

テールボイド幅が通常の3倍，礫率60%の 難工事を突破するための滑材事前準備プロセス

キーワード 滑材，推力低減，テールボイド，沈下対策，粘性，摩擦

今井 一裕
IMAI Kazuhiro
株式会社
技術営業部次長



大久保 勝
OKUBO Masaru
株式会社
技術営業部次長



1. はじめに

推進工法は，上下水道，ガス，電力等の管路構築で活躍していますが，近年は都市構造の複雑化に伴って，発進到達用地の確保が困難となり，長距離，急曲線，縦断曲線，障害物切削，シールド坑内発進で，かつ高精度にトラブルなく到達させるという厳しい条件下での施工が求められています。特殊条件下で安心安全に到達させるには，低推進力での施工が重要であり，低推進力での施工を可能にするには，現場に適した滑材を選定，採用することが肝要です。本稿では，テールボイド幅が片側73mmという通常の3倍以上のボイドがある現場において，地盤沈下がなく，低推進力，かつ高精度で到達させるための滑材の試験方法，試験データ，及び当該現場の施工結果を説明します。

2. 現場に適した滑材の試験方法

現場に適した滑材を選定するためには，現場の条件に近い試験方法で，検討する必要があります。

2-1 地下水イオンの影響調査

滑材は水道水で作液しても，注入後は地下水と接触するため，地下水に含まれるイオンの影響を受けます。そこで，a.水道水100%で作液した滑材の粘性を粘度計で測定し，これを基準として，b.水道水50%+地

下水50%，c.地下水100%で作液した場合の粘性を測定，比較することで，地下水イオンによる滑材の劣化度合いが判定できます。これにより事前に滑材の変更や注入箇所，注入量の調整が必要となります。

2-2 荷重下における摩擦力測定

摩擦試験（図-1）に際して重要なことは，滑材に荷重をかけ続けた状態で，かつ長期にわたって摩擦力を測定することです。

具体的には，現場地下水を含んだ現場土の上に滑材を敷き，推進管に相当する载荷セメント円柱を滑材の上に乗せ，このセメント円柱を回転させたときのトルクを測定します。尚，滑材にかける荷重は，日本推進技術協会修正式Iで求まる管にかかる等分布荷重 q

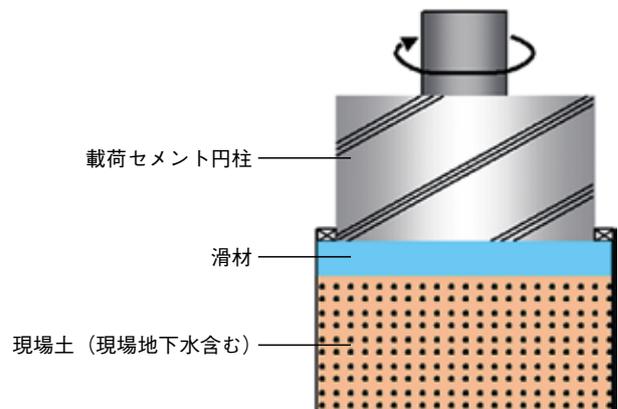


図-1 摩擦試験機

(kN/m²) を参考に、管自重が管の下半分の滑材にかかった場合 (表-1), および浮力で浮いたときに管の上半分の滑材に荷重がかかった場合 (表-2) を想定して、荷重を決定、試験を実施します。

表-1 鋼管自重が管下半分の滑材にかかる平均圧力

外径 (mm)	平均圧力 (kN/m ²)	外径 (mm)	平均圧力 (kN/m ²)
812.9	1.25	2,032.0	2.52
914.4	1.25	2,133.6	2.96
1,016.0	1.40	2,235.2	3.11
1,117.6	1.56	2,336.8	3.27
1,219.2	1.71	2,438.4	3.42
1,371.6	1.87	2,540.0	3.58
1,524.0	2.18	2,644.6	3.73
1,625.6	2.33	2,743.2	3.89
1,676.4	2.34	2,844.8	4.04
1,828.8	2.49	2,946.4	4.20
1,930.4	2.65	3,018.0	4.55

外径は外装部除く

表-2 浮力で鋼管が浮いた時の管上半分の滑材にかかる平均圧力

外径 (mm)	平均圧力 (kN/m ²)	外径 (mm)	平均圧力 (kN/m ²)
812.9	- 2.82	2,032.0	- 7.63
914.4	- 3.32	2,133.6	- 7.70
1,016.0	- 3.68	2,235.2	- 8.05
1,117.6	- 4.03	2,336.8	- 8.41
1,219.2	- 4.38	2,438.4	- 8.76
1,371.6	- 4.99	2,540.0	- 9.11
1,524.0	- 5.44	2,644.6	- 9.48
1,625.6	- 5.79	2,743.2	- 9.81
1,676.4	- 6.04	2,844.8	- 10.17
1,828.8	- 6.65	2,946.4	- 10.52
1,930.4	- 7.00	3,018.0	- 10.52

外径は外装部除く。マイナスは浮力による上方向への平均圧力

3. 滑材選定プロセスと施工結果

当該現場の施工条件は以下の通りです。

掘進機：泥水式外径φ1,110mm (写真-1)

推進管：鋼管外径φ964.4mm
(50mmの外装部含む)

距離：直線88m

勾配：70%

土質：礫層礫率60% (写真-2)

土被り：発進地点8.2m, 到達地点2m

地下水位：G.L - 2m

地下水質：発進立坑脇井戸より採取
イオン濃度0.09%pH8.0

滑材作液水：水道水



写真-1 泥水式掘進機



写真-2 一次篩後の残土 (礫)

3-1 今回の滑材選定プロセス

通常、まず始めに地下水の影響調査、次いで摩擦試験の順に試験を実施しますが、上記の資料調査により、テールボイドが片側73mmと広く、沈下対策が必要なことから、前述の試験に優先して、ボイド維持試験を実施しました。

(1) ボイド維持試験

滑材にかける荷重は、施工者様の意向により、一番過酷な状況を想定して、日本推進技術協会修正式Iで求まる管にかかる等分布荷重 $q = 63\text{kN/m}^2$ をそのまま滑材にかけ、試験を実施しました。一般粒状滑材は加圧直後に地山へ逸脱し、ボイドが無くなったのに対して (写真-3), こんにやく充填剤耐圧仕様は、48時間後で52%を維持しました (写真-4)。尚、24時間後のデータも52%と差がないことから、過酷な状

況においても、常時テールボイドの52%は維持できるものと考えられます。結果を図-2に示します。

この段階で、当該現場に有効な滑材は、こんにゃく充填剤耐圧仕様のみとわかりました。以降は本剤のみで試験を実施しました。

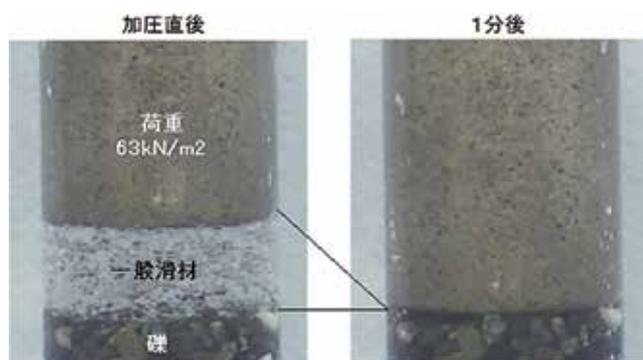


写真-3 一般粒状滑材のボイド維持試験状況

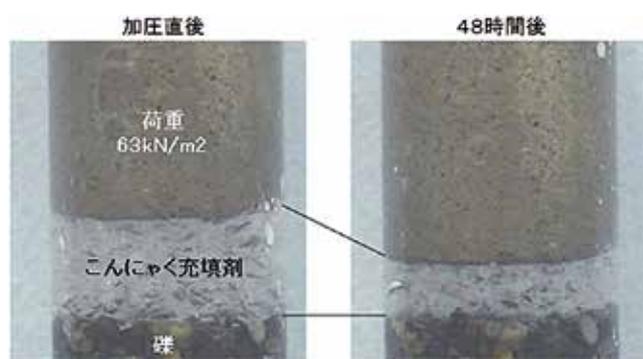


写真-4 こんにゃく充填剤のボイド維持試験状況

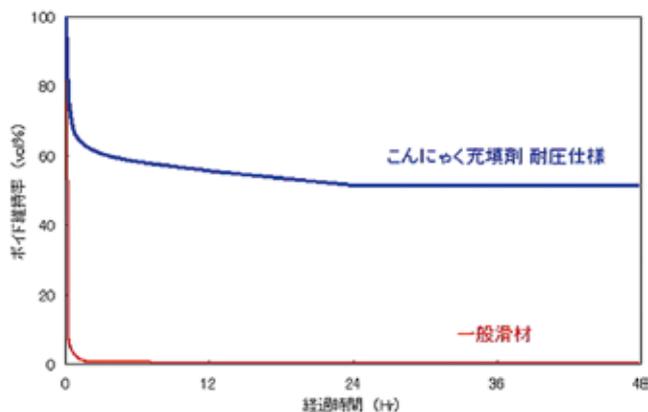


図-2 ボイド維持試験結果

(2) 地下水の影響調査

こんにゃく充填剤耐圧仕様を a.水道水100%で作液し、このときの粘性を100として、b.水道水50%+地

下水50%, c.地下水100%で作液した粘性と比較しました。結果を図-3に示します。

地下水イオンの影響により劣化するものの、最も過酷なc.地下水100%の条件でも、滑材効果が十分期待できる品質維持ライン（これまでの実績から品質維持ラインの下限を水道水で作液したときの粘性の70%とした）を上回りました。これにより、こんにゃく充填剤耐圧仕様の地下水イオンに適応可能と判断、次に摩擦試験を実施しました。

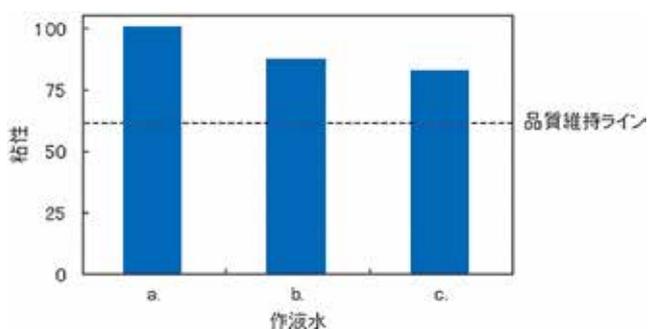


図-3 粘性試験結果

(3) 摩擦試験

摩擦試験開始にあたり、当該現場の荷重を検討します。推進管は外径φ964.4mm鋼管（外装部50mm含む）のため、管自重が管下半分の滑材にかかる荷重は1.25kN/m²、浮力で浮いた時の管上半分の滑材にかかる荷重は3.32kN/m²となります。この中間の2.3kN/m²に対して、安全率をかけた4.8kN/m²を荷重として、摩擦試験を実施しました。結果を図-4に示します。

こんにゃく充填剤耐圧仕様は無滑剤の約1/30、十分に滑材効果が期待できる品質維持ライン（これまでの実績から品質維持ラインの上限を0.3とした）の

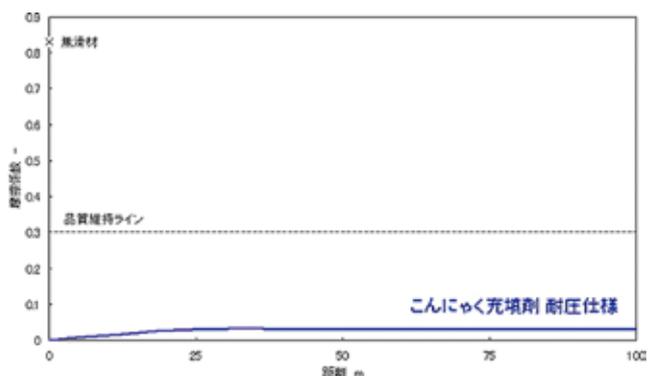


図-4 摩擦試験結果

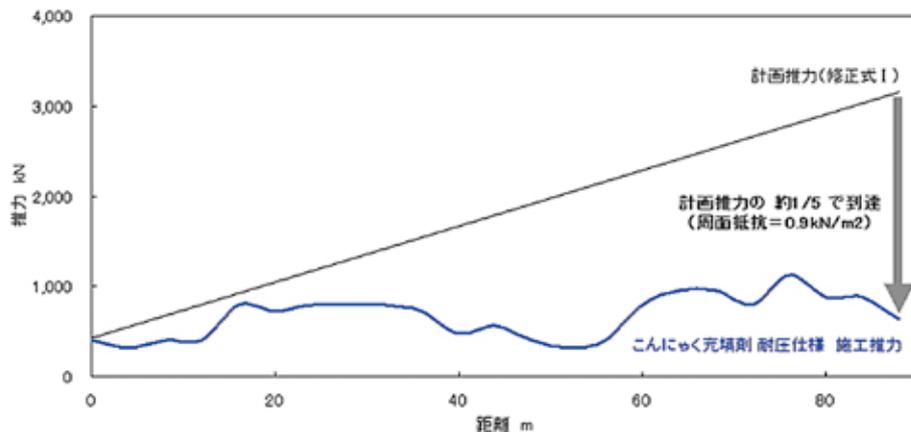


図-5 施工推力結果

1/10の摩擦係数となりました。

以上、(1)、(2)、(3)の試験により、こんにゃく充填剤耐圧仕様が当該現場に適していると判断し、施工業者様へ提案、採用されました。次に施工結果を示します。

3-2 施工結果

修正式 I によって算出した計画推進力は3,154kN、一方、こんにゃく充填剤耐圧仕様を使った施工推進力は640kNで、計画の約1/5 (周面抵抗 0.9kN/m^2)の推力で到達しました。推進力結果を図-5に示します。

また、テールボイドが広いことから、施工精度が懸念されましたが、到達時の管芯は下方方向に10mm、右方向に4mmずれただけで、非常に高精度で到達しました。施工状況を写真-5、到達時状況を写真-6に示します。



写真-6 到達時状況



写真-5 施工状況

尚、一番の懸念材料であった地盤沈下については、施工後数ヶ月経過しても沈下はなく、数年経過した現在もそのような報告はありません。

4. おわりに

今回ご説明した事例以外にも、地下水質が非常に悪い現場や、地下水のない無水層施工、砂礫玉石の長距離曲線施工など様々な難工事に対して、滑材試験を実施、良好な実績をあげてきました。滑材の選定は施工開始前の準備がすべてだと思います。これからも材料の改善と現場に即した試験方法を考えることで、推進工法の安心安全施工に尽力したいと思います。

(特集・技術記事お問合せ先は本誌85頁に掲載)