

既存杭撤去後の泥水固化による埋戻し部の性状

Property of solidified slurry backfilling after removing existing pile

技術研究所 戸村 豪治 GOJI TOMURA
 技術研究所 淵山 美怜 MISATO FUCHIYAMA
 建築技術部 高岡 雄二 YUJI TAKAOKA
 建築技術部 西成田 由 YU NISHINARITA
 建築技術部 宮田 勝利 KATSUTOSHI MIYATA

近年、既存杭を撤去した後に新設の杭を施工する事例が増加している。既存杭撤去後の杭孔の埋戻し方法には確立された工法がないのが現状であるため、今回、既存杭を撤去し埋戻した現場での調査および室内配合試験を実施した。現地調査の結果、埋戻しの攪拌工法や施工法によらず、目標強度に達しない部分や、強度のバラツキが大きいケースがあった。室内試験では、電気比抵抗による地盤改良の品質管理手法が埋戻し箇所にも適用できる可能性があることを確認した。

キーワード：埋戻し、既存杭撤去、現地調査、改良土、電気比抵抗

There are increasing cases of removing existing piles before constructing new piles, in recent years. There is no established method for backfilling holes after removing existing piles. Therefore, site investigations where existing piles were removed and backfilled, and laboratory tests using field samples were conducted. As a result of the site investigations, it was confirmed that the strength at some part was less than the target one and that the variation of strength was large, regardless of the agitation method and construction method for backfilling. Laboratory tests showed that there is a possibility that the quality control method of ground improvement by electrical resistivity can be applied to the backfilling.

Key Words: backfilling, removal of existing pile, site investigation, improved soil, electrical resistivity

1. はじめに

近年、既存躯体や既存杭を解体・撤去し、その杭孔を埋め戻した後に新設杭を造成する事例が増加している。既存杭撤去後の杭孔の埋戻し方法は今のところ確立された工法がないが、特に新設杭が埋戻し部分と干渉する位置にある場合、埋戻し部の性状が新設杭の品質にも影響を及ぼすため、より確実な埋戻しを行うことが求められている。このため様々な埋戻し工法が開発されているが、実際の埋戻し性状の調査では強度不足などの固化不良も報告されており^{1), 2), 3)}、埋戻しの性状について不明確な部分が多い。

本稿では、既存杭の撤去を実施した現場での現地調査結果と、現場から採取した試料を用いた室内試験結果を基に、地盤の種類や攪拌方法の違い、さらに固化材の投入から攪拌までの時間などが埋戻し後の性状に与える影響について得られた知見について述べる。

併せて、埋戻し部の均質性を定量的に評価するための手法として、泥水と固化材の攪拌時に導電率を測定する方法について検討し、現地での適用を考慮した基礎実験を実施した結果について報告する。

2. 既存杭撤去現場における現地調査

既存杭撤去工における杭孔の埋戻し処理については、一般的に既存杭をすべて引き抜いた後、もしくは引き抜き過程で、地表面あるいは注入管により孔底から流動化処理土を注入する方法や、セメントベントナイトスラリー(以下、CB スラリー)を注入して泥水固化させる方法などがある(図-1)。

いずれの方法を用いた場合でも、孔内には削孔泥水や崩落した土砂が堆積しており、埋戻し材の流し込み注入のみでは杭孔の確実な埋め戻しは困難である。したがって、特に埋戻し箇所が新設杭と干渉する位置にある場

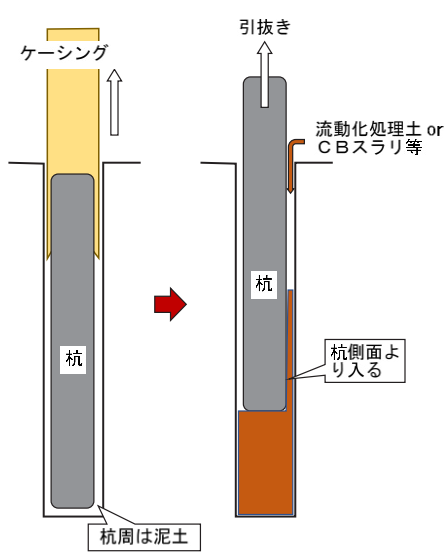


図-1 杭抜き手順の例

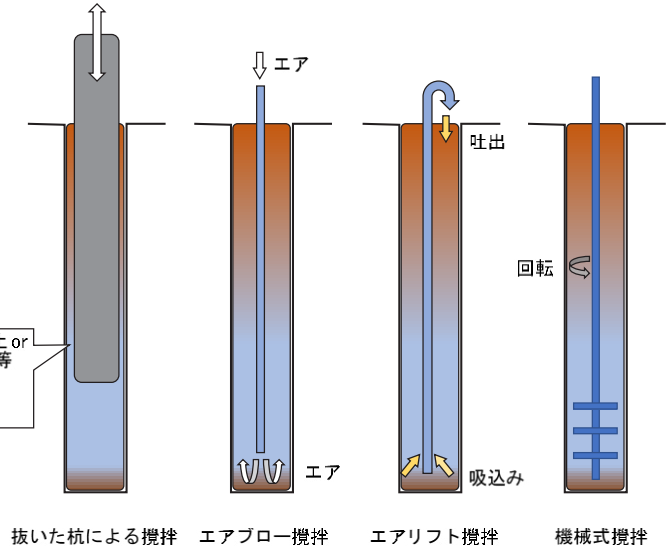


図-2 杭抜き後の充填材の攪拌方法例

合は、埋戻し材の注入後に均一化のために、スクリーオーガーによる攪拌やエアブロー・エアリフトによる攪拌，エアブローと機械式の併用による攪拌など各種の攪拌工法が採用されている（図-2）。しかしながら，これらの工法を用いた場合でも，施工後の埋戻し部の品質に関して，その実態はほとんど明らかになっていないのが現状である。

今回，既存杭を撤去した後，CB スラリーを用いて泥水固化による埋戻しを行った4つの現場において，埋戻し箇所性状に関する現地調査を実施したので，以下にその結果を示す。

(1) A現場

a) 概要

当該地の地盤概要と既存杭配置状況を図-3 に示す。地層構成は地表面(以降 GL)より，約2mの埋土，それ以下が洪積層(上位よりローム層，凝灰質粘土層，東京層砂層)にて構成されている。既存杭の代表的なものはGL-2.5m～GL-20.7m(L=18.2m)，径1.3mの場所打ち杭コンクリート杭である。

b) 施工方法

孔内が一様な性状となるように計画した。施工手順は以下の通りである。

- ① 杭撤去時，杭体積分減少する孔内水を補填するため，孔口より安定液(配合：ベントナイト 30kg/m³ 添加)を投入しながら既存杭を撤去(撤去径:1.6m)
- ② 杭撤去完了後，セメントミルクを孔底から注入して攪拌(孔口から安定液を回収：約60分)
- ③ オーガー先端からエアを吐出しながら機械攪拌し泥水を固化(約30分)

既存杭撤去に伴い孔底に堆積した土砂は撤去せず，攪拌混合している。攪拌装置はスパイラルオーガー部分とロッド部分で構成し，ロッド部分には簡易な攪拌翼を取付けている(写真-1)。攪拌施工時には6m/min×5往復のターニングを実施し，目視で攪拌混合性状を確認しながら施工している。

c) 目標強度及び配合

埋戻し部の目標強度は，当該地盤の水平地盤反力係数および新設杭が施工可能な強度を勘案しつつ，当該地盤の中で最も改良強度が発現しにくいローム層を対象に行った配合試験の結果より，セメント系固化材の添加量は173 kg/m³とした。

d) 調査結果

埋戻し部の性状確認のため，コアボーリングによる一軸圧縮試験(σ_{97})を行った結果を図-4 に示す。その結果， $q_u=113.4\sim 4,173.6$ kN/m²，平均値1,162.8 kN/m²となり，目標強度を全層にわたり上回る結果を得ている。埋戻し最下層部分にて強度が大きくなっているが，これはTos2層のレベルと調和的であることから，セメントミルク硬化時に地盤に脱水されたことに起因していると考えられる。

(2) B現場

a) 概要

当該地の地盤概要と既存杭配置状況を図-5 に示す。地層構成はA現場と類似しており，GLより，約2mの埋土，それ以下が洪積層(上位よりローム層，凝灰質粘土層，東京層砂層)にて構成されている。代表的な既存杭はGL-1.5m～GL-20.5m(L=19m)，径1.4mの場所打ち杭コンクリート杭である。



写真-1 ロッドに取付けた攪拌



写真-2 攪拌翼

(突起部よりエアを吐出する機構)

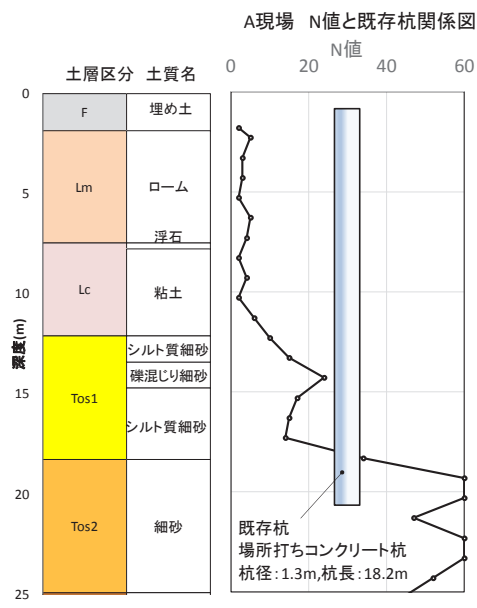


図-3 地盤概要と既存杭配置状況

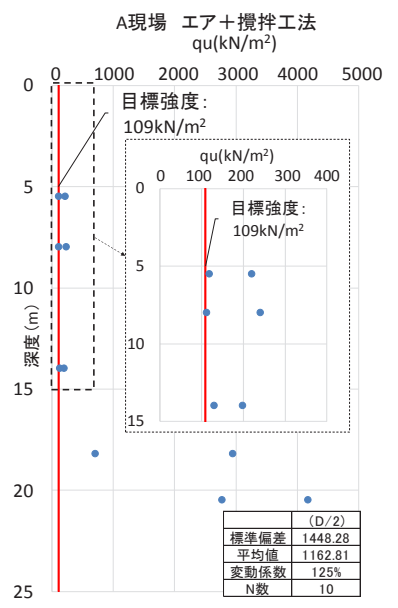


図-4 一軸圧縮試験結果
(点線内は GL-15m までの拡大)

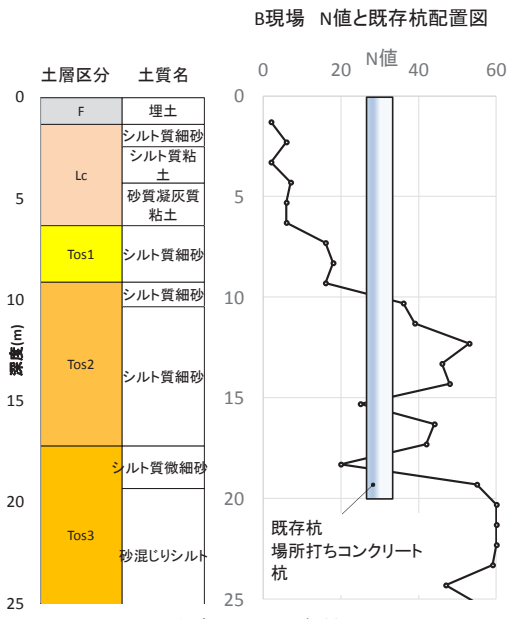


図-5 地盤概要と既存杭配置状況

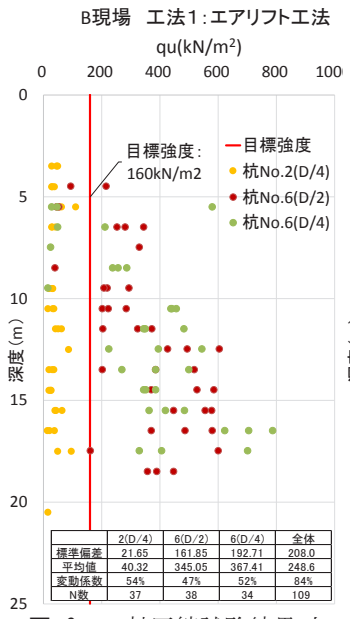
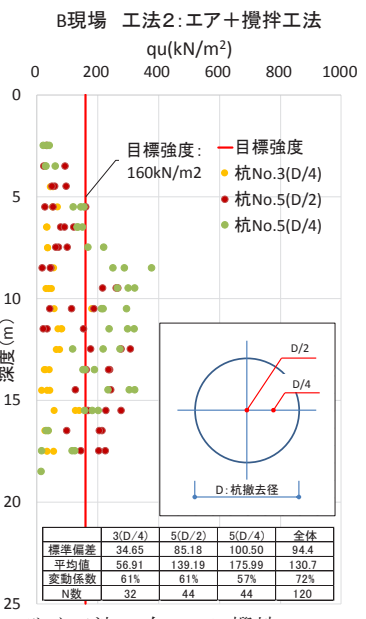


図-6 一軸圧縮試験結果(左:エアリフト工法、右:エア+攪拌)



b) 施工方法

既往の埋戻し工法比較のために 2 つの埋戻し施工法 (工法 1: エアリフト工法, 工法 2: エア+機械攪拌工法: 写真-2)を採用した。施工手順は以下の通りである。

- ①杭撤去時(撤去径:1.75m), 杭体積分減少する孔内水を補填するため, 孔口より CB スラリを入れながら撤去(約 180~330 分)
- ②杭撤去後, 孔底の泥土を底浚いし(約 60 分), 工法 1 または工法 2 による泥水固化を実施(1m³/min にて攪拌: 約 60 分)

A 現場と比較すると, 杭撤去に伴い孔底に堆積してい

る土砂を撤去していること, 杭を撤去しながら CB スラリを投入している点が異なる。そのため, CB スラリの投入から攪拌終了までおおむね 5 時間以上経過するケースも多くみられた。

c) 目標強度及び配合

埋戻し部の目標強度は, 当該地盤の水平地盤反力係数および新設杭施工可能な強度を勘案しつつ, ローム層同等の $qu=160kN/m^2$ と設定した。事前に想定した削孔泥水と CB スラリによる配合試験を実施したが, 目標値を割増すなどの特段の配慮はしていない。配合試験は既存杭引き完了後の削孔泥水と CB スラリが 1:1 の割合で混

合されるものとして実施し、その結果よりセメント添加量は 150 kg/m^3 とした。

d) 調査結果

埋戻し部の性状確認のため、コアボーリングによる一軸圧縮試験($\sigma 22\sim 25$)を行った結果を図-6に示す。その結果、工法1: $qu=13.4\sim 788.6 \text{ kN/m}^2$ 、平均値 248.6 kN/m^2 、工法2: $qu=15.2\sim 378.3 \text{ kN/m}^2$ 、平均値 130.7 kN/m^2 となり、工法1の方が工法2より強度が高い結果となったが、両工法とも目標強度に達しない部分の存在が確認されるなど強度のばらつきが大きかった。これは既存杭を撤去しながら孔口から投入したCBスラリが攪拌開始前までに初期硬化が始まってしまったことが主原因と考えられる。

(3) C現場

a) 概要

当該地の地盤概要と既存杭配置状況を図-7に示す。地層構成はGLより、約1mの埋土、それ以深が洪積層(上位よりローム層、砂礫層)にて構成されている。既存杭(代表的なもの)はGL-1m~GL-21m(L=20m)、径0.35mのプレキャストコンクリート杭である。

b) 施工方法

施工手順は以下の通りである。

- ①ケーシング外径0.6mにて既存杭と地盤のフリクションをカットし、既存杭を引抜き撤去。(約90分)
- ②杭撤去完了後、スパイラルオーガーにて再削孔を行い、セメントベントナイト(以下CB)を孔底から注入する。その後、攪拌オーガー先端からエアを吐出しながら機械攪拌し泥水を固化。(約35分)

攪拌装置は一般的なスパイラルオーガーを用いている(写真-3)。攪拌施工時は、孔底から上部15mの範囲で5mごとに3往復のターニングを行った後、再度孔底から上部5mの範囲で3往復のターニングを実施し、攪拌混合性状の確認は目視にて行った。

c) 目標強度及び配合

埋戻し部の目標強度は、当該地盤のローム層の一軸圧縮強さを鑑み、 $qu=175 \text{ kN/m}^2$ と設定した。セメント系固化材添加量を算定するにあたり、攪拌孔内中の泥水を模擬するため、原位置のロームを用いて比重1.3程度の泥水を作成し、固化用のCBを1:1で配合したもので供試体を作成した。28日強度の試験の結果よりセメント系固化材の添加量は 220 kg/m^3 とし、割り増しなどは実施しなかった。

d) 調査結果

埋戻し部の性状確認のため、コアボーリングによる一軸圧縮試験($\sigma 28\sim 56$)を行った結果を図-8に示す。そ

の結果、28日強度で $qu=14.9\sim 77.7 \text{ kN/m}^2$ 、平均値 55.7 kN/m^2 、56日強度で $qu=37.4\sim 89.3 \text{ kN/m}^2$ 、平均値 68.4 kN/m^2 と目標強度を下回る結果となったが、全層にわたりバラつきの小さい均一な強度分布が確認された。これは、配合試験に用いた現地土のロームが表層で採取されたものであったため、表層以深のローム層の性状と異なっていたことが原因と考えられる。また、28日から56日強度の変化を確認したところ、約1.2倍の強度増進を確認することができた。

(4) D現場

a) 概要

当該地の地盤概要と既存杭配置状況を図-9に示す。地層構成はC現場と異なり、細砂主体の地層である。地表面(以降GL)より、約2mの粘土質ローム、それ以深が洪積層(上位から第1~第3砂層)にて構成されている。既存杭(代表的なもの)はGL-3.5m~GL-25.3m(L=21.8m)、径1.5m(拡底径1.8m)の場所打ちコンクリート杭である。

b) 施工方法

埋戻しには直径1.17mのオーガーヘッド(先端からエアブロー可能:写真-4)を採用した。施工手順は以下の通りである。

- ①杭撤去時(撤去径:2.0m)、杭体積分減少する孔内水を補填するため、孔口よりCBを入れながら撤去。(約180分)
- ②杭撤去後、攪拌用オーガーにて、6m/minの速度で杭孔の孔底から上部15mの範囲にて5往復、その後孔底から上部6mの範囲にて15往復の上下攪拌(ターニング)の後、孔底にてエアブローを行い、泥水固化を行った。(約60分)

c) 目標強度及び配合

埋戻し部は現地地盤同等のN値を目標強度とし、本現場と同様の地盤での工法施工実績より、セメント添加量は 100 kg/m^3 とした。

d) 調査結果

埋戻し部の性状確認のため、コアボーリングによる一軸圧縮試験($\sigma 28$)及びオートマティックラムサウンディング試験(以下ARS試験)による計測を行った結果を図-10に示す。その結果、一軸圧縮試験では $qu=160.9\sim 1,839.7 \text{ kN/m}^2$ 、平均値 897.0 kN/m^2 が得られた。またARS試験では、一軸圧縮試験結果との相関性を確認することができたとともに、埋戻し後のNd値の分布は地山のN値の同様の分布を確認することができた。 qu とNd値の関係は一軸圧縮試験を実施した63箇所を確認したところ、平均で $qu \approx 50.6Nd$ の関係が確認された。



写真-3 スパイラルオーガー

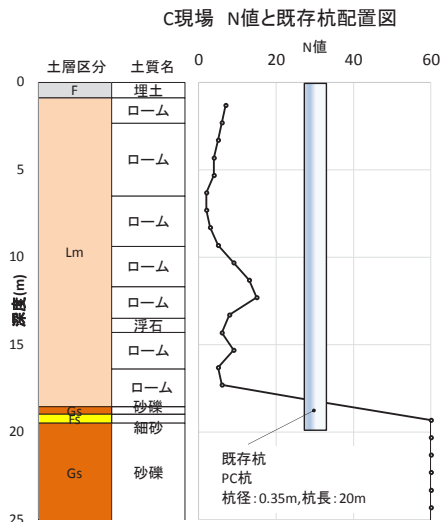


図-7 地盤概要と既存杭配置状況

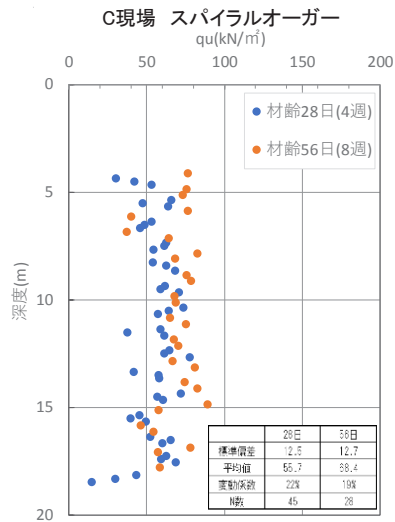


図-8 一軸強度試験(σ 28-56)結果



写真-4 オーガーヘッド

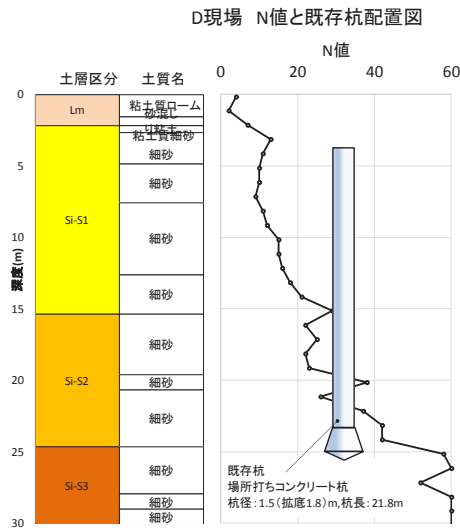


図-9 地盤概要と既存杭配置状況

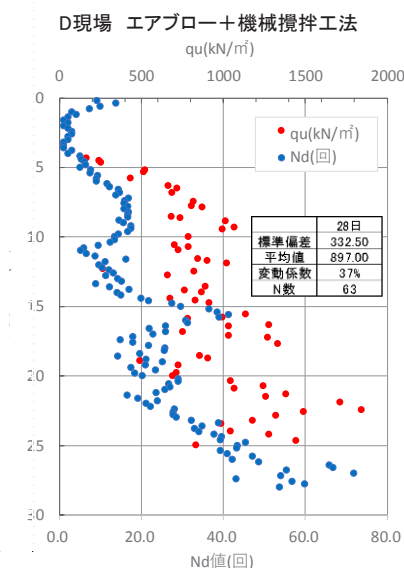


図-10 一軸強度試験(σ 28)及びARS試験結果

(5) 現地調査結果まとめ

地盤構成・既存杭仕様・杭撤去方法・セメント添加量の異なる4現場での埋戻し部の性状調査を実施した結果、以下の知見が得られた。

- ①類似した地盤のA現場とB現場を比較すると、A現場では孔底の泥土を撤去していないにもかかわらず安定した埋戻し性状となったが、B現場では2種類の攪拌工法の両方で目標強度に達しない部分の存在が確認され、強度のばらつきも大きかった。これは、B現場では、A現場で実施した攪拌時のターニングを実施していないことのほか、固化材投入から攪拌完了までに5時間以上経過する場合もあり、固化材の凝結開始後の再攪拌によって強度が低下したことが考えられる。

- ②C現場では全層にわたり均一な攪拌結果が得られたが、目標強度を大きく下回る結果となった。これは、配合試験に用いた現地土のロームが表層で採取されたものであったため、表層以深のローム層の性状と異なっていたことが原因と考えられる。
- ③D現場は細砂主体で一軸圧縮試験の結果から全体的に大きな強度となっていることが確認できた。これはシルトやローム主体のB現場やC現場と対照的である。また、ARS試験及び一軸圧縮試験結果から現状地盤のN値と同様の分布を確認することができた。quとNd値の関係は、平均で $qu \approx 50.6Nd$ の関係が確認された。

表-1 地盤材料

試料名	B現場試料	C現場試料	D現場試料	E現場試料	F現場試料	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.712	2.786	2.701	2.699	2.754	
自然含水比 w_n (%)	34.6	86.3	30.4	78.8	142.6	
粒度	レキ分 (%)	2.7	7.4	0.9	0.4	0.0
	砂分 (%)	61.9	12.2	79.7	6.2	4.8
	シルト分 (%)	22.1	59.2	11.1	27.0	44.6
	粘土分 (%)	13.3	21.2	8.3	66.4	50.6
	均等係数 U_c	71	-	22	-	-
	最大粒径 (mm)	26.5	19	19	9.5	2
液性限界 w_L (%)	NP	108.2	NP	88.2	204.7	
塑性限界 w_P (%)	NP	75.5	NP	40.6	98.7	
塑性指数 I_P	NP	32.7	NP	47.6	106.0	
土懸濁液のpH	-	7.8	-	6.0	7.7	
強熱減量 Li (%)	-	11.1	-	7.8	18.6	
分類名	細粒分質砂 (SF)	砂礫まじり火山灰質粘性土(II型) (VH2-SG)	細粒分質砂 (SF)	砂まじりシルト (高液性限界) (MH-S)	シルト (高液性限界) (MH)	

なお、以上のように、埋戻し部の性状にばらつきや強度の低下がみられたが、どの現場でも埋戻し部と干渉する場合も含めて、新設杭施工時に特にトラブルは発生していない。

3. 室内配合試験

2章で現地調査を実施した4箇所の現場のうちB, C, Dの3現場、および別のE現場から採取した計4種類の試料を用いて室内配合試験を実施した。ここでは、現地盤の種類とCBスラリを投入する前の泥水の比重のほか、実施工において生じるCBスラリの投入から攪拌までの放置時間が埋戻し部分の硬化後の性状に及ぼす影響を検討した結果について報告する。

(1) 使用材料

使用した現地盤試料の土質試験結果を表-1に、粒径加積曲線を図-11に示す。表-1、図-11にはそれぞれ、後述の4章で述べる比抵抗試験で使用したF現場の試料についても併せて記載している。試料Cは有機物を多く含む砂礫混じり火山灰質粘性土(ローム)であり、試料Eは90%以上が細粒分で構成される高液性限界の砂混じりシルトである。また、CBスラリには、高炉B種セメントを使用した。

(2) 試験概要

a) 試料準備

泥水比重は、①流動性を保つ範囲で最低限まで水量を減らした状態、②材料分離が生じない範囲で最大限まで水を添加した状態、③①と②の中間の状態の3水準の比重に設定して試験を実施した。現場での実際の泥水比

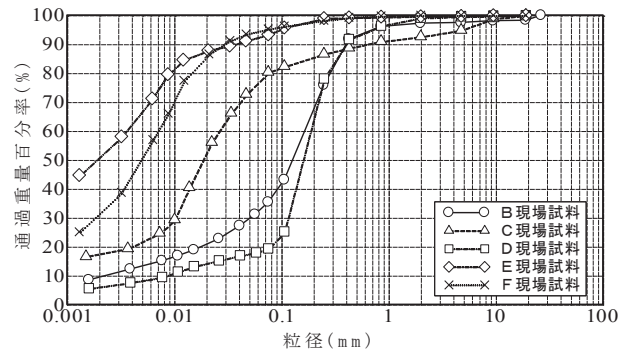


図-11 地盤材料の粒度分布

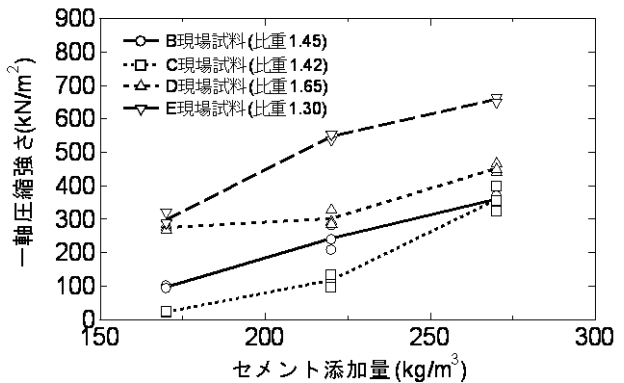


図-12 セメント添加量と一軸圧縮強さ(材齢28日)

重は地盤の種類や地下水の状況、杭撤去時の施工方法などにより異なるが、概ね③の状態である。

泥水と混合する前のCBスラリの配合は、セメント量を170, 220, 270 kg/m³の3ケース、ベントナイト量は50 kg/m³とした。泥水とCBスラリの混合割合はすべて1:1である。

b) 埋戻し材料の作製方法

まず、現地盤試料に所定の比重になるように加水し、ソイルミキサーで15分攪拌して泥水を作製した。次に別のソイルミキサーを用いて、CBスラリを所定の配合で3分間攪拌して作製した。その後泥水とCBスラリを

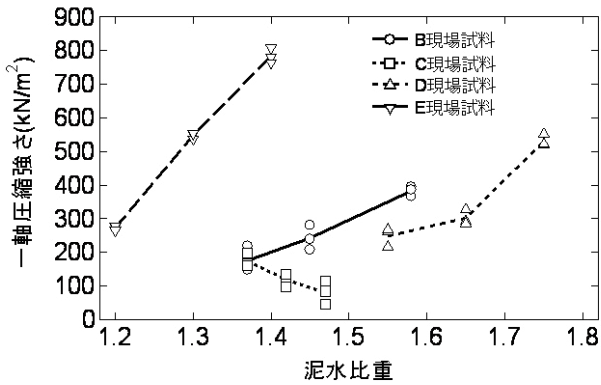


図-13 泥水比重と一軸圧縮強さ
(C=220kg/m³, 材齢 28 日)

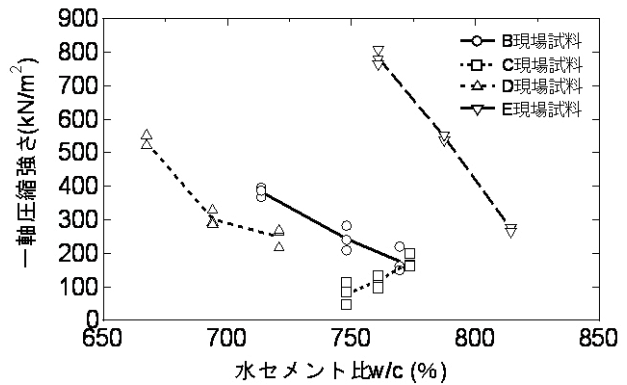


図-14 水セメント比と一軸圧縮強さ
(C=220kg/m³, 材齢 28 日)

混ぜ合わせてソイルミキサーでさらに 3 分間攪拌し埋戻し材料を作製した。

c) 試験方法

作製した埋戻し材料の性状を確認するため、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」(JGS0821)に基づいて供試体を作製し、20℃ 気中養生で材齢 7 日、28 日の供試体で一軸圧縮試験(JIS A 1216)を実施した。

(3) 試験結果

泥水の性状を 2 項 a) の③の状態 で一定とし、CB スラリ中のセメント添加量のみを変化させた場合の一軸圧縮強さとセメント添加量の関係を図-12 に示す。試料の種類により一軸圧縮強さは異なり、同セメント添加量で比較すると、砂まじりシルトの試料 E が最も高い強度を示した。図-13 には CB スラリの配合を一定 (C=220kg/m³) とした場合の、泥水比重と材齢 28 日における一軸圧縮強さの関係を示す。また、図-14 には図-13 と同様の結果を水セメント比と関係で示した。ここでの水セメント比は、CB スラリの水セメント比ではなく、泥水中の水分も含まれている。図-13、図-14 をみると、同一の試料であれば、泥水の比重が大きく、水セメント比が小さいほど、おおむね一軸圧縮強さが増加する傾向を示している。

ただし、図-12, 13, 14 より、今回使用した 4 種類の試料の比較では、単位体積当たりのセメント量や水セメント比だけでは強度との関係は一意的には決まらず、試料によって大きく違いがでていることがわかる。また、細粒分含有率や粒度分布、pH などの物理化学特性と強度の相関も特に認められない。

また、図-13, 14 の結果では試料 C のみ泥水の比重が小さく、水セメント比が大きいほど強度が増加する傾向を示している。試料 C は、有機物を多く含む二次堆積した火山灰質粘性土(ローム)であり、低加水での試料調整

時に元の団粒構造が十分に分解されず、CB スラリとの混練時の流動性も不十分であった可能性が考えられる。

試料 C については、加水量が多く流動性が高い低比重の泥水でも他の試料と比べて強度が低い、これは上記の理由のほか、セメント系固化材の水和硬化反応に有害な有機物含有量が多いことが影響しているものと考えられる。また、ロームに多く含まれる粘土鉱物の一種のアロフェンはセメント系固化材からカルシウムイオンを大量に取り込み、固化を阻害することが知られているが^{4), 5)}、これらの粘土鉱物の種類による影響も考えられる。

図-8 に示したように C 現場では全層にわたり均一な攪拌結果が得られたものの、一軸圧縮試験結果において目標強度を大きく下回る結果となっている。これは、2 章 3 項で述べたように採取試料の代表性の問題のほか、上記のように、ローム特有の問題が影響していると考えられる。

また、D 現場の配合は、今回の室内配合試験では CB スラリの配合がセメント量 200kg/m³ に相当するが、現場における平均強度は C 現場とは逆に非常に大きな値を示している。

このように実際の現場では室内試験以上に地盤の種類による強度の違いが大きい。類似地盤において採用する埋戻し工法の施工事例がない場合は、目標強度を満たす CB スラリの配合や添加量の設定に際して、現地の試料を用いた事前の室内配合試験が重要であるといえる。また、配合の設定にあたっては、施工方法や地盤の種類によって、泥水と CB スラリの配合設定を変えたり、適切な現場/室内強度比を設定するなどの考慮が必要であると考えられる。

(4) 攪拌前の放置時間による影響

実施工での埋戻し作業では、最初に CB スラリを投入してから最終的に攪拌を終了するまでに、施工方法によ

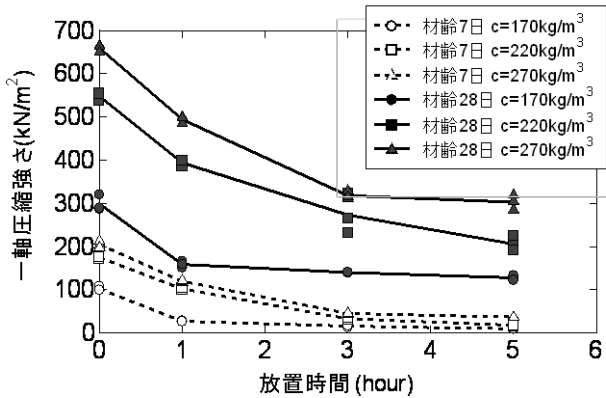


図-15 攪拌前の放置時間と一軸圧縮強さ

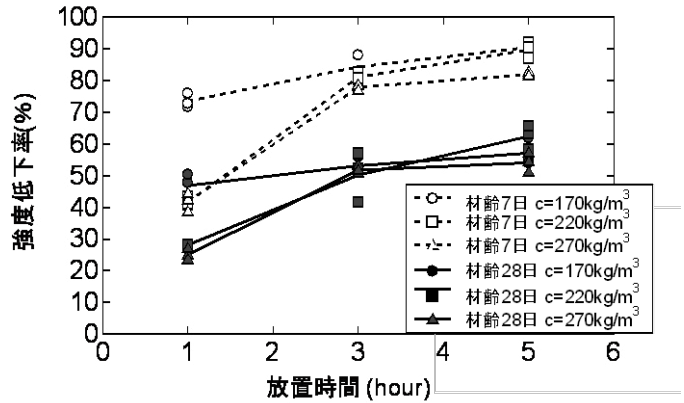


図-16 攪拌前の放置時間と強度低下率

って 1~5 時間程度の時間差が生じ、場合によっては CB スラリの凝結開始後に再度攪拌を行う状況もあり得る。この攪拌前の放置時間が埋戻し部分の硬化後の性状に及ぼす影響を確認するため、試料 E を用いた泥水に CB スラリを混合して所定の時間放置した。その後に攪拌を行い作製した供試体に対して、一軸圧縮試験を実施した。一軸圧縮強さと攪拌前の放置時間の関係を図-15 に示す。攪拌前の放置時間が長いほど強度が低下することを確認した。図-16 は放置時間無しの一軸圧縮強さに対する強度低下率である。セメント添加量が少ない $C=170 \text{ kg/m}^3$ では、他の添加量に比べ放置時間の影響は少ないが、 $C=220 \text{ kg/m}^3$, 270 kg/m^3 では放置時間 1 時間から 3 時間の間での強度低下が大きい。材齢 28 日の供試体においても攪拌前に 3 時間から 5 時間放置した場合、50%以上強度が低下する傾向が認められる。これより攪拌前の放置時間は埋戻し材料の強度への影響があることを確認した。

(5) 室内配合試験結果まとめ

現場の調査結果を踏まえて、室内試験では、CB スラリ投入前の泥水の状態、および投入から攪拌までの放置時間が強度に及ぼす影響について検討した。その結果、

- ①泥水の性状や水セメント比を一定にした場合でも現地盤試料の種類により一軸圧縮強さは大きく異なる。実際の現場では室内試験以上に地盤の種類による強度の違いが大きいことから、類似地盤における同工法での施工事例がない場合は、現地の試料を用いた事前の室内配合試験を実施することが重要である。
- ②材齢 28 日の供試体において、攪拌前に 3 時間・5 時間放置した場合の一軸圧縮強さは、放置時間 0 時間に比べ 50%以上低下し、攪拌前の放置時間は埋戻し材料の強度への影響があることを確認した。

4. 電気比抵抗を用いた品質管理手法の検討

(1) 概要

埋戻し箇所の均質性は施工後の地盤調査により深さ方向の強度を比較することでしか確認できず、また泥水と CB スラリの攪拌方法や攪拌時間も経験的な手法により決定されているのが現状である。

地盤改良時の品質管理手法の一つとして、セメント量との相関が高いことを利用して電気比抵抗(以下、比抵抗)を測定する試みが行われている^{6),7)}が、地盤の種類による比抵抗の違いも大きいことから、幾つもの地層からなる通常の互層地盤に対して一様に基準値を設定することは困難である。一方、既存杭撤去後の埋戻し材は比較的比重の小さい泥水と CB スラリをエアリフトや攪拌翼で攪拌しており、固化前の比重や粘性も低いことから、通常地盤改良と比較して、より適用性が高いものと考えられる。

ここでは、電気比抵抗を用いた品質管理手法について、4 探針式のプローブセンサーによるキャリブレーション試験、およびエアリフトによる攪拌試験を実施し、その適用性の評価を行った結果について報告する。

(2) 使用材料

現地盤試料は、先に表-1、図-11 に示した試料 E と試料 F を用いた。また、泥水比重と CB スラリの配合を表-2 に示す。

(3) キャリブレーション試験

キャリブレーション試験は、表-2 に示す試料を $\phi 50\text{cm} \times 50\text{cm}$ の容器の中に投入して攪拌を行って実施した。図-17 に示すように、塩ビ管に 4 本の電極を 5cm 毎に等間隔に配置 (ウェンナー配置) したセンサーを試作

し、外側の2本の探針間に一定電流を流した際に生じる内側の2本の探針間の電位差を測定し、以下の式により比抵抗を求めた。

$$\rho = 4\pi a \frac{V}{I} (\Omega \cdot \text{cm})$$

V : 内側2探針間の検出電圧

I : 外側2探針間の印加電流

a : 探針間隔(5cm)

ρ : 比抵抗

その他に、市販のポータブル電気伝導率計 (CM-31P, 東亜テイクケー社製)による伝導率の測定も併せて実施した。

結果を図-18, 19 に示す。2種類のセンサーはそれぞれ測定方法が異なるが、試料E, FともにCBスラリの割合が増加するにつれて比抵抗が減少し、理論上その逆数に比例する伝導率が増加していることがわかる。

CBスラリを添加する前の泥水の比抵抗(伝導率)には大きな違いがみられ、試料Fの比抵抗は試料Eの約20倍の値となった。このように地盤ごとの組成や塩分濃度の違いにより比抵抗が大きく異なるため、比抵抗を用いて攪拌後の均一性確認を行うためには、その都度事前にCBスラリ投入前の泥水および、CBスラリの比抵抗をそれぞれ測定し、均一性の指標となる基準値を設定する必要があるといえる。

(4) エアブローによる攪拌模擬試験

表-2に示す配合の試料Fを用いて、 $\phi 20\text{cm}$ 、高さ4mの透明塩ビ管の中に最初に泥水を入れ、上部からCBスラリを泥水と混ざらないようにゆっくりと投入した後、エアリフトを模擬したパイプを用いて攪拌状況の確認のための模擬試験を実施した。エアブロー用のパイプは、ホースの先端に内径 $\phi 5\text{mm}$ の鋼製パイプを設置したものを使用し、これを塩ビ管の上部から挿入して、コンプレッサーから送った圧縮空気で攪拌を行った。試験方法の模式図を図-20に示す。

試験では、孔底に沈積した掘削泥土の攪拌状況の目視による観測のほか、一定時間毎に攪拌を停止して、図-17のセンサーにて深度方向分布の測定を実施した。

測定結果を図-21に示すが、比抵抗の測定結果から攪拌時間40秒以後で管内の材料がほぼ均一に攪拌できたことが判断できた。また、この結果は透明塩ビ管の外側からの目視による観測結果ともほぼ一致した。

硬化後に塩ビ管を切断して $\phi 10\text{cm}$ のコアを採取し、高さ毎の一軸圧縮強さおよび湿潤密度を調べた結果を図-22に示す。一軸圧縮強さは上部の方がやや大きい傾向

表-2 試験配合

試料名	泥水比重	CBスラリ (kg/m ³)	
		C	B
試料E	1.30	220	50
試料F	1.19	220	50

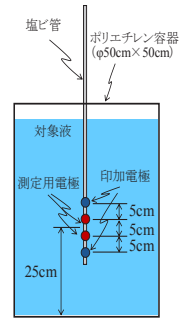


図-17 キャリブレーション試験模式図

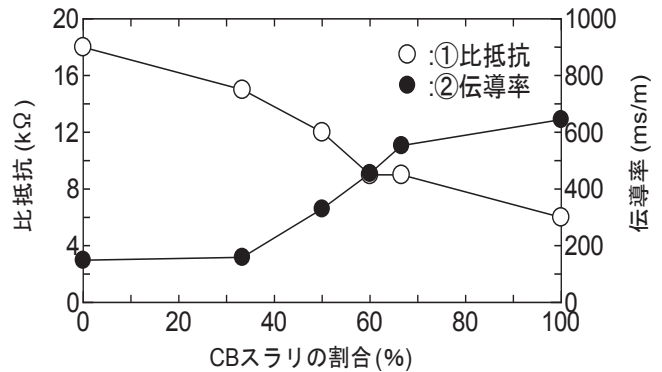


図-18 CBスラリの添加割合と比抵抗,伝導率(試料E)

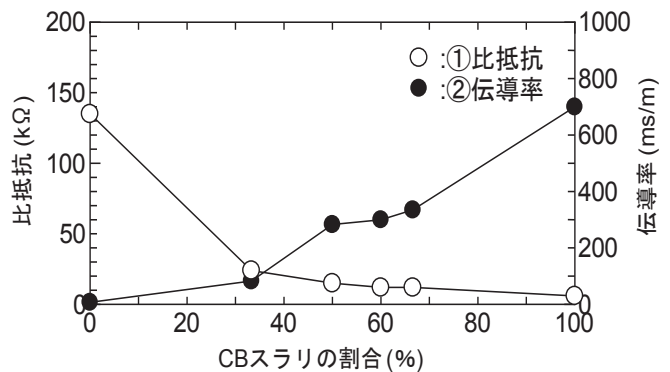


図-19 CBスラリの添加割合と比抵抗,伝導率(試料F)

が見られるが、全体として一軸圧縮強さ、湿潤密度ともに深度方向にほぼ一様な固化体が作製できていることが確認できた。

(5) 電気比抵抗による品質管理手法の検討結果まとめ

事前にキャリブレーションを行ったうえで、硬化前の埋戻し材の比抵抗分布を測定することにより、既存杭撤去後の杭孔の埋戻し箇所の均質性について確認できる可能性が示された。

5. まとめ

既存杭を撤去した現場での現地調査および室内配合試験、さらに、電気比抵抗を用いて埋戻し部の均質性を

定量的に評価する手法についての検討を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ①埋戻し部現地調査の結果、攪拌工法の種類や孔底の泥土の撤去の有無によらず、目標強度に達しない部分の存在や、強度のばらつきが大きくなるケースが見られた。これは、地盤の違いだけでなく、攪拌時のターニングの有無のほか、CB スラリ注入から攪拌完了までの施工時間の影響も考えられる。
- ②室内配合試験の結果から、材齢 28 日の供試体において、攪拌前に 3 時間・5 時間放置した場合の一軸圧縮強さは、放置時間 0 時間に比べ 50%以上低下し、攪拌前の放置時間は埋戻し材料の強度への影響があることを確認した。
- ③泥水の性状や CB スラリの配合が一定でも地盤の種類により一軸圧縮強さは大きく異なる。実際の現場では室内配合試験以上に地盤による強度のばらつきが大きいため、類似地盤における埋戻し工法の施工事例がない場合は、現地の試料を用いた事前の室内配合試験を実施することが重要である。また、室内配合試験を実施する際には、複数の深度から試料を採取することが望ましい。
- ④地盤改良に関して電気比抵抗による品質管理手法が提案されているが、同手法が硬化前の埋戻し材に対して適用できる可能性があることを室内試験にて確認した。

参考文献

- 1) 崎浜博史, 宮田勝利, 川幡栄治: 既存杭と干渉する位置における場所打ちコンクリート杭施工の留意点, 基礎工 3 月号, pp.33-36, 2016
- 2) 崎浜博史, 堀井宏謙, 八重樫光: 既存杭撤去後の掘削孔に埋戻された流動化処理土の品質調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.435-436, 2014
- 3) 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水固化体の品質調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.447-448, 2015
- 4) 霞誠司他ほか: セメント系改良材による関東ローム改良土の基礎的研究, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp.2305-2306, 1998.7
- 5) 清水準ほか: 関東ロームと固化材の相互作用に関する一考察, 第 54 回セメント技術大会, pp.466-467, 2000.5
- 6) 高ら: 電気比抵抗によるソイルセメントコラムの品質管理, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011
- 7) 望月ら: 中層混合処理工法の品質管理システムの開発, 基礎工, 2018.11

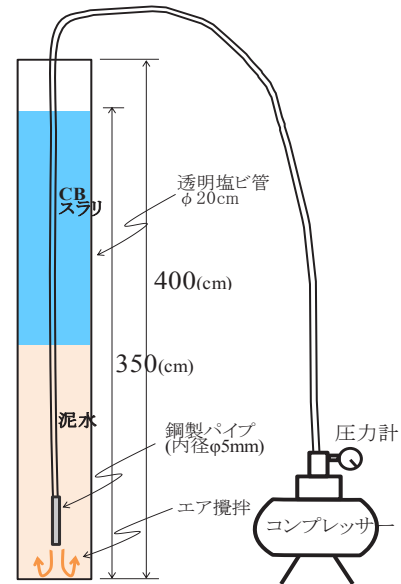


図-20 エアブローによる攪拌試験模式図

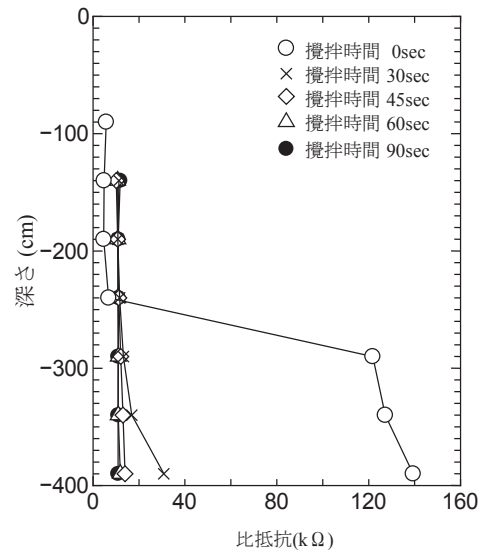


図-21 攪拌時間毎の比抵抗の深度方向分布

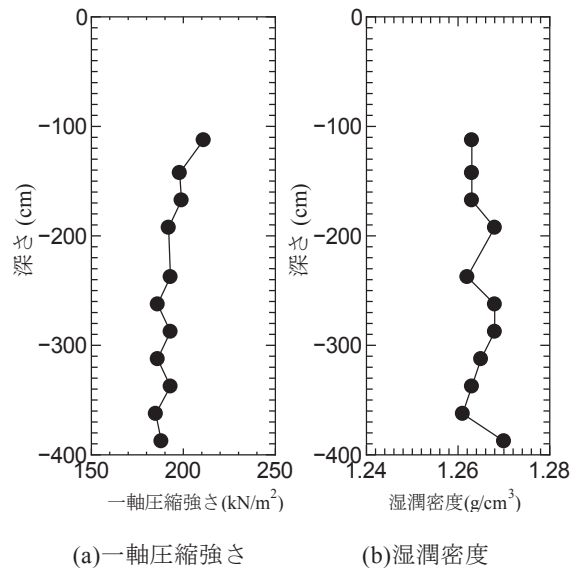


図-22 硬化後の深度方向分布