

振動締固め工法の現場実験

(株)間組 技術研究所 正員○三原 正哉
 日本海工(株) 工務部 正員 鶴岡 龍彦
 青山機工(株) 第二工事部 末広 修三

1. まえがき

土木や建築などの構造物を緩い砂質地盤上に構築した場合、地震時に地盤が液状化したとき、構造物が大きな被害を被ることがよく知られている。ここに紹介する振動締固め工法は、ドイツで開発されたもので、ロッド先端に取り付けた大容量パイプレータを用いて、地盤や供給される中詰め材を水平方向に振動締固めすることにより、緩い砂質地盤を改良するものである。

本工法を日本に導入するにあたり、日本での施工条件等を考慮し、特に低公害型工法の観点から、機械および施工法に改良を加え、その適用性を現場実験などを実施し確認したので、その概要を報告する。

2. 開発の背景

本工法と同様な工法としてわが国ではパイプロフローテーション工法があり、昭和30年代より使用されていた。しかしながら、他の振動締固め工法に比較して改良効果が低いこと、改良深度が限定されること、貫入・中詰め材供給の補助として多量の水を使用するため(本工法においても海外の施工ではほとんど水を使用している)、排水処理に問題があることや中詰め材として主に礫材しか使用できないなどの問題があり、近年施工実績が減少している。表-1は、パイプロフロットの容量を本工法のものとして現在日本で使用されているパイプロフローテーション工法のものと比較したものであり、本工法の方が、起振力で5~10倍もある。また、筆者らは、起振力が25 tonf程度あれば、

表-1 パイプロフロットの諸元 (文献1に加筆)

水を使用しなくても圧縮空気を補助として使用することにより、地盤改良が必要な地盤では貫入可能と判断し、施工環境に問題のない水の代わりにエアを使用する施工法の開発を進めることとした。

諸元	パイプロフローテーション (日本国内)		本工法
	15HP型	30HP型	150HP
モータータイプ			118 (油圧式)
電機数 (KV)	11	22	1500 ~ max 3000
起振力 (tonf)	1420	1420	約 25
起振点振幅 (mm)	2.5	5.1	14
全重 (tonf)	4~5	6~7	1.3 tonf
	1.7	4.3	延長パイプ 0.22 tonf/m
有効長さ (m)	7	15	突 続 max 30
ケーシング外径 (mm)	φ 319	φ 381	振 動 部 φ 325
フィン外径 (mm)	φ 469	φ 500	延長パイプ φ 300
モーター取付位置	本体上部 一体式	本体内蔵下部 継足式	本体内蔵下部 継足式

水を使用しないため、中詰め材として砂の使用も可能となり、コストダウンにもつながる。

また、本工法は、特殊なベースマシンを必要としないこと、先端のみの振動であるため他の振動締固め工法に比べて低振動であることなどの特長を有しており、上記の水を使用しない施工法を開発すれば、十分実用性のあるものと考えた。

3. 本工法の概要

(1) 使用機械

施工機械の構成を図-1に示す。使用す

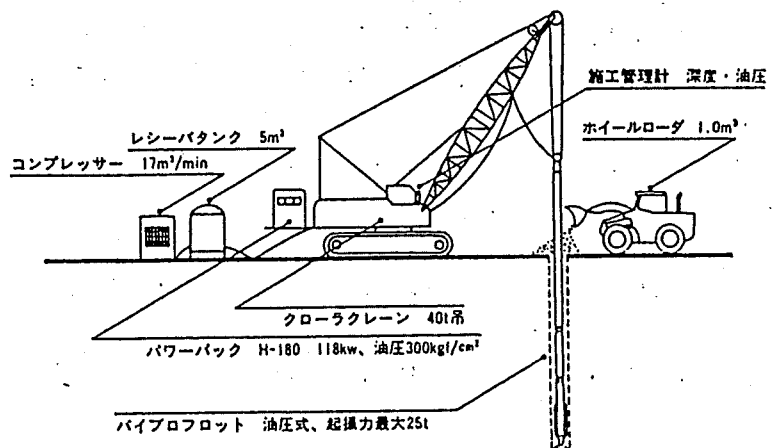


図-1 施工機械の構成

Field Tests of Vibro Compaction Method;
 Masaya Mihara (HAZAMA Corp.), Tatsuhiro TSURUOKA
 (NIPPON KAIKO Co.) & Syuzo SUEHIRO (AOYAMA KIKO Co.)

る機械は、先端部に振動体を有するパイプロット、これを吊下げるクローラクレーン（35～50tクラス、パイプロットを起動する油圧パワーバック装備）、エア設備（コンプレッサー、レシーバタンク）、中詰め材を供給するホイールローダ、および施工管理計からなる。また、地盤条件によっては、水を使用することも可能であり、その場合には、エア設備の代わりに水設備（給水ポンプ、7 kgf/cm²、15 m³/hr）が用いられる。

振動締固めの源となるパイプロットの形状を図-2に示す。パイプロットは、先端部に偏心ウエイトがあり、これをその直上部にある油圧モータで回転させることにより、パイプロットを水平方向に振動させる仕組みになっている。また、先端振動部には、幅15cmのフィンが二枚取り付けられており、偏心ウエイトの回転運動に伴うパイプロット自体の回転を防止するだけでなく、地盤への振動伝達を高める働きを持っている。先端部には、中空の延長チューブを通し、エア（あるいは水）が供給され、先端ノズルから噴出される。

この振動体の上部には、図-2に示すように、上下に硬質のラバーが取り付けられたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動部の振動を上部の延長チューブに伝達しない機構となっている。このアイソレータの働きにより、振動体は1点で吊下げられた回転運動となり、「すりこぎ運動」と呼んでいる。

さらに、今回のエアを使用した施工法の開発にあたり、延長チューブの外側に2本のエアパイプとフィンを新たに取り付け（図-2参照）。延長チューブの外側に取り付けられたエアパイプは、パイプロットの貫入によって生じた孔壁を、パイプ先端

から圧縮空気を噴出することにより孔径を大きくする機能を有している。一方、フィンの役割は、孔壁の拡大およびエアの地表面への逃げ道の確保である。エアパイプにより、アイソレータの機能が妨げられるのを防ぐため、アイソレータと振動体のジョイント部でのエアパイプの配管にはフレキシブルホースを使用している。

(2) 施工法

本工法の施工法を図-3に示すが、先端部で駆動する振動体で、締固めが必要な地盤を、所定の深さで直接締固め回めることができ、締固め効率が高い。

施工時の管理は、パイプロットの貫入、引き上げの深度と時間の関係、油圧モータの圧力と時間の関係を、施工管理計により自動記録していく。パイプロットの締固め時においては、油圧力が200 kgf/cm²以上になることを一つの目安としている。中詰め材の投入量は、ホイールローダのバケット回数より算出する。

また、締固め後の改良効果は、打設地点間の中央において、標準貫入試験、コーン貫入試験などを実施し、確認する。

4. 現場実験の概要

(1) 実験サイト

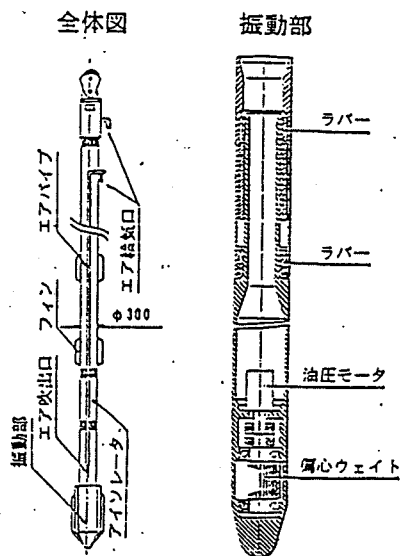
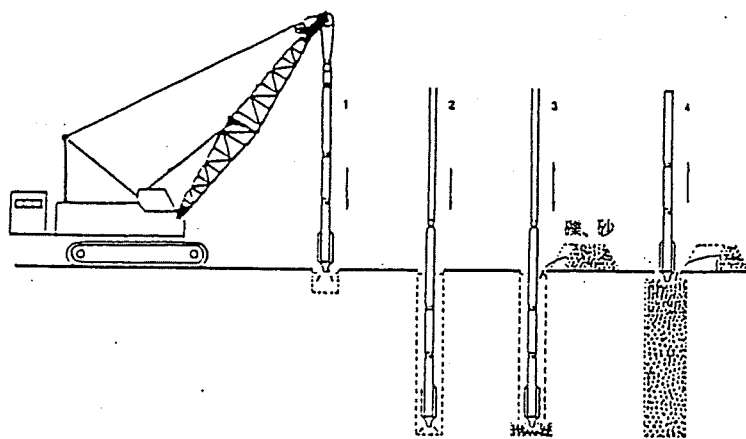


図-2 パイプロットの形状



1. 杭芯セット 2. 貫入 3. 引上げ 4. 中詰め材投入
- 中詰め材投入
- 3.4の作業を繰り返しながら、所定面まで仕上げる。

図-3 施工方法

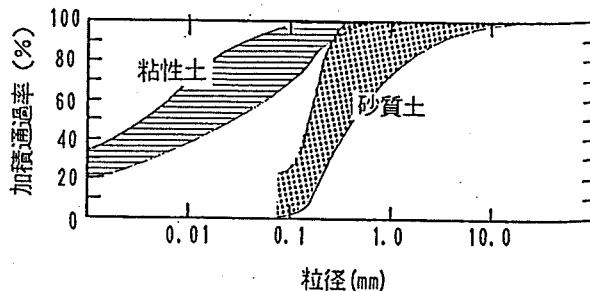


図-4 原地盤の粒度分布

実験サイトは千葉県の東京湾岸埋立て地であり、表層1.5mはN値が15程度と高いが、その下深度7m程度まではほとんどN値10以下の緩い砂層となっている。ただし、地点によっては、深度5~7m付近に粘性土層が存在する。砂層、粘性土層の粒度分布を図-4に示す。また、地下水位はG.L-0.5mと高い。なお、実験では、改良深度を深くすることから、周辺部を掘削しその掘削砂を用いて2mの盛土を行い実験施工面とした。以下の深度は全て施工面からのものである。

表-2. 実験ケースの一覧

ケース	改良工法	打設配置	打設数	調査項目
ケース1	D.V工法	1.8m正三角形配置	24本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプルング 地中変位, 騒音・振動
ケース2	D.V工法	2.3m正三角形配置	22本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプルング
ケース3	D.V工法	2.7m正三角形配置	22本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプルング
ケース4	S.C.P工法	1.8m正三角形配置	24本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプルング 地中変位, 騒音・振動

(2) 実験内容

施工法は、今回改良開発したエアを用いる方法である。また、他の振動締固め工法との比較を行うため、サンドコンパクションパイル工法(ケーシング径500mm、パイプロ容量150kwを使用)による地盤改良も行った。

実験ケースは、サンドコンパクションパイル工法を含め全部で4ケースであり、本工法では、打設ピッチの影響を調査するため打設ピッチを3種類とした。改良深度はG.L-9mまでとし、盛土部の締固めは行っていない。以下、本工法をD.V工法、サンドコンパクションパイル工法をS.C.P工法と記述する。実験ケースの一覧を表-2に示す。また、中詰材としては、細粒分5%以下の砂を使用した。

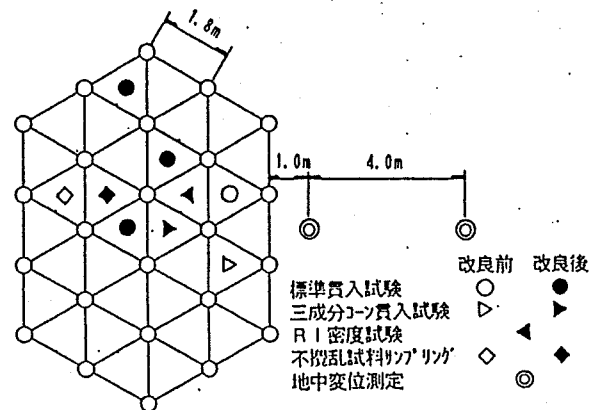


図-5 調査位置(ケース1)

調査項目は、実験ケースにより少し異なるが、施工時の地盤内の挙動を調査するための地盤内間隙水圧・加速度測定、改良効果を把握するための改良前後での標準貫入試験、R1密度検層などを行っている。また、施工環境や地盤変状を調査するため、振動・騒音測定、地中変位測定なども行っている。図-5に、一例としてケース1の調査位置を示す。

5. 実験結果

(1) 地盤内の挙動

図-6は、深度4.5mに設置した間隙水圧計(BP-2KB、ひずみゲージ式)により測定したケース1とケース4の施工時における最大間隙水圧と打設点からの距離の関係を示したものである。打設順序は特別に考慮しなかったため、先行打設による影響も含まれたものであるが、打設点から測定点から離れるほど間隙水圧は小さい。また、ケース1とケース4では、起振源が水平振動と鉛直振動の差はあるが、間隙水圧の上昇量としてはほとんど同レベルとなっている。設置深度の有効上載圧は0.6kgf/cm²程度であるが、打設点から1mしか離れていない点では、間隙水圧値はそれ以上の値となっているが、これは、動的な振動成分も含んでいるためと考えられる。

D.V工法において、パイプロフロットにより地盤内にどのような振動が発生しているかを把握するため、打設点近傍で地盤内加速度測定を実施した。測定には、3成分の加速度計(AS-2GB)を用い、打設点から0.7、1.1、1.5mの3カ所の深度4.5mの点に埋設した。

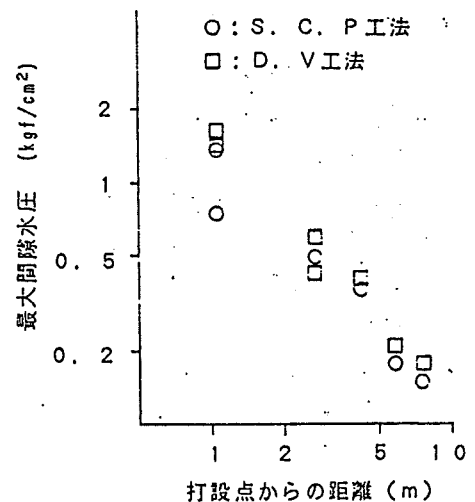


図-6 最大間隙水圧の分布

図-7は加速度波形の一例を示したもので、振動数は50Hzである。

ここで、 r は半径方向、 t は接線方向、 z は鉛直方向の振動成分を示している。

図-8は、打設点から距離0.7mでの処女貫入時における加速度のオービットを示したものである。フロットの位置が加速度計設置深度と同じレベルのときには、鉛直振動は小さいが、フロットの位置が加速度計設置深度とずれていると、鉛直振動もかなり発生していることがわかる。また、水平面内の振動に注目すると、振動の主軸は接線方向からずれており、接線方向から外側に60度程度ずれた方向となっている。

図-9は、処女貫入開始から貫入終了までの変位振幅の変化を示したものである。加速度計設置深度付近にパイロフロット先端が到達してから(60秒付近)、20秒間程度半径方向、接線方向とも振幅は大きくなっている。ただし、65秒付近で谷ができてはいるが、この理由については不明である。また、打設点からの距離の影響を見ると、半径方向の振動は距離減衰が明確に現れているが、接線方向の振動は0.7mと1.1mではほぼ同レベルであり、1.5m地点ではかなり減衰している。

地盤内の粒子速度とせん断ひずみの間には次式が成り立つと言われている²⁾。

$$\gamma(t) = v(t) / V_s \quad (1)$$

ここで、 γ ; せん断ひずみ、 v ; せん断波による粒子速度 ($v(t) = u(t)$)、 V_s ; せん断波速度
上式を用い、今回の測定結果をもとに、 $u(t) = U \cdot \sin(2\pi ft)$ とし、 U (変位片振幅) = 0.01 cm、 $f = 50 \text{ Hz}$ 、 $V_s = 100 \text{ m/sec}$ (仮定) を代入すると、 $\gamma = 0.03\%$ となる。

このことから、パイロフロット周辺1m程度の範囲では、地盤は0.03%程度のせん断ひずみ履歴を受けているものと考えられる。

(2) 改良効果

D. V工法により改良した地盤での標準貫入試験結果の1例として、打設ピッチ2.3mの場合(ケース2)を図-10に示す。改良後の標準貫入試験は全て杭間で実施したものである。多少のバラツキはあるが、砂層部では改良によりN値は各深度とも15程度以上増加している。しかし、粘性土層部に対しては、N値の大幅な増加は認められない。このことから、S. C. P工法を含め、振動締固め工法では改良後のN値は細粒分の多少によって大きく異なってくることが知られているが、本工法でも同じ状況であることが言える。そこで、横軸に細粒分含

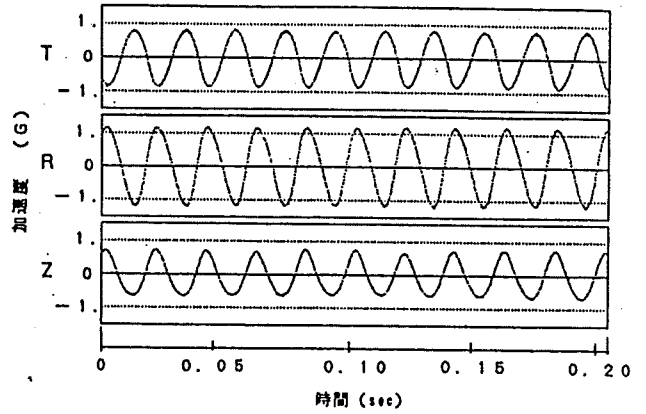


図-7 地盤内加速度波形 ($r = 0.7 \text{ m}$)

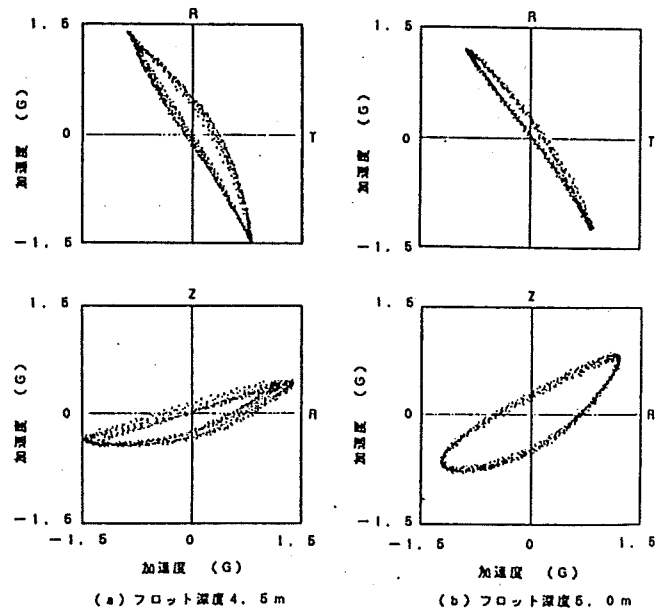


図-8 オービット (加速度、 $r = 0.7 \text{ m}$)

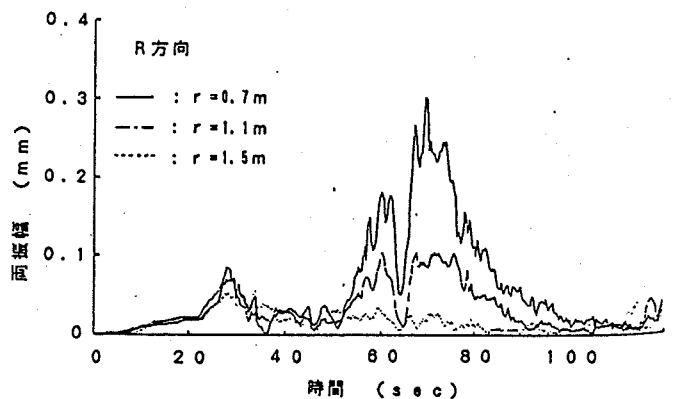
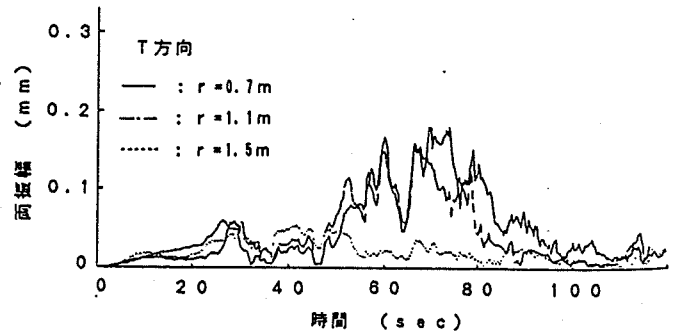


図-9 変位振幅の時間変化

有率、縦軸に改良後杭間N値をとったグラフによって、改良効果を比較した。

図-11は、D、V工法による打設ピッチの影響を見たものである。図には、1つの例ではあるが、LNG地下式貯槽指針³⁾に示されている「液状化を生じる土の細粒分含有率と限界N値」の関係を表示している。この図から判断すると、今回の地盤では、打設ピッチ2.7mはやや広すぎるが、ピッチ2.3mまでなら十分改良効果があることがわかる。前述したように、D、V工法施工時に測定した地盤内加速度分布では、締固めに有効に作用すると考えられる接線方向の振動(せん断振動)は、パイプロットの周辺1.1m程度までは同レベルで作用しているが、1.5mまで離れると減衰が大きいという測定結果が得られており、打設ピッチ2.7mでは改良が不十分であるという結果と一致している。なお、打設ピッチ2.7mのときの正三角形頂点から重心までの距離は1.55mである。

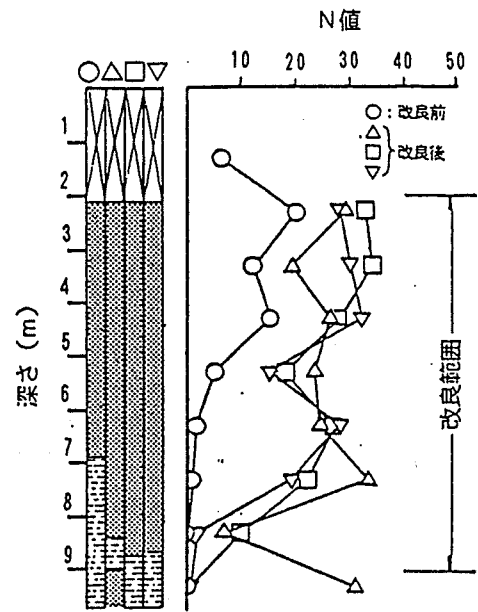


図-12は同じピッチ(打設ピッチ1.8m)で打設したD、V工法とS、C、P工法の改良後N値を比較したものであり、両者ではほとんど差がないことがわかる。

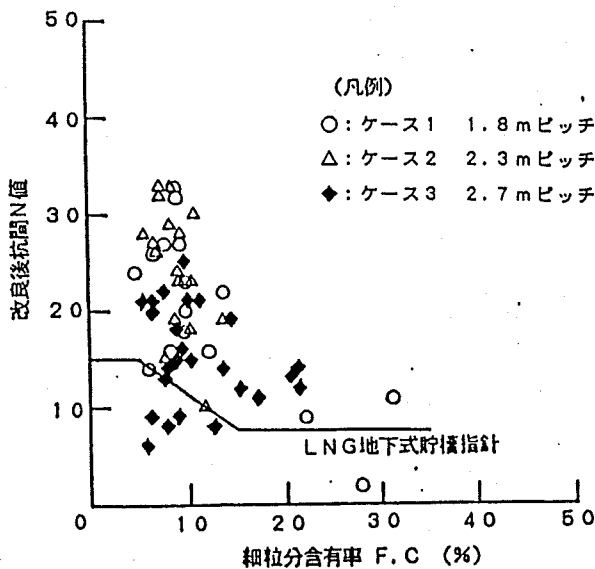


図-11 改良効果(その1)

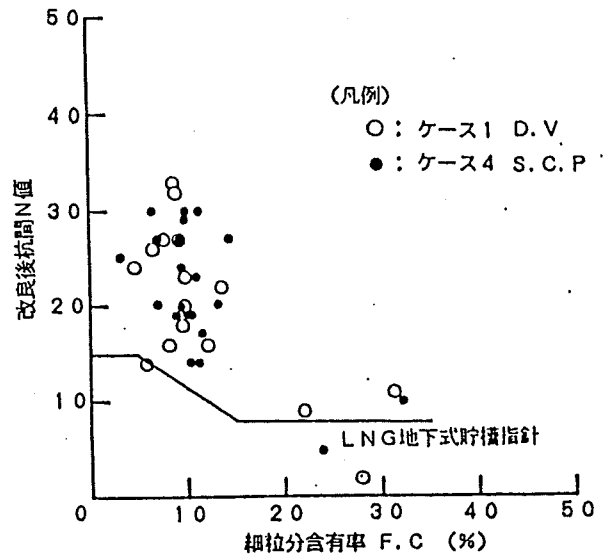


図-12 改良効果(その2)

(3) 周辺への影響

図-13は、ケース1とケース4の改良後の地中変位を示したものである。土層構成から判断すると、ケース1、4とも粘性土層が存在している深度で最大の変位が生じているが、全体の傾向としては、D、V工法による地中変位はS、C、P工法の約6割である。

図-14は、D、V工法とS、C、P工法の振動・騒音レベルを比較したものであり、D、V工法の方が10dB以上低振動・低騒音であることがわかる。特に、振動に関しては、距離減衰がD、V工法では顕著である。この理由として、D、V工法の振動数は50Hzであり、S、C、P工法の場合よりかなり高周波であるためと考えられる。D、V工法における騒音では、パイプロットが地表面上にある時のエアの噴出音、およびパワーバックのディーゼルエンジン音が主である。エアの噴出音は、フロットが地盤内に貫入した時には聞こえなくなり気にならないが、エンジン音については防音カバーを取り付けるなどさらに低減させることも考えられる。

(4) まとめ

現場実験より得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- ①パイプロット的位置と同一深度では、地盤内の鉛直振動は小さく水平振動が卓越しているが、深度がずれた場合には鉛直振動も発生していた。
- ②パイプロット周辺1 m程度の地盤は、0.03%程度のせん断ひずみ履歴を受けていた。
- ③今回の地盤では、打設ピッチ2.3 mまでは砂層に対し本工法により十分な改良効果が得られたが、打設ピッチ2.7 mでは改良効果は不十分であった。
また、粘性土層に対するN値の増加は小さい。
- ④打設ピッチ1.8 mの場合の本工法の改良効果は、S.C.P工法と同程度であった。
- ⑤本工法による地中変位は、S.C.P工法の約6割であった。
- ⑥本工法による振動・騒音レベルは、S.C.P工法による場合より10 dB以上低い。

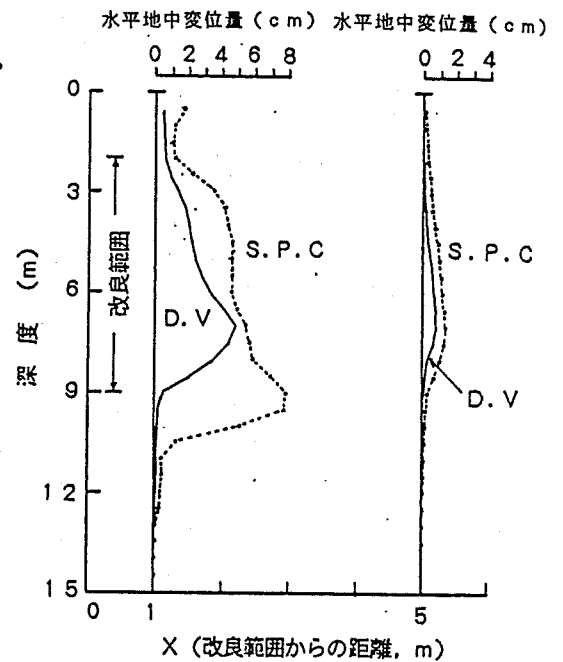


図-13 地中変位の測定結果

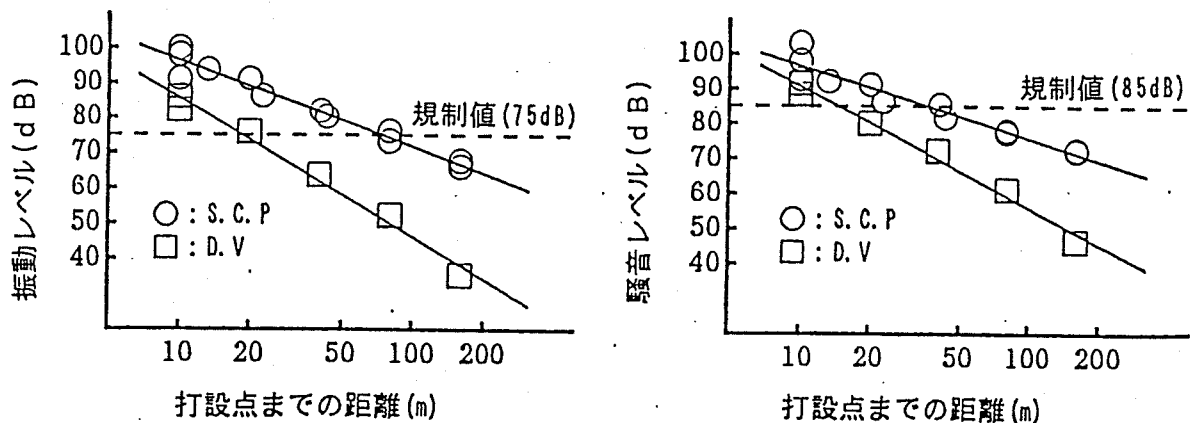


図-14 振動・騒音測定結果

5. あとがき

海外で施工実績の多い振動締固め工法の一つを日本へ導入するにあたり、日本での施工条件等を考慮し、低公害型工法の観点から、機械および施工法に改良を加え、その適用性を現場実験などを実施し検討した。その結果、十分な締固め効果を有するとともに、施工環境も良好で低振動・低騒音な工法であることを確認した。

また、本工法で使用する施工機はコンパクトであることから、市街地での、液状化対策に代表されるような砂質系地盤の地盤改良に威力を発揮するものと考えている。

《参考文献》

- 1) 田中誠一：3. 地盤改良工法 ③パイプロフローテーション工法、基礎工、1976. 5
- 2) Owen, G. N., R. E. Scholl and T. L. Brekke: Earthquake engineering of tunnels, RETC Proceedings, pp. 709~721, 1979.
- 3) 日本瓦斯協会天然ガス用貯槽保安調査委員会：LNG地下式貯槽指針、1978.

ディーブ・バイブロ工法：低公害型液状化対策工法

キーワード：液状化防止、振動締固め、過剰間隙水圧、コスト低減、低振動、低騒音

開発年度：1992年

外部評価・特許：運輸省技術評価第92203号、国土交通省新技術情報提供システム(NETIS)登録

1. 概要

本工法は、砂質土の締固め工法の一つに分類されるものであり、水平振動を発生する先端駆動の大容量振動体を地盤に振動貫入させ、地表面から補給材(砂あるいは礫)を供給しながら(サーフィスフィード方式 写真-1 参照)、引抜・貫入を繰り返して、周辺地盤や補給材を締固めることにより、地盤の密度を高めるものである。改良目的としては、砂質系地盤における地震時の液状化防止、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。



写真-1 ディーブバイブロ全景

本工事の特徴を以下に示す。

- 抜群の締固め効果：起振力 25ton の大容量バイブロフロットを使用しているため、締固め効果が大きく、深い深度まで改良が可能である。
- 低振動・低騒音：振動源は先端のみ。従来の振動締固め工法より 10dB 以上低減できる。
- 既設構造物周辺の施工に最適：従来工法に比較して、施工機はコンパクトで、周辺地盤の変形も小さいため、既設構造物周辺の施工に最適である。

● ドライ方式でクリーンな施工：貫入・材料補給の補助にエアジェットを使用。通常、水をいっさい使わないため、排水による周辺環境への悪影響がない。

2. 工法説明

(1) 施工方法

機械構成は、先端部に振動体を有するバイブロフロット、これを吊り下げるクローラクレーン、バイブロフロットを起動する油圧パワーパック、エア設備(コンプレッサ)、ホイールローダ等の補給材を供給する機械および深度、油圧を自動記録する施工管理計からなっている。図-1 に施工手順を示す。

● 施工手順

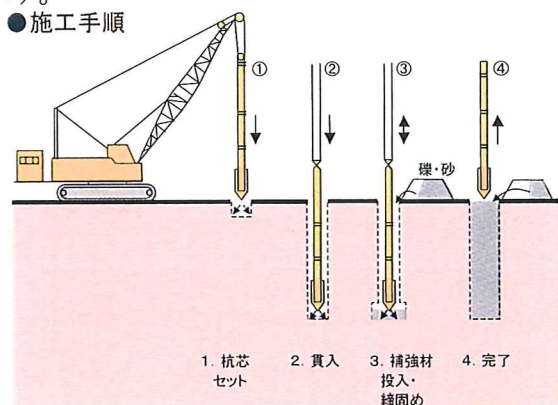


図-1 施工手順

(2) 施工例

図-2 に施工例を示す。

(3) 有効な現場条件

- クローラクレーンをベースマシンとするため、狭隘な場所や障害物近傍での施工が可能である。
- 施工方法が SCP 工法や静的締固め工法と異なり、また締固めの範囲がバイブロフロット周辺に

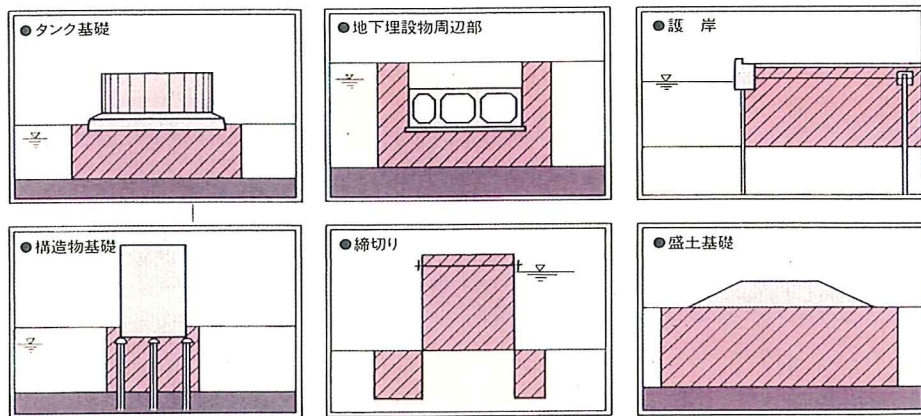


図-2 適用例

限定されるため、地盤変位が先の両工法に比べ小さい。そのため、既設構造物近傍の施工において、従来、改良長程度が近接限界距離とされたのに対して、本工法は、構造物直近までの施工が可能である。

- 補給材は、細粒分が比較的少なく（概ね 20%以下程度）、最大粒径が 40mm 程度までの粗粒材であれば、現地発生土、再生材、購入土等を問わず利用できる。
 - 直径 350mm のフロットを地盤に貫入させるのみであるので、タイロッド間や杭間の締固めが可能である。
 - 補給材を与えず、先端バイプロフロットの振動のみで、鋼矢板シェル中詰め材の締固めが可能である。
- (4) 施工上の留意点
- 細粒分含有率が 30%を超えるような砂質土の改良では、改良効果にバラツキが大きく、設計予測値との整合性も悪くなるため、試験施工などで事前に確認する必要がある。
 - 改良原理の基本は振動締固めであることから、近接施工の際、構造物等に振動が伝わる可能性がある。
 - 本工法は補給材をバックホウ等で地表面から投入するため、SCP 工法や静的締固め工法のように、材料供給量を深度毎に定量的に管理することが難しい。

3. 実績の概要

(1) 施工実績

ディープバイプロ工法の施工実績概要を表-1 に示す。

表-1 施工実績概要

発注者	工事名	施工時期	施工数量
鉄建公団 盛岡支社	東北幹、青森車両基地路工	2001年11年	総本数 約9,100本 総改良延長 約71,000m
静岡県富士土木事務所	富士早川特定構造物改築工事(入道樋門吐出口)工事	1998年08年	総本数 403本 総改良延長 約3,800m
静岡県志太広域事務組合	大井川環境管理センター一建設工事	1997年02月	総本数 552本 総改良延長 6,243m

(2) 施工事例

施工事例として、表-1 に示す工事の内、東北新幹線青森車両基地における地盤改良工事について以下に示す。

1) 工事概要

工事名：青森車両基地路盤他工事

事業主体：日本鉄道建設公団

施工場所：青森県青森市

施工期間：2001年11月～2001年11月

工事概要：

東北新幹線青森車両基地は、新幹線トンネル工事の掘削ズリを緩い沖積砂質地盤上に盛り立てて建設される。地震時の盛土の安定性について検討した結果、大部分の外周法面部で基礎地盤の液状化に伴い盛土のすべり安全率が所定の値を満足しないことが明らかとなった。そこで、液状化対策として、低振動・低騒音工法で、掘削ズリを補給材として利用することが可能な振動締固め工法の1つであるディープバイプロ工法を用いて法面部地盤改良を実施した。

ここでは、本工事に先立って実施した試験工事結果を中心に、一部本工事の改良結果を報告する。

2) 地盤概要と改良計画

東北新幹線青森車両基地は、前述のように、新幹線トンネル工事の掘削ズリを沖積砂質地盤上に盛り立てて建設され、外周約 2.3Km、盛土高約 3.8~5.9m の計画となっている。試験工事の結果を踏まえて計画された盛土法面の 1 例を図-3 に示す。地盤は、一般に表層に厚さ 1~3m の沖積粘性土層 (Ac6) があり (As6 が挟在することもある)、その下には N 値 10 程度以下の砂層 (As5) が存在する。レベル 1 地震動 (地表面最大加速度 189gal) に対し、As6 を含め As5 より上部の砂層部が液状化の可能性が高いと判定され、 Δu 法により盛土の安定性を検討した結果、盛土は所定の安全率を満足しなかった。そこで、地盤を締固め液状化抵抗を高めることとした。改良範囲は試験工事結果をもとに盛土の安定性を確保できるように定められた。また、締固め工法としては、一部民家に近接していること (離間距離約 30m)、コスト面から掘削ズリを使用できる工法が望ましいことから、高周波バイブロフロットを用いて低振動・低騒音で地盤を締固めすることができ、またケーシングを用いず地表面から補給材を供給できるディープバイブロ工法を用いることとした。

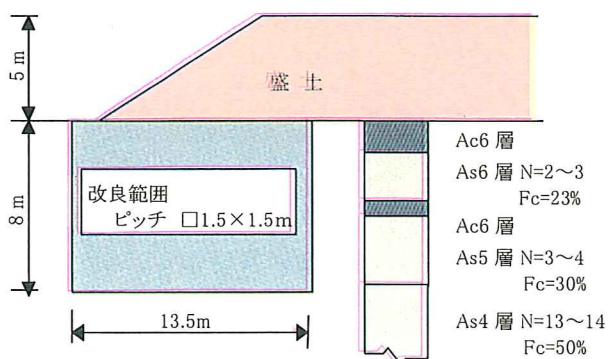


図-3 施工断面図

3) 試験工事の概要

補給材として、通常用いられている購入砂より細粒分が多いトンネル掘削ズリを用いるため、試験工事を行い、改良効果とピッチの関係を評価した。表-2 に試験工事の概要を示す。また、図-4、5 に、打設配置と試験工事に用いた掘削ズリの粒度分布を示す。表-2 に示すように改良ピッチは 1.2、1.5、1.8m の 3 ケースで、改良効果は鉄道構

造物設計基準・同解説 耐震設計に従い、PL 値を用いて評価した。

表-2 試験工事の概要

工種		ケース1	ケース2	ケース3
DV打設	打設ピッチ (m)	□: 1.2×1.2	□: 1.5×1.5	□: 1.8×1.8
	改良長 (m)	10	10	10
	施工本数 (本)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)
調査工 (粒度試験含む)	SPT改良前	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
	SPT改良後	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
計測工	振動・騒音	-	10・20・40・80・160m/1測線	-

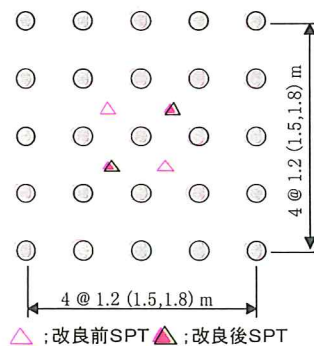


図-4 打設配置

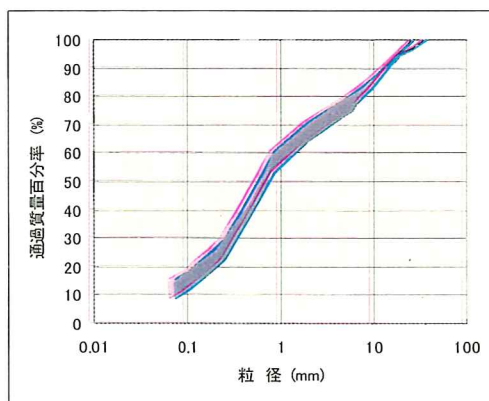


図-5 掘削ズリの粒度分布

4) 試験工事の結果

改良前後の N 値の比較を図-6 に示す。また、改良前後の PL 値の比較を図-7 に示す。図-7 には、ディープバイブロ工法の設計法 (SCP の C 法と同じで、等価杭径を $\phi 0.6m$ とする) から予測した改良後 N 値に基づく PL 値も示している。改良前 12~15 であった PL 値は、改良後ピッチ 1.2、1.5、1.8m でそれぞれ 2.9、5.3、9.8 となり、ピッチ 1.8m では改良効果が不十分であった。なお、ここでは、 $PL < 5$ の時地盤は非液状化地盤と評価した。予測時 PL と改良後 PL を比較した場合、ピッチ 1.5m の場合はほぼ予測値と実測値に基づくものは等しいが、1.2m と 1.8m は実測値の方が低くなっている。

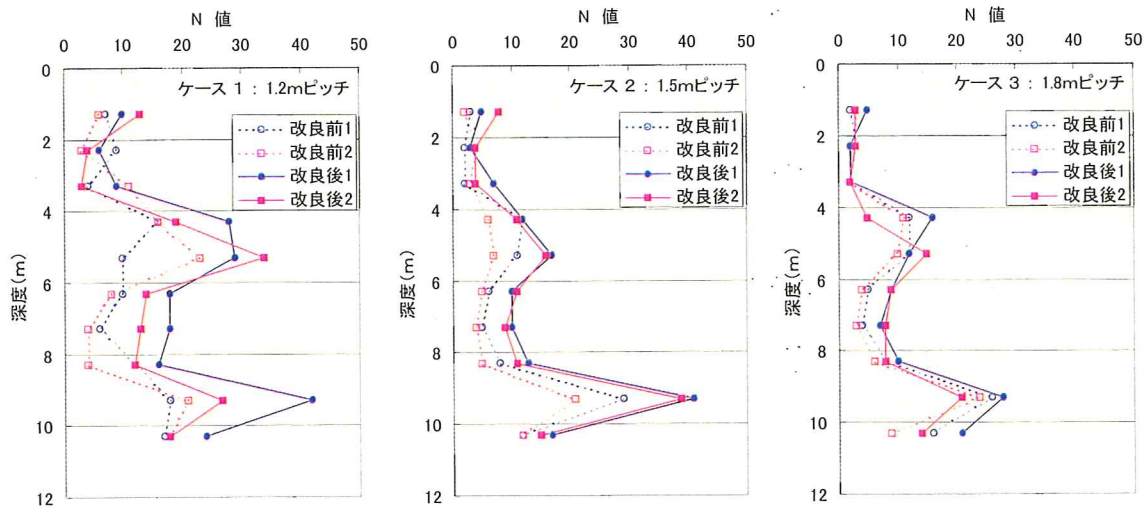


図-6 改良前後のN値の比較

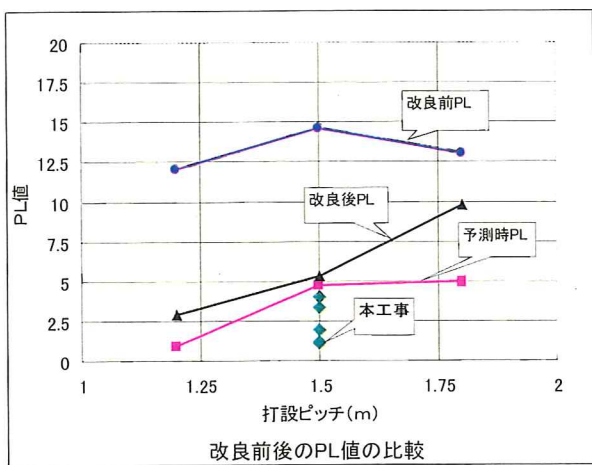


図-7 改良前後のPL値の比較

以上のことから、本工事に対しては、各地点でのボーリングデータに基づき 1.5m 前後で改良ピッチを定めることとした。

振動・騒音の測定結果を図-8、9 に示す。図には、過去の測定データも示している。この図から、近傍民家に対しても敷地境界で十分規制値を満足することが明らかとなった。また、振動・騒音とも既存データの範囲内に入っていた。

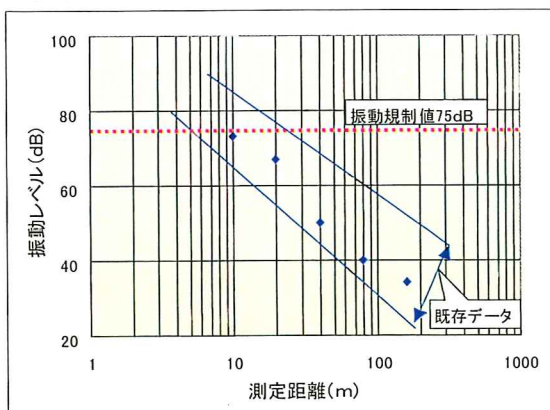


図-8 振動の測定結果

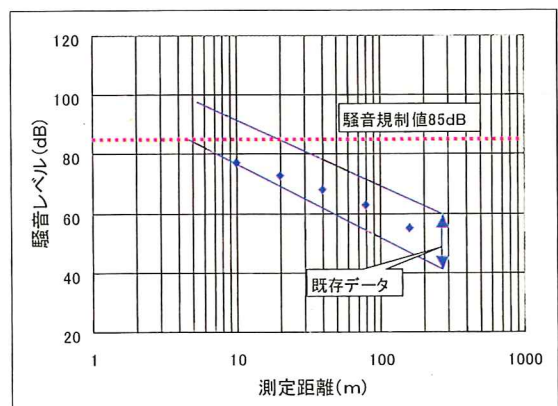


図-9 騒音の測定結果

5) まとめ

現地発生土を活用できる利点から、ディープバイプロ工法を用いて液状化対策を計画し、試験工事でその適用性を評価した。本工事では、掘削ズリの細粒分が当初より増加してきたため、掘削ズリ(細粒分 20~25%)と購入砂(細粒分 3%)を半々で混合して使用している。これまでに実施した本工事の改良後のチェックボーリング結果から求めたPL値を図-7に示すが、図からわかるように、現時点ではほぼ想定された改良効果が得られている。

【問い合わせ先】

(株)間組 技術・環境本部 技術研究所

TEL 029-858-8813

【参考文献】

- 1) 早坂治敏, 蓼沼慶正, 早川雅彦, 三原正哉; ディープ・バイプロ工法による盛土法面の液状化対策, 第 57 回年次学術講演会講演概要集, (社)土木学会, III部門, pp.163-164, 2002.

⑥	⑦	⑧	⑨
0			
0			
測			
5			
8	21	17	21
5	13	10	13
8			
50			
ジェット工法			

報文 ディープ・バイブロ工法の施工例

三原 正哉* 紅林 康信** 飯田 剛***

1. はじめに

ここに紹介するディープ・バイブロ工法は、ドイツにおいて開発されたもので、ロッド先端に取付けた大容量バイブレータを用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱地盤を改良するものである。

本工法は、他の振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、施工機がコンパクトであることなどの特徴を有しており、特に都市部での地盤改良に適していると考えられる。

本稿は、ディープ・バイブロ工法の概要と、千葉市の市街地に建設される高層事務所棟などの複合施設基礎地盤の液状化対策として、本工法を施工した例について報告するものである。

2. ディープ・バイブロ工法の概要

本工法は、砂質土の振動締固め工法の一つに分類されるものであり、振動方向は水平方向、補給材は地表面から供給するタイプ(サフィス・フィード方式)である。また、改良目的としては緩い砂地盤や礫地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

本工法と同様な工法として、わが国ではバイブロフローテーション工法があり、昭和30年代より使用されていた。しかしながら、他の振動締固め工法と比較して改良効果が低いこと、改良深度に限界があることなどから、近年施工実績が減少している。

表-1は、バイブロフロットの容量を本工法のものとして現在日本で使用されているバイブロフローテーション工法のものとして比較したものであり、本工法の方が起振力で5~10倍もある。バイブロフローテーション工法と同様、本工法においても海外では貫入・補給材供給の補助として水を使用しているが、起振力が大きいため、水を使用しなくても圧縮空気を補助として使用することにより、貫入可能な地盤も多いと考えられ、排水処理の問題のない水の代わりにエアを使用する施工法の開発も行い、地盤条件による使い分けを可能とした。

施工機械の構成を図-1に示す。使用する機械は、先端部に振動体を有するバイブロフロット、これを吊下げる

表-1 バイブロフロットの諸元

諸元	バイブロフローテーション (日本国内)		ディープ・バイブロ工法
	15HP型	30HP型	150HP
電動機 (kW)	11	22	118 (油圧式)
振動数 (rpm)	1,420	1,420	1,500~Max 3,000
起振力 (tf)	2.5	5.1	約25
起振点振幅 (mm)	4~5	6~7	14
全重量 (tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3tf 延長パイプ 0.22tf/m Max 30
有効長 (m)	7	15	実積 振動部 φ325 延長パイプ φ300
ケーシング外径 (mm)	φ319	φ381	
フィン外径 (mm)	φ469	φ500	
モータ取付け位置	本体上部	本体内蔵下部	本体内蔵下部
構造	一体式	総足式	総足式

文献1)を修正,加筆。

* MIHARA Masaya
** KUREBAYASHI Yasunobu
*** IIDA Takeshi

鶴間組 技術研究所 研究第一部 係長
同上 東関東支店 千葉新都心出張所 係長
同上 建築本部 設計第二部 係長

与野市本町西4-17-23
千葉市問屋町1-55
東京都港区北青山2-5-8

土を対象
中である
って良好

グラウト
グ孔から
を対象と
壁・P
などの特
合処理工
に比べ
架全体の
液状化対

ってお
ている。

研究-コラ
技術研究
6月。

(その1)
導,土質
6月。

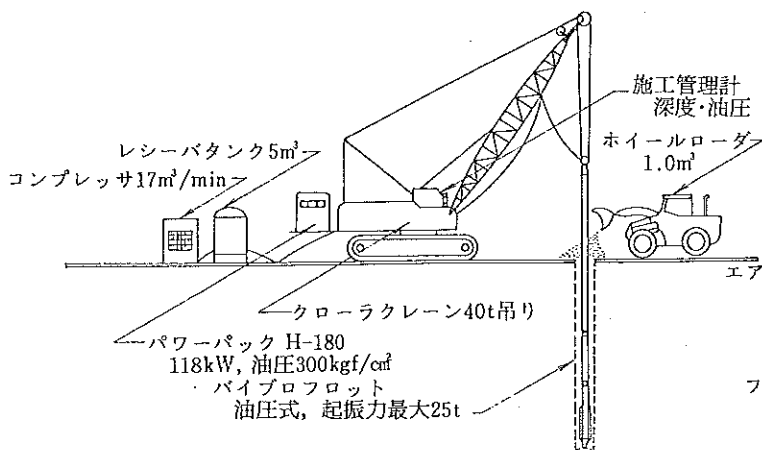
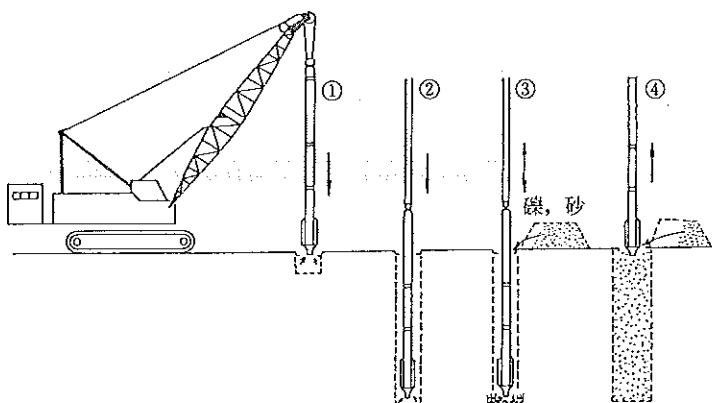


図-1 施工機械の構成 (エア使用の場合)

クローラークレーン (35~50tクラス), バイブロプロットを起動する油圧パワー・パック (H-180), エア設備 (コンプレッサ, 10.5kg/cm²クラス) あるいは水設備 (給水ポンプ, 7kg/cm², 15m³/hr), 補給材を供給するホイールローダおよび施工管理計からなる。

振動締固めの源となるバイブロプロットの形状を図-2に示す。バイブロプロットは先端部に偏心ウェイトがあり, これをその直上部にある油圧モータで回転させることにより, バイブロプロットを水平方向に振動させる。また, 先端振動部には, 幅15cmのフィンが2枚取付けられており, 偏心ウェイトの回転運動に伴うバイブロプロット自体の回転を防止するだけでなく, 地盤への振動伝達を高める働きを持っている。先端部には中空の延長チューブをとおり, エアあるいは水が供給され, 先端ノズルから



- ① 杭心セット: 所定の位置にバイブロプロットをセットする。
 - ② 貫入: バイブロプロットを起動しエアあるいは水を使用して所定深度まで貫入する。
 - ③ 引上げ, 中詰め材投入。
 - ④ 中詰め材締固め。
- ③, ④の作業を繰返しながら, 所定面まで仕上げる。

図-3 施工方法

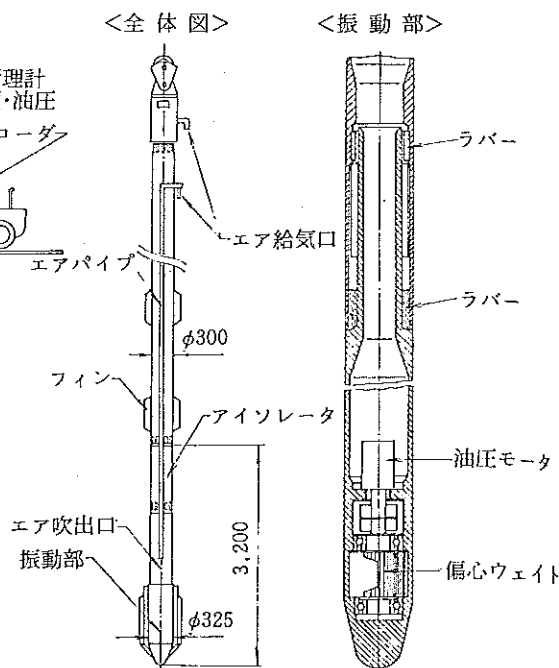


図-2 バイブロプロットの形状

噴出される。

この振動体の上部には, 図-2に示すように上下に硬質のラバーが取付けられたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており, 振動部の振動を上部の延長チューブに伝達しない機構となっている。

本工法の施工法を図-3に示すが, 先端部で駆動する振動体で, 締固めが必要な地盤を所定の深さで直接締固めることができ, 締固め効率が高い。施工時の管理にはバイブロプロットの貫入・引上げ時の深度と油圧モータの圧力を施工管理計により自動記録している。補給材の投入量はホイールローダのバケット回数より算出する。

また, 締固め後の改良効果は, 貫入地点間の中央において, 標準貫入試験を実施し確認する。

3. 施工例

3.1 工事概要

本工事は, JR 総武本線千葉駅の南約1.2kmの千葉市場跡地の再開発事業として進められている「(仮称) 千葉市総合体育館・複合施設」のうち, 民間複合施設の基礎地盤の液状化対策となされたものである。民間複合施設は, 地上29階の事務所棟並びに地上21階のホテル棟その他からなるものである。

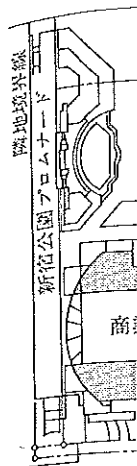


図-4に民

間の基礎面深基礎形式はめ工法)で, のため, 永画されている。本敷地のれる埋没地であり, そ埋没谷底面分される。層である工く存在し, -5に東側(基礎構造)す。可能(震)に対し方針を採用不攪乱試するとといを用いた地化判定をおよびDs明したが, Ds1層はN値が5基礎面直施するこ改良範囲含み, ソ

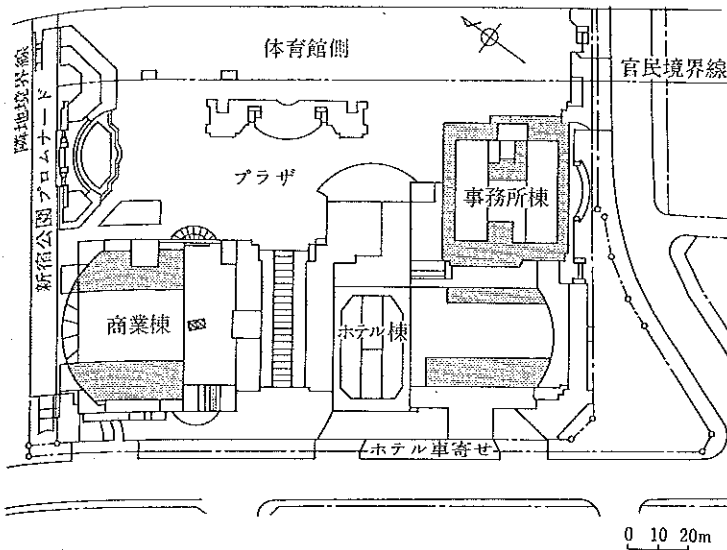


図-4 民間複合施設の概要

図-4に民間複合施設の概要を示す。民間複合施設の基礎面深さは、TP-12m および-10m であり、基礎形式は杭基礎（鋼管杭 $\phi 800$ 、中掘り先端根固め工法）で、浮上がり防止および地震時の転倒防止のため、永久アンカー（VSL-J1工法）の施工も計画されている。

本敷地の地盤は、洪積層の成田層群により形成される埋没地形の上に、軟弱な沖積層が分布する地盤であり、その埋没地形により、平面的には中央部の埋没谷底面とその両側に位置する埋没波食台面に区分される。東側の埋没波食台には、今回の改良対象層である D_{s1} 層と表示する上部洪積砂層が比較的厚く存在し、他の部分にはほとんど存在しない。図-5に東側埋没波食台の土質柱状図を示す。

基礎構造の設計では、「耐用年限中に繰返し発生する可能性のある程度の地震（25kineレベルの地震）に対しては、地盤は液状化させない」との基本方針を採用している。そこで、原地盤から採取した不攪乱試料による液状化試験・動的変形試験を実施するとともに、4つの25kineに規準化した地震波を用いた地震応答解析を実施し、詳細法による液状化判定を実施した。その結果、 A_s 層（沖積砂層）および D_{s1} の一部で液状化の可能性があることが判明したが、 A_s 層はほぼすべてが掘削される。一方、 D_{s1} 層は洪積層であるが、液状化判定結果を踏まえ、 N 値が5~50（平均21）とバラツキが大きいこと、基礎面直下に存在することを考慮し、地盤改良を実施することとした。

改良範囲は、 D_{s1} 層の分布をもとに事務所棟部を含み、ソイルセメント連続壁（SMW）で囲まれた

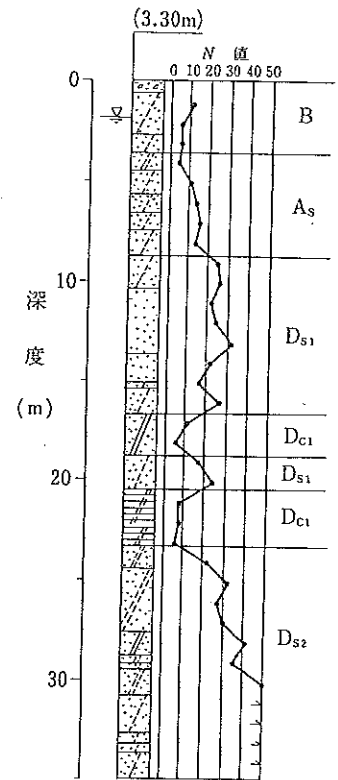


図-5 土質柱状図（原地盤）

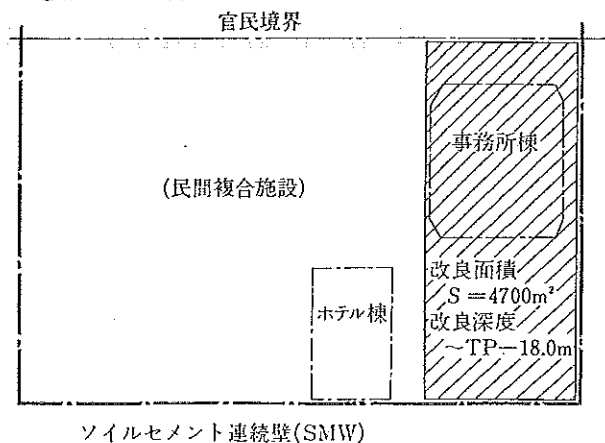
図-6に示す範囲とした。また、改良深度は D_{s1} 層の深度分布より TP-18m までとした。

地盤改良工法としては、改良効果の信頼性の高い振動締固め工法の中から、都市部での施工であることを考慮し、低振動・低騒音であるディープ・バイプロ工法を選定した。

3.2 試験工事

本施工に先立ち、以下の目的で試験工事を実施した。

- ① 施工法・施工ピッチの決定
- ② 改良後の地盤物性の確認
- ③ 振動・騒音のチェック



ソイルセメント連続壁(SMW)

図-6 地盤改良の範囲

④ソイルセメント連続壁 (SMW) への影響
チェック

試験工事は原地盤 (TP+2 m) より実施し、
施工深度は20mで、下部9mを改良し、上部11
mは空打ちとした。

当初、エアを使用するドライ施工を試みたが、
D_{s1}層の間に存在するD_{c1}層 (洪積粘性土層) の
貫入が困難であったため、水を使用する方法
(ウェット方式と呼ぶ) で行うことにした。

表-2 に試験工事のケース一
覧を、図-7 に配置図を示す。
ここで、ケース2の先行掘りとは、
ディープ・パイプロ (DV
と表示) の施工前に、ジェ
ット・カッター (水圧約120kgf/
cm²) を取付けたケーシング (φ
400) を所定の深度まで貫入さ
せ引上げる作業を示し、工期短
縮の一つの方法として試験した
ものである。

改良後の杭間で実施した標準
貫入試験結果を図-8 に示すが、
打設ピッチの違いによる明確な

表-2 試験ケースの一覧

ケース	施工方法	本数	打設ピッチ	補給材	地盤調査
ケース1	DV	9	正三角形 2.3m	3号碎石	・標準貫入試験 ・孔内載荷試験 ・サンプリング
ケース2	先行掘り+DV	7	同上	同上	・標準貫入試験
ケース3	DV	7	正三角形 2.0m	同上	・標準貫入試験 ・孔内載荷試験 ・サンプリング

*サンプリングした試料は液状化試験に使用。

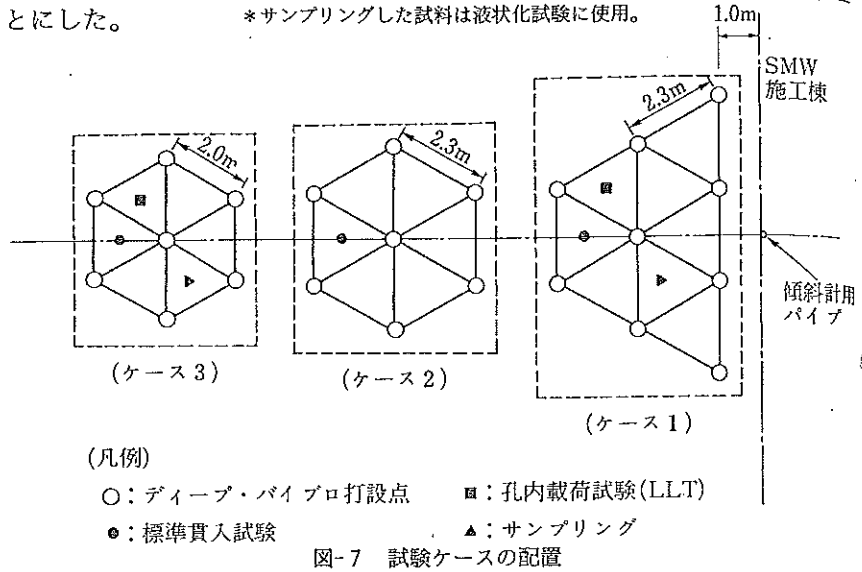


図-7 試験ケースの配置

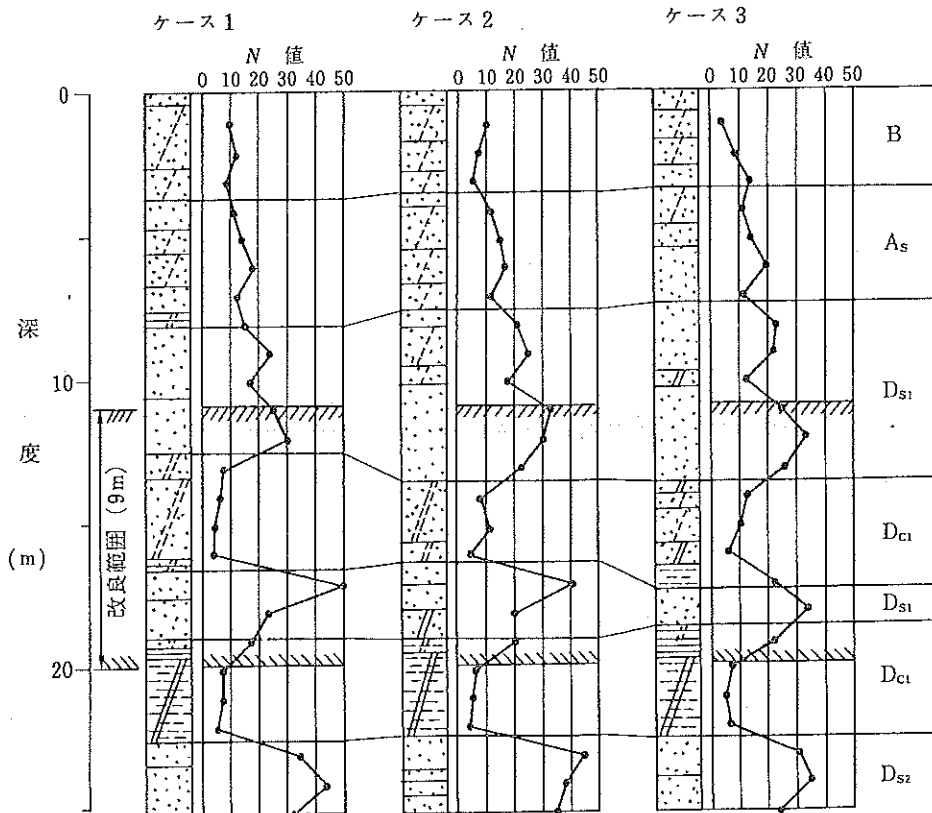


図-8 改良後の標準貫入試験結果 (試験工事)

差は認めらるD_{s1}層改良前層では、あった。20以上
表-3 化試験
前述し
行った。
図-1
定結果
音では
あるこ
からも
生ずる
測定点
い場合
ディ
壁に与
後で連
傾斜計

差は認められなかった。図-9は、改良対象層であるDs1層、および、Ds1層で挟まれたDc1層における改良前後のN値の分布を示したものである。Ds1層では、改良前のN値が20未満の地点が50%近くあったが、改良後のN値は点数は少ないがすべて20以上となっている。

表-3に孔内横方向荷重試験(LLT)および液状化試験の結果を示す。これらの試験結果をもとに、前述した地震応答解析結果を用いた液状化判定を行った結果、液状化の可能性が少ないことが示された。

図-10にディープ・パイプロ施工時の振動・騒音測定結果を示す。振動では打設点から15m以上、騒音では打設点から10m以上離れると規制値を満足することがわかる。施工に立合ったときの人的感覚からも、振動・騒音に対して近隣周辺から苦情が発生する恐れはないものと思われた。また、打設点と測定点の間にソイルセメント連続壁がある場合、ない場合に比べて振動レベルは5~6dB低下する。

ディープ・パイプロの施工がソイルセメント連続壁に与える影響を把握するため、ケース1の打設前後で連続壁心材(H鋼)の水平変位の測定を挿入型傾斜計を用いて行った。測定結果を図-11に示すが、

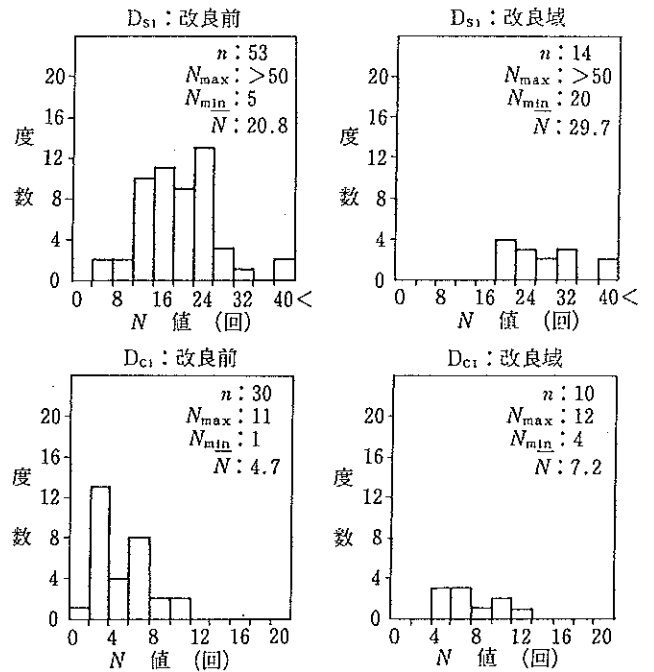


図-9 改良前後のN値の分布(試験工事)

最大水平変位は0.065cmと非常に小さく、連続壁への影響は考えられない。また、変形状態を詳細に見ると、改良部では打設と反対側にわずかに膨れており、空打ち部では逆に打設側に傾いている。これは、空打ち部では貫入孔に現地発生土を埋戻しただけで

表-3 試験結果の一覧

ケース	土層区分	孔内横方向荷重試験(LLT)					液状化応力比 ($\epsilon=5\%$ N=15回)
		深度 GL-(m)	P_0 (kgf/cm ²)	P_y (kgf/cm ²)	E_m (kgf/cm ²)	$K_0 = \frac{P_0}{\sigma'_v}$	
ケース1	Ds1上部	12	1.54	4.88	241	1.39	0.34
	Dc1	16	1.03	2.53	92	0.75	—
	Ds1下部	17.5	1.51	4.86	234	1.01	0.36
ケース3	Ds1上部	12	1.38	4.90	225	1.17	0.38
	Dc1	16	1.78	2.34	137	1.22	—
	Ds1下部	17.5	1.31	4.42	188	0.84	0.34

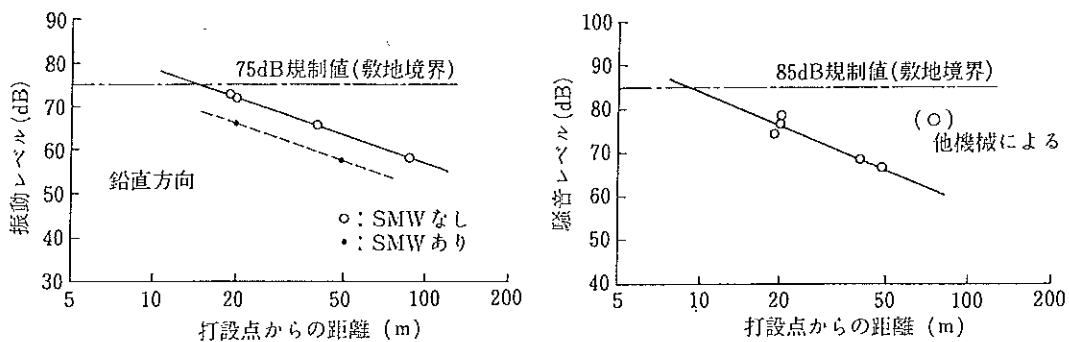


図-10 振動・騒音測定結果

地盤調査
標準貫入試験
内荷重試験
ンプリング
標準貫入試験
標準貫入試験
内荷重試験
ンプリング

SMW
施工棟
傾斜計用
パイプ

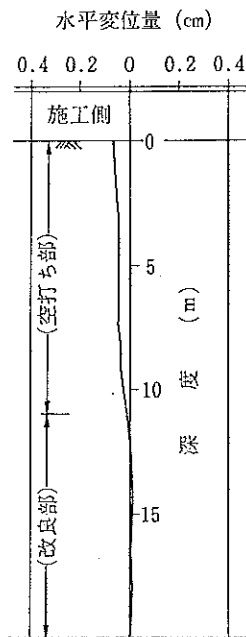


図-11 ソイルセメント連続壁の変形結果



写真-1 施工状況

あるためと考えられる。

3.3 改良工事

試験工事結果をもとに定めた改良工事の仕様・諸元は以下のとおりである。

- ・施工法：ウェット方式
- ・打設長：15m (原地盤より5m掘下げた盤より施工)
- 改良部は下部9m, 上部6mは空打ち
- ・打設ピッチ：2.3m 正三角形配置
- ・管理目標値：N値20以上
- ・補給材：3号碎石
- ・打設本数：1,059本

他工種との関係より、施工機は1台のみ使用し、実稼動67日(日平均打設本数16本)ですべての施工を行い、振動・騒音に対する苦情もなく工事を終了することができた。施工状況を写真-1に示す。

改良後杭間で実施した標準貫入試験結果の1例を図-12に示すが、 D_{s1} 層は十分に改良されていた。

今回は、水を使用するウェット方式で行ったが、掘削面下での施工であり、ディープウェルを設置していたが十分な排水ができなかったため、釜場を設け、土砂を含んだ排水を釜場で沈殿させ、うわ水をポンプ排水によって処理した。

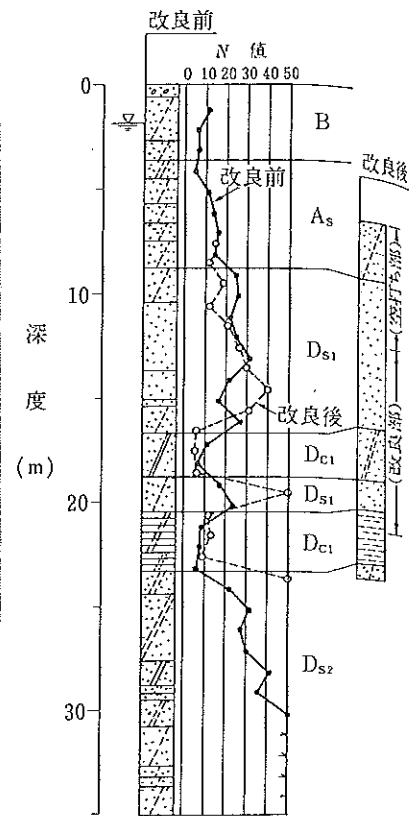


図-12 改良前後のN値の比較 (改良工事)

4. おわりに

ディープ・パイプロ工法は導入されて日も浅く、オペレータの不慣れもあり、最初の1ヵ月間の平均施工本数は11本/日であったが、3ヵ月目には18本/日まで改善された。また、市街地での施工であったが、問題もなく工事を終了することができ、低振動・低騒音性を実証できたものと考えている。

今後は、多くの施工実績を積み重ね、より合理的な設計手法、管理手法を検討していくことが必要であると考えている。

最後に、本工事を実施するに当たり、ご指導・ご協力いただいた関係者の皆様に感謝の意を表します。

[引用文献]

- 1) 田中誠一：3. 地盤改良工法③パイプロフローテーション工法、基礎工, Vol. 4, No. 5, pp. 88~95, 1976年5月。

報 文 *地盤改良用機械
ボトムフィード型ディーブ・バイブロ機

下村 嘉平衛*

1. はじめに

ドイツ・パウアー社では、軟弱地盤改良工法の一つであるディーブ・バイブロ工法について、その機械の製作から施工までを行っている。

ディーブ・バイブロ工法は、ロッド先端に取付けた大容量バイブレタ（バイブロフロット）を用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱な地盤を改良するものであり、従来のバイブロフローテーション工法を大型化したものであると考える。

本工法は、他の振動締固め工法に比較して低振動・低騒音であること、周辺地盤の変状が小さいなどの特徴を有しており、特に都市部や既設構造物周辺での地盤改良に適している。ディーブ・バイブロ工法には、補給材の供給方式によって二つの方式があり、一つは補給材を地表面から供給する方式で、サーフィスフィード型と呼んでいる。他の一つは補給材供給用パイプをバイブロフロットに抱合させ、パイプ下端より地中に補給材を供給する方式で、ボトムフィード型と呼んでいる。両方式とも、振動締固めに用いるバイブロフロットは同じものである。

サーフィスフィード型は1989年に日本に導入され、改良開発が進められるとともに実施工への展開が図られている¹⁾。本報文で報告するボトムフィード型は1992年に導入し、現在、ハザマ・青山機工で実証実験を実施し、実施工への展開を図ろうとしているものである。

本報文は、ボトムフィード型ディーブ・バイブロ工法に用いられているベースマシン（HBM-4）と、工法の概要について述べるものである。

2. 汎用基礎工事用機械（HBM-4）

ボトムフィード型ディーブ・バイブロ工法に用いているベースマシンは、パウアー社が設計・製作した汎用基礎工事用機械（HBM-4）である。

HBM-4は、ブームに種々のアタッチメントを取付けることにより、ディーブ・バイブロ工法による地盤改良以外に、大口径掘削、アースオーガ、アンカー、グラウトなどの用途に用いることができる。図-1に各用途の例を示す。図-2にHBM-4の立面図、図-3に平面図を示す。また、表-1に基本仕様を示すが、本機はすべて油圧制御となっている。

本機には、以下のような特徴がある。

- ① 標準ブームに6mの延長ブームを取付けることができる。また、アンカーやグラウトの施工に対しては、さらに6mの軽量アタッチメントを取付けることができ、このとき、削孔長は23.5mまで可能となる。
- ② ブームは前後に $+5^{\circ}$ ～ -90° まで傾むけることができ、斜め削孔が可能である。また、自走時の安定性に優れている。なお、ブームは左右にも $\pm 5^{\circ}$ 傾むけることができる。
- ③ ブームはブームシャフトに固定され、ブームシャフトはジャッキを介してシャーシーに固定されている構造となっており、ブームはシャーシーに対し500mmスライド可能となっている。
- ④ 主ウィンチはエンドレスウィンチで、 $\pm 25t$ の引抜き・引込み能力がある。
- ⑤ アウトリガーは前後・左右に4個あり、前方2個は運転席からの操作で左右方向に張出すことができる。また、アウトリガーを延ばすことにより

* SHIMOMURA Yoshihira パウアー・ジャパン(株) 専務取締役 事業本部長 | 東京都港区南青山4-20-19 プレム南青山ビル2F

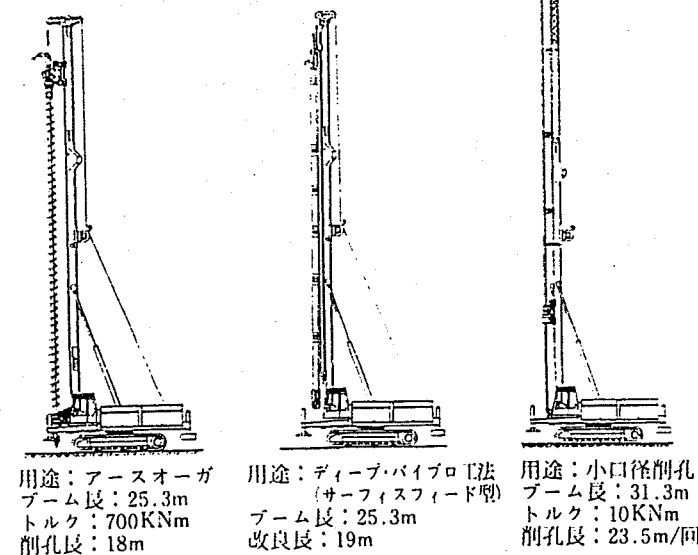
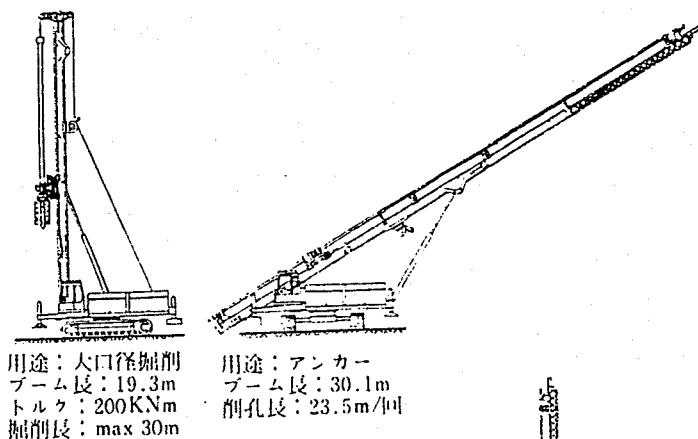


図-1 HBM-4の用途例

表-1 HBM-4の基本仕様

項目	仕様
ブーム長(標準)	19.30m
ストローク	14.00m
主ウィンチ	±25t (引込み可)
補助ウィンチ	7.5t
エンジン	Deutz BF 6L 513RC 150kW/2,150rpm
油圧系統	4系統(2×170, 180, 100/min) 300bar
クローラ全幅	3.2~4.8m (拡幅可)
クローラシュー幅	800mm
重量	60t

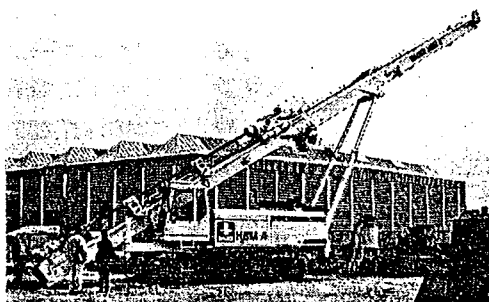


写真-1 HBM-4 (アンカー)



写真-2 HBM-4 (アースオーガ)

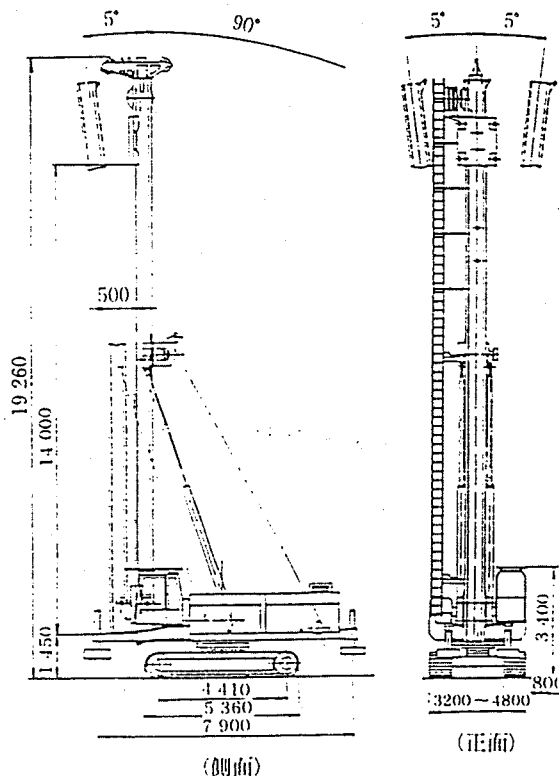


図-2 HBM-4 立面図

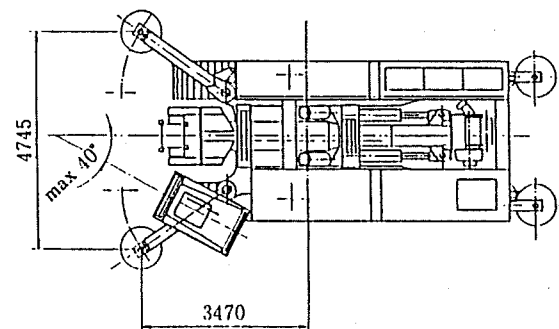
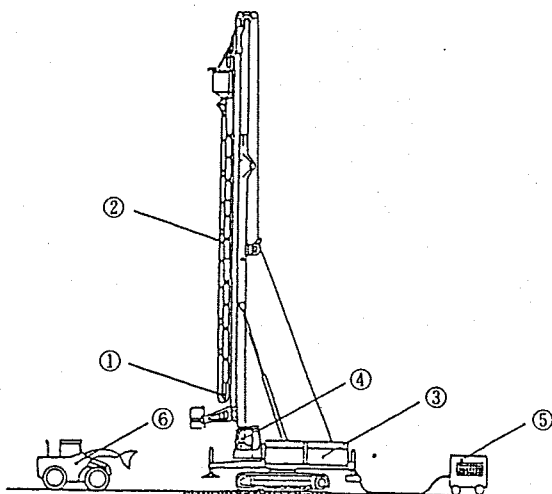


図-3 HBM-4 平面図

本体を浮かすことができ、その場旋回等の方向変換ができる。

- ⑥ 本機は油圧制御のため、すべての操作がレバーのワンタッチで可能で、細かい操作や連続した操作が行いやすい。

写真-1, 2に、アンカーおよびアースオーガにHBM-4を使用している写真を示す。



番号	品名	備考
①	バイプロフロット	油圧式、最大起振力25t、振動周波数max. 3500rpm φ300、有効長16m、アイソレータ付き
②	中詰め材供給パイプ	外径φ220、内径φ200、有効長16m
③	打設機	クローラ式、パワーバック(油圧300kgf/cm ² 、150kW) を装備、リーダ長25m、全装備重量75t
④	施工管理計	深度、油圧、中詰め材供給量を測定。 ベースマシンの操作室に設置。
⑤	エア設備	コンプレッサー(圧力7 kgf/cm ² 、供給量10m ³ /min)
⑥	ホイールローダ	0.8m ³

図-4 施工機械の構成

3. ボトムフィード型 ディープ・バイプロ工法

3.1 工法の概要

ボトムフィード型ディープ・バイプロ工法は、前述したHBM-4に、バイプロフロットおよび材料供給装置(ホッパー、コンテナ、材料供給パイプ)を取付けて施工を行うものである。

サーフィスフィード型では、地表面から補給材を供給する方式であるため、粘性土地盤や砂と粘性土の互層地盤では、補給材を確実にバイプロフロット下端に供給するのが困難な場合があり、主に砂質土地盤の改良に用いられている。ボトムフィード型はサーフィスフィード型のこのような課題に対処し、適用地盤の拡大を図ろうとしたものである。

また、補給材の管理においては、サーフィスフィード型では打設点ごとの総投入量を管理することになるが、ボトムフィード型ではフロット先端に直接補給材を供給するため、各深度ごとの投入量管理も可能となる。なお海外では、補給材としては碎石あるいは砂利が用いられており、本工法によって締固め、造成された杭をストーンコラムと呼び鉛直支持力を期待する例も多い。

本工法では、砂質土から粘性土地盤までの改良が可能であり、砂質土に対する改良目的には、地震時の液状化防止、支持力の増加などがあげられる。また、粘性土地盤に対しては、支持力の増加、すべり破壊防止、沈下量の低減などがあげられる。

3.2 施工機械

施工機械の構成を図-4に示す。

ベースマシンはHBM-4であり、図-5に示すボ

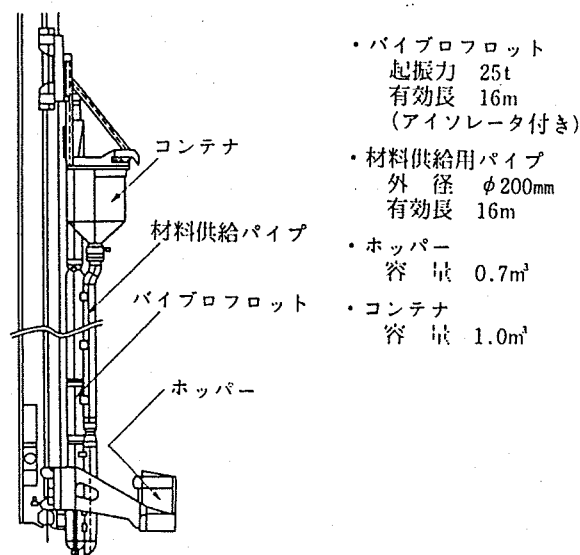


図-5 ボトムフィード用機材

- ・バイプロフロット
起振力 25t
有効長 16m
(アイソレータ付き)
- ・材料供給用パイプ
外径 φ200mm
有効長 16m
- ・ホッパー
容量 0.7m³
- ・コンテナ
容量 1.0m³

トムフィード用機材がブームに吊下げられる形となっている。HBM-4のブームは延長ブームを取付け、ブーム長25.3mのものである。バイプロフロットを稼働させるための動力源は、HBM-4からの油圧である。ホイールローダはホッパーへの材料供給、コンプレッサーは補給材供給パイプ管内の圧気、および貫入補助としてのバイプロフロット先端からのエア噴出のために使用される。また、施工管理計は操作室に設置されており、深度・油圧・補給材量が表示されるとともに、ICカードにデータを出力している。

バイプロフロットは本工法の主体をなすものであり、先端振動部の詳細を図-6に示す。また、現在日本で使用されているバイプロフローテーション工法のバイプロフロットと、本工法のバイプロフロットの諸元を表-2に示すが、起振力で見ると、本工

<振動部>

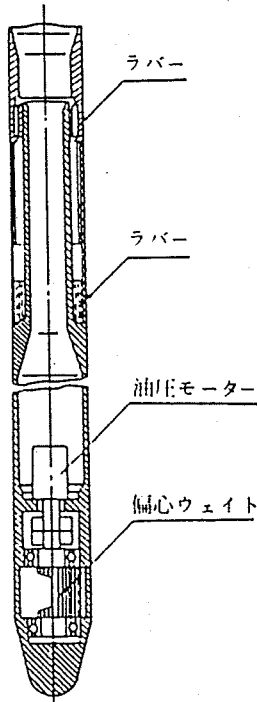


図-6 バイプロフロットの詳細

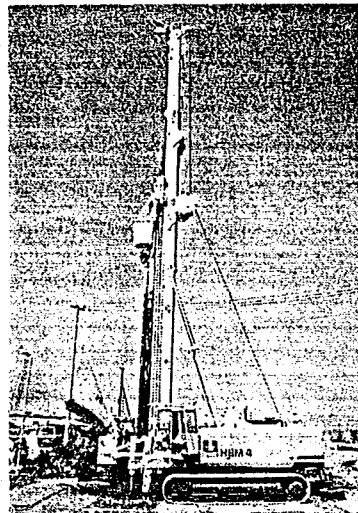


写真-3 ボトムフィード型ディーブ・パイプロ機の全景を示す。

表-2 バイプロフロットの諸元

諸元	バイプロフローテーション工法 (日本国内)		ディーブ・パイプロ工法
	15HP型	30HP型	150HP型
モータータイプ			
電動機 (kW)	11	22	118 (油圧式)
振動機 (rpm)	1,420	1,420	1,500~max3,000
起振力 (tf)	2.5	5.1	約25
起振点振幅 (mm)	4~5	6~7	14
全重量 (tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3tf
ケーシング外径 (mm)	φ319	φ381	延長パイプ 0.22tf m
フィン外径 (mm)	φ469	φ500	振動部 φ325
モータ取付け位置	本体上部	本体内蔵下部	延長パイプ φ300
構造	一体式	継足し式	継足し式

文献2)を修正, 加筆。

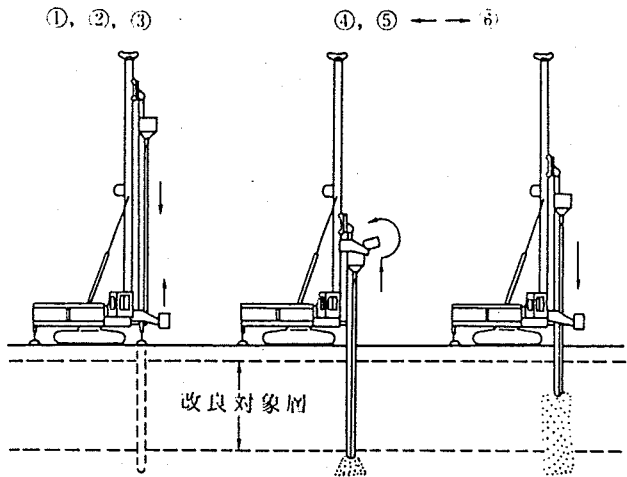


図-7 施工手順

法の方が5~10倍となっている。図-6に示すように、バイプロフロットは先端部に偏心ウェイトがあり、これをその直上部にある油圧モーターで回転させることにより、バイプロフロットを水平方法に振動させる機構となっている。また、振動部の上部には、上下に硬質のラバーが取付けられたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動部の振動が上部に伝達しないようになっている。

写真-3に、ボトムフィード型ディーブ・パイプロ機の全景を示す。

3.3 施工方法

施工手順を図-7に示す。施工手順に従って施工要領を示すと、以下のとおりである。

- ① 本体移動……杭芯位置にベースマシンを移動する。
- ② 杭芯セット……ベースマシン上部の回転、ブームシャフトの前後により、杭芯位置にフロットをセットする。このときフロットの鉛直性をチェックし、ブームの傾斜により修正を行う。

- ③ 材料供給……フロット先端を地表に着けた状態で、供給パイプの先端まで補給材を満たす。
- ④ 貫入……フロットを振動させ、エアジェットを使用しながらウィンチを併用し、フロットを所定深度まで貫入させる。
- ⑤ 造成……所定のストロークで引上げ、再貫入・締固めを繰返ししながら、締固まった杭を造成する。このとき、随時コンテナを通し、補給材をパイプ内に供給する。
- ⑥ 締固め完了……造成作業を所定のストロークで地表面に達するまで行い完了する。

補給材としては、すでに述べたように海外では砕石や砂利が用いられているが、日本では砂も用いられようとしている。本工法では、引上げ、再貫入・締固めのストロークを調整することにより、でき上がり杭径を変えることができ、通常φ600~φ800程度が施工されている。

施工管理項目は、バイプロフロット先端部の深度、油圧モータの圧力、および補給材の供給量であり、

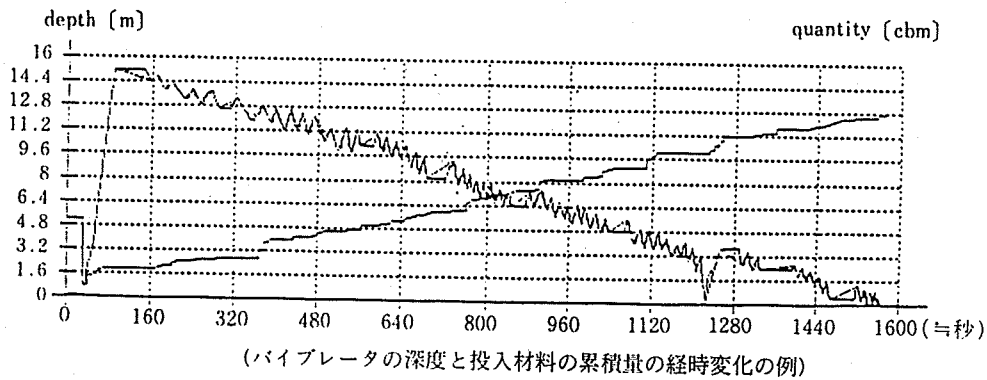
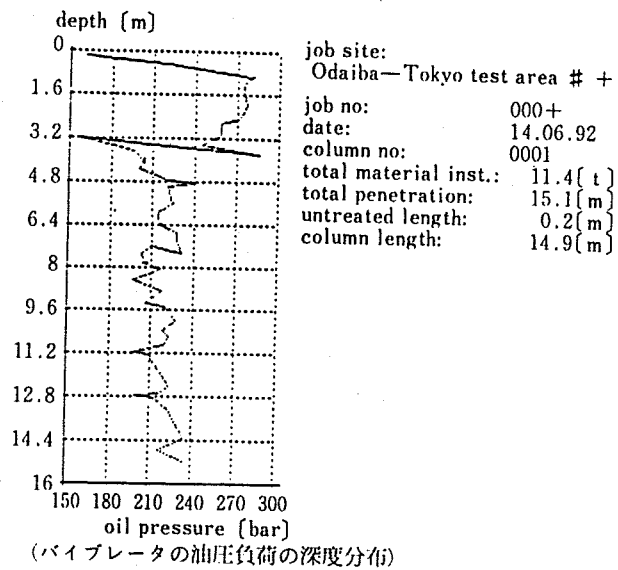
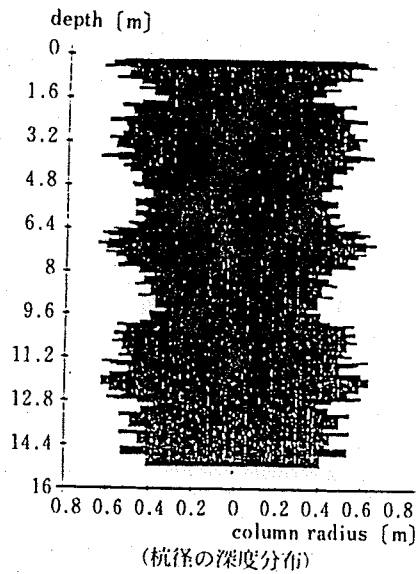


図-8 管理シートの出力例

施工中は、操作室に設置した施工管理計に、その時点での値がデジタル出力され、オペレータはその出力値を確認しながら施工を行う。また、打設点ごとに、時間・深度・油圧・補給材の供給量が管理計にセットしたICカードに記録され、打設終了後、ICカードを抜取り、パソコンを用いて処理することにより、打設点ごとの管理シートを出力することができる。管理シートの出力例を図-8に示す。

補給材の供給量の測定には、コンテナ上部に設けた超音波センサを使用しており、コンテナ内の材料表面の高さを常時測定し、その高さの変化により各深度における補給材の供給量を求めている。

地盤改良に対する品質管理は、施工後、標準貫入試験等の地盤調査を実施し、設計値と比較することによって行われるのが通常である。

4. おわりに

地盤改良工法の一つであるボトムフィード型ディーブ・バイプロ工法について、その施工機と工

法の概要について示した。

ベースマシンとして用いているHBM-4は、汎用基礎工用機械である。日本では一般に、基礎工事の工種ごとに専用機が用いられているが、このような汎用化は、今後の施工機械の一つの方向を示しているものと思われる。

また、ボトムフィード型ディーブ・バイプロ工法は、パワー社では10年ほど前から施工をはじめているが、年々施工量が増加傾向にある。低振動・低騒音、地盤変状が小さいという本工法の特徴を考えると、日本においてもその使用価値は十分あるものと考えているが、今後、日本の施工条件等に応じた適用性の向上をさらに図っていきたい。

[参考文献]

- 1) 三原正哉：ディーブ・バイプロ工法による地盤改良の設計・施工、軟弱地盤の改良⑨、総合土木研究所、平成4年10月。
- 2) 田中誠一：地盤改良工法③、バイプロフローテーション工法、基礎工、1976. 5。

特集 最近の液状化対策 実施例

報 文 **ディープ・バイブロ**
(新名古屋(発)燃料油タンクにおける実施例)

三原 正哉* 牧内 靖幸** 下平 義明*** 小森 孝広****

1. はじめに

ディープ・バイブロ工法は、振動締固め工法の一つで、ロッド先端に取付けた大容量バイブレート(バイブロフロット)を用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱な地盤を改良するもので、これまで砂質土の液状化対策として用いられている。

本工法は、他の振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、周辺地盤の変状が小さいこと、施工機械がコンパクトであることなどの特徴を有しており、特に都市部や既設構造物近傍での地盤改良に適している。

本稿では、中部電力(株)新名古屋火力発電所・燃料油タンク新設工事において、液状化対策として実施した地盤改良の例について報告する。

なお、ここで紹介するディープ・バイブロ工法(以下、DV工法と記す)は、補給材を地表面から供給するもので、サーフィスフィード方式と呼んでいるものである。

2. ディープ・バイブロ工法¹⁾

DV工法に使用する施工機械は、先端部に振動体を有するバイブロフロット、これを吊下げるクローラクレーン、エア設備(コンプレッサ)、バイブロフロットを起動する油圧パワーパック、補給材を供給するトラクタショベル、および深度・油圧を自動記録する施工管理計からなっている。図-1に施工機械の構成を示す。

バイブロフロットは本工法の主体をなすものであり、先端部に偏心ウェイトがあり、これを直上にある油圧モータで回転させることにより、フロットを水平方向に振動させる仕組みになっている。この振動体の上部には、上下に硬質のラバーを取付けたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動体の振動が上部の延長パイプに伝達しない機構となっている。このバイブロフロットは、機能的には日本で使用されているバイブロフローテーション工法のバイブロフロットと同じであるが、起振力で比較すると5~10倍と大きい。

施工手順を図-2に示す。従来のバイブロフローテーション工法と異なる点は、貫入・補給材供給の補助として水の代わりに空気を用いていることである。これにより、排水処理の問題はなくクリーンな施工が可能となる。補給材としては、砂、礫あるいはスラグが用いられる。施工管理に関しては、従来のバイブロフローテーション工法やロッドコンパクト

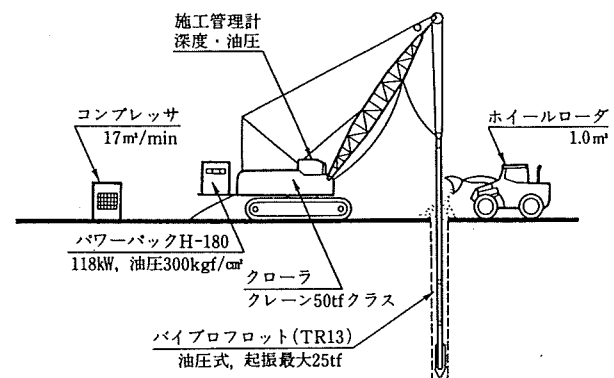
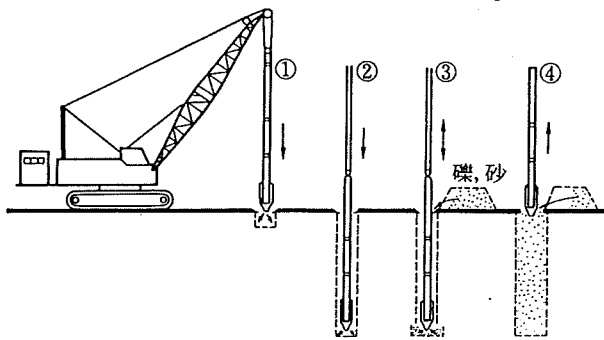


図-1 施工機械の構成

* MIHARA Masaya
** MAKIUCHI Yasuyuki
*** SHIMODAIRA Yoshiaki
**** KOMORI Takahiro

顧問組 技術・設計第一部 課長
中部電力(株) 火力センター 工事第一部 土木課 課長
同 上
顧問組 名古屋支店 新名古屋火力土木(作) 主任

東京都港区北青山2-5-8
名古屋市港区大江町3番地
同 上
名古屋市港区潮見町37-27



1.杭芯 セット 2.貫入 3.補給材 投入・縮固め 4.完了

図-2 施工手順

ション工法と同じであり、主な管理項目は深度・補給材量・油圧である。

また、設計法はサンドコンパクションパイル工法と同様であり、通常、等価な杭径はφ600として設計を行っている。

3. 工事概要

新名古屋火力(発)は、名古屋港9号埋立地に位置する。昭和30年代に建設された発電所であり、燃料の運用改善を図るため、燃料油タンク(9,900kl)2基(No.11, No.12)を旧タンクヤードに新設することになった。

燃料油タンクが新設される地盤の概要は、表層から砂質土を主体とする層厚1.5~2mの盛土層および層厚4~5mの埋土層、さらに砂質土・粘性土の互層からなる層厚4~5mの沖積層、その下位は洪積世の上部熱田層となっている。

消防法に規定される基礎および地盤条件から事前ボーリング結果を判断すると、液状化の対策が必要となり、埋土・沖積層部の地盤改良を実施することになった。

ただし、タンクが新設されるヤードは、昔タンクが設置され、その後撤去された旧タンクヤードで、旧タンクが設置されていた直下部分とそれ以外の部分ではボーリング結果に明らかに差があり、改良仕様を定めるうえでの問題点の一つとなった。

埋土・沖積層部の地盤改良工法としては、改良効果・工期・経済性を考慮し振動締め工法を採用することとしたが、No.12タンクについては、改良範囲から約50m離れた隣接地に他事業所があり、施工時の振動・騒音の問題から、低公害型の振動締め工法であるDV工法を用いることとした。No.11タンクについては、施工時の振動・騒音の問題

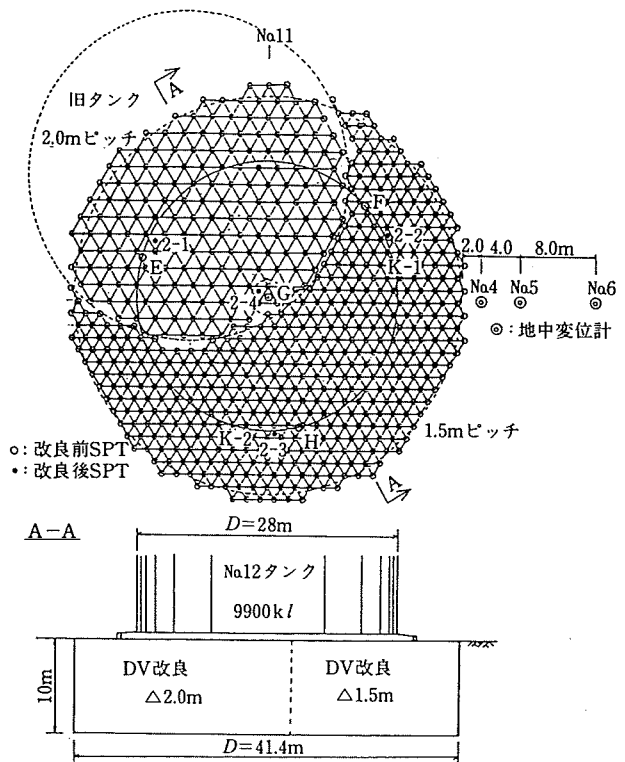


図-3 DV 打設位置

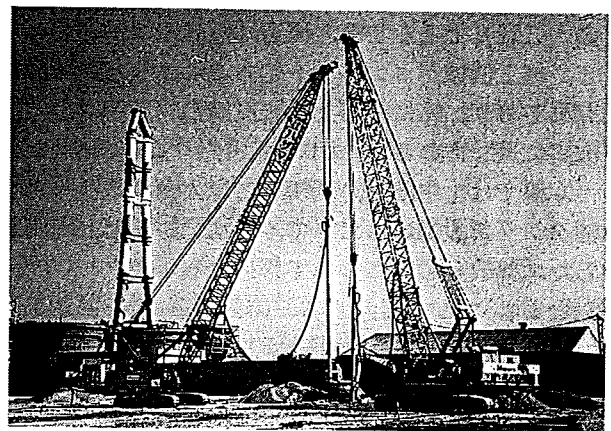


写真-1 施工状況

が少ないことから、より経済的なサンドコンパクションパイル工法を用いることとした。

ここでは、紙数の関係よりDV工法についてのみ記す。

DV工法の改良仕様を以下に示す。

- ・対象タンク：No.12燃料油タンク(9,900kl)
- ・改良範囲：φ41.4m
- ・改良深度：10m
- ・打設ピッチ：旧タンクヤード内 Δ2.0m
旧タンクヤード外 Δ1.5m
- ・総打設本数：640本
- ・補給材：砂

DVの打設配置を図-3に示す。

本地盤では、改良深度の下の方であるGL-5～-10mに、 N 値が低い粘性土と砂層の互層からなる沖積層が存在するため、本施工に先立ち、施工パターンを決定するための試験打ちを行った。その結果、補給材を確実に供給することを主眼に、パイロプロットを1回ずつ地表面まで引上げ、0.5mきざみで再貫入・締固めを行っていく施工パターンとした。なお、試験打ちや地盤調査の実施に当っては、消防関係者の立会い・指導をいただいた。

施工状況を写真-1に示す。

施工時には、近隣への振動・騒音の影響把握や地

中変位などのデータ収集を行った。

4. 施工結果

施工は2セットの施工機械を用いて、実質20日間で終了した。

改良前後の N 値の比較を図-4に示す。ここでは、先に述べたように、旧タンクエリアの内外で地盤状況が異なるため両者を示している。また、旧タンクエリア外の改良後のすべての N 値と細粒分含有率の関係を図-5に示す。

旧タンクの荷重を受けていた旧タンクエリア内の方は、特に沖積層部で改良前後とも、タンクエリア

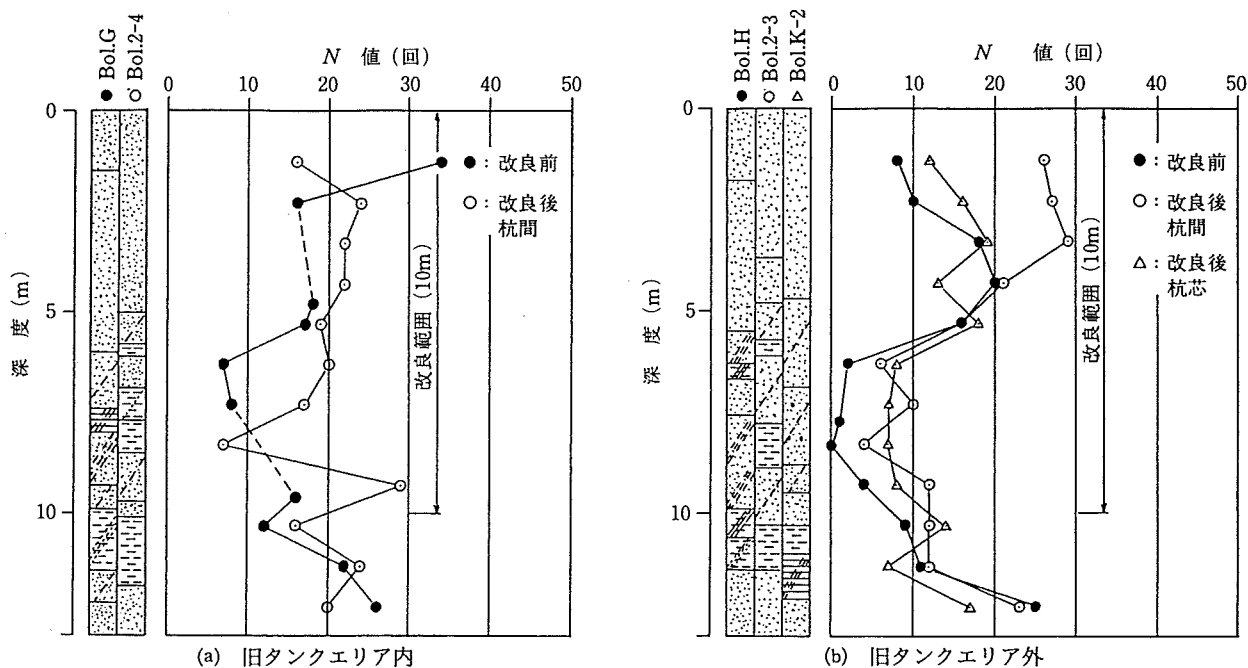


図-4 改良前後の N 値の比較

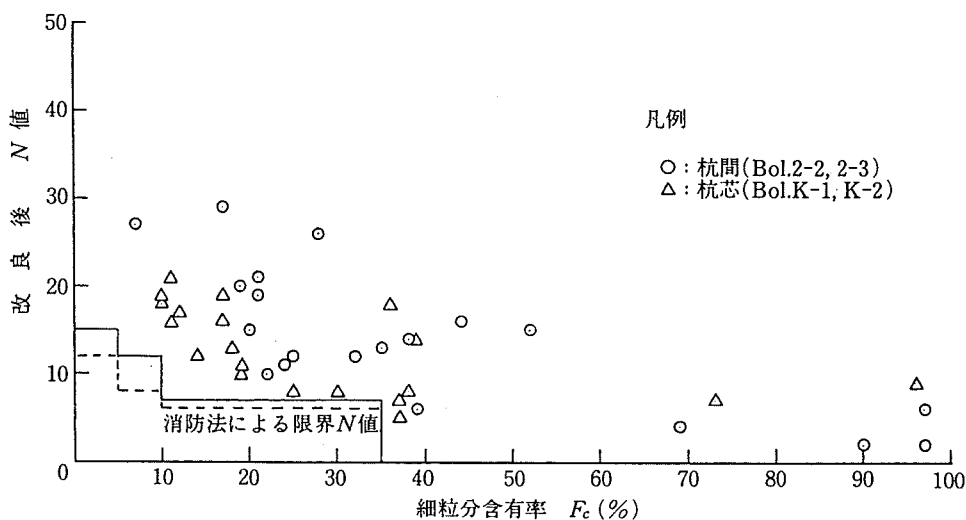


図-5 改良後 N 値と F_c の関係 (旧タンクエリア内)

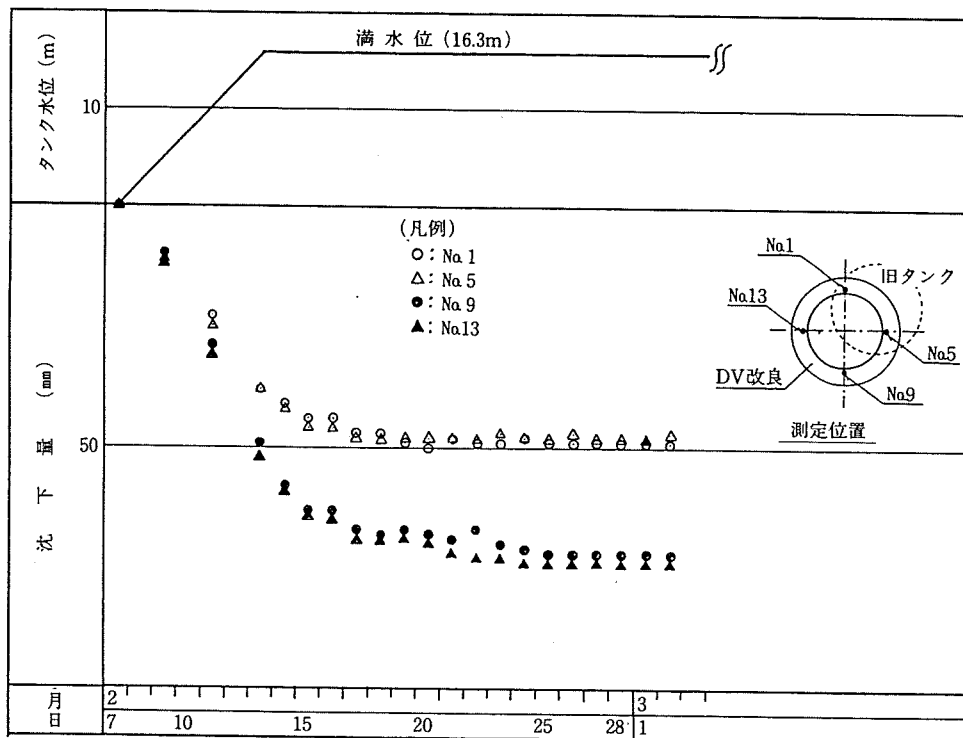


図-6 水張り試験結果

外よりも N 値は大きくなっており、これは、沖積層部で旧タンク荷重による圧密が進んでいたためと考えられる。また、液状化対策としての改良効果から見ても、明らかに細粒分含有率が35%を超える沖積層内の2~3の点を除いて、改良後の N 値は15以上となっており、消防法の規制も十分満足された。

一方、旧タンクエリア外の方は、旧タンクによる圧密が生じていないため改良前の N 値は2~3と小さかったが、改良後は10近くまで改良することができた。また、図-5に示すように、改良後の N 値は液状化に関する消防法の規制値も満足するものであった。

タンク本体の施工後実施した水張り試験の結果を図-6に示す。旧タンクエリア内およびエリア外のそれぞれの中では、同様な沈下量を示している。旧タンクエリア内とエリア外でほぼ同じ剛性となることを目指して、DV工法の打設ピットを設計したが、全く同じというわけにはいかなかった。しかしながら、不等沈下量で見ると最大でも25mmで、これはタンク直径の1,000分の1以下で、規制値である300分の1は十分満足するものであった。

5. 計測結果

5.1 振動・騒音

振動・騒音は、近隣事業所への影響を把握するた

めの敷地境界での測定と、今後の参考データとするための距離減衰の測定を行った。測定には、公害型振動計・騒音計を用いた。

施工位置により若干幅はあるが、敷地境界（打設位置から約47~55m）での振動の最大値は69dB、騒音の最大値は74ホンであり問題とならなかった。

また、振動・騒音の距離減衰の測定では、振動は80%レンジ上端値、騒音は90%レンジ上端値で整理した。距離減衰の測定結果を図-7、8に示す。両図には、既存データの範囲も示しているが、今回のデータは既存データの範囲内にあることがわかる。

5.2 地中変位

DVの施工に伴う水平方向地中変位の測定を行った。地中変位の測定位置は図-3に示してあるが、改良域から2m (No.4)、6m (No.5)、14m (No.6) 離れた地点で、挿入型傾斜計により測定した。

地盤内の変形形状を図-9に、最大地中変位と改良域からの距離の関係を図-10に示す。

地盤内の変形形状を見ると、深度3m付近でくびれた形となっているが、これは、地盤の状況が表層5m付近まではそれ以深の沖積層部に比較して N 値が高めで締まっているためと考えられる。なお、No.6地点はほとんど変形していない。

また、図-10を見ると、今回のデータは既存データの下限に近い値となっているが、これも上述した

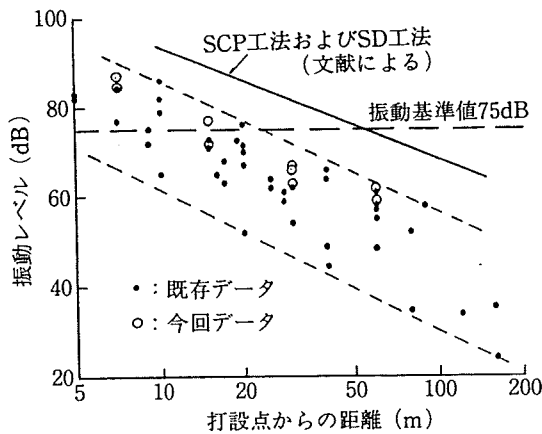


図-7 振動測定結果

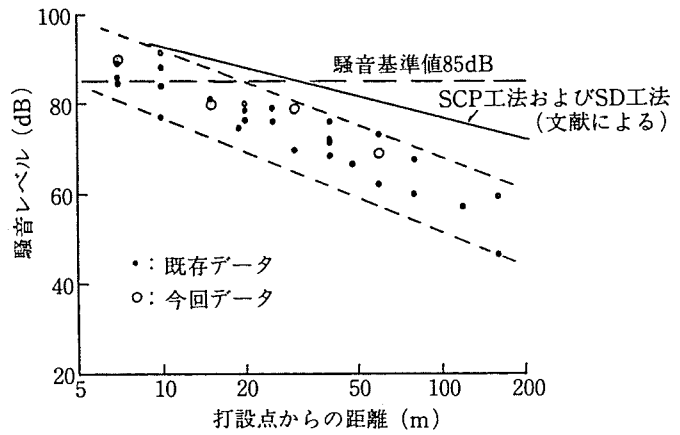


図-8 騒音測定結果

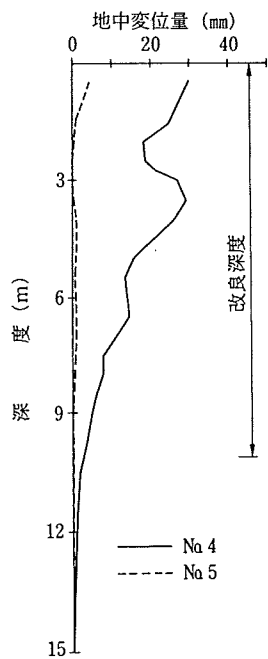


図-9 地盤の変形形状

地盤状況によるものと思われる。

6. おわりに

地盤改良工は、周辺からのクレームもなく、無事終了することができた。また、旧タンクの影響等による地盤の不均一性から不等沈下を懸念したが、水張り試験結果にも示されたように十分満足できるものであった。

また、今回は地表面から補給材を供給するサー

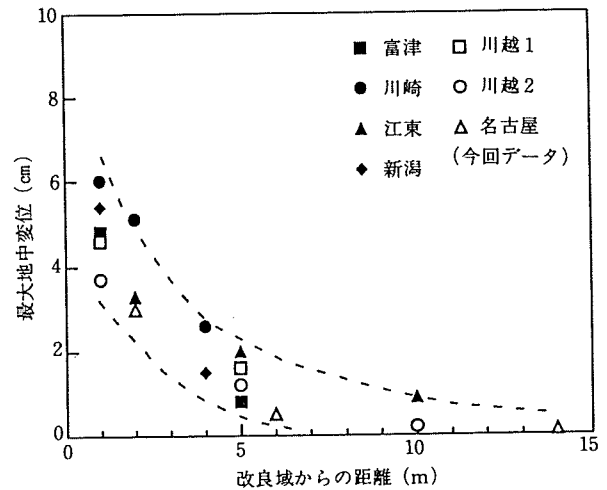


図-10 地中変位測定結果

フィスフィード方式を用いたが、パイプロットに補給材供給用のパイプを抱き合わせ、パイプ下端より地中に補給材を供給し締固める方式(ボトムフィード方式)もあり、地盤条件による使い分けも考えられる。

最後に、本工事の設計・施工に当り、消防各機関をはじめ、ご指導・ご協力いただいた関係各位にお礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 三原正哉, 鶴岡龍彦, 末広修三: ディーブ・パイプロ工法と施工例, 平成5年度建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp.48~53, 1993.
- 2) 土質工学会: 軟弱地盤対策工法, 第I編第2章, pp.28~29, 昭和63年11月.

報 文 ディープ・バイプロ工法の概要と工事事例

足立 有史* 中島 聡** 早川 雅彦***

1. はじめに

液状化対策は港湾部等の埋立地盤のみならず、都市部や既設構造物周辺といったさまざまな施工条件下における工事も増加し、騒音や振動の低減、地盤変状の抑制が可能な工法に対するニーズが高まっている。ここではこれらの条件に対応するための、低公害型液状化対策工法の1つであるディープ・バイプロ工法の概要と適用例について報告する。

2. ディープ・バイプロ工法の概要

ディープ・バイプロ工法は、砂質土の締固め工法の一つに分類されるものであり、バイプロフロットにより水平振動を発生させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら（写真-1参照）、地盤を締固めることにより地盤の密度を高めるものである¹⁾。改良目的としては、砂質系地盤における地震時の液状化防止、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

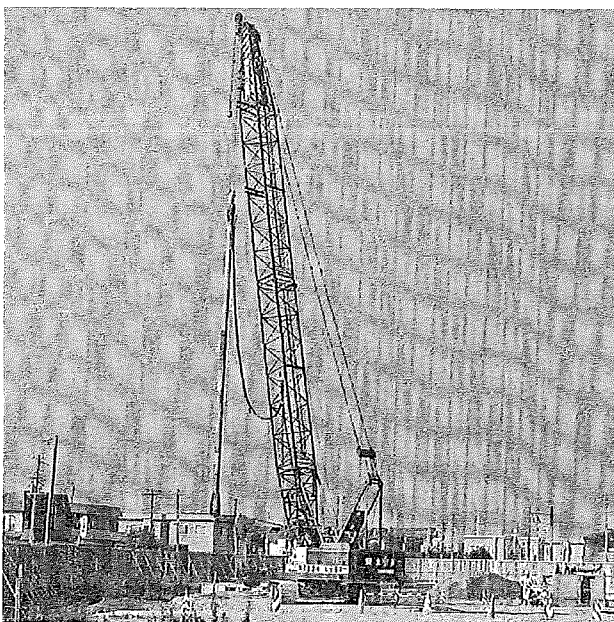


写真-1 施工状況全景

2.1 工法の特徴

- ① 抜群の締固め効果：起振力250kNの高出力バイプロフロットを使用しているため締固め効果が大きく、深い深度まで改良が可能である。
- ② 低振動・低騒音：振動源はロッド先端のみで、従来の振動締固め工法より10dB以上低減できる。
- ③ 既設構造物周辺の施工に最適：従来工法に比較して、施工機はコンパクトで、周辺地盤の変形も小さいため、既設構造物周辺の施工に最適である。
- ④ ドライ方式でクリーンな施工：貫入・材料補給の補助にエアジェットを使用。通常、水を一切使わないため、排水による周辺環境への悪影響がない。

2.2 施工方法

機械構成は、図-1に示すとおり先端部に振動体を有するバイプロフロット、これを吊り下げるクローラークレーン、バイプロフロットを起動する油圧パワーバック、エア設備（コンプレッサ）、バックホウ等の補給材を供給する機械および深度、油圧を自動記録する施工管理計からなっている。図-2に施工手順を示す。高振動の水平振動（1,500～3,000rpm）を発生する先端駆動の高出力振動体を地盤に振動貫入させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら、引抜き・貫入を繰返し、周辺地盤や補給材を締固めることにより、地盤の密度を高めるものである。

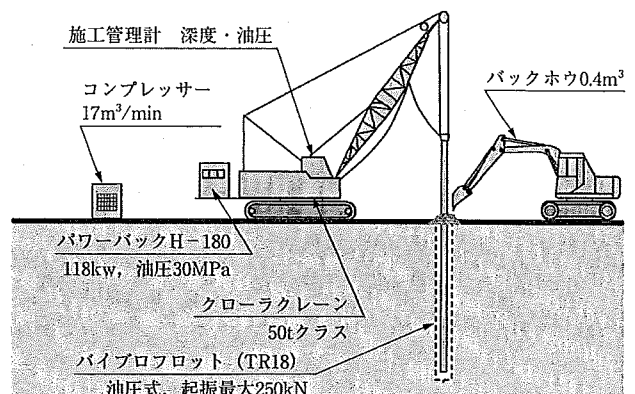


図-1 システム図

*ADACHI Yuji

ハザマ 技術研究所 主任研究員

**NAKAJIMA Satoshi

同上 土木事業本部 技術第一部 課長

***HAYAKAWA Masahiko

同上 東北支店 新幹線青森作業所長

つくば市荻間515-1

東京都港区虎ノ門2-2-5

青森市油川字実法26-4

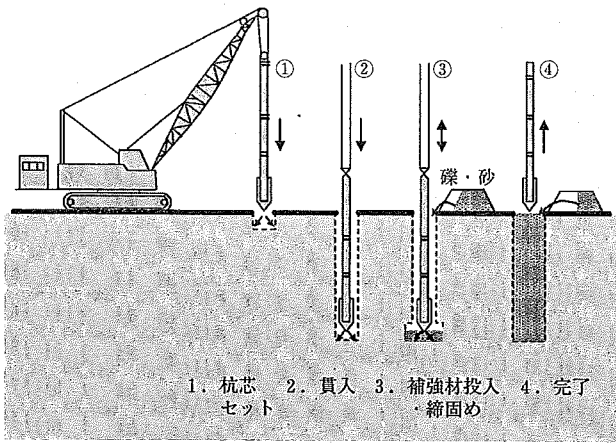


図-2 施工手順

3. 工事例

3.1 工事概要

工事名：青森車両基地路盤他1工事
 事業主体：日本鉄道建設公団
 施工場所：青森県青森市
 施工期間：2001年9月～2002年11月
 施工数量：約71,000m

ここでは、本工事に先立って実施した試験工事結果²⁾および本工事の改良結果について報告する。

3.2 地盤概要と改良計画

東北新幹線青森車両基地は新幹線トンネル工事の掘削

ズリを沖積砂質地盤上に盛立てて建設され、外周約2.3km、盛土高約3.8～5.9mの計画となっている。試験工事の結果を踏まえて計画された盛土法面の1例を図-4に示す。地盤は、一般に表層に厚さ1～3mの沖積粘性土層 (Ac6) があり (As6が挟在することもある)、その下にはN値10程度以下の砂層 (As5) が存在する。レベル1地震動 (地表面最大加速度189gal) に対し、As6を含めAs5より上部の砂層部が液状化の可能性が高いと判定され、 Δu 法により盛土の安定性を検討した結果、盛土は所定の安全率を満足しなかった。そこで、地盤を締固め液状化抵抗を高めることとした。

改良範囲は試験工事結果をもとに盛土の安定性を確保できるように定められた。また、締固め工法としては、一部民家に近接していること (離間距離約30m) や経済性などの観点から掘削ズリの再利用が望まれる点を考慮して、低振動・低騒音で地盤を締固めすることができ、またケーシングを用いず地表面から補給材を供給できるディープ・パイプロを用いることとした。

3.3 試験工事

補給材として使用する掘削ズリは、通常用いられている購入砂より細粒分が多いトンネル掘削ズリを用いるため、試験工事を行い改良効果とピッチの関係を評価した。表-1に試験工事の概要を示す。また、図-5, 6に、打設配置と試験工事に用いた掘削ズリの粒度分布を示す。表-1に示すように、改良ピッチは1.2, 1.5, 1.8mの3ケースで、改良効果は鉄道構造物設計基準・同解説 耐

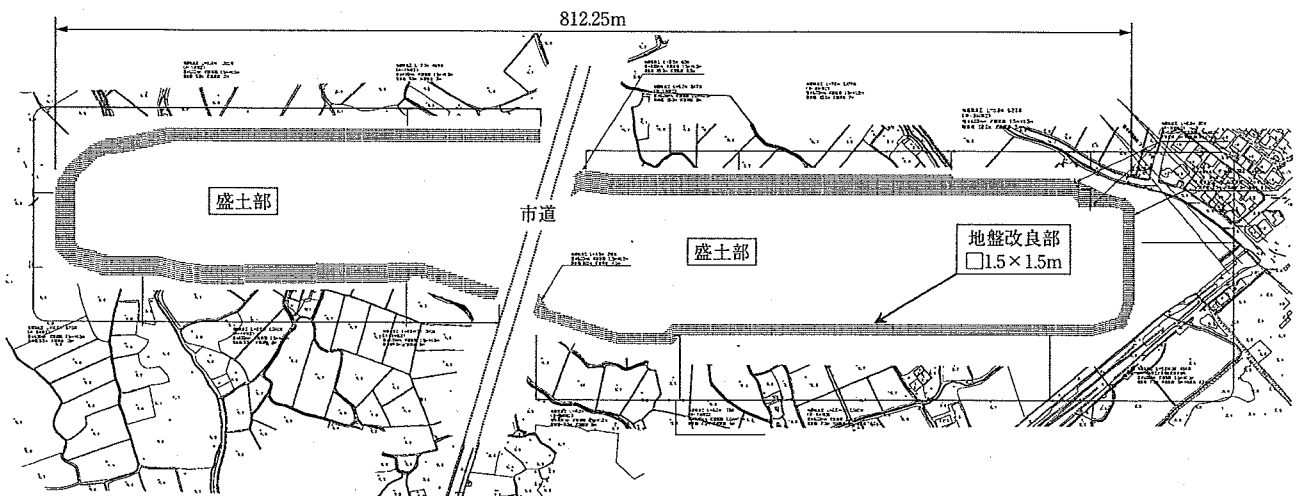


図-3 地盤改良平面図

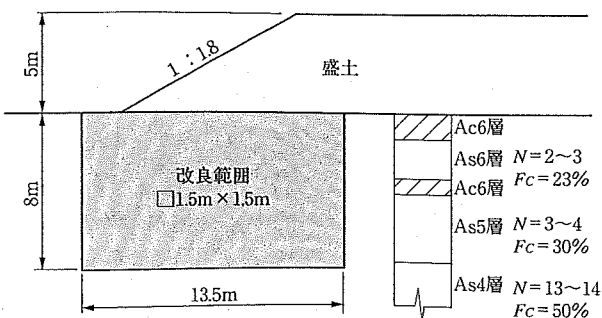


図-4 代表的な施工断面図

表-1 試験工事の概要

工種		ケース1	ケース2	ケース3
DV打設	打設ピッチ (m)	□: 1.2×1.2	□: 1.5×1.5	□: 1.8×1.8
	改良長 (m)	10	10	10
	施工本数 (本)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)
調査工 (粒度試験含む)	標準貫入試験 (改良前)	2カ所 (10m)	2カ所 (10m)	2カ所 (10m)
	標準貫入試験 (改良後)	2カ所 (10m)	2カ所 (10m)	2カ所 (10m)
計測工	振動・騒音	—	10・20・40・80・160m/1測線	—

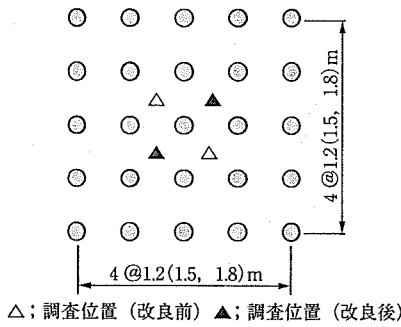


図-5 打設配置

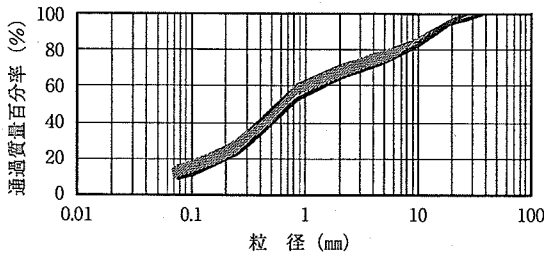


図-6 掘削ズリの粒度分布

震設計に従い、液状化指数 P_L 値を用いて評価した。

試験施工における改良前後の N 値の比較を図-7に示す。また、改良前後の P_L 値の比較を図-8に示す。図-8には、ディープ・バイプロ工法の設計法（SCPのC法と同じで、等価杭径を $\phi 0.6\text{m}$ とする）から予測した改良後 N 値に基づく P_L 値（予測時 P_L ）も示している。改良前12~15であった P_L 値は、改良後ピッチ1.2, 1.5, 1.8mでそれぞれ2.9, 5.3, 9.8となり、ピッチ1.8mでは改良効果が不十分であった。なお、ここでは $P_L < 5$ の場合、非液状化地盤として評価した。予測時 P_L と改良後 P_L を比較した場合、ピッチ1.5mの場合はほぼ予測値と実測値に基づくものは等しいが、1.2mと1.8mは実測値の方が低くなっている。以上のことから、本工事に対しては、各地点でのボーリングデータに基づき1.5mを基本として改良ピッチを定めることとした。

3.4 本工事

本工事では、掘削ズリの細粒分が当初より増加してきたため、掘削ズリ（細粒分20~25%）と購入砂（細粒分3%）を1:1の割合で混合して使用している。本工事における改良前後の P_L 値のヒストグラムを図-9に示す。チェックボーリング結果より算定した改良後の P_L 値は全箇所において5以下となり、改良目標値を満足した。

振動・騒音の測定結果（最大値10点の平均値）を図-10, 11に示す。図には、過去の測定データの範囲も示している。施工地点から近傍民家との最短距離は30mであり、敷地境界での測定結果からも十分規制値を満足し施工することができた。また、振動・騒音とも既存データの範囲内であることも確認した。

4. おわりに

ここでは、低公害型液状化対策工法（ディープ・バイプロ工法）の概要と低振動・低騒音および現地発生土利

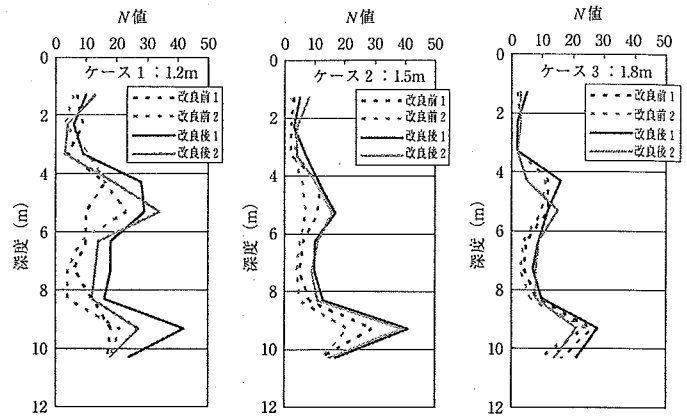


図-7 改良前後の N 値の比較

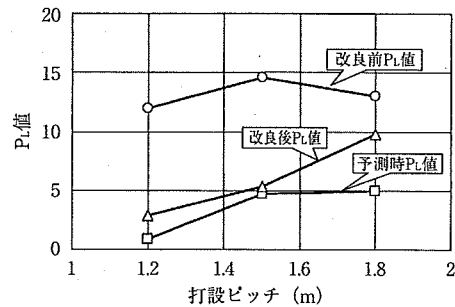


図-8 改良前後の液状化指数 P_L 値の比較

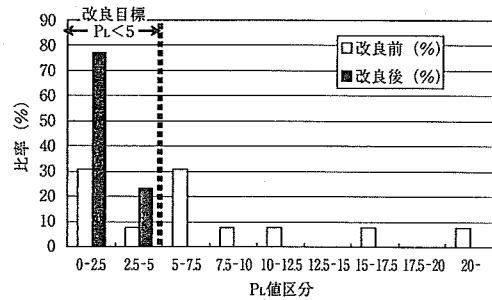


図-9 改良前後の P_L 値分布の比較

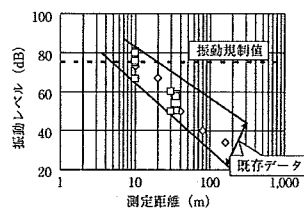


図-10 振動の測定結果

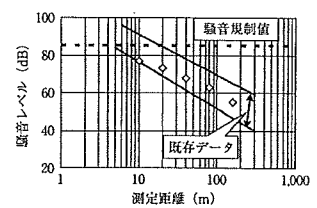


図-11 騒音の測定結果

用の利点を活用した工事例を紹介した。

最後に今回の執筆に当り、ご支援、ご協力いただいた鉄道・運輸機構東北新幹線建設局をはじめ関係者の方々へ深く感謝申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 三原正哉, 鶴岡龍彦, 末広修三: ディープ・バイプロ工法と施工例, 平成5年度建設機械と施工法シンポジウム論文集, (社)日本建設機械化協会, pp. 48~53, 1993.
- 2) 早坂治敏, 蓼沼慶正, 早川雅彦, 三原正哉: ディープ・バイプロ工法による盛土法面の液状化対策, 第57回年次学術講演会講演概要集, (社)土木学会, III部門, pp. 163~164, 2002.

軟弱地盤改良工法 (ディープ・バイプロ工法) の開発

三原正哉* 隈本開男**
鶴岡龍彦*** 末広修三****

表-1 バイプロフロットの諸元

諸元	バイプロフローテーション (日本国内)		ディープ・バイプロ工法
	15 HP型	30 HP型	150 HP
モータタイプ			
電動機 (kW)	11	22	118 (油圧式)
振動数 (rpm)	1,420	1,420	1,500~Max 3,000
起振力 (tf)	2.5	5.1	約 25
起振点振幅 (mm)	4~5	6~7	14
全重量 (tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3 tf 延長パイプ 0.22 tf/m
有効長 (m)	7	15	実績 Max 30
ケーシング外径 (mm)	φ319	φ381	振動部 φ325
フィン外径 (mm)	φ469	φ500	延長パイプ φ300
モータ取付位置	本体上部	本体内蔵下部	本体内蔵下部
構造	一体式	継足式	継足式

(文献 1) を修正, 加筆)

1. まえがき

土木や建築などの構造物を軟弱な地盤上に構築した場合、地盤の支持力が不足したり、大きな不同沈下を生じたり、地震時に地盤が液状化したりして、構造物が大きな被害を被ることがよく知られている。また建設工事がより大型化するとともに、土地利用が海へ、陸へと広域に広がってきている現在、軟弱地盤を改良することは、ますます必要となってきた。

ここに紹介するディープ・バイプロ工法は、西ドイツにおいて開発されたもので、ロッド先端に取付けた大容量バイブレータを用いて、地盤や供給される中詰め材を水平方向に振動締めすることにより、軟弱地盤を改良するものである。

本工法を日本に導入するにあたり、日本での施工条件等を考慮し、特に低公害型工法の観点から、機械および施工法に改良を加え、その適用性を現場実験などを実施し確認したので、その概要を紹介する。

2. 開発の背景

本工法と同様な工法として我が国ではバイプロフローテーション工法があり、昭和 30 年代より使用されていた。しかしながら他の振動締め工法に比較して改良効

果が低いこと、貫入・中詰め材供給の補助として多量の水を使用するため(ディープ・バイプロ工法においても海外の施工ではほとんど水を使用している)、排水処理に問題があることや中詰め材としてれき材しか使用できないなどの問題があり、近年施工実績が減少している。

表-1 は、バイプロフロットの容量を本工法のもので現在日本で使用されているバイプロフローテーション工法のものを比較したものであり、本工法の方が、起振力で 5~10 倍もある。また筆者らは起振力が 25 tf 程度あれば、水を使用しなくても圧縮空気を補助として使用することにより、地盤改良に必要な地盤では貫入可能と判断し、施工環境に問題のない水の代わりにエアを使用する施工法の開発を進めることとした。水を使用しないため、中詰め材として砂の使用も可能となり、コストダウンにもつながる。

また本工法は特殊なペースマシンを必要としないこと、先端のみの振動であるため他の振動締め工法に比べて低振動であることなどの特長を有しており、上記の水を使用しない施工法を開発すれば、十分実用性のあるものと考えた。

* MIHARA Masaya

(株) 間組技術研究所研究第一部

** KUMAMOTO Nobuo

(株) 間組機電部

*** TSURUOKA Tatsuhiko

日本海工(株) 工務部

**** SUEHIRO Syuzo

青山機工(株) 第二工務部

3. ディープ・パイプロ工法の概要

本工法は砂質土の深層締固め工法の一つである振動締固め工法の一つに分類されるものであり、振動方向が水平方向であること、中詰め材を地表面から供給する方法（サフィス・フィード方式）であることが特徴である。また改良目的としては緩い砂地盤やれき質地盤の地震時の液化化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

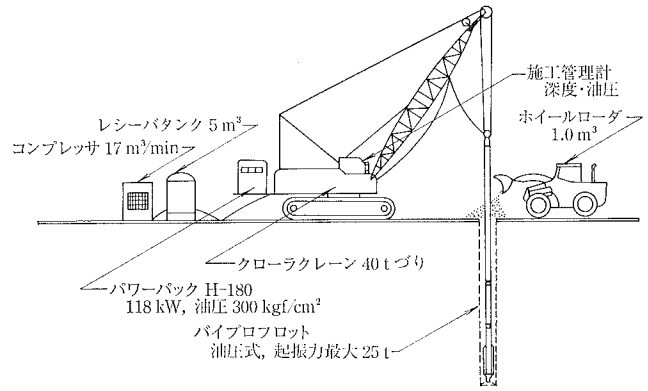


図-1 施工機械の構成

(1) 使用機械

施工機械の構成を 図-1 に示す。使用する機械は先端部に振動体を有するパイプロフロット、これをつり下げるクローラクレーン（35～50 tクラス、パイプロフロットを起動する油圧パワーパック装備）、エア設備（コンプレッサ、レシーバタンク）、中詰め材を供給するホイールローダおよび施工管理計からなる。また地盤条件によっては、水を使用することも可能であり、その場合には、エア設備の代わりに水設備（給水ポンプ、7 kg/cm²、15 m³/hr）が用いられる。施工機械の全景を写真-1 に示す。

振動締固めの源となるパイプロフロットの形状を 図-2 に示す。パイプロフロットは先端部に偏心ウエイトがあり、これをその直上部にある油圧モータで回転させることにより、パイプロフロットを水平方向に振動させる仕組みになっている。また、先端振動部には、幅 15 cm のフィンが 2 枚取付けられており、偏心ウエイトの

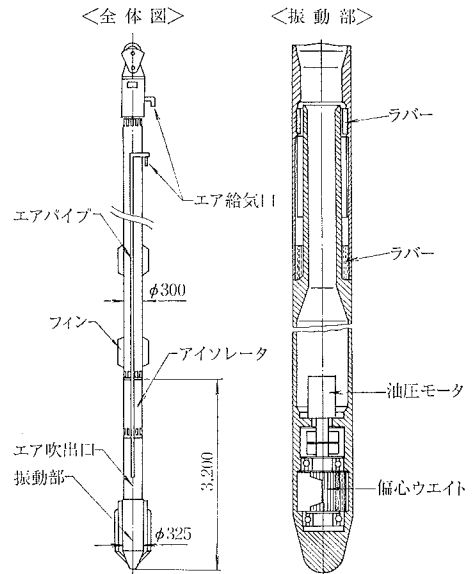


図-2 パイプロフロットの形状

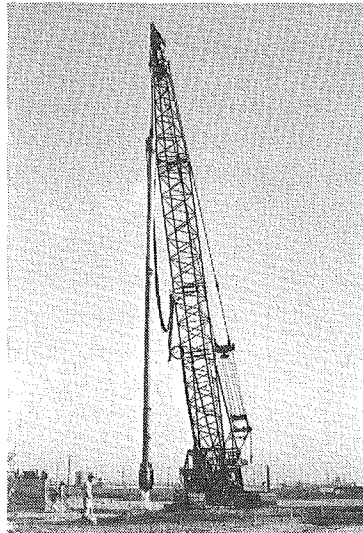
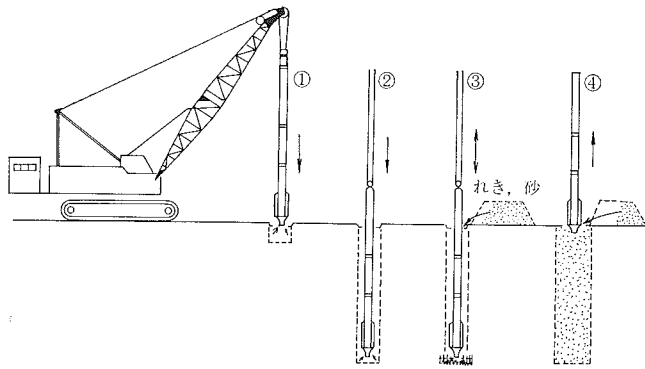


写真-1 施工機械の全景

回転運動に伴うパイプロフロット自体の回転を防止するだけでなく、地盤への振動伝達を高める働きを持っている。先端部には中空の延長チューブをとおし、エア（あるいは水）が供給され、先端ノズルから噴出される。

この振動体の上部には、図-2 に示すように上下に硬質のラバーが取付けられたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動部の振動を上部の延長チューブに伝達しない機構となっている。このアイソレータの働きにより、振動体は 1 点でつり下げられた回転運動となり、「すりこぎ運動」と呼んでいる。

さらに、今回のエアを使用した施工法の開発にあたり、延長チューブの外側に 2 本のエアパイプとフィン新たに取付けた（図-2 参照）。延長チューブの外側に取付けたエアパイプは、パイプロフロットの貫入によって生じた孔壁を、パイプ先端から圧縮空気を噴出することにより孔径を大きくする機能を有している。一方、フ



- ① 杭芯セット：所定の位置にパイプロットをセットする。
- ② 貫入：パイプロットを起動し、エアジェットを使用して所定深度まで貫入する。
- ③ 引上げ、中詰め材投入、
- ④ 中詰め材締固め。
- ③、④の作業を繰返しながら、所定面まで仕上げる。

図-3 施工方法

インの役割は、孔壁の拡大およびエアの地表面への逃げ道の確保である。エアパイプにより、アイソレータの機能が妨げられるのを防ぐために、アイソレータと振動体のジョイント部でのエアパイプの配管にはフレキシブルホースを使用している。

(2) 施工法

本工法の施工法を 図-3 に示すが、先端部で駆動する振動体で、締固めが必要な地盤を所定の深さで直接締固めることができ、締固め効率が高い。

施工時の管理はパイプロットの貫入、引上げの深度と時間の関係、油圧モータの圧力と時間の関係を、施工管理計により自動記録していく。パイプロットの締固め時においては、油圧力が 200 kg/cm² 以上になることを一つの目安としている。中詰め材の投入量は、ホイールローダのバケット回数より算出する。

また締固め後の改良効果は、貫入地点間の中央において、標準貫入試験、コーン貫入試験などを実施し、確認する。

4. 現場実験

改良開発したディープ・パイプロ工法の有効性を調査するため、大型土槽を用いた土槽実験および現場実験を実施した。ここでは現地実験の結果を中心に報告する。今回開発を進めているディープ・パイプロ工法は、砂質土の液状化対策にも有望と考えられるので、実験サイトとしては、東京湾岸の埋立て地を選定した。

(1) 実験の概要

実験サイトは千葉県東京湾岸埋立て地であり、表層 1.5m は N 値が 15 程度と高いが、その下深度 7m 程

度まではほとんど N 値 10 以下の緩い砂層となっている。ただし地点によっては深度 5~7m 付近に粘性土層が存在する。また地下水位は GL -0.5m と高い。なお実験では改良深度を深くすることから、周辺部を掘削しその掘削砂を用いて 2m の盛土を行い実験施工面とした。以下の深度は全て施工面からのものである。

ディープ・パイプロ工法の施工法は、今回改良開発したエアを用いる方法である。また他の振動締固め工法との比較を行うため、サンドコンパクションパイル工法 (パイプロ容量 150 kW を使用) による地盤改良も行った。

実験ケースは、サンドコンパクションパイル工法を含め全部で 4 ケースであり、ディープ・パイプロ工法では、打設ピッチの影響を調査するため打設ピッチを 3 種類とした。改良深度は GL -9m までとし、盛土部の締固めは行っていない。実験ケースの一覧を 表-2 に示す。また中詰め材としては、全て砂を使用した。

調査項目は実験ケースにより少し異なるが改良前後での標準貫入試験、RI 密度検層などを行っている。また施工環境や地盤変状を調査するため、振動・騒音測定、地中変位測定なども行っている。図-4 に 1 例としてケース 1 の調査位置を示す。

表-2 実験ケースの一覧

ケース	改良工法	打設配置	打設数	調査項目
ケース 1	DV 工法	1.8m 正三角形配置	24 本	SPT, CPT 密度, サンプリング 地中変位, 騒音・振動
ケース 2	DV 工法	2.3m 正三角形配置	22 本	SPT, CPT 密度, サンプリング
ケース 3	DV 工法	2.7m 正三角形配置	22 本	SPT, CPT 密度, サンプリング
ケース 4	SCP 工法	1.8m 正三角形配置	24 本	SPT, CPT 密度, サンプリング 地中変位, 騒音・振動

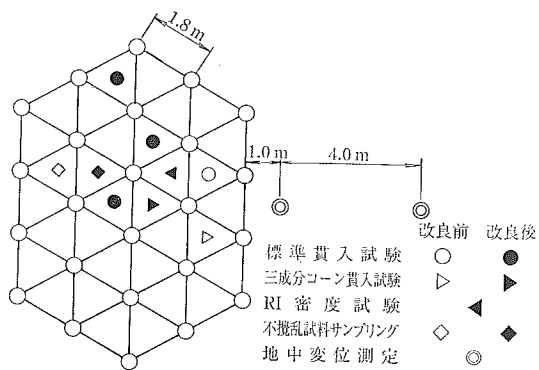


図-4 調査位置 (ケース 1)

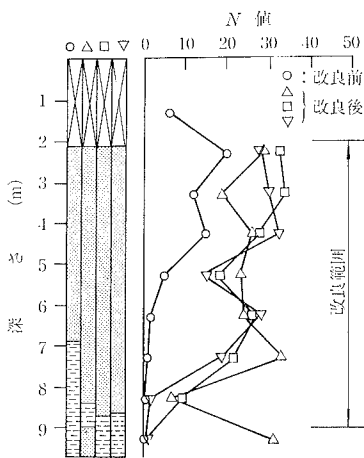


図-5 標準貫入試験結果(ケース2)

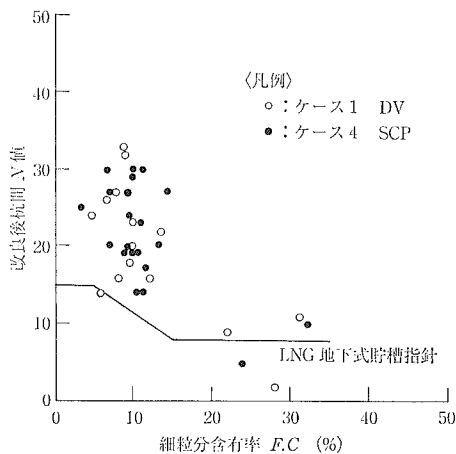


図-7 改良効果(その2)

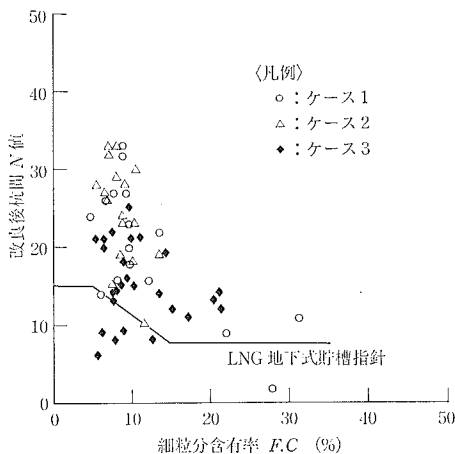


図-6 改良効果(その1)

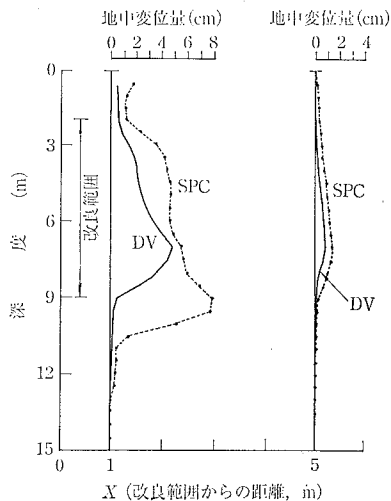


図-8 地中変位の測定結果

(2) 実験結果

ディープ・パイプロ工法により改良した地盤での標準貫入試験結果の1例として、打設ピッチ2.3mの場合(ケース2)を図-5に示す。改良後の標準貫入試験は全て杭間で実施したものである。サンドコンパクション工法を含め、改良後のN値は細粒分の多少によって大きく異なってくる。そこで横軸に細粒分含有率、縦軸に改良後杭間N値をとったグラフによって、改良効果を比較した。図-6はディープ・パイプロ工法による打設ピッチの影響を見たものである。

図には、一つの例ではあるが、LNG地下式貯槽指針²⁾に示されている「液状化を生じる土の細粒分含有率と限界N値」の関係を表示している。この図から判断すると、今回の地盤では、打設ピッチ2.7mはやや広すぎるが、ピッチ2.3mまでなら十分改良効果があることがわか

る。図-7は同じピッチ(打設ピッチ1.8m)で打設したディープ・パイプロ工法とサンドコンパクション工法の改良後N値を比較したものであり、両者ではほとんど差がないことがわかる。

図-8はケース1とケース4の改良後の地中変位を示したものである。土層構成から判断すると、ケース1,4とも粘性土層が存在している深度で最大の変位が生じているが、全体の傾向としてはディープ・パイプロ工法に

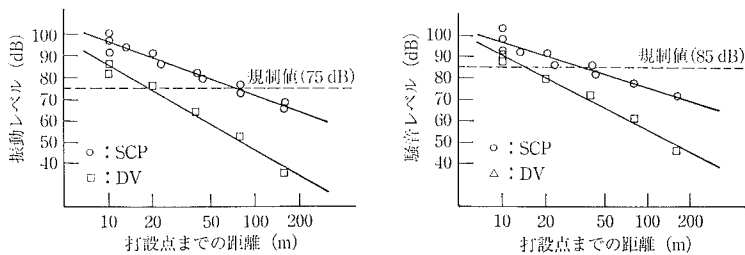


図-9 振動・騒音測定結果

よる地中変位はサンドコンパクション工法の約6割である。

図-9 はディーブ・パイプロ工法とサンドコンパクション工法の振動・騒音を比較したものであり、ディーブ・パイプロ工法の方が 10 dB 以上低振動・低騒音であることがわかる。特に振動に関しては距離減衰がディーブ・パイプロ工法では顕著である。この理由として、ディーブ・パイプロ工法の振動数は 50 Hz であり、サンドコンパクション工法の場合よりかなり高周波であるためと考えられる。

本現地実験より、ディーブ・パイプロ工法はサンドコンパクション工法と同程度の改良効果があること、サンドコンパクション工法に比較して地盤変状が少ないこと、低振動・低騒音であることなどが確認された。

5. あとがき

海外で施工実績の多い振動締め工法の一つであるディーブ・パイプロ工法を日本へ導入するにあたり、日本での施工条件等を考慮し、低公害型工法の観点から、機械および施工法に改良を加え、その適用性を現場実験などを実施し検討した。その結果、十分な締め効果を有するとともに、施工環境も良好で低振動・低騒音な工法であることを確認した。

また、本工法で使用する施工機はコンパクトであることから、市街地での、液状化対策に代表されるような砂質系地盤の地盤改良に威力を発揮するものと考えている。

〈参考文献〉

- 1) 田中誠一：「3. 地盤改良工法 ③ パイプロフローテーション工法」『基礎工』、1976.5
- 2) 日本瓦斯協会天然ガス貯槽保安調査委員会：「LNG 地下式貯槽指針」1978

◆ 図書紹介

河川用ゲート設計指針（案）鋼製ゲート編準拠

河川用ゲート設計計算例

（樋門ゲート、水門ゲート編）

A 5 版 313 頁 定価 3,000 円 送料 400 円

定価・送料には消費税は含まれていません。

- | | |
|-------|------------------|
| 第 1 章 | 一般事項 |
| 第 2 章 | 樋門ゲート編 |
| 第 3 章 | 水門ゲート編 |
| 第 4 章 | スピンドル式及びラック式開閉装置 |

〔申込先〕 社団法人 日本建設機械化協会
 (〒105) 東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館内
 電話 東京 (03) 433-1501

軟弱地盤特集

ディープ・バイプロ工法による地盤改良工事

三原正哉* 紅林康信**
飯田剛***

レシー
5
コンブ
17m²

1. はじめに

ここに紹介するディープ・バイプロ工法は、ドイツにおいて開発されたもので、ロッド先端に取付けた大容量バイブレータを用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱地盤を改良するものである。

本工法は、他の振動締固工法と比較して低振動・低騒音であること、施工機がコンパクトであることなどの特徴を有しており、特に都市部での地盤改良に適していると考えられる。

本稿は、ディープ・バイプロ工法の概要と、千葉市の市街地に建設される高層事務所棟などの複合施設基礎地盤の液状化対策として、本工法を施工した工事例について報告するものである。

2. ディープ・バイプロ工法の概要

本工法は砂質土の振動締固め工法のひとつに分類されるものであり、振動方向は水平方向、補給材は地表面から供給するタイプ（サフィス・フィード方式）である。また、改良目的としては緩い砂地盤や礫地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

本工法と同様な工法として我が国ではバイプロフローテーション工法があり、昭和30年代より使用されてい

た。しかしながら他の振動締固め工法に比較して改良効果が低いこと、改良深度に限界があることなどから、近年施工実績が減少している。

表-1は、バイプロフロットの容量を本工法のものとして現在日本で使用されているバイプロフローテーション工法のものとして比較したものであり、本工法の方が、起振力で5~10倍もある。バイプロフローテーション工法と同様、本工法においても海外では貫入・補給材供給の補助として水を使用しているが、起振力が大きいので、水を使用しなくても圧縮空気を補助として使用することにより、貫入可能な地盤も多いと考えられ、排水処理の問題のない水の代わりにエアを使用する施工法の開発も行い、地盤条件による使い分けを可能とした。

施工機械の構成を図-1に示す。使用する機械は先端部に振動体を有するバイプロフロット、これをつり下げるクローラクレーン（35~50tクラス）、バイプロフロットを起動する油圧パワー・パック（H-180）、エア設備（コンプレッサ、10.5 kg/cm²クラス）あるいは水設備（給

表-1 バイプロフロットの諸元

諸元	バイプロフローテーション (日本国内)		ディープ・バイプロ工法
	15 IP型	30 IP型	150 IP
モータタイプ	15 IP型	30 IP型	150 IP
電動機 (kW)	11	22	118 (油圧式)
振動数 (rpm)	1,420	1,420	1,500~Max 3,000
起振力 (tf)	2.5	5.1	約 25
起振点振幅 (mm)	4~5	6~7	14
全重量 (tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3 tf
有効長 (m)	7	15	延長パイプ 0.22 tf/m 実績 Max 30
ケーシング外径 (mm)	φ319	φ381	振動部 φ325
フィン外径 (mm)	φ469	φ500	延長パイプ φ300
モータ取付位置	本体上部	本体内蔵下部	本体内蔵下部
構造	一体式	継足し式	継足し式

文献1) を修正、加筆。

* MIHARA Masaya

(株) 間組技術研究所研究第一部

** KUREBAYASHI Yasunobu

(株) 間組東関東支店千葉新都心出張所

*** HIDA Takeshi

(株) 間組建築本部工事監理部

水ポン
ルロー
振動
2に示
あり、
ことに
また、
られて
ロット
伝達を
チュー
ズルか
この
質のラ
絶縁装
チュー
本工
振動体
めるこ
パイプ
の圧力
投入量
ま

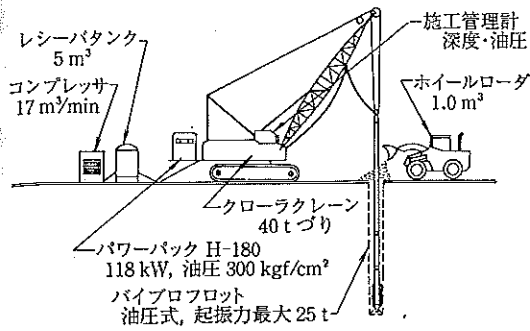


図-1 施工機械の構成 (エア使用の場合)

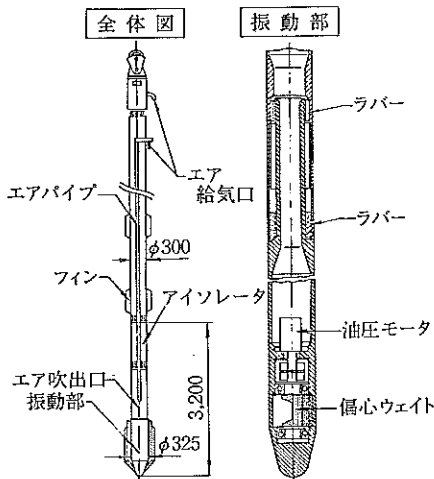


図-2 バイプロフロットの形状

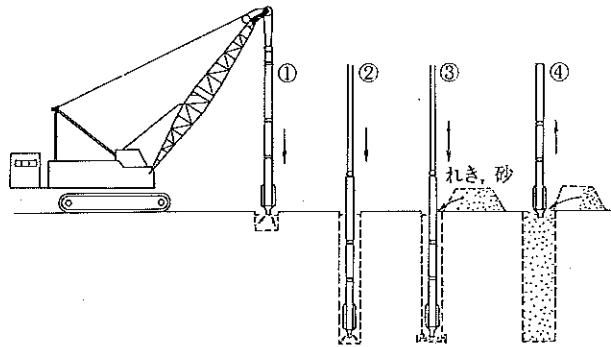
水ポンプ, 7 kg/cm², 15 m³/hr), 補給材を供給するホイールローダおよび施工管理計からなる。

振動締固めの源となるバイプロフロットの形状を図-2に示す。バイプロフロットは先端部に偏心ウェイトがあり、これをその直上部にある油圧モータで回転させることにより、バイプロフロットを水平方向に振動させる。また、先端振動部には、幅 15 cm のフィンが 2 枚取付けられており、偏心ウェイトの回転運動に伴うバイプロフロット自体の回転を防止するだけでなく、地盤への振動伝達を高める働きを持っている。先端部には中空の延長チューブをとおし、エアあるいは水が供給され、先端ノズルから噴出される。

この振動体の上部には、図-2 に示すように上下に硬質のラバーが取付けられたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動部の振動を上部の延長チューブに伝達しない機構となっている。

本工法の施工法を図-3 に示すが、先端部で駆動する振動体で、締固めが必要な地盤を所定の深さで直接締固めることができ、締固め効率が高い。施工時の管理にはバイプロフロットの貫入・引上げ時の深度と油圧モータの圧力を施工管理計により自動記録している。補給材の投入量はホイールローダのバケット回数より算出する。

また、締固め後の改良効果は、貫入地点間の中央にお



- ① 杭心セット：所定の位置にバイプロフロットをセットする。
- ② 貫入：バイプロフロットを起動しエアあるいは水を使用して所定深度まで貫入する。
- ③ 引上げ，中詰め材投入。
- ④ 中詰め材締固め。
- ③，④の作業を繰返しながら，所定面まで仕上げる。

図-3 施工方法

いて、標準貫入試験を実施し確認する。

3. 地盤改良工事

(1) 工事概要

本工事は、JR 総武本線千葉駅の南約 1.2 km の千葉市場跡地の再開発事業として進められている〔(仮称) 千葉市総合体育館・複合施設〕のうち民間複合施設の基礎地盤の液状化対策としてなされたものである。民間複合施設は、地上 29 階の事務所ならびに地上 21 階のホテル棟その他からなるものである。図-4 に民間複合施設の概要を示す。民間複合施設の基礎面深さは、T.P.-12 m および -10 m であり、基礎形式は杭基礎（鋼管杭 φ 800、中掘先端根固め工法）で、浮上り防止および地震時の転倒防止のため永久アンカー（V.S.L.-I 工法）の施工も行われた。

本敷地の地盤は、洪積層の成田層群により形成される埋没地形のうえに、軟弱な沖積層が分布する地盤であり、その埋没地形により平面的には、中央部の埋没谷底面とその両側に位置する埋没波食台面に区分される。東側の

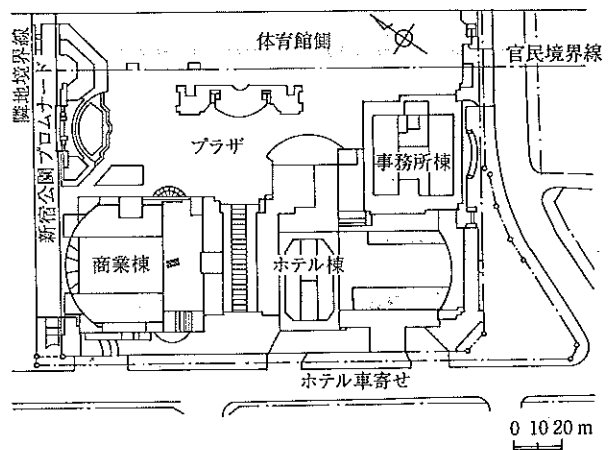


図-4 民間複合施設の概要

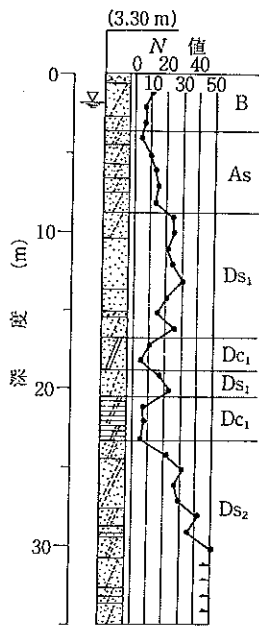


図-5 土質柱状図(原地盤)

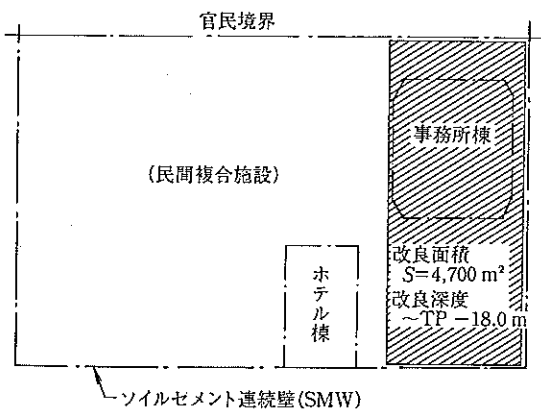


図-6 地盤改良の範囲

埋没波食台には、今回の改良対象層である D_{s1} 層と表示する上部洪積砂層が比較的厚く存在し、他の部分にはほとんど存在しない。図-5に東側埋没波食台の土質柱状図を示す。

基礎構造の設計では、「耐用年限中に繰返し発生する可能性のある程度の地震(25 kine レベルの地震)に対しては、地盤は液状化させない」との基本方針を採用している。そこで、原地盤から採取した不攪乱試料による液状化試験・動的変形試験を実施するとともに、四つの25 kine に規準化した地震波を用いた地震応答解析を実施し、詳細法による液状化判定を実施した。その結果、 A_s 層(沖積砂層)および D_{s1} 層の一部で液状化の可能性があると判明したが、 A_s 層はほぼすべてが掘削される。一方、 D_{s1} 層は洪積層であるが、液状化判定結果を踏まえ、 N 値が5~50(平均21)とばらつきが大きいこと、基礎面直下に存在することを考慮し、地盤改良を実施することとした。

改良範囲は、 D_{s1} 層の分布をもとに事務所棟部を含み

ソイル地中壁(S.M.W.)で囲まれた図-6に示す範囲とした。また、改良深度は D_{s1} 層の深度分布より T.P. -18m までとした。

地盤改良工法としては、改良効果の信頼性の高い振動締固め工法の中から、都市部での施工のあることを考慮し、低振動・低騒音であるディープ・バイプロ工法を選定した。

(2) 試験工事

本施工に先立ち、以下の目的で試験工事を実施した。

- ① 施工法・施工ピッチの決定
- ② 改良後の地盤物性の確認
- ③ 振動・騒音のチェック
- ④ ソイル地中壁への影響チェック

試験工事は原地盤(T.P.+2m)より実施し、施工深度は20mで、下部9mを改良し、上部11mは空打ちとした。

当初、エアを使用するドライ施工を試みたが、 D_{s1} 層の間に存在する D_{c1} 層(洪積粘性土層)の貫入が困難であったため、水を使用する方法(ウェット方式と呼ぶ)で行うことにした。

表-2に試験工事のケース一覧を示す。ここで、ケース2の先行掘りとは、ディープ・バイプロ(D.V.と表示)の施工前に、ジェット・カッタ(水圧約120 kg/cm²)を取付けたケーシング(φ400)を所定の深度まで貫入させ引上げる作業を示し、工期短縮の一つの方法として試験したものである。

改良後の杭間で実施した標準貫入試験結果では、打設ピッチ・施工方法の違いによる明確な差は認められなかった。図-7は、改良対象層である D_{s1} 層における改良前後の N 値の分布を示したものである。 D_{s1} 層では、改良前の N 値が20未満の地点が50%近くあったが、改良後の N 値は点数は少ないがすべて20以上となっている。なお、図-7には、本工事終了後の地盤調査結果も示されている。

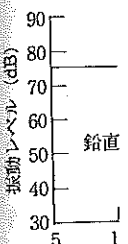
表-3に孔内横方向載荷試験(L.L.T.)および液状化試験の結果を示す。これらの試験結果をもとに、前述した地震応答解析結果を用いた液状化判定を行った結

表-2 試験ケースの一覧

ケース	施工方法	本数	打設ピッチ	補給材	地盤調査
ケース1	DV	9	正三角形 2.3 m	3号砕石	・標準貫入試験 ・孔内載荷試験 ・サンプリング
ケース2	先行掘り+DV	7	同 上	同 上	・標準貫入試験
ケース3	DV	7	正三角形 2.0 m	同 上	・標準貫入試験 ・孔内載荷試験 ・サンプリング

*サンプリングした試料と液状化試験に使用。

ケース	土層
ケース1	D_{s1} - D_{c1} - D_{s1} -
ケース3	D_{s1} - D_{c1} - D_{s1} -



果、液状化
図-8に
結果を示す
打設点から
わかる。杭
に対して逆
思われた。
ディープ
掘るため
れている
の測定を
9に示す
地中壁へ
にみると
り、空打
打ち部で
めと考え

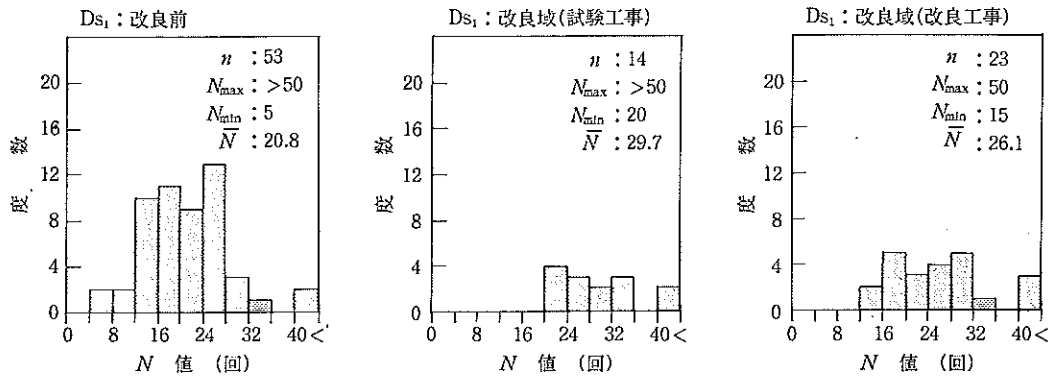


図-7 改良前後のN値分布(D_s層)

表-3 試験結果の一覧

ケース	土層区分	孔内横方向荷重試験(LLT)					液状化 応力比 ($\epsilon=5\%$ N=15回)
		深度 GL- (m)	P_0 (kgf/ cm ²)	P_g (kgf/ cm ²)	E_n (kgf/ cm ²)	$K_c = \frac{P_0}{\sigma'_v}$	
ケース1	D _{s1} 上部	12	1.54	4.88	241	1.39	0.34
	D _{C1}	16	1.03	2.53	92	0.75	-
	D _{s1} 下部	17.5	1.51	4.86	234	1.01	0.36
ケース3	D _{s1} 上部	12	1.38	4.90	225	1.17	0.38
	D _{C1}	16	1.78	2.34	137	1.22	-
	D _{s1} 下部	17.5	1.31	4.42	188	0.84	0.34

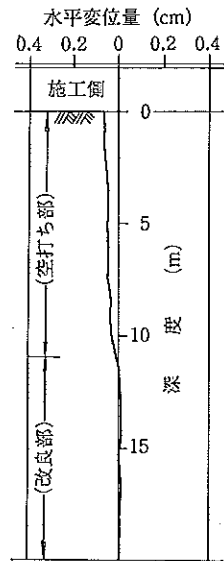


図-9 ソイルセメント連結壁の測定結果

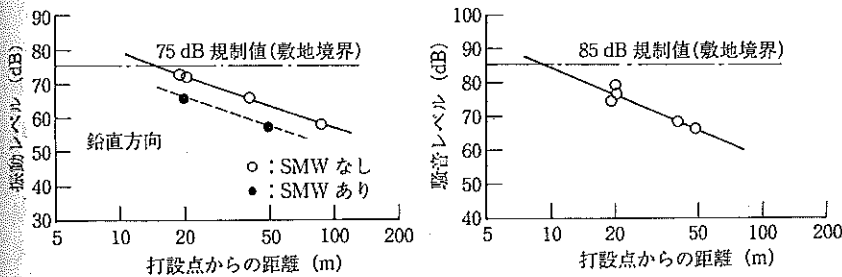


図-8 振動・騒音測定結果

果、液状化の可能性が少ないことが示された。

図-8にディープ・パイプロ施工時の振動・騒音測定結果を示す。振動では打設点から15m以上、騒音では打設点から10m以上離れると規制値を満足することがわかる。施工に立合った時の人的感覚からも振動・騒音に対して近隣周辺から苦情が発生する恐れはないものと思われた。

ディープ・パイプロの施工が地中壁に与える影響を把握するため、ケース1の打設前後で、打設域から1m離れている地中壁に対して地中壁芯材(H鋼)の水平変位の測定を挿入型傾斜計を用いて行った。測定結果を図-9に示すが、最大水平変位は0.065cmと非常に小さく、地中壁への影響は考えられない。また、変形状態を詳細にみると、改良部では打設と反対側にわずかに膨れており、空打ち部では逆に打設側に傾いている。これは、空打ち部では貫入孔に現地発生土を埋戻しただけであるためと考えられる。

(3) 改良工事

試験工事結果をもとに定めた、改良工事の仕様・諸元は以下のとおりである。

- ・施工法：ウェット方式
- ・打設長：15m (5m掘削盤より施工)
- ・改良部は下部9m、上部6mは空打ち
- ・打設ピッチ：2.3m 正三角形配置
- ・管理目標値：N値20以上
- ・補給材：3号砕石、0.38m³/m以上
- ・打設本数：1,059本

他工種との関係より、施工機は1台のみ使用し、実稼働67日ですべての施工を行い、振動・騒音に対する苦情もなく工事を終了することができた。補給材は、改良部m当たり0.38m³/m以上使用することとしたが、実績では平均で0.42m³/mとなった。施工状況を写真-1に示す。

改良後杭間で実施した標準貫入試験結果を図-10に

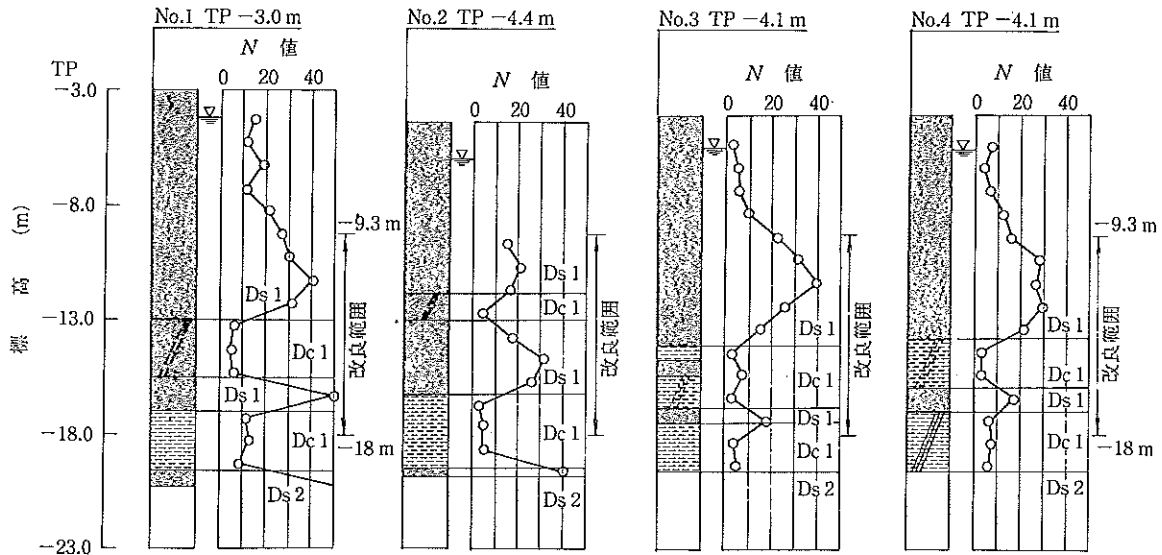


図-10 改良後の標準貫入試験結果(改良工事)

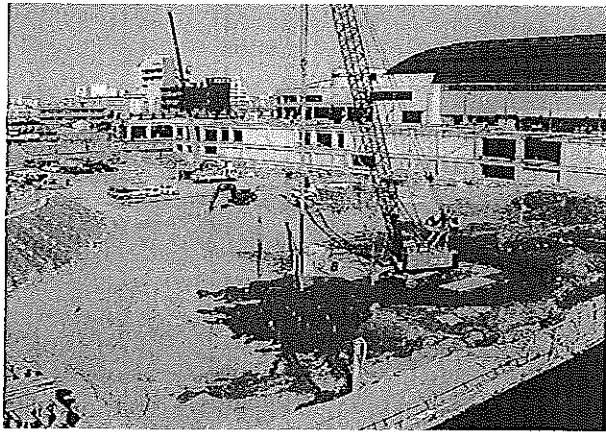


写真-1 施工状況

示す。また、改良後の N 値の分布は図-7に示したとおりである。

改良対象層である D_{s1} 層の N 値の分布を見ると、改良部全体の平均では $N=26.1$ であり、全体としては十分締固められていると評価できる。ただし、試験工事より定めた目標値 20 以上を満足しない点が数点生じた。

この主な原因として、試験工事では T.P. +2 m 盤より改良および地盤調査が行われたのに対し、改良工事では、6 m 掘削した T.P. -4 m 盤で改良および地盤調査が行われたため、有効上載圧で約 0.5 kg/cm^2 の差が生じたためと考えられる。

この点を考慮すると、改良工事後の液状化抵抗は試験工事時のものと同等以上と考えられる。

今回は、水を使用するウェット方式で行ったが、掘削面下での施工であり、ディープウェルを設置していたが十分な排水ができなかったため、釜場を設け、土砂を含んだ排水を釜場で沈澱させ、うわ水をポンプ排水によって処理した。

4. おわりに

ディープ・パイプロ工法は導入されて日も浅く、オペレータの不慣れもあり、最初の1カ月間の平均施工本数は11本/日であったが、3カ月目には18本/日まで改善された。また、市街地での施工であったが、問題もなく工事を終了することができ、低振動・低騒音性を実証できたものと考えている。

また、本工法の低振動性や地盤変状が小さいなどの特徴を生かし、既設タンク近傍のタンク基礎地盤の改良に本工法を使用したとの報告もあり(表紙参照、地盤工事改良担当:日本海工)、既設構造物周辺での施工に対する有効性も確認されてきている。

最後に、本工事を実施するにあたり、ご指導ご協力いただいた関係者の皆様に、感謝の意を表します。

＜引用文献＞

- 1) 田中誠一:「3. 地盤改良工法 ③ パイプロフローテーション工法」, 基礎工, Vol.4, No.5, 88-95, 1976年5月.



低公害型液状化対策工法

＝ディープ・バイプロ工法の概要と適用例＝

ハザマ 足立 有史
Yuji Adachi

1. はじめに

大規模地震発生時には、埋立地盤をはじめとする広い範囲で液状化による様々な被害が報告されている。そのため、液状化対策工も港湾部をはじめ都市部や既設構造物周辺といった様々な条件下での施工において、騒音、振動の低減、地盤変状の抑制等が要求されている。ここでは、これらの条件に対応するための低公害型液状化対策工法（ディープ・バイプロ工法）の概要と適用例について報告する。

2. 工法の概要

本工法は、砂質土の締固め工法の1つに分類されるものであり、バイプロフロットにより水平振動を発生させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら（写真1参照）、地盤を締固めることにより、地盤の密度を高めるものである⁽¹⁾。改良目的

としては、砂質系地盤における地震時の液状化防止、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。本工事の特徴を以下に示す。

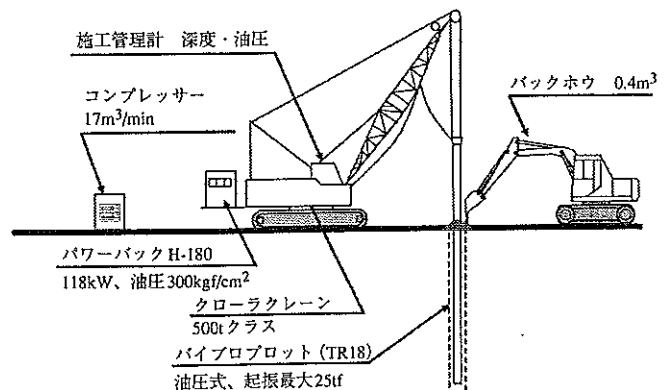
- ① 抜群の締固め効果：起振力25tonの大容量バイプロフロットを使用しているため、締固め効果が大きく、深い深度まで改良が可能である。
- ② 低振動・低騒音：振動源は先端のみ。従来の振動締固め工法より10dB以上低減できる。
- ③ 既設構造物周辺の施工に最適：従来工法に比較して、施工機はコンパクトで、周辺地盤の変形も小さいため、既設構造物周辺の施工に最適である。
- ④ ドライ方式でクリーンな施工：貫入・材料補給の補助にエアジェットを使用。通常、水を一切使わないため、排水による周辺環境への悪影響がない。

(1) 施工方法

機械構成は、第1図に示すとおり先端部に振動体を有するバイプロフロット、これを吊り下げるクロ

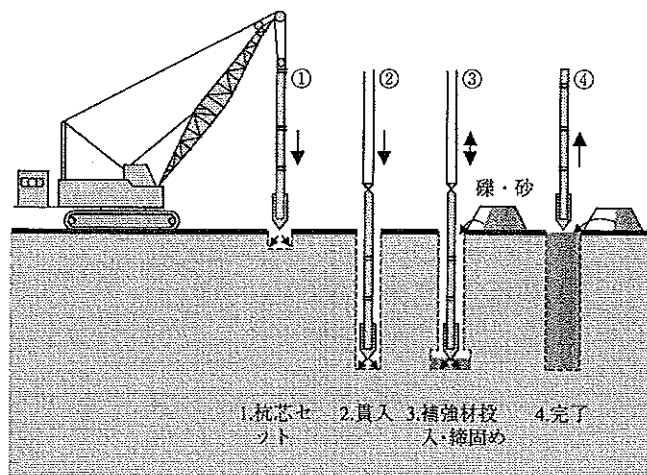


写真1 ディープバイプロ全景



第1図 システム図

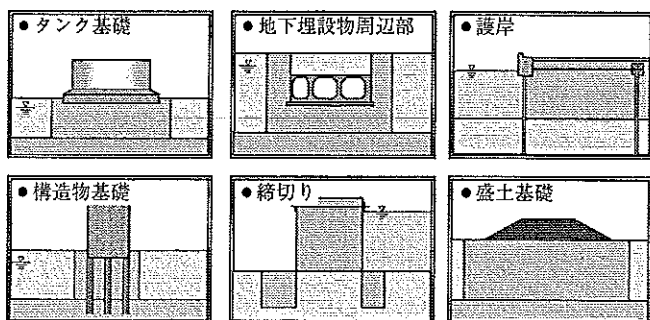
ークレーン、バイプロフロットを起動する油圧パワーバック、エア設備（コンプレッサ）、バックホウ等の補給材を供給する機械および深度、油圧を自動記録する施工管理計からなっている。第2図に施工手順を示す。高振動の水平振動を発生する先端駆動の大容量振動体を地盤に振動貫入させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら、引抜・貫入を繰り返し、周辺地盤や補給材を締固めることにより、地盤の密度を高めるものである。



第2図 施工手順

(2) 適用例

第3図にディープ・バイプロ工法の適用例を示す。液状化による沈下、浮上り防止、護岸、盛土等の変形防止、地盤反力度の増加等があげられる。



第3図 適用例

(3) 有効な現場条件

本工法は有効な現場条件について以下に示す。

- ① クローラクレーンをベースマシンとするため、狭隘な場所や障害物近傍での施工が可能である。

② 施工方法がSCP工法や静的締固め工法と異なり、また締固めの範囲がバイプロフロット周辺に限定されるため、地盤変位が先の両工法に比べ小さい。そのため、既設構造物近傍の施工において、従来、改良長程度が近接限界距離とされたのに対して、本工法は、構造物直近までの施工が可能である。

③ 補給材は、細粒分が比較的少なく（概ね20%以下程度）、最大粒径が40mm程度までの粗粒材であれば、現地発生土、再生材、購入土等を問わず利用できる。

④ 直径350mmのフロットを地盤に貫入させるのみであるので、タイロッド間や杭間の締固めが可能である。

⑤ 補給材を与えず、先端バイプロフロットの振動のみで、鋼矢板シェル中詰め材の締固めが可能である。

(4) 施工上の留意点

① 細粒分含有率が30%を超えるような砂質土の改良では、改良効果にバラツキが大きく、設計予測値との整合性も悪くなるため、試験施工などで事前に確認する必要がある。

② 改良原理の基本は振動締固めであることから、近接施工の際、構造物等に振動が伝わる可能性がある。

③ 本工法は補給材をバックホウ等で地表面から投入するため、SCP工法や静的締固め工法のように、材料供給量を深度毎に定量的に管理することが難しい。

3. 施工実績の概要

(1) 施工実績

現在、ディープ・バイプロ工法の国内実績は50件あまりに達している。施工事例の一部を第1表に紹介する。

(2) 適用例

適用例として、第1表に示す工事の内、東北新幹線青森車両基地における地盤改良工事について示す⁽²⁾。

① 工事概要

工事名：青森車両基地路盤他工事
 事業主体：日本鉄道建設公団
 施工場所：青森県青森市
 施工期間：2001年9月～2002年11月

第1表 施工実績概要

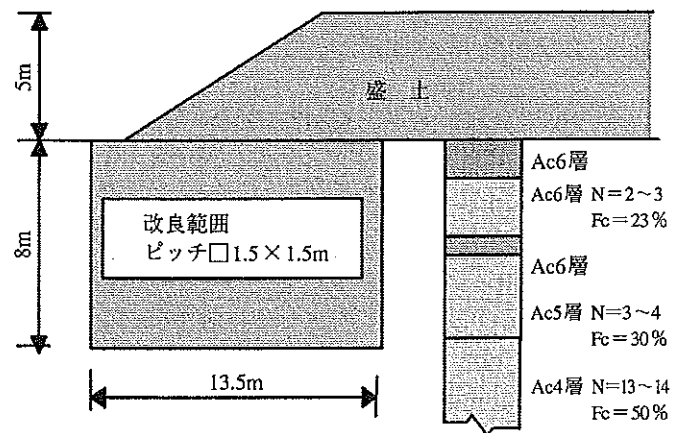
企業者	工事名	施工時期	施工数量
日本鉄道建設公団盛岡支社	東北幹、青森車両基地路盤他工事	2001年11月	総本数 9,100本 総改良延長 約71,000m
九州電力(株)	荅北発電所第2号機増設工事のうち本館建物工事に伴う地盤改良工事	1999年5月	総本数 318本 総改良延長 約2,200m
静岡県富士土木事務所	富士早川特定構造物改築事業(入道樋門吐出部)工事	1998年8月	総本数 403本 総改良延長 約3,800m
静岡県志太広域事務組合	大井川環境管理センター建設工事	1997年2月	総本数 552本 総改良延長 約6,243m

東北新幹線青森車両基地は新幹線トンネル工事の掘削ズリを緩い沖積砂質地盤上に盛り立てて建設される。地震時の盛土の安定性について検討した結果、大部分の外周法面部で基礎地盤の液状化に伴い盛土のすべり安全率が所定の値を満足しないことが明らかとなった。そこで、液状化対策として、ディープ・バイプロ工法を用いて法面部地盤改良を実施した。

ここでは、本工事に先立って実施した試験工事結果を中心に、一部本工事の改良結果を報告する。

② 地盤概要と改良計画

東北新幹線青森車両基地は、前述のように、新幹線トンネル工事の掘削ズリを沖積砂質地盤上に盛り立てて建設され、外周約2.3km、盛土高約3.8～5.9mの計画となっている。試験工事の結果を踏まえて計画された盛土法面の一例を第4図に示す。地盤は、一般に表層に厚さ1～3mの沖積粘性土層(Ac6)があり(As6が挟在することもある)、その下にはN値10程度以下の砂層(As5)が存在する。レベル1地震動(地表面最大加速度189gal)に対し、As6を含めAs5より上部の砂層部が液状化の可能性が高いと判定され、 Δu 法により盛土の安定性を検討した結果、盛土は所定の安全率を満足しなかった。そこで、地盤を締固め液状化抵抗を高めることとした。改良範囲は試験工事結果をもとに盛土の安定性を確保



第4図 施工断面図

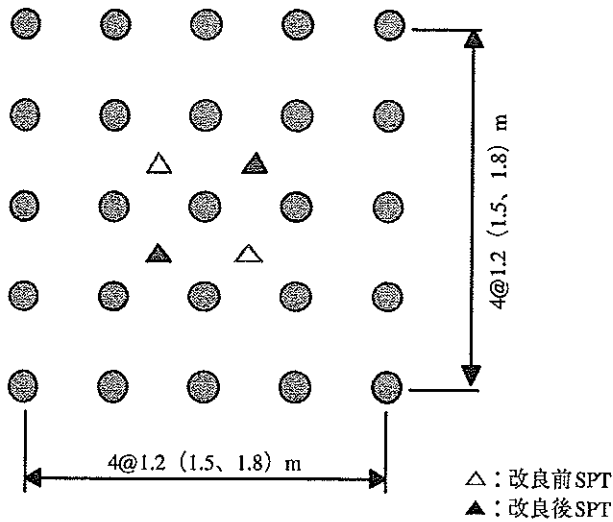
保できるように定められた。また、締固め工法としては、一部民家に近接していること(離間距離約30m)、コスト面から掘削ズリを使用できる工法が望ましいことから、高周波バイプロフロットを用いて低振動・低騒音で地盤を締固めすることができ、またケーシングを用いず地表面から補給材を供給できるディープ・バイプロを用いることとした。

(3) 試験工事の概要

補給材として使用する掘削ズリは、通常用いられている購入砂より細粒分が多いトンネル掘削ズリを用いるため、試験工事を行い、改良効果とピッチの関係を評価した。第2表に試験工事の概要を示す。

第2表 試験工事の概要

工種		ケース1	ケース2	ケース3
DV打設	打設ピッチ [m]	□: 1.2×1.2	□: 1.5×1.5	□: 1.8×1.8
	改良長 [m]	10	10	10
	施工本数 [本]	20本(4列×5列)	20本(4列×5列)	20本(4列×5列)
調査工 (粒度試験含む)	SPT改良前	2ヶ所(10m)	2ヶ所(10m)	2ヶ所(10m)
	SPT改良後	2ヶ所(10m)	2ヶ所(10m)	2ヶ所(10m)
計測工	振動・騒音	—	10、20、40、80、 160m/1測線	—

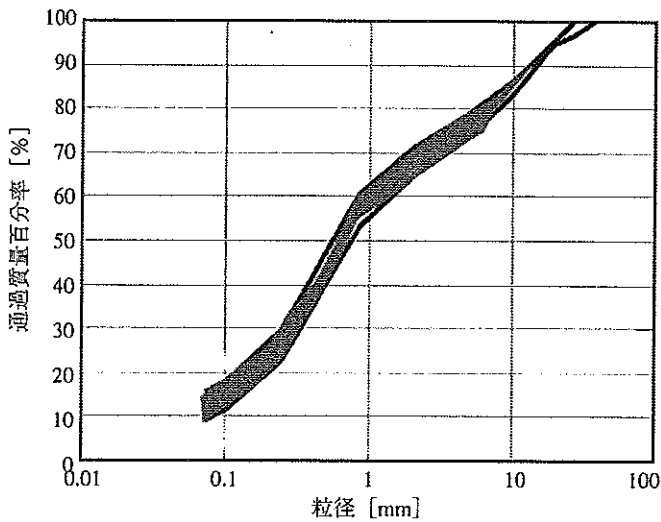


第5図 打設配置

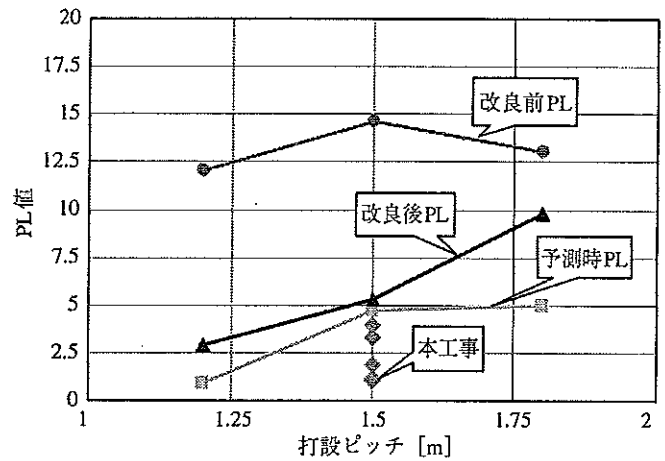
また、第5図、第6図に、打設配置と試験工事に用いた掘削ズリの粒度分布を示す。第2表に示すように改良ピッチは1.2、1.5、1.8mの3ケースで、改良効果は鉄道構造物設計基準・同解説耐震設計に従い、PL値を用いて評価した。

(4) 試験工事の結果

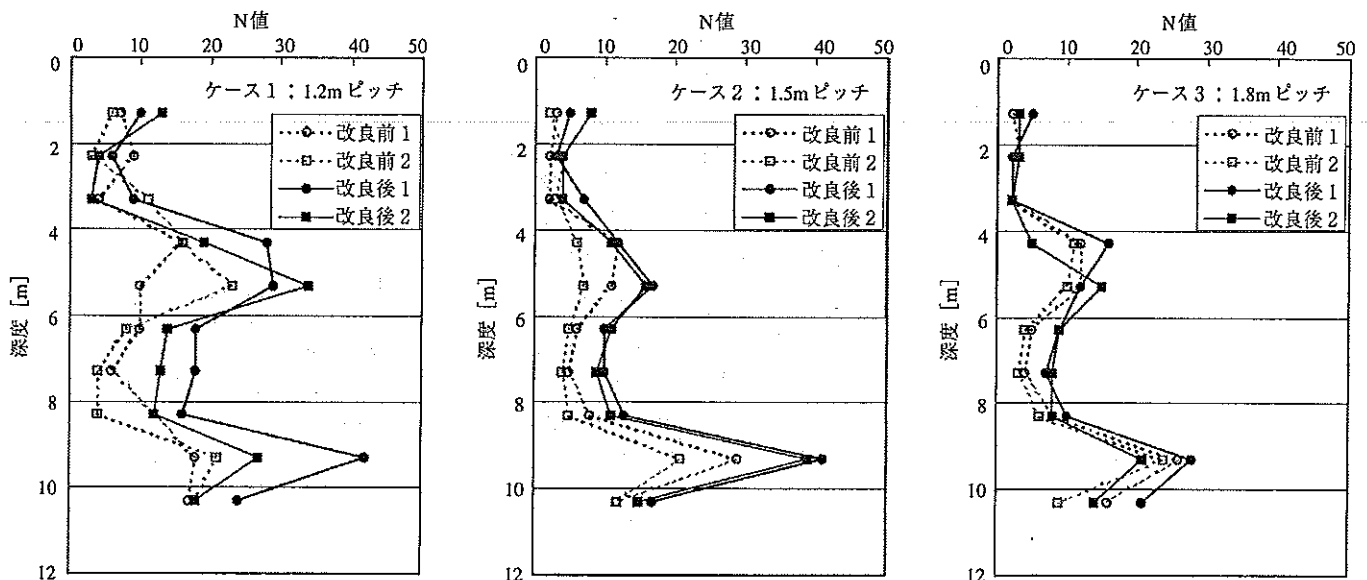
改良前後のN値の比較を第7図に示す。また、改良前後のPL値の比較を第8図に示す。第8図には、ディープ・パイプロ工法の設計法（SCPのC法と同じで、等価杭径をφ0.6mとする）から予測した改良後N値に基づくPL値も示している。改良前12～15であったPL値は、改良後ピッチ1.2、1.5、1.8mでそれぞれ2.9、5.3、9.8となり、ピッチ1.8mでは改良効果が不十分であった。なお、ここでは、PL<5の場合



第6図 掘削ズリの粒度分布



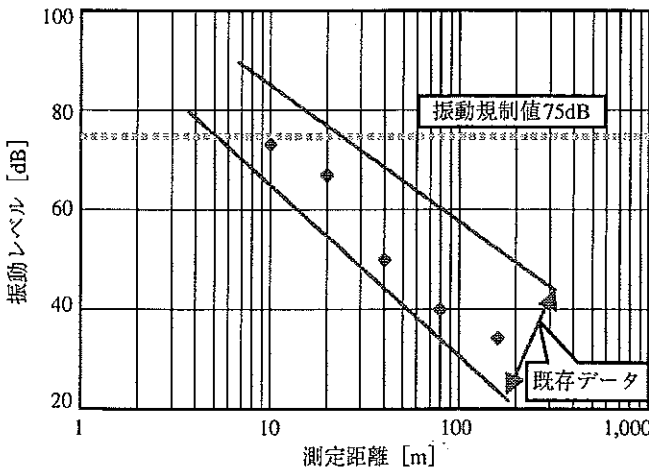
第8図 改良前後のPL値の比較



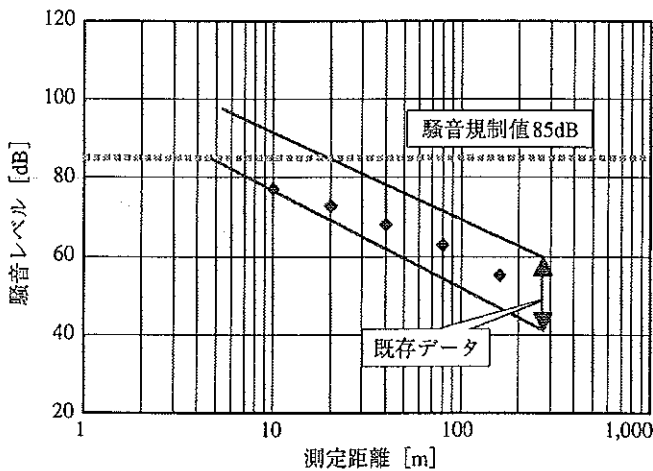
第7図 改良前後のN値の比較

合、非液状化地盤として評価した。予測時PLと改良後PLを比較した場合、ピッチ1.5mの場合はほぼ予測値と実測値に基づくものは等しいが、1.2mと1.8mは実測値の方が低くなっている。以上のことから、本工事に対しては、各地点でのボーリングデータに基づき1.5m前後で改良ピッチを定めることとした。

振動・騒音の測定結果を第9図、第10図に示す。図には、過去の測定データも示している。この図から、近傍民家に対しても敷地境界で十分規制値を満足することが明らかとなった。また、振動・騒音とも既存データの範囲内に入っていた。



第9図 振動の測定結果



第10図 騒音の測定結果

(5) まとめ

現地発生土を活用できる利点から、ディープ・パイプロ工法を用いて液状化対策を計画し、試験工事でその適用性を評価した。本工事では、掘削ズリの細粒分が当初より増加して来たため、掘削ズリ（細粒分20～25%）と購入砂（細粒分3%）を半々で混合して使用している。これまでに実施した本工事の改良後のチェックボーリング結果から求めたPL値を第7図に示すが、図からわかるように、ほぼ想定された改良効果が得られている。

4. おわりに

ここでは、低公害型液状化対策工法（ディープ・パイプロ工法）の概要と適用例を紹介した。

最後に開発、施工にあたり、ご支援、ご協力いただいた関係者の方々へ深く感謝申し上げます。

<参考文献>

- (1) 三原正哉・鶴岡龍彦・末広修三：“ディープ・パイプロ工法と施工例”、平成5年度建設機械と施工法シンポジウム論文集、(社)日本建設機械化協会、pp.48-53、1993.
- (2) 早坂治敏・蓼沼慶正・早川雅彦・三原正哉：“ディープ・パイプロ工法による盛土法面の液状化対策”、第57回年次学術講演会講演概要集、(社)土木学会、Ⅲ部門、pp.163-164、2002.

【筆者紹介】

足立 有史

ハザマ 技術・環境本部 技術研究所
 技術研究部 土木研究室 主任研究員
 〒305-0822 茨城県つくば市莉間515-1
 TEL：029-858-8813 FAX：029-858-8819
 E-mail：adachi@hazama.co.jp

低公害型液状化対策工法

＝ディープ・バイブロ工法の概要と適用例＝

(株)安藤・間 浦野 和彦・足立 有史
Kazuhiko Urano Yuji Adachi

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、東京湾岸部の埋立地等において液状化による甚大な被害が発生した。現在、液状化対策は、港湾部等の埋立地盤のみならず都市部や既設構造物周辺といった様々な施工条件下における工事も増加し、騒音や振動の低減、地盤変状の抑制が可能な工法に対するニーズが高まっている。

本稿では、これらの条件に対応するための低公害型液状化対策工法のひとつであるディープ・バイブロ工法の概要と適用例について報告する。

2. 工法の概要

本工法は、砂質土の締固め工法の1つに分類されるものであり、バイブロフロットにより水平振動を発生させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら（写真1）、地盤を締固めることにより、地盤の密度を高めるものである⁽¹⁾。改良目的としては、砂質系地盤における地震時の液状化防止、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

本工法の特徴を以下に示す。

- ① 抜群の締固め効果：起振力250kNの大容量バイブロフロットを使用しているため、

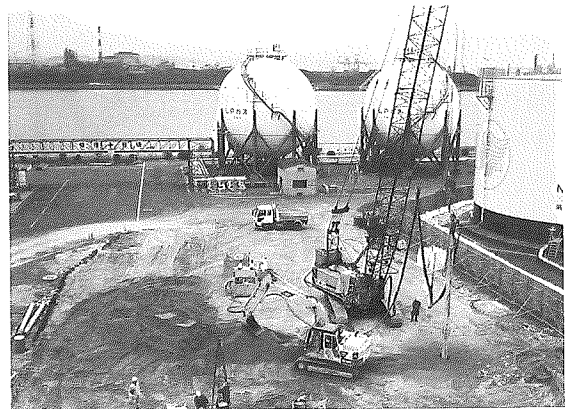


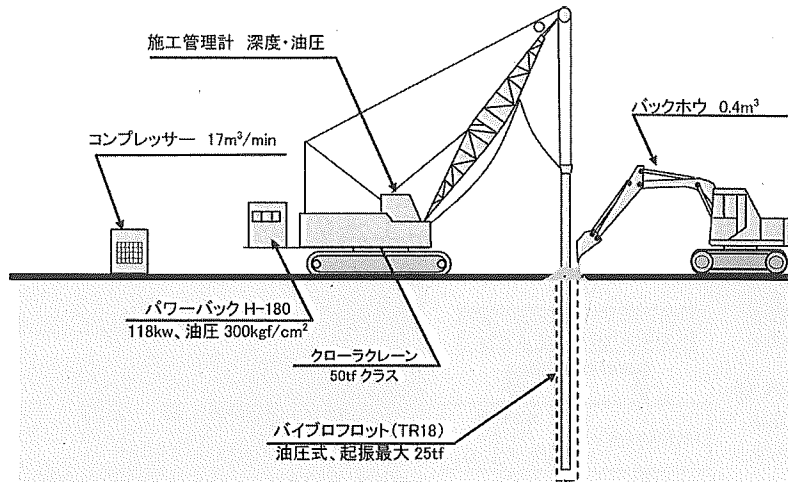
写真1 施工状況全景

締固め効果が大きく、深い深度まで改良が可能である。

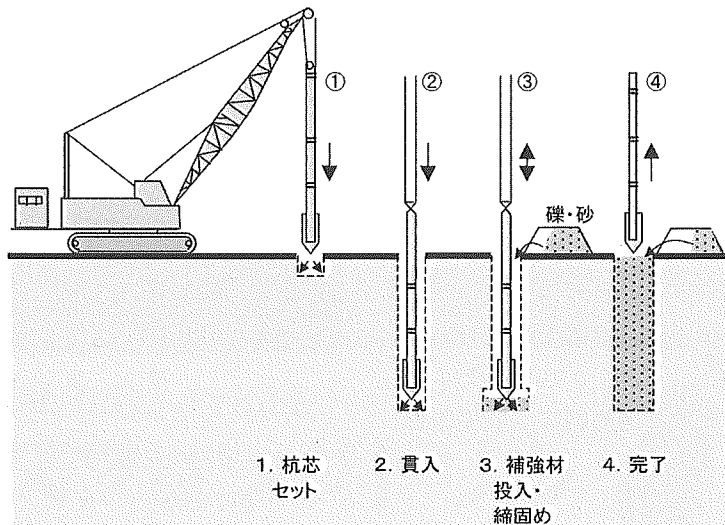
- ② 低騒音：振動源は先端のみ。従来の振動締固め工法より10dB以上低減できる。
- ③ 既設構造物周辺の施工に最適：従来工法に比較して、施工機はコンパクトで、周辺地盤の変形も小さいため、既設構造物周辺の施工に最適である。
- ④ ドライ方式でクリーンな施工：貫入・材料補給の補助にエアジェットを使用。通常、水を一切使わないため、排水による周辺環境への悪影響がない。

2-1 施工方法

機械構成は、第1図に示すとおり先端部に振動体を有するバイブロフロット、これを吊り下



第1図 システム図



第2図 施工手順

げるクローラークレーン、バイプロフロットを起動する油圧パワーバック、エア設備（コンプレッサー）、バックホウ等の補給材を供給する機械および深度、油圧を自動記録する施工管理計からなっている。

第2図に施工手順を示す。高振動の水平振動を発生する先端駆動の大容量振動体を地盤に振動貫入させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら、引抜・貫入を繰り返す、周辺地盤や補給材を締固めることにより、地盤の密度を高めるものである。

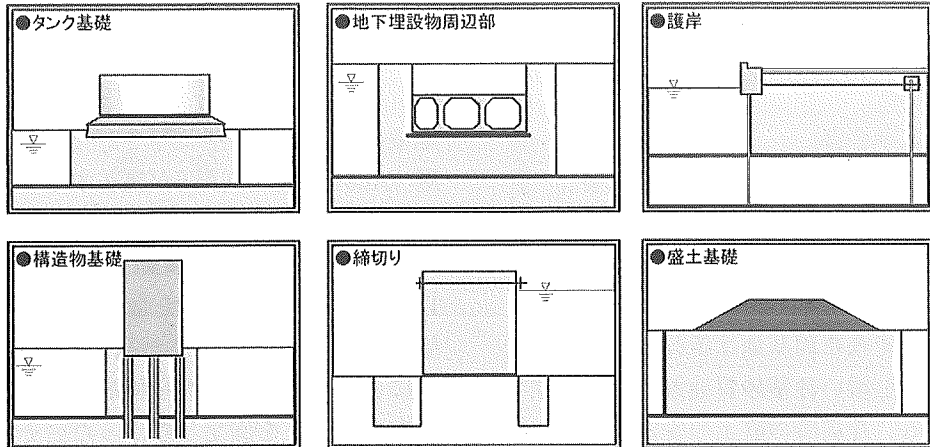
2-2 適用例

第3図にディープ・バイプロ工法の適用例を示す。液状化による沈下、浮上り防止、護岸、盛土等の変形防止、地盤反力度の増加等があげられる。

2-3 有効な現場条件

本工法に有効な現場条件について以下に示す。

- ① クローラークレーンをベースマシンとするため、狭隘な場所や障害物近傍での施工が可能である。
- ② 施工方法がSCP工法や静的締固め工法と



第3図 適用例

異なり、また締固めの範囲がパイプロフロット周辺に限定されるため、地盤変位が先の両工法に比べ小さい。そのため、既設構造物近傍の施工において、従来工法は改良長程度が近接限界距離とされたのに対して、本工法は構造物直近までの施工が可能である。

- ③ 補給材は、細粒分が比較的少なく（概ね20%以下程度）、最大粒径が40mm程度までの粗粒材であれば、現地発生土、再生材、購入土等を問わず利用できる。
- ④ 直径350mmのフロッツを地盤に貫入させるのみであるので、タイロッド間や杭間の締固めが可能である。
- ⑤ 補給材を与えず、先端パイプロフロットの振動のみで、鋼矢板シェル中詰め材の締固めが可能である。

2-4 施工上の留意点

- ① 細粒分含有率が30%を超えるような砂質土の改良では、改良効果にバラツキが大きく、設計予測値との整合性も悪くなるため、試験施工などで事前に確認する必要がある。
- ② 改良原理の基本は振動締固めであることから、近接施工の際、構造物等に振動が伝わる可能性がある。
- ③ 本工法は補給材をバックホウ等で地表から投入するため、SCP工法や静的締固め工法のように、材料供給量を深度毎に定量的に管理することが難しい。

3. 施工実績の概要

ディープ・パイプロ工法の施工実績は、2015年12月現在で69件、累計施工延長579,000m、累積施工本数98,000本である。第1表に主な施工

第1表 施工実績概要

事例	企業者	工事名	工事期間	施工数量 (本数、総延長)
1	鉄道建設・運輸施設整備 支援機構	東北幹 青森車両基地 路盤他 1.2 工事	2001年9月 ～2005年3月	約 11,300 本 約 89,000m
2	下関市港湾局	新港地区 ふ頭用地等地盤改良 廃棄物処分場整備工事	2007年7月 ～2012年12月	約 17,900 本 約 105,000m
3	東京いすゞ自動車㈱	江東サービスセンター 新築工事	2011年3月 ～2011年6月	約 1,100 本 約 13,900m

実績を示すが、事例1の内、東北新幹線青森車両基地路盤他1工事⁽²⁾の工事概要について以下に示す。

3-1 工事概要

- 工事名：青森車両基地路盤他工事
- 事業主体：日本鉄道建設公団
- 施工場所：青森県青森市
- 施工期間：2001年9月～2002年11月

東北新幹線青森車両基地は新幹線トンネル工事の掘削ズリを緩い沖積砂質地盤上に盛り立てて建設される。地震時の盛土の安定性について検討した結果、大部分の外周法面部で基礎地盤の液状化に伴い盛土のすべり安全率が所定の値を満足しないことが明らかとなった。そこで、液状化対策として、ディープ・バイプロ工法を用いて法面部地盤改良を実施した。

ここでは、本工事に先立って実施した試験工事結果を中心に、一部本工事の改良結果を報告する。

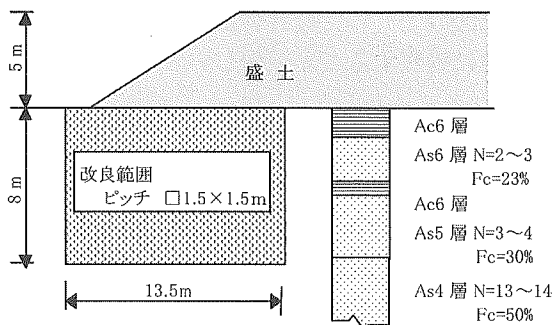
3-2 地盤概要と改良計画

東北新幹線青森車両基地は、前述のように、新幹線トンネル工事の掘削ズリを沖積砂質地盤

上に盛り立てて建設され、外周約2.3km、盛土高約3.8～5.9mである。試験工事の結果を踏まえて計画された盛土法面の1例を第4図に示す。地盤は、一般に表層に厚さ1～3mの沖積粘性土層(Ac6)があり(As6が挟在することもある)、その下にはN値10程度以下の砂層(As5)が存在する。レベル1地震動(地表面最大加速度189gal)に対し、As6を含めAs5より上部の砂層部が液状化の可能性が高いと判定され、 Δu 法により盛土の安定性を検討した結果、盛土は所定の安全率を満足しなかった。そこで、地盤を締固め液状化抵抗を高めることとした。改良範囲は試験工事結果をもとに盛土の安定性を確保できるように定められた。また、締固め工法としては、一部民家に近接していること(離間距離約30m)、コスト面から掘削ズリを使用できる工法が望ましいことから、高周波バイプロフロッタを用いて低振動・低騒音で地盤を締固めることができ、またケーシングを用いず地表面から補給材を供給できるディープ・バイプロを用いることとした。

3-3 試験工事の概要

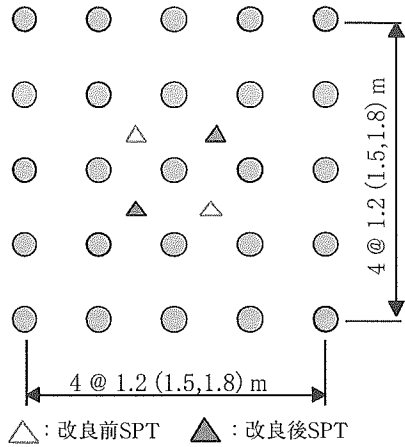
補給材として使用する掘削ズリは、通常用いられている購入砂より細粒分が多いトンネル掘削ズリを用いるため、試験工事を行い、改良効果とピッチの関係を評価した。第2表に試験工事の概要を示す。また、第5図、第6図に、打設配置と試験工事に用いた掘削ズリの粒度分布を示す。第2表に示すように改良ピッチは1.2、1.5、1.8mの3ケースで、改良効果は鉄道構造物設計基準・同解説耐震設計に従い、PL値を用いて評価した。



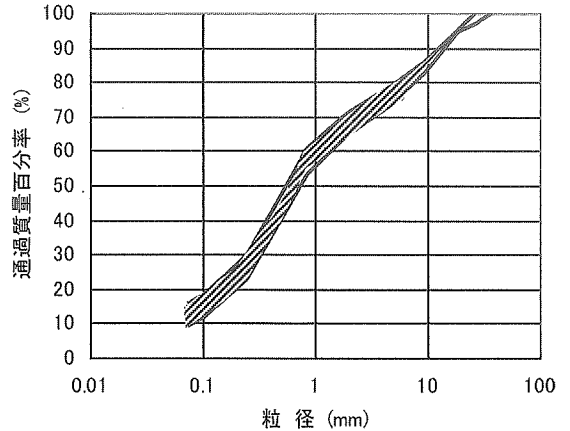
第4図 施工断面図

第2表 試験工事の概要

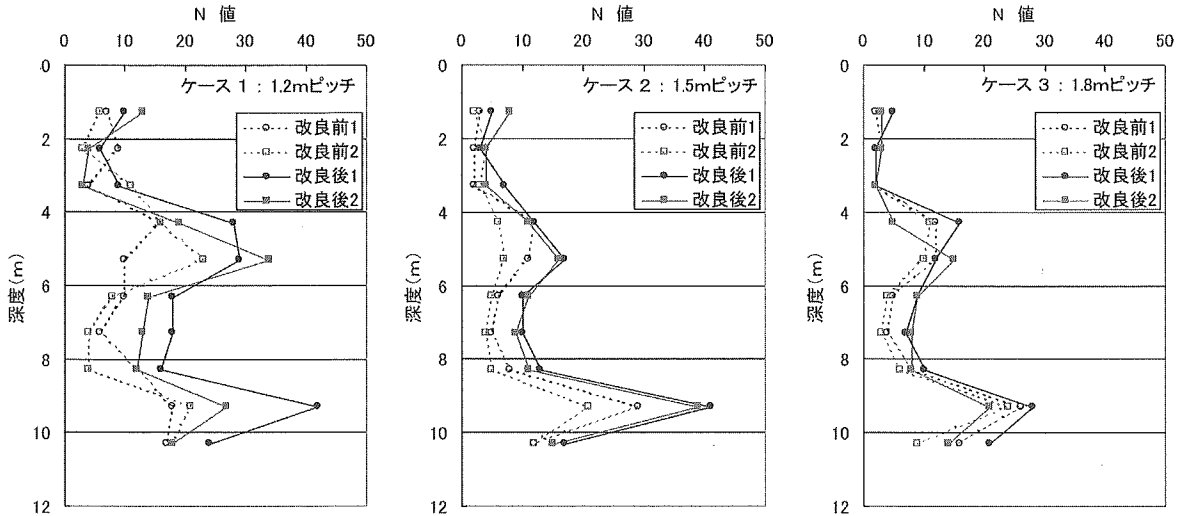
工種		ケース1	ケース2	ケース3
DV打設	打設ピッチ(m)	□:1.2×1.2	□:1.5×1.5	□:1.8×1.8
	改良長(m)	10	10	10
	施工本数(本)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)
調査工 (粒度試験含む)	SPT改良前	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
	SPT改良後	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
計測工	振動・騒音	-	10・20・40・80・160m/1測線	-



第5図 打設配置



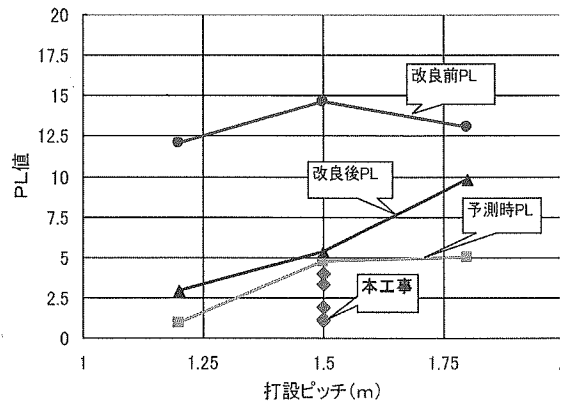
第6図 掘削ブリの粒度分布



第7図 改良前後のN値の比較

3-4 試験工事の結果

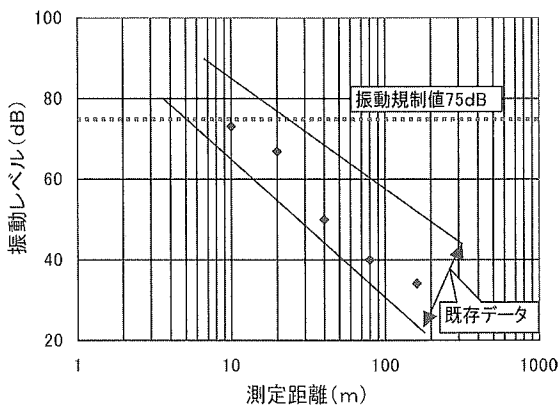
改良前後のN値の比較を第7図に示す。また、改良前後のPL値の比較を第8図に示す。第8図には、ディーブ・パイプロ工法の設計法（SCPのC法と同じで、等価杭径をφ0.6mとする）から予測した改良後N値に基づくPL値も示している。改良前12~15であったPL値は、改良後ピッチ1.2、1.5、1.8mでそれぞれ2.9、5.3、9.8となり、ピッチ1.8mでは改良効果が不十分であった。なお、ここでは、PL<5の場合、非液状化地盤として評価した。予測時PLと改良後PLを



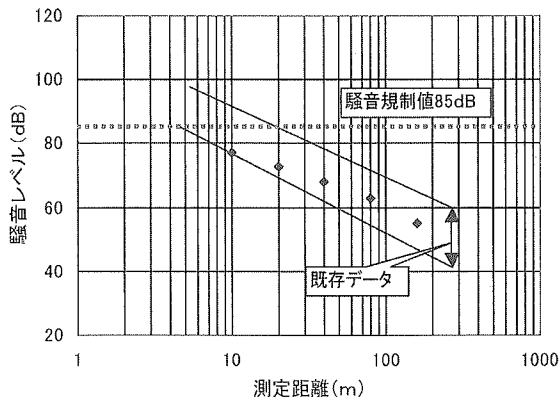
第8図 改良前後のPL値の比較

比較した場合、ピッチ1.5mの場合はほぼ予測値と実測値に基づくものは等しいが、1.2mと1.8mは実測値の方が低くなっている。以上のことから、本工事に対しては、各地点でのボーリングデータに基づき1.5m前後で改良ピッチを定めることとした。

振動・騒音の測定結果を第9図、第10図に示す。図には、過去の測定データも示している。この図から、近傍民家に対しても敷地境界で十分規制値を満足することが明らかとなった。また、振動・騒音とも既存データの範囲内に入っていた。



第9図 振動の測定結果



第10図 騒音の測定結果

3-5 まとめ

現地発生土を活用できる利点から、ディープ・バイプロ工法を用いて液状化対策を計画し、試験工事でその適用性を評価した。本工事では、

掘削ズリの細粒分が当初より増加して来たため、掘削ズリ（細粒分20~25%）と購入砂（細粒分3%）を半々で混合して使用した。改良後のチェックボーリング結果から求めたPL値を第7図に示すが、図からわかるように、ほぼ想定された改良効果が得られている。

4. おわりに

本稿では、ディープ・バイプロ工法の概要と低振動・低騒音および現地発生土利用の利点を活用した適用例を紹介した。

謝辞

最後に、本稿の執筆にあたり、ご協力いただいた関係者の方々へ感謝申し上げますとともに、本稿が今後の液状化対策の一助となれば幸いです。

<参考文献>

- (1) 三原正哉・鶴岡龍彦・末広修三：“ディープ・バイプロ工法と施工例”、平成5年度建設機械と施工法シンポジウム論文集、(社)日本建設機械化協会、pp.48-53 (1993)
- (2) 早坂治敏・蓼沼慶正・早川雅彦・三原正哉：“ディープ・バイプロ工法による盛土法面の液状化対策”、第57回年次学術講演会講演概要集、(社)土木学会、Ⅲ部門、pp.163-164 (2002)

【筆者紹介】

浦野 和彦

(株)安藤・間 技術本部 技術研究所 土木研究部
主席研究員

<主なる業務歴および資格>

博士(工学)、技術士(総合技術監理部門・建設部門)

足立 有史

(株)安藤・間 土木事業本部 技術第二部
道路・造成グループ 課長

<主なる業務歴および資格>

博士(工学)、技術士(建設部門)

<会社の主な事業内容>

土木建築工事の調査、測量、企画、設計、施工、監理。
不動産取引および不動産の保有、利用。土壌の調査・浄化工事の請負。地域・都市開発および環境整備に関する企画、設計。発電および電気、熱等エネルギーの供給事業。

低公害型液状化対策工法

＝ディープ・バイブロ工法の概要と工事事例＝

幹安藤・間 浦野 和彦・足立 有史
Kazuhiko Urano Yuji Adachi

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、東京湾岸部の埋立地等において液状化による甚大な被害が発生した。現在、液状化対策は、港湾部等の埋立地盤のみならず都市部や既設構造物周辺といった様々な施工条件下における工事も増加し、騒音や振動の低減、地盤変状の抑制が可能な工法に対するニーズが高まっている。ここでは、これらの条件に対応するための低公害型液状化対策工法の一つであるディープ・バイブロ工法の概要と適用例について報告する。

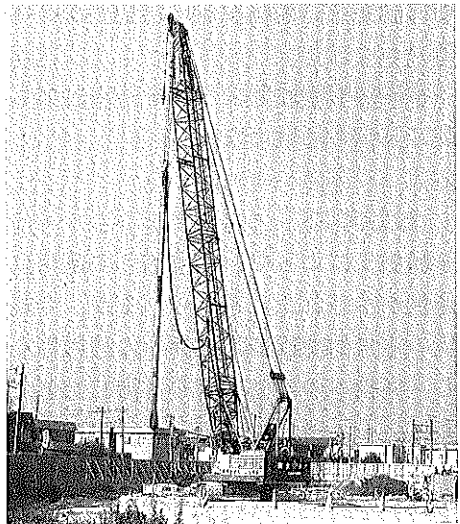


写真1 施工状況全景

2. ディープ・バイブロ工法の概要

ディープ・バイブロ工法は、砂質土の締固め工法の一つに分類されるものであり、バイブロプロットにより水平振動を発生させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら（写真1）、地盤を締固めることにより地盤の密度を高めるものである⁽¹⁾。改良目的としては、砂質系地盤における地震時の液状化防止、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

2-1 工法の特徴

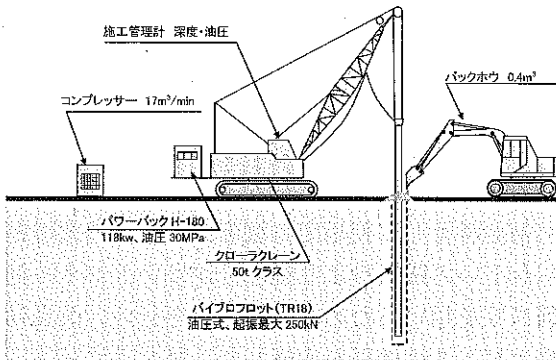
① 抜群の締固め効果：起振力250kNの高出力バイブロプロットを使用しているため、締固め効果が大きく、深い深度まで改良が

可能である。

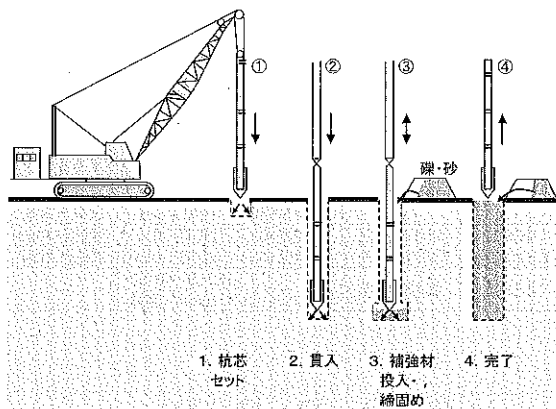
- ② 低振動・低騒音：振動源はロッド先端のみで、従来の振動締固め工法より10dB以上低減できる。
- ③ 既設構造物周辺の施工に最適：従来工法に比較して、施工機はコンパクトで、周辺地盤の変形も小さいため、既設構造物周辺の施工に最適である。
- ④ ドライ方式でクリーンな施工：貫入・材料補給の補助にエアジェットを使用。通常、水を一切使わないため、排水による周辺環境への悪影響がない。

2-2 施工方法

機械構成は、第1図に示すとおり先端部に振動体を有するパイプロット、これを吊り下げるクローラークレーン、パイプロットを起動する油圧パワーバック、エア設備（コンプレッサ）、バックホウ等の補給材を供給する機械および深度、油圧を自動記録する施工管理計からなっている。第2図に施工手順を示す。高振



第1図 システム図



第2図 施工手順

動の水平振動（1,500～3,000rpm）を発生する先端駆動の高出力振動体を地盤に振動貫入させ、地表面から補給材（砂あるいは礫）を供給しながら、引抜・貫入を繰返し、周辺地盤や補給材を締固めることにより、地盤の密度を高めるものである。

3. 適用事例

ディープ・パイプロ工法の施工実績は、2013年12月現在で68件、累計施工延長573,000m、累積施工本数97,000本である。第1表に主な施工実績を示すが、事例1の内、東北新幹線青森車両基地路盤他1工事の工事概要について以下に示す。

3-1 工事概要

- 工事名：青森車両基地路盤他1工事
- 施工場所：青森県青森市
- 施工期間：2001年9月～2002年11月
- 施工数量：約71,000m

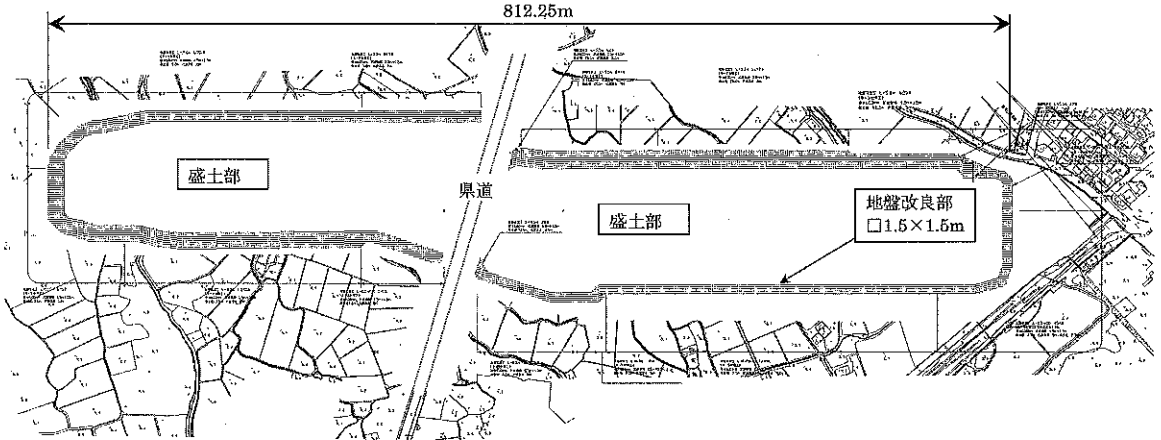
ここでは、本工事に先立って実施した試験工事結果⁽²⁾および本工事の改良結果について報告する。

3-2 地盤概要と改良計画

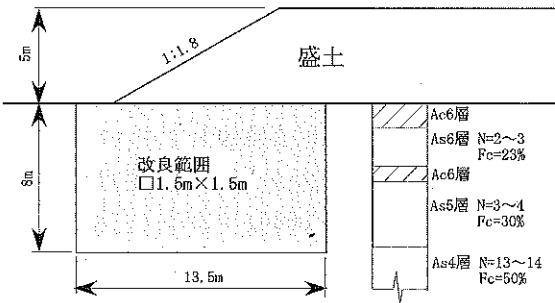
第3図に示す東北新幹線青森車両基地は、新幹線トンネル工事の掘削ズリを沖積砂質地盤上に盛り立てて建設され、外周約2.3km、盛土高約3.8～5.9mの計画となっている。試験工事の結果を踏まえて計画された盛土法面の1例を第4図に示す。地盤は、一般に表層に厚さ1～3mの沖積粘性土層（Ac6）があり（As6が挟

第1表 主な施工実績

事例	企業者	工事名	工事期間	施工数量 (本数、総延長)
1	鉄道建設・運輸施設整備支援機構	東北幹 青森車両基地路盤他1.2工事	2001年9月～2005年3月	約11,300本 約89,000m
2	下関市港湾局	新港地区ふ頭用地等地盤改良廃棄物処分場整備工事	2007年7月～2012年12月	約17,900本 約105,000m
3	東京いすゞ自動車(株)	江東サービスセンター新築工事	2011年3月～2011年6月	約1,100本 約13,900m



第3図 地盤改良平面図



第4図 代表的な施工断面図

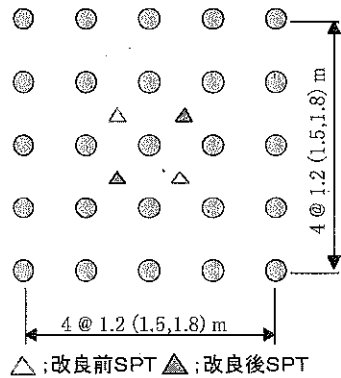
在することもある)、その下にはN値10程度以下の砂層 (As5) が存在する。レベル1地震動 (地表面最大加速度189gal) に対し、As6を含めAs5より上部の砂層部が液状化の可能性が高いと判定され、 Δu 法により盛土の安定性を検討した結果、盛土は所定の安全率を満足しなかった。そこで、地盤を締め液状化抵抗を高めることとした。改良範囲は試験工事結果をもとに盛土の安定性を確保できるように定められた。また、締め工法としては、一部民家に近接していること (離間距離約30m) や経済性等の観点から掘削グリの再利用が望まれる点を考慮して、低振動・低騒音で地盤を締めすることができ、またケーシングを用いず地表面から補給材を供給できるディープ・バイプロを用いることとした。

3-3 試験工事

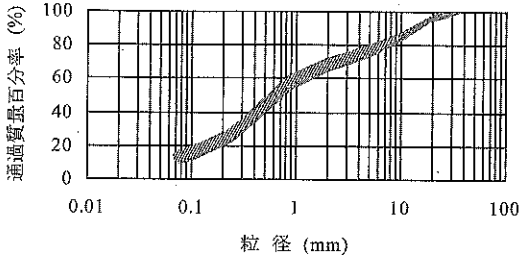
補給材として使用する掘削グりは、通常用いられている購入砂より細粒分が多いトンネル掘削グリーを用いるため、試験工事を行い、改良効果とピッチの関係を評価した。第2表に試験工事の概要を示す。また、第5図、第6図に、打設配置と試験工事に用いた掘削グリの粒度分布

第2表 試験工事の概要

工種	ケース1	ケース2	ケース3	
DV打設	打設ピッチ(m)	□:1.2×1.2	□:1.5×1.5	□:1.8×1.8
	改良長(m)	10	10	10
	施工本数(本)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)
調査工 (粒度試験含む)	SPT改良前	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
	SPT改良後	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
計測工	振動・騒音	—	10・20・40・80・160m/1測線	—



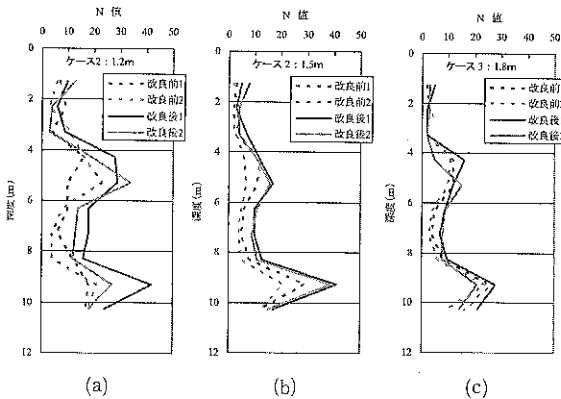
第5図 打設配置



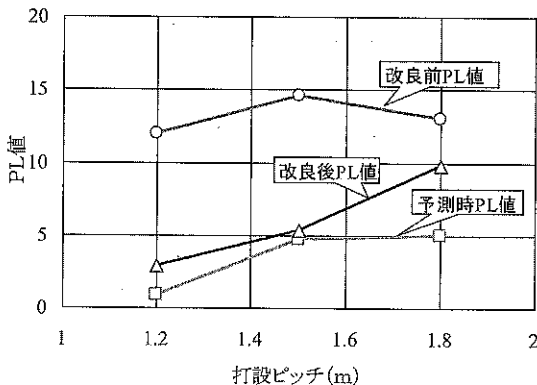
第6図 掘削ズリの粒度分布

を示す。第2表に示すように改良ピッチは1.2、1.5、1.8mの3ケースで、改良効果は鉄道構造物設計基準・同解説 耐震設計に従い、液状化指数PL値を用いて評価した。

試験施工における改良前後のN値の比較を第7図に示す。また、改良前後のPL値の比較を第8図に示す。第8図には、ディープ・パイプ



第7図 改良前後のN値の比較

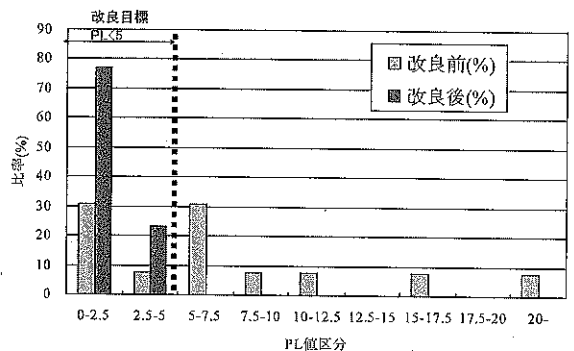


第8図 改良前後のPL値の比較

工法の設計法 (SCPのC法と同じで、等価杭径を $\phi 0.6m$ とする) から予測した改良後N値に基づくPL値 (予測時PL) も示している。改良前12~15であったPL値は、改良後ピッチ1.2、1.5、1.8mでそれぞれ2.9、5.3、9.8となり、ピッチ1.8mでは改良効果が不十分であった。なお、ここでは、 $PL < 5$ の場合、非液状化地盤として評価した。予測時PLと改良後PLを比較した場合、ピッチ1.5mの場合はほぼ予測値と実測値に基づくものは等しいが、1.2mと1.8mは実測値の方が低くなっている。以上のことから、本工事に対しては、各地点でのボーリングデータに基づき1.5mを基本として改良ピッチを定めることとした。

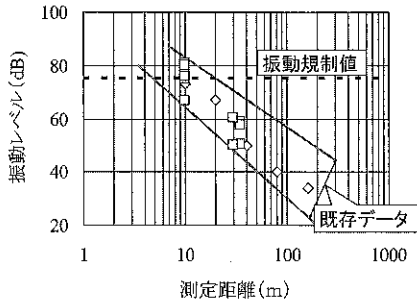
3-4 本工事

本工事では、掘削ズリの細粒分が当初より増加してきたため、掘削ズリ (細粒分20~25%) と購入砂 (細粒分3%) を1:1の割合で混合して使用している。本工事における改良前後のPL値のヒストグラムを第9図に示す。チェックボーリング結果より算定した改良後のPL値は全箇所において5以下となり、改良目標値を満足した。

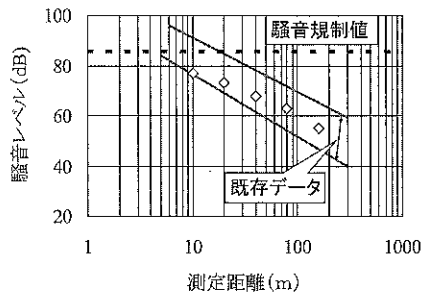


第9図 改良前後のPL値分布の比較

振動・騒音の計測結果 (最大値10点の平均値) を第10図、第11に示す。図には、過去の計測データの範囲も示している。施工地点から近傍民家との最短距離は30mであり、敷地境



第10図 振動の測定結果



第11図 騒音の測定結果

界での計測結果からも十分規制値を満足し施工することができた。また、振動・騒音とも既存データの範囲内であることも確認した。

4. おわりに

ここでは、低公害型液状化対策工法（ディープ・パイプロ工法）の概要と低振動・低騒音および現地発生土利用の利点を活用した適用例を紹介した。

最後に、本稿の執筆にあたり、ご支援、ご協力いただいた関係者の方々へ深く感謝申し上げるとともに、本稿が今後の液状化対策の一助となれば幸いである。

<参考文献>

- (1) 三原正哉・鶴岡龍彦・末広修三：“ディープ・パイプロ工法と施工例”、平成5年度 建設機械と施工法シンポジウム論文集、(社)日本建設機械化協会、pp.48-53 (1993)
- (2) 早坂治敏・蓼沼慶正・早川雅彦・三原正哉：“ディープ・パイプロ工法による盛土法面の液状化対策”、第57回 年次学術講演会講演概要集、(社)土木学会、Ⅲ部門、pp.163-164 (2002)

【筆者紹介】

浦野 和彦

(株)安藤・間 技術本部 技術研究所
土木研究部 主席研究員
<主なる業務歴および資格>
博士(工学)、技術士(総合技術監理部門・建設部門)
<会社の主な事業内容>
●土木建築工事の調査、測量、企画、設計、施工、監理
●不動産取引および不動産の保有、利用
●土壌の調査・浄化工事の請負
●地域・都市開発および環境整備に関する企画、設計
●発電および電気、熱等エネルギーの供給事業

足立 有史

(株)安藤・間 土木事業本部 技術第二部
道路・造成グループ 担当課長
<主なる業務歴および資格>
博士(工学)、技術士(建設部門)

広告製品のカタログ等の資料は、本誌の「**カタログ・資料請求用紙**」または「www.nikko-pb.co.jp」**お問い合わせ**よりご請求下さい。

編集部では、10日毎に処理し、広告主へお知らせします。

広告主より直接読者へその資料が送られますが、お急ぎの場合は直接広告主へご連絡下さい。

ディープ・バイプロ工法 による液状化対策

三原正哉 + 紅林康信 + 飯田 剛

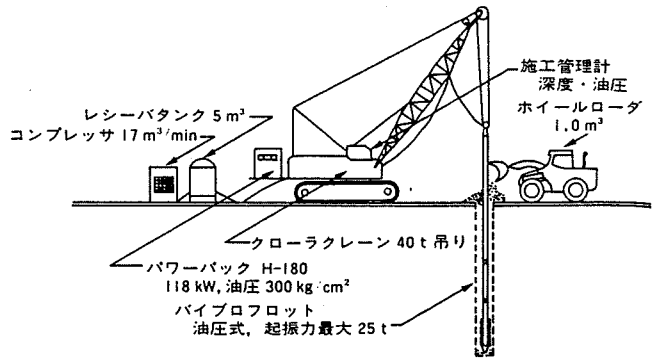


図1 施工機械の構成 (エア使用の場合)

ここに紹介するディープ・バイプロ工法は、ドイツにおいて開発されたもので、ロッド先端に取り付けた大容量バイブレータを用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより軟弱地盤を改良するものである。

当工法は、ほかの振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、地盤変状が小さいこと、施工機がコンパクトであることなどの特徴を有しており、特に都市部や既設構造物近傍での地盤改良に適している。

ここではディープ・バイプロ工法の概要と、千葉市の市街地に建設される高層事務所棟などの複合施設基礎地盤の液状化対策として、当工法を施工した工事例について報告するものである。

ディープ・バイプロ工法の概要

この工法は、砂質土の振動締固め工法の1つに分類さ

れるものであり、振動方向は水平方向、補給材は地表面から供給するタイプ (サフィス・フィード方式) である。また、改良目的としては、緩い砂地盤や礫地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

この工法と同様な工法として、わが国ではバイプロローテーション工法があり、昭和30年代より使用されていた。しかしながら、ほかの振動締固め工法に比較して改良効果が低いこと、改良深度に限界があることなどから、近年施工実績が減少している。

表1は、バイプロフロットの容量を当工法のものとして現在日本で使用されているバイプロローテーション工法のものとの比較したものであり、当工法のほうが起振力で5~10倍もある。バイプロローテーション工法と同様、当工法においても海外では貫入・補給材供給の補助として水を使用しているが、起振力が大きいため水を使用しなくても圧縮空気を補助として使用することにより

表1 バイプロフロットの諸元

諸元	バイプロローテーション (日本国内)		ディープ・バイプロ工法
	15 HP 型	30 HP 型	150 HP
モータータイプ	15 HP 型	30 HP 型	150 HP
電動機 (kW)	11	22	118 (油圧式)
振動数 (rpm)	1420	1420	1500~Max 3000
起振力 (t)	2.5	5.1	約 25
起振点振幅 (mm)	4~5	6~7	14
全重量 (t)	1.7	4.3	振動部+アイソレーター1.3t
有効長 (m)	7	15	延長パイプ 0.22 t/m
ゲーシング外径 (mm)	φ 319	φ 381	実績 Max 30
フィン外径 (mm)	φ 469	φ 500	振動部 φ 325
モーター取付位置	本体上部	本体内部下部	延長パイプ φ 300
構造	一体式	継足式	継足式

文献1) を修正, 加筆

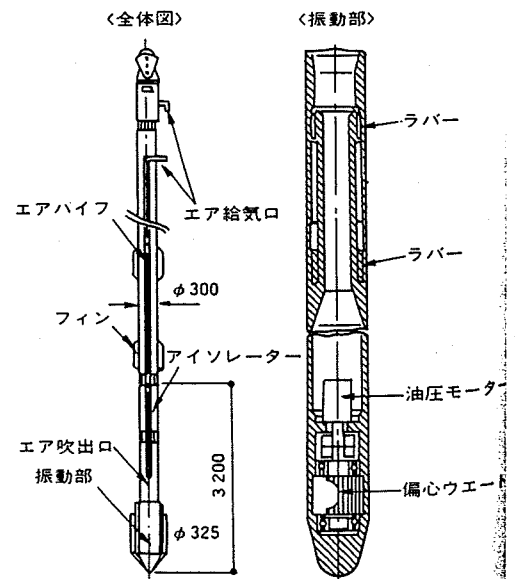
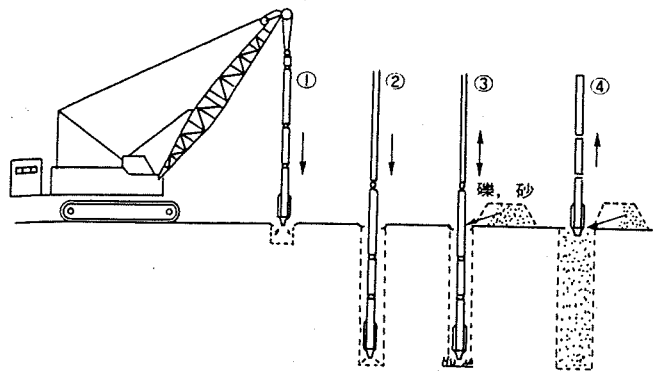


図2 バイプロフロットの形状



- ①杭芯セット：所定の位置にパイプロフロットをセットする
 - ②貫入：パイプロフロットを起動し、エアあるいは水を使用して所定深度まで貫入する
 - ③引上げ、中詰め材投入
 - ④中詰め材締固め
- ③、④の作業を繰り返しながら、所定面まで仕上げる

図3 施工方法

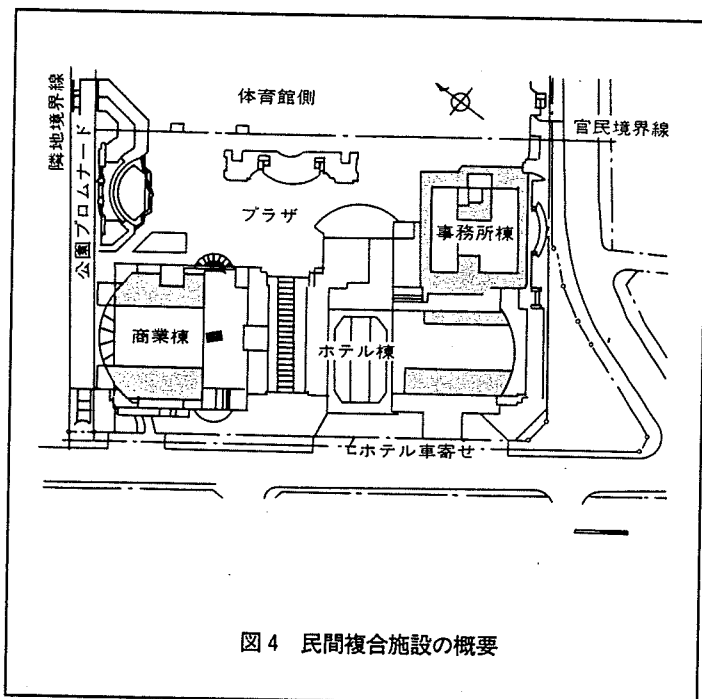


図4 民間複合施設の概要

貫入可能な地盤も多いと考えられ、排水処理の問題のない水の代わりにエアを使用する施工法の開発も行い、地盤条件による使い分けを可能とした。

施工機械の構成を図1に示す。使用する機械は先端部に振動体を有するパイプロフロット、これを吊り下げるクローラークレーン（35～50tクラス）、パイプロフロットを起動する油圧パワー・パック（H-180）、エア設備（コンプレッサ、10.5 kg/cm²クラス）あるいは水設備（給水ポンプ、7 kg/cm²、15 m³/hr）、補給材を供給するホイールローダおよび施工管理計からなる。

振動締固めの源となるパイプロフロットの形状を図2に示す。パイプロフロットは先端部に偏心ウエートがあり、これをその直上部にある油圧モーターで回転させることにより、パイプロフロットを水平方向に振動させる。

この振動体の上部には、図2に示すように上下に硬質のラバーが取り付けられたアイソレーターと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動部の振動を上部の延長チューブに伝達しない機構となっている。

当工法の施工法を図3に示すが、先端部で駆動する振動体で、締固めが必要な地盤を所定の深さで直接締め固めることができ、締固め効率が高い。施工時の管理にはパイプロフロットの貫入・引き上げ時の深度と油圧モーターの圧力を施工管理計により自動記録している。補給材の投入量はホイールローダのバケット回数より算出する。

また、締固め後の改良効果は、貫入地点間の中央において、標準貫入試験を実施し確認する。

地盤改良工事

1) 工事概要

この工事は、JR 総武本線千葉駅の南約1.2 kmの千葉市場跡地の再開発事業として進められている「(仮称)千葉市総合体育館・総合施設」のうち、民間複合施設の基礎地盤の液状化対策としてなされたものである。民間複合施設は、地上29階建の事務所棟ならびに地上21階建のホテル棟その他からなるものである。図4に民間複合施設の概要を示す。民間複合施設の基礎面深さは、TP-12および-10 mであり、基礎形式は杭基礎（鋼管杭φ800、中掘先端根固め工法）で、浮上がり防止および地震時の転倒防止のための永久アンカー（VSL-J1工法）の施工も行われた。

敷地の地盤は、洪積層の成田層群により形成される埋没地形の上に軟弱な沖積層が分布する地盤であり、その埋没地形により、平面的には中央部の埋没谷底面とその両側に位置する埋没波食台面に区分される。東側の埋没波食台には、今回の改良対象層であるDs1層と表示する上部洪積砂層が比較的厚く存在し、ほかの部分にはほとんど存在しない。図5に東側埋没波食台の土質柱状図を示す。

基礎構造の設計では、『耐用年限中に繰り返し発生する可能性のある程度の地震（25 kineレベルの地震）に対しては、地盤は液状化させない』との基本方針を採用している。そこで、原地盤から採取した不攪乱試料によ

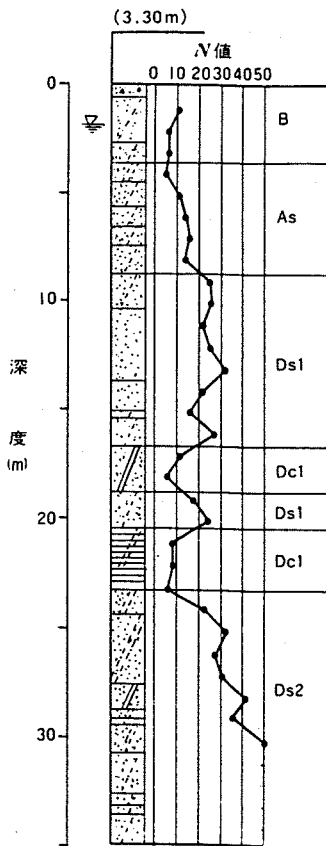


図5 土質柱状図 (原地盤)

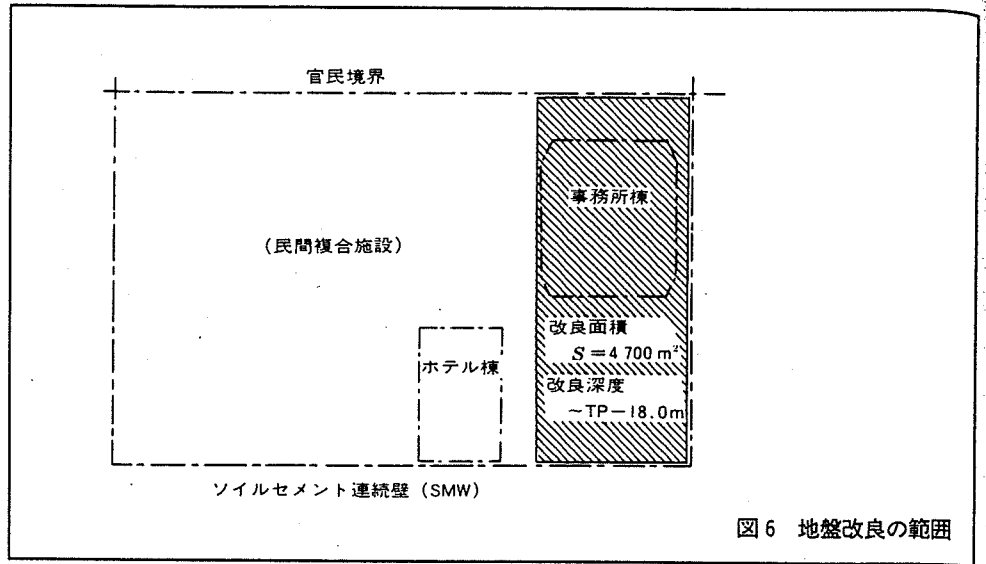


図6 地盤改良の範囲

表2 試験ケースの一覧

ケース	施工方法	本数	打設ピッチ	補給材	地盤調査
ケース1	D.V	9	正三角形 2.3m	3号砕石	・標準貫入試験 ・孔内載荷試験 ・サンプリング
ケース2	先行掘り+D.V	7	同上	同上	・標準貫入試験
ケース3	D.V	7	正三角形 2.0m	同上	・標準貫入試験 ・孔内載荷試験 ・サンプリング

*サンプリングした試料は液状化試験に使用

る液状化試験・動的変形試験を実施するとともに、4つの25 kine に規準化した地震波を用いた地震応答解析を実施し、詳細法による液状化判定を実施した。その結果、As層(沖積砂層)およびDs1層の一部で液状化の可能性があると判明したが、As層はほぼすべてが掘削される。一方、Ds1層は洪積層であるが液状化判定結果をふまえ、N値が5~50(平均21)とバラつきが大きいこと、基礎面直下に存在することを考慮し、地盤改良を実施することとした。

改良範囲は、Ds1層の分布をもとに事務所棟部を含みソイルセメント地中壁(SMW)で囲まれた図6に示す範囲とした。また、改良深度はDs1層の深度分布よりTP-18mまでとした。

地盤改良工法としては、改良効果の信頼性の高い振動締固め工法の中から、都市部での施工のあることを考慮し、低振動・低騒音であるディープ・パイプロ工法を選定した。

2) 試験工事

施工に先立ち、以下の目的で試験工事を実施した。

- ① 施工法・施工ピッチの決定
- ② 改良後の地盤物性の確認

③ 振動・騒音のチェック

④ ソイルセメント地中壁への影響チェック

試験工事は原地盤(TP+2m)より実施し、施工深度は20mで下部9mを改良し、上部11mは空打ちとした。

当初、エアを使用するドライ施工を試みたが、Ds1層の間に存在するDc1層(洪積粘性土層)の貫入が困難であったため、水を使用する方法(ウェット方式と呼ぶ)で行うことにした。

表2に試験工事のケース一覧を示す。ここで、ケース2の先行掘りとは、ディープ・パイプロ(D.Vと表示)の施工前にジェット・カッター(水圧約120 kg/cm²)を取り付けたケーシング(φ400)を所定の深度まで貫入させ引き上げる作業を示し、工期短縮の1つの方法として試験したものである。

改良後の杭間で実施した標準貫入試験結果では、打設ピッチ・施工方法の違いによる明確な差は認められなかった。図7は、改良対象層であるDs1層における改良前後のN値の分布を示したものである。Ds1層では、改良前のN値が20未満の地点が50%近くあったが、改良後のN値は点数は少ないがすべて20以上となっている。

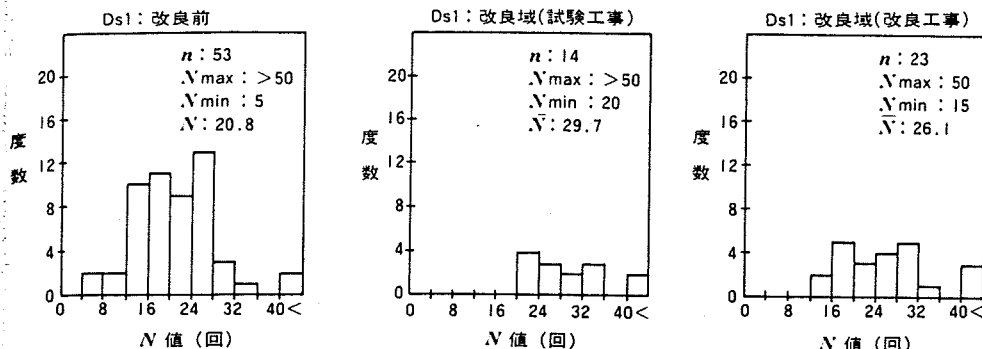


図7 改良前後のN値の分布(Ds層)

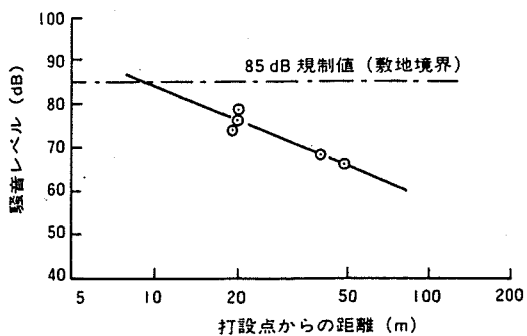
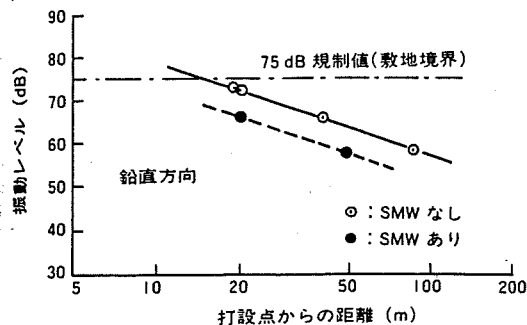


図8 振動・騒音測定結果

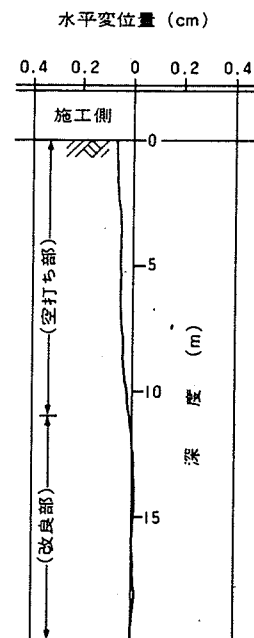


図9 ソイルセメント連続壁の変形結果

表3 試験結果の一覧

ケース	土層区分	孔内横方向載荷試験(L.L.T)					液状化応力比 ($\epsilon=5\%$) ($N=15$ 回)
		深度 GL-(m)	P_0 (kgf/cm ²)	P_Y (kgf/cm ²)	E_M (kgf/cm ²)	$K_0 = \frac{P_0}{\sigma_v}$	
ケース1	Ds1上部	12	1.54	4.88	241	1.39	0.34
	Dc1	16	1.03	2.53	92	0.75	—
	Ds1下部	17.5	1.51	4.86	234	1.01	0.36
ケース2	Ds1上部	12	1.38	4.90	225	1.17	0.38
	Dc1	16	1.78	2.34	137	1.22	—
	Ds1下部	17.5	1.31	4.42	188	0.84	0.34

なお、図7には当工事終了後の地盤調査結果も示されている。

表3に孔内横方向載荷試験(L.L.T)および液状化試験の結果を示す。これらの試験結果をもとに、前述した地震応答解析結果を用いた液状化判定を行った結果、液状化の可能性が少ないことが示された。

図8にディープ・バイプロ施工時の振動・騒音測定結果を示す。振動では打設点から15m以上、騒音では打設点から10m以上離れると規制値を満足することがわかる。施工に立ち合ったときの人的感覚からも振動・騒音に対して近隣周辺から苦情が発生するおそれはないものと思われた。

ディープ・バイプロの施工が地中壁に与える影響を把握するため、ケース1の打設前後で打設域から1m離れている地中壁に対して、地中壁芯材(H鋼)の水平変位の測定を挿入型傾斜計を用いて行った。測定結果を

図9に示すが、最大水平変位は0.065cmと非常に小さく、地中壁への影響は考えられない。また、変形状態を詳細に見ると、改良部では打設と反対側にわずかに膨れており、空打ち部では逆に打設側に傾いている。これは、空打ち部では貫入孔に現地発生土を埋め戻しただけであるためと考えられる。

3) 改良工事

試験工事結果をもとに定めた、改良工事の仕様・諸元は以下のとおりである。

- 施工法：ウェット方式
- 打設長：15m(5m掘削盤より施工)

改良部は下部9m、上部6mは空打ち

- 打設ピッチ：2.3m正三角形配置
- 管理目標値：N値20以上
- 補給材：3号碎石、0.38m³/m以上
- 打設本数：1059本

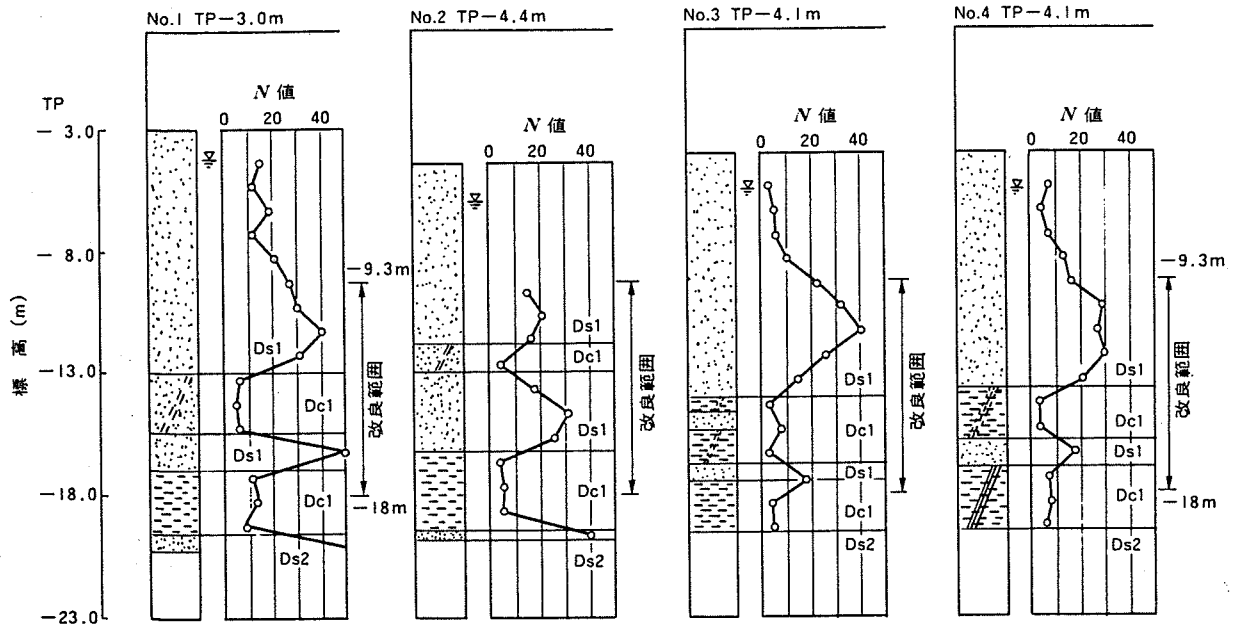


図10 改良後の標準貫入試験結果 (改良工事)

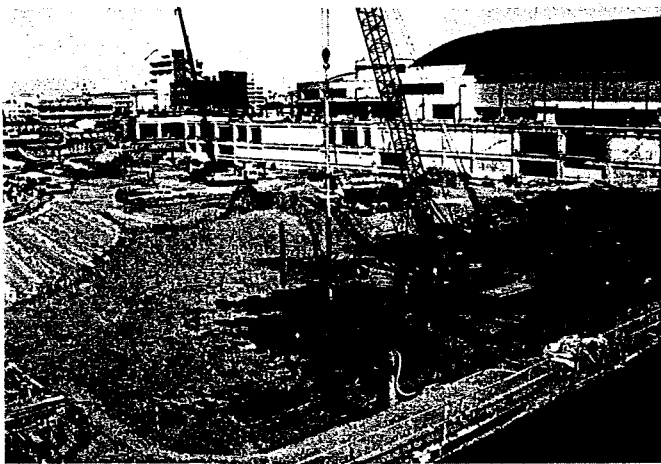


写真1 施工状況

他工種との関係より施工機は1台のみ使用し、実稼動67日ですべての施工を行い、振動・騒音に対する苦情もなく仕事を終了することができた。補給材は、改良部m当り0.38 m³/m以上使用することとしたが、実績では平均で0.42 m³/mとなった。施工状況を写真1に示す。

改良後、杭間で実施した標準貫入試験結果を図10に示す。また、改良後のN値の分布は図7に示したとおりである。

改良対象層であるDs1層のN値の分布を見ると、改良部全体の平均ではN=26.1であり、全体としては十分締め固められていると評価できる。ただし、試験工事より定められた目標値20以上を満足しない点が数点生じた。

この主な原因として、試験工事ではTP+2m盤より改良および地盤調査が行われたのに対し、改良工事では、6m掘削したTP-4m盤で改良および地盤調査が行わ

れたため、有効上載圧で約0.5 kg/cm²の差が生じたためと考えられる。

この点を考慮すると、改良工事後の液状化抵抗は、試験工事時のものと同等以上と考えられる。

今回は、水を使用するウェット方式で行ったが、掘削面下での施工であり、ディープウェルを設置していたが十分な排水ができなかったため、釜場を設け、土砂を含んだ排水を釜場で沈澱させ、うわ水をポンプ排水によって処理した。

ディープ・パイロ工法は導入されて日も浅く、オペレータの不慣れもあり、最初の1か月間の平均施工本数は11本/日であったが、3か月目には18本/日まで改善された。また、市街地での施工であったが、問題なく工事を終了することができ、低振動・低騒音性を実証できたものと考えている。

今後、ウォーターフロントの開発など、液状化の可能性のある埋立地での建築工事の増加が見込まれるが、近隣や既設の公共施設(共同溝など)に与える影響の少ない工法として、当工法が有効でないかと考えられる。

最後に、当工法を実施するにあたり、ご指導・ご協力いただいた関係者の皆様に感謝の意を表します。

(みはら まさや、くればやし やすのぶ)
 (いいた たけし)

参考文献

- 1) 田中誠一; "3.地盤改良工法③パイロフローテーション工法", 基礎工, Vol.4, No.5, pp.88~95, 1976.5

ディーブ・バイブロ工法の概要と施工例

ハザマ 技術・設計第一部 三原正哉

1. まえがき

ディーブ・バイブロ工法は、振動締固め工法の一つで、ロッド先端に取付けた大容量バイブレーター（バイブロフロット）を用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱な地盤を改良するものである。

本工法は、他の振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、周辺地盤の変状が小さいこと、施工機械がコンパクトであることなどの特徴を有しており、特に都市部や既設構造物近傍での地盤改良に適している。

現在、ディーブ・バイブロ工法と呼んでいるものには、補給材の供給方式の違いによって2つのものがある。1つは、補給材を地表面から供給する方式で、サーフィスフィード方式と呼んでいる。他の1つは、補給材供給用パイプをバイブロフロットに抱き合わせ、パイプ下端より地中に補給材を供給する方式で、ボトムフィード方式と呼んでいる。両方式とも、振動締固めに用いるバイブロフロットは同じものである。

サーフィスフィード方式に関しては、1989年10月に、(株)間組・日本海工(株)・青山機工(株)の3社でディーブ・バイブロ工法研究会を設立し、実験工事などを通しての改良開発を行うとともに、実施工への展開を図ってきた。

ボトムフィード方式については、1992年6月から実験工事に着手し改良・開発を進めているものであり、実施工の件数は1件である。

本文では、ディーブ・バイブロ工法（以下、D.V.工法と略す）の概略と、サーフィスフィード方式による施工事例について報告する。

2. サーフィスフィード方式

2.1 概要

本方式は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする砂質土の締固め工法の一つであるバイブロフローテーション工法に分類される工法である。改良目的としては緩い砂地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加、などが挙げられる。

表-1 バイブロフロットの諸元

諸元	バイブロフローテーション (日本国内)		ディーブ・バイブロ工法
	15FP型	30FP型	150FP
モータタイプ			
電動機 (kW)	11	22	118 (油圧式)
振動数 (rpm)	1,420	1,420	1,500~Max 3,000
起振力 (tf)	2.5	5.1	約25
起振点振幅 (mm)	4~5	6~7	14
全重量 (tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3tf
有効長 (m)	7	15	延長パイプ 0.22tf/m
ケーシング外径 (mm)	φ319	φ381	実積 Max 30
フィン外径 (mm)	φ469	φ500	振動部 φ325
モータ取付け位置	本体上部	本体内蔵下部	延長パイプ φ300
構造	一体式	継足式	本体内蔵下部 継足式

表-1は、バイプロフロットの容量をD.V.工法のものとして現在日本で使用されているバイプロフローテーション工法のものとして比較したものである。D.V.工法の方が起振力で5～10倍と大きい。海外でも本方式ではバイプロフローテーション工法と同様、貫入・補給材供給の補助として水を使用している。しかし、起振力が大きいため、水の代わりに排水処理の不要な圧縮空気を使用することにより貫入可能な地盤も多いと考えられることから、圧縮空気を使用する施工法の開発を行い、地盤条件による使い分けを可能とした。

2. 2 施工機械と施工方法

施工機械は、先端部に振動体を有するバイプロフロット、これを吊り下げるクローラクレーン、エア設備（コンプレッサ）、バイプロフロットを起動する油圧パワーパック（H-180）、補強材を供給するトラクタショベル、および深度・油圧を自動記録する施工管理計からなっている。また、地盤条件によっては、エア設備の代わりに水設備（給水ポンプ、水槽）が用いられる。

図-1に、空気使用時の施工機械の構成例を示す。

バイプロフロットは、D.V.工法の主体をなすものであり、詳細を図-2に示す。

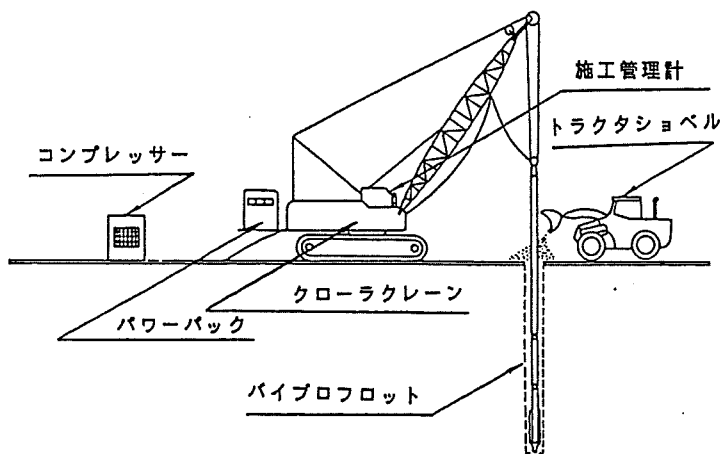


図-1 施工機械の構成 (SF方式)

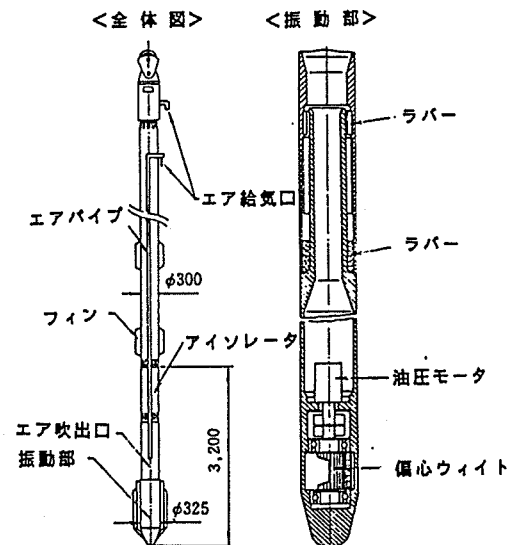


図-2 バイプロフロットの詳細図

バイプロフロットは先端部に偏心ウェイトがあり、これを直上にある油圧モータで回転させることにより、バイプロフロットを水平方向に振動させる仕組みになっている。この振動体の上部には、上下に硬質のラバーを取付けたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動体の振動が上部の延長パイプに伝達しない機構となっている。

施工管理計は、バイプロフロット先端部の深度を示す深度計と油圧モータの圧力を示す油圧計からなっている。

施工手順を図-3に示す。

補給材としては、砂、れきあるいはスラグが用いられる。補給材として使用する砂は、細粒分含有率（ $75\mu\text{m}$ 以下の含有率）が5%以下のものとしている。また碎石としては、

φ20~40mm程度のものを使用することが多い。水を使用する施工法では補給材として碎石を使用する必要がある。施工管理に関しては、従来のパイプ「フローテーション」工法やロッドコンパクション工法と同様な考え方で行っており、主な管理項目は、深度、補給材量、地表面沈下量である。

また、改良後の品質管理としては、杭間で標準貫入試験を実施するのが通常である。

2. 3 適用条件

本方式では、地表面から補給材を投入するため、特殊な場合を除き、陸上施工可能な地盤を対象としている。

本方式が適応可能な地盤の粒度分布を図-4に示す。また、対象地盤中に、よく締まった中間砂層が存在する場合、

これまでの実績より、空気使用時ではN値25以下、水使用時N値30以下の地盤であれば適応可能である。

施工可能深度は地盤条件・施工条件により異なるが、標準的には5~20m、最大で25mである。

2. 4 設計法

既に述べたように、本方式は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする締固め工法の一つである。締固め工法は液状化対策工法の中でも実地震においてその効果が確認されている数少ない工法であり、改良効果の確実性という面では信頼性が高い。

締固め工法の設計法は、現状では密度中心に考えられている。本方式も図-5のフローにそって打設ピッチを算定する。

なお、本方式の改良効果は、対象とする地盤条件（原地盤N値、細粒分含有率 F_c 、層厚、粘性土層の有無）などにより左右される度合いが大きい。そこで、改良仕様の決定にあたっては、試験施工を実施し、その結果に基づき決定することが望ましい。

砂の圧入率 V は、分担面積と m 当りの補給砂量の比で表わされるものである。 m 当りの

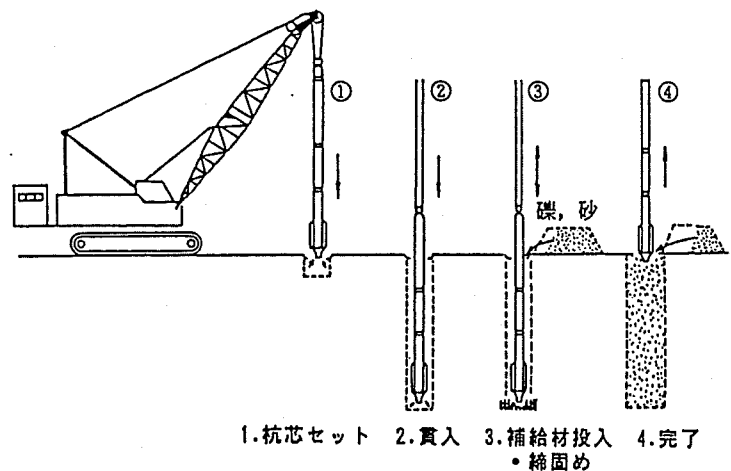


図-3 施工手順 (SF方式)

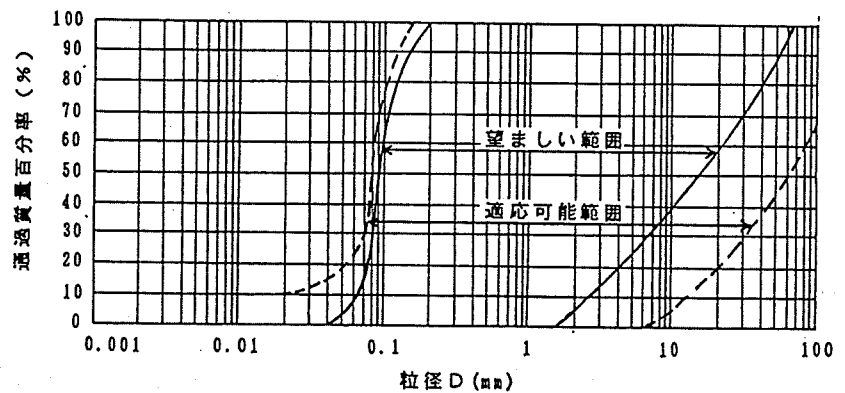


図-4 適用可能な粒度分布 (SF方式)

補給砂量 S は、地盤条件などによって異なるが、これまでの実績から、 $0.28 \sim 0.38 \text{ m}^3/\text{m}$ の値が得られている。

3. ボトムフィード方式

3.1 概要

ボトムフィード方式については、実験工事での施工性の確認、および試験工事を含めた実施工を1件実施した段階である。ここでは、施工機・施工法を中心に概要を示す。

先に述べたように、本方式はサーフィスフィード方式で用いているものと同じバイブロフロットを使用し、補給材供給用パイプをバイブロフロットに抱き合わせ、パイプ下端より地中に補給材を供給することができるようにしたものである。

サーフィスフィード方式では、地表面から補給材を供給する方式であるため、粘性土と砂の互層地盤や最近液状化の可能性が議論されているシルト分を多く含むような地盤では、補給材を確実にバイブロフロット下端に供給するのが困難な場合がある。ボトムフィード方式はサーフィスフィード方式のこのような課題に対処し、適用地盤の拡大を図ろうとしたものである。また、補給材の管理においても、サーフィスフィード方式では打設点ごとの総投入量を管理することになるが、ボトムフィード方式ではフロット先端に直接補給材を供給するため各深度ごとの投入量管理も可能となる。

施工機については、補給材供給用パイプに補給材を供給するためホッパーが必要であることや、貫入力をあげるため押し込み用ウィンチを装備させるため、リーダタイプのものを用いている。

3.2 施工機械と施工方法

ベースマシンとしては、ドイツ・バウアー社が開発した汎用基礎工事用機械（HBM-4）を用い、図-6に示すボトムフィード用機材がリーダに吊り下げられる形と

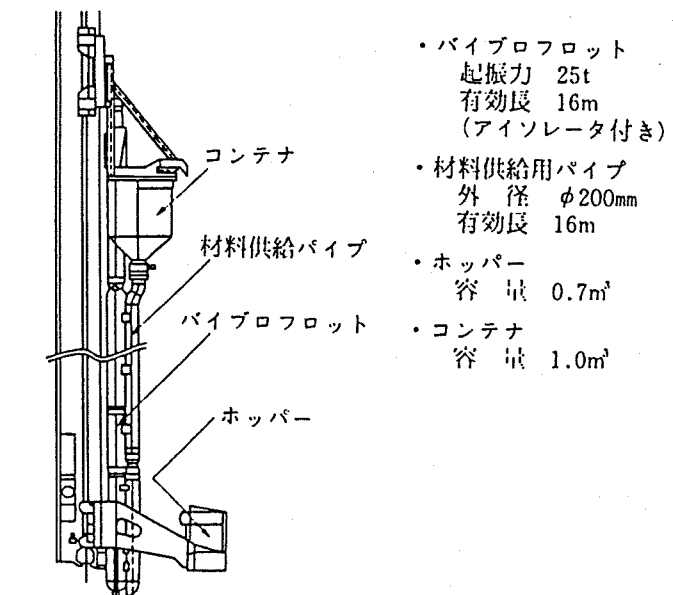
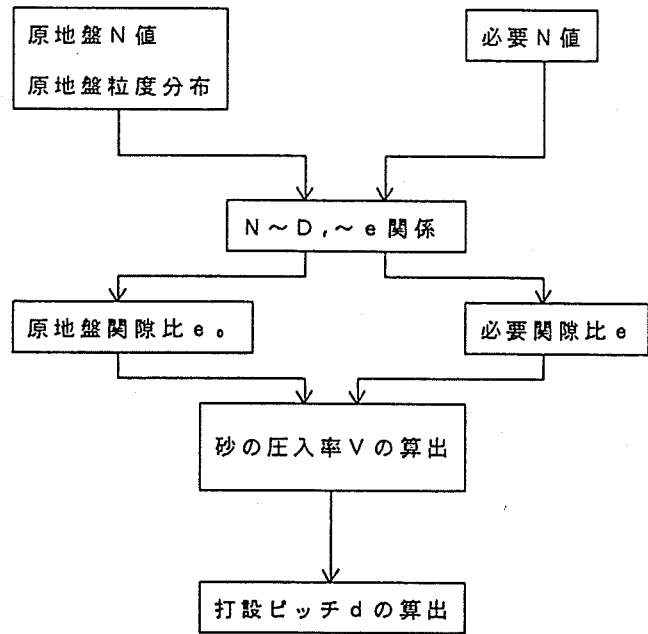
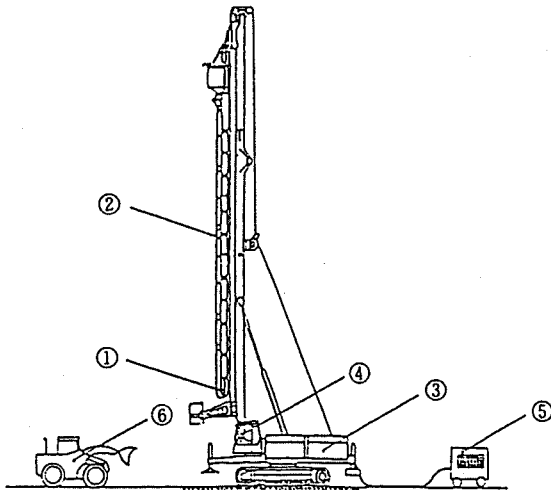


図-6 ボトムフィード用機材

なっている。バイプロフロットを稼働させるためのパワーパックは、ベースマシン用のものと兼用となっている。

施工機械の構成を図-7に示す。

ホイールローダはホッパーへの材料の供給、コンプレッサーは補給材供給パイプ管内の圧気および貫入補助としてのバイプロフロット先端からのエア噴出のために使用される。



番号	品名	備考
①	バイプロフロット	油圧式, 最大起振力25t, 振動周波数max. 3500rpm φ300, 有効長16m, アイソレータ付き
②	中詰め材供給パイプ	外径φ220, 内径φ200, 有効長16m
③	打設機	クローラ式, パワーバック(油圧300kgf/cm ² , 150kW) を装備, リード長25m, 全装備重量75t
④	施工管理計	深度, 油圧, 中詰め材供給量を測定。 ベースマシンの操作室に設置。
⑤	エア設備	コンプレッサー(圧力7kgf/cm ² , 供給量10m ³ /min)
⑥	ホイールローダ	0.8m ³

図-7 施工機械の構成 (BF方式)

施工手順を図-8に示す。施工手順に従って施工要領を示すと以下のとおりである。

①本体移動； 杭芯位置にベースマシンを移動する。

②杭芯セット； ベースマシン上部の回転、リードシャフトの前後により杭芯位置にフロットをセットする。このとき、フロットの鉛直性をチェックし、リードの傾斜により修正を行う。

③材料供給； フロット先端を地表に着けた状態で供給パイプの先端まで補給材を満たす。

④貫入； バイブレータを振動させ、エアジェットを使用しながらウィンチを併用しフロットを所定深度まで貫入させる。

⑤造成； 所定のストロークで引上げ、貫入・締固めを繰り返しながら締め固まった杭を造成する。このとき、随時コンテナを通し、補給材をパイプ内に供給する。

⑥締固め完了； 造成作業を所定のストロークで地表面に達するまで行い、完了する。

補給材としては、現状、碎石あるいは砂利を用いている。

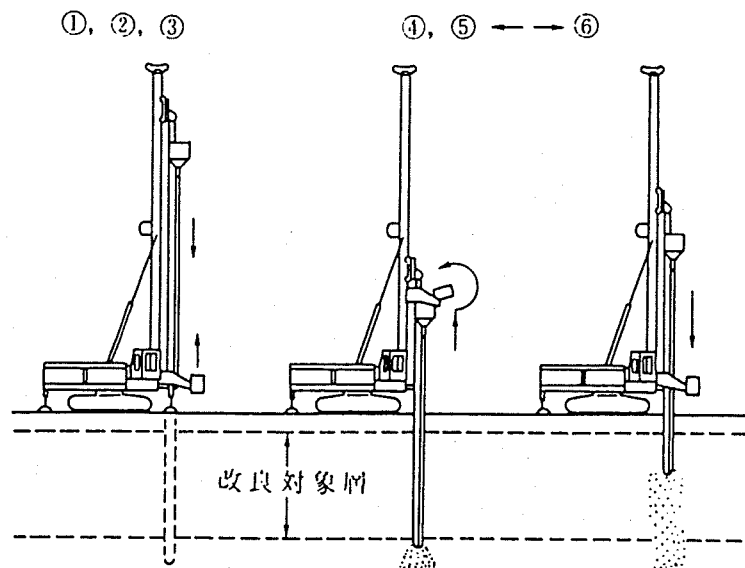


図-8 施工手順 (BF方式)

施工管理項目は、バイプロロット先端部の深度、油圧モータの圧力、および補給材の供給量である。補給材の供給量の測定には、コンテナ上部に設けた超音波センサを使用し、コンテナ内の材料表面の高さを常時測定し、その高さの変化により各深度における補給材の供給量を求めている。

本方式では、引上げ、貫入・締固めのストローク調整により、出来上り杭径を変えることができ、通常φ600～φ800が可能である。

4. 施工例

4.1 施工実績

サーフィスフィード方式の施工実績は10数例で、全て液状化対策として、振動・騒音や地盤変状の問題から、本工法が採用されたものである。対象としては、タンク基礎、護岸背後地盤、都市部の建築物基礎地盤等があげられる。

また、ボトムフィード方式の施工実績は既に述べたように1件であり、埋立て地護岸近傍の液状化対策として実施した。

以下、施工例として、サーフィスフィード方式による「タンク基礎」の改良工事について概要を示す。

4.2 「タンク基礎工事」

本工事は、稼働中のタンク群の中に新たに石油タンクを2基（1500kℓ、2000kℓ）増設するにあたり、基礎地盤の液状化対策として実施したものである。

(1) 地盤概要

本地盤は、砂を主体とした昭和40年代後半の埋立て地盤である。埋立て時にはサンドレーン工法、サンドコンパクションパイル工法によって地盤改良された。その後、表層2m程度は山土や建設残土により盛土がなされ、建設残土には最大80cm角程度のコンクリート片も含まれていた。

タンクを新設するにあたり地盤

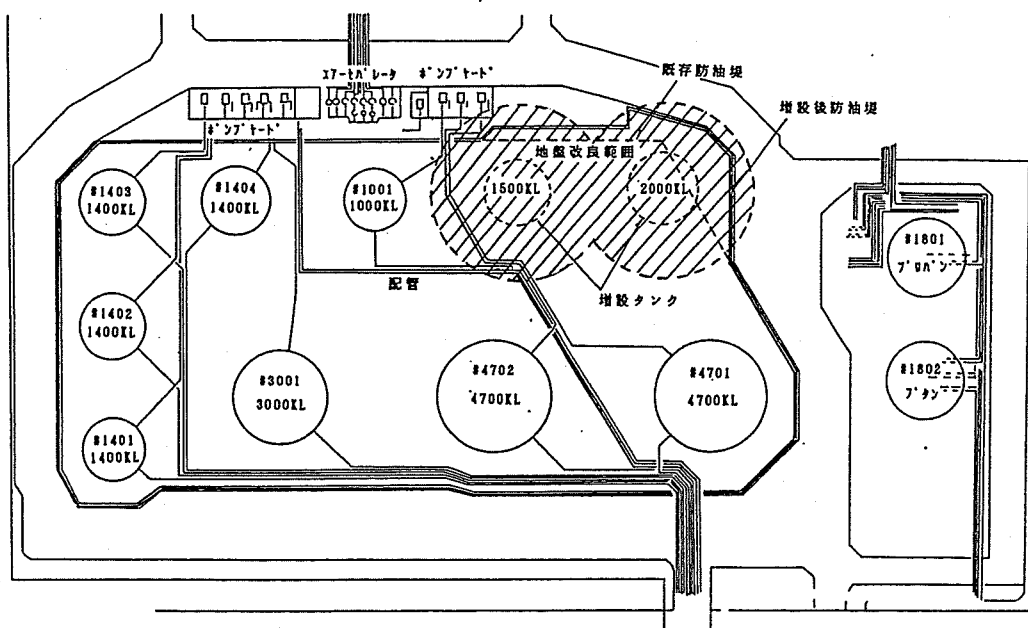


図-9 改良範囲の平面配置

調査を実施した結果、埋立て砂層部で「危険物の規制に関する規則」で定められている必要N値を満たさない部分があり、地盤改良を行うこととなった。

(2) 施工方法

a) 施工条件

図-9に改良範囲の平面配置を示す。

図に示されるように、改良範囲は直近のタンクとは5m程度しか離れていないこと、ポンプヤード（直接基礎で鑄鉄製配管があり、変形は許されない）が隣接していること、配管（スリーパと呼ばれる直接基礎で支持されている）が改良範囲内にあることなど、地盤変形に対し非常に厳しい条件となっている。

b) 試験工事

改良工事に先立ち、①改良効果の確認、②周辺地盤変状の調査、③振動・騒音のチェックの目的で試験工事を実施した。

試験工事は、埋立て時にサンドドレーン工法とサンドコンパクションパイル工法が施工された二つのエリアで実施した。施工法はドライ方式（エアを使用する方式）で、改良深度は9m、改良ピッチはともに2.0mの正方形配置、打設本数は1ケース16本であった。改良前後のN値の測定結果の一例を図-10に、規則に定められている目標N値と改良後N値との関係を図-11に示す。

これらの図より改良効果に問題がないこと、また試験工事時の地盤変形の測定結果から地盤変状についても問題がないことが示された。

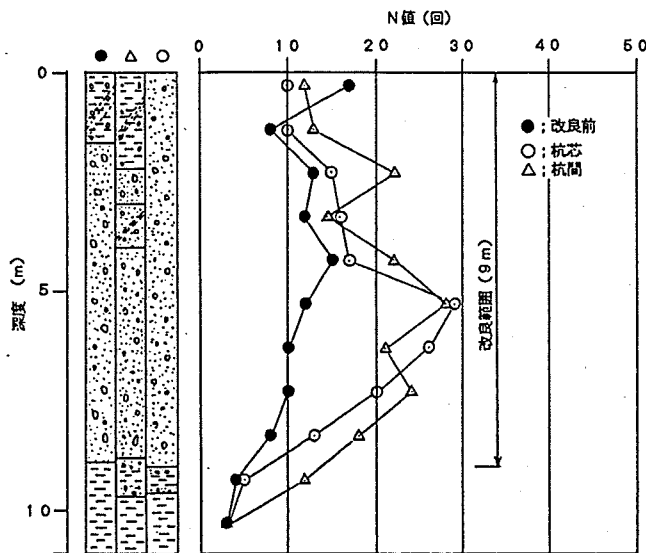


図-10 改良前後のN値の比較

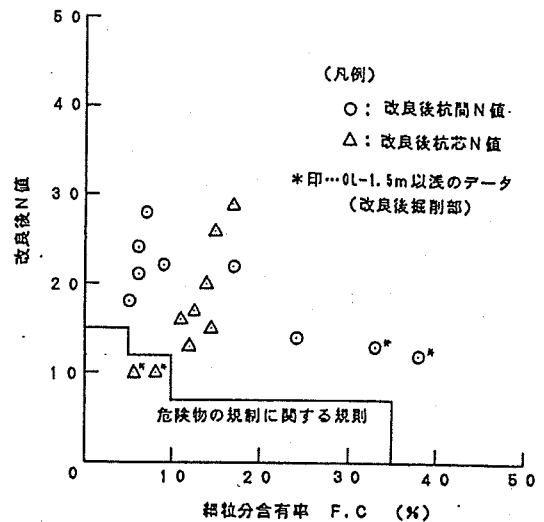


図-11 改良効果の比較

c) 改良工事

試験工事の結果をもとに、以下の仕様・諸元で改良工事を実施した。

- ・施工法：ドライ方式（エア使用）
- ・打設長：平均10m、ただし、深度計・油圧計により粘土層への貫入を確認。
- ・補給材：海砂、 $0.28\text{m}^3/\text{m}$ 以上
- ・打設本数：431本

施工機は1台で、配管の破損などの問題もなく工事を終了した。なお、先に述べたように本地点は表層部にコンクリート片などが存在し、サイクルタイムの増加、バイプロロット先端部の磨耗等施工上の障害となった。

d) 改良結果

改良後杭間で実施した標準貫入試験結果(2,000klタンク部)を図-12に示す。埋立て砂層部のN値は平均で20程度まで上昇した。N値が15を下まわっている地点については粒度試験を実施し、規則に定められている細粒分含有率に対する目標N値を満足していることを確認した。

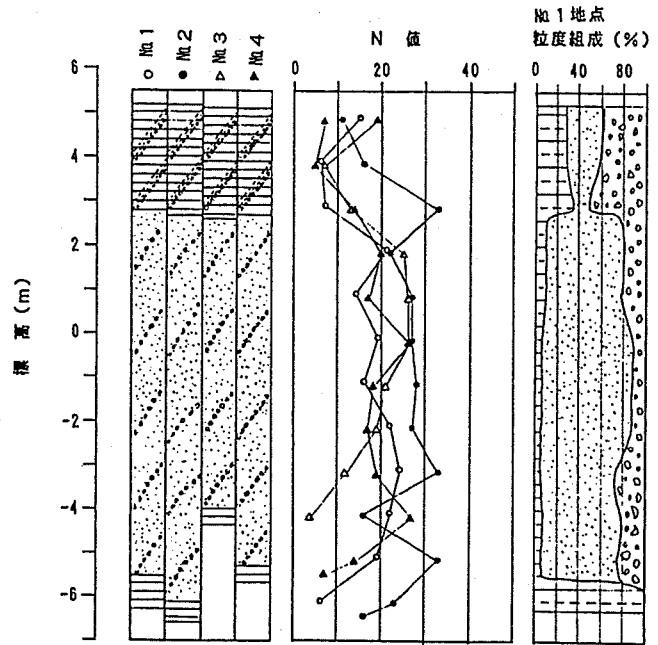


図-12 改良後の杭間N値

5. 周辺への影響

D.V.工法の大きな特長は、従来の振動締固め工法に比較して、低振動・低騒音、周辺地盤の変状が小さいことである。ここでは、これらに関してこれまでのサーフィスフィード方式の施工実績から得られたデータを示す。

(1) 振動

D.V.工法における振動の発生源はバイプロロット先端の振動体部のみであり、前述したアイソレータの働きにより延長パイプ部には振動は伝達しない機構となっている。振動体の振動数は50Hzと在来工法に比較し高周波であり距離減衰も大きいことも特徴である。施工時の測定データを図-13に示す。また、図には比較のためS.C.P工法の例(土質工学会、軟弱地盤対策工法より引用)も示している。

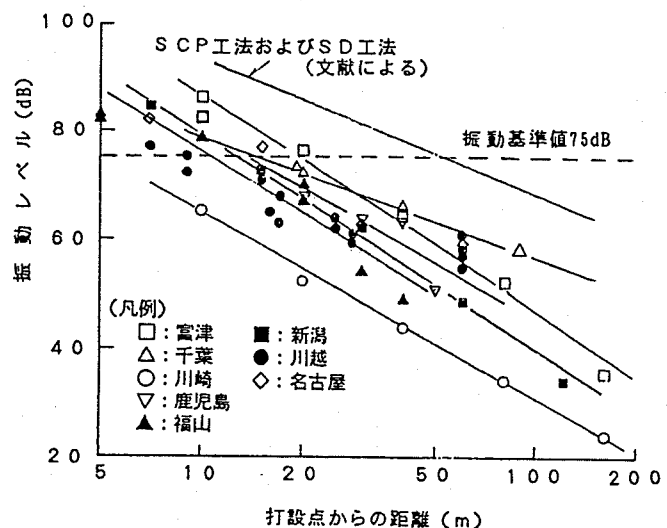


図-13 振動レベルの測定結果

図から判断すると、D.V.工法は、S.C.P工法と比較して10dB以上は低振動な工法と言える。

(2) 騒音

サーフィスフィード方式における騒音の発生源は、油圧パワーパック、コンプレッサー、クローラクレーン、およびパイプロフロッタ先端からの空気の排気音である。パイプロフロッタ先端からの空気の排気音は、フロッタが地中にある時は問題とならない。

施工時の測定データを図-14に示す。振動の場合と同様に、S.C.P 工法の例も比較のため示している。

図から判断すると、打設点付近では、S.C.P 工法と同程度であるが、距離が離れるに従いD.V.工法の方が小さくなっており、打設点から20m地点ではD.V.工法の方が約10dB小さい。

(3) 地盤変状

D.V.工法は、水平振動によって土粒子の配列を密に並び変え、空隙部に投入された補給材を締め固めるものであり、周辺地盤の地盤変状を全く生じさせないことは困難である。

図-15に、これまでに測定した地中変位の測定結果を示す。これらのデータは全て、挿入型傾斜計を用いて測定したものである。

この図からみると、改良域から5m地点では地中変位は2cm以下で、10m離れると変位はほとんど生じていないことが分か

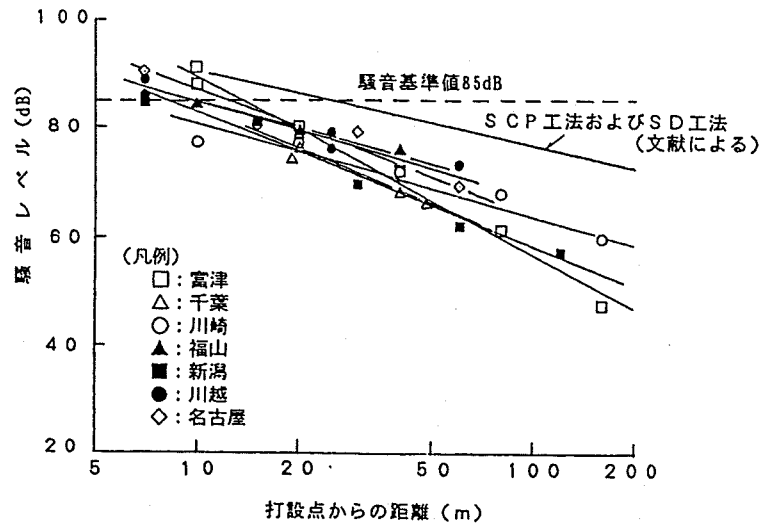


図-14 騒音レベルの測定結果

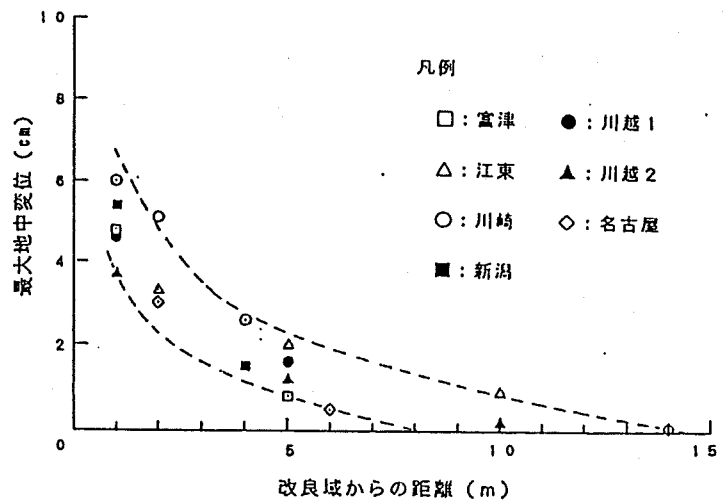


図-15 地中変位の測定結果

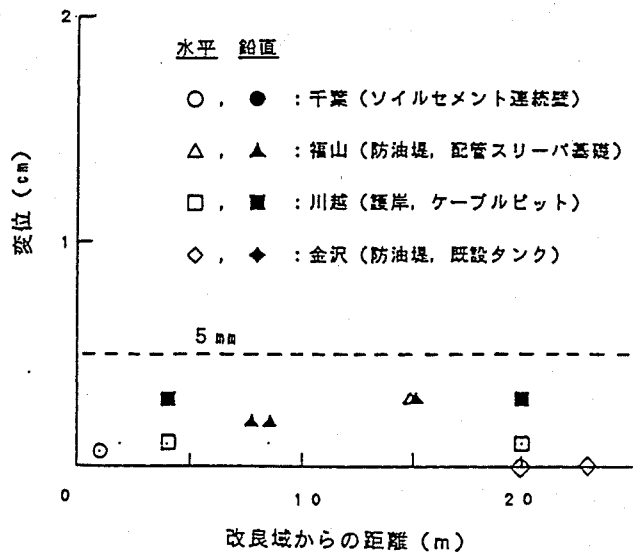


図-16 近接構造物の変位

る。また、データでは示していないが、同一地点でのS.C.P 工法による測定データと比較すると、地中変位はD.V.工法の方が小さく、D.V.工法に比べて砂を強制的に押し出すS.C.P 工法の5割程度以下となっている。

(4) 近接構造物の変形

D.V.工法はS.C.P 工法に比較して地盤変状が小さいという特長を有しており、その特長をいかしてこれまで既設構造物近傍での施工を多く実施してきた。図-16は、これまでの施工のなかで測定した近接構造物の変位を示したものである。構造物には種々のものがあるが、水平・鉛直変位とも5mm未満となっている。

6. あとがき

1989年10月に導入して以来、技術開発および現場適用を進めてきたディープ・バイプロ工法について、その概要と施工例を紹介した。

サーフィスフィールド工法については、低公害型液状化対策工法として運輸省の技術評価を申請し、平成4年9月には評価証の交付を受けた。今後とも、両方式に対し、実績と技術開発を積み重ね、より合理的な技術の確立を目指していきたいと考えている。

最後に、開発・施工にあたり、御支援・御協力いただいた関係者の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 田中誠一：3. 地盤改良工法③バイプロフローテーション工法、基礎工、1976.5
- 2) 土質工学会：軟弱地盤対策工法，第1論第2章，昭和63年11月
- 3) 三原正哉：ディープ・バイプロ工法による地盤改良の設計・施工，軟弱地盤の改良⑨，1992

<軟弱地盤の改良⑨>より抜刷

発行 総合土木研究所

ディープ・バイブロ工法による 地盤改良の設計・施工

三原 正哉*

1. まえがき

ディープ・バイブロ工法は振動締固め工法の一つで、ロッド先端に取付けた大容量バイブレータを用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱な地盤を改良するものである。

本工法は、他の振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、周辺地盤の変状が小さいこと、施工機械がコンパクトであることなどの特徴を有しており、特に都市部や既設構造物近傍での地盤改良に適している。

1989年10月に本機械をドイツ・バウアー社より導入し、(株)間組・日本海工(株)・青山機工(株)の3社でディープ・バイブロ工法研究会を設立し、実験工事などを通しての改良開発を行うとともに、実施工への展開を図ってきた。

本稿では、ディープ・バイブロ工法（以下、D.V.工法と略す）の概要と、2～3の工事例について報告する。

なお、ここで紹介するD.V.工法は、補給材を地表面から供給する方式で、サーフィスフィード方式と呼んでいるものである。

2. D.V.工法の概要

2.1 D.V.工法の特徴

D.V.工法は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする砂質土の締固め工の一つであるバイブロフローテーション工法に分類される工法である。改良目的としては緩い砂地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加などがあげられる。

本工法は以下の特徴を有している。

- ① 抜群の締固め効果 — 起振力25tfの大容量バイブロフロットを用いているため、締固め効果が大きく、深い地盤まで改良可能。
- ② 低振動・低騒音 — 振動源は先端のみ。従来の振動締固め工法より、振動・騒音を10dB以上低減可能。
- ③ 既設構造物周辺の施工に最適 — 従来工法と比較して、施工機はコンパクトで周辺地盤の変形も小さいため、既設構造物周辺の施工に最適。
- ④ ドライ方式でクリーンな施工 — 貫入・材料供給の補助に、通常エアジェットを使用し、ドライな施工が可能。水を使わないため、排水による周辺環境への影響がない。

わが国では昭和30年代から、振動締固め工法の一つとしてバイブロフローテーション工法が使用されていたが、サンドコンパクションパイル工法等と比較して、改良効果が低いこと、改良深度が一般には8mと小さいこと、多量の水を使用することなどの理由から、近年施工実績が減少している。

表-1は、バイブロフロットの容量をD.V.工法のもの、現在日本で使用されているバイブロフローテーション工法のもの、海外ではD.V.工法はバイブロフローテーション工法と同様、貫入・補給材供給の補助として水を使用している。しかし、起振力が大きいため、水の代わりに排水処理の不要な圧縮空気を使用することにより貫入可能な地盤も多いことから、圧縮空気を使用する施工法の開発を行い、地盤条件による使い分けを可能とした。

* (株)間組 エンジニアリング第一部 第一課 課長 | 東京都港区北青山2-5-8

2.2 施工機械の構成

施工機械は、先端部に振動体を有するバイプロフロット、これを吊下げるクローラクレーン、エア設備（コンプレッサ）、バイプロフロットを起動する油圧パワーパック（H-180）、補給材を供給するトラクタショベル、および深度・油圧を自動記録する施工管理計からなっている。また、地盤条件によっては、エア設備の代わりに水設備（給水ポンプ、水槽）が用いられる。

図-1に空気使用時の施工機械の構成例を示す。

バイプロフロットは、D.V.工法の主体をなすものであり、詳細を図-2に示す。

バイプロフロットは先端部に偏心ウェイトがあり、これを直上にある油圧モータで回転させることにより、バイプロフロットを水平方向に振動させる仕組みになっている。また、先端振動部には幅15cmのフィンが2枚取付けられており、偏心ウェイトの回転運動に伴うバイプロフロット自体の回転を防止するだけでなく、地盤への振動伝達を高める働きをもっている。先端部には中空の延長パイプを通じて、空気（あるいは水）が供給され、先端ノズルから噴出される。

この振動体の上部には、上下に硬質のラバーを取付けたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動体の振動が上部の延長パイプに伝達しない機構となっている。なお、アイソレータ部は、本機械の製作メーカーであるドイツ・パウアー社の特許となっている。

また、空気を使用する場合には、延長パイプの外側に複数のエアパイプとフィンを新たに取付ける。延長パイプの外側に取付けたエアパイプは、パイプの先端から圧縮空気を噴出することにより、バイプロフロットの貫入によって生じた孔の孔径を大きくする機能を有している。一方、フィンの役割は、孔壁の拡大およびエアの地表への逃げ道の確保である。

施工管理計は、バイプロフロット先端部の深度を示す深度計と、油圧モータの圧力を示す油圧計からなっている。

2.3 施工方法

施工手順を図-3に示す。施工手順に従って施工要領を示すと以下のとおりである。

① 杭芯セット—作業員の誘導にてバイプロフロット

表-1 バイプロフロットの諸元

諸元	バイプロフロテーション工法（日本国内）		ディープ・バイプロ工法
	15HP型	30HP型	150HP型
モータタイプ			
電動機 (kW)	11	22	118 (油圧式)
振動数 (rpm)	1,420	1,420	1,500~max 3,000
起振力 (tf)	2.5	5.1	約25
起振点振幅 (mm)	4~5	6~7	14
全重量 (tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3tf
有効長 (m)	7	15	延長パイプ 0.22tf/m
ケーシング外径 (mm)	φ 319	φ 381	実績 max 30
フィン外径 (mm)	φ 469	φ 500	振動部 φ 325
モータ取付け位置	本体上部	本体内蔵下部	延長パイプ φ 300
構造	一体式	継足し式	継足し式

文献1)を修正、加筆。

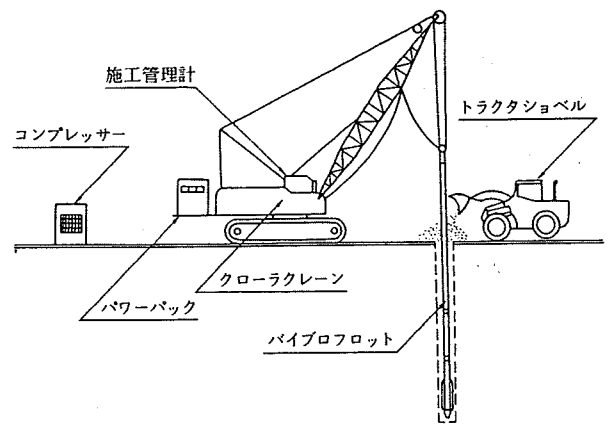


図-1 施工機械の構成（空気使用時）

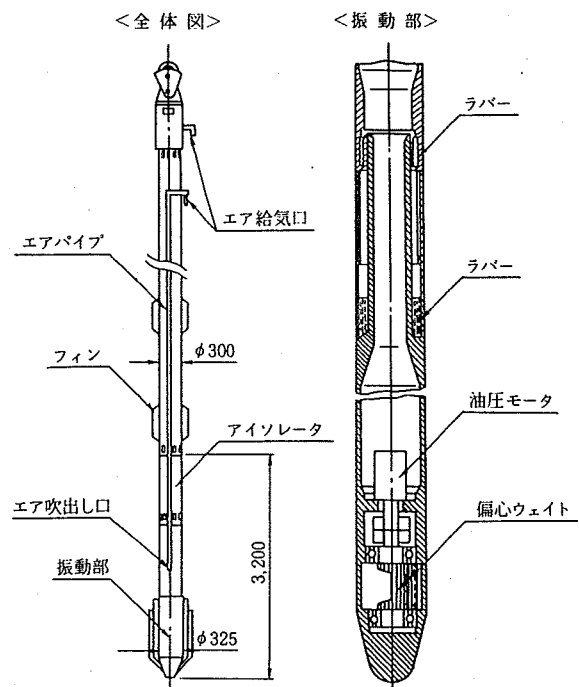


図-2 バイプロフロットの詳細図

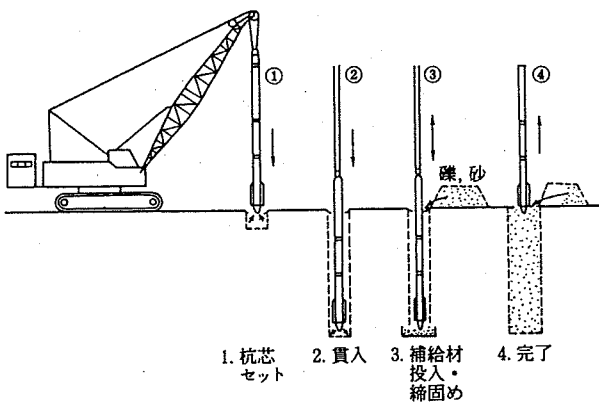


図-3 施工手順

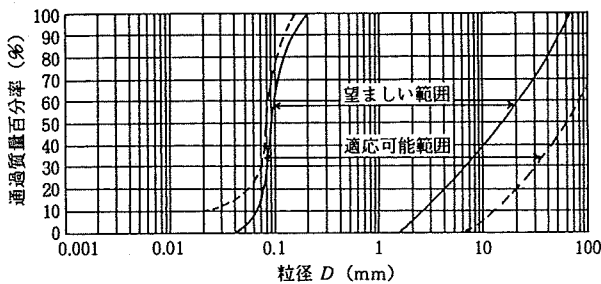


図-4 適用可能な粒度分布

トを杭芯にセットし、トランシットなどにて鉛直性を確認する。

- ② 貫入 — パイプロフロットを起動し、エアジェット（あるいはウォータージェット）を使用して、所定深度まで貫入する。
- ③ 補給材投入・締め — 所定の仕様でパイプロフロットを上下させながら、地表面からトラクタショベルにより補給材を投入し、投入された補給材および周辺地盤を締める。
- ④ 完了 — ③の作業を繰返し、所定面まで仕上げる。

補給材としては、砂、礫あるいはスラグが用いられる。補給材として使用する砂は、細粒分含有率（75 μ m以下の含有率）が5%以下のものとしている。また碎石としては、 ϕ 20~40mm程度のものを使用することが多い。水を使用する施工法では、補給材として碎石を使用する必要がある。

施工管理に関しては、従来のパイプロフローテーション工法やロッドコンパクション工法と同様な考え方でっており、主な管理項目は、深度、補給材量、地表面沈下量である。

なお、ピッチ・施工仕様を定めるために事前に試験施工を実施する場合には、地盤物性（N値など）と締め時の油圧との関係を把握することが可能で

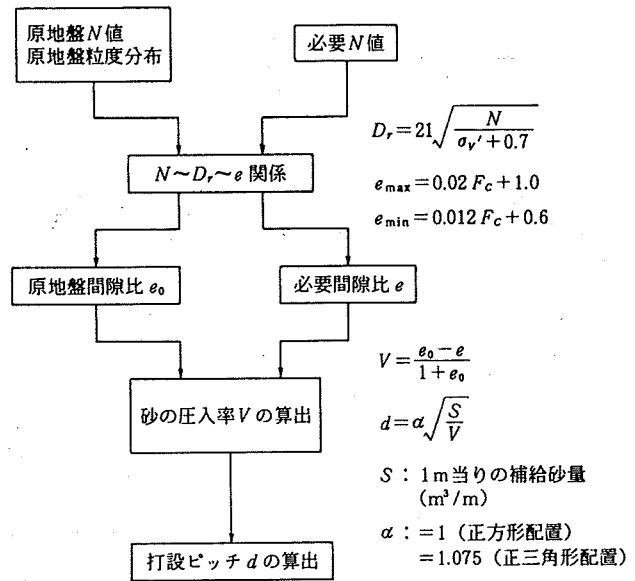


図-5 本工法の設計フロー

あるため、本施工時に油圧を管理項目とすることができる。

また、改良後の品質管理としては、杭間で標準貫入試験を実施するのが通常である。

2.4 適用条件

D.V.工法では、地表面から補給材を投入するため、特殊な場合を除き、陸上施工可能な地盤を対象としている。

D.V.工法が適応可能な地盤の粒度分布を図-4に示す。また、対象地盤中によく締まった中間砂層が存在する場合、これまでの実績より空気使用時ではN値20以下、水使用時N値30以下の地盤であれば適応可能である。

施工可能深度は地盤条件・施工条件により異なるが、標準的には5~20m、最大で25mである。

2.5 設計法

すでに述べたように、D.V.工法は密度の増大、有効応力の増大を原理とする締め工法の一つである。締め工法は液状化対策工法の中でも実地震において、その効果が確認されている²⁾数少ない工法であり、改良効果の確実性という面では信頼性が高い。

締め工法の設計法は、現状では密度中心に考えられている。D.V.工法も図-5のフローにそって打設ピッチを算定する。

なお、D.V.工法の改良効果は、対象とする地盤条件（原地盤N値、細粒分含有率F_c、層厚、粘性土層の有無）などにより左右される。そこで、改良仕様の決定に当たっては、試験施工を実施し、その結

表-2 施工実績

No.	項目	実験工事	実験工事	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
①	年度	平成元年12月 ～平成2年2月	平成2年10月	平成2年11月 ～平成3年2月	平成3年2月	平成3年10月 ～平成3年12月	平成3年10月 ～平成4年1月	平成4年7月 ～平成4年8月
②	件名 (場所)	千葉県富津市	神奈川県川崎市	「(仮称)千葉市 総合体育館・複 合施設」	鹿児島県	広島県	小川運輸・東京 国際埠頭お台場 共同物流センタ ー新築工事	新潟港(西港地 区)道路(トン ネル)液状化対 策試験(その3) 工事
③	対象 構造物	—	—	高層建築物	石油タンク	石油タンク	倉庫	道路(トンネル)
④	対 象 地 盤	埋立地盤 (細砂, シルト)	埋立地盤(シ ルト混り細砂)	細砂, 粘性土	埋立地盤 (シラス)	埋立地盤 (粘性土, 細砂)	埋立地盤 (細砂, シルト)	埋立地盤 (細砂)
⑤	改 良 深 度	9m	12m	15m(上部6m 空打ち)	13.5～15m	9～10m	10m	12.5～15m
⑥	改 良 面 積	ピッチ△1.8 ～2.7m 68本打設	ピッチ△2.0 ～2.7m 46本打設	ピッチ△2.3m 1,059本打設 改良面積4,700m ²	ピッチ△1.8 ～2.6m 36本打設	ピッチ□2.0m 431本打設 改良面積1,850m ²	ピッチ□2.0m 2,229本打設 改良面積8,160m ²	ピッチ□1.8 ～2.2m 48本打設
⑦	その他	施工法: 空気使用	施工法: 空気使用	事前に試験工事 実施 施工法:水使用 都市部での施工	試験工事 施工法:空気使 用 施工中タンク近 傍での施工	事前に試験工事 実施 施工法:空気使 用 既設タンク近傍	施工法: 空気使用 事務所近傍での 施工	試験工事 施工法: 空気使用

果に基づき決定することが望ましい。

砂の圧入率 V は、分担面積と m 当りの補給砂量の比で表わされるものである。 m 当りの補給砂量 S は、地盤条件などによって異なるが、これまでの実績から $0.28 \sim 0.38 \text{ m}^3/\text{m}$ の値が得られている。

3. 施工例

3.1 施工実績

研究会で実施した実験工事を含めて、導入以来の施工実績を表-2に示す。

実験工事は2カ所(富津市, 川崎市)で実施し、施工法の改良や改良効果の実証を行った。

表-2に示す施工実績 No.1～No.5は、すべて液状化対策として実施したものであり、振動・騒音や地盤変状の問題から、本工法が採用されたものである。

以下、「富津市」の実験工事、および「(仮称)千葉市総合体育館・複合施設」と「タンク基礎」の改良工事について概要を示す。

3.2 「富津市」での実験工事

3.2.1 地盤概要

実験サイトは千葉県の東京湾岸埋立地である。表層1.5mは N 値が15程度と高いが、その下深度7m程度まではほとんど N 値10以下の緩い砂層となっている。ただし、地点によっては深度5～7m付近に粘性土層が存在する。また、地下水位は $GL-0.5 \text{ m}$ と高い。

表-3 実験ケースの一覧

ケース	改良工法	打設配置	打設数	調査項目
ケース1	D.V.工法	1.8m正三角形配置	24本	SPT, CPT 密度, サンプル 地中変位, 騒音・振動
ケース2	D.V.工法	2.3m正三角形配置	22本	SPT, CPT 密度, サンプル
ケース3	D.V.工法	2.7m正三角形配置	22本	SPT, CPT 密度, サンプル
ケース4	SCP工法	1.8m正三角形配置	24本	SPT, CPT 密度, サンプル 地中変位, 騒音・振動

なお実験では、改良深度を深くする目的で周辺部を掘削し、その掘削砂を用いて2mの盛土を行い施工基面とした。以下の深度は、すべて施工基面からのものである。

3.2.2 施工方法

施工法は改良開発したエアを用いる方法である。打設ピッチの影響を調査するため、打設ピッチを3種類とした。改良深度は $GL-9 \text{ m}$ までとし、盛土部の締固めは行っていない。また、他の振動締固め工法との比較を行うため、サンドコンパクションパイル工法(バイプロ容量150kWを使用)による地盤改良も行った(以下、サンドコンパクションパイル工法をSCP工法と記述する)。

実験ケースの一覧を表-3に示す。また、補給材としては、細粒分5%以下の砂を使用した。

調査項目は、実験ケースにより多少異なるが、施工時の地盤内の挙動を調査するための地盤内間隙水圧・加速度測定、改良効果を把握するための改良前

後の標準貫入試験、RI密度検層などである。また、施工環境や地盤変状を調査するため、振動・騒音測定、地中変位測定なども行った。図-6に1例としてケース1の調査位置を示す。

3.2.3 実験結果

D.V.工法により改良した地盤での標準貫入試験結果の1例として、打設ピッチ2.3mの場合(ケース2)を図-7に示す。改良後の標準貫入試験はすべて杭間で実施したものである。多少のばらつきはあるが、砂層部では改良によりN値は各深度とも15程度以上に増加している。しかし、粘性土層部に対しては、N値の大幅な増加は認められない。SCP工法を含め、振動締め固め工法では改良後のN値は細粒分の多少によって大きく異なってくるのが知

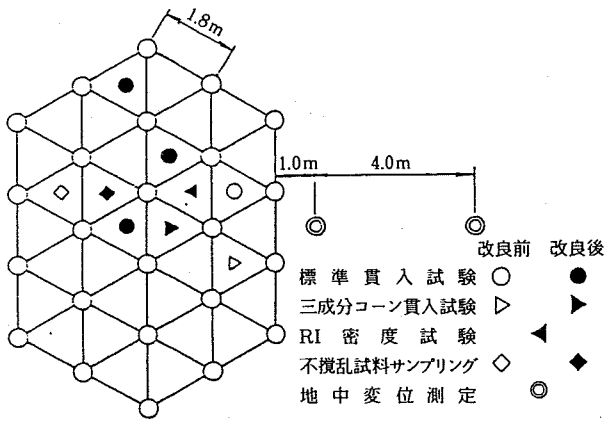


図-6 調査位置(ケース1)

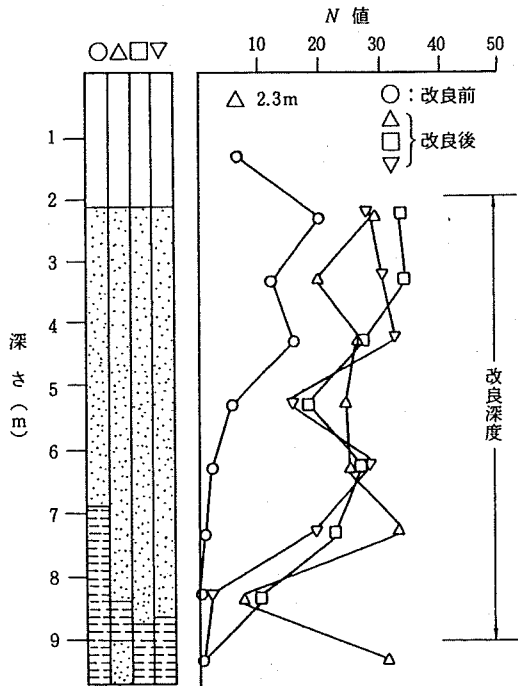


図-7 改良前後のN値の比較(D.V.2.3m正三角形配置)

られているが、D.V.工法でも同じ傾向であるといえる。

図-8は、D.V.工法による打設ピッチの影響を見たものである。図には、LNG地下式貯槽指針に示されている「液状化を生じる土の細粒分含有率と限界N値」の関係を表示している。この図から判断すると、今回の地盤では打設ピッチ2.7mはやや広すぎるが、ピッチ2.3mまでならば十分改良効果があることがわかる。図-9は、同じピッチ(打設ピッチ1.8m)で打設したD.V.工法と、SCP工法の改良後N値を比較したものである。両者ではほとんど差がないことから、同程度の強度が得られたと判断できる。

図-10は、同じピッチ(打設ピッチ1.8m)でのD.V.工法とSCP工法の改良後の地中変位を示したものである。土層構成から判断すると、両工法とも

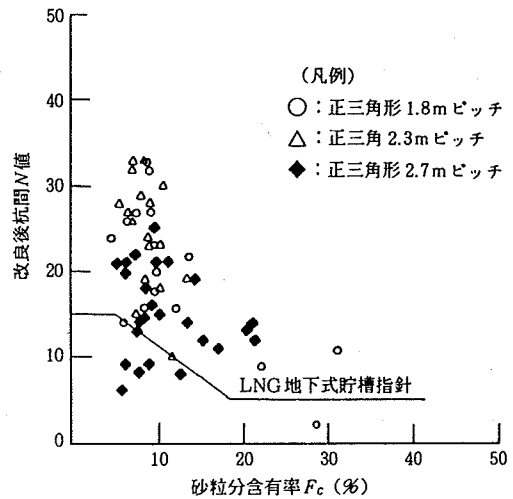


図-8 改良ピッチによる効果の比較

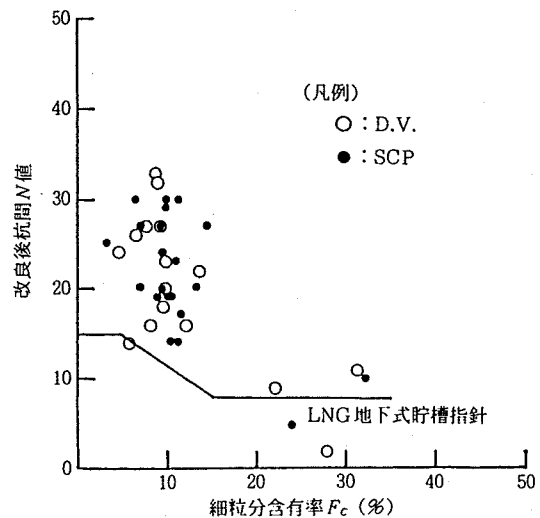


図-9 D.V.工法とSCP工法の比較

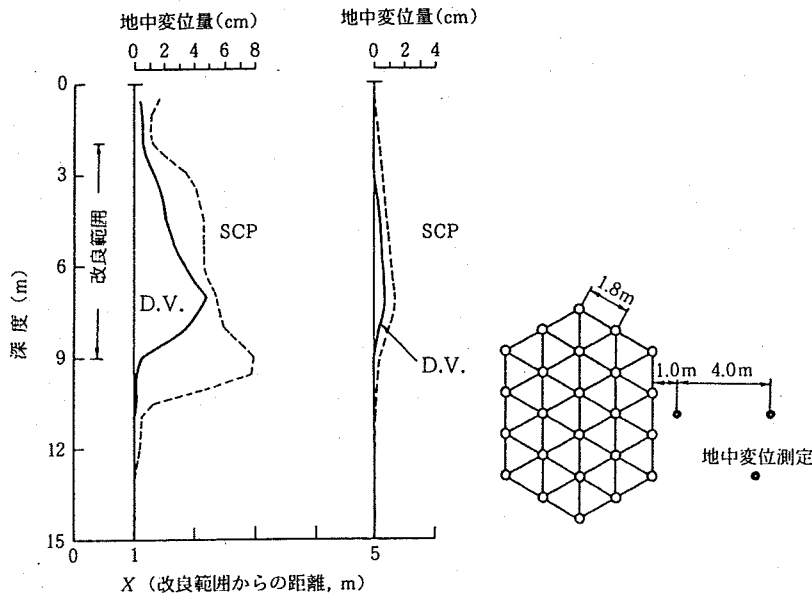


図-10 地中変位の測定結果

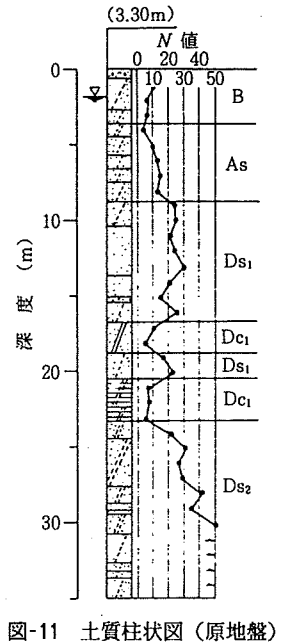


図-11 土質柱状図 (原地盤)

粘性上層が存在している深度で最大の変位が生じているが、全体の傾向としては、D.V.工法による地中変位は、SCP工法の約6割と小さくなっている。

3.3 「(仮称) 千葉市総合体育館・複合施設」

本工事は、JR千葉駅の南約1.2kmの卸売市場跡地の再開発事業として進められている「(仮称)千葉市総合体育館・複合施設建設事業」のうち、民間複合施設の基礎地盤の液状化対策として施工したものである。

3.3.1 地盤概要

本敷地の地盤は、洪積層の成田層群により形成される埋没地形の上に、軟弱な沖積層が分布する地盤であり、その埋没地形により、平面的には中央部の埋没谷底面とその両側に位置する埋没波食面に区分される。東側の埋没波食台には、今回の改良対象層であるDs₁層と表示する上部洪積砂層が比較的厚く存在し、他の部分にはほとんど存在しない。図-11に東側埋没波食台の土質柱状図を示す。

基礎構造の設計では、「耐用年限中に繰返し発生する可能性のある程度の地震(25kineレベルの地震)に対しては、地盤は液状化させない」との基本方針を採用していた。そこで、原地盤から採取した不攪乱試料による液状化試験、および地震応答解析に基づく詳細法による液状化判定を実施した。その結果、沖積砂層およびDs₁層の一部で、液状化の可能性があると判明した。液状化判定結果を踏まえ、Ds₁層は洪積層であるが、N値が5~50(平均21)とばらつきが大きいこと、基礎面直下に

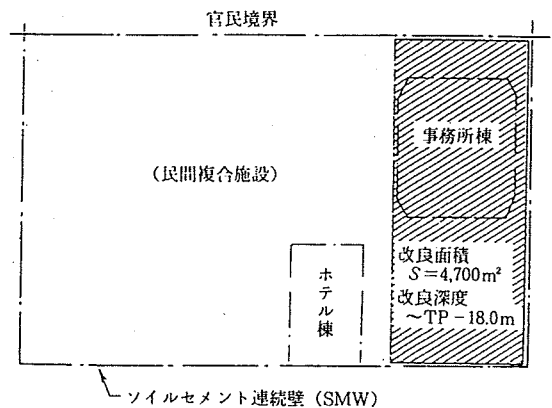


図-12 地盤改良の範囲

存在することを考慮し、地盤改良を実施することとした。一方、沖積砂層Asはほぼすべてが掘削されるため対策は必要としなかった。

3.3.2 施工方法

1) 試験工事

都市部での施工、ソイル壁近傍での施工であることを考慮し、地盤改良工法としては、改良効果の信頼性が高い振動締固め工法の中から、低振動・低騒音で地盤変状の小さいディープ・パイプロ工法を選定した。改良範囲は、Ds₁層の分布をもとに高層事務所棟部を含み、ソイル地中壁(SMW)で囲まれた図-12に示す範囲とした。また、改良深度はDs₁層の深度分布よりTP-18mまでとした。

本工事は、ディープ・パイプロ工法の適用第1号でもあり、以下の目的で試験工事を実施した。

①施工法・施工ピッチの決定

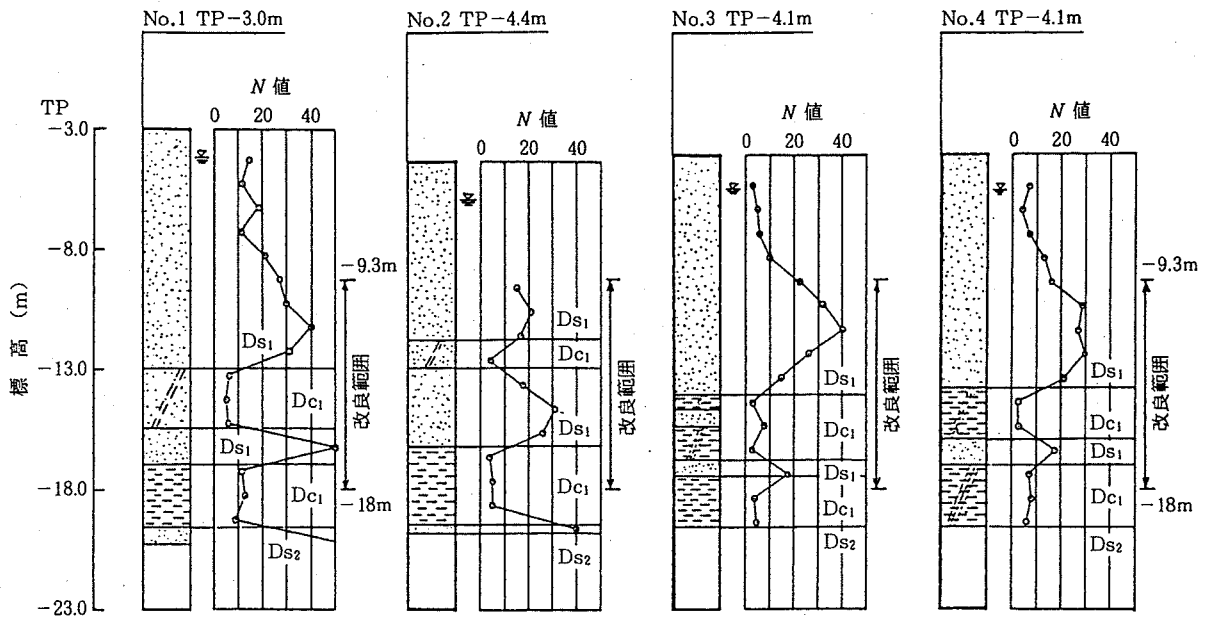


図-13 改良後の標準貫入試験結果

②改良後の地盤物性の確認

③振動・騒音のチェック

④ソイル地中壁への影響のチェック

その結果、振動・騒音およびソイル地中壁への影響について問題がないことを確認した。

2) 改良工事

試験工事の結果を踏まえ、以下の仕様・諸元で改良工事を行った。

- ・ 施工法：ウェット方式（水使用）
- ・ 打設長：15m（6m掘削盤より施工）
改良部は下部9m，
上部6mは空打ち
- ・ 打設ピッチ：2.3m正三角形配置
- ・ 管理目標値：N値20以上（ただしDs₁層）
- ・ 補給材：3号砕石，0.38m³/m以上
- ・ 打設本数：1,059本

ここで、水を使用する方法（ウェット方式）を用いたのは、Ds₁層の間に存在するDc₁層（洪積粘性土層）の貫入が、エアを使用する方法では困難であったためである。

3.3.3 施工結果

他工種との関係より、施工機は1台のみ使用し、実稼働67日ですべての施工を行い、振動・騒音に対する苦情もなく工事を終了することができた。補給材は、改良部m当り0.38m³/m以上使用することとしたが、実績では平均で0.42m³/mとなった。

改良後杭間で実施した標準貫入試験結果を図-13に示す。改良対象層であるDs₁層のN値の分布を

見ると、改良部全体の平均ではN値=26.1であり、全体としては十分締固められている。しかし、試験工事より定めた目標値20以上を満足しない点が数点生じた。この主な原因は、試験工事ではTP+2m盤より改良および地盤調査が行われたのに対し、改良工事では6m掘削したTP-4m盤で改良および地盤調査が行われたため、有効上載圧で約0.5kgf/cm²の差が生じたためと考えられる。この点を考慮すると、改良工事後の液状化抵抗は試験工事時のものと同等以上と評価できた。

3.4 タンク基礎工事

本工事は、稼働中のタンク群の中に新たに石油タンクを2基（1,500kl, 2,000kl）増設するに当り、基礎地盤の液状化対策として実施したものである。

3.4.1 地盤概要

本地盤は、砂を主体とした昭和40年代後半の埋立地盤である。埋立時にはサンドドレーン工法、サンドコンパクションパイル工法によって地盤改良された。その後、表層2m程度は山上や建設残土により盛土がなされ、建設残土には最大80cm角程度のコンクリート片も含まれていた。

タンクを新設するに当り、地盤調査を実施した結果、埋立砂層部で「危険物の規制に関する規則」で定められている必要N値を満たさない部分があり、地盤改良を行うこととなった。

3.4.2 施工方法

1) 施工条件

図-14に改良範囲の平面配置を示す。図に示され

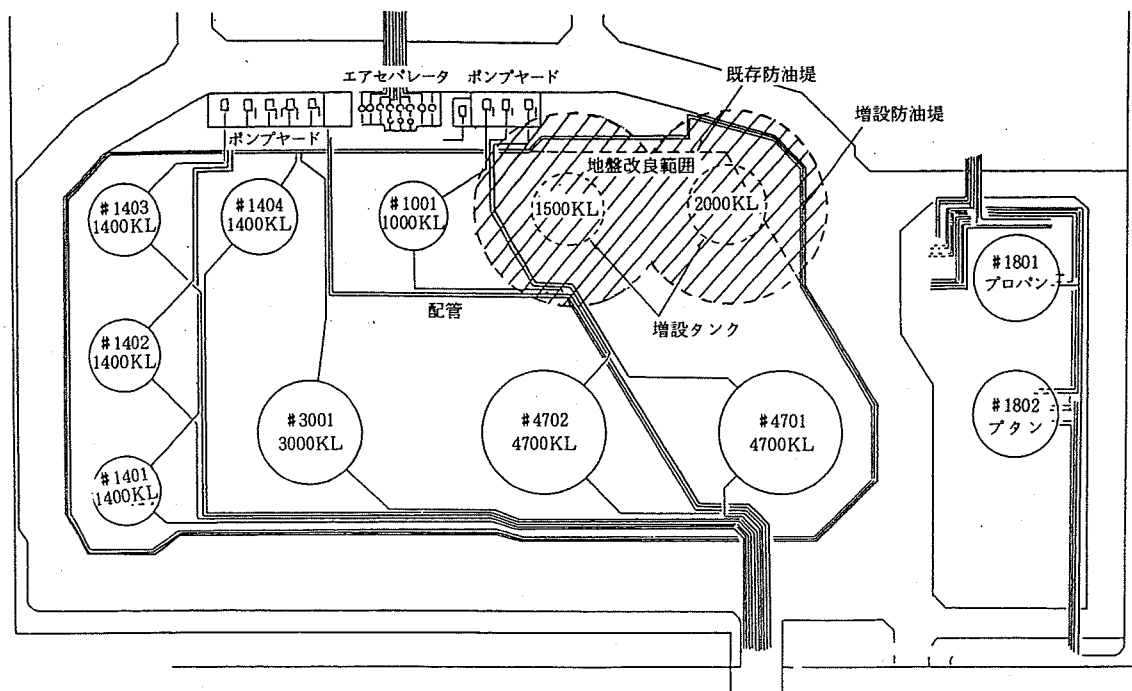


図-14 改良範囲の平面配置

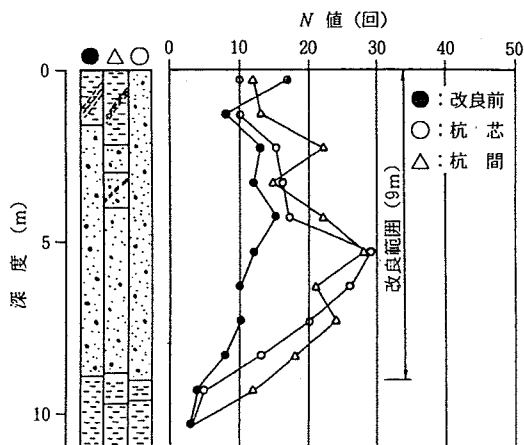


図-15 改良前後のN値の比較

るように、改良範囲は直近のタンクとは5m程度しか離れていないこと、ポンプヤード（直接基礎で鋳鉄製配管があり、変形は許されない）が隣接していること、配管（スリーパと呼ばれる直接基礎で支持されている）が改良範囲内にあることなど、地盤変形に対し非常にきびしい条件となっている。

2) 試験工事

改良工事に先立ち、以下の目的で試験工事を実施した。

- ①改良効果の確認
- ②周辺地盤変状の調査
- ③振動・騒音のチェック

試験工事は、埋立時にサンドドレーン工法とサン

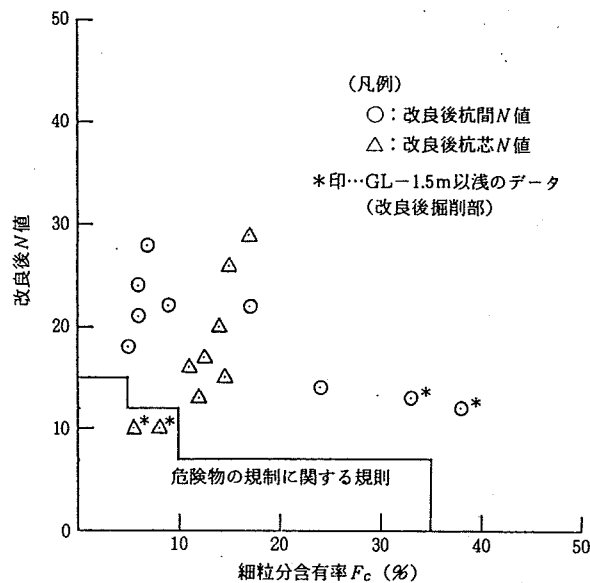


図-16 改良効果の比較

ドコンパクションパイル工法が施工された二つのエリアで実施した。施工法はドライ方式（エアを使用する方式）で、改良深度は9m、改良ピッチはともに2.0mの正方形配置、打設本数は1ケース16本であった。

改良前後のN値の測定結果の1例を図-15に、規則に定められている目標N値と改良後N値との関係を図-16に示す。

これらの図より、改良効果に問題がないこと、また、試験工事時の地盤変形の測定結果から、地盤変

状についても問題がないことが示された。

3) 改良工事

試験工事の結果をもとに、以下の仕様・諸元で改良工事を実施した。

- 施工法：ドライ方式（エア使用）
- 打設長：平均10m、ただし、深度計・油圧計により粘土層への貫入を確認する。
- 打設ピッチ：2.0m正方形配置
- 補給材：海砂、0.28m³/m以上
- 打設本数：431本

施工状況を写真-1に示す。

施工機は1台で、配管の破損などの問題もなく工事を終了した。なお、先に述べたように、本地点は表層部にコンクリート片などが存在し、サイクルタイムの増加、パイプロフロット先端部の摩耗等施工上の障害となった。

4) 改良結果

改良後杭間で実施した標準貫入試験結果（2,000klタンク部）を図-17に示す。埋立砂層部のN値は平均で20程度まで上昇した。N値が15を下回っている地点については粒度試験を実施し、規則に定められている細粒分含有率に対する目標値N値を満足していることを確認した。

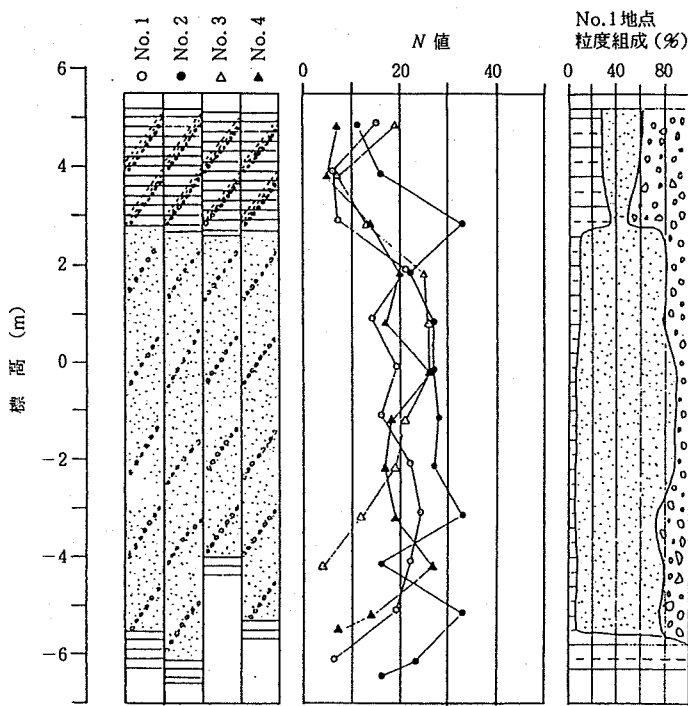


図-17 改良後の杭間N値

4. 周辺への影響

D.V.工法の大きな特徴は従来の振動締め固め工法に比較して、低振動・低騒音、周辺地盤の変状が小さいことである。ここでは、これらに関してこれまでの施工実績から得られたデータを示す。

4.1 振動

D.V.工法における振動の発生源はパイプロフロット先端の振動体部のみであり、前述したアイソレータの働きにより延長パイプ部には振動は伝達しない機構となっている。振動体の振動数は50Hzと在来工法に比較して高周波であり、距離減衰も大きいことも特徴である。また、一般に地表面の振動はパイプロフロットの先端部が地表面付近にあるときが最も大きく、地中に貫入されるに従い小さくなる。

施工時の測定データを図-18に示す。また、

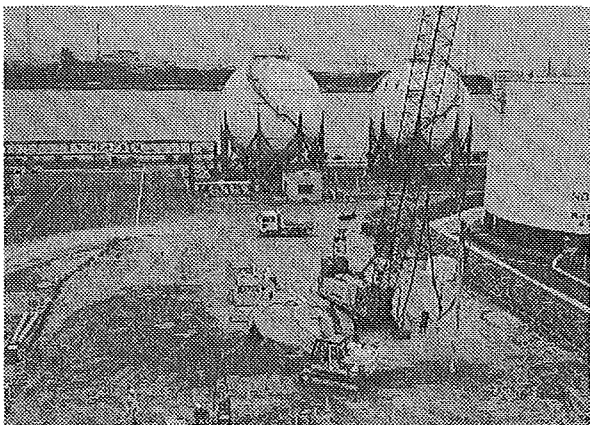


写真-1 施工状況

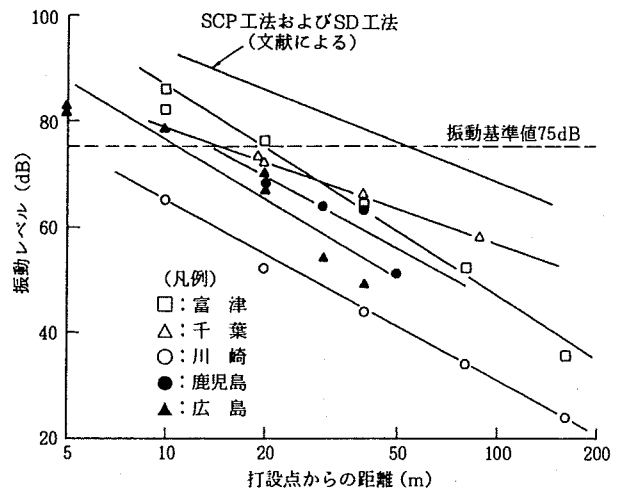


図-18 振動レベルの測定結果

図には比較のため SCP 工法の例（土質工学会，軟弱地盤対策工法より引用）も示している。

図において，川崎の例が他のケースに比較して小さい値となっているが，これは川崎の地盤がシルト分の多い軟弱な地盤（ N 値=0~2）であったためと思われる。

図から判断すると，D.V.工法は，SCP 工法と比較して10dB以上は低振動な工法といえる。

4.2 騒音

D.V.工法における騒音の発生源は，油圧パワーパック，コンプレッサー，クローラクレーン，およびバイプロフロット先端からの空気の排気音である。バイプロフロット先端からの空気の排気音は，フロットが地中にあるときは問題とならないが，フロットが地上に出ているとき，最も大きな騒音発生源となる。

施工時の測定データを図-19に示す。振動の場合と同様に，SCP 工法の例も比較のため示している。図から判断すると，打設点付近では SCP 工法と同程度であるが，距離が離れるに従いD.V.工法の方が小さくなっており，打設点から20m地点ではD.V.工法の方が約10dB小さい。

4.3 地盤変状

D.V.工法は，水平振動によって土粒子の配列を密に並び変え，空隙部に投入された補給材を締固めるものであり，地盤変状を全く生じさせないことは困難である。しかし，砂を強制的に側方に押し出す SCP 工法と比較すると，その程度は小さい。また，この変状の程度は，対象地盤や層構成によって異なる。D.V.工法と SCP 工法による地中変位の比較例は図-10に示すとおりであり，D.V.工法による地中側方変位は，SCP 工法の6割程度と小さくなっている。

〔(仮称) 千葉市総合体育館・複合施設〕の工事では，SMW で囲まれた範囲で SMW に1mの近接距離で施工したが，試験工事時に SMW 芯材（H鋼）の変形量を測定した。試験工事後の変形量の測定結果を図-20に示す。

最大水平変位量は頭部で0.065cmと非常に小さく，SMW への影響は考えられない。また，変形状態は改良部では打設と反対側にわずかに膨れており，空

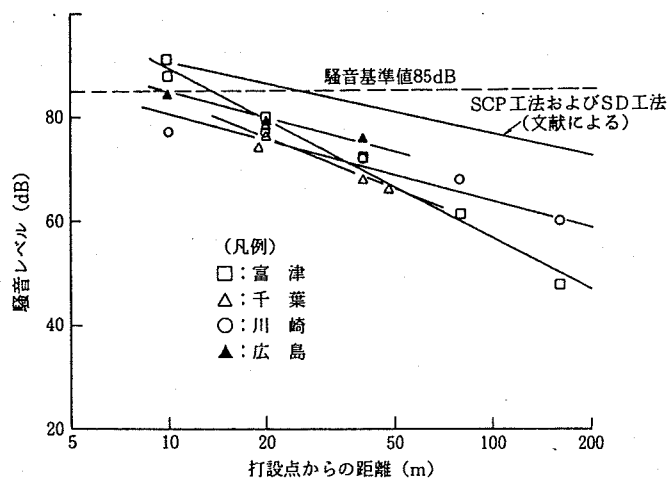


図-19 騒音レベルの測定結果

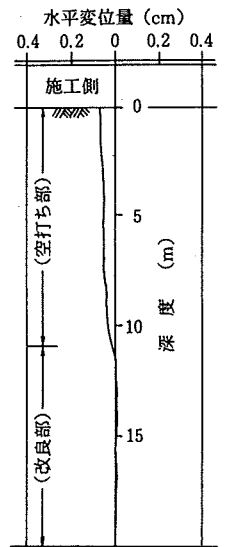


図-20 SMW の変形量

打ち部では逆方向に傾いている。これは空打ち部では貫入した孔に現地発生土を埋戻しただけのためであり，空打ち部でも振動締固めを実施すれば変形はさらに小さくなるものと考えられる。

5. あとがき

1989年10月に導入して以来，技術開発および現場適用を進めてきたディープ・バイプロ工法について，その概要と施工例を紹介した。

本工法は，低公害型液状化対策工法として運輸省の技術評価を申請し，平成4年9月には評価証の交付を受けた。

また，本稿で紹介した補給材を地表面から供給するタイプ（サーフィス・フィード方式）以外に，粘性土・砂の互層地盤に対する適用性を高め，補給材の量管理の品質向上を図るため，ボトム・フィード方式の開発にも取り組んでいる。ボトム・フィード方式とは，バイプロフロットに材料供給用パイプを抱き合わせ，パイプ下端より地中に供給した補給材を振動体で締固めるものである。

最後に，開発・施工に当り，ご支援・ご協力いただいた関係者の皆様にお礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 田中誠一：3. 地盤改良工法③バイプロフローテーション工法，基礎工，1976.5.
- 2) Watanabe, T. : Damage to Oil Refinery Plants and a Building on Compacted Ground by the Niigata Earthquake and their Restratement, Soils and Foundations, Vol. 6, No. 2, 1966.
- 3) 土質工学会：軟弱地盤対策工法，第1論第2章，昭和63年11月.



742

大型バイブロフロットによる締固め時の地盤振動性状について

○(株)間組 技術研究所 正 西 邦夫 日本海工(株) 正 鶴岡 龍彦
同 上 正 三原 正哉 青山機工(株) 正 末広 修三

1. まえがき

バイブロフローテーション工法や、ロッドコンパクションパイル工法にみられるように、砂質系地盤の地盤改良では、振動体を地中に振動貫入させ、その振動により地盤を締固める方法が用いられることがある。このような工法の場合、振動体が発生する振動が地盤を伝播する機構は、その締固め改良効果と密接に関連しているものと考えられる。筆者らは、水平振動を発生する大型のバイブロフロットを用いる振動締固め工法を対象とし、その改良効果を評価するうえでの第1ステップとして、本工法を適用した場合の地盤の振動性状について調査を実施した。測定は地中に埋設した加速度計を用い地盤改良作業中の地盤の振動を測定することにより行った。

2. 測定条件

①地盤条件

測定は東京湾岸の埋立地において行った上記工法の試験施工時に実施した。振動締固めを実施した地盤の地盤条件を図-1に示す。

②大型バイブロフロットの構造、諸元

図-2に示すように先端に振動体(50Hz)を有する大型バイブロフロットをクローラークレーンを用いて地中に貫入し、締固め改良を行った。バイブロフロットは先端部に偏心ウェイトがあり、これをその直上に配置された油圧モーターで回転することにより最大25tfの水平方向の振動を発生する構造となっている。

③測定項目、測定位置

加速度計(AS-2GB)はフロット貫入位置から距離および方向を変化させた同一深度(GL-4m)の5地点に設置した。各地点ではフロット貫入位置に向かって求心方向(R)と円周方向(θ)、および、上下方向(Z)の3成分、計15成分の測定を実施した。加速度計の配置位置を図-3に示す。加速度計は所定の深度までボーリングを行った後、治具を用いて設置し、地上から砂を投入することにより埋戻した。

地盤振動の測定は、フロット先端の深度が3、4、5mにそれぞれ初めて達した地点でフロットの貫入を約1分間停止させ、測定を実施した。

3. 測定結果

測定された加速度波形の一例として、フロットの貫入深度が4mの時点におけるNo.2a地点 θ 方向の加速度波形とそのフーリエスペクトルを図-4に示す。図-4より、地盤の振動はバイブロフロットの起振周波数と同じ50Hzの周波数成分が卓越しており、この特徴はフロットの深度が異なる場合でも同

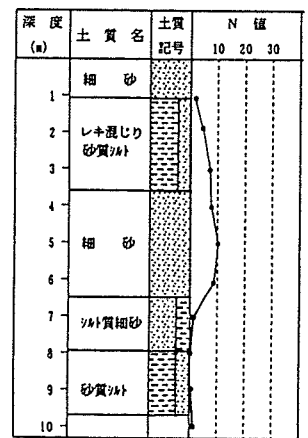


図-1 地盤条件

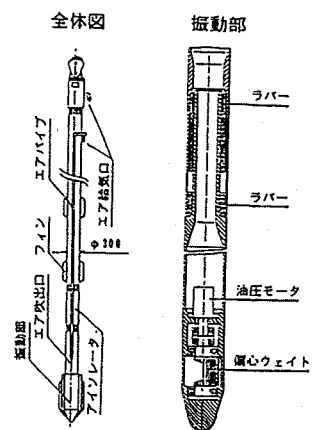


図-2 バイブロフロットの形状

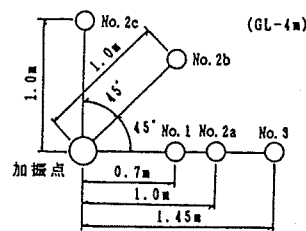
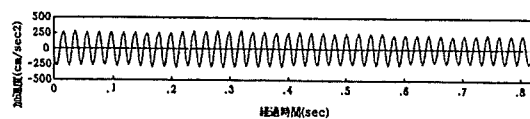
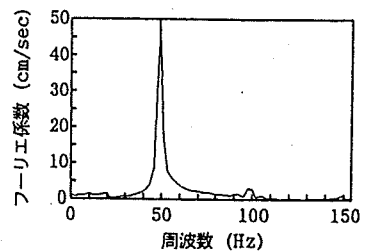


図-3 加速度計の配置図



(1) 時刻歴図

図-4 加速度波形の例



(2) フーリエスペクトル図

様の傾向を示した。

図-5は、フロットの貫入深度が5mの場合のNo. 2a、2b、2c地点の θ 方向の地盤振動の変位振幅の時刻歴変化を示したものである。変位振幅は、加速度を約1秒間隔に0.2秒間、50回収録し、それぞれについて、A/D変換(サブリックタ140.0001SEC、データ点数2048)したものをさらにFFTを用いて積分することにより求めた。図-5より、各振幅値は時間によりかなり変動しているが、平均値的な値で考えると、

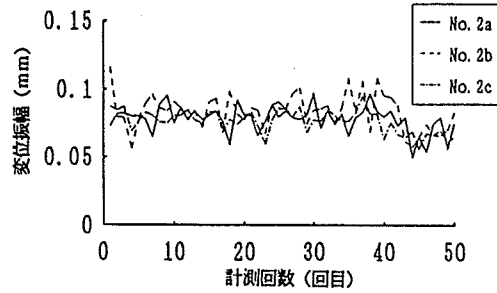


図-5 変位振幅の時刻歴変化

3地点ともほぼ等しい。したがって、平均的にみると、半径が等しい点では同程度の振動が生じているものと考えられる。また、時間によりそれぞれの振幅値が変動している原因としては、振動締固めの過程において地盤とフロットの隙間に孔壁が崩れ込むことによる拘束の違いや、油圧の変動に伴うフロットの起振力の変動などが考えられる。

図-6は、各地点の各深度において上記と同様にして求めた地盤の変位振幅量およびその変動幅と波動伝播距離の関係について示したものである。伝播距離は、フロットの先端から25cm上部の偏心ウェイトの位置を振動源とし、加速度計の位置までの斜距離として求めた。変位振幅量と変動幅については、各50回の測定データの振幅量の平均値を振幅量とし、振幅量に標準偏差を加、減算した値を変動幅として示した。図-6より、R、 θ 方向はフロットからの距離が大きくなると変位振幅は減衰し、その変動量も小さくなるのが全体的な傾向として読み取れる。また、フロットの起振方向は水平方向であるが、地盤の振動ではその振幅に水平方向(R、 θ)と鉛直方向(Z)で顕著な差は見られない。Z方向については、フロットと加速度計がほぼ同一の深度にある場合(○印)には、その振幅値は他の場合と比較して小さな値となっている。このことから、フロットの側部近傍では、水平方向の振動は大きい鉛直方向の振動は小さく、逆に上下に離れた点の方が鉛直方向の振動が大きいことを示している。

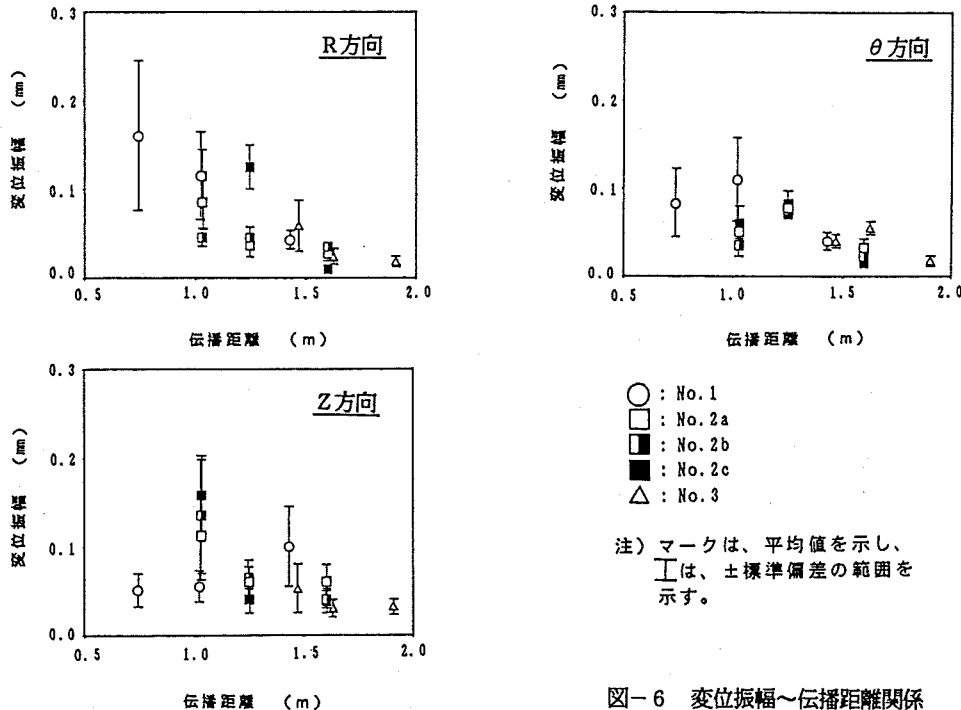


図-6 変位振幅～伝播距離関係

4. あとがき

今回の測定結果をまとめると、大型パイプフロットによる締固め時の地盤振動について、①その変位振幅は時間的、空間的に変動している、②振動源からの距離が大きくなると振幅は減衰し、変動量も減少する、③水平方向と鉛直方向で振幅の顕著な差は見られない、ことが示された。今後、地盤の振動特性を把握することを目標に、さらに定量的な評価を進めるとともに、解析的な検討を実施していく予定である。

— 大型土槽実験 —

(株) 間組技術研究所 正員 大野陸雄 中島 聡
 日本海工(株) 正員 鶴岡龍彦 豊澤良二
 青山機工(株) 山岸敏雄 末広修三

1. まえがき ディープ・バイプロ工法は西独で開発された大型バイプロフローテーション工法の1つである。我国のバイプロフローテーション工法は小型であり改良深度が浅いこと、および多量の水を使用しその排水処理に問題があることなどから、施工実績は近年では少なくなっている。しかしながら、バイプロフローテーション工法は、他の振動締固め工法に比較して低振動・低騒音であること、施工機械がコンパクトであることなどの長所を有しており、都市型の振動締固め工法として適していると思われた。そこで、起振力の大きなディープ・バイプロ工法に着目し水を使用しない工法の開発に取り組んだ。

本報は、大型土槽を用いて実施した実験結果をとりまとめたものである。

2. 実験の概要 バイプロフロットの性能を我国のものと比較して表-1に示す。

実験は2つの大型土槽を用いて実施したが、1つは川砂を用いて水中落下法により作成した砂地盤であり、他の1つは最大粒径200mmの礫質土を用いて同じく水中落下法により作成した礫質地盤である。用いた材料の粒度分布、物理的特性を図-1および表-1に示す。また、土槽の概要を図-2に示す。

砂地盤(ケース1)では、バイプロフロットの振動のみにより貫入・締固めを行った。一方、礫質地盤(ケース2)では水の処理はあまり問題にならないと考えられるため、貫入速度を上げることも兼ねてフロット先端から約5 Kgf/cm²のジェット水を噴出しながら施工した。また、今回の実験では、地盤全体の締まり具合(沈下量)を把握するため、中詰材を地表面から供給するのではなく、振動によって孔壁の地盤材料を自然落下させる施工法とした。打設は図-2に示すように2.0mの正三角形配置とした。

実験では、改良効果を把握するため、ケース1では標準貫入試験とR1密度検層を、また、ケース2では、標準貫入試験は困難なため、R1密度検層のみを改良前後で実施した。

3. 実験結果 (ケース1) 図-3、図-4に標準貫入試験結果、およびR1密度検層結果を示す。ケース1の実験より得られた結果をまとめると以下の通りである。①平均施工時間は15分30秒/本であり、そのうち貫入時間は1分30秒であった。②改良に伴う地盤の平均沈下量は44cmであり、これは層厚の63%にあたる。③R1密度検層結果によると、土層部(盛土部除く)平均の湿潤密度、乾燥密度は、改良前1.88, 1.39g/cm³であったものが改良後2.01, 1.60g/cm³と増加した。④改良前1~6であったN値は改良後10~18(土槽部平均16)に増加した。これらのことから、今回の砂地盤に対して、本工法は十分改良効果があった。また、今回は中詰材を地表面から投入しなかったこと、および土槽内の振動締固めであったため間隙水圧が周辺に消散せず締固め効果を減じていたと思われることを考えると、さらに大きな改良効果が期待できると思われる。

(ケース2) 図-5にR1密度検層結果を示す。ケース2の実験より得られた結果をまとめると以下の通りである。①平均施工時間は13分7秒/本であり、そのうち貫入時間は1分30秒であった。②改良に伴う平均沈下量は100cmで、これは礫層厚の8.3%にあたる。③R1密度検層結果によると、湿潤密度、乾燥密度は、2.07, 1.69g/cm³から2.16, 1.85g/cm³に増加した。④打設毎に、直径3m深さ1.4m程度のクレーターが形成された(写真-1参照)。これらのことから、今回の礫地盤に対して、本工法は十分適用可能であることがわかった。

4. あとがき 本土槽実験では、比較きれいな砂を用いた均一な地盤を対象としたが、実際の地盤では砂地盤であっても、シルト分を含んだり、粘性土層を狭在することも多いと考えられるため、実際の地盤での試験も必要と考えた。そこで、現地実験を続けて実施した。

表-1 バイプロ・フロットの諸元

モータータイプ	バイプロ・フロテーション工法 (国内)		ディープ・バイプロ工法
	15HP型	20HP型	150HP
電動機(KW)	11	15	118 (パワーユニット)
振動機(rpm)	1420	1420	1500~max 3000
起振力(tonf)	2.5	3.4	約20
起振点振幅(mm)	4~5	4~5	14
全重量(tonf)	1.7	1.8	振動部+アソルター 1.3 tonf
有効長(m)	7	8	延長パイプ 0.22 tonf/m
ケーシング外径(mm)	φ319	φ267	実績 max 30
フィン外径(mm)	φ469	φ437	振動部 φ325
モーター取付位置	本体上部	同左	延長パイプ φ300
構造	一体式	同左	本体内蔵下部 継足式

表-2 物理的特性

	砂質土	礫質土	
土粒子の比重	2.72	2.68	
粒度特性	F. C.	2.04	2.30
	D ₅₀	0.42	20.0
	U _c	2.1	38.5
最大乾燥密度 ρ _{dmax} (g/cm ³)	1.602	2.199	
最小乾燥密度 ρ _{dmin} (g/cm ³)	1.257	1.756	

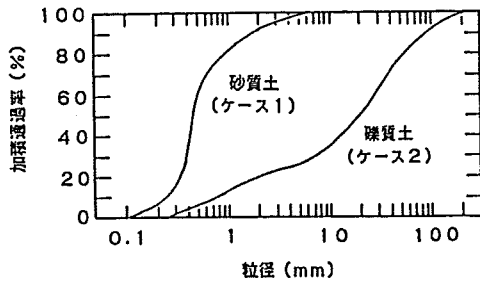


図-1 試料の粒度分布

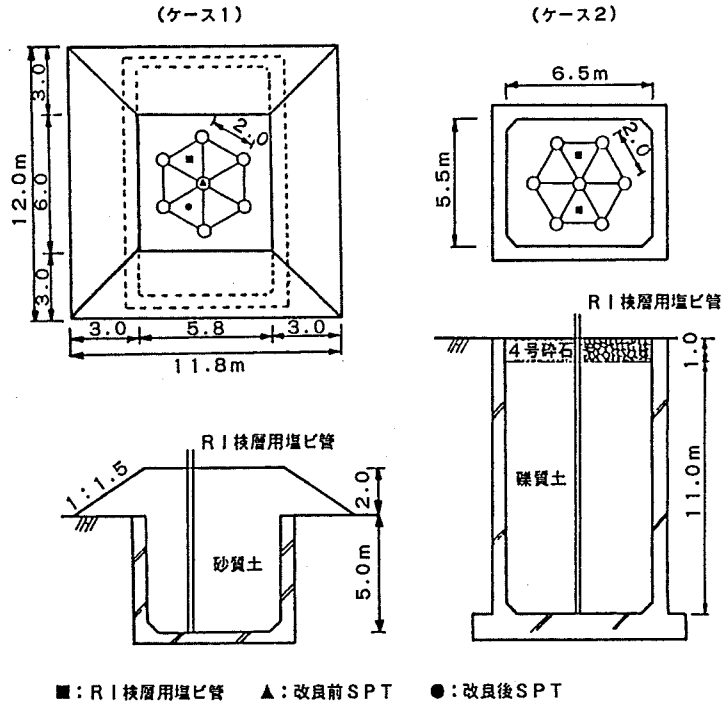


図-2 土槽概要

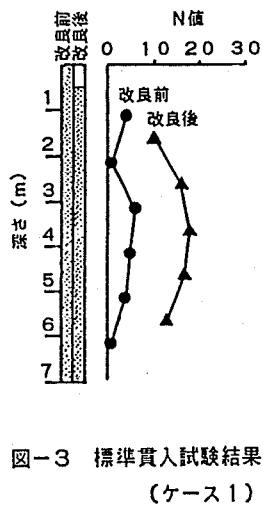


図-3 標準貫入試験結果 (ケース1)

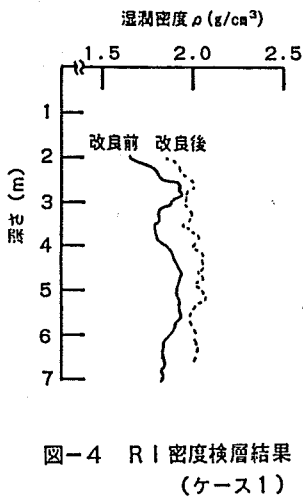


図-4 R1密度検層結果 (ケース1)

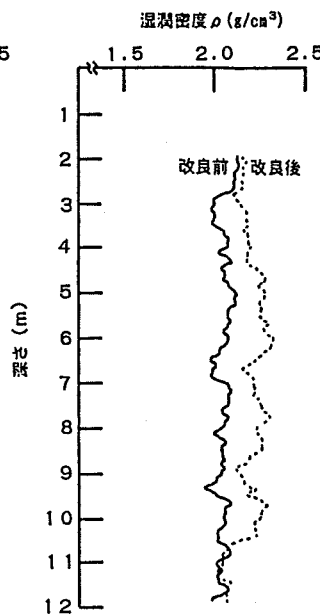


図-5 R1密度検層結果 (ケース2)

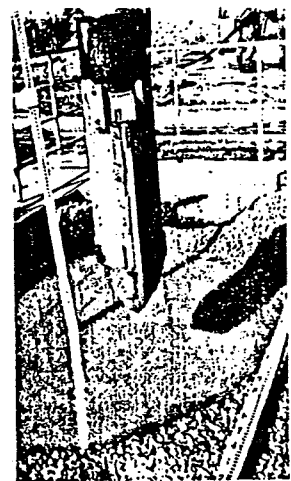


写真-1 打設終了状況

— 現地実験 —

(株)間組技術研究所 正員 三原正哉 大野睦雄
 日本海工(株) 正員 鶴岡龍彦 豊澤良二
 青山機工(株) 山岸敏雄 末広修三

1. まえがき 第1報では大型土槽を用いたディーブ・パイプロ工法(以後D. V工法と呼ぶ)の実験結果について報告した。本報では引き続き実施した現地実験の結果について報告する。今回開発を進めているD. V工法は、砂質土の液状化対策にも有望と考えられるので、実験サイトとしては、東京湾岸の埋立て地を選定した。また、他の振動締固め工法との比較を行うため、サンドコンパクションパイル工法(以後S. C. P工法と呼ぶ)による地盤改良も行った。

2. 実験の概要 実験サイトは千葉県の東京湾岸埋立て地であり、表層1.5mはN値が15程度と高いが、その下深度7m程度まではほとんどN値10以下の緩い砂層となっている。ただし、地点によっては、深度5~7m付近に粘性土層が存在する。図-1に原地盤の粒度分布を示す。また、地下水位は0.1-0.5mと高い。なお、実験では、改良深度を深くすることから、周辺部を掘削しその掘削砂を用いて2mの盛土を行い実験施工面とした。以下の深度は全て施工面からのものである。D. V工法の施工は、水を使用しないドライ方式で行い、中詰材は地表面から投入する通常の形とした。また、砂層は細粒分を含みフロットを貫入した孔壁は自立する傾向があったため、孔壁の崩壊・拡大をうながし中詰材の供給を容易にする目的で、ロッド部にエアジェットおよびフィンを取り付けた。パイプロフロットの概要を図-2に示す。

実験ケースは、S. C. P工法を含め全部で4ケースであり、D. V工法では、打設ピッチの影響を調査するため打設ピッチを3種類とした。改良深度は0.1-9mまでとし、盛土部の締固めは行っていない。実験ケースの一覧を表-1に示す。また、中詰材としては、全てパイル砂を使用した。調査項目は、表-1に示しているように、実験ケースにより少し異なるが、改良前後での標準貫入試験、R1密度検層などを行っている。また、施工環境や地盤変状を調査するため、振動・騒音測定、地中変位測定なども行っている。図-3に、1例としてケース1の調査位置を示す。

3. 実験結果 標準貫入試験結果の1例を図-4に示す。改良後の標準貫入試験は全て杭間で実施したものである。S. C. P工法を含め、改良後のN値は細粒分の多少によって大きく異なってくる。そこで、横軸に細粒分含有率、縦軸に改良後杭間N値をとったグラフによって、改良効果を比較した。図-5は、D. V工法による打設ピッチの影響を見たものである。図には、1つの例ではあるが、LNG地下式貯槽指針¹⁾に示されている「液状化を生じる土の細粒分含有率と限界N値」の関係を表示している。この図から判断すると、今回の地盤では、打設ピッチ2.7mはやや広すぎるが、ピッチ2.3mまでなら十分改良効果があることがわかる。図-6は同じピッチで打設したD. V工法とS. C. P工法の改良後N値を比較したものであり、両者ではほとんど差がないことがわかる。

図-7は、ケース1とケース4の改良後の地中変位を示したものである。標準貫入試験から判断すると、ケース1, 4とも粘性土層が存在している深度で最大の変位が生じている。全体の傾向としては、D. V工法による地中変位はS. C. P工法の約6割である。

図-8は、D. V工法とS. C. P工法の振動・騒音を比較したものであり、D. V工法の方が低振動・低騒音であることがわかる。

4. あとがき 本現地実験より、D. V工法はS. C. P工法と同程度の改良効果があること、S. C. P工法に比較して地盤変状が少ないこと、低振動・低騒音であることなどが示されたが、今後他地点で同様な実験を実施したり、低公害型工法といった面からの改良を進めていく必要があると考えている。

(文献) 1) 日本瓦斯協会天然ガス用貯槽保安調査委員会: LNG地下式貯槽指針, 1978.

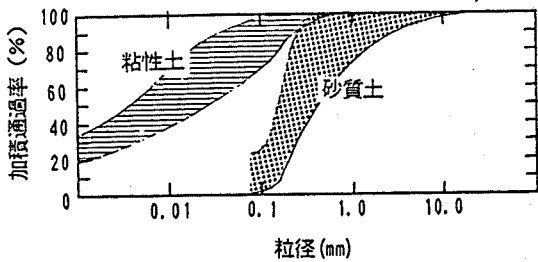


図-1 原地盤の粒度分布

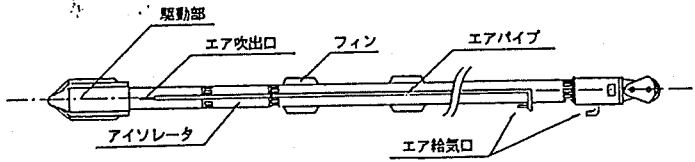


図-2 パイロフロットの概要

表-1 実験ケースの一覧

ケース	改良工法	打設配置	打設数	調査項目
ケース1	D.V工法	1.8m正三角形配置	24本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプリング 地中変位, 騒音・振動
ケース2	D.V工法	2.3m正三角形配置	22本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプリング
ケース3	D.V工法	2.7m正三角形配置	22本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプリング
ケース4	S.C.P工法	1.8m正三角形配置	24本	S.P.T, C.P.T 密度, サンプリング 地中変位, 騒音・振動

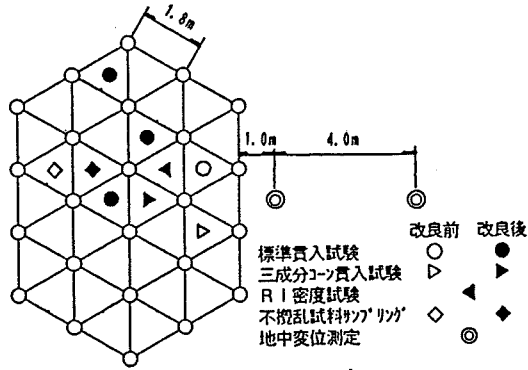


図-3 調査位置

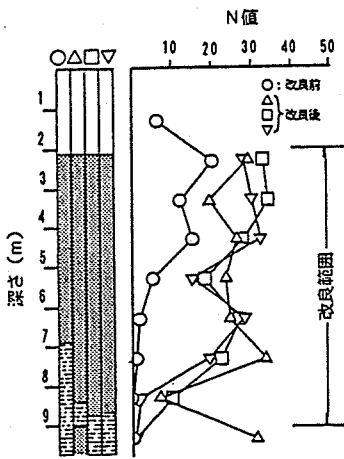


図-4 標準貫入試験の結果 (CASE2)

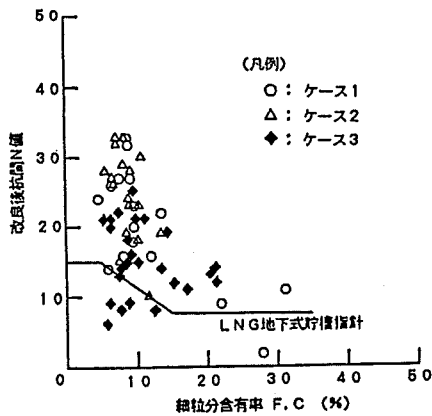


図-5 改良効果(その1)

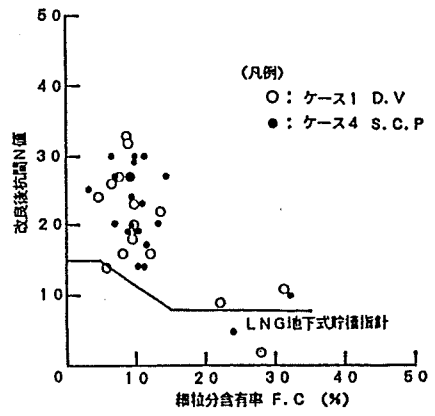


図-6 改良効果(その2)

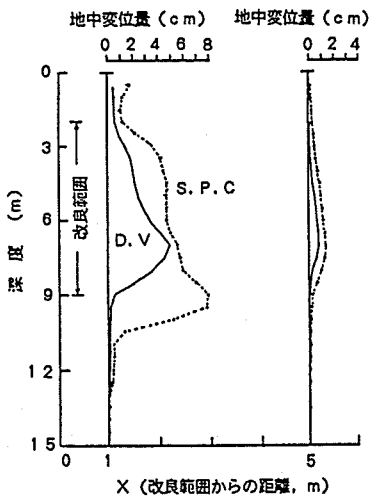


図-7 地中変位の測定結果

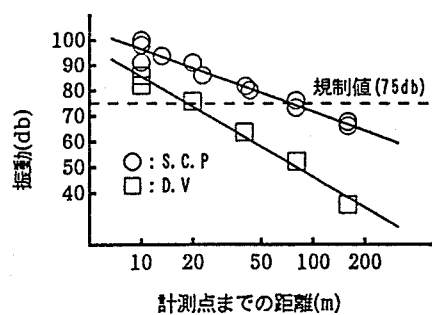
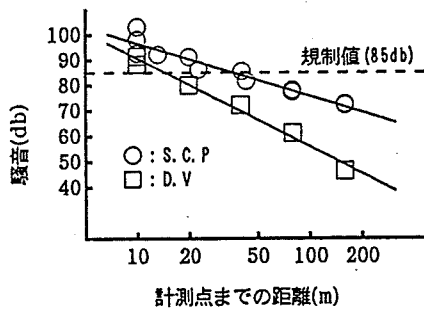


図-8 騒音・振動

III-347

振動締固め時の地盤の振動性状に関する解析的検討

(株)間組 技術研究所 正会員 西 邦夫
 (株)間組 技術研究所 正会員 三原 正哉

1. まえがき

バイプロフローテーション工法や、ロッドコンパクションパイル工法にみられるように、砂質系地盤の地盤改良では、振動体を地中に振動貫入させ、その振動により地盤を締固める方法が用いられることがある。このような工法の場合、振動体が発生する振動が地盤を伝播する機構は、その締固め改良効果と密接に関連しているものと考えられる。筆者らは、水平振動を発生する大型のバイプロフロットを用いる振動締固め工法を対象とし、その改良過程を評価することを目的として、本工法を適用した場合の地盤の振動性状についてモデル化を行い解析解法による検討を実施した。

2. モデル化と解析解

1)対象工法

今回、検討対象としたのは、図-1に示す大型のバイプロフロットを用いた締固め工法である。本工法は、先端に振動体(50Hz)を有する大型のバイプロフロットを地中に貫入し振動締固めるものである。バイプロフロットは先端に配置された偏心マスを油圧駆動により回転させ振動を発生する構造となっており、地盤に対しては水平方向の力を加える機構となっている。

2)モデル化

筆者らは、上記のバイプロフロットの振動機構は以下のようにモデル化できるものと考えた。

- ① バイプロフロットによる地盤振動は点源振動とみなせる。
- ② フロットは偏心回転することにより地盤水平面上に半径方向と接線方向の力Pを伝える。(図-2(a))
- ③ 地盤に伝えられる力の合力Pの方向は、振動体の起振周波数と同一の周波数で水平方向に回転する。(図-2(b))
- ④ 地盤に伝えられる力Pを水平面上のPx, Py成分に直交分解した場合、それぞれの成分は正弦波で表され、両者の位相は90°ずれる。(図-2(c))

3)解析解

①から④に加え、地盤を無限領域の弾性体と仮定することにより、以下に示す手順で解析解が求められる。

まず、加力方向はx方向固定とし大きさは経時的に変化する力f(t)が原点のみに加えられる場合の解析解は、式(1)で与えられる。1)

$$(u, v, w) = \frac{1}{4\pi\rho} \left\{ \text{grad} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\phi - \psi) \right) + (\nabla^2 \psi, 0, 0) \right\} \dots \text{式(1)}$$

ここに

$$\phi = \frac{1}{R} F \left(t - \frac{R}{c_p} \right), \quad \psi = \frac{1}{R} F \left(t - \frac{R}{c_s} \right), \quad F(t) = \int_0^t ds' \int_0^{s'} f(s) ds$$

f(t) : 原点に作用する力(x方向)

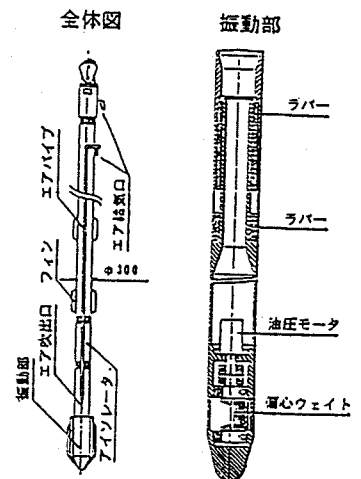


図-1 バイプロフロットの構造

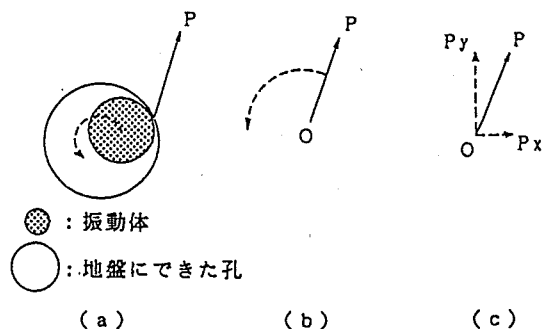


図-2 振動機構のモデル化

(x, y, z) : 座標, (u, v, w) : 座標 (x, y, z) における変位
 $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
 $c_p^2 = (\lambda + 2\mu) / \rho$, $c_s^2 = \mu / \rho$ ρ : 質量, λ, μ : ラメの定数

したがって、④より原点に大きさ一定で作用方向が回転する力が加わる場合の解析解は、x方向に $f(t) = \sin(\omega t)$ の力が加わる場合の解とy方向に $f(t) = \sin(\omega t - \pi/2)$ の力が加わる場合の解とを重ね合わせることで得られる。また、式(1)より、解析解は振幅、および、位相のズレはあるが同一周波数のsin波の重ね合わせであることから、位置を固定して考えれば、各方向の変位は $A \sin(\omega t - \theta)$ で表される定常波であることがわかる。

3. 解析例

図-3は、前述の締固め工法の実規模実験を行った際に測定した地盤変位の軌跡の一例と、解析的に求めたものを示したものである。両者の形状はほぼ同様の形を示しており、地盤振動性状の本モデルによるモデル化が有効であることを示している。なお、実規模実験の測定結果は経時的にその軌跡が変化していたが、解析解では理論的に定常状態を保つため軌跡は常に一定の形を示すことになる。この点については、両者の相違点として指摘できる。また、定量的な評価につい

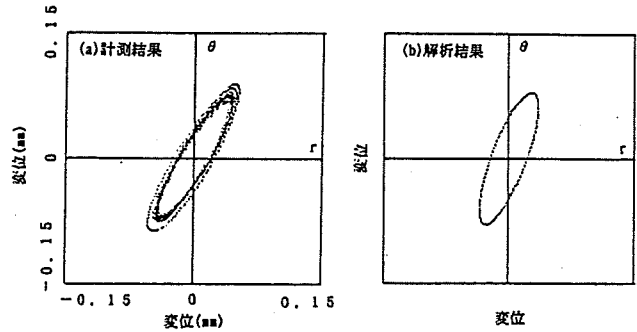


図-3 地盤変位の軌跡

ては、実規模実験時のパイプロットが地盤に加える力の大きさ他、地盤条件等について明らかにする必要があり、今後の課題である。

図-4は、計測により得られた地盤変位振幅と振動源からの測定距離の関係およびそのばらつきを示したものである。ばらつきはあるものの測定距離が大きくなるほど地盤変動の振幅は双曲線的に減衰している。図-5は、振動源からの距離を変化させた場合の地盤変位の軌跡を解析的に求めたものである。変位振幅は、円周方向(θ 方向)、求心方向(r 方向)とも、計測結果と同様、振動源からの距離が大きくなるとともに減衰していることがわかる。ただし減衰量は、軌跡の主軸方向が変化していることから測定距離のみに依存する減衰傾向は示さず若干変動する傾向を示している。

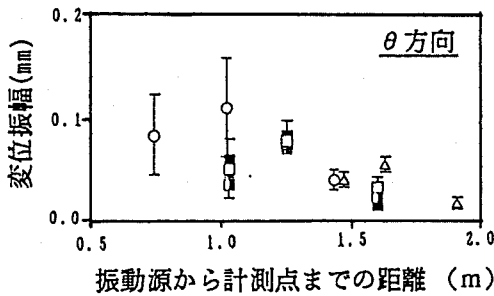


図-4 変位振幅～伝播距離関係



図-5 変位振幅軌跡～伝播距離関係

4. まとめ

水平振動を発生するパイプロットを用いた振動締固め工法を対象とし、その場合の地盤の振動性状についてモデル化を行い、解析解法による検討を実施した。その結果、解析的に求めた地盤の振動性状は地盤変形の軌跡、減衰特性について定性的な傾向は一致し、本手法の有効性が確認された。しかしながら、定量的な評価については未解明な部分が多く、今後の課題として残された。

参考文献: 1) 佐藤泰夫; 弾性波動論 岩波書店
 2) 三原、鶴岡、末広; 振動締固め工法の現場実験 地盤の液化化対策に関するシンポジウム
 3) 西、三原、鶴岡、末広; 大型パイプロットによる締固め時の地盤振動性状について 第28回土質工学研究発表会(投稿中)

III-347

振動締固め時の地盤の振動性状に関する解析的検討

(株)間組 技術研究所 正会員 西 邦夫
 (株)間組 技術研究所 正会員 三原 正哉

1. まえがき

バイプロフローテーション工法や、ロッドコンパクションパイル工法にみられるように、砂質系地盤の地盤改良では、振動体を地中に振動貫入させ、その振動により地盤を締固める方法が用いられることがある。このような工法の場合、振動体が発生する振動が地盤を伝播する機構は、その締固め改良効果と密接に関連しているものと考えられる。筆者らは、水平振動を発生する大型のバイプロフロットを用いる振動締固め工法を対象とし、その改良過程を評価することを目的として、本工法を適用した場合の地盤の振動性状についてモデル化を行い解析解法による検討を実施した。

2. モデル化と解析解

1)対象工法

今回、検討対象としたのは、図-1に示す大型のバイプロフロットを用いた締固め工法である。本工法は、先端に振動体(50Hz)を有する大型のバイプロフロットを地中に貫入し振動締固めるものである。バイプロフロットは先端に配置された偏心マスを油圧駆動により回転させ振動を発生する構造となっており、地盤に対しては水平方向の力を加える機構となっている。

2)モデル化

筆者らは、上記のバイプロフロットの振動機構は以下のようにモデル化できるものと考えた。

- ① バイプロフロットによる地盤振動は点源振動とみなせる。
- ② フロットは偏心回転することにより地盤水平面上に半径方向と接線方向の力Pを伝える。(図-2(a))
- ③ 地盤に伝えられる力の合力Pの方向は、振動体の起振周波数と同一の周波数で水平方向に回転する。(図-2(b))
- ④ 地盤に伝えられる力Pを水平面上のPx, Py成分に直交分解した場合、それぞれの成分は正弦波で表され、両者の位相は90°ずれる。(図-2(c))

3)解析解

①から④に加え、地盤を無限領域の弾性体と仮定することにより、以下に示す手順で解析解が求められる。

まず、加力方向はx方向固定とし大きさは経時的に変化する力f(t)が原点のみに加えられる場合の解析解は、式(1)で与えられる。1)

$$(u, v, w) = \frac{1}{4\pi\rho} \left\{ \text{grad} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\phi - \psi) \right) + (\nabla^2 \psi, 0, 0) \right\} \dots \text{式(1)}$$

ここに

$$\phi = \frac{1}{R} F \left(t - \frac{R}{c_p} \right), \quad \psi = \frac{1}{R} F \left(t - \frac{R}{c_s} \right), \quad F(t) = \int_0^t ds' \int_0^{s'} f(s) ds$$

f(t) : 原点に作用する力(x方向)

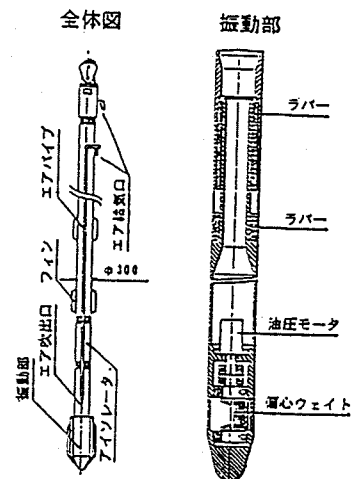


図-1 バイプロフロットの構造

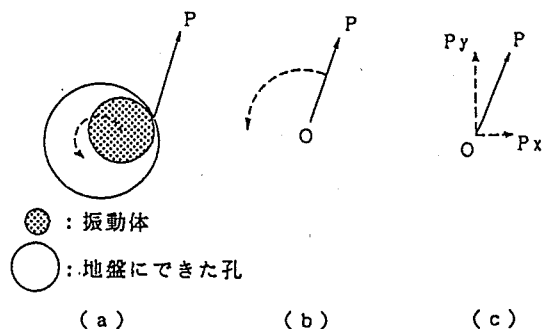


図-2 振動機構のモデル化

(x, y, z) : 座標, (u, v, w) : 座標 (x, y, z) における変位
 $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
 $c_p^2 = (\lambda + 2\mu) / \rho$, $c_s^2 = \mu / \rho$ ρ : 質量, λ, μ : ラメの定数

したがって、④より原点に大きさ一定で作用方向が回転する力が加わる場合の解析解は、x方向に $f(t) = \sin(\omega t)$ の力が加わる場合の解とy方向に $f(t) = \sin(\omega t - \pi/2)$ の力が加わる場合の解とを重ね合わせることで得られる。また、式(1)より、解析解は振幅、および、位相のズレはあるが同一周波数のsin波の重ね合わせであることから、位置を固定して考えれば、各方向の変位は $A \sin(\omega t - \theta)$ で表される定常波であることがわかる。

3. 解析例

図-3は、前述の締固め工法の実規模実験を行った際に測定した地盤変位の軌跡の一例と、解析的に求めたものを示したものである。両者の形状はほぼ同様の形を示しており、地盤振動性状の本モデルによるモデル化が有効であることを示している。なお、実規模実験の測定結果は経時的にその軌跡が変化していたが、解析解では理論的に定常状態を保つため軌跡は常に一定の形を示すことになる。この点については、両者の相違点として指摘できる。また、定量的な評価については、

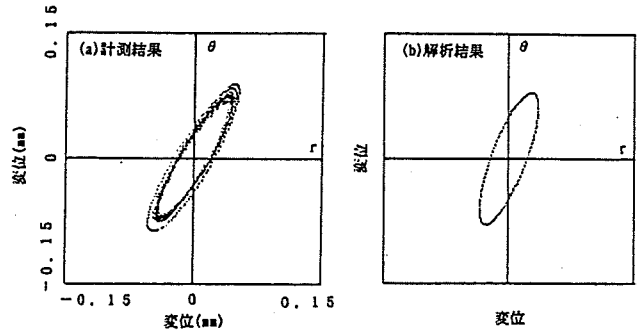


図-3 地盤変位の軌跡

では、実規模実験時のパイプロットが地盤に加える力の大きさ他、地盤条件等について明らかにする必要があり、今後の課題である。

図-4は、計測により得られた地盤変位振幅と振動源からの測定距離の関係およびそのばらつきを示したものである。ばらつきはあるものの測定距離が大きくなるほど地盤変動の振幅は双曲線的に減衰している。図-5は、振動源からの距離を変化させた場合の地盤変位の軌跡を解析的に求めたものである。変位振幅は、円周方向(θ 方向)、求心方向(r 方向)とも、計測結果と同様、振動源からの距離が大きくなるとともに減衰していることがわかる。ただし減衰量は、軌跡の主軸方向が変化していることから測定距離のみに依存する減衰傾向は示さず若干変動する傾向を示している。

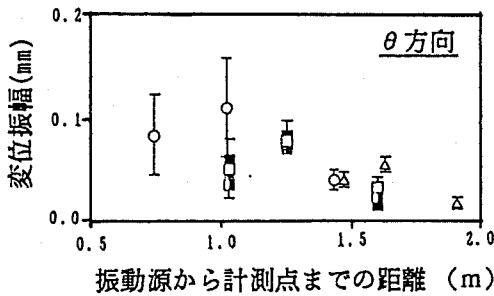


図-4 変位振幅～伝播距離関係

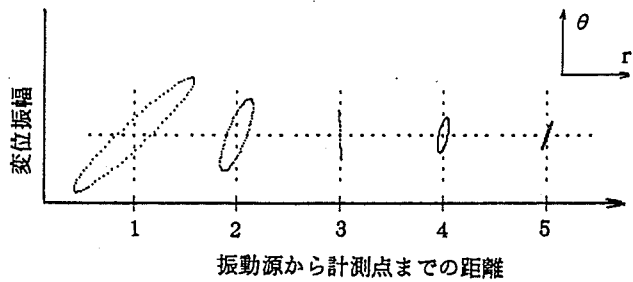


図-5 変位振幅軌跡～伝播距離関係

4. まとめ

水平振動を発生するパイプロットを用いた振動締固め工法を対象とし、その場合の地盤の振動性状についてモデル化を行い、解析解法による検討を実施した。その結果、解析的に求めた地盤の振動性状は地盤変形の軌跡、減衰特性について定性的な傾向は一致し、本手法の有効性が確認された。しかしながら、定量的な評価については未解明な部分が多く、今後の課題として残された。

参考文献: 1) 佐藤泰夫; 弾性波動論 岩波書店
 2) 三原、鶴岡、末広; 振動締固め工法の現場実験 地盤の液化化対策に関するシンポジウム
 3) 西、三原、鶴岡、末広; 大型パイプロットによる締固め時の地盤振動性状について 第28回土質工学研究発表会(投稿中)

ディープ・パイプロ工法による盛土法面の液状化対策

日本鉄道建設公団 正会員 早坂 治敏
 日本鉄道建設公団 正会員 蓼沼 慶正
 ハザマ 正会員 早川 雅彦
 ハザマ 正会員 ○三原 正哉

1. はじめに

東北新幹線青森車両基地は、新幹線トンネル工事の掘削ズリを緩い沖積砂質地盤上に盛り立てて建設される。地震時の盛土の安定性について検討した結果、大部分の外周法面部で基礎地盤の液状化に伴い盛土のすべり安全率が所定の値を満足しないことが明らかとなった。そこで、液状化対策として、低振動・低騒音工法で、掘削ズリを補給材として利用することが可能な振動締め固め工法の1つであるディープ・パイプロ工法¹⁾（以下、DV工法）を用いて法面部地盤改良することが計画された。

本文は、本工事に先立って実施した試験工事結果を中心に、一部本工事の改良結果を報告するものである。

2. 地盤概要と改良計画

東北新幹線青森車両基地は、上に述べたように、新幹線トンネル工事の掘削ズリを沖積砂質地盤上に盛り立てて建設され、外周約2.3Km、盛土高約3.8~5.9mの計画となっている。試験工事の結果を踏まえて計画された盛土法面の1例を図-1に示す。地盤は、一般に表層に厚さ1~3mの沖積粘性土層（Ac6）があり（As6が挟在することもある）、その下にはN値10程度以下の砂層（As5）が存在する。レベル1地震動（地表面最大加速度189gal）に対し、As6を含めAs5より上部の砂層部が液状化の可能性が高いと判定され、 Δu 法により盛土の安定性を検討した結果、盛土は所定の安全率を満足しなかった。そこで、地盤を締め固め液状化抵抗を高めることとした。改良範囲は試験工事結果をもとに盛土の安定性を確保できるように定められた。また、締め固め工法としては、一部民家に近接していること（離間距離約30m）、コスト面から掘削ズリを使用できる工法が望ましいことから、高周波パイプロプロットを用いて低振動・低騒音で地盤を締め固めることができ、またケーシングを用いず地表から補給材を供給できるDV工法を用いることとした。

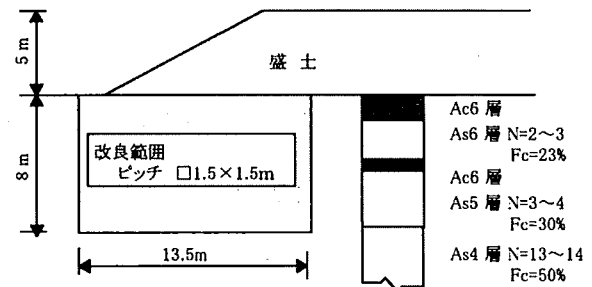


図-1 盛土法尻部の改良（A-1k480m）

表-1 試験工事の概要

工種	ケース	ケース1	ケース2	ケース3
		打設ピッチ(m)	□:1.2×1.2	□:1.5×1.5
DV打設	改良長(m)	10	10	10
	施工本数(本)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)	20本 (4列×5列)
調査工 (粒度試験含む)	SPT改良前	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
	SPT改良後	2箇所(10m)	2箇所(10m)	2箇所(10m)
計測工	振動・騒音	-	10・20・40・80・160m/1測線	-

3. 試験工事の概要

補給材として、通常用いられている購入砂より細粒分が多いトンネル掘削ズリを用いるため、試験工事を行い、改良効果とピッチの関係を評価した。表-1に試験工事の概要を示す。また、図-2、3に、打設配置と試験工事に用いた掘削ズリの粒度分布を示す。表-2に示すように改良ピッチは、

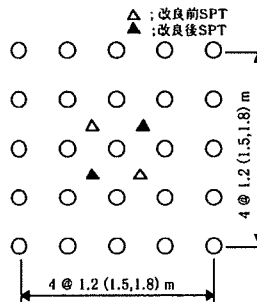


図-2 打設配置

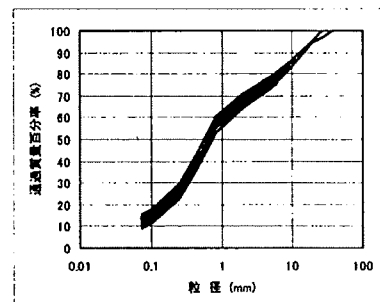


図-3 掘削ズリの粒度分布

キーワード : 液状化 盛土 地盤改良 振動締め固め工法

連絡先 : 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 TEL : 0298-58-8813 FAX : 0298-58-8819

1.2、1.5、1.8mの3ケースで、改良効果は鉄道構造物設計基準・同解説 耐震設計²⁾に従い、PL値を用いて評価した。

4. 試験工事の結果

改良前後のN値の比較を図-4に示す。また、改良前後のPL値の比較を図-5に示す。図-5には、DVの設計法（SCPのC法と同じで、等価杭径をφ0.6mとする）から予測した改良後N値に基づくPL値も

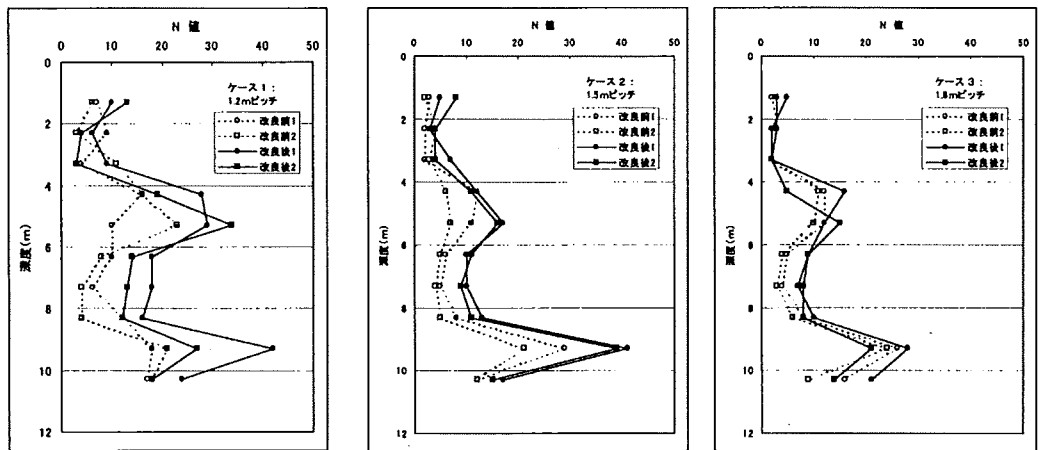


図-4 改良前後のN値の比較（試験工事）

示している。改良前12~15であったPL値は、改良後ピッチ1.2、1.5、1.8mでそれぞれ2.9、5.3、9.8となり、ピッチ1.8mでは改良効果が不十分であった。なお、ここでは、PL<5の時地盤は非液状化地盤と評価した。予測時PLと改良後PLを比較した場合、ピッチ1.5mの場合はほぼ予測値と実測値に基づくものは等しいが、1.2mと1.8mは実測値の方が低くなっている。以上のことから、本工事に対しては、各地点でのボーリングデータに基づき1.5m前後で改良ピッチを定めることとした。

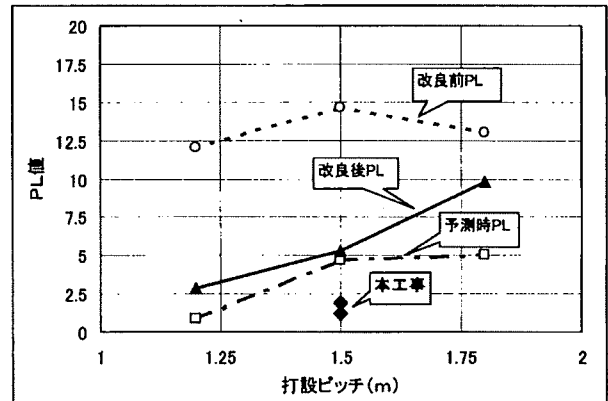


図-5 改良前後のPL値の比較

振動・騒音の測定結果を図-6に示す。図には、過去の測定データも示している。この図から、近傍民家に対しても敷地境界で十分規制値を満足することが明らかとなった。また、振動・騒音とも既存データの範囲内に入っていた。

5. まとめ

現地発生土を活用できる利点から、DV工法を用いて液状化対策

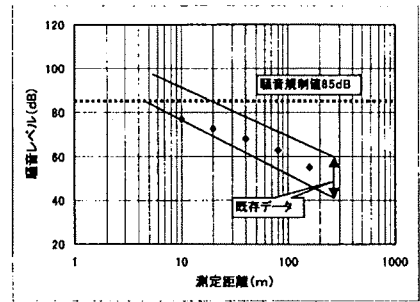
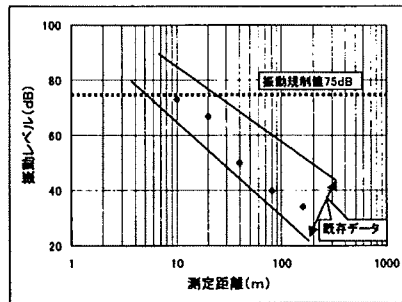


図-6 振動・騒音の測定結果

を計画し、試験工事でその適用性を評価した。

現在、本工事を実施中であるが、本工事では、掘削ブリの細粒分が当初より増加して来たため、掘削ブリ（細粒分20~25%）と購入砂（細粒分3%）を半々で混合して使用している。これまでに実施した本工事の改良後のチェックボーリング結果から求めたPL値を図-6に示すが、図からわかるように、現時点ではほぼ想定された改良効果が得られている。

今後、掘削ブリの細粒分の変動も予想されるため、掘削ブリ搬入時の粒度チェックを実施し、随時掘削ブリと購入砂の混合割合を見直していく計画である。

【参考文献】

- 1) 三原正哉・鶴岡龍彦・末廣修三：ディープ・パイプロ工法と施工例、平成5年度建設機械と施工法シンポジウム、(社)日本建設機械化協会、1993.10、pp.48~53
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、鉄道総合技術研究所 編、1999.10月、pp.54~57

ディープ・バイブロ工法による砂質土地盤の締固め効果についての一考察

安藤ハザマ 正会員 ○足立有史、永井裕之
 日本海工 篠井隆之
 青山機工 小林 司
 徳島大学 正会員 渦岡良介

1. はじめに

ディープ・バイブロ工法（DV工法）は、振動棒工法やバイブロフローテーション工法と同様の密度増大工法に位置づけられ、ロッド先端に取り付けた高出力バイブレータ（バイブロフロット）の水平振動により、周辺地盤を締固め液状化を防止する工法である。DV工法の設計は、φ650mm相当の砂杭を形成するものとして、サンドコンパクションパイル工法と同様の手法（「方法C」¹⁾）を採用している。本報告は、DV工法における最近の施工結果から、特に対象地盤の粒度特性に着目し、改良効果および現行設計法の適用性について考察するものである。

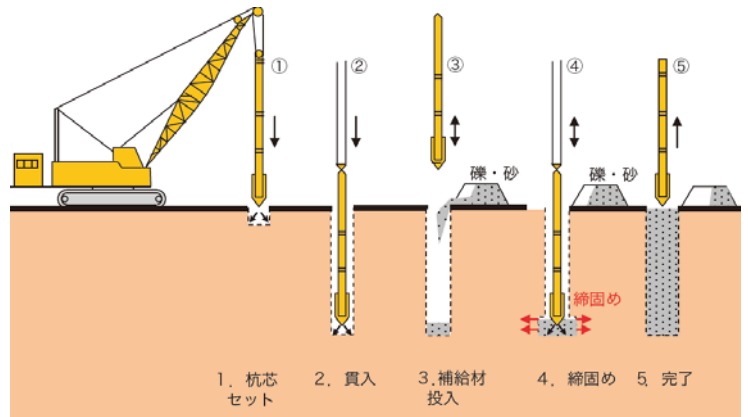


図-1 DV工法の施工手順

2. DV工法の施工及び設計手順

図-1にDV工法の施工手順を示す。施工は貫入工程と締固め工程に区分され、貫入工程では、バイブロフロットの振動エネルギーとエアジェットの噴出エア圧でバイブロフロットを規定深度まで貫入する。締固め工程では、深度毎に地表面までの引抜き、打戻しを繰り返す、その際、地盤に発生する陥没穴に地表面から補給材を投入することで地盤密度を高めて所定の強度を有する地盤に改良するものである。

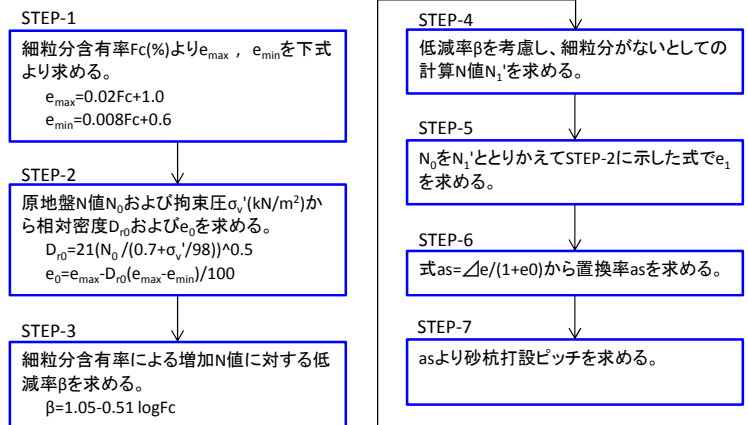


図-2 DV工法の設計手法 ¹⁾に一部加筆

DV工法の設計手順を図-2に示す。DV工法の設計法は、造成した砂杭により周辺地盤の間隙が減少し密度が高まることでN値が増加するとし、必要な砂杭ピッチを決定するものである。

表-1 施工データ一覧

地名	対象土質	細粒分含有率 Fc(%) (平均)	平均粒径 D50(mm)	杭間隔*1 (m)	置換率 as(%)
青森	砂質土	25.1	0.407	□1.5	10.9
石川	砂質土	2.5	0.340	□1.8	8.7
福島	砂質土	8.1	0.360	□1.6	11.0
新潟	砂質土	4.9	0.282	□2.15*1.6	9.6
				□3.2*1.95	5.3
				□1.8*1.6	11.5
茨城	砂質土	6.5	0.317	△2.3	7.2
千葉	砂質土	8.4	-	□1.4	17.0

*1 □: 正方形配置、△: 三角形配置

3. 施工データと改良効果

本報で扱う施工データの一覧を表-1に示す。これらのデータは、液状化対策工として実際の工事で得られたもののうち、改良前後の調査地点が3m以内に近接し、かつ、地盤の粒度情報が比較的そろっているものである。改良前後の杭間N値を図-3に示す。改良後のN値の増加量は原地盤N値や置換率と一定の相関が確認できる。一方で、置換率が小さい場合でも、高い改良効果を示すデータもありばらつきが見られる。杭間N値と細粒分含有率の関係を図-4に示す。細粒分含有率が大きくなるほど、杭間N値の増加幅が小さくなることが確認できる。これは、現行の設計法で取り入れられている低減率βの考え方と整合している。

キーワード 振動締固め, 密度増大, 液状化対策
 連絡先 〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20

安藤ハザマ 土木事業本部 TEL 03-6234-3672

4. 改良効果と粒度特性

低減率βは、図-2のSTEP-3に示すように細粒分含有率の関数として定義されている。細粒分含有率の増加に伴う改良効果の低減を考慮したβの導入は、N~Drの関係式(STEP-2,5)で細粒分が多い場合にDrを過小評価することへの対応であり、サンドコンパクションパイル工法による実測値をもとに提案されたものである²⁾。DV工法による改良地盤の実測値から式(1)により低減率βを算出した結果を図-5(a~c)に示す。

$$\beta = \frac{\Delta N}{\Delta N'} = \frac{N_1 - N_0}{N'_1 - N_0} \quad \text{式(1)}$$

- ここに、ΔN: 細粒分の影響を受けたN値の増分
- ΔN': 細粒分の影響を考慮しないN値の増分
- N₁: 細粒分の影響を受けた実測N値
- N₁': 細粒分の影響を考慮しない改良後計算N値
- N₀: 改良前の実測N値

浅層部は深層部に比べて低拘束圧であることや地表部の盛り上がりの影響を受けることから、深層部の改良効果と比較するため、GL-3.3mで分けたグラフも作成した。図-5(a)より、実測値は現行設計法のβ値に対して、上下に大きくばらついていることが確認できる。また、GL-3.3m以浅および以深の違いについても特に明確な傾向は確認できない。ただし、図-5(c)の点線で囲まれたデータにおいては特にβ値が低くなっているが、この地点は他地点と異なり対策範囲の下層に軟弱なシルト層が存在することが影響したと推察される。

低減率βのばらつきを要因として平均粒径D50に着目した。Δβ(現行設計法の低減率βと実測β値の差)と平均粒径D50の関係を図-6に示す。D50が大きくなるに従いΔβの増加傾向が確認でき、細粒分含有率に加えて粒径分布が締め固め効果に影響を与えている可能性がある。

5. まとめ

DV工法で施工データをもとに改良効果や現行の設計法の適用性について検討を行なった。改良効果にばらつきはあるものの、現行設計法と整合する結果であった。また、増加N値に対する低減率βは細粒分含有率のほか、粒径分布などの影響を受けていることも示唆された。今度は、さらにデータを蓄積し、より合理的な設計法の確立を目指す。

<参考文献>

- 1) 地盤工学会：液状化対策工法、pp.233-242、2004.
- 2) 水野、末松、奥山：細粒分を含む砂質地盤におけるサンドコンパクションパイル工法の設計法、土と基礎、Vol.35, No.5, pp.21-26, 1987.

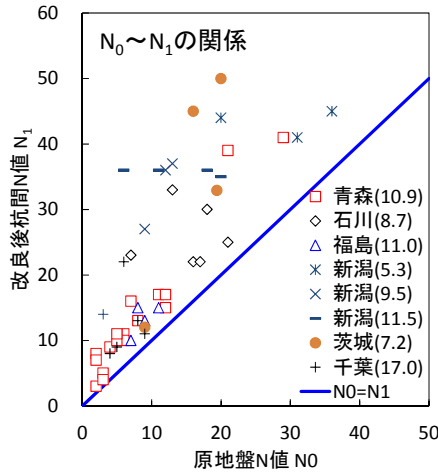


図-3 改良前後の杭間N値
*图中()内は置換率を示す

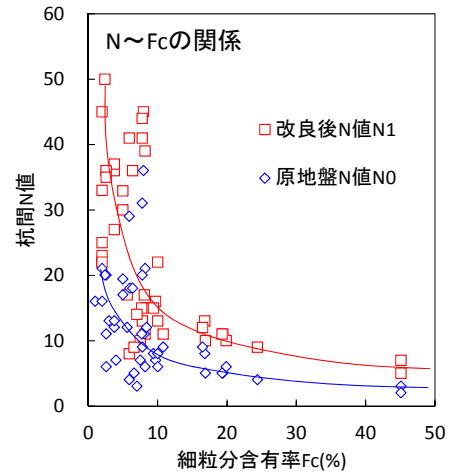
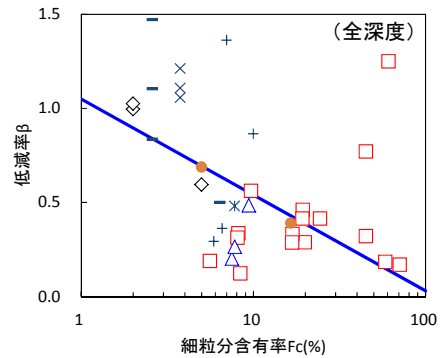
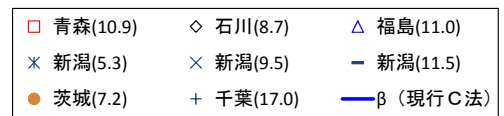
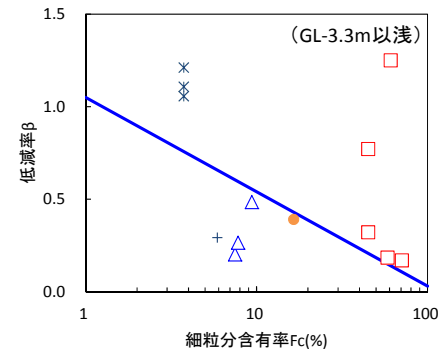


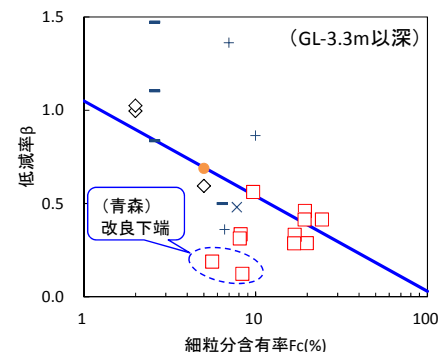
図-4 N値とFcの関係



(a)全層



(b)GL-3.3m以浅



(c) GL-3.3m以深

図-5 細粒分含有率と低減率βの関係

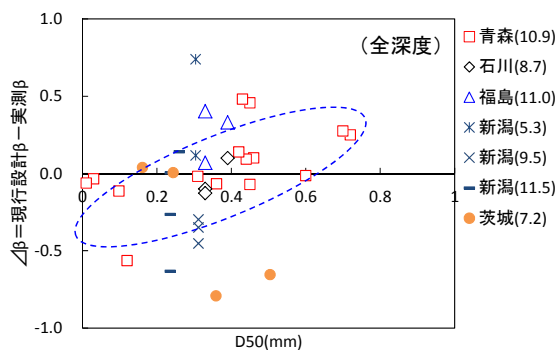


図-6 ΔβとD50の関係

ディーブ・バイブロ工法の概要と施工例

三原正哉*
大橋幹生**

1. まえがき

ディーブ・バイブロ工法は、振動締固め工法の一つで、ロッド先端に取付けた大容量バイブレーター(バイブロフロット)を用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱な地盤を改良するものである。

本工法は、他の振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、周辺地盤の変状が小さいこと、施工機械がコンパクトであることなどの特徴を有しており、特に都市部や既存構造物近傍での地盤改良に適している。

現在、ディーブ・バイブロ工法(以下、D.V.工法と略す)には、補給材の供給方式の違いによって2つのものがある。1つは、補給材を地表面から供給する方式で、サーフィスフィード方式(以下、SF方式と略す)と呼んでいる。他の1つは、補給材供給用パイプをバイブロフロット(以下、フロットと略す)に抱き合わせ、パイプ下端より地中に補給材を供給する方式で、ボトムフィード方式と呼んでいる。両方式とも、振動締固めに用いるフロットは同じものである。

SF方式は1989年10月に導入し、改良・開発を進めるとともに、実施工への展開を図ってきたものであり、現在、実施工件数は20数件で改良延長は約20万mである。一方、ボトムフィード方式については、1992年6月から実験工事に着手し改良・開発を進めているものであり、実施工の件数は1件である。また、ディーブ・バイブロ委員会を設け、現在、正・準会員合わせて14社が参加し、改良開発や普及に努めている。

本文では、D.V.工法のうち、SF方式の概略と施工事例について報告する。

2. 概要

本方式は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする砂質土の締固め工法の一つであるバイブロフローテーション工法に分類される工法である。改良目的としては緩い砂地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加、などが挙げられる。

表-1は、フロットの容量をD.V.工法のものとして現在日本で使用されているバイブロフローテーション工法のものとして比較したものである。D.V.工法の方が起振力で5~10倍と大きい。海外でも本方式ではバイブロフローテーション工法と同様、貫入・補給材供給の補助として水を使用している。しかし、起振力が大きいことから、水の代わりに排水処理の不要な圧縮空気を使用することにより貫入可能な地盤も多いと考えられることから、圧縮空気を使用する施工法の開発を行い、地盤条件による使い分けを可能とした。

表-1 バイブロフロットの諸元Aタイプ

諸元	バイブロフローテーション (日本国内)		ディーブ・バイブロ工法
	15HP型	30HP型	
モータタイプ			150HP
電動機(kW)	11	22	118(油圧式)
振動数(rpm)	1,420	1,420	1,500~Max 3,000
起振力(tf)	2.5	5.1	約25
起振点振幅(mm)	4~5	6~7	14
全重量(tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3tf 延長パイプ 0.22tf/m
有効長(m)	7	15	実積 Max 30
ケーシング外径(mm)	φ319	φ381	振動部 φ325
フィン外径(mm)	φ469	φ500	延長パイプ φ300
モータ取付け位置	本体上部	本体内蔵下部	本体内蔵下部
構造	一体式	継足式	継足式

3. 施工機械と施工方法

施工機械は、先端部に振動体を有するフロット、これを吊り下げるクローラクレーン、エア設備(コンプレッサ)、フロットを起動する油圧パワーバック(H-180)、補強材を供給するトラクタショベル、および深度・油圧を自動記録する施工管理計からなっている。また、地盤条件によっては、エア設備の代わりに水設備(給水ポンプ、水槽)が用いられる。

図-1に、空気使用時の施工機械の構成例を示す。フロットは、D.V.工法の主体をなすものであり、詳細を図-2に示す。

フロットは先端部に偏心ウェイトがあり、これを直上にある油圧モータで回転させることにより、フロットを水平方向に振動させる仕組みになっている。この振動体

*ハザマ 技術・設計第一部 課長
** 〃 〃 課長 会員

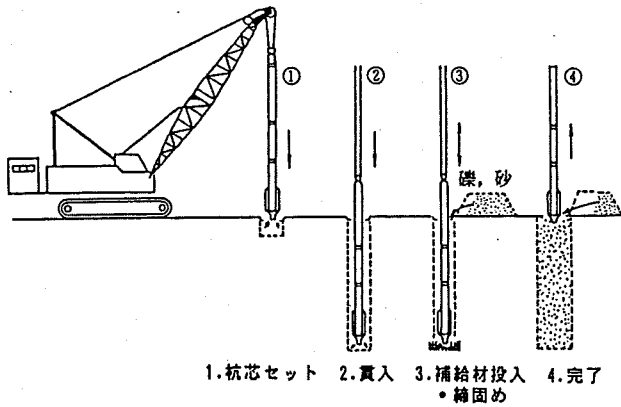


図-1 施工機械の構成(SF方式)Aタイプ
 <全体図> <振動部>

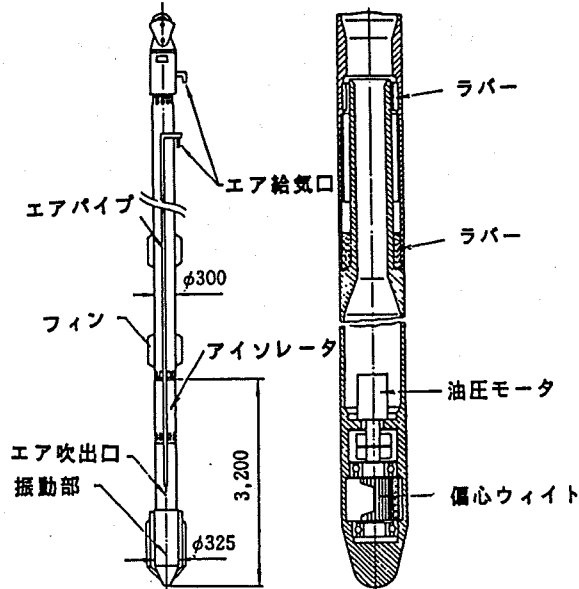


図-2 バイブロフロットの詳細図Aタイプの上部には、上下に硬質のラバーを取付けたアイソレータと呼ばれる振動絶縁装置が接続されており、振動体の振動が上部の延長パイプに伝達しない機構となっている。

施工管理計は、フロット先端部の深度を示す深度計と油圧モータの圧力を示す油圧計からなっている。

施工手順を図-3に示す。

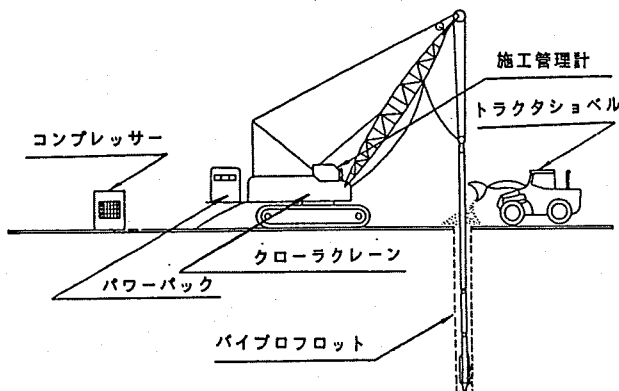


図-3 施工手順(SF方式)Aタイプ

補給材としては、砂、れきあるいはスラグが用いられる。補給材として使用する砂は、細粒分含有率(75 μ m以下の含有率)が5%以下のものとしている。また碎石としては、 ϕ 20~40mm程度のものを使用することが多い。水を使用する施工法では補給材として碎石を使用する必要がある。施工管理に関しては、従来のバイブロフローテーション工法やロッドコンパクション工法と同様な考え方で行っており、主な管理項目は、深度、補給材量、地表面沈下量である。

また、改良後の品質管理としては、杭間で標準貫入試験を実施するのが通常である。

4. 適用条件

本方式では、地表面から補給材を投入するため、特別な場合を除き、陸上施工可能な地盤を対象としている。

対象地盤中に、よく締まった中間砂層が存在する場合、これまでの実績より、空気使用時にはN値25以下、水使用時N値30以下の地盤であれば適応可能である。

施工可能深度は地盤条件・施工条件により異なるが、標準的には5~20m、最大で25mである。

5. 設計法

既に述べたように、本方式は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする締固め工法の一つである。締固め工法は液状化対策工法の中でも実地震においてその効果が確認されている数少ない工法であり、改良効果の確実性という面では信頼性が高い。

締固め工法の設計法は、現状では密度中心に考えられている。本方式もサンドコンパクションパイル工法も同様の手順で打設ピッチを算定する。

なお、本方式の改良効果は、対象とする地盤条件(原地盤N値、細粒分含有率 F_c 、層厚、粘性土層の有無)などにより左右される度合いが大きい。そこで、改良仕様の決定にあたっては、試験施工を実施し、その結果に基づき決定することが望ましい。

砂の圧入率 V は、分担面積と m 当りの補給砂量の比で表わされるものである。 m 当りの補給砂量 S は、地盤条件などによって異なるが、これまでの実績から、 $0.28 \sim 0.38 \text{ m}^3$ の値が得られている。

6. 施工例

SF方式の施工実績は20数例で、全て液状化対策として、振動・騒音や地盤変状の問題から、本工法が採用されたものである。対象としては、タンク基礎、護岸背後地盤、都市部の建築物基礎地盤等があげられる。

以下、施工例として、SF方式による「タンク基礎」の改良工事について概要を示す。

本工事は、稼動中のタンク群の中に新たに石油タンクを2基(1500kl, 2000kl)増設するにあたり、基礎地盤の液状化対策として実施したものである。

(1) 地盤概要

本地盤は、砂を主体とした昭和40年代後半の埋立て地盤である。埋立て時にはサンドドレーン工法、サンドコンパクションパイル工法によって地盤改良された。その後、表層2m程度は山土や建設残土により盛土がなされ、建設残土には最大80cm角程度のコンクリート片も含まれていた。

タンクを新設するにあたり地盤調査を実施した結果、埋立て砂層部で「危険物の規制に関する規則」で定められている必要N値を満たさない部分があり、地盤改良を行うこととなった。

(2) 施工方法

a. 施工条件

図-4に改良範囲の平面配置を示す。

図に示されるように、改良範囲は直近のタンクとは5m程度しか離れていないこと、ポンプヤード(直接基礎で鉄製配管があり、変形は許されない)が隣接していること、配管(スリーバと呼ばれる直接基礎で支持されている)が改良範囲内にあることなど、地盤変形に対し非常に厳しい条件となっている。

b. 試験工事

改良工事に先立ち、①改良効果の確認、②周辺地盤変

状の調査、③振動・騒音のチェックの目的で試験工事を実施した。試験工事は、埋立て時にサンドドレーン(S.D)工法とサンドコンパクションパイル(S.C.P)工法が施工された二つのエリアで実施した。施工方法はドライ方式(エアを使用する方式)で、改良深度は9m、改良ピッチはともに2.0mの正方形配置、打設本数は1ケース16本であった。改良前後のN値の測定結果の一例を図-5に、規則に定められている目標N値と改良後N値との関係を図-6に示す。

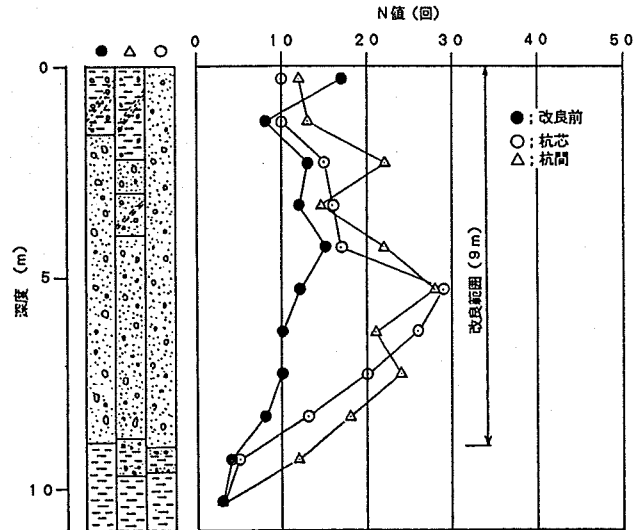


図-5 改良前後のN値の比較

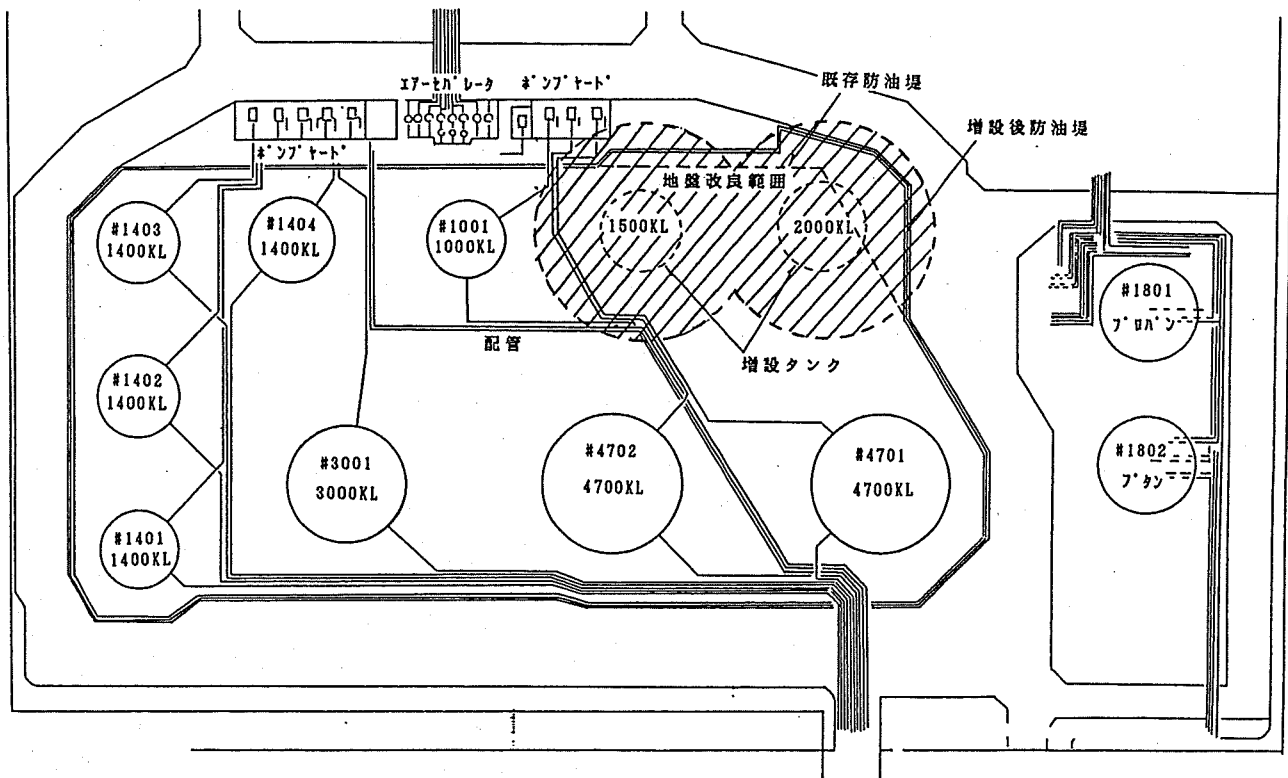


図-4 改良範囲の平面配置Bタイプ

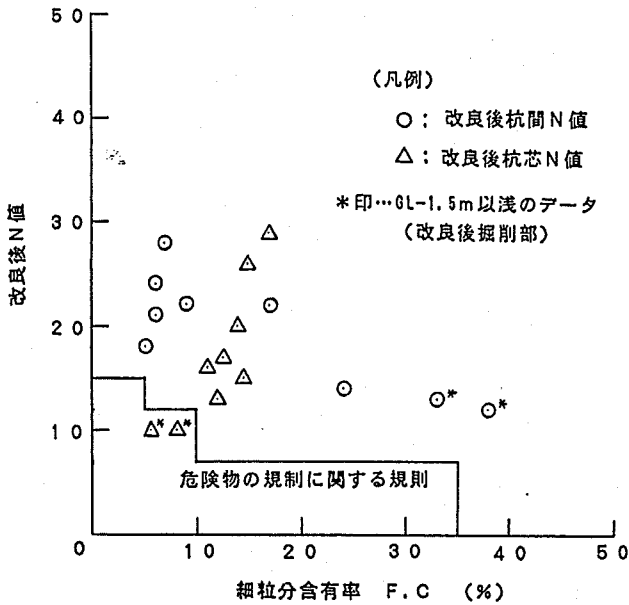


図-6 改良効果の比較

これらの図より改良効果に問題がないこと、また試験工事時の地盤変形の測定結果から地盤変状についても問題がないことが示された。

c. 試験工事

試験工事の結果をもとに、以下の仕様・諸元で改良工事を実施した。

- ・施工法：ドライ方式(エア使用)
- ・打設長：平均10m、ただし、深度計・油圧計により粘土層への貫入を確認。
- ・補給材：毎秒、0.28m³ m以上
- ・打設本数：431本

施工機は1台で、配管の破損などの問題もなく工事を終了した。なお、先に述べたように本拠点は表層部にコンクリート片などが存在し、サイクルタイムの増加、フロット先端部の磨耗等施工上の障害となった。

d. 改良結果

改良後杭間で実施した標準貫入試験の結果、埋立て砂層部のN値は平均で20程度まで上昇した。N値が15を下まわっている地点については粒度試験を実施し、規則に定められている細粒分含有率に対する目標N値を満足していることを確認した。

7. 周辺への影響

D.V.工法の大きな特長は、従来の振動締固め工法に比較して、低振動・低騒音、周辺地盤の変状が小さいことである。ここでは、これらに関してこれまでのSF方式の施工実績が得られたデータを示す。

(1) 振動

D.V.工法における振動の発生源はフロット先端の振動体部のみであり、前述したアイソレータの動きにより延長パイプ部には振動は伝達しない機構となっている。

振動体の振動数は50Hzと在来工法に比較し高周波であり距離減衰も大きいことも特徴である。施工時の測定データを図-7に示す。また、図には比較のためS.C.P工法の例(土質工学会、軟弱地盤対策工法より引用)も示している。

図から判断すると、D.V.工法は、S.C.P工法と比較して10dB以上は低振動な工法と言える。

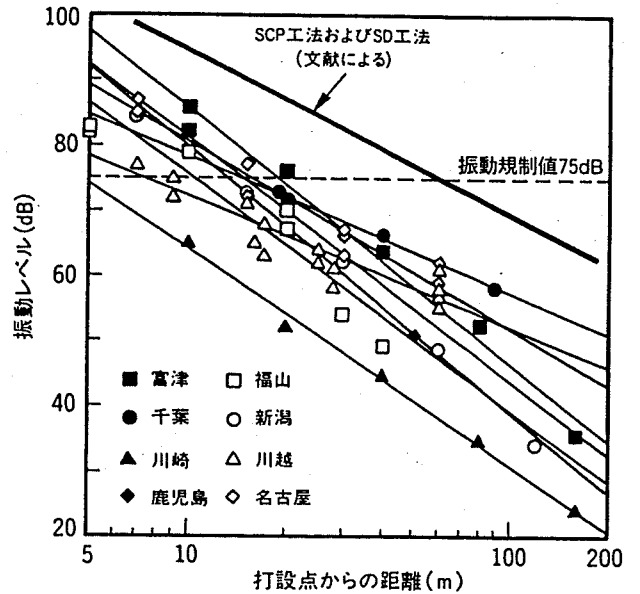


図-7 振動レベルの測定結果

(2) 騒音

SF方式における騒音の発生源は、油圧パワーパック、コンプレッサー、クローラクレーン、およびフロット先端からの空気の排気音である。フロット先端からの空気の排気音は、フロットが地中にある時は問題とならない。

施工時の測定データを図-8に示す。振動の場合と同様に、S.C.P工法の例も比較のため示している。

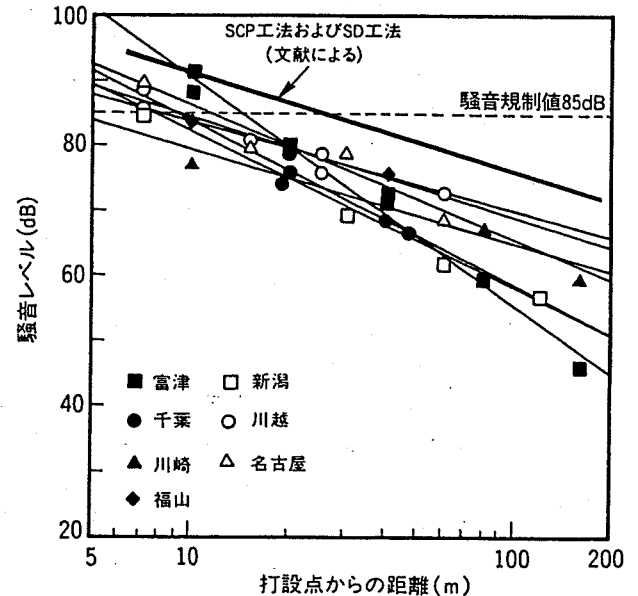


図-8 騒音レベルの測定結果

図から判断すると、打設点付近では、S.C.P工法と同程度であるが、距離が離れるに従いD.V.工法の方が小さくなっており、打設点から20m地点ではD.V.工法の方が約10dB小さい。

(3) 近接構造物の変形

D.V.工法はS.C.P工法に比較して地盤変状が小さいという特長を有しており、その特長をいかしてこれまで既設構造物近傍での施工を多く実施してきた。図-9は、これまでの施工のなかで測定した近接構造物の変位を示したものである。構造物には種々のものがあるが、水平・鉛直変位とも5mm未満となっている。

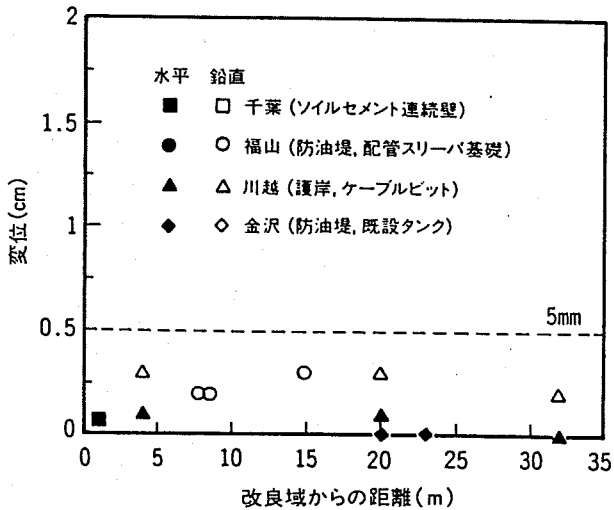


図-9 近接構造物の変位

8. あとがき

1989年10月に導入して以来、技術開発および現場適用を進めてきたディーブ・バイプロ工法について、その概要と施工例を紹介した。

サーフィスフィード工法については、低公害型液状化対策工法として運輸省の技術評価を申請し、平成4年9月には評価証の交付を受けた。今後とも、両方式に対し、実績と技術開発を積み重ね、より合理的な技術の確立を目指していきたいと考えている。

また、人工島等の礫質土による埋立地盤の締固めを目的の一つとして、起振力をさらに大きくしたバイプロプロット(起振力最大46tf)を導入し、その施工性・効果等についても実証を進めている。

10. ディープ・バイブロ工法と施工例

ハザマ：*三原 正哉

日本海工(株)：鶴岡 龍彦

青山機工(株)：末広 修三

ディープ・バイブロ工法は、振動締固め工法の一つで、ロッド先端に取付けた大容量バイブレーター（バイブロフロット）を用いて、地盤や供給される補給材を水平方向に振動締固めすることにより、軟弱な地盤を改良するものである。本工法は、他の振動締固め工法と比較して低振動・低騒音であること、周辺地盤の変状が小さいこと、施工機械がコンパクトであることなどの特長を有しており、特に都市部や既設構造物近傍での地盤改良に適している。

ディープ・バイブロ方式に関しては、1989年10月に、(株)間組・日本海工(株)・青山機工(株)の3社でディープ・バイブロ工法研究会を設立し、実験工事などを通しての改良開発を行うとともに、実施工への展開を図ってきた。

本文では、ディープ・バイブロ工法（以下、D.V.工法と略す）の概要と、施工例について報告する。

2. ディープ・バイブロ工法の概要

2.1 施工法

本工法は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする砂質土の締固め工法の一つであるバイブロフローテーション工法に分類される工法である。改良目的としては緩い砂地盤の地震時の液状化抵抗の増加、沈下量の低減、支持力の増加、などが挙げられる。

バイブロフロットは、本工法の主体をなすものであり、詳細を図-1に示す。起振方法は油圧モータ軸下部に装着された偏心ウェイトの回転によるもので、振動方向は水平方向である。また、バイブロフロットの上部に接続された硬質のゴム筒を取り付けたアイソレータと呼ばれる緩衝装置により、振動は上部ロッドに伝達せず、エネルギーの損失もなく、対象土層を直接かつ

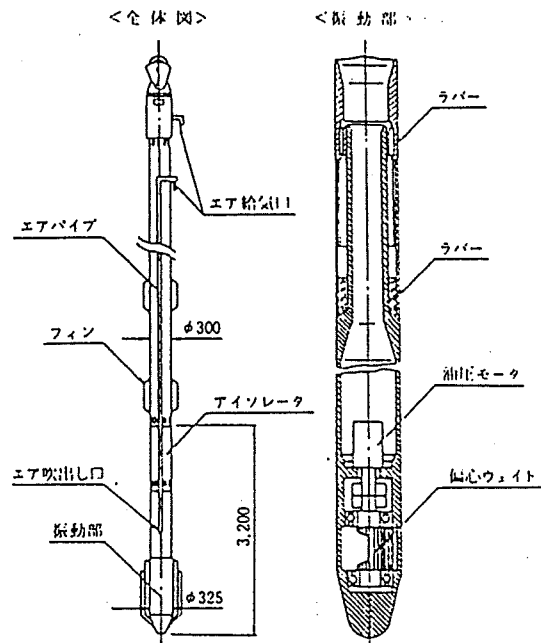


図-1 バイブロフロットの詳細

表-1 バイブロフロットの諸元

諸元	バイブロフローテーション工法（日本国内）		ディープ・バイブロ工法	
	1511P型	3011P型	15011P型	
モータタイプ	1511P型	3011P型	15011P型	
電 動 機 (kW)	11	22	118 (油圧式)	
振 動 数 (rpm)	1,420	1,420	1,500~max 3,000	
起 振 力 (tf)	2.5	5.1	約25	
起 振 点 振 幅 (mm)	4~5	6~7	14	
全 重 量 (tf)	1.7	4.3	振動部+アイソレータ 1.3tf	
有 効 長 (m)	7	15	延長パイプ	0.22tf/m
ケーシング外径 (mm)	φ 319	φ 381	突 箱	max 30
フィン外径 (mm)	φ 469	φ 500	振 動 部	φ 325
モータ取付け位置	本体上部	本体内蔵下部	延長パイプ	φ 300
構 造	一体式	継足し式	本体内蔵下部	
			継足し式	

文献1)を修正、加筆。

効果的に締め固めることが出来る。
表-1は本工法のパイプロットと従来のものの諸元を比較したものであり、出力は5~10倍大きいことがわかる。

施工機械は、振動を発生するパイプロット、これを吊り下げたクローラクレーン、エア設備(コンプレッサ)、パイプロットを起動する油圧パワーバック(H-180)、補給材を供給するトラクタショベル、および深度・油圧を自動記録する施工管理計からなっている。

図-2に、空気使用時の施工機械の構成例を示す。

施工法は、クローラクレーンに吊り下げたパイプロットの上下動によって締め固めるものであり、図-3に施工手順を示す。補給材としては、砂、れきあるいはスラグが用いられる。補給材として使用する砂は、細粒分含有率(75μm以下の含有率)が5%以下のものとしている。また碎石としては、φ20~40mm程度のものを使用することが多い。

施工管理に関しては、従来のパイプロローテーション工法やロッドコンパクション工法と同様な考え方で行っており、主な管理項目は、深度、補給材量、地表面沈下量であり、施工時には、改良深度~時間、油圧~時間の軌跡が自動記録される。また、改良後の品質管理としては、杭間で標準貫入試験を実施するのが通常である。

2. 2 設計法

既に述べたように、本方式は、密度の増大・有効応力の増大を原理とする締め固め工法の一つである。締め固め工法は液状化対策工法の中でも実地震においてその効果が確認されて

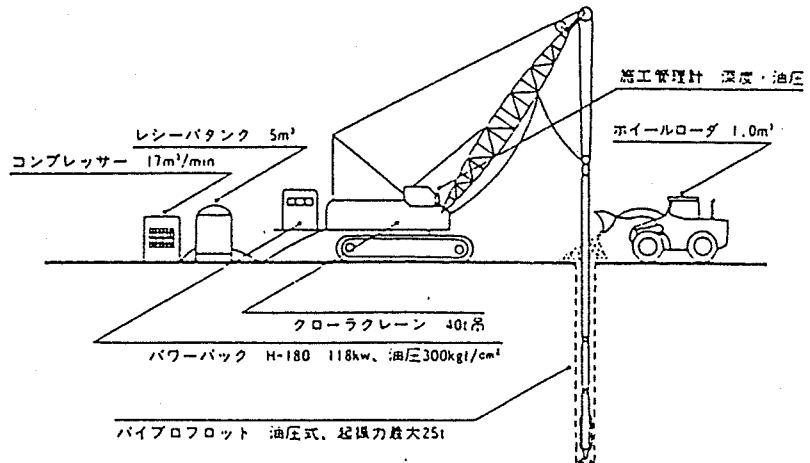


図-2 施工機械の構成

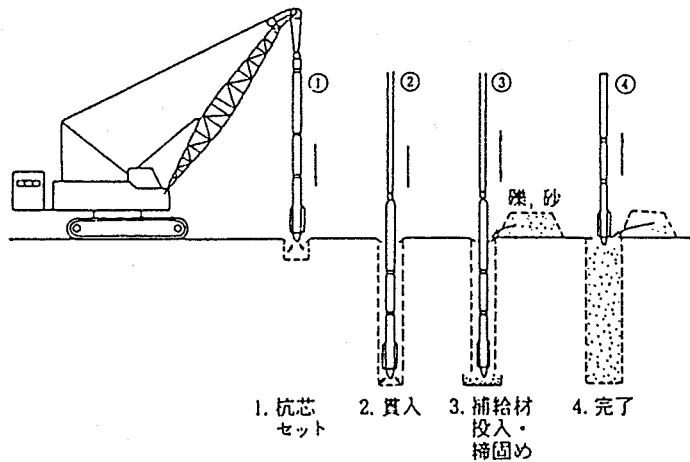


図-3 施工手順

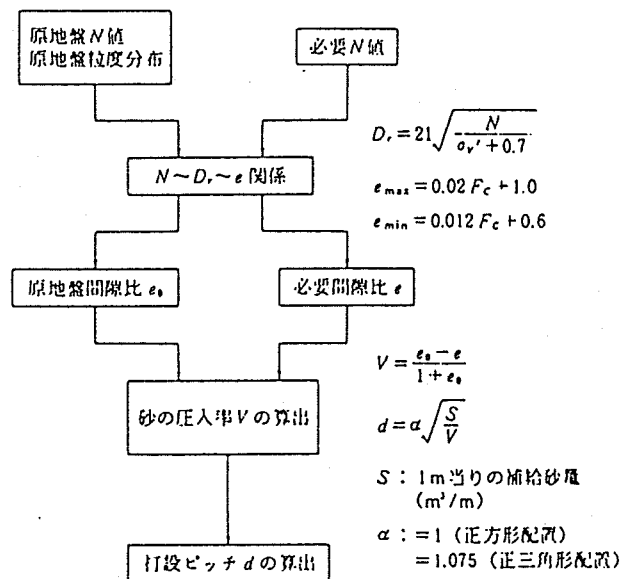


図-4 設計フロー

いる数少ない工法であり、改良効果の確実性という面では信頼性が高い。

締固め工法の設計法は、現状では密度中心に考えられている。本方式も図-4のフローにそって打設ピッチを算定する。

なお、本方式の改良効果は、対象とする地盤条件（原地盤N値、細粒分含有率 F_c 、層厚、粘性土層の有無）などにより左右される度合いが大きい。そこで、改良仕様の決定にあたっては、試験施工を実施し、その結果に基づき決定することが望ましい。

砂の圧入率 V は、分担面積と m 当りの補給砂量の比で表わされるものである。 m 当りの補給砂量 S は、地盤条件などによって異なるが、これまでの実績から、 $0.28 \sim 0.38 \text{ m}^3/\text{m}$ の値が得られている。

3. 施工例

3.1 施工実績

研究会で実施した2件の実験工事を含めて、導入以来の施工実績は14件であり、タンク基礎地盤の改良、護岸背後の改良、建築構造物基礎地盤の改良等である。これらは全て液状化対策として実施したものであり、振動・騒音や地盤変状の問題から、本工法が採用された。

以下、施工例として、「タンク基礎」の改良工事について概要を示す。

3.2 「タンク基礎工事」²⁾

本工事は、稼働中のタンク群の中に新たに石油タンクを2基（1500 kL 、2000 kL ）増設するにあたり、基礎地盤の液状化対策として実施したものである。

地盤は、砂を主体とした昭和40年代後半の埋立て地盤であり、埋立て時にはサンドドレーン工法、サンドコンパクションパイル工法によって地盤改良がなされた。その後、表層2 m 程度は山土や建設残土により盛土がなされた。タンクを新設するにあたり地盤調査を実施した結果、埋立て砂層部で「危険物の規制に関する規則」で定められている必要N値を満たさない部分があり、地盤改良を行うこととなった。

図-5に改良範囲の平面配置を示す。図に示されるように、改良範囲は直近のタンクとは5 m 程度しか離れていないこと、

ポンプヤード（直接基礎で鋳鉄製配管があり、変形は許されない）が隣接していること、配管（スリパーと呼ばれる直接基礎で支持されている）が改良範囲内にあることなど、地盤変形に対し非常に厳しい条件となっている。

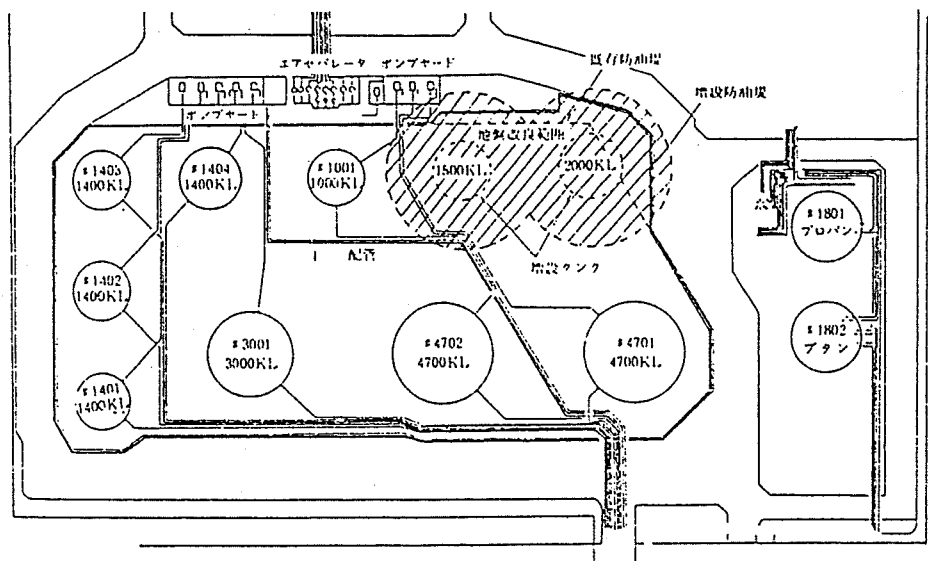


図-5 改良範囲の平面配置

改良工事に先立ち、①改良効果の確認、②周辺地盤変状の調査、③振動・騒音のチェックの目的で試験工事を実施した。

試験工事は、埋立て時にサンドドレーン工法とサンドコンパクションパイル工法が施工された二つのエリアで実施した。改良深度は9m、改良ピッチはともに2.0mの正方形配置、打設本数は1ケース16本であった。改良前後のN値の測定結果の一例を図-6に、規則に定められている目標N値と改良後N値との関係を図-7に示す。

試験工事より改良効果に問題がないこと、また試験工事時の地盤変形の測定結果から地盤変状についても問題がないことが示され、試験工事の結果をもとに、以下の仕様・諸元で改良工事を実施した。

- ・施工法：ドライ方式（エア使用）
- ・打設長：平均10m、ただし、深度計・油圧計により粘土層への貫入を確認。
- ・補給材：海砂、 $0.28\text{m}^3/\text{m}$ 以上
- ・打設本数：431本

施工機は1台で、配管の破損などの問題もなく工事を終了した。施工状況を、写真-1に示す。

また、改良後杭間で標準貫入試験を実施し、規則に定められている細粒分含有率に対する目標N値を満足していることを確認した。

4. 周辺への影響

D.V.工法の大きな特長は、従来の振動締固め工法に比較して、低振動・低騒音、周辺地盤の変状が小さいことである。ここでは、これらに関してこれまでの施工実績から得られたデータを示す。

(1) 振動

D.V.工法における振動の発生源はパイプロット先端の振動体部のみであり、前述したアイソレータの働きにより延長パイプ部に

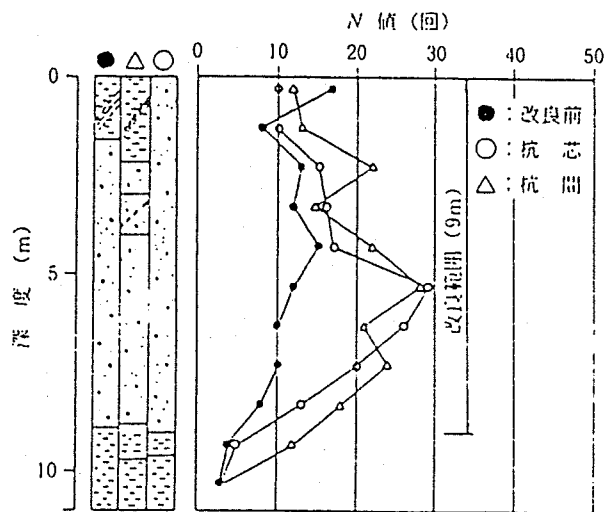


図-6 改良前後のN値の比較

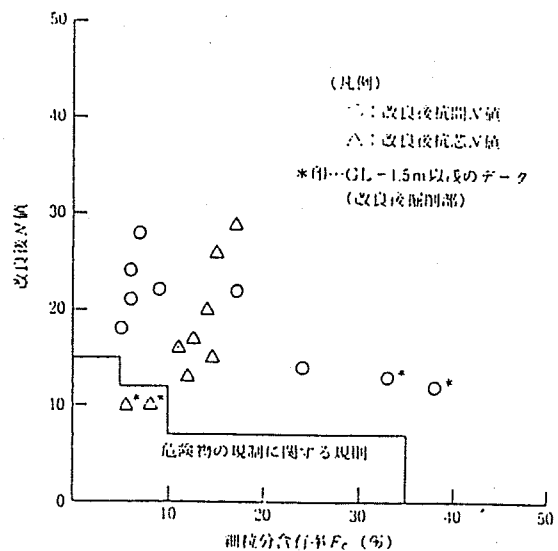


図-7 改良効果の比較

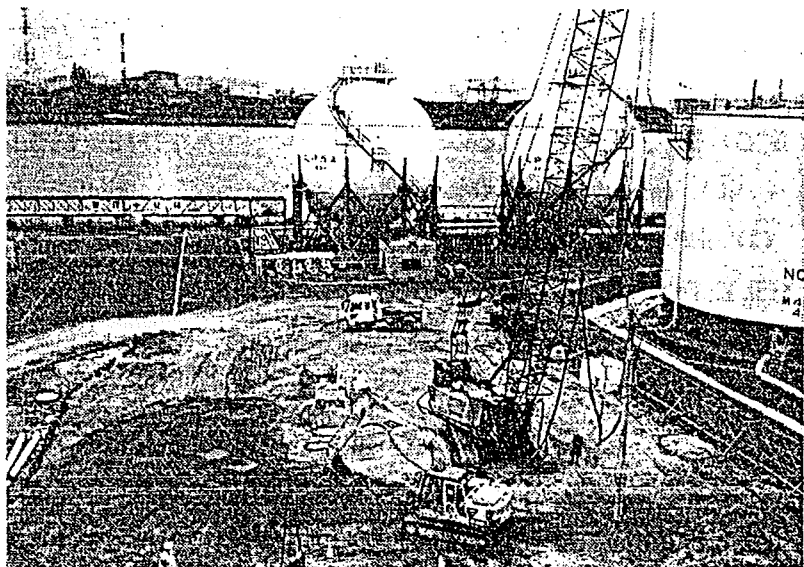


写真-1 施工状況

は振動は伝達しない機構となっている。振動体の振動数は50Hzと在来工法に比較し高周波であり距離減衰が大きいことも特徴である。施工時の測定データを図-8に示す。また、図には比較のためS.C.P工法の例（土質工学会、軟弱地盤対策工法より引用）も示している。

図から判断すると、D.V.工法は、S.C.P工法と比較して10dB以上は低振動な工法と言える。

(2) 騒音

D.V.工法における騒音の発生源は、油圧パワーパック、コンプレッサー、クローラクレーン、およびバイプロフロット先端からの空気の排気音である。バイプロフロット先端からの空気の排気音は、フロットが地中にある時は問題とならない。施工時の測定データを図-9に示す。振動の場合と同様に、S.C.P工法の例も比較のため示している。

図から判断すると、打設点付近では、S.C.P工法と同程度であるが、距離が離れるに

従いD.V.工法の方が小さくなっており、打設点から20m地点ではD.V.工法の方が約10dB小さい。

(3) 地盤変状

D.V.工法は、水平振動によって土粒子の配列を密に並び変え、空隙部に投入された補給材を締め固めるものであり、周辺地盤の地盤変状を全く生じさせないことは困難である。図-10に、これまでに測定した地中変位の測定結果を示す。これらのデータは全て、挿入型傾斜計を用いて測定したものである。

この図からみると、改良域から5m地点では地中変位は2cm以下で、10m離れると変位はほとんど生じていないことが分かる。また、データでは示していないが、同一地点でのS.C.P工法による測定データと比較すると、地中変位はD.V.工法の方が小さく、D.V.工法に比べて砂を強制的に押し出すS.C.P工法の5割程度以下となっている。

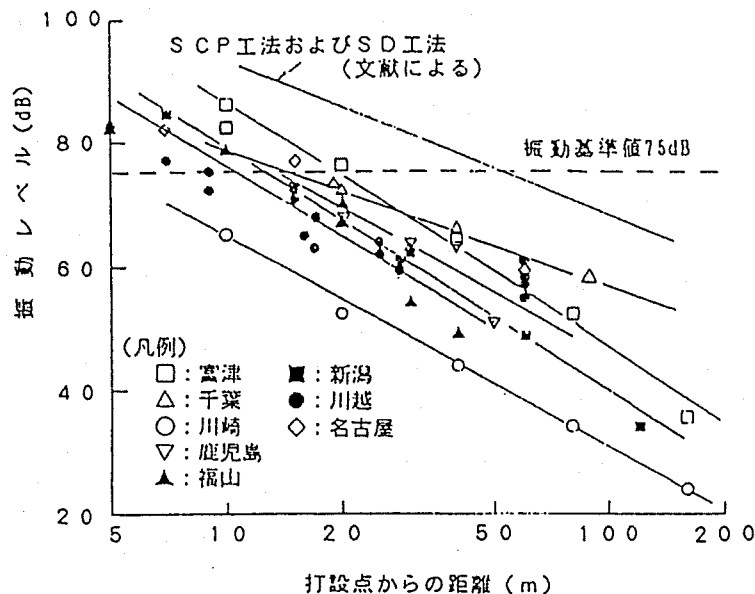


図-8 振動レベルの測定結果

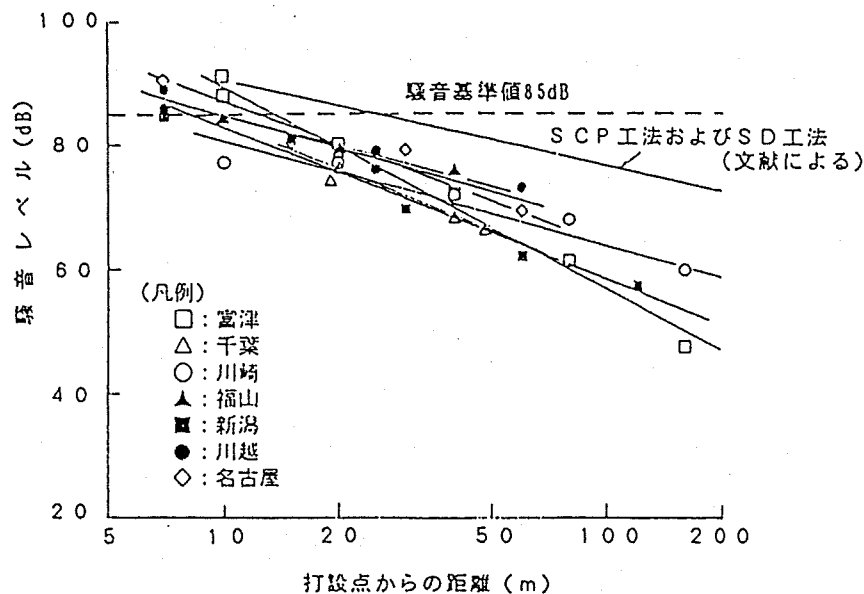


図-9 騒音レベルの測定結果

(4) 近接構造物の変形

D. V. 工法はS. C. P 工法に比較して地盤変状が小さいという特長を有しており、その特長をいかしてこれまで既設構造物近傍での施工を多く実施してきた。図-11は、これまでの施工のなかで測定した近接構造物の変位を示したものである。構造物には種々のものがあるが、水平・鉛直変位とも5mm未満となっている。

5. あとがき

1989年10月に導入して以来、技術開発および現場適用を進めてきたディープ・パイプロ工法について、その概要と施工例を紹介した。

本工法については、低公害型液状化対策工法として運輸省の技術評価を申請し、平成4年9月には評価証の交付を受けたが、今後とも実績と技術開発を積み重ね、より合理的な技術の確立を目指していきたいと考えている。

最後に、開発・施工にあたり、御支援・御協力いただいた関係者の皆様にお礼申し上げます。

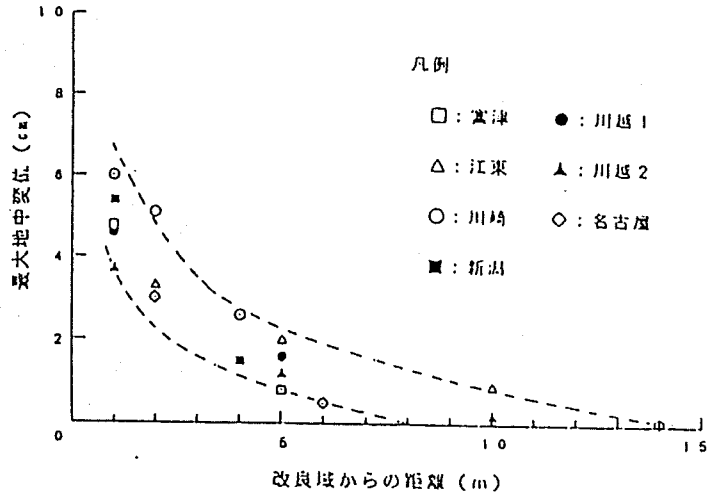


図-10 地中変位の測定結果

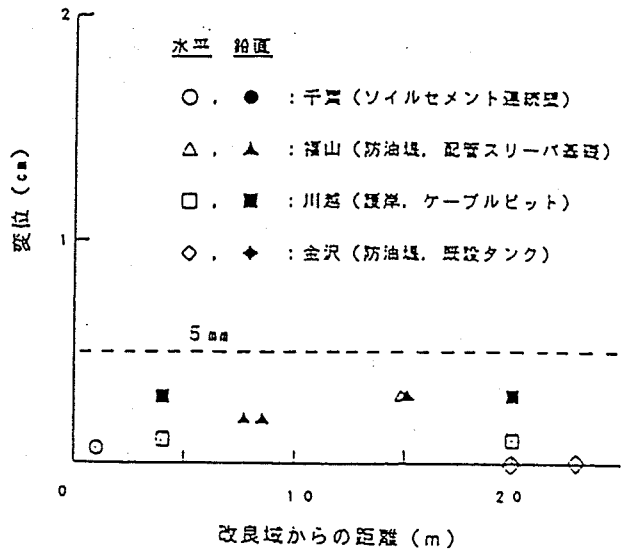


図-11 近接構造物の変位

参考文献

- 1) 田中誠一：3. 地盤改良工法③パイプロフローテーション工法、基礎工、1976.5
- 2) 三原正哉：ディープ・パイプロ工法による地盤改良の設計・施工、軟弱地盤の改良⑨、1992