ＳＴマイクロパイル工法

STRONG - TUBFIX　MICROPILES

タイプＩ

設計・施工マニュアル

２０２３年９月

ＮＩＪ研究会

まえがき

近年、既設構造物の維持・補修、地震時における地盤災害の防止が注目されていますが、既設基礎の補強・造成宅地斜面等の安定対策においては、低空頭や狭隘箇所など厳しい制約の中での施工が求められます。また、従来にも増して建設費の削減を図ることが必要であり、施工時の安全性の確保、施工機械・資材の小型化、部材の耐久性等を考慮した、より合理的で適用範囲の広い既設基礎の補強・斜面の安定対策工法の開発が望まれています。このため、小口径杭（マイクロパイル；φ300mm 以下）を用いた既設基礎の補強技術の開発に関する共同研究等が行われ、最近では既設橋梁基礎の耐震工事だけでなく、擁壁・軽量盛土の基礎、地すべり・急傾斜地崩壊対策工など、数多くの施工報告が見られるようになっています。

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撹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、安全で経済的な基礎地盤の改良・補強工、構造物の支持力対策工・既設構造物基礎の補強工などの整備に寄与することを目的として、平成９年に設立された民間の共同研究開発組織です。

ＮＩＪ研究会では、欧州で発達した「マイクロパイル；Drilled Foundations」関連施工技術を導入するとともに、小口径杭に適した削孔技術・削孔ツールス・補強鋼管の開発改良を行い、削孔性能に優れ、複雑な地盤条件に柔軟に対応できる小口径杭工法として「ST マイクロパイル工法」を確立しました。

今後は、さらに工事経験、施工実績を踏まえ、ニーズの多様化に対応できるよう、技術力の向上に努める所存ですので、関係各位のご指導の程よろしくお願い申し上げます。

2023 年 9 月

編集　　ＮＩＪ研究会運営委員会

URL http://www.nij-gr.com

STマイクロパイル工法タイプⅠ　設計・施工マニュアル

目　　次

第１編　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

１．１　マイクロパイルの概要 …… 1

１．２　マイクロパイルの分類 …… 2

２章　ST マイクロパイル工法の概要 …… 3

２．１　ST マイクロパイル工法 …… 3

２．２　ST マイクロパイル工法の適用分野 …… 5

２．３　ST マイクロパイル工法タイプⅠの概要 …… 6

2.3.1　構　造 …… 6

2.3.2　施工方法 …… 7

2.3.3　施工実績 …… 10

2.3.4　特　長 …… 15

２．４　ST マイクロパイル工法タイプⅡの概要 …… 16

2.4.1　構　造 …… 17

2.4.2　施工方法 …… 18

2.4.3　施工実績 …… 20

2.4.4　特　長 …… 22

２．５　使用鋼管 …… 23

２．６　使用機械 …… 25

［参考資料］　ST マイクロパイル工法関連の技術文献・資料リスト …… 27

第２編　STマイクロパイル工法タイプⅠ　設計・施工マニュアル

１章　総　則 …… 31

１．１　マニュアルの適用範囲 …… 31

１．２　工法の概要 …… 32

１．３　設計・施工上の留意事項 …… 34

１．４　用語の定義 …… 36

２章　材　料 …… 39

２．１　鋼管および継手 …… 39

2.1.1　鋼　管 …… 39

2.1.2　鋼管継手 …… 41

２．２　杭頭結合部材 …… 42

２．３　グラウト …… 43

2.3.1　グラウトの品質 …… 43

2.3.2　グラウト材料 …… 44

２．４　設計に用いる物理定数 …… 45

２．５　許容応力度 …… 46
３章　常時およびレベル１地震時の設計 …… 48
３．１　設計の基本 …… 48
３．２　杭の配列 …… 50
３．３　杭の許容支持力 …… 51
3.3.1　一般事項 …… 51
3.3.2　軸方向許容押込み支持力 …… 52
3.3.3　地盤から決まる極限押込み支持力の推定 …… 53
3.3.4　軸方向許容引抜き支持力 …… 59
３．４　水平方向地盤反力係数 …… 60
３．５　杭のバネ定数 …… 63
3.5.1　杭の軸方向バネ定数 …… 63
3.5.2　杭の軸直角方向バネ定数 …… 65
３．６　杭反力および変位の計算 …… 66
３．７　杭体の設計 …… 66
３．８　杭頭結合部の設計 …… 68
３．９　杭と工場製プレキャスト製品を結合する技術 …… 76
３．１０　鋼管の腐食しろ …… 81
４章　レベル２地震時の設計 …… 82
４．１　設計の基本 …… 82
４．２　断面力、杭頭反力および変位の計算 …… 84
4.2.1　解析モデル …… 84
4.2.2　軸方向の抵抗特性 …… 85
4.2.3　軸直角方向の抵抗特性 …… 86
4.2.4　杭体の曲げモーメント～曲率の関係 …… 87
4.2.5　地震時に不安定となる地盤がある場合の耐震設計 …… 89
４．３　設計の照査 …… 90
4.3.1　基礎の降伏 …… 90
4.3.2　基礎の塑性率の制限値 …… 90
4.3.3　変位の制限値 …… 92
4.3.4　部材の照査 …… 92
５章　施　工 …… 93
５．１　施工に関する一般事項 …… 93
5.1.1　基本事項 …… 93
5.1.2　事前調査 …… 93
5.1.3　施工計画書 …… 95
５．２　施工の概要 …… 96
5.2.1　施工手順 …… 96
5.2.2　主要施工機械設備 …… 98

５．３　削　孔 …… 101
5.3.1　削孔方式 …… 101
5.3.2　削孔方法 …… 107
５．４　鋼管の設置・接続 …… 109
5.4.1　鋼管の運搬・仮置・検査 …… 109
5.4.2　鋼管の設置・接続 …… 109
５．５　グラウト注入 …… 110
5.5.1　グラウトの配合 …… 110
5.5.2　材料の計量・練混ぜ …… 110
5.5.3　注入方式 …… 111
5.5.4　注入方法 …… 113
５．６　杭頭結合部の施工 …… 115
５．７　施工管理 …… 116
5.7.1　施工管理 …… 116
5.7.2　品質管理 …… 116
5.7.3　工程管理 …… 117
5.7.4　安全管理 …… 117
5.7.5　施工記録 …… 118
６章　設計計算例 …… 119
６．１　逆Ｔ型擁壁の基礎杭 …… 119
６．２　張出し式橋脚基礎の補強設計 …… 135
６．３　逆Ｔ式橋台基礎の補強設計 …… 146
６．４　新設橋台基礎の設計 …… 153

第３編　NIJ 研究会会員名簿

■正会員 …… 158
■準会員 …… 158
■賛助会員 …… 158
■事務局 …… 159

第１編　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）

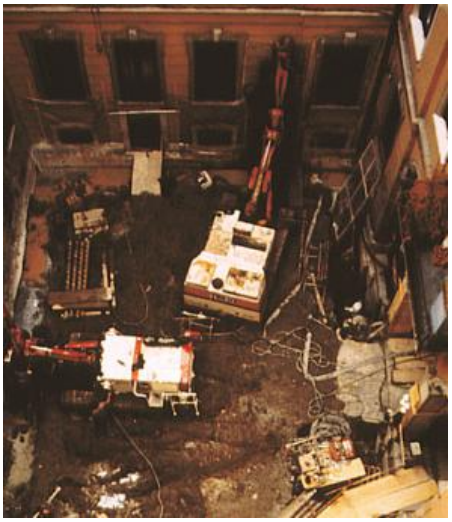


図-1.1.3　海外でのマイクロパイル施工事例
（狭隘地でのマイクロパイル打設）

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Ⅰは（c）に、ST マイクロパイル工法タイプⅡ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）	φ150mm 以下
（b）	鋼管、異形鋼棒	グラウト材の注入（部分定着）	φ300mm 以下
（c）	高張力鋼管	グラウト材の注入（全面定着）	φ300mm 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φ300mm 以下 改良体φ600mm～φ1000mm

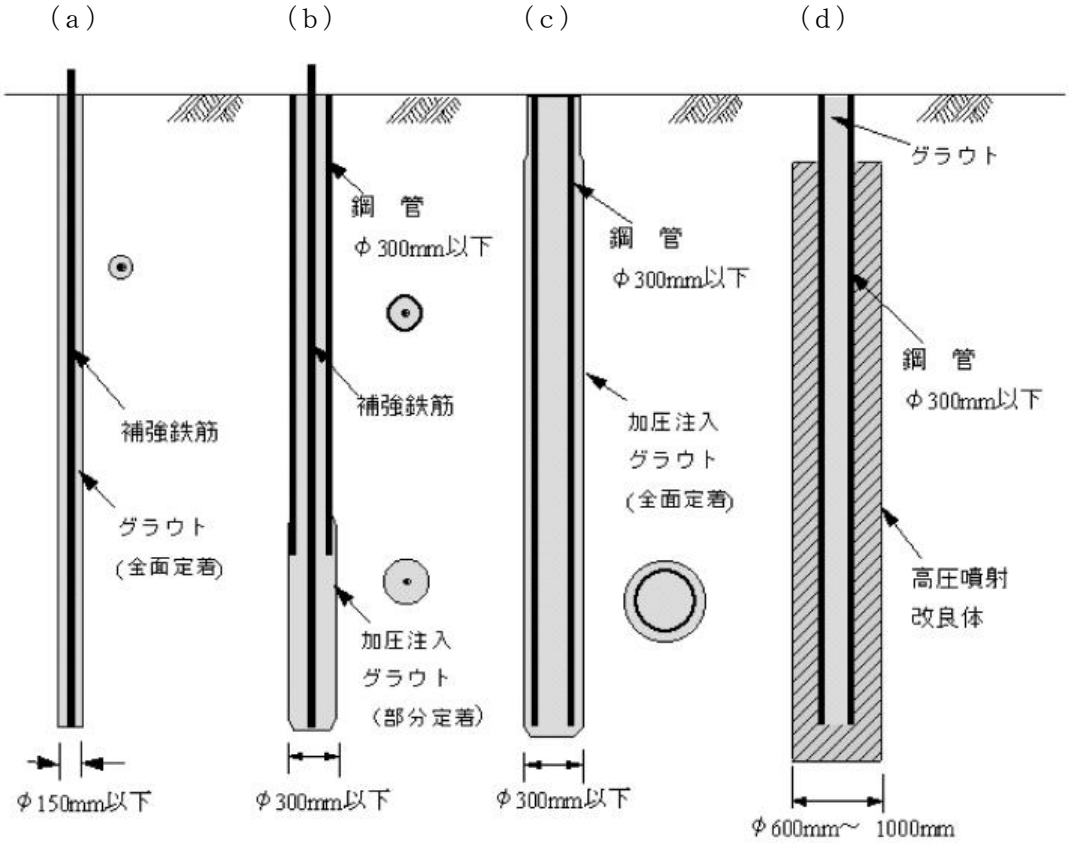


図-1.2.1　国内におけるマイクロパイルの分類（参考）

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Ⅰ

小口径鋼管（φ300mm 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Ⅱ

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（φ300mm 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Ⅰ・タイプⅡの特長・比較表

条件 ＼ 工法				タイプⅠ	タイプⅡ
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～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 程度以上）		△ グラウト材の選定	×
		地下水流速（3m/min 以上）		×	×
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	◎ 加圧ｸﾞ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					

◎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。

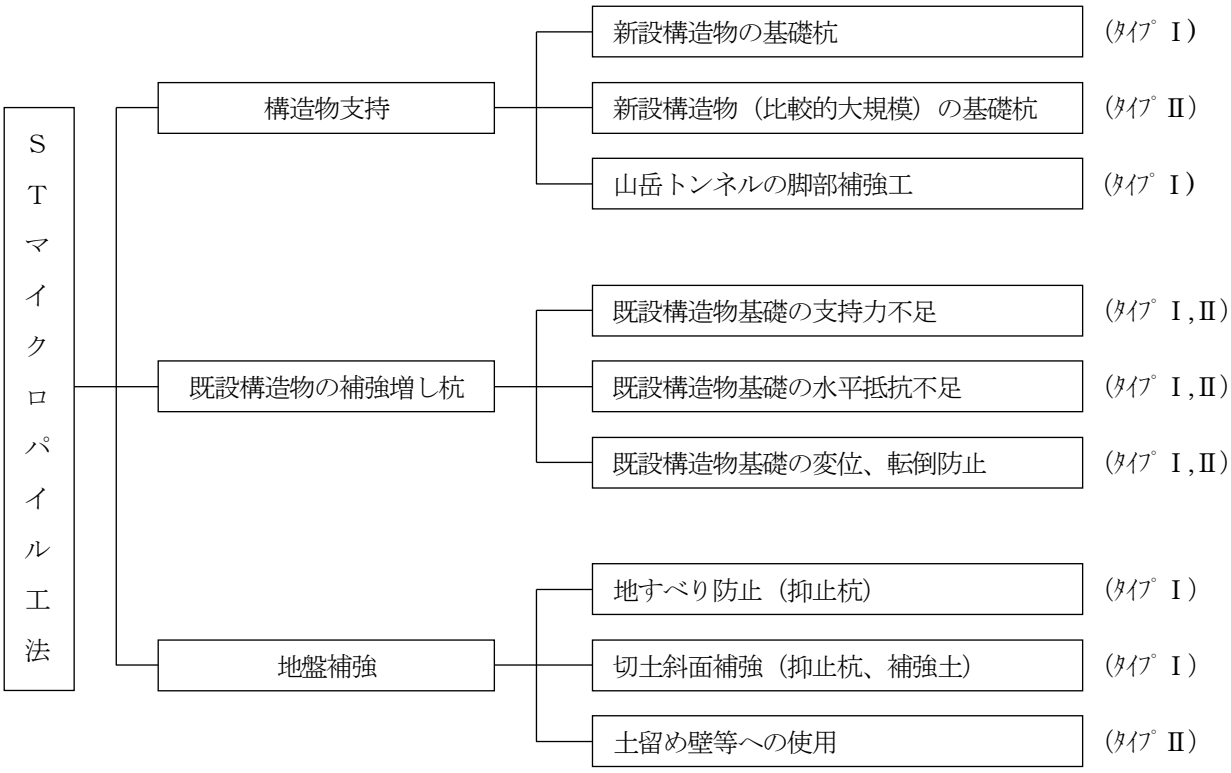


図-2.2.1　ST マイクロパイル工法の適用分野

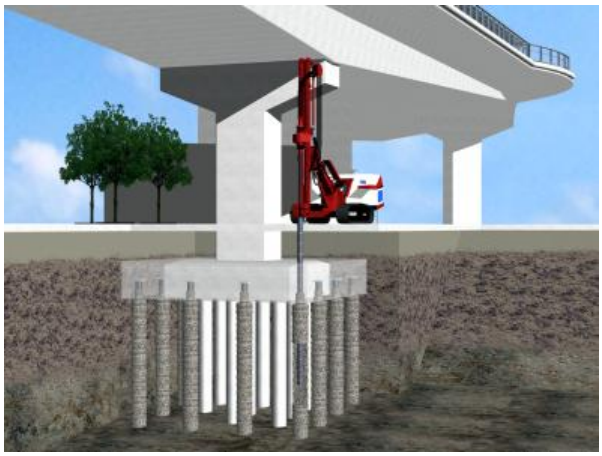


図-2.2.2　既設構造物基礎の補強増し杭 [2)]
（ST マイクロパイル タイプⅡ）

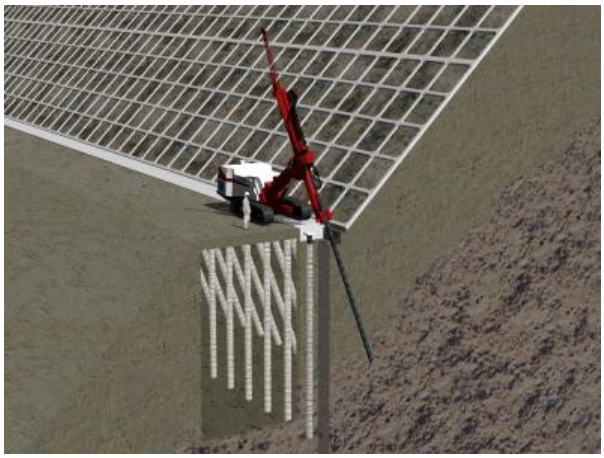


図-2.2.3　切土斜面補強（組杭形式抑止杭）[3)]
（ST マイクロパイル タイプⅠ）

2.3　ST マイクロパイル工法 タイプⅠの概要

2.3.1　構　造

ST マイクロパイル工法 タイプⅠ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/mm² 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。

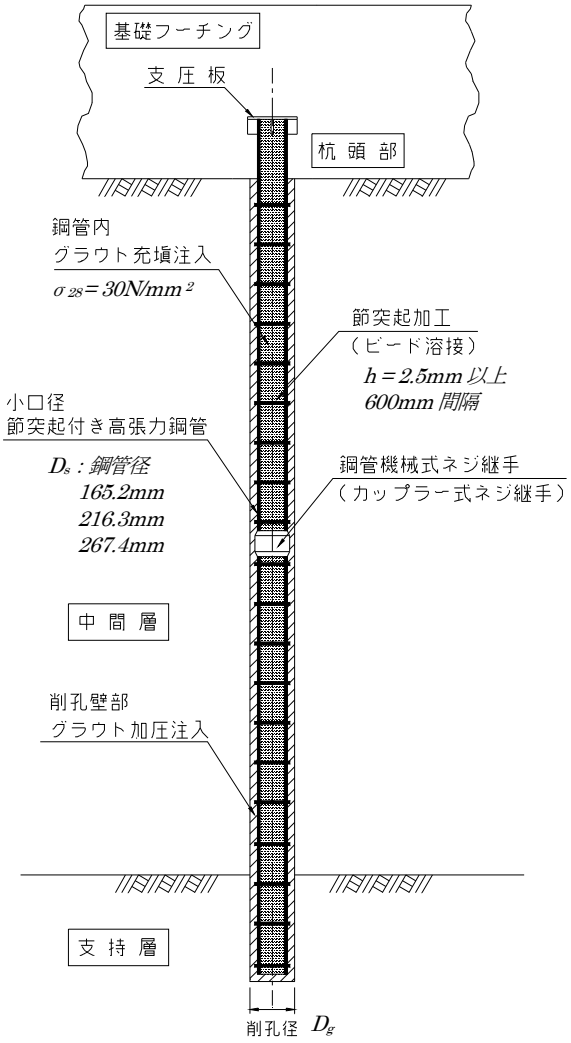


図-2.3.1 ST マイクロパイル工法タイプⅠの構造

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Ⅳ[4)] による一般的な鋼管杭の結合方法も可能である。

表-2.3.1　ST マイクロパイル工法 タイプⅠ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
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)	(標準仕様)
165.2	7.1	2.5 以上	600	STK540 STKT590*
216.3	12.0			
267.4	12.0			

※　STKT590；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、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。

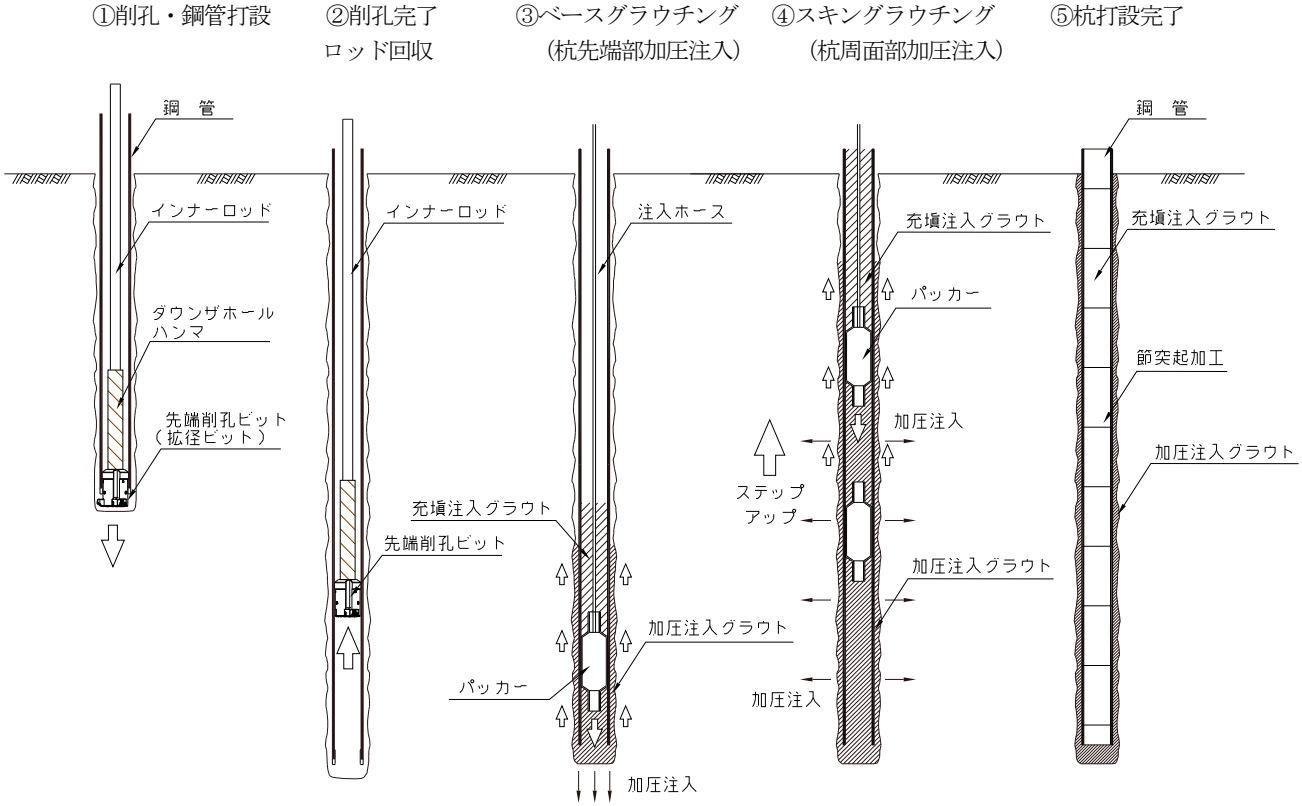


図-2.3.2　ST マイクロパイル工法 タイプⅠの標準的な施工手順

（2）施工方法

①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(D.T.H)による回転打撃削孔方式を選定する。

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。

②削孔完了、ロッド・ツール回収

所定の深度まで削孔完了後、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。

③ベースグラウチング（杭先端部の加圧注入）

鋼管内にパッカー（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 0.2～1.0MPa 程度の注入圧力を加えることができる。

④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 間隔で千鳥に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。

⑤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、養生完了後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　拡径ビット

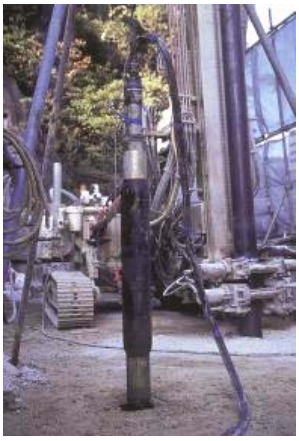


図-2.3.5　注入用パッカー

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削孔（地上駆動装置式）と D.T.H 削孔（地下駆動装置式）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（φ100～φ300㎜）が多く、大深度（40m 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。

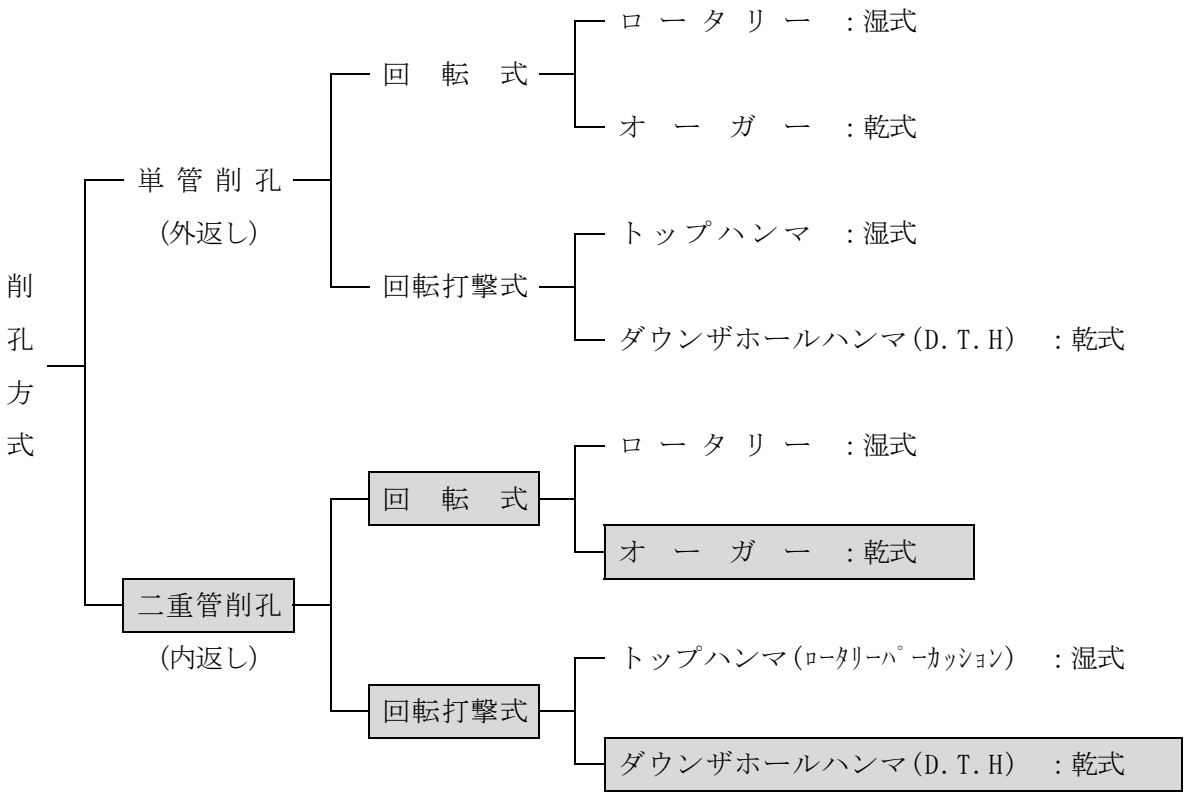


図-2.3.7　　削孔方式の分類

2.3.3　施工実績

（1）　施工例

①山岳急峻地における新設Ｌ型擁壁の基礎杭[5)]

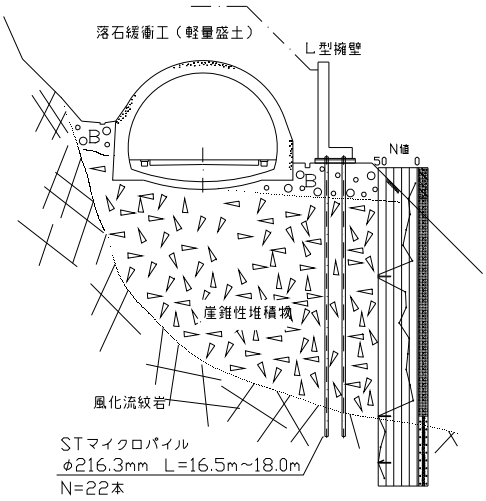


図-2.3.8　Ｌ型擁壁概要図

図-2.3.9　Ｌ型擁壁基礎杭施工状況

②空頭制限下における既設スノーシェッド基礎の補強[6)]

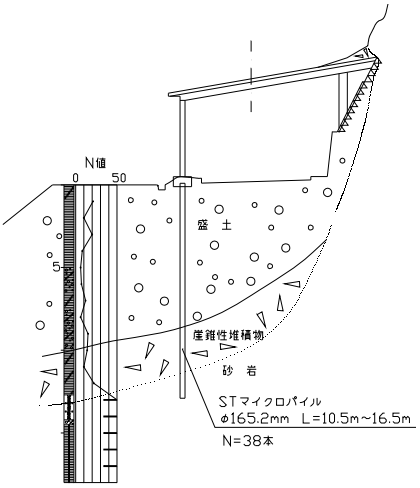


図-2.3.10　スノーシェッド既設基礎補強概要図

図-2.3.11　スノーシェッド基礎補強状況

③狭隘・傾斜地における既設擁壁の補強

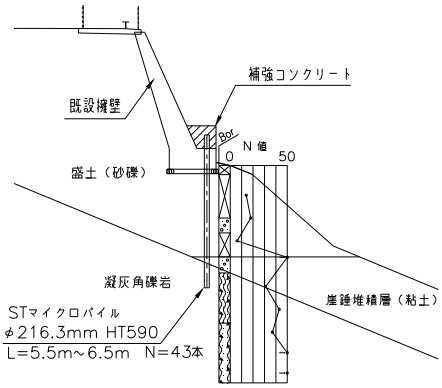


図-2.3.12　既設擁壁の補強概要図

図-2.3.13　既設擁壁の補強状況

④狭隘・傾斜地における新設擁壁の基礎杭

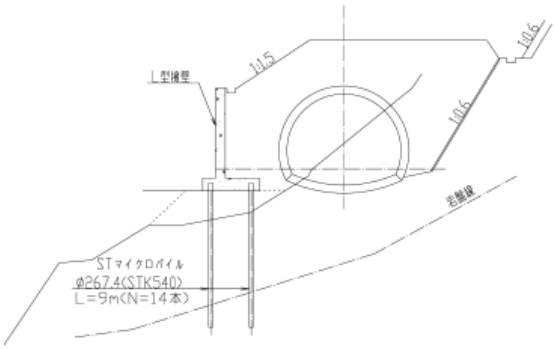


図-2.3.14　新設擁壁の基礎概要図

図-2.3.15　新設擁壁基礎施工状況

⑤住宅地における既設貯水槽の耐震補強

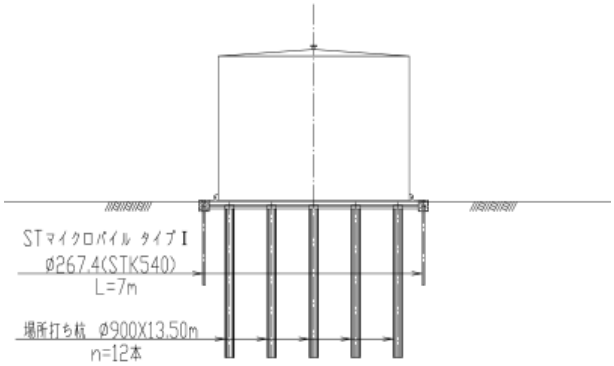


図-2.3.16　貯水槽耐震補強概要図

図-2.3.17　耐震補強施工状況

⑥稼働中の工場内での基礎杭

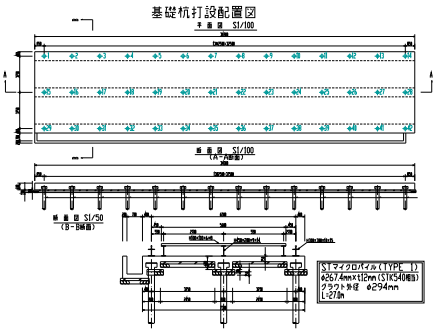


図-2.3.18　基礎杭配置図

図-2.3.19　基礎杭施工状況

⑦狭隘・傾斜地における盛土斜面補強[10)]

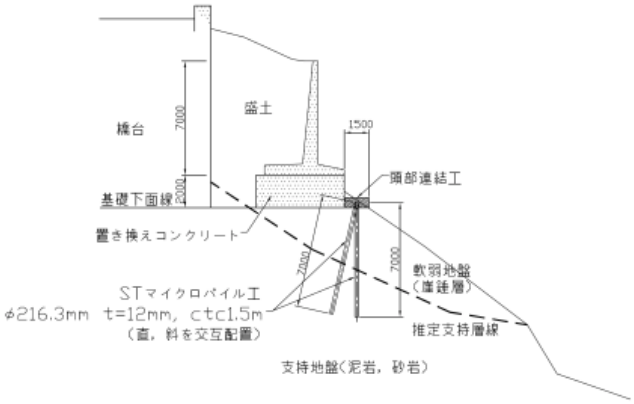


図-2.3.20　組杭抑止杭概要図

図-2.3.21　組杭抑止杭施工状況

⑧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

⑨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

図-2.3.25　側壁導坑施工状況

⑩軽量盛土工の基礎

図-2.3.26　概要図

図-2.3.27　施工状況

⑪既設水管橋の耐震補強

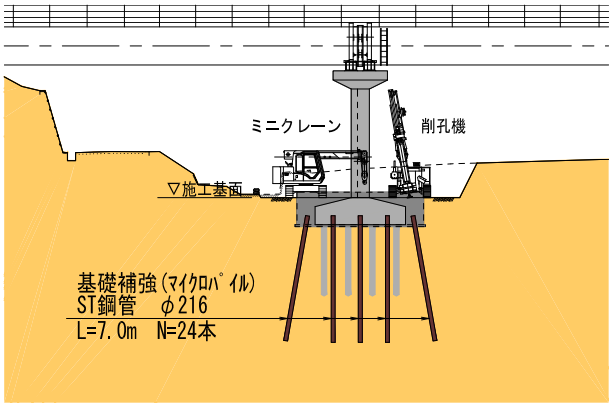


図-2.3.28　耐震補強概要図

図-2.3.29　増し杭補強状況

⑫地すべり対策工；抑止杭

図-2.3.30　施工状況（φ267.4mm）

図-2.3.31　施工状況（φ216.3mm）

（２） 載荷試験例

①鉛直載荷試験[7) 8)]

図-2.3.32　鉛直載荷試験状況[7)]

図-2.3.33　鉛直載荷試験状況[8)]

②急速載荷試験[9) 10)]

図-2.3.34　急速載荷試験状況[9)]

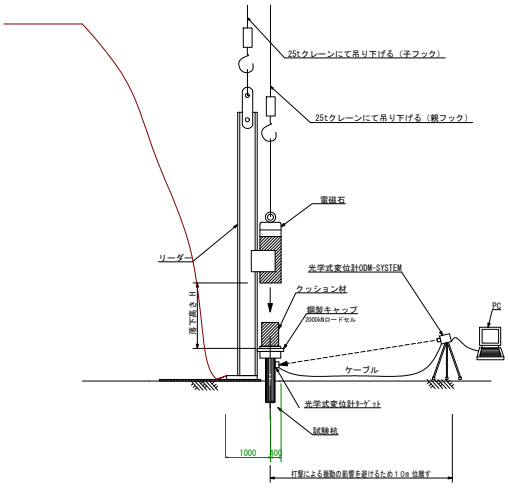


図-2.3.35　急速載荷試験状況[10)]

③水平交番載荷試験[11)]

図-2.3.36　水平交番載荷試験全景

図-2.3.37　水平交番載荷試験近影

2.3.4　特　長

（１）設計面の特長

①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。

②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。

③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。

④斜杭の削孔打設が可能であり、斜杭にすることによって大きな水平抵抗が確保できる。
なお、斜杭に±15°を超えた斜角を適用する場合については、直杭との設計上の整合性や施工上の観点から検討が必要である。

（２）施工面の特長

①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。

②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。

③ダウンザホールハンマ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。

④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。

⑤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 I 」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Ⅱの概要

2.4.1　構　造

ST マイクロパイル工法タイプⅡ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の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～1000mm 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。

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)　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。

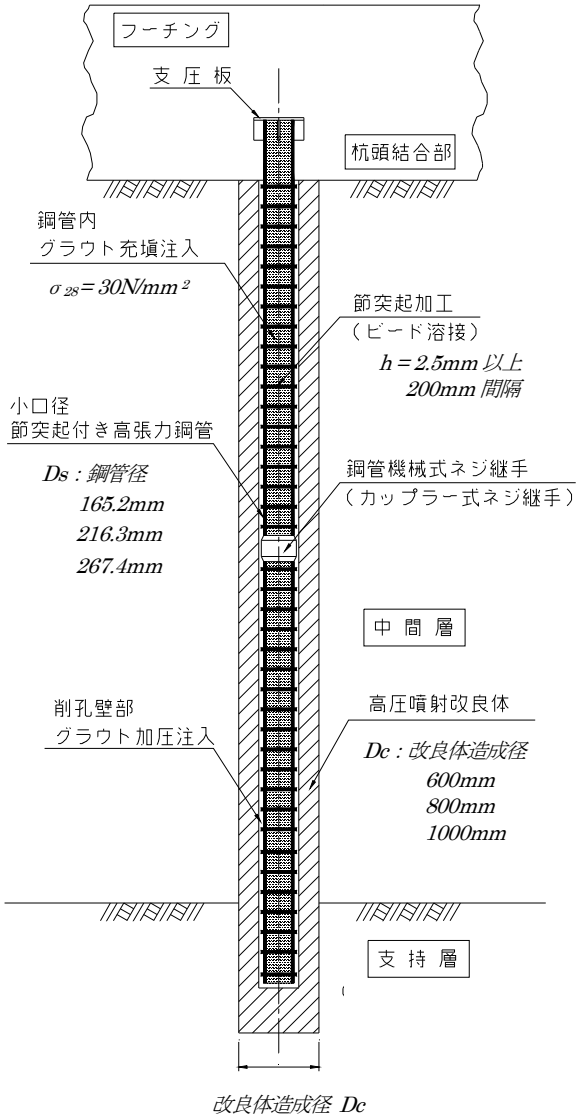


図-2.4.1　ST マイクロパイル工法 タイプⅡの構造

表-2.4.1　ST マイクロパイル工法 タイプⅡの標準的な杭諸元

鋼　　管		節突起加工の標準仕様		施工可能な改良体造成径
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)	Dc（mm）
165.2	7.1	2.5 以上	200	600～1000
216.3	12.0			
267.4	12.0			

2.4.2　施工概要

（1）施工手順

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、グラウトを注入・充填して改良体に定着するものである。また、改良体削孔・鋼管挿入方法にはオーガー単管削孔・鋼管後挿入方式と、鋼管をケーシングとして用いる二重管削孔・鋼管同時挿入方式があり、施工条件・使用機械に応じて選定することができる。　図-2.4.2 に、オーガー単管削孔・鋼管後挿入方式による ST マイクロパイル タイプⅡの施工手順を示す。また、図-2.4.3 に改良体造成用モニターを、図-2.4.4 にオーガー単管削孔状況を示す。

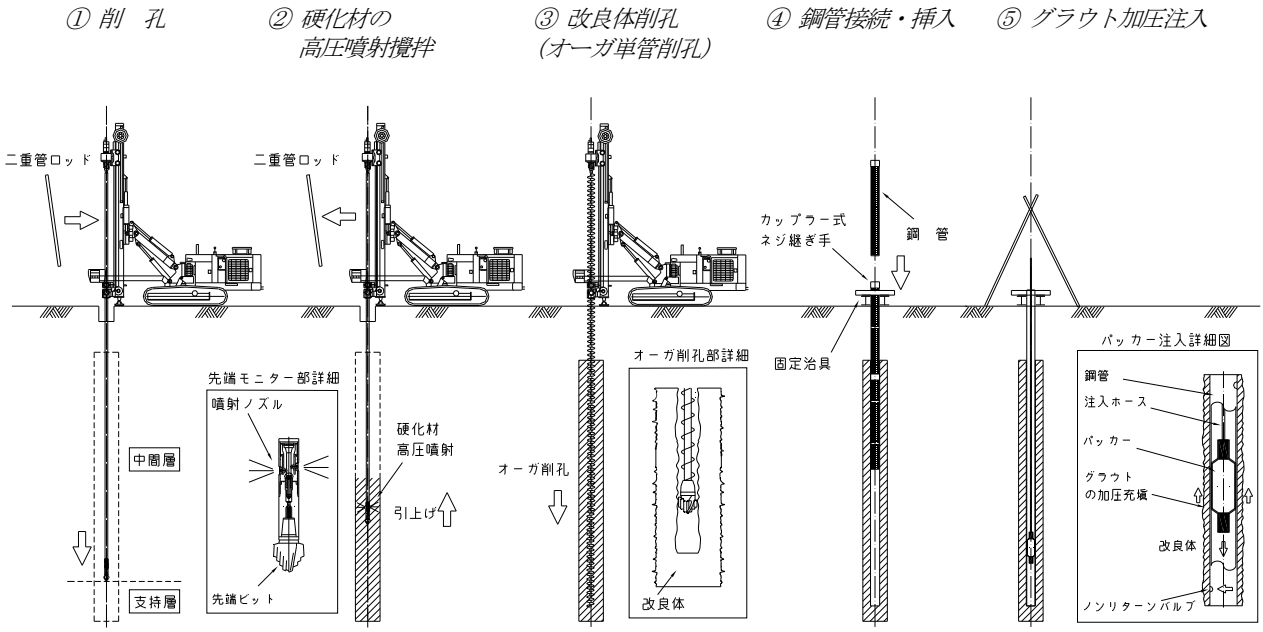


図-2.4.2　ST マイクロパイル タイプⅡの標準的な施工手順

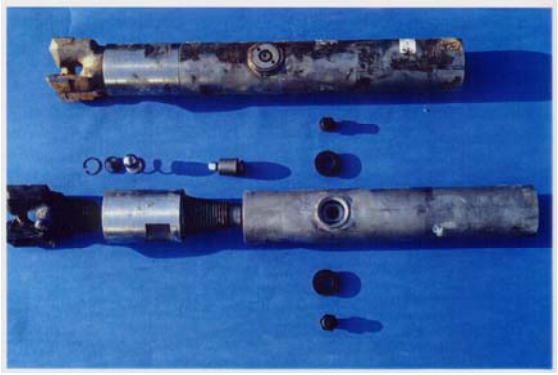


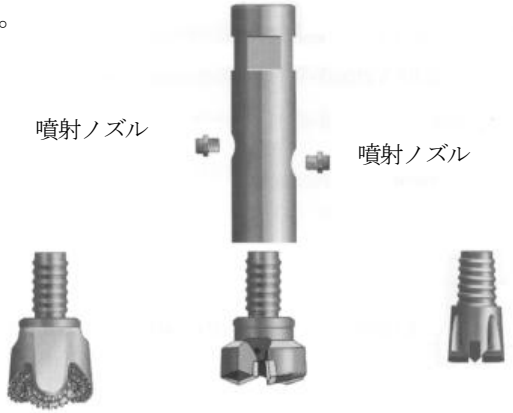
図-2.4.3　改良体造成用モニター

図-2.4.4　オーガー単管削孔状況

（２）施工方法

①削　孔

削孔造成ロッドの先端に削孔ビット（図-2.4.5）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]。



ROLLER BIT（玉石など）　CHEVRON BIT（砂質土）　BLADE BIT（粘性土）

図-2.4.5　先端削孔ビットの種類

②硬化材の高圧噴射攪拌

改良体の造成は、図-2.4.6 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-2.4.7 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 600～1000mm 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 3～5N/mm^2、中間粘性土層で 1～3N/mm^2、先端支持層で 10N/mm^2 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-2.4.6　二重管ツインノズルによる超高圧噴射

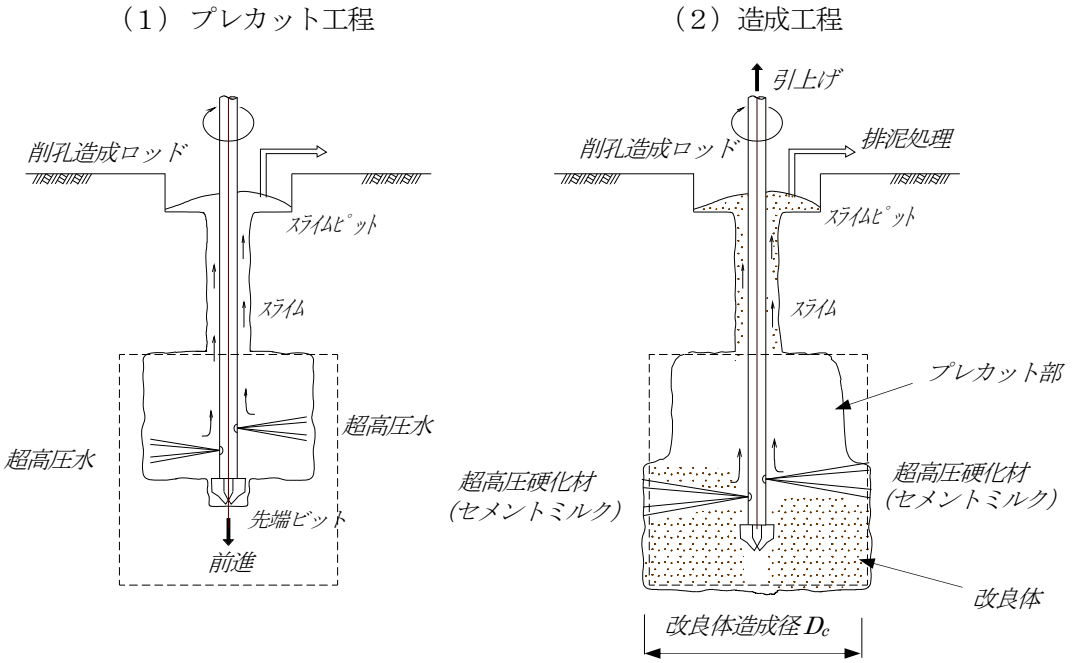


図-2.4.7　改良体の造成システム（GTM 工法[12]）

③改良体削孔

改良体の造成後、図-2.4.8～図-2.4.9 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ー併用の乾式二重管削孔）を行う。

④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-2.4.10）。

図-2.4.8　オーガー削孔状況

図-2.4.9　オーガー先端ビット例

図-2.4.10　鋼管挿入状況

⑤グラウト加圧注入

鋼管の挿入完了後、削孔壁部および鋼管内部にグラウトを注入・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）施工例

①山岳Ｔ洗浄水貯留槽掘削時の土留め壁

図-2.4.11　改良体造成状況

図-2.4.12　貯留水槽掘削状況

②狭隘・空頭制限下における土留め壁

（＊狭隘箇所においても、地中埋設物を移設することなく柱列式土留め壁を施工）

図-2.4.13　改良体造成状況

図-2.4.14　削孔・鋼管挿入状況

③構造物の基礎杭

図-2.4.15　噴射テスト状況

図-2.4.16　　改良体杭頭状況

（２）試験施工例

①兵庫県鳴尾浜（平成 10 年）[14]

図-2.4.17　試験施工状況

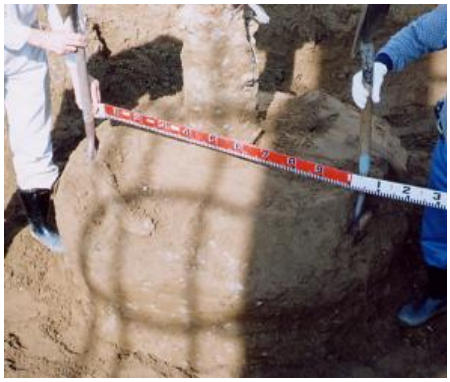
（造成径 700mm）

（造成径 800mm）

図-2.4.18　改良体出来形

②茨城県鹿島郡（平成 11 年，12 年）[15),16),17)]

図-2.4.19　試験施工状況



（杭頭部造成径 1,000mm）

（先端部造成径 900mm）

図-2.4.20　改良体出来形

（３）載荷試験例

①鉛直載荷試験

ａ）鉛直押込み載荷試験 [15)]

図-2.4.21　鉛直押込み載荷試験状況

ｂ）鉛直引抜き載荷試験 [16)]

図-2.4.22　鉛直引抜き載荷試験状況

②水平交番載荷試験 17),18)

図-2.4.23　水平交番載荷試験状況

図-2.4.24　試験終了後の杭頭状況

2.4.4　特　長

（１）設計面の特長

①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。

②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。

③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。

④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

①施工機械が小さく、移動やプラントとの遠隔施工が可能なため、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・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。

②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。

③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。

④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Ⅱ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）鋼管サイズ

表-2.5.1 に ST マイクロパイル工法の標準鋼管サイズを示す。

表-2.5.1　ST マイクロパイル標準鋼管サイズ

鋼管外径 D_s (mm)	鋼管肉厚 t (mm)	単位長さ (m)
165.2	7.1	1.0～3.0 施工条件に応じて検討
216.3	12.0	
267.4	12.0	

（2）鋼種

表-2.5.2 に ST マイクロパイルに用いる標準鋼管の鋼種、機械的性質を示す。

表-2.5.2　ST マイクロパイル標準鋼管の鋼種、機械的性質

鋼　　種		降伏点または耐力 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	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

注)　標準鋼管以外は別途協議

（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寸法一覧

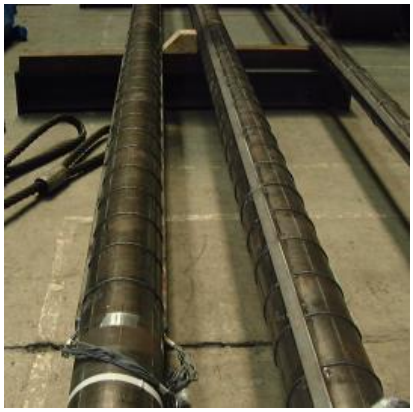
母　材　鋼　管		カップラー式ネジ継手	
外径 D_s (mm)	肉厚 t (mm)	外径 D_s' (mm)	長さ ℓ' (mm)
165.2	7.1	176	140
216.3	12.0	230	267
267.4	12.0	280	303

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Ⅰ）



（ST マイクロパイル タイプⅡ）

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Ⅰ	ビード溶接	2.5mm 以上	600mm
ST マイクロパイル タイプⅡ			200mm

（５）各性能試験

①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載荷試験[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。

②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

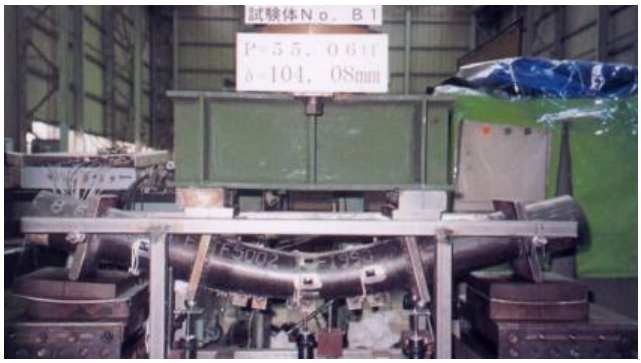


図-2.5.4　鋼管（継手有無）の曲げ試験

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、図-2.6.1～図-2.6.4 に各機械の姿図を示す。

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	適用鋼管径 φ(mm)	空頭制限（m） 施工必要高さ	使用鋼管長 （m／本）
ＳＭ４０１	165.2～267.4	７．８m以上	３．０m／本
ＳＭ４０１-S	165.2～267.4	４．８m以上	１．５m／本
ＳＭ４００	165.2～267.4	７．３m以上	３．０m／本
ＳＭ１０３HD	165.2～216.3	３．８m以上	１．５m／本
ｽｷｯﾄﾞﾀｲﾌﾟ	165.2～216.3	４．９m以上	１．５m／本

注）1. 空頭制限 3.8m 未満は、1m の鋼管の使用を検討する。
2. スキッドタイプは、右回転への改造仕様を標準とする。
3. SM400 シリーズ以外の削孔機械で管径φ267.4 mmを使用する場合は別途検討が必要。
4. 削孔機械の標準仕様にそぐわない施工条件の場合は別途検討する。

図-2.6.1　削孔機械 SM401

図-2.6.2　削孔機械 SM-400

図-2.6.3　削孔機械 SM-103HD

図-2.6.4　削孔機械スキッドタイプ

［参考文献］

1) 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Ⅳ下部構造編，2012.

5) ST マイクロパイル工　タイプⅠ　設計・施工マニュアル，2016.9

6) ST マイクロパイル工　積算資料，2016.9

7) 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

8) *Watanabe,Sakamoto,NIJ-CIRCLE：Reinforcement of foundations for samall structure with micropiles ： L-shaped retaining wall and snowshed foudations， Secound International Workshop on Micropiles,* 1999.10

9) 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

10) 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

11) 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

12) 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

13) 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

14) NIJ 研究会：高圧噴射攪拌工法（GTM 工法）技術資料（改訂版），2001.6

15) 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

16) 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

17) 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

18) 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

19) 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

20) 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

21) 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

22) 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

性能試験結果ー，土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.9
23）東芝：最近の基礎工法と施工機械の潮流－ＳＴマイクロパイル工法の施工事例ー，建設機械「特集号」，2016.4
24）渡邊、井上、奥野：のり面傾斜面で活用される機械と工法－ST マイクロパイルタイプ I による斜面対策例についてー，建設機械「特集号」，2016.12
25）東芝：狭隘地・低空頭下工事での工法と建設機械－狭隘・低空頭下での小口径鋼管杭工法ー，建設機械「特集号」，2020.7

参　考　資　料

－ST マイクロパイル工法関連の技術文献・資料リスト－

ST マイクロパイル工法関連の技術文献・資料リスト

NO	分　　類		時　期	概　　要	文献名	発表者
1	山岳トンネルの脚部補強（マイクロパイル）		1993.3	・試験施工、載荷試験 ・支持力特性の検討	地盤注入併用小口径鋼杭の載荷試験，第 20 回関東支部技術研究発表会（土木学会），1993.	岡、小竹、山本（東洋建設）
2			1993.6	・試験施工、載荷試験 ・支持力特性の検討	軟岩地山におけるマイクロパイルの載荷試験，第 28 回土質工学研究発表会，1993.	岡、小竹、山本（東洋建設） 斉藤、羽田（地盤技術ﾘｻｰﾁ）
3			1994.6	・載荷試験 ・支持力対策の設計	側壁の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.	酒井、坂本（日本道路公団） 木村、倉原（梅林建設） 岡、小竹、山本（東洋建設）
4			2000.10	・山岳トンネルの脚部補強に用いるマイクロパイルの設計・施工資料	脚部補強工技術資料，ジェオフロンテ研究会，2000.	ジェオフロンテ研究会 アンブレラ工法分科会 脚部補強 WG
5	ST マイクロパイル工法 既設基礎の補強	材料性能関係	1999.09	・ふし加工鋼管の付着性能に関する検討、評価	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），土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.	村田、小林、芦原、黒崎（住友金属工業）
6			1999.09	・全強保証ネジ継手の性能（圧縮・引張・曲げ） ・杭体の M～φ関係評価	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），土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.09	黒崎、村田、小林、芦原（住友金属工業）
7			2003.09	・STKT590 を使用したネジ継手性能試験（圧縮・引張・曲げ）	高強度材(STKT590)を使用したマイクロパイルの継手性能試験，土木学会第 58 回年次学術講演会，2003.09	羽馬（ｹｰｴﾌｼｰ）、津留（新日本製鐵）、冨田（NTPC）
8		タイプⅠ	1999.09	・工事施工報告 ・施工概要	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，1999.09	渡辺（トマック） 野沢（建設省北陸地方建設局） 遠山（荒川建設）
9		タイプⅠ・タイプⅡ	1999.07	・試験施工 ・改良体出来形品質確認 ・鉛直支持力特性の検討	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.	赤本、岡（東洋建設）
10			2000.06	・試験施工 ・改良体の出来形確認 ・Ⅰの支持力特性の検討	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.	黒崎、村田、小林（住友金属工業） 岡、三木（東洋建設）
11			2000.06	・Ⅱの支持力特性の検討 ・鋼管付着性能の確認 ・内的破壊特性の検討	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.	村田、黒崎（住友金属工業） 岡、三木（東洋建設） 斉藤（地盤技術リサーチ）

NO	分　　類		時　期	概　　要	文献名	発表者
12	ST マイクロパイル工法 既設基礎の補強	タイプⅠ ・ タイプⅡ	2000.06	・水平抵抗特性の検討	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，2000.06	三木、岡（東洋建設） 村田、黒崎、小林 （住友金属工業）
13			2002.06	・工法概要 ・施工事例	ST マイクロパイル工法の開発・制約条件下での施工例，第 11 回調査・設計・施工技術報告会，地盤工学会中部支部，2002.06	岡、三木（東洋建設）
14		ST マイクロパイル工法 タイプⅡ	2000.08	・既設基礎の耐震補強に関する検討	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１），建設省土木研究所，2000.	建設省土木研究所 先端建設技術センター 東洋建設　他
15			2000.09	・既設基礎の耐震補強に関する試設計	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 55 回年次学術講演会，2000.	三木、岡（東洋建設） 大下、市村 （建設省土木研究所）
16			2001.06	・試験施工 ・引抜き支持力特性の検討	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.	村田、黒崎、小林 （住友金属工業） 岡、三木（東洋建設）
17			2001.06	・試験施工 ・水平抵抗特性の検討	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.	三木、岡（東洋建設） 村田、黒崎、小林 （住友金属工業）
18			2001.07	・支持力、水平抵抗特性 ・既設基礎の耐震補強に関する試設計	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.	三木、岡（東洋建設） 福井、大下 （独立行政法人土木研究所）
19			2001.10	・既設基礎の耐震補強に関する試算検討	既設基礎の耐震補強に関する検討（その６）－改良体の水平抵抗を考慮した ST マイクロパイル工法の試設計－，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001.	三木、岡（東洋建設） 大下（独立行政法人土木研究所） 市村（国土技術政策総合研究所）
20			2001.10	・既設基礎の耐震補強に関する試算検討	既設基礎の耐震補強に関する検討（その６）－改良体の水平抵抗を考慮した ST マイクロパイル工法の試算検討－，第 24 回日本道路会議，2001.	三木、岡（東洋建設） 大下（独立行政法人土木研究所）
21			2001.12	・既設基礎の耐震補強に関する検討	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２），独立行政法人土木研究所，2001.12	独立行政法人土木研究所 先端建設技術センター 東洋建設　他
22			2002.09	・既設基礎の耐震補強に関する検討	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），独立行政法人土木研究所，2002.09 ＳＴマイクロパイル工法設計・施工マニュアル(6 分冊の 3)	独立行政法人土木研究所 先端建設技術センター 東洋建設

NO	分　　類	時　期	概　　要	文献名	発表者
	高圧噴射攪拌技術 （GTM 工法）	1999.07	・工事施工報告 ・改良体出来形確認 ・止水性の検討	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，1999.07	久慈、渡邊（日本鉄道建設公団） 八田、小竹、木下（東洋建設）
25		1999.09	・工事施工報告 ・品質(圧縮強度、変形係数等)確認	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，土木学会第 54 回年次学術講演会,1999.	小竹、八田、木下（東洋建設） 久慈、渡邊（日本鉄道建設公団）
26		2000.03	・試験施工 ・改良体出来形，品質確認	軟弱砂質粘土に於ける高圧噴射攪拌工法(GTM 工法)の試験工事，平成 11 年度土木学会西部支部研究発表会，200.03.	丸田（親和テクノ） 斉藤、羽田（地盤技術ﾘｻｰﾁ）
27		2000.06	・改良体の出来形確認 ・改良体の品質(圧縮・せん断強度，変形係数）確認	地盤改良型マイクロパイルの為の高圧噴射攪拌工法による改良体の造成，第 35 回地盤工学研究発表会，2000.06	羽田、斉藤（地盤技術ﾘｻｰﾁ） 岡、三木（東洋建設） 渡辺（トマック）
28		2000.11	・工事施工報告 ・改良体の出来形、品質 ・改良メカニズム	GTM 工法（二重管ツインノズル方式高圧噴射攪拌工法）の実施例と改良メカニズム，第 4 回地盤改良シンポジウム，日本材料学会，2000.11	羽田、斉藤（地盤技術ﾘｻｰﾁ） 岡、三木（東洋建設）
29		2001.06	・技術資料	ＮＩＪ研究会； ＧＴＭ工法　技術資料（改訂版），2001.06	ＮＩＪ研究会
30		2002.04	・積算資料	ＮＩＪ研究会 ＧＴＭ工法　積算資料（改訂版），2002.04	ＮＩＪ研究会
31	斜面補強技術 （組杭抑止杭工法）	2003.07	・組杭抑止杭工法の設計手法の検討 ・骨組み解析	小口径高張力鋼管による組杭形式抑止杭に関する研究―その 2：設計手法―，第 38 回地盤工学研究発表会，2003.07	大野、岡、村山、 堀（先端建設技術ｾﾝﾀｰ）
32		2003.07	・小口径鋼管補強土の設計手法の検討 ・鋼管の曲げ補強効果	曲げを考慮した地山補強土工の設計法とモデル解析，第 38 回地盤工学研究発表会，2003.07	近藤観慈（三重大学）、岡
33		2003.09	・組杭抑止杭工法の設計手法の検討 ・非線形骨組み解析	小口径高張力鋼管を用いた組杭形式抑止杭に関する研究 ―その２：設計手法―	大野、岡、村山、 堀（先端建設技術ｾﾝﾀｰ）
34		2003,09	・組杭抑止杭工法の施工法の検討 ・削孔試験施工	小口径高張力鋼管を用いた組杭形式抑止杭に関する研究 ―その３：削孔試験―	岡、前田、井上、福富