

格子状地盤改良工法の液状化対策効果と 工場内での施工

TOFT 工法[®]

小西一生・内田明彦

東日本大震災以降、液状化対策工に対する関心が高まっている。本論では、阪神大震災以降、多くの実績を積み重ね、その信頼性を高めてきた、耐液状化格子状地盤改良工法（TOFT 工法[®]（以下「本工法」という））の効果についてその概要を述べるとともに、今後ニーズが増すであろう既設工場内敷地など狭小地における施工について、対応の現状を紹介するとともに、将来の展望について述べる。

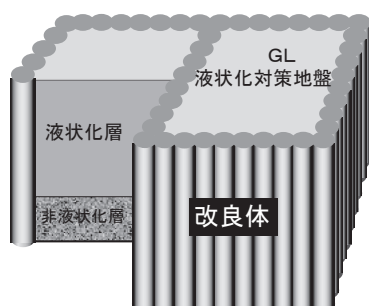
キーワード：液状化対策、格子状地盤改良、TOFT 工法、狭小地施工、小型地盤改良機

1. はじめに

東日本大震災以降、土木構造物や建築施設に対する液状化対策のニーズが高まっている。代表的な液状化対策工法の一つとしてあげられる耐液状化格子状地盤改良工法（本工法）は、1980年代の開発着手以降、兵庫県南部地震においてその対策効果が実証され、以降多くの実績を重ねつつ現在に至っている。また、この度発生した東北地方太平洋沖地震においてもその有効性が報告されつつある。本論では、基本的な本工法の液状化対策効果に加え、工場に代表される狭小地で本工法を適用しようとした場合の課題、ならびにその解決策の一つとして開発した小型地盤改良機について紹介し、既存工場内施設に対する本工法の適用の展望について述べる。

2. 耐液状化格子状地盤改良工法の概要と原理

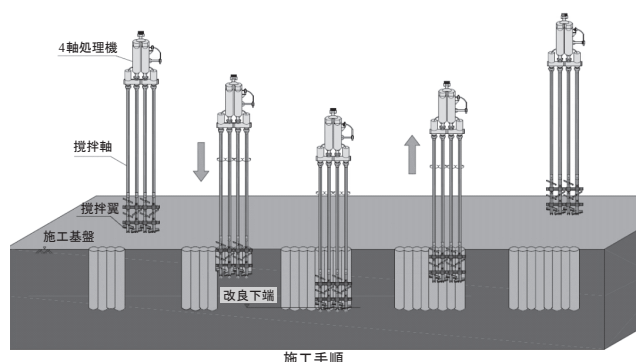
耐液状化格子状地盤改良工法は、主に深層混合処理工法によって地盤中に造成される改良杭をラップさせながら壁状に構築し、それらを平面的に格子状に配置



図一 格子状地盤改良体



写真一 深層混合処理機（4軸機）



図二 施工サイクル（4軸機）

することで図一のような地盤改良体を作成する。施工は写真一に示す2軸～4軸の深層混合処理機によって行われ、地盤にセメントスラリーを注入攪拌しながら直径1mの改良杭を20cmラップで施工する。4軸機による施工手順の例を図二に示す。改良体の設計基準強度は1～3N/mm²までの対応が可能^{※1)}

であり、設計の要求に応じて事前の配合試験により必要な固化材の添加量を決定する。

耐液状化格子状地盤改良による液状化防止のメカニズムを図-3に示す。軟弱な砂地盤において地震によるせん断変形が発生すると、過剰間隙水圧の上昇から液状化が発生するが、本工法により地中に強固な格子状改良体を設けると、その剛性により地盤のせん断変形が小さくなり、過剰間隙水圧の上昇を抑えることから液状化が防止できる。改良壁のせん断剛性は通常原地盤より10倍程度以上大きいため、改良壁を格子状に配置すれば地震時に改良壁が原地盤より多くの水平力を負担し、拘束効果が確保できる。

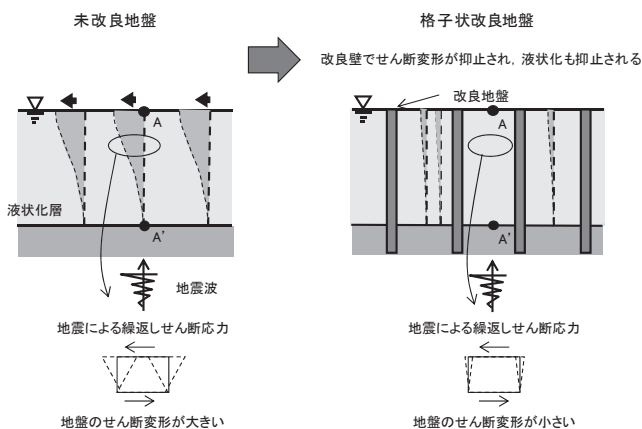


図-3 格子状地盤改良の液状化防止メカニズム

3. 施工事例

(1) 兵庫県南部地震における事例

大地震に対する対策効果を確認できた事例を以下に紹介する。まず兵庫県南部地震を経験し、事後調査を実施した事例^{1), 2)}である。建築地は神戸市中央区のメリケンパークに隣接する埠頭であり、本建物は地上14階塔屋2階建、高さ59.8mのフェリーターミナル兼ホテルである。建物規模は69.0m×134.4m、延床面積53,408m²で、場所打ち杭による杭基礎で支持され、格子状改良体による液状化対策が施されている。建物の全景を写真-2に、また建物の断面を図-4に

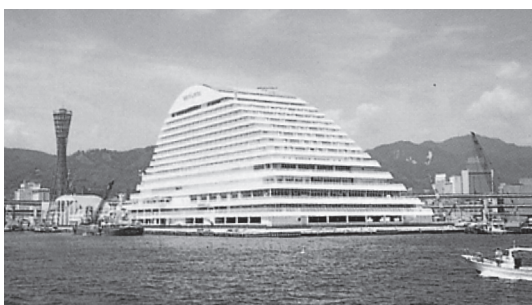


写真-2 建物全景

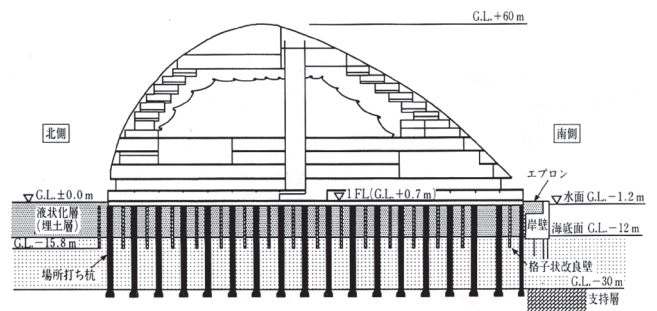


図-4 建物基礎断面



写真-3 埠頭南側岸壁の被害状況

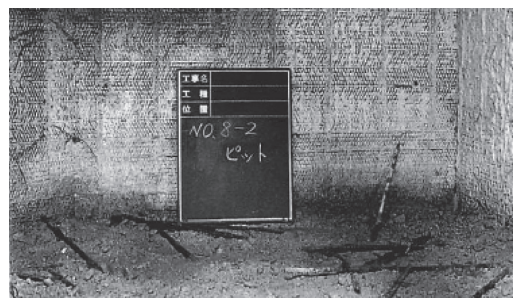


写真-4 ピット内の状況

示す。本建物は1995年1月17日の被災当時、躯体はほぼ完成しており、内装・外構工事が行われていた。地震により埠頭の南側岸壁は写真-3に示すように、海側に約2m水平移動し、50~70cm程度沈下した。また隣接するメリケンパークでは液状化が発生し、大量の噴砂が確認された。ポートアイランドで観測された地震波の地表面加速度は341cm/s²(NS成分)であった。本建物は工事中であったため、地震後に複数箇所のピット内に入ることが出来、格子状改良壁に囲まれた地盤の表土を目視にて確認したところ、写真-4に代表されるように調査箇所全ての地表面にクラックや噴砂の痕跡は認められず、格子内地盤は健全であったことが確認された。なお、格子状地盤改良の液状化防止効果については、設計時と地震後に検証解析を実施している^{3), 4)}。

(2) 東北地方太平洋沖地震における事例

当該地震における事例としては、浦安市内にSRC

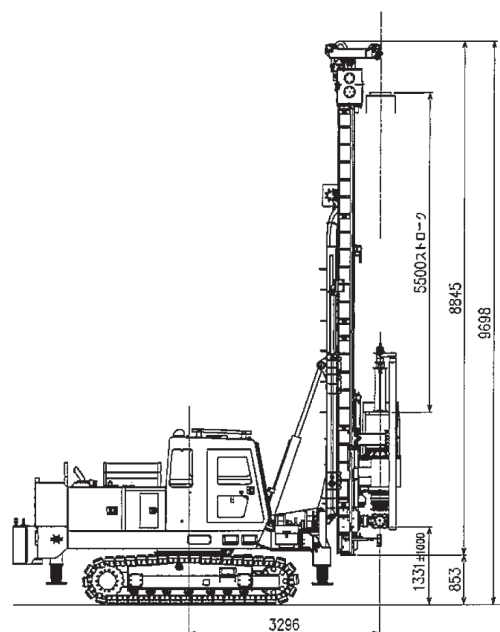
造地上4階建の立体駐車場を建設するにあたり、液状化発生が懸念される深度14mまでの埋土層と沖積砂層に対し格子状地盤改良を適用した事例⁵⁾である。2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震(M=9.0)では、東北をはじめとして震源から遠く離れた関東地方でも広範囲にわたって液状化が発生し、浦安市内では埋立地に建つ木造住宅に甚大な液状化被害が認められた。本建物において地震直後に実施した目視調査では、写真—5に示すように建物極近傍に噴砂等の地盤変状は認められなかった。サイトの近くで観測された本震の地震動は、継続時間5分以上で、地表面加速度は 160 cm/s^2 程度である。別途に計測した土圧計の値は、地震前後で変化が見られないことや現地調査の結果を踏まえると、格子状地盤改良は液状化防止に寄与したと推測される。



写真—5 対象建物の地震直後の状況

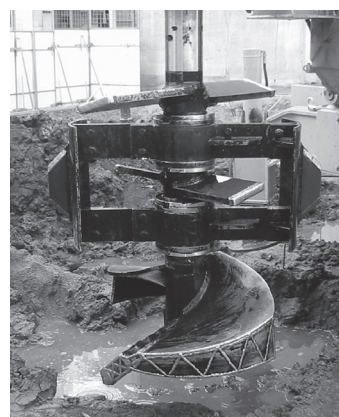
4. 工場内敷地に代表される狭小地に対応した機械攪拌式格子状地盤改良工法^{*2)}

東京湾北部地震や東海、東南海およびその連動型地震の発生が懸念される現在、既設工場内のプラント設備などに対して、BCPを意識しながら効果的に液状化を防止する対策が急務とされている。これまで述べてきたように本工法は液状化抑止性能という点では実績も多く信頼も高いが、その施工機の大きさゆえに、狭小地が多い既設工場内での液状化対策への適用が困難な場合があった。そのような状況下で本工法の施工が可能な小型地盤改良機について紹介する。ベースマシンには 0.45 m^3 級バックホウと同クラスの小型汎用地盤改良機を採用しており、用途に応じて単軸および2軸機を使い分ける。本機の特徴として、センターホール型攪拌装置を備えることで、必要改良長から決まる掘削ロッド長より短いリーダーとすることが可能となり、小型のベースマシンの転倒の安全性を確保できている点が挙げられる。図—5に単軸仕様の小型改良機を示す。本機は最大改良径 $\phi 1.6\text{ m}$ 、改良深度20mを施工可能な施工能力を有する。ところでラップ施工



図—5 小型改良機（単軸仕様）

により連続壁を造成しようとした場合、問題となるのが壁の一体性であり、ロッドの剛性が高い多軸の大型機の場合、これまで問題となることは少なかった。しかし小型単軸機の場合、掘削ロッドの剛性や掘削力の弱さから、壁の一体性を左右する鉛直精度を確保することが困難となることが予想された。そこで本機では、掘削翼および共廻り防止翼の形状を、写真—6に示すような特殊な形状に改良することで、施工精度を確保し、本工法の施工に不可欠な改良壁の一体性を確保することを可能としている。次に、上記ベースマシンに攪拌装置を2連装した2軸仕様の改良機を写真—7に示す。仕様は大型2軸機と同等の改良体構築を可能としたもので、最大改良径 $\phi 1.0\text{ m} \times 2$ 軸、最大改良深度は20m、ラップ長の変更に応じた攪拌装置の軸間調整機能も有する。2軸機とすることで同時に二本の改良体を造成できることから経済性の向上や工期の短縮を図ることが可能となる。実績面では、単軸機に



写真—6 単軸本工法用特殊掘削翼

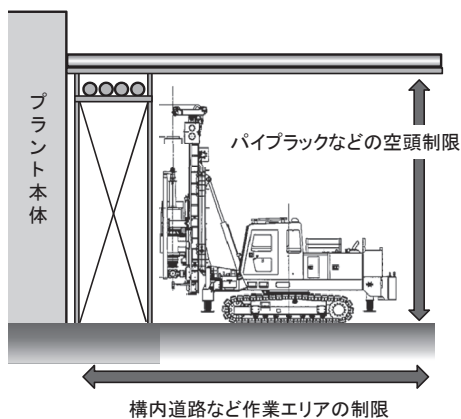


写真一七 小型改良機 (2軸仕様)

において、既存市街地における個人住宅の建替え工事に液状化対策として適用し⁶⁾、小型機ならではの優れた施工性ならびに大型機と同等の施工品質については既実証されている。加えて、これら小型地盤改良機の特筆すべき特徴として、従来の大型機のような大掛かりな機械組み立て用地や、数多くの機材運搬車両は不要であり、施工対象地が既存工場の敷地内や住宅地の奥まった場所などであっても、容易に対応が可能となる点が挙げられる。また、組立解体にかかる費用や日数を低減できるメリットもある。更に施工機自体も機動性に富むことから、その適用範囲の拡大にも期待される。

5. 今後の展望

既設工場敷地内で、機械攪拌による格子状地盤改良工事を想定した場合、先に紹介した施工機械では、まだまだ適用範囲が絞られる可能性が多いのも現状である。例えば、建物の中に入って施工する場合は勿論であるが、図一六のように敷地内には様々な配管が上



図一六 工場内施工環境の例

下に敷設されており、平面的な制限にとどまらず、空間的な制約、所謂空頭制限が課せられる場合が多い。そのような場合においても前述の施工機の場合、構造的にリーダーの短尺化は困難ではなく、計画の要求に応じて対応は可能であると考えられる。

6. おわりに

格子状地盤改良のニーズは、これまでは大型建物や土木構造物を対象とした液状化対策としての適用が主であり、これからも基本的には大きく変わることは無いと考えられる。一方で、東日本大震災における戸建て住宅に対する液状化対策工のニーズの高まりから、小型施工機による格子状地盤改良工法が確立することにより、これまで対象に出来なかった狭小地での対策工のひとつとして、今後は、ますます期待が高まるものと思われる。

JICMA

- ※1) 日本建築総合試験所：GBRC性能証明 第03-12改 DCM-L工法 - スラリー系機械攪拌式深層混合処理工法一 (改定), 2011.8
 ※2) スマートコラム工法：機械攪拌式小型地盤改良機による耐液状化格子状地盤改良工法,

《参考文献》

- 1) 竹中土木・竹中工務店：深層混合処理工法 (DCM-L) による格子状地盤改良壁の耐液状化効果 (第1報), 1995
- 2) 鈴木, 斎藤, 木村, 木林, 細見：格子状地盤改良による液状化対策を施した建築基礎の調査報告, 基礎工, VOL.23, No.10, pp.54-58, 1995
- 3) 河野, 木林, 福山, 鬼丸, 畑中：埠頭に建つ高層建築の格子状地盤改良による地震時液状化対策, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1431-1432, 1994
- 4) 鈴木, 鬼丸, 内田：兵庫県南部地震における格子状地盤改良効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.629-630, 1996
- 5) Uchida, A., Yamada, T., Odajima, N., Yamashita, K.: Piled raft foundation with grid-form ground improvement subjected to the 2011 earthquake, 9th International conference on urban earthquake engineering/4th Asia conference on earthquake engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 2012
- 6) 香川, 小西, 大西：戸建住宅地を対象とした耐液状化格子状地盤改良工法の施工事例, 地盤工学会第47回地盤工学研究発表会, pp.1499-1500, 2012

【筆者紹介】

小西 一生 (こにし かずお)
 (株)竹中土木
 技術・生産本部 技術開発部
 課長



内田 明彦 (うちだ あきひこ)
 (株)竹中工務店
 技術研究所 建設技術研究部 基礎構造グループ
 グループリーダー

