

高圧ガスを有する膨張性地山の注入工法

Grouting for squeezing mud-stone with high pressure gas reserve.

工藤 明*・柴田剛志**・秋田勝次***・木村裕俊****

Akira KUDOH, Takeshi SHIBATA, Katsuji AKITA and Hirotooshi KIMURA

At the construction site of Nabetachi-Yama Tunnel, squeezing out of the center drift's working face caused excessive soil pressure and highly pressurized methane gas are disturbing the excavation.

So in order to stabilize and reinforce the face, cement-mixed materials are injected into the soil and it turned out to be the most effective method with minimizing the squeezing out by half.

After completing the excavation of the center drift with this grouting program, the enlargement to the main tunnel will be proceeded with the ultra mini-bench cut method.

Keywords: squeezing, methane gas, cement-mixed materials, center drift, ultra mini-bench method.

1. 鍋立山トンネルの概要

1-1. まえがき

鍋立山トンネルは、北越北線のほぼ中央に位置する新潟県松代町から大島村までの全長 9,116.5mの単線鉄道トンネルである。

この鍋立山トンネルは昭和48年12月に着手されたが、国鉄再建法により昭和57年3月に工事が凍結され、いったん中止となった。しかし、北越北線建設の第三セクター化に伴い昭和60年8月より工事が再着手された。この未掘さく

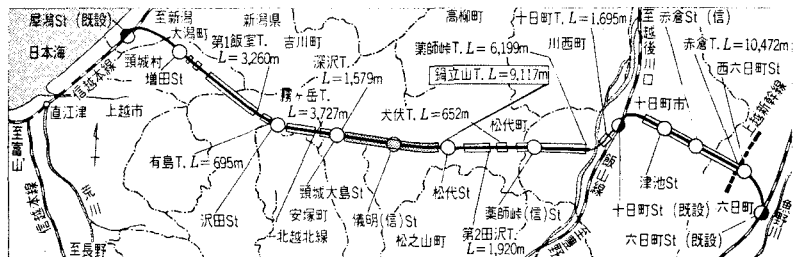


図-1 北越北線略図

- * 正会員 鉄道建設公団東京支社 工事第一部長
- ** 正会員 鉄道建設公団東京支社 工事第二課長
- *** 正会員 鉄道建設公団東京支社 松代鉄道建設所長
- **** 正会員 鉄道建設公団東京支社 松代鉄道建設所

区間は、延長 645m（六日町起点32km404m～33km049m）であるが、断層と複雑な褶曲運動により著しく破碎された地質のため、150mの土被りにもかかわらず、超膨脹性の巨大な地圧と高圧ガスにより、切羽は自立せず強大な押し出し力が生じ、掘さくが難渋している。図-1に北越北線の略図を示す。

1-2. 地形・地質の概要

鍋立山トンネルの周辺地域は、標高 300～400m程度の全体的に緩い丘陵状の地形を呈している。地質は、新生代第三紀中新生～鮮新生の寺泊層と西山層で構成されており、地表部はこれらの崖錐堆積物で薄く覆われている。

特に未施工区間の西山層は、蒲生向斜の東翼から蒲生背斜にいたる区分に分布し、暗灰色の泥岩を主体としているが、ところどころに凝灰岩や凝灰質砂岩の薄層を挟在している。

泥岩の状況は全体的に、断層を伴う複雑な褶曲運動により破碎されて細片状となっており、岩盤状態は著しく劣化している。地質縦断を図-2に示す。

また、この地山にはメタンを主成分とした可燃性ガスが最大16kgf/cm²という高圧で内在しているが、地山の透

気性が悪いために、掘さく時にガスが抜けにくい状態となっている。さらに、岩盤強度は一軸圧縮強度で2～3kgf/cm²と極端に低く、トンネルの土被り厚150mに相当する荷重がそのまま作用しているとみられ、土圧は300tf/m²にもおよんでいる。背面土圧の測定状況およびガス圧の測定状況を図-3および図-4に示す

地 質 凡 例

第四紀	沖積層	dt: 崖錐性堆積物
第三紀	鮮新世	Nss: 細粒凝灰質砂岩
		Nnd: 塊状泥岩
		Nsm: 泥岩 (砂岩と互層)
	中新世	Scg: 凝灰岩
		Ssm: 泥岩 (一部凝灰岩・砂岩互層)
中新生	寺泊層	Tsm: 泥岩 (砂岩と互層)
		Tss: 塊状中粒砂岩

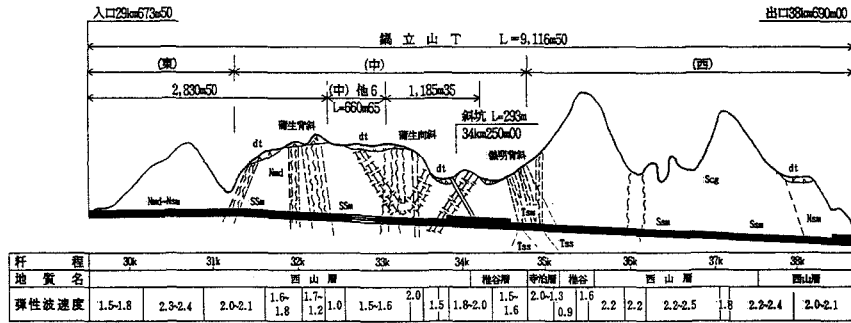


図-2 地質縦断

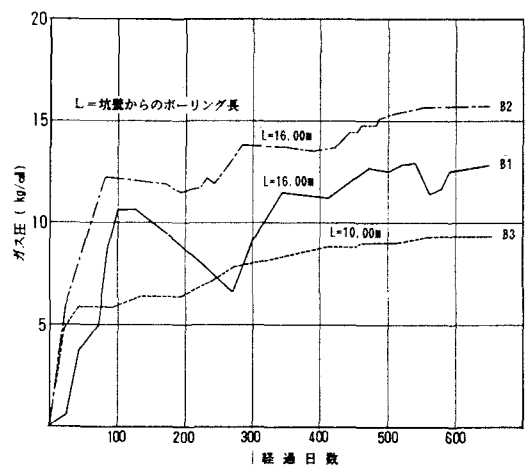


図-3 ガス圧の測定状況

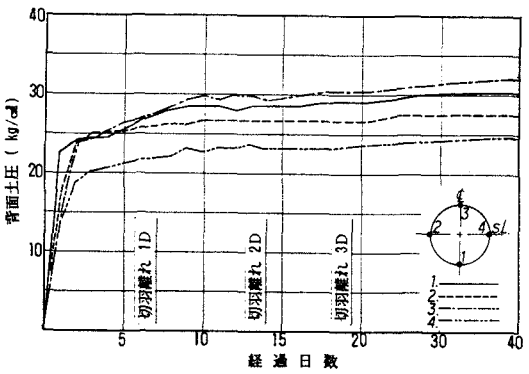


図-4 背面土圧の測定状況 (32k775m付近)

2. 施工経緯

東口側（起点方切羽）からは、卵形断面のショートベンチ工法と上半に導坑を先進させたショートベンチ工法で266m掘さくしたが、支保工の変形が著しいため本坑断面を円形に変更することとした。この本坑掘さくに先立ち、 $\phi=3.00\text{m}$ の中央導坑を先進させることとし130m掘さくした。その後中央導坑は、押し出し力に対抗するため、鉄筋コンクリート（厚さ70cm・SD35 D32=100本）で補強し、導坑全体を地山に対してのアンカーとして、本坑断面の切掘げ掘さくをすることとした。

この方法は、1サイクルを50cm、ベンチ長を1mとした超ミニベンチ工法で、上・下半それぞれの掘さく完了後切羽を安定させるため鏡吹付けコンクリートおよび鏡抑えロックボルトを補助工法として施工することとしている。しかし、この工法においても40m掘さくした時点で、1サイクルの施工中に切羽押し出し量が最大80cmにも達した。このころから、支保工の挫屈やガス・ヘドロの噴出が頻発するようになり、掘さくの中止を余儀なくされた。

一方、斜坑口側（終点方切羽）からは、平成元年1月よりトンネル掘進機（TBM）を導入して、切羽の押し出し量以上の中央導坑の高速掘さくを行うこととしたが、65mほど掘さくしたところでガスの噴出を伴う異常な地山の押し出しに遭遇し、TBM本体は発進口まで押し戻されてしまった。TBM回収後も地山の押し出しは本坑断面に出たまま止まらず、最終的には厚さ3mのバルクヘッドを構築して地山の押し出しを止めたが、全体の押し出し長は100mにも達した。

その後、中央導坑内の押し出し土は、注入材で固結させてから復旧掘さくを行い、切羽に残されていたTBMのシェルを利用した手掘りシールドで中央導坑を掘さくすることとした。

こうした施工状況の打開策として、切羽の押し出し量を掘さく可能な程度まで抑制する新たな補助工法が必要となった。そのため、地盤を強固なものに置換させる地盤改良工法を行うこととして、注入工法・凍結工法・高圧噴射攪拌工法などの検討を行った。

各工法とも強大な土圧のために所定長を掘さくすることが極めて困難であることが分かった。しかし、二重管方式でなんとかさく孔が可能な注入工法について、ガス抜き効果も期待して、試験施工を行うこととした。高強度のセメント系注入材（デンカES）を注入して掘さくした結果では、地山の骨格形成が図られ、切羽の押し出し量は注入施工前の半分程度にまで抑制され、掘さくに対して有効な手段であることが判明した。掘さくにおける1サイクル当りの切羽押し出し量の変化を図-5に示す。

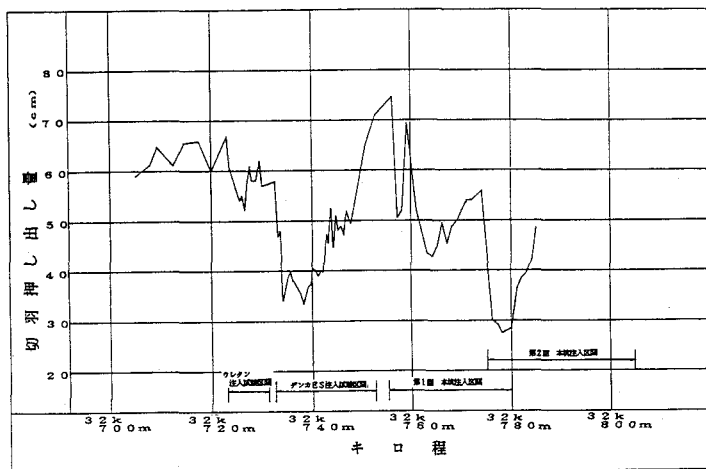


図-5 1サイクル当りの切羽押し出し量

3. 地盤注入

3-1. 注入の基本的な考え方

鍋立山トンネルにおいては、掘さく対象地盤が極めて軟弱な粘性土であり、地圧とガス圧により強大な押

し出し力が生じている。そのため、トンネルを掘さくする際、この押し出し力を注入によりいかに抑制するかが問題となる。すなわち、切羽の押し出し量を「0」に抑えることが出来なくても、ある一定量に抑えて掘さく可能な地山にすることができれば、経済的に有利な補助工法が、確立されたと考えたのである。

導坑で実施している注入を例に注入計画の説明をする。図-6に導坑の一般的な注入計画を示す。

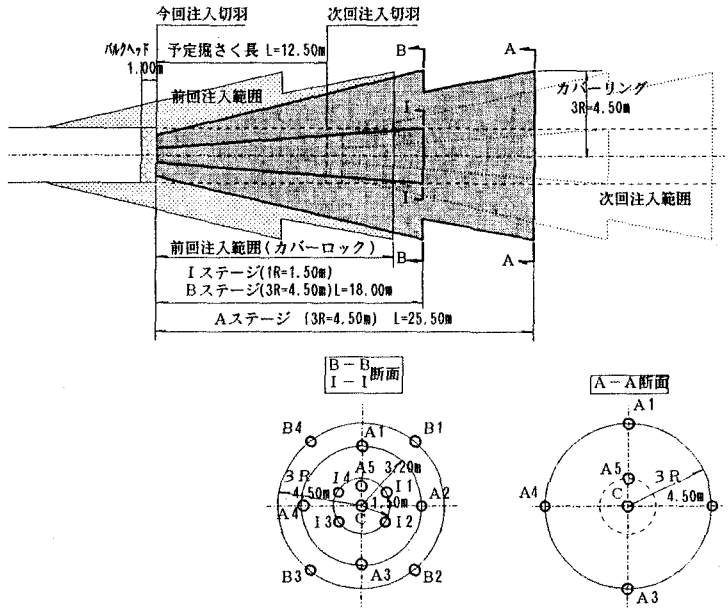


図-6 導坑注入計画

3-2. 注入計画

(a) カバーリング

支保圧力と注入範囲の関係

を図-7に示すが、掘さく半径と注入半径の比が3倍を越えても支保圧力に大きな差がみられない。こうしたことから、導坑の注入範囲（カバーリング）は、掘さく範囲の3倍として計画することとした。

(b) カバーロック

注入切羽前方に残すカバーロックは、注入圧が切羽面や切羽近傍の支保工に背圧を与えて変状が生じることのないよう10m以上とした。

(c) 注入ステージおよび注入孔の配置

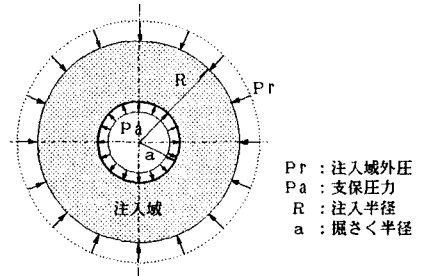
Aステージは25.5mまでの注入とし、次回の注入と重なるようにし、Bステージは前回注入のAステージと重なるようにした。さらに掘さく区間の断面内をIステージで補強するようにした。こうした方法により、掘さく区間の注入ステージが常に3～4回重複するように密実に配置した。

また、注入孔数はAステージ5本、Bステージ4本、Iステージ4本の13本とした。A孔とB孔の配置は、注入効果が高まるよう45度傾けた位置に設定した。

(d) 注入順序

注入順序は、注入材が注入対象外に逸出するのを極力少なくすることと、施工と並行して注入効果の確認を比較的に容易にするため、外側から内側への注入を基本とした。

具体的な方法としては、注入区間を第1ブロックから第6ブロック（1ブロック長4.50m）に分け、ブロック毎に前進して注入を行う。各ブロック内では、外側孔から内側へB孔→A孔→I孔の順としている。各孔は、対角線状にB1→B3→B2→B4等の順で行うこととしている。



Pr : 注入域外圧
Pa : 支保圧力
R : 注入半径
a : 掘さく半径

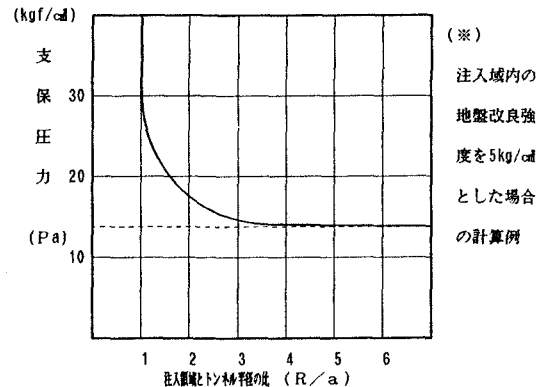


図-7 支保圧力と注入範囲

またここでの注入は、固結度の極めて低い地盤に対する置換注入であることから、できるだけ多くの箇所
に注入する必要がある。そのため、1ブロックを0.50m毎のステップに分割し、各ブロックの先端から後端
まで0.50mづつ後退しながら設計注入量を注入するというステップ注入方式としている。

(e) 注入量と注入圧力

注入量については、置換注入であることから、一般的な止水注入に比べると非常に多く、注入範囲（掘さ
く半径の3倍）を全部置換する量と同量の3R - 100% (63.6m³ / m)としている。しかし、切羽が崩壊
したりガス・ヘドロの噴出があった場合等は3倍以上の200m³ / mにおよぶ注入となることもある。

注入圧力は55～60kg/㎤まで上昇することで、所定の地盤改良ができたものとして、目安設定をしている。

(g) チェック孔およびガス抜き孔

所定孔の注入が終了した後、トンネル断面の中心部にチェック孔を施工して注入圧から最終的な注入効果
の確認を行う。また掘さくに先立ち、ガス圧の低減を図るため、断面内にガス抜き孔を2本さく孔し、スト
レーナー管を設置している。

表-1 デンカESの標準配合

温度20℃ 100ℓ当り					
A液 (kg)	B液 (kg)	ESセッター (kg)	ゲルタイム (秒)	減水剤 (kg)	ESセッター (kg)
E S	普通セメント	(kg)	(秒)	C×1%	C×0.5%
20	80	0.1	53	0.8	0.4

3-3. 注入材料

注入材の必要条件としては、①ホモゲル強度
が高いこと。②ゲルタイムの調整が容易なこと。
③地山との付着強度が高いこと、などがあげら
れる。試験注入の結果から、デンカESが鍋立
山トンネルの地質に最も優れた効果を発揮した
ため、デンカESを採用することとした。デンカESの標準配合を表-1に示す。

3-4. 注入の施工実績

注入実績の一例として、東口側中央導坑第3回注入の実績を図-8に示す。また、補助工法として注入工
法を採用してからの施工実績と、掘さく時の注入材混入率を図-9に示す。

区間	注入量	A-1		A-2		A-3		A-4		A-5		B-1		B-2		B-3		B-4		C-1		C-2		C-3		C-4		C-5		C-6		C-7		C-8		C-9		C-10		C-11		C-12		C-13		C-14		C-15		C-16		C-17		C-18		C-19		C-20		C-21		C-22		C-23		C-24		C-25		C-26		C-27		C-28		C-29		C-30		C-31		C-32		C-33		C-34		C-35		C-36		C-37		C-38		C-39		C-40		C-41		C-42		C-43		C-44		C-45		C-46		C-47		C-48		C-49		C-50		C-51		C-52		C-53		C-54		C-55		C-56		C-57		C-58		C-59		C-60		C-61		C-62		C-63		C-64		C-65		C-66		C-67		C-68		C-69		C-70		C-71		C-72		C-73		C-74		C-75		C-76		C-77		C-78		C-79		C-80		C-81		C-82		C-83		C-84		C-85		C-86		C-87		C-88		C-89		C-90		C-91		C-92		C-93		C-94		C-95		C-96		C-97		C-98		C-99		C-100		C-101		C-102		C-103		C-104		C-105		C-106		C-107		C-108		C-109		C-110		C-111		C-112		C-113		C-114		C-115		C-116		C-117		C-118		C-119		C-120		C-121		C-122		C-123		C-124		C-125		C-126		C-127		C-128		C-129		C-130		C-131		C-132		C-133		C-134		C-135		C-136		C-137		C-138		C-139		C-140		C-141		C-142		C-143		C-144		C-145		C-146		C-147		C-148		C-149		C-150		C-151		C-152		C-153		C-154		C-155		C-156		C-157		C-158		C-159		C-160		C-161		C-162		C-163		C-164		C-165		C-166		C-167		C-168		C-169		C-170		C-171		C-172		C-173		C-174		C-175		C-176		C-177		C-178		C-179		C-180		C-181		C-182		C-183		C-184		C-185		C-186		C-187		C-188		C-189		C-190		C-191		C-192		C-193		C-194		C-195		C-196		C-197		C-198		C-199		C-200		C-201		C-202		C-203		C-204		C-205		C-206		C-207		C-208		C-209		C-210		C-211		C-212		C-213		C-214		C-215		C-216		C-217		C-218		C-219		C-220		C-221		C-222		C-223		C-224		C-225		C-226		C-227		C-228		C-229		C-230		C-231		C-232		C-233		C-234		C-235		C-236		C-237		C-238		C-239		C-240		C-241		C-242		C-243		C-244		C-245		C-246		C-247		C-248		C-249		C-250		C-251		C-252		C-253		C-254		C-255		C-256		C-257		C-258		C-259		C-260		C-261		C-262		C-263		C-264		C-265		C-266		C-267		C-268		C-269		C-270		C-271		C-272		C-273		C-274		C-275		C-276		C-277		C-278		C-279		C-280		C-281		C-282		C-283		C-284		C-285		C-286		C-287		C-288		C-289		C-290		C-291		C-292		C-293		C-294		C-295		C-296		C-297		C-298		C-299		C-300		C-301		C-302		C-303		C-304		C-305		C-306		C-307		C-308		C-309		C-310		C-311		C-312		C-313		C-314		C-315		C-316		C-317		C-318		C-319		C-320		C-321		C-322		C-323		C-324		C-325		C-326		C-327		C-328		C-329		C-330		C-331		C-332		C-333		C-334		C-335		C-336		C-337		C-338		C-339		C-340		C-341		C-342		C-343		C-344		C-345		C-346		C-347		C-348		C-349		C-350		C-351		C-352		C-353		C-354		C-355		C-356		C-357		C-358		C-359		C-360		C-361		C-362		C-363		C-364		C-365		C-366		C-367		C-368		C-369		C-370		C-371		C-372		C-373		C-374		C-375		C-376		C-377		C-378		C-379		C-380		C-381		C-382		C-383		C-384		C-385		C-386		C-387		C-388		C-389		C-390		C-391		C-392		C-393		C-394		C-395		C-396		C-397		C-398		C-399		C-400		C-401		C-402		C-403		C-404		C-405		C-406		C-407		C-408		C-409		C-410		C-411		C-412		C-413		C-414		C-415		C-416		C-417		C-418		C-419		C-420		C-421		C-422		C-423		C-424		C-425		C-426		C-427		C-428		C-429		C-430		C-431		C-432		C-433		C-434		C-435		C-436		C-437		C-438		C-439		C-440		C-441		C-442		C-443		C-444		C-445		C-446		C-447		C-448		C-449		C-450		C-451		C-452		C-453		C-454		C-455		C-456		C-457		C-458		C-459		C-460		C-461		C-462		C-463		C-464		C-465		C-466		C-467		C-468		C-469		C-470		C-471		C-472		C-473		C-474		C-475		C-476		C-477		C-478		C-479		C-480		C-481		C-482		C-483		C-484		C-485		C-486		C-487		C-488		C-489		C-490		C-491		C-492		C-493		C-494		C-495		C-496		C-497		C-498		C-499		C-500		C-501		C-502		C-503		C-504		C-505		C-506		C-507		C-508		C-509		C-510		C-511		C-512		C-513		C-514		C-515		C-516		C-517		C-518		C-519		C-520		C-521		C-522		C-523		C-524		C-525		C-526		C-527		C-528		C-529		C-530		C-531		C-532		C-533		C-534		C-535		C-536		C-537		C-538		C-539		C-540		C-541		C-542		C-543		C-544		C-545		C-546		C-547		C-548		C-549		C-550		C-551		C-552		C-553		C-554		C-555		C-556		C-557		C-558		C-559		C-560		C-561		C-562		C-563		C-564		C-565		C-566		C-567		C-568		C-569		C-570		C-571		C-572		C-573		C-574		C-575		C-576		C-577		C-578		C-579		C-580		C-581		C-582		C-583		C-584		C-585		C-586		C-587		C-588		C-589		C-590		C-591		C-592		C-593		C-594		C-595		C-596		C-597		C-598		C-599		C-600		C-601		C-602		C-603		C-604		C-605		C-606		C-607		C-608		C-609		C-610		C-611		C-612		C-613		C-614		C-615		C-616		C-617		C-618		C-619		C-620		C-621		C-622		C-623		C-624		C-625		C-626		C-627		C-628		C-629		C-630		C-631		C-632		C-633		C-634		C-635		C-636		C-637		C-638		C-639		C-640		C-641		C-642		C-643		C-644		C-645		C-646		C-647		C-648		C-649		C-650		C-651		C-652		C-653		C-654		C-655		C-656		C-657		C-658		C-659		C-660		C-661		C-662		C-663		C-664		C-665		C-666		C-667		C-668		C-669		C-670		C-671		C-672		C-673		C-674		C-675		C-676		C-677		C-678		C-679		C-680		C-681		C-682		C-683		C-684		C-685		C-686		C-687		C-688		C-689		C-690		C-691		C-692		C-693		C-694		C-695		C-696		C-697		C-698		C-699		C-700		C-701		C-702		C-703		C-704		C-705		C-706		C-707		C-708		C-709		C-710		C-711		C-712		C-713		C-714		C-715		C-716		C-717		C-718		C-719		C-720		C-721		C-722		C-723		C-724		C-725		C-726		C-727		C-728		C-729		C-730		C-731		C-732		C-733		C-734		C-735		C-736		C-737		C-738		C-739		C-740		C-741		C-742		C-743		C-744		C-745		C-746		C-747		C-748		C-749		C-750		C-751		C-752		C-753		C-754		C-755		C-756		C-757		C-758		C-759		C-760		C-761		C-762		C-763		C-764		C-765		C-766		C-767		C-768		C-769		C-770		C-771		C-772		C-773		C-774		C-775		C-776		C-777		C-778		C-779		C-780		C-781		C-782		C-783		C-784		C-785		C-786		C-787		C-788		C-789		C-790		C-791		C-792		C-793		C-794		C-795		C-796		C-797		C-798		C-799		C-800		C-801		C-802		C-803		C-804		C-805		C-806		C-807		C-808		C-809		C-810		C-811		C-812		C-813		C-814		C-815		C-816		C-817		C-818		C-819		C-820		C-821		C-822		C-823		C-824		C-825		C-826		C-827		C-828		C-829		C-830		C-831		C-832		C-833		C-834		C-835		C-836		C-837		C-838		C-839		C-840		C-841		C-842		C-843		C-844		C-845		C-846		C-847		C-848		C-849		C-850		C-851		C-852		C-853		C-854		C-855		C-856		C-857		C-858		C-859		C-860		C-861		C-862		C-863		C-864		C-865		C-866		C-867		C-868		C-869		C-870		C-871		C-872		C-873		C-874		C-875		C-876		C-877		C-878		C-879		C-880		C-881		C-882		C-883		C-884		C-885		C-886		C-887		C-888		C-889		C-890		C-891		C-892		C-893		C-894		C-895		C-896		C-897		C-898		C-899		C-900		C-901		C-902		C-903		C-904		C-905		C-906		C-907		C-908		C-909		C-910		C-911		C-912		C-913		C-914		C-915		C-916		C-917		C-918		C-919		C-920		C-921		C-922		C-923		C-924		C-925		C-926		C-927		C-928		C-929		C-930		C-931		C-932		C-933		C-934		C-935		C-936		C-937		C-938		C-939		C-940		C-941		C-942		C-943		C-944		C-945		C-946		C-947		C-948		C-949		C-950		C-951		C	
----	-----	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	---	--

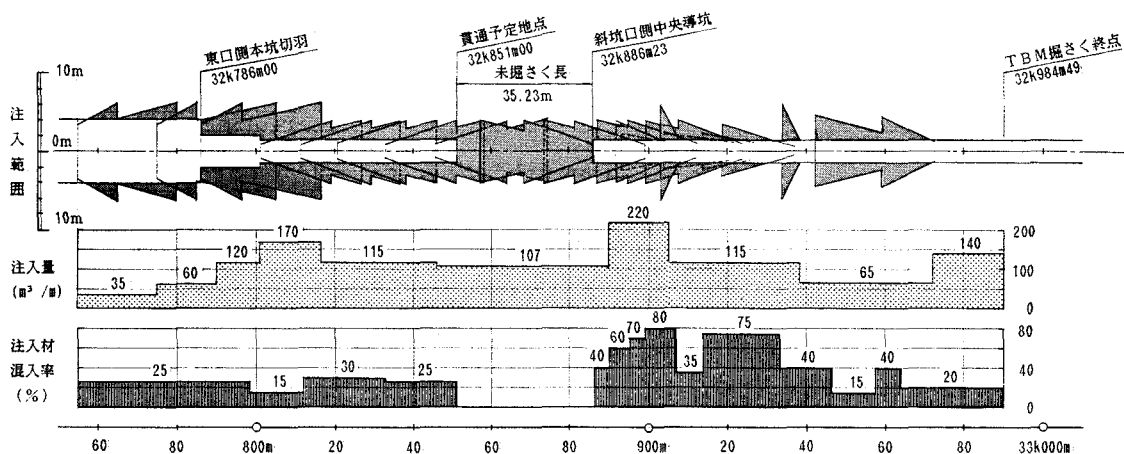


図-9 注入工法を採用してからの施工実績

3-5. 注入機器

注入孔のさく孔は、劣化した膨脹性の地山に対して行わなければならないため、二重管打込み方式としている。そのため、さく孔機械は強力なパワーを有したロータリーパーカッション方式のビューラー機（MK-1型）を使用している。

注入ポンプは、1台のポンプで2液（セメントミルクとデンカE S）の圧送が可能なHFV-602型を使用した。このポンプは注入圧（100kg/㎠以下）と吐出量（70ℓ/min×2以下）を自由にコントロールできるうえ、コンパクトなこともあり、狭隘な坑内の注入作業には特に有効である。

4. あとがき

鍋立山トンネルにおける注入工法は、注入範囲、注入孔の配置、および注入率等の設計・施工を積み重ねた結果、破碎された膨脹性の泥質粘土状の地山に対しても極めて低い押し出し量に抑制することが可能となり、掘さくの能率向上に大きく寄与することとなった。掘さくされた切羽状況をみると、注入材がセメント系の材料であるため割裂の置換注入となっており、掘さく面では泥岩との付着も良好で、掘さく基盤として十分な骨格形成がなされていた。

注入もステップ注入等できめ細かく行うことによって、切羽面では30～50%程度のグラウトによる置換が可能となっている。また、高压ガス対策として注入のさく孔時にはガス・ヘドロを十分排除した後に注入することと、掘さく前にはストレーナー管によるガス抜きを実施して注入効果を一段と増進させている。こうしたことから、トンネルの掘さくの補助工法の中核としては、注入工法が最良の工法であると確認できた。

5. 参考文献

- 1) 土居則夫・服部修一・林淳：膨脹性地山への挑戦・続報（北越北線鍋立山トンネル）、トンネルと地下21号、NO.7、pp.7-12、1990.7.
- 2) 尾崎利行：超膨脹性地山における注入工法（北越北線鍋立山トンネル）、日本鉄道建設公団第27回技術研究会記録、pp301-321、1991.10.
- 3) Doi, N., Minemoto, M., Takahashi, Y. and Akita, K. 1989. Tunnel through highly-expansive mudstone zone (Nabetachiyama Tunnel), Proceedings, Int. Congr. on Progress and Innovation in Tunnelling, Vol.2, pp.641-648.