

先端プレロード場所打ち杭の改良 ～ 新しい先端プレロードユニットの開発 ～

山内 真也*1・山本 淳*2・今井 麻祐子*1

概 要

先端プレロード場所打ち杭は、杭先端に取り付けた注入バッグに、グラウトポンプにより注入材を加圧注入して圧力を保持し、杭先端地盤にプレロードを与えることで、杭底に堆積したスライムを地上に排出して杭先端地盤の支持力を向上させる機構である。本工法は、適用から16年程度が経過していることから、継続的な特許保有技術とするため、また場所打ち杭の標準的な工法とすべく、工法の信頼性向上および更なるコストダウンが求められていた。そこで、注入バッグおよび注入バッグを鉄筋かごに取り付ける鋼製フレームを改良し、併せて注入材料を見直して先端プレロードユニットの改良を行った。

本稿では、改良にあたり実施した不織布性能評価試験、土槽確認試験、水槽確認試験の結果を報告する。

キーワード：場所打ち杭・先端プレロード・コストダウン

IMPROVEMENT OF LOWER END PRE-LOADED PILES CONSTRUCTED ON-SITE: DEVELOPMENT OF A NEW PILE TYPE PRELOADING UNIT

Shinya YAMAUCHI*1, Atsushi YAMAMOTO*2, Mayuko IMAI*1

Abstract

The lower end pre-loaded pile constructed on-site is a ground improvement system having the following characteristics. The bag attached to the pile lower tip is fed with pressurized injection material to maintain a certain pressure. By draining the accumulated slime under the pile tip onto the ground surface with a grout pump, a preload is given there to create a desired earth retaining force. This method has been an established technology for 16 years. But in order to maintain patent-worthy status, development of a new tip preload unit was required for the technology to gain the status of a standard cast-in-place approach, with higher reliability and cost performance. With this goal in mind, we improved the injection bag and the steel frame through which the bag is attached to the reinforced frame, and then improved the tip preloading unit as well as the injection material.

This paper reports the results of an evaluation test of the non-woven fabric, soil reservoir-based evaluation test and water reservoir-based confirmation test which were conducted to prove improvements.

Keywords: cast-in-place pile, cost reduction for pile tip preload.

*1 Foundation / Ground / Earthwork Group, Underground / Foundation Department, Civil Engineering Division

*2 Manager, Foundation / Ground / Earthwork Group, Underground / Foundation Department,
Civil Engineering Division

先端プレロード場所打ち杭の改良 ～ 新しい先端プレロードユニットの開発 ～

山内 真也*1・山本 淳*2・今井 麻祐子*1

1. はじめに

先端プレロード場所打ち杭は、杭先端に取り付けた注入バッグに、グラウトポンプにより注入材を加圧注入して圧力を保持し、杭先端地盤にプレロードを与えることで、杭底に堆積したスライムを地上に排出して杭先端地盤の支持力を向上させる機能を持つ（図-1）。杭先端地盤にプレロードを与えることにより、先端支持力向上や構造物の不同沈下等を抑制することができる。

本工法の標準的な施工順序を図-2に示す。注入バッグを先端に取り付けた鉄筋かごを建て込み後、杭体コンクリートを打設し、杭体コンクリート硬化後、注入バッグに地上から高压で注入材を注入し、注入バッグを膨張させることで杭先端の地盤に対してプレロードを与える。また、注入バッグ外側に配置したスライム排出ホースにより、スライムを地上に排出する。

今回、本工法について、所要の性能を確保しつつコストダウンを図るために、新しい『先端プレロードユニット』の開発を行い、併せて『注入材』についても見直しを行った。本稿では、その検討内容、および試験結果に対する評価を行ったので報告する。

2. 従来の先端プレロードユニットと注入材料および注入管理方法

従来工法の『先端プレロードユニット』および『注入材』の特長、また注入管理方法を示す。

2.1 先端プレロードユニット(従来型)

従来型の先端プレロードユニットは、図-3に示す通り鋼製フレーム、スライド機構、注入バッグ、防護シート、注入ホース、スライム排

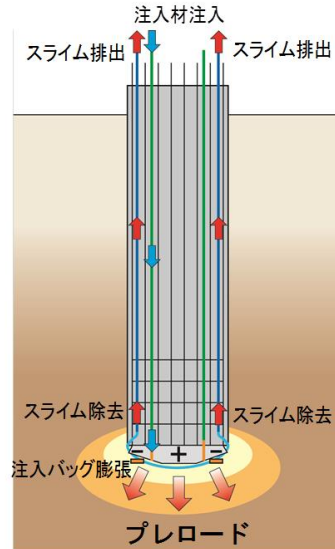


図-1 先端プレロード場所打ち杭工法の概要

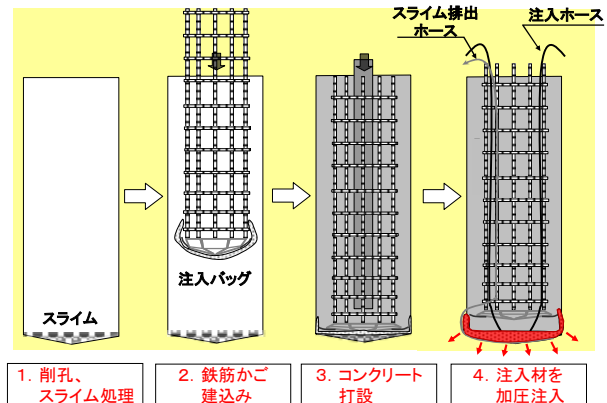


図-2 先端プレロード場所打ち杭工法の施工順序

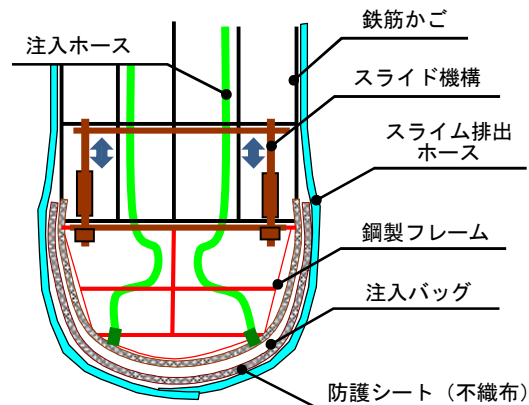


図-3 先端プレロードユニット(従来型)

*1 土木本部 地下・基礎技術部 基礎・地盤・土工グループ

*2 土木本部 地下・基礎技術部 基礎・地盤・土工グループ グループリーダー

出ホースから構成されている。鋼製フレームは、掘削ビット形状に併せて調整し、展開機構により注入バッグを孔壁に押し付け、杭底との密着性を高めることができる。また鉄筋かご建て込み時に、注入バッグを杭底に着底させた後、スライド機構により鉄筋かごの最終的な高さ調整を行うことを可能としている（図-4）。

注入バッグは、膨張時に杭先端形状に追従するように、袋形状としており、中央部に2段の蛇腹がついている。注入バッグ内部には、注入材の閉塞を防止するために板状の間隔保持材を配置しており、また注入バッグ外側には、バッグを防護するための防護シート（不織布）が配置されている。

2.2 注入材料（従来型）

本工法の注入材に求められる性能としては、支持力確保の観点から支持地盤以上の強度を有し、ブリーディングが少ないものが求められる。また、注入時に注入ホースや注入バッグ内で目詰まり等が発生しないように高い流動性も必要となる。従来 of 注入材には骨材が入っていることから、上記に加えて、万が一注入バッグから注入材が流出しても、地盤に浸透せずに注入圧力を保持できる性能を有している。

2.3 注入管理方法

図-5に注入システムの模式図を示す。グラウトポンプにより、注入材を5ℓ/min程度の速度で加圧注入し、地上に排出された注入材の比重が、練り上がり時の比重と同等であることを確認した後にバルブDを閉める。排出側のバルブを閉じることにより、注入バッグが膨らみ、先端部の残留スライムがスライム排出ホースを通じて地上に排出される。その後、注入バッグが先端地盤に達した段階から注入材の注入圧力が先端地盤へ伝達され、杭先端部へのプレロードが開始され

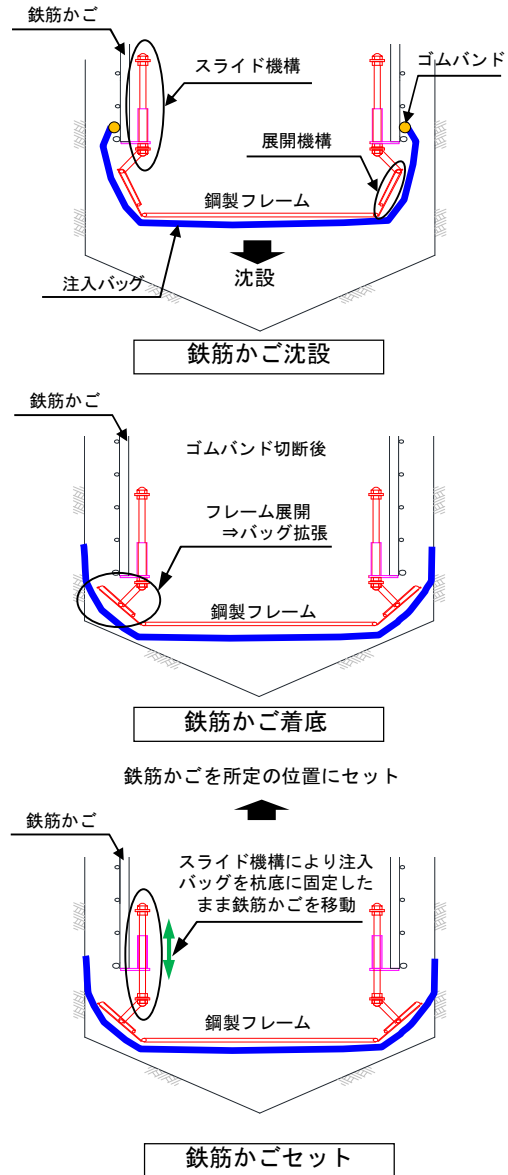


図-4 鋼製フレーム構造（従来型）

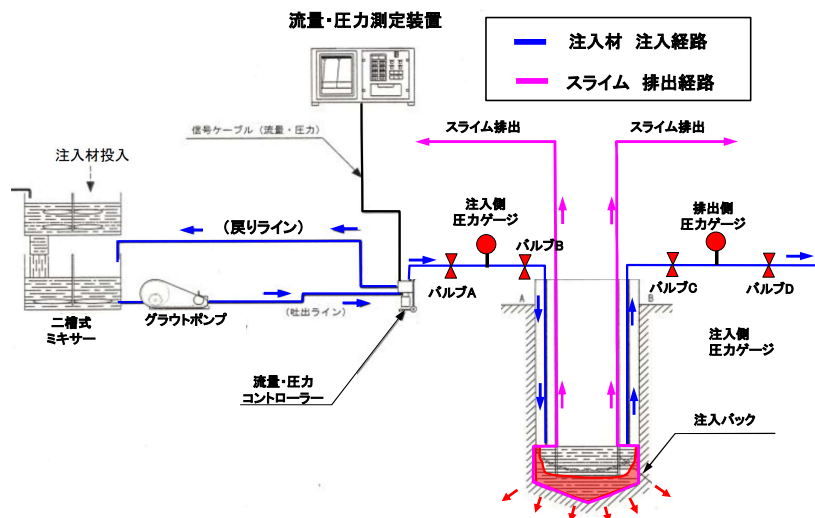
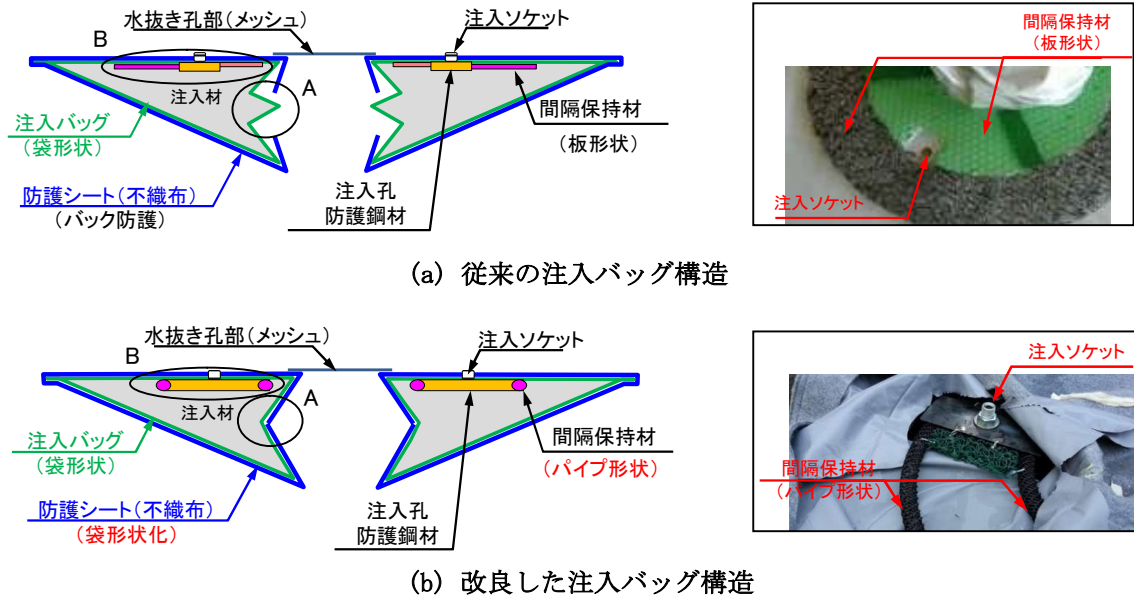


図-5 注入システム模式図



A : 中央部の蛇腹構造を2段⇒1段構造に変更, 不織布を袋形状に変更
 B : バッグ内間隔保持材を板状⇒パイプ形状に変更

図-6 注入バッグ改良点

る。注入側と排出側に取り付けた圧力ゲージにより、圧力の経時変化を計測し、その平均値が所定の圧力（支持力向上：1.5MPa、沈下防止：1.0MPa）を示した時点から圧力保持を開始し、10分間継続した段階でバルブBとバルブCを閉じる。加圧注入中は、注入材の注入圧力、注入量、注入速度および杭頭変位量を監視し、状況に応じて注入圧力や注入速度を調整する。

3. 先端プレロードユニットの改良点および注入材料の見直し

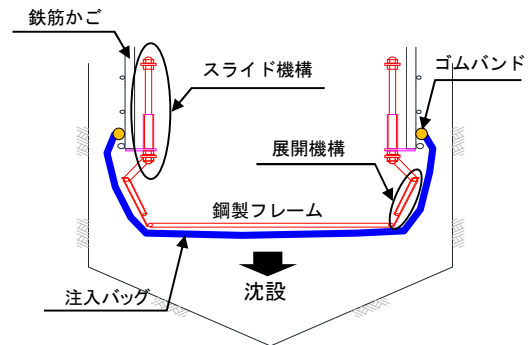
所要の性能を確保しつつ、コストダウンを図ることを目的に、(1)～(3)の項目について改良を検討した。

(1) 注入バッグの簡素化

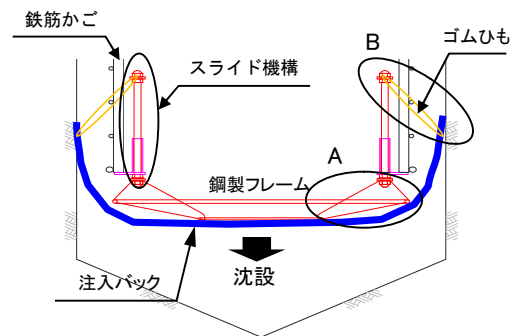
注入バッグは、図-6に示すようにバッグ中央部の蛇腹構造を2段から1段に、バッグ内の間隔保持材を板状からパイプ状の材料に変更して構造の簡素化を図った。

また、注入バッグが万一破損しても、外側の防護シート内で注入材が圧力保持できるように、防護シート（不織布）を袋形状化した。

土槽確認試験にて、改良した注入バッグが所



(a) 従来の鋼製フレーム構造



A : 展開機構を省略
 B : ゴムバンド⇒ゴムひもによる固定に変更

(b) 改良した鋼製フレーム構造

図-7 鋼製フレーム改良点

要の性能を確保するか確認した。

(2) 鋼製フレームの簡素化

鋼製フレームの構造の改良点を図-7に示

す。従来の鋼製フレームに設置している展開機構を省略し、ゴムひもを用いて鉄筋かごと注入バッグの端部を固定する簡易な構造を検討した。

水槽確認試験にて、改良した鋼製フレームに取り付けた注入バッグが、良好に展開できるかを確認した。

(3) 注入材の見直し

従来の注入材の配合例を表-1に、見直した新しい注入材（以後、新型注入材と記す）の配合例を表-2に示す。新型注入材は、従来の高炉セメントから普通セメントに変更することで、取り扱いを容易にした。

不織布性能評価試験により、新型注入材が不織布内で所要の圧力を保持できるかを確認した。

4. 不織布性能評価試験

新型注入材が、注入バッグから万一漏出した場合に、不織布内で注入材が圧力を保持できるように不織布の性能を確認した。

4. 1 試験方法

試験概要を図-8に示す。試験容器下層に模擬地盤を作成し、その上に不織布の試験体を敷き、上層の試験容器と挟み込み固定する。上層部に注入材を注入し、所定の圧力で10分間載荷する。

試験は、表-3に示すように、不織布の厚さ、縫製方法、注入材の種類、模擬地盤の種類、模擬破損形状等をパラメータに21ケース実施した。

4. 2 試験結果のまとめ

- 1) 新型注入材の圧力保持状況は、不織布の厚さや縫製形式による違いはなく、不織布上部に脱水物が形成され、漏出等は確認されなかった（写真-1）。したがって、不織布の厚さは3mm、縫製形式も1列縫いで十分と考えられる。
- 2) 狭い隙間を模擬してポケット部を作り、新型注入材が狭い箇所へ充填するかどうかを確認したところ、内側に注入バッグ用シート（PVCシート）を設置した方が、一様に充填され、充填距離も長いことが確認さ

表-1 注入材の配合例（従来）

高炉セメントB種 (kg)	水 (kg)	調整材 (kg) ※1
581	465	930

※1:分離低減材, 粒度調整材, 減水剤をブレミックス

表-2 注入材の配合例（新型注入材）

普通セメント (kg)	水 (kg)	調整材 (kg) ※2	混和剤 (kg)
753	621	377	11.3

※2:分離低減材をブレミックス

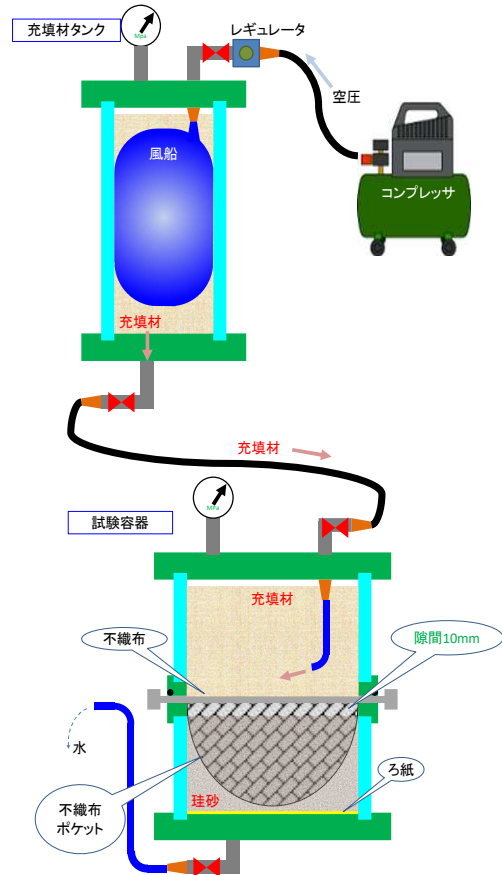


図-8 試験概要図（不織布性能評価試験）

表-3 試験ケース（不織布性能評価試験）

Case	不織布厚	注入バッグ用シートの有無	形状	縫製形式	注入材	模擬地盤	備考	
1	3mm	なし		縫製無	改良型	4号珪砂		
2	3mm	なし		横重ね1列	改良型	4号珪砂		
3	3mm	なし		縦重ね1列	改良型	4号珪砂		
4	3mm	なし		縦重ね2列	改良型	4号珪砂		
5	3mm	なし	ポケット	縦重ね1列	改良型	4号珪砂		
6	3mm	有り	ポケット	縦重ね1列	改良型	4号珪砂		
7	3mm	なし	ポケット	縦重ね1列	改良型	4号珪砂	スベリ装置	
8	3mm	有り		縫製無	改良型	4号珪砂	PVCに30mmの切込	
9	5mm	有り	ポケット	縦重ね1列	改良型	4号珪砂	ポケット内のPVCに30mmの切込	
10	5mm	有り	ポケット	縦重ね1列	改良型	4号珪砂	ポケットに20mmの切込	
11	5mm	有り		縫製無	改良型	4号珪砂	φ30mm孔	
12	5mm	有り		縫製無	改良型	4号珪砂	φ10mm孔	
13	注入試験	なし			従来型	4号珪砂		
14	注入試験	なし			従来型	豆砂利		
15	3mm	有り		縫製無	改良型	4号珪砂	φ30mm孔	
16	—	有り		PVCのみ	改良型	4号珪砂	φ30mm孔	
17	—	有り		PVCのみ	旧注入材	豆砂利	φ30mm孔	
18	—	有り		PVCのみ	改良型	豆砂利	φ30mm孔	
19	3mm	なし		縫製無	PVC	改良型	豆砂利	30mm切込
20	3mm	なし		縫製無	PVC	改良型	豆砂利	30mm切込
21	—	有り		PVCのみ	改良型	4号珪砂	(PVCの不織布で別位置)	

れた。不織布のみだと進入口付近で注入材の脱水物が形成され、充填されにくくなるものと考えられる。また、スパーサー等の間隔保持材を設置することで、新型注入材を充填しやすくできることが確認された(写真-2)。

- 3) 不織布に欠損部を模擬し、新型注入材が漏出しなないかを確認する。模擬地盤が4号珪砂程度であれば、注入材は欠損部に脱水物を形成し、地盤への浸透はしなくなる(写真-3)。ただし、地盤が豆砂利程度であると、地盤に浸透し、圧力保持ができない可能性がある(写真-4)。

5. 土槽確認試験

改良した注入バッグが所要の性能を有するかを確認するため、孔壁を模擬した試験土槽を用いてバッグの注入試験を実施した。試験は3ケース実施し、袋体の形状、注入バッグの有無、注入材の種類、またスライムの有無をパラメータに表-4の通りとした。

5.1 試験方法

試験概要図を図-9に示す。注入試験は、実際の注入と同様なシステムで実施した。試験手順は、図-10に示すように高さ約1.3m、内径約1.2mの鉄製の土槽内にボイド管で孔抜きして

表-4 試験ケース(土槽確認試験)

Case	袋体構造	内部バック	防護シート	間隔保持材	注入材	備考
1	ドーナツ	PVCシート	不織布	エトレパイ	従来型	スライムなし
2	中央部蛇腹1段	PVCシート	不織布	エトレパイ	改良型	スライムあり
3	中央部蛇腹1段	なし	不織布	エトレパイ	改良型	スライムなし

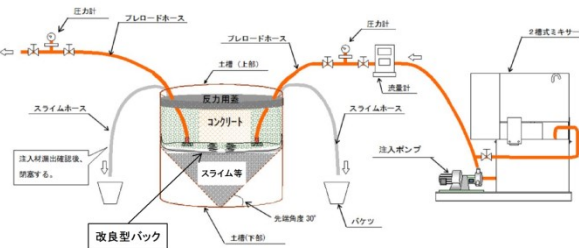


図-9 試験概要図

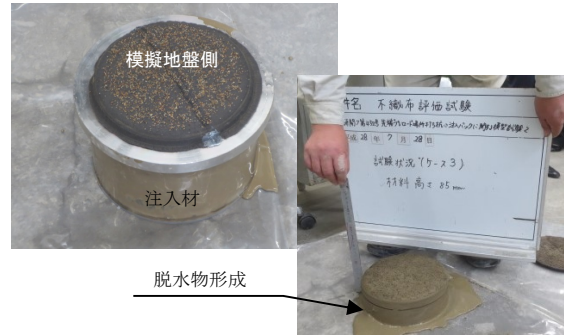


写真-1 縫製部確認試験 (Case3)

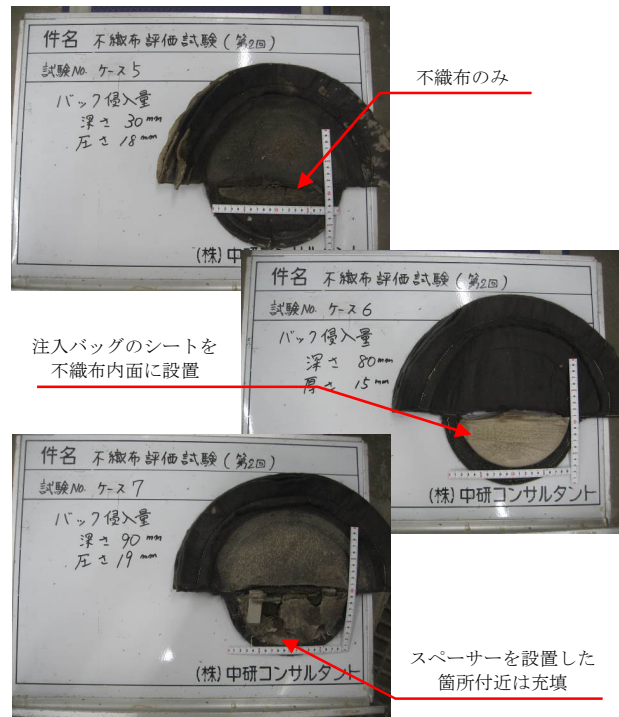


写真-2 隙間への充填確認 (Case5~Case7)

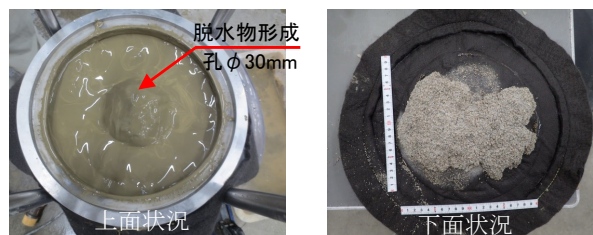


写真-3 地盤への浸透試験 (Case15) (模擬地盤: 珪砂4号)

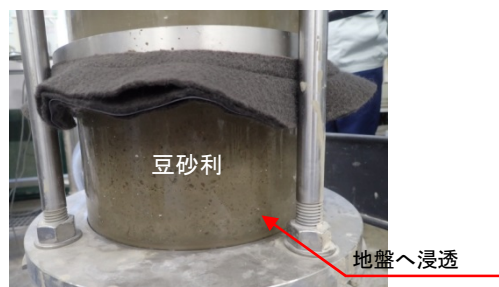


写真-4 地盤への浸透試験 (Case17) (模擬地盤: 豆砂利)

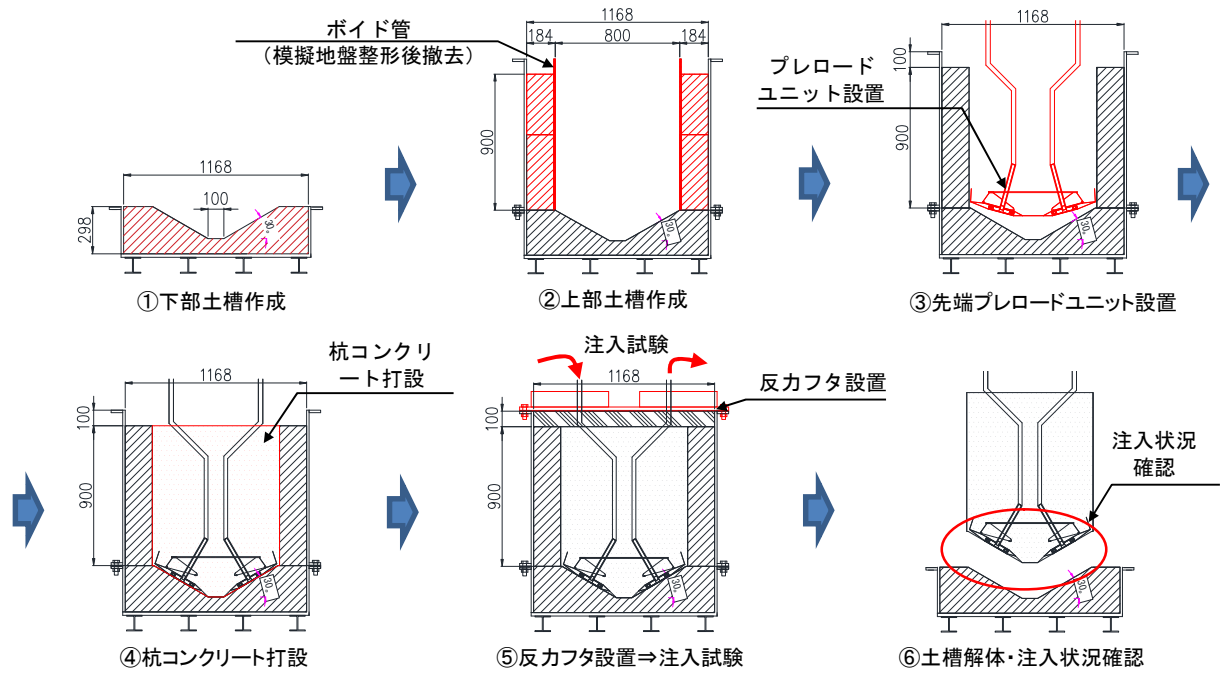


図-10 土槽確認試験手順

表-5 試験時系列 (Case1)

時間	経過時間	試験経過
13:16		注入材練湿開始
13:37		注入材練湿完了、検査
13:51	(0:00)	注入開始
13:53	(0:02)	排出側バルブから注入材が排出。土槽排水バルブから排水が増える。
13:57	(0:06)	排出側バルブ閉鎖。土槽排水バルブから排水が出続ける。
14:14	(0:23)	排出側の圧力が0.3MPa程度から上がらない状況が続く。
14:19	(0:28)	注入中断
14:27	(0:36)	排出側のバルブ内の閉塞を確認。
14:42	(0:51)	注入側からの注入を再開(1.0~2.6MPa)で片側保持
14:47	(0:56)	5分圧力を保持した時点で作業を終了。

孔壁を模擬し、φ800のプレロードユニット模型を土槽内に設置する。土槽内に杭コンクリートを打設した後、土槽上部に無収縮モルタルを打設し、反力フタを設置する。バッグ内に注入材を注入し、注入材の硬化後に土槽を解体して注入状況や周囲への漏出状況を観察した。

5.2 試験結果

(1) Case 1

Case1の注入試験の時系列を表-5に、注入圧力-時間の関係を図-11に示す。排出側から注入材の排出を確認後、バルブを閉め、注入を継続したが、排出側の圧力が上がらず注入側の圧力1.8MPa以上を10分間保持して終了した。

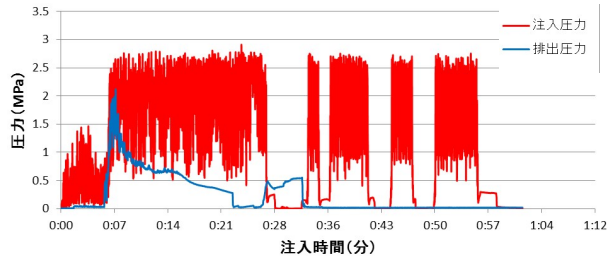


図-11 注入圧力-時間関係 (Case1)

注入材硬化後、土槽を解体し、注入バッグを確認したところ、注入バッグの膨らみ状況は、中央部で60mm、端部で15mm程度であった。また、注入バッグ中央部で多少の注入材の漏出が確認された(写真-5)。

(2) Case2

Case2の注入試験の時系列を表-6に、注入圧力-時間の関係を図-12に示す。注入材が排出側バルブから排出を確認後、排出側バルブを閉め、加圧注入するとスライムホースからスライムが排出された。注入圧平均1.5MPaを10

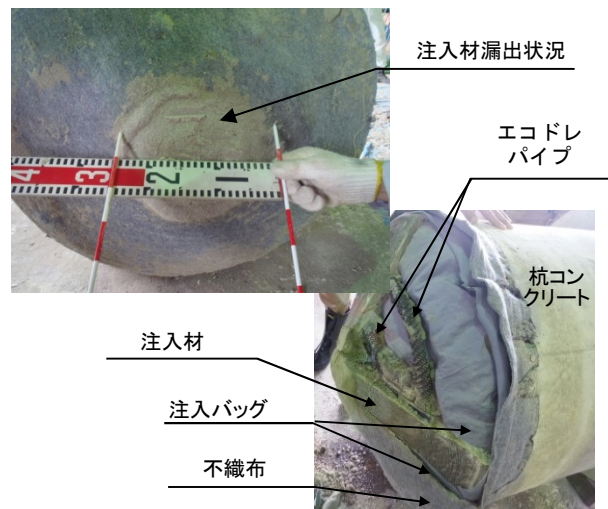


写真-5 注入バック解体状況 (Case1)

分間保持し、試験を終了した。

注入材硬化後、土槽を解体し、注入バッグの状況を確認したところ、注入バッグの膨らみ状況は、中央部で160mm、端部で15mm程度であり、不織布外側に薄くスライムが残っていた(10mm程度)。また、中央部付近で注入バッグの縫製の破断が確認されたが、注入材の漏出は確認されなかった(写真-6)。

(3) Case3

Case3の注入試験の時系列を表-7に、注入圧力-時間の関係を図-13に示す。注入材が排出側バルブから排出を確認後、排出側バルブを閉め、加圧注入し、注入圧平均1.5MPaを10分間保持し、試験を終了した。

注入材硬化後、土槽を解体し、注入バッグの状況を確認したところ、バッグの膨らみ状況は、中央部で85mm、端部で10mm程度であった。また、中央部の蛇腹構造は、良好に膨らんでおり、注入材の漏出は確認されなかった(写真-7)。2列目エコドレパイプの内側と外側で注入材の厚さに段差が生じているのが確認された。

5.3 試験結果のまとめ

Case1~Case3で得られた試験結果から、以下のことが考えられる。

- 1) 注入バッグの形状は、ドーナツ形状(Case1)よりも、中央部に蛇腹を有した形状(Case2, Case3)の方が、バッグ膨張時に杭先端形状に追従し、縫製が破断しにくいと考えられる。また、蛇腹部の折込み長さについては、100mm程度が有効である。
- 2) 間隔保持材としてエコドレパイプを注入バッグ内に配置した場合(Case1~Case3)は、杭全面に注入材を充填させることが可能であると考えられる。今回は杭径φ800で2列配置したが、大口径杭の場合には、配置の見直しが必要と考えられる。
- 3) 従来型の注入材で試験したCase1では、排出側ホースで閉塞が確認された。従来型は地盤に浸透させないように骨材が混合さ

表-6 試験時系列 (Case2)

時間	経過時間	試験経過
13:30		注入材練混開始
13:37		注入材練混完了、検査
13:44	(0:00)	注入開始
13:47	(0:03)	排出側バルブから注入材の排出を確認。
13:50	(0:06)	排出側バルブ閉鎖。
13:52	(0:08)	圧力が1.5MPaまで到達。
13:55	(0:11)	スライムホース1.2からスライムが排出。
14:02	(0:18)	1.5MPa到達から10分経ったが、スライム排出が終わらないので継続
14:13	(0:29)	スライム排出が止まる。
14:18	(0:34)	10分以上の1.5MPaの圧力保持と流量の変化がなくなったので注入を終了。

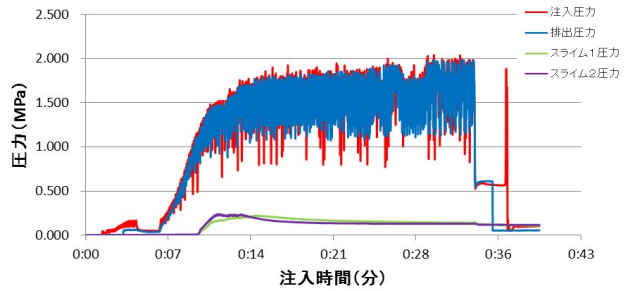


図-12 注入圧力-時間関係 (Case2)

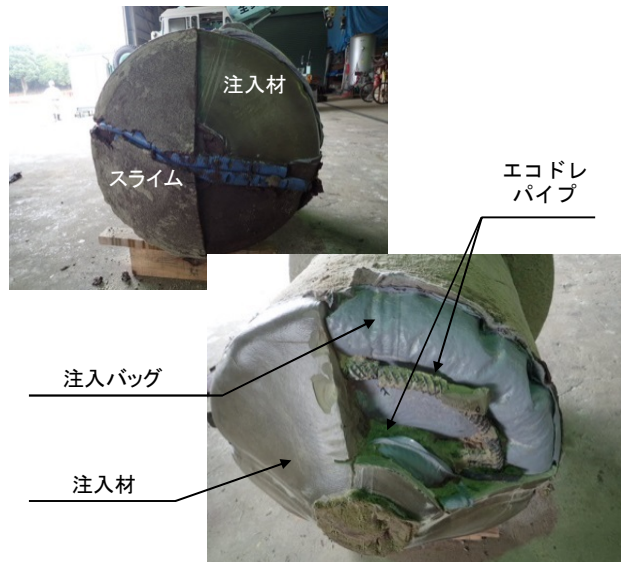


写真-6 注入バック解体状況 (Case2)

表-7 試験時系列 (Case3)

時間	経過時間	試験経過
13:24		注入材(6(3))練混開始
13:31		注入材練混完了、検査
13:39	(0:00)	注入開始 注入速度10ℓ/min
13:41	(0:02)	排出側バルブから注入材の排出を確認。注入を一旦停止→品質確認試験
13:46	(0:07)	排出側バルブ閉鎖。5ℓ/minで注入を再開。
13:48	(0:09)	圧力が1.5MPaまで到達。
13:52	(0:13)	圧力は1.5MPaを保持。累積流量が変化しなくなる。
14:02	(0:23)	10分以上1.5MPaの圧力保持と流量の変化がなくなったので注入を終了。

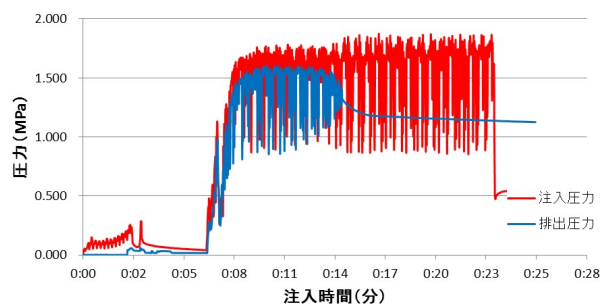


図-13 注入圧力-時間関係 (Case3)

れており、ホース下端部に骨材が沈降して閉塞したと想定される。

改良型の注入材を使用した Case2, Case3 では、注入側・排出側ともに圧力を保持できており、閉塞は見られなかった。

- 4) Case3 の不織布のみの注入バッグの場合、杭先端全面に注入材が充填されていたが、2列目のエコドレパイプ（間隔保持材）の内側と外側で注入材の厚さに段差が生じているのが確認されたことから、不織布のみだと注入材が脱水され、杭端部等の狭い箇所への充填は難しいと考えられる。したがって、不織布のみのバッグに注入材を充填する場合は、エコドレパイプの設置間隔を小さくする必要がある。

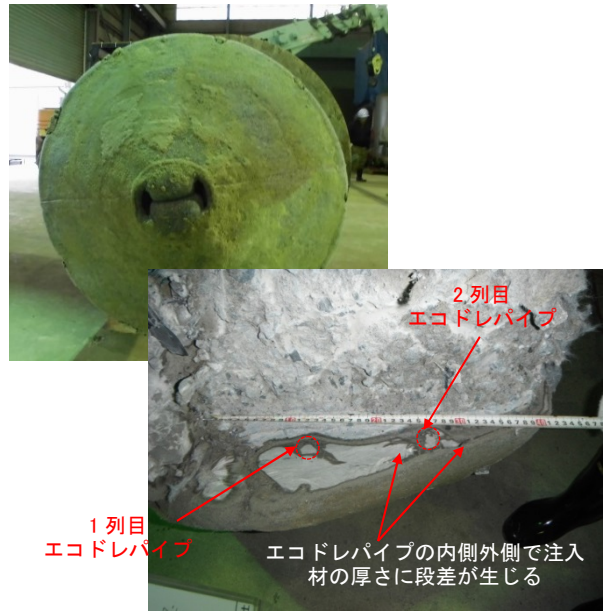


写真-7 注入バック解体状況 (Case3)

6. 水槽確認試験

先端プレロードユニットを取り付けた鉄筋かご建て込み時における、泥水中の注入バッグの展開状況および最終設置状況を確認するために、孔壁を模擬した試験水槽を用いて確認試験を実施した。試験は、注入バッグと鋼製フレームとの固定方法、固定ゴムひもの設置間隔、引き上げ速度等をパラメータに5ケース実施した。試験におけるパラメータを表-7に示す。

表-7 試験ケース (水槽確認試験)

Case	固定方法	固定箇所	ゴムひも 本数(本)	引き上げ 回数(回)	引き上げ(下げ) 速度	
					上げ(平均mm/s)	下げ(平均mm/s)
Case1	S管+ゴムひも	帯筋	12	2	上げ(平均125mm/s)	下げ(平均77mm/s)
Case2	S管+ゴムひも	帯筋	6	2	上げ(平均154mm/s)	下げ(平均125mm/s)
Case3	S管+ゴムひも	帯筋	12	1	上げ(平均100mm/s)	下げ(平均167mm/s)
Case4	バンド線+ ゴムひも	帯筋	12	1	上げ(平均333mm/s)	下げ(平均200mm/s)
Case5	バンド線+ ゴムひも	鋼製フレーム 上部	12	1	上げ(平均333mm/s)	下げ(平均250mm/s)

6. 1 試験方法

水槽確認試験の試験手順を図-14に示す。模擬鉄筋かご下端に鋼製フレームを取り付け、先端プレロードユニットを組み立てる。次に、高さ約4.0m、内径約1.2mの透明塩ビ樹脂製円筒管の中に水を張り、先端プレロードユニットを取り付けた鉄筋かごを上下させることにより注入バッグの水中における展開具合や最終設置状況を確認した。

6. 2 試験結果のまとめ

- 1) ゴムひも+S管での固定方法を採用した Case1~Case3 を通して、鉄筋かご上下移動時および着底する際、S管からゴムひもが数箇所外れる挙動が確認された(写真-8)。したがって、ゴムひもの固定につい

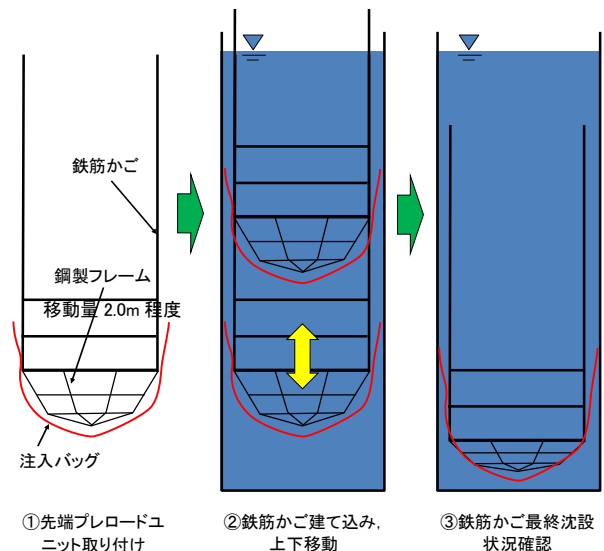


図-14 水槽確認試験手順

ては、バンド線等で結束する必要があると考えられる。

- 2) Case1 (ゴムひも 12 箇所) と Case2 (ゴムひも 6 箇所) を比較すると、設置間隔が広い Case2 の方が鉄筋かご上下移動時に注入バックの陣笠形状が大きく崩れ、捲れ上がる挙動が見られた (写真-9)。ゴムひもは、300mm 程度に 1 箇所の設置間隔が必要と考えられる。
- 3) ゴムひもの固定箇所は、帯筋ではなく鋼製フレームの上部に取り付けることで、スライド機構により鉄筋かごを所定の位置にセットする際に、注入バッグと鋼製フレームが一体的な動きができると考えられる。
- 4) ゴムひもの強度、設置間隔等について、ゴムひもの固定により、注入バッグ端部に陣笠形状ができ、杭コンクリートが孔壁と注入バッグの隙間に入り込む懸念があることから、再検討を要する。



写真-8 固定ゴムひも外れ状況



写真-9 Case2 上下移動状況

7. まとめ

先端プレロード杭について、所要の性能を確保しつつコストダウンを図るために、新しい先端プレロードユニットの開発を行い、併せて注入材についても見直しを行った。

先端プレロードユニットの開発では、注入バッグと鋼製フレームの2つの構成部材の簡素化を検討し、各々について土槽確認試験、水槽確認試験で所要の性能を確保するかを確認した。上記の開発によって、現行の先端プレロードユニットから 25%程度のコストダウンが見込まれる。

また、注入材については、注入バッグの外側の不織布を袋形状化することで、不織布内で注入材を留めることができ、所要の圧力を保持できる材料に見直した。

今後、開発した新しい先端プレロードユニットの現場への適用を図り、施工データを蓄積して精査し、先端プレロード場所打ち杭工法のブラッシュアップを図っていきたい。

参考文献

- 1) 川中島寛幸ほか：先端プレロード場所打ち杭の先端支持力管理事例，基礎工 報文，2014.Vol42.No.6
- 2) 大塚隆人ほか：先端プレロード場所打ち杭の注入材の改良，Structural Engineering Data，第 43 号，2014.5