

茨城県内の液状化想定に基づく緊急輸送道路 ネットワーク計画への提言

橋本隆雄*¹・和田陽介*²

Proposal of emergency transportation road plan and emergency medical system based on liquefaction assumption in Ibaraki prefecture

Takao Hashimoto*¹ and Yousuke Wada*¹

Abstract: In Ibaraki Prefecture, 36 municipalities suffered ground liquefaction damage due to the 2011 Great East Japan Earthquake. Many houses sank and leaned in this earthquake. Lifeline facilities such as roads, water supply and sewerage, gas and electricity were also damaged and cut off. As a result, it had a great impact on the continuation of the residents' daily lives and restoration activities.

In this paper, we analyzed seismic ground motion, topography/ground, and development history for each area where liquefaction countermeasures were implemented. The effectiveness of liquefaction countermeasures was verified by comparing and examining the actual state of groundwater level decline after construction. As a result, recommendations were made regarding the planning of emergency transport road networks. As a countermeasure against liquefaction, the groundwater level lowering method, which has been proven in the Great East Japan Earthquake, is effective in order to integrally deal with emergency transportation roads and disaster prevention bases. However, since there are multiple road administrators for emergency transportation roads, it is necessary for the prefecture to take the lead in coordinating the maintenance schedule.

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市町村で写真-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



写真-1 茨城県神栖市の液状化による住宅地の沈下

*¹ 国土館大学理工学部まちづくり学系、教授

*² (株) 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

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。

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から緊急輸送道路ネットワーク計画への提言を行い、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～」¹⁾に加筆した

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	鹿行	10	鉾田市
	—	常陸大宮市		11	行方市
4	那珂市	12		鹿嶋市	
県央	5	東海村	13	神栖市	
	6	ひたちなか市	14	潮来市	
	—	城里町	県南	15	石岡市
	7	水戸市		16	かすみがうら市
県南	17	土浦市	県西	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	龍ヶ崎市		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	

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は液状化発生箇所の分布(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)²⁾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～」¹⁾によると、県内32市町村:9,333棟に及んだ。

3. 地震動

3.1 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。



図-1 液状化発生箇所の分布(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

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。

3.2 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。

4. 茨城県が今後想定している7地震及び液状化被害

4.1 想定7地震

茨城県地震被害想定調査報告書³⁾の中で，今後想定される最大クラスの地震によって発生する甚大な被害を検

討するにあたって7地震を想定している。それぞれの地震の概要については表-5のとおりである。

また，7地震による地表震度は図-2のとおりである。

各地震で液状化および液状化による地盤沈下の発生が想定されているエリアを抽出することにより，事前防災・減災対策の取り組みに資することを目的に整理する。

4.2 想定7地震における液状化の可能性

7地震ごとの液状化の発生が想定されるエリアは，図-3のとおりである。

4.3 想定7地震における液状化による地盤沈下の可能性

7地震ごとの液状化による地盤沈下の発生が想定されるエリアは，図-4のとおりである。

4.4 被害想定

液状化による被害想定については，下水道及び上水道の被害想定に反映されている。下水道の被害想定では図-5のとおり，下水道施設の機能支障人口の算定における管路被害で液状化の影響を反映している。

上水道の被害想定では図-6のとおり，管路の被害件数の算定時に補正係数で反映している。

一方，交通施設の被害想定の内，道路の被害想定については図-7のとおり橋梁における被害想定となっており，液状化による被害については想定されていない。

4.5 軽減対策

液状化被害による軽減対策については図-8のように，建物やライフラインの個別対策について記載されている。

ここで本論では，茨城県内において地震直後から復旧に必要な道路について，液状化対策の優先度が高い道路と液状化対策工法についての提言を行う。

5. 茨城県の緊急輸送道路

5.1 緊急輸送道路

緊急輸送道路は地震直後から避難・救助をはじめとして，物資輸送による緊急車両の通行を確保するための道路で，防災拠点との相互連絡するための

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・鉾田市・神栖市・潮来市	K-NET 鹿嶋 (IBR018)	5.5	658	494	651	288	308
ひたちなか市	K-NET 那珂浜 (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
鉾田市	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・鉾田市	K-NET 鹿嶋 (IBR018)	5.2	408	408	355	220	59
ひたちなか市	K-NET 那珂浜 (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
鉾田市	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

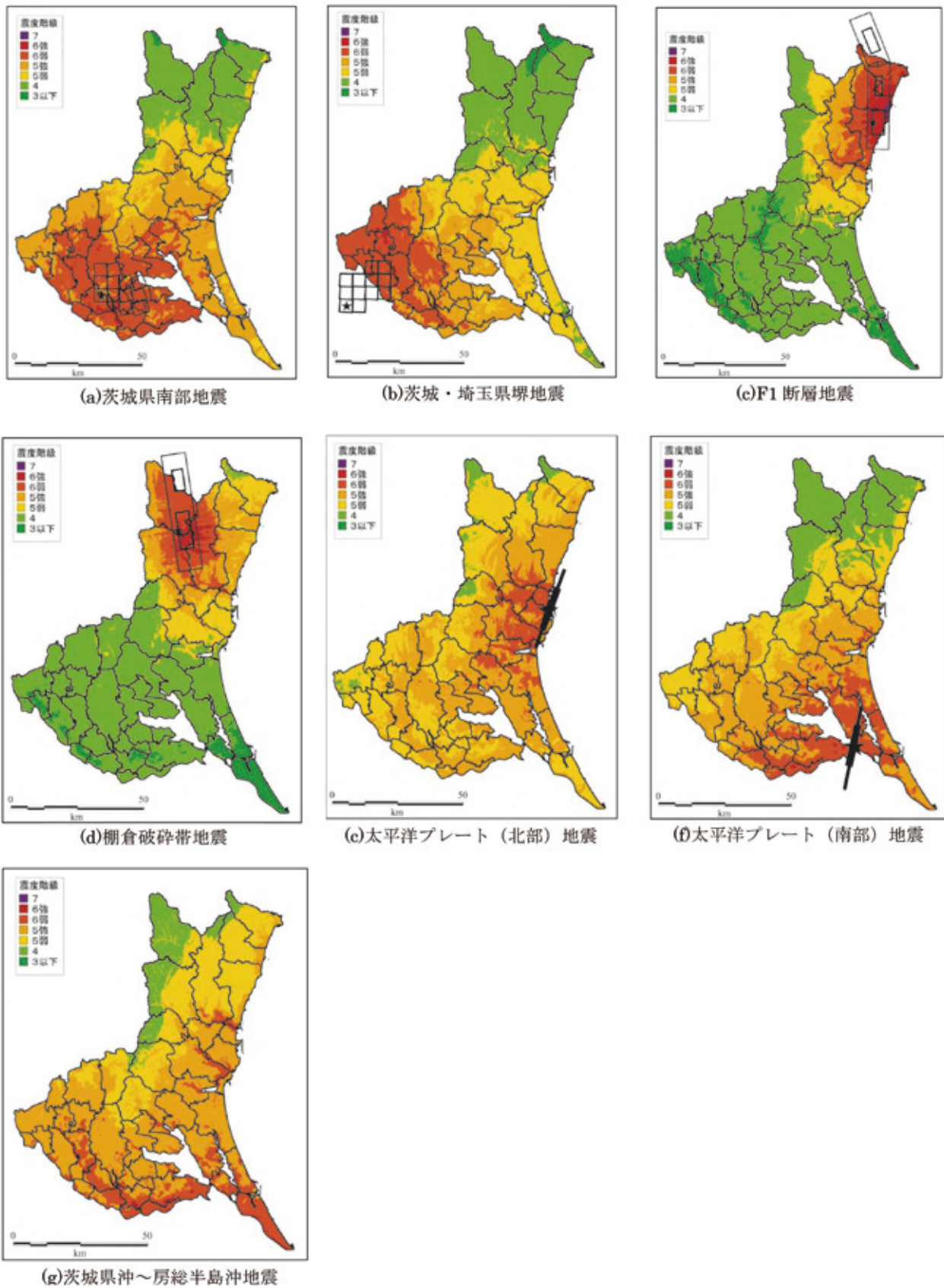


図-2 茨城県想定7地震「茨城県地震被害想定調査報告書：平成30年（2018）12月」³⁾より

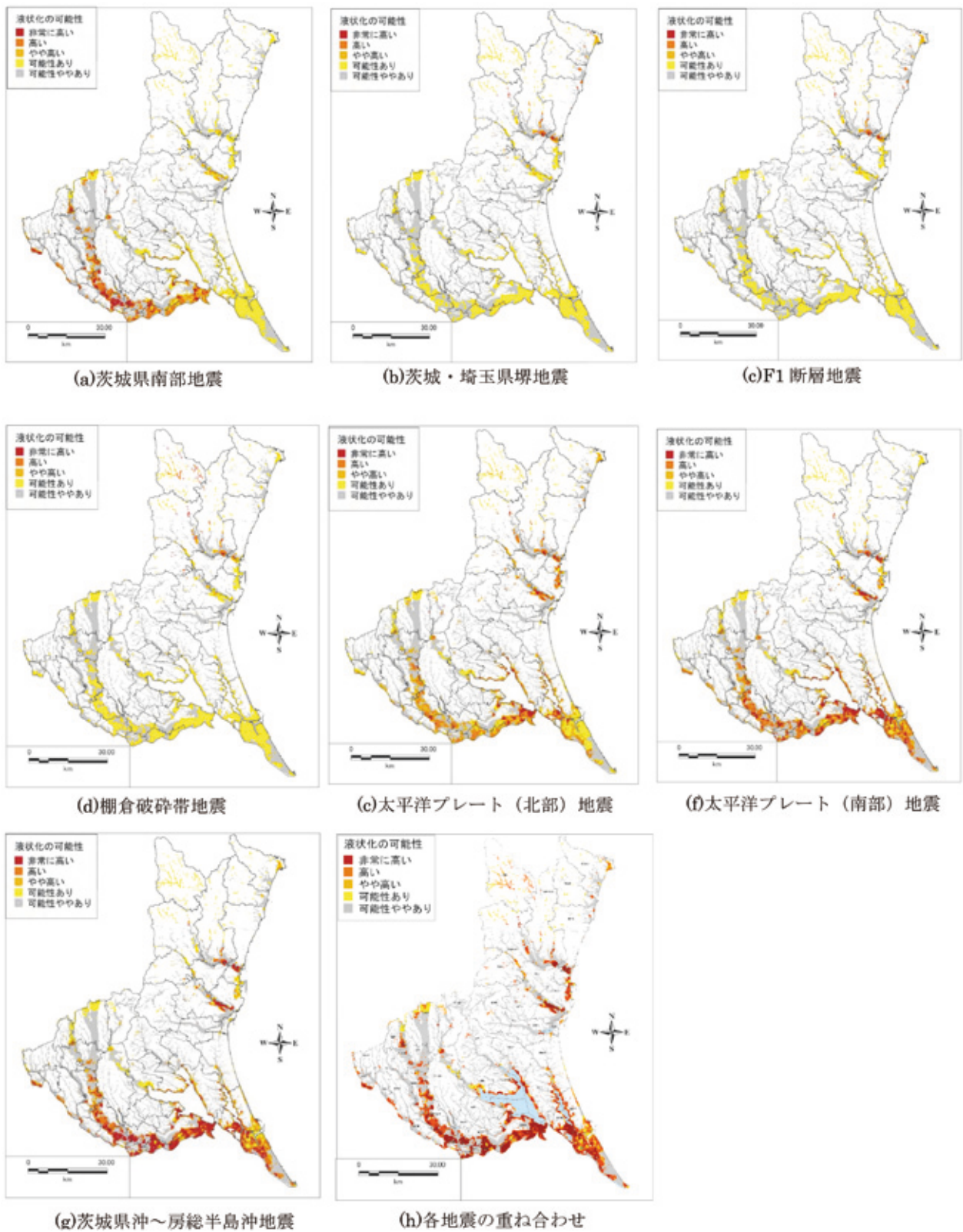


図-3 茨城県想定7地震ごとの液状化の可能性が想定されるエリア「茨城県地震被害想定調査報告書：平成30年（2018）12月」³⁾より

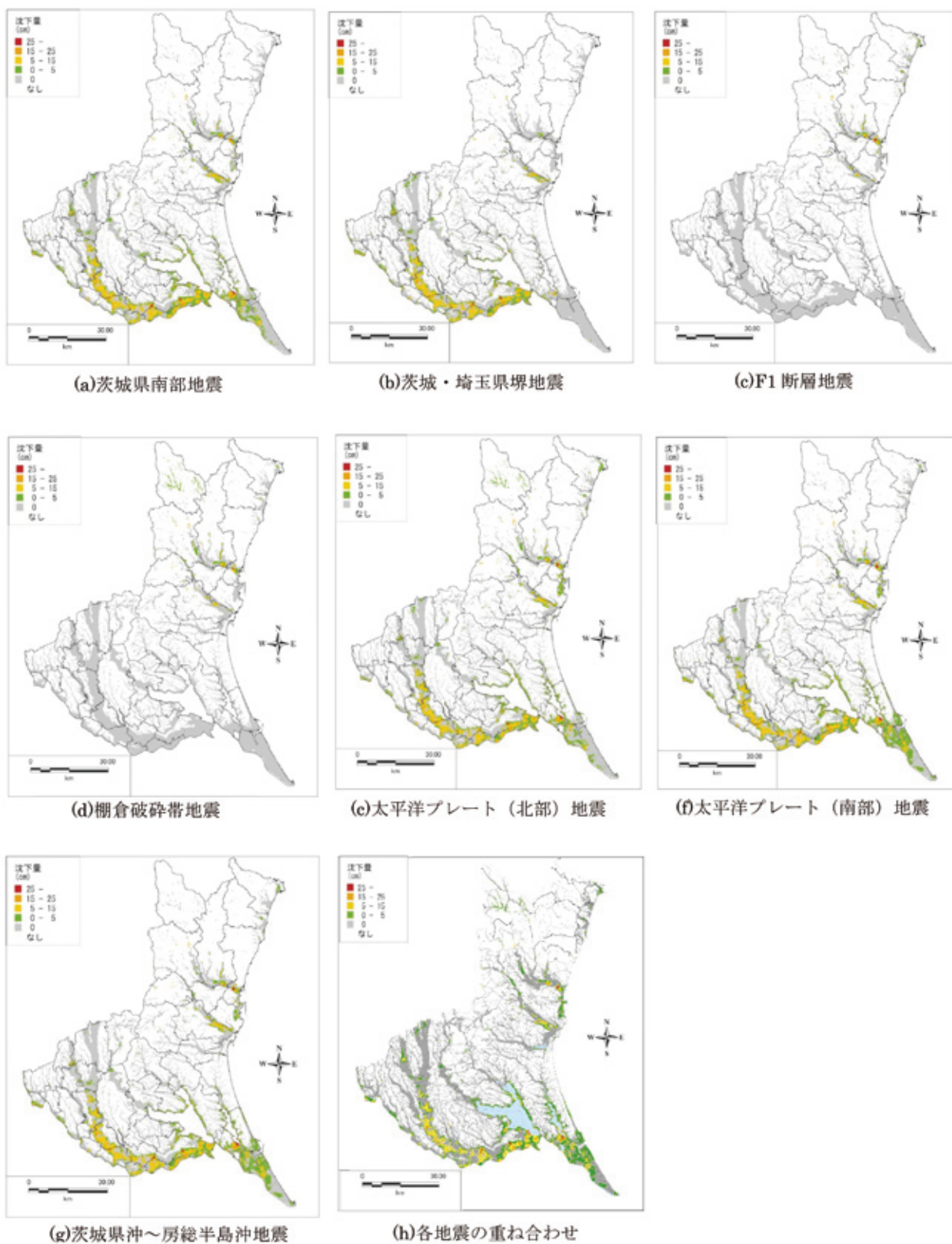


図-4 茨城県想定7地震ごとの液状化による地盤沈下の可能性が想定されるエリア
 「茨城県地震被害想定調査報告書：平成30年（2018）12月」³⁾より

表-5 想定地震とその概要

No	地震名	地震規模	想定 viewpoint	参考モデル
1	茨城県南部の地震 (茨城県南部)	Mw7.3	首都直下のM7クラスの茨城県南部地域に影響のある地震の被害	内閣府(2013)
2	茨城・埼玉県境の地震 (茨城・埼玉県境)	Mw7.3		内閣府(2013)
3	F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震 (F1断層)	Mw7.1	県北部の活断層による地震の被害	原子力規制委員会審査会合資料など
4	棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震 (棚倉破砕帯)	Mw7.0		
5	太平洋プレート内地震(北部) (太平洋プレート(北部))	Mw7.5	プレート内で発生する地震の被害	地震調査委員会長期評価部会での議論
6	太平洋プレート内地震(南部) (太平洋プレート(南部))	Mw7.5		
7	茨意見沖から房総半島沖にかけての地震 (茨城県～房総半島沖)	Mw8.4	津波による被害	茨城県(2012)

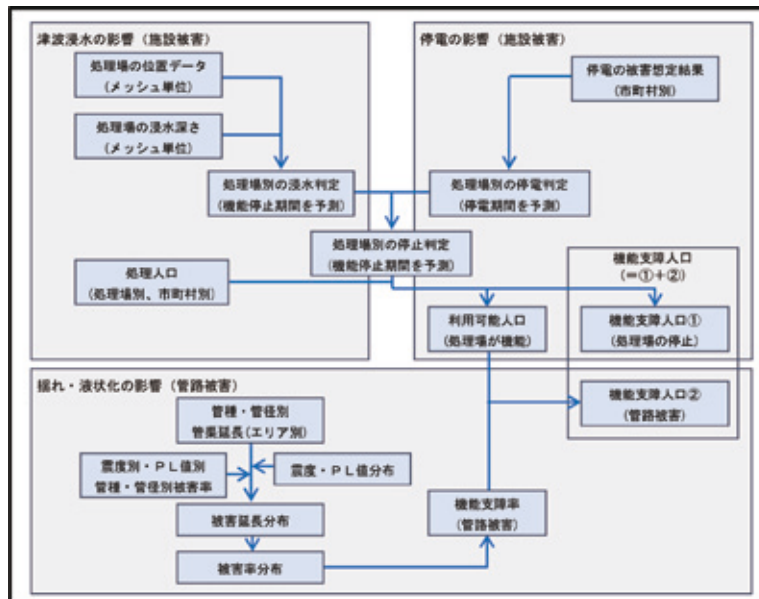


図-5 下水道の施設被害算定時の液状化の影響

【管路の被害率の推定方法】

管路の属性情報のうち、「管種・継手」、「口径」、「敷設されている箇所の微地形分類」と、地震動の予測解析結果から求められた地表最大速度を用いて、地震発生時に管路1kmに対する被害箇所数を表わす「管路の推定被害率(件/km)」を算出した。

$$D = \sum L \cdot R \quad \dots \text{式 3.2-1}$$

$$R = C_p \times C_g \times R(v) \quad \dots \text{式 3.2-2}$$

$$R(v) = C\Phi\left(\frac{dv - \lambda}{\zeta}\right) \quad \dots \text{式 3.2-3}$$

D : 総被害件数(件) L : 管路延長(km) R : 被害率(件/km)
 R(v) : 標準被害率評価式 C_p:管種・管径補正係数 C_g:液状化補正係数
 Φ(x) : 標準正規分布の確率分布関数 v : 地表最大速度(cm/s)

図-6 上水道の施設被害算定時の液状化の影響

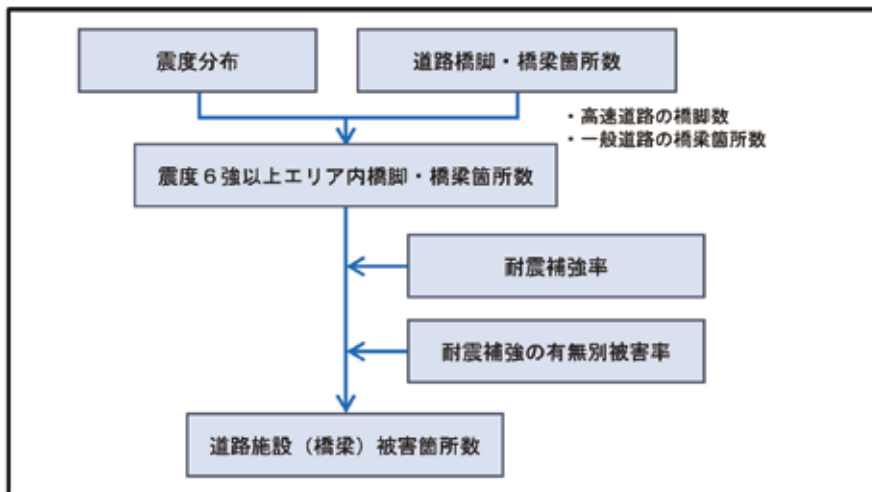


図-7 道路施設被害算定フロー図

- ・県民や事業者等は、ボーリング調査や地形図などで地盤の状況を把握したり、液状化対策の進捗を確認して建物の建設前に地盤改良や杭打ちを行うなど、正しい液状化対策を実施することによって被害を軽減することができる。
- ・地震による液状化の被害に備え、地震保険に加入しておくことで、生活再建のハードルを下げる事が可能となる。
- ・県や市町村及びライフライン事業者は、庁舎・建屋等の液状化対策を進めるとともに、下水道やガスなどの埋設管やマンホールの浮上対策、上水道の配管の液状化対策を行うことで、ライフラインの被害ならびに道路や鉄道の被害を軽減することが可能となり、応急活動を迅速に行うことが可能となる。

図-8 液状化対策

道路である。茨城県内の緊急輸送道路ネットワークは図-9のとおりである。

緊急輸送道路は、高速自動車国道や一般国道、県道、防災拠点へのアクセス道路が第1次～第3次の緊急輸送道路ネットワークに指定されている。

6. 茨城県の想定液状化被害と緊急輸送道路および防災拠点の重ね合わせ

6.1 液状化の可能性と緊急輸送道路及び防災拠点の重ね合わせ

緊急輸送道路は地震直後から通行の確保が重要となる道路であるが、茨城県地震被害想定調査においては液状化による通行機能障害について想定されていなかった。ここで、各7地震全ての液状化の発生が想定されるエリアと緊急輸送道路および防災拠点を重ね合わせてみると、図-10に示したように、県西・県南・鹿行・県央地域では液状化の可能性があり～非常に高いエリアに防災拠点（Bランク）の多くが位置していることが分かる。第1次から第3次の緊急輸送路についても液状化の可能性あり～非常に高いエリアを通行していることが分かる。

6.2 液状化による地盤沈下の可能性と緊急輸送道路及び防災拠点の重ね合わせ

液状化の可能性と同様に想定7地震全ての液状化による地盤沈下の発生が想定されるエリアと緊急輸送道路および防災拠点の重ね合わせを図-11に示す。防災拠点の位置において県西地域では液状化に伴う地盤沈下量が0cmもしくはなしのエリアに位置するが県南・鹿行・県央地域では0～15cmのエリアに多くが位置していることが分かる。

7. 茨城県の想定液状化被害と緊急輸送道路計画への提言

7.1 緊急輸送道路と防災拠点の液状化被害に対する一体的な対策工法

地下水位低下工法は図-12に示すように、緊急輸送道路や防災拠点周囲の道路の下に地下水排水管を敷設して道路と防災拠点の宅地内の地下水位を低下させることにより、地表面から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低減して、液状化被害を抑制する工法である。防災拠点がなく緊急輸送道路のみの区間についても、地下

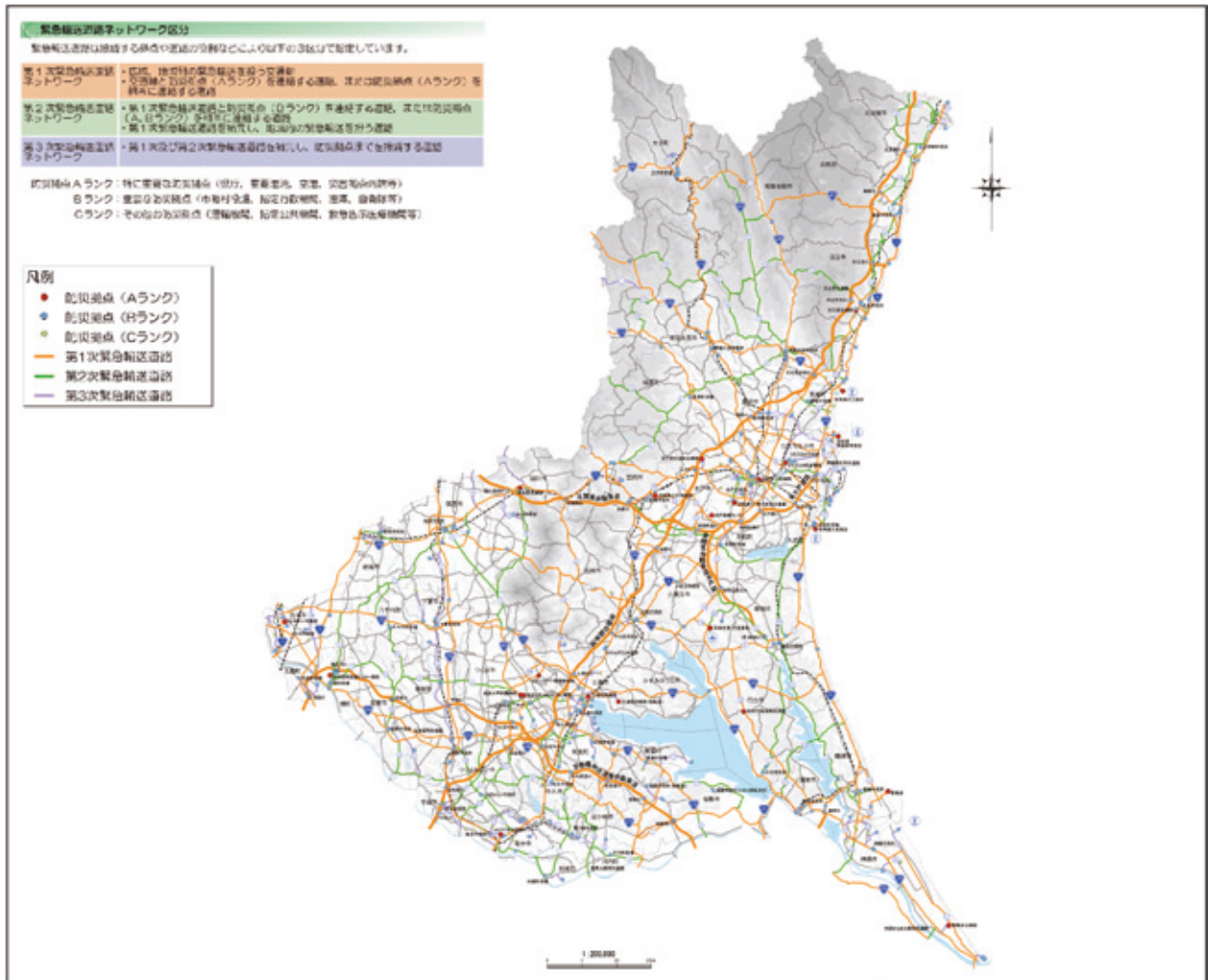


図-9 茨城県の緊急輸送道路ネットワーク図

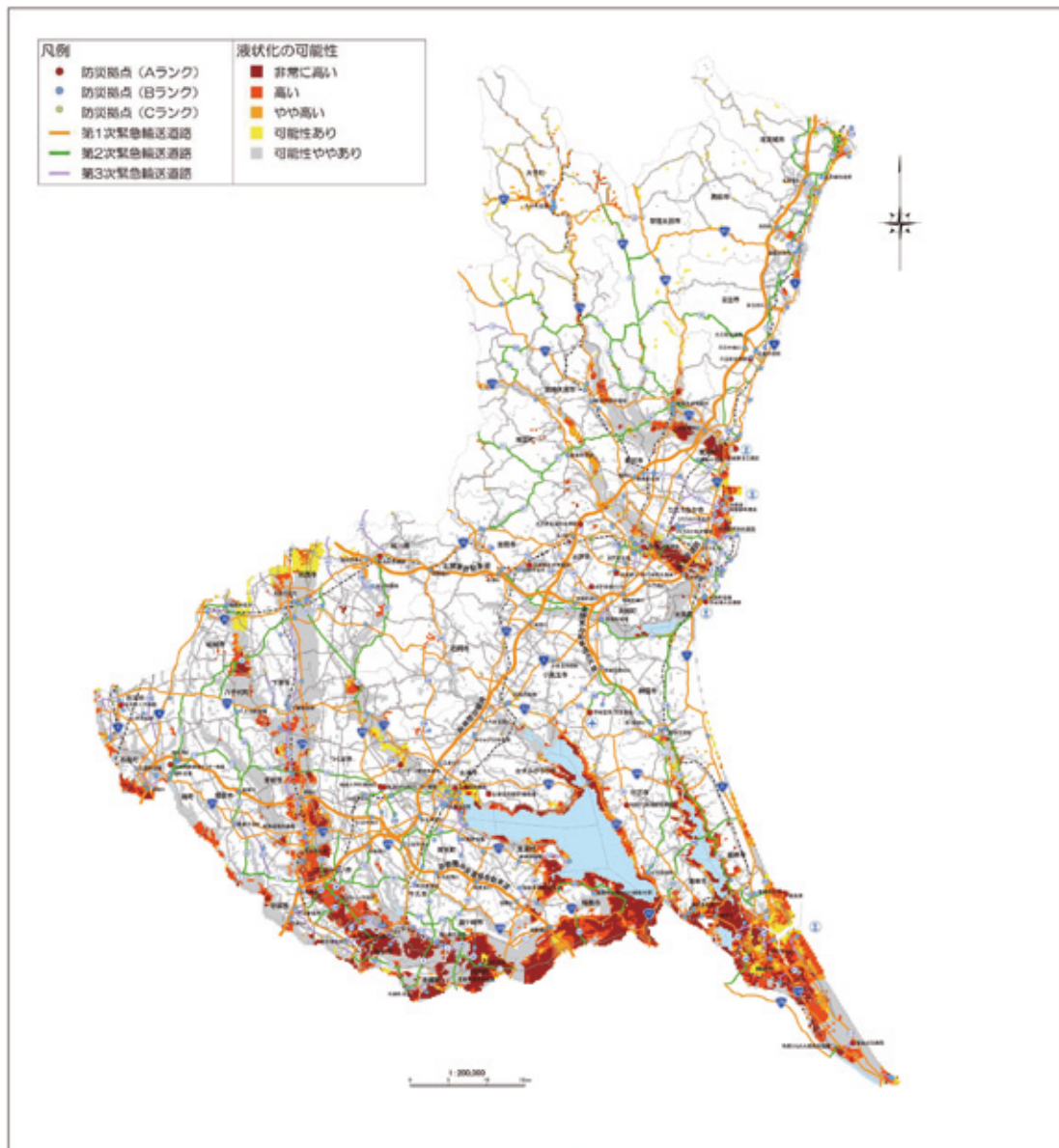


図-10 想定7地震による液状化の可能性と緊急輸送道路ネットワークの重ね合わせ図

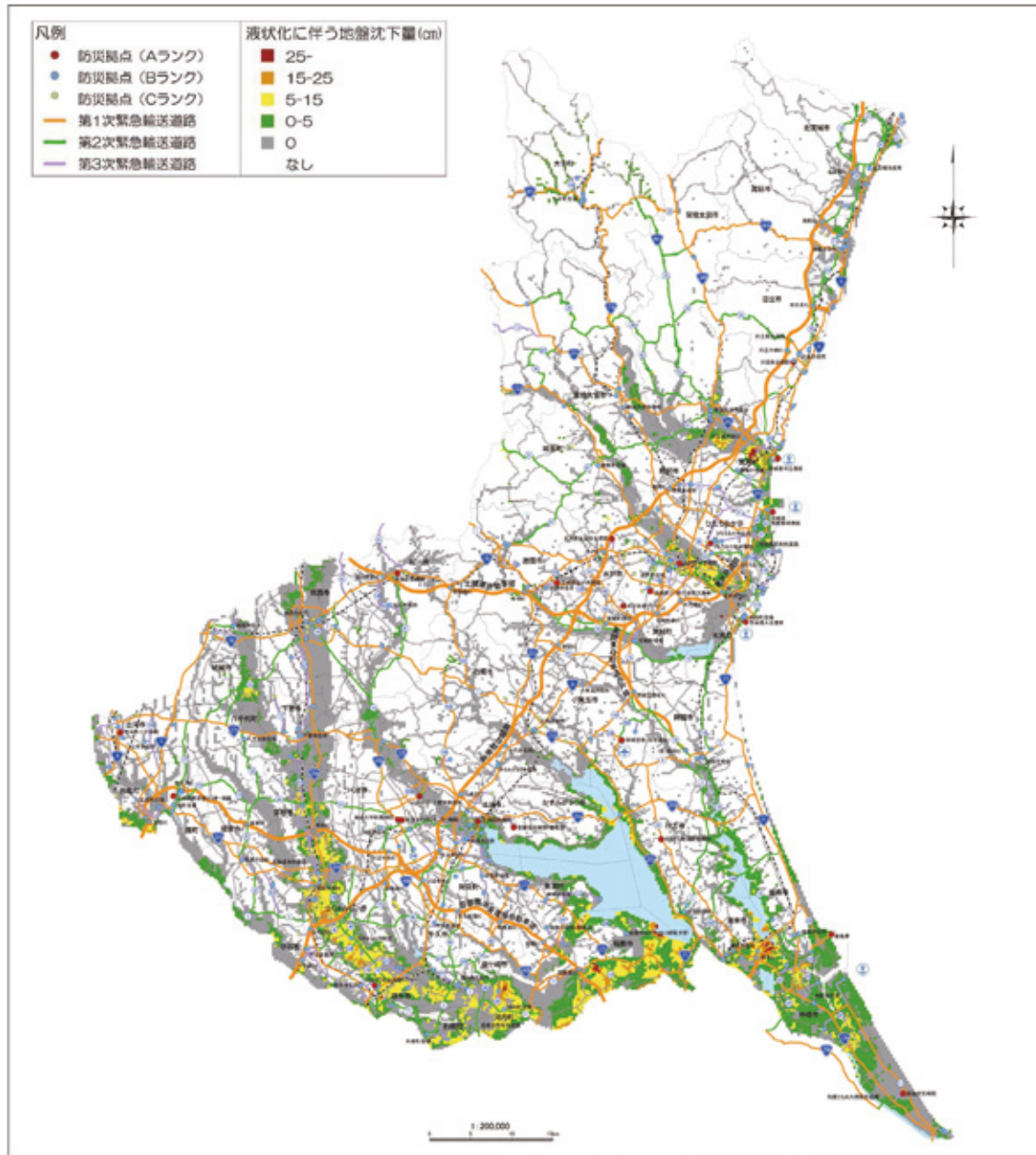


図-11 想定7地震による液状化による地盤地下の可能性と緊急輸送道路ネットワークの重ね合わせ図

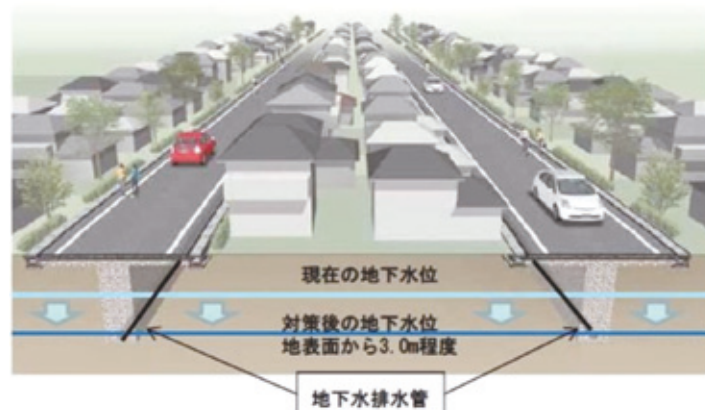


図-12 地下水位低下工法のイメージ⁴⁾

表-6 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	鱒川・掘割地区	日の出地区	緑ヶ丘地区
対策工法	地下水位低下	地下水位低下	地下水位低下	地下水位低下	地下水位低下	地下水位低下
	自然流下	流末はポンプ排水	自然流下	流末はポンプ排水	流末はポンプ排水	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

水位を低下させることで液状化被害を抑制することができる。

7.2 茨城県内における地下水低下工法の実績

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、茨城県では住宅、道路、上・下水道、電気、ガス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東海村(緑ヶ丘団地)、潮来市、鹿嶋市、神栖市においては「市街地液状化対策事業」として公共施設・宅地一体型液状化対策工事を実施した。

表-6に実施した対策事業の概要を示す。

7.3 課題

県西・県南・鹿行・県央地域で液状化の可能性があり～非常に高いエリアにある防災拠点(Bランク)へアクセスする緊急輸送道路は第1次、第2次、第3次となっており、対象となる道路の種類は高速道路、直轄国道、県道などそれぞれ道路管理者が異なる。また、防災拠点の周囲の道路も異なる。地下水位低下工法により対策を行うためには、異なる道路管理者が連携して整備を進めなければ、対策工の効果が発現しない。このため、県を主体とした協議会による対策工の整備スケジュールを調整することが課題となる。

8. ま と め

茨城県内における液状化被害に基づく緊急輸送道路ネットワーク計画について検証を行った結果、以下のようになった。

(1) 東北地方太平洋沖地震における液状化被害

本震及び余震による長時間にわたる地震動の発生により、液状化による被害が県内32市町村に及んだ。

(2) 茨城県が今後想定している地震及び液状化被害

- ①茨城県では今後想定される最大クラスの地震は7地震であり、液状化被害は県内全域に広がっていた。
- ②道路の被害想定は橋梁を対象としており、液状化による被害は想定されていなかった。
- (3) 想定液状化被害と緊急輸送道路および防災拠点の重ね合わせ
 - ①茨城県では今後想定される最大クラスの地震は7地震であり、県西・県南・鹿行・県央地域では液状化の可能性あり～非常に高いエリアに防災拠点(Bランク)の多くが位置している。
 - ②第1次から第3次緊急輸送道路も同様に液状化エリアを通行している。
- (4) 想定液状化被害と緊急輸送道路の提言
 - ①緊急輸送道路と防災拠点を一体的に対策するため、地下水位低下工法を提案した。
 - ②茨城県では東北地方太平洋沖地震による液状化被害が発生した地域で地下水位低下工法による対策を行った実績がある。
 - ③緊急輸送道路は道路管理者が複数にわたるため、県が主体となって整備スケジュールを調整することが課題となる。

参考文献

- 1) 茨城県：東日本大震災の記録～地震・津波災害編～，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) 茨城県地震被害想定調査報告書(平成30年12月)
- 4) 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