第22回 国土技術開発賞 最優秀賞受賞

既存住宅の住まいながら液状化対策工法 住みながら宅地境界を地盤改良壁で囲む液状化対策工法

〔受 賞 者〕株式会社竹中土木/ケミカルグラウト株式会社

〔本稿執筆者〕 株式会社竹中土木

平井 卓、小西

ケミカルグラウト株式会社

十屋 勉

以下に. 第22回 国土技術開発賞 最優秀 賞を受賞した「既存住宅の住まいながら液状 化対策工法」を紹介します。

1. はじめに

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地 震(東日本大震災)では、埋立地などでの液状化 現象発生に伴い、道路、河川堤防、港湾施設、ラ イフラインとともに、写真-1のように住宅地に も大きな被害が生じた。液状化被害を被った住宅 地では、住宅の傾きや沈下、電柱の沈下、マンホ ールの浮き上がり、下水管の損傷や破壊、おびた だしい噴砂の堆積発生等により、多くの住民が居



写真-1 住宅地の液状化被害

住困難や生活困難に陥った。その後、応急復旧が 懸命に行われたが、今後発生が懸念される首都直 下型地震などに対して、恒久的な液状化対策を住 民や自治体から強く要望された。

しかし、表-1に示す従来の液状化対策工法の ほとんどは、締固め(サンドコンパクションパイ ル)工法や深層混合処理工法など大型の三点式重

	表-1	従来の液状化対策工法
石		 ::+

原理	原理 分類		工法	施工機械の 大きさ	建物の移動・ 解体の必要性	粘性土層 適用性
	締固め工法		サンドコンパクションパイル工法	大型	必要	適用可
1 0 11 55 0 71 +	固化工	深層混合処理工法	機械攪拌工法 高圧噴射工法	大型 小型	必要 必要	適用可適用可
土の性質の改良	法	薬液注入工法	浸透固化工法	中型	不要	不適
	置換工法			大型	必要	適用可
	地门	下水位低下工法	ディープウェル工法	小型	不要	不適
応力・変形・間隙水圧に	間隙水圧低減		グラベルドレーン工法	大型	必要	適用可
関する条件の改良	応力	つ・変形低減	格子状地盤改良工法	大型	必要	適用可

機により広い更地を対策するものであり、住宅の 密集した宅地では施工不可能と考えられた。ま た、地下水位低下工法や恒久グラウトによる対策 は、住宅地でも施工可能であるが、液状化被害の 多い堆積地盤や埋立地では粘性土層がある場合が 多く、圧密沈下や硬化不良の発生が懸念されるた めに適用できない場合が多いと考えられた。

そこで、住民が安心して居住した状態でも、住宅に近接しての施工が可能で、かつ粘性土層などの地盤性状によらず対策効果が恒久的に期待できる工法の開発に着手した。

2. 技術概要

密集した宅地で液状化対策を行うためには、宅地境界や道路などのわずかなオープンスペースで施工可能な方法を選定せざるを得ない。そこで、図-1のように道路を含む宅地境界を地盤改良壁で囲むことで、格子状地盤改良工法のように液状化対策ができないかと考えた。

しかし, 従来の格子状地盤改良工法は格子の間



図ー1 字地境界を地盤改良壁で囲む工法

隔が狭いため、区画の大きい宅地を囲む場合には 効果を期待することが困難であるとともに、狭い 宅地境界で施工可能な機械も存在しなかった。従 って、考案した対策を実現するためには、以下に 述べるように、宅地の区画でも液状化対策を可能 とする新しい設計評価手法と、狭所に対応した小 型施工機械の開発が必要であった。

(1) 設計評価手法の開発

従来の格子状地盤改良に対する設計法においては、液状化層全層にわたって液状化が発生しないように設計されていた。これは、従来の対象物が橋梁や堤防などの大型土木構造物や大型建築物であったため、支持力への液状化による影響範囲が大きかったことによると考えられる。

一方,これらに比べ軽量で小型の住宅を対象とした対策においては、図ー2のように、非液状化層厚5m以上で地表面沈下量Dcyが5cm以下であれば液状化被害が発生する可能性が低くなることを、液状化被害の分析から国土交通省が指針として示している¹⁾。

そこで、住宅地の液状化対策を行うことにより、地表面沈下量 Dcy を 5 cm 以下、かつ非液状化範囲が地表面より 5 m 以上とすることを設計目標とした。宅地を地盤改良壁で囲むことで地盤は立体的に拘束されて、地震時に発生するせん断ひずみが減少し、液状化の発生が防止される。この効果を、図ー2に従って判定するためには、地盤改良壁による 3 次元的な拘束効果を適切に評価することが必要となる。しかし、3 次元解析は複

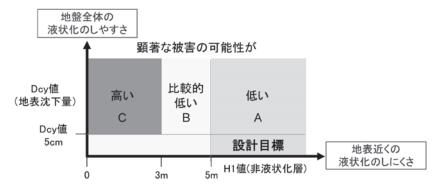
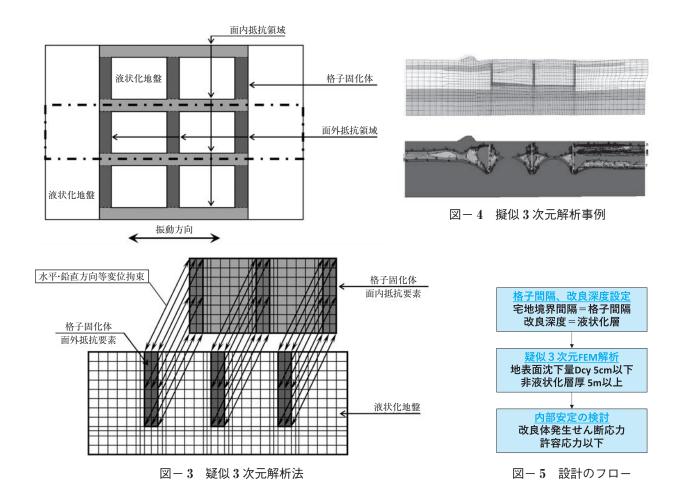


図-2 住宅の液状化被害可能性判定(国土交通省指針の図に加筆)



雑であるとともに、地表面沈下の評価精度については実績がほとんどない状況であった。

一方,2次元等価線形 FEM 解析は,遠心載荷 実験結果との整合性が確認されており,地表面沈 下量 Dcy を評価するのに適していると考えられ た。そこで,2次元解析によって,地盤改良の3 次元的な効果を評価可能な「疑似3次元解析法」 を用いて行うこととした²⁾。

この解析法は、図ー3のように振動方向の地盤 改良壁による面内抵抗領域と直交する地盤改良壁 の面外抵抗領域および改良壁に囲まれる地盤を、 節点を共有する並列の2次元FEM要素とするも のである。

このようにモデル化することで、地盤改良壁で 囲まれた宅地の地表面沈下、非液状化範囲と地盤 改良壁に発生する応力を同時に評価することが可 能となる。このような解析の一例を図-4に示す。

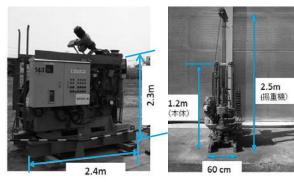
設計は、図-5のフローに示すように設定した 格子間隔と改良深度において、地表面からの非液 状化深度と宅地の地表面沈下が、図-2の設計目標に収まることを疑似3次元解析法により確認した後で、地盤改良体に作用する応力が許容値に収まるように実施することとした。

(2) 小型施工機械の開発

① 宅地内での施工機械

宅地内での施工においては、住宅の最小壁間隔 80 cm での施工が必要であった。地盤改良の直径 は最小でも 100 cm 必要であるため、機械攪拌方式では攪拌翼を挿入することが不可能であり、高 圧噴射攪拌方式を用いる必要があった。

しかし、従来の機械は写真-2(a)のように大きく施工不可能であったため、写真-2(b)に示す超小型の高圧噴射攪拌式「エコタイト工法」を新しく開発した。機械を超小型化するために、噴射装置の管径を従来の90 mm から61 mm にする必要があったが、圧力損失が大きくなるため、管路内部の平滑化が必要であった。また、噴射装



(a) 従来型工法 (b) エコタイト工法 写真-2 超小型高圧噴射式「エコタイト工法」

置やロッドの細径化、および機械重量の軽量化に 伴い機械振動が生じやすく精度への影響が懸念さ れたため、写真-3のような剛性の高いガイドレ ール上に機械を固定する方式として精度確保を可 能とした。

また、ガイドレールと専用揚重装置により機材の 運搬を容易に行えるよう工夫した。 さらに、 宅地内 を排泥で汚さないために、図-6のようなクローズ

ドシステムを開発し、エアリフトと配管を用いて排 泥を宅地外のタンクへ直送するようにした。

② 道路での施工機械

宅地に隣接する幅6m程度の狭い道路におい ても施工可能で、かつ高圧噴射攪拌方式よりも施 工速度が速く、排泥量も少ない写真-4のような 小型機械攪拌式「スマートコラム工法」を新しく 開発した。

この機械は、従来の三点式機械攪拌工法施工機 械に比べて、占有面積が30%以下と小型軽量で あり、狭い街路での施工に適している。しかし、 軽量であることと攪拌翼の回転軸であるロッドの 径が細いことから、施工精度の確保が課題であっ た。そこで、攪拌翼の供回り防止装置に図-7に 示すようなスタビライザーを取り付け, 大型施工 機に匹敵する 1/200 以下の鉛直精度を確保できる ようにした。



写真-3 ガイドレールと揚重装置

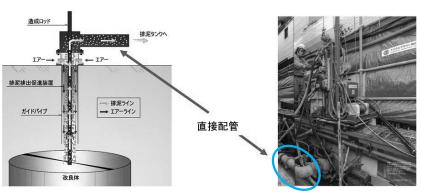
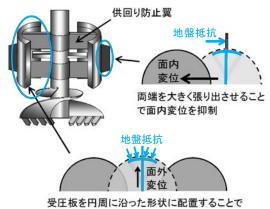


図-6 クローズドシステムによる排泥



写真-4 スマートコラム工法



面外変位を抑制

図-7 特殊攪拌翼の構造

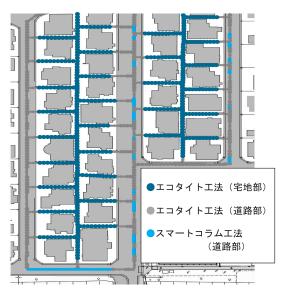


図-8 地盤改良の概略配置図

実工事への適用 3.

前述のような技術が、学識経験者と住民等で構 成された浦安市市街地液状化対策検討委員会で採 用され、浦安市東野3丁目地区の2街区の液状化 対策工事で実用化に至った。図-8に、地盤改良 概略配置を示す。

当初、全てを円形断面の高圧噴射攪拌工法のみ で施工することを考えていたが、前述した機械攪 拌式「スマートコラム工法」や埋設管横断箇所で 図-9に示す矩形の高圧噴射攪拌工法を併用する ことで、工期を22%、工費を28%縮減すること ができ、街路と宅地の一体的液状化対策を住民が 居住した状態で無事完了することができた。

おわりに

本技術の適用により、住宅に居住しながら宅地



図-9 矩形高圧噴射攪拌工法

の液状化対策を無事完了することができた。今 後、液状化が懸念される宅地に本技術が広く展開 され、住民の安全・安心につながるよう、さらな るコストダウン、効率化に向けて技術開発を進め る所存である。

最後に、多大なご指導とご協力をいただいた浦 安市、株式会社竹中工務店をはじめ多くの関係者 の皆さまに厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針, 国土 交通省. 2013.
- 2) 高橋, 森川, 津國, 吉田, 深田: 液状化対策として の格子状固化処理工法の改良深さ低減に関する研究. 港湾空港技術研究所,港湾空港技術研究所報告第51 巻第2号, 2012.