

地盤切削 JES 工法の耐久性向上検討

山村 康夫*1・鈴木 唯夫*2・岩瀬 隆*2

概 要

本工法は、線路下横断工法による 24 時間施工の実現に向けて、軌道への影響低減とダブルエレメント採用による工期短縮・コスト削減を目的として開発したものである。刃口前方に装備した切削ワイヤーで刃口上面の地盤を切削しながら、切削した溝に刃口ローフ部分を挿入することにより、軌道変状を極力抑え、刃口後部に連結した横幅 2.4m のダブルエレメントを非開削で地中に敷設するものである。平成 21 年度実証実験において、ガラ・玉石などの支障物が混在する地盤を切削しながら、人力施工により平均速度 25mm/min でけん引掘進できることを確認している。今年度は、地盤切削装置の耐久性向上対策として、(1)切削ワイヤーに使用するジョイントの改良および気中確認試験、(2)プーリー配置、エンドレスワイヤー交換方法の検討および模擬地盤切削による切削ワイヤーの耐久性確認試験を実施した。

その結果、JES 工法における掘進長 20m をワイヤー交換なしに切削できることが実証できた。

キーワード：地盤切削 JES 工法・耐久性向上・切削ワイヤー・ジョイント・エンドレスワイヤー

IMPROVEMENT OF THE DURABILITY OF THE EQUIPMENT FOR THE GROUND CUTTING
JES METHOD

Yasuo YAMAMURA *1, Tadao SUZUKI *2 Takashi IWASE *2

Abstract

This method was developed to enable round-the-clock construction of an underpass below a railway track. The major concerns in this development were mitigation of impact on the track and reduction of time and cost of construction by the use of double elements forming a tunnel tube. The cutting wire provided in front of the cutter casing cuts ground over it to make a groove, and the roof of the cutter casing penetrates into the groove. This process minimizes adverse impact on the track due to the work. This non-open cut technique places double elements 2.4 m wide connected on the back of the cutter case. A demonstration test conducted in fiscal 2009 verified that this method, with manual labor, was capable of advancing by traction at an average rate of 25 mm/min. In fiscal 2010, in order to improve the durability of the ground cutting equipment, the following improvements were made and tests conducted; (1) improvement and test above the ground of the joint used for the cutting wire, and (2) study on pulley arrangement and replacement method of the endless wire and durability test of the cutting wire by cutting simulated ground.

The study and tests verified that cutting a distance of 20 m by the JES method is feasible without replacing the wire.

Keywords: Ground cutting JES method, Improvement of durability, Cutting wire, Joint, Endless wire

*1 Manager, Construction Technology Group, Construction Technology Center, Engineering Division

*2 Construction Technology Group, Construction Technology Center, Engineering Division

地盤切削 JES 工法の耐久性向上検討

山村康夫*1・鈴木唯夫*2・岩瀬 隆*2

1. はじめに

地盤切削 JES 工法は、HEP&JES 工法による線路下横断工法の 24 時間施工実現に向けて開発したものである。刃口前方に装備した切削ワイヤーで、刃口上面の地盤を切削しながら、切削した溝に刃ロープ部分を挿入することにより、刃口後部に連結した横幅 2.4m のダブルエレメントを、非開削で地中に敷設する工法である。軌道への影響低減による昼夜連続施工と、ダブルエレメント採用によるエレメント敷設工程の短縮およびコスト低減を目的として開発したものである。

従来のエレメント掘進では、刃口を地山に圧入させながら、刃口前面の土砂を掘削する方法が一般的であるが、対象地盤が礫層や玉石混じり層である場合や、コンクリートガラなどの支障物が含まれている場合には、刃口で支障物を押し込み、地表面隆起を発生させるケースや、撤去した後の空隙の影響で地表面沈下を発生させるケースなど、掘進作業に起因して軌道面変状を生じさせる恐れがあった。そのため、エレメント掘進は列車運行時間以外の夜間短時間での作業計画を余儀なくされ、工期・工事費が増大するという課題があった¹⁾。そこで、地盤お

よび支障物を切削ワイヤーで切断しながらエレメントを掘進することで、地表面変状を極力抑え、土被りが少ない箇所でも列車運行時間帯に作業可能な工法として開発した(図-1 参照)。

本研究は、平成 19 年度から東日本旅客鉄道(株)、ジェイアール東日本コンサルタンツ(株)および(株)ジェイテックと共同で進めており、平成 20 年度は切削装置本体を刃口に内蔵したタイプを試作し、実証実験により適用性を検討している(写真-1 参照)。

平成 21 年度は、切削装置の耐久性を向上させることを目的として、切削ワイヤー、ジョイントおよび駆動装置を改良し、模擬地盤を切削する確認試験を実施した^{2) 3)}。以下のその内容を示す。

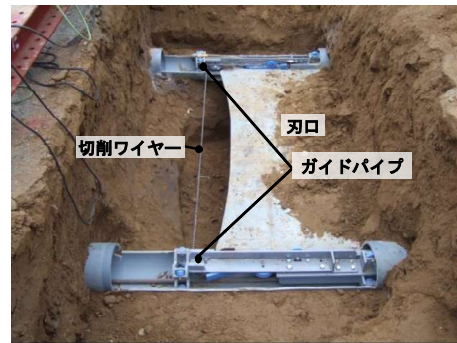


写真-1 平成 20 年度実証実験状況

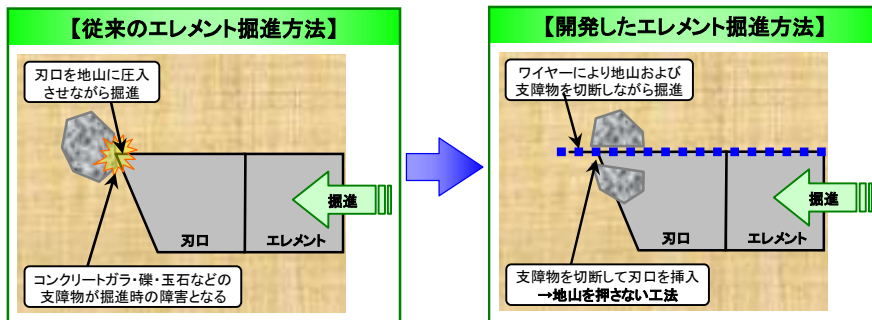


図-1 掘進方法の違い

*1 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 施工技術グループ グループリーダー

*2 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 施工技術グループ

2. 切削ワイヤーの耐久性向上策

プーリーで方向を変換する箇所における切削ワイヤーの繰り返し曲げ疲労による破断を防止する目的で、特に応力が集中しやすいジョイント部分の構造について検討し、屈曲に追従しやすいジョイントを考案し、**図-2**に示す手順にしたがって、試作品を用いた試験を実施した。

2.1 引張試験

写真-2に示す5種類のジョイントを試作し、従来のユニバーサルジョイントを含めた6種類について、**写真-3**に示すように精密万能試験機(オートグラフ)を用いた引張試験を実施した。引張強さの判定基準値は、切削ワイヤーメーカーおよび施工業者数社にヒアリングして5.0kNと設定した。

試験結果は、**図-3**に示すように、「ユニバーサルジョイント(従来品)」「チェーンジョイントタイプA」「スリーブジョイント」「スリーブジョイントショートタイプ」の4種類が判定基準値を満足した。

2.2 耐久性試験

試作ジョイントの繰り返し曲げに対する耐久性を確認する目的で、地盤切削装置の先端部分を模擬した試験装置を用いた連続運転試験を実施した(**図-4**、**写真-4**参照)。試験は、引張試験の結果基準値をクリアした4種類について実施した。耐久性の判定は、破断するまでの運転時間を比較することとし、破断箇所および破断面の状況についても確認した。

試験結果は、**図-5**に示すように、「ユニバーサルジョイント(従来品)」が最も耐久性に優れており、次いで「スリーブジョイントショートタイプ」、「スリーブジョイント」、「チェーンジョイントタイプA」の順であった。

破断箇所は、**写真-5**に示すように「ユニバーサルジョイント(従来品)」と「スリーブジョイントショートタイプ」はジョイントの付け根部分からのワイヤー破断、「チェーンジョイントタイプA」はチェーン部から破断した。

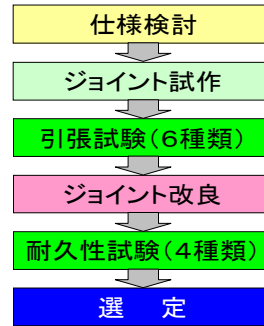
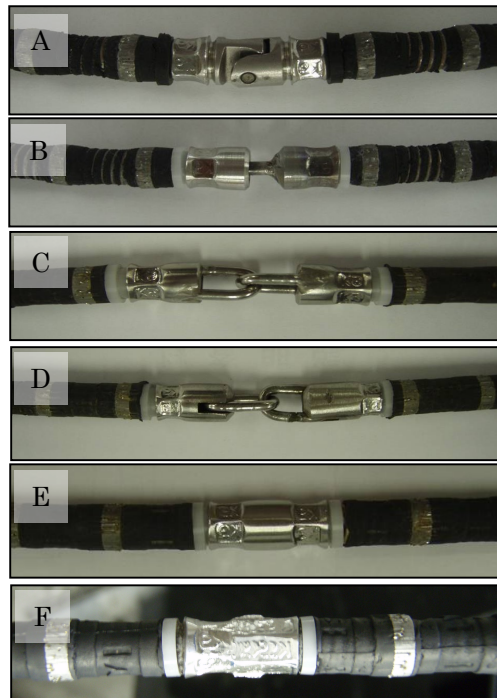


図-2 試験手順



A: ヒルティタイプユニバーサルジョイント(従来品)
 B: ボールジョイント
 C: チェーンジョイントタイプA
 D: チェーンジョイントタイプB
 E: スリーブジョイント
 F: スリーブジョイントショートタイプ

写真-2 試作ジョイント



写真-3 切削ワイヤー引張試験状況

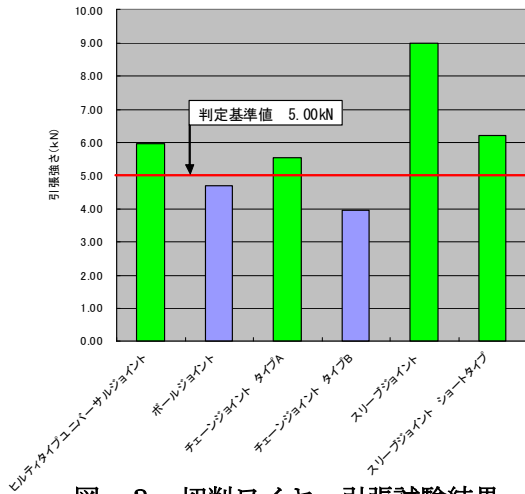


図-3 切削ワイヤー引張試験結果

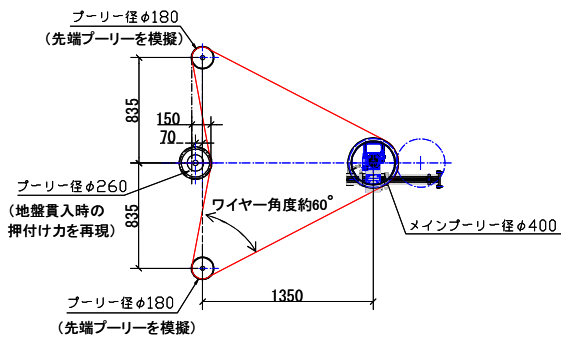


図-4 切削ワイヤー耐久性試験装置

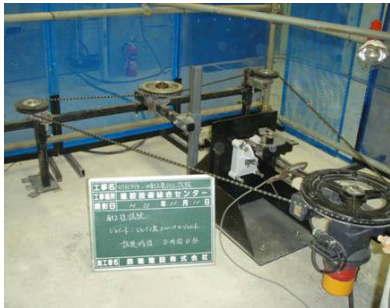


写真-4 切削ワイヤー耐久性試験装置

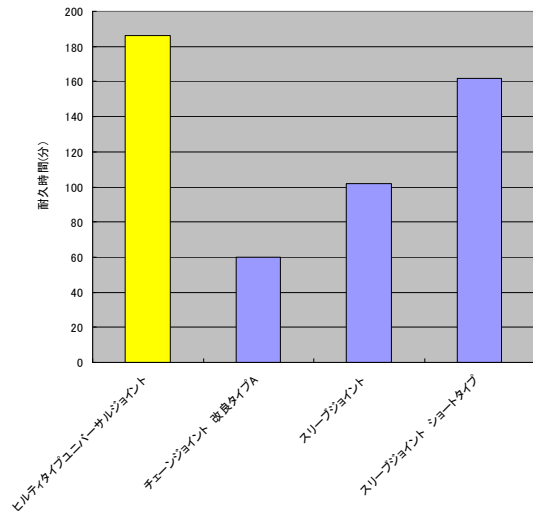


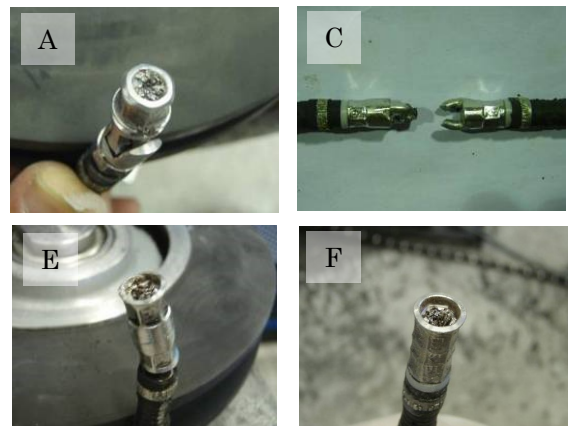
図-5 切削ワイヤー耐久性試験結果

2.3 ジョイント方法の変更

耐久性試験の結果、試作ジョイントはどれも「ユニバーサルジョイント(従来品)」以上の耐久性はなかった。破断箇所は、「スリーブジョイント」および「スリーブジョイントショートタイプ」は、ジョイントの付け根部分の内部のワイヤーロープの繰り返し曲げによる疲労破壊が原因と推定される。これは、図-6上に示すように、スリーブタイプの場合、「ユニバーサルジョイント(従来品)」に比べてプーリー通過時にプーリーの円周に十分に追従できず、ジョイントカシメ端部でワイヤーロープに大きな曲げ角度が作用するため、その部分で応力が集中し、早期に疲労破断に至ったと推察される。

そこで、「スリーブジョイント」と「スリーブジョイントショートタイプ」で、ワイヤーに応力が集中しにくいように、ジョイント端部のカシメ位置を、図-6下に示すように変更し再度耐久性試験を実施した。カシメ位置によるワイヤー屈曲の違いを写真-6に、耐久性試験の結果を図-7に示す。

この変更により、「スリーブジョイントショートタイプ」は「ユニバーサルジョイント(従来品)」を上回る性能を有するようになった。また、「スリーブジョイント」も、120分から180分と耐久時間が向上し、「ユニバーサルジョイント(従来品)」に匹敵する性能となった。



A: ヒルテタイプユニバーサルジョイント(従来品)
 C: チェーンジョイントタイプ A
 E: スリーブジョイント
 F: スリーブジョイントショートタイプ

写真-5 耐久性試験による破断箇所

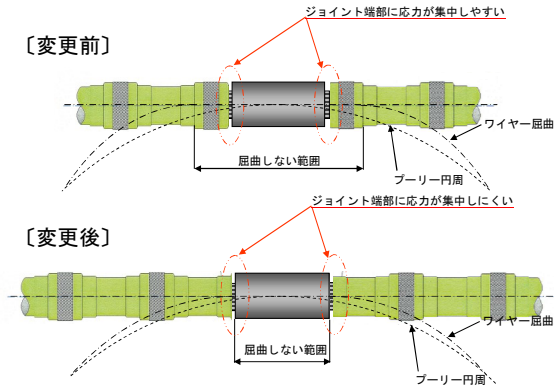


図-6 ジョイントカシメ位置の変更

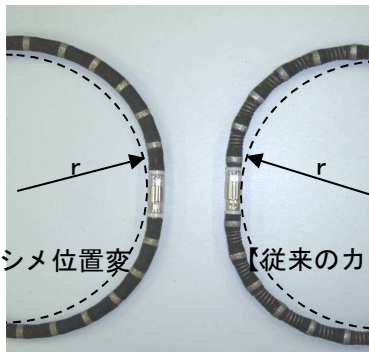


写真-6 カシメ位置変更による屈曲の違い

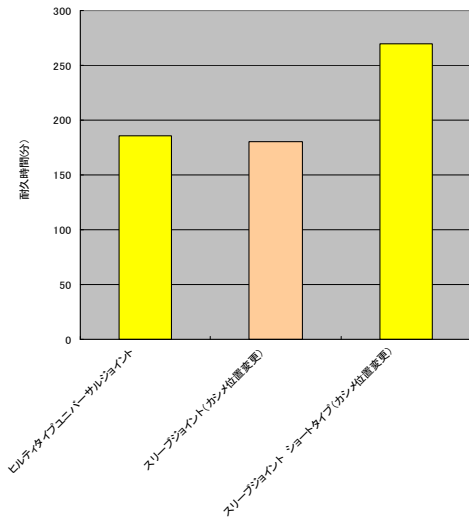


図-7 切削ワイヤー耐久性試験結果 (カシメ位置変更)

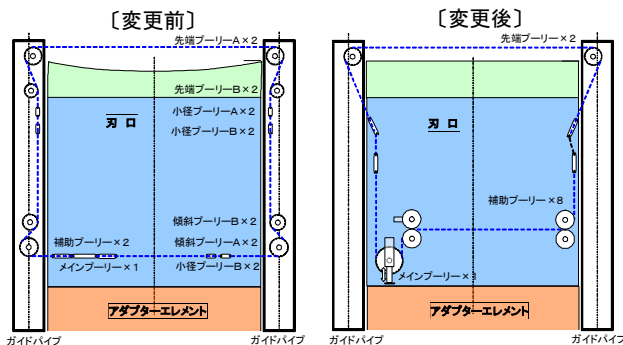


図-8 プーリーの配置比較

3. 切削機構の耐久性向上策

切削機構の耐久性向上対策として、①プーリーの配置および数量変更、②ワイヤー駆動装置の改良について検討し、模擬刃口に組み込んで切削試験による確認試験を実施した。

3.1 プーリー配置および数量変更

プーリーの配置・数量を見直して、切削ワイヤーに加わる負荷を低減できるようにした。特に、切削ワイヤーが切断した場合、短時間で復旧できるように、ガイドパイプ内に配置するプーリーの数を12個から2個に減らし、切削ワイヤーをガイドパイプの中を通さずに刃口内から掛けられるようにした。また、中壁部に切削ワイヤー通過用の溝を設け、補強プレートで締結した。図-8と表-1に平成20年度実証実験時と、今回変更したプーリー配置と数量の比較を示す。また、写真-7に刃口内からの切削ワイヤー交換状況を、写真-8に中壁部におけるワイヤーの通過作業状況を示す。



写真-7 刃口内からのワイヤー交換状況



写真-8 中壁部のワイヤー通過作業状況

表-1 プーリーの数量比較

名称	外径(mm)	変更前(個)	変更後(個)
先端プーリーA	180	2	2
先端プーリーB	140	2	0
小径プーリーA	90	2	0
小径プーリーB	100	4	0
傾斜プーリーA	190	2	0
傾斜プーリーB	160	2	0
補助プーリー	200	2	8
メインプーリー	280	1	1
計		17	11

3.2 ワイヤード駆動装置の改良

ワイヤード駆動装置(油圧モータ、主プーリー、補助プーリーおよびエアシリンダ等)を、写真-9に示すように縦置き型から横置き型に改良した。この改良により、従来は油圧モータが破損したときに手でモータを持ち上げなければならなかったが、横置き型にすることにより、油圧モータの復旧を容易に行うことができるようになった。また、保護カバーに開閉式の扉を設け、内部の様子を簡単に確認できるようにした。図-9に刃口の概要を示す。

3.3 切削試験

改良した切削装置を用いて、切削試験を行った。試験は、刃口前方に配置した写真-10に示す模擬地盤および左右のガイドパイプを、1m

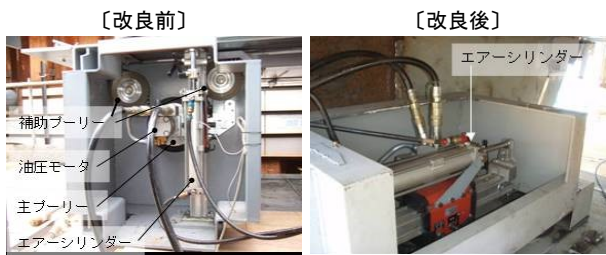


写真-9 ワイヤード駆動装置の比較

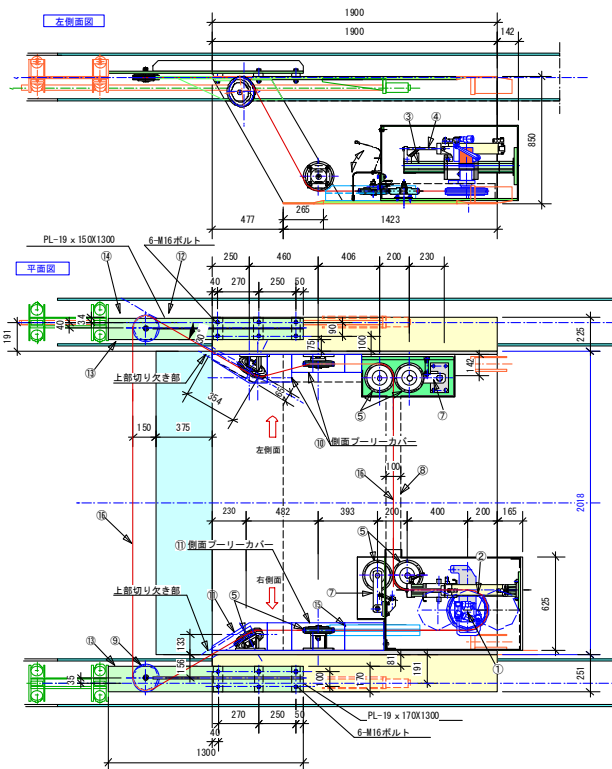


図-9 刃口概要

ごとに盛り換えながら連続して切削し、切削ワイヤード、プーリーおよびワイヤード駆動装置等の耐久性を確認した。このときの刃口移動速度は10~20mm/min、ワイヤード速度は15m/secで切削した。

試験ケースは、表-2に示す3ケースについて切削延長を合計60mまで実施した。ケース1は、地盤切削専用として新たに開発した「エンドレスワイヤード」を使用した。ケース2は「ユニバーサルジョイント(従来品)」と「スリーブジョイントショートタイプ」の2種類のジョイントを1本の切削ワイヤードに接続したものをを使用した。ケース3は、ケース1とケース2の試験結果から、ワイヤードおよびジョイントについては耐久性に優れている方を用いて再度試験を実施した。図-10および写真-11に試験設備を示す。



写真-10 模擬地盤

表-2 試験ケース

ケース	ワイヤード	ジョイント
ケース1	エンドレス	なし
ケース2	通常	ユニバーサル(従来品)+スリーブジョイント
ケース3	エンドレスで切削し、破断したらスリーブジョイントで接続して再使用	

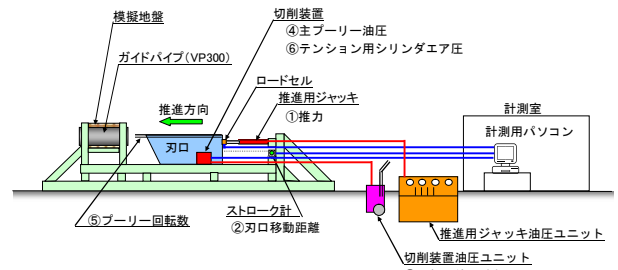


図-10 切削試験設備



写真-11 切削試験設備

また、写真-12 に試験状況を、図-11 にワイヤーの切削距離(刃口移動距離)を示す。

この結果から、従来のジョイント接続したワイヤーに比べて、「エンドレスワイヤー」の方が耐久性に優れていることが判明した。また、一度切断した「エンドレスワイヤー」を「スリーブジョイントショートタイプ」で接続して再使用したところ、切削可能であることが確認できた。

(1) ワイヤーの摩耗

「エンドレスワイヤー」の損耗率(時間当たりの摩耗量)は、最大 $1.99 \times 10^{-4} \text{mm/min}$ であった(表-3 参照)。これは、ビーズが、ワイヤー走行時間 1 時間当り約 0.012mm 摩耗したことになる。また、ジョイント接続したワイヤーの損耗率は、最大 $7.69 \times 10^{-4} \text{mm/min}$ であった。これは、ワイヤー走行時間 1 時間当り約 0.046mm ビーズが摩耗したことになる。

これらの結果より、「エンドレスワイヤー」はジョイント接続に比べて約 3.8 倍摩耗しにくいと推定できる。これらの違いの原因究明は今後の課題となる。

(2) ジョイントの摩耗

スリーブジョイントの場合、一般のワイヤーソー工法では、ビーズ部分の径がスリーブ径($\phi 9.5\text{mm}$)より細くなると交換の目安とされている。すなわち、ワイヤー径 $\phi 10.5\text{mm}$ - スリーブ径 $\phi 9.5\text{mm}$ = 摩耗量 1.0mm 以上になると交換する。これを適用した場合、平成 20 年度実証実験においては、ビーズ摩耗量が 1.0mm となっており、ほぼ寿命限界まで使用したと推定される(表-3 参照)。一方、本試験ではビーズの摩耗量が最大で 0.25mm と 25%程度であったため、ビーズ自体は切削能力を保持したままワイヤー自体が破断した結果となっている。

これより、定期的に被覆の状態やビーズとの隙間の有無を確認し、写真-13 のように隙間が生じたら内部のワイヤーロープが伸びたサインで、寿命が近いと判断できる。

(3) プーリーの摩耗

切削開始前と終了後(累計刃口移動距離: 61.0 m, 累計ワイヤー走行時間: 89.1 時間)の溝幅と深さをノギスで測定した。図-13 に測定結果を示す。プーリー自体は、交換が必要なほど顕著な摩耗や変形は見られず、プーリーの寸法や配



写真-12 切削試験状況

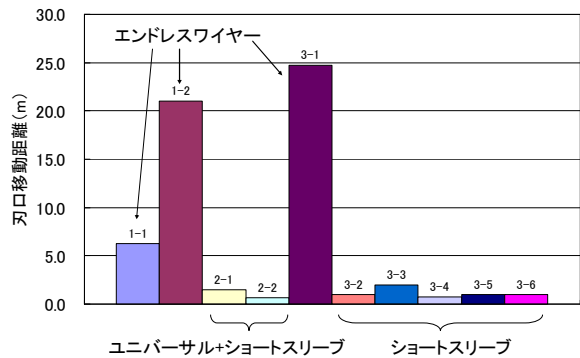


図-11 切削試験結果

表-3 ワイヤーおよびジョイントの摩耗率

[エンドレスワイヤー]

ケース	ワイヤー・ジョイント種類	ワイヤー走行時間 (h)	ワイヤー径			損耗率 $\times 10^{-4}$ (mm/min)
			使用前 (mm)	使用后 (mm)	摩耗量 (mm)	
1-1	ビーズ部	10.9	10.37	10.24	0.13	1.99
	ゴム部		8.68	8.62	0.06	0.92
1-2	ビーズ部	36.5	10.40	10.15	0.25	1.14
	ゴム部		8.65	8.63	0.02	0.09
3-1	ビーズ部	24.0	10.33	10.09	0.24	1.67
	ゴム部		8.16	8.10	0.06	0.42
平均	ビーズ部	23.8	10.37	10.16	0.21	1.47
	ゴム部		8.50	8.45	0.05	0.35

[スリーブジョイント+ユニバーサルジョイント]

ケース	ワイヤー・ジョイント種類	ワイヤー走行時間 (h)	ワイヤー径			損耗率 $\times 10^{-4}$ (mm/min)
			使用前 (mm)	使用后 (mm)	摩耗量 (mm)	
2-1	スリーブジョイント+ユニバーサルジョイント	2.9	10.28	10.22	0.06	3.45
	ビーズ部		8.56	8.51	0.05	2.87
2-2	スリーブジョイント+ユニバーサルジョイント	1.3	10.28	10.22	0.06	7.69
	ビーズ部		8.56	8.51	0.05	6.41
平均	スリーブ+ユニバーサルジョイント	2.1	10.28	10.22	0.06	4.76
	ビーズ部		8.56	8.51	0.05	3.97
H20年度実証実験結果	ユニバーサルジョイント	14.0	10.26	9.26	1.00	11.90
	ビーズ部		8.50	8.09	0.41	4.88



写真-13 撚り合わせ部のビーズのズレ

置変更の効果によるものと推察できる。溝深さについては、メインプーリーが摩耗量約 5mm と最も摩耗していた。これは、起動・停止の際のワイヤーの滑りによる摩耗が原因と考えられるが、現場施工時には、この部分についての定期的な点検と交換が必要と思われる。溝幅については、最もワイヤーとの接触角度が深い先端プーリーよりも、補助プーリー③④において摩耗量が大きかった。このことから、先端プーリーについては、ワイヤーに水平方向以外の力が殆ど加わらなかったものと推察できる。一方、補助プーリー③④の摩耗については、この部分でワイヤー方向を 3 次元的に変化させているため、プーリー自体の取付けに微妙な通り芯のずれがあると、溝の片減りが発生してしまう。

こうした点を考慮して、現場施工の際には、補助プーリー③④⑤⑥については、正確にワイヤーの軸芯に合わせられるようにプーリーの取り付け角度の微調整が可能な構造を検討する必要があると考えられる。

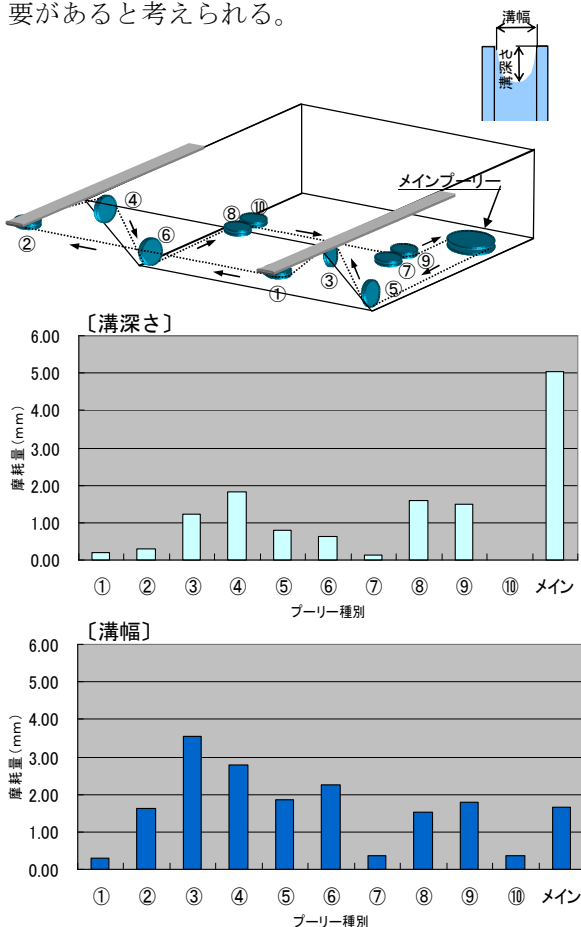


図-13 プーリー摩耗量測定結果

4. おわりに

本試験により、以下の点が確認できた。

- ① プーリー径、配置、数量を見直した結果、総切削延長 60m までプーリー交換せずに切削可能であることが確認できた。
- ② 「エンドレスワイヤー」を刃口内部から交換できることが確認できた。
- ③ 「エンドレスワイヤー」1 本で 20m 以上の切削が可能であることが確認できた。
- ④ ジョイントの耐久性は、「スリーブジョイントショートタイプ」が掘進距離 1.5m、「ユニバーサルジョイント(従来品)」が 2.2m と、「エンドレスワイヤー」に比べて 1/10 程度であった。
- ⑤ ワイヤーの交換時期の判定方法として、ゴム被膜の劣化状態とビーズ台金具の緩みによる間隔の不均一を確認することで判定可能である。

こうした結果から、現場施工時は「エンドレスワイヤー」の使用を前提として計画し、途中で切削ワイヤーが破断した場合、残りの掘進距離が短い場合には破断箇所をジョイント接続することも可能であると想定できる。

今後は、実施工に向けて上記に掲げた点を踏まえた切削装置の仕様を検討し、更なる施工性・耐久性に優れた実用性の高いシステムの構築を目指したい。

参考文献

- 1) 有光武ほか:切削ワイヤを用いた改良 JES 工法で地表面変位を抑制, トンネルと地下, Vol.41, No.8, pp.49-58, 2010(日本トンネル技術協会誌)
- 2) 小泉秀之ほか:地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の開発, トンネル工学報告集第 19 巻, pp.279-283, 2009
- 3) 有光武ほか:地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の実証試験, トンネル工学報告集第 19 巻, pp.285-290, 2009