

24 時間施工を目指した地盤切削工法の開発

鈴木唯夫*¹

概 要

本開発は、線路下横断工事において、列車走行の安全性を確保するために、軌道変状を極力抑止できるエレメント掘進方法を開発し、営業線下において昼夜を問わず施工可能な線路下横断構造物構築方法の確立を目的としている。

本工法は、地盤切削ワイヤーを刃口上面の前方に配置し、その位置で地盤を切削し、刃口のルーフを常に切削面に挿入しながら掘進することで、刃口の掘削貫入による地盤の緩みを防止するものである。

また、刃口後部に摩擦低減シートを送り出す機構を設け、エレメント上面と地山との摩擦力を低減し上部の土塊の移動を抑制できるようにした。これらの変状対策に加えて、エレメントの横幅を拡大することにより作業性を向上させ、エレメント本数を減らすことで、工期短縮・コストダウンを図ることとした。

本編は、試作した地盤切削装置を用いた施工確認試験について報告する。

キーワード：線路下横断工事、地盤切削ワイヤー、摩擦低減シート

DEVELOPMENT OF A GROUND CUTTING TECHNIQUE FOR WORKING 24 HOURS A DAY

Tadao SUZUKI*¹

Abstract

This project develops an element jacking technique for construction of an underpass below a railway track in service, usable anytime day or night, which will minimize possible deformation of the railway track to ensure safe train operation.

This technique uses a ground cutting wire provided at the front of the blade. The wire cuts the ground, while the blade roof is kept inserted between the cutting surfaces, thereby preventing ground loosening due to penetration of the blade.

The rear end of the blade is provided with a mechanism feeding an antifriction sheet that reduces frictional forces between the element upper face and ground, limiting displacement of earth above. In addition to these measures against displacements, the element width has been enlarged, improving work efficiency and reducing the number of elements to shorten project period and lower costs.

This paper reports the validation test using the prototype ground cutting device.

Keywords: underpass below railway track, ground cutting wire, antifriction sheet

*1 Construction Technology Group, Research and Development Department, Engineering Division

2 4 時間施工を目指した地盤切削工法の開発

鈴木唯夫*¹

1. はじめに

線路下横断工事において、特に土被りが小さい上床版エレメントの施工は、軌道変状のリスクが大きいため、列車運行が無い夜間線路閉鎖間合いでの施工が原則になっている。

軌道変状を誘発する要因として、①エレメント掘進時に刃口先端部を地山に貫入するときの圧縮、②コンクリートガラや礫、玉石などの支障物が刃口周辺に出現したとき、それを押し上げてしまったり、撤去した時に空隙を発生させた場合に地盤に影響を与えることが考えられる。

本工法の開発目標は、軌道変状を少なくすることで、列車運行時間帯でも施工が可能なエレメント掘進工法を開発することにより、HEP&JES工法の安全性を向上させて、上床エレメントの24時間施工を可能にするとともに、工期短縮と工事費の削減を目指すものである。

2. 地盤切削工法の概要

本工法は、コンクリート構造物の解体工事などで実績のあるワイヤーソー工法の技術を応用して、刃口前方に配置した地盤切削装置で地盤を切削し、刃口のルーフを地盤に貫入させることで地盤変状を抑え、掘進していくものである。地盤切削装置は、刃口内部に駆動機構と左右上部の角（ツノ）にあたる部分に地盤切削ワイヤーを、取り回すためのプーリーを配置し、地盤切削ワイヤーが刃口の内側から外側に出てまた内側に戻ってくるようにループ状に回転する構造としている。

3. 軌道変状対策

開発に際して、ルーフ付刃口を考案し、以下に示す3項目について対策を検討した。

(1) 軌道の隆起対策

地盤と同時に、支障物も地盤切削ワイヤーで切削し、ルーフを挿入することで、地山との縁を切るとともに地山を支える。また、地山や支障物を押し込むことがなく隆起を抑制できる。

(2) 軌道の沈下対策

切羽前方については、掘削時に刃口前面を開放させた場合、円弧すべりによる路盤の沈下が想定される(図-1参照)。

そこで、ルーフを常に前方の地山に貫入させた状態で、その下の地盤を掘削することにより、円弧すべりを抑制することができる。

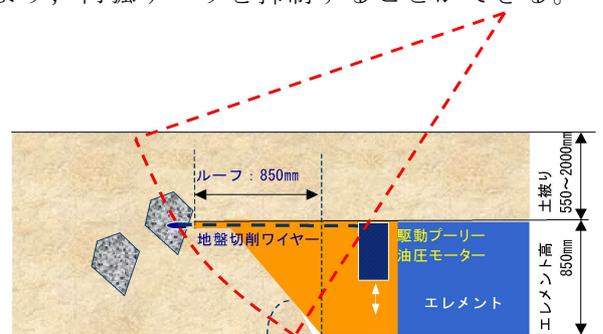


図-1 円弧すべり範囲（縦断方向）

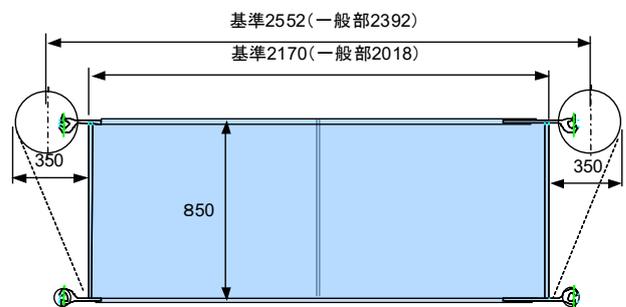


図-2 地盤への影響（横断方向）

*1 エンジニアリング本部 研究開発部 施工技術グループ

また、横断方向については、同様に土砂の回りこみが想定されるが、掘進に先行して設置されたガイドパイプがルーフの役目を果たすため、沈下を抑制することができる（図-2参照）。

(3) 軌道の通り変位対策

エレメントを貫入させる際には、図-3の赤い矢印に示すように、地山とエレメントの摩擦抵抗が生じる。

この摩擦抵抗が土のせん断抵抗よりも大きくなると、エレメントけん引方向（軌道の通り方向）の上載路盤の移動が発生すると想定される。

そこで、地山とエレメントの摩擦低減対策として、薄くて引っ張り強度が高いポリエチレンシートを、刃口内部から順次エレメント上面へ送り出すこととした。（図-4参照）。

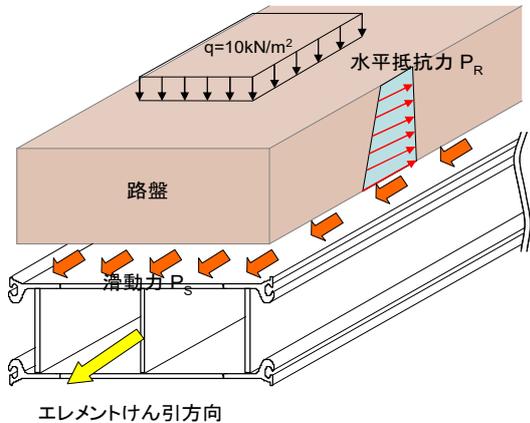


図-3 摩擦抵抗と土のせん断力方向

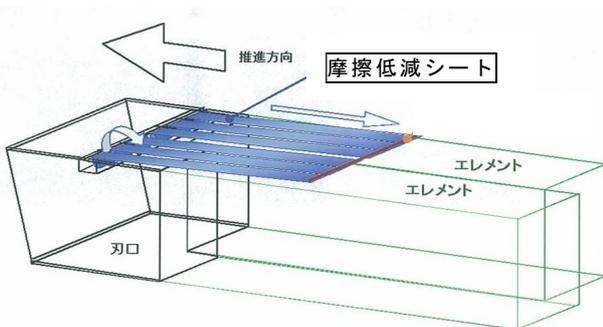


図-4 摩擦抵抗低減対策

4. 地盤切削性能確認試験

施工確認試験に先立ち、事前に地盤切削ワイヤーの地盤切削性能を確認した。

一般のワイヤーソー工法で使用するダイヤモンドワイヤーは、切粉の排出とワイヤー自体の冷却のために、水を使用しているが、今回は、ワイヤーの洗浄水が地盤を乱して、地盤のゆるみを生じる恐れがあるため、無水切削に対応した専用のワイヤーを使用した。

流動化処理土で製作した土塊を無水ワイヤーで切削した結果を写真-1、写真-2に示す。

ワイヤーに付着した切粉をエアで吹き飛ばしながら切削することにより、障害物とした礫・枕木・コンクリートブロックを切削できることが確認できた。



写真-1 切削した枕木とコンクリートブロック



写真-2 切削した礫

5. 地盤切削装置の開発

従来のワイヤーソーシステムを改良して小型化を図り、ワイヤー駆動装置内蔵型の刃口を開発した(表-1参照)。

写真-3に切削ワイヤーとジョイント、写真-4に駆動装置を示す。

図-5にプーリー配置、図-6に地盤切削装置を示す。

表-1 ワイヤー駆動装置仕様

メーカー	HILTI
公称出力	最大 17.5kW
油流	最大毎分 50 リットル
油圧	最大 21MPa
推奨操作圧力	8~12MPa
メインプーリー	φ 280 mm
回転数	1,100rpm(最大 1900rpm)
ワイヤー速度	13~27m/sec
エアシリンダー	シリンダー径 φ 63 mm, ストローク 230 mm

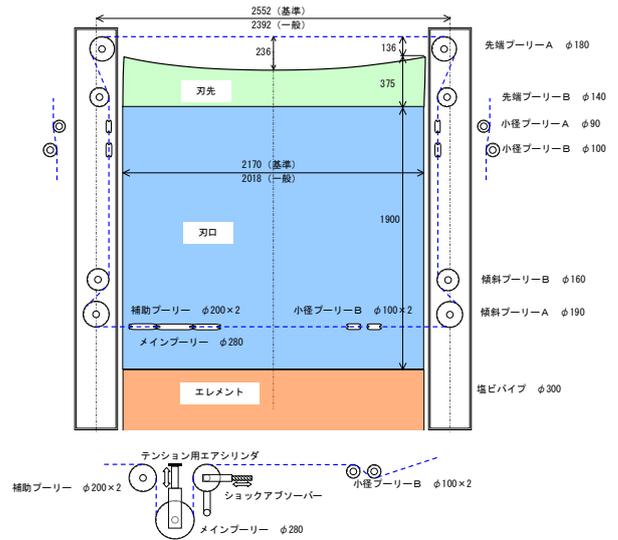


図-5 プーリー配置

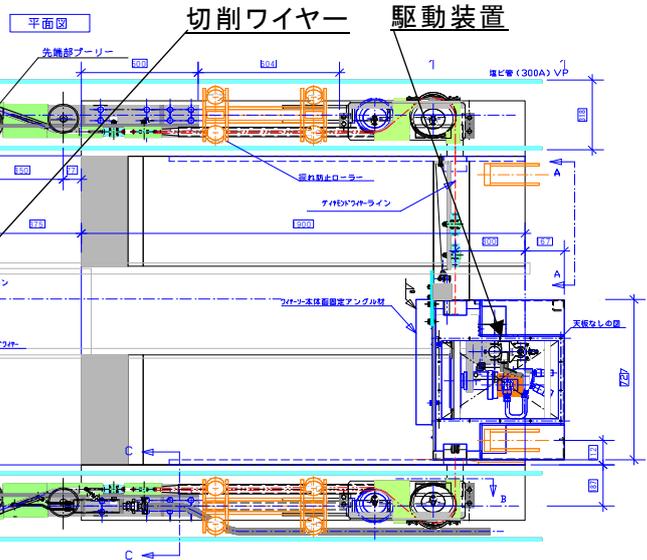
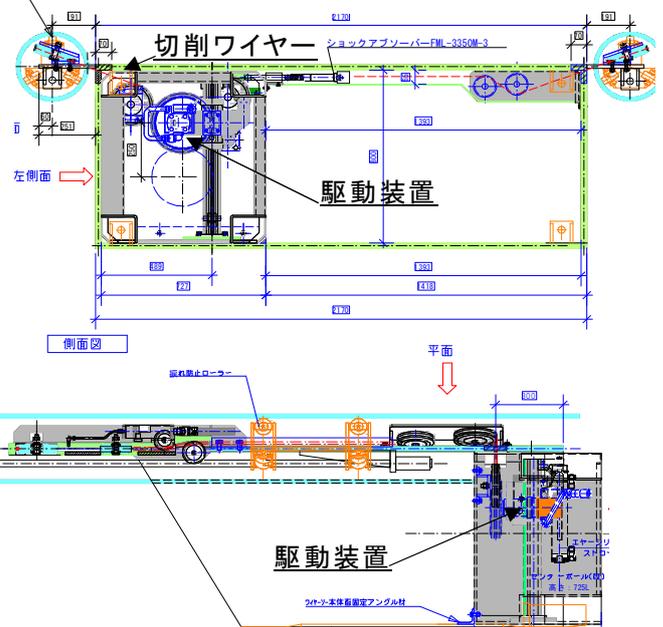


図-6 地盤切削装置



写真-3 切削ワイヤー

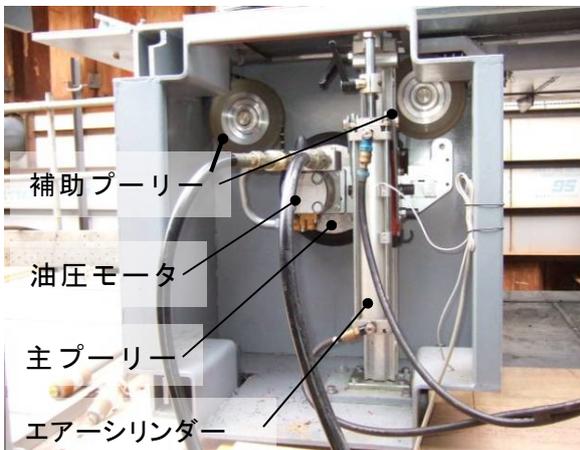


写真-4 ワイヤー駆動装置

6. 3 使用機械

表-4 に使用機械を示す。写真-5 に発進部、写真-6 に到達部の状況を示す。

表-4 使用機械

No.	名称	仕様	数量	備考
1	地盤切削装置	・地盤切削ワイヤー ・ワイヤー駆動装置 ・切削装置駆動力用圧ユニット	1式	基準用と一般部用を兼用
2	刃口	基準用	1台	
		一般部用	1台	
3	模擬エレメント	基準用 幅 2,400 mm×高さ 850 mm×長さ 4,000 mm	5函	
		一般部用 幅 2,400 mm×高さ 850 mm×長さ 4,000 mm	5函	
		刃口接続用 幅 2,400 mm×高さ 850 mm×長さ 1,000 mm	1函	刃口後部へ接続
4	連動ナインジャッキ	100kN×St1,000 mm	4台	到達立坑内に設置
5	ジャッキ用油圧ユニット	200V	1台	到達立坑内に設置
6	中央操作盤	HEP&ES 工法用	1台	計測室内に設置
7	ユニットベルコン	L=27m	1台	エレメント内土砂搬出用
8	ベルトコンベア	L=10m	1台	発進立坑土砂搬出用
9	チップングハンマー	空気消費量: 0.45m ³ /分	2台	平ノミ付き
10	バックホー	0.7m ³	1台	土砂搬出用
11	ミニバックホー	0.12m ³	1台	立坑内土砂寄せ用
12	エンジンコンプレッサー	50HP 吐出空気量: 5.0m ³ /分	1台	ボックスタイプ
13	グラウトポンプ	3.7kw 40~100 リットル/分	1台	滑材注入用
14	ハンドミキサー	100V	1台	滑材混合用
15	送風機	φ300 mm	2台	スノバイラル風管20m付き
16	投光器 エンジン搭載式	400w×2灯	2台	
17	放送設備	スピーカーホン	1式	
18	ガイドパイプ	VP300 (推進用塩ビ管) 4,000 mm	84m	28m×3列
19	架台用鋼材 (発進・到達)	山留材	各1式	
20	計測室	ユニットハウス 2×3間	1棟	



写真-5 発進立坑部



写真-6 到達立坑部

6. 4 試験結果

(1) 地表面変位と掘削要領

基準エレメント掘進時において、図-1 1 に示す当初計画ラインの位置での掘削でけん引したところ、先行隆起が生じたので、刃口ルーフ先端までの 350mm 分を掘削する方法に切り替え、けん引したところ、後方沈下が生じた。

そこで、一般部では切削ラインを図-1 2 に示すように、先端から 200mm の位置に修正した。また、刃口およびエレメントの上面摩擦の低減対策として、写真-7 に示すように、一般部用刃口と後続の刃口接続用中間エレメントの上面に厚さ 4 mm の超高分子ポリエチレンシートを接着した。

また、地山とエレメントとの摩擦低減のために、中間エレメントに t=0.4mm×240 mm のロール状のポリエチレン超延伸シートを 7 列配置し、エレメント移動に伴ってエレメントと地山との間に送り出すようにした。

けん引掘進時に確認された事項について以下に記述し、地表面変位の結果を図-1 3 に示す。

・刃口先端部付近で最大+2.1 mm まで隆起を抑制できた。

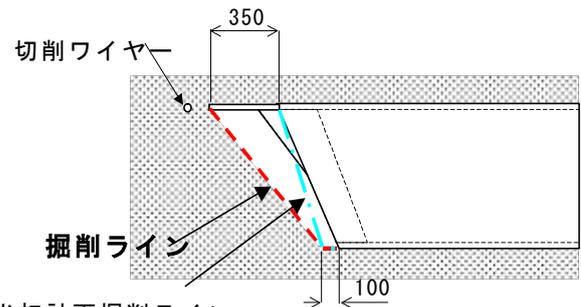


図-1 1 掘削要領 (1)

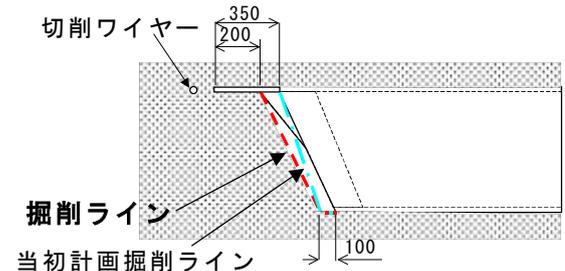


図-1 2 掘削要領 (2)

- ・摩擦低減シートの効果により，地表面に与える影響を抑制できることが確認できた。
- ・玉石区間においても，刃口が通過した後で最大-2.7 mm程度と沈下が抑制できた。

(2) 掘進管理

掘進管理は，主プーリーの油圧を確認しながら行った。けん引に伴いワイヤーの切削抵抗が増加すると主プーリー油圧が増加するため，油圧の上限値（基準エレメントで16MPa，一般部で12MPa）を設定し，上限値を超えたらけん引を停止し，その状態で主プーリー油圧低下を待ち，再びけん引を開始するということを繰り返す方法で行った。

その結果を，図-14～図-17に示す。

ワイヤー速度は，13～15m/secと一定で，主プーリー油圧は，基準エレメントけん引時では9～18MPa，一般部エレメントけん引時では7～17MPaの範囲で掘進管理ができた。

このことより，プーリー油圧監視による掘進管理手法の妥当性が検証できた。



写真-7 摩擦低減対策

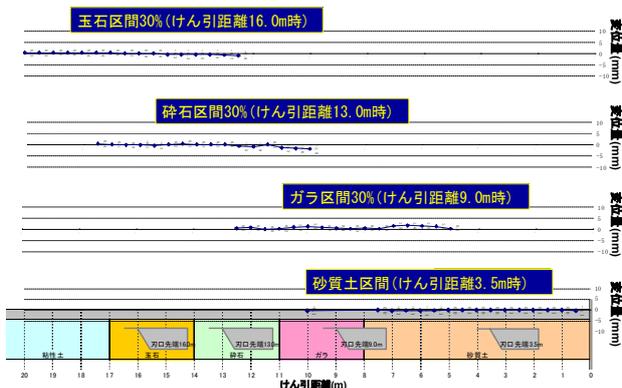


図-13 地表面変位（一般部）

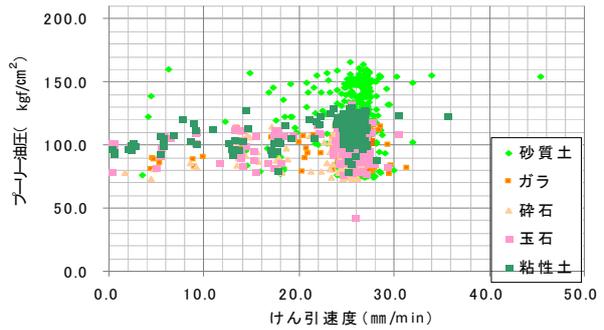


図-14 プーリー油圧と速度（基準）

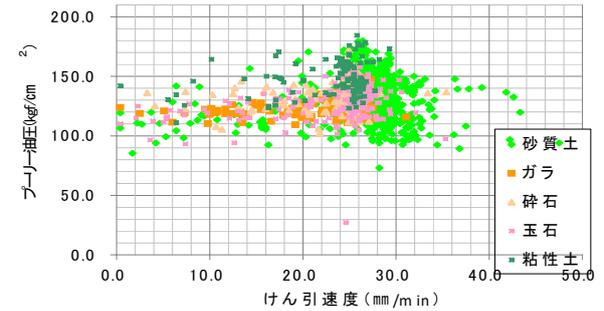


図-15 プーリー油圧と速度（一般）

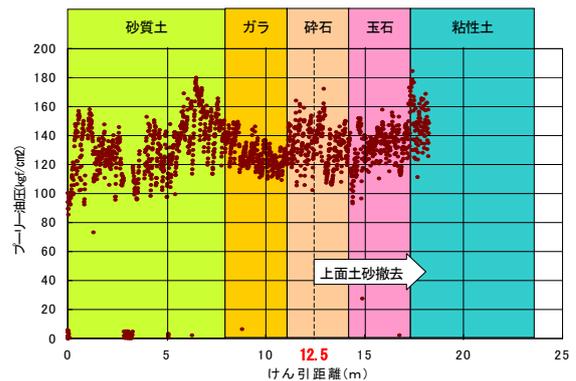


図-16 プーリー油圧と距離（基準）

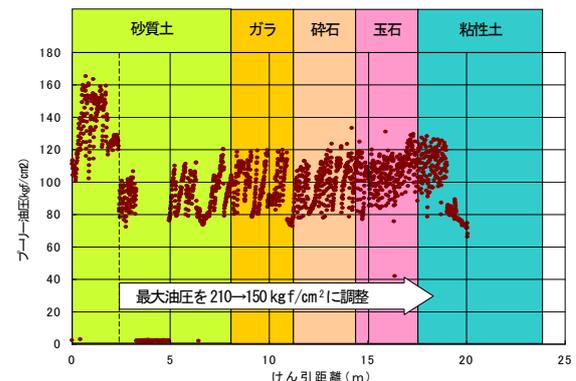


図-17 プーリー油圧と距離（一般）

(3) けん引力とけん引距離

けん引力は，基準および一般部共，想定けん引力を越えることはなかった。

最大けん引力は，基準部施工時，けん引距離12.5m付近において1,209kNであった。

また、一般部施工時実けん引力は、想定けん引力の約 45%であった。

これは、刃口およびエレメント上部に設置したポリエチレンシートによる周面摩擦抵抗力の低減効果によるものと推定される。

地盤条件の違いによるけん引力の違いは見られなかった(図-18, 図-19参照)。

(4) けん引速度とけん引距離

一般部施工時のけん引速度と距離の関係を図-20に示す。けん引速度は、平均速度 25 mm/min であった。地盤条件の違いによるけん引速度の影響については、ガラおよび玉石区間において支障物の切断・撤去時に時間を要したために速度が低下している。

(5) 支障物の切削状況

本工法では、ガラや礫などの支障物を地盤切削ワイヤーで切断した後、切断した支障物の下側は刃口内に回収し、上側はそのまま存置する。これにより、地盤の緩みが最小限に抑えられると考えられる。本試験では、玉石の切断状況を確認するために、上側も回収した(写真-8参照)。

7. 課題

本試験で判明した課題を整理すると、以下のようになる。

- ・ワイヤージョイントの材質、構造等を検討し、耐久性の向上を図る。
- ・ワイヤージョイントに加わる負荷を低減できるようにプーリー径を大きくしたり、プーリー数を減らす検討をする。
- ・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プーリーの配置、ワイヤーガイド等を検討する。
- ・機械掘削施工の検討。

8. まとめ

今回開発した刃口前方でワイヤーソーを用いて、けん引掘進する工法は、路面等への影響を最小限に抑制できる工法であることが確認できた。

今後は、営業線において 24 時間施工を可能とするために、改良改善を加え、試験施工により検証していく予定である。

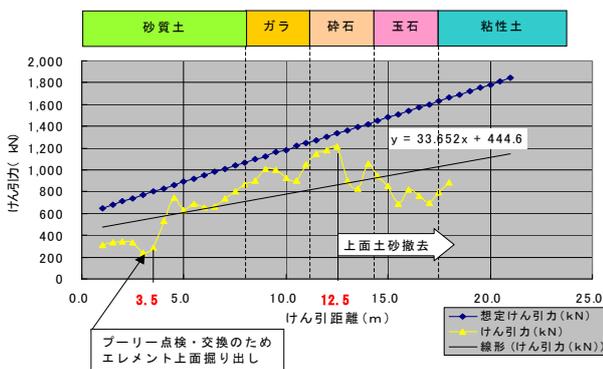


図-18 けん引力と距離(基準部)

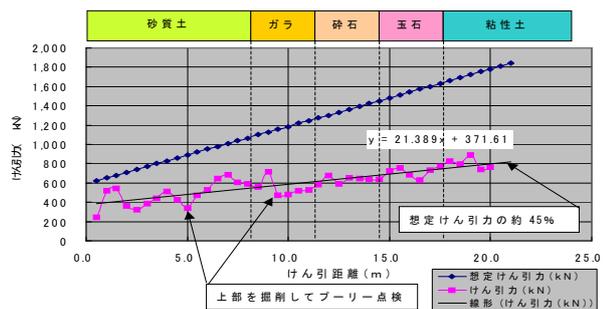


図-19 けん引力と距離(一般部)



図-20 けん引速度と距離(一般部)



写真-8 切断した玉石