

3 9 . 空気連行型翼式超高压喷射工法の概要と適用事例

－ N J P 工法による農地防災用水路築造工事への適用事例－

農林水産省 中国四国農政局 上岡 雅司
小野田ケミコ株式会社 鈴木 孝一
西尾 経
○森 邦広

1. はじめに

近年では市街地郊外において、急速な生活環境の変化や都市化に伴い、下水管渠やボックスカルバート等の水路整備が進められている。その築造方法では立坑部、水路部を開削工事によって行われる場合が多い。掘削に伴い山留め壁の安定確保が必要なことから、一般的に先行地中梁および盤ぶくれ防止を目的とした地盤改良施工が行われている。地盤改良において、地下水位が高い場合には掘削に伴う止水性、土留め壁との密着性、安定した強度発現等を確保する必要があるため、ジェットグラウト系工法が適用される場合が多い。

本工法は、ジェットグラウト系工法的一种で、空気連行型二重管攪拌翼方式による超高压喷射攪拌工法（以下 N J P 工法と略記する）で、改良径 ϕ 1.6～2.2m が造成され、従来工法に比べ、短い改良時間で、排泥量の大幅な低減、高い施工効率による工期短縮等の特徴を持つ地盤改良工法である。

ここでは、本工法の概要とその施工事例として、徳島県吉野川下流域地区において、農業用水の安定的な供給を図るための用水路の築造に伴う一環として、開削土留工の安定を目的とした本工法の適用事例を報告する。

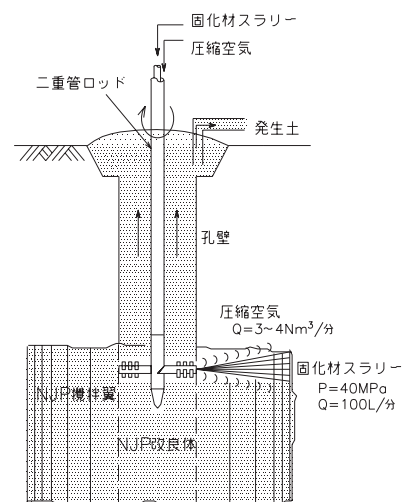
2. N J P 工法の概要

2.1 N J P 工法の改良原理と特徴

N J P 工法は、図－1 に示すように二重管ロッドに装着した N J P 特殊攪拌翼の先端部から、圧縮空気を連行させ、同時に固化材スラリーを超高压喷射流の流体エネルギーにより地盤を切削し、円柱状の改良体を造成する。写真－1 に造成された N J P 改良体を示す。圧縮空気の併用により、対象地盤内では強力なキャビテーションによって、切削破壊・土粒子の再配列が生じ、短時間に改良径 ϕ 1.6～2.2m の大口径の改良体を造成できる。改良時に生じる排泥土量は、従来工法と改良 1 m^3 当たりの発生土量を比べると、 $1/3\sim 1/4$ と少く、産業廃棄

物処理量の大幅な低減ができ、環境負荷の少ない工法である。また、改良時には地盤内で切削作用を終えた空気が N J P 特殊攪拌翼で形成した孔壁内を通じて、切削された排泥土とともに安定的、かつ確実に地上に排出させるため、施工時の地盤変位等が抑制され、低変位な施工も可能である等の特徴を有する。

さらに N J P 特殊攪拌翼外周部が超高压喷射流による攪拌のため、山留め壁、基礎杭等への密着施工や改良体相互のラップ施工が容易にでき、山留め壁体との止水性の確保が図れる。また、施工機械



図－1 空気連行型二重管攪拌翼式超高压喷射攪拌工法 (NJP) の改良原理



写真－1 NJP 攪拌翼と造成改良体

は軽量小型で機動性の高い工法である。

2.2 標準改良径と改良仕様

NJP 工法は、従来ジェットグラウト系方式とは異なり、ロッド先端部にφ0.4mの特殊攪拌翼を装着していることが特徴である。標準改良径Dは、高圧噴射攪拌のため、適用土質により異なるが、表－1に示すように、単位m当たりの改良時間の設定により、φ1.6m～φ2.2mの円柱状の改良体を造成するものである。なお、礫を含む場合には、N値が小さくとも設定改良径は十分に検討する必要がある。

NJP 施工における改良仕様は、φ0.4mの特殊攪拌翼を用い、超高压流体域では固化材スラリーを圧力 $p=40\text{MPa}$ 、吐出量 $q=100\text{l/分}$ で、また、空気噴流体域では圧縮空気を連行させ、 $p_a=0.8\sim 1.0\text{MPa}$ 、 $q_a=3\sim 4\text{Nm}^3/\text{分}$ を同時に噴射し、攪拌混合する。表－2にNJP工法の改良仕様を示す。

表－1 土質条件と標準改良径

改良時間 t (分/m)	標準改良径 D(m)		
砂質土	$N \leq 10$	$10 < N \leq 20$	$20 < N \leq 30$
粘性土	$S_u \leq 10$	$10 < S_u \leq 30$	$30 < S_u \leq 50$
6	2.0	1.8	1.6
8	2.2	2.0	1.8

*NJP攪拌翼径φ0.4mの場合

表－2 改良仕様

項 目	施工仕様
NJP特殊攪拌翼径	φ0.4m
超高压流体域	吐出圧力 $p=40\text{MPa}$
	吐出量 $q=100\text{l/分}$
空気噴流体域	圧 力 $p_a=0.8\sim 1.0\text{MPa}$
	吐出量 $q_a=3\sim 4\text{Nm}^3/\text{分}$

2.3 NJP改良体の設計の考え方

NJP 工法では、均質な改良強度、掘削等に伴う高い止水性効果、土留め壁との密着性等の外力に安定した強度が必要であることから、各土質に応じ改良体の設計基準強度を設定している。表－3にその設計基準強度を示す。なお、使用する固化材スラリーは、専用固化材としてケミコ C201Sを使用するものとする。

山留め壁を用いた開削工事等における底盤部等の改良厚さの設定では、設計計算結果によるものの、最小改良厚さTを $T=1.5\text{m}$ としている。

表－3 改良体の設計基準強度

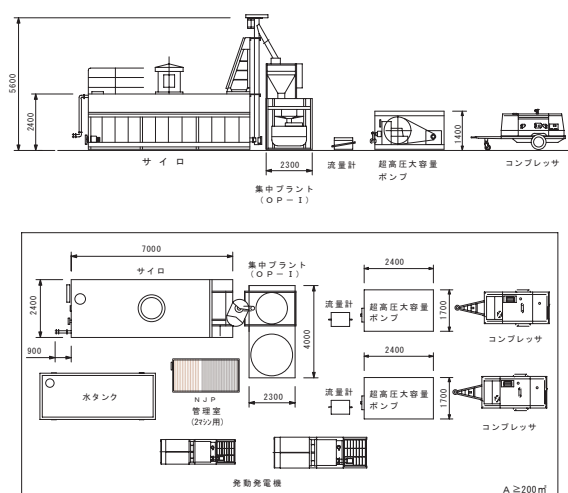
使用固化材	土 質	一軸圧縮強度 $qud(\text{kN/m}^2)$	粘 着 力 $C(\text{kN/m}^2)$	弾性係数 $E_{50}(\text{kN/m}^2)$	付着力 $f(\text{kN/m}^2)$	曲げ引張強度 $\sigma_t(\text{kN/m}^2)$
ケミコC201S	砂質土	2000	400	20×10^4	$1/3 \times C$	$2/3 \times C$
	粘性土	700	300	7×10^4		
	有機質土	200	100	2×10^4		

2.4 施工機械

NJP 施工機械は、NJP 施工機本体部とプラン



写真－2 NJP 施工機本体全景



図－2 NJP プラント設備配置図(2セット例)

表－4 施工機械仕様

機材名	仕様	容量
NJPマシン	70.6kN・m、施工管理システム付	30kW
スライドベース	標準10mスパン、駆動装置	
スラリープラント	20m ³ /h、サイロ付	15.6kW
超高压大容量ポンプ	$p=40\text{MPa}$ 、可変型	110kW
コンプレッサ	$p=1.05\text{MPa}$ 、 $q=18\sim 19\text{m}^3/\text{分}$	140kW
NJP管理装置	集中管理装置	3.8kW
発動発電機	200kVA超低騒音型	195kW
	350kVA超低騒音型	331kW
バックホウ	平積0.4m ³ 、排出ガス対策型	64kW

ト部により構成される。NJP 施工機本体では、NJP マシンを専用スライドベースに搭載することで、機械移動やロッド接続作業等において、ラフテレーンクレーン等の重機使用の必要性がなく、施工の効率化、機動性を高めている。写真－2にNJP マシンの施工機本体を示す。また、プラント部では、固化材スラリーを安定的に混練できるように図－2に示すように設備を配置する。表－4は、NJP 施工に使用する主な機械仕様を示す。

2.5 施工方法

NJP 工法の施工方法は、図－3に施工手順を示す。施工手順は専用スライドベースに搭載したNJP マシンにより、NJP 特殊攪拌翼を所定の深度まで貫入する。次にNJP マシンの管理操作盤において、改良時間、ロッド回転数を設定する。改良仕様で定めた超高压流体域の固化材スラリーの圧力、吐出量および圧縮空気を連行させ、圧

力、風量を確認した後、引上げを開始し造成する。

このとき、NJP 施工管理システムでは、改良造成に必要な施工管理データをプラント部および NJP マシン部から検出し、集中管理装置に送信され自動記録される。施工管理データ等の管理数値はモニタリングでき、集中管理室および NJP マシンオペレータともに同時にリアルタイムで確認することができる。NJP 改良体を造成する場合に必要な主な施工管理データの深度(改良時のみ)、固化材スラリー吐出圧力・吐出量およびエア吐出圧力、風量を改良仕様に定めた管理値により監視するものである。

3. NJP 工法による農業用水路築造施工事例

3.1 事業概要

吉野川下流域地区は徳島県の北部に位置し、東西を貫くように流域が形成されている。吉野川下流域農地防災事業は、塩害や生活排水などの影響で農業用水の水質が悪化し、営農に制約が出ている吉野川下流の左岸地域の農地に吉野川本川のきれいな水を安定的に供給し、生産性の向上と農業経営の安定を図るものである。現在の用水路は、用排兼用の開水路が多く、隣接の吉野川北岸地区に比べ、パイプライン化が遅れている。このため、生活排水等が農業用水路に流入し水質悪化を招いている¹⁾。図-4に用水路の現況と整備後の水路構造を示す。また、写真-3に現状の用排兼用の開水路状況を示す。

本工事は、農業用水路の築造に伴う一環として、立坑および開削土留工の先行地中梁および盤ぶくれ防止を目的とした地盤改良工事の事例を以下に示す。

3.2 地盤改良工法の計画と選定

用水路形式のボックスカルバート(Box-C)の設置方法においては、従来では余裕幅を確保した開削方法によって行われていた。しかし、最近では用地買収面積の縮小を考慮し、余裕幅を確保しないゼロスペース開削方法が多く採用されてきた。

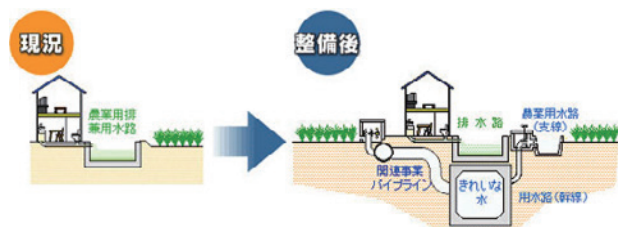


図-4 用水路の現況と整備後の水路構造¹⁾

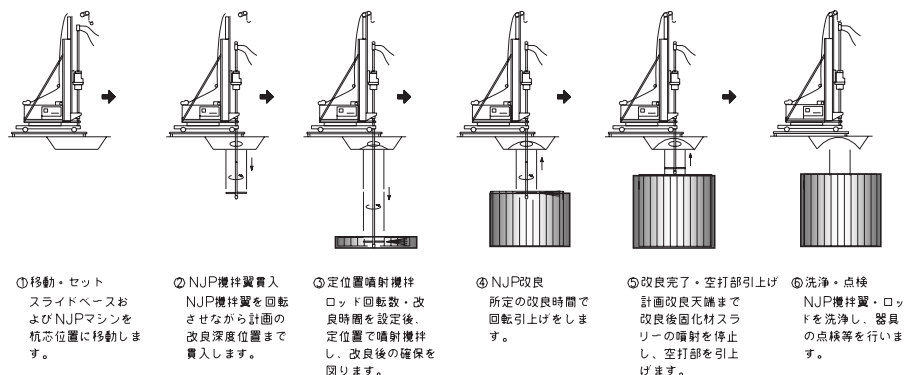


図-3 NJP 施工手順図



写真-3 現状の用排兼用の開水路¹⁾

改良方式	空気連行型 二重管攪拌翼式	二重管式	三重管式
改良原理図			
地盤条件	粘性土 $30 < S_u \leq 50 \text{ kN/m}^2$	砂地盤 $10 < N \leq 20$	
有効造成径	$\phi 1.8 \text{ m}$	$\phi 1.4 \text{ m}$	$\phi 1.8 \text{ m}$
造成時間	8分/m	20分/m	20分/m
排泥量比率	1	3	3.5
工期比率	1	2.5	4

図-5 地盤改良工法の選定比較図

当該施工地区では、Box-C 下端に軟弱粘性土が分布しており、鋼矢板による土留め壁と砕石置換+地盤改良工が計画された。地盤改良工法の選定にあたり、開削に伴うドライ施工による止水性、鋼矢板との密着性、および設計上必要な確実性の高い改良強度等が求められ、ジェットグラウト系(JG系)工法が提案された。JG系工法のうち、図-5に示すような各工法の比較検討を行った結果、排泥量が従来JG系工法の1/3以下に減少し、高施工能率による工期の短縮等により、経済性の高いNJP工法が選定された。

3.3 各工事区の施工概要

本工事の計画においては、NJP 工法により実施した用水路築造に伴うS水路(O1)工事および開削工に伴う改良工事としたN水路(H4)工事の2事例を報告する。表-5にその工事概要を示す。

S水路(O1)工事では、 $\phi 1500$ 埋設管の推進を

表-5 各施工例の工事概要

	S水路(01)工事		N水路(H4)工事
施工域	発進立坑部	到達立坑部	水路開削区
工事目的	先行地中梁、底盤改良		盤ぶくれ防止、支持力増加
貫入長 L	10.58m	11.21m	8.73m
改良長 Lc	2.3m+1.5m	2.1m+1.5m	2.2m
施工本数	30本	35本	249本
設計強度 qud	地中梁部 700kN/m ²		700kN/m ²
	底盤部 2000kN/m ²		

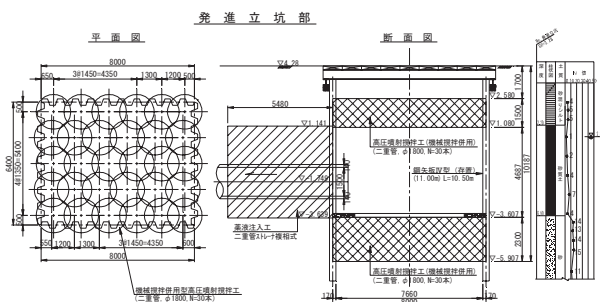


図-6 発進立坑の先行地中梁及び底盤改良例

目的として発進および到達立坑の築造が計画された。事前調査の結果、発進立坑部では $N=5$ 、 $S_u \div 50 \text{ kN/m}^2$ の砂混りシルト層、また、到達立坑部は、底盤改良部分で $N=21$ の砂層が確認された。NJP 改良配置では、改良径 $\phi 1.8 \text{ m}$ とし、先行地中梁厚 1.5 m 、底盤改良部 $2.1 \text{ m} \sim 2.3 \text{ m}$ 厚とした。また、改良時間 $t=8 \text{ 分/m}$ 、設計強度 $qud=700 \text{ kN/m}^2$ とした。図-6 に発進立坑の NJP 配置例を示す。

N水路(H4)工事では、幅 4m の水路を延長 116m に渡り、鋼矢板を土留め壁とし開削によりボックスカルバートを築造する計画である。底盤改良位置の GL-7.1m~9.4m 付近の土質は、 $N=6$ の砂まじりシルトで構成されている。NJP 改良配置では、改良径 $\phi 1.8\text{m}$ とし、図-7に示すような配置とした。

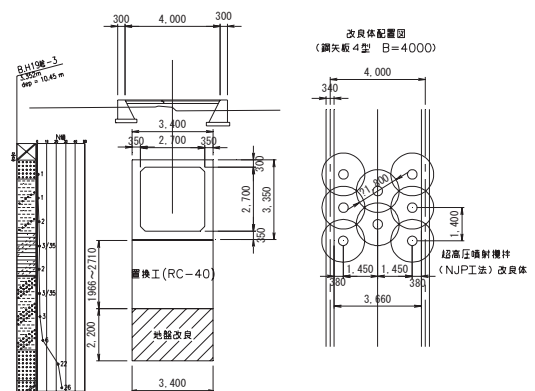
3.4 施工結果

S水路(01)工事において、立坑付近は狭隘で民家に近接している箇所の施工環境であった。また、N水路(H4)工事では、施工延長が長く、NJP施工機のスライドベースは仮設鋼上を自走が可能なことから機動性が高く、効率的な施工が可能であった。**写真-4**にその施工状況を示す。NJP施工後の各工事の現場改良強度の結果を**表-6**に示すが、いずれも設計強度を満足している。

各工事の掘削に伴う改良効果では、山留め壁の変形、近隣への影響もなく、開削作業では止水効果も高くドライ施工ができた。**写真-5**にNJP改良後の開削した水路部の床付け部の状況を示す。

4. まとめ

二重管攪拌翼方式による NJP 工法は、改良径 ϕ 1.6~2.2m で、従来工法に比べ、短時間の改良時



図一7 開削工事に伴う底盤部改良



写真-4 開削部の NJP 施工状況



写真-5 水路部開削によるNJP改良確認状況

表-6 各工事例の改良強度結果

試験位置			試験 NO.	現場改良強度	
				quf(kN/m ²)	平均
S水路(O1) 工事	発進 部	地中梁部	1	850	995
			2	1140	
		底盤部	1	3210	2420
			2	3580	
	到達 部	地中梁部	1	1240	1118
			2	996	
		底盤部	1	4760	5135
			2	5510	
N水路(H4) 工事	底盤部	1	1240	1390	
		2	1540		
		1	2930	3020	
		2	3110		
		1	2560	1950	
		2	1340		

間で、排泥量の大幅な低減と高効率な施工方法により、経済性が期待される。NJP 施工による施工事例として、徳島県吉野川下流地区の農地防災用水築造工事の一部を紹介したが、今後、さらに環境に配慮された地盤改良工法の改善が望まれる。

参考文献

1)農林水産省中国四国農政局四国東部農地防災事務所：よしのがわ国営吉野川下流域農地防災事業ホームページ，2009.8