

高張力鋼管・機械式ねじ継手の小口径杭

STマイクロパイル工法

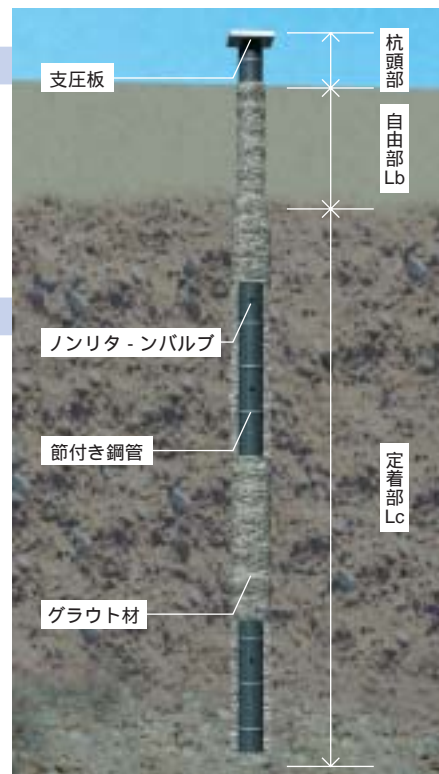
マイクロパイルとは

マイクロパイルとは、杭径 100 ~ 300mm 程度の小口径の場所打ち杭・埋込み杭の総称です。地山を削孔して鉄筋、鋼管などの鋼製補強材を挿入し、グラウトを注入してパイルを形成します。適用分野としては、構造物の支持力対策、既設構造物の補強、地すべり防止、切土のり面補強などがあります。

STマイクロパイルとは

STマイクロパイルは、セメントグラウト材を加圧注入し、節突起を設け付着性能を向上させた高張力鋼管と合成させる小口径場所打ち杭です。カプラーを用いた機械式ねじ継手により、現場溶接杭に比べて施工性および杭耐力が向上しています。STマイクロパイル工法は地盤条件・施工条件に応じ、グラウトパッカー装置を用いてセメントミルクを加圧注入するタイプと、高圧噴射式地盤改良工法併用のタイプが選定でき、自由度の高い設計・施工が可能です。タイプは、改良体を有効径とする大きな地盤の支持力を得ることができ、都市部などの制約条件下の軟弱地盤における、既設構造物基礎の補強・補修等に適しています。

STマイクロパイル工法 タイプ
国土交通省 新技術情報 NETIS登録番号 HR-030012



工法の特長

機動性の良いコンパクトな施工機械設備で、狭隘な場所でも施工できます。
削孔性能に優れ、複雑な地盤に柔軟に対応でき、斜杭の施工も可能です。
振動や騒音を最小限に抑えることができます。
施工速度が速く、仮設備を含めたトータルコストの縮減・工期の短縮が可能です。

施工例

L型擁壁の基礎（タイプ ）



杭径 216.3mm、L=16.5 ~ 18m

スノーシエッド基礎の補強（タイプ ）



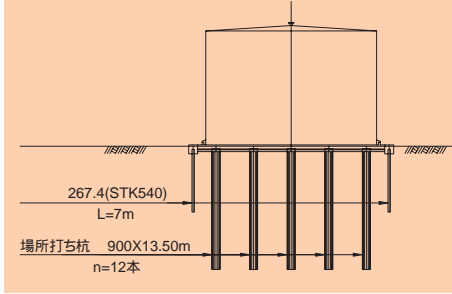
杭径 165.2mm、L=10.5 ~ 16.5m

施 工 例

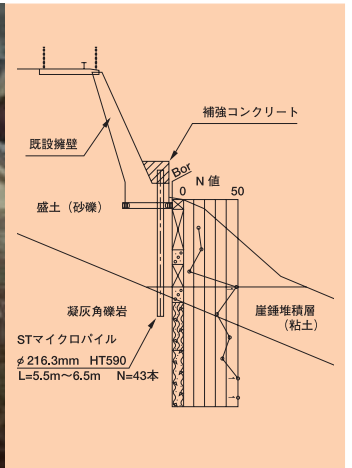
既設貯水槽の耐震補強 (タイプ)



杭径 267.4mm、
L=7m



既設擁壁基礎の補強 (タイプ)



杭径 216.3mm、L=5.5 ~ 6.5m

橋梁基礎の耐震補強 (タイプ)

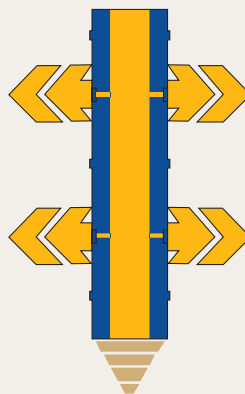


STマイクロパイル工法
タイプ

国土交通省 新技術情報
NETIS登録番号
HR-030024

NIJ 研究会

NIJ研究会は、超高压噴流体の持つエネルギーを最大限に活用する高压噴射式地盤改良工法 (GTM工法) 並びにSTマイクロパイル工法の技術の向上・普及を図り、信頼性・経済性に優れた地山の改良・補強工、既設構造物の補強工、支持力対策工等の体系化・発展に寄与するために設立された民間の共同研究開発組織です。



東日本支部 事務局 〒105-0014
東京都港区芝2-5-10 (株)ケー・エフ・シー技術部内
TEL 03-3796-8517 FAX 03-3798-8850
E-mail:kfc@nij-gr.com または info@nij-gr.com

西日本支部 事務局 〒871-0006
大分県中津市大字東浜332番地 日本チューブラープロダクツ(株)内
TEL 0979-22-1010 FAX 0979-22-2492
E-mail:ntpc@nij-gr.com または info@nij-gr.com

「STマイクロパイル工法・GTM工法は東洋建設(株)のPAT.で、NIJ研究会は実施権許諾を受けて施工しています。」

NIJ研究会会員 (五十音)

アトラスコプロ(株)
有エム・システム
極東工業(株)
株)ケー・エフ・シー
株)親和テクノ
新日本製鐵(株)
住友金属工業(株)
ソイルメックジャパン(株)
大豊工業(株)
株)タシマボーリング
タチバナ工業(株)
株)ティーエフティー
テクノ工業(株)
テクノドリル(株)
東亜グラウト工業(株)
利根地下技術(株)
日本基礎技術(株)
日本チューブラープロダクツ(株)
株)樋口技工
舟本ボーリング(有)
三菱マテリアル(株)

(平成17年7月末現在)

STマイクロパイル工法の概要

1章 マイクロパイルの概要

1.1 マイクロパイルの概要

一般に、マイクロパイルとは杭径 300mm 以下の場所打ち杭・埋込み杭の総称であり、補強材として鋼管や異形鋼棒を使用し、グラウト材を注入して地盤に定着させる小口径の杭工法である。世界各地でマイクロパイル、ルートパイル、ピンパイル、ミニパイルなどの名称で呼ばれている。

マイクロパイルは煉瓦、石造りの寺院、教会等の歴史的建造物の基礎の補強などから生まれた技術であり、1950 年頃にイタリアで開発されヨーロッパに広まった後、世界各地で用いられるようになった。マイクロパイルの特長としては、ハンドリングの良い小口径鋼管等を補強材として用いるため小型機械で施工が可能であり、空頭制限や狭隘地、山岳傾斜地、地下空間等の厳しい制約条件下での施工に対応できること等が挙げられる。(図-1.1.1～図-1.1.3 参照)

日本においては、1980 年頃にシールドに隣接する展望台のアンダーピニングとしてルートパイルが適用され、それ以来、マイクロパイルは山岳トンネルの脚部補強(図-1.1.4 参照) 狭隘地における構造物の基礎杭、既設構造物の補強杭、斜面抑止杭など、主として施工条件が厳しい場所で用いられている。



図-1.1.1 海外でのマイクロパイル施工事例
(山岳トンネル坑口部などの擁壁工)



図-1.1.2 海外でのマイクロパイル施工事例
(既設構造物のアンダーピニング)



図-1.1.3 海外でのマイクロパイル施工事例
(狭隘地でのマイクロパイル打設)



図-1.1.4 国内でのマイクロパイル施工事例
(山岳トンネルの脚部補強¹⁾)

1.2 マイクロパイルの分類

現在、日本において施工可能なマイクロパイルを分類すると、表-1.2.1、図-1.2.1（参考）のように分けることができる。なお、STマイクロパイル工法タイプは(c)に、STマイクロパイル工法タイプは(d)に分類される。

表-1.2.1 国内におけるマイクロパイルの分類（参考）

タイプ	補強材	補強材の定着方法	杭 径
(a)	異形鋼棒	グラウト材の注入（全面定着）	150mm 以下
(b)	鋼管、異形鋼棒	グラウト材の注入（部分定着）	300mm 以下
(c)	高張力鋼管	グラウト材の注入（全面定着）	300mm 以下
(d)	高張力鋼管	セメントミルクの高圧噴射攪拌による改良体の造成（全面定着）	鋼管 300mm 以下 改良体 600mm ~ 800mm

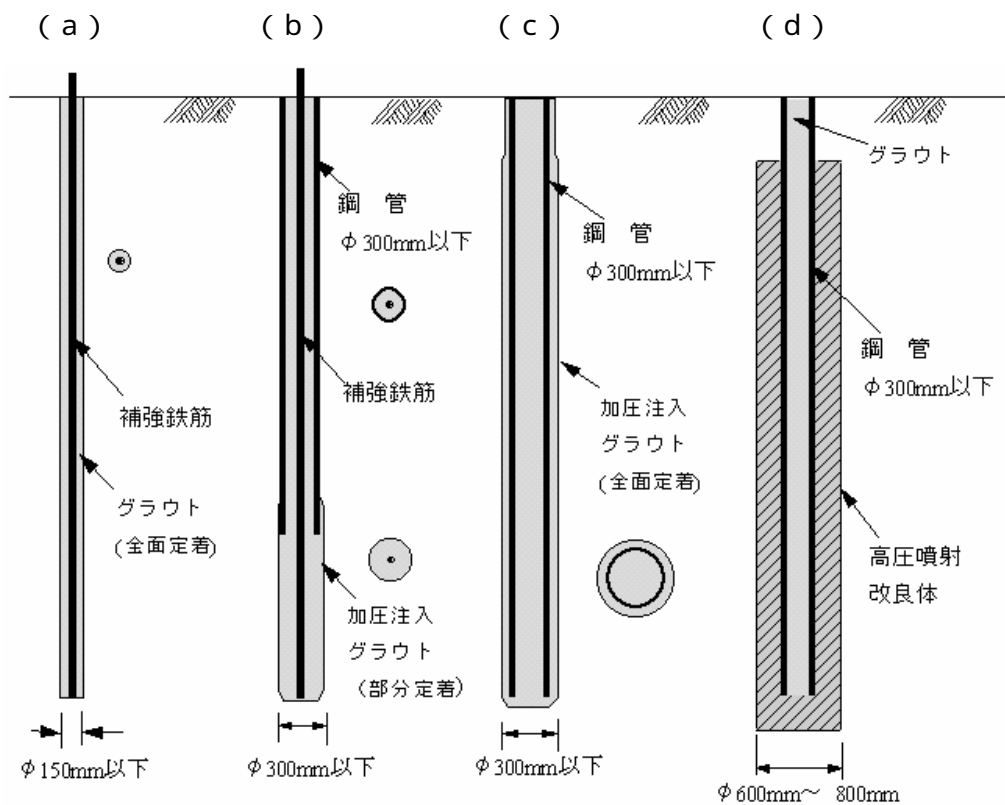


図-1.2.1 国内におけるマイクロパイルの分類（参考）

2章 STマイクロパイル工法の概要

2.1 STマイクロパイル工法

STマイクロパイル工法 (STRONG-TUBFIX MICROPILES) とは、都市狭隘地、地下空間、山岳傾斜地等の限られた施工空間、厳しい環境条件下での施工を対象として開発した小口径の杭工法である。本工法は、従来のマイクロパイルにグラウトの加圧注入技術や高圧噴射攪拌による地盤改良技術を取り入れ、補強材として節突起加工を施した小口径の高張力鋼管を用いるもので、図-2.1.1 に示す2つのタイプがある。支持力等の設計上の要求性能や地盤条件等に対する施工性などを考慮し、目的、適用性に応じた構造タイプが選定でき、両タイプとも同じ小型施工機械による施工が可能である。

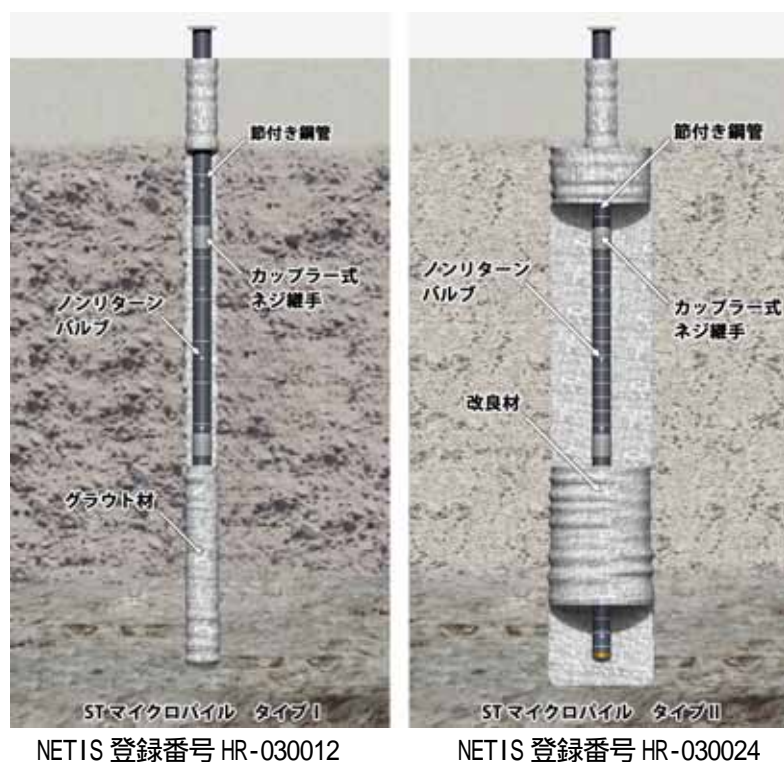


図-2.1.1 STマイクロパイル工法の概要

1) STマイクロパイル工法 タイプ

小口径鋼管 (300mm 以下) をケーシングとして用いて削孔打設し、パッカーによるグラウトの段階加圧注入によって地盤中に鋼管を全面定着させるものである。制約条件下での構造物の基礎杭や既設構造物基礎の増し杭補強、斜面補強などに適用性がある。また、斜杭の削孔打設が可能であり、比較的大きな杭の水平抵抗を要求する場合には斜杭とすることが有効である。

2) STマイクロパイル工法 タイプ

硬化材の高圧噴射攪拌 (GTM 工法) によって地盤中に改良体を造成し、その中に小口径鋼管 (300mm 以下) を挿入、全面定着させるものである。改良体と節突起付き鋼管との一体化、および改良体の地盤抵抗により、小型機械の施工でも大きな杭の支持力と水平抵抗を期待できる。制約条件下において大きな支持力を必要とする構造物の基礎杭や既設構造物の増し杭補強などに適用性がある。

表-2.1.1 ST マイクロパイル工法 タイプ ・タイプ の特長・比較表

条 件		工 法	タイプ	タイプ		
地盤条件	中間層の状態	中間層に軟弱層が厚く堆積する				
		中間層に極硬い層がある		回転打撃削孔		
		中間層に れきがある	れき径 25mm 以下		回転削孔	
			れき径 25mm ~ 100mm		回転打撃削孔	
	れき径 100mm ~ 500mm		回転打撃削孔	GTM 工法の実績は有		
	支持層の状態	支持層の深度 (杭長)	5m ~ 15m			
			15m ~ 25m			
			25m ~ 40m			
			40m ~ 60m		大深度削孔の実績有	
		支持層の土質	砂・砂れき (N 30)			
			粘性土 (N 20)			
			岩盤			×
	地下水の状態	地下水が地表面近い				
		湧水量が多い		グラウト材の選定		
被圧地下水 (地表面より 2m 以上程度)		グラウト材の選定	×			
地下水流速 (3m/min 以上程度)		×	×			
杭の特性	支持力	支持力の大きさ		(小~中) 土質条件による	(大) 改良体の併用効果	
		支持力機構	周面摩擦抵抗		加圧グラウトでの摩擦抵抗	改良体での摩擦抵抗
			先端支持抵抗		土質条件・削孔径による	改良体先端部の地盤抵抗
	水平抵抗		斜杭により水平抵抗大		改良体の水平地盤抵抗	
施工条件	作業空間が狭い		施工機械が小型			
	空頭制限がある		空頭高さ 3.5m でも施工可能			
	斜杭の施工		施工実績有	試験施工が必要		
	騒音・振動					
備考	新技術登録 (NETIS 登録番号 ; 2006 年 3 月末現在)		HR - 030012	HR-030024		

適合性が高い (工法の特長) 適合性が高い 適合性はある × 検討が必要

2.2 STマイクロパイル工法の適用分野

STマイクロパイルの適用分野を図-2.2.1に示す。STマイクロパイルは、制約条件下における新設構造物の基礎杭や既設構造物基礎の補強増し杭²⁾(図-2.2.2)としての適用が主に挙げられるが、斜面補強³⁾(図-2.2.3.)等の適用も可能である。限られた空間や厳しい施工環境での施工技術の高度化および設計・施工・材料を通じた品質確保により、広範な対象に適用できる。

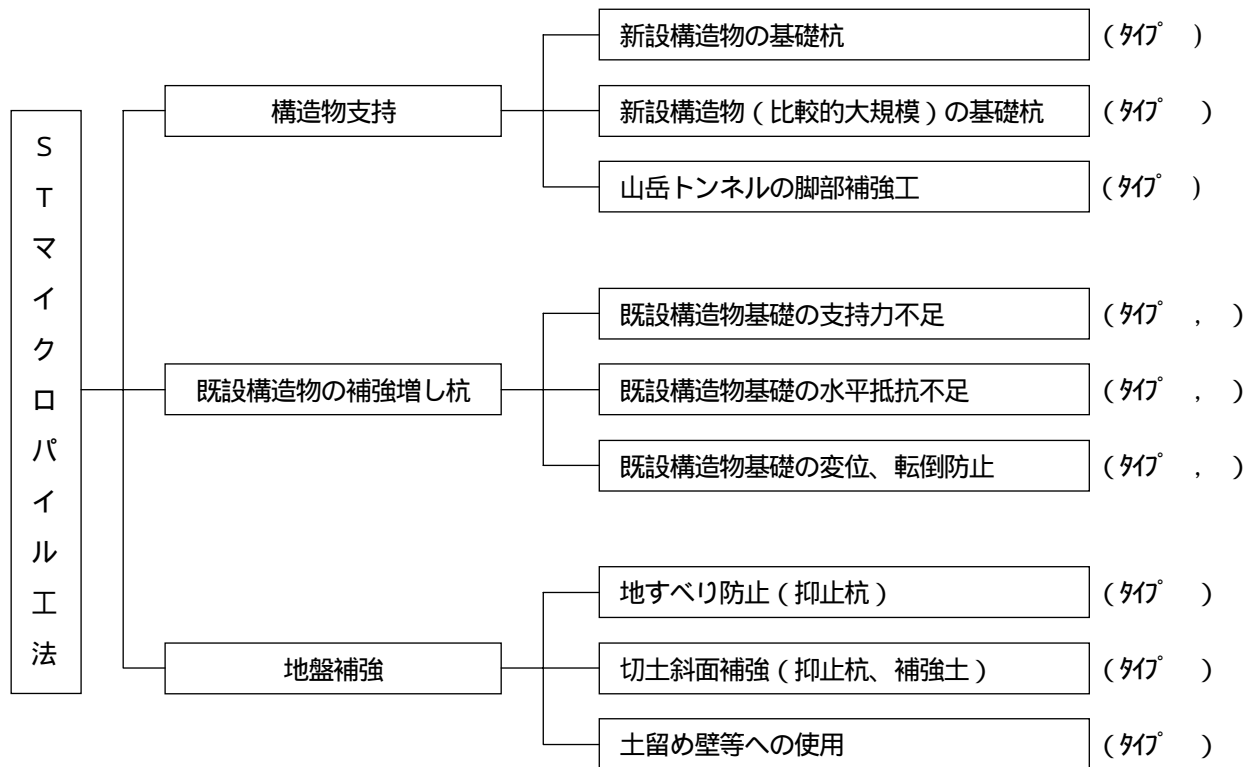


図-2.2.1 STマイクロパイル工法の適用分野



図-2.2.2 既設構造物基礎の補強増し杭²⁾
(STマイクロパイル タイプ)

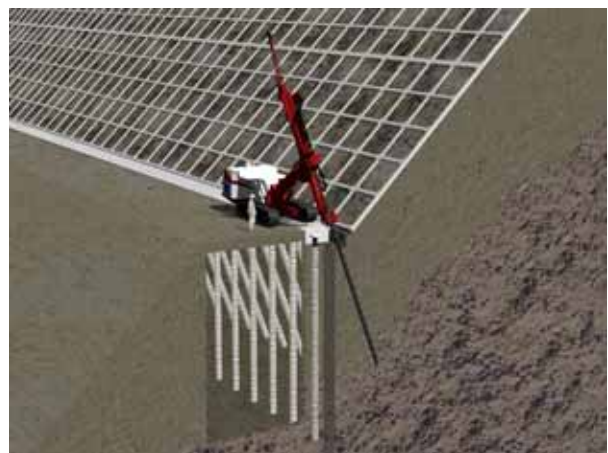


図-2.2.3 切土斜面補強 (組杭形式抑止杭)³⁾
(STマイクロパイル タイプ)

2.3 STマイクロパイル工法 タイプ の概要

2.3.1 構造

ST マイクロパイル工法 タイプ は図-2.3.1 に示すように、小口径鋼管と加圧注入したグラウトから構成される杭工法である。以下に、構造概要を示す。

- 1) 本工法に適用可能な杭諸元、鋼管サイズの例を表-2.3.1 に示す。設計条件に応じて高張力鋼管を用い、小口径杭に対して大きな杭体の耐力を確保する。
- 2) 鋼管表面にはビード溶接による節突起加工（溶接高さ 2.5mm 以上）を施しており、グラウトとの付着性能、荷重伝達性能を確保する。
- 3) 鋼管の継手は、空頭制限等の制約条件における施工速度の向上、杭としての品質確保を目的とし、母材鋼管と同等の耐荷性能を有する機械式ネジ継手（カップラー式ネジ継手）を用いる。
- 4) パッカーによる段階加圧注入によって削孔壁部・地山にグラウト体を築造し、比較的大きな杭の周面摩擦抵抗を確保する。
- 5) グラウトはセメント系グラウト材であり、地盤条件に応じてセメントミルクまたはモルタルとし、設計基準強度は 30N/mm^2 である。
- 6) 杭の支持力機構は、上部構造から杭頭の鋼管に伝達された軸方向荷重を、鋼管からグラウトを介して地盤に伝達し、地盤と加圧注入を行ったグラウト間の周面摩擦抵抗、および先端地盤抵抗によって支持するものである。
- 7) 杭頭結合部は鋼管を基礎フーチングへ定着させた支圧板方式を標準とするが、杭頭反力が比較的小さな場合は道路橋示方書⁴⁾による一般的な鋼管杭の結合方法も可能である。

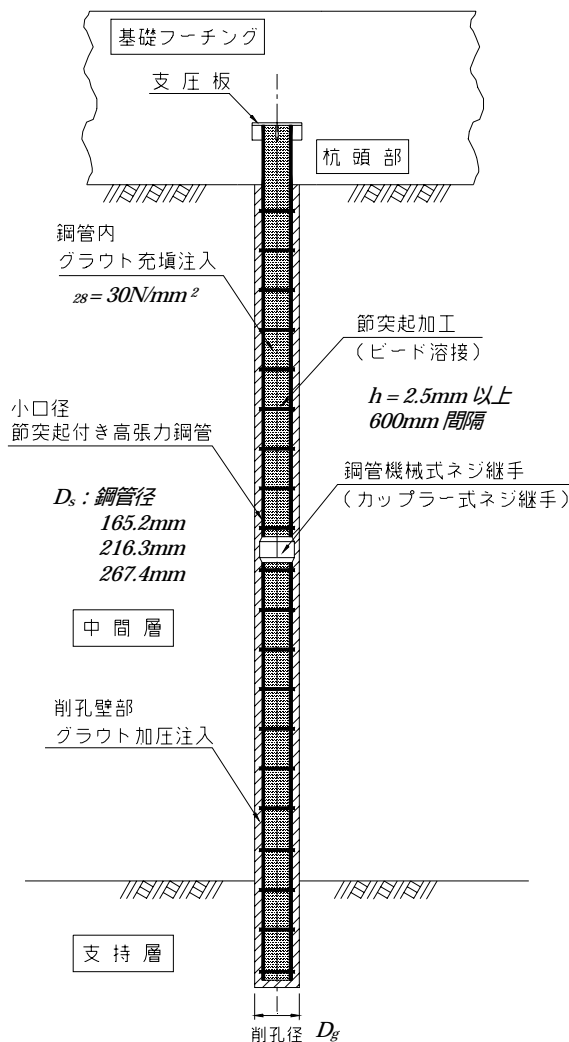


図-2.3.1 STマイクロパイル工法タイプ の構造

表-2.3.1 STマイクロパイル工法 タイプ の標準的な杭諸元

鋼 管		節突起加工の標準仕様		鋼管の鋼種 (標準仕様)
外径 D_s (mm)	鋼管肉厚 t (mm)	節加工高さ h (mm)	節加工間隔 p (mm)	
165.2	7.1	2.5 以上	600	STK540 STKKT590*
216.3	12.0			
267.4	12.0			

STKKT590；鉄塔用高張力鋼管（JISG3474）

2.3.2 施工方法

(1) 施工手順

本工法は、油圧削孔機械を使用して施工するもので、拡径ビットを利用した乾式二重管削孔方式により小口径鋼管を直接打設し、加圧膨張型パッカーの鋼管挿入、セメントミルクの加圧注入等の一連の作業で小口径場所打ち杭を形成するものである。 図-2.3.2 に、標準的な施工手順を示す。

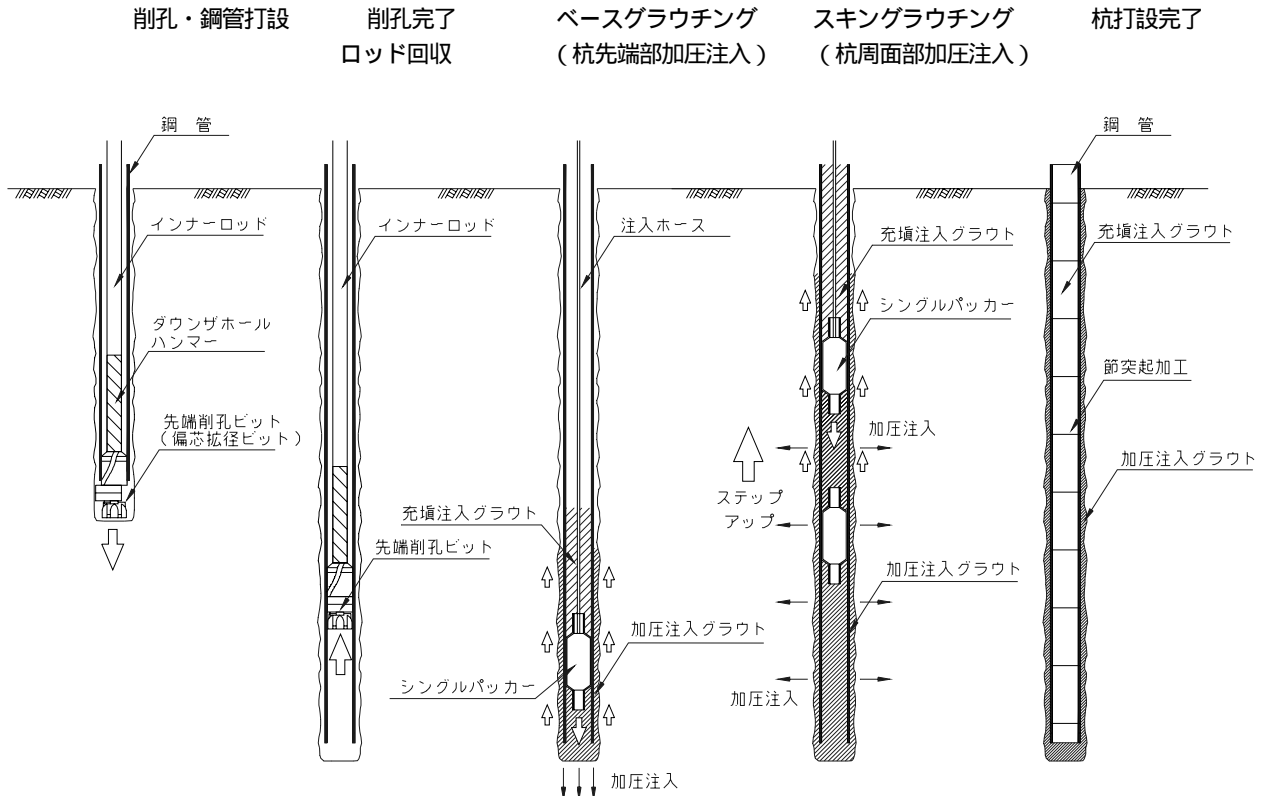


図-2.3.2 STマイクロパイル工法 タイプ の標準的な施工手順

(2) 施工方法

削孔・鋼管打設

図-2.3.3 に示すように、鋼管をケーシングとして用いた二重管削孔による直接打設方法を標準施工とする。地盤条件・施工環境条件等に応じて、オーガー併用の回転削孔方式または先端に拡径ビット (図-2.3.4) を装着したダウンザホールハンマー(D.T.H)による回転打撃削孔方式を選定する。

ダウンザホールハンマー(D.T.H)による回転打撃削孔は、インナーロッドを介さず打撃力を直に先端ビットに伝達するため、エネルギーロスが少なく、直進性が良い。また、岩盤をはじめとして、巨礫層、転石・玉石層など、複雑な地盤条件においても優れた削孔性能を発揮する。

削孔完了、ロッド・ツール回収

所定の深度まで削孔完了後、偏心拡径ビットを逆回転させて鋼管内に収納し、インナーロッドおよび削孔ツールを引上げ、回収する。

ベースグラウチング（杭先端部の加圧注入）

鋼管内にシングルパッカー（図-2.3.5）を挿入し、管内にグラウトを充填した後（充填注入）パッカーゴムを膨張させて鋼管内に栓をし、杭先端のベースグラウチングを行う。ベースグラウチングは杭先端部でのグラウトの加圧注入であり、先行圧力を与えて先端削孔地盤の緩み等を防止するものである。挿入式のパッカーを用いた注入方式により、地盤条件等に応じて0.2～2MPa程度の注入圧力を加えることができる。

スキングラウチング（杭周面部の加圧注入）

ベースグラウチングの終了後、杭周面部のグラウトの加圧注入（スキングラウチング）を杭先端から杭頭にかけて段階ステップアップ方式（充填注入と加圧注入の繰り返し）で行う。スキングラウチングは鋼管に1m間隔で設置したノンリターンバルブを介してグラウトを加圧充填し、杭先端から順にグラウト体を削孔壁部・地山に築造していく。

打設完了・杭頭結合部の施工

パッカーによる全てのグラウト注入が完了し、養生完掘削し杭頭結合部の施工を行う。



図-2.3.3 二重管削孔・鋼管打設状況



図-2.3.4 偏芯拡径型ビット



図-2.3.5 注入用シングルパッカー



図-2.3.6 グラウトの加圧注入状況

(3) 削孔方式

一般にマイクロパイルの削孔方式は、回転のみで削孔する回転式と、回転と打撃で削孔する回転打撃式に分けられ、駆動装置・スライム排除方式・削孔ツール類との関連で回転式はロータリー削孔とオーガー削孔に、回転打撃式はトップハンマー削孔（地上駆動装置式）とダウンザホールハンマー(D.T.H)削孔（地下駆動装置式）に分類される。また、削孔方式は、削孔時のスライム排出方式、使用する安定液（清水、泥水等）と孔壁防護工との関連で、湿式と乾式および単管外返し方式と二重管内返し方式に分けられる。

STマイクロパイル工法では、削孔時の安定液（清水、泥水等）による地山の乱れ、適用する杭緒元（鋼管径・肉厚）およびこれまでの施工実績を考慮し、乾式二重管削孔によることを原則としている。

図-2.3.7 に削孔方式の分類を示す。

乾式二重管削孔方式の特長

1. 削孔時に泥水等の安定液を使用しないため、泥水処理設備が不要で地山の乱れも少ない。
2. 適用鋼管径（100～300mm）が多く、大深度（50m以上）削孔にも対応できる。
3. 回転式削孔は、削孔時の騒音・振動が小さく、都市部等の粘性土・砂質土に適する。
4. D.T.Hによる先端打撃削孔は、玉石・転石層等においても削孔効率が良く直進性に優れる。
5. 同じ削孔機械で回転削孔方式とD.T.Hによる回転打撃削孔方式の使い分け・併用が可能で、土質条件・環境条件に対する適用性に優れる。
6. D.T.Hによる先端回転打撃削孔は、トップハンマー式に比べ削孔ロッド等の損耗が少ない。

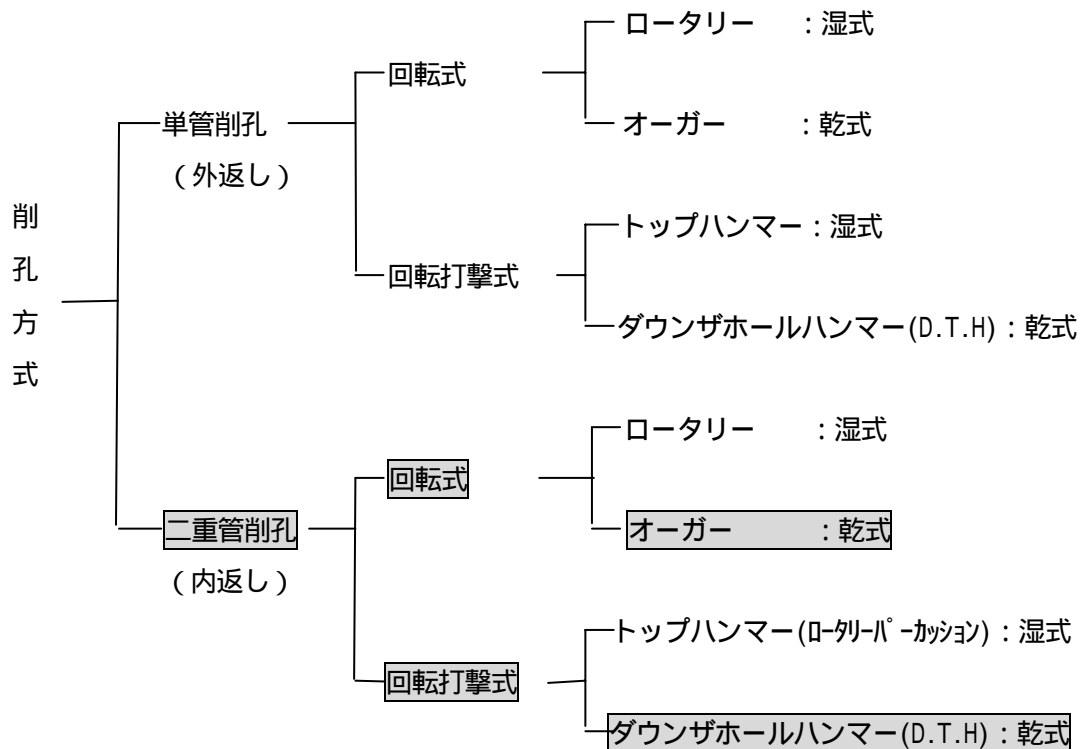


図-2.3.7 削孔方式の分類

2.3.3 施工実績

(1) 施工例

山岳急峻地における新設L型擁壁の基礎杭⁵⁾

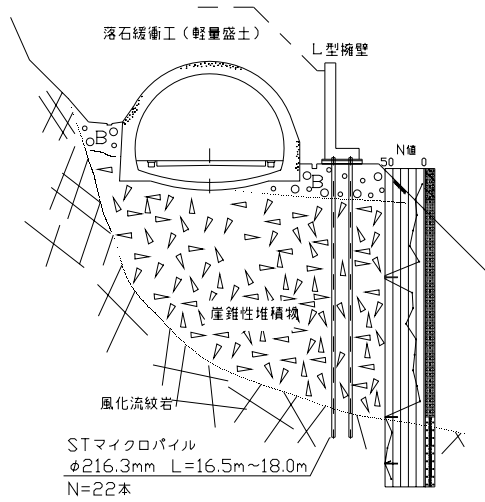


図-2.3.8 L型擁壁概要図



図-2.3.9 L型擁壁基礎杭施工状況

空頭制限下における既設スノーシェッド基礎の補強⁶⁾

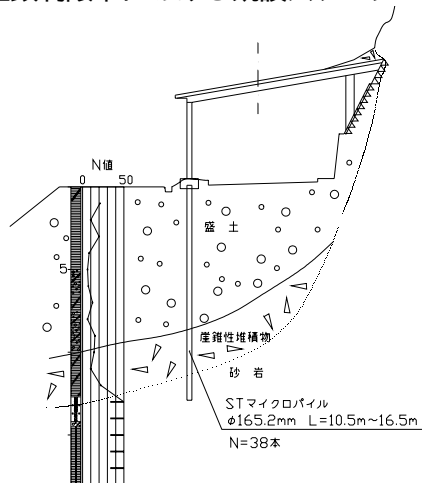


図-2.3.10 スノーシェッド既設基礎補強概要図



図-2.3.11 スノーシェッド基礎補強状況

狭隘・傾斜地における既設擁壁の補強

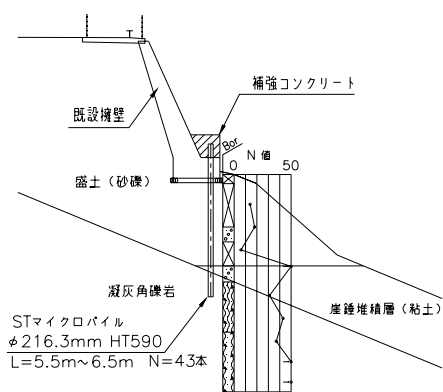


図-2.3.12 既設擁壁の補強概要図



図-2.3.13 既設擁壁の補強状況図

狭隘・傾斜地における新設擁壁の基礎杭

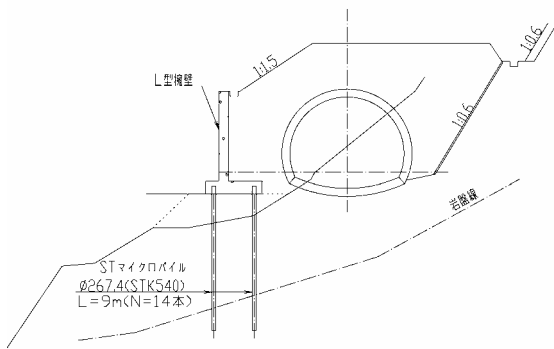


図-2.3.14 新設擁壁の基礎概要図

図-2.3.15 新設擁壁基礎施工状況

住宅地における既設貯水槽の耐震補強

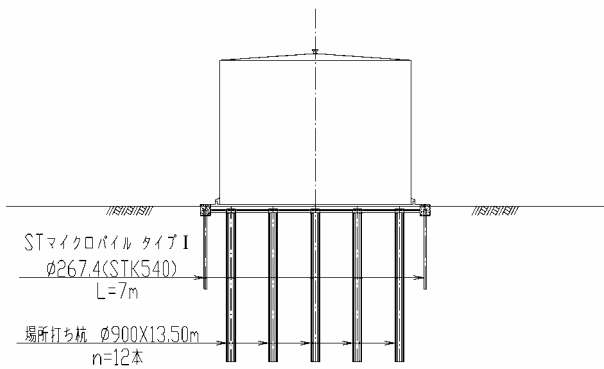


図-2.3.16 貯水槽耐震補強概要図

図-2.3.17 耐震補強施工状況

稼働中の工場内での基礎杭

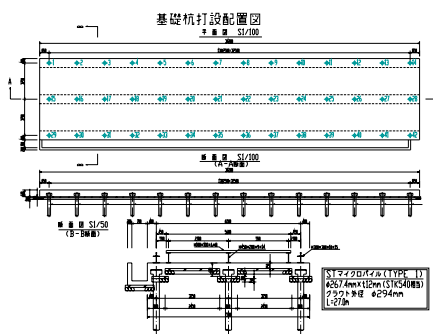


図-2.3.18 基礎杭配置図

図-2.3.19 基礎杭施工状況

狭隘・傾斜地における盛土斜面補強¹⁰⁾

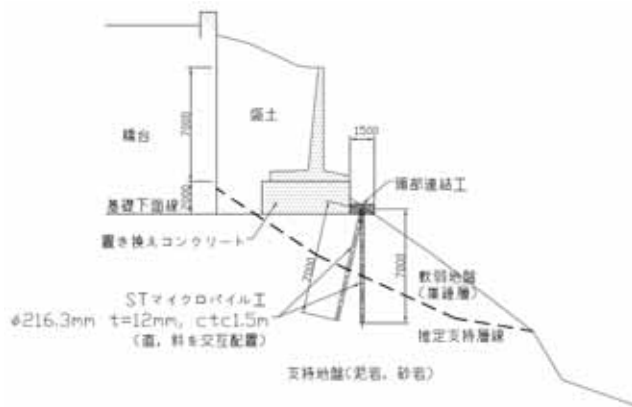


図-2.3.20 組杭抑止杭概要図



図-2.3.21 組杭抑止杭施工状況

急峻な山岳部における鉄塔基礎補強



図-2.3.22 基礎補強状況



図-2.3.23 基礎補強状況

山岳トンネル脚部補強対策工



図-2.3.24 脚部補強工施工状況

岩盤斜面の地すべり対策工



図-2.3.25 抑止杭施工状況

(2) 載荷試験例

鉛直載荷試験⁷⁾⁸⁾



図-2.3.20 鉛直載荷試験状況⁷⁾



図-2.3.21 鉛直載荷試験状況⁸⁾

急速載荷試験⁹⁾¹⁰⁾



図-2.3.22 急速載荷試験状況⁹⁾

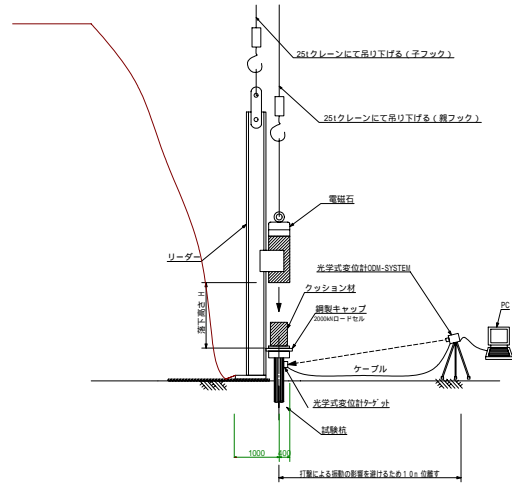


図-2.3.23 急速載荷試験状況¹⁰⁾

水平交番載荷試験¹¹⁾



図-2.3.24 水平交番載荷試験全景



図-2.3.25 水平交番載荷試験近影

2.3.4 特長

(1) 設計面の特長

グラウトの段階加圧注入により、グラウトと地盤間に比較的大きな杭の周面摩擦抵抗が期待できる。

小口径の杭工法のため、基礎フーチングや補強基礎の寸法、面積が小さくすむ。

高張力鋼管を用いることにより、小口径杭に対して大きな杭体の耐力を確保できる。

斜杭の削孔打設(10~30°)が可能であり、斜杭にすることによって大きな水平抵抗が確保できる。

(2) 施工面の特長

施工機械が小さく移動も容易なため、空頭制限下での施工、構造物との近接施工、都市狭隘部・地下空間・山岳傾斜地・土留締切内・1車線規制内などの制約条件下における施工が可能である。

杭径、施工機械が小さく、施工時に近接構造物等へ与える影響が少ない。

ダウンザホールハンマーを用いた回転打撃削孔方式では、岩盤をはじめとして、巨礫地盤、転石、玉石が存在する複雑な地盤条件においても直進性、削孔・鋼管打設性能が高い。

オーガー併用の回転式削孔では、削孔時の騒音や振動が少ない。

パッカーを用いたグラウトの段階加圧注入方式により、地盤中に鋼管を確実に定着できる。

【備考】

・「ST マイクロパイル タイプ 」は東洋建設(株)のPATで、NIJ 研究会は実施権許諾を受けて施工しています。

・特許第 2739641 号、特許第 2083350 号、特許第 2105787 号、特許第 3689840 号

・特許出願(特開 2000-45262、特開 2000-290906、特開 2002-70471)

2.4 STマイクロパイル工法タイプ の概要

2.4.1 構造

STマイクロパイル工法タイプ は図-2.4.1 に示すように、マイクロパイルの技術に高圧噴射攪拌による地盤改良技術を併用したものであり、小口径の高張力鋼管と高圧噴射改良体との合成構造の鋼管杭工法である。なお、改良体は二重管ツインノズル式の高圧噴射攪拌（GTM 工法）によるものであり、技術資料¹²⁾を参考とすることができる。

- 1) 本工法に適用可能な杭諸元、鋼管サイズの例を表-2.4.1 に示す。高張力鋼管を用いることにより、大きな杭体の耐力を確保する。
- 2) 鋼管表面にはビード溶接による節突起加工（溶接高さ 2.5mm 以上）を施しており、改良体との一体化、荷重伝達性能を確保する。
- 3) 鋼管の継手は、空頭制限等の制約条件における施工速度の向上、杭としての品質確保を目的とし、母材鋼管と同等の耐荷性能を有する機械式ネジ継手（カップラー式ネジ継手）を用いる。
- 4) 改良体は硬化材（セメントミルク）の高圧噴射攪拌によるものであり、土質条件や支持力等の要求性能に応じて造成径 600mm～800mm の改良体を造成する。
- 5) 改良体強度は、土質条件や支持力等の要求性能に応じた硬化材の配合・セメント添加量を設定し、設計上要求される一軸圧縮強度を確保する。（目安として、中間層砂質土：4～5N/mm²、中間層粘性土：2～3N/mm²、支持層：10N/mm²）
- 6) 鋼管内および削孔壁部にパッカーによって加圧充填するグラウトは、セメントミルクを標準とし、設計基準強度は 30N/mm² である。
- 7) 支持力機構は、上部構造から杭頭の鋼管に伝達された軸方向荷重に対して、付着性能を向上させた節突起付き鋼管と改良体の一体化、および拡張した改良体での地盤抵抗によって大きな軸方向支持力を確保するものである。
- 8) 杭頭の鋼管に伝達された水平、モーメント荷重に対しては、高張力鋼管の曲げ抵抗、および、改良体の水平地盤抵抗によって、比較的大きな杭の水平抵抗を確保する。
- 9) 杭頭結合部は、支圧板を取り付けた鋼管をフーチングに定着させる支圧板方式を標準とする。

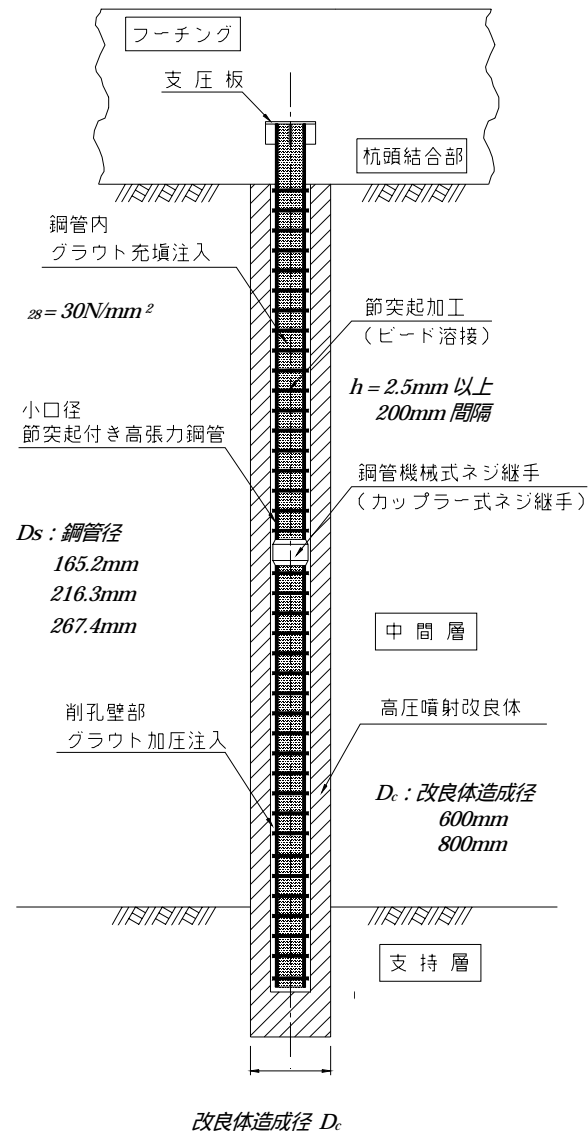


図-2.4.1 STマイクロパイル工法タイプ の構造

表-2.4.1 ST マイクロパイル工法 タイプ の標準的な杭諸元

鋼 管		節突起加工の標準仕様		改良体造成径 D_c (mm)
鋼管外径 D_s (mm)	鋼管肉厚 t (mm)	節加工高さ h (mm)	節加工間隔 p (mm)	
165.2	7.1	2.5 以上	200	600mm 800mm
216.3	12.0			
267.4	12.0			

2.4.2 施工方法

(1) 施工手順

図-2.4.2 に ST マイクロパイル タイプ の標準的な施工手順を示す。

施工手順としては、小型の多機能ベースマシンで硬化材（セメントミルク）の高圧噴射改良体を造成し、その改良体を削孔して小口径の節突起付き鋼管を挿入、グラウトを加圧充填して改良体に定着するものである。

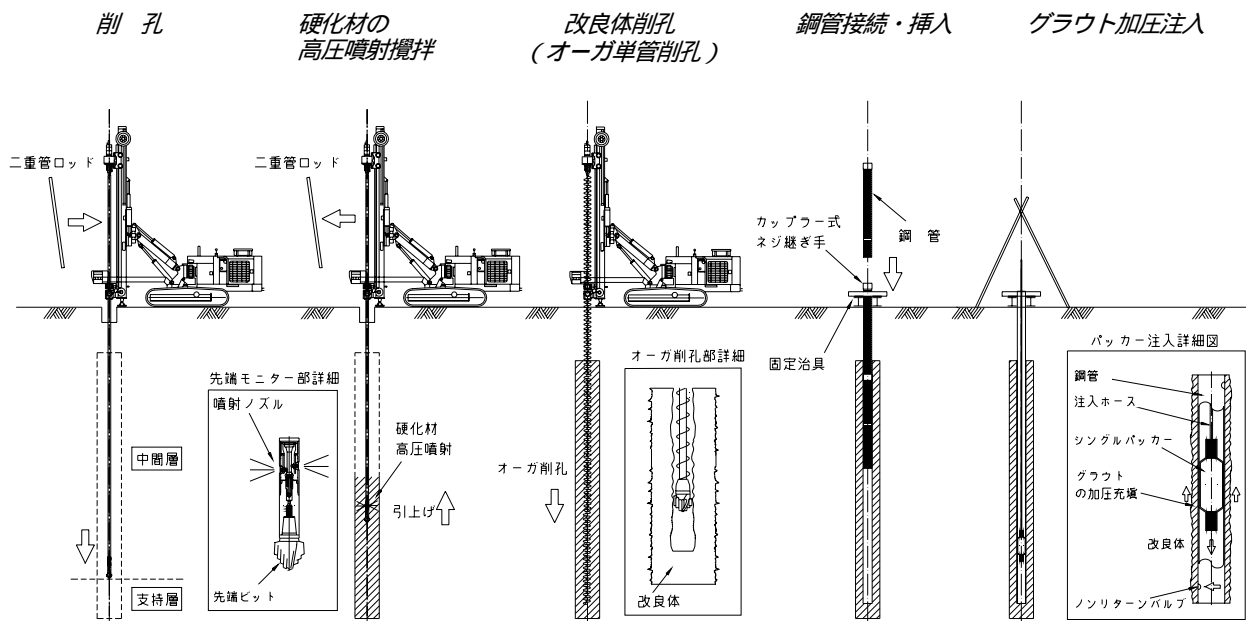


図-2.4.2 ST マイクロパイル タイプ の標準的な施工手順

(2) 施工方法

削孔

削孔造成ロッドの先端に削孔ビット（図-2.4.3）を装着し、ロータリー削孔を行う。転石・玉石、巨礫層が存在する地盤において、ダウンザホールハンマーによるガイドホール削孔を行った後、改良体を造成した施工実績がある¹³⁾。

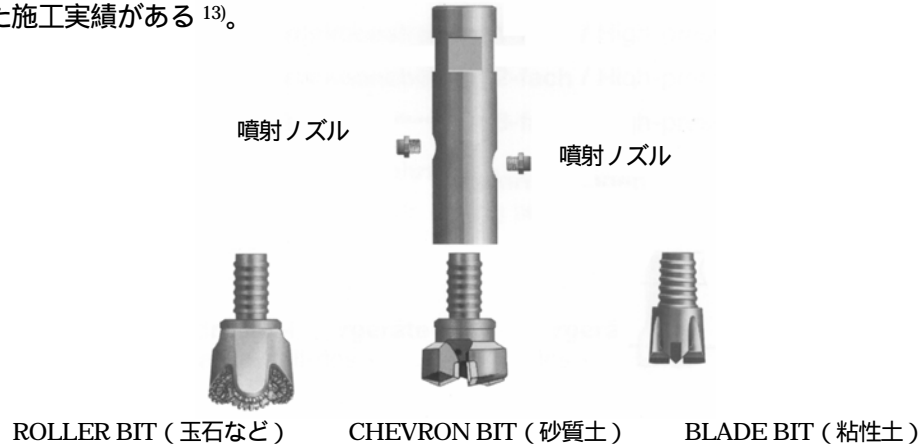


図-2.4.3 先端削孔ビットの種類

硬化材の高圧噴射攪拌

改良体の造成は、図-2.4.4 に示すツインノズル方式の高圧噴射攪拌（GTM 工法）によって行う。図-2.4.5 に改良体造成システムの概要を示す。改良体の造成は、清水の高圧噴射による地盤のプレカット工程、硬化材（セメントミルク）の超高圧噴射による改良体の造成工程を組み合わせたシステムとする。プレカット工程とは、削孔時に超高圧水（清水）を噴射し、改良対象土塊を事前に切削・攪拌するものであり、造成工程とはプレカット時の高圧水を超高圧硬化材に切り替え、噴射・攪拌しながらロッドを引き上げるものである。この造成システムにより、排泥処分量の低減、硬化材噴射時の排土がスムーズに行われ、効率的に改良体を造成するものである。

改良体の造成は、土質条件、目標とする改良体造成径・強度に応じた引上げ速度、吐出流量、吐出圧力、硬化材配合を設定し、造成径 600～800mm の改良体を造成する。また、設計において要求される改良体の一軸圧縮強度 q_u は、目安として中間砂質土層で 4～5N/mm²、中間粘性土層で 2～3N/mm²、先端支持層で 10N/mm² であり、試験施工では比較的高強度の改良体を造成している。



図-2.4.4 二重管ツインノズルによる超高圧噴射

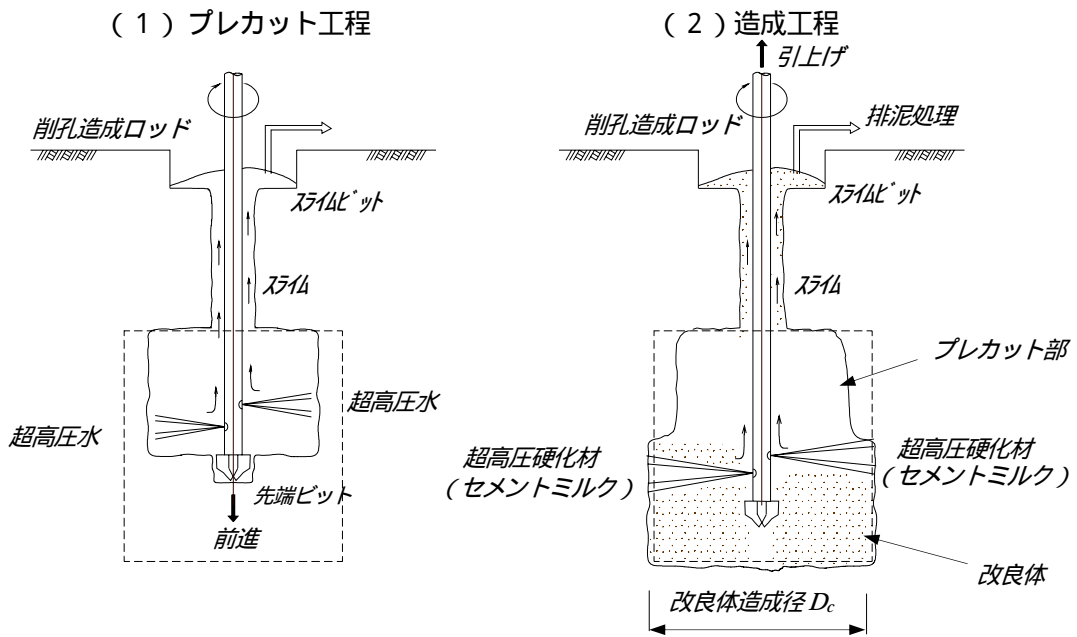


図-2.4.5 改良体の造成システム (GTM 工法¹²⁾)

改良体削孔

改良体の造成後、図-2.4.6～図-2.4.7に示すようなロータリー式のオーガー単管削孔（あるいは、鋼管をケーシングとしたオーガ併用の乾式二重管削孔）を行う。

鋼管挿入

鋼管をカップラー式ネジ継手で接続しながら、孔壁内に鋼管を挿入する（図-2.4.8）。



図-2.4.6 オーガー削孔状況



図-2.4.7 オーガー先端ビット例



図-2.4.8 鋼管挿入状況

グラウト加圧注入

鋼管の挿入完了後、ST マイクロパイル タイプ と同じグラウトの段階加圧注入によって削孔壁部にグラウトを加圧充填し、改良体中に鋼管を定着させる。養生完了後、掘削し杭頭結合部の施工を行う。

2.4.3 施工実績

(1) 試験施工

兵庫県鳴尾浜(平成10年)¹⁴⁾



図-2.4.9 試験施工状況



(造成径 700mm)



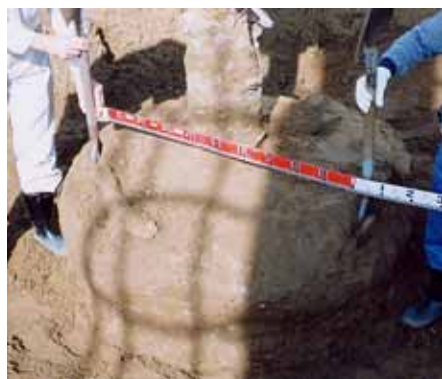
(造成径 800mm)

図-2.4.10 改良体出来形

茨城県鹿島郡(平成11年, 12年)^{15),16),17)}



図-2.4.11 試験施工状況



(杭頭部造成径 1,000mm)



(先端部造成径 900mm)

図-2.4.12 改良体出来形

(2) 載荷試験

鉛直載荷試験

a) 鉛直押し込み載荷試験¹⁵⁾



図-2.4.13 鉛直押し込み載荷試験状況

b) 鉛直引抜き載荷試験¹⁶⁾



図-2.4.14 鉛直引抜き載荷試験状況

水平交番載荷試験^{17),18)}



図-2.4.15 水平交番載荷試験状況



図-2.4.16 試験終了後の杭頭状況

2.4.4 特長

(1) 設計面の特長

節突起付き鋼管と改良体との一体化、および、改良体の地盤抵抗によって、小口径杭にも拘わらず大きな軸方向支持力を確保できる。

高張力鋼管の曲げ抵抗、および、改良体の水平地盤抵抗によって比較的大きな杭の水平抵抗を期待できる。

高張力鋼管を用いることにより、大きな杭体の耐力を確保できる。

高圧噴射攪拌技術は、液状化対策等の地盤改良としても併用することが可能である。

(2) 施工面の特長

施工機械が小さく、移動やプラントとの遠隔施工が可能のため、空頭制限下での施工、構造物との近接施工、都市狭隘部・地下空間・土留締切内・1車線規制内などの制約条件下における施工が可能である。

杭の施工において高圧噴射攪拌の地盤改良を先行するため、削孔等によって地盤をゆるめることがない。

小径の削孔で比較的大きな改良体を造成するため、既設構造物等による施工上の制約が少なく、近接構造物へ与える影響が少ない。

ロータリー式の高圧噴射攪拌、改良体削孔のため、騒音・振動を最小限に抑えることができる。

【備考】

・「GTM 工法」は東洋建設(株)のPATで、NIJ 研究会は実施許諾権を受けて施工しています。

・特許第 2739641 号、特許第 2923758 号、特許第 3689840 号、特許第 3694849 号

・「既設橋梁基礎の耐震補強技術(マイクロパイル)」を、独立行政法人土木研究所・(財)先端建設技術センター・民間 12 社で共同開発し、ST マイクロパイル タイプ を用いた「既設構造物基礎の耐震補強工法」の特許共同出願を行っています。特許第 3448629 号

2.5 使用鋼管

(1) 適用可能な鋼管サイズ

表-2.5.1 に ST マイクロパイル工法に適用可能な鋼管サイズの例を示す。

表-2.5.1 ST マイクロパイルに適用可能な鋼管サイズの例

鋼管外径 D_s (mm)	鋼管肉厚 t (mm)	単位長さ (m)
165.2	7.1	1.5 ~ 6.0 施工条件に 応じて検討
216.3	12.0	
267.4	12.0	

(2) 適用可能な鋼種

表-2.5.2 に ST マイクロパイルに適用可能な鋼管の鋼種、機械的性質を示す。

表-2.5.2 ST マイクロパイルに適用可能な鋼管の鋼種、機械的性質

鋼種	降伏点 または耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)		規格	
			11号試験片 12号試験片 縦方向	5号試験片 横方向		
一般構造用 炭素鋼管 ^{注)}	STK540	390 以上	540 以上	20 以上	16 以上	JIS G 3444
高張力鋼管	STKT590	440 以上	590 ~ 740	20 以上	16 以上	JIS G 3474
機械構造用 高張力鋼管	HT590	490 以上	590 以上	20 以上	-	
	HT780	690 以上	780 以上	15 以上	-	

注) 設計条件によっては STK400, STK490 も適用可能である

(3) 鋼管のカップラー式ネジ継手

表-2.5.3、図-2.5.1 に鋼管のカップラー式ネジ継手の一例を示す。本継手は、試験により母材鋼管と同等の耐荷性能が確認されたものである。

表- 2.5.3 カップラー式ネジ継手の一例

母材鋼管		カップラー式ネジ継手	
外径 D_s (mm)	肉厚 t (mm)	外径 D_s (mm)	長さ l (mm)
165.2	7.1	176	140
216.3	12.0	230	267
267.4	12.0	280	303



図-2.5.1 カップラー式ネジ継手の一例

(4) 節突起加工

ST マイクロパイルに用いる鋼管は付着性能を向上させるため、表面にビード溶接による節突起加工を施した鋼管を用いる。図-2.5.2 に節突起加工を施した鋼管、表-2.5.4 に標準節加工仕様を示す。



(ST マイクロパイル タイプ) (ST マイクロパイル タイプ)

図-2.5.2 節突起付き鋼管

表-2.5.4 ST マイクロパイル鋼管の節突起加工の標準仕様

	節突起加工の標準仕様		
	節加工方法	溶接高さ h	節加工間隔 p
ST マイクロパイル タイプ	ビード溶接	2.5mm 以上	600mm
ST マイクロパイル タイプ			200mm

(5) 各性能試験

節突起付き鋼管の付着性能試験

セメントミルク固化体中に定着させた節突起付き鋼棒の引抜き载荷試験¹⁹⁾を行い、節仕様(溶接高さ、節間隔)・固化体強度～鋼管付着強度の関係式を設定した。

鋼管継手の性能試験(継手有無での引張・曲げ試験)

高張力鋼管の継手有り・無しで軸方向引張試験・曲げ試験を実施し、カップラー式ネジ継手²⁰⁾を含んだ杭体(鋼管)が母材同等の耐荷性能を有することを確認した。



図-2.5.3 節突起付き鋼管の付着性能試験



図-2.5.4 鋼管(継手有無)の曲げ試験

2.6 使用機械

本工法で使用する削孔機械の標準仕様を、表-2.6.1 に示す。また、表-2.6.2 に機械概要図を示す。削孔機械は空頭制限高さや施工ヤード広さ等の制約条件、杭諸元などを考慮して選定する。

表-2.6.1 削孔機械の標準仕様

削孔機種	適用杭径 (mm)	空頭制限 (m) 施工必要高さ	使用鋼管長 (m/本)
SM405	100~300	11.2m以上	6m/本
SM400	100~300	6.2m以上	3m/本
SM400-S	100~300	4.2m以上	1.5m/本
SM103HD	100~225	3.7m以上	1.5m/本

(注) 1. 空頭制限 3.5m 未満は、1m の鋼管の使用を検討する。

2. SM400-S は、空頭制限によっては 2.0m/本の鋼管が利用可能。



図-2.6.1 削孔機械 SM405



図-2.6.2 削孔機械 SM-400



図-2.6.3 削孔機械 SM-103HD



図-2.6.4 削孔機械 SM400-S

[参考文献]

- 1) 例えば 酒井、坂本、木村、倉原、岡、小竹、山本：側壁支持力不足対策としてのマイクロパイルの設計，第 29 回土質工学研究発表会，1994.6
- 2) (独)土木研究所他：既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書(その3)，2002.9
- 3) 先端建設技術センター他：小口径鋼管を用いた組杭抑止杭工法 技術資料，2003.11
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書 下部構造編，1996.
- 5) 渡辺、野沢、遠山：L型擁壁に適用したマイクロパイルの施工例，土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.9
- 6) *Watanabe, Sakamoto, NIJ-CIRCLE: Reinforcement of foundations for small structure with micropiles : L-shaped retaining wall and snowshed foundations , Secound International Workshop on Micropiles , 1999.10*
- 7) 赤本、岡：埋立地におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験，第 34 回地盤工学研究発表会，1999.7
- 8) 黒崎、村田、小林、岡、三木：砂質地盤におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験(その1)，第 35 回地盤工学研究発表会，2000.6
- 9) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説 第一回改訂版，2002.5
- 10) 岡：小口径高張力鋼管を用いた斜面、擁壁の補強 STマイクロパイル工法の設計と施工 ，第 10 回地すべり防止・斜面安定講習会，総合土木研究所，2005.10
- 11) 三木、岡、村田、黒崎、小林：砂質地盤におけるマイクロパイルの水平載荷試験，第 35 回地盤工学研究発表会，2000.6
- 12) NIJ 研究会：高圧噴射攪拌工法(GTM工法)技術資料(改訂版)，2001.6
- 13) 久慈、渡邊、八田、小竹、木下：地下水の豊富な転石・玉石・砂礫地盤における高圧噴射攪拌地盤改良工の施工例，第 34 回地盤工学研究発表会，1999.7
- 14) 赤本、岡：埋立地におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験，第 34 回地盤工学研究発表会，1999.7
- 15) 村田、黒崎、岡、三木、斉藤：砂質地盤におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験(その2)，第 35 回地盤工学研究発表会，2000.6
- 16) 村田、黒崎、小林、岡、三木：地盤改良併用型マイクロパイルの引抜き載荷試験，第 36 回地盤工学研究発表会，2001.6
- 17) 三木、岡、村田、黒崎、小林：地盤改良併用型マイクロパイルの水平載荷試験，第 36 回地盤工学研究発表会，2001.6
- 18) 三木、岡、福井、大下：既設基礎の耐震補強に関する検討(その4) - STマイクロパイル工法 - ，土木学会「第 5 回耐震補強・補修技術及び耐震診断技術に関するシンポジウム」，2001.7
- 19) 村田、小林、芦原、黒崎：高張力鋼を用いたマイクロパイルの芯材用鋼管の開発(その1) - 付着性能試験結果 - ，土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.9
- 20) 黒崎、村田、小林、芦原：高張力鋼を用いたマイクロパイルの芯材用鋼管の開発(その2) - 材料性能試験結果 - ，土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.9

NIJ研究会

NIJ研究会は、超高圧噴流体の持つエネルギーを最大限に活用する高圧噴射攪拌式地盤改良工法並びにマイクロパイル工法の普及・発展・技術の向上をはかり、信頼性に優れ、安全で経済的な改良・補強工、構造物の支持力対策工などの発展に寄与することを目的に設立された民間の共同研究開発組織です。

STマイクロパイル工法は東洋建設(株)のPAT.で、NIJ研究会は実施権許諾を受けて施工しています。

正会員

(株)親和テクノ
タチバナ工業(株)
利根ジオテック(株)
日本基礎技術(株)

準会員

極東工業(株)
大豊工業(株)
(株)タシマボーリング

テクノ工業(株)
東亜グラウト工業(株)
舟本ボーリング(有)

賛助会員

アトラスコプコ(株)
(有)エム・システム
(株)ケー・エフ・シー
新日本製鐵(株)
住友金属工業(株)
ソイルメックジャパン(株)

(株)ティーエフティー
テクノドリル(株)
日本チューブラープロダクツ(株)
(株)樋口技工
三菱マテリアル(株)

NIJ研究会 URL <http://www.nij-gr.com>

東日本支部事務局 東京都港区芝2-5-10 (株)ケー・エフ・シー技術部内
TEL:03-3796-8517 FAX:03-3798-8850 E-mail:kfc@nij-gr.com

西日本支部事務局 大分県中津市大字東浜332番地 日本チューブラープロダクツ(株)内
TEL:0979-22-1279 FAX:0979-22-2492 E-mail:ntpc@nij-gr.com