

# 高所法面掘削機による掘削工法

市原 淳・杉田 義典

従来の高所法面の掘削作業では、バックホウや、ブルドーザ等の重機を使用するか、人力による掘削作業が行われている。重機による掘削作業は、重機足場を必要とするため、高所での作業はごく一部に限られ、また、人力での作業では、危険で、多くの工期とコストがかかっていた。今回開発された、高所専門の掘削機械は、上部にアンカーさえ設置できれば、急峻なあらゆる法面を登降坂でき、高所の法面を掘削、切り取りできる画期的機械である。この機械の特徴は、従来のバックホウの掘削機能に加え、本体に2基の主ウインチが装着され、この主ウインチに巻かれた主ワイヤーを上部の主アンカーに取り付け、この主ウインチを巻いたり、巻き戻したりすると同時に走行装置を駆動することにより急勾配の法面を登降坂することができる。

キーワード：高所機械、高所法面、遠隔操作、ワイヤー安全率、アンカー強度、傾斜角 90 度

## 1. はじめに

一般に土木工事では、その経済性、納期、安全などを考慮して、機械土工、人力土工、または両者の組み合わせで施工されていることが多い。まして高所作業や急斜面における掘削など作業環境条件が厳しく重なってくると、ほとんどが人力に頼らざるをえない。

法面災害復旧など工期短縮を要求される場合、機械力を導入し、早期の竣工を目指すほかない。そのような場所は人が入れない不安定な急傾斜地であり、人力施工するにも安全対策の導入など仮設にも墜落・落下など人災発生の恐れが高いことが予想される。また土質の制約から崩壊・落石の予測される作業環境では安全対策に最大に力点が注がれ、迅速復旧の目的には相容れない。この危険な工事現場で施工性、工期、安全に配慮し、活躍できる掘削機を開発し、施工性と安全性確保を対応すべく取り組んだ。

## 2. 開発の経緯

重機の使用できない傾斜地における切取、切り崩しは旧態依然の熟練作業員依存の人力施工のみであった。作業員は崩壊、落石の恐れがある非常に危険度の高い法面を安全ロープ一本で、手工具や手持ちブレイカでの作業に追われてしまっていた。また、近年は、高齢化が進み、若い作業員が少ない現状で、投入員数

も施工エリアが限定されるに伴い、少量しか掘削できず、予定工期も延長せざるを得ないことが常だった。

他方、熟練作業員の確保や育成などと併せ、契約工期遵守と安全確保が同時に求められているという課題が常に指摘されていた。

### (1) 開発初期

当初第一段階は、機械力による省力化と施工能力向上を目指し、従来型のバックホウのアームの長さを延長して、作業性を上げる目的で従来機を改造し、対応したものになった。

仕様の特徴は、アーム先端部のカセットアームを特注で設計、製作装備することで能力を確保し、カセットアームの装着には専門の整備工をそのつど駐在させ、装着時間など準備工にコストがかかり、また、アーム長さの延長による機体のバランスの不安定さなどの欠点もあった。

### (2) 開発中期

第二段階では準備工の改善として、クレーンタイプのブームが伸びたり縮んだりするテレスコ式のブームに変更した。

施工場所への搬入出、規定能力による稼働高さに対応するために、クレーンのブーム先端にバケットを装着したテレスコブームマシン (TBM, 写真-1 参照) として誕生した。機械の性能は格段に向上し、ブーム



写真—1 テレスコブームマシン (TBM) 運転操作状況

長さ 15 m ～ 45 m の機種 (TBM-15, 18, 22, 31, 35, 45) が完成し、35 m 以下の法面高さに対応出来るようになった。しかし機体の移動と機体施工足場の確保、また法面高さの施工限界等の欠点があった。

### (3) 開発中期完了

第三段階に至っては、法長に左右されず急斜面に機体を引き上げることで機械施工足場も必要とせず、掘削性能を従来型のバックホウ並みにし、作業能率を確保しつつ、迅速な施工スピードを維持することを開発目標とした。

従来型のバックホウを改良し、機体本体への主要装置の組み込みとして、左右各 1 台の主ウインチ、主ワイヤーロープで落下防止や登降坂作業できるケーブル装置、法面傾斜角に合わせて上部作業体を水平に保つリフティング装置、本機を安定させるためのバランスングブレードなどを組み込んだ。また安全対策として主ウインチにはウインチ未操作時、エンジン停止時、油圧回路の圧力が低下した場合、自動的にブレーキが作動する安全対策機構を採用した。機体キャビンへの落石など頭部保護、機体転倒などに対するヘッドガードの装着、非常に危険な上部からの落下物等がある場合などラジコンによる遠隔操作に切り替えることもできる。これによりロッククライミングマシン RCM03

型が完成した。その後、法面勾配が 90° 近くになると掘削方向の力が谷側へ働き思うような力が発揮できなくなるための対策機として、機体の全重量をかけながら掘削する RCM10 型が完成した。

写真—2 ～ 4 には各々の作業状況を示す。

### 3. 技術的検討課題

技術的課題と安全対策の観点から、機体を吊り下げるに十分なワイヤーロープとそれをサポートする主アンカーや、施工方法について、技術的検討が要求された (RCM03 型)。

#### (1) ワイヤーロープ強度

ワイヤーロープ仕様は、径 20φ × 長さ 50 m の IWRC6×Fi (29) 特殊で最大切断荷重 30,200 kg である。

- 1) ロープ全体への最大荷重  $W =$  本体総重量 = 5,670 (kg)
- 2) 主ワイヤーロープの切断荷重  $Q$  kg は安全率 10 とすると

$$Q = \text{最大切断荷重} \times 2 (\text{本}) > W \times 10$$

$$30,200 \times 2 > 5,579 \times 10 = 55,790$$

$$\text{ゆえに } 60,400 > 55,790$$

十分な強度を確保でき、安全も達成できる



写真—2 RCM03



写真—3 RCM06



写真—4 RCM10

表一 代表機種による施工能力比較

		代表機種			評価区分
		RCM03	RCM06	RCM10	
運転方法	有人搭乗運転	◎	◎	-	◎：最適 ○：適合 △：条件付きで適合 ×：不適 -：対象外
	無人遠隔操作	◎	◎	◎	
法面勾配	90°	×	×	○	
	60°～80°	◎	◎	◎	
	0～60°	◎	◎	◎	
施工土質	硬岩1	×	△	△	
	中硬岩	×	△	△	
	軟岩2	△	○	◎	
	軟岩1	○	◎	◎	
	レキ質土	◎	◎	△	
	粘性土	◎	◎	△	
	砂質土	◎	◎	△	
対象工事規模		小規模～中規模	中規模～大規模	大規模	

表二 代表機種仕様一覧

項目		単位	RCM03	RCM06	RCM10
機械総重量		kg	5,670	8,775	14,100
全体寸法	全長(輸送時最小)	mm	5,200	5,900	6,700
	全高(輸送時最小)	mm	3,030	3,080	2,800
	全幅	mm	1,980	2,780	2,490
性能	登坂角度	(°)	0～80	0～80	0～90
	走行速度	km/h	2.2	2.6	4
エンジン	形式	-	直接噴射式	4D102型ディーゼルエンジン	4サイクル水冷直列頭上弁式
	総排気量	cc	1,429	3,920	3,856
	定格出力	-	28 ps/2,550 rpm	55 ps/1,750 rpm	85 ps/2,150 rpm
油圧装置	油圧ポンプ形式	-	可変ピストン式×2	可変ピストン式×2	可変ピストン式×2
	油圧モータ(走行)	-	ピストン式	ピストン式	ピストン式
バケット容量		m <sup>3</sup>	0.1	0.28	0.4
ウインチ	主ワイヤー	-	動力巻取, 巻戻形 ワイヤーφ20mm 破断荷重302kN	動力巻取, 巻戻形 ワイヤーφ24mm 破断荷重445kN	動力巻取, 巻戻形 ワイヤーφ22mm 破断荷重363kN
	補助ウインチ	-	動力巻取, 巻戻形 ワイヤー5mm	動力巻取, 巻戻形 ワイヤー5mm	動力巻取, 巻戻形 ワイヤー5mm
操作方法		-	搭乗運転, 遠隔操作	搭乗運転, 遠隔操作	遠隔操作
アタッチメント	ブレーカ	-	150kg用	500kg用	800kg用

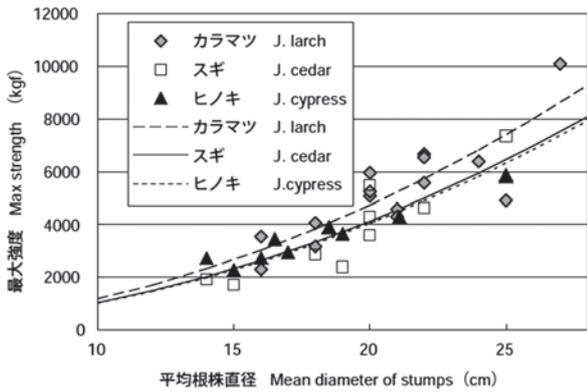
工事現場で法肩の崩壊と円弧滑り防止を図ってアンカー設置周辺の傾斜角, 周囲の状況, 工期の長さ, 工事規模を勘案して次のとおり5種類を選択した。

(2) アンカーの選択

- ①生立ち木の根株
- ②埋め込みアンカー
- ③重量置換えアンカー
- ④アースアンカーまたはロックボルト使用アンカー
- ⑤コンクリートアンカー

このうち②～⑤アンカーでは設置, 撤去, 施工条件(工期など)による制約が大きく, 現場では生立ち木の根株を利用することが多いので, これについて蓄積された知見を得られたので報告する。選定条件は樹木の種類, 根株の太さ, 根張りの状態, 周囲の地形, 土壌等である。平均根株直径と最大強度の関係を図一1に示す。

根株1本のアンカーでは, 十分に強度を発揮できない場合, 数本の根株をまとめて一体化し, アンカーとして使用する。このとき, 各根株を緊結するワイヤーロープに掛かる張力を各々に均一になるように調整す



図一 平均根株直径と最大強度の関係<sup>1)</sup>

長野営林局及び函館営林局支局管内の調査により根株直径と強度関係が報告されている。

ることが求められる。不均衡ではワイヤーロープが破断してしまい、機体の落下、有人搭乗運転の場合では墜落・転落災害につながる恐れがある。

1) 根株選択基準

図一 1 から根株直径 20 cm で 4 t の強度が得られ、各根株のアンカーとしての強度を想定する。同時にアンカーの引き抜け、転倒などの事故発生が起らないよう、調査し、選定する。

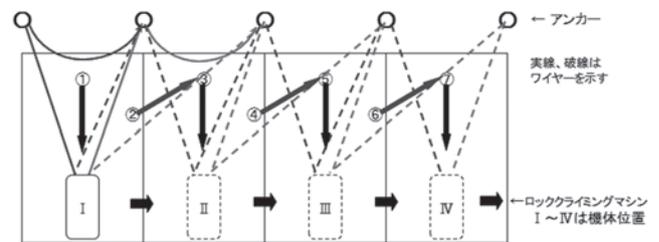
2) 各根株の強度確認

図一 2 の横移動運転要領の模式図に示すように、左右ウィンチ 1 台につき各箇所アンカーを据付するが、最大荷重の 3 倍以上の安全率の強度を設定している。関連する法定の Gondola 則第 3 条、クレーン規格第 3 条、エレベータ規格第 4 条をクリアしている。他方強度についても最大荷重 1 箇所、2 箇所支持で 3 倍を安衛則の 4 条、55 条、141 条からもその安全性を満たすものを採用しているため、この方面からも妥当性を担保できている。

次にアンカー強度を箇所あたりで算出する。

地盤が崩壊し機体が宙吊りになったときを最大荷重と想定する。

1) 機体の作業現場の傾斜角 = 90°



図二 横移動運転要領の模式図 (右方向への移動)

表一 3 アンカー強度試験報告

〔アンカー強度試験報告書〕

								平成 年 月 日			
工事名		発注機関名		元請担当者	工事担当者	工事統括責任者	安全担当者	本社安全担当者			
工事場所		元請名									
元請担当者名		T E L									
当社担当者名		F A X									
施工内容		NO	区間長	法親までの距離	アンカーの種類	コンクリート	樹木の種類	根株の直径	置換アンカー	その他	P=引張強度
施工延長	40 m					H*W*L	雑木	35			8,750
施工面積	650 m <sup>2</sup>				生立木		雑木	35			8,750
切取量	m <sup>3</sup>				生立木		雑木	35			8,750
現場周辺状況											
崩落箇所	(有) (無)										
湧水	(有) (無)										
地盤の状況	(安定) (不安定)										
アンカー付近	(安定) (不安定)										
土質	砂質土 粘性土 粘土質土 軟岩1 軟岩2 中硬岩 硬岩1 硬岩2										
アンカー選定理由											
種類	生立木 埋め込みアンカー コンクリートアンカー アースアンカー 置換アンカー その他										
〔所要試験強度〕											
RCM03機械総重量	5,670Kg										
安全率	1.5										
試験強度	5,670Kg × 1.5 = 8,505Kg										
〔備考欄〕											
8,505Kgの力を得るため、滑車6個を使用して、牽引力を7倍にする。 強力計(5t用)を使用してワイヤーロープの張力が1,250kgに達するまで、チルホールで牽引する。 1,250kg × 7 = 8,750kg ≥ 8,505Kg OK											

〔アンカー引張試験〕 (別紙にて引張試験状況を添付する)

作業内容  
工事現場 大昌建設株式会社  
RCM03 型水切付型試験機  
機械重量 1,000kg  
P=8,505kg × 7 = 1,215kg  
メーター実重量 1,250kg  
引張機 大昌建設株式会社  
施工員 大昌建設株式会社

作業内容  
工事現場 大昌建設株式会社  
RCM03機械重量=5,670kg  
安全率=1.5  
牽引機重量 1,800kg × 1.3 = 2,340kg  
メーター実重量=1,250kg  
合格

余白

\* 引張り試験の写真は1工事で、代表写真を1枚以上撮影する事。

- 2) 機体総重量 = 5,670 (kg)  
機体総重量には作業装置 + 本体 + 燃料 + 油脂類 + 冷却水などが含まれる。
- 3) 機体に掛かる最大加重  $P = 5,670 \times \sin 90^\circ = 5,670 \times 1 = 5,670$  (kg)
- 4) アンカー強度  $\geq P \times 1.5$  (安全率) =  $5,670 \times 1.5 = 8,505$  (kg)  
求めるアンカー強度は1箇所当たり 8.5t 必要になる。

根株をアンカーとして使用する前に、その耐力を引張試験機で現場緊張試験を行って、所要強度まで荷重を掛け、耐力が十分あることを確認できた場合のみ、合格と判定し、アンカーとして選定できる(表-3)。

ただし、伐採後の根株を利用するとき、伐採後の経過年数は根系の支持力を保持するために、1~2年経過したものとするべきである<sup>2)</sup>。

根株アンカー以外の埋め込みアンカー、コンクリートアンカー、アースアンカーまたはロックボルト使用アンカー及び重量置換えアンカーを選択する場合、工事現場の土質、工期、作業環境により制限されるので、提示条件や作業環境条件を十分検討して、強度計算や引張り試験で確認後、設置しなければならない。

#### 4. 運転操作技術の確定

本ロッククライミングマシンは、労働安全衛生法第37条と第42条及び労働安全衛生規則第27条の法律や政令に定める機械等には該当しない。したがって、所定の資格を所持し、特別講習により、本機体の運転技術を習得してのみ、操作に従事できる。

- ① 運転資格要件は次のとおり設定する。
  - ・ 車両系建設機械運転技能修了証……………既保有者
  - ・ (ロッククライミングマシン) 特別講習修了証  
……………新規講習受講
- ② (ロッククライミングマシン) 特別講習内容と講習期間は次のとおりとする。
  - ・ 機体の基礎知識 (操作方法、整備)  
→ 図-3 施工フロー
  - ・ 作業手順 (安全作業を含む)  
→ 図-2 横移動運転要領の模式図(右方向への移動)  
図-4 施工標準図
  - ・ 高所法面の切取・切崩し・掘削・伐根・整形、既設モルタルの取壊しなど用途解説
  - ・ アンカーの選定方法
  - ・ 実技 (有人搭乗運転と無人遠隔操作)
  - ・ 1週間の講習期間設定

横方向で右移動の場合を移動要領の模式図で解説すると次のようになる。

1. 右側ワイヤーを緩め、5m程度右側にアンカーを移設する
2. 右側ワイヤーを張り、機体を安定させる
3. 左側ワイヤーを緩め、右側のアンカーへ移設する
4. 左側主ワイヤーを接続し、機体を安定させる
5. アンカーの状態を確認する
6. 右斜め上方に登坂し、次の掘削作業に取り掛かる
7. 以下1. ~7. を繰り返す

反対方向については上記の逆手順を踏み、移動する。

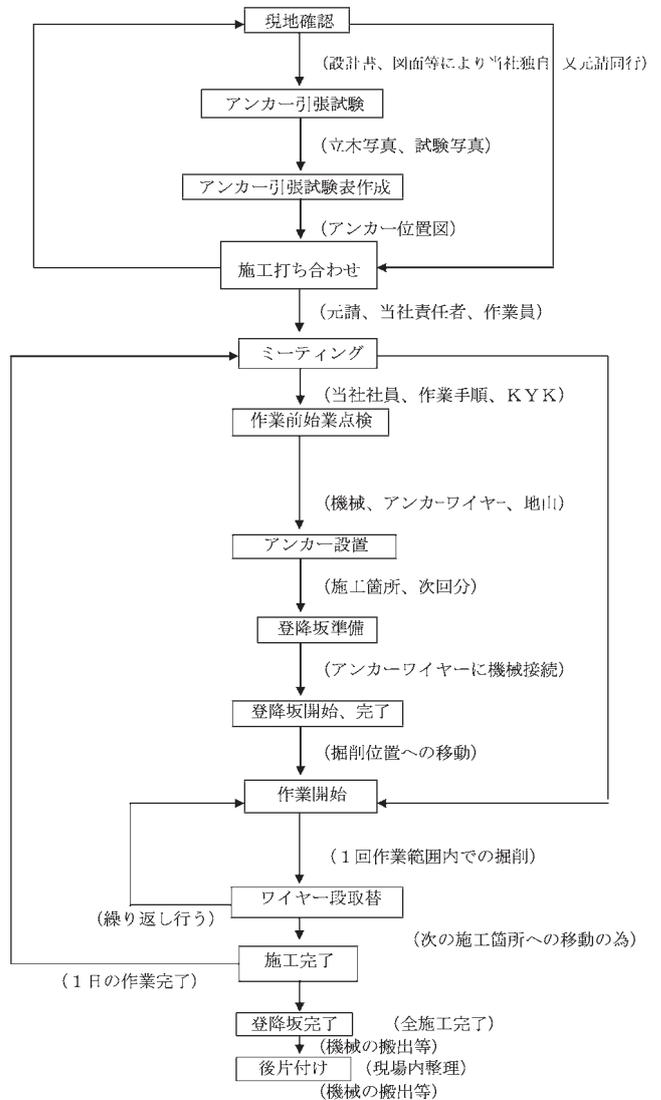


図-3 施工フロー

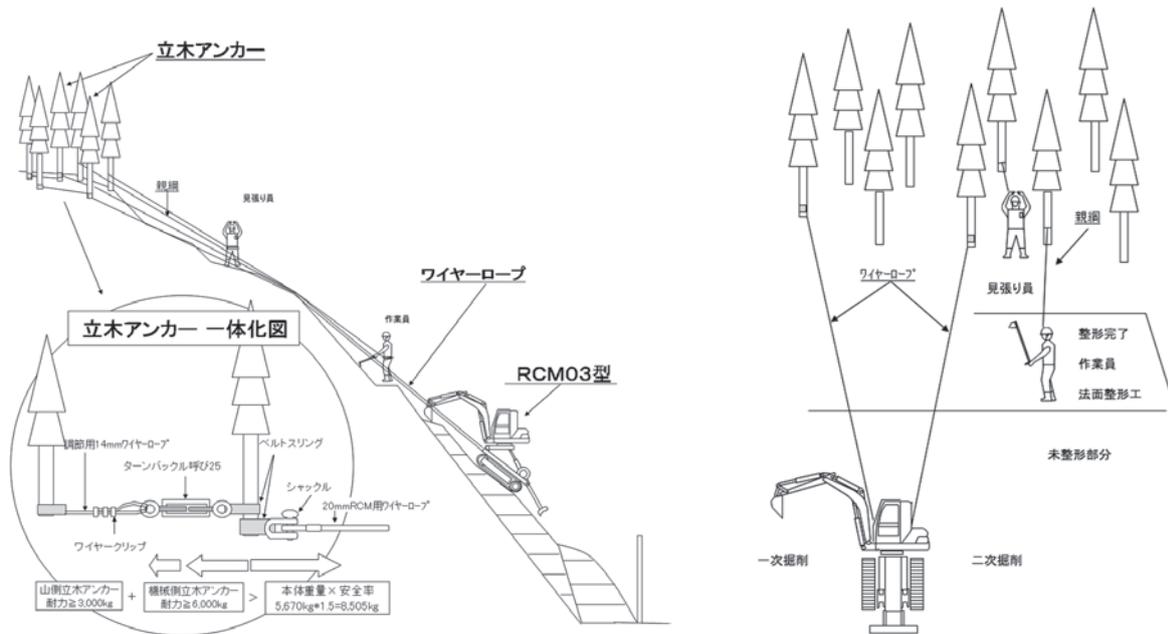


図-4 施工標準図

5. 活用効果の達成度

本技術を活用することにより、従来との技術力の差異は次のように達成された。

ちなみに従来の施工法と本工法の比較表を表-4に例示する。

**コスト面**：アンカーの設置やワイヤーロープ等の準備工が必要となる反面、熟練者による人力掘削に比べ作業効率の高い機械掘削の方が経済性が高くなる（5%縮減）。

**工程面**：人力から機械導入とすることで、大幅な工程短縮が可能である（52～70%短縮）。

**品質面**：品質については、従来工法による技術と同レベルを確保できている。

**安全面**：熟練者による人力施工では、高所作業・崩壊箇所等の危険度が高い作業は、周到的な人的安全対策が要求されるが、機械施工では機体の落下など人的災害が軽減されその安全性は向上する。

転石や崩壊などの恐れがあるとき、ラジコン操作による無人運転作業ができ、機械施工の有用性が確保されて施工性は向上する。特に危険な高所法面ではその効果は高い。

**環境面**：従来と同様にエンジン関連の変動騒音と油圧系統回りとがあり、振動を含めてほとんど同程度である。

表-4 高所法面掘削工法と従来工法の特徴

	【高所法面掘削工法】	【従来の人力工法】
長所	<ol style="list-style-type: none"> <li>（無人遠隔操作運転の場合）オペレーターは機体から離れた操作位置で遠隔操作しており、作業環境に起因する危険は極めて低い。</li> <li>機体は十分な強度のワイヤーで吊下げられており、危険箇所でも重機足場が崩れても操作できる。</li> <li>法肩までワイヤーを巻き取り移動ができるので、機体の搬入路や重機足場が不要になる。</li> <li>急峻な勾配でも掘削作業やモルタル・コンクリート取壊しも迅速に施工できる。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ロープによる足場上での作業であるため、高所及び狭い箇所でも施工できる。</li> </ol>
短所	<ol style="list-style-type: none"> <li>掘削機の搬入路が確保できない箇所での施工は困難である。</li> <li>立木アンカーが設置できない箇所では、別途アンカーなどの設置が不可欠で作業環境の制約を受ける。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>道工具機器の搬入路を確保できない箇所では全て人力搬入が必要になる。</li> <li>作業には工期と投入労力とを多大に要する。</li> <li>大きな転石の除去時に周辺の地山の抜け落ち等により被災する危険性が高いので、エリアごとの安全対策が必要。</li> <li>作業には熟練者を配置する必要がある。</li> </ol>

## 6. 現在までの採用実績

事前計画工事では林地荒廃防止事業、仮道設置外工事などの法面災害などの対策工事に、また緊急を要する工事では東日本大震災に代表されるような岩盤の崩落・落石危険箇所など復旧工事及び関連工事に貢献、平成25年1月現在46件に活用されている。また、施工実績は国交省関係=360件、林野庁関係=246件、地方公共団体関係=2,493件、一般民間=112件の延べ施工実績を達成した。

今後は、省力化、工期の迅速化、施工場所を選ばない難易度の高い法面工事など、人的安全を確保すべき工種工事、さらには無人の遠隔操作による完全自動運転など要求レベルの高度化対応にまで行き着くこととなる。

## 7. おわりに

高所法面掘削機の掘削能力は、従来のバックホウの能力と同等である。堅い岩盤は、ブレーカを装着し掘削しているのが現状であり、対応できない岩盤もある

ため、これからは、あらゆる岩盤を確実に掘削する工法の開発が必要である。高齢化社会に於いて、これからの高所法面掘削機械工法は、人力に代わりこの工法が普及することを確信するものである。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 「森林総合研究所研究報告」(Bulletin of FFPRI), Vol. 1, No. 3 (No. 384), 181-184, November, 2002
- 2) 「樹木根系図説」 菊住 昇, 1998, pp.1121, 誠文堂新光社 総論

### 【筆者紹介】

市原 淳 (いちはら あつし)  
大昌建設㈱  
技術開発室



杉田 義典 (すぎた よしのり)  
大昌建設㈱  
安全管理課

