

大口径場所打ち杭の現場施工に関する報告

山田 宣彦*1・山本 淳*2・西脇 敬一*1

概 要

駅改良工事において、 $\phi 3,000\text{mm}$ の大口径場所打ち杭に孔壁防護併用場所打ち杭工法を適用した。施工前の調査により施工する杭は、孔壁防護ライナー沈設時に支障物に接触する恐れがあることがわかった。そのため、支障物の撤去作業を早期に開始できるように、裏込め材の強度発現を早める配合修正を行い沈設作業を実施した。

また、大口径場所打ち杭では、コンクリートの打設に多大の時間を要する。このため、杭頭の余盛り部のバキューム処理開始時にはコンクリートの硬化が始まっており、所定量の処理が行えないことがあった。そこで、杭頭付近に打設するコンクリートに遅延剤を添加し、凝結時間を遅延させる対策を講じた。本報告では、この二つの課題に対して行った検討と対策の実績について報告する。

キーワード：孔壁防護、裏込め、大口径、コンクリート、遅延剤、杭頭処理

REPORT ON CONSTRUCTION
USING THE LARGE DIAMETER CAST-IN-PLACE PILING METHOD

Nobuhiko YAMADA *1, Atsushi YAMAMOTO *2, Keiichi NISHIWAKI *1

Abstract

For remodeling a railway station, we placed large piles of 3,000 mm in diameter (cast-in-place piling method), which are designed for effective protection of pile borehole walls. The survey of the site before the piling work revealed concerns that pile might contact an obstacle during installation of the protection liner of the borehole wall. For this reason, in order to start removing the obstacle earlier, the backfilling material was changed before installation in mix proportion to accelerate development of strength.

Another concern was that concrete placement into large diameter piles takes a long time. For this reason, concrete hardening had already begun by the start of vacuum removal of extra fill at the head of the pile. In some cases, concrete cannot be removed as specified quantitatively. To cope with this problem, a retarding agent was added to the concrete to be placed at the head of the pile to increase setting time. This paper reports the investigation and measures for these issues.

Keywords: Borehole wall protection, Backfilling, Large diameter, Concrete, Retarding agent, Treatment of pile's head

*1 Engineering Department, Civil Engineering Division

*2 Manager, Engineering Department, Civil Engineering Division

大口径場所打ち杭の現場施工に関する報告

山田 宣彦*1・山本 淳*2・西脇 敬一*3

1. はじめに

近年、場所打ち杭は、構造物の大規模化に伴って大口径化する傾向にある。また、大都市圏の駅改良プロジェクトでは、施工空間が狭隘であること、線路閉鎖間合での作業が多くなること、孔壁の崩壊防止のための大規模な防護工が必要なことなどが、工期や工事費増大の一因となっている。これらの問題を解決するため、当社では、JR 東日本、東亜利根ボーリングと共同で「孔壁防護併用場所打ち杭工法（ポータル JET32）」と「超低空頭場所打ち杭工法（コンパクトリバー JET18）」の開発を進めてきた。

今回、駅改良工事において、φ3,000mm の大口径場所打ち杭にこれらの工法を適用した。本稿は、これらの施工の中で孔壁防護用のライナーの沈設と大口径場所打ち杭における杭頭部のバキューム処理の結果について報告する。

2. 工法概要

2.1 孔壁防護併用場所打ち杭工法

孔壁防護併用場所打ち杭工法で使用する掘削機（ポータル JET32）の形状を図-1 に示す。

(1) 工法特徴

- ・軌道影響範囲（地上より深度 10m 程度）に杭孔崩壊防止のライナープレートを、掘削速度に同調させて降下させると同時に裏込め材を供給することで、掘削の進行にあわせて即時に孔壁を保護する¹⁾。（図-2 参照）
- ・杭孔崩壊防護範囲と以深との杭径の違いに対応可能な拡縮するビットを装備。
- ・空頭および幅の制約に対応したコンパクトな門型フレーム構造で、直径 3m 級の杭も、ホ

ーム上の小さな仮囲い内（5m×8m 程度）で施工が可能。（写真-1 参照）

- ・従来の掘削機に比べ小型で、軌陸車による搬入も可能。

(2) 掘削機の仕様

- ・形式：トップドライブ式リバーサーキュレーションドリル
- ・外寸：(H)3,200×(L)5,000×(W)2,200mm
- ・穿孔能力：深度 50m, 孔径 φ800~φ3,000mm
孔壁防護部掘削径：φ2,000~φ3,400mm
- ・掘削機本体重量：約 10tf
- ・リバーサーロッド：8 インチ, L=1.5m (120kgf/本)

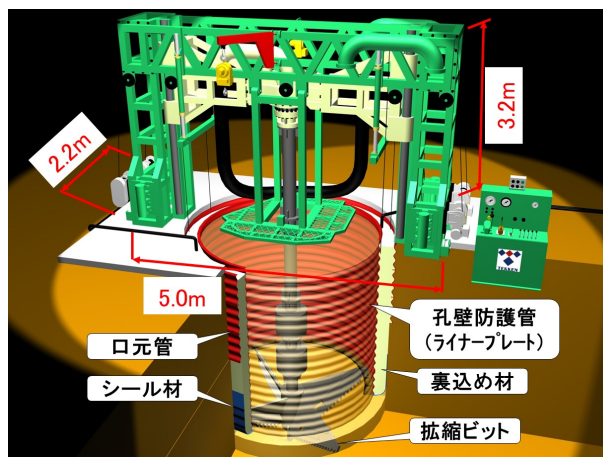


図-1 ポータル JET32 の形状

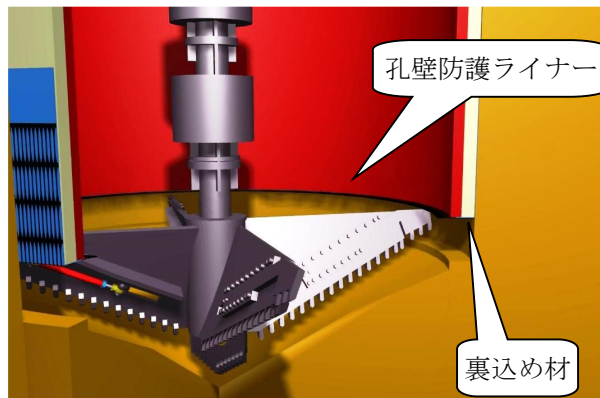


図-2 孔壁防護ライナー沈設状

*1 土木本部 エンジニアリング部 基礎・地盤技術グループ

*2 土木本部 エンジニアリング部 基礎・地盤技術グループ グループリーダー

*3 土木本部 エンジニアリング部 材料・構造研究開発グループ



写真-1 ポータルJET32の施工状況

2. 2 超低空頭場所打ち杭工法

(1) 工法の特徴

- ・ホーム下、階段下などの狭隘な場所でも、空頭 2.0m、幅 4.0m 程度の空間で、φ3,000mm までの杭掘削が可能。
- ・小型軽量につき搬入が容易で、自走も可能。
- ・ターンテーブル方式による駆動，特殊ケリーロッドの採用や工夫により，従来機と同等の作業性を実現。
- ・掘削管理システムを装備し，回転トルク等の施工データを常時測定，数値化することで定量的なオペレートができ，より高い品質の確保が可能。

(2) 掘削機の仕様

- ・形式：ターンテーブル式リバースサーキュレーションドリル
- ・外寸：(H)1,800×(L)2,950×(W)2,052mm
- ・穿孔能力：深度 50m，孔径 φ800～φ3,000mm
- ・掘削機本体重量：約 4t
- ・特殊ケリーロッド：L=1.0m (125kgf/本)

コンパクトリバースJET18の形状を図-3に，

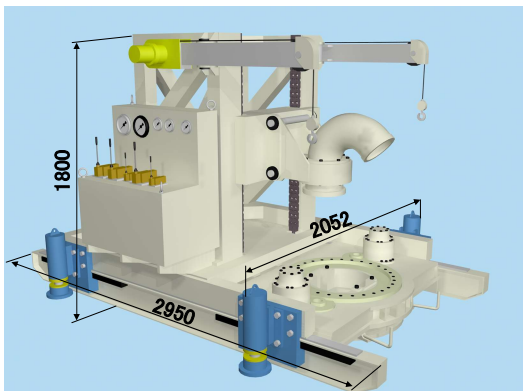


図-3 コンパクトリバースJET18の形状

駆動装置を写真-2に，施工状況を写真-3に示す。

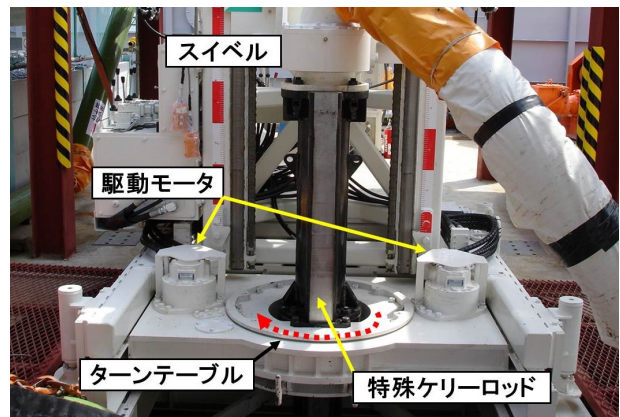


写真-2 コンパクトリバースJET18の駆動装置



写真-3 コンパクトリバースJET18の施工状況

3. 孔壁防護併用場所打ち杭工法の裏込め材の仕様変更

3. 1 目的

施工前の調査で，孔壁防護併用場所打ち杭工法で施工する一部の杭では，孔壁防護ライナー沈設時に支障物（土留めアンカー等）に接触する恐れのあることが判明した。通常，孔壁防護併用場所打ち杭工法では，掘削中断などトラブルへの対応として，孔壁防護ライナーの背面に充填する裏込め材の流動性を長時間保持できる配合としている。しかし，この配合では，地山同等強度以上の強度が発現するのに，20日間程度を要する。そのため支障物が発生した場合，孔内の安定液を抜き，人力にて撤去作業を開始するまでに時間を要し，工程が大幅に遅延することが懸念された。そこで，施工時の裏込め材

の必要可使時間を確保しつつ、その後、早期に硬化し、材齢 3~4 日で支障物の撤去作業が開始できる配合について検討した。

3.2 室内試験

裏込め材の硬化時間を短縮するため、従来の配合をベースに室内試験（暫定配合選定）を実施した。

(1) 必要性能の設定

- ・材齢 30~36 時間で JHS フロー90mm 以上
(従来：材齢 48 時間で JHS フロー90mm 以上)
- ・材齢 3 日もしくは 4 日で圧縮強度 10kN/m² 程度
(従来：材齢 28 日で 30kN/m² 以上)

(2) 配合および試験ケース

配合は、遅延剤の添加量を変えた 3 種類とした(表-1)。施工時期が冬期であることを想定し、練上り温度および養生温度は 10℃とした。

表-1 配合および練混ぜバッチ量

配合	各材料(単位量 kg/m ³)				ウロコメル(外割り)
	遅延剤	固化材	可塑材	水	
No.2	0.86	76.7	153	916	11.5
No.3	1.15				
No.4	1.44				

(3) 試験結果

- ・JHS フロー試験結果(図-4)

材齢 36 時間での JHS フローは、目標性能である 90mm 以上の流動性を確保できた。

- ・圧縮強度試験結果(図-5)

材齢 3 日での圧縮強度試験結果は、配合 No.4 で目標とした、10kN/m²を下回った。

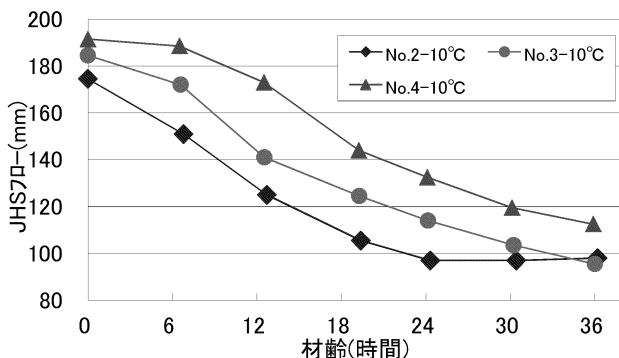


図-4 JHS フローの径時変化 (室内)

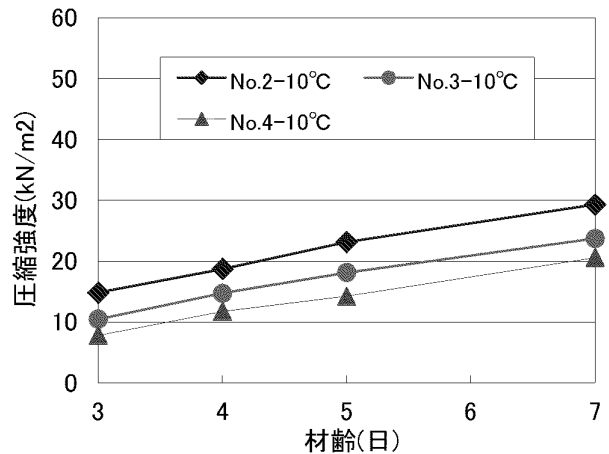


図-5 圧縮強度試験 (室内)

3.3 実機試験

強度発現性を改善した裏込め材のフレッシュ性状、硬化性状および製造性を確認することを目的として実機試験を実施した。

(1) 配合

配合 No.5 は、室内試験の結果より、添加する遅延剤の単位量を配合 No.3 と No.4 の中間の 1.29kg/m³ とし、遅延剤の単位量以外は、室内試験時と同様とした。

表-2 配合 (実機試験)

各材料(単位量 kg/m ³)				ウロコメル(外割り)
遅延剤	固化材	可塑材	水	
1.29	76.7	153	916	11.5

(2) 品質目標値

実機試験での品質目標値を表-3に示す。

表-3 品質目標

試験項目	品質目標値	
JHS フロー	練混ぜ時	190±25mm
	30 時間まで (養生温度 10℃)	90mm 以上
比重	1.13±0.05	
裏込め材温度	練混ぜ直後 5~35℃	
圧縮強度 (養生温度 10℃)	材齢 3 日もしくは 4 日 : 10kN/m ² 材齢 28 日 : 30kN/m ²	

(3) 試験結果

JHS フロー (図-6) は、材齢 30 時間で 102mm、圧縮強度 (図-7) は、材齢 4 日で 11.7kN/m² となり、実機試験においても、目標性能を満足することが確認できた。

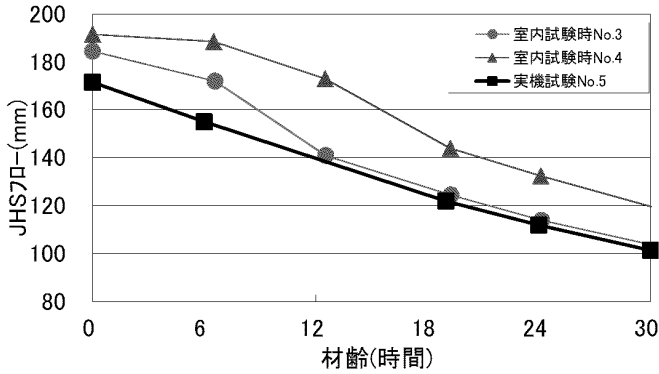


図-6 JHS フローの径時変化 (実機)

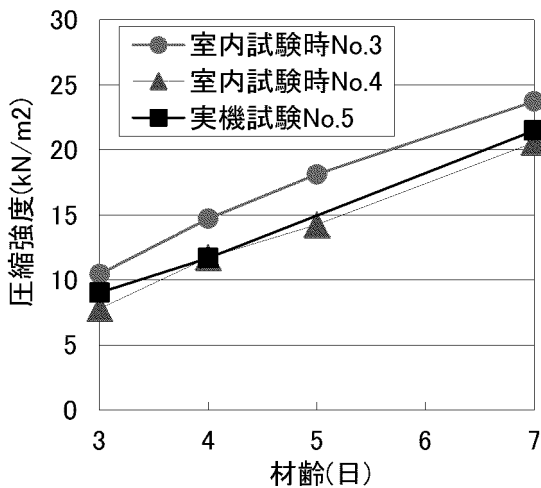


図-7 圧縮強度試験 (実機)



写真-4 フレッシュ時の試験結果 (実機)

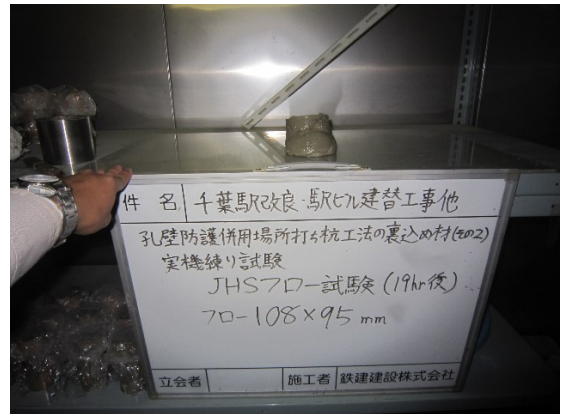


写真-5 30 時間後 JHS フロー : 平均 102mm

3.4 実施工における品質管理試験結果

実施工における品質試験結果、フレッシュ時および硬化後の試験結果一覧を表-4に示す。圧縮強度試験結果より、概ね必要とされる性能は得られた。孔壁防護ライナー沈設時に支障物に接触し、掘削および孔壁防護ライナーの沈設作業が中断することは無かったが、支障物の出現に対応できることが確認できた。

表-4 品質管理試験結果

試験項目		試験結果		
		A-5		A-6
練混ぜ時のJHSフロー		190×190 平均190mm	187×185 平均186mm	196×196 平均196mm
比重		1.13	1.13	1.14
裏込め材温度		14℃	9.5℃	9.3℃
圧縮強度 (養生温度 10℃)	材齢3日	7.73kN/m ²	6.37kN/m ²	7.44kN/m ²
	材齢4日	10.05kN/m ²	8.87kN/m ²	10.5kN/m ²
	材齢28日	71.83kN/m ²	53.75kN/m ²	41.8kN/m ²

4. 杭頭バキューム処理を円滑に実施するための対策（遅延コンクリート）

4. 1 目的

杭頭部の余盛りコンクリートのバキューム処理作業では、コンクリートの凝結が始まるなど流動性が低下することで、予定数量の処理が行えない場合が多い。このため、騒音を伴うはつり作業が多くなっていた。そこで、バキューム処理作業の改善のために、杭頭部のコンクリートに遅延剤を混入して凝結時間を遅延させることを検討した。

遅延剤の添加がフレッシュ時、硬化過程および硬化後の性状に及ぼす影響を確認し、遅延剤を添加したコンクリートの杭への適用性を検証することを目的とした。

4. 2 目標性能の設定

杭頭部のコンクリートは、練混ぜから、打込みの完了、バキューム処理の作業完了まで、6時間程度を要する。そのため、始発の目標時間を7時間程度以上とし、目標性能を設定した。

(1) 凝結特性

遅延剤を添加しないコンクリートと比べて、始発時間を2~4時間遅延させる。

(2) 流動性

遅延剤添加後にスランプが22.5cm以下。

(3) 強度特性

所要の圧縮強度を有する。

4. 3 室内試験（暫定配合選定）

遅延剤の添加量の違いがフレッシュ性状、凝結性状および強度特性に及ぼす影響を確認した。

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料および遅延剤添加前の配合を、表-5に示す。実際に場所打ち杭で使用している材料および配合（30-21-20N）とした。

遅延剤は、BASF ジャパン製のポゾリス No.89 を用いた。遅延剤の添加量は、単位セメント量×0.2%、0.3%および0.4%の3水準とした。以後、遅延剤を添加していない配合をベース配合、遅延剤を添加した配合を0.2%配合、0.3%配合、0.4%配合と称する。

表-5 コンクリート配

コンクリートの種類	スランプ ^o (mm)	空気量 (%)	水 セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量(kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	AE 減水剤 Ad
							S1	S2		
30-21-20N	21±1.5	4.5 ±1.5	51.0	47.2	197	387	543	232	907	3.87

表-6 試験項目および試験方

	試験項目	試験方法	時期
フレッシュ時	スランプ	JIS A 1101 コンクリートのスランプ試験方法	練混ぜ直後 練混ぜ30分後（現場着想定時） 遅延剤添加直後 遅延剤添加30分後（練混ぜ60分後） 遅延剤添加60分後（練混ぜ90分後） ※ベース配合と0.2%配合のみ、練混ぜ120分後（遅延剤添加90分後）も試験を行った。
	空気量	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法	練混ぜ直後、 遅延剤添加直後（練混ぜ30分後）
硬化過程	始発時間	JIS A 1147 コンクリートの凝結時間試験方法	遅延剤の添加前後に試料を採取
硬化後	圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法	材齢3日、7日、28日

(2) 試験方法

試験項目および試験方法を表-6に示す。室内ミキサで表-5に示すコンクリートを40ℓ練混ぜ、練混ぜ直後および現場までの運搬時間を想定して、練混ぜ30分後にスランプと空気量を測定した後、遅延剤を添加して残りの試験を行った。

(3) 試験結果

① フレッシュ時

フレッシュ時の試験結果を表-7に、スランプの試験結果を図-8に示す。スランプは、遅延剤の添加量の増加に伴って増大した。

遅延剤添加直後のスランプの増大量は、図-9に示すように単位セメント量×0.1%の割合で遅延剤の添加量を増やす毎に、0.5cmずつスランプが大きくなる結果となった。

スランプの経時変化(スランプロス)は、遅延剤を添加することで小さくなり、低下割合は、添加しないコンクリートの1/2程度であった。

空気量は、遅延剤の添加量の増加に伴い、僅かではあるが低下する傾向が見られた。これは、遅延剤の添加によってスランプが増大したことに起因すると考えられる。

表-7 フレッシュ時の試験結果

配合名	試験時期	スランプ【cm】	空気量【%】	コンクリート温度【℃】
ベース配合	練混ぜ直後	23.0	5.0	26.0
	練混ぜ30分後(現場着想定)	21.5	4.4	26.0
	練混ぜ60分後	20.5		
	練混ぜ90分後	19.5		
	練混ぜ120分後	18.0		
0.2%配合	遅延剤添加直後(練混ぜ30分後)	22.5	4.2	26.0
	遅延剤添加30分後(練混ぜ60分後)	22.0		
	遅延剤添加60分後(練混ぜ90分後)	21.5		
	遅延剤添加90分後(練混ぜ120分後)	21.0		
0.3%配合	遅延剤添加直後(練混ぜ30分後)	23.0	4.1	26.0
	遅延剤添加30分後(練混ぜ60分後)	23.0		
	遅延剤添加60分後(練混ぜ90分後)	22.5		
0.4%配合	遅延剤添加直後(練混ぜ30分後)	23.5	4.0	26.0
	遅延剤添加30分後(練混ぜ60分後)	23.0		
	遅延剤添加60分後(練混ぜ90分後)	22.5		

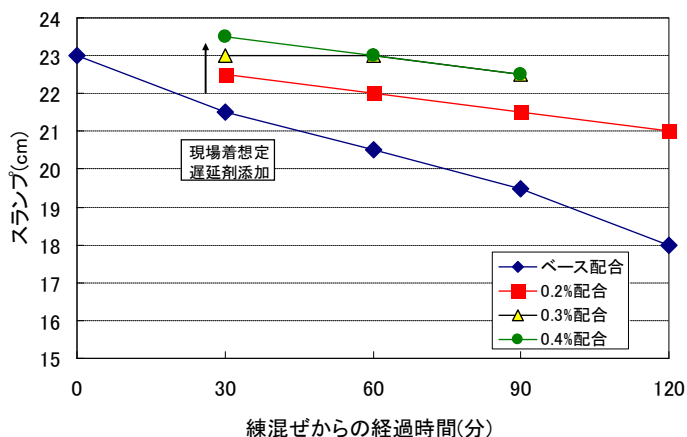


図-8 スランプの経時変

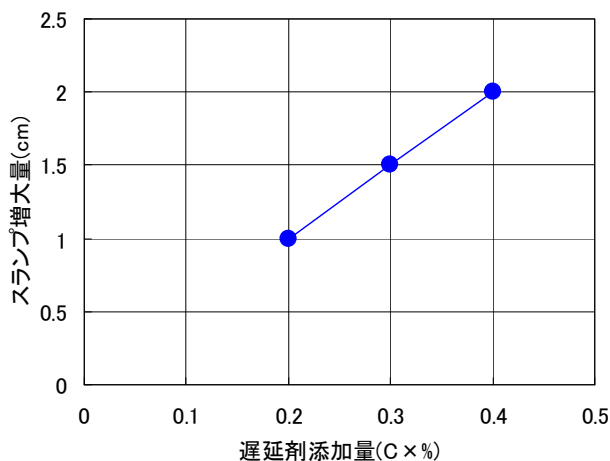


図-9 遅延剤の添加量とスランプの増大

② 硬化過程

始発は、**図-10**に示すように遅延剤の添加量の増大とともに遅延する傾向が見られた。遅延剤の添加量と始発の遅延時間（練上り温度と養生温度が 25°C程度の場合）の関係は、**図-11**に示すように遅延剤の添加量が単位セメント量×0.2%の場合、添加しないものに比べ2時間程度、0.3%の場合3時間程度、0.4%の場合6時間程度であった。

③ 硬化後

遅延剤を添加した場合の圧縮強度は**表-8**に示すように、いずれの配合も材齢3日の時点ではベース配合に比べ小さい傾向が見られたが、材齢28日では同程度となり、呼び強度以上を有していることが確認された。

(4) 室内試験まとめ

室内試験では、以下の結果が得られた。

- ・スランプは、遅延剤の添加量の増加に伴って増大した。
- ・スランプの経時変化(スランプロス)は、遅延剤の添加で小さくなった。
- ・空気量は、遅延剤の添加で僅かではあるが減少する傾向が見られた。
- ・始発は、遅延剤の添加量の増加とともに遅延する傾向を示した。
- ・圧縮強度は、遅延剤の添加で強度発現が遅くなるため、材齢初期に僅かに小さくなる傾向が見られたが、設計材齢である材齢28日では同程度となり、遅延剤の添加が設計材齢での圧縮強度に及ぼす影響は小さいと考えられた。

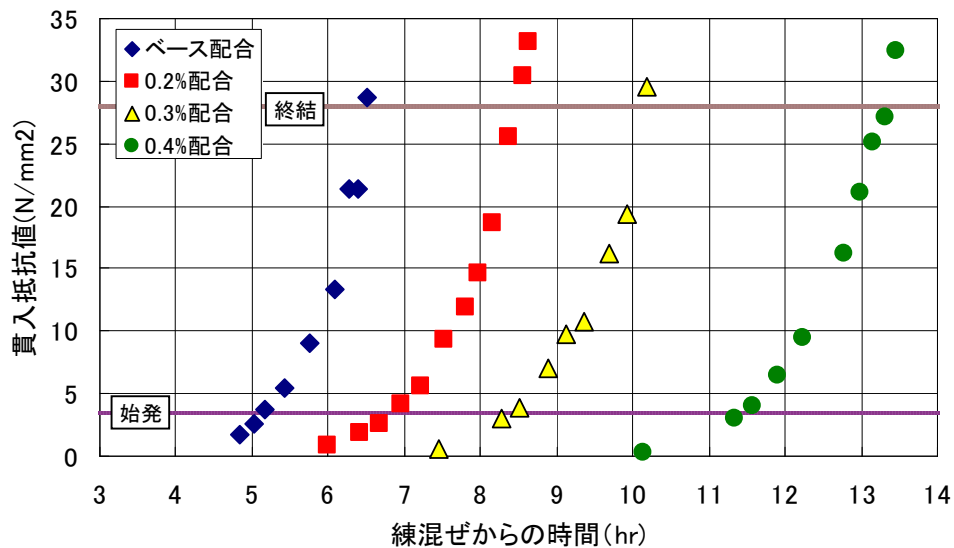


図-10 凝結試験結果

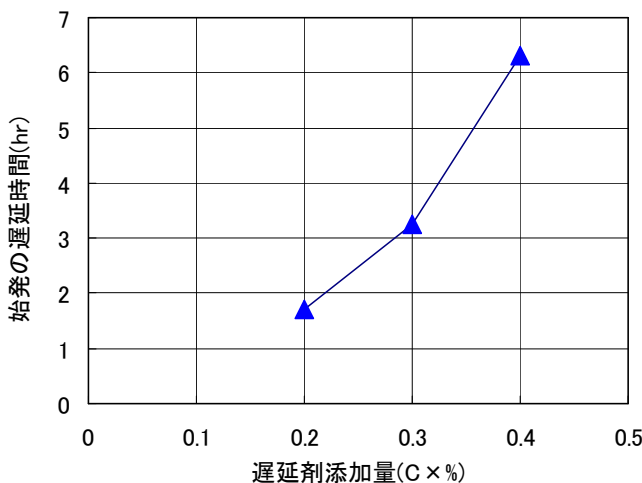


図-11 遅延剤の添加量と始発の遅延時間

表-8 圧縮強度の試験結果

配合名	No.	圧縮強度(N/mm ²)			
		材齢3日		材齢28日	
ベース配合	1	23.0		40.2	
	2	22.3	22.4	39.5	39.8
	3	21.9		39.7	
0.2%配合	1	22.0		39.1	
	2	21.3	21.7	38.8	39.1
	3	21.8		39.5	
0.3%配合	1	22.0		39.9	
	2	21.9	21.8	39.7	39.5
	3	21.5		39.0	
0.4%配合	1	21.6		39.2	
	2	21.1	21.3	39.9	39.5
	3	21.3		39.5	

4. 4 実機試験

実施工での遅延剤の添加方法の確認，および室内試験と同様に遅延剤の添加がフレッシュ性、凝結性状および強度特性に及ぼす影響を確認した。

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料および配合は，表-5に示した室内試験時と同様とした。

(2) 遅延剤の添加方法および添加量

遅延剤は，実際の施工を想定して，ベース配合のコンクリート 4.25m³ をトラックアジテータで運搬し，現場でトラックアジテータに添加した。遅延剤添加時の攪拌は，中速回転で1分間とした。遅延剤の添加量は，室内試験時の26℃程度に比べ，コンクリート温度および外気温が35℃程度と非常に高くなったため増大させて単位セメント量×0.35%とした。

(3) 試験方法

試験項目および試験方法を表-9に示す。

(4) 試験結果

フレッシュ時の試験結果の一覧を表-10に，スランプの経時変化を図-11に示す。遅延剤の添加によるスランプの増大量は，室内試験時と同程度で2cmであった。

スランプの経時変化は，図-12に示すように室内試験時に比べ大きくなったが，これは，外気温とコンクリート温度が高くなったためと考えられる。しかしながら，ベース配合に比べ，その低下割合は小さく，室内試験時と同様に遅延剤の添加でスランプの経時変化が抑制されることが確認された。

空気量は，遅延剤の添加で僅かに増大する傾向が見られた。これは，遅延剤の添加の際にトラックアジテータのドラムを中速で回転させた

表-9 試験項目および試験方法

	試験項目	試験方法	時期
フレッシュ時	スランプ	JIS A 1101 コンクリートのスランプ試験方法	現場着時 遅延剤添加直後 遅延剤添加 30 分後、60 分後、90 分後、120 分後
	空気量	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の 圧力による試験方法	現場着時 遅延剤添加直後
硬化過程	始発時間	JIS A 1147 コンクリートの凝結時間試験方法	遅延剤の添加前後に試料を採取
硬化後	圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法	材齢 2、4、28 日

表-10 フレッシュ時の試験結果

配合名	試験時期	スランプ 【cm】	空気量 【%】	コンクリート温度 【℃】	外気温 【℃】
ベース配合	練混ぜ 61 分後(現場着時)	21.5		34	35
	練混ぜ 98 分後	18.5		35	
	練混ぜ 128 分後	16.0		34	
	練混ぜ 156 分後	13.5		35	
	練混ぜ 186 分後	7.5		35	
0.35%配合	練混ぜ 54 分後(現場着時)	20.0	4.8	34	36
	練混ぜ 61 分後(遅延剤添加直後)	22.0	6.0	34	
	練混ぜ 99 分後(遅延剤添加 38 分後)	22.0		34	
	練混ぜ 124 分後(遅延剤添加 63 分後)	21.0		34	
	練混ぜ 151 分後(遅延剤添加 90 分後)	20.0		34	
	練混ぜ 183 分後(遅延剤添加 122 分後)	17.5		34	

ため、エントラップドエアを多少巻き込んだと考えられる。

始発は6時間程度で、室内試験時に比べ早くなった。これは、外気温とコンクリート温度が高くなったためと考えられ、凝結性状は温度による影響を大きく受けるといえる。圧縮強度は、表-11に示すように設計材齢の材齢28日で呼び強度以上の34N/mm²であった。

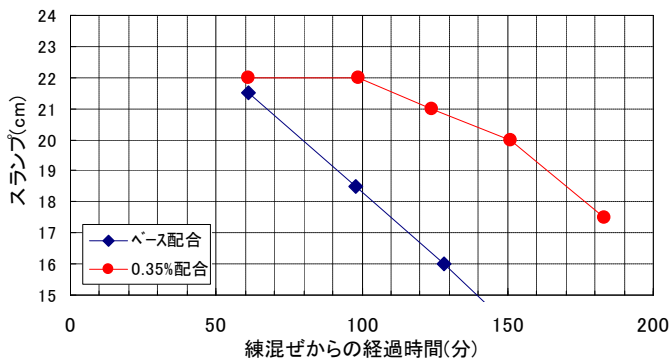


図-11 スランプの径時変

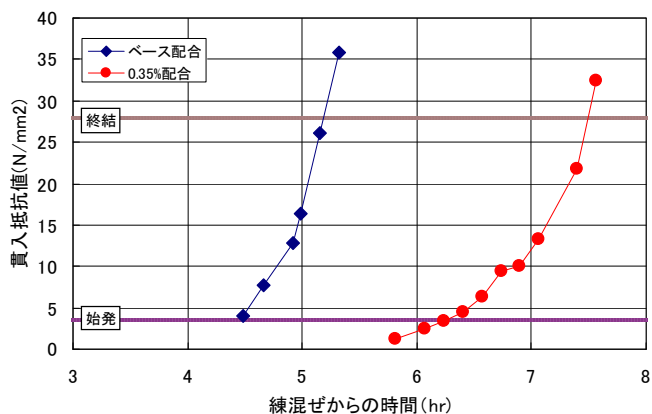


図-12 凝結試験結

表-11 圧縮強度の試験結果 (実機試験)

配合名	圧縮強度 (N/mm ²)		
	材齢2日	材齢4日	材齢28日
0.35%配合	16.6	21.8	34.0

(5) 実機試験まとめ

実機試験では、以下の結果が得られた。

- ・遅延剤の添加に伴うスランプの増大量は、室内試験時と同程度であった。
- ・空気量は、室内試験時と異なり遅延剤の添加によって増大した。これは、遅延剤添加時の

攪拌でエントラップドエアを巻き込んだためと考えられ注意が必要である。

- ・始発は、コンクリート温度および外気温の影響を大きく受けると考えられる。

4.5 遅延コンクリート実施工

実施工では、杭頭付近(杭天端-5.0m~+0.8m区間)に打設するコンクリートに遅延剤を単位セメント量の0.2~0.3%添加した。遅延剤を添加したことにより、バキューム処理可能時間が増え、所定の高さまでバキューム処理が可能となった。今回の試験によって、遅延剤を添加したコンクリートを、場所打ち杭に適用することに問題の無いことが確認された。

5. おわりに

孔壁防護併用場所打ち杭工法の施工では、支障物の出現により、裏込め材に必要な強度の発現時期を変更する必要が生じた。目標性能を定め、裏込め材の配合を変更し、支障物に対応することができた。

大口径場所打ち杭の杭頭部のバキューム処理においては、遅延剤を用いてコンクリートの凝結を遅延させることが効果的であることがわかった。冬期では遅延剤の添加量を単位セメント量×0.2%~0.3%にすることにより、バキューム処理に必要な流動性、作業時間を確保することができた。ただし、夏期の施工では、バキューム処理に対してさらに厳しい条件となるため、サイクルタイムの短縮などの対策が必要となってくる。

参考文献

1) 大塚隆人, 高崎秀明, 池本宏文, 和田旭弘, 栗栖基彰, 山田章史: 掘削同時孔壁防護機能を有する大口径場所打ち杭の防護機構, 土木学会第66回年次講演会概要集, III-241, pp.481-482, 土木学会, 2011