

先端プレロード場所打ち杭の注入材の開発



高山 真揮*



高崎 秀明*



谷口 善則*

地盤の性状を改良するために薬液注入工法などの地盤改良を実施するケースがあるが、薬液注入工の注入材料は広い範囲の改良を目的としているため流動性が高く、実際に施工したときにどの範囲に注入材が廻っているかは明確に分からない。そのため注入材を多量にロスするケースもある。

先端プレロード場所打ち杭においても、鉄筋かご先端に設置した注入バッグの破損や、掘削底部の地盤の緩みにより局所的に脆弱になっている箇所が存在するといった要因から、注入材が地盤に漏出し浸透することが考えられる。このような場合でも注入材料が相当量必要な場合がある。そこで、空隙に注入が十分充填され、地盤に浸透し始めたときに、それ以上注入材が地盤中に入っていないような拡散防止性能を有する注入材を提案し、その性能を確認する。

●キーワード：先端プレロード場所打ち杭、グラウンタビリティ、フィルター則、薬液注入工

1. はじめに

先端プレロード場所打ち杭は、図1に示すように杭体コンクリートの打込み・硬化後に、あらかじめ鉄筋かご先端に設置した注入バッグ内に地上からセメントミルクを加圧注入し、杭先端部のスライム排除後、杭先端地盤にプレロード（履歴荷重）を与える工法であり、多くの施工実績がある。しかしながら、近年施工が増加している大口径杭に適用する場合、杭体重量により注入バッグが破損し、注入材料がバッグ外に漏出してしまふことが懸念される。

そこで、仮にバッグが破損して注入材料が漏出しても杭先端部に注入材料が保持され、杭先端部にプレロードを与えることができる材料の検討を要素試験にて行い、注入バッグからの漏出再現と拡散防止性能の確認を、土槽を用いた注入試験にて行った。

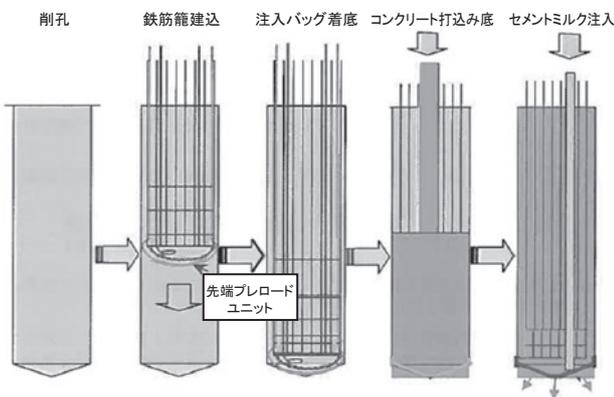


図1 先端プレロード場所打ち杭工法

2. 非浸透性注入材料

2.1 要求性能

本開発において、注入材料の要求性能は以下のとおりとなる。

- ①地盤内に浸透注入、割裂注入、境界注入しないで注入範囲に留まる。
- ②加圧しても圧力が減少せず（浸透しないで）、圧力を保持できる。
- ③ポンプ圧送時の圧力損失を低減させるため、注入材は流動性の高いものとする。
- ④砂質土、礫質土を対象地盤とする。

2.2 メカニズム

注入材料がある特定の範囲に留まり、加圧して地盤を強化するメカニズムには、注入材料の性質に応じて、いくつか考えられる。本開発では、長距離圧送を可能とすることを考え、注入管内の圧力損失を小さくしたいため、注入材料の流動性を高くできる「粘土・シルト・砂混合」の材料を用いて試験を行う。注入メカニズムを図2に示す。

注入材料には粘土・シルト・砂をバランスよく配合し、地盤の粒子間に注入材料が目詰まりすることにより不透水膜を形成させ、地盤内に浸透させることなく、圧力保持を行う。

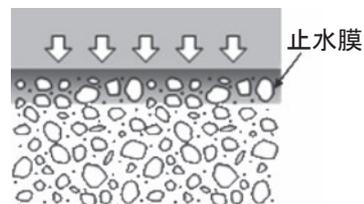


図2 注入メカニズム（粘土・シルト・砂混合）

2.3 注入材の設定

注入材料の粒度分布は、地盤の粒子間における目詰まり効果を期待するため、薬液注入工等における注入材粒径設定指標であるグラウンタビリティおよびフィルター則を考慮して定める。

・グラウンタビリティ

$$G_R = D_{15} / G_{85}$$

ここに、 G_R ：グラウンタビリティ

G_{85} ：注入材の85%粒径

D_{15} ：土の15%粒径

G_R が15～20以上であると注入材の微粒子が目詰まりなく注入できる。すなわち、 G_R が15未満であれば、地盤の粒子間に目詰まりさせることが可能となる。このほかに G_{95} と D_{10} 粒径を用いたものも提案されている。

・フィルター則（主なもの）

- ① $\frac{\text{フィルター材料の15\%粒径}}{\text{フィルターで保護される材料の15\%粒径}} < 5$
- ② $\frac{\text{フィルター材料の15\%粒径}}{\text{フィルターで保護される材料の85\%粒径}} > 5$
- ③ フィルター材料の粒度曲線は、保護される材料の粒度曲線とほぼ平行であることが望ましい。

グラウンタビリティとフィルター則の考え方は、地盤の15%粒径と注入材料の85%粒径から閾値を設けているものである。したがって、本試験では、以下の条件により注入材料の粒度調整を行う。

- ① $D_{15} / G_{15} < 5$
- ② $D_{15} / G_{85} > 5$

ここに、 G_{15} ：注入材の15%粒径
 G_{85} ：注入材の85%粒径
 D_{15} ：土の15%粒径

図3、図4に代表的な砂質土および礫質土の粒度分布を示す。15%粒径は砂質土で0.005～0.05mm、礫質土で0.3～3.0mm程度である。そのため、注入材の粒径設定用の D_{15} を0.005～3.0mmに対応するように G_{15} および G_{85} を定める。また、図5に示すように粒度分布は地盤の粒度分布に概ね平行となるような分布とする。

2.4 要素試験（小規模注入試験）

2.4.1 試験概要

提案する非浸透性注入材料の要素試験として、小規模アクリル水槽を用いた注入試験を実施した。

試験概要図を図6に示す。試験機は注入材に圧力を作用させる注入容器と模擬地盤を充填する注入槽からなる。注入材を混練、充填した注入材容器にコンプレッサーで加圧（最大2MPa）し、注入槽内の模擬地盤に浸透させる。

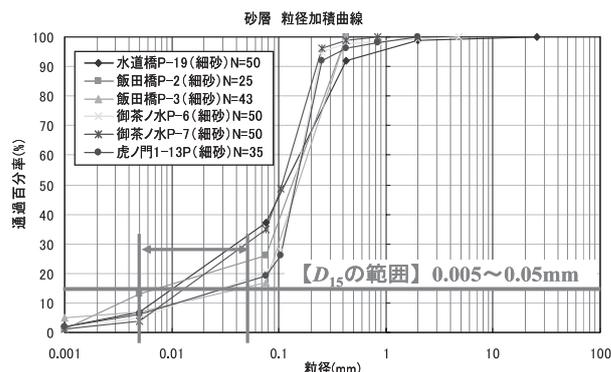


図3 代表的な砂質土の粒径加積曲線

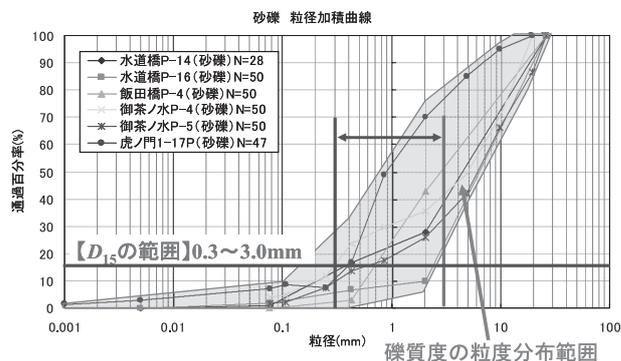


図4 代表的な礫質土の粒径加積曲線

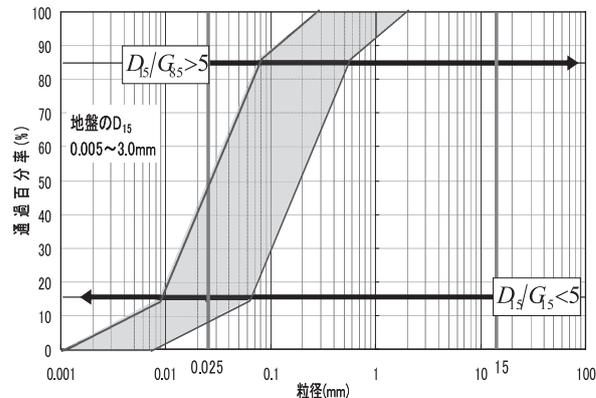


図5 注入材料の設定

模擬地盤材料は、3種類の珪砂(2,3,4号)を使用した。いずれも粗砂～砂礫程度で一様な粒径である。

試験手順は下記のとおりとした。

- ① 注入槽上盤の排気バルブを開放状態とし、底盤下のバルブを閉め、50mm程度注入材料を投入
- ② 底盤バルブを開放し、注入材料の自重で浸透させ、浸透終了後、上盤の排気バルブを閉鎖
- ③ 加圧開始（1.5MPa程度まで）
- ④ 減圧し、注入槽を解体
- ⑤ 浸透状況の確認

2.4.2 注入材料

試験に使用した注入材と粒度調整材の組み合わせは、表1に示す4通りとした。

表1 使用注入材一覧

No.	注入材(P)	粒度調整材	混合比	G ₈₅ (μ m)
1	普通セメント			45.1
2	特殊注入材		硬化材:分離低減材=1:1	72.0
3	特殊注入材	粒度調整材①	特殊注入材:粒度調整材=4:1	138.7
4	特殊注入材	粒度調整材②	特殊注入材:粒度調整材=4:1	148.9

2.4.3 試験結果

表2に試験ケースと結果を示す。試験は9ケース実施した。水粉体比は全て共通の40%、減水剤量はP漏斗流下時間が10秒以上かつ20秒未満となるように調整した。グラウンタビリティ比(G_R 比)は6~14の間とした。

以下に試験結果について示す。

- ・注入材の加圧浸透状況において、流動性(P漏斗流下時間)の影響は少ない。
- ・グラウンタビリティ比が8.7を境界として、8.7以下で注入材は浸透せず、不透水膜(マッドケーキのようなもの)が生成され、8.7以上では浸透する。
- ・グラウンタビリティ $G_R=8.7$ は4号珪砂での結果であり、より粗い地盤に対応させるため、No.6~9の試験結果平均値として、 $G_R<7$ 程度に設定することがより確実と言える。
- ・不透水膜は加圧開始直後(0.1MPa程度)から形成され始めていた。このとき、浸透注入の抑制に加え、割裂注入も同時に発生、抑制していることが推察される。
- ・浸透割裂注入の抑制に関しては、グラウンタビリティ比の調整により対応可能であることが分かった。具体的には、粒度調整材(細砂分)の粒度を変更することになる。

表2 試験結果一覧

No.	模擬地盤	注入材(P)+粒調材	P漏斗(sec)	G_R 比 D_{15}/G_{85}	最大圧力(MPa)	浸透深(mm)
1	4号珪砂	普通セメント	14.4	13.9	0.2	一部全通
2	4号珪砂	普通セメント	12.9	13.9	0.2	一部全通
3	4号珪砂	特殊注入材	11.4	8.7	>1.6	50
4	3号珪砂	特殊注入材	11.7	13	0.1	全通
5	3号珪砂	特殊注入材	19.0	13	0.2	全通
6	3号珪砂	特殊注入材+①	13.2	6.7	>1.6	100
7	3号珪砂	特殊注入材+②	12.9	6.3	>1.6	30
8	2号珪砂	特殊注入材+①	14.3	7.4	>1.6	70
9	2号珪砂	特殊注入材+②	15.2	6.9	>1.6	50

3. 注入試験

3.1 試験概要

図7に示す試験土槽(楕円型:740×1000×1200mm)に模擬地盤を作製し、直径650mmの円盤に注入孔および排出孔を設置し、地盤への注入状況を確認する。なお、注入圧力1.5MPaの反力として、鋼製の円盤を通じて上載圧相当の500kNを載荷する。また、注入バッグから漏出する状況の再現として、注入孔先端に先プレ用注入バッグ(中央に初期欠陥)を設置して内部に注入材を充填し、漏出後に地盤内へ拡散しないことを確認する。要素試験の結果より決定した注入材料の配合を表3に示す。

表3 注入材配合表(非浸透性材料)

単位量(kg/m ³)				
硬化材	分離低減材	水	粒度調整材	減水材
569	569	455	341	23

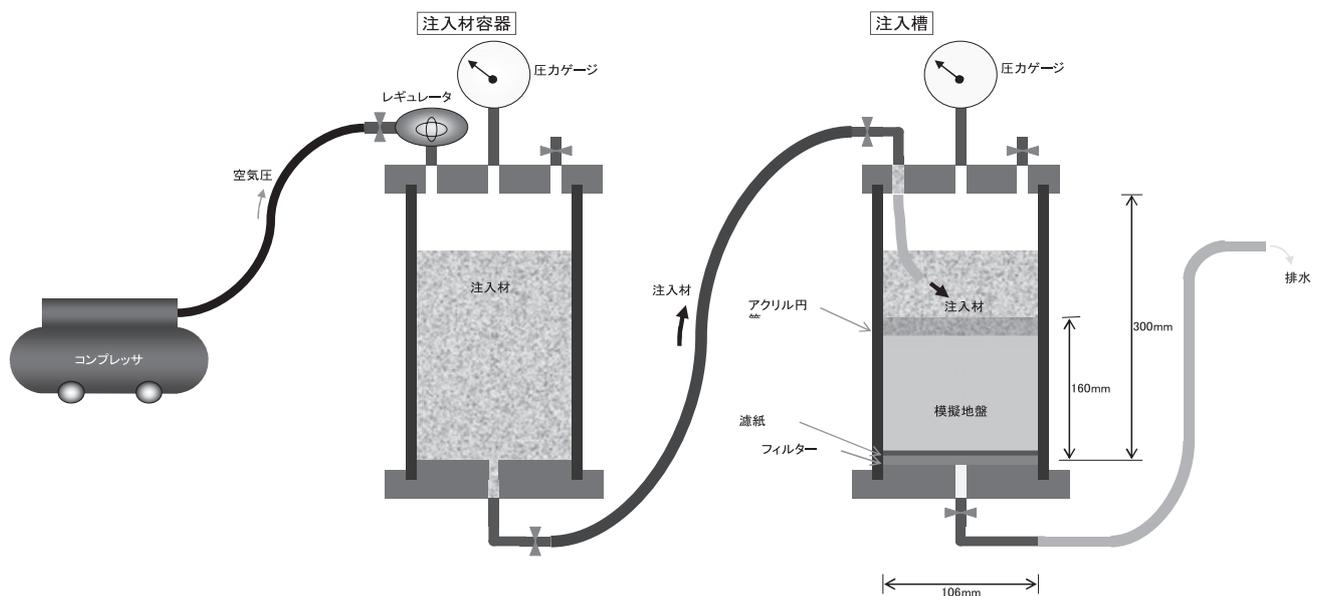


図6 試験概要図

3.2 試験方法

試験手順は下記のとおりとした。

- ①土槽内に高さ700mmまで模擬地盤（2号珪砂）を作製
 - ②載荷板（φ650mm）、載荷治具を設置、上載荷重500kN
 - ③注入バッグ（φ500mm）設置（載荷板下）
- ※バッグ初期欠陥は中央底部に20mm角孔とした。
- ④模擬地盤1000mmまで作製（載荷板上部）
 - ⑤上載荷重500kNを再度載荷し、注入試験開始
 - ⑥注入材固化後、固化形状を確認

なお、試験ケースについては、注入材料の違いによる2ケース実施した。また、注入材料の圧送にはスクイズ式ポンプを使用した。

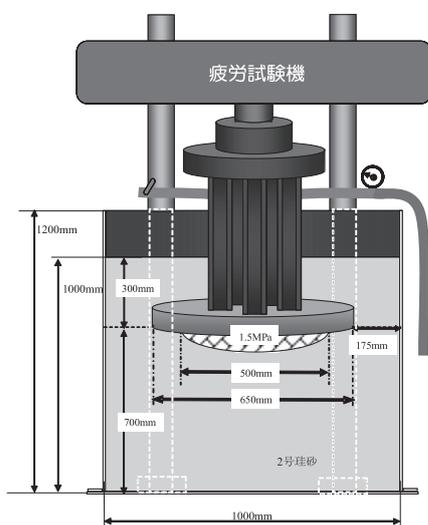


図7 注入試験概要図

3.3 試験結果

3.3.1 ケース1 (非浸透性材料)

注入管より注入を開始し、バッグを介し、排出管からの排出確認後、排出バルブを閉め、加圧注入を実施した。注入材料の圧送は5回繰り返した後、1.5MPa以上を12分程度保持することを確認した。図8に注入時圧力および上載荷重の推移を示す。

3.3.2 ケース2 (浸透性材料)

比較試験として、従来材料（浸透性材料）を使用して注入試験を行った。試験条件はケース1と同様とした。

図9に注入時圧力および上載荷重の推移を示す。注入圧力については、1.2MPa以上を10分程度保持することは確認した。しかし、圧力は線形的には推移せず、注入材が地盤内へ漏出していることが分かる。外形寸法から漏出量は、ケース1と比較して10倍程度多くなっていた。図10に漏出した注入材料の固化形状比較を示す。

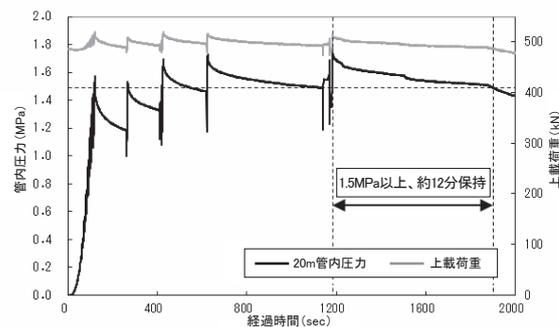


図8 注入圧力・上載圧推移（ケース1）

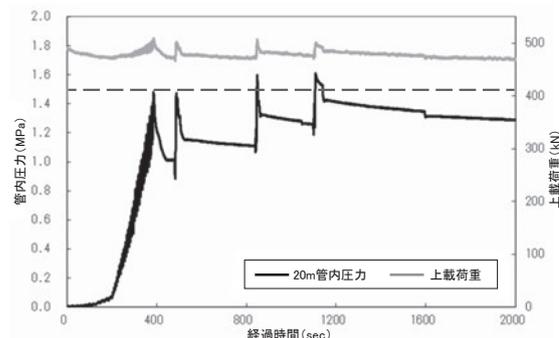


図9 注入圧力・上積圧推移（ケース2）

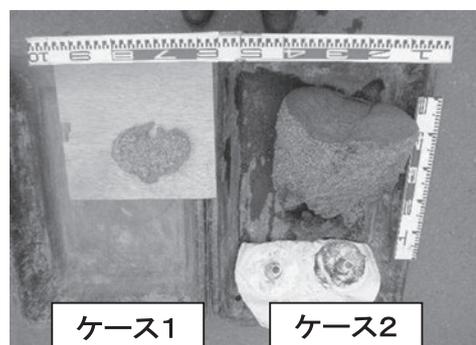


図10 固化形状比較

4. まとめ

本開発結果より、非浸透性注入材について以下の知見が得られた。

- ・注入材粒径設定指標であるグラウンタビリティおよびフィルター則を考慮し、拡散防止能を有する注入材として適切なグラウンタビリティ比を提案した。
- ・要素試験より提案した注入材は、注入圧力1.5MPa以上の加圧、12分程度の保持した状態においても地盤へ浸透しないことを試験土槽レベルの注入試験で確認した。

参考文献

- 1) 泉宏和, 渡邊康夫, 和田旭弘, 荒木一司: 先端プレロード場所打ち杭工法における注入材料について, 土木学会第67回年次学術講演概要集 (2012.9)