

第2編 ST マイクロパイル工法タイプ I
設計・施工マニュアル

1章 総 則

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 I 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 I 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 I とは、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（φ 300mm 以下）の杭工法をいう。

【解説】

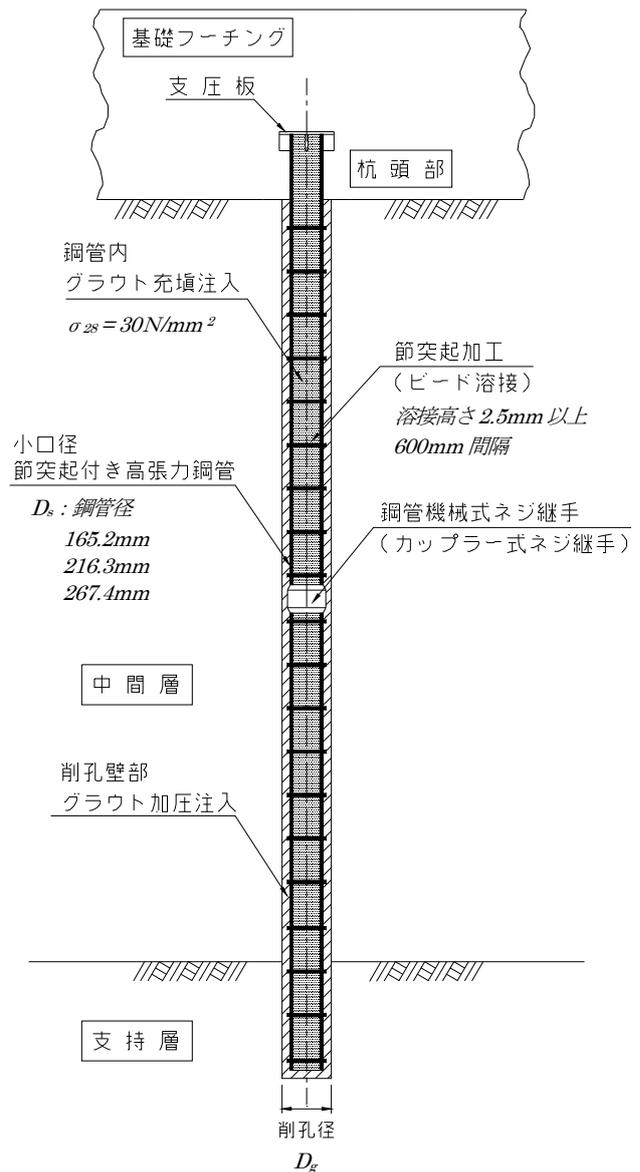
ST マイクロパイル工法 タイプ I（以下、STMP タイプ I と略す）は、ビード溶接による節突起加工を施した小口径鋼管とパッカーによる段階加圧注入を行ったグラウトから構成される小口径（φ 300mm 以下）の杭工法である。

施工方法としては、小口径鋼管をケーシングとして用いて削孔打設し、鋼管内にパッカーを挿入してグラウトの段階加圧注入を行い、地盤中に鋼管を定着させるものである。小型の多機能ベースマシンで施工できるため、空頭制限や狭小施工ヤード等の制約条件における杭打設が可能である。また、斜杭の削孔・打設を行うことができる。

STMP タイプ I の構造概要を図解 1.2.1 に示す。小口径杭の施工性やこれまでの施工実績等を考慮し、良好な支持地盤に 1m 程度以上は鋼管先端を根入れさせることを基本とする。杭の支持力機構としては、上部構造から杭頭の鋼管に伝達された軸方向荷重を、鋼管からグラウトを介して地盤に伝達し、地盤と加圧注入を行ったグラウト間の周面摩擦抵抗、および先端地盤抵抗によって支持するものである。また、杭頭の鋼管に伝達された水平モーメント荷重に対しては、高張力鋼管の剛性・耐力で抵抗するが、斜杭にすることによって比較的大きな杭の水平抵抗も期待できる。

したがって、STMP タイプ I の適用分野としては、制約条件下での構造物の基礎杭や既設構造物の増し杭補強、斜面補強などに適用性がある。

STMP タイプ I の標準的な施工手順を図解 1.2.2 に、適用可能な杭諸元例を表解 1.2.1 に示す。



図解 1.2.1 STMP タイプ I の構造

- ①削孔・鋼管打設 ②削孔完了 ③ベースグラウチング ④スキングラウチング ⑤杭打設完了
 ロッド・ツール回収 (杭先端部加圧注入) (杭周面部加圧注入)

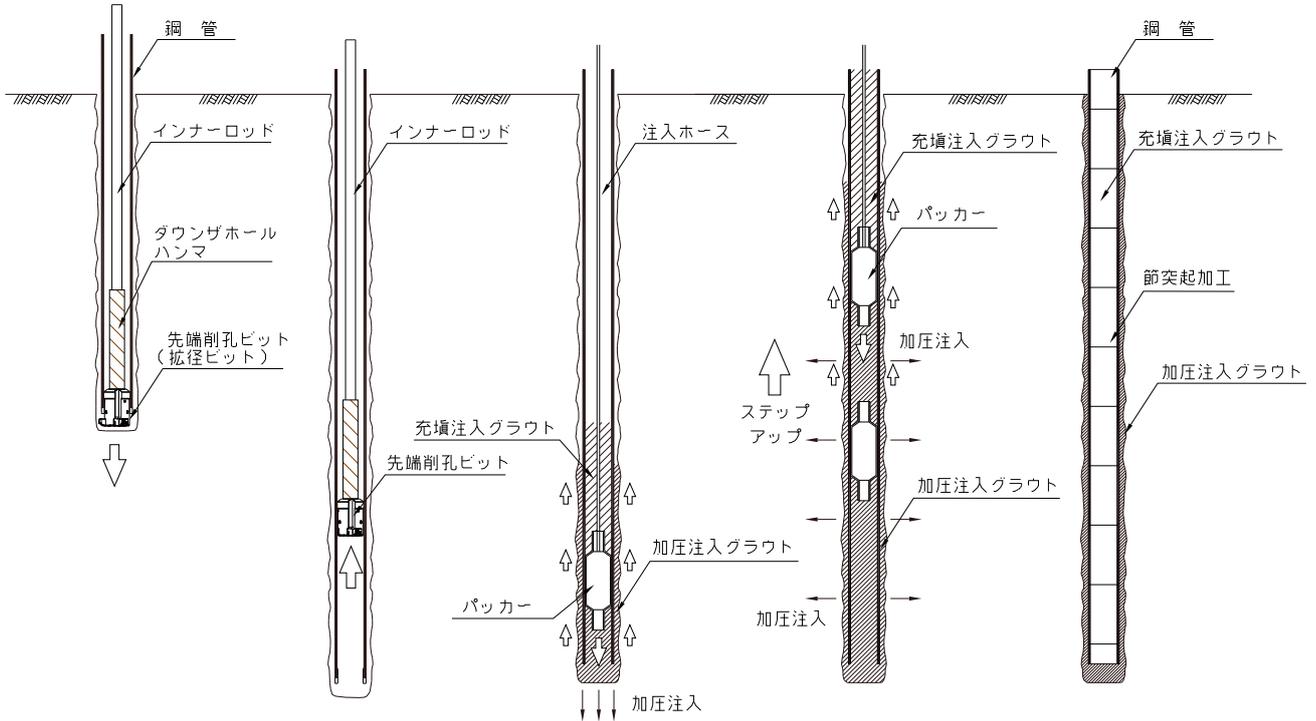


図-解 1.2.2 STMP タイプ I の標準的な施工手順

表-解 1.2.1 STMP タイプ I に用いる標準的な杭諸元

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
鋼管径の適用範囲	$D_s = 165.2\text{mm}$ $t = 7.1\text{mm}$	$D_s = 216.3\text{mm}$ $t = 12.0\text{mm}$	$D_s = 267.4\text{mm}$ $t = 12.0\text{mm}$	
標準的な削孔径	$D_g = 185\text{mm}$	$D_g = 239\text{mm}$	$D_g = 292\text{mm}$	

注) 標準鋼管以外は別途協議

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 I 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 I の設計・施工に際しては、本工法のこれまでの施工実績や、削孔・グラウト注入などの要素技術としての実績、既往文献等を参考とし、施工条件や地盤条件、環境条件等に対する STMP タイプ I 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、地盤条件等に対する STMP タイプ I の設計・施工上の留意事項を示す。

表-解 1.3.1 STMP タイプ I 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	<p>削孔方式は施工環境条件・地盤条件等に応じた方式を選択することができるが、本マニュアルにおいては、ダウンザホールハンマ (D.T.H 方式) による二重管削孔方式を標準として示している。D.T.H 方式は、岩盤をはじめとして、巨礫層、転石・玉石混じり中間層等の複雑な地盤に対する削孔性能が高い^{4),5)}。</p> <p>ただし、D.T.H 方式はエア排土を主とした削孔のため、地下水が豊富でゆるく堆積した砂地盤や軟弱な粘性土地盤などにおいては、高圧でのエア排土では周辺地盤を乱す恐れがある。このような土質に対しては、排土時のエア量調整やエア+水等による排土によって対応するものとする。また、このような軟弱層が厚く堆積するような場合、ロータリー方式の二重管オーガー削孔等の削孔方式を用いることもできる。</p>
	液状化地盤	<p>液状化が生じるような飽和した緩い砂質土層が厚く堆積する場合、上記に示すような D.T.H 削孔時の排土方法に留意する必要がある。また、液状化の発生により、地震時に基礎に作用する水平荷重が卓越する場合、STMP タイプ I は曲げ剛性の小さな杭であるため、斜杭として慣性力に抵抗させることが有効である。</p>
	先端支持層の状態	<p>一般に先端支持地盤の条件としては、砂層、砂礫層では N 値 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⁾。本工法は D.T.H 方式による削孔方式を標準としており、このような先端支持地盤をはじめとして、岩盤への削孔・打設は問題なく対応できる。なお、支持層面に凹凸、傾斜等がある場合、事前のボーリング調査結果を参考とし、排土状況、削孔時の速度や抵抗などから支持層深度を確認する。</p>
地下水の状態	<p>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）、グラウト材が希釈、流出する恐れがあるため、一般に施工が困難である。また、地盤がポーラスでセメントミルクでは逸流、リークする恐れがあるようなルーズな地盤においては、特殊混和材 (ValviQ 等) を添加したセメントミルク又はセメントモルタル等の使用を検討する。</p>	
杭長に対する適用性	<p>これまでの STMP タイプ I の構造物基礎杭としての施工実績では、最小杭長 $3.5m$、最大杭長は $48.5m$ である。海外での施工事例、国内での大深度の削孔実績³⁾、施工機械の能力を考慮すれば、杭深度が $50m$ 程度の削孔打設は十分可能である。</p>	
斜杭の施工	<p>参考文献³⁾では $15^\circ \sim 45^\circ$ までの斜杭の試験施工を実施しており、斜杭の削孔打設が可能である。ただし、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、用地境界・隣接構造物との位置関係等を考慮した場合、基礎杭としては 30° 程度までの斜杭が適している。</p>	
作業空間	<p>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、施工機械が小さく移動等も容易なため、都市狭隘地、地下空間、山岳傾斜地、土留め壁内や 1 車線規制での施工幅員でも対応できる。</p>	
周辺環境への影響	<p>施工場所の暗騒音レベルにもよるが、規制地域区分、作業時間、家屋・公共施設等の隣接状況、敷地境界との離隔距離によっては、D.T.H 方式による削孔時の騒音対策が必要となる場合がある。</p>	

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) 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（ ϕ 300mm 以下）の鋼管をいう。設計上の杭体を意味して、ST マイクロパイルともいう。
- (6) 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ことをいう。
- (7) 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）のことをいう。
- (8) 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。
- (9) グラウト
鋼管内および削孔壁部・地山に充填されるスラリー状のセメント系注入材料をいう。
- (10) 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をいう。
- (11) 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。
- (12) 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。
- (13) 杭長
杭頭結合部の鋼管天端から支持層部の鋼管先端までの長さをいう。

- (14) 支持層の根入れ長
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。
- (15) 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。
- (16) 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。
- (17) 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。
- (18) グラウト体外径
加圧注入を行ったグラウトの外径であり、削孔径（先端削孔ビットの外径）をいう。軸方向支持力を推定するときの杭径となる。
- (19) 削孔
鋼管をケーシングとした二重管削孔であり、排土しながら地盤中に鋼管（ケーシング）を打設することをいう。
- (20) 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。
- (21) 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。
- (22) 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。
- (23) ノンリターンバルブ
削孔壁部・地山にグラウトを加圧注入するため鋼管に設けた特殊バルブ（φ9mm）であり、鋼管の中に孔内水や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 I 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
- D_s : 鋼管径
- D_g : グラウト体外径（先端削孔ビットの削孔径）

[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 278 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 2），2001.
- 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 2），2002.
- 4) ジェオフロンテ研究会：脚部補強工技術資料，2000.
- 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.

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 I 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小口径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 600mm 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 I の一般的な極限支持力の範囲では節突起加工がなくても、軸方向荷重に対する鋼管周面の付着力は計算上においては余裕がある。しかし、過去に実施した鉛直載荷試験においては、地盤から決まる極限支持力に対して比較的小さな荷重レベルで、鋼管周面の付着切れによって試験最大荷重が決まる場合があった。これは、鋼管材料の保管状態や、防錆塗布等の鋼管の表面状況も影響したものと考えられる。このため、STMP タイプ I においては杭としての品質、安全性を確保するため、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。

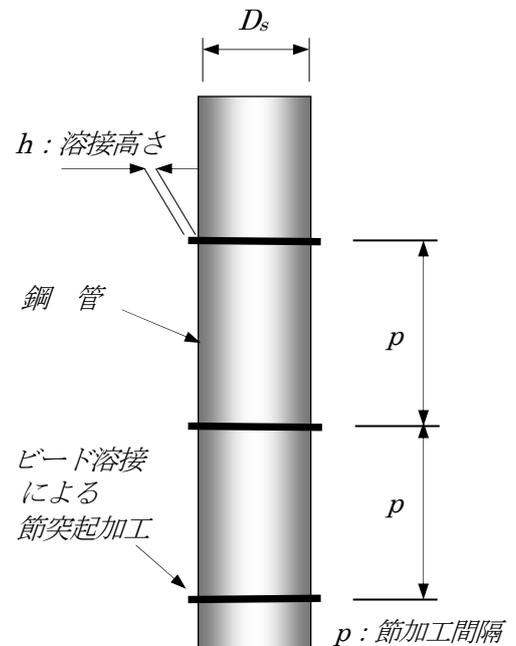


図-解 2.1.1 鋼管の節突起加工

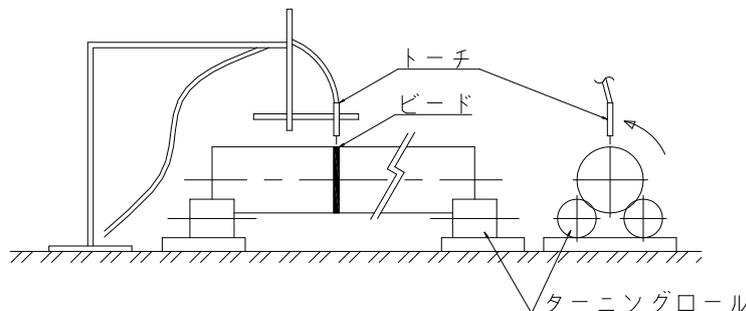


図-解 2.1.2 鋼管の節突起加工方法 (ビード溶接)

- 2) 表-解 2.1.1 に STMP タイプ I の節突起加工の標準仕様を示す。節加工は鋼管の付着性能に関して安全性を付加するものとし、標準仕様であれば設計上の付着照査は省略してよい。

表-解 2.1.1 STMP タイプ I 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	600

- (3) ST マイクロパイルに用いる鋼管の鋼種、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 I に用いる標準鋼管サイズを表-解 2.1.3 に示す。これ以外の鋼管サイズについては、施工性、削孔ツールと鋼管径、肉厚の関係を十分検討するものとする。

表-解 2.1.3 STMP タイプ I 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

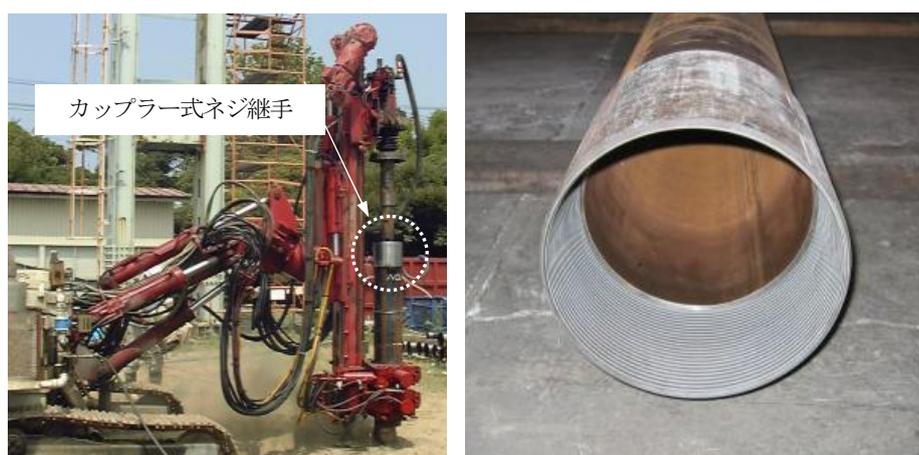


図-解 2.1.3 鋼管の機械式ネジ継ぎ手の例（カップラー式ネジ継手）

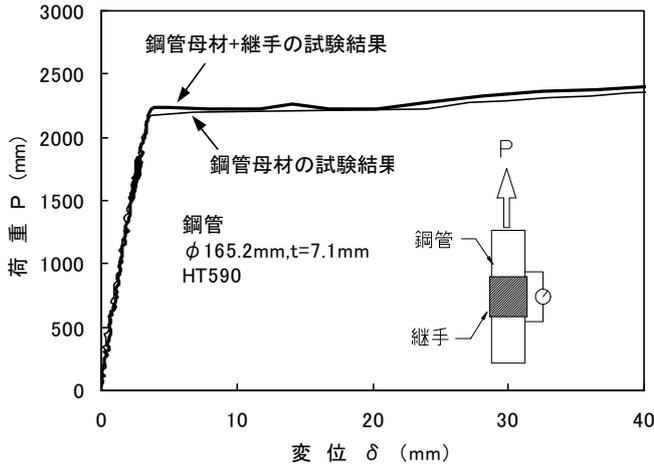


図-解 2.1.4 カップラー式ネジ継手の引張試験

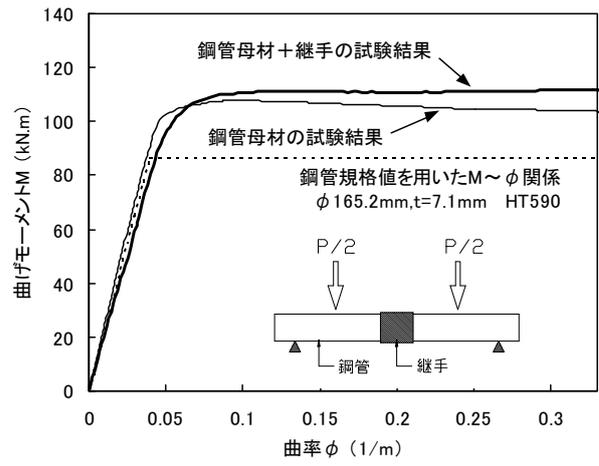


図-解 2.1.5 カップラー式ネジ継手の曲げ試験

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 支圧板方式の杭頭結合部材 (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

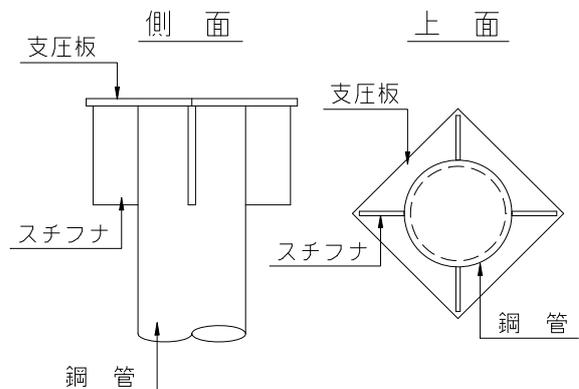


図-解 2.2.1 支圧板方式の杭頭結合部材

2.3 グラウト

2.3.1 グラウトの品質

- (1) 鋼管内および削孔壁部・地山に注入するグラウトは、設計基準強度が 30N/mm^2 のセメント系注入材を標準とする。
- (2) 加圧注入したグラウト体の外径は、削孔径で評価することを原則とする。

【解説】

(1) グラウトは図-解2.3.1に示すように、鋼管内を充填、削孔壁部・地山に加圧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 鋼管から削孔壁部・地山に加圧注入したグラウトを介して周囲の地盤へ荷重を伝達する。
- ② グラウトを削孔壁部へ加圧充填、周辺地盤へ浸透させ、岩盤地山等では亀裂に脈状注入させることによりグラウト体を築造し、地盤中に鋼管を確実に定着させる。
- ③ 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。

ただし、特に湧水量の多い場合や地盤がポーラスでセメントミルクでは希釈・逸流の恐れがある場合においては、特殊混和材を添加したセメントミルク又はセメントモルタル等の使用を検討するものとする。

(2) グラウト体の外径は軸方向支持力推定時の杭径であるが、海外ではグラウトの加圧注入による削孔径の拡径効果を期待する場合がある。しかし、そのような土質条件に応じた加圧による拡径効果は、日本においては定量的には確認できていないため、支持力推定時の杭径（グラウト体外径 D_g ）は削孔径（先端削孔ビットの外径）で評価するものとする。表-解 2.3.1 に削孔径を示す。

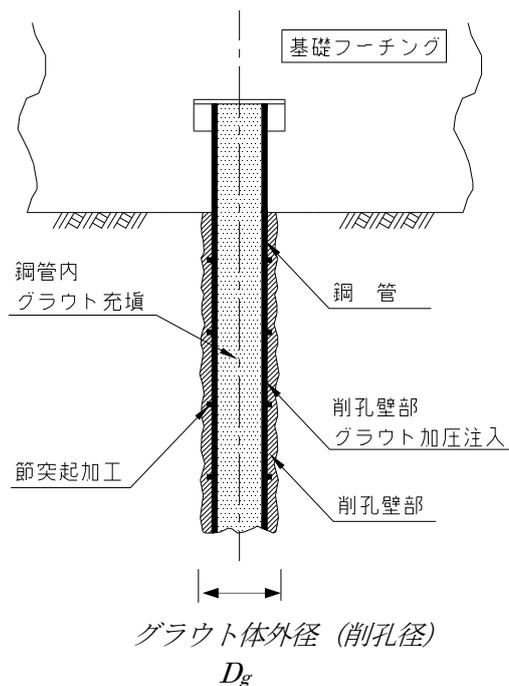


図-解 2.3.1 グラウト注入部

表-解 2.3.1 グラウト体の外径（削孔径）

鋼管径 D_s (mm)	グラウト体外径 D_g (削孔径) (mm)	備 考
165.2	185	設計に用いる削孔径は左記を標準とする
216.3	239	
267.4	292	

2.3.2 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。腐食環境条件においては耐硫酸塩セメントを用いることができるが、その特性を十分検討したうえで使用するものとする。また、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うとともに、JIS に適合したのものを用いることとする。
- (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））に適合することが確認できた場合には使用してもよい。
- (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。
- (4) 崖錐層・亀裂の多い岩盤や地下水の豊富な河川敷等において、グラウトの流出や水中拡散が想定される場合には、高い保形性・材料分離抵抗性・水中不分離性を有する特殊混和剤の使用を検討する。ST マイクロパイルではグラウトの強度を確保し水中不分離性・逸水防止性・材料分離抵抗性を発揮する、増粘作用を持つアルキルアンモニウム塩類を主成分とした添加剤の使用実績がある。



図-解 2.3.2 特殊混和剤の水中不分離性確認試験

2.4 設計に用いる物理定数

(1) 鋼 管

設計計算に用いる鋼管の物理定数の値は表-2.4.1 の値を用いるものとする。

表-2.4.1 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) グラウト

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 I³⁾に準じて設定した。

(2) 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%、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 18 kN/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。

2.5 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-2.5.1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-2.5.1 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-2.5.2に示す値とする。

表-2.5.2 支圧板の許容曲げ引張応力度

鋼種	単位	SM490
板厚(mm)		
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-2.5.3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-2.5.3 鋼材溶接部の許容応力度

鋼種		SM490	
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Ⅳ⁴⁾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⁾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。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⁵⁾（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おり、58 キロ鋼以上である STKT590 に関しては本四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) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2012.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2012.
- 5) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説，1989.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2012.

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 I 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) 杭基礎の各部材に生じる応力度は、許容応力度をこえてはならない。
- (2) ST マイクロパイル工法 タイプ I 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 I 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し込み力、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。

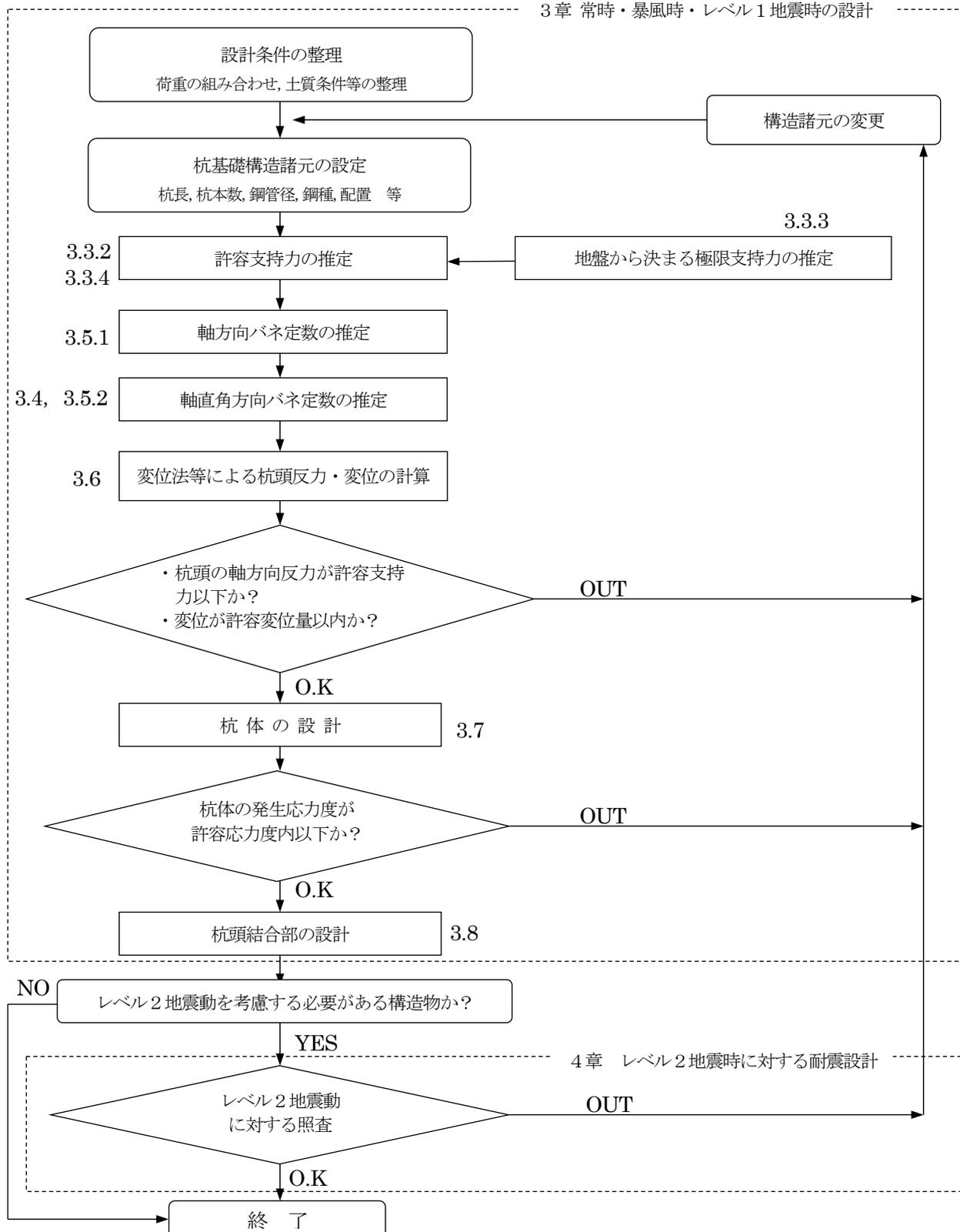
- 2) 杭基礎の水平方向の安定照査に関しては、水平変位により照査するものとする。一般に杭基礎の設計における許容変位は、上部構造から決まる許容変位と下部構造から決まる許容変位とを考慮する。道路橋示方書IVにおける下部構造から決まる許容水平変位量は、杭径の1%としているが、杭径1,500mm以下の杭については15mmとしている。この許容変位は杭に水平荷重が作用したとき、荷重～変位関係に強い非線形性が生じず、杭の挙動を見かけ上線形と取り扱っても設計の実用上支障のない、弾性限界を考慮したものである²⁾。STMP タイプ I の水平載荷試験事例は現時点では少ないが、3.4に示す水平載荷試験³⁾によれば、弾性解析と試験結果が約50mmで一致しており、STMP タイプ I は変形性能の大きな杭であるため許容水平変位を道路橋示方書IVの規定より大きく評価できる傾向がある。しかし、現時点でSTMP タイプ I の許容水平変位量を一律に規定するのは困難であり、道路橋示方書IVでの規定のほか、このような水平載荷試験データや上部構造も含めた構造全体系としての変位等も考慮して設計時に許容変位量を判断する必要がある。

- 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、杭体を弾性床土上の梁として求め、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
が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ない構造物に関しては、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 I 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 I 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 I の杭中心間隔は、杭径 (削孔径 D_g) の 2.5 倍以上、かつ、500mm 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。道路橋示方書IVによれば、杭径の 2.5 倍以上であれば群杭の影響は比較的小さいとしている。STMP タイプ I の杭中心間隔については群杭の影響を考慮して杭径 (削孔径 D_g) の 2.5 倍以上、かつ、削孔・加圧注入等の施工性、基礎フーチングの配筋性、施工実績も考慮し 500mm 以上を確保することを原則とした。

STMP タイプ I とフーチング縁端との距離に関しては 500mm 以上とすることが望ましいが、フーチング端部での水平方向の押抜きせん断に対する杭頭結合部の設計照査、フーチングの配筋性等を考慮して決定するものとする。

3.3 杭の許容支持力

3.3.1 一般事項

(1) 支持力機構

ST マイクロパイル工法 タイプ I 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をグラウトを介して地盤に伝達し、地盤と加圧注入を行ったグラウト間での周面摩擦抵抗、および先端地盤抵抗によって支持するものである。

(2) 先端支持地盤への根入れ

これまでの施工実績を考慮し、良好な支持地盤中に杭を根入れさせる支持杭として設計することを基本とし、原則として鋼管先端を先端支持層に 1m 程度以上根入れさせることとする。

(3) 杭の周面摩擦抵抗を考慮する範囲

軸方向支持力の推定にあたっては、フーチング下端から $1/\beta$ の範囲は設計上の周面摩擦抵抗を考慮しないこととする。

(4) 支持力推定時の杭径

支持力推定時の杭径は、削孔径（先端削孔ビットの外径） D_g で評価するものとする。

【解説】

(1) STMP タイプ I の軸方向支持力は、地盤と加圧注入を行ったグラウト間での周面摩擦抵抗、および、先端地盤抵抗によって支持するものである。小径杭であるため先端支持力のオーダーは小さく、STMP タイプ I の支持力は加圧注入を行ったグラウトと地盤間の周面摩擦抵抗が卓越する。

(2) これまでの施工実績、長期の支持力・沈下特性を考慮し、図-解 3.3.1 に示すように良好な支持地盤へ杭先端を根入れし、支持杭として設計することを基本とした。支持層への根入れ長は、道路橋示方書IV等によれば杭径の 1 倍程度根入れさせると先端支持効果が発揮される。しかし、STMP タイプ I は小口径杭であり、施工性を考慮してもある程度の根入れ長は必要である。したがって、施工性やこれまでの施工実績も考慮し、設計段階では 1m 程度以上の根入れ長を確保することを原則とした。

なお、ここでいう支持地盤とは岩盤、および道路橋示方書IVの規定に準じて砂層、砂礫層では N 値が 30 程度以上、粘性土では N 値が 20 程度以上（一軸圧縮強度 q_u が 400kN/m² 程度以上）あれば良好な支持地盤とみなしてよい。

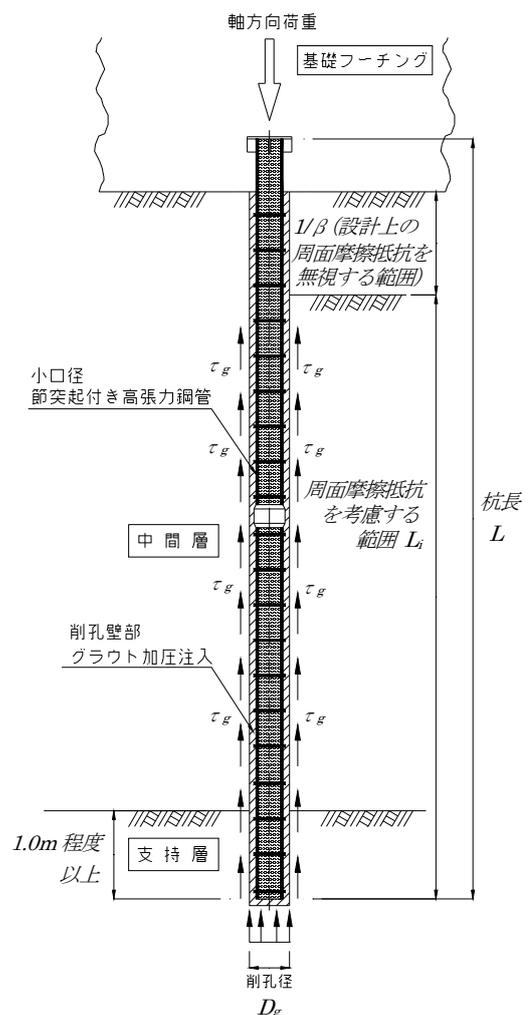


図-解 3.3.1 STMP タイプ I の軸方向支持力機構

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。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。

- (3) 常時、暴風時、地震時（レベル1地震時およびレベル2地震時）の軸方向支持力推定において、フーチング下端から $1/\beta$ の範囲は設計上の自由長として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地震時には杭頭付近のグラウト体にクラックが発生し、この範囲での軸方向の荷重伝達（地盤とグラウトの周面摩擦抵抗）が期待できないことが考えられるためである。なお、海外でのマイクロパイルでは、地表面付近の低拘束圧下の地盤ではグラウトの加圧力が十分伝わらないこと等を考慮し、杭頭から 1.0m~1.5m 程度の範囲を設計上、杭の摩擦抵抗を期待しない自由長として取り扱う場合がある。
- (4) 海外ではグラウトの加圧注入による削孔径の拡張効果を期待する場合があるが、そのような加圧による拡張効果は日本においては定量的には確認できていない。したがって、支持力推定時の杭径はグラウト体の外径とし、削孔径（先端削孔ビットの外径） D_g で評価するものとした。

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 I 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。

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

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 n

杭の種類	支持杭*
荷重状態	
常時	3
暴風時、レベル1地震時	2

* 良好な支持地盤中に杭先端を根入れさせる場合

- (2) ST マイクロパイル工法 タイプ I 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ることができる。

【解説】

(1) 1) 道路橋示方書IVに準じ、軸方向許容押込み支持力を算出することとした。ここで、STMP タイプ I の杭自重は小さいため、自重を無視して支持力を算出するものとした。

2) STMP タイプ I はこれまでの施工実績、長期の支持力・沈下特性を考慮し、良好な支持層に根入れさせることを基本とし、道路橋示方書IVに準じた支持杭の安全率を適用することとした。

なお、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。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。

3) 杭の支持力に関する安全性は安全率 n のほか、道路橋示方書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 I 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、現時点では試験事例は少数であるため、地盤工学会「杭の鉛直載荷試験・同解説」⁴⁾に基づき、載荷試験で極限支持力を確認するのが望ましい。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、構造物の重要度を考慮したうえで、支持力推定式により極限支持力を推定することができる。

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 I の地盤から決まる極限押込み支持力を求める場合、杭の周面摩擦抵抗のみを考慮して式 (3.3.2) により推定することを基本とする。

$$R_u = U_g \sum L_i \tau_{gi} + q_d A_g \quad \dots\dots\dots (3.3.2)$$

ここに、

- R_u : 地盤から決まる杭の極限押込み支持力 (kN)
- U_g : グラウト体の周長 (m) = $D_g \times \pi$ (D_g : グラウト体の外径 (削孔径) (m))
- L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
- τ_{gi} : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)
- q_d : 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m²)
- A_g : グラウト体の先端面積 (m²) = $\frac{\pi D_g^2}{4}$

【解説】

1) 地盤から決まる杭の極限押し込み支持力の推定

- i) 支持力推定式によって STMP タイプ I の地盤から決まる極限押し込み支持力を求める場合、周面摩擦抵抗および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) 支持力推定時の杭径は、削孔径（先端削孔ビットの外径） D_g で評価するものとする。海外では一般にグラウトの加圧注入による削孔径の拡張効果があるとされているが、そのような加圧による拡張効果は日本においては定量的には確認できていない。したがって、支持力推定時の杭径はグラウト体の外径とし、削孔径（先端削孔ビットの外径）で評価するものとした。
- iii) 3.3.1、図解 3.3.1 で示すように、常時、暴風時、地震時（レベル1地震時およびレベル2地震時）の軸方向支持力推定において、フーチング下端から $1/\beta$ の範囲は設計上の自由長として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地震時には杭頭付近のグラウト体にクラックが発生し、この範囲での軸方向の荷重伝達（地盤とグラウトの周面摩擦抵抗）が期待できないことが考えられるためである。

2) 最大周面摩擦力度 τ_{gi} および杭先端の極限支持力度 q_d の推定

i) 最大周面摩擦力度 τ_{gi} の推定方法

グラウト体（削孔径）周面に期待する最大周面摩擦力度 τ_{gi} は、未固結地山においては道路橋示方書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を原則とする。これは、3)に示す STMP I の載荷試験結果、現行の技術基準を参考として設定したものである。

また、土丹や風化岩、軟岩等に対する周面摩擦力度は、未固結地山より大きな値が期待できる。このような岩盤に対する最大周面摩擦力度の推定は、現行の技術基準類⁵⁾のほか、鉛直載荷試験（急速載荷試験）あるいは、海外での文献⁶⁾等を参考とし、別途検討するものとする。

表-解 3.3.2 STMP タイプ I の最大周面摩擦力度 τ_{gi} の推定方法

地盤の種類	最大周面摩擦力度 τ_{gi} (kN/m ²)
風化岩・軟岩	200～450
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) 杭先端の極限支持力度 q_d の推定方法

杭先端における極限支持力度 q_d は、道路橋示方書IVや日本道路公団設計要領第II集⁸⁾等に規定する場所打ち杭の推定方法を準用し、表解 3.3.3 により推定することを原則とする。

表-解 3.3.3 STMP タイプ I の杭先端における極限支持力度 q_d の推定方法

地盤の種類	杭先端の極限支持力度 q_d (kN/m ²)
砂礫層および砂層 (N≥30)	3,000
良質な砂礫層 (N≥50)	5,000
硬質粘性土・風化岩・軟岩	3 q_u

ただし、 q_u は一軸圧縮強度 (kN/m²)、Nは標準貫入試験のN値

3) STMPタイプIの荷重試験例⁸⁾

図-解 3.3.2～図-解 3.3.7 に、鉛直荷重試験結果⁸⁾を示す。極限支持力時(450kN)に発生した周面摩擦力度(図-解 3.3.7)は、表-解 3.3.2 に示した最大周面摩擦力度を概ね満足する結果が得られている。

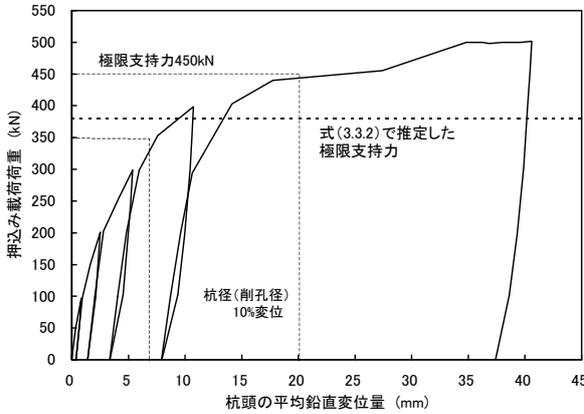


図-解 3.3.2 荷重試験結果(荷重～杭頭変位関係)

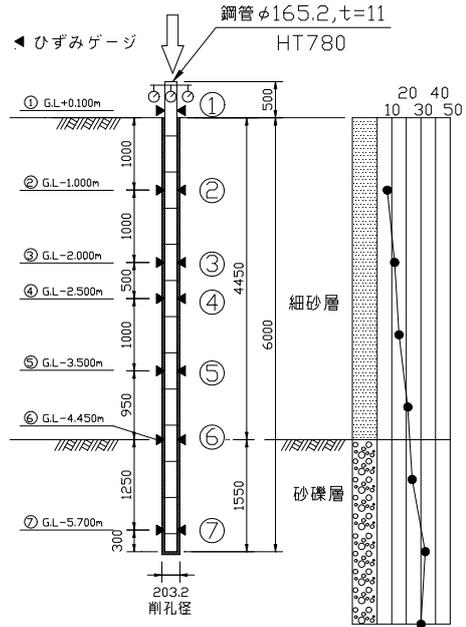


図-解 3.3.3 荷重試験杭一般図

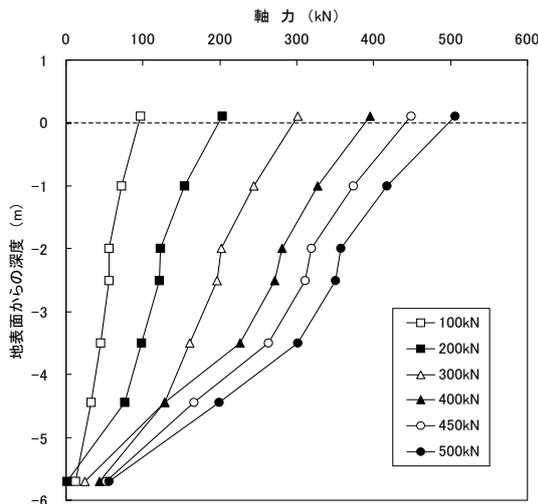


図-解 3.3.4 荷重試験結果(軸力分布)

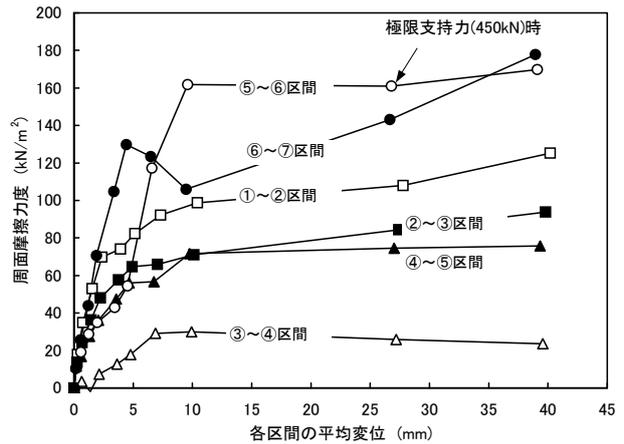


図-解 3.3.5 荷重試験結果(周面摩擦力度～変位関係)

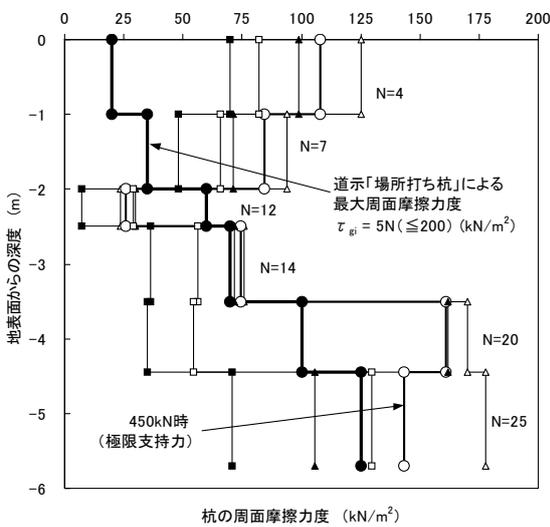


図-解 3.3.6 荷重試験結果(周面摩擦力度分布)

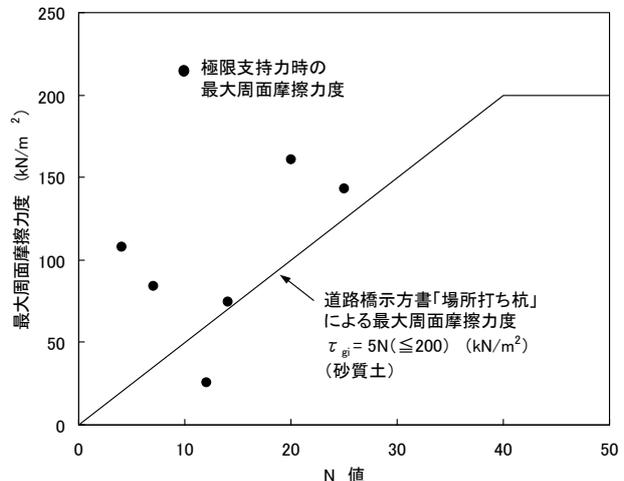


図-解 3.3.7 荷重試験結果(N値～周面摩擦力度)

4) STMP タイプ I の載荷試験結果と推定した極限押込み支持力 R_u の比較

表-解 3.3.4 に過去に実施した STMP タイプ I の載荷試験結果と、式 (3.3.2) によって推定した極限押込み支持力 R_u の比較を示す。支持力推定式によって推定した極限支持力 R_u は、これら載荷試験の極限支持力を上回る結果が得られている。

表-解 3.3.4 STMP タイプ I の載荷試験結果と推定した極限支持力

場 所	土 質		杭 諸 元	載荷試験 による 極限支持力 (kN)	推定した極限押込み支持力 R_u		
	中間層	杭先端			周面 摩擦力 (kN) 式(3.3.2)	先端 支持力 (kN)	計 (kN)
① 兵庫県 西宮市 10)	砂礫 シルト 粘土	シルト (N=2~6 程度)	鋼管 ϕ 165.2mm,t=11mm 削孔径 ϕ 203.2mm 杭長 L=11.5m	340	320	— ※	320
② 茨城県 鹿島郡 9)	細砂層	砂礫層 (N=30 程度)	鋼管 ϕ 165.2mm,t=11mm 削孔径 ϕ 203.2mm 杭長 L=6.0m	450	283	97	380
③ 茨城県 鹿島郡	細砂層 砂礫層	細砂層 (N=50 以上)	鋼管 ϕ 216.3mm,t=12mm 削孔径 ϕ 232mm 杭長 L=10.0m	1,200 以上	930	127	1,057
④ 愛媛県 上浮穴	礫質土	混在岩 D~CL	鋼管 ϕ 165.2mm,t=9.3mm 杭長 L=3.5m (上段)	1,300 以上	488	798	1,286
			L=5.0m (下段)	1,700 以上	877	798	1,675

※ 支持層に根入れさせていない摩擦杭

①兵庫県西宮市における鉛直押し込み載荷試験⁹⁾ (鋼管径 ϕ 165.2mm, 杭長 L=11.5m)

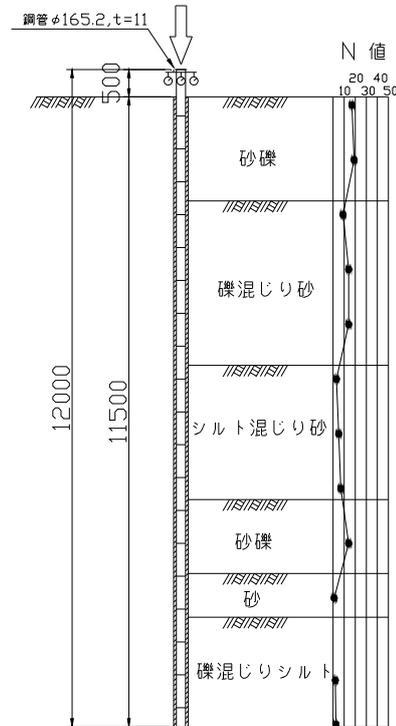
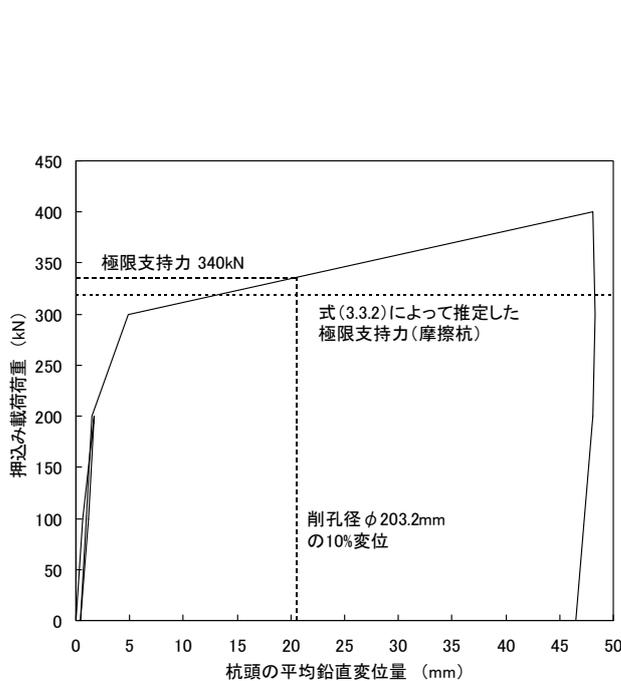


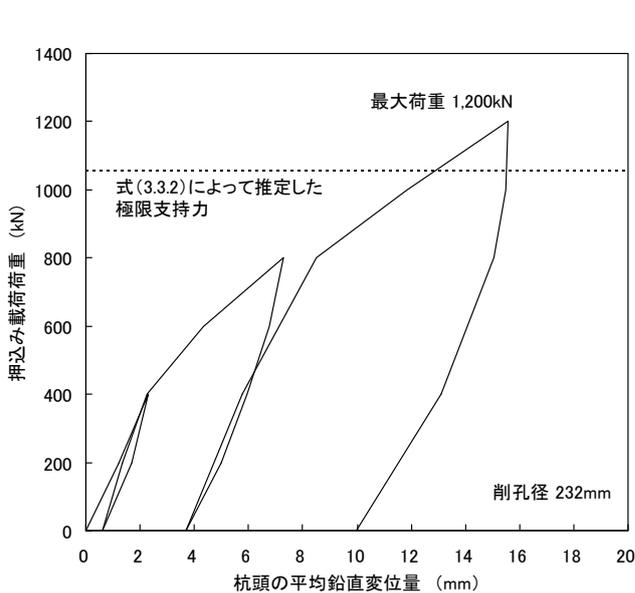
図-解 3.3.8 押し込み載荷荷重～平均鉛直変位関係⁹⁾

図-解 3.3.9 載荷試験杭一般図⁹⁾

②茨城県鹿島郡における鉛直押し込み載荷試験⁸⁾ (鋼管径φ165.2mm,杭長L=6.0m)

図-解 3.3.2～図-解 3.3.7 参照

③茨城県鹿島郡における鉛直押し込み載荷試験 (鋼管径φ216.3mm,杭長L=10.5m)



※ 載荷治具の関係上、1,200kNで載荷終了した。

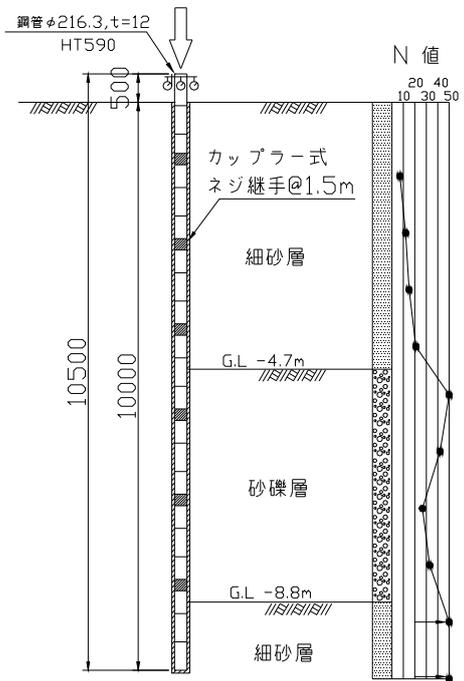


図-解 3.3.10 押し込み載荷荷重～平均鉛直変位関係

図-解 3.3.11 載荷試験杭一般図

④愛媛県上浮穴郡における急速載荷試験 (鋼管径φ165.2mm,杭長L=3.5m, L=5.0m)

表-解 3.3.5 STMPタイプIの急速載荷試験結果

試験No	落下高さ (m)	最大荷重Pmax (kN)	除荷点荷重Pulp (kN)	除荷点変位量Sn (mm)	第1限界抵抗力Py (kN)	推定第2限界抵抗力Pu (kN)
No1	1.0	1513.6	1254.9	-7.29	1078.1	1302.9
No2	1.2	1639.7	1491.7	-6.50	1374.1	1704.2

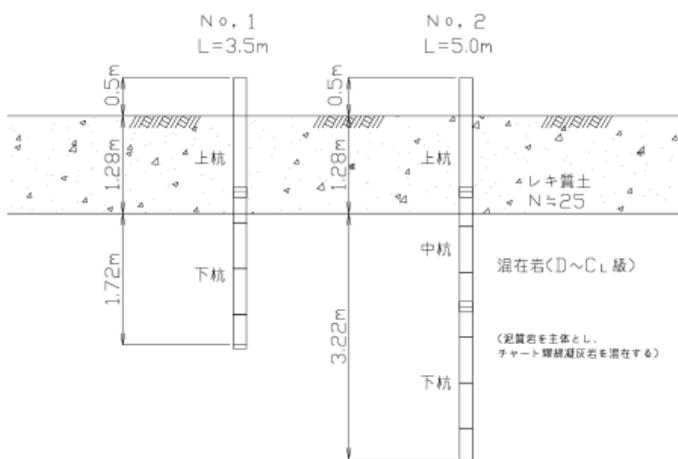


図-解 3.3.12 急速載荷試験杭の概要

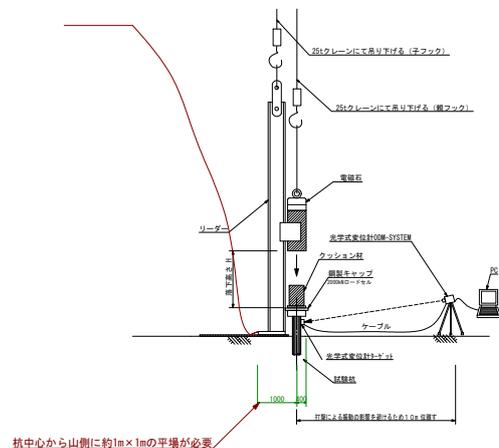


図-解 3.3.13 急速載荷試験装置の概要

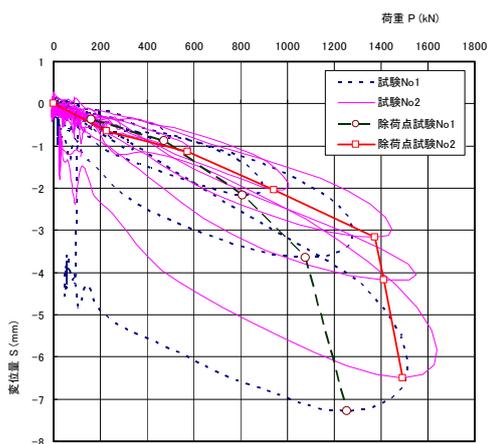


図-解 3.3.14 荷重～変位曲線

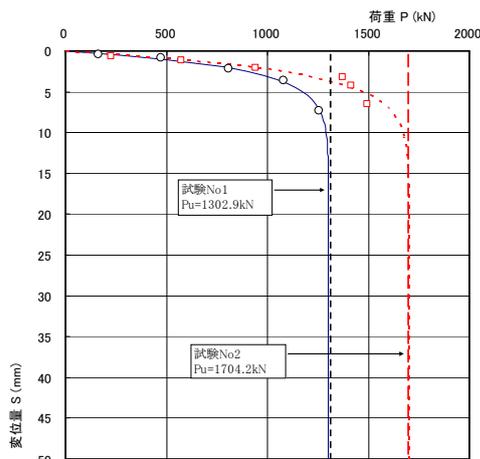


図-解 3.3.15 極限荷重の推定

* 載荷装置の関係上、落下高さ 1.2m で終了。

- 最大周面摩擦力度 τ_{gi} を 450kN/m^2 、杭先端における極限支持力度 q_d を $30,000\text{kN/m}^2$ として推定した極限支持力を上回る結果が得られている、

5) 最大周面摩擦力度の推定に関する一般的な注意事項

i) 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、道路橋示方書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。

ii) 地震時の最大周面摩擦力度

道路橋示方書V耐震設計編¹⁰⁾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地震時およびレベル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。

3.3.4 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 I 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。

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

ここに、

P_a : 杭頭における杭の軸方向許容引抜き支持力 (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)

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 I 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推定した各層の最大周面摩擦力度の和として計算するか、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 I の軸方向許容引抜き支持力は、杭自重が小さな小口径杭であるため杭の有効重量は無視し、地盤から決まる杭の極限引抜き支持力に、道路橋示方書IVに準じた安全率を考慮して算出する。

(2) 地盤から決まる軸方向極限引抜き支持力を推定式によって求める場合、式 (3.3.2) の第1項、グラウトと地盤の周面摩擦抵抗を考慮し、式 (解 3.3.1) により推定することとする。ここで、各層の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。

$$P_u = U_g \sum L_i \tau_{gi} \quad \dots\dots\dots (解 3.3.1)$$

ここに、

P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き支持力 (kN)

U_g : グラウト体の周長 (m) = $D_g \times \pi$ (D_g : グラウト体の外径 (削孔径) (m))

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

τ_{gi} : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

3.4 水平方向地盤反力係数

- (1) ST マイクロパイル工法 タイプ I の水平方向地盤反力係数は、地盤調査、土質試験の結果を十分検討したうえで推定するか、あるいは、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ものとする。
- (2) 地盤調査、土質試験の結果から水平方向地盤反力係数を求める場合、杭径 D は鋼管外径 D_s 、杭体の曲げ剛性 EI は鋼管のみの部材として推定するものとする。

【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 I 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・同解説 11) に基づき、荷重～変位曲線から逆算して求めることとする。

(2) 地盤調査、土質調査結果を考慮して推定する水平方向地盤反力係数

1) 推定方法

STMP タイプ I の水平方向地盤反力係数の推定は、道路橋示方書IVにおける一般的な鋼管杭の方法と基本的に同じであり、以下に推定時の基本事項を示す。

- ① 水平方向地盤反力係数の推定時における杭径 D は、鋼管の外径と D_s として算出する。
- ② 水平方向地盤反力係数の推定時における杭体の曲げ剛性 EI は、鋼管内に充填したグラウトによる剛性の増加はわずかなため、簡便に鋼管のみの部材として算出する。

STMP タイプ I の水平方向地盤反力係数は、式 (解 3.4.1) による求めるものとする。

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

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。

B_H : 荷重作用方向に直交する杭の換算載荷幅 (m) 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 : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷幅 (杭径) (m) で、鋼管外径 D_s とする。

$1/\beta$: 水平抵抗に関与する地盤の深さ (m)

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

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

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

ここで、 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_o を用いて算出した値とする。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) 水平載荷試験例³⁾

STMP タイプ I の水平載荷試験例を図-解 3.4.1～図-解 3.4.6 に示す。鋼管は外径 165.2mm、肉厚 11mm の高張力鋼管 HT780 であり、 $1/\beta$ 範囲 (1.2m) の土質は細砂地盤、平均 N 値が 7 での載荷試験である。

①弾性解析との比較 (3章 常時およびレベル 1 地震時の対象)

式 (解 3.4.1) で示した方法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～変位関係を図-解 3.4.3 に示す。なお、弾性および非線形解析では詳細な検討を行うため、ここでは鋼管内のグラウトも杭体の曲げ剛性の一部として考慮している。弾性解は試験結果と約 50mm 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、式 (解 3.4.1) で推定した k_H により、この程度の変位レベルまでは STMP タイプ I の水平挙動を推定できる結果が得られた。

②非線形解析との比較 (4章 レベル 2 地震時の対象)

4章の地震時保有水平耐力法で示す各非線形モデルの適用性を検討するため、杭体および地盤の非線形性を考慮したシミュレーション解析を実施した (図-解 3.4.5～図-解 3.4.6)。なお、各非線形モデルの詳細は4章に示す。解析ケースは、単杭の補正係数を道路橋示方書IVに示す $\alpha_k=1.5$ 、 $\alpha_p=3.0$ とした CASE-1、 $\alpha_k=2.0$ 、 $\alpha_p=4.0$ とした CASE-2 の2ケースである。補正係数を現行基準より大きくとった CASE-2 の解析結果の方が試験結果とよく一致しているが、現行の道路橋示方書IVに示す補正係数 (CASE-1) および非線形モデルによって、STMP タイプ I の非線形挙動を安全側に推定できることを検証した。

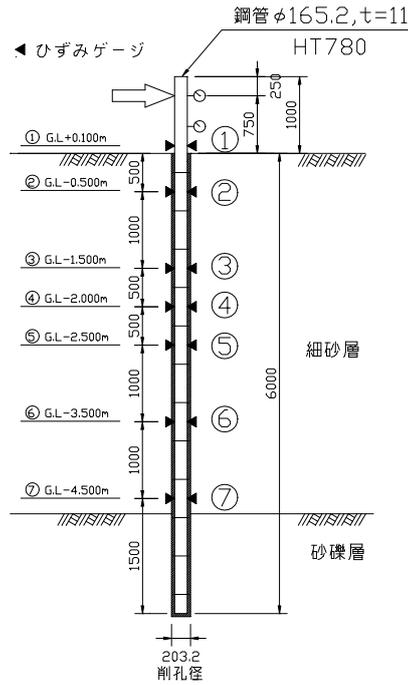


図-解 3.4.1 水平載荷試験構造一般図

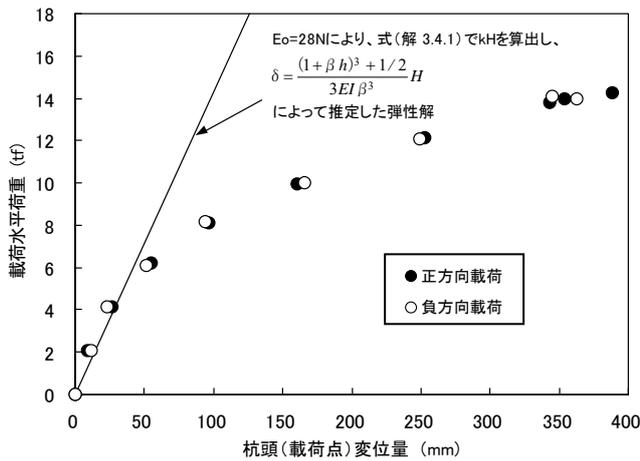


図-解 3.4.3 試験結果と弾性解の比較

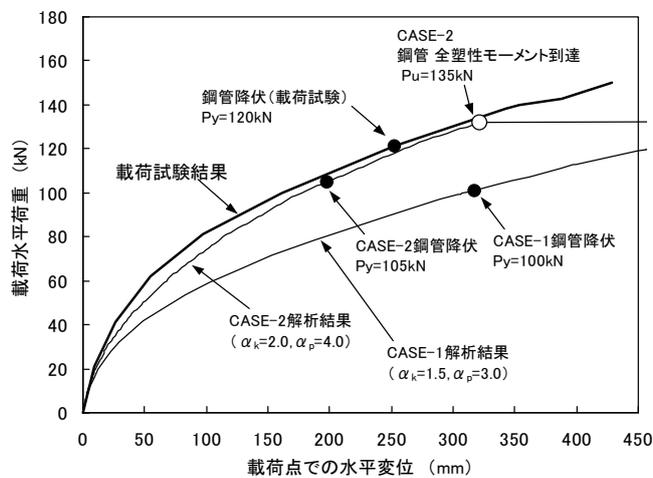


図-解 3.4.5 非線形解析結果 (P~δ関係)

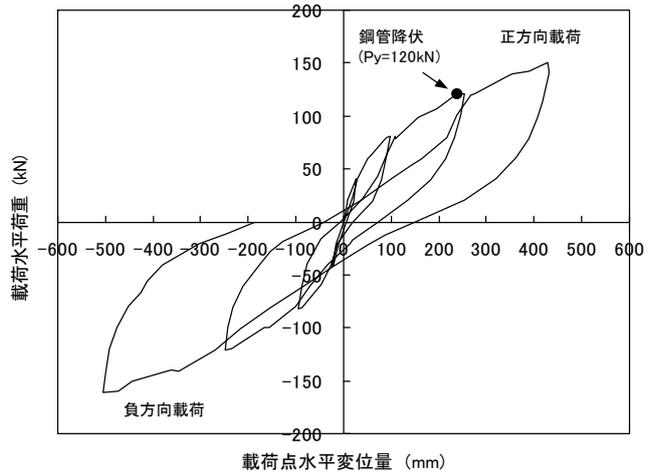


図-解 3.4.2 試験結果 (荷重~変位履歴曲線)

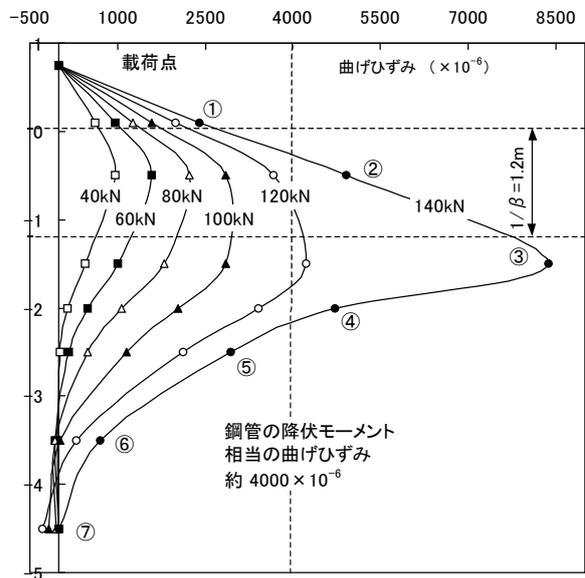


図-解 3.4.4 試験結果 (曲げひずみ分布)

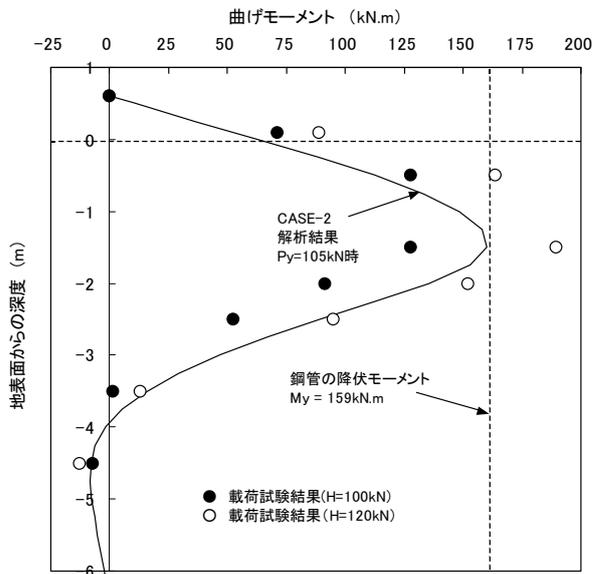


図-解 3.4.6 非線形解析結果 (モーメント分布)

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 I の軸方向バネ定数は、既往の鉛直載荷試験に基づき推定式によって求めるか、鉛直載荷試験による荷重～沈下量曲線から求めるものとする。

【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 I 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 を逆算し杭の根入れ比 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 : 鋼管の断面積 (m^2)

E_p : 鋼管のヤング係数 (kN/m^2)

L : 鋼管の根入れ長 (m)

a : 式（解3.5.2）により算出する。

$$a = 0.0249(L/D) - 0.4404 \dots\dots\dots \text{(解 3.5.2)}$$

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 I の載荷試験 6 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、NO.1～NO.4 のデータを対象として、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 3.5.1）。しかし、試験データ数としては少数であるため、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 70 を超えるような試験データがないため、このような場合の 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 I の鉛直載荷試験例

NO	試験場所	土質	根入れ長 L (m)	鋼管径 D (m)	杭の根入れ比 L/D	逆算 a 値
NO.1	茨城県鹿島郡 ⁹⁾	細砂、砂礫	6.0	0.1652	36.3	0.449
NO.2	兵庫県鹿島郡	細砂、砂礫	10.0	0.2163	46.2	0.714
NO.3	兵庫県西宮市 ¹⁰⁾	砂礫、シルト、粘土	11.5	0.1652	69.6	1.285
NO.4	千葉県富津市 ¹³⁾	砂岩、シルト岩、泥岩	5.7	0.1143	49.9	0.829
NO.5	神奈川県横浜市 ¹⁴⁾	崩積土、泥岩、砂岩	5.7	0.1143	49.9	1.512
NO.6	神奈川県横浜市 ¹⁴⁾	崩積土、泥岩、砂岩	5.7	0.1143	49.9	1.130

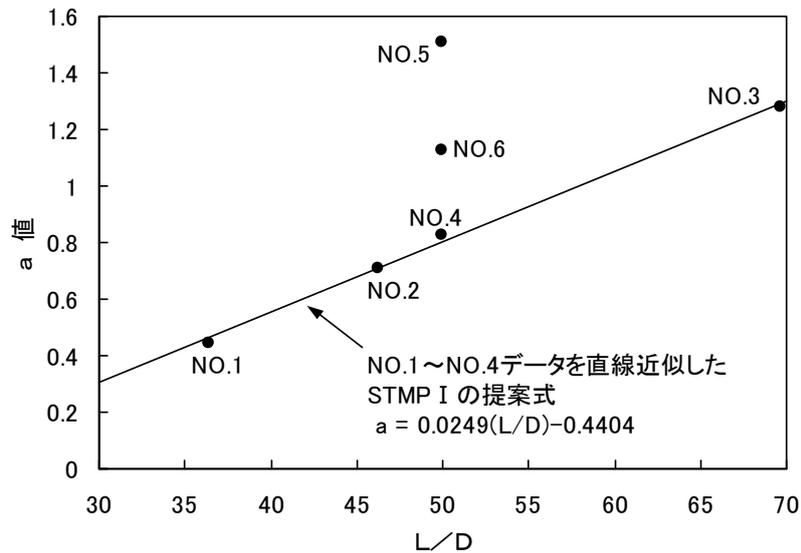


図-解 3.5.1 STMP タイプ I の逆算 a 値~L/D 関係

3.5.2 杭の軸直角方向バネ定数

ST マイクロパイル工法 タイプ I 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ほりの理論に基づき算出するものとする。

【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。

単杭の軸直角方向バネ定数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 ($kN \cdot m/rad$)

これらのバネ定数は、水平方向地盤反力係数を用いた弾性床上のほりの理論に基づき算出される荷重と変位の関係から求められる。

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（ $\beta L_e \geq 3$ ）の場合）

	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、

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

λ : $h + \frac{1}{\beta}$ (m)

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m^3)

D : 杭径 (m) で、鋼管径 D_s とする。

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

h : 杭の設計時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I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I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I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I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I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I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とであるが、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I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I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) せん断応力度の照査

STMPタイプI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。

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

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

ここに、

- τ : せん断応力度 (kN/m²)
- Q : せん断力 (kN)
- A : 鋼管の有効断面積 (m²)
- τ_{\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。

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

- 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I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を行うものとする。

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。

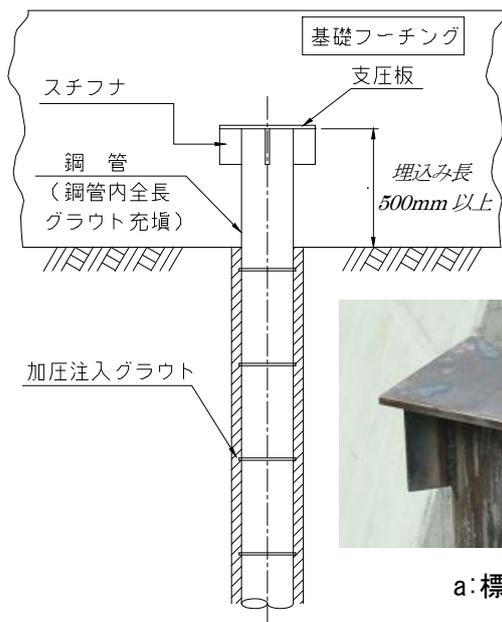
【解説】

- (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



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な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。

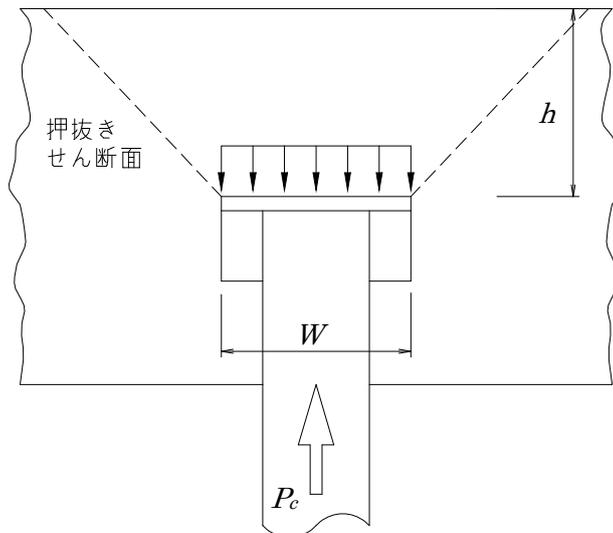


図-解 3.8.3 押込み力に対する照査

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。

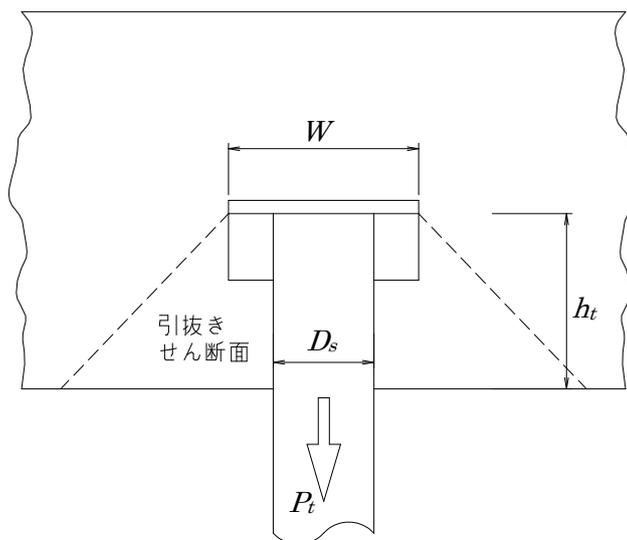


図-解 3.8.4 引抜き力に対する照査

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

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

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 ($kN.m$)
- 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

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

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。

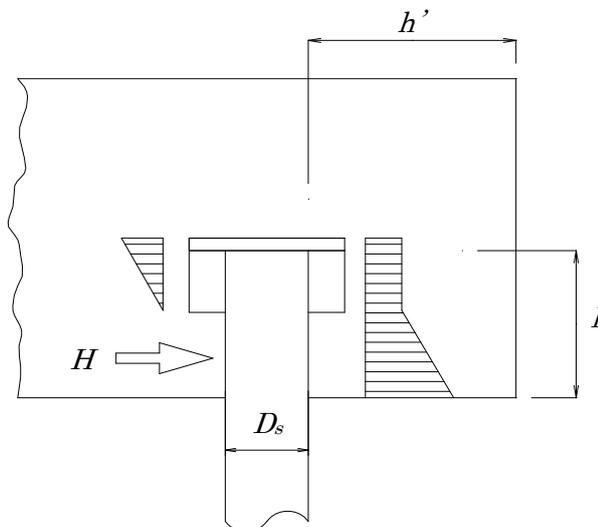


図-解 3.8.5 水平力および曲げモーメントに対する照査

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、押し込み力 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)

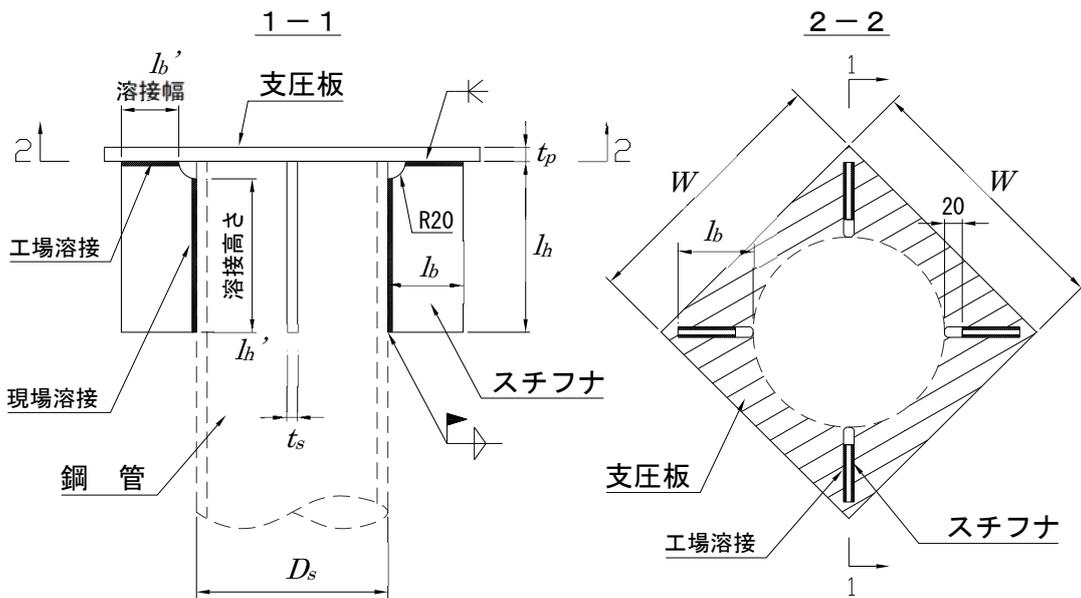


図-解 3.8.6 支圧板、スチフナー一般図（例）

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プ溶接とし、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、 $l_{h'}$ からのだ厚の 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

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

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

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

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 : 溶接の有効のだ厚 (m)

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

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

- S : すみ肉溶接サイズ (m)
- t_1 : 薄い方の母材の厚さ (m)
- t_2 : 厚い方の母材の厚さ (m)

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。

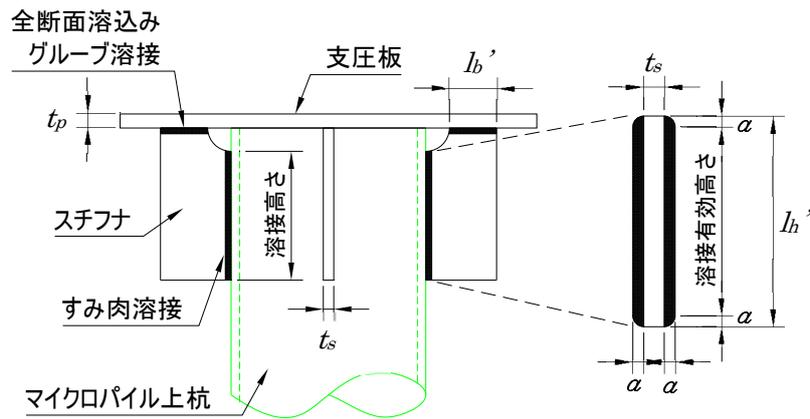


図-解 3.8.7 溶接部の寸法

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、押し込み杭頭反力 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 の場合)に参考として示す。試算は、一般に引抜きよりも押し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、想定した極限押し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。

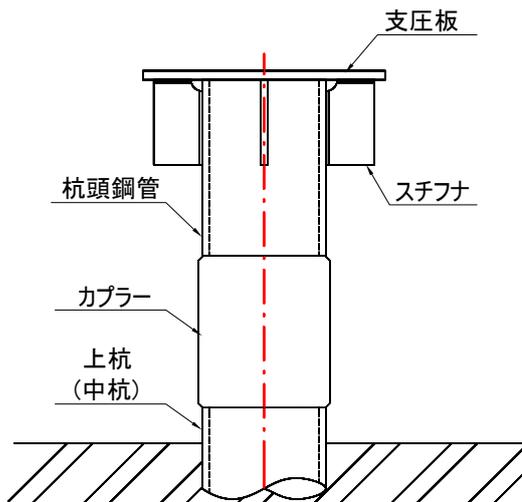
表-解 3.8.1 支圧板・スチフナの試算参考例（鋼管径φ216.3mm）

作用荷重	想定した極限押し込み支持力	kN	1,200	1,500	1,800	2,100	2,400
	常時の杭頭反力	kN	400	500	600	700	800
	レベル1地震時の杭頭反力	kN	600	750	900	1,050	1,200
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	300	300
	肉厚 t_p	mm	12	13	14	15	16
スチフナ	鋼種		SM490	SM490	SM490	SM490	SM490
	幅 l_b	mm	85	85	85	85	85
	溶接有効幅 l_b'	mm	65	65	65	65	65
	高さ l_h	mm	120	120	130	150	150
	溶接有効高さ l_h'	mm	100	100	110	130	130
	肉厚 t_s	mm	9	9	9	11	12

- 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、支圧板（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）

杭と工場製プレキャスト製品を結合する技術 ―スプライスカップ工法―¹⁶⁾

3.9.1 スプライスカップ工法の概要

スプライスカップ工法とは、小口径杭と工場製プレキャスト部材を結合する技術である(図-3.9.1 参照)。工場製プレキャスト部材にあらかじめ埋め込んだスプライスカップ(鋼製スリーブ)(図-3.9.2 参照)とマイクロパイルの杭頭部とのスペースにモルタルを充填し、スプライスカップ内のコンファインド(拘束)効果によって、杭頭結合に求められる性能を確保するものである。本工法の適用によりコンクリート構造物施工の工期短縮、コスト縮減、高品質化、省スペース施工が可能となる。



図-3.9.1 スプライスカップ工法の概念図



図-3.9.2 スプライスカップ

3.9.2 スプライスカップ工法の原理

スプライスカップは、「杭頭とスプライスカップの結合」および「スプライスカップのコンクリート部材への確実な定着」により杭頭結合部として必要な機能を確認し、杭とプレキャストコンクリート部材を一体化するものである。

(1) 杭頭とスプライスカップの結合

杭頭とスプライスカップはスプライスカップの内面および杭頭鋼管外面に設けた凹凸により、杭頭との空隙部に充填した無収縮モルタルの変形を拘束することによって一体化される。これにより、作用力による杭頭の移動や抜け出しを防止することができる（図-3.9.3 参照）。

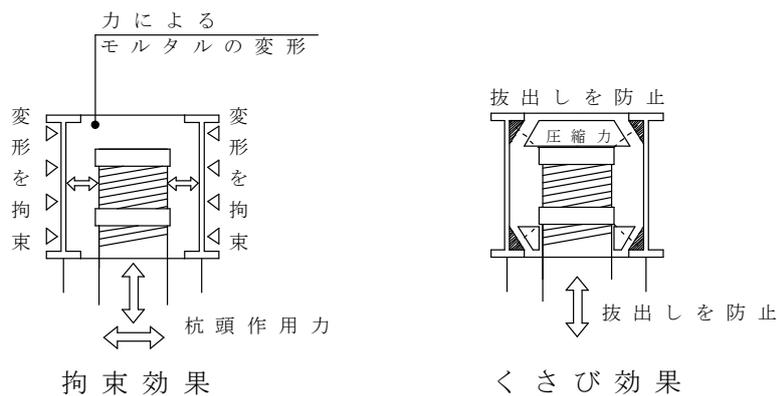


図-3.9.3 スプライスカップの機能（内部拘束）

(2) スプライスカップのコンクリート部材への定着

スプライスカップの外面に設けた凹凸により、プレキャストコンクリート部材との付着性を高めるとともに、杭頭結合部に生じる応力に対する安全性を確認する。また、杭頭結合部に生じる応力に対して、スプライスカップおよび端部リブの外面上における支圧面、押し抜きせん断抵抗面を形成できるので、杭頭結合部として必要な強度と安全性を確認できる（図-3.9.4 参照）。

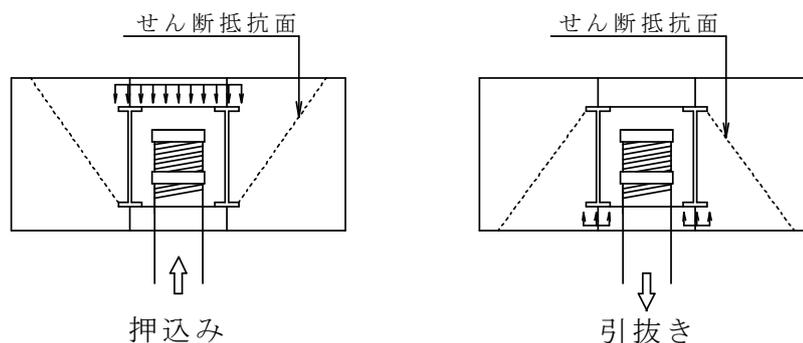


図-3.9.4 スプライスカップの機能（結合部安定）

3.9.3 スプラインキャップの種類

スプラインキャップにはスルータイプとキャップタイプの2種類あり、施工条件などを考慮し選定する。

(1) スルータイプ

スルータイプのスプラインキャップは、鋼製または鋳鉄製円筒形部材の内外面に凹凸加工を施したものである（図-3.9.5 参照）。スルータイプを使用する場合はプレキャスト部材に貫通口ができるので、プレキャスト部材の架設を先行し、貫通孔をガイドとして杭の打設を行う。その後、貫通孔の上面から無収縮モルタルを打設し、プレキャスト部材と杭頭を結合させる。



図-3.9.5 スルータイプ

スルータイプを使用する場合、スプラインキャップの貫通孔をガイドとして杭の打設を行うため、杭の打設精度を高めることができる。また、無収縮モルタルの充填状況を目視で確認することができるため、施工管理が容易となる。

図-3.9.6 にスルータイプの施工手順を示す。

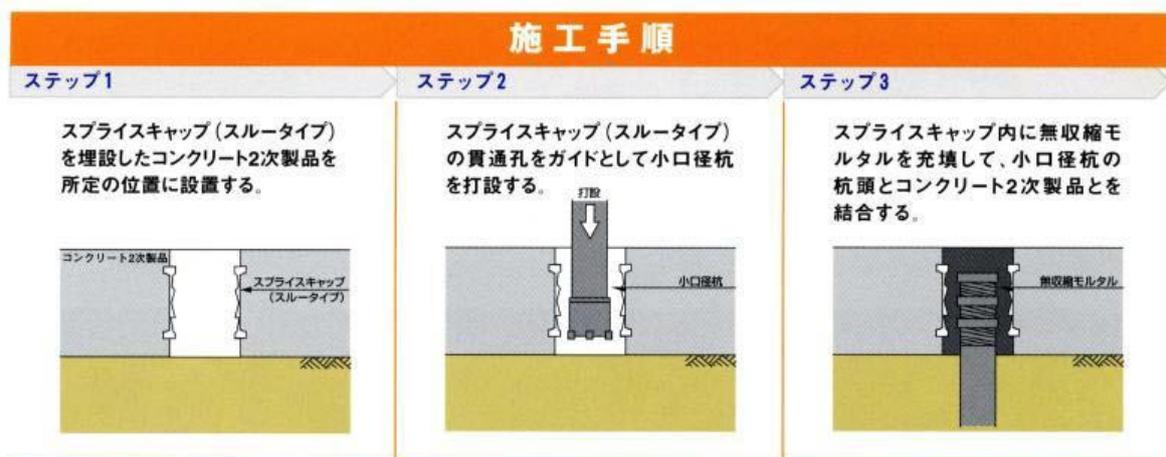


図-3.9.6 施工手順 (スルータイプ)

(2) キャップタイプ

キャップタイプのスプライスカップは、つり鐘状の鋼製または鋳鉄製部材内外面に凹凸加工を施したものである（図-3.9.7参照）。キャップタイプを使用する場合の施工はスルータイプと異なり、杭の打設を先行し、その後プレキャスト部材の架設を行う。プレキャスト部材に埋め込んだ注入・排出ホースから無収縮モルタルの打設を行い、プレキャスト部材と杭頭とを結合させる。

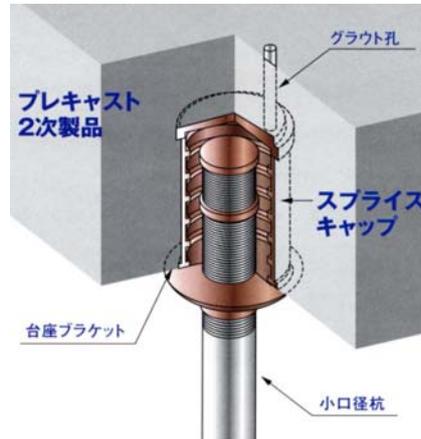


図-3.9.7 キャップタイプ

キャップタイプのスプライスカップは、上面が閉塞していることから、杭頭部の部材厚が大きい場合などに適している。

図-3.9.8にキャップタイプの施工手順を示す。

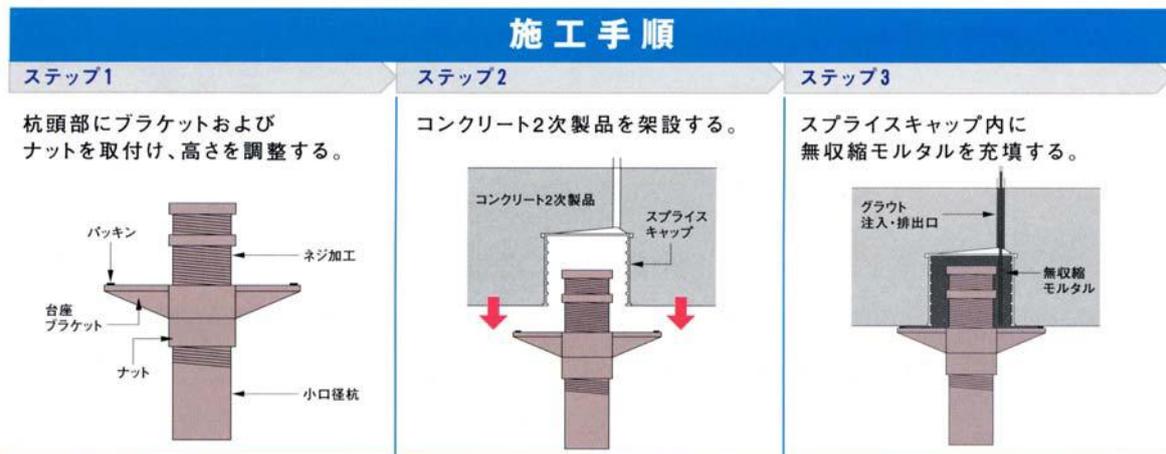


図-3.9.8 施工手順（キャップタイプ）

3.9.4 用途

スプライスカップ工法は、基礎杭上に施工されるボックスカルバート、擁壁、立体歩道橋基礎、スノーシェルター基礎などをプレキャスト化できるため、施工の省スペース化、急速化、省力化、機械化、安全性向上が可能となる。

スプライスカップ工法の用途を図-3.9.9に示す。

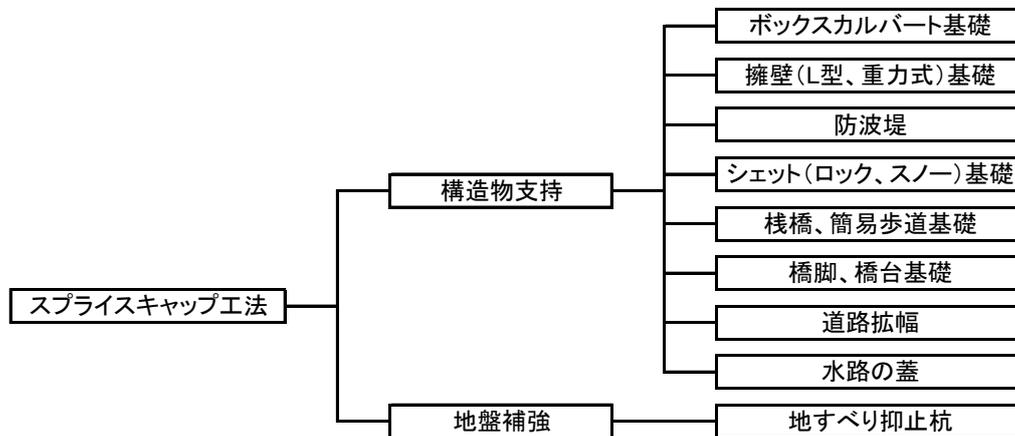


図-3.9.9 スプライスカップ工法の用途

スプライスカップ工法によってコンクリート構造物を構築する場合、コンクリートはプレキャスト工法によって施工される。したがって、本工法がその特長を発揮するのは、主としてボックスカルバートや擁壁などの小型構造物、あるいは立体歩道橋やスノーシェルターの脚部フーチングなどの構造要素への適用となる場合が多い。

1) 小型構造物への適用

軟弱地盤上にボックスカルバートや擁壁などの構造物を施工する場合、基礎杭との併用構造が多く採用される。その際、家屋隣接地で振動騒音に対する制約が厳しい場合や、施工スペースの問題から通常の杭打ち機械を使用するには仮設費が過大になるような場合の解決策として、小型ボーリングマシンで施工できる小口径杭の採用が増加している。

このような状況では、コンクリート構造物の施工も同様の制約を受け、場所打ちコンクリートでの施工が困難、あるいはコスト増になる場合が多い。しかし、スプライスカップ工法を適用してこれらの構造物をプレキャスト化することにより、施工上の種々の問題点を解決できる。

2) 基礎フーチングへの適用

既存交通への影響を最小限に抑えながら都市部の立体歩道橋や山間部道路のスノー（ロック）シエツトを施工するような場合には、省スペースかつ急速施工が要求される。このような状況でも、小口径杭とプレキャスト構造との組み合わせを可能とするスプライスカップ工法の特長を生かすことができる。

3.10 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 I 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】

ST マイクロパイル工法 タイプ I の鋼管周囲には全長にわたってグラウトが注入されているが、レベル 1 地震時に杭頭付近のグラウト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) 建設省土木研究所：単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究，建設省土木研究所資料第 2919 号，1991.
- 3) 三木、岡、村田、黒崎、小林：砂質地盤におけるマイクロパイルの水平載荷試験，第 35 回地盤工学研究発表会，2000.
- 4) 渡辺、野沢、遠山：L 型擁壁に適用したマイクロパイルの施工例，土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.
- 5) 土質工学会：杭の鉛直載荷試験・同解説，1993.
- 6) *Federico Pagliacci : MICROPILES a multipurpose technology in foundation engineering, Secound International Workshop on Micropiles Proceedings, 1999.(Yamaguchi University)*
- 7) 日本道路公団：日本道路公団設計要領第二集
- 8) 黒崎、村田、小林、岡、三木：砂質地盤におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験（その 1），第 35 回地盤工学研究発表会，2000.
- 9) 赤本、岡：埋立地におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験，第 34 回地盤工学研究発表会，1999.
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.
- 11) 土質工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説，1983.
- 12) 岡、小竹、山本：地盤注入併用小口径鋼杭の載荷試験，第 20 回土木学会 関東支部技術研究発表会，1993.
- 13) 酒井、坂本、木村、倉原、小竹、山本、岡：側壁の支持力不足対策としてのマイクロパイルの設計，第 29 回土質工学研究発表会，1994.
- 14) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針，2012.
- 15) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋偏，2012.
- 16) 極東工業：スプライスキャップ工法技術資料 2005

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 I 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】

STMP タイプ I 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STMP タイプ I 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。

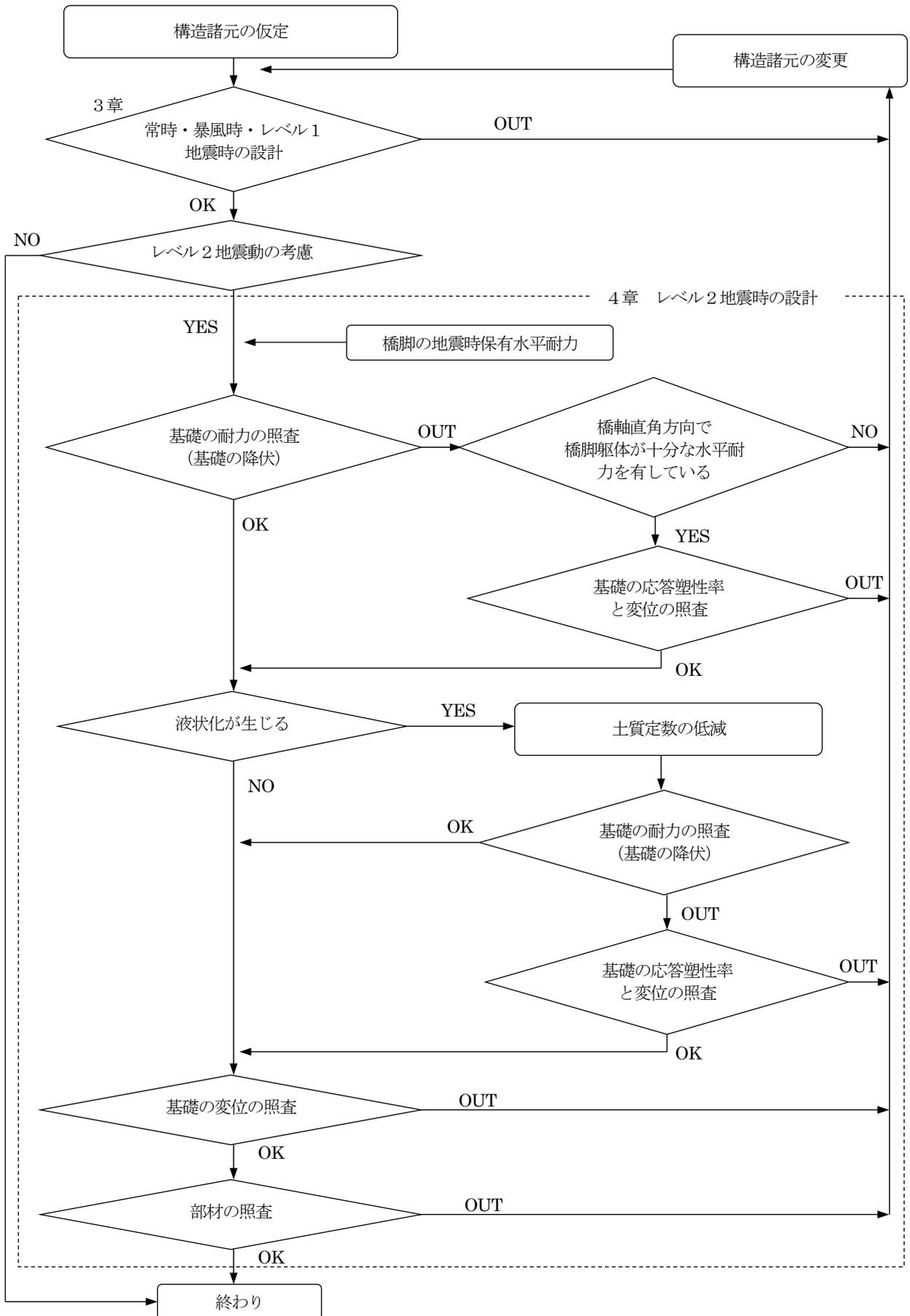


図-解 4.1.1 STMP タイプ I から構成される杭基礎の地震時保有水平耐力法による設計手順

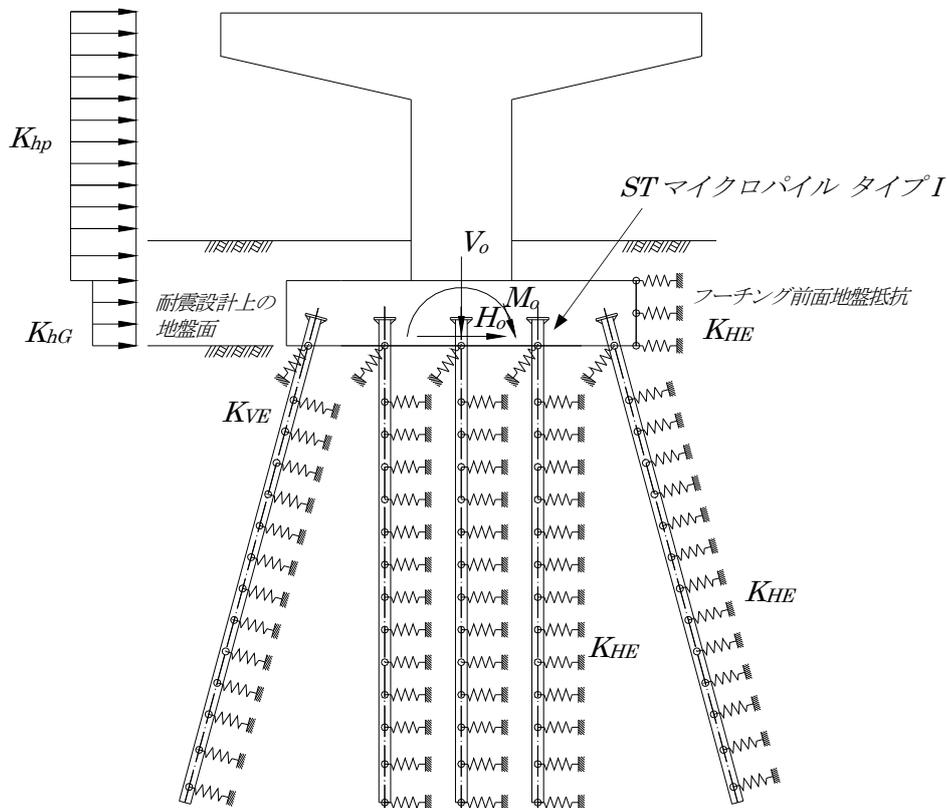
4.2 断面力、杭頭反力および変位の計算

4.2.1 解析モデル

ST マイクロパイル工法 タイプ I 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 I 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、杭は押し込み、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 I 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 I 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 I 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、押し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 I 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。

押し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。

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

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

ここに、

P_{NU} : 押し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し込み支持力 (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 3.3.1) により算出する。

R_{PU} : 杭体から決まる押し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。

STMP タイプ I の杭体から決まる押し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。

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

ここに、

R_{PU} : 杭体から決まる押し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 / m²)

A_s : 鋼管の有効断面積 (m²)

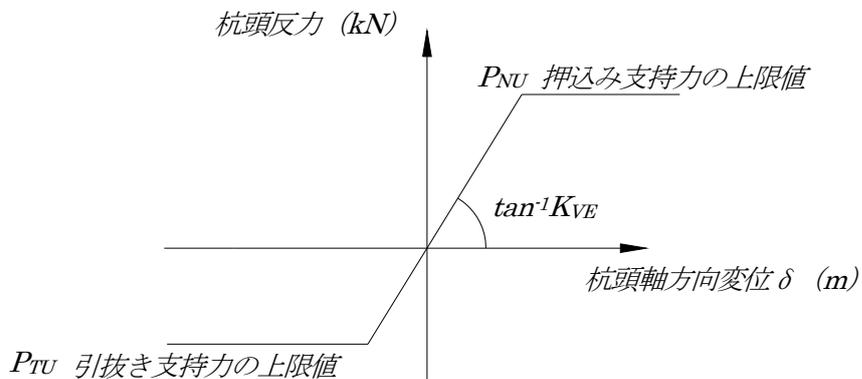


図-解 4.2.2 STMP タイプ I の軸方向の抵抗特性

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 I 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 I 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。

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

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

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

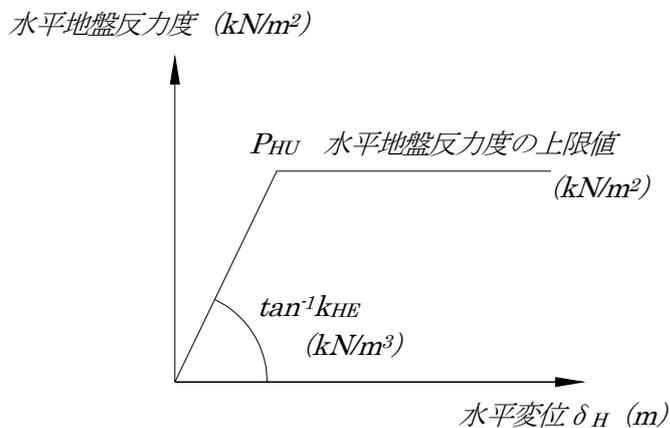


図-解 4.2.3 STMP タイプ I の軸直角方向の抵抗特性

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。

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

$$\text{砂質地盤} : \eta_p \alpha_p = \text{荷重載荷直角方向の杭の中心間隔} / \text{杭径 (鋼管径)} \quad (\leq \alpha_p) \quad \dots\dots\dots (解 4.2.8)$$

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 I 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 I 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 4.2.4)。

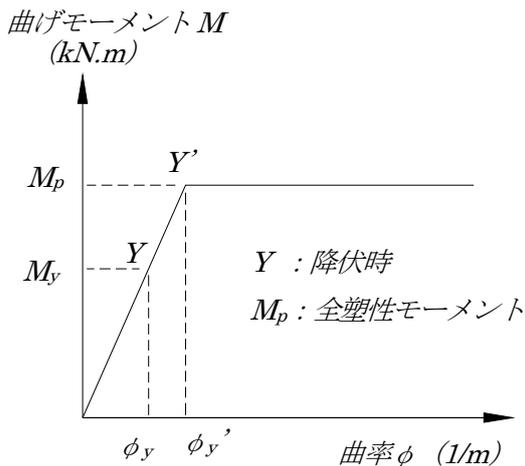


図-解 4.2.4 鋼管の曲げモーメント～曲率関係

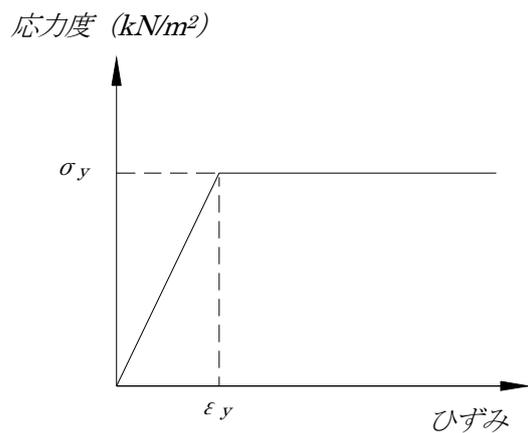


図-解 4.2.5 鋼管の応力～ひずみ関係

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

$$\phi_y' = M_p / EI \dots\dots\dots (解 4.2.10)$$

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)

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

M_y : 鋼管の降伏モーメント (kN・m)

$$M_y = (\sigma_y - N/A) Z_e \dots\dots\dots (解 4.2.12)$$

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

$$\alpha = N / N_o \dots\dots\dots (解 4.2.13)$$

N_o : モーメントがない場合の降伏軸力 (kN)

$$N_o = \sigma_y A \dots\dots\dots (解 4.2.14)$$

Z_p : 鋼管の塑性断面係数 (m³)

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

Z_e : 鋼管の断面係数 (m³)

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

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)

$$\phi_y = M_y / EI \dots\dots\dots (解 4.2.17)$$

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 I 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/m²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、ST マイクロパイルタイプI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 I 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 I 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 I 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轉變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 I 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 I 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 I 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Ⅴに準じるものとし、杭体に過大な変位や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変位や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 I 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、基礎の変位や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。

基礎に主たる非線形性が生じる場合の杭基礎の応答塑性率は、図-解 4.3.1 に示すエネルギー一定則により以下の式によって求めることとする。

$$\left. \begin{aligned} \mu_{FR} &= 1/r \left\{ -(1-r) + \sqrt{1-r+r(k_{hcF}/k_{hyF})^2} \right\} \quad (\gamma \neq 0) \\ \mu_{FR} &= 1/2 \left\{ 1 + (k_{hcF}/k_{hyF})^2 \right\} \quad (\gamma = 0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{(解 4.3.1)}$$

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

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答変位 (m)
- δ_{Fy} : 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。
 $k_{hcF} = c_D \cdot c_Z \cdot k_{hc} \quad \dots\dots\dots \text{(解 4.3.3)}$
- 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
- c_Z : 地域別補正係数

ここで、道路橋示方書IV, Vを参考に、基礎の降伏に達するまでの間に生じる基礎本体の部分的な塑性化あるいは地盤抵抗の非線形性の影響も考慮し、減衰定数別補正係数 c_D は一般に 2/3 程度としてよい。

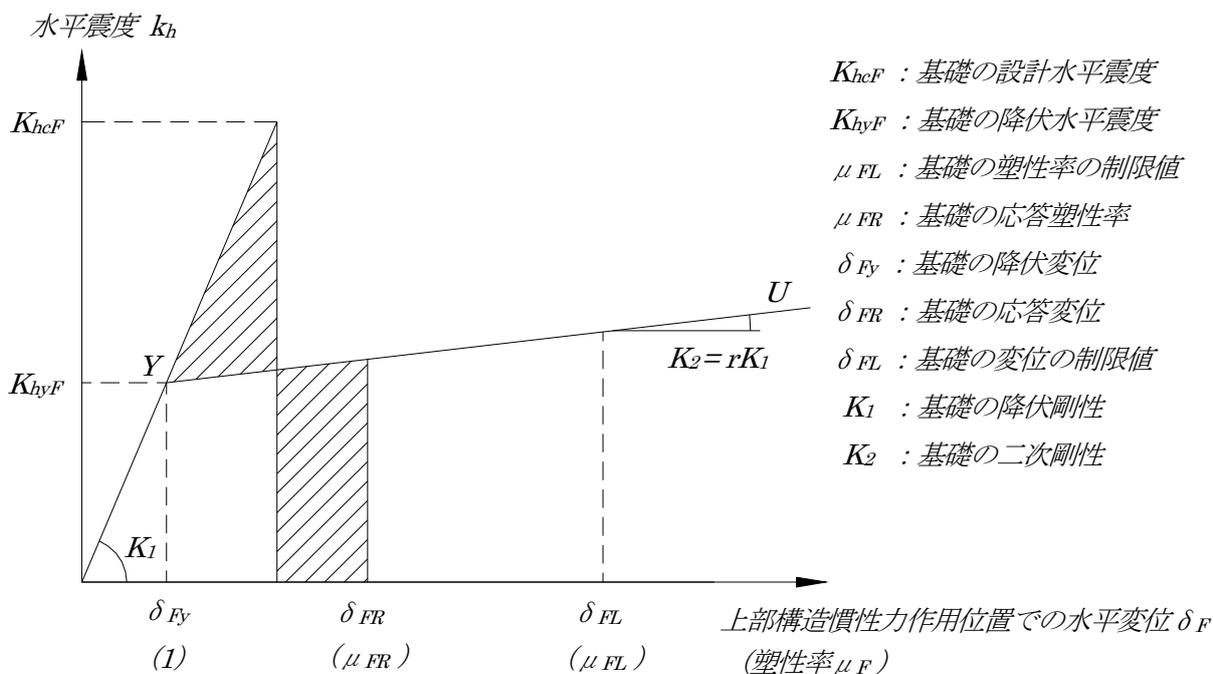


図-解 4.3.1 エネルギー一定則による基礎の応答塑性率の算定法

4.3.3 変位の制限値

基礎の変位の制限値は、基礎の変位により生じる損傷が、機能回復が容易に行い得る程度にとどまる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

杭基礎の各部材は、4.2.1 によって算出された断面力が耐力以下となることを照査するものとする。

【解説】

杭基礎の各部材は、4.2.1 によって算出された当該部材の耐力以下とな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.
- 4) 杭基礎設計便覧 平成18年度改訂版

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Iの標準的な施工法に適用する。

【解説】

本章は、STMP タイプI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I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、山岳傾斜地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・鋼管打設に使用するロッド長さのほか、打設する鋼管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、5.2.2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 5.1.1 に示す。

表-解 5.1.1 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、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、工所用電力等の状況	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、施工時の騒音・振動検討（1.3）
	建設副産物の処理条件	産業廃棄物の処分方法の調査	削孔残土処分の検討
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 I 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 I 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）

iv) 削孔径、グラウト強度、グラウト注入数量

v) 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グラウト注入、⑤杭頭結合部の施工

ii) 配合、グラウト練混ぜ

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

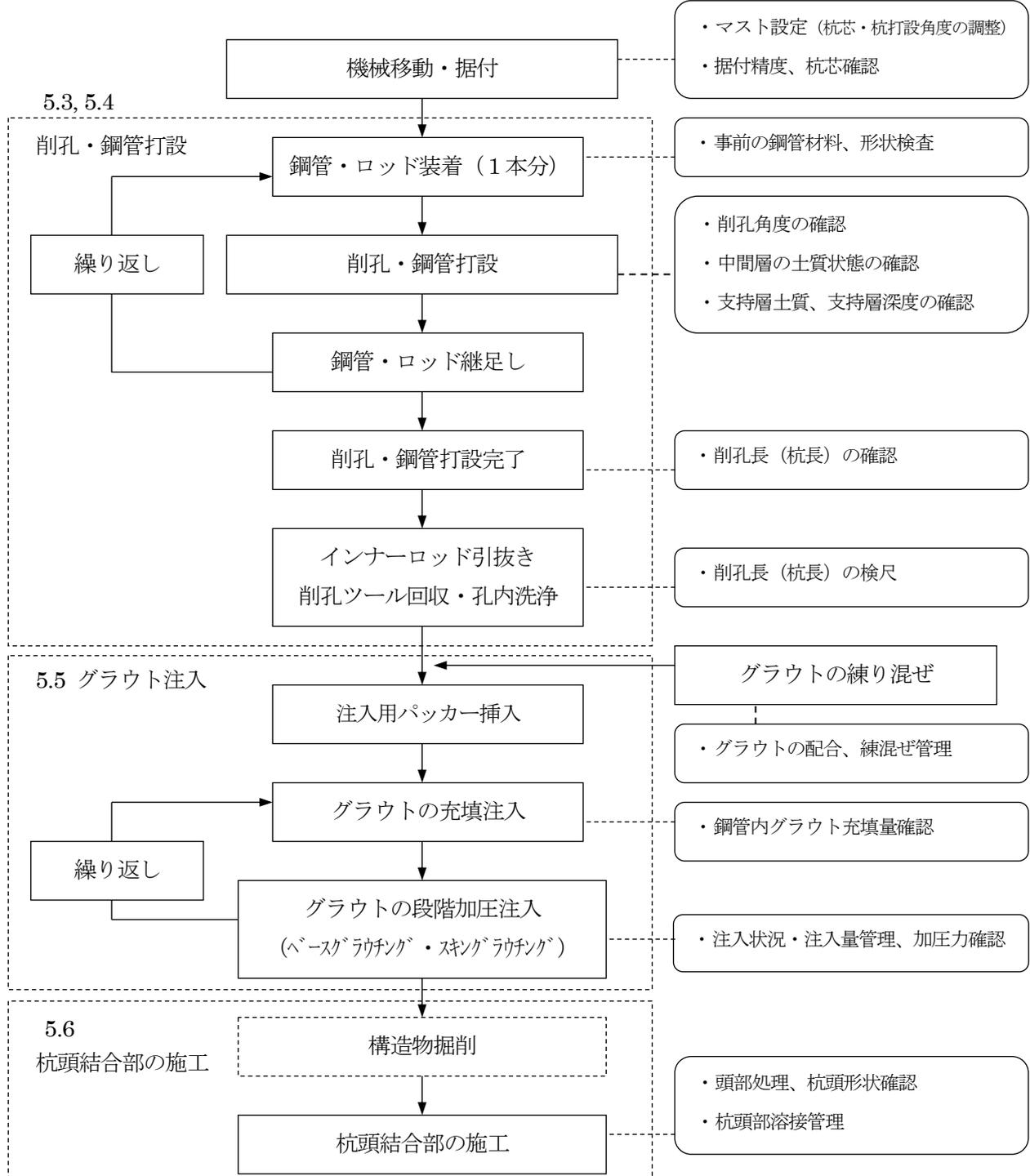
5.2 施工の概要

5.2.1 施工手順

ST マイクロパイル工法 タイプ I の標準的な施工手順は、削孔・鋼管打設、グラウトの加圧注入、杭頭結合部の施工からなる。

【解説】

ST マイクロパイル工法 タイプ I の標準的な施工手順を図-解 5.2.1、施工概要を図-解 5.2.2 に示す。



5.2.2 主要施工機械設備

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

【解説】

1) 主要施工機械設備

STMP タイプ I 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。

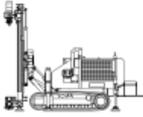
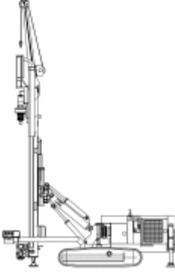
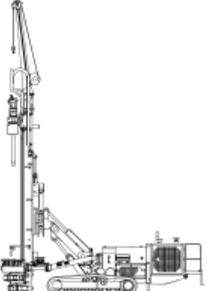
表-解 5.2.1 STMP タイプ I の標準的な主要施工機械設備
(ダウンザホールハンマ削孔方式)

作業区分	名 称	仕 様	数 量	備 考
削孔・鋼管 打設	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
	高圧コンプレッサー	標準使用圧力 1.2MPa	1 台	鋼管径に応じて 吐出流量を選定
	ダウンザホール ハンマ	鋼管 φ 165.2, φ 216.3, φ 267.4mm 用	1 台	鋼管径に応じて 選定
	拡径ビット	鋼管 φ 165.2, φ 216.3, φ 267.4mm 用	1 個	土質条件、鋼管径 に応じて選定
グラウト 注入	グラウトミキサー	400ℓ～600ℓ 横型 2 層式	1 基	施工条件に応じて 選定
	グラウトポンプ	100～200ℓ/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
	パッカー用管理装置	パッカー作動装置 (ポンプ圧力等)	1 台	パッカー用
	水量計	必要諸元	1 基	プラント
	流量計	必要諸元	1 基	プラント
そ の 他	発動発電機	所要動力に応じて選定	1 台	動力用
	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	1.5kW	必要数	給水等
	サンドポンプ	11kW	必要数	泥水処理等 (必要 に応じて選定)
	ミニクレーン 高所作業車	鋼管移動・装着等の必要時	各 1 台	施工条件、杭諸元 に応じて選定

2) ベースマシンの選定

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 	標準マスト : 7.1m ウインチ付 : 8.9m 	標準マスト : 7.6m ウインチ付 : 9.9m ショートマスト : 4.6m 		
	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 (2.1)		
	給 圧 力	kN	30.0	35.8		
	引 抜 力	kN	62.0	79.4		
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) 高圧コンプレッサーの選定

高圧コンプレッサーは土質条件、杭諸元（杭長、鋼管径）、使用ハンマ・ドリルロッドの外径などを考慮して、選定する必要がある。但し、長尺削孔（30m 程度以上）や被圧地下水が存在する場合には、標準空気圧(1.2MPa)より高圧（1.7MPa 程度）での使用を検討する必要がある。また、施工条件等により標準空気圧より低圧（1MPa）の高圧コンプレッサーを選定する場合には、削孔効率の低下等を考慮しなければならない。高圧コンプレッサーの一例を表解 5.2.3 に示す。

表-解 5.2.3 ST マイクロパイル工法に用いる高圧コンプレッサーの例

鋼管径	φ 165.2mm	φ 216.3mm	φ 267.4mm
D.T.H	5 ｲﾝﾁ	6 ｲﾝﾁ	8 ｲﾝﾁ
標準ﾛｯﾄﾞ 径	φ 114mm	φ 140mm	φ 180mm
標準吐出圧力	1.2MPa	1.2MPa	1.2MPa
標準空気量	8～17m ³ /分	17～27m ³ /分	21～31m ³ /分
高圧ｺﾝﾌﾟﾚｯｻｰの選 定例・型式 (kw)	北越工業 PDF530S (118)	デンヨー DIS765US (220)	北越工業 PDSF920S (238)
吐出圧力 MPa	1.05*	1.27	1.03*/ 1.27
空気量 m ³ /分	15	21.7	26 / 23.2

*実用性・汎用性等を考慮して、標準より低圧（1MPa）のリス品仕様の高圧コンプレッサー等を選定する場合には、削孔効率の低下に留意する必要がある。

4) 施工ヤード

STMP タイプ I 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 5.2.3 に示すような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、プラントからのグラウトの圧送距離・能力を検討する必要がある。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。

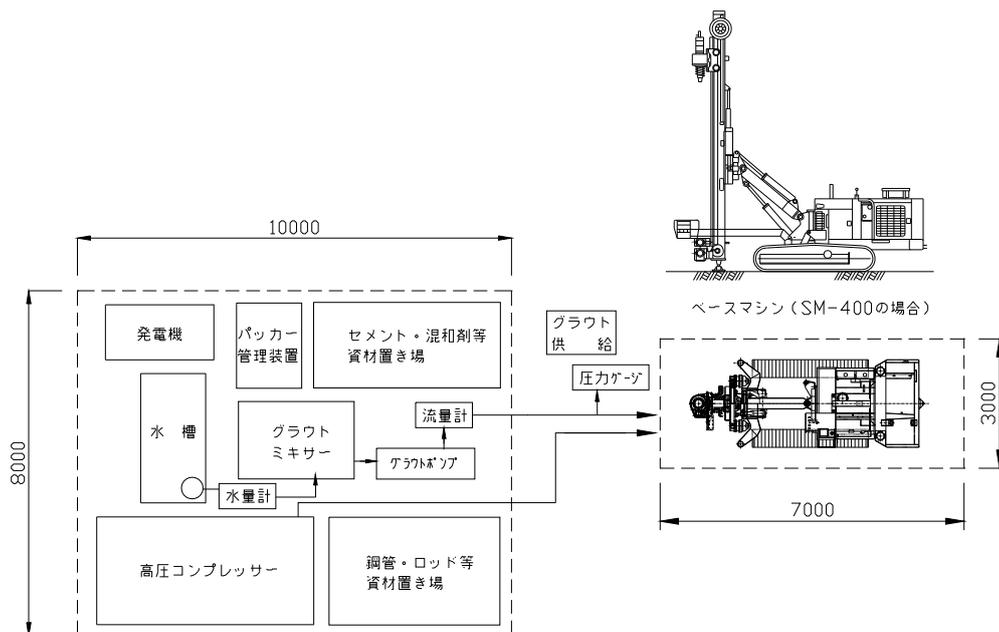


図-解 5.2.3 STMP タイプ I の施工ヤード配置例

5.3 削孔

5.3.1 削孔方式

ST マイクロパイル工法 タイプ I の削孔方式は次によるものとする。

- (1) 孔壁保護のため、補強材である鋼管をケーシングとして用いた二重管削孔によることを原則とする。
- (2) 削孔方式は、杭諸元の要求性能、施工環境条件、地盤条件に応じて適切な削孔方式を選定することができるが、拡径ビットを利用した鋼管の直接打設方式を標準とする。
- (3) 削孔径は、先端の削孔ビットの外径とする。

【解説】

STMP タイプ I の削孔方式を示したものである。

- (1) 一般に小口径の削孔方法は単管削孔方式、二重管削孔方式に分けられるが、削孔時に孔壁を保護するため、補強材である節付き鋼管をケーシングとして用いた二重管削孔によることを原則とした。
- (2) 1) 削孔方式の選定

STMP タイプ I の削孔方式は図-解 5.3.1 に示すように、回転方式としてロータリー方式、回転打撃式としてトップハンマ方式、ダウンザホールハンマ方式 (D.T.H 方式) に分けられる。STMP タイプ I では、杭諸元の要求性能、施工環境条件、地盤条件等に応じて適切な削孔方式を選定することができるが、本工法に適用する杭諸元 (鋼管径)、岩盤や転石・巨礫層、玉石混じり砂礫層等に対する削孔性能、これまでの施工実績を考慮し、D.T.H 方式による削孔を本マニュアルにおいては標準方式として示すこととした。表-解 5.3.1 に各削孔方式の特長を示す。

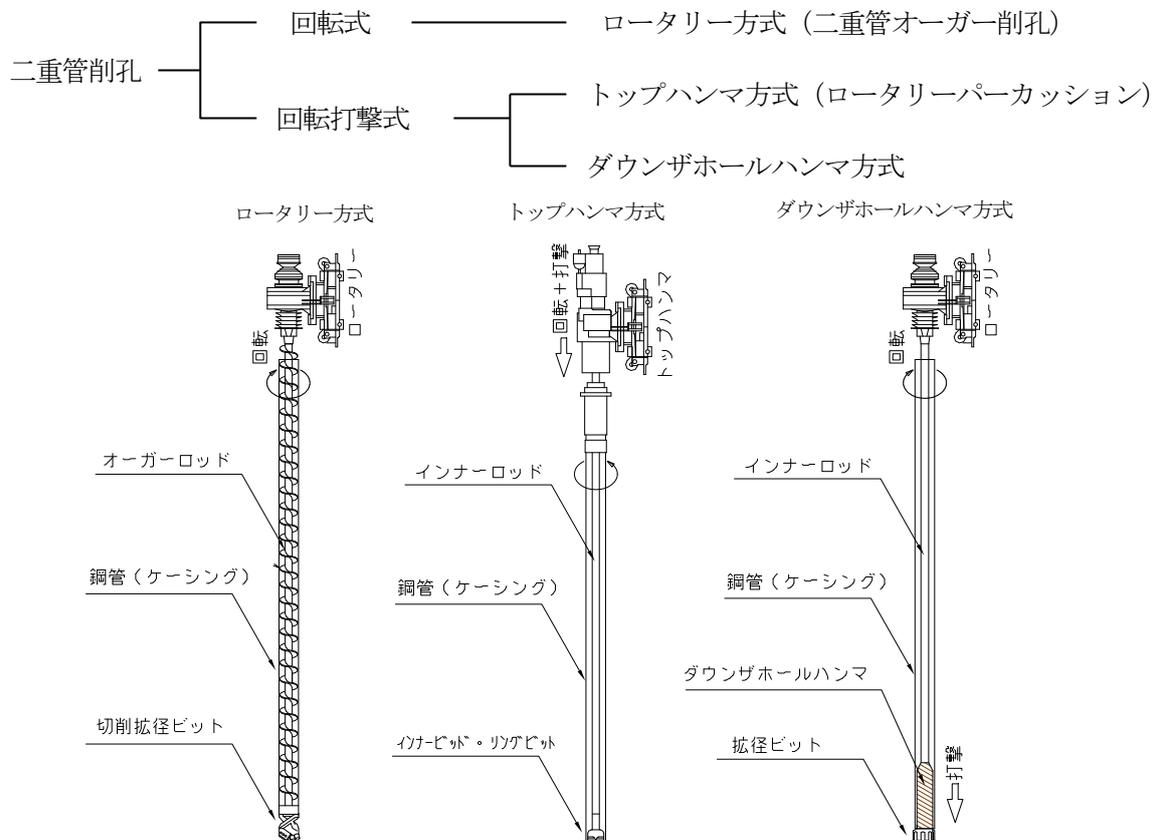


図-解 5.3.1 STMP タイプ I の削孔方式の分類

表-解 5.3.1 STMP タイプ I の削孔方式の分類

削孔方式		排土方法	方 法	特 長
回 転	オーガー 方式	機械的排土	鋼管をケーシングとして用い、インナーのオーガーロッド先端に切削拡径ビットを装着した二重管方式の回転式削孔。ロータリーヘッドの回転力と押し込み力で削孔する。通常、右回転の削孔である。	土砂・粘性土・軟質地山を対象とした、低騒音・低振動の削孔方式である。回転と押し込み力のみでの削孔であるため、設備が簡単ですむ。 地下水のある砂礫層や玉石・転石等の地盤条件では不利であり、硬い地盤では施工能率が低下する。一般に、大口径削孔に適する。
回 転 打 撃	トップ ハンマ 方式	水循環排土	インナーロッドおよび鋼管(ケーシング)の頭部(トップ)に回転力と打撃力を同時に与えて削孔する方法。通常、左回転の削孔である。インナーロッドを介して削孔ビットに打撃力を与えるため、専用のロッド類を用いる。	アンカー工等で一般に用いられている削孔方式であり、軟弱地盤から岩盤等の地盤への適用性、汎用性は高い。比較的小口径の削孔に適する。打撃効率等との関係で大深度削孔には不向きとなる。
	ダウンザ ホール ハンマ (D.T.H) 方式	エア排土	インナーロッド内から送られる圧縮空気によって先端のハンマピストンを往復運動させ先端削孔ビットを直接打撃し、ロータリーヘッドによって同時に回転力を与えて削孔する方法。通常、右回転の削孔である。土質条件・杭仕様に応じた拡径ビットを選定する。	岩盤をはじめとして玉石・転石等の障害物、玉石混じり砂礫層等の硬く複雑な地盤に対する削孔性能が高く、先端打撃により大深度削孔にも適用できる。一方、軟弱地盤においては排土時のエア量調整や回転削孔の併用、高圧水駆動ハンマ等を検討する必要がある。

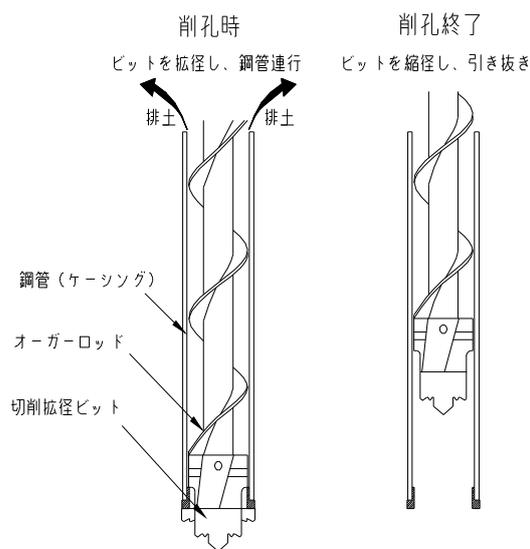
2) 回転式削孔

回転式削孔は、粘性土や砂質土等を対象とする場合や、騒音・振動を抑制する必要がある施工条件等において採用される削孔方式である。鋼管をケーシングとして用い、インナーのオーガーロッド先端に切削拡径ビット(図-解 5.3.2)を装着し、ロータリーヘッドの回転力と押し込み力によって削孔するものである。削孔時に打撃を与えないため、低騒音・低振動の削孔が行える。

切削拡径ビットはロッドを正転、逆転させることで先端ビットが拡大、収縮し、削孔時にケーシング鋼管を連行させることが可能である。排土は鋼管内部のオーガーロッドを通して排出される機械的な排土方式であり、地盤を緩めず削孔することができる。また、地下水が無く、粘性や膨張性のある粘性土地盤等には、エア併用の排土方式を採用することにより、削孔効率を改善することができる。

一方、オーガスクリーンの回転による機械的な排土方式のため、地下水がある砂・砂礫層では不利であり湿式方式を併用する必要がある。また、回転力と押し込み力で削孔するため、玉石・転石等の障害物を有する地盤条件では不利であり、硬質地盤では一般に施工能率が低下する。

したがって、STMP タイプ I においては、軟弱地盤が厚く堆積する場合等において有利な削孔方式である。



削孔ツール装備状況



切削拡径ビット



削孔・排土状況

図-解 5.3.2 オーガー併用回転削孔方式の概要

3) ダウンザホールハンマ方式（D.T.H 方式）による削孔

i) D.T.H 方式の概要

D.T.H 方式による二重管削孔システムを図-解 5.3.3 に示す。D.T.H を先端削孔ビット（拡径ビット）の直上に取り付け、インナーロッド内を通して送られてくる圧縮空気によってシリンダ内のハンマピストンが往復衝撃運動をおこし、ロータリーヘッドを回転させながら先端削孔ビットを直接打撃する効率的な削孔方法である。ケーシングシュー（鋼管内面の突起）を鋼管先端に設置（溶接）するため、D.T.H 打設と同時に鋼管を押し込むことができる。

排土方法はエアアー（圧縮空気）によるものであり、鋼管とインナーロッドの間を通して削孔土が排出される。ハンマの効率的な運動と孔のクリーニングには、鋼管径・使用ツールに応じた空気量・空気圧・管内流速の設定が重要となる。また、先端の削孔ビットは拡径構造となっており、鋼管（ケーシング）より拡径しながら削孔打設し、削孔完了後、逆回転させて鋼管内に収納し削孔ツールを引抜回収する。

表-解 5.3.2 ダウンザホールハンマ仕様の一例

型 式	適用鋼管	ハンマ本体			標準空気圧 (MPa)
		外 径(mm)	全 長 (ネジ部を除く) (mm)	重量(N)	
SD-5	φ 165.2mm,t=7.1mm	116	975	610	1.2
SD-6	φ 216.3mm,t=12.0mm	138	1,256	1090	1.2
SD-8	φ 267.4mm,t=12.0mm	172	1,193	1,560	1.2

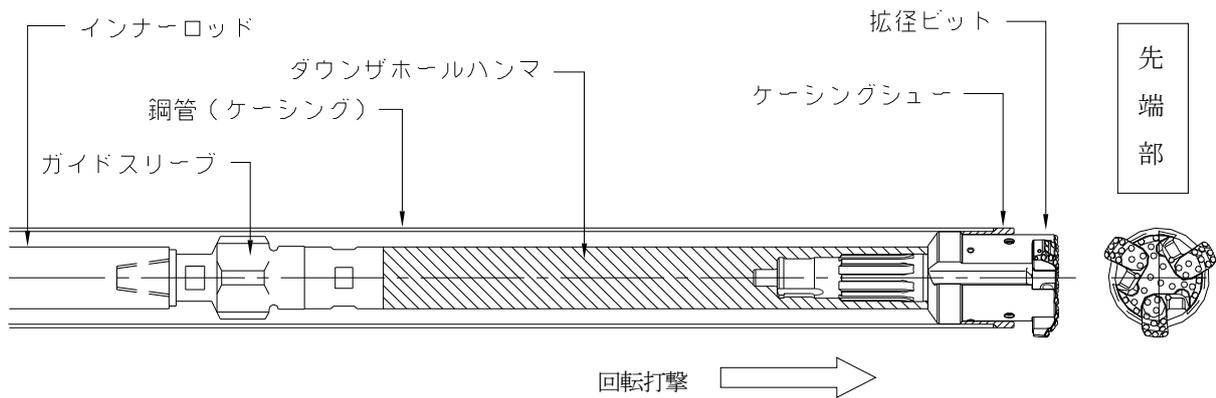


図-解 5.3.3 ダウンザホールハンマ拡張ビットの削孔システム



図-解 5.3.4 拡張ビットによる削孔状況

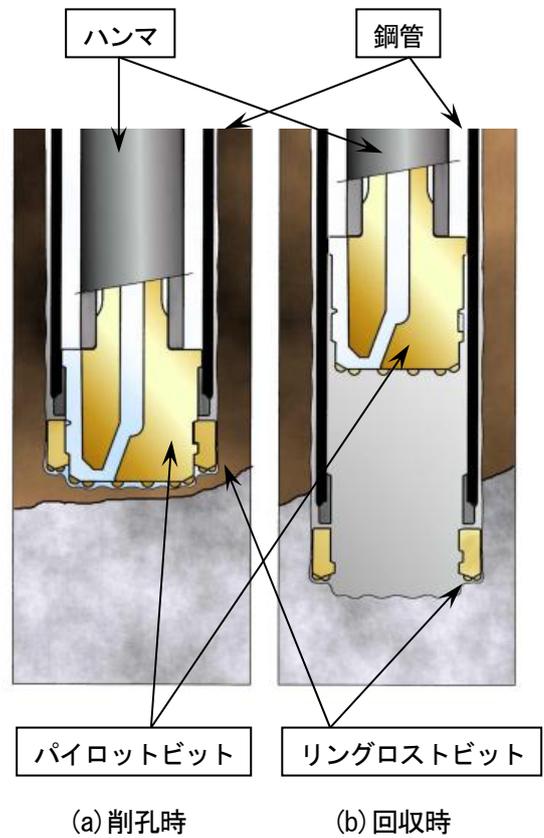


図-解 5.3.5 リングロストビットの概要

ii) ダウンザホールハンマ方式 (D.T.H 方式) の特長

D.T.H による削孔方式の特長を以下に示す。

- ①岩盤をはじめ、転石・巨礫層、玉石混じり砂礫層等の複雑な地盤に対する削孔性能が高い。
- ②先端の削孔ビットに回転打撃荷重を直接与えるため、削孔効率・削孔精度が良い。
- ③排土用の循環水を与えないため、スレーキング性泥岩等に対して地盤をゆるめることがなく、削孔水が逸流するようなポーラスな崖錐性地盤に対しても対応できる。
- ④排土用の循環水を与えないため、削孔時の泥水、スライムの処理量が少ない。

一方、留意事項としては、地下水が豊富でゆるく堆積した砂質地盤や軟弱な粘性土地盤においては、高圧でのエア－排土では周辺地盤を乱す恐れがある。このような土質に対しては、排土時のエア－量調整やエア－＋水による部分排土等で対応する。

4) トップハンマ方式 (ロータリーパーカッション) による削孔

グラウンドアンカーなど一般に用いられる削孔方式であり、インナーロードおよび鋼管 (ケーシング) の頭部 (トップ) に回転力と打撃力を同時に与えて削孔する方法である。軟弱地盤から岩盤等、地盤に対する適用性、汎用性は高いが、削孔径が比較的小さく、STMP タイプ I への適用にあたっては杭諸元 (鋼管径) への適用性を別途検討する必要がある。

- (3) 支持力推定時の杭径でもある削孔径 D_g は、先端の削孔ビットの外径 (表-解 1.2.1) とする。表-解 5.3.3、表-解 5.3.4 に D.T.H 削孔で使用する拡径ビットの削孔径の一例を示す。また、表-5.3.5 に回転削孔で使用する切削拡径ビットの削孔径の一例を示す。削孔外径はメーカー仕様によって異なるため、削孔ツールの選択によっては削孔径を別途確認する必要がある。

表-解 5.3.3 D.T.H 削孔における削孔径の一例 (拡径ビットの外径)

適用鋼管	仕様	削孔径 (拡径ビットの外径)
φ 165.2mm,t=7.1mm	SMB-G	185mm
φ 216.3mm,t=12.0mm	SMB-G	240mm
φ 267.4mm,t=12.0mm	SMB-G	295mm

表-解 5.3.4 D.T.H 削孔における削孔径の一例 (リングロストビットの外径)

適用鋼管	仕様	削孔径 (リングビットの外径)
φ 165.2mm,t=7.1mm	UMB	185mm
φ 216.3mm,t=12.0mm	UMB	239mm
φ 267.4mm,t=12.0mm	UMB	292mm

表-解 5.3.5 回転削孔における削孔径の一例（切削拡径ビットの外径）

適用鋼管	仕様	削孔径 (切削拡径ビットの外径)
φ165.2mm,t=7.1mm	SMB-R	188mm
φ216.3mm,t=12.0mm	SMB-R	239mm
φ267.4mm,t=12.0mm	SMB-R	294mm

表-解 5.3.6 土質条件別の削孔ビットの選定目安表

土質 ビットシステム	粘性土	砂質土	礫質土	岩塊 玉石	軟岩	中硬岩	硬岩
回転拡径ビット D.T.H 併用	△	○	◎	○	◎	○	△
リングロストビット D.T.H 併用	△	○	◎	○	◎	◎	○
切削拡径ビット オーガーロスト併用	◎	◎	○*1	×	○*2	×	×

備考；「◎非常に良い、○良い、△良い場合もある、×不適」

*1；レキ径25mm以下、*2；土丹・固結粘土類 $qu \leq 10\text{Mpa}$



分割スライド型



切削拡径型



回転拡径型



リングロスト

図-解 5.3.6 二重管削孔における削孔ビットの概要

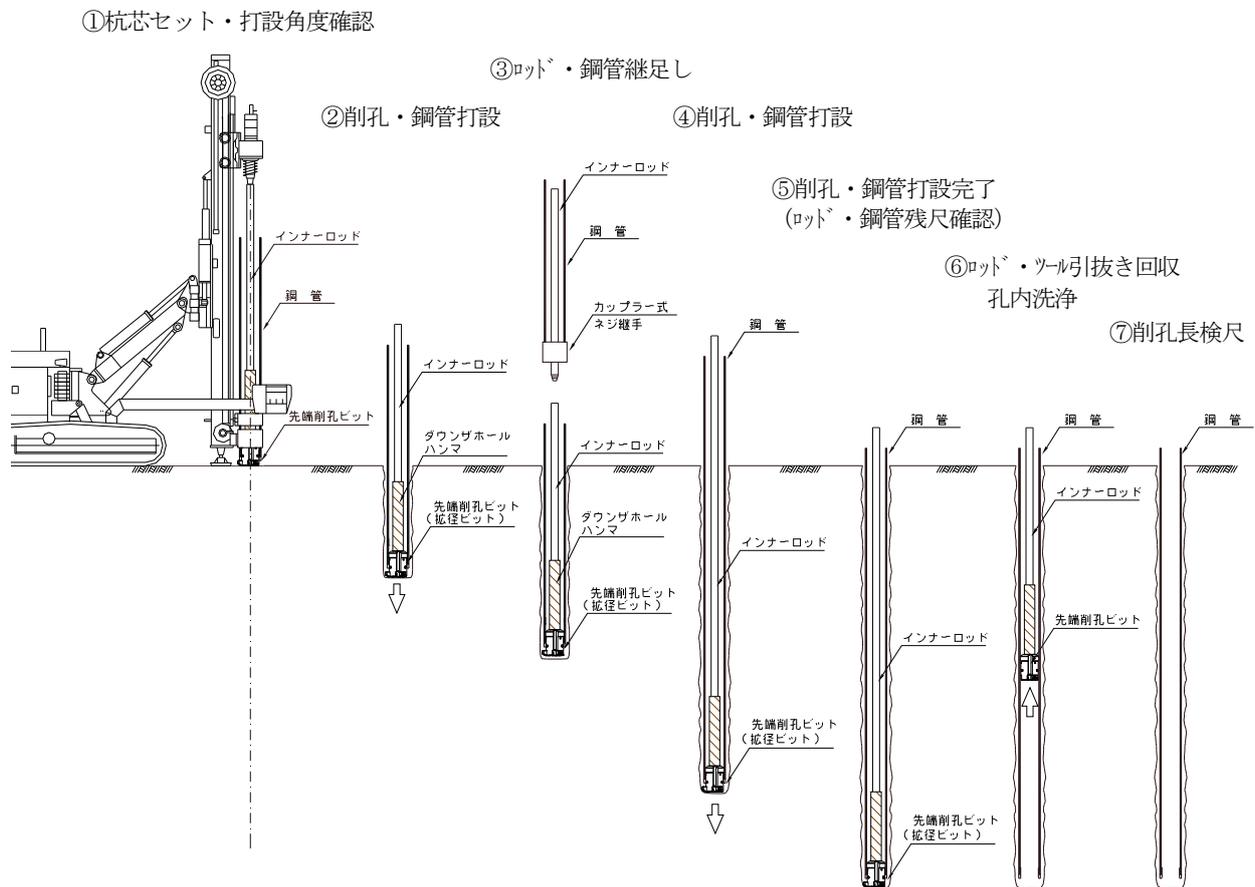
5.3.2 削孔方法

ST マイクロパイル工法 タイプ I の削孔方法は次によるものとする。

- (1) 杭が所定の位置、打設角度となるよう、ベースマシンを据え付け、固定する。
- (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、削孔時の速度や抵抗等）の対比から先端支持地盤を確認する。
- (4) 削孔完了時はインナーロッドや鋼管の残尺測定によって削孔長を確認し、インナーロッド引抜き後、検尺テープによって削孔長を検尺する。
- (5) 削孔完了後、清水やエアによって孔内洗浄を行うものとする。

【解説】

図解 5.3.7 に STMP タイプ I のダウンザホールハンマ方式による削孔・鋼管打設の標準的な施工手順を示す。



図解 5.3.7 STMP タイプ I の標準的な削孔・鋼管打設手順 (D.T.H 方式)

- (1) 所定の位置に STMP タイプ I を打設するため、ベースマシンを移動、マストの旋回によって先端削孔ビットの中心と杭芯が一致するよう調整、固定する。このとき、打設角度はスラントルール等によって調整するものとする。なお、STMP タイプ I では、斜杭の削孔打設が可能であり、参考文献¹⁾では 15° ~45° までの斜杭の試験施工を実施している (図解 5.3.8)。ただし、斜杭角度が大き

なるにつれて削効能力が低下すること等を考慮した場合、基礎杭としては $\pm 15^\circ$ 程度を適応範囲とし、それを超える斜角を適応する場合には別途検討が必要である。



図-解 5.3.8 斜杭 (30°) の削孔状況¹⁾

- (2) 削孔中はスランートルール等によって打設角度を保持、確認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、削孔速度、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) 削孔時には所定の杭長を確保したことをインナーロードや鋼管の残尺測定によって確認し、インナーロードを引抜き後、錘をつけた検尺テープによって削孔長を実測検尺するものとする。
- (5) 削孔完了後、清水やエアリーによって孔内洗浄を行うものとする。ダウンザホールハンマ方式では基本的にエアリー（圧縮空気）によって削孔土を排出するため、水循環による排土方式に比べて泥水・スライム発生量は少ない。しかし、地下水を有する地盤条件においては削孔時に多少のスライムが発生するため、削孔完了後、削孔部先端からの送水等によって洗浄作業を行うものとする。

【備考】

- ・ ST マイクロパイルを施工する場合、杭の精度確保の観点からフーチング下面を施工基面とするのが一般的であるが、施工環境条件等を考慮してヤットコ施工を行う場合には、杭の施工誤差に留意する必要がある。
- ・ 玉石混じり粘性土層等、地中部に存在する玉石の影響により杭の設置位置や設置角度に規格値を超える誤差が生じる可能性がある場合には、施工誤差に対する影響（フーチングと杭の結合強度等）を把握するとともに、監督員との協議によって対応を決定する必要がある。

5.4 鋼管の設置・接続

5.4.1 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。

5.4.2 鋼管の設置・接続

- (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本当当たりの単位長さは、当該施工条件やベースマシンの選定に応じ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。

【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をベースマシンに設置するものとする。
- (2) 削孔時にケーシングとして用いる鋼管1本当当たりの単位長さは、空頭制限などの施工条件、ベースマシンの選定に応じて検討する。これまでの施工実績により、鋼管1本当当たりの単位長さはベースマシンの選定によって1.0m～3.0mまで使用することができる。また、鋼管の設置は、ベースマシンの補助ウインチや、ミニクレーンによってベースマシンに吊り込み、設置するものとする。



図-解 5.4.1 鋼管（ケーシング）：鋼管径 216.3mm, L=1.5m



図-解 5.4.2 鋼管接続状況

- (3) 削孔時にケーシングとして用いる鋼管は、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。

5.5 グラウト注入

5.5.1 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、削孔壁部・地山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する。表-解 5.5.1 にグラウト（セメントミルク）の標準配合例を示す。なお、グラウト材としてセメントモルタルを使用する場合は、流動性や強度発現性等を十分考慮したうえで、配合を別途検討するものとする。

表-解 5.5.1 グラウト（セメントミルク）1^m3 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%、アルキルアリルスルホン酸塩類を主成分とした化学混和剤 GTM-30（減水剤：標準型 I 種）

5.5.2 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 5.5.1 にグラウトのプラント配置例、図-解 5.5.2 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 5.5.1 グラウト注入のプラント配置例

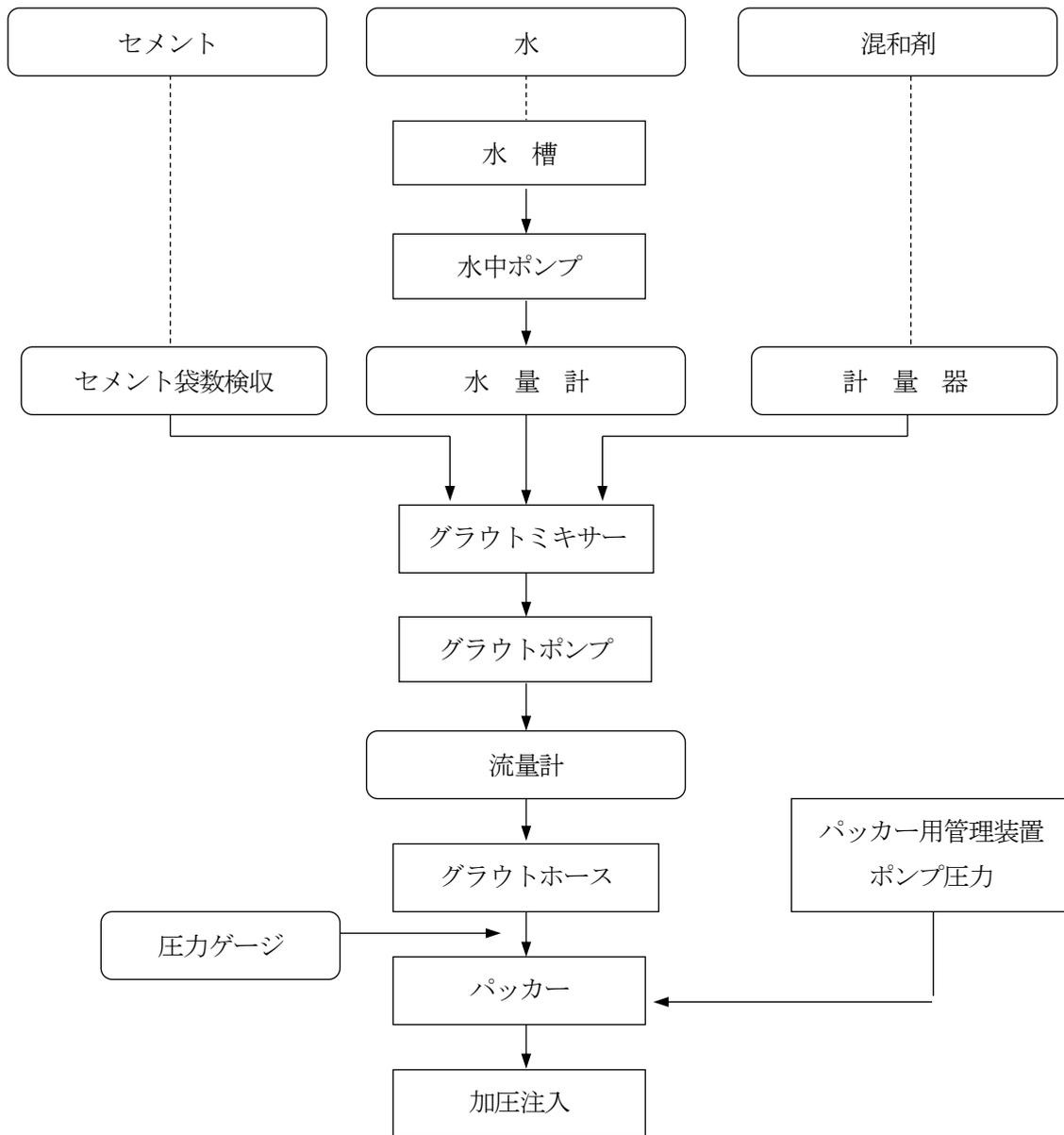


図-解 5.5.2 グラウト注入の材料・施工フロー

- (2) グラウト（セメントミルク）の材料計量は表-解 5.5.1 で設定した配合に対して計量管理を行うものとする。

5.5.3 注入方式

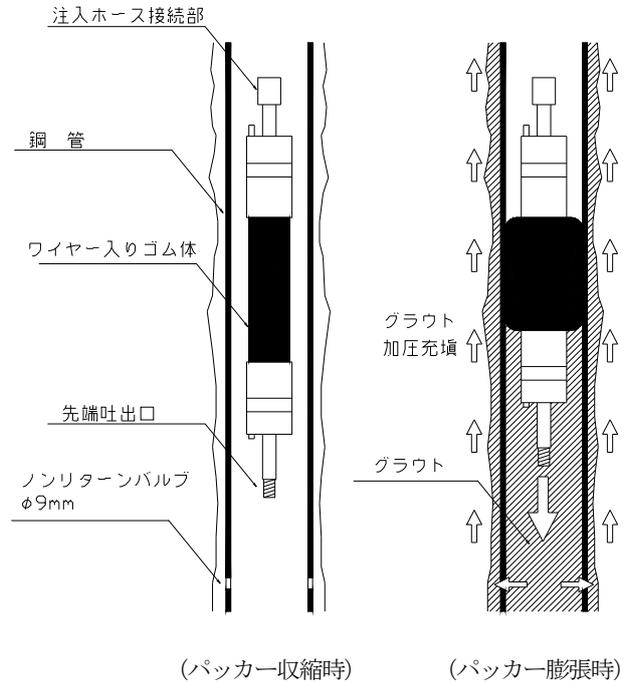
ST マイクロパイル工法のグラウト注入方式は次に示すものとする。

- (1) グラウトの注入は、削孔壁部・地山にグラウトを確実に加圧充填させるため、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とする。
- (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、削孔空隙部・地山に加圧充填することにより、地盤中に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。

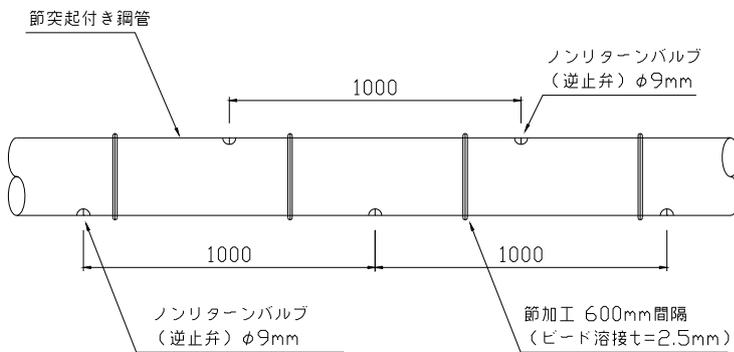
パッカーは図解 5.5.3 に示すワイヤー入り特殊ゴムからなる部分をポンプ(パッカー用管理装置)により加圧膨張させる方式である。加圧注入時にはパッカーゴム体を膨張させて鋼管内に栓をし、グラウトポンプの圧力によってパッカー先端口からグラウト流体を高圧吐出させる。圧力の加わったグラウト流体は鋼管に設置したノンリターンバルブを介して削孔空隙部・地山に加圧充填される注入方式である。



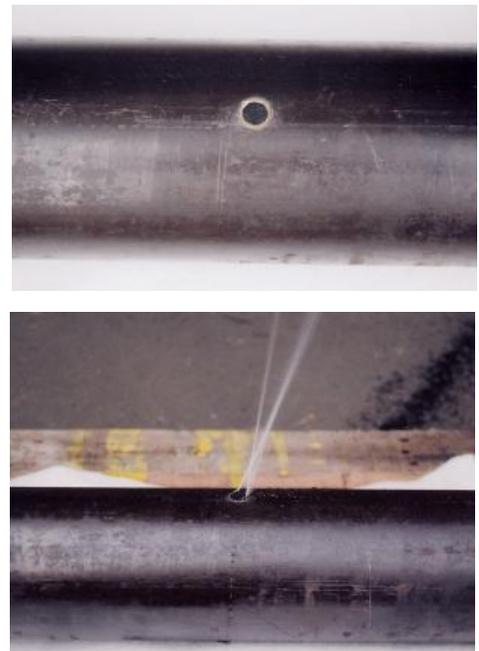
図解 5.5.3 パッカーによる加圧注入

(2) 削孔空隙部・地山へのグラウトの加圧充填は

鋼管に設置したノンリターンバルブ(図解 5.5.4)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 5.5.5)。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、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くてよい。



図解 5.5.5 ノンリターンバルブの配置



図解 5.5.4 ノンリターンバルブ

5.5.4 注入方法

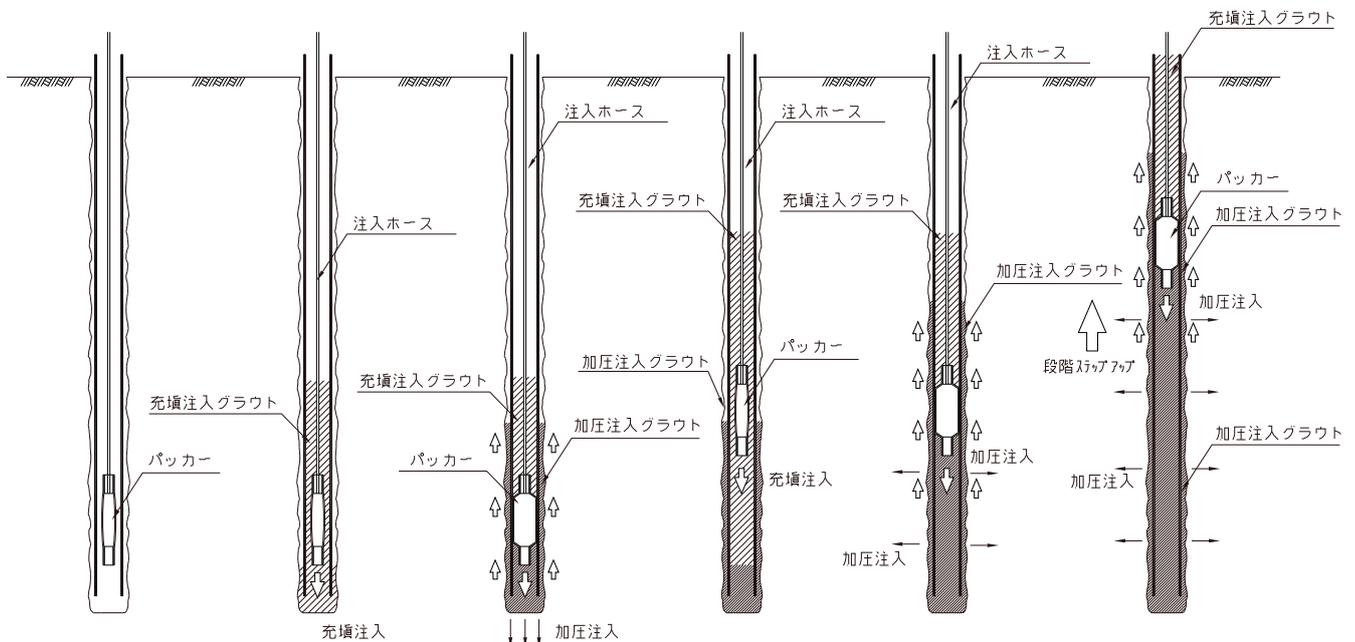
ST マイクロパイル工法 タイプ I のグラウト注入は以下に示す方法とする。

- (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、加圧注入を行う前に鋼管内にグラウトを低圧充填する「充填注入」、削孔壁部・地山にグラウトを加圧充填する「加圧注入」を繰り返して行う。
- (3) グラウトの加圧注入は、杭先端部で加圧注入する「ベースグラウチング」、杭周面部へ加圧注入する「スキングラウチング」を行うものとする。
- (4) スキングラウチングは、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（段階加圧注入）で行う。段階加圧注入の深度方向の間隔は1～3m程度を標準とするが、杭長や土質条件、注入状況も考慮して検討するものとする。
- (5) グラウト加圧注入の終了は、注入量、加圧状況、杭頭付近から溢流したグラウト状況等から判断するものとする。

【解説】

- (1) 図解 5.5.6 に STMP タイプ I のグラウト注入フローを示す。

- ①削孔完了
パッカー挿入 ②グラウト充填注入
パッカー膨張 ③パッカー膨張
グラウト加圧注入 ④パッカー引上げ
グラウト充填注入 ⑤パッカー膨張
グラウト加圧注入 ⑥グラウト加圧注入
(スキングラウチング)
(ベースグラウチング) ④～⑤の繰り返し



図解 5.5.6 STMP タイプ I のグラウト注入フロー

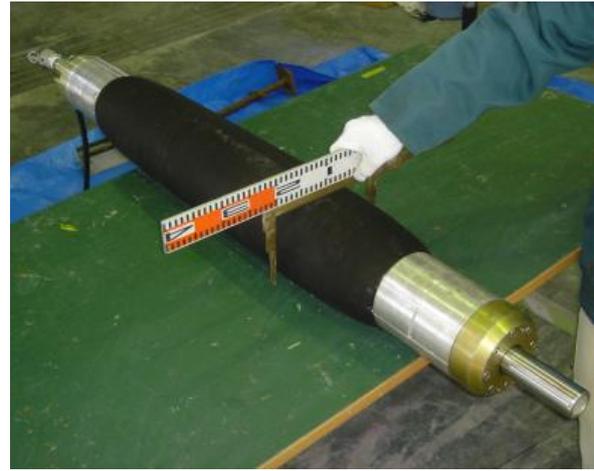


図-解 5.5.7 グラウト加圧注入状況

(2) グラウトの注入は、加圧注入を行う前に鋼管内に低圧でグラウトを充填しておく「充填注入」、パッカーゴム体を膨張させて鋼管内に栓をし、削孔壁部・地山に圧力を与えながらグラウトを加圧充填する「加圧注入」を繰り返して行う。ここで、充填注入はパッカーゴム体を収縮させた状態でグラウトを低圧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。



図-解 5.5.8 掘削後のグラウト表面状況

(3) 1) ベースグラウチング (加圧注入)

鋼管先端からパッカー先端の吐出口が下杭天端ネジ部下かつ 2.0m 以内になるよう鋼管内にパッカーを挿入し、グラウトを低圧充填 (充填注入) した後、パッカーゴム体を膨張させ、杭先端でのグラウト加圧注入を行う。ベースグラウチングの目的は、先端削孔地盤に先行圧力を加え、先端支持地盤の緩み等を防止するものである。

2) スキングラウチング (加圧注入)

ベースグラウチングの終了後、パッカーを上方に移動させてグラウトの充填注入、杭周面部でのグラウト加圧注入 (スキングラウチング) を杭先端から杭頭に向けて段階的に行う。ノンリターンバルブを介してグラウトが加圧充填されるスキングラウチングにより、削孔壁部・地山にグラウトゾーンを築造していく。

(4) 1) スキングラウチングは、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 (段階加圧注入) で行うものとする (充填注入と加圧注入の繰り返し)。段階加圧注入の深度方向の間隔は 1~3m 程度を標準とするが、杭長や土質条件等も考慮して検討する。比較的ルーズな地盤では注入間隔を密にする必要があり、一方、地盤や孔壁状況が良好な場合や、加圧注入時に杭頭削孔部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。

2) グラウトの加圧注入の目的は、削孔空隙部・地山に加圧充填しグラウトゾーンを築造、地盤に密着させること、削孔地盤の応力開放による緩みを復元すること、粒状土地盤ではグラウトを浸

透させ、加圧脱水効果により強固なグラウト幹体とすること等が挙げられる。ST マイクロパイル工法では、挿入式のパッカー等を用いた注入方式により、通常は 0.2～1.0MPa 程度で管理する。注入時の加圧力は地盤への圧入性・浸透性等、対象となる地盤性状によって異なるため、地盤や削孔状況によっては、加圧力が低い状態でも十分な充填が可能である。なお、注入時の加圧力は杭頭付近で測定するものとする。

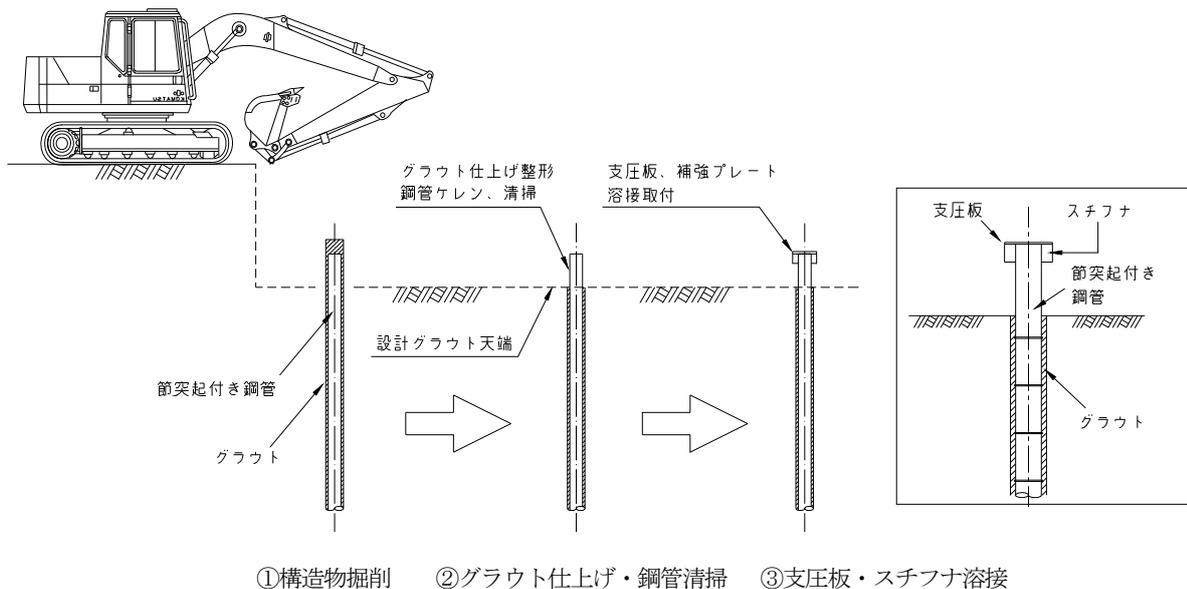
- (5) グラウト注入作業の終了判断は、鋼管天端孔口から溢流するグラウトの目視による確認、注入量、加圧状況等から判断する。ただし、地盤の自立性あるいは杭長によってはグラウトの地上への早期溢流により注入圧力を保持できない場合がある。この時の最低注入管理量の目安としては、鋼管内容積と地盤との空隙容積（設計削孔径と鋼管外径との空隙）とを加算した注入量以上とする。

5.6 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に適切に行うものとする。

【解説】

- 1) 杭頭結合部の施工は支圧板方式による場合、図解 5.6.1 に示すように構造物掘削の後、グラウトの仕上げ整形、鋼管の清掃、支圧板等の溶接を行うものとする。



図解 5.6.1 杭頭結合部の施工手順（支圧板方式）

- 2) 構造物掘削後、注入したグラウトを設計天端まで除去する。固化したグラウトはハンマ等によって除去し、ケレン器具等を用いて鋼管の表面を清掃するものとする。なお、鋼管とグラウトが均等に押し込み荷重を負担できるように、鋼管天端のグラウト面は鋼管面と同一高さに整形する。
- 3) 支圧板およびスチフナの取付けは鋼管表面のグラウト等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くものとする。また、現場溶接にあたっては各仕様書等²⁾に準じて溶接施工管理を行うものとする。

5.7 施工管理

5.7.1 施工管理

ST マイクロパイル工法 タイプ I 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品質を確保するものとする。

【解説】

表-解 5.7.1 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 5.7.1 STMP タイプ I 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	鋼管径の 1/4 かつ ±100mm 以内	据付時
	削孔角度	削孔角度の管理	スランートルール、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・残尺および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 接 続 打 設	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 打設完了時	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	鋼管径の 1/4 かつ ±100mm 以内	杭全数
		鋼管傾斜の管理	スランートルール、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
グラウト 注入	グラウト 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	土質柱状図、注入量との対比確認 流量計による確認	設計計算量	注入完了時 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。(p. 107 参照)

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. 114 参照)

5.7.2 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) 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 5.7.2 に示す。

表-解 5.7.2 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	練混ぜグラウトの比重管理	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	材齢 28 日 30N/mm ² 以上	施工前に 1 回

5.7.3 工程管理

ST マイクロパイル工法の施工においては、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。

5.7.4 安全管理

ST マイクロパイル工法の施工においては、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

5.7.5 施工記録

ST マイクロパイル工法 タイプ I 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
- 3) 施工年月日
- 4) 杭番号
- 5) 設計杭諸元（削孔径、鋼管径、鋼管肉厚、鋼管長、鋼管材質 等）
- 6) 使用機械諸元（ベースマシン諸元、主要機器 等）
- 7) 施工サイクル（準備、削孔、グラウト注入 等）
- 8) 中間層の土質、先端支持層の記録（到達深度 等）
- 9) 杭長施工記録（削孔長、鋼管長、鋼管先端位置、鋼管天端位置 等）
- 10) グラウト注入施工記録（加圧力、注入時間、総注入量 等）
- 11) 品質管理試験結果（グラウトに関する各試験結果、品質検査証明書 等）
- 12) 施工中に生じた特殊な状況とその対策
- 13) その他必要事項

[参考文献]

- 1) 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2），2002年7月
- 2) 杭基礎施工便覧，施工管理（溶接部の検査；125p），（社）日本道路協会（2007年1月）