東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた 地盤改良に関する調査報告書

一般社団法人 セメント協会

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、海溝型大規模地震で主要動が長時間継続した。そのため、千葉県浦安市のように震源から遠く離れた地域においても液状化による大きな被害が発生したように、被害が広範囲で非常に多くの場所で生じた。さらに、地震動被害と巨大な津波による被害が複合するなど、震災の規模・内容は内陸型活断層地震とは大きく異なっていた。

被害状況の調査は学術団体、業界団体でも精力的に進められ、情報収集や現象の分析と解析、将来への提言などが発表されている。

今般、社団法人セメント協会では、セメント系固化材技術専門委員会・セメント系固化材普及専門委員会のもとに震災調査 WG を組織し、被災地域においてセメント系固化材を用いて施工された改良地盤の被害状況調査を実施した。セメント系固化材を用いた地盤改良は、これまでも数多くの工事に多様な改良目的で適用されてきており、その改良効果が実証されている。さらに地震時の液状化の抑制効果に関しても兵庫県南部地震において明らかになっている。このように多くの使用実績があることから、東北地方太平洋沖地震におけるセメント系固化材処理地盤ならびに改良地盤上の構造物などの地震被害調査を計画したものである。

今回、目視による外観調査が中心ではあるが、東北地方から関東地方までの計 72 件の調査結果をまとめた。また、調査対象構造物は、戸建住宅、集合住宅、堤防にまで多岐にわたっている。さらに、各種機関・団体による調査および文献に見られる調査結果の一部も取りまとめた。調査結果から、いずれの地域、構造物でも、セメント系固化材による地盤改良を実施し、建設された上部構造物にはほとんど変状は生じていないことが確認された。また、液状化対策としての格子状深層混合処理地盤に関しても、兵庫県南部地震でその有効性が確認されているが、今回の地震においても多くの構造物でその有効性が確認されている。その一方で、戸建住宅や低層住宅などの地盤改良工事を実施していない構造物は非常に大きな被害を受けており、地盤改良の重要性・有効性を再認識することとなった。このような調査結果は、今後セメント系固化材による地盤改良を計画、設計、施工する上で貴重な資料になるものと考えられる。

セメント系固化材を用いた地盤改良工法は、軟弱地盤の支持力の増強や地盤変形の防止のみでなく、 液状化対策工法としても有効な工法であることが実証された。今後、戸建住宅や低層住宅などにも、 セメント系地盤改良工法の普及が図られるよう、材料の改良・開発や小型の施工機械の開発、経済性 の検討を期待したい。

2012年12月20日

セメント系固化材技術専門委員会 セメント系固化材普及専門委員会 震災調査ワーキンググループ 主査 北誥 昌樹

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は、マグニチュード9.0と我が国の観測史上最大であり長時間振動が継続したことに加えて余震が多発し広い範囲で被害が生じた。さらに、巨大津波により東北から関東、四国にかけた太平洋沿岸域で甚大な被害を引き起こした。

また、揺れが大きく継続時間が長かったことから液状化による被害が広範囲におよんだことも今回 の地震の特徴である。

社団法人セメント協会では、これまで、軟弱な地盤上に構造物を建設する際の安定化のためにセメント系固化材を用いた地盤改良工法の有効性を確認しつつ普及を図ってきた。

1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震の際にも、地盤改良が適用された構造物の調査を実施し、被害の状況を確認して報告書(「阪神・淡路大震災地盤改良調査報告書」)にまとめ、セメント系固化材による地盤改良の耐震への有効性を PR してきた。

今回の地震発生後においても、東北地方太平洋沖地震に対する、改良地盤上の構造物ならびに地盤の安定性を確認する事を目的に、震災調査 WG(主査:東京工業大学 北誥昌樹教授)を設置した。調査は、セメントメーカー各社へのアンケート、関係各署へのヒアリングを行い、その結果を基に現地調査を実施した。

地震による被害調査と合わせて、復旧・復興工事においてセメント系固化材が利用されている状況 についても調査した。

調査数は72件で、その内、代表的な適用例として詳細報告5件、概要報告6件、復旧・復興事例2件を具体的に紹介した。

また、国土交通省、学会等から公表されている調査結果の提供を受けるとともに文献に示された事例も引用して震災直後の状況も整理した。

今回の震災調査により、地盤改良の耐震に対する有効性が優れていることを確認することが出来た。 ただし、液状化において、所定の深さまで改良がなされていない場合には地盤改良の有効性が認められないケースがあった。これは、改良の目的が、液状化を目的とせず従来の支持力確保、沈下低減であることが原因であり、今後、液状化を考慮した設計・施工が必要である事を示唆していると思われる

本報告が、構造物の建設、管理にかかわる方々の参考になれば幸いである。また、調査実施にあたり、ご協力いただきました関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

最後に被災地の速やかな復旧・復興を心からお祈り申し上げます。

セメント系固化材技術専門委員会 セメント系固化材普及専門委員会 震災調査ワーキンググループ

セメント系固化材技術専門委員会・セメント系固化材普及専門委員会 震災調査ワーキンググループ

名 簿

主 査 北誥 昌樹 東京工業大学

技術委員長 近藤 秀貴 住友大阪セメント株式会社

普及委員長 金城 徳一 宇部三菱セメント株式会社

委 員 柳原 勝也 株式会社 トクヤマ

斎藤 準護 太平洋セメント株式会社

久家 立 株式会社 デイ・シイ

根本 佳則 日立セメント株式会社

杉山 和久 住友大阪セメント株式会社

事務局 佐藤智泰 社団法人 セメント協会

小宮山慎一郎 社団法人 セメント協会

中村 弘典 社団法人 セメント協会

目 次

1.	地震の概要	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2
2.	地震による地盤および構造物の被害	丰米	況		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6
2.	1 地震動による被害	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	7
2.	2 巨大津波による被害	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	1
3.	セメント系固化材を用いた地盤改良	臭に	.関	す	る	調	查		•	•	•	•	•	•	1	3
3.	1 調査方法	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	3
3.	2 調査結果	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	4
3.	3 調査結果の分析	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	8
4.	セメント系固化材による地盤改良の	の耐	擅	效	果	:	•	•	•	•	•	•	•	•	2	3
4.	1 仙台空港	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2	4
4.	2 鳴瀬川河川堤防	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2	7
4.	3 ふくしま海洋科学館(アクアマ	マリ	ン	Š	<	L	ま)		•	•	•	•	•	3	0
4.	4 浦安市舞浜の立体駐車場・劇場	昜	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3	3
4.	5 浦安市クリーンセンター 再資	資源	化	施	設			•	•	•	•	•	•	•	3	6
4.	6 その他の適用事例	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4	0
5.	震災復旧・復興における地盤改良	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	5	1
5.	1 震災廃棄物処理施設設置のため	りの)地	盤	改	良		•	•	•	•	•	•	•	5	1
5.	2 排水管路の復旧工事	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	5	5
6.	セメント系固化材を用いた地盤改良	臭へ	(D)	期	待	Ė	•	•	•	•	•	•	•	•	5	8
資料	セメント系固化材を用いた地盤改良	复と	改	良	. 効	果		•	•	•	•	•	•	•	6	3
1	セメント系固化材を用いた地盤改良	包の	效	果	:	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6	3
2	下水管路施設の液状化被害と対策	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6	7
3	宅地地盤の液状化と地盤改良	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	7	3
謝辞		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	7	8

1. 地震の概要

東北地方から関東地方に至る広域で未曾有の被害(東日本大震災)をもたらした地震の概要を示す。

(1) 地震の名称 : 東北地方太平洋沖地震

(2) 発生年月日 : 2011年3月11日(金)

(3) 発生時刻 : 14 時 46 分 18 秒

(4) 震 央 : 太平洋 三陸沖 (東経 142° 51'36" 北緯 38° 6'12")

(5) 震源の深さ : 24km(6) マグニチュード : 9.0

(7) 最大震度 : 震度7(宮城県栗原市)

(8) 震度分布 : 気象庁発表の震度分布を図1.1に示す。

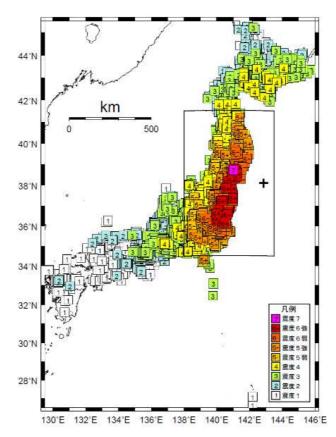


図 1.1 震度分布 (気象庁)

(9) 地震波形

気象庁による地震波形の観測で最も大きい震度 6 強を記録した宮城県大崎市古川三日町の結果を 図1.2 に示す。

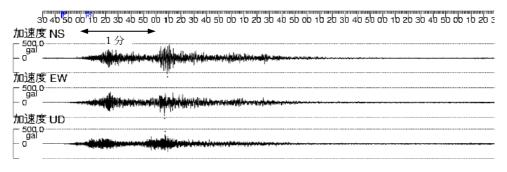


図 1.2 宮城県大崎市古川三日町の地震波形 (気象庁 強震波形)

(10) 地震の特徴

前述の内容も含め東北地方太平洋沖地震の特徴を以下にまとめる。

- ① マグニチュードが 9.0 と最大級である(1995 年兵庫県南部地震: M7.9、1960 年チリ地震: M9.5、1964 年アラスカ地震: M9.2、2004 年インドネシア・スマトラ地震 M9.1)。
- ② 震源域は余震も含めると、太平洋プレート境界およびその領域に近い太平洋プレート内・陸側のプレート内で、岩手県沖から千葉県房総半島沖まで約 640km の広範囲にわたる(図 1.3)。
- ③ 図1.2 に示したように、継続時間が2分を超える。兵庫県南部地震が30秒以内であるのと比較して非常に長い。
- ④ 長周期地震動が到達し東京都内や震度3の大阪市でも高層ビルに大きな揺れが生じた。
- ⑤ 広範囲で地盤の液状化が発生し、戸建住宅や地中埋設管の被害が多発した(表1.1、図1.4)。
- ⑥ 震源に近い沿岸部が震源方向に変動し、地盤沈下が広域で発生した(図1.5)。
- ① 巨大津波が発生し、浸水高さは最大で 27m に達し、甚大な被害をもたらす原因となった(図 1.6、図 1.7)。

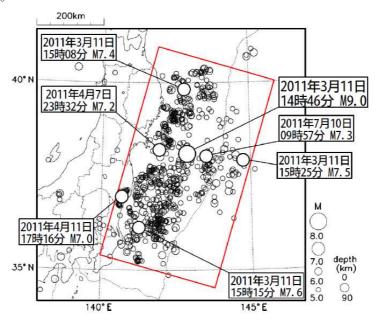


図 1.3 震源域の分布 (気象庁 余震活動領域について)

表 1.1 液状化による住宅被害数 1)

都道府県	被害住宅数(棟)
岩手県	3
宮城県	140
福島県	1043
茨城県	6751
群馬県	1
埼玉県	175
千葉県	18674
東京都	56
神奈川県	71
合 計	26914



図 1.4 関東地方の液状化発生分布 2)

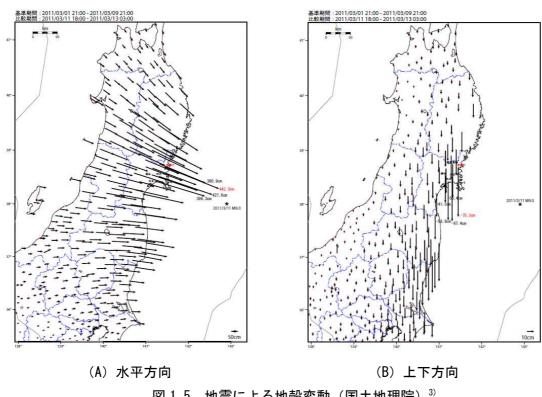


図 1.5 地震による地殻変動(国土地理院)3)

(11)津波の規模と影響範囲

マグニチュード 9.0 の地震により、巨大津波が発生し甚大な被害をもたらすこととなった。図 1.6 に各地の検潮所における潮位観測結果を示す。岩手から福島の潮位は観測限界(8.0~9.3m)を超え る値となり、四国や九州においても 0.7m 以上の潮位が観測された。四国では 2.5m 以上の潮位が観 測された地点もあった。図1.7に青森から千葉に至る地域で調査された津波の痕跡による浸水高、遡 上高(駆け上がった高さ)を示す。浸水高さは最大で27m、遡上高さは34mに達している。

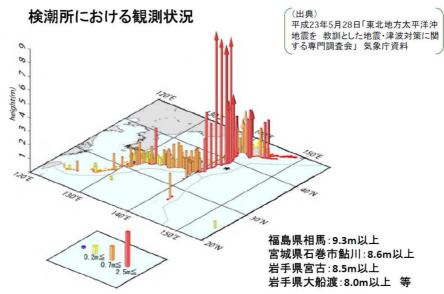


図 1.6 潮位観測結果

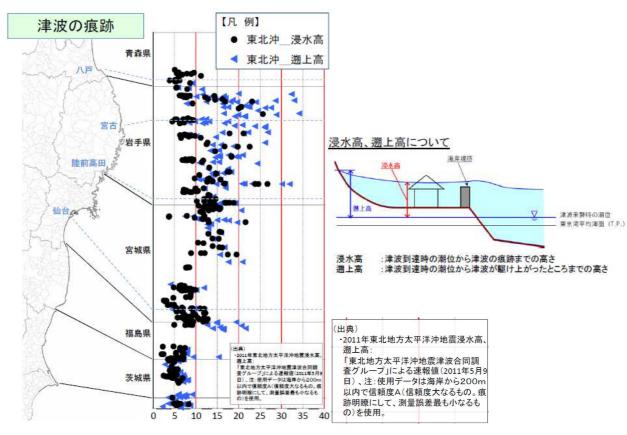


図 1.7 津波の浸水高と遡上高

【参考文献】

- 1) 公益社団法人地盤工学会 平成 23 年度学会提言の検証と評価に関する委員会: 地震時における地盤災害の課題と対策 2011 年東日本大震災の教訓と提言(第二次), p.8, 2012.6
- 2) 国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会: 東北地方太平洋沖地震による関東地方 の地盤液状化現象の実態解明報告書,平成23年8月
- 3) 国土交通省国土地理院:2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下調査

2. 地震による地盤および構造物の被害状況

本章では、地盤および構造物の代表的な被害状況を公表された資料から抽出して示す。抽出した場所を**図 2.1** に示す。これらの被害場所を確認することにより、自然地盤や人工(造成)地盤の安定化、改良を考える一助とすることができる。

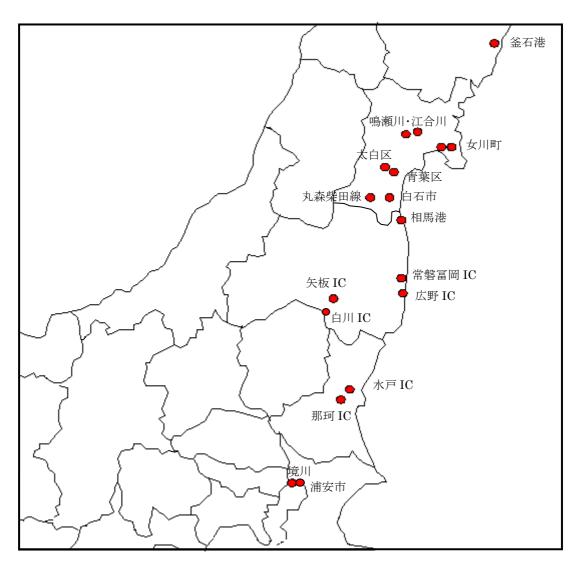


図 2.1 公表された資料から被害事例を抽出した場所

2. 1 地震動による被害

(1)造成地の被害

造成地では、広域的な滑動による地盤変状に起因する家屋被害が極めて多く発生した。また、1978年宮城県沖地震で被災した同じ場所で再びすべりが発生したケースが多く見受けられた 1),2)。



写真 2.1.1 白石市内の公園における噴砂 1)



写真 2.1.2 白石市内造成地の滑り1)



写真 2.1.3 仙台市内造成地の亀裂 1)



写真 2.1.4 仙台市内造成地の中腹部における ブロック崩壊の様子 ¹⁾



(A) 法面崩壊の全景



(B) すべり土塊より滑落崖方向



(C) 滑落崖周辺の住宅

写真 2.1.5 福島市内団地の造成盛土崩壊状況 1)

(2) 河川堤防の被害

河川堤防では、堤体の中央部の大きな陥没やすべりなどの被害が発生した。また、のり尻に噴砂が 見られ、広く液状化が発生している箇所もあった。さらに、取付け盛土が大きく崩壊している箇所も あった¹⁾。



写真 2.1.6 鳴瀬川左岸国土交通省管轄区間 より上流 0.6km の被害¹⁾



写真 2.1.7 志田橋右岸取付け盛土の被害 1)



写真 2.1.8 江合川左岸 21km~21.2km の被害 1)



写真 2.1.9 江合川右岸 19.9km 堤内地で広く 発生した噴砂¹⁾



写真 2.1.10 吉田川 16.8km の被害¹⁾



写真 2.1.11 吉田川 16.8km の小段の噴砂¹⁾

(3) 道路の被害

高速道路では、道路本体・路面の崩落、道路本体の大規模クラックおよび路面の陥没・段差等の被害が発生した³⁾。一般道においても、高速道路と同様の被害が発生した⁴⁾。



写真 2.1.12 常磐道 水戸~那珂(上り線) 道路本体・路面の崩落 ³⁾



写真 2.1.13 東北道 白河〜矢吹(上り線) 大規模クラック³⁾



写真 2.1.14 常磐道 広野~常磐富岡(上下線) 路面の段差 ³⁾



写真 2.1.15 丸森柴田線の被害 4)



写真 2.1.16 (主)古川一迫線の被害 4)



写真 2.1.17 国道 398 号の被害 4)

(4) 液状化による施設被害

青森県から神奈川県にわたり、震度 5 を観測した地域を中心に広い範囲で液状化現象が確認された。それに伴い、家屋、電柱等の沈下や傾斜、下水道等の地下構造物の損壊、マンホールの浮き上り等が数多く発生した²⁾。

液状化による被害が大きかった浦安市においては、1960年代より2期にわたり埋立て造成した中町、新町地区のほぼ全域において液状化現象が発生した。これより、戸建住宅の沈下傾斜、大・中規模建築物の周辺地盤の沈下、道路の路面変状、下水道の管路・マンホールの被害などが発生した5。





写真 2.1.19 大・中規模建築物の被害 5)

写真 2.1.18 小規模建築物・戸建住宅地区の被害 5)



写真 2.1.20 道路・通路の被害 5)



写真 2.1.21 耐震性貯水槽・下水道施設等 の被害⁵⁾



写真 2.1.22 河川護岸、道路の被害 5)



写真 2.1.23 河川護岸、道路の被害 5)

2. 2 巨大津波による被害

津波防御施設は、津波の高さが想定高さを超えるまでは機能していたが、その多くは津波が超えてから越流による浸食や洗掘等によって基礎地盤とともに崩壊した⁶⁾。

津波防御施設以外の港湾構造物も巨大津波による被害を受けた。また、津波シェルターとして期待された鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建物が、杭ごと引き抜かれて流されるケースも見られた¹⁾。





写真 2.2.1 釜石港の津波による防波堤の被害 6)





写真 2.2.2 相馬港における矢板式岸壁の被害 6)

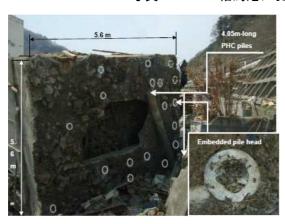




写真 2.2.3 横倒しになった構造物のフーチング基礎および 当初の場所に残る引き抜けた杭(女川町)¹⁾

【参考文献】

- 1) 公益社団法人土木学会地震工学委員会:土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書,平成23年5月9日
- 2) 公益社団法人土木学会・公益社団法人日本都市計画学会・公益社団法人地盤工学会東日本大 震災 第一次総合調査団:東日本大震災 第一次総合調査団中間とりまとめ(案), 2011年4月
- 3) 東日本高速道路(株): プレスリリース 東北地方太平洋沖地震による高速道路の被害と復旧 状況について、平成23年3月18日
- 4) 宮城県土木部:東日本大震災 1年の記録~みやぎの住宅・社会資本再生・復興の歩み~, 平成24年3月
- 5) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会 公益社団法人地盤工学会・公益社団法人土木学会・ 一般社団法人日本建築学会:平成23年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書,平成24年3 月
- 6) 公益社団法人地盤工学会平成23年度学会提言の検証と評価に関する委員会:地震時における 地震災害の課題と対策 2011年東日本大震災の教訓と提言(第一次), 2011年7月

3. セメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査

3. 1 調査方法

本調査は、セメント系固化材により地盤改良された構造物において地盤改良効果を確認するため、セメントメーカー各社へのアンケート、関係各署へのヒアリングおよび文献調査を実施し、図 3.1.1 に示す調査表に記載した。調査表では、改良場所や改良目的のほかに、目標強度や固化材添加量といった改良体の仕様、改良規模、さらに被害状況などを記入項目とした。

調査表の記載結果をもとに、代表的な物件を抽出し、対象構造物の被害状況を現地調査した。調査 方法は目視観察とした。地震に対する地盤改良の効果については、上部構造物の被害の有無や地盤改 良された場所と周辺の未改良の場所とを比較することで判定した。

東日本大震災調査表

セメント系固化材技術専門委員会セメント系固化材普及専門委員会

調査日 年 月 日 (※必ずご記入下さい)

	, , , , , , , , , ,	7 7 7 7 7 7 7 7	
社名		担当者	
所属		TEL	

			<u>-</u>					
件名·施主·施工業	者							
場所		市		区		町		
改良内容	1. 浅層改.	桟層改良 2. 中深層改良 3. その他						
改良目的								
	浅層	1. バックホウ 2. スタビタイザー 3. その他()						
エー法	中深層	1. 機械撹拌系(a. 粉体系 b. スラリー系) 工法名() 2. 高圧噴射系 工法名() 3. SMW 系 4. その他()						
対象土	1. 砂質土	2. シルト質土	3. 粘性土	. 4. 腐植	土 5. 底泥	6. その他	()
目標強度		kN/m²	改	良規模	面積(m²)	深度(m)
固化材種類※		固	化材添加量	ţ	kg/m^3	施工時期	1	
【被害状況】(複数回]答可)							
上部構造物	1. 被害無	2. 変形 3. 亀	2裂 4. 一部	『破壊 5	. 全破壊 6.	その他()
地 盤	1. 被害無	2. 変形 3. 亀	2裂 4. 一日	『破壊 5	. 全破壊 6.	その他()
液状化現象	1. 有り :	2. 無し						
現場概略図		也点・付近の柱 節囲を明記して				てください。		
隣接地(未改良地)と比較した改良の効果 1. 顕著である 2. ややみられる 3. あまりみられない 4. みられない 【詳細な状況】								
備考								

- ※セメント系固化材以外でも可
- ○被害状況の写真撮影をお願いいたします(施工直後の写真もあれば添付してください)
- ○添付写真の有無について(有無)

3. 2 調査結果

調査物件の概要ならびに被害状況などの調査結果を**表 3.2.1** に示す。地盤改良された構造物が 68件 (No.1 \sim 68)、復旧・復興工事が 4件 (No.69 \sim 72) である。

表 3.2.1 調査結果(その1-1)

		12 0. 2. 1	地盤改良工法の概要			
No.	所在地	構造物の種類	浅層	中深層	改良目的	代表対象土
1	岩手県磐井郡	堤防横断排水樋管		○11.0~22.8m	沈下低減·液状化対策	砂質土・粘性土
2	岩手県磐井郡	堤防横断排水樋管		○15. 2~24. 1m	沈下低減·液状化対策	砂質土・粘性土
3	宮城県遠田郡	木間塚下流地区築堤		○2.5~8m	支持力·液状化対策	砂質土
4	宮城県大崎市	鳴瀬川鹿島台築堤		○32m	橋台側方流動防止	砂質土・シルト・粘性土
5	宮城県仙台市	仙台市高速鉄道		0	地盤の安定化	シルト・粘性土
6	宮城県仙台市	仙台市高速鉄道		0	地盤の安定化	シルト・粘性土
7	宮城県名取市	仙台空港		○4.5m	液状化対策	シルト・細砂
8	福島県いわき市	ふくしま海洋科学館		○11.85m	液状化対策	砂質土・砂
9	茨城県ひたちなか市	機械工場		○3~7m	支持力確保	砂質土
10	茨城県ひたちなか市	戸建住宅		○3.5m	支持力確保	粘性土
11	茨城県神栖市	戸建住宅	0		支持力·沈下低減	砂質土
12	茨城県鉾田市	店舗		○2m	支持力確保	シルト
13	茨城県鹿嶋市	店舗		○4.5m	支持力確保	砂質土
14	茨城県笠間市	戸建住宅	0		支持力確保	粘性土
15	茨城県笠間市	戸建住宅		0	支持力確保	粘性土
16	茨城県水戸市	戸建住宅		○5m	支持力確保	シルト
17	茨城県水戸市	戸建住宅	0		支持力確保	粘性土
18	茨城県水戸市	戸建住宅		○5m	支持力確保	シルト
19	茨城県土浦市	戸建住宅		○7.5∼8m	支持力確保	シルト
20	茨城県大洗町	戸建住宅		○4m	支持力確保	砂質土
21	茨城県大洗町	大洗水族館		○1.3~5.4m	沈下低減·液状化対策	砂質土
22	茨城県大洗町	大洗水族館プロムナード部		○8.7~9.9m	沈下低減·液状化対策	砂質土
23	茨城県大洗町	国際研究開発センター		○2m	支持力·沈下低減	ローム・細砂
24	茨城県利根町	高規格堤防		○29.8~35.5m	液状化対策	細砂・シルト質細砂
25	千葉県浦安市	戸建住宅		○6m	支持力確保	砂質土·粘性土
26	千葉県浦安市	高層マンション		○4.5m	支持力·液状化対策	砂質土
27	千葉県浦安市	高層マンション		○7.5~13.9m	液状化対策·山留	砂質土
28	千葉県浦安市	戸建住宅		○4.5m	支持力·液状化対策	砂質土・シルト
29	千葉県浦安市	配送センター		○6~6.7m	支持力確保	砂質土・シルト
30	千葉県浦安市	工場		○3.7~5.3m	支持力確保	砂質土・シルト
31	千葉県浦安市	公園内の倉庫		○7m	支持力確保	砂質土・シルト
32	千葉県浦安市	幼稚園		○9.9m	液状化対策	砂質土・シルト
33	千葉県浦安市	クリーンセンター		○7.2~13m	液状化対策·山留	砂質土・シルト
34	千葉県浦安市	立体駐車場		○14m	液状化対策	砂質土・シルト
35	千葉県浦安市	劇場		○14m	液状化対策	砂質土・シルト
36	千葉県浦安市	複合施設		○8m	支持力確保	砂質土

表 3.2.1 調査結果 (その1-2)

日標鏡度 a, F, (kk/m²)		表 3. 2. 1 調査結果(その1-2)									
(kN/m²)	.,	 目標強度 <i>a</i> 、 <i>F</i> 。		固化材添加量·W/C					掲載		
13	No.		固化材種類		上部構造物 の変状	地盤 の変状	液状化 の発生	未改良部 との差	箇所		
130~140 汎用圏化材 60~90 無 無 有 有 4.2 参照 4 300 高声B 300 無 無 無 無 無 無 無 無 無	1	500	高炉 B	170~295.80	無	有	不明	無	4.6.1 参照		
1	2	500	汎用固化材	80~228.80	無	有	不明	無	4.6.2 参照		
5 500 高炉B 不明 不明 無 無 無 6 224 高炉B 不明 不明 無 無 無 7 1000,3000 専用固化材 不明 無 有 有 不明 4.1 参照 8 130~140 汎用固化材 不明 無 有 有 不明 4.3 参照 8 130~140 汎用固化材 300 無 無 無 無 所 不明 10 600 汎用固化材 300 無	3	130~140	汎用固化材	60~90	無	無	有	有	4.2 参照		
6 224 高炉B 不明 不明 無 無 無 無 無 1000,3000 専用圏化材 不明 無 有 有 不明 4.1参照 8 130~140 汎用固化材 不明 無 有 有 有 不明 4.1参照 9 1200 高炉B 240 無 無 無 無 無 無 無 無 無	4	300	高炉 B	300	無	無	無	無			
7 1000,3000 専用圏化材 不明 無 有 有 不明 4.1参照 8 130~140 汎用圏化材 不明 無 有 有 不明 4.3参照 9 1200 高炉B 240 無 無 無 不明 4.3参照 10 600 汎用固化材 300 無	5	500	高炉 B	不明	不明	無	無	無			
8 130~140 汎用固化材 不明 無 有 有 不明 4.3 参照 9 1200 高炉B 240 無 無 無 不明 不明 10 600 汎用固化材 300 無 無 無 無 11 150 汎用固化材 300 無 無 無 13 600 (F) 汎用固化材 300 無 無 無 14 150 汎用固化材 300 無 無 無 15 600 汎用固化材 300 無 無 無 16 600 (F) 汎用固化材 250 無 無 無 17 150 汎用固化材 250 無 無 無 18 600 汎用固化材 250 無 無 無 20 600 (F) 汎用固化材 250 無 無 無 21 1000 (F) 汎用固化材 250 無 無 無 22 1000 (F) 汎用固化材 250·100 無 不明 不明 不明 22 1000 (F) 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 24 不明 高有機質 有 有 <td>6</td> <td>224</td> <td>高炉 B</td> <td>不明</td> <td>不明</td> <td>無</td> <td>無</td> <td>無</td> <td></td>	6	224	高炉 B	不明	不明	無	無	無			
9 1200 高炉B 240 無 無 無 不明 10 600 汎用固化材 300 無 無 無 無 11 150 汎用固化材 120 有 有 有 無 12 600 (F) 汎用固化材 300 無 無 無 13 600 (F) 汎用固化材 300 無 無 無 14 150 汎用固化材 300 無 無 無 15 600 汎用固化材 300 無 無 無 16 600 (F) 汎用固化材 250 無 無 無 18 600 汎用固化材 250 無 無 不明 19 600 汎用固化材 250 無 無 不明 20 60 (F) 汎用固化材 250 無 無 無 21 1000 (F) 汎用固化材 250・100 無 不明	7	1000, 3000	専用固化材	不明	無	有	有	不明	4.1 参照		
10 600 汎用固化材 300 無 無 無 無 無 無 150 汎用固化材 120 有 有 有 有 無 無 無 無 無 無	8	130~140	汎用固化材	不明	無	有	有	不明	4.3 参照		
11 150 汎用固化材 120 有 有 有 無 無 12 600(F) 汎用固化材 300 無 無 無 無 13 600(F) 汎用固化材 300 無 無 無 無 14 150 汎用固化材 120 無 無 無 無 15 600 汎用固化材 300 無 無 無 無 16 600(F) 汎用固化材 250 無 無 無 無 18 600 汎用固化材 120 無 無 無 無 19 600 汎用固化材 250 無 無 無 不明 19 600 汎用固化材 250 無	9	1200	高炉 B	240	無	無	無	不明			
12 600 (F _c) 汎用固化材 300 無 無 無 無 無 無 無 無 無	10	600	汎用固化材	300	無	無	無	無			
13 600 (子) 汎用固化材 300 無	11	150	汎用固化材	120	有	有	有	無			
14 150 汎用固化材 120 無 無 無 無 無 無 無 無 無	12	600 (F _c)	汎用固化材	300	無	無	無	無			
15 600 汎用固化材 300 無 無 無 無 無 有 16 600(F _c) 汎用固化材 300 無 有 無 有 有 17 150 汎用固化材 250 無 無 無 無 無 無 無 無 無	13	$600 (F_c)$	汎用固化材	300	無	無	無	無			
16 600 (F _c) 汎用固化材 300 無 有 無 有 17 150 汎用固化材 250 無 無 無 無 18 600 汎用固化材 120 無 無 無 無 不明 19 600 汎用固化材 250 無 無 無 不明 20 600 (F _c) 汎用固化材 300 有 有 無 無 不明 21 1000 (F _c) 汎用固化材 250·100 無 有 不明 五 有	14	150	汎用固化材	120	無	無	無	無			
17 150 汎用固化材 250 無 無 無 無 無 無 所 120 無 無 無 無 無 所 不明 19 600 汎用固化材 250 無 無 無 無 無 不明 20 600(F _c) 汎用固化材 300 有 有 無 無 無 無 無 無 無 無	15	600	汎用固化材	300	無	無	無	無			
18 600 汎用固化材 120 無 無 無 不明 19 600 汎用固化材 250 無 無 無 不明 20 600(F _c) 汎用固化材 300 有 有 無 無 21 1000(F _c) 汎用固化材 250·100 無 不明 不明 不明 不明 22 1000(F _c) 汎用固化材 250·100 無 不明 不明 不明 23 1200(F _c) 汎用固化材 300·60 無 不明 不明 不明 24 不明 高有機質士 166·80 無 有 有 有 25 800 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 250·80 無 有 有 有 29 1200 (g _{ct}) 汎用固化材 250·60 無 有	16	600 (F _c)	汎用固化材	300	無	有	無	有			
19 600 汎用固化材 250 無 無 無 無 不明 20 600 (F _c) 汎用固化材 300 有 有 無 無 無 無 21 1000 (F _c) 汎用固化材 250·100 無 有 不明 不明 不明 不明 不明 不明 不明	17	150	汎用固化材	250	無	無	無	無			
20 600 (F _c) 汎用固化材 300 有 有 無 無 21 1000 (F _c) 汎用固化材 250·100 無 有 不明 不明 不明 22 1000 (F _c) 汎用固化材 250·100 無 不明 不明 不明 23 1200 (F _c) 汎用固化材 300·60 無 不明 不明 不明 24 不明 高有機質士 166·80 無 有 有 有 25 800 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 28 1600 (G _c) 汎用固化材 250·80 無 有 有 有 29 1200 (G _{ot}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _{ot}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 有 32 1481 (q _{ot}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 有	18	600	汎用固化材	120	無	無	無	不明			
21 1000(F _c) 汎用固化材 250·100 無 有 不明 不明 4.6.3 参照 22 1000(F _c) 汎用固化材 250·100 無 不明 不明 不明 23 1200(F _c) 汎用固化材 300·60 無 不明 不明 不明 24 不明 高有機質土 166·80 無 有 有 不明 4.6.5 参照 25 800 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 250·80 無 有 有 有 28 1600 (q _u) 汎用固化材 250·80 無 有 有 有 29 1200 (q _u) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _u) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _u) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有	19	600	汎用固化材	250	無	無	無	不明			
22 1000 (F _c) 汎用固化材 250·100 無 不明 不明 不明 23 1200 (F _c) 汎用固化材 300·60 無 不明 不明 不明 24 不明 高有機質土 166·80 無 有 有 不明 4.6.5 参照 25 800 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 250·80 無 有 有 28 1600 (q _{ut}) 汎用固化材 250·80 無 有 有 29 1200 (q _{ut}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _{ut}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 有 32 1481 (q _{ut}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 4.4.4.1 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.4.2 参照	20	$600 (F_{c})$	汎用固化材	300	有	有	無	無			
23 1200 (F _c) 汎用固化材 300·60 無 不明 不明 不明 24 不明 高有機質土 166·80 無 有 有 不明 4.6.5 参照 25 800 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 不明 無 有 有 有 28 1600 (q _{ur}) 汎用固化材 250·80 無 有 有 有 29 1200 (q _{ur}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _{ur}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 有 32 1481 (q _{ur}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 有 4.4.4.1 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 有 4.4.4.2 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80	21	$1000 (F_{c})$	汎用固化材	250 • 100	無	有	不明	不明	4.6.3 参照		
24 不明 高有機質土 166·80 無 有 有 不明 4.6.5参照 25 800 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 不明 無 有 有 有 28 1600 (q _{uf}) 汎用固化材 250·80 無 有 有 有 29 1200 (q _{uf}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _{uf}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 有 32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.5参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 有 4.4.1参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.4.2参照	22	$1000(F_{c})$	汎用固化材	250 • 100	無	不明	不明	不明			
25 800 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 不明 無 有 有 有 28 1600 (q _{uf}) 汎用固化材 250·80 無 有 有 29 1200 (q _{uf}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 31 2400 (q _{uf}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 4.4.1 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	23	$1200 (F_{c})$	汎用固化材	300.60	無	不明	不明	不明			
26 不明 汎用固化材 250·100 無 有 有 有 27 500 (F _c) 汎用固化材 不明 無 有 有 有 28 1600 (q _{uf}) 汎用固化材 250·80 無 有 有 有 29 1200 (q _{uf}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _{uf}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 有 32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 4.4.5 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	24	不明	高有機質土	166.80	無	有	有	不明	4.6.5 参照		
27 500 (F _c) 汎用固化材 不明 無 有 有 28 1600 (q _{uf}) 汎用固化材 250·80 無 有 有 29 1200 (q _{uf}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 31 2400 (q _{uf}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50, 150·100 無 有 有 有 4.5 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	25	800 (F _c)	汎用固化材	250.60	無	有	有	有			
28 $1600 (q_{uf})$ 汎用固化材 $250 \cdot 80$ 無 有 有 有 有 $250 \cdot 80$ 無 有 有 有 有 $250 \cdot 80$ 無 有 有 有 有 $250 \cdot 60$ 無 有 有 有 有 有 $250 \cdot 60$ 無 有 有 有 有 $250 \cdot 60$ 和用固化材 $200 \cdot 80$ 無 有 有 有 有 4.4.1 参照 $250 \cdot 80$ 無 有 有 有 有 4.4.1 参照 $250 \cdot 80$ 無 有 有 有 有 4.4.2 参照 $250 \cdot 80$ 無 有 有 有 有 4.4.2 参照	26	不明	汎用固化材	250 • 100	無	有	有	有			
29 1200 (q _{uf}) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _{uf}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 有 32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50, 150·100 無 有 有 有 4.4.5 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	27	$500 (F_{c})$	汎用固化材	不明	無	有	有	有			
30 600 (F _c) 汎用固化材 250·60 無 有 有 有 31 2400 (q _{uf}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 有 32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 有 4.5 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	28	1600 $(q_{\rm uf})$	汎用固化材	250.80	無	有	有	有			
31 2400 (q _{uf}) 汎用固化材 330·80 無 有 有 32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 4.5 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	29	$1200(q_{ m uf})$	汎用固化材	250.60	無	有	有	有			
32 1481 (q _{uf}) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 有 4.5 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	30	$600(F_{c})$	汎用固化材	250.60	無	有	有	有			
33 1800 (F _c) 汎用固化材 50,150·100 無 有 有 有 4.5 参照 34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	31	$2400(q_{\rm uf})$	汎用固化材	330.80	無	有	有	有			
34 1800 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.1 参照 35 1500 (F _c) 汎用固化材 200·80 無 有 有 有 4.4.2 参照	32	$1481\overline{(q_{\mathrm{uf}})}$	汎用固化材	200 • 80	無	有	有	有			
35 1500(F _c) 汎用固化材 200・80 無 有 有 4.4.2参照	33	1800 (F _c)	汎用固化材	50, 150 • 100	無	有	有	有	4.5 参照		
	34	1800 (F _c)	汎用固化材	200.80	無	有	有	有	4.4.1 参照		
36 1200 汎用固化材 250 無 無 有	35	1500 (F _c)	汎用固化材	200.80	無	有	有	有	4.4.2 参照		
1	36	1200	汎用固化材	250	無	無	無	有			

※汎用固化材:一般軟弱土用固化材と特殊土用固化材を総称したもの

表 3.2.1 調査結果 (その2-1)

	表 3. 2. I 調食結果(その2-1) 									
No.	所在地	構造物の種類		地盤改良	L法の概要	 - 代表対象土				
110.	17171ユュチビ		浅層	中深層	改良目的	1/44/1				
37	千葉県浦安市	商業施設 (S造1階)		○8m	支持力·沈下低減	シルト・細砂				
38	千葉県浦安市	集合住宅(S造3階)		○3m	支持力·沈下低減	砂質シルト・細砂				
39	千葉県浦安市	集合住宅 (RC 造 3 階)		○8m	支持力·沈下低減	砂質シルト				
40	千葉県浦安市	集合住宅(S造2階)		○11m	支持力·沈下低減	砂質シルト・細砂				
41	千葉県浦安市	戸建住宅 (S造3階)		○8m	支持力·沈下低減	シルト・細砂				
42	千葉県浦安市	駅前スロープ(RC 造)		○13m	支持力·沈下低減	砂質シルト・細砂				
43	千葉県浦安市	事務所 (S造1階)		○10m	支持力·沈下低減	砂混じりシルト・粘土				
44	千葉県浦安市	戸建住宅(WRC造2階)		○5m	支持力·沈下低減	シルト混じり細砂・細砂				
45	千葉県浦安市	集合住宅 (RC 造 4 階)		○7m	支持力·沈下低減	シルト・細砂				
46	千葉県浦安市	戸建住宅(RC 造 3 階)		○15m	支持力·沈下低減	シルト・中砂、砂質シルト				
47	千葉県浦安市	集合住宅(S造3階)		○7m	支持力·沈下低減	細砂・シルト混じり細砂				
48	千葉県浦安市	集合住宅(S造3階)		○13.5m	支持力·沈下低減	シルト混じり細砂				
49	千葉県浦安市	幼稚園(RC 造 3 階)		○12m	支持力·沈下低減	シルト・細砂				
50	千葉県浦安市	集合住宅(S造4階)		○6m	支持力·沈下低減	粘土・砂質粘土				
51	千葉県浦安市	介護施設 (S造3階)		○10m	支持力·沈下低減	シルト・シルト質細砂				
52	千葉県浦安市	戸建住宅(WRC造2階)		○7m	支持力·沈下低減	砂質シルト・細砂				
53	千葉県浦安市	付帯施設(RC 造 1 階)		○13m	支持力·沈下低減	砂質シルト・細砂				
54	千葉県浦安市	幼稚園(RC 造 1 階)		○12m	支持力·沈下低減	シルト質粘土・細砂				
55	千葉県浦安市	集合住宅 (RC 造 3 階)		○4.5m	支持力·沈下低減	シルト・細砂				
56	千葉県浦安市	保育園 (S造1階)		○9m	支持力·沈下低減	不明				
57	千葉県浦安市	倉庫 (S造1階)		○17.5m	支持力·沈下低減	砂質シルトト				
58	千葉県浦安市	エレベータ棟(S 造 2 階)		○16m	支持力·沈下低減	シルト質細砂・細砂				
59	千葉県浦安市	集合住宅 (RC 造 4 階)		○21m	支持力·沈下低減	砂質シルト				
60	千葉県浦安市	集合住宅 (RC 造 3 階)		○7m	支持力·沈下低減	粘土質シルト・細砂				
61	千葉県浦安市	集合住宅(S造3階)		○16m	支持力·沈下低減	砂質シルト・粘土質シルト				
62	千葉県浦安市	集合住宅(S造3階)		○5m	支持力·沈下低減	砂混じりシルト				
63	千葉県浦安市	エレベータ棟(S 造 2 階)		○12m	支持力·沈下低減	細砂・シルト質細砂				
64	千葉県浦安市	集合住宅(S造3階)		○7m	支持力·沈下低減	細砂・砂混じりシルト				
65	千葉県浦安市	集合住宅(S造3階)		○6m	支持力·沈下低減	シルト・細砂				
66	千葉県市原市	機材センター		○5m	支持力確保	砂質土				
67	東京都江東区	事務所ビル		0	沈下低減·液状化対策	砂質土				
68	東京都江東区	公園倉庫		0	沈下低減·液状化対策	砂質土				
69	宮城県石巻市	災害廃棄物処理施設	0		支持力確保	シルト・細砂				
70	宮城県多賀城市	災害廃棄物処理施設	0		土質安定処理	不明				
71	宮城県山元町	災害廃棄物処理施設	0		支持力確保	シルト・細砂				
72	茨城県常陸太田市	下水管路復旧工事	0		液状化対策	山砂・砕砂				

表 3.2.1 調査結果 (その2-2)

			表 3. 2. I 調査剤	_{吉果} (その 2	- /			
	目標強度 $q_{ m uf}$ 、 $F_{ m c}$		固化材添加量・W/C		被害	状況		掲載
No.	(kN/m^2)	固化材種類	(kg/m³ • %)	上部構造物 の変状	地盤 の変状	液状化 の発生	未改良部 との差	掲載 箇所
37	720 kN/本	汎用固化材	250.80	無	有	有	不明	
38	380 kN/本	汎用固化材	250.80	無	無	無	不明	
39	350 kN/本	汎用固化材	250.80	無	有	有	有	
40	410 kN/本	汎用固化材	250.80	無	有	不明	有	
41	330 kN/本	汎用固化材	250.80	無	無	無	無	
42	170 kN/本	汎用固化材	250.80	無	有	有	不明	
43	270 kN/本	汎用固化材	250.80	無	不明	不明	不明	
44	140 kN/本	汎用固化材	250.80	無	無	無	無	
45	650 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
46	620 kN/本	汎用固化材	250.80	無	無	無	無	
47	不明	汎用固化材	250.80	無	無	無	無	
48	700 kN/本	汎用固化材	250.80	無	無	有	有	4.6.6参照
49	1000 kN/本	汎用固化材	250.80	無	有	有	有	
50	260 kN/本	汎用固化材	250.80	無	無	無	無	
51	不明	汎用固化材	250.80	無	無	無	無	
52	250 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
53	620 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	不明	
54	840 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	不明	
55	480 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
56	300 kN/本	汎用固化材	300.80	無	有	有	有	
57	470 kN/本	汎用固化材	300.80	無	有	無	有	
58	180 kN/本	汎用固化材	300.80	無	有	有	無	4.6.4参照
59	1070 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
60	780 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
61	430 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
62	520 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
63	200 kN/本	汎用固化材	300.80	無	有	不明	有	
64	500 kN/本	汎用固化材	300.80	無	無	無	無	
65	600 kN/本	汎用固化材	250.80	無	有	無	不明	
66	1000	汎用固化材	250	無	無	無	不明	
67	1000	高炉 B	100	不明	無	無	不明	
68	200	高炉 B	100	無	無	無	不明	
69	不明	汎用固化材	65, 80	_	_	_	_	5.1 参照
70	不明	汎用固化材	不明	_	_	_	_	
71	不明	汎用固化材	不明	_	_	_	_	
72	50	汎用固化材	不明	_	_	_	_	5.2 参照

※汎用固化材:一般軟弱土用固化材と特殊土用固化材を総称したもの

※kN/本:改良体(鋼管併用)1本あたりの設計支持力

3.3 調査結果の分析

震災前に地盤改良された構造物の68件の調査結果を分析した。

(1)地域

地域別の調査件数を図3.3.1 に示す。震源に近い東北3県と関東地方の1都2県の事例を調査した。浦安市でのまとまった調査があることから千葉県内の調査件数が多くなった。

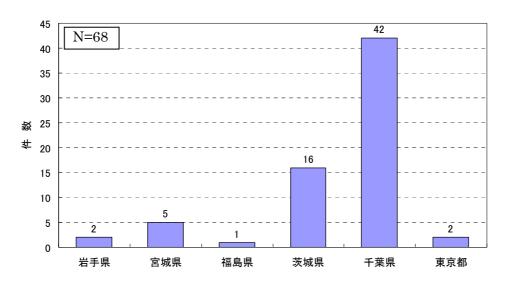


図3.3.1 地域別の調査件数

(2) 地盤改良工法

地盤改良工法別の件数を図3.3.2、図3.3.3に示す。改良深さ別では、中・深層混合が大半を占めた。混合方式別では、機械撹拌式の深層混合処理工法が最も多く、トレンチャー式混合機による鉛直撹拌工法、高圧噴射撹拌工法も1件あった。浅層混合処理工法では、戸建住宅のように小規模な場合はバックホウによる混合工法も採用されていた。

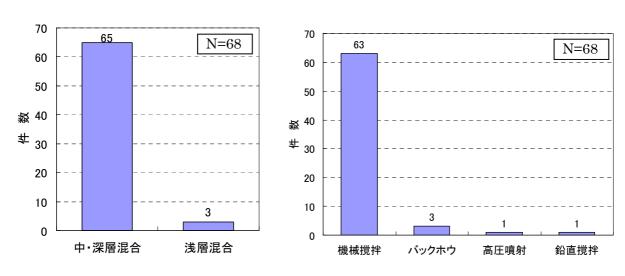


図3.3.2 改良深さ別の工法の件数

図3.3.3 混合方式別の工法の件数

(3) 地盤改良目的

地盤改良目的別の件数を図3.3.4 に示す。改良目的は、支持力の確保・沈下低減、液状化対策を兼ねた支持力の確保・沈下低減が68 件中57 件で大部分を占めた。液状化対策として格子状地盤改良をしたものが8 件あるのも特徴である。

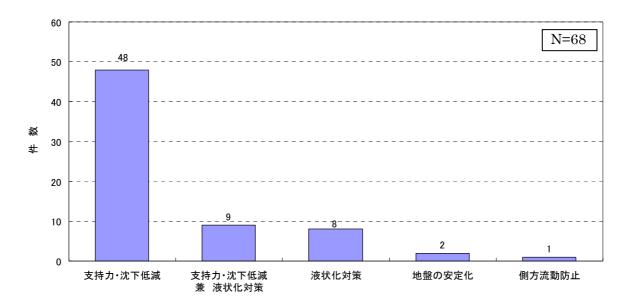


図3.3.4 地盤改良目的別の件数

(4) 固化材の種類

使用固化材の種類別の件数を**図 3.3.5** に示す。汎用固化材(一般軟弱土用固化材と特殊土用固化材を総称したもの)が 68 件中 59 件で圧倒的に多いが、高炉セメント B 種も 7 件あった。

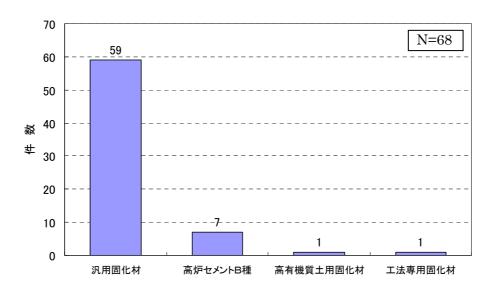


図3.3.5 固化材の種類別の件数

(5) 上部構造物および周辺地盤の被害状況

上部構造物の被害状況を**図3.3.6**に示す。上部構造物の被害が認められたのは68件中2件で、浅層改良地盤上に立てられた戸建住宅で傾斜が認められた例、および柱状改良地盤上の戸建住宅で基礎にひび割れおよび沈下が発生した例であった。

周辺地盤の被害状況を**図3.3.7**に示す。沈下やひび割れ、噴砂などが見られたのは30件(44%)で、残りは被害なしあるいは不明である。また、周辺地盤の液状化状況を**図3.3.8**に示す。周辺や近隣で液状化が発生したと考えられるのは23件(34%)であり、地盤変状の主因となっていると考えられる。

周辺地盤に被害が認められた場合の上部構造物の被害割合を図3.3.9 に示す。周辺地盤に被害があったものの、上部構造物に被害が生じなかった割合は、30 件中28 件で93%であった。これは、構造物の被害を抑える上で、地盤改良は有効な手段であることを示している。

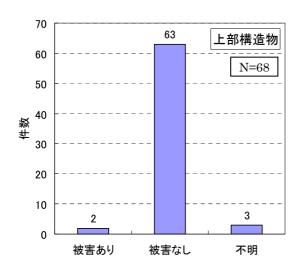


図3.3.6 上部構造物の被害状況

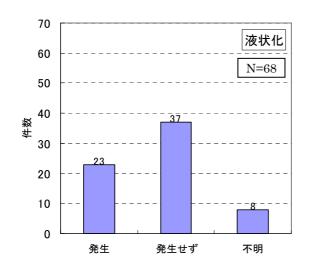


図3.3.8 周辺地盤の液状化状況

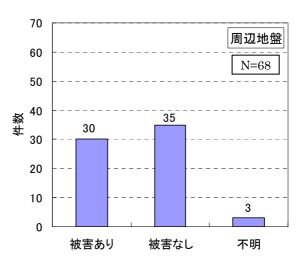


図3.3.7 周辺地盤の被害状況

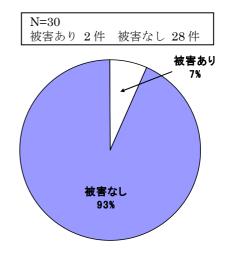


図3.3.9 周辺地盤に被害があった物件の上部構造物の被害割合

(6)浦安市内における調査結果

浦安市の報告書では、市内の被害概要が図3.3.10のとおり示されている。

北部の①で示した範囲以外(黒線で囲まれた)で大規模な液状化が確認されている。これは、1960年代以降に埋め立てられた市域で、南西部は最も新しい埋め立て地域である。道路の被害が大きい範囲は南西部に多く、北東部にも一路線がある。特に住宅被害の多い地域は、湾岸道路やJR京葉線の両側などの住宅地に点在している。



図3.3.10 浦安市の被害概要 1) に加筆

今回調査した物件の位置を地図上で示したものが図3.3.11である。浦安市内の調査件数は41件であり、その内3件は液状化対策工法として格子状改良が実施されたものである。

調査物件は、1960年代以降に埋め立てられた地域に41件中28件が立地しているものの、上部構造物への被害は確認されていない。



図 3.3.11 浦安市内の調査物件の位置

参考までに、これらの事例に用いられている柱状改良の施工深度を表 3.3.1 に示す。本調査物件の施工深度は、最小で戸建住宅の 6.3m、最大で埋め立て層厚の大きい地区に立地する倉庫の 17.5m であった。

施工深度 (m) 件数 比率 (%) 6~8 10 35.7 8~10 2 7.1 10~12 5 17.9 12~ 11 39.3

表 3.3.1 液状化地域の柱状改良深度

(7)調査結果のまとめ

以上の調査結果をまとめると以下のようになる。

- ① 68件の調査対象は、東北3県、関東1都2県に位置し、千葉県が42件を占めた。
- ② 地盤改良工法別では、中・深層改良工法が65件、浅層改良工法が3件で、中・深層改良工法でもスラリー式機械撹拌工法が大半であった。
- ③ 地盤改良目的別では、支持力の確保・沈下低減が 48 件で最も多かった。次いで、液状化対策を兼ねた支持力の確保・沈下低減が 9 件、液状化対策を主目的としたものが 8 件あった。 その他、地盤の安定化が 2 件、側方流動防止が 1 件あった。
- ④ 使用固化材は、汎用固化材(一般軟弱土用固化材と特殊土用固化材を総称したもの)が 59 件と大半を占め、高炉セメント B 種が 7 件、高有機質土用固化材、工法専用固化材がそれぞれ 1 件であった。
- ⑤ 地盤改良を実施した上部構造物の状況は、被害なしが 63 件と大部分で、被害ありが 2 件、不明が 3 件でほとんどの場合被害を受けていないことがわかった。なお、被害ありの事例は 液状化発生地域で浅層改良(改良厚 1.3m)された地盤上の戸建住宅および柱状改良(改良深度 4m) 地盤上の戸建住宅であった。
- ⑥ 浦安市内の調査結果は 41 件あり、この内 28 件については液状化被害の多い地域に立地していたものの、いずれも被害を受けていなかった。
- ⑦ 液状化防止を目的として格子状改良が実施された8件の事例では、いずれも被害が認められず、目的が達成されていることが確認された。

【参考文献】

1) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会 公益社団法人地盤工学会·公益社団法人土木学会·一般社団法人日本建築学会:平成23年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書,平成24年3月

4. セメント系固化材による地盤改良の耐震効果

3章の調査結果で示したように、地盤改良を適用した構造物の被害は無しあるいは軽微なものがほとんどで地震時の安定性が確認された。東北地方太平洋沖地震の特徴として、広域における液状化の発生が挙げられる。セメント系固化材を用いた地盤改良による液状化対策としては、兵庫県南部地震の際に臨海部に建築中のホテルに深層混合処理工法による格子状地盤改良が適用され、その効果が実証され注目を浴びた。今回の調査でも格子状地盤改良が適用された事例が8件あった。

本章では、液状化対策を目的として地盤改良が行われ、周辺状況と比較して改良効果が明らかであった表 4.1 に示す事例を紹介する。

番号	所在地	事 例 名	対象構造物	改良形式
4.1	宮城県	仙台空港	滑走路、誘導路	格子状地盤改良
4.2	宮城県	鳴瀬川河川堤防(2003年宮城県北部地震被災)	河川堤防	全面改良
4.3	福島県	ふくしま海洋科学館(アクアマリンふくしま)	SRC 造 4 階建	格子状地盤改良
4.4	千葉県	浦安市舞浜の立体駐車場・劇場	SRC 造 4 階,7 階建	格子状地盤改良
4.5	千葉県	浦安市クリーンセンター 再資源化施設	RC 造 4 階建	格子状地盤改良

表 4.1 液状化対策適用例

また、地盤改良に関する具体的な情報が得られた表4.2に示す事例についても紹介する。

番号	所在地	事 例 名	対象構造物	改良形式
4.6.1	岩手県	岩ノ下地区軟弱地盤対策工事	排水樋管施設	杭·格子状改良
4.6.2	岩手県	布佐地区軟弱地盤対策工事	排水樋管施設	杭·格子状改良
4.6.3	茨城県	アクアワールド茨城県大洗水族館	RC 造 5 階建	杭状改良
4.6.4	千葉県	エレベータ棟	S造2階建	杭状改良
4.6.5	茨城県	高規格堤防地盤改良工事	河川堤防	格子状地盤改良
4.6.6	千葉県	集合住宅	RC 造 3 階建	杭状改良

表 4.2 地盤改良適用例

4. 1 仙台空港 1) 2)

(1) 施設概要

仙台空港は、仙台市の南東部にあり、東北圏の経済活動の継続性を確保する上で重要な役割を果たすことが求められるとともに、大規模な震災が発生した際には、空港施設は救命活動や緊急物資・人員輸送の受け入れなどの復旧支援拠点として機能することが求められている。このため、2008年度から耐震化整備事業が進められ、誘導路や滑走路で液状化対策工事が実施されてきた。

(2) 地盤条件と地盤改良工法

仙台空港は、**図 4.1.1** に示すように B 滑走路の中央から海側が砂丘部、山側が後背湿地部となっている。後背湿地部は、緩い砂層、シルト層の互層となっている部分もありばらつきも大きい地盤である。

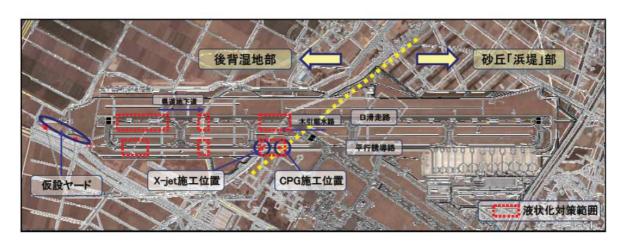


図 4.1.1 仙台空港の地盤構成

図 4.1.2 に後背湿地側に位置する木引堀ボックス付近の地盤条件を示す。埋め土層 $(B \ B)$ と As1-0 層が液状化すると考えられた。

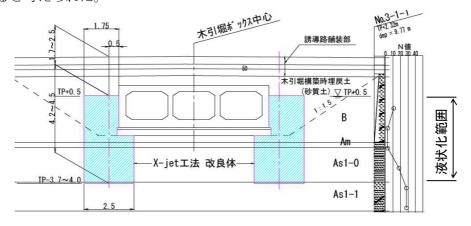


図 4.1.2 木引堀ボックス周辺地盤の例

2008年度から実施された地盤改良工法と実施位置を**図 4.1.3**に示す。深層改良工法として高圧噴射撹拌工法の一種である X-jet 工法が、誘導路及び滑走路を横断するボックスカルバートとその周辺で用いられている。

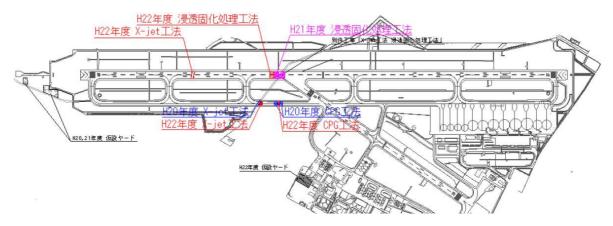


図 4.1.3 地盤改良工法と実施位置

図 4.1.4 に誘導路部の改良体配置を示す。誘導路下部においては、改良体は格子状配置として施工されている。

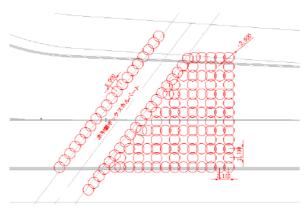


図 4.1.4 誘導路の高圧噴射撹拌工法の改良体配置

また、粘性の高いセメント系材料を地盤中に圧入するコンパクショングラウチング工法や浸透型の耐久性の高い注入材を注入する浸透固化処理工法も用いられている。

高圧噴射撹拌工法の目標一軸圧縮強さを**表 4.1.1** に示す。いずれの工法も空港を供用しながら施工されたため、変位の管理や施工後短時間で供用するための工夫が実施ている。

X ::::		1 H . T . 1 H . J . C
部位	目標一軸圧縮強さ	(kN/m^2)
滑走路部	3000	
誘導路部	1000	

表 4.1.1 高圧噴射撹拌工法の目標一軸圧縮強さ

(3)対象施設および周辺の被害状況

地震後に工事が実施された部分やそれ以外の部分の状況を確認した結果、**写真 4.1.1** に示すとおり、前記の対策工法が実施された部分では不同沈下などの被害は観察されていない。

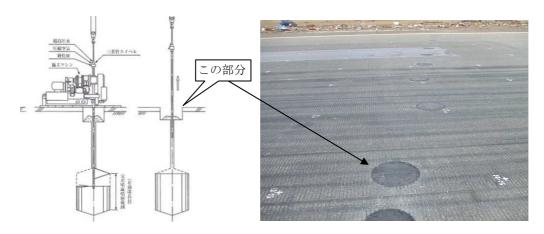


写真 4.1.1 液状化対策(高圧噴射撹拌工法)を実施した部分の地震後の状況

一方、**写真 4.1.2** に示すように対策工事が未実施の誘導路及び緑地帯の県道ボックス両脇においては液状化による沈下が見られた。





(A) 誘導路部

(B) 緑地帯

写真 4.1.2 液状化対策を実施していない部分の地震後の状況

(4) 地盤改良の効果

前述のように、液状化対策の実施されていない部分は沈下が発生しているのに対し、液状化対策の 実施された空港滑走路およびその周辺では段差などの変状は見られなかった。この結果から液状化対 策よる地盤改良の効果が得られたものと考えられる。

滑走路等の被害が軽微であったため、地震発生の 5 日後には自衛隊機が着陸し、復旧のための人員・機材の輸送を開始し、ほぼ一ヵ月後の 4 月 13 日に空港を再開して震災復旧に貢献する結果となった。

【参考文献】

- 1) 諸星一信・工藤英輝・富沢秀夫・松本琢也・安藤滋郎:仙台空港滑走路耐震化事業における 変位抑制のための施工管理,平成23年度地盤工学会東北支部表彰(技術的業績部門)
- 2) 諸星一信・鈴木昭宏・工藤英輝・鈴木亮彦・安藤滋郎・田中隼矢:仙台空港における耐震化 工事の施工管理と改良効果について~その1~,第47回地盤工学研究発表会,pp.1545-1546, 2012

4. 2 鳴瀬川河川堤防 (2003年宮城県北部地震で被災後復旧)

(1) 施設概要

2003年7月26日の宮城県北部地震は、7月23日からの大雨の影響で鳴瀬川鹿島台水位観測所や吉田川粕川水位観測所で指定水位を超えるような増水の中、発生した。この地震により、震源地周辺の鳴瀬川をはじめとする河川の堤防は、写真4.2.1に示すような法面崩壊や陥没などの大きな被害を受けた。そこで、堤体全面切り返し+地盤改良+護岸+ドレーン工を組み合わせた本復旧工事が2003年12月より実施された。





(A) 堤防天端縦断クラック

(B) 法面クラック

写真 4.2.1 2003 年 7 月宮城県北部地震の被害状況 1)

(2)地盤条件と地盤改良工法

鳴瀬川左岸に位置する二郷地区の堤体を含む土質断面図を図 4.2.1 に示す。ここで、液状化による 堤防変形への影響が大きい As1 層を対象にセメント系固化材で基礎地盤全面の地盤改良が実施され た。基礎地盤の改良工事の概要は表 4.2.1 のとおりである。施工深度は、改良場所の土質状況を勘案 して決定され、2.5~8.0m である。改良深度別に区画割りした一例を図 4.2.2 に示す。また、施工状 況を写真 4.2.2 に示す。

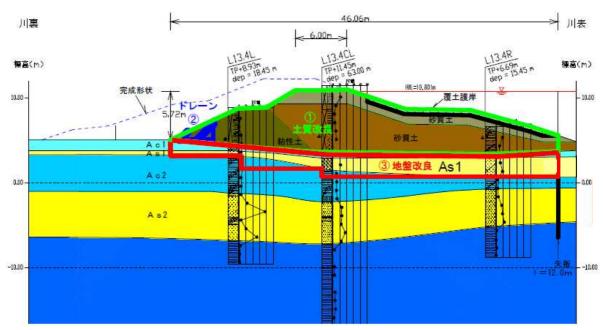


図 4.2.1 鳴瀬川左岸二郷地区(13.4k)土質断面図²⁾

表 4.2.1 基礎地盤の改良工事の概要

改良工法	中層混合処理工法	
改良深度(m)	2.5~8.0	
目標一軸圧縮強さ(kN/m²)	130~140	
固化材添加量(kg/m³)	60~90	
対象面積(m²)	約 24,000	
改良土量(m³)	約 100,000	

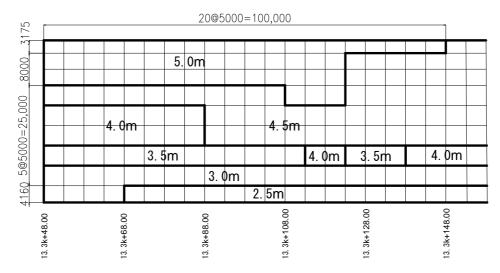


図 4.2.2 改良深度別区割りの一例



(A) 全景

(B) 撹拌状況

写真 4.2.2 2004 年本復旧工事における基礎地盤改良状況 1)

(3)対象施設および周辺の被害状況

東日本大震災により、鳴瀬川の堤防被害は広範囲に生じた。例えば、鳴瀬川左岸の砂山地区は**写真** 4.2.3 に示すような、以下の被害が確認されている。

- ① 天端が沈下し、裏法(堤内地側)には幾重にも開いた縦断クラックが認められるが、表法(堤外地側)の目立った変状は認められない。
- ② 川裏側道は、はらみ出しおよび隆起が認められ、末端では噴砂が確認された。







(B) 裏法側道の隆起・はらみ出し

写真 4.2.3 東日本大震災での地盤改良されていない堤防の被害状況 2)

(4) 地盤改良の効果

鳴瀬川の河川堤防は、上述のとおり、東日本大震災により被害が認められた区間があったものの、 2003年の宮城県北部地震の被害により、本復旧工事が実施された二郷地区については、写真 4.2.4 (A) に示すとおり、被害が確認されていない 2 。また、今回の地震より約 1年半経過した 2012年 8月に現地視察した際においても写真 4.2.4 (B) に示すとおり健全であった。

これらのことから、耐震効果が得られたと考えられる。



(A) 地震直後の状況(被害なし)²⁾



(B) 2012 年 8 月の状況 (健全)

写真 4.2.4 東日本大震災での地盤改良施工した堤防の被害状況

なお、鳴瀬川をはじめとする周辺河川の堤防の被災箇所については、順次、復旧工事が進められて おり、セメント系固化材を用いた地盤改良は、震災復旧工事においても重要な役割を果たすものと考 えられる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所:宮城県北部を震源とする地震 鳴瀬川・北上川被害状況, http://www.thr.mlit.go.jp/karyuu/_update/whatsnew/h15/2003_7_26_jishin_sokuhou/index.htm
- 2) 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所:北上川等堤防復旧技術検討会, http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/K00360/taiheiyouokijishinn/kenntoukai/shiryou.htm

4. 3 ふくしま海洋科学館(アクアマリンふくしま)

(1) 施設概要

本施設は、福島県いわき市小名浜の小名浜港第二埠頭に建設された水族館である。1997年11月4日に起工式が行われ、2000年1月31日に本体施設が竣工し、2000年7月15日に開館している。本施設の全景を写真4.3.1に示す。



写真 4.3.1 施設全景

(2) 地盤条件と地盤改良工法

敷地の南東部(No.1)と北西部(No.6)のボーリング調査結果を**図 4.3.1** に示す。図中には杭および深層混合処理改良体の施工位置を示した。地表から $7\sim9m$ に砂質土の埋立て層が存在し、N値

は 10 以下と緩い状態である。その下には N値が $10\sim30$ 程度の砂質土層があり、N値が 3 程度のシルト質土層、砂質土と粘性土の互層と続く。杭の支持層となる基底砂礫層、泥岩層は 56m 以深である。このため、建物は支持地盤まで施工された $\phi600\sim800$ mm のプレストレスト鉄筋コンクリート杭(PRC 杭)に支持されている。杭の本数は 300 本以上である。

地盤面は過去の高潮記録を考慮して 2.5m 高く設定された。さらに、GL-9m 程度までに存在する緩い砂層は、地震時に液状化することが懸念されたため、液状化対策として格子状深層混合処理工法が採用され、FL-14m まで施工された。

PRC 杭の配置と格子状深層混合処理工法の配置を図 4.3.2 に示す。施工は ϕ 1000mm の 2 軸機で実施され、ラップ部の長さは200mmである。格子間隔は、 $6\sim12$ mで、施工された改良体総数は、3306 本にのぼる。

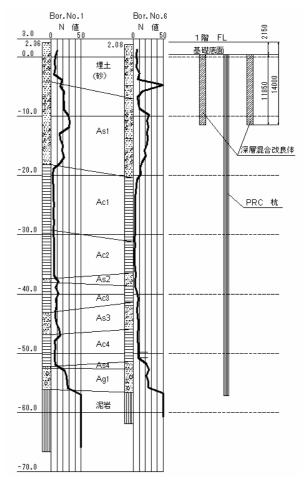


図 4.3.1 地盤調査結果の一例

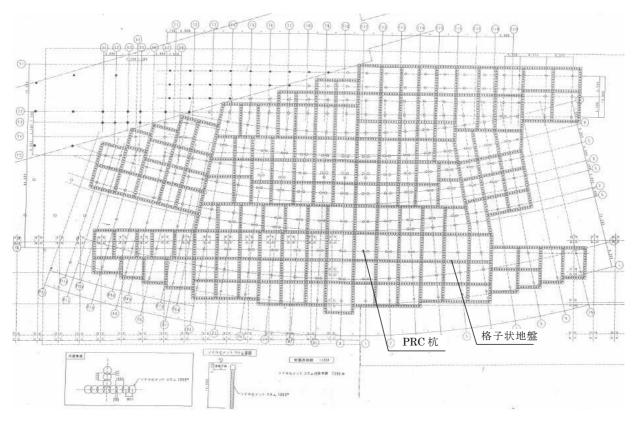


図 4.3.2 PRC 杭と格子状深層混合処理工法の配置図

(3)対象施設および周辺の被害状況

対象施設は、今回の地震により震度 6 弱の揺れを受けるとともに、高さ 3.3m の津波の襲来を受けた。津波による浸水により電気設備が使用不能となったほか、写真 4.3.2 に示すとおり外構部が沈下したが、構造的な被害はほとんど生じなかった。

しかしながら、液状化対策を実施していない施設周辺については、**写真 4.3.3、写真 4.3.4** に示すとおり、地盤の隆起や沈下が認められた。

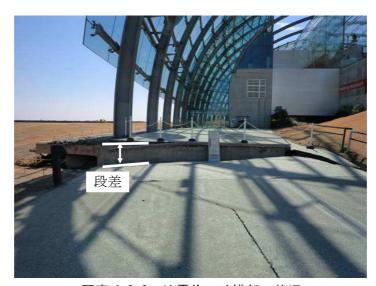


写真 4.3.2 地震後の外構部の状況



写真 4.3.3 施設周辺の被害状況その 1



写真4.3.4 施設周辺の被害状況その2

(4) 地盤改良の効果

液状化対策として、格子状深層混合処理工法を施工した本施設は、構造的な被害はほとんど生じていなかった。一方、格子状深層混合処理工法を施工していない場所については、沈下や隆起などの被害があった。この結果より、格子状深層混合処理工法の液状化防止効果が確認された。

本施設は、本体の被害が小さかったために震災後 4 ヶ月あまり経過した 2011 年 7 月 15 日という早期に再オープンすることができ、地域の人々に希望を与えた。

4. 4 浦安市舞浜の立体駐車場・劇場 1)

4. 4. 1 立体駐車場

(1) 施設概要

本施設は、千葉県浦安市内の埋め立て地盤に建設された鉄骨鉄筋コンクリート造 4 階建ての立体 駐車場で、地下階は設けられていない。平均接地圧は 45kN/m² である。基礎杭は、支持層内まで到 達しない沈下低減を目的とした摩擦杭からなるパイルド・ラフト基礎である。2006 年 9 月に竣工し た建築物である。

(2) 地盤条件と地盤改良工法

地盤条件は、図 4.4.1 に示すような N値分布で、地表から GL-14m まで N 値 10 程度の埋め立て層ならびに砂層が分布し、その下に沖積粘土層が分布している。地下水位は GL-1.8mである。沖積粘土層下端深度は、敷地内で大きく変化しており N値 50 以上の安定した支持層は、①通りで GL-39m、②通りで GL-72m である。既製コンクリート杭先端は、GL-33~GL-55m で過圧密粘土層内とされている。

地表付近の埋め立て層および砂層は、地震時に液状化の発生が懸念されるために格子状地盤改良が併用されている。設計では、地表面最大加速度を $250 \,\mathrm{cm/s^2}$ として改良体強度が設定され、設計基準強度 F_c =1800kN/m² とされ、図 4. 4. 2 に示すように、格子の基本間隔は $15.6 \times 16.5 \,\mathrm{m}$ 、施工長は $14 \,\mathrm{m}$ とされた。格子状地盤改良は ϕ 1000mm の 2 軸の施工機により造成され、施工後の改良体から採取したコアの材齢 4 週における一軸圧縮強さの平均値は $5800 \,\mathrm{kN/m^2}$ であることが確認された。

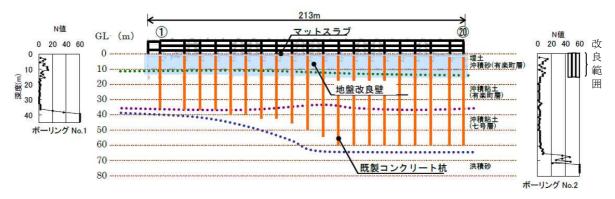


図 4.4.1 基礎構造と地盤概要

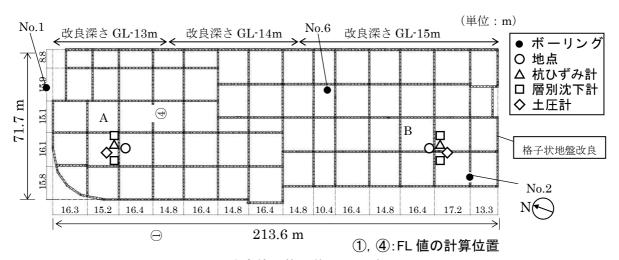


図 4.4.2 改良体の格子状配置と計測器の配置

(3)対象施設および周辺の被害状況

震災後、立体駐車場から 3~4m 離れた位置に 地盤沈下によると考えられるわずかな段差が認 められたが立体駐車場には被害は生じていない と報告されている(写真 4.4.1)。

同一敷地内の平面駐車場では、液状化による噴砂が大量に発生する被害が生じている。



写真 4.4.1 地震後の立体駐車場 (2011.3.13 撮影)

(4) 地盤改良の効果

図 4.4.3 は建設時から測定されている建築物の沈下測定結果である。地震により 7mm 程度沈下が進行していることが確認されているがその後安定している。図 4.4.4 は基礎スラブ底面下に設置された土圧計および水圧計の測定結果である。地震の前後で土圧の変化もないことから格子内部での液状化や地盤の沈下は発生していないと推定された。

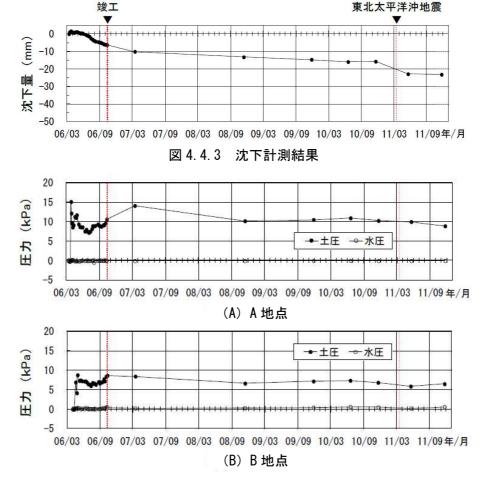


図 4.4.4 土圧および水圧の計測結果

また、設計時に用いられたモデルにより、浦安で観測された地表面加速度となる地震波による解析も行われた。その結果、格子の外では、液状化指数 FL が 1.0 以下となり液状化が発生するが、格子内では FL が 1.0 以上となり液状化が発生しないという結果が得られ、改良土に作用する応力も設計強度である $1800 \mathrm{kN/m^2}$ を下回ることが確認されている。

以上より、液状化対策として実施された格子状地盤改良による対策効果があったと判断できる。

4.4.2 劇場

(1) 施設概要

本施設は、鉄骨および鉄筋コンクリート造 7 階建ての地下なしの劇場施設であり、杭基礎が採用されている。立体駐車場とは平面的に 900m 程度離れた位置にある。

(2) 地盤条件と地盤改良工法

地盤概要を図 4.4.5 に示す。地盤構成は立体駐車場と同じであり、深度 15m 程度までは液状化の可能性が高い。そこで、液状化防止を目的として格子状地盤改良が採用された。地盤改良の仕様は立体駐車場と同様に設定され、格子間隔は $15.5m \times 14.3 m$ (最大)、改良深さは GL-16m までとし、図 4.4.6 に示すように改良体の配置が決められた。改良体の天端レベルは基礎深さが異なるため $GL-0.5 \sim 4.45m$ の範囲にある。改良体の設計基準強度は $1500kN/m^2$ である。

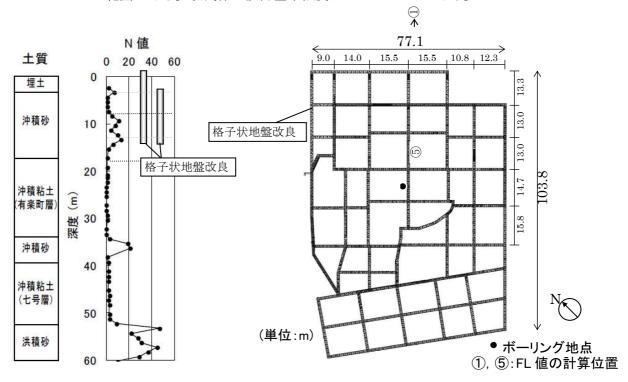


図 4.4.5 地盤概要

図 4.4.6 改良体の格子状配置

(3)対象施設および周辺の被害状況

建物と周辺地盤の間に段差などは認められず、建物近傍では噴砂などの液状化の痕跡は確認されなかった。建物の地震後の状況を写真4.4.2に示す。

(4) 地盤改良の効果

建物直下および周辺では液状化が発生せず、地盤 改良効果があったものと考えられる。

【参考文献】

1) 内田・小田島・山下:東北地方太平洋沖地震 における格子状地盤改良を施した建物基礎 の挙動,日本建築学会技術報告集,2013年 6月号(第42号)(掲載予定)



写真 4.4.2 劇場施設 (2011.5.18 撮影)

4. 5 浦安市クリーンセンター 再資源化施設

(1) 施設概要

本施設は、浦安市千鳥のクリーンセンター内に建設された鉄筋コンクリート造4階建ての施設で、 資源ごみをリサイクルするための設備を備えるとともに、市民の体験施設も備えている。建築物は杭 で設計されており、建物面積は約6360m²で1999年3月に竣工した施設である。**写真4.5.1**に全景 を示す。



写真 4.5.1 浦安市クリーンセンター 再資源化施設 全景

(2) 地盤条件と地盤改良工法

本施設は、 \mathbf{Z} 4.5.1 に示すように埋め立てられた市域の南端の敷地に位置し、浚渫されたシルトや 細砂が厚く分布する地盤である。地盤調査は、 \mathbf{Z} 4.5.2 に示すように再資源化施設の建設される範囲 の 21 箇所で実施された。ボーリングの一例を \mathbf{Z} 4.5.3 に示す。

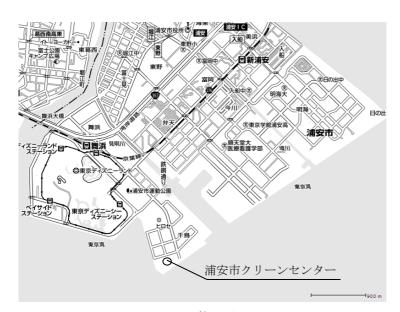


図 4.5.1 施設位置図

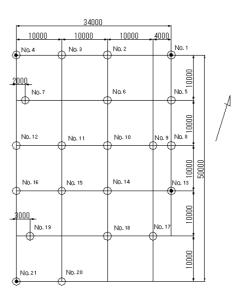


図 4.5.2 地盤調査箇所

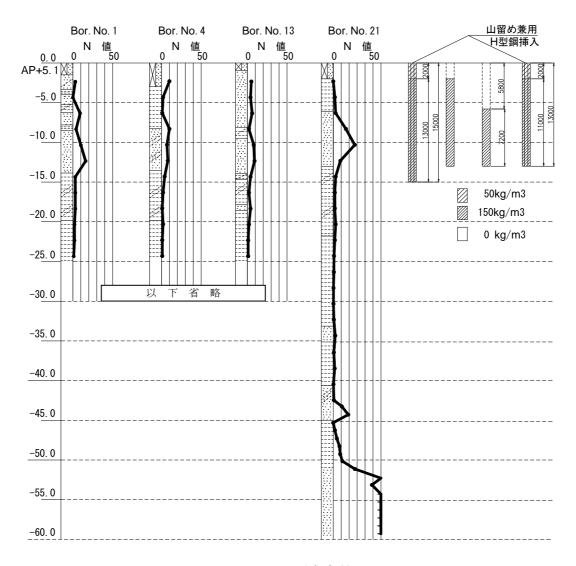


図 4.5.3 地盤条件

地盤条件に示すように、緩いシルトや細砂が堆積していることから液状化の可能性があると判断され、地盤改良が検討された。検討の結果、深層混合処理工法を用いた格子状地盤改良工法が採用され、改良体は**図 4.5.4** に示す配置と決定された。改良体の外周部は、自立山留め壁としても利用された。地盤改良の仕様は**表 4.5.1** のとおりである。

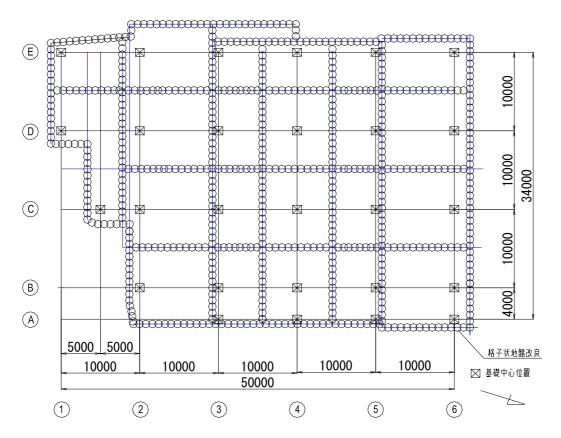


図 4.5.4 改良体の配置図

改良体径	φ 1000mm
改良体の本数	211 本
施工長	$7.2 \sim 13.0 \text{m}$
設計基準強度 Fc	$1800\mathrm{kN/m^2}$
現場目標一軸圧縮強さ $q_{ m uf}$	2400kN/m ²
固化材の種類	汎用固化材
固化材の添加量	50、150 kg/m ³
スラリーの水セメント比	100%

表 4.5.1 地盤改良の仕様

改良体の品質管理のために、頭部コア 4 箇所および全長コア 3 本が採取され、材齢 7 日および 28 日で一軸圧縮試験が実施された。材齢 28 日では、設計基準強度 (F_c =1800kN/m²) を下回る個別の試験値はなく、頭部コアの平均値は 3906 kN/m²、深度方向コアの平均値は 4800 kN/m² で現場目標一軸圧縮強さ (g_{uf} =2400kN/m²) を上回っていることが確認された。

(3)対象施設および周辺の被害状況

地震により敷地内の地盤改良を実施していない部分では、写真 4.5.2 および写真 4.5.3 に示すとおり緑地帯の擁壁ブロックの割れやずれ、舗装の割れや段差が認められ、一部では噴砂も見られた。また、周辺道路についても、写真 4.5.4 および写真 4.5.5 に示すとおり、液状化に伴って舗装の亀裂や降起、噴砂などの被害が認められた。



写真 4.5.2 緑地帯擁壁の破損



写真 4.5.3 舗装の損傷



写真 4.5.4 周辺道路の被害状況



写真 4.5.5 周辺道路の液状化

(4) 地盤改良の効果

本施設の周辺道路は、液状化被害が著しく、亀裂、隆起および噴砂が認められた。このような場所に立地しながら、セメント系固化材により地盤改良された本施設は、地震による操業停止が一度もなく、都市機能を停止させることがなかった。これより、セメント系固化材による地盤改良は、被害を最小限に食い止め、構造物の本来の機能の発揮に寄与したと推察できる。

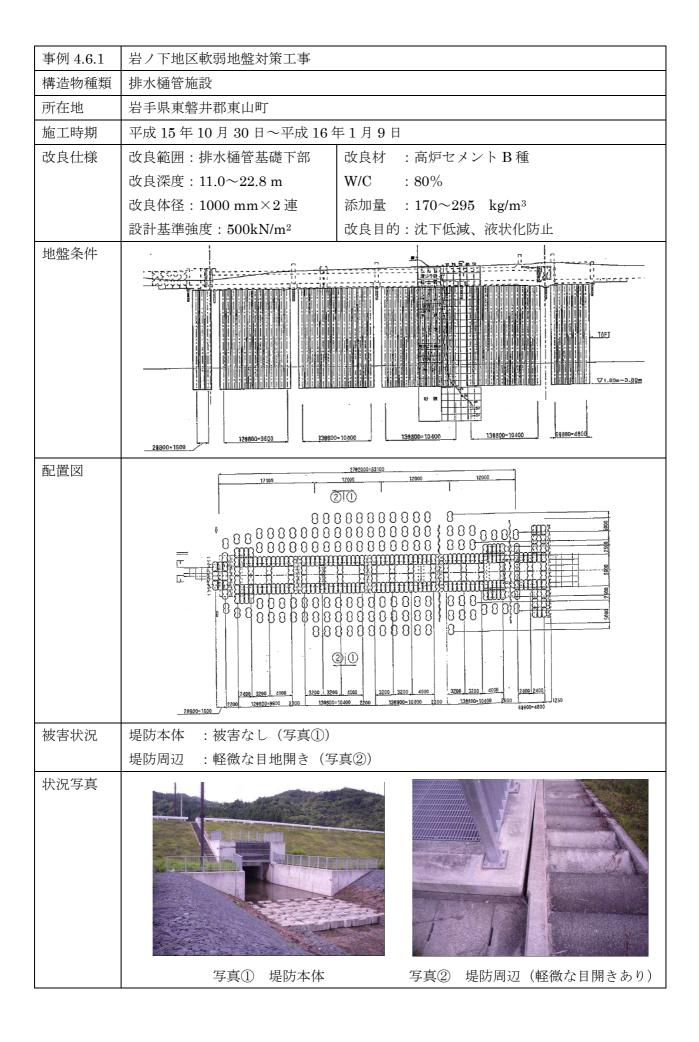
4.6 その他の適用事例

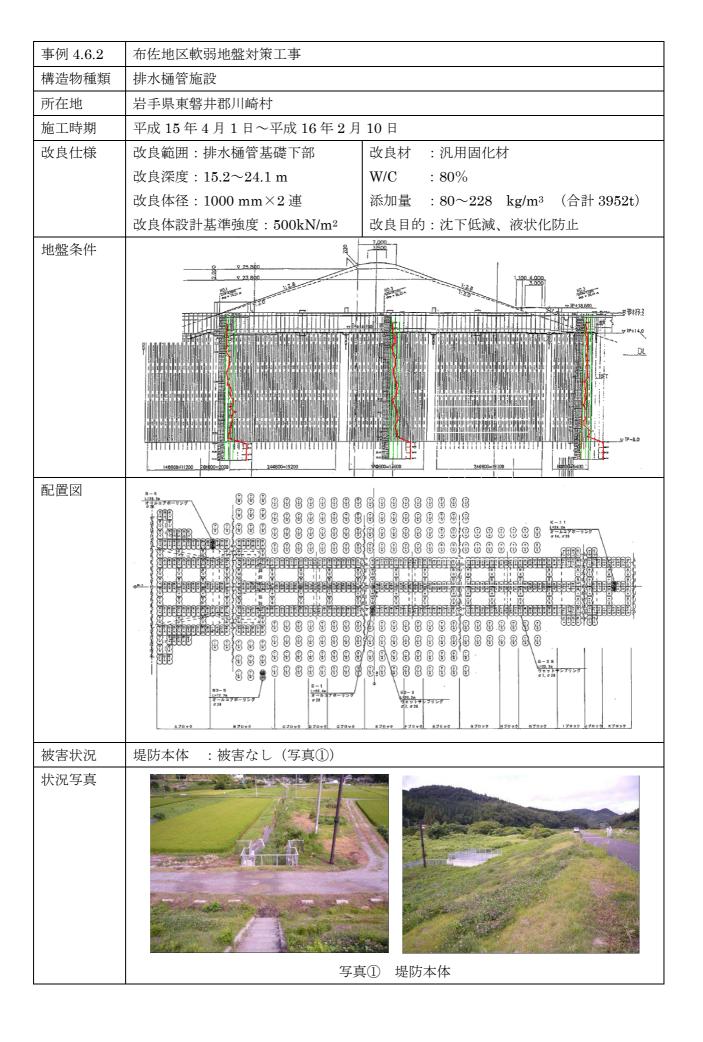
事例 4.6.1、4.6.2 は、堤防に設けられた排水施設で不同沈下の防止・液状化防止を目的に地盤改良 工事が実施されたもので、地震による被害を免れている。

事例 4.6.3 は、水族館の施設で支持層が比較的浅いことから柱状改良体で支持する形式となっている。孔内水位は緩い砂層下端または途中である。改良体は孔内水位以深まで到達するよう計画されている。このため、液状化の影響を受けていないものと考えられる。

事例 4.6.4 は駅のエレベータの基礎に柱状改良が適用されたもので、周辺は液状化による沈下が発生しているが歩道橋との段差が発生していない。

事例 4.6.5 は堤防の液状化対策として施工された事例で、今回の地震による被害を受けていない。 事例 4.6.6 は浦安の住宅の事例で深度 15m 付近の N値 20 程度の層まで施工されており、大規模な液状化の発生した地区にありながら被害を免れている。







事例 4.6.3	アクアワールド茨城県大洗水族館				
構造物種類	鉄筋コンクリート造5階建て				
所在地	茨城県東茨城郡大洗町				
改良仕様	改良範囲:ベタ・布基礎下部	改良材:汎用固化材 W/C : 100%			
	改良深度:1.34~5.44m				
	改良体径:1200 mm	添加量:250 kg/m³			
	改良体設計基準強度:1000kN/m²	改良目的:沈下低減、液状化防止			
地盤条件	Bor. No. 2 Bor. No. 3	N 値 N 値			
	TP+10. 0 0 50 0 50 TP+ 5. 0	0 50 0 50 0 50			
配置図	(15) (16) (17) (18) (19) (20) (22) (22) (22) (22) (23) (23) (23) (23				
被害状況	構造物本体 : 一部に軽微な損傷(側壁のク (写真③)) 周辺地盤 : 駐車場に不同沈下あり(写真	プラック(写真②)、屋外階段の不同沈下 (4)			

状況写真



写真① 水族館全景



写真② 構造物内の側壁のクラック



写真③ 屋外階段の不同沈下



写真④ 駐車場の不同沈下

事例 4.6.4	エレベータ棟	
構造物種類	鉄骨造2階建て	
所在地	千葉県浦安市入船	
改良仕様	改良範囲:独立基礎下部	改良材:汎用固化材
	改良深度:16m	W/C : 80%
	改良体径:600 mm	添加量:300 kg/m³
	改良体設計基準強度:640kN/m²	改良目的:支持力確保、沈下防止
地盤条件	上 東 神田 1 当	□ 11 00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
配置図	B No, 1	2 階床 No. 2
被害状況	エレベータ本体:被害なし(写真①)周辺構造物:上層階 段差なし周辺地盤:前面に噴砂痕あり	

状況写真



写真① エレベータ本体(被害なし)



写真② 上層階(段差なし)



写真③ 周辺地盤(噴砂痕あり)

事例 4.6.5	高規格堤防地盤改良工事				
構造物種類	河川堤防				
所在地	茨城県利根町				
改良仕様	改良範囲:堤防盛土下部	改良材 : 高有機質土用セメント系固化材			
	改良深度:29.8~35.5m	W/C : 80%			
	改良体径:1000 mm	添加量 : 166 kg/m³			
		改良目的:液状化防止			
地盤条件	AC AC	The state of the s			
配置図 1)	No. 100 No. 10	Reduke Like Manager Like Manag			
	施工延長 L=38.6m 地盤改良工事 深層混合処理工(スラリー式) L=29.8m~35.5m 264セット	1500 1500 800 1500 800 1500 800 1500 800 1500 800 1500 800 1500 800 1500 800 1500 800 1500 1			
被害状況		被害なし (写真①) 被害あり (写真②)			

状況写真



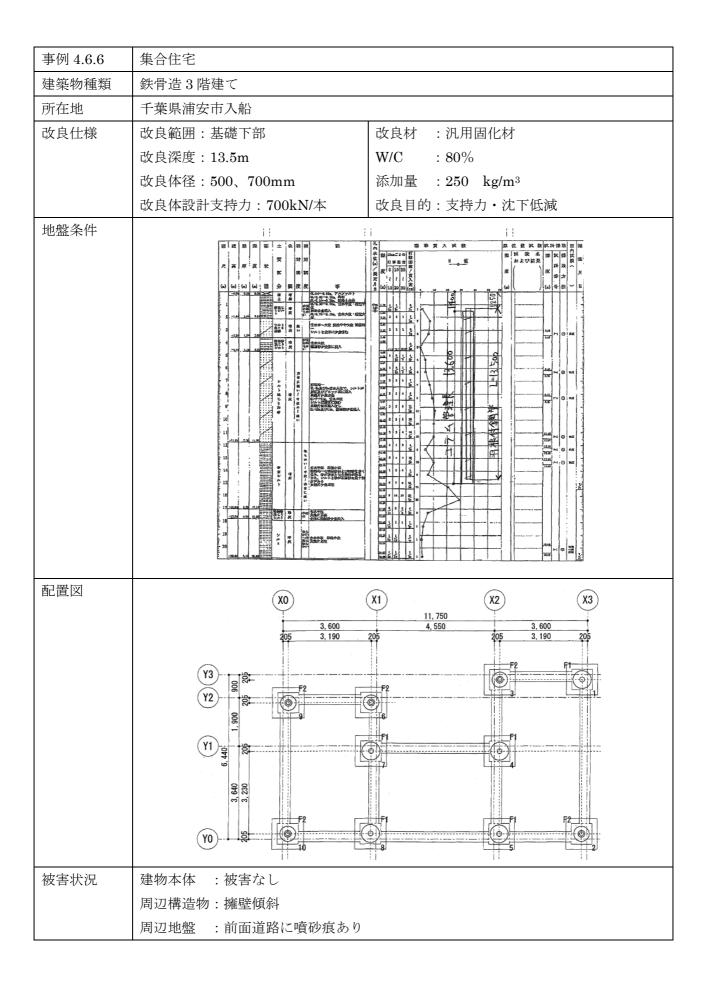
写真① 堤防本体



写真② 改良場所より約 3.5km 離れた 堤防天端の沈下 ²⁾

【参考文献】

- 1) 国土交通省関東地方整備局関東技術事務所: 新技術を採用した工事現場等の紹介 TOFT 工法, テクノアングル, Vol.40, pp1-4, 2006 年 3 月 24 日
- 2) 国土交通省関東地方整備局河川部:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による河川被 災状況(関東)[第8報]~本格復旧工事にご協力を~,平成23年11月1日



5. 震災復旧・復興における地盤改良

本章では、震災復旧・復興の関連で地盤改良工法が用いられた事例を紹介する。ここで紹介した事例以外にも、各種施設建設のための地盤改良や津波堆積物などの有効利用のための安定処理など多くの分野でセメント系固化材を用いた地盤改良工法・安定処理工法が適用されていると考えられる。

5. 1 震災廃棄物処理施設設置のための地盤改良(石巻ブロック)

宮城県内で震災廃棄物を処理するための「宮城県震災廃棄物処理実行計画」に基づき、県内を4ブロックに分けて処理が進められている。ここでは、石巻ブロックの例を紹介する。

(1) 概要

石巻ブロックでは、石巻市、東松島市および女川町で発生した震災廃棄物の運搬および中間処理を 行う施設が石巻市南部の埋立地に設置された。設置位置を図5.1.1 に、現地全景を図5.1.2 に示す。



図 5.1.1 設置位置



図 5.1.2 現地全景

中間処理施設には、仮置きヤード、粗選別ヤード、破砕選別ヤード、土質改良設備、土壌洗浄設備、コンクリート破砕設備、焼却設備などが設けられた。 $A\sim C$ ヤードの機能と面積を表 5.1.1 に、中間処理施設概要を図 5.1.3 に示す。

		X o. i. i v i obalige light
ヤード	面積(ha)	主な機能
Aヤード	50	一次仮置き場からの搬入廃棄物の計量・選別・破砕・洗浄
Bヤード	18	可燃物の焼却および焼却灰の再資源化
Cヤード	6	Aヤード建設予定地内に既に集積されていた廃棄物の仮置き

表 5.1.1 ヤードの面積と機能



図 5.1.3 中間処理施設概要

(2) 地盤概要と路床改良計画

海面埋立てにより造成された用地で全般的に軟弱な地盤である。既存路床の CBR は 0.2~4.1%であった。路床の構築方法には、盛土工法、置換工法および安定処理工法が考えられたが、現地では被災建物の解体撤去作業および一次集積が最盛期であることも考慮し、表 5.1.2 の比較表に示すように安定処理工法が選定された。

	F 1			
検討項目	盛土工法 置換工法		安定処理工法	
搬入物	良質土が大量に必要でる	良質土が大量に必要でその確保と搬入が困難		
撤去土の処理	不要	不要 必要		
総合評価	×	×	0	

表 5.1.2 路床の構築方法の比較

現地土の性状や強度発現を考慮し安定材としては、セメント系固化材が選定された。既存路床の CBR をもとに、大型車の通路、ヤードおよび駐車場の改良設計が実施され、改良断面が決定された。 標準断面図を図 5.1.4 に示す。各ヤードの施工面積の概数を表 5.1.3 に示す。

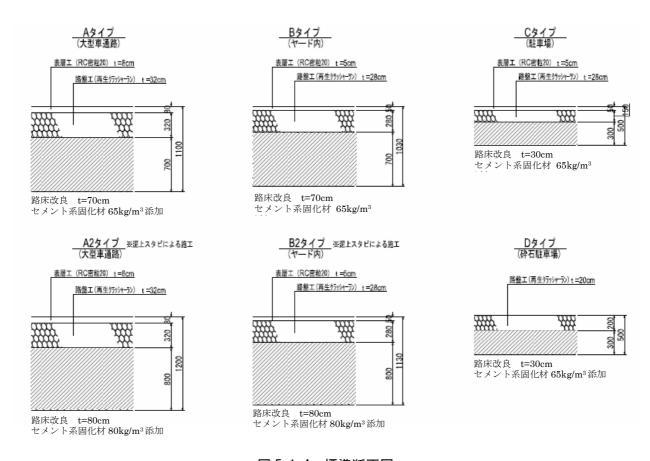


図 5.1.4 標準断面図

表 5.1.3 各ヤードの施工面積の概数

ヤード	Aヤード	Bヤード	合計
施工面積(m²)	335,000	66,000	401,000

(3) 施工方法

路床改良は、広い面積を連続的に改良するのに適したクローラ式スタビライザを用いて施工し、クローラ式スタビライザの走行困難な部分(約35,000m²)では泥上クローラ式スタビライザを用て施工された。使用した施工機械を表 5.1.4 に示す。

表 5.1.4 使用した施工機械

機械名	台数	型式・用途		
クローラ式スタビライザ	4	CS-360 級 混合処理		
泥上クローラ式スタビライザ	4	軟弱路床混合処理 35,000m²		
改良材散布専用車	2	固化材散布		
泥上クローラ式散布機	1	軟弱地盤上固化材散布		

路床改良は、業務用地内の既存廃棄物の一時撤去作業、造成土工を追う形で進められた。施工期間は、 2011 年 11 月~2012 年 7 月であった。 クローラ式スタビライザによる安定処理状況を**写真** 5.1.1~ 5.1.4 に、泥上クローラ式スタビライザによる安定処理状況を**写真** 5.1.5~5.1.6 に示す。



写真 5.1.1 施工状況遠景



写真 5.1.2 施工状況その 1



写真 5.1.3 施工状況その 2



写真 5.1.4 施工状況その3



写真 5.1.5 泥上施工機による施工状況その 1



写真 5.1.6 泥上施工機による施工状況その 2

(4)地盤改良の貢献

以上のように、40 万 m^2 あまりの大量の浅層地盤改良工事が予定工期内に実施され、震災廃棄物処理施設の早期立ち上げに貢献する結果となった。

5. 2 排水管路の復旧工事

東北地方太平洋沖地震では、1章の地震の特徴でも示したように東北から関東地方の広い地域で地盤や管路の埋め戻し土が液状化し、各種の管路やマンホールが浮き上がりや陥没など多大な被害を受けた。ここでは、地震で被害を受けた農業集落排水管路の復旧工事の事例を示す。

(1)被害状況

道路に埋設された管路は、**写真 5.2.1、5.2.2** に示すようにマンホールの浮き上がりや管路部分の 陥没が生じ、車両の通行が困難な状況になった。



写真 5.2.1 管路の被害状況その 1



写真 5.2.2 管路の被害状況その 2

(2)復旧工事概要

本工事は、茨城県常陸太田市内の震災関連管路復旧工事で、その概要は表 5.2.1 のとおりである。2011年8月~2012年3月の間に施工された。

表 5.2.1 管路復旧工事の概要

延 長	幅	深度
556m	1m	0.3~3.8m

地震時に埋め戻し土の液状化によって被害を受けた管路の復旧に当たっては、液状化の再発を防止できる工法を選定する必要がある。下水道施設の耐震対策指針と解説(2006年度版)では、「埋め戻し土の液状化の可能性が高い地域で管渠を敷設する際は、マンホール周辺を含め、地域の特性・現場条件、管材等を勘案し道路管理者と協議の上、原則として以下のいずれかの対策(図 5.2.1 に示す)を実施するものとする」としている。

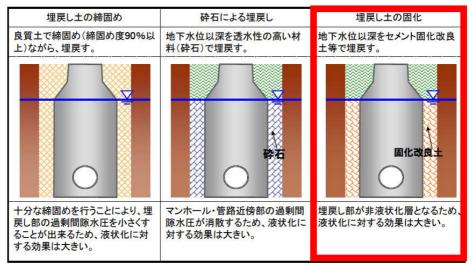


図 5.2.1 緊急提言に基づく下水道管路施設の埋め戻し方法

当現場では、現地土の締固めのみでは液状化を防止できる保証がないことや現地土の処分と新たな 埋め戻し材の購入費用などを検討した結果、現地土の再利用が可能なセメント系固化材による安定処 理工法が採用されることとなった。

(3)事前調査·試験

現地土を利用し安定処理して埋戻しするに当たり固 化材の添加量を決定するための配合試験が実施された。 配合試験用試料土の採取状況を**写真** 5. 2. 3 に示す。

配合試験は、液状化が発生しない目標強度が得られ、 環境への影響がない固化材を選定するために表 5.2.2 に示す条件で実施された。配合試験の結果、特殊土用 固化材を用いることに決定された。



写真 5.2.3 配合試験用試料土の採取状況

表 5. 2. 2 配合試験条件			
項目	条件等		
日播改在	室内目標一軸圧縮強さ $q_{ m ul}$ $=100 { m kN/m^2}$		
目標強度	現場目標一軸圧縮強さ $q_{ m uf}$ $=~50 { m kN/m^2}$		
法田田仏社	一般軟弱土用		
使用固化材	特殊土用		
試料土	現地土 (山砂、砕砂)		
34联石口	改良土の一軸圧縮試験(JISA 1216)		
試験項目	六価クロム溶出試験(環境庁告示第 46 号)		

表 5 2 2 配合試験条件

(4)施工・施工管理

被害を受けた管路の埋戻し土は、掘削し現場の近くに設けた混合ヤードに搬送され、改良された後に再利用された。混合ヤードには、作業性を考慮し、地中に掘削土と固化材とを混合するための鋼製容器が設置された。容器に一定量の搬出土を投入し、計画添加量に相当する固化材を散布してバックホウにより色むらがなくなるまで混合された(写真 5.2.4、写真 5.2.5)。改良土は速やかに現地に運搬され、管路内に厚さ30cm以下で撒き出され、タンパにより締固められた(写真 5.2.6、写真 5.2.7)。



写真 5.2.4 固化材散布状況



写真 5.2.5 撹拌状況



写真 5.2.6 改良土の埋戻し・締固め状況



写真 5.2.7 改良土の締固め状況

品質管理のために、200m に 1 回の割合で現場に搬入された改良土を採取し、モールドに詰めて供 試体を作製した。供試体は密封養生し、材齢 7 日で一軸圧縮強さが測定された。改良土の採取状況 を写真 5.2.8 に、作製した供試体を写真 5.2.9 に示す。また、復旧工事完了後の状況を写真 5.2.10、 写真 5.2.11 に示す。



写真 5.2.8 改良土の採取状況



写真 5.2.9 一軸圧縮試験用供試体



写真 5.2.10 復旧完了状況その 1



写真 5.2.11 復旧完了状況その 2

(5)地盤改良の貢献

同様の工事が多くの地区で実施され、管路が復旧するとともに道路の通行も順次確保されている。 セメント系固化材により改良された埋戻し土は、今後発生する地震によっても液状化しないと考えられる。 したがって、管路施設の耐震性は十分に期待できる。

6. セメント系固化材を用いた地盤改良への期待

(1) まえがき

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、海溝型大規模地震で主要動が長時間継続したため、被害が広範囲で非常に多くの場所で生じ、さらに地震動被害と津波被害が複合するなど、震災の規模・内容は内陸型活断層地震とは大きく異なっていた。地震災害に関しては、これまでの耐震技術・防災システムが機能して震災を抑制した側面もあるが、巨大な津波は防潮堤・防波堤では不十分にしか、あるいは部分的にしか防御することができず、各地で海岸沿いの市街地は津波に飲み込まれ死者は多数に及んだ。また、福島第一原子力発電所をはじめ、多数の漁港施設、火力発電所を含む各種産業施設、交通・流通施設、宅地と戸建住宅、上下水道等のライフライン、広大な農地が甚大な被害を受けた。

地盤改良工法の改良効果に関しては、各種機関・団体の調査から、地盤災害は軽微かほとんどなかったことが明らかになった。深層混合処理工法や浅層混合処理工法に代表されるセメント系改良地盤に関しては、軽微な地盤の変状を生じた箇所もあるものの、全般的には住宅地域、港湾地域、河川地域を含めそのほとんどの場所で十分な機能を発揮したことが分かった。

本稿では、今回の震災からの復旧・復興と今後我が国での震災の防止・軽減に貢献するために、セメント系地盤改良工法への期待と課題を述べてみたい。

(2) 液状化対策

我が国は、沿岸域をはじめとして軟弱な地盤が厚く堆積していることが多く、常時・地震時に大きな沈下や水平変位などの被害が生ずる危険性が高い。緩く堆積した飽和砂質土地盤の場合には、地震動によるせん断応力の繰り返し作用によって地盤内の間隙水圧が上昇し、液状化現象が生じる危険性が高い。今回の地震においても、浦安市をはじめとした沿岸部の埋立て地や利根川などの河川流域において、液状化現象が発生し大きな地盤災害を引き起こした。

液状化対策の考え方は、被害経験や社会的な要請を反映し時代とともに変化してきた。液状化対策を大別すると、液状化の発生そのものを防止する「発生抑制対策」と、被害を軽減する「被害抑制対策」がある。これらのほか、機能被害の影響を軽減する「代替施設の準備対策」も挙げられる。「発生抑制対策」とは、地盤の液状化強度を増加させ液状化の発生そのものを抑制する工法であり、個々の構造物の機能の維持あるいは被害の軽減を主眼とした通常の意味での液状化対策であり、従来から広く行われている。「被害抑制対策」とは、たとえ液状化が発生したとしても構造物や施設に有害な損傷が出ないように構造物や施設の設計に液状化した地盤からもたらされる影響をあらかじめ考慮した対策を講じることである。「代替施設の準備対策」はライフライン施設などネットワークを形成する構造物を対象にした考え方である。

液状化強度は、以下の要因によって増大する。

- ①密度が高いほど
- ②液状化しにくい粒度であるほど
- ③土粒子骨格が安定しているほど
- ④飽和度が低いほど

また、応力・変形および間隙水圧に関しては以下の条件で液状化しにくくなる。

- ⑤過剰間隙水圧が速やかに消散するほど
- ⑥液状化した周辺からの過剰間隙水圧の侵入がしにくいほど
- ⑦初期有効応力を増加させることで、せん断応力の初期有効応力に対する比を低下させるほど
- ⑧地震時に生じるせん断変形が少ないほど

図 6.1 に液状化の発生を抑制する原理と方法を示した。地盤の密度を増加させて地盤の液状化強度を増大させる工法として密度増大工法がある。密度増大工法の中には、施工時に地盤の密度を増加させるだけでなく側方土圧を増加させるものもある。これらの工法は、①の効果に加えて⑦の効果を兼ね備えていることになる。液状化しにくい粒度にする工法として置換工法が挙げられる。液状化しにくい材料としては礫を用いることが多い。この場合、礫は透水性が高いので⑤の効果も期待できる。土粒子の骨格を安定させることにより液状化強度を増大させる工法には固結工法がある。この工法は固結による改良体の配置の仕方によっては、⑥や⑧の効果を期待することもできる。飽和度を低下させる工法には地下水位低下工法がある。地下水位の低下によって有効土被り圧も増大するために⑦の効果も期待できる。過剰間隙水圧を速やかに消散させる間隙水圧消散工法には、グラベルドレーン工法や人工材料によるドレーン工法がある。これらの工法の場合には配置の仕方によっては、⑥の効果が期待できる場合がある。初期有効応力を増加させる原理を主体とした工法については、鉛直有効応力増加に着目した工法と側圧増大を目的とした工法がある。地震時のせん断変形の抑制を主目的とした工法には、連続地中壁によるせん断変形抑制工法などがある。

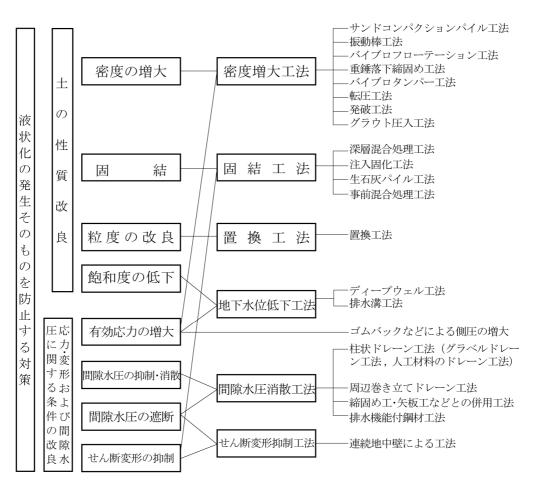


図 6.1 液状化の発生そのものを防止する対策 1)

(3) 地盤液状化被害と地盤改良の効果

今回の地震では、谷埋め盛土の崩壊と若年埋立て地の液状化によって多数の戸建住宅が被災して多数の個人が深刻な被害を受けた。また、支持地盤の液状化は、戸建住宅と盛土・擁壁などの土構造物や管きょ・パイプラインなどの地下埋設物の被害の原因となり、様々な上部構造物の被害の原因にもなった。さらに、生活に直結する下水道施設などの地下埋設されるライフラインでは、支持地盤と埋め戻し土の液状化対策が充分ではなかったために、マンホールの浮き上がりなどによって大きな被害を受けた(図 6.2 参照)。





(A) 建物基礎の被害²⁾

(B) マンホールの浮き上がり被害 3)

図 6.2 液状化による地盤災害

一方、地盤液状化の予測とその対策法の実施は公共機関が整備・管理する社会基盤施設(道路、鉄道、岸壁、護岸、共同溝など)に関しては、技術の進歩と社会的要求の進展を反映すべく時代とともに改訂されてゆく設計基準に準じて設計・構築され、それに対する継続的な維持管理が行われている。大きな民間組織の中・高層ビルや産業施設でも、施主とコンサルタント・建設会社などの技術者が地盤液状化の判断・対策などの対応するのが普通になっている。今回の地震でも、このような構造物では地盤液状化の被害は軽微かほとんどなかった。以下の事例では、地盤の液状化による地盤災害はなかったか軽微であった。

- ・東京湾臨海部の住宅団地(サンドコンパクションパイル工法で地盤改良されていた RC 壁式構造の団地)、杭支持で対処していた中・高層ビル
- ・地盤改良で対処していた浦安市舞浜の建築物(図6.3(A))
- ・固化処理による滑走路下地盤の液状化対策が実施されていた仙台空港B滑走路
- 仙台釜石港高松埠頭や茨城港常陸那珂港区での耐震強化岸壁
- ・下水道の砕石やセメント改良土による埋め戻しによる浮上対策していたマンホール・管きょ施設
- ・河川堤防の支持地盤液状化対策等を行った筒所(図 6.3(B))





(A) 建築物(格子式改良)

(B) 河川堤防 (ブロック式改良)

図 6.3 深層混合処理地盤の改良効果

(4) 今後の課題

①低価格な地盤液状化対策の開発

地盤液状化の予測とその対策法が適切に行われていた社会基盤施設や中・高層ビルでは地盤液状化の被害は軽微かほとんどなかった。これらの地盤改良工法の中で、セメント系地盤改良工法は液状化対策に大いに効果があった。このことは、現行の設計法や施工法が優れていることを示している。今後とも、設計法や施工法などの技術開発が求められる。その一方で、戸建住宅や低層住宅への地盤改良があまり進んでおらず、結果として大きな災害を引き起こした。

表 6.1 は地盤液状化対策を目的とした地盤改良工法のリストである。固化系の地盤改良工法の内、深層混合処理工法は、締固め工法、排水工法や置換工法などと比べて 2~3 倍の価格で、しかも大型の施工機械で施工される。

	表 0.1 液状化対象を目的とした地盤以及工法					
原理	工法	概算工費 (円/m³)	振動 騒音	地盤へ の影響	施工 機械	変位 制御
4×7:	サンドコンパクションパイル工法	1000 ~2000	あり	あり	大型	あり
締固	振動棒工法	1000 ~2000	あり	あり	大型	あり
自め	静的締固め砂杭工法	2000 ~3000	少ない	あり	大型	あり
W	コンパクショングラウチング工法	10000 ~ 15000	少ない	あり	小型	あり
排	砕石ドレーン工法	2000 ~4000	少ない	少ない	大型	少ない
水	人工材排水工法	2000 ~ 4000	少ない	少ない	中型	少ない
置	事前混合処理工法	3000 ~ 4000	少ない	あり	大型	あり
換	軽量土工法	8000 ~ 12000	少ない	あり	大型	あり
	深層混合処理工法	4000 ~ 6000	少ない	少ない	大型	あり
固	高圧噴射撹拌工法	20000 ~ 60000	少ない	少ない	小型	あり
化	薬液注入工法	20000 ~ 30000	少ない	少ない	小型	少ない
	溶液型薬液注入工法	20000 ~ 30000	少ない	少ない	小型	少ない
構造	杭増し打ちによる補強工法	20000 ~ 50000	少ない	少ない	小型	あり
物	矢板による補強工法	20000 ~ 50000	少ない	少ない	小型	あり
補強	固化による杭補強工法	20000 ~ 50000	少ない	少ない	小型	あり

表 6.1 液状化対策を目的とした地盤改良工法 4)

高圧噴射撹拌工法や薬液注入工法は小型機械での施工ではあるが、非常に高価格である。戸建住宅や低層ビルなどにも適用可能な比較的小型の施工機械で安価に地盤改良が行える工法の開発が求められている。さらに、生活に直結する下水道施設などの地盤に埋設されるライフラインに関しても、支持地盤と埋め戻し土の液状化対策としてセメント系改良工法の開発とさらなる経済化が求められている。

②海外への情報発信

今回の大地震での地盤改良工法の効果に関しては、海外でも関心が非常に高かった。米国では工事発注者が東日本大震災での地盤改良の効果に関してコンサルタントに質問し、その実績を設計に取り入れようとする事例もあると聞いている。今回の地震の地震災害調査結果を見ると、セメント系地盤改良工法を含め、多くの地盤改良工法で大きな改良効果が見られている。そのためか、海外に地盤改良の効果を情報発信することが少なかったように思われる。2011年2月にニューオーリンズで開催された国際会議とDeep Foundations Institute の Magazine で深層混合処理工法の改良効果を発表したが、非常に大きな反響があった。我が国の地盤改良技術の優秀さをアピールするとともに、地盤改良の重要性を世界に向けて情報発信することが期待されている。

(5) おわりに

本稿では、東日本大震災での地盤災害とセメント系地盤改良の効果について簡単に紹介した。今回の地震の教訓として、液状化対策や耐震対策の重要性が改めて認識されるとともに、地盤改良工法の優秀さも認識された。今後ますます、セメント系地盤改良工法への期待が高まっていくものと思われる。社団法人セメント協会をはじめとして同工法に携わる方々の一層の研究・開発を期待したい。

【参考文献】

- 1) 公益社団法人地盤工学会:液状化対策工法,2004年
- 2) http://car.jp.msn.com/news/society/photos.aspx?cp-documentid=5099512&page=10
- 3) http://www.asahi.com/special/10005/TKY201103180170.html
- 4) 公益社団法人地盤工学会:地震時における地盤災害の課題と対策
 - 2011年東日本大震災の教訓と提言 , 2011年

資料 セメント系固化材を用いた地盤改良と改良効果

これまでに、セメント系固化材を用いた地盤改良を実施した構造物のほとんどが地震による被害を 免れ健全であったことが明らかになった。また、震災復旧工事においてもセメント系固化材を用いた 地盤改良が重要な役割を果たしていることの一端を紹介した。そのほかにも多くの場面で利用されて いると考えられる。

ここでは、セメント系固化材を用いた地盤改良の特徴を再確認するとともに改良効果が得られるメカニズムを整理する。その上で、地震後の調査結果や調査に関する各種の報告の内容も参考にして目的とした効果を得るための目安や設計上の注意点についても整理することとする。

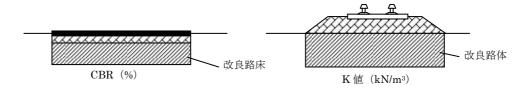
また、今回の地震に関連して実施された自治体などの被害調査結果などを参考に住宅の被害や埋設管路等の埋め戻し部の被害などについても言及する。

1. セメント系固化材を用いた地盤改良の効果

セメント系固化材を用いた地盤改良効果が発揮されるメカニズムは、改良目的・工法により異なるが、概念を以下に示す。

(1) 地盤の強度増加

路床改良や路盤改良などでは、改良地盤の強度指標である CBR (%) や K 値 (kN/m^3) などの確保が目標となり、直接的に室内試験で CBR や一軸圧縮強さが得られる固化材の添加量が選定される。路床改良では、上限値とされる CBR=20%を目標とすることが一般的であるが、施工条件などから、ある程度の改良地盤の厚さを確保するために CBR=20%以下の値を目標とすることもある。

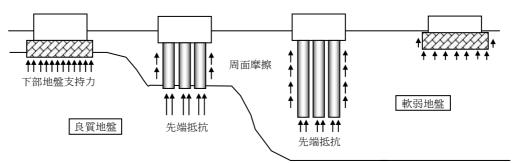


資図 1.1 路床・路盤などでの改良工法

(2) 支持力の確保、沈下の低減

セメント系固化材を用いた地盤改良工法は、**資図 1.2** に示すように柱状、ブロック状あるいは盤状の改良体を支持力の不足する軟弱地盤中に造成し、下部の良質地盤の支持力や先端抵抗ならびに周面摩擦力により支持力を得る工法であり、不同沈下が防止できるとともに、沈下量も低減できる。なお、先端が良質地盤に到達している場合は液状化に対しても有効である。

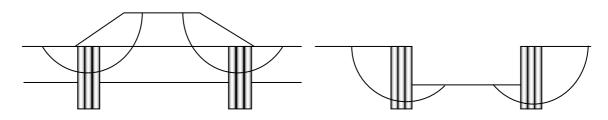
支持力の算定は、地盤の支持力式、先端抵抗と周面摩擦力からなる改良地盤の支持力式により行われる。



資図 1.2 支持力の確保・沈下低減

(3) 滑り破壊の防止

軟弱地盤上の盛土や開削工事の際に、セメント系固化材を用いた柱状改良体を法尻部や開削部境界 に配置し、改良体と地盤との複合地盤のせん断抵抗により地盤のせん断破壊を防止することができる。 改良地盤のせん断抵抗には、改良率を考慮した平均せん断力が用いられる。



資図 1.3 滑り破壊の防止(せん断抵抗の増加)

(4) 液状化の防止

液状化層が薄い場合には対象となる砂地盤を直接固化する工法が、液状化層が深い場合には本報告でも数例示したように格子状の壁を地中に造成し、地盤のせん断変形を抑止することにより液状化を防止する工法が用いられている。

①直接固化

直接固化工法は、砂質土にセメント系固化材を混合して固化し、砂粒子同士を結びつけることにより、地震動による繰り返しせん断力によっても破壊しないようにすることで液状化を防ぐ工法である。 直接固化の場合で液状化防止効果が確認された強度設定値としては、以下のような事例がある。

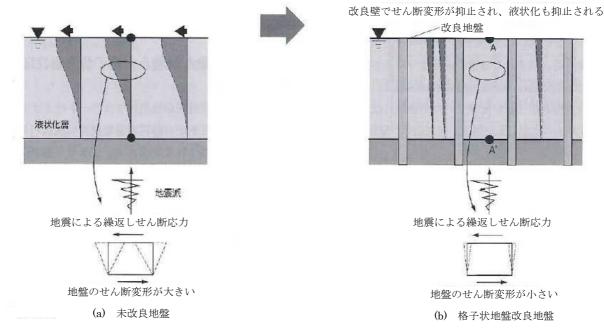
- ・ 下水管路の埋め戻し $^{1)}: q_{\rm uf} = 50 \sim 100 {\rm kN/m}^2$
- ・ 耐久性を有する薬液注入 2 : $q_{uf}=80$ kN/m 2

このように、直接固化する工法では、改良土としては比較的低い強度設定で液状化防止効果が得られている。液状化が発生する地盤や下水管路等の埋戻し土は、一般に砂質土であるため、上記の目標強度を得るための固化材添加量が少なくなる傾向にある。したがって、施工に際しては、固化対象土とセメント系固化材を十分混合すること、粉体混合の場合には十分な締固めを実施することが重要である。

②格子状地盤改良による液状化防止

格子状地盤改良工法は神戸港の埠頭部分に建設されたホテルに適用されており、1995年の兵庫県南部地震の被害を免れたことで液状化防止効果があることが実際に確認された。

格子状地盤改良工法による液状化防止メカニズムは、**資図 1.4** に示すように、剛性の高い改良土壁で囲まれた内側の砂質土地盤のせん断変形が小さく抑えられることにより、間隙水圧の上昇が生じず液状化に至らないと考えられている³⁾。



資図 1.4 格子状地盤改良による液状化防止メカニズム 3)

本報告の4章で紹介したように、兵庫県南部地震で効果が確認されて以降、適用例が増加している。 実際の計画では、格子間隔、壁の厚さ、壁を形成する改良体の強度を決定する必要がある。重要構造 物では、3次元の有限要素法による解析が実施されることもあるが、実用的な格子間隔の算定法は、 **資式1.1**によることができるとしている 4)。

$$L = \exp \left[\frac{ \left(\ \tau \ 1/\ \sigma \ _z' \right) \ / \ \left\{ FL_d \cdot 1/n \cdot \left(\ \alpha \ _{max}/g \right) \cdot \left(\ \sigma \ _{z}/\ \sigma \ _{z}' \right) \cdot \ \gamma \ _{d}' \cdot FG(\textit{G}) \cdot FH(\textit{H}) \right\} \ + 0.095 }{0.287} \right]$$
 資式 1. 1

ここで、τ1/σz':基礎指針の液状化抵抗比

σz : 地中応力 (kN/m²)

σ z' : 地中有効応力 (kN/m²) g : 重力加速度 (cm/sec²)

FLd : 設計上の安全率

 γ_{d} : 低減係数 γ_{d} = 1-0.033Z

Z : 深度 (m)
L : 格子間隔(m)

FG(G) : 補正係数 $FG(G)=-0.459 \log_{e}(G)+4.026$ G : 改良体剛性(MN/m²) たとえば 700MN/m²

FH(H): 補正係数 FH(H)=0.689 e^{0.016H}

H : 改良深さ(m)

α max : 自由地盤での地表面最大加速度 (cm/sec²)

4章で紹介した事例などの改良仕様を資表 1.1 に示す。

資表 1.1 液状化防止を目的とした格子状地盤改良の仕様比較

件 名	最大格子間隔	改良径	改良体強度 Fc	改良体先端	備考
件 名	(m)	(mm)	(kN/m^2)	深度(m)	加州
神戸オリエンタルホテル ³)	17.5×25.6	φ 1000	2350	2350 GL-12~19	
仙台空港滑走路	4.2×4.2	$\phi~2500$	3000	GL-6.5	L=4.2~4.5m
アクアマリンふくしま	8.8×11.2	φ 1000	_	FL-14	L=11.8m
TDL 立体駐車場	15.6×16.5	ϕ 1000	1800	GL-14	L=14m
TDL 劇場	15.5×14.3	φ 1000	1500	GL-16	L=15.5m, 11.55m
Series to III a view of	10.47/11.0	1000	GL-13	L=11m, 7.2m	
浦安クリーンセンター	10.4×11.2	ϕ 1000	1800	GL-15	L=13m

【参考文献】

- 1) 一般財団法人沿岸技術研究センター:埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版),平成9年 8月
- 2) 江藤政継・永山裕典・佐藤潤・佐川浩紀:薬液注入工法による地盤の液状化防止効果について, 第47回地盤工学委研究発表会,pp.761-762,2012.7
- 3) 内田明彦:格子状地盤改良の発展と進化,建築技術,pp.70-77,2012.4
- 4) 田屋裕司・内田明彦・吉澤睦博・鬼丸貞友・山下 清・津國正一:格子状地盤改良における格 子間隔の簡易設定法,地盤工学ジャーナル, Vol.3, No.3, pp.203-212, 2008

2. 下水管路施設の液状化被害と対策

下水道管路施設の地震による被害と対策に関しては、国土交通省国土技術政策総合研究所での調査や検討が実施¹⁾され、その成果の一部は弊協会発行の「セメント・コンクリート」でも、「セメント系改良土による下水管路施設の埋め戻し一東日本大震災での耐震効果と施工上の留意点一」として深谷主任研究官の報文²⁾が掲載されている。ここでは、主な内容を紹介することとする。

(1) 管路施設の耐震化状況

下水道などの管路施設の地震による被害は、主に管路の埋戻し土の液状化によるものが多いとされている。埋戻しには、施工が容易なことから砂質土が用いられており地下水位の高い地盤ではこの砂質土が液状化し、管路やマンホールの浮き上がり、路面の陥没などの被害が生じる場合がある。

2010年度末の耐震化は以下の通りでまだまだ低い状況である。

- ・ 水道管路(基幹的な管路)の耐震化率:30%
- ・ 下水道管路(1997年度指針策定以前に工事発注された重要な管路)の耐震化率:14%

管路施設の液状化対策としては、2004年に発生した新潟県中越地震後に、「マンホール工事の埋戻しにおける技術的緊急提言」がとりまとめられ、以下の3工法が提示されている。

① 埋戻し土の締固め : 良質土を用い締固め度 90%程度以上で埋戻す

② 砕石による埋戻し :地下水位以深を透水性の高い材料(砕石)で埋戻す

③ 埋戻し土の固化 :地下水位以深をセメント固化改良土等で埋戻す

これらの対策は、震災復旧工事で適用され、3年後の2007年中越沖地震の際に下水道管きょの被害発生率が0.4%と極めて低く、対策工法の有効性が実証されている。

(2) 東日本大震災における被害とセメント固化対策済み箇所の被害

東日本大震災における下水道管路施設の被害の調査が各自治体(福島県の立ち入り制限のある地区以外)で実施され、結果が集計されている。東北地方のほか関東地区でも被害が発生しており、被災率は自治体により異なるが 0.1~3.2%で、集計全体では 1.0%となっている。下水管路施設の被災延長は 550km (64,730km 中) と膨大である。

下水道管きょをセメント固化改良土等で埋め戻す工法の実績が宮城県内の2 市であり、被害状況の調査が実施された。調査結果を資表2.1 に示す。

この調査結果で明らかなように、固化対策を実施した部分の被災率はいずれの市においても全体の被災率に比べて小さく、固化対策の効果があったものと考えられる。また、被災と判定された場合でも固化対策実施箇所は若干の路面異常が認められ、通行には支障がない程度であったと報告されている。代表的な状況を**資図 2.1** に示す。

XXIII ARCOROLAGE COOLEMA								
自治体	整備延長 (m)	被災延長 (m)	固化対策發	延長(m) 被災延長	全体被災率 (%)	固化部被災率 (%)		
	1)	2	3	4	2/1	4/3		
A 市	315,000	12,200	2,500	54	3.87	2.16		
В市	142,000	13,410	19,662	336	9.44	1.71		

資表 2.1 A市とB市の下水道管きょの地震被災率







標準施工 (未対策)

固化による対策部(被害無し) 固化による対策部(被害小)

資図 2.1 対策の有無による被災状況の例

(3) A市のセメント固化対策現場の調査

A市でセメント固化対策を実施された箇所の被災は、耐震設計上許容される範囲の軽微なものであったとされている。被害のあった部分となかった部分で、土質調査および被災状況の分析が実施された。現地の改良土の一軸圧縮試験結果を**資表 2.2** に示す。

	•					
⇒□ ★ ンルピ r左	一軸圧縮強	さ(kN/m²)	調査深度(m)	一軸圧縮強	深度別 平均値	
調査深度 (m)	被害	有り		被害無し		
	孔 No.1	孔 No.2		孔 No.3	孔 No.4	一つに
$1.8 \sim 2.75$	76	68	$1.5 \sim 2.3$	42.5	18.4	51.2
$2.75\sim3.35$	12.6	12.2	2.6~3.54	12.6	11.4	12.2
1 断面あたりの 平均値	44.3	40.1	1 断面あたりの 平均値	27.6	14.9	31.7

資表 2.2 A 市におけるセメント改良埋め戻し土の一軸圧縮試験結果

1 断面当たりの平均一軸圧縮強さは基準値($50\sim100$ kN/m²)を下回る結果となっており、深度が深い位置の一軸圧縮強さが低いことがわかる。一方、各試料土の酸化カルシウム分の分析の結果、セメント添加量は50kg/m³に近い値であることが確認された。

施工者への施工状況の聞き取りによると、下記のことが判明した。

・ 混合撹拌 : バックホウによる現地撹拌 (3回撹拌)

・ 埋戻し : 混合撹拌後の仮置き期間が約1日

これらの事実から埋戻し改良土の強度不足の原因は次のとおりであるとしている。

・ 混合不足 : バックホウによる混合でばらつきが生じた可能性がある

・ 仮置き期間の存在 : 仮置きが約1日あり、直ちに埋め戻す場合に比べ強度低下が生じる

・ 締固め不足 : 管周りの深い位置の転圧が不十分であった可能性がある

セメント系固化材による地盤改良の基本である十分な混合撹拌、速やかに十分転圧(締固め)することの重要性を再認識させられる結果である。

(4)B市の被災状況分析

B市では、平成17年度に下水道管路のセメント系固化処理土による埋め戻しが導入され、以後順次施工されてきた。資表2.3に年度ごとの施工延長と東日本大震災による被災率を示す。

平成 17 年度は耐震化事業に着手した初年度で十分な施工指導ができていなかったが、平成 18 年度より事前配合試験の立会いや指示の適正化が図られた。施工管理の適正化に関して留意された事項は以下の 2 点のようである。

- ① 現地でのセメント混合時の立会い(全数量について実施)
- ② 現場発生土ごと(1工事あたり3箇所)に事前配合試験実施

このような対応が実施され、平成18年度以降の施工箇所はほとんど被災していないと報告されている。

処理区	A 処理区分		B処理区分			計			
施工年度	整備延長 (m)	被災延長 (m)	被災率 (%)	整備延長 (m)	被災延長 (m)	被災率 (%)	整備延長 (m)	被災延長 (m)	被災率 (%)
H17	3,238	243	7.5	2,453	52	2.1	5,690	295	5.2
H18	3,104	0	0	2,096	0	0	5,201	0	0
H19	3,769	41	1.1	2,114	0	0	5,883	41	0.7
H20	2,259	0	0	0	0	0	2,256	0	0
H21	632	0	0	0	0	0	632	0	0
合計	11,999	284	2.2	6,663	52	0.8	19,662	336	1.7

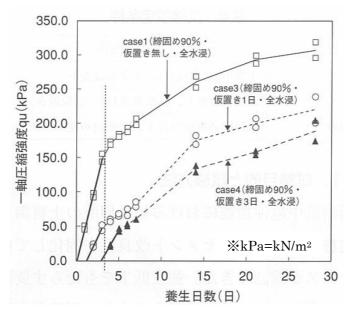
資表 2.3 年度ごとの施工延長と東日本大震災による被災率 3)

(5) 下水道管きょ埋戻し施工時のセメント系改良土の発現強度に関する検討

国土交通省国土技術政策総合研究所で実施されたセメント系改良土の地下水の存在、仮置き、解きほぐしおよび締固め度合いの強度発現への影響に関する試験結果が紹介されている。試験条件と材齢 28 日の一軸圧縮強さの試験結果(平均値)を資表 2.4 に示す。また、締固め度および養生条件が同じで仮置き日数が異なる場合の養生日数と一軸圧縮強さの関係を資図 2.2 に示す。試験には、被災箇所と同じ粒度構成に調整した砂質土(レキ分 11.6%、砂分 79.1%、細粒分 9.3%)が用いられた。

真衣 2.4 試験余件と材節 28 日の一軸圧縮強 eの試験結果 //								
強度比(%)	一軸圧縮強さ		CaseNo.					
対 Case2	(kN/m ²)	仮置き日数	締固め度(%)	養生方法	Caseno.			
100	414.6	0	90	空中3日水浸4日	2			
74	307.1	0	90	全期間水浸	1			
60	248.0	0	80	全期間水浸	5			
56	231.5	0	80	空中3日水浸4日	6			
53	220.2	1	90	全期間水浸	3			
50	206.9	1	90	空中3日水浸4日	8			
46	189.9	3	90	全期間水浸	4			
22	91.6	1	80	全期間水浸	7			
21	85.9	1	80	空中3日水浸4日	9			

資表 2.4 試験条件と材齢 28 日の一軸圧縮強さの試験結果 1)

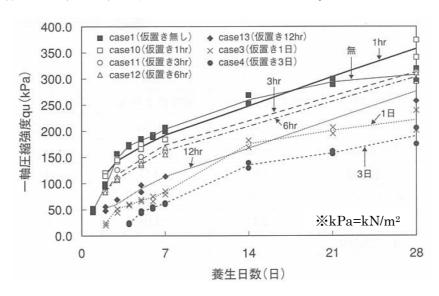


資図 2.2 仮置き日数の違いと強度発現傾向 1)

これらの結果から仮置き期間が長くなるほど、締固め度が低下するほどセメント改良土の一軸圧縮強さが低下することが読み取れる。また、「締固め度 90%・仮置き 0 日」においては地下水の影響が大きく、「締固め度 80%・仮置き 1 日」においては地下水の有無による違いが見られない。つまり、理想的な条件下での施工では地下水の影響が出やすく、施工条件が悪いと地下水の影響以上に他条件による影響が卓越していると報告されている。

さらに、1日までの時間単位の仮置きによる影響を調査するために実施された試験結果を**資図 2.3** に示す。仮置き時間はセメントと土との混合が完了した時点から締固めが完了するまでの時間で、混合ヤードでの仮置き時間、運搬車両による運搬時間や運搬車両上での待機時間などが含まれる。

試験結果から仮置き時間が 6 時間から 12 時間の間で強度低下が大きいことが確認され、セメントの混合後 6 時間以内に締固めを完了するのが望ましいとしている。



資図 2.3 仮置き許容時間に関する試験結果(養生日数一軸圧縮強さ)1)

一連の検討結果から、施工時に考えられるセメント改良土の強度低下要因を整理し、配合設計時の 強度設定式(資式 2.1) が提案されている。

発現推定強度 (kPa) =標準条件強度 (kPa) ×強度発現率 (%) ÷100 **資式 2.1**

なお、強度発現率は資式 2.2 で求めている。

強度発現率 (%)

=仮置き係数①×仮置き・締固め係数②×仮置き・締固め・養生係数③×100 **資式 2.2**

ここで、仮置き係数、仮置き・締固め係数、仮置き・締固め・養生係数の組み合わせは**資表 2.5** の値としている。

項目	条件	係数
	仮置き無し	1.0
①仮置き	仮置き 1 日	0.7
	仮置き 3 日	0.6
②締固め	締固め度 90%以上	1.0
	締固め度 90%以下かつ仮置き無し	0.75
	締固め度 90%以下かつ仮置き 1 日	0.4
② 美	空中3日水中4日かつ仮置き無しかつ締固め度90%以上	1.0
③養生方法	その他の条件	0.75

資表 2.5 各種係数 ¹⁾

各種係数をまとめ、**資表 2.6** に強度発現率を示す。本表には、文献 ²⁾に示された水浸条件のほかに空中 3 日水中 4 日の条件を資式 2.2 により算定し追記した。なお、ここに示す強度発現率は、本試験により想定したものであり、土質が大きく変わる場合には、別途確認が必要であるとしているので注意が必要である。

養生条件	空中3日	水中 4 日	水浸養生		
食生 条件	締固め度≧90%	締固め度<90%	締固め度≧90%	締固め度<90%	
仮置き無し 100		60	75	60	
仮置き 1日	50	20	50	20	
仮置き 3 日	45	_	45		

資表 2.6 強度発現率

(%)

(6) 国土交通省国土技術政策総合研究所の成果に基づく強度設定値の試算例

国土交通省国土技術政策総合研究所の成果に基づき、下水道管きょ埋戻しに用いるセメント系改良 土の強度を試算した例を示す。現場で必要な一軸圧縮強さを 50kN/m² として以下の施工条件が予想 される場合の室内での目標一軸圧縮強さを求めると次のようになる。

【施工条件】

- ① 管周りで締固め不足が予想される
- ② 施工上仮置き1日を考慮したほうが良い
- ③ 締固め完了後地下水が戻ってくる

以上の施工条件に合う強度発現率は資表 2.6 によると 20%となる。

現場室内強度比を 2 とすると室内目標一軸圧縮強さは、 $50 \times 2 = 100 k N/m^2$ となる。 ここで強度発現率を考慮した室内目標一軸圧縮強さは、 $100 \div 0.2 = 500 k N/m^2$ となる。 この一軸圧縮強さが得られるセメント(系固化材)の添加量を求める。

以上、下水道管路施設のセメント改良土を用いた耐震化工法の効果ならびに現場の施工条件を考慮した配合設定について紹介した $^{1/2}$ 。

これらの成果を利用することにより各種の管路施設の耐震化が進み、地震による被害が減少することが期待される。なお、確実な効果を得るためには、セメント系改良土利用の基本である十分な混合ならびに速やかで、十分な転圧(締固め)が重要であることを理解した良好な施工が必須である。

【参考文献】

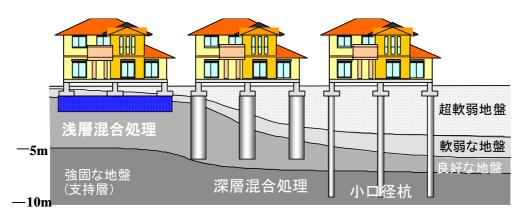
- 1) 深谷 渉・榊原 隆:下水管路施設埋め戻し部へのセメント系改良土の適用に関する検討報告 書,国土技術政策総合研究所資料第531号,2009.4
- 2) 深谷 渉:セメント系改良土による下水管路施設の埋め戻し―東日本大震災での耐震効果と施工上の留意点―, セメント・コンクリート, pp.34-41, No.784, Jun.2012
- 3) 下水道地震·津波対策技術検討委員会報告書, p.149, 平成 23 年 3 月

3. 宅地地盤の液状化と地盤改良

(1)住宅と地盤改良

東日本大震災では、住宅の液状化による被害が多発し液状化対策の必要性が再認識された。新しい 造成地などで多発した不同沈下事故をきっかけに、宅地においても地盤調査を実施し、支持力不足や 不同沈下が懸念される場合に基礎下部地盤を補強する対策が採用されるようになってきた。

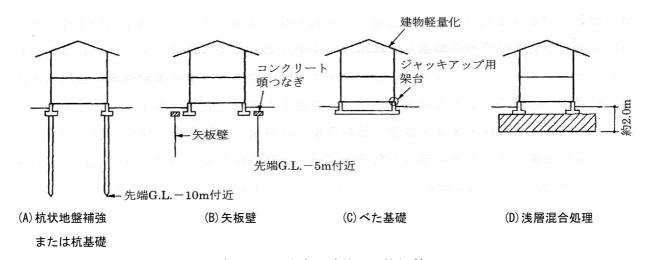
地盤補強工法には様々な工法があるが代表的な工法を**資図3.1**に示す。小口径鋼管杭を用いる場合も基礎とは連結せずに地盤補強として扱われている。



資図 3.1 地盤補強工法の代表例1)

セメント系固化材を用いる浅層混合処理工法および深層混合処理工法(柱状改良工法)は、この分野でも重要な役割を果たしている。

しかしながら、支持力の確保や不同沈下の防止を主目的として計画されることが多く、液状化に対する検討が行われた例は少ないのが実情である。住宅の液状化対策工法として具体的に示した例としては**資図 3.2** (小規模建築物基礎設計の手引き,1988) があるが、東日本大震災以前での採用は少ないものと考えられる。

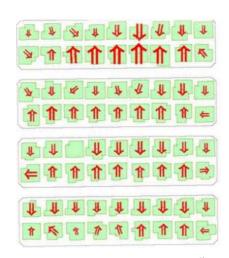


資図 3.2 住宅の液状化対策例2)

(2) 東日本大震災における住宅の液状化被害調査

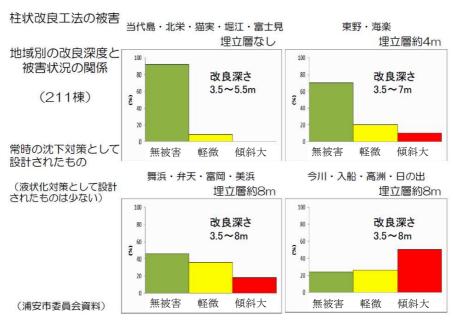
弊協会の調査結果にも戸建住宅が含まれ、浅層改良した場合および柱状改良した場合に被害を受けている事例もある。

震災後は、液状化の被害の大きかった自治体では被害状況の調査とともに、液状化対策の整理が実施されている。液状化被害の大規模な調査には、時松らが実施した浦安市における調査がある。調査は被害のあった約9000棟について実施され、住宅の傾斜は、**資図3.3**に示すように地中応力の大きい背向かいの住宅の中央に向かう傾向が確認されている。



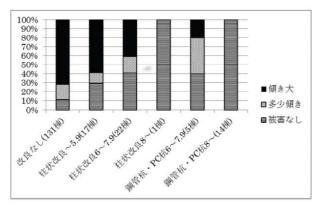
資図3.3 住宅の傾斜傾向3)

柱状改良された住宅 211 棟の被害を埋立て層の厚さごとに整理したのが**資図 3.4** である。改良深 さの異なるものが同時に整理されているが、埋立て層厚が大きいほど傾斜・傾斜大の住宅の比率が増 加することがわかる。



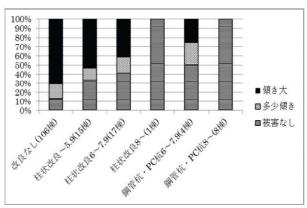
資図 3.4 柱状改良された住宅の被害状況 3)

また、ハウスメーカーの協力で 620 棟の調査を実施した結果を改良種別ごとに整理した結果を資図 3.5 (被害地区:傾斜 1/100 が 30%以上) および資図 3.6 (被害大地区:傾斜 1/60 が 15%以上) に示す。いずれも埋立て層厚が約 8m の地区である。柱状改良等の改良を実施している場合は改良なしに比較して被害が小さくなっている。柱状改良の施工長さが長いほど被害無しの件数が増加し、埋立て層厚と等しい 8m では被害は発生していない。また、鋼管杭・PC 杭の場合でも 8m 未満の場合に傾斜大となっている例もある。



被害地区(データ総数 190 棟)

資図 3.5 被害地区(傾斜 1/100 が 30%以上)3)



被害大地区(データ総数 151 棟)

資図 3.6 被害大地区(傾斜 1/60 が 15%以上)3)

品川ら 4)は、千葉県と茨城県の液状化により被害が発生した 36 宅地で震災後にスウェーデン式サウンディング試験 (SWS 試験) を実施し、震災前のデータと比較している。36 宅地の補強状況は、27 宅地が補強なし、8 宅地が柱状改良、1 宅地が小口径鋼管補強である。

基礎下部2mの範囲の震災前後のSWS試験結果から小規模建築物基礎設計指針²⁾ が推奨する**資式** 3.1を用いて得られた地盤の長期許容支持力度を**資図3.7**に示す。

 $q_a = 30 W_{sw} + 0.64 N_{sw}$ 資式3.1

 q_a : 長期許容支持力度 (kN/m²)

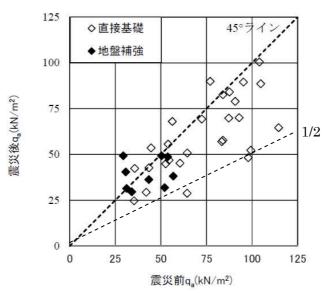
Wsw: SWS試験による貫入時の荷重の平均値(kN)

ここでは、地表面から深さ2mまでの平均値を採用している

 N_{sw} : SWS試験による貫入量1mあたりの半回転数 (150を超える場合は150とする) の平均値 (回)

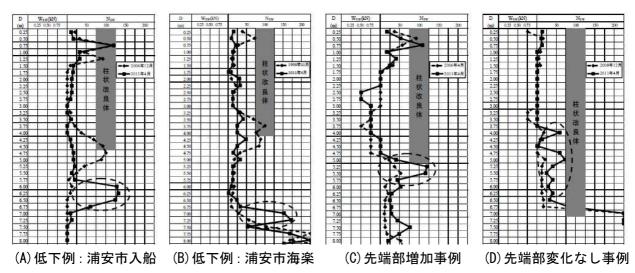
ここでは、地表面から深さ2mまでの平均値を採用している

液状化により地盤の長期許容支持力が低下した宅地が約8割の29件あることがわかる。震災前の地盤調査で長期許容支持力が80kN/m²以上と算定され、直接基礎が採用されたが液状化が発生して被害を受けた宅地が27件中10件で4割に相当する。これらは、浅層に1m程度の $N_{\rm sw}$ の大きい層があるがその下に緩い砂層が存在し、液状化することにより被害が生じたものである。



資図 3.7 液状化被害のあった宅地の震災前後の地盤の長期許容支持力 4)

セメント系固化材を用いた柱状改良により補強した場合に被害を受けた事例のSWS試験結果を資図 3.8 に示す。図中の破線は地震前であり、実線は地震後(2011 年 4 月)の調査結果である。柱状改良により補強した宅地 8 件中 6 件は、図中(A)(B)のように柱状改良体先端の 1m 程度の N_{sw} の大きい層は地震により消失し、支持力が低下したと考えられる。一方、破線のまるで囲んだ深い部分で震災前よりも N_{sw} が大きくなっている。他の 2 件は、(C)のように先端部の N_{sw} が増加し、(D)のように先端部の変化がない事例である。



資図 3.8 液状化前後のスウェーデン式サウンディング試験結果 4)

液状化範囲は不明であるとしているが、 $4\sim5m$ と比較的浅い部分にある厚さ 1m 程度の Nsw の大きい層が液状化の影響を受けていると考えられる。

これらの調査結果も踏まえ、液状化対策として次のような見解が示されているり。

これまで、小規模住宅の液状化対策として、柱状改良工法、小口径鋼管杭工法、浅層改良工法、注入工法、基礎の剛性向上が有効と考えられてきた。事実、2004年の新潟県中越地震、2007年の新潟県中越沖地震では、常時の沈下対策として支持層まで地盤改良していた住宅は液状化に対して効果的

であったことが確認されている。しかし、今回の地震では液状化により支持力を喪失した地盤が多く認められた。特に、柱状改良体では改良体先端部の地盤がゆるみ、先端支持力を喪失したものが目立った。そのため、地盤改良体の設計においては、改良体先端部が 2m 以上の厚みのある支持層に達するようにする必要がある。

以上の結果から、戸建住宅の基礎補強を計画する場合には支持力や沈下量の検討とともに下記の項目についても検討する必要がある。

- ① 各自治体や学会などから示されている液状化ハザードマップを参考に、対象宅地が液状化 の可能性がある場合には液状化の発生を考慮した地盤補強の検討を実施する。
- ② 柱状改良工法を採用する場合、液状化対象層の下まで到達させるのが望ましい。中間に締まった層に到達させる場合も 2m 以上の厚さを有していることを確認し、それ以下の場合には液状化対象層下部に先端を到達させる。

個別の対応では、費用面でも対応が困難なこともあり地区ごとに行政を交えて検討が行われ、地下 水位低下工法など広域的な対策が検討されている事例もある。

他方、本調査の浦安の事例は、いずれも施工長を大きく取ることで被害を免れているのも事実である。液状化に対しても有効な地盤改良を計画する場合には、地域や地盤特性を把握し、今回の地震による被害状況を参考にするなど専門的な判断が求められる。

【参考文献】

- 1) 公益社団法人日本材料学会 地盤改良部門委員会編: 実務者のための戸建住宅の地盤改良・補 強工法, p.13, 2010.6
- 2) 一般社団法人日本建築学会:小規模建築物基礎設計の手引き, p.51, 1988
- 3) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会 公益社団法人地盤工学会・公益社団法人土木学会・一般社団法人日本建築学会:平成23年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書,平成24年3月
- 4) 品川恭一・藤井衛・金哲鎬・小川正宏: 東北地方太平洋沖地震による戸建住宅の液状化地域における地盤の変状, 第47回地盤工学研究発表会, pp.1491-1492, 2012
- 5) 金哲鎬・藤井衛・品川恭一・伊集院博・高田徹・松下克也・小川正宏: 東北地方太平洋沖地震の液状 化地域における戸建住宅の基礎の被害, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.195-205, 2012

謝辞

本調査を実施するにあたり、各方面の機関にご協力を賜りました。以下に紹介するとともに、謝意を表します。

情報提供いただいた機関(敬称略・順不同)

- 国土交通省東北地方整備局
- ·国土交通省東北地方整備局 北上川下流河川事務所
- ·国土交通省東北地方整備局 岩手河川国道事務所
- ·国土交通省東北地方整備局 塩釜港湾·空港整備事務所
- ·国土交通省関東地方整備局 利根川下流河川事務所
- 国土交通省国土政策技術総合研究所
- •福島県 企画調整部
- •常陸太田市 上下水道部
- 浦安市
- · CDM 研究会
- · DJM 工法研究会
- ・アクアワールド茨城県大洗水族館
- ・財団法人ふくしま海洋科学館
- ・株式会社オリエンタルランド
- ・鹿島・清水・西松・佐藤・飛島・竹中土木・若築・橋本・遠藤 特定共同企業体 石巻ブロック災害廃棄物処理業務 JV 事務所
- 来件 自己フェファ列目虎来彻及在来切り**、**
- ・株式会社竹中工務店技術研究所 ・株式会社テノックス
- ・株式会社東洋スタビ
- ・株式会社不動テトラ

ヒアリングに対応いただいた方々(敬称略・順不同)

- 東北大学 風間基樹 教授
- 東北大学 久田 真 教授
- 宮城大学 北辻政文 教授
- · 秋田大学 及川 洋 教授
- · 秋田大学 徳重英信 准教授

東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書 ISBN978-4-88175-132-9 C3358

2013年2月 1版1刷発行

2013年5月 1版2刷発行

2015年3月 1版3刷発行

一般社団法人セメント協会

普及部門

東京都中央区日本橋本町 1-9-4 TEL03-5200-5060

研究所

コンクリート研究グループ

東京都北区豊島 4-17-33 TEL03-3914-2695

本書の無断複製や転載を禁じております 本書に関するお問い合わせは下記宛にお願いいたします。

セメント協会ホームページ http://www.jcassoc.or.jp/