



# 硬質地盤の無排土掘削工法 (RPB 工法) と 環境施工への適用

松澤 一行

RPB 工法とは Radial Press Boring の頭文字を取ったものであり、掘削によって発生する残土を地上に排出するのではなく、放射状に（掘削孔の外周方向へと）押圧しながら掘削を進行するという削孔形態から取ったものである。ここでは RPB 工法開発の経緯と工法の特徴を紹介させて頂くことで、単なる硬質地盤掘削工法としてだけでなく、近年重視されている環境問題や施工安全性の面での有用性について説明する。

キーワード：基礎工事、硬質地盤、アースオーガ、無排土、プレボーリング、RPB 工法 (MLT 工法)

## 1. はじめに

本工法の誕生は、実はもう 20 年以上前にさかのぼる。それが現在になって、無排土工法としての有用性に注目されるようになったのは、産業廃棄物などの環境問題が取りざたされる昨今の現場事情によるものだろう。

「硬質地盤の掘削」工法の開発当初の目的はあくまでもそこにあった。従来からあるアースオーガ掘削では地中の玉石、転石や岩盤などは掘削不可能であった。硬質地盤用のアースオーガも開発されていたが、オーガ重量と回転力に頼る、掘削と言うよりむしろ破碎に近い方法がほとんどであった。大出力のオーガは当然それを装着する本体機も 100 t 超級となり、先端ビットは過大な力により破壊する事が多かった。そのような中で、「いかにして地中の玉石や岩を切削するか」にこだわった結果として生まれたのが RPB 工法 (Radial Press Boring, 旧名称 MLT 工法) である。

## 2. 硬質地盤掘削

硬質地盤の掘削方法にはダウンザホール・ハンマのような打撃式のものや硬質地盤用アースオーガなどの切削式のものがある。

一般的には、硬い岩ほど打撃式の方が有利と考えられているようである。しかし通常の施工地盤には軟弱な土砂を含むケースも多く、切削式の岩掘削能力が高い場合にはかなり有利となる。

岩を切削するためには、ビットの材質、硬度、形状

はもちろんであるが、実際の掘削ではビットにかかる面圧（鉛直力）、回転力、回転速度をいかにコントロールできるかが重要である<sup>1)</sup>。

一般的な硬質地盤用アースオーガは、確かに通常のアースオーガよりも大型で高出力なため、面圧、回転力、回転速度とも十分な能力を備えている。しかし地中のスクリー部分ではスクリーと孔壁部分の土砂との摩擦抵抗が常に不確かな量の抵抗として邪魔をしているため、適切な力を切削刃にかけることが困難となる。そして大抵の場合、それらの抵抗に打ち勝つ力は岩を切削するには過大すぎて、結局はビットが破壊されてしまう。これらの抵抗をなくすことにより、ビットにかかる力を適宜調節し、硬質な岩でも最適な条件で掘削することが可能となる。そのためには、自立性の高い孔壁を形成することは必要不可欠であり、これが RPB 工法の最大の特徴である。

写真—1 に示すように、花崗岩転石の傾斜面を掘削する場合でも、孔壁がガイドとなり芯ずれを起こすこ



写真—1 切削された花崗岩の転石

ともなく切削している。この施工地は鉄道駅構内でもあり、使用した機械は全重量で10tしかないが、圧密孔壁形成により摩擦抵抗がかからず、回転反力をほとんど必要としなかった。

### 3. 無排土掘削と圧密孔壁

#### (1) 孔壁圧密の仕組み

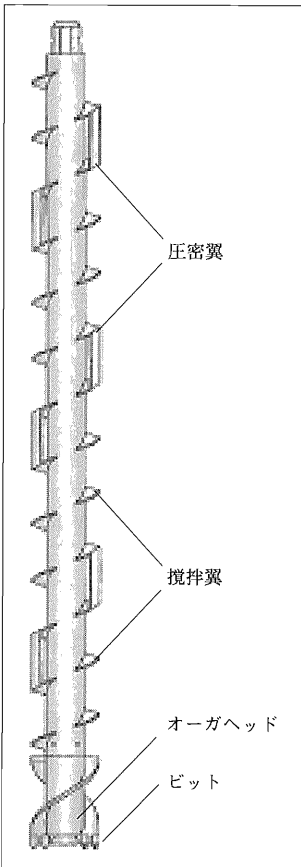


図-1 MLT スクリュー

図-1はRPB工法で使用するスクリーである。通常のアースオーガのようなスパイラルスクリーと異なり、不連続な撈拌翼と圧密翼から構成される。通常掘削作業ではこのスクリーの上部には羽を持たないロッドのみが連結される。したがってスクリーコンベヤとなりえない本工法では、掘削土砂を地上に排出することは極めて少ない。

スクリーの回転により孔内の掘削土砂が外周方向に圧密されるイメージが図-2である。オーガヘッドによって掘削された土砂はスクリー部分で撈拌され圧密翼の動きによって外側へ押しつ

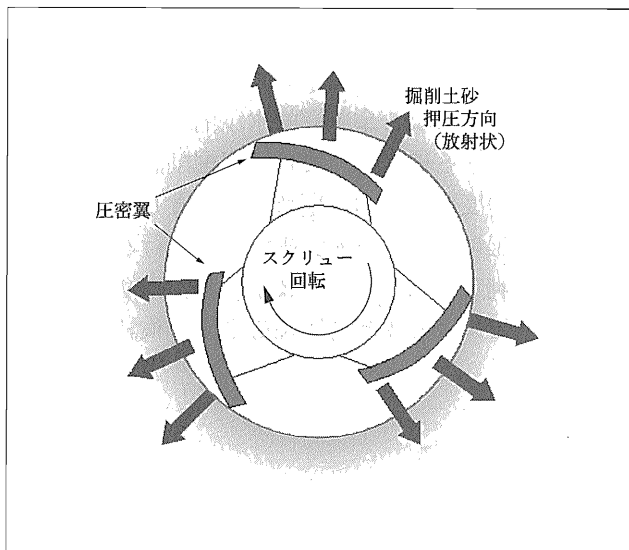


図-2 掘削土砂圧密イメージ

けられる力を受ける。地中の空隙は掘削土砂によって充填され、さらに圧密されることにより、孔壁部分では間隙率が減少し、自立性の高い堅固な孔壁を形成する。

孔壁の崩壊が懸念されるような地層では、ベントナイトなどの安定液を用いるのが一般的であるが、本工法では、これらの安定液を使用するケースはほとんどない。地下水や、必要に応じて送る清水と一部の掘削土砂が撈拌されることによってできる孔内水は、圧密された孔壁を保護するのに十分である。

写真-2は掘削終了直後の孔内の状態である。

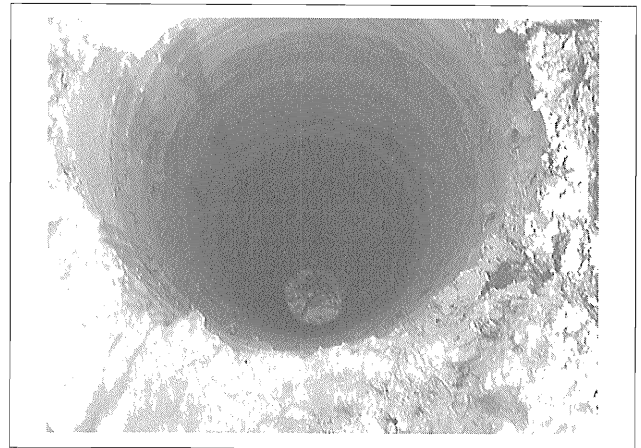


写真-2 圧密翼によって形成された孔壁

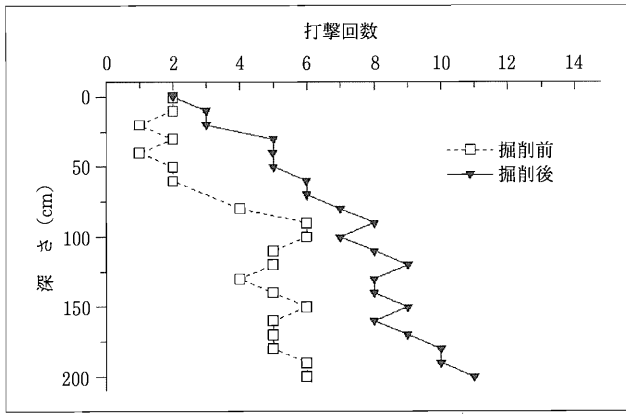
地下水位より上の部分でも崩壊することなく自立している様子うかがえる。この施工地では掘削後に鉛直精度測定などが行われ、建込みが行われたのは半日ほど後のことであったが、その間孔壁の崩壊は一切認められず、孔底まで確実に建込み作業を行うことができた。

またこのとき測定された鉛直精度では0~1/500という極めて精度の高い数値が確認された。これは圧密形成された孔壁が、掘削に対してはその鉛直なガイドとなるためであり、本工法の利点の一つである。

#### (2) 圧密作用の検証

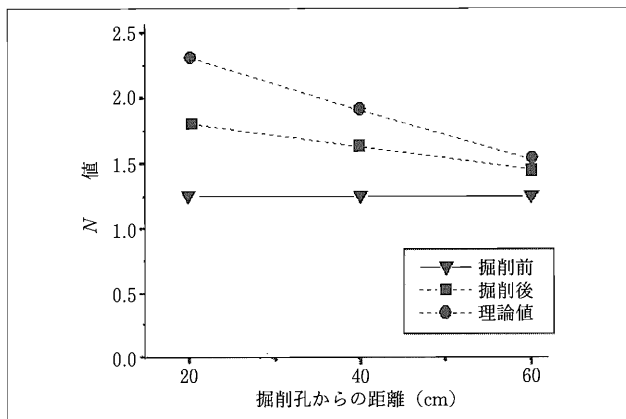
実際に孔壁を圧密することによって、周囲地盤がどれだけ圧密作用を受けているかを定量的に解析する研究が、金沢大学・宮島昌克教授らのご協力の下に進められてきた。ここでは理論に基づくモデル実験と、実物大の現場実験を元にした実験結果の一部を紹介する<sup>2),3)</sup>。

図-3は実物のMLTスクリーの1/10サイズのモデルによる実験の結果である。これによれば、圧密掘削された周囲地盤は、後に行われたコーン貫入試験



図—3 掘削中心から 20 cm の位置でのコーン打撃回数

において明らかに掘削前よりも高い値を示している。実験は砂層、粘土層についてそれぞれ行われたが、いずれも掘削孔壁に近いほどその効果は大きい。また、砂層では理論値と実測値はほとんど同値であったものの、粘土層では若干の差が生じる結果となった(図—4)。



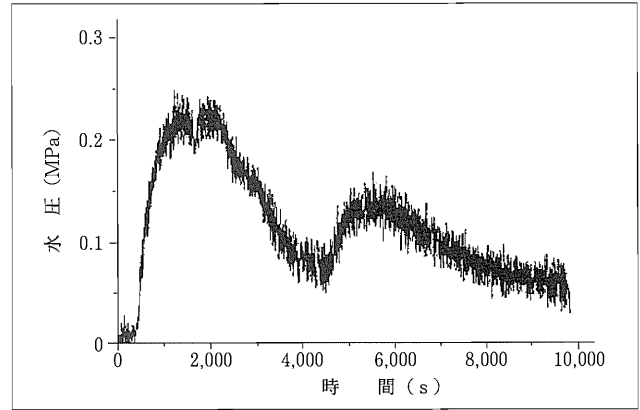
図—4 掘削中心からの距離と N 値の関係

スクリーアの貫入速度の制御についてはまだまだ研究の余地が残る。特に圧密にある程度の時間を要する粘土の場合には十分な圧密効果発現時間の把握は困難な部分が多いが、短気の圧密でも地盤強度上昇の結果が得られたことは好結果といえよう。

図—5 は実物大の実験結果であり、掘削中の周囲地盤の間隙水圧の変化を計測したものである。時間の進行とともに圧密スクリーアが間隙水圧計深度に近づくと水圧も上昇し、次第に水圧が消散していくことが分かる。図中の 2 番目の凸部は所定深度までの掘削後に再度引抜きながら圧密作用を受けた時点での圧力上昇である。

図—6 は実物大試験での掘削前後の標準貫入試験の結果比較である。

貫入試験の位置が若干異なることもあり明かな地盤



図—5 掘削孔から 50 cm 離れた位置 (深さ 7.5 m) での間隙水圧の変化

深度(m)	N 値	深度(m)	N 値	深度(m)	N 値
0.60	盛土 1	0.60	盛土 1	0.60	盛土 2
	粘土 0		粘土 0	1.80	粘土 2
	0		0	2.70	砂 2
4.20	砂 7	4.20	砂 8		粘土 1
	5		5		粘土 1
	6		6	6.40	砂 5
7.00	粘土 7	7.00	粘土 9	6.90	砂 9
	13		14		粘土 5
8.00	砂 11	8.00	砂 12	8.70	粘土 4
	9		10		粘土 4
	7		8		砂 17
11.40	粘土 4	11.40	粘土 5		砂 10
	3		4	11.80	粘土 4
	1		1		粘土 1
14.00		14.00		14.00	粘土 1

自然状態での実測 N 値      理論値      圧密掘削後の実測 N 値

図—6 掘削前後での地盤強度の変化

強度の増加を認めることは難しいが、特に砂質土については圧密による効果が表われやすい。

モデル実験、実物大試験を通じて、圧密掘削が周囲地盤の強度を増加させていることは確認できた。しかしこれらをより定量的に解明するためには、さらにより多くの実験・検証が必要となろう。

### (3) 杭の支持力増加への期待

杭外周の圧密効果と杭における摩擦力の関係についても研究<sup>4)</sup>が行われ、理論的には、十分な圧密が行われた場合、圧密による余剰間隙水圧消散後では、通常の杭の場合の 3.5 倍程度、また圧密掘削直後であっても約 1.6 倍程度の支持力が期待できるとしている。ただし、実施工において圧密掘削が十分に行われているかどうかの判定は難しく、今後この判定方法を含め、載荷試験などによる支持力増加をさらに検証する必要がある。

## 4. 施工機械

表—1 および図—7 に RPB 工法機の機械仕様と形状を示す<sup>5)</sup>。

表一 掘削機 MLT 650 の主な仕様

MLT 650 仕様			
掘削径	φ400~700 mm		
全装備重量	44.14 t		
接地圧 (平均/最大)	107.0/207.3 kPa		
ベ ー ス マ シ ン	走行方式	クローラ式	
	走行速度	1.2 km/h	
	登坂能力	28% (16°)	
	旋回速度 範囲	0.5 rpm	
		全周	
	原動機	いすゞ 6SD1	
	原動機定格出力	157 kW (213 PS)	
	カウンターウェイト	5.0 t	
	本体重量	33.5 t	
	掘 進 機 構	形式	油圧駆動式
モータ		MK 600	
チャック装置		自動式 (油圧)	
昇降ストローク		5.5 m	
引抜き力		40.0 t	
回転力 低速/高速		150/75 N·m	
		回転数 低速/高速	6/12 rpm
重量			9.0 t
安 定 度		前方	26.7° (15.7°)
		後方	51.1° (37.5°)
	側方	22.4° (18.9°)	

安定度の表記は、ジャッキ使用時 (未使用時)

通常の硬質地盤掘削用アースオーガに比べると約半以下の重量である。これは自立孔壁により掘削中にスクリューに掛かる摩擦抵抗が極めて小さく、オーガも硬質地盤対応機としては比較的小型である事が大きな要因である。

また本機種では掘削ロッドの継足アームを装着しているため、リーダ高も通常仕様で 10 m 未満であり、高い転倒安定性を誇っている。さらに低空仕様では高さを 8 m 弱に抑えることも可能である。

施工機械の小型化が望まれる中で、現在協会ではより高度条件の厳しい施工地にも対応できる新機種の開

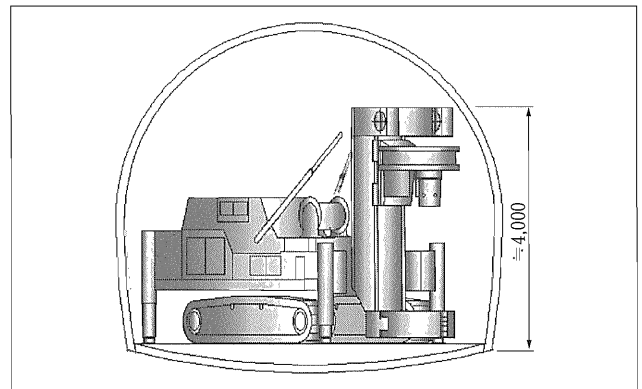


図-8 低高度型掘削機 (開発中)

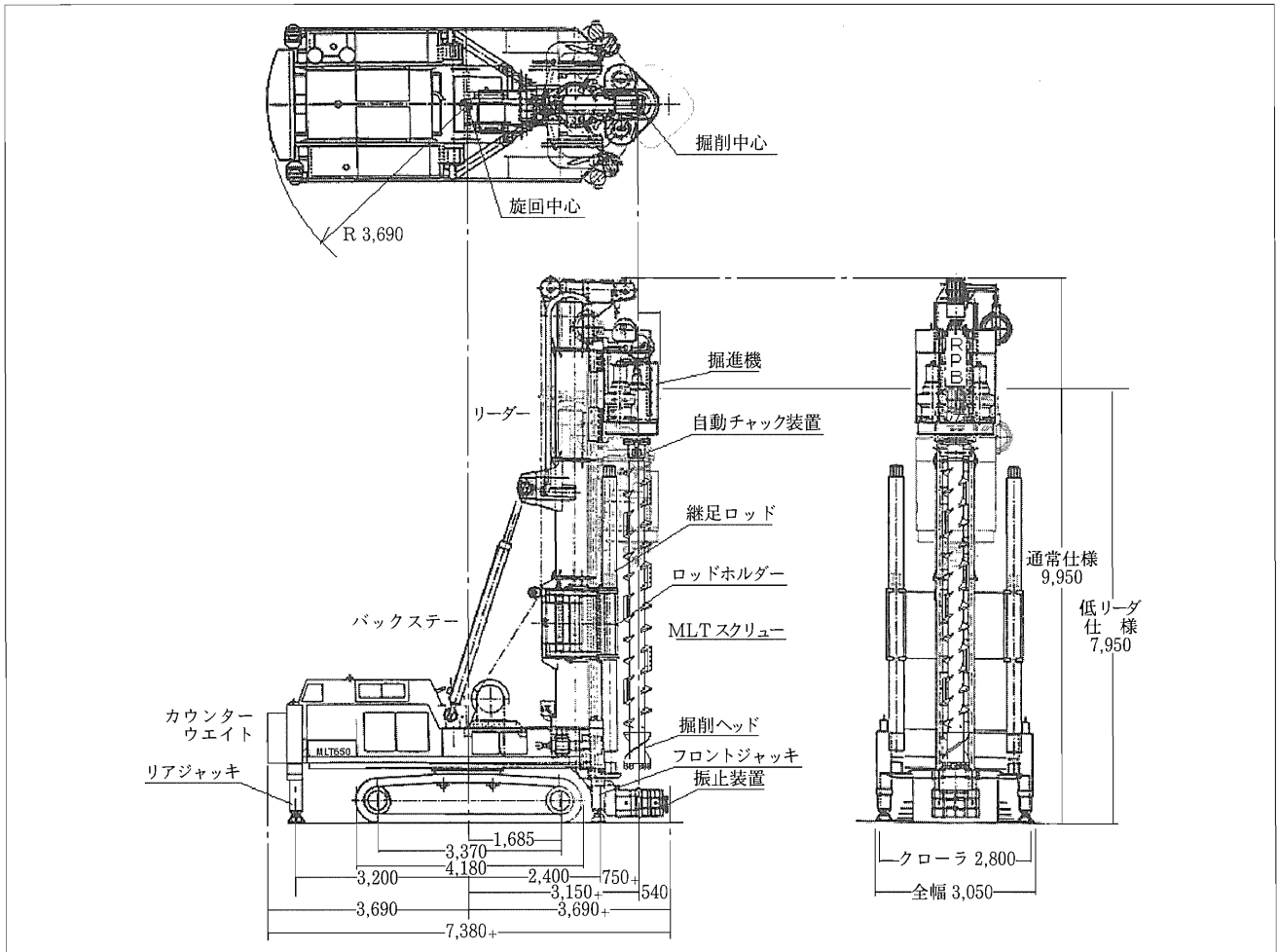


図-7 掘削機 (MLT 650) の形状寸法

発も進められている。現在開発中の機種では機械高さを最低で約4mにまで抑えることができ、桁下やトンネル内での作業効果が期待される(図-8)。

## 5. 無排土掘削について

無排土工法とはいえども排土を完全な無排土にすることは困難な場合がある。特に実際の施工では、施工能率の面から圧密に十分な時間をかけられないケースも少なくない。掘削対象に粘土層が多い場合などは、若干の排土はやむを得ないとすることもある。実験やこれまでの実施工のデータでは、特に大幅に圧密効果を期待するような制御をしない(圧密のための掘削時間を考慮しない)場合でも排土量はおおむね掘削容積の1/4程度に収まっている。

## 6. おわりに

本工法における硬質地盤掘削機としての能力、また孔壁圧密による利点について紹介させて頂いた。しかし、それらの優位性を実施工に活かすためには、さらなる検証実験が必要であるものと感じている。例えば支持力増加がより定量的なものとして検証されるならば、設計施工面でのコストダウンも期待でき、施工時の隣接地盤への安全性、産業廃棄物低減などの理由による工法採用の現状から、さらにもう一歩大きな貢献をもたらす工法へと進化が期待できる。

蛇足になるが、現在硬質地盤掘削、地中障害撤去などに威力を発揮している全周回転式オールケーシング工法、実はこの工法が生まれるきっかけとなったのも本工法(RPB工法(旧名称:MLT工法))である。

MLT工法開発者、松澤一氏は(1931~1997)株式会社松沢基工の創設者。基礎工事、特に硬質地盤掘削の分野において、独自の理論と研究により新技術(Matsuzawa's Logic and Technology)を開発した。

松澤一氏の開発したRPB工法(旧名称:MLT工法)・エクセル工法は、従来工法で困難とされてきた岩盤掘削等においてその威力を発揮し、エクセル工法は現在主流となっている全周回転式(全旋回)オールケーシング工法の草分けとなった。また、都市土木をはじめ、環境問題が取りざたされる昨今、RPB工法は極めて有意義である。

オーガヘッドには複数のビットが装着されているが、その配置は直径方向に直線配置されているのが通常である。中心に近いビットほど周速度が低下するため切削能力が落ちる。この点に着目し、最も外側の、周速度が最も速い部分で切削する形態にしたものがエクセル工法(全周回転式オールケーシング工法)である。また、エクセル工法では通常のリーマータイプのフリクションカットではなく、ケーシング表面に圧密翼を持たせることで、本工法と同様に圧密孔壁を形成し、ケーシングにかかる周面摩擦を低減する方式がとられている。これによりオールケーシング工法で80mを越す掘削深度をも施工可能にした。

最後に本工法の開発者を紹介させて頂く。RPB工法の誕生時の工法名称でもあり、スクリーや掘削機に付けられている「MLT」\*とは、開発者がそれまでの経験と独自の研究から導き出した技術ということに因み、Matsuzawa's Logic and Technologyを略してつけられた。2004年1月、工法の特徴的な掘削形態を表す名称「RPB工法」と改名し、さらに新しい現場ニーズに対応できるよう開発研究が進められている。

JCM A

### 【参考文献】

- 1) 松澤 一(株式会社松沢基工): MLT・CMP・EXL工法, 建設機械, 1984. 10, 及び株式会社松沢基工技術資料
- 2) 渡邊康司・宮島昌克・北浦勝(金沢大学): 空洞拡張による杭の摩擦支持力の効果に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会, 2000. 3
- 3) 渡邊康司(金沢大学大学院): 空洞拡張による杭の摩擦支持力増加に関する実験的研究, 金沢大学大学院平成12年度修士論文
- 4) 竹田和彦・宮島昌克: 空洞拡張による杭の摩擦支持力への効果, (株)ウェッジ, 1999. 10
- 5) RPB技術協会資料: <http://www.mlt.jp/> 掲載資料

### 【筆者紹介】

松澤 一行(まつざわ かずゆき)  
RPB技術協会  
RPB技術協会事務局(株式会社ウェッジ内)  
〒923-1211 石川県能美郡辰口町旭台2-13  
いしかわクリエイトラボ  
Tel: 0761(52)0606(代), Fax: 0761(52)0607

