

GTM工法

---

高圧噴射攪拌工法

**技術資料**  
(改訂版)

2001年6月

NIJ研究会

ニューイタリアン ジェット研究会

まえがき

超高压噴射流体の持つエネルギーによって地中にセメント系改良体をつくる高压噴射攪拌工法は、日本で発案されて 20 年以上の実績を持つ、信頼性の高い地盤改良工法です。

しかし、道路・地下鉄・共同溝などの大断面、大深度の地下空間等の建設にあたっては、施工コストの低減、施工スピードの向上、適用地盤の拡大などが強く求められています。また、地上に排出される排泥（スライム）の低減、機動性・汎用性の確保、作業効率の改善など、環境やトータルコストに対する配慮も大きな問題です。

ジオトルネードミキシング工法（Geo-Tornado Mixing Method、以下GTM工法と呼ぶ）は、超高压噴射流体の持つエネルギーを最大限に活用するという、高压噴射攪拌工法の原理に立ち返り、材料・排泥処理コストも含めたトータルで、施工効率の改善やコストダウンを実現します。

さらに、マイクロパイル工法との併用等により、従来は困難とされた崖錐層や転石砂礫層においても高い性能を発揮するなど、都市部から山岳部までをカバーする新しいコンセプトの高压噴射攪拌工法です。

N I J（ニュー・イタリアン・ジェット）研究会は、超高压噴射流体の持つエネルギーを最大限に活用する高压噴射攪拌工法並びにマイクロパイル工法の普及・発展・技術の向上を図り、信頼性に優れ、安全で経済的な地盤改良工、構造物の支持力対策工、斜面安定化工などの整備に寄与することを目的として設立された民間の共同研究開発組織です。

イタリアで開発され、同国を中心として欧州で数多くの施工実績を持つ山岳トンネルの補助工法で鍛えられた施工機械、ツール類を積極的に採用し、わが国の施工条件に適応するように開発・改良を重ねてGTM工法を確立するとともに、1997年11月に技術資料を作成しましたが、その後の施工実績等を基に、ここに技術資料改訂版を発刊することにいたしました。

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

2001年6月

編集 N I J 研究会技術委員会

# 目 次

第 1 章 総 論 .....	1
1.1 G T M工法の呼称 .....	1
1.2 改良体造成のメカニズム .....	2
1.2.1 削孔システム .....	2
1.2.2 基本造成システム .....	3
1.2.3 流体噴射方式と造成システム .....	4
1.2.4 噴射エネルギーと改良体造成径 .....	6
1.2.5 硬化材添加量と改良体強度 .....	12
1.3 工法の特徴 .....	14
1.4 適用 .....	18
1.5 工法展開の為の課題 .....	24
第 2 章 設 計 .....	25
2.1 設計の進め方 .....	25
2.2 改良体有効径 .....	28
2.3 改良体平面配置と最小改良長 .....	31
2.4 改良体強度と安全率 .....	33
2.5 硬化材 .....	35
2.6 設計例 .....	36
2.6.1 小規模円形立坑 .....	37
2.6.2 先行地中梁 .....	42
2.6.3 立坑底盤改良 .....	51
2.6.4 山留め壁体欠損 .....	65
2.6.5 シールド管路 .....	68
2.6.6 L型擁壁支持地盤 .....	74
2.6.7 S Tマイクロパイル .....	80
第 3 章 施 工 .....	83
3.1 施工フローチャート .....	83
3.2 施工仕様 .....	84
3.3 施工プラント .....	85
3.4 施工機械仕様 .....	86
3.5 排泥処理 .....	89
第 4 章 施工事例 .....	93
4.1 海外の施工事例 .....	93
4.2 国内の施工事例 .....	109
参考資料 .....	130

## 第1章 総論

### 1.1 G T M工法の呼称

ジオトルネードミキシング工法 (Geo-Tornado Mixing Method、以下G T M工法と呼ぶ) は、高圧噴射攪拌工法に属する地盤改良工法である。

高圧噴射攪拌工法による地盤改良の基本原理は、地盤中に流体を高圧状態で噴射する事によって地山を切削・攪拌し、スライムを地表に排出させるとともに改良材料を圧入することである。原位置で直接的に地盤をセメントスラリーで攪拌混合することにより、対象地盤を連続して均一に改良することができる。

地山の切削、改良材料との攪拌混合、スライムの排出を連続的にスムーズに行うためには、流体に与えられる単位時間当たりの噴射攪拌圧入エネルギーを出来る限り大きくする必要がある。また、単位時間の流体エネルギーは、吐出圧力と吐出流量の積になる。

改良体造成に必要な時間要素を加味すると、改良体長さ 1m 当たりの流体エネルギーは、吐出圧力、吐出流量に造成時間の積となる。このため、吐出圧力が一定の場合、短時間に出来る限り多くの吐出流量を地盤中に流入する事により、スピーディで効率的な改良体造成が可能となる。

単位時間最大エネルギーの概念が、G T M工法呼称の理由である。気象学では、Tornado (トルネード) は、たつまき、旋風、雷雨などと称される局所的な場所に発生する異常気象現象である。

Tornado に巻き込まれた地上の物体は、バラバラに破壊されて空中高く放出される。しかし、Tornado 外側の部分は平穏無事な世界である。短時間に発生しては消滅する気象エネルギーの過剰集中が Tornado の発生原因である事は、周知の事実である。

単位時間最大エネルギーの概念によって地盤中に流入された流体が、Tornado の様に土塊を排除し、施工終了後には流入改良材が固化した安定な地盤が造成されている。しかも、施工中に周辺地盤に与える影響は少ないという現象が Tornado 現象と類似している事から、この工法をジオトルネードミキシング工法 (Geo-Tornado Mixing Method、G T M工法) と名付けるものである。

尚、前述した様にG T M工法は高圧噴射攪拌工法に属するものであるが、単位時間最大エネルギーの概念を可能にした施工システムによって適用可能範囲が拡充している。

## 1.2 改良体造成のメカニズム

改良体の造成は、削孔と造成の 2 つのシステムが同一機械で施工可能である事と二重管ツインノズルによる超高圧噴射が基本である。

### 1.2.1 削孔システム

GTM工法の削孔・造成機械は、ロングマストを装備した自走式で機動性に優れている。また、地盤条件の変化に対応し、ロータリー方式・トップハンマー方式やダウンザホールハンマーを用いた乾式削孔方式も採用することが可能であり、粘性土から転石砂礫層・崖錐層などまで適用地盤の範囲が広い。

図 1.1 は、削孔ツールの例である。先端の削孔ビットは、粘性土、砂質土、玉石と用途に合わせて選択できる。ビット径は、標準削孔で  $\phi 108\sim 127\text{mm}$  であり、ケーシング削孔においては  $\phi 152\sim 187\text{mm}$  程度である。

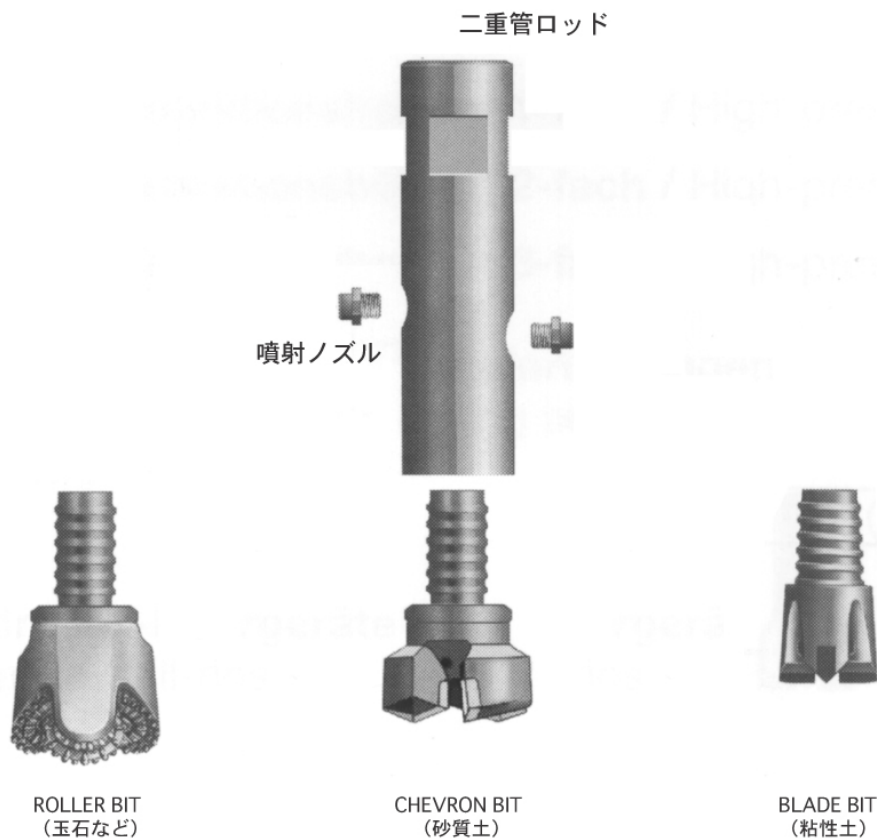


図 1. 1 回転式削孔ツールの例

### 1.2.2 基本造成システム

図 1.2 は、GTM工法の基本造成システムの説明である。改良体造成は、清水の超高压噴射による地盤のプレカット工程と硬化材の超高压噴射による改良体造成工程に区分される。

GTM工法では単位時間最大エネルギーの考えによって施工システムが組立てられている為に、改良材圧入時に土塊をスムーズに地上に排出する事が重要になる。排土をスムーズにする為に、プレカット工程を導入している。プレカット工程では、削孔時に圧縮空気と超高压水を同時に噴射し、改良対象土塊を事前に攪拌すると同時に、土塊の部分的な排土も行う。プレカットでは清水を用いる為に、地盤を切削・攪拌している間の硬化材ロスもなく、排泥処理の効率化が可能となる。所定の深度までプレカットが終了した時点で、造成工程に移行する。造成工程では、プレカット時の超高压水に代えて超高压硬化材を圧縮空気とともに噴射しながらロッドを引上げる。プレカット時の攪拌と部分的な排土によって改良対象ゾーンは十分に緩んでいるので、改良材の圧入圧力によってスムーズに排土が行われるとともに、硬化材と土砂が効率良く攪拌混合される。

さらに、ツインノズルによる2方向超高压噴射により、従来のシングルノズルに比べて施工効率が大幅に向上している。以上の様に、プレカット工程と造成工程の組み合わせが、GTM工法の基本的な改良体造成システムである。

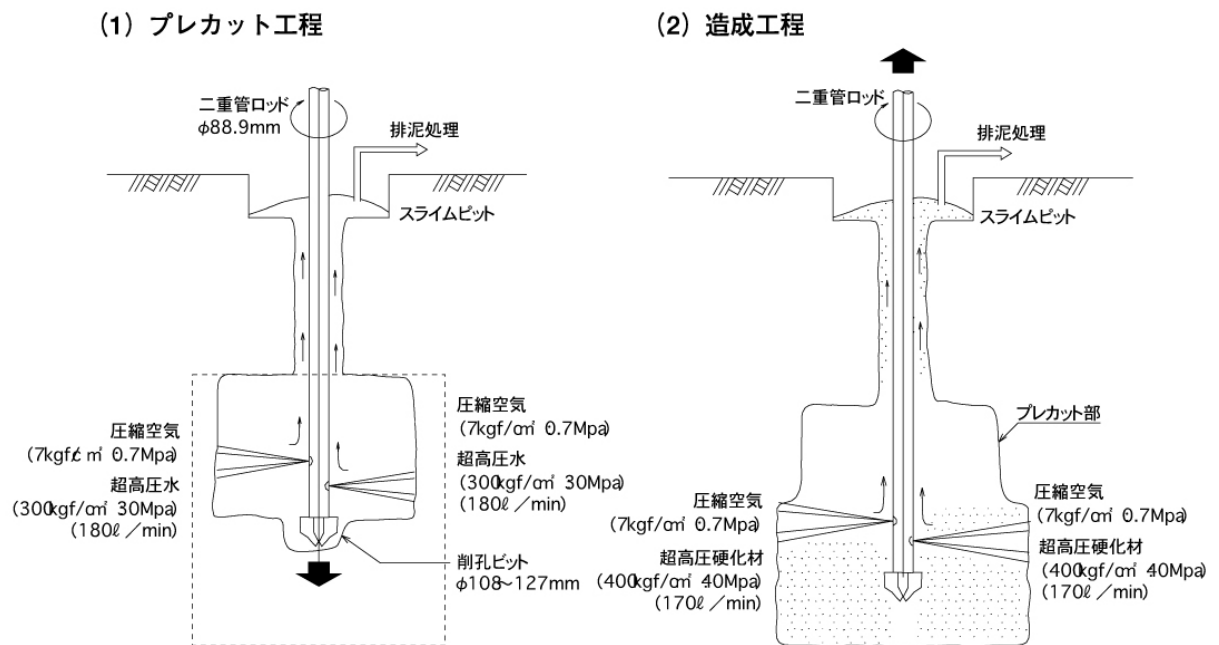


図 1.2 GTM基本造成システム概要

### 1.2.3 流体噴射方式と造成システム

GTM工法は、地盤条件や改良体の目的に応じて、①材料噴射系 (MONO FLUID)、②空気・材料噴射系 (DOUBLE FLUID)、③清水・空気・材料噴射系 (TRIPLE FLUID) の中から最も効率の良い流体噴射方式を選択することが出来る。また、施工条件に応じた噴射エネルギーや改良体造成方式を採用することにより、適用範囲が拡大するとともにスピーディで合理的な施工が可能となる。

GTM工法の基本造成システムは、清水・圧縮空気を噴射し改良部分の地盤を切削攪拌する工程と硬化材・圧縮空気を噴射し改良体を造成する工程の組み合わせおよびツインノズルによる超高圧噴射に特長があり、ジェット噴流体の持つエネルギーを最大限に生かすことで施工効率の改善や改良体の品質向上などを実現した、新しいコンセプトの二重管式高圧噴射攪拌工法である。図 1.3 に海外での施工実績および適用例を示す。

#### (1) 高い強度で改良径の小さい改良体の造成：材料噴射系 (MONO FLUID)

この場合には、プレカット工程を硬化材のみを用いた前進改良方式とする事によって所定の改良が可能となる。現状では、改良体強度  $100\text{kgf/cm}^2$  程度が可能である。

トップハンマー方式での削孔も可能であり、転石砂礫層や崖錐層などでも効率の良い施工が出来る。海外では、改良体強度  $200\text{kgf/cm}^2$  程度の施工実績もあり、基礎地盤の補強・土留壁・円形立坑の強化・橋梁基礎などに適用されている。

#### (2) 地盤が非常に軟弱な土層の改良：空気・材料噴射系 (DOUBLE FLUID)

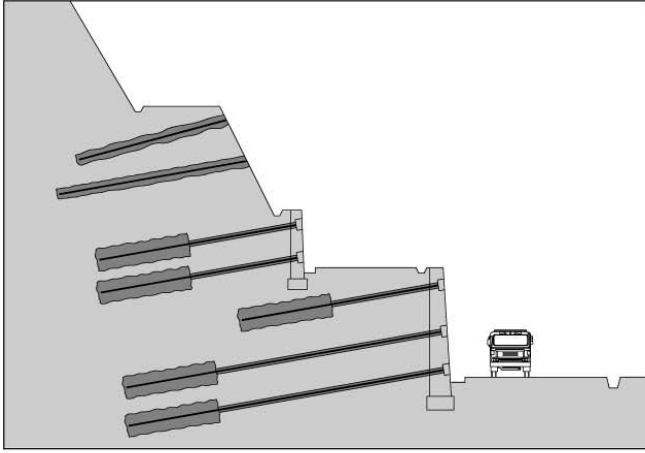
軟弱土質（一軸圧縮強さが  $0.4\text{kgf/cm}^2$  以下の粘性土や  $N < 10$  の砂）の場合には、プレカット時の超高圧水に代えて超高圧硬化材を圧縮空気とともに噴射する前進改良方式を用いる事が出来る。前進改良方式は、プレカットを用いないステップアップ改良法と比較して排土がスムーズになる為に超高圧の地盤内残留が少なくなると同時に、改良体の均一性が向上するなどの利点を有している。また、削孔と改良体造成が同時施工となり、施工速度が向上する。

#### (3) 永久的な支持力確保を目的とした改良：芯材補強方式 (マイクロパイル工法との併用)

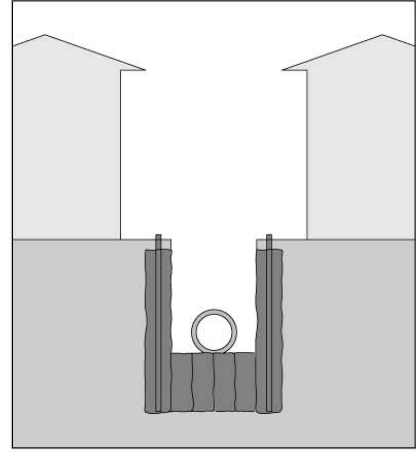
芯材補強方式は、噴射ロッドの外側に芯材管 (マイクロパイル) がある二重管方式で施工し、マイクロパイルを改良体の補強芯材として地盤内に残留する方法である。改良体造成は前進改良方式で行う。また、芯材管には硬化材逆流防止弁があり、ダブルパッカーを用いた限定加圧注入方式で硬化材・急硬剤を圧入することにより改良体を補強する。大礫混じり土 (礫径  $\phi 75 \sim 256\text{mm}$ )・巨礫混じり土 (礫径  $\phi 256\text{mm}$  以上) や崖錐層などで、前進改良方式の施工が出来ない場合には改良体造成後に芯材管を打設する。

大きな支持力・引抜き耐力、曲げ剛性が期待でき、基礎杭や土留壁、のり面補強・抑止杭などにも適用できる。

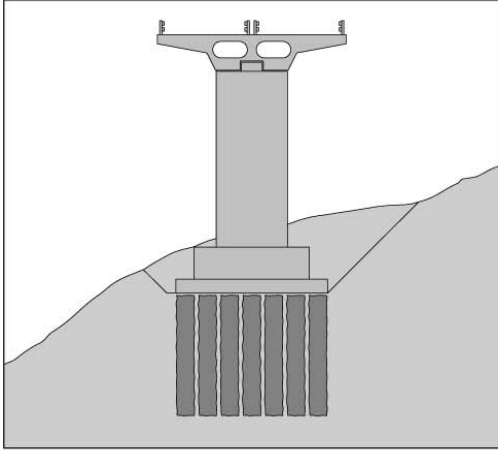
●のり面補強



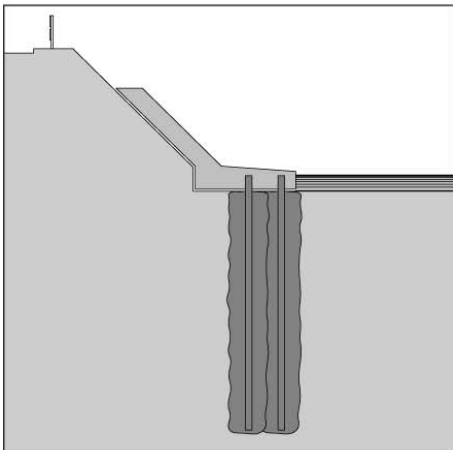
●土留壁



●橋脚基礎



●止水壁



●基礎地盤の補強

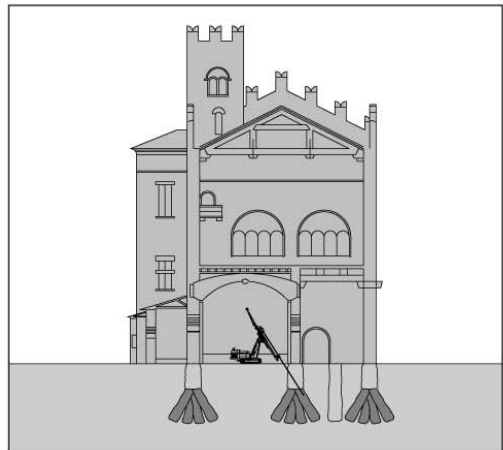


図 1. 3 海外での施工実績・適用例



#### 1.2.4 噴射エネルギーと改良体造成径

図 1.4 は、改良体造成径に影響を与えるパラメーターである。改良体の造成径は、ノズルから地盤中に流入される噴射エネルギー ( $E_i$ ) とロッドに沿って地表へ流出する排泥放出エネルギー ( $E_o$ ) の差分エネルギーの大きさに影響される。

$$EE = E_i - E_o$$

$EE$  = 改良体造成エネルギー

$E_i$  = 噴射エネルギー

$E_o$  = 排泥放出エネルギー

$E_i \approx E_o$  では、噴射エネルギーの大部分が排泥を放出するために費やされる場合で、改良体は造成されない。 $E_o \approx 0$  は閉塞して排泥が発生しない場合であり、噴射エネルギーの大部分は上昇した地盤内圧力を克服するために消費される。また、地盤の隆起や割裂が生じ円柱状の改良体造成は出来なくなる。

噴射エネルギーが一定の場合、改良深度が深くなれば排泥放出エネルギーが増加する為に改良体造成エネルギー  $EE$  は減少するので、改良体径も小さくなる。

標準造成システムと改良体造成エネルギーの関係によれば、プレカット工程と造成工程の分離システムが効率的な改良体の造成を可能にしている事が理解される。プレカット工程時には、排泥は硬化材を含まない為に  $E_o$  が小さくなる。造成工程時にも、プレカットによって土塊は十分に攪乱されているので  $E_o$  が小さくなる。地盤条件にもよるが、プレカット工程時の  $EE$  を適切に選定する事が造成改良体全体の品質向上に重要となる。

噴射エネルギーを構成するパラメーターは、次の通りである。

- ①噴流体（硬化材、清水、空気）の吐出圧力 ( $P$ ) と吐出流量 ( $Q$ )
- ②硬化材の比重 ( $\gamma$ )、粘性 ( $\nu$ )
- ③噴射ノズルの数 ( $N$ ) と口径 ( $\phi$ )
- ④ロッド引上げ速度 ( $V_t$ )

これまでの施工経験と超高压ポンプの性能から決定される項目を考慮すると、改良体造成径に影響する噴射エネルギーは、 $P$ ,  $Q$ ,  $V_t$  の関数となる。

具体的に造成体単位長あたりに与えられる噴射エネルギー ( $E_i$ ) は次式で求められる。

$$E_i = P \times Q \times V_t \quad [\text{MJ/m}] \quad \text{-----} \quad (1.1)$$

ここに、 $P_t$  ; 吐出圧力 [MPa]

$Q_t$  ; 吐出流量 [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]

$V_t$  ; ロッド引上げ速度 [min/m]

(1.1) 式は、プレカット工程時の清水の噴射エネルギー ( $E_{iw}$ ) および、造成工程時の硬化材噴射エネルギー ( $E_{ig}$ ) に適応される。

また、圧縮空気の噴射エネルギー ( $E_{ia}$ ) は TorNaghi の公式により次式で求められる。

$$E_{ia} = 0.35 \times Q_a \times [(10 \times P_a)^{0.29} - 1] \times V_t \quad \text{-----} \quad (1.2)$$

ここに、 $P_a$  ; 圧縮空気吐出圧 [MPa]

$Q_a$  ; 圧縮空気吐出流量 [ $m^3/min$ ]

$V_t$  ; ロッド引上げ速度 [ $min/m$ ]

総噴射エネルギー ( $E_{it}$ ) は、(1.1) 式で求める清水の噴射エネルギー ( $E_{iw}$ ) と硬化材の噴射エネルギー ( $E_{ig}$ ) および (1.2) 式で求める圧縮空気の噴射エネルギー ( $E_{ia}$ ) の総和として求めることができる。すなわち、

$$E_{it} = E_{iw} + E_{ig} + E_{ia} \quad [MJ/m] \quad \text{-----} \quad (1.3)$$

となる。

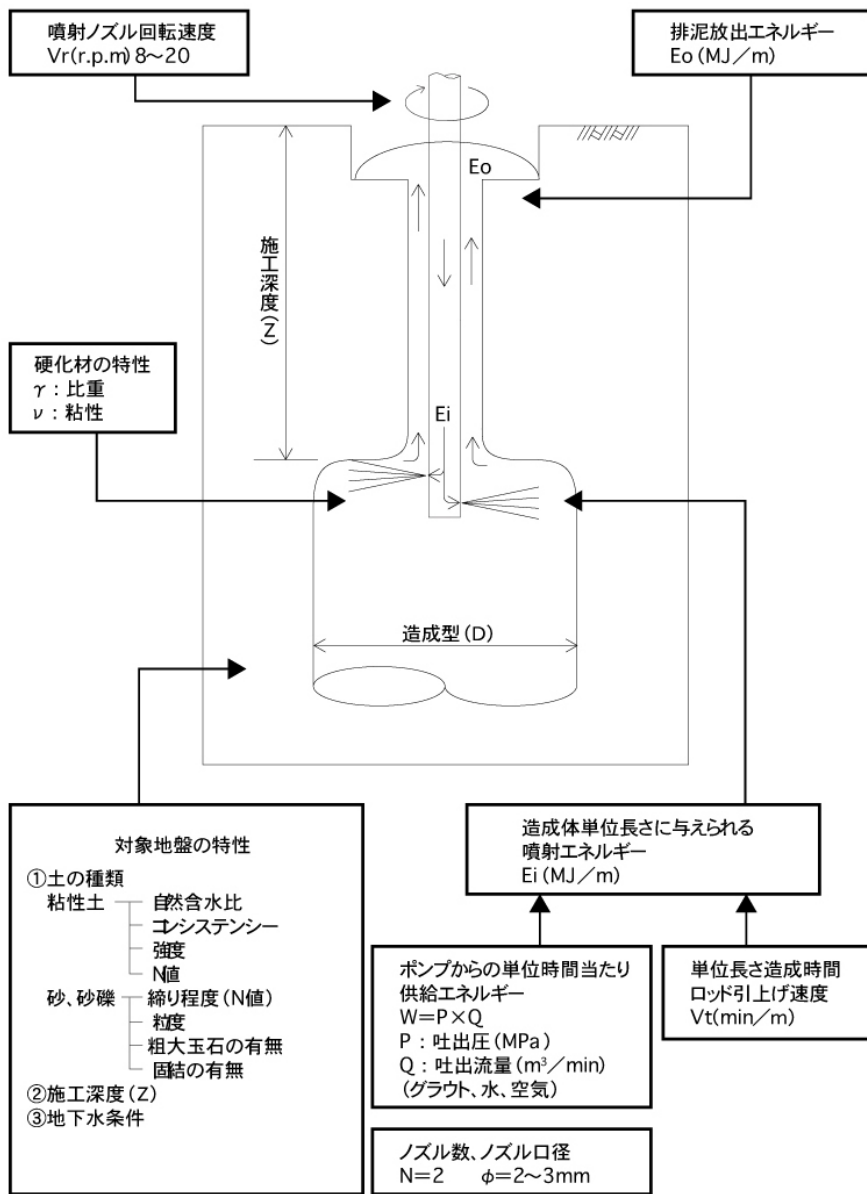
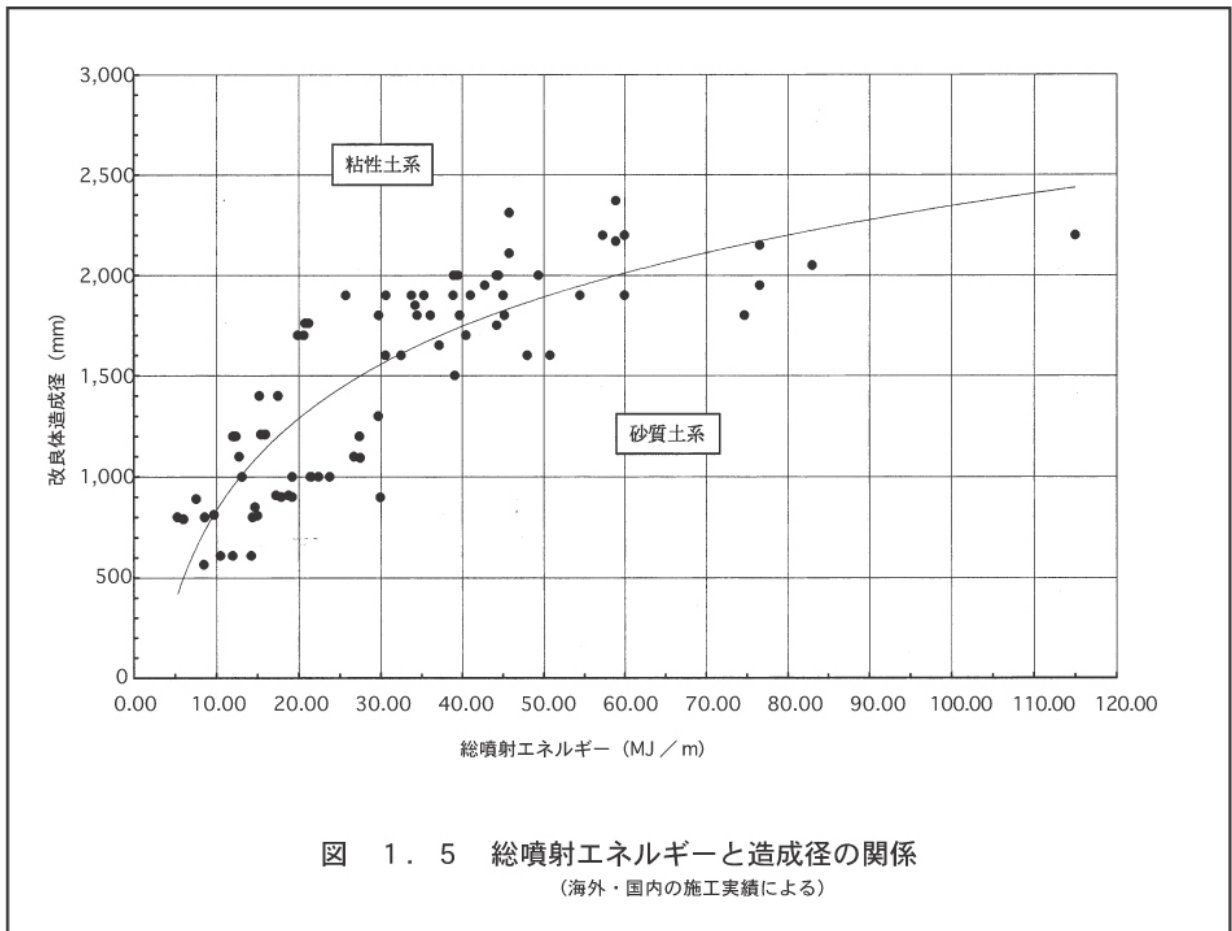


図 1. 4 改良体造成径に影響を与えるパラメーター

図 1.5 は、総噴射エネルギーと造成径の関係である。噴射エネルギーが 50MJ/m までは、造成径は噴射エネルギーとともに増加する。表 1.1 に噴射エネルギー比較表を、図 1.6 に施工経験に基づく噴流方式と造成径の関係を示す。また、図 1.7～図 1.9 は、それぞれ清水、硬化材、圧縮空気の噴射エネルギーについて、吐出圧 (P)、流量 (Q) および引上げ速度 (Vt) の具体的数値を用いて示したものである。各図から求められる噴射エネルギーの総和が造成径に影響を与える総噴射エネルギーである。



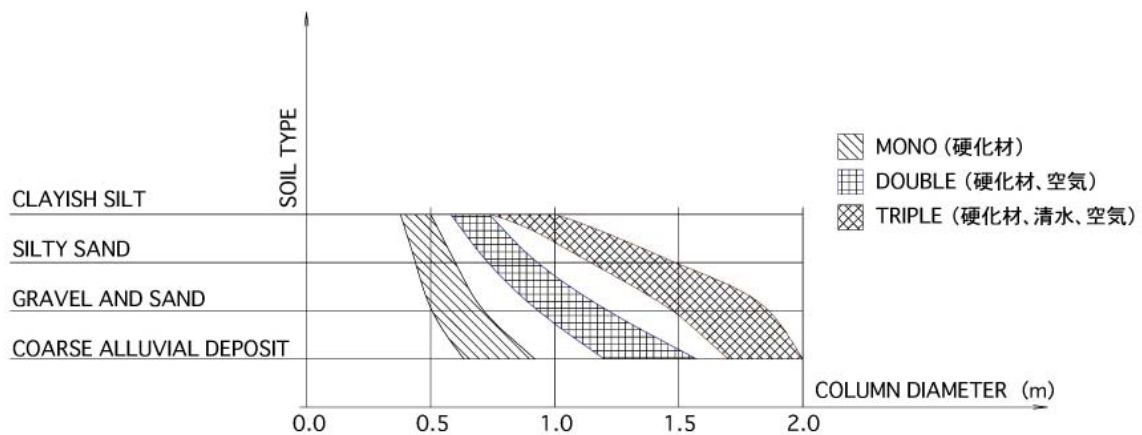


図 1. 6 地盤条件と造成径  
(TREVI spa資料による。一部加筆)

表 1. 1 噴射エネルギー比較表

比較項目		噴流方式		
		MONO	DOUBLE	TRIPLE
硬化材	吐出圧力P Mpa	40	40	40
	吐出流量Q m <sup>3</sup> /min	0.14	0.17	0.17
	エネルギー MJ/min	5.6	6.8	6.8
空気	吐出圧力P Mpa	—	0.7	0.7
	吐出流量Q m <sup>3</sup> /min	—	6	6
	エネルギー MJ/min	—	1.59	1.59
清水 (プレカット)	吐出圧力P Mpa	—	—	30
	吐出流量Q m <sup>3</sup> /min	—	—	0.18
	エネルギー MJ/min	—	—	5.4
噴射時間 (min/m)	改良体1m当りの 標準施工時間 (min)	4	6	3+7
	総噴射エネルギー (MJ/m)	22.4	50.34	79.7
備考	改良体の標準造成径 (cm)	80	160	200

注 1) MONO は材料噴射系、DOUBLE は空気・材料噴射系、TRIPLE は水・空気・材料噴射系を示す。

注 2) TRIPLE 方式の施工時間は、(清水+空気：プレカット) 噴射を 3 分、(硬化材+空気：造成)

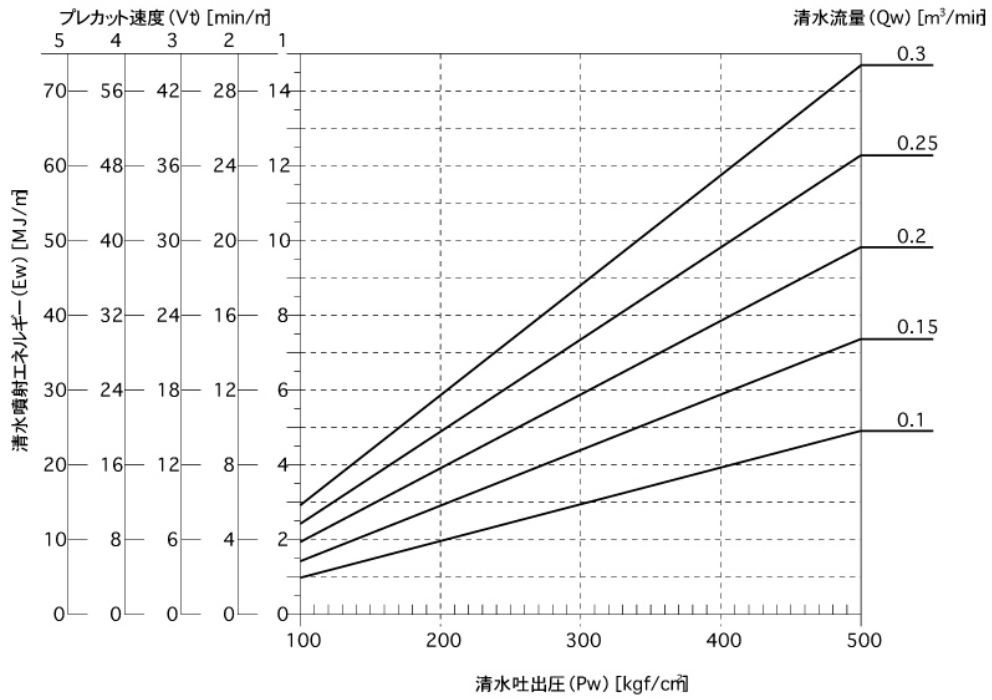


図 1. 7 清水噴射エネルギー (E<sub>iw</sub>)

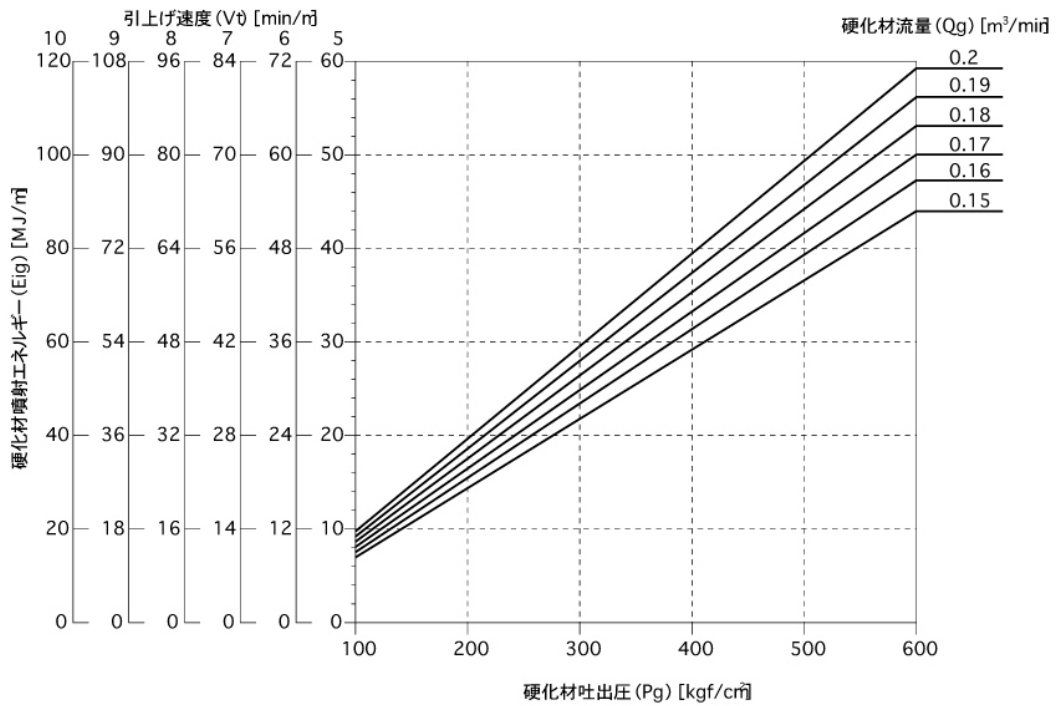


図 1. 8 硬化材噴射エネルギー (E<sub>ig</sub>)

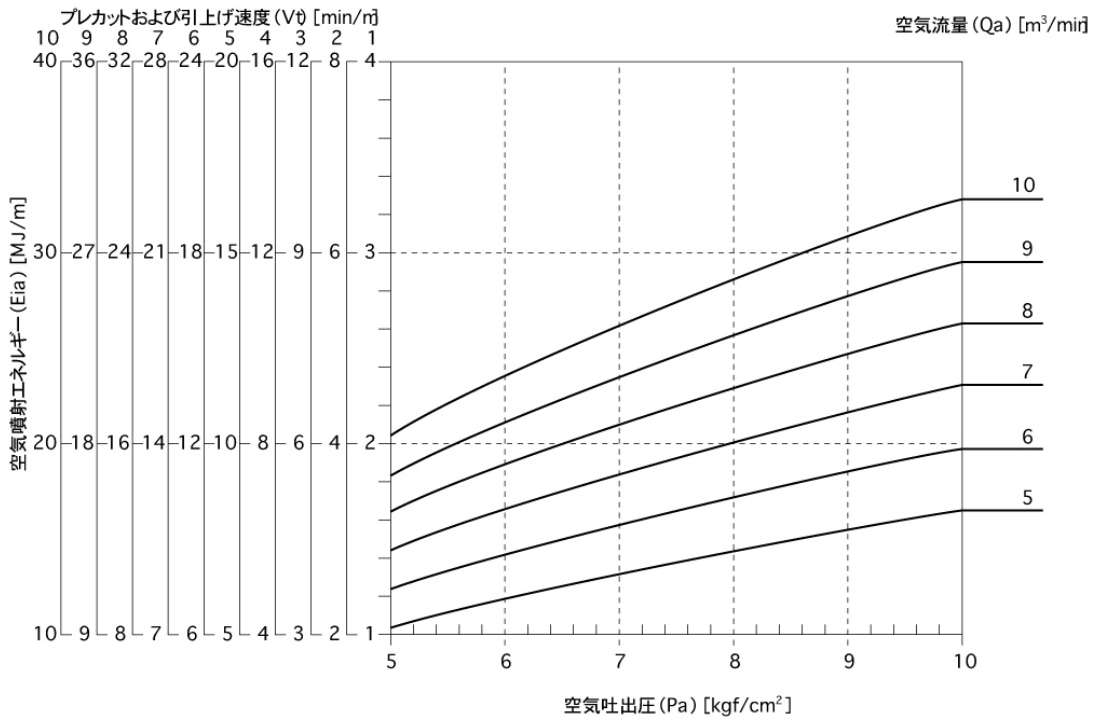
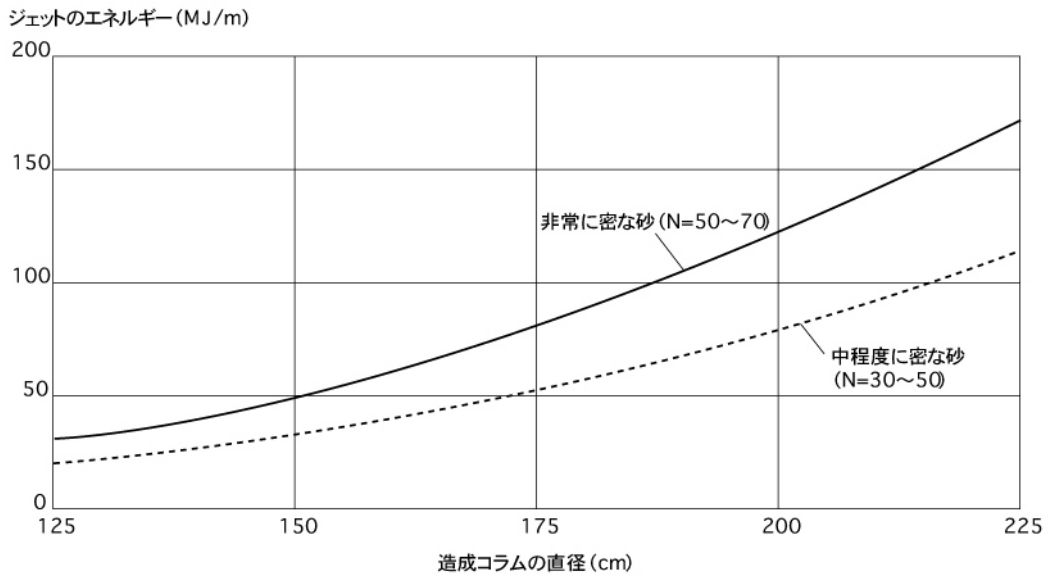


図 1.9 圧縮空気噴射エネルギー (Eia)



参考図 二重管ツインノズルによる噴射エネルギーと造成径の関係  
 (カイロ地下鉄での施工事例、施工深度 GL-25m 程度)

参考文献 ジェオフロンテ研究会；

カイロ地下鉄における大規模なジェットグラウチング工事

海外トンネル事情 (1999年版) P149-159

### 1.2.5 硬化材添加量と改良体強度

改良体の一軸圧縮強さは対象土の性質（粒度、含水比、有機物含有量など）や改良材の種類、配合条件、添加量、養生条件などによって異なる。施工実績による一軸圧縮強さと普通ポルトランドセメント添加量の関係を、図 1.10、図 1.11 に示す。

一般に、セメント添加量が多いほど一軸圧縮強さが大きくなり、改良の直後から養生日数の増加に伴って強度が増加する。セメントによる改良効果は砂質土系の土がもっとも大きく、シルト、粘性土、有機質土の順で低下していく傾向にある。

GTM工法では、総噴射エネルギーと改良体造成径との関係および海外での同種工法の施工実績に基づき、施工速度・経済性・改良体の品質を総合的に検討し、改良体 1m<sup>3</sup> 当たりの標準セメント添加量を決定している。表 1.2 に硬化材（普通ポルトランドセメント）添加量と改良体強度の関係を示す。

表 1.2 硬化材添加量と改良体強度

土 質	改 良 体 強 度 qu	セ メ ン ト 添 加 (kg/m <sup>3</sup> )
砂 礫 ・ 砂 質 土	30kgf/cm <sup>2</sup> ; 3N/mm <sup>2</sup>	350以上
粘 性 土	10kgf/cm <sup>2</sup> ; 1N/mm <sup>2</sup>	350以上
砂 礫 ・ 砂 質 土	10kgf/cm <sup>2</sup> ; 1N/mm <sup>2</sup>	200以上

注 1) 硬化材添加量は、硬化材の配合・吐出流量・引上げ速度によって変化するため、地盤条件、改良目的などを十分検討した上で決定しなければならない。

注 2) 大礫混じり土（礫径 75～256mm）、巨礫混じり土（礫径 256mm 以上）および土質条件の変化が激しい場合などは改良仕様を十分検討の上、試験施工によって添加量を定める必要がある。

注 3) 高含水の土や高有機質土については、室内配合実験などを行い硬化材の種類・配合、添加量を定める必要がある。

注 4) 被圧帯水層など、初期強度の発現を高める必要がある場合には、試験施工などを行い早強セメントや急硬材の使用を検討する必要がある。

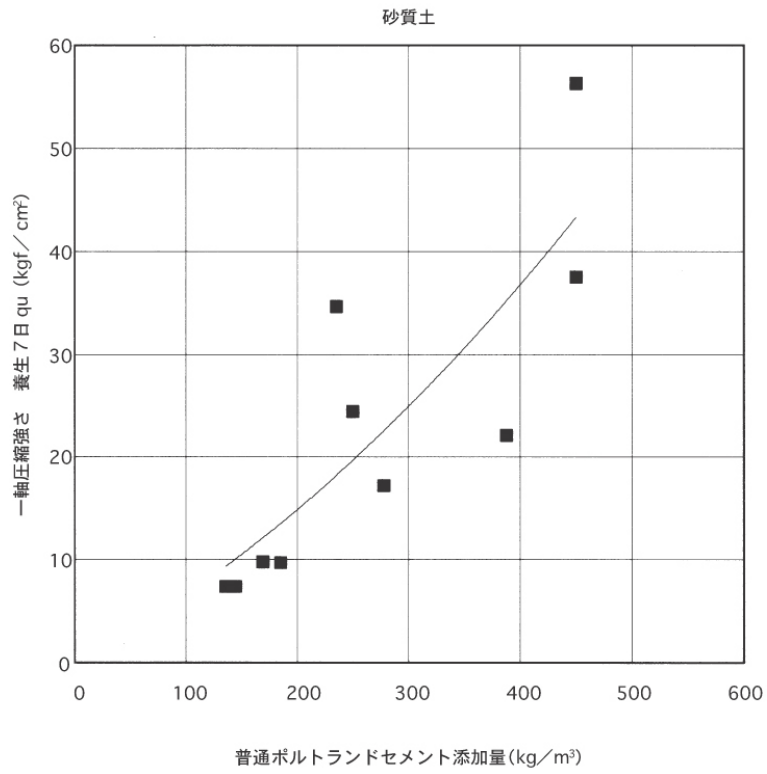


図 1.10 砂質土添加量

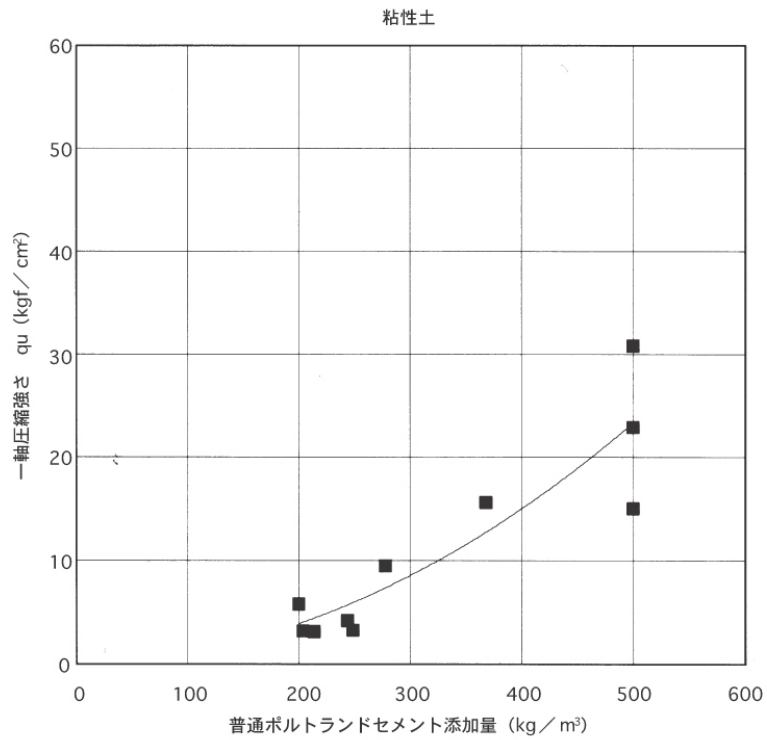


図 1.11 粘性土添加量



### 1.3 工法の特徴

GTM工法は、施工条件・使用目的に応じて、最も効率の良いジェット噴流方式を選定出来るため、経済的で合理的な施工が可能となり、改良体の造成方式を選定することが出来る。

また、地盤条件に応じた噴射エネルギーおよび硬化材の添加量を選定する事により、変化の激しい地盤にも柔軟に対応し、安定した造成径・強度を確保することが出来る。

表 1.3 に造成方式一覧表を、図 1.12～図 1.14 に施工順序図を示す。

表 1.3 GTM造成方式一覧

造成方式	削 孔	改良体造成	適用対象
プレカット方式	地盤条件に合った削孔ビットを自由に選択できる 削孔ビットの外径はφ108～127mm	プレカット工程と改良体造成工程に区分される。 プレカット工程では、圧縮空気(7kg f/cm <sup>2</sup> 、4～8m <sup>3</sup> /min)と清水(300kg f/cm <sup>2</sup> 、180ℓ/min)を用いる。プレカット速度は、1～3min/mである。 造成工程では、圧縮空気(7kg f/cm <sup>2</sup> 、4～8m <sup>3</sup> /min)と硬化材(400kg f/cm <sup>2</sup> 、170ℓ/min)を用いる。造成速度は、7min/mである。	すべての地盤
前進改良方式		プレカット工程時に改良体造成を同時に行うものである。 軟弱土質(一軸圧縮強さ0.4kg f/cm <sup>2</sup> 以下の粘性土やN<10の砂)の場合には、圧縮空気と硬化材を用いて削孔排土と改良体造成を同時に行う。 改良体径を60～80cm と小さく、改良体強度を100kg f/cm <sup>2</sup> とする場合には、硬化材のみを使用する。 吐出圧力、吐出量、改良速度については噴射エネルギーの算出に基づいて定める。	特に軟弱土質で、プレカット行程がなくとも排土がスムーズに生ずる場合や、高強度改良体(qu=100kg f/cm <sup>2</sup> )を目標とする場合。
芯材補強方式		芯材管を改良体中心に残置する方法であるから、前進改良方式の場合に適用される。 プレカット工程が必要な地盤の場合には、プレカットを実施後、再度芯材管残置改良を行えばよい。	永久的な支持力確保を目的とする場合

- ①据付  
造成機を所定の施工位置に据付ける。
- ②削孔  
地質条件に応じたビットにより、造成開始深度まで削孔する。この時、削孔水は、ビットから下向きに吐出される。
- ③プレカット  
削孔水圧を300kg f/cm<sup>2</sup>に設定、オートバルブの作動により削孔水は、ノズルから噴射される。計画深度まで地盤をプレカットする。
- ④GTM施工  
削孔水を硬化材に切り替え、所定の引き上げ速度及びノズル回転速度によりパイプルを作成する。
- ⑤ロッド引き抜き洗浄  
造成後、二重管ロッドを地上まで引き抜き、管内を清水により洗浄する。

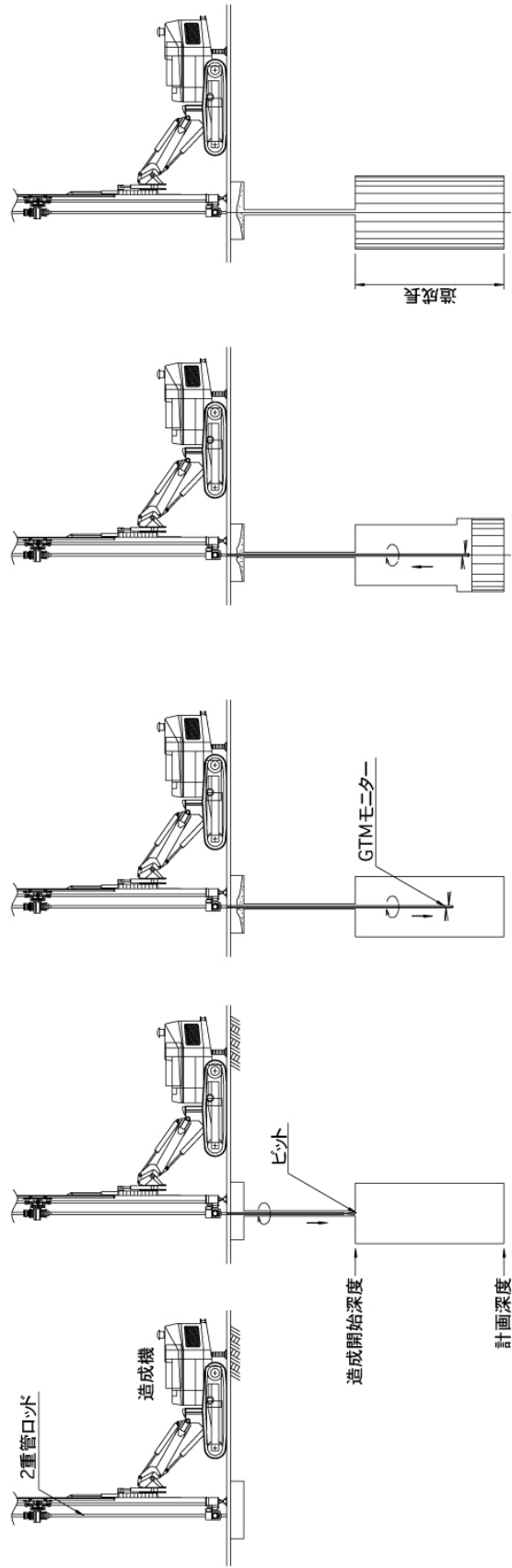
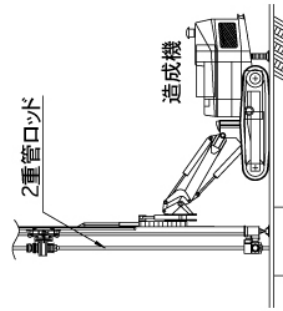
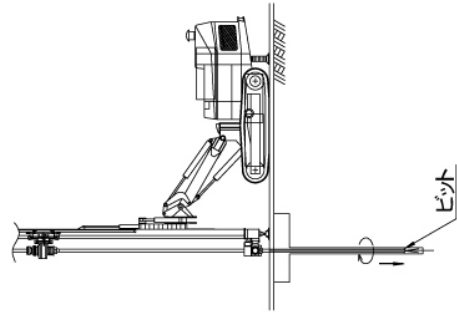


図 1. 1 2 プレカット方式の施工順序図

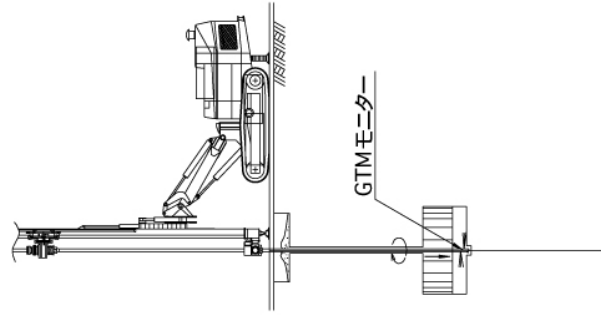
①据付  
 造成機を所定の施工位置に据付ける。



②削孔  
 地質条件に応じたビットにより、造成開始深度まで削孔する。この時、削孔水は、ビットから下向きに吐出される。



③GTM施工  
 削孔水を硬化材に切り替え、所定の打込み速度及びノズル回転速度によりパイプル造成する。  
 (削孔と造成を同時に行う)



④ロッド引き抜き洗浄  
 造成後、二重管ロッドを地上まで引き抜き、管内を清水により洗浄する。

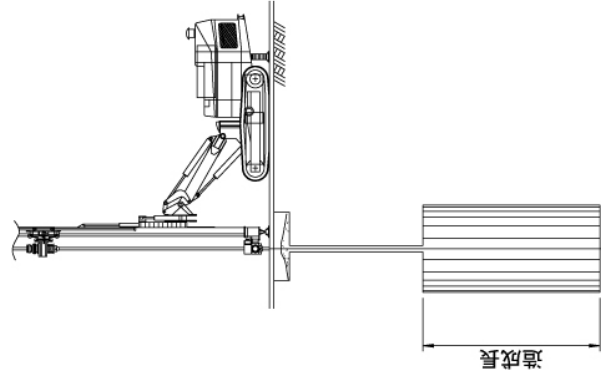


図 1. 1. 3 前進改良方式の施工順序図

⑤二次注入  
芯材管にダブルパッカーを挿入し、逆止弁付き注入孔から、二次注入を行う。

④ロッド引き抜き洗浄  
造成後、高圧噴射管を地上まで引き抜き、管内を清水により洗浄する。芯材管は、パイル補強芯材として残置される。

③GTM施工  
削孔水を硬化材に切り替え、ノズルから高圧噴射しながら所定の施工速度及びノズル回転速度で噴射管と芯材管を同時に回転圧入し、芯材補強されたパイルを造成する。

②削孔  
芯材管と高圧噴射管を同時に回転圧入し、造成開始深度まで削孔する。  
この時、削孔水は、ビットから下向きに吐出される。

①据付  
造成機を所定の施工位置に据付ける。

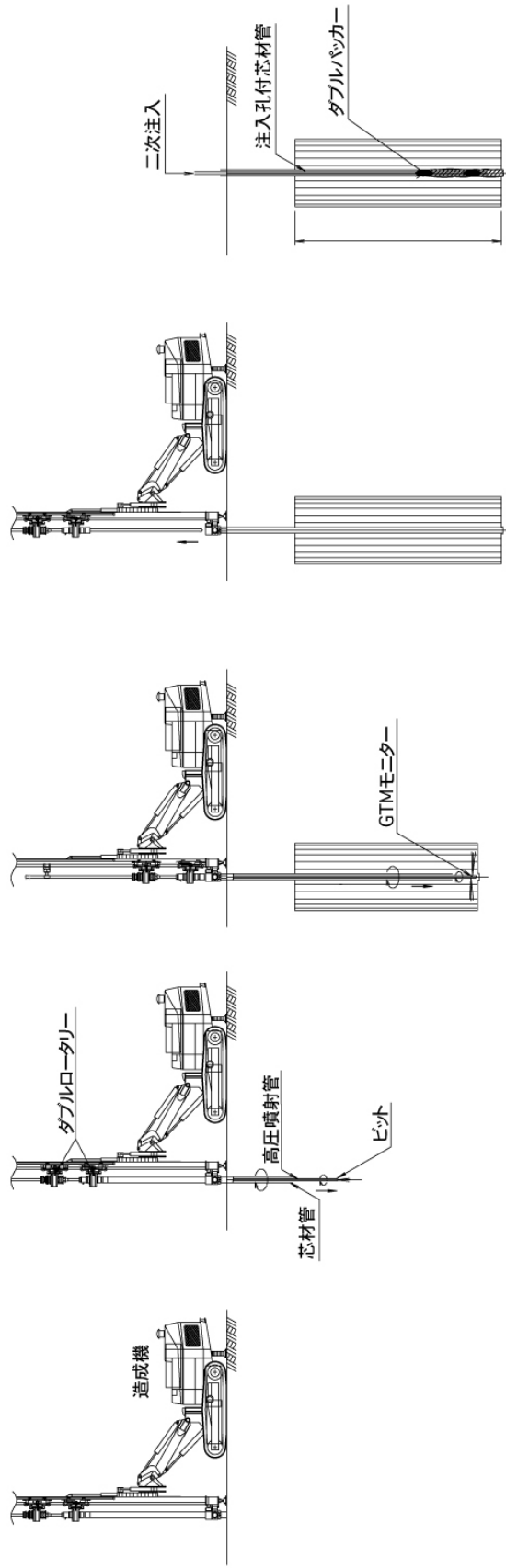


図 1. 1 4 芯材補強方式の施工順序図

## 1.4 適用

G T M工法の適用について、図示する。

図 1.15：立坑底盤の安定化

図 1.16：掘削山留め工

図 1.17：管路シールド工

図 1.18：支持地盤造成

図 1.19：その他の適用

### (1) 立坑底盤の安定化 (図 1.15)

立坑底盤土に作用する地下水の揚圧力、及び、粘性土地盤でのヒービングに対して底盤部分の安定を確保する為の改良である。立坑山留め壁の種類（鋼矢板、SMW、地中連続壁など）と地盤条件によって、改良範囲は壁体内改良と底盤地山改良の2つがある。底盤地山改良の施工は、山留め掘削内から行うのが原則である。

### (2) 掘削山留め工 (図 1.16)

小規模円形立坑山留め壁、親杭横矢板山留め壁、山留め壁本体欠損部分補完壁体、及び、先行地中梁などに利用できる。

山留め壁は、砂礫、砂、粘土の様に複数の土質からなる土層に対して実施されるのが一般的である。

### (3) 管路シールド工 (図 1.17)

管路シールド工に関する高圧噴射攪拌工法の適用例は数多い。発進防護や到達防護は、全断面改良で実施される事が多い。全断面改良の設計法については、小規模円形立坑山留め壁（図 1.16 (1)）との関連から、第2章 2.6 の設計例で詳述する。

### (4) 支持地盤造成 (図 1.18)

重力式擁壁基礎、河川構造物基礎、橋梁下部工基礎、鉄塔基礎、などが支持地盤造成の典型例である。

支持地盤造成は、永久改良が条件となる。芯材管補強によって効果的な支持地盤造成が可能となる。

(5) その他の適用 (図 1.19)

①既設立坑を利用した地下掘削

既設立坑を利用して地下掘削を計画する場合、掘削地山の改良が効果的であれば、掘削は容易になる。

②軟弱地盤橋梁基礎耐震補強

耐震補強を目的とした地盤改良では、周辺の地盤が液状化しても既設基礎構造物の側方移動を拘束できる様に改良体の強度と連続性を確保しなければならない。

③浅層地下構造物液状化発生地盤修復

地下式処理場やマンホールなど比較的浅い液状化発生地盤の修復改良を行うものである。液状化防止改良工としても有効である。

④地下遮水壁による地下水利用の向上

削孔能力と噴射エネルギーの大きい事が、GTM工法の特徴である。貯水能力の大きな扇状地砂礫地盤に遮水壁を造成して地下水面を上昇させ、地下水利用の効率化を目的とするものである。

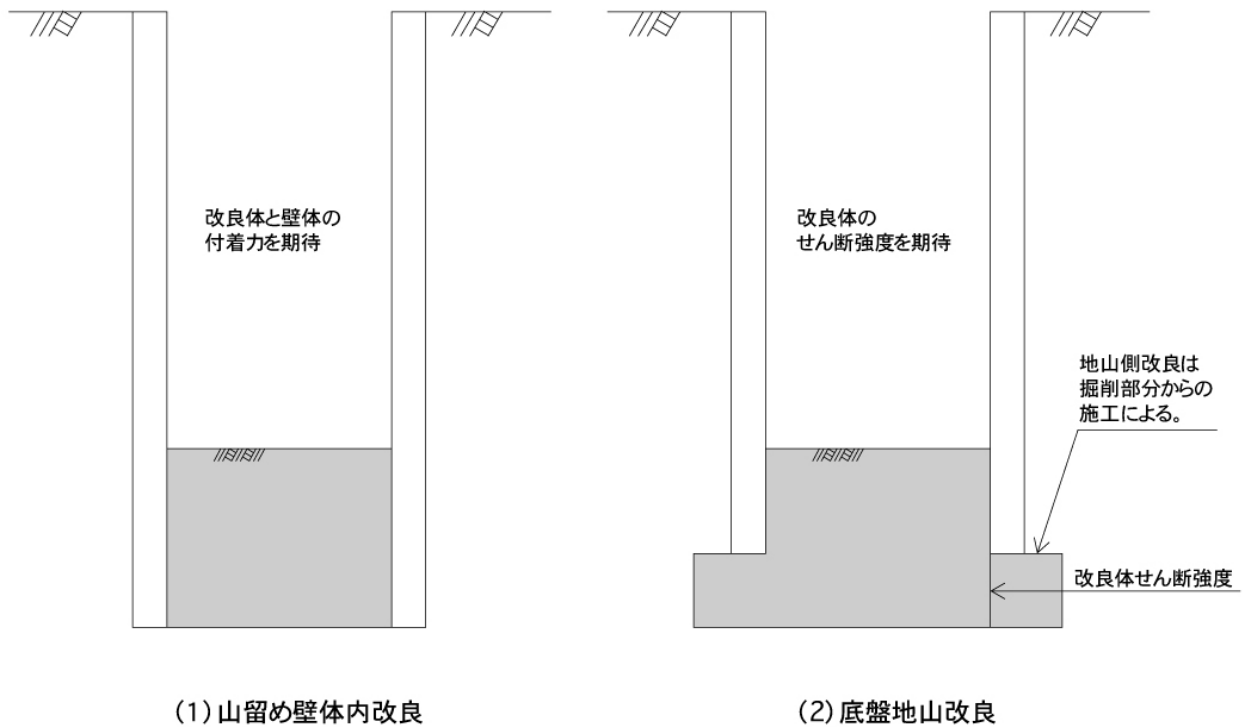
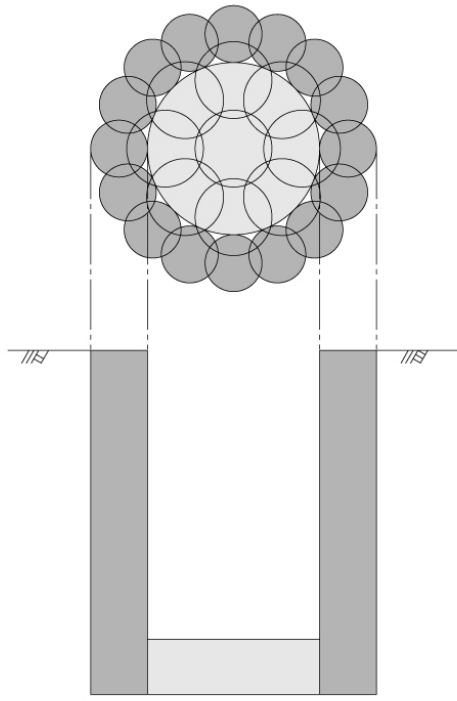
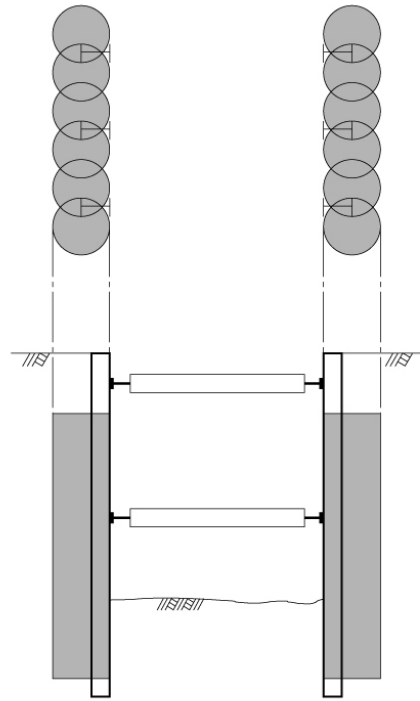


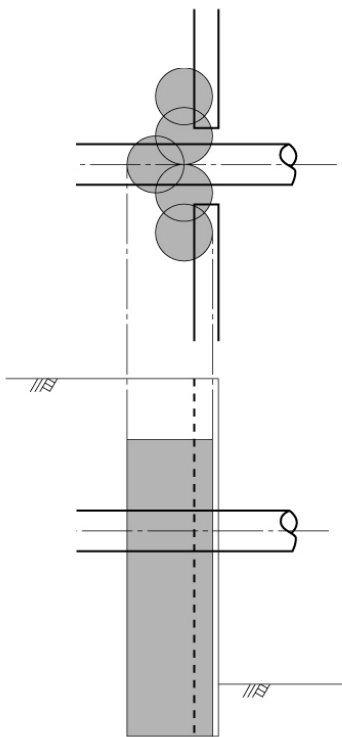
図 1.15 立坑底盤の安定化



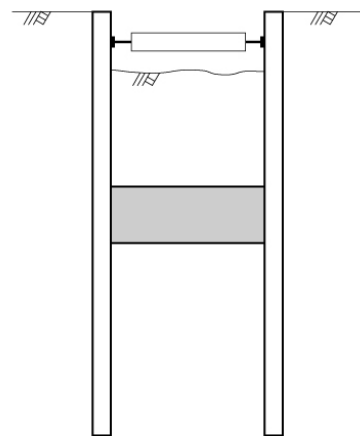
(1) 小型模円形立坑山留め壁  
(表面支保はライナープレート)



(2) 親杭横矢板山留め壁



(3) 山留め壁本体欠損部分  
補完壁体



(4) 先行地中梁

図 1.16 掘削山留め工

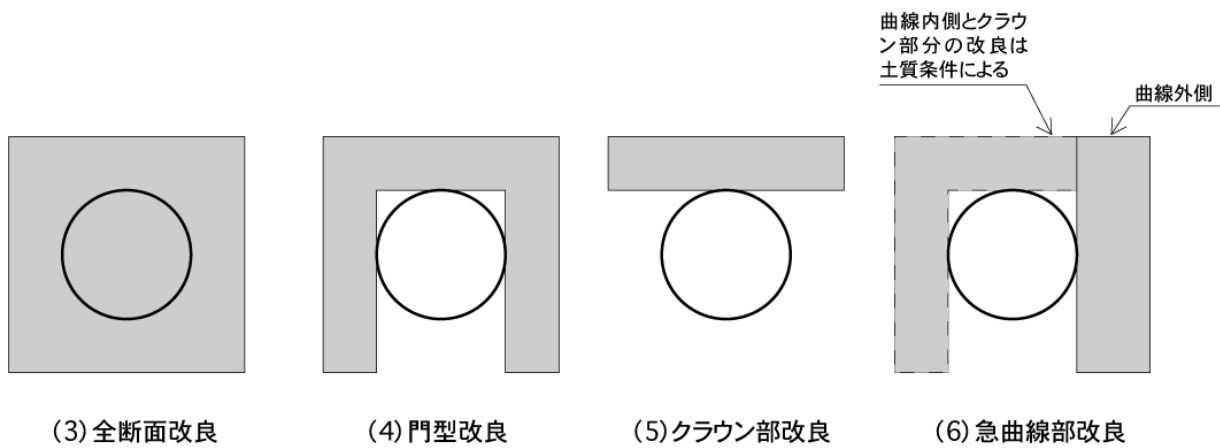
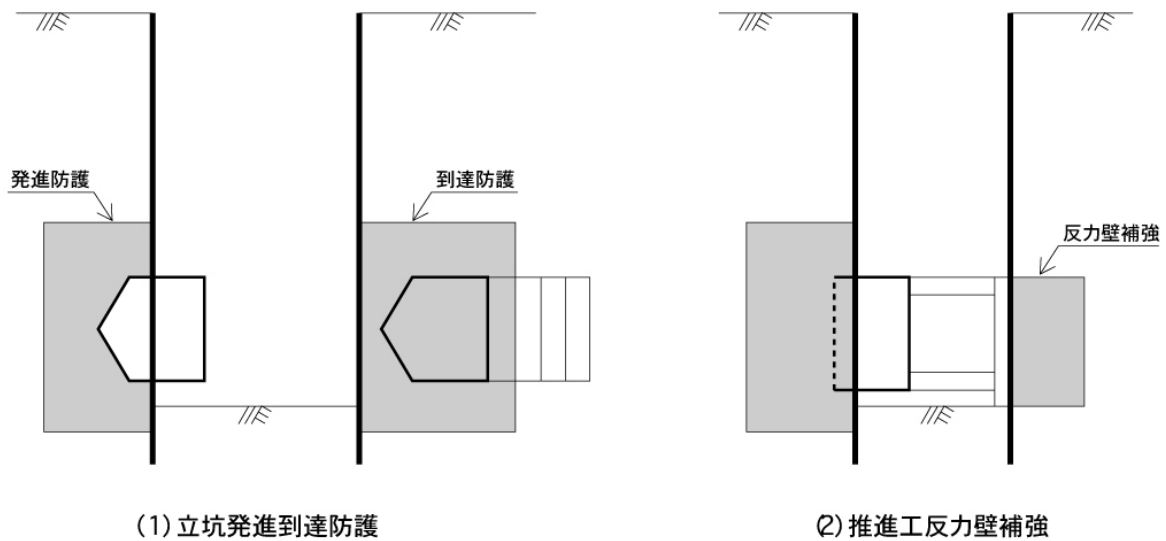
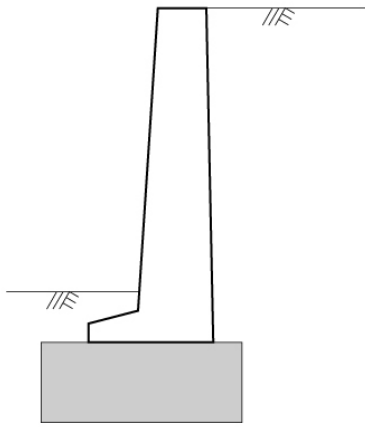
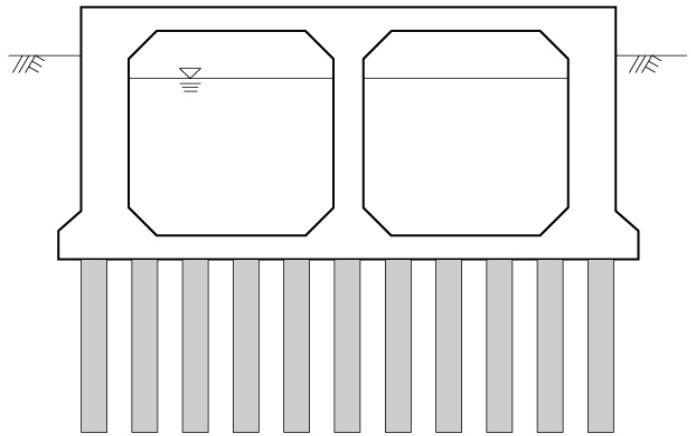


図 1. 17 管路シールド工

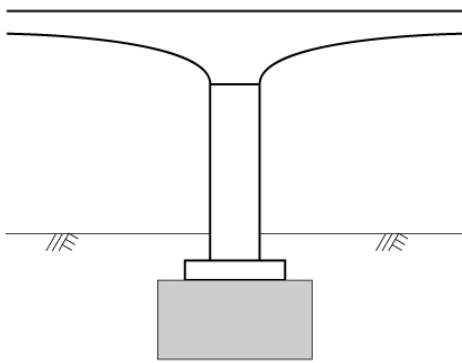




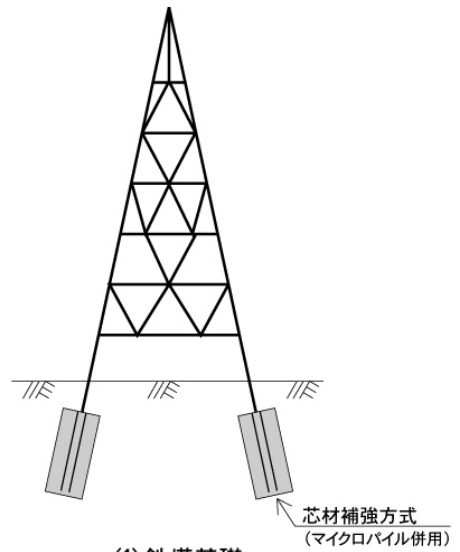
(1) 重力式擁壁基礎



(2) 河川構造物基礎

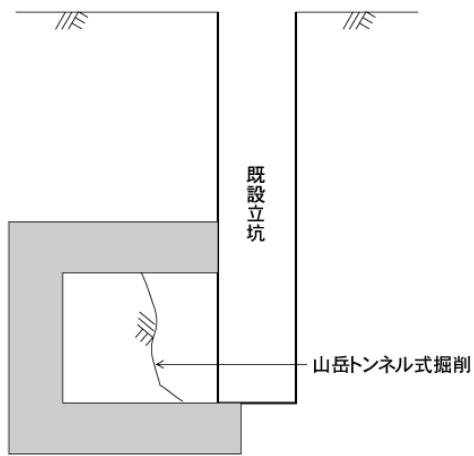


(3) 橋梁下部工基礎

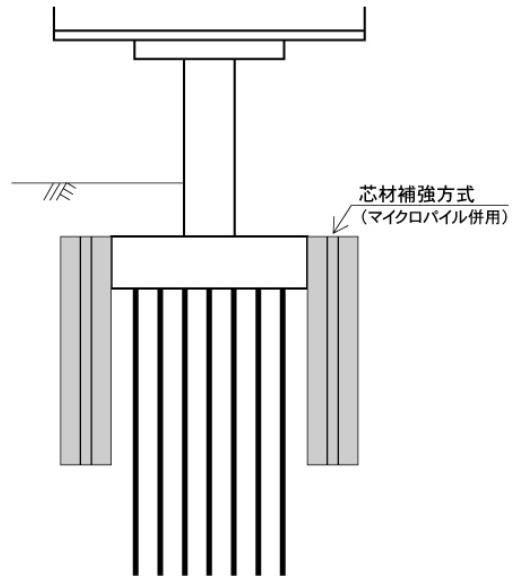


(4) 鉄塔基礎

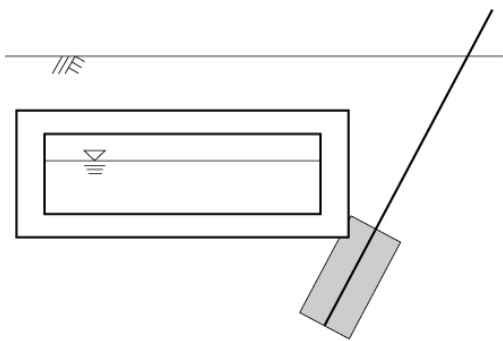
図 1. 18 支持地盤造成



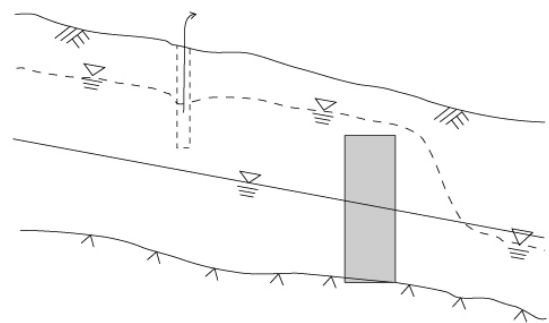
(1) 既設立坑を利用した地下掘削



(2) 軟弱地盤橋梁基礎耐震補強



(3) 浅層地下構造物 (地下式処理場)  
液状化発生地盤修復



(4) 地下遮水壁による地下水利用の向上

図 1. 19 その他の適用

## 1.5 工法発展の為の課題

単位時間最大噴射エネルギー、プレカット工程と造成工程の組み合わせなどによる改良体造成のシステム化が、GTM工法の特徴である。工法発展の為の技術課題を挙げれば、次の通りである。

- ①噴射エネルギーと改良体造成径の関係
- ②硬化材添加量と改良体強度の関係
- ③造成改良体の接合部分の力学的評価
- ④芯材補強効果の評価
- ⑤GTM施工中の近隣地盤に対する影響
- ⑥排泥処理の合理化

改良体造成径は、図 1.4 より噴射エネルギーの関数である事がわかっている。式 (1.1) の定式化と土質毎の改良体造成径の関係についてのデータを蓄積整理する事によって、課題①②の正確性が向上する。

課題③の接合部分の力学的評価は、現在の所、不明確である。山留め壁体工、支持地盤造成、基礎の耐震補強、地下遮水壁などに広範囲に適用する場合には、定量的に明確にしなければならない課題である。

課題④は、改良体と補強芯材の力学的関連性が明確になれば、既往設計手法によって定量的評価は可能である。しかし、GTM工法の広範囲な適用を指向するならば、課題③と同様に実証実験などによる設計法の確認が必要である。

課題⑤の近隣地盤に対する影響は、プレカット工程の導入によって確実に低減される。具体的計測によって、近接施工の影響を定量的に把握する事が都市土木での適用範囲の拡大に役立つ。

課題⑥の排泥処理は、改良体造成がプレカット工程と造成工程に区分される事によって、処理効率が改善している。また、スライムに含まれる砂礫分の分離処理方法やスライムの有効利用方法などにより、排泥処理量をより低減できよう。