

天然土を用いた杭抜き跡の転圧式埋戻し技術の適用性

○中尾晃揮¹・飯田哲夫²・蠟崎一広²・山田武史²・稲積真哉³

¹東京コンテック株式会社・²株式会社エスエスティー協会・³芝浦工業大学

1. はじめに

杭抜き工事において、杭抜き跡の確実な埋戻しが重要視されている。杭抜き跡の不確実な埋戻しから起こり得る事象として、周辺地盤の地盤沈下、新築工事における新設杭の施工品質や工期への悪影響および空隙発生による地盤の不良化等が挙げられる。現在、杭抜き跡の埋戻しには主にセメント系充填材、流動化処理土、および天然土の3種類が用いられている。しかし、これらの材料にはそれぞれ課題がある。天然土による埋戻しは、埋戻し過程における転圧が困難であることから、均一な充填が難しく、安定した強度を確保できない懸念がある。また、原地盤に対して緩い土砂を埋め戻したことにより、その後1ヶ月程度まで埋戻し部の沈下が発生した事例や、大雨の影響で沈下や陥没が生じた事例がある¹⁾。一方、セメント系充填材および流動化処理土による埋戻しは、水とセメントの材料分離により深度方向によって強度が不均一になる可能性がある。加えて、地下水浸入によって所定の値よりも強度が低下する、あるいは固化不良が生じる等の可能性がある。さらに、杭抜き跡へセメント成分を混入するため、杭抜き跡がアルカリ性を呈することや六価クロムの溶出リスクが高まる等の地盤環境問題が懸念される。

杭抜き跡の埋戻し処理後の地盤には、新設杭の打設時に掘削可能且つ崩壊しない強度が必要であり、理想的には原地盤の強度特性と差がないことが望ましいとされる。また、現状として既存杭引抜きおよび杭抜き跡の埋戻し処理が及ぼす影響について精査されることは少なく、その評価に関して適切なマニュアル等も存在しない²⁾。そのため、埋戻し材の選定は元より既存杭引抜きと杭抜き跡の埋戻し処理について、指針等の策定は急務であるといえる。

このような課題を解決し、杭抜き跡の地盤の復元性を高めるためには、深度方向とは無関係に均質な強度を発揮し、且つ地盤環境問題を考慮した埋戻し処理技術の開発が必要である。そこで、本研究では、締め固めながら天然土による埋戻し処理が可能な天然土埋戻し工法（BFS工法）の適用を提案する。本研究では、BFS工法の概要および杭抜き跡の埋戻し処理におけるBFS工法の適用性について述べる。

2. 杭抜き跡の埋戻し処理の現状

2.1 杭抜き跡の埋戻し材

杭抜き跡の埋戻し材は大きく分けて、セメント系充填材、流動化処理土および天然土の3種類を挙げられる。

天然土による埋戻しは、施工が容易且つ安価である点が利点として挙げられる。しかし、杭抜き跡の孔内での転圧が困難であることから、均一な充填が難しく、安定した強度を確保できない。また、原地盤に対して緩い土砂を埋め戻したことにより、その後1ヶ月程度まで埋戻し部の沈下が発生した事例や、大雨の影響で沈下や陥没が生じた事例がある（図-1参照）¹⁾。

流動化処理土は土砂、水、およびセメント系固化材を配合して得られる充填材であり、土砂に建設汚泥を用いるリサイクル材である。流動化処理土は高い流動性とセメント系固化材による自硬性を有するため、微小な空間へも充填され、締め固め不可能な空間でも強度を発揮する特徴を有する。また、流動化処理土は遮水効果を有するため、地下水の浸入に対して安定した強度を発揮する利点がある。しかしながら、流動化処理土は外部施設からの搬入となるため、使用できる現場は搬入可能な地域に限られ、施工状況に合わせての打設が難しいとされている³⁾。

セメント系充填材は水、セメントを配合・混合した充填材である。セメント系充填材は高い流動性と自硬性を有するため、微小な空間にも充填され強度を発揮する。また、配合管理によって強度等の品質管理が容易であり、且つ汎用のプラント設備にて混練作業を実施できるため、現場の施工状況に合わせて適時作製することが可能である⁴⁾。しかし、一般的にセメント系充填材は、水とセメントの材料分離により深度方向によって強度が不均一になる可能性がある。また、地下水浸入によって所定の値よりも強度が低下する、あるいは固化不良が生じる等の可能性がある。



図-1 沈下の発生事例

2.2 埋戻し地盤の強度

杭抜き跡の埋戻しは、埋戻し材に流動化処理土またはセメント系充填材を用い、杭撤去と同時にまたは杭撤去後にトレミー管で打設する方法や、流動化処理土を打設した後にエア攪拌やオーガによる混合攪拌を併用する方法が主流となっている。杭抜き跡の埋戻し地盤の強度としては、原地盤同等を目標とすることが多いが、埋戻し地盤を対象とした主流工法の調査事例では、原地盤同等の地盤強度の造成为困難であることが明らかになってきた⁵⁾。このような地盤で新設杭を施工すると、新設杭の不具合を招くことになる。具体的には、新設杭の周面抵抗が発揮できない場合や、新設杭が傾斜や偏心を起こして再施工に至る場合もあり、新設杭の施工品質および工期への大きな影響を与える⁷⁾。埋戻し処理後の地盤には、新設杭の打設時に掘削可能且つ崩壊しない強度が必要であり、理想的には原地盤の強度特性と差がないことが望ましいとされる、均質な改良地盤の造成为困難であることを認識する必要がある⁹⁾。さらに、現状として杭抜き跡の埋戻し処理が及ぼす影響について精査されることは少なく、その評価に関して適切なマニュアル等も存在しない。そのため、埋戻し処理について、指針等の策定は急務であるといえる。

2.3 埋戻し処理に伴う周辺環境への影響

杭抜き跡の埋戻し処理において、杭抜き跡にセメント成分を混入することは、地盤環境に様々な悪影響を及ぼす可能性がある。セメント系固着材には多量のカルシウム化合物が含まれており、これらが土壌と混ざることによってアルカリ性を呈する。通常、土壌はほぼ中性か弱酸性を示すが、セメント成分の混入により pH が上昇し、強アルカリ性となる。この土壌のアルカリ化は、植物の生育に悪影響を与え、場合によっては植生の衰退や枯死を引き起こす恐れがある。また、セメントには微量ながら六価クロムが含まれている。六価クロムは、強い毒性を持つ重金属であり、発がん性物質としても知られている。杭抜き跡にセメント成分が混入されると、六価クロムが土壌中に溶出するリスクが高まり、溶出した六価クロムは土壌を汚染するだけでなく、地下水に浸透し、周辺環境に拡散する危険性がある。以上のように、杭抜き跡へのセメント成分の混入は、土壌のアルカリ化、六価クロムの溶出等、様々な地盤環境問題を引き起こす可能性がある。したがって、杭抜き跡の埋戻し処理においては、環境に配慮した工法の採用や、混入したセメント成分の除去・中和等の対策を講じることで、地盤環境への悪影響を軽減することが求められる。

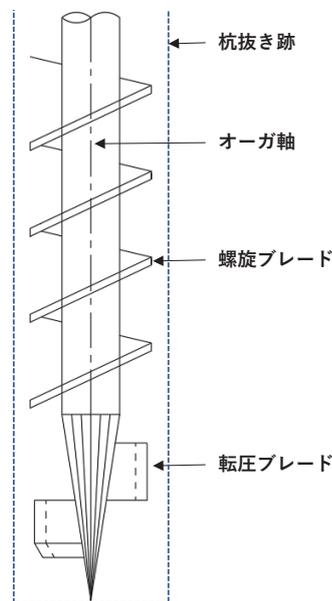


図-2 BFS 工法における専用ドリル

3. 天然土を用いた杭抜き跡の転圧式埋戻し技術 (BFS 工法)

3.1 BFS 工法の概要

天然土を用いた杭抜き跡の転圧式埋戻し技術 (BFS 工法) は、土粒子間の空隙を排除して密度と強度を高めることを基本原理としたものであり、専用ドリルにより土砂を強い力で圧縮して締め固めながら杭抜き跡に充填することが可能である。

BFS 工法における専用ドリルを図-2 に示しており、アースオーガを回転させながら、土砂を地上から螺旋ブレードに徐々に載せ、先端の転圧ブレード (図-3 参照) に送り込んでいく。締め固め機構としては、専用ドリルの円錐形の外周面に特殊な形状をした 2 枚の転圧ブレードを回転断面の対称位置で取り付けられたものであり、回転させることによりそのブレードが、地上から投入する土砂と周辺の地盤を鉛直方向と水平方向に大きな力で圧縮できる。BFS 工法による埋戻し処理のアースオーガ管理基準を表-1、杭抜き跡の埋戻し処理手順を図-4 に示す。

3.2 BFS 工法の特徴

BFS 工法は、専用ドリルの逆回転により、杭抜き跡に投入した埋戻し土と周辺地盤を鉛直方向と同時に水平方向にも強く圧縮できるため、土粒子間の空隙が十分に排除され、埋戻し土だけでなく周辺地盤も強力に締め固めることができる。それによって、様々な土質に対して強度の高い埋戻し処理が可能

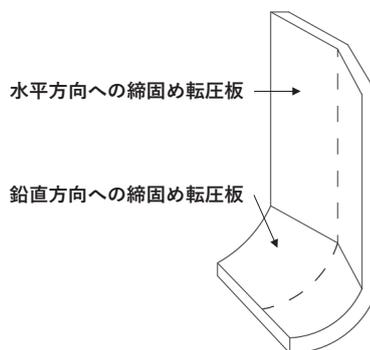


図-3 転圧ブレードによる締め固め機構

表-1 埋戻し処理におけるアースオーガ管理基準

項目	管理基準
載荷重	20~50 kN
回転トルク	6~30 kN m
回転数	40 回/分以下

となる。また、BFS工法はプラント等が不要であり、且つアースオーガ搭載機と油圧ショベルのみを用いることから、施工現場が狭い現場においても適用が可能である。また、現場発生土を埋戻し土に用いることで、建設発生土を大幅に減らすことができ、さらに水も電気も使用しないため、現場での適用性および施工性は非常に高い。

4. BFS工法による杭抜き跡の転圧式埋戻し処理の適用性評価

4.1 SWS試験による性能評価

本試験では、掘削用オーガを用いて、直径0.8m、深度8.0m、孔内水位4.3mの杭抜き工事における杭抜き跡地盤を再現した(図-5参照)。埋戻し土としては、図-6に示す千葉県君津市産の山砂①と掘削時に発生した現地土(関東ローム)を混合した混合土①を用いた。なお、山砂と現地土の配合比は2:1とした。また、混合土①の物理特性を表-2に示す。杭抜き跡の埋戻し処理の性能評価方法として、掘削前の地盤(原地盤)および埋戻し処理後の地盤の中心点において、SWS試験を実施し、換算N値を評価指標として用いた。

掘削前の地盤(原地盤)および混合土①による埋戻し処理後の地盤のSWS試験結果を図-7に示す。図-7より、混合土①による埋戻し地盤の換算N値は2~4程度であることが確認された。また、図-6の粒度試験結果より、山砂に現地土である関東ロームを混合した混合土①の均等係数は133.33であり、比較的締固めが容易な試料であったと考えられる。また、埋戻し処理後2ヶ月後に地表面の経過観察により、埋戻し処理後の地盤に沈下が発生していないことを確認した(図-8参照)。

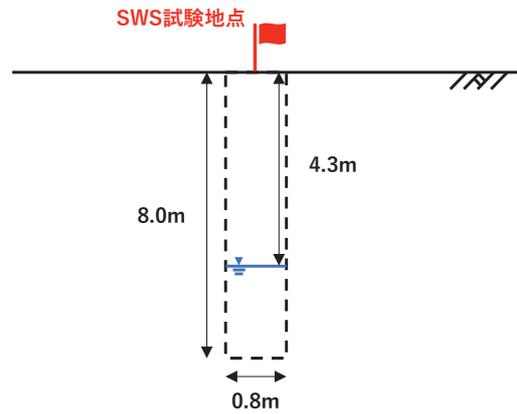


図-5 再現した杭抜き跡地盤

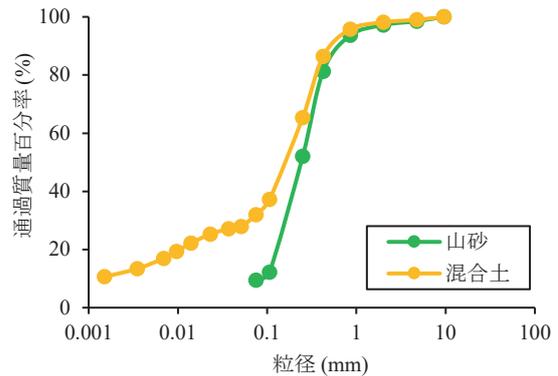
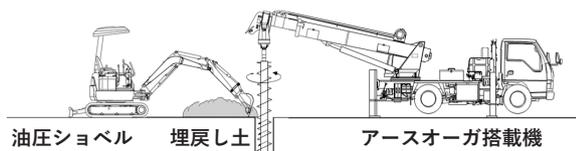


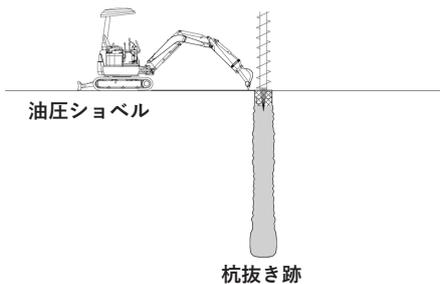
図-6 山砂①および混合土①の粒度加積曲線

表-2 混合土①の物理特性

一般	土粒子の密度 (g/cm ³)	2.702
	自然含水比 (%)	32.3
粒度	最大粒径 (mm)	9.5
	均等係数	133.33



(1) 天然土の投入および専用ドリルによる締固め



(2) オーガの上昇および地表面の締固め

図-4 BFS工法による埋戻し処理手順

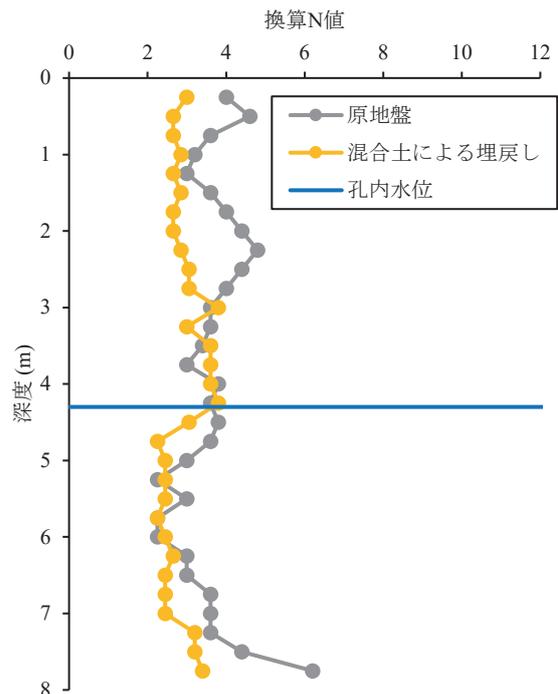


図-7 原地盤および埋戻し地盤のSWS試験結果

4.2 締固め度による性能評価

本試験では、4.1と同様に、掘削用オーガーを用いて、直径0.8 m、深度8.0 mの杭抜き工事における杭抜き跡地盤を再現した。なお、本試験時の孔内水位は3.6 mであった。埋戻し土としては、図-9に示す千葉県君津市産の山砂②と掘削時に発生した現地土(関東ローム)を混合した混合土②を用いた。4.1と同様に、山砂と現地土の配合比は2:1とした。また、混合土②の物理特性を表-3に示す。

杭抜き跡の埋戻し処理の性能評価方法として、埋戻し処理後の地盤の中心点において、サンプリング調査(埋戻し処理1ヶ月後)を実施し、各深度毎の乾燥密度を測定し、締固め度を評価指標として用いた。締固め度 D_c とは、締固め試験で求めた最大乾燥密度と現場で転圧が終わった乾燥密度との比によって定義される(式(1)参照)。

$$D_c = \frac{\text{現場で転圧を終えた土の乾燥密度}}{\text{締固め試験から得られた最大乾燥密度}} \times 100 \quad (1)$$

混合土②による埋戻し地盤における締固め度の算出結果を図-10に示す。図-10より、埋戻し地盤における締固め度の算出結果は91~93程度であることが確認された。工種にもよるが、締固め度の管理基準は90%あるいは95%を用いられる事が多い。したがって、杭抜き跡の埋戻し処理において、投入した天然土の十分な締め固め転圧が行えたと評価できる。すなわち、天然土を用いた杭抜き跡の転圧式埋戻し技術として、BFS工法は適用可能であり、本来締固めが困難な杭抜き跡という狭隘な空間においても、十分な締め固め転圧が行えると考えられる。

5. おわりに

杭抜き跡の地盤の復元性を高めるためには、深度方向とは無関係に均質な強度を発揮できる埋戻し処理が必要不可欠である。締固めながら天然土による埋戻し処理が可能なBFS工法は、原地盤の強度特性と差がない安定した埋戻し処理工法として有効であると考えられる。

現在取り組んでいる課題としては、対象地盤および埋戻し土の適用範囲を明らかにし、天然土を用いた杭抜き跡の埋戻し処理の高度化を図ることである。

【参考文献】

- 1) 既存杭引抜き工法協会：既存杭引抜き工事「その目的から計画～工事」、既存杭引抜き工法協会，pp.1-11，2017.
- 2) 桑原秀一：既存杭引抜き工事の問題と杭先端パワーチャッキング工法，地盤工学会誌，Vol.66，No.5，pp.46-47，2018.
- 3) 鳥光照雄，岩淵常太郎，坂本克美，小橋秀俊：土を固める原理と応用，土と基礎，Vol.52，No.12，pp.101-108，2004.
- 4) 納庄一希，鳥越友輔，稲積真哉，桑原秀一：杭基礎の引抜き孔が周辺地盤の動的挙動に及ぼす影響の解析的検討，第51回地盤工学会研究発表会発表論文集，pp.1201-1202，2016.
- 5) 日本建設業連合会：既存地下工作物の取扱いに関するガイドライン，2020.
- 6) 桑原文夫：杭の支持層到達を確保するための方策，基礎工，Vol.45，No.8，pp.2-7，2017.



図-8 埋戻し処理2ヶ月後の地表面

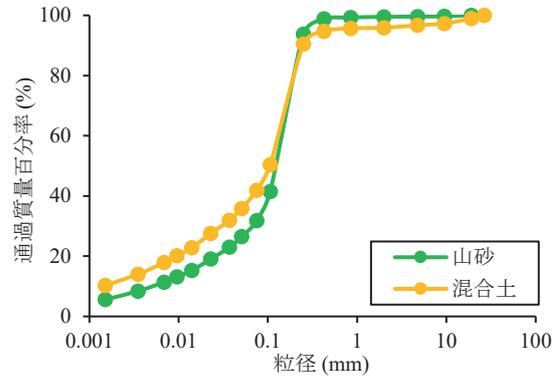


図-9 山砂②および混合土②の粒径加積曲線

表-3 混合土②の物理特性

一般	土粒子の密度 (g/cm ³)	2.715
	自然含水比 (%)	40.7
粒度	最大粒径 (mm)	26.5
	均等係数	101.46
分類	地盤材料の分類名	細粒分質砂
	分類記号	(SF)
締固め	試験方法	A-c
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.450
	最適含水比 (%)	28.0

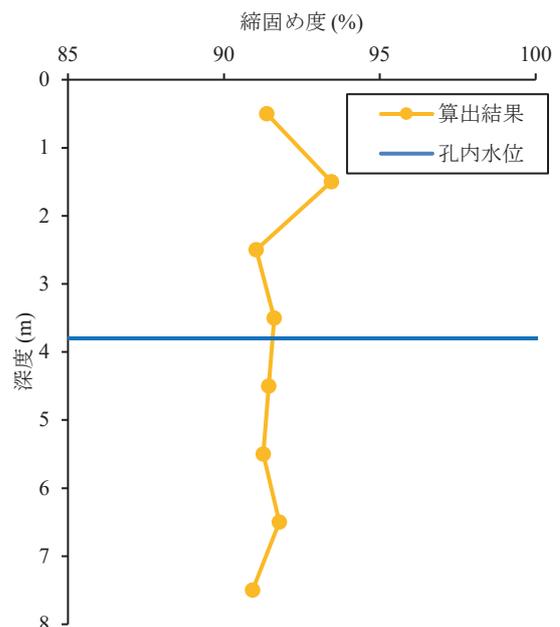


図-10 埋戻し地盤における締固め度の算出結果