

9. 推進工事における裏込め注入検知手法

The New Monitoring Method for Backfilling Materials on the Sewage System Construction

佐藤俊男* 湊 太郎** 三留貴光***

—概要—

推進管の施工完了後、地盤沈下の防止及び推進管の固定などのために、推進管と地山との間の空間に裏込め材を注入する。注入される裏込め材は、推進管の外側に位置するため、その注入状況を的確かつ簡易に確認することは難しい。今回開発した裏込め注入検知手法は、裏込め材などの材料が有する電気的な性質に着目したものであり、推進管と地山との間に裏込め材が充填されたか否かを的確に検知するものである。

—技術的な特長—

- ・注入量や注入圧力管理などの既往の方法と併用し、よりの確で簡易な施工管理が可能
- ・裏込め材の注入時の多点同時測定および経時的な測定が可能
- ・注入状況を数値により定量的に評価可能

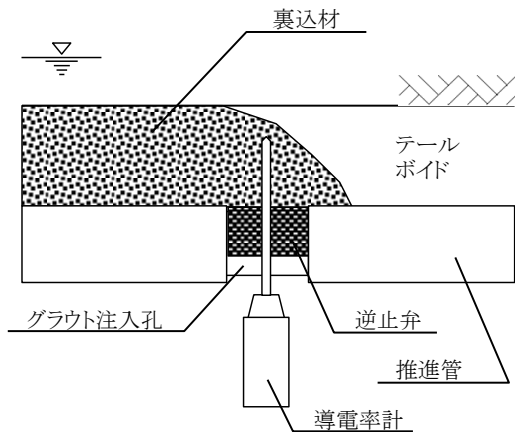


図1 裏込め検知手法の概要図

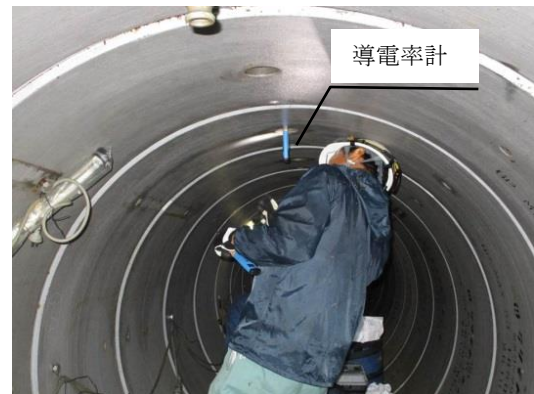


写真1 裏込め検知の状況

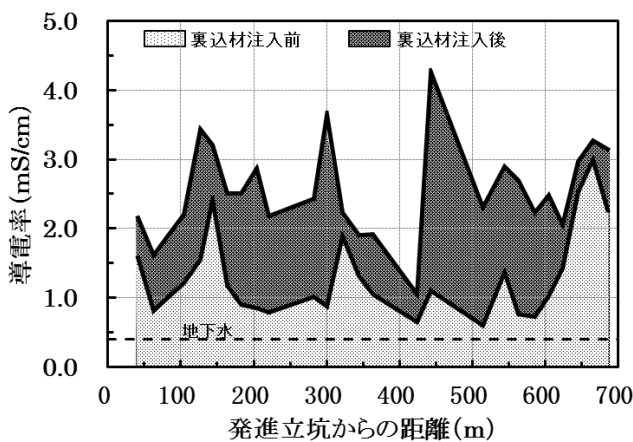


図2 裏込め材の注入前後における導電率の値

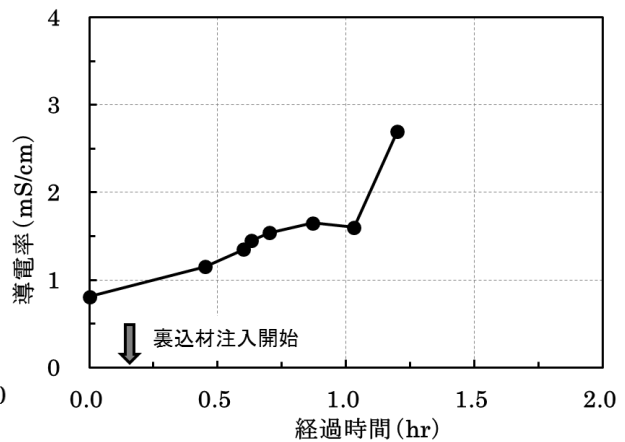


図3 裏込め材の注入時の導電率の経時変化

*技術研究所企画管理室 **技術研究所土木研究室 ***土木技術本部土木リニューアル事業部

推進工事における裏込め注入検知手法
**The New Monitoring Method for Backfilling Materials
 on the Sewage System Construction**

○佐藤 俊男* 湊 太郎** 三留 貴光***

Toshio SATO Taro MINATO Takamitsu MITOME

ABSTRACT On the pipe jacking construction, the lubricant and the backfilling materials are supplied into the space between the outside of jacking pipe and the ground. It may be difficult to monitor accurately the injecting condition of the lubricant and the backfilling materials with any traditional methods. In this investigation, the applicability of electrical method to monitor those was studied experimentally. The electric conductivity of materials was measured on the laboratory and the construction field of sewage system. From the results obtained on a laboratory, it was found that the values of electric conductivity are different between materials. Furthermore, when the material was supplied into the space, it was confirmed that the conductivity have been changed with time. Therefore, it would be considered that the electric conductivity of the lubricant and backfilling materials can be used as the effective method of monitoring those on the construction field.

Keywords : 推進工事, 滑材, 裏込材, 導電率, 特殊逆止弁

*Pipe Jacking Method, Lubricant, Backfilling Material, Electric Conductivity,
 Special Check Valve*

1. はじめに

都市部において下水道などの管路を築造する場合、近隣住民および交通等に対する影響が少ない非開削工法が採用される。非開削工法の中でも、一般的にシールド工法に比べて経済的な推進工法の需要が増えている。最近では、道路上の占有制限の厳格化などを受け、建設コストの縮減や道路線形等を考慮して、長距離・曲線推進工法の採用が増えている。また、一般的な下水道の管路設置だけでなく、従来にない異常気象が頻発し、局地的な集中豪雨が常態化しつつあることから、都市部における集中豪雨の対策として、雨水排除管や雨水貯留管の築造も進められている。

推進工法では、発進立坑から到達立坑に向かって推進管を押し込むため、施工中は管列全体が地盤中を移動することになる。このとき、移動する管列全体と地山の間に滑材層をつくり、推進管に作用する土圧や管外周面抵抗値を低減させる必

要がある。また、到達立坑に達し管列全体の移動が完了すると、滑材層は地山に浸透したり地下水で希釈されたりして、滑材層が空洞化し地山の緩みの原因となる場合がある。そのため、このような空洞に裏込材を充填して固化させることにより、地山の緩みを防止する必要がある¹⁾。

滑材や裏込材などの注入中は、その状態を常に監視し、注入効果を最大限に発揮するよう施工しなければならない。この注入工は、圧力管理が標準とされ、注入量の管理を併せて行うことが一般的である²⁾。しかし、滑材や裏込材などは、推進管と地山の間に注入されるものであり、推進管の外側に存在することから、その注入状況や注入効果の確認を視覚的かつ定量的に行うことは非常に難しい。これまで、いくつかの方法^{3),4)}が提案されているが、これらの方法では、土砂や滑材あるいは裏込材が混合するような場合、その区別が困難であることが少なくない。

*技術研究所企画管理室 **技術研究所土木研究室 ***土木技術本部土木リニューアル事業部

本研究開発では、滑材や裏込材などの注入状況を定量的に把握する方法として、それらが有する電気的性質に着目した。電気的性質としては、導電率が挙げられる。物質は、それぞれ特有の導電率を有しており、互いに混在する場合であっても、その存在を導電率の変化によって検知することが可能であると考えられる。そこでまず、推進工事で使用する材料について、実験室内でそれぞれの導電率を測定した。その後、推進工事の現場において、裏込材の注入前後の導電率を測定した。それらの結果を基にして、裏込材注入検知手法として導電率を用いる方法が適しているか否か検証した。

2. 推進工事で使用する材料の電気的性質

2.1 材料の種類

本研究開発では、現場における測定に先立ち、実験室内において推進工事で使用する材料の導電率を測定した。推進工法では、施工を安全かつ経済的に完了させるため、切羽の安定掘削、推進抵抗力の低減、施工中および施工完了後の地上に対する影響の防止が求められる。そのため、作泥材、滑材、裏込材が用いられる。そこで、推進工事で使用する代表的な材料を選別し、それぞれの導電率を測定した。測定した材料の種類は、表1に示す通りである。

2.2 導電率の測定方法

導電率の測定は、市販されている導電率計を用い実施した。これは、電極部が比較的長く、電極先端と測定値の表示部が離れているため、推進管の内側から外側に挿入した場合、先端が空隙内に十分に達した状態でも、推進管の内側で測定値を確認することができる。また、温度も同時に測定できる。

実験室内の測定では、それぞれの材料の取り扱い方法に準じて試料を作成し、導電性の極めて低いプラスチック製容器に移して、導電率計を用いて測定を行った。表1に示す材料の導電率をそれぞれ測定した後、現場における滑材と裏込材な

表1 注入材料の種類および導電率

種類	No.	導電率 (mS/cm)
作泥材	1	0.60 ~ 1.69
	2	2.63 ~ 5.37
滑材	1	1.04 ~ 2.06
	2	0.55 ~ 1.56
	3	10.17 ~ 13.00
	4	10.05 ~ 12.58
	5	1.11 ~ 2.80
裏込材	1	5.94 ~ 6.97
	2	1.98 ~ 4.30
地下水(湧水)		0.20 ~ 0.40

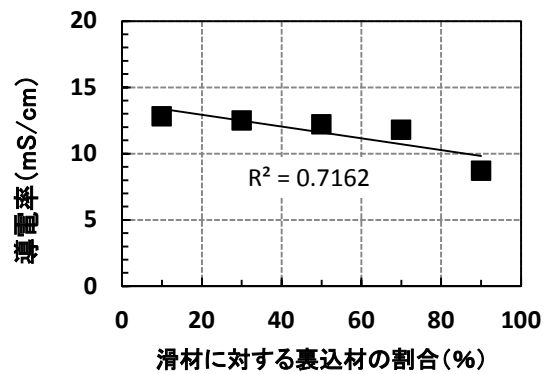


図1 滑材4に対して裏込材2の混入割合を変えた場合の導電率の変化

どが互いに混在する状況も想定した測定も実施した。ここでは、テールボイドに滑材が存在する状態で、裏込材を注入する場合を想定し、滑材に対する裏込材の割合を変化させて、それぞれの導電率を測定した。このときの滑材と裏込材の組合せは、各推進工法の標準的な組合せに準じた。

2.3 導電率の測定結果

推進工事で用いる代表的な材料について、それぞれの導電率の測定値を表1に示す。表中には、地下水(湧水)の導電率の値も参考のために示してある。この表から、推進工事で使用する材料は、それぞれ特有の導電率を示すことがわかる。このことから、導電率を測定することにより、裏込材などの注入状況の検知が可能であると考えられた。

滑材に対して裏込材の混入割合を変えた場合の導電率の変化を、図1および図2に示す。

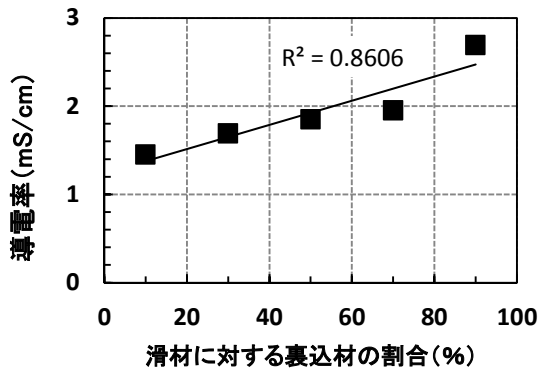


図2 滑材5に対して裏込材2の混入割合を変えた場合の導電率の変化

これらの図から、滑材に対する裏込材の混入割合が変化すると、それに伴って導電率の値が増減することがわかる。このことから、滑材が存在する状態で裏込材を注入した場合であっても、その注入状況を検知できると考えられる。

3. 推進工事の現場における測定

3.1 現場の概要

導電率を用いる検知手法の適用性を検証するため、実際の施工現場において、裏込材の注入前後の導電率を測定した。測定した場所は、東京都内で雨水を收容する貯留管を敷設するために推進工事を施工している現場である。

推進工法は、泥濃式推進工法（φ1,650 mm）であり、推進延長が724.97 m（中押し3段）であった。掘進土質は主に砂礫層であり、長距離・急曲線の管路敷設を行っていた。土被りは、GL-9.3~14.7 mであり、地下水位の位置はGL-2.9~9.7 mであった。

3.2 使用した注入材料

管路の敷設が、長距離・急曲線ということから、推進管の周囲のテールボイドを安定化させ、推進力を低減させるため、掘進機後部より固結型の一次滑材を注入し、その後方の一次滑材層と推進管の間隙に液状型の二次滑材を同時注入する2層滑材形成方式が採用された。これらの滑材は、

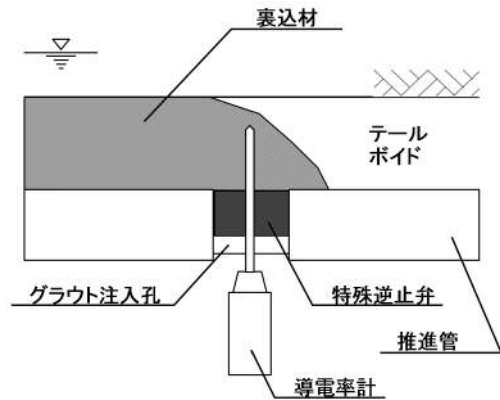


図3 導電率の測定方法の概要図



写真1 推進管内における導電率の測定状況

それぞれ表1の滑材4と滑材5が該当する。

滑材4は、2液混合固結型であり、水ガラスが主成分の材料に、無機系紛体と固化主剤から成る材料を加えるものである。滑材5は、有機ポリマーから成る材料である。

到達立坑に達した後、推進管と地山の間隙に注入する裏込材は、ケイ酸カルシウム化合物や超微粉末高炉スラグから成る材料¹⁾が用いられた。これは、表1中の裏込材2が該当する。

3.3 導電率の測定方法

測定方法の概要図を図3に示す。また、測定状況を写真1に示す。

導電率の測定は、市販されている導電率計を用い実施した。これは、電極部が比較的長く、推進管の内側で測定値を確認することができる。

推進管のグラウト注入孔に予め設置した特殊逆止弁に、導電率計の電極部分を差し込み、裏込

材の注入前後の導電率を測定した。なお、裏込材の注入後の導電率は、裏込材が硬化する前の状態に関する値である。この導電率の測定は、発進立坑付近から到達立坑付近まで、約 20 m ごとに推進管の上部で実施した。また、多孔管の位置では、上部だけでなく、到達立坑に向かって左右の導電率も測定した。さらに、裏込材の注入時における導電率の経時変化も測定した。

3.4 導電率の測定結果

(a) 裏込材の注入前後における導電率

裏込材の注入前後の導電率の測定結果を、図 4 に示す。なお、図中には、比較のために地下水（湧水）の導電率の値⁹⁾も点線で示してある。

この図から明らかなように、裏込材の注入前に測定した導電率に比べて、裏込材の注入後に測定した導電率が高い値を示す。なお、裏込材の注入前の導電率は、推進管と地山の間注入された二次滑材 5 を注入した後に該当するものである。

先に表 1 に示したように、実験室内で測定した滑材 5 の導電率の値は、1.11～2.80 mS/cm（平均 1.96 mS/cm）の範囲である。一方で、裏込材の注入前の導電率は 0.66～3.00 mS/cm（平均 1.83 mS/cm）であり、室内の測定値の範囲より幾分低い範囲に収まっている。

地山に地下水が飽和状態で存在する場合、滑材が地下水中に溶出することにより、滑材としての機能を喪失する可能性が指摘されている⁸⁾。滑材効果の持続性は、地下水による希釈、地山や地下水が含有する金属イオンあるいは塩化物イオンなどによる化学反応に起因する成分劣化、時間と共に生じる経時変化などにより影響される⁹⁾。

これらのことから、図 4 に示す測定値が、室内の測定結果よりも低い値を示すのは、施工箇所¹⁰⁾の土質が砂礫層であり、地下水位下を掘進しているため、注入した滑材が、豊富に供給される地下水によって希釈などの影響を受けた結果であると考えられる。一方で、図中点線で示す地下水（湧

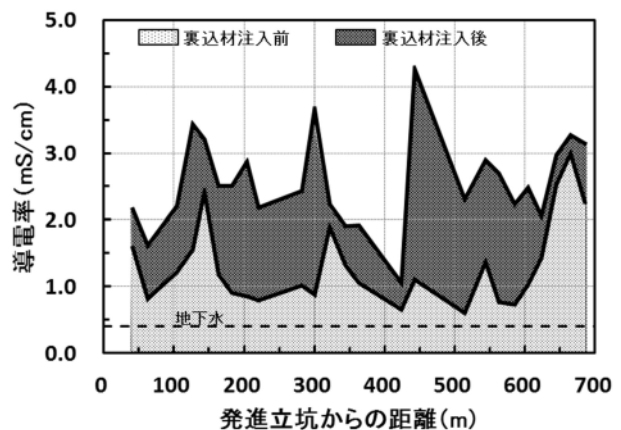


図 4 裏込材の注入前後における導電率の値

水）の導電率の値に比べて、裏込材の注入前の導電率が高い値を示す。このことから、裏込材の注入前の導電率の値は、地下水の影響を受けているものの、注入した滑材 5 の存在を検知しているものと判断される。

同様に図 4 および表 1 より、1.06～4.26 mS/cm（平均 2.66 mS/cm）の範囲を示す裏込材の注入後の導電率も、室内で測定した裏込材 2 の導電率の範囲 1.98～4.30 mS/cm（平均 3.13 mS/cm）に比べて、幾分低い範囲の値を示すことがわかる。

推進工法の設計では、テールボイドに対して、滑材と裏込材の量が 50 %ずつ注入されるものとして、それぞれの注入量が計算される。図 2 に示したように、裏込材 2 が本来有する導電率は、滑材 5 の存在により減少する。図 2 の場合、滑材 5 と裏込材 2 が 50 %ずつ存在する場合、裏込材の導電率が、初期の値の約 60 %まで低下する。

これらのことから、図 4 に示す裏込材の注入後の導電率は、滑材と裏込材および地下水などが混在していると考えた場合、妥当な数値であると思われる。したがって、裏込材の注入後の導電率の値は、注入した裏込材 2 の存在を検知しているものと判断される。

ここで、多孔管の上部と左右において測定した、裏込材の注入前後の導電率の値を図 5 に示す。この図から、推進管の上部はもちろんのこと、左右

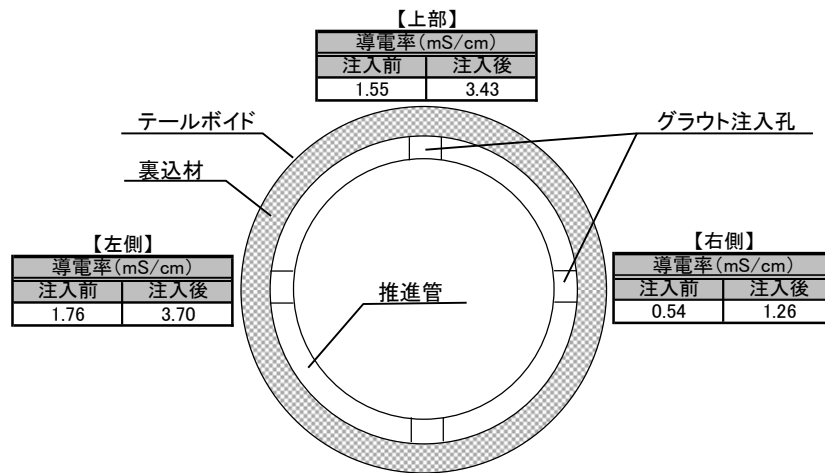


図5 多孔管の位置における裏込材の注入前後の導電率の値

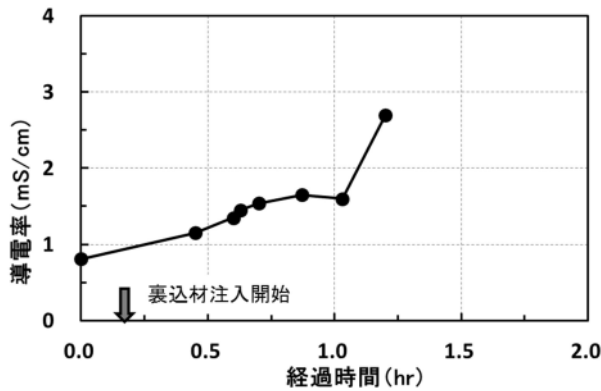


図6 裏込材の注入時における導電率の変化
(測点から注入孔まで3 m 離れ)

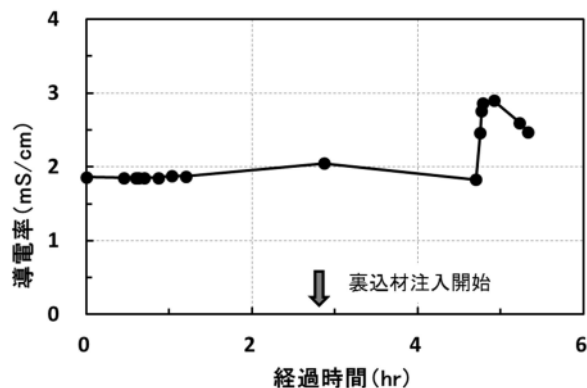


図7 裏込材の注入時における導電率の変化
(測点から注入孔まで10 m 離れ)

においても、裏込材の注入前に比べて、裏込材の注入後の導電率が高い値を示すことがわかる。このことから、推進管の上部の間隙だけでなく、推進管と地山の間隙の全周において、裏込材が確実に注入されていると判断された。

(b) 裏込材の注入時における導電率

グラウト注入孔から裏込材を注入している間において、導電率を経時的に測定した結果を、図6および図7に示す。

測点から3 m離れた注入孔より裏込材を注入した場合、注入開始とほぼ同時に導電率の測定値が増加し始める(図6参照)。一方、測点からの距離が10 mの注入孔より裏込材を注入した場合、注入開始からしばらくの間、導電率の値に大きな変化は認められないが、注入を開始して2時間を経過した頃から、導電率の測定値が増加し始める(図7参照)。これは、時間の経過に伴って、測点まで裏込材が到達したことを示しているものと考えられる。

これらのことから、裏込材を注入した後の導電率は、裏込材の導電率の値を反映しており、導電率の高い裏込材が間隙を占める割合が増すにつれて、測定値が増大していることが確認された。したがって、導電率を測定することにより、注入孔からの距離にかかわらず、裏込材の注入状況を

経時的に検知することが可能であると考えられる。

4. おわりに

本研究開発では、滑材や裏込材などの推進工事で使用する材料を的確かつ簡易に検知する手法として、注入材料が有する導電率といった電気的性質に着目した。この導電率を利用した検知手法の実用性について、実験室内および施工現場における測定結果を基にして検証した。その結果、推進工事で使用する材料は、それぞれ特有の導電率の値を有しており、現場で測定する導電率の値は、それらを反映して変化することが確認された。特に、滑材を注入した後に裏込材を注入し、互いに混在するような場合であっても、裏込材の注入割合が増すにつれて導電率が明確に変化することが明らかとなった。したがって、導電率を測定することによって、裏込材のような材料の注入状況や注入の有無が、簡易な方法で定量的かつ経時的に検知することが可能であると思われる。

これらのことから、従来の注入圧や注入量による管理に加えて、導電率を測定することによって、注入状況を確認しながら的確な注入管理が可能になると考えられる。

【参考文献】

- 1) 吉澤信幸：裏込め材の逸泥対策，月刊推進技術，Vol.26，No.12，pp.43-45，2012.
- 2) 三木五三郎ほか：裏込め注入工法の設計と施工，山海堂，1990.
- 3) 五十嵐寛昌ほか：3連MFシールドの裏込注入材充填管理方法の開発，土木学会第50回年次学術講演会，講演集IV-245，pp.490-450，1995.
- 4) 中村光伸：長距離・曲線推進用滑材注入システムの解説，月刊推進技術，Vol.16，No.2，pp.37-42，2002.
- 5) 大平範行ほか：名水を訪ねて（60）東京都の名水－武蔵野台地の湧水－，地下水学会誌，Vol.45，No.1，pp.81-92，2003.

6) 星野隆行ほか：神奈川県秦野地域の土壌水，河川水の湧水水質に与える影響について，地下水学会誌，Vol.49，No.3，pp.205-233，2007.

7) 国土交通省 東京外かく環状国道事務所：地形および地質，地下水，環境の現地観測結果（四季），第1回東京外かく環状道路の計画に関する技術専門委員会試料，2005，http://www.ktr.mlit.go.jp/gaikan/pi_kouhou/gijutsuinkai/01/.

8) 島田英樹ほか：注入技術の適用と今後の課題－可塑性滑材の諸特性ならびに問題点－，月刊推進技術，Vol.26，No.12，pp.3-9，2012.

9) 船橋 透：名わき役の起用と意義，月刊推進技術，Vol.29，No.3，pp.4-9，2015.