

新浦安明海プロジェクト

～3.11で液状化した土地の地震対策と免震共同住宅の設計～



中西 力
スターツ免震構造研究所



松永 淳也
同左



千田 卓
同左



駒込 亮一
同左



伊藤 彩夏
同左



嶋尾 敏郎
応用地質

1 はじめに

浦安市は埋立のない元町地区、第一期（昭和42～47年）埋立の中町地区、第二期（昭和50～55年）埋立の新町地区の三つに区分されるが、当該プロジェクトは新町地区に位置する。2011年東北地方太平洋沖地震にて当該敷地の一部が液状化し、敷地の南西に位置する境川の護岸に損傷が生じた。（写真1参照）

当該プロジェクトの液状化防止対策及び護岸損傷による地盤変形・傾斜の防止（以下、本稿では「土地の地震対策」）は、2011年東北地方太平洋沖地震で液状化被害を受けた土地に対する浦安市の市民参加型「液状化対策」と浦安市+明海大学+スターツ他10社による「災害復興と都市ブランド向上の為の産官学コンソーシアム」活動を踏まえての一つの答えである。土地の地震対策を計画しながら、地盤と密接に関連する免震分譲共同住宅の設計を行った一事例として紹介する。



写真1 液状化状況写真、護岸の損傷写真

2 土地の地震対策概要と地盤概要

2.1 地盤概要

図1に地盤構成俯瞰図を示す。地盤調査は深度100mまで実施し、PS検層測定から設計GL-90m前後の細砂層を工学的基盤とした。液状化の対象となる地層は、埋土（砂質土、Fs）と有楽町層上部砂層（Yus）であり、GL-13～15mまでの深さに位置する。

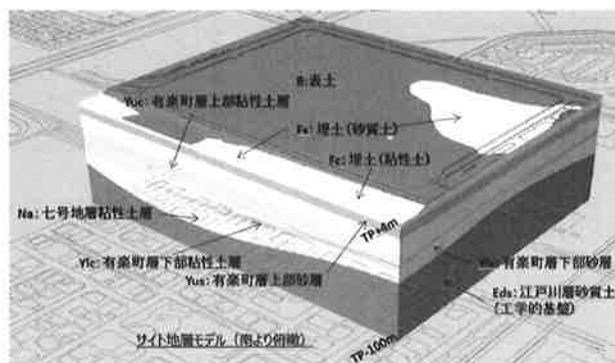


図1 地盤構成俯瞰図

液状化対象層は敷地全体に様に分布するが、原地盤の液状化指数PL値は0.56～17.93、動的水平変位Dcyは0.74～12.42cmとなり、エリアの大部分がPL>5となり、2011年東北地方太平洋沖地震の液状化現象と一致した。地盤種別は第3種、地盤の卓越周期Tg=1.37秒であった。

2.2 土地の地震対策概要

図2に敷地全体の配置図を、図3に土地の地震対策概要図を示す。全体敷地形状は約280m×185mで、分譲マンション・戸建・福祉施設の3つのエリアに分かれ、分譲マンションは5棟、(A-1、A-2、B、C、D棟)を計画している。

敷地全体には静的締固め砂杭工法（SAVEコンポーザー工法）を、敷地外周には深層混合処理工法を採用した。静的締固め砂杭工法は、大型の施工機械を使用しケーシングパイプを地中に貫入させ砕石・砂等の材料をパイプから排出し地盤を締め固める工法で、深さ13～15m、ピッチ1.4～1.9mとして約18,000本配置している。深層混合処理工法は、セメントミルクを軟弱地盤に注入して攪拌混合、固化壁を形成し砂地盤のせん断変形を抑制及び隣接する非対策地



図2 全体配置図

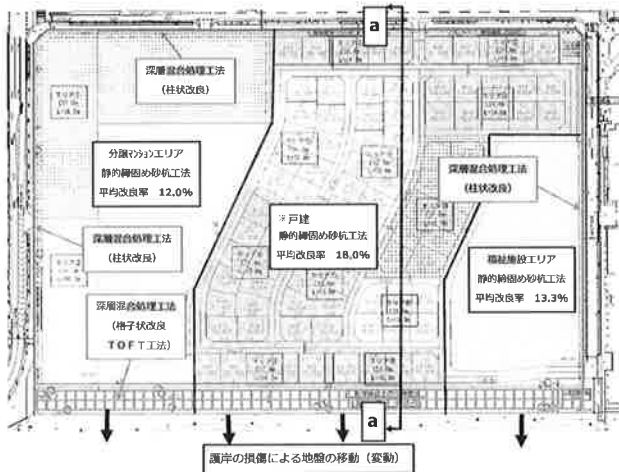


図3 土地の地震対策概要図

盤との絶縁を図っている。南西方向の境川護岸面のみに、格子状改良TOFT工法を採用し、護岸損傷による側方流動・地盤傾斜の抑制を図っている。本計画では深さ15~17mを約2,300本配置した。

2.3 土地の地震対策の検討結果

それぞれのエリア毎の土地の地震対策の目標性能を表1に示す。地震対策の設計に用いる地震は、当該地に想定される長周期・長時間地震動としての2011年東北地方太平洋沖地震（浦安観測波レベル）及び極めて稀に発生する地震動（以下、レベル2地震動）レベルのサイト波として東京湾直下地震を、液状化及び護岸の損傷に最も影響を与える地震として採用した。

これらの地震に対しての目標性能は、2011年東北地方太平洋沖地震浦安観測波レベルに対しては、全域に対して液状化しない（ $FL > 1.0$ （全地層）, $PL = 0$ ）ことを、東京湾直下地震に対しては戸建エリアは液状化しない（ $FL > 1.0$ （全地層）, $PL = 0$ ）こと、分譲マンションエリア・福祉施設エリアは、液状化の可

表1 土地の地震対策の目標性能

エリア	分譲マンション エリア	分譲戸建 エリア	福祉施設 エリア
対象地震レベル	2011年東北地方太平洋沖地震 （浦安観測レベル）	2011年東北地方太平洋沖地震 （浦安観測レベル）	2011年東北地方太平洋沖地震 （浦安観測レベル）
	$FL > 1.0$ （全地層） $PL = 0$ 液状化しない	$FL > 1.0$ （全地層） $PL = 0$ 液状化しない かつ 地盤傾斜2/1000以下	$FL > 1.0$ （全地層） $PL = 0$ 液状化しない
東京湾直下地震	$PL \leq 5$ かつ $D_{eq} \leq 5$ 液状化の可能性低い	$FL > 1.0$ （全地層） $PL = 0$ 液状化しない かつ 地盤傾斜2/1000以下	$PL \leq 5$ かつ $D_{eq} \leq 5$ 液状化の可能性低い

能性が低い（ $PL \leq 5$ かつ $D_{eq} \leq 5$ ）ことを確認している。また、戸建エリアについては、小規模な木造建物が建設される為、地盤の傾斜が建物の傾斜に直結することを考慮し、両地震に対して、地盤の傾斜2/1000以下を目標性能として追加している。品確法における「構造耐力上主要な部分に瑕疵が存する可能性が低い」とされる3/1000に余力をみて目標傾斜角を決定している。

図4に地震対策有無の地盤変形図（図3のa-aSEC.）を示す。護岸天端の変位量は、対策前後にて水平・鉛直ともに半分以下となっており、地盤の傾斜も2/1000を満足している。

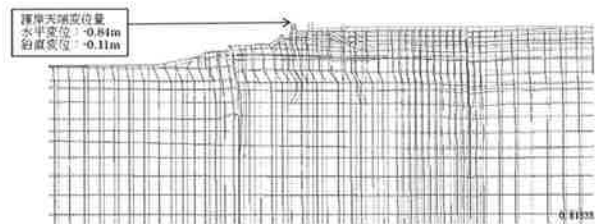


図4-1 地盤の変形図（地震対策無）

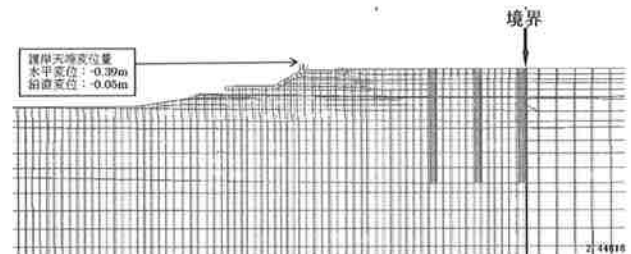


図4-2 地盤の変形図（地震対策有）

3 建物概要

所在地：千葉県浦安市明海2丁目2-1

設計者：株式会社日建ハウジングシステム

構造設計：スターツ免制震構造研究所一級建築士事務所

施工者：スターツCAM株式会社

株式会社竹中土木（土地の地震対策工事）

延床面積：16760.42m²（共同住宅5棟合計）

階数：地上4階

構造形式：鉄筋コンクリート造（基礎免震）

基礎形状：杭基礎（PHC杭, 杭頭SC杭）

建築平面計画は、D棟のみL形状で、A-1、A-2、

B、C棟の4棟は整形な形状となっている。5棟とも戸境壁を耐力壁とする鉄筋コンクリート造で、断面計画は全て同じ（建物高さ11.9m）の為、代表的な1棟について述べることにする。図5に外観パース（C棟）を示す。各棟のデザインは統一されており、セットバックは無く、屋上テラスへ出るためのペントハウスを有している。



図5 外観パース

4 構造計画概要

4.1 上部・基礎構造概要

本建物では基礎免震構造を採用した。構造形式は、鉄筋コンクリート造で、一方向純ラーメン構造、一方向が耐力壁付きラーメン構造である。桁行方向のスパンは最小6.4m、最大8.5mで、はり間方向のスパンは12.7mで、小梁を無くすためボイドスラブを採用している。図6に軸組図（A-1棟）を示す。各階階高は3.01mで、断面計画も整形である。

基礎は、梁せい700mmの偏平基礎梁形式として根切り底を浅くしている。

図7（P14参照）に標準貫入試験（地震対策有無）と杭の姿図を示す。杭は、比較的搬出残土の少ない既成杭（PHC杭・杭直径1000mm）とし、応力の大きい杭頭には鋼管巻き既成杭を採用する。支持層は江戸川層砂質土、設計杭先端レベルは、GL-67m～78mとした。

静的締固め砂杭と杭位置は事前に調整し、またその締固め効果による地盤の硬化（N値の増大）を考慮した地盤変位により杭の設計を行った。この静的締固め砂杭の本数・改良率（目標PL値、Dcy）は、そ

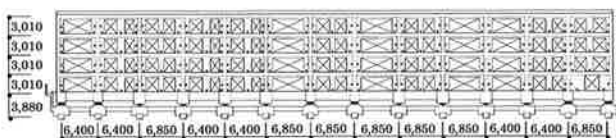


図6 軸組図

の効果による杭への負担軽減を加味し、トータルにて効率的（コスト最小）になるよう仕様決定した。近接する静的締固め砂杭の崩壊リスクの軽減と搬出残土軽減の為、中掘り工法を採用した。

4.2 免震構造概要

図8に免震層伏図（A-1棟）を示す。免震装置の構成は、鉛プラグ挿入型積層ゴム支承（LRB）12基、回転機構付きすべり支承（BSL）20基とした。横長な形状のA-1棟は、建物全体的に復元機構を持たせるため、建物端部と中央部にもLRBを配置した。

免震層下を偏平基礎梁形式とし曲げ剛性を低くしている為、地震時に基礎部の傾斜が発生する。この傾斜によるすべり支承のすべり面の接触面積のばらつきを小さく²⁾するため、回転機構付きすべり支承を採用した。これにより建物の長周期化を図りつつ、偏平基礎梁への負担応力も軽減させている。



図8 免震層伏図

5 免震性能目標と地震応答解析

5.1 解析モデル

解析モデルは、免震層下部を固定（入力位置）とし、免震層を含む計5質点の等価せん断型モデルとした。上部構造の骨格曲線は、静的増分解析を元に剛性低減型Tri-linearとし、内部粘性減衰は $\eta=2\%$ の瞬間剛性比例型とした。免震層は下記のように設定した。

LRB：歪依存型Bi-linear

BSL：剛塑性モデル

固有周期は基礎固定時で0.45秒（X方向）、0.11秒（Y方向）、 $\gamma=200\%$ 時でX、Y方向共に3.88秒程度であった。

5.2 入力地震動

表2に設計用地震動一覧（レベル2）を示す。レベル2地震動は、以下①～③を選択した。

①観測波3波②表層地盤による増幅を考慮した告示波3波③地震調査研究推進本部「全国地震動予測地図」から当該地の免震建物へ最も影響を与える地震として選定した元禄関東地震・東京湾直下地震

地盤モデルの作成においては、液状化対策による改良効果を考慮し、密度 $\rho \cdot N$ 値及びせん断波速度 V_s に改良効果を見込んでいる。加えて長周期型の地震動として南海トラフの巨大地震及び2011年東北地方太平洋沖地震により発生する長周期地震動に対する安全性を確認している。

5.3 目標性能と地震応答解析結果

表3にレベル2地震動に対する耐震性能目標を示す。免震層の水平変位は500mm以下を目標とし、残留変位50mmを考慮して、最小クリアランス550mm、設計クリアランス600mmと設定した。

1階の設計用せん断力係数は、表2の地震動を用いた予備応答解析により、応答結果を包絡するよう免震層レベルで0.15と設定した。

図9に各種応答結果グラフを示す。グラフは、免震装置のばらつきに対し、各応答値が大きくなるケースを示している。また、サイト波の結果は元禄関東地震NSEW・東京湾直下NSEWを示す。

応答加速度は、各階においてフロアレスポンスは200galを超えない程度となっており、免震効果が得られることが確認できる。免震層応答変位は、告示波（JMA-KobeNS位相）が42.5cmで最大値を示した。せん断力係数は、1階で告示波（JMA-KobeNS位相）が最大値0.11であり、層間変形角は、観測波Hachinohe 1968 NSが1/968で最大値を示した。

9 まとめ

土地の地震対策を計画しながら、地盤と密接に関連する免震共同住宅の設計を行った一事例を紹介した。建てて終わりではない長く使用される免震建物

の普及を推進している立場として、地震リスクの高い土地に対しても造成して終わりではない、永く宅地として継続利用できる対策を行った。このような土地の地震対策の内容や性能をデータベース化、公開していくことが今後の課題になると考える。

最後に関係者の方々に感謝申し上げます。

表3 免震建物の耐震性能目標

		レベル2地震動
上部構造	耐力	短期許容応力度以内
	層間変形角	1/200 以下
免震層	せん断歪	性能保証変形以内 ($\gamma = 250\%$ 以内)
	変位	500mm 以下
	圧縮面圧	BSL : 50N/mm ² 以下
		LRB : 20N/mm ² 以下
引張面圧	BSL : 発生させない	
	LRB : - 1.0N/mm ² 以内	
杭	耐力	短期許容応力度以内

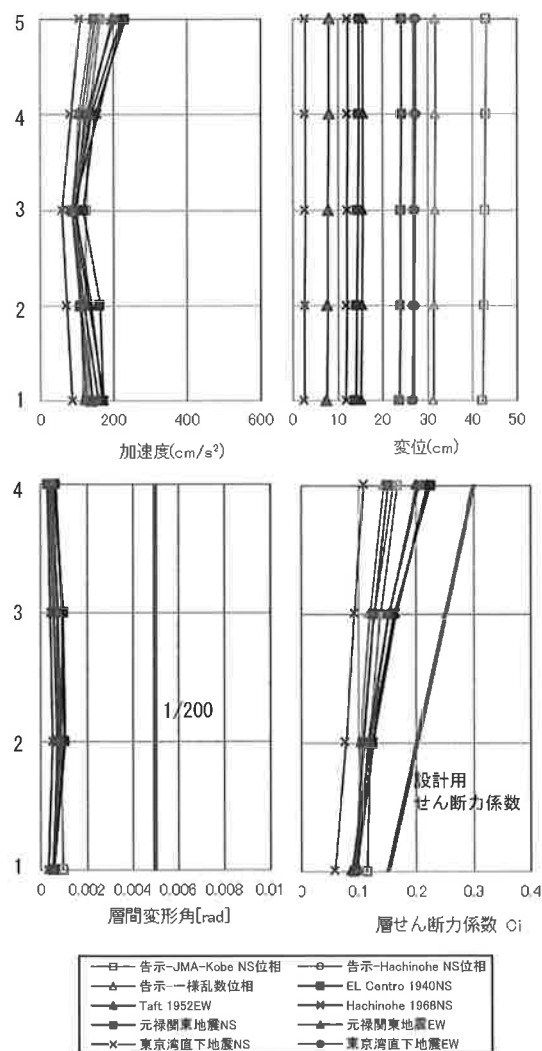


図9 地震応答解析結果（レベル2）

表2 設計用入力地震動一覧（レベル2）

入力地震動の波形名称		最大加速度 (cm/s ²)	最大速度 (cm/s)
観測波	El Centro 1940NS	510.2	50.0
	Taft 1952EW	496.5	50.0
	Hachinohe 1968NS	330.4	50.0
告示波	JMA-Kobe NS 位相	185.6	63.7
	Hachinohe NS 位相	169.8	56.4
	一様乱數位相	171.9	59.0
サイト波	元禄関東地震 NS	166.5	48.8
	元禄関東地震 EW	169.3	33.2
	東京湾直下地震 NS	76.6	13.2
	東京湾直下地震 EW	172.9	60.2

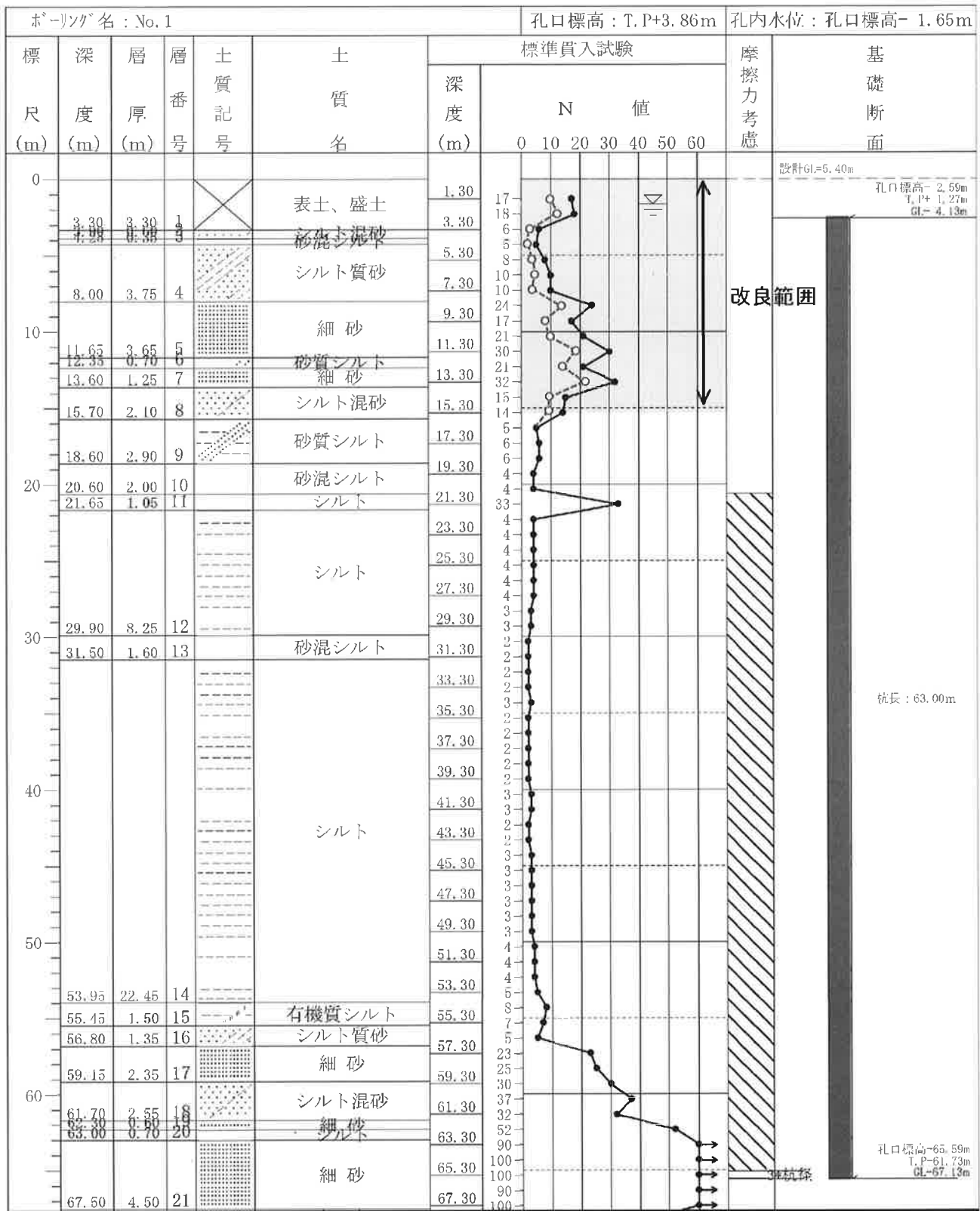


図7 標準貫入試験（地震対策有無）と杭の姿図

参考文献

- 1) 産官学連携で目指す「液状化」イメージの打破 日経アーキテクチュア 2013 Autumn 特別編集版『安全・安心な街づくり』
- 2) 宮崎他:支持点傾斜のすべり支承への影響(その1~3) 日本建築学会大会(九州) 2016.8