

## 論文 Original Paper

## 東北地方太平洋沖地震後における茨城県内の 液状化対策工法の比較検証

橋本隆雄\*<sup>1</sup>・和田陽介\*<sup>2</sup>・内田秀明\*<sup>3</sup>

### Comparative verification of liquefaction countermeasure construction methods in Ibaraki Prefecture after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

Takao Hashimoto\*<sup>1</sup>, Yousuke Wada\*<sup>2</sup>, Hideaki Uchida\*<sup>3</sup>

**Abstract:** In Ibaraki Prefecture, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake caused liquefaction, and many houses were severely damaged due to land subsidence and slopes. In response to this situation, the government has started the “Urban Liquefaction Countermeasure Project” to prevent liquefaction. In Ibaraki Prefecture, liquefaction measures based on the Groundwater Level Lowering Law were implemented in Tokai Village, Itako City, Kashima City, and Kamisu City. However, Hitachinaka City and Inashiki City could not take measures because the consent of the residents was not obtained.

In this paper, we analyzed the seismic motion, topography / ground, and construction history of each area where liquefaction damage was large, and compared the actual situation of groundwater level drop using this project. As a result, it became clear that the effect of reducing liquefaction is sufficient even if the groundwater level does not drop to 3.0 m from the ground surface.

**Key words:** earthquake, liquefaction, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, liquefaction countermeasure

#### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の長時間にわたる地震動及び余震により、茨城県では36市町村で図-1に示すように地盤の液状化現象が発生した。この地震により多数の住宅が沈下・傾斜し、道路や上・下水道、ガス、電気などのライフライン施設の損傷により供給が途絶するなど、その後の住民の日常生活の継続や復旧活動にも多大な影響を与えた。特に住宅と宅地の液状化被害は、利根川下流域に被害が集中しており、鹿嶋市2,570棟、潮来市2,543棟及び神栖市1,660棟、全県では32市町村9,333棟に上っている。

こうした状況に対して、国土交通省では液状化した地域がその後の地震で再液状化することを未然に防止するため「市街地液状化対策事業」を創設した。茨城県では、東海村、ひたちなか市、鹿嶋市、潮来市、稲敷市、

神栖市の5市1村において液状化対策検討委員会を立ち上げ、液状化対策事業の調査、設計、試験施工、現地施工に至るすべての検討・確認を行い、2020年2月の神栖市の委員会を以って、すべての委員会が終了した。この約10年間にわたる多くのデータと資料は、市街地液状化対策事業に取り組む際に非常に有効なものである。



写真-1 茨城県神栖市の液状化による住宅地の沈下

\*<sup>1</sup> 国土舘大学理工学部まちづくり学系教授

\*<sup>2</sup> 株式会社千代田コンサルタント国土保全事業部防災まちづくり室長

\*<sup>3</sup> 株式会社千代田コンサルタント国土保全事業部防災地盤室室長

本論文では、液状化被害が大きく、液状化対策事業の検討が行われた各地区において地震動、地形・地盤、造成履歴を分析し、施工後の地下水位低下の実際の状況について比較検討し液状化対策の効果検証を行い、今後の被害軽減事業に役立てることを目的としている。

## 2. 液状化被災の概要

本震や余震による長時間にわたる地震動の発生により、鹿嶋市、潮来市、神栖市等を中心に表-1に示すように県内36市町村で液状化が発生した。この表は「東日本大震災の記録～地震・津波災害編～」<sup>1)</sup>に加筆したものである。ただし、表中の網掛け(グレー)及びNo.欄「-」は、液状化が発生しなかった市町を示す。

また、図-1は液状化発生箇所分布(若松:2011年東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生と土地条件)<sup>2)</sup>である。液状化による宅地の被害は、「東日本大震災の記録～地震・津波災害編～」<sup>1)</sup>によると、県内32市町村:9,333棟に及んだ。

## 3. 地震動

### (1) 東北地方太平洋沖地震(本震)と茨城県沖地震(最大余震)の発生状況

東北地方太平洋沖地震は平成23年(2011)3月11日(金)14時46分頃、三陸沖を震源とする国内観測史上最

表-1 液状化が発生した36市町村

地域	No.	市町村	地域	No.	市町村
県北	1	北茨城市	県央	8	大洗町
	-	高萩市		-	笠間市
	2	日立市		9	茨城町
	3	常陸太田市		-	小美玉市
	-	大子町		10	鉾田市
県央	-	常陸大宮市	11	行方市	
	4	那珂市	12	鹿嶋市	
	5	東海村	13	神栖市	
	6	ひたちなか市	14	潮来市	
県南	-	城里町	15	石岡市	
	7	水戸市	16	かすみがうら市	
	17	土浦市	27	守谷市	
	18	つくば市	-	桜川市	
	19	つくばみらい市	28	筑西市	
	20	美浦村	29	結城市	
	21	稲敷市	30	下妻市	
	22	阿見町	31	八千代町	
	-	牛久市	32	常総市	
	23	龍ヶ崎	33	古河市	
24	河内町	34	坂東市		
25	利根町	35	境町		
26	取手市	36	五霞町		

大規模となるマグニチュード9.0の巨大地震であった。

宮城県沖を震源とした破壊過程が南方に移動していき、震源域も南北に長かったため、並行する茨城県では大きな揺れが長時間にわたって発生し、8市で震度6強を観測したほか36市町村で震度5弱以上が観測された。

本震発生から29分後の15時15分頃、茨城県沖(北緯36度06分5秒, 東経141度15分9秒深さ43km)を震源とする最大余震(マグニチュード7.7)が観測され、鉾田市で震度6強を観測したほか、30市7町2村で震度5弱以上が観測された。

本震と最大余震の発生状況は、表-2のとおりである。

### (2) 強震波形

5市1村9観測点における本震の強震波形は、国立研究開発法人防災科学技術研究所データの全国強震観測網(K-NET)及び同基盤強震観測網(KiK-net)のデータに基づくと、表-3のとおりである。

また、同様に、5市1村9観測点における余震の強震波形は、表-4のとおりである。



図-1 液状化発生箇所分布(若松)

表-2 本震と最大余震の発生状況

	本震	最大余震
発生日時	平成23年3月11日	平成23年3月11日
	14時46分	15時15分
震源地・地震規模	三陸沖 M9.0	茨城県沖 M7.7
震源 (位置・深さ)	北緯 38°06.2'	北緯 36°06.5'
	東経 142°51.6'	東経 141°15.9'
	深さ 24km	深さ 43km
県内最大震度	震度 6強	震度 6強

表-3 5市1村における強震波形（本震）

市町村	観測点名 (コード)	計測震度	最大加速度 (gal)				震央距離 (km)
			3成分合成	南北	東西	上下	
鹿嶋市・稲敷市・神栖市・潮来市	K-NET 鹿嶋 (IBR018)	5.5	658	494	651	268	308
ひたちなか市	K-NET 那珂湊 (IBR007)	5.8	585	546	512	412	279
ひたちなか市・東海村	KiK-net ひたちなか (IBRH18)	5.6	634	442	592	341	277
東海村	K-NET 日立 (IBR003)	6.4	1845	1598	1186	1166	258
	K-NET 水戸 (IBR006)	5.8	851	779	786	427	287
稲敷市	K-NET 江戸崎 (IBR017)	5.3	553	417	412	363	329
	KiK-net 江戸崎 (IBRH07)	5.3	239	165	192	237	328
	K-NET 佐原 (CHB004)	5.1	310	277	301	179	323
神栖市	KiK-net 波崎2 (IBRH20)	5.0	223	216	188	74	316

表-4 5市1村の強震波形（余震）

市町村	観測点名 (コード)	計測震度	最大加速度 (gal)				震央距離 (km)
			3成分合成	南北	東西	上下	
鹿嶋市・神栖市・潮来市・稲敷市	K-NET 鹿嶋 (IBR018)	5.2	408	408	355	220	59
ひたちなか市	K-NET 那珂湊 (IBR007)	5.4	480	461	477	150	66
ひたちなか市・東海村	KiK-net ひたちなか (IBRH18)	5.3	630	306	604	175	65
東海村	K-NET 日立 (IBR003)	5.3	585	480	334	202	77
	K-NET 水戸 (IBR006)	5.1	400	381	342	196	79
稲敷市	K-NET 江戸崎 (IBR017)	4.6	233	200	180	172	87
	KiK-net 江戸崎 (IBRH07)	4.9	132	90	112	116	86
	K-NET 佐原 (CHB004)	4.7	245	177	220	144	73
神栖市	KiK-net 波崎2 (IBRH20)	5.3	246	168	228	77	57

## 5. 液状化対策検討地区の地形・地質形成

### (1) 東海村の地質形成

南台団地地区及び緑ヶ丘団地地区は、関東平野の北東隅に位置する那珂台地と呼ばれる地形区に位置している。那珂台地には、西東流する水系に沿って沖積低地が侵入しており、両地区は新川左岸側の台地地形となっている。地質は、新第三期中新世の多賀層（泥岩）を基盤とし、それを更新世の見和層上部（砂・砂礫）が覆っている状態にある。南台団地地区及び緑ヶ丘団地地区の地形学図は、図-2のとおりである。

### (2) ひたちなか市の地質形成

ひたちなか市で液状化が生じた地域は、那珂台地の南、那珂川沿いに分布する低地上に位置する。

那珂川沿いでは、河川浸食による谷地形の形成と海進・海退による谷地形の埋積、平地の形成が繰り返行われて現在の地形に至っている。地質図では、海側の地質構造はやや複雑になっており、隆起の影響により中・古生層の地質が海岸付近で露出する。



図-2 地形学図

過去の河川浸食などの影響で調査エリア周辺では段丘が発達し、多数の段丘が形成されており、その上部には段丘礫層、ローム層が堆積する。

ひたちなか市の調査エリア周辺の地質を図-3に示す。

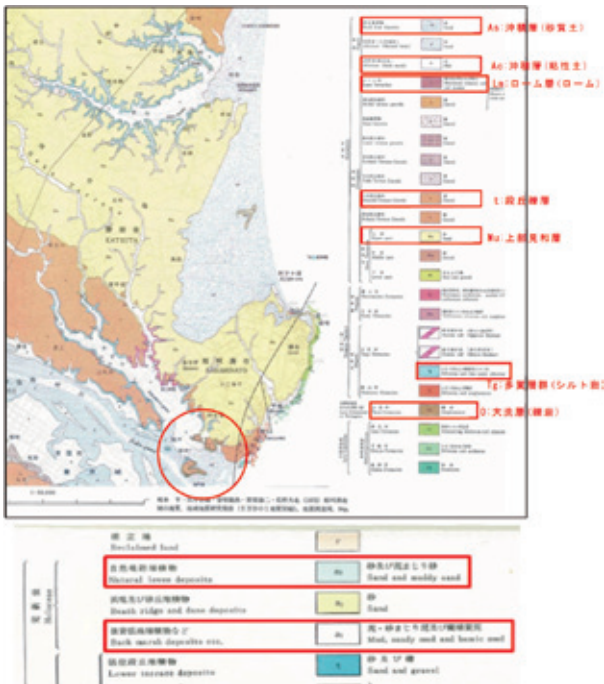


図-3 調査エリアの地質図



図-4 調査地周辺の地質

(3) 稲敷市の地質形成

稲敷市は筑波稲敷台地と広大な沖積低地からなり、北側には霞ヶ浦があり、南側には利根川が西から東に流下している。市西部は台地・段丘が分布し、その表層には火山灰性ロームが、霞ヶ浦、小野川及び利根川などの河川沿いには海岸平野・三角州の低地が分布し、その表層には未固結の泥が主に分布している。霞ヶ浦及び小野川沿いには干拓地が認められる。結佐・六角、上須田、西代及び八筋川・境島の4地区は、霞ヶ浦と利根川に挟まれた低地（下位湖岸低地）内の自然堤防に位置する。

稲敷市の地形・地質等を図-4に示す。

(4) 潮来市の地質形成

潮来市は霞ヶ浦の downstream にあり、行方台地・鹿島台地の南端付近の沖積面（低地面）上に位置する。

当該地は、隆起・海退に伴い陸地化した台地地形が、縄文海進に伴い波浪により浸食されて、海食崖が後退すると同時に、海面下には平坦な波食台が形成され、その後の海退に伴い、波食台上に砂州や自然堤防、蛇行洲等による砂質土が堆積しつつ、陸地化する過程において水深の浅い潟湖が形成された地形をしている。地形分類、台地の地形は、図-5のとおりである。

(5) 鹿嶋市の地質形成

鹿嶋市の東側は太平洋に西側は北浦に面しており、南側には鹿島開発にともなって、掘り込み式の航路と港が人工的に作られている。太平洋に沿っては砂丘が発達し住宅地や工場地として利用され、内陸には台地が広がり

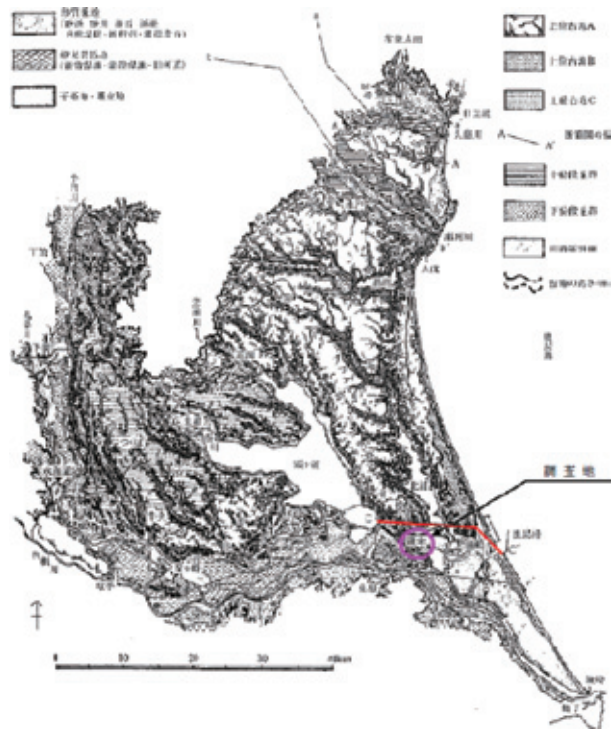


図-5 台地の地形図

鰐川に沿っては広い低地も形成され、台地から低地に向かって谷底地形が形成されている。

これらの谷底低地や砂丘斜面を人工的に盛土した箇所が随所にあり、緩やかな人工の傾斜地も造られ、一部の地区では砂利を採取した跡地を埋め戻した箇所が点在していたり、沼や池を埋め立てた箇所もある。古地形の変遷では、有楽海進（縄文海進）後の広範囲な砂州の発達

も報告されている。

鹿嶋市の地形・地質・土地条件等は、図-6のとおりである。

(6) 神栖市の地質形成

神栖市は、関東平野東縁部を形成する利根川の最下流域、海水準変動及び利根川によって形成された砂州性の低地が発達した地域であり、北東側は太平洋に面し、南西側は北浦から流れが続く鰐川・外浪逆浦・常陸利根川及び利根川本流に面しており、この間に砂丘と低地が形成されている。

1960年から鹿島コンビナートが開発され、その土砂で鰐川の一部、西側の川沿いの一部及び中央部にある広大な神之池も埋め立てられた。さらに砂丘の砂利を採取し、その跡を埋め戻すことが各地で行われ、その深さは各地で異なるが最大で15m程度まで掘削されている。

神栖市の土地条件を図-7に示す。

6. 液状化対策検討地区の造成履歴

(1) 東海村の造成履歴

団地全体が液状化した緑ヶ丘団地地区は団地の南側を東西方向に中心部で南北方向に通る、規模が相当に大きな旧枝谷を埋め立てており、盛土高は概ね1～8mあり南側の盛土が薄くなっている。この盛土材料が液状化や

液状化に伴う側方変位等が生じた。

緑ヶ丘団地地区の地形図の履歴から見る変遷は、図-8のとおりである。

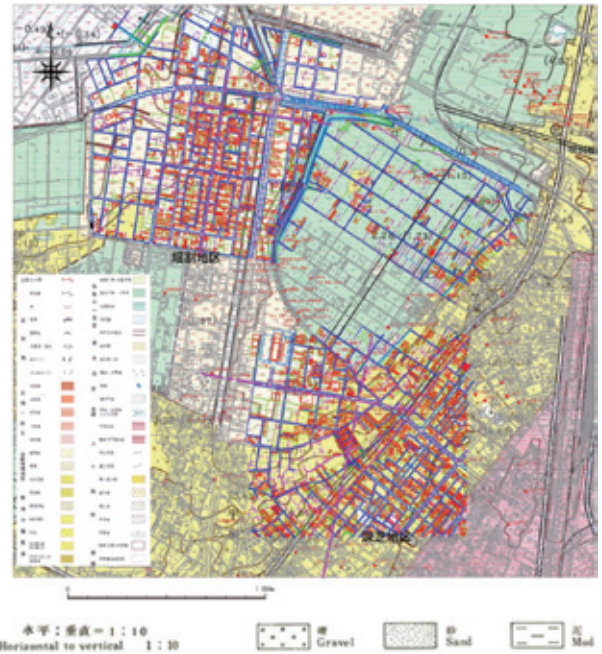
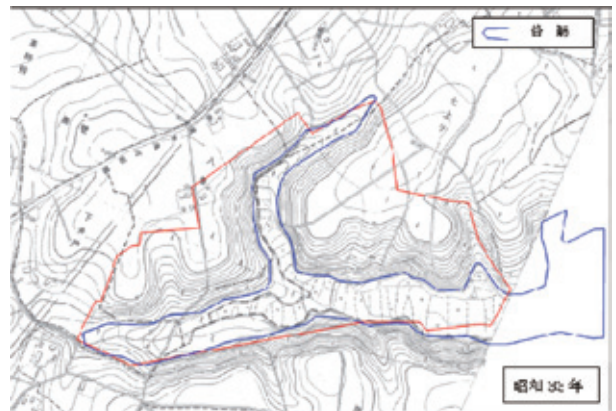


図-7 土地条件図



図-6 調査地区周辺の地形分類図



(a) 昭和33 (1958) 年



(b) 震災前

図-8 地形図の履歴から見る変遷

## (2) ひたちなか市の造成履歴

ひたちなか市の田中後地区、海門町地区の地形図の履歴から見る変遷は、図-9のとおりである。

## (3) 稲敷市の造成履歴

「結佐・六角地区」の旧地形図の履歴から見る変遷は、図-10のとおりである。

(a) 明治32年(1899)の旧地形から結佐地区には集落があり、その東側に道路があり、道路の東側は湿地になっており、集落の東側は水田と湿地が分布している。利根川は蛇行して流れており、結佐地区北東部では、道路を隔てて東側に隣接して利根川の旧河道にできた池が分布している。六角地区は池と水田で人家は無い。

(b) 昭和52年(1977)の旧地形から結佐地区は人家が増え、道路の東側にも集落ができています。六角地区は人家が増え、集落が広がっている。

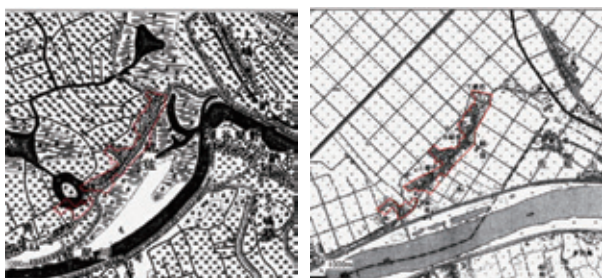
## (4) 潮来市の造成履歴

潮来市日の出地区は、利根川と霞ヶ浦が合流する位置にあたり、土砂の堆積によって形成された砂州である。干拓事業により昭和25年(1950)には農地として整備されたが、減反政策等により住宅地として開発された。1870年から1890年の迅速図は、図-11のとおりで日の出地区が元来内逆浦と呼ばれる沼地で、迅速地図より入江であったことが確認できる。また、航空写真の履歴から見る変遷を写真-2示す。(a) 昭和22(1947)年は干拓



(a) 明治前期 (b) 平成24(2012)年

図-9 地形図の履歴から見る変遷



(a) 明治32(1899)年 (b) 昭和52(1977)年

図-10 地形図の履歴から見る変遷

事業がかなり進んでいるところの写真である。(b) 平成23(2011)年は2011年3月11日東北地方太平洋沖地震発生後の写真である。

## (5) 鹿嶋市の造成履歴

## a) 鹿島神宮駅周辺(西側地区)

谷底低地に盛土して宅地造成された区域で液状化が生じ、緩やかな傾斜地となっていたことから、地盤流動現象もみられた。地形図の履歴から見る変遷は、図-12のとおりである。



図-11 地形図の履歴から見る変遷



(a) 昭和22年(1947)



(b) 平成23年(2011)

写真-2 航空写真の履歴から見る変遷



(a) 明治18年



(b) 震災前

図-12 地形図の履歴から見る変遷

**b) 鉢形地区**

砂丘の内陸部の緩やかな斜面と腐食土層が分布する谷底低地からなっており、凸凹地形を切り盛りして宅地造成された宅地の盛土層で液状化が生じ、傾斜地では地盤流動もみられた。地形図の履歴から見る変遷は、図-13のとおりである。

**c) 平井東部地区**

海岸沿いの低地背後に位置する微高地にあたり、砂利採掘跡地の窪地を埋め戻した箇所があちこちに点在しており、それらの地点で激しい液状化が生じた地形図の履歴から見る変遷は、図-14のとおりである。

**(6) 神栖市**

神栖市において液状化対策事業を実施した鰐川・堀割地区は、昭和42年には埋め立てが完了しており標高は2～3m程度であり、北西部で一部水田化している等の変化がみられるが、基本的にはほとんどが針葉樹林帯で、おそらく松林がそのまま残存していたものと推定される。

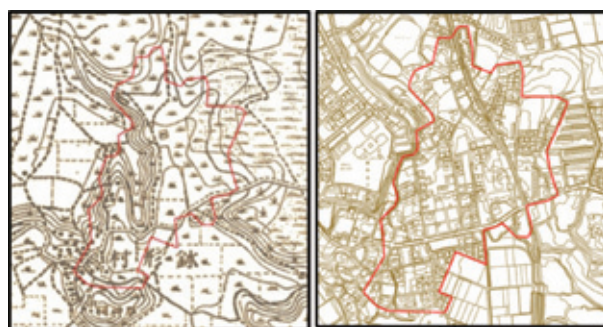
地形図の履歴から見る変遷は、図-15のとおりである。

**7. 公共施設・宅地一体型液状化対策工法**

**(1) 公共施設・宅地一体型液状化対策工法について**

**a) 地下水位低下工法**

地下水位低下工法は、図-16に示すように住宅地や道



(a) 明治18年

(b) 震災前

図-13 地形図の履歴から見る変遷



(a) 明治18年

(b) 震災前

図-14 地形図の履歴から見る変遷



(a) 明治18年

(b) 昭和59年

図-15 地形図の履歴から見る変遷

路部分の地下水位高さを低下させることにより、地表面下の数メートルを不飽和の非液状化層の厚さを増し、さらにその下層の液状化層の厚さや液状化の程度を軽減して、液状化による被害を抑制する工法である。

**b) 格子状地中壁工法**

格子状地中壁工法は、図-17に示すようにセメントなどの改良材を地中に供給し、原地盤の軟弱土と改良材を強制的に混合攪拌することで地中に柱列状の固化壁を造成し、これらを格子状に配置し液状化地盤を囲い込むことで、地盤のせん断変形を抑止し液状化を抑制する比較

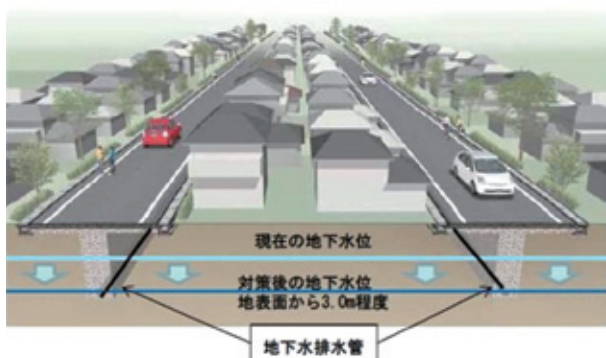


図-16 地下水位低下工法のイメージ

「市街地液状化対策推進ガイドンス<sup>3)</sup>：国土交通省（平成28年（2016）2月）」より



図-17 格子状地中壁工法のイメージ

的だがかりな工事を要するものの、圧密沈下を招くことなく透水性の低い地盤にも適用できる工法である。

## (2) 茨城県での公共施設・宅地一体型液状化対策工法の実施について

東海村、潮来市、鹿嶋市3地区、神栖市では、公共施設・宅地一体型液状化対策工法の開削型の地下水位低下工法を用いた液状化対策事業を行ったが、ひたちなか市、稲敷市では事業を行わなかった。その理由は、アンケート結果から、以下のことが明らかとなった。

### a) ひたちなか市

ひたちなか市液状化対策検討委員会において、一体対策は実施しないことに決定した。

①都市防災推進事業（市街地液状化対策事業）には、「液状化対策（一体対策）事業計画の区域内の宅地に

ついて所有権を有するすべての者等のそれぞれ3分の2以上の同意が得られているもの。」が事業の要件となっている。事業意向調査の結果から、「一体対策の実施を希望しない」住民が約8割を占めている現状では、個人負担を要する事業の実施は極めて困難と言えること。

- ②一体対策の総事業費は地下水位低下工法、格子状地中壁工法とも、1ヘクタール当たり約2億円と膨大であり、この地区の地価とほぼ同額の対策費となる。費用対効果の側面と液状化の発生確率と建物の耐用年数を考えても一体対策への事業投資は疑問と言えること。
- ③特に、対策効果が約30年と限られる地下水位低下工法を検討する海門町地区などでは、住民が建物の建替え時に、液状化対策を個々で講じることの方が合理的と考えられること。

### b) 稲敷市

稲敷市液状化対策検討委員会において、被災地区から2箇所を選定し地下水位低下工法の実証実験を行ったが、当該地区においては遮水効果や周辺環境への影響などに問題があり必ずしも相応しい対策にはならないと判断したため。

## (2) 公共施設・宅地一体型液状化対策工法の検証

茨城県では、平成23年（2011）3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（本震）及び茨城県沖地震（最大余震）に起因する地盤の液状化現象により、住宅、道路や上・下水道、ガス、電気などのライフライン施設等が甚大な被害を受けた。特に被害が著しかったのは、東海村（緑ヶ丘団地）、ひたちなか市、稲敷市、潮来市、鹿嶋市、神栖市であった。

本県において「市街地液状化対策事業」を計画した5市1村のうち、公共施設・宅地一体型液状化対策工事を実施した東海村（緑ヶ丘団地）、潮来市、鹿嶋市、神栖市の3市1村における「事業実績」の取りまとめは、表-5のとおりである。地下水位が低下している箇所と低下し難い箇所があることが分かった。また、表-6は液状

表-5 液状化対策事業の実施地区の比較

市町村	鹿嶋市			神栖市	潮来市	東海村
地区	平井東部地区	鹿島神宮駅西地区	鉢形地区	鱈川・掘割地区	日の出地区	緑ヶ丘地区
対策工法	地下水位低下 自然流下	地下水位低下 流末はポンプ排水	地下水位低下 自然流下	地下水位低下 流末はポンプ排水	地下水位低下 流末はポンプ排水	地下水位低下 自然流下
住民負担	なし	なし	なし	なし	あり	なし
被害のあった地盤	採掘跡地の埋立地	谷底低地の盛土	谷底低地の盛土	湖沼の埋立地 採掘跡地の埋立地	湖沼の埋立地	谷底低地の盛土
対策後の地下水位(GL-m)	3.0	2.0~2.5	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0	2.5~3.0
実証実験	あり	なし	あり	あり	あり	なし



表-6 液状化対策事業の非実施地区の比較

市町村 地区	ひたちなか市		稲敷市	
	海門町地区	田中後地区	六角地区	
地盤状況	粘性土主体の盛土層の下に沖積砂質土層	砂質主体の盛土下に粘性土層	表土の下に砂質の埋め土層	
検討工法	地下水位低下工法	格子状地中壁	地下水位低下工法	格子状地中壁
実証実験	なし	なし	地区周辺でも地盤地下を確認	なし
住民負担	あり	あり	あり	
住民同意	反対：77%	反対：80%	アンケート無し	
非選定理由	個人負担が対象区域全戸となる。反対が77%。	個人負担が大きい。液状化が全くなくなるわけではない。	実証実験の結果、液状化対策は不適合	個人負担が大き。施工も困難

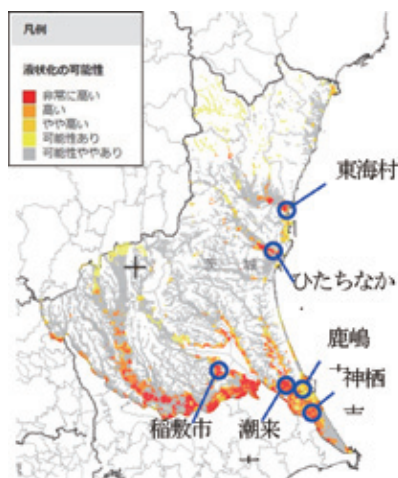


図-18 重ねるハザードマップ「都道府県液状化危険度分布図」<sup>4)</sup>

化対策事業の非実施地区の比較したもので、事業に関して住民の同意が得られなかったことが分かった。

図-18は重ねるハザードマップ「都道府県液状化危険度分布図」<sup>4)</sup>に液状化が顕著な5市1村をプロットしたもので、液状化の可能性が高い箇所と一致している。

## 8. 各地区における地下水位低下状況

### (1) 潮来市日の出地区の地下水位低下状況

#### a) 降雨量と地下水位低下の状況

潮来市は入江を干拓した水田であった箇所に浚渫土を入れ、宅地を造成した場所である。地下水位は、図-19に示すように観測地点の地下水位が全ての観測地点で目標深度GL-3mを観測した。地下水位低下ができた理由としては、干拓した水田部に一様に外浪逆浦からの緩い砂をパイプラインで埋めたため一様な透水係数の高い均一な砂地盤が形成されたためであると考えられる。

#### b) 地下水位低下コンターの推移

潮来市日の出地区の地下水位は図-20に示すように中央の三角池付近で最も深く、概ね同心円状に等高線が描かれているが地区北側では低下量が小さくなっている。理由としては地区北側は下位層と不透水層である粘性土が

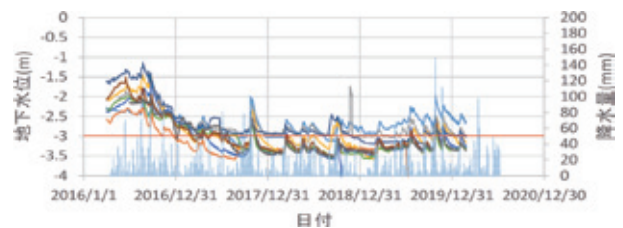
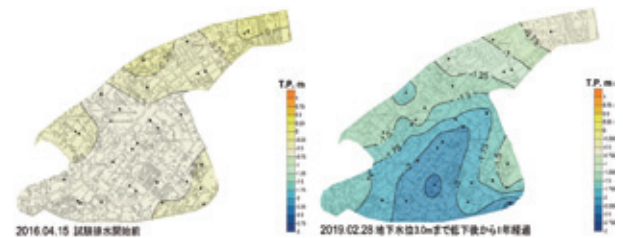


図-19 潮来市日の出地区の降水量と地下水位低下状況



(a) 地下水位低下前 (平成28年4月) (b) 地下水位低下後 (平成31年2月)

図-20 潮来市地下水位低下コンター図

分布しないからである。2017年の大雨で地下水位が急上昇した測定値は認められるが、この大雨以前は一定の値を示す。この一定の水位は、観測孔が浅く孔底のたまり水に反応した結果と想定される。実際の地下水位は観測孔の孔底より深い位置にあると考えられる。そのため目標水位深度のGL-3mより地下水位が低下したと考えられる。

### (2) 鹿嶋市の地下水位低下状況

#### a) 降雨量と地下水位低下の状況

平井東部地区は海岸沿いの低地背後に位置する微高地にあたり、砂質土地盤下部の砂利採掘跡地の窪地を埋め戻した箇所が点在している。鉢形地区は砂丘の内陸部の緩やかな斜面と腐植土層が分布する谷底低地からなっており、凸凹地形を切り盛りして宅地造成された宅地の盛土部で液状化が生じ、傾斜地では地盤流動もみられた。

鹿島神宮駅西地区は谷底低地の粘性土地盤に盛土して宅地造成された区域で液状化が生じた。平井東部地区で

は図-21に示すように地下水位が均一にGL-3.0mまで低している。鉢形地区では地下水位はGL-1.5m～GL-2.0mまで低下し、鹿島神宮駅西地区では地下水位はGL-2.0m～GL-2.5mまで低下している

#### b) 地下水位低下コンターの推移

平井東部地区は、海岸平野の砂質土で透水性がよく海岸側に向かい傾斜がある。図-22内に所々地下水位が高い場所があるがその地点は砂利の採掘場跡地と読み取れる。この地下水位低下後のコンター図からはGL-3.0mまで低している。

鉢形地区では、谷底地形で下部の粘土層が地表から浅く層厚が厚いため、地下水位低下により地盤沈下が予想されているために暗渠管がGL-2.5mの位置あるため地下水位低下がしづらくなっている。また、砂丘背後の緩やかな自然斜面で液状化が発生し斜面化の池に向かい地滑りが発生した。コンター図にすることで図-23の下部から上部に向かい流れたと読み取れた

鹿島神宮駅西地区では図-24に示すように、宅地を造成するために谷底低地に盛土した箇所で液状化が発生した。ここは緩やかな傾斜地盤になっているため液状化に伴い地盤の流動も生じた。コンター図にすることで緩やかな傾斜を持つ水面であることも読み取れた。

### (3) 神栖市の地下水水位低下状況

#### a) 降雨量と地下水位低下の状況

神栖市では湖・川の埋立地や砂利の掘削場跡地で液状

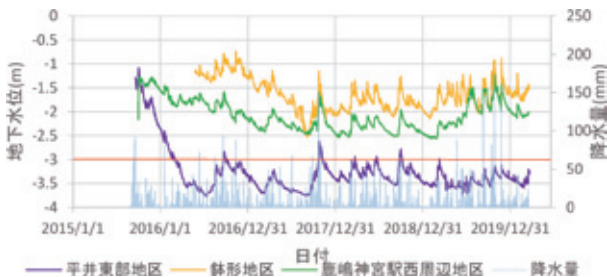
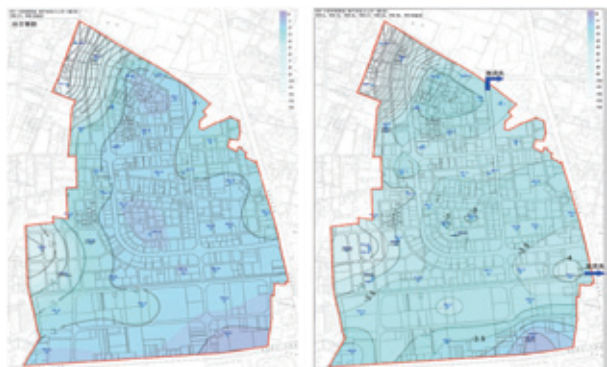
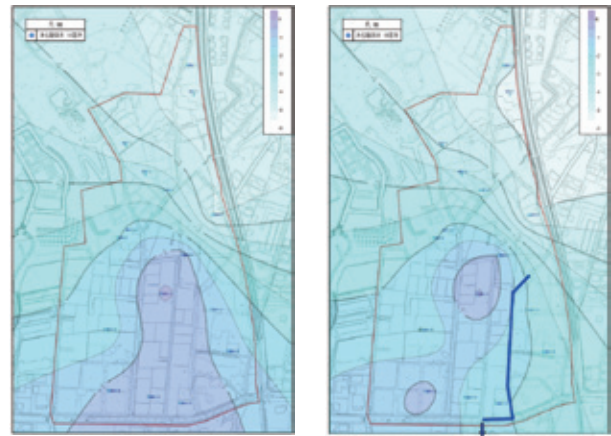


図-21 鹿嶋市の地下水位と降水量



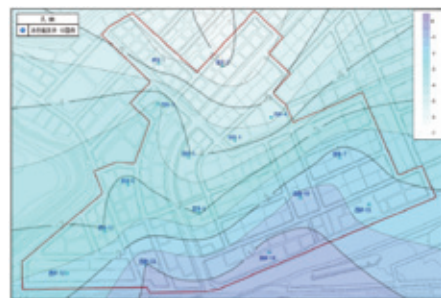
(a) 地下水位低下前 (平成29年10月) (b) 地下水位低下後 (平成31年11月中旬)

図-22 鹿嶋市平井東部地区の地下水位低下コンター



(a) 地下水位低下前 (平成30年5月末) (b) 地下水位低下後 (平成31年4月中旬)

図-23 鹿嶋市鉢形地区の地下水位低下コンター



(a) 地下水位低下前 (平成27年11月)



(b) 地下水位低下後 (平成29年4月)

図-24 鹿嶋市鹿島神宮駅西地区の地下水位低下コンター

化が広範囲で発生している。図-25に示すように地下水位は棒グラフの降雨と連動して、全ての観測地点が同じ動きで下がっているが地下水位全ての地点がGL-2.0m～GL-3.0m以浅でばらつきが大きい。この理由は、掘削場跡地の掘削深さが深いほど地下水位が低下しづらく、深さが浅いまたはしていない箇所は低下している。特に掘削深さが大きい場合は、地下からの被圧水の影響を受けていることが分かった。

#### b) 地下水位低下コンターの推移

全体的にTP-1mの地下水位低下が確認できた。図-26に示すように地下水位に一定の間隔があるグラフになった。コンター図から読み取ると神栖市の地下水位低

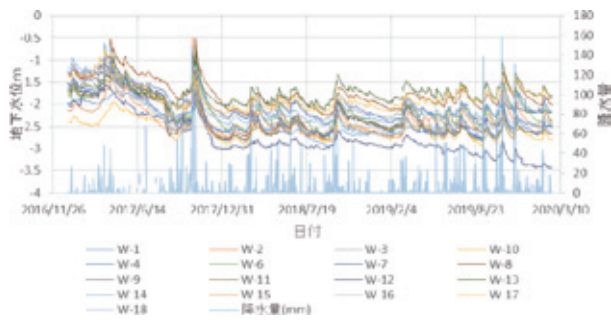
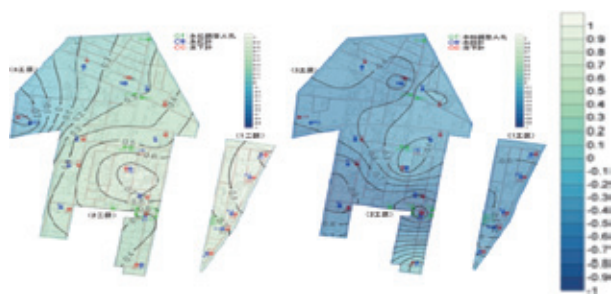


図-25 神栖市掘割地区の地下水位と降水量



(a) 地下水位低下前 (平成29年3月中旬) (b) 地下水位低下後 (平成30年1月)

図-26 神栖市掘割地区の地下水位低下コンター

下に伴い段々とコンター図も低下していることも確認できた。

## 9. ま と め

茨城県では、東海村、ひたちなか市、鹿嶋市、潮来市、稲敷市、神栖市の5市1村において液状化対策検討委員会が立ち上がった地区について比較検討を行った結果、以下のようになった。

### (1) 地震動

神栖市の震度5強以外は全て震度6弱であった。

- ①震度5強：神栖市
- ②震度6弱：東海村、ひたちなか市、稲敷市、潮来市、鹿嶋市、

### (2) 地形・地質及び造成履歴

液状化が発生した理由は、以下のように埋立地、盛土、採掘跡地であることが分かった。

#### ①谷底低地の盛土

東海村緑ヶ丘地区、鹿嶋市鹿島神宮駅西地区・鉢形地区

#### ②海湖沼の埋立地

ひたちなか市海門町地区、潮来市日の出地区、神栖市鱈川・掘割地区、

#### ③水田の埋立地

ひたちなか市海門町地区・田中後地区、稲敷市六角地区

#### ④採掘跡地の埋立地

鹿嶋市平井東部地区、神栖市鱈川・掘割地区

### (3) 公共施設・宅地一体型液状化対策工法

液状化対策事業の実施地区では、全て開削型の地下水位低下が行われ、その流末の処理方法は以下のようになった。

#### ①自然流下

東海村緑ヶ丘地区、鹿嶋市平井東部地区、鹿嶋市鉢形地区

#### ②流末はポンプ排水

潮来市日の出地区、鹿島神宮駅西地区、神栖市鱈川・掘割地区

また、液状化対策事業の非実施地区では、個人負担が大きいため、事業に関して住民の同意が得られなかったことが分かった。

### (4) 各地区における地下水位低下状況

各地区の地下水位状況は、各地盤や周辺を矢板等によって囲わない等の違いにより、以下のように違いがあることが分かった。

#### ①G1-1.5～2.0mの箇所

鹿嶋市鉢形地区

#### ②G1-2.0～3.0mの箇所

神栖市鱈川・掘割地区

#### ③G1-2.5～3.0mの箇所

緑ヶ丘地区、鹿嶋市鹿島神宮駅西地区

#### ④G1-3.0以上の箇所

潮来市日の出地区、鹿嶋市平井東部地区

ただし、各地区の委員会によって、地下水位がG1-3.0まで低下しなくても、液状化低減効果が十分あることが明らかとなった。

## 参考文献

- 1) 東日本大震災の記録～地震・津波災害編～(茨城県：平成25年3月)
- 2) 若松加寿江, 先名重樹：2011年東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生と土地条件, 日本地震工学会論文集 第15巻, 第2号, 2015.
- 3) 国土交通省都市局都市安全課：市街地液状化対策推進ガイドンス [https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_tobou\\_fr\\_000005.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html)
- 4) ハザードマップポータルサイト～身のまわりの災害リスクを調べる～ <https://disaportal.gsi.go.jp>