

28. 既存杭引抜きおよび抜き跡地盤埋戻し技術の高度化

(株)マルシン
芝浦工業大学
明石工業高等専門学校

桑原 秀一
稲積 真哉
○橋本 功

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に大量に建設された建築物や道路構造物の老朽化が進んでおり、近年これらは深刻な問題として露呈してきている。また、東日本大震災による国民の防災意識の向上および人口減少による公共施設の利用者減少などに伴い、構造物の解体、建替え需要はますます増加している。我が国の都市の多くは軟弱地盤上に位置しており、多くの既設構造物は杭基礎を使用している。そのため、既設構造物解体後の土地において新たな土地活用を図る場合、新設構造物の杭基礎や山留め壁などに干渉しないよう既存杭を撤去しなければ、新設杭や山留め工事などの工期および品質に悪影響を与える。また、地中に残存した既存杭に有用性がない場合は産業廃棄物として扱われるため、土地売却取引などにおいては瑕疵としてしばしばトラブルの原因となる¹⁾。

既存杭引抜き工事において既存杭の地中残置と抜き跡地盤の不良化という2つの大きな問題が未だ解決されない。本論文では、杭先端パワーチャッキング工法（PG工法）による既存杭引抜き工事の品質向上、安全性向上および従来工法で頻繁に発生していた施工トラブルや様々な問題点の改良について、施工理論より明らかな知見および実施工例を用いて示す。

2. 杭先端パワーチャッキング工法（PG工法）

従来工法によって生じる施工上の問題点を解決するべく開発された新工法が杭先端チャッキング工法である。特徴としては、ケーシング先端に装備されたチャック爪によって既存杭を抱えこみ、既存杭をケーシングに内包した状態で引上げを行い、それと同時にケーシング先端部からの充填材吐出による引抜き孔の埋め戻しを行う点にある。

2.1 施工手順

- ① 既存杭の杭頭を着工前に事前測量を行う。
- ② 測量された杭芯より逃げ芯を直交2方向に打ち込み、定尺棒を用いてケーシングの中心を杭芯にあわせる。
- ③ ケーシングの鉛直精度を確認して掘削を開始

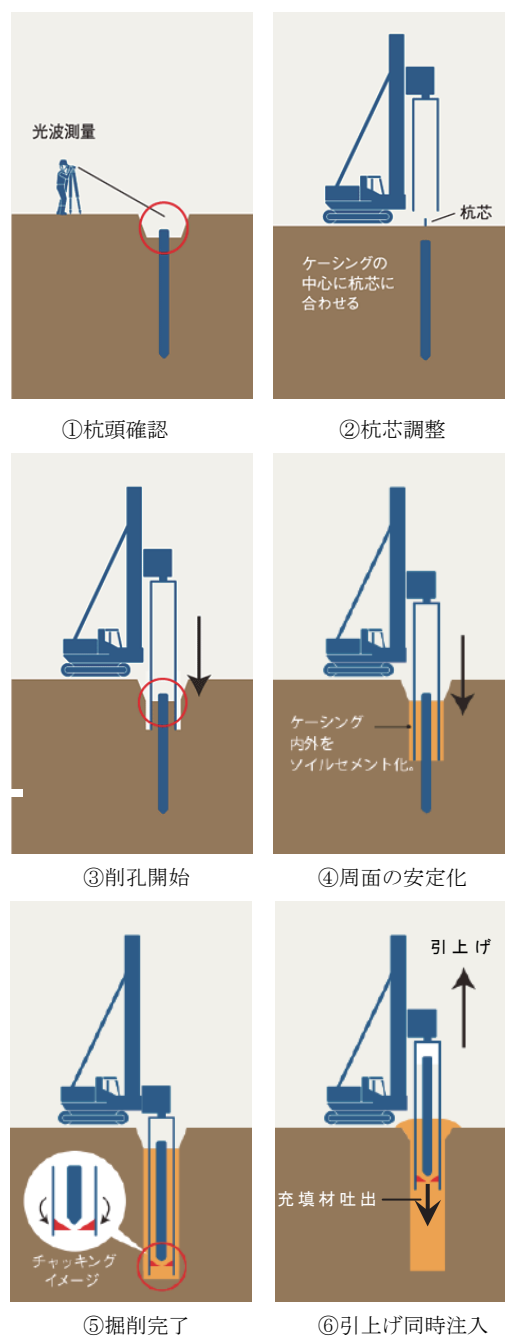


図-1 PG工法の施工手順

する。ケーシングは既存杭の傾斜に沿って追隨するため、ケーシング傾斜角度にリーダー

角度を調整する。

- ④ 掘削時にケーシング先端部から水またはセメントミルクを吐出し、ケーシング内外を泥土化またはソイルセメント化する。これにより地盤の掘削抵抗を減少させ、孔壁の崩壊やケーシング内の土砂の供回りによる既存杭の破壊を防止する。
- ⑤ 掘削完了後、押圧装置を作動させ既存杭をチャッキングする。
- ⑥ 充填材を吐出し、流量計により必要注入量の確認を行いつつケーシングを引き上げる（図-1参照）。

2.2 杭先端チャッキング方式の有用性

(1) 事故の発生抑制

既存杭の引抜工法として、一般的にケーシング縁切り工法が採用されている。施工手順としては、地盤内に存在する既存杭の外周をケーシングにより削孔して摩擦抵抗を解放する。そして、ケーシングを引き上げた後に既存杭にワイヤーロープを玉掛し、クレーン等によって引き抜くことで地盤内から既存杭を撤去する。この工法では、ワイヤーロープを既存杭に玉掛するためにケーシングを一旦地上に引き上げる必要がある。その際の孔壁の崩壊や土砂の落ち込みによって既存杭周面の摩擦力が増加し、引抜開始と同時に想定以上の荷重がかかったワイヤーロープが破断した事例がある。また、引抜いた杭の引き倒しの際に杭が折れ、引抜杭の落下、ワイヤーロープ破断の反動による重機の転倒などの二次災害を引き起こす可能性がある²⁾。

PG 工法ではケーシングを一旦地上に引き上げる必要がないため既存杭周面の摩擦増加はなく、ワイヤーロープも使用しないため、従来工法のように引抜き時に想定外の荷重がかかることに伴う事故の危険性は存在しない。また、引抜杭の引き倒し作業はなく、ケーシングに内包している引抜杭をケーシング下部から排出するため、杭の破損がある場合でも安全に取り出すことが可能である。よって PG 工法では、従来工法における重大事故発生の可能性を排除しており、より安全性の高い工法であるといえる。

(2) 既存杭の確実な撤去

地盤内の既存杭が、打撃工法による打設の影響や上下杭の継ぎ手不良、打設中の破損等によって分裂している場合が多く存在する。これらの既存杭を従来工法を用いて撤去する場合に、ワイヤーロープによる引抜時に既存杭が分離し、地盤内にその一部が残存する可能性がある³⁾（図-2参照）。残置杭が新設杭に対して及ぼす影響については不明な点が多いが、新設杭に干渉する場合には施工上の大きな障害となることは明らかである。また、

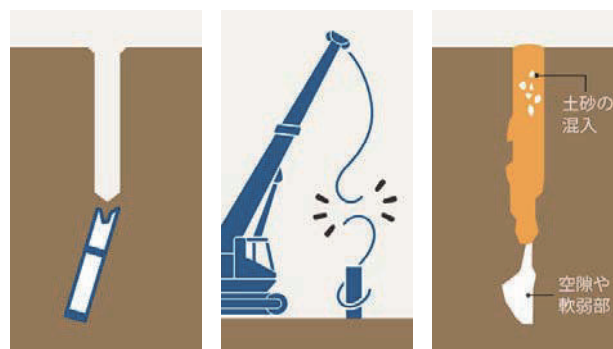


図-2 従来工法における主な問題点



図-3 破損・分離しやすい既存杭の例

新設杭に干渉しない場合であっても、地震動の検討の際に杭の水平地盤ばねの評価に影響を及ぼす可能性が示唆されている⁴⁾。後世にわたって土地の活用を繰り返していくには、既存杭を確実に撤去することが必要であるといえる。

PG 工法では地盤内の既存杭全体をケーシングで下部から抱え込んで引き上げるため、中折れ杭、破損杭、ジョイント部未接合杭などの従来工法では引抜きが難しいとされていた杭も確実に撤去できる。また、既存杭の周囲もケーシングで内包することから、従来工法では杭から剥離して残存する可能性が高かったセメントミルク根固め部なども同時に撤去することが可能であり（図-3参照）、今後、必須となる拡大根固め杭などの根固め部も確実に撤去することができる。

(3) 杭長不明な場合の引抜き

過去の記録等が無く周辺の施工実績をもとに杭長を仮定して工事に着手する現場が存在する。従来工法の場合、実際に施工して杭長が長い場合には、予定深度削孔後にケーシングを引き上げ、ワイヤーロープ掛けによる引抜作業時に周面抵抗による負荷で引抜きが行えない時に初めて杭長が長いとの判断となる。つまり、ケーシング内に杭があるのか又は杭先端を越えて削孔しているかの判断が不可能である。しかし、PG工法の場合はチャック爪の突出し操作によって確認が可能である(図-4参照)。ケーシング内に杭がある場合はチャック爪の突出しが途中で止まり、ケーシング削孔が杭先端の所定位置を通過している場合はチャック爪が全長突出する。押圧装置にある突出確認部のストローク幅により地表にて目視で確認することが可能であり、引抜工事の停滞を防止することができる。

(4) 杭頭が深い場合の引抜き

地下構造物の解体撤去後や、土壤汚染による土砂入れ替え時に杭を地中でカットした等で杭頭が深い場合、従来工法ではワイヤーロープの玉掛け時に空堀部分の土砂の崩壊や杭の倒れが発生し、杭頭にケーシングが被らず玉掛けできない可能性がある。つまり、既存杭の引抜きが行えない場合がある。

PG工法ではケーシング削孔後、ケーシングに既存杭を内包して同時に引き上げるので、従来工法と違い杭頭部ワイヤーロープ掛けを要しない。よって、既存杭の杭頭が深い場合(地盤面より最大-10.3m実績)であっても、既存杭の位置確認のための事前測量を行うことで、地盤面からの引抜施工を確実に行う事が可能である。隣接構造物に近接して施工する場合で、杭頭が深い場合でも従来工法のように頭出しの為の掘削は不要であり、地盤沈下等の隣接構造物への影響を抑制することができる。

2.3 最深部からの同時注入方式の有用性

(1) 原地盤の復元性の向上

文献⁵⁾では、既設構造物の撤去に伴う既存杭引抜きが地盤内空洞として存在することを仮定した上、2次元全応力解析の実施によって、以下を明らかにしている。

既存杭引抜きを空洞として放置している場合、両側の地盤が引抜きに倒れるように変位し、引抜き付近の地表面で著しく地盤沈下が発生する。杭引抜きに充填材を注入した場合、横方向に一体となって変位し、引抜き付近の地表面で微小な地盤沈下が生じる。また、地震動が作用した場合、引抜きを空洞として放置しているとき地表面の広い範囲において非常に大きな沈下が発生するのに対



図-4 チャック爪の突出

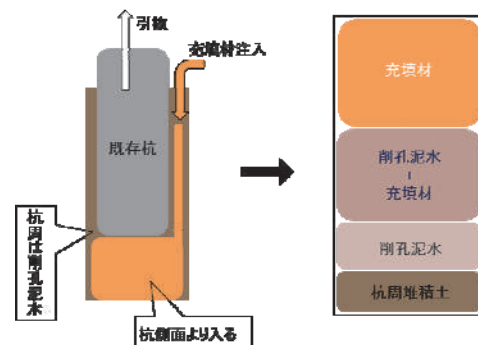


図-5 抜き跡地盤の不良化

して、引抜き孔に充填材を注入した場合、沈下は発生しなくなる。これらのことから、引抜き孔に対して充填材による埋め戻しを行うことが、地盤の安定化に対して有用であることが分かる。

加えて、充填材の強度が原地盤の強度に対して過度に小さいと、周辺地盤が引抜き孔部へ沈み込むように応力が作用するため、引抜き孔が存在しない地盤の挙動と大きく異なる可能性がある。充填材の強度が原地盤の強度に対して過度に大きいと、周辺地盤に作用する応力が大きくなり、地盤の変位が大きくなる可能性がある。よって、充填材の強度を原地盤と同程度にすることで、原地盤の復元性を高めることが充填材による引抜き孔の埋戻しにおいて重要である⁵⁾。

従来工法の場合には工法の性質上、充填材は引抜き孔上部からの流し入れとなる。よって、深度方向に関係なく全長にわたって確実に充填材を注入することは困難であり、土塊等の落ち込みも懸念される(図-5参照)。不均一な充填材注入は空隙や軟弱部を発生させ、当該地の陥没、周辺地盤の地盤沈下、作業地盤不良による重機の転倒などの重大な事態を引き起こす原因となる。また、埋め戻し箇所周囲の地盤が緩み、新設杭の周面抵抗が発揮できない場合や、杭先端地盤を既存杭の引抜作業時に乱すことで新設杭の先端支持力が発揮できない場合、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、新設杭の施工品質及び工期への

大きな影響を与える⁶⁾。

PG 工法においては既存杭の引抜き作業をしながらケーシングの先端部から充填材を注入していくため、引抜き孔最深部からの充填材注入が可能である。これによって、引抜き孔全長にわたって均一な充填を行うことが可能となり、不完全な注入に伴う空隙や軟弱部の発生、杭孔の崩壊を抑制することが可能となる。また、地盤の各層に合わせて、強度の異なる充填材を鉛直方向に重ねて注入する工法を採用することが可能となる。よって、適当な充填材を選定し、PG 工法を用いることで原地盤の復元性を大幅に高めることが可能である。

(2) 作業工程の簡略化

従来工法においては、既存杭の引抜きおよび抜き跡地盤の埋戻しにおいて、

- ① ケーシングによる既存杭周囲の削孔
- ② ケーシングの引上げ
- ③ ワイヤロープの玉掛け
- ④ 既存杭の引抜き
- ⑤ 充填材による引抜き孔の埋戻し

という工程を踏む必要がある。しかし、PG 工法ではケーシングの先端から充填材を吐出可能であるため、既存杭引抜き作業と同時に引抜き孔への充填材注入が行え、既存杭の撤去と同時に抜き跡地盤の埋戻しが完了する。つまり、従来工法における作業工程②、④、⑤の三工程が一工程で行われるのと同義である。従来工法における作業工程を省略することになり、工期短縮につながる。また、引抜き作業と同時に充填材注入が行われるため、早急に抜き跡地盤の安定化を図ることができる。

2.4 施工管理装置

杭抜き工事を一元的に管理できるシステムであり、施工管理品質の向上と総合的な施工記録を収集することができる(図-6参照)。削孔深度などの施工状況をリアルタイムで確認することが可能であり、充填材の注入量を計算して示すため現場管理業務を簡略化することができる。

PG 工法では引抜き注入時に、引抜き孔上部の液面管理を行う(図-7参照)。施工管理装置によって算出される1mごとの規定量の注入と液面管理による必要量の注入に応じた引抜き速度を確認しながら引き上げを行い、周辺地盤の崩落等を防止するとともに引抜き孔全長にわたり確実な充填材注入を可能とする。充填材の注入量は、ケーシング削孔時または既存杭引き上げ時の引抜き孔の崩壊を考慮しない規定量と、崩壊した部分を満たすに必要な量との総和が引抜き注入量となる。また、液面管理を行うことにより、予定よりも引抜き孔が拡大した場合でも確実に必要量の充填材を注入することが可能である。

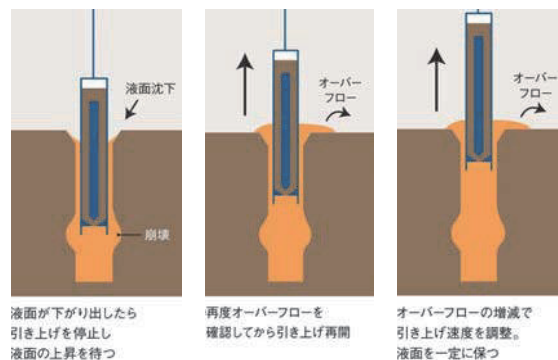


図-6 PG 工法施工管理装置

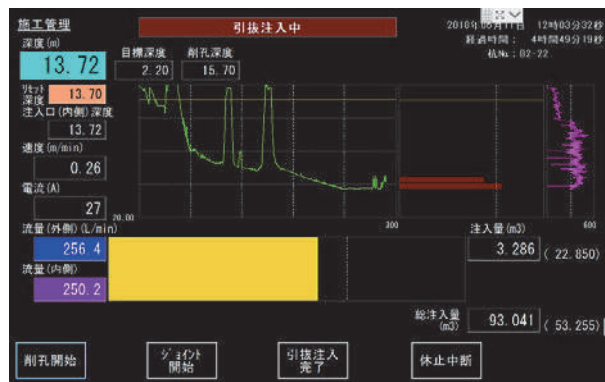


図-7 液面管理による充填材注入

3. PG 工法における抜き跡地盤の埋戻し

3.1 既往の充填材

既存杭引抜きに伴う引抜き孔の発生は地盤沈下等を誘発するが、充填材による埋め戻しを行うことで、大幅に改善することが明らかとなっている⁷⁾。既存杭引抜き孔に対する充填材は大きく分けて、土砂、流動化処理土、貧配合セメントミルクの3種類を挙げることができる。

土砂による埋め戻しは、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、既存杭引抜き孔の埋戻しには転圧技術が存在しないことから、均一な充填が難しく、安定した強度を確保できない。また、原地盤に対して比重の軽い土砂を埋め戻したことにより、その後1ヶ月程度まで埋め戻し部の沈下が発生した事例や、大雨の影響で沈下、陥没した事例がある⁶⁾。

流動化処理土は土砂、水、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。高い流動性とセメント系固化剤による自硬性を有するため、微小な空間へも充填されていき、締固め不可能な空間でも強度を発揮するという特徴を持つ。遮水効果を有するため安定した強度を発揮する利点がある。しかし、流動化処理土は外部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⁸⁾。

貧配合セメントミルクは、水、セメント、ベン

トナイトを混合した充填材である。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、水、セメントの配合管理によって強度などの品質管理が容易であり、汎用のプラント設備にて混練作業ができるため、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⁶⁾。PG工法では、従来工法に比べての作業工程省略による工期短縮が特徴であり、その利点を最大限に発揮可能な充填材である。

しかし、一般的に貧配合セメントミルクは、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起こるなどの可能性がある。

3.2 充填材に求められる性能

PG工法により、既存杭引抜き孔の最深部から引抜き孔の全長にわたって確実に必要量の充填材を注入することが可能となり、従来工法において発生していた土塊の落ち込みや軟弱部の発生による埋め戻し地盤の不良化は改善される。また、充填材として貧配合セメントミルクを用いることで、対象とする原地盤に合わせて強度調整が容易に行え、施工状況に合わせて適宜現場での充填材の作製が可能となる。よって、PG工法による既存杭の引抜きおよび抜き跡地盤の埋め戻し作業を停滞させることなく実施できる。

しかし、貧配合セメントミルクは材料分離を起こしやすく、材料分離を起こすと深度方向によって質的に不均一になってしまい、既存杭引抜き孔の全長にわたって均質に所定の強度が発揮されない。また、地盤内では地下水が浸入してくる可能性があり、地下水の影響によって、充填材の固化不良を誘発する恐れがある¹⁰⁾。あるいは、充填材に地下水が混入することで配合設計時の水量を上回り、所定の強度が発揮されない問題が考えられる。

上記の課題を解決し、対象地盤の復元性を高めるためには、材料分離を起こさずに深度方向に関係なく均質な強度を発揮する性質、および早急にゲル化性能を発揮して地下水の浸入を防止する性質を有する充填材が求められる。

充填材による埋め戻し処理後の地盤には、新設工事の施工時に掘削可能、且つ崩壊しない強度が必要であり、理想的には原地盤と差がないことが望ましいとされるが、地盤は様々な地層が重なっており、要求される強度は層ごとに変化していく⁴⁾。早急なゲル化は硬化を待つ時間のロスをなくすことができ、地盤の各層に合わせて強度の異なる充填材を鉛直方向に重ねて注入する工法を採用することが可能となる。よって、材料分離を起こさず、早急なゲル化性能を持つ充填材を用いることで、PG工法における抜き跡地盤の埋戻しによる、原地盤の復元性を大幅に高めることが可能である。

また、現状として既存杭引抜きとその後の埋め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⁹⁾。充填材の改良は元より、既存杭引抜きとその後の埋め戻し処理について、指針等の策定は急務であるといえる。

4. PG工法による実施工例

4.1 水中に杭頭がある際の引抜き（事例1）

表-1に水中に杭頭がある際の引抜き施工事例の詳細を示す。橋脚や橋台の基礎杭の場合、基礎を撤去すると既存杭頭が水位より下がる場合がある。従来工法ではケーシングによる既存杭周囲の削孔完了後、ケーシングを地上に引き上げ、再度、既存杭にワイヤーをセットするために、ケーシングを被せる作業をしなければならないが、杭頭が水中にあると杭の位置の特定が困難になる（図-8参照）。PG工法では、既存杭周囲の削孔完了後に杭をチャッキングし、ケーシング引き上げと同時に既存杭を引き抜くので水中に杭頭がある場合でもスムーズな施工が可能である。

4.2 新設杭干渉部での長尺杭の引抜き（事例2）

表-2に新設杭干渉部での長尺杭の引抜き施工事例の詳細を示す。既存杭引抜き後の新設杭打設においては、抜き跡崩壊や杭芯ズレの発生などのトラブルが多く発生している。特に新設杭干渉部における長尺杭の引抜きでは、新設杭施工時に傾斜削孔となった場合の修正の困難さや品質の低下（杭芯ズレと斜杭）は大きく、細心の注意を払わなければならない。この施工例は中掘工法で打設された長尺（67m）のPC杭の引抜きであり、まず残置の問題が懸念されたが、問題なく引抜きは完了した（図-9参照）。また、新設杭は既存杭と同程

表-1 施工事例1の詳細

工事内容	橋脚の基礎杭の引抜き
杭明細	PHC杭（φ500, L=7.0m, 10本）
使用機械	TK-750（1台、オーガー） アボロ 12000（ケーシング φ800）



図-8 水中に杭頭がある際の引抜き

表-2 施工事例2の詳細

工事内容	新設杭干渉部の既存 PC 杭引抜き
杭明細	PC 杭 (φ600, L=67.0m, 1本)
使用機械	DH-608 (1台, アースオーガー) SMD-240HP (ケーシング, φ800)



図-9 新設杭干渉部での引抜き (67m)

度の長さの場所打ち杭であり、崩壊や傾斜削孔の問題も懸念されていたが、問題無く施工が完了している。当現場では引抜き孔に最深部より適当な充填材と量(当現場は $qu28=0.3 \text{ N/mm}^2$ のセメントミルク、注入量は削孔体積量)を注入することにより、長尺杭の引抜きに於いても新設杭の打設に悪影響を与えない引抜き孔を形成できた。

5. おわりに

本論文では、杭先端パワーチャッキング工法(PG工法)の有用性および、PG工法を用いることによる、地盤内の既存杭撤去技術の安全性、品質の向上について示した。示された性能について以下にまとめる。

- (1) ワイヤロープを用いないため、それに伴う事故の危険性が存在しない。
- (2) チャッキングにより杭全体および杭の周囲もケーシングに内包して引き上げるため、極端な斜杭や湾曲杭を除いた、あらゆる状況の既存杭を地盤内から撤去可能である。
- (3) ワイヤロープによる玉掛けを要しないため、杭頭が深い場合でもチャッキングによる引抜きが可能である。
- (4) 杭の引抜きと同時に抜き跡地盤への充填材注入を行うため、従来工法と比較して工期が短縮される。
- (5) 引抜き孔最深部からの充填材注入により、引抜き孔全長にわたって均一な充填を行うことが可能となり、従来工法における引抜き孔上部からの不完全な注入に伴う空隙や軟弱部の発生、杭孔の崩壊を抑制できる。
- (6) 施工管理装置と液面管理により、引抜き孔に

必要な量の充填材注入が可能となる。

- (7) 対象とする原地盤と同程度の強度を発揮する充填材を用いることで、原地盤の復元性を高めることができる。

PG工法によって引抜き工事の施工上の問題点は大きく改善されるが、既存杭の抜き跡地盤の安定化については、充填材等の規定がなくいまだ多くの問題点を抱えている。また、残置杭が新設杭および周辺地盤に及ぼす影響についても解明されていない現状である。後世においても土地利用が可能となるように、引抜きから抜き跡地盤の安定化までの技術を確立せねばならない。

参考文献

- 1) 村上隆生：基礎杭の残置、埋戻し部分の地盤支持力の瑕疵を否定し、代理業者の説明義務違反も否定した事例, No.82, pp.166-167, 2011
- 2) 桑原秀一・濱田聡一郎・鳥越友輔・稲積真哉：既存杭の引抜き工法の開発と引抜き孔が周辺地盤に及ぼす影響について, 第71回土木学会年次学術講演会概要集, 第VI部門, pp.41-42, 2016
- 3) 桑原秀一・濱田聡一郎：構造物とりこわし工における既存杭の引抜き工事について, 平成27年度近畿地方整備局研究発表会論文集, 新技術・新工法部門, pp.1-6, 2015
- 4) 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.
- 5) 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回地盤工学研究発表会講演集, pp.1201-1202, 2016.
- 6) 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, pp1-11, 2017.
- 7) 川原知也・稲積真哉・桑原秀一・江口忠臣：既存杭抜き跡地盤の埋戻し処理と周辺地盤の沈下挙動に関する解析的検討, 第53回地盤工学研究発表会発表論文集, pp.867-868, 2018
- 8) 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.
- 9) 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
- 10) 崎浜博史・堀井宏謙・八重樫光・西正晃：既存杭撤去後の掘削孔に埋戻された泥砕固化体の品質調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.447-448, 2015