６．既存施設直下地盤の液状化対策

―　長距離に対応した曲り削孔システム　―

東亜建設工業株式会社　　○ 大野　康年
同　上　　泉　信也

１．はじめに

近年，コンビナート港湾の強靭化等，既存施設の耐震補強が求められている。既存施設の耐震補強として施設の直下および周辺地盤の地盤改良による補強が挙げられるが，これらの施設は供用中であるとともに施設の周辺が狭隘であるため，従来の地盤改良工法では適用が難しい。

本文で紹介する液状化対策工法[1)]は，恒久型薬液を用いた薬液注入工法の一つである。同工法は，**図-1** に示すようにコンビナート港湾等の狭隘な条件下では，200m 以上離れた場所から既存施設直下の地盤改良が可能な長距離曲り削孔システムを有する。

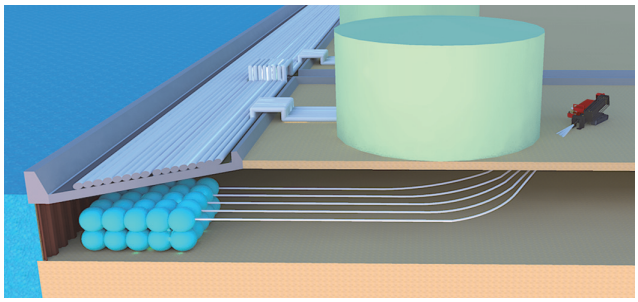


図-1　本工法の適用イメージ

本文では，工法概要と曲り削孔性能を確認した現地試験結果について紹介する。

２．工法概要[1),2)]

2.1　概　要

本工法は，ボーリングマシンにて地盤を削孔し，長期耐久性を有する恒久型薬液を地盤に注入し，固結させることで地盤強度を増大させる。

施工設備は，削孔機，薬液注入ポンプ，配合プラント，管理装置等により構成され，非常にコンパクトである。また，既存施設直下地盤の改良が可能で，しかもその稼働を止めることなく施工を行うことができる。

同工法は，2008 年に開発されて以来，2013 年 6 月末で 38 件の施工実績がある。その内訳は，液状化対策 26 件，岸壁・護岸裏埋土砂の吸出し対策：8 件，止水対策 2 件，土圧軽減対策 1 件およびすべり対策 1 件である。また，液状化対策では，岸壁・護岸，タンク基礎，河川堤防，工場建屋他の実績ある。

2.2　施工手順

本工法の施工手順を以下の(1)～(3)に示す。

(1)削　孔（図-2(a)）

削孔は，ケーシングロッドを回転圧入することで直線削孔する。曲げる場合は、回転を止めてケーシングロッドを圧入することにより削孔ビッドの修正版（テーパー）が地山を反力として方法修正する。なお，削孔軌道の計測は，ビーコン型計測器および小型ジャイロセンサを用いている。

(2)注入用外管挿入（図-2(b)）

削孔終了後，ケーシングロッド内に注入管を挿入してケーシングを引き抜く。この時，注入管先端に装着されたアンカーを展張設置することでケーシング引抜き時の注入管の共上がりを防止する。

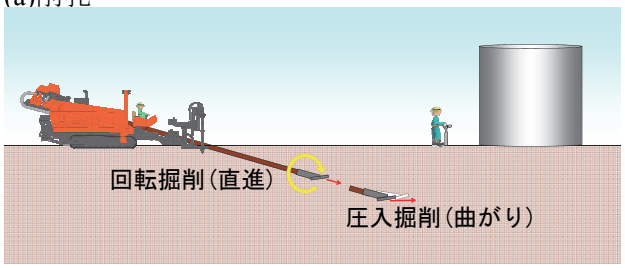
(3)薬液注入（図-2(c)）

薬液注入は，注入時の削孔軌道に沿った薬液逸走を防止するため，まず注入口の上部に配置されたゴム製バルーン部に20秒以内でゲル化する特殊水ガラスを充填してバルーンを膨張させる。その後，注入口より低圧で割裂を伴わない浸透形態にて薬液を地盤に注入する。

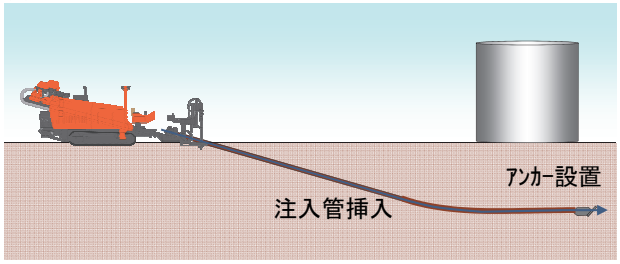
2.3　使用機械

本工法における曲り削孔システムは，曲り削孔機，削孔管理システム，計測装置（小型ジャイロセンサ，ビーコン型計測器），注入管挿入装置および送水ユニットにより構成される。同機の削孔能力は，押込み力，引抜き力が 178kN を有し，削孔可能な地盤種別は砂礫，砂および粘土である。曲り削孔機，削孔管理システムを**写真-1, 2** に示す。

(a)削孔



(b)注入管挿入



(c)薬液注入

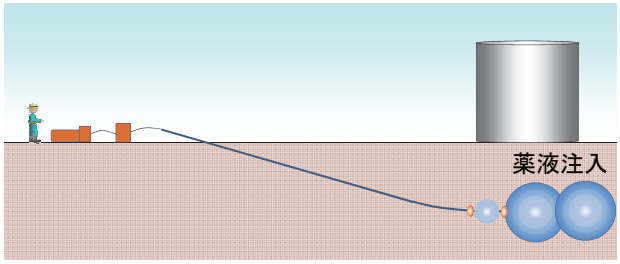


図-2　施工手順（曲がり削孔システム）

写真-1　曲り削孔機

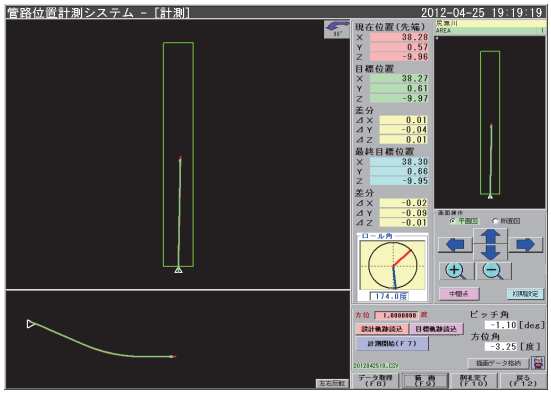


写真-2　曲り削孔管理システム

３．曲り削孔システムの特長

本工法における曲り削孔システムは，1)ロッド先端に取り付ける削孔ビット形状の改良による土壌とケーシングとの摩擦低減，2)粘り強い特殊鋼をケーシングロッドに用いることによる耐久性向上および 3)小型ジャイロシステムの精度向上を行うことで，従来の 2 倍となる 200m の長距離削孔を高精度で実現している。

ケーシングロッドの耐久性については，ロッドを R=30m にて曲げたまま長時間回転させ、発生する最大応力を測定し，その耐久性を確認している。

従来のジャイロシステムを適用する場合，計測中に削孔ロッドの内径とジャイロセンサプローブ径の差が変化することで，削孔ロッド内でジャイロセンサプローブの姿勢が安定せず偏角 θ が生じてしまい，ジャイロの精度に影響を与えていると考えられる（**図-3** 参照）。本システムでは，**図-4** に示すようにジャイロセンサプローブの前後にアタッチメントを装着することで計測中のジャイロセンサプローブが常時ロッドの中心に保持させている。これにより，偏角 θ を極限まで減らすことで測定精度の向上を図っている。

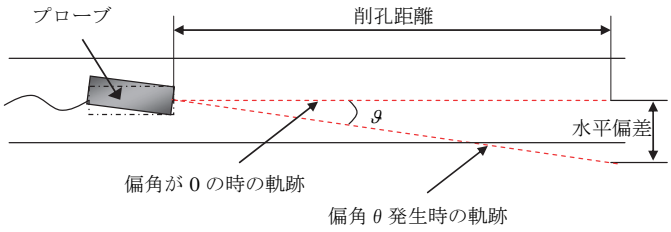


図-3　ジャイロセンサの誤差原因

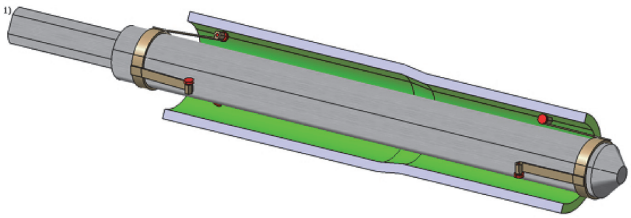


図-4　ジャイロセンサプローブアタッチメント

４．曲り削孔性能確認試験

本試験は，本工法の曲り削孔システムの実地盤への適用性を確認する目的で 200m の曲り削孔を実施し，削孔時の削孔能力と削孔精度を確認した。

4.1　試験サイトの概要

試験サイトは，山口県下関市内の埋立て地盤で，地層は，地表面から GL-1.80m まで盛土，その下部にN値5～10の細砂層と粘土層が互層に分布する。地下水位は GL-2.10m である。**図-5** に柱状図と N 値を示す。

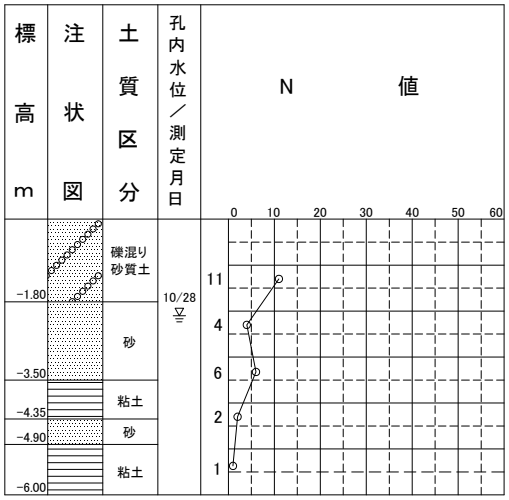


図-5　柱状図と N 値

4.2　試験内容

試験は，削孔長，削孔深度および曲り回数を変えて削孔を行った。削孔軌道は小型ジャイロセンサおよびビーコン型測定器にて計測し，計画軌道に誘導しながら削孔を行った。**表-1** に試験ケース，**図-6** に削孔平面図を示す。

表-2　試験ケース

ケース	入射角	削孔長	深度	曲り回数
1	10°	100m	-1.5m	1回(鉛直)
2	10°	200m	-4.0m	2回(鉛直)
3	10°	200m	-4.0m	3回(鉛直2, 水平1)

試験は，削孔終了後，注入管を地中に設置し，削孔到達箇所にて削孔先端部（アンカー）を発掘することで削孔位置の精度確認を行った。

写真-3および**写真-4** に試験時における小型ジャイロセンサおよびビーコン型測定器の計測状況を示す。

4.3　試験結果

試験ケース 2, 3 における削孔軌道の計測結果(実測値）と計画軌道との比較を**図-7**(a), (b)に示す。削孔軌道は小型ジャイロセンサおよびビーコン型測定器にて計測したものである。

図-7(a), (b)より，削孔軌道は、計画軌道に対し、30cm 以内で誘導出来ていることがわかる。

試験ケース 2,3 における削孔先端部の発掘写真を**写真-5**(a), (b)に示す。

削孔先端部位置は，小型ジャイロセンサおよびビーコン型測定器による軌道計測結果と同様に，計画位置に対し，30cm 以内位置に存在している。

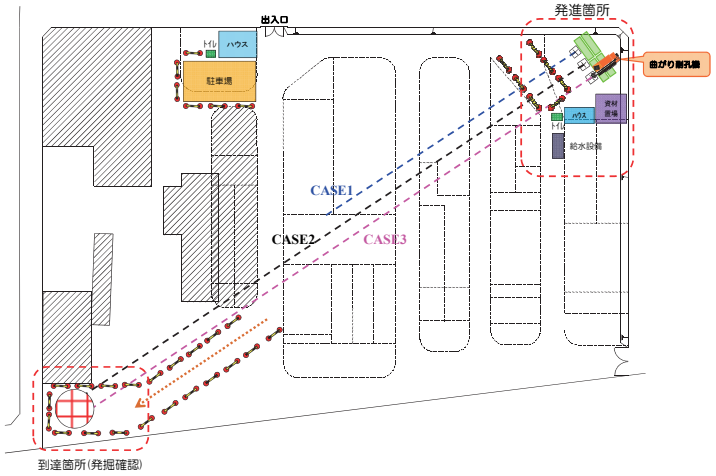


図-6　削孔平面図

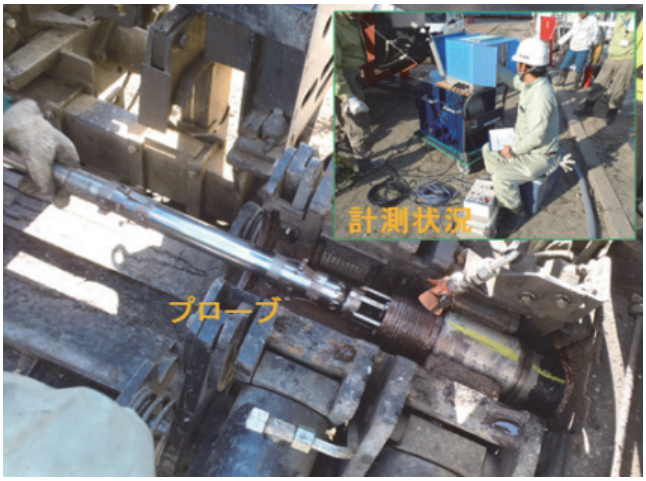


写真-3　小型ジャイロセンサ計測状況

写真-4　ビーコン型測定器計測状況

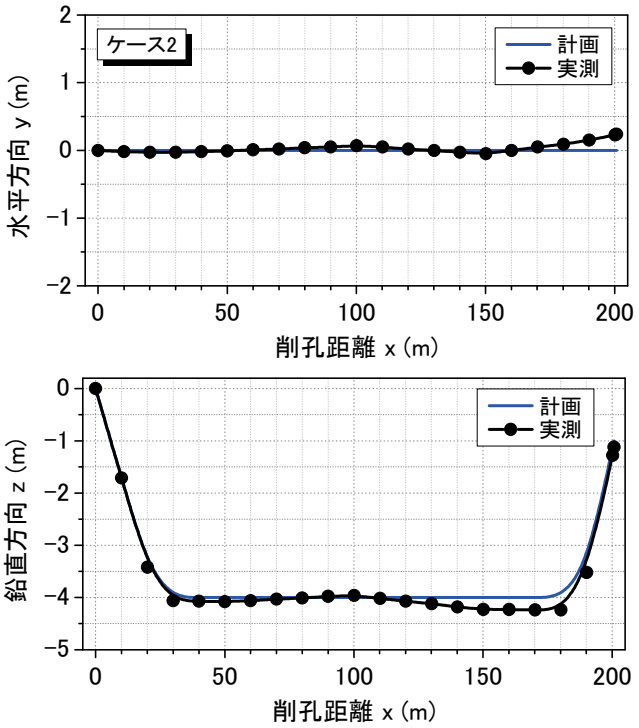


図-7(a)　削孔軌道測定結果(ケース 2)

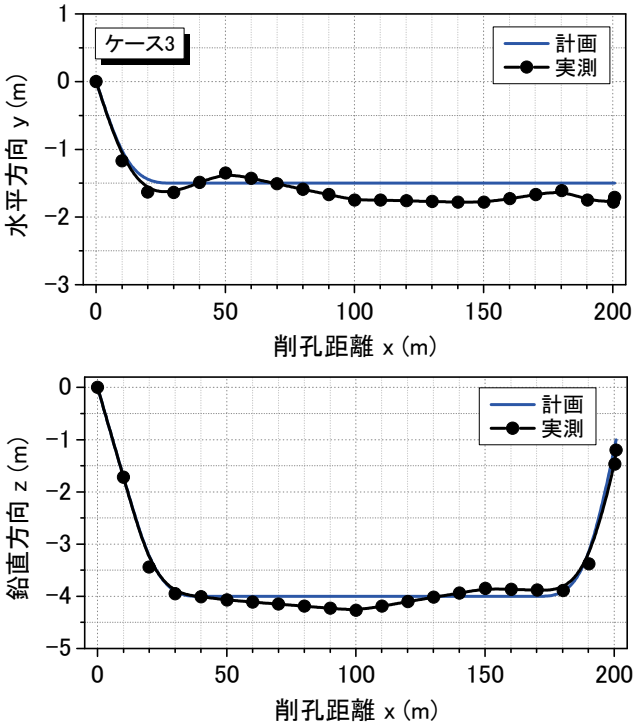


図-7(b)　削孔軌道測定結果(ケース 3)

写真-5(a)　削孔先端部の発掘写真(ケース 2)

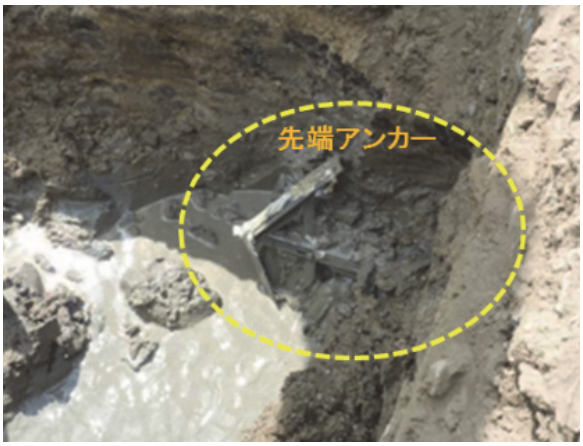


写真-5(b)　削孔先端部の発掘写真(ケース 3)

５．おわりに

既存施設地盤の液状化対策が可能な液状化対策工法の曲り削孔システムの概要，特長および現地性能試験結果について紹介した。

本工法は、200m 離れた箇所から曲がり削孔が可能な削孔技術を有し，供用中のコンビナート港湾の耐震化および空港滑走路の液状化対策等に有効な工法である。

今後は，現行基準を満足しない既存の岸壁・護岸，河川・海岸堤防，地下埋設物等の液状化対策，側方流動対策等に提案していきたいと考えている。

参考文献

1) 大野康年：恒久型薬液を用いた注入固化工法の開発と適用例，土木学会土木建設技術発表会講演集Ⅲ-4，pp.181-186，2009.
2) 大野康年：薬液の逸走防止性能を向上させた薬液注入固化工法，地盤工学会誌，Vol.59 No.3 Ser.No.638，pp28～29, 2011.