

泥水用ブラシ状テールパッキングについて

齋藤 二郎 吉岡 尚也
藤原 紀夫 崎本 純治

Brush-Shaped Tail Packing for Slurry Shield Machine

Jiro Saito Hisaya Yoshioka
Toshio Fujiwara Junji Sakimoto

Abstract

Tail packing is attached at the tail of a shield machine to prevent reverse flow of backfill material into the shield machine. It plays an important part in making it possible for backfill material to be filled in the tail void immediately and to prevent settlement of surrounding ground. In particular, it has a very important role in the slurry shield method since leakage of slurry will cause collapse of the facing. The conventional tail packing was not effective for sealing in case there was a deformed segment or unevenness between segments and thus involved the problem that immediate filling of backfill material was hampered. In this paper the results of performance tests on the newly developed brush-shaped tail packing are described and compared with the conventional tail packing.

概要

シールドのテールパッキングは、裏込材のシールド機本体への逆流防止のためシールドテール部へ取付けられるもので、テールボイドへの即時裏込注入を可能にし、周辺地盤沈下を防止するという重要な役割を持っている。特に、泥水シールドにおいては、泥水の漏洩は切羽の崩壊につながるだけにその役割は更に重要なものとなる。従来用いられてきたテールパッキングは、セグメントの変形、あるいはセグメント間の段差に、十分追従することができず、シール効果が悪いため、即時裏込注入に支障をきたす問題点を抱えていた。

本報告は、この欠点を改良するために、新しく開発されたブラシ状テールパッキングの性能試験結果について述べたものである。また、従来のテールパッキングとの性能比較も行なっている。

1. まえがき

シールド工法は、最近、都市内の路面交通確保、振動・騒音等の公害防止および既設地下構造物との交差に伴う深部化などの理由から、都市内におけるトンネル工事の主流になっている。しかし、このシールド工法も周辺地盤沈下に対しては、技術改革が種々なされているにもかかわらず、いまだ不完全なものである。

シールド工事における地盤沈下の中で一番問題になっているのが、テールボイドによる沈下である。この沈下は、シールド機推進後にセグメントと地山の間

生じるテールボイドに土が崩壊することから起こる。

したがって、テールボイドに土が崩壊しないように、即時に裏込材を注入すれば、この沈下は防止できるはずである。しかし、従来のシールドにおいては、裏込材のシールド内への逆流を防止するテールパッキングのシール性が十分でないために、即時裏込注入に支障をきたし、結局沈下が生じる結果となっていた。このため、裏込材の漏洩を完全に防止するテールパッキングの開発が切望されていた。また、最近注目を集めている泥水加圧式シールド工法においては、切羽の安定を泥水圧で保持しているため、泥水の漏洩は、泥水圧の低

不につながり、切羽の安定そのものに影響を与える。

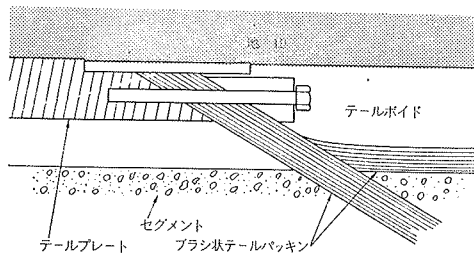
このため、泥水シールドにおいては、特に、泥水に対する耐漏洩性の高いテールパッキンが要求された。

以上の要求に応じて開発されたのが、ブラシ状テールパッキンである。以下にブラシ状テールパッキンの概要と性能実験結果について述べる。

2. ブラシ状テールパッキン

ブラシ状テールパッキンは、パッキン材に、その名の示すとうり、ブラシ、すなわち細い棒状繊維の集合体を用いたもので、従来のテールパッキンのように、一体構造となっていないため、セグメントの変形、段差に対しても十分追従し、耐漏洩性の高いものである。

図一1は、ブラシ状テールパッキンの概略図である。



図一1 ブラシ状テールパッキン概略図

テールパッキンは、上記の耐漏洩性の他に、耐摩耗性・耐圧力性・復元性などが要求される。

確かに、ブラシ状テールパッキンは耐漏洩性という点では段差などに追従する柔構造のテールパッキンであるので有利であるが、一体構造となっていないため剛性にとぼしく、耐摩耗性、耐圧力性に疑問があり、また、繊維状であるため、裏込材の付着が生じ易く、本来の長所である耐漏洩性を発揮しなくなることが心配された。そこで、これらの疑問点を解明するため以下の室内実験を行なった。

室内実験に用いたブラシ状テールパッキンは、直径約1mmの棒状繊維からなり、ナイロン繊維とナイロンにカーボランダムを含んだ繊維をさらにナイロンでくるんだ特殊な繊維の2種類の繊維で構成されている。

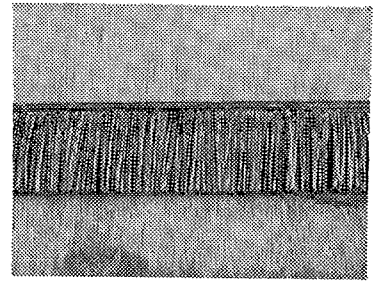
前者は、摩耗に強く、後者は強靱な性質を持っている。実験には、前者と後者の混合割合が繊維の本数にして65:35のものを使用した。

	ナイロンを基材としカーボランダムを含んだ繊維	ナイロン繊維
テニール	4,282	5,280
引張強度(g/d)	1.3	4.5
引張伸度(%)	31.5	30
初期ヤング率(g/d)	6.4	30
曲げ応力(g)	71.7	-
熱水収縮率(%)	5.3	13

表一1 繊維の物性

各々の繊維の物性は表一1に示す。

写真一1は室内実験に用いたブラシ状テールパッキンである。



写真一1 ブラシ状テールパッキン

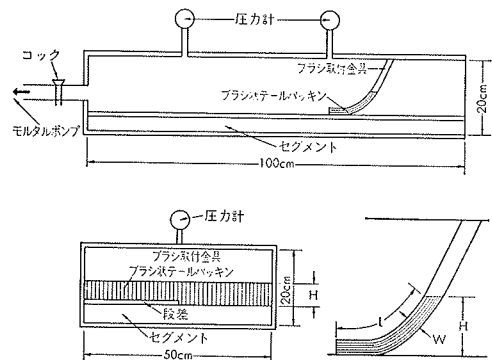
3. 室内実験

ブラシ状テールパッキンと現在一般的に用いられているゴムおよびウレタンゴムのテールパッキンの諸性能について、室内実験を行ない、実験結果に若干の考察を加えた。

3.1. 耐圧力・耐漏洩試験

テールパッキンは、裏込材および泥水の漏洩を防止するのは当然の役目であるが、裏込材の注入圧力および泥水圧に対しても抵抗しなければならない。このため耐圧力・耐漏洩試験を行ないその性能について調べた。

図一2にテールパッキン性能試験装置の概要を示す。



図一2 性能試験機の概要

3.1.1. 裏込材に対して 試験は、図一2に示す性能試験装置にベントナイトモルタルを手動式モルタルポンプにより注入し、テールパッキンに圧力を加える方法をとった。なお、セグメントとして、コンクリートプレートを採用した。

実験条件は、以下に示すとおりである。

- (1) 間隔H、テールパッキンの厚さWの変化
(以下では、間隔H、テールパッキンの厚さW、長さL(図一2参照)は単にH、W、Lと呼ぶ。)
- (2) セグメントプレートは、平坦なものと1cmの段差のあるものの2種類
- (3) ベントナイトモルタルの配合は、表一2に示す2種類

(4) モルタル注入圧は、4.5(kg/cm²)

配合名	セメント	砂	ベントナイト	水	フロー値(秒)
A	370	917	183	733	15
B	382	956	95	795	10

表一2 ベントナイトモルタルの配合(kg/cm³)とフロー値

実験結果は、まとめて表一3、4に示す。

実験番号	モルタルの配合	長さL(mm)	厚さW(mm)	間隔H(mm)	結果
1	A	100	7	38	モルタル漏洩なし
2	A	100	7	49	モルタル漏洩なし
3	A	100	7	60	Hが大きすぎて、圧力0.1kg/cm ² でモルタル漏洩
段差-4	A	100	7	38 49	モルタル漏洩なし
5	A	100	14	38	モルタル漏洩なし
6	B	100	7	38	モルタル漏洩なし

表一3 ブラシ状テールパッキンの性能結果

実験番号	モルタルの配合	長さL(mm)	厚さW(mm)	間隔H(mm)	結果
7	A	100	7	38	モルタル漏洩なし
8	A	100	7	49	モルタル漏洩なし
9	A	100	7	60	Hが大きすぎて、圧力0.3kg/cm ² でモルタル漏洩
段差-10	A	100	7	38 49	圧力があがることなく、モルタル漏洩
11	B	100	7	38	モルタル漏洩なし

表一4 ゴムのテールパッキンの性能結果

実験結果に考察を加えると、セグメントの表面形状が平坦な場合は、Hが60mmの場合を除いて、ブラシ状テールパッキンと従来のゴム製テールパッキンの両者とも、モルタル注入圧の4.5(kg/cm²)をかけてもモルタルの漏洩は生じず、耐圧・耐漏洩性に差がみられなかった。しかし、セグメントに段差があると、やはり従来のゴムのテールパッキンでは、圧力が上昇することなくモルタルの漏洩が生じるに対し、ブラシ状テールパッキンは、圧力が4.5(kg/cm²)に達してもモルタルの漏洩は全く起こらず、両者の耐圧・耐漏洩性に大きな差が生じた。

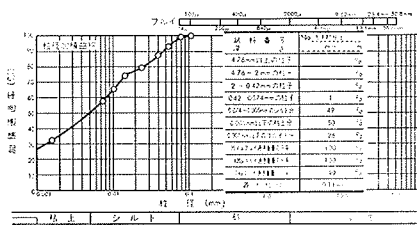
Hに関しては、Hが60mmのとき、ブラシ、ゴムのいずれのパッキンにも漏洩が生じたのは、Hをパッキンの長さLに比して大きくとりすぎたためと思われる。このことは、ブラシの反転、ゴムのセグメントへの押し付け力の低下に直接影響するからである。

パッキンの厚さWに関しては、W=7mmで十分耐圧耐漏洩性を示した。

つぎに、ベントナイトモルタルの配合に関しては、

配合A、Bによるブラシ、ゴム両パッキンの性能の差は殆んどみられず、フロー値10秒のやわらかいモルタルに対して、いずれも漏洩を生じないことがわかった。

3.1.2. 泥水に対して 3.1.1.の裏込材に対する耐圧・耐漏洩試験においてゴム製テールパッキンが、セグメント段差に対して、裏込モルタルの漏洩を防止できないことを確認したので、泥水に対しては、ブラシ状テールパッキンについてのみ実験した。泥水材としては、ベントナイト(群馬県産、250メッシュ)と粘土(東京大手町における発生粘土)の2種類を用いた。粘土の粒度分布は、図一3に示す。



図一3 粘土の粒度分布

実験条件を以下に示す。

- (1) 間隔H, テールパッキンの厚さWの変化。
- (2) セグメントプレートは、1cmの段差のあるもの、
- (3) 泥水は、ベントナイトと粘土の2種類(一部の実験にCMC, アスベスト添加)
- (4) 泥水圧は、0~4.5(kg/cm²)
- (5) ブラシ状テールパッキンの形状は、ブラシだけのものとブラシ間に布をはさんだものの2種類。

実験結果は、表一5に示す。

実験番号	セグメント形状	ブラシ形状	泥水比重	泥水圧	止水性	備考
1	段差1cm % = 0.25	ブラシ2枚+布	1.15	Pmax = 4.5kg/cm ²	○	初期に少量の逸泥はあるがその後の止水効果は良好
2	"	"	1.08	"	△	初期の逸泥は多いがその後の止水効果は良くなる
3	"	ブラシ2枚	1.15	"	○	マッドケーキが形成されてくると止水効果は良好
4	"	"	1.10	"	△	マッドケーキが形成されるまでに多量の逸泥がある
5	"	ブラシ2枚+布	ベントナイト泥水 1.17	"	×	止水効果なし
6	"	"	ベントナイト泥水 1.2	Pmax = 3.6kg/cm ²	×	"
7	"	"	1.08-1.05	Pmax = 4.5kg/cm ²	○	マッドケーキが形成されているので止水効果は良好
8	"	"	1.05-1.03	Pmax = 3.5kg/cm ²	△	低比重となるためブラシ間から逸泥が生じる
9	"	ブラシ2枚	1.15 → 1.1	Pmax = 4.5kg/cm ²	○	マッドケーキが形成されているので止水効果は良好
10	"	"	1.1 → 1.06	Pmax = 4.3kg/cm ²	△	ブラシ間から逸泥が生じる
11	"	ブラシ2枚+布	ベントナイト泥水 1.05	Pmax = 4.5kg/cm ²	○	CMC, 0.05%, アスベスト1%添加初期に多少逸泥、その後止水効果良好
12	段差1cm % = 0.45	"	1.15	Pmax = 0.9kg/cm ²	×	ブラシ反転
13	段差1cm % = 0.35	"	1.15	Pmax = 2.0kg/cm ²	×	ブラシ反転

表一5 ブラシ状テールパッキンの性能結果

実験結果の考察を以下に述べる。

ベントナイト泥水に対しては、ブラシ状テールパッキンは、泥水比重1.17と高い濃度のものでも、全く止水することができなかった。しかし、ベントナイトに添加材として、CMC 0.05%、アスベスト1%を加えると、泥水比重1.05と低い濃度に対しても、初期に多少逸泥するものの、最終的に、泥水圧 4.5(kg/cm²)に耐え、完全に止水した。これは、ベントナイト泥水だけだと、ベントナイト粒子が細かいため、ブラシの間隙を通過して、マッドケーキが形成されないのに対しアスベスト1%を加えたものでは、ブラシの間隙がアスベストの付着により小さくなるため、ベントナイト粒子が通過しにくくなり、次第にマッドケーキが形成されたためと思われる。(写真-2参照)

パッキンの厚さWに関しては、ブラシ1枚の場合、比重1.20と高い濃度の粘土泥水(以下単に泥水と呼ぶ)を用いても、全く止水することができなかった。これは、Hに対して、ブラシの厚さWが不足したからと思われる。このことは、ブラシ1枚をすかしてみたときすきまが見えることから推定できる。ブラシ2枚の場合は泥水比重1.15に対しても、泥水圧 4.5(kg/cm²)に耐え、完全止水した。また、比重1.10と低い濃度の泥水に対しても、初期の逸泥量が1.15に比べると多くなるが、時間とともに止水効果を発揮し、最終的に泥水圧 4.5(kg/cm²)に耐え、完全止水した。

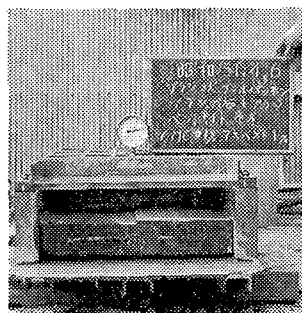


写真-2 実験状況



写真-3 布を挟んだブラシ状テールパッキン

つぎに、ブラシ2枚に布(ここでは、フィルタープレス用の布を使用)を挟んだもの(写真-3参照)では、ブラシ2枚のものに比べて、さらに低い濃度の泥水比重1.08に対しても、最終的に完全止水し、泥水圧も4.5(kg/cm²)までかけることができた。(写真-4参照)

また、同じ止水効果を発揮する場合でも、逸泥量および完全止水に至るまでの時間に差を生じた。このように差が生じた原因として、ブラシの間隙と布の網目の間隙の大きさの違いが考えられる。すなわち泥水を止水するためには、マッドケーキによる止水性のシー

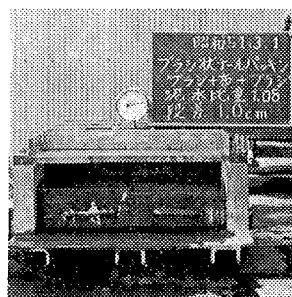


写真-4 実験状況

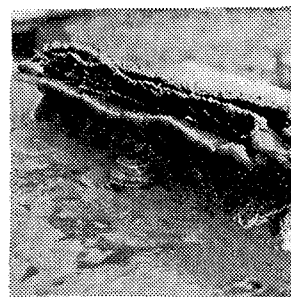


写真-5

ルが形成される必要があり、マッドケーキは、泥水中の土粒子によって造成されるため、間隙が小さい方がマッドケーキの形成に有利と思われるからである。

このことは、一度マッドケーキが形成されたブラシにおいて、本来止水できない低濃度泥水の止水が、可能になることから推定できる。しかし、このマッドケーキは、いかなる濃度の泥水に対しても止水するというわけではなく、今回の実験ではその限界比重が、1.03程度であった。写真-5は、泥水比重1.15のときのマッドケーキの形成状況を示す。マッドケーキは、泥水の比重が高いと厚く、密実なものとなり、比重が低いと薄く粗悪なものとなっていた。

Hに関しては、H/L=0.45、H/L=0.35のいずれもブラシの反転が生じた。H/L=0.25に対しては、泥水圧力 4.5(kg/cm²)をかけてもブラシの反転は生じなかった。この結果、H/L ≤ 0.25 を満足すれば、泥水圧 4.5(kg/cm²)に対して、ブラシの反転は生じないことがわかった。

3.2. 耐摩耗試験

テールパッキンは、摩耗に強いものでなければならない。そこで、ブラシ状テールパッキンと従来のテールパッキンの耐摩耗試験を行なった。実験は、回転するコンクリート製ドラムに各々のテールパッキンを接触させ、その摩耗量を重量測定することにより行なった。

測定結果は、図-4に示す。この図からブラシ状テールパッキンは、従来のゴムおよびウレタンゴム製のテールパッキンより摩耗に対して強いことがわかった。

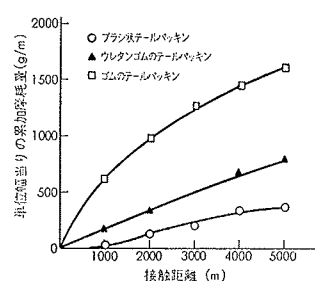


図-4 各テールパッキンの摩耗強度

3.3. 付着試験

付着試験は、シールド工事が何らかの理由で掘削停止になった場合、裏込材とテールパッキンの付着が起こり、テールパッキンの機能が正常に働かなくなるこ

とが心配されたため行なったものである。裏込材として、ここでは表—2に示すA配合のベントナイトモルタルを使用した。テールパッキンは、ブラシ状テールパッキン、ゴム製テールパッキン、ブラシ状テールパッキンとゴムの合成テールパッキンの3種類を用いた。

実験は、図—2に示す性能試験装置に、ベントナイトモルタルを注入し、圧力を約4 (kg/cm²) まで上げ、コックを締め一日放置した後、テールパッキンとベントナイトモルタルの分離を図り、テールパッキンに付着したベントナイトモルタルは、そのまま残し、再び性能試験装置を用いて、同様の操作を繰返し行なう方法で、各日数ごとのモルタル付着状況を観察した。

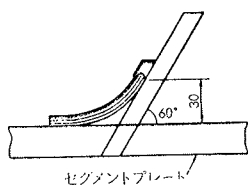
実験結果を表—6に示す。この表からブラシ状テールパッキンは、モルタル付着に関して抵抗性が少ないことがわかる。しかし、ブラシ状テールパッキンにゴムのカバーをつけた合成テールパッキンでは、従来のゴムのテールパッキン同様、モルタルの付着があまりみられず、良好な結果を示した。

	ブラシ状パッキン	ゴムのテールパッキン	ブラシ・ゴムの合成テールパッキン
1日目	先端部に小さな固まりがつく、他は点状に付着	点状に付着	点状に付着
2日目	全体に大きな固まりが付着	同上	同上
4日目	同上	同上	同上
7日目	同上	同上	同上

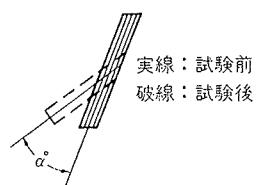
表—6 モルタル付着状況

3.4. 塑性変形試験

ブラシ状テールパッキンが、本来の機能を十分に発揮するためには、セグメントに対し、ある押付圧をもって接していなければならない。しかし、ブラシ状テールパッキンは、基材がナイロンであるため、長時間セグメントに接していると、復元性がなくなり、押付圧が減少し、裏込注入モルタルおよび泥水の漏洩を防止できなくなる心配があった。そこで、図—5に示す塑性変形量測定装置を用いて、任意時間後の塑性変形量 α (図—6参照) を測定した。



図—5 塑性変形量測定装置



図—6 塑性変形量

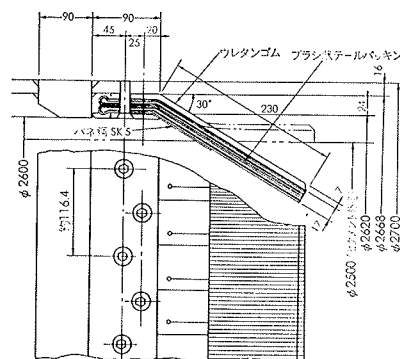
実験結果を要約すると以下のようなになる。

塑性変形量 α は、試験期間中殆んど同じ値を示し、3ヶ月後においても、ブラシ状テールパッキンを試験装置から取りはずした時点で13度、20分経過後は、7度まで回復した。これから、このブラシ状テールパ

ッキンは、大きな塑性変形を生じないことがわかった。

4. 現場取付例

図—7は、某現場の泥水シールドに取付けることになったブラシ状テールパッキンの詳細図で、ウレタンゴム製平型テールパッキンと合成したものである。ブラシの間には、泥水に対する止水効果を改善するため布を挟んでいる。



図—7 泥水用ブラシ状テールパッキンの現場取付例

5. まとめ

実験結果をブラシ状テールパッキンに関してまとめるとつぎのようになる。

- (1) 裏込モルタル注入圧4.5 (kg/cm²)、泥水圧4.5 (kg/cm²) のいずれに対しても十分耐える。
- (2) セグメントに段差があっても、モルタルの漏洩を防止し、泥水に対しても、止水効果を発揮する。
- (3) 耐摩耗性は、従来のテールパッキンと同等かそれ以上で、復元性は大きい。
- (4) 裏込材の付着による性能の低下は、ウレタンゴムと合成することにより取除くことができる。
- (5) 止水効果は、ブラシだけのものより、ブラシに布を挟んだものの方が良好である。
- (6) 泥水に添加材 (CMC, アスベストなど) を加えると止水効果が高まる。また、一旦マッドケーキが形成されたブラシは止水効果が高まる。

以上の結果より、新しく開発されたブラシ状テールパッキンは、即時裏込注入を可能にした画期的なテールパッキンで、泥水用のテールパッキンとしても、そのまま転用できるものであることがわかった。

ブラシ状テールパッキンは、室内実験により上記のように秀れた性能を持っていることを確認したが、これからは、現場で実際に使用された場合の追跡調査を行ない、さらに性能の良いテールパッキンに開発していくつもりである。