

# ART ドレーンを用いた路盤排水によるトンネル坑内仮設道路の トラフィカビリティー確保

高橋 真一 西林 清茂  
山岸 克彰

## Application of the ART-DRAIN to Attain Trafficability in a Tunnel

Shinichi Takahashi Kiyoshige Nishibayashi  
Katsuaki Yamagishi

### Abstract

Nearly all temporary roads inside a tunnel are constructed using muck. If seepage water appears on the road, trafficability worsens.

In order to attain trafficability, a highly compressible geotextile called "The ART-DRAIN" has been developed for drainage. The ART-DRAIN is characterized by high permeability. Several site experiments using the ART-DRAIN have been conducted, and results indicate that roads using the ART-DRAIN run dry and provide good trafficability.

### 概要

トンネル内の仮設道路は、掘削によって発生する「ずり」を利用して路盤を構築する場合が多い。そのため、路盤材は、地山の土質特性に大きく依存している。含水比の上昇で軟泥化しやすいずりを利用する場合、路盤への湧水が発生すると、車両走行による「わだち」が大きくなったり、泥状化したりとトラフィカビリティーが極端に低下することが多い。そこで、トンネル坑内のトラフィカビリティーに大きな影響を及ぼす浸透水を効率よく排水するため、特に耐圧性や目詰まり防止に新しい発想を盛り込んだジオテキスタイル排水材（呼称ARTドレーン）を開発し、路盤排水に適用した。いくつかの工事中のトンネル内にARTドレーンを敷設した結果、効率よい浸透水の集排水、路盤の支持力維持が確認され、トンネル坑内の路面のトラフィカビリティーの改善効果が得られた。

### 1. はじめに

トンネル工事中の坑内工事用道路は、掘削用重量機械やずり出し用重量機械の頻繁な走行によって大きな繰返し荷重を受けるため、地山条件によってはわだちが発生し、特に湧水箇所付近においては、泥状となりトラフィカビリティー確保が困難となる。特に火山性灰土やシルト、粘性土から成る地山ではこの傾向が大きい。トラフィカビリティー確保の対策として、従来、① 鋼板の敷設、② 吹き付けコンクリート舗装、③ 良質な購入砕石の投入、を用いる場合が多い。しかし、コンクリート舗装では撤去処分の問題、砕石では購入処分などのコストの問題、鋼板でも湧水箇所の問題などを抱えており、現実的には、掘削ずりを敷設したままの路面であることがほとんどである。

坑内の排水対策は、側壁に沿って掘り込んだ簡単な側溝や釜場排水などが一般的である。しかし、湧水が多い所では路盤表面への湧水の浸出を抑える効果は少ない。その結果、図-1に示すような路面の泥状化を招き、ト

ラフィカビリティーが悪化するため維持管理に多くの労力を要しているのが現状である。

この報文は、坑内仮設道路の浸透水を効率よく排水することによって路面のトラフィカビリティーを改善する

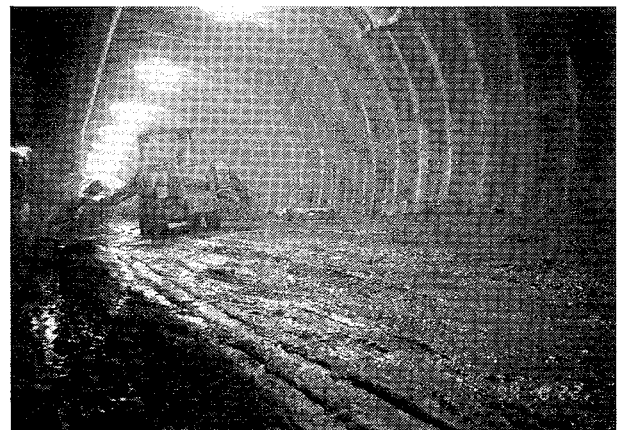


図-1 湧水が発生している路盤状況

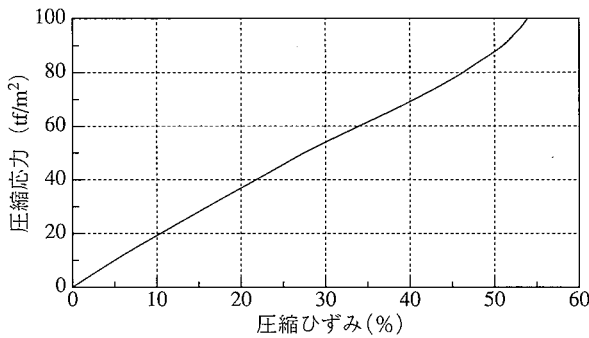


図-2 ART ドレーンの耐圧性

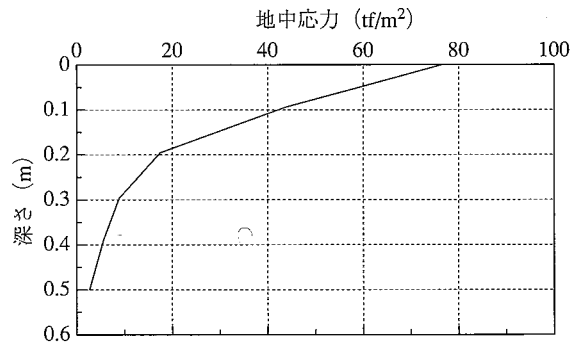


図-3 車両荷重による地中応力の分布

路盤安定工法の確立を目指して開発したジオテキスタイル排水材 (ART ドレーン) の特徴と、路盤への敷設適用効果について示したものである。

## 2. ジオテキスタイル排水材 (ART ドレーン) の特徴

### 2.1 浸透水排水材に必要な機能

排水材は、

- ① 必要な排水性 (荷重載荷時)
- ② 長期間にわたって周辺から多量の土砂が流出しないフィルター機能
- ③ 顕著な目詰まりを防止するフィルター機能を兼ね備える必要がある。

そのため、材料の選定条件についてこれまで多くの検討が行われているが、最も多い自然材料の場合、実際には目詰まりしたり、また良質な材料が入手困難な場合が多い。これに対して排水材にジオテキスタイルを適用すると、排水部とフィルター部に対して各々適切な材料の選定が行え、しかも安定した品質を大量に確保できる。

以下、室内試験、模型実験の結果から得られた排水材の耐圧性、排水性や目詰まり耐久性、長期排水性の検討結果を示す。

### 2.2 耐圧性

図-2 は、ART ドレーンの圧縮試験結果の一例である。載荷荷重の増加とともにほぼ直線的に圧縮量が増加し、破壊を示すような変形特性は生じていない。圧縮ひずみ20%時を一つの目安と考えると耐圧荷重は約40 tf/m<sup>2</sup>である。この耐圧性は、従来の大きな排水断面を有するジオテキスタイルと比べて4~10倍程度大きい。

図-3 は、車両荷重が載荷された場合の地中応力の分布である。この地中応力は吉見らの方法<sup>1)</sup>を用い算定した。ART ドレーンの敷設深さを30~50 cm と想定した場合、ART ドレーンが受ける荷重の大きさは12~26 tf/m<sup>2</sup>となる。

一般にジオテキスタイルは、排水性の評価が単位動水勾配、単位幅、単位時間当たりの通水量で表される「通水性能 (単位:cm<sup>3</sup>/sec)」<sup>2)</sup>で評価されるように、荷重状態により厚さの変化を想定している。

ART ドレーンを仮設道路の比較的浅い30~50 cmの深さに設置した場合、車両荷重によってART ドレーンに生じる圧縮ひずみは6~13%程度であるので、上載荷重の載荷時でも断面の減少量は少なく、十分な排水断面を確保することが可能である。

繰返し走行荷重が載荷される条件下でのART ドレーンの耐圧耐久性を調べるために、ART ドレーンを敷設した実験ヤードで車両走行実験を行った。ART ドレーン上の覆土厚さは20, 40 cmとした。走行車両数は、11トンダンプトラックを中心に延べ800台であった。走行後、敷設したART ドレーンを回収して厚さや圧縮特性の変化を調べた。その結果、ART ドレーンの厚さの変化はほとんどなく、また圧縮強度の減少は、ART ドレーンの土被り厚さ20 cmの場合約3%、土被り厚さ40 cmの場合約1%と非常に小さいことがわかった。この結果、ART ドレーンを土被り厚さ20 cm以上で敷設すれば、繰返し荷重条件下でも大きな耐圧性を発揮することが確認できた。

### 2.3 排水性

ART ドレーンの面内方向定水位透水試験を行い、通水能力を求めた。用いたART ドレーン供試体の寸法は、幅9.7 cm、厚さ1.3 cm、長さ約2 mである。供試体以外での損失水頭の発生を抑えるため、給水側には直径約45 cm、高さ約60 cmの水槽、また排水側には直径約50 cm、高さ約50 cmの水槽から直接給水、排水が行えるようにして試験を行った。水頭差は、給水タンク、排水タンクの水位をスタンドパイプを利用して0.1 mm単位で計測した。

供試体の空隙率は約85%と大きく、水の流れの抵抗がほとんどない一種の管路のような状態であると考えられる。そのため排水性の評価方法として、ダルシー則の適用は適切でないが、従来の排水層に用いられる砂質材料と比較するため、参考値として透水係数を算出した。図-4 は、動水勾配*i*と透水係数*k*の関係である。透水係数は動水勾配の減少に伴って*k*=100~1,000 cm/secと増加している。*k*=10<sup>-2</sup> cm/secの比較的透水性が良好な砂質土に比べると10,000倍以上と非常に高い透水性を有していることが確認できた。

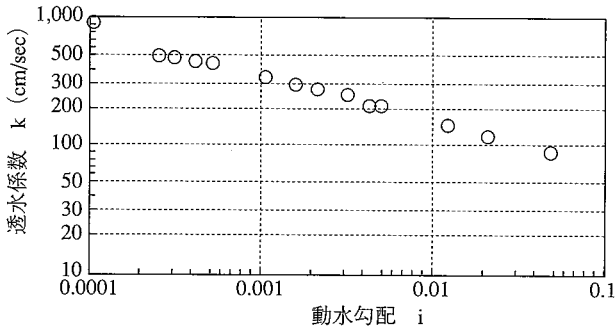


図-4 面内透水試験結果

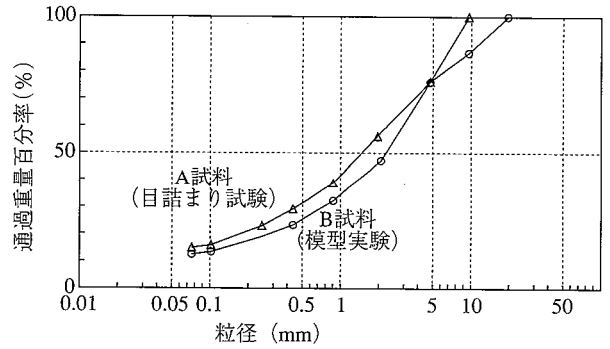


図-6 粒径加積曲線

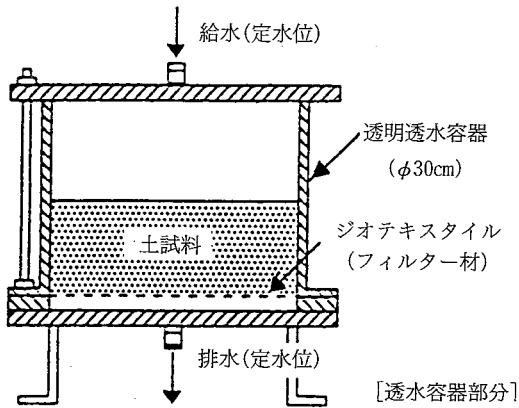


図-5 ジオテキスタイル・土複合透水試験装置

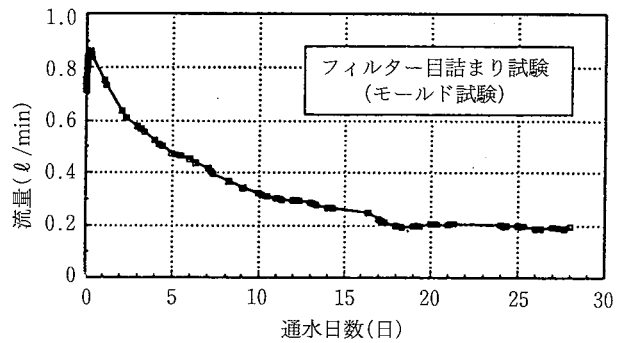


図-7 流量の経時変化 (モールド試験)

#### 2.4 目詰り耐久性

目詰り耐久性は、ジオテキスタイル・土複合透水試験によって検討した。図-5 に試験装置を示す。φ30 cm のアクリル円筒を用い、ART ドレーンで用いるフィルター部を固定した上に、厚さ 10 cm の土試料部分を締めて設けた。水頭差は 10 cm (動水勾配  $i=1$ ) で定水位透水試験を行った。

図-6 に試料の粒度特性を示す。使用したフィルターはポリエステル素材の織布で有効径  $O_f$  (ここで、 $O_f$  はフィルター通過土の  $D_{95}$  で表されるフィルターの径を示す) は、 $O_f=0.6$  mm である。なお、 $O_f$  と対象土の粒径の関係はフィルターの選定条件の一つである式(1)を満足している。

$$4D_{15} \leq O_f \leq 1.25D_{85} \quad \dots\dots(1)$$

図-7 は、流量の経時変化である。時間の経過に伴って流量が17日目頃まで単調に低下するが、その後は流量がほぼ一定量となり変化が少ない。試験開始後の排水量の減少は、土試料内の透水性の変化によるもので、フィルターの目詰りによる結果ではないと考えている。

図-8 は、透水試験終了後、深さ 1 cm 間隔で調べた土試料の細粒分含有率の分布である。試験の結果ではフィルター近傍約 2 cm の範囲で細粒分含有率とその直上に比べ20~40%減少している。フィルターの有効径  $O_f$  が比

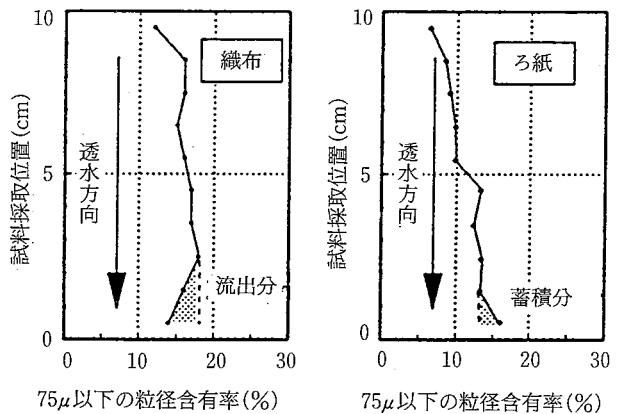


図-8 試験後の細粒分含有率の深度分布

較的大きいことによって、フィルターに流入する細粒分は留まることなく通過でき、フィルター近傍では細粒分が減少したと考えられる。

細粒分の流出範囲を、フィルターを通過した土重量 (137 g) から試算する。約 5% 流出したと仮定すると流出範囲は深さ約 2 cm となり、細粒分の減少した深さと一致する。これらの結果から、細粒分流出の範囲はフィルター近傍だけで生じていると考えられる。

図中には、土試料が異なる試験結果ではあるが、フィ

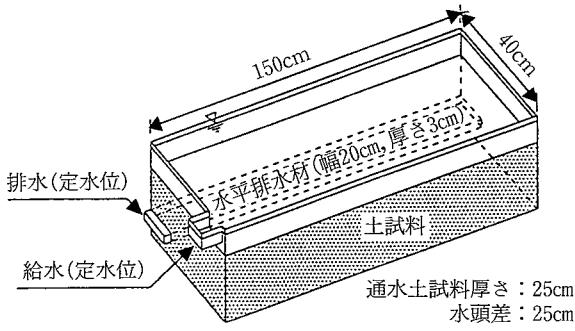


図-9 土槽を用いた室内実験

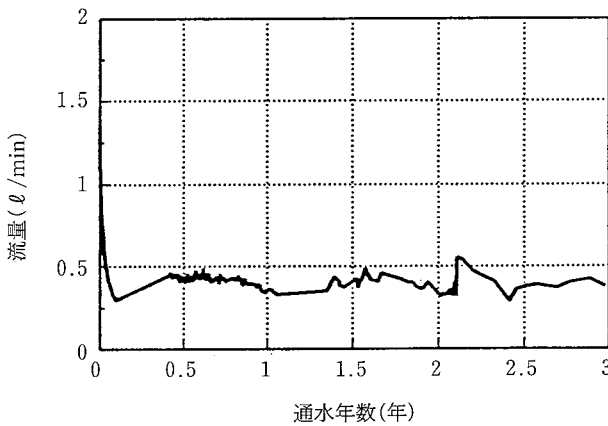


図-10 流量の経時変化 (土槽実験)

ろター材にろ紙を用いた試験結果も示した。ろ紙表面付近で細粒分が増加している。ろ紙の $O_f$ は、0.048 mm のガラスビーズを用いた乾式孔径分布試験でも通過分がないほど小さい。そのため、透水試験では、ろ紙を通過する土粒子は非常に少なく、ろ紙表面とその近傍に細粒分が多く蓄積したものと考えられる。

フィルターの目詰まりは、一般に土試料からフィルターに流入してくる細流分がフィルター内やその表面付近に停留することが大きな原因と考えられている。上記の実験結果から、 $O_f$ が小さく細粒分が通過しにくいフィルター材では、ろ紙を用いた実験結果のように細粒分が蓄積され目詰まりが発生しやすい状態に陥りやすいのに対して、 $O_f$ が大きなフィルターではそのような状態は発生せず、フィルター部は常に透水性が良好な状態を維持できることが実験的に確認できた。

### 2.5 長期排水性

図-9は、土槽を用いた長期排水模型実験装置の概要である。土槽内にARTドレーン(幅20cm, 厚さ3cm, 長さ150cm)を土被り厚さ20cmで敷設し、動水勾配が1となる水頭差20cmの定水位状態で長期間排水実験を行った。給水は水道水を使用した。

図-10は、排水量の経時変化である。排水開始後30日程度でほぼ定常状態となり、その後約3年間、同程度の排水量となっており、ARTドレーンの良好な長期排

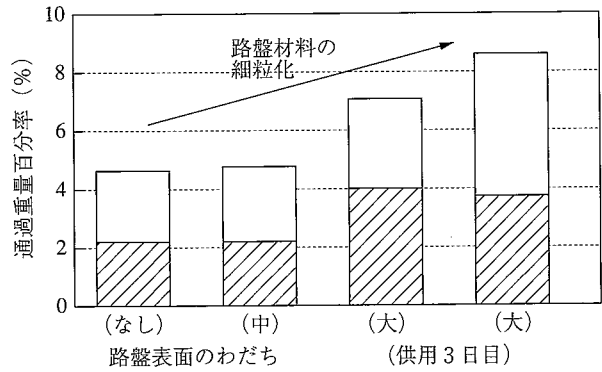


図-11 路盤材の粒度分布

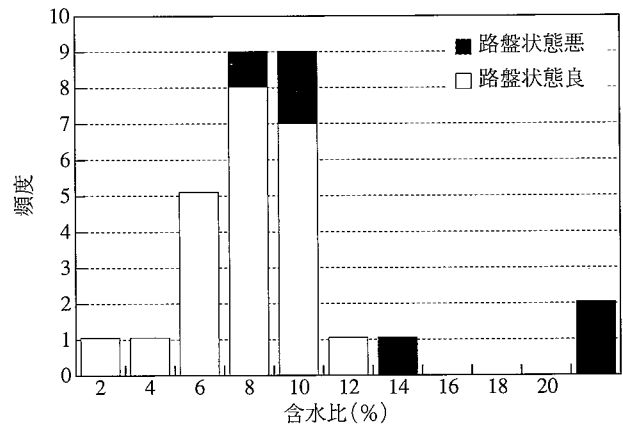


図-12 路盤表面の含水比

水性が確認できた。このことは、フィルターを通過した土粒子によって面内通水の阻害が生じていないことを明らかにしている。また、別の実験の実験後の観察からドレーン内への細粒分の流入量は下部に薄く分布する程度で少なく、排水を阻害しないことを確認している。

## 3. ARTドレーンを用いたトンネル坑内仮設道路のトラフィカビリティー改善

### 3.1 湧水が発生するトンネル坑内の路面の状態

前述の図-1で示したような湧水が発生するトンネルでは、路面に大きなわだちが発生し、路面の補修無しでは所定のトラフィカビリティー確保が困難となる。湧水が少なかったり、限定された場所からの湧水発生であっても、トラフィカビリティーの悪化する範囲は車両走行に伴って大きくなる傾向が経験的に得られている。

図-11は、チャート層が主体のトンネル工事現場の路盤表面付近から採取した試料の細粒分含有率と路面状況の関係である。わだちの発生量が大きくトラフィカビリティーが悪い所では、トラフィカビリティーが良好な所に比べ細粒分の含有割合が多くなっている傾向が認められる。

図-12は、路盤の状態と路盤材の含水比の関係の一例である。トラフィカビリティーが悪い場所ほど含水比が高くなっている傾向が認められる。

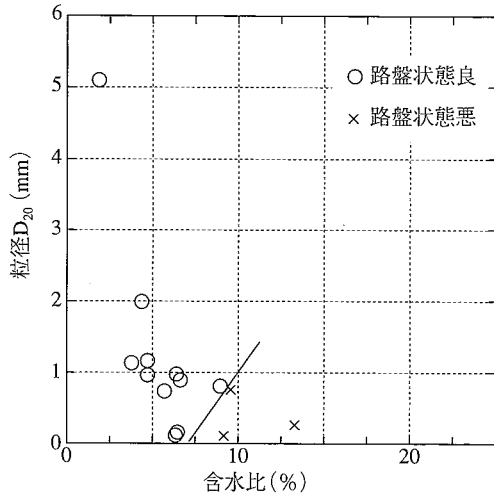


図-13 路盤材の物理特性と路盤状態 (チャート)

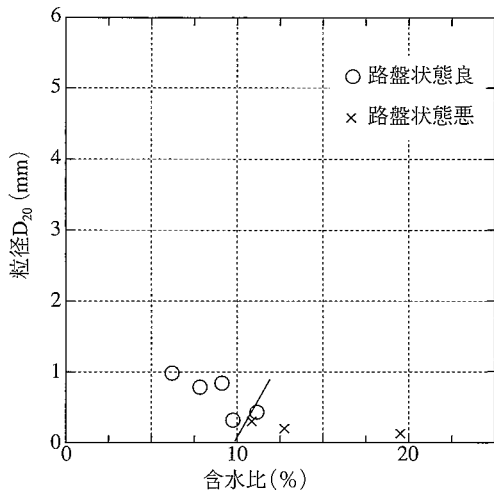


図-14 路盤材の物理特性と路盤状態 (風化花崗岩)

図-13は、路盤表面から採取した試料の  $D_{20}$  と含水比の関係である。路盤の良否は、図中に引いた線付近を境としてほぼ区分することができるとともに、細粒分が多い試料ほどより少ない含水比の状態からトラフィカビリティーの維持が困難になっていることがわかる。

図-14は、地山が風化花崗岩であるトンネル内の路盤の調査結果である。図-13と同様の傾向が認められるが、路盤の良否の境界となる含水比の大きさは11%付近と若干大きな値を示している。このように、路面の状況と土質特性の相関性は、使用しているずりの土質特性によって異なることがわかる。

図-15は、現場発生土の強度特性の一例として、粘板岩とチャートの互層部の掘削で発生したずりを用い、CBR試験装置による貫入試験を行った結果をCBR値で整理したものである。最適含水比  $w_{opt}$  を越える含水比の増加は強度低下に大きく影響することがわかる。

以上の路盤表面の調査結果から、① 細粒分が多い路盤材の使用、または車両走行による路盤材の細粒化、② 湧水等による含水状態の上昇、③ 路盤強度の低下、の過程でトラフィカビリティーが悪化すると考えられる。

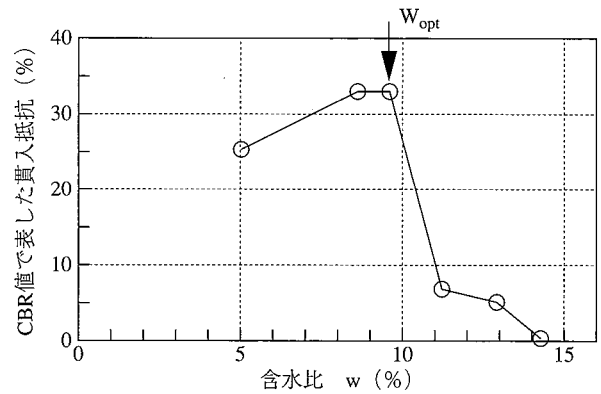


図-15 現場発生土の貫入試験結果

表-1 ジオテキスタイルの仕様

寸法	厚さ 3 cm, 幅 24 cm
コア材	ポリプロピレン製 耐圧 40 tf/m <sup>2</sup> (20%圧縮時)
フィルター	ポリエステル製織布 (Of=0.9 mm)

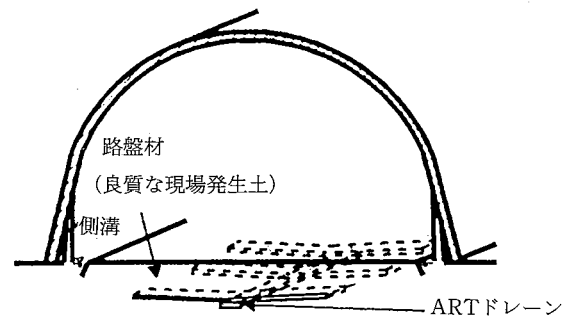


図-16 施工状況

### 3.2 トラフィカビリティー改善適用例

京都市高速鉄道烏丸線延伸工事におけるトンネル工事現場において路盤排水対策としてARTドレーンを適用した。トンネルの幅約10m、岩質はチャートや頁岩が主体で、掘削方法は機械式である。現地では路盤面から湧水が発生し、側溝や釜場を用いた排水対策だけでは路面に発生する湧水を十分に処理できなかった。そのため、路盤のトラフィカビリティーを確保するため頻繁な路盤の維持管理が必要であった。

当該トンネルの掘削方法であるベンチカット工法ではトンネル内の走行路の高さは、施工の進行とともに切り下がっていく。そのため、仮設道路としての使用期間が最も長い下半掘削時の路面のトラフィカビリティー確保にARTドレーンを適用した。使用したARTドレーンの仕様を表-1に示す。

図-16は、敷設状況である。ARTドレーンの配置は、最終掘削断面形状、排水効率を考慮して決定した。集水した浸透水は、トンネル勾配によって自然に下流側に設けた釜場に集まる。釜場からは水中ポンプを用いて場外排出を行った。ARTドレーン敷設後は、現場掘削発生土

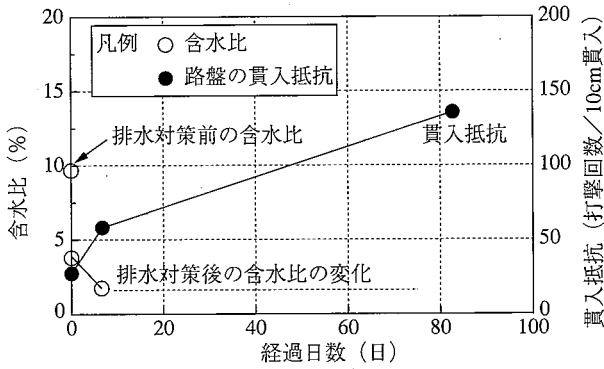


図-17 路盤の含水比と動的貫入抵抗の変化

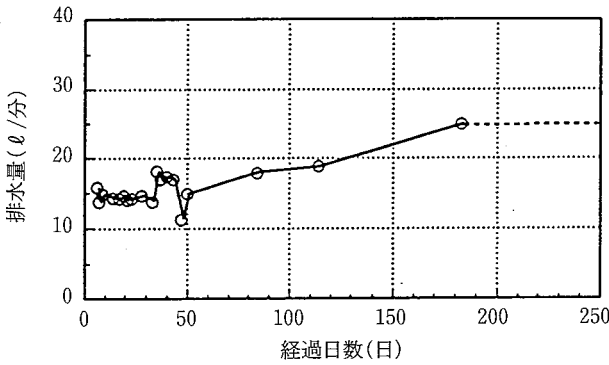


図-18 排水量の経時変化

を埋戻し、バックホウなどのキャタピラ式建設機械を用いて締固めを兼ねた路盤表面整形を行った。

図-17は、路盤表面の含水比と土研式動的貫入試験を用いて調べた路盤強度の経時変化である。路盤表面へ湧水浸出が原因となる含水比の上昇は認められないとともに、坑内空気の入替えのための送風によって、表面の乾燥が進んだ状況が確認できる。路盤強度は、日数の経過とともに大きくなっており、トラフィカビリティが確保されていることが定量的に把握できる。貫入抵抗の上昇は、掘削土搬出の11トンダンプトラックの繰返し走行が路盤締固め作用となった結果と考えられる。

図-18は、釜場に集水された浸透水量の経時変化である。敷設直後から約20リットル/分の浸透水が長期間にわたって連続的に集水されていることが確認できる。また、約1年間の路盤排水適用後に回収したARTドレーンを観察した結果、ARTドレーンのフィルター部の目詰まりは無いとともに、フィルターを通過した細粒分はドレーン下面に薄く分布し、排水断面を阻害していないことを明らかにしている。

図-19は、ARTドレーン敷設後約6カ月経過した路盤の含水比の深度分布である。ARTドレーン敷設位置の含水比が約10%と最も高く、浅くなるほど含水比は低

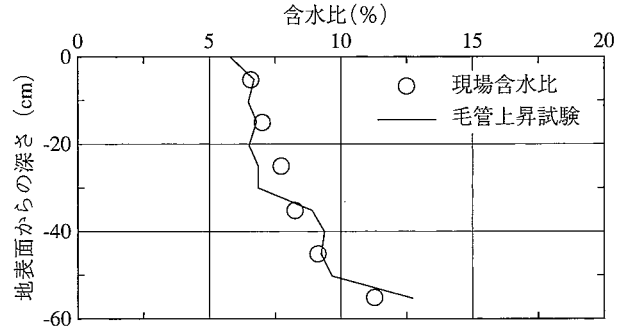


図-19 路盤における含水比の深度分布

下している。図中には同地点から採取した試料を用いて室内で行った毛管上昇実験の結果も付記した。路盤の地下水位はほぼドレーン敷設深さであったことから、ARTドレーン敷設面と室内実験での水面位置を合わせている。実際の路盤の含水比分布は、室内毛管上昇実験の結果と良く一致し、含水比上昇の主な要因が毛管水の上昇であることがわかった。毛管上昇高さの高い路盤材では、敷設深さによっては路盤表面の含水比上昇や支持力の低下が予想され、路盤材の特性を考慮した敷設深さの設定が必要となる。

#### 4. まとめ

工事中の坑内仮設道路路盤内に、耐圧性、目詰まり耐久性の大きなジオテキスタイル排水材 ARTドレーンを敷設した結果、湧水の路盤表面への侵出は抑えられ、路盤のトラフィカビリティ確保の効果が確認できた。現場発生土を利用した仮設道路路盤の安定は、比較的良質な現場発生土が有効に活用できるとともに、建設現場のドライワーク化が可能となり、現場環境の改善とともに作業能率の向上が期待できる。

今後は、この排水対策法の確立を目指し不飽和浸潤の影響や対象土質を考慮した検討を進め、トラフィカビリティ確保のメカニズムやより効率的な敷設方法について検討を重ねていきたい。

#### 謝辞

施工に際しご指導賜りました京都市交通局高速鉄道本部建設部第3建設事務所、ならびにARTドレーンの共同開発にあたりご協力を賜りました東洋紡績(株)、繊維開発(株)に対しまして謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 吉見：建築構造学大系 土質力学，彰国社，p. 57～58，(1967)
- 2) 水理特性試験方法 WG 西形，岩崎，須永，新井：「ジオテキスタイルの水理特性試験方法」について，ジオテキスタイル試験方法に関するシンポジウム，p. 9～16，(1994)