

遠心力吹付け工法

技 術 資 料

積 算 資 料

施 工 実 績

令和8年

遠心力吹付け工法研究会

はじめに

山岳地に建設される橋梁や送電鉄塔の基礎は、傾斜地や、狭い場所で施工することが多く、大型機械や材料の搬入が難しいため、簡易な機械や材料で、主に人力により施工する深礎工法が採用されています。

この深礎工法は、近年の作業員の高齢化対策、施工の効率化や作業環境改善の要求から、各種の機械化工法の開発導入が進められていますが、土留め工は人力による作業が主流でした。

この土留め工は、鋼製ライナープレートを坑内に吊り下ろし、人力でボルト接合して組み立てる方法が一般的であり、手作業による苦渋・危険作業を伴っていました。また、吹付けコンクリート工法を用いる方法も採用されていますが、粉じんの発生など作業環境上の問題がありました。

遠心力吹付け工法は、新しく開発された遠心力吹付け機でモルタルを直接地山に吹き付けて土留めを形成します。本工法は、土留め工における危険・苦渋作業などの問題点を解決するとともに、品質や作業環境の向上が図れ、さらに杭周面のせん断抵抗を考慮できることによりコスト縮減が図れる機械化工法として注目されています。

遠心力吹付け工法は、場所打ち杭工法の一つである深礎工法の土留め工への適用が主体であることから、本技術資料では、杭の施工を念頭に記述しています。このため、立坑、地すべり抑止杭等への適用については、その構造物の特性を考慮し、本技術資料を参考にして計画を策定していただけると幸いです。

本書は、令和8年に一部修正・加筆を行い改訂版として発刊いたしました。

令和8年1月

遠心力吹付け工法研究会

お知らせ

本技術資料・積算資料・施工実績につきましては、本研究会ホームページに掲載しております。
ホームページ(<http://enshinryoku.wda.jp/>)をご利用いただきますようお願い申し上げます。

技術資料

も く じ

1. 工法概要	6. 品質管理
1. 1 遠心力吹付け工法 1	6. 1 寸法管理 18
1. 2 遠心力吹付け工法の原理 2	6. 2 吹付け厚管理 20
1. 3 システムの構成 2	6. 3 出来形管理 21
1. 4 遠心力吹付け工法の特徴 4	6. 4 強度管理 22
2. 適用範囲	7. 施工管理
2. 1 適用する深礎規模 5	7. 1 目視観察 24
2. 2 地質条件 5	7. 2 粉じん対策 26
2. 3 気象条件 5	7. 3 湧水対策 26
3. 遠心力吹付け工法による土留めの考え方と設計	7. 4 養生 27
3. 1 モルタルライニング土留めの作用効果 7	8. 安全管理
3. 2 モルタルライニング土留めの設計 7	8. 1 掘削高さ 28
4. 吹付け材料の配合	8. 2 急結剤の取り扱い 28
4. 1 モルタルの配合 11	8. 3 坑内作業安全管理 29
4. 2 急結剤 11	9. 機械
4. 3 混和剤 12	9. 1 遠心力吹付け機本体 30
4. 4 モルタルのワーカビリティ 12	9. 2 運転制御ユニット 31
5. 施工方法	10. 各種資料
5. 1 施工計画 13	10. 1 モルタルライニング土留めの設計例 33
5. 2 施工手順 14	10. 2 遠心力吹付け工法 Q&A 35
5. 3 地質調査 17	

1. 工法概要

1.1 遠心力吹付け工法

遠心力吹付け工法は、深礎の土留め工において、遠心力吹付け機のインペラーから遠心力でモルタルを水平に投射し、地山にモルタルを吹き付けることで、モルタルライニング土留めを形成する工法である。

本工法は従来の吹付けコンクリート工法と異なり、圧縮空気を用いないために粉じんが少なく、作業空間の狭い深礎における土留めの形成に適した方法である。

標準的な施工概要を図1.1に示す。

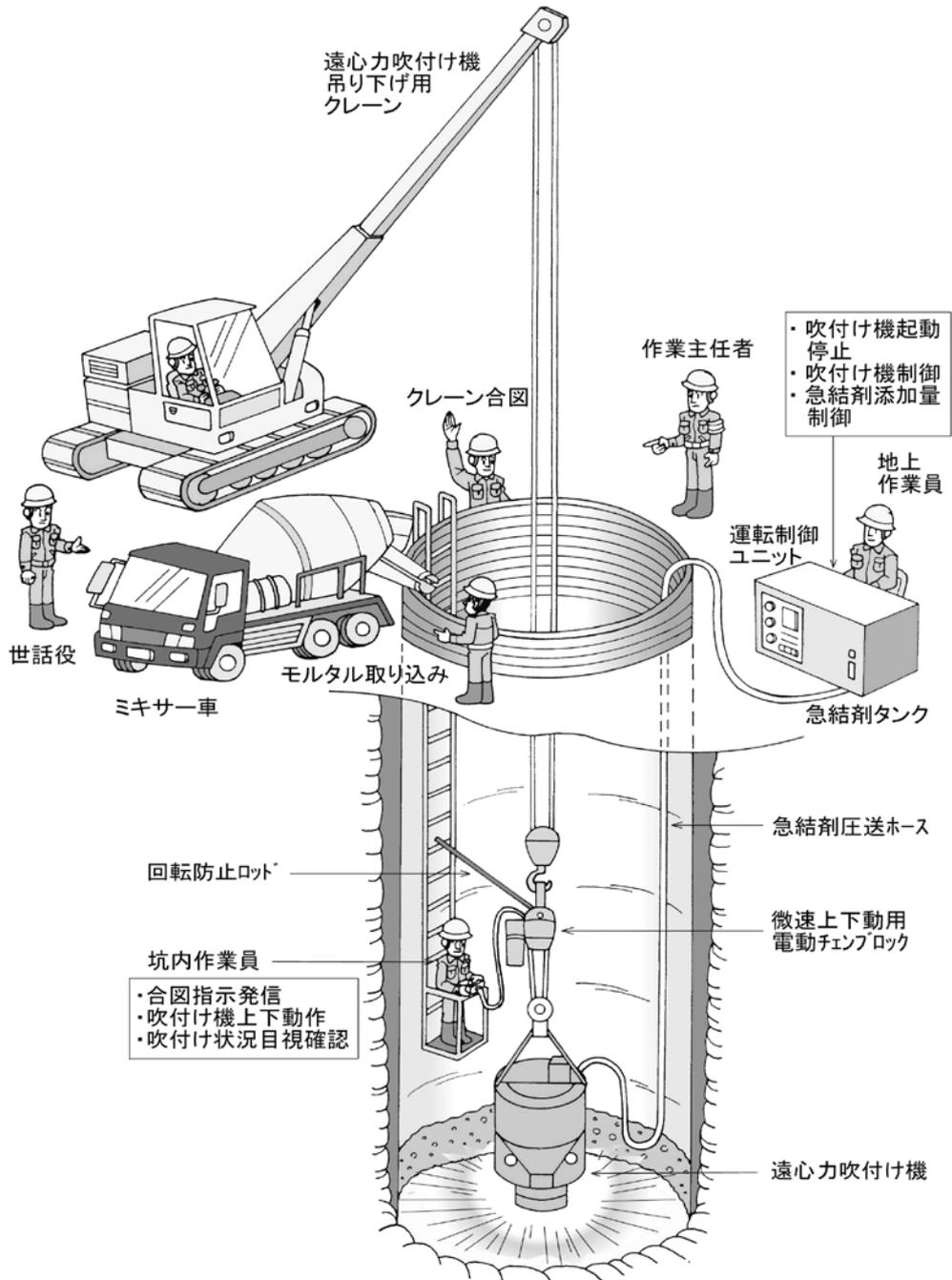


図1.1 遠心力吹付け工法概念図

1.2 遠心力吹付け工法の原理

遠心力吹付け工法は、吹付け機最下端のインペラ部が、水平に回転することで発生する遠心力を利用して、モルタルを全周360°に均等に投射できることが基本原理となっている(図1.2参照)。

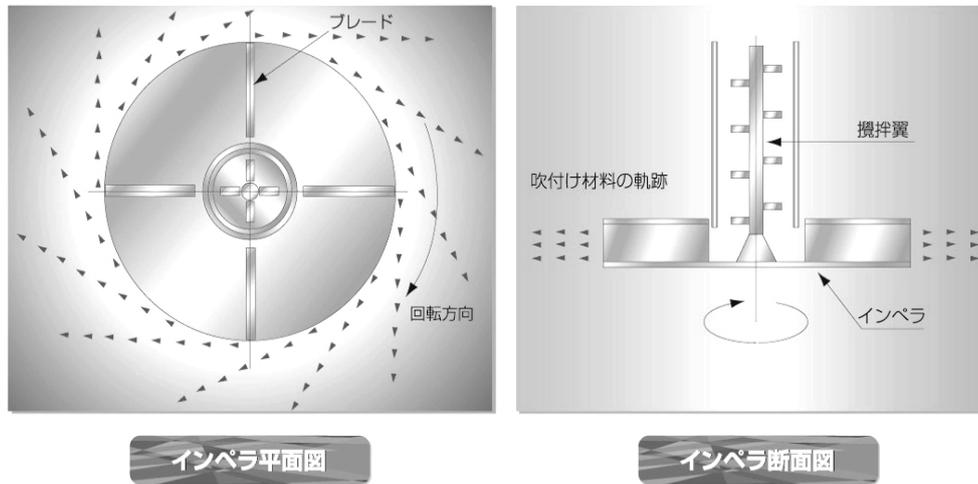


図1.2 吹付けの原理

1.3 システムの構成

遠心力吹付け工法で使用するシステムは、坑内でモルタルライニング土留めを形成する遠心力吹付け機と、地上に設置して、遠心力吹付け機の運転制御および急結剤の供給を行う運転制御ユニットに大別できる。

1.3.1 遠心力吹付け機

遠心力吹付け機は、上部に吹付け材料を入れる円筒形のホッパーと、その下部に材料の供給および急結剤の混合を行うフィーダ部、さらにその下部にモルタルを地山に投射するインペラ部から構成されている(図1.3参照)。

均一なモルタルライニング土留めを形成するために、モルタルフィーダ部の駆動用電動モータにインバータ制御を採用するなど、モルタルをスムーズにインペラに供給することができるシステムとなっている。

インペラを駆動する電動モータはインバータ制御を採用し、回転数を300～900rpmの範囲で可変とすることで、施工する深礎の直径にあわせて、最適な回転数を得られる。

これらの機構を装備することで、スランプ値が10cm以下という比較的低スランプのモルタルでも、均一な吹付けが可能なシステムとなっている。

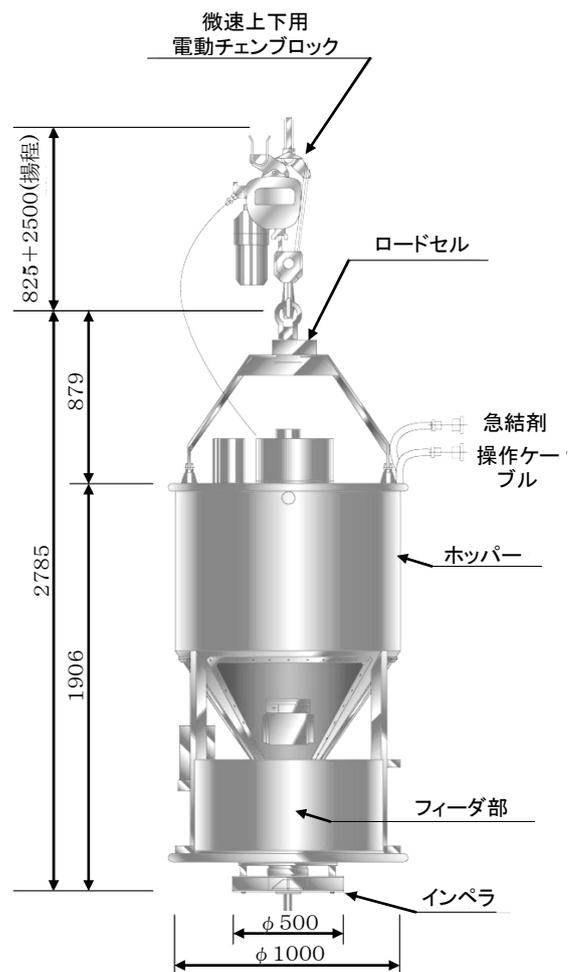


図1.3 遠心力吹付け機

また、ホッパー上部の吊り手部に荷重計(ロードセル)を設けており、吹付け中の材料の使用量をリアルタイムに測定できるようにしている。

1.3.2 運転制御ユニット

地上部に設置される運転制御ユニットには、液体急結剤のタンク、急結剤圧送ポンプおよび遠心力吹付け機のインペラ回転数等の運転制御を行う操作盤を一体化している。

具体的には、吹付け中に本体全重量をロードセルでリアルタイムに計測し、吹付け中の材料の使用量をリアルタイムに管理することで、時間当たりのモルタルの吹付け量を監視する。また、これに応じた最適な急結剤の添加率を制御する。

遠心力吹付けシステムの各種機器の仕様を表1.1に示す。

表1.1 各種機器の仕様

遠心力吹付け機	実吹付け能率	1.3 m ³ /h
	インペラ回転数	300~900 rpm
	ホッパー容量	0.6 m ³
	自重	500 kg
電動 チェンブロック	最大吊り下げ重量	2 ton
	揚程	2.5 m
運転制御 ユニット	操作盤	遠隔集中制御
	自重	600 kg
	モータ出力	9.4 kw

1.4 遠心力吹付け工法の特徴

遠心力吹付け工法には、以下の特長がある。

- (1) 従来の圧縮空気方式による発生粉じん量に比べて、1/15～1/20と低粉じんなため、良好な作業環境を維持できる。
- (2) 杭周面のせん断抵抗を期待できるので、合理的な設計が可能である。
- (3) JIS工場製の安定した品質のモルタルを使用し、かつ、均一な厚さの吹付けが可能なので、高品質な土留めが形成できる。
- (4) 土留め作業を機械化したことにより、安全性が向上する。
- (5) 吹付け機は原理的にシンプルな構造を採用しているため、安定した施工ができる。
- (6) 掘削した地山の自立性が得られれば、地質の種類を問わず適用可能である。



写真1.1 遠心力吹付け機坑外吊り下げ状況



写真1.2 遠心力吹付け機坑内吊り下げ状況

2. 適用範囲

2.1 適用する深礎規模

本工法は、直径で2.0m～6.0mまでの深礎の実績がある。ただし、一般的には5.0m以下の作業空間の狭い深礎に適している。

深礎の深さについては、クレーン等の吊り下げ能力にもよるが、実績では100mを越えるものがある。施工深さが大きくなると、モルタルの供給方法を考慮する必要があり、一般的に生コン車からの移し替え方式では30m以内が適用範囲といえる。

また、吹き付ける時に地山に金網や支保工等を設置する場合は、これらの背面に吹き付けることが困難になる場合があるので、事前に十分な検討が必要である。

表2.1 適用規模

適用規模	経済的な施工範囲	最小(実績)	最大(実績)
直径	2.0m～5.0m	2.0m	6.0m
深さ	30m以内		130.0m

2.2 地質条件

本工法を適用する際に地質条件は重要な検討項目であり、特に次の2項目については計画時、施工時に十分に調査、観察する必要がある。

- ①掘削した地山の自立性
- ②湧水の有無

2.2.1 地山の自立性

掘削した地山の自立性については、掘削した後吹付けが完了し、モルタルが強度を発現して土留めとして機能するまで自立していることが必須条件となる。

自立性が乏しい地山では、1ロットあたりの掘削深さを浅くして、自立する高さの範囲で施工することを検討する。また、必要に応じて地盤改良や、ロックボルト等による補強を検討する。

2.2.2 湧水

一般に、湧水が生じない地山においては自立性が問題になる土質はほとんどなく、自立性が問題になるのは湧水を伴う地山の場合である。

湧水がある場合は、湧水量や湧水の形態によっては掘削した地山面にモルタルを吹き付けることは困難となることがある。このため、湧水が予想される場合は、湧水量に応じた処理や、地下水位低下工法、止水注入工法などの補助工法を検討する必要がある。

計画に際しては、これらの補助工法を考慮して全体の計画を立案する必要がある。

また、湧水量が比較的少量の場合は、水抜きパイプ、金網、シート等での対策を検討する。詳細については、「7.3 湧水対策」を参照のこと。

2.3 気象条件

施工時の気温は、モルタルの早期強度の発現に非常に大きな影響を与える。特に、厳寒期や夏季の施工には注意が必要な場合がある。

厳寒期では急結剤の効果が極端に低下するため、モルタルの強度発現が遅くなる。この対策として、モルタルの練り上がり温度、養生温度を高めると同時に養生時間の延長等が必要となる。養生にはジェットヒ

ータ等を用い、翌日の作業開始にあたっては、換気を十分に行うと同時に酸素濃度の測定を行う等、十分な酸欠事故防止が必要である。

また、夏期は高温により吹き付けたモルタルの硬化反応が早くなり、強度発現は早くなるが、モルタルの練り上がり後のスランプ低下が大きいため、可能な限り練り上がりから吹付けまでの時間を短縮し、吹付け時のスランプが規定値になるようにする。

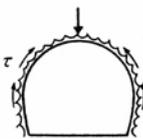
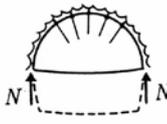
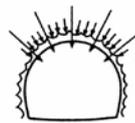
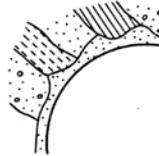
3. 遠心力吹付け工法による土留めの考え方と設計

3.1 モルタルライニング土留めの作用効果

遠心力吹付け工法によるモルタルライニング土留めには、トンネルで用いられる吹付けコンクリートと同様な、地山支保効果があると考えられる。

表3.1にトンネルにおける吹付けコンクリートの作用効果を示す。深礎の施工においても、設計上の巻き厚管理のみならず、これらの支保効果を十分考慮して吹付けの管理を行う必要がある。

表3.1 吹付けコンクリートの作用効果¹⁾

吹付けコンクリートの作用効果	概念図
<p>① 岩盤との付着力，せん断抵抗による支保効果 吹付けコンクリートと岩盤との付着力により，吹付けコンクリートに作用する外力を地山に分散させ，またトンネル周辺の割れ目や亀裂にせん断抵抗を与え，キープロックを保持して抜け落ちを防止し，グラウンドアーチをトンネル壁面近くに形成させる．割れ目の多い硬岩等に作用効果が大きい．</p>	
<p>② 内圧効果，リング閉合効果 比較的厚い吹付けコンクリートが連続した1個の部材として地山を支持することにより，地山の変形を拘束して地山に支保力（内圧）を与え，地山を三軸応力状態に近い状態に保持して，地山の応力解放を抑制する．また，早期にインパートを敷設して断面を仮閉合することにより，支保効果がさらに発揮される．これらの効果は，軟岩や土砂地山等で大きい．</p>	
<p>③ 外力の配分効果 鋼製支保工，あるいはロックボルトに土圧を伝達する部材として挙動する．</p>	
<p>④ 弱層の補強効果 地山の凹みを埋め，弱層をまたいで接着することにより，応力集中を防ぎ弱層を補強する効果．</p>	
<p>⑤ 被覆効果 掘削後，早期に壁面を被覆するため，周辺地山の風化防止，止水，微粒子の流出防止等の効果がある．</p>	

3.2 モルタルライニング土留めの設計

遠心力吹付け工法によるモルタルライニング土留めの設計において考慮しなければならないことは、モルタルが硬化して所定の強度が発現し、土留めとして機能するまでは、次の掘削作業に取りかかることができないという点である。

このため、設計に用いるモルタルライニング土留めの強度は、モルタルライニングの養生時間との関係で定める必要がある。そこで、通常の施工サイクルを考慮し、一日の作業の最後にモルタルライニング土留め

を施工してから翌日の作業開始までの時間を想定して、15時間で3.0(N/mm²)の一軸圧縮強度を得られるものとして設計する。

なお、この一軸圧縮強度は、事前に試験練りを行って確認しておく必要がある。

また、モルタルライニングの最小厚さは、施工上確実に確保できる厚さとし、最小吹付け厚を10cmとする。

以下にモルタルライニング土留めの設計の手順を示す。

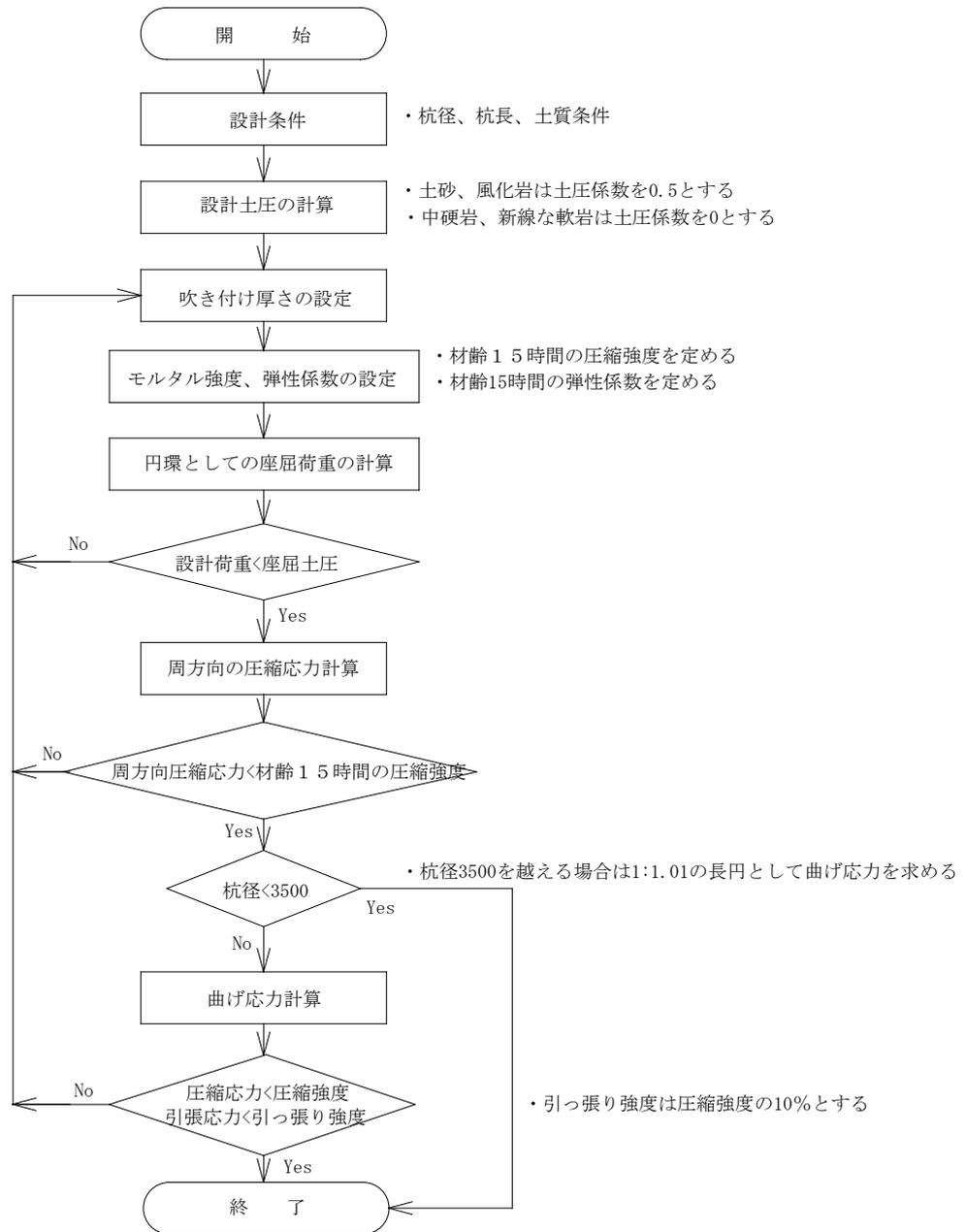


図3.1 モルタルライニング土留めの設計フロー

以下に計算方法を示す。

【設計土圧の算定】

$$P = K_s(\gamma_m \cdot h + w)$$

- ここに、
- P : 土圧強度 (kN/m²)
 - K_s : 土圧係数、土砂および風化した軟岩では 0.5 とする
 - γ_m : 各土質の平均単位体積湿潤重量 (kN/m³)
 - h : 地表面からの深さ(m)
 - w : 上載荷重 (kN/m²)

ただし、h=15m以深では土圧の増加はないものとする。

土圧係数は、上記のとおり土砂および風化した軟岩については土質にかかわらずK_s=0.5とし、これよりも硬い中硬岩または新鮮な軟岩については設計土圧を考慮しない。

【座屈に対する検討】

次式により許容座屈荷重を求め、この許容座屈荷重P_aが設計土圧を上回るようにする。

$$P_a = \frac{2EI}{r^3}$$

- ここに、
- P_a : 許容座屈荷重 (N/mm²)
 - E : 土留め構造の弾性係数、モルタルライニングの場合、吹付け後 15 時間程度の養生を考慮した3N/mm²の強度に対応するものとして、
E=6.8×10³(N/mm²)を用いる。
 - I : 土留め構造の単位長さ当たりの断面二次モーメント(mm⁴/mm)
 - r : 土留構造の半径(mm)

【圧縮応力に対する検討】

等分布土圧が作用するときの土留構造に働く圧縮力は次式で求める。

$$N = q \cdot r$$

- ここに、
- N : 圧縮力(N/mm)
 - q : 等分布土圧(N/mm²)
 - r : 土留め構造の半径(mm)

これより、圧縮応力度を次式で求め、この応力度が許容応力度以内であるかどうかを検討する。

$$\sigma_c = N/A$$

- ここに、
- σ_c : 土留め構造の圧縮応力度(N/mm²)
 - A : 土留め構造の単位深さあたりの断面積(mm²/mm)

【曲げモーメントの検討】

直径 3.5m 以上の深礎では曲げ応力の検討を行う。

$$M_{\max} = q \cdot r \cdot \frac{\delta_0}{1 - \frac{q}{P_{cr}}}$$

ここに、
 M_{\max} : 最大曲げモーメント(N・mm/mm)
 q : 等分布土圧(N/mm²)
 r : 土留め構造の半径(mm)
 δ_0 : 半径方向の最大変形量(mm) 一般には $\delta_0=0.01r$ として良い。
 P_{cr} : 限界座屈荷重($=3EI/r^3$) (N/mm²)

最大圧縮応力、最大引張り応力を求めるには、最大曲げモーメントによる応力度と、圧縮による応力度を合成すればよく、その合成応力度が許容応力度内であるかどうかを検討する。

$$\sigma_c = \pm \frac{M}{Z} + \frac{N}{A}$$

ここに、
 M : 最大曲げモーメント(N・mm/mm)
 Z : 土留構造の単位深さ当たりの断面係数(mm³/mm)
 N : 圧縮力(N/mm)
 A : 土留構造の単位深さ当たりの断面積(mm²/mm)

上記の設計において、施工上現実的な吹付け厚さにおいて強度不足の結果となった場合は、補強鉄筋、補強リング、ロックボルトの使用および養生時間の延長等に関する検討を行う。

① 補強鉄筋

深礎の直径が大きく曲げモーメントを考慮する場合は、現実的な吹付け厚さでは強度不足になることがある。補強鉄筋を使用する場合は、通常のRC断面として設計を行うこととする。

② 補強リング

深礎の直径が大きく曲げモーメントを考慮する場合は、現実的な吹付け厚さでは強度不足となることがある。このような場合に鋼製H型補強リング(通常H-125程度)を使用する場合は、吹付けと補強リングの合成断面で計算する。

吹付けと補強リングの合成断面の荷重配分は、軸力は断面積比で配分し、曲げモーメントは断面二次モーメント比で配分するものとする。

4. 吹付け材料の配合

遠心力吹付け工法で使用する材料は、生コン工場で製造されるモルタルと現地添加の急結剤を使用する。また、必要に応じてワーカビリティの改善のために混和剤(高性能減水剤)を使用する。

急結剤は吹付け時に使用するもので、液体急結剤を用いることを標準とする。

4.1 モルタルの配合

本工法で使用する吹付け材料はモルタルを標準とする。モルタルは、生コン工場のプラントで製造されるものを用いることを原則とする。表4.1に標準配合例を示す。

表4.1 1:2N モルタルの標準配合例

(1m³当り)

W/C=40%	S/C=2.0		高性能減水剤	液体急結剤
水	セメント	細骨材	(セメント重量の0.5%)	(セメント重量の7.0%)
264 (kg)	660 (kg)	1320 (kg)	3.3 (kg)	46.2 (kg)

基準強度は、これを用いる遠心力吹付け工法では、28日強度で24N/mm²を設計強度とするが、土留め構造の設計に際しては、掘削サイクルと硬化時間を十分勘案の上、許容応力度を決定する必要がある。

モルタルライニングは、基礎完成後に地山と基礎との間の周面せん断力を確実に伝達する必要がある。その強度は、基本的に地山の強度以上が確保できればよいが、平成24年度道路橋示方書により「基礎本体と同等以上の強度を有する」と指定されているため、24N/mm²の上記1:2Nモルタルの配合を標準配合としております。ただし初期強度・ワーカビリティが配合試験で確保できない場合は、配合調整を行う必要がある。

4.2 急結剤

吹付け工法において、急結剤の選定と使用方法はリバウンド率、初期強度、最終強度に大きな影響を与えるため、極めて重要である。

本工法では、液体急結剤を用いることを標準とするが、液体急結剤は正確な添加量の制御が可能であること、粉じんが少ない等の特徴がある。ただし、取り扱いについては、「8.2 急結剤の取り扱い」を参照し、十分な注意を払って施工する必要がある。

具体的な配合例を表4.1に示す。この標準配合例では、セメント重量の7%の添加量が最も効果的であることが確認されている。

液体急結剤はシーカシングニット 5178AFL またはマノール促進型急結剤を推奨するが、急結剤の選定にあたっては事前に施工業者と十分検討を行う必要がある。

4.3 混和剤

モルタルのワーカビリティ確保のために、流動化剤(高性能減水剤)を必要とする場合がある。基本的にはプラントでミキシング時に添加するが、使用量は試験練りによって予め求めておく必要がある。

4.4 モルタルのワーカビリティ

本工法は、広い範囲のワーカビリティのモルタルに対応可能であるが、適切な施工を行うために下表の範囲で施工することを標準とする。

表4.2 モルタルのスランプ値

スランプ	12±2.5cm
------	----------

スランプ値が小さすぎる場合はスムーズな吐出が阻害され、また、大き過ぎる場合は、遠心力吹付け機のインペラー部からの流出、吹付け面でのモルタルの垂れの現象が生ずる。

スランプ値が小さすぎる場合は、生コンクリートプラントにて高性能減水剤を添加し上記のスランプ値で施工することを標準とする。

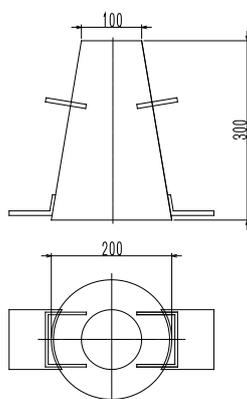


図4.1 スランプコーン(JIS A1101)

5. 施工方法

5.1 施工計画

遠心力吹付け工法の施工にあたっては、設計および施工環境条件等を十分考慮し、工事の施工性、安全性、経済性等を勘案して施工計画書を作成する必要がある。

施工計画書に記載する標準的な項目を以下に示す。

- ① 工事件名
- ② 工事場所
- ③ 工事期間
- ④ 工事数量
- ⑤ 工事工程表
- ⑥ 施工手順
- ⑦ 施工図
- ⑧ 使用機材
- ⑨ 使用材料一覧表
- ⑩ 施工管理、品質管理、安全管理、組織表

5.2 施工手順

深礎工の施工手順は、従来のライナープレートを用いた工法と比較して、大幅な変更はない。

土留めの施工がライナープレートと裏込めグラウトによるものから、遠心力吹付け工法によるモルタルライニング土留めに変更になることで、品質、施工、安全管理が一部変更・追加される。

標準的な遠心力吹付け工法の施工フローを図5.1に示す。

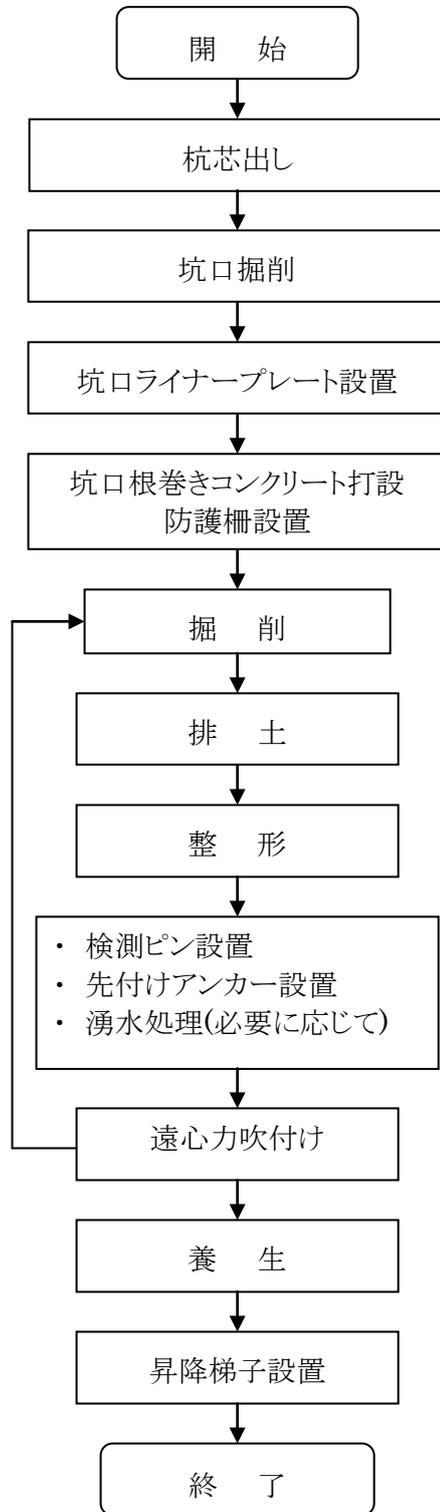


図5.1 深礎工の施工フロー

図5. 2に施工手順を示す。一回に掘削する高さは、労働安全衛生規則および地山の自立状態を考慮して最大で2. 0mとする。土砂および風化の進んだ軟岩では特に地山の安定状況を的確に判断し、自立高さを検討する必要がある。

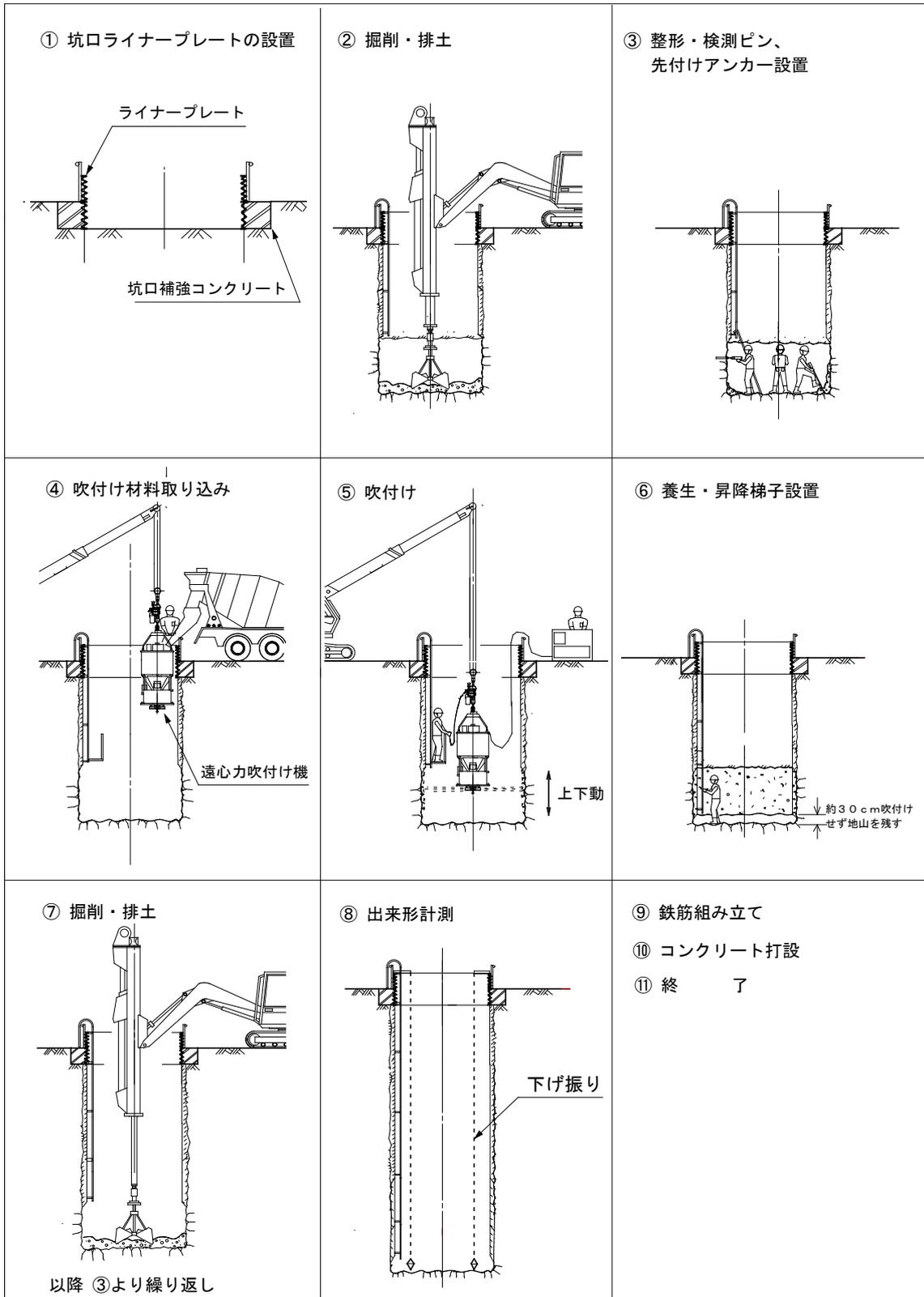


図5. 2 施工手順図

掘削、整形、排土の各作業終了後に吹付け作業を速やかに行うことで、地山の緩みを防止することができる。

遠心力付け工法によるモルタルライニング土留めの施工は、掘削作業が終了した後、生コン工場から運んできた所定のモルタルを遠心力吹付け機に投入し、土留めを行う深度にクレーンで吊り下ろした後、モルタルを投射しながら吹付け機を上下させ、地山にモルタルを吹き付けて土留めを形成することで行われる。

モルタル吹付け時の上下作業を簡単にかつ、確実にを行うため、吹付け機とクレーンのフックの間に電動チェンブロックを取付け、運転時の上下作業をこの電動チェンブロックで行う(図5.3参照)。インペラを深礎基礎の中心に保ち、坑内操作員がチェンブロックを一定の速度で上下させることにより、掘削面に均一な厚さのモルタルライニング土留めを形成する。ホッパーへのモルタルの投入と吹付けの作業を繰り返し、薄い層で何層も吹き付けて、所定の吹付け厚さのモルタルライニング土留めを形成する。

また、地上部には、遠心力吹付け機の運転と急結剤の供給を行う運転制御ユニットを設置し、地上操作員がこれの操作を行う。

所定の均一な厚さのモルタルライニング土留めを形成するためには、地山の凹凸部に均一にモルタルを吹き付けることが必要である。このため吹付け機を吊り下げている電動チェンブロックを一定の速度で上下させる様に操作して行う。

吹付け施工中および形成されたモルタルライニング壁の状況を写真5.1に示す。

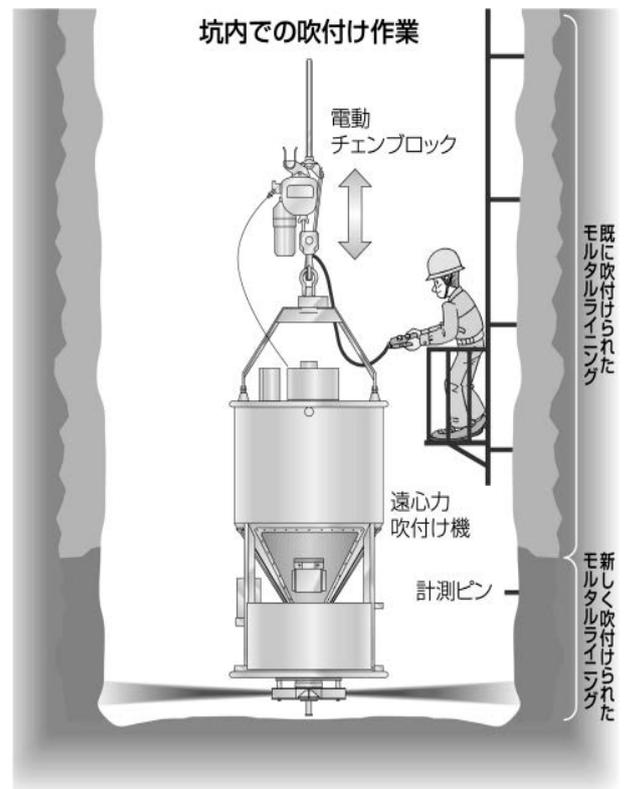
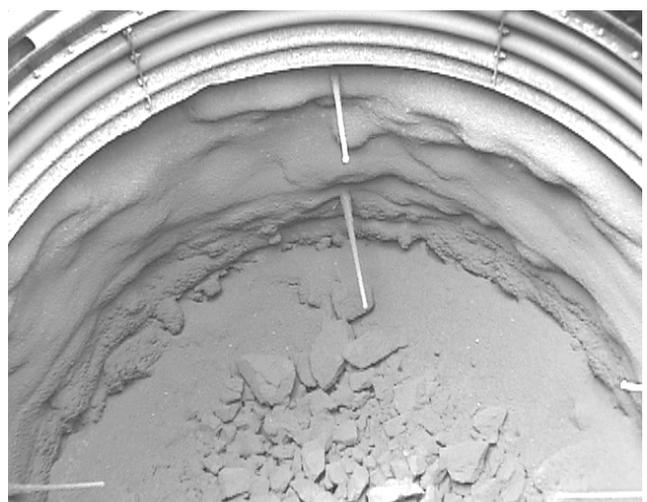


図 5.3 吹付け状況概念図



【吹付け前】



【吹付け後】

写真5.1 吹付け前の地山と吹付け後の状況

5.3 地質調査

地質調査は、深礎の設計、施工、管理に必要な情報が得られるように計画し、実施されるものである。

設計上からは、地盤構成、設計用地盤物性値(c 、 ϕ 、 γ 、 E 、 ν)が調査される。

特に、遠心力吹付け工法によるモルタルライニング土留めの施工においては、地下水の有無、地山の自立性、岩の割れ目等の状況を把握することが重要である。

表5.1に、基礎設計時に実施される試験項目内容の参考例を示す。

表5.1 試験項目一覧表

原 位 値 試 験	ボーリング	土質柱状図	土質分類と分布状況等	◎
		坑内水位の測定	地下水の有無および水位	◎
		標準貫入試験	N値測定	◎
	物理検層	坑内水平載荷試験	変形係数(E)の測定 変形特性の把握	◎
		PS検層	P波、S波速度の測定 ポアソン比(ν)の把握	○
	地下水調査	現地透水試験	透水係数の把握	△
		地下水検層	滞水層の把握	△
	サンプリング	試料採取(室内試験に利用)	○	
室 内 試 験	物理試験	土粒子の比重試験	間隙率、飽和度の算出	○
		含水比試験		○
		密度試験	単位体積重量の測定	◎
		粒度試験	粒度塑性の把握	○
		液性塑性限界試験	コンシステンシーの把握	○
	力学試験	一軸圧縮試験	一軸圧縮強度(q_u)の測定	◎
		三軸圧縮試験	粘着力(c) 内部摩擦角(ϕ)の測定	◎
◎:一般的に行う調査 ○:必要に応じて行う調査 △:特殊な調査				

6. 品質管理

6.1 寸法管理

遠心力吹付け工法によるモルタルライニング土留めの掘削、吹付けにあたっては、以下の項目について、所定の寸法が得られていることを確認する。

- ①公称半径(定義) : 深礎中心からモルタルライニングの表面までの距離
- ②設計半径(定義) : 深礎中心からモルタルライニングの表面までの距離 = 公称半径
- ③掘削半径(定義) : 深礎中心から吹付け前の地山表面までの距離
- ④吹付け厚さ(定義) : モルタルライニング表面と地山表面の距離
- ⑤設計吹付け厚さ(定義) : 設計計算から求められた吹付け厚さ
- ⑥鉛直性(定義) : 上部杭芯と坑底部杭芯を結んだ線の傾き

深礎の径、吹付け厚さおよび鉛直性は、深礎本体の品質に係わる重要な項目である。図6.1および図6.2に、これらの定義を示す。

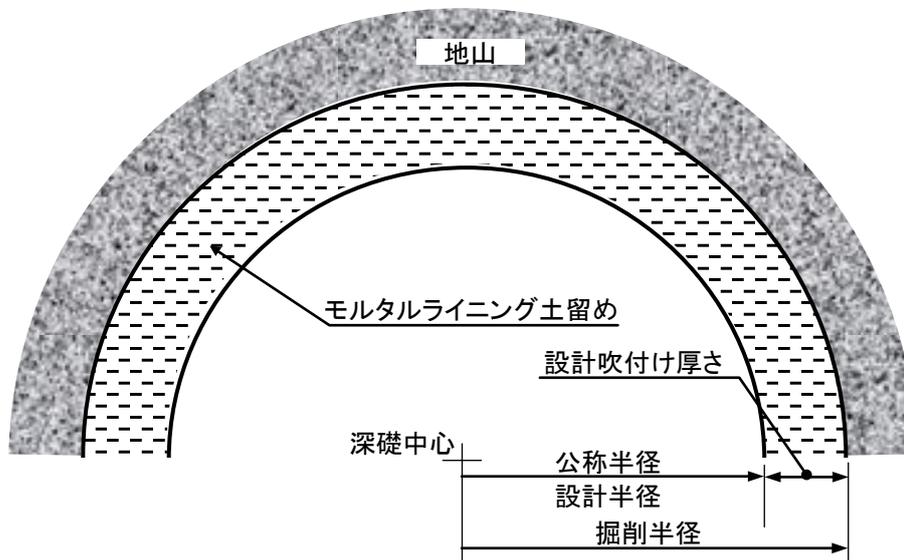


図6.1 各種寸法(平面図)

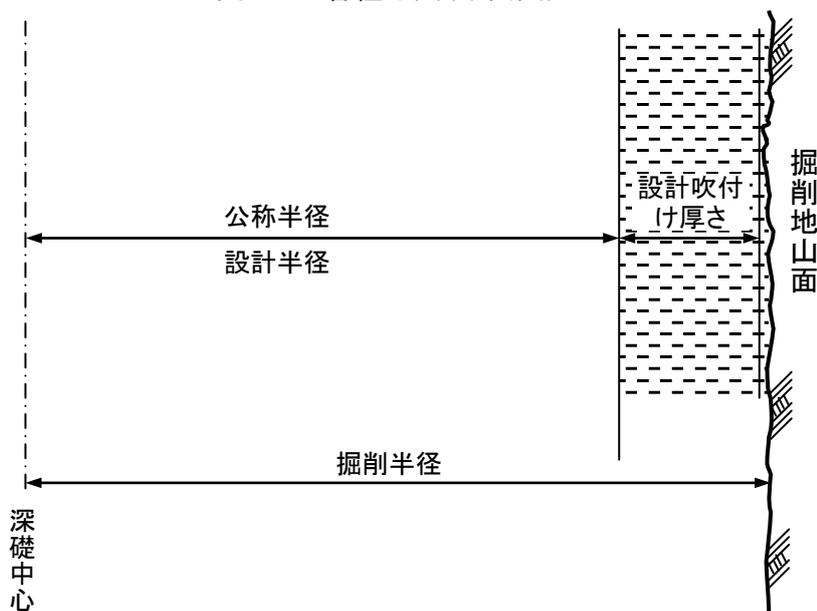


図6.2 各種寸法(縦断図)

図6. 1は設計半径、公称半径、掘削半径を概念として定義したものである。

実際の施工においては、地山の凹凸や施工誤差があることから、公称半径を確保するためには余分に地山を掘削する必要がある。

上記の事を考慮して掘削半径を定める必要があるため、掘削半径の目標値は次のようになる。

掘削半径の目標値 = 設計半径 + 設計吹付け厚さ + 地山の凹凸や施工誤差を考慮した厚さ

施工後の吹付け仕上がり径は、設計径を下回らずに余裕があることが必要となる。このことを実現するためには、実施工における掘削径は上記の掘削径の目標値を下回らないように管理することが重要となる。

6.2 吹付け厚管理

吹付けモルタルの厚さは、設計吹付け厚(最小吹付け厚)以上になるように管理しなければならない。そのため、吹付け前に地山に検測ピンを打ち込み、吹付け作業時の監視確認用として使用し、吹付け後に吹付け厚さの印がモルタルによって覆われていることにより、所定の吹付け厚さが得られていることを確認する。

検測ピンの設置位置は、1ロット吹付け高さの中間の横断面内に4点設置するものとする。

検測ピンの取付け状況を図6.3に示す。

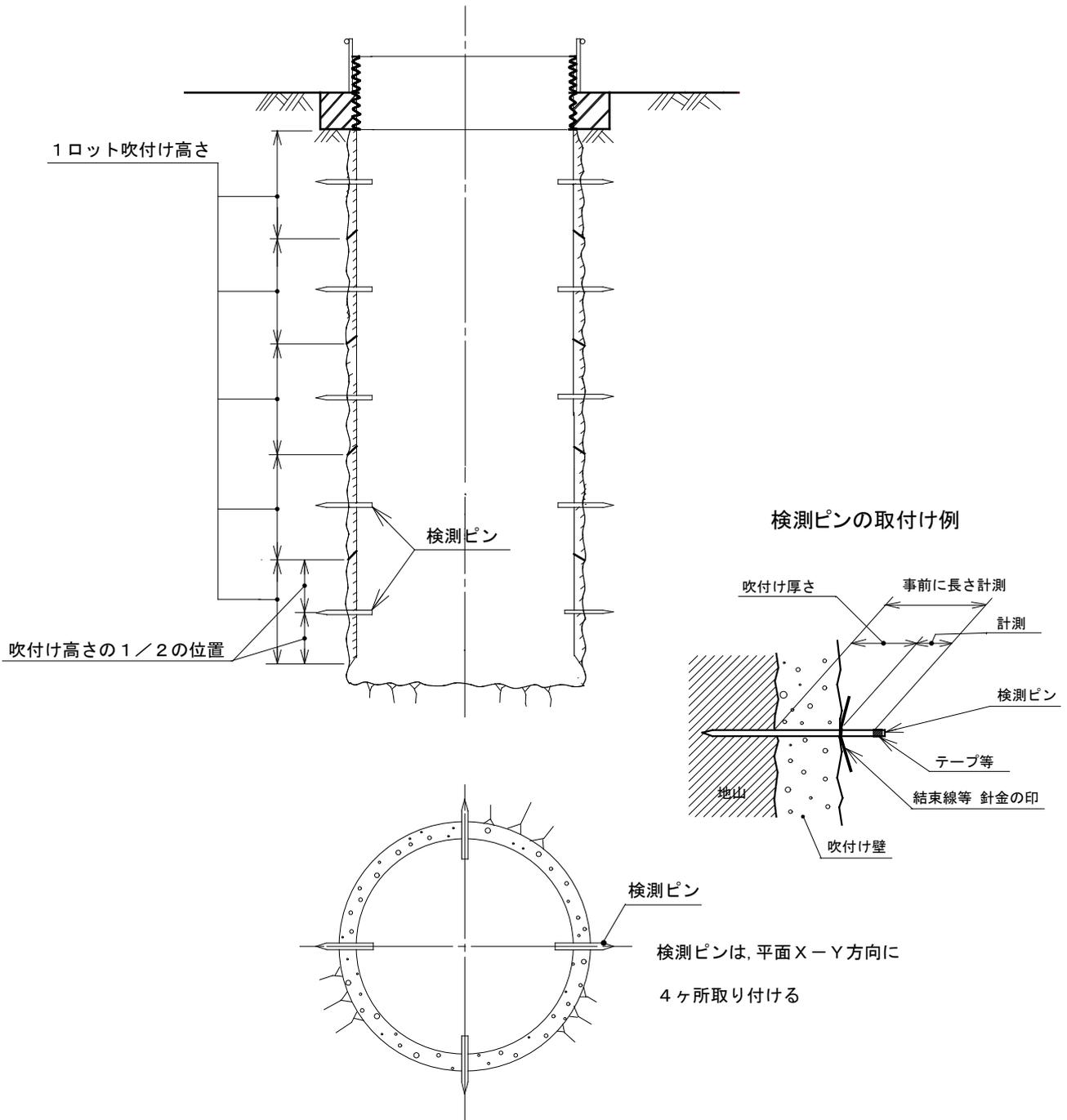


図6.3 検測ピンの取付け位置

6.3 出来形管理

深礎の施工にあたっては、掘削やモルタルライニング土留めについて、平面的な位置、長さ、径、吹付け厚および傾斜などで設計値を確実にクリアしている必要がある。表 6.1 に遠心力吹付け工法で行う際の出来形管理基準と検査方法を示す。

表6.1 出来形管理基準

項目	許容値	検査方法
平面位置	15cm以内	計画杭中心位置との偏位測定
長さ	設計値以上	中心部と外周部の2点以上について掘削深度を測定
径	設計値以上	仕上がり径を5mピッチで測定。天端、中間、掘削底面の3断面で確認
吹付け厚さ	設計吹付け厚さ以上	1ロット吹付け高さ毎に、吹付け高さの中間で1断面で直交する2測線(X-Y方向)について計測
傾斜	最終傾斜が1/50以下	坑口中心と坑底中心を結ぶ線と鉛直との傾きを測定

出来形の測定方法は、坑口ライナープレート等を基準として、下げ振り等により中心または、基準径を追い出し、掘削径、吹付け仕上がり径を測定する。また、仕上がり径は、検測ピンの吹付け前後の差分により、求めても良い。図6.4に測定方法例を示す。

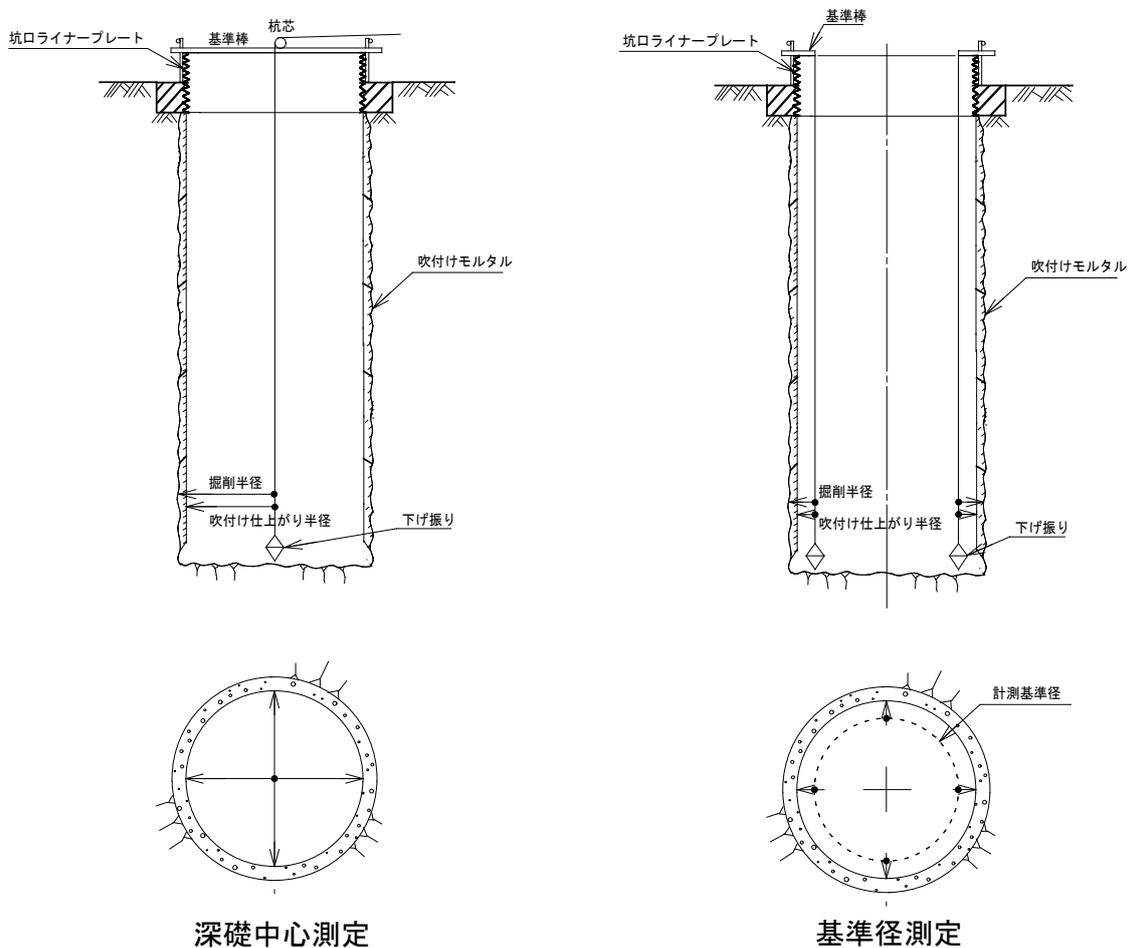


図6.4 掘削径、吹付け仕上がり径の計測

6.4 強度管理

強度管理は、初期強度および設計基準強度について行う。

初期強度は、吹付け作業を行ってから所定の時間が経過し、次に掘削作業を行う時までには発現している強度で、吹付け厚さを設計する際の根拠となる強度である。

設計基準強度は、通常のコンクリートと同様に、圧縮強度がモルタルライニングの強度と品質を表す基準値として用いられる。

(1) モルタルの材齢

初期強度の材齢は、標準的な施工サイクルである、「吹付け作業終了時刻17:00～次回掘削作業開始時刻翌朝8:00」を考慮し、15時間を標準とする。

また、設計基準強度の材齢は、28日強度とする。

(2) 設計強度

初期強度は使用するモルタルの標準配合である「1:2モルタル」を考慮し、強度発現が期待できる15時間で3N/mm²を設計強度とする。

基準強度は、これを用いる遠心力吹付け工法では、28日強度で24N/mm²を設計強度とする。

(3) 強度管理の頻度

強度管理の頻度は、使用する材料がレディーミクストコンクリートを製造するJIS工場製の安定した品質のモルタルの使用を原則とすることと、トンネルにおける吹付けコンクリートの施工管理方法を参考に定めた。

強度管理は、工事開始前に事前に工場における配合試験を行い、材齢15時間強度のプルアウト試験および材齢28日強度試験を行う。

初期強度確認のため、工事開始の入坑時前に現場強度試験としてプルアウト試験又は同等の試験を1回行い、ロット毎の初期強度確認試験は原則的に不要とする。

上記の強度管理に関する項目をまとめたものを、表6.2に示す。また、図6.5にプルアウト試験器具を示す。

ただし、強度管理については発注者から管理方法を指定された場合は、その指示に従うものとする。

表6.2 圧縮強度試験の時期と方法

実施時期	回数	試験	試験材齢	試験方法	備考
事前	1現場 当たり 1回 (注1)	工場配合 試験	材齢15時間	プルアウト試験	手詰めによる供試体作成(注2) 試験機のゲージ読み(注3)
			材齢28日	プレーンモルタルによる 試験	手詰めによる供試体作成(注4)
工事開始時	1現場 当たり 1回 (注1)	現場試験	入坑時前	プルアウト試験又は同等の試験	(注2)(注3)
日常	都度	日常管理	掘削の入坑時	ハンマー等による打撃 検査、目視観察	

注1：杭本数に関係なく1現場当たり1回（工場製造のモルタルを使用しているため）。

注2：急結剤を添加し、プルアウト試験器具(図6.5)に手早く盛り上げる。

注3：現在は、N/mm²表示となっておりそのままの値の読みでよいが、旧式の表示の場合は

1.03 倍した値を補正值とする。

注4：プレーンモルタル(急結剤無添加)をモールド管に詰める。急結剤を添加する事により起こる長期強度の低下率を掛け推定圧縮強度を算出する。圧縮強度試験値(材齢28日)の75%(長期強度の低下率)。

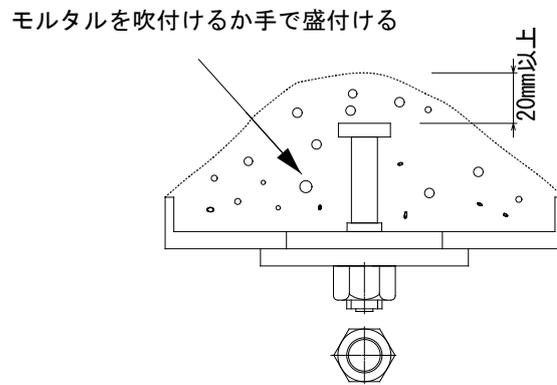


図6.5 プルアウト試験器具

7. 施工管理

7.1 目視観察

施工にあたっては、モルタルライニングのひび割れ、変形、湧水について目視で日常および定期的に行う。目視管理は吹付けモルタルの施工後および作業開始時の入坑時に実施する。

表7.1 目視観察項目

坑内観察内容	観察方法	計測頻度
1. 地山 イ) 自立状態 ロ) 地質変化 ハ) 層理・湧水状態	目視	地山に関しては掘削後速やかに行う
2. 既施工部 イ) モルタル吹付け壁のクラックの有無 ロ) 既クラックの変化	目視	既施工部は作業開始前および終了後に行う

施工管理レベルの判断と異常時対策として管理フローを図7.1に、管理レベルを表7.2に、またその時の考えられる対策項目の参考として「表7.3 対策項目表(参考)」を示す。

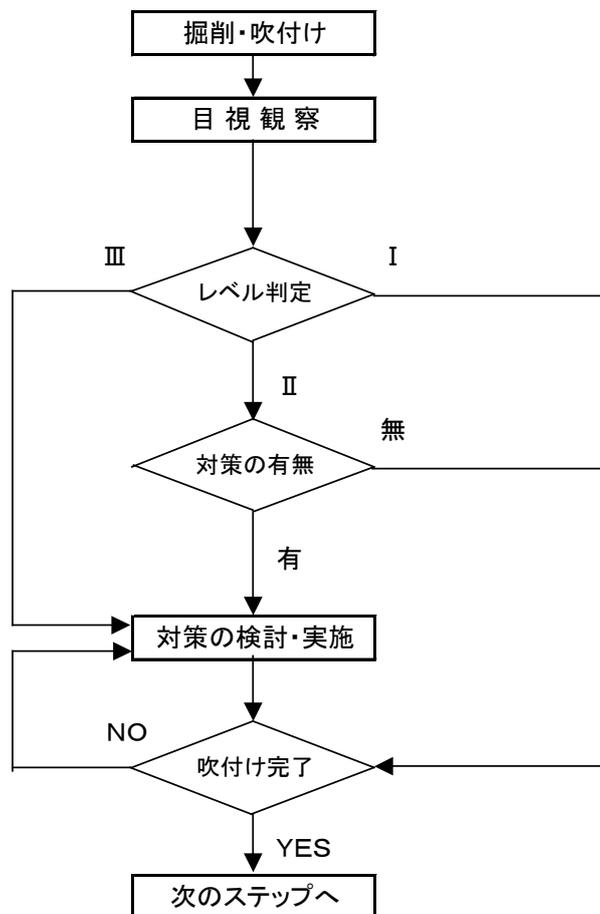


図7.1 管理フロー

表7.2 管理レベル

管理レベル \ 項目	坑内観察調査
レベルⅠ	<ul style="list-style-type: none"> 対象事象無し (切羽および掘削面が自立安定している。湧水が無い)
レベルⅡ	<ul style="list-style-type: none"> 吹付けモルタルの一部に、クラックが発生 (進行性、開口性が著しくないもの) 吹付けモルタルの一部から湧水があるが、作業に支障がないもの
レベルⅢ	<ul style="list-style-type: none"> 吹付けモルタルにかなりの亀裂発生 吹付けモルタルの複数箇所から湧水があり、作業に支障のあるもの、また湧水に濁りの認められるもの

表7.3 対策項目表(参考)

レベル	対策	目的
I	必要無し	
II	1ロット当りの掘削ピッチの短縮 吹付けの早期実施	掘削外力の減少
	養生期間の延長 ジェットヒータの使用	強度発現の期待
	塩ビパイプ、ビニルホースの取付け	湧水処理
III	掘削ピッチの短縮 吹付け早期実施	掘削外力の減少
	養生期間の延長 ジェットヒータの使用	強度発現の期待
	増し吹き(2次吹付け)、金網の設置 ライナープレート、補強リングの設置	断面剛性の向上
	ロックボルトの設置	変形の抑止
	地盤改良工法による止水注入	止水
	地下水位低下工法の実施	止水
	ライナープレートへの変更 補助工法の採用	止水

管理レベルⅡ以上に対しては、管理者に連絡し対策を協議する。

7.2 粉じん対策

遠心力吹付け工法は圧縮空気を用いた従来の吹付け工法に比べて、発生粉じん量が大幅に少なく、目視により異常と判断された場合を除き、粉じん測定は原則として実施しなくてもよいものとする。

坑内で吹付け作業をする際は、操作員が吹付け機のやや上方で目視により作業するため、低粉じんではあるが、防じんマスクを使用することとする。

コンクリート吹付け作業における粉じんは、他のトンネル内作業に伴って発生する岩石粉じんに比べて遊離けい酸含有量は少ない。またその主な構成物質はセメントであり、表7.4の第2種粉じんに属し、許容濃度は $4\text{mg}/\text{m}^3$ となる。

表7.4 粉じんの許容濃度

種類	許容濃度
第1種粉じん	$2\text{ (mg/m}^3\text{)}$
第2種粉じん	$4\text{ (mg/m}^3\text{)}$
第3種粉じん	$8\text{ (mg/m}^3\text{)}$

(日本産業衛生学会の勧告値)

過去の測定結果では粉じん濃度は $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 程度であり、従来の圧縮空気方式に比べて $1/15\sim 1/20$ の粉じん量であるが、換気条件によって変化するので注意が必要である。安全対策上、吹付け作業時の換気は必要であり、特に深くなる場合は十分な換気が必要となる。目視により異常と判断された場合は、吹付け機より2m上の位置で散乱光式デジタル粉じん測定器により粉じん測定を行い粉じん濃度を確認する。

本工法により実施した際の、粉じん計測結果を図7.2に示す。

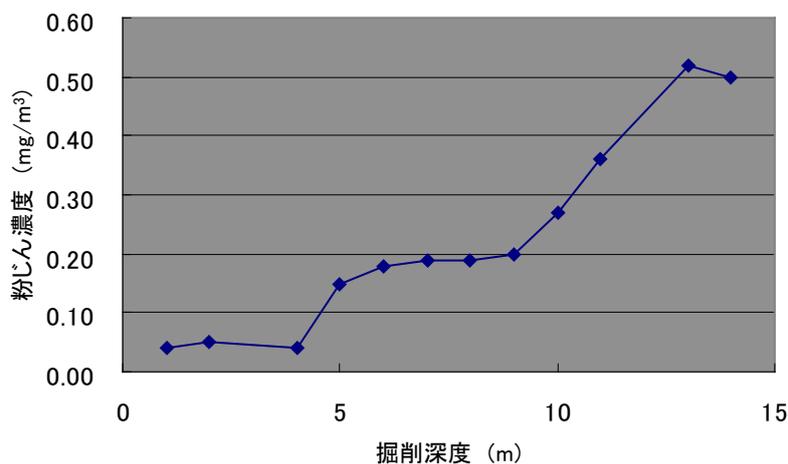


図7.2 掘削深度別粉じん濃度

7.3 湧水対策

坑内の湧水量が多い場合には、吹付けモルタルの施工はもちろんのこと、掘削施工にも影響を与える。吹付け施工においては、地下水の状況を把握して、湧水に対して適切な処理を必要とする。

予め湧水量を予測することは極めて困難であるが、湧水はモルタルの付着性を悪くするばかりではなく、モルタル背面に水圧を作用させ、モルタルに悪影響を及ぼすことになり、モルタルが洗い流されたり、剥離

したりするので、適切な湧水処理を検討する必要がある。

坑壁ににじむ程度の湧水で湧水処理が可能と判断される場合は、塩ビパイプ等の集水管を掘削坑壁に取付けたり、薄くて強靱な長繊維不織布で排水処理をし直接湧水している地山と吹付け材を遮断して吹付けを行う。

湧水量が多く吹付けが困難となる場合は、部分的にライナープレートとグラウト充填施工への設計変更を行うことを検討する。湧水処理方法の山岳トンネルにおける例を、図7. 3に示す。

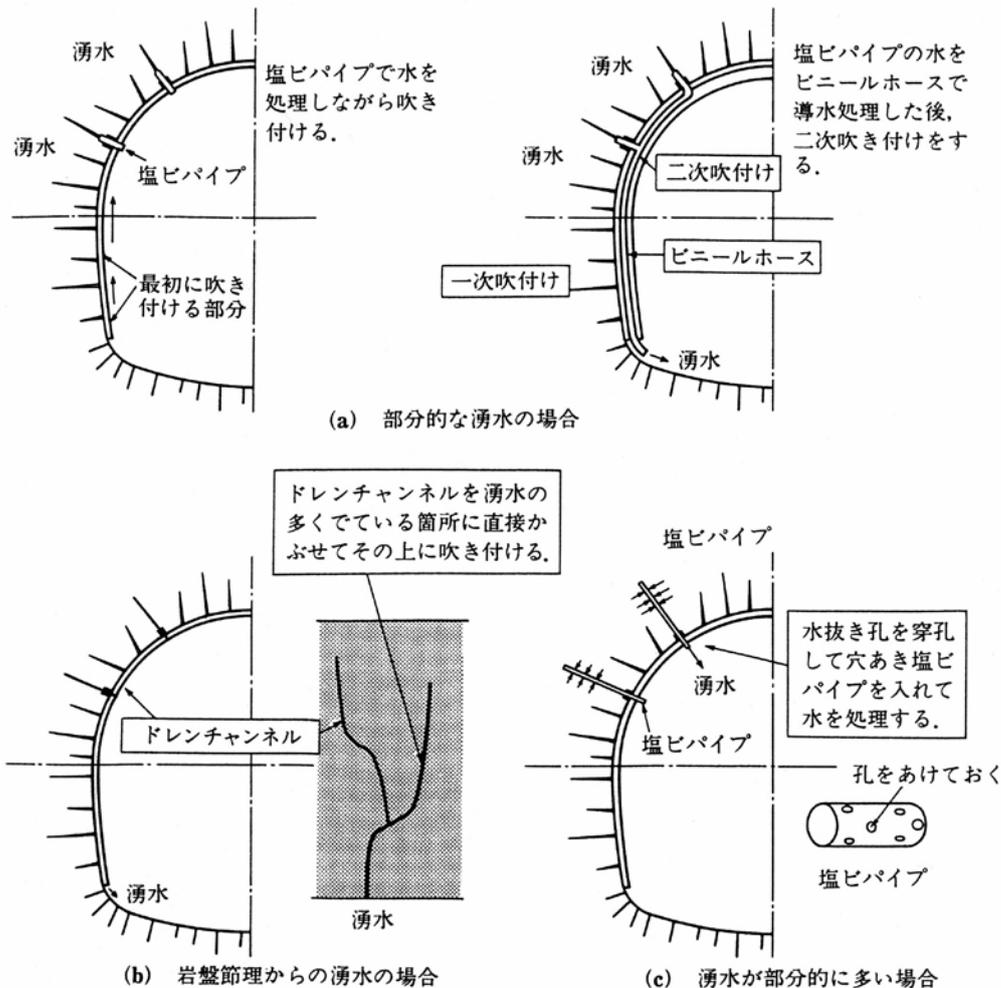


図7. 3 湧水処理方法の例¹⁾

7. 4 養生

吹き付けられたモルタルは、低温、乾燥および急激な温度変化等により、有害な影響を受けないように、また、所要の品質が確保できるよう適切な養生を行う必要がある。

一般的には、深礎坑内は適度な湿度があり、温度変化も小さいことから、通常の場合養生は必要ないと判断される。しかし、モルタルライニング土留めの場合、吹付け後翌日に掘削を行うことから、初期の強度発現が重要であり、養生が必要と判断された場合は、吹付け後速やかに養生を行うことが重要である。

特に厳寒期施工の場合、実積によると養生温度が 10°C を下回ると、初期強度発現の低下が見られる。このため、坑内温度を 10°C 以上に保つようにして養生を行うことが必要である。

養生方法としては、養生マットによる断熱方法、ジェットヒータによる給熱方法等を施工条件、立地条件、環境条件等の状況に応じて選定することが重要である。

8. 安全管理

8.1 掘削高さ

本工法を施工するためには掘削地山が自立していることが条件である。労働安全衛生規則等の法令による高さを基準として1回の掘削高さを検討する必要がある。この地山の自立はあらかじめ予想することが困難で、掘削時にその安定性を目視により判断する必要がある。土砂、風化の進んだ軟岩、亀裂の発達した軟岩では特に注意する必要がある。

地山の自立性が危惧される場合は、1ロットの掘削高さを低くすることを検討する。

地山が自立しない場合は施工が困難となるので、地盤改良による地山強度の増加や、H形鋼によるリングビームによる補強等の補助工法の採用、また、ライナープレートによる土留めの変更を検討する。

特に、深礎による橋梁基礎が、地震時保有水平耐力法により設計されていると、上記の理由等により土留めをライナープレートに一部変更する場合には、深礎長について再度設計する必要性が生じ、設計変更となることがある。このため、事前の地質調査を入念に行い、これを設計に反映しておく必要がある。

8.2 急結剤の取り扱い

急結剤の使用にあたっては、厳寒期などでモルタル温度が10℃程度以下になると、液体急結剤の急結性が著しく低下するので、材料の温度管理や、適切な養生方法を検討する必要がある。

また液体急結剤は、人体に有害な場合があるので、その取扱いは十分注意する必要がある。

急結剤には、強アルカリ性、強酸性のものなど刺激の強いものが多いので、使用にあたっては十分に注意する。

8.3 坑内作業安全管理

吹付け作業時は、坑内の操作員が吹付け機より1～2m上方のタラップ上から、吹付け機の操作および吹付け状況監視を行うため、高所作業上の注意が必要である。

吹付け作業の操作・監視には、図8.1の様な着脱可能な足場をタラップを取付けて行う。坑内操作員は、深礎用キーロック方式安全ロープ類を使用し墜落防止対策を行う。また坑内操作員は、防護眼鏡および防護マスクを着用するが、坑内への送風や排気は確実にを行う。

坑口は落石防護や墜落防止のため仮ライナープレートを1段(高さ50cm)組み上げ、かつ安全柵(手摺り柵)を設けるなどの処置を施す。

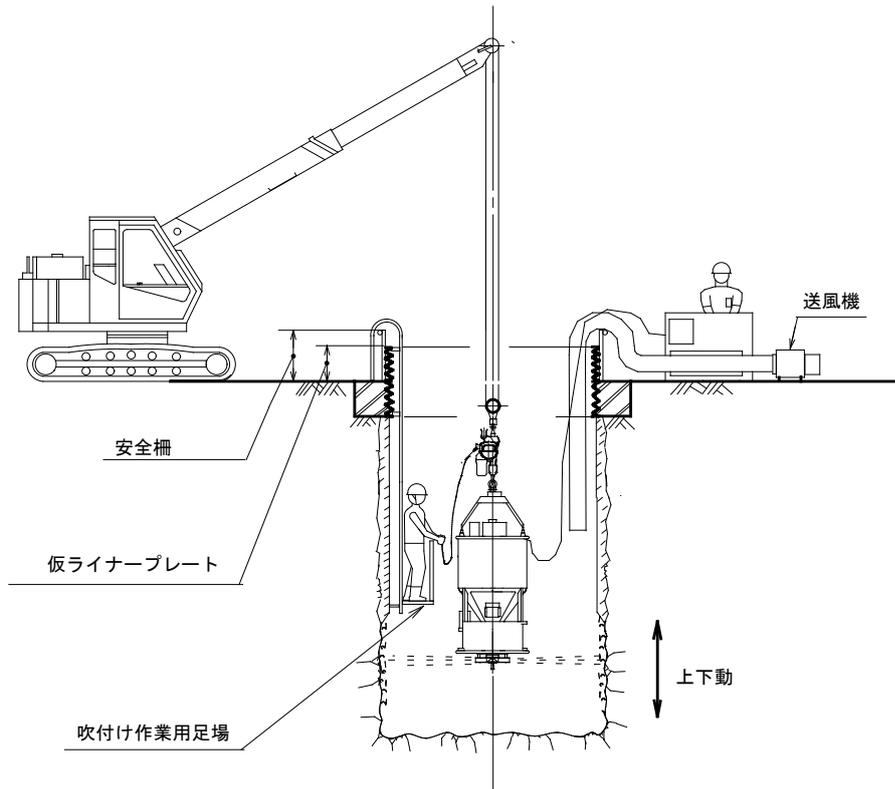
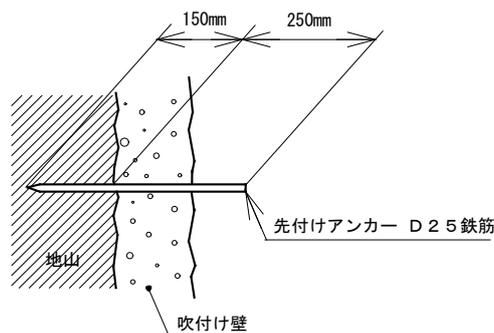


図8.1 深礎における安全管理

安全金具取付け用としての先付けアンカーを、吹き付け前に図8.2の様に地山に必要数量を取付ける。これは、吹き付け後に、昇降梯子固定金具、墜落防止装置取付け金具、鉄筋組立て足場用金具、鉄筋振れ留め金具等として使用する。アンカーは鉄筋を使用し、また検測ピンとして一部利用しても良い。

図8.2 先付けアンカー



9. 機械

9.1 遠心力吹付け機本体

遠心力吹付け機本体および電動チェンブロックを図9.1に示す。遠心力吹付け機本体は、クレーン等揚重機で深礎坑内の所定の位置に吊り下げて、所定の深さ(1ロット)を電動チェンブロック操作により、微速で繰り返し上下運動させ、所定の厚さになるまで多層に吹き付けてモルタルライニング土留めを形成する。

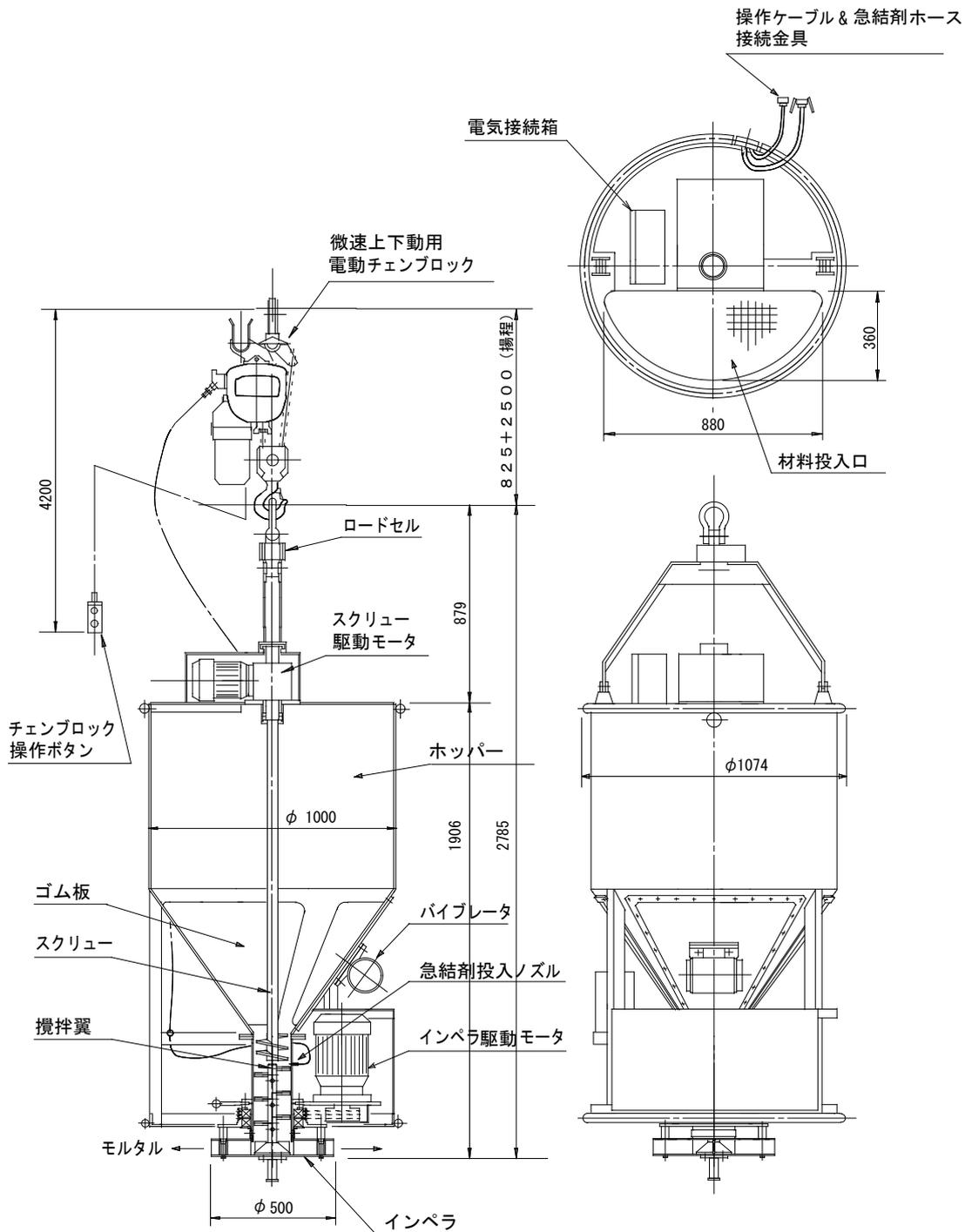


図9.1 遠心力吹付け機本体およびチェンブロック

9.2 運転制御ユニット

運転制御ユニットには運転操作盤および制御盤が装備され、ここで機械全体の集中制御操作を行う。また、このユニットには急結剤ポンプと急結剤タンクおよび小型の空気圧縮機も装備されている。液体急結剤を圧縮空気と混合させ、霧状にして圧送、供給を行う。

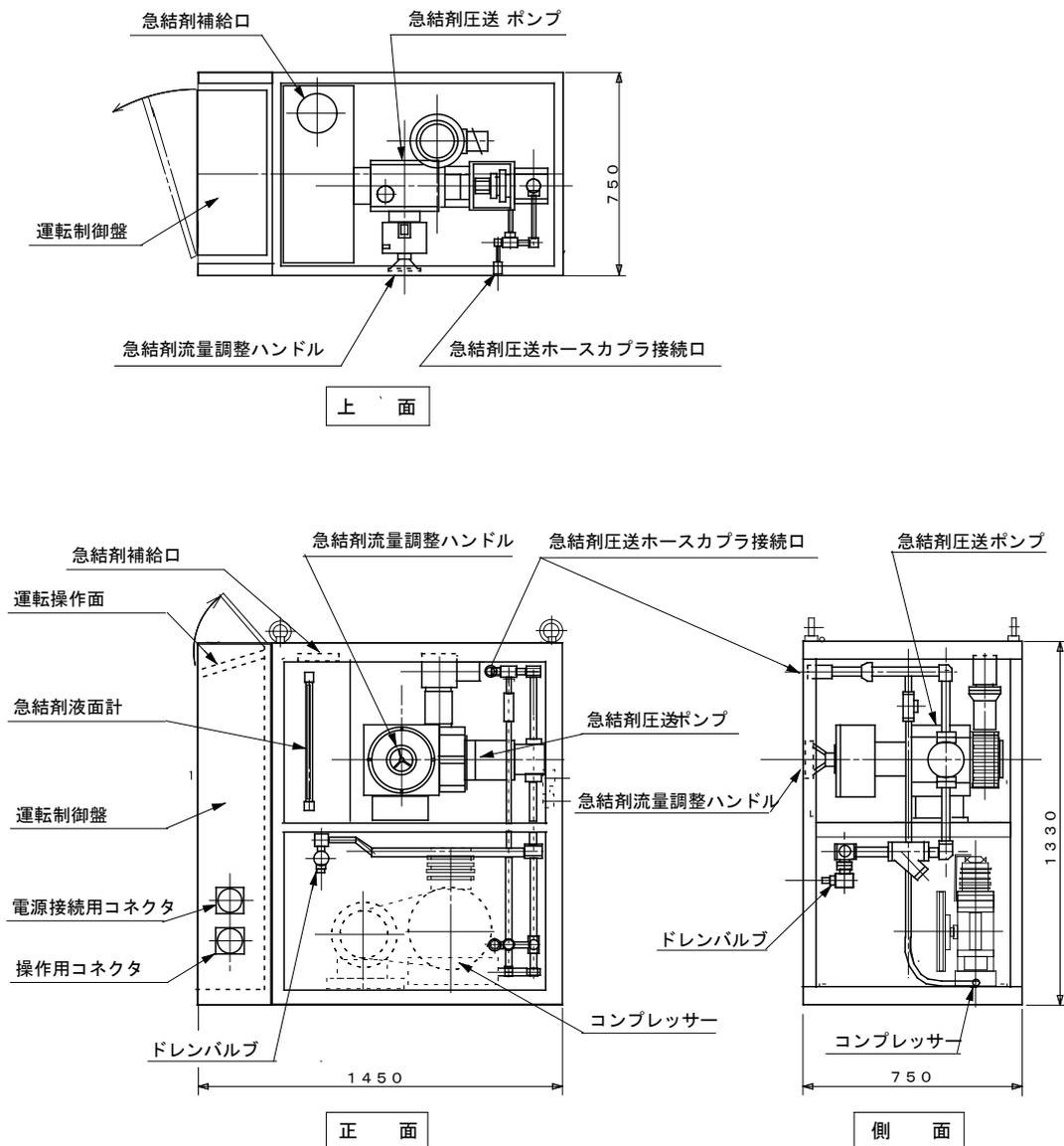


図9.2 運転制御ユニット

【参考文献】

- 1) トンネル標準示方書(山岳編)・同解説:土木学会, 1996. 7
- 2) 深礎基礎 NATM の設計・施工に関する手引き(案):東京電力(株), 1987. 12
- 3) 鉄塔基礎における深礎基礎工事省力化工法に関する研究:東京電力(株), 三井住友建設(株), 送電工事会社8社, 1996. 3
- 4) ロータリー式モルタルライニング工法 設計・施工に関する手引き(案):東京電力(株), 三井住友建設(株), 送電工事会社8社, 1996. 6
- 5) 構造物施工管理要領:日本道路公団, 1996. 10
- 6) 構造物施工管理要領(改正部分):日本道路公団, 1998. 4
- 7) 設計要領第二集橋梁建設編 5.斜面上の深礎基礎:日本道路公団, 2000. 1
- 8) 遠心力吹付け工法による深礎工法のコスト縮減効果と作業環境の改善:東京電力(株), 三井住友建設(株), 2000. 11

10. 各種資料

10.1 モルタルライニング土留めの設計例

・設計条件

杭 径：φ 3,500 (吹付けモルタル仕上がり直径)

杭 長：13.0(m) (GL-10.0m まで土砂、風化軟岩としそれ以深は中硬岩)

土 質：層厚および単位体積重量は下表のとおりとする

吹付け厚：15.0(cm)

圧縮強度：3.0(N/mm²) (15 時間の材齢における圧縮強度で計算する)

・設計土圧(吹付けモルタルに作用する水平土圧)

$$P=K_s(\gamma m h+W)$$

ここに、 P :土圧強度(kN/m²)

K_s:土圧係数、土砂及び軟岩で0.5とする

γ m :各土質の平均単体体積湿潤重量(kN/m³)

h :地表面からの深さ(m)

W :上載荷重(9.8kN/m²とする)

ただし、h=15(m)以深は土圧の増加は無いものとする。

下表に吹付け壁の最下端までの各層厚と単位体積湿潤重量を示す。土砂、風化岩までとし、中硬岩、新鮮な軟岩に達した場合、以深は土圧を考慮しない。

	層厚(m)	単体体積湿潤重量(kN/m ³)	土圧(層下部)(kN/m ²)
第1層	1.5	20.2	15.2
第2層	2.5	21.5	42.0
第3層	3.5	23.5	83.2
第4層	2.5	23.7	112.8
第5層			
第6層			
第7層			
第8層			
第9層			
第10層			

合計 10.0 m (中硬岩、新鮮な軟岩は除く)

最大土圧を P_{max} と表し、

$$P_{\max} = 117.7 \text{ (kN/m}^2\text{)(上載圧を含む)}$$

$$P_{\max}' = 0.1177 \text{ (N/mm}^2\text{)(上載圧を含む)}$$

・土留の弾性係数

モルタルの弾性係数は、材齢 15 時間の圧縮強度を、3(N/mm²)とし、このときの弾性係数を 6.8×10³(N/mm²)とする。

・座屈に対する検討

$$P_a = 2EI/r^3$$

ここに、P_a:許容座屈荷重(N/mm²)

$$E_c : \text{土留の弾性係数(N/mm}^2\text{)} = 6800 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$I : \text{土留の単位長当たり断面二次モーメント(mm}^4\text{/mm)}$$

$$I = bh^3/12$$

$$b = 1.00 \text{ (mm)(単位長)}$$

$$h = 150 \text{ (mm)吹付け厚さ}$$

$$\begin{aligned} & \text{従って } I = 281250.0 \quad (\text{mm}^4/\text{mm}) \\ r : & \text{土留の半径(mm)} \\ & \text{ここで、} r = (\text{仕上がり径} + \text{吹付け厚さ}) / 2 \text{ とすれば、} \\ & \text{仕上がり径} = 3500 \quad (\text{mm}) \\ & \text{従って } r = 1825 \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa &= 0.6293 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \text{よって、} \\ P_{\text{max}}' &< Pa \quad (\text{座屈しない}) \\ & \text{※最大土圧でも許容座屈荷重に達していないため、座屈に関しては安全である。} \end{aligned}$$

・曲げ応力の検討

直径 3500mm 以上であるので、曲げ応力の検討を行う。

$$M_{\text{max}} = q \times r \times \delta_0 / (1 - q/P_{\text{cr}})$$

M_{max} : 発生する最大曲げモーメント

q : 作用する土圧で、ここでは最大土圧(P_{max}')を採る

δ_0 : 半径方向の最大変位量で、ここでは $0.01r$ を採る

P_{cr} : 限界座屈荷重で $3EI/r^3 \rightarrow 0.9439 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$$M_{\text{max}} = 4477.5 \text{ (N} \cdot \text{mm/mm)}$$

$$\sigma_c = N/A \pm M_{\text{max}}/Z \quad (\text{N/mm}^2)$$

Z : 単位長さの断面係数で、 $Z = b \cdot h \cdot h / 6$ で求める

$$\sigma_c = 1.49 \quad \pm \quad 1.19$$

$$\text{圧縮側応力} = 2.68 \quad (\text{N/mm}^2) < 3.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

※圧縮応力に関して安全である。

$$\text{引張側応力} = 0.30 \quad (\text{N/mm}^2) > -0.3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

※引張り応力に関して安全である。

10.2 遠心力吹付け工法 Q&A

Q-1 この工法の施工について

本工法は、本研究会の正会員又は施工講習会を修了した者が施工します。

Q-2 適用範囲について

土質条件：土砂山から岩まで吹き付けは可能です。ただし、自立することが条件です。

直 径：2.0m～6.0m の実績があります。しかし、一般的には直径2.0m～5.0m 以下の深礎の施工が効率的です。それ以外は別途に検討する必要があります。

長 さ：ホース、コード類は25m×2本=50m が標準装備です。従って、この長さでの施工計画が必要です。

湧 水：湧水のある条件下では、基本的に本工法は困難であります。ただし、若干の湧水であれば対処可能な場合が多く、どの程度の湧水まで対処可能であるかは、湧水の状況(集中、分散)によって異なります。また、事前の湧水処理によっても適用範囲は大いに異なります。

Q-3 モルタル吹き付け厚は10cm以上となっていますが、良好な岩の場合は薄く出来ないのでしょうか。土砂の場合、金網等は必要にならないのでしょうか。

設計では薄くても良い場合もありますが、施工上の確実性を考え、本研究会では強度的に余裕があっても最少を100mm とするとしています。なお、厚さの計算は、モルタルの強度発現を考慮して設計することとしています。この時必要となる作用設計土圧の算定は $K_s=0.5$ とし、15m 以深は土圧が増加しないとして考えています。硬岩、新鮮な軟岩では、土圧は考慮しなくても良いとしています。

設計された吹付け厚さや、増し吹きを行っても変形が生じる場合には、補強筋等を配置するように書かれている設計要領書もあります。しかし、実際的にはこの様な大きな土圧が作用するような条件では地山の自立も困難となることが多いため、一回当たりの掘削高さを小さくする等の対策が必要となります。また、このような対策を施しても自立が困難な地山の場合は、地山の補強を検討する必要があります。

対策のうちの一つ金網の役割として、以下の3つがある。

- ① 吹付けモルタルのせん断補強
- ② 付着性の向上
- ③ 破壊時の吹付けモルタルの剥落防止

通常、使用されている金網の目の大きさは100×100mm、150×150mm で、線径はφ3.2、φ4.0、φ5.0、φ6.0mm のものが多い。大口径深礎(φ5000以上)の場合は、山岳トンネルに準じるが、杭径がφ4.0m 以下の場合は、地山に対してフレキシブルなラス網を地山に取り付けてから吹付けをすると効果的である場合が多い。

Q-4 急結剤は液体でなく粉体を使用してコンクリートは吹き付けられないか

現在使用されている吹付け機の特長から、モルタルに粉体急結剤を混合すれば、吹付け機械内部で硬化してトラブルになる恐れがあります。また、現在の吹付け機械はスクリーフィーダー（ホッパー部から下部の攪拌部にモルタルを落とし込むためにホッパー内に取付けられたスクリー部分）がモルタル対応の構造となっており、10～15mm アンダーの粗骨材であるコンクリートの場合にはその部分で付着し閉塞する恐れがあります。以前、粗骨材を10mm程度として液体急結剤を用いてコンクリート吹付けをした例はありますが、作業上困難な事が多く、現在はコンクリートには対応していません。

Q-5 モルタルの必要強度およびその発現時間について

基本的には、初期材齢についてはその日の作業終了時から翌日の作業開始時までの一晩の養生、即ち材齢15時間程度(17:00～8:00)で土留めとしての強度を発現し、作業上安全を確保する必要があります。当研究会では、モルタルの標準配合を使用した場合、材齢15時間で3N/mm²程度が得られることがこれまでの実績から把握しており、これを目安として、モルタルライニング土留めの設計を行い、安全性を確保して施工することを推奨しています。

Q-6 厳寒期の施工でモルタル温度を簡単に上昇させる方法について

寒冷地では、プラントがボイラー設備を用意しているため、材料温度は20℃程度で入荷できるので問題は生じません。福島以南ではボイラー設備が無いプラントがあり、問題が発生することがありますが、現状では根本的解決策はありません。

Q-7 モルタルの混合機械について

モルタルは生コンプラントから購入することを原則としています。現地プラントを使用する場合は、材料配合等について別途検討が必要となります。

Q-8 発破による飛散岩や振動によるモルタル土留めの影響

常に問題点として出されますが、明確な理論はないのが現状です。

- ① NATM 工法でも特に問題になった例はない。
- ② 発破を用いる地盤は一般的に自立性に関する問題は少ない。

しかし、発破によりモルタルにひびわれが入る場合が想定されることも事実です。この場合の対処方法として、以下の点に留意が必要であると考えます。

- a. 試験発破をしてモルタル壁面等に問題が生じないかを確認し、火薬量、掘削床付け高さを決める。
- b. 「深礎基礎の先端部は、土留めを施工しなくてもよい」とする設計書(設計要領第二集橋梁建設編 5. 斜面上の深礎基礎参照)もあることから、前日のモルタルライニングを床付面から50cm程度無処理状態にして発破掘削をするという方法が考えられる。なお、発破をかける地山は、掘削時十分自立することを前提としているので入坑時は必ず点検してから入る等注意が必要である。

Q-9 吹付け厚が不足している場合の増し吹きについて

増し吹きは特に問題ありません。ただし、後で部分的に増し吹きを行うことは、作業上非能率的となります。何らかの理由で、後で増し吹きをする場合においても、一個所だけに吹き付けることは原則的に

不可能で、全周に吹き付けられて厚くなるので、このような場合は吹付け後に、不要な箇所は取り除く必要があります。このようなことがないように、検測ピンによる吹付け厚さの管理を注意深く行う必要があります。

Q-10 遠心力吹付け機の吊り下げについて

適合する揚重機が現場にある場合はそれを利用します。このとき、深礎の杭芯で2t の吊り能力が必要です。

Q-11 作業の最小施工ヤードについて

ライナープレートによる施工と比較する場合、掘削、ズリ出し、ライナー吊り下ろしをどのようにしているかによって結果は異なってきます。一般的には、テレスコピック式グラブシェル(パイプグラブ)で掘削、ズリ出しを行っており、本工法は、これに①吹付け機一式、②揚重機、③モルタル運搬(ミキサー車)が必要になります。また、吹付け時にパイプグラブ、バックホウ等を一時的に別に退避させるスペースが必要になります。

Q-12 吹付け半径あるいは速度によるモルタル配合の変化および材料分離について

吹付け半径によって材料を変えることはありません。ただし、過去に施工した実績の最大杭径8.0m の場合は、インペラーの回転を上げて(600rpm)初速度を上げる必要があったために細骨材が一つ一つまでばらばらになって飛んでいるように見受けられました。ただし、出来上がった土留め壁の強度に問題はありませんでした。

”材料分離”という言葉が骨材とセメントミルクが分離して飛翔し、ある場所には細骨材、ある場所にはセメントミルク分だけが吹き付けられるとの意味であれば、”材料分離”は発生していないといえます。小口径と大口径の差は、前者では或る程度の塊で投射されるが、後者では塊がより細かい状態で投射されていることです。一般的には深礎径5.0m 以下の施工に適していると考えます。

Q-13 杭が支持地盤に達している場合の効果について

杭の規模は鉛直荷重だけで決まらず、水平荷重、回転モーメントの3成分で決定されます。支持地盤に根入れすれば一般的に鉛直支持力は十分で、周面摩擦など期待する必要がないように思えますが、平成8年12月に改訂された道路橋示方書では、”地震時保有水平耐力法”による照査が義務付けられ、水平荷重による安全性照査、水平変位量照査、回転変位量照査が重視されています。その結果、従来までの設計と違い、杭の規模は、ほとんど”地震時保有水平耐力法”の結果により決まっています。

従来、ライナープレートによる土留めで施工した深礎基礎は、杭底面の鉛直、せん断力だけを考慮し、杭周面のせん断抵抗は考慮していませんでしたが、遠心力吹付け工法により施工したモルタルライニング土留めにおいてはこれを考慮することができるため、水平耐力(水平変位小)、杭頭回転剛性(回転変位小)が著しく改善され、杭の規模も大幅に縮減できることになりました。

なお杭周面のせん断抵抗による効果は、この単杭、単列杭でもありますが、2×2や2×3の様な組み杭でさらに大きな効果が発揮されます。つまり、2×2や2×3では、水平荷重によって片側は引き抜き荷重が作用し、これに対して周面摩擦が有効に作用するためです。

Q-14 湧水処理方法について

現在のユニットは、モルタルと液体急結剤の組合せであるが、液体急結剤は粉体急結剤と比較して硬化時間が長い。そのため、坑壁ににじむ程度の湧水があった場合も湧水処理が必要と判断される場合は、湧水処理を必要とする。以下に簡易的な処理方法を記す。

- ① 一部分の湧水の場合、塩ビパイプ等の集水管を掘削坑壁に取付け集水し一次吹き後、重ね吹付けを繰り返す。
- ② 一部分の湧水の場合、薄くて強靱な長繊維不織布で排水処理をし直接湧水している地山と吹付け材を遮断して吹付けを行う。

湧水量が多く吹付けが困難となる場合は、ディープウェル・薬液注入等の補助工法による対策や部分的にライナープレートとグラウト充填施工への設計変更を行うことを検討する必要がある。グラウト充填材の選定は、湧水に対して十分検討したものを使用する。