

ラテラルジェット工法の現場施工

沼田 佳久^{*1}中根 淳^{*1}永岡 高^{*2}

概 要

ラテラルジェット工法の開発は、平成 11 年度に始まり、平成 15 年 1 月から東京支店小菅作業所において本施工を行う段階となった。今回の改良目的は、開削工事に伴う鉄道高架橋橋脚基礎の変状防止、および、横断構造物直下の土留め欠損部の防護である。ここでは、施工仕様、硬化材の配合、改良部の内部圧力の管理方法、土留め支保工への影響、および、既設構造物への影響について検証した。また、施工の結果、これら検討項目について良好な成果が得られた。

キーワード：水平施工，高圧噴射攪拌，本施工，既設構造物防護，土留め欠損部防護

APPLICATION OF THE LATERAL JET GROUT TO AN ACTUAL PROJECT SITE

Yoshihisa NUMATA^{*1}Atsushi NAKANE^{*1}Takashi NAGAOKA^{*2}

Abstract

Development of the Lateral Jet grout was started in 1999 and has been in use at the Kosuge Field Office under the Tokyo Branch since January 2003. This soil improvement project is intended to prevent deformation of the foundation of overhead railway and to protect the zone directly below the crossing structure, where no earth-retaining structure is provided. This paper reviews the execution specifications, the hardener proportioning, the method for controlling the internal pressures in the improved zone, and the influence on earth-retaining structures and on existing structures. The execution results were favorable in terms of the items reviewed.

Keywords: horizontal execution, high-pressure jetting and mixing, full-scale execution, protection for existing structures, protection for the zone without earth-retaining structures

* 1 Civil Engineering Technology Development Group, Institute of Technology, Engineering Division

* 2 Engineering Planning Department, Engineering Division

ラテラルジェット工法の現場施工

沼田 佳久*¹・中根 淳*¹・永岡 高*²

1. はじめに

ラテラルジェット工法の開発は、平成 11 年度の要素試験に始まり、平成 12 年度の施工システムの開発を経て、平成 13 年度には、専用機（試作機）の製作を行い、東京支店小菅作業所において、施工仕様判定試験を実施した。その結果、改良径、改良強度共に目標値を満たすことができ、本工法が、実施工に供し得る工法であることを実証できた。ここまでの結果については、昨年度まで研究発表会にて報告したところである¹⁾²⁾³⁾。そして、平成 14 年度は、同小菅作業所において、近接する鉄道高架橋の変状防止、および、地下埋設物直下の土留め欠損部の防護を目的とした地盤改良を行うために、本工法が採用されることとなった。

ラテラルジェット工法の施工にあたっては、適切な施工仕様の設定、改良強度と流動性を兼ね備えた硬化材の配合、および、施工中の鉄道高架橋の安定性や土留め支保工の安定性に留意する必要がある。本報文では、これらの事前検討項目に関する検討内容と施工結果について報告する。

2. 工法概要

ラテラルジェット工法は、従来の鉛直方向からの空気併用型二重管方式による高圧噴射攪拌工法を基にして、水平方向に同様な地盤改良が図れるよう、新たな開発技術を加えて発展させた工法である⁴⁾⁵⁾。施工システムは、**図-1**に示すとおり、造成機構と排泥機構により構成されており、造成管からの硬化材と圧縮空気の噴射、および、排泥管からのスライムの排出が一連のシステムとして円滑に稼働することにより、水平方向へ円柱状の改良体を造成することが可

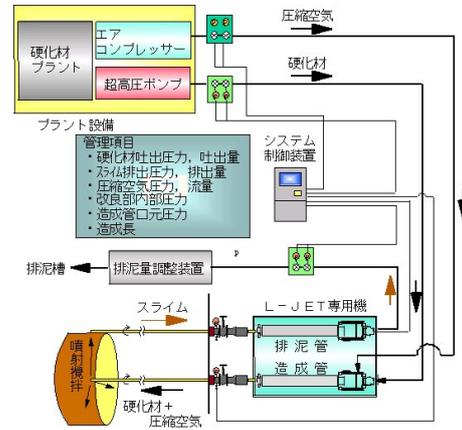


図-1 施工システム図

能となる。

3. 現場施工

3.1 現場概要

小菅作業所は、東京都・秋葉原を起点とし、茨城県・つくばを終点とした常磐新線工事のうち、東武伊勢崎線交差部からJR常磐線、営団地下鉄千代田線（地上区間）の下をくぐる延長172.5mの函体を構築するものである。**図-2**に現場平面図を示す。工事区間内、高架橋範囲の施工手順は、**図-3**に示すように、開削工法によって地盤を深さ約14mまで掘り下げて、函体築造範囲を横断する東京都下水道をサイフォン形式に切り替えた後に、常磐新線函体を築造することとなっている。

下水道切り替え工事にあたっては、掘削範囲が隣接する営団千代田線高架橋橋脚の間際まで及ぶことから、橋脚の変状防止を目的とした地盤改良を行う必要があった（**図-4**、範囲A）。また、下水人孔直下は土留め壁を打設できないため、この土留め欠損部の防護を目的とした地盤改良を行う必要もあった（**図-4**、範囲B）。

* 1 エンジニアリング本部 技術研究所 土木技術開発グループ

* 2 エンジニアリング本部

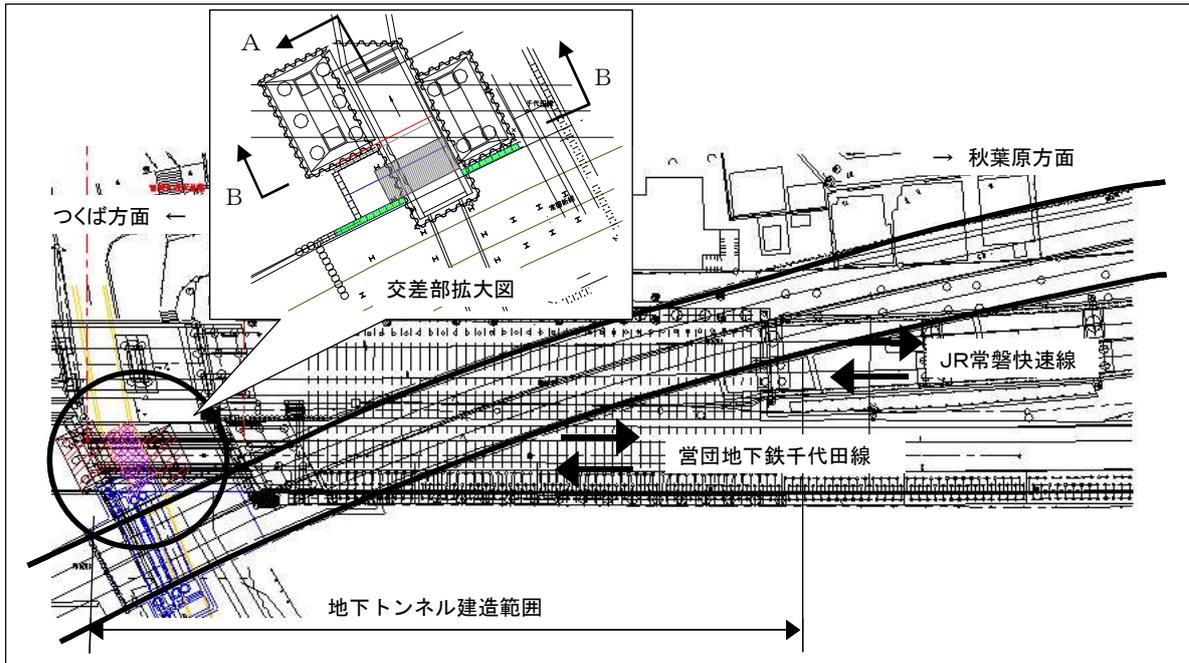


図-2 現場平面図

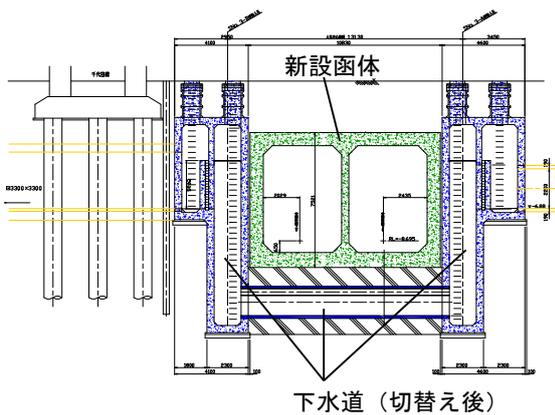


図-3 下水管切り替え図 (A-A断面)

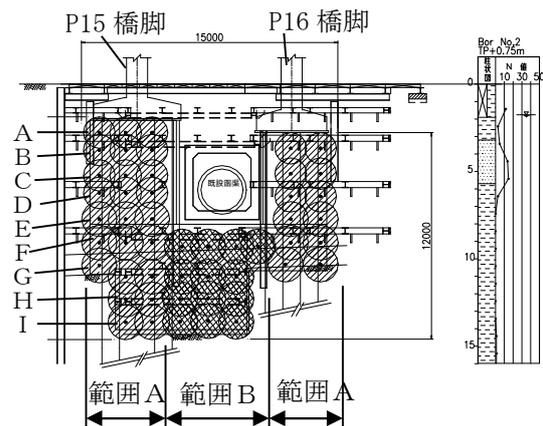


図-4 地盤改良断面図 (B-B断面)

ただし、これらの改良範囲は全て既設構造物直下に位置することになるため、地上から施工することは困難であった。そこで、構造物の直下を、立坑を利用して横方向に施工できる本工法が適用されることとなり、橋脚防護として 420m³、土留め欠損防護として 230m³の地盤改良を行った。

3.2 対象地盤

図-4に示すとおり、改良対象となる地盤は、深度約 18mまではシルトを主体とした沖積層（有楽町層）であり、介在する砂層（N値=5～15）以外のN値は、概ねゼロに近い軟弱地盤

である。それ以深は砂層（N値=5～50）となっている。また、地下水位は深度約 2mであるため、地盤改良範囲の全域が地下水以下である。

3.3 事前検討

ラテラルジェット工法の施工に先だって、以下の点について検討した。

(1) 施工仕様

施工仕様は、平成 13 年度に本現場のヤードを使用して実施した、施工仕様判定試験結果に基づいて、表-1に示すとおりとした。今回、対象とする地盤は、ほとんどがN値=0の軟弱

表-1 施工仕様

		造成管	排泥管
削孔	削孔水量 (ℓ/min)	50~80	50~80
造成	硬化材	吐出量 (ℓ/min)	100
		圧力 (MPa)	4.0
	圧縮空気	流量 (m ³ /min)	1.1~1.4
		圧力 (MPa)	0.7
	引き抜き速度 (min/m)	2.0	2.0
回転 (r. p. m)	3	4	
排泥	排出量 (ℓ/min)	-	100~120

表-2 硬化材の配合

硬化材	セメント (kg)	混和剤 (kg)	水 (ℓ)
LJ-1号	760	18	745
混和剤 流動性保持剤：DKフロー280 分散剤：マイティ150			

地盤であり、地盤の切削という面においては比較的好条件であるといえる。従って、吐出圧力を保持することができる限り所定の改良径が得られると考え、吐出圧力は40MPaとし、引き抜き速度は本工法において最も短い、20min/mとした。

(2) 硬化材の配合

本工法で使用する硬化材は、設計強度を満足することに加え、排泥を円滑に行うに十分な流動性を保持していることが必要である。特に、本現場のように、対象とする土質のほとんどが粘性土で構成されている場合、排泥の粘度の増加が考えられ、それが排泥の流速を減少させ、または、排泥管を閉塞させ、その結果、地盤内に硬化材が過剰に残留し、改良部の内部圧力の上昇をもたらすと予測される。従って、混和剤の選定においては、数種類の混和剤を用いた硬化材を作製し、流動性の指標となるフロー値、および、一軸圧縮強度を調べ、両方を満足する混和剤を選定した。配合試験の結果、混和剤は、「流動性保持剤：DKフロー280」によってフロー値を上げ、スライムの状況に応じて補助的に「分散剤：マイティ150」を添加することと

した。硬化材の配合を表-2に示す。

これと同じ配合の硬化材を使用した施工仕様判定試験では、排泥の流動性は良好であり改良部の内部圧力を適切に制御することができた。また、一軸圧縮強度は粘性土地盤での設計強度1.0MN/m²を上回る、3.0MN/m²が得られた³⁾。今回の施工位置は、試験施工の実施箇所付近であることから、地盤条件はほとんど同じであると思われる、同様の結果が得られると考えた。

(3) 改良部の内部圧力の設定

施工時における改良部は、骨格構造をもたないスラリー状のスライムであり、それ自身は自立していない状態である。このため、周囲の土圧とのバランスは、改良部の内部圧力（以下、内部圧力）を適切な値にコントロールすることにより保持できる。この内部圧力の適切な管理方法には、土被り圧（ γH ）と同等の圧力を保持することが考えられるが、この方法は、施工深度に比例して内部圧力の管理値も大きくなることから、深層部においては高压噴射による切削エネルギーの早期減衰を招き、改良径が小さくなる恐れがあり、良い管理方法とは言えない。そこで、施工深度が大きい場合には地盤のアーチング効果を期待して、Terzaghiの緩み土圧を適用することとしている。

これまでに行った試験施工では、施工深度が10mを越えるような場合においても、内部圧力の管理値として Terzaghi の緩み土圧に相当する 0.1MPa 程度を保持することによって、地表面に変状を伴わず施工できることが判明している。また、この時は改良体の仕上がり状況も良好なものであった²⁾。この内部圧力の管理方法によれば、施工深度に依存することなく内部圧力を管理することが可能となり、その結果、切削エネルギーを有効に利用できる環境を維持できることから、所定の改良径を確実に得ることが可能になると考え、今回の場合も適用することとした。従って、浅い領域であるA段～E段は土被り圧を、F段～I段は、緩み土圧（ $\leq 0.1\text{MPa}$ ）を管理値とした。

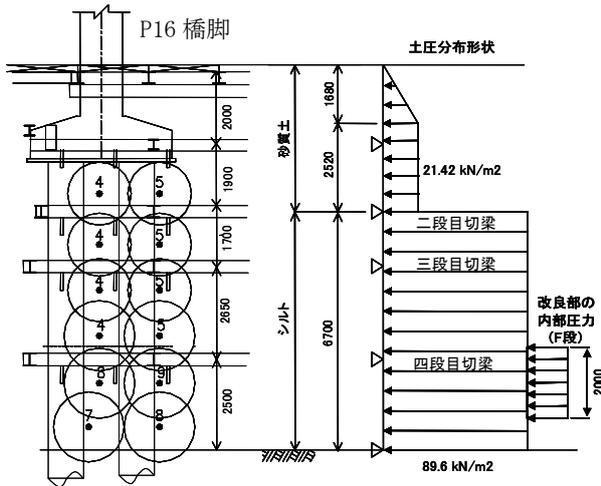


図-5 土留め支保工検討モデル

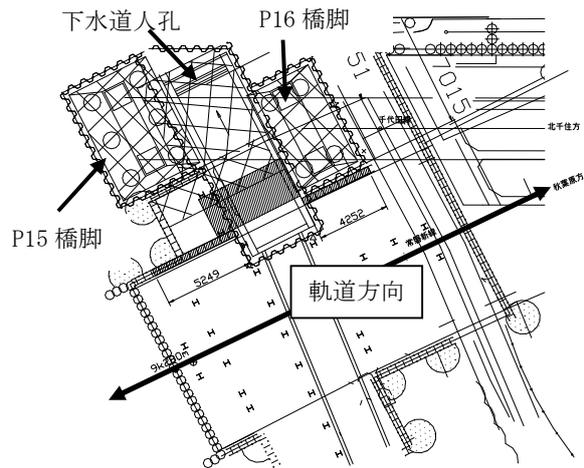


図-6 地盤改良範囲平面図

(4) 施工時の土留め支保工の安定検討

改良部の内部圧力は、スラリー状のスライムを介して改良部の周囲に均等に作用する。この内部圧力値(P)は、土被り圧、または、緩み土圧に基づいて設定するため、水平方向へは元の水平土圧を上回る土圧の増分(ΔP)が作用する。つまり、

$$\Delta P = (1 - K) P \quad (1)$$

ここに、K; 土圧係数

この土圧の増分が水平方向へ 45° の広がりをもって分布すると仮定すると、改良箇所が土留め壁から概ね 4m 以内の範囲にある時に、土留め支保工（切梁、腹起こし）に影響を及ぼすことになる。

今回、土留め支保工への影響範囲内にあると考えられるのは、土留め壁直近までが改良範囲である P16 橋脚下を施工する場合である。そこで、図-5 に示すように、慣用法にて計算した鉛直方向の土圧分布図に、内部圧力による土圧の増分を重ね合わせたモデルを作成し、荷重条件を土留め支保工に対して安全側に見積もるように、土圧の増分を、式(1)において K=0 として計算した。応力照査に際しては、土留め支保工の各部材に発生する断面力が、各部材の許容応力以内に収まることを確認した。

(5) 施工時の既設橋脚の安定検討

ラテラルジェット工法による地盤改良範囲の平面図を図-6 に示す。基礎杭が改良範囲に含まれる橋脚は 2 基 (P15, P16) であり、両方とも昭和 42 年頃に施工されたものである。基礎杭は、P15 橋脚に 6 本、P16 橋脚に 4 本設置されており、全て φ1.0m の場所打ち杭である。また、杭長は、支持層に到達する 24~27m であるが、支持層までのほとんどが N値=0 の軟弱地盤であるため、ラテラルジェット工法施工時に発生する改良部の内部圧力が、基礎杭およびフーチングに何らかの影響を及ぼすことが懸念された。

そこで、以下の影響を想定して橋脚基礎の安定について検討した。

- ①橋脚フーチング直下および基礎杭直近での地盤改良に伴う基礎杭の応力状態。
- ②橋脚フーチングの浮き上がりと基礎杭の引き抜け。なお、営団地下鉄の管理値は、±3.5mm である。

検討の方法は、地盤反力をバネ支承で表現したフレームモデルを用いて弾性解析を行い、支持杭の変形については、曲げモーメント、軸力、せん断力の最大値に対する応力照査を、橋脚基礎の浮き上がりについては、鉛直変位に対する

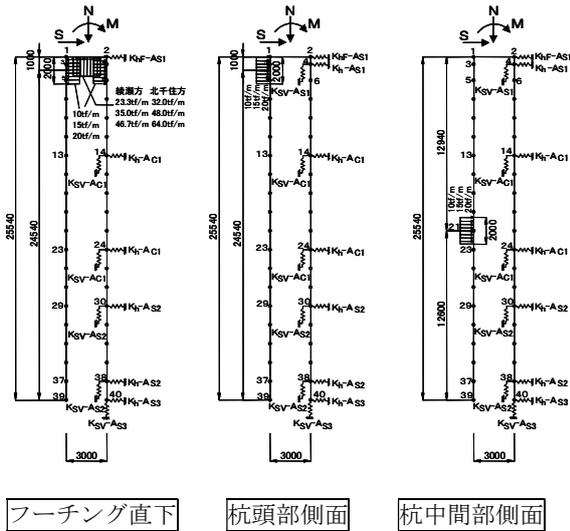


図-7 造成時の橋脚安定解析モデル



写真-1 専用機投入状況

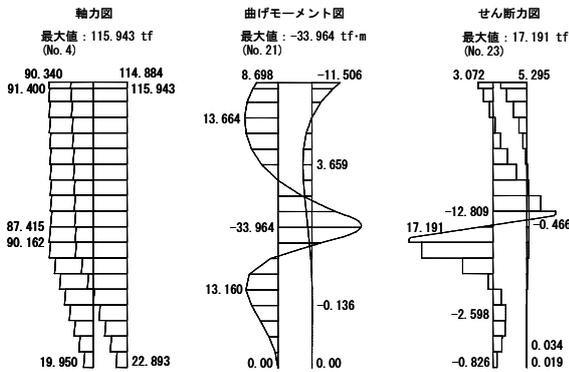


図-8 解析結果の例 (杭中間部側面)



写真-2 口元装置設置状況

管理値との比較を行った。以下に詳細を示す。

①荷重条件：支持杭の変形の検討時には、固定死荷重、列車荷重、衝撃荷重、制動荷重を考慮し、浮き上がりの検討時には、固定死荷重のみを考慮した。

②载荷位置：改良方向を橋軸直角方向として近似し、図-7に示すとおり、支持杭の変形に対しては、フーチング直下、杭頭部の側面および杭中間部の側面を、浮き上がりに対しては、フーチング直下に内部圧力を作用させた。

③内部圧力：万一、内部圧力が上昇した場合も考慮し、0.1MPa、0.15MPa、0.2MPaとした。

検討結果の一例を、図-8に示す。全てのケースにおいて、変形、浮き上がりに対して安全であるとの結論を得た。

3.4 施工状況

(1) 専用機設置

専用機の立て坑内への投入は、路面覆工の開口部から、25t ラフタークレーンにて専用機を吊り降ろすことで行った(写真-1)。また、詳細な位置合わせは、専用機に装備されているスライド式架台と、アウトリガーにて調整した。また、立て坑内での上方向への専用機の移動は、鋼材と油圧ジャッキを用いた昇降架台で行った。

(2) 口元装置の設置

口元装置は、土留め壁にガス孔を空け(鏡切り)、その箇所にアーク溶接にて設置する(写真-2)。しかし、地下水位以下の施工では、鏡切りの際に地下水が漏出するため、場合によっては背面地盤の陥没や口元装置の溶接不良



写真-3 造成状況



写真-5 強度確認試験



写真-4 コアサンプリング状況

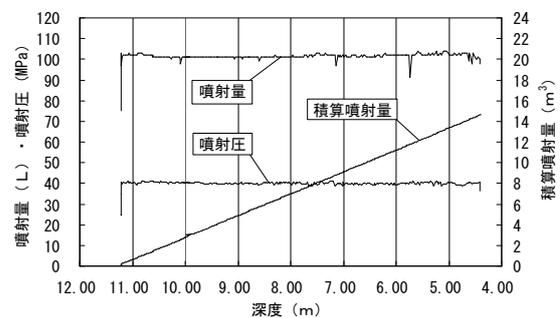


図-9 施工チャート図

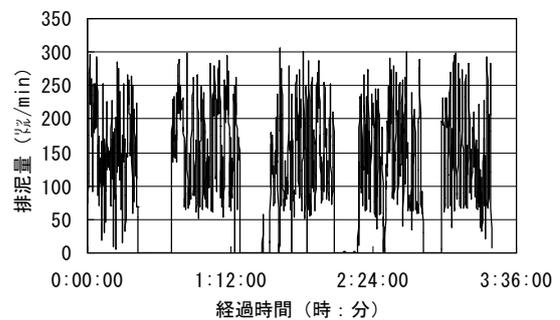


図-10 排泥量の時刻歴図

の原因となる。このため、今回は事前に鏡切り箇所周辺を、裏込め注入により止水し、ドライな作業環境としてから鏡切りを行った。この工程は、鏡切りの工程を省略し、先端ビットによって土留め壁ごと削孔できるようにすることで、更なる工程の短縮が期待できることから、今後の改善が待たれるところである。

(3) 削孔・造成

削孔・造成に関しては、順調に施工できたといえる(写真-3)。ただし、今回のように支保工、中間杭、つなぎ材が錯綜する狭隘な作業環境となる場合、できる限り本工法の作業ヤードを考慮して仮設備計画を行うことにより、より効率的な施工が可能になると考えられる。

3.5 施工結果

(1) 仕上がり状況

仕上がり状況の良否は、施工仕様、コアサンプリング供試体の外観、強度、および、改良箇所からの漏水状況の調査結果から、以下のように判断した。

① 施工仕様による検証

図-9は、位置E2施工時のチャート図である。これらのデータから、所定の吐出圧力、吐出量で硬化材を噴射できていることがわかる。また、図-10は、排泥量の時刻歴図であり、

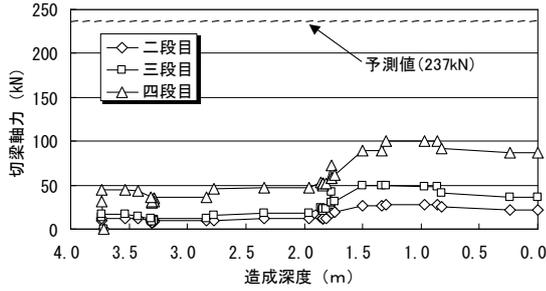


図-1-1 造成深度と切梁軸力との関係

一定の変動範囲内で安定した排泥が行われているといえる。これらのことから、所定の改良径を満足していることがわかる。

②一軸圧縮強度による検証

改良部のコアサンプリングによる供試体を写真-4, 5に示す。この供試体の一軸圧縮強度は、 7.2MN/m^2 であり、設計強度の 1.0MN/m^2 を大きく上回る結果となった。

③漏水状況による検証

土留め欠損部からの漏水が見られなかったことから、各改良体は互いに良好にラップし、一体となっているといえる。

④橋脚の変状観測結果による検証

地盤改良の完了時点から掘削完了までの間の橋脚の変位は、管理値の $\pm 3.5\text{mm}$ 以内に収まっており、改良体は所定の性能を満たしているといえる。

(2)改良位置と切梁軸力との関係

図-1-1は、G7施工時の切梁軸力と施工深度との関係を整理したものである。図中の施工深度とは、土留め壁中心から噴射ノズルまでの距離を示している。図から、造成位置が土留め壁に接近するに伴い、切梁軸力が増加する傾向にあることがわかる。その実測値、予測値 237kN の42%に相当する 100kN であった。

また、他の造成位置の予測値と実測値の関係についても、概ね同様の結果が得られた。

(3)橋脚基礎への影響

図-1-2は、D4施工時の橋脚の変位を示したものである。施工開始から終了までの間、沈下側で一定の振幅をもった変動を繰り返してい

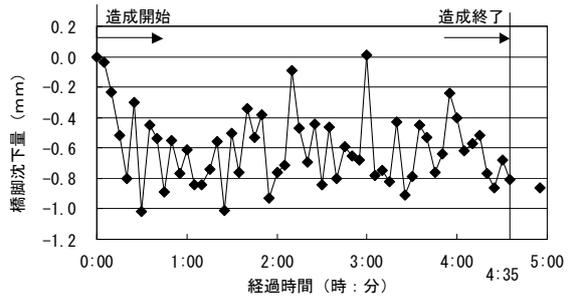


図-1-2 橋脚変位の時刻歴図

るものの、その絶対値は、約 1.0mm 以内に収まっている。このことから、改良部の内部圧力による、橋脚基礎への影響は、わずかであるといえる。

4. まとめ

以上、ラテラルジェット工法の本施工への適用結果について報告した。これらの結果をまとめると、以下のとおりとなる。

①施工仕様の決定は、試験施工を行うことで十分把握することができる。

②硬化材の配合は、強度の発現と流動性の保持という、二つの条件を満たす必要があり、その性能を事前の配合試験により確認することで、要件を満たす施工が可能となる。

③改良部の内部圧力の管理値は、施工深度によって、土被り圧と Terzaghi の緩み土圧を使い分けて設定することにより、周囲の土圧とのバランスを保ちながら施工することができる。

④改良体の内部圧力により水平方向へ作用する土圧の増分に対する土留め支保工の安定は、簡易な土圧計算法と、内部圧力を重ね合わせたモデルによって、安全側に見積もることができる。

⑤土留め壁直近を改良する場合、切梁に作用する軸力は、改良位置が土留め壁に近づくに伴い増加する傾向を示す。

⑥改良体の内部圧力に対する近接構造物の安定は、フレームモデルを用いた弾性解析によって基礎杭の変形やフーチングの浮き上がりを照査する事により、確認することが出来る。

⑦施工中の橋脚の変位は 1mm 程度であったこと

から、改良体の内部圧力を管理値以内に制御することで、既設構造物へほとんど変状を与えることなく施工することが可能である。

⑧計画した施工仕様に従って施工できたこと、一軸圧縮強度が所定の値を満足していること、漏水がみられないこと、および、橋脚の変位がわずかであることから、改良体の仕上がり状況は良好であるといえる。

⑨地下水位以下では、鏡切り作業に伴う出水防止と口元装置溶接不良の防止のために、事前に鏡切り部の裏込め注入を行ったが、更なる作業時間の短縮のためには、より効率的な削孔方法を開発する必要がある。

⑩本工法を考慮して仮設備の配置計画を行うことによって、より作業効率を向上させることが可能である。

謝辞：今回の施工を行うにあたり、東日本旅客鉄道（株）東京工事事務所常磐課、工事管理室、および、当社東京支店小菅作業所には多大なご協力を頂きました。相原所長をはじめ作業所の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 飯島正和ほか：水平ジェットグラウト工法の開発，鉄建技術研究報告，No. 14, pp. 96-101, 2000. 6
- 2) 中根淳ほか：ラテラルジェット工法（L-JET）の開発，鉄建技術研究報告，No. 15, pp. 11-18, 2001. 10

- 3) 沼田佳久ほか：ラテラルジェット工法の現場試験施工，鉄建技術研究報告，No. 16, pp. 81-88, 2002
- 4) 柴崎光弘：高圧噴射注入工法，土と基礎，Vol. 29, No. 5, pp. 29-36, 1981. 5
- 5) 小田恵之輔ほか：水平方向噴射攪拌工法における施工時地盤内圧力の設計と管理に関する検討，土木学会論文集，No. 595/VI-39, 39-49, 1998. 6
- 6) 高橋則雄ほか：高圧噴射攪拌による水平方向への地盤改良（その1）－主要素技術の機能確認試験－，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp. 1131-1132, 2001. 6
- 7) 飯島正和ほか：高圧噴射攪拌による水平方向への地盤改良（その2）－実地盤での施工確認試験－，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp. 1133-1134, 2001. 6
- 8) 沼田佳久ほか：高圧噴射攪拌による水平方向への地盤改良－実地盤における施工試験－，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，pp. 458-459, 2001. 10
- 9) 中根淳ほか：高圧噴射攪拌による水平方向への地盤改良（その3）－現場における試験施工－，第37回地盤工学研究発表会講演集，pp. 1119-1120, 2002. 7
- 10) 鈴木浩ほか：高圧噴射攪拌による水平方向への地盤改良－軟弱地盤での現場試験施工－，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，2002. 9