

第2編 ST マイクロパイル工法タイプⅡ

設計・施工マニュアル

1 章 総 則

1.1 マニュアルの適用範囲

本マニュアルは、**ST** マイクロパイル工法 タイプⅡを構造物の基礎杭として用いる場合の標準的な設計・施工法に適用する。

【解説】

一般にマイクロパイルの適用分野は、構造物の基礎杭、既設構造物基礎の増し杭補強、斜面補強等の多様な分野が挙げられるが、ここでは、**ST** マイクロパイル工法 タイプⅡを構造物の基礎杭として用いる場合を対象として、標準的な設計・施工法を示すものとした。

本マニュアルに記載なき事項については、関係基準等に従うものとする。また、ここでは道路構造物の基礎杭を対象とし、道路橋示方書・同解説¹⁾（平成 24 年版）に準じた設計・施工法を示したものである。したがって、本工法を適用させる構造物によっては、当該構造物に対象となる法令や関係基準類を参照して設計するものとする。以下に参考となる主な関係基準類を示す。

なお、**ST** マイクロパイル工法を増し杭として用いた既設橋梁基礎の耐震補強や、斜面補強への適用に関しては、文献^{2),3)}を参考とすることができる。

・道路橋示方書・同解説（Ⅰ～Ⅴ）	: 日本道路協会
・杭基礎設計便覧	: 日本道路協会
・道路土工－擁壁工指針－	: 日本道路協会
・鉄道構造物等設計基準・同解説（基礎構造物・抗土圧構造物）	: 鉄道総合技術研究所
・鉄道構造物等設計基準・同解説（耐震設計）	: 鉄道総合技術研究所
・日本道路公団設計要領第二集	: 日本道路公団
・建築基礎構造設計指針	: 日本建築学会
・杭の鉛直載荷試験方法・同解説	: 地盤工学会
・杭の水平載荷試験方法・同解説	: 地盤工学会
・杭の引抜き試験方法・同解説	: 地盤工学会
・コンクリート標準示方書 設計編	: 土木学会
・コンクリート標準示方書 施工編	: 土木学会
・鋼管杭・その設計と施工	: 鋼管杭協会

1.2 工法の概要

ST マイクロパイル工法 タイプⅡとは、地盤中に高圧噴射攪拌による改良体を造成し、改良体中に節突起加工を施した小口径の高張力鋼管を挿入、定着する合成構造の鋼管杭工法をいう。

【解説】

STMP タイプⅡとは、図-解 1.2.1 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、STMP タイプⅡにおける高圧噴射攪拌技術は、二重管ツインノズル式の GTM 工法によるものであり、高圧噴射改良体の設計・施工に関しては技術資料 4)を参考とすることができる。

標準的な施工方法を図-解 1.2.2 に示す。施工は小型の多機能ベースマシンによるものであり、空頭に制限がある場所や都市部の狭小施工ヤード、1 車線規制内や土留め壁内等の制約条件における杭打設が可能である。

したがって、桁下空頭制限や用地境界が近接した制約の厳しい施工条件下における既設基礎の耐震補強（増し杭工法）として、高い適用性を有している。

STMP タイプⅡの構造および特長を以下に示す。

- 1) 鋼管はハンドリングの良い小口径鋼管（ ϕ 300mm 以下）を用い、高張力鋼管によって大きな杭体耐力を確保する。
- 2) 鋼管表面には付着性能を向上させるためのビード溶接による節突起加工を施し、鋼管と改良体が一体となって支持力を確保する。
- 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、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た造成径を確保する。標準的な改良体造成径は、径 600mm・径 800mm である。
- 5) 改良体の強度は、土質条件や支持力等の要求性能に応じた硬化材配合・セメント添加量等を設定し、一軸圧縮強度 q_u を確保する。
- 6) 削孔壁部および鋼管内部にパッカーによって注入・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/mm^2 である。

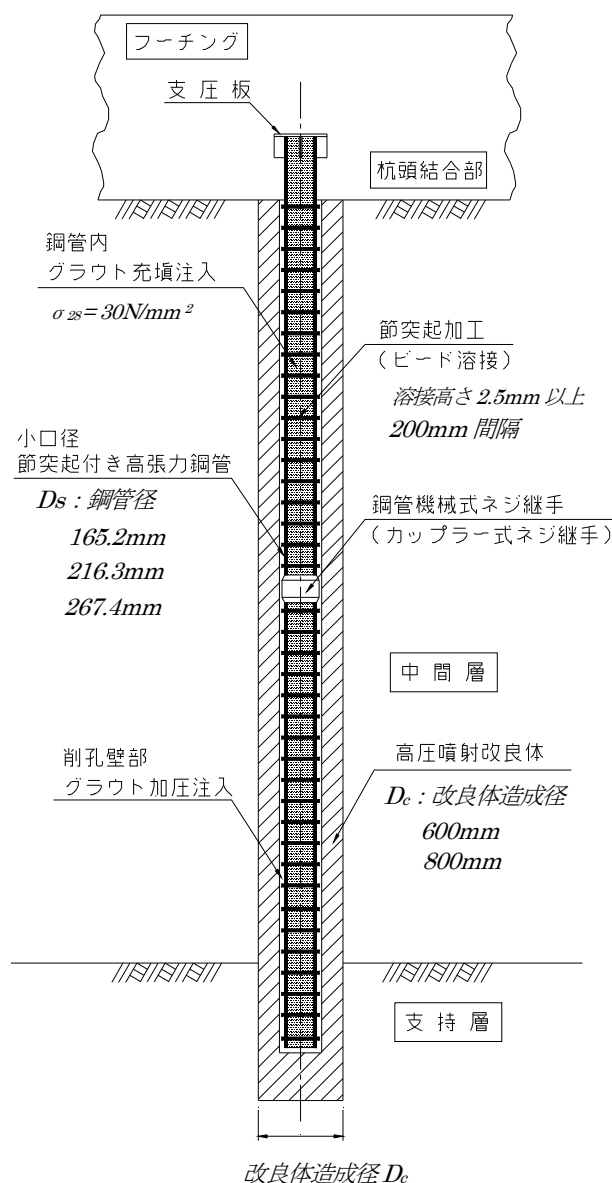


図-解 1.2.1 STMP タイプⅡの構造

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方式（支圧板方式）を標準とする。 STMP タイプⅡの杭諸元（鋼管材質、鋼管径、改良体造成径）の適用範囲を表-解 1.2.1 に示す。

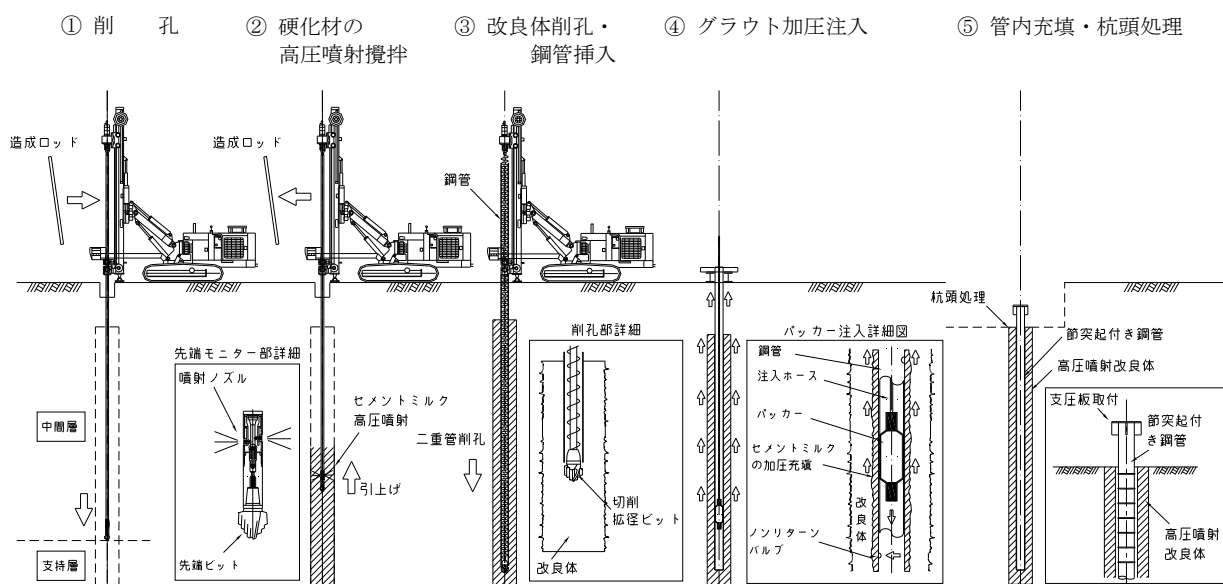


図-解 1.2.2 STMP タイプⅡの標準的な施工手順

表-解 1.2.1 STMP タイプⅡの標準的な杭諸元例

項 目	諸 元	備 考
鋼種の適用範囲	一般構造用炭素鋼管 (STK540)	JIS G 3444
	高張力鋼管 (STKT590)	JIS G 3474
鋼管径 D_s の適用範囲	$\phi 165.2\text{mm}$, $\phi 216.3\text{mm}$, $\phi 267.4\text{mm}$	
改良体造成径 D_c の適用範囲	$\phi 600\text{mm}$, $\phi 800\text{mm}$	

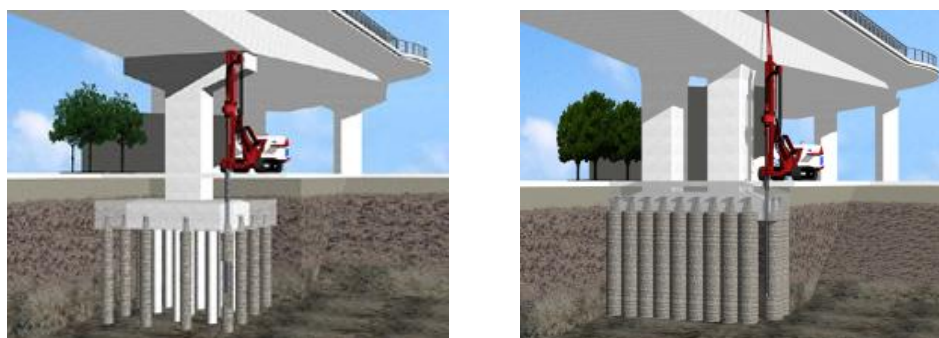


図-解 1.2.3 STMP タイプⅡによる既設橋梁基礎の耐震補強イメージ

1.3 設計・施工上の留意事項

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの設計・施工に際しては、当該施工条件、土質条件、環境条件等に対する本工法の適用性を十分検討するものとする。

【解説】

STMP タイプⅡの設計・施工に際しては、本工法のこれまでの試験施工の実績や、削孔・高圧噴射攪拌などの要素技術としての実績、既往文献等を参考とし、施工条件や土質条件、環境条件等に対するSTMP タイプⅡの適用性を十分検討する必要がある。また、特殊な施工条件や土質条件、構造物の重要度によっては、試験施工などによる施工性の確認が必要である。表-解 1.3.1 には、各施工条件、土質条件等に対するSTMPⅡの設計・施工上の留意事項を示す。

表-解 1.3.1 STMP タイプⅡの設計・施工上の留意事項

条 件			適 用 性
地盤条件	中間層の状態	非液状化地盤	一般的な砂質地盤、軟弱な粘性土地盤においては、STMP タイプ II および高圧噴射攪拌（GTM 工法）の実績により施工性が確認されている。また、GTM 工法の施工実績では、地下水が豊富で、転石・玉石を多く含む特殊な砂礫地盤においても、ガイドホール削孔を併用して高圧噴射攪拌を実施した実績 ⁵⁾ がある。しかし、一般にはこのような粒径の大きな礫石を多く含む地盤が存在する場合、粒径や分布程度を十分調査、検討したうえで試験施工により改良体の出来形品質を確認することが必要である。また、中間層に高含水土や高有機質土等の特殊土が存在する場合、室内配合試験等を行い、硬化材の種類、添加量を別途検討する必要がある。
		液状化地盤	これまでの STMP タイプ II および高圧噴射攪拌の実績により、飽和砂質土層における施工性は確認されている。一方、これまでの試算検討では、液状化によって地震時の水平力が卓越する場合、直杭では多くの杭本数が必要となる。したがって、液状化の程度によっては斜杭として地震時慣性力に抵抗することや、液状化対策工法との併用が必要となる。
		先端支持層の状態	一般に先端支持地盤の条件としては、砂層、砂礫層は N 値が 30 程度以上、粘性土層は一般に N 値が 20 程度以上（一軸圧縮強度 qu が $400kN/m^2$ 程度以上）あれば良好な支持層と判断できる ¹⁾ 。これまでの STMP タイプ II および GTM 工法の施工実績により、支持地盤が N 値 30 以上の硬い砂層、砂礫層での施工性が確認されている。しかし、N 値 20 以上のような硬質粘性土等に対しては、高圧噴射攪拌の施工性を別途検討する必要がある。
地下水の状態			地下水の状態としては、透水性が非常に高く、地下水流速が早い場合（一般には $3m/min$ 以上）、硬化材の配合・添加剤の仕様検討等が必要となり、一般に施工が困難である。また、被圧地下水の程度（地表面上の被圧など）にも注意する必要がある。
杭長に対する適用性			小口径鋼管の STMP タイプ I の施工実績は、最大の杭長が $48.5m$ である。また、本工法に併用する高圧噴射攪拌（GTM 工法）の最大施工深度は $40m$ であり、施工機械の能力からも、STMP タイプ II の杭打設は $40m$ まで可能と判断できる。
斜杭の施工			地震時の液状化など、基礎に作用する水平荷重が卓越する場合、STMP II を斜杭として抵抗することが有効である ⁶⁾ 。一般に高圧噴射攪拌の斜施工は地盤改良として実施される場合があり、山岳トンネルの脚部補強や海外の施工事例において、同様な小口径鋼管と高圧噴射攪拌を併用する斜杭の施工実績がある。また、要素技術として斜杭の削孔実績 ³⁾ がある。したがって、STMP タイプ II の斜杭施工は可能と判断できるが、試験施工によって施工性を確認することが望ましい。一方、斜杭角度が大きくなるにつれて施工能率が低下することや、施工精度、用地境界との位置関係等を考慮した場合、 15° 程度までの斜杭が適している。
作業空間			本工法は制約条件に応じたベースマシンが選定できるため、空頭制限が $3.8m$ 程度でも施工が可能である。また、プラントとの遠隔分離作業が可能なこと、施工機械が小さく移動も容易なことから、狭隘な施工条件や一車線規制での施工幅員でも対応できる。
周辺環境への影響			一般的に高圧噴射攪拌工法は狭隘地や構造物直近で多くの施工実績を有しており、近接施工に適用されている。ただし、近接度や地盤条件によってはガイドホール管を設置するなど、高圧噴射攪拌時にスムーズに土中圧力・排泥を地上に上げることに留意する必要がある。 また、高圧噴射攪拌および改良体のロータリー削孔のため、施工時の騒音・振動を最小限に抑えることができる。

1.4 用語の定義

本マニュアルに用いる用語の定義は、以下に示すとおりとする。

(1) マイクロパイル

杭径 300mm 以下の小口径杭を総称していう。

(2) ST マイクロパイル工法

マイクロパイルにグラウトの段階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た全面定着方式の小口径鋼管杭であり、タイプⅠとタイプⅡからなる杭工法をいう。

(3) ST マイクロパイル工法 タイプⅠ

ST マイクロパイル工法のうち、小口径の節突起付き鋼管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定着させる小口径の杭工法をいう。

(4) ST マイクロパイル工法 タイプⅡ

ST マイクロパイル工法のうち、マイクロパイル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、小口径の節突起付き鋼管と高圧噴射改良体との合成構造の鋼管杭工法をいう。

(5) 中間層部

支持層より浅い中間層の部分进行。

(6) 支持層部

杭先端の支持層の部分进行。

(7) 杭頭結合部

ST マイクロパイルに荷重を伝達させるためにフーチングと結合する部分进行。

(8) 鋼 管

付着性能を向上させるためのビード溶接による節突起加工が施された小口径（φ300mm 以下）の鋼管进行。設計上の杭体を意味して、ST マイクロパイルともいう。

(9) 節突起

鋼管の付着性能を向上させるため、鋼管表面に一定間隔で円周方向のビード溶接を施した突起形状の鋼管加工の事をいう。

(10) ビード溶接

溶接によって鋼材の表面に設ける溶着金属の層（突起）の事をいう。

(11) カップラー式ネジ継手

鋼管の機械式継手の一種で、両端をねじ切り加工したカップラー継手材により機械的に接合する継手をいう。

(12) 改良体

硬化材の高圧噴射攪拌によって地盤中に造成された円柱状の固化体进行。

(13) 硬化材

改良体造成時に地盤中に高圧噴射し、原位置地盤と攪拌するスラリー状の改良材进行。ここでは、セメントミルク（セメントに水を混合したスラリー状の材料）を標準としている。

(14) グラウト

鋼管内および改良体削孔壁部に充填されるスラリー状のセメント系注入材料をいう。

(15) 支圧板

フーチングに作用する軸方向力を ST マイクロパイルに伝達させるために、鋼管天端に取り付けた鋼板をいう。

(16) 杭 体

ST マイクロパイルのうち作用外力に対して杭が構造的に抵抗する部材のことであり、設計上は鋼管のことをいう。

(17) 杭 長

杭頭結合部の鋼管天端から支持層部の改良体先端（底面）までの長さをいう。

(18) 鋼管先端根入長

支持層への鋼管の根入れ長であり、支持層面から鋼管先端までの長さをいう。

(19) 改良体先端余裕長

鋼管先端から改良体先端（底面）までの改良長さをいう。

(20) 極限押込み（引抜き）支持力

杭が耐え得る地盤から決まる最大の軸方向押込み（引抜き）力をいう。

(21) 許容押込み（引抜き）支持力

極限押込み（引抜き）支持力を安全率で除した値をいう。

(22) 杭体の耐力

杭断面が構造的に耐え得る最大の圧縮（引張）荷重であり、ここでは鋼管の耐力または降伏点に鋼管の有効断面積を乗じた値をいう。

(23) 節突起付き鋼管の付着耐力

節突起付き鋼管が耐え得る最大の付着抵抗力であり、鋼管周面積に節突起付き鋼管の最大付着応力度を乗じた値をいう。

(24) グラウトと改良体間のせん断耐力

改良体を削孔して充填したグラウトと改良体の間で耐え得る最大のせん断抵抗力であり、グラウト（改良体削孔部）の周面積に最大せん断強度を乗じた値をいう。

(25) 改良体造成径

硬化材の高圧噴射攪拌によって造成された固化体の直径であり、軸方向支持力を検討するときの杭径のことをいう。

(26) グラウト体外径

改良体を削孔してグラウトを充填した外径であり、改良体を削孔した直径（先端削孔ビットの外径）をいう。

(27) 改良体（杭）の水平地盤抵抗幅

設計上、杭の水平抵抗に期待する改良体の水平地盤抵抗幅であり、水平抵抗を検討するときの設計上の杭径のことをいう。

(28) 削 孔

改良体の施工時に地盤に対して削孔することをいう。

(29) プレカット

改良体の施工時に清水を高圧噴射し、改良対象地盤を改良体造成前に事前に切削・攪拌しておくことをいう。

(30) 改良体造成

硬化材を高圧噴射し、改良対象地盤と硬化材を攪拌し改良体を造成することをいう。

(31) 改良体削孔

改良体の造成後、鋼管を挿入するために改良体に対して削孔することをいう。

(32) 鋼管挿入

改良体の削孔完了後、削孔壁内に鋼管を挿入することをいう。

(33) グラウト充填注入

グラウトの加圧注入を行う前に、グラウトを鋼管内にあらかじめ充填しておくことをいう。

(34) グラウト加圧注入

鋼管を地盤に定着させるため、鋼管内に挿入したシングルパッカーを膨張させ、杭先端から順に削孔壁部・地山にグラウトの段階的（ステップアップ）な圧力注入を行うことをいう。杭先端での加圧注入をベースグラウチング、杭周面の加圧注入をスキングラウチングという。

(35) パッカー

グラウトの加圧注入時にグラウト流体に圧力が加わるよう、鋼管内に栓をするための注入用器具をいう。

(36) ノンリターンバルブ

改良体削孔壁部にグラウトを充填させるため鋼管に設けた特殊バルブ（ $\phi 9\text{mm}$ ）であり、鋼管の中にグラウトが逆流することを防ぐため逆止弁構造となっているバルブのことをいう。

【解説】

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの構造および各名称を図・解 1.4.1 に示す。また、本マニュアルの中で用いる代表的な記号を次に示す。

R_u , P_u	: 地盤から決まる極限押込み支持力, 地盤から決まる極限引抜き支持力
R_a , P_a	: 軸方向許容押込み支持力, 軸方向許容引抜き支持力
P_{NU} , P_{TU}	: 押込み支持力の上限値, 引抜き支持力の上限値
R_{PU} , P_{PU}	: 杭体から決まる押込み支持力の上限値, 杭体から決まる引抜き支持力の上限値
R_{FU}	: 節突起付き鋼管の付着耐力
R_{GU}	: グラウトと改良体間のせん断耐力
D_s	: 鋼管径
D_g	: グラウト体外径 (改良体削孔径)
D_c	: 改良体造成径
D'	: 改良体の水平地盤抵抗幅 (水平抵抗に関する計算上の杭径)

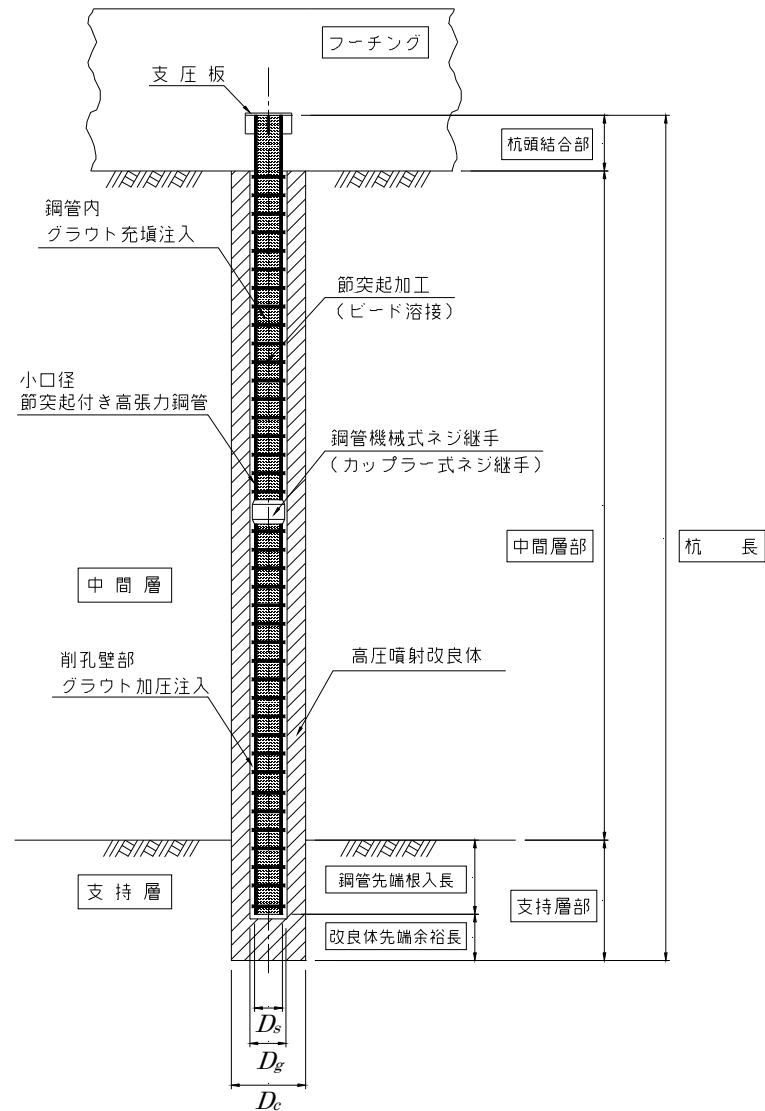


図-解 1.4.1 STMP タイプⅡの構造および各部位の名称

[参考文献]

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I～V，2012.
- 2) 独立行政法人土木研究所他：共同研究報告書第 282 号 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），2002.09
- 3) 先端建設技術センター他：小口径鋼管を用いた斜面補強システムに関する共同研究報告書（その 3），2003.07
- 4) NIJ 研究会：GTM 工法 高圧噴射攪拌工法技術資料，2001.06
- 5) 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の施工例，第 34 回地盤工学研究発表会，1999.07
- 6) 建設省土木研究所他：既設基礎の耐震補強技術に関する共同研究報告書（その 1），共同研究報告書第 246 号，2000.

2章 材 料

2.1 鋼管および継手

2.1.1 鋼 管

ST マイクロパイル工法 タイプⅡに用いる鋼管は次に示すものとする。

- (1) 鋼管は付着性能を向上させるため、ビード溶接による節突起加工を施した鋼管を用いることを原則とする。
- (2) ビード溶接による節突起加工は、溶接高さ 2.5mm 以上、節加工間隔 200mm を標準とする。
- (3) 鋼種は、高張力鋼管（JIS G 3474）、または一般構造用炭素鋼管（JIS G 3444）から選定する。
- (4) 鋼管サイズは、鋼管径 300mm 以下とし、設計条件や施工性、経済性を考慮して選定するものとする。

【解説】

- (1) 鋼管は付着性能を向上させるため、外表面にビード溶接による節突起加工¹⁾（図-解 2.1.1）を施したものを原則として用いることとする。

STMP タイプⅡは地盤改良を併用することにより大きな軸方向支持力を期待できるが、軸方向荷重に対して鋼管の付着性能を確保し、鋼管と改良体の一体化抵抗を図ることが必要である。このため、STMP タイプⅡでは鋼管の付着性能を向上させるため、簡便な方法として、鋼管表面にビード溶接による節突起加工を原則として施すこととした。

- (2) 1) ビード溶接は工場で行うものとし、図-解 2.1.2 に示すようなターニングロール上に鋼管を設置し、半自動溶接によって節突起加工を施すこととする。

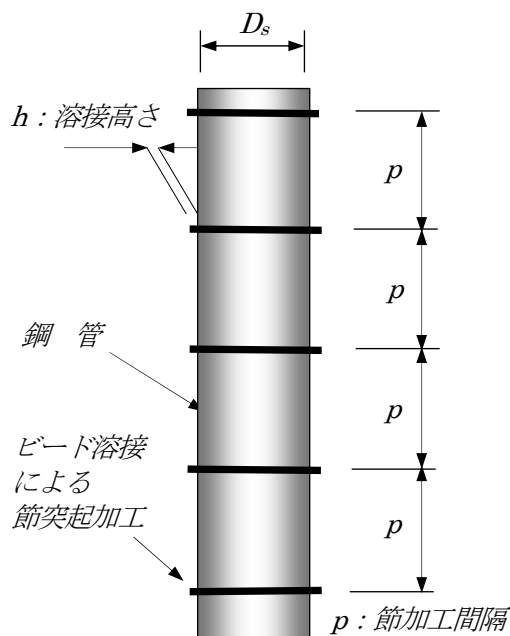


図-解 2.1.1 鋼管の節突起加工

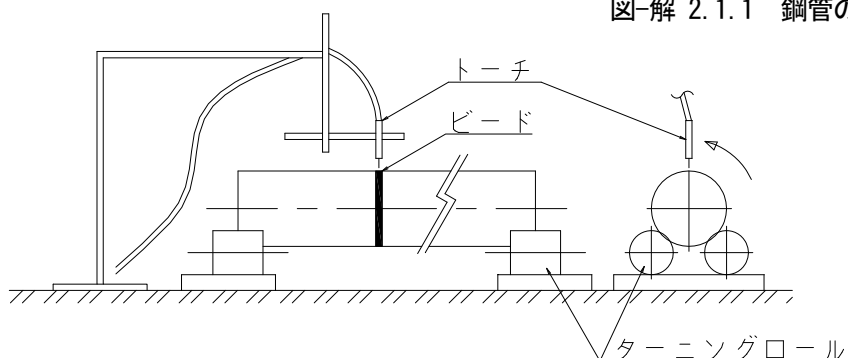


図-解 2.1.2 鋼管の節突起加工方法（ビード溶接）

- 2) 節突起加工の仕様（溶接高さ h 、節加工間隔 p ）は、要求される軸方向極限支持力に対して、鋼管の付着耐力が上回るように設定する必要がある。これまでの施工実績、試算結果を考慮した

節突起加工の標準仕様を表-解 2.1.1 に示す。一般にはこのような標準仕様で鋼管の付着性能を確保できるが、設計時には 3.3.4 に示すように節突起付き鋼管の付着耐力を照査するものとする。

表-解 2.1.1 STMP タイプⅡに用いる鋼管の節突起加工の標準仕様

節突起 加工方法	溶接高さ h (mm)	節加工間隔 p (mm)
ビード溶接	2.5 以上	200

- (3) ST マイクロパイルに適用可能な鋼管の鋼種、機械的性質を表-解 2.1.2 に示す。なお、ST マイクロパイルに用いる鋼管は、節突起加工および杭頭結合部において溶接を行うが、これらの鋼管の化学成分、溶接性が確認されている。

表-解 2.1.2 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/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

注) 標準鋼管以外は別途協議

- (4) STMP タイプⅡに適用可能な鋼管サイズの例を表-解 2.1.3 に示す。なお、鋼管の肉厚 t に関しては、表値から変更することもできるが、鋼管をケーシングとした二重管削孔による場合は削孔ツールとの関係など、施工性も考慮して検討する必要がある。

表-解 2.1.3 STMP タイプⅡに用いる標準鋼管サイズ

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	

2.1.2 鋼管継手

鋼管の継手は、制約条件での施工性、杭としての品質を考慮し、試験により耐荷性能が確認された機械式ネジ継手（カップラー式ネジ継手）を用いることを標準とする。

【解説】

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、試験により耐荷性能が確認された機械式ネジ継手（カップラー式ネジ継手）を用いることを標準とする。

試験によって耐荷性能が確認されたカップラー式ネジ継手の一例を表-解 2.1.4、図-解 2.1.3 に示す。試験は、継手の耐荷性能を確認するため、母材鋼管のみ、鋼管にカップラー式ネジ継手²⁾を含んだ軸方向引張試験、曲げ試験を実施し、本タイプの継手が母材鋼管と同等の耐荷性能を有することを検証した（図-解 2.1.4～図-解 2.1.5）。したがって、STマイクロパイルに用いる鋼管のカップラー式ネジ継手は、このような耐荷性能が試験によって確認され、設計条件に適合したものをを用いることとする。

表-解 2.1.4 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

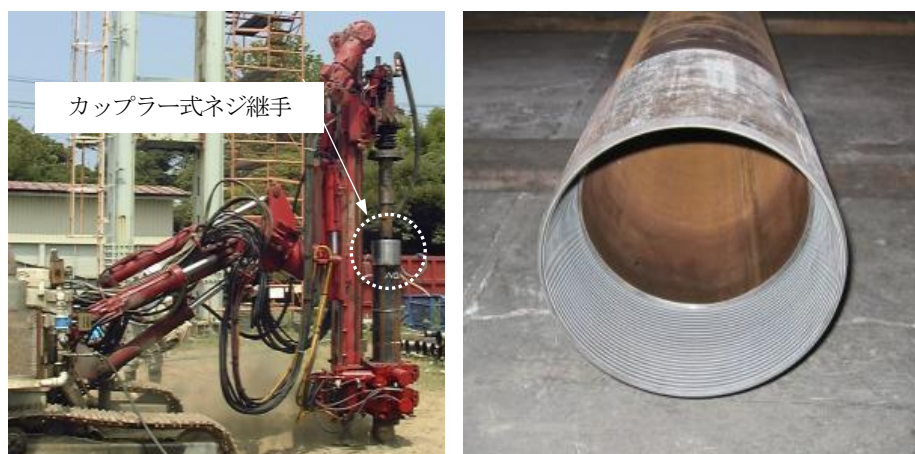


図-解 2.1.3 鋼管の機械式ネジ継ぎ手の例（カップラー式ネジ継手）

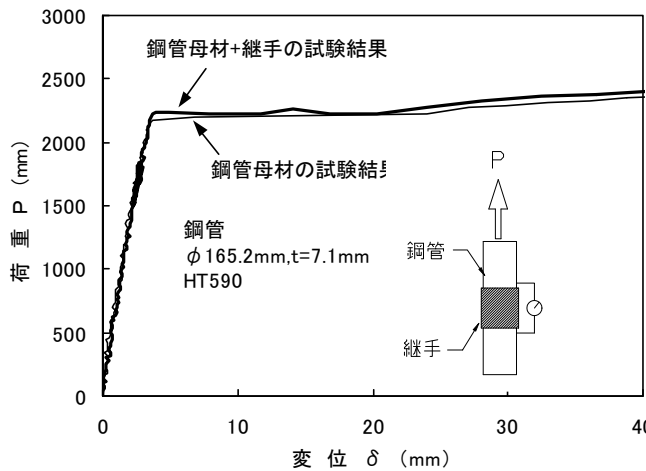


図-解 2.1.4 カップラー式ネジ継手の引張試験

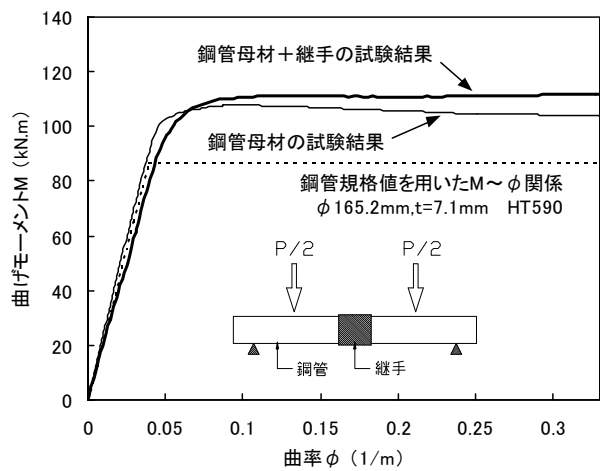


図-解 2.1.5 カップラー式ネジ継手の曲げ試験

2.2 杭頭結合部材

杭頭結合方法が支圧板方式による場合、杭頭結合部材に用いる支圧板およびスチフナは、JIS G 3106 に適合する溶接構造用圧延鋼材とする。

【解説】

杭頭結合方法が支圧板方式による場合、支圧板およびスチフナ（図-解 2.2.1）に用いる鋼板は、JIS G 3106 に適合する溶接構造用圧延鋼材とする。杭頭結合部材は 3.8 杭頭結合部の設計に示すようにそれぞれ溶接によって接合するものとし、スチフナの接合面は両面開先加工を施したものをを用いる。

溶接構造用圧延鋼材の鋼種、機械的性質を表-解 2.2.1 に示す。

表-解 2.2.1 杭頭結合部材（溶接構造用圧延鋼材）の機械的性質

鋼 種	降伏点または耐力 (N/mm ²)		引張強さ (N/mm ²)	伸 び		
	鋼材の厚さ (mm)			鋼材の厚さ (mm)	試験片	伸び (%)
	16 以下	16 をこえ 40 以下				
SM490	325 以上	315 以上	490～610	16 以下	1A 号	17 以上
				16 をこえ 50 以下	1A 号	21 以上

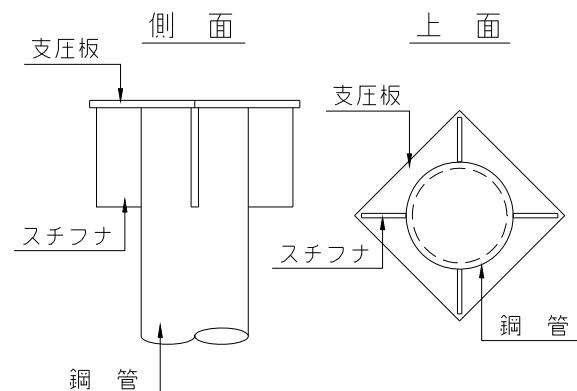


図-解 2.2.1 支圧板方式の杭頭結合部材

2.3 改良体

2.3.1 改良体の造成径・強度

- (1) 改良体造成径 D_c は、土質条件、要求される設計条件を考慮して設定するものとする。
- (2) 改良体の強度は、杭の支持力機構に必要な一軸圧縮強度 q_u を有するものとする。

【解説】

- (1) 改良体造成径 D_c は、表-解 2.3.1 に示すように 600mm または 800mm を標準とし、土質条件および杭の支持力・水平抵抗等、要求される設計条件を考慮して設定する。高圧噴射攪拌（GTM 工法）³⁾による改良体の造成は、造成方式によっては 2m 程度の造成径を施工することもできるが、改良体造成径を過度に大きくしても、鋼管と改良体との一体化抵抗が発揮されず、推定した支持力や水平地盤抵抗が確保できないことが懸念される。したがって、これまでの試験施工・載荷試験杭の諸元、鋼管径とのバランス、砂礫層等の先端支持地盤に対する施工性も考慮し、このような造成径を標準と設定した。

表-解 2.3.1 STMP タイプⅡの標準的な改良体造成径

対象地盤	改良体造成径 D_c (mm)
砂質土（砂、砂礫）、粘性土	600
	800

- (2) 改良体の強度は、設計上要求される外的安定性から決まる荷重（地盤から決まる極限支持力）に対して、内的安定性（鋼管の付着耐力、改良体とグラウト間でのせん断耐力）を満足する強度とする必要がある。これまでの施工実績、試算結果を考慮し、一般には表-解 2.3.2 に示す改良体の一軸圧縮強度 q_u を参考とすることができる。表値はこれまでの施工実績で得られた改良体強度と土質、造成仕様（配合、添加量等）の関係を考慮して安全側に設定したものである。しかし、改良体強度は、土の特性（自然含水比や原位置強度、深度等）によっては強度発現性が異なるため、試験施工等によって一軸圧縮強度を確認することが望ましい。特に、高含水土や高有機質土等の特殊土が存在する場合、硬化材の配合や改良対象土に対するセメント添加量を室内試験により検討するとともに、試験施工により得られた改良体の一軸圧縮強度 q_u によって杭の設計照査を行うものとする。

表-解 2.3.2 改良体の一軸圧縮強度 q_u の目安

対象地盤		一軸圧縮強度 q_u (N/mm ²)
中間層	砂質土	3～5
	粘性土	1～3
支持層	N 値 30 以上の砂、砂礫等	10

2.3.2 硬化材

- (1) 硬化材は、セメントミルクを標準とする。
- (2) セメントは、JIS R 5210 に適合する普通ポルトランドセメント、または JIS R 5211 に適合する高炉セメントを用いることを標準とする。これ以外のセメントに関しては、その施工性、品質、強度発現性等を十分に検討しなければならない。
- (3) 練混ぜ水は、上水道水を用いることを原則とする。
- (4) 混和材料は、JIS A 6204 に適合する化学混和剤を用いることを原則とする。

【解説】

- (1) 硬化材はセメントミルク（セメントに水を混合したスラリー状の材料）を用いることを標準とする。
- (2) セメントは、普通ポルトランドセメント（JIS R 5210）または高炉セメント（JIS R 5211）を用いることを標準とする。このほか、早強ポルトランドセメント（JIS R 5210）や高有機質土用等のセメント系固化材を用いる必要がある場合、その施工性、品質、強度発現性等を十分に検討しなければならない。
- (3) 練混ぜ水は、凝結、硬化、強度などに悪影響を及ぼさないこと、有害量を含むことのないよう、原則として上水道水を用いる。上水道以外の水を使用する場合、JSCB-B 101（コンクリート用練混ぜ水の品質規格（案））に適合することを確認する必要がある。
- (4) 混和材料は、JIS A 6204 に適合する化学混和剤を用いることを原則とする。噴射ノズルへの負担を低減するとともに、良好な硬化材の流動性、地盤での分散性と強度発現性を確保するため、混和剤が有効である。ST マイクロパイルでは化学混和剤として、アルキルアリルスルホン酸塩類を主成分とした減水剤 GTM-30（標準形 I 種、セメントに対する混合率 1.5%）の使用実績がある。

2.4 グラウト

2.4.1 グラウトの品質

鋼管内および改良体削孔壁部に注入するグラウトは、設計基準強度が 30N/mm^2 のセメントミルクを標準とする。

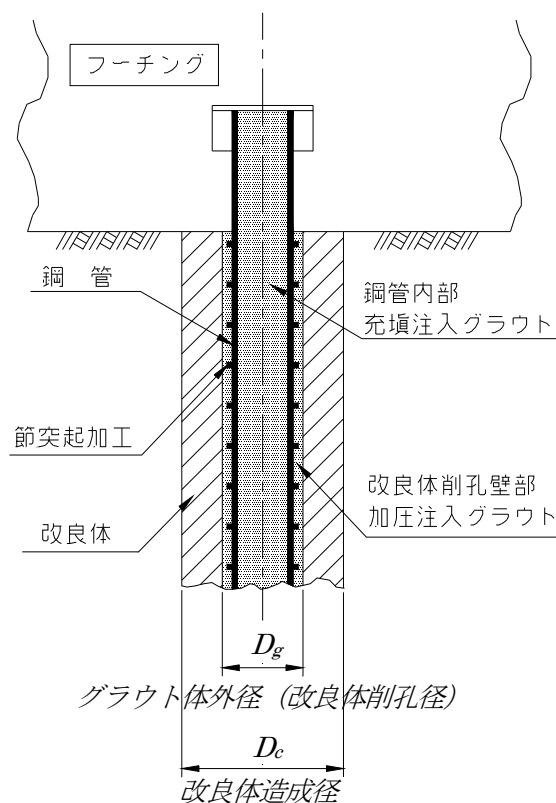
【解説】

グラウトは、図・解 2.4.1 に示すように、鋼管内および、改良体を削孔した孔壁部に注入するものである。グラウト注入の主な目的を以下に示す。

- ①改良体の削孔壁部に加圧充填、改良体に鋼管を定着させ、鋼管から改良体に荷重を伝達させる。
- ②鋼管内への充填により、杭体の一部として荷重に抵抗し、鋼管の座屈を防止する。

したがって、注入・圧送するグラウト材には、ブリーディングが少なく、高い流動性、適度な粘性を有しており、かつ十分な強度・耐久性が求められる。ST マイクロパイルではこのような品質を確保するため、グラウトは水セメント比 W/C が 50% のセメントミルクを使用し、 30N/mm^2 の設計基準強度とすることを標準とした。

注入したグラウト体の外径 D_g は改良体の削孔径とし、表・解 2.4.1 に一例を示す。



図・解 2.4.1 グラウト注入部

表・解 2.4.1 グラウト体の外径（改良体削孔径）

鋼管径 D_s (mm)	グラウト外径 D_g (改良体削孔径) (mm)	備 考
165.2	188	グラウト外径は削孔方式および削孔ビットによって若干異なる。表示は、二重管削孔・切削拡径ビット(SMB-R)使用時の改良体削孔径を示す。
216.3	239	
267.4	294	

注) 設計に用いる削孔径は上記を標準とする

2.4.2 グラウト材料

- (1) セメントは、JIS R 5210 に適合する普通または早強ポルトランドセメントを用いることを標準とする。
- (2) 練混ぜ水は、上水道水を用いることを原則とする。
- (3) 混和材料は、JIS A 6204 に適合する化学混和剤を用いることを原則とする。

【解説】

- (1) セメントは、ポルトランドセメント（JIS R 5210）を用いることを標準とし、一般には普通ポルトランドセメントを用いる。工期短縮の目的で早期に高強度を必要とする場合には、早強ポルトランドセメントを用いることがある。これ以外のセメントの使用にあたっては、強度特性、耐久性、施工性などについて十分な検討を行なわなければならない。
- (2) 練混ぜ水は、グラウトの凝結、硬化、強度などに悪影響を及ぼさないこと、鋼材を腐食させるような有害量を含むことのないよう、原則として上水道水を用いる。上水道以外の水を使用する場合、JSCB-B 101（コンクリート用練混ぜ水の品質規格（案））に適合することを確認する必要がある。
- (3) 混和材料は、塩化物などの有害量を含んでいない JIS A 6204 に適合する化学混和剤を用いることを原則とする。グラウトの強度を確保しブリージング率を低下させるため水セメント比を小さくする必要があるが、これに対して注入材の流動性を確保するため、混和剤が有効である。ST マイクロパイルでは化学混和剤として、アルキルアリルスルホン酸塩類を主成分とした減水剤 GTM-30（標準形Ⅰ種、セメントに対する混合率 1.5%）の使用実績がある。

2.5 設計計算に用いる物理定数

(1) 鋼 材

設計計算に用いる鋼材の物理定数の値は表-2.5.1 の値を用いるものとする。

表-2.5.1 設計に用いる鋼管の物理定数

種 類	物理定数の値
鋼のヤング係数 E_s	$2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
鋼のせん断弾性係数 G_s	$7.7 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
鋼のポアソン比 μ	0.30

(2) 改良体およびグラウト

改良体およびグラウトの物理定数を設計において設定する必要がある場合は、試験によって求めることを基本とするが、既往の試験結果を参考としてもよい。

(3) コンクリート

コンクリートのヤング係数、せん断弾性係数等は、道路橋示方書 I 共通編に準じるものとする。

【解説】

(1) 道路橋示方書 I Ⅳに準じて設定した。

(2) 1) 改良体

これまでの STMP タイプⅡの施工実績による改良体の変形係数 E_{50} と一軸圧縮強度 q_u の関係を図-解 2.5.1 に示す。設計において改良体の変形係数を設定する必要がある場合、 E_{50} と q_u の間には式 (解 2.5.1) のような関係が得られている。また、設計時の改良体の単位体積重量は、原地盤と同等としてよい。

$$E_c = 300 \times q_u \quad \dots\dots\dots (\text{解 2.5.1})$$

ここに、 E_c : 改良体の変形係数 (E_{50}) (N/mm^2)

q_u : 改良体の一軸圧縮強度 (N/mm^2)

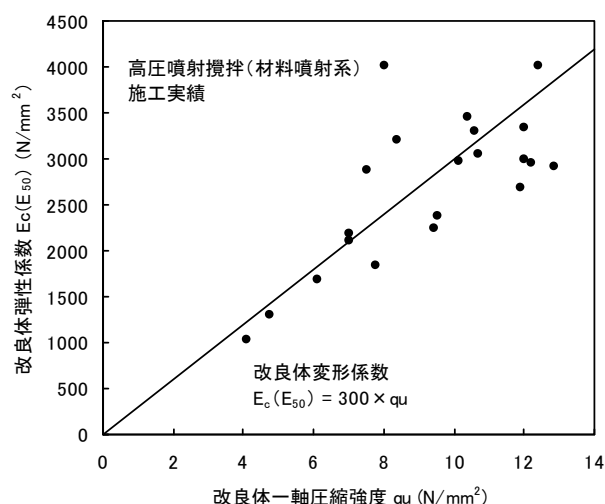


図-解 2.5.1 改良体の変形係数 $E_c (E_{50})$ と一軸圧縮強度 q_u の関係

2) グラウト

設計においてグラウトのヤング係数を設定する必要がある場合、これまでの試験結果（W/C=50%、グラウト（セメントミルク）の標準配合）では、 $E_g = 1.7 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 程度である。また、単位体積重量は標準配合で 18kN/m^3 である。

- (3) コンクリートのヤング係数、せん断弾性係数等は、道路橋示方書 I に準じるものとした。

2.6 許容応力度

(1) ST マイクロパイルの各部材の許容応力度は以下の通りとする。

- 1) ST マイクロパイルに用いる鋼管の許容応力度は、表-2.6.1 に示す値とする。ただし、圧縮およびせん断については、座屈を考慮しない場合の値である。

表-2.6.1 鋼管の許容応力度

応力度の種類	単位	一般構造用炭素鋼管	高張力鋼管
		STK540	STKT590
引 張	N/mm ²	230	255
圧 縮	N/mm ²	230	255
せん断	N/mm ²	130	145

注) 標準鋼管以外は別途協議

- 2) 杭頭結合方法が支圧板方式による場合、杭頭結合部に用いる支圧板（溶接構造用圧延鋼材）の許容応力度は、表-2.6.2 に示す値とする。

表-2.6.2 支圧板の許容曲げ引張応力度

鋼 種 板厚(mm)	単位	SM490
40 以下	N/mm ²	185

- 3) 杭頭結合方法が支圧板方式による場合、杭頭結合部において照査する溶接部の許容応力度は、表-2.6.3 の現場溶接の値を用いることとする。なお、強度の異なる鋼材を接合する場合は、強度の低い鋼材に対する値を用いるものとする。

表-2.6.3 鋼材溶接部の許容応力度

鋼 種			SM490
項 目			
工 場 溶 接	全断面溶込み グループ溶接	圧縮応力度 (N/mm ²)	185
		引張応力度 (N/mm ²)	185
		せん断応力度 (N/mm ²)	105
	すみ肉溶接	せん断応力度 (N/mm ²)	105
現 場 溶 接			原則として工場溶接と同じ値とする

注) 鋼材の板厚が 40mm 以下の場合の値である

- (2) 鉄筋およびコンクリート等の許容応力度は、道路橋示方書IV下部構造編に準じた値を用いるものとする。
- (3) 荷重の組み合わせによる許容応力度の割増しは、道路橋示方書IV下部構造編に準じるものとする。

【解説】

(1) ST マイクロパイルの各部材に対する許容力度を規定したものである。

1) ST マイクロパイルに用いる鋼管の許容応力度は、以下のように設定した。

i) 一般構造用炭素鋼管 STK540 の許容応力度について

道路橋示方書Ⅳ⁵⁾に規定する鋼管杭 SKK400、SKK490 と同様に、許容軸方向引張応力度は降伏点または耐力に対して安全率 1.7 をとり、許容軸方向圧縮応力度は許容引張応力度を上限値として道路橋示方書Ⅱ⁶⁾ 示す基準耐荷力曲線に対して安全率 1.7 をとるものとする。また、許容せん断応力度は許容軸方向引張応力度の $1/\sqrt{3}$ とした。

ii) 高張力鋼管 STKT590 の許容応力度について

本州四国連絡橋公団の設計基準⁷⁾ (以下、本四基準と略す) において高張力鋼の許容応力度が規定されている値を参照し、58 キロ鋼以上である STKT590 に関しては同基準の方法に準じて次のように設定した。

① 許容軸方向引張応力度

本四基準に準じ、降伏点または耐力に対して安全率 1.7、引張強さに対して安全率 2.2 をとった値の小さい方とした。

② 許容軸方向圧縮応力度

本四基準に準じ、上記の許容軸引張応力度を上限値とし、道路橋示方書Ⅱに示す基準耐荷力曲線に対して安全率 1.7 をとるものとする。

③ 許容せん断応力度

本四基準に準じ、許容軸方向引張応力度の $1/\sqrt{3}$ とした。

2) 道路橋示方書Ⅱの規定に準じた。

3) 道路橋示方書Ⅳの規定に準じた。

(2) 鉄筋およびコンクリート等、道路橋示方書Ⅳで規定される許容応力度については、それに準じることとした。

(3) 許容応力度の割増しについては、道路橋示方書Ⅳの規定に準じることとした。

[参考文献]

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) NIJ 研究会：GTM 工法 高圧噴射攪拌工法技術資料，2001.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2012.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2012.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2012
- 7) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説，1989.

3章 常時およびレベル1地震時の設計

3.1 設計の基本

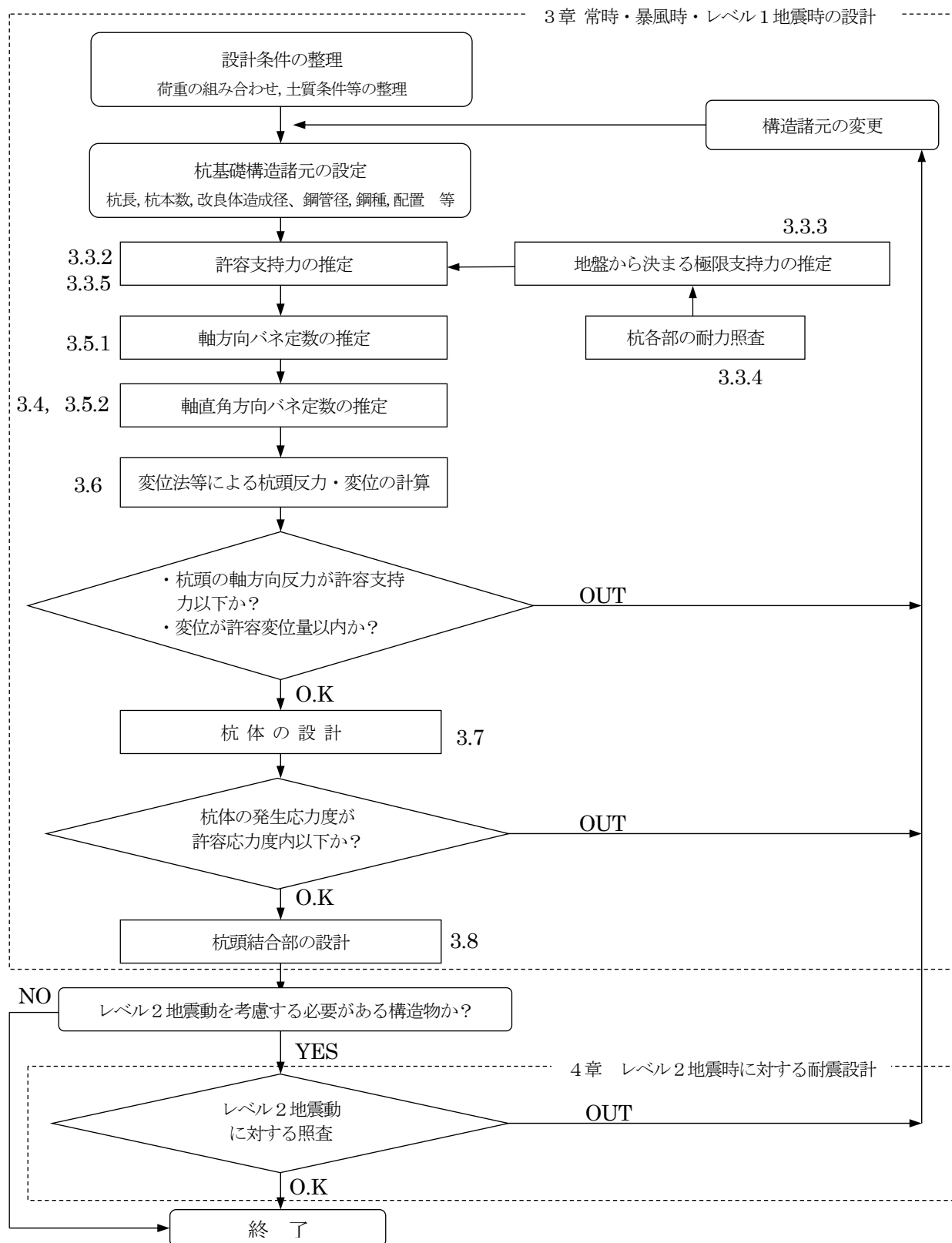
- (1) ST マイクロパイル工法 タイプⅡから構成される杭基礎の常時、暴風時、レベル1地震時の設計は、次によるものとする。
- 1) 各杭頭部の軸方向反力は、杭の許容支持力をこえてはならない。
 - 2) 杭基礎の変位は、許容変位をこえてはならない。
 - 3) 杭基礎の各部材に発生する応力度は、許容応力度を超えてはならない。
- (2) ST マイクロパイル工法 タイプⅡから構成される杭基礎に供用期間中に発生する確率は低い
が大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）が作用する場合、4章に示す地震時保有水平耐
力法により耐震設計を行うものとする。

【解説】

STMP タイプⅡにより構成される杭基礎の設計は、想定される荷重の組み合わせに対して安全性を照査しなければならない。

- (1) 常時、暴風時、レベル1地震時の設計は、次によるものとする。
- 1) 上部構造から各々の杭頭に伝達される軸方向押込み力、軸方向引抜き力は、許容支持力以下となるよう設計しなければならない。
設計条件によっては、負の周面摩擦力や偏土圧のような、杭本体に直接作用する力に対しても所要の安全性を確保されるよう設計する必要がある。この場合、道路橋示方書Ⅳ¹⁾に準じて設計するものとする。
 - 2) 杭基礎の水平方向の安定照査に関しては、水平変位により照査するものとする。一般に杭基礎の設計における許容変位は、上部構造から決まる許容変位と下部構造から決まる許容変位とを考慮する。道路橋示方書Ⅳにおける下部構造から決まる許容水平変位量は、杭径の1%としているが、杭径1,500mm以下の杭については15mmとしている。この許容変位は杭に水平荷重が作用したとき、荷重～変位関係に強い非線形性が生じず、杭の挙動を見かけ上線形と取り扱っても設計の実用上支障のない、弾性限界を考慮したものである²⁾。STMP タイプⅡの水平載荷試験事例は現時点では少ないが、3.4に示す水平載荷試験と弾性解析の比較、道路橋示方書Ⅳで規定される現状の下部構造の許容水平変位を考慮し、原則として15mmとする。
 - 3) 杭体の設計は、杭頭反力に対する杭体各部の発生曲げモーメントおよびせん断力を、杭体を弾性床上の梁として求め、軸力、曲げモーメントおよびせん断力によって生じる杭各部の応力度が許容応力度をこえないように設計するものとする。
- (2) 本マニュアルでは耐震設計に考慮する地震動として、供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と、供用期間中に発生する確率は低い大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）の2つの地震動を考慮するものとする。ここで、レベル1地震動に対しては震度法、レベル2地震動に対しては地震時保有水平耐力法に基づく耐震設計を行うものとし、地震時保有水平耐力法による杭基礎の耐震設計は、4章により行うものとする。
- なお、レベル2地震動を考慮する必要がある構造物に関しては、地震時保有水平耐力法による設計を省略することができる。

STMP タイプⅡにより構成される杭基礎の標準的な設計計算フローを図解 3.1.1 に示す。



図解 3.1.1 STMP タイプⅡにより構成される杭基礎の標準的な設計計算フロー

3.2 杭の配列

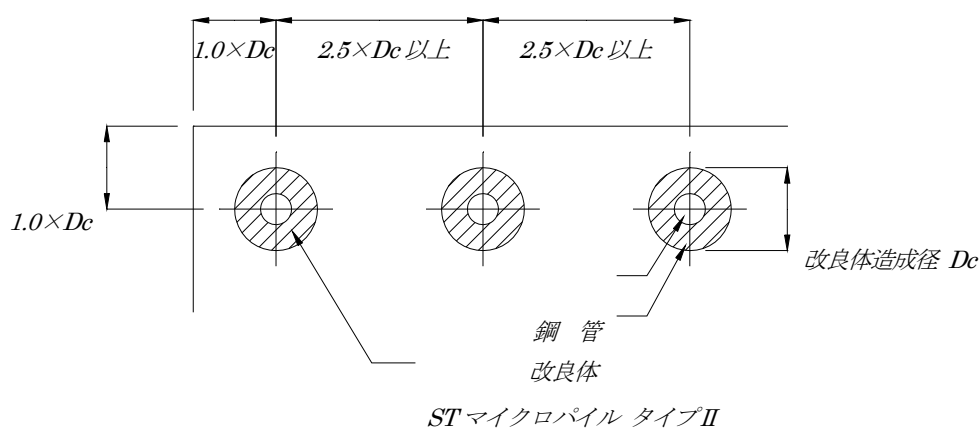
ST マイクロパイル工法 タイプⅡの杭中心間隔は、改良体造成径 D_c の 2.5 倍以上とすることを原則とする。

【解説】

一般に、杭の中心間隔が小さくなるほど群杭としての影響が著しくなり、杭の軸方向支持力、水平方向地盤反力係数などを単杭の場合より低減して考える必要がある。この群杭の影響は、道路橋示方書Ⅳによれば、杭間隔が杭径の 2.5 倍以上であれば比較的小さいとされている。STMP タイプⅡは、軸方向支持力については改良体造成径 D_c で地盤との周面摩擦および先端支持抵抗を期待するため、支持力に対する群杭の影響を考慮し、杭中心間隔は図・解 3.2.1 に示すように改良体造成径 D_c の 2.5 倍以上とすることを原則とした。

施工場所の制約条件等によりフーチングを小さくせざるを得ない場合は、杭中心間隔を改良体造成径 D_c の 2.5 倍より小さくすることができるが、この場合には道路橋示方書Ⅳに準じて群杭の影響を考慮する必要がある。なお、群杭の影響を検討するときの STMP タイプⅡの杭径は、軸方向支持力については改良体の造成径 D_c とし、水平方向地盤反力係数については改良体が負担する水平地盤抵抗幅 D' （表・解 3.4.2）を設計に用いることとする。

最外周の杭中心とフーチング縁端との距離は、改良体造成径 D_c の 1.0 倍程度とし、フーチングコンクリートの水平押抜きせん断応力度の照査も考慮して決定するものとする。



図・解 3.2.1 STMP タイプⅡの杭中心間隔

3.3 杭の許容支持力

3.3.1 一般事項

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの極限支持力および許容支持力は、以下に示す支持力機構、耐力照査、支持層への根入れ等の基本事項を考慮し、3.3.2～3.3.5により算定するものとする。

(1) 支持力機構

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの軸方向支持力機構は、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抵抗、および、改良体での地盤抵抗によって支持するものである。

(2) 地盤から決まる杭の極限支持力

地盤から決まる杭の極限支持力を支持力推定式によって推定する場合、支持力に対する杭径は改良体造成径 D_c とし、地盤と改良体との周面摩擦抵抗および先端地盤抵抗を考慮して極限支持力を推定するものとする。

(3) 杭各部の耐力照査

杭頭の軸方向荷重を鋼管から改良体に伝達し、改良体での地盤抵抗を発揮させるため、推定した地盤から決まる極限支持力に対して、杭各部の耐力（鋼管の付着耐力、グラウトと改良体間のせん断耐力）が上回っていることを 3.3.4 によって照査するものとする。

(4) 先端支持地盤への根入れ

良好な支持地盤中に杭先端を根入れさせることを基本とし、原則として鋼管先端を先端支持層に改良体造成径 D_c の 1 倍程度以上根入れさせることを原則とする。また、改良体の先端は鋼管先端から 500mm 以上の余裕長を確保するものとする。

(5) 杭の周面摩擦抵抗を考慮する範囲

常時、暴風時、地震時の極限支持力の推定にあたっては、フーチング下端から $1/\beta$ の範囲は周面摩擦抵抗を考慮しないこととする。

【解説】

(1)(2) STMP タイプⅡの軸方向支持力機構は図解 3.3.1 に示すように、杭頭に作用した軸方向荷重に対して、鋼管と改良体との一体化抵抗、および、改良体の地盤抵抗（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。

(3) 杭頭の鋼管に作用した軸方向荷重は、鋼管から削孔壁部に充填したグラウトを介して改良体に伝達され、改良体での地盤抵抗によって支持されることとなる。このような荷重伝達、鋼管と改良体の一体化を発揮させるには、数種の杭の破壊メカニズムを考慮する必要がある。STMP タイプⅡの鉛直載荷試験（押込み、引抜き）を数回実施した結果、軸方向荷重を受ける場合の極限状態は①～③のような項目が挙げられる。

①改良体と地盤間の支持力破壊（外的安定）

②節突起付き鋼管の付着切れ（内的安定）

③グラウトと改良体間のせん断破壊（内的安定）

軸方向支持力の設計においては、これらの杭の極限状態を考慮し、①推定した地盤から決まる極限支持力に相当する荷重が杭頭に作用しても、②鋼管の付着抵抗、③改良体とグラウトのせん断抵抗を確保できるよう、杭各部の耐力を照査するものとした。推定した地盤から決まる極限支持力に対して、

②③の耐力照査が満足しない場合、鋼管の節加工間隔や改良体強度などを変更する必要がある。

杭各部の耐力照査のフロー例を図-解 3.3.2 に示す。

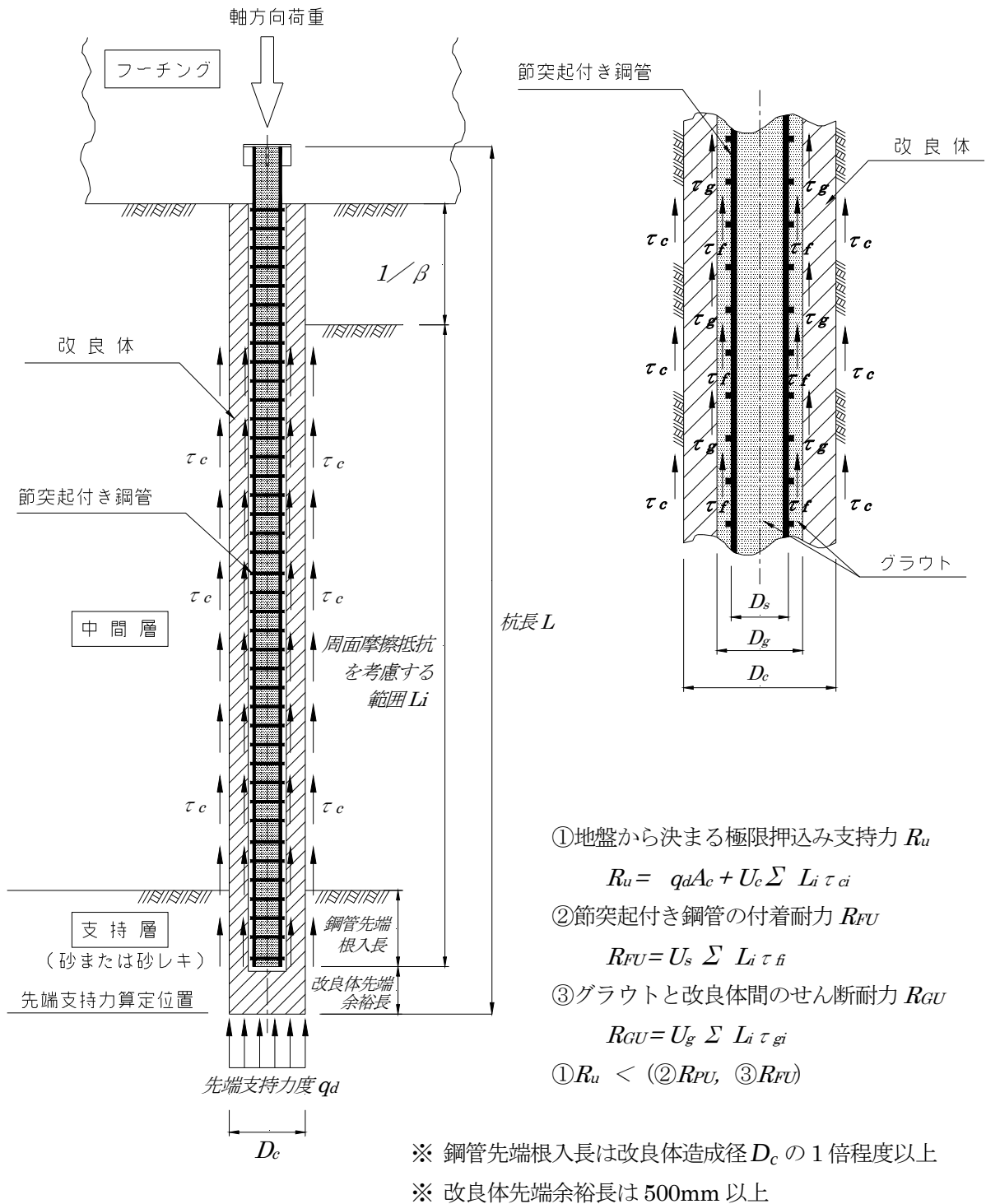


図-解 3.3.1 STMP タイプⅡの軸方向支持力機構（押込み方向）

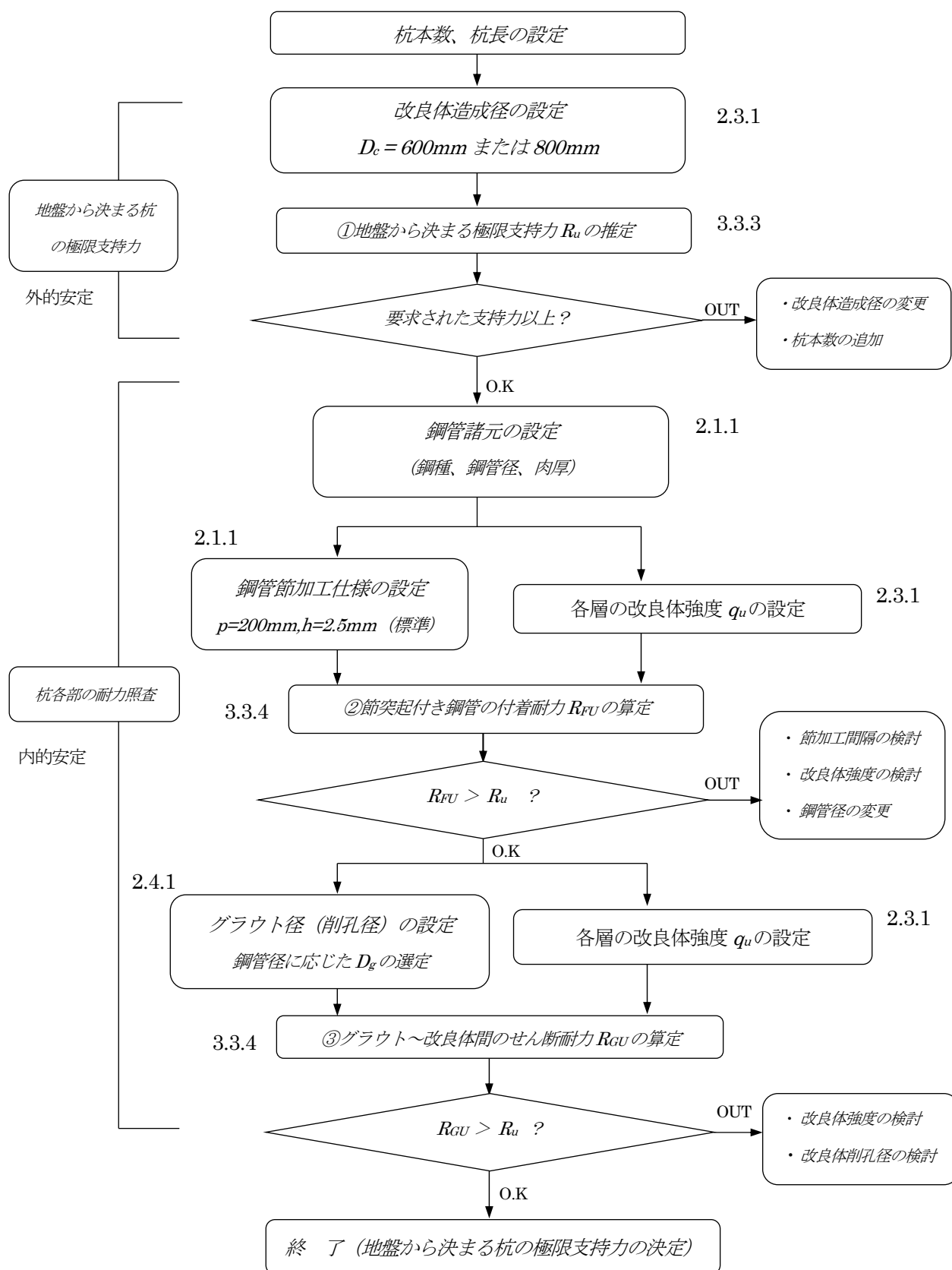


図-解 3.3.2 杭各部の耐力照査に関する設計フロー例

- (4) 長期の支持力・沈下特性を考慮し、良好な支持地盤へ杭先端を根入れさせることを基本とした。
- 支持層への杭の根入れ長としては、鋼管先端を改良体造成径 D_c の 1 倍程度以上根入れさせること原則とする。また、改良体先端部で軸力を均等に分散することや杭の施工性を考慮し、鋼管先端から 500mm 以上の改良体の先端余裕長を確保するものとした。なお、ここでの支持地盤とは、道路橋示方書Ⅳに準じ、砂層、砂礫層では N 値が 30 程度以上あれば良好な支持地盤とみなしてよい。
- 良好な支持層が大深度にしか出現せず、経済的に不効率となる場合には、支持層に杭先端を根入れしない摩擦杭とすることが考えられるが、この場合、道路橋示方書Ⅳを参考に、摩擦杭としての適用を十分検討する必要がある。
- (5) 常時、暴風時、地震時（レベル 1 地震時，レベル 2 地震時）の極限支持力の推定において、杭の周面摩擦抵抗を考慮する範囲は鋼管を有する区間とするが、フーチング下端から $1/\beta$ の範囲は設計上の周面摩擦抵抗は考慮しないこととする。これは、供用期間中に発生する確率が高いレベル 1 地震時に対して許容水平変位量内に抑える設計を行うが、杭頭付近の改良体にはクラックが発生することが考えられるためである。杭頭付近のクラックは軽微なものであるが、レベル 1 地震発生後の供用を考慮し、この範囲の鋼管と改良体の一体化抵抗は全ての設計時において無視することとした。

3.3.2 軸方向許容押込み支持力

- (1) ST マイクロパイル工法 タイプⅡの軸方向許容押込み支持力は、式 (3.3.1) により算出するものとする。

$$R_a = \frac{\gamma}{n} R_u \quad \dots\dots\dots (3.3.1)$$

ここに、

- R_a : 杭頭における杭の軸方向許容押込み支持力 (kN)
 n : 表-3.3.1 に示す安全率
 γ : 極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数
 R_u : 地盤から決まる杭の極限押込み支持力 (kN)

表-3.3.1 安全率

荷 重 状 態 \ 杭 の 種 類	支 持 杭
常 時	3
暴風時、レベル1地震時	2

- (2) ST マイクロパイル工法 タイプⅡの地盤から決まる極限押込み支持力は、鉛直載荷試験を行って求めることを基本とするが、適切な地盤調査を行い、過去の載荷試験事例、土質条件、構造物の重要度などを考慮したうえで、支持力推定式によって求めてもよい。

【解説】

- (1) 1) STMP タイプⅡは良好な支持層に根入れさせることを基本とし、道示Ⅳの支持杭のみの安全率を示した。なお、摩擦杭としての適用は、道示Ⅳの規定により長期の支持力特性や杭の根入れ長などを十分検討する必要がある。
- 2) 杭の支持力に関する安全性は安全率 n のほか、道示Ⅳに準じ、表-解 3.3.1 に示す極限支持力推定法の差違による安全率の補正係数 γ で保証するものとする。これは、載荷試験を行えばその地点での支持力を直接知ることができ、得られた支持力の信頼性を考慮したものである。なお、鉛直載荷試験によって極限支持力を求めた場合においても、杭の $1/\beta$ 範囲の周面摩擦力は差し引いた値を設計に用いることとする。

表-解 3.3.1 極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数 γ

極限支持力推定法	安全率の補正係数
支持力推定式	1.0
鉛直載荷試験	1.2

- (2) STMP タイプⅡの支持力推定式は、実大の試験施工・鉛直載荷試験結果、現行の技術基準等を考慮したものであるが、杭の施工性（改良体の出来形・品質）を試験施工によって確認し、地盤工学会「杭の鉛直載荷試験・同解説」②に基づき鉛直載荷試験で極限支持力を確認するのが望ましい。また、適切な地盤調査を行い、過去の載荷試験事例、土質条件、構造物の重要度などを考慮したうえで、支持力推定式により極限支持力を推定してもよい。

3.3.3 地盤から決まる極限押込み支持力の推定

支持力推定式により、ST マイクロパイル工法 タイプⅡの地盤から決まる極限押込み支持力を求める場合、改良体造成径 D_c を杭径として式 (3.3.2) により推定するものとする。

$$R_u = q_d \cdot A_c + U_c \sum L_i \tau_{ci} \quad \dots\dots\dots (3.3.2)$$

ここに、

- R_u : 地盤から決まる杭の極限押込み支持力 (kN)
- q_d : 改良体先端における単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m²)
- A_c : 改良体先端面積 (m²) = $\pi D_c^2 / 4$
- U_c : 改良体の周長 (m) = $D_c \times \pi$
- L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
- τ_{ci} : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)
- D_c : 改良体造成径 (m)

【解説】

- 1) 地盤から決まる杭の極限押込み支持力の推定
 - i) 支持力推定式によって STMP タイプⅡの地盤から決まる極限支持力を求める場合、改良体造成径 D_c を杭径とし、改良体の周面摩擦抵抗、先端地盤抵抗を考慮して式 (3.3.2) により推定することとした。
 - ii) 3.3.1、図-解 3.3.1 に示したように、常時、暴風時、地震時（レベル1地震時，レベル2地震時）の軸方向支持力の推定において、杭の周面摩擦抵抗を考慮する範囲は鋼管を有する区間とするが、フーチング下端から $1/\beta$ の範囲は設計上の周面摩擦抵抗は考慮しないこととする。
- 2) 最大周面摩擦力度 τ_{ci} の推定
 - i) 最大周面摩擦力度 τ_{ci} の推定方法

改良体の周面に期待する最大周面摩擦力度 τ_{ci} は、道路橋示方書Ⅳ「場所打ち杭」の推定方法を準用し、表-解 3.3.2 により推定することとする。これは、ii)で示す STMP タイプⅡの鉛直載荷試験結果、現行の技術基準を参考として設定したものである。

表-解 3.3.2 改良体の最大周面摩擦力度 τ_{ci} の推定表

地盤の種類	最大周面摩擦力度 τ_{ci} (kN/m ²)
砂 質 土	5N (≤200)
粘 性 土	Cまたは10N (≤150)

ただし、C は地盤の粘着力(kN/m²)、N は標準貫入試験の N 値

ii) STMP タイプⅡの鉛直載荷試験例

① STMP タイプⅡの押し込み載荷試験例 3),4),5)

図-解 3.3.3～図-解 3.3.7 に砂質地盤で実施した STMP Ⅱの鉛直押し込み載荷試験の結果を示す。図-解 3.3.4 は鋼管に発生したひずみに鋼管と管内のグラウトの EA を乗じて求めた軸力、図-解 3.3.6 は各区間の軸力差を改良体周面積で除して求めた改良体の周面摩擦力度分布である。また、図-解 3.3.7 は試験時の最大周面摩擦力度と各区間の平均 N 値との関係であるが、表-解 3.3.2 で示した最大周面摩擦力度の推定値より大きな結果が得られている。

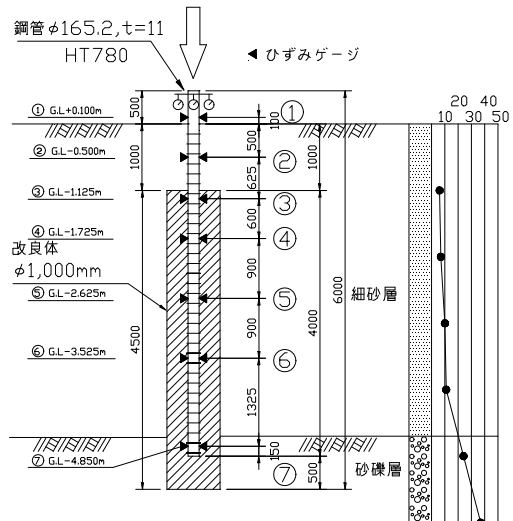


図-解 3.3.3 載荷試験杭一般図

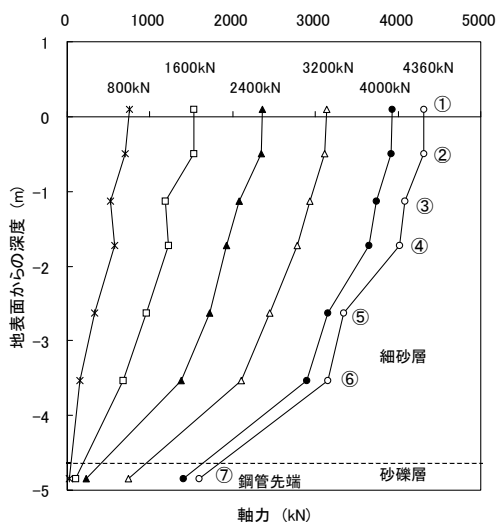


図-解 3.3.4 載荷試験結果（軸力分布）

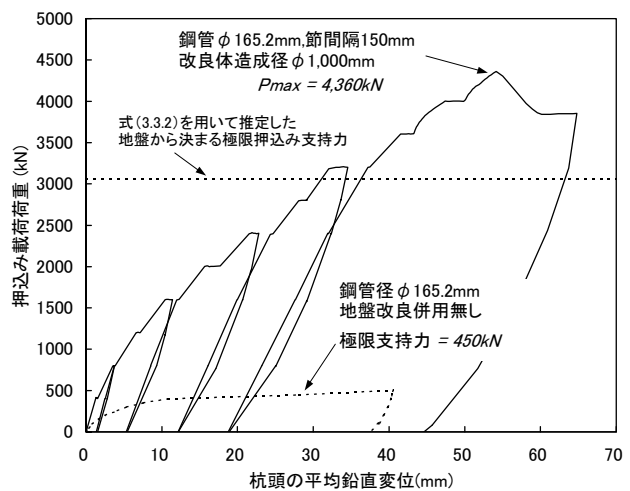


図-解 3.3.5 載荷試験結果
（荷重～杭頭変位関係）

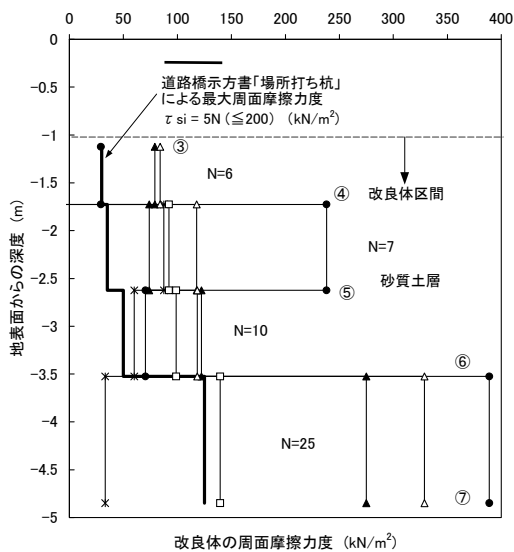


図-解 3.3.6 載荷試験結果
（改良体周面摩擦力度の深度分布）

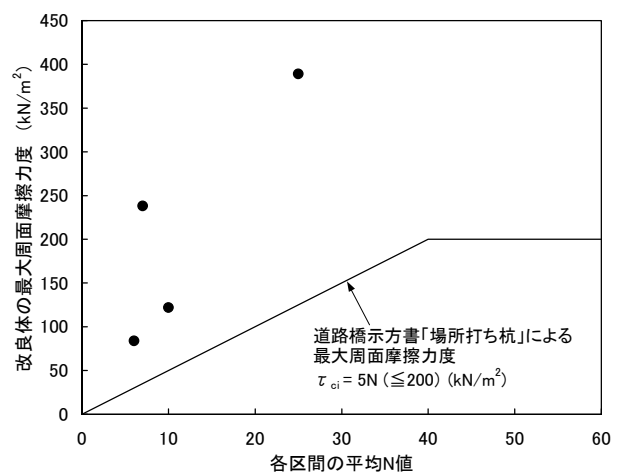


図-解 3.3.7 載荷試験結果
（N 値～周面摩擦力度関係）

② STMP タイプⅡの引抜き载荷試験例⁶⁾

図-解 3.3.8～図-解 3.3.11 に砂質地盤で実施したSTMP タイプⅡの鉛直引抜き载荷試験の結果を示す。図-解 3.3.10 は鋼管に発生したひずみに鋼管の EA を乗じて求めた軸力を各区間の改良体周面積で除した周面摩擦力度、図-解 3.3.11 は試験時の最大周面摩擦力度と各区間の平均 N 値の関係である。周面摩擦力度は押込み载荷試験結果より比較的小さいものの、表-解 3.3.2 で推定した最大周面摩擦力度を満足する結果が得られている。

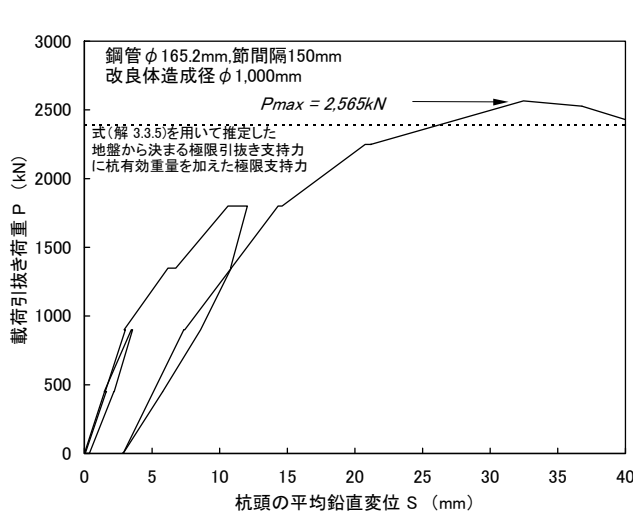


図-解 3.3.8 载荷試験結果
(荷重～杭頭変位関係)

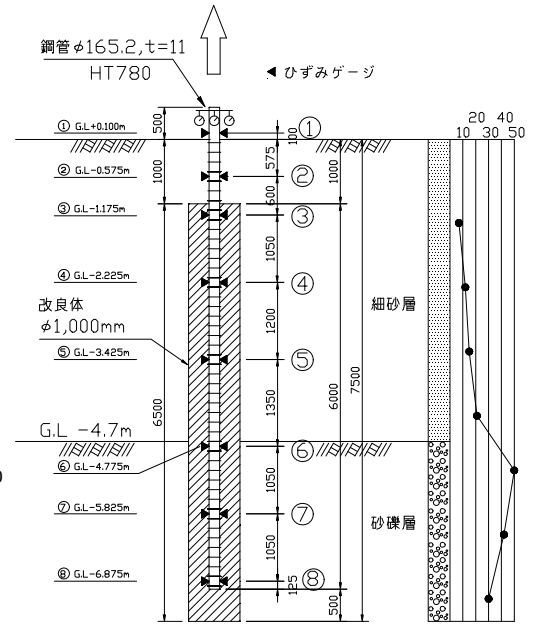


図-解 3.3.9 载荷試験杭一般図

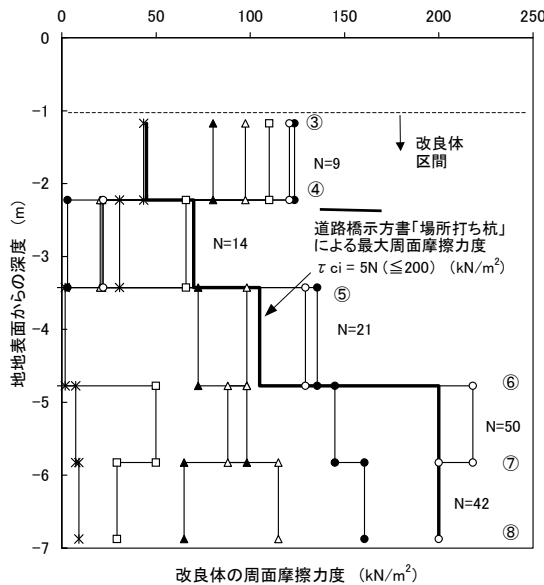


図-解 3.3.10 载荷試験結果
(改良体周面摩擦力度の深度分布)

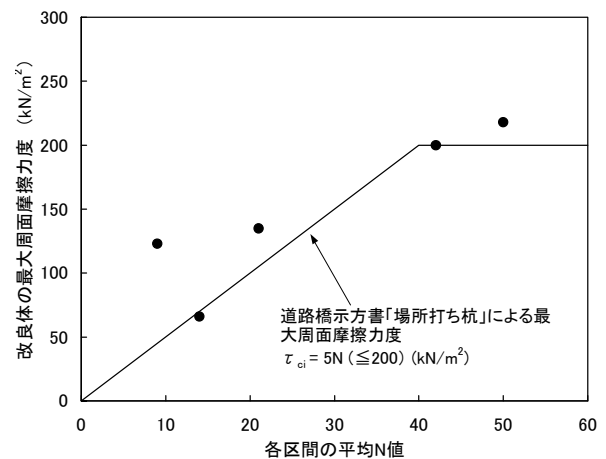


図-解 3.3.11 载荷試験結果
(N 値～周面摩擦力度関係)

iii) 最大周面摩擦力度の推定に関する注意事項

道路橋示方書Ⅳに基づき、最大周面摩擦力度を推定に関する注意事項を以下に示す。

① 軟弱層における周面摩擦力度

N 値が 5 未満の軟弱層では、粘着力を N 値により推定することは信頼性が乏しいので N 値により最大周面摩擦力度を推定してはならない。しかしながら、 N 値は小さくても粘着力 C が大きく、周面摩擦力を期待できる場合もあるので、別途土質試験により粘着力を求め、これにより最大周面摩擦力度を推定してよい。ただし、圧密沈下が生じるおそれのあるような軟弱層においては、道示Ⅳを参考に、負の周面摩擦力による影響に対して検討する必要がある。

② 地震時の最大周面摩擦力度

道路橋示方書Ⅴ⁷⁾により、地震時にごく軟弱な粘性土層およびシルト質土層と判定された場合、地震時の設計（レベル 1 地震時，レベル 2 地震時）において、その土層の最大周面摩擦力度を考慮してはならない。また、液状化が生じると判定された砂質土層に関しても、地震時（震度法、地震時保有水平耐力法）の設計において、液状化に対する抵抗率 F_L の値に応じて土質定数の低減係数 D_E を設定し、対象となる砂質土層の最大周面摩擦力度に乗じて低減させるものとする。

3) 杭先端の極限支持力度 q_d の推定

改良体先端に期待する極限支持力度 q_d は、表・解 3.3.3 により推定することとする。この極限支持力度は、STMPⅡの鉛直押し込み載荷試験時に発生した鋼管先端部での軸力（図・解 3.3.4）を改良体面積（杭先端での実測造成径 0.9m）で除して設定したものである。表値は道路橋示方書Ⅳ「場所打ち杭」に規定される極限支持力度と比較して若干小さな値であるが、杭先端地盤が N 値 30 未満程度であったこと、載荷試験が改良体とグラウト間のせん断破壊で最大荷重が決まったことも影響したものと考えられる。

当面の支持力推定においては、現時点で確認できているデータとして、鉛直載荷試験結果から逆算した極限支持力度を用いることとするが、今後の載荷試験データの蓄積によってさらに杭先端の極限支持力度 q_d の推定方法を検討する必要がある。

表・解 3.3.3 杭先端（改良体先端）の極限支持力度 q_d の推定表

地 盤 種 類	杭先端の極限支持力度 (kN/m ²)
砂礫層および砂層 $N \geq 30$	2,500

3.3.4 支持力に対する杭各部の耐力照査

杭頭に作用した軸方向荷重を鋼管から改良体に伝達し、改良体での地盤抵抗を発揮させるため、推定した地盤から決まる極限押込み支持力 R_u に対して、杭各部の耐力が上回っていることを照査するものとする。

耐力照査は次の項目について実施する。

(1) 節突起付き鋼管の付着耐力

付着性能実験に基づいた推定式により鋼管の最大付着応力度を設定し、鋼管の付着耐力 R_{FU} を算定する。

(2) グラウトと改良体間のせん断耐力

各層の改良体の一軸圧縮強度に応じたグラウトと改良体間の最大せん断強度を推定し、グラウトと改良体間のせん断耐力 R_{GU} を算定する。

【解説】

STMP タイプⅡの軸方向支持力機構は、杭頭の鋼管に作用した軸方向荷重を、鋼管から削孔壁部に充填したグラウトを介して改良体に伝達し、改良体の地盤抵抗によって支持するものである。このような荷重伝達、鋼管と改良体との一体化を発揮させるため、推定した地盤から決まる極限押込み支持力 R_u に対して、杭各部の耐力（鋼管の付着耐力、グラウトと改良体間のせん断耐力）が上回っていることを照査するものとした。

(1) 節突起付き鋼管の付着耐力 R_{FU} の推定

STMP タイプⅡに使用する鋼管は外表面にビード溶接による節突起加工を施しており、軸方向荷重に対して鋼管の付着性能を確保しようとするものである。節突起付き鋼管の付着耐力は式（解 3.3.1）によって求める。

この節突起付き鋼管の付着性能を定量的に評価するため、固化体（セメントミルク）中に節突起加工を施した鋼棒を定着させ、引抜き荷重を与えた室内付着性能実験⁹⁾を行っている。付着耐力の算定に用いる最大付着応力度 τ_f は、実験の付着応力 τ ～相対変位 δ における見かけの降伏付近の付着応力 $\tau_{0.2\%}$ （鋼棒と固化体の相対変位が鋼棒直径の 0.2%相当となるときの付着応力）を付着性能に関する極限状態としたものである。実験においては、節突起の間隔・溶接高さ、固化体強度をパラメータとした実験を行い、それぞれ得られた $\tau_{0.2\%}$ を用いて、設計に用いる最大付着応力度 τ_f の推定式（解 3.3.2）を設定した。

鋼管の付着性能は、節加工の仕様のほか、鋼管を定着した場所の圧縮強度、拘束効果が影響する。ここで、鋼管周辺の削孔部にはグラウトが充填されているが、鋼管の付着性能は強度の低い改良体に影響することや安全側の設計となることも考慮し、鋼管の最大付着応力度を推定するときの定着部強度は改良体の一軸圧縮強度 q_u を用いることとする。

$$R_{FU} = U_s \sum L_i \tau_{fi} \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.3.1)}$$

ここに、

R_{FU} : 節突起付き鋼管の付着耐力 (kN)

U_s : 鋼管の周長 (m) = $D_s \times \pi$

D_s : 鋼管径 (m)

L_i : 周面摩擦抵抗を考慮する層厚 (m)

τ_{fi} : 各層の鋼管の最大付着応力度 (kN/m²) で、式 (解 3.3.2) によって推定する。

$$\tau_{fi} = \left(274.94 \frac{h}{p} + 9.0683 \right) \times \sqrt{q_{ui}} \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.3.2)}$$

h : 節加工 (ビード溶接) 高さ (m)

p : 節加工間隔 (m)

q_{ui} : 各層の改良体の一軸圧縮強度 (kN/m²)

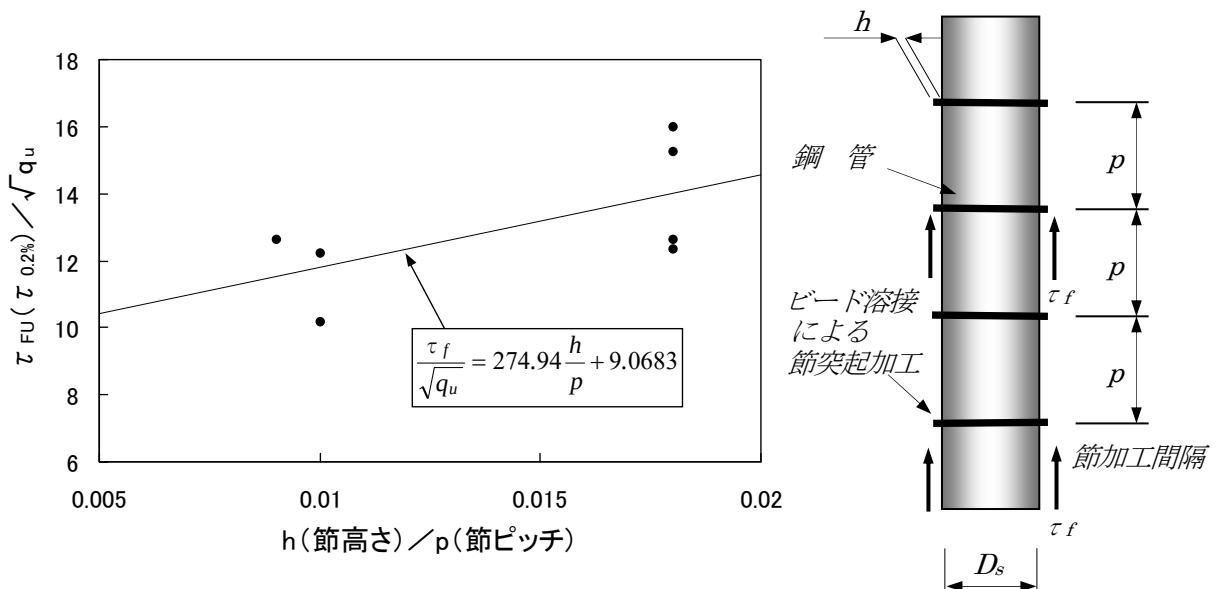


図-解 3.3.12 節突起付き鋼管の最大付着応力度の推定式 (解 3.3.2) 8)

表-解 3.3.4 に標準の節突起加工、改良体一軸圧縮強度 q_u に対する鋼管の最大付着応力度 τ_f を示す。

表-解 3.3.4 節突起加工仕様、改良体一軸圧縮強度 q_u に対する鋼管の最大付着応力度 τ_f

節突起加工の標準仕様			改良体一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	節突起付き鋼管の 最大付着応力度 τ_f (kN/m ²)
溶接高さ h (mm)	節加工間隔 p (mm)	h/p		
2.5	200	0.0125	4,000～5,000 (砂質土)	791～884
			2,000～3,000 (粘性土)	559～685
			10,000 (支持層)	1,251

(2) グラウトと改良体間のせん断耐力 R_{GU} の推定

グラウトと改良体間のせん断耐力 R_{GU} は式 (解 3.3.3) により推定することとする。

$$R_{GU} = U_g \sum L_i \tau_{gi} \quad \dots\dots\dots (解 3.3.3)$$

ここに、

R_{GU} : グラウトと改良体間のせん断耐力 (kN)

U_g : グラウト体の周長 (m) = $D_g \times \pi$

D_g : グラウト体外径 (改良体削孔径) (m)

L_i : 周面摩擦抵抗を考慮する層厚 (m)

τ_{gi} : 各層でのグラウトと改良体間の最大せん断強度 (kN/m²) で、式 (解 3.3.4) により推定する。

$$\tau_{gi} = 1/8 \times q_{ui} \quad \dots\dots\dots (解 3.3.4)$$

q_{ui} : 各層の改良体の一軸圧縮強度 (kN/m²)

STMP タイプⅡの押込み載荷試験 (図-解 3.3.5) ④では、地盤から決まる極限支持力を上回る鉛直荷重をさらに載荷したが、鋼管の付着性能は確保していたものの、改良体と削孔壁部に充填したグラウトの近傍でせん断破壊が生じた。そのため、推定した地盤から決まる極限支持力 R_u に対して荷重伝達性能が確保できるよう、グラウトと改良体間のせん断耐力の照査も行うこととした。

載荷試験結果によれば、最大荷重載荷時にグラウトの周面に発生したせん断応力度の最大値は、各区間を平均すると約 1N/mm² であり、改良体の一軸圧縮強度 (鋼管区間平均 8N/mm²) の約 1/8 程度であった。また、図-解 3.3.13 に STMP タイプⅡの試験施工での改良体の一軸圧縮強度 q_u と一面せん断試験による最大せん断強度 τ_g の関係を示す。改良体の最大せん断強度は一軸圧縮強度の約 1/6 程度である。したがって、式 (解 3.3.4) に示す最大せん断強度で、グラウトと改良体間のせん断耐力を簡易的に推定することとした。

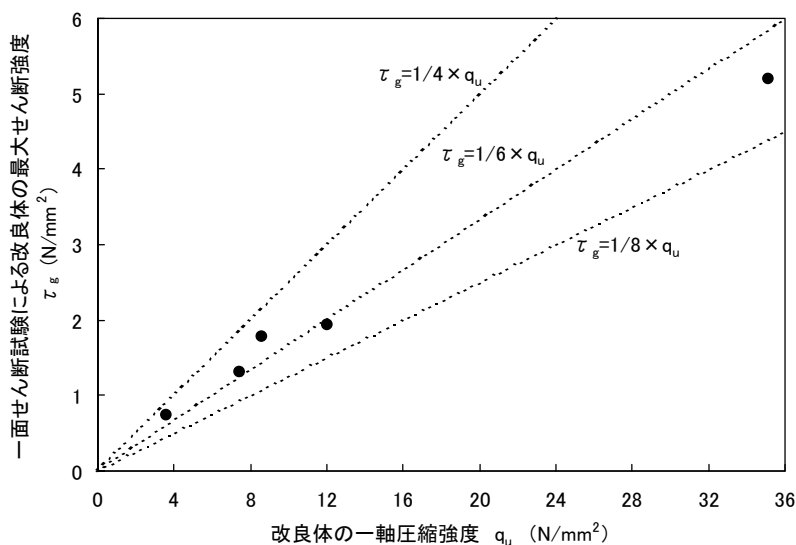


図-解 3.3.13 一面せん断試験による改良体の最大せん断強度 τ_g と一軸圧縮強度 q_u の関係

3.3.5 軸方向許容引抜き支持力

- (1) ST マイクロパイル工法 タイプⅡの軸方向許容引抜き支持力は、式 (3.3.3) により算出するものとする。

$$P_a = \frac{1}{n} P_u + W \quad \dots\dots\dots (3.3.3)$$

ここに、

P_a : 杭頭における杭の軸方向許容引抜き力 (kN)

n : 表-3.3.2 に示す安全率

P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き支持力 (kN)

W : 杭の有効重量 (kN)

表-3.3.2 安全率

常 時	暴風時、レベル1 地震時
6	3

- (2) ST マイクロパイル工法 タイプⅡの地盤から決まる極限引抜き支持力は、地盤調査結果に基づいて支持力推定式によって求めるか、あるいは引抜き載荷試験を行って求めるものとする。

【解説】

- (1) STMP タイプⅡの軸方向許容引抜き力は、地盤の許容引抜き抵抗力和杭自重の和として算出する。なお、杭自重は、鋼管、グラウト、改良体を考慮するものとする。
- (2) 地盤から決まる極限引抜き支持力は、地盤調査結果に基づいて支持力推定式によって求めるか、あるいは引抜き載荷試験⁹⁾を行って求めるものとする。地盤から決まる極限引抜き支持力を支持力推定式によって求める場合、式(3.3.2)の第2項、改良体と地盤との周面摩擦抵抗を考慮し、式(解 3.3.5)により推定することとする。ここで、改良体周面に期待する最大周面摩擦力度は、3.3.3の表-解 3.3.2に示す値を用いることとするが、最大周面摩擦力度の推定にあたっては、同項の解説に注意しなければならない。

$$P_u = U_c \sum L_i \tau_{ci} \quad \dots\dots\dots (\text{解 } 3.3.5)$$

ここに、

P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き支持力 (kN)

U_c : 改良体の周長 (m) = $D_c \times \pi$

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

τ_{ci} : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

D_c : 改良体造成径 (m)

なお、極限押し込み支持力に対して、3.3.4 で示した杭各部の耐力照査を行えば、極限引抜き支持力に対する耐力照査は省略してよい。

3.4 水平方向地盤反力係数

3.4.1 一般事項

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの水平方向地盤反力係数は、以下に示す水平抵抗に関する基本事項を考慮し、3.4.2により算定するものとする。

- 1) 杭頭の鋼管に伝達された水平・モーメント荷重に対して、改良体が水平地盤抵抗を負担するものとし、水平抵抗に関する計算上の杭径を改良体の水平地盤抵抗幅 D' として設計するものとする。
- 2) 杭体の曲げ剛性は、原則として鋼管のみの部材を考慮するものとする。

【解説】

- 1) STMP タイプⅡの水平抵抗に関する基本方針は、改良体での水平地盤抵抗を期待し、小口径鋼管に対する水平方向地盤反力係数、水平地盤反力の増大効果を期待するものである。この改良体の水平地盤抵抗はSTMPタイプⅡの水平載荷試験結果から、改良体全幅のうち水平地盤抵抗幅 D' （水平抵抗に関する計算上の杭径）で評価するものとし、鋼管径 D_s 、改良体造成径 D_c に応じた水平地盤抵抗幅 D' を設定するものとする。
- 2) STMP タイプⅡの水平載荷試験の結果によれば、ごく小さな水平変位の範囲では改良体の曲げ剛性も杭の水平抵抗に寄与するようであるが、変位の進行によって発生する改良体のクラックの影響から、改良体の杭構造部材としての寄与度は非常に少ない。また、鋼管内に充填したグラウトによる曲げ剛性の増加はあるものの、設計の簡便性を考慮し、鋼管のみの部材を杭体の曲げ剛性 EI として考慮することを原則とした。

3.4.2 水平方向地盤反力係数

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの水平方向地盤反力係数は、杭の水平載荷試験による荷重～変位曲線から逆算して求めるか、地盤調査、土質調査の結果を十分検討したうえで推定することとする。

【解説】

- 1) 水平載荷試験の結果から求める水平方向地盤反力係数

STMP タイプⅡの水平方向地盤反力係数を水平載荷試験から求める場合、杭の水平載荷試験方法・同解説¹⁰⁾に基づき、荷重～変位曲線から逆算して求めることとする。STMP タイプⅡの水平載荷試験の事例は現時点では少数であるため、改良体の水平地盤抵抗を載荷試験によって検討することが望ましい。ただし、適切な地盤調査を行い、過去の載荷試験事例、土質条件、杭諸元、構造物の重要度等を考慮したうえで、2)に示す方法によって水平方向地盤反力係数を推定することができる。

- 2) 地盤調査、土質調査結果を考慮して推定する水平地盤反力係数

STMP タイプⅡの水平方向地盤反力係数を地盤調査、土質調査の結果から推定する場合は、道路橋示方書Ⅳに基づき、式（解 3.4.1）により算出するものとする。

$$k_H = k_{Ho} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4} \dots\dots\dots (\text{解 3.4.1})$$

ここに、

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN / m^3)

k_{Ho} : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力係数 (kN / m^3) で、各種土質試験・調査により求めた変形係数から設定する場合は、式 (解 3.4.2) により求める。

$$k_{Ho} = \frac{1}{0.3} \alpha E_o \dots\dots\dots (\text{解 3.4.2})$$

E_o : 表-解 3.4.1 に示す方法で測定または推定した、設計の対象とする位置での地盤の変形係数 (kN / m^2)

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数で、表-解 3.4.1 に示す。

表-解 3.4.1 変形係数 E_o と α

変形係数 E_o の推定方法	地盤反力係数の推定に用いる係数 α	
	常 時	地 震 時
直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の 1/2	1	2
孔内水平載荷試験で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸または三軸圧縮試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験の N 値により $E_o = 2800N(kN / m^2)$ で推定した変形係数	1	2

B_H : 荷重作用方向に直交する杭の換算載荷幅で、式 (解 3.4.3) により求める。

$$B_H = \sqrt{D' / \beta} \dots\dots\dots (\text{解 3.4.3})$$

D' : 改良体に期待する杭の水平地盤抵抗幅 (水平抵抗に関する計算上の杭径) (m) で、図-解 3.4.1、表-解 3.4.2 に示す幅と推定する。

$1 / \beta$: 水平抵抗に関与する地盤の深さ (m)

$$\beta : \text{基礎の特性値 } \sqrt[4]{\frac{k_H D'}{4EI}} \quad (m^{-1})$$

EI : 杭体の曲げ剛性 ($kN.m^2$) で、設計の簡便性を考慮して鋼管の曲げ剛性とする。

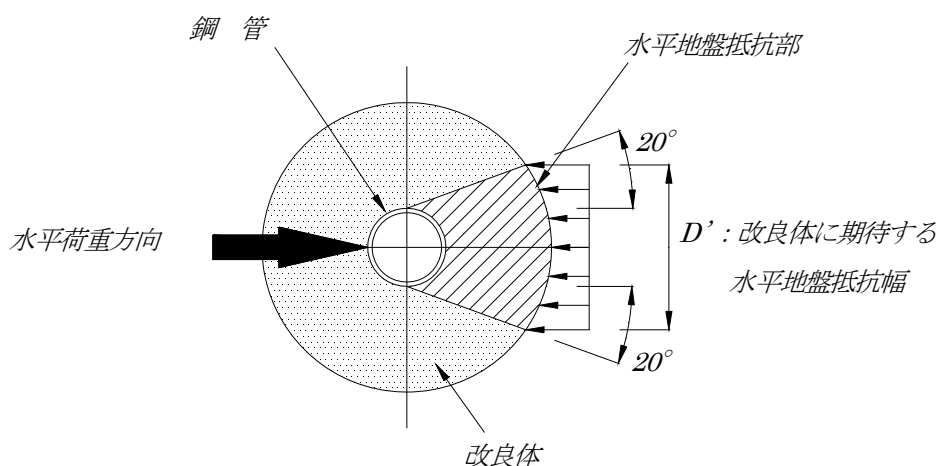


図-解 3. 4. 1 改良体に期待する水平地盤抵抗幅 D' の考え方

表-解 3. 4. 2 改良体の水平抵抗幅 D'

鋼管径 D_s (mm)	改良体造成径 D_c (mm)	改良体に期待する 水平地盤抵抗幅 D' (mm)	備 考
216.3	600	350	鋼管端部から約 20° の範囲に設定した
	800	450	
267.4	600	450	
	800	500	

① 杭の換算載荷幅 B_H について

道路橋示方書Ⅳに基づき、杭の換算載荷幅 B_H を算定する際の k_H は常時の値とし、設計地盤面から $1/\beta$ までの深さの平均的な変形係数 E_0 を用いて算定した値とする。また、地盤を多層として評価し各層の水平方向地盤反力係数を算出する場合も、各層の換算載荷幅は上記により求めた B_H を用いるものとする。

② 改良体の水平地盤抵抗幅 D'

改良体に期待する杭の水平地盤抵抗幅 D' は、3)で示す STMPⅡの水平載荷試験時の改良体の抵抗状況、および試験結果とシミュレーション解析との比較から、鋼管端部から約 20° の範囲の広がりを持って改良体が水平地盤抵抗を負担するよう設定した。水平載荷試験の杭諸元は鋼管径が 165.2mm、改良体造成径が 1,000mm での試験結果であり、表-解 3.4.2 に示す鋼管径と改良体造成径の範囲では、このような水平地盤抵抗幅を概ね確保できると判断したものである。

3) STMP タイプⅡの水平載荷試験例 5),11)

改良体が負担する水平地盤抵抗を検討するため、STMP タイプⅡの水平交番載荷試験を実施している。鋼管は外径 165.2mm、肉厚 11mm の高張力鋼管 HT780 であり、 $1/\beta$ 範囲の土質は細砂地盤、平均 N 値が 7 での載荷試験である。図-解 3.4.2 に水平載荷試験杭の一般図、図-解 3.4.3 に水平荷重～載荷点の水平変位関係を示す。1 サイクル当たり 40kN の水平荷重を正方向に最大 5 サイクルまで与えたが、第 2 サイクルで改良体にクラックが発生しはじめ、最終サイクルでは改良体に押抜きせん断のような大きなひび割れが生じた(図-解 3.4.4, 図-解 3.4.5)。

① 非線形解析との比較 (レベル 2 地震時の対象)

4.2.3 および 4.2.4 で示す地盤と杭体の非線形性を考慮した単杭のシミュレーション解析を行った(表-解 3.4.3)。なお、ここでは詳細な検討を行うため、非線形解析および弾性解析においては鋼管内のグラウトも杭体の曲げ剛性に考慮し、複合断面として設定している。また、地盤改良を併用しないマイクロパイルの水平載荷試験を別途実施しており、その試験結果と非線形解析が一致するような単杭の補正係数 α_k 、 α_p を設定している。

CASE1 は一般の鋼管杭と同様に改良体の抵抗は期待しないモデル、CASE2 は改良体を水平地盤抵抗の増大効果として期待したモデルである。その地盤抵抗を期待する水平地盤抵抗幅 D' は、改良体のひび割れ状況から、 $D'=500\text{mm}$ と設定した(図-解 3.4.6)。なお、この抵抗幅は鋼管端部から約 20° の範囲の広がりをもっている。

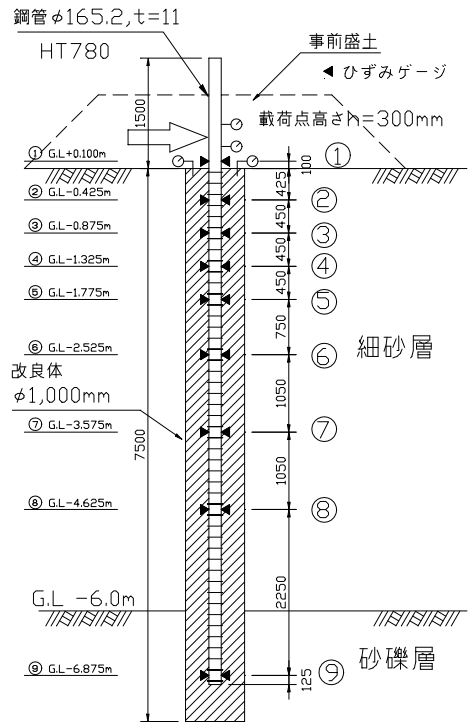


図-解 3.4.2 水平載荷試験杭一般図

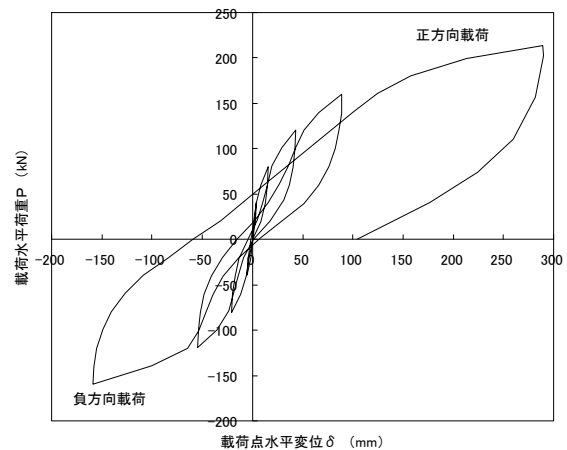


図-解 3.4.3 水平荷重～水平変位関係



図-解 3.4.4 試験後の杭頭状況



図-解 3.4.5 試験後の杭頭近影

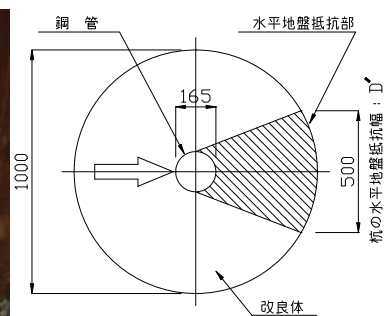


図-解 3.4.6 水平地盤抵抗モデル

表-解 3.4.3 非線形解析ケースおよびモデル

解析ケース	水平地盤抵抗幅（計算上の杭径）	杭の曲げ剛性EI	補正係数 α_k	補正係数 α_p
CASE1	D = 165.2mm（鋼管径） （改良体の水平地盤抵抗無視）	鋼管＋鋼管内 グラウト	2.0 （道示Ⅳ：1.5）	4.0 （道示Ⅳ：3.0）
CASE2	D' = 500mm （改良体の水平地盤抵抗考慮）			

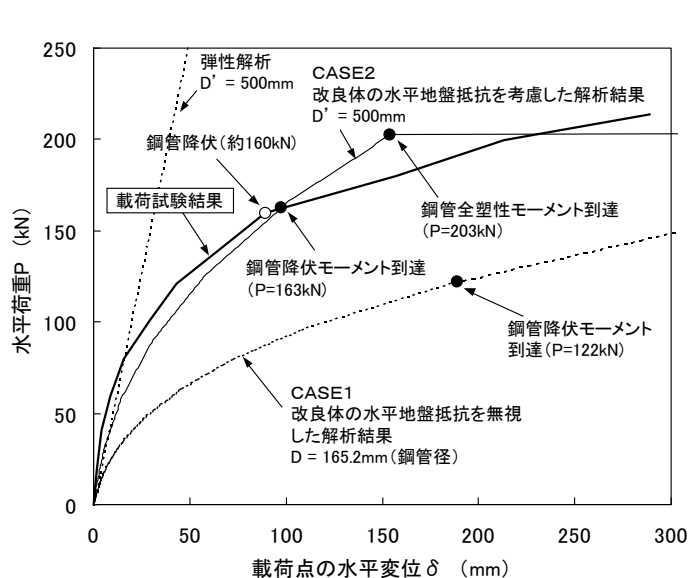


図-解 3.4.7 非線形解析結果
（水平荷重～変位関係）

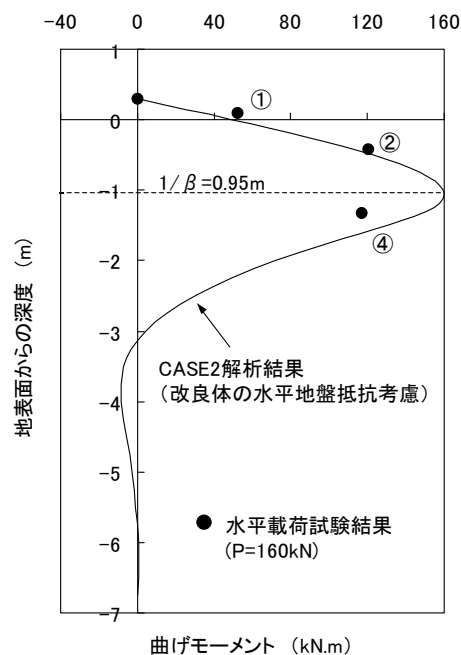


図-解 3.4.8 非線形解析結果
（曲げモーメント分布）

非線形解析の結果として、図-解 3.4.7 に水平荷重～載荷点の水平変位関係を示す。CASE1 と試験結果を比較した場合、改良体の抵抗を無視することは過小評価であり、この両者の $P \sim \delta$ 差が改良体の効果であることが分かる。一方、CASE2 の解析結果は試験結果と比較的近い $P \sim \delta$ 関係を示している。図-解 3.4.8 には、鋼管降伏付近の試験結果と CASE2 の解析によるモーメント分布を示す。ひずみが測定できた断面が少ないため十分な整合性は確認できなかったものの、杭の水平抵抗に大きな影響を及ぼす範囲での分布形状は概ね一致している。したがって、STMP タイプⅡの水平抵抗に関しては、改良体の水平地盤抵抗幅 D' を設定することによって、杭の水平挙動を推定することが可能と判断した。

②弾性解析との比較（常時およびレベル1 地震時の対象）

図-解 3.4.7 には、杭の水平地盤抵抗幅を $D' = 500\text{mm}$ として式（解 3.4.1）により水平方向地盤反力係数 k_H を推定し、弾性計算によって求めた荷重～変位関係を併記する。弾性解は試験結果と 20mm 程度の変位で一致しており、杭体および地盤を弾性体とした設計では、現行の道路橋示方書Ⅳで規定する許容水平変位（1,500mm 以下の杭については 15mm）よりも若干大きな変位レベルまで水平挙動を推定できる結果が得られた。

3.5 杭のバネ定数

3.5.1 杭の軸方向バネ定数

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの軸方向バネ定数は、鉛直載荷試験による荷重～沈下量曲線から求めるか、既往の鉛直載荷試験に基づく推定式によって求めるものとする。

【解説】

杭の軸方向バネ定数 K_v は、杭頭で単位量の杭軸方向の変位を生じさせる杭軸方向力として定義される。STMP タイプⅡの K_v は、杭の鉛直載荷試験による杭頭荷重～杭頭沈下量曲線から求めることが望ましいが、極限支持力の推定と同様に適切な地盤調査を行い、過去の載荷試験事例、土質条件、構造物の重要度などを考慮したうえで、推定式（解 3.5.1）によって求めることができる。

既往の鉛直載荷試験に基づく推定方法は、載荷試験における実測 K_v から式（解 3.5.1）の a を逆算し鋼管の根入れ比 L/D との関係に着目したもので、式（解 3.5.2）にその推定式を示す。

$$K_v = a \frac{A_p E_p}{L} \dots\dots\dots \text{（解 3.5.1）}$$

ここに、

K_v : 杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

A_p : 鋼管の有効断面積 (m²)

E_p : 鋼管のヤング係数 (kN/ m²)

L : 鋼管の根入れ長 (m)

a : 式（解 3.5.2）により求める。

$$a = 0.0165(L/D) + 0.0704 \dots\dots\dots \text{（解 3.5.2）}$$

L : 鋼管の根入れ長 (m)

D : 杭径 (m) で、鋼管径 D_s とする。

式（解 3.5.2）は STMP タイプⅡの載荷試験 5 例（表-解 3.5.1）の実測 K_v （降伏支持力時）から逆算 a 値を算出し、軸方向バネ定数 K_v の推定式を提案したものである（図-解 3.5.2）。しかし、試験データ数としては少数であり、また、改良体の造成径等のパラメータを含んでいない簡便的な推定方法である。したがって、今後の載荷試験データの蓄積によって推定式をさらに検討していく必要がある。また、 L/D が 100 を超えるような試験データがないため、このような杭の K_v は載荷試験を行うなど、別途検討するものとする。

表-解 3.5.1 STMP タイプⅡの鉛直載荷試験例

NO	試験場所	地盤条件	載荷試験	鋼管 根入れ長 L (m)	鋼管径 D (m)	L/D	改良体 造成径 (m)
NO.1	兵庫県西宮市 ¹²⁾	砂礫、シルト、粘土	押込み載荷	8.5	0.165	51.5	0.8
NO.2	兵庫県西宮市 ¹²⁾	砂礫、シルト、粘土	押込み載荷	11.5	0.165	69.7	0.8
NO.3	兵庫県西宮市 ¹²⁾	砂礫、シルト、粘土	押込み載荷	14.5	0.165	87.9	0.8
NO.4	茨城県鹿島郡 ⁴⁾	細砂、砂礫	押込み載荷	5.0	0.165	30.3	1.0
NO.5	茨城県鹿島郡 ⁶⁾	細砂、砂礫	引抜き載荷	7.0	0.165	42.4	1.0

注: NO.1～NO.3 のデータに関しては、極限支持力までの載荷を行っていないため、ワイブル曲線から推定した降伏 変位を用いて K_v を推定した。

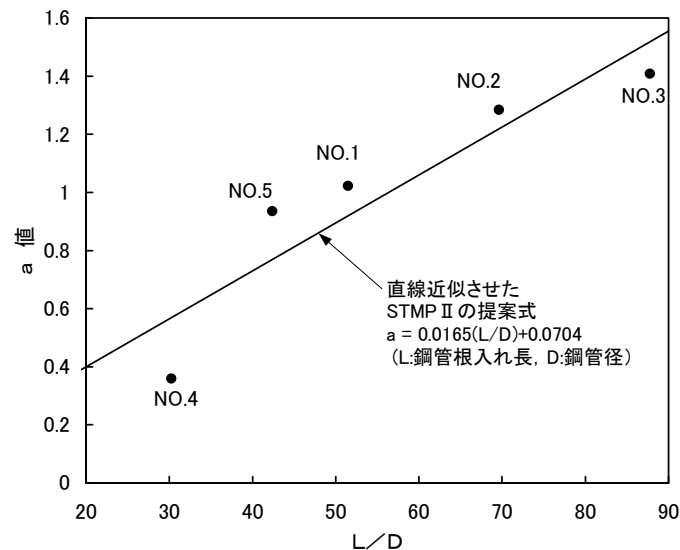


図-解 3.5.1 STMP タイプⅡの逆算 a 値～ L/D 関係

3.5.2 杭の軸直角方向バネ定数

杭の軸直角方向バネ定数は、水平方向地盤反力係数 k_H を用いて弾性床上ののりの理論に基づき算出するものとする。

【解説】

STMP タイプⅡの軸直角方向バネ定数は、道路橋示方書Ⅳに準じて以下のように算定するが、水平抵抗に関する杭径は改良体の水平地盤抵抗幅 D' 、杭体の曲げ剛性は鋼管のみの部材を考慮することとする。

1 本の杭の軸直角方向バネ定数 $K_1 \sim K_4$ は以下に示すように定義される。

K_1, K_3 : 杭頭部に回転を生じさせないようにして、杭頭部を杭軸直角方向に単位量だけを変化させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/m) および曲げモーメント ($kN \cdot m/m$)

K_2, K_4 : 杭頭部に移動を生じさせないようにして、杭頭部を単位量だけ回転させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/rad) および曲げモーメント ($kN \cdot m/rad$)

水平方向地盤反力係数が深さによらず一定で、杭の根入れ深さが十分に長い場合（半無限長の場合： $\beta L_e \geq 3$ ）には、林・Chang の考え方にに基づき表-解 3.5.2 により算出することとする。

表-解 3.5.2 杭の軸直角方向バネ定数（半無限長の場合： $\beta L_e \geq 3$ ）

	杭頭剛結合		杭頭ヒンジ結合	
	$h \neq 0$	$h = 0$	$h \neq 0$	$h = 0$
K_1	$\frac{12EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 2}$	$4EI\beta^3$	$\frac{3EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 0.5}$	$2EI\beta^3$
K_2, K_3	$K_1 \frac{\lambda}{2}$	$2EI\beta^2$	0	0
K_4	$\frac{4EI\beta}{1+\beta h} \frac{(1+\beta h)^3 + 0.5}{(1+\beta h)^3 + 2}$	$2EI\beta$	0	0

ここに、

$$\beta : \text{基礎の特性値} \quad \sqrt[4]{\frac{k_H D'}{4EI}} \quad (m^{-1})$$

$$\lambda : h + \frac{1}{\beta} \quad (m)$$

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m^3)

D' : 改良体の水平地盤抵抗幅(m) (表-解 3.4.2)

EI : 杭体の曲げ剛性 ($kN \cdot m^2$) で、鋼管の曲げ剛性とする。

h : 杭の設計地盤面から上の部分の杭軸方向長さ (m)

3.6 杭反力および変位の計算

常時、暴風時、レベル1地震時における、ST マイクロパイル工法 タイプⅡにより構成される杭基礎の杭反力および変位の計算は、道路橋示方書Ⅳに準じ、原則としてフーチングを剛体、杭体および地盤を線形弾性体として行うものとする。

【解説】

道路橋示方書Ⅳに準じた設計法を示したものである。

常時、暴風時、レベル1地震時における杭基礎の安定計算においては、杭体の応力度を許容応力度以内に制限していることから、杭体を弾性体として取扱うこととした。また、水平方向地盤反力係数の非線形性についても、杭の挙動を許容変位内に抑えることによって見かけ上線形として取扱うこととする。

杭体および地盤を線形弾性体とする場合の計算法としては、各杭を頭部でフーチングに結合し、杭体が弾性床の上に支持されたはりとするラーメンモデルで解く方法と、フーチングを剛体と仮定し杭基礎全体の変位（フーチングの変位）を杭頭部のバネマトリックスを介して、杭基礎全体に作用する水平力、鉛直力、回転モーメントにつり合わせた式を解く変位法とがある。

変位法の詳細については、道路橋示方書Ⅳを参照し設計するものとする。

3.7 杭体の設計

- (1) 軸直角方向力、杭頭モーメントにより発生する ST マイクロパイル工法 タイプⅡの杭体（鋼管）各部の曲げモーメントおよびせん断力は、杭体を弾性床上のはりとして求めるものとする。
- (2) ST マイクロパイル工法 タイプⅡの杭体（鋼管）各部は、軸力、曲げモーメントおよびせん断力に対して安全でなければならない。
- (3) 全長が地中に埋め込まれた ST マイクロパイル工法 タイプⅡは一般に座屈の影響を考慮しなくてよいが、地震時に不安定な状態となるなど、設計地盤面より杭が突出した状態となる場合は座屈に対する検討を行うものとする。

【解説】

道路橋示方書Ⅳに準じた設計法を示したものである。

- (1) 1) 変位法により杭頭反力および変位を算出した場合、STMP タイプⅡの杭体（鋼管）各部に生じる曲げモーメントおよびせん断力は、3.6 によって算定された杭頭反力を用い、杭体を弾性床上のはりとして求めるものとする。また、STMP タイプⅡは杭の根入れ長が $3/\beta$ 以上の半無限長の杭と判定されるのがほとんどであるが、そのような杭の特性に応じて、道路橋示方書Ⅳにより杭体各部の断面力を求めることとする。
- 2) 杭体の設計用曲げモーメントは以下の2点を考慮して決定するものとする。
 - ① 杭頭部の設計用曲げモーメントは、杭頭剛結合の場合、変位法で算出される杭頭曲げモーメントの値とする。この値と杭頭ヒンジ結合と考えた地中部最大曲げモーメントの値とを比較して大きい方を用いることとする。
 - ② 杭中間部は、杭頭剛結合であっても、杭頭ヒンジ結合と仮定した曲げモーメントと比較して、その大きい方で設計するものとする。
- (2) 常時、暴風時、レベル1地震時において、STMP タイプⅡの杭体（鋼管）各部は軸力、曲げモーメントおよびせん断力によって生じる応力度に対して、許容応力度内に収まるよう設計しなければならない。

1) 曲げ応力度の照査

STMP タイプⅡに作用する軸力および曲げモーメントにより杭体に生じる応力度は式（解 3.7.1）により算出し、鋼管の許容応力度内であることを照査する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} \dots\dots\dots \text{（解 3.7.1）}$$

ここに、

- σ : 杭体に生じる曲げ応力度 (kN/m²)
- N : 杭頭反力 (kN)
- A : 鋼管の有効断面積 (m²)
- M : 曲げモーメント (kN.m)
- Z : 鋼管の有効断面係数 (m³)

2) セン断応力度の照査

STMP タイプⅡに作用するせん断力により杭体に生じる応力度は次式により算出し、鋼管の許容応力度内であることを照査する。ここで、一般にせん断応力度は式（解 3.7.2）により求めてよいが、杭に作用するせん断力が卓越する場合には式（解 3.7.3）によって求めることとする¹⁴⁾。

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots \text{（解 3.7.2）}$$

$$\tau_{\max} = \alpha \cdot \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots \text{（解 3.7.3）}$$

ここに、

τ : セン断応力度 (kN/m²)

Q : セン断力 (kN)

A : 鋼管の有効断面積 (m²)

$\tau_{\max}$: 最大せん断応力度 (kN/m²)

α : 平均せん断応力度に対する最大せん断応力度の比で次式により求める。

$$\alpha = \frac{4(D_s^2 + D_s d + d^2)}{3(D_s^2 + d^2)} \quad \dots\dots\dots \text{（解 3.7.4）}$$

D_s : 鋼管径 (m)

d : 鋼管内径 (m)

(3) 全長が地中に埋め込まれた STMP タイプⅡは、一般に座屈の影響を考慮しなくてもよい。これは、杭側面の地盤が軟弱である場合でも座屈を拘束するからである。ただし、道路橋示方書Ⅴで規定されるような地震時に不安定（液状化等）となる地盤が存在するなど、設計上の地盤面より杭が突出し、座屈に対する杭体の拘束を期待できない場合、軸方向荷重作用時の座屈の検討が一般に行われる。STMP タイプⅡは鋼管周辺の改良体によってある程度の座屈拘束も期待できると考えられるが、変形モードに応じた定量的な座屈拘束の効果や座屈有効長のとり方は現時点では不明である。したがって、地震時の変形モード等を十分考慮したうえで、安全側となるよう設計時に検討することが望ましい。

3.8 杭頭結合部の設計

ST マイクロパイル工法 タイプ I の杭頭結合部の設計は次によるものとする。

- (1) 杭とフーチングの結合部は原則として杭頭剛結合として設計するものとする。
- (2) 杭頭剛結合は支圧板方式を標準とする。
- (3) 杭頭結合部は杭頭に生じる断面力に対して安全となるよう設計しなければならない。

【解説】

- (1) 杭とフーチングの結合方法は一般に剛結合とヒンジ結合があるが、原則として剛結合となる構造とし、杭頭の断面力に対して安全となるよう設計するものとする。ただし、擁壁基礎への適用など、当該構造物の規模・条件によってはヒンジ結合とすることが一般的な場合がある。そのような場合、「道路土工 擁壁工指針」¹⁴⁾等を参考としてヒンジ結合の構造を別途検討するものとする。

- (2) STMP タイプ I の杭頭剛結合は支圧板方式を標準とする。支圧板方式は鋼管頭部に鋼板を取り付けることによって、杭頭の軸方向反力に抵抗する支圧面積を増加させるものである。

支圧板方式による結合方法は、図-解 3.8.1（図-解 3.8.2 の a）に示すように、鋼管頭部に支圧板およびスチフナを溶接にて接合し、鋼管をフーチングコンクリート内に埋め込むものとする。

フーチングへの鋼管の埋込み長 l は、杭頭の曲げモーメントおよび水平力によってコンクリートに発生する水平支圧応力度の照査が支配的となって決定されるが、現場溶接の施工性も考慮し、500mm 以上は鋼管をフーチングに埋め込むことを標準とする。ただし、杭頭結合部の構造に応じて 500mm 以下となる場合は、別途杭頭結合部の照査において問題がない事を確認する。また、杭頭結合形状等は現場条件に応じて変更も可能である。本紙による標準設計例以外の施工例を図 3.8.2 の b、c に示す。また、杭頭に応力が発生しない場合などは、本例に示すような杭頭処理を省略しても良い。

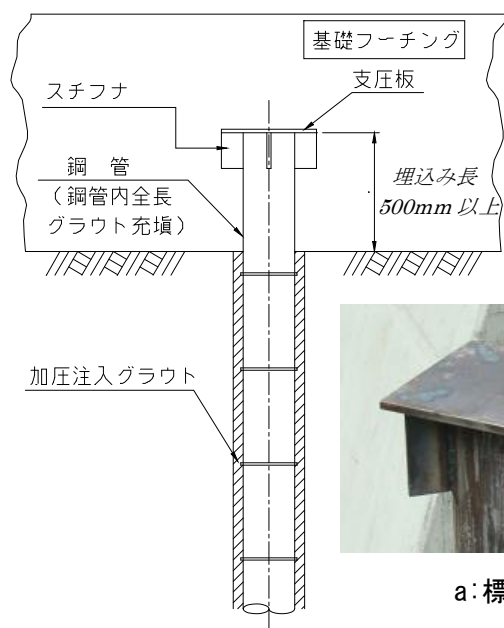


図-解 3.8.1 支圧板方式による杭頭結合



a: 標準型 b: 反転型 c: せん断リン
図-解 3.8.2 杭頭結合の例

(3) 杭頭結合部の設計照査（支圧板方式）

杭頭結合部は杭頭部に生じる断面力に対して安全ように設計しなければならない。支圧板方式による杭頭結合部の設計照査は 1)～4)の項目に対して実施する。

1) 押込み力に対する照査

i) フーチングコンクリートの垂直支圧応力度の照査

$$\sigma_{cv} = \frac{P_c}{W^2} \leq \sigma_{ca} \quad \dots\dots\dots (\text{解 3.8.1})$$

ここに、

σ_{cv} : 垂直支圧応力度 (kN/m^2)

σ_{ca} : コンクリートの許容支圧応力度 (kN/m^2)

P_c : 軸方向押込み力 (kN)

W : 支圧板の幅 (m)

ii) フーチングコンクリートの押抜きせん断応力度の照査

$$\tau_v = \frac{P_c}{4(W+h)h} \leq \tau_a \quad \dots\dots\dots (\text{解 3.8.2})$$

ここに、

τ_v : 垂直方向の押抜きせん断応力度 (kN/m^2)

τ_a : コンクリートの許容押抜きせん断応力度 (kN/m^2)

P_c : 軸方向押込み力 (kN)

W : 支圧板の幅 (m)

h : 垂直方向の押抜きせん断に抵抗するフーチングの有効厚さ (m)

なお、コンクリートの許容押抜きせん断応力度 τ_a に関しては、荷重の組合わせによる許容応力度の割増しは行わないものとする。

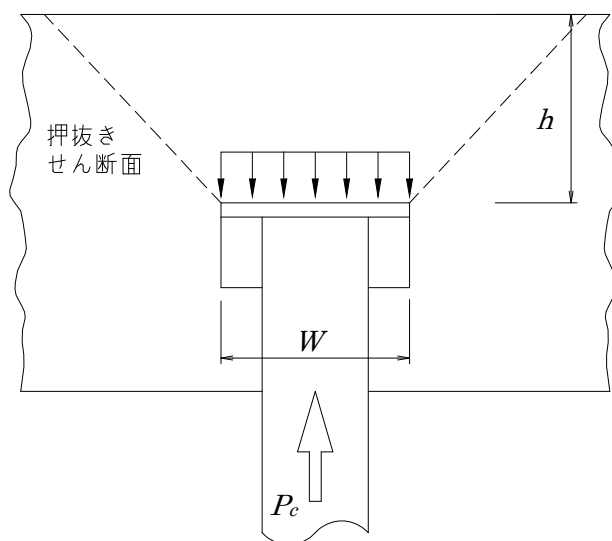


図-解 3.8.3 押込み力に対する照査

2) 引抜き力に対する照査

i) フーチングコンクリートの垂直支圧応力度の照査

$$\sigma_{tv} = \frac{P_t}{W^2 - \pi D_s^2 / 4} \leq \sigma_{ca} \quad \dots\dots\dots (\text{解 3.8.3})$$

ここに、

- σ_{tv} : 垂直支圧応力度 (kN / m^2)
- σ_{ca} : コンクリートの許容支圧応力度 (kN / m^2)
- P_t : 軸方向引抜き力 (kN)
- W : 支圧板の幅 (m)
- D_s : 鋼管径 (m)

ii) フーチングコンクリートの引抜きせん断応力度の照査

$$\tau_{vt} = \frac{P_t}{4(W + h_t) h_t} \leq \tau_{at} = \tau_a \quad \dots\dots\dots (\text{解 3.8.4})$$

ここに、

- τ_{vt} : 垂直方向の引抜きせん断応力度 (kN / m^2)
- τ_{at} : コンクリートの許容引抜きせん断応力度 (kN / m^2) ($= \tau_a$)
- P_t : 軸方向引抜き力 (kN)
- W : 支圧板の幅 (m)
- h_t : 垂直方向の引抜きせん断に抵抗するフーチングの有効厚さ (m)

なお、コンクリートの許容引抜きせん断応力度 $\tau_{at} = \tau_a$ に関しては、荷重の組合わせによる許容応力度の割増しは行わないものとする。

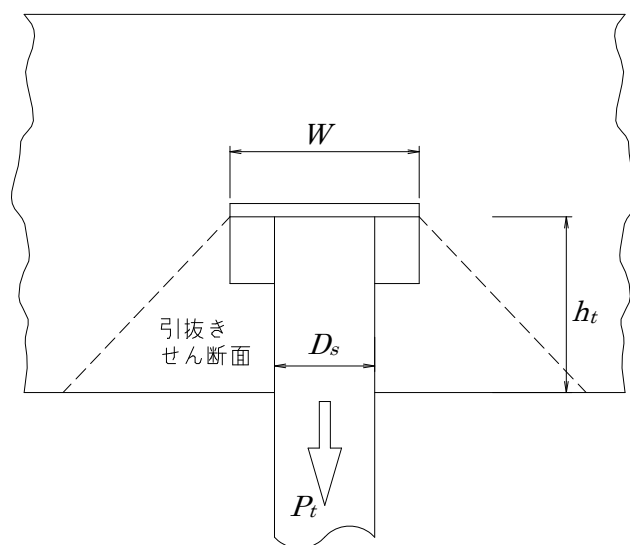


図-解 3.8.4 引抜き力に対する照査

3) 水平力および曲げモーメントに対する照査

i) フーチングコンクリートの水平支圧応力度の照査

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{D_s l} + \frac{6M}{D_s l^2} \leq \sigma_{ca} \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.8.5)}$$

ここに、

- σ_{ch} : 水平支圧応力度 (kN / m^2)
- σ_{ca} : コンクリートの許容支圧応力度 (kN / m^2)
- H : 軸直角方向力 (kN)
- M : 曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)
- D_s : 鋼管の外径 (m)
- l : 鋼管のフーチングへの埋込み長 (m)

ii) フーチング端部の杭に対する水平方向の押抜きせん断応力度の照査

$$\tau_h = \frac{H}{h' (2l + D_s + 2h')} \leq \tau_a \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.8.6)}$$

ここに、

- τ_h : 水平方向の押抜きせん断応力度 (kN / m^2)
- τ_a : コンクリートの許容押抜きせん断応力度 (kN / m^2)
- H : 軸直角方向力 (kN)
- h' : 水平方向の押抜きせん断に抵抗するフーチングの有効厚さ (m)
- D_s : 鋼管の外径 (m)
- l : 鋼管のフーチングへの埋込み長 (m)

なお、コンクリートの許容押抜きせん断応力度 τ_a に関しては、荷重の組合わせによる許容応力度の割増しは行わないものとする。

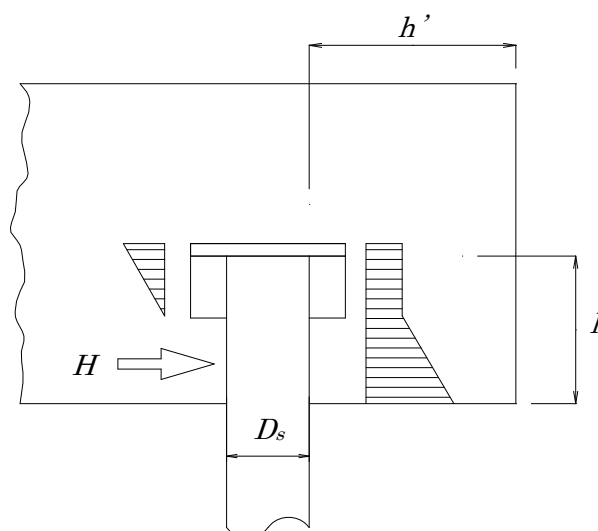


図-解 3.8.5 水平力および曲げモーメントに対する照査

4) 支圧板の設計、溶接部の照査

i) 支圧板の設計

支圧板は、原則として支圧板に生じる曲げモーメントを鋼管縁から片持ち梁として算定し、必要厚さを求めることとする。支圧板はフーチングに埋め込まれているため、コンクリートによる抵抗が期待できるが、ここでは、簡便に曲げモーメントを算定し部材厚さを求めることとした。

支圧板に生じる単位幅当たりの最大曲げモーメントは式（解 3.8.7）により求める。

$$M_{max} = \frac{1}{2} \left(\frac{W - D_s}{2} \right)^2 p \quad \dots\dots\dots \text{(解 3.8.7)}$$

ここに、

- M_{max} : 支圧板の最大曲げモーメント (kN.m)
- W : 支圧板の幅 (m)
- D_s : 鋼管の外径 (m)
- p : 支圧板単位幅当たりに発生する分布荷重 (kN/m)

なお、支圧板単位幅当たりの分布荷重 p は、軸方向杭頭反力を支圧板の有効抵抗面積で除して求める。支圧板の有効抵抗面積は、押込み力 P_c に対しては支圧板面積とし、引抜き力 P_t に対しては鋼管から支圧板張出部の面積（図-解 3.8.6 の斜線部）とする。

支圧板の必要厚さは、式（解 3.8.8）により求める。

$$t_p = \sqrt{\frac{M_{max}}{\sigma_{sa}}} \times 6 \quad \dots\dots\dots \text{(解 3.8.8)}$$

ここに、

- t_p : 支圧板の必要厚さ (m)
- σ_{sa} : 支圧板の許容曲げ引張応力度 (kN/m²)

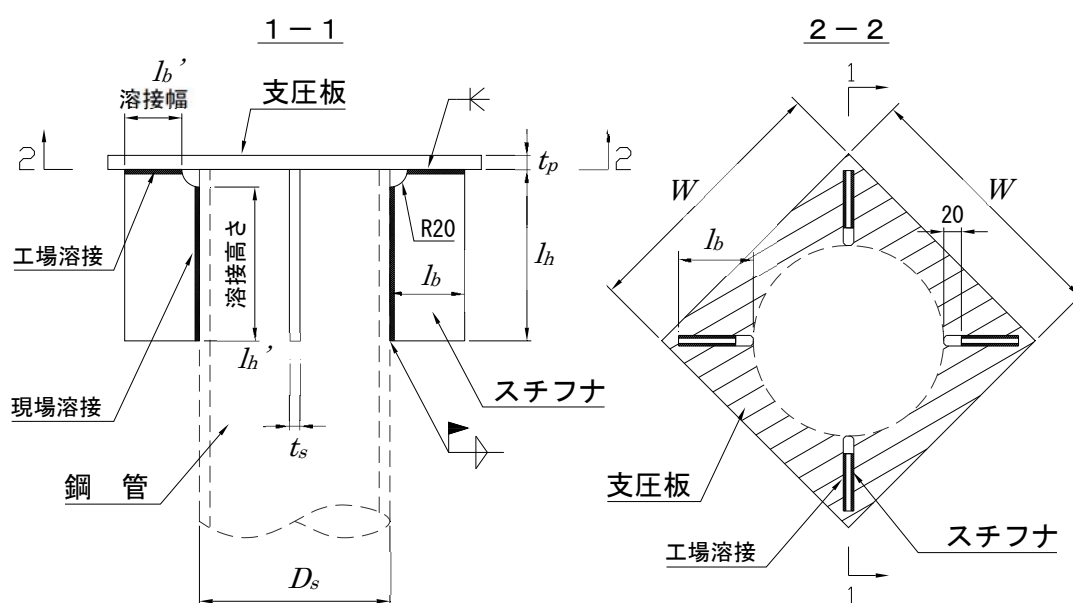


図-解 3.8.6 支圧板、スチフナー一般図（例）

ii) 溶接部の検討

杭頭結合部は支圧板とスチフナから構成され、支圧板とスチフナ接合部分は全断面溶込みグルーブ溶接とし、工場溶接を標準としている。

また、図・解 3.8.6 の支圧板、スチフナ一般図（例）に示すように、スチフナと鋼管接合部分は、すみ肉溶接を標準としているが、現場状況によっては、まわし溶接が困難な場合が想定されるため、鋼管とスチフナ溶接部のせん断応力度の照査に用いる溶接有効高さは、 $l_{h'}$ からのど厚の 2 倍の長さを減じた値とする。（図・解 3.8.7）

溶接部の検討は、道路橋示方書Ⅱ¹⁵⁾に準じて溶接部に生じる応力度の照査を行うものとし、支圧板とスチフナ溶接部の垂直応力度、鋼管とスチフナ溶接部のせん断応力度をそれぞれ照査する。なお、強度の異なる鋼材を溶接する場合は、強度の低い鋼材に対する値を用いることとする。

① 支圧板とスチフナ溶接部の垂直応力度の照査

$$\sigma = \frac{N'}{4 \times t_s \times l_b'} \leq \sigma_a \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.8.9)}$$

ここに、

σ : 支圧板とスチフナ溶接部に生じる垂直応力度 (kN/m²)

N' : 支圧板張出部が負担する軸方向荷重 (kN)

t_s : スチフナ肉厚 (m)

l_b' : スチフナ溶接幅 (m)

σ_a : 鋼材の溶接部の許容垂直応力度 (kN/m²)

② 鋼管とスチフナ溶接部のせん断応力度の照査

$$\tau = \frac{N'}{4 \times t' \times (l_h' - 2a)} \leq \tau_a \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.8.10)}$$

t' は、 $2a$ と t_s の小さい方の値とし、 $(l_h' - 2a)$ はすみ肉溶接サイズ (S) の 10 倍かつ 80mm 以上を確保する。

ここに、

τ : 鋼管とスチフナ溶接部に生じるせん断応力度 (kN/m²)

N' : 支圧板張出部が負担する軸方向荷重 (kN)

l_h' : スチフナ溶接高さ (m)

τ_a : 鋼材の溶接部の許容せん断応力度 (kN/m²)

a : 溶接の有効のど厚 (m)

$$a = \frac{S}{\sqrt{2}} \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.8.11)}$$

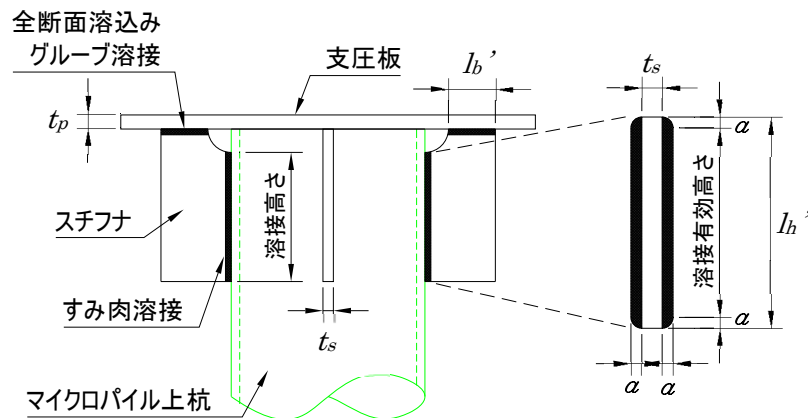
$$t_1 > S \quad \text{かつ} \quad S \geq \sqrt{2}t_2 \quad \cdots \cdots \cdots \text{(解 3.8.12)}$$

S : すみ肉溶接サイズ (mm)

t_1 : 薄い方の母材の厚さ (mm)

t_2 : 厚い方の母材の厚さ (mm)

すみ肉溶接サイズ (S) は 6mm 以上とし、式 (解 3.8.12) を満たす大きさとする。



図・解 3.8.7 溶接部の寸法

すみ肉溶接部において、スチフナの両端部まで確実にまわし溶接ができる場合は、溶接部の有効高さは l_h' とし、のど厚の 2 倍を除さなくても良い。また、全断面溶込みグループ溶接とする場合は、式 (解 3.8.13) により照査する。

$$\tau = \frac{N'}{4 \times t_s \times l_h'} \leq \tau_a \quad \dots\dots\dots \text{(解 3.8.13)}$$

なお、支圧板張出部が負担する軸方向荷重 N' は、引抜き杭頭反力 P_t に対してはその値を用いるが、押込み杭頭反力 P_c に対しては支圧板に生じる圧縮応力度 (P_c/W^2) に支圧板張出部の面積 (図・解 3.8.6 の斜線部) を乗じた値を用いることとする。

5) 支圧板、スチフナの試算例

1)～4)の照査項目を考慮して試算した支圧板、スチフナの諸元を表・解 3.8.1 (鋼管径 216.3mm)、表・解 3.8.2 (鋼管径 267.4mm) に参考として示す。試算は、一般に引抜きよりも押込み方向の照査で支圧板・スチフナの諸元が決定されることから、想定した極限押込み支持力に対応する各許容支持力 (杭頭反力) を設定し、必要な諸元を求めた。

表-解 3.8.1 支圧板・スチフナの試算参考例（鋼管径 $\phi 216.3\text{mm}$ ）

作用荷重	想定した極限押込み支持力	kN	1,800	2,400	3,000	3,600	4,200
	常時の杭頭反力	kN	600	800	1,000	1,200	1,400
	レベル 1 地震時の杭頭反力	kN	900	1,200	1,500	1,800	2,100
鋼 管 ※	外 径 D_s	mm	216.3				
支 圧 板	鋼 種		SM490	SM490	SM490	SM490	SM490
	幅 W	mm	300	300	300	350	350
	肉 厚 t_p	mm	14	16	18	27	29
スチフナ	鋼 種		SM490	SM490	SM490	SM490	SM490
	幅 l_b	mm	85	85	85	120	120
	溶接有効幅 l_b'	mm	65	65	65	100	100
	高 さ l_h	mm	130	140	150	170	200
	溶接有効高さ l_h'	mm	110	120	130	150	180
	肉 厚 t_s	mm	9	11	14	15	15

- 注) 1. 鋼管は、支圧板およびスチフナの鋼材強度以上の鋼種と仮定した
2. 支圧板及びスチフナの肉厚については、想定杭頭反力による試算結果であり、採用肉厚は汎用性・市場性を考慮した肉厚(規格肉厚例: $t_p = t_s = 9, 12, 16, 22, 25, 28, 32\text{mm}$)とする
(積算資料第 2 編 ST マイクロパイル工法参考資料 p. 65 参照)

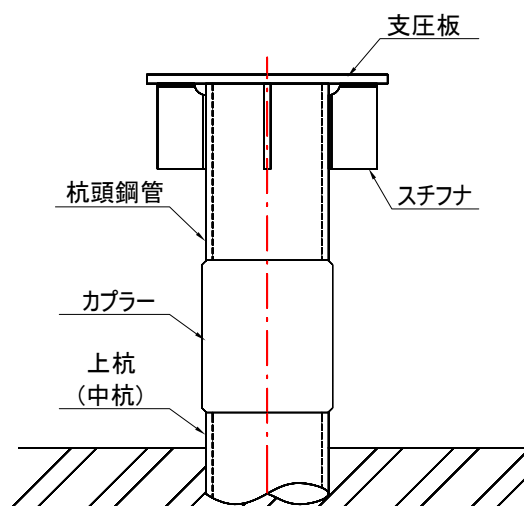
表-解 3.8.2 支圧板・スチフナの試算参考例（鋼管径 $\phi 267.4\text{mm}$ ）

作用荷重	想定した極限押込み支持力	kN	2,400	3,000	3,600	4,200	4,800
	常時の杭頭反力	kN	800	1,000	1,200	1,400	1,600
	レベル 1 地震時の杭頭反力	kN	1,200	1,500	1,800	2,100	2,400
鋼 管 ※	外 径 D_s	mm	267.4				
支 圧 板	鋼 種		SM490	SM490	SM490	SM490	SM490
	幅 W	mm	350	350	350	350	400
	肉 厚 t_p	mm	14	16	17	18	27
スチフナ	鋼 種		SM490	SM490	SM490	SM490	SM490
	幅 l_b	mm	95	95	95	95	125
	溶接有効幅 l_b'	mm	75	75	75	75	105
	高 さ l_h	mm	150	170	180	200	200
	溶接有効高さ l_h'	mm	130	150	160	180	180
	肉 厚 t_s	mm	9	11	14	16	16

- 注) 1. 鋼管は、支圧板およびスチフナの鋼材強度以上の鋼種と仮定した
2. 支圧板及びスチフナの肉厚については、想定杭頭反力による試算結果であり、採用肉厚は汎用性・市場性を考慮した肉厚(規格肉厚例: $t_p = t_s = 9, 12, 16, 22, 25, 28, 32\text{mm}$)とする
(積算資料第 2 編 ST マイクロパイル工法参考資料 p.65 参照)

(4) 杭頭管方式

杭頭管方式とは、支圧版（スチフナ）と杭頭鋼管の結合部を工場で溶接した状態で搬入し、上杭（もしくは中杭）との結合部の現場溶接作業を無くし、カプラーによる機械式ねじ継ぎ手構造としたものである。



鋼管杭打設完了後



杭頭管設置後



図-解 3.8.8 杭頭管方式による杭頭結合（例）

3.9 鋼管の腐食しろ

常時水中（地下水中）にある部分の ST マイクロパイル工法 タイプⅡの鋼管には、設計において腐食しろを考慮するものとする。ただし、鋼管の内面については考慮しなくてよい。

【解説】

STMP タイプⅡの鋼管周囲には全長にわたって改良体、グラウトが存在するが、レベル1地震時に杭頭付近の改良体にクラックが発生すること等が考えられるため、常時水中（地下水中にある部分）にある部分の鋼管には腐食減厚を考慮することとした。なお、地下水のない土中部分においては、鋼管の腐食減厚は考慮しなくてよい。

鋼管の腐食減厚は、道路橋示方書Ⅳに準じ、海水や鋼の腐食を促進させる工場排水などの影響を受けない場合で、腐食調査も行わずまた防食処理も施さないときは、常時水中にある部分について 1mm の腐食しろを考慮するものとする。鋼管の内面は腐食しろを考慮しなくてよい。

〔参考文献〕

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編，2012.
- 2) 土質工学会：杭の鉛直載荷試験・同解説，1993.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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，耐震診断技術に関するシンポジウム」2001.
- 6) 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.
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，2012.
- 8) 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) 土質工学会：杭の引抜き試験方法・同解説，1992.
- 10) 土質工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説，1983.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 日本道路協会：既設道路橋基礎の補強に関する参考資料，2000.
- 14) 日本道路協会：杭基礎設計便覧，2007.
- 15) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012.

4章 レベル2地震時の設計

4.1 設計の基本

ST マイクロパイル工法 タイプⅡにより構成される杭基礎に、供用期間中に発生する確率は低い
が大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）が作用する場合、道路橋示方書に準じて地震時保有
水平耐力法による耐震設計を行うものとする。

【解説】

本章は、STMP タイプⅡを道路橋の杭基礎として用いる場合を主な対象とし、道路橋示方書Ⅳ下部
構造編 ①、Ⅴ耐震設計編 ②に準じた地震時保有水平耐力法による耐震設計に適用するものである。

基礎の耐震設計に考慮する地震動としては、供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震
動）と、供用期間中に発生する確率は低い大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）の2つの地震
動を考慮する。ここで、レベル1地震動に対しては震度法、レベル2地震動に対しては地震時保有水平
耐力法による耐震設計を行うものとし、本章は地震時保有水平耐力法による耐震設計を示すものである。

詳細は道路橋示方書Ⅳ、Ⅴに規定されているが、設計の基本事項を以下に示す。

- 1) 杭基礎に死荷重および道路橋示方書Ⅴで規定する設計水平震度に相当する慣性力が作用した場合、
基礎に生じる断面力、杭頭反力および変位を 4.2 の解析モデルにより算出し、4.3.1 に示す基礎の降
伏に達しないように耐震設計することを原則とする。ただし、壁式橋脚の橋軸直角方法の場合や液状
化が生じる場合など、基礎に主たる非線形性を生じさせる方が合理的な場合には、4.3.2 に示す基礎
の応答塑性率を算定し、これが塑性率の制限値以下であることを照査するものとする。
- 2) 杭基礎に生じる変位が、4.3.3 に示す変位の制限値以下となるよう耐震設計するものとする。
- 3) 杭基礎の各部材に生じる断面力に対して、4.3.4 により耐力の照査を行うものとする。

図・解 4.1.1 に STMPⅡから構成される杭基礎の地震時保有水平耐力法による設計手順を示す。

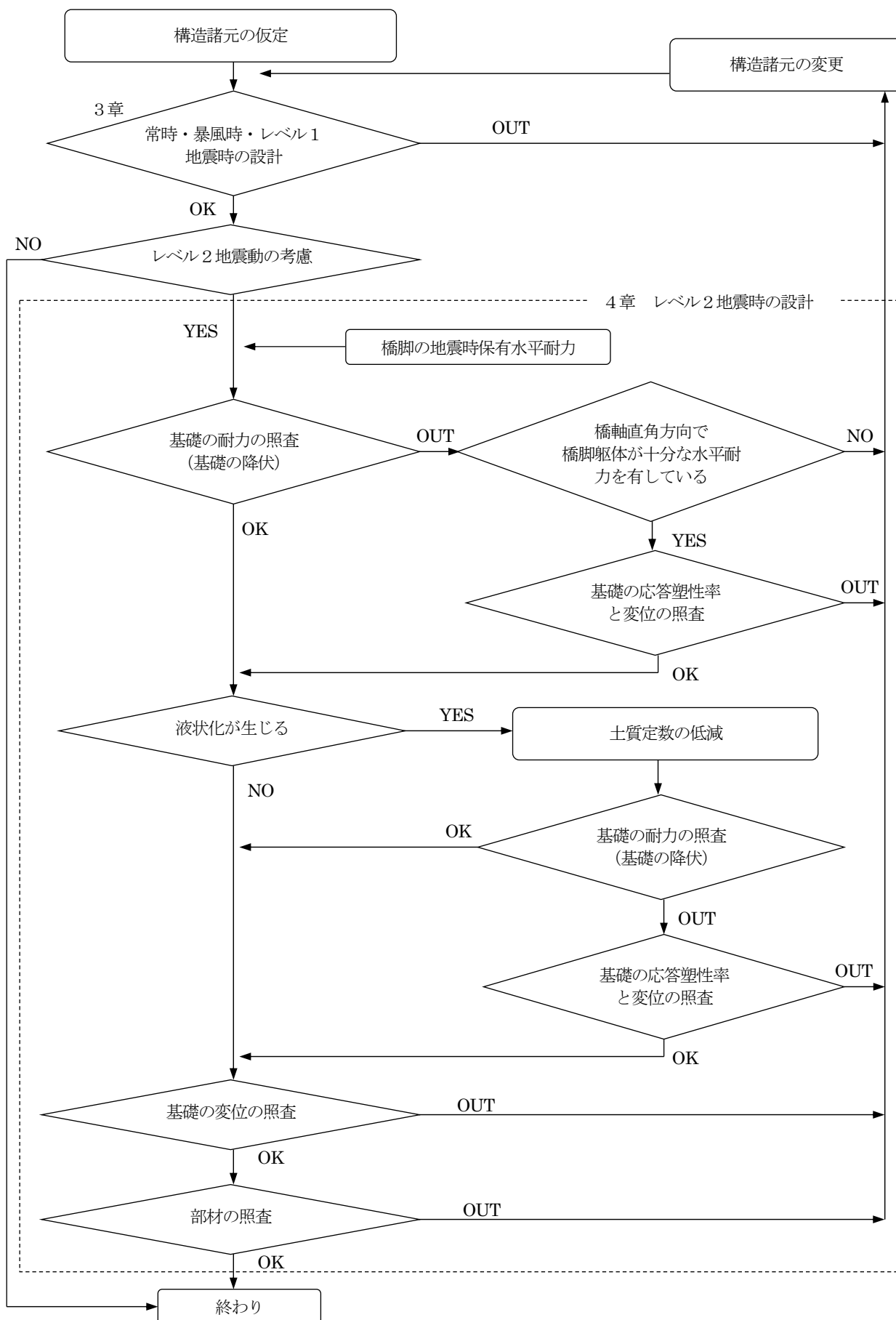


図-解 4.1.1 STMP タイプⅡから構成される杭基礎の地震時保有水平耐力法による設計手順

4.2 断面力、杭頭反力および変位の計算

4.2.1 解析モデル

ST マイクロパイル工法 タイプⅡにより構成される杭基礎の各部材に発生する断面力、杭頭反力および変位は、杭基礎を非線形性を考慮した地盤バネによって支持されたラーメン構造に置き換えて解析することとする。ここで、杭体に生じる軸力および曲げモーメントに応じて、杭体の曲げ剛性の非線形性を考慮するものとする。

【解説】

- 1) STMP タイプⅡから構成される杭基礎を地震時保有水平耐力法により設計する場合の解析モデルを示したものである。レベル1地震時（震度法）による耐震設計の場合、杭は押込み、引抜き、曲げに対して線形弾性であると仮定して、杭頭における軸方向バネ、杭の軸直角方向バネや杭体の曲げ剛性は荷重によらず一定としている。地震時保有水平耐力法のように杭基礎の耐力や大変形時の挙動を算定する場合には、地盤抵抗の非線形性や杭体の曲げ剛性の変化の影響が無視できなくなるため、道路橋示方書Ⅳに準じ、これらの非線形性を考慮したラーメン構造として杭基礎をモデル化することとする（図-解 4.2.1）。
- 2) 解析モデルの要点は次の通りである。
 - ① フーチングを剛体とし、各杭頭がフーチングに剛結されたラーメン構造としてモデル化する。
 - ② STMP タイプⅡの軸方向抵抗特性は 4.2.2、軸直角方向抵抗特性は 4.2.3 により非線形性を考慮してモデル化する。なお、フーチング前面の地盤抵抗を考慮する場合は道路橋示方書Ⅳに準じてモデル化する。
 - ③ 杭体に生じる軸力および曲げモーメントに応じて、杭体の曲げ剛性を低下させるものとし、4.2.4 に示す曲げモーメント M ～ 曲率 ϕ 関係で杭体の非線形性をモデル化する。

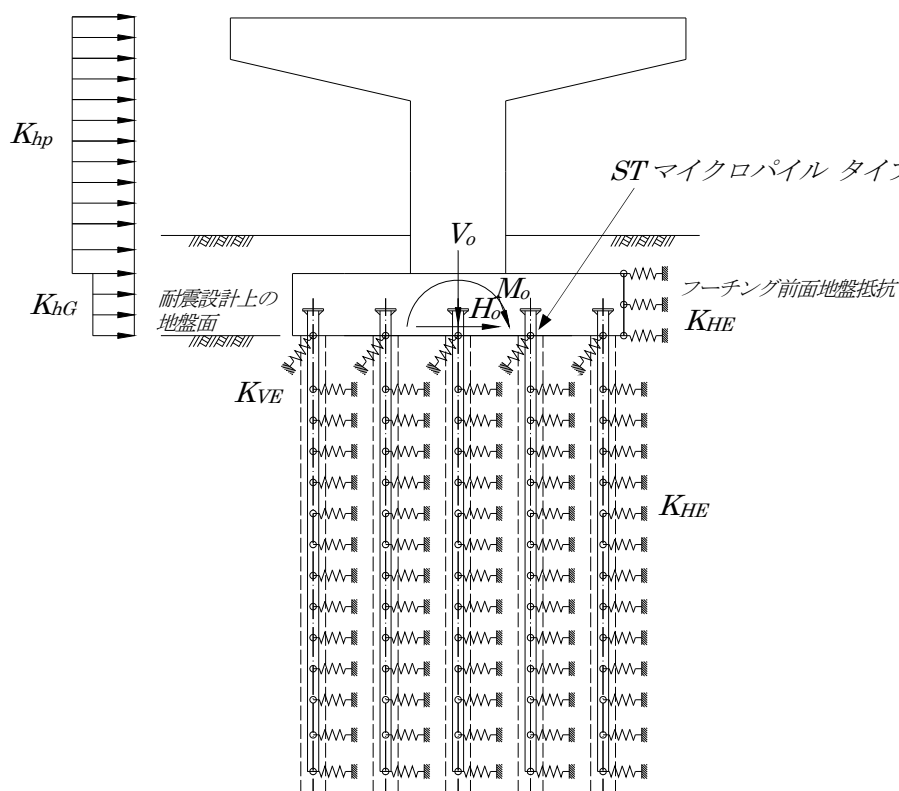


図-解 4.2.1 STMP タイプⅡから構成される杭基礎の解析モデル例

4.2.2 軸方向の抵抗特性

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの軸方向抵抗特性は、地震時保有水平耐力法に用いる杭の軸方向バネ定数 K_{VE} を初期勾配とし、押込み支持力の上限値 P_{NU} および引抜き支持力の上限値 P_{TU} を上限値とする弾塑性型とする。

【解説】

STMP タイプⅡの軸方向抵抗特性は、図・解 4.2.2 に示すような弾塑性型としてモデル化する。ここで、地震時保有水平耐力法に用いる杭の軸方向バネ定数 K_{VE} は、3.5.1 により算出された杭の軸方向バネ定数 K_V とする。

押込み支持力の上限値 P_{NU} および引抜き支持力の上限値 P_{TU} は式（解 4.2.1）および式（解 4.2.2）により算定する。

$$P_{NU} = \min(R_U, R_{PU}) \quad \dots\dots\dots \text{（解 4.2.1）}$$

$$P_{TU} = \min(P_U + W, P_{PU}) \quad \dots\dots\dots \text{（解 4.2.2）}$$

ここに、

P_{NU} : 押込み支持力の上限値(kN)

P_{TU} : 引抜き支持力の上限値(kN)

R_U : 地盤から決まる杭の極限押込み支持力(kN) で、式（3.3.2）により算出する。

P_U : 地盤から決まる杭の極限引抜き支持力(kN) で、式（解 3.3.5）により算出する。

W : 杭の有効重量 (kN)

R_{PU} : 杭体から決まる押込み支持力の上限値(kN) で、式（解 4.2.3）により算出する。

P_{PU} : 杭体から決まる引抜き支持力の上限値(kN) で、式（解 4.2.3）により算出する。

STMPⅡの杭体から決まる押込み支持力の上限値 R_{PU} 、および引抜き支持力の上限値 P_{PU} は、鋼管の降伏点に対応する軸方向圧縮力および軸方向引張力とし、式（解 4.2.3）により算定する。

$$R_{PU} = P_{PU} = \sigma_y A_s \quad \dots\dots\dots \text{（解 4.2.3）}$$

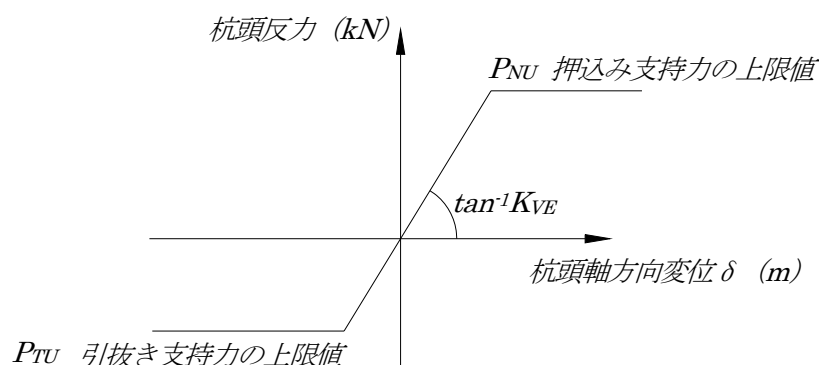
ここに、

R_{PU} : 杭体から決まる押込み支持力の上限値(kN)

P_{PU} : 杭体から決まる引抜き支持力の上限値(kN)

σ_y : 鋼管の降伏点(kN / m^2)

A_s : 鋼管の有効断面積(m^2)



図・解 4.2.2 STMP タイプⅡの軸方向の抵抗特性

4.2.3 軸直角方向の抵抗特性

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの軸直角方向の抵抗特性は、地震時保有水平耐力法に用いる水平方向地盤反力係数 K_{HE} を初期勾配とし、水平地盤反力度の上限値 P_{HU} を有する弾塑性型とする。

【解説】

STMP タイプⅡの軸直角方向抵抗特性は、図-解 4.2.3 に示すような弾塑性型としてモデル化する。水平方向地盤反力係数 K_{HE} および水平地盤反力度の上限値 P_{HU} は次式により求める。

$$K_{HE} = \eta_k \alpha_k k_H \quad \dots\dots\dots (解 4.2.4)$$

$$P_{HU} = \eta_p \alpha_p P_U \quad \dots\dots\dots (解 4.2.5)$$

ここに、

K_{HE} : 地震時保有水平耐力法に用いる水平方向地盤反力係数 (kN/m^3)

P_{HU} : 水平地盤反力度の上限値 (kN/m^2)

k_H : 地震時の水平方向地盤反力係数 (kN/m^3) で、3.4により求める。

P_U : 地震時の受動土圧強度で、道路橋示方書Ⅰ 共通編2.1.7により求める。

α_k : 単杭における水平方向地盤反力係数の補正係数

α_p : 単杭における水平方向地盤反力度の上限値の補正係数

η_k : 群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数の補正係数

η_p : 群杭効果を考慮した水平地盤反力度の上限値の補正係数

なお、実際の非線形フレーム解析において、杭部材 (STMP タイプⅡ) の各節点に設定する水平地盤反力係数 K_{HE}' および水平地盤反力度の上限値 P_{HU}' は、改良体の水平地盤抵抗幅 D' (表-解 3.4.2) と各節点間の要素長 L を考慮して図-解 4.2.4 のようになる。

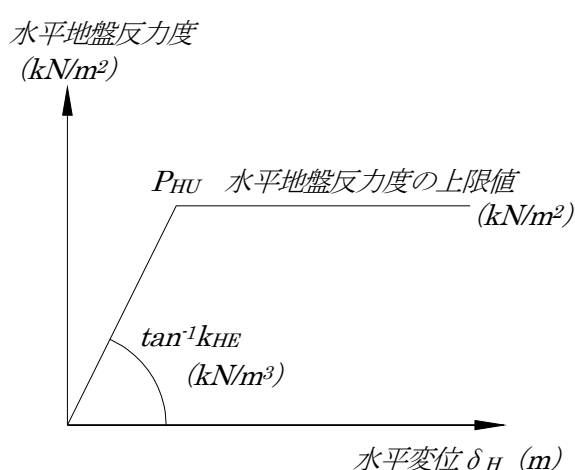


図-解 4.2.3 STMP タイプⅡの
軸直角方向の抵抗特性

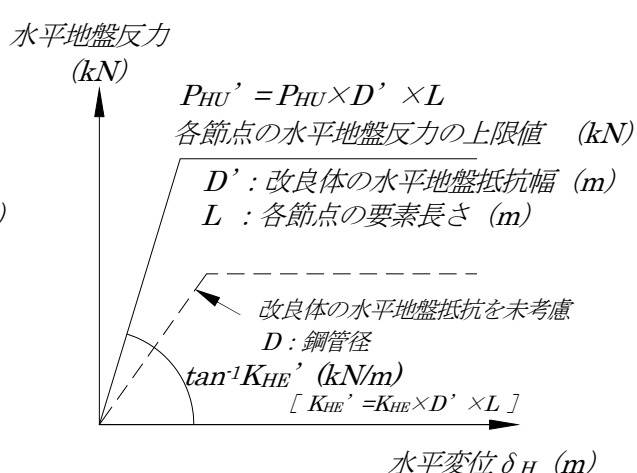


図-解 4.2.4 STMP タイプⅡ解析時の
各節点の水平バネ

表-解 4.2.1 補正係数

地盤の種類	α_k	α_p
砂質地盤	1.5	3.0
粘性土地盤	1.5	1.5

注) $N \leq 2$ の粘性土地盤では、 $\alpha_p = 1.0$ とする。

α_k および α_p は道路橋示方書Ⅳに準じて表-解 4.2.1 の値を用いることとする。

群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数の補正係数 η_k は、道路橋示方書Ⅳに準じ、次の値を用いる。

$$\eta_k = 2/3 \quad \dots\dots\dots (解 4.2.6)$$

群杭効果を考慮した水平地盤反力度の上限値の補正係数 η_p は、道路橋示方書Ⅳに準じ、次の値を用いる。

$$\text{粘性土地盤} : \eta_p = 1.0 \quad \dots\dots\dots (解 4.2.7)$$

$$\text{砂質地盤} : \eta_p \alpha_p = \text{荷重載荷直角方向の杭の中心間隔} / \text{杭径} \quad (\leq \alpha_p)$$

(ここで、水平抵抗に関する STMP タイプⅡの杭径は改良体の水平地盤抵抗幅 D' とする)

$$\dots\dots\dots (解 4.2.8)$$

ただし、砂質地盤における最前列以外の杭の水平地盤反力度の上限値 P_{HU} は、式 (解 4.2.5) により算出される値の 1/2 を用いる。

また、フーチング前面の地盤が長期的に安定して存在しており、良質で設計上水平抵抗を期待できる場合には、フーチングの前面抵抗を考慮してよい。なお、フーチング前面の水平地盤抵抗のモデル化は、道路橋示方書Ⅳに準じることとする。

4.2.4 杭体の曲げモーメント～曲率の関係

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの杭体の曲げモーメント～曲率の関係は、鋼管の全塑性モーメントを上限値としたバイリニアでモデル化するものとする。

【解説】

- 1) STMP タイプⅡの杭体の曲げモーメント M ～曲率 ϕ の関係は、鋼管のみを考慮し、道路橋示方書Ⅳに準じて鋼管の全塑性モーメント M_p を上限値とするバイリニアでモデル化する (図-解 4.2.5)。

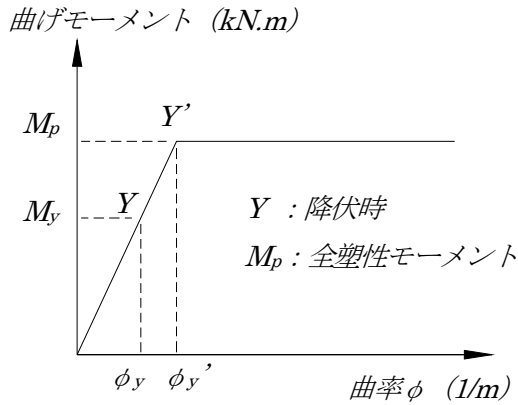


図-解 4.2.5 鋼管の曲げモーメント～曲率関係

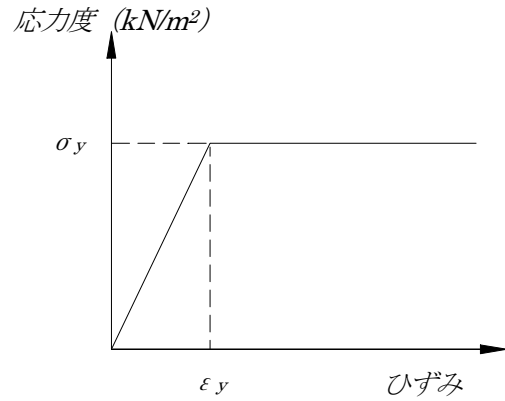


図-解 4.2.6 鋼管の応力～ひずみ関係

$$M_p = M_{p0} \cos(\alpha \pi / 2) \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.9})$$

$$\phi_y' = M_p / EI \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.10})$$

ここに、

M_p : 鋼管の全塑性モーメント (kN.m)

ϕ_y' : 勾配変化点の鋼管の曲率 (1/m)

M_{p0} : 軸力がない場合の鋼管の全塑性モーメント (kN.m)

$$M_{p0} = Z_p \sigma_y \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.11})$$

M_y : 鋼管の降伏モーメント (kN.m)

$$M_y = (\sigma_y - N / A) Z_e \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.12})$$

α : モーメントがない場合の降伏軸力 N_o と作用軸力 N の比

$$\alpha = N / N_o \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.13})$$

N_o : モーメントがない場合の降伏軸力 (kN)

$$N_o = \sigma_y A \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.14})$$

Z_p : 鋼管の塑性断面係数 (m³)

$$Z_p = \frac{4}{3} r^3 \{ 1 - (1 - t/r)^3 \} \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.15})$$

Z_e : 鋼管の断面係数 (m³)

$$Z_e = \frac{\pi}{4} \{ r^4 - (r - t)^4 \} / r \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.16})$$

σ_y : 鋼管の降伏点 (kN/m²)

r : 鋼管の半径 (m)

t : 鋼管の板厚 (m)

A : 鋼管の断面積 (m²)

ϕ_y : 鋼管の降伏時曲率 (1/m)

$$\phi_y = M_y / EI \quad \dots\dots\dots (\text{解 4.2.17})$$

EI : 鋼管の曲げ剛性 (kN.mn²)

2) 杭体の降伏点や全塑性モーメントは杭に作用する軸力により変化するため、杭体の曲げモーメント M ～曲率 ϕ 関係は、本来、杭頭での反力に応じて設定する必要がある。杭基礎においては水平力の変化に伴い杭頭の反力も変化するため、杭基礎の水平荷重～水平変位の関係を算定するにあたっては、適宜杭の曲げモーメント～曲率関係を修正する必要がある。しかしながら、設計計算においてはこのような関係を考慮することは複雑であるため、道路橋示方書Ⅳに準じ、基礎全体の挙動を推定する場合はこのような軸力変動の影響を考慮することは省略することとした。

なお、STMP タイプⅡの杭体の曲げモーメント～曲率関係を算定する場合の軸力は、道路橋示方書Ⅳの鋼管杭に準じて死荷重が作用したときの杭頭反力とする。

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

ごく軟弱な粘性土層およびシルト質土層に生じる地震時の強度の低下、飽和砂質土層の液状化、流動化は基礎の耐震性に大きな影響を及ぼす可能性があるため、基礎周辺地盤の土層の地震時安定性を判定し、地震時に不安定となる地盤の影響を耐震設計に取り入れなければならない。

【解説】

地震時に不安定となる地盤がある場合、その影響を考慮し、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に準じて耐震設計（レベル1地震時およびレベル2地震時）を行なわなければならない。

1) ごく軟弱な粘性土層およびシルト質土層に生じる地震時の強度低下

道路橋示方書Ⅴに準じ、現時盤面から 3m 以内にある粘性土層およびシルト質土層で、一軸圧縮強度または原位置試験により推定される一軸圧縮強度が 20kN/m^2 以下の土層は、耐震設計上ごく軟弱な土層とみなし、その土質定数を耐震設計上零とする。

2) 飽和砂質地盤の液状化の影響

道路橋示方書Ⅴにより液状化が生じると判定された飽和砂質土層については、液状化に対する抵抗率 F_L の値に応じて耐震設計上の土質定数を低減させるものとする。ここで、低減させる土質定数とは以下の項目であり、 F_L に応じた土質定数の低減係数 D_E をそれぞれに乘じるものとする。

- ① 杭の水平方向地盤反力係数 k_H
- ② 杭の水平地盤反力度の上限値 P_{HU}
- ③ 杭の最大周面摩擦力度 τ_g

なお、地震時の液状化によって基礎に作用する水平荷重が卓越する場合、STMP タイプⅡを斜杭として用いると水平荷重の一部を軸剛性で負担できるため、直杭に比べて大きな基礎の水平抵抗が期待できる³⁾。

3) 流動化の影響

液状化に伴い流動化が生じる可能性がある場合には、この影響を考慮し、道路橋示方書Ⅴに準じて耐震設計を行うものとする。

4.3 設計の照査

4.3.1 基礎の降伏

ST マイクロパイル工法 タイプⅡにより構成される杭基礎の降伏は、道路橋示方書Ⅳに準じ、杭体の降伏、あるいは、杭頭反力が上限値に達したことにより、上部構造の慣性力の作用位置での水平変位が急増し始める時とする。

【解説】

道路橋示方書Ⅳに準じ、STMP タイプⅡにより構成される杭基礎の降伏の状態を示したものである。

杭基礎に作用する水平荷重が大きくなると、地盤抵抗の塑性化、杭体の降伏、支持力の上限値に達する等の影響により、荷重と変位の関係は非線形なものとなる。ここで、ある状態をこえると、作用水平力の増加により基礎の変位が急増し始め、杭基礎を構成する部材の損傷が進行したり、残留変位が大きくなっていく。そこで、STMP タイプⅡにより構成される杭基礎においても、道路橋示方書Ⅳに準じ、基礎の水平変位および回転変位により上部構造の慣性力作用位置での水平変位が急増し始める時を基礎の降伏と定義する。

STMP タイプⅡから構成される杭基礎の降伏は、上部構造の慣性力の作用位置における水平荷重～水平変位関係を 4.2.1 による非線形解析で求めたうえで杭基礎の降伏を判定するものとする。ただし、杭基礎の降伏としては道路橋示方書Ⅳを参考に、一般には次のいずれかの状態に最初に達する時を目安とすることができる。

- ① 全ての杭において、杭体が降伏する。
- ② 一列の杭の杭頭反力が、押込み支持力の上限値に達する。

ここで、STMP タイプⅡの杭体（鋼管）が降伏する状態としては、鋼管の最外縁部の応力度が降伏点に達した状態とする（4.2.4 参照）。

4.3.2 基礎の塑性率の制限値

ST マイクロパイル工法 タイプⅡから構成される杭基礎の塑性率の制限値は道路橋示方書Ⅳに準じるものとし、杭体に過大な損傷が生じないように定めるものとする。

【解説】

道路橋示方書Ⅳ下部構造編、Ⅴ耐震設計編に準じるものとした。

壁式橋脚の橋軸直角方向の場合や液状化が生じる場合には、基礎でのエネルギー吸収を期待して設計を行うのが合理的となる。ただし、この場合でも杭基礎に過大な損傷が生じるのを防ぐため、エネルギー一定則により求めた基礎の応答塑性率がある値以内となるよう設計する必要がある。

STMP タイプⅡから構成される杭基礎の塑性率の制限値に関しては、既往の鋼管群杭の模型載荷実験や道路橋示方書Ⅳの規定を参考とし、基礎の損傷状態が軽微な範囲にとどまるよう、4 程度を目安とする。

$$\delta_{FR} = \mu_{FR} \delta_{FV} \dots\dots\dots (\text{解 } 4.3.2)$$

ここに、

 μ_{FR} : 基礎の応答塑性率

δ_{FR} : 基礎の変形による上部構造の慣性力作用位置における応用変位 (m)

δ_{Fv} : 基礎が降伏に達するときの上部構造の慣性力作用位置における水平変位 (m)

 r : 基礎の降伏剛性に対する二次剛性の比 k_{hyF} : 基礎が降伏に達するときの水平震度

k_{hCF} : 基礎の地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度で式 (解 4.3.3) から求める。

$$k_{hCF} = c_D k_{hc} \dots\dots\dots (\text{解 } 4.3.3)$$

 k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度

C_D : 減衰定数別補正係数

ここで、道路橋示方書Ⅳ、Ⅴを参考に、基礎の降伏剛性に対する二次剛性の比は一般に $r=0$ とし、減衰定数別補正係数 c_D は一般に2/3程度としてよい。

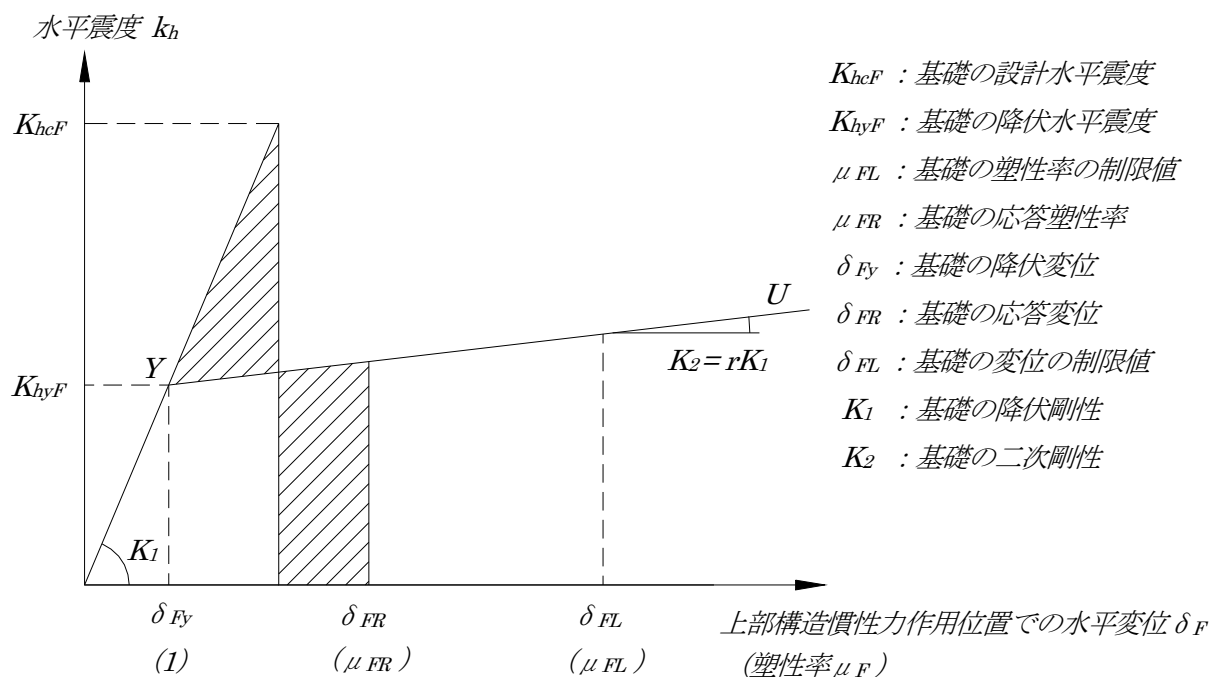


図-解 4.3.1 エネルギー一定則による基礎の応答塑性率の算定法

4.3.3 変位の制限値

基礎の変位の制限値は、基礎の変位により構造系全体の安全性が損なわれないよう定めるものとする。

【解説】

道路橋示方書Ⅳに準じ、基礎の変位の制限値は残留変位を考慮し、フーチング底面位置における回転角 0.02rad 程度を目安とする。

4.3.4 部材の照査

杭基礎の各部材の耐力が、4.2.1 によって算出された断面力を上回ることを照査するものとする。

【解説】

杭基礎の各部材の耐力が、4.2.1 によって算出された基礎の各部材の断面力を上回ることを照査するものとする。

1) 杭体の曲げモーメントに対する照査

曲げモーメントに対しては部材の降伏による剛性低下を考慮しているため、照査は省略するものとする。

2) 杭体のせん断耐力に対する照査

杭体各部に発生するせん断力に対して、鋼管のせん断耐力が上回っていることを照査するが、一般に鋼管杭は曲げモーメントによる影響が設計に支配的となる。

[参考文献]

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編，2012.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，2012.
- 3) 建設省土木研究所他：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1），建設省土木研究所 共同研究報告書 第246号，2000.

5章 施 工

5.1 施工に関する一般事項

5.1.1 基本事項

本章は、4章までの記載内容に基づいて設計された ST マイクロパイル工法 タイプⅡの標準的な施工法に適用するものとする。

【解説】

本章は、STMP タイプⅡの標準的な施工法を示し、安全かつ、確実に杭の施工が行われることを目的とする。施工にあたっては本章で示すような施工法、施工管理法を基本とし、杭に要求される出来形、品質等を確保するよう努めなければならない。また、特殊な設計・施工条件など、本マニュアルに準じることが必ずしも適切でない場合や、本マニュアルに記載なき事項については、杭に要求される性能を確保できるよう施工法、施工管理法等を別途検討するものとする。各条件に対する施工上の留意事項に関しては、1. 3に示す事項を参考とする。

5.1.2 事前調査

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの施工にあたっては、現場作業条件、周辺環境条件、土質条件等の必要事項について十分な調査を行うものとする。

【解説】

安全で適切な施工を実施するため、設計段階で行われた各種調査結果を確認、検討するとともに、現場作業条件、周辺環境条件などの必要な事項についても十分な調査を行うものとする。一般にマイクロパイルは施工機械設備がコンパクトなため、空頭制限や狭隘地、地下空間などの制約が厳しい条件での施工を求められる場合が多く、現場での施工条件を十分調査、検討する必要がある。1.3 に施工上の留意事項を示すが、現場制約条件に関して特に留意すべき調査、検討内容を以下に示す。

1) 空頭制限の調査

空頭制限高さは、ベースマシンの選定や削孔・造成に使用するロッド長さのほか、挿入する鋼管 1 本当たりの単位長さや継手数・位置などに関係し、ひいては経済性にも影響する。したがって、杭打設位置付近の空頭制限を十分調査し、施工機械の選定や材料諸元を検討しなければならない。なお、5.2.2 に示すように、ST マイクロパイル工法のベースマシンは、空頭制限等の制約条件や杭諸元に応じて選定するものとする。

2) 平面的な施工ヤード条件の調査

施工ヤードの平面的な制約条件、ヤード確保に可能な面積、用地境界位置、現状地盤の高低差等を調査し、施工機械やプラント設備の配置、ヤード整形、現場搬入路位置等について十分な施工検討を行うものとする。また、施工にあたって供用中道路を占有する必要がある場合には、占有期間、占有時間帯等に関して、道路管理者と協議しておく必要がある。なお、図・解 5.2.5 に標準的な機械配置、プラント配置などの一例を示すが、ベースマシンが小型で移動も容易であるため、プラント設備を杭打設地点と別途の場所に配置し、狭小なヤード条件に対応することができる。

3) 近接構造物・地下埋設物の調査

杭打設位置周辺の近接構造物、地下埋設物の位置・状況等に関して十分な調査を行う必要がある。
また、近接構造物の隣接状況によっては杭打設時のほか、当該基礎の掘削時に近接構造物に影響がないか事前検討し、必要に応じて対策工や施工中の動態観測を実施する必要がある。

現場作業条件、周辺環境条件、土質条件に関する主な調査項目を表・解 5.2.1 に示す。

表・解 5.2.1 主な調査項目

分 類	調査事項	主な調査内容	主な検討内容
現 場 作 業 条 件	空 頭 制 限 高	架線、上部構造物、橋梁桁などの空頭制限高さ	ベースマシン、マスト長の選定、鋼管単位長・継手位置の検討
	平面的な施工 ヤード条件	施工ヤードの確保可能な広さ・形状、供用状況、用地境界、形状、高低差等の調査	施工機械および使用機器設備の配置検討、道路占用の協議、現場搬入路の位置検討 等
	近接構造物・ 地下埋設物	近接（既設）構造物の諸元、地下埋設物の位置調査	施工時の近接（既設）構造物との離隔、近接構造物への施工時の影響、地下埋設物の協議（切廻し等）
	施 工 地 盤	表層地盤の状態	表層地盤の安定性
	仮 設 設 備	上下水道、工事用電力等の状況	仮設設備の検討
	自 然 条 件	気温、降雨、積雪等	自然制約条件の把握
周 辺 環 境 条 件	周辺道路状況	道路状態、交通事情、規制の有無	現場搬入路の検討、および施工条件への考慮
	隣接地域状況	家屋・工場等の隣接構造物、構造物状況、井戸水位等の調査	施工時動態観測等の施工条件への考慮
	建設工事の 法的規則	騒音・振動規制、作業時間帯等	作業時間帯等の施工条件の考慮
	建設副産物の 処 理 条 件	産業廃棄物の処分方法の調査	改良体造成時の排泥処理、改良体削孔時の残屑処分方法の検討
土 質 条 件	土 質	地質構成、支持層深さ、中間層の状態	施工に関する適用性検討 (1.3 参照)
	地 下 水	地下水位、透水性、湧水性、伏流水および被圧水の有無	施工に関する適用性検討 (1.3 参照)

5.1.3 施工計画書

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの施工にあたっては、設計条件を十分理解し、現場作業条件、周辺環境条件、土質条件などを考慮して施工計画書を作成するものとする。

【解説】

杭に要求される性能、所定の品質を確保するため、現場作業条件、周辺環境条件、土質条件などを十分検討して施工計画書を作成し、適切な施工を行うものとする。

以下に施工計画書に記載する主な事項を示す。

1) 工事概要

工事名称、工事場所、全体工期、杭打設工期、発注者

2) ST マイクロパイル工法 タイプⅡの設計仕様

i) 杭本数、杭長

ii) 鋼管材質、鋼管径、鋼管肉厚、鋼管長さ、鋼管数量

iii) 鋼管付属仕様（継手位置、節加工仕様、ノンリターンバルブ位置）

iv) 改良体造成径、改良体造成長、改良体強度、改良体造成仕様、硬化材使用数量

v) 改良体削孔径、グラウト強度、グラウト注入数量

vi) 杭頭結合部仕様

3) 施工条件の概要

現場作業条件、周辺環境条件、土質条件

4) 施工体制（管理組織）

5) 工程計画

6) 施工機械・設備器具、配置計画

7) 仮設設備計画

8) 施工計画

i) 施工方法

①施工手順、②準備工、③削孔、④改良体造成、⑤排泥処理、⑥改良体削孔、⑦鋼管挿入、

⑧グラウト、⑨杭頭結合部の施工

ii) 配合、硬化材・グラウト練混ぜ

①硬化材、②グラウト

iii) 材料搬入計画

9) 施工管理計画

工程管理、品質管理、出来形管理

10) 安全管理計画

11) 環境対策

12) 施工記録の方法

5.2 施工の概要

5.2.1 施工手順

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの標準的な施工手順は、改良体造成、改良体削孔、鋼管挿入、グラウト注入、杭頭結合部の処理からなる。

【解説】

STMP タイプⅡの施工手順を図-解 5.2.1、施工概要を図-解 5.2.2～5.2.4 に示す。

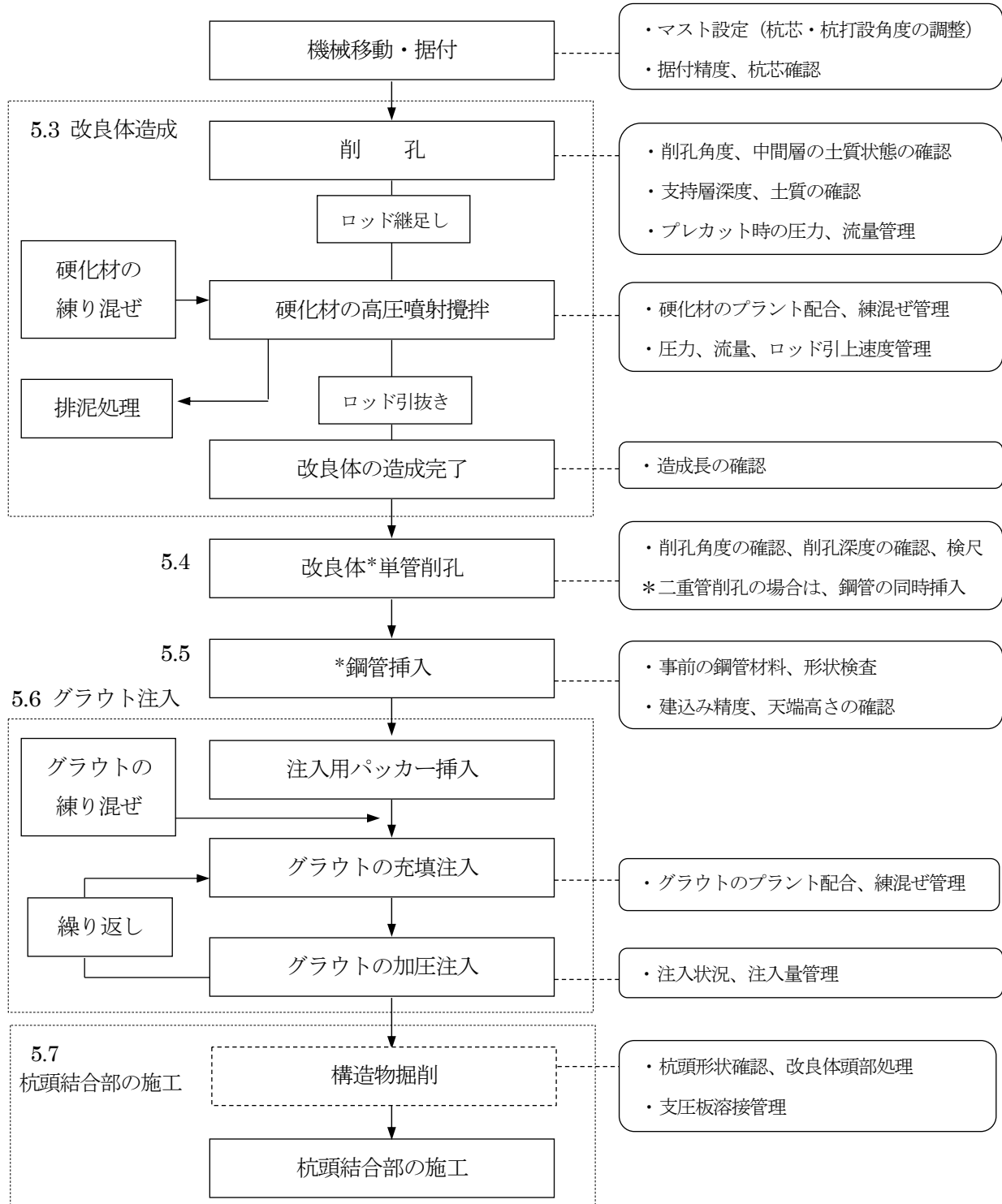
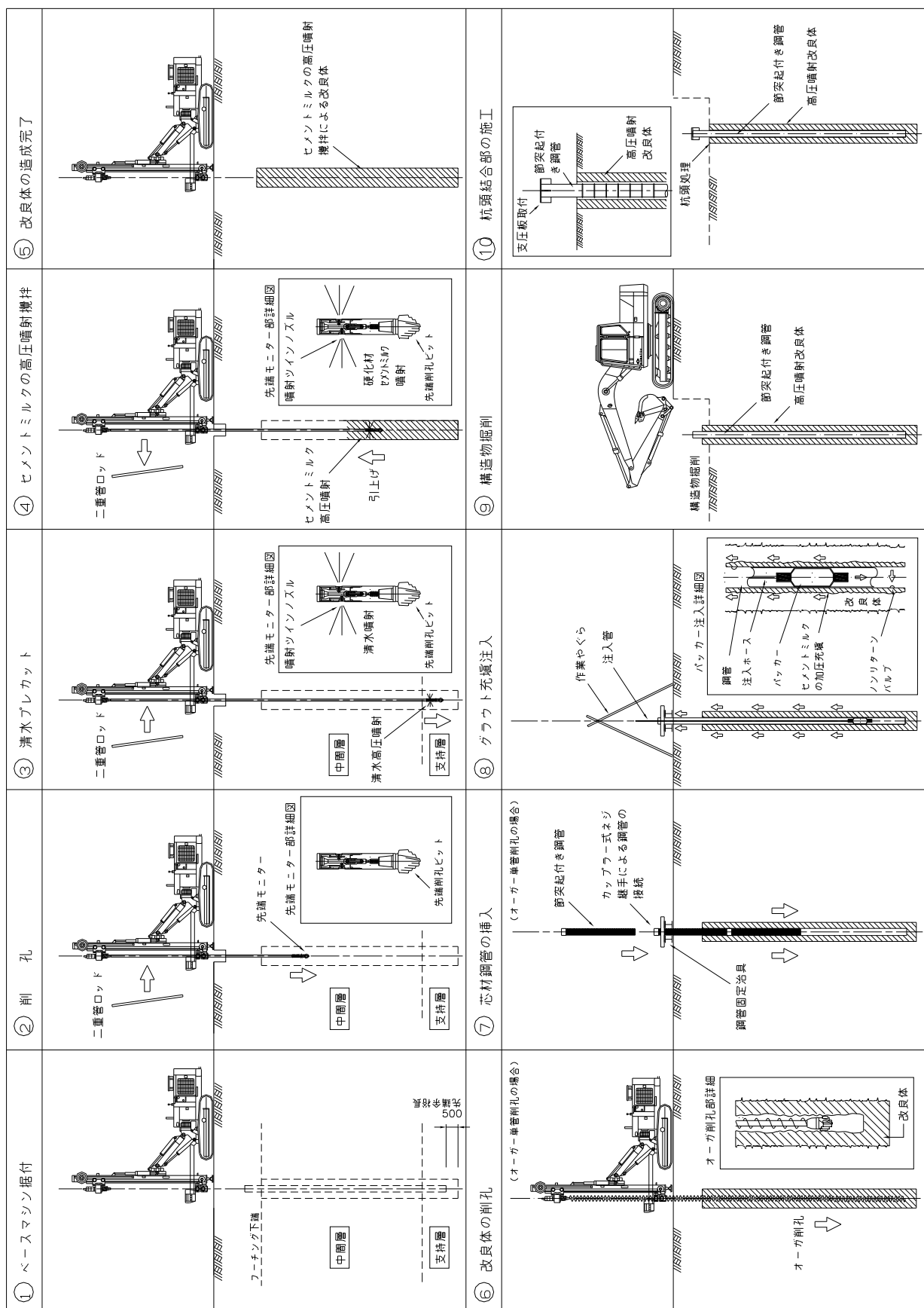


図-解 5.2.1 STMP タイプⅡの施工手順



図解 5.2.2 STMP タイプⅡ（改良体単管削孔方式）の施工図

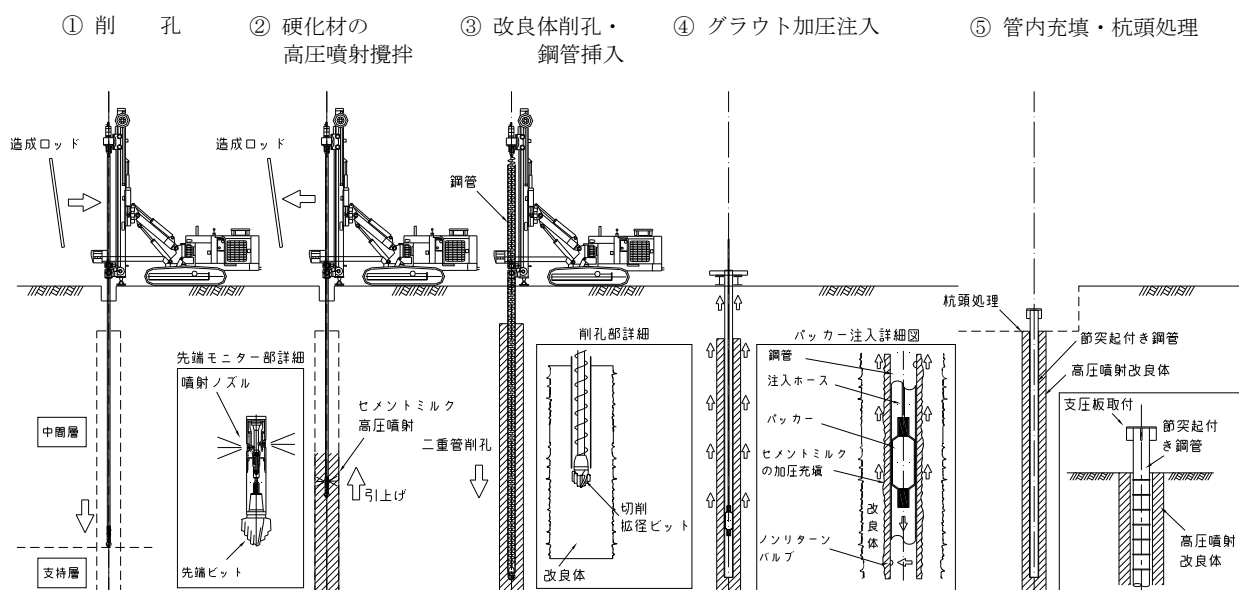


図-解 5.2.3 STMP タイプⅡ（改良体二重管削孔方式）の施工図

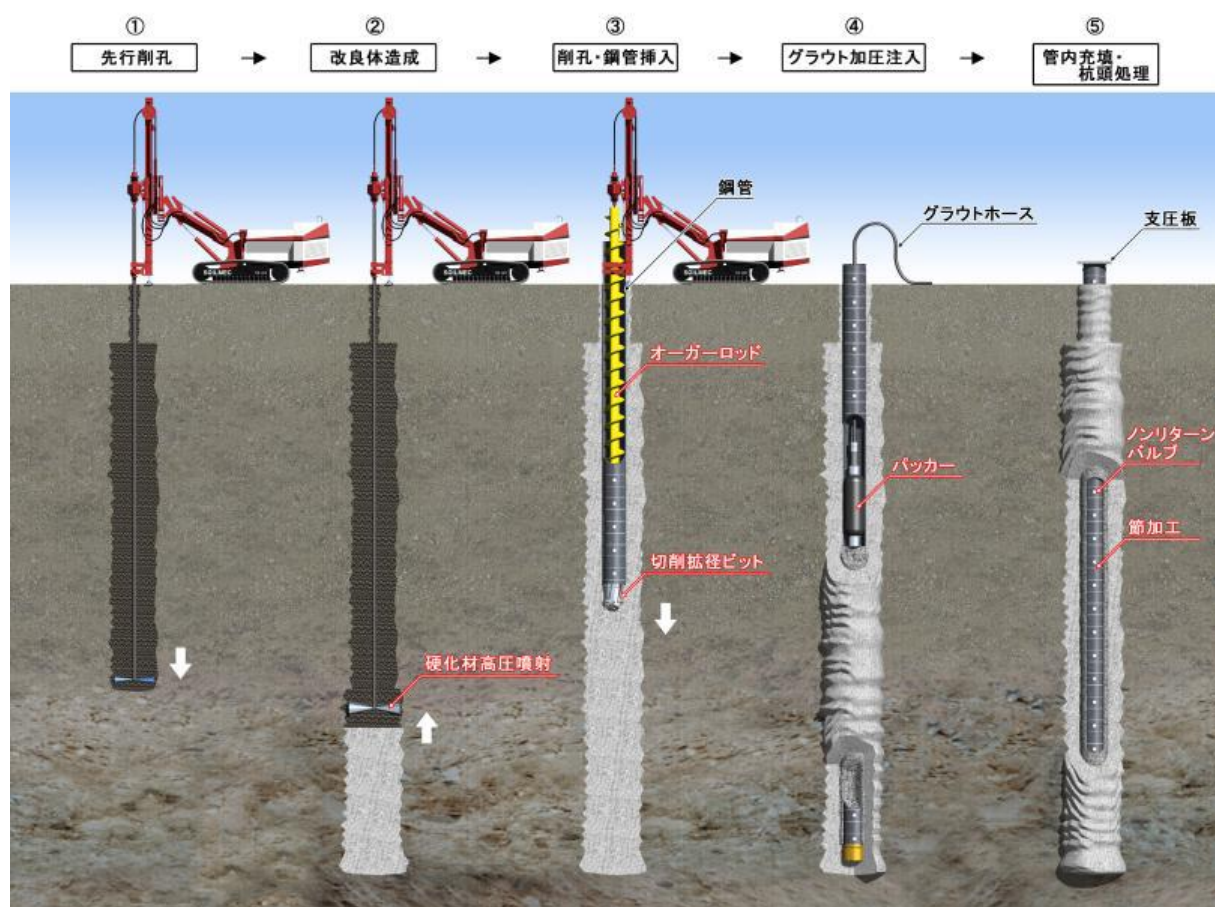


図-解 5.2.4 STMP タイプⅡ（改良体二重管削孔方式）の施工概念図

5.2.2 主要機械設備

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの施工に用いる主な施工機械設備は、杭諸元、制約条件等を考慮して選定するものとする。

【解説】

STMP タイプⅡの主要機械設備を次に示す。

1) 主要施工機械設備

STMP タイプⅡの施工で使用する標準的な主要施工機械設備を表-解 5.2.1 に示す。

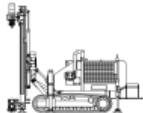
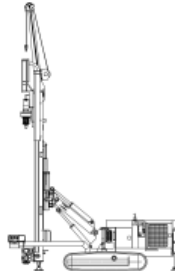
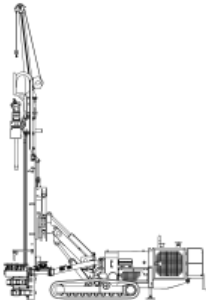
表-解 5.2.1 STMP タイプⅡの標準的な主要施工機械設備

作業区分	名 称	仕 様	数 量	備 考
改良体造成	ベースマシン	SM-103,SM-400,SM-401 等	1 台	施工条件、杭諸元に応じて選定
	モニター	二重管ツインノズル形式	1 個	二重管ロッド先端部に装着
	超高圧ポンプ	最大圧力 40 MPa, 吐出流量 100～200 ℓ/min	1 台	
	管理盤	吐出圧力、吐出流量管理 40MPa, 流量 100～200 ℓ/min	1 台	
	スラリープラント	24m³/hr	1 式	ミキサー、アジテーター一体型
	セメントサイロ	施工条件、施工量に応じて選定	1 基	
改良体削孔	先端ビット	鋼管径別にオーガー諸元を選定	1 個	
	オーガーロッド	鋼管径別にオーガー諸元を選定	必要数	
グラウト注入	グラウトミキサー	400 ℓ～600 ℓ×2 層式	1 基	施工条件に応じて選定
	グラウトポンプ	100～200 ℓ/min 級	1 基	施工条件に応じて選定
	パッカー	パッカー φ 102, φ 130, φ 170	1 台	鋼管径に応じて選定
	パッカー管理装置	パッカー作動装置 (ポンプ圧力等)	1 台	
共 通	発動発電機	所要動力に応じて選定	1 台	動力用
	ハイウオッシャー	1kW	1 台	清掃等
	エアコンプレッサ		1 台	清掃等
	水槽	施工量、施工条件に応じて選定	1 基	給水用
	水中ポンプ サンドポンプ	施工条件に応じて選定	必要数	給水等
	ミニクレーン 高所作業車	鋼管移動・挿入時	各 1 台	施工条件、杭諸元に応じて選定
	水量計、流量計	改良体造成時、グラウト注入時に必要諸元	各 2 台	各プラント

2) ベースマシン

ベースマシンは空頭制限高さや施工ヤード等の施工条件、杭諸元（杭長、鋼管径）などを考慮して選定する必要がある。ベースマシンの一例を表解 5.2.2 に示す。

表-解 5.2.2 ST マイクロパイル工法に用いるベースマシンの例

			SM103HD	SM400	SM401	
施工機械概要図			標準マスト : 3.6m 			
単位						
定 格 出 力			kW	41.6	102.2	116
本 体 重 量			kN	66	108	131
機 械 幅			m	2.2	2.3	2.3
機 械 長			m	4.4	5.4	6.6
標 準 マ ス ト 高 () : ショートマスト			m	3.6	7.1	7.6 (4.6)
機 構	標準ストローク長 () : ショートマスト		m	2.3	4.0	4.0 (2.1)
	給 圧 力		kN	30.0	35.8	45.0
	引 抜 力		kN	62.0	79.4	89.0
ドリルヘッド	ロータリー	最 大 トルク	kN・m	9.15	11.9	14.0
		回 転 数	rpm	0～359	0～461	0～238
	ダウンザホールハンマ			使用可	使用可	使用可
標 準 ロ ッ ド の 径			mm	60～90	60～114	60～140
標 準 適 用 鋼 管 径			mm	φ 165.2～216.3	φ 165.2～267.4	φ 165.2～267.4
最小空頭制限への対応				空頭制限 3.8m 以上	空頭制限 7.3m 以上	空頭制限 7.8m 以上 ショートマストで 4.8m 対応可
公 称 打 設 角 度			°	0 ～ 360	0 ～ 270	0 ～ 270
備 考				最も小型で低空頭作業が可能である。杭諸元、土質条件によっては施工能力を検討する必要がある。	ST マイクロパイルの標準的な機械で、径 267.4mm までの鋼管に対応できる。	施工能力が高く、機動性に優れる。径 267.4mm の鋼管に対応でき、オプション仕様で径 318.5mm まで対応可能である。

3) 施工ヤード

STMP タイプⅡの施工においては、打設位置でのベースマシンのほか、図-解 5.2.5 に示すような改良体造成・グラウトのプラント設備、鋼管等の資材置場が別途必要である。施工においては、打設位置ではベースマシンと最低限必要な資材置場の配置とし、プラント設備関係を分離して別の場所に配置することができる。この場合、プラントからの硬化材、グラウトの圧送距離・能力を検討する必要があるが、打設位置とプラントが50m程度以上離れた場合には、プラントの移動据付を行う等、現場の制約条件に応じて検討するものとする。

なお、STMP タイプⅡの施工において、改良体造成時に排泥が発生する。5.3.7 排泥処理方法に示すように現場内にピットを設けて固結土として運搬処分する場合、現場内の排泥処理設備について別途整備する必要がある。

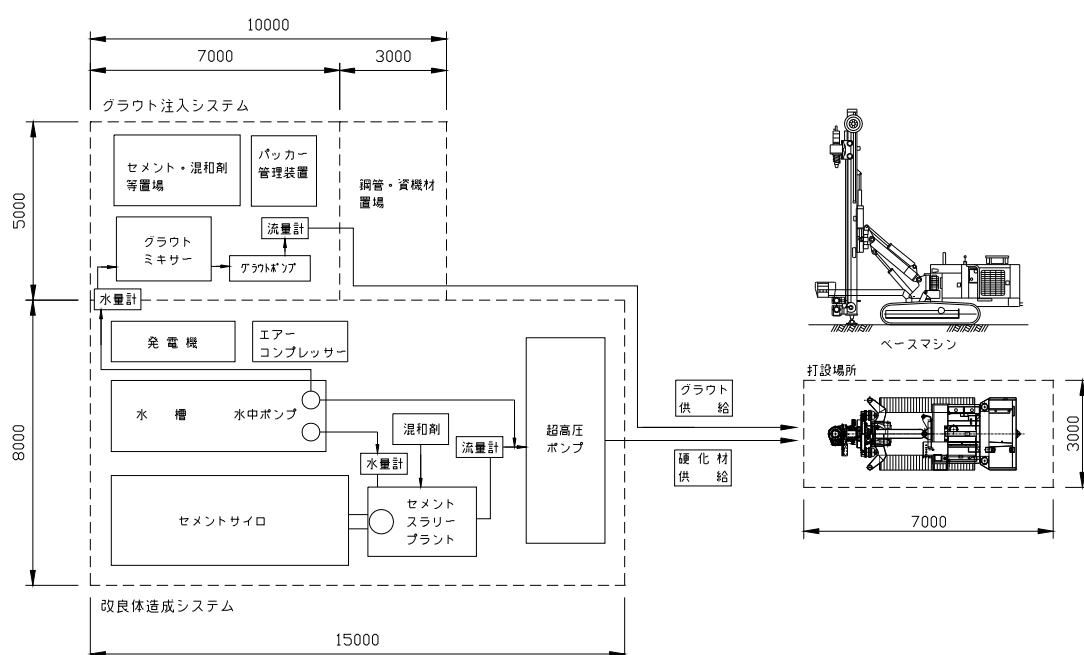


図-解 5.2.5 STMP タイプⅡの施工ヤード配置例

5.3 改良体造成

5.3.1 改良体の造成方式

ST マイクロパイル工法 タイプⅡにおける改良体の造成は、以下に示す方式を標準とする。

- (1) 改良体の造成方式は、二重管ツインノズル式の高圧噴射攪拌によるものとする。
- (2) 改良体の造成システムは、プレカット工程と造成工程を組み合わせたシステムとする。
- (3) 流体噴射方式は、造成時に硬化材のみを高圧噴射攪拌する材料噴射系とする。

【解説】

(1) 改良体の造成方式

一般にセメントなどの改良材を地中に供給し、地盤と改良材を強制的に攪拌混合して柱状の固化体を造成する深層混合処理工法は、機械攪拌式（スラリー系、粉体系）、高圧噴射式（流体切削）に大別される。STMP タイプⅡは空頭制限や狭隘地等の制約条件下における施工を主な適用範囲としているため、コンパクトな機械設備による施工が必要であり、高圧噴射攪拌によって改良体を造成することとした。

高圧噴射攪拌は、超高圧力の流体噴流によって地盤を切削し、硬化材を超高圧で充填攪拌して強固な改良体を地中に造成するものである。高圧噴射攪拌の造成方式は多様な方式が開発されているが、杭としての所定の改良体強度、改良体造成径を確保でき、かつ効率的な造成方式を選定する必要がある。STMP タイプⅡにおける改良体の造成方式は、効率の良い二重管ツインノズル式の高圧噴射攪拌（GTM 工法）¹⁾によるものとし、図-解 5.3.1 に示す造成手順を標準とする。

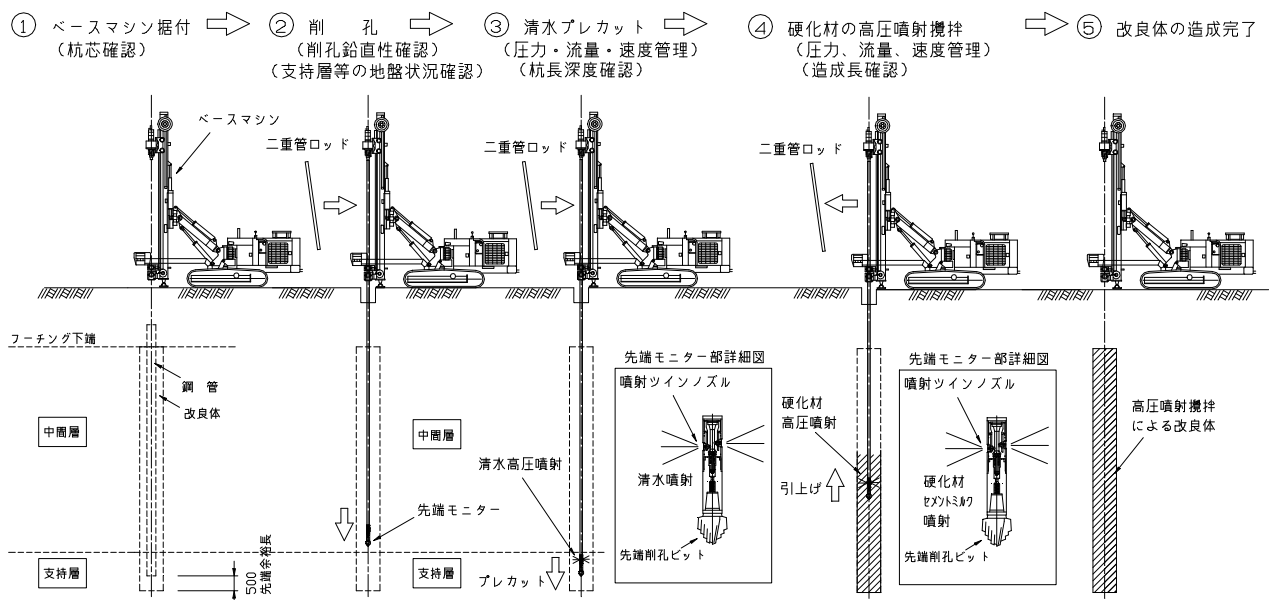


図-解 5.3.1 標準的な改良体造成手順



図-解 5.3.2 二重管ツインノズルによる超高压噴射（GTM 工法）

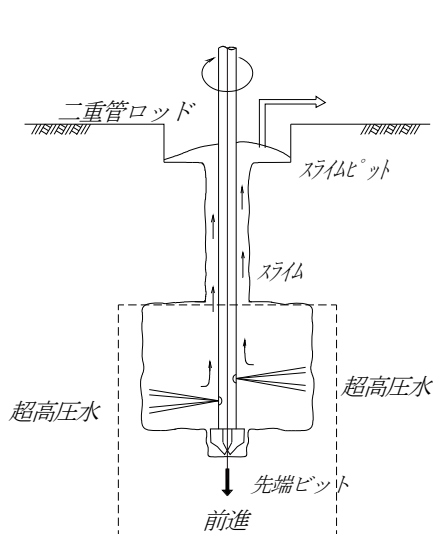
(2) 造成システム

図-解 5.3.3 に STMP タイプⅡに併用する改良体造成システムの概要を示す。改良体の造成は、削孔前進時に清水の高压噴射を行うプレカット工程、ロッド引上げ時に硬化材（セメントミルク）の高压噴射を行う造成工程を組み合わせることが可能なシステムとする。

高压噴射攪拌による改良体の造成は地盤中に伝達される有効エネルギーが重要であり、改良対象土塊と硬化材を効率よく攪拌混合する必要がある。本造成システムでは、プレカットにより改良対象土塊を緩めるため、硬化材の噴射攪拌時（造成工程）にはスムーズに排土が行われるとともに、硬化材と対象土が効率よく攪拌混合される。プレカット工程は、大きな改良体造成径を確保することや比較的密な地盤に対して特に有効な方法であり、これらの分離工程により従来の高压噴射攪拌工法に比べて硬化材ロスが少なく、排泥処理量の低減が可能となるものである。

したがって、STMP タイプⅡにおいては、プレカット工程を取り入れた造成システムを併用することとした。ただし、地表面付近の低拘束圧下の地盤、軟弱な中間層の範囲においてはプレカット工程を省略し、造成工程のみ実施するものとする。

(1) プレカット工程



(2) 造成工程

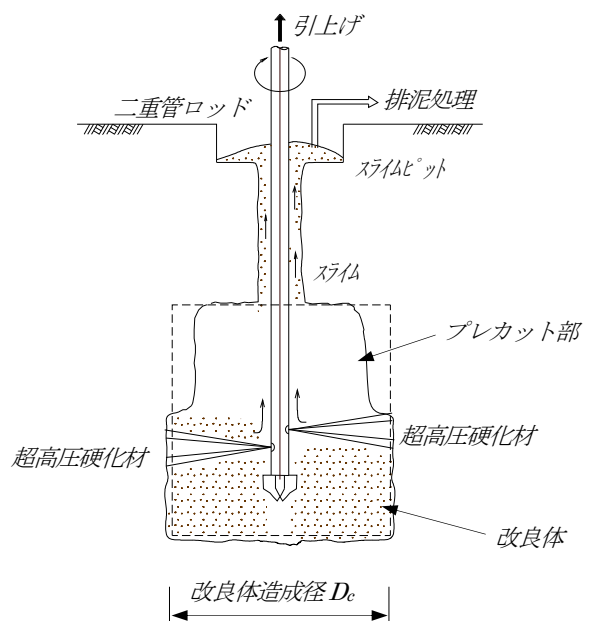


図-解 5.3.3 改良体の造成システム（GTM 工法）¹⁾

(3) 流体噴射方式

STMP タイプⅡにおける二重管ツインノズル式の高圧噴射攪拌（GTM 工法）では、地盤条件や改良体への要求性能に応じた流体噴射方式が選択できる（表-解 5.3.1）。

- ①材料噴射系 ：造成時に硬化材のみを噴射する方式
- ②空気・材料噴射系 ：造成時に硬化材と圧縮空気を混入させて噴射する方式

表-解 5.3.1 流体噴射方式の種類

流体噴射方式	プレカット工程		造成工程	
	清 水	圧縮空気	硬化材	圧縮空気
①材料噴射系	○ 注	—	○	—
②空気・材料噴射系	○	○	○	○

注：STMP タイプⅡにおけるプレカットは、地表付近および軟弱な中間層の範囲においては省略する

②空気・材料噴射系は一般的な地盤改良に適用されており、圧縮空気を混入させて大きな噴射エネルギーを与えることにより、大きな改良体造成径（1.6～2.0m 程度）を確保する方式である。一方、①材料噴射系は造成時に硬化材のみを噴射する方式で、空気・材料噴射系と比較して改良体造成径は小さくなるが、比較的高い強度の改良体を造成することが可能な方式である。したがって、STMP タイプⅡの改良体造成における流体噴射方式としては、杭としての品質を考慮し、①材料噴射系で造成することを標準とした。

5.3.2 改良体の造成仕様

改良体施工時の造成仕様（吐出圧力、吐出流量、ロッド速度）は、要求される改良体の造成径・強度に対し、これまでの施工実績、土質条件などを考慮して設定することとするが、試験施工を行って造成仕様を確認することが望ましい。

【解説】

STMP タイプⅡの改良体造成仕様は、次によるものとする。

1) 施工実績に基づく噴射エネルギーと改良体造成径の関係

図-解 5.3.4 は、改良体造成径に影響を与える施工上のパラメータである。影響因子としては、施工時に地盤へ与える噴射エネルギー、対象地盤の特性、硬化材の特性等が挙げられる。ここでは、施工時の総噴射エネルギー E_{it} と改良体造成径 D_c の関係を整理する。

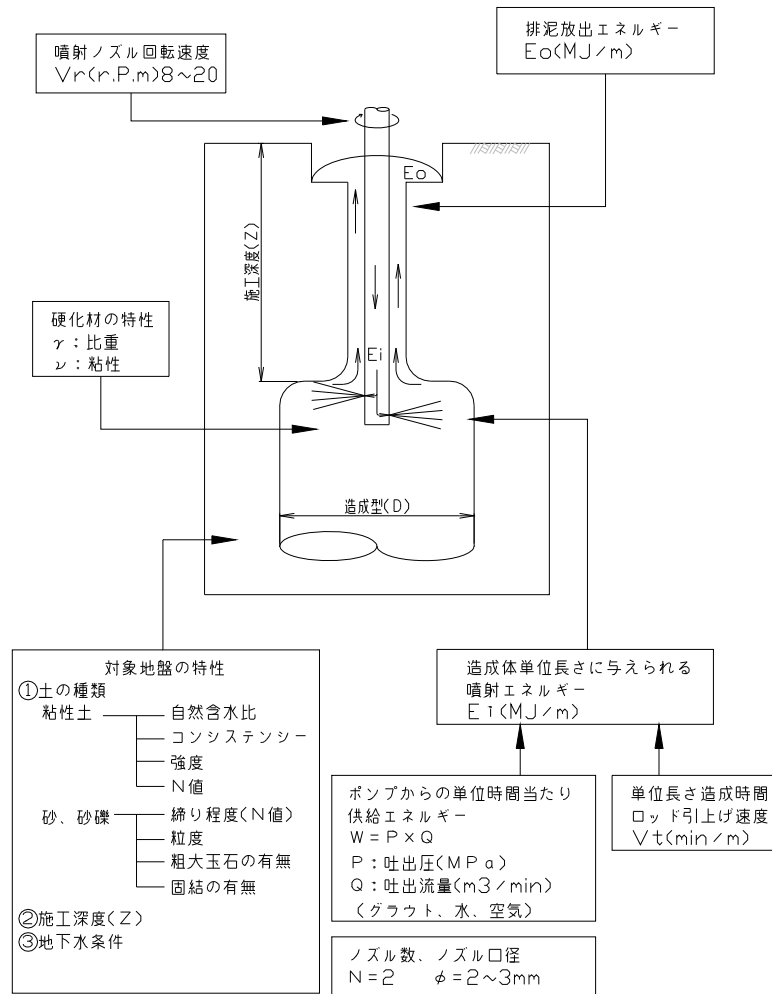


図-解 5.3.4 改良体造成径へ影響を与えるパラメータ¹⁾

総噴射エネルギー E_{it} とは、施工時に地盤へ与える総エネルギーであり、硬化材の噴射エネルギー E_{ig} と清水（プレカット時）の噴射エネルギー E_{iw} の和として求める（式 解 5.3.1）。

$$\text{総噴射エネルギー } E_{it} = E_{ig} + E_{iw} \quad \text{..... (解 5.3.1)}$$

ここで、

E_{it} : 総噴射エネルギー (MJ/m)

E_{ig} : 硬化材の噴射エネルギー (MJ/m)

$$E_{ig} = P_g \times Q_g \times V_{tg} \quad \text{..... (解 5.3.2)}$$

P_g : 硬化材の吐出圧力 (MPa)

Q_g : 硬化材の吐出流量 (m^3/min)

V_{tg} : 硬化材噴射時のロッド引上げ速度 (min/m)

E_{iw} : 清水（プレカット時）の噴射エネルギー (MJ/m)

$$E_{iw} = P_w \times Q_w \times V_{tw} \quad \text{..... (解 5.3.3)}$$

P_w : 清水の吐出圧力 (MPa)

Q_w : 清水の吐出流量 (m^3/min)

V_{tw} : 清水噴射時のロッド前進速度 (min/m)

STMP タイプⅡの施工実績における造成仕様を表-解 5.3.2、総噴射エネルギーと実測改良体造成径の関係を図-解 5.3.5 に示す。今後のデータの蓄積や、地盤特性等のパラメータを追加していく必要があるが、噴射エネルギーの増加によって改良体造成径も大きくなる傾向が分かる。STMP タイプⅡの造成仕様の設定にあたっては、要求される改良体造成径に対して、これらの施工実績を参考とするのがよい。

表-解 5.3.2 STMP タイプⅡの試験施工における造成仕様（材料噴射系造成）

NO	試験場所	対象土質	N 値	地下水位	プレカット	硬化材仕様 W/C (%)	総噴射エネルギー (MJ/m)	実測改良体造成径 (mm)
1	長崎県	粘性土	3～5	有り	無し	100	27.2	900
2	兵庫県	砂 礫	15	有り	無し	83	20.4	700
3	兵庫県	砂 礫	15	有り	有り	83	25.8	800
4	兵庫県	砂 礫	15	有り	無し	70	18.0	700
5	兵庫県	砂 礫	15	有り	有り	70	23.4	800
6	茨城県	細 砂	5～15	無し	無し	68	27.2	1000
7	茨城県	砂 礫	30～50	有り	有り	68	32.6	900

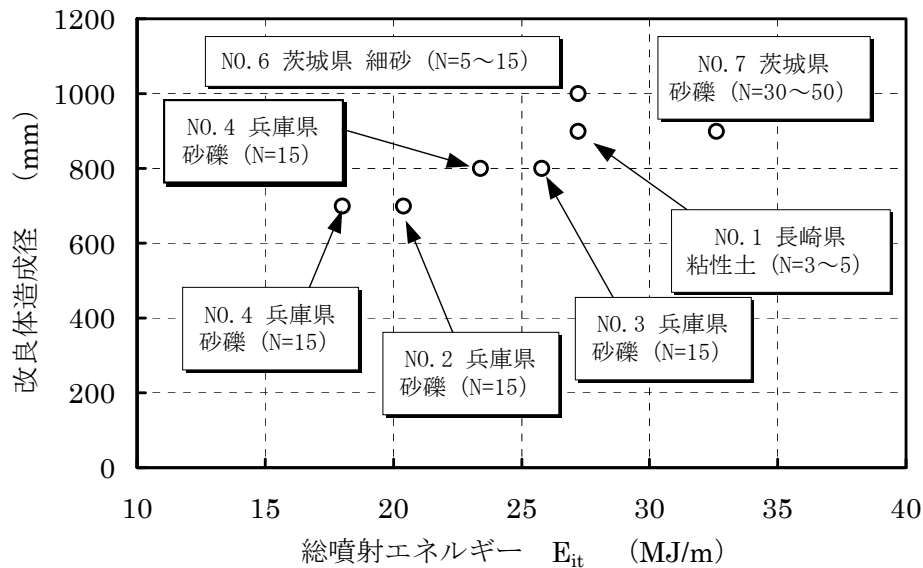


図-解 5.3.5 STMP タイプⅡの試験施工における噴射エネルギー～実測改良体造成径

2) 改良体の造成仕様の設定

STMP タイプⅡの改良体造成径 D_c に対する、高圧噴射攪拌の造成仕様の設定例を表-解 5.3.3 に示す。これらの仕様（吐出圧力、吐出流量、速度）は、1)で示した STMP タイプⅡの施工実績を考慮して設定したものである。ここで、地表付近および軟弱な中間層（軟弱粘性土および N 値 15 以下程度の砂質土）においては、プレカットを行わなくても 600～800mm の改良体造成径は確保できるため、比較的密な地盤のみを対象としてプレカットを行うものとする。なお、これらの造成仕様はこれまでの施工実績に基づいて設定した例であり、当該施工条件や土質条件、超高圧グラウトポンプの能力等を考慮したうえで、試験施工を行って改良体造成径を確認することが望ましい。図-解 5.3.6 に、施工実績¹⁾に基づく総噴射エネルギーと改良体造成径の関係を示す。

表-解 5.3.3 STMP タイプⅡにおける改良体の造成仕様の設定例

改良体造成径 D_c			600mm		800mm	
地盤条件			軟弱な砂質土・粘性土	比較的密な砂質土・粘性土	軟弱な砂質土・粘性土	比較的密な砂質土・粘性土
プレカット工程 (清水噴射)	吐出圧力	(MPa)	—	30	—	30
	吐出流量	(m ³ /min)	—	0.15	—	0.15
	速 度	(min/m)	—	1	—	1
造成工程 (硬化材噴 射)	吐出圧力	(MPa)	40	40	40	40
	吐出流量	(m ³ /min)	0.15	0.15	0.15	0.15
	速 度	(min/m)	3	3	4	4
総噴射エネルギー		(MJ/m)	18	22.5	24	28.5

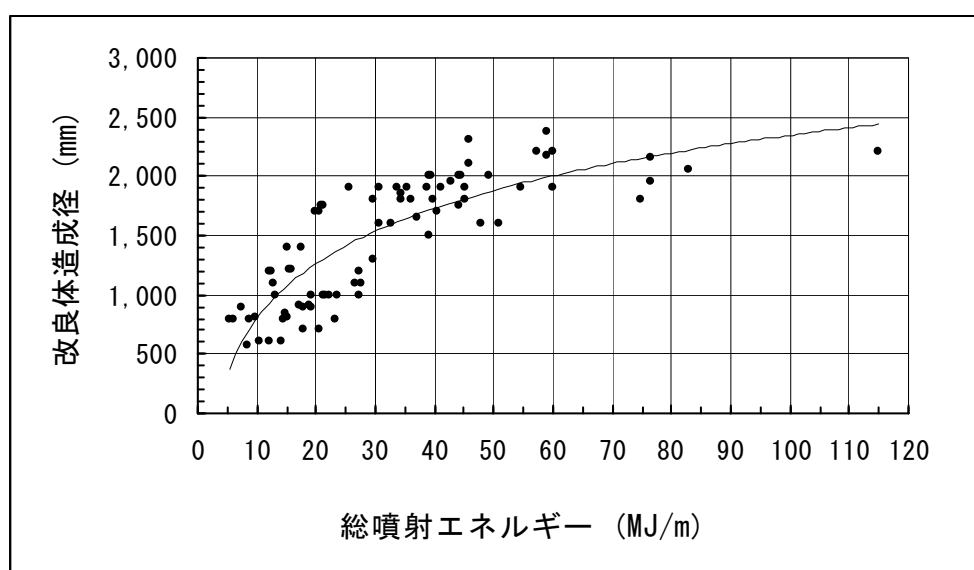


図-解 5.3.6 施工実績による総噴射エネルギーと改良体造成径の関係

5.3.3 硬化材の配合

硬化材の配合、改良対象土に対するセメント添加量は、要求される改良体強度に対し、これまでの施工実績、土質条件などを考慮して設定するが、試験施工を行って改良体の品質を確認することが望ましい。

【解説】

STMP タイプⅡの改良体造成における、硬化材配合、セメント添加量は次に示すものとする。

1) 施工実績による硬化材配合・セメント添加量と改良体強度との関係

STMP タイプⅡの施工実績における硬化材配合、改良体圧縮強度を表-解 5.3.4～表-解 5.3.6 に示す。これらの試験結果は、改良体をコアボーリングやブロックサンプリングした供試体を用いて一軸圧縮試験を行ったものである。

表-解 5.3.4 兵庫県（平成10年実施：試掘頭部コア採取）改良体圧縮強度試験結果

NO	深度 (m)	ﾌﾟﾚｶｯﾄ 工 程	硬化材配合		地盤条件	造成径 (mm)	セメント 添加量 (kg/m³)	一軸圧縮 強度 (N/mm²)
			W/C (%)	単位セメント量 (kg/m³)				
A	-1.5	無	83	860	砂 礫 (N=15 埋立土)	700	1,140	9.4
B	-1.5	有				800	873	5.5
C	-1.5	無	70	960		700	1,123	10.6
D	-1.5	有				800	859	7.4

表-解 5.3.5 茨城県（平成11年実施：コアボーリング）改良体圧縮強度試験結果

NO	深度 (m)	ﾌﾟﾚｶｯﾄ 工 程	硬化材配合		地盤条件	造成径 (mm)	セメント 添加量 (kg/m³)	一軸圧縮 強度 (N/mm²)
			W/C (%)	単位セメント量 (kg/m³)				
E	-1.7	無	68	1,000	細 砂 (N=5～15)	1,000	866	4.1
F	-2.1							6.1
G	-2.5							7.0
H	-3.1							7.8
I	-3.7							9.4
J	-4.1							12.0
平均								7.7
K	-4.7	有	68	1,000	砂 礫 (支持層)	900	1,069	12.5
L	-5.3							35.1

表-解 5.3.6 茨城県（平成12年実施：ブロックサンプル）改良体圧縮強度試験結果

NO	深度 (m)	プレート 工 程	硬化材配合		地盤条件	造成径 (mm)	セメント 添加量 (kg/m ³)	一軸圧縮 強度 (N/mm ²)
			W/C (%)	単位セメント量 (kg/m ³)				
M	-3.0	無	68	1,000	細 砂	1,000	866	11.7
N	-5.5	有			砂礫(支持層)	900	1,069	18.2

改良体の強度発現性は、硬化材の配合やセメント添加量、改良対象土の性質（粒度、含水比、有機物含有量等）などによって異なる。図-解 5.3.7、図-解 5.3.8 に STMP タイプⅡの試験施工および高圧噴射攪拌の施工実績①による一軸圧縮強度とセメント添加量の関係を示す。これらの結果から、改良対象土量当たりのセメント添加量が多いほど一軸圧縮強度が大きくなることが分かる。

セメント添加量とは改良対象土量当たりに噴射するセメント量であり、造成仕様（硬化材の吐出流量、ロッド引上げ速度）、硬化材中の単位セメント量が関係する。これらの施工実績に今後も施工データを追加していく必要があるが、目標とする改良体一軸圧縮強度 q_u に対して、このような実績を参考としてセメント添加量、硬化材の配合を設定するのがよい。

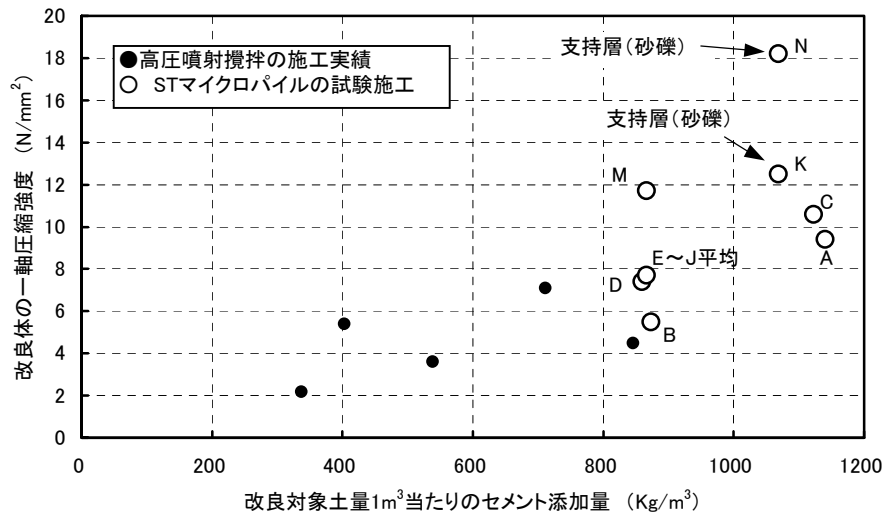


図-解 5.3.7 セメント添加量～改良体一軸圧縮強度の関係（砂質土、砂礫）

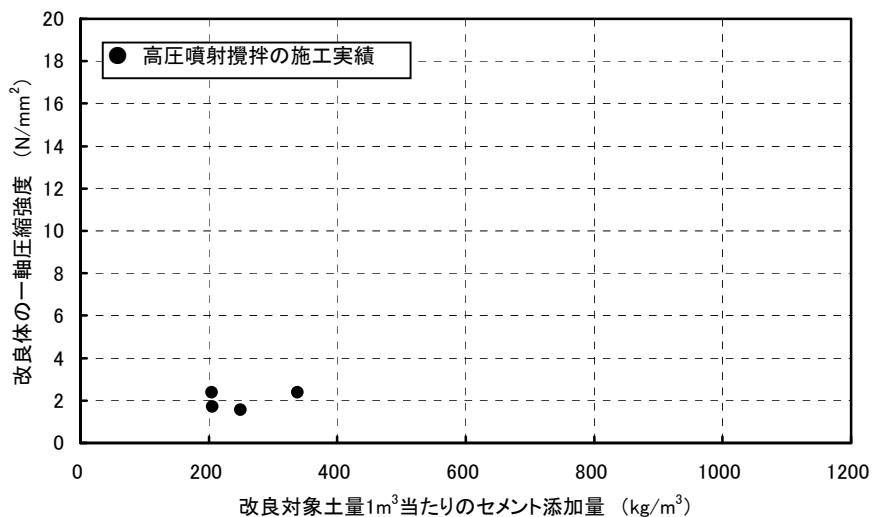


図-解 5.3.8 セメント添加量～改良体一軸圧縮強度の関係（粘性土）

2) セメント添加量の目安および硬化材の配合例

2.3.1(2)で示した改良体の一軸圧縮強度 q_u に対して、これまでの施工実績を考慮して設定したセメント添加量の目安を表-解 5.3.7 に示す。ここで、粘性土に関してはセメント添加量の多い施工実績がないこと、一般に粘性土は砂質土に比べて強度発現性が劣ることから、一軸圧縮強度を低く設定している。

表-解 5.3.7 改良対象土に対するセメント添加量の目安

	地盤条件	一軸圧縮強度 q_u (N/mm ²)	セメント添加量 (kg/m ³)
中間層部	砂質土	3 ～ 5	850 以上
	粘性土	1 ～ 3	850 以上
支持層部	N 値 30 以上の砂、砂礫	10	850 以上

STMP タイプⅡに用いる硬化材の配合例を表-解 5.3.8 に示す。この配合は、表-解 5.3.3 の造成仕様（吐出流量、引上げ速度）、表-解 5.3.7 のセメント添加量を考慮し、安全側に配合を設定したものである。改良体の強度は土の特性（自然含水比や原位置強度、深度等）によっては強度発現性が異なるため、当該土質条件などを検討したうえで、試験施工によって改良体の品質・強度を確認することが望ましい。また、特殊な地盤条件（高含水比土、有機質土等）に対しては事前の室内配合試験によって、硬化材の種類・配合、添加量を別途検討するものとする。

表-解 5.3.8 STMP タイプⅡの高圧噴射攪拌に用いる硬化材の配合例

改良体 造成径 D_c (mm)	地盤	硬化材 1m ³ 当たりの配合例			
		W/C (%)	セメント C (kg)	水 (kg)	混和剤 * (kg)
600	中間層部	83	860	716	13
	支持層部				
800	中間層部				
	支持層部				

* : セメントに対する混合率 1.5%、アルキリアリルスルホン塩酸類を主成分とした化学混和剤 GTM-30（減水剤：標準型Ⅰ種）

5.3.4 削孔方法

- (1) 削孔方式は、地盤条件に応じた先端削孔ビットを装着したロータリー方式を標準とする。
- (2) スラントルール等によって打設角度を確認、保持しながら削孔する。
- (3) 事前のボーリング調査結果と削孔状況（削孔排出土、削孔時の抵抗等）の対比から先端支持地盤を確認し、支持層への根入れ長を確保するものとする。
- (4) 削孔完了時はロッドの残尺測定によって所定の削孔長を確認するものとする。

【解説】

- (1) 削孔方式は、ロッド先端に図-解 5.3.9 に示す削孔ビットを装着したロータリー方式の削孔であり、地盤条件に応じた先端ビットを選定する。先端ビットの削孔径は、 $\phi 108\text{mm}$ ～ $\phi 127\text{mm}$ である。
ただし、転石・玉石などを含む砂礫層が存在する場合や削孔時のジャーミングが懸念される場合など、ロータリー方式による削孔が困難となる場合は、ケーシングを用いた二重管削孔（ガイドホール削孔）を行い、ケーシングをガイド管として改良体を造成する²⁾。また、孔壁の自立性が悪く、造成時に孔壁閉塞等が懸念されるような場合においても、ガイド管を設置するものとする。
- (2) 削孔時の打設角度は、スラントルール等により管理し、打設角度を確認、保持しながら削孔するものとする。
- (3) 先端支持地盤の土質や深度を事前に実施されているボーリング調査によって把握し、削孔中の排出土や抵抗等から支持地盤の深さを確認するものとする。特に、支持地盤に凹凸や傾斜がある場合、ボーリングデータや削孔時の支持層確認に注意しなければならない。
- (4) 削孔時には所定の深度まで削孔したことをロッドの残尺測定によって確認するものとする。

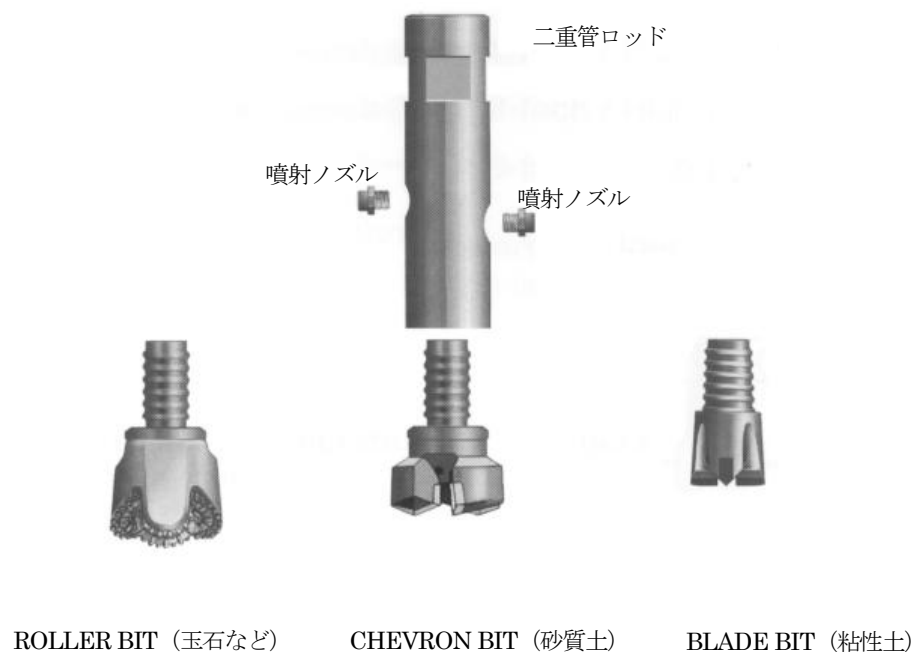


図-解 5.3.9 ロータリー方式の先端削孔ビットの種類

5.3.5 造成方法

- (1) 改良体のプレカット、造成時は、5.3.2 で設定した造成仕様（吐出圧力、吐出流量、ロッド速度）を管理計器等によって確認しながら施工を行うものとする。
- (2) 改良深度は先端モニターの吐出位置で施工深度を管理し、造成完了時はロッドの残尺測定によって所定の造成長を確保するものとする。

5.3.6 硬化材の計量・練混ぜ

- (1) 硬化材のプラント設備は、材料の計量、練混ぜ、圧送等の所定の能力を備えていることとする。
- (2) 材料の計量は、所定の精度を満足する計量器により行うものとする。
- (3) 硬化材の練混ぜは、所定の品質・コンシステンシーを満足し、均質になるまで行う。

【解説】

- (1) 図-解 5.3.10 に材料の計量・練混ぜ、改良体造成までのフロー、図-解 5.3.11 にセメントスラリープラント、超高压ポンプの配置例を示す。

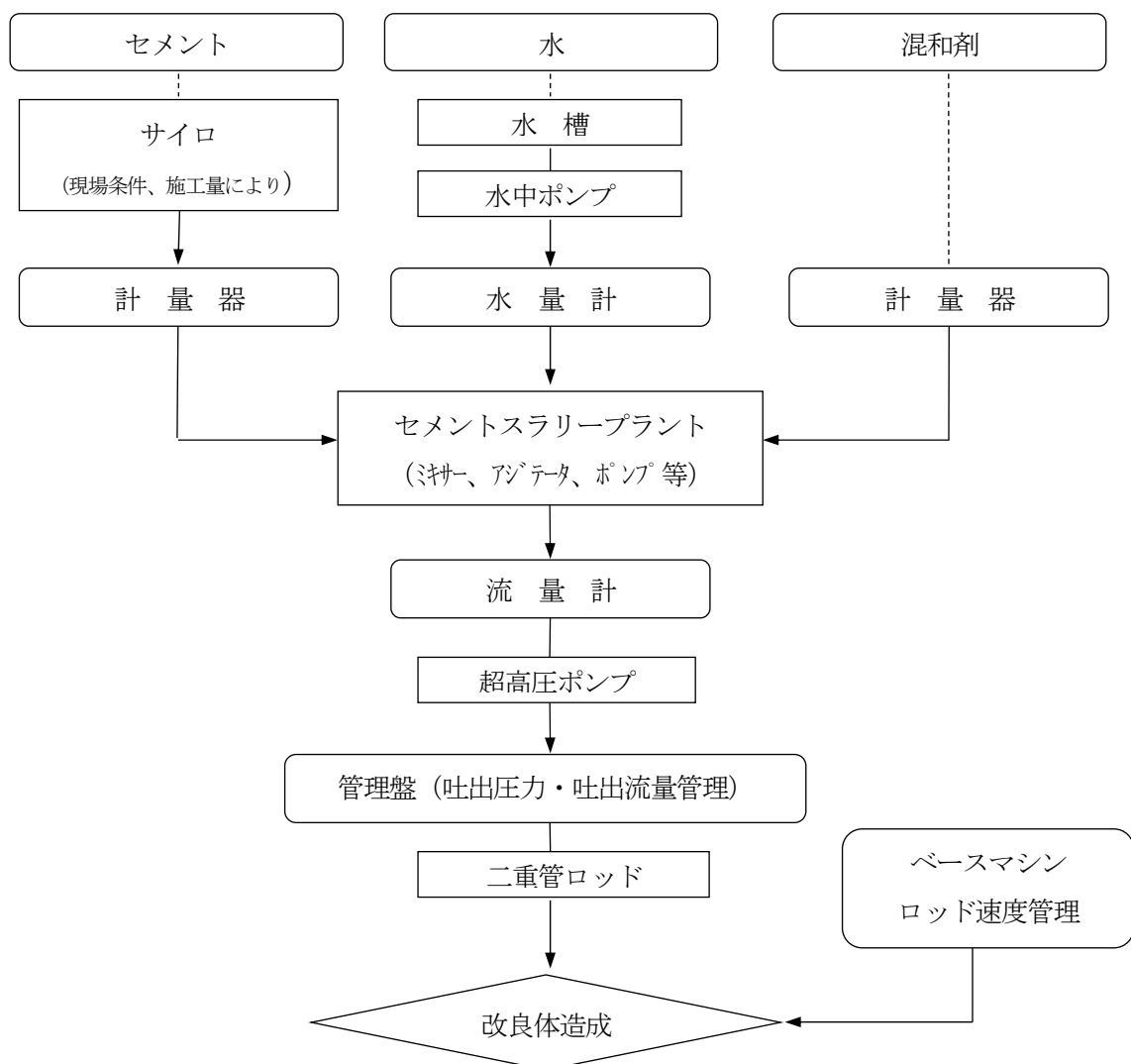


図-解 5.3.10 改良体造成の硬化材料・施工フロー



図-解 5.3.11 超高压ポンプ、セメントスラリープラントの配置例

- (2) 硬化材（セメントミルク）の材料計量は、5.3.3 で設定した配合に対して計量管理を行うものとする。

5.3.7 排泥処理

改良体造成時に発生する排泥は、関連法規を遵守し、適切な方法で運搬・処理することとする。

【解説】

改良体造成時に発生する排泥は一般に、①現場内にピットを設けて投入して固結させ、固結土を掘削しダンプトラックで排出する、②直接バキューム車もしくはタンク車に投入し指定の処分地まで運搬・処分する方法がとられている。STMP タイプⅡに併用する高圧噴射攪拌（GTM 工法）は、プレカット工程と造成工程を分離することや、造成時間の低減から、セメント分が含まれる排泥量を低減させているが、建設産業廃棄物であり、その運搬・処理方法については関連法規を遵守して決定しなければならない。また、運搬、処理にあたっては、廃棄物の処理および清掃に関する法規の規定による産業廃棄物処理業の許可を受けた業者によって運搬、処理する必要がある。

なお、排泥処理に関しては、排泥の減量化、有効利用・再利用等の各処理対策が開発されており、地盤条件・施工環境条件に応じて、土砂分離装置や固化・塑性化処理プラント等¹⁾を選定することにより、排泥処理量を減量化することができる。

5.4 改良体削孔

- (1) 改良体の削孔は、オーガーロッドの先端に削孔ビットを装着したロータリー方式を標準とし、単管または二重管削孔によるものとする。
- (2) スラントルール等によって打設角度を確認、保持しながら削孔する。
- (3) 削孔完了時はロッドの残尺測定によって削孔長を確認し、ロッド引抜き後、検尺テープによって削孔長を検尺するものとする。
- (4) 削孔完了後、エア等によって孔内を清掃することとする。

【解説】

- (1) 改良体の削孔は、オーガーロッド先端に削孔ビットを装着したロータリー（回転）方式を標準とし、次に示すようなオーガーロッドの単管削孔、あるいは、オーガーロッドと鋼管（ケーシング）の二重管削孔によるものとする。

1) 単管オーガー削孔

単管オーガー削孔は、図-解 5.4.1 に示すようにオーガーロッド先端に削孔ビット（図-解 5.4.2）を装着して回転削孔した後、ロッドを引抜き回収するものである。鋼管はロッドを引抜いた後に自立した孔壁内に挿入するため、鋼管単位長はベースマシンによる制限を受けず、二重管削孔と比較すると長尺鋼管を挿入でき、継手数を減らすことができる。なお、削孔時期は改良体の削孔壁が自立する低強度な若材齢期間とし、一般には連続して翌日、最大で3日後程度までが目安である。先端削孔ビットの形状や削孔径はメーカー仕様によって若干異なるが、表-解 5.4.1 に先端ビットの標準的な削孔径を示す。

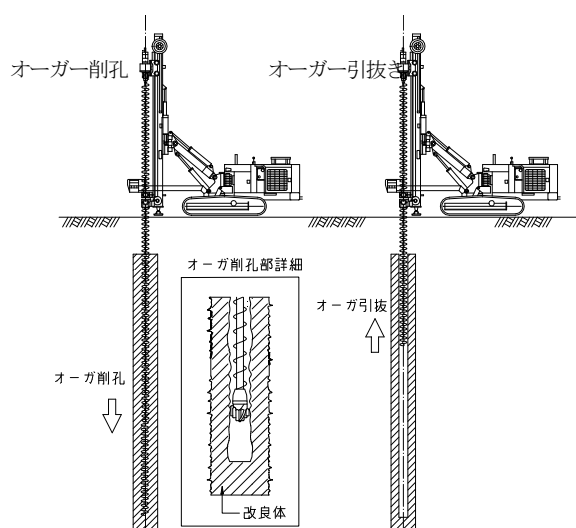


図-解 5.4.1 改良体の単管オーガー削孔



図-解 5.4.2 オーガー先端削孔ビットの一例

表-解 5.4.1 単管オーガ削孔に用いる先端削孔ビットの削孔径

鋼管径 (mm)	先端ビットの削孔径 (mm)	オーガーロッド直径 (mm)
216.3	254	180
267.4	305	215

2) 二重管オーガー削孔

高圧噴射攪拌による地盤改良では礫分等がセメント固化体中に残るが、粒径の大きい礫が存在するような場合は、単管削孔では能率が低下する。このような場合、鋼管をケーシングとした二重管オーガー削孔を行うものとする（図-解 5.4.3）。オーガーロッドの先端には図-解 5.4.4 に示すような切削拡径ビットを装着しており、比較的大きな粒径の礫地盤等での削孔能率が高く、直進性がよい。また、ロッドを正転、逆転させることで先端ビットが拡大、収縮し、削孔時には鋼管を連行させ、削孔完了後には収縮して回収が可能な方式である。

ただし、支持層部の地盤状況や改良体削孔の施工時期によっては、改良体の強度発現が想定（10N/mm²）以上となり、回転式の二重管オーガー削孔の適用が困難となる場合が生じる。この場合には、ダウザホールハンマを用いた回転打撃削孔による二重管オーガー削孔の採用を行う必要があり、地盤状況・施工条件・作業工程等に応じて、適切な削孔方式を選定することが肝要である。なお、ダウンザホールハンマによる削孔方式については、タイプⅠの設計・施工マニュアル「5.3.1 削孔方式」を参考とすることができる。

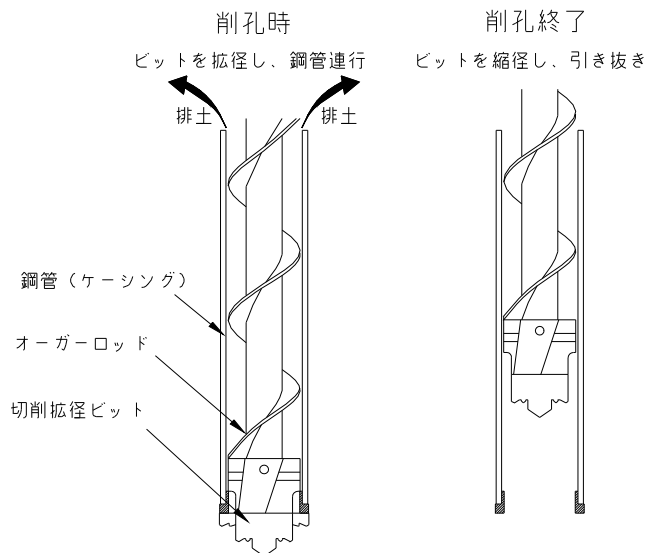


図-解 5.4.3 二重管オーガー削孔の概要

図-解 5.4.4 切削拡径ビット（拡径時）

表-解 5.4.2 二重管削孔・切削拡径ビットの削孔径

鋼管径 (mm)	拡径ビットの削孔径 SMB-R (mm)	オーガーロッド直径 (mm)
165.2	188	130
216.3	239	180
267.4	294	215

- (2) 常に改良体の中心を削孔するよう、スランートルール等によって打設角度を確認、保持しながら削孔する。
- (3) 削孔完了時はオーガーロッドの残尺測定によって削孔長を確認し、ロッド引き抜き後、検尺テープによって削孔長を検尺する。
- (4) 削孔完了後、削孔屑等が孔壁内に残らないようエアークンプレッサー等で清掃するものとする。

5.5 鋼管の挿入

5.5.1 鋼管の運搬・仮置・検査

- (1) 鋼管の運搬・積卸し・仮置など、鋼管の取扱いにあたっては損傷防止や養生方法に留意しなければならない。
- (2) 現場搬入時には鋼管の寸法、加工形状、外観などについて、所定の検査を実施するものとする。

5.5.2 鋼管の挿入

- (1) 鋼管の付着に悪影響を与える泥などが付着していないこと、また浮錆がないことを確かめた鋼管を挿入することとする。
- (2) 鋼管 1 本当たりの単位長さは、当該施工条件や改良体の削孔方法を考慮して検討するものとする。
- (3) 鋼管の接続は、機械式ネジ継手（カップラー式ネジ継手）によることを標準とし、継手部分で応力が確実に伝達されるよう十分締め付けることとする。
- (4) 鋼管の鉛直性、天端高さ、杭芯位置など、建込み精度を十分管理するものとする。

【解説】

- (1) 鋼管は付着性能を向上させるため、表面にはビード溶接による節突起加工を施したものをを用いる。鋼管の仮置き時点では十分な養生を行い、挿入時点では泥などが付着していないこと、浮錆がないことを再度確認してから鋼管の挿入を行うものとする。
- (2) 改良体中に挿入する鋼管 1 本当たりの単位長さは、空頭制限などの施工条件、5.4 に示した改良体の削孔方式（単管方式、二重管方式）に応じて検討する。単管削孔の場合はベースマシンの制限を受けないため空頭制限が主となって鋼管単位長さが決まり、二重管削孔の場合はベースマシンのストローク長で鋼管単位長さが決まる。ST マイクロパイルの場合、鋼管 1 本当たりの単位長さは、施工条件やベースマシンの選定によって 1.5m～3.0m まで使用することができる。



図-解 5.5.1 鋼管：鋼管径 216.3mm, L=1.5m



図-解 5.5.2 鋼管接続状況

- .(3) 鋼管は、機械式ネジ継手（カップラー式ネジ継手）で接続することを標準とする。継手部の締め付けが不十分な場合、杭頭に伝達された軸力や曲げ応力に対して継手下方の鋼管への応力伝達が不十分になる恐れがあるため、ネジ継手部を十分締め付ける必要がある。2.1.2 に示したカップラー式ネジ継手は確実な接続ができるよう、下方の鋼管と上方の鋼管がカップラーを介して直接接する、メタルタッチ構造となっており、鋼管とカップラーが完全に接続された場合、それ以上ネジ部を回転させることができなくなっている。
- (4) 鋼管の挿入は空頭高さ等の施工条件や改良体の削孔方式等に応じて、ベースマシンの補助ウインチ、小型クレーン等によって吊込み、挿入する（図-解 5.5.3）。

挿入時の鋼管は、スランートルール等によって鉛直性を管理し、鋼管の天端高さ、位置ずれ、傾斜を現場測量等によって確認するものとする。

挿入完了後の鋼管は、グラウト注入時等に位置ずれなどが生じないように、簡易な固定治具によって杭頭を仮固定する。また、設計上の鋼管天端が地中部となる場合、ヤットコ鋼管を使用し、グラウト注入完了後に取り外すものとする。

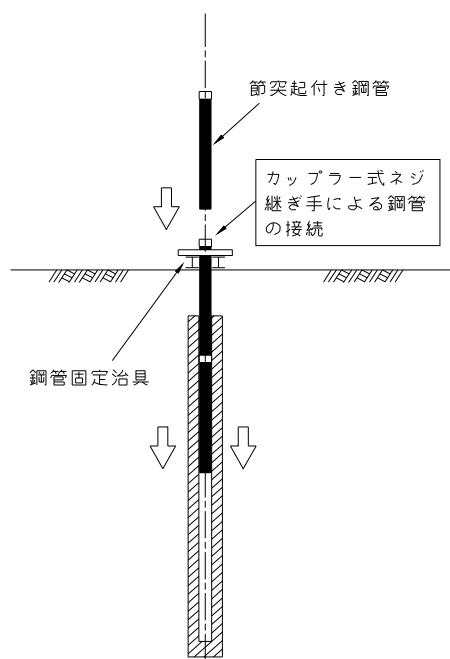


図-解 5.5.3 鋼管の挿入要領
(改良体削孔方式が単管削孔の場合)

5.6 グラウト注入

5.6.1 グラウトの配合

グラウトの配合は、設計基準強度および、圧送・注入に関するワーカビリティを満足するよう設定するものとする。

【解説】

鋼管内に充填、改良体の削孔壁部に加圧注入するグラウト材には、ブリージングが少なく、高い流動性・浸透性、適度な粘性を有しており、かつ十分な強度・耐久性が求められる。ST マイクロパイルではこのような品質を確保するため、グラウト材はこれまでの施工実績も考慮し、水セメント比 W/C が50%のセメントミルクを使用することを標準とした。

表-解 5.6.1 にグラウト（セメントミルク）の標準配合例を示す。

表-解 5.6.1 グラウト（セメントミルク）1m³当たりの標準配合例

設計基準強度 (N/mm ²)	水セメント比 W/C (%)	セメント C (kg)	水 W (kg)	混和剤* (kg)
30	50	1,230	596.55	18.45

* セメントに対する混合率 1.5%、アルキリアリルスルホン塩酸類を主成分とした化学混和剤 GTM-30 (減水剤：標準型 I 種)

5.6.2 グラウトの計量・練混ぜ

- (1) グラウトのプラント設備は、材料の計量、練混ぜ、圧送等の所定の能力を備えていることとする。
- (2) 材料の計量は、所定の精度を満足する計量器により行うものとする。
- (3) グラウトの練混ぜは、所定の品質・コンシステンシーを満足し、均質になるまで行う。

【解説】

- (1) 図-解 5.6.1 にグラウトのプラント配置例、図-解 5.6.2 にグラウト注入に関するフローを示す。グラウトミキサー、グラウトポンプ等のプラント設備は、練混ぜ能力、容量、圧送能力を備えている必要がある。グラウトミキサーは原則としてアジテートミキサーを使用し、1 バッチ分のグラウトの練混ぜが完全に終了してからアジテーターに移し、次バッチの練混ぜを行うものとする。



図-解 5.6.1 グラウト注入のプラント配置例

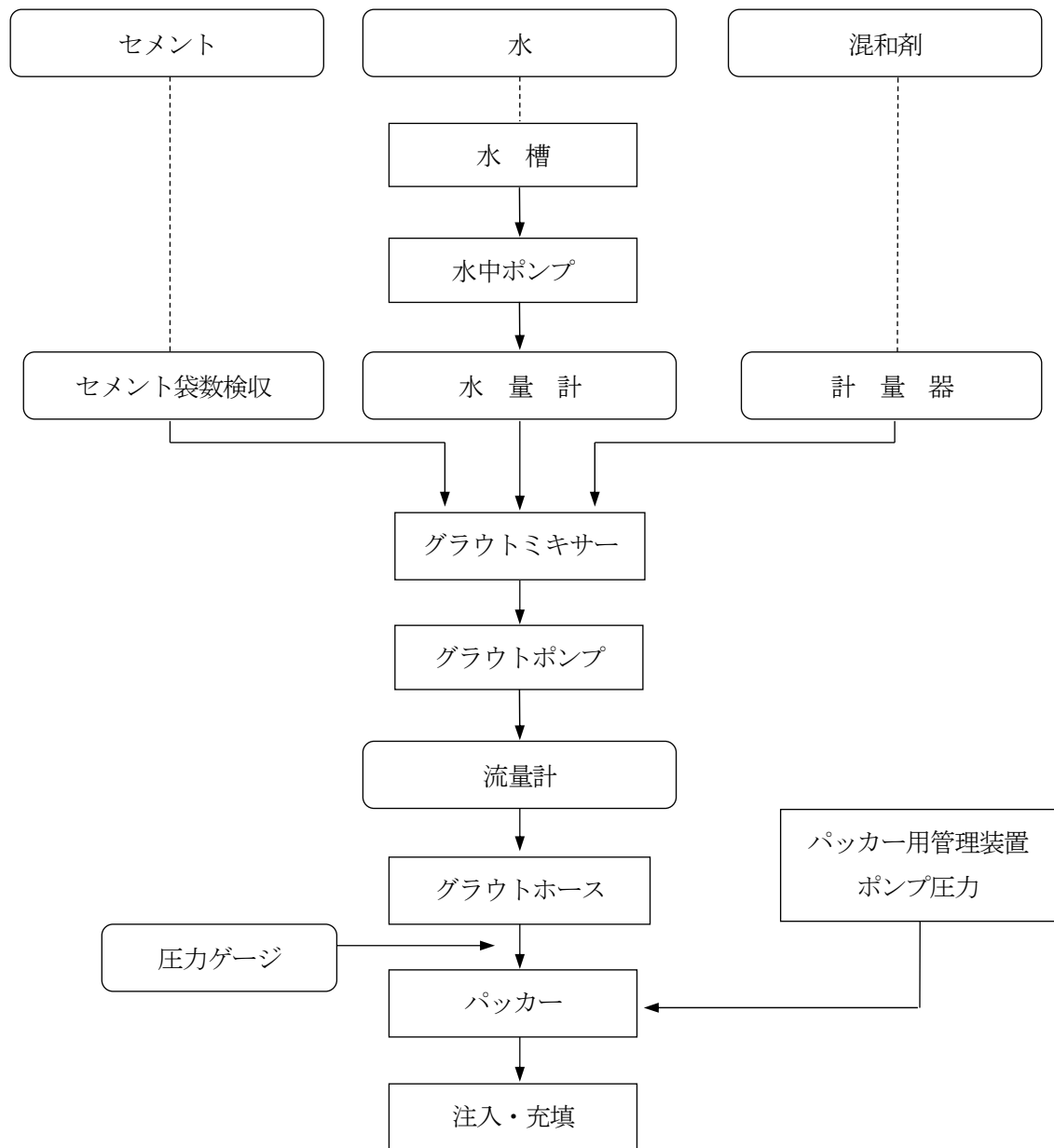


図-解 5.6.2 グラウト注入の材料・施工フロー

- (2) グラウト（セメントミルク）の材料計量は表-解 5.6.1 で設定した配合に対して計量管理を行うものとする。

5.6.3 注入方式

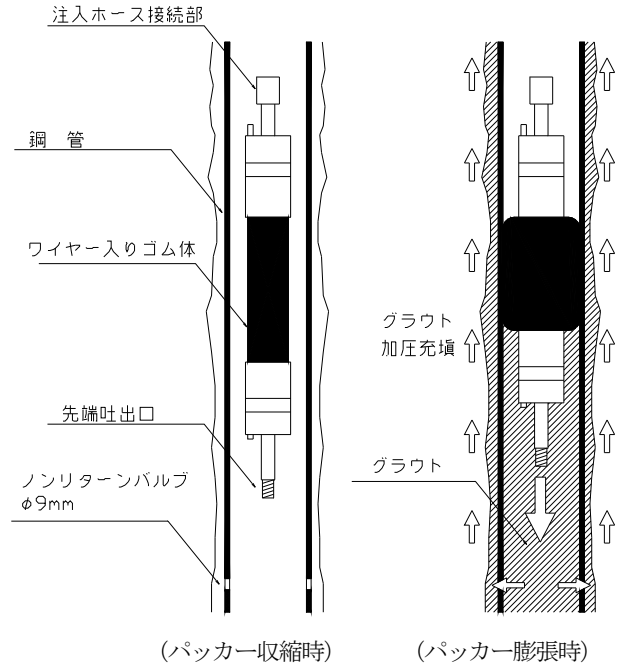
ST マイクロパイル タイプⅡのグラウト注入方式は次に示すものとする。

- (1) グラウトの注入は、改良体の削孔壁部にグラウトを確実に注入・充填させるため、鋼管内に注入用パッカーを挿入した加圧注入方式によることを原則する。
- (2) 鋼管には逆止弁構造となったノンリターンバルブ（φ9mm）を片側1m間隔で千鳥状に設置することを標準とする。

【解説】

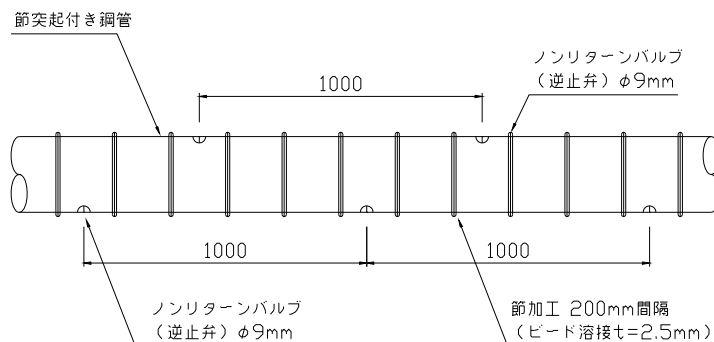
- (1) グラウト注入の目的は、鋼管内の充填により杭体の一部として荷重に抵抗させること、改良体の削孔空隙部に注入・充填することにより、改良体へ鋼管を確実に定着させ、荷重伝達や杭の支持力機構を確保することである。一般に加圧注入の方式は鋼管口元でのケーシング加圧と地中部でのパッカー加圧が挙げられるが、ST マイクロパイルでは確実なグラウトの注入方法として、鋼管内に注入用パッカーを挿入した加圧注入方式によることを原則とした。

パッカーを用いた加圧注入例を、図・解 5.6.3 に示す。パッカーには、ワイヤー入り特殊ゴムからなる部分をポンプ(パッカー用管理装置)により加圧膨張させる方式や、機械式パッカー装置等がある。加圧注入時にはパッカーを用いて鋼管内に栓をし、グラウトポンプの圧力によってパッカー先端口からグラウト流体を吐出させる。圧力の加わったグラウト流体は鋼管に設置したノンリターンバルブを介して改良体の削孔空隙部に注入・充填される注入方式である。

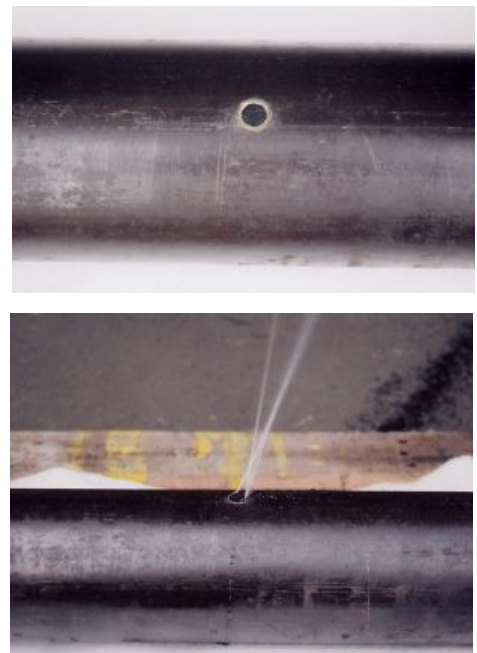


図・解 5.6.3 パッカーによる加圧注入状況

- (2) 改良体の削孔空隙部へのグラウトの注入・充填は鋼管に設置したノンリターンバルブ（図・解 5.6.4）を介して注入する。ノンリターンバルブとは逆流防止弁構造となった注入孔（φ9mm）であり、鋼管に片側1m間隔で千鳥状に設置することを標準とする（図・解 5.6.5）。なお、バルブ加工により鋼管にわずかながら断面欠損が生じるが、杭の $1/\beta$ の範囲は鋼管に作用する曲げモーメントが大きいこと、自立した削孔壁の杭頭付近は注入状況も管理しやすいことから、 $1/\beta$ の範囲はバルブを設置しないものとする。



図・解 5.6.5 ノンリターンバルブの配置



図・解 5.6.4 ノンリターンバルブ

5.6.4 注入方法

ST マイクロパイル タイプⅡのグラウト注入は以下に示す方法とする。

- (1) グラウトの一連の注入は、グラウトの流動性が失われないよう速やかに行うものとする。
- (2) グラウトの注入は、鋼管内にグラウトを充填する「充填注入」、鋼管を改良体に定着させるために、パッカーを用いて圧力注入を行う「加圧注入」を繰り返して行う。
- (3) グラウト注入は、杭先端から杭頭に向かって段階的にパッカーを移動させるステップアップ方式（段階注入）で行う。段階注入の深度方向の間隔は2～3m程度を標準とするが、杭長や注入状況も考慮して検討するものとする。
- (4) グラウト注入の終了は、注入量、杭頭付近から溢流するグラウト状況等から判断するものとする。

【解説】

- (1) 図-解 5.6.6 に、パッカーを用いた STMP タイプⅡのグラウト注入フローを示す。

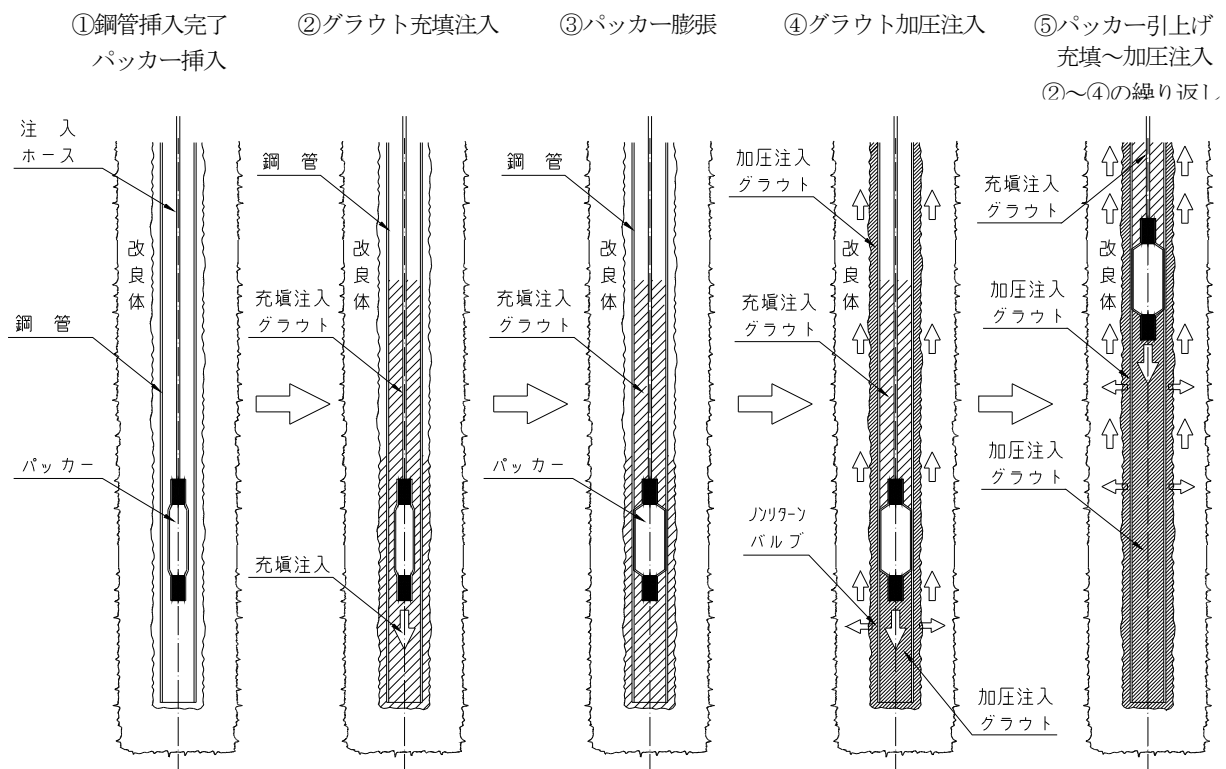


図-解 5.6.6 STMP タイプⅡのグラウト注入フロー

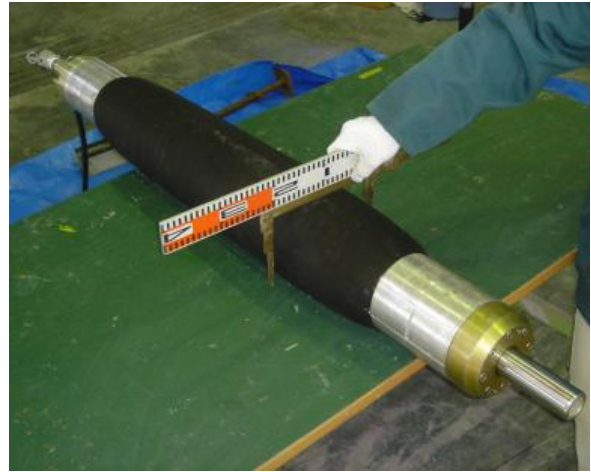


図-解 5.6.7 グラウトの注入・充填状況

- (2) グラウトの注入は、鋼管内にグラウトを充填しておく「充填注入」、パッカーを用いて鋼管内に栓をし、改良体の削孔壁部に圧力を与えながらグラウトを注入・充填する「加圧注入」を繰り返して行う。充填注入は、鋼管内部に空気が混入しないように鋼管内部にグラウトを充填するものであり、加圧注入を行う前にパッカーの位置より十分なグラウトの充填高さを確保するよう、鋼管内にグラウトを充填しておくものとする。
- (3) グラウト注入の手順としては、鋼管先端からパッカー先端の吐出口が 1～2m 程度になるよう鋼管内部にパッカーを挿入し、グラウトを充填注入した後、パッカー装置を用いて、グラウトの加圧注入を行う。この充填注入と加圧注入の組み合わせを、杭先端から杭頭に向かってパッカーを移動させながらステップアップ方式（段階注入）で行うものとする。段階注入の深度方向の間隔は 2～3m 程度を標準とするが、杭長や注入状況を考慮して適時検討するものとする。STMP タイプⅡにおけるグラウト注入は改良体削孔壁内での注入・充填のため、杭頭付近からグラウトが溢流し続けるような場合は注入間隔を広げてよい。なお、ここではパッカーを用いた加圧注入を行うが、孔壁が自立した改良体内での削孔空隙部への充填であり、一般には注入中に大きな加圧力が生じることはない。通常は、0.2～0.5MPa 程度の注入圧で、全面定着・鋼管内充填を行うことができる。
- (4) グラウト注入の終了は、以下の項目を考慮して判断することとする。
 - 1) 杭頭付近から溢流したグラウトの状況を目視確認する。必要に応じてプラントにおける比重と比較し、全面定着・鋼管内充填の確認を行う。
 - 2) 流量計によって測定した実施注入量と実削孔容積とを比較し、実施注入量が上回っていることを確認する。この時の最低注入管理量の目安としては、鋼管内容積と改良体との空隙容積（設計削孔径と鋼管外径との空隙）とを加算した注入量以上とする。

5.7 杭頭結合部の施工

杭頭結合部の施工は、設計図書に従って、杭本体を損傷させないよう適切に行うものとする。

【解説】

STMP タイプⅡの杭頭結合部の処理方法は、次に示す通りとする。

- 1) 杭頭結合部の施工は、図-解 5.7.1 に示すように構造物掘削の後、改良体の仕上げ整形、鋼管の清掃、支圧板およびスチフナの溶接を行うものとする。

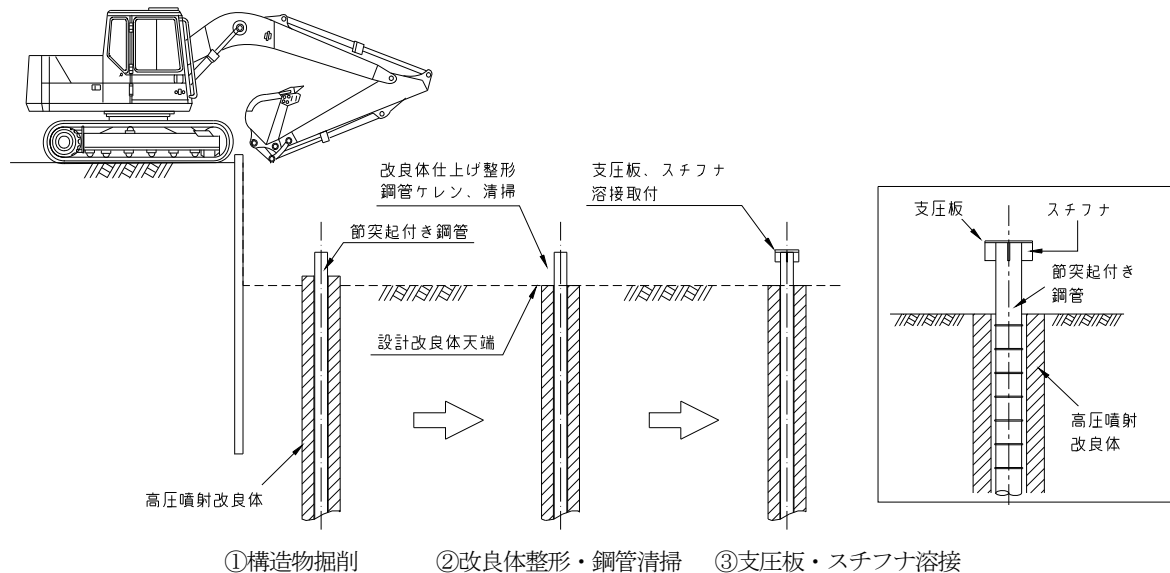


図-解 5.7.1 杭頭結合部の施工手順

- 2) 構造物掘削は、杭本体を損傷させないよう掘削するものとし、改良体周辺は人力にて慎重に掘削するものとする。
- 3) 改良体の造成は、施工性から一般には設計高さより余分の造成を行うが、杭頭の改良体を設計高さまで仕上げ整形する必要がある。改良体の整形はハンマ、ハンドブレイカ等によって行うが、このとき、改良体に縦ひび割れなどの損傷が発生しないよう慎重に小割り、整形作業を行うものとする。また、鋼管周面に付着したグラウトに関しても、ケレン器具等を用いて除去、清掃しなければならない。なお、鋼管と鋼管内のグラウトが均等に押込み荷重を負担できるよう、鋼管天端のグラウト面は鋼管面と同一高さに整形する。
- 4) 支圧板およびスチフナの取付けは鋼管周面の付着物を十分清掃した後、3.8 に示すように現場溶接によって取り付けるものとする。なお、支圧板とスチフナの溶接に関しては、現地では上向き溶接となるため、あらかじめ別途の場所で支圧板とスチフナを溶接しておき、現地でスチフナと鋼管の溶接を行うものとする。また、現場溶接にあたっては各仕様書等に準じて溶接管理を行うものとする。

5.8 施工管理

5.8.1 施工管理

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの施工においては、適切な施工管理を行うことにより、基礎杭として所定の性能を確保するものとする。

【解説】

表-解 5.8.1 に施工管理項目例を示すが、施工管理内容、測定頻度等は監督員との協議によって決定することとする。

表-解 5.8.1 STMP タイプⅡの施工管理項目例

工 程	管理項目	管理内容	管理方法	規格値・対比值	測定頻度
削 孔	削孔位置	杭芯位置の管理	杭芯マーキングとビット先端位置のずれ量をスケールで測定管理	±100mm 以内	据付時
	削孔角度	削孔角度の管理	スラントルール、トランシット等により測定管理	±1 度以内	削孔中 随時
	削孔状況	中間層・先端支持層の土質、深度確認	土質柱状図、深度と削孔排土状況、削孔時の抵抗等との対比確認	設計書	支持層 到達時
	削孔深度	削孔長の管理	ロッド検尺・残尺による測定管理	設計値以上	杭全数
	プレカット 状況	速度、流量、 圧力の管理	ロッド前進速度、流量、吐出圧力を 管理計器によって設定管理	5.3.2 による 設定値	プレカット中 随時
改良体造成	造成状況	排泥状況の確認	排泥状況（排泥量、流出程度等） の目視確認	目視確認	造成中 随時
		速度、流量、 圧力の管理	ロッド引上速度、流量、吐出圧力を 管理計器によって設定管理	5.3.2 による 設定値	造成中 随時
	造成深度・ 造成長	造成長の管理	ロッド検尺・残尺による測定管理	設計値以上	造成完了時 杭全数
	硬化材 吐出量	硬化材吐出量 の管理	流量計による測定	設計計算量	造成完了時 杭全数
	造成完了後	改良体造成径 の管理	杭頭処理時に、メジャー等により杭 頭の改良体造成径を測定管理	設計値以上	杭全数
改良体削 孔	削孔位置	削孔位置の管理	杭芯位置とビット先端位置のずれ 量をスケールで測定管理	±100mm 以内	削孔 開始前
	削孔角度	削孔角度の管理	スラントルール、トランシット等 により測定管理	±1 度以内	削孔時 随時
	削孔深度	削孔長の管理	ロッド検尺・残尺およびロッド引 抜後の検尺テープによる測定管理	設計値以上	杭全数
鋼 管 挿 入	鋼管接続時	鋼管継手部の 締付け度管理	カップラー式ネジ継手接続時の 締付け度を目視確認	目視確認	鋼管接続 全箇所
	鋼管の挿入・ 建込み精度	鋼管平面位置 の管理	トランシット等により平面的な 位置ずれを測定管理	±100mm 以内	杭全数
		鋼管傾斜の管理	スラントルール、測量器具等によ って鋼管の傾斜を測定管理	±1 度以内	杭全数
		鋼管天端高さ の管理	レベル測量によって鋼管の天端 高さを測定管理	±50mm	杭全数
グラウ ト注入	注入状況	注入圧力の 測定確認	圧力ゲージによるグラウト加圧注 入時の圧力測定、確認	目視確認・記録	注入時 随時
		注入量管理	流量計による確認	設計計算量	造成完了時 杭全数

注) 1. 上記の管理基準例は一般的な直杭施工の場合であり、やっこ施工、長尺削孔や斜杭施工、地盤状況等によっては、設計に対する施工誤差が大きくなる場合があるので、誤差の影響を考慮した管理基準を監督員と協議して決定する。

2. 設計計算量は杭長・地盤状況に応じて最低注入量以上を充填するものとする。(p.126 参照)

5.8.2 品質管理

(1) 鋼 材

鋼管および支圧板、スチフナとして用いる鋼材の品質確認は、品質検査証明書によって行うものとする。また、材料搬入時には寸法等の形状、外観検査を行うものとする。

【解説】

鋼管および支圧板、スチフナ等の鋼製品は、メーカーから発行された品質検査証明書によって品質を確認するものとする。また、材料の搬入時には、各仕様書に基づき外径、肉厚、長さ、ビード溶接間隔等の寸法を管理するとともに、局部的な変形や錆等がないことを確認することとする。

(2) 硬化材

高圧噴射攪拌に用いる硬化材の材料は、品質検査証明書によって品質を確認するとともに、現場練混ぜ時には物理特性などの必要な項目について品質管理を行うものとする。

【解説】

- 1) 高圧噴射攪拌の硬化材として用いるセメント、混和剤は、メーカーから発行された品質検査証明書によってその成分、品質を確認するものとする。また、現場搬入時に乱袋や湿りがないことを確認し、湿気による強度劣化がないよう保管することとする。
- 2) 現場練混ぜ時の硬化材の品質管理項目例を表-解 5.8.2 に示す。なお、高含水の土や高有機質土等においては、改良体の品質は試験施工を行ったうえでコアボーリング等により改良体の連続性、圧縮強度等を確認することが望ましい。

表-解 5.8.2 硬化材練混ぜ時の品質管理項目例

管理項目	試験項目	測定方法	管理基準・対比值	測定頻度
物理特性	比重管理	比重測定器 (マッドバランス等)	設計計算比重の±4%	1回／施工前
強 度	プラントスラリー の圧縮強度試験	プラントからの試料採取、 一軸圧縮試験	参考データ	1回／杭1本
	原位置改良体の 圧縮強度	必要に応じてコアボーリングによ る試料採取、一軸圧縮試験	設計値	監督員との協議

(3) グラウト

注入に用いるグラウトの材料は、品質検査証明書によって品質を確認するとともに、現場練混ぜ時には物理特性、流動性などの必要な項目について品質管理を行うものとする。

【解説】

- 1) グラウト材として用いるセメント、混和剤は、メーカーから発行された品質検査証明書によってその成分、品質を確認するものとする。また、現場搬入時に乱袋や湿りがないことを確認し、湿気による強度劣化がないよう保管することとする。
- 2) 現場練混ぜ時のグラウト材の品質管理項目例を表-解 5.8.3 に示す。

表-解 5.8.3 グラウト練混ぜ時の品質管理項目例

管理項目	試験項目	測定器	管理基準	測定頻度
流動性	フロー値管理	P 漏斗試験	10～16 秒	施工前に 1 回
物理特性	練混ぜグラウト比重管理	比重測定器 (マッドバランス) 等	設計計算比重 の±4%	施工前に 1 回
強 度	プラントスラリー の圧縮強度試験	プラントからの試料採取、 一軸圧縮試験	設計基準強度 30N/mm ²	施工前に 1 回

5.8.3 工程管理

ST マイクロパイルの施工においては、計画工程と進捗状況とを常に対比し、必要な場合は所要の対策を行い、全体工程が円滑に進行できるようにする。

【解説】

工程管理は、準備作業から杭の打設完了、資機材搬出までを含めた工程表を作成し、常に進捗状況と対比しながら管理を行うものとする。必要な場合、要因配置、仮設備、資材調達、施工機械・設備等の能力等を検討し、全体工程が円滑に進行できるよう調整する必要がある。

5.8.4 安全管理

ST マイクロパイルの施工においては、労働安全衛生法等の関連法令を遵守し、安全確保に努めなければならない。

【解説】

施工においては、労働安全衛生法等の関連法令を遵守し、安全確保に努めなければならない。以下に主な事項を示す。

- ① 安全衛生責任者の選任、安全衛生管理体制の構築
- ② 有資格者の就業
- ③ 作業員の健康管理
- ④ 交通安全対策、第三者災害の防止

5.8.5 施工記録

ST マイクロパイル工法 タイプⅡの施工にあたり、各杭について必要な事項を記載した施工記録および各種試験結果を記録・整理し、提出するものとする。

【解説】

施工記録は、杭施工の記録を全ての杭について記録し、適切な施工管理を行うものである。施工記録には以下の項目等を記載し、正確に報告するものとする。

- 1) 工事名
- 2) 工事場所
- 3) 事業主体
- 4) 施工者
- 5) 施工年月日
- 6) 杭番号
- 7) 設計杭諸元（改良体造成径、改良体削孔径、改良長、鋼管径、鋼管肉厚、鋼管長、鋼管材質 等）
- 8) 使用機械諸元（ベースマシン諸元、主要機器 等）
- 9) 施工サイクル（準備、削孔、改良体造成、改良体削孔、グラウト注入 等）
- 10) 中間層の土質、先端支持層の記録（到達深度 等）
- 11) 杭長施工記録（改良体先端位置、鋼管先端位置、改良体天端位置、鋼管天端位置 等）
- 12) 改良体施工記録（引上げ速度、吐出流量、吐出圧力、造成時間、総吐出量 等）
- 13) グラウト注入施工記録（加圧力、注入時間、総注入量 等）
- 14) 品質管理試験結果（硬化材、グラウトに関する各試験結果、品質検査証明書 等）
- 15) 施工中に生じた特殊な状況とその対策
- 16) その他必要事項

〔参考文献〕

- 1) NIJ 研究会：GTM 工法 高圧噴射攪拌工法技術資料（改訂版），2001.6.
- 2) 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の施工例，第 34 回地盤工学研究発表会，1999.