

I S S N 0386—5878
土 研 資 料 第 1644 号

土木研究所資料

地下水遮水工法の現況と地盤への適用性

昭和56年3月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright © (1981) Fiscalyear by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

まえがき

近年の急激な水需要の増大に対処するためには、ダム等による地表水の利用のみならず地下水の開発も急務になっている。また従来地下水の過剰揚水によって地盤沈下等の社会問題を引き起こしているとされているが、これらの問題を解決するためには地下水の適正な利用や管理を行わなければならない。さらに地下水の人工涵養を行ったり、地下ダムを建設して積極的に地下水の開発を計る必要がある。

建設省では上記諸目的を達成するため昭和51年度から総合技術開発プロジェクトとして「地下水涵養技術の開発」に関する研究を実施している。地質研究室はその一環として昭和53年度より「地下水止水工法の技術開発」を担当しており、地下の一部を鋼矢板や地中連続壁、注入等によって遮水し、地下水を貯留したり、塩水等の浸入を防ぐ技術を開発しようとしている。本報文は地下ダムとして有効な遮水工法を選択または開発するため、土木の各分野で独自に発展している各種遮水工法の現況を整理するとともに、それらの地下ダム用遮水壁への適用性を各種条件を勘案して検討した結果を報告するものである。

昭和56年3月

建設省土木研究所地質化学部

地質研究室 室長 菅原 捷

研究員 中村 康夫

目 次

ま え が き

1. 概 説	1
2. 矢板工法	2
2.1 概 要	2
2.2 鋼矢板および継手の種類	3
2.2.1 鋼矢板の種類	3
2.2.2 継手の種類	5
2.3 打込み方法の分類	6
2.3.1 屏風打ち	6
2.3.2 単独打ち	6
2.4 施 工 性	6
2.4.1 鋼矢板の種類と施工性	6
2.4.2 打込み機の特性と施工性	7
2.5 遮 水 性	9
3. 地下連続壁工法	12
3.1 概 要	12
3.2 工法の分類と継手の種類	12
3.2.1 壁式地下連続壁工法	12
3.2.2 柱列式地下連続壁工法	15
3.2.3 地下連続壁の継手	18
3.3 壁体材料および安定液	18
3.3.1 壁体材料	18
3.3.2 安 定 液	19
3.4 施 工 性	19
3.4.1 掘削方式と施工性	19
3.4.2 適用地盤と施工上の問題点	23
3.5 遮 水 性	23
4. 注入工法	24
4.1 概 要	24
4.2 工法の分類	24
4.2.1 削孔方式による分類	24
4.2.2 注入方式による分類	25

4.2.3	注入材料の混合方式による分類	32
4.2.4	注入順序による分類	33
4.2.5	注入孔の配置による分類	34
4.3	注入材料	36
4.3.1	注入材料に必要な性質	36
4.3.2	注入材料の分類	37
4.3.3	注入材料の特徴	37
4.4	施工性	38
4.4.1	削孔方式と施工性	39
4.4.2	注入方式と施工性	39
4.4.3	注入材料の地盤への適用性	39
4.5	遮水性	41
5.	遮水壁の施工条件と遮水工法の適用	43
5.1	遮水壁の施工条件	43
5.1.1	地盤条件	43
5.1.2	規模品質条件	44
5.1.3	仮設条件	45
5.1.4	環境条件	45
5.1.5	経済条件	46
5.1.6	条件の重要度	46
5.2	遮水工法の適用性	47
5.2.1	地盤条件に対する適用性	47
5.2.2	規模品質条件に対する適用性	49
5.2.3	仮設条件に対する適用性	50
5.2.4	環境条件に対する適用性	51
5.2.5	経済条件に対する適用性	51
5.3	遮水工法の選定	52
あ	と	
が	き	54

1. 概 説

現在都市土木を含む各種の土木工事に伴って実施されている遮水工法（ダムやトンネルの分野では止水工法という）には，土留め工法に付随して発展してきたものと，全く独自に遮水工法として発展してきたものの2系統がある。土留め工法の目的は掘削壁面の安定を保つことであるから，地下水面下の工事においては必然的に地下水の流動を阻止しなければならないため遮水工法が必要不可欠となる。この場合に用いられる遮水工法としてまず矢板工法が開発され，続いて地下連続壁工法（地中連続壁工法ともいう）が実用化されたが，近年においては適用性の大きい後者の施工例が多くなってきている。他方トンネル掘削に伴う湧水対策あるいはダム基礎地盤における浸透流対策のように元来止水を第一義として発展してきたものとして注入工法がある。注入工法は現在では単なる遮水に止まらず，地盤の固結および強化を目的とした地盤改良工法としても広い分野で施工されている。さらに他の遮水工法としては凍結工法，ウォーターカーテン工法，エアカーテン工法等がある。凍結工法は我が国のように永久凍土が存在せず，地中温度が高い地域では専ら仮設工法として用いられ，長期間の遮水には使用できない。ウォーターカーテン工法，エアカーテン工法等もまだ実用化に至っていない。以下，地下ダム遮水壁築造に採用可能な工法として矢板工法，地下連続壁工法および注入工法をとりあげ，これら各工法の現況について概説する。

2. 矢 板 工 法

2.1 概 要

矢板工法は矢板を交互にかみあわせながら打込んで連続した壁を造り、土留め壁あるいは遮水壁とするものであって、その適用範囲は港湾、河川、埋立等の護岸、仮締切の堤体、掘削の土留め、堰堤の止水壁、基礎工の洗掘防護壁、ドックの壁体等多岐にわたっている。本工法は後述するように矢板の種類と打込み機械の組合せにより優れた施工性を有するため古くから実施されている。

矢板の種類としては、木矢板、コンクリート矢板、鋼矢板の3種が主要なものであるが、種類の豊富さや施工性の良さ等から鋼矢板の施工例が最も多い。表-1¹⁾は矢板の種類とその適用性について記したものである。木矢板は浅い土留め用が主で遮水目的には適さず、コンクリート矢板は海水に対する耐腐食性は鋼矢板に優るが、取扱い、運搬、打込み、継手部の水密性等の点で鋼矢板の優位性に及ばない。したがって以下では鋼矢板工法について検討する。

表-1 矢板の種類と適用性

矢 板 の 種 類		適用深さ	遮 水 性	遮水工法への適否
木 矢 板		浅	不可	否
コンクリート矢板		浅	可	やゝ適
鋼 矢 板	軽量鋼矢板	浅	不可	否
	鋼 矢 板	深	良	適
	鋼 管 矢 板	深	良	適

鋼矢板工法の長所として以下の項目があげられる。

- 1) 鋼矢板と打込み機の組合せにより、軟弱な粘性土からかなり締った礫層まで適用できる。
- 2) 継手部を工夫することにより高い水密性が得られる（特に鋼管矢板の場合）。
- 3) 鋼矢板の材質のばらつきが少ない。
- 4) 施工は比較的簡単な機械設備で行なえ、急速施工することが可能である。

他方短所あるいは問題点として以下があげられる。

- 1) 礫層や硬質層には不適であり、それらが厚い場合や中間層を構成する場合には適用深さが著しく制限される。
- 2) このような地盤に施工した場合、あるいは著しく深く施工した場合には継手のはずれる可能性が大きく、十分な遮水効果が期待できないことがある。
- 3) 一般的に大きな騒音、振動を発生する。
- 4) トラック輸送できる鋼矢板の長さは20 m以下であり、それ以上の長さでは現場溶接が必要となる。

2.2 鋼矢板および継手の種類

2.2.1 鋼矢板の種類

鋼矢板はその製造方法により、①冷間加工鋼矢板（軽量鋼矢板）、②熱間圧延鋼矢板（一般の鋼矢板）、③鋼管に継手を溶接した鋼矢板（鋼管矢板）に分類される。また断面形状により、①U形鋼矢板、②Z形鋼矢板、③H形鋼矢板、④直線形鋼矢板、⑤鋼管形鋼矢板の5種に分類されている（図-1）。JISでは表-2に示すように、化学成分、引張強さ、降伏点等の品質について規定しているが寸法そのものの規定はなく、メーカー各社で規格を定めている。

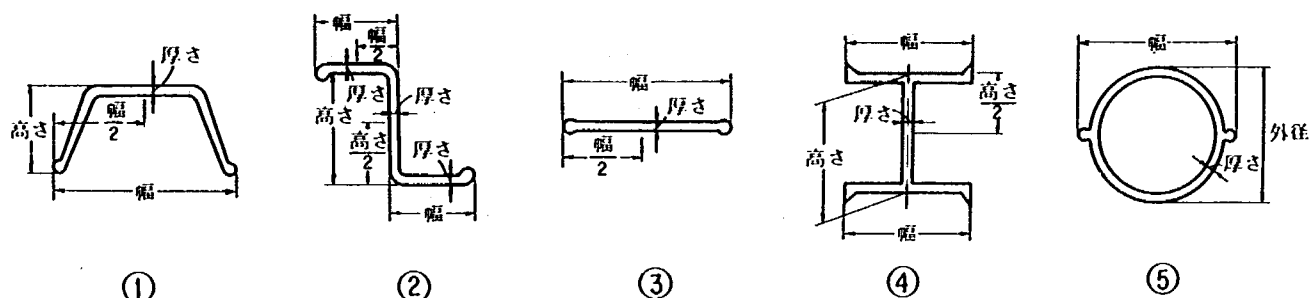


図-1 鋼矢板の種類（JIS A 5528-1967）

表-2 鋼矢板の品質（JIS A 5528-67）

種 類		記 号	化 学 成 分 %			引張強さ Kg/mm ²	降 伏 点 Kg/mm ²	伸 び %			摘 要
			P	S	O ₂			1号または4号試験片	12号試験片	5号試験片	
鋼 矢 板	1種	SY24	0.040 以 下	0.040 以 下	—	41以上	24以上	—	23以上	18以上	鋼 管 形
	2種	SY30	0.040 以 下	0.040 以 下	0.25 以 上	50以上	30以上	18以上	—	—	U形, Z形, 直線形およびH形
	3種	SY40	0.040 以 下	0.040 以 下	0.25 以 上	55以上	40以上	16以上	—	—	

表-2に示されるように、鋼矢板の鋼材は、海水、河川水、地下水等の影響による腐食に耐えるため、一般に銅の含有率を0.25%以上に高めることが行なわれている。各断面形状毎の特徴を以下に示す。

1) U形鋼矢板

一般に最も多く使用され、種類も多く、曲げやねじれに強く、取扱いおよび保守が簡単である。表-3.1²⁾は断面性能を示したものであるが、仮設用としてはⅡ、Ⅲ、Ⅳ形が最も多く使用されており、U₁₅、ⅢA等は永久構造物用として用いられている。

2) Z形鋼矢板

単位重量に比較して断面係数が大きく経済的であるが、断面が非対称であるため製造も難しく、U形鋼矢板に比べると施工性が劣り、取扱いや保管の面でも不便が多い。このタイプは仮

表-3.1 U形鋼矢板の断面性能

種 類	寸 法			断面積 1枚当り cm ²	重 量		断面二次モーメント		断 面 係 数	
	W mm	h mm	t mm		1枚当り Kg/m	壁幅1m当り Kg/m ²	1枚当り cm ⁴	壁幅1m当り cm ⁴ /m	1枚当り cm ³	壁幅1m当り cm ³ /m
I	400	75	8.0	46.49	36.5	91.2	429	3,820	66.4	509
U ₅	400	80	7.6	45.21	35.5	88.8	454	4,220	64.7	527
I _A	400	85	8.0	45.21	35.5	88.8	598	4,500	88.0	529
II	400	100	10.5	61.18	48.0	120	986	8,690	121	869
II	400	100	10.5	61.18	48.0	120	1,240	8,740	152	874
U ₉	400	110	9.3	55.01	43.2	108	1,070	9,680	120	880
II _A	400	120	9.2	55.01	43.2	108	1,460	10,600	160	880
III	400	125	13.0	76.42	60.0	150	1,920	16,400	196	1,310
III	400	125	13.0	76.42	60.0	150	2,220	16,800	223	1,340
U ₁₅	400	150	12.2	74.40	58.4	146	2,700	22,800	238	1,520
III _A	400	150	13.1	74.40	58.4	146	2,790	22,800	250	1,520
IV	400	155	15.5	96.99	76.1	190	3,690	31,900	311	2,060
IV	400	170	15.5	96.99	76.1	190	4,670	38,600	362	2,270
U ₂₃	400	175	14.7	94.21	74.0	185	4,380	39,400	330	2,250
IV _A	400	185	16.1	94.21	74.0	185	5,300	41,600	400	2,250
V	420	175	22.0	134.0	105	250	5,950	55,200	423	3,150
VL	500	200	24.3	133.8	105	210	7,960	63,000	520	3,150
VL	500	225	27.6	153.0	120	240	11,400	86,000	680	3,820

表-3.2 Z形鋼矢板の断面性能

種 類	寸 法				断面積 1枚当り cm ²	重 量		断面二次モーメント		断 面 係 数	
	W mm	h mm	t ₁ mm	t ₂ mm		1枚当り Kg/m	壁幅1m当り Kg/m ²	1枚当り cm ⁴	壁幅1m当り cm ⁴ /m	1枚当り cm ³	壁幅1m当り cm ³ /m
Z ₁₄	400	235	9.4	8.2	66.06	51.9	130	6,480	16,200	552	1,380
Z ₂₅	400	305	13.0	9.6	94.32	74.0	185	15,300	38,300	1,000	2,510
Z ₃₂	400	344	14.2	10.4	107.7	84.5	211	22,000	55,000	1,280	3,200
Z ₃₈	400	364	17.2	11.4	122.2	96.0	240	27,700	69,200	1,520	3,800
Z ₄₅	400	360	21.5	12.5	148.2	116	290	32,900	82,200	1,820	4,550
Z ₄₅	400	367	21.9	13.2	148.2	116	290	33,400	83,500	1,820	4,550

設用としては適さず、岸壁や護岸等の永久構造物に多く用いられる。断面性能を表-3.2に示す。

3) 直線形鋼矢板

両端の継手部のかみ合せ強度が非常に大きく、セル専用の鋼矢板として主に大規模構造物の締切工事として使用され、厳しい条件の打込みには適さない。表-3.3に断面性能を示す。

4) H形鋼矢板

表-3.3 直線形鋼矢板の断面性能

継手が2重になるの
で継手強度が大きく、
また隣接するもの同士
が構成する箱形空間内
に遮水材を充填するこ
とによって高い止水性

寸 法			断面積	重 量		断面二次モーメント	断面係数
W mm	h mm	t mm	鋼矢板1枚 cm ²	鋼矢板1枚 Kg/m	壁幅1m Kg/m ²	鋼矢板1枚 cm ⁴	鋼矢板1枚 cm ³
400	44.5	9.5	69.07	54.2	136	190	47.8
400	44.5	12.7	77.50	60.8	152	196	48.3

が得られる。打ち込み性能に優れ、中間礫層の打抜きにも有利である。このタイプは軟弱地盤や大水深の永久構造物として使用されるのがほとんどであり、仮設用として用いられることは稀である。表-3.4に断面性能を示す。

表-3.4 H形鋼矢板の断面性能

主要寸法 mm				断面積		重 量		断面二次モーメント		断 面 係 数	
H	B	t ₁	t ₂	1枚当り cm ²	1枚当り Kg/m	壁幅1m当り Kg/m ²	1枚当り cm ⁴	壁幅1m当り cm ⁴ /m	1枚当り cm ⁴	壁幅1m当り cm ³ /m	
486	420	10	13.5	211.0	166	394	75,700	180,000	3,120	7,420	

5) 鋼管矢板

鋼管に継手部を取付け、矢板の機能をもたせたもので大きな断面係数を有し、打ち込み性能は最も優れている。大規模な永久構造物、あるいは基礎の一部となる仮設用として使用され、引抜きが極めて困難であるため一般的な仮設用としては不適である。使用される鋼管は外径500～2000mm、板厚9.0～25.0mmの範囲が一般的である。

2.2.2 継手の種類

遮水を目的とした鋼矢板の継手には高い水密性を有し、打ち込みまたは引抜きを妨げないことが要求される。図-2.1³⁾に鋼矢板の、図-2.2⁴⁾に鋼管矢板の継手の種類を示す。このうち最も水密性の点で優れているのは⑥のラルゼン形式のか

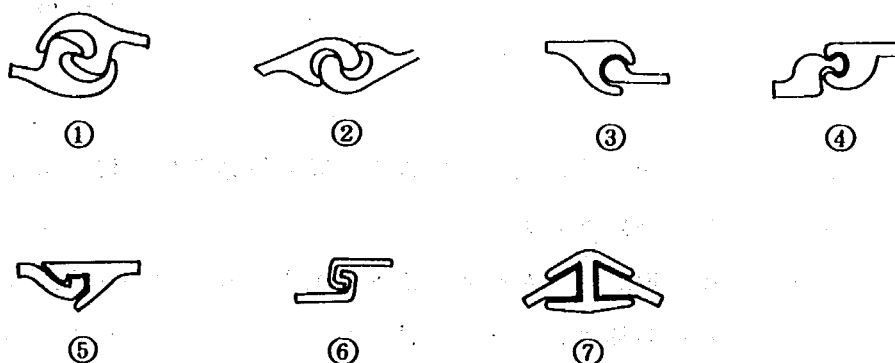
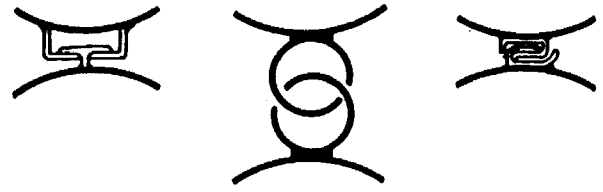


図-2.1 鋼矢板の継手の種類³⁾

ぎ形継手であり、①、②もかなり優れている。
元来鋼矢板は継手の構造上完全に水密にすることは不可能であるが、打込み後、水とともに流入する土砂等が継目の間隙を埋めるので実用上はほとんど支障のない程度の水密性を確保することができる。



① 二港湾型 ② パイプ型 ③ プレス型

2.3 打込み方法の分類

2.3.1 屏風打ち

10～20枚の鋼矢板を一直線上に自立できる深さまで打込んでおいた後、両端の1～2枚を先行して所定の深さまで打込む。その後中間の鋼矢板を通常2枚ずつ数回に分けて往復しながら順次所定の深度まで打込む方法



④ パイプT型 ⑤ アングル型 ⑥ 渦巻型

図-2.2 鋼管形矢板の継手の種類⁴⁾

である。最初に打込む時の根入れ長さは鋼矢板が倒れない程度で良いが、一連の鋼矢板の両端の矢板（親柱という）は特に鉛直精度に注意して打込む必要がある。

この方法は鋼矢板の傾斜や回転を防止する最も良い方法であるが打込みには高いやぐらが必要であるうえ、継手相互のかみ合せを高所で行なうので風の影響を受けやすく危険が予想される場合がある。

2.3.2 単独打ち

1～2枚の鋼矢板を一挙に所定の深度まで打込む方法である。屏風打ちに比較してやぐらの高さをかなり低くすることができるが、ガイドとなる継手が片側にしかないので、打込む方向に鋼矢板が倒れる傾向や法線直角方向の倒れが多くなる欠点がある。このためくさび矢板（打込み中の傾斜を修正するための異形鋼矢板）が多数必要となる。仮設工事で鋼矢板を打込む場合は、屏風打ちより単独打ちが簡便なため後者が採用されることが多い。しかしくさび矢板を製作する作業はかなり繁雑で時間のかかるものであるから、鋼矢板の長さが長くなるほど屏風打ちが有利となる。

2.4 施工性

鋼矢板工法の施工性は主に鋼矢板の種類と打込み機の性能によって決まる。

2.4.1 鋼矢板の種類と施工性

鋼矢板には、厚い締った砂層、かなり大きな礫を含む地層、硬質な粘土層を挟在する地層などに対して打込み機的能力を充分に発揮できる強さを持つことが要求される。具体的には、同一品質の鋼材であれば、

- ① 曲げ、ねじれに対する抵抗（断面二次モーメント）
- ② 座屈に対する抵抗（断面係数）

③ 先端や頭部のめくれ、破損等に対する抵抗

の大きいことが必要である。一般に鋼矢板の種類による施工性は断面係数の大きさによって決定され、鋼管形の断面性能が最も大きく、次いでH形・Z形、U形、直線形の順となる。H形とZ形はほぼ同様な値を示すが、Z形は製造技術の限界により大断面のものはできず、大型鋼矢板としてはH形、鋼管形が優れている。

鋼管形矢板は強力で深い打込みが可能であるが、鋼管ぐい（ $\phi 1500\text{mm}$ ）としての打込み例では $N=20\sim30$ の砂層を打抜き全長 $50\sim60\text{m}$ に達するものや、砂岩層への根入れ 1m というものもある。このような中間層が厚くて打抜きが困難な場合には、事前にアースオーガーで中間層を攪乱したり、鋼管内に入ってくる土砂を排除すれば良い。

鋼矢板の長さは、自動車輸送の場合最長 20m 程度が限界であるから、それ以上の深度に打ち込む場合は現場溶接が必要となる。したがって溶接箇所が多い程全体の施工能率は低下する。またH形鋼矢板は、一般に現場溶接なしの比較的短尺なものが用いられる。

鋼矢板の打込み可能長さには、地盤状況、打込み機械、打込み方法、鋼矢板の種類、継手の種類等種々な要因が関連しており、経験的な面によっているのが現状であるが、砂質地盤に対するU形鋼矢板の概略的な打込み可能長さは表-4²⁾に示すとおりである。

2.4.2 打込み機の特性と施工性

表-4 打込み可能なU形鋼矢板の全長²⁾

現在使用されている打込み機械には大きく分けて衝撃式、振動式、静的押込みの3種があるその特性および施工性は以下に示すとおりである。

1) 衝撃式打込み

この方法にはドロップハンマ、スチームハンマ、ディーゼルハンマがある。ドロップハンマは重錘（モンケン）をウィッチにより巻き上げ、重力により自然落下させ矢板を打込む工法である。設備が簡単なので小規模工事に用いられるが、砂層以上の硬質地盤には適

鋼矢板 形 式	N値 1 0 程度の砂質地盤		N値 2 0 ～ 3 0 程度の砂質地盤		
	1 枚打ち	2 枚打ち	1 枚打ち	2 枚打ち	
U型	I	9 ～ 10	12 ～ 13	5 ～ 8	5 ～ 11
	II	12 ～ 13	16 ～ 17	5 ～ 10	6 ～ 13
	III	15 ～ 16	19 ～ 20	6 ～ 13	7 ～ 16
	IV	18 ～ 19	23 ～ 24	7 ～ 15	8 ～ 19

注：鋼矢板施工指針（日本港湾協会）「9.5 打込み可能な鋼矢板の最大長」による。キャップと鋼矢板の接触断面積が1枚打ちの場合鋼矢板の約70%、2枚打ちで約50%の場合について示す。

表-5 U形鋼矢板の長さともンケン重量（単位：t）

鋼矢板種別	長さ 打込み枚数		5m未満		5～10m		11～15m	
	1枚打ち	2枚打ち	1枚打ち	2枚打ち	1枚打ち	2枚打ち	1枚打ち	2枚打ち
I	0.3	0.5	0.5	1.0	2.0	2.5		
II, III	0.5	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5		
IV	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0		

さず、打込み可能深さも浅く、能率も悪い。重錘の重量は鋼矢板重量の2～3倍が適当とされているが、表-5²⁾にU形鋼矢板における矢板の長さともンケン重量の関係を示す。

ディーゼルハンマはディーゼル機関のピストン往復機構によって衝撃体を強制落下させて矢板を打込む工法である。打込み能力や施工能率に優れ、鋼矢板の種類や工事規模に対応した多様なハンマーが製作されており、最も多く使用されている。その反面大きな振動や騒音を発生するため、作業場所および作業時間の制約を受ける。また、貫入抵抗の小さな軟弱地盤では起動困難となったり、逆に硬質地盤ではオーバーヒートすることがあるので、打込みの初期と末期とでは同一ハンマーで対応できなくなり途中交換の必要が生じることもある。一般に締った地層や砂礫層では重いハンマーを使用するが、図-3²⁾はハンマー重量の選定について示したものである。同図は鋼矢板の種類、長さ、根入れ深さ、先端N値、平均N値、打込み方法等から貫入抵抗を推定し、ハンマー重量を決めようとするものである。しかしながら土質構成は場所的に変化に富んでおり、打込み作業によって地盤の性状が変化することもあり正確を期すことは困難である。したがって複雑な互層や中間礫層の打抜き、あるいは硬質層への根入れが必要な場合



は、あらかじめ試験打ちを行なうことが最善である。

2) 振動式打込み

バイプロハンマで代表される振動式は、起振機により矢板に上下方向の振動を与えて地盤との摩擦を減少させ貫入させるものである。仮設備が簡単で施工能率も高く騒音の発生も少なく特に軟弱地盤への適用性が大であるので近年使用例が多くなっている。しかし硬質地盤（砂質地盤N値50以上、粘土質地盤N値30以上）に適さず、地盤の種類によっては予想外のところへ大きな振動が伝播することがある。また緩い砂地盤でも振動によって締固め現象が起きて打込み困難となることもある。表-6²⁾は鋼矢板の種類とバイプロハンマの能力の関係について示したものである。貫入抵抗に比較してハンマの能力が小さい場合は長時間運転が必要となりモータが過熱する。逆にハンマ能力を増大しようとするとクレーン、トランス、ケーブル等の附属設備から取り替えねばならず、本工法は一般に土質の変化が著しい場合には適応しにくいといえる。

3) 静的押込み

騒音や振動対策として開発されたもので、油圧押込み式、オーガー先掘り油圧押込み式、水ジェット式等があるが、いずれも適用地盤、深さとも衝撃式の多様性に及ばない。本工法に使用する機械は反力を取るため一般に自重が大きく、装置全体の組立て、解体運搬等に時間を要し、小規模な工事の場合には著しく不経済となる。本工法の利点としては、振動・騒音が少ないこと、鋼矢板の垂直精度が高いこと、鋼矢板自体の破損が少ないこと等があげられる。

以上概説した打込み機械を選定する際考慮すべき事項は鋼矢板の長さ、寸法、形状、数量、工事規模、地盤条件（土質特にN値等）、施工条件（搬入路、作業空間、騒音振動規制等）等である。表-7²⁾はこれらの事項と各種打込み工法の関係を示したものである。ただし本表は一般的傾向を示すものであり、場合によっては試験打ちを行って、最も有利な工法を決定する必要があることも生じる。

2.5 遮水性

鋼矢板壁の遮水性は主として継手の水密性および下部不透水層への根入れ程度によって決定される。継手に関しては2.2で述べたように水密性の優れたものを用いることが第1であるが、

表-6 鋼矢板の種類とバイプロハンマの能力²⁾

鋼 矢 板			バイプロハンマ	
形 式	長 さ (m)		標準出力 (kW)	起 振 力 (t)
U型 {	I 型	10	10~30	7~20
	II 型	10~15	15~40	10~30
	III 型	10~15	30~60	20~50
	IV 型	10~18	40~90	30~70
	V 型	15~20	60~125	40~90
	VI 型	15~25	75~150	50~120
Z14型×2		10~15	40~75	30~60
Z25型×2		10~15	60~90	40~70
Z32型×2		10~18	60~125	40~90
Z38型×2		15~20	75~125	50~100
Z45型×2		15~25	75~150	50~120

注：Z型鋼矢板は2枚打ちを原則とする。

表-7 鋼矢板打込み工法の特性²⁾

工 法		衝 撃 式 打 込 み 工 法			振 動 式 打 込 み 工 法		静 的 打 込 み 工 法
		ディーゼル ハンマ	スチーム ハンマ	ドロップ ハンマ	パイプロ ハンマ	チャック ハンマ	油 圧 式 押 込 み 機
工 法 の 概 要		衝撃体をディーゼル機関のピストン往復機構によって強制落下させ矢板を打ち込む。	衝撃体を蒸気圧によるピストン往復機構によって強制落下させ矢板を打ち込む。	重錘をウィンチにより巻き上げ、重力によって落下させ矢板を打ち込む。	振動体の上下振動によって矢板の打抜きを行なう。	振動体の上下振動によって矢板の打抜きを行なう。	油圧ジャッキによる伸縮力によって矢板の貫入および引抜きを行なう。
鋼 矢 板	形 式	軽量鋼矢板を除くすべての形式	軽量鋼矢板を除くすべての形式	すべての形式	すべての形式	軽量鋼矢板	軽量鋼矢板を除くすべての形式
	長 さ	長いものでも可能	長いものでも可能	短いものに適している。	あまり長いものには不適	長いものには不適	長いものでも可能
地 盤 条 件	軟 弱 シ ル ト 層	不 適	不 適	適	適	適	可 能
	シ ル ト ・ 粘 土 層	適	適	適	適	可 能	適
	砂 層	適	適	不 適	可 能	可 能	可 能
	土 丹 層	可 能	可 能	不 可 能	不 可 能	不 可 能	不 適
施 工 条 件	仮 設 備	大 規 模	大 規 模	簡 単	簡 単	非常に簡単	大 規 模
	発 生 音	高 い	大 き い	高 い	小 さ い	少 な い	ほとんどのない
	振 動	大 き い	大 き い	少 な い	大 き い	少 な い	な い
	打込みのエネルギー	大 き い	普 通	小 さ い	普 通	小 さ い	普 通
	施 工 速 度	著しく早い	早 い	遅 い	普 通	早 い	普 通
	工 費	高 い	高 い	安 い	普 通	安 い	高 い
						小型エンジン(3~8HP程度)が必要	
そ の 他	適している工事規模	大 工 事	大 工 事	簡易な工事	大 工 事	簡易な工事	大 工 事
	長 所	燃料費が低い 運転が簡単	打撃力の調整 ができる。	故障が少ない 落下高を変え 打撃力を調整 できる。	打込みと引抜き が兼用できる。	打込みと引抜き が兼用できる。 取扱いが容易	打込みと引抜き が兼用できる。
	短 所	軟弱地盤では 起動しにくい 油が飛散する	火気、ばい煙 を発生する。	偏心しやすい 船打ちには危 険性が多い。	瞬間電流が大 きいので電気 設備が比較的 大型となる。		直線部にしか 使用できない

継手がきつ過ぎれば打込み時の障害になる。また硬質地盤に無理に打込めば継手ははずれることがあり、打込み後掘削をしない場合には継手の損傷の確認ができないから、補助グラウト等を行うにしてもその場所を限定することが困難である。打込み当初の継手からの軽微な漏水は土粒子の流入により時間とともに減少することが期待できるが、より積極的な漏水防止対策としては、人為的に流入側よりオガクズや粘土等を流して目づまりを起こさせたり、継手構造自体にシール材を充填するか、継手周囲にグラウト注入を行なう等がある。いずれにしても鋼矢板の幅は400~500mm、鋼管矢板の直径は500~1300mm程度であるから、次節の地

下連続壁に比較すると同一施工延長に対してはるかに多くの継手を含むことになり、完全な水密性を得ようとすれば継手処理に多大の労力を要することになる。

下部不透水層への根入れの程度は、他工法にも共通する問題であるが、遮水壁下端が下部不透水層に達していない場合の遮水効果は著しく劣ることが報告されている^{5), 6)}。地質的には下部不透水層が鋼矢板の打込み可能な程度に軟質な場合は問題ないが、硬い岩盤やその上に基底礫層を有するような場合は十分な根入れができないことになり、鋼矢板による遮水壁全体の遮水性を低減させる。

3. 地下連続壁工法

3.1 概 要

あらかじめ深い溝や円孔を掘削した後、溝(孔)内にモルタル、コンクリート(鉄筋入りが多い)を打設するか、既製のコンクリートパネル等を建込み、それらを連続して一体の壁を形成し、土留めあるいは遮水の目的に供するものを地下連続壁という。一般に掘削溝(孔)壁の崩壊防止にはベントナイト泥水等の安定液を用いるが、円孔の場合にはケーシングパイプによることもある。現在では本工法による地中壁が仮設的な土留め、遮水壁としてのみならず、本体構造物の一部として利用されるに到っている。

地下連続壁工法の長所としては以下のものがあげられる。

- 1) 軟弱層から硬岩に至る広い範囲の地盤に適用できる。
- 2) 剛性の大きいものからたわみ性のあるものまで目的に応じた材料を選択できる。
- 3) 遮水性が優れている。
- 4) 低騒音、低振動で施工できる。
- 5) 基礎グイおよび本体構造物として利用できる。

他方、短所あるいは問題点として以下があげられる。

- 1) 地質に応じた工法の選定と地質の変化に対応できる最適補助工法の選定が重要である。
- 2) 掘削溝(孔)の崩壊は致命的であるので素早い対応が必要である。
- 3) 廃泥や廃液の処理が必要である。
- 4) 各エレメント間の継目が構造上の弱点となる。
- 5) 設備が大規模で高価である。

3.2 工法の分類と継手の種類

地下連続壁工法は、施工上の形態から壁式地下連続壁工法と柱列式地下連続壁工法の2つに大別されるが、狭義には壁式のみを連続壁ということもある。

3.2.1 壁式地下連続壁工法

長さ数 m 単位の地中壁を順次施工し、これを連続して一体化した形式のものをいい、掘削方式の相異により表-8⁷⁾に示されるように分類される。バケット式はクラムシェルバケットやエルゼバケット等を用いバケットの落下(ワイヤ式クラムシェル、エルゼ)やバケットの押付け(ロッド式クラムシェル)により土砂をつかみ取って掘削する方式である。衝撃式はバーカッションビットや撓降しチゼルにより地盤を粉砕し削り取り、土砂は安定液とともに吸い上げつつ掘削する。回転式は回転ビット、回転カッタにより地盤を粉砕、切削し、土砂は安定液とともに吸い上げつつ掘削するものである。これら各掘削方式の概念を図-4⁸⁾に示す。

これらの方式は地盤性状および地下連続壁の規模によって使い分けられるが、地下連続壁工法では種々な地盤に対して如何に正確な形状の溝を掘削するかということが最も重要であるか

表-8 掘削方式の分類と工法名⁷⁾

掘削方式			工 法 名
バケット式	クラムシェル式	ワイヤ式	OWS, イコス, アースウォール, HBバケット(浜田), MDB(真砂), DDO(油谷, ディープデッキング)
		ロッド式	ソレタンシュ・ケリー, トールマン, HBS(日立), LMO(油谷, ロングマウント)
	撈揚げバケット式		エルゼ(熊谷, 竹中)
衝撃式	パーカッション式		ソレタンシュ(CIS-58, CIS-71), イコス, SHUT(三信), KCC(鹿島)
	撈 降 し 式		TM(大成), TMI(大成)
回転式	回転ビット	多軸 垂直	BW(利根), SSS(清水), ZBW(銭高)
		水平	TBW(竹中), OCW(奥村), OBW(大阪防水)
	単軸 垂直		ソレタンシュ(CIS-71), イコス, SHUT, KCC

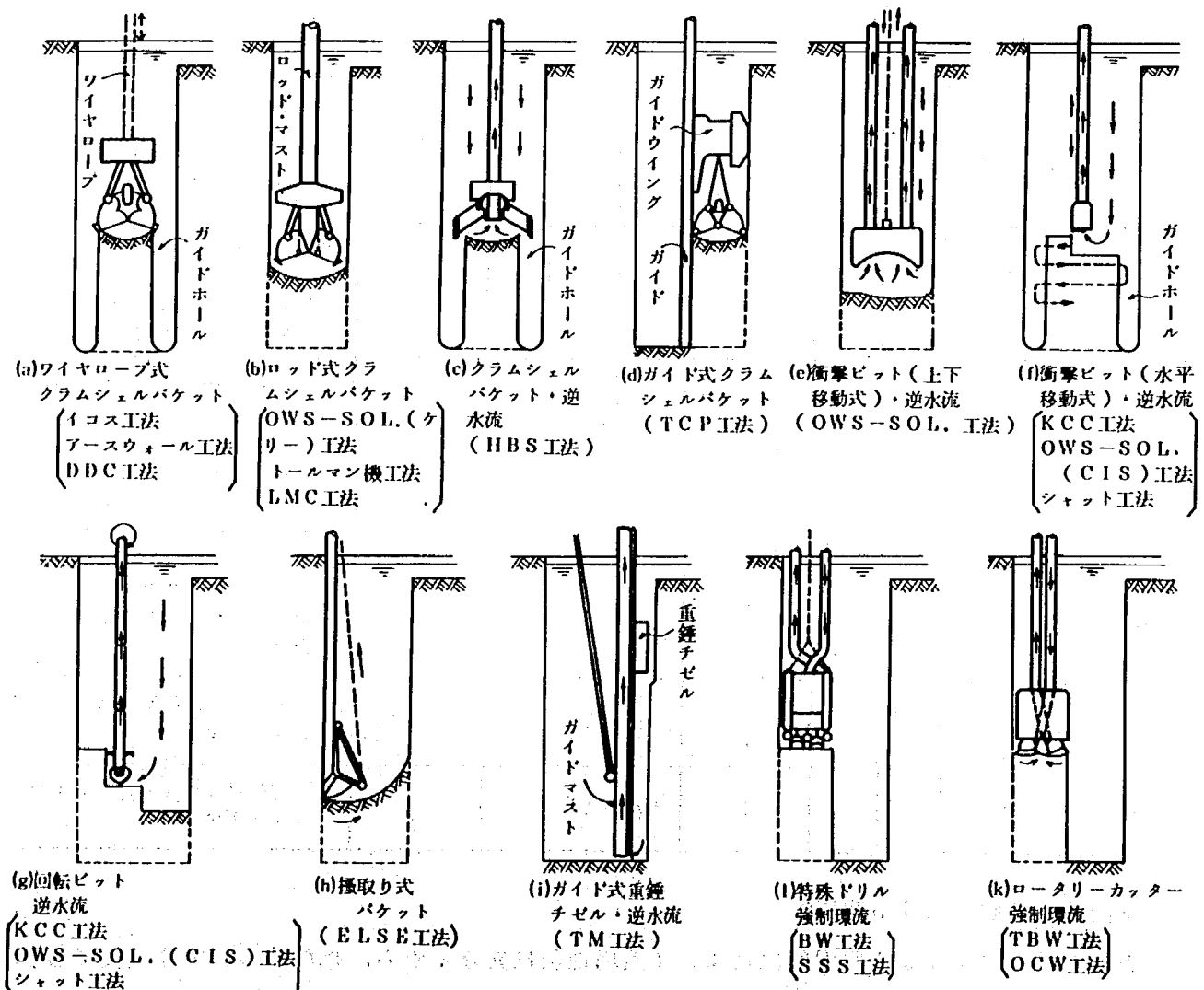


図-4 地下連続壁掘削方法の概念図

ら、掘削方式による分類がそれぞれの工法を特徴づけているといえる。以下に主要掘削方法の地盤への適用性、最大掘削深、最大掘削幅等について記す。

1) 掘削機の掘削システム

掘削機の掘削システムを特徴づける要素としては、掘削方式、掘削機を吊下げるための懸垂方式、掘削土砂を排除するための排土方式等がある。表-9⁷⁾はこれらの要素を代表的掘削機について示したものである。

表-9 掘削機と掘削システム⁷⁾

掘削機名	掘 削 方 式						懸垂方式		排土方式		備 考
	クラ ムバ ムケ シツ エト	掘 バ ケ ツ ト	バ ヨ ン カ ビ ツ シ ト	多 軸 ビ ツ ト	ロ カ ー タ リ タ	掘 チ 降 ゼ シ ル	ワ ロ イ ヤ ブ	ロ ッ ド	リ シ バ キ ョ ー ム ン ス レ サ イ	バ ケ ツ ト	
イコス(バケット) アースウォール OWS	○ ○ ○						○ ○ ○			○ ○ ○	
ケリー	○ ¹⁾							○ ²⁾		○	1) 油圧機構により開閉 2) ケリーロード式
トールマン	○ ¹⁾						○ ²⁾			○	1) パー付クラムシェルバケット 2) 深さ14m以下はワイヤロープ式となる。
イコス(ビット)			○					○	○		
ソレタンシュ (CIS)			○ ¹⁾					○	○		1) CIS-58型はパーカッション CIS-71型はパーカッションおよび回転を行なう。
B W				○ ¹⁾			○		○		1) ドリル本体に偏位修正装置をもつ。
SSS ウォールドリル				○ ¹⁾				○ ²⁾	○		1) BWと同じ 2) リバースパイプ兼用のロード、ワイヤロープ式もある。
TBW					○ ¹⁾			○	○		1) 油圧駆動の2組のロータリカッターとスライドカッターの組合せ
エルゼ		○ ¹⁾					○			○	1) バケットは移動マストに沿って上下する。
T M						○ ¹⁾	○		○		1) 掘削具はガイドマストに沿って上下する。

2) 掘削機の地盤に対する適用性

表-10⁷⁾に示すように掘削機によって適用地盤は異なるから、掘削機の選定は重要であり、場合によっては複数の掘削機を使用する必要がある。

表-10 掘削機と適用地質⁷⁾

掘削方式	地質 掘削機名	粘性土				砂質土				砂れき層				玉石層	土丹層		軟岩		硬岩
		軟らかい N=0~4	中位 N=4~8	硬 N=8~15	硬 N=15以上	軟 N=10以下	中位 N=10~30	密 N=30~50	硬 N=50以上	I れき径φ100以下 N=30以下	II れき径φ100以下 N=50以上	III れき径φ100~150 N=30以下	IV れき径φ100~150 N=50以上	れき径φ200以上	普通 N=50以下 qu≦7以下	非常に硬い N=50~200 qu≦7~30	I qu=100以下	II qu=100~300	I 軸圧縮強度 qu=300以上
クラム シェル バケット	イコス	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	△	○	△	○	△	○	△	×	×	×	×
	アース ウォール	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	△	○	△	○	△	○	△	×	×	×	×
	O W S	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	△	○	△	○	△	○	△	×	×	×	×
	ケリー	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
	トール ン	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	○	○	△	○	△	○	○	×	×	×	×
パーカッ ション ピット	イコス	○	○	○	△	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	△	△	○	○	△
	ソレン タ (OIS)	○	○	○	△	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	△	△	○	○	△
多軸 ピット	B W	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	×	◎	○	○	△	△
	S ウォ ド S ー ル ル	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	×	◎	○	○	△	△
ロータリ ー カッタ	T B W	◎	◎	◎	○	◎	○	○	△	△	×	×	×	×	△	×	×	×	×
掻揚げ バケット	エルゼ (ELSE)	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	○	○	○	○	△	○	△	×	×	×	×
掻降し チ ゼ ル	T M	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	△	×	○	×	×	×	×

(注) 1. ◎:最適 ○:適 △:やや適 ×:不適

2. 本表は各掘削機ごとの適用度を表すもので、掘削機相互の優劣を評価するものではない。

3) 最大掘削深さ

最大掘削深さはロッドあるいはケリーバーの長さ、ガイドマストの長さ、水中掘削機の耐水圧性等の機械的条件とバケットの昇降時間等の経済的条件から決定される。表-11⁷⁾は代表的掘削機の最大掘削深さを示したものである。

4) 掘削幅

掘削幅はバケット、ビット、カッタ等のサイズを変えることにより選定できる。表-12⁷⁾は代表的掘削機の掘削幅を示したものである。

3.2.2 柱列式地下連続壁工法

くいのような柱状体を隣接して打設し、一体の地下連続壁とするものである。技術的にはく

表-11 掘削機と掘削深さ⁷⁾

懸垂方式	掘削方式	掘削機名	掘削可能深さ (m)	最大実績深さ (m)	掘削深さを制限する要素
ワイヤロープ	クラムシェル バケット	イ コ ス		60	ウィンチのロープ巻取り 容量 バケットの昇降時間
		アースウォール	50	40	
		O W S	30		
		トールマン	50	44	
ワイヤロープ	撹揚げバケット	エ ル ゼ	40	34	移動マストの長さ
	撹降しチゼル	T M	35	28	ガイドマストの長さ
	多軸ビット	B W	50	50	掘削機本体の水密性 (耐圧)
	多軸ビット	SSS ウォールドリル	50	46	
ロッド	クラムシェル バケット	ケ リ ー	40M型40 60M型60		ケリーバーの長さ
	パーカッション ビット	イ コ ス	150	100	ロッドの重量
		ソレタンシュ	60		ロッドの重量
	ロータリカッタ	T B W	35	35	油圧機構, 耐圧性

表-12 掘削機と掘削幅⁷⁾

掘削方式	掘削機械名	標準掘削幅 最小～最大 (mm)	実績 最小～最大 (mm)	掘削幅変更方法など
クラムシェルバケット	イコス(バケット)	300～1000	300～800	バケット取替え
	アースウォール	400～800	300～600	"
	O W S	400～800	400～800	"
	ケリー	500～1500	500～1500	"
	トールマン	400～1500	600～800	"
パーカッションビット	イコス(ビット)	400～1000	400～800	ビット取替え
	ソレタンシュ	600～1200	600～	"
多軸ビット	B W	400～1200	400～1200	ビット取替え
	SSSウォールドリル	400～1200	400～1000	掘削機本体取替え
ロータリカッタ	T B W	600	600	
撹揚げバケット	エ ル ゼ	450～1000	500～800	バケット取替え
撹降しチゼル	T M	300～1200	300～600	重錘チゼル取替え

い打ちと同質であり、表-13⁷⁾に示すように場所打ぐい方式と既製ぐい方式に分類される。

壁式連続壁と比較した場合の柱列式連続壁の長所は以下のようである。

- 1) 施工機械が小規模であるので市街地の狭い場所における工事や小規模工事に適している。
- 2) 既製ぐい方式では強度、品質に対する信頼性が高い。
- 3) 安価である。

表-13 施工方法の分類と工法名(柱列式)⁷⁾

	施 工 方 法	工 法 名	摘 用
場 所 打 ぐ い 方 式	ハンマクラブ	ベノト工法 H.Wぐい工法	清水建設
	回転バケット	アースドリル工法	
	ロータリビット	リバース工法 B.H工法 プレウォール工法	利根ボーリング 清水建設
	アースオーガ	ウィリアムズディッガー工法 PIPぐい工法 RGパイル工法 竹中式オーガパイル工法 TAW工法	ライト工業 竹中工務店 大成建設
	先端ビット攪拌	竹中式ソイルパイル工法 MIPぐい工法 JST工法	竹中工務店 国鉄, 三和機材
既 製 ぐ い 方 式	圧入(先掘り併用)+打撃	A-PP工法	アサノボール
	ジェット+ビット攪拌+打撃	TBI工法	東急コンクリート工業
	中掘り+圧入または打撃併用	NN式中掘工法	日本コンクリート工業
	中掘り+圧入または打撃併用	ND式スパイラルオーガ工法	日本コンクリート工業
	中掘り+圧入+打撃	NM式工法	日本コンクリート工業
	中掘り+圧入およびジェット併用	NH式PSD工法	日本ヒューム管
	中掘り+圧入およびジェット併用	NO壁体パイル工法	日本コンクリート工業
	先掘り+打撃併用	クロスヘッド工法	大同コンクリート工業
	先掘り+打撃併用	TP工法	東急コンクリート工業
	先掘り+底部モルタル注入	SSP工法	アースエンジニアリング
方 式	先掘り攪拌+セメントミルク注入	日東式NWSぐい基礎工法	日東工業
	先掘り+セメントミルク注入	ONS工法	日東工業
	先掘り+セメントミルク注入	PCウォールパイル工法	アサノボール
	先掘り+圧入+底部モルタル注入	A-SP工法	アサノボール
	先掘り+圧入+底部セメントミルク注入	圧入式セメントミルク工法	日本コンクリート工業
	先掘り攪拌+セメントミルク注入	新オーガ工法	三和機材
	イコス工法+エレメント挿入	TIW工法	東急コンクリート工業
	そ の 他	鋼管ぐい工法	

他方短所として以下の諸点がある。

- 1) 鉛直精度の確保が困難なため、あまり深いものには適さず、25m程度までが望ましいとされる。
- 2) 止水を完全にするためには薬液注入等の補助工法が必要である。
- 3) 柱列相互間に力学的な連続性が少ないので構造的に縦方向が弱く、本体構造物として用いら

れることは少ない。

3.2.3 地下連続壁の継手

壁式地下連続壁工法は延長方向に一定区間毎に区切って施工を進めるが、この施工単位をエレメント（またはパネル）と呼び、エレメント相互の継手部が遮水上の要点となる。エレメントの長さ（スパン）を決定する要素は、掘削壁の安定性、掘削容積とコンクリート連続打設能力との整合、施工サイクルとの兼合等であるが、一般には2～3mで、良好な条件下で5～8mでありその間隔毎に継手が入ることになる。図-5は継手の種類の数例を示したものであるが、継手は遮水効果の面から以下のような条件を満足しなければならない。

- 1) 継手の下端から背面へのコンクリートの流出がないこと。
- 2) 継手とトレンチ壁面との間隙や壁面の凹凸等があっても、背面のパネルへのコンクリートの流出がないこと。
- 3) 継手に作用するコンクリートの側圧に耐え、変形を起こさないこと。
- 4) 継手とコンクリートの接触面にスライムや不良安定液が付着すると強度低下や漏水の原因となるのでそのような傾向をもつ複雑な構造でないこと。

柱列式連続壁工法では隣接ぐい毎に継手を有する構造となるから、その数は非常に多くなり、遮水効果を高めるためにはグラウト等の補助工法の併用が必要である。継手の形式すなわちぐいの配置の例を図-6に示した。

3.3 壁体材料および安定液

3.3.1 壁体材料

遮水を目的とした連続壁に要求される性質は第一に高い水密性を有することであり、またトレンチ管または注入管による水中打設となる場合がほとんどなので、流動性に富み分離しにくいこと等である。また強度については地下ダム遮水壁に要求される強度が未知のため具体的には決め難いが、水圧、土圧、地震力等によってクラックが生じないことが必要であるので、地盤になじむ柔なものとするか逆に全く剛なものにする必要がある。以上から壁体材料として以下のものが考えられる。

- ① モルタルまたはコンクリート系（鉄筋入を含む）
- ② コールドアスファルトミルクまたはコールドアスファルトコンクリート系
- ③ セメント・粘土またはセメント・粘土・水ガラス系

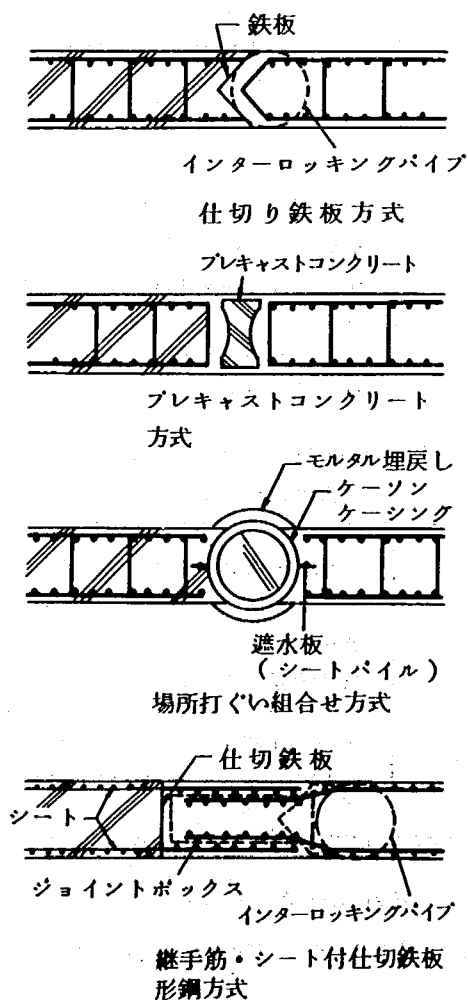


図-5 地下連続壁工法の継手の例

3.3.2 安定液

本工法で用いられる安定液は掘削壁面の崩壊や掘削溝内への地下水の湧出を防止し、掘削壁の安定を保つと同時に、掘削土砂を安定液中に浮遊させ、沈澱防止および溝外への排出等の機能を有している。壁面安定の機構は理論的には明らかにされていないが、壁面に作用する泥水圧を主とし、掘削溝に作用するアーチ作用、泥水による地山の土質改良効果等が考えられている。安定液はベントナイトやポリマーを水に懸濁させたもので、他に分散剤、増粘剤、逸泥防止剤等が添加されることがある。

表-14¹⁰⁾はベントナイト泥水の標準的な調合を示したものであるが長期間の使用によりその性質は以下に示すような原因により徐々に劣化してゆく。¹¹⁾

1) マッドケーキ形成による安定液材料の消耗

2) 地下水や雨水による希釈

3) 粘土やシルト等の微細粒子の混入

4) 掘削土砂や地下水中の陽イオンの混入およびセメント成分中の O_2^{+} の混入

劣化した安定液を用いることは施工上各種の障害を起こすので、比重、粘度、砂分含有量、pH等によって管理することが必要である。品質管理試験によって不適と判定された安定液は再生されるか廃棄される。廃棄される安定液は含泥率が高いために通常の産業廃棄物処分地では受け入れられないことが多く、固形分と水分に分離する機械的処理がとられる。

3.4 施工性

本工法の施工性は掘削機械の能力や地質に対する適用性によって決定される。

3.4.1 掘削方式と施工性

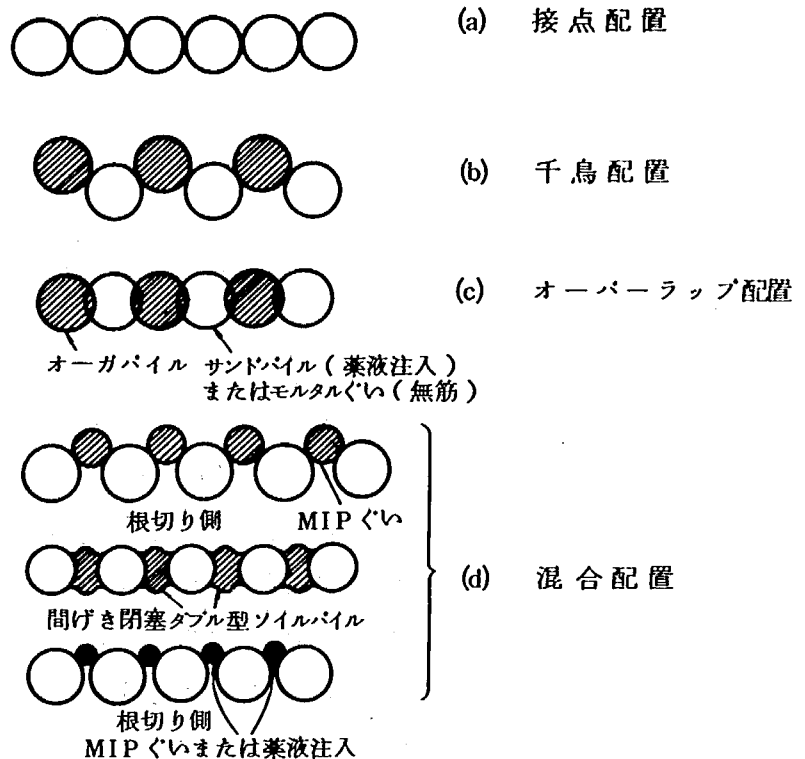


図-6 柱列式連続壁の継手の種類(ぐいの配置)⁷⁾

表-14 ベントナイト泥水の標準調合¹⁰⁾

土質	ベントナイト	増粘材	分散剤	逸泥防止剤
粘性土	4~6	—	0.1~0.3	—
砂	6~8	~0.05	0.1~0.3	~0.5
砂礫	8~10	0.05~0.1	—	0.5~1.0

いずれも重量パーセント

1) バケット式

一般には軟質地盤で高い掘削能率を示し、バケットの重量にもよるが汎用機ではおよそN値30程度から掘削速度が低下し、50以上では困難となる。バケットのつり下げ方式はワイヤーロープによるものが多いが、ロッドによるものはロッド重量が加わるためワイヤ式より掘削力は強い。掘削土砂はバケットにより1回毎に断続的に排土されるから硬質地盤になるほど掘取量が少なくなり、また深くなるほど昇降時間がかかること等のため掘削速度は低下する。さらにバケットの昇降は掘削壁に衝撃を与えやすいから崩壊性地盤では慎重な施工と安定液の適正な管理が重要である。

2) 衝撃式

転石や岩盤等でも破碎して掘削するため、これらが主体をなす地盤には衝撃式が適用される。本方式による掘削はビットまたはチセルの重量が大で打撃数が多いほど高能率であるが、重量を増して衝撃力を大きくすると単位時間の打撃数が減少することになり掘削速度には限界があり、他方式に比較して掘削速度は遅い。掘削の形態としては定位置で鉛直方向のみ掘削する削孔型と鉛直方向と水平方向の組合せ掘削による溝型とがあるが、前者は先行ボーリングや継手施工あるいは苛酷な条件の掘削や深い掘削に用いられることが多い。排土方式は削孔型のものは正循環方式（ロッド先端から安定液を送り出し、排土はロッドと孔壁の間を上昇して排出される）であるが、溝型のものはリバースサーキュレーション方式による連続吸い上げである。リバースサーキュレーション方式では土砂の混入率や礫の大きさ等によって掘削速度に影響が出るが、混入率は25%以上になると礫等の固形物の大きさにかかわらず管路の閉塞を生じ、また吸い上げられる固形物の大きさは管径（150～200mmが多い）の95%程度といわれている。掘削具のつり下げ方式はワイヤーロープまたはロッドであるが、ロッドによるものには打撃動作と共に回転を加えたものがあり、掘削力は増大する。

3) 回転式

一般には切削、粉碎、掻起し等の数種の機能をもった複数多軸のビットあるいはカッタを備えており機械的に高度な掘削機である。単軸のビットのものは主に先行ボーリングに用いられる。回転式掘削機は均質な地盤では良い掘削方向性を有し、玉石、転石以外の地盤の掘削速度は比較的速く、深度が大きくなっても能率はあまり低下しない。逆に不均一な地盤では、地盤の変化に操作が追従しきれず、部品の破損やその修理のために全体の能率が低下しやすい。排土方式は、一般にリバースサーキュレーション方式であるが、正循環方式や両者併用の方式もある。掘削具の吊下げ方式にはワイヤーロープ方式、ロッド方式があるが、前者では機械高さをかなり低くすることができ、また後者では機械本体重量と油圧を併用して掘削力を増大させている。表-15⁷⁾は各掘削方式と地盤への適用性、表-16⁷⁾は各掘削方法と作業条件を示したものである。

表-15 地下連続壁工法の適用性(掘削方式7)

掘削方式		クラムシェル バケット		掘揚 げ ピ ット 式	バ ビ ー カ ッ シ ョ ン 式	掘降 し チ ゼ ル 式	垂 回 転 直 多 軸 式	水 回 転 平 カ ッ タ 軸 式	備 考	
		ワイヤ式	ロー（バ ッ） ド式							
掘削深さ (m)	20以下	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎ 最適 ○ 適応可 △ やや適応 × 適応困難 ① 各符号は一般的な評価を示すもので、 ×印を必ずしも適応不可とするものでは ない。 ② 掘削深さについては、理論的には施 工可であっても、能率の低下などを考 慮して評価したものであり、また×印 であっても特殊型のものは○印または △印になるものもある。 ③ 掘削長さについては、標準寸法の限 界付近または特殊型による寸法は、△ 印となっているものがあり、掘削機構、 掘削能率を考慮している。 ④ 地質条件については、その掘削機の 標準的な掘削能率を基準とし、また掘 削機構を考慮して評価したもので、特 殊な掘削方法を用いるか、または掘削 能率の低下をある程度無視すれば△印 になるものもある。	
	20～30	○	◎	◎	◎	○	◎	◎		
	30～40	△	◎	○	◎	△	◎	○		
	40～50	△	○	△	◎	×	◎	×		
	50～60	×	△	×	○	×	△	×		
掘削壁厚 (m)	0.5以下	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	0.5～0.6	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	0.6～0.8	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎		
	0.8～1.0	○	◎	○	○	△	◎	○		
	1.0～1.2	△	○	×	△	×	◎	○		
	1.2～1.5	×	△	×	×	×	×	×		
地 質 条 件	粘性土(N値)	4以下	◎	◎	◎	△	◎	◎	◎	○ ほとんど問題ない △ 若干の注意または対策を要する場合 がある。 ○ バケット等によるつかみ掘りのため、 掘削土が塊状となり処理は比較的容易。 △ 掘削土が循環する安定液に混入する ので、掘削土分離装置を必要とする。 ○ リバースサーキュレーション掘削の ためスライム処理は容易。 △ サクションポンプまたはエアリフト を併用する。
		4～10	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	
		10～20	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		20～30	○	◎	○	◎	◎	◎	◎	
		30以上	△	○	△	◎	○	◎	○	
	砂質土(N値)	10以下	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		10～30	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		30～50	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		50以上	△	○	△	◎	◎	◎	○	
	れき玉石(粒径mm)	10以下	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		10～15	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	
		15～20	○	○	○	◎	△	○	○	
		20～30	△	○	△	○	△	△	△	
		30以上	×	△	×	△	×	×	×	
	岩盤	軟岩	×	×	×	◎	△	△	×	
		硬岩	×	×	×	○	×	×	×	
公害	騒音 振動	△	△	○	△	◎	○	○		
		△	○	△	△	△	○	○		
排土処理		○	○	○	△	△	△	△		
溝底スライム処理		△	△	△	○	○	○	○		

表-16 壁式地下連続壁工法(商品名)と作業条件7)

掘削機(形式)	機械重量, 運搬用トラック等	給 水	電 力	最近接施工距離	機械据付高さ	据付面積等	備 考
エ ル ゼ	掘削機総重量 56t 最大分解重量 20t トレーラ 20t 1台 トラック 11t 1台 " 8t 2台	0.2m ² /min	100kW/台	壁心より55cm	8.99m (移動マストを除く) 移動マストは掘削深さによって異なる	側方掘削 3.5×8.0m またぎ掘削 3.5×1.2m	① 運搬用トラックなどは原則として掘削機だけのもので、付帯設備用のものは含まない。 ② 電力は原則として掘削機だけのもので、付帯設備用のものは含まない。 ③ 最近接施工距離は、掘削中の壁を基準とし、それから外側の構造物などまでの寸法を示す。なおこの寸法は掘削作業時の条件を示すもので、鉄筋建込み作業などについては別途考慮しなければならない場合がある。 ④ 作業幅は、構築される地下壁を基準として、これに併行する作業帯の幅を示す。
T M	掘削機総重量 42t(I形) トラック 8t 4台	8m ² /h	96kW/台	壁外面より30cm	I 形 7m II 形 2.5m	II 形 5×5m	
イ コ ス	バケット式 掘削機総重量 14.5t 最大分解重量 4.1t トラック 8t 3~4台	2水道管	総電力 118kW/2台 掘削機 30kW/台	壁外面より20~25cm	標準型 7~10m 特殊型 5m	作業面積 3.8~7.0m 15~20m ²	
	ビット式 掘削機総重量 6t 循環ポンプ 2t トラック 11t 3台		掘削機 19kW/台 循環ポンプ 22kW/台	ガイドウォール 外側より15~20cm	標準型 12m 特殊型 6.7m	作業幅 5~6m 作業面積 15~20m ²	
アースウォール	クレーン式の場合 トレーラ 40t 1台 トラック 8t 1台			ガイドウォール 外側より50cm	やぐら式 5m	作業幅 10×10m 7m	
O W S	トラック 12t 2台 " 8t 1台		40kW	壁心より60~70cm	ボックス形 標準 9m 特殊 4.5m ジブ形 6m	ボックス形 2.5×5.4m ジブ形 2.2×5m	
ソ レ タ ン シ ュ	CIS-58 トラック 12t 2台 " 8t 1台	0.02m ² /min	路上式 161kW/台 路下式 111kW/台	壁心より75cm	標準型 7.3m 特殊型 4.5m	作業幅 7.6m	
	CIS-71 低床トレーラ 30t 1台 トラック 11t 1台	0.02m ² /min	158kW/台	壁心より75cm	標準型 6.4m	作業幅 7.83m	
ケ リ ー	40M トレーラ 40t 1台 トラック 12t 3台		エンジン	壁外面より4~20cm	最 高 51.6m 掘削深さによって異なる	作業幅 壁中心より 12m	
	60M トレーラ 40t 2台 ボールトレーラ 20t 1台 トラック 12t 5台		エンジン	壁外面より4~20cm	最 高 52.7m 掘削深さによって異なる	作業幅 壁中心より 15m	
B W	BWN-4055 掘削機総重量 18~20t 最大分解重量 7.5~10t BWN-5580 トラック 11t 3台	0.2m ² /min	掘削機 48kW/台 サクショ ンポンプ 45kW/台	壁外面より20~25cm	標準型 7.2m 特殊型 4.5m	4.4×4.3m	
	BWN-80120 掘削機総重量 38t 最大分解重量 18t トレーラ 20t 1台 トラック 11t 4台	0.2m ² /min	掘削機 55kW/台 サクショ ンポンプ 58kW/台	壁外面より20~30cm	標準型 8.1m	5.6×6.4m	
T B W	トレーラ 40t 1台 トラック 11t 5台		掘 削 機 TBW-II 135kW/台	壁外面より20cm	TBW-I 10m TBW-II 8.8m	TBW-II 3.0×7.7m	

3.4.2 適用地盤と施工上の問題点

本工法はほとんどあらゆる地盤に適用することができるが、そのためには地盤の性状を適確に把握するとともにその地盤に対応した適切な処置が必要である。表-17¹⁰⁾は各地盤に対する本工法施工上の問題点とその対処法を示したものである。特に砂礫地盤における逸水は安定液面の低下による掘削壁

の崩壊、地下水の汚染、安定液材料の消耗を伴うので極力避けなければならない。地下水汚染に関しては長期にわたって被害が第三者に及ぶので万全の対策を講ずる必要がある。

3.5 遮水性

地下連続壁の遮水性は主として壁材料の水密性、継手の水密性および下部不透水層への根入れ程度の3つの要素によって決定される。壁材料の水密性は3.3で述

表-17 地下連続壁工法の適用地盤と問題点¹⁰⁾

地 盤	問 題 点	対 策
粘性土地盤	超軟弱地盤における壁面崩壊 泥水のヘドロ化	地 盤 改 良 分散剤の適切な選択
砂 地 盤	$\left\{ \begin{array}{l} N \text{ 値} \leq 15 \\ \text{粒径のそろった砂} \end{array} \right\}$ 局部崩壊 細砂：スライム処理がむづかしい	泥水の流動性の適切な管理
砂 礫 地 盤	透水係数 $\geq 10^{-2} \text{ cm/sec}$ ：逸泥の発生 $N \text{ 値} < 30$ ：局部崩壊	逸泥防止用泥水の使用 地 盤 改 良
海岸地盤	潮の干満による壁面崩壊 海水の混入による泥水の劣化	泥水位の管理 分散剤の添加、ポリマー泥水の使用
有機質地盤	掘削機の揺動による掘削精度の低下	掘削機の減量、充分な作業床
埋立地盤	表層部の崩壊	表層部の地盤改良

べたコンクリート系、アスファルト系およびセメント・粘土・水ガラス系等であれば $1 \times 10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 程度の透水係数を得ることは溝(孔)の掘削と材料の打設が適切に行なわれれば特に困難ではない。したがって継手部の水密性が遮水壁の遮水性と密接な関係をもってくる。継手には3.2.3で述べたようにさまざまな種類があるが、いずれの形式を採用するにせよ掘削の垂直精度の高いことが必要であり、完全な相互の接触あるいは適正量のオーバーラップが要求される。地質条件や作業条件により垂直精度の確保が難かしいとあらかじめ予想される場合は、継手部分に対する注入等の補助工法や複列の施工を検討しなければならないことがある。

下部不透水層への根入れの程度は矢板工法の場合と同様に重要な問題であるが、岩盤付近の基底礫層あるいは岩盤そのものに対しても適応可能な工法があるので、鋼矢板工法と異なり不透水層へも充分良く根入れすることができる。ただし帯水層と不透水層の地質が極端に異なるとそれぞれに適用する工法も異なるので、2種の工法の組合せ施工となる場合もある。

4. 注 入 工 法

4.1 概 要

注入工法は地盤に注入孔を削孔し、土粒子の間隙や地層の割れ目、空洞等にセメント、粘土、薬液等の注入材料を注入して地盤の強度増加や不透化をはかるために実施される。本工法は地盤性状の影響を大きく受け、注入固化された地盤の実体を正確にとらえることは困難であり特に地質工学的に定量的に把握しがたいのが現状である。また注入工法による地盤改良には自ずと限度があり、現在このような欠点を改善するため注入材の開発、施工方法の改善等が検討されている。

本工法の長所としては以下があげられる。

- 1) 軟弱層から硬岩まで広い範囲の地盤に適用できる。
- 2) 施工機械は一般に低騒音、低振動であり作業条件の制約が少ない。
- 3) 施工機械は簡易、軽重量である。
- 4) 効果を確認しながら断続的に施工できる。

他方短所あるいは問題点としては以下の諸点がある。

- 1) 地質に応じた注入材料、注入方式の選定が困難である。
- 2) 施工後の地盤の工学的性質をあらかじめ数量的に把握することが困難である。
- 3) 他工法のように施工範囲を一義的に限定できないため工費等に不確定要素を有す。

4.2 工法の分類

注入工法は削孔方式、注入方式、注入材の混合方式、注入順序、注入孔の配置等によって分類されている。

4.2.1 削孔方式による分類

注入工法においては、注入実作業と共にそれに先立つ注入孔の削孔作業が時間および経費の面で大きな比重を占め、遮水壁の品質にも影響を及ぼす。注入孔の削孔は一般にボーリングマシン等によるがその形式は以下の3つに大別される。

1) ロータリー式

先端ビットの回転により切削し、切削ズリを圧力水で洗い出す方式である。最も一般的な方式であり、岩盤用未固結地盤用共に豊富な機種がある。

2) ロータリーパーカッション式

先端ビットの打撃によって削孔するもので、打撃効果を高めるため極めて緩やかな回転を加える。切削ズリの除去は圧縮空気、水、および両者の併用等によって排出される。本方式は他の方式では掘削困難な締った砂礫層、玉石混り砂礫層、割れ目の多い硬岩等に対して有効である。

3) パーカッション式

通常は専用機ではなくロータリーパーカッション式のものを回転を与えずに打撃のみを行ない、打込み機として使用するものであり、均質で緩い砂層、細礫層に対して有効である。

表-18¹⁾は代表的削孔機の仕様を示したものであるが、これらの中には1機で前述の3方式が可能なもの、1機1方式のもの、補助機具を使用して1機2方式以上が可能なもの等がある。

表-18 削孔機の仕様例

削孔方式	機種	削孔深さ(m) 削孔径(mm)	長さ×巾×高さ (m)	総重量 (Kg)	所要動力 (KW)	備 考
ロータリー	A	150~200	1.4×0.9×1.2	490	5.5 (8~10PS)	汎用機
		46~66				
	B	300~400 46~66	1.8×1.2×1.4	950	11 (15~20PS)	ケーシング掘り可能 (回転のみ) ハンマビット併用可能
ロータリー パーカッション	C	300~400 46~66	2.2×1.1×1.6	1,200	11 (15~20PS)	同 上
		46~66				
	D	50~100 80~150	1.0×3.4×1.8	2,200	18.5 (25~30PS)	ケーシング掘り可能 (回転のみ)
		80~150				
	E	80~170	5.8×2.4×1.8	6,500 (クローラ共)	45	ケーシング掘り可能 (打撃, 回転共)
	F	80~130	3.9×2.9×2.0	8,000 (クローラ共)	(58PS)	同 上
		80~130				

(注) ロータリー式の削孔深さは、表示口径における岩盤掘りの場合を示し、砂礫層に対しては、その1/10~1/20程度に低下し時には掘進不能となる。

なお滞水砂礫層のような崩壊性地盤では削孔中および注入時まで孔確保のためにケーシング掘りが必要になることが多い。

表-19 注入方式の分類¹²⁾

4.2.2 注入方式による分類

注入方式とは注入材が注入機器を通して地盤に注入される一連のシステムのことであり、表-19¹²⁾のように分類される。

1) バッカー注入

注入孔内の一ヶ所または2ヶ所同時にバッカーをかませ注入する方式で、主に風化の

少ない岩盤への注入に用いられ

対象	注 入 方 式
岩盤	バッカー注入
未 固 結 層	ロッド注入 シングルストレナ注入
	二重管注入 { ダブルバッカー式 { ソレタンシュ注入工法 ⁺ スリーブ注入工法 ⁺ ダブルストレナ注入工法 ⁺ 二重管ロッド式 { LAG工法 ⁺ DDS工法 ⁺ MT工法 ⁺
	超高压噴流注入 [※] { 強制攪拌式 { COP工法 ⁺ JSP工法 ⁺ 置換式 - ジェットグラウト工法 ⁺

※ 通常の注入工法に比較すると特異な工法であるが便宜上注入工法として扱われる。

+ 商 品 名

れているが、第四紀の地盤にはパッカーが効かないので $\phi 80 \sim 100$ mmのガイド用ケーシングパイプにパッカーを効かせて直接注入する方法である。

図-7.1は種々なパッカー注入の方法を示したものである。

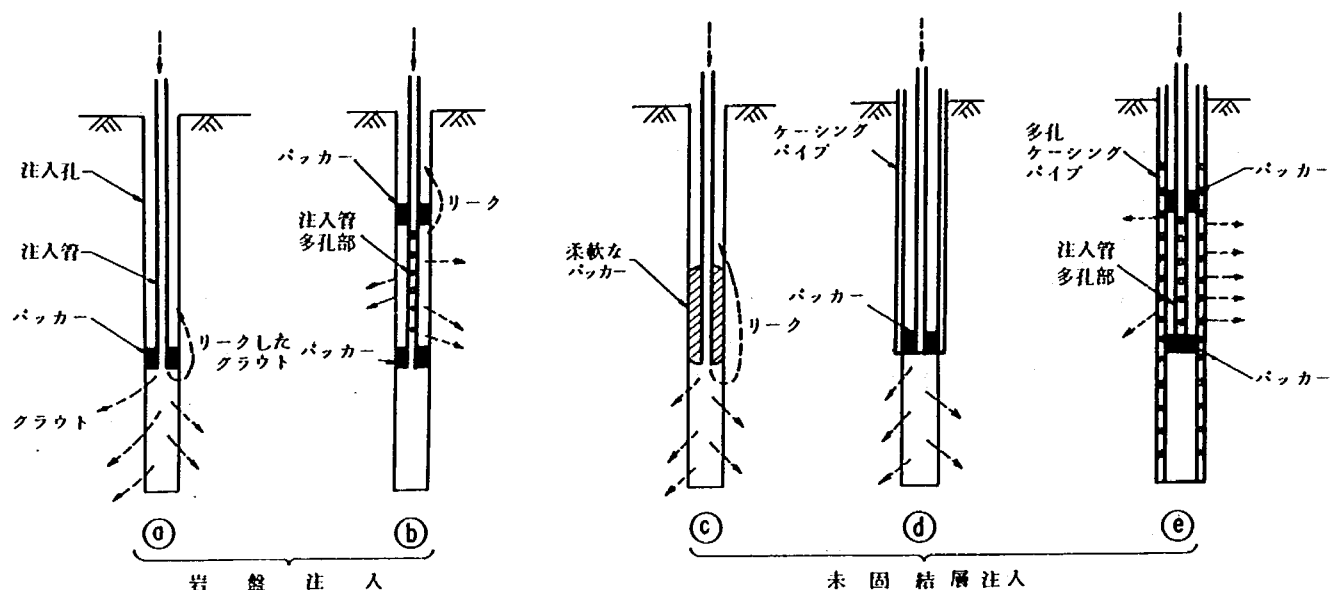


図-7.1 パッカー注入の例

- ① 岩盤に於ける最も典型的なシングルパッカー注入である。この方法は割れ目の状態などによりパッカー上部へのリーク（漏洩）を生ずることもある。
- ② 岩盤に於けるダブルパッカー注入を示す。任意の区間を限定して注入を行えるが、上下のパッカーを同時に効かすことのできるような円滑硬固な孔壁であることが必要となる。
- ③ 未固結層でも条件が良ければ軟かいエアパッカーなどを用いてパッカー注入を行うことができる。
- ④ ケーシングパイプを打込み、パイプ下部にパッカーをかける方法である。③、④共注入区間の孔が崩壊などで埋没しないことが重要である。
- ⑤ 崩れやすい地盤に対して多孔パイプをケーシング代りに打込み、その内側にシングルまたはダブルパッカーを効かす方法であって、後でのべる二重管ダブルパッカー方式の原形である。

2) ロッド注入方式

この方法は、先端にビットをつけたボーリングロッドにより注入孔を削孔し、所定深度に於てボーリング送水を注入材料に切替えてグラウト注入するものであり削孔と注入を同一ロッドで行うことが特色である。図-7.2はロッド注入の作業工程を示したものである。

- ① 注入孔の削孔。
- ② ロッドを所定ステップ長だけ引抜きグラウト注入する。
- ③④ 同 上。

ロッド注入は、作業工程が単純で施工が容易であり古くから広く採用されてきた。しかし所

定の位置に圧入することは困難であり相対的にグラウトの入りやすい所へ注入されて部分的な改良に止まることが多い。従って空洞充填や他の構造物に限定された範囲内の荒詰め、軽易な注入などに限られ、最近では従来ほど多く用いられていない。

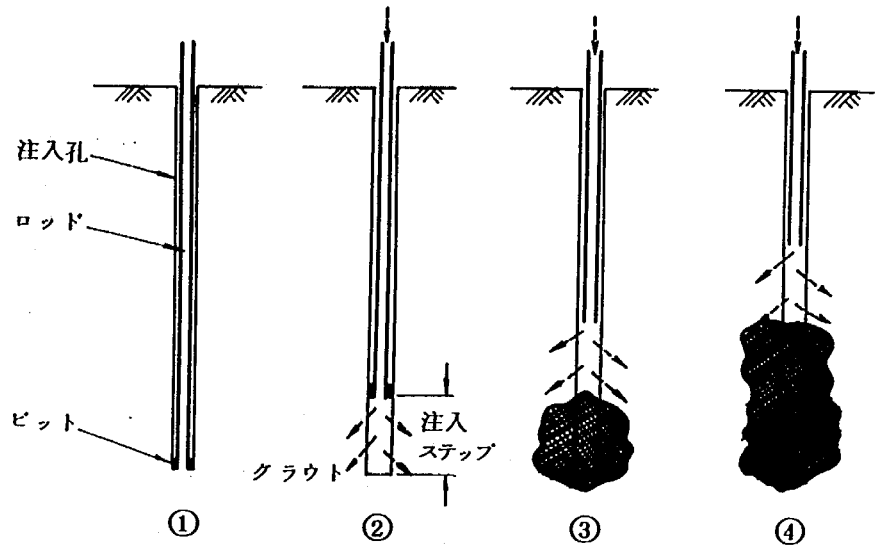


図-7.2 ロッド注入の作業工程（上昇式ステップ注入）

3) シングルストレナナ注入方式

この方法は、注入孔にストレナパイプを打込み、一旦パイプ内に砂を充填した後、注入ステージ毎に砂を洗い出しグラウトを注入するものである。

その作業工程を図-7.3に示す。

- ① 直接あるいは予め削孔した注入孔にストレナパイプを打込む。
- ② ストレナパイプ内に砂を充填する。（軟かいグラウトを用いることもある。）
- ③ 最初の注入ステージの砂を水洗いして排出する。
- ④ ストレナパイプに注入管を接続してグラウトを注入する。
- ⑤ 次ステージの砂の洗い出しを行なう。

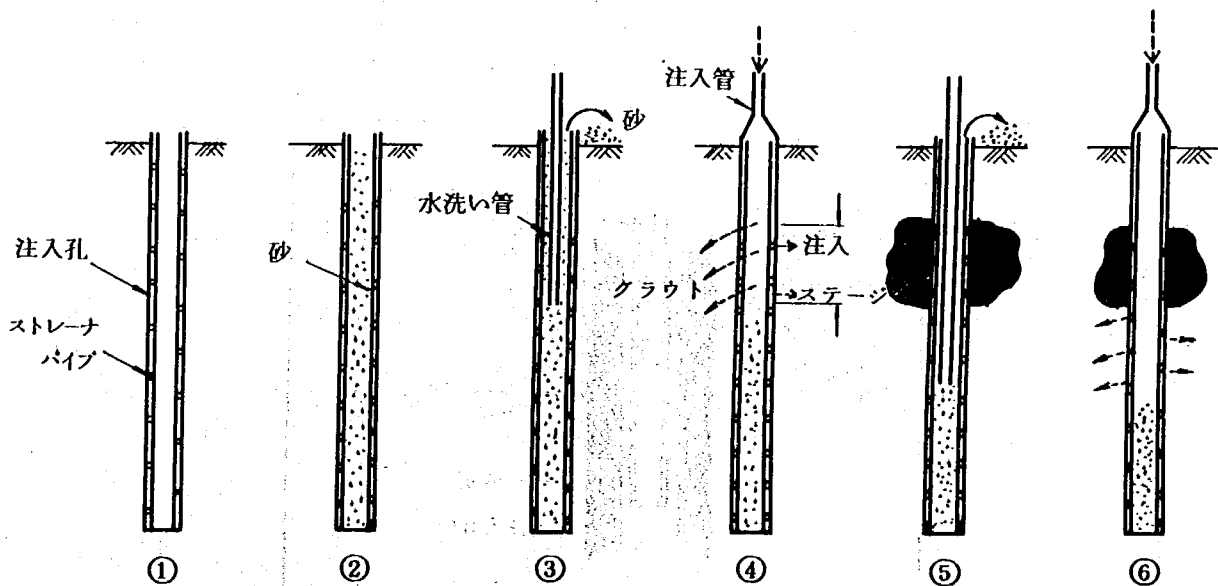


図-7.3 シングルストレナナ注入の作業工程

⑥ グラウトを注入する。

シングルストレナ注入は、後にのべる二重管ダブルパッカー方式の原形ともいえる方法でロッド注入に比較して注入圧が低いので管理が容易であり、均一に注入することができる。しかし、ストレナパイプの打込みや砂の洗い出しなど作業が繁雑なことで、より良い効果を上げるためにはステージ長を短くしなければならないためかなり手間がかかること、地上へのリークを妨げられないこと、さらにこの注入方法を基に発展した二重管ダブルパッカー注入が普及したことなどからシングルストレナ注入の使用例は少くなっている。

4) 二重管ダブルパッカー注入方式

この方法は、一種のグラウトであるシール材で外管の周囲、つまり孔壁との間隙を充填してグラウトのリークを防止した上、この外管内に内管（ダブルパッカー付の注入管）を挿入し、外管に設けられた吐出部分にダブルパッカーをかませてグラウトを注入するものである。機構的には、外管に種々工夫がほどこされており、各工法（商品名）によってマンシュエッチュー

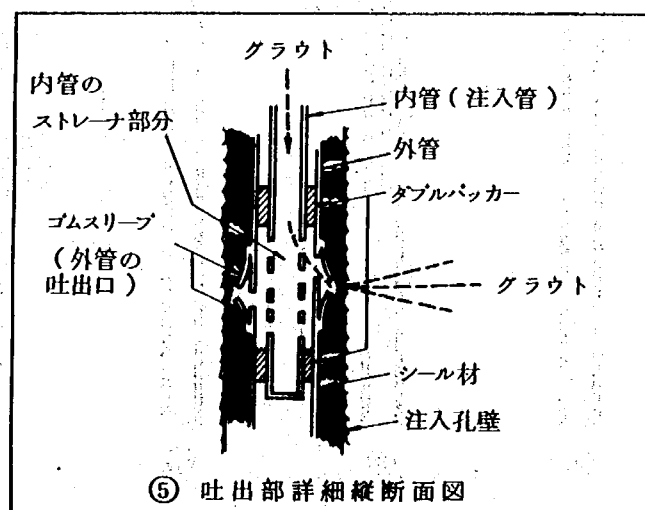
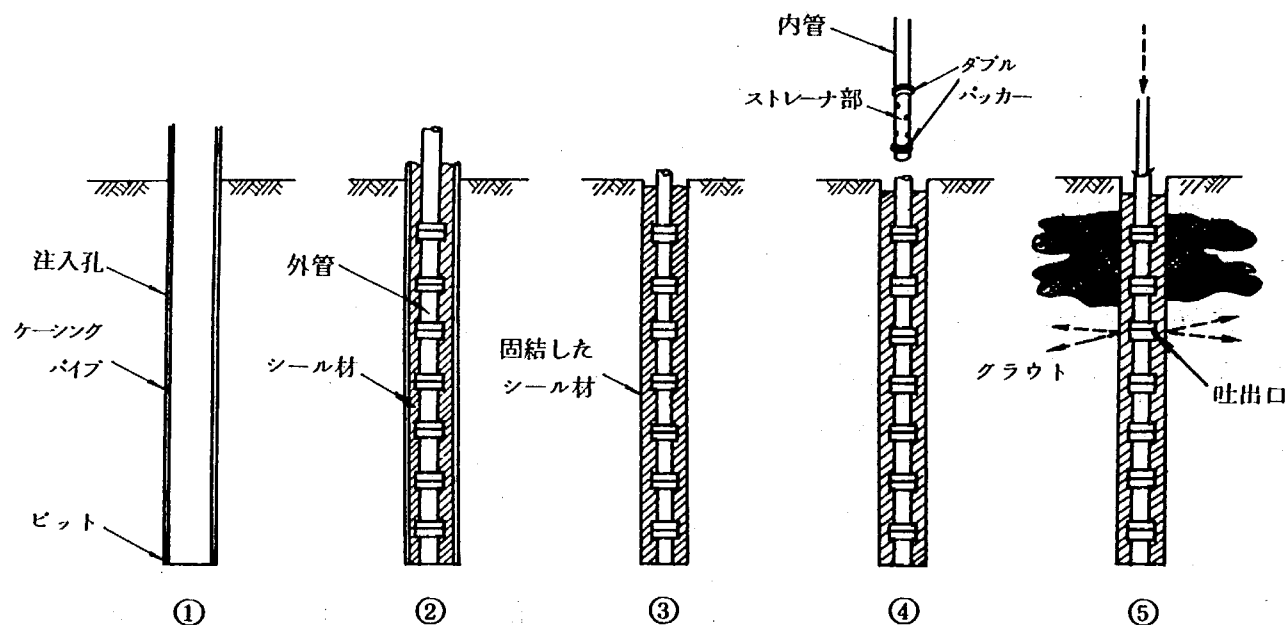


図-7.4 二重管ダブルパッカー注入の作業工程

ブ(ソレタンシュ注入工法), スリーブパイプ(スリーブ注入工法), ストレーナパイプ(ダブルストレーナ注入工法)などとよばれている。

その作業工程を図-7.4に示す。

- ① ケーシング掘り(またはシールドボーリングともいう)による削孔。
- ② シール材を孔内に充填して外管を建込む。
- ③ ケーシングを抜去り, シール材を養生する。養生期間は強度発現及びシール割り作業と他作業との兼ねいできめられる。(たとえば2~7日間, $\sigma = 1 \sim 3$ 層)
- ④ 外管内に内管を挿入し, 吐出口を挟んでダブルバッカーをかませる。
- ⑤ 水またはグラウトを圧送し, シール材を割って通路を作った上でグラウトを注入する。

この場合, 予め各吐出口の周囲のシール材を全部割っておき, グラウト注入は後日一括して行うことも多い。それは, シール割りとグラウト注入を別作業とする方が能率が良く, またシール材の強度があまり強くない時期に一括してシール割りをしようとするためである。

二重管ダブルバッカー注入は, 所定の箇所で充分圧力をかけることができる, 異種の注入材料を反復して注入できる, 削孔と注入とが分離され高能率で機動性に富むなどの特長があり, 他の工法に比べて費用はかゝるものゝ, その注入効果と特に未固結層に対する適応性の良さから, 最近多く採用されている。

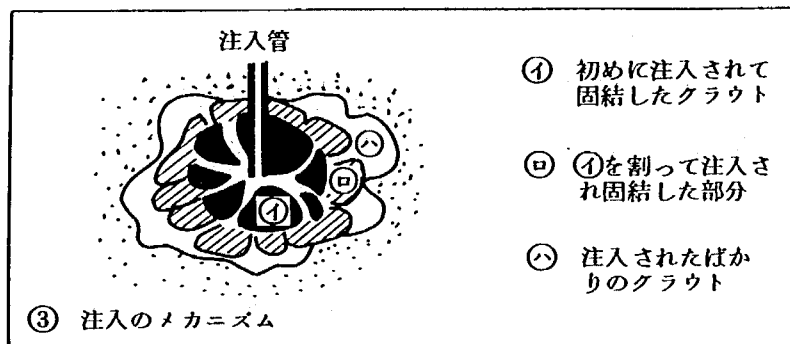
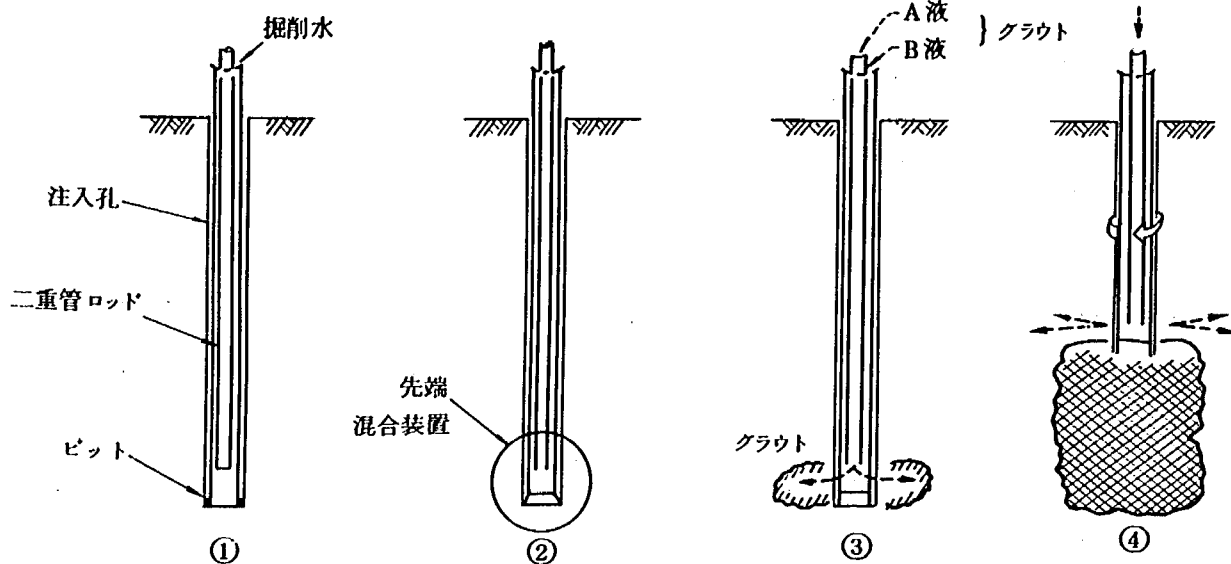
5) 二重管ロッド注入方式

ロッド注入方式の系列上にあるが, そのうちでも最も進歩した方法で瞬結注入工法といわれる所にその特徴があり, LAG工法, DDS工法, MT工法(いずれも商品名)などがこれに属する。この方法は, ロッド注入と同様の単純な作業工程で, ゲルタイムが数秒~10数秒という瞬結性のグラウトをポンプ圧力10~30層のやゝ高い圧力, 10~20ℓ/分の小さい吐出量で注入するものである。機構的には, 瞬結性のグラウトを用いることから基剤, 硬化剤2液の混合は地盤中または注入ノズル直前の管内で行う必要があり, これを可能にする二重管ロッド, 二重管用スイベル, ロッド先端の2液混合装置などにそれぞれ工夫がほどこされている。

その作業工程を図-7.5に示す。

- ① 注入孔の削孔
- ② 先端装置を掘削機能から混合機能に切替える。
- ③ 内管, 外管からそれぞれA液, B液を圧送, 先端装置で混合する。
- ④ ロッドを引抜きつゝ注入する。この場合ロッドを回転するものとそうでないものの2通りがある。

二重管ロッド注入は, ロッド注入と同様の簡易な施工性, 瞬結グラウトによる限定された範囲内への注入, リークの防止, より高い注入効果などによって従来のロッド注入に代って多く採用されてきている。



図－7.5 二重管ロッド注入の作業工程

6) 超高圧噴流による強制攪拌方式

この方法は、数100倍の圧力で注入材料（硬化剤とよぶ）を噴射し、地盤を破壊攪乱して土粒子と硬化剤とを強制的に攪拌した後固結させるもので、CCP工法、JSP工法（いずれも商品名）などがこれに属する。機構的には、注入孔削孔後直ちに噴射機能に切替えられる先端装置と超高圧ポンプに特徴がある。

その作業工程を図－7.6に示す。

- ① 注入孔の削孔
- ② 先端装置を削孔機能から噴射機能へ切替え、横方向ノズルから硬化剤を超高圧で噴射する。
JSP工法ではエアジェットを併用する。
- ③ 噴射しながら、ロッドを回転しつつ引抜く。

強制攪拌式超高圧噴流工法は、次ののべる置換式（ジェットグラウト工法）に比べると影響圏（注入有効直径に相当する）は40～50cmと小さい（エアジェットを併用する方法ではこれより大きい）。また施工可能な地盤は、粘土でおよそ $N < 5$ 、砂でおよそ $N < 10$ に限定され、地盤の強度により単体の形成規模に著しく差ができるため、特に礫を含む場合に施工効果

の信頼性は低い。

7) 超高压噴流による置換方式

換方式

この方法は、数 100 兆の超高压をかけた液体（一般には清水）と空気の混合物を地盤中に噴射し、ジェット流により地盤を切削すると共に、ズリはエアリフト作用により地上に

排出して人為的に空間

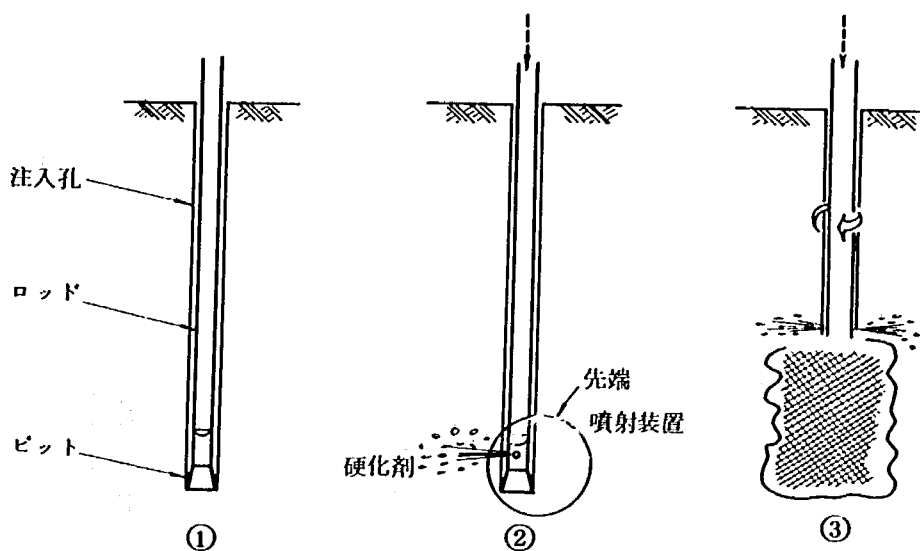


図-7.6 強制攪拌式超高压噴流工法の作業工程

を形成する。それと同時にこの空間に注入材料（硬化剤とよび普通はセメントを主体とする）を充填して高強度の遮水体を形成するもので、ジェットグラウト工法（商品名）とよばれている。機構的には、水、空気、硬化剤を先端部まで別個に圧送するための三重管、三重管用のスイベル、水・空気ジェット噴射と硬化剤注入機能を兼備した先端装置（水力モータとよんでいる）、超高压ポンプなどに工夫がほどこされている。また、置換形成された改良体の形状により、壁状のもの（パネル）と円柱状のもの（コラム）とがあって施工方法も多少異っている。

図-7.7 にパネル式ジェットグラウト工法の作業工程を示す。

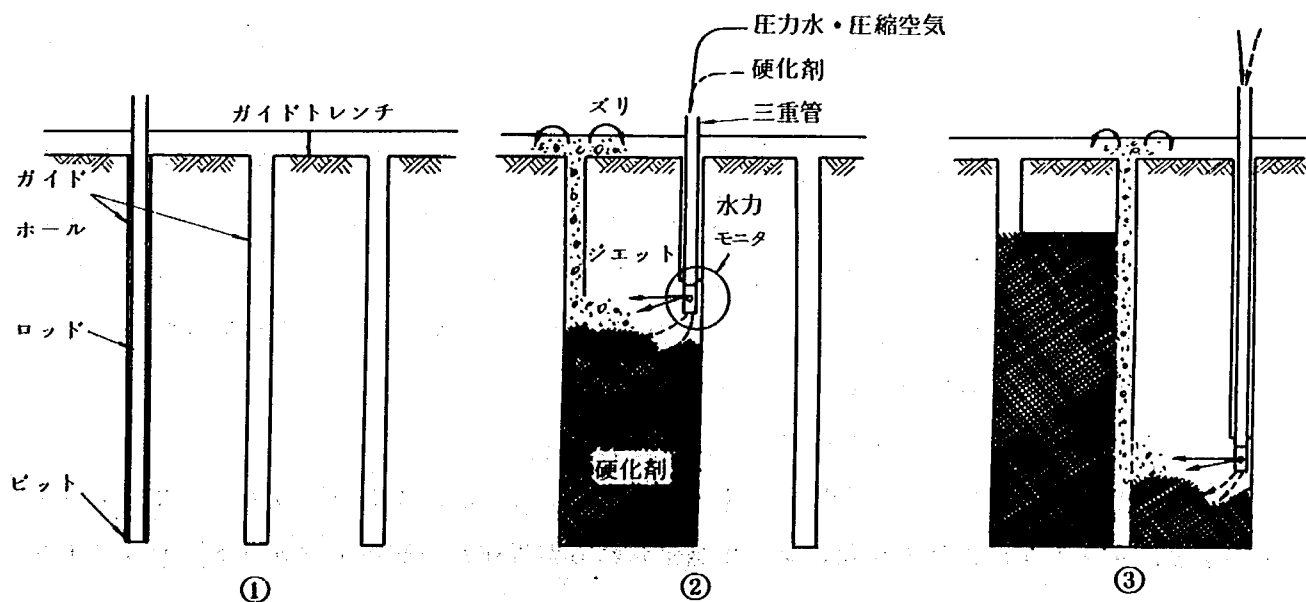
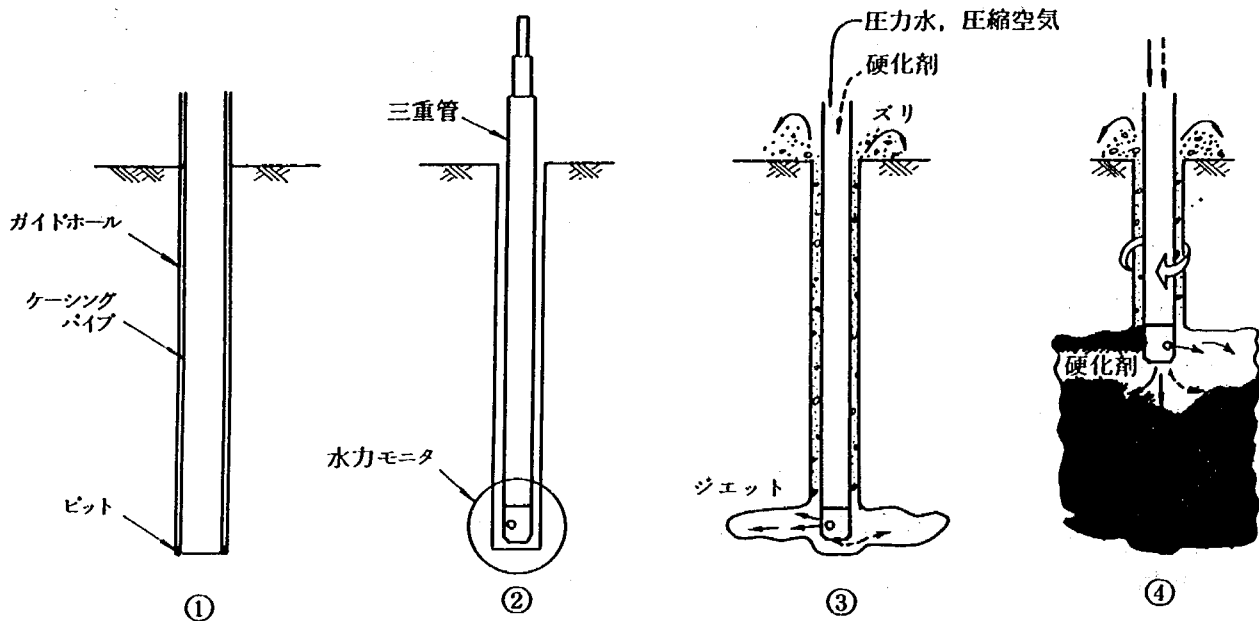


図-7.7 パネル式ジェットグラウト工法の作業工程

① ガイドホールの削孔、削孔されたガイドホールは泥水またはケーシングパイプで保護しておく。

- ② 三重管の先端につけた水力モニタにより、水・空気ジェットで地盤を切削すると共に、硬化剤を先端から注入しながら三重管を引抜く。
- ③ 隣接のガイドホールに三重管を移し、同様の作業を繰り返す。

図－7.8 はコラム式ジェットグラウト工法の作業工程を示したものである。



図－7.8 コラム式ジェットグラウト工法の作業工程

- ① ガイドホールの削孔，未固結層では一般にケーシング掘りである。
- ② 先端に水力モニタを装着した三重管を挿入し，ケーシングパイプを引抜く。
- ③ 水・空気ジェットを噴射し，ズリは三重管と孔壁との間隙をエアリフトにより吹上げる。
- ④ ジェットを噴射しつつ三重管を回転しながら引抜くと共に，先端から硬化剤を注入して空間を充填する。

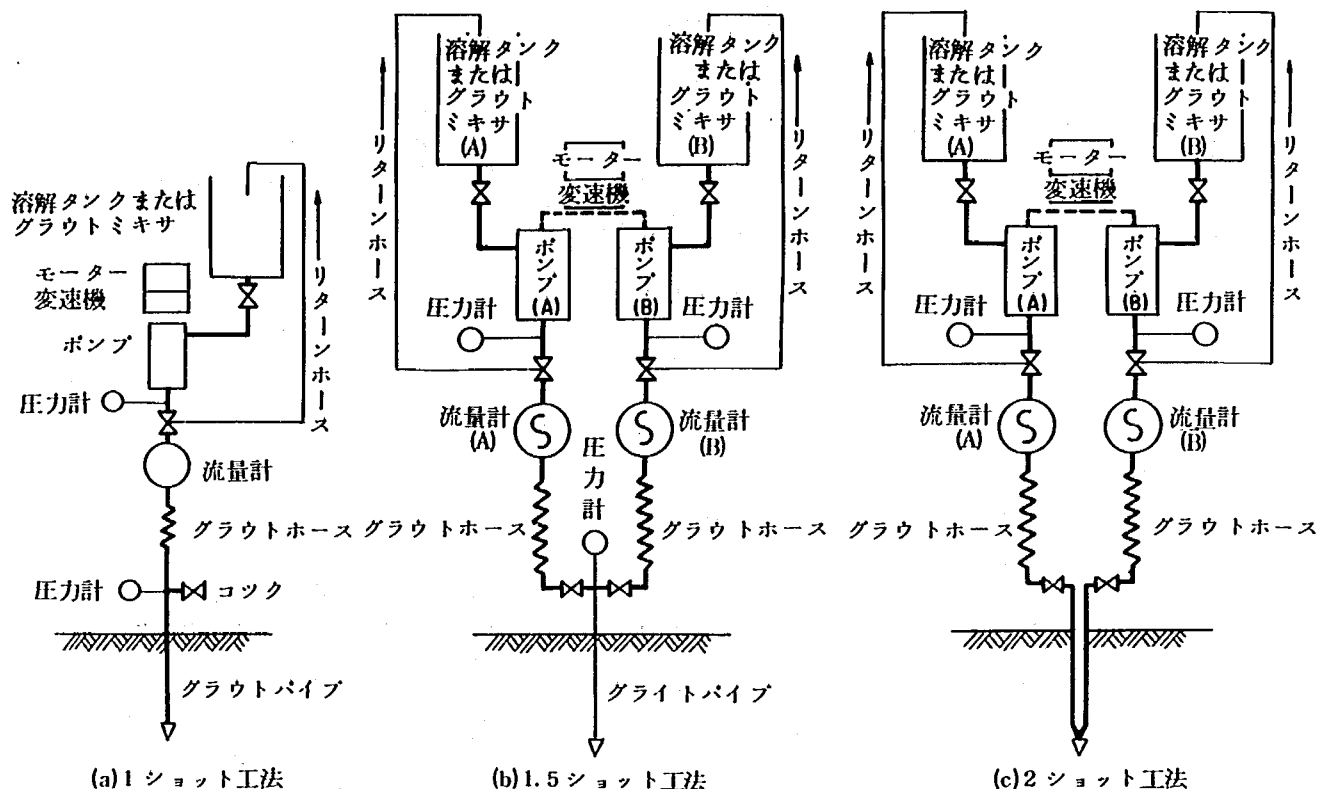
これらの置換式超高圧噴流工法は，切削の容易な軟質地盤，砂，細礫の地盤などで置換が充分行われれば在来工法に比べて効果は高く，またそのような地盤では，ガイドホールの間隙を広くとることができて削孔費を節約すると共に，コラムジェットでは良い条件下では直径2 m前後の柱状体が確保できることもある。一方，礫径の大きな地盤では完全な置換は難しく，また硬岩も本工法の適用外である。

4.2.3 注入材料の混合方式による分類

注入材の混合方式には図－8 10) に示すように1ショット法，1.5ショット法，2ショット法があり，主として注入材の種類によって選定されるが現在是一般に1ショット法および1.5ショット法が用いられている。

1) 1ショット法（1液1系統式）

総ての材料を一つのミキサーで混合し1台の注入ポンプで注入する方法である。本法はA，B両液の混合が充分行なわれるので，未反応の心配がなく，ゲルタイムの管理とそのチェック



図－8 注入剤の混合方式

が容易にできる。しかしゲルタイムが短い場合はポンプや注入管内で固結したり、粘性が増加して地盤への浸透性が阻害される場合もある。

2) 1.5 ショット法（2液1系統式）

A・B両液をそれぞれ別のミキサーで混合し、別々のポンプで注入管頭部で2液を混合して地盤へ注入する方法であり、ゲルタイムが短い注入材を注入する場合に用いられている。ポンプや注入管内でゲル化する恐れはないが、A、B両液が常に規定量圧送されているかどうかをチェックしなければならない。

3) 2 ショット法（2液2系統式）

A、B両液をそれぞれ別のミキサーで混合し、別々のポンプで圧送し、注入管（並列管または二重管）の先端を出る瞬間に2液を混合させる方法と、1本の注入管の中をA液とB液を交互に圧送し地盤中で混合させる方法がある。いずれもゲルタイムが極端に短い場合に用いられる。

4.2.4 注入順序による分類

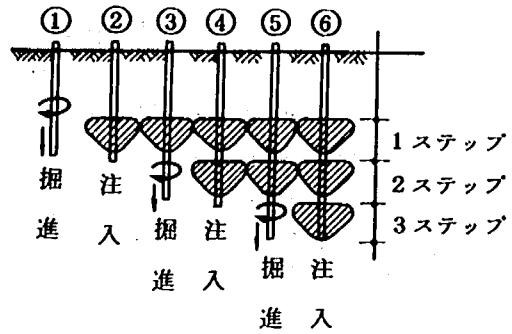
1) 下降式ステップ注入工法（前進式注入工法）

図－9.1¹³⁾に示すように、掘進、注入管の挿入、注入を繰返し上部から下部に向かって注入を進める工法である。これは先に注入された上部ステップのグラウトが、下部注入材の上昇逸出に対する押さえになって特に崩壊性地盤ではパッカー効果を発揮するという考えに基づくもので

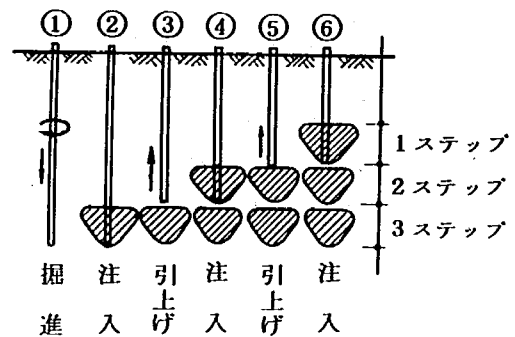
ある。しかしながら次ステップの掘進が困難となったり、既に固結した前ステップの薬液が掘削水によって悪影響をうけると考えられるので総ての地盤に適用できる方法ではない。やわらかいシルト層の強度増加を目的として水ガラスセメント系の薬液を注入する場合等に適している。ストレーナ注入法ではほとんどこの方式がとられており、砂地盤でも比較的容易に適用できる。

2) 上昇式ステップ注入工法（後退式注入工法）

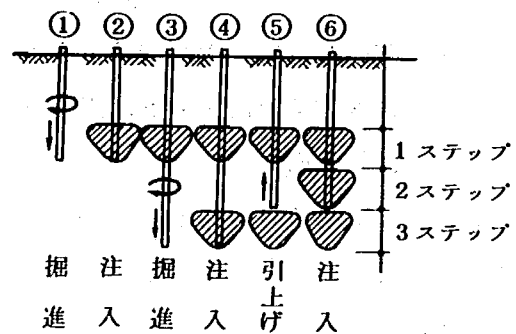
図－9.2に示すように先にボーリング掘進を完了し、最初に注入管を所定の深度に設置し、1ステップずつ注入管を引き上げながら下部から上部へ向って注入する方法である。本方法は注入とロッドの引き上げを繰り返すだけであるから下降式に比較して作業が簡便であり、注入段階に入ってから水を使用しないので注入材が希釈されることがない。しかしながら、注入管引き上げ時に上昇逸出に対するバッカー効果をこわしたり、前ステップの注入によってあとの注入が困難となることが予想される。したがって本工法は深度の浅い注入に用いるべきであり、地層が不均一で上部に浸透しやすい層があるときはその層に集中的に注入されることを充分考慮して用いるべきである。作業としては下降式に比較してやさしいが、内容的に経験を要し、施工管理上は下降式よりむづかしいといえる。



図－9.1 下降式ステップ注入



図－9.2 上昇式ステップ注入



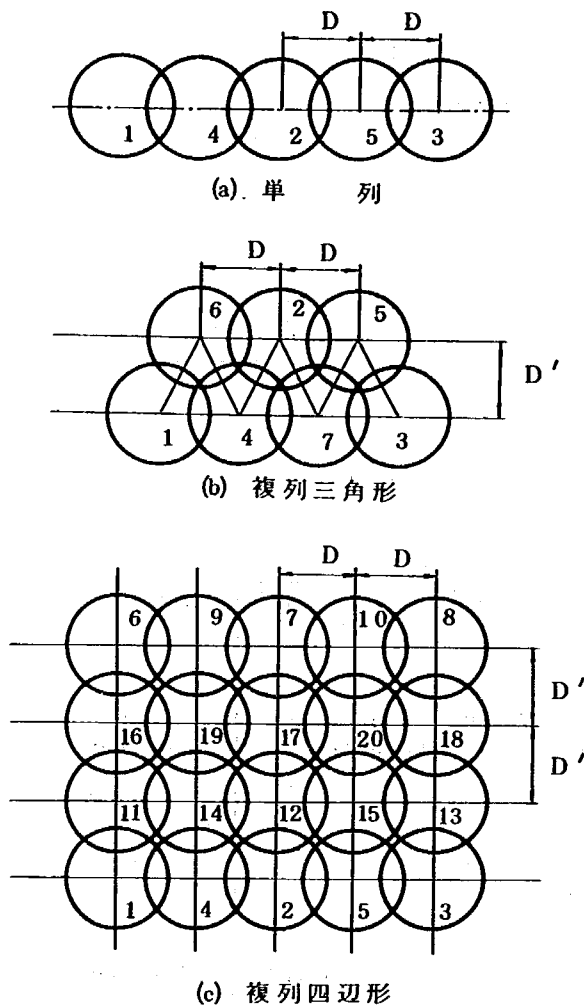
図－9.3 下降上昇折衷式のステップ注入

3) 上昇下降折衷式ステップ注入工法

図－9.3に示すように前記2方法を折衷したものであり、上部に注入材が流入しやすい地層がある時に特に有効である。作業内容としては下降式よりも容易であり、さらに、注入効果をあげるための技術面、施工管理面では上昇式より容易である。

4.2.5 注入孔の配置による分類

注入孔の配置方法は、基本的には図－10¹⁾に示すように単列式と複列式に大別され、複列式はさらに三角形配置と四角形配置に分類される。注入孔の配置は注入目的、地盤状況、注入材の種類、注入方式、注入順序、ボーリング精度等の関連で検討する必要がある。また注入孔



(a) 薄い遮水壁

$$D \begin{cases} \text{岩盤} & 0.6 \sim 1.5 \text{ m} \\ \text{未固結層} & 0.6 \sim 1.0 \text{ m} \end{cases}$$

(b) 普通の遮水壁

$$D \begin{cases} \text{岩盤} & 1 \sim 3 \text{ m} \\ \text{未固結層} & 0.8 \sim 1.2 \text{ m} \end{cases}$$

$$D' = \frac{3}{2} D \text{ (正三角形) または } D' = D$$

(c) 幅広い遮水帯

$$D \begin{cases} \text{岩盤} & 3 \sim 6 \text{ m} \\ \text{未固結層} & 1.0 \sim 1.2 \text{ m} \end{cases}$$

$$D' = D \text{ または } D' \geq D$$

(注) 円内の数字は一般的に行われる注入順序の例を示している。

図-10 注入孔の配置

は必要に応じて3列、4列と増やすことがあるが、そのような場合は最外列に急結性材料を注入して注入範囲を限定したうえで内側列に低廉な注入方式で安価な材料を注入することも行なわれる。

なお、4.2.2注入方式で述べたように超高圧噴流注入工法はその他の注入工法と注入機構が根本的に異なっており、注入間隔等に関する条件は表-20、21、22に示すとおりである。

表-20 COPの有効径

土質	N 値	有効径 D (m)
粘性土	$0 < N \leq 5$	$D = \frac{1}{2} - \frac{1}{200} N^2$
砂質土	$5 \leq N < 15$	$D = \frac{1}{1000} (350 + 10N - N^2)$

(注) COP協会の施工実績による経験式

遮水壁を形成する場合は、注入孔間隔はDに等しいかDより小さくとして有効径の一部をオーバーラップさせる。

表-21 パネルジェットのガイドホールの間隔

土質	N 値	ガイドホールの間隔(cm)	壁厚 (cm)
粘性土	$N < 5$	120	5~15
	$N \geq 5$	120	5~10
砂	$N < 50$	100~120	20~50
	$N \geq 50$	80~100	10~30
砂 礫	$N < 50$	60~100	20~40
	$N > 50$	60~80	10~30

(注) ジェットグラウト研究会資料による。

常用吐出圧力300~400%, 平均引揚速度10~20cm/分

表-22 コラムジェットの仕上り直径

土質	N 値	仕上り直径(m)	引揚速度 (L/分)	ポンプ吐出量 (L/分)	設計強度 (%)
粘性土	$0 < N < 2$	2.2 ± 0.3	4~7	180 ± 20	10~50
	$2 < N < 5$	2.0 ± 0.2	4~6		
	$5 < N < 10$	1.8 ± 0.2	3~6		
	$10 < N$	1.6 ± 0.2	2~3		
砂質土	$N < 10$	2.2 ± 0.3	5~7	160 ± 40	50~150
	$10 < N < 30$	2.0 ± 0.2	4~6		
	$30 < N < 50$	1.8 ± 0.2	4~6		
	$50 < N$	1.6 ± 0.2	3~5		

(注) ジェットグラウト研究会資料による設計標準値

遮水壁を形成する場合は、ガイドホール(注入孔に担当)の間隔は仕上り直径に等しいか、それより小さくとして仕上り直径の一部をオーバーラップさせる。

4.3 注入材料

4.3.1 注入材料に望まれる性質

未固結地盤を対象とした一般的な薬液注入を考えた場合、注入材に望まれる基本的物理化学的性質は以下に示すとおりである。¹⁴⁾これらの諸性質は岩盤に対して薬液以外の懸濁液型注入材を用いる場合でも基本的に要求されるものである。

- 1) 細粒土粒子の微細な間隙にも浸透可能なように注入材の初期粘度(固化またはゲル化直前の流動性)はできるだけ低く、水の粘度(1 cp)に近いこと。
- 2) 土粒子の間隙中に浸透、充填された注入材は、固化またはゲル化反応終了と同時に高強度、止水性を発揮すること。
- 3) 土粒子間隙中に注入された注入材は収縮を起こさず固化またはゲル化し地盤を不透水化すること。

4) あらゆる環境下で長期間安定であること。

5) 施工に際して注入材の取り扱いや調合等が簡単で、しかも固化またはゲル化時間を容易に調節できること。

6) 地盤内の種々な物理化学的性質によって固化またはゲル化反応が影響を受けにくいこと。

7) 注入材の成分中に土および地下水を汚染するような有害なイオンあるいは化合物等を含まないこと。

4.3.2 注入材料の分類

注入材料の種類とその分類方法は種々な方式が提案されているが、基本的には以下に示す4つに大別され、地盤への浸透性は①→④の順に良くなっている。¹⁴⁾

① セメント

② 粘土（自然粘土または製品ベントナイト）

③ アスファルト

④ 薬液

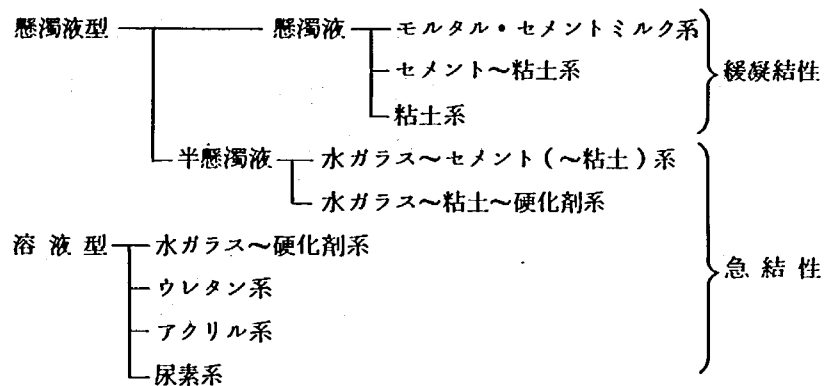
実際にはこれらが単味で使用されるのみでなく、それぞれの長所を生かして、例えば①－②、①－④、②－④等の組合せで複合グラウトとして使用されることが多い。そのような実用的観点から注入材を分類したのが表－23¹³⁾である。

4.3.3 注入材料の特徴

表－23 注入材料の種類¹³⁾

1) セメント

総ての注入材料の基本であり、固結したグラウトは大きな強度と高い安定性を有するため未固結層や岩盤を問わず特に永久構造物に対して多用される。しかし浸透性は最も劣り、急結性がないため地下水流速が速い場合は流失される。



懸濁液：グラウト中に粒子を含むもの、この種のグラウトは粒子が沈澱を起したら水と沈澱物に分離する。

半懸濁液：グラウト中に粒子を含み、粒子が懸濁したままあるいは粒子が沈澱しても液全体がゲル化するもの。

溶液：懸濁粒子を含まず全体がゲル化するもの。

2) 粘土

セメントより粒径が小さい

ので浸透性は向上するが強度は期待できない。また地下水流速が速い場合には流失される。セメントグラウトの流動性を向上させるため、あるいは増量材としてセメントと共に多用される。

3) アスファルト

調整された懸濁液は良い浸透性を有するが、本質的に剛性ではないため強度は期待できない。また地下水流速が速い場合には流出される。我国においては現在までその使用例は少ない。

4) 薬液

浸透性が高く急結性を有するためグラウト自身が弱部に沿って速くへ逸走するのを阻止したり多量の地下水や流動水に対処するために用いられる。このような目的でセメント注入の前段階として薬液注入が行なわれることがあるが、耐久性が十分立証されていないため現時点では一般的に仮設的に用いられることが多い。薬液の重要な性質はゲルタイムを有するため固結時間を任意に設定できることである。このため注入範囲と注入量をコントロールしたり、地下水によって希釈・流失しないうちに所定位置に固結させることができる。すなわち、きれいな礫層でグラウトが逸走しやすい場合や地下水流速が速い時はゲルタイムを短く設定して急速に固結させたり、割れ目が長く連続しないような岩盤や砂層等ではゲルタイムを長く設定して徐々にグラウトを浸透させることができる。しかしながら、薬害問題を契機とした「暫定指針」¹⁵⁾制定後現時点では薬液の使用は事実上水ガラス系のみに限定され、それ以外は工事中に緊急事態が発生して二次災害を防止するため応急措置が必要となった場合に、アクリルアミド系を除くその他の劇物が少ない薬液を使用することができるとされている点に留意する必要がある。他の注入材料に比較して非常に多くの種類があるが、以下に示す4つに大別される。

a) 水ガラス系

他の薬液に比較して浸透性は劣るが、地盤の透水性と注入方式が適合すれば、尿素系あるいはアクリルアミド系と同等の高い性能を有する場合もある。強度は水ガラスの濃度と硬化剤の種類によって異なり、弱いものはアクリルアミド系と同程度、強いものは尿素系と同程度まで変化する。流動水に対する遮水性は、硬化剤にアルミン酸ソーダを用いた場合に限りかなりの効果があるが、その他の硬化剤は効果がない。

b) ウレタン系

各種薬液の中で浸透性は最も劣る。親水型の強度は弱く、水ガラス系やアクリルアミド系と同程度であるが疎水型の強度は薬液としては格段に大きい。ウレタン系は流動水に対する遮水性が極めて優れていることが大きな特徴であり、室内実験では 100 cm/min の流動水中でも固結することが明らかにされている。

c) アクリルアミド系

浸透性は最も良いが強度は低く水ガラス程度である。 10 cm/min 以上の流動水に対する遮水効果はほとんど期待できない。

d) 尿素系

浸透性はアクリルアミド系に次いで良く、強度は疎水型ウレタン系に次いで高い。流動水に対する遮水効果は各種薬液の中で最も期待できない。

4.4 施工性

本工法の施工性は主として注入孔の削孔方式、注入方式、注入材の地盤への適用性の3点によって決定される。

4.4.1 削孔方式と施工性

注入孔の削孔に関する問題としては、掘削深度と垂直精度があげられる。削孔機の施工限界深度は同一機種でも砂礫層の締り程度、礫質、礫径によって左右されるがロータリーパーカッション式のものでは仮設条件さえ許せば玉石混りの厚い砂礫層でもかなりの深度まで掘削可能である。注入孔の垂直精度はかなり念入りに施工しても1/100~1/200が限界といわれているので、施工深度が深い場合には遮水壁にすき間ができることも考えられるから、安全を期して注入孔間隔をつめたり、施工列を増す等の対策が必要となる場合もある。

4.4.2 注入方式と施工性

バッカー注入やロッド注入は古くから行なわれており施工も比較的単純であるが、反面適用できる地盤が限定されている。すなわち、前者はバッカーが効くということが前提であり、後者は十分な注入圧をかけることができない。二重管ダブルバッカー方式は軟質地盤や崩壊性地盤に対してバッカーを使用でき、その結果注入材に十分な圧力と方向性をもたせることができるが、マンシュットチューブ、スリーブパイプ、ストレーナパイプ等と呼ばれる外管を建込んだり、それらのまわりにシール材を充填する手順が別に必要になるから、作業は前2者に比較して複雑になる。瞬結性注入材料を用いる二重管ロッド注入方式はほぼ完全な2ショット方式であるが、作業は1ショットあるいは1.5ショット方式の従来のロッド注入方式と同程度に単純である。各種の超高压噴流工法は超高压流体を扱うが、機械的な安全性は十分に保障されており、その他の作業も他の注入方式と比較して複雑困難ということはない。しかし粒径の大きな砂礫層では遮水体の形成が不確実となり水みちの残る可能性がある。

4.4.3 注入材料の地盤への適用性

注入材料の選定にあたっては対象地盤の性状に適応したものを選定する必要がある。この場合考慮すべき地盤条件は土に関しては粒度、密度、間隙の性状、透水係数、強度、含水比、地層構成等、地下水に関しては流速、流量、湧水圧、水温、水質等である。

表-24、25¹⁶⁾は浸透理論による注入可能限界を示したものである。これらは注入材料が土粒子の配列を乱すことなく粒子間を浸透してゆく場合について適用されるものであるが、実際の施工に於ては地盤性状の複雑さのためこのよう

表-24 浸透理論による粒径と注入限界

粒 径mm		0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2.0	6.3	20	63	100	
地 盤	最微	シルト			砂			れ き					
		微	中	粗	微	中	粗	微	中	粗			
提示者													
Mohr						限界領域		セメント					
Neuman			Monosol			Joosten		セメント					
Jahde		不安定水ガラス					Joosten		セメント				
Kollbrunner			溶 液	粘 土		コロイド セメント		セメント					
Keil			不 安 定 水ガラス			Joosten Ⅱ Ⅰ		セメント					

表-25 浸透理論による透水係数と注入限界

透水係数 cm/sec		10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
砂の透水性 (Keil)			シルト砂	微砂	粗砂		
提 示 者	Mohr		粘土と溶液	コロイドセメント		セメント	
	Jahde	不安定水ガラス		Joosten II	Joosten I	セメント	
	Keil		不安定水ガラス	Joosten II	Joosten I	セメント	
	Kollbrunner	溶液	粘土, ペントナイト	コロイドセメント		セメント	

な理論どおりに注入されるケースは非常に少ないと考えられている。実際の注入においては浸透理論による浸透注入の他に、地盤の弱線や地層の境界線に沿って脈状に注入する割裂注入がある。この方法による注入限界は必ずしも表-24, 25によらないが、材料の浸透性と地盤の粒度や透水係数等が合致すれば割裂注入と浸透注入が同時に起こり注入効果が増大する場合がある。したがって表-24, 25に示されるような浸透理論による注入限界とは別に注入技術を考慮した場合の注入材選定の基本的条件、あるいは土質と注入材料、透水係数と注入材料の関係は表-26, 17) 27, 17) 28 16) に示すようなものとなる。

表-26 注入材料の選定 17)

項 目			基 本 的 な 条 件
改 良 の 目 的	止 水		浸透性のみを考え低粘性溶液形薬液
	地 盤 強 化	浸 透	浸透性にすぐれ固結土もある程度強度が必要—低粘性溶液形薬液
		脈 状	ゲルタイムが短かくホモゲル強度が高い安価な懸濁形薬液
		浸 透 と 脈 状 併 用	ホモゲル強度が大で浸透性にすぐれた薬液
	湧 水		・地下水に希釈されてもゲルタイムが遅延されない薬液 ・瞬結性固結にすぐれている薬液（溶液または懸濁形）（2重管使用）
複 合 注 入	先 行 注 入		ゲルタイムが短かくホモゲル強度が比較的強く安価な懸濁形薬液
	本 注 入		先行注入材と相性がよく浸透性にすぐれた薬液
特 殊 地 盤			（酸性、アルカリ性地盤、ピート、シラス等） 事前にピーカテストか試験工事をしないチェックして注入材料を選定する。
そ の 他			環境保全性も検討する（毒性、地下水の汚染、水質汚濁等）

砂や礫の粒径が大で粒度の揃っている地盤、あるいは開口した割れ目や空洞を有する岩盤に対してはどのような注入材料でも浸透性は良好であるが、間隙や割れ目が大きい場合は注入材料の逸走が起りやすいし、このような場所は地下水流速が速い場合が多いので材料の希釈や流失を生じやすい。逆に粒径が小さく、粒度の揃っていない地盤では間隙は小さくなり粒子を含む懸濁液型注入材の浸透性は悪くなり割裂注入しかされず粒子間の空隙を充分充填し得ない可

能性を生じる。このように砂や礫の粒径が大で粒度の揃っている地盤あるいは開口した割れ目をもつ岩盤に対してはセメント・粘土系グラウト，粒径が小さい地盤に対してはセメント・薬液系グラウトあるいは薬液単味のグラウト，また地下水流速の大きい地盤では瞬結性薬液グラウトがそれぞれ使用されている。

一般論としては，透水係数の大きい地盤，例えば， $10^0 \sim 10^{-1} \text{ cm/sec}$ を注入工法によって $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm/sec}$ に低下させることは比較的容易であるが， $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ の地盤をさらに不透水化するためには多大の労力と困難を伴なう。通常の施工法によるセメントの実用的な適用限界は表-28に示すように 10^{-1} cm/sec 程度の地盤までであるから，さらに不透水化するためには薬液を使用しなければならない。この場合の改良透水係数は，概略的に懸濁液型水ガラス系薬液で 10^{-4} cm/sec 程度，溶液型水ガラス系薬液で 10^{-5} cm/sec 程度と考えられている。

また超高压噴流工法のように，地盤を構成する土砂と注入材を攪拌固結する方法，あるいは超高压噴流によって地盤を切削した後の空間へ材料を充填する方法等においては前記の浸透注入や割裂注入等の理論とは無関係に目的，施工性，経済性等から任意に材料を選ぶことができるが，実用的には強度が大きく，安価で，入手が容易なセメントを基本とすることが最も多い。この工法では $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ cm/sec}$ の高い改良値を得ることができるが，粒径の大きな砂礫層では遮水体の形成が不確実となり水みちの残る可能性がある。

4.5 遮水性

注入工法による遮水壁の遮水性は遮水壁自体の水密性と下部不透水層への根入れ程度によって決定される。前者については，鋼矢板工法や地下連続壁工法で用いる遮水壁材料自体はほぼ完

表-27 土質と注入材料¹⁷⁾

土 質 名	注 入 材 料
粘 性 土 シルト 粘 土 ローム	セメント系 水ガラス系懸濁形薬液
砂 質 土 砂 砂質シルト	浸透性溶液形薬液
砂 れ き	水ガラス系懸濁形薬液 (大間げき) 浸透性溶液形薬液 (小間げき)
境 界 面	セメント系 水ガラス系懸濁形薬液

表-28 注入材料の適用範囲(概略)¹⁶⁾

透水係数 (cm/sec)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-0}
グラウト系	セメント系					
	(3) (2) (1)					
	セメント薬液系			セメント薬液系		
	(6)			(5)	(4)	
	薬液系					
	(8)			(7)		

- (1)はモルタルとするのが適當。
 (2)は分離防止，増量を考えたグラウト(たとえばセメントベントナイトグラウト)が常用される。
 (3)(5)(6)はなるべく微粉とした微分末セメントの使用が適當。
 (4)はグラウトの逸出防止が主眼。
 (6)(8)は脈状または層状注入となる。(8)で用いる薬液はそれ自体の強度が大きいものに限る。
 (7)は一様な充填が期待できる。

全な水密性を有しているのに対し、注入工法による遮水壁は地盤特性、施工方法、経済性等の制約から一般には完全な不透水体を形成できないという特色がある。したがって注入工法による改良限度が大きな透水係数に止まる場合には施工列を増し、幅の広い遮水体として遮水効率を高めることが必要になる場合がある。下部不透水層への根入れ程度に関しては他の2工法と同様であるが、本工法はこれら3つの遮水工法のうちで、下部不透水層とのなじみは最も良く、施工性も優れている。

5. 遮水壁の施工条件と遮水工法の適用

5.1 遮水壁の施工条件

具体的にある地点に地下遮水壁を築造する際には、遮水壁サイトの立地、環境、地盤の状況と遮水壁そのものの設計要項などを充分検討しなければならない。これらを一口に施工条件とよべばその内容はおよそ次の5つに大別される。

- ① 地盤条件
- ② 規模品質条件
- ③ 仮設条件
- ④ 環境条件
- ⑤ 経済条件

これら諸条件の内容を細分類して示したのが表-29である。以下これら諸条件について考察する。

5.1.1 地盤条件

地盤条件は、地質条件と地下水条件に分けられるが、これらは工法の施工性すなわち施工の難易、施工の限界や遮水壁自体の品質、工期及び工事費などに直接影響を及ぼし、施工の途中ではほとんど変更不可能な固有条件であるから、遮水工法の選定にあたり事前の調査検討の重要性が高い。

(1) 地 質

地質に関する条件の細目としては、地盤を構成する地質の種類と成層状態、砂や礫の最大粒径、地盤の締り程度を示すN値または岩石の強度などがある。これら

表-29 遮水壁及び遮水壁サイトの施工条件

施工条件	条件の要素	細 目	備 考
地盤条件	地 質	地 質 構 成	施工性（施工の難易、施工の限界）や遮水壁の品質、工期及び工事費などに影響する。
		最 大 粒 径	
		N 値（強度）	
	地 下 水	地 下 水 位	
		透 水 係 数	
		流 速	
		水 質	
規模品質条件	遮水壁の規模	深 さ	設計値による。
		幅 または 厚 さ	
		延 長	
		遮 水 断 面 積	
	遮 水 性	目 標 透 水 係 数	
	耐 久 性	供 用 年 数	
仮設条件	搬入路及び足場まわり	許 容 機 械 重 量	立地及び環境に係る。
		許 容 車 輛 等	
	作 業 空 間	許 容 面 積	
		許 容 高 さ	
	用水及び動力	供 給 可 能 用 水 量	
		供 給 可 能 電 力 量	
環境条件	騒音及び振動	騒 音 規 制	
		振 動 規 制	
	安 全 性	地 下 水 汚 濁 汚 染	
		周 辺 地 盤 構 造 物 へ の 影 響	
経済条件	経 済 性	工 事 規 模 と 工 法 遮 水 効 果 と 工 事 費	

（注）具体的な遮水壁サイトに於ては、それぞれの条件の重要度と優先順位について検討すること。

に関する情報は調査ボーリングによって知ることができる。

一般的に地下貯水池として適切と考えられる滞水層の地質は、砂層、礫層で代表されるが、これらは必ずしも均一な単一層ではなくシルトや粘土などとの互層あるいは混合層であることも多いし、遮水壁自体としてはある程度不透水性の岩盤へ根入れする必要もある。このような多重層構成の地盤に対する遮水工法は広い適応範囲を持つ工法が望ましいが、2つ以上の工法を併用する必要が生ずる場合もあると考えられる。

一般にどのような遮水工法も粒径やN値が大きくなるほどあるいは礫質が硬くなるほど施工は困難となるかあるいは能率が低下し、岩盤を対象にする場合には工法の種類も限定されてくる。一方N値が小さくてもルーズな地盤は、掘削を伴う遮水工法では掘削溝(孔)の崩壊によるトラブルを生ずるので安定液その他の手段により対処する必要がある。

(2) 地下水

地下水に関する条件の細目としては、地下水位、透水係数、流速、水質などがある。これらはボーリング孔を使用した現地測定および室内における分析によって知ることができる。

地盤の透水性は、土粒子の形状や配列とその結果生ずる空隙の多少あるいは岩盤の割れ目や空洞の多少と連続性などによって決定されるが、現場透水試験あるいは揚水試験から求めた透水係数で評価される。地下水の流速、特に水みち状となった場合は地下掘削において重要な要素であるが、その実体を事前に知ることは透水係数を求めるよりはるかに難しいため、施工中の突発事故となりやすい。地下水の水質は、特に海水あるいは強い酸性水が問題となる。海水は鋼材の腐食、セメントの劣化、ある種のグラウト材の固結に影響する。また地下水位は掘削壁面の安定と密接な関連をもっている。

5.1.2 規模品質条件

規模品質条件には、良好な遮水効果を得るため設計面から与えられる遮水壁の形状寸法等の規模とその遮水性能、利水コストや投資効率の面から要求される供用期間中の耐久性などの要素が含まれる。

(1) 遮水壁の規模

遮水壁の規模は、深さ、幅または厚さ、延長などで表現されるがこのうち特に重要なのは深さと幅である。

遮水壁の深さは帯水層の中間で止まるもの、下部の不透水層まで達するものなどがあるが、その地点の地盤条件により所定の深さまで遮水壁を築造するための工法が異なる。遮水壁の幅または厚みについては、壁体自体が不透水性のものであれば薄くても良いし、一般の注入遮水壁(グラウトカーテン)のように完全な不透水体でなければ、施工幅の広い遮水帯が必要となる。遮水壁の延長は、流域幅全体を遮水するものと部分的に遮水してその隙間では地下水の流下を許すものとは実際の施工延長は違ってくる。これらは遮水効果の向上と下流側湧水問題との兼合いによって決められるものと思われるから、流域に対して遮水壁自体の

延長をどうするかは個々のサイトの問題である。遮水断面積は、深さ×延長であって工事全体の規模を表わすものであり、その大小により工法の経済性を判定する目安となる。

(2) 遮水性

遮水壁の品質を表わす最も基本的な要素が遮水性である。全くの不透水性材料で構築できる場合は問題ないが、注入工法のように一般に不完全な不透水体であれば、地盤透水係数の改良目標値が設定される。この場合は前項で述べた遮水壁の幅が密接に関係する。注入遮水壁は勿論、不透水性材料の遮水壁であっても施工継手からの漏水もあり得るから遮水壁全体としての遮水性の検討も必要である。その方法としては遮水壁上下流における地下水位の測定が基本である。

(3) 耐久性

ここでいう耐久性は、利水コスト、投資効率の面から要求される供用期間中に十分な遮水機能を保持し得るということであって、遮水壁の品質に関係する。遮水壁がその機能を損う原因としては、酸性水や塩水による鋼材の腐食及びコンクリートの劣化、地下水流による遮水壁材料の溶脱、流失等化学的なものと、水圧、土圧、地震力など外力によるクラックの発生のように物理的なものとがあげられる。

5.1.3 仮設条件

仮設条件には、現場への搬入路や作業場の足場まわり、作業空間、用水及び動力などが含まれる。

(1) 搬入路及び足場まわり

現場における既存の道路あるいは仮設搬入路の幅、カーブ、勾配、路盤土質などと実作業地点の勾配、表層の土質など搬入できる遮水壁施工用機械の重量、トラック、クレーン車などに制約を及ぼす。場合によっては路面補強、整地、足場組みなど、かなりの規模の仮設作業が必要となる。

(2) 作業空間

作業空間としては、本体機械の占有する面積及び高さとその周辺で作業するための空間が必要であるが、これらは既設構造物（道路、鉄道、橋、架空線、建物）などとの相対関係による他、地形あるいは用地取得条件等によっても制約される。

(3) 用水及び動力

遮水工法の中には多量の水を必要とするものがありその確保は重要な問題である。また動力源としてエンジン搭載のもの以外は発電機を使うか電力会社からの買電となる。

5.1.4 環境条件

環境条件は遮水壁の施工に伴って生じる問題に関連するものであり、騒音、振動、地下水汚染、汚濁、周辺地盤や構造物への影響等が含まれる。

(1) 騒音及び振動

特定建設作業が知事の指定する指定地域内で行われるときは、騒音規制法及び振動規制法の適用を受けるが、それ以外の場合でも場所および時間的に自主的な騒音振動対策が必要となることも多い。

(2) 地下水汚濁汚染

地下工事を行う場合、一般には劣化安定液、泥ねい化した排土、セメント等の廃液、廃泥による汚濁が発生するものと考えておくべきであり、その地下水を利用している地域で、高濃度の汚濁が長期間続く恐れのあるときは、当該工法に対する制約や別途給水の必要が生ずる。すなわち、これら廃液廃泥は産業廃棄物として取扱われ、その投棄処分については廃棄物の処理および清掃に関する法律、下水道法、河川法、水質汚濁防止法等による規制をうける。このため廃液等は作業場内で定められた基準の処理を行なったうえ公共水域に放流するか、公共機関が指定する処分地まで運搬し投棄するなどの必要がある。

地下水汚染は、遮水壁材料から有害成分が水中に溶脱するものであり地下水の利用有無にかかわらず基本的に避けるべき問題である。しかし、遮水工事にともなう水質汚濁汚染は、遮水壁サイトの場所によりまた地下水利用の程度により許容される限度がかなり異なると考えられるので、それぞれの条件下に於ける規制値を満足する処理技術を持つことが必要である。

(3) 周辺地盤、構造物への影響

地下工事の周辺に重要な構造物がある場合は工事に伴う地盤沈下あるいは隆起などによってそれに変位、変形を与えないよう配慮する必要がある。変位、変形に関する許容量は構造物等の管理規則等によってそれぞれ定められている。

5.1.5 経済条件

経済性は、本来利用水量との関係において考慮されるべき問題であるが、ここでは遮水工法の選定に係る経済性すなわち同一の遮水効果を得るための経済比較とする。遮水工法では、工事の規模によってそれぞれの工法の適用性が異なるので、工事費全体と共に工事規模についても注目し経済性の検討を行う必要がある。

5.1.6 条件の重要度

前項までに一般的な地下遮水壁及び遮水壁サイトの諸条件について無作為の順序でのべてきた。しかし現実には遮水壁を築造する場合は、それぞれのサイトにより施工条件の重要度が異なるのが普通であり、それによって条件の優先順位が決められ工法の選定にも影響を及ぼす。

前出5つの施工条件の中で、どのようなサイトでも最も重要で最優先されると考えられるものは地盤条件である。既にのべたように、この条件は各サイト固有のものでそれ自体ほとんど変更できない条件だからである。さらに地盤条件によって、必要な遮水壁の規模、遮水性能が決められ、地盤条件と遮水壁の規模品質条件とから遮水工法の候補が選ばれる。この段階で選ばれた候補がかなり決定的で、しかも他の条件がこの工法に適合しないような場合は、この工法を生かすために他条件の変更、あるいは工法を生かすための条件作りが必要と

なることもある。

以上条件の重要度については一般論であって、実際には具体的な遮水壁サイトに於てそれぞれの条件の重要度について考察し、優先順位を考慮した上で次節の遮水工法の適用性の検討を行なわなければならない。

5.2 遮水工法の適用性

本節では表-29に示した遮水壁の施工条件に対して2~4章で述べた3つの遮水工法がどのように適応するか考察し、適用性の大小を相対的に評価する。適用性の大小比較は不等号記号で示すが、この大小比較は一般論であるから、仮に遮水壁サイトが決まり、具体的な施工条件が与えられた場合は適用性の大きな工法が必ずしもそのサイトに最適であるとは限らないことに注意する必要がある。

5.2.1 地盤条件に対する適用性

1) 鋼矢板工法

粘土やシルト等の軟弱層およびルーズな砂や細礫層に対しては比較的容易に打込めるが、硬質粘土、緊密な砂、硬質で大粒径の礫層に対する打込みは困難である。後者に対しては、バイプロ、オーガー、水ジェット等による押込み方法も開発されているが、本工法は本質的にこれらの地盤に適していない。軟弱層の途中に薄く存在する中間礫層や硬質層あるいは軟弱層下底の基底礫層等は小規模であっても遮水壁築造上の重要なポイントとなるので試験打ち等の慎重な検討が必要である。このような地盤に対しては鋼管矢板やH形矢板が他形式の矢板に比較して適している。

本工法は施工時に地下水の影響をうけることはほとんどないが、塩水逆流防止のために河口に遮水壁が築造される場合は、施工後の腐食対策として防錆加工が必要となる可能性もある。

2) 地下連続壁工法

本工法はほとんどあらゆる未固結層に適用可能であるが、掘削方式によって適用範囲が異なるので地盤状況に対応して数種の掘削機を併用した方が有利な場合もある。一般に細粒土やN値の小さい地盤にはバケット式が用いられるが、バケットの昇降によって溝壁の崩壊を生じやすいので慎重な施工と安定液の管理が重要である。この点ではこのような地盤に対しては回転式で掘削土砂を連続的に吸上げる方式を採用した方がよいといえる。粒径やN値が大きい地盤に対しては回転式や衝撃式が適用されるが、礫径が30cm以上になると掘削速度が低下し、施工費が高騰する。両者の中には軟岩に対しても適用できる方式もあるが、未固結層下部岩盤への数m程度の根入れを前提としたものであり、岩盤特に硬岩に対して本格的な遮水壁を築造するためには衝撃チゼル型掘削機やロータリーパーカッション型で高性能大口径穿孔機等特殊な削孔機が必要となる。

本工法を透水係数の著しく大きい地層に適用した場合には安定液が流失したり希釈された

りして孔壁の安定が保たれなくなる可能性がある。特に水みちや被圧水帯を掘削する場合はかなり難工事となることが多い。また塩水に対しては安定液の塩水対策が必要となるが、万全策とはならず、孔壁の部分崩壊を生じる可能性もある。

3) 注入工法

本工法は適切な削孔機を選定することにより未固結層から硬岩まで広い範囲の地盤に適用することができるが、硬質玉石層や膨張性岩盤等の削孔は困難である。また削孔機はビット冷却と切り屑排出のため水または空気を圧送するので漏水や漏気を生ずるような地盤での施工は困難である。また本工法は注入材料と注入方式を適当に選ぶことによって非常に広い範囲の地盤に適用できるのが特色であるが粒度分布の良い締った砂層、粘土まじりの砂礫層、長く連続する割れ目や大きな空洞を有する岩盤等には注入困難である。粘土・シルト・砂等の比較的軟質な地盤に対しては超高圧噴流工法のように地盤を切削してグラウトを置換する方法または地盤とグラウトを攪拌混合して固化させる方法と、二重管ロッド式注入のように瞬結グラウトを連続的に注入する方法がある。これらの地盤は削孔が容易で、それに要する時間も少なくすむので一般に削孔と注入を一工程として施工されている。砂礫層では削孔にかなり時間を要するため削孔と注入を逆に別工程とする方が有利である。この方法として二重管ダブルバッカー注入があり、崩壊性地盤に対しても孔壁が確保できるためグラウトに対して必要な圧力をかけることができる。また粒径の揃った砂礫層や玉石層等ではグラウトの流失が生じやすいのでその対策が必要である。軟岩や硬岩に対してはバッカー注入が多いが、バッカーが使用できないような岩盤に対しては二重管式ダブルバッカー注入が行なわれることがある。

本工法を透水係数が大きく流速の速い地盤に適用した場合にはボーリング用水の逸失や注入されたグラウトの希釈や流失を生じやすい。このような地盤に対してはゲルタイムの短いグラウトを用いるか、あるいはこのようなグラウトで一旦仮止めしておいてから、他のグラウトを用いて本注入を行なう等の対策がとられるが材料費、施工費共増大する。ベントナイト系グラウトは塩水によりゲル化や凝集が生じるが、地盤に注入された場合の挙動については明らかにされていない。セメント系グラウトは油、酸、塩類、有機物等によって硬化が妨げられたり耐久性が低下する。さらに薬液系グラウトはpH、特殊な金属塩、有機物、貝ガラ等によって非固結現象を生じることがあるので水質に対する安定性を検討する必要がある。

4) 適用性の比較

前項までの検討結果をまとめたのが表-3.0.1である。同表に示されるように、地質要素が重要な場合と地下水要素が重要な場合とでは工法の選び方が全く逆である。したがって両者が密接にからみ合う一般の地下水の遮水においては地下連続壁工法の適用性が最も大きいといえる。

5.2.2 規模品質条件

に対する適用性

1) 鋼矢板工法

本工法は打込み深度が深くなるに従って打込みエネルギーの効率が低下したり地盤との摩擦が増大するので遂には打込み不可能となる。この場合にはH形、鋼管矢板等の打込み性能の高い鋼矢板を用いたり、パイプロヤ水ジェットで摩擦を

表-30.1 地盤条件への適用性

		粘性土	砂質土	緩い細礫	締った砂	硬質粘土	礫	玉石	軟岩	硬岩
地盤への適用範囲	鋼矢板				---	---				
	地中連続壁								---	
	注入			---						
地下水によるマイナス影響の大小	特に大きい透水性	鋼矢板<地中連続壁・注入								
	特に大きい流速	鋼矢板<地中連続壁・注入								
	水質	鋼矢板<地中連続壁・注入								
総合的な適用性		地中連続壁>注入・鋼矢板								

注)——一般に適用する。

-----一部適用あるいは特殊工法が適用する。

低減する等の対策がとられる。本工法は一般に山留めとして用いられるので、普通の鋼矢板では特別深く打込む場合でも25～30mである。鋼管矢板の場合は鋼グイで軟弱地盤に対し50～60mの打込み例があるので礫や玉石が障害とならなければ同程度の深さまで打込み可能である。本工法は地質によって施工深さが著しい影響をうける。

本工法は継手からの漏水がない場合は完全な遮水性を有する。したがって継手がはずれる可能性のある地盤に対して打込む場合は継手部に対する補助グラウト等を考慮しなければならない場合がある。

2) 地下連続壁工法

本工法は柱列式が重なり精度の点から25m以内が有利とされ、壁式では30～60mあるいはそれ以上の深さまでほとんど地質条件に左右されず施工できる。

本工法は透水性の小さい壁体材料を選び継手を確実に施工することによってほとんど完全な遮水性が得られるが、不良な安定液の使用や掘削溝での湧水等による壁面崩壊が原因で遮水壁が適切に打設されず水みちが残る可能性もある。

3) 注入工法

本工法の施工深さは地下連続壁と同様削孔機的能力によって決定される。注入孔の配置は注入半径を想定して決められるが、柱列式連続壁のような柱状体の連結を行なうものではないため、重なり精度の制約はほとんどなく、硬質岩盤および未固結層におけるダムグラウトカーテンのように100m程度実施されている場合もある。

本工法は置換式超高压噴流注入工法以外は地盤と不透水材料の置換を行なうものではない

から本質的に完全な遮水はできず、実用的、経済的限度内で許容できる値にすることが一般的であり、遮水効果については前2工法に比してやや劣ると考えられる。従って本工法は地盤条件や仮設条件等の制約と改良目標値との関係からいずれの工法も適用できないような場合によく用いられる。本工法による改良程度を高めようとする場合は施工列数を増加させる必要があり、工事費が増大する。

4) 適用性の比較

全節での検討結果をまとめると表-3 0.2 のようになる。本表より施工可能深度と遮水性に関しては地下連続壁が最も優れていることがわかる。注入工法と鋼矢板工法では施工可能深度と遮水性のいずれが重要条件となるかによって適用性の大小が決定される。

表-3 0.2 規模品質条件に関する適用性

区 分	適用性の大小
施 工 深 さ	注入>地下連続壁>鋼矢板
遮 水 性	鋼矢板・地下連続壁>注入
耐 久 性	特に優劣なし
総合的な適用性	地下連続壁>注入・鋼矢板

5.2.3 仮設条件に対する適用性

1) 鋼矢板工法

本工法に用いられる作業機械は一般に大型で総重量10数トン、分解重量でも数トンになる。また材料も長く重いので搬入路や作業地点の足場が堅固なことが必要である。作業空間は打込みのための頭上空間や鋼矢板の置き場所と引出しのスペース等が必要であり他工法に比較して大規模となる。また本工法は水ジェットを用いる方式以外は打込みに際して水を使用することはない。

2) 地下連続壁工法

本工法に用いる作業機械は鋼矢板工法と同程度に大規模なものから注入工法に用いられるように小規模なものまで多種多様である。作業空間は実作業面積では鋼矢板工法と同程度必要であるが、材料置場、頭上空間は鋼矢板工法より小規模である。ただ安定液をつくるために多量の水が必要である。

3) 注入工法

本工法に用いられる作業機械は前2者に比較してはるかに小型軽量であるので、面積・高さとも小規模で施工可能であり、注入材料も分割搬入が可能である。また本工法は他工法と異なり斜め施工が可能であるから構造物が障害となる場所でも施工できる。ただ、注入孔の削孔や注入材の配合のためにかなりの水が必要である。

4) 適用性の比較

前項までの検討結果を表-3 0.3 に示す。

同表より仮設条件に関しては注入工法の適用

表-3 0.3 仮設条件に関する適用性

区 分	適用性の大小
搬入路及び足場まわり	注入>地下連続壁・鋼矢板
作 業 空 間	注入>地下連続壁>鋼矢板
用 水	鋼矢板>地下連続壁・注入
動 力	注入>地下連続壁・鋼矢板
総合的な適用性	注入>地下連続壁・鋼矢板

性が最も高く、地下連続壁工法と鋼矢板工法がほぼ同程度といえる。

5.2.4 環境条件と適用性

1) 鋼矢板工法

本工法は騒音や振動の発生レベル他工法に比較して高く、施工にあたっては打込み方法の工夫や防音カバーの使用等を考慮しなければならない。騒音と異なり振動は地盤によって距離減衰特性が異なるので注意を要する。打込みにあたってある程度の地下水汚濁は生じるがほとんど問題はないと考えられる。

2) 地下連続壁工法

騒音や振動の発生は施工機械により差があるが、その大きさは本工法が都市土木で多用されていることからわかるように一般には許容できる程度のものである。ただ本工法では掘削中の安定液の逸脱、およびそれに伴う掘削壁面の崩壊によって周辺地盤の陥没を招くことがあるから安定液の適切な管理が必要である。

3) 注入工法

本工法は注入孔の削孔時に大きな騒音や振動を発生するものもあるが、一般的に前2者に比較して低騒音低振動である。また薬液を注入材料として使用する場合には「暫定指針」に従って適正に施工する必要がある。さらに注入速度や注入圧力が過大であると地盤を隆起させたり、構造物を持ち上げたりするので施工にあたって監視が重要である。

4) 適用性の比較

以上の諸問題はそれぞれの工法の絶対的特性ではなく、立地条件や施工技術等によって生ずる相対的なものであるので、環境条件によりそれぞれの工法の適用性が決定的に左右されることはない。

5.2.5 経済条件と適用性

1) 鋼矢板工法

本工法は仮設費、特に作業場の整備および機械損料等の金額が多くなるので大規模工事情有利となる。また地盤が軟質で均一な程施工能率があがるため直接工事費が少なく済み、施工も確実に遮水効果も大きい。

2) 地下連続壁工法

本工法は仮設条件、機械設備費、損料等から考えると大規模工事情有利と考えられるが、中小規模の工事に適した工法もある。また他工法に比較して締った砂、硬質粘土、礫等から成る地盤に対して施工された場合有利である。

3) 注入工法

仮設条件、機械設備、損料等からは超高圧噴流工法を除けばかなり小規模な工事にも対応でき、断続的な施工も可能である。また地盤に対しては広範囲に適用しうるが、他工法の適用できない玉石、軟岩、硬岩等に対して経済的に有利に施工できる。

4) 適用性の比較

優れた経済性とは所定の費用で高い遮水効果を得るということであり、高い遮水効果を得るためには信頼性の高い工法を選定しなければならない。工法の信頼性とはそれぞれの工法の地盤条件への適用性に帰着される

表-3 0.4 経済条件に関する適用性

ので経済性の適用性は地盤条件に対する適用性と一致すると考えられる。すなわち、いずれの工法も施工可能な深さであれば、高い経済性と信頼性が得られる地盤は表-3 0.4 のようになる。

工法区分	高い信頼性と優れた経済性が期待できる地質
鋼矢板工法	粘性土、砂質土、緩い細礫
地下連続壁工法	締った砂、硬質粘土、礫
注入工法	玉石、軟岩、硬岩

5.3 遮水工法の選定

前節では遮水壁の施工条件に対して遮水工法がどのように適用しうるかを定性的に検討した。本節では遮水壁サイトが決定された場合にどの工法が最も適合するか判定し、工法を選定するまでの手続きを示す。

表-3 1は表-2 9の主要細目を選定し、前節での検討結果をふまえて各種遮水工法の施工条件とその適用性の比較を行なったものである。まず表-3 1等を参考にして表-2 9に示される各細目が計画遮水壁の要求事項に適合するかどうか判断し、適、可、不可等と評価する。その後各工法の評価結果を検討し総合判断を下すのであるが、この場合各条件の重みは同一でないから重要度に応じた優先順によって判定すべきである。

このようにして最終的に選定される遮水工法は以下のようなものと考えられる。

- ① 重要度の高い施工条件については「不可」のない工法
- ② 重要度の低い施工条件については「適」の多い工法
- ③ 全体として「不可」が最も少ない工法、あるいは「適」が最も多い工法

また「不可」となった条件については遮水壁サイトの施工条件の変更や他工法との組合せ等を考慮し、その工法の有意性を生かすことを検討する必要がある。

表-31 各種遮水工法の施工条件とその適用性の比較

条 件	細 目	鋼 矢 板 工 法	地下連続壁工法	注 入 工 法
地 盤	地 質 構 成	粘土, 砂, 細礫	粘土, 砂, 砂礫	粘土, 砂, 砂礫, 岩盤
	最 大 粒 径	鋼矢板の種類および地盤の 締り程度による	300~500mm	無 制 限
	N 値	鋼矢板の種類および打込み 方法によるが50以上不可能	掘削方法によるが50以上 でも可能なものが多い	無 制 限
	地 下 水 流 速	影響無し	特に大きいと不可	特に大きいと不可
	地 下 水 水 質	塩水および酸性水では防食 対策必要	安定液の塩水対策必要	注入材の性質による
規模品質	最 大 深 さ	20~30m	40~60m	任 意
	最 大 幅	任 意	1.0~1.5m	任 意
	遮 水 性	完全止水(継手に注意)	完全止水(継手に注意)	任 意
仮 設	機 械 重 量	大 型, 重	大 型, 重	小 型, 軽
	作 業 面 積	10×7m	大部分12×5m (工法によっては20×20m)	4×3m
	作 業 高 さ	21~25m	大部分10m以下 (工法によっては25m)	5~8m
安 全 性	地 下 水 周辺地盤構造物	影響なし 振 動	安定液流失注意 掘削壁崩壊	使用薬液の制限 隆 起
経 済 性	工 事 規 模	大 工 事	大 工 事	任 意

あ と が き

各種遮水工法については1～4に概説したとおり種々の分野においてそれぞれ特色のある工法が開発されつつあり特に地下連続壁工法、注入工法の発展が著しい。またこれら種々の遮水工法を地下ダム遮水壁築造に適用するためには5に示したような各条件を勘案して最も適用性の優れた工法を選定しなければならない。しかし本文はそれぞれの工法の一般的特性を明らかにしたものに過ぎないから、具体的な個々のサイトに適用する際にはそのサイト固有の条件を重みをつけて考え独自の評価を行う必要がある。

本報文は土木研究所地質研究室が担当し、作業を(財)国土開発技術研究センターに委託して実施した内容をもとに筆者がとりまとめたものである。本研究を行うにあたっては、「止水技術専門委員会」(委員長芥川真知埼玉大学教授)を組織し、調査の進め方や結果のとりまとめ等について検討した。委員長をはじめ各委員およびとりまとめにあたって貴重な御意見をいただいた岡本隆一地質官、南雲貞夫前地質化学部長(現機械施工部長)、蒔田実地質化学部長に心からお礼申し上げる。

引用文献

- 1) 建設省土木研究所地質研究室(1979):地下水止水工法に関する研究報告書, pp.182.
- 2) 日本建設機械化協会編(1972):仮設鋼矢板施工ハンドブック, 技報堂, pp.191.
- 3) 鋼材倶楽部編(1972):土木技術者のための鋼材知識, 技報堂, pp.375.
- 4) 新版土木工法事典編集委員会編(1977):新版土木工法事典, 産業調査会, pp.616.
- 5) 松尾新一郎・河野伊一郎(1970):地下止水壁による地下水規制の実験的研究, 土木学会論文報告集, No.178, pp.53-60.
- 6) 中村広昭・佐藤邦明・池田駿介(1978):地下ダムの貯留機能に関する基礎的研究, 昭和52年度文部省特定研究, 地下ダムの貯留機能と制御・管理システムの研究報告書(研究代表者, 佐藤邦明), 埼玉大学工学部, pp.11-17.
- 7) 日本建設機械化協会編(1975):地下連続壁設計施工ハンドブック, 技報堂, pp.414.
- 8) 山肩邦男(1977):地下連続壁工法の現況と展望, 地下連続壁の設計と施工, 総合土木研究所, pp.1-8.
- 9) 森 喬(1977):地下連続壁の施工, 最近の地下連続壁工法, 総合土木研究所 pp.21-30.
- 10) 地下水ハンドブック編集委員会編(1979):地下水ハンドブック, 建設産業調査会.
- 11) 石橋時男(1977):地下連続壁工事における安定液管理, 地下連続壁工法, 総合土木研究所, pp.71-89.
- 12) 日本薬液注入協会編(1977):薬液注入技士資格検定試験講習会テキスト, 日本薬液注入協会.
- 13) 島田俊介・兼松陽(1977):最新の地盤注入工法, 理工図書, pp.254.
- 14) 坪井直道(1980):改訂版, 薬液注入工法の実際, 鹿島出版会, pp.286.
- 15) 建設省(1974):薬液注入工法に依る建設工事の施工に関する暫定指針.
- 16) 樋口芳郎(1971):注入工法, セメント協会コンクリートブック, No.19.
- 17) 柴崎光弘, 下田一雄, 野上明男(1978):薬液注入工法の設計と施工, 山海堂.

地下水遮水工法の現況と地盤への
適用性

ISSN 0386-5878
土研資料 第1644号
昭和56年3月(1981)

キーワード：遮水工法，鋼矢板工法，地下
連続壁工法，注土工法

菅原 捷
中村 康夫

要 旨

土木の各分野で独自に発展している鋼矢板工法，地下連続壁工法，
注土工法等の現況を整理するとともに，それらの各種地盤への遮水
壁築造技術としての適用性について検討した。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

地質研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第1644号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

