



土 木 研 究 所 資 料
第 5 7 0 号

ニッ小屋トンネル注入実験
(その1)

昭和 45 年 12 月

建 設 省 土 木 研 究 所

目 次

I トンネルの裏込めの注入一般	1
1 裏込め注入の意義	1
2 裏込め注入材料	1
3 注入機械その他	2
II 気泡モルタルによる裏込め注入実験	5
1 実験の目的	5
2 実験時期および実験場所	5
3 トンネルの状況	5
4 注入材料	10
5 気泡モルタル用機械	14
6 施工方法	14
7 調査測定項目および方法	16
8 実験結果	17
III 裏込め注入の問題点	26
IV 実験写真	28
V 附図 ボーリング柱状図集	37

ま え が き

トンネルの注入には、トンネルの周囲の地山を強化あるいは止水を目的とする地山注入と、トンネル覆工裏の空隙を填充して地山のゆるみの進行に伴なう荷重の増大を防ぐための裏込め注入とがある。前者は、主としてトンネルの掘削時に行なわれるが、トンネルの完成後に行なわれることもある。後者は、覆工コンクリートの打設後に行なわれる。

本実験は、水底トンネル掘進工法において重要な工法手段のひとつと考えられる注入工法研究の一環として、昭和43年度に福島県下の二つ小屋トンネルにおいて実施した気泡モルタルによる裏込め注入実験結果をとりまとめたものである。

実験は、注入工事を麻生フォームクリート(株)に、地質調査を(株)応用地質調査事務所に施工させたものである。現地の11月はすでに寒気厳しく、業者ともども苦労した。

実験に当り、種々御援助いただいた東北地建福島工事事務所の方々および現場監督やデータ整理の労をとっていただいた当研究室の持田技官に感謝する次第である。

昭和45年3月

トンネル研究室長 立 石 俊 一

I トンネルの裏込め注入一般

1. 裏込め注入の意義

トンネル覆工背面と地山との間には、支保工や矢板の施工上必要とする空間ややむをえず生ずる余掘りなどのため、必ずある程度の空隙が残る。

この空隙は、長年月の間に、地山のゆるみを増大させて過大な土圧となり、覆工コンクリートの亀裂やトンネルの変状、崩壊の原因となるものである。また、湧水個所においては発生した亀裂を通しての漏水原因ともなるものである。

通常、トンネルの覆工は、地山からの受働土圧の発生を考慮し、覆工コンクリートには圧縮応力のみが作用し、引張応力は生じないように設計されているので、覆工背面に大きな空隙があり、そのために主働土圧の均等分布や受働土圧の発生が期待できない場合には、当然覆工コンクリートに引張応力が働らく場合がおこり、上述のような覆工の破壊原因となる。

したがって、トンネル掘削に際して余掘りを少なくするとともに、覆工背面に空隙を残さないようにするのはトンネル施工の必要条件のひとつである。

このため、覆工の施工に当り、良質の掘削ずりやコンクリートで空隙を填充することが奨められるが、人力によるずり詰め作業は重労働かつ非効率であり、またコンクリートによる填充にしても矢板や防水シートが支障となるため、これらの方法で受働土圧を期待できるまで十分に裏込め注入することは、事実上不可能に近い。特に、覆工アーチ上部や縫地施工個所には相当の空隙が残るのが常である。

そこで、覆工の施工後に、覆工に設けた注入孔を通して適当な空隙填充材料を注入する“裏込め注入”が必要となる。

トンネルの裏込め注入は、上述のような地山のゆるみの抑制や土圧の均等分布などの空隙填充効果のみならず、覆工自体の強化や透水性の少ない材料を注入する場合には間接的に漏水防止にも役立つものであるから、すべてのトンネルは、覆工の施工後にはこれを実施し万全を期すことが望ましい。

特に、地質のわるい場合やかぶりの薄い場合、湧水のある場合などには必ず実施すべきものと思われる。

2. 裏込め注入材料

トンネルの裏込め注入に用いる材料は、空隙のすみずみまで填充させるためには流動性が大きく注入後の体積収縮が少ないことが必要であり、また、漏水防止効果をも期待する場合には透水性の小さいことが必要である。さらに、注入により地山を荒したり覆工コンクリートを傷つけたりしないよう、低圧注入のできる材料であることも必要である。この他、注入材料の選定に当っては作業効率や施工単位の点も考慮しなければならない。

裏込め注入材料としては、従来、豆砂利、乾燥砂、セメントミルク、モルタルなどが用いられている。

これらのうち、豆砂利と砂は純然たる空隙填充材料であり、地質がよい場合や空隙が大きい場合に用いて経済的であるが、これのみで十分な填充をはかるのは無理であり、また、漏水防止にはほとんど役立たぬので、これを吹込んだあとにモルタルまたはセメントミルクを注入すれば効果が大きくなる。

セメントミルクは、覆工周囲の地山の固結や止水などのため、特に完全な裏込めを必要とする場合に用いられてきた。この場合でも、上述のように大きな空隙は砂や豆砂利、あるいはモルタルで填充しておき、そのあとにセメントミルク注入を行なうのがよい。セメントミルクには、フライアッシュ、ペントナイト、水ガラスその他の薬剤を混入して用いることも多い。

現在、裏込め注入材料として最も一般的なものはモルタルである。裏込め注入材料の所要強度は、注入後の状態で 10 kg/cm^2 程度あればよいとされており、このため、フライアッシュや粘土などを混ぜてセメントの節減をはかる例が多かったが、最近これに代って気泡モルタルによる注入が盛んである。

ここで、気泡モルタルとは、起泡剤を混入することにより 10% 以上といった多量の空気量を含有させたモルタルのことで、エアモルタルまたは発泡モルタルとも呼ばれている。普通のモルタルに比し、流動性が大きく、したがって低圧注入が可能であり、また一般に填充性も良好と思われる。また、施工能力も大きいものが多い。

起泡剤としては、魚の鱗などの動物性蛋白を主原料としたマールP（アソフフォームクリート）、石油化学製品より合成されたエスコートやグラポールNo.500、松脂樹脂を主原料としたフォーミックス-Cなどが市販されている。

気泡モルタルの製造方法には、気泡とセメントモルタルまたはセメントペースト（スラリー）を別々につくり、これを連続ミキサーで混練して製造するプレフォーム方式（事前発泡方式、例：アソフフォームクリート）と、起泡剤をミキサーに入れ、水、セメント、砂などと同時に攪拌することにより空気を連行させるミックスフォーム方式（混練発泡方式、例：エスコート、グラポール、フォーミックスなどのモルタル）の2方式が行なわれている。

プレフォーム方式の気泡モルタルは、含有空気量が比較的多いので、砂を使用しないいわゆるセメント単味で用いることが多い。一方、ミックスフォーム方式のものは、砂を多量に混入しセメント使用量を少なくするもの、砂の代りに陶土を用いるものなどがある。これらの気泡モルタルは、通常のモルタルの場合と同様、フライアッシュを混入したり、高炉セメントを用いたりすることも可能である。

表-1.1に、現在一般に用いられているトンネル裏込め用気泡モルタルの種類と特長を、表-1.2にそれらの標準配合例を示す。

3. 注入機械その他

豆砂利や乾燥砂の注入には、通常、圧縮空気材料を圧送するカニフミキサー式の機械が使用される。

モルタルの注入にも、従前はカニフミキサーがよく用いられていたが、注入が断続的で圧縮空気の吹込により地山を荒らしたり、空隙が残ったりすることが多いため、最近、グラウトミキサーとグラウトポンプ（ピストン式）の組合せによることが多い。

表-1.1 トンネル裏込め用気泡モルタルの種類

モルタル名	起泡剤名	起泡剤メーカーまたは販売施工会社名	標準配合	製造方式	混練注入機械	施工能力	備考
アソウフォームクリート	マールP (液)	麻生フォームクリート(株) (施工会社)	セメント単味 細砂をC:S=1:1~1:2 程度混ぜることあり	プレフォーム 連続式	専用の製造・注入機械	10~30m ³ /h	圧送中の消泡が少ない。 起泡剤は輸入品(米, マールケミカル社製)
エスコートモルタル	エスコート (液)	(株)油脂化工社	貧配合でよく, 粗砂, 真砂土等を使用した例あり, C:S=1:5~1:8程度	ミックスフォーム バッチ式	グラウトミキサー スクリュー式ポンプ コンクリートミキサーでも可, 細砂の場合は, ピストン式ポンプでも可	4.5m ³ /h 程度	透水性がやや大きい。 エスコートは, 従前のグラリオンの改良品
グラボールモルタル	グラボール No.500 (液)	竹本油脂(株)	多治見地方産の陶土(クレイサンド)を使用C:CS=1:0.5~1:1	ミックスフォーム バッチ式	軽量モルタル用 グラウトミキサー スクリュー式ポンプ	4 m ³ /h程度	
フォーミックスモルタル	フォーミックス-O (液)	浜野繊維工業(株)	比較的貧配合 C:S=1:4~1:6	ミックスフォーム バッチ式	軽量モルタル用 グラウトミキサー スクリュー式ポンプ		

表-1.2 気泡モルタルの標準配合例

気泡モルタル名	単位セメント量	単位起泡剤量	水セメント比	生比重	空気量	圧縮強度(28日)	備考
アソウフォームクリート	350kg 250kg	1.48ℓ(1.72kg) 1.45ℓ	60% 74%	0.60 0.74	64% 60%	15kg/cm ² 15kg/cm ²	セメント単味 C:S=1:1
エスコート	130~160kg 140~180Kg 170~210Kg	セメント重量の 2.5~3% " "	120~140% 100~130% 90~100%	1.3~1.6 1.2~1.5 1.1~1.4	30 ± 5 % 40 ± 5 % 40 ± 5 %	15±5kg/cm ² 20±10kg/cm ² 25±10kg/cm ²	C:S=1:8 C:S=1:6 C:S=1:5
グラボール	338kg 290kg 239kg	6.3kg 6.2Kg 6.0Kg	W/C+cs 63% " 65% " 67%	0.83 0.82 0.80	50 % 50 % 50 %	30kg/cm ² 20 " 10 "	C:CS=1:0.5 C:CS=1:0.7 C:CS=1:1
フォーミックス	213kg 155kg	4.3kg 3.1kg	95% 130%		40 % 40 %	25kg/cm ² 15 "	C:S=1:4 C:S=1:6

気泡モルタルについては、独自の製造・注入機械を使用するもの、グラウトミキサー（軽量モルタル用に改良していることが多い）とスクリュース式ポンプとを使用するもの、一般のコンクリートミキサーやピストン式ポンプを使用できるものなど種々である。

注入圧力は、最終圧力で 8 kg/cm^2 程度以下で施工されているが、圧力を高めると地山を荒らしたり、覆工に偏圧を発生させたりすることとなるので、注入途中は $1 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ 程度以下、最終圧力で 4 kg/cm^2 程度以下の低圧とすることが望ましい。

注入の施工時期は、覆工の施工後覆工コンクリートの強度が得られたならばなるべく早い時期に行なうのが望ましく、逆巻き工法の場合には、アーチコンクリートの打設後側壁施工前に実施したい。そうすれば、側壁裏に設けた排水溝を詰まらせることもなくなる。

注入孔や注入確認孔は、覆工完成後に削孔するのでは手間を要するので、覆工施工時に予め設けておくのがよい。注入孔等の配置については、地質状況や注入材料によりそれぞれ検討する必要があるだろう。

II 気泡モルタルによる裏込め注入実験

1. 実験の目的

トンネルの裏込め注入材料として最近使用されるようになった気泡モルタルを、実際のトンネルの覆工背面に注入して、その注入効果、作業性等について調査するとともに、今後同トンネルを地山注入実験に使用するため覆工の補強をはかることを目的とする。

2. 実験時期および実験場所

(1) 実験時期

裏込め注入実験	昭和43年11月12日～18日
ボーリング調査	昭和43年11月20日～12月5日

(2) 実験場所

福島県福島市飯坂町地内 ニツ小屋トンネル

3. トンネルの状況

3.1 概 況

ニツ小屋トンネルは、旧・国道13号線栗子国道にある延長384mのトンネル（昭和9年12月竣工）であるが、昭和41年に東栗子トンネル（延長2,376m）および西栗子トンネル（延長2,675m）を含む新国道が開通したのちは殆んど利用されておらず、現在にかなり老朽化し、漏水もトンネル内各所に見られる（写真-1, 2, 3参照）。従って、本トンネルは、今回の裏込め注入実験および今後の止水を目的とする地山注入実験に好適と考えられるので、実験の対象に選定したものである。

トンネルの諸元は、次のとおりである。

- (1) 延長：384m
- (2) 縦断勾配：南側+2.5‰（192.2m）、北側-2.5‰（191.8m）
- (3) 幅員：総幅員 6.6m, 6.0m 米 （*印は、二重覆工区間、以下同じ）
車道幅員 6.0m, 5.4m 米
- (4) 高さ：5.1m, 4.8m 米
- (5) 覆工厚：60cm, 90cm 米
- (6) 標高：約700m
- (7) 土被り：最大約60m
- (8) 坑口排水量：福島方 約3ℓ/s, 米沢方6ℓ/s
- (9) 地質：

トンネル周辺に分布する地層は、栗子層および流紋岩である。栗子層は、第三紀中新世に堆積した地層で、砂岩と泥岩とからなり、流紋岩は、栗子層を貫く脈岩で、第三紀中新世の火成活動によるものと考えられている。（図-2, 3参照）

図-2.1にトンネル位置図を、図-2.2に縦断面図および標準断面図を示す。

注入実験には、本トンネルの福島側坑口より19.5 mの地点から約37 mの間二重覆工施工区間(補修区間)を選定した。

3.2 注入区間の地質

注入後、トンネル内から図-2.4に示すA、B 2断面について、直上、左斜上、右横の3孔計6孔のコアボーリングを実施し、覆工背面の地質および裏込め填充状況の確認、地山透水性の測定等を行なった。

表-2.1に、地質調査作業の概要を、表-2.2にボーリング推進長の実績を示す。

(1) 地形および地質

- ① 実験箇所は、福島側坑口近く、地表にはトンネル掘削時に崩壊したものとと思われるスリパチ状の地形がみられる。

(図-2.5 参照)。

- ② 実験区間内の2断面について実施したコアボーリングの結果は、図-2.6および附図の柱状図に示すとおりで、本区間は、栗子層と流紋岩岩脈との境界部に当り、坑奥側のA断面には流紋岩が分布し、坑口側のB断面には流紋岩と栗子層(砂岩・泥岩)が分布している(写真-4~13)。

- ③ A断面の流紋岩中には、左斜上孔(A-2)で覆工表面から5.35 m~5.85 m間および6.8 m以深に断層あるいは、それに準ずる破碎帯が確認されたが、これを除けば、風化はしているが一般に堅硬な岩である。

割れ目は、10~20 cm 間隔：部分的には1~10 cm 間隔で発達し、その面は茶褐色に変色している(写真-6, 7 参照)。

- ④ B断面は、地表に近いこともあって、



図-2.1 トンネル位置図

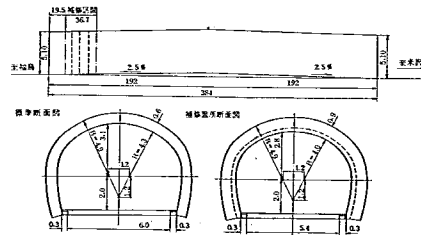


図-2.2 ニツ小屋トンネル縦断面図および標準断面図

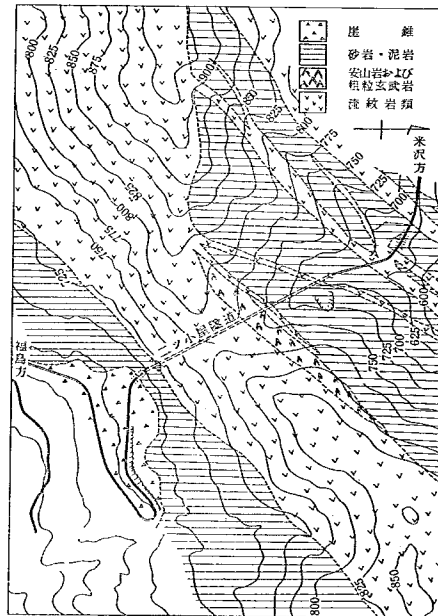


図-2.3 ニツ小屋トンネル付近地質平面図

風化がかなり進んでいる。特に、砂岩、泥岩の風化が著るしく、泥岩は茶褐色に変色し、角礫状を呈している。

B断面の直上、トンネルの天端から8 m以上は、崖錐とみなされ、岩心まで風化し、細

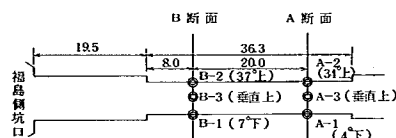


図-2.4 ボーリング孔配置図(平面図)

表-2.1 地質調査作業の概要

孔 数	3 × 2 = 6 孔
孔 径	覆工コンクリート 85mm 地山部 66mm
総掘進長	43 m (内、地山部 35.7m)
使用機械	利根ボーリング製UD-5 型 高速油圧式試錐機
コーチューブ	D-10 型ダブルコーチューブ
透水試験	シングルパッカー法 送水ポンプ容量 50ℓ/min

表-2.2 ボーリング掘進実績

断面	孔 番	覆工コンクリート	うらごめ	岩 盤	合 計
A	A-1	0.90(m)	0.00(m)	4.10(m)	5.00(m)
	A-2	0.90	0.60	6.00	7.50
	A-3	1.00	0.60	7.50	9.10
B	B-1	0.90	0.20	4.00	5.10
	B-2	1.00	0.10	6.00	7.10
	B-3	0.80	0.30	8.10	9.20
合 計		5.50	1.80	35.70	43.00

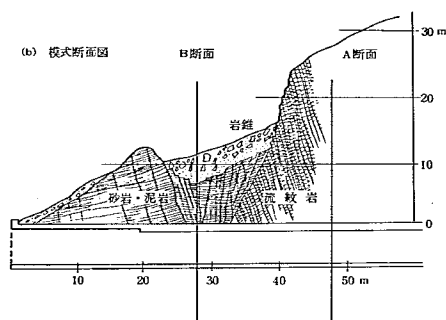
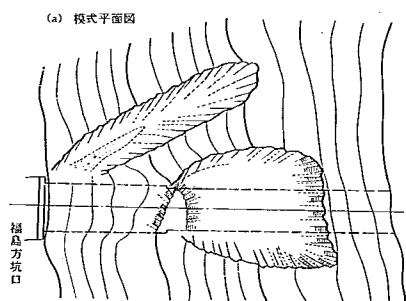


図-2.5 ニツ小屋トンネル福島 方坑口付近

片化した泥岩屑中に流紋岩の角礫を交じえている。(写真12,13 参照)。

(2) 漏水および湧水

- ① 本区間は、ニツ小屋トンネルの中でも最も漏水の多い区間であり、覆工面には湿潤箇所もしくは流滴水がいたるところにみられる。特に、覆工コンクリートの打継目からの漏水が多い(写真-2参照)。
- ② しかし、トンネル内からボーリングを行なっても湧水があったのは、A-2孔のみであり、他孔には殆んどみられない。A-2孔の湧水量測定結果は、1時間の平均で1.95ℓ/分、湧水圧は0 kg/cm²であった。
- ③ A-2孔の湧水および孔周辺の漏水は、前述の破碎帯からのものと考えられる。(図-2.7 参照)

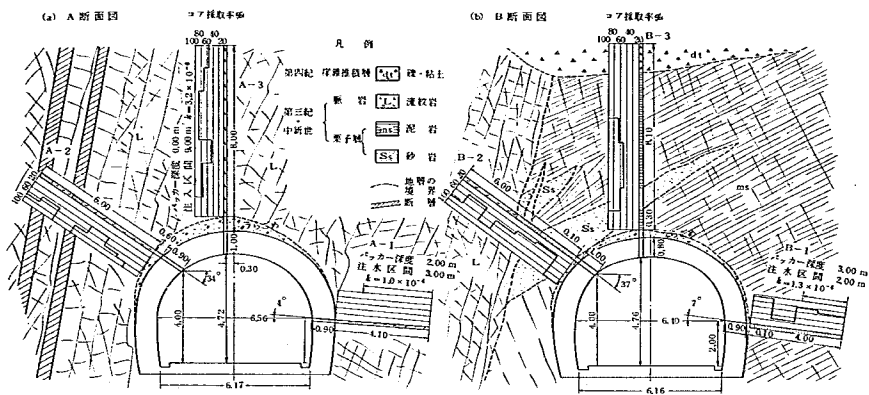


図-2.6 ニツ小屋トンネル地質断面図

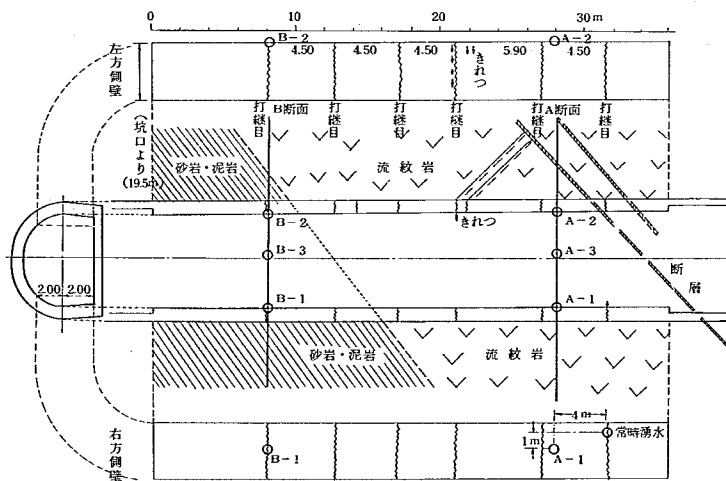


図-2.7 ニツ小屋トンネル水平地質断面図

④ A-1孔の湧水についての水質試験結果は、表-2.3に示すとおりであり、良質水と判断される。

(3) 地山透水係数

① 各ボーリング孔を利用して、図-2.8に示す方法により注水試験(写真-15~17)を実施し、次式により地山の透水係数を算出した。その結果は表-2.4に示すとおりである。

$$K = \frac{Q}{2\pi L \cdot H} \log e \frac{L}{r}$$

表-2.3 ニツ小屋トンネルA-2孔湧水分析結果

分析項目	分析値
PH	6.4
PH=4.3 Bx	0.27 me/ℓ
Na ⁺	4.7 mg/ℓ
K ⁺	0.4 "
Ca ²⁺	2.26 ppm
Mg ²⁺	1.52 "
Cl ⁻	4.97 "
SO ₄ ²⁻	2.47 "
HCO ₃	16.5 "
SiO ₂	4.6 "

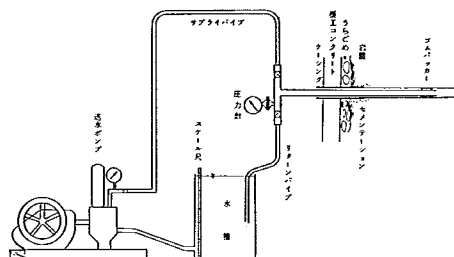


図-2.8 注水試験方法

(注) 土木研究所化学研究室の分析による。

ここに、 K : 透水係数 (cm/sec)

Q : 単位時間の注水量 (cm³/sec)

L : 透水区間の長さ (cm)

r : ボーリング孔の半径 (cm)

$$H = H_p + H_g$$

H_p : スイベル口における圧力水頭 (cm)

H_g : スイベル口より透水区間の中央に至る距離 (cm)

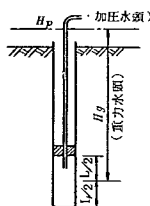


表-2.4 注水試験結果

孔番	バックー 深度(m)	注水区間 (m)	注水圧 (kg/cm ²)	注水量		透水係数 (cm/sec)	平均 (cm/sec)	備考
				(ℓ/min)	(ℓ/min·m)			
A-1	2.00	3.00	1	4.08	1.36	1.6×10^{-4}	1.0×10^{-4}	
			3	7.71	2.57	1.0 "		
			5	7.59	2.53	0.6 "		
			10	20.80	6.93	0.8 "		
A-2	2.50	5.00	0.4	32.02	6.40	(7.1×10^{-3})	—	圧力上昇せず
	4.50	3.00	0.6	32.02	10.67	(4.0×10^{-3})	—	"
A-3 (孔口)	0.00	9.00	1	0.44	0.05	1.0×10^{-5}	3.2×10^{-6}	
			3	0.24	0.03	1.5×10^{-6}		
			5	0.22	0.02	0.8 "		
			10	0.36	0.04	0.6 "		
B-1	3.00	2.00	1	4.55	2.28	2.5×10^{-4}	1.3×10^{-4}	
			2	5.12	2.56	1.4 "		
			3	5.44	2.72	1.0 "		
			4	6.18	3.09	0.8 "		
			5	5.68	2.84	0.6 "		
B-2	2.50	4.50	0.2	32.03	7.11	—	—	圧力上昇せず
B-3	2.50	6.50	0.4	32.02	4.92	—	—	"

② なお、A-2、B-2、B-3の各孔では、準備したポンプの吐出能力が不足して、所定圧まで注水圧が上昇しなかったため注水試験からは透水係数を求めることはできなかったが、既存の調査資料およびコア状況から、A-2孔の破碎帯個所で $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/s、B-2、B-3孔では 10^{-4} cm/s程度と推定される。

3.3 注入区間の覆工厚および背面の空隙

① 注入孔もしくは検査孔39孔および注入後のボーリング孔6孔について、覆工厚および覆工背面の空隙厚を調査した(写真-18参照)。その結果に、図-2.9および図-2.10に示すとおりである。

② 本区間は、前述のとおり二重覆工区間であるが、設計巻厚90cmに対し、覆工厚は、側壁部(路面上2m以下とした)で78~120cm、平均99cm、アーチ部(3m以高とした)で43~115cm、平均86cmであった。また、頂部ではほとんどの個所が90cm以下であった。

③ 空隙厚は、側壁背面では0~48cmの範囲にあったが、アーチ頂部に向うほど大きくなっており、頂部では17~139cm、平均66cmであった。

対象区間長36.5mの総空隙量は141m³、トンネル1m当り4.4m³

/m、平均空隙厚は覆工背面に沿った空隙中心線長を17.8mとすれば、24.7cmとなる。

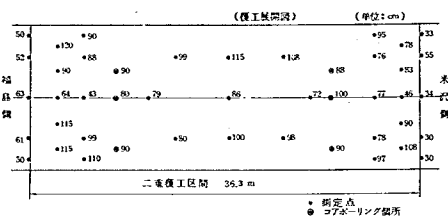


図-2.9 覆工厚測定結果

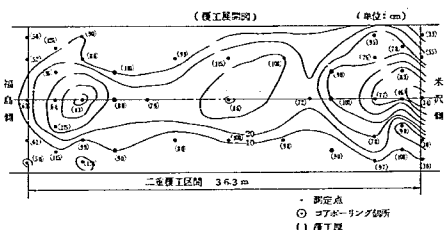


図-2.10 覆工背面の空隙分布図

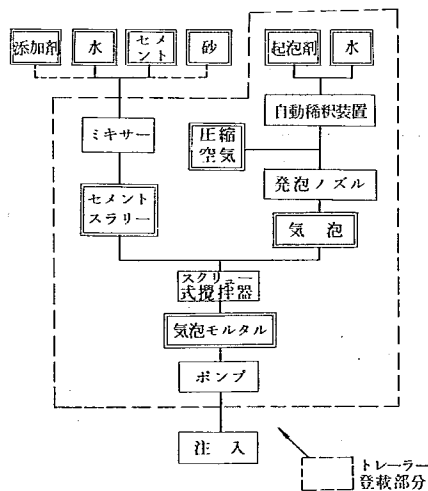


図-2.11 製造工程

4. 注入材料

トンネルの裏込め注入に使用される気泡モルタルには、前述のように多くの種類があるが、施工能率並びに空隙填充性の点でアソウフォームクリートが最も優れていると思われたので、これを採用することとした。

アソウフォームクリートは、麻生フォームクリート(昭和36年に米国のマールケミカル社と技術提携のうえ導入したプレフォーム方式(事前発泡方式)の気泡モルタルで、起泡剤として動物性蛋白(魚鱗や人造真球製造過程で生ずる廃液など)を主成分とするマールP液(輸入品)を使用するものである。

その製造方式は、まずマールP原液の4%希釈液を圧縮空気とともに発泡ノズルへ圧送して気泡をつくり、これをセメントモルタルまたはセメントペースト(スラリー)とをスクレー式攪拌装置により連続的に混合して気泡モルタルを製造する。アソウフォームクリートの製造工程を図-2.11に示す。

トンネル裏込め注入材の所要強度は、通常、注入後の状態で 10kg/cm^2 程度あればよいとされているが、本実験では、湧水による強度低下、寒中施工、供試体形寸法及び養生方法の相違などを考慮して、次のような配合とした(砂を混入する方法もあるが、今回は実施しなかった)。

(1) 設計条件

設計基準強度	$\sigma_{28} = 15\text{kg/cm}^2$
配合強度(4×4×16cm, 湿空養生)	$\sigma_{28} = 25\text{kg/cm}^2$
フロー値(1分間)	140~150mm
配合比	セメント単味

(2) 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(比重3.15)
起泡剤	マールP液(麻生フォームクリートKK, 比重1.16)(写真-19)
添加剤	塩化カルシウム(純度72%粉末 硬化促進のため使用)
	R液(麻生フォームクリートKK, 比重1.1 卵白を主成分としたタレ止め剤, ストッパー部のみに使用)

(3) 配合設計

アソウフォームクリートの配合設計は、通常、既往の試験結果から得られている気泡モルタルの絶乾密度と圧縮強度との関係(図-2.12)および絶乾密度と生密度との関係(図-2.13)から、所要強度に対応する生密度を求め、この生密度および必要なフロー値が得られるよう計算(後述のように、生密度および空気量は計算から求めることができる)および試験練りを行ない、両端ストッパー部には表-2.5の②の配合を、中間部には①の配合を用いることとした。しかし、実際には、湧水の影響などを考慮して中間部の配合は、表-2.5の②から添加剤量を減じたものとした。実際に用いた示方配合を、表-2.6に示す。

(4) 単位容積重量および空気量の計算

セメントスラリーの単位容重、気泡モルタルの生密度および空気量などは、品質管理上の指標となるものである。表-2.6の配合についてこれらを計算すると、次のとおりである。(添加剤は少量なので無視した。)

1) セメントスラリー

	重量	比重	容積
C	428 kg	3.15	136ℓ
W ₁	197	1.00	197
計	625 kg		333ℓ

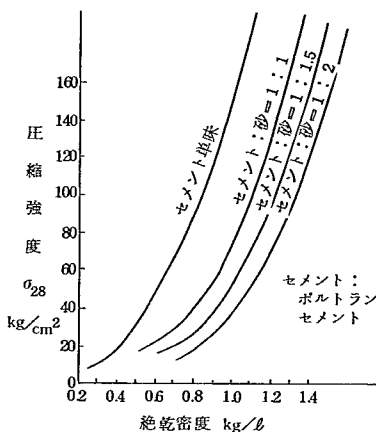


図-2.12 絶乾密度と圧縮強度

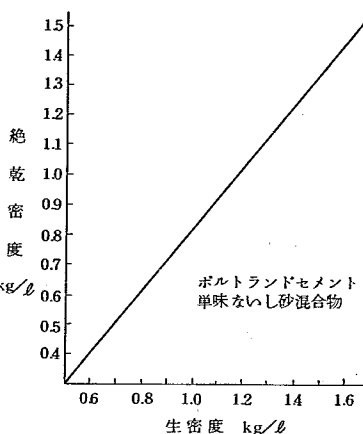


図-2.13 生密度と絶乾密度

表-2.5 試験練り配合

配 合 No		①	②	③
目標強度 (δ_{28})	kg/cm ²	25	25	35
絶 乾 密 度	kg/ℓ	0.47	0.47	0.54
生 密 度	"	0.66	0.66	0.72
セメント量	kg/m ³	414	428	478
水セメント比	%	51	46	44
水 量	ℓ/m ³	211	197	210
起 泡 剤 量	"	1.39	1.42	1.30
添 加 剤	塩化カルシウム	kg/m ³	17.8	19.9
	R 液	ℓ/m ³	4.28	4.78
スラリー容重	kg/ℓ	1.83	1.88	1.90
空 気 量	%	65.8	63.2	60.5
フロー値 (1分間)	m/m	209	148	143
圧 縮 強 度	kg/cm ²		$\delta_7 = 20$	
消 泡 率	%	15.5	14.9	11.1
備 考	気泡容量: 40~45 g/ℓ 塩化カルシウムは、セメント量の15% (①) および3% (②, ③)。R液は、セメント100kgに対し1ℓ (②, ③)			

表-2.6 気泡モルタル示方配合

区 分		セメントスラリー			気 泡			添加剤	
		単 位 セメント量 C (kg)	単 位 混練水量 W ₁ (kg)	水セメ ント比 W ₁ /c (%)	単 位 起泡剤量 P (kg)	単 位 稀釈水量 W ₂ (kg)	稀 釈 率 P/(P+W ₂) (%)	R 液 (ℓ)	塩 化 カルシウム (kg)
A	両 端 ストップ	428	197	46	1.65 (1.42ℓ)	34.08	4	4.28	17.1
B	中間部	"	"	"	"	"	"	—	8.6

(注) 塩化カルシウムは、純度75%のものを使用

$$\text{セメントスラリー容重} = \frac{625}{333} = 1.88 \text{ kg/ℓ}$$

2) 気泡モルタル

起泡剤稀釈液の容積および重量

	容 積	比 重	重 量
P	1.42 ℓ	1.16	1.65 kg
W	34.08	1.00	34.08
計	35.50 36 ℓ		35.73 36 ℓ

気泡モルタルの生密度および空気量

	容 積	重 量
セメントスラリー	333 ℓ	625 ℓ
起 泡 剤 稀 釈 液	36	36
計	369 ℓ	661 ℓ

$$\text{生密度} = \frac{661}{1.000} = 0.66 \text{ kg/ℓ}$$

$$\text{空気量} = \frac{1.000 - 0.66}{1.000} \times 100 = 34.0\%$$

5. 気泡モルタル用機械

アソウフォームクリート専用のモルタル製造・注入機械には、現在ガソリンエンジン式トレーラー・セットの大型機（能力20～30 m³/h）と電動式の小型機（10～15 m³/h）とがあるが、本実験では電源調達が困難なため大型機を採用した。その主要諸元は表-2.7のとおりである。（写真-20～22）。また、本機のスクリー式攪拌機構を図-2.14に示す（写真-23）。

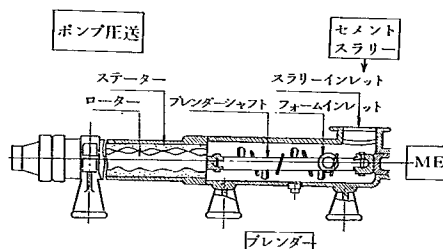


図-2.14 スクリー式攪拌機構

6. 施工方法

6.1 注入孔

1) 注入孔の配置

注入対象区間外へのモルタルの流失を防ぐため、両端部には流動性の小さい材料（表-2.6のA）を少量づつ注入して覆工背面にストッパー（壁）を形成することとし、

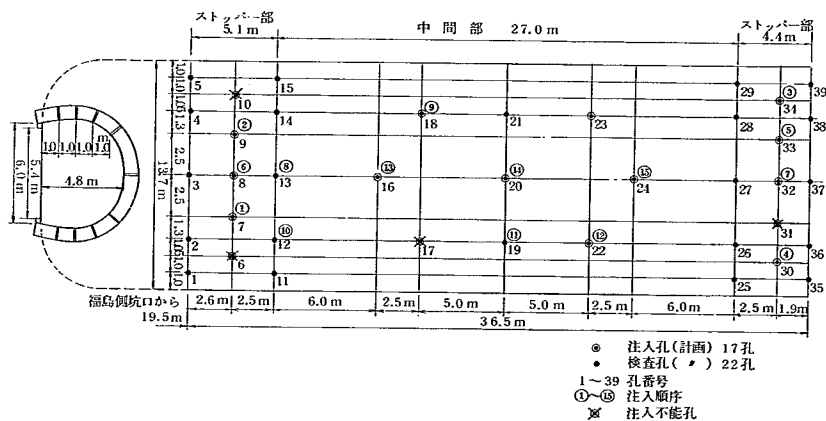


図-2.15 注入孔検査孔配置図

図-2.15 のような孔配置とした。

計画孔数	注入孔	17 孔
	検査（確認）孔	22 孔
	計	39 孔

2) 削孔および注入管理設

注入孔および検査孔は、エアレッグ（ビット径48mm）で削孔し（写真-24）、ガス管（中1 $\frac{1}{4}$ "×50cm）を埋設した。（写真-25）。

表-27 気泡モルタル用機
械の主要諸元

機械名	フォームクリーター（大型）
能力	20~30m ³ /hr
水平圧送距離	300m
ポンプ圧力	10kg/cm ²
動主エンジン	ガソリン、65HP
力コンプレッサ	35HP
寸法	巾2.3m×長4.7m×高2.2m
重電	約2.7t
備考	トレーラー登載 被索引式

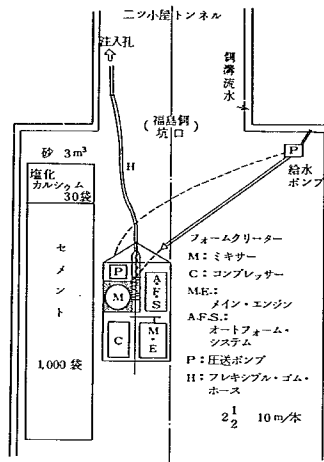


図-2.16 注入機械と材料の配置の略図

6.2 注入機械および材料の配置

注入機械および注入材料は、福島側坑外に配置し、注入箇所までの30~70m間は、ホースで圧送することとした。また、気泡モルタル混練用水は、トンネル内の側溝水を堰止めポンプアップして使用することとした。（図-2.16、写真-26、27参照）。

6.3 注入方法

まず、両端ストッパー部の側壁からアーチ天端に向って打上げ、両ストッパーを形成したのち、中間部の側壁に注入し、次いでアーチ天端に注入して終了する計画としたが、実際には注入不能の孔があったり、また、米沢側のストッパー形式が不完全と思われたので中間部は福島側からの片押しに変更したりしたため図-2.15の①~⑬のような注入順序となった。

各注入孔における打終りは、当該注入孔の斜め下方（ストッパー注入の場合）または側方の近接検査孔から流出しはじめたとき、あるいは注入圧が4~5kg/cm²に上昇したときとした。

7. 調査測定項目および方法

注入実験中に実施した調査測定項目および方法は、次のとおりである。

7.1 気泡モルタルの品質

1) フロー値

気泡モルタルのコンシステンシー試験は、漏斗による流下時間を測定する方法によることが多いが、アソウフォームクリートは他の気泡モルタルに比べ比重が小さく、かつ粘性が大きいので、この材料で従来行なっている次の方法によった。

即ち、約30cm×30cmの大きさの硬質合成樹脂板またはガラス板の上に、内径83mm×高さ74.3mmの硬質ビニル管（通常は、内径80mm×高さ80mmの金属製円筒管）を置き、その上端まで生モルタルを流しこんでから管を垂直に引き上げ、1分後における板上でのモルタルの拡がりや直交する2直径について測定し、その平均値をもってフロー値とする（写真-29 参照）。

2) 生密度

内容積1ℓの金属製円筒状容器に試料を採取してその重量を測定する（写真-30 参照）。

3) 空気量

生密度を測定し、これと各材料の比重と配合を用いて計算により求める方法もあるが、本実験では次のような消泡法によった（写真-31参照）。

即ち、内容積260cc.の金属製容器を用いて試料（生モルタル）260cc.を採取し、メスシリンダーに入れ、これに水200cc.および工業用アルコール100cc.をそそいで気泡を消散させ、残った試料の体積（最終目盛）を読み取り、次式で算出する。

$$\begin{aligned}\text{空気量}(\%) &= \frac{(\text{試料} + \text{水} + \text{アルコール}) - \text{最終目盛}}{\text{試料}} \times 100 \\ &= \frac{560 - \text{最終目盛}}{260} \times 100\end{aligned}$$

4) 気泡容重

5) セメントスラリー容重

} 2) と同様の方法による

6) 水セメント比

セメントスラリーの製法は、ミキサーへの供給水量を一定とし、一定時間内に一定のセメント量を解体投入して連続製造する方法をとっているので、10～15分ごとにセメント投入量（袋数）をカウントし、これからその時間内の水セメント比を計算で求める方法によった（写真-33～35）。

7) 強度試験用気泡モルタル供試体の採取

強度試験用供試体として4×4×16cmのもの（長方体）および10φ×20cmのもの（円柱）を作成し、前者に、1, 2, 4週における曲げおよび圧縮強さを後者は4週圧縮強さを試験することとした。また、養生方法は、実験期間中は現場放置、以後は、湿空養生とした。（写真-36）

8) 温度

注入実験中、適宜、坑内外の気温、水温および生モルタル温度を測定した。

7.2 注入圧および注入量

1) 注入圧

注入圧は、フレキシブルホースの注入孔から約5mの位置にゲージプロテクター付きブルドン式圧力計(0～15kg/cm²、最小目盛0.5kg/cm²)をとりつけて測定した(写真-37,38)。

2) 注入量

注入孔ごとおよび10～15分ごとにセメント使用量から注入量を算出した。

3) 調査測定ひん度

表-2.8のとおりとする。

表-2.8 調査測定項目とひん度

項 目	測定単位	測定ひん度の標準
気泡モルタル品質試験	フ ロ ー 値	m/m
	生 密 度	kg/ℓ
	空 気 量	%
	気 泡 容 量	g/ℓ
	セメントスラリー容量	kg/ℓ
	水セメント比	%
	供試体	長方体 (kg/cm ²)
	作 成	円 柱 (")
	生モルタル温度	℃
	気 温 ・ 水 温	℃
施 注	注 入 圧	kg/cm ²
工	注 入 量	m ³

8. 実験結果

8.1 施工実績

表-2.9 工程実績表

作業別	月日	11月 12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	摘 要
注入孔 注入管 削 孔 埋 設	準備								39 孔
注入材料搬入									セメント1,200袋 塩カル60袋 発泡液200ℓ R液180ℓ
注入準備,撤収					注入機械搬入				
注	ストッパー部								7孔 34m ³
入	中間部						7孔58m ³ (1孔45m ³)		8孔 103m ³

(1) 作業工程

注入孔の削孔から注入終了までの作業工程の実績は、表-2.9に示すとおりである。

(2) 人員配置

気泡モルタル注入作業の実人員およびその配置は表-2.10のとおりである。

表-2.10 注入作業人員配置

作業種別		人員	作業内容
技 士 ・ 技 工	全般指揮	1	
	品質管理	1	
	注入圧記録	1	
	機械運転	1	ポンプ、ミキサー、コンプレッサー運転調整
	小計	4	
土 工 ・ 人 夫	セメント投入	1	セメント袋解体、ミキサー投入
	〃 小運搬	3	セメント集積場よりミキサー台まで
	添加剤投入	1	塩化カルシウム、R液をミキサーに投入
	注入係	2	足場移動、ホース移動および取付け、モルタル漏洩止め
	雑役	0～2	現場清掃その他
小計		7～9	
合 計		11～13	

(3) 注入状況

ストッパー部注入（注入作業第1日目）

両端バトッパー部においては、福島側の右側壁から打始め、同左側壁、米沢側左側壁、同右側壁の順で注入し、終りに、天端に注入して両ストッパーを造成することとした。実際の注入順序および検査孔等からのモルタル流出状況を図-2.17に、各孔における注入量、注入圧等の実績を図-2.18に示す。

概して、右側壁部は、福島、米沢側とも覆工裏が地山に密着しているため全くの注入不能あるいは、空隙があっても独立した小空隙のため注入圧が急上昇してごく少量しか注入できない状況であった。一方、左側壁および天端注入においては、両ストッパーとも、近接検査孔等からモルタルが流出し、特に、福島側天端においては、同じ天端に設けた隣接検査孔から流出し、天端までモルタルが填充されたことが確認された。米沢側天端注入においては、1孔で10m³以上注入しても注入圧は上昇せず、ついには、米沢寄り注入区間外の側溝および側壁コンクリートの豆板部の小孔からモルタルが流出し始めるに至ったので、注入前の覆工裏の空隙調査結果からこれ以上注入を続けても天端裏までの填充は困難であると判断し、注入を打切った。

中間部注入（注入作業第2日目、第3日目）

前日の注入結果から、米沢側ストッパーの形成は不完全と考えられるので、中間部の注入は、福島側からの片押しで行なうこととし、まず、福島側ストッパーの造成をより確実なものとするため、福島側ストッパー部の天端検査孔（図-2.14の孔番13）を利用して注入を開始した。次いで、中間部の左右側壁部に注入することとしたが、注入圧が急上昇して僅かの量しか注入

できなかったり、注入の結果側溝に濁水が噴出したりしたため、左側壁米沢寄りの1孔を残して側壁部の注入は打ち切り、天端注入に移行した。

福島寄り天端第1孔(図-2.17の孔番16)の注入は、検査孔からのモルタル流出もあり順調な注入であったが、第2孔(孔番20)の注入では側溝からモルタルが流出したため注入を打ち切ることとした(写真-39)。翌朝、同モルタル流出箇所からかなりの湧水が噴出しているのを発見したため、急結セメントおよびセメント袋で湧水を押え(写真-40)、米沢寄りの天端第3孔(孔番24)の注入を再開した。この最終注入孔においては、一旦注入圧が4 kg/cm²まで上昇したが、米沢側ストッパー形成の不完全なことを想定し、準備した注入材料がなくなるまで注入を継続した。その結果、注入圧上昇後には、米沢側注入区間外のかなり遠距離まで流失したことが、側壁豆板部の小孔からの流出などにより確認された。(写真-41,42)。

注入孔および検査孔の計画孔数と実施孔数との対比を表-2.11に示す。

(4) 注入量、注入圧および作業

表-2.11 注入孔数

時間

各孔ごとの注入量および注入圧の実績は表-2.12および図-2.18に示すとおりである。また、注入機械の現地到着から撤去までの総作業時

区 分	計 画 (削 孔 数)			実 施 (実 際 に 利 用 で き た 孔 数)		
	注入孔	検査孔	計	注入孔	モルタル流出確認孔	計
ストッパー部	10	20	30	7	6	13
中 間 部	7	2	9	8	2	10
計	17	22	39	15	8	23

間の内訳は、表-2.13に示すとおりである。

(5) 注入能率

注入総量、作業時間等の実績を総括すれば、次のとおりであり、この種材料の施工能力の大きいことがわかった。

注入孔数 15 孔

注入総量 136.9 m³

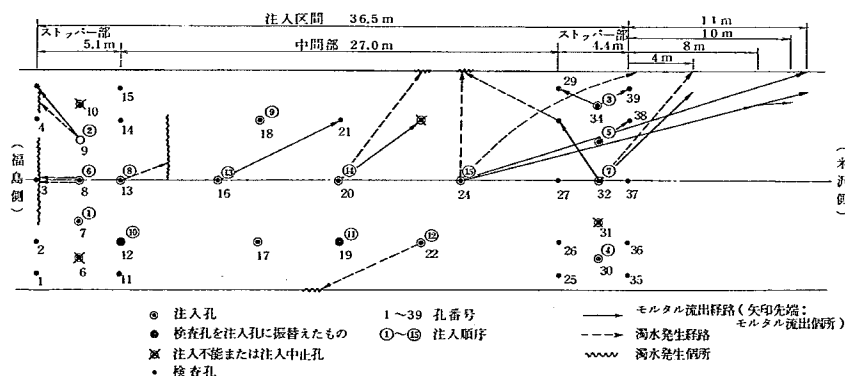


図-2.17 注入および流出状況図

表-2.12 注入量および注入圧

年 月 日	注入 順序	No	注入時間 (分)	注入量 (m³)	注 入 圧 (kg/cm²)	能 率 (m³/h)	注入量累計 (m³)	
							日 毎	総累計
43.11.16	1	7	3	0.4	0.8~5.2	8.0	0.4	0.4
	2-1	9	8	2.1	1.0~2.0	15.7	2.5	2.5
	2-2	9	17	4.4	1.7~3.0	15.5	6.9	6.9
		小計	25	6.5		15.6		
	3	34	8	2.6	1.8~3.5	19.5	9.5	9.5
	4	30	1	0.1	~5.2	6.0	9.6	9.6
	5	33	19	5.0	0.7~3.0	15.8	14.6	14.6
	6	8	26	7.0	1.5~3.2	16.2	21.6	21.6
	7	32	38	11.9	0.7~3.0	18.8	33.5	33.5
	1日目小計		120	33.5		平均16.8		
11.17	8-1	13	39	16.0	1.0~3.0	24.6	16.0	49.5
	8-2	13	34	7.6	0.6~1.9	13.4	23.6	57.1
		小計	73	23.6		19.4		
	9	18	2	0.8	0.4~0.6	24.0	24.4	57.9
	10	12	2	0.4	0.5~1.5	12.0	24.8	58.3
	11	19	5	0.8	1.0~5.3	9.6	25.6	59.1
	12	22	17	3.9	0.5~2.5	13.8	29.5	63.0
	13-1	16	24	5.9	0.5~2.3	14.8	35.4	68.9
	13-2	"	36	6.8	0.8~2.1	11.3	42.2	75.7
	13-3	"	12	3.7	1.0~2.0	18.5	45.9	79.4
	13-4	"	11	2.9	1.0~5.2	15.8	48.8	82.3
		小計	83	19.3		14.0		
	14-1	20	18	6.0	1.0~2.2	20.0	54.8	88.3
	14-2	20	15	3.2	1.0~1.5	12.8	58.0	91.5
		小計	33	9.2		16.7		
	2日目小計		215	58.0		16.2		5
11.18	15-1	24	14	4.0	1.2~2.1	17.1	4.0	95.1
	15-2	"	45	11.6	0.6~2.5	15.5	15.6	107.1
	15-3	"	36	9.0	0.5~2.1	15.0	24.6	116.9
	15-4	"	75	20.8	0.8~3.5	16.6	45.4	136.9
		小計	170	45.4		16.0		
	3日目小計		170	45.4		16.0		
合 計			505	136.9		16.3		

表-2.13 作業時間内訳

月 日	注入作業時間			雑作業時間 (時分)	計 (時分)
	純 注 入 (時分)	そ の 他 (時分)	小 計 (時分)		
11.15	-	-	-	1:20	1:20
16	2:00	2:10	4:10	2:40	7:50
17	3:35	2:15	5:50	2:40	8:30
18	2:50	0:25	3:15	4:40	7:55
合 計	8:25 (505分)	4:50 (290分)	13:15 (795分)	12:20 (740分)	25:35 (1535分)
比 率(%)	63.5	36.5	100	-	-
	32.9	18.9	51.8	48.2	100

(注)① その他時間内容: 配合調整, 注入ホース取付け足場作業, ホース移動, ホース洗滌など

② 雑作業時間内容: 注入機械の積み下し, 注入準備および後片付け, 銅溝洗え, 銅溝湧水押えなど

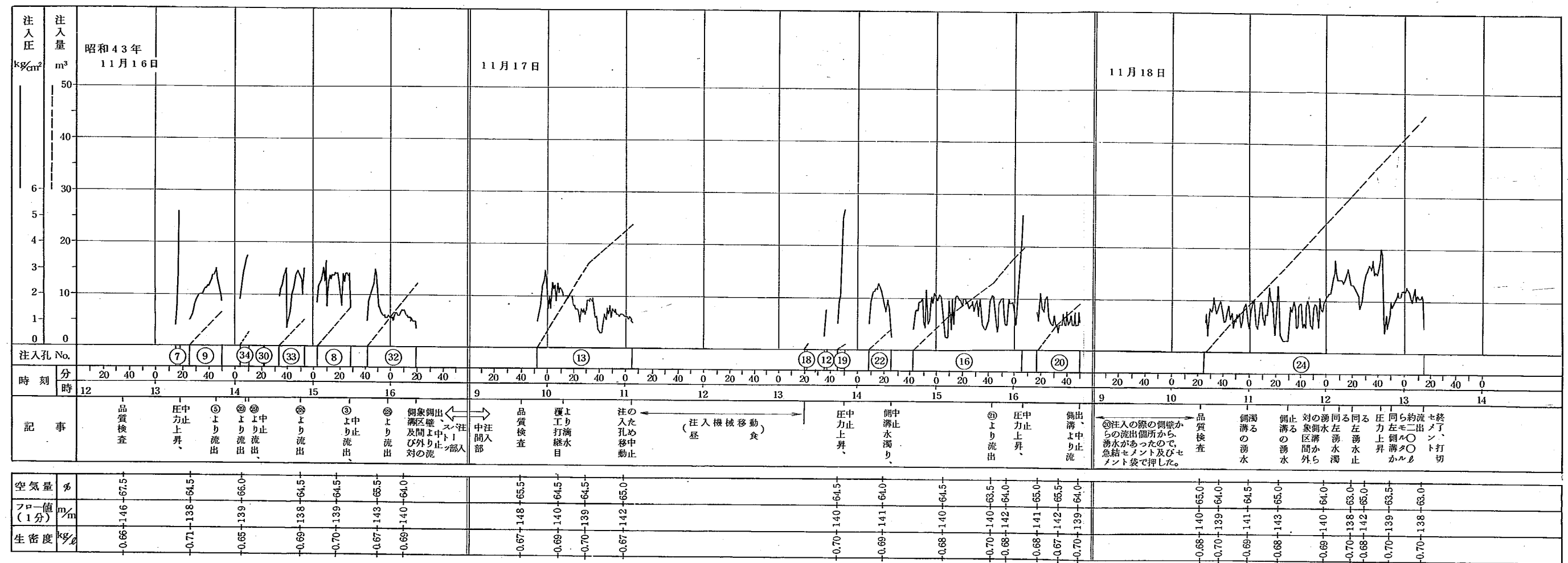


図-2.18 注入作業実績図

現場での総作業時間 13.3 h
 純注入時間 8.4 h
 純注入時間当り能率 16.3 m³/h
 所要人員 11~13人

8.2 品質試験結果

気泡モルタルの生密度、フロー値、空気量等の現場での品質試験結果は、表-2.14および図-2.18に示すとおりで、気泡容重は40~42 g/ℓ、スラリー容重1.83~1.88 kg/ℓ、水セメント比45~49%，モルタル生密度0.65~0.71 kg/ℓ、フロー値(1分間)138~148 mm、空気量63.0~67.5%の範囲にあり、変動は少ない。

表-2.14 品質管理試験結果(1)

年月日	43年11月16日							
時 分		12:35	13:26	14:05	14:50	15:18	15:50	16:10
配合合	設 計	A	A	A	A	A	A	A
気泡容重 g/ℓ	45	(48) 40	(46)	(40)				
水セメント比 %	46	(50)	(48)	(47)	(48)			
スラリー容重 kg/ℓ	1.88	1.83	(1.85)	(1.86)	(1.86)			
生 密 度 kg/ℓ	0.66	0.66	0.71	0.65	0.69	0.70	0.67	0.69
フロー値(分)m/m	140~150	146	138	139	138	139	143	140
空 気 量 %	63.2	67.5	64.5	66.0	64.5	64.5	65.5	64.0
回		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
孔 No		(7)	9	34.30	33	8	32	32

品質管理試験結果(2)

年月日	43 年 11 月 17 日											
時 分	9:40	10:09	10:30	10:59	13:45	14:20	15:06	15:42	15:54	16:18	16:34	16:49
配 合	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
気泡容重 g/ℓ	(42)											
水セメント比 %	(47)	(46)	(48)	(47)								
スラリー容重 kg/ℓ	(1.86)	(1.87)	(1.85)	(1.86)								
生 密 度 kg/ℓ	0.67	0.69	0.70	0.67	0.70	0.69	0.68	0.70	0.68	0.68	0.67	0.70
フロー値(分)m/m	148	140	139	142	140	141	140	140	142	141	142	139
空 気 量 %	65.5	64.5	64.5	65	64.5	64	64.5	63.5	64	65	65.5	64
回	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
孔 No	13	13	13	13	19	22	16	16	16	20	20	20

品質管理試験結果(3)

年月日	43年11月18日									
時 分	10:23	10:38	11:00	11:23	11:59	12:30	12:30	12:50	13:14	
配 合	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
気泡容重 g/ℓ	(44)	42								
水セメント比 %	(48)	(47)	(47)	(48)						
スラリー容重 kg/ℓ	(1.85)	(1.86)	1.86	(1.85)						
生 密 度 kg/ℓ	0.68	0.70	0.69	0.68	0.69	0.70	0.68	0.70	0.70	
フロー値(分)m/m	140	139	141	143	140	138	142	139	138	
空 気 量 %	65	64	64.5	65	64	63	65	63.5	63	
回	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
孔 No	24	24	24	24	24	24	24	24	24	

一方、強度試験結果は、表 2.15 および図 2.19 に示すとおりで、本実験では、湧水による品質の低下、低温施工（施工中の日中気温は 3～10℃であった）の 2 点を考慮して配合強度を 25 kg/cm² としたが、供試体の形状寸法や養生方法の影響を考慮しても、裏込め注入用モルタルとしてはもう少し貧配合のものでよかったと思われる。

表 2.16 に、硬化後の気泡モルタルの単位容重試験結果を示す。

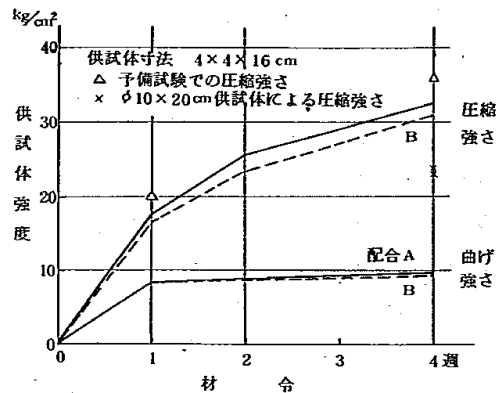


図 2.19 材令と供試体強度

表 2.15 供試体強度試験結果

単位・kg/cm ²										
試料 番号	採取日時	配合 区分	圧縮強さ(4×4×16cm)			曲げ強さ(4×4×16cm)			圧縮強さ (φ10×20cm)	備 考
			1 週	2 週	4 週	1 週	2 週	4 週		
0	43.11.9	A	20.		36.					室内予備試験結果
1	43.11.16 午前	A	16.5	24.5	29.5	8.2	8.7	9.6	21.0	2日間現場放置、以後は湿空養生
2	" 午後	A	18.5	26.5	35.5	8.5	8.8	9.9	25.0	" "
	1.2 の平均		17.5	25.5	32.5	8.4	8.8	9.8	23.0	
3	43.11.17 午前	B	16.3	24.0	31.3	8.3	8.7	9.3	22.7	1日間現場放置、以後は湿空養生
4	" 午後	B	16.5	22.5	30.5	8.3	8.6	9.3	25.0	" "
	3.4 の平均		16.4	23.3	30.9	8.3	8.7	9.3	23.9	
1～4 の平均										

8.3 注入効果

表 2.16 単位容量試験結果

(1) 止水効果

注入前後における漏水状況を図 2.20 および図 2.21 に示す。図からわかるように覆工面の漏水による湿潤面積には顕著な変化はみられないが、その位置および滴水個所は変ってきている。従って、通常の裏込め材料による遮水効果はあまり期待できないものと思われる。湧水個所での裏込め注入に際しては、事前に地山への止水注入を行なうか、あるいは裏込め注入後に適当な水抜き工を行なう必要があるものと思われる。

試料番号	配合区分	供試体 4×4×16 cm			供試体 φ 10×20 cm
		1 週	2 週	4 週	
0	A	0.71		0.71	
1	A	0.67	0.66	0.66	0.67
2	"	0.71	0.69	0.69	0.71
3	B	0.66	0.68	0.69	0.67
4	"	0.68	0.67	0.67	0.68
1～4 の平均		0.68	0.68	0.68	0.68

(2) 空隙填充率

注入区間 36.5 m 間の総注入量は 139.9m³ であったが、最終注入段階（孔 No. 24）において注入圧が 4 kg/cm² まで上昇した以降の注入モルタルは、対象区間外に流出したと考えられるので、その分を差引くと区間内注入量は 128m³ と推定される。従って、填充率は（128/

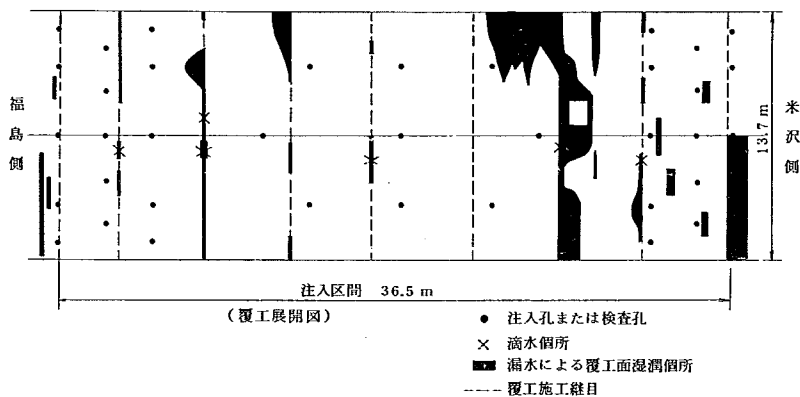


図-2.20 注入直前の漏水状況 (昭43.11.13)

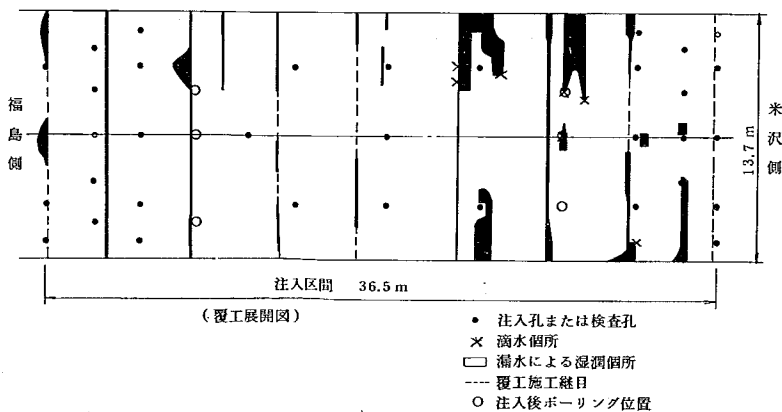


図-2.21 注入後の漏水状況 (昭43.12.3)

141)×100=91%となり、かなりの高率を示した。

	36.5 m区間	注入延長1 m当り
推定空隙量	141 m ³	3.9 m ³
区間注入量	128 m ³	3.5 m ³

(3) 気泡モルタルの浸透性

注入後トンネル内から行なった2断面6孔のコアボーリングの結果、その箇所では覆工背面の空隙は全く残っていないかった。

また、A断面(流紋岩)のトンネル直上では覆工表面からの深度2.5 mまで、B断面(主として泥岩)の直上部では深度5 mまで気泡モルタルの付着がみられ、かかる地盤への浸透性は大きいことがわかった。写真-43、44にコア採取した気泡モルタルの状況を示す。

III 裏込め注入の問題点

以上より、この実験に使用した気泡モルタルは、流動性が大きいこと、空隙填充性や地山への浸透性がよいこと、施工能率が大きいことなどが明らかとなったが、残された問題点もある。そこで、このモルタルのみならずトンネルの裏込め注入の問題点を採り上げ考察を加えてみる。

(1) 注入量

注入量は、主として空隙の大きさや地山の亀裂程度により決まり、注入圧によっても異なってくる。過去の実績によれば、トンネル1m当りの注入量は2～6 m³ のものが多く、気泡モルタルの場合には通常のモルタル注入の場合より多くなることが多い。

実施注入量の推定には、注入孔等を利用して予め空隙厚を測定しておくのがよい。

この他、注入費を節減するためには完全裏込め注入を含めた工事契約とする方法についても今後検討する必要がある。

(2) ストッパー

区間注入を行なうときには他区間に流失しないためのストッパー造成が是非必要であり、これは、肝心のアーチクラウン裏の填充度を高めるためにも有用である。

ストッパー造成方法として本実験では気泡モルタルの流動性を下げた材料を用い、その場所では注入孔をふやして行ない、一応の成功をおさめた。ストッパー位置は地質が良好でなるべく空隙の少ない個所を選ぶ必要がある。また、できれば、覆工コンクリート打設時にコンクリートなどで造成しておきたい。

(3) 注入孔

気泡モルタルの流動性は大きいので、普通モルタルに比べ注入孔数は数分の1に減らすことができる。本実験では、古いトンネルのため削岩機で削孔したが、覆工背面でノミ先をとられることが多く非能率であるので、なるべくなら覆工施工時設置しておきたい。

(4) 大空洞個所の注入

本実験では予想大に空隙の大きい個所があった。かかる場合には、砂や豆砂利あるいは通常のモルタルなどより安価な材料で予め填充しておき、2次注入として気泡モルタルを用いるのが経済的と考えられる（アソフフォームクリートの場合、ミキサー、ポンプに汎用性がなく、二重の段取りとなるため、本実験では実施しなかった）。

(5) 施工能力

気泡モルタルは他材料に比べ施工能力が大きいといえるが、材料により差がある。裏込め注入は覆工の施工後なるべく早い時期に行なうのがよく、これを忠実に行うと施工中のトンネル工事の障害となることがある。したがって、かかる場合には、施工能力の大きい注入材料を選定する必要がある。

(6) 湧水対策

裏込め注入により覆工裏の水みちが変ることが多く、直接的な漏水防止効果は疑問である。また、覆工裏の排水管などを詰めるおそれも多い。したがって、逆巻き工法の場合に側壁施工前に注入した場合は別として、湧水個所には注入後に排水ボーリングを行なうのがよい。

(7) アソウフォームクリートの問題点

現在セメントのミキサー投入は人力によっており、機械化とセメント計量の自動化が望まれる。また、ミキサーおよび注入ポンプは専用機械であるため、他材料の使用などの汎用性が少ない。

(8) 気泡モルタルの所要強度

今後、所要強度の基準値の検討、強度等の試験方法の基準化、耐水性を中心とした各種気泡モルタルの適用性実験、注入効果判定方法の検討などが行なわれるべきものと思う。

IV 実 験 写 真



写真-1 ニツ小屋トンネル福島側坑口



写真-2 施工継目よりの漏水状況
(福島側坑口より21m 左側壁)

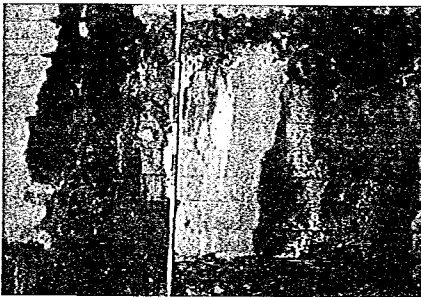


写真-3 側壁の剝離および漏水状況
(米沢寄り地点)

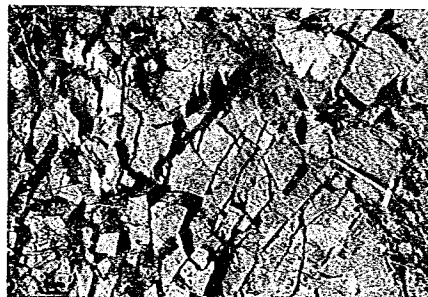


写真-4 福島側坑口直上の流紋岩の露頭

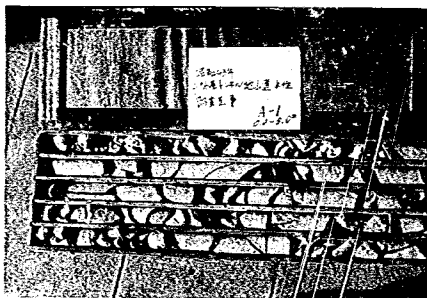


写真-5 A-1 孔ボーリングコア
深度 0.0 ~ 5.0 m

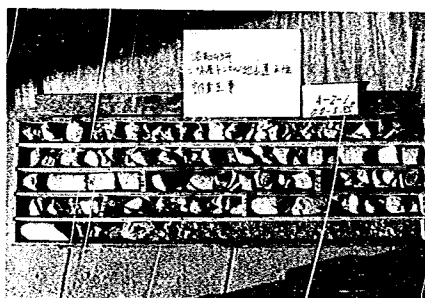


写真-6 ボーリングコア
深度 0.0 ~ 5.85m



写真-7 A-2 孔ボーリングコア
深度 5.85 ~ 7.5 m

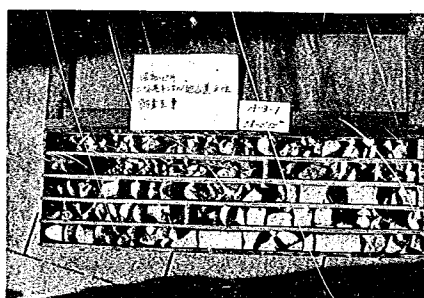


写真-8 A-3 孔ボーリングコア
深度 0.0 ~ 6.8 m

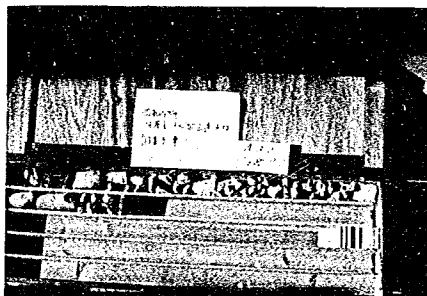


写真-9 A-3 孔ボーリングコア
深度 6.8 ~ 9.1 m

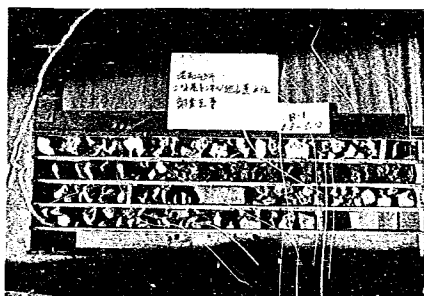


写真-10 B-1 孔ボーリングコア
深度 0.0 ~ 5.1 m

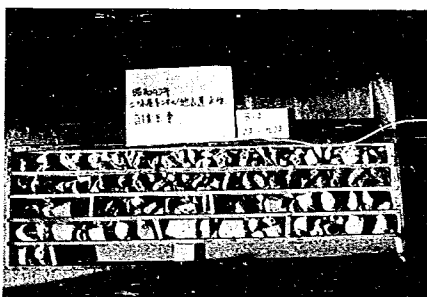


写真-11 B-2 孔ボーリングコア
深度 0.0 ~ 7.2 m

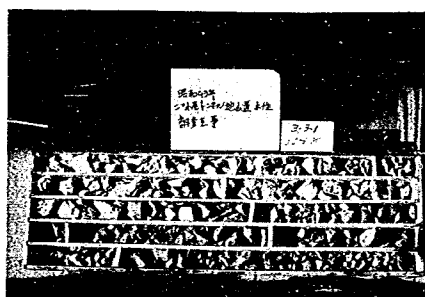


写真-12 B-3 孔ボーリングコア
深度 0.0 ~ 6.8 m

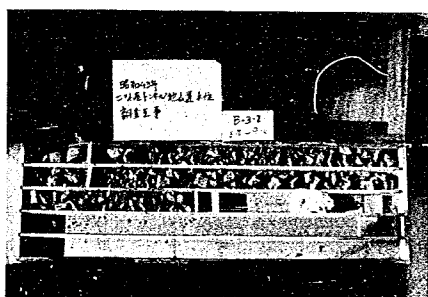


写真-13 B-3 孔ボーリングコア
深度 6.8 ~ 9.15 m

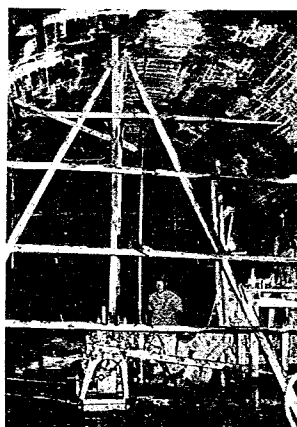


写真-14 ボーリング機械 (A-3 孔ジ
ヤーミングしたバッカーの復旧作業中

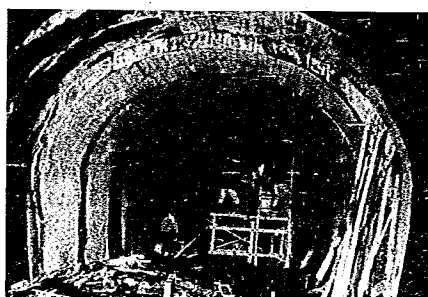


写真-15 注入試験状況

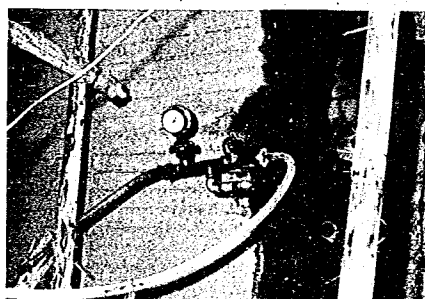


写真-16 注入孔状況 (B-1 孔)

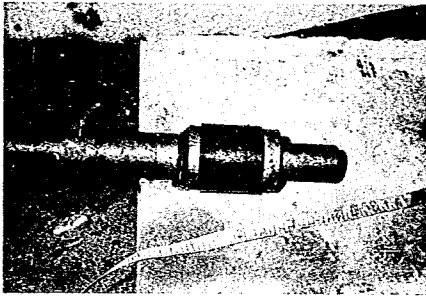


写真-17 注入試験用ゴムパッカー

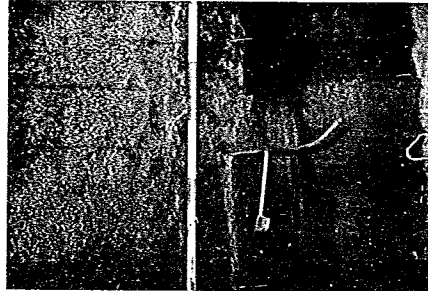


写真-18 覆工厚および空隙量の測定
(孔番No. 35)



写真-19 起泡剤(マールP液)

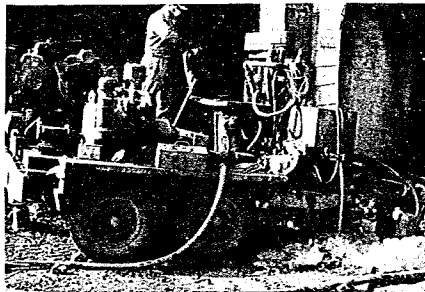


写真-20 気泡モルタル用機械(フォームクリーター側面 昭43.11.17)



写真-21 気泡モルタル用機械(フォームクリーター背面(昭43.11.18)

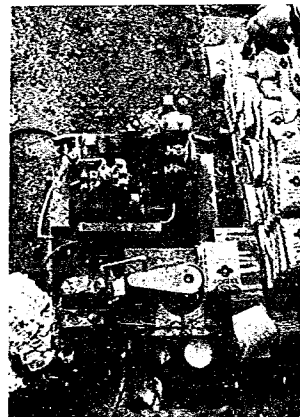


写真-22 フォームクリーター(上面から)

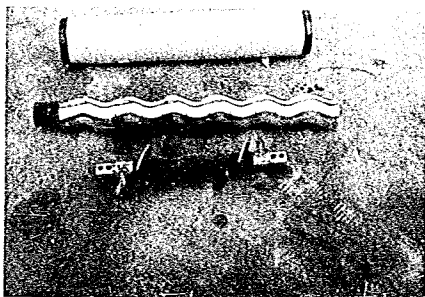


写真-23 圧送用ローターと攪拌用ブレンダー（手前）



写真-24 注入孔、検査孔の削孔作業



写真-25 注入管



写真-26 注入機械、材料の配置状況

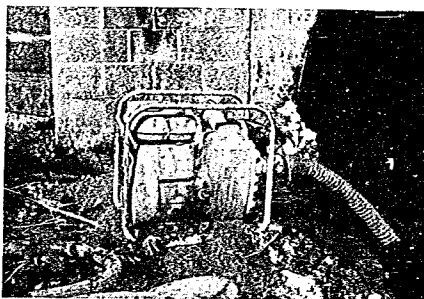


写真-27 混練用水供給ポンプ



写真-28 品質試験のための気泡モルタル試料の採取

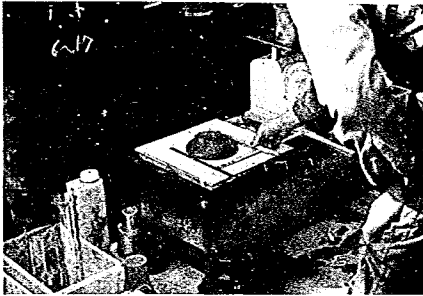


写真-29 フロー測定

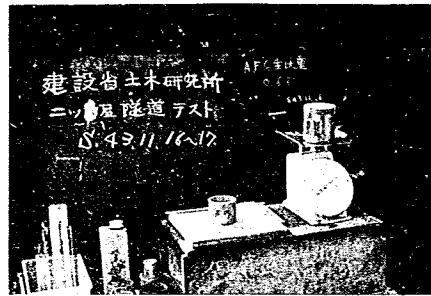


写真-30 生密度測定

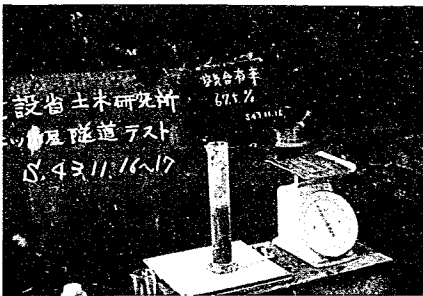


写真-31 空気量測定

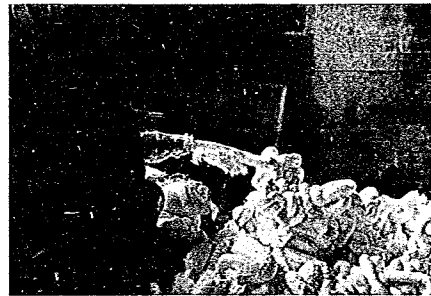


写真-32 発泡ノズルから出た泡末

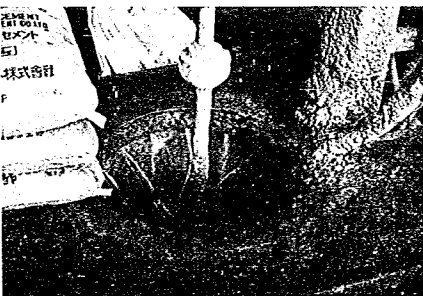


写真-33 セメントラリー用ミキサー



写真-34 ミキサーにセメントおよび
塩化カルシウムの投入



写真-35 セメント投入用時計

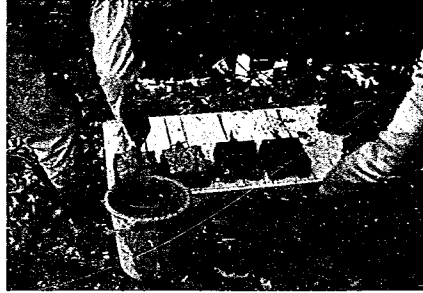


写真-36 強度試験用供試体の作成

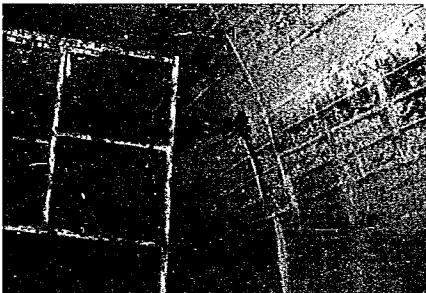


写真-37 注入ホースおよび注入口



写真-38 注入圧力計



写真-39 左側より濁水流出
(昭43.11.17)

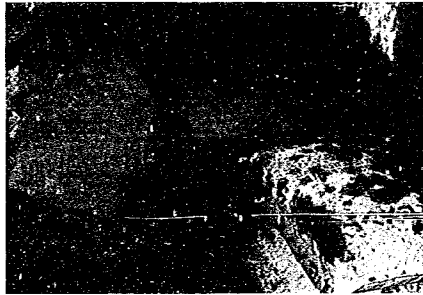


写真-40 左側溝湧水のセメントによる
押え(昭.43.11.18)

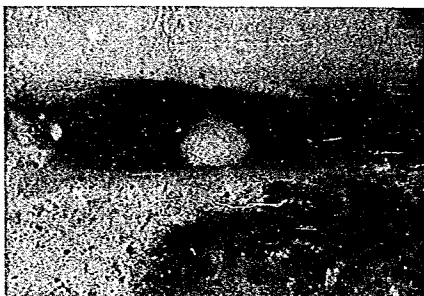


写真-41 No.19注入中右側溝よりモ
ルタル流出(昭.43.11.17)

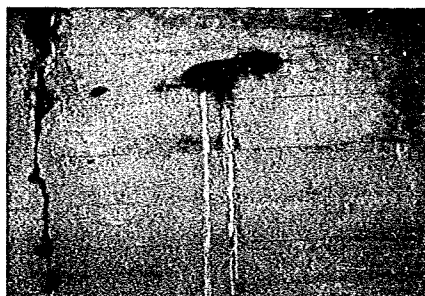


写真-42 注入区間外の左側壁からモ
ルタル流出(昭43.11.17)

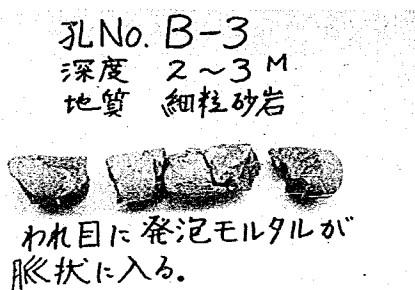
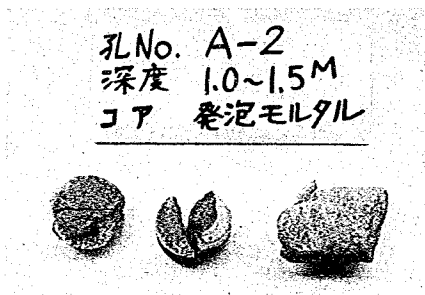


写真-43

コア採取した気泡モ
ルタル(A-2孔)

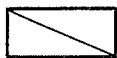
写真-44

コア採取した気泡モ
ルタル(B-3孔)

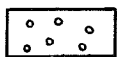


V 附図 ボーリング柱状図集

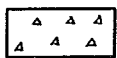
凡 例



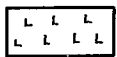
覆工コンクリート



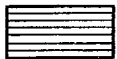
うらごめ



崖 錐



流 紋 岩



泥 岩



砂 岩

ボーリング柱状図

調査名 ニッ小屋トンネル地山透水性調査工事

ボーリング番号 No. A-1

調査期間 自 昭和 年 月 日
至 昭和 年 月 日

調査地点 ニッ小屋トンネル

岩着よりの総掘削深度 4.10m

(株) 応用地質調査事務所

孔口標高

方向・角度

4°下

孔内水位

m

使用機械名

UD-5

標 尺 (m)	深 度 (m)	層 厚 (m)	柱 状 図	色 調	地 質 名	観 察 事 項	透 水 試 験 区 間	及 び 透 水 係 数	コ ア の 種 類	コ ア の 採 取 率 % (■) 進 速 度 min/m(…)	孔 の 直 径 mm	ピ ン ト 数	ピ ン ト 庄	送 水 圧	送 水 量	漏 水 量	備 考	標 尺 (m)
1	0.90	0.90		灰色	コンクリート				20 40 60 80		85m/m							1
2			L	淡	流 紋 岩	棒状コア100% われ目 7~8本/m われ目暗褐色 ℓ=2~12cm 岩 芯 新 鮮			100		65m/m	125	5		35	5		2
3			L	緑		棒状コア80% (φ4~14cm), 角礫コア20% (φ2~5cm), われ目 6~7本/m われ目暗褐色, 岩芯新鮮							7					3
4			L	色		棒状コア60% (φ5~12cm), 角礫コア40% (φ2~5cm), われ目 8~10本/m われ目暗褐色, 岩芯新鮮												4
5	5.00	4.10																5
6																		6
7																		7
8																		8
9																		9
10																		10

調査名 ニツ小屋トンネル地山透水性調査工事

ボーリング柱状図

ボーリング番号 No A-2

調査期間

自 昭和 年 月 日

至 昭和 年 月 日

調査地点 ニツ小屋トンネル 岩層よりの総掘削深度 6.00 m

請負者名

(株) 応用地質調査事務所

孔口標高

方向・角度 34° 上

孔内水位

m

使用機械名 UD-5

標 尺 (m)	深 度 (m)	層 厚 (m)	柱 状 図	色 調	地 質 名	観 察 事 項	透 水 試 験 区 間	コ ア ー 採 取 率 % (■) 進 速 度 min/m(---)	コ ア の 種 類 ・ 孔 径 r	ピ ット 回 転 数 rpm	ピ ット 圧 kg/cm ²	送 水 圧 kg/cm ²	送 水 量 l/min	漏 水 量 l/min	備 考	標 尺 (m)
1	0.90	0.90	〇〇〇	灰色	コンクリート	うらごめ		20 40 60 80	85 ^m / _m							1
2	1.50	0.60	〇〇〇	暗灰色	うらごめ	発泡コンクリート		100		125	450	2	30	0		2
3			L		流紋岩	棒状コア60% (φ5~10cm) 角礫コア40% (φ2~5cm) われ目8本/m 岩芯新鮮、われ目茶褐色		80								3
4			L		流紋岩	棒状コア100% (φ5~10cm) 堅硬		71			750	5				4
5			L		流紋岩	棒状コア10% (φ5~5cm) 岩芯新鮮、われ目茶 角礫コア90% (φ2~5cm) 岩芯や、風化		40	65 ^m / _m				40	5		5
6	5.35	3.35	L		流紋岩	棒状コア20% (φ5~10cm) 岩芯新鮮 角礫コア80% (φ2~5cm) 岩芯 淡褐色を帯びる		74								6
7	5.85	1.55	〇〇〇	茶褐色	流紋岩 (破碎帯)	角礫コア100% (φ1cm以下) 断層か? 岩芯・われ目変色		100								7
8	6.80	0.95	L	淡 緑 色	流紋岩	棒状コア20% (φ5~10cm) われ目茶色 角礫コア80% (φ2~5cm) 岩芯風化		45								8
9	7.50	0.70	〇〇〇	茶褐色	流紋岩 (破碎帯)	角礫コア100% (φ1cm以下) 断層か?		78								9
10																10

ボーリング柱状図

調査名 ニツ小屋トンネル地山透水性調査工事

ボーリング番号 No. A-3

調査期間 自 昭和 年 月 日
至 昭和 年 月 日

調査地点 ニツ小屋トンネル

岩着よりの掘削深度 8.00 m

請負者名 (株) 応用地質調査事務所

孔口標高

方向・角度

垂直上

孔内水位

使用機械名 UD-5

標 尺 (m)	深 度 (m)	層 厚	柱 状 図	色 調	地 質 名	観 察 事 項	透 水 試 験 区 間	コアー採取率 % (■) 進 速 度 min/m (---)	コイル 径 の 種 類	ピット 回 転 数 r/min	ピット 圧 kg/cm ²	送 水 圧 kg/cm ²	送 水 量 ℓ/min	漏 水 量 ℓ/min	備 考	標 尺 (m)
1	1.00	1.00		灰色				22 40 60 80								
1	1.10	0.10		淡褐色	うらごめ	1.10 木の丸太あり		100	85 ^m /m	125	500	3	30	0		1
2						角礫コア100% (φ1~2cm) われ目, 岩芯風化, 発泡コンクリートあり		50				4	40	15		2
3						角礫コア100% (φ2~5cm) われ目, 岩芯風化		100								
4						2.50 まで発泡コンクリートあり		67	65 ^m /m	125	500	4	40	0		3
5						角礫コア60% (φ2~5cm) われ目, 岩芯風化		40				5				
6						樺状コア40% (φ5~10cm) われ目茶褐色, 岩芯やゝ風化										
7						角礫コア70% (φ2~5cm) われ目, 岩芯風化										
8						樺状コア30% (φ5~8cm) われ目茶色, 岩芯新鮮				125	500	4	40	3		5
9						5.00~6.00 われ目少ない→ 4本/m										
10						角礫コア20% (φ2~5cm) われ目茶色, 岩芯新鮮										
11						樺状コア80% (φ5~8cm)										
12						角礫コア50% (φ1~2cm) われ目, 岩芯風化										
13						樺状コア50% (φ6~18cm) われ目茶色				125	500	3	40	0		7
14						われ目に処々発泡コンクリート付着		51								
15	9.10	8.00														8
16																9
17																10

ボーリング柱状図

調査名 ニッ小屋トンネル地山透水性調査工事

ボーリング番号 No. B-2

調査期間 自 昭和 年 月 日

至 昭和 年 月 日

調査地点 ニッ小屋トンネル

岩層よりの総掘削深度 6.00 m

請負者名 (株) 応用地質調査事務所

孔口標高

方向・角度 37°上

孔内水位

使用機械名 UD-5

m

標 尺 (m)	深 度 (m)	層 厚 (m)	柱 状 図	色 調	地 質 名	観 察 事 項	透 及 水 試 験 区 間 係 数	コ ア ー 採 取 率 % (■) 進 速 度 min/m (---) 20 40 60 80	ピ ン グ の 種 類	ピ ン グ 数 rpm	送 水 圧 kg/cm ²	送 水 量 ℓ/min	漏 水 量 ℓ/min	備 考	標 尺 (m)	
1	1.00	1.00		灰色	コンクリート											1
2	1.10	0.10		暗褐色	うらごめ	流紋岩角礫(発泡コンクリート付着) 1.10~2.00 岩芯, われ目共に風化 われ目茶色の粘土カム 角礫コア 100%(φ2~5 cm) 発泡コンクリート(φ2~3 cm)所々付着			100	85 ^m /m						2
3	3.00	1.90				2.00~3.00角礫コア, 棒状コア(20%)残スラム 3.00~3.50角礫コア(φ1~2 cm)堅硬, 岩芯まで風化				125						3
4	3.50	0.50		灰褐色	流 紋 岩	角礫コア100%(φ 4~5 cm)堅硬, 岩芯や、岩質										4
5	4.00	0.50		茶褐色	細 粒 砂 岩	岩芯変色, われ目粘土カム, 角礫コア(φ2~5 cm)										5
6	4.30	0.30														6
7	7.10	2.80		明灰色、淡緑色	流 紋 岩	棒状コア50%(φ4~5 cm) 角礫コア50%(φ2~4 cm) 棒状コア60%(φ6~9 cm) 角礫コア40%(φ2~5 cm) われ目茶色 棒状コア50%(φ2~5 cm) 角礫コア50%(φ2~3 cm) われ目すくない				65 ^m /m						7
8																8
9																9
10																10

ボーリング柱状図																				
調査名			二ツ小屋トンネル地山透水性調査工事			ボーリング番号			No. B-3			調査期間			自 昭和 年 月 日 至 昭和 年 月 日					
調査地点			二ツ小屋トンネル			岩層よりの総掘削深度			8.10 m			請負者名 (株)			応用地質調査事務所					
孔口標高			方向・角度			垂直上			孔内水位			m			使用機械名			UD-5		
標尺 (m)	深 度 (m)	層 厚 (m)	柱 状 図	色 調	地 質 名	観 察 事 項	透 水 試 験 区 間 数	コ ー ア ー 採 取 率 % (■) 進 速 度 min/m(---) 20 40 60 80	コ ー ア ー の 種 類	孔 径 r	ピ ン 数	ピ ッ ト 圧 kg/cm ²	送 水 圧 kg/cm ²	送 水 量 l/min	漏 水 量 l/min	備 考	標 尺 (m)			
1	0.80	0.80		灰色	コンクリート			(40)										1		
1	1.10	0.30	oooo		うらごめ	φ2~3cm 岩層 0.80~0.90 発泡コンクリート			100	85m/m								1		
2	2.00	0.90		黒色	泥 岩	角礫コア 100% (φ2~3cm) 岩芯新鮮, われ目茶色, コアはくだけ易い, 発泡コンクリート 状に入る		(27)										2		
3	3.00	1.00		灰色	細粒砂岩	角礫コア 50% (φ2~10cm) 粒状コア 50% (5~10cm) 岩芯新鮮, われ目すくない 発泡コンクリート 状に入る		(38)	57		125	400	4		5			3		
4				黒色	泥 岩	角礫コア 100% (φ2~3cm) コア採取率わるく, スライム化している われ目多い, 岩芯や風化ハンマーで細くわれる 発泡コンクリートは角礫 (φ1~2cm) コアで採取される		(25)	50			500	5	40				4		
5								(20)										5		
6									59	65m/m								6		
7				茶褐色		状態は 3.00~6.00 m にほぼ同じ φ1~2cm 角礫多し 角礫コア 100%		(20)						40	90			7		
8	8.00	5.00							100									8		
9	9.20	1.20	△△△	茶褐色	凝 錐	φ0.5~1.0cm 角礫コア 90% ボロボロ 礫に粘土付着, 泥岩, 流紋岩の岩層岩芯までほとんど風化		(13)										9		
10																		10		