

小径深礎工法の機械化に伴う可塑性裏込め材料の開発

湊 憲二*1・竹田 茂嗣*2・岩城 圭介*3

概 要

営業線近接工事等の狭隘で低空頭制限下で行う基礎杭等の施工は、掘削機械の持込みができず、人力による深礎工法が基本となっており、作業員の高齢化、担い手不足の課題がある。深礎工法の機械化は、作業の省人化、作業環境の改善、生産性の向上を図り、このような課題の解決を実現させる。深礎工法の機械化にあたっては、ライナープレート背面に充填する裏込め工を確実に実施することが従来工法同様に求められるが、従来の裏込め方法では、セメント系 2 液混合タイプの場合はライナープレート下部からの漏出防止対策に時間を要する、また一般的なモルタルを使用した場合は硬化までに時間を要する、といった課題があった。本稿では、これらの課題を解決するために開発した裏込め材料について報告する。

キーワード：深礎工法，機械化，可塑性裏込め材料，生産性向上

DEVELOPMENT OF A PLASTIC BACK-FILL MATERIAL TO MECHANIZE CONSTRUCTION OF A DEEP FOUNDATION WITH SMALL DIAMETER

Kenji MINATO *1, Shigetugu TAKEDA *2, Keisuke IWAKI *3

Abstract

Foundation piles cannot be constructed using excavation machinery in the proximity of a commercial railway line in a narrow space with a small overhead clearance. In such cases, excavation is usually done with manual labor, and we are faced with difficult issues such as aging of workers and labor shortages. The establishment of a method of mechanizing deep foundation excavation will save labor, improve work environments and productivity, and make it possible to solve such issues. At the time of mechanizing deep foundation construction, it is necessary to backfill without failure the material behind the liner plate, in the same way as in the case of conventional methods. For the conventional method using a cement based two liquid- backfill material, however, it takes a long time to prevent the packfill material leaking from the lower part of the liner plate. Furthermore, when using an ordinary mortar as backfill material, this also takes a long time until the material is cured and hardened, These are the issues to be solved. This paper reports on the backfill material which we developed to solve these issues.

Keywords: deep foundation method, mechanization, plastic back-fill material, improvement of productivity.

*1 Construction Technology Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*2 Manager, Construction Technology Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*3 Manager, Material Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

小径深礎工法の機械化に伴う可塑性裏込め材料の開発

湊 憲二*1・竹田 茂嗣*2・岩城 圭介*3

1. はじめに

営業線近接工事等の狭隘で低空頭制限下で行う基礎杭等の施工は、掘削機械の持込みができず、写真-1のような人力による深礎工法が基本となっており、作業員の高齢化等、担い手不足の課題がある。深礎工法の機械化は、作業の省人化、作業環境の改善、生産性の向上を図り、このような課題の解決を実現させる。

本工法(図-1)の適用対象は、杭径φ2,000mm、作業空頭2.5m程度、杭長20m程度を想定している。

機械化深礎工法の開発コンセプトは下記3点である。

- ①掘削室の無人化による劣悪作業環境の回避
- ②作業の機械化による施工速度向上
- ③刃口の圧入と可塑性裏込め材料充填による地盤のゆるみ抑制

深礎工法の機械化は、従来の人力主体の工法と比較し、機械設備やライナープレートの補強により使用資材の費用が増大するが、地盤のゆるみ抑制効果により列車運行時間帯でも施工可能な工法とすること及び掘削・排土作業の効率化による大幅な工期短縮を図ることによって、工法の優位性を実現することを目標とした。

本稿では、深礎工法の機械化を実現させるために新たに開発した裏込め材料について報告する。

2. 新しい裏込め材料の概要

一般に深礎工法で使用されている裏込め材料を機械化深礎工法へ適用するには、以下の2つの課題がある。

1)機械化深礎工法における裏込め工は、従来工法

とは異なり対象となるライナープレートは浮いた状態になるため、下部に底枠を設置して裏込め工を行うことになる。そのためセメント系2液混合タイプの裏込め材料では、底枠にわずかでも隙間があると硬化前に漏洩が生じ、その対策に多大な時間を要する。

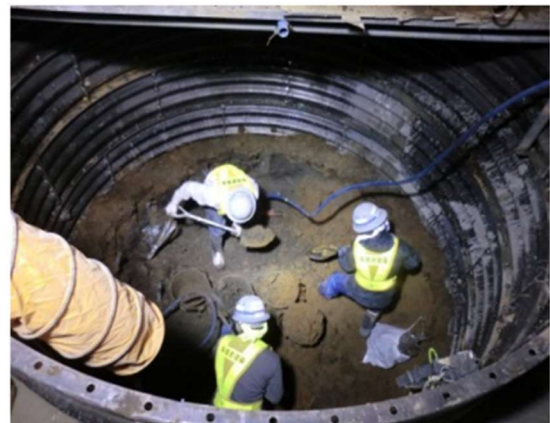


写真-1 従来の深礎工法

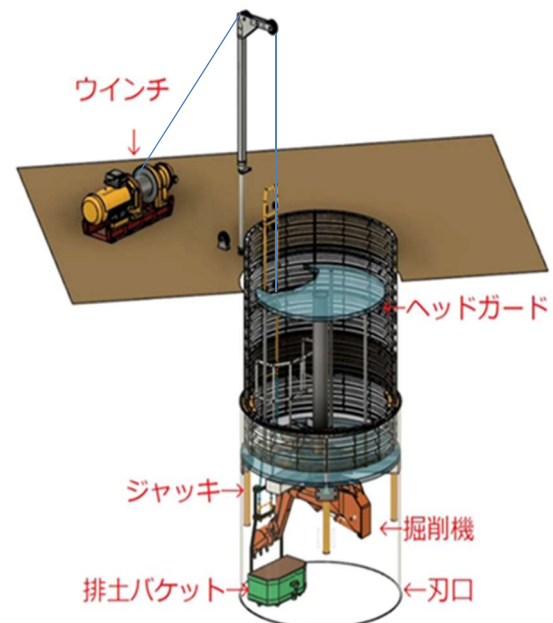


図-1 機械化深礎工法 イメージ図

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 施工技術グループ

*2 建設技術総合センター 研究開発センター 施工技術グループ グループリーダー

*3 建設技術総合センター 研究開発センター 材料グループ グループリーダー

2)一般的なモルタルを使用した場合、所要の強度発現までに時間を要するため、次工程への移行に時間が掛かり、列車運行時間帯での施工が実現できない。

これらの課題を解決するために、①可塑性を有する裏込め材料、②裏込め材料の充填後数十分で硬化可能な裏込め材料を開発することとした。開発した可塑性裏込め材料は、既設トンネル覆工背面の空洞充填用に用いられている裏込め材料を応用したものであり、その構成材料である2種類の可塑化材A、Bを用いる。

表-1に使用材料を記す。また配合上の特徴を以下に記す。

- ・原材料では主材と可塑化材の体積比が異なっていたため計量が必要だったが、体積比を1:1にすることにより計量を省略し、現場での管理を容易なものとした。
- ・コスト削減を目指し、セメントの使用量を抑えるために石灰石微粉末を使用した。
- ・可塑化材と混合前の主材の流動性を確保するために、流動化剤を添加した。

3. 配合検討

3.1 試験概要

試験項目・目標値・試験方法は表-2のように設定した。表中に記載した目標値は施工性を考慮

して独自に設けた値である。試験項目の概要を以下に示す。

- ①流下時間：混合前の主材・可塑化材それぞれについて流下時間を図ることにより流動性を評価した。主材と可塑化材の流下時間の差が大きいとゲル化しなかったため、目標値は10～20秒と設定し、流下時間の差を10秒以内とした(写真-2)。
- ②ゲルタイム：主材と可塑化材の混合後、流動性を失うまでの時間であり、漏洩に対する抑止効果を評価した。混合後の流動性を考慮し、目標値は20～30秒とした(写真-3)。
- ③JHフロー：ゲル化後のコンシステンシーを評価した。JHフロー値140mm以上では材料分離が見られ、また隙間からの漏洩の懸念があるため目標値は140mm以下とした(写真-4)。
- ④ブリーディング率：ゲル化後のブリーディング率を測定することで、新旧裏込め材の打継ぎ目に生じる隙間を評価した。ライナープレート高さ500mmの3%である15mm程度以下の空隙を目標値とした。
- ⑤圧縮強度試験：主材・可塑化材練り混ぜ後、30分、60分後に測定し、次工程に移行するまで

表-1 使用材料

材料	種類および物性値
セメントOPC	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm ³
石灰石微粉末LS	炭酸カルシウム、密度2.70g/cm ³
可塑化材A	ポリマー系可塑化材：液体、密度1.05g/cm ³
可塑化材B	セメント鉱物系可塑化材：粉体、密度2.90g/cm ³
化学混和剤Ad	流動化剤(消泡剤)ナフタレンスルホン酸系液体

表-2 試験項目

試験項目		目標値	試験方法
① 流下時間	JA漏斗	10～20秒程度	JSCE-F 531-1999
② ゲルタイム	ストップウォッチ	20～30秒	-
③ JHフロー	内径8cm、高さ8cmのシリンダー使用	140mm以下	JHS313-1999
④ ブリーディング率	ポリエチレン袋方法	3%程度以下	JSCE-F 552-2018
⑤ 圧縮強度	σ30分、σ60分、σ1	σ30分： 0.01N/m ²	JSCE-G552



写真-2 流下時間

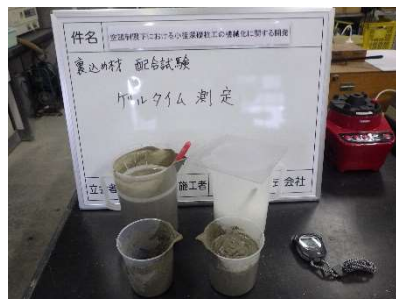


写真-3 ゲルタイム



写真-4 JHフロー

表－3 検討配合

No.	配合	容積 L/m ³		Ad 主材P*%	Total W	Total C/W	主材 kg/m ³					可塑化材 kg/m ³						
		主材	可塑化材				粉体量 P	W/P	OPC	Ad	W	粉体量 P	W/P	LS	Ad	可塑化材 A	可塑化材 B	W
1	62.5-60-05-3-15	500	500	0.50	575.1	1.087	625	0.483	625	3.13	299	615	0.44	600	0.0	3	15	270
2	62.5-30-05-3-80	500	500	0.50	663.1	0.943	625	0.483	625	3.13	299	380	0.95	300	0.0	3	80	358
3	62.5-30-05-3-60	500	500	0.50	670.1	0.933	625	0.483	625	3.13	299	360	1.02	300	0.0	3	60	365
4	62.5-30-05-3-50	500	500	0.50	674.1	0.927	625	0.483	625	3.13	299	350	1.06	300	0.0	3	50	369
5	62.5-30-05-3-40	500	500	0.50	677.1	0.923	625	0.483	625	3.13	299	340	1.10	300	0.0	3	40	372
6	62.5-30-05-3-30	500	500	0.50	681.1	0.918	625	0.483	625	3.13	299	330	1.15	300	0.0	3	30	376
7	50-30-05-3-50	500	500	0.50	713.5	0.701	500	0.683	500	2.50	339	350	1.06	300	0.0	3	50	369
8	37.5-30-05-3-50	500	500	0.50	752.9	0.498	375	1.016	375	1.88	379	350	1.06	300	1.75	3	50	369
9	25-30-05-3-50	500	500	0.50	793.3	0.315	250	1.685	250	1.25	420	350	1.06	300	0.0	3	50	369
10	37.5-15-05-3-50	500	500	0.50	807.9	0.464	375	1.016	375	1.88	379	200	2.14	150	0.0	3	50	424

の時間に関連する急硬性を評価した。目標値に設定した σ 30分 : 0.01N/mm² とは供試体の脱型が可能な強度に相当し、実作業では裏込め材料充填後、ライナープレート底枠を脱型しても裏込め材料が流出しない程度の強度である。

可塑化材 A の単位量を増加させると、圧縮強度の低下やゲルタイムの早期化が見られたため、可塑化材 A の単位量は 3kg/m³ で固定し、それ以外のセメント、可塑化材 B、石灰石微粉末の単位量をパラメーターとして配合検討を行った。表－3 に検討配合を示す。配合 No.1 の基準配合に対して、配合 No.2～6 は可塑化材 B の使用量による検討、No.7～9 はセメントの使用量による検討、No.8 と No.10 は石灰石微粉末の使用量による検討を行った結果である。

3. 2 試験結果

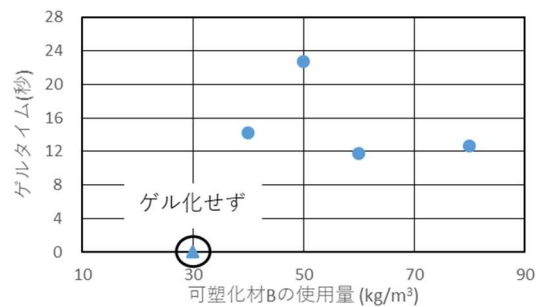
試験結果を表－4 に記す。配合 No.2～6 で可塑化材 B の使用量を変化させたところ、図－2 に示すように 30kg/m³ ではゲル化しない結果が得られた。またゲルタイムは 40kg/m³ の使用量で 14 秒、50kg/m³ の使用量で 22 秒であった。

表－4 試験結果

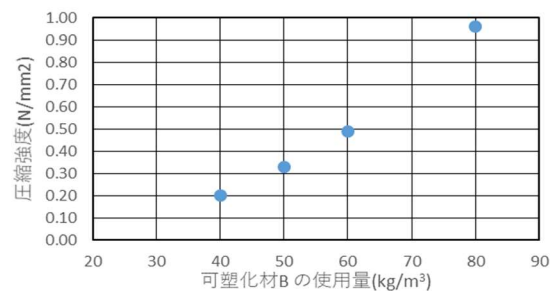
No.	配合	流下時間(秒)		ゲルタイム (秒)	JHフロー (mm)	ブリーディング率(%)					圧縮強度 (N/mm ²)	
		主材	可塑化材			3h	20h	30min	60min	1d		
1	62.5-60-05-3-15	15	48	ゲル化せず		2.2	0.0					0.96
2	62.5-30-05-3-80	15	14	13	80	0.0	0.0	0.08	0.08			0.96
3	62.5-30-05-3-60	15	13	12	80	0.0	0.0	0.03	0.03			0.49
4	62.5-30-05-3-50	16	13	23	80	0.0	0.0	0.01	0.02			0.33
5	62.5-30-05-3-40	16	13	14	80	0.0	0.0					0.20
6	62.5-30-05-3-30	15	14	ゲル化せず		0.0	0.0					
7	50-30-05-3-50	11	12	20	80	0.0	0.0	0.03	0.03			0.19
8	37.5-30-05-3-50	10	13	22	80	0.0	0.0					0.66
9	25-30-05-3-50	10	13	ゲル化せず		0.0	0.0					
10	37.5-15-05-3-50	10	10	34	80	0.0	0.0					0.01

裏込め材料充填時の流動性を考慮するとゲルタイムは 20～30 秒程度が適当であることから、可塑化材 B の使用量は 50kg/m³ が適当であると判断した。圧縮強度に関しては図－3 に示すように可塑化材 B の使用量を増やすと圧縮強度も増加する傾向が見られた。

次に配合 No.7～9 でセメントの使用量を変化させたところ、図－4 に示すようにセメント量の増加に伴い、主材の流下時間も増加する傾向が見られた。また配合 No.9 でセメントの使用量を 250kg/m³ としたところゲル化しない結果が得られたため、セメントの使用量は経済性を考慮し



図－2 可塑化材 B の使用量とゲルタイム



図－3 可塑化材 B の使用量と圧縮強度 (σ 1)

375kg/m³が適正であると判断した。

最後に配合 No.8 と No.10 で石灰石微粉末の使用量を検討したところ、**図-5**に示すように配合 No.10 で石灰石微粉末の使用量が 150kg/m³ではゲルタイムが 34 秒であった。これはゲルタイムの目標値から外れ、実作業においてもゲルタイムが長くなると、漏出量が多くなってしまうため不適当であると判断し、石灰石微粉末の使用量は 300kg/m³を適正とした。

また配合 No.2~10 について可塑化材 B の使用量を 30kg/m³以上とするとゲル化して急硬性を示すことと、急硬性を示すとブリーディングが発生しないことを確認することができた。

3.3 暫定配合

配合検討結果を踏まえ、暫定配合を**表-5**のように設定した。

基準配合に比べ、セメント量を減らし、可塑化材 B を増やすことにより、急硬性を発現させ、ブリーディングは発生しない。ゲルタイムは 20 秒程度を確保した配合とした。

また可塑化材練混ぜ時、気泡の発生が見られたため、消泡剤としての効果も有する流動化剤 Ad を可塑化材にも添加した。

4. 要素試験

上記暫定配合を使用して可塑性裏込め材料の急硬性と充填性を確認する試験を実施した。

4.1 急硬性確認試験

写真-5に示すライナープレートを用いた試験体(幅 375mm, 高さ 500mm, 厚さ 45mm)を 3 体用意し、それぞれの試験体に可塑性裏込め材料を充填した(**写真-6**)。

試験では裏込め材料充填完了 10 分後、20 分後、30 分後にライナープレートの底枠を脱型し、裏込め材料が流出するかしないかを確認した。

その結果、10 分後の底枠脱型時に裏込め材料は硬化しており、型枠バイブレーターにより振動を与えても流出は見られなかった。これにより可塑性裏込め材料の急硬性を確認することができた。

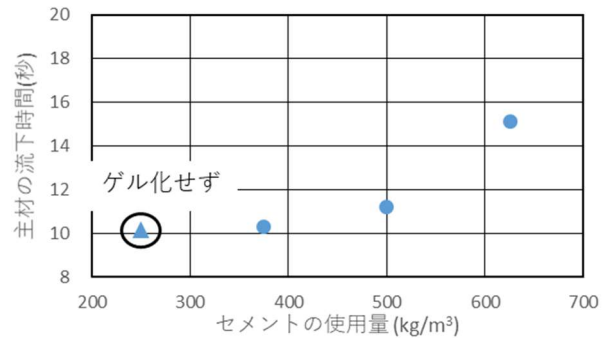


図-4 セメントの使用量と主材の流下時間

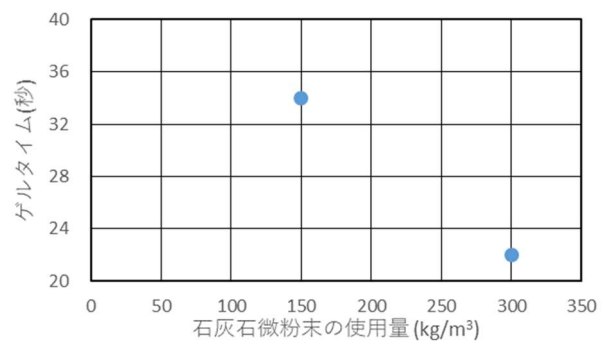


図-5 石灰石微粉末の使用量とゲルタイム

表-5 暫定配合

主材 (500 ℓ) 単位: kg/m³

セメント	流動化剤	水
375	1.88	379

可塑化材 (500 ℓ)

可塑化材A	可塑化材B	消泡剤 (流動化剤)	石灰石微粉末	水
3	50	1.75	300	367

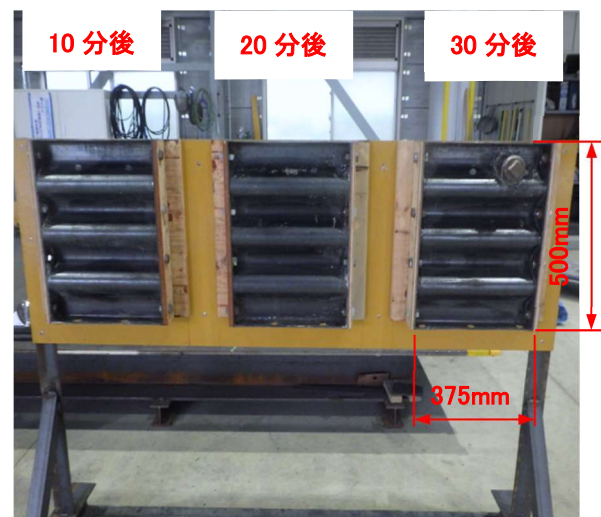


写真-5 急硬性確認試験

4. 2 充填性確認試験

次に可塑性裏込め材料の充填性を確認した。図-6にライナープレートφ2.0mの注入孔配置図を示す。注入孔は4箇所あり、間隔は1.57mとなる。そのため充填性確認試験は、中央の注入孔から両隣の注入孔までの間隔相当の離隔を確保した写真-7に示す試験体（幅3,300mm、高さ500mm、厚さ45mm）のライナープレートを用いて行った。中央に配置した注入孔から充填したところ、両端部天端まで裏込め材料は打ち上がった（写真-8）。

この結果から本可塑性裏込め材料は1.57m以上の流動性を有するため、4箇所ある注入孔のうち、対面に位置する2箇所からの注入で、充填できることを確認した。また表-6に記す通り品質試験についても目標値を満足し、可塑性裏込め材料の再現性を確認した。



写真-6 充填状況

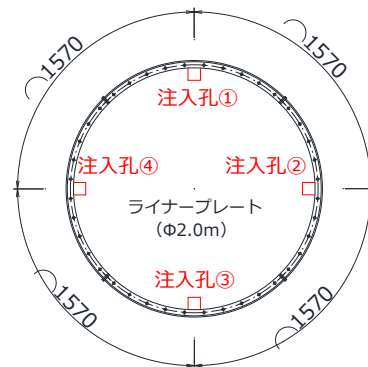


図-6 注入孔配置図

5. まとめ

機械化深礎工法に適用可能な可塑性裏込め材料を開発することができた。

特徴は以下の通りである。

- ①可塑性であるため隙間からの漏洩に対する抑制効果を有する。
- ②裏込め材料充填完了後 10 分程度で硬化する。
- ③ブリーディングを生じない。
- ④主材と可塑化材の体積比が 1:1 である。
- ⑤従来の裏込め材料（セメント系 2 液混合タイプ）と比較して低コストである。

今後は、機械化深礎工法の施工試験において、本可塑性裏込め材料を適用し、実用性の検証を行う予定である。



写真-7 充填性確認試験



写真-8 試験体充填状況

表-6 品質試験結果

配合	流下時間(秒)		ゲルタイム (秒)	JHフロー (mm)	ブリーディング率 (%)		圧縮強度 (N/mm ²)		
	主材	可塑化材			3h	20h	30min	60min	1d
37.5-30-05-3-50	10	12	22	80	0.0	0.0	0.01	0.02	0.23