

地域防災対策支援研究プロジェクト

②研究成果活用の促進

～千葉市美浜区における地下水位低下工法による液状化抑止対策～

(平成26年度)

成果報告書

平成27年5月

文部科学省 研究開発局

国立大学法人 千葉大学

まえがき

平成23年3月の東北地方太平洋沖地震を契機に、地方公共団体等では、被害想定や地域防災対策の見直しが活発化しています。一方で、災害の想定が著しく引き上げられ、従来の知見では、地方公共団体等は防災対策の検討が困難な状況にあります。そのため、大学等における様々な防災研究に関する研究成果を活用しつつ、地方公共団体等が抱える防災上の課題を克服していくことが重要となっています。

しかしながら、防災研究の専門性の高さや成果が散逸している等の理由により、地方公共団体等の防災担当者や事業者が研究者や研究成果にアクセスすることが難しく、大学等の研究成果が防災対策に十分に活用できていない状況にあります。

また、防災分野における研究開発は、既存の学問分野の枠を超えた学際融合的領域であることから、既存の学部・学科・研究科を超えた取組、理学・工学・社会科学等の分野横断的な取組や、大学・独立行政法人・国・地方公共団体等の機関の枠を超えた連携協力が必要であることや、災害を引き起こす原因となる気象、地変は地域特殊性を有することから、実際に地域の防災に役立つ研究開発を行うためには、地域の特性を踏まえて行うことが必要であること等が指摘されています。

このような状況を踏まえ「地域防災対策支援研究プロジェクト」では、全国の大学等における理学・工学・社会科学分野の防災研究の成果を一元的に提供するデータベースを構築するとともに、大学等の防災研究の成果の展開を図り、地域の防災・減災対策への研究成果の活用を促進するため、二つの課題を設定しています。

- ① 研究成果活用データベースの構築及び公開等
- ② 研究成果活用の促進

本報告書は「地域防災対策支援研究プロジェクト」のうち、「②研究成果活用の促進」に関する、平成26年度の実施内容とその成果を取りまとめたものです。

「研究成果活用の促進」のため、本業務では「千葉県美浜区における地下水位低下工法による液状化抑止対策」をテーマとし、千葉県美浜区において受託者らが提案する液状化抑止工法の適用促進を行います。

目 次

1. プロジェクトの概要	1
2. 実施機関および業務参加者リスト	1
3. 成果報告	2
3. 1 液状化対策モデル地区の詳細評価	2
3. 2 モデル地区内実証実験の観測・評価と実施工計画の策定	11
3. 3 プロジェクト運営委員会その他	14
4. 活動報告	16
4. 1 会議録	16
4. 2 対外発表	17
5. むすび	19

1. プロジェクトの概要

千葉市美浜区は、総面積 21km²の全域が埋立地である。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震時、区内のほぼ全域で大規模な液状化が発生し、特に戸建て住宅に甚大な被害をもたらした。これを受けて千葉市では、2012年1月に液状化対策推進委員会を設置し、将来の液状化被害抑止に向けた取り組みを開始した。一方、受託者（業務主任者）らの研究室では、平成23年度補正予算に基づく国土交通省建設技術開発助成を受け、鋼矢板囲い込み・地下水位低下併用による液状化抑止工法の開発を行った。

本受託業務では、千葉市との緊密な協力の下、受託者が提案する液状化抑止対策工法の実証実験を行い、他地域へも展開できるよう提案手法の標準化（マニュアルなど）を図り、防災・減災を推進することを目的とする。

2. 実施機関および業務参加者リスト

所属機関	役職	氏名	担当業務
千葉大学 大学院工学研究科	教授	中井 正一	3.1, 3.3
千葉大学 大学院工学研究科	准教授	関口 徹	3.2

3. 成果報告

3. 1 液状化対策モデル地区の詳細評価

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

千葉市美浜区は全域が埋立地である。受託者らのこれまでの研究により、東京湾岸の埋立地は、地形的には低平単純であるものの、地層構造は旧海底の堆積層も含めて非常に複雑であることが分かっている。液状化対策実証実験およびモデル地区での対策実施に当たり、詳細な地盤構造を把握することを目的とする。

(b) 平成26年度業務目的

千葉市による復興事業の一環として、液状化対策（地下水位低下工法）のための実証実験が平成25年度から引き続き26年度も実施された。これまでの実験結果から、地下水汲み上げ量に影響する液状化層下部の粘性土層の透水性を正確に把握する必要があることが明らかになった。そこで実証実験を行っているNサイトにて現場透水試験と試料採取による室内透水試験を行い、実証実験での地下水汲み上げ量の評価に役立てる。

この他に、地下水位低下に伴う地盤震動特性の把握の評価を継続する。平成25年度には、本業務で常時微動計測を行っており、平成26年度は、地下水位が低下して一定の時期が経過した段階で再度実施することにより地盤震動特性変化の有無を分析する。また、地震観測についても継続し、地震動の面からも考察を加える。

これらを踏まえ、本業務では平成26年度は、Nサイトおよびその近傍での粘性土の透水性に着目した詳細な地盤調査、常時微動計測・地震観測による震動特性の変化の有無の考察を行うこととした。

a. 地盤調査

- ・ 粘性土層および砂層を対象とする透水試験：複数地点、各複数深度
- ・ 地下水位低下時の簡易地盤調査（CPT）による簡易S波速度測定：Nサイト内複数地点

b. 常時微動計測

- ・ 微動1点観測
- ・ アレイ観測

c. 地震観測

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名
千葉大学 大学院工学研究科	教授	中井 正一
千葉大学 大学院工学研究科	准教授	関口 徹

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

地盤調査、常時微動計測、地震観測を実証実験が行われた N サイトにて図 1-1 のとおり実施した。

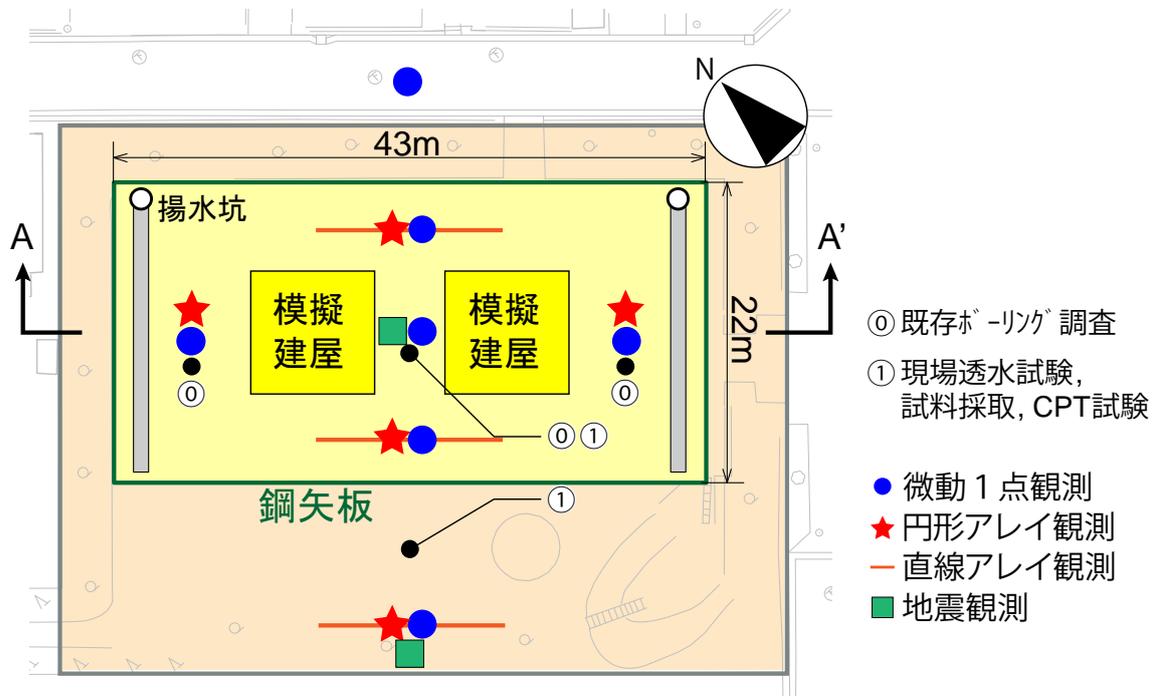


図 1-1 地盤調査、微動計測、地震観測の位置

(b) 業務の成果

1) 地盤調査

- ・ 図 1-1 の①で示す矢板内外の 2 地点で、粘性土（図 1-2 の Fc2 層、各 4 深度）を対象とする透水試験（試料採取と室内試験）および砂層（図 1-2 の Fsc 層、各 1 深度）を対象とする透水試験（現場透水試験）を平成 26 年 9 月 24 日～9 月 26 にかけて実施した。その結果、室内試験より Fc2 層の透水係数は平均で $8.97 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ となり、「非常に低い透水性」（表 1-1 参照）に分類され、止水層として問題ない止水性を有していることが確認された。液状化の恐れのある Fsc 層は透水係数が平均で $3.23 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ となり、「中位」（表 1-1 参照）の透水性であることが確認された。
- ・ 三成分コーン貫入試験（CPT 試験、2 ヶ所、ともに深度 20m まで）を平成 26 年 9 月 9 日に実施し、地下水位低下後の S 波速度および土質区分の深度方向分布を把握した。

これらの実施状況と調査地点（N サイト）の地盤断面図を以下に示す。



写真 1-1 CPT 試験

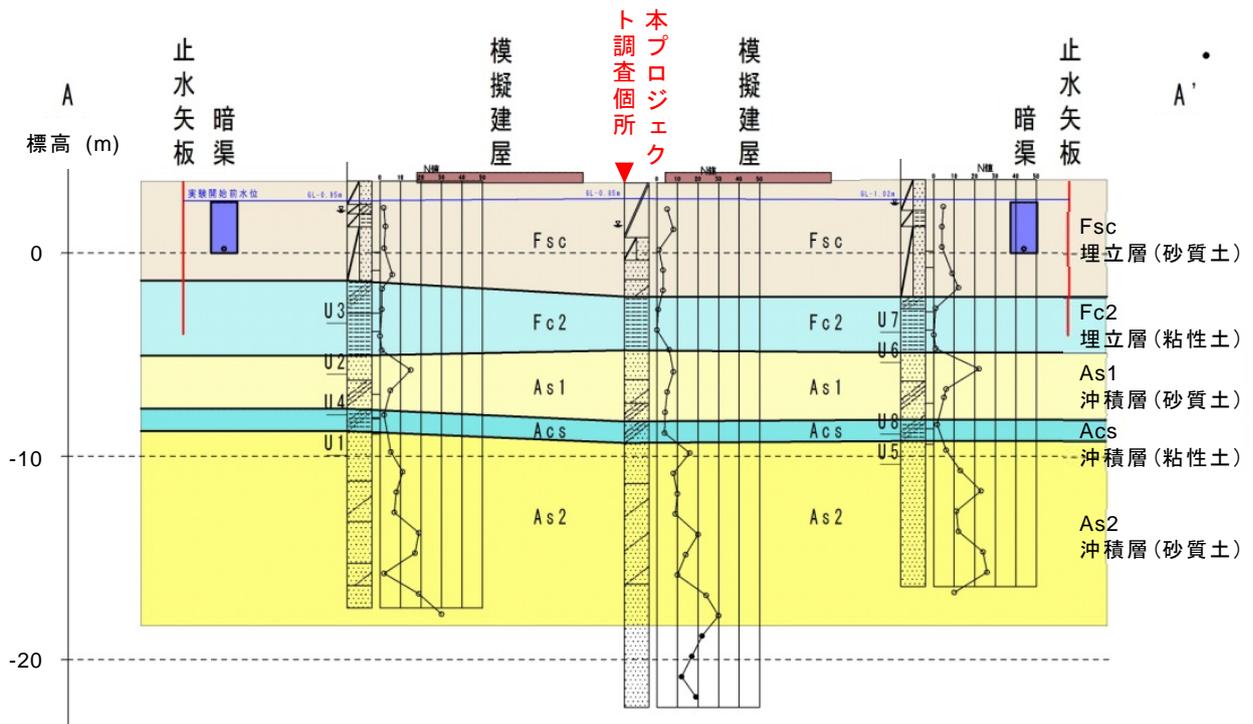


図 1-2 実証実験現場の地盤断面図（標準貫入試験）

表 1-1 透水係数と試験方法の適用性¹⁾

	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰
透水性	実質上不透水		非常に低い			低い	中位		高い			
対応する土の種類	粘土性 (C)		微細砂, シルト, 砂-シルト-粘土混合土 (SF) (S-P) (M)			砂及びれき (礫) (GW) (GP) (SW) (SP) (G-F)			清浄なれき (GW) (GP)			
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験		変水位透水試験			定水位透水試験		特殊な変水位透水試験				
透水係数を間接的に測定する方法	圧密試験結果から計算		なし			清浄な砂及びれきは、粒度と間げき(隙)比とから計算						

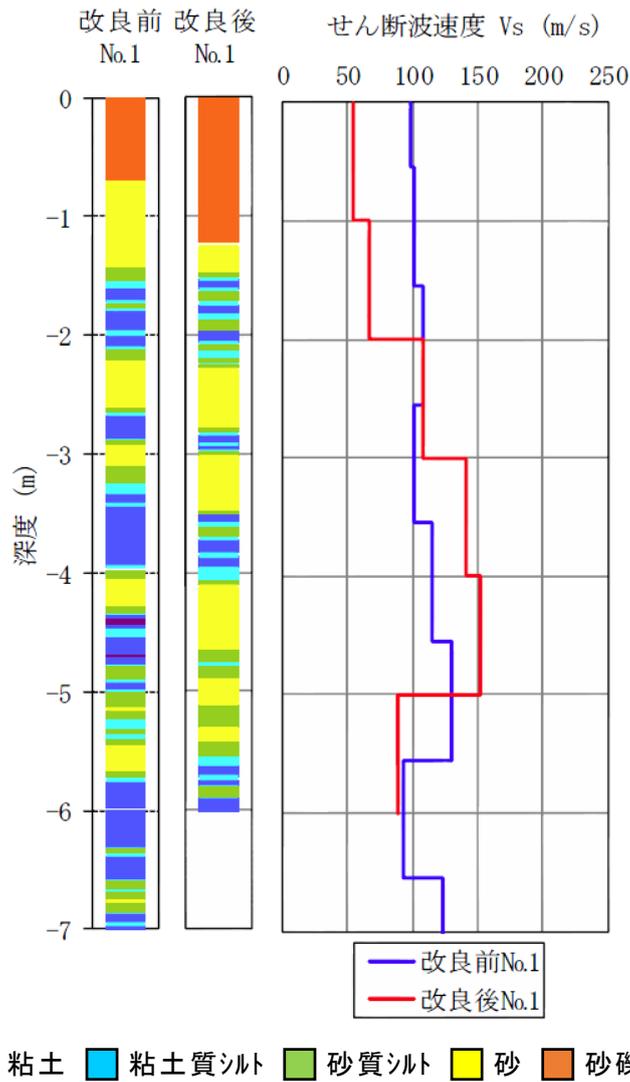


図 1-3 実証実験現場の推定 S 波速度構造 (CPT 試験)

図 1-3 に CPT 試験より得られた深度 7m までの S 波速度構造を、地下水位低下前にも調査を実施している矢板内の調査地点について、地下水位低下前と低下後を比較して示す。地下水位が深度 3m 近くまで低下したことにより深度 2m までの S 波速度が小さくなり、逆に地下水位以深の深度 3-5m では有効応力が増加したことにより S 波速度が大きくなっている。このことが地震観測記録の結果にも影響している。なお、低下前後の調査地点は 5m 程度離れており、地表付近の土質は複雑に変化するため、土質の深度分布は概ね対応するものの、完全には一致していない。

2) 常時微動計測

- ・常時微動計測は、平成 26 年 5 月 26 日に N サイト敷地内の 7 ヶ所で実施し、地下水位低下後の地盤の振動特性を把握した。実施状況を写真 1-2, 3 に示す。



写真 1-2 直線アレイ観測



写真 1-3 微動 1 点観測

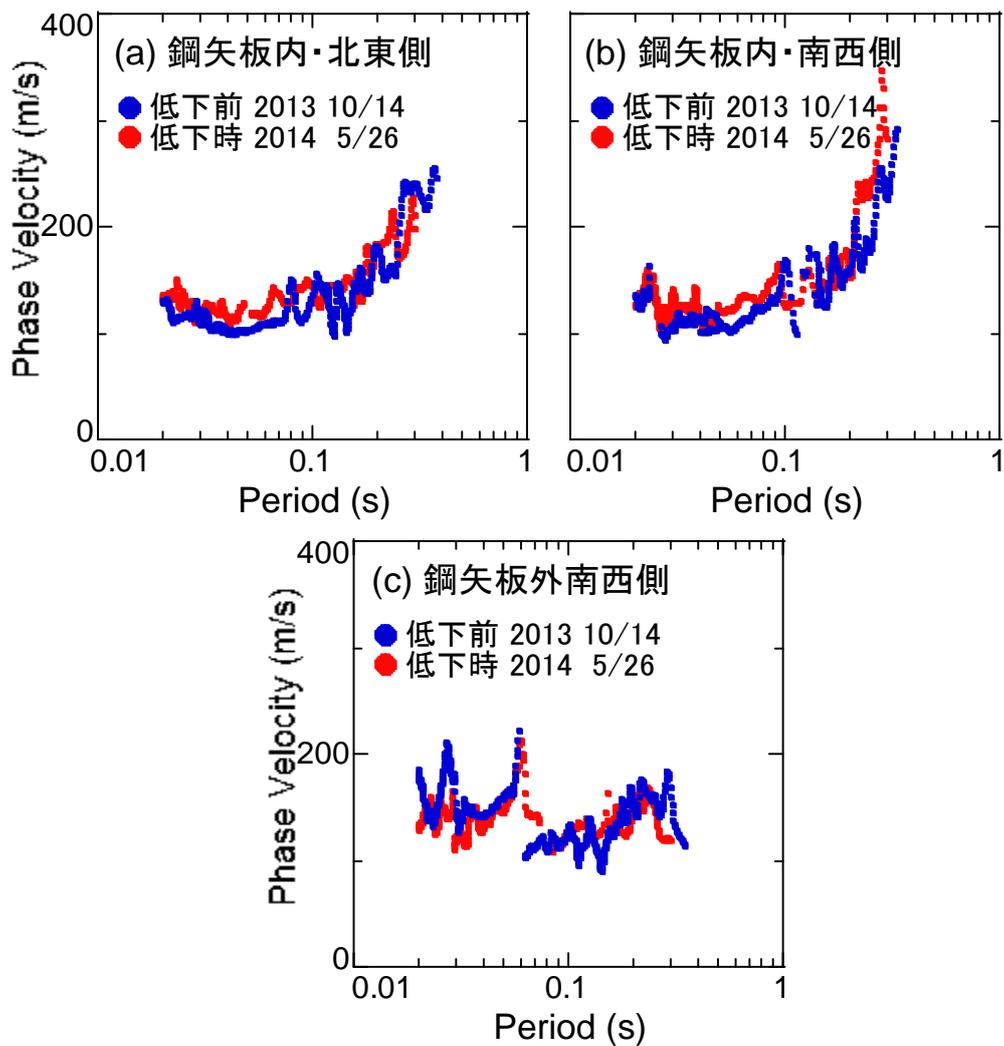


図 1-4 直線アレイ観測から得られた分散曲線

図 1-4 に直線アレイ観測から推定した 3 ヶ所（矢板内の 2 ヶ所、矢板外の 1 ヶ所）の分散曲線を前年度に実施した地下水位低下前のものとあわせて示す。矢板内の 2 ヶ所では周期 0.1s 以下において地下水位低下後に分散曲線の位相速度が大きくなり、CPT 試験による S 波速度が深度 3-5m で大きくなっていることと対応している。一方、矢板外では地下水位が変化していないため、分散曲線にも大きな違いが見られない。

3) 地震観測

地震計を図 1-1 に示す 2 か所に平成 26 年 3 月 18 日に設置し、地震観測を開始した。5 月 5 日に相模湾沖で発生したマグニチュード 6.2 の地震と、9 月 16 日に茨城県南部で発生したマグニチュード 5.6 の地震の際に観測された加速度記録の時刻歴を図 1-5 に示す。矢板内（地下水位低下）と矢板外（地下水位非低下）で振幅が異なる。

図 1-6 に観測記録の矢板内（低下）と矢板外（非低下）とのフーリエスペクトル比を 5 つの地震で観測された記録について重ねて示す。異なる地震記録であるが周期特性は安定しており短周期で矢板内（低下）の振幅が大きくなっている。図には地下水位低下前後の S 波速度に基づいて計算した表層地盤の理論伝達関数比が赤で示してあり、地震記録の傾向を概ね説明できている。このことから地下水位低下により地盤震動特性が短周期において変化していることが分かった。

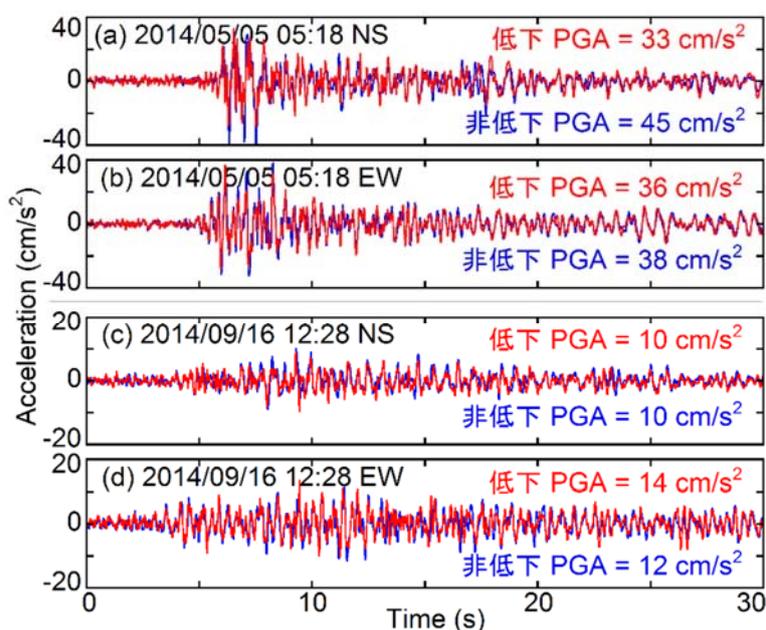


図 1-5 観測された地震記録の加速度時刻歴

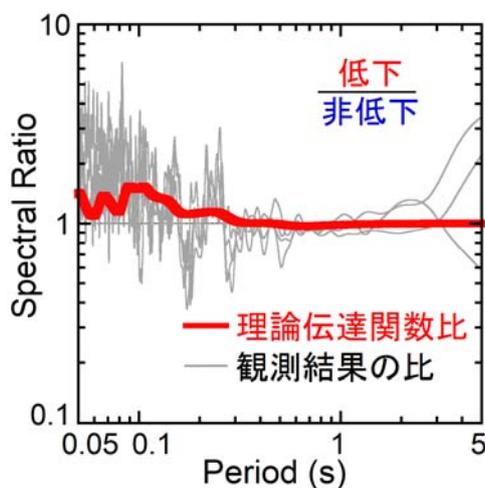


図 1-6 地震記録のフーリエスペクトル比と理論伝達関数比

(c) 結論ならびに今後の課題

- ・地盤調査に関しては予定どおり実施され、当初の目的を達成することができた。液状化層下部に存在するシルト層（Fc2層）は透水性が非常に低く、止水層としてある程度期待できることが分かり、実証実験やモデル地区での地下水位実施時の地下水汲み上げ量の評価に役立てることができた。
- ・CPT試験により地下水位低下前後の表層地盤のS波速度構造を計測した。その結果、地下水位が深度3m近くまで低下したことにより深度2m程度までのS波速度が小さくなり、逆に地下水位以深の深度3-5mでは有効応力が増加したことによりS波速度が大きくなった。
- ・常時微動計測については、昨年度地下水位低下前に実施したものと、今年度地下水位低下後に実施したものの結果を比較し、CPT試験によるS波速度構造と調和的な結果が得られた。
- ・地震観測については、地下水位を低下させた矢板内と低下させていない矢板外で比較した結果、地下水位低下により地盤震動特性が短周期において変化していることが分かった。

(d) 引用文献

特になし

3. 2 モデル地区内実証実験の観測・評価と実施工計画の策定

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

本課題では、千葉市の復興事業として実施した調査に加え、受託者らがすでに構築している地盤情報データベース、すでに実施済みの常時微動計測、さらに、前節で実施した地盤調査、常時微動計測、地震観測に基づいて、市の計画への助言を行う。また、実証実験中にも常時微動計測・地震観測を継続し、埋立地盤の地震動特性の評価もあわせて行うことで実証実験結果考察の高度化を目指す。

(b) 平成26年度業務目的

受託者らのこれまでのデータベースや検討結果等の知見に基づき助言を行うことによって、市の次年度計画での実証実験がより効果的なものとなることを目的とする。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名
千葉大学 大学院工学研究科	准教授	関口 徹
千葉大学 大学院工学研究科	教授	中井 正一

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

実証実験の観測結果を検証し、今後の市の実施工計画への助言をした。

(b) 業務の成果

4.1 節の会議にあるとおり数回にわたって実証実験の途中経過の検討を行った。当初は降水量に対して排水量が多く外部からの水の流入が懸念されたが、3.1 節での地盤調査によって確認された通り下部のシルト層(Fc2)は止水層として十分な止水性を持っており、1年間の実証実験の結果²⁾(図 2-1)、ポンプの排水量と比較し外部からの流入はほとんどないことが確認された。

3.1 節での地震観測等の検討から、地下水位低下により地下水位以深の液状化層の剛性が大きくなり、非液状化層の増加以外にも液状化抑止効果が働くことが確認された。業務主任者は千葉市液状化対策推進委員会にて、現場計測などから確認したこの効果を指摘した。

2013

2014

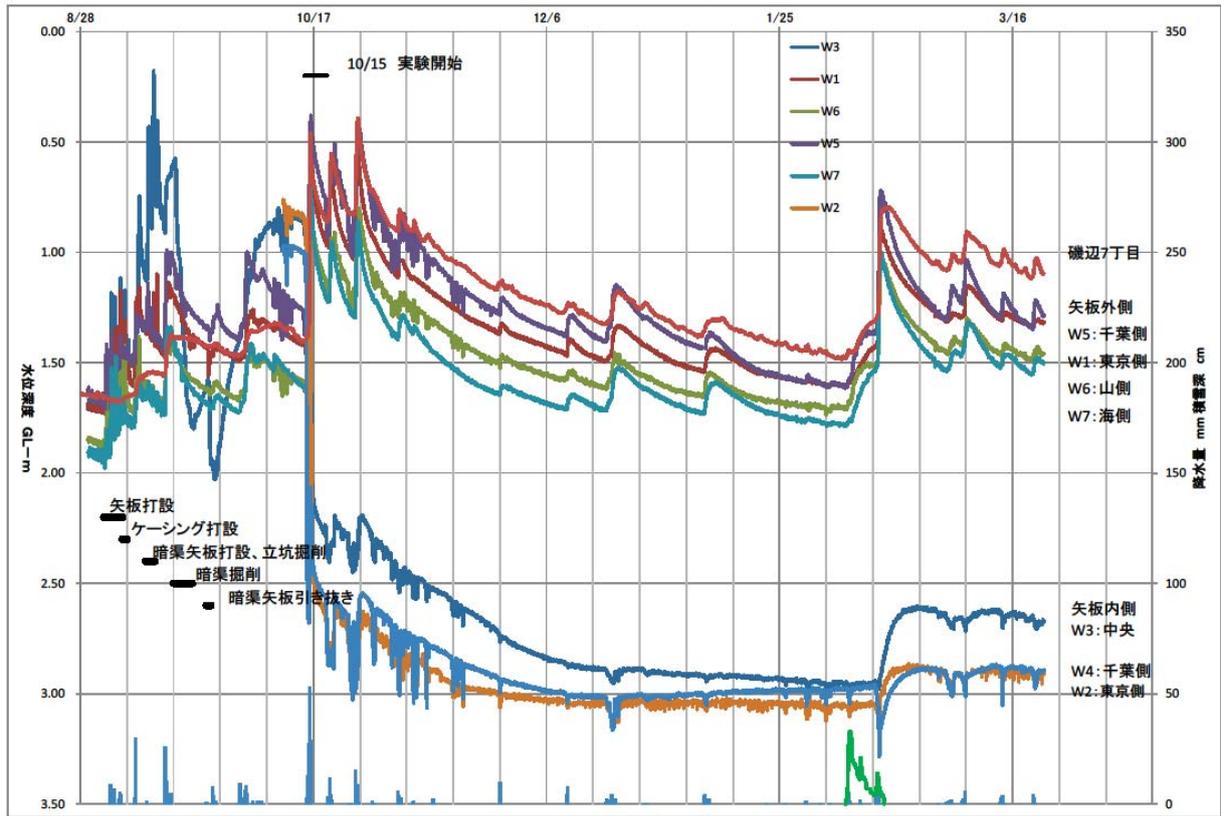


図2.1.5 水位観測結果

図 2-1 実証実験における水位観測結果²⁾

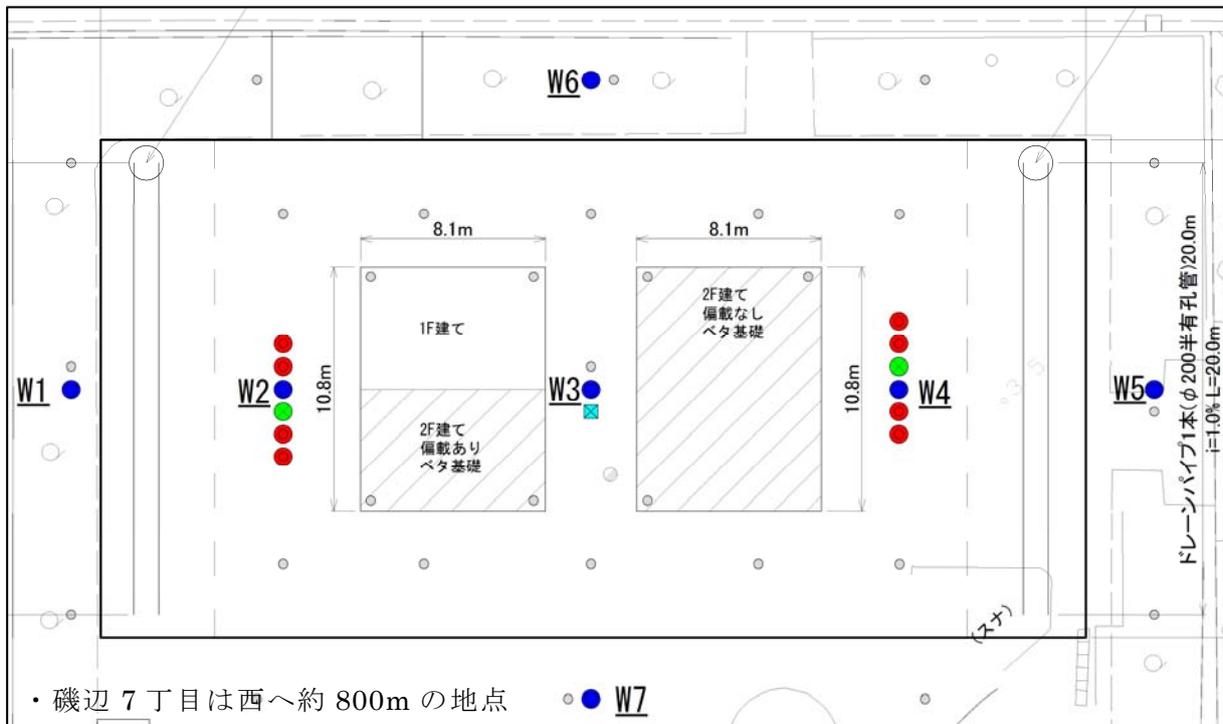


図 2-2 水位観測位置²⁾

(c) 結論ならびに今後の課題

実証実験と本プロジェクトでの地盤調査により、モデル地区での地下水位低下工法の有効性が確認された。今後は実際に工事をするにあたっての技術的な問題を解決する必要がある。

(d) 引用文献

- 1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説， p.450, 2009.
- 2) 千葉県液状化対策推進委員会，第 5 回資料
<https://www.city.chiba.jp/toshi/toshi/shigaichi/ekijoukaiinnkai.html>

3. 3 プロジェクト運営委員会その他

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

その他関連する業務を確実に行うことで本プロジェクトを円滑に推進することを目的とする。

(b) 平成26年度業務目的

上記と同じ。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名
千葉大学 大学院工学研究科	教授	中井 正一
千葉大学 大学院工学研究科	准教授	関口 徹

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

- ・千葉大学（業務参加者）と千葉市（業務協力者）から構成される運営委員会を組織し、研究成果を活用した防災・減災対策を検討した。
- ・事業の成果及び事業内容は、研究成果の活用事例として、課題①において構築するデータベースに随時反映させるとともに、全国に対して事業の広報等を行う課題①の受託者に情報を提供した。
- ・地域住民・一般市民を対象に、地域報告会を開催し、液状化抑止工法の有効性について説明した。
- ・住民からの相談に応じ、技術的な疑問に回答した。
- ・文部科学省が開催する成果報告会において成果を報告した。

(b) 業務の成果

1) 運営委員会

4.1 節の会議録にあるとおり本年度は4回運営委員会を実施し、実証実験や住民説明会について議論した。

2) 課題①への情報提供等

ホームページを作成するため本事業の背景、目的や説明図等の情報を課題①の受託者に提供した。

3) 地域報告会等

平成26年9月7日に、地下水位低下工法を実施する予定の住民らを対象とした説明会を行い、地下水位低下工法のメカニズムと有効性を説明した。参加者は約30名。

平成26年10月26日に放送された液状化対策を実施している自治体についての番組のインタビューに応じ、現状についての技術的な質問に回答した。

モデル地区の住民で液状化対策事業に対して当初懐疑的であった方が千葉大学へ来

訪し、業務担当者が地下水位低下工法のメカニズムや利点を説明した。その方は最後には十分納得されたようで、液状化対策事業に合意していただけたと期待している。

モデル地区の隣地区の自治会の方2名が3回（6/13、9/18、2/17）ほど千葉大学へ来訪し、その地区での地下水位低下工法適用に関する技術的な説明と助言を業務担当者らが行った。



写真 3-1 住民説明会（全体）

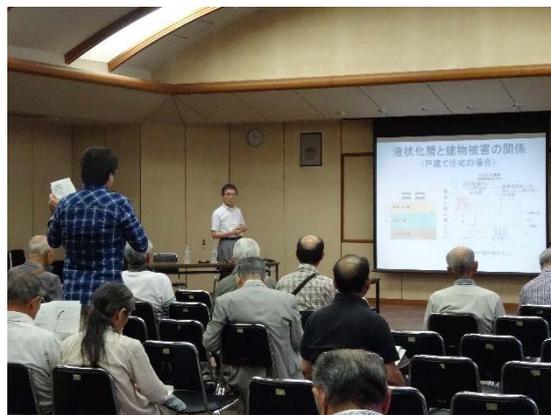


写真 3-2 住民説明会（質疑応答）

4) 成果報告会

平成 27 年 3 月 17 日に東京エレクトロンホール宮城で行われた成果報告会にてパンフレットによって報告した。

(c) 結論ならびに今後の課題

地下水位低下工法の実証実験が予想より技術的に順調に進んだため運営委員会の実施はあまり多くなかった。今後はより多くの住民に、液状化とその防災対策に対する関心を持ってもらい、知識を身に付けてもらえるようにしたい。また、美浜区は被災地であり住民に配慮しながら活動していきたい。

(d) 引用文献

特になし

4. 活動報告

4. 1 会議録

以下の運営委員会について、場所はすべて千葉大学工学系総合研究棟 1

(1) 第 1 回運営委員会

- 日時：2014 年 5 月 30 日 13:30-16:30
- 出席者： 千葉大学 中井、関口
千葉市 福永、橋本、巻木
千代田コンサルタント 橋本、内田
- 議題
 1. 追加地盤調査（透水試験、Fc 層の液状化強度試験）の地点選定について
 2. 実証実験の進捗について
 3. 他地区への展開について
 4. その他

(2) 第 2 回運営委員会

- 日時：2014 年 8 月 18 日 15:00-17:00
- 出席者： 千葉大学 中井、関口
千葉市 橋本、巻木
千代田コンサルタント 橋本、内田
- 議題
 1. 実証実験の進捗について
 2. 推進管工法の実証実験について
 3. その他

(3) 第 3 回運営委員会

- 日時：2015 年 1 月 14 日 13:30-15:30
- 出席者： 千葉大学 中井、関口
千葉市 福永、巻木
- 議題
 1. モデル地区の住民合意について
 2. 地下水位低下工事後の今後の日程について
 3. 他地区の対策工事の適用に関して

(4) 第 4 回運営委員会

- 日時：2015 年 3 月 19 日 14:00-15:00
- 出席者： 千葉大学 中井、関口
千葉市 巻木
- 議題
 1. 地下水位低下工事後の今後の日程について
 2. 他地区の適用について
 3. その他

4. 2 対外発表

(1) 学会等発表実績

地域報告会等による発表

発表成果（発表題目）	発表者氏名	発表場所 （会場等名）	発表時期	国際・国内の別
住民説明会 （地下水位低下工法の有効性について）	中井正一	美浜区役所	平成26年 9月7日	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 （記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
液状化対策工法の進捗状況（噂の現場 まとまらない液状化対策 住民それぞれの事情）	中井正一	TBSテレビ （噂の！東京マガジン）	平成26年 10月26日	国内

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
千葉県美浜区における地下水位低下工法の適用可能性に関する検討、口頭発表予定	中井正一	北九州市国際会議場（地盤工学会）	平成26年 7月15日	国内
鋼矢板囲い込み・地下水位低下併用による液状化被害抑止効果の検討、口頭発表	堀内佑樹	北九州市国際会議場（地盤工学会）	平成26年 7月17日	国内
地下水位低下回復による液状化抑止工法の検討、口頭発表予定	中井正一	北海道科学大学（地盤工学会）	平成27年 9月1日	国内
千葉県美浜区における液状化被害概要と対策に向けた取り組み、口頭発表予定	関口徹	北海道科学大学（地盤工学会）	平成27年 9月1日	国内
現場計測に基づく地下水位低下による液状化抑止効果の検討、口頭発表予定	中井正一	東海大学湘南キャンパス（日本建築学会）	平成27年 9月4日～6日	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
なし				

(2) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(a) 特許出願

なし

(b) ソフトウェア開発

なし

(c) 仕様・標準等の策定

なし

5. むすび

昨年度の業務においては、千葉市美浜区でのボーリングデータベース、液状化被害調査結果の分析、地下水位低下工法に関する遠心模型実験など、受託者が有する知見、さらには本業務で実施した新たな地盤調査・現場での観測や計測などに基づいて、千葉市が実施を検討している液状化対策の検討、実証実験の計画、住民に対する技術的観点からの説明などの支援を行い、一定の成果を得た。

今年度は、これらの成果を踏まえ、千葉市が実施した実証実験に参画し、液状化層下部からの地下水位流入量を把握するための地盤調査を行うとともに、地下水位低下／非低下時における地盤剛性・地盤振動特性の把握を行った。その結果、地下水位低下により地盤剛性が変化すること、そのために地震動増幅特性が若干変化すること等の新たな知見を得た。一方、千葉市によるモデル地区での液状化対策本格実施のための住民合意獲得を支援するため、住民に対する技術的観点からの説明会を実施した。結果的には、高い住民合意（85%程度）を得ることができた。この点に関し、自治体によっては住民合意の獲得に失敗する例もある中で、成功例としてテレビ報道された。

次年度はいよいよ液状化対策が本格的に実施される予定であるが、引き続き円滑な実施のための技術的な支援を継続するとともに、住民が地下水位低下による液状化抑止効果を理解するための方法論についても検討を行う予定である。