

下水道工事への気泡シールド工法の適用

羽生田吉也 藤原紀夫
山下 功

Application of Foam-injected Shield Tunnelling Method to a Sewer Line Project

Yoshinari Hanyuda Toshio Fujiwara
Isao Yamashita

Abstract

Foam-injected shield tunnelling is a method in which an earth-pressure shield is driven while injecting high-compressible foam into its chamber. The flow of excavated soil increases smoothly and compressed air in parts pushes away underground water from the chamber. Consequently, the load of the shield machine is reduced, and it becomes possible for the chamber to be filled with excavated soil and to maintain stability of the face by controlling earth pressure.

Recently, this method was adapted to an actual tunnelling job for a sewer line project of length of 624 m and diameter of 1,220 mm. Satisfactory results were produced.

This report deals with a survey made on the practical use of the method in sewer line tunnelling.

概 要

気泡シールド工法は、圧縮・膨張率の高い気泡を土圧系シールドの土圧室内に注入しながら掘進する工法で、掘削土砂の流れを良くし、部分圧氣的な効果によって湧水を押えながら施工できる。また、機械負荷が軽減されるので、土圧室内部に掘削土砂を充満させることができ、圧力管理による掘進によって切羽の安定保持が可能である。

この程、延長624m、掘削外径1,220mmの下水管敷設工事にこの工法が採用され、良い成果を納めることができた。

この報文では、当工事において行なった気泡シールド工法についての調査結果について述べる。

1. まえがき

気泡シールド工法とは、土圧系シールドによるトンネル掘削工事の際、シールドマシンの土圧室内に気泡を注入しながら掘進を行なう工法である。

従来、一般の土圧系シールドの掘進時には、切削された砂質土や粘着性土質が土圧室内に閉塞することがあって、マシン負荷が過大となり、掘進不能に陥いることがあった。また、地下水位の高い砂レキ層では、スクリュコンパヤからの土砂の噴発を来たしやすく、切羽を崩壊させる場合も見られた。

筆者らは、気泡によって土砂に適度な流動性と止水性を与え、この問題を解決する方法を研究してきた¹⁾。す

なわち、気泡は土圧室内の掘削土の流動抵抗を減じてマシン負荷を軽減するため、同室内に土砂を充満しながら掘進ができる。この気泡混入土砂の充満と気泡を構成する圧縮空気による部分圧氣効果で³⁾、地下水を押えて切羽を安定保持する。また、気泡の高い圧縮性は、土圧室内への土砂の入出量バランスが多少崩れても、切羽への悪影響を緩和する。これら気泡シールド工法の効果について室内および現場実験を行ない確認し、すでに報告した^{1),2),3)}。

この報告では、岐阜県大垣市の下水管敷設工事に気泡シールド工法が採用されて良い成果を納めることができた⁴⁾ので、工事についての調査結果をまとめた。

2. 適用工事の概要

2.1. 工事概要

この工事は、岐阜県大垣市より発注されたもので、「汚水1号幹線管渠築造工事」の一部である。表-1に工事概要を示す。

現場は濃尾平野の北西部に位置し、市街地を走る交通量の多い県道沿いの約0.6kmの区間である。付近は“大垣自噴帯”と呼ばれる自噴性被圧地下水が広く分布し、水量が多い。掘削対象土質も、粘性土の他に砂レキが予想され、当初、泥漿式セミシールド工法で計画された。

2.2. 地質概要

地形からみると、ここは揖斐川および杭瀬川水系の氾濫原域にあたり、地質は後背湿地状の氾濫平野堆積層より成り、この下部に扇状地性堆積物があって砂レキ層が優勢である。図-1に地質縦断面図と土質試験結果を示す。

2.3. 施工方法

2.3.1. 立坑と区間名 立坑を5箇所の人孔位置に設け発進立坑にあたるNo.12~14では、3.4×7.4m、深さ6.5m~7.0mの深さで構築する。下流側のNo.11から上流のNo.15までの四つの各区間をA, B, C, Dと呼称する。

2.3.2. シールドマシン 土圧式セミシールド(外径1,220mm)で、周辺支持型と中間支持型の二つのタイプのシールドマシンを適用する。それぞれ、タイプI, IIとする(図-2, 3参照)。気泡の注入は、前者で隔壁から、後者では土圧室先端の下部から行なう。シールドマシンの操作は立坑中段に切羽付近の監視用テレビ、遠隔操作盤などをおき、気泡注入の操作と合わせて、マシンオペ

レーター1人によって行なう。

2.3.3. 掘削土の搬出 シールド坑内からのずり出しはウインチと0.35m³のズリトロとの組み合わせで、ヒューム管1本分の推進で発生する掘削土を8回に分けて行なう。土捨場へは、ダンプトラックで1本の推進完了ごとに搬出する。

2.3.4. 気泡の注入 起泡剤DOフォームDの3%水溶液を小型発泡器(写真-1参照)で約15倍に発泡させて注入する。掘削対象土質が沖積粘土が主であることから、気泡混合率を30%に設定する。気泡注入ユニットは立坑上部に置き、掘進長の漸増に対して25mの空気、溶液ホースを継ぎ足す。なお、気泡の注入元圧は2.5kgf/cm²にする。

工事名称	下水管布設(第1区)工事
発注者	大垣市水道部下水道課
施工者	大林・土屋建設工事共同企業体
施工延長	623.89m
トンネル断面	仕上り内径:1000mm, 掘削径:1220mm, ヒューム管長さ:2430mm
土被り	4.5~5.0m
地下水位	GL-0.8~-1.2m
曲線	最小曲線半径R=120m
勾配	0.7‰
シールドマシン	作泥密閉式土圧バランスセミシールド機
人孔築造	4号人孔:4箇所, 5号人孔:1箇所

表-1 工事概要

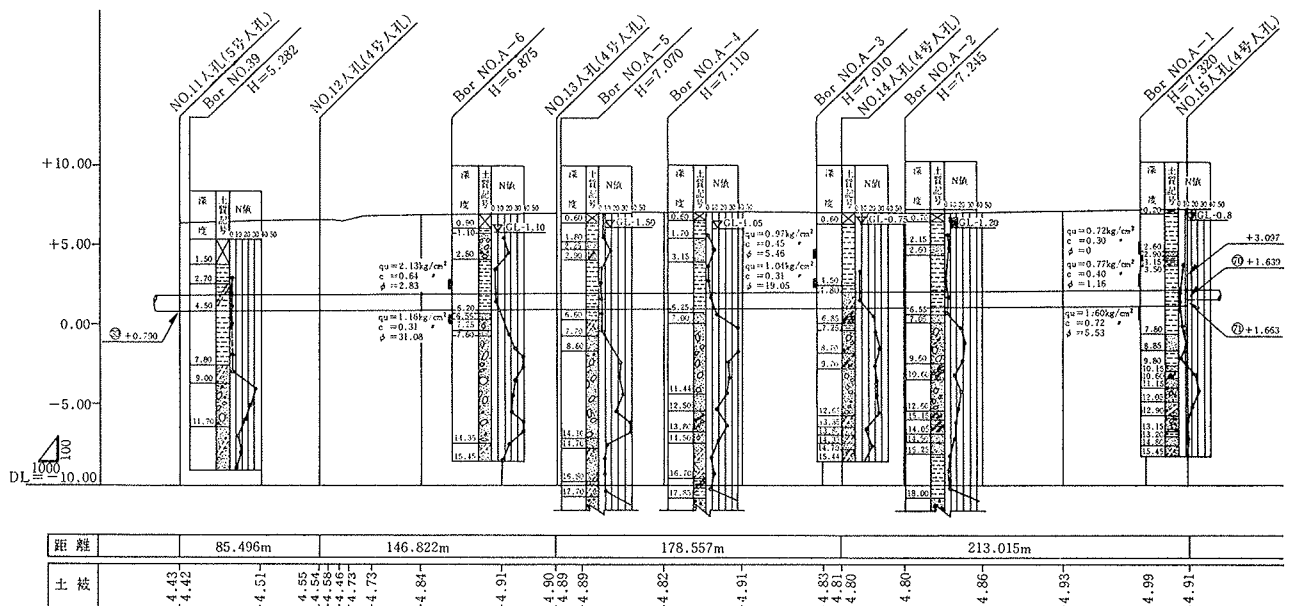


図-1 路線の地質縦断面

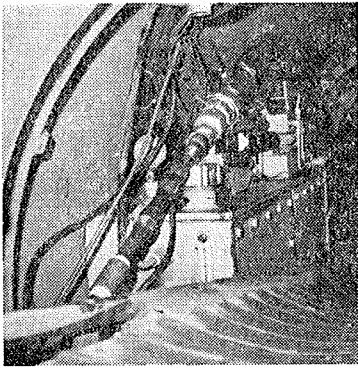
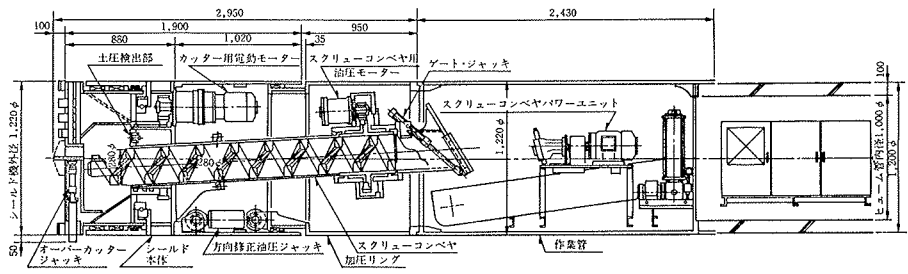


写真-1 小型発泡器



	シールド方向掘削用	カッター駆動用	スクリーコンベヤ駆動用
方向性圧ジャッキ	30t×300kg/cm ² ×30cm ² ×4本	形 状 扇形支持・左右両面駆動	羽根径×ヒッチ φ285mm×280mm
オーバークラップジャッキ	1.7t×140kg/cm ² ×55cm ² ×1本	トルク 定格2.54t-m 120%時3.05t-m	母 材 炭 素 4.6cm ² /h
		回 転 数 3.85r.p.m	回転数×トルク 10r.p.m×764kgm
		モーター 270kg×12.1r.p.m×220V×3台 (3.7kW電動機+1/119.5磁送機)	モーター 121kg×250kg/cm ² ×1台
パネワイド	油圧ポンプ 2.6ℓ/min×300kg/cm ²		油圧ポンプ 19ℓ/min×250kg/cm ²
電動機	1.5kW×4P×220V		電動機 7.5kW×4P×220V
台 数	1台		1台

図-2 周辺支持型のシールドマシン (タイプ I)

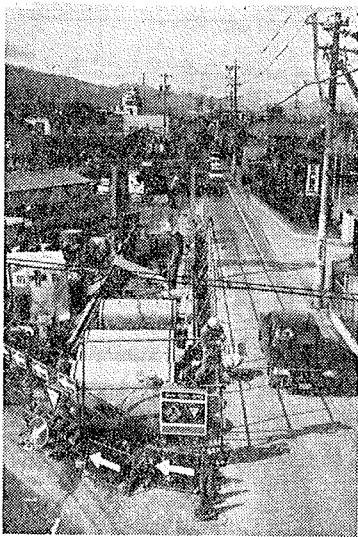
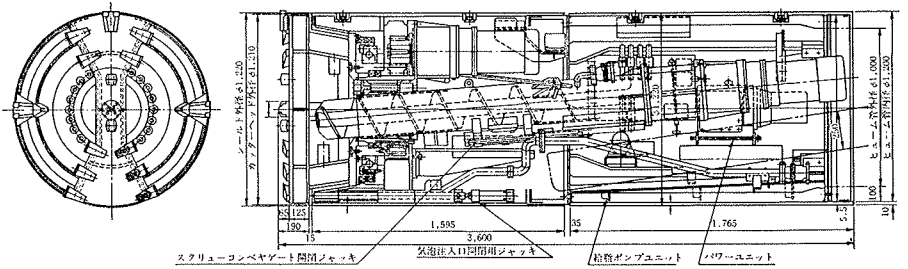


写真-2 立坑全景



	シールド圧ジャッキ関係仕様	カッター関係仕様	スクリーコンベヤ関係仕様
扇形ジャッキ	150t×1200t×1-4本	形 状 扇形ドック形	形 状 外径267φmm ヒッチφ250mm
ステアリングジャッキ	30t×350kg/cm ² ×100cm ² ×4本	トルク 最大3.4t-m	トルク 最大3,500kg-m
同上油圧ポンプ	電圧270V×2.6ℓ/min×52kg/cm ² ×1台	回 転 数 最大3.1r.p.m	回 転 数 3~29r.p.m
電動機	1.5kW×6p×1台	電動機 3.7kW×6p×3台	電動機 7.5kW×6p×1台

図-3 中間支持型のシールドマシン (タイプ II)

3. 施工結果

気泡シールド工法は、他工法に代ってA区間の最後で試みに用いられた結果、かなりの効果が認められて他区間へ本格的に適用された。図-4に概略結果を示す。

3.1. 気泡シールド工法の試用

区間Aの施工は、タイプIのシールドマシンによって無注入で開始された。ヒューム管で12本目の掘進から推進速度は4cm/min以下となって水の注入を行なって掘進した。しかし、20~25本目付近になると、1~2mm/min、カッタートルクは最大の3.05tf-mとなり、掘進不能に陥った。そこで、添加材の注入を検討したところ、地山は粘性土が主で、泥漿材の注入では、坑内を汚し排土の処分にも問題があるので、気泡が試用された。

気泡の注入の結果、湧水が減少し、カッタートルクも50%以下となり、推進速度は7~9cm/minとこれまでの最大を記録した。排土をみると、気泡使用による体積増加もほとんど無く、土の状態も気泡注入前より水分が少なく、気泡の付着はバケット内で若干見られるが立坑上

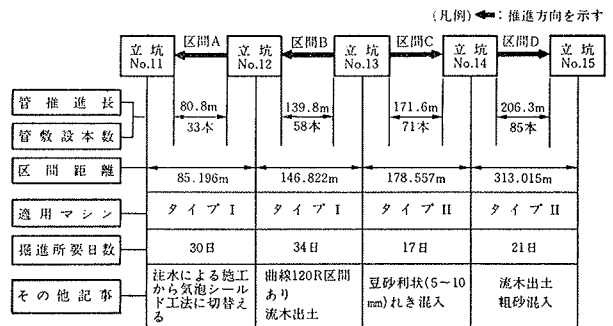


図-4 施工の概略結果

のダンプトラックにあげられた後は、ほとんど消滅して無処理で建設残土として土捨場へ処分できた。シールドの到達直後、土圧室内への粘性土の付着状況も調査したが壁面などへの圧密付着は全く無かった。

3.2. 他区間への本格的な適用

3.2.1. 区間Bの施工 区間Aの施工後、タイプIのシールドマシンの開口率を25%から55%に拡大して当区間で用いた。ボーリング調査結果から見ると、地山の粘

着力 $C=0.84 \text{ kgf/cm}^2$ 、一軸圧縮強度 $qu=2.13 \text{ kgf/cm}^2$ と、特に、流動性が他区間に比べてもより小さい。実際、気泡注入の段取ができずに施工した推進管 No. 1 では、カッターを回転しながらシールドマシンを前進させようとしても全く土も出て来ず、停止状態が10~15分間程続いた。次に、排土されて10~15 cm 程推進できるが、再び止った。これは、土圧室内に取り入れられた土の流動性の不足に対して、掘削土を地山に押し付けカッター回転でもんで流動状態を改善している行程を示し、前進、停止を繰り返して掘削できた。

気泡の注入によって、掘進は連続的にでき、推進速度 2~6 cm/min においてカッタートルクが 1.6~2.5 tf·m (定格トルク) であった。排出土のスランプは 2.5~4cm、含水比が25~34%で、A区間および他区間と同様に土砂を処分できた。図-5には、B区間の初期掘進時のデータを、また、表-2には排出土の粒度を他区間も含めて示す。

3.2.2. 区間 C, Dの施工 区間Bで、工程がやや遅れぎみであったことから、当地盤に実績のあったタイプIIをC, D区間に投入した。カッタートルク装備能力で、タイプIの1.11倍を有する。区間Cにおける掘進記録を図-6に示す。両区間とも最初の2~3本目までは気泡の注入なしに掘進したが、カッタートルクが 3.4 tf·m と上限に達し、推進速度も小さく、気泡注入を開始した。

気泡注入によって、1.7~2.4 tf·m とカッタートルクは下がり、推進速度も平均 6~7 cm/min と順調で、土圧も 0.7~1.0 kgf/cm² と安定した。区間Cでは5~10mmのレキ、Dでは粗砂が粘性土に混入したが、地下水の湧水などのトラブルもなく施工でき、計画工程内に工事を完了できた。なお、気泡混合率は、区間Cで33%、区間Dで36%であった。また、気泡の使用による環境に与える影響を調べるために、発進立坑からの排水についての

採取位置		採取位置					
		A-25	B-4	C-2	C-48	D-9	D-41
粒度特性	レキ分 %	0	0	0	0	0	2
	砂分 %	28	32	11	24	1	37
	シルト分 %	38	42	47	37	46	24
	粘土分以下 %	34	26	42	39	53	37
コンシステンシー	液性限界 WL	24.3	26.4	27.7	30.7	-	44.6
	塑性限界 WP	15.5	17.4	17.7	17.4	-	22.4
	塑性指数 IP	8.8	9.0	10.0	13.3	-	22.2
	液性指数 IL	1.148	1.239	0.89	0.774	-	0.491
締固性	最適含水比 Wopt %	-	-	19.9	21.7	24.7	21.9
	最大乾燥密度 $\rho_{dmax} \text{ t/m}^3$	-	-	1.651	1.652	1.427	1.608
採取土砂含水比 W %		25.6	29.0	26.6	27.7	36.0	33.3

表-2 排出土砂についての土質試験結果

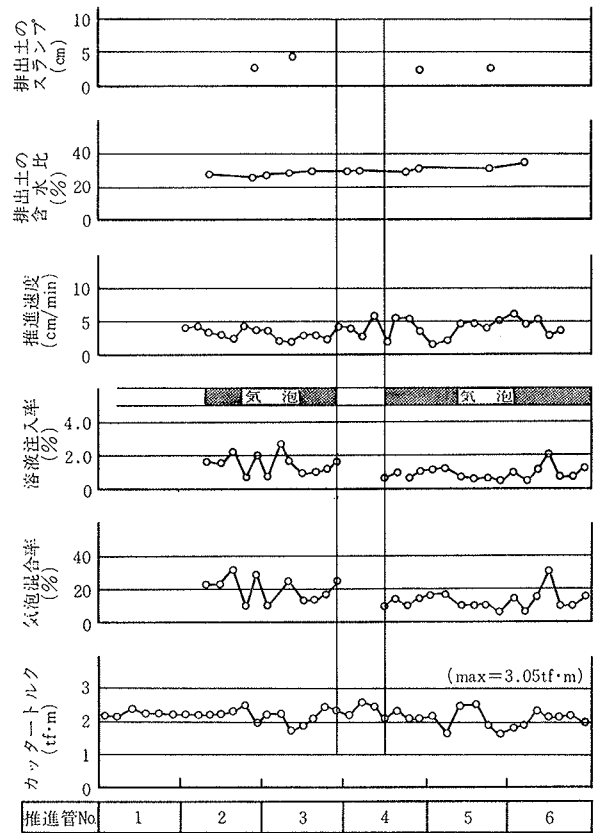


図-5 B区間の初期掘進記録

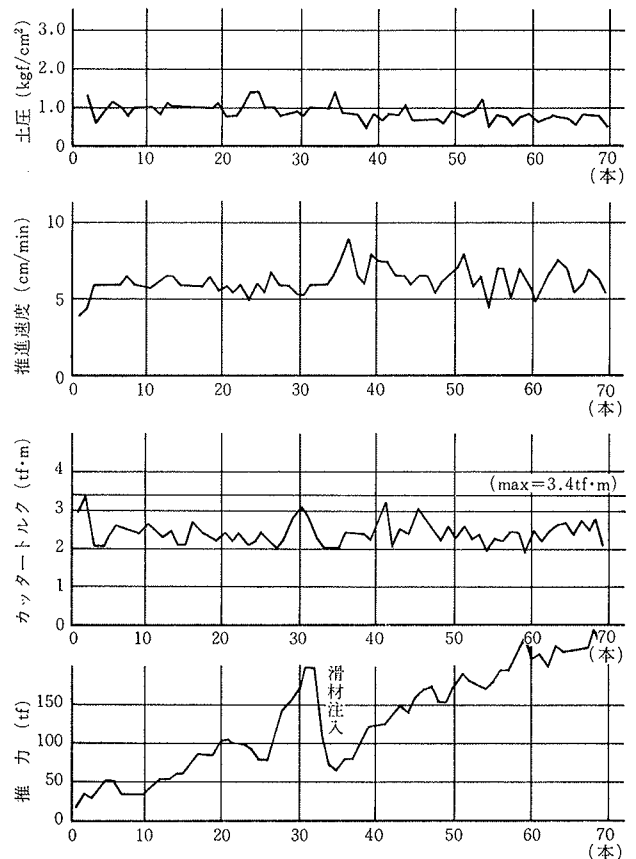


図-6 C区間の掘進記録

COD, pH を検査した。この結果, pH は7.3~8.0, COD は, 5~20 ppm であった。

4. 土質と気泡の混入についての検討

4.1. 粘性土における混入

この工事での掘削対象は粘性土が主体であって, 推進速度 2 cm/min 以下を除くと, 排出土は土塊相互の間隙に僅かに気泡の痕跡が見られる程度であった(写真-3 参照)。気泡の土塊内への混入は無かったが, B, C, D 区間で砂分が30%前後と多くなった際には, 粘性土が細くなり気泡の混合もかなり進んだ。また, 注入位置が切羽に近いタイプ II では効果が瞬時に現われ, 中間支持型であった為に比較的, 気泡の混入が進んだ。粘性土への気泡の混りにくさは, 強制練ミキサーで気泡と関東ロームとを攪拌した場合にも見られ, 川砂では3分程度で十分混合されるものが, 10分以上も要し, 未だ気泡が浮く。

これらから, 粘性土への気泡の混入は, 土塊の間隙と土圧室内壁と土砂との間に作用するものと考え。従って, 気泡混合率も, B 区間の一部を除いて, 約35~40%と少なかった。

4.2. 砂・レキにおける混入

区間 C では 5~10 mm の豆砂利状のレキが, D では粗砂がシルト粘土に混って排土されたが, これら土質が単独で存在するときの気泡の混入状態を模型実験で調べた。

パイプ内 ($\phi 100 \times 1100^u$ mm) に砕石 20 mm を詰めた後, 1.5 kgf/cm² の一定圧で水を封入して, 気泡を注入した。良質の気泡がレキ中を浸透し, 間隙水と置き換わった(写真-4 参照)。均等係数 $U_c \approx 2$ の砂で同じ実験を行なったところ, 砂との接触部分に若干気泡が浸透した。また, パイプ内壁に沿ってできる水みちに気泡が流れ込むが, ほとんど消泡状態に近く, 一定圧制御用のバルブからは水と圧縮空気が流出した。

以上のように, レキ中への気泡の混入は容易で, 砂への混入には, シールドマシンの土圧室内での積極的な攪拌作用が必要である。

5. むすび

この工事において, 初めて気泡シールド工法を現場に実用化することができ, 延長 624 m, 掘削外径 1,220 mm の下水道管敷設工事を工期内に無事完了できた。

当工事で見られた気泡シールドの効果の主なものをもとめる。

- (1) カッタートルクの軽減と推進速度の上昇が可能
- (2) 土圧室内の土圧を安定保持して掘進できた
- (3) 排出土の性状は, 無注入時と比べてほとんど変わ

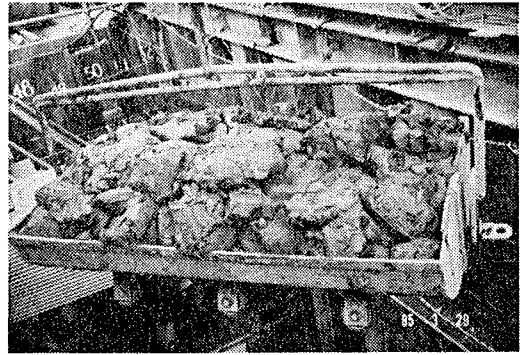


写真-3 粘性土の排出状態

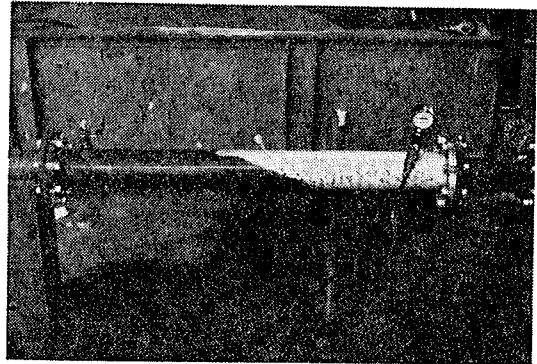


写真-4 滞水レキ (20mm 砕石) への気泡の混入状態

らず, 建設残土として無処理で処分できた

(4) 気泡注入設備は小規模で狭い敷地に対応できた一方, 気泡シールド工法の適用には, 気泡注入位置, シールドマシンの形状などを設計段階で十分検討しなければならぬことも分かった。

最後に, この工法の適用において, 大垣市水道部下水道課の上田道夫氏をはじめとする企業主の皆様および大林・土屋建設工業共同企業体の関係者の方々から, 多大な御援助を戴いたことを記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 斎藤, 藤原, 羽生田, 山下: 土圧型シールドにおける気泡混入により掘削土の流動性を高める推進実験, 大林組技術研究所報, No. 21, (1980), pp. 105~109
- 2) 斎藤, 藤原, 羽生田, 山下: 気泡シールド工法に関する現場実験(その1), 大林組技術研究所報, No. 24, (1982), pp. 97~101
- 3) 藤原, 羽生田, 山下, 山本, 小坂: 気泡シールドの現場適用実験について, 第17回土質工学研究発表会講演集, (昭和57. 6), pp. 1281~1284
- 4) 上田, 藤原, 羽生田, 山田: 気泡シールド工法による下水道工事, 建設の機械化, No. 426, (1985. 8), pp. 3~10