

# 遠心力吹付け工法

安全性および作業環境の向上，コスト縮減に優れた深礎杭土留め工法

## 1. はじめに

現在，大型基礎工事用機械が使用できない山岳地形の傾斜地等では，橋梁基礎杭等の工事を行う場合，一般的に深礎工法が採用されている。

この深礎工法は非常に小さいスペース，小規模

な機械器具，わずかな仮設工事で比較的大規模な基礎杭を築造できるのが特徴だが，土留めに関して鋼製ライナープレートへの吊下し，組立て，ボルト接合などには多くの人力施工を必要としている。また，鋼製ライナープレート以外の工法として圧縮空気を利用した吹付け工法もあるが，大量の粉じんの発生を伴うなど作業環境上の問題が発



写真 1 ライナープレートによる土留工法

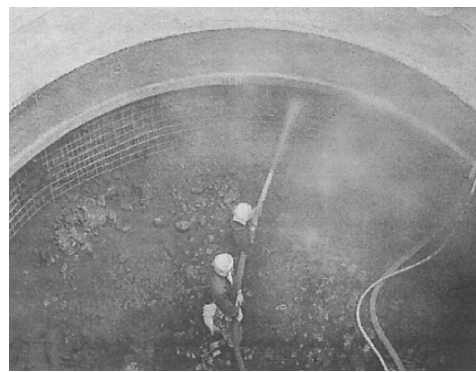


写真 2 圧縮空気による吹付け工法

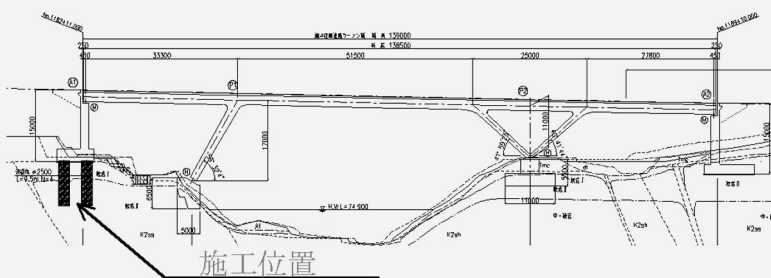


図 1 施工位置縦断面図

### 工事概要

上林川橋：A 1 橋台深礎基礎工

橋台基礎工： $\phi 2,500\text{mm}$

$L = 9.5\text{m}$  4本

山留工（杭壁防護）：

モルタル吹付け（遠心力吹付け）

$294.1\text{m}^2$  ( $t = 10\text{cm}$ )

生している（写真 1, 2 参照）。

このような中、新たに開発された遠心力吹付け工法は、モルタルを機械によって地山に投射しモルタルライニング土留めを行う工法で、作業環境の改善と安全性の向上とともにコストの縮減を図ることが可能となっている。

今回、近畿地方整備局発注工事である丹波綾部道路橋上トンネル工事において、上林川橋橋台基礎杭に採用された遠心力吹付け工法について紹介する。

図 1 に施工位置縦断面図を示す。

## 2. 丹波綾部道路事業概要

丹波綾部道路は京都府の北部・南部地域を結ぶ京都縦貫自動車道のうち、京都府船井郡京丹波町～綾部市の区間を構成し、京都府中部および北部地域の活性化を図るとともに、物流の効率化、一般国道27号の代替え機能の確保をはかることなどを目的とした道路である。図 2 に京都縦貫道・丹波綾部道路路線図を示す。

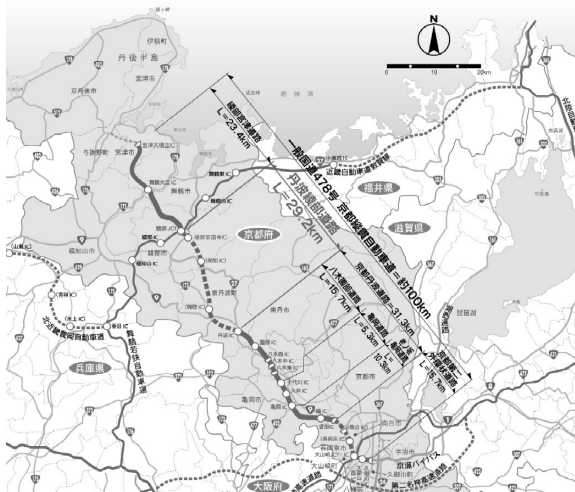


図 2 京都縦貫道・丹波綾部道路路線図

## 3. 技術概要

遠心力吹付け工法は、高速に回転するインペラの遠心力を利用してモルタルを全周360°吹付けモルタルライニング土留めを行う工法で、急結剤を

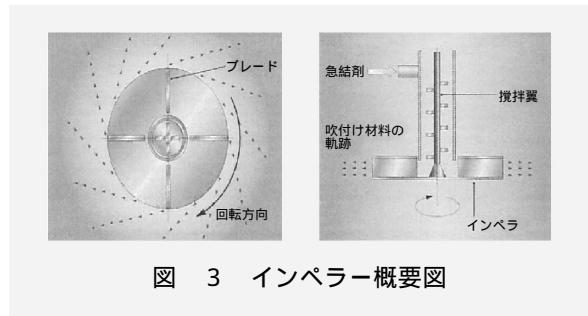


図 3 インペラ概要図

モルタルと混合攪拌し、インペラにより機械的に投射するため粉じん発生量がきわめて少ないのが特徴である。

また、インペラの回転速度を変化させることにより杭径または地山の状況に変化対応できる（適用杭径は2.0～5.0m）。

また、地山に密着した土留めは、杭の設計において杭周辺のせん断抵抗（周面摩擦）を考慮することができ、その規模を小さくできることから、コスト縮減が可能である。



写真 3 遠心力吹付け工法施工写真

## 4. 技術の特徴

### (1) 吹付けシステムの構成

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する。

#### ① 遠心力吹付け機

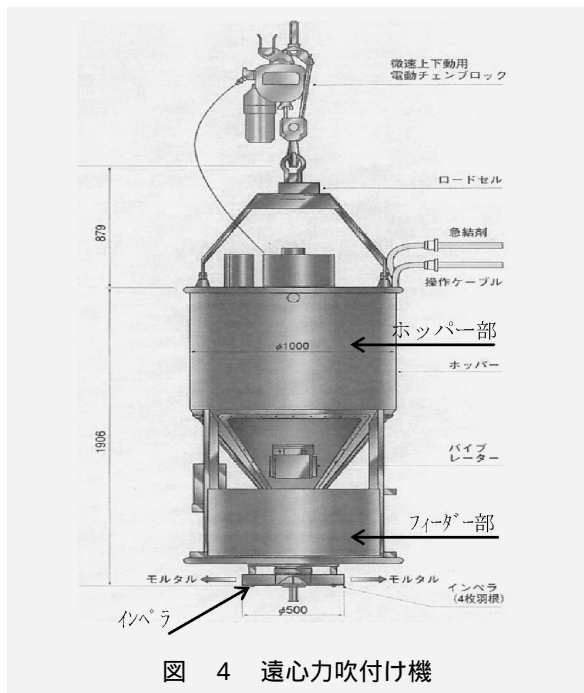


図 4 遠心力吹付け機

遠心力吹付け機は、上部に吹付け材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ー部、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に構成される。

均一なモルタルライニング土留めを形成するために、モルタルフィーダー部の駆動用電動モーターにインペラ制御を採用し、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モーターは回転数を300～900rpmの範囲で可変とすることで施工する杭径および地質に応じて最適な回転数を選択できる。また、ホッパー上部の吊り手部に荷重計（ロードセル）を設けているため吹付け中の材料の使用量をリアルタイムに測定できる。

## ② 運転制御ユニット

地上部に設置す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。

このユニットと、遠心力吹付け機本体の荷重計にて吹付け中の使用量の管理を行う。遠心力吹付けシステムの各種機器の仕様を表 1 に示す。

### (2) 遠心力吹付け工法の特徴

表 1 各種機器の仕様

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

- 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ため、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するため現場でのプラントの設備が必要ない。
- 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 掘削した地山の自立性が得られ、かつ湧水量が少量であれば、地質の種類を問わず適用可能である（湧水処理にて対応可能）。
- ⑥ 吹付けモルタルが硬化し所定の強度が発現し土留めとして機能するまでは、次の掘削工に着手できないため、作業時間の調整が必要となる。

表 2 にモルタル標準配合を示す。

表 2 モルタル配合表  
(1m<sup>3</sup>当たり)

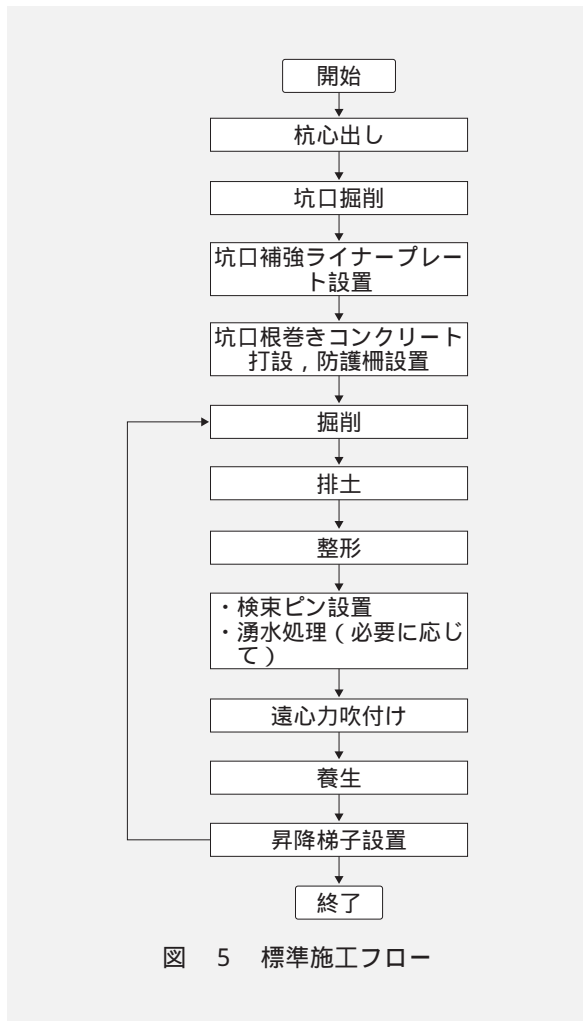
W/C = 50%	S/C = 3.0		液体急結剤
水	セメント	細骨材	セメント重量の7%
250 (kg)	500 (kg)	1,500 (kg)	35 (kg)

## 5. 施工手順と施工管理

### (1) 施工手順

遠心力吹付け工法は、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。図

5 に標準的な遠心力吹付け工法の施工フローを示す。



遠心力吹付け工法は、特殊な作業の必要はないが、掘削面に均一なモルタルライニングを行うために吹付け時に遠心力吹付け機を一定速度にて上下させる必要がある、この操作に慣れることが必要である。

吹付け完了時に、計測ピンにて吹付け厚の確認を行うが、吹付け厚が不足している個所へのピンポイントでの吹付けが困難であり、この場合は該当箇所を360°増し吹付けを行い、後にモルタルライニングの整形が必要となる。

以下に形成された状況写真を写真 4、5 に示す。

#### (2) 施工管理

施工管理については、目視による地山の点検およびモルタルライニングのひび割れ、変形、湧水等について日々点検を行う。

吹付けられたモルタルは、低温、乾燥および急

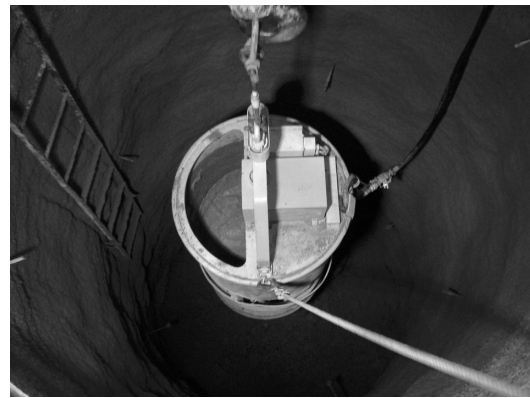


写真 4 吹付け状況写真



写真 5 施工完了写真

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、所用の品質が確保できるよう適切な養生を行う必要がある。

#### ① 出来形管理

出来形管理については、近畿地方整備局「土木工事施工管理基準」および表 3 の出来形管理基準

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 ロット吹付け高さごとに、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

準により行った。

## ② 品質管理

吹付けモルタルの品質管理として、施工開始時において現場吹付け試験を行い、材齢15時間によるプルアウト試験により $3\text{ N/mm}^2$ の確認を行い、施工中として1施工箇所当たり1回モルタル供試体を作成し、圧縮強度試験を行った。

## ③ 安全管理

本工法を施工するためには地山の自立状態が条件であり、現場の地山状況を見てその都度1ロットの掘削深さを設定する。

特に土砂、風化の進んだ軟岩、亀裂の発達した軟岩ではよく監視する必要がある。

また、吹付け作業時に坑内作業員が吹付け機の操作および監視するが、高所作業となるため、キーロック方式の安全ロープの使用および保護メガネ、防じんマスク等を着用させるなどの安全対策を行った。

粉じん対策としては、過去の事例による粉じん測定結果から見て、 $0.5\text{ mg/m}^3$ 程度との低粉じんではあるが、坑内の換気を送風機等にて換気を行った。

## 6. おわりに

最近の各地のじん肺訴訟問題等、建設工事にお

ける作業環境に対し社会の見る目は厳しく、粉じん対策の一層の充実を図る必要がでてきている中、本工法の活用は作業環境の改善に取り組む上で役立つ工法であるといえる。

また、深礎杭の設計段階において従来のライナープレート工法では得られなかった杭周囲のせん断抵抗を考慮することができるため、合理的、経済的な設計が行えることによりコスト縮減効果が得られる。

しかし、地山が自立しない、地下水位が高い場合や、大量の湧水がある現場では施工が難しいため、事前の現地踏査、現位置でのボーリング調査等を十分に行って工法選択する必要がある。

最後に、今回の施工にあたり作業員への飛来・落下災害の要因が大幅に低減され、工事管理者としても安心できる工種であった。ただ、掘削形状により岩が突起した場合の下面部または、一部分だけを増し吹きしたい箇所など、細部について改善の必要性はあると思える。

今後、先ほど述べた施工困難な条件について施工可能な技術開発さらに、吹付け操作員も坑内へ入らずにモニター等にて吹付け状況が監視できる完全遠隔操作にて施工できるように改善されることを期待したい。

発注者 国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所 工務第二課長 森 一郎  
設計係長 井上 成彦  
建設監督官 田中 幸一

施工者 前田建設工業株式会社関西支店  
橋上トンネル工事 作業所 工事課長 河野 靖之

URL 遠心力吹付け工法研究会 <http://www.smcon.co.jp/csl/>

URL 国土交通省福知山河川国道事務所 <http://www.kkr.milt.go.jp/fukuchiyama/>