

17. 機械式刃口推進工法の開発

土岐 晃生 市川 隆文
下西 四郎*¹ 原田 哲夫*²
松本 光浩*²

要 旨

刃口推進工法は、機構の簡便さと低廉な工費、および障害物への対応などで有利な点があり、今まで多く採用されている工法である。一方、切羽部での危険作業、苦渋作業を伴うことや、人力掘削のため掘削速度に限界があることなどが問題となっている。

今回、刃口推進工法の特長を生かして、従来、人力で行ってきた地山の掘削作業、土砂の積み込み作業を機械化した「機械式刃口推進工法」を開発した。

実大施工実験の結果、目標とした掘削作業のスピードアップと作業人員の削減が可能であることを確認した。

キーワード

推進工法／刃口推進／機械化／省力化

目 次

1. はじめに
2. 刃口推進の現況と開発目的
3. 機械式刃口推進工法の概要
4. 施 工 実 験
5. おわりに

17. DEVELOPMENT OF MECHANICAL BLADE JACKING METHOD

Teruo Toki Takafumi Ichikawa
Shiro Shimonishi Tetsuo Harada
Mitsuhiro Matsumoto

Abstract

The blade jacking method has been widely adopted because it has such benefits as simple mechanism, low construction costs and response to obstacles. On the other hand, it involves problems including dangerous and difficult work on the cutting face, and the limit of excavation speed due to man-powered works.

Against such a background, the mechanical blade jacking method was developed which mechanized excavation and mucking formerly carried out manually while making use of the features of the blade jacking method.

As a result of full-size experiments, targeted excavation speed and manpower reduction were confirmed.

* 1 土木本部技術部企画課

* 2 大阪本店土木部機械課

1. はじめに

刃口推進工法は、推進工法の中でも、早くから採用されている工法であり、推進管の先端に刃口を付け、人力で掘削しながら、管を推進する工法である。一方、施工の自動化、省力化や、様々な土質条件に対応するために、セミシールド工法が既に開発されているが、機械設備費が高いため、切羽が自立する地山や、短距離の推進工事では、刃口推進工法がコスト面で有利なため、採用されることが多い。

しかし、現状の刃口推進工法は、切羽崩壊や、有毒ガス発生可能性がある切羽部では危険作業を伴い、また狭小な場所では苦渋作業を伴うなど、作業環境に問題点が指摘されていた。

今回、刃口推進工法の持つ特長を損なうことなく、一部を機械化することによって上記の問題を解決し、さらに、施工の高速化、作業人員の削減によるコストの低減を図ることのできる「機械式刃口推進工法」を開発した。以下に、本工法の概要と施工実験の結果について報告する。

2. 刃口推進の現況と開発目的

2.1 刃口推進の現況

我が国の上下水道、通信、電力、ガスなどのライフラインを地下に設ける工法として、開削工法、推進工法、シールド工法の3つの工法が主として用いられてきた。

この内、特に市町村の幹線下水道布設工事では、立地条件、施工条件、工費などの条件から、推進工法がその主流となって採用されている。推進工法は、刃口式などの普通推進工法と、ブラインド式・泥水式・土圧式などのセミシールド工法に分類される。

普通推進は、推進管の先端に刃口を装備して掘進する工法である。切羽で、地山の状況を目視しながら掘削できるため、セミシールド工法で撤去が困難な転石などの障害物がある場合に有利である。人が中に入って作業しなければならないため、内径は、最低でも800mm以上が必要とされる。

セミシールドは、シールド工法と同様に、掘削機械を推進管の先端につけ、機械掘削、管入れを行う方法である。掘削作業および土の搬出を機械的に行うため、人が入れないような小さな管（200mm程度）から、大きな管（3,000mm程度）まで適用することができ、広

く採用されている工法である。しかし、機械の製作費が高いため、その分だけ工事費が高くなり、短距離の推進工事の場合は、工費の安い、普通推進工法が有利となることが多い。

2.2 開発の目的

刃口推進工法は、人力による施工であるため、安全性・施工性に欠けており、将来の労働環境を考えると、施工の迅速化、作業員の苦渋作業の除去は、非常に重要な課題である。

今後、労働者が高齢化し、熟練労働者の不足等が懸念される中、刃口推進工法の欠点を改善して、作業の安全性を高め、高齢者でも作業に従事できる工法を開発することは、非常に意義があるといえる。

また、これまでの人力掘削に代わる、掘削機械を開発し、掘削と掘削土砂のズリトロ台車への積み込み作業を自動化することができれば、掘削作業のスピードアップと、苦渋作業の低減が図れることになる。

以上のことから、本開発では、刃口推進工法における苦渋作業の低減、掘削作業の高速化、掘削能率の平均化、障害物への対処を開発の目的とした。

3. 機械式刃口推進工法の概要

3.1 工法の概要

本工法は、従来の刃口推進工法で行っていた、人力による地山の掘削、土砂の積み込み作業を機械化した工法である。従来工法の概略図を図-1に、本工法の概略図を図-2に示す。

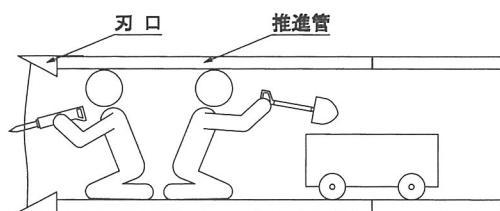


図-1 従来の刃口推進工法概略図

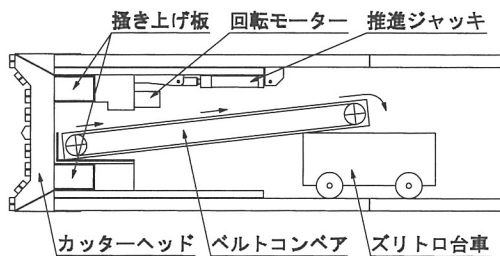


図-2 工法概略図

本工法で開発した推進機は、カッターヘッドを備え、回転モーターと推進ジャッキを使って地山の掘削を行う。掘削した土砂は、カッターヘッドの後部に取り付けられた掻き上げ板によって、ベルトコンベアからズリトロ台車に自動的に積み込まれ、排土する。

また、本推進機は、外筒と掘削機械などの内筒との2重構造から成っており、万一、機械掘削が不能となる障害物に遭遇した場合でも、内筒をウインチなどで引き出しさえすれば、作業員が切羽まで行き、障害物の撤去ができる構造としている。内筒の撤去手順を図-3に示す。

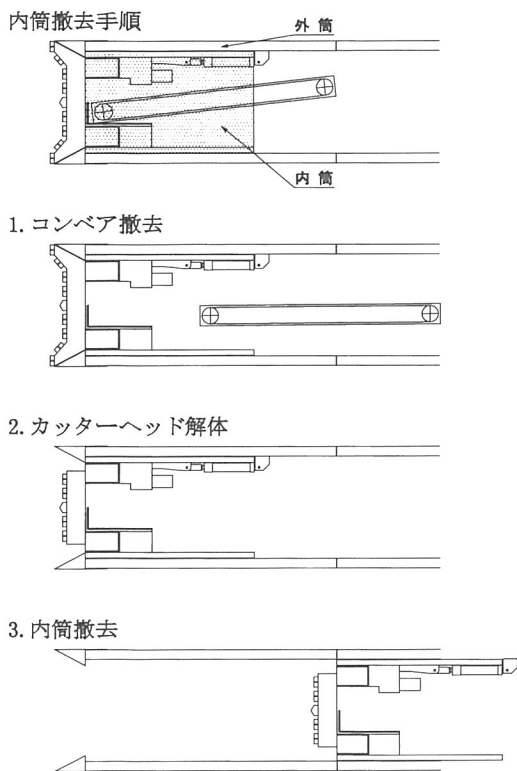


図-3 内筒撤去手順

3.2 工法の特徴

本工法の特長を以下に示す。

①作業の省力化

人力による掘削作業を機械化したことで、掘削をオペレータの一人で行えるため省力化が図れる。

②作業環境の改善

狭い場所での苦渋作業が減り、切羽崩壊、有毒ガス発生による災害が皆無になる。

③障害物の対応が可能

機械での掘削が不能となる障害物に遭遇した場合、掘削機を引き出し、作業員が切羽まで行き、障害物を撤去できる。

④作業人員の削減

管内の掘削工が不必要となるので、3名程度の作業人員を削減できる。

⑤工期短縮

機械化したことにより、掘削速度が速くなり、従って日進量が増え、工期の短縮が図れる。

⑥コストダウン

人員の削減、工期の短縮が行えることにより、コストダウンが図れる。

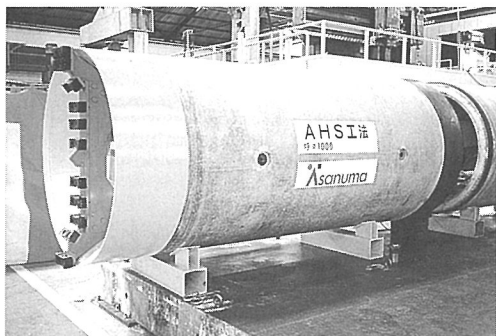
3.3 開発目標

工法を開発するにあたり、以下に示す5項目を開発目標として挙げ、開発に着手した。

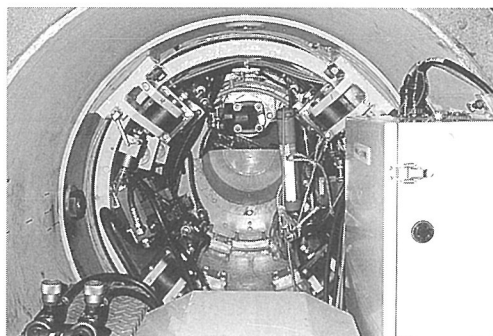
- (1)対象管径 内径800mm～1,000mm
- (2)対象地盤 砂質土・粘性土・砂礫土
(N値 10～30程度)
- (3)日進量 5.6m/日
- (4)配置人員 5名(8名から3名削減)
- (5)地中障害物の撤去

日進量については、従来工法の標準日進量が2.7m/日であるのと、従来工法と本工法のコスト比較をした結果を考慮し、目標とする日進量を設定した。また、この日進量を実稼働時間で換算し、掘進速度(掘進長/掘進時間)を求め、さらに、土質状況に応じて柔軟に対応できるように、掘進速度45mm/minをシステム設計の基準とした。

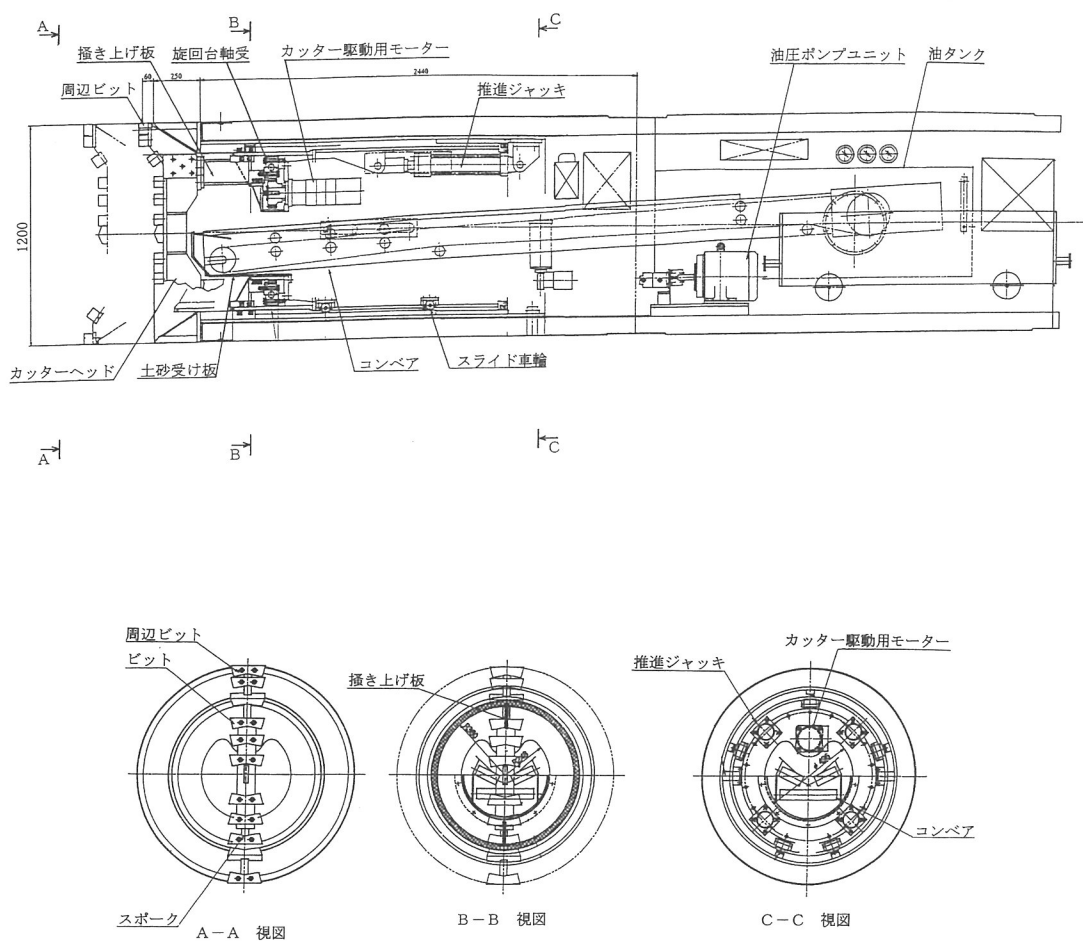
以上の開発目標をもとに、推進機の製作を行った。写真-1, 2に、本機の全容を示す。図-4に全体図を、表-1に本機の仕様を示す。



写真－１ 推進機



写真－２ 推進機の内部



図－４ 推進機全体図

表－1 推進機の仕様

呼 び 径 (mm)	1,000
外 径 (mm)	1,200
機 長 (mm)	2,160
動 力 (kw)	5.5
回転トルク (kgf・m)	520
回 転 数 (r.p.m)	5.4
推進ジャッキ	10tf×4本

4. 施工実験

4.1 施工実験 I

4.1.1 実験の目的

今回の実験は、開発した推進機が正常に稼働し、地山の掘削、土砂の掻き上げ、コンベアによる土砂の搬送能力が要求仕様を満足するかどうかを検証するのが目的である。

また、掘進不能になるような障害物に遭遇した場合を想定して、カッターの解体、内筒の引き出し作業を行い、問題点の有無を検証する。

4.1.2 実験概要

(1)期 間

平成9年4月～5月

(2)場 所

奈良県生駒市、造成工事現場

(3)路 線

推進延長 L=11.4m

勾 配 i = 7.4‰

平均土被り h = 6.7m

(4)土 質

礫 {G} 日本統一土質分類方

N 値 45以上

せん断抵抗角 $\phi = 38.1^\circ$

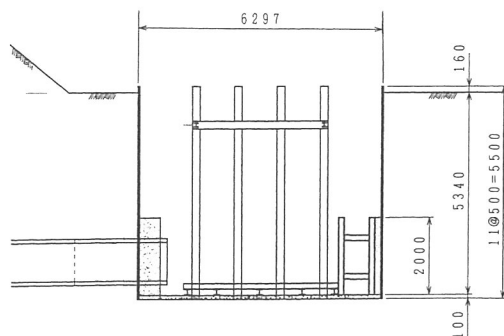
粘 着 力 $c = 0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$

密 度 $\rho = 2.142\text{g}/\text{cm}^3$

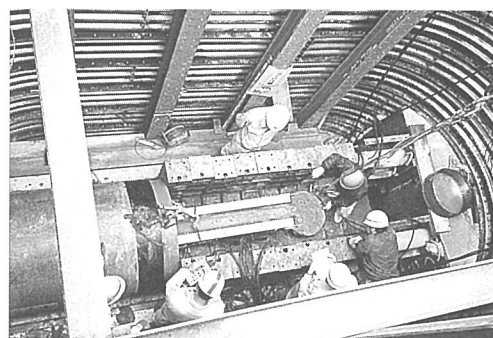
自然含水比 w=6.8%

礫含有率 71.8%

図－5に実験計画図を示す。実験状況を写真－3に示す。



図－5 実験計画図



写真－3 実験状況

4.1.3 実験結果

(1)確認結果

各開発項目に対する知見と問題点を列挙する。

a) 掘削機構

今回、実験を行った掘削地盤は、本工法の対象とする地盤よりかなり固い礫地盤で、N値で45以上であった。また、75mm以上の礫を約8%含んでいたため、カッターとコンベア受けとの隙間に礫が噛み、カッターの回転数が低下した。そのため、掘削速度が平均5.6mm/minと非常に遅い結果となった。この結果より、日進量を換算すると1.7m/日となり、開発の目標値を大きく下まわった。

b) 土砂掻き上げ機構

土砂掻き上げ機構が、十分に機能せず、掘削した土砂が推進機の底部に堆積してしまった。そのため、カッターの回転に大きな抵抗となった。

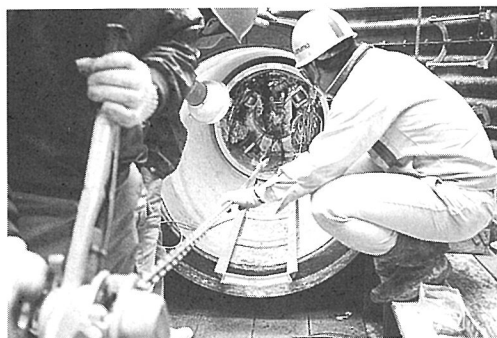
c) 土砂搬出機構

コンベアの搬出能力は、十分であったが、その設置、

撤去作業に時間がかかった。小型軽量化を図る必要がある。

d) 障害物対策

カッターヘッドの解体、内筒の引き出しは可能であったが、内筒を引き出す際に、誘導するためのレールに改善すべき点がみられた。内筒の引き出し作業の状況を写真－４に示す。



写真－４ 引き出し状況

(2)まとめ

今回の実験では、目標とした掘進速度が得られなかった。その原因は、実験現場の土質が、非常によく締まった礫地盤で、礫径が75mm以上のコボル（玉石状）が多く分布していたことと、土砂の掻き上げ機構が十分に機能しなかった為である。

これらの問題点を重点的に検討し、推進機の改良を行い、次の施工実験に備えた。

4.2 施工実験Ⅱ

4.2.1 実験の目的

前回の実験で問題になった掘削能力と土砂の掻き上げ能力に関して、カッターヘッドと掻き上げ板の形状を改良し、形状の違いによる掘削能力への影響がどのようなになるかを検証する。

4.2.2 実験概要

(1)期 間

平成9年9月～10月

(2)場 所

大阪府高槻市、当社技術研究所隣接の高槻スーパー堤防用地

(3)土 質

砂質土 {S F} 日本統一土質分類法
N 値 6
せん断抵抗角 $\phi = 26.0^\circ$

粘 着 力 $c = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$
密 度 $\rho = 2.657 \text{ g/cm}^3$
自然含水比 $w = 13.0\%$
礫含有率 15.0%

(4)実験の種類

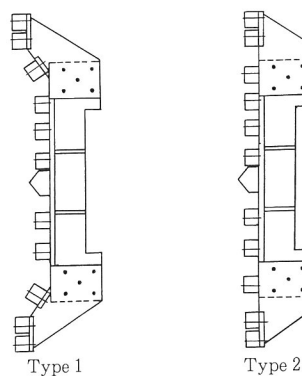
実験は、それぞれ2種類のカッターヘッドと、補助掻き上げ板の有り無しの組み合わせで4種類の実験を行う。実験の組み合わせを表－２に示す。カッター形状と補助掻き上げ板については、以下に説明する。

表－２ 実験の組み合わせ

	実 験 条 件	
	カッター形状	補助掻き上げ板
Case 1	Type 1	無
Case 2	Type 1	有
Case 3	Type 2	無
Case 4	Type 2	有

a) カッターヘッド

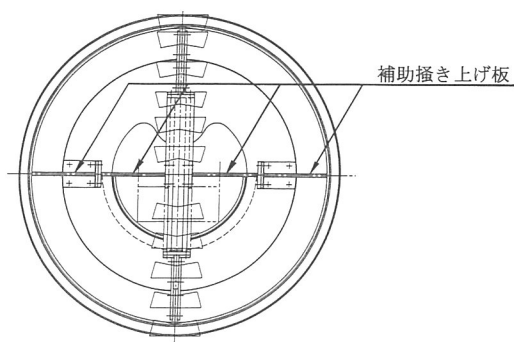
2種類のカッターヘッドを製作した。概略図を図－６に示す。Type 1のカッターヘッドは、掘削面の外周部分を先行掘削するものである。Type 2は、同一面上で掘削を行うものである。



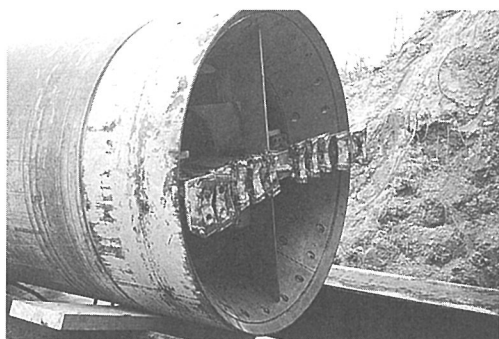
図－６ カッターヘッド

b) 掻き上げ板

カッターヘッドと直角方向に、取り外し可能な補助の掻き上げ板を設置した。断面図を図－７に、補助掻き上げ板を取り付けた外観を写真－５に示す。この補助掻き上げ板を取り付けた場合と、無い場合とで実験を行う。

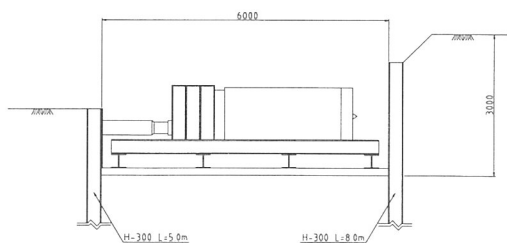


図－7 掻き上げ板断面図

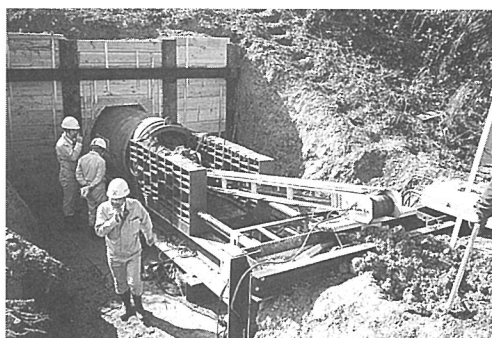


写真－5 補助掻き上げ板外観

実験の計画図を図－8 に、実験状況を写真－6 に示す。



図－8 実験計画図



写真－6 実験状況

4.2.3 実験結果

(1)実験結果

実験は、各ケースの性能を比較するために、掘進速度を測定した。各ケースの実験で得られた結果を表－3 に示す。この結果より、日進量を求めると、Case 4 の平均値で8.5m／日となり、開発の目標値を上まわる結果となった。

表－3 掘進速度

	掘 進 速 度 (mm/min)	
	平 均 速 度	最 大 速 度
Case 1	5.2	7.4
Case 2	14.6	17.1
Case 3	12.8	22.2
Case 4	28.3	36.4

(2)まとめ

実験結果より、カッターヘッドと掻き上げ板についての考察を以下に示す。

a) カッターヘッド

カッターヘッドの形状がType 1 の場合のCase 1, 2 と、Type 2 の場合のCase 3, 4 との掘進速度を比較すると、Case 3, 4 の方が良い結果が得られた。これは、カッターヘッドの違いが影響したものと推測される。よって、土質状況に応じた、カッターヘッドを選定する必要がある。

b) 掻き上げ板

補助掻き上げ板の無い場合と、有る場合で、平均速度で5.2mm/minから14.6mm/minに、12.8mm/min

から28.3mm/minへと大幅に向上した。この結果から、補助掻き上げ板の有効性を確認した。

また、土砂が掻き上げ板からコンベアに載る部分で、一部溜まっており、これが土砂掻き上げ能率低下の原因となっていた。今後この部分の改良を行うことが必要である。

5. おわりに

今回、施工実験と機械の改良を行った結果、目標とする掘進速度が得られ、実施工に適用できることを確認した。本工法の活用により、掘削作業のスピードアップと、苦渋作業の低減が大きく図れるものと期待している。

今後の課題は、様々な土質に対応するために、土質条件と、カッターヘッドなどの形状との適合性を、明らかにする必要がある。実施工時においてデータを収集し、それをもとに更なる検討を行い、機械式刃口推進工法の完成度を高めていきたい。

最後に、推進機の開発に貴重なご助言を頂いた日機装置株式会社と、施工実験にご協力頂いた関係各位に、深く感謝の意を表します。

なお、この機械式刃口推進工法は、社内プロジェクトとして編成された、AHS工法研究会において開発したものである。