

粒子法 CAE 解析による埋戻し材の泥水場充填性に関する可視的・可測的評価

芝浦工業大学大学院 ○(学)上原知己・(正)稲積真哉
花王 (一)齊田和哉・(一)矢部憲一郎

1. はじめに

日本において高度経済成長期に建設された大量の社会基盤構造物の高齢化、人口減少に伴う住宅・住居マンションを含む社会基盤構造物利用の減少等により、構造物の解体撤去が増加している^{1),2)}。構造物の解体撤去時、構造物を支持していた杭基礎（既存杭）は産業廃棄物に指定される³⁾。そのため、原則として既存杭は地中から撤去しなければならない³⁾。なお、既存杭の撤去は地中において破碎・現地土と混合する工法も存在するものの、産業廃棄物であることから地中内での破碎・残置することは適当ではない³⁾。一方、既存杭を引き抜いた状態では地盤内に孔が形成されるため、既存杭引抜工は既存杭抜跡地盤（引抜孔）の埋戻し処理までを包含しなければならない³⁾。すなわち、引抜孔に対して充填材で埋戻し処理を行わなければ、周辺地盤の地盤沈下、新設杭打設時における新設杭のズレや傾斜発生をもたらす等の地盤不良を誘発する^{2),4)}。そのため、引抜孔の埋戻し処理において充填材は重要な役割を持っている。

既存杭の引抜孔や、トンネルのシールド工法を用いた現場などの泥水場において、代表的な充填材としてベントナイト混合セメント充填材（以降、C-B 充填材と称する）、流動化処理土および砂などが用いられている。しかし、既存杭引抜孔に限っては引抜孔の形状寸法や状態が一因となり、現場では充填材の充填・攪拌が行われているにもかかわらず、引抜孔の上部、中部および下部で強度差（強度のばらつき）が生じる場合があり、均一な強度が保たれていない事例が数多く存在する。そのため、著者らは充填材と予め引抜孔内に満たされている泥水との分離が強度のばらつきの要因の一つであると仮定し、充填材へ粘性を増す増粘剤を添加することで、泥水と充填材が分離することを防げると考えている。本研究では泥水で満たされた引抜孔に充填材を充填・攪拌した後の、充填材および泥水の沈降・分離挙動を粒子法 CAE 解析（MPS-CAE）により評価する。

2. 粒子法 CAE 解析の概要およびパラメータ

CAE（Computer Aided Engineering）とはコンピュータ上で試作・試験を実施し、より効率的・高品質な製品開発を行う一連の作業やツールのことである。本研究では CAD を用いて既存杭引抜孔を再現した。粒子法（Moving Particle Semi-implicit ; MPS 法）は、主に流体解析や構造解析に用いられる。MPS 法では計算対象物である連続体を有限の粒子の集まりとして表現するため、計算格子の作成を必要としない⁵⁾。

既存杭引抜工ではケーシング下部から水を吐出しながらケーシングを貫入するため、ケーシング内部とその周辺は泥水で満たされた状態になっている。本研究では、そこに充填材を充填し、攪拌された状態に設定し、攪拌後の充填材粒子および泥水粒子の挙動をMPS-CAEを用いて可視的に評価した。本研究におけるMPS-CAE解析では実験サイズの深さ2 mと実務サイズの深さ20 mの既存杭引抜孔をモデル化し（図-1参照）、従来のベントナイトを用いているC-B充填材と、ベントナイトの代わりに増粘剤を用いた増粘剤混合セメント充填材（以降、C-VT充填材と称する）の違いを比較した。なお、本研究で解析対象としている泥水と充填材は各々Bingham流体を設定している。泥水のパラメータは、既往の論文⁶⁾で報告されたものを参照した。C-B充填材およびC-VT充填材に関しては、Anton Paar社製の粘弾性測定装置を用いてせん断応力、せん断速度、せん断粘度およびひずみを計測し、せん断速度-せん断応力関係を作成の上、塑性粘度と

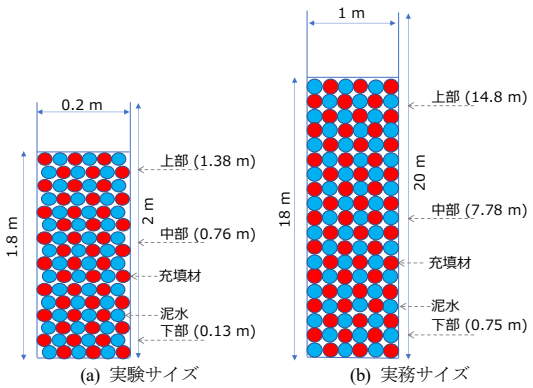


図-1 MPS-CAE における解析モデル

表-1 MPS-CAE における材料パラメータ

	密度 [kg/m ³]	塑性粘度 [Pa・s]	降伏値 [N/m ²]
C-B 充填材	1200	0.0174	2.146
C-VT 充填材	1200	0.017	2.057
削孔泥水	1360	26.92	10

既存杭 増粘剤 充填材
芝浦工業大学土木工学科地盤工学研究室（〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5・TEL 03-5859-8360・FAX 03-5859-8401）

降伏値を算出した。せん断速度-せん断応力関係において、線形回帰式の傾きが塑性粘度となり、傾きが降伏値となる。それぞれの材料パラメータを表-1に示している。

3. 粒子法CAE解析の結果および考察

MPS-CAE 解析を行い、泥水および充填材粒子の挙動と粒子の速度を評価した。泥水および充填材粒子の挙動の結果を図-2 および図-3、泥水および充填材粒子の速度による色分けを図-4、泥水および充填材粒子の速度の結果を図-5 および図-6 に示す。

図-2 および図-3 より、実験サイズでは C-B 充填材および C-VT 充填材とも上部において泥水との分離が激しかったが、特に C-VT 充填材の方がより顕著である。実務サイズでは大差がなかったものの、C-B 充填材より C-VT 充填材の泥水との分離が大きい傾向にある。これらの原因は C-VT 充填材に関する塑性粘度の低さであり、増粘剤が本来有する増粘特性を本研究で近似したレオロジーモデルでは評価しきれなかった可能性がある。そのため、C-VT 充填材のレオロジー特性について、今後はレオロジーモデル定義の妥当性を再度検討する必要がある。

図-5 より、引抜孔の側面に沿って泥水および充填材粒子が上昇し、内部の泥水および充填材粒子は沈降している。そのため、上部、中部および下部のすべてにおいて泥水および充填材粒子が運動を持続しており、その結果として泥水よりも密度の低い充填材が上部に集中し、実務サイズよりも激しく充填材が泥水と分離したのではないかと推測する。図-6 より、下部においては上昇する泥水および充填材粒子と沈降する泥水および充填材粒子が混在している。また、上部においては実験サイズの時ほど顕著ではないものの、引抜孔の側面に沿って泥水および充填材粒子が上昇し、泥水および充填材粒子の多くが沈降している。しかし、中部においては泥水および充填材粒子がほぼ運動をしていない。また、沈降している泥水および充填材粒子の境界がほぼ一定となっていることから、圧力等の力によってこのような現象が引き起こされたのではないかと考えられる。

4. おわりに

本研究では、既存杭の引抜孔に充填材を充填・攪拌後の粒子の挙動を、MPS-CAE を用いて可視化・可測的評価を行い、それにより充填材粒子および泥水粒子の挙動を評価することができた。しかし、本研究で使用した増粘剤はチキソ性を有しており、その C-VT 充填材のレオロジー特性について今後はその測定方法ならびにレオロジーモデル定義の妥当性を再度検討する必要がある。

参考文献

- 1) 総務省：公共施設等の解体撤去事業に関する調査結果，総務省，2012。
- 2) 村上：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，RETIO, No.82, pp.166-167, 2011。
- 3) 稲積ら：改良型エアリフトによる既存杭抜跡地盤の埋戻し処理工法の性能評価，建設機械施工, pp.91-101, 2018。
- 4) 桑原：PG 工法・大口径フライヤー工法の開発と既存杭撤去工例，月刊基礎工，平成 29 年 2 月号，pp.83-86, 2017。
- 5) 越塚：粒子法，丸善出版，2005。
- 6) 稲積ら：既存杭引抜孔の埋戻し処理におけるスパイラル攪拌工法の提案と MPS-CAE 解析，土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.76, No.4, pp.441-452, 2020。

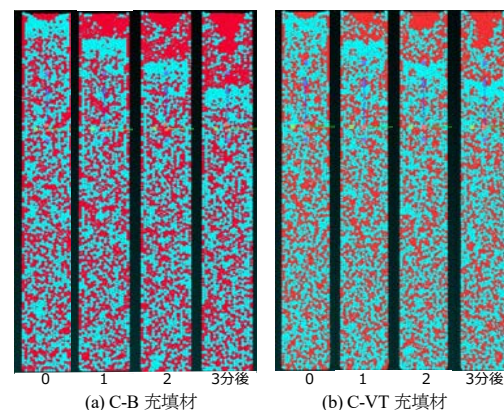


図-2 実験サイズの粒子挙動（赤：充填材・青：泥水）

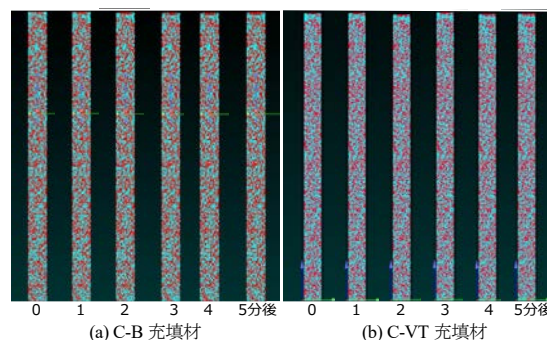


図-3 実務サイズの粒子挙動（赤：充填材・青：泥水）

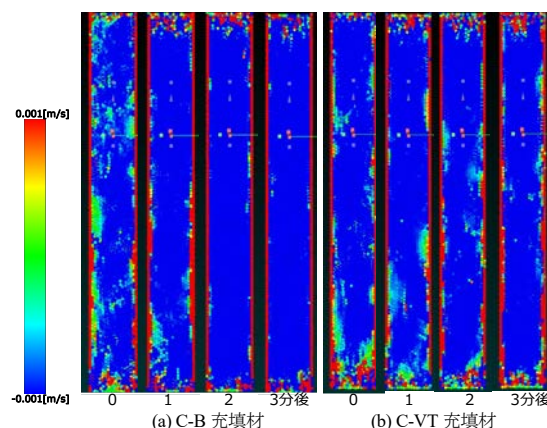


図-4 粒子速度 図-5 実験サイズの粒子速度

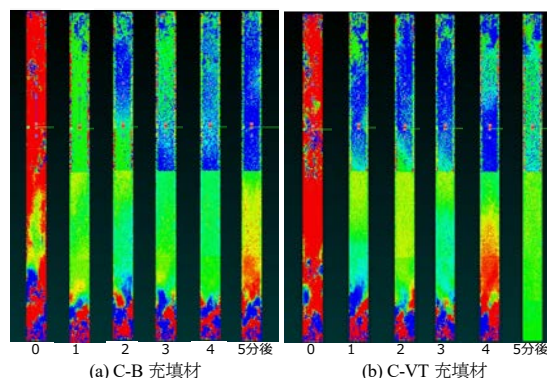


図-6 実務サイズの粒子速度