

吉野川下流域における農地防災用水路の整備事業と 空気連行型翼式超高压噴射工法の適用事例

上 岡 雅 司・齋 藤 邦 夫・鈴 木 孝 一・西 尾 経・森 邦 広

国営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営農に制約が出ている農地に清浄な水を安定的に供給し、生産性の向上と営農の安定を図るものである。本事業では、兼用してきた用水と排水を分離するため、給水路等を地中に埋設する工事が進められている。水路整備地域において、特に軟弱な地盤で開削等を行う場合には、掘削に伴う盤膨れ防止あるいは土留矢板の変形防止等を目的として、空気連行型翼式超高压噴射攪拌工法を適用した。その結果、止水性ならびに水密性に優れ、排泥量が少なく、経済性に富んだ大口径の改良体の造成を設計に合致して施工することができた。

キーワード：地盤改良、高压噴射攪拌工法、農業用水、底盤改良、密着施工

1. はじめに

徳島県北部に位置する吉野川下流域では、急速な都市化に伴う生活環境の変化に伴い、既存の用水路に生活用水が流入して農業用水の水質が悪化している。吉野川下流域農地防災事業は、こうした状況を改善するため、吉野川本川の清浄な水を安定的に供給する水路整備が計画され、給水路等の設備を地中に設置する工事が進められている。

地盤が軟弱な場合、掘削を伴う工事では、先行地中梁や盤膨れ防止を目的として底盤改良が実施される。また、地下水位が高い場合には止水性が課題となり、土留め壁と地盤改良土との水密性が重要となる。これらに対し、高压噴射攪拌系の地盤改良工法が適用される場合も多く、高い施工性と経済性が求められている。

ここでは、本事業計画と地盤改良に適用した空気連行型翼式超高压噴射系工法による施工事例について報告する。

2. 事業概要

(1) 吉野川下流域農地防災事業の背景

吉野川下流の左岸地域（旧吉野川流域）は、明治時代に吉野川の流況が変わって以来、川の水位が低下すると海水が遡上し、地下水までもが塩水化する大規模な塩害を受けてきた。このため、大正時代には、吉野川本流から旧吉野川へと流れ込む水量が調節されるようになった。1935～1954年には今切川、旧吉野川

に海水の遡上を止める樋門が造られ、さらに1975年には、これらに代わる河口堰がそれぞれ完成した。しかし、各堰は完成から、既に30年以上が経過している。

また本地域では、吉野川、旧吉野川、今切川から水路を引き、営農が盛んであるが、長年の間に農業用の水路は、家庭から流入する排水路にもなってきた。

特に近年、都市化や宅地化の進展が著しく、排水が増加し農業用水の水質悪化が顕在化している。

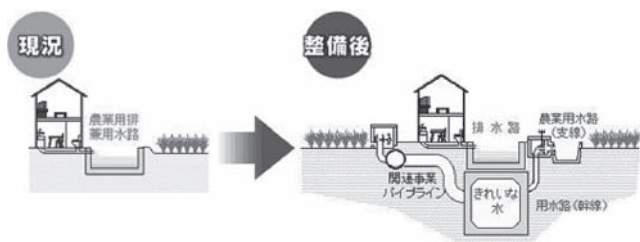
(2) 事業計画

国営吉野川下流域農地防災事業は、塩害や生活排水の流入などで農業用水の水質が悪化した吉野川下流の左岸地域の農地に、吉野川本川の清浄な水を安定的に供給し、農業の生産性の向上と経営の安定を図ることを目的としている。

本事業では、今まで兼用してきた用水と排水を分離し、生活排水などの混入を防止する。また、海水の遡上などで安定して水を確保することが難しい状況にあるため、吉野川に設置されている各堰に新たな取水口を設置し、そこから、現在ポンプを利用している地域まで水を引く北部幹線水路および南部幹線水路なども新設する計画である。図-1は用水路の現況と整備後の水路構造を模式的に示している。写真-1は、用排水を兼用した水路の現況である。

(3) 事業の効果

本事業によって用水と排水を分離した水路が整備されることで、地区内では下流部に至るまで吉野川の清



図一1 事業計画



写真一1 用排水兼用開水路の現況

浄な水を利用した営農が可能となり、基幹作物である水稲やれんこんなどの作物の収量増加や品質向上が見込まれる。また、地盤の沈下によって農地の水はけが悪く、作物が育ちにくい状況が発生していたが、用排水分離で排水性も良好となる。また、塩分濃度が高い地下水の上昇に悩まされてきた地域では、一部の既設樋門と幹線水路によって除塩用水が安定的に確保されるため、塩害が防止され、かんしょや大根などの収量の増加が見込まれる。表一1は水質改善および塩害防止による耕作物の事業効果の生産性向上予測を示したものであるが、10a当りの収穫kgは6～15%の単収増加が期待される¹⁾。

表一1 事業効果による生産性向上予測

	耕作物	現況単収 (kg/10a)	計画単収 (kg/10a)	単収増加
水質改善	水稲	469	497	106.0%
生産性見込	れんこん	1,588	1,826	115.0%
塩害防止	だいこん	7,054	8,112	115.0%
生産性見込	かんしょ	2,037	2,343	115.0%

3. 農地防災事業に伴う農業用水路築造工事の概要

(1) 事業概要

本事業は、塩害や急速な都市化に伴う生活環境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左岸地域の農地に、吉野川本川の清浄

な水を安定的に供給するものである。現在の用水路は、用排水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。

当該水路整備では、給水路としてボックスカルバートを地中に設置するための立坑や既存水路部を開削する工事が必要となり、掘削に伴って山留め壁の安定化が必須の条件となる。このため、地盤が軟弱な場合、先行地中梁や盤膨れ防止を目的として地盤改良が実施される。また、地下水位が高い場合は止水が課題となり、土留め壁と地盤改良土の水密性も重要となる。

(2) 地盤改良工法の計画と選定

従来、用水路形式のボックスカルバートの設置は、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による開削方法が行われている。

当該施工地区では、埋設を計画しているボックスカルバート下に軟弱な粘性土、ゆるい砂層が分布している。鋼矢板による土留め壁と碎石置換+地盤改良工が計画されたが、開削施工時にはヒービング、盤膨れ等の発生が懸念され、設置時のドライ施工が困難なことも予想された。

地盤改良工法の選定にあたり、止水性、鋼矢板との水密性および設計上不可欠な確実性の高い改良強度等が求められ、信頼性の高い高圧噴射攪拌系(JG系)工法が検討された。表一2は、各工法を比較検討した結果である。このうち、二重管方式による空気連行型翼式超高压噴射工法(以下、NJP工法と略記する)は、排泥量を従来JG系工法の1/3以下に抑制でき、環境負荷が少ない。また、工期も約1/3に短縮でき、経済性に優れる等の諸理由から選定された²⁾。

表一2 地盤改良工法の選定比較

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 $30 < S_v \leq 50 \text{ kN/m}^2$ 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

4. NJP 工法による農業用水路築造施工事例

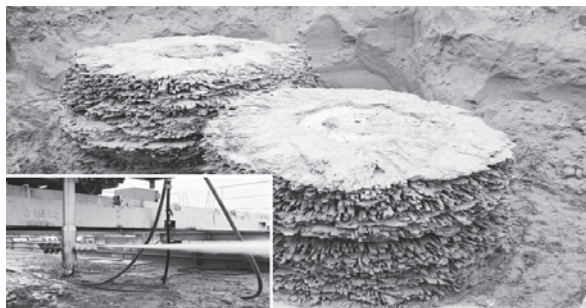
(1) 施工概要

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。

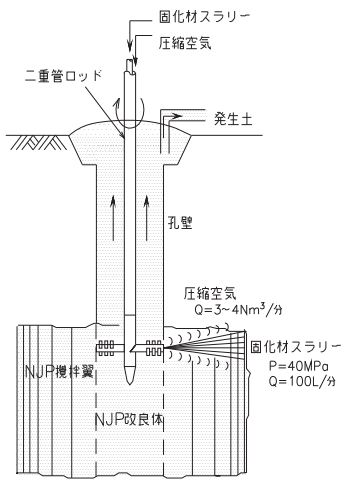
(2) NJP 工法の概要

(a) NJP 工法の改良原理と特徴

NJP 工法は二重管式高圧噴射攪拌工法に分類され、1 MPa の圧力で圧縮した空気と 40 MPa の超高压を作用させた固化材スラリーを水平回転するモニタに誘導して噴射攪拌させる工法である。すなわち、NJP モニタ先端から超高压で吐出させた固化材スラリーの外縁を、空気噴流が包み込み、あたかも空中噴射に近い状態を再現してスラリーの圧力減衰を軽減し、切削能力を最大化させる工法である。同時に圧力の減じた空気は、モニタで先行して貫入攪拌した原土を効率高く孔外に排出するため、改良時に生じる地盤変位を極力抑制することが可能となる。写真一2は、造成された改良体と NJP モニタからの噴射状況を示す。図一2は、NJP 工法の改良原理の模式図である。



写真一2 NJP 攪拌翼と造成改良体



図一2 NJP 工法の改良原理

固化材スラリーに空気を連行する効果と NJP モニタによる誘導効果により、施工能率は大きく改善され、短時間に直径 ϕ 1.6 ~ 2.2 m の大口径改良体の造成が可能である。

(b) 有効改良径および改良仕様

NJP 工法を適用する場合の土質条件と標準改良径の関係を表一3に示す。有効改良径は、 N 値あるいは非排水せん断強度、改良時間に依存するが、最大で直径 2.2 m の柱状改良が可能である。

表一3 土質条件と有効改良径

改良時間 t (分/m)	有効改良径 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 ϕ 0.4 m の場合

本工法では、NJP モニタ翼先端から圧力 $p = 40 \text{ MPa}$ 、流量 $q = 100 \text{ l/分}$ で固化材スラリーを噴射させ、その外周部を $p_a = 1 \text{ MPa}$ 、 $q_a = 3 \sim 4 \text{ Nm}^3/\text{分}$ の圧縮空気を噴出させて包み込む。このため、吐出させたスラリーの切削機能を最大限生かすことができ、同時に当初の役目を終えた空気が土中を切削攪拌した土砂とともに排出を促すことから、高効率の噴射攪拌が実現される。この原理より単位 m 当り 6 ~ 8 分の時間で直径 ϕ 1.6 ~ 2.2 m の改良体が造成できる。

(c) NJP 工法の低排泥施工

圧縮空気を併用する多重管工法において、施工に伴う排泥量は、地盤中に噴射した固化材量に比例する。NJP 工法の単位改良体積当りの固化材混入液量は概ね 0.2 kl/m^3 と少なく、表一4に示すように同種の多重管方式の場合の 1/4 程度に過ぎない。

また、NJP モニタの貫入過程の削孔跡が、排泥孔

表一4 各工法の混入液量比較

工法名	施工仕様			改良土 1m^3 当り混入液量 (kl/m^3)
	改良径 D (m)	造成時間 t (分/m)	吐出量 q (l/分)	
NJP	2.0	6	100	0.19
	2.2	8		0.21
二重管方式	1.8	35	60	0.82
	2.0	40		0.76
三重管方式	A 2.0	16	250	1.27
	B 2.8	30		150

として機能するため、固化材スラリーの噴射量と排泥量がバランスし、地盤に対する変位発生を抑制する。その結果、近接施工現場に対しても適用性が高い。

(d) NJP 改良体の改良品質と設計基準強度

本工法の改良時間は、同類工法に比べ短時間に設定されている。図-3は、改良時間とNJP改良土コアの採取率およびRQD値の関係を示している。改良土コアのRQD値は改良時間 $t = 6$ 分/mでも95~100%、また、採取率は100%を示しており、短時間でも良質な改良体が得られている³⁾。

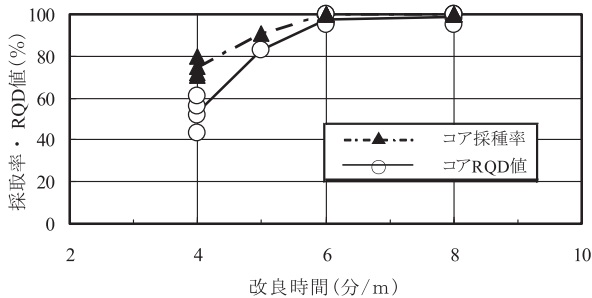


図-3 改良土のRQD値とNJP改良時間の関係

本工法では、改良強度の安定した均質性、止水性効果および既設構造物等との水密性等の確保の観点から、各土質に応じた改良強度を設定している。表-5にその設計基準強度を示す。改良厚さの設定では、山留め壁による開削工事等においては、底盤部の改良厚さは設計計算結果によるものの、最小改良厚さ $T = 1.5$ mとしている。なお、固化材は専用固化材としてケミコ C201Sを使用している。

表-5 改良体の設計基準強度 (使用固化材:ケミコ C201S)

土質	一軸圧縮強度 q_{ud} (kN/m ²)	粘着力 C (kN/m ²)	弾性係数 E_{50} (kN/m ²)	付着力 f (kN/m ²)	曲げ引張強度 σ_t (kN/m ²)
砂質土	2,000	400	20×10^4	1/3 × C	2/3 × C
粘性土	700	300	7×10^4		
有機質土	200	100	2×10^4		

(e) 施工機械

本工法による施工には、比較的大型のボーリングマシンを用い、削孔効率を高めている。また、レール上にNJP工法専用スライドベースを搭載する施工システムを装備し、スムーズな移動と高い施工精度の確保に努めるとともに、専用吊り装置設備等の使用によって機動性の高い施工を実現した。同類工法で使用されるラフテレーンクレーン等のサブ重機は必要なく、狭隘な作業領域でも同様に効率性と適応性は高い。写真-3は専用スライドベースに搭載したNJPマシンの



写真-3 開削部のNJP施工状況

施工機である。

改良造成に必要な改良深度、固化材スラリーの吐出圧力・吐出量およびエアの吐出圧力、風量等の施工管理データは、集中管理装置にて監視できるシステムを採用している。

(3) 各工事区の施工概要

本報告では、表-6に示す3工事現場へのNJP工法の適用について改良目的に応じて区分して紹介する。

表-6 各施工例の工事概要

工区名	南部水路 (その1)		北部水路 (その4)	北部水路 (その5)
	発進立坑部	到達立坑部	水路開削部	水路開削部
施工域	発進立坑部	到達立坑部	水路開削部	水路開削部
工事目的	先行地中梁、底盤改良		盤ぶくれ防止、支持力増加	盤ぶくれ防止、支持力増加
貫入長(L)	10.58 m	11.21 m	平均8.73 m	平均10.52 m
改良長(Lc)	2.3 m+1.5 m	2.1 m+1.5 m	2.2 m	2.2 m
施工本数	30本	35本	249本	459本
改良径(φ)	φ1.8 m		φ1.8 m	φ1.8 m
改良時間(t)	8分/m		8分/m	8分/m
設計強度 (q_{ud})	地中梁部	700 kN/m ²	700 kN/m ²	700 kN/m ²
	底盤部	2,000 kN/m ²		

南部水路(その1)工事では、直径φ1,500 mmの埋設管の推進を目的として、発進ならびに到達立坑の築造が計画された。対象地盤は、発進立坑部が $N = 5 \sim 6$, $s_u \approx 50$ kN/m²の砂混じりシルト層であり、到達立坑部では底盤改良部分に $N = 21$ の砂層である。NJP設計改良仕様は改良径φ1.8 m、設計強度 $q_{ud} = 700$ kN/m²、改良厚さは先行地中梁部ならびに底盤改良で、それぞれ $T = 1.5$ m, $T = 2.1 \sim 2.3$ mである。

北部水路各工事は、ボックスカルバートを埋設するため、それぞれ幅4m×延長距離116mならびに214mに渡り、水路を開削により築造する計画である。底盤改良位置とするGL-7.1～-9.4m付近の土質は、 $N=6$ の砂まじりシルトである。NJP設計改良仕様は、開削に伴う盤ぶくれ防止、支持力増加を目的とし、改良径 $\phi 1.8$ m、改良厚さ $T=2.2$ mである。図-4に北部水路各工事のNJP改良体の配置および底盤改良位置の例を示す。

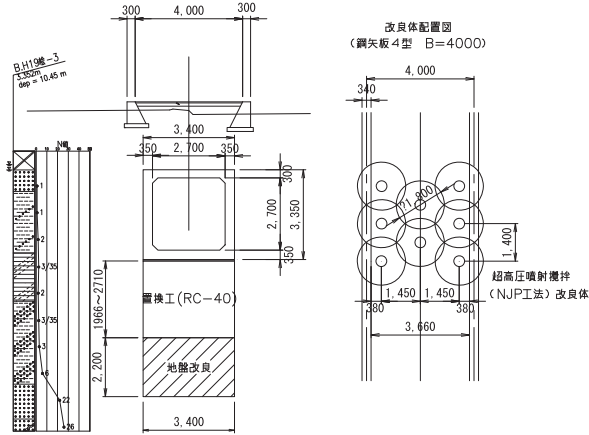


図-4 開削工事に伴う底盤部改良

(4) 施工結果

北部水路各工事では、施工距離が100m以上の遠距離である。このため、仮設H鋼上を自走式スライドベースにNJP施工機を搭載したことで施工効率が高まり、機動性を発揮することができた。写真-4は北部水路(その4)工区の施工状況である。

表-7はNJP施工後の各工事の現場改良強度の結果である。いずれも設計強度を満足している。

図-5は、一部改良杭を0.3～0.5m高さ程度に余長改良し、開削前に自主的にNJPマシンによって改良径をロッド探査により測定した結果である。各工事とも設計改良径 $\phi 1.8$ m以上であることを確認した。



写真-4 北部水路(その4)工事NJP施工状況

表-7 各工事の改良強度結果

工事名	施工部	位置	試験NO.	現場改良強度 q_w (kN/m ²)	
					平均
南部水路(その1)	発進部	地中梁部 A	1	850	995
			2	1,140	
	底盤部 B	1	3,210	3,395	
		2	3,580		
	到達部	地中梁部 C	1	1,240	1,118
			2	996	
底盤部 D	1	4,760	5,135		
	2	5,510			
北部水路(その4)	底盤部	A	1	1,240	1,390
			2	1,540	
		B	1	2,930	3,020
			2	3,110	
		C	1	2,560	1,950
			2	1,340	
北部水路(その5)	底盤部	A	1	4,290	4,255
			2	4,220	
		B	1	1,770	3,600
			2	5,430	
		C	1	4,120	4,765
			2	5,410	

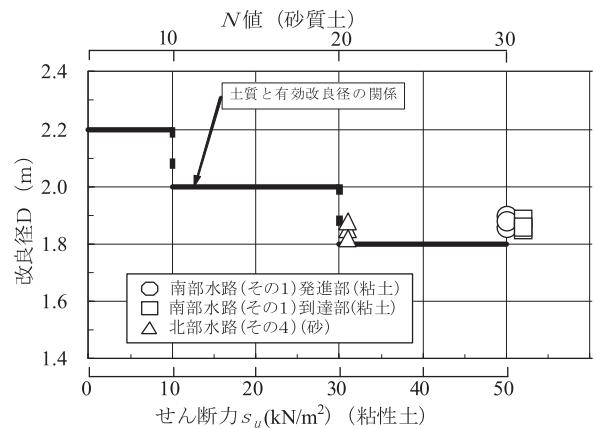


図-5 各工事事例の設計有効改良径と改良径確認結果



写真-5 水路部開削によるNJP改良確認状況

写真—5は開削した水路部の床付部のNJP改良体の掘削状況である。開削作業では止水効果も高くドライ施工ができた。

5. まとめ

本事業は、塩害や急速な都市化に伴う生活環境などの影響で農業用水の水質が悪化したことにより、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清浄な水を安定的に供給するものである。軟弱な地盤地域における水路整備では、空気連行型翼式の高圧射攪拌工法であるNJP工法は、施工時間が短く、高効率で経済性が期待できた。また、従来工法に較べ排泥量の大幅な低減が図れた。NJP施工による事例として、環境に配慮された施工ができたこと、また改良品質および経済性が高いことが確認された。

J C M A

《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
- 2) 上岡雅司・鈴木孝一・西尾経・森邦広：空気連行型翼式超高压噴射工法の概要と適用事例—NJP工法による農地防災用水路築造工事への適用—，平成21年度建設施工と建設機械シンポジウム，pp.197～200，2009.11
- 3) 上岡雅司・齋藤邦夫・鈴木孝一・西尾経・森邦広・浦田晃：空気連行型攪拌翼を用いた低変位高圧噴射攪拌工法，土質基礎に関する「新工法・新技術」技術報告会，北海道土木技術会，2010.1 投稿中

【筆者紹介】



上岡 雅司（かみおか まさし）
農林水産省中国四国農政局
四国東部農地防災事務所
東部支部
工事第2係長



齋藤 邦夫（さいとう くにお）
中央大学 研究開発機構長 理工学研究所長
理工学部 教授
工学博士



鈴木 孝一（すずき こういち）
小野田ケミコ(株)
取締役 専務執行役員 営業本部長
技術士（総合技術監理部門・建設部門）



西尾 経（にしお わたる）
小野田ケミコ(株) 技術本部
執行役員 技術本部長



森 邦広（もり くにひろ）
小野田ケミコ(株) 大阪支店
四国営業所長