

高水圧対応型シールドテールシールの研究開発

Research and Development of Shield Tail Sealant for Use under High Water Pressure Condition

新藤 敏郎*
Toshirō Shindō

土田 耕司**
Kōji Tsuchida

渡辺 徹***
Tōru Watanabe

野本 寿***
Toshi Nomoto

増田 修一****
Shūichi Masuda

要 約

本報文は、大型装置を用いたシールドテールシール耐圧 (10kg f/cm²) の実験の報告である。

既存のワイヤブラシ型のシールドテールシール (以下シールという) とシール間を満たす2種類の充填材を用いて、セグメント継手の目開き・目違い及びセグメントの偏心の有無並びにシールド推進時・停止時を想定するなどの実施工に添った条件下で実験を行った。その結果、セグメントピース間に目開きがある場合には、耐圧10kg f/cm²を満足しないことが判明した。また、充填材はシールド推進時の消費量及びポンプ圧送性を含めた施工性等に問題点があることなども判明した。

さらに、今後の検討課題としてシール及び充填材について、いくつか問題点等を述べた。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 実験概要
- §3. 実験結果及び考察
- §4. 今後の検討課題
- §5. おわりに

§1. はじめに

シールドトンネルが海底下や大深度での施工となる場合、高水圧を考慮した止水技術が必要となる。

このうち、シールドテールシールは高水圧に対する耐圧性と長距離施工に伴う耐久性が要求される。当実験で

はまず耐圧性に注目して、既存のワイヤブラシ型のシール並びにシール間を満たす2種類の充填材を用いて実証実験を行い、問題点や課題を抽出することとした。

§2. 実験概要

2-1 実験装置

実験装置を Fig. 1 及び Photo 1 に示す。

装置は、テールシールを4段取り付け可能な構造で、付属機器としてセグメント推進用ジャッキ(70t×6本)、セグメント偏心用ジャッキ(8本)、充填材注入孔、圧力調整弁等が組み込まれている。

2-2 実験条件

- (1) 加圧体：清水
- (2) 最大加圧力：10kg f/cm²
- (3) 使用セグメント (Fig. 2 参照)
・外径：2000mm (1990mm)

*技術研究部土木技術課

**関東(支)田町(出)

***技術研究部土木技術課副課長

****技術研究部土木技術課係長

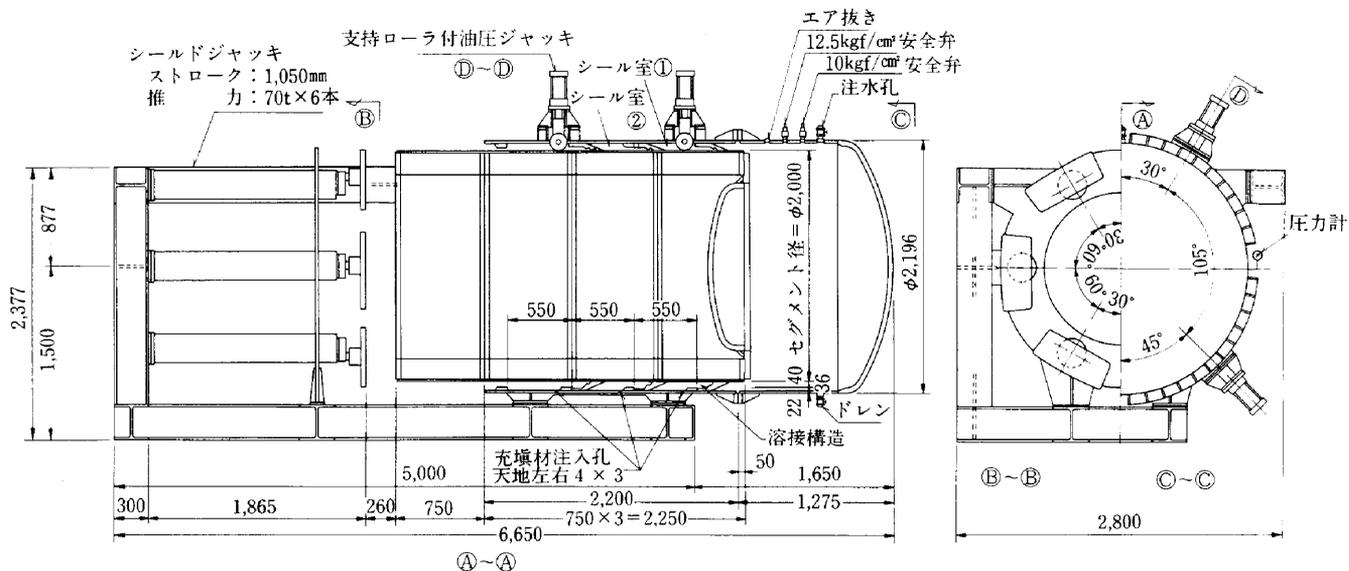


Fig.1 実験装置



Photo 1 実験装置

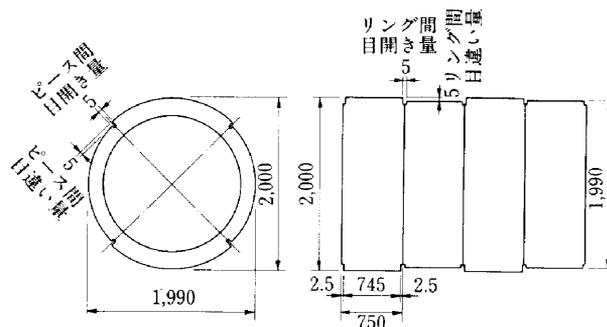


Fig.2 使用セグメント

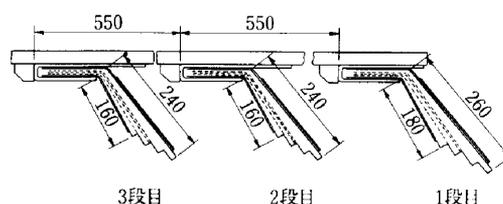


Fig.3 テールシール概略図

- ・幅：750mm (745mm)
- ・スチールセグメント
- ・分割なしの一体型 (リング状に製作)

(4) セグメントの目開き・目違い：最大5mm

本実験のセグメントが分割なしのリング状であるため、Fig.2に示すように、ピース間の目開き・目違いとリング間の目開きに相当する切り込み・段差をセグメント製作時に設け、リング間の目違いはセグメントの組み方によって設けるようにしてある。

(5) テールクリアランス：40mm

(6) 偏心量：最大 40mm

装置本体に取り付けた8個のローラージャッキによりセグメントを動かし、最大40mmの偏心量を得る。

(7) 推進速度：30mm/min(最大60mm/min可能)

(8) シール：ワイヤーブラシ型の3段

ブラシはφ0.32~0.35mmの硬鋼素線からなり、ブラシの中には#40のステンレス製金網が組み込まれている。実験で使用したシールの概略図をFig.3に、シール単体をPhoto2に示す。

(9) 充填材：目詰め材入り特殊充填材(2種類)

充填材は鉱油・粉末・繊維を主成分としており、両者ともメーカーの静的耐水圧試験で、耐圧30kgf/cm²を満足している。

Table 1に充填材の特性を示す。

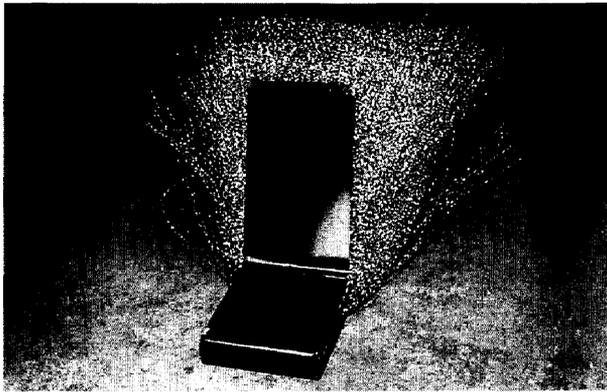


Photo 2 テールシール単体

Table 1 充填材の基本物性

	充填材A	充填材B
外 観	白色ペースト状	灰緑ペースト状
比 重	1.33	1.15
稠 度 (1/10mm)	260	215
スランプ (mm)	0	0
揮 発 分 (%)	2.0	0
保油性 浸透枚数 (枚) 浸透幅 (mm)	4 14	4 20

Table 2 実験パターン一覧表

実験パターン 記号	目開き量 (mm)		目違い量 (mm)		偏心量 (mm)	実 験 実施の 有無
	ピース間	リング間	ピース間	リング間		
A-3-0	5	5	5	5	0	○
A-3-40	5	5	5	5	40	—
B-3-0	5	5	5	0	0	—
B-3-40	5	5	5	0	40	—
C-3-0	5	5	5	5/0	0	○
C-3-40	5	5	5	5/0	40	—
D-3-0	5	0	5	5	0	—
D-3-40	5	0	5	5	40	—
E-3-0	5	0	5	0	0	—
E-3-40	5	0	5	0	40	—
F-3-0	5	0	5	5/0	0	—
F-3-40	5	0	5	5/0	40	—
G-3-0	0	5	5	5	0	○
G-3-40	0	5	5	5	40	○
H-3-0	0	5	5	0	0	○
H-3-40	0	5	5	0	40	○
I-3-0	0	5	5	5/0	0	○
I-3-40	0	5	5	5/0	40	○
J-3-0	0	0	5	5	0	○
J-3-40	0	0	5	5	40	○
K-3-0	0	0	5	0	0	○
K-3-40	0	0	5	0	40	○
L-3-0	0	0	5	5/0	0	○
L-3-40	0	0	5	5/0	40	○

2-3 実験方法

(1) 実験パターン

セグメントのリング間及びピース間の目開き・目違い並びに偏心量の違いによる実験パターンの組合せを Table 2 に示す。

(2) 実験手順

実験手順を Fig. 4 のフローチャートにより示す。

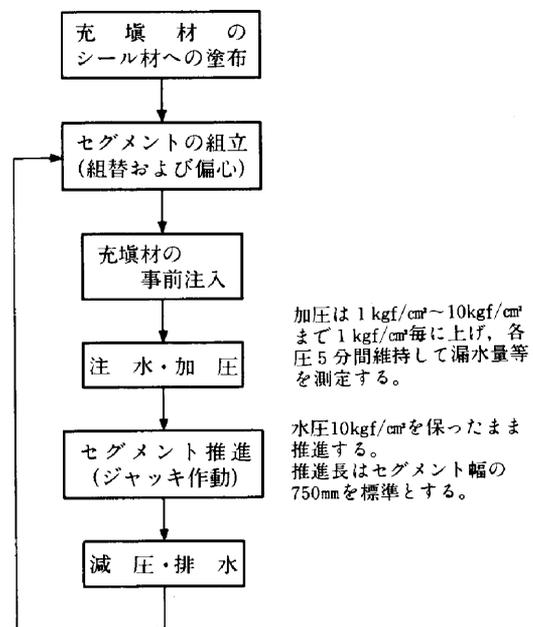
実験開始当初、充填材の事前注入は大気圧状態において行い、装置天端に設けてあるエア抜き孔から充填材が流出したときを注入完了としていた。しかし、実験を繰り返していく中で、必ずといってよいほど 5~6 kgf/cm² で多量の漏水があった。このことから、大気圧下での事前注入では不十分であると判断し、ジャッキ停止状態での加圧試験を終え、水圧を 0 に戻した時点を実験完了と考えた。

なお、いくつかのパターンで実験を行った後、2回目の加圧試験も行うことにした。

(3) 測定項目

① 漏水量

漏水量はテールシール全体を透過した漏水を、メスシリンダーにより計量する。その頻度は加圧及び推



※注水・加圧時および推進時に漏水があれば、随時、充填材を注入する。

Fig.4 実験手順フローチャート

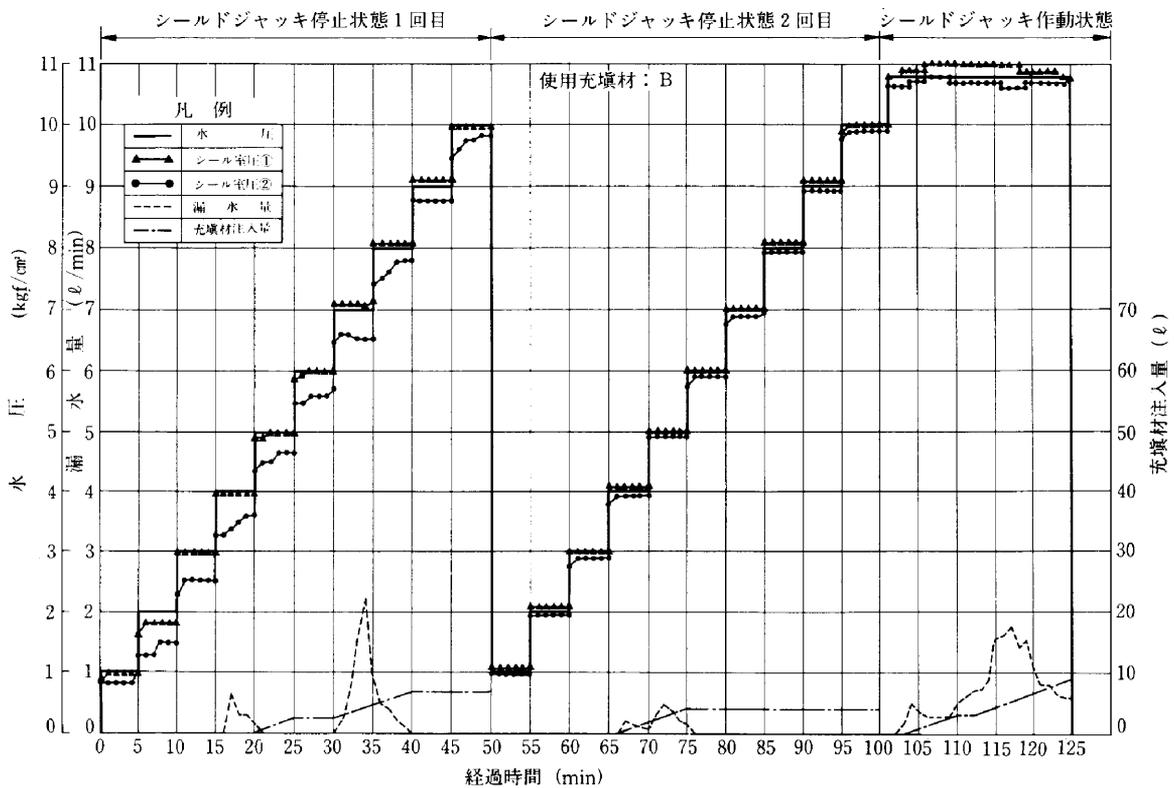
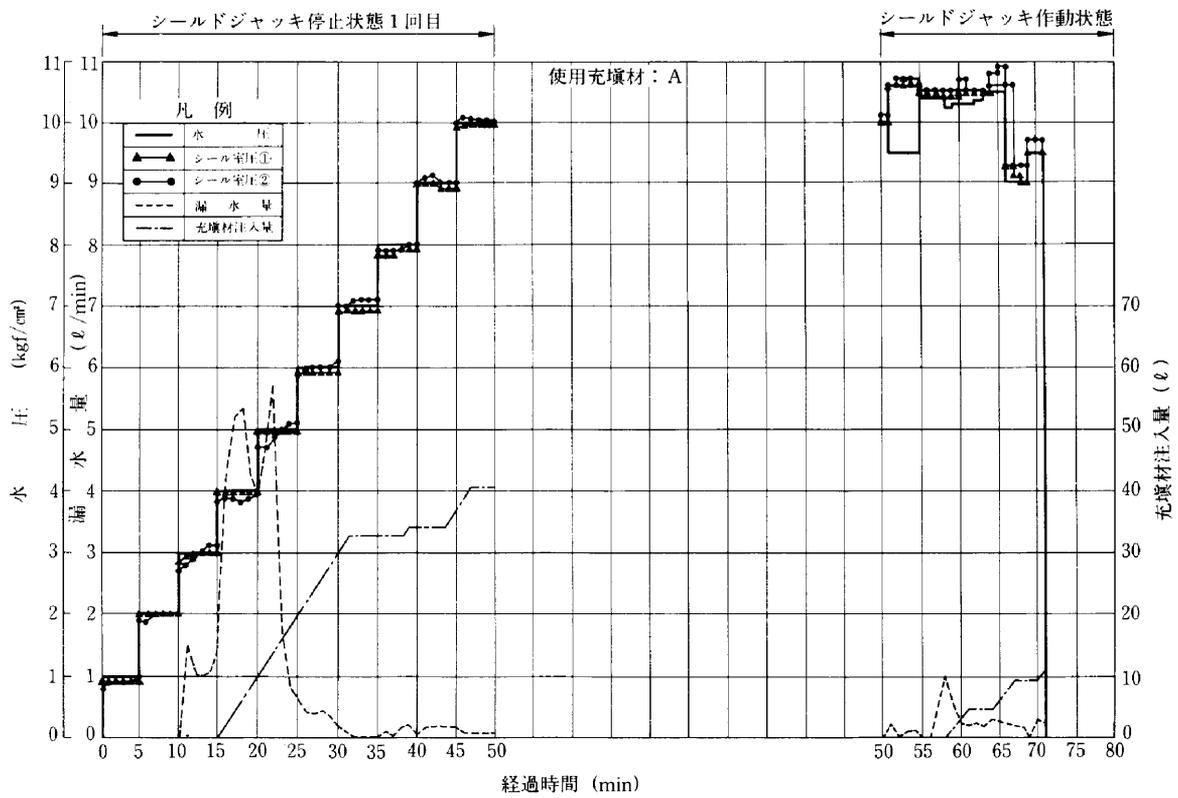


Fig.5 実験結果図 (実験パターン：I-3-40)

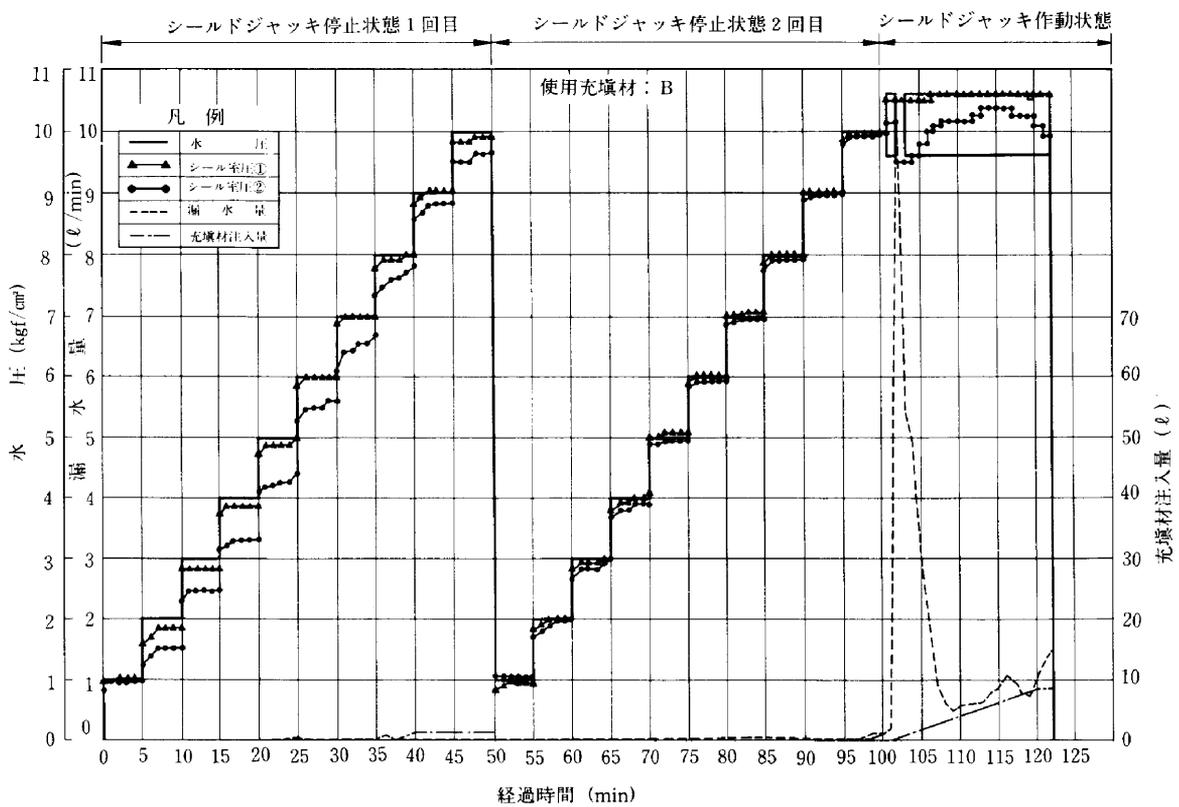
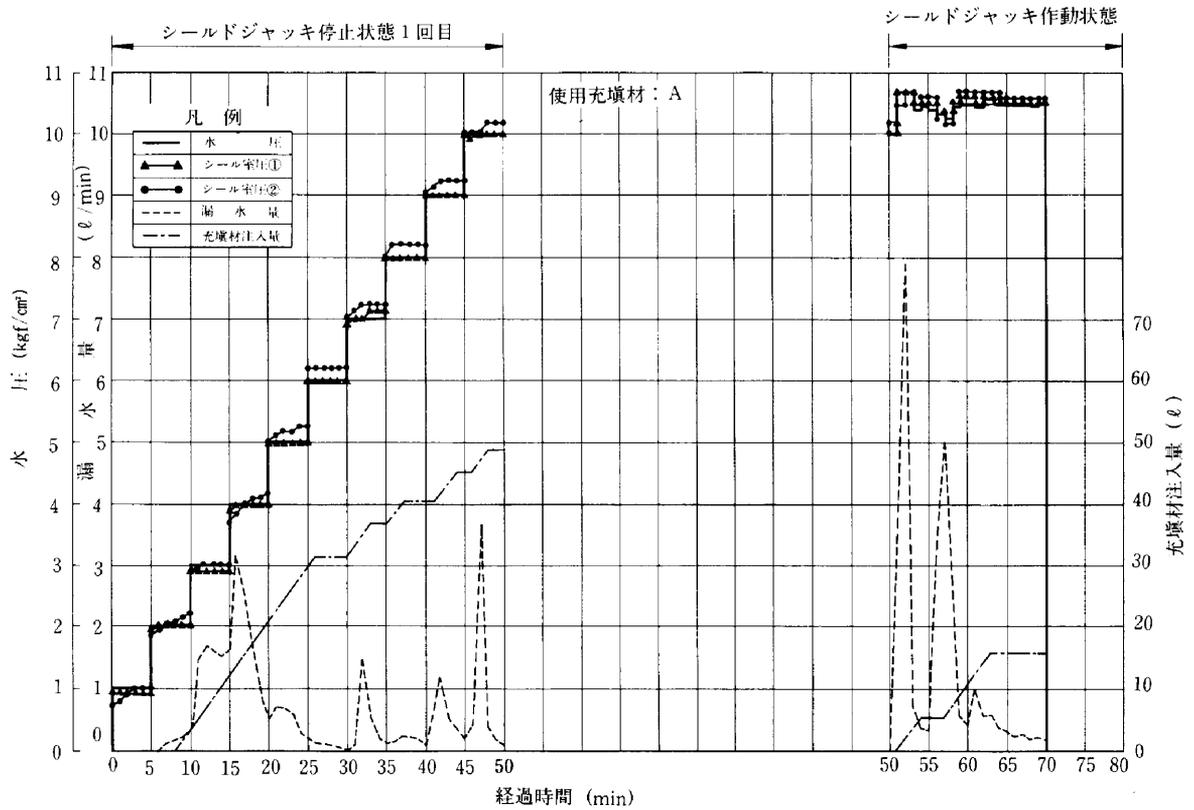


Fig.6 実験結果図 (実験パターン：H-3-40)

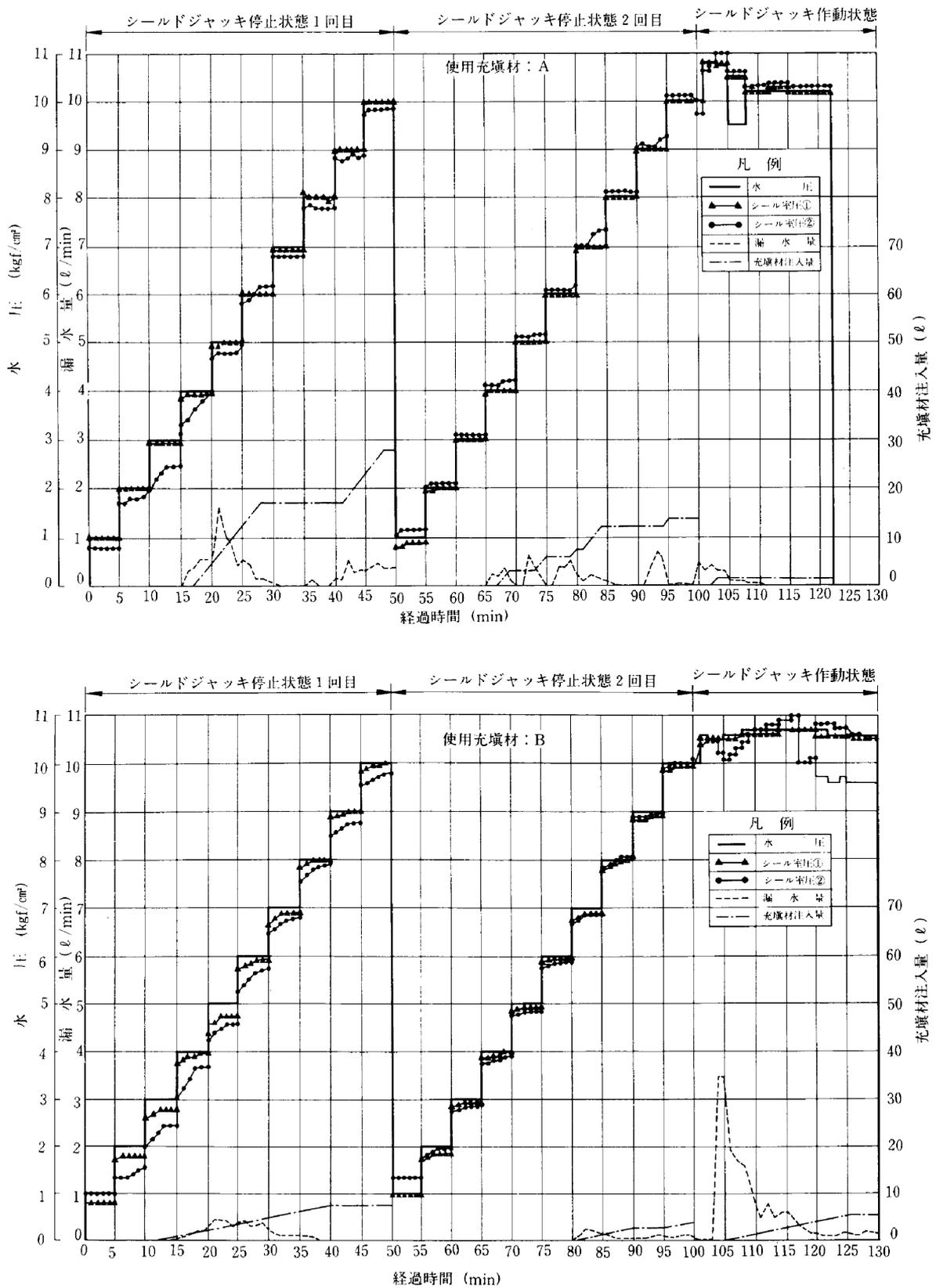


Fig.7 実験結果図 (実験パターン：H-3-0)

において止水可能であり、ジャッキ推進時の漏水も充填材の追加注入により、施工上問題のない程度（本実験においては1ℓ/min）に抑えることができた。

なお、ピース間に目開きのある場合には2～3kgf/cm²で漏水が生じ、充填材を注入し続けても漏水量は減らず、4～5kgf/cm²においては水とともに充填材も噴出した。また、ジャッキ停止時の加圧試験回数で推進時の充填材消費量を比較すると、実験パターンは異なるものの2回行った方が格段に少なくなっている。このことは、前述したように充填度合の違いによるものと考えられる。

(2) 充填材 B 使用の場合

充填材 A を用いて止水不可能であった実験パターン（ピース間に目開きのある場合）においては、Table 4 に示すとおり、1回目の加圧試験では耐圧10kgf/cm²を満足した。しかし、加圧2回目もしくはジャッキ推進中では、充填材を伴った水の噴出が生じた。

このように一度噴出が起こった場合に充填材を注入し続けても噴出は抑えられなかった。

このため、実施工にはそぐわないが本実験では、加圧試験途中であれば水圧を下げて充填材を注入し、推進中であればジャッキを停止し水圧を下げて充填材を注入し、再び10kgf/cm²まで加圧した後推進を再開した。このような方法をとった場合には、水圧10kgf/cm²において漏水量1ℓ/min前後で推進できることを確認した。

(3) シール間圧力

シール間の圧力（以下、1段目2段目シール間をシール室圧①、2段目3段目シール間をシール室圧②とする）は、Fig. 6 からわかるように充填材 A では、シール室圧②が水圧及びシール室圧①を上回っていることもあり、3段目シールで水圧の大部分を受け持っていることがわかる。また、充填材 B を用いた1回目の加圧では、水圧→シール室圧①→シール室圧②の順に圧力が低くなり、その差圧分をそれぞれのシールが受け持っているが、加圧の2回目になると差圧が小さくなり、やはり3段目のブラシにかかる負担が大きくなっていることがわかる。

(4) シールの破損

実験後セグメントを取り去った状態では3段目シールだけが原形をとどめていなかった（Photo 3 参照）。

また、3段目シールの保護板は実験の途中から取れはじめ、十数回の実験を行った後には全て取れてしまった。

3-2 考察

(1) 充填材

充填材 A は、ワイヤーブラシ内にあるステンレス製金網に繊維を目詰まりさせることにより膜を形成し、それ

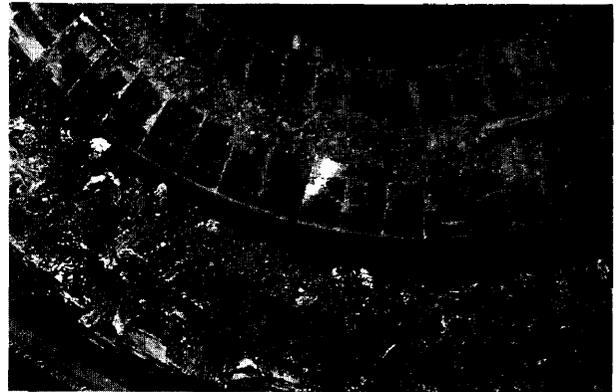


Photo 3 3段目シールの破損状況

を止水膜として止水する考えの材料である。

これに対し、充填材 B は、止水膜形成による止水を補助的な役割と考え、ブラシ間のポイドに材料によるブロックを形成し、それを止水ブロックとして止水することを主とした考えの材料である。

このように止水方法に対する基本的な考え方が異なるため、充填材 A は柔らかいが、充填材 B は紙粘土のような感じで前者に比べると相当硬い。

止水性の点からはそれほど差異はない。ただし、水圧10kgf/cm²時の実験状況を見ると、充填材 A の方が鉱油分の流出が多く、必然的に消費量は多くなる。また、ピース間に目開きがある場合、充填材 B は一時的とはいえ水圧10kgf/cm²を止水可能であったことから、止水性及び経済性に限って言えば若干優れているものと考えられる。

つぎに施工性の点からみると、ポンプ圧送性は充填材 A の方が良い。このため、充填材 A は漏水時に吐出量を増すことが容易で、止水に対して即応性があるものと考えられる。また、充填材 A は充填材 B に比べポンプ能力を小さくできる。

以上のことから、両者とも一長一短があり改良を必要とする。

(2) シール間圧力

各段のシールは以下に示す役割を果たすことが望ましい。

① 1段目シール

土砂、裏込注入材等の侵入を抑える。

② 2段目シール

充填材を保持させて止水を行う。

③ 3段目シール

2段目シール反転防止のための圧力保持。

そのためには、1段目と2段目のシールが少なくとも、それぞれ1～2kgf/cm²以上の差圧を受け持てば、3段目シールにかかる圧力が今回の実験のように大きくなり

ず、3段目シールの反転や損傷による漏水もなくなるものとする。

(3) シールの耐圧性及び耐久性

ピース間に目開きがある場合を除いて、セグメントの偏心の有無などの実験パターンの違いによる、止水性の差異はみられなかった。このことから本実験に用いた既存のシールは、セグメントのピース間目開き以外には十分に追従可能で、充填材の注入により水圧10kgf/cm²を止水可能であるといえる。

ただし、本実験装置のシールは実験開始後間もないため止水効果の低下もみられないが、実験を続けた場合、バネ剛性の低下や摩耗が進み止水能力の低下及びブラシの反転等が起るおそれがあるものとする。

また、3段目シールの保護板が取れてしまったのは、保護板がセグメントリング間の目開き及び目違いに引っ掛かった状態で、水圧の増加に伴いジャッキが押し戻され、反転したことによるものと思われる。

§ 4. 今後の検討課題

4-1 シールについて

本実験で用いた既存のシールは、所定の耐圧性を示したが、今後の検討課題として問題点・改良点を以下に述べる。

(1) 3段目シール

3段目シールでは差圧が大きくシールの変形量も大きくなることから、他段のシールにも増してシール素線、押さえ板及び保護板の強度を増す必要がある。

(2) シール単体

シールは Photo 2 に示すシール単体をテールプレート内側に添って取り付ける構造のため、隣り合うシール単体の素線根元間に空隙が生じ、止水上の弱点となり易い。このため、シール単体をテールプレートと同じ曲率とし、さらにシール単体の幅を広げるなどの対策が必要である (Fig. 8 参照)。

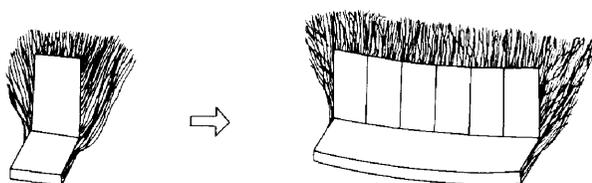


Fig.8 シール単体の改善

(3) 保護板の破損防止

ジャッキの戻りによるものと思われるシール保護板の破損があったことから、負荷がかかってもストロークが変わらないジャッキの開発が必要である。

(4) シールの耐久性

ワイヤーブラシ、保護板等の耐久性については今回は検討しなかったが、実施工では海底下や長距離高水圧下での施工も予想されるので、耐海水性・耐薬品性・耐摩耗性等についての検討も必要である。

4-2 充填材

3-2で特性の異なる充填材2種類についてそれぞれの長所短所をあげたが、ここでは充填材全般について述べる。

(1) 要求特性

海水、高水圧下における充填材は、材料自体の水密性が高くシールの摩耗防止と防錆効果を備え、かつシール間ボイドへ確実に充填でき、さらにセグメントへの付着の少ないものが望ましい。また、シール間の圧力保持を行うため、充填材に含まれる繊維はブラシ間メッシュへの目詰まり効果が高いものが望ましい。

(2) 充填量の減少

シール間ボイドへ十分に充填されていても、シールドマシンの掘進とともに裏込注入プラグ部やセグメント表面に充填材が付着して徐々に消費されていく。その消費量を最小限にするため、充填材の特性を考慮した注入方法の確立・ワイヤーブラシの構造・セグメントの外周処理などの検討が必要である。

§ 5. おわりに

大型の実験装置で、既存のワイヤーブラシ型シールを用いて実証実験を行った結果、セグメントピース間の目開きに対して十分に対応できないことがわかった。また、充填材として性質の異なる2種類を用いたが、いずれの場合も初期の段階にいかにも密に充填できるかがポイントであり、掘進開始後もシール間にボイドを生じさせないように注入することが必要であると考えた。

今回の実験においてはシールが各段の役割を十分果たせなかったため、耐久性を考慮したワイヤーブラシ・充填材等の改良並びに充填材注入方法を確立して、各役割を果たすべく検討を重ねていく所存である。

謝辞 本実験において平塚制作所の皆様の多大な御協力に対し、感謝の意を表わす次第であります。