

薬液注入による 2.3 の 現場試験

オオハ 正 山 崎 浩

1. まえがき

米國, サイナミット社 (ACC) で開発された, AM-9 (エーエムナイン) 薬液注入工法は, 往年 (昭37-38) 筆者が鹿島建設, 技術開発部, 在職当時, わが國に導入され, 注入技術の開発を担当した。当時の現場試験による成果と体験について概要と報告する。

この AM-9 薬液は アクリルアミド 系で, 当時, 開発途上にあった 日東 S S (日東化学製) とは品質, 性能はほぼ同様であるが, 前者は粉末, 後者は液体である。性能は当時の試験結果, 高圧の止水効果は日東 S S より 3~5 割位, 勝るというが, 値段は倍額であった。性能は画期的なもので, 注入技術の良否によつて, 高圧の止水および地盤安定の多大の効果が見られた。その後, 重合反応の特許の関係で, わが國では使用が許されず, 現在, 日東 S S が使用されている。導入後, ACC の技師 ジャクリン 氏が来日され, 短時間でわたが直接指導を受けることができた。湧水のトンネルの切羽等における止水には, セメントまたは水ガラス系統では確実な成果をあげることはできなかったため, この薬液が導入された。当時, 施工中の湧水で悩まされて石灰石の立坑で現場試験がなされた。これらの試験の最終の目的は青函トンネル工事を目標とし, 湧水対策の問題点と摘出することと考えられていた。筆者が担当した注入実験は, 次に述べるものを中心として, 約1箇年間にわたつてなされ, 多くの時間と予算ならずに頭脳が投入された。

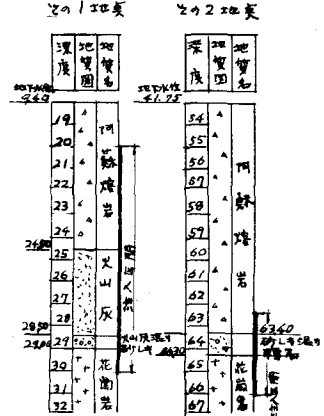
2. 熊本県 緑川ダム地帯の注入試験

2.1 試験の目的 緑川は旧河床の上に阿蘇山の噴火による熔岩, 火山灰が流出し堆積したもので, ダム建設計画をするに当り, 下層にある透水性の岩および砂層から湛水のたまりを生ずる漏水および浸透による生ずるハイヒンクまたはクイック現象等を防止する必要がある。米國のダムサイドの伏流防止のため, AM-9 薬液注入を施工し, おくれた効果を示していたので, 本地帯に注入試験をなし, 問題点を検討する。

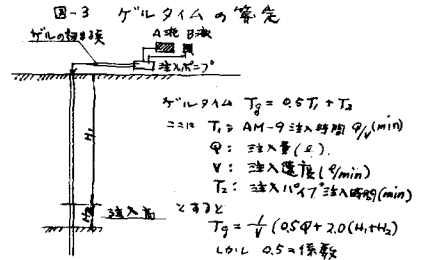
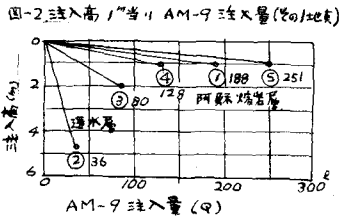
2.2 調査項目 ダム予定地帯 2ヶ所 (その1, その2) で行われた。阿蘇熔岩層の亀裂に注入し, 透水性の変化の測定, 止水効果の試験, および下層透水路, 砂礫層の止水効果の透水試験等を目的とする。(図-1)

2.3 注入の方法, 注入機械は米國から, 2連式特種ポンプ (圧力 0.3^{MPa}) を購入され, 2液/系統比例配合式のもので, エアーポンプによって駆動し, A液 (AM-9) と B液 (砂礫 AP) を別々に送るための2台のポンプよりなり, 注入量の比率を変速機によって変え, 注入中のゲルタイムを自由にえられる装置の機械である。注入パイプ (φ53^{mm}) の先端は高水圧に耐えられる橡皮ハフターを使用した。透水試験

図-1 地質状態図



験は1.0 $\sim$ 2.5 $\frac{kg}{m^2}$ の単位時間の水の浸透量を量水計で測定した。AM-9薬液注入前後の結果は(表-1)のとおりである。(図-2-3)



2.4. 注入の成果と考察

(1), AM-9 薬液注入後の透水試験は地盤への透水量は零となり、止水効果が見られた。(2) 阿蘇熔岩層の亀裂を完全にシールするには、同一地点より 2-3回に分けて注入を行うと効果がある。これは大きい亀裂から細かい亀裂まで順次シールするに よるものである。(3) 阿蘇熔岩層の下部にある透水層のコアサンプリングは普通のボーリーングでは採

表-1 AM-9 薬液注入表

場所	注入回数	注入位置 (m)	注入量 (kg)	注入時間 (min)	透水試験結果 (cc/min)	ゲルタイム (min)	備考
A	1	3	-2180	-2280	1-6	13	207
	2	2	-2600	-2870	4	13	172
	3	2	-2200	-	8	15	160
	4	2	-2180	-	15	20	129
	5	2	-2080	-	40	28	189
	6	1	-2050	-	12	17	68
	7	2	-2350	-2820	4	13	210
計					1134	84	
B	1	1	-6300	-6380	1	21	75
	2	1	-6240	-6380	4-6	11	41
	3	1	-6270	-6405	2	16	80
	4	1	-6210	-6445	4	13	51
	5	1	-6340	-6615	2	11	65
計					312	289	

(注) 透水試験は 2.5 $\frac{kg}{m^2}$ の場合とする。

取できなかったが、AM-9 薬液注入により固結後、ボーリーングを行い、コアを133/100%採取され、透水層の火山灰質は細砂であることが判明し、設計の問題点を説明でき、着工時期を早めることができた。

2.5 設計上の問題点 (1) 岩盤の節理、層理による亀裂が密着して 113箇所は、セメントと AM-9 薬液工法とを並用すれば、固結強度と止水効果が見られるが、セメント注入1本立と比較し、透水に対し、有効な止水壁をつくることができる。(2) この河床の地下、砂礫層に賦存するボーリーングの深、セメントを注入して砂礫層に流れさせて地下水の存在、セメントミルクが固結するまで流れさせ、流速は 2-3 $\frac{cm}{min}$ と推定されたり。こうした箇所には先づ AM-9 薬液を注入して止水壁をつくり、流水を遮断した後、その上下流にセメント注入すれば、経済的に基礎岩盤処理ができる。(注入日数19日、注入量1040 $\frac{kg}{m^2}$ 程度)

3. 北海道炭坑汽船、平和砂北部立坑の注入試験

3.1 試験の目的 立坑 (内径 80 ϕ 、深さ 425 m) の排気坑で、深さ 20 m 付近より湧水があり 37 $\frac{m^3}{min}$ まで開削されたが、湧水量は 0.5 $\frac{m^3}{min}$ (圧力 10 $\frac{kg}{cm^2}$ 内外) に達し、作業は困難をきたした。地質は幾層列層 (砂岩と頁岩の互層) で、小さい亀裂が多く、さらに、坑外よりセメントおよびハイトロク注入により湧水量は半減したか、完全な止水効果はあからなかったため、AM-9 薬液を立坑の地盤から、注入されたが効果はなかつた。坑内より注入を行った。(図-4-5)

3.2 注入の方法 注入は先づ

立坑の坑外より垂直ボーリーニグ孔より30~50"に穿孔し、成果があらわれないので、直接、坑内より水脈に注入した。(1) 坑外の垂直ボーリーニグより注入 深さ33~37"の4"孔は、堀削断面は亀裂状の小断層があり、3ヶ所、注入した。その結果、湧水は集中し $0.25\text{ m}^3/\text{min}$ となった。NO6注入は先づ染料(フルオレセシ)で着色した水を送り、流速を測定したところ、注入後、1"後、坑内流出した。ゲルタイムは30"程度に短縮し $40\sim50\text{ }^\circ/\text{min}$ の注入速度で行ったが、注入圧が大きくなり、水脈に当たらず、薬液の一部が流出したため坑内より直接、断層へ割孔し注入した。(2) 坑内より注入、2ヶ所の断層の両側に垂直または斜孔は9本、深さ5.5"割孔し、湧水が所々に注入し、完全に止水あることができた。これらの注入機械はグラウトポンプ(MC-10型)2台で2流等量1系統式で利用した。(表-5、図-6)

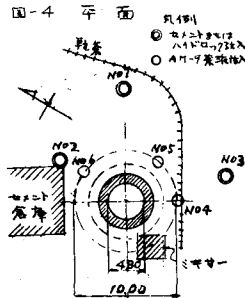


表-1 AM-9薬液 坑外注入表

番号	注入深 (m)	注入量 (kg)	ゲルタイム (分)
4	4-15	3875	5-30
5	7-15	860	3-0
6	6-15	1240	2-30
計		6975	

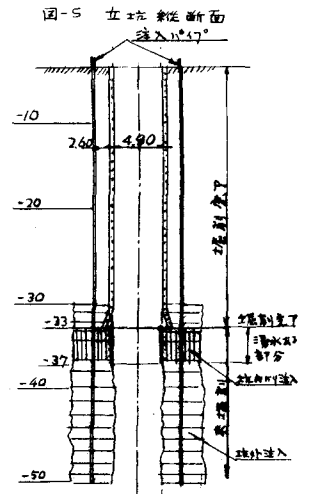
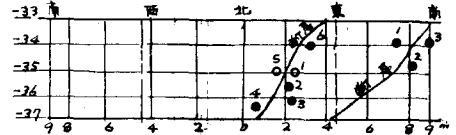


表-2 AM-9薬液 坑内注入表



坑内注入表

番号	注入深 (m)	注入量 (kg)	ゲルタイム (分)
1	0	0	1-0
2	2-10	275	0-40
3	0	0	1-30
4	0.685	5.465	1-30
5	0	0	0-45
6	0.300	2.600	0-45
計		1.060	

坑内注入表

番号	注入深 (m)	注入量 (kg)	ゲルタイム (分)
1	0.164	5.160	1-0
2	0.670	4.670	0-30
3	0.250	5.10	2.15
計		8.44	

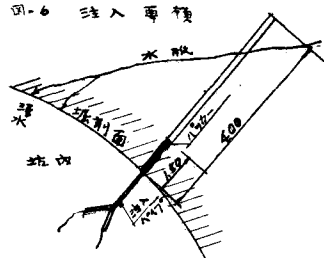
(注) 湧水量は注入時のところから。

3.3 注入の成果と考察

(1) AM-9薬液はゲルタイムは20~30"程度まで短縮できるため、水脈に直接注入しても確実な効果がえられる。(2) 堀削前、先行ボーリーニグにより水脈を探知して注入すれば、効果がある。(3) 多量の湧水の場合は薬液がゲル化前には希釈されるため、濃度を15%程度(普通10%)にして注入速度を30~50 $\text{ }^\circ/\text{min}$ した結果、効果があった。(4) この程度の湧水圧ではグラウトポンプ2台の等量1系統式でも使用が可能である。(注入回数21日 注入量6,770 °)

4. 北海道炭田試験、夕張中央排気立坑の注入試験

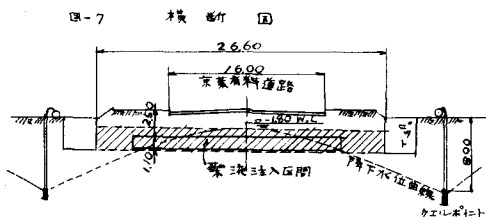
平和立坑の止水試験が成功した当時、開削中の中央排気立坑(内径60" 深さ460")の深さ-250~-267"の箇所では砂岩含水層にあり、湧水量 $0.70\text{ m}^3/\text{min}$ (水圧6~20 $\text{ }^\circ/\text{cm}$) 堀削作業に支障をきたしたため、AM-9薬液注入試験が行われた。注入は立坑の掘削機による、2段のスカフホールドに2台のグラウトポンプにより下層より上層に向けて注入した。その



結果、一時止水することはできなかった。このとき、在庫のAM-9薬液もなく、日東SSを併用して使用した。高压の湧水を征服するには、注入中ゲルタイムを任意に変えることのできる比例配合の2流ノ系統式ポンプが必要であり、材質は耐酸性のピストンおよびゴムパッキニングを装備したものを製作するに、かなりの時日を要することが判ったので中止を余儀なくされた。作業は1月の最中、坑外 -10°C 、坑内 25°C 近い高温で気温の変化も表れしく、また、湧水の飛散で暴雨の中に、作業してゐると同様、シートも満足にとれず、薬品がアクリアミッドを多量に含んでゐるので、中枢神経障害症の恐れ、防毒装着等の問題があり、注入作業は2交代で行った。こうした湧水を止水するには、掘削前、坑底の周囲より水脈層を探知し、先行ボーリング(長さ $10\sim15\text{m}$)をなし注入後、掘削するので原則であり、掘削後の湧水の止水の大要しを知らずとすることができ、より敏削と体験をえた試験であった。(作業日数11日、注入量 $14,535^{\circ}$)

5. 東京都水道局、京葉有料道路横断水道管布設の注入試験

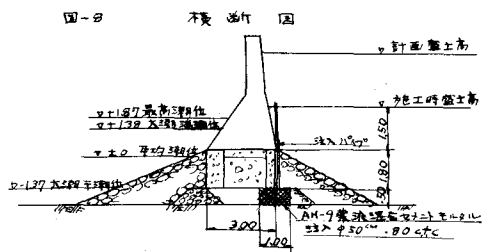
水道管(内径 110° 、長さ 25.00)ヒューム管と道路下 2.5m の位置に推進工法によつて布設する工事である。土質はシルト混り細砂で、地下水位が高く、工事中クックサンド等の地盤沈下の虞れがあったため、推進前面の地盤安定および漏水止を目的として、AM-9薬液の注入とウエルポイント工法を併せて施工した。



注入は交通を遮断できないので水圧注入、1回注入時間 20min 、ゲルタイム $15\sim20\text{min}$ として薬液の注入範囲を拡大した。こうした箇所には薬液注入は之本立にせねば成果はあからない。(図-7)

6. 農林省、西國栗干拓、堤防吸出防止の注入試験

潮の干満作用により堤防基礎礫石の間隙から隙間に砂が流出し陥落つてゐる。これを防止するため、以前、セメント注入されたが効果とあげることのできなかった。AM-9薬液とセメントモルタルを混合し、セメントミルクの流出するのを防ぐため、ゲルタイムをできるだけ縮め、注入の効果と期するよう



にした。カーチンウォール(隔壁)をつくり、初の流出を防止して成果とあげた。1本の注入量 285° ($8\frac{1}{2}\text{m}^3$)、ゲルタイム 30° 、この混合液の考案は米国の文献にはみえぬが、図で初めて採用され、成果とあげたものである。(図-8)

7. あとがき 現在、薬液注入工法は、施工管理が難しいこと、効果の信頼性が欠けること、工費が高いなどの理由で採用されかねない傾向はあるがトンネル工事等の岩盤密閉目的の湧水には先行ボーリングの注入により確実な効果とあげることとできる。青函トンネル工事は、いま、セメント、ゲルタイムの入り込みから湧水のより薬液の注入の使用が必要とされている。しかし、中継層の注入技術は、いまだ、現場の経験と基礎実験の研究の成果が乏しい。おわりに、このAM-9薬液はつくられた鹿島建設専務(元) 柳谷寛博士が米国の技術調査視察中、発見され、わが国へ導入されたものであることを附記しておく。