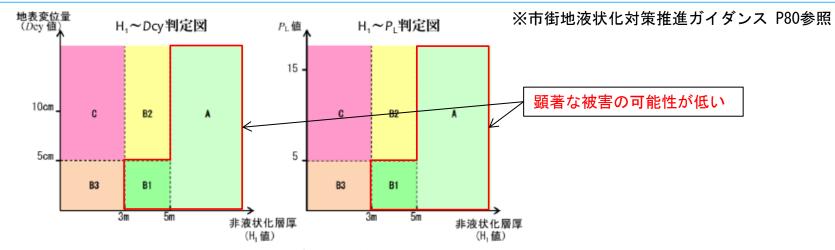


図3-1 公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準

〇図3-1はM7.5、地表面加速度(α_{max})200galを想定しているが、東日本大震災の液状化被害を分析した結果設定されたしきい値であることからM9.0、 α_{max} 200galの地震動まで用いることができる。

※市街地液状化対策推進ガイダンス P80参照

表 3 一 1	液状化判定の計算例	(東日本大震災、	熊本地震)

	マグニチュード (M)	地表面加速度(α _{max})	H ₁ (m)	Dcy (cm)	PL
東日本大震災	9. 0	200	1. 0	18. 8	8. 36
熊本地震	7. 3	240	1.0	18. 5	7. 53

⇒今次災害を想定した地震動M7.3、 α_{max} 240galで液状化判定を実施すると、M9.0、 α_{max} 200galで実施した場合 より数値が収まってくるので図3-1を用いることができる

【市街地液状化対策推進ガイダンスにおける液状化対策効果の目標値の考え方】

〇目標値に対する基本的な考え方

表3-2 公共施設・宅地一体型液状化対策工法における効果の目標値の設定

判定結果	H1の範囲	Dcyの範囲	PL値の範囲	地下水位低下工法
С	3m未満	5cm以上	5以上	不可
В3		5cm未満	5未満	不可
B2	3m以上	5cm以上	5以上	液状化被害軽減の 目標として可
B1	5m未満	5cm未満	5未満	↑ /液状化被害抑制の
А	5m以上	_	_ /	目標として可

地下水位低下工法では「顕著な被害の可能性が比較的低い」となるため、目標とすることに**住民の了解が得られれば**公共施設・宅地一体型対策の液状化被害の軽減の目標とする。

【他自治体の目標値】

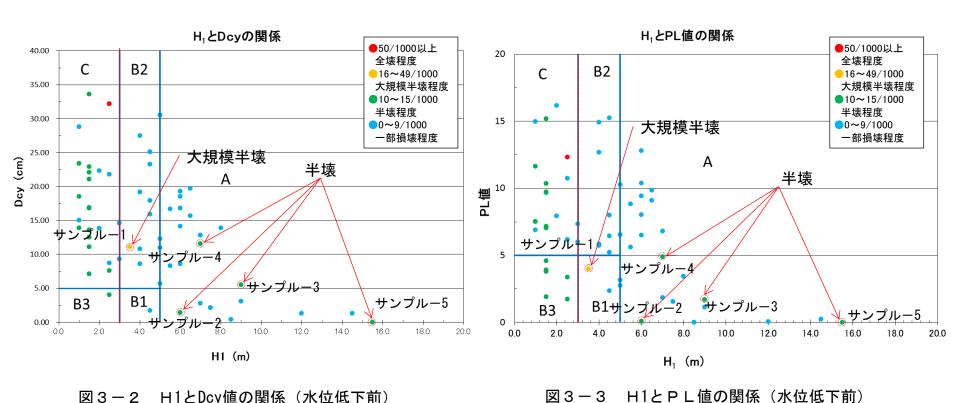
表3-3 他自治体の目標値一覧

	項目	A市	B市	C市	D市
観測値	地表面最大加速度	157. 3gal	202ga l	375. 7gal	223. 3gal
相中地電話	マグニチュード	9. 0	9. 0	9. 0	9. 0
想定地震動	地表面加速度	200	202	200	200
	非液状化層厚	ı	GL-3. Om	GL−3. Om	GL−3. Om
┃ ┃ 目標値	Dcy	Dcy≦5cm		Dcy≦10cm	
	PL値	全層でFL≧1.0 (即ち、PL=0)	全層でFL≧1.0 (即ち、PL=0)	PL≦5	PL≦5

項目		E市	F市	G市	H市
観測値	地表面最大加速度 300gal		254. 5gal	301. 1gal	301. 1gal
****	マグニチュード	9. 0	9. 0	9. 0	7. 5
想定地震動	地表面加速度	300	202	200	200
	非液状化層厚	GL−3. Om	GL-3. Om	GL-3. Om	GL−3. Om
目標値	Dcy		Dcy≦10cm		Dcy≦10cm
	PL値				

【被害実態と液状化判定結果の検証(近見地区)】

・有効応力解析から算出された<mark>地表面加速度240gal</mark>及び計測されたM7.3から液状化判定を実施し、基礎調査による建物の傾斜及び基礎調査区域外については罹災証明における建物傾斜との検証を行った。



- ・地下水位低下前において、H1<3.0mの範囲に半壊程度以上の被害が多く分布していることが確認された
- ・H1≥3mの範囲においては、一部損壊程度が多くを占めているが、大規模半壊・半壊程度も確認された

【液状化判定結果と被害実態の詳細な検証】

・図3-2,3でH1≥3mの範囲で大規模半壊・半壊程度となっているものについて、被害実態を詳細に検証した

表3-4 判定と罹災結果に差異が見られた箇所(その1)

	H1 (m)	Dcy (cm)	判定	PL	判定	平均 傾斜量	傾斜による 罹災の程度	考察
サンプル-1	3. 5	11. 1	B2	4. 01	B1	20/1000	大規模半壊	 ・当該敷地は沈下等が見られており液状化が発生したものと想定される ・判定に用いたボーリングデータは、地下水位が2.1mとなっていたが、同時期に同敷地内で調査したボーリングデータでは、地下水位が1.6mとなっており、その状態で判定を実施するとC判定となる ・よって、被害の程度から地下水位は1.6mだった可能性がある
サンプル-2	6	1.4	A	0. 1	A	13/1000	半壊	・S41の木造の建物 ・現場では噴砂やめりこみ沈下は確認されていないため、建物自体の傾斜による被災の程度と考えられる

【液状化判定結果と被害実態の詳細な検証】

表 3 - 5	判定と罹災結果に差異が見られた箇所	(その2)
100		

	H1 (m)	Dcy (cm)	判定	PL	判定	平均 傾斜量	傾斜による 罹災の程度				
サンプル-3	9	5. 4	A	1. 18	A	14/1000	半壊	・液状化被害区域の境となっている。サンプル-3'は罹災判定をした宅地のデータであり、液状 化判定と一致する			
サンプル-3'	1. 5	12. 5	С	3. 92	B3	14/1000	十场		T 43X		・サンプル-3とサンプル-3'が液状化範囲の境界
サンプル-4	7	11. 6	A	4. 89	A	13/1000	半壊	・サンプル-3と同様に液状化区域の境界のデータ			
サンプル-5	15. 5	0	A	0	A	13/1000	半壊	・サンプル-3と同様に液状化区域の境界のデータ			

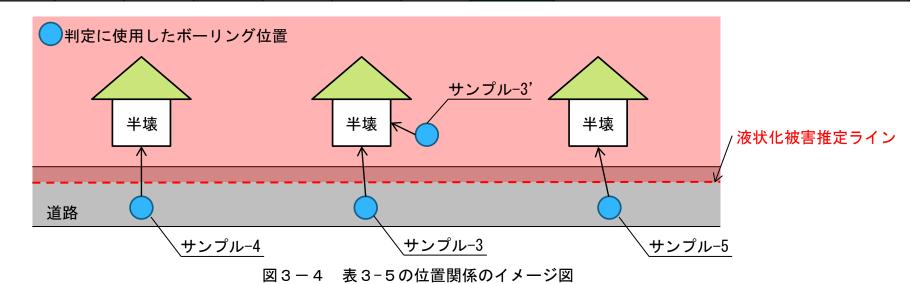


表3-4、表3-5の結果を考慮すると、熊本地震における液状化の被災の程度と液状化判定の結果は相関が確認された

【液状化判定(地下水位低下工法)】

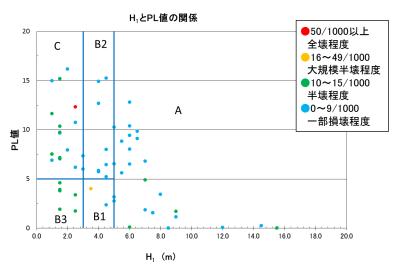


図3-2 H1とPL値の関係(水位低下前)

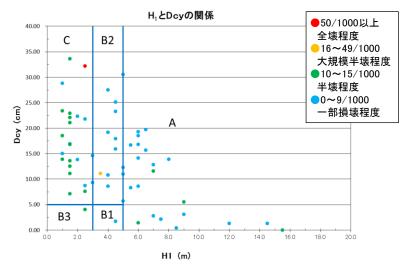


図3-3 H1とDcyの関係(水位低下前)



12.0

H₁ (m)

14.0

16.0

18.0

H₁とPL値の関係

図3-5 H1とPL値の関係(水位低下後 GL-3.0m)

В3

0.0 2.0

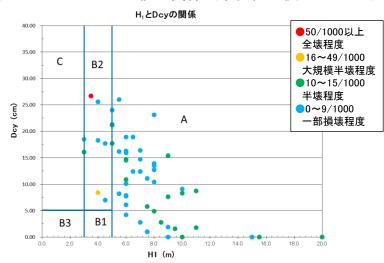


図3-6 H1とDcy値の関係(水位低下後 GL-3.0m

地下水位低下

(GL-3m)

【設定方針】

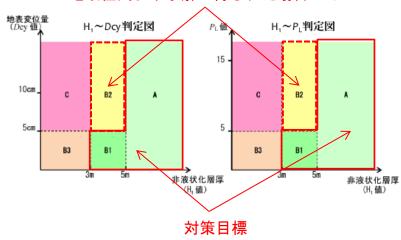
- ◇今回の液状化対策の対策目標の方針(案)
 - 〇設計地震動(今次災害): M7.3 240gal
 - 〇地下水位低下工法における液状化被害抑制の目標:Aランク、B1ランク、
 - ○地下水位低下工法における液状化被害軽減の目標: B2ランク (住民より了解が得られた場合)
 - ※対策前の液状化判定においてAランクのものについては顕著な被害の可能性が低いので対策は実施しない

※個別で行う対策の方針についても今後あわせて検討していく

表3-6 公共施設・宅地一体型液状化対策工法における効果の目標値 (地下水位低下工法)

判定結果	H1の範囲	D c y の範囲	PL値の範囲	地下水位低下工法
С	3m未満	5cm以上		不可
В3		5 c m未満 5 未満		不可 (※)
B2	3m以上	5cm以上	5以上 /	液状化被害軽減の 目標として可
B1	5m未満			液状化被害抑制の
А	5m以上 —		_	目標として可

地域住民より了解が得られた場合のみ



公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準 (地下水位低下工法)

地域住民より了解が得られた場合のみん

対策目標

【実証実験の経過報告】

- ・各委員の意見を踏まえ、実験施設周辺の地下水位の影響を確認するために観測井を追加で 設置
- ・実証実験は4月18日より揚水を開始。
- ・5月12日、5月16日の二日間で、地域住民の方向けに実証実験施設の現場見学会を実施。実験概要の説明及び液状化現象を再現した実験を実施。
- ・両日で100名を超える方が来場

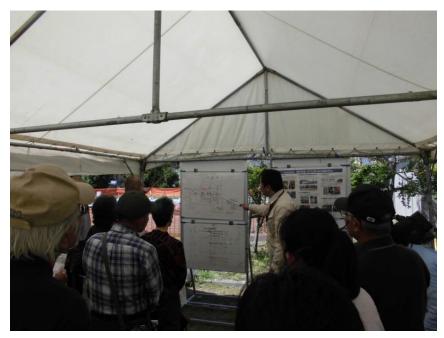


写真4-1 現場見学会(実験概要説明状況)



写真4-2 現場見学会(施設見学状況)

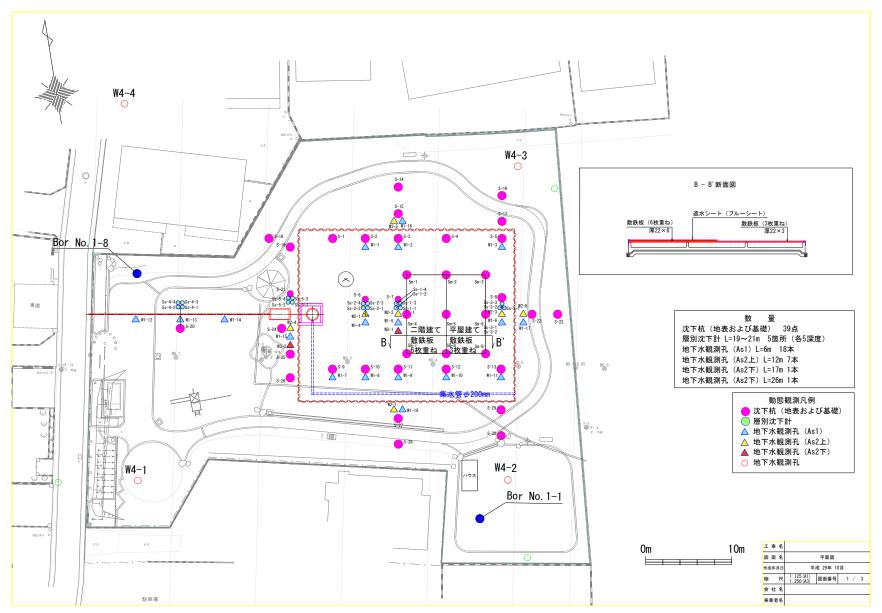


図4-1 実証実験平面図

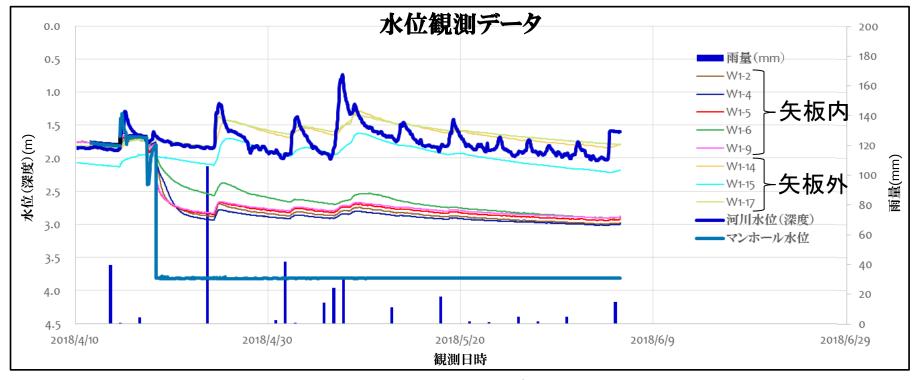
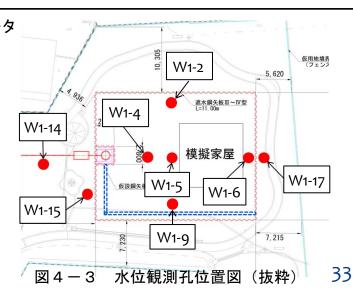


図4-2 水位観測データ

- 総雨量307mm(4/18~5/28現在)、 日最大雨量106mm(4/24)であった。
- ・降雨日はこの間、14日(1mm/日以上)であった。
- ・鋼矢板圧入範囲外は、顕著な変化は見られない。
- ・鋼矢板圧入範囲内は、GL≒3.1~2.9m程度まで 低下している。
- 現在は均衡状態か、若しくはかなり緩やかに低下している。



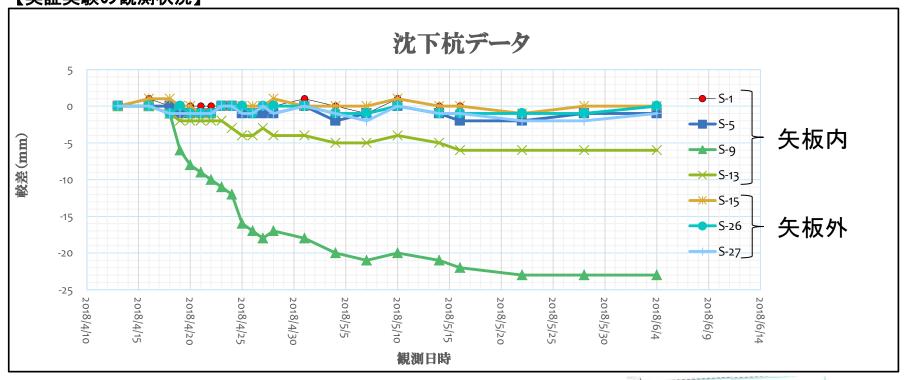


図4-4 沈下杭データ

- 鋼矢板圧入範囲外では、確かな沈下は観察できない。
- ・鋼矢板圧入範囲内では、集水管設置側で6~23mm 程度の沈下が観測できる。
- ・その対面では、確かな沈下は観察できない。

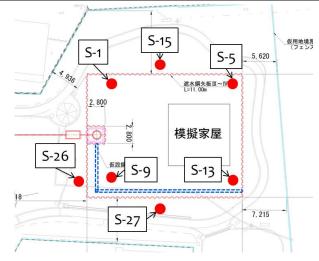


図4-5 沈下杭位置図(抜粋)

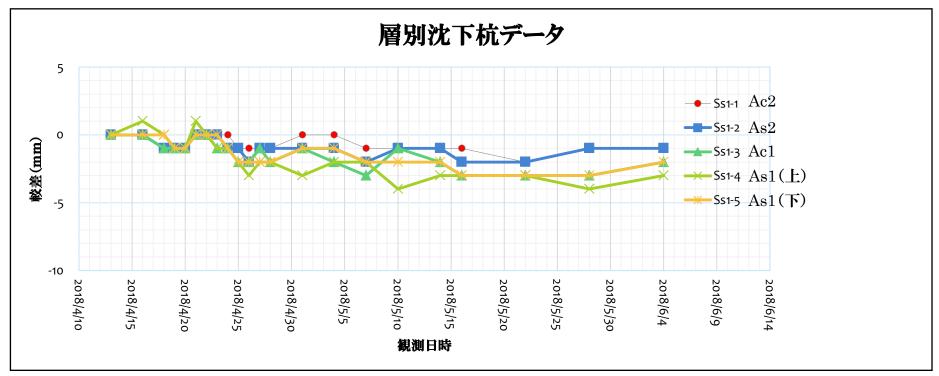
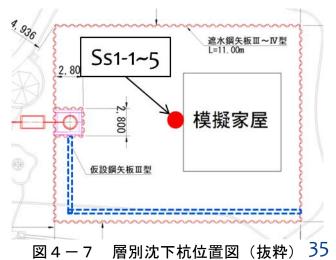


図4-6 層別沈下杭データ

- ・鋼矢板圧入範囲外では、確かな沈下は観察できない。
- ・鋼矢板圧入範囲内では、Ac1, As1 (上), As1 (下)で 沈下が生じている可能性がある。



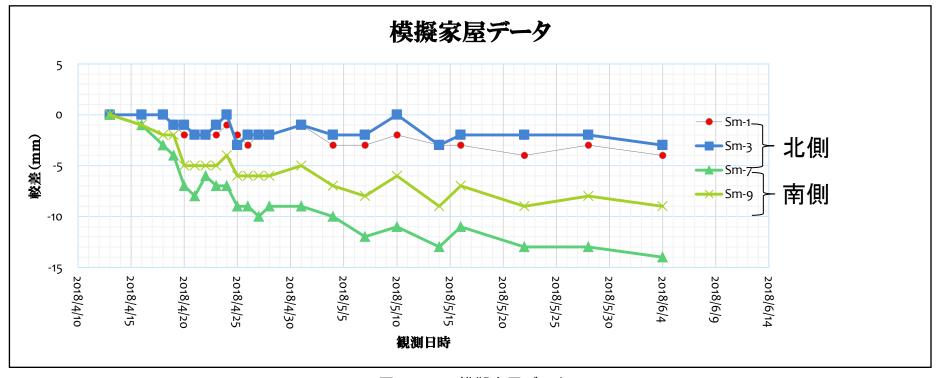


図4-8 模擬家屋データ

- ・模擬家屋の沈下傾向は、集水管および井戸に 近いほど沈下量が大きい。
- ・最も沈下した地点は、集水管に近くかつ井戸に最も近いSm-7であった。
- その沈下量は、6/4時点で14mmであった。
- 最も北側のSm-1~Sm-3の沈下量は、3~4mm程度であった。

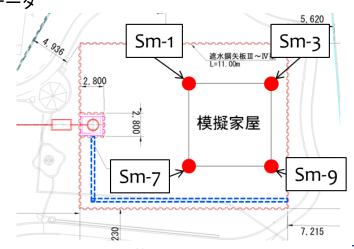


図4-9 模擬家屋計測位置図(抜粋)