

# 浦安市における市街地液状化対策事業

佐藤 成<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 交通基盤事業本部 耐震センター（〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地）  
E-mail:shigeru.satou@tk.pacific.co.jp

2011年東北地方太平洋沖地震によって、浦安市内の道路・下水道といった公共施設や戸建住宅に甚大な被害が発生した。浦安市は国が創設した「市街地液状化対策事業制度」を活用して、現在、既成市街地の道路・下水道等の公共施設と隣接宅地との一体的な液状化対策事業を推進している。

本稿は、浦安市における液状化被害の特徴と市街地液状化対策事業制度および格子状地盤改良工法の設計及び施工さらには住民合意形成について紹介するものである。

**Key Words:** Liquefaction, Soil improvement, Case history, Consensus building

## 1. はじめに

2011年の東日本大震災では、若齢の埋立地盤において液状化災害が広い範囲で発生した。液状化災害の防止技術は1970年代から発展してきたものの、戸建住宅や埋設ライフラインのような既存施設に適用できる技術は十分ではなかった。低層戸建住宅などの浅い基礎には沈下と傾斜による被害(図-1)が発生し、埋設ライフライン、特に下水道はマンホールの浮上、管の破断、液状化



図-1 液状化によって傾斜した直接基礎の建築物



図-2 私有地の液状化によって道路が大変状した例

砂の流入によって機能を喪失し、快適な都市生活は大混乱に陥った。被害を受けた戸建住宅などの建築物は、浦安市だけで9,000棟を超えた<sup>2)</sup>。

本稿は、震災復興のために国が創設した「市街地液状化対策事業制度」を活用した浦安市における道路と宅地の一体的な液状化対策事業を紹介した文献<sup>1)</sup>の概要を整理したものである。

## 2. 浦安市の市街地液状化対策事業と対策工法

東日本大震災後に国によって創設された「市街地液状化対策事業制度」は、道路・下水道などの「公」の施設と「民間」の宅地を対象に一体的に液状化対策を行うもので、民間の宅地内で実施する公の施設のための対策についても、一定の国費を支出する点で注目される<sup>3)</sup>。

埋立地のように広い地域が全体的に液状化する場合、図-2のような公共施設である道路や埋設ライフラインを液状化災害から防護するためには、道路下の地盤のみを強化しても残る宅地の液状化によって道路部は容易に変状を受けてしまう。このため、この制度を活用した対策事業を行うことによって、民間宅地を含めた地域全体の地盤を一体的に強化することが有効となる。しかし、宅地所有者の合意が必要であること、採用する地盤改良技術も広い地域の一括施工に適したものであること、地表に住宅を存置させたままで施工可能であること、行政がある程度のリーダーシップをとって実施するには一定の効果が立証済みの技術を使用することが重要となる。

浦安市では格子状地盤改良工法が採用された。この格子状地盤改良工法は、図-3のように液状化しやすい砂

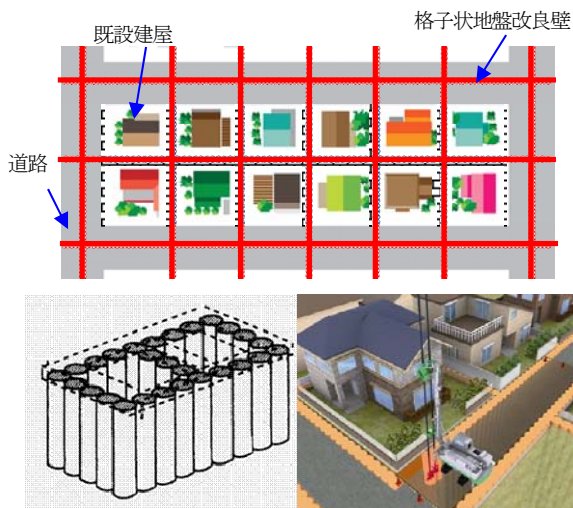


図3 格子状地盤改良による液状化対策の概念図

地盤上の道路および宅地を基盤の目のように囲んで壁状に改良し、地震動による地盤のせん断変形を抑えることで液状化を抑制するものである。地盤改良体は、道路の中央および宅地相互の境界の地盤にセメント系固化材を注入し、機械方式または高圧噴射方式で攪拌することで改良体を円または楕円断面の柱状に造成し、これらをラップさせて格子壁を構築する。

### 3. 浦安市の地盤特性

浦安市は東京湾最奥部、関東平野を流下する往年の利根川、現在の旧江戸川の河口に位置するため、これらの河川によって運搬された土砂が東京湾の沿岸流の影響下で堆積した厚い沖積粘土層と沖積砂層、さらにその上部には海底浚渫による埋立砂層が堆積している(図-4)。浦安市の埋立事業は1960年代に開始され1980年に完了したが、浦安市の被害は、この埋立砂層を中心とした液状化によって発生したと考えられた<sup>2)</sup>。

地盤調査は、既存の地盤調査結果の検討に加え、市内で119地点のボーリング調査とサンプリング・液状化試験、360か所で動的コーン貫入試験などを実施した。これらによると、埋立以前に存在した砂州と滞筋の形状を反映して、液状化しやすい埋立砂層の厚さは場所によって変化が著しいこと、浚渫埋立時に砂を吐き出した位置からの距離に応じて粒度が異なること(図-5；遠方ほど細粒分が卓越)が確認された。このような不均質な地盤では、液状化対策の設計もサイトによって仕様を調整することが不可欠と考えられた<sup>3)</sup>。

### 4. 液状化対策工法の選定

液状化対策の目標は、2011年の地震が再来しても宅地の被害を軽微に留めることである(表-1)。また、将来の発生が懸念される東京湾北部の直下型地震(レベル2地震動)でも大規模な被害が起こらないことにも配慮し

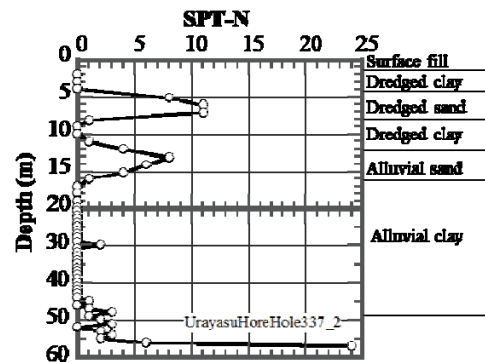


図-4 浦安市液状化被災地域のボーリング柱状図の例

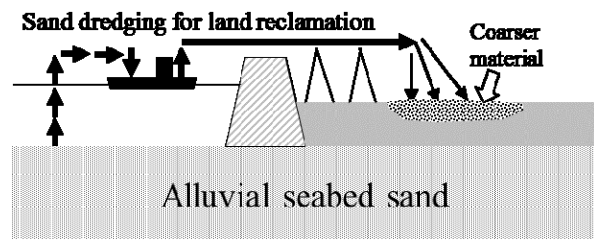


図-5 排砂管の吐き出し口と堆積土粒子寸法との関係

表-1 液状化対策の要求性能と性能規定

地震動	要求性能	性能規定
設計対象地震動	液状化による顕著な被害が生じない	①液状化層全層 FL>1.0 場合によって ② $D_{50} \leq 5 \text{ cm}$ 、かつ、対策後の地表面からの非液状化層厚 $H_1 \geq 5 \text{ m}$
レベル2地震動	格子状改良体としての対策効果の保持	改良体発生せん断応力 $\leq$ 改良体せん断強度

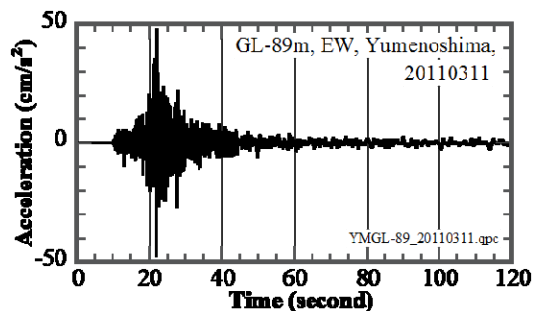


図-6 東京夢の島地点の地震動記録(2011年)

た。ここでは設計対象地震動について記述する。

2011年3月11日において近隣の東京・夢の島地点の地下で実測された地震加速度記録(図-6)を工学的基盤に戻し、地域ごと実測値(143~197Gal)に地表面最大応答加速度が整合するよう振幅を調整して浦安市の工学的基盤に入力させ、液状化対策工法の設計に利用した。

地震応答解析および建築指針<sup>6)</sup>で算出した液状化抵抗率  $F_L$  の深さ方向分布に基づき、地表の非液状化層の厚さ  $H_1$  および、 $F_L$  から推定される地層のせん断ひずみ振



幅を深さ方向に積分して求めた地表の変位振幅  $D_{cy}$  との関係を図-7 にプロットした。図-7 は宅地の液状化問題に対する品質評価のために利用されている  $H_1$  のもので、液状化対策の実施検討地区のデータは、危険が中(B)ないし大(C)の判定となり、2011年の被害実態と適合した。

地盤改良工法の候補として、対象地域を不透水地下壁で囲んで内部の地下水を抜く地下水位低下工法と、前述の格子状地盤改良工法がある<sup>3)</sup>。地下水位低下工法は施工や運転費用が廉価であり、既成宅地の液状化対策として実績があるものの、深部に厚い軟弱粘土層を持つ浦安市では、地下水のくみ上げによって再び地盤沈下を誘発することが懸念されたため不採用となった。

一方、格子状地盤改良工法は神戸港のホテル基礎に採用されて、阪神大震災で液状化災害を防止した実績があるが、工事費用が高額であり、格子寸法が液状化層厚の80%程度以下でなければ効果がないと考えられていた<sup>8)</sup>。浦安市では住宅一戸の平面寸法が10~15m程度であり、これ以下の間隔で格子状に改良体を造成することが技術的に困難で、6~10m程度ある液状化層厚に対しては効果がないとも考えられた。しかし地表面にある層厚1.5m程度の非液状化層の変形拘束効果が既往研究では考慮されておらず、遠心模型実験によってこの点を確認し<sup>9)</sup>、数値解析を併用して格子状地盤改良工法で目標達成が可能であることを見出し、同工法を採用した。

実設計にあたっては様々な問題に直面した。まず、改良体の天端は地表GLまで到達していることが、液状化防止の上は理想的である。しかし現場には種々の埋設管が存在しており、地下水位もGL-1.5m程度の深さにあることから、改良体の天端深さもGL-1.5mとして埋設管を回避することとした。また、さらに深い埋設管の存在する場合は、改良体の一部が施工できない。このようなケースについても遠心模型実験を行い、家屋の沈下軽減効果は損なわれないことを確認した。また、原地盤の滞筋跡では局所的に液状化層が厚く深くなるが、深い地盤改良はコスト増大が著しい。そこで、このような個所では改良体が液状化層中で浮いた状態になっていても、全体として地盤拘束効果は損なわれないことを、既往の研究<sup>10)</sup> および模型実験で確認した。

### 5. 格子状地盤改良工法の施工上の課題

格子状地盤改良体の施工上最大の課題は、最小1mの家屋間隔である(図-8)。また、そこには塀などの設置物が存在することから、この狭小な空間の塀の上に組んだ足場の上で運転して改良体を造成できる中型の高圧噴射型装置を開発した。この施工機械は、噴射装置を地盤中で回転させる際、噴射圧力を方向によって変化させることにより、図-9のような楕円型改良体を形成することが可能である。この楕円状の改良体を繋ぎ合わせて壁

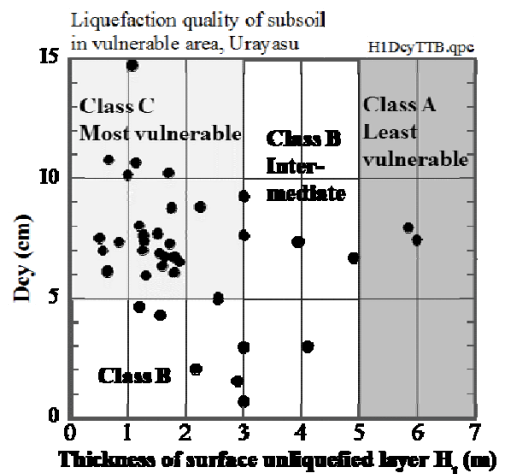


図-7 地表の非液状化層厚  $H_1$  と  $D_{cy}$  パラメータに基づく宅地の品質評価法との比較



図-8 狭小な家屋間空間の例



図-9 楕円型改良体 (中型噴射攪拌施工実験から)



図-10 小型の高圧噴射型施工機械 (左), 地盤改良実施に伴う排泥 (右)

状の改良体を形成する。図-10 は、さらに小型化を図った施工機械である。

これらの地盤改良作業では、地中から排泥の噴出が避けられない(図-10)。この泥を現場で処理して埋め戻し材料などにリサイクルできればコスト削減に貢献でき、工事費用を削減することができる。しかし大口のリサイクル先が見つからなかったこと、厳しい環境基準を満たす現場処理施設を設置すると、コスト削減が十分には達成できないことが判明し、既存の処理施設へ運搬して処分することとなった。また、一日の作業時間を延長して工事を実施することに住民の同意を得て、工事の進捗を図りコストを削減する努力を行った。なお、地中壁施工中には地盤の変形をモニターし、管理基準(10mm 変位で警戒、15mm で工事停止)を設定して、地表に存在する既設建屋への悪影響を防止する。

## 6. 住民合意形成に向けた取り組み

液状化対策事業の検討に先立ち、浦安市が市内の各自治会等を通じて事業制度の説明を展開した結果、22 地区で住民主導による事業検討のための勉強会組織が設けられた。そして、延べ約 200 回にも及ぶ住民と市当局との膝詰めの勉強会の結果、宅地所有者である住民が工実施の可否を最終判断するために必要となる具体的な事業計画の策定に向けて、20 地区(その後再編されて 16 地区)、合計 4,103 宅地を対象とした地盤調査、設計作業など必要な調査を実施することとなった。

現地での個別調査を踏まえた詳細な実施設計を行い、費用を算定した結果、民間宅地に関わる部分の 50%が国費負担および市から一定金額の支援を行うものの、個人の費用負担額は 120~200 万円となった。また、本事業が道路という公共施設を液状化災害から防護することを公金投入の理由としているため、数十から数百戸の単位で地域がまとまって事業を実施しなければ、成果が上がらない。このため、事業実施の鍵となる住民の合意形成促進を図る観点から、市当局が設置した液状化対策検討委員会には、行政や学識経験者に加えて地域の宅地所有者代表 3 名も正式メンバーとして選定し、事業に関す

ることであればどのような質問にも答えることとした。また、委員会は公開で計 6 回開催し、毎回 100 名を越える地域住民が傍聴する中で、技術やコストの検討を行った。これと並行して、市当局は地区ごとに事業計画に関する住民説明会を延べ 170 回開催し、些細な疑問点でも回答して意思疎通を図ってきた。この結果、16 地区 4103 世帯の 73%以上の同意は得たものの、不同意宅地が点在することなどから、最終的には 3 地区 471 宅地が工事に着手することとなった。

謝辞：本稿は文献 1)をもとに編集・作成しました。関係者の皆様に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) Ishii, I., Towhata, I., Sato, S., Sawada, S., Tsukuni, S., Uchida, A., Tezuka, H., Yamauchi, T.: Mitigation of liquefaction disaster by grid-wall soil improvement in Urayasu City, Japan, The 3rd International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (PBD-III) in Vancouver, Canada, 2017.
- 2) 地盤工学会, 土木学会, 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, 2012.
- 3) 国土交通省都市局都市安全課: 市街地液状化対策事業推進ガイドランス, 2016.
- 4) ベターリビング, 浦安市: 平成 24 年度市街地液状化対策実現可能性検討調査報告書, 2012.
- 5) 浦安市: 浦安市市街地液状化対策検討委員会報告書, 2016.
- 6) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.
- 7) Towhata, I., Yasuda, S., Yoshida, K., Motohashi, A., Sato, S. and Arai, M. (2015) Qualification of residential land from the viewpoint of liquefaction vulnerability, 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Christchurch.
- 8) 建設省土木研究所: 液状化対策工法設計・施工マニュアル(案), 共同研究報告書第 186 号, p115, 1999.
- 9) 津國正一, 内田明彦, 本多剛, 小西一生: 格子状地盤改良による住宅沈下量抑制効果に着目した遠心模型振動実験, 地盤工学ジャーナル, Vol.9, No.4, pp.761-771, 2014.
- 10) 高橋英紀, 森川嘉之, 津國正一, 吉田誠, 深田久: 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報告 Vol.51, No.2, 2012

(2019.7.31 受付)

## URAYASU CITY LIQUEFACTION COUNTERMEASURE PROJECT

Shigeru SATO

This paper introduces Urayasu city liquefaction countermeasure project. It was prepared based on the report, "Mitigation of liquefaction disaster by grid - wall soil improvement in Urayasu City, Japan", PBD-III in Vancouver, Canada, 2017.