

法政大学工学部

正員 山内明雄

新技術開発株式会社

正員 荒木和孝

三信建設工業株式会社

正員 鈴木重孝

1. まえがき

地中に連続した遮水壁を確実とし、しかも経済的に造成するため、超高压噴流と硬化剤を用い、土を切削すると同時に切削部をその硬化剤によって硬化させ連続した壁体を造成するものである。この工法の適用は単に鉛直方向の壁体のみでなく、噴流の直進性とその噴流の軌跡を適当に行なえば、自由な形状の硬化壁体（たとえば水平壁体、柱状壁体、多角形壁体など）をも造成する事が出来るし、また砂層は勿論のこと軟弱粘性土層の地盤改良硬化工法としても利用できる。本報告は過去数年間に亘って行なわれた実験と施工実施の一部について述べたものである。

2. 機械装置及機構

超高压噴流による地中硬化物造成装置は、超高压ポンプ、低圧グラウトポンプ、エアーコンプレッサー及びミキサーからなる機械装置と硬化剤噴流を放出するノズルからなり、送水管で配置された図-1、図-2に示す機構よりなる。

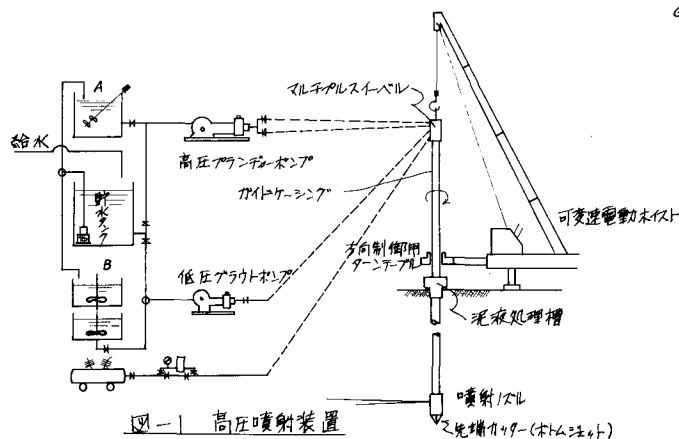


図-1 超高压噴射装置

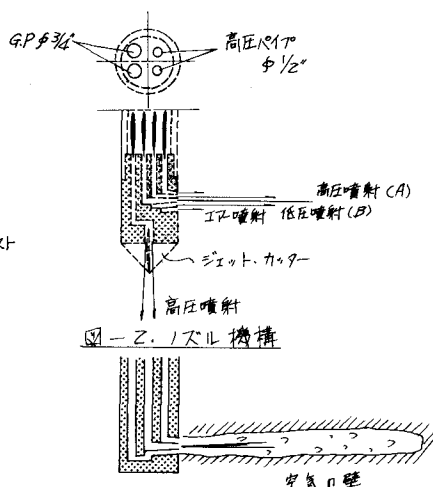


図-2 ノズル機構

ジェット・ノズル機構は図-2に示すように高圧ノズルの周辺に2つのリングノズルをセットした三芯ノズルよりなり、

内側のリングノズルは低圧グラウト剤を放出し、2液式を標準としたものである。外周リングノズルからは空気を放出させる、これにより硬化剤噴流の威力は更に遠くへ達する事ができる（図-3）。図-1の機構は2液式を標準としたものであるが、グラウトの種類によっては低圧グラウトポンプを採らない1液式によるシングルポンプシステムも可能である。

3. 実験

超高压噴流の土質、地盤切削に機構については、採鉱分野の実験結果が利用され、土質の破壊実験式として近似的に、
$$Q = \frac{K_0 R^2}{2 \sigma_0} \left(\frac{1}{\sigma_0} \right)^{0.4} H_0 \quad \text{----- (1)} \quad (\text{値は } l \leq 500 \text{ m で適用})$$

が適用され、また同圧力、同ノズル径のもとでは一定距離での空气中噴射と水中噴射との軸上流圧の比は、
$$\frac{H_{ca}}{H_{cw}} = 520 L^2$$
 で表わされる。従って超高压噴射と地中に利用した場合の泥中噴射で9硬

化剤噴流の持つ圧力の減衰は水中のそれよりも更に大きくなり、その有効切削射程距離の低下は著しいものと予想される。現在呢中噴射の切削特性については不明な点が多いが、こゝに

実験に当っては d : ノズルの径 (cm)
 当工法を實際に L : ノズルの出口から試料面までの距離 (cm)
 利用する立場か v : ノズルの移動速度 (cm/sec)
 ら野外試験を主 K_2 : 係数
 眼とし、本施工 H_0 : ノズルの出口圧力 (kg/cm²)

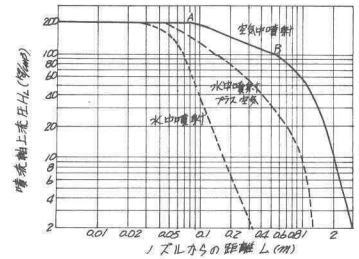


図-4 距離(L)-噴流軸上圧力(H₀)

と同一条件のもとに地中に硬化剤を噴射し、硬化造成状況を観察し、その要因をとらえることを行う。こゝでは

- (1) 噴射条件と切削射程長 実用切削射程距離の把握。
- (2) 鉛直膜造成試験 引揚げ速度 (ノズル移動速度) と切削長、中、閉合状況の確認。
- (3) 水平膜造成試験 噴射条件と膜造成、閉合精度 (噴流軌跡の観察) の確認。

について述べる。(2)、(3)は噴流による地中硬化物造成の基本型である。

3-1. 薬液硬化剤

実験には薬液硬化剤を使用した。本施工の場合次の適性標準基準に従うがよい。

- (i) 稀釈許容性が高い。
 - (ii) 温度変化に対しゲルが安定している。
 - (iii) ゲルタイムの調整が容易である。
 - (iv) 不モゲルの強度が高い。
 - (v) 粘性が低い。
 - (vi) 腐蝕性が低い。
 - (vii) 耐久性がよい。
 - (viii) 経割性が高い。
- こゝである。

高圧噴流硬化剤として今後改良の余地が残されている薬液は、(1)尿素系薬液、(2)リグニン系、(3)ポリ尿素系のもので(1)はゲル物の性状が攪拌と継続した場合不安定となり、外力を受けると容易に水分を遊離し変形が大きい。(2)は水に対する稀釈許容性が低く、ゲル化の状況変化が甚だしく不安定である。(3)硬化物は適度の弾力性があり、優れた特性を持っているが、経済性と機械の保守上の問題がある。

3-2. 噴射条件と切削射程長

遮肉又は遮水膜としての効果は単一膜面の確実な造成とそれらの閉合精度 (または一体化) で決まり、従って土質に応じた噴射間隔が要求される。ピッチを決定するものは有効切削射程長であり、これは施工能率と左右するばかりでなく確実な遮水膜造成の閉合精度に決定的打撃を与え重要なポイントである。噴射条件と硬化物造成長 (切削射程長) の関係についての実験結果は以下の通り。

(i) 噴射条件 地下水位以下の比較的均一な砂質土層で表-1の噴射条件に基づいて地中噴射を行ない硬化物を造成した。

(ii) 実験結果 ノズルの挿入は先端ジェット削孔により行ない、アミド系硬化剤を使用した。噴射テストの結果は図-5及表-2に示

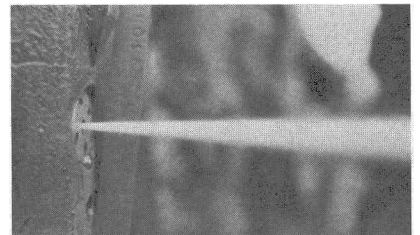


写真-1 空気中噴射の噴流放出状況

表-1 噴射条件

圧力 (kg/cm ²)	高圧 2~7			低圧 2~10		
	70	140	210	10	30	
吐出量 (kg/min)	22	31	38	22	31	38
流量 (kg/min)	34	49	59	34	49	59
流量 (kg/min)	0	0.4	0.8			

した。
表-2
は風量
の変化
に対する
各圧
力時の

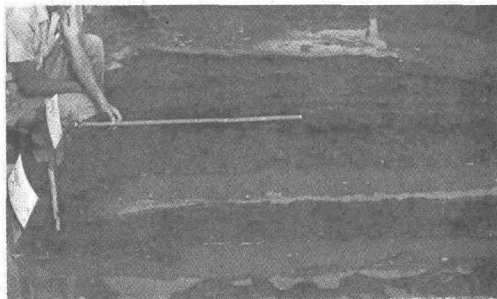


写真-2 硬化物造成確認

程長を比率で表わしたもので、風量=0の切削程長を基準
値1としたものである。

表-3は単位吐出量(l)当り切削長
を求め効果判定の資料としたもので
算定は(i)の吐出量と図-5の平均切
削程長から求めたものである。

表-2 各圧力での風量変化と切削長さ

圧力 (kg/cm ²)	70	140	210
0	1	(1.13)	(1.23)
0.4	1.89	2.08 (2.36)	2.31 (3.02)
0.8	2.95	2.87 (3.25)	3.34 (4.10)

(c) 内数値は圧力70、風量0における切削長を基準値1とした場合の比と表わしたものである。

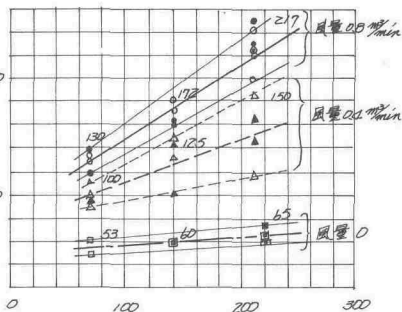


図-5 噴射圧力-風量-切削程長

表-3 吐出量-切削効率 (cm/l)

圧力 (kg/cm ²)	φ 2 (%)			φ 2.5 (%)		
	70	140	210	70	140	210
0	2.41	1.94	1.71	1.56	1.23	1.10
0.4	6.55	4.04	4.21	2.94	2.55	2.71
0.8	5.31 (6.90)	5.53 (7.75)	5.75 (8.20)	3.82 (5.12)	3.57 (4.92)	3.68 (5.07)

(c) 内数値は実切削程長 (単位 cm)

3-3. 鉛直膜造成試験

(i) 配置及試験方法 2-2から噴射条件と切削長さの関係が明らかになったので、次に1ズルの引揚げ速度を変えた場合の切削程長と中の関係及閉合状況を調べ、硬化物の室内連水試験を実施した。引揚げ速度は $v_1 = 0.5 \text{ m/min}$ と $v_2 = 1 \text{ m/min}$ の2種類とし、図-6に示す配置に噴射孔と誘導孔を干鳥に設け、1ズルを吊り下げ所定深度(4L-4M)迄挿入した後、誘導孔(または閉合予室英)への1ズルの向き(スプールで確認)を調整し、位置噴射を(キ1分間)行ない、誘導孔からの噴き上げにより貫通を確認して、所定の引揚げ速度で4L-1H迄噴射し鉛直

膜を造成する。これを1サイクルとして順次繰返し噴射を行ない、連続した鉛直

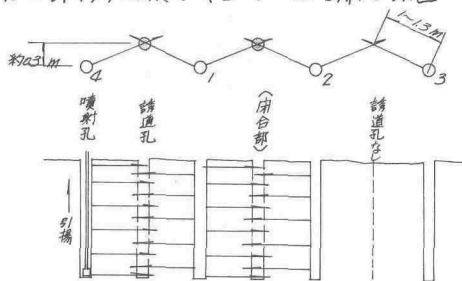


図-6 鉛直膜造成試験配置図



写真-3 鉛直膜面閉合状況

遮水膜面と作成した確認堀りにより造成膜面の断面形状と閉合状況を写真-3に示した。

(ii) 実験結果

1ズルはφ2%, 2液式で硬化剤はアミド系薬液20%配合とし、ゲルタイムは1'10"~1'39"である。

表-4 試験条件及結果表

注入番号	使用薬液及濃度 20(90)	高圧ポンプ		低圧ポンプ		圧縮機		挿入時間 分秒	貫通時間 分秒	封止時間 分秒	ビーカーテスト		注入量		切削		誘導孔
		圧力 (kg/cm ²)	吐出量 (l/min)	圧力 (kg/cm ²)	吐出量 (l/min)	圧力 (kg/cm ²)	吐出量 (l/min)				ゲルタイム 分秒	水温 (°C)	A液 (l)	B液 (l)	長さ (cm)	中 (cm)	
2-1	スミソイル-L	210	38	18	40	4	1.2	55	100	1213	125	16	465	489	1.70	30	有
2-3	"	"	"	"	"	"	"	100	25	1108	125	16	455	478	1.55	28	有
3-2	スミソイル-L	210	38	18	40	4	1.2	48	—	625	110	18	245	260	1.25	14	無
3-4	"	"	"	"	"	"	"	30	—	549	110	18	235	245	1.30	12	無
4-3	スミソイル-L	210	38	18	40	4	1.2	53	—	1206	119	14	460	484	1.68	26	無
1-2	"	"	"	"	"	"	"	55	—	530	119	14	210	222	1.41	10	無

引揚げ速度 $v_1 = 0.5 \text{ m/min}$ の場合の平均切削射程長及中
 $v_2 = 1.0 \text{ m/min}$ の場合の平均切削射程長及中
 v_2 を基準とした場合の v_1 の切削増加率は射程及中で

$$\bar{L}_1 = 1.64 \text{ m}, \quad \bar{b}_1 = 28 \text{ cm}$$

$$\bar{L}_2 = 1.31 \text{ m}, \quad \bar{b}_2 = 12 \text{ cm}$$

259%増 133%増

3-4. 水平膜造成試験

(i) 項目 噴射時間と到達軌跡の関係を明確にするため、噴射時間-到達距離、噴射方法-到達距離について調べ、硬化物の形成状態、肉合状態と観察した。

(ii) 実験方法 矢印ジェットアングによりノズルを所望深度到達のみ定位置噴射(水)とし、同時に下、右後ノズルを表-5に示す噴射条件に従って回転させ水平膜を造成する。噴射孔配置及膜面形成状況を図-8に示した。

(iii) 実験結果 図-8の通り。確認堀りにより膜面造成、肉合状態を写真-4、5に示した。

噴射番号	C				A				B			
	水	薬液	計	水	薬液	計	水	薬液	計	水	薬液	計
1	0	6	6	4	10	14	4	6	10			
2	4	4	8	4	8	12	0	8	8			
3	2	6	8	0	10	10	6	6	12			
4							0	2	2			
5	良③				良②				良③			

表-5 噴射条件

写真-4 連続水平膜造成写真

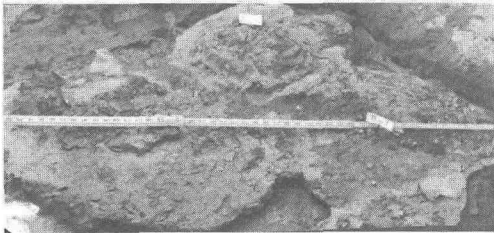


図-8 噴射孔配置及膜面造成結果

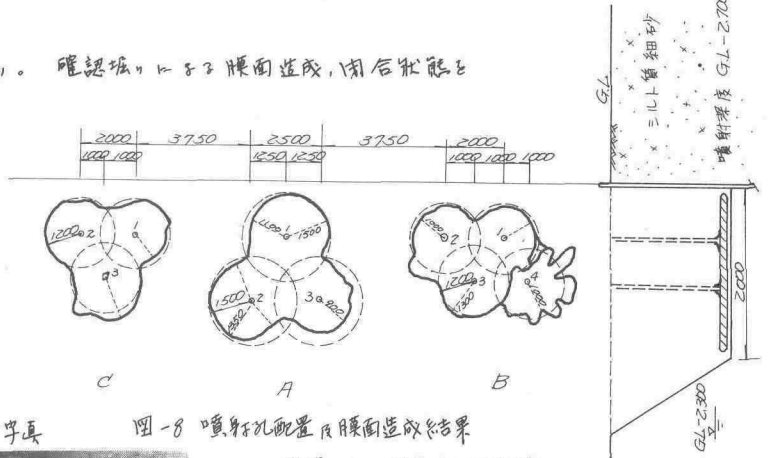
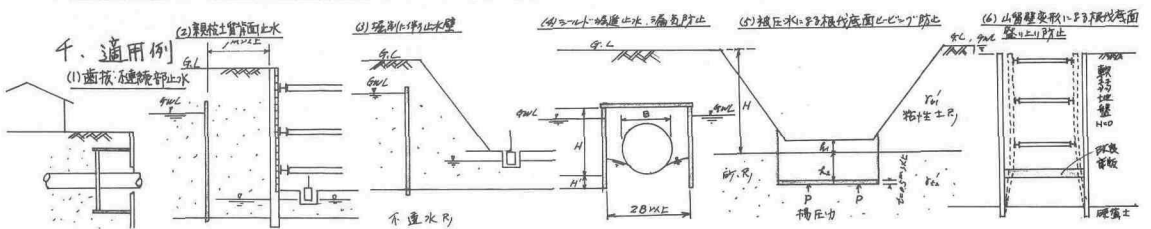
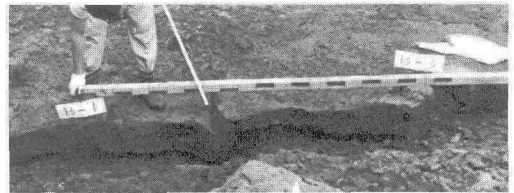


写真-5 肉合(一体化)状態



5. あとがき

泥中噴射の場合でも圧力 200 kg/cm^2 、風量 0.8 m^3 、ノズル径 $\phi 2 \text{ mm}$ で短時間に $1.5 \text{ m} \sim 2.0 \text{ m}$ 程度の切削長が確実に期待できる(砂質土)。硬化剤としては薬液や他懸濁液の使用も実用化しており、更に強度の高い硬化物が造成できる。透水係数(造成膜)は $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm/sec}$ のオーダーで不透水層と考えると差支えない。鉛直膜、水平膜の基本型が確実にできるとして、今後、実験結果から実証され、今日では下水、電々、地下鉄、根伐工事などの他、海水の浸入、既設管への注入液(一般)の流入防止など多方面の用途が期待される。今後パイプ造成の他、高圧噴流の土質適用範囲、土質と噴射条件について明らかにしたい。