

パワーブレンダー工法（スラリー噴射方式）

パワーブレンダー工法協会

パワーブレンダー工法とは改造型バックホウをベースマシンとし、トレンチャー式攪拌機をアタッチメント装備した地盤改良専用機で、互層地盤となっている原位置土に改良材を供給し、垂直連続攪拌混合して土質性状を安定させる原位置固化工法である。改造型のバックホウをベースマシンとしているので、機動性に優れ低騒音、低振動である。改良深度は0.5～10m程度で、さまざまな土質に適用でき、硬質地盤への着底も可能な地盤改良工法である。改良材の供給方式としてはスラリー噴射、粉体噴射などさまざまな用途に応じた供給方式を選定することが可能であり、本文では施工実績の多いスラリー噴射方式の特長と新たな用途開発について紹介する。

キーワード：地盤改良，軟弱地盤，機械攪拌，近接施工，地中連続壁，気泡混合軽量土，発泡ビーズ混合軽量土，汚染土壌対策

1. はじめに

我が国は、軟弱な沖積層が至る所に堆積し、様々な建設計画にあたって大きな障害となっている。国土の狭い我が国ではこの軟弱地盤を克服し、限られた国土を有効利用しながら、豊かな国土づくりが必要である。

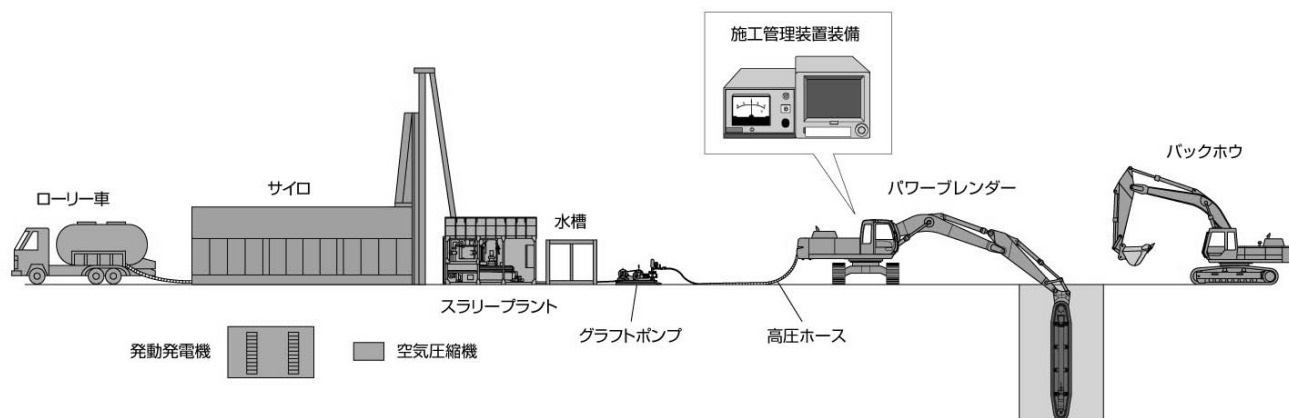
また、近年、公共工事の見直し、コスト縮減が叫ばれるなか、「より良く、より早く、より安く、より信頼される」地盤改良工法が求められている。

このような背景から、パワーブレンダー工法は1978年に実用化されて以来、高品質・低コストな地盤改良の提供を目指して、工法の特長を活かしつつ機械装置及び管理システム等の改善・改良を行なってきた。

その結果、一昨年は、国土交通省 平成17年度上期「テーマ設定技術募集方式（フィールド提供）」にて、「単位時間当たり施工量増を可能にする地盤改良工法（大幅な工期短縮が図れる表層改良工法）」として採用され、施工後、新技術活用システム検討会議（本省に設置：産学官で構成）において「技術の事後評価」が行われ、「有用な技術」として高く評価された。

また、新たな用途開発も積極的に実施している。地中連続壁、原位置混合による気泡混合軽量土及び発泡ビーズ混合軽量土の造成、汚染土壌の不溶化処理等である。

ここでは、工法の概要と特長について記述するとと



図一 施工システム図

もに、工法の特長を活かした現場施工事例と新たな用途について紹介する。

2. 概要と特徴

(1) 概要

パワーブレンダー工法スラリー噴射方式（以下「SPB 工法」という）は 0.8～1.9 m³ クラスの改造型バックホウをベースマシンとし、トレンチャー式攪拌機（以下、「トレンチャー」という）にて、原地盤と改良材スラリーを垂直連続攪拌混合する浅層・中層混合処理工法である。トレンチャーには、チェーン速度 1.0～1.8 m/sec で連続回転しているチェーンに正逆相対する形状の攪拌翼が等ピッチに装着され、改良材スラリーと原地盤とを攪拌翼によって垂直連続攪拌混合することで、互層地盤でも均一な改良体を造成することを可能としている。

図一 1 に施工システム図を示す。

(2) 特徴

SPB 工法の特徴を以下に示す。

①改良深度 10 m まで対応可能

トレンチャー性能を向上させた PBT-900 の開発と、改良土の品質と施工性を確保する為に、改良直後の流動性（テーブルフロー値）の指標として「原土の湿潤密度と改良深度に対する望ましい流動値」^{a)} を定めたことにより、最大改良深さ 10 m を可能とした。

写真一 1 に機械全景を示す。

②高品質で低コストな改良を実現

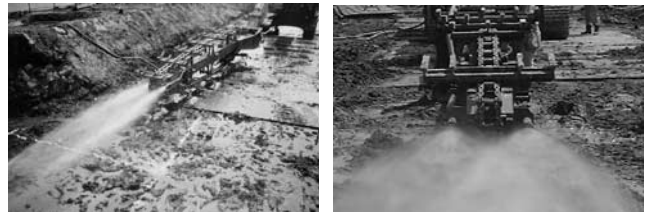
原土の湿潤密度と改良深度による望ましい流動性を定めることにより、攪拌混合性の向上と効率的な施工を実現し、高品質で低コストな改良を可能とした。

③互層地盤でも改良強度のバラツキが少ない

改良材スラリーを吐出するにあたり、コンプレッサーからの圧縮空気を加え、改良材スラリーの吐出圧力を上げるエア加速型吐出システム^{b)}を採用してい

る。本システムは、改良材スラリーを攪拌翼全体へ均等拡散するとともに、土中における吐出口の閉塞を防止し、攪拌翼先端まで確実に改良材スラリーを供給する。

写真一 2 に改良材スラリー噴射状況の写真を示す。



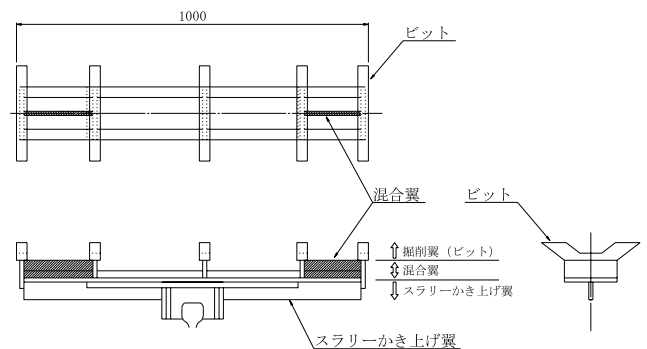
写真一 2 改良材スラリー吐出状況

改良材スラリーと原地盤を確実に攪拌混合する為の攪拌翼^oは掘削の役割を持ったビットを 5 種類の幅に配置し全断面を掘削し、掘削後の土を攪拌混合する混合翼と改良材スラリーをかき上げ翼で先端吐出された改良材スラリーをかき上げ、混合することで、深さ方向の均一な改良を行っている。

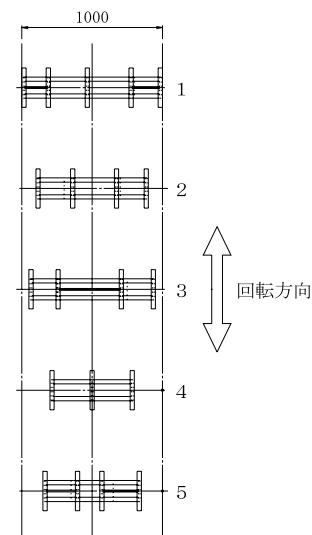
図一 2 に攪拌翼構造図、図一 3 に攪拌翼配置図を



写真一 1 機械全景



図一 2 攪拌翼構造図



図一 3 攪拌翼配置図

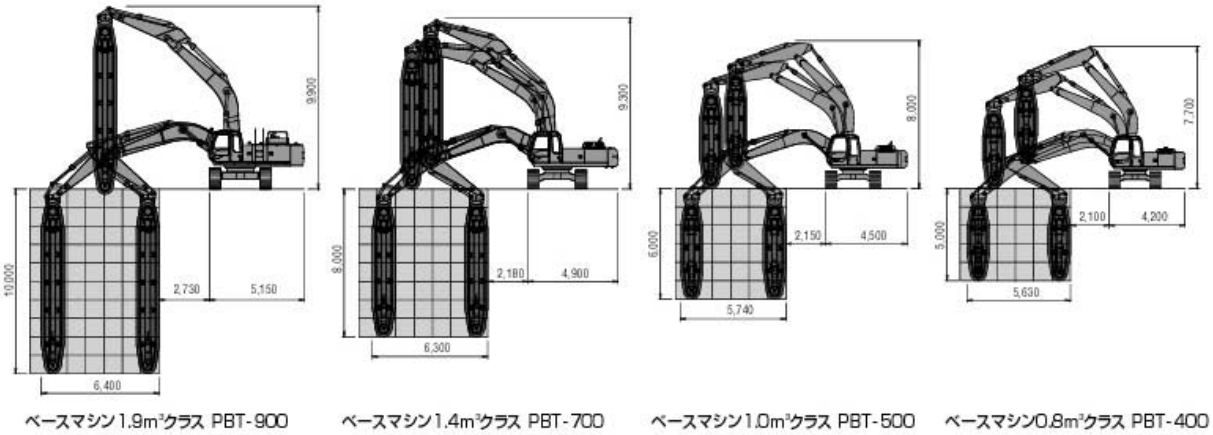


図-4 各種パワーブレンダー姿図

示す。

- ④あらゆる改良材が使用可能であり，適用範囲，設定強度が広範囲

セメント，セメント系固化材，高分子系等の多くの改良材が適用できる。また，原土の土質性状に応じた改良材添加量及び改良材スラリーの水セメント比を設定することにより，低強度改良から高強度改良まで広範囲にわたる品質の安定した地盤改良が可能である。

- ⑤機動性に優れている

パワーブレンダーは改造型バックホウ 0.8 m³ ~ 1.9 m³ クラス（機械質量 25 t ~ 52 t 級）をベースマシンとする豊富なヴァリエーションで，多種多様なニーズに対応できる。

図-4 に各種パワーブレンダー姿図を示す。

- ⑥周辺地盤への影響が少なく近接施工が可能

パワーブレンダーによる垂直連続攪拌混合で先端より吐出される改良材スラリーは，吐出位置より上部が絶えず攪拌混合され，吐出注入圧は上部へ開放されるため周辺地盤への変位が少ない。

- ⑦信頼度の高い施工管理が可能

施工中にトレンチャーの鉛直性，チェーン速度，チ

ェーン累積移動距離，改良深度を運転席にてモニタリングと記録するとともに改良材スラリーの吐出量も記録している。これらのモニタリングと記録による施工管理は，安心して信頼される地盤改良技術となっている。写真-3 に施工管理装置を示す。

3. 施工事例（近接施工）

SPB 工法における周辺地盤への影響を地中傾斜計にて測定した施工事例を紹介する。

本工事は堤防補強のための盛土拡幅工事に伴う，斜面の円弧すべり防止と沈下防止を目的とした地盤改良工事である。改良深度 7 m，改良対象地盤は N 値 = 0 ~ 1 の軟弱地盤である。

このため，近接家屋への影響が懸念され，極めて地盤変位の少ない SPB 工法が採用された。

表-1，表-2 に改良仕様，土質試験結果を示し，写真-4 に施工状況を示す。

表-1 改良仕様

改良深さ	t = 5.5 m, 7.0 m
添加量	a = 107, 116 kg/m ³
水セメント比	W/C = 1.0
吐出方法	エア-加速型
現場目標強度	quf = 200 kN/m ²
室内目標強度	qul = 600 kN/m ²

表-2 土質試験結果

湿潤密度	$\rho_t = 1.59 \text{ t/m}^3$
含水比	W _n = 60 ~ 63 %
液性限界	WL = 59 ~ 63 %
塑性限界	WP = 28 ~ 29 %
塑性指数	IP = 31 ~ 33
コンシステンシー指数	I _c ≒ 0



写真-3 施工管理装置



写真一4 施工状況



写真一5 地中連続壁の造成状況

地中傾斜計の設置位置とその地中変位測定結果を図一5に示す。測定時の対象範囲は平面4m×10.5m、深さ7mのブロック改良を対象とした。地中傾斜計は、改良ブロックの正面と側面に設置した。ブロック側面に配置した地中傾斜計では、改良範囲から0.5m離れた測点No.4で最大変位は約1.5cm、1.5m離れた測点No.5では約1cmであったことを確認した。ブロック正面では側面に比べ僅かに変位が増える傾向にあるが、近接家屋に対して平行施工をすることにより周辺地盤に発生する変位は最小限に抑えることができる。

本工事の地中変位量が少なかったのは、垂直連続攪拌混合であり、トレンチャー先端より上部が絶えず攪拌混合され、改良材スラリーの吐出圧は地盤水平方向

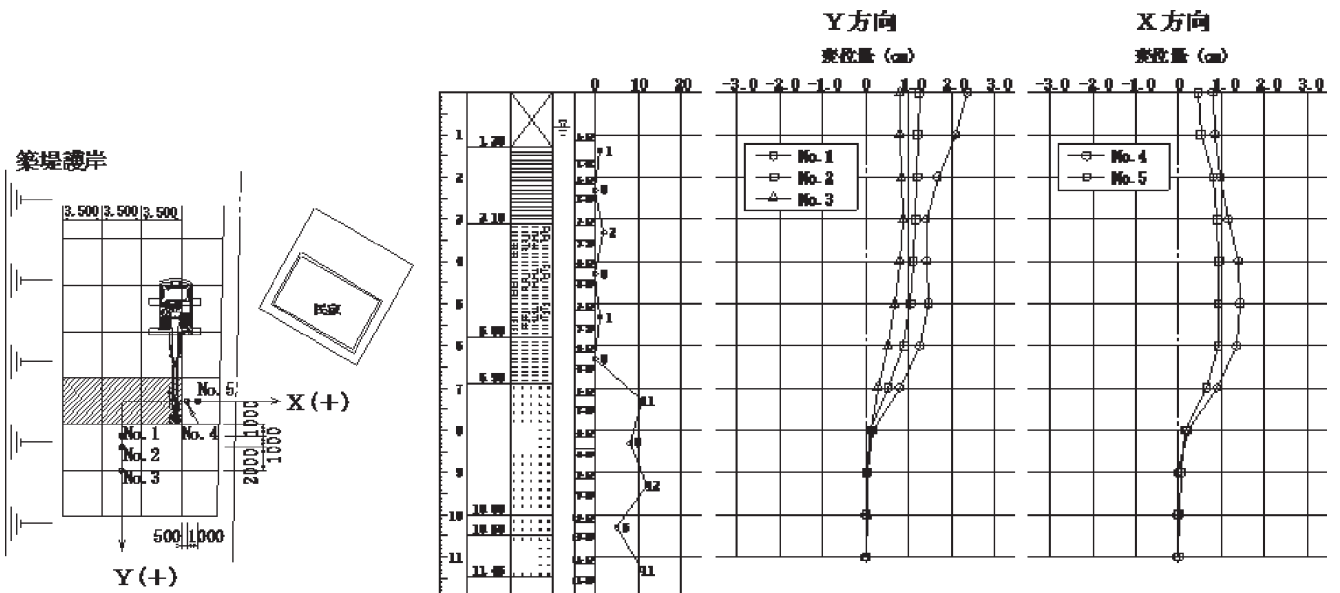
よりも上部へ開放された為、周辺地盤への影響が少なかったと考えられる。

4. 新たな用途開発

(1) 地中連続壁

本技術は浅層・中層領域における地中連続壁造成の技術である。従来の地中連続壁の造成は、TRD工法、SMW工法等に代表されるように深度20～50mまでを対象とした大型機械による造成であり、比較的浅い地中連続壁の造成には割高感が否めない状況であった。そこで、高品質・低コストな地中連続壁の造成技術として、SPB工法による平行施工^④(平行施工)を考案した。

現在、造成深度は $H \leq 10$ mまでであるが、施工機械、施工方法の改善・改良を行い、より深い地中連続壁の造成を目指している。



図一5 地中変位測定結果

写真—5 に地中連続壁の造成状況を示す。

(2) 原位置混合軽量土^⑥

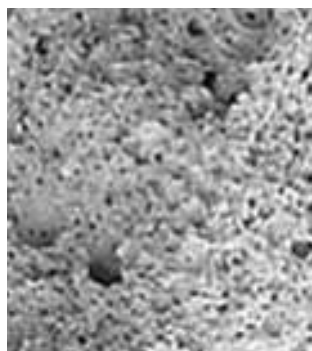
本技術は原位置混合による軽量土の造成技術である。現在開発した技術として「気泡混合軽量土」と「発泡ビーズ混合軽量土」の2種類がある。

気泡混合軽量土はスラリープラントから圧送された改良材と起泡材をパワーブレンダーに装着された発泡装置に圧縮空気とともに通過させてエアミルクを製造し、トレンチャー先端より地中噴射させ、原地盤と攪拌混合することにより気泡混合軽量土を造成する。

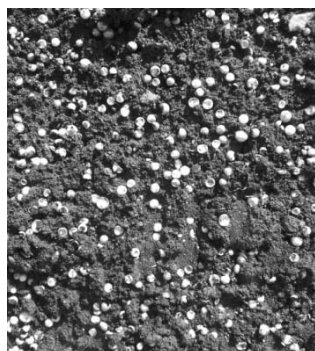
発泡ビーズ混合軽量土は発泡ビーズと改良材をエアー圧送し、トレンチャー先端より地中噴射させ、原地盤と攪拌混合することにより発泡ビーズ混合軽量土を造成する。

従来のプラント混合方式と比較して、原位置混合方式はその施工精度に若干の改良の余地が残るものの、コストや工期短縮の面でメリットが大きい技術である。今後も施工方法の改善・改良を続けるとともに、現場施工のデータを収集していきたい。

写真—6 に気泡混合軽量土の写真を示し、写真—7 に発泡ビーズ混合軽量土の写真を示す。



写真—6 気泡混合軽量土



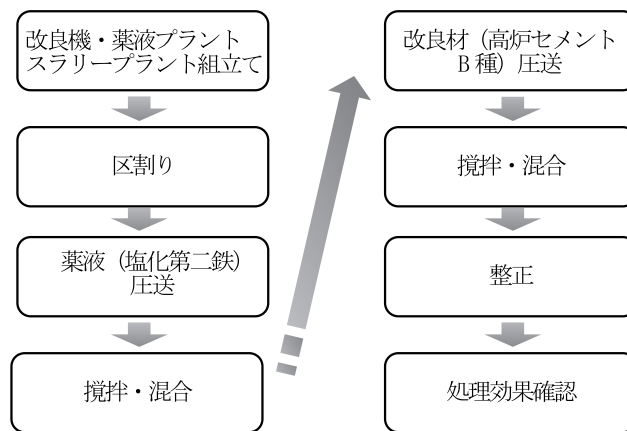
写真—7 発泡ビーズ混合軽量土

(3) 汚染土壌対策

本技術は、「土壌汚染対策法」に規定された重金属類（第二種特定有害物質）により、第一溶出量基準値を超え、第二溶出量基準値以下の汚染土壌を、汚染拡散防止措置として原位置不溶化処理する技術である。汚染物質として「砒素」を対象にしたケースを紹介する。不溶化剤は、化学的不溶化を目的として塩化第二鉄38%溶液、中和・改良材として高炉セメントB種を用い、固化後の六価クロム溶出を低減した。

図—6 に施工フローを示す。

施工においては塩化第二鉄溶液を希釈しても強酸性（pH1.5程度）で鉄材を激しく腐食させるため、トレンチャー配管部には耐酸性に優れたステンレス材を主



図—6 施工フロー

に使用し、薬液プラントの薬液タンクはFRP、塩化第二鉄原液の計量に超音波流量計、塩化第二鉄希釈液の圧送ポンプにはスクイズポンプを使用して耐酸性に考慮した。

写真—8 に薬液プラントを示す。



写真—8 薬液プラント

本技術においてSPB工法を用いることは、垂直連続攪拌混合により深度方向に砒素などの汚染物質の濃度及び原地盤のバラツキがある場合でも、その影響を受けることなく均一かつ確実に不溶化処理できることにある。

今後、様々な重金属類汚染の実績データを蓄積し、より確実に経済的な原位置不溶化処理を目指したい。

5. おわりに

パワーブレンダー工法は30年の歴史を有する工法ではあるが、たゆまぬ改善・改良を継続することで、このたび国土交通省「公共工事等における新技術活用システム（NETIS）」の、新技術活用システム検討会議において有用な技術として評価され、『設計比較対象技術に指定』となった。

本文ではパワーブレンダー工法を構成している特許技術の一部を交えて紹介した。

下記に特許技術項目を示す。

- a) 改良深度に対する望ましい流動値の設定

- b) エアー加速型吐出システム
- c) 全断面掘削型攪拌翼
- d) パラレル施工（平行施工）
- e) 原位置混合軽量土

今後は社会環境が大きく変化する中であって、様々なニーズに対応する為、従来からの固化技術のみならず、卓越した技術を基に工法の特長を活かした新たな技術に挑戦して行きたいと考えている。

最後になりましたが、パワーブレンダー工法の発展に御尽力戴いた関係各位、また執筆にあたり御協力戴いた関係者の皆様に誌面を借りて感謝の意を表します。

NETIS 登録 CB-980012-A

《参考文献》

- 1) 牧野昌巳・佐藤利行・桂山友宏：「パワーブレンダー工法のあゆみ」、土木技術, 62 [1] pp. 85-91 (2007)
- 2) パワーブレンダー工法協会：パワーブレンダー工法 技術資料

JCMMA

[筆者紹介]

伊藤 浩邦 (いとう ひろくに)
パワーブレンダー工法協会
施工部会委員



建設機械施工安全技術指針 指針本文とその解説(改訂版)

◆「指針本文とその解説」目次

第I編 総論

- 第1章：目的
- 第2章：適用範囲
- 第3章：安全対策の基本事項
- 第4章：安全関係法令

第II編 共通事項

- 第5章：現地調査
- 第6章：施工計画
- 第7章：現場管理
- 第8章：建設機械の一般管理
- 第9章：建設機械の搬送
- 第10章：賃貸機械等の使用

第III編 各種作業

- 第11章：掘削工，積込工
- 第12章：運搬工
- 第13章：締固工
- 第14章：仮締切工，土留・支保工
- 第15章：基礎工，地盤改良工
- 第16章：クレーン工，リフト工等

第17章：コンクリート工

第18章：構造物取壊し工

第19章：舗装工

第20章：トンネル工

第21章：シールド掘進工，推進工

第22章：道路維持修繕工

第23章：橋梁工

● A5版 / 330頁

● 定 価

非会員：3,360円（本体3,200円）

会 員：2,800円（本体2,667円）

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも

沖縄県以外 450円

沖縄県 1,050円

※なお送料について、複数又は他の発刊本と同
時申込みの場合は別途とさせていただきます。

● 発刊 平成18年2月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>