



0021

共同研究報告書

整理番号第32号

地下空間の建設技術の開発(地下空間の利用方法) に関する共同研究報告書(1)

平成2年3月

建設省土木研究所道路部トンネル研究室

河川部総合治水研究室

鹿 島 建 設 株 式 会 社

清 水 建 設 株 式 会 社

株 式 会 社 竹 中 工 務 店

まえがき

我が国における国土空間の利用は、高度経済成長期の諸活動の活発化に伴い、住宅・産業・交通施設を中心として飛躍的に進展した。安定成長期に入った今日では、都市化の全国的進展や国民生活における価値観の多様化を反映して、国土空間の質的向上が求められている。また、今後の情報化、国際化、高齢化といった変化に適切に対応し、経済社会の活発化を図っていくためには、国土利用面での積極的な対応が必要とされている。

このような経済社会状況の中で、特に地下空間は、今後の国土基盤整備の展開にあたっての貴重な空間資源として大きな役割を期待されており、しかも、単に地上空間の代替空間としてばかりでなく、地下の持つ特性と技術の進歩とが相まった新しい空間としての開発利用も期待されている。したがって、今後の地下空間の利用とこれらに関する種々の技術開発をより一層推進していく必要がある。

本共同研究「地下空間の建設技術の開発（地下空間の利用方法）に関する研究」は、これらに対応するため建設省が実施している総合技術開発プロジェクト「地下空間の利用技術の開発」の一環として、官・民の緊密な協調体制のもとに「地下空間の利用技術の開発」を図るものである。

本研究は、昭和63年度から平成3年度までの4か年を目標として、土木施設の地下化に関する現状及びその問題点の整理を行うとともに、地下空間利用のニーズ調査を行い、地下化にともなう様々な建設技術上の問題点等を明らかにすることとしている。本研究は、建設省土木研究所、鹿島建設（株）、清水建設（株）、（株）竹中工務店が共同で実施することとしており、本共同研究報告書は、昭和63年度の研究成果を取りまとめたものである。

平成2年3月

地下空間利用方法共同研究担当者名簿

建設省土木研究所道路部部長

“ 道路部トンネル研究室室長
 “ 道路部トンネル研究室研究員
 “ 河川部部長
 “ 河川部総合治水研究室室長
 “ 河川部総合治水研究室研究員
 “ 河川部総合治水研究室

足立義雄
 水谷敏則
 真下英人
 橋本宏
 吉本俊裕
 大原修
 馬場隆司

鹿島建設(株)土木技術部部長

“ 土木設計本部設計長
 “ “
 “ 土木技術部課長代理
 “ 土木設計部

佐川嘉胤
 守武秀憲
 大谷義信
 中尾努
 今西和夫

清水建設(株)土木本部土木技術第1部部長

“ 企画部課長
 “ 技術本部地下空間開発部課長
 “ 地下空間開発部
 “ “

根上義昭
 森田哲士
 三宅紀治
 傳田篤
 小林經夫

竹中工務店技術研究所次長

“ 技術研究所主席研究員
 “ 技術研究所主任研究員
 “ 技術研究所

川崎孝人
 中崎英彦
 上田貴夫
 下河内隆文

目 次

第1章 共同研究の目的	1
第2章 研究計画	2
2. 1 研究体制	2
2. 2 全体計画	2
第3章 都市における地下空間利用の現状とニーズ	3
3. 1 都市における地下空間利用施設の現状	3
3. 1. 1 地下特性と地下利用	3
3. 1. 2 都市における地下空間利用施設の現状	5
3. 2 都市における地下空間利用のニーズ	6
3. 2. 1 アンケート調査	6
3. 2. 2 アンケート調査及びヒアリング調査に寄せられたその他意見	25
第4章 地下空間建設技術の現状と課題	29
4. 1 地盤調査技術	30
4. 1. 1 地盤調査技術の現状	30
4. 1. 2 地盤調査技術の課題	34
4. 2 NATM	36
4. 2. 1 NATM建設技術の現状	37
4. 2. 2 NATM建設技術の課題	73
4. 3 シールド工法	88
4. 3. 1 シールド工法の現状	88
4. 3. 2 シールド工法の課題	142
4. 4 開削工法	147
4. 4. 1 開削工法の現状	147
4. 4. 2 開削工法の適用限界	155
4. 4. 3 技術課題の抽出	179
第5章 今年度の総括	194
参考資料	196

第1章 共同研究の目的

国土利用面での一層積極的な対応が必要とされている現在、地下空間は我が国の狭小な国土を有効に活用するための貴重な空間資源として大きな期待が寄せられている。また、地上空間の代替空間としてばかりでなく、地下の持つ特性と技術の進歩とが相まった新しい空間としての開発利用も期待されている。特に、都市部においては、地下空間はこれまでは主として地下街・駐車場等の都市施設、道路・鉄道等の交通施設、電力・ガス・上下水道等のライフライン、放水路・地下調節池等の防災施設として利用されてきたが、高密度化の進む状況を考えると、今後、これらの地下利用方法は大規模化、大深度化、輻湊化することは避けられず、新たな地下利用技術の開発が必要となる。

本研究では、以上のような状況を踏まえて地下空間の合理的で安全な開発利用方法を明らかにするため、地下空間の利用方法に関して実態調査を行い、地下利用技術の現状把握を行うとともに、今後の地下利用に当たっての技術的課題を抽出する。また、公共・公益事業の事業主体にアンケート及びヒアリング調査を行い、都市における地下空間利用の将来ニーズを明らかにするものである。

第2章 研究計画

2. 1 研究体制

本共同研究には、前掲の地下空間利用方法共同研究担当者名簿にあるように、鹿島建設(株)、清水建設(株)、および(株)竹中工務店の3社からの応募があり、土木研究所を中心に清水建設(株)がこれら3社の幹事として調整を図っている。

本研究の目的は、「1章 共同研究の目的」にもあるように、都市域においてますます大深度化、大規模化に向かうと思われる地下空間の利用について、現状における利用実態、および新たなニーズを把握し、今後の地下利用の方向性を見極めるとともに、地下利用に関わる問題点と今後解決すべき課題の整理を行うことであり、次に示す4つの研究項目から構成されている。

- a. 都市におけるインフラ施設の現状と将来動向
- b. 地下空間建設技術の現状と課題
- c. 地下特性を活かしたインフラ施設の地下化検討
- d. 地下インフラ施設の用途・規模・深度の検討

研究項目a. では、前述のように都市域におけるインフラ施設の種類、規模、利用状況等の現状と、近い将来予想される新しいニーズについて文献調査、およびアンケート調査を通じて把握するものである。研究項目b. も、文献調査、およびアンケート調査、さらには一部ヒアリング等を行うことによって、現時点における地下空間建設技術の施行限界、および今後における技術開発課題について把握しようとするものである。

研究項目c. は、上記研究項目a. およびb. の調査結果に基づいて、地下化の可能性のあるインフラ施設を検討し、さらにその施設に要求される機能、構造等について検討するものである。検討項目d. では、上記3項目の総まとめとして、検討項目c. で検討した具体的な地下インフラ施設に対してケーススタディを行い、その適用範囲、利用する場合の限界等についての判断資料を作成するものである。

2. 2 全体計画

表-2. 2. 1に研究の全体工程を示す。

表-2. 2. 1 全体工程

研 究 項 目	昭和63年度	平成元年度	平成2年度	平成3年度
現状調査と問題点の抽出	=====			
地下化に伴う課題抽出	=====			
地下インフラ施設の検討				
ケ ー ス ス タ デ ィ				

第3章 都市における地下空間利用の現状とニーズ

3. 1 都市における地下空間利用施設の現状

3. 1. 1 地下特性と地下利用

従来から日本では、地下空間に対してあまり良いイメージが持たれていなかった。地下空間に対して、

- a. 暗い。
- b. じめじめしている。
- c. 閉鎖感、圧迫感がある。
- d. 恐ろしい。
- e. 危険である。

等といったネガティブなイメージが主流を占めていた。

しかし、都市域における地下空間の合理的で安全な開発利用の促進が叫ばれている現在、このような多くのマイナス要因を持った地下空間の特性を十分に認識し、逆に地下空間の特性を有利に活用することが必要になってくる。

地下空間の特性としては、次のようなものがある¹⁾。

a. 構造的特性 地下の持つ空間構造とその構造を構成する地質に由来する特性をいい、次の様な特性があげられる。

空間性、密閉性、隔離性、耐圧性、耐震性

b. 物理的特性 地質的構造の中における岩盤、土質地盤等の特性に由来するものであり、次の様な特性があげられる。

断熱性、恒湿性、遮光性、難透性、遮音性、気密性、耐圧性

c. 化学的特性 地盤構成物質の存在に由来する化学反応性をいう。

このような多くの地下特性をいかにうまく利用し、安全で経済的な地下空間を建設するかが、今後の課題である。

昭和62年度に実施した地下施設の実態調査²⁾によれば、地下化した理由として次の5点が示されている。

- a. 都市域での用地難
- b. 地表面利用施設の輻湊化の回避
- c. 景観の向上、保全
- d. 厳しい気候からの隔離、または地下空間の自然的、地域的特性の活用
- e. 防災機能の向上

上記調査では、現在の地下施設に対し、地下化の理由と地下特性の視点から地下の利用形態の分析を行っているが、この分析結果に都市域に限定して若干の加筆をしたものが表-3. 1. 1である。

表－3. 1. 1 地下空間利用施設の地下化の理由と地下特性

名 称	対 象	地 下 化 の 理 由					利 用 地 下 特 性						
		用地難	輻湊化 回 避	景 観 向 上	自然的 特 性	防 災	恒温性	恒湿性	断熱性	遮光性	遮音性	気密性	隔離性
業務施設	地 下 街	○											
	地下駐 車 場	○									○		○
道路施設	道 路	○	○								○		○
鉄道施設	鉄 道 (駅含む)	○	○								○		○
	地下鉄 (駅含む)	○	○								○		○
河川施設	地 下 河 川	○											
	地下調整池	○											○
供給処理 通信施設	電 力 施 設			○			○		○				○
	通 信 施 設			○									○
	共 同 溝			○			○		○				○
	上 水 道			○				○					○
	下 水 道 (処 理 場 含 む)	○		○	○								○
生 産 貯蔵施設	地下発電所				○							○	○
	地下変電所	○											○
	エネルギー貯蔵				○	○	○		○	○		○	○
	食 料 貯 蔵				○		○	○	○	○		○	
	特 殊 工 場	○			○		○	○	○			○	
地 下 水 貯蔵施設	地 下 ダ ム				○								○
居住施設	居 室	○					○		○		○		
変換施設	汚 水 処 理 場	○											○
	ゴ ミ 処 理 場	○											○

3. 1. 2 都市における地下空間利用施設の現状

図-3. 1. 1は、仙台市において人口の増加とともにどのような都市インフラ施設が地下に造られていったかを示すものである³⁾。これをみると、市民生活にもっとも密着した上下水道施設、都市ガス、電力等から始まって、その後仙台市の発展とともに、洞道、地下道路、共同溝、地下鉄、あるいは地下広場と言ったような都市自体の基幹施設が整備されていっているのがわかる。このように都市の集積が進み、土地利用が高度化するにつれて都市中心部の利用価値が高まり、地価の上昇とともに地下利用がより大きな経済的効果を及ぼすようになる。

表-3. 1. 2は、これらの都市における地下空間利用がどの程度の深さにまで及んでいるのがを東京を例に示したものである。現在の都市域における地下利用は、温泉等のボーリング深度が400m程度、東京東部の江東区、荒川区などといった支持層の深い地域における杭基礎で60m程度である他は、実際の地下における空間施設としては、地下鉄半蔵門線や千代田線等の40m程度が限界となっている。

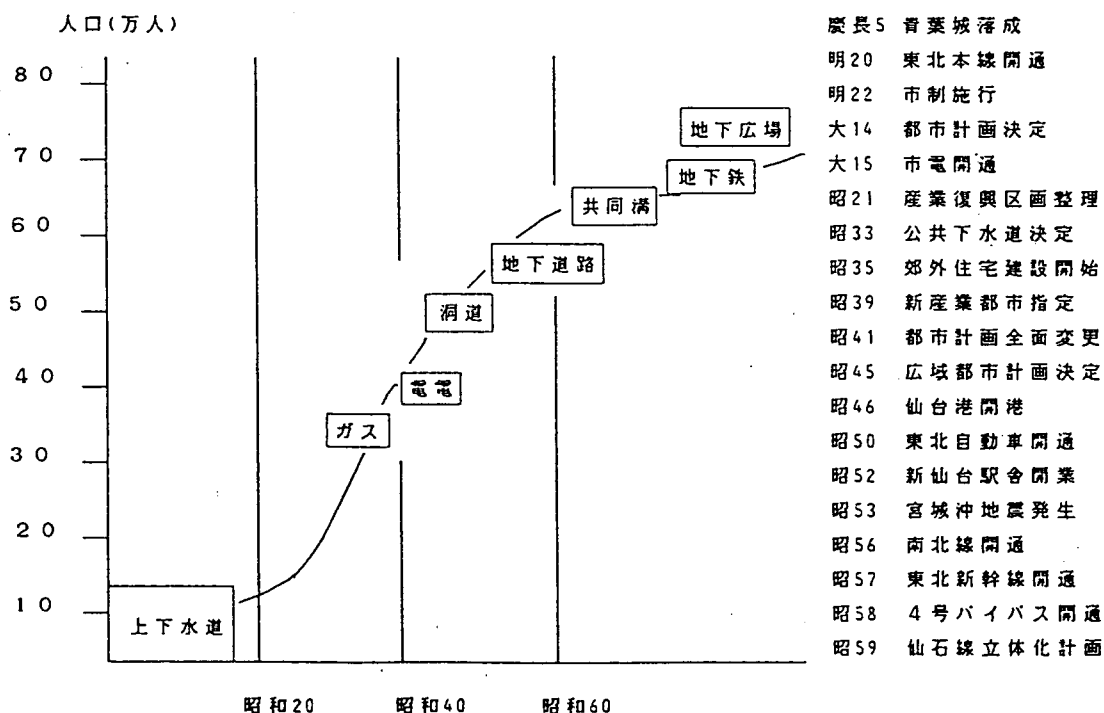


図-3. 1. 1 仙台市における地下利用の進展³⁾

表-3. 1. 2 これまでの東京およびその近郊における地下利用例

用 途	名 称	深 さ	備 考
建 築 地 階	富国生命本社ビル	約 2 6 m	開削工法、山留め連壁28.7m
建 築 基 礎	スカイシティ南砂	6 3 m	拡底杭
図 書 館	国立国会図書館新館	約 3 0 m	開削工法、山留め連壁34m
変 電 所	東電九段変電所	約 3 6 m	開削工法、山留め連壁40m
鉄 道	新幹線上野地下駅及び 第2上野トンネル	約 3 0 m	駅部開削工法（4層） トンネル部シールド工法φ12.6m
地下タンク	京葉線東京地下駅	約 3 3 m	開削工法、（4層）
	千代田線国会議事堂前駅	約 4 0 m	シールド工法φ8.6m
	高速3号線三ツ沢上町駅	約 3 3 m	N A T M（排水工法併用）
	袖ヶ浦LNG地下式貯槽	約 4 5 m	開削工法（円筒形掘削、山留め連壁）
井 戸	東京都港区	4 0 4 m	現在は使用していない 使用中のものでは3 0 2 m

3. 2 都市における地下空間利用のニーズ

都市における土地利用の過密化・高度化に伴い、地下空間に対するニーズが年々高まっている。ここでは、関係機関に対するアンケート並びにヒアリングを行った結果をもとに、地下空間の利用に対するニーズの動向についてまとめた。

3. 2. 1 アンケート調査

① 概 要

今回の調査では、首都圏と地方中心都市（政令指定都市）を主な対象地域とし、道路、河川、上水道、下水道、地下街、鉄道、電力、ガス等の事業主体を主な対象機関として、それぞれの機関が現在もっている、計画・構想段階の地下利用施設の概要、計画の背景、技術的課題等についてアンケート調査を実施した。

調査対象となる施設の分類は、次の通りである。

- | | | | |
|-----------|----------|-----------|-----------|
| （ 1 ）業務施設 | 1 地下街 | 2 地下駐車場 | |
| （ 2 ）道路施設 | 3 道路 | 4 歩道 | |
| （ 3 ）鉄道施設 | 5 鉄道 | 6 地下鉄 | |
| （ 4 ）河川施設 | 7 地下河川 | 8 地下調節池 | 9 地下導水路 |
| （ 5 ）供給施設 | 1 0 送電線 | 1 1 ガス導管 | 1 2 上水道 |
| （ 6 ）処理施設 | 1 3 浄水場 | 1 4 下水処理場 | 1 5 下水ポンプ |
| | 1 6 下水道管 | 1 7 廃棄物処理 | |

- | | | | |
|------------|-----|-------------|-------------|
| (7) 通信施設 | 1 8 | N. T. T. 回線 | |
| (8) 生産施設 | 1 9 | 発電所 | 2 0 変電所 |
| (9) 貯蔵施設 | 2 1 | 倉庫 | 2 2 エネルギー貯蔵 |
| (1 0) その他 | | | |

また、アンケート調査の項目は、以下の通りとした。

1. 施設の名称
2. 施設規模
3. 設置予定年次
4. 設置場所
5. 施設を計画する背景
6. 施設を計画する際のデメリット
7. 計画している施行法について
8. 実施する際の技術的課題
9. その他意見

なお、アンケート様式を巻末に示す。

表-3. 2. 1 調査対象者

地域	対 象 者 と 数																		
	建設省・ 開発庁	数	都道府県	数	政令指定 都市	数	公社・ 公団	数	電力	数	ガス	数	JR	数	民営鉄道	数	第3セクター・ 民間	数	計
北海道	北海道 開発局	3	北海道	6	札幌市	6			北海道	1	北海道	1	北海道	1			札幌工初キ-	1	19
東北	東北地建	5	宮城県	5	仙台市	6			東北	1									17
関東	本省 関東地建	6 4	東京都 千葉県	5 5	横浜市 川崎市	5 3	日本道路公団 首都高速公団 住都公団 水資源公団 帝都高速交通 下水道事業団	1 1 1 1 1 1	東京	1	東京	1	東日本 鉄道総研	1 1	西武	1	NTT	1	40
北陸	北陸地建	5							北陸	1									6
中部	中部地建	5	愛知県	5	名古屋市	5	名古屋高速道	1	中部	1	東邦	1	東海	1	名鉄	1			20
近畿	近畿地建	5	京都府 大阪府 兵庫県	5 5 5	京都市 大阪市 神戸市	4 5 6	阪神高速公団	1	関西	2	大阪	1	西日本	1	阪急 阪神 近鉄 京阪	1 1 1 1	関西鉄道	1	45
中国	中国地建	6	広島県	5	広島市	3			中国	1	広島	1							16
四国	四国地建	4							四国	1			四国	1					6
九州	九州地建	5	福岡県	5	福岡市 北九州市	5 4			九州	1	西部	1	九州	1					22
計		48				52		8		10		6		7		6		3	191

② アンケート回答者数と回答施設数

アンケートは191団体に送付し、このうち、地下空間利用施設に対するニーズが無いと応えた団体は61団体であり、何らかの回答があった団体は130団体であった。130団体による施設総数は313施設であった。回答のあった施設件数を地域別・用途別にまとめたものを図-3. 2. 1～3. 2. 2, 表-3. 2. 1に示す。地域別回答件数は、中部地域93件、関東地域77件、近畿地域54件、北海道地域27件、中・四国地域20件、九州地域19件、東北地域15件、北陸地域8件となっている。回答件数で比較すると、三大都市圏で地下利用に対するニーズが高い事がうかがえる。一方、用途別に件数を比較すると、下水道管54件、上水道管33件、地下鉄29件となり、従来より地下が利用されていた施設についての回答が多い結果となった。

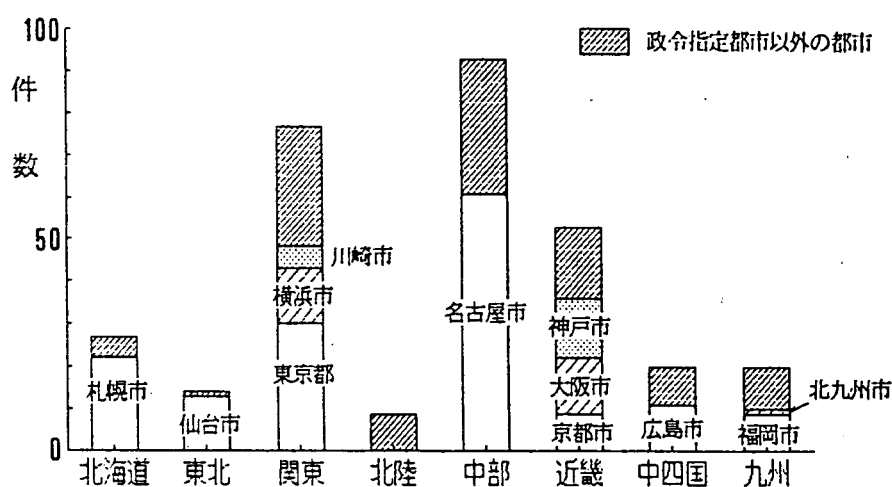


図-3. 2. 1 地域別回答件数

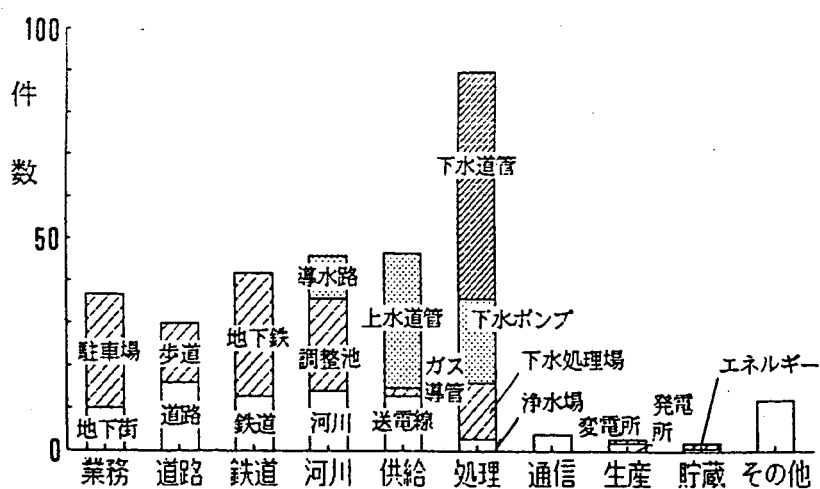


図-3. 2. 2 用途別回答件数

表-3. 2. 1 地域別・用途別施設件数

施設 地域	業 務		道 路		鉄 道		河 川		供 給		処 理				通 信	生 産	貯 蔵	その他	合 計			
	地下街	駐車場	道路	歩道	鉄道	地下鉄	河 川	調整池	排水路	送電線	ガス 導管	上水 道管	浄水場	下水 処理場						下水 ポンプ 道管	発電所	変電所
北海道	-	-	1	-	1	1	2	1	-	-	1	15	-	1	1	2	-	1	-	-	27	
札幌	-	-	1	-	1	1	1	1	-	-	1	15	-	-	-	1	-	-	-	-	22	
その他	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	1	-	-	5	
東 北	1	1	-	1	1	2	-	-	1	-	-	6	-	-	-	1	-	-	-	1	15	
仙台	1	1	-	1	1	2	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	1	13	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	
関 東	3	6	7	5	3	8	4	5	6	1	-	4	-	1	4	10	3	-	1	2	4	77
東京	-	1	2	-	1	6	2	3	-	1	-	2	-	-	3	5	3	-	1	-	2	32
横浜	1	2	1	2	-	2	-	2	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-	1	14	
川崎	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	5	
その他	2	3	3	3	1	-	2	-	5	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	1	2	26
北陸(102)	2	2	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	8
中 部	-	1	2	2	1	8	5	8	2	2	-	4	1	7	12	33	-	-	-	-	5	93
名古屋	-	1	2	2	-	8	1	6	-	1	-	2	-	-	6	29	-	-	-	-	3	61
その他	-	-	-	-	1	-	4	2	2	1	-	2	1	7	6	4	-	-	-	-	2	32
近 畿	2	9	4	3	6	8	2	5	-	1	-	2	1	4	1	6	-	-	-	-	-	54
京都	1	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	-	-	-	-	10	
大阪	-	1	-	-	2	3	1	2	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	12	
神戸	1	2	2	1	3	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	15	
その他	-	5	2	2	1	-	-	1	-	-	-	1	-	2	-	3	-	-	-	-	17	
中四国	1	3	1	-	-	1	-	2	-	7	-	-	-	-	1	2	1	-	-	-	1	20
広島	1	2	1	-	-	1	-	1	-	2	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	11	
その他	-	1	-	-	-	-	-	1	-	5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	9
九 州	1	5	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	19	
福岡	-	2	-	1	-	1	-	1	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	9	
北九州	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
その他	1	3	-	1	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	9	
合 計	10	27	16	14	13	29	14	22	10	13	2	33	3	13	19	54	4	2	1	2	12	313
政令都市	5	13	11	7	9	29	6	18	1	6	2	28	2	2	10	44	4	-	1	1	6	205
その他	5	14	5	7	4	-	8	4	9	7	-	5	1	11	9	10	-	2	-	1	6	108

③ 施設の深度と規模

計画されている施設のうち、最大深度の施設、最大規模の施設を用途別にまとめたものを、図－3. 2. 3に示す。

まず、施設の深度に着目する。鉄道施設、河川施設、供給施設について一部最大80 m程度の深度に設置する計画があるものの、その他の施設については概ね50 m以浅での計画となっている。

ヒアリング等によれば、地上とのアクセス上の制約から、あまり深くない施設計画を考えている所が多いようである。

概要 施設名	深 度							規 模 (断 面 積)							地 質					施 工 法								
	10	20	30	40	50	60	70 ^m	20	40	60	80	100	200	400 ^{m²}	粘性 土	砂 レキ	砂	シル ト	岩	地中 連続 壁	ケー ソン	シールド	山岳 トン ネル	開 削	推 進			
業務施設								最大平面積 15,000 m ²								○									○			
								最大平面積 32,000 m ²													○							
道路施設																○						○						
																○						○						
鉄道施設																								○	○			
															○	○	○	○				○						
河川施設																○						○						
																○						○					○	
供給施設															○	○	○									○		
処理施設															○	○	○	○				○	○					
															○	○		○							○			
通信施設																○	○											
																	○										○	
生産施設								最大平面積 6,000 m ²									○				○							
								最大平面積 6,000 m ²									○					○						
貯蔵施設								最大平面積 3,200 m ²									○	○				○	○					
								最大平面積 3,200 m ²									○	○				○	○					

(注) 上段 : 最大深度事例 下段 : 最大規模事例

図-3. 2. 3 地下空間利用ニーズの概要

図-3. 2. 4に、地域別の深度分布状況を示してある。関東・近畿両地域は他地域に比べて深い深度での利用ニーズが高いのが特徴である。北陸地域では、10m以深での計画が無いのに対し、関東地域では82%、近畿地域では88%の施設が10m以深に計画している。

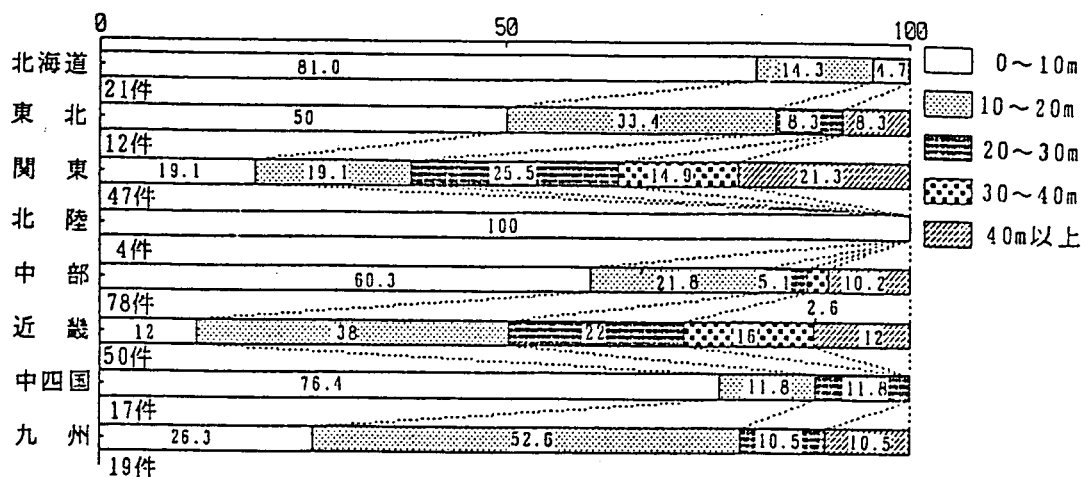


図-3. 2. 4 地域別の深度分布状況

図-3. 2. 5は、設置予定年度ごとの深度分布をまとめたものである。早い時期に設置を計画している施設については、浅い深度を利用するものが多いが、将来的には深い空間を利用する割合が増えている。

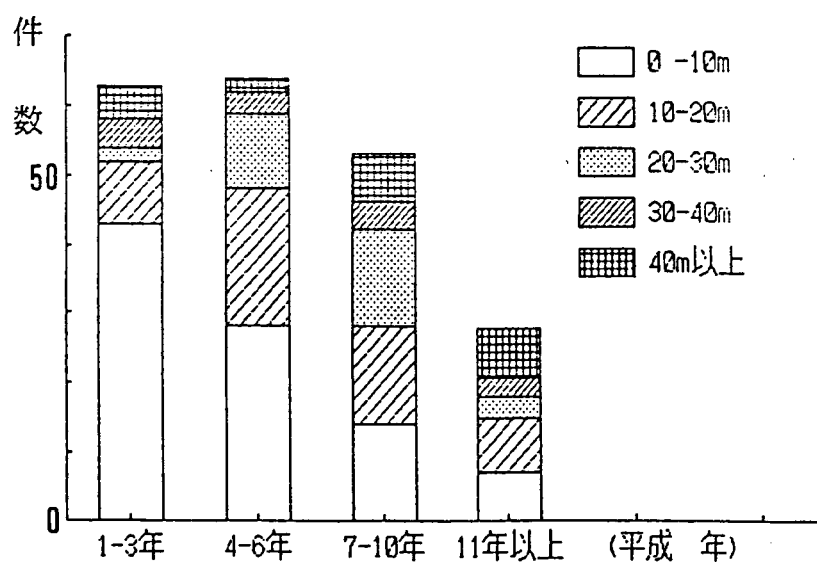


図-3. 2. 5 設置予定年ごとの深度分布

次に、施設の規模に着目する。ここで、施設を線的施設と面的施設とに分類し、線的施設については断面積と延長、面的施設については平面積と高さに分けて集計した。線的施設と面的施設との分類は、以下に示す通りである。

- ・線的施設 — — — — — 道路、歩道
 鉄道、地下鉄
 地下河川、地下調節池、地下導水路
 送電線、ガス導管
 上水道管、下水道管
 通信施設
- ・面的施設 — — — — — 地下街、地下駐車場
 鉄道（駅）、地下鉄（駅）
 地下調節池（雨水滯水池を含む）
 上水道管（配水池）
 浄水場、下水処理場、下水ポンプ
 発電所、変電所
 その他（駐車場、庁舎設備機械室）

線的施設について規模をまとめたものが、図-3. 2. 6～図-3. 2. 7である。断面積で最大規模の事例は道路施設の410 m²である。その他の用途の施設については最大のもので100～200 m²となっている。一方、延長については、地下空間での管路網を形成している供給施設、処理施設で長くなる傾向がみられる。

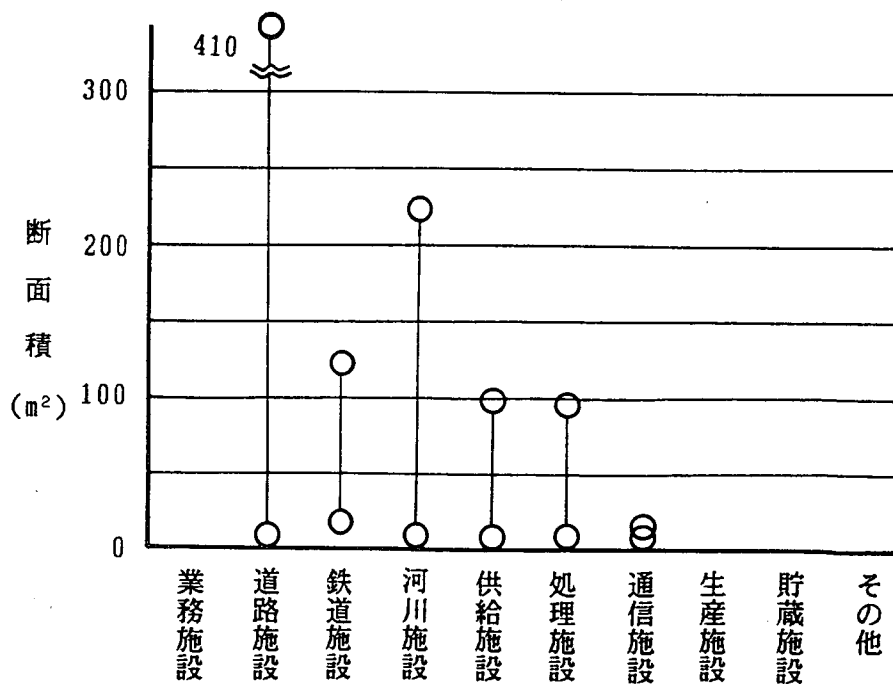


図-3. 2. 6 線的施設の規模（断面積）

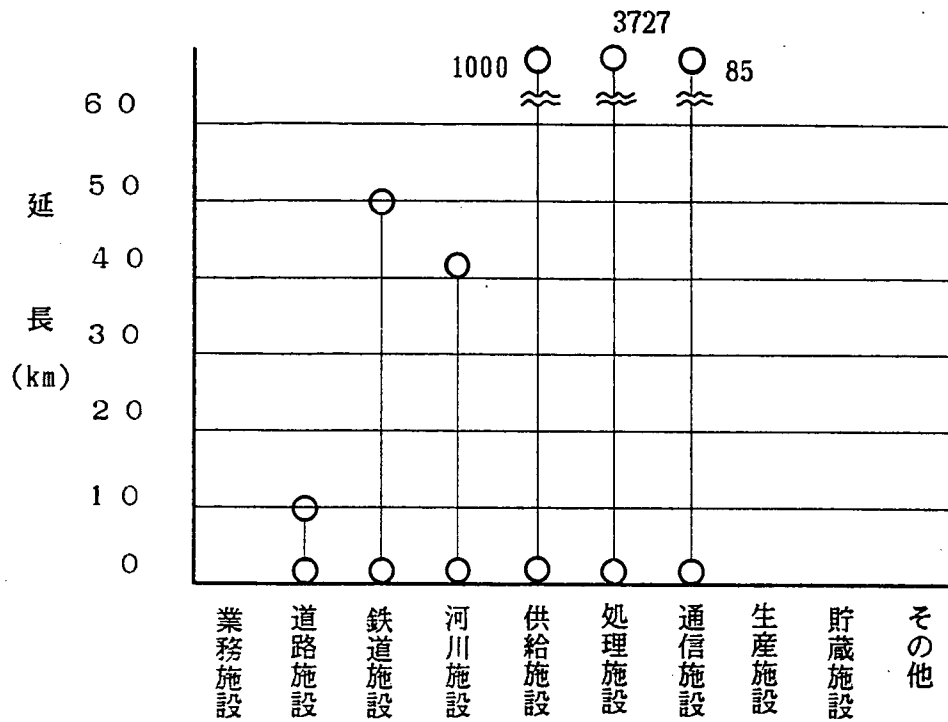


図-3. 2. 7 線的施設の規模 (延長)

面的施設について規模をまとめたものが、図-3. 2. 8～図-3. 2. 9である。最大規模は、平面積で $30 \times 10^3 \text{ m}^2$ 程度となっており、高さについては最大でも 40～50 m 程度である。

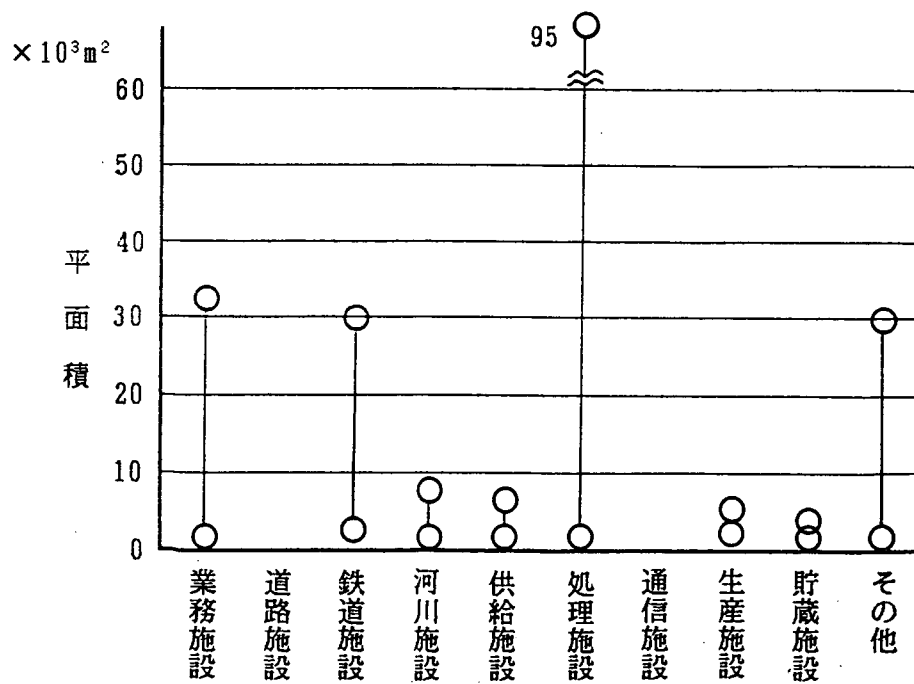


図-3. 2. 8 面的施設の規模 (平面積)

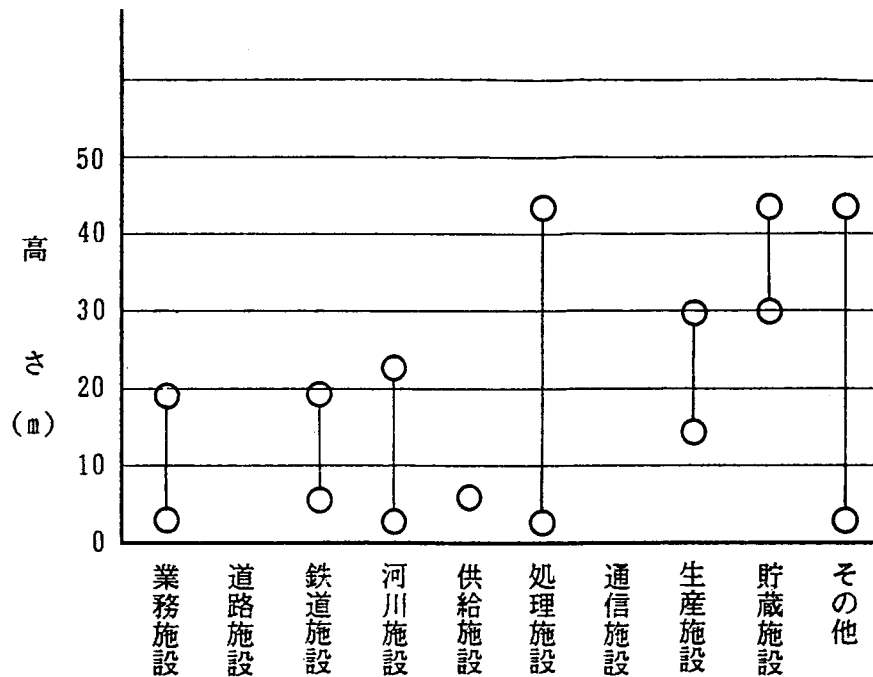


図-3. 2. 9 面的施設の規模 (高さ)

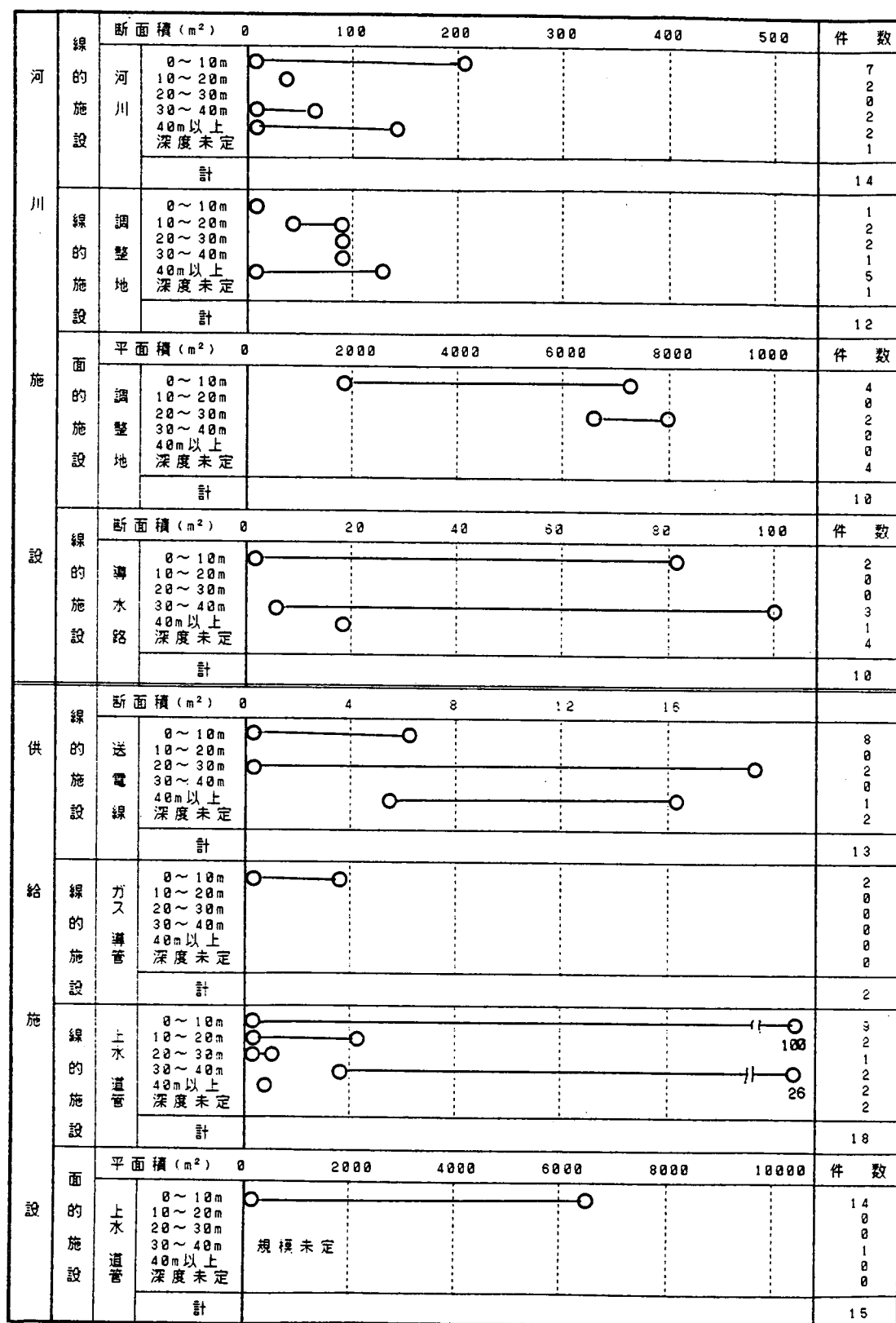
図-3. 2. 10 (1) ~ (3) に、用途施設別に規模・深度・件数をまとめた。各用途施設についての特徴は、次の通りである。

- ・業務施設は、地下街と地下駐車場合わせて37件のうち、深度0～10mに20件あり、浅い所での計画が比較的多いものの、20m以深においても計画されている。
- ・道路施設については、車道では深度10～20mに計画されているものが多いが、一部には40m以上のものもある。また、歩道では0～10mの深度に計画される傾向が見られる。
- ・鉄道施設については、すべて10m以深のところで計画されている。
- ・河川施設のうち、地下河川と地下導水路については、20mより浅い所と30mより深い所に分散する傾向がある。調整池については、特徴的な傾向が見られない。
- ・供給施設のうち、ガス導管および面的施設の上水道管では、浅い所に計画されているものが多いものの、送電線および線の施設の上水道管については、さまざまな深度で計画されている。
- ・処理施設のうち、浄水道については件数が少なく傾向がわからないものの、下水道管については深度が深くなるに従い規模が大きくなる傾向がみられる。

業務 施設	面的 施設	平面積 (m ²)						件 数	
		0	10000	20000	30000	40000	50000		
		地下街	0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定	規模未定					5 1 1 0 0 3
	計							10	
施 設	面的 施設	駐 車 場	0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定					15 6 2 0 0 4	
			計						27
道 路 施 設	線的 施設	断面積 (m ²)						件 数	
		0	100	200	300	400	500		
		道 路	0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定						3 6 2 1 2 2
	計							16	
施 設	線的 施設	歩 道	0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定					10 4 0 0 0 0	
			計						14
鉄 道 施 設	線的 施設	鉄 道	0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定	規模未定				0 4 1 1 3 2	
			計						11
施 設	面的 施設	鉄 道	平面積 (m ²)						件 数
			0	2000	4000	6000	8000	10000	
			0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定						0 2 0 0 0 0
	計							2	
施 設	線的 施設	地 下 鉄	断面積 (m ²)						件 数
			0	100	200	300	400	500	
			0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定						2 5 7 4 3 8
	計							27	
施 設	面的 施設	地 下 鉄	平面積 (m ²)						件 数
			0	10000	20000	30000	40000	50000	
			0~10m 10~20m 20~30m 30~40m 40m以上 深度未定						2 2 1 1 0 0
	計							2	

注) ○印は、施設規模が明かな事例の最大値と最小値を示す。

図-3. 2. 10 (1) 用途施設別の規模・深度・件数



注) ○印は、施設規模が明かな事例の最大値と最小値を示す。

図-3. 2. 10 (2) 用途施設別の規模・深度・件数

施 設	面 的 施 設	平 面 積 (m ²)						件 数
		0	20000	40000	60000	80000	100000	
		0~10m						
		10~20m						
理 施	浄 水 場	20~30m						1 0 0 1 0 1
		30~40m						
		40m以上						
		深度未定						
施 設	計							3
理 施	下 水 処 理 場	0~10m						4 4 3 0 0 2
		10~20m						
		20~30m						
		30~40m						
施 設	計	40m以上						13
		深度未定						
施 設	下 水 本 ン プ	0~10m						5 6 6 1 0 1
		10~20m						
		20~30m						
		30~40m						
線 的 施 設	計	40m以上						19
		深度未定						
線 的 施 設	下 水 道 管	0~10m						31 6 7 3 5 2
		10~20m						
		20~30m						
		30~40m						
線 的 施 設	計	40m以上						54
		深度未定						

注) ○印は、施設規模が明かな事例の最大値と最小値を示す。

図-3. 2. 10 (3) 用途施設別の規模・深度・件数

④ 地盤と施工方法

施設の対象地盤について件数をまとめたものが、図-3. 2. 11である。対象地盤は互層、砂礫土、砂質土が多く、岩あるいはシラス地盤での計画は比較的少ない。

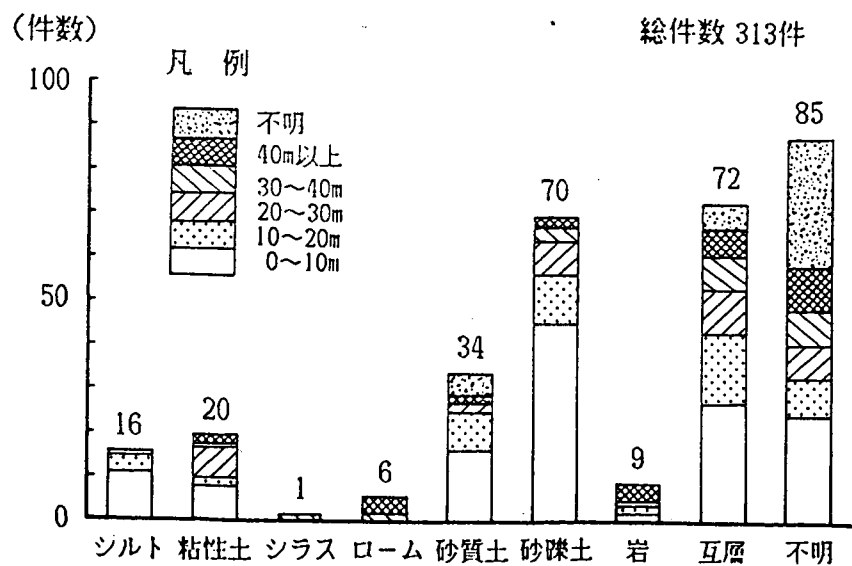


図-3. 2. 11 対象地盤の分布

一方、深度と施工法との関係をまとめたものが、図-3. 2. 12である。

面的な施設に主に用いられる工法について、その傾向を見ると、地中連続壁工法によらない開削工法は、浅い深度では用いられているが、深くなるとあまり用いられなくなっている。理由の一つとしては、深くなると土圧を支持するため切梁を多く設置しなければならず、施工性、費用の点で不利な面が生じてくることあげられていた。これに対し、地中連続壁工法による開削工法は、深くなるにしたがって多くの割合を占めるようになる。

線的施設に主に用いられる工法でみると、推進工法は、浅い深度で断面が小さな施設に対して多く適用されており、シールド工法、トンネル工法は深度にかかわらず広く用いられている。今回の調査ではシールドの件数が多いが、これは今回調査対象とした施設が都市施設を中心としており、地質や地下水位との関係によりシールドの方が条件として適している所が多かったことに由来すると思われる。

施工法を地域別にまとめたものが、図-3. 2. 13である。関東、中部、近畿の各地域では、他の地域に比べて地中連続壁工法による開削工法が多く用いられ、地中連続壁工法によらない開削工法は相対的に採用される割合が低い。これら3大都市圏では地下空間の利用が深部に及びケースが比較的多いため、地中連続壁工法による開削工法が広く採用されているものと思われる。また、これらの地域では、シールド工法も広く採用される傾向にある。

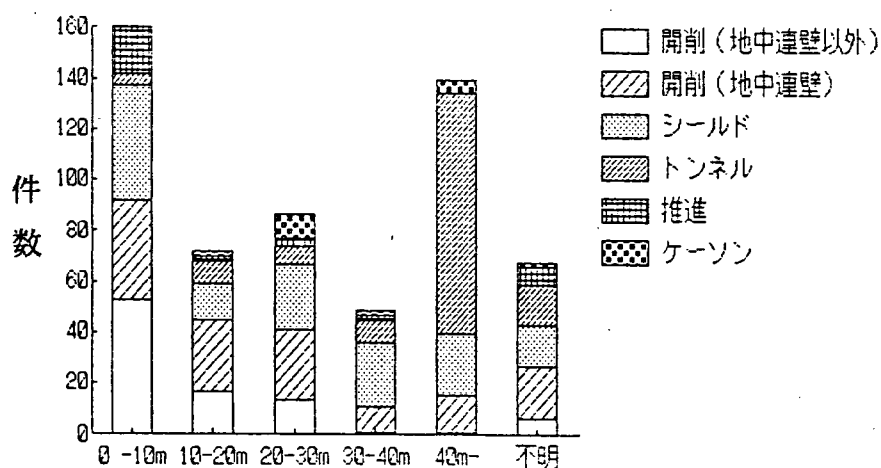


図-3. 2. 12 深度と施工法

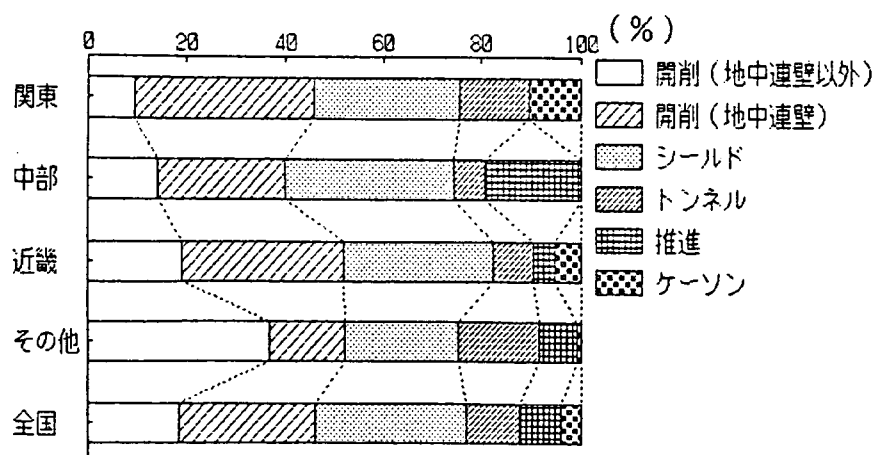


図-3. 2. 13 地域別施工法

⑤ 地下空間の理由・背景

図-3. 2. 14は地下空間利用の理由・背景について整理したものである。既存施設の拡張・延長等や施設間の接続をあげているものが多く、当然のことであるが、地下鉄、上水道、下水道施設で多くみられた。用地取得問題では、施工費用は大きくなるが、絶対的な空間の不足、用地買収費やそれに費やす時間等総合的に判断して地下化に至った施設の例があった。地下特性の利用に関しては、空間性をあげたものが最も多く、用地取得の問題と大きな関係があると思われる。また、景観や隔離性は、環境への配慮から地下化されている施設があげられている。

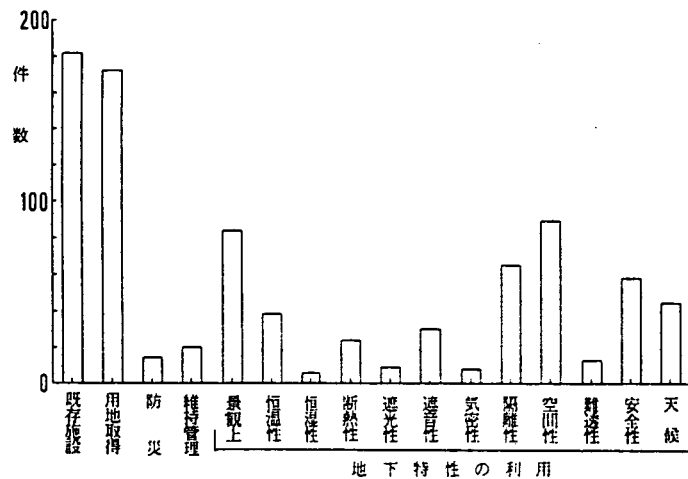


図-3. 2. 14 地下空間利用の理由・背景

⑥ 地下空間利用のデメリット

図-3. 2. 15は地下空間利用のデメリットについて整理したものである。図に示すとおり、建設費が最も多くなっている。次に多いのが、維持管理であり、具体的内容としては、通常人の目にふれない施設の場合、異常の発見が遅れたり、人の入れないような施設については補修も困難になるという回答があった。また調整池、放水路、地下河川ではポンプ設備の維持管理やたまった土砂の排除等の問題があげられていた。漏水対策では、上水道、下水道、鉄道、駐車場等から回答を得た。上水道施設では、地下水の浸入により水質が悪化することを心配しているものがあつた。浸入した水の排除は、地下鉄を例にとると、駅や駅間の低い地点にポンプを設置するなどして対応する計画を持っている。環境制御は、人の利用する施設での空調、採光があげられている。

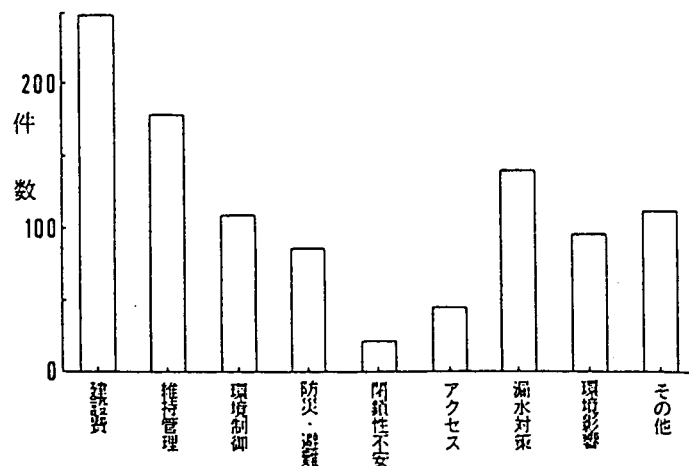


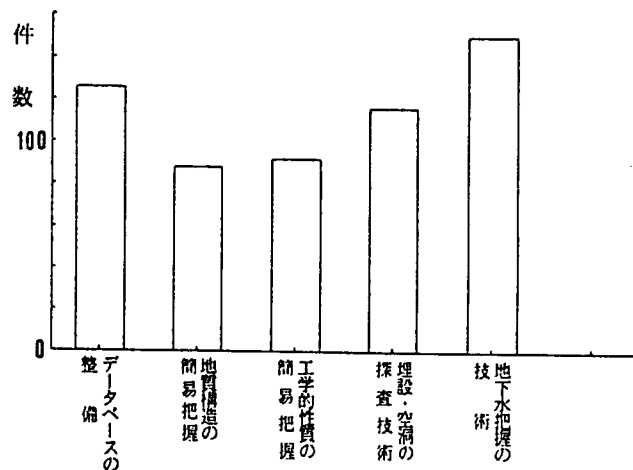
図-3. 2. 15 地下空間利用のデメリット

⑦ 技術的課題

地下空間の利用を進める上で重要な技術的課題について、地質調査技術、施工技術、防災対策技術、環境対策技術、運用管理技術に分類し集計した。

・地質調査技術の課題

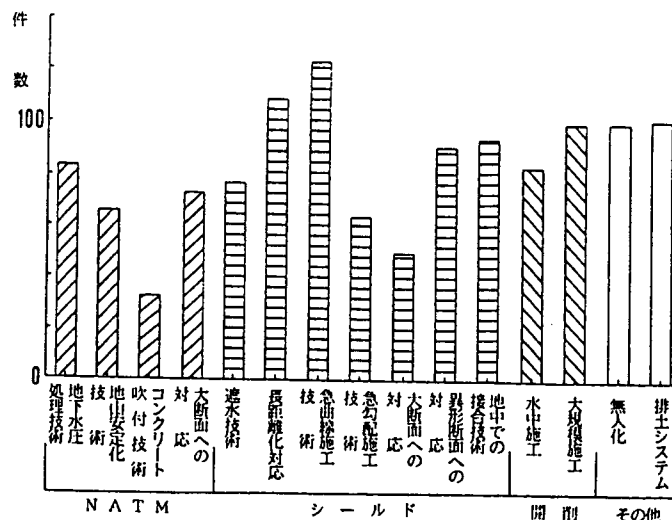
図－3. 2. 16は地質調査技術の課題について整理したものである。回答の中で、地下水把握の技術に対する要望が一番強かった。現在の技術でも調査は一応可能であるが、多くの費用と時間を必要としているため、より安価で簡単な方法の開発が求められている。また、地中の情報を総合的に把握するデータベースへの要望も強い。



図－3. 2. 16 地質調査技術の課題

・施工技術の課題

図－3. 2. 17は施工技術の課題について整理したものである。NATMでは、切羽全面での地下水圧力処理、大断面への対応技術の課題が多く挙げられている。シールドでは、平面的に限られた位置で計画しなければならないという理由等により、急曲線施行技術が多く挙げられている。また、堅杭を減らす為の長距離化対応や地中での接合技術、異形断面の対応にも多くの回答を得た。その他の項目である無人化、排土システムについては、どの工法についても共通の課題となっている。



図－3. 2. 17 施工技術の課題

・防災対策技術の課題

図-3. 2. 18は、防災対策技術の課題についてまとめたものである。地震、火災に対する防災技術に、多くの要望が集まっている。

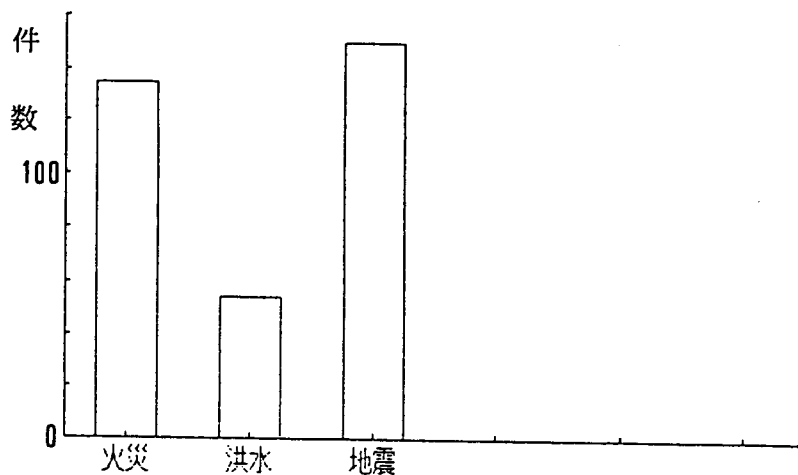


図-3. 2. 18 防災対策技術の課題

・環境対策技術の課題

図-3. 2. 19は、環境技術の課題について整理したものである。掘削による地盤変形防止技術、地下水保全技術に対してほぼ同数の回答を得た。

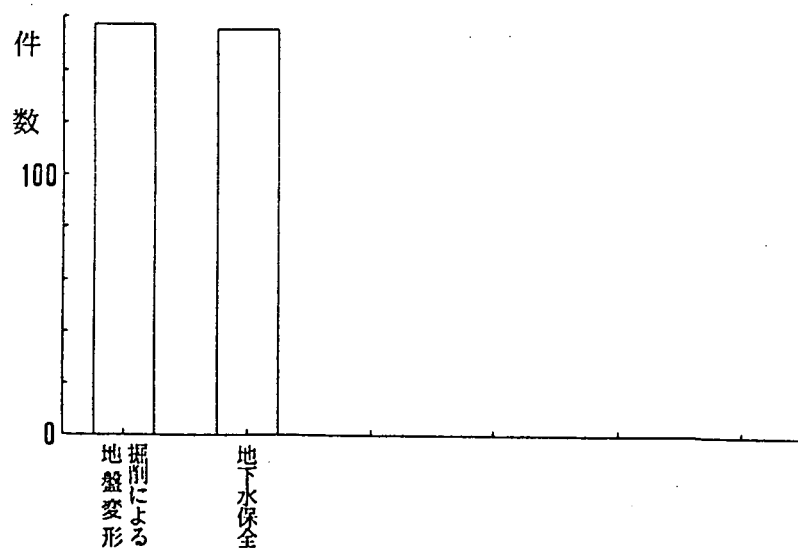


図-3. 2. 19 環境対策技術の課題

・運用管理技術の課題

図-3. 2. 20は、運用管理技術の課題について整理したものである。地下空間の補修改造技術にたいする要望が、多数を占めた。

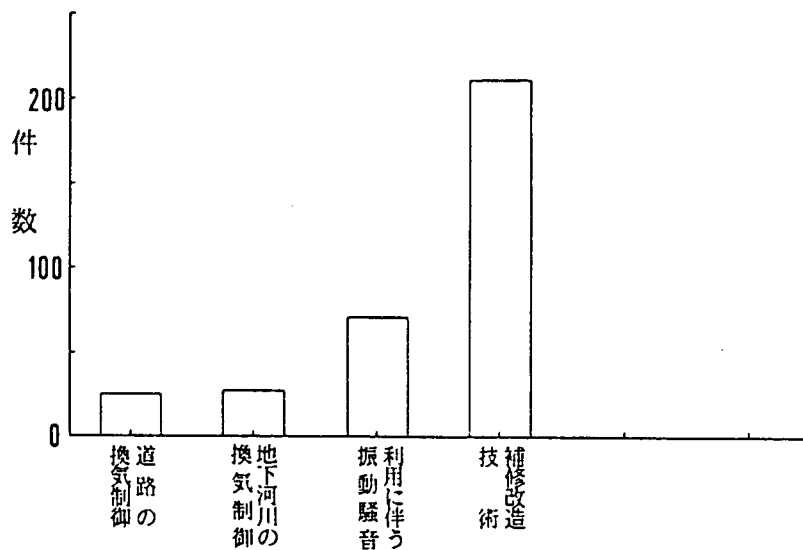


図-3. 2. 20 運用・管理技術の課題

3. 2. 2 アンケート調査及びヒアリング調査に寄せられたその他意見

地下空間の利用について寄せられた意見を以下に示す。

*業務施設

(地下駐車場)

- ・地下空間を利用するにはデメリットが多いが、そのデメリットをメリットに変換するには、空間の連続化を図り、付加価値を高めていくことを考える必要がある。
- ・空港が近く中心部で高度制限を受けているため、将来的に空間が不足した場合は地下の利用が考えられる。
- ・安易に用地などの最少経済性を求めるのではなく、地下の閉鎖性を考慮して、安全性、防災、避難などの安全対策と管理保安体制などを備えるものにする。

*道路施設

(道路)

- ・経済的、効果的な換気制御技術の研究・開発が必要である。
- ・地下空間利用は、電線類の地中化が始まったばかりであるが、今後地下空間が郷土の基盤整備の展開を進める上で貴重な空間資源であるので前向きに検討して行きたい。
- ・地下空間利用施設計画の際には、埋蔵文化財の事前調査が重要である。工事中に発見された場合には、調査終了まで工事がストップすることになり、計画（時間、工事費）に大きく支障をきたすことになる。

(歩道)

- ・地下空間を利用するための交通対策と既設埋設物対策が必要である。
- ・地上、地下の整備方針を十分検討した上で計画する必要がある。
- ・地下構造物の改築には、特別な設計基準が必要である。
- ・防災技術の開発が必要である。

*鉄道施設

(地下鉄)

- ・大深度を含めた地下空間の利用に当たっては、事業の公共性やその地下利用の必然性などを勘案し、地下を利用すべきものの選定、その他、地下空間での配置を検討・調整して行くことが大切である。
- ・大深度地下鉄においては駅部が深くなるので、経済的に建設可能な方策が重要になる。
- ・地下鉄は、都市内交通で駅間は500m程度であり、あまり深くなると利用者に不便をかけることになる。また、大深度となると駅間を6km程度にしないと採算がとれない。

(鉄道)

- ・公共的利用において、優先的にかつ簡易な手続きで利用できる法整備が必要である。

- ・地下空間利用の利害調整や許認可を行なう行政機関の一元化が必要である。
- ・地上とのアクセスルートの確保が重要な課題である。低コストで確保が可能となる技術の開発や低利の融資精度の新設などハード、ソフト両面の検討が必要である。

* 河川施設

(地下調節池)

- ・利用目的毎の治水安全度の設定や対策手法について、都市計画上なんらかの基準が必要である。
- ・地下調節池、地下河川の検討に当たっては、有効なポンプ施設の設置、維持管理費の節減、微細生物の発生予測などの研究を進める必要がある。

(地下導水路)

- ・廉価な工法を考案して欲しい。

(地下河川)

- ・地下河川の流れの評価手法、地下水の涵養などの今後の検討に期待する。

* 供給施設

(上水道管、送・配水ポンプ)

- ・「総合土地対策要綱」において、大深度地下利用を打ち出したことは大いに歓迎されるものであるが、「大深度」の定義、民法との関わり、経済的・効率的工法の開発、地下水への影響などの課題も山積みしており、早急な研究と法制化を望む。

(上水道管)

- ・一般的に公共施設（特に供給施設や処理施設など）を地上に建設する必要はなく、新規施設だけでなく、施設の更新の機会に地下化することにより、土地の有効利用を図ることが可能である。

(送電線、発電所)

- ・土地の値上がりで都市計画が思うように進まず、そのカンフル剤として大深度の地下を利用する技術の研究・開発が必要となっており、今後、地下空間の新技术の開発を促進させる施策が講じられることを期待する。

(共同溝)

- ・もっと大規模な共同溝など行政側の地下空間利用計画の策定事業の推進に期待する。

(上水道管、浄水場)

- ・現在は他事業との関連で水を止めることがあるので、常に水を供給しなければならない水道事業としては他の施設と輻輳しない大深度を利用したいと考えている。

* 処理施設

(貯留施設)

- ・大深度地下利用に関し、法制度面での検討を加えられ、自由に（地上権などが発生しない）使用できる

ように指針を作成されたい。

(浄水場)

- ・浄水場施設の地下空間利用は他の方法に比べて極めて割高となることと併せて独立採算制が利用の積極さに支障を来すものと思われる。
- ・限られた土地の有効利用の観点から私権を一定制限し、地下空間の利用を奨励するとともに特別に高率の補助制度を導入すべきである。
- ・将来大深度に主権が及ばないとの法制化がなされれば、現在の複数の浄水場の間を地下トンネルで連絡し、より効率的な供給、非常時への対応に役立てることができる。
- ・大都市における、水道施設の新設・取り替えは、道路埋設物の輻輳化、工事期間、区域の制約、土地取得・占用等様々な障害のため、水の安定供給の確保や耐震強化の推進に支障となっている。その中で今年6月閣議決定された「総合土地対策要綱」の中で、大深度地下水利用を打ち出したことは、各企業体にとっては、大いに歓迎されるものである。

(下水道)

- ・調節池は今後は地下が主になると思われる。地上は溜池でもない限り困難である。
- ・大深度の法律が整備されると施設間を最短距離で建設することが可能になる。
- ・下水道管を汚泥の輸送に用いたり、その中に通信ケーブルを設置することも考えている。

*生産施設

(発電所)

- ・地下だけではなく地上と一体として合理的かつ有効な利用を図る必要がある。
- ・将来の電気事業として地下利用が考えられるものとして次のようなものがある。

超電導電力貯蔵

超電導送電

圧気貯蔵

高温岩体発電

地下揚水式発電所

地下原子力発電所

放射性廃棄物処分場

- ・法整備について

電力施設は、経済性及び保守管理面からは深部より浅部の活用が第一義であり、深部地下の利用を促進するものであっても浅部の有効利用を制約してはならない。

電気事業がこの法律の指定業種になるという前提で賛成である。

50m以深の公的利用についても上部施設との調整を考慮する。

- ・今後の研究・開発が期待されるものとして

地下レーダーなどによる地表からの簡易な探査技術

地表からの簡易なジョイント，亀裂の探査技術

ジョイント，亀裂の工学的性質の把握技術

亀裂性岩盤の地下水の流れの簡易な把握技術，効果的处理技術

岩盤斜面における岩盤土留壁の設計の考え方

以上の研究，開発を期待すると同時にシンポジウムが多く開かれることを希望する。

*その他

- ・山地部，平地部の都市地域など区分した指針などの作成が必要である。
- ・大規模地下倉庫や物流基地が考えられる。
- ・残土処理として，残土の骨材への利用などの技術開発が必要である。
- ・地下水，地盤沈下，陥没事故，構造物の背面の動向を把握する技術が必要である。
- ・所有権の区分，私有権の制限などの法整備が必要である。
- ・維持管理面での責任分担の明確化が必要である。
- ・地下空間利用者間での施工時期の調整と費用分担の方法の確立が必要である。
- ・将来を展望した場合「窮余の策として地下に活路を求める」的な地下空間の利用は，必ずしも望ましい方向ではないような感がある。

参考文献

- 1) 科学技術庁資源調査所：地下空間利用に関する基礎資料，資料第115号，昭和59年3月27日
- 2) 建設省土木研究所：地下空間利用の現状に関する調査報告書，土木研究所資料第2666号，昭和63年9月
- 3) 財政策科学研究所，財都市みらい推進機構：都市地下利用計画論，昭和63年3月

第4章 地下空間建設技術の現状と課題

地下空間を建設するに必要な技術として、地盤調査、N A T M、シールド工法、開削工法の3工法に絞
り、共同研究に参加している会社を対象として、建設技術の現状と技術的課題についてアンケートを行った。
アンケートによる調査結果をもとに、おのおのの技術の現状と技術的課題について検討を加えた。

4. 1 地盤調査技術

最近の地盤調査技術は、コンピュータ等を利用した高度な解析技術の進歩に伴って、主に物理探査技術について新しい手法が開発されつつある。しかし、最近の大深度地下利用ニーズに対応するにはまだ不十分との感が強い。これは、従来の浅深度、あるいは中深度の地下利用では特に問題とならなかった土圧・水圧の評価が大深度ではより制度を求められるのに対し、調査コストは深くなるに伴って高くなる点があげられる。深くなると締まった砂質地盤が広く分布するが、従来のサウンディング技術では評価し難い、あるいは設計にフィードバックする際に裏付けが不十分といった問題がある。

このような課題を解決していくには、より合理的かつ経済的な地盤調査技術の開発が不可欠である。ここでは、先に実施したアンケート調査結果を元に、現状技術の整理を行うと共に、技術開発課題を抽出し、整理した。

4. 1. 1 地盤調査技術の現状

アンケートでは東京都下の地盤を想定し、それぞれについて合理的な調査技術を挙げるとともに、適用限界を実績及び技術面から調査した。

想定した地盤条件および必要とするアウトプットは以下のとおりである。

表-4. 1. 1 想定した地盤条件及びアウトプット

対象土層		概略の深度	アウトプット
有 楽 町 層 下 部		G L - 50～100 m	土層区分（土層構成）
七号地層	砂・砂礫		強度特性
	粘土		C、 ϕ 、 q_u 、K、E
東 京 層	砂		物理特性
	粘土		密度、含水量、比重
東 京 礫 層			粒度組成（最大粒径）
江戸川層	砂・砂礫		水理特性
	粘土		間隙水圧、透水係数
上総層群	砂		影響半径、貯留係数
	粘土		

(1) ボーリング及び標準貫入試験

通常の調査方法。調査実績は数多くある。

適用限界は無い。硬質粘性土（上総層群等）ではオールコアボーリングの方が適している。

(2) サンプルング及び室内土質試験

サンプルングは、土質に応じて選定する。調査実績は数多くある。

砂礫層に対しては、凍結サンプルングが実用化されているが、一般に普及していない。（凍結サンプルングについては後述する）

(3) 多孔式揚水試験

揚水井、観測井を個別に設け、実施するもの。水理特性を把握する為に実施する。調査実績は数多くある。適用限界は無い。但し粘土層には適用しない。

(4) 間隙水圧測定及び現場透水試験

単一孔で間隙水圧及び透水係数を求める試験方法。調査実績は数多くある。

適用限界は無い。但し粘土層には適用しない。

(5) ボーリング孔内横方向載荷試験

単一孔でK値を求める試験方法。調査実績は数多くある。適用限界は無い。

室内土質試験結果により求まる土質定数と合わない傾向がある。

この他に、簡易プレシオ、孔内コーン（ジオコーン）等が実用化されている。

簡易プレシオの適用性は、孔内横方向載荷試験と同様、孔内コーンは、砂、砂礫には向いていない。

(6) 孔内動的貫入試験

ボーリング孔内で空気圧によりラム（重錘）を作動させ、自動貫入・記録させる方式。実績は、深度45mまで、技術面からの限界は無いが、浅い場合（有楽町層、七号地層）には採用するメリットが無い。

尚、従来から実施されている標準貫入試験との相関性が十分検証されているとは言い難い。

ラム径を小さくした改良型も実用化されている。

(7) 三成分コーン貫入試験

従来のコーン指数のみならず、間隙水圧、周面摩擦力も計測できる方式。単に力学特性のみならず、土質の種別も推定できる。N値の高い場合、特に砂礫層への適用は困難である。

(8) 凍結サンプリング

地盤を凍結させて乱さない試料を採取する方法。実績は、深度20mまで、技術面からの限界は50-100m。コア径が100-300mmと太く、経済性に問題がある。

この他に、簡易凍結サンプリング（凍結装置を内蔵したサンプラーを使用するもの）も実用化されている。コア径200mm、技術面からの限界は、50m程度である。

(9) ボアホールテレビシステム

ボーリング孔内に孔壁の観察が可能なテレビカメラを挿入し、地層の傾斜、層境、地質を把握しようとする手法。技術面からの限界は100m以上と問題は無い。但し、未固結地盤の場合採用できない。適用の可能性のあるのは上総層群の粘土層程度である。

(10) 密度検層

物理検層の一種でラジオアイソトープを利用する検査技術。ボーリング孔内に挿入して測定する。密度の他に含水量も測定できる。実績面、技術面からの限界は無いが、キャリブレーションが重要であり、精度面からの限界がある。

(11) その他のサンプリング

その他のサンプリング方法として、サンプルの落下防止を図ったもの（砂、砂礫地盤向け）、ある

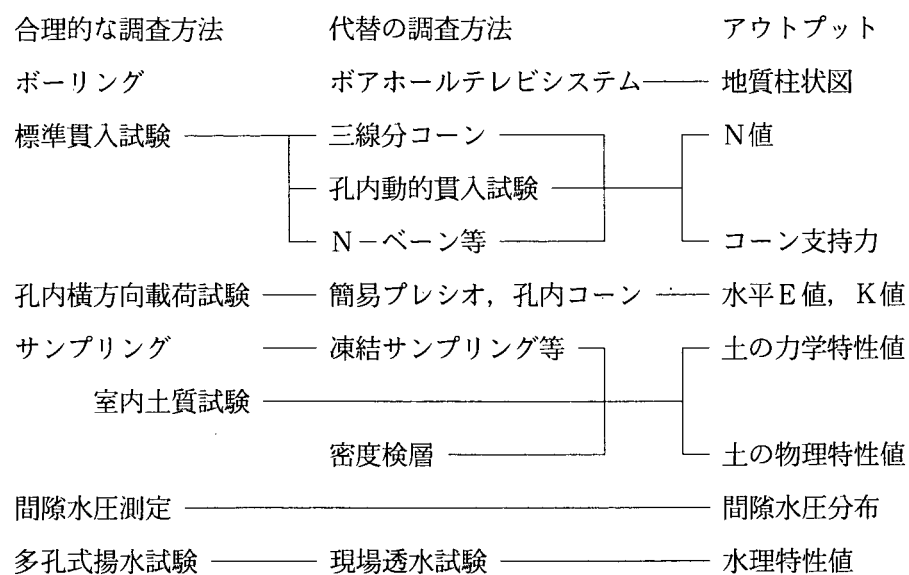
いはサンプルの方向（方位）を表示できるもの等が実用化されている。

（12）その他のサウンディング

羽根付きの貫入試験用サンプラーを用い、貫入後にサンプラーを回転させ地盤の概略の剪断強度を求めるもの（N-ベーン）等が実用化されている。いずれも従来の土質試験との相関性の検証が課題となっている。

これらの調査技術を体系的にとりまとめ、次に示す。

[地盤の静的調査]



また、代替の調査方法が合理的となる場合の条件を整理し、次に示す。

	深層地盤	軟弱地盤	硬質地盤	砂礫地盤	技術の限界
ボアホールテレビシステム	○		○		100m以上
三成分コーン	○			×	100m以上
孔内動的貫入試験	○				100m以上
N-ベーン等		○		×	
簡易プレシオ, 孔内コーン*	○		○	×*	100m以上
凍結サンプリング等				○	50m程度
密度検層	○			○	100m以上

4. 1. 2 地盤調査技術の課題

大深度の地下利用を推進する為には、設計・施工技術の進歩に加え、地盤調査技術の進歩が不可欠である。土圧・水圧を合理的に評価することが出来れば、より経済的な構造物を構築することができる。これに対応するためには、精度良く、かつ密な調査を実施する必要があるが、これは従来技術では経済性の面から得策ではない。

効率的でかつ精度の高い調査を実現する為、従来技術を補足あるいは代替する調査方法が実用化されつつあるが、まだ残された課題は多い。ここではアンケート調査を参考として、地盤調査技術の技術課題を整理した。

(1) ボーリング

各種の物理探査技術が実用化されているが、現状ではボーリング調査以上の精度を確保することは難しい。

ボーリング調査に物理探査手法を併用していくことが得策であるが、探査結果を設計・施工に活用する際のソフト技術（評価、判定など）が十分とはいえない。

ボアホールテレビシステムは、単一のボーリング孔で実施できるが、上総層群の粘土など自立する地山に利用が限定される。技術課題としては、

- ・利用範囲の拡大
- ・結果を活用する為のソフト技術の研究、が重要である。

(2) サウンディング

サウンディングは、各種の手法が開発、実用に供されてきている。

三成分コーン、孔内動的貫入試験などは、その代表的なものである。技術的には砂礫地盤、硬質地盤などへの適用に限界があること、従来の調査結果との相関性あるいは評価精度が十分でない点に問題がある。

技術課題としては、

- ・砂礫地盤、硬質地盤などへ適用できるサウンディング技術の研究
- ・新方式のサウンディング技術の評価精度の向上、があげられる。

(3) サンプリング

サンプリングは、特に砂、砂礫地盤を対象にした技術が開発されつつある。

凍結サンプリングはこの中でも代表的なものである。ただし、極めて高価な手法であり、条件によって簡易な方式と併用するのが一般的である。

技術課題としては、

- ・用途別のサンプリング技術の改良・開発・整備
- ・低コストのサンプリング手法の研究、があげられる。

(4) 孔内横方向載荷試験

孔内横方向載荷試験は、従来より広く使われてきたものであり、地盤条件によって各種のものが使用されている。簡易プレシオ、孔内コーンもその一つである。

手法的には定まっている為、効率的で低コストのものが求められている。

なお、他の土質試験結果との整合性が良くない、実際の挙動と合わないことがあるといった指摘もある。

技術課題としては、

- ・試験結果を活用する為のソフト技術の研究
- ・低コストの試験手法の研究

があげられる。

(5) 間隙水圧測定、透水試験

間隙水圧測定は、従来より観測パイプを設置し、平衡水位を測定するもの、間隙水圧計を埋設するものなどが行われている。

ここで、土層条件が複雑となると各層間をシールすることが難しくなり、コストもかさむこととなる。

技術課題としては、

- ・ボーリング孔で簡易に深さ方向の間隙水圧を測定する方法の開発

があげられる。

透水試験は、多孔式揚水試験が信頼性の面で優れているものの、試験区間が深い場合はコストが高む。これに対し現場導水試験は精度が悪く、広域の地下水挙動の予測といった精度を要求される用途には十分ではない。

現状では両者を併用しつつ、他の土質試験結果と合わせて評価するのが合理的であろう。

4. 2 NATM

トンネルの掘削技術のNATMの導入により、従来の山岳工法は一変した。

NATMの概念は掘削に伴うトンネル周辺の地山の変形を予測し、観測し、支保の適正を常に検証しつつ施工するところにあるが、NATMにより周辺への影響を少なく、大断面の施工が可能になり、地質的に不安定な都市部のトンネルにあっても、シールドに代わりNATMが適用される機会が飛躍的に増加した。

地下空間の利用に対するNATMの優位点は、線状構造物（トンネル）を地下の利用対象深度に限定して建設することにある。シールドに比べると円形以外の任意の形状の断面の構築に適しており、施工可能な中小断面をもって順次切り広げを行い、目的とする大断面を構築することが出来る。

一方、NATMの施工限界は、切羽の自立可能な地山であることが必要であり、一般に都市の沖積層、洪積層の高水圧条件では、切羽の分割と補助工法の採用を加味して工法の選択が行われる。

本章では、一般都市部を対象に、岩盤、未固結の堆積地盤におけるNATMの事例調査により、その適用実態を把握するとともに、今後、大深度、大断面への適用範囲拡大の可能性と技術課題を現場に携わる技術者がいかに判断しているかを、アンケートによって調査し、それらの結果をまとめた。

4. 2. 1 NATM建設技術の現状

(1) 未固結地山におけるNATMの適用実績調査

都市域の未固結地山におけるNATM施工の実例調査から適用の実態を把握した。以下に要約を示す。

①地山強度と施工法 (図-4. 2. 1, 図4. 2. 2)

一軸圧縮強度 3 kgf/cm^2 以下 (N値30位下) で初期変形係数 300 kgf/cm^2 以下程度の地山に対しても様々な加背割の工夫により変形を抑止して施工されている。

大断面の施工では、分割施工が主体で、安全で効率的な加背割を要する。

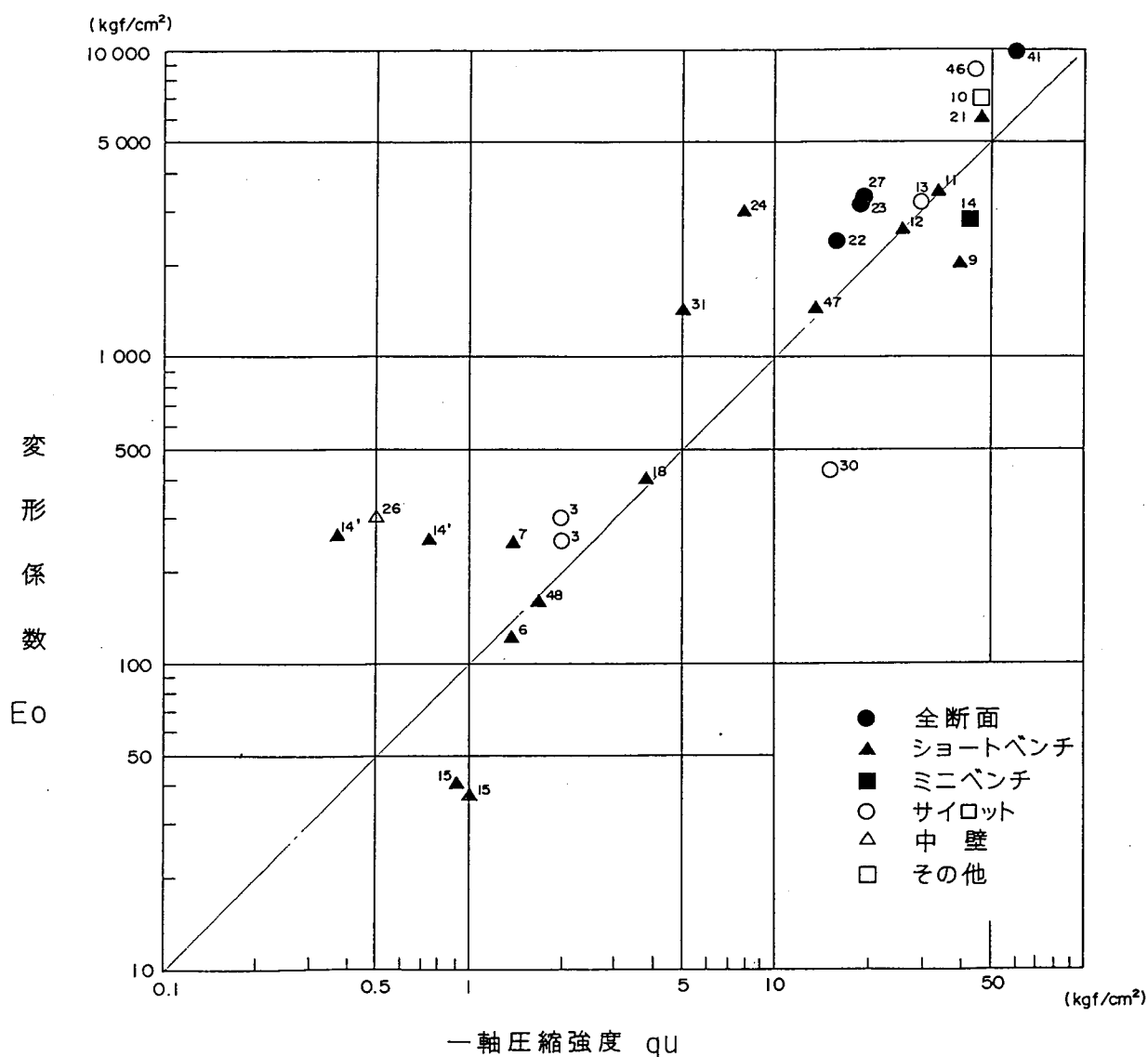
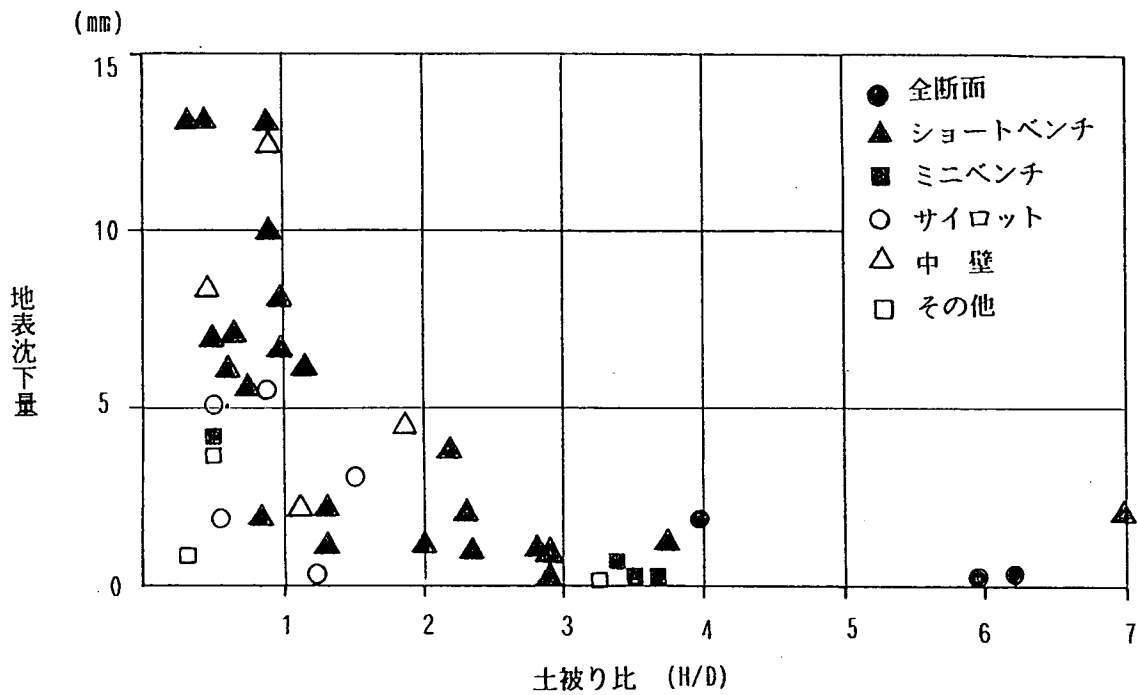


図-4. 2. 1 一軸圧縮強度と変形係数の関係



②土被りと地表沈下（図－4．2．3）

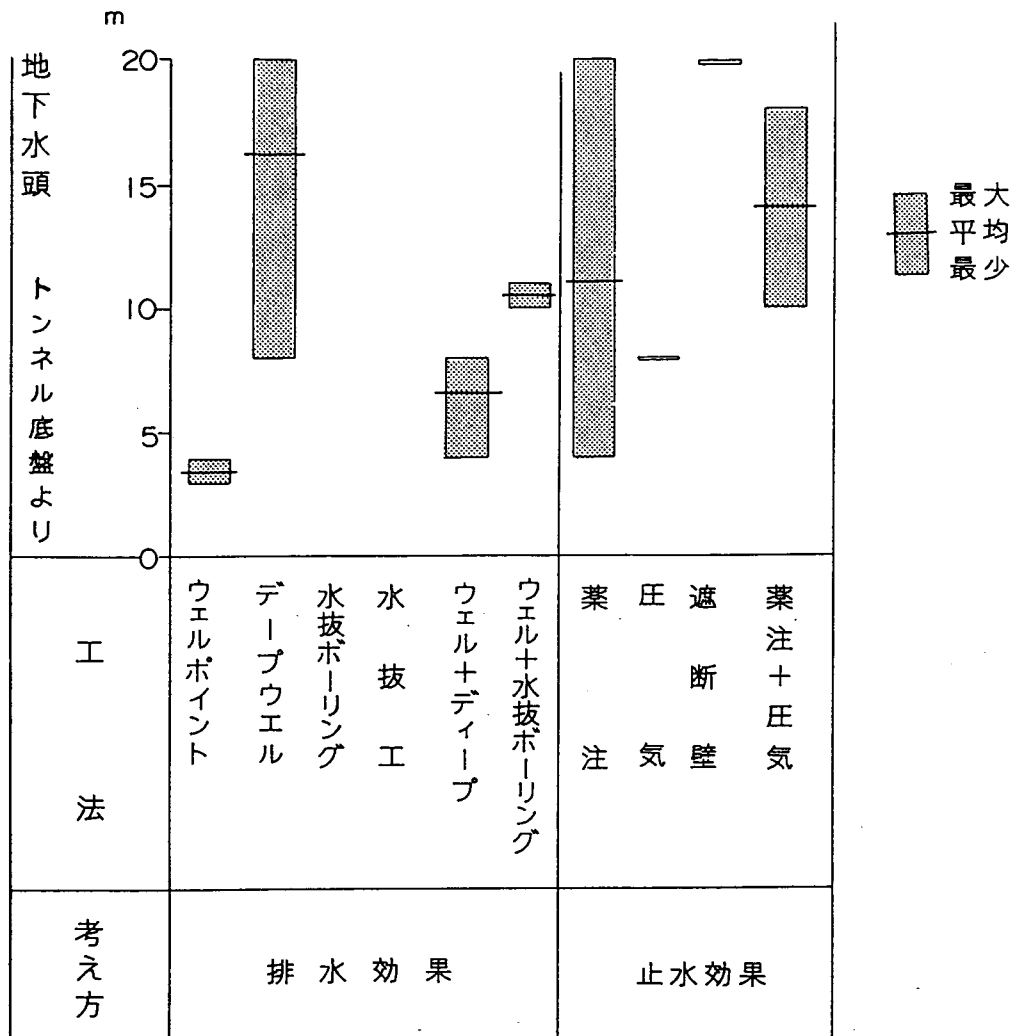
土被り比（ H/D ）が小さく，1を下まわる場合を除いて，地表沈下は問題を生じない範囲に制御することができおり，地下利用深度が深い場合でも，切羽における湧水，流砂等によるトラブルがなければ，問題はないと思われる。



図－4．2．3 土被り比と地表沈下量の関係

③地下水位と対策工法（図－４．２．４）

地下水頭と地下水対策工法は、ディープウェル、薬液注入とも実施例では水頭20m程度まで、また圧気を併用しても同じ程度までの経験しかない。より大きな水圧に対する工法の改良が必要と思われる。

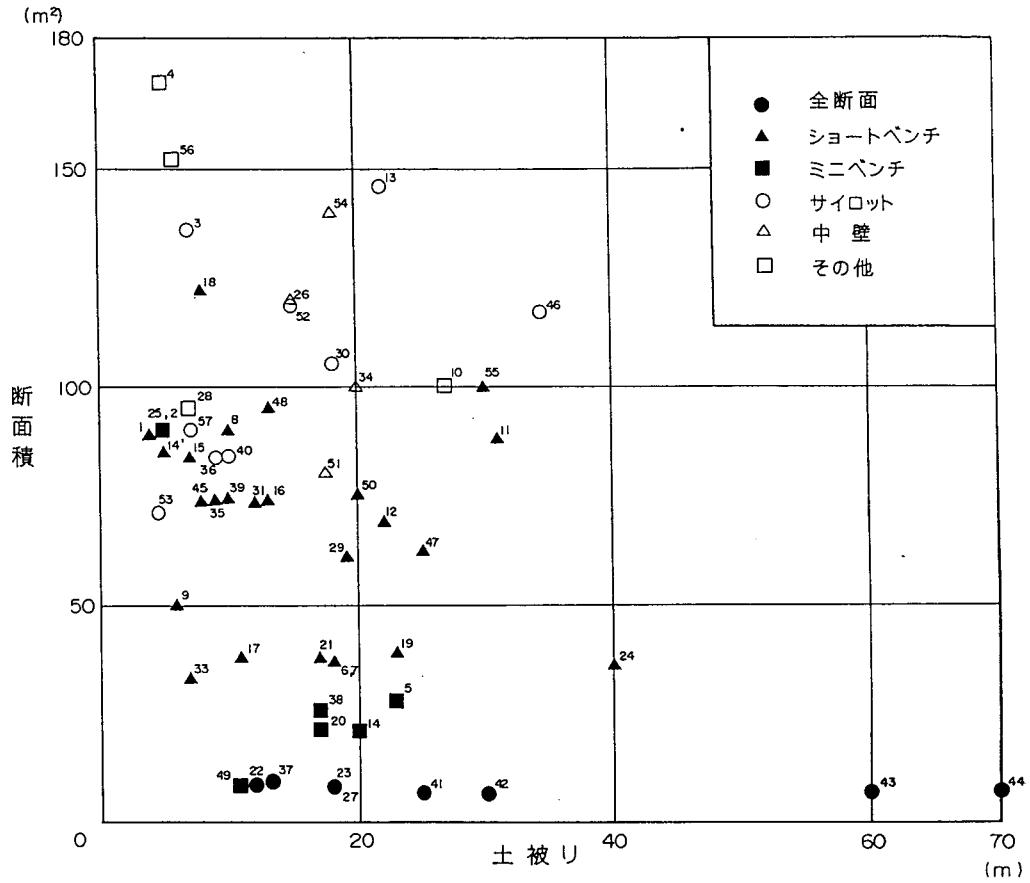


図－４．２．４ 地下水頭と地下水対策工法の関係

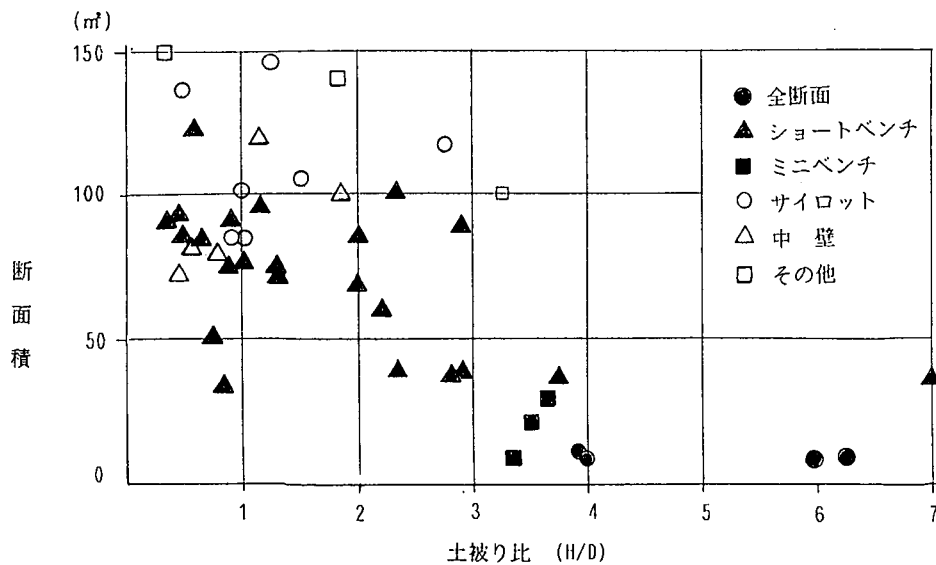
④土被り，断面積と工法（図－4．2．5，図－4．2．6）

加背割の工夫において，ショートベンチは広く用いられているが，大断面（土被り比も小さい場合が多い）では，サイロット，中壁その他の工法が工夫されている。

全断面，ミニベンチは小径のトンネルに限られる。



図－4．2．5 土被りと掘削断面積の関係

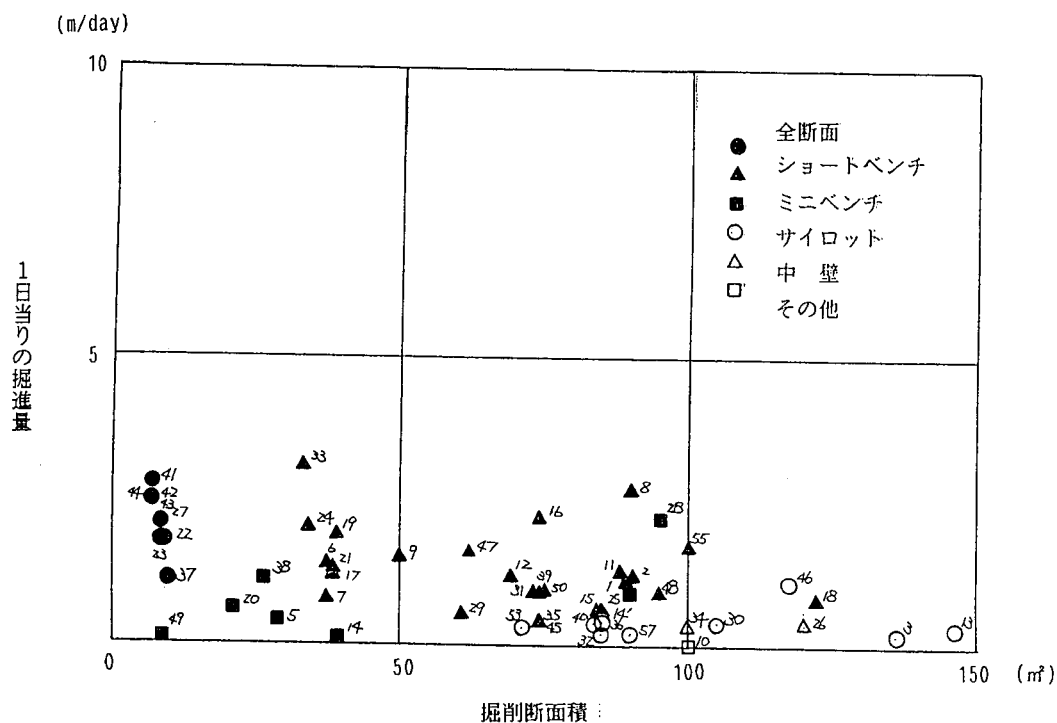


図－4．2．6 断面積と土被り比の関係

⑤断面積と日掘削量（図－4．2．7）

掘削速度を見ると、掘削断面積にかかわらず日進3 m以下の実績となっているが、100 m²を越すと能率低下が著しいのは分割施工の作業の競合と思われる。

小断面の効率的施工法の改善と、大断面のシステマティックな拡幅施工の工夫が必要である。



図－4．2．7 掘削断面積と掘進量の関係

(2) 未固結地山に対するNATMの大深度への適用

現在、トンネル施工の第一線に携わる現場技術者が、現有技術の延長に立って、都市域（未固結、高水位）における深部地下空間の建設にNATMの適用の可能性をどのように理解しているか、アンケート調査を実施した。

アンケートにおいては、対象とする地盤のイメージを統一するうえで、東京の想定地質構造図において、地質、深度を考慮して4つの地盤条件を設定して、それぞれに対するNATMの適用の可能性、工法、問題点を回答してもらった。(図-4.2.8)

トンネルの最終断面は、10, 30, 80, 150, 200 m²の各ケースを想定した。

また、NATMの個別の要素技術の限界についての回答を得た。これらの意見を以下に示す。

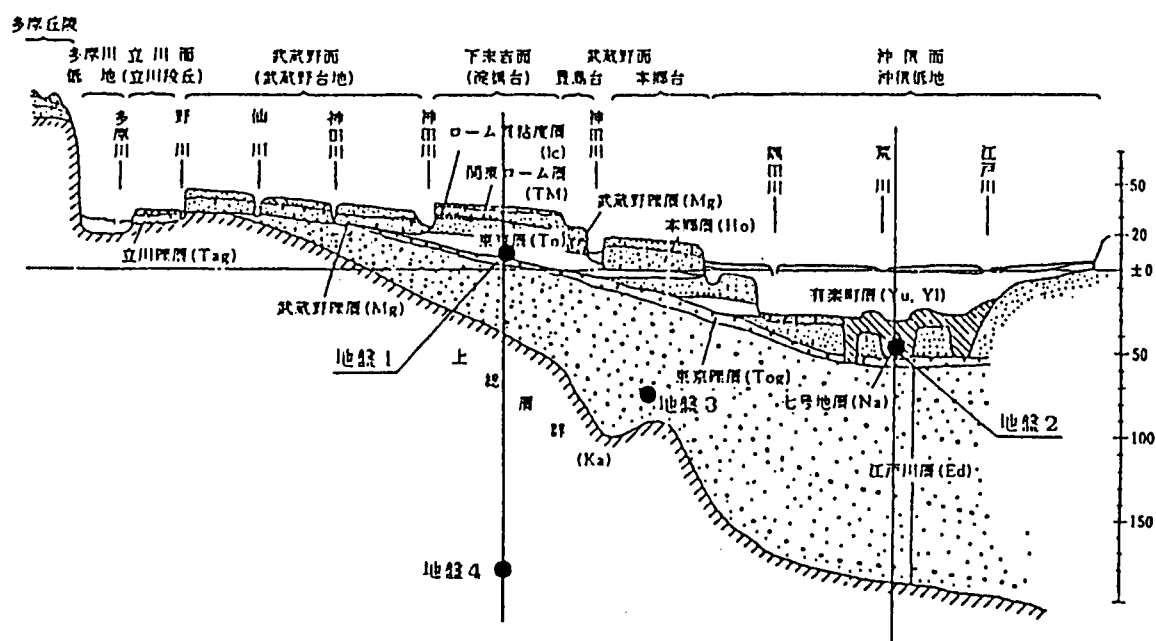


図-4. 2. 8 想定地質断面図（東京都地盤図より）

①トンネル断面と加背割 (図-4.2.9)

各地盤・深度の条件を勘案して断面規模に応じたNATMの加背割に関する結果を示す。

地盤条件と分割施工の可能性を見ると、断面積 10 m^2 程度では補助工を採用して小分割する必要はないが、 30 m^2 では2分割、 80 m^2 では3～4分割、それ以上は5分割以上の段階施工を必要とする。ただし、地盤条件4に限り、かなりの大きさまで大断面施工の可能性はある。

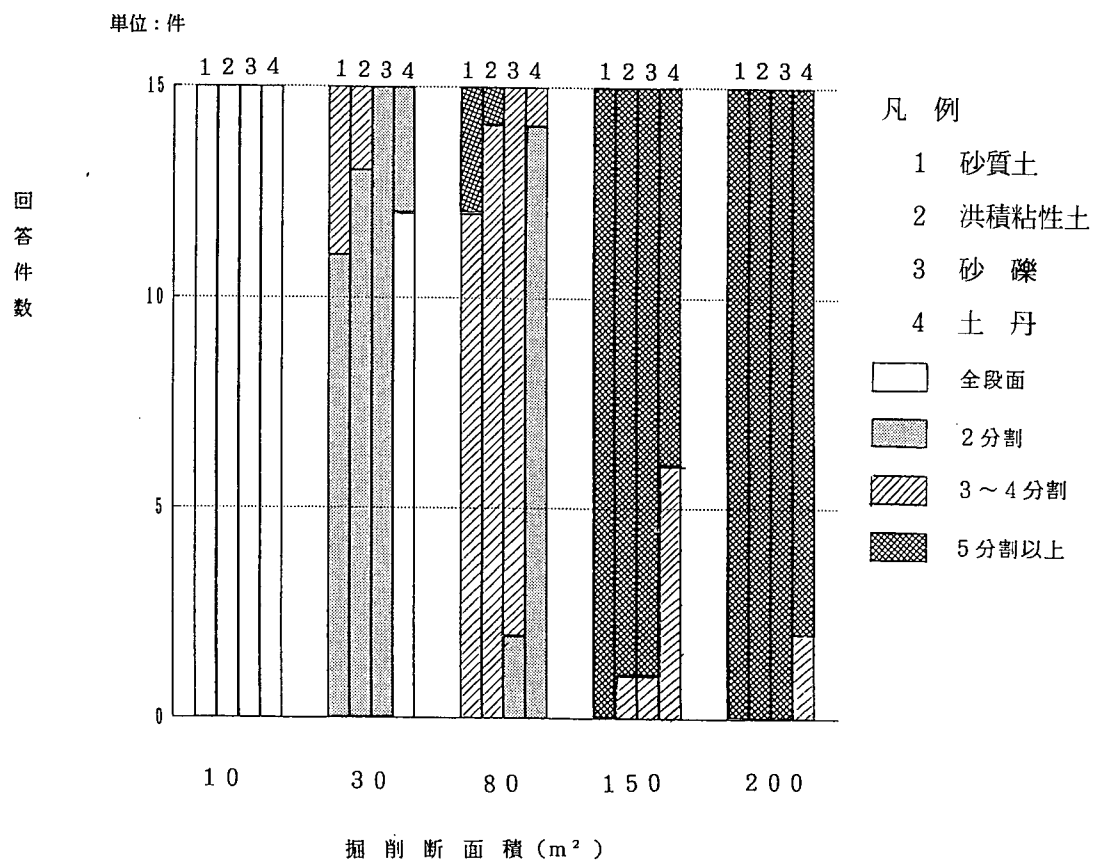


図-4.2.9 トンネル断面積と加背割

掘削分割数の判断理由として次の項目が挙げられる。

a. 掘削断面積 10 m²

施工上の最少断面積と考える。

補助工法を採用すれば、10 m²程度なら全断面で掘削できる。

地盤1は、縦長の断面の場合、2分割とすべきである。

b. 掘削断面積 30 m²

地盤1～3については、切羽の自立性確保、地表沈下防止対策および施行法を考慮して2～4分割とする。

地盤4は、実績より全断面が可能である。

この断面では、3分割以上の施工は施工速度が低下し、断面の閉合が遅れる。したがって、切羽の自立が確保される補助工法を採用して2分割とする。

c. 掘削断面積 80 m²

地盤4は、地山が良好なら2段ベンチも可能である。

地盤1～3については、切羽の自立性確保、地表沈下防止対策および施工性を考慮して3～4分割とする。

d. 掘削断面積 150～200 m²

断面形、地質等に合わせた分割工法を検討する。

特殊な分割に加え、積極的な地山の改良が不可欠である。

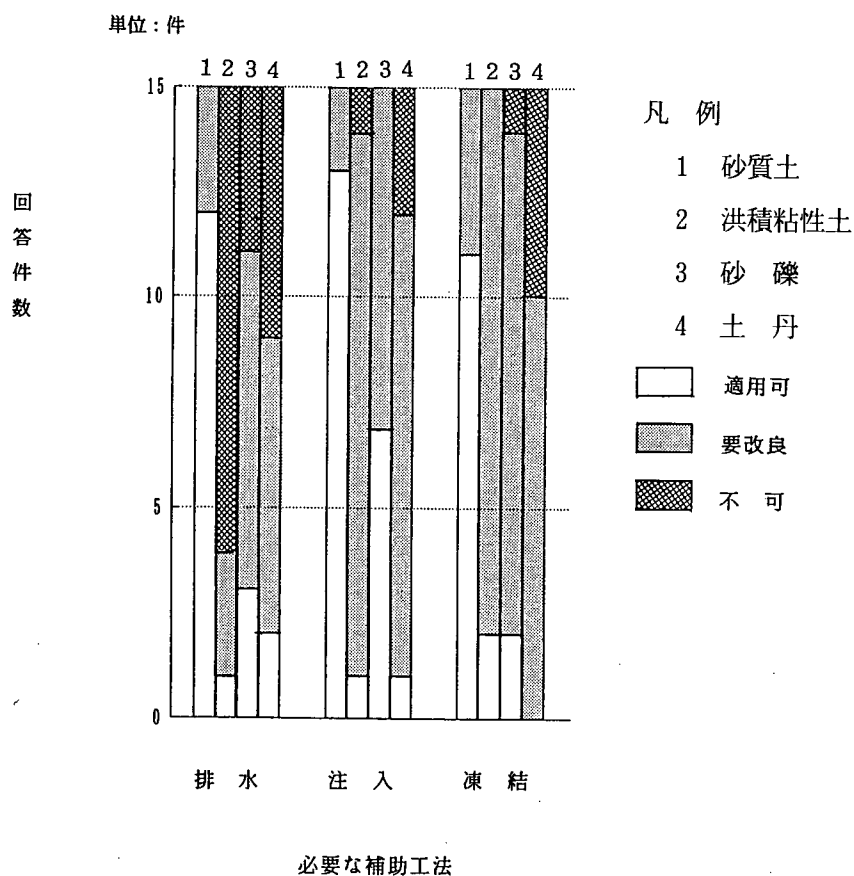
1分割断面30 m²以上は切羽の自立が困難と思われる。

地盤1および3は、200 m²以上の場合、加背割というよりは特別の切り掘り工法を計画すべきである。

②必要な補助工法（図－4．2．10）

トンネル掘削を困難とする高水圧の処理について、基本的に排水あるいは止水の選択になることを予測し、凍結工法の採否の可能性を含め、現在の保有の技術での対応の可能性を求めた。

3工法とも比較的浅部の地盤1では、現有技術で可能である。地盤3の場合、現在の注入技術での施工の可能性ありとする意見も半ばあったが、それ以外すべての条件に対して技術的改良を必要とする。特に、排水工法は技術改良しても適用されないとする意見も多く、注入または凍結工法が中心となる。（作業環境を考慮して、全圧気で高水圧に対処することは除外し、補助的に使用するものとした。）



図－4．2．10 必要な補助工法

③補助工法の選択

固結地山の深部掘削では、施工断面が大きければ分割施工が一般的である。この際、NATM施工の条件として、

a. 処女地盤の湧水进行处理しながら先進する導坑の工法（10 m²）

b. 後方で切り拓げるための問題点

が推察され、断面の大きさ、先行、後行のちがいなどからそれぞれ湧水対策と切羽の維持のため、異なる補助工法の採用が技術要素として考えられ、各々の施工について施工法選択の動向を調査した。補助工法は、止水を主体とする場合と、排水工法を主体とする場合に分け、それぞれ主体となる工法との併用、工法の組み合わせで調査を行った。

a. 分割施工（10 m²先進）の場合の湧水、切羽安定対策

a-1 湧水に対する補助工法

・地盤1

排水を主体とする場合、ディープウェルがほとんど主流で、バキューム使用もしくはウェルポイントの併用が多いが、坑内からの注入を補助的に実施する工法が考えられている。

止水工法を主体とする場合、主体工法は薬液注入が坑内、坑外合わせ、圧倒的に多く、坑外注入と坑内ウェルポイントの組み合わせが一般的である。

これらはいずれも従来の経験が、そのまま適用できる範囲と考えられる。

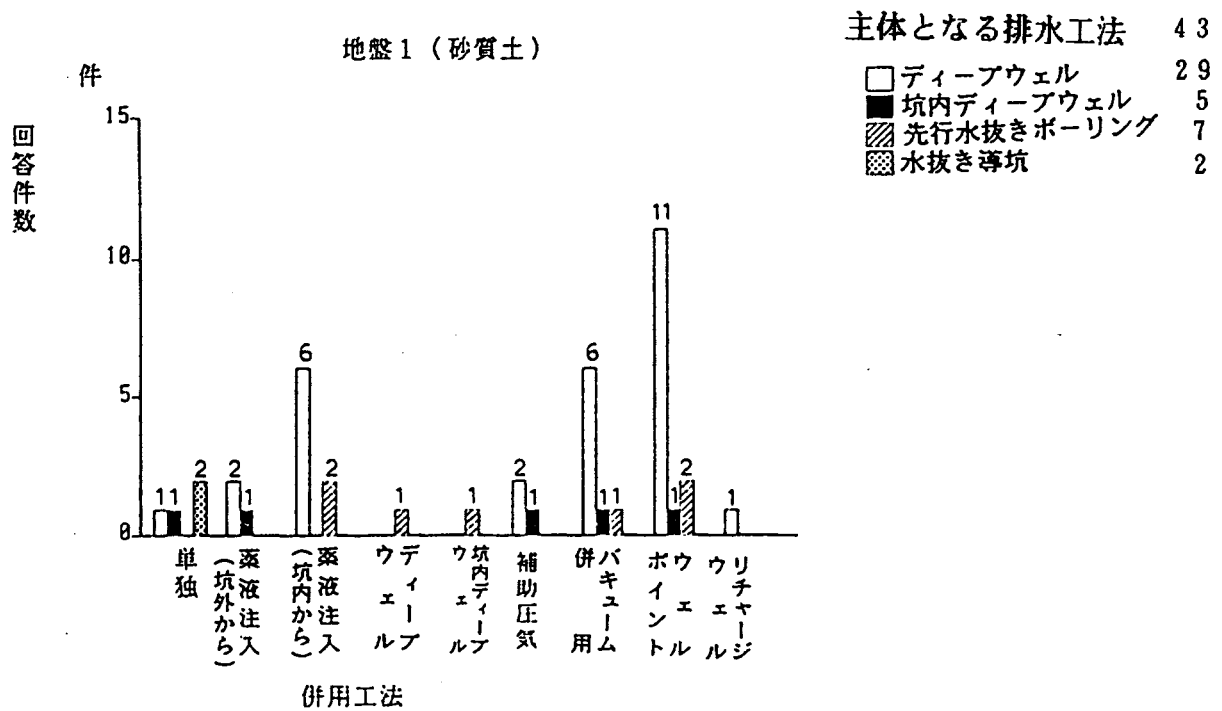
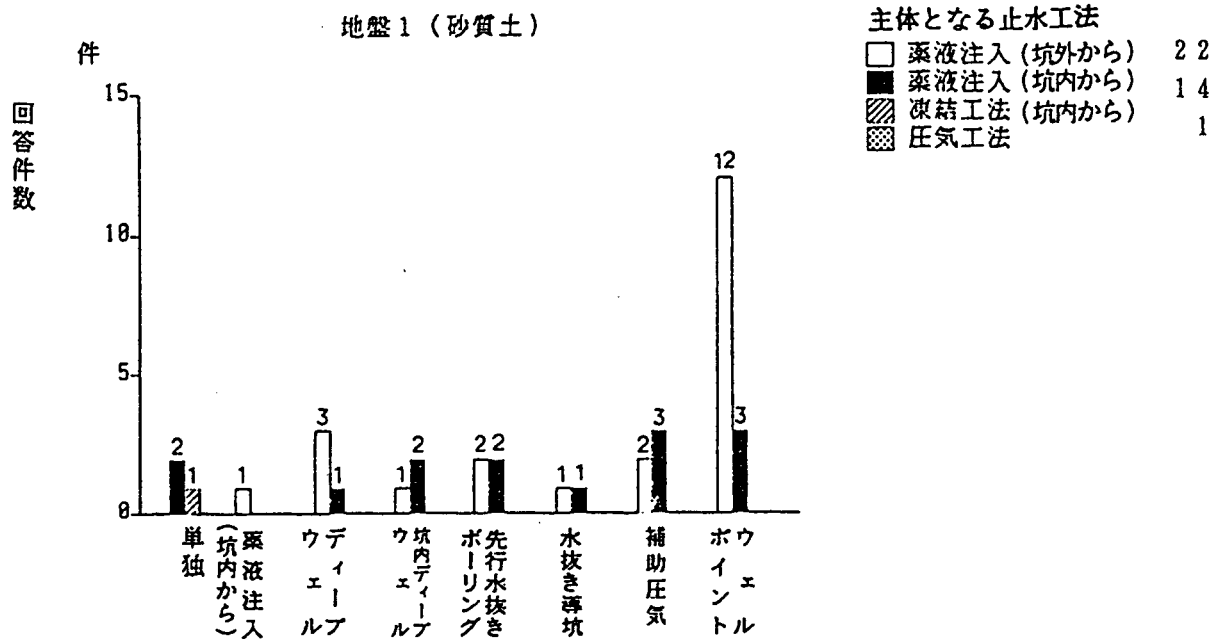


図-4. 2. 11 湧水に対する補助工法 (地盤 1)

・地盤 2

排水を主体とする選択は非常に少ない。

止水工法として、坑内注入に頼り、補助的に水抜きボーリング、ウェルポイント、圧気等の併用が考える中で、凍結工法を単独で用いる意見が目につく。

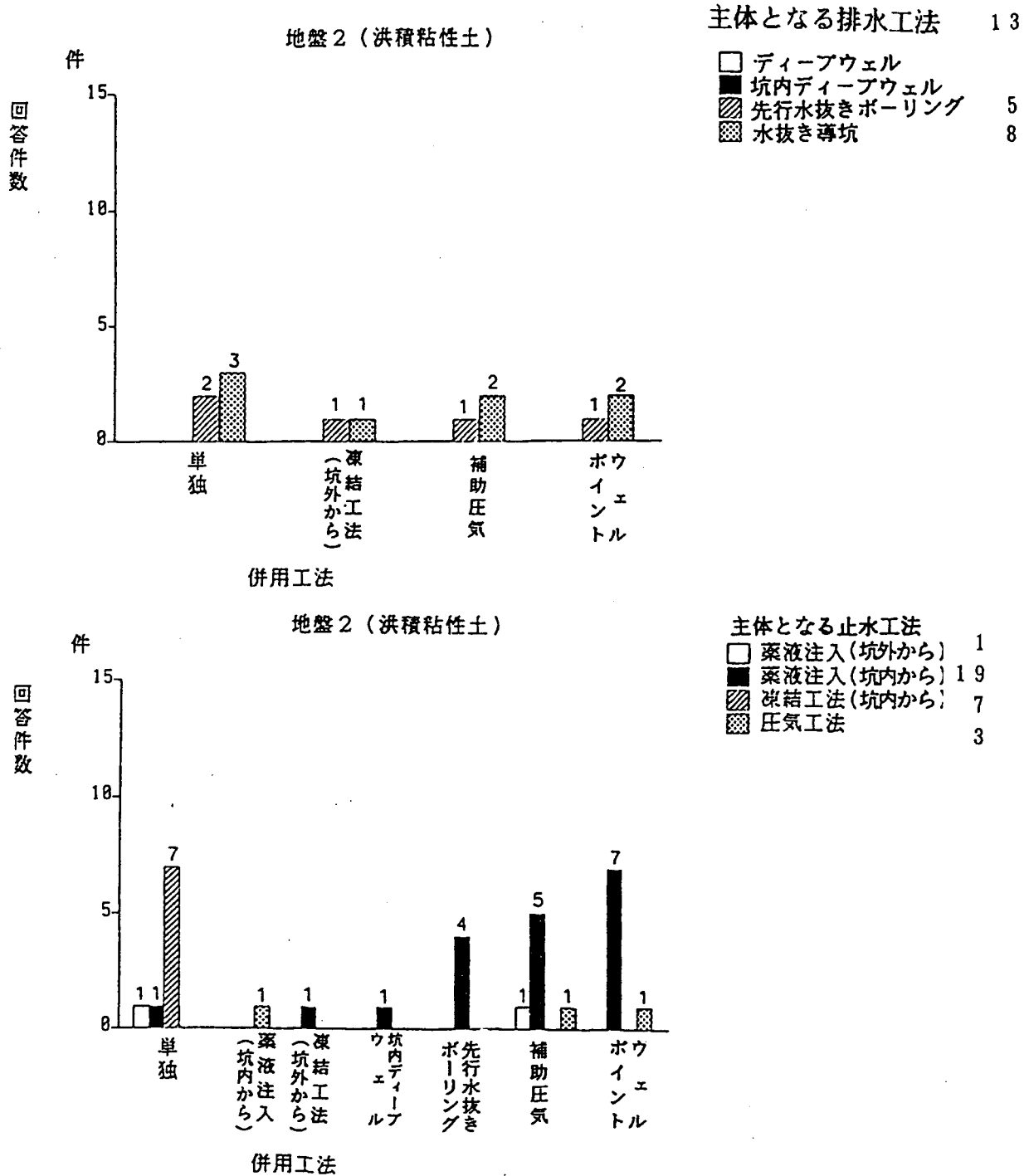


図-4. 2. 1 2 湧水に対する補助工法 (地盤 2)

・地盤 3

排水工法では先行水抜きボーリングの選択が多く、ボーリングにバキュームを併用する、もしくは坑内からの注入ウェルポイントの選択が考えられる。

止水工法では、坑内注入が主流であるが、坑外からの注入を可とする意見もある。ここでも凍結は単独使用可能な工法としてあげられる。

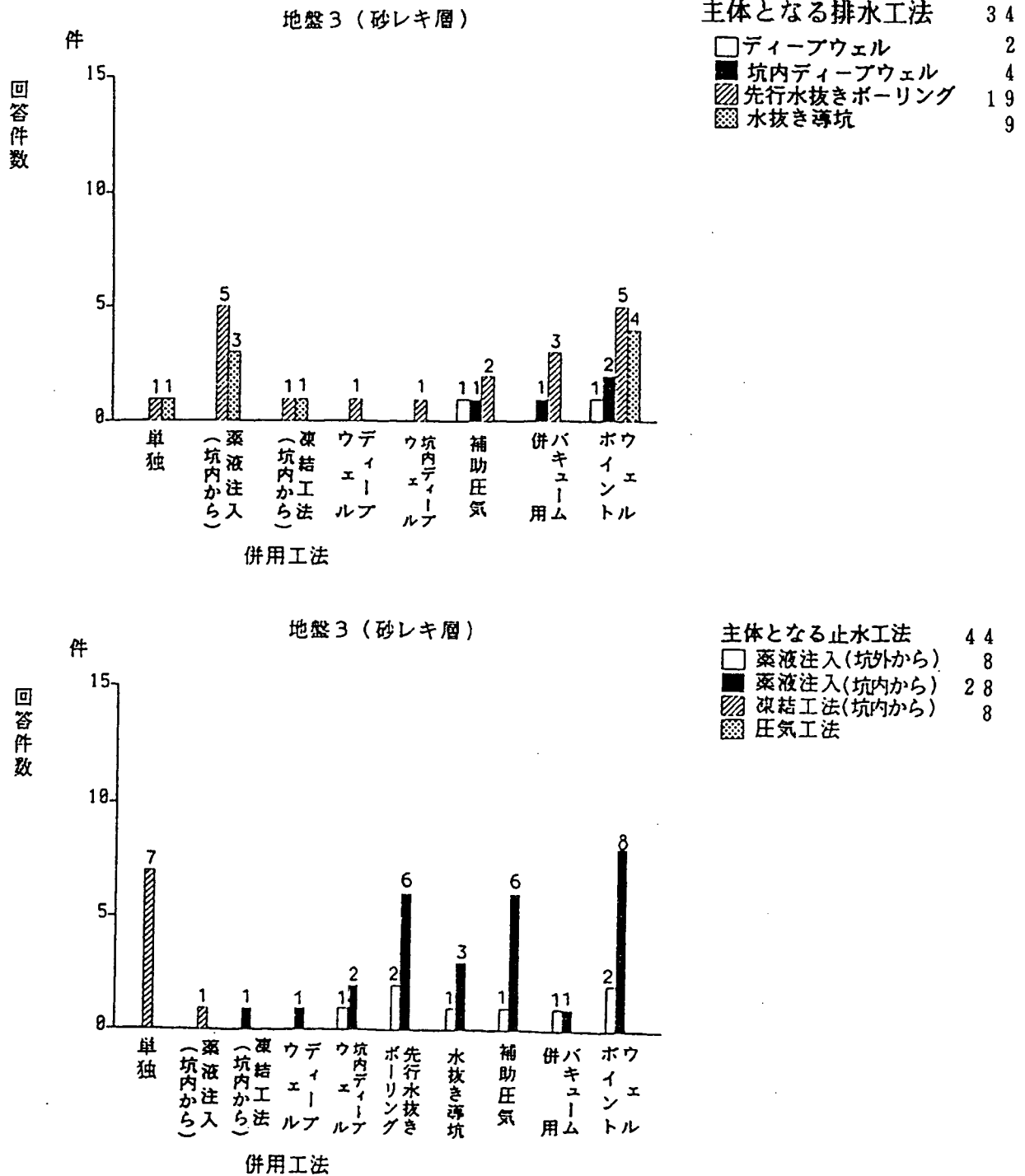


図-4. 2. 13 湧水に対する補助工法 (地盤 3)

・地盤 4

止水工法としては、薬液注入にウェルポイントの組み合わせ、排水工法としては、水抜きボーリングあるいは水抜き導坑に限定される補助的併用工法として、ウェルポイント、バキューム、坑内注入の順である。

止水工法主体では、注入は坑内に限られ、ウェルポイントまたは水抜きボーリングの併用が多い。凍結工法単独案もある。

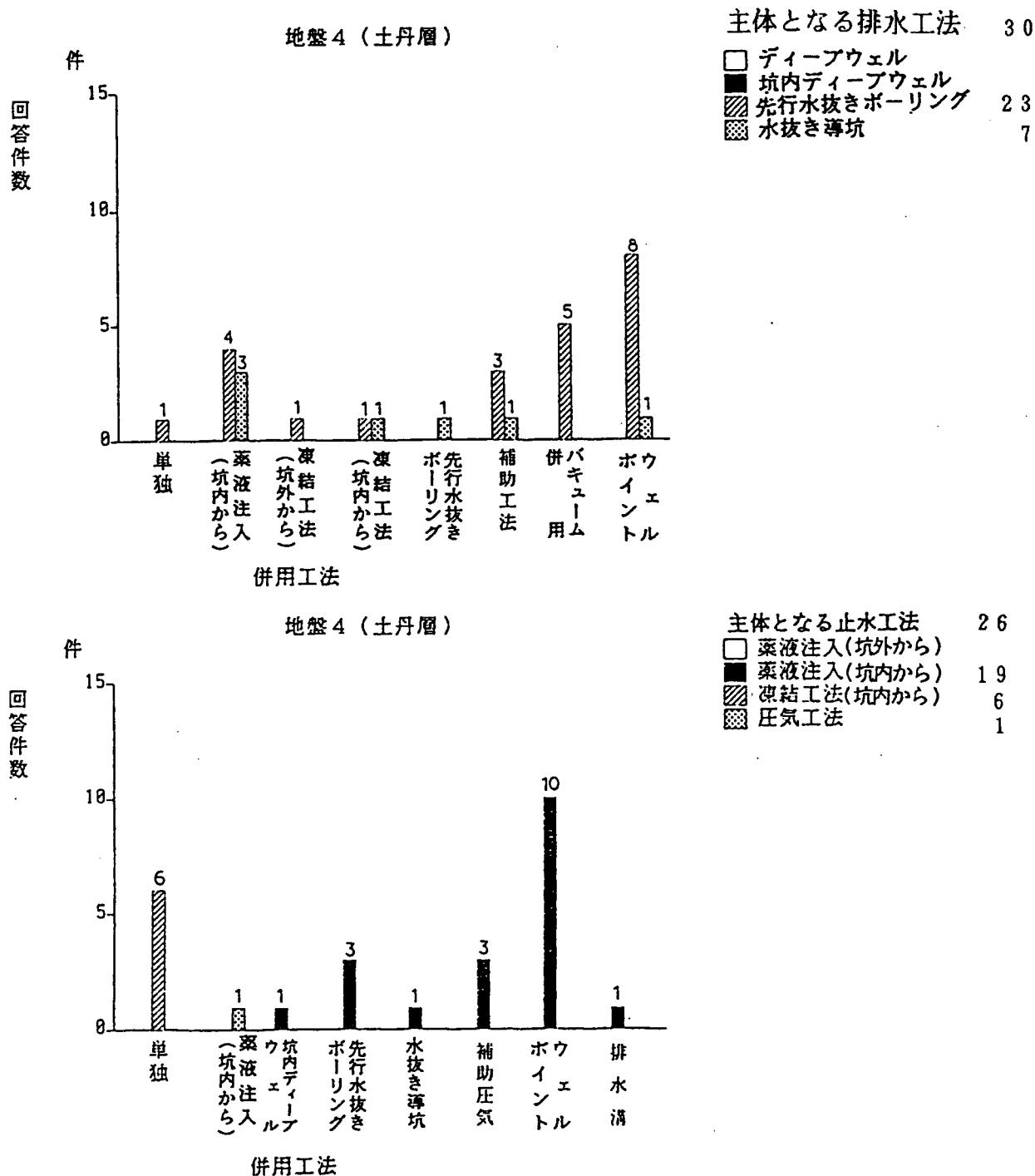


図-4. 2. 14 湧水に対する補助工法 (地盤 4)

a - 2 切羽安定のための補助工法

分割施工を前提に、加背割の最少断面積を10㎡とした場合、切羽安定のために最も適当と思われる補助工法の組み合わせについて地盤条件別に調査した。

なお、組み合わせが多岐にわたっているため、集計は、各補助工法の採用回数にて行った。

切羽安定対策としての補助工法は、地盤条件にかかわらず、フォアパイリング、鏡吹付け、薬液注入（周辺）の順に採用回数が多い。なお、土丹層の場合は、薬液注入（周辺）よりウレタン注入（周辺）を採用する回答が多い。また、砂質土、砂礫層の場合は、切羽の薬液注入を洪積粘性土、土丹層の場合は、切羽ボルトを次に採用する回答が多い。

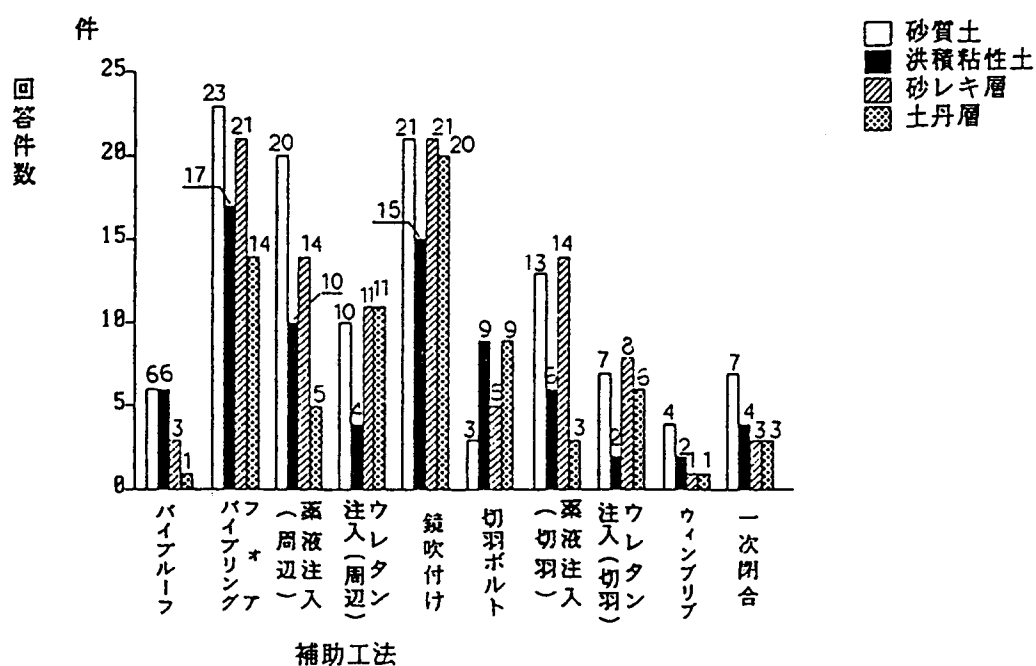


図-4. 2. 1 5 切羽安定のための補助工法

b. 断面切り拡げ拡大の場合の湧水，切羽安定対策

b-1 湧水に対する補助工法

断面を切り拡げ拡大するに当たっての湧水に対する補助工法を地盤条件に調査した。補助工法は，止水工法を主体とする場合と排水工法を主体とする場合に分けて，それぞれの主体となる工法と併用工法の組み合わせで調査を行った。

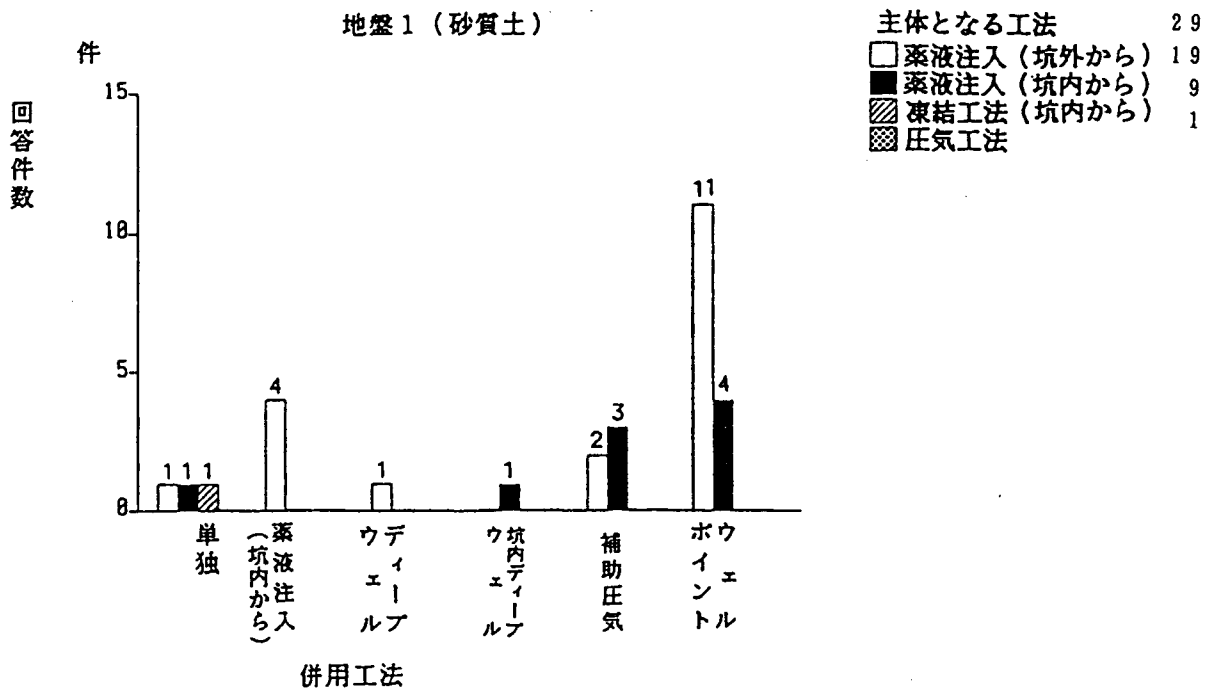


図-4. 2. 16 湧水に対する補助工法 (砂質土)

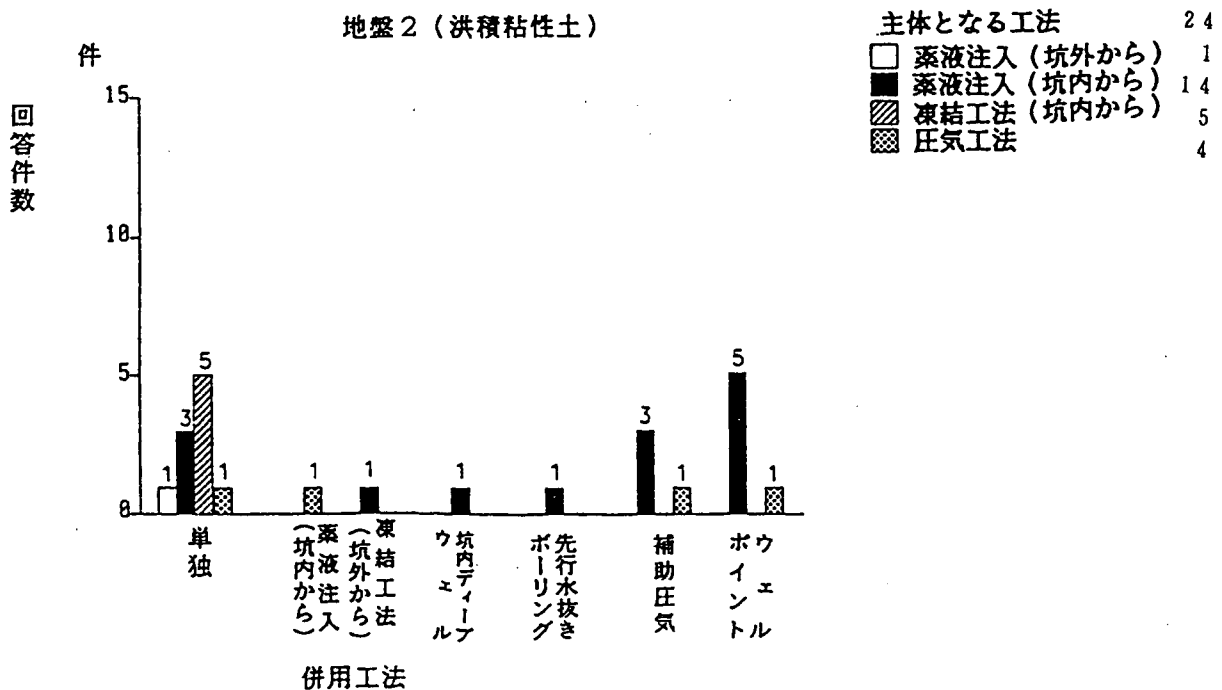


図-4. 2. 17 湧水に対する補助工法 (洪積粘性土)

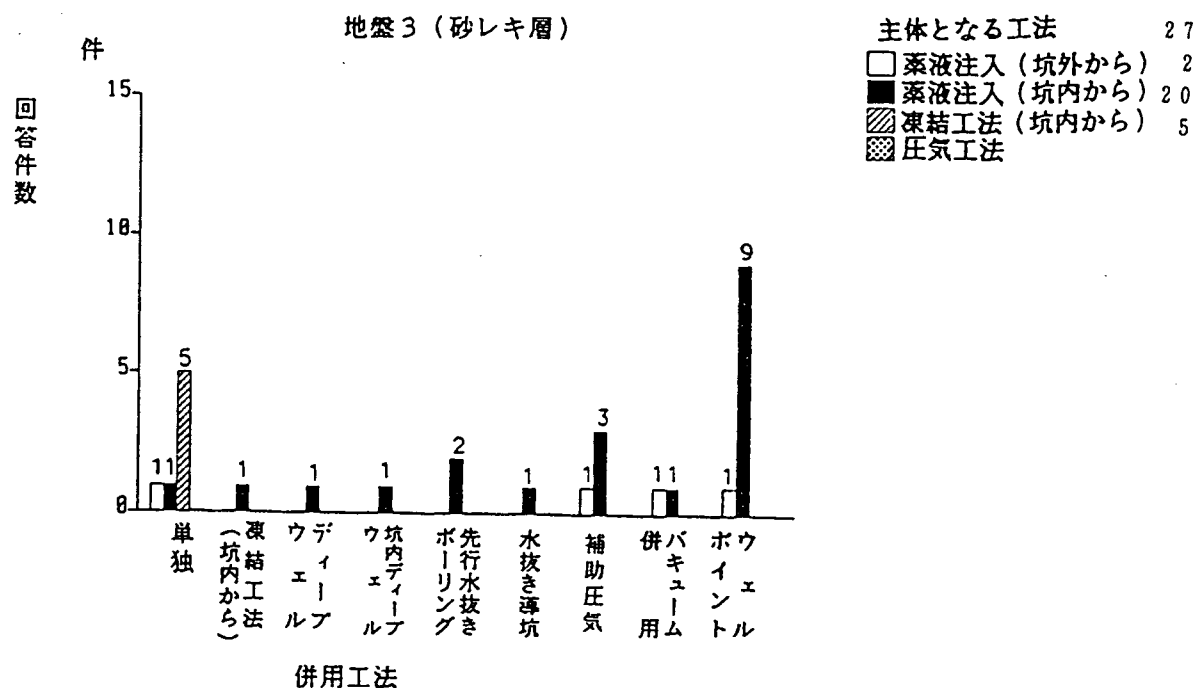


図-4. 2. 18 湧水に対する補助工法 (砂レキ層)

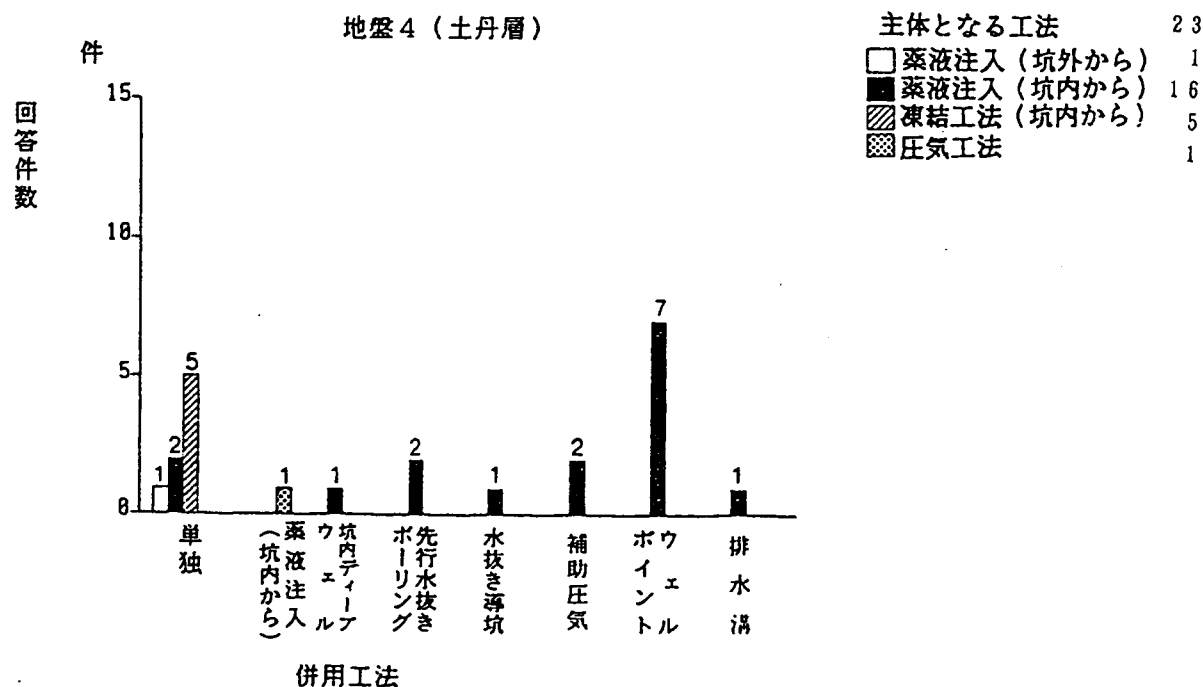


図-4. 2. 19 湧水に対する補助工法 (土丹層)

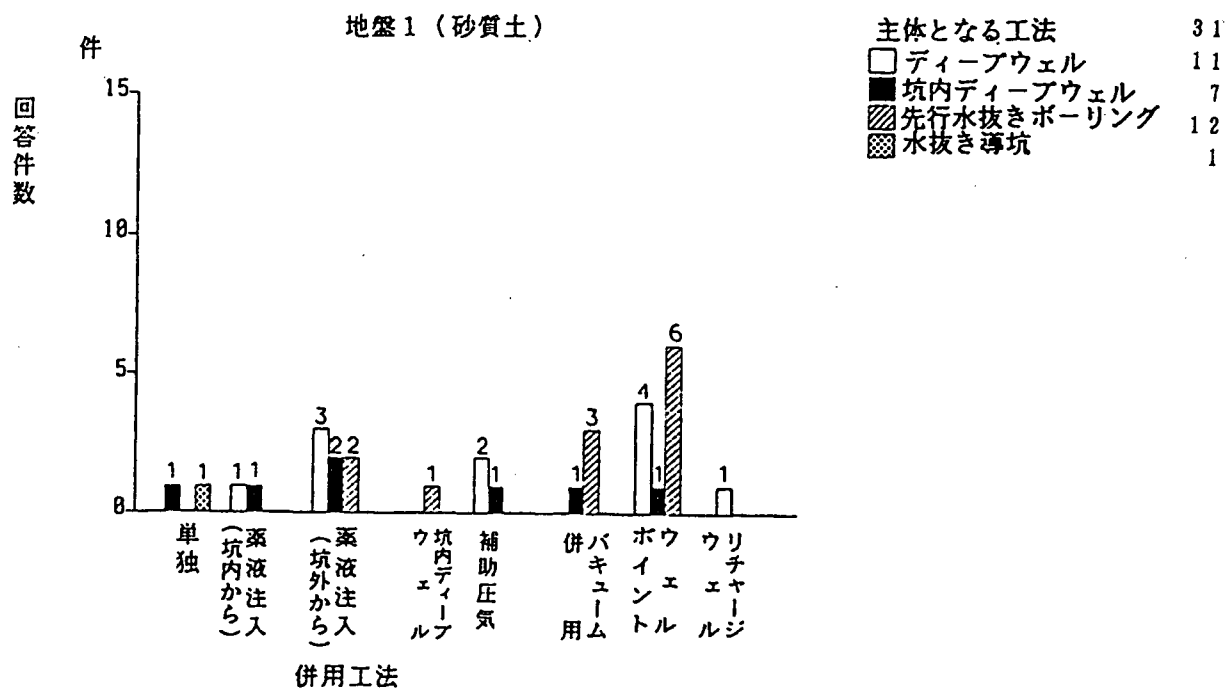


図-4. 2. 20 湧水に対する補助工法 (砂質土)

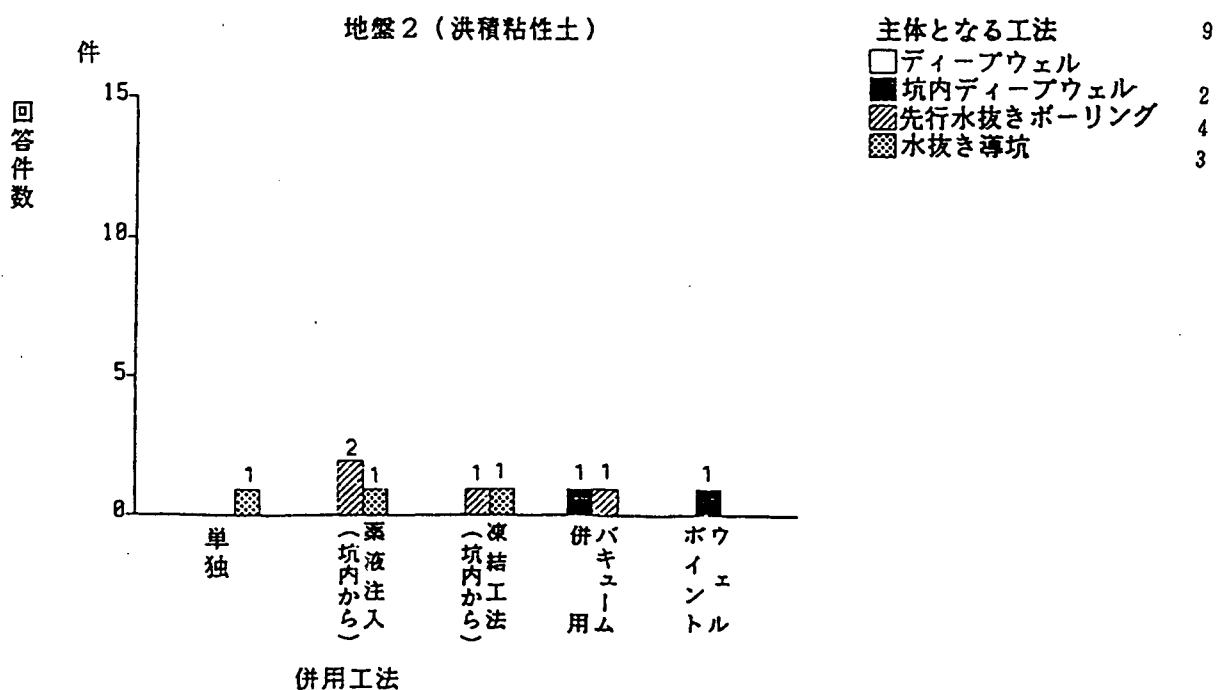


図-4. 2. 21 湧水に対する補助工法 (洪積粘性土)

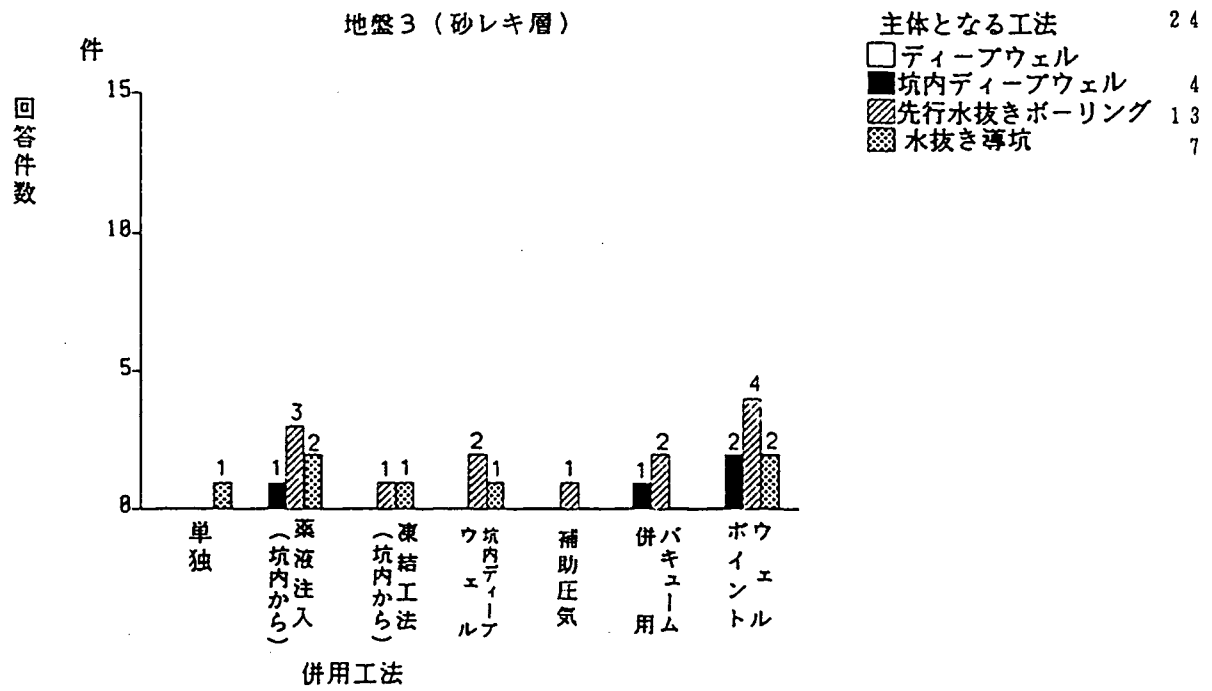


図-4. 2. 2 2 湧水に対する補助工法 (砂レキ層)

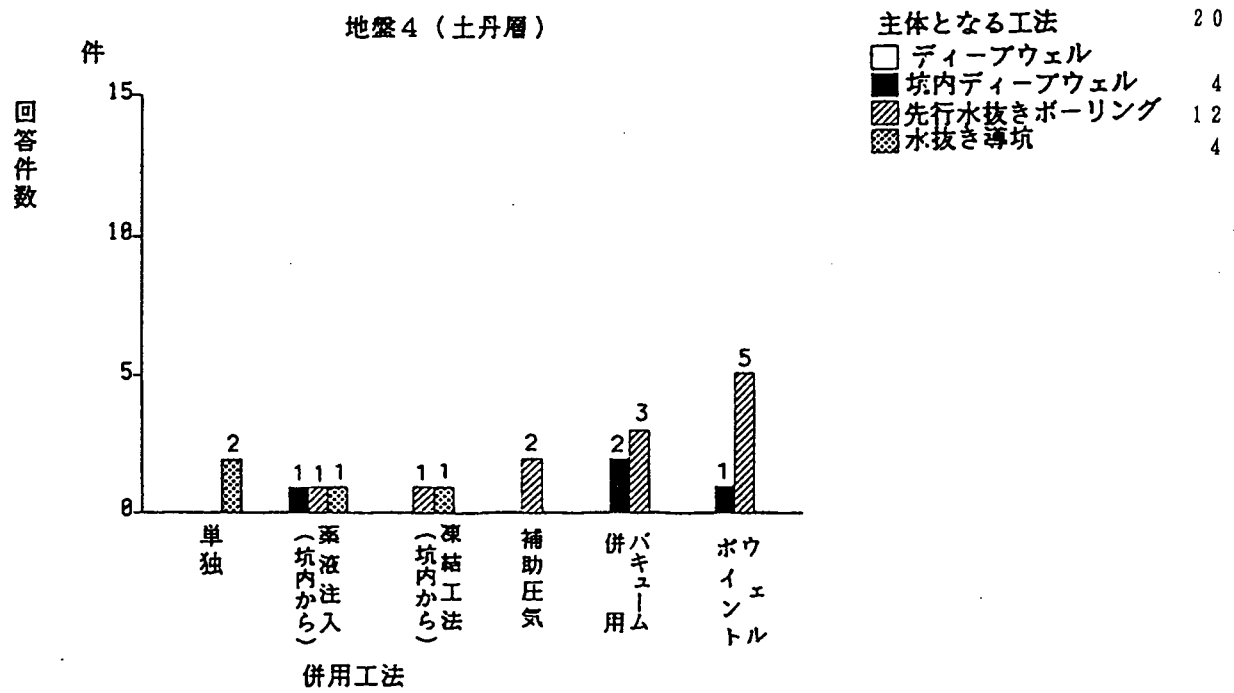


図-4. 2. 2 3 湧水に対する補助工法 (土丹層)

b-2 切羽安定のための補助工法

断面を切り拓げるに当たって、切羽安定のために最も適当と思われる補助工法の組み合わせについて地盤条件別に調査した。

なお、組み合わせが多岐にわたっているため、集計は各補助工法の採用回数にて行った。

その結果、砂質土の場合、補助工法の採用は鏡吹付け、一次閉合、フォアパイリングの順に多い。洪積粘性土、砂礫層、土丹層は、鏡吹付け、フォアパイリング、切羽ボルトの順である。他の補助工法は、砂質土では薬液注入（周辺）、ほかの地盤では一次閉合、ウイングリブが次に多い。

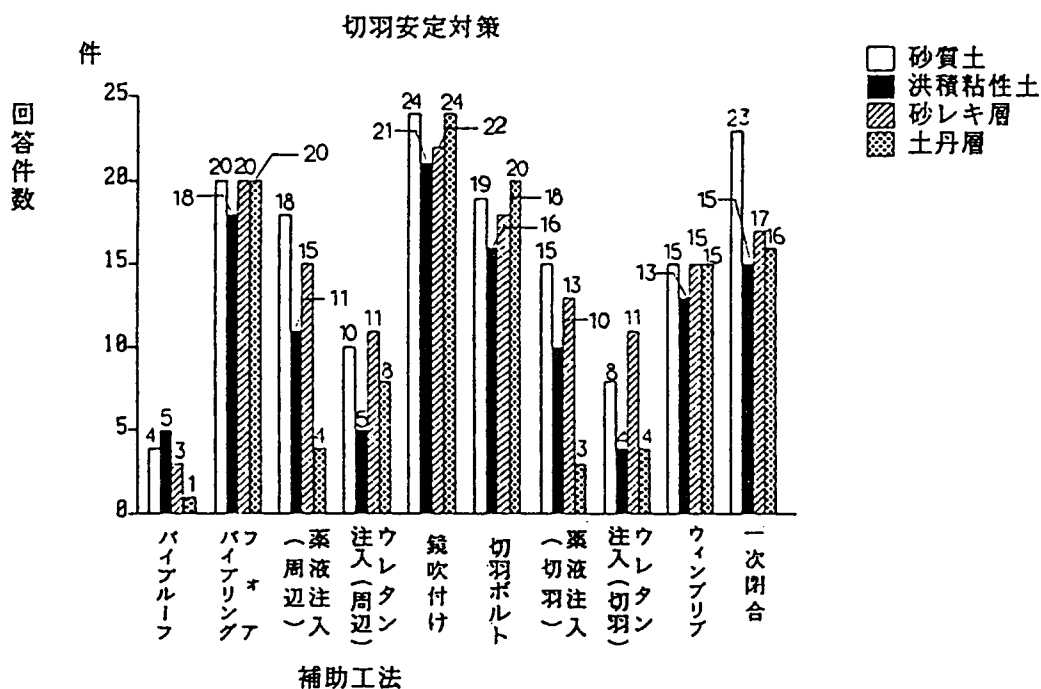


図-4. 2. 24 切羽安定のための補助工法

(3) NATMの現状技術と適用限界

NATMを用いてトンネルを施工する場合、その各要素技術に関して以下の項目について技術の現状と適用限界に対するアンケートの結果を適用限界に関する意見をあわせて示した。

①支保工

- a. 吹付けコンクリート
- b. ロックボルト

②補助工法

- a. 止水工法
- b. 排水工法

③ずり搬出技術

④自動化技術

⑤周辺構造物への影響評価測定技術

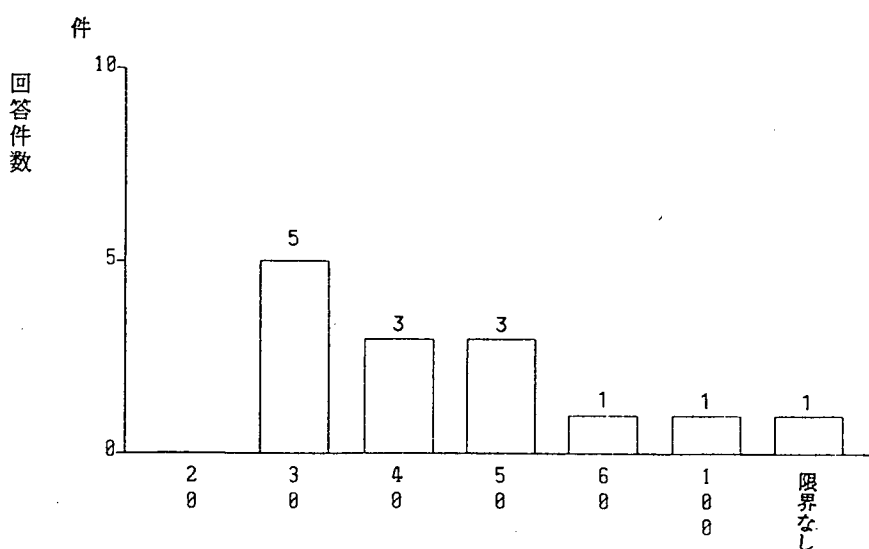
- a. 地盤変位
- b. 構造物への影響
- c. 地下水への影響

⑥二次覆工の設計法

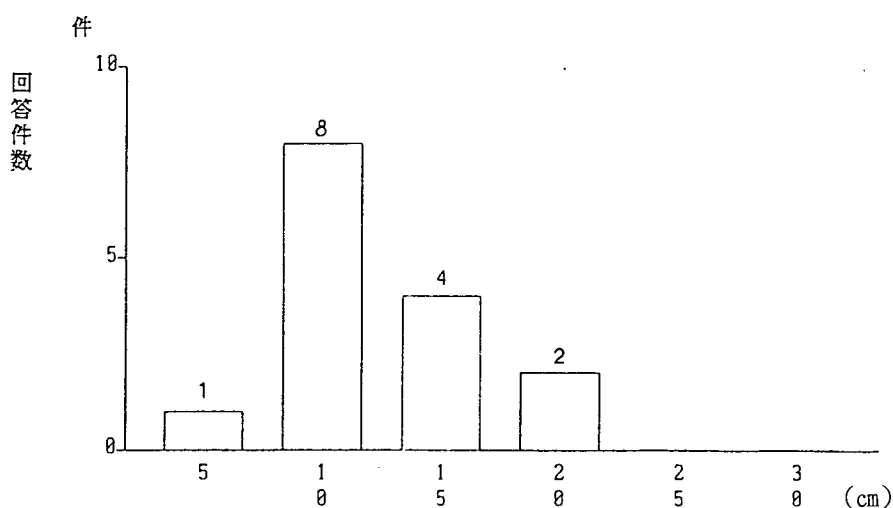
①支保工

a. 吹付けコンクリート

- 多重吹付け施工により、30～50 cmの一次支保の施工限度とする意見が多い。制限なしとの意見もあるが、経済的な面と薄肉理論から最大厚が決められるであろう。
- 一回の吹付け厚は、アーチ10～15 cm、側壁で20 cm程度でと考えられる。
- 吹付けコンクリートの施工性と湧水条件については、被圧していなければ集水処理工法を工夫して施工可能である。被圧に対して特殊な工法で施工することも考えられている。



図－4. 2. 25 多層吹付けによる最大仕上げ厚さ (cm)



図－4. 2. 26 多層吹付けによる1回当りの最大厚さ (アーチ部)

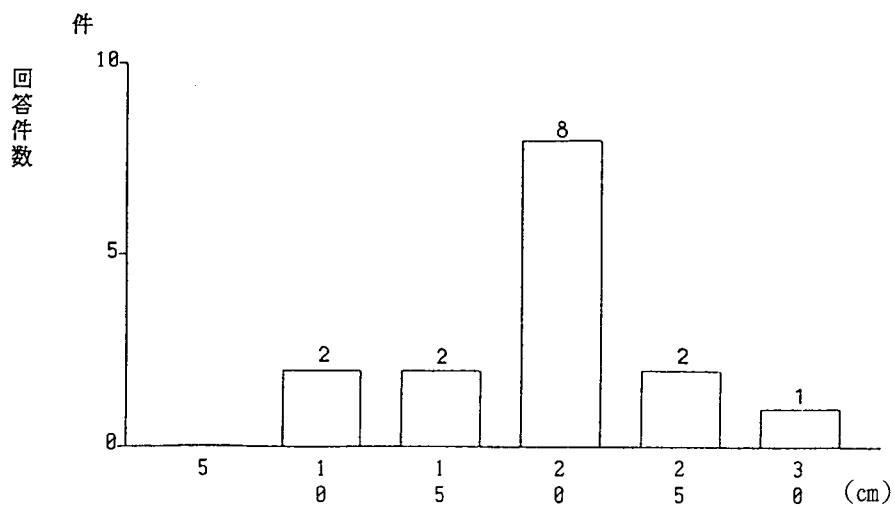


図-4. 2. 27 多層吹付けによる1回当りの最大厚さ (側壁部)

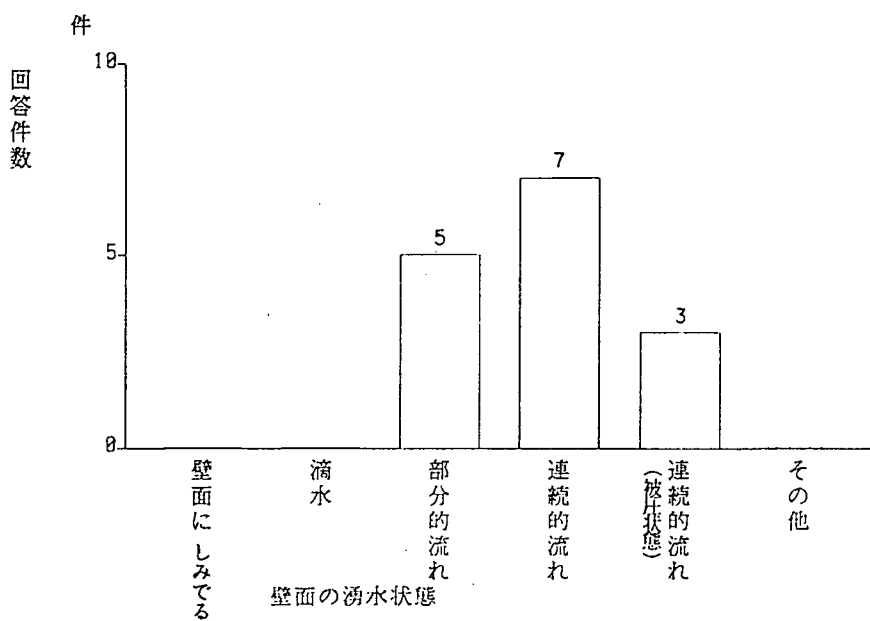


図-4. 2. 28 壁面の湧水状態

b. ロックボルト

- ロックボルトの施工長さの限度は、通常地盤条件にかかわらず、6 m程度とする意見が多い。ただし、地盤4（土丹）に対しては、かなり制約長さが緩和される。
- ロックボルトに支保効果は地盤3、4ではかなり期待されるが、地盤2（洪積粘性土）では中程度の期待、地盤1（砂質土）では評価がわかれるが、小～中とする意見が多い。

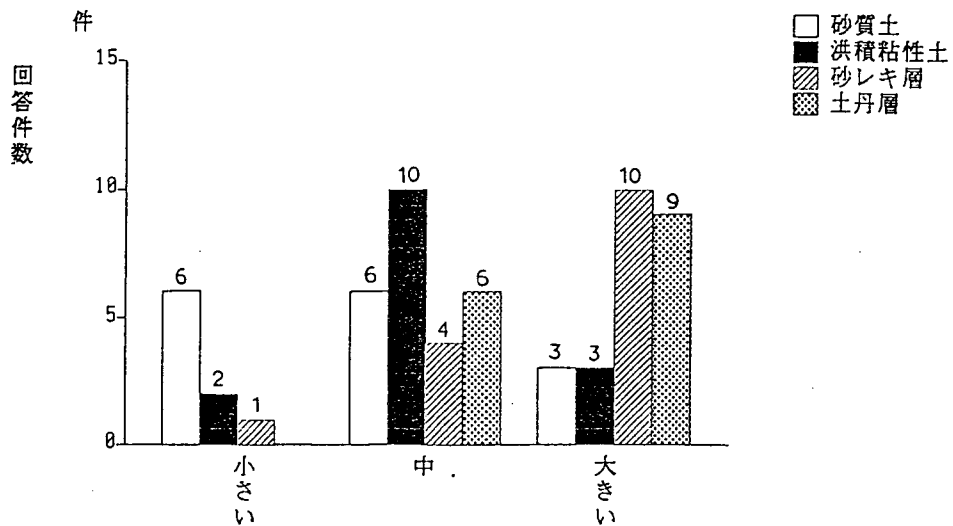


図-4. 2. 29 ロックボルトの支保効果

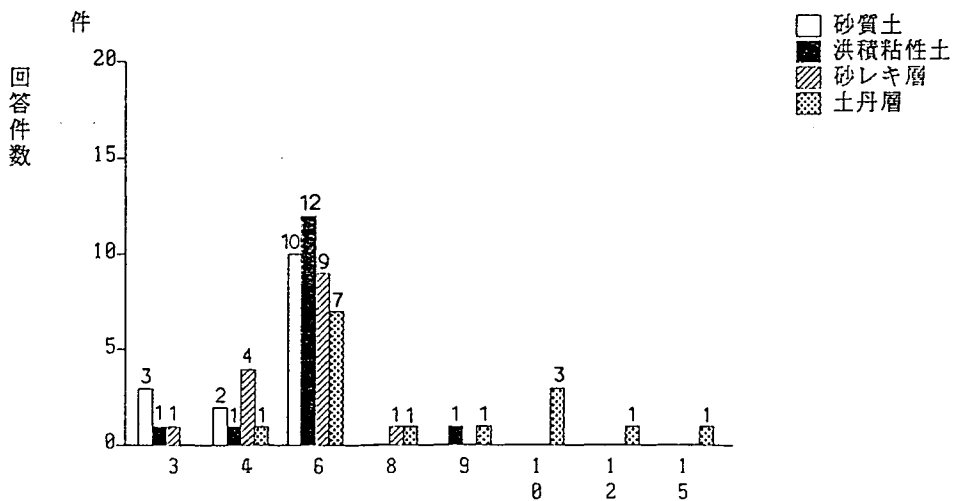


図-4. 2. 30 ロックボルトの施工限界長さ (m)

②各種補助工法

a. 止水工法

a-1 坑外からの薬液注入

坑外からの注入の限界は50m程度である。経済的条件を別にすれば施工可能な範囲は大きい。

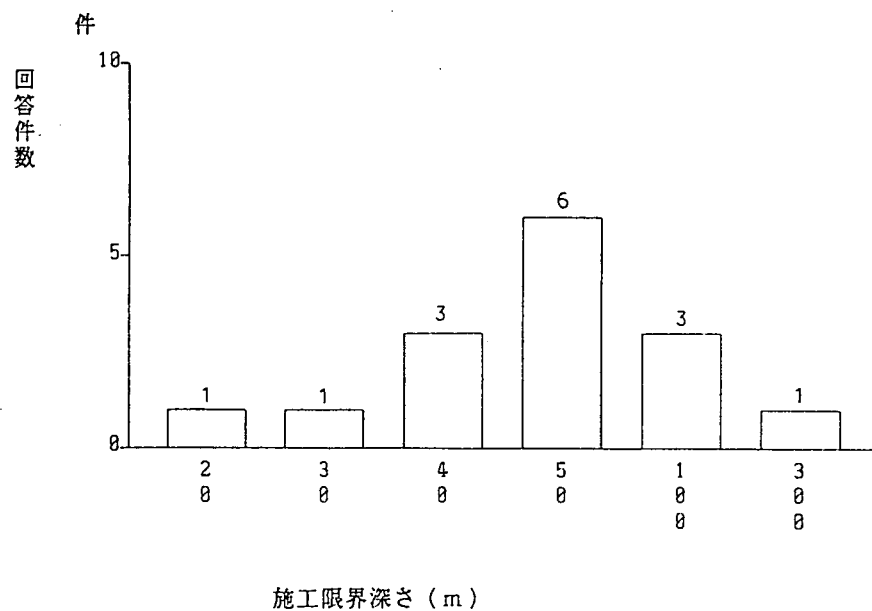


図-4. 2. 3 1 坑外からの薬液注入

a-2 坑内からの薬液注入

坑内からの注入に対する1ステージについては意見が分かれている。施工する切羽の断面積も要素として考えなければならない。

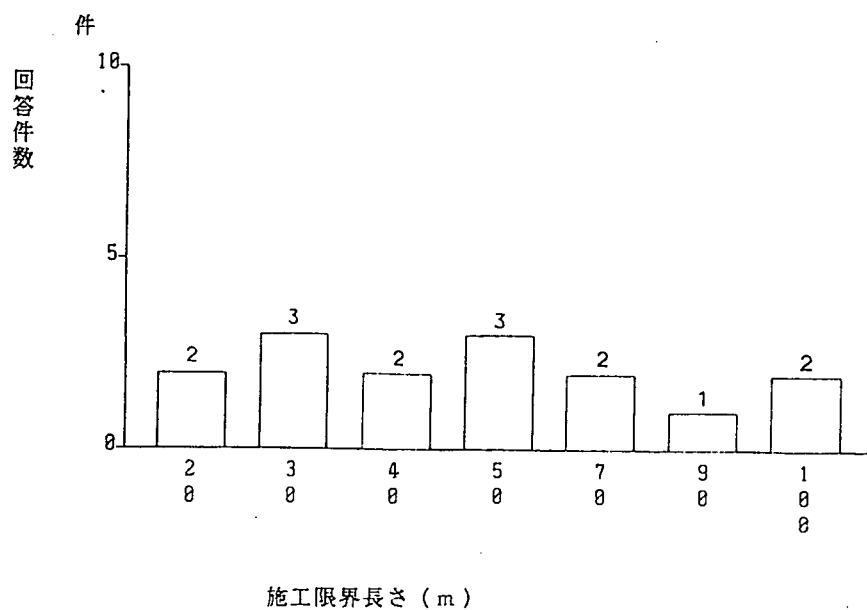


図-4. 2. 3 2 坑内からの薬液注入

a - 3 坑外からの凍結工法

50mを限界とする意見が多数である。

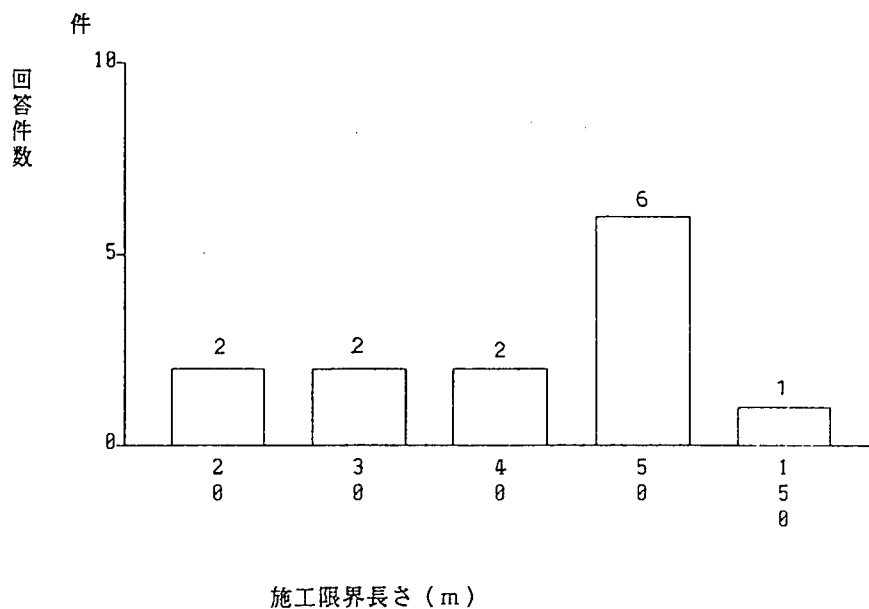


図-4. 2. 3 3 坑外からの凍結工法

a - 4 坑内からの凍結工法

坑内からも50mが限界である。

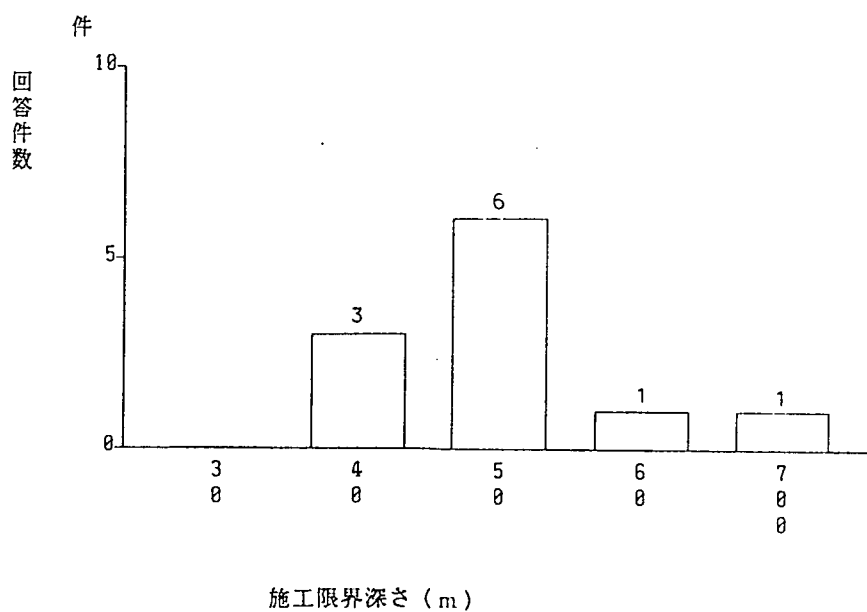


図-4. 2. 3 4 坑内からの凍結工法

a - 5 圧気工法

圧気工法では作業環境が問題である。

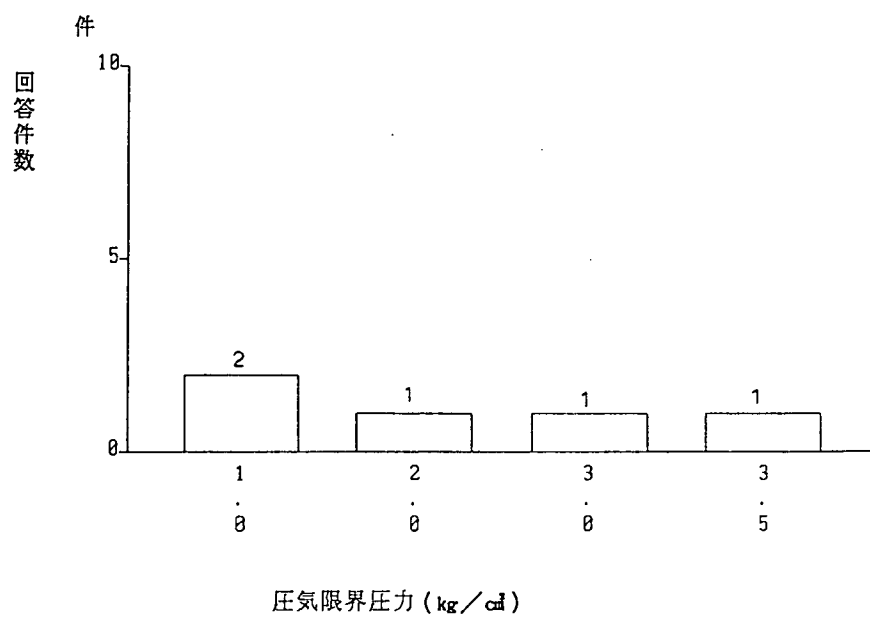


図 - 4. 2. 3 5 圧気工法

b. 排水工法

b-1 ディープウェル (図-4. 2. 21)

100mまで可能である。問題として揚水対象を特定レベルに限定できない。

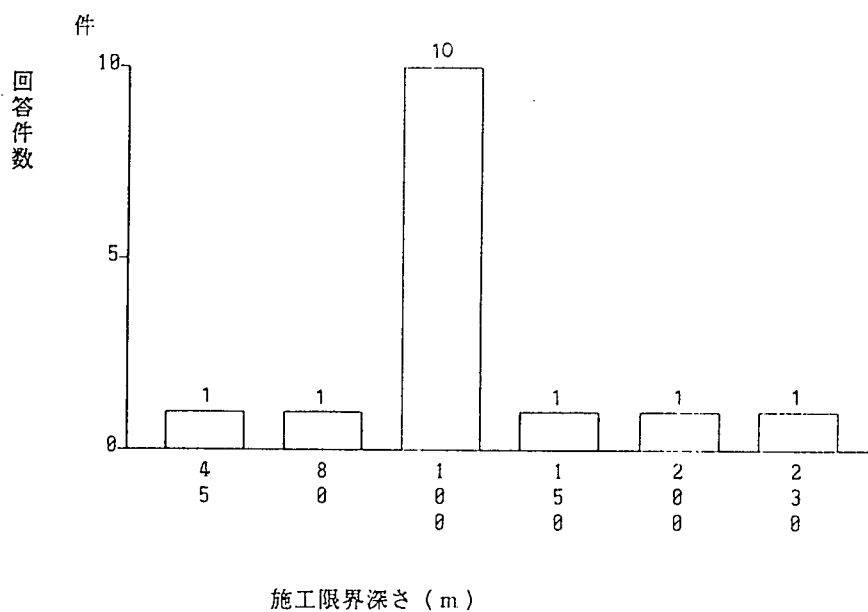


図-4. 2. 36 ディープウェル

b-2 坑内ディープウェル (図-4. 2. 22)

意見がまちまちである。施工機械のイメージが統一されていないことも問題がある。

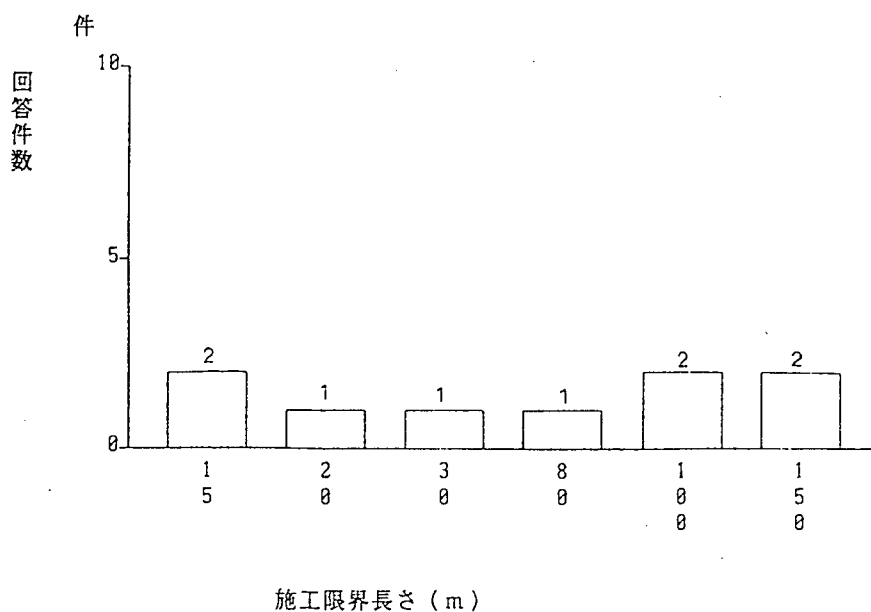


図-4. 2. 37 坑内ディープウェル

b-3 先行水抜きボーリング

200m程度は可能であるが、集水能力に不安があるとの意見があった。

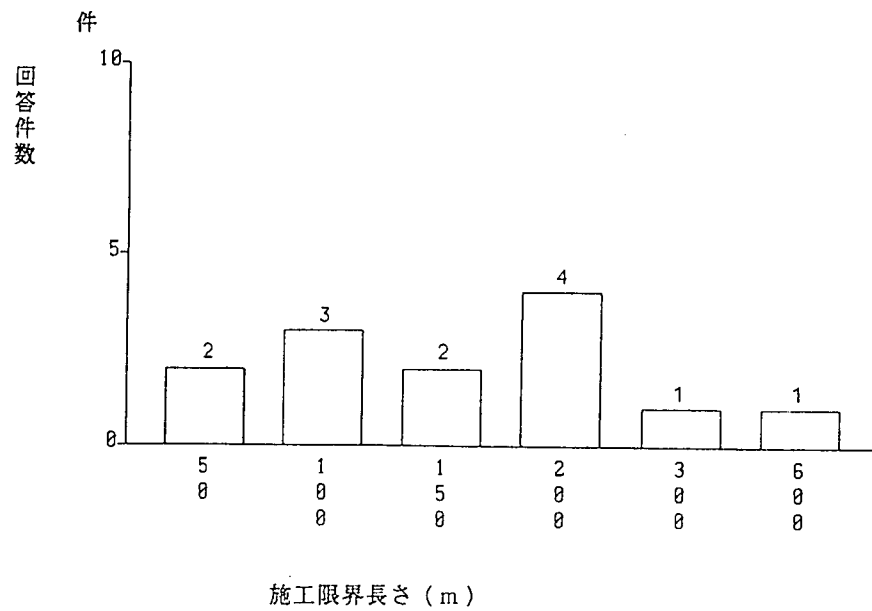


図-4. 2. 38 先行水抜きボーリング

b-4 水抜き坑

水抜き導坑自体の掘削が問題であるが、シールドで水抜き坑を施工することも可能である。

③ずり運搬技術

大深度に適用が考えられるずりの縦方向搬出技術について、現状技術とその適用限界について調査した。以下に各工法についての意見を列記する。

深さとともに作業容量が問題となり、工法の選定の要素を占めるものと思われ、新形式の開発が行われる。

a. スキップ方式

実績 $4 \text{ m}^3 \times H 300 \text{ m}$, $80 \text{ m}^3/\text{h}$

バケット形式ダブル $300 \text{ m}^3/\text{h}$ (揚程 250 m)

能力を大きくすると、巻上機および地上設備なども大きくなり、占有面積の拡大となる。

深度については、ワイヤー巻取等に限界はある。

騒音対策が必要。

b. 垂直コンベア方式

耐久性・メンテナンスおよびずりの大きさに限界がある。

実績 $B = 800 / H = 50 \text{ m}$, $100 \text{ m}^3/\text{h}$

チェーンの能力、レールの能力などに左右される。

土質によって限界を受ける。

連続ずり搬出 (バケットエレベータ) $180 \text{ m}^3/\text{h}$, 揚程 50 m

c. ずりキブル方式

実績 $3 \text{ m}^3 \times H 1000 \text{ m}$, $20 \text{ m}^3/\text{h}$

d. クラムシェルバケット方式

安全性連続施工速度などの検討が必要。

深度についてはワイヤー巻取などに限界がある。地質的には砂礫・土丹層に問題がある。

短時間で大容量の土砂搬出には限界がある。(台数の増加などの対策)

e. クレーンバケット方式

トラッククレーンなどでバケット ($0.8 \sim 1.5 \text{ m}^3$) のずりを出す場合、深度 $20 \sim 30 \text{ m}$ が横振れ防止上から限界で、それ以深の場合はバケット容量も $2 \sim 4 \text{ m}^3$ 増大させる必要があり、橋形クレーンなどにする必要がある。

f. 流体輸送方式

ポンプの能力などにより、大礫等は粉碎が必要。(配管径の $1/3$ までの礫径が搬出可能)

最大搬出量 $80 \text{ m}^3/\text{h}$, 最大揚程 53 m

深度 200 m 程度

g. 土砂圧送方式

圧送管径の $1/3$ 以上の礫は搬出不可能。

実績 $H 30$, $25 \text{ m}^3/\text{h}$

h. エレベータ方式 (カプセル方式)

大容量・高速化の開発が必要。

ダンプトラックをエレベータに載せて搬出、深さ150～200m

④自動化技術

自動化技術（掘削、ずり出し、吹き付け等）について、工程毎に現状技術とその適用限界（能力、自動化の範囲）についての結果を示す。

工程によって部分的な自動化、遠隔操作は行われているが、鋼製支保工の建込みはほとんど自動化されておらず、これらを一連の流れとする全工程の自動化施工の可能性は現工法では難しいと予測される。

a. 掘削

現状技術	掘削機械による掘削範囲の制御 自動削孔、地質の変化に対し数パターンの変化対応しか出来ない
適用限界	自動削孔システムの精度、地質変化への対応 自動断面掘削機の余掘り防止機構の実用化および全自動化 高強度の地山切削機の開発

b. ずり出し

現状技術	オペレータによる直接運転 ずりトロ列車の無人化は、現状技術で可能である。 無線バッテリーロコがあるがトラブル時の対応が難しい
適用限界	ずり出しの自動化はカプセル方式、流体方式では十分可能である。

c. 吹き付け

現状技術	遠隔操作の領域を越えていない。
適用限界	吹付け厚さを一定に保って施工できるロボットがない。 吹付けコンクリートは鋼製支保工の建込みと連動することから不可能（スリップフォームによる巻立て、押し出し式コンクリート工法の開発）

d. 鋼製支保工

現状技術	ほとんど自動化されていない。
適用限界	組立ての自動化が困難 支保工建込みの自動化までを目標 ボルト接合に変わる接合方式と位置設定方式

e. その他

ロックボルトはほぼ自動化されている。しかし、特定の地山にしか適用出来ない。
自動換気システムの開発が必要。

⑤周辺構造物への影響予測，評価方法

a. 地盤変位の予測と評価

N A T Mの掘削に伴う地盤変位を予測，評価する方法について現状技術と適用限界およびその理由について調査した。

解析についてはモデルの創出が，また計器の設置についてはボーリングの能力と精度に限界が存在すると思われる。坑内内空変位の自動測定技術が開発されていない。

表－4．2．1

項 目	適用限界	理 由
F E M解析	傾向・目安程度	解析モデル、解析方法、入力物性値の一義的な設定が困難
地表沈下計 傾斜計	設置範囲	影響範囲が広範なため、レベル測量が必要。 温度による膨張の補正、広範囲な測定には不敵
層別沈下計	地表から 40-50 m	実績を参考
地中変位傾斜 計	ボーリング 精度によ る限界が異なる	ボーリング精度（孔荒れ、角度）と測定精度より定まる。 プローブの出し入れ、ケーシングの設置深さによる限度がある。 挿入式の場合は、パイプ内での状態が一定でなく、こまかい精度において問題がある。とくに水平孔でのボーリング精度に問題がある。
地中変位計	坑内では15-40m	施工性（切羽作業の競合）と削孔能力より削孔精度、計器設置の確実性
内空変位測定	測定の自動化	0.1 mm程度の精度で距離測定する方法なし。
天端沈下測定	測定の自動化	高精度（0.1 mm）で自動測定する方法なし。

b. 構造物への影響の予測と評価

NATMの掘削に伴う構造物（建物、基礎、地中埋設物等）への影響を予測、評価する方法について現状技術と適用限界およびその理由について調査した。

測定範囲の設定が難しいこと、決定的な解析手法を模索している段階である。大深度では長期監視の組織体制等も問題になるであろう。

表-4. 2. 2

項 目	適用限界	理 由
FEM解析	傾向・目安程度	解析モデル、解析方法、入力物性値の一義的な設定が困難。
沈下計	設置範囲	影響範囲の確定が難しい。
傾斜計	直接取付	直接取り付ける必要がある。
地中レーダー	地表10-20 m	精度に問題あり。
地中変位計 ひずみ計 亀裂計 間隙水圧計		(とくに限界に関する意見は無かった。)

c. 地下水への影響の予測と評価

N A T Mの掘削に伴う地下水等への影響を予測，評価する方法について現状技術と適用限界およびその理由について調査した。

測定範囲の設定が困難である。広範囲な測定区域の設定が難しい。

表－4．2．3

項 目	適用限界	理 由
水位計	ボーリング深度 設置範囲 測定の自動化	ボーリング精度上の制約、施工機械の能力。 広範囲にわたる影響範囲を網羅できるような計測が難しい。 簡易な自動計測法の開発が必要。
間隙水圧計	水平方向の精度	水平孔での設置が困難である。 水平孔内に設置したものは被圧水圧しか測定できない。
F E M解析	傾向・目安程度	解析モデル、解析方法、入力物性値の一義的な設定が困難。
比抵抗測定	設置範囲	

⑥二次覆工の設計

NATMの二次覆工の設計法について、二次覆工を考慮した設計法を採用した実績について調査した。

未収束の変形、グラウト圧など一時の荷重に対して配慮したケース、長期荷重としては水圧、活荷重等荷重の一部を限定した負担分を計算しているが、係数を小さくして全土圧の載荷を考慮した例もある。

a. 東北自動車道・折爪トンネル

当トンネルは、延長2300mの道路トンネルで、地質は、当初の地質調査の予想に反して膨圧、湧水に遭遇し、従来の矢板工法から、NATMに変更したが、膨張性地山特有の壁面変位がなかなか収束しなかった。そのため鋼繊維補強コンクリートの二次覆工にて未収束の地山変位に対処した。

b. 北神急行電鉄・北神T第3工区

複線鉄道断面（58㎡）NATMである。将来腐食等の影響により、打設したロックボルトの耐力が減少することを想定して、NATM支保設計時にロックボルトが受け持つ荷重を二次覆工に作用させて計算した。

c. 成田空港トンネル（第8工区）

発注者 国鉄第一工事局

施工時期 S. 54. 7 - 56. 3

地質 洪積シルト・粘土・砂層

掘削断面 136㎡

土被り 5 - 7m

施工方法 サイロットNATM

荷重条件 上載荷重（飛行機牽引車）60t/㎡を考慮

二次覆工にW鉄筋を入れた。

d. 農水省・合所ダム（フィルダム）堤礎下ギャラリートンネル

コアおよびダム本体の築立荷重およびグラウト圧にたいするため、二次覆工を考慮して、全体強度を設計した。

e. 大網第二トンネル

ウォーター・タイト・トンネルであり、ダム洪水により作用する水圧が大きいため、鉄筋コンクリート構造とした。

f. 横浜市高速鉄道三号線篠原工区

複線断面（覆工厚 50cm）と単線断面（覆工厚 30cm）について、骨組解析を実施した。土厚は緩み高さ = $0.5 \times (\text{トンネル幅} + \text{トンネル高})$ とし、側圧係数を0.5にした。地盤圧力係数は土丹であることから20kg/㎡とした。計算の結果インバートも含め、複鉄筋補強が必要であった。

4. 2. 2 NATM建設技術の課題

NATMの適用限界からも推察できるが、地下空間利用技術開発のうえで必要なNATMの課題を調査結果から掘削工法、要素施工技術、施工および管理システム、設計についてとりまとめる。

(1) 掘削工法に関する技術課題

①排水工法

排水工法に関する全般的な技術課題としては、排水の技術的改良が11件あるが、排水工法採用時の周辺への影響に関する技術課題が9件と集中していることが注目される。

重要な意見を以下に示す

a. 周辺に与える影響対策

排水に伴う地盤置換対策（リチャージ工法等）の対策工法。

水抜量、水圧低下、地表への影響等の事前予測技術の開発。

b. 限定排水技術

砂質系の地山では、トンネルあるいは切羽周辺のみ限定排水ができる技術が必要。

不透水層と互層の場合の限定排水。

c. 排水処理能力向上

深度の深い場合の排水を短期間に処理する方法の確立。

大揚程、大容量ポンプの開発。

d. 水抜導坑施工法の開発

地表から排水する工法は、深度40m程度が限度である。これ以深については、導坑等で排水を計る必要がある。（水抜きトンネルの施工法の開発）

坑内から地下水を短期間に排水し、地下水圧を低下させつつ、切羽を進める工法。

e. 水抜きボーリングの改良・開発

水平水抜き工（長尺1=100-200m）削孔、フィルター等の開発。

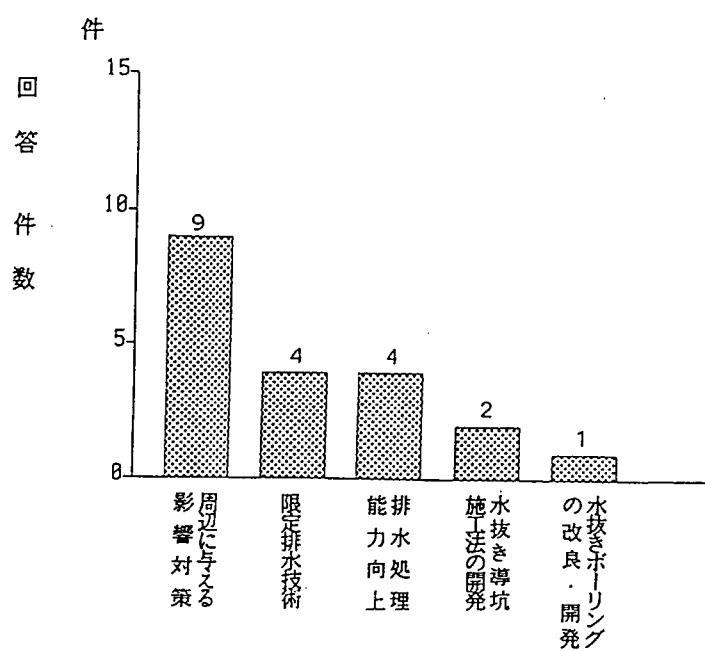


図-4. 2. 3 9 排水工法に関する技術課題

②薬液注入工法

薬液注入工法の全般に関しては、注入材料の開発を課題とする意見が多い。次いで注入範囲の限定、効果の確認、工法の改良があげられる。(図-4. 2. 40)

なお、注入の施工も坑外・坑内に分けた設問では、坑外では施工性(精度, 能力)の向上が多く指摘されたが、坑内からの注入では施工機械の改良, 開発および高圧限定注入技術の確立が必要とされている。

a. 注入材料の開発

浸透性にすぐれ, かつ高強度, 安価な注入材料の開発。

長期の耐久, 止水効果の高い注入材料の開発。

高圧で脈流リークしない材料, ゲルタイム調整が可能でホモゲル強度を高く有する材料。

環境坑外上, 全く問題のない材料。

b. 注入範囲設定・効果の確認方法

注入範囲の設定法, 注入効果の確認方法。

地山条件(粒子, 透水係数等)と工法(圧力, 材料, 浸透範囲等)の相関性の解明。

c. 注入工法の改良・開発

坑内作業に適した機動性の高い機械の開発。

高被圧下でも注入できる機械・薬剤の改良, 均質な効果と信頼性の向上。

工費の低減。

切羽の進行と並行して, 坑内から切羽周辺に注入可能な工法。

d. 環境対策

浅い地盤で薬液浸透を図るための高圧注入と地表浮き上がり防止。

注入材料による汚染の防止。

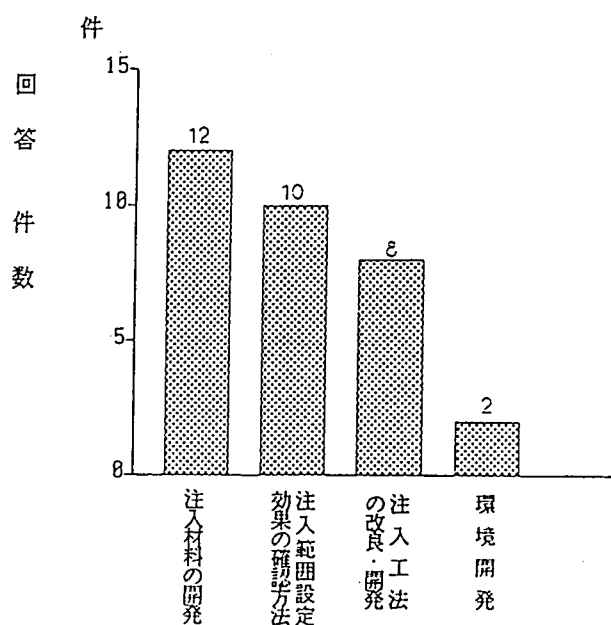


図-4. 2. 40 薬液注入に関する技術課題

③凍結工法

凍結工法の技術課題は、工費の低減のほか施工管理の問題があり、坑内施工の場合、設備のコンパクト化と高水圧対策が問題として指摘される。

a. 工費の低減

b. 凍結・融解時の影響評価

凍結・融解の施工管理、周辺環境の影響評価。

解凍時の地盤強度低下のコントロール技術。

c. 設備のコンパクト化

坑内作業が可能な設備機器の計量、コンパクト化。

d. 工程サイクルの短縮

凍結・融解に要する時間の短縮。

e. 地下水流に対する対策

地下水が流速をもっている場合の前処理方法。

f. ボーリング精度の向上

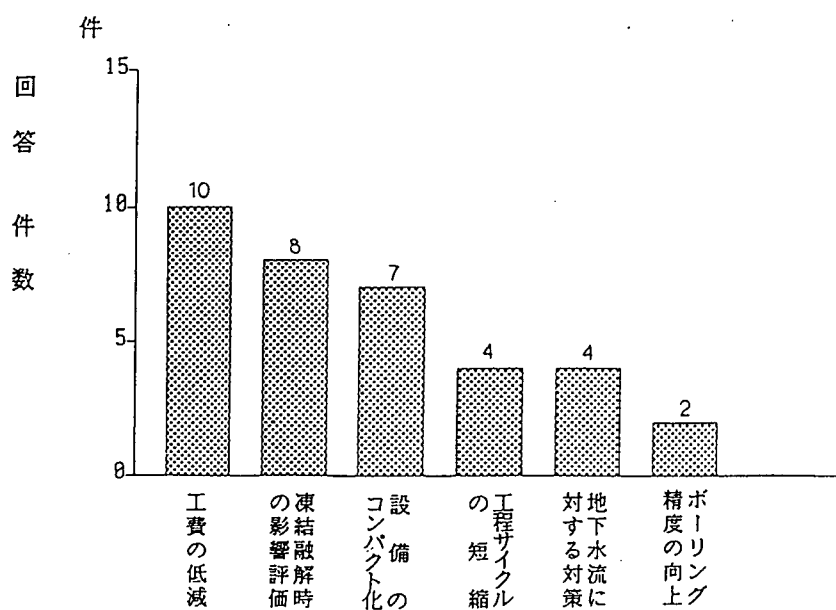


図-4. 2. 4 1 凍結工法に関する技術課題

④断面切上げ拡大工法

分割施工に際して断面切上げ拡大工法については、合理的な分割形状と施工手順を地盤条件に応じて確立することと一次覆工に関する技術課題が指摘される。

a. 分割形状・施工手順の確立

変形を最小限におさえるための分割形状・施工手順の確立。

b. 一次覆工技術の開発

支保工の接続方法の工夫。

一次閉合および補強部の取り壊しの効率化。

吹付けコンクリートの迅速施工。

一次支保材の軽量化。

支保工と吹付けコンクリートの一体化・水密性の向上。

c. 補助工法技術の開発

長尺パイル（大口径）の組み合わせ。

水平地中連続壁。

切羽でのロックボルト、フォアパイリング工の施工法の向上。

パイプルーフの曲線施工の技術開発。

流砂現象地質の対策技術の開発。

止水・排水方法の技術開発。

d. 施工機械の開発

断面形状の変化に対応する施工機械の開発と施工のシステム化。

小径シールドの組み合わせ。

特殊断面型多機能シールドまたはT. B. M。

e. 数値解析技術

大断面掘削技術の理論的解明。

f. 二次覆工技術

二次覆工の迅速化。

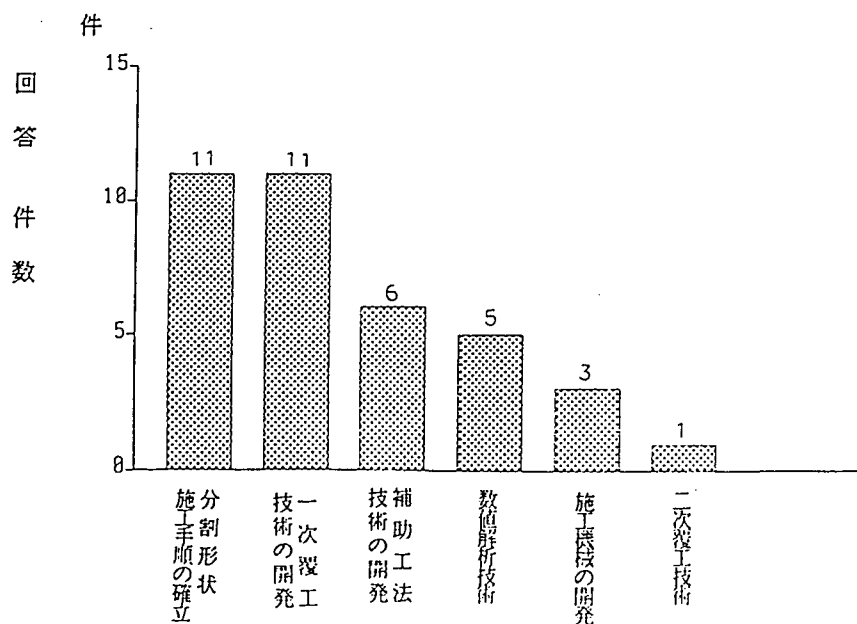


図-4. 2. 4 2 断面切掘り拡大工法の技術課題

⑤圧気工法

圧気工法は大深度では完全無人の自動化を図るかもしくは排水工法との併用での技術開発から考えられる。

圧気を適用した場合の作業ロボット、高被圧下での圧気工法単独の適用は困難であり排水工法との組み合わせが必要である。

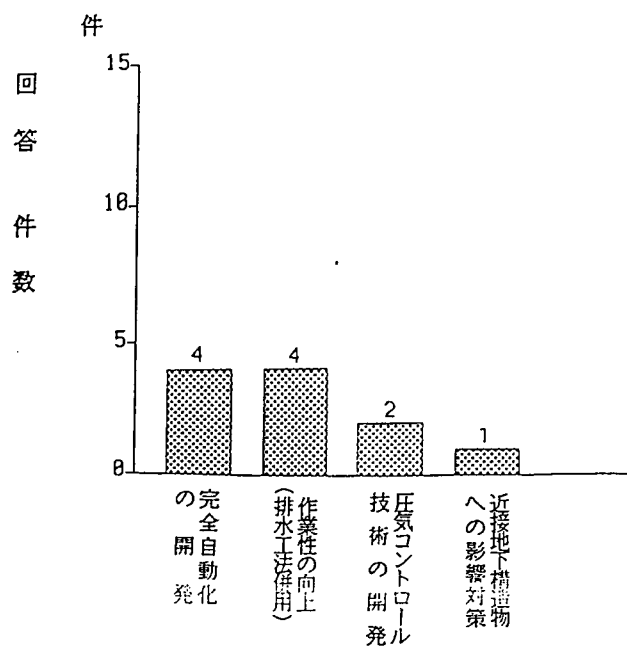


図-4. 2. 4 3 圧気工法の技術課題

(2) 要素技術に関する技術課題

①コンクリート吹付け工

コンクリート吹付け工に関しては、作業環境の改善が最も大きな課題であるが、材料の開発により環境・湧水等にも適合し、品質の高い施工を可能とする材料開発への期待も大きい。新工法や完全自動化の開発を指摘する意見もある。

a. 作業環境の改善

作業環境向上のための粉塵低減技術の開発。

効率的な換気システムの採用。(換気量の増加も含む)

大断面確保するための導坑など施工時の作業環境の確保。

b. 材料の改良・開発

高い剛性・じん性を有する吹付けコンクリートの開発。

高強度の材料。(スチールファイバー、シリカフュームの併用)

水密性の高い吹付けコンクリート。(一次覆工としての構造体の水密性向上)

付着力を向上させた吹付け材料。

c. 湧水部の吹付け工法の開発

湧水部への吹付け工法の開発。

水処理技術の開発。

d. 一次覆工の新規開発

吹付けコンクリートにかわる一次コンクリートライニング工法の新規開発。

e. プラント設備の合理化

坑内コンクリート製造プラントのコンパクト化、大量生産化、大量吹付け。

都市部大深度としてバッチャープラント不要の吹付けシステム。

f. 吹付けの完全自動化

g. その他

吹付けコンクリートの支保、メカニズムの再検討ー掘削面と吹付けコンクリートが分離した場合、地下水位以下の場合。

低圧吹付け工法。

②ロックボルト工

ロックボルトに関しては、打設機械の改良と材料開発が主であるが、設計におけるロックボルトの評価の研究の必要を指摘する意見もある。

a. 施工機械の改良・開発

ロックボルト打設機械の効率化

含水比が高い土砂山でも穿孔が可能な機械の開発。

マルチ削孔機の開発。

削孔機の小型化

地山掘削とボルト打設工の並行可能な機械の開発。

b. 定着材の開発

長尺ボルト、高被圧水での定着材、てん充技術と材料の開発。

c. 安価な自穿孔ボルトの開発

d. ロックボルトの設計手法

地山自体が軟弱な場合のロックボルトの有効性。

ロックボルトの長さについて、長尺とするか、短尺とするかの判断。

e. 先行ゆるみ防止技術

大断面におけるロックボルト作業時間増大に伴う地山先行ゆるみ領域拡大防止対策。

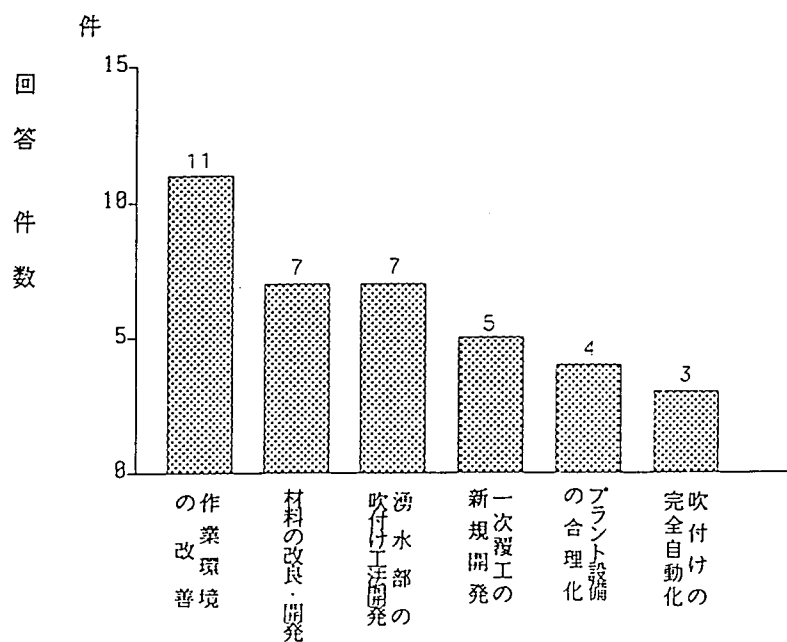


図-4. 2. 4 4 コンクリート吹付け工に関する技術課題

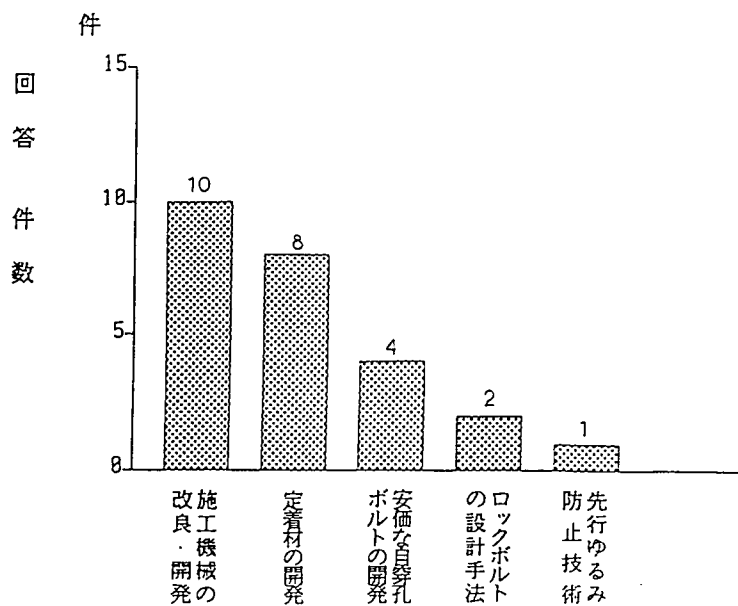


図-4. 2. 4 5 ロックボルト工に関する技術課題

③補助工法

NATMに用いられる補助工法を大深度・大断面に適用することを念頭において、所要の技術課題を調査した。個別の補助工法について指摘された技術課題を項目別に分類して示す。

a. ディープウェル

周辺への影響の予測と対策

施工能率、精度の向上

限定水抜き工法の開発

地下水流動解析

ウェル本数の適性配置

b. 坑内ディープウェル

機械設備の縮小化

斜・水平方向の開発

ストレーナ部の開発

c. 先行水抜きボーリング

孔壁崩壊防止工法の開発

長孔穿孔技術の開発

効果的な集水方法の開発

周辺への影響予測

設計方法の開発

d. 水抜き導坑

導坑施工時の施工性

コスト低減

シールド工法の採用

導坑の維持方法

e. パイプルーフ

坑内施工可能な機械の開発

長尺の高速・高精度施工

コストの低減

地下水位下での施工

アーチ方向継手の開発

アーチ型パイプルーフの開発

支保効果の確認方法

パイプ間注入

f. フォアパイリング

注入式フォアパイリングの改良・開発

孔壁崩壊防止削孔技術の開発

注入式自穿孔ボルトの改良・開発

削孔機と注入剤の改良・開発

機能の理論説明, 支保効果の確認

高圧噴射工法の開発

g. ウレタン注入

コストの低減

無公害性の確認

注入材料の改良・開発

理論的説明

h. 鏡吹付け

随時吹付け可能な機械の開発

低粉塵高能力技術

早強性能の向上

作用効果の解明

湧水対策

i. 切羽ボルト

コストの低減

材料の改良・開発

作用効果の解明

掘削作業と平行可能な機械の開発

ロックボルトの技術開発と同じ

j. ウイングリブ

効果の確認と作業性の確認

つば掘り作業の危険性除去

脚部地盤改良の併用

k. 一次閉合

支保工の接続方法改善

ハツリ作業の簡便化

閉合材料の検討

理論的説明

隅部巻き込み部への後処理方法

l. その他

C C P 施工機械の開発

④新工法を含むその他の技術課題

主要な項目を以下に示す。

a. 先進導坑掘削技術

切羽安定対策のため、各種補助工法（排水工法、止水工法等）が必要である。これら補助工法を穿孔施工すつために先進導坑が効果的である。先進導坑掘削のための機械の開発が望まれる。

b. 一次覆工技術の向上

湧水面での吹付けコンクリート工法

湧水孔に定着可能なロックボルトの開発

c. 影響予測の解明と評価

空洞周辺地盤のひずみや応力状態の計測と設計・施工へのフィードバックシステムの確立と周辺部への影響予測の解明と評価。

d. 高速施工技術と自動化

地表設備との効率の良いアクセス方法。

NATMでの高速施工技術の開発、工法全体の無人化、システム化。

水中施工法の研究。

e. その他

ウォータータイト・トンネルとしての水密性の確保。

坑内からの作業が可能で、止水壁または止水膜を造成する新工法の開発。

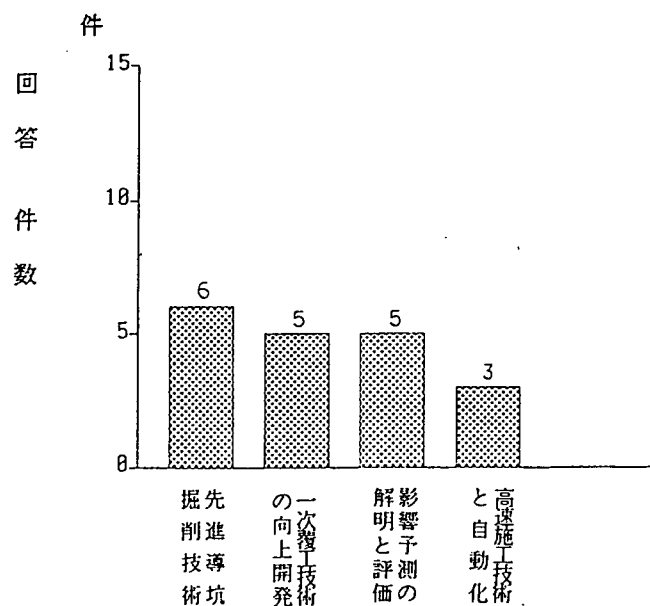


図-4. 2. 4 6 新工法を含むその他の技術課題

(3) 施工および管理システムに関する技術課題

①ずり搬出

ずり搬出技術についての課題として主要意見を各工法毎にまとめて列記する。

- a. スキップ方式, ずりキブル方式
 - ・ロープの安全率をクリアできる新素材の開発。
 - ・高速, 高揚程ウインチの開発。
- b. 垂直コンベア方式
 - ・高揚程コンベアの開発, 高性能化。
 - ・延長コンベア (スペースコンベア等) の技術の開発。
- c. 流体輸送方式
 - ・スライムの処理技術の開発。
 - ・高圧, 高揚程圧送ポンプ, シールの開発。
- d. 土砂圧送方式
 - ・大容量, 長距離, 圧送ポンプの開発。
- e. 共通
 - ・連続・高速・簡便なずり搬出システムの開発。
 - ・縦坑坑口からずり捨て場までの運搬方法。

②自動化

自動化技術についての課題として主要な意見を列記する。

- a. 自動化システム
 - ・シールドに匹敵するような掘削から覆工までの自動施工システムの開発。
 - ・完全自動化, ロボットの導入による経済効果を明確にする。
 - ・各種センサー, 制御機構 (耐久性, 精度) の開発。
- b. 掘削
 - ・トンネル形状に合わせた自由断面掘削機の開発。
 - ・土丹・土砂混在ずりの掘削機の開発。
- c. ずり出し
 - ・流体輸送の場合の大径レキの処理。
 - ・ずり出しにおける安全を確認する人工知能およびこれと連動した機械システムの開発。
- d. 吹付け
 - ・吹付け仕上がり面の自動検地センサーの開発。
 - ・無粉塵吹付けコンクリートの開発。

③地盤変位の測定

地盤変位測定についての課題は, 計測技術と解析技術に大別される。

主な意見を列記する。

a. 計測技術

切羽前方の変位（先行変位）測定システム。

大深度地下掘削における地表からの計測方法。

地下水の微小流動測定機器の開発（間隙水圧変化測定機）。

相対変位ではなく、絶対変位を検出するシステム。

切羽前方を事前予知するための地質調査法の開発（ジオトモグラフィーの応用）

都市での施工を考慮し、初期の段階では、工事竣工後も長期にわたる測定が必要。

b. 数値解析技術

入力物性値、地盤モデル（非線型性、非連続体、時間依存性等）解析システム。

連続自動記録が可能なシステムおよびコンピューターによる即時解析システム。

地盤特性との対応、初期データからの予測方法の確立。

地下水の三次元的解析、予測手法の開発。

④構造物への影響測定

構造物への影響測定の技術課題として計測、管理手法、解析の3項目につき、主な意見を列記する。

a. 計測技術

杭、埋設管など直接計測できない地中構造物に対する測定方法の開発。

地中構造物の位置測定方法の開発。

対象構造物の現状の応力状態の測定方法の開発。

自動化、省力化された計測システム。

地表よりの地中探査により大深度までの地質調査可能な機器の開発。

坑内よりの前方地質予知技術の開発。

b. 管理基準値の設定評価技術

構造物の形状、構造、基礎形式等により被害程度は相違するため、管理基準値の設定、評価技術が重要。

c. 数値解析技術

過去の事例の逆解析の実施と解析技術の高度化。

施工手順と構造物影響について過去の事例による定量化。

ゆるみ、すべりなど定性的には認められているものの、定量的評価の難しい問題に対する取り組み。

⑤地下水等への影響測定

地下水等への影響測定の技術課題としての主な意見を列記する。

a. 計測技術

広範囲の地下水流の方向、流量の計測方法の開発。

層別および被圧層の地下水圧の計測方法。

透水係数の把握。

多点式水位計の開発。

大深度の場合、特に縦方向の地下水の連続性、不連続性あるいは相関性が問題になるので、これらの水圧（水頭値等）の連続同時観測システム。

b. 数値解析技術

入力動性値、解析モデル、地盤モデルなどの評価技術。

地山挙動と地下水挙動との連成解析技術。

許容残留水圧の予測方法。

局所的な情報から全体を把握する手法の開発。

c. 水環境の研究

局所的地下水低下問題をあわせて、広域的地下水脈の変動問題の研究。

エコロジー問題に取り組む。

d. 水を抜かない施工技術

構造物の施工中、完成後の地下水の挙動を観測することも大切であるが、まず水を抜かないような施工（ウォーター・タイト・トンネル）の検討が必要である。

（4）設計に関する技術的課題

設計についての課題として主な意見を列記する。

a. 設計荷重の決定

設計荷重の決定（水圧、側圧係数の把握、周辺岩盤ライニングの評価等）

b. 合理的設計形状の決定

c. 覆工のモデル化

施工ジョイントがある場合の覆工のモデル化。

吹付けコンクリートの関係（合成ばり、連続ばり）

d. 地盤反力係数の決定

e. 土圧の経時変化（クリープ）による影響。

f. 耐久性の検討

インバートの半径を小さくすると曲げモーメントは小さくなるが、施工数量が多くなる。

g. 安全率の考え方

(5) 技術課題のまとめ

NATMの現状技術の限界と技術課題に関するアンケートより、今後、大深度大断面の地下空間構造にNATM技術の拡大適用を図るにあたって開発すべき技術の開発の方向を示すことができる。これらのうち総合的、かつ重要な課題を要約する。

掘削工法全体についていえば、NATMを適用して高水位・未固結地山を対象に掘削するための施工条件として、切羽の自立が保証されなければならない。切羽安定のための補助工法として効果的な排水・止水あるいは地盤強度の増加工法に関する施工技術の改革があげられる。大深度地下の工事において排水を主とする方法は、その影響範囲が広域に及び、また長期に影響が拡大するため一般的ではないが、特定深度区間または地下の特定地層間の水を限定して排出する工法も概念として考えられる。薬液注入工法は現状技術の延長として工法の進展を期待する向きも大きい。浸透性・限定注入効果・強度・耐久性または透水性の改良などの目的に適する薬液の新材料開発および長尺施工において施工精度の良い、高能率、小型設備の出現が望まれている。また、凍結工法に着目し設備のコンパクト化、凍結サイクルの短縮、長尺施工の精度向上等によってコストの低減を期待する向きも多い。

大深度・大断面の合理的施工に不可欠な技術として前方予知技術があり、簡易な手法で以下に前方の地質情報を得る手法および的確に評価・解析する技術が必要とされる。

また、トンネルの施工が深部に及ぶに連れて、地中変位や構造物に対する影響範囲が長期にわたり拡大すると思われ、的確な環境影響評価技術として、長期・広範囲の自動計測および環境影響の予測・評価技術が必要とされる。

安全で経済的な掘削工法を確立するためには切羽の安定性を的確に評価できる設計、解析手法の開発が必要である。一次支保工については複雑な地山条件と、ロックボルト等の支保部材や逐次掘削により断面を拡大する工程を的確に表現できる設計、解析モデルを確立することも重要であると言える。また、大深度・大断面トンネルの二次覆工の設計に関しては、完全な遮水構造として高水位下のトンネルに作用する土水圧等、作用荷重の的確な見積りが重要であって、ジョイント構造や二重シェル構造等を的確に評価出来るモデルの設定が必要となる。

4. 3 シールド工法

4. 3. 1 シールド工法の現状

シールド工法は、1818年イギリスで発明されて以来170年余が経過し、また我が国にシールド工法が導入されて以来、70年余が経過している。

当初は特殊工法として、一部に用いられるのみであったが、昭和30年代以降、都市の地下鉄、上下水道、電力用洞道に用いられるようになってからは、工事量が急増している。これに伴ってシールド技術も急速に進歩し、近年では、世界をリードする迄に至っている。

近年のシールド工事の実績（使用目的別）によれば、下水道工事を中心に土被りは20m迄、トンネル外径は、8m以下がほとんどを占めている。

しかし、近年都市地下空間の有効利用推進の機運が高まり、地下道路や地下河川等の大深度、大断面、長距離トンネルに対する新しいニーズが生まれてきている。

これら新しいニーズに対応するシールド技術の現状についてアンケート調査をもとに整理した。

整理は、① シールド機械、② セグメント（一次覆工）、③ 施工技術それぞれについて、技術要素（表－4. 3. 1 参照）毎に現状技術の実績と技術面からの限界をとりまとめている。

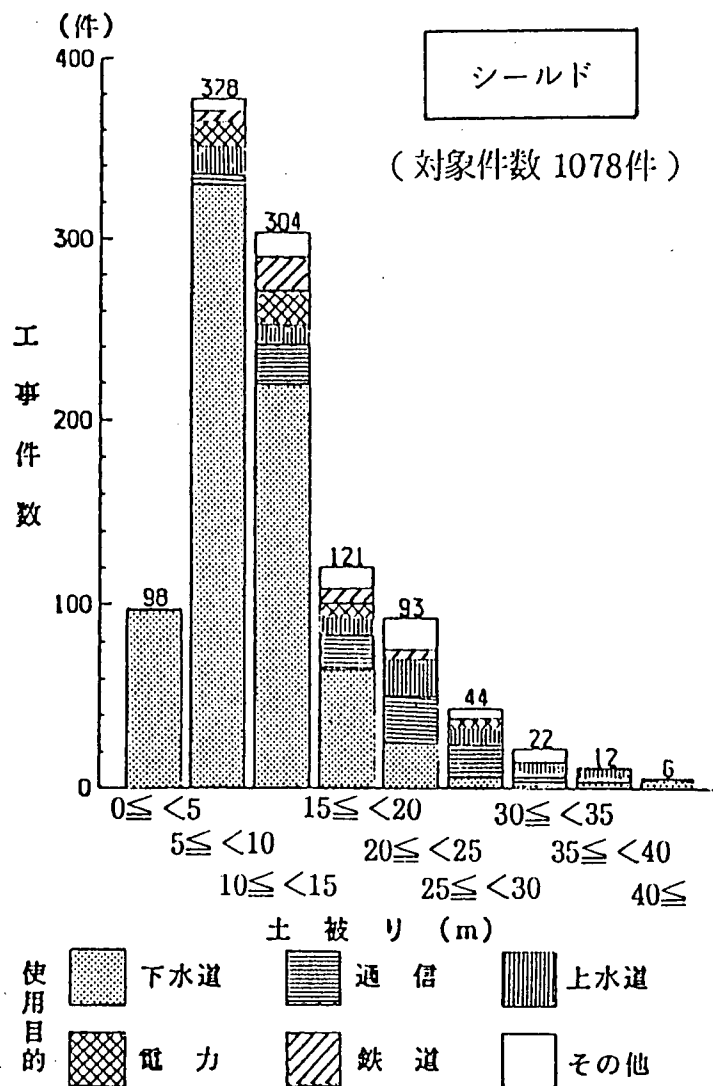


図-4. 3. 1 土被りと使用目的別工事件数

(社) 日本トンネル技術協会

シールド工法の都市トンネルへの適用性に関する

調査報告書

1988年6月

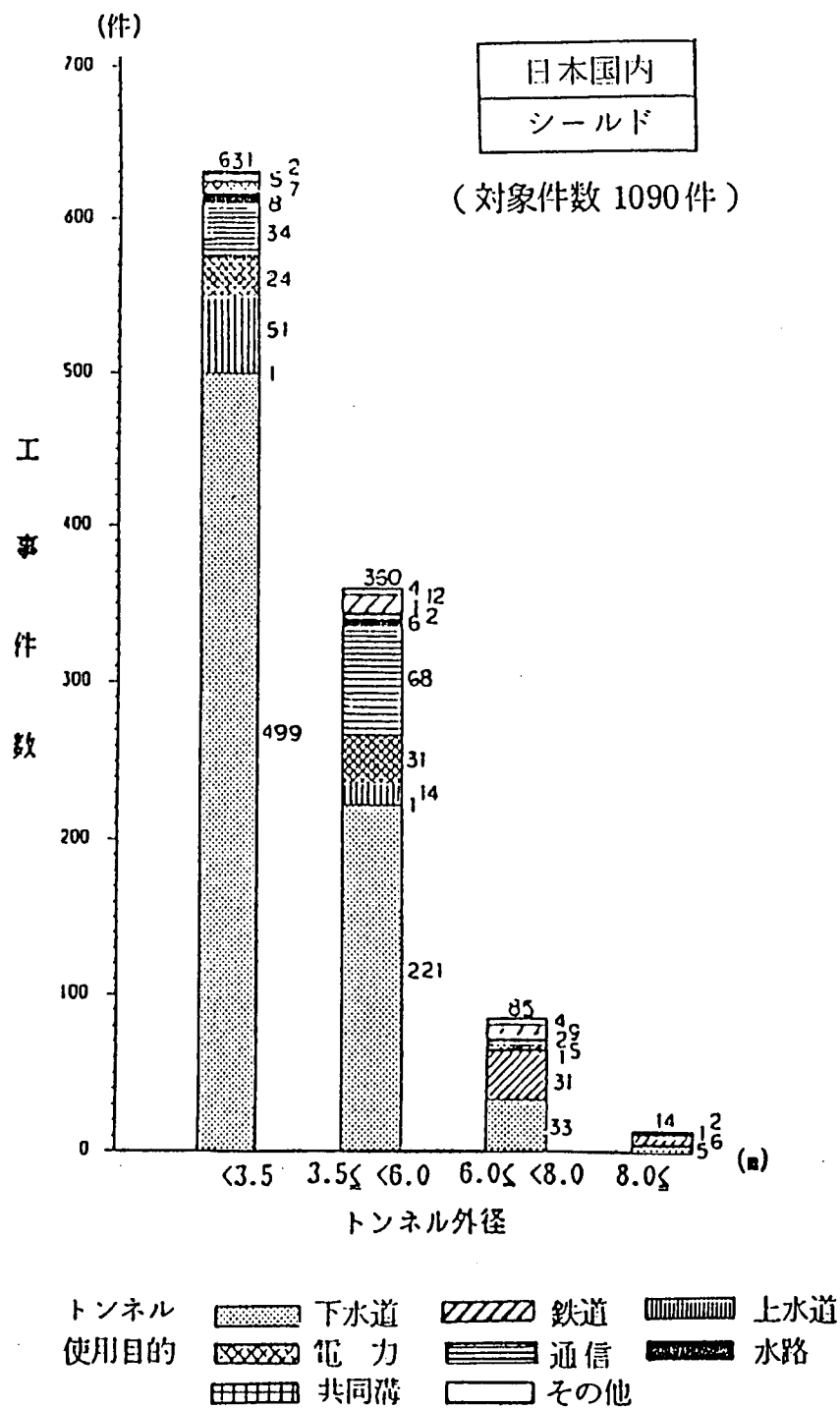
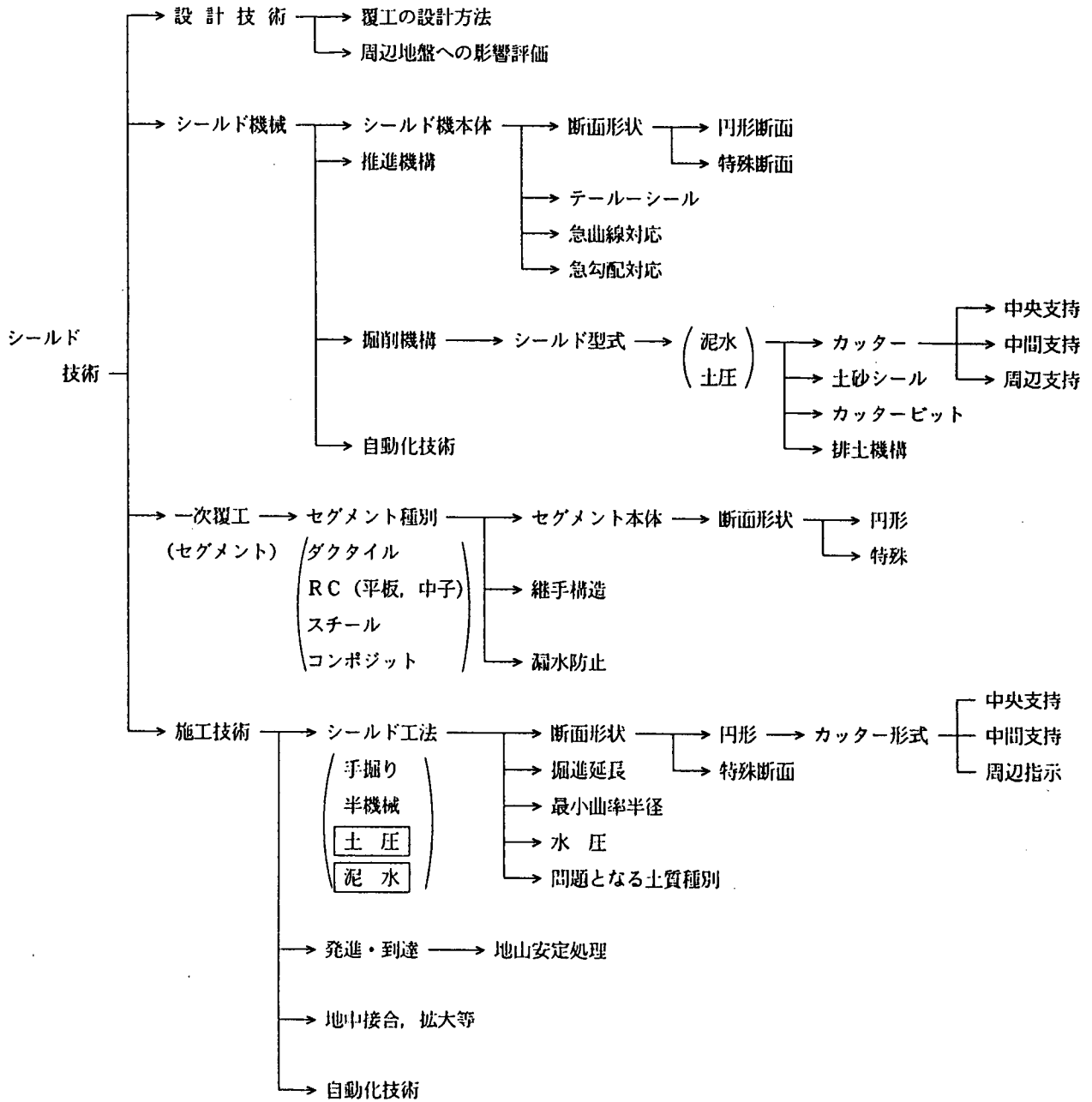


図-4. 3. 2 トンネル外径とトンネル使用目的別工事件数

(社) 日本トンネル技術協会

シールド工法の都市トンネルへの適用性に関する
調査報告書 1988年6月

表-4. 3. 1 シールド技術の技術要素別分類



(1) 設計技術

① 覆工の設計法

- ・ 現行の設計法（慣用設計法）による適用限界は無い。

但し、現行設計法のうち土圧の評価に監視、山岳トンネルとの考え方の差はいまだ大きい。

- ・ より合理的な設計方法として二次覆工を考慮した設計法が数例報告されており、今後大深度化を進めるためには、重要な着眼点と言える。

適用例 ・ J R 東日本東北新幹線 上野第2トンネル

 ・ 天神川流域下水道事業倉吉線 営渠布設工事（第6工区）

 ・ 京浜潮田線管路新設工事（第16工区）

他

② 周辺地盤への影響評価技術

周辺地盤への影響予測方法としては、F E M、弾性理論解、経験式、情報化施工、等があげられる。

ここで、定量的に評価できるかについては、十分とは言い難く、まだ、定性的予測の範囲にある。

特に弾性理論解については、複雑な条件への適用は難しく、目処をつける程度と言える。

経験式については、施工技術の進歩あるいは大深度化に伴い、見直しが必要となっている。

(2) シールド機械

① シールド機本体

1) 円形トンネル

シールド機の製作の観点から見たトンネル外径の限界についてのアンケート結果をシールド機形式別に整理したものを以下に示す。

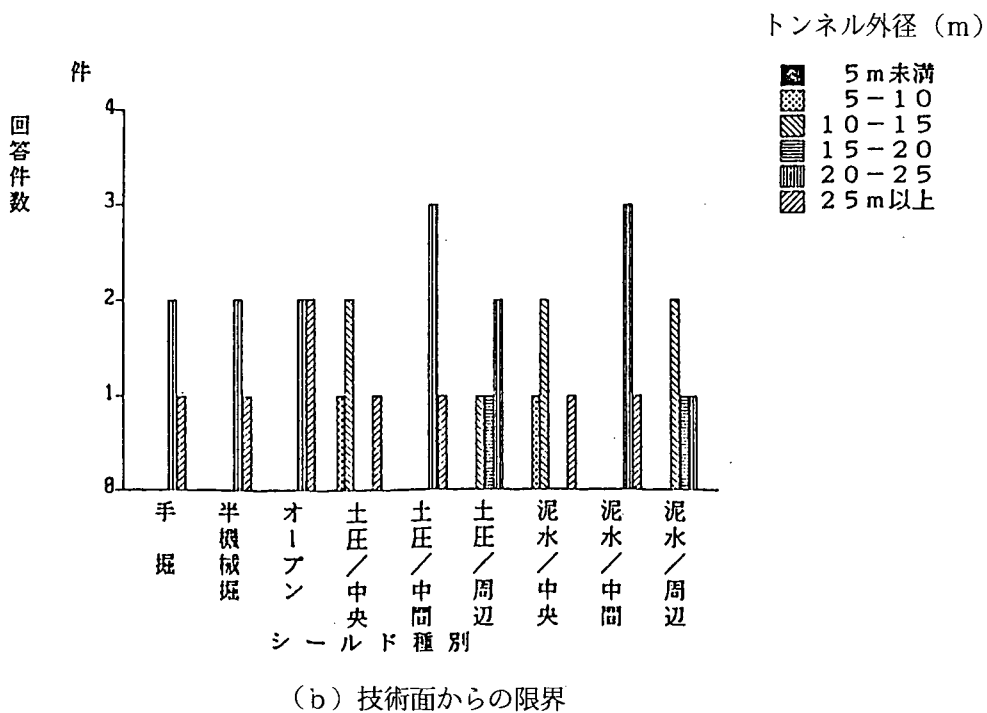
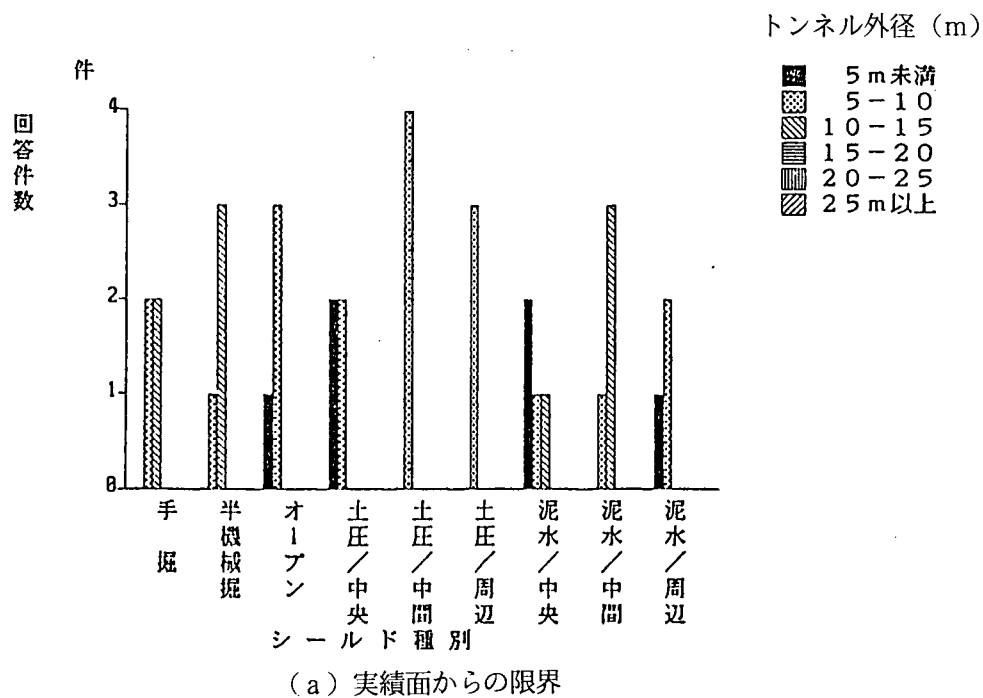


図-4. 3. 3 シールド外径の限界

実績面からは、手掘り、オープンメカ、土圧系、泥水式（周辺支持）で最大10m、半機械式、泥水式（中央、中間支持）で最大13mである。

これに対して技術面から限界を考える範囲は、若干ばらつきはあるものの $\phi = 20 \sim 25$ mあるいは $\phi = 25$ m以上とするものが多い。ただし、土圧系（中央支持）、泥水系（中央支持）については、限界を $\phi = 10 \sim 15$ m以下と考える比率が高く、逆に泥水、土圧系とも、中間支持方式が $\phi = 25$ m以上とする比率が高い。

これは、中間支持方式が、大断面化には最も適していると考えられているためであろう。なお、今後は、中間支持と周辺支持とを併用するといった方式がニーズに併せて採用されていくものと考えられる。

なお、これらの技術的限界が存在する理由として、（i）陸上運搬の限界、（ii）小分割した際の組立精度の限界、（iii）機械加工設備の限界、（iv）機械式シールド機のリングギヤ加工機械の能力、等があるが、いずれもニーズが無いことによる限界、社会的制約による限界であり、ニーズがあれば、突破可能なものとする。

[注]

[半機械掘り式シールド工法] — 半機械掘り式シールド工法は切羽の掘削、積込みに占用の動力機械を用いるもので、手掘り式シールド工法同様、減速としては切羽の自立が保たれる所に採用される工法である。

[機械掘り式シールド工法] — 機械掘り式シールド工法は回転するカッターピットによって連続して切羽を掘削できるもので、工程の短縮や作業員の節減が図れる。

[土圧式シールド工法] — 土圧式シールド工法は、機械掘り式シールドのカッターチャンバー内に掘削土砂を充填することによって、切羽を安定させることを目的とした工法で、ブラインド式シールド工法の適応範囲を越える土質（砂分含有量の超過、硬い地質、液性指数の過大、礫分の含有等）に適している。

[泥水式シールド工法] — 泥水式シールド工法は、水圧・土圧に対抗して、チャンバー内に泥水を循環充填して加圧切羽の安定を図るもので、さらにずりを泥水として流体輸送することを特色とする。

[カッター支持方式]

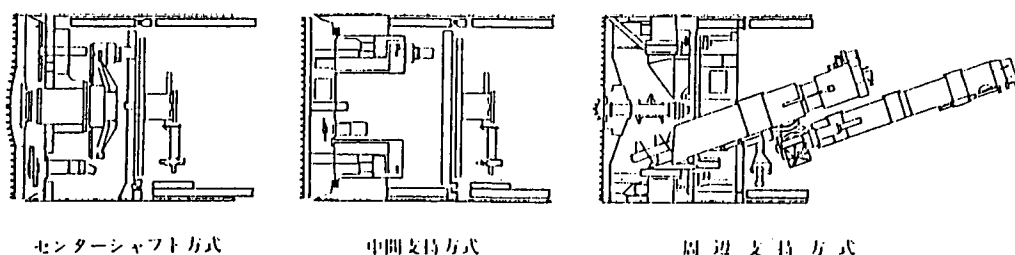


図-4. 3. 4 カッター支持方式

2) 特殊断面トンネル

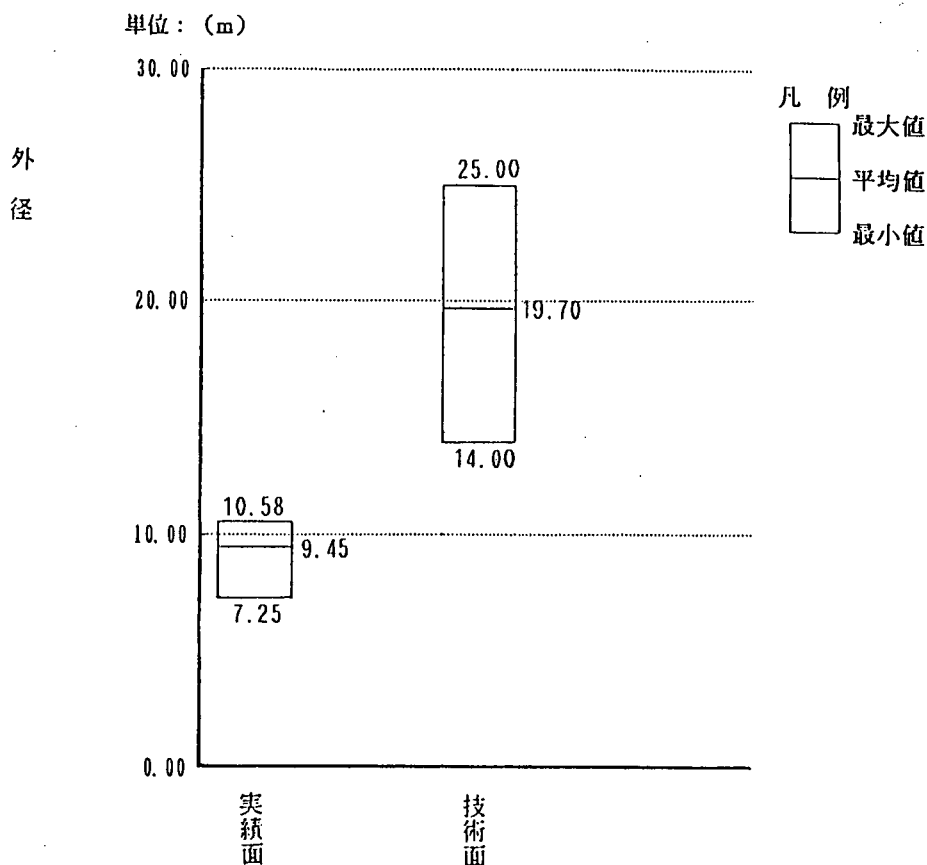
特殊断面による事例のうち2件は矩形(断面3m×4m)で、手掘りの事例である。また1件は、横二連円形トンネルで、泥水加圧シールド工法によって施工されたものである。

いずれもまだ実績が少なく、技術的な限界についても定かではない。今後の研究・開発が求められるところであろう。

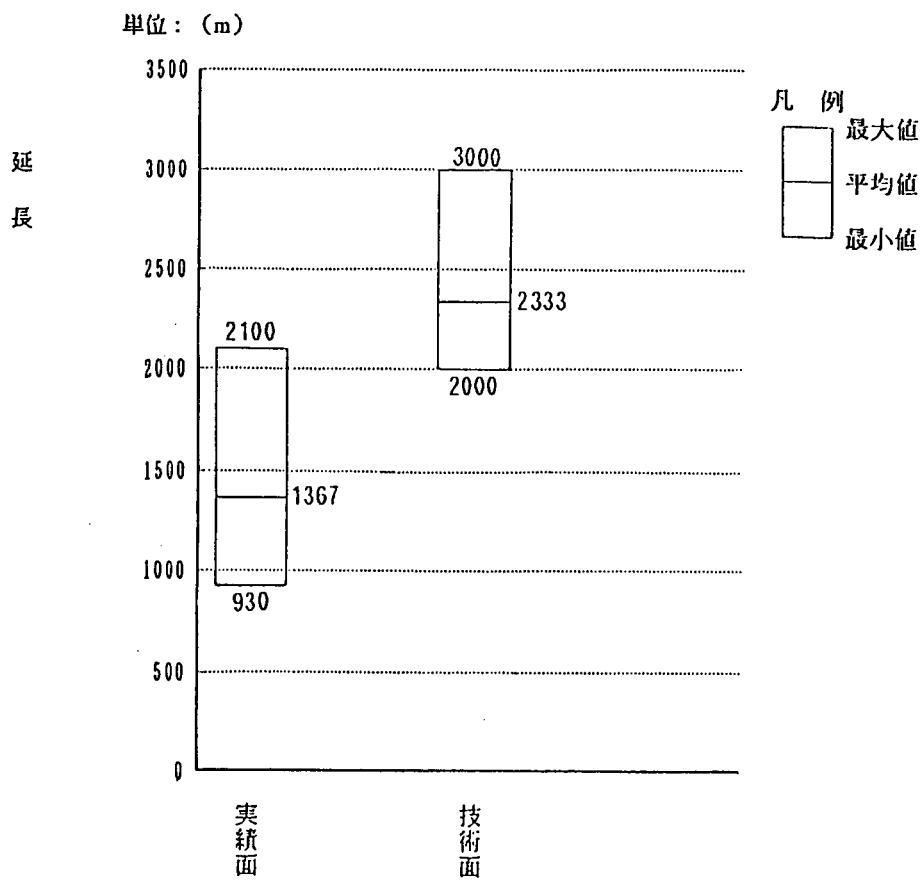
3) テールシール

テールシール機構の実績・技術面からの限界についてのアンケート結果を以下に示す。

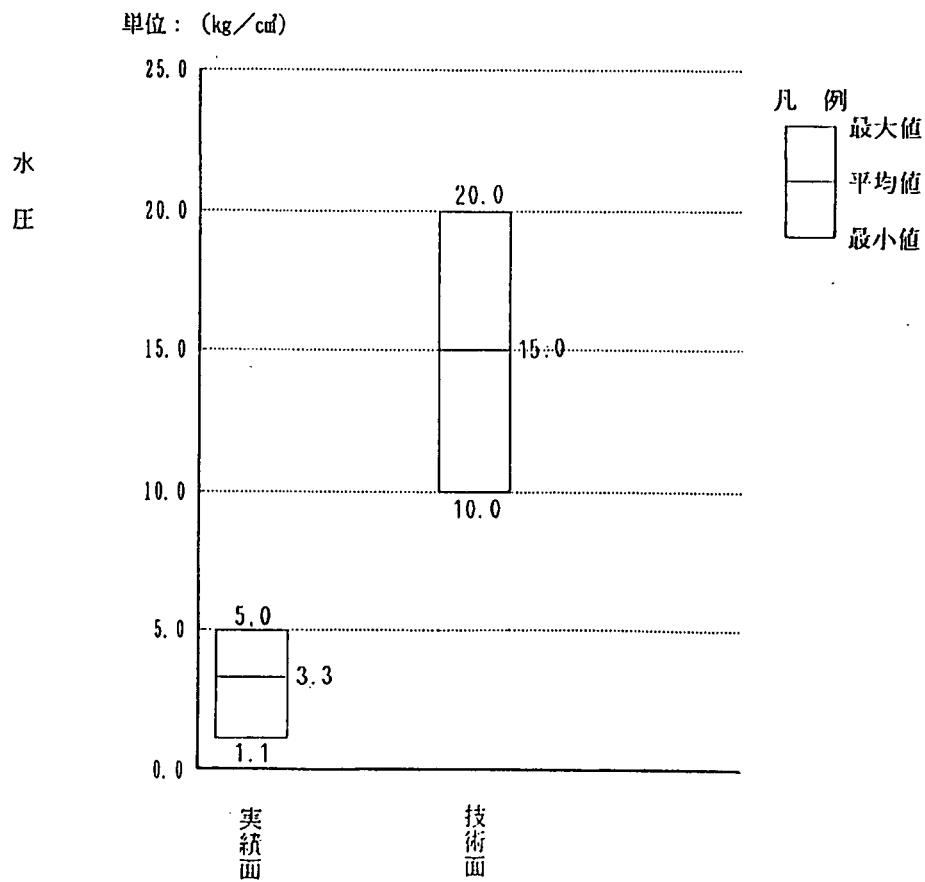
ここで、掘進延長及び水圧がシールド機トータルの適用限界の値とほぼ一致している。あるいは、掘進延長にいたっては、若干、下まわっていることから、テールシールがシールド工法の限界を規制する一つの要素であると言える。ただ現状技術でも、ほぼ想定されるニーズを満足していること、施工面からの対応(中間でのテールシールの交換等)も可能なことから考え、一応のレベルには達しているものと判断される。



(a) トンネル外径



(b) 掘進延長

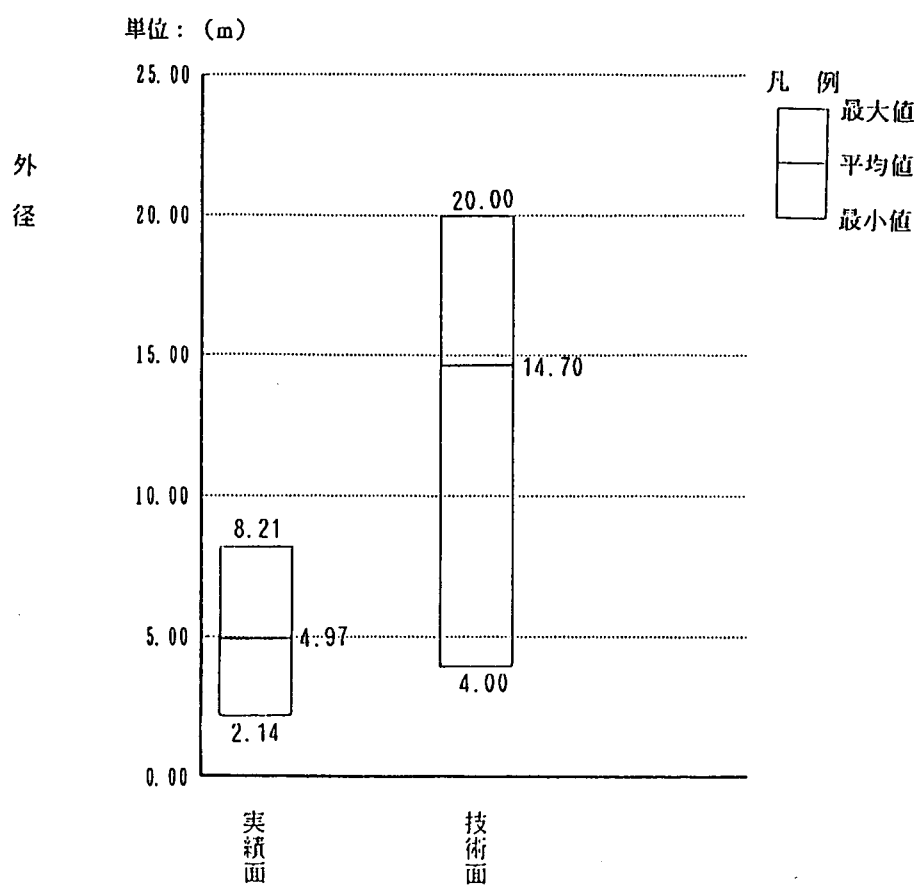


(c) 水 圧

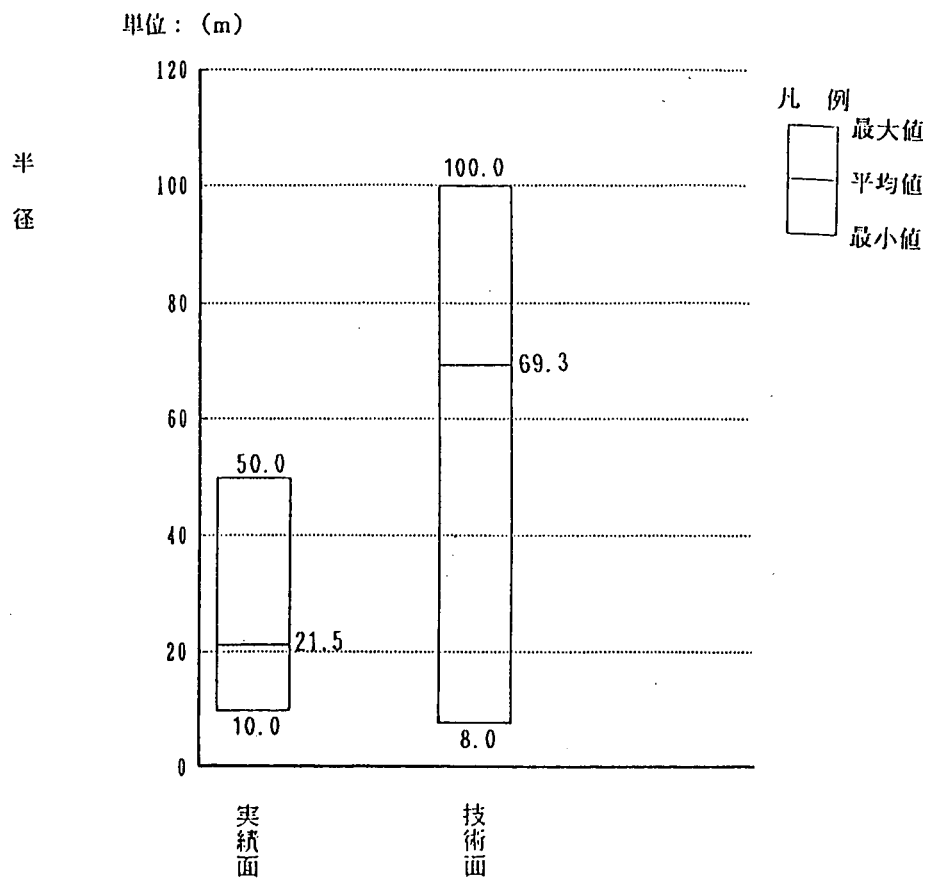
図-4. 3. 5 テールシール機構の限界

4) 急曲線対応技術

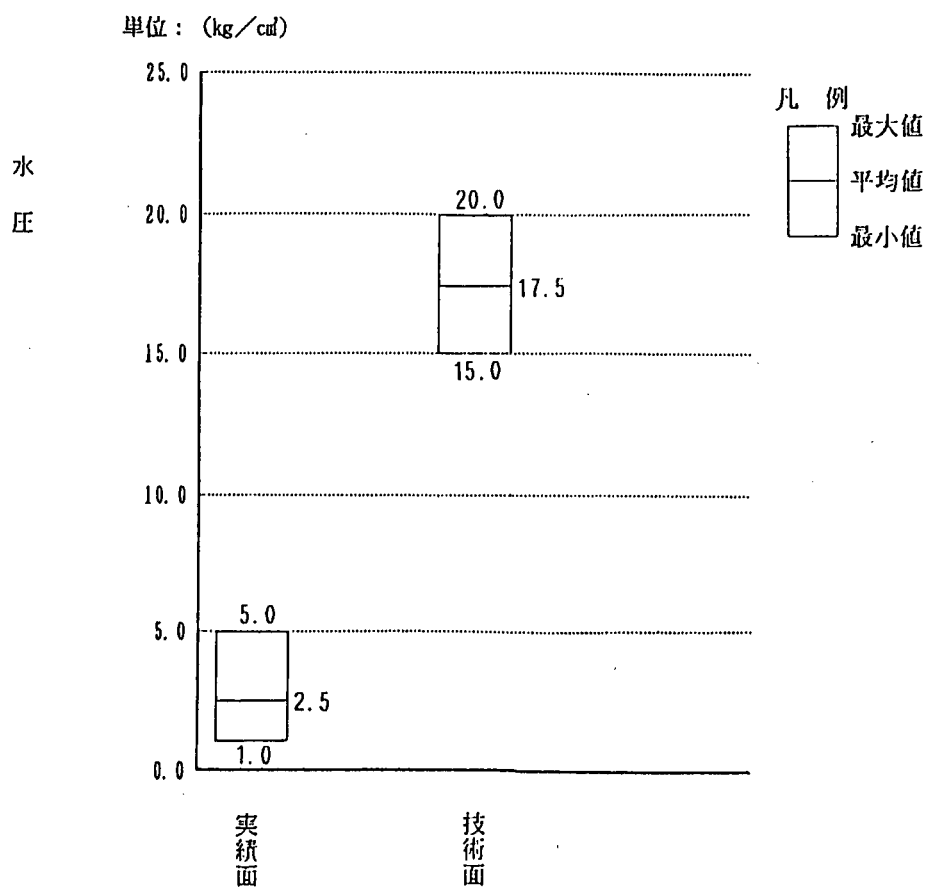
急曲線対応技術の実績・技術面からの限界についてのアンケート結果を以下に示す。



(a) トンネル外径



(b) 最小曲率半径



(c) 水 圧

図-4. 3. 6 急曲線対応の限界

中折れ機構等を採用，コピーカッターで余堀りしつつ，急曲線を施工する技術は， $R=10\text{ m}$ の実績に対し，技術面からの限界もほぼその付近にあり，ほぼ完成された技術と見ることができる。なお，次図に示すようにシールド型式別の最小曲率半径の回答とあわせ評価すると，開放型のシールドの方が若干，急曲線対応が容易であるとの結果になる。

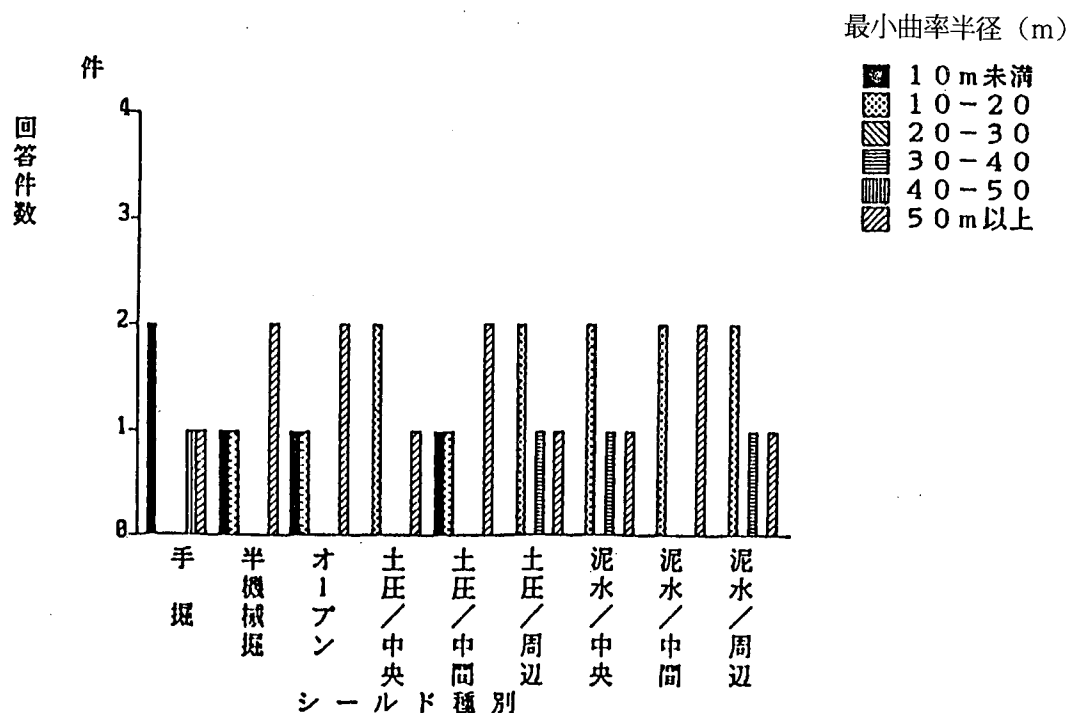


図-4. 3. 7 技術面からの限界
最小曲率半径

5) 急勾配対応技術

急勾配対応技術については，実績面から 6.8° ， 10° が限界と考えられる。ただし，従来のシールドトンネルでは，急勾配施工区間は，短いのが通例であり，一定勾配で，連続して掘進する際には別途，施工上の配慮が求められる。

技術面からの限界は，特に無いとのアンケート結果であり，ニーズがあれば対応可能な範囲にあるものと言える。

6) 推進機構

シールドの推進機構について、単位面積当りの総推力の実績、技術面からの限界は以下の通りである。

実績 $130 \sim 170 \text{ t/m}^2$ (図-4.3.3 参照)

技術面 $200 \sim 300 \text{ t/m}^2$ (トンネル径による)

総推力は、曲線施工性も考慮し、土被り荷重の2倍程度が必要となる。仮に深度50mと考えると、 $50 \times 2.0 \text{ t/m}^2 \times 2 = 200 \text{ t/m}^2$ となり、一応技術的に対応可能な範囲に止まる。ただし、反力を取るセグメントの耐久性との関係もあり、総合的に評価する必要がある。

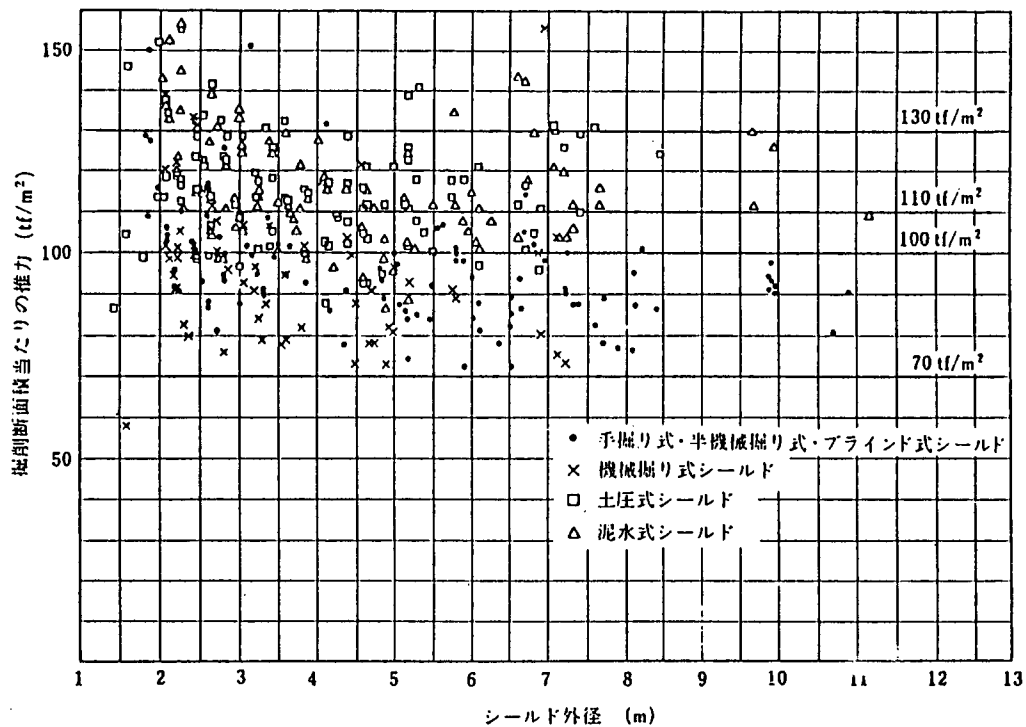
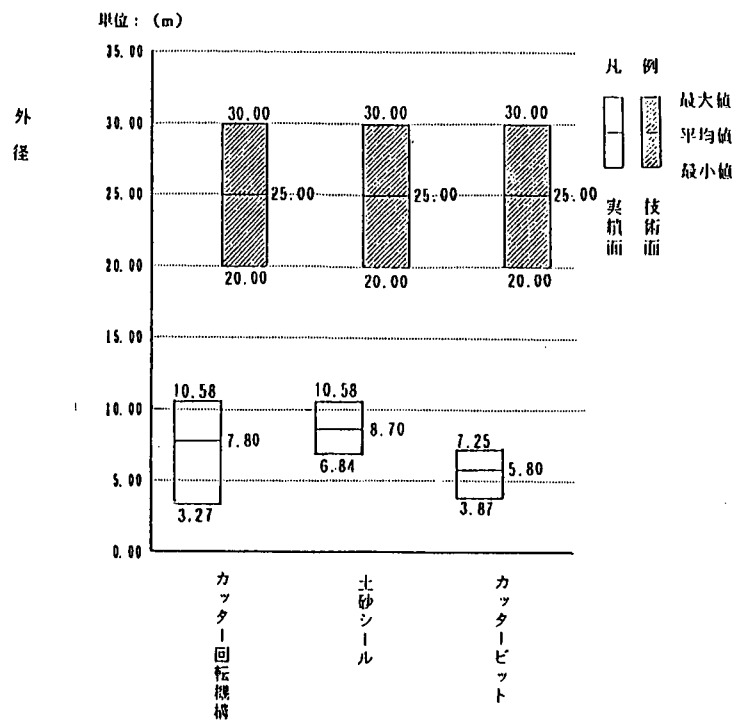


図-4.3.8 シールドジャッキ容量分布図

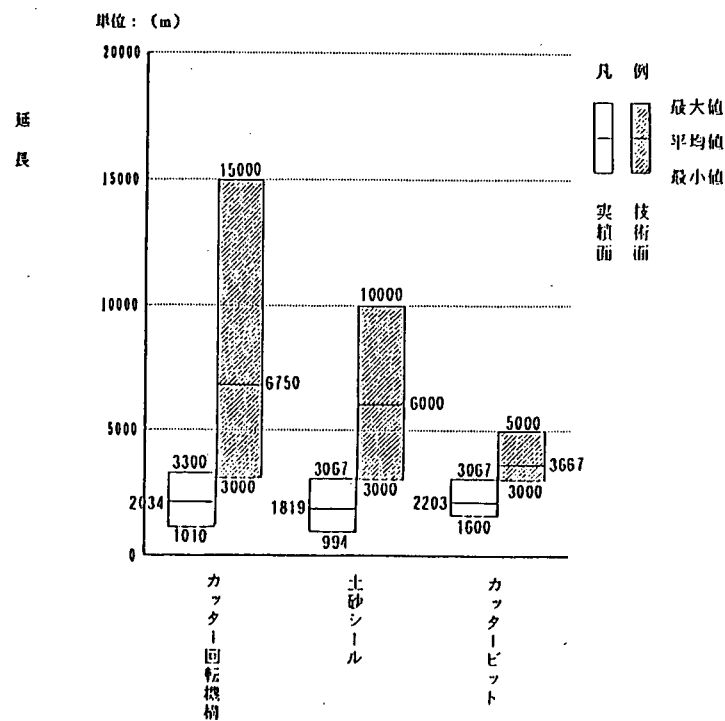
(出展: 土木学会、トンネル標準示方書 シールド編)

③ 掘削機構

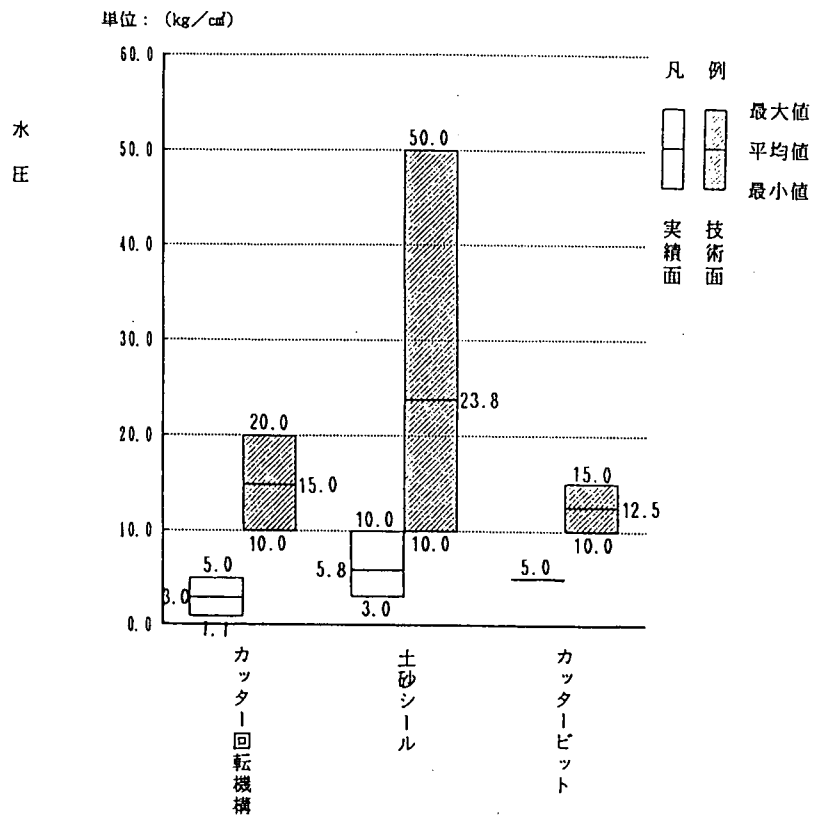
カッター回転機構，土砂シール，カッターピット化について，それぞれの実績面，技術面の限界についてのアンケート結果を以下に示す。



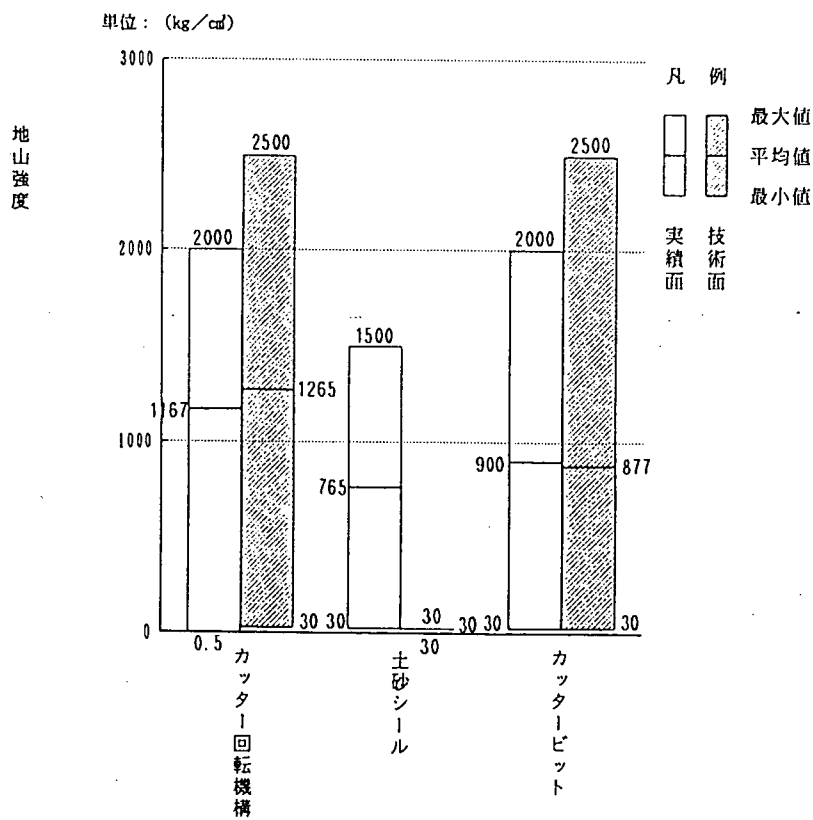
(a) トンネル外径



(b) 掘削延長



(c) 水 圧



(d) 地山強度

図-4. 3. 9 掘削機構の限界

トンネル外径との関係は、実績あるいは技術面からの限界が、先に述べたシールド本体の限界とほぼ等しく、特にカッターの製作性から限界が存在するものと推定される。

土砂シールド、カッターピットについては、トンネル外径に左右される要素は少なく、この面からの配慮は特に必要無い。

なお、カッター回転機構化については、カッタートルクの面で駆動用モータの設置スペースが限られることから、従来以上に高トルクを必要とする場合に問題が生じることがある。

従来のカッタートルクをトルク係数 α とシールド外径との関係を表したものを図-4. 3. 4に示す。シールド形式別、土質等により異なるが、一般的に平均値は次の範囲にあることが多い。

機械掘り式シールド $\alpha = 0.8 \sim 1.4$

土 圧 式シールド $\alpha = 1.4 \sim 2.3$

泥 水 式シールド $\alpha = 0.9 \sim 1.5$

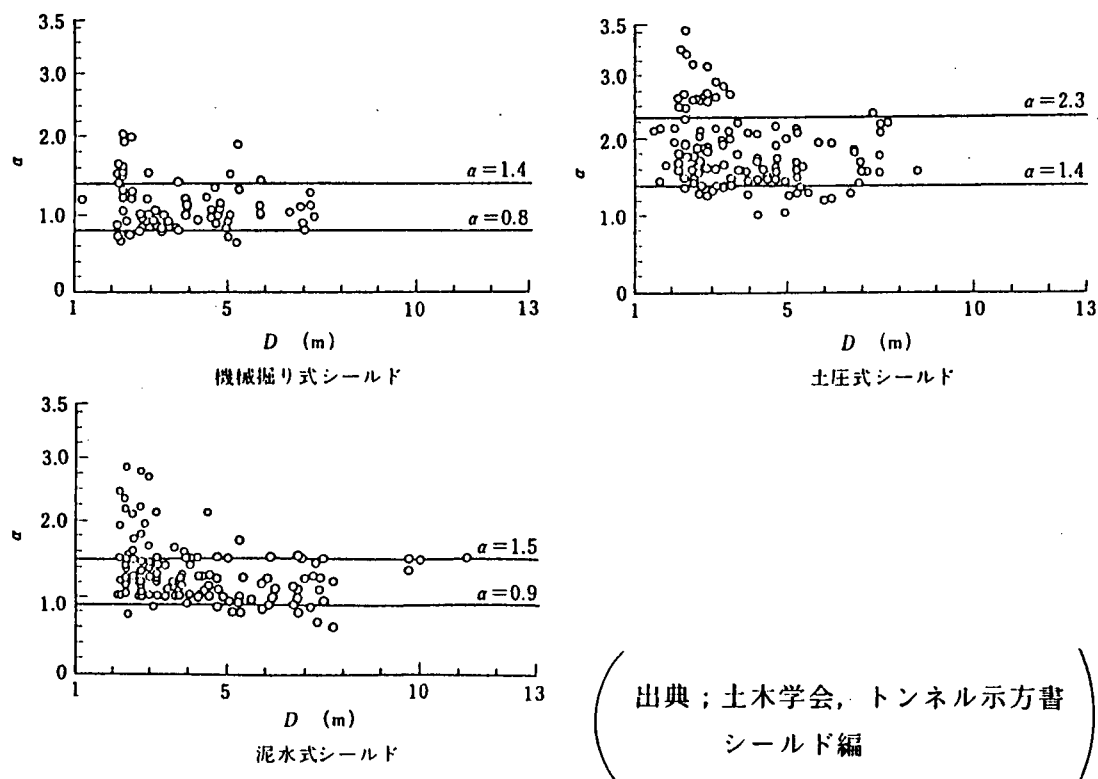


図-4. 3. 10 トルク係数 α

大深度となるに従い、カッタートルクも増加することになるが、大きなトルクが必要となる土圧径で大口径のものが、若干問題が生ずることとなる。

ただ、土圧径の場合には、掘削土砂に各種の流動化促進材（高濃度、泥水等）を添加する方法があり、これらの技術の進歩とあわせて評価していく必要があるだろう。

掘進延長との関係は、技術面からの限界に着目した場合、カッターの回転機構及び土砂シールが、平均で6,000m迄可能としたのに対し、カッターピットの場合は、3,000～5,000m平均で3,700mと短く、カッターピットの耐久性に関して限界が存在していることがわかる。

水圧との関係は、土砂シールが関係することとなるが、技術面からの限界は、平均で24kg/cm²とシールド機種別の限界と比較し大きいことから、現状でも一応のレベルに達しているものと推定できる。

地山強度との関係については、カッター回転機構、カッターピットに関係することとなる。実績、技術上の限界は共に圧縮強度が900～1,000kg/cm²の範囲と中硬岩の範囲迄をカバーしており、一応の水準にあるものと考ええる。

なお、中硬岩に対しては、当然山岳トンネル方式との比較の問題となり、経済性の面から限界が存在していると考えるのが適当であろう。

④ 排土機構

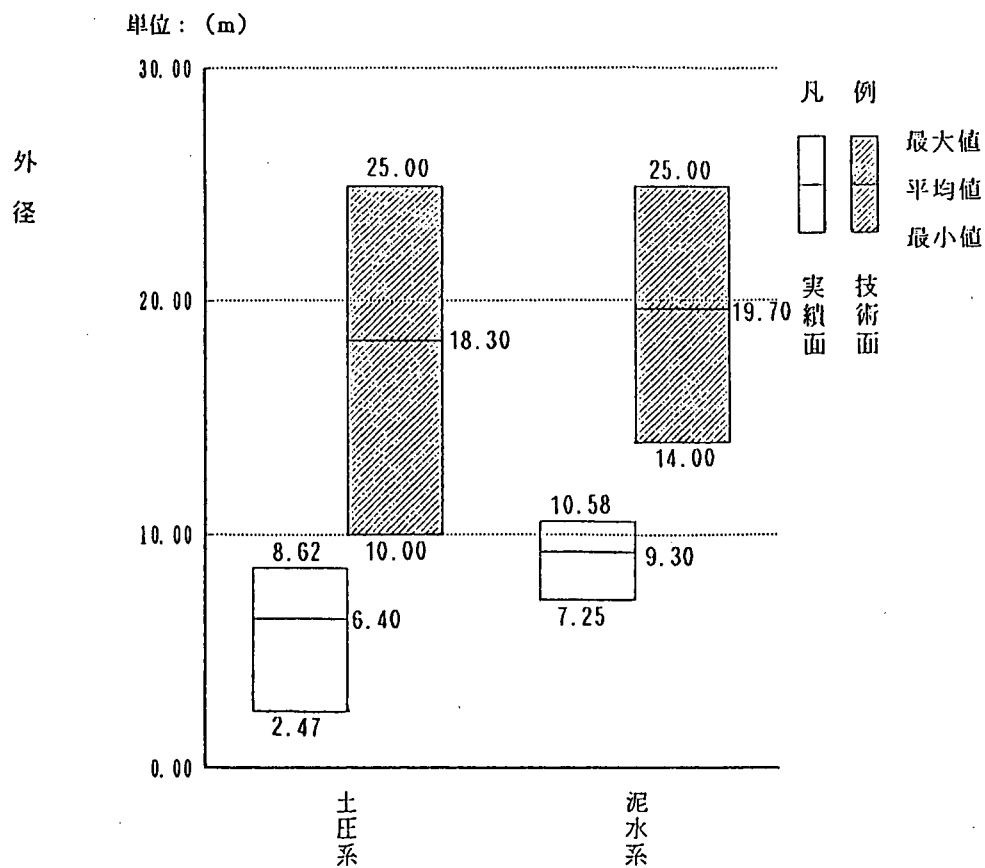
排土機構については、排土が特に問題となる密閉式シールド工法（土圧系、泥水系）の限界についてのアンケート結果を以下に示す。

このうちトンネル外径、掘進延長との関連については土圧系、泥水系とも技術面からの限界（平均値）がほぼ実用上必要な限界を上回っていること、限界が存在する理由が特に存在しないことから、特に考慮する必要はないと考えられる。なお、両者とも泥水系が土圧系より若干勝っており、大口径化、長距離化では、泥水系が有利であることを示している。

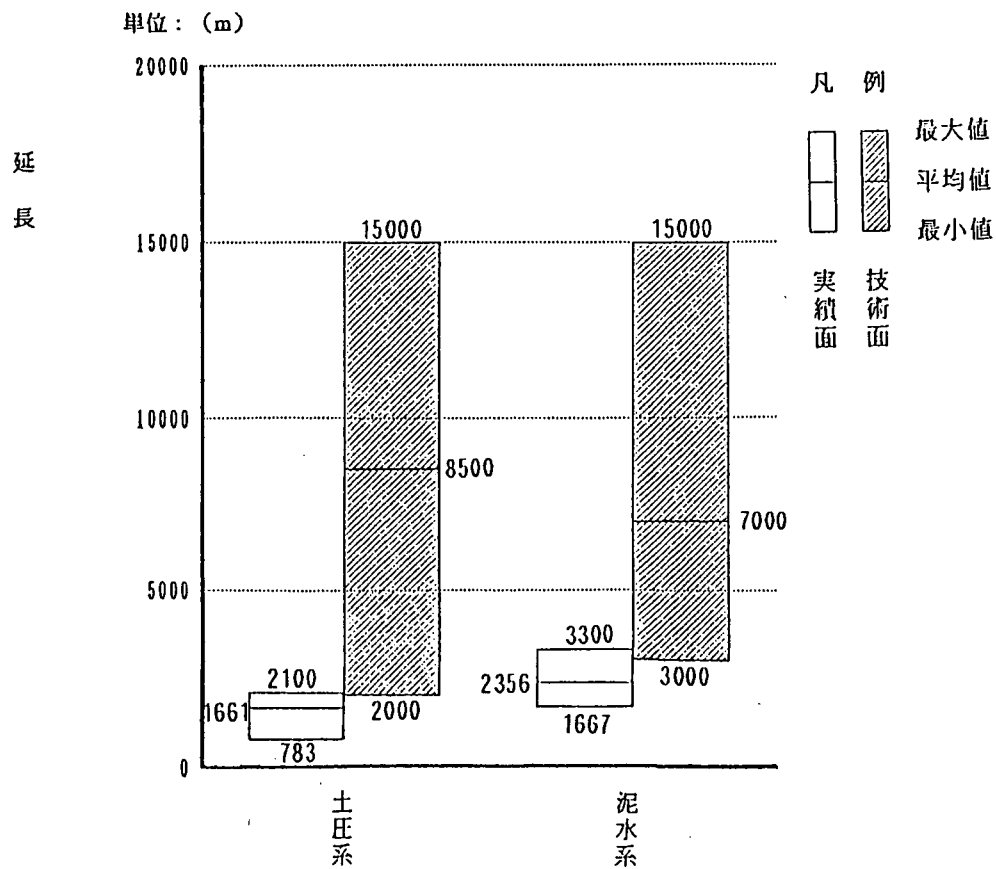
掘進深度及び水圧との関連については、土圧系が泥水系を大きく下回っており、大深度化には、泥水系が優れていることがわかる。

なお、土圧系の場合、排土機構の限界水圧は、地山条件に大きく影響されることが知られているが、技術面からの限界の判断の差が大きいのは、このあたりが影響しているものと考ええる。機械面のみならず、施工面からの判断も加味して、評価すべきところである。

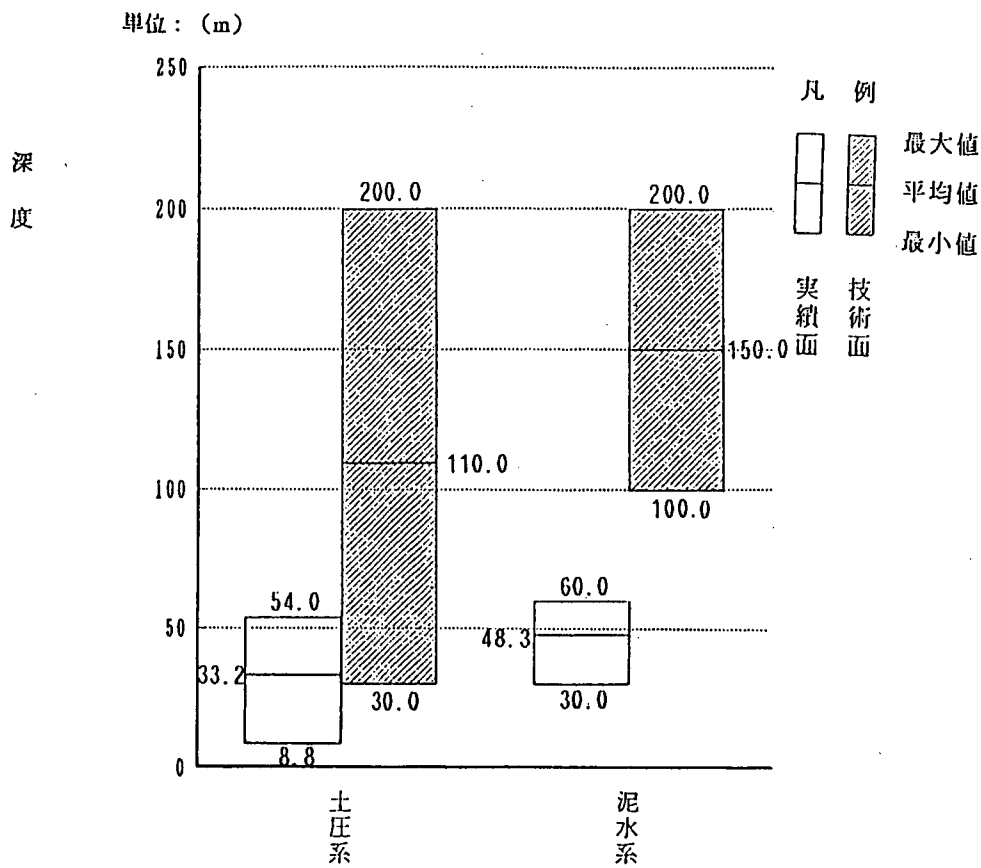
礫処理の能力を処理可能な玉石の直径及び強度との関係から評価したが、基本的には通常的地盤の場合、礫の強度はあまり影響なく、主に遭遇する玉石の大きさによるところが大きいと言える。礫処理能力から判断すれば、土圧系の方が優れている。技術的には一応のレベルにあると考えられるが、条件によっては周辺地盤への影響あるいは、経済性の面から問題となることがある。



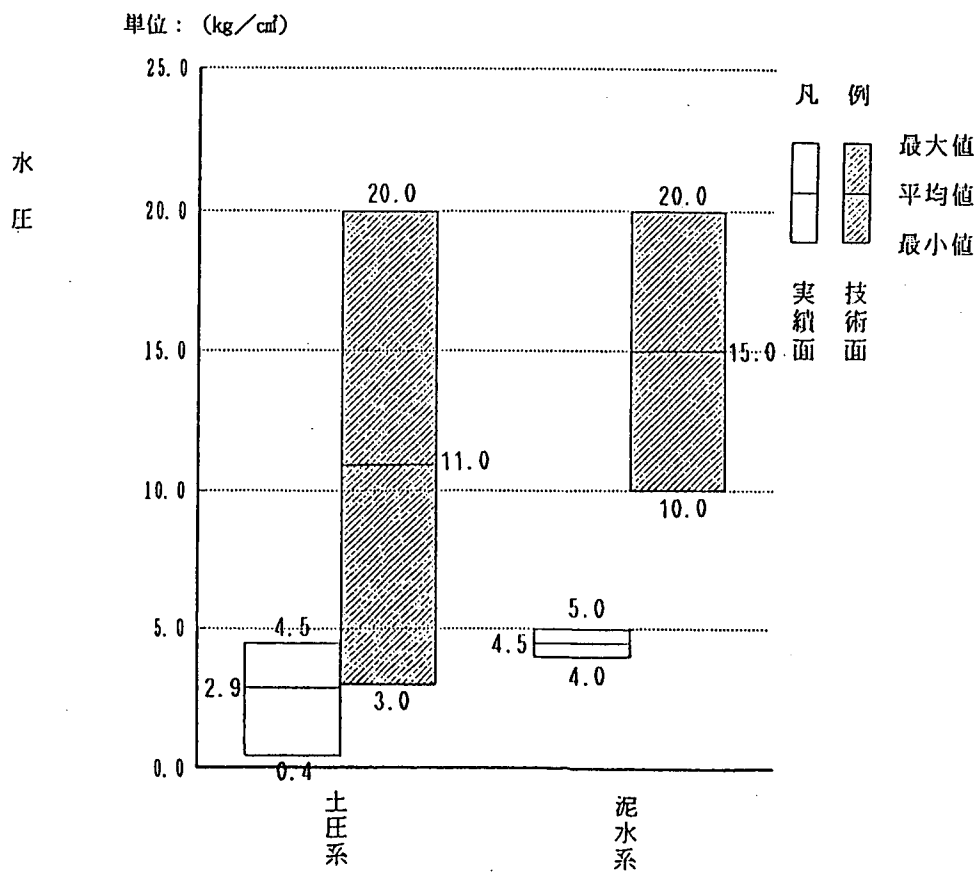
(a) トンネル外径



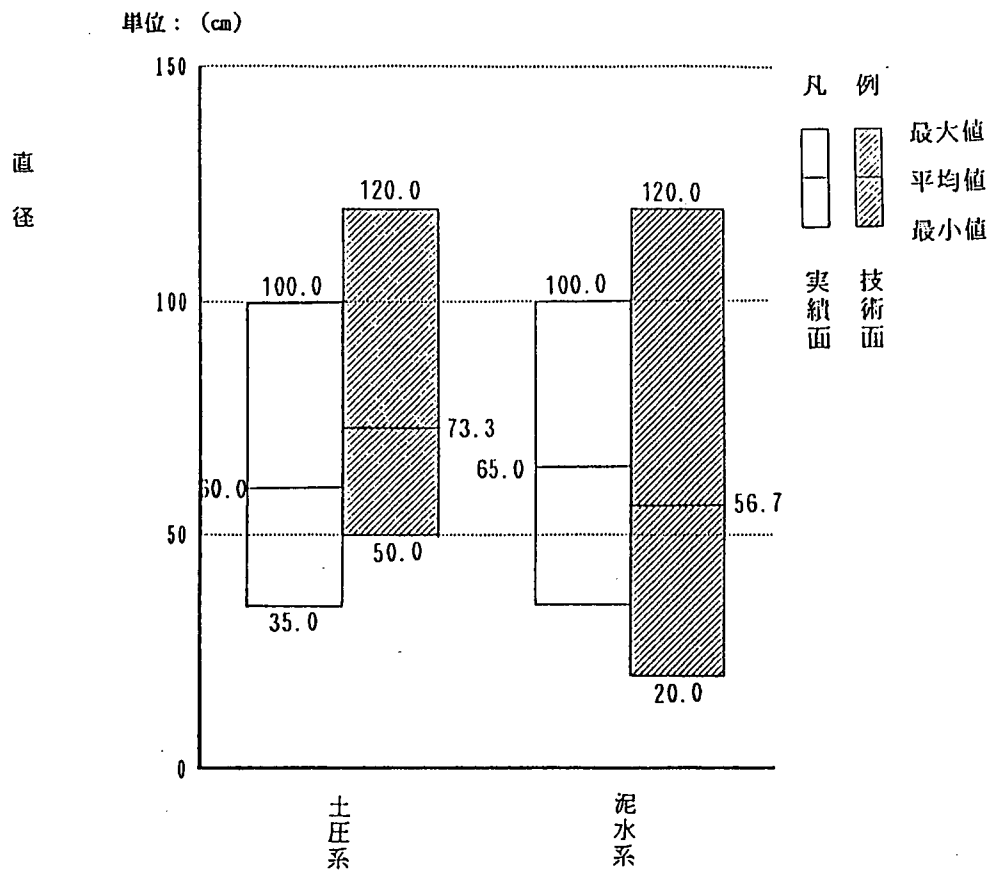
(b) 掘進延長



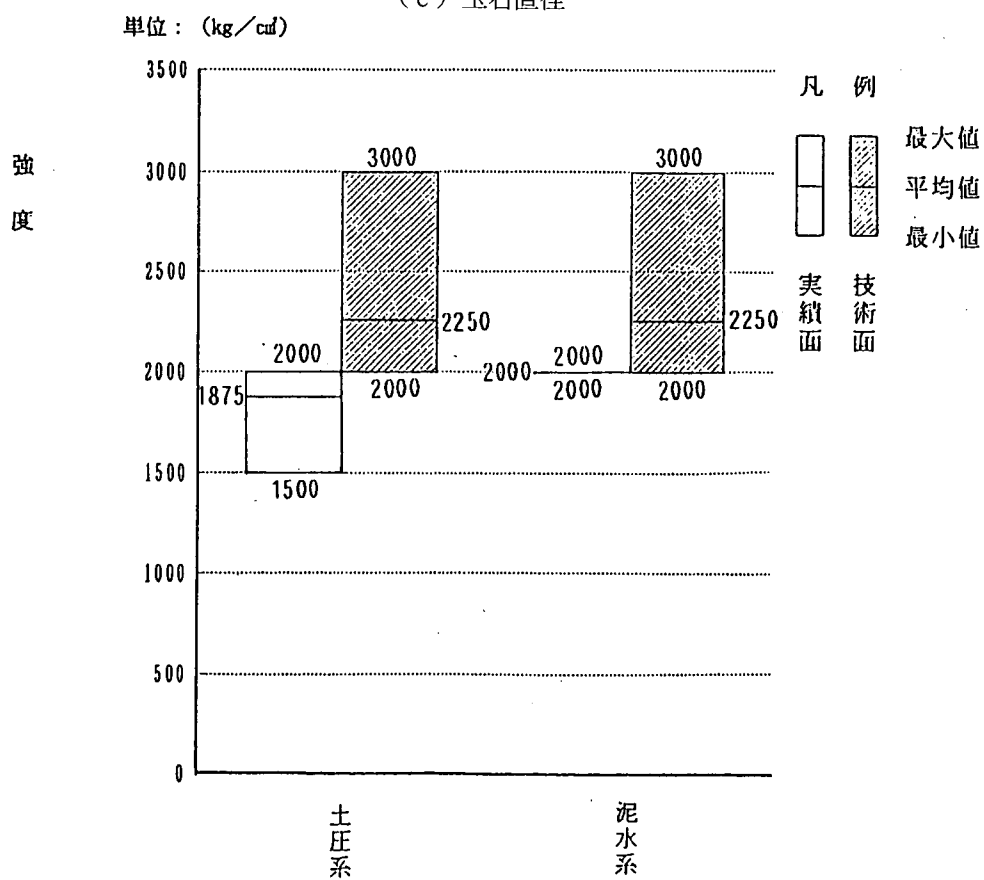
(c) 掘進深度



(d) 水 圧



(e) 玉石直径



(f) 玉石強度

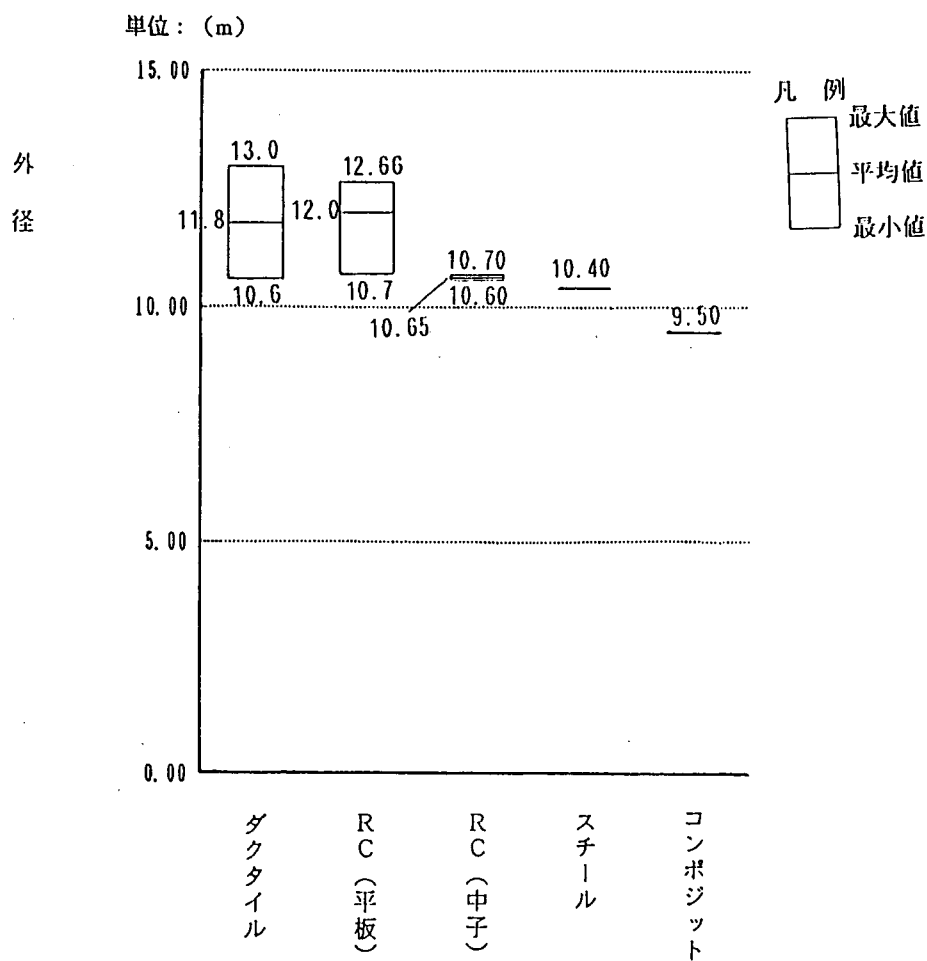
図-4. 3. 1 1 排土機構の限界

(3) 一次覆工（セグメント）

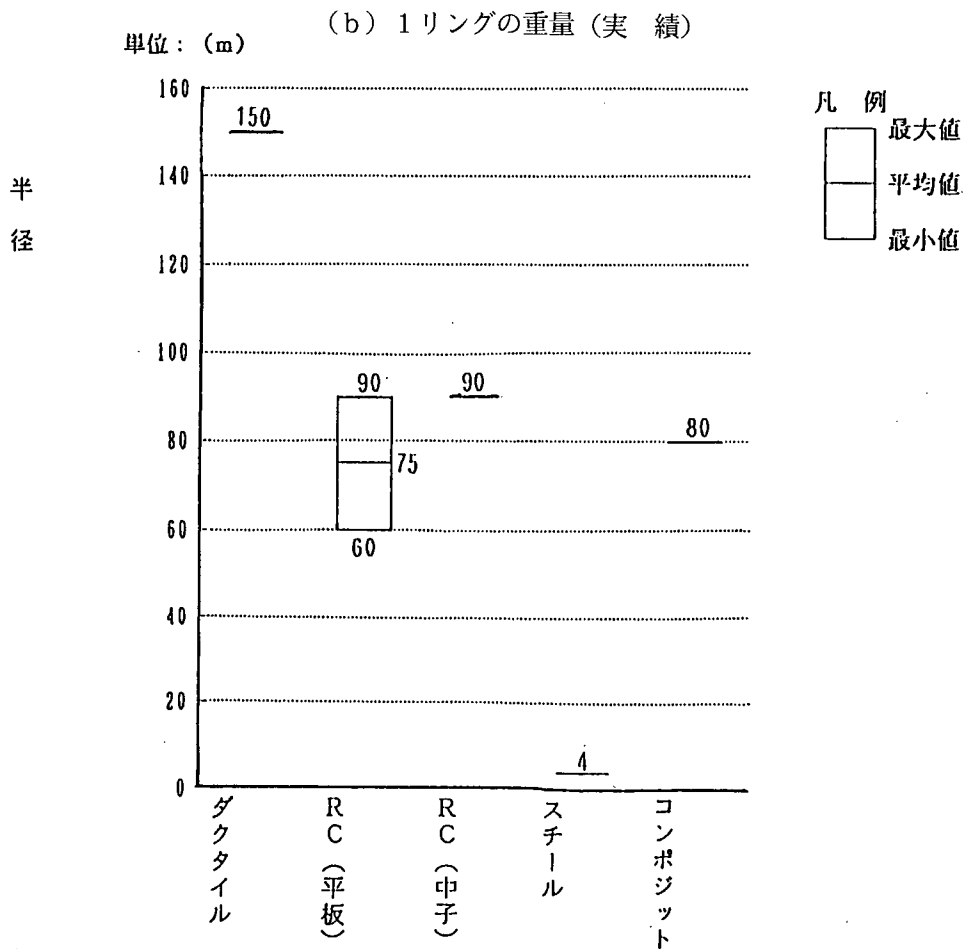
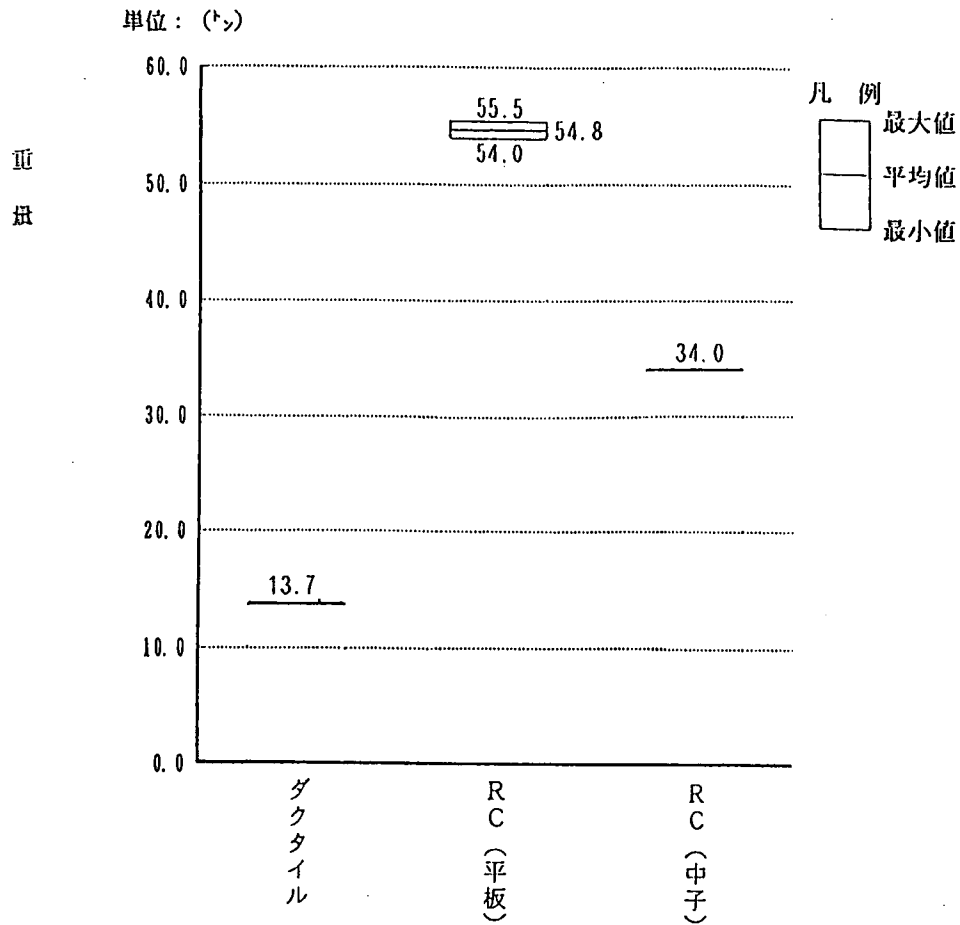
セグメントの種類には、ダクタイル、RC（平板）、RC（中子）、スチール、コンポジット等、各種あるが、それぞれのセグメントにおける各要素の限界についてのアンケート結果を以下に示す。

① セグメント本体

各種セグメント本体について、設計・製作・運搬・組立てを考慮し、外径、重量、最小曲率半径に関する適用限界を実績と技術的な面から調査した結果を以下に示す。



(a) セグメント外径
(実績)



(c) 最小曲線半径 (実績)

図-4. 3. 1 2 シールドの限界 (セグメント本体)

セグメント製作に關しての技術上の限界は經濟性を除けば、特に問題ないとの結果となつたが、例えばRCセグメントの場合、運搬、ハンドリング等の面から1ピース重量が10tを超える場合、問題があると思ふのが妥當であらう。

また、ダクタイルセグメントの場合、機械加工ラインの限界から外れる場合には、コストアップとなる。ただし、ニーズが無いことによる限界、あるいは社会的な限界であるので、ニーズがあれば、突破可能であらう。

② セグメントの継手

セグメントの継手において、シールド径、厚さ、ボルト径、本数等に関する技術上の限界は特にないとのアンケート結果であるが、經濟性、施工性等から限界が存在するものと考えられる。実績面からの限界は以下ようになる。

a) ダクタイルセグメント

表-4. 3. 2 シールドの限界(継手構造)

継手構造の種類	実績面からの限界
ボルト接合	
a) セグメント継手部	・ボルトサイズ W 1 1/4 (M32相当) ・ボルト本数 外径側 4本/継手 内径側 4本/継手 (8本/継手)
b) リング継手部	・ボルトサイズ W 1 1/4 (M32相当) ・ボルトピッチ 300 ~ 500 mm
通常のボルト・締結継手	実績桁高 115 ~ 894.2 mm

b) RC (平板) セグメント

表-4. 3. 3 シールドの限界 (継手構造)

継手構造の種類	実績面からの限界
鋼板 (SS、SM)	セグメント径 $\phi = \sim 9.0 \text{ m}$
鋼板 (ダクタイル)	セグメント径 $\phi = \sim 11.0 \text{ m}$
曲りボルト	セグメント径 $\phi = \sim 8.0 \text{ m}$
通しボルト	セグメント径 $\phi = \sim 13.6 \text{ m}$ (神田川予定)
ピン・ホゾ	セグメント径 $\phi = \sim 12.66 \text{ m}$

継手構造の種類	実績面からの限界
溶接金物式ボルト継手	本体強度の 60 ~ 80 %, 厚 100 ~ 350mm
溶接アーチ高剛性継手	本体強度の 90 ~ 100 %, 厚 300 mm
ダクタイル金物式ボルト継手	本体強度の 70 ~ 85 %, 厚 300 ~ 500mm
ダクタイルドーム高剛性継手	本体強度の 90 ~ 100 %, 厚 300 mm
曲りボルト継手	本体強度の 50 ~ 70 %, 厚 125 ~ 350mm
通しボルト継手	本体強度の 50 ~ 85 %, 厚 200 ~ 300mm
etc. コシター式、 ピン・ホゾ式等	厚 550mm

c) RC (中子) セグメント

表-4. 3. 4 シールドの限界 (継手構造)

継手構造の種類	実績面からの限界
長ボルト方式	セグメント径 $\phi = \sim 10.6 \text{ m}$
長ボルト + 鋼板継手の併用 (宮団方式)	セグメント径 $\phi = \sim 9.8 \text{ m}$
通常のボルト締結継手	本体強度の 30 ~ 50 %
同上にダクタイル金物式継手を付加 (改良型)	本体強度の 50 ~ 70 %

e) スチールセグメント

表-4. 3. 5 シールドの限界(継手構造)

継手構造の種類	実績面からの限界
通常のボルト締結継手	桁高 75 ~ 550mm
アーチ高剛性継手	実験例のみ R C 継手として応用

f) コンポジットセグメント

R C セグメントと同様

③ セグメントの止水性

各種セグメントの止水性について、それぞれの実績面、技術面の限界についてのアンケート結果を以下に示す。

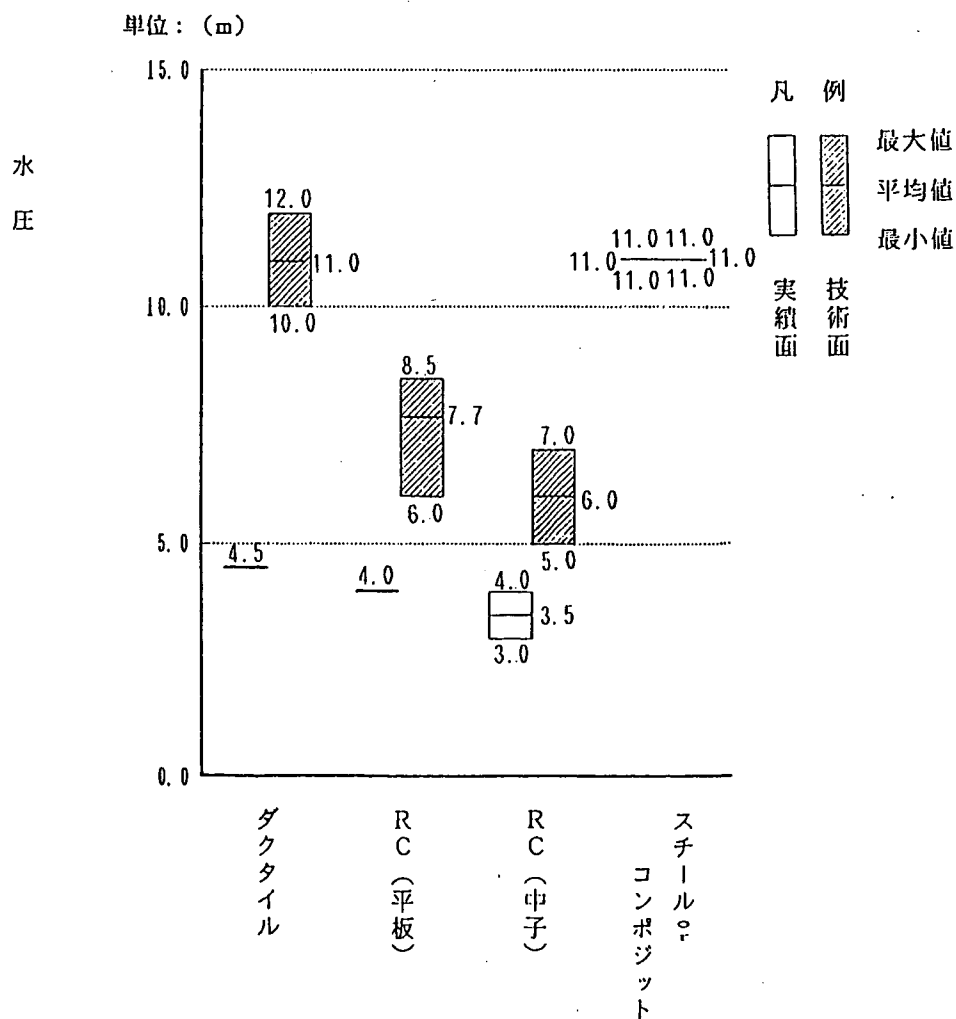


図-4. 3. 13 セグメントの耐水圧 (実績)

ここで止水性が問題となる部分は、

- ・シール材の材質と形状
- ・金物とコンクリートの境界
- ・貫通する部分
- ・コンクリート本体

等であり、その理由は、

- ・組立誤差
- ・シール材のハガレ
- ・異材質間の境界面止水
- ・水膨潤シール材の耐久性
- ・クラック

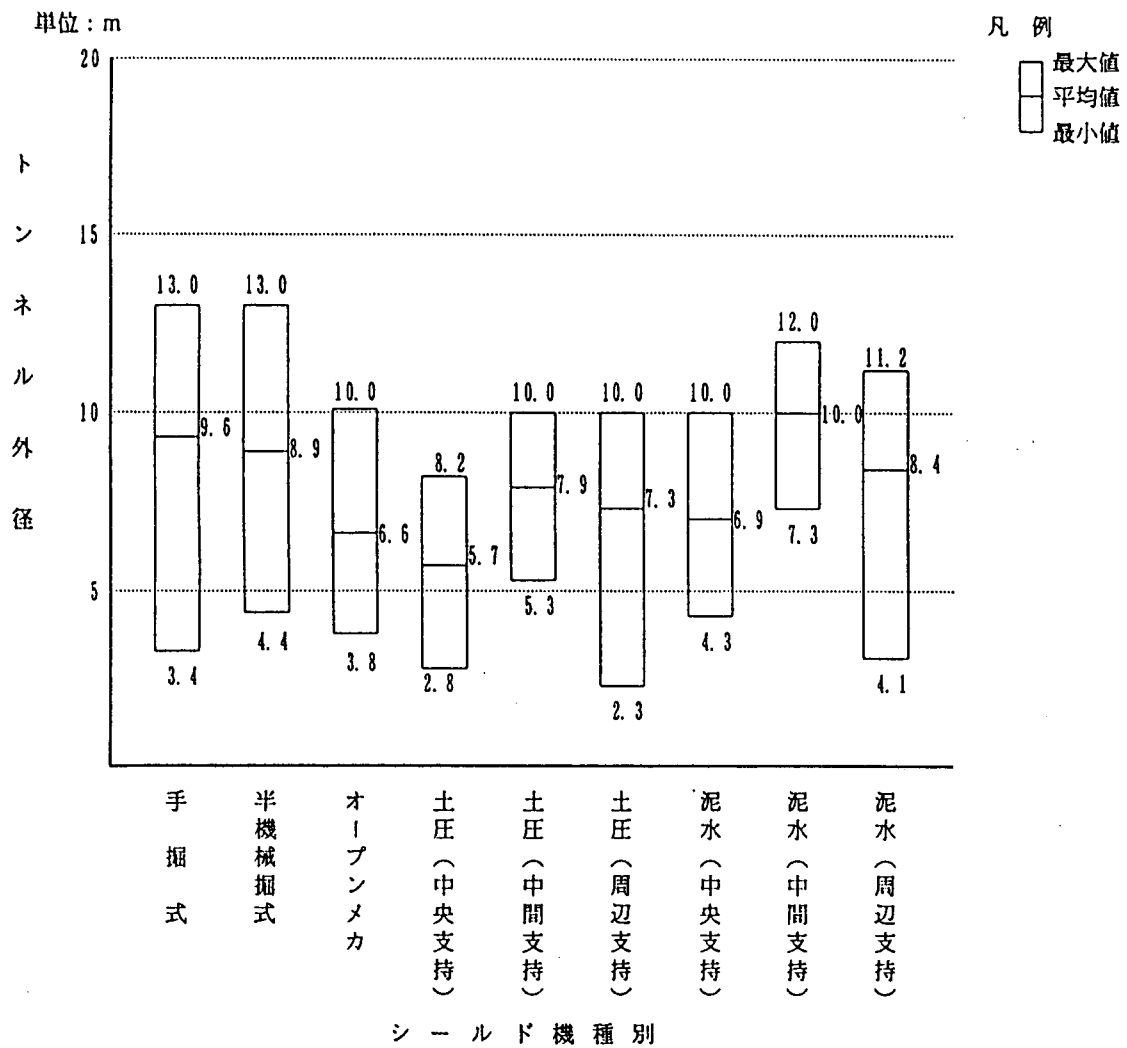
等である。

(4) 施工技術

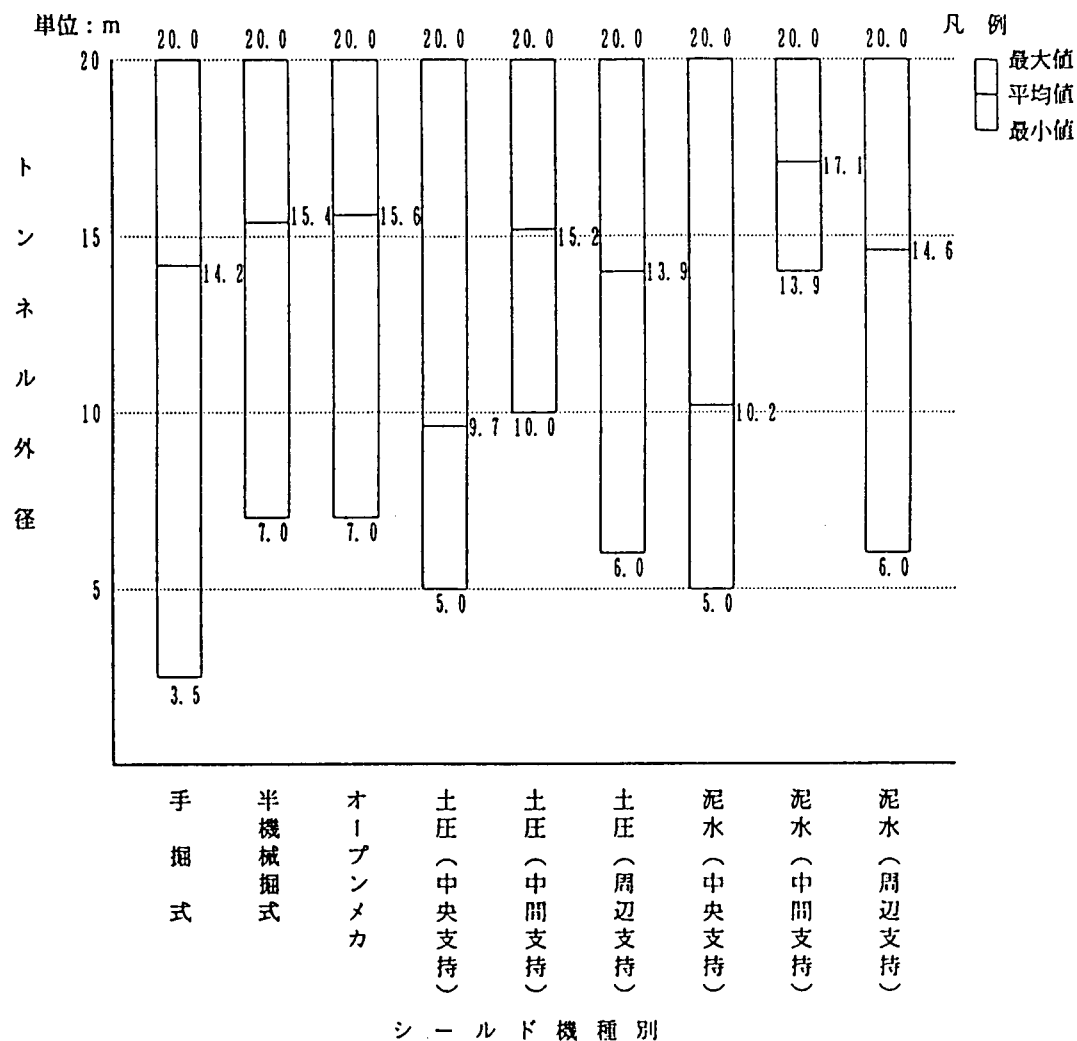
① シールド工法

1) 円形トンネル

シールド工法の施工技術における円形トンネル外径の実績・技術面からの限界についてのアンケート結果を以下に示す。



(a) 実績限界



(b) 技術的限界

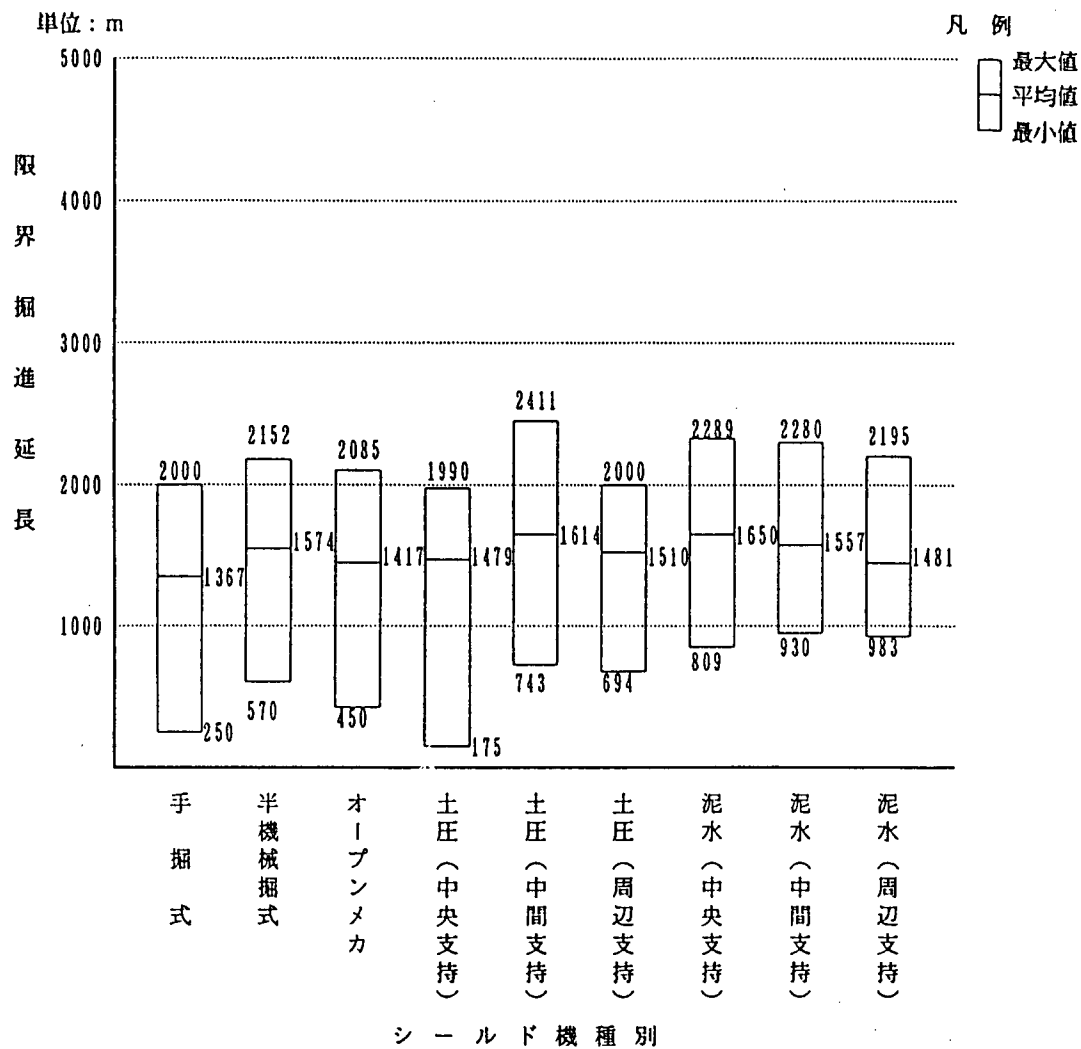
図-4. 3. 14 トンネル外径の適用限界

実績面からは、工法によって8～13mの範囲に限界が存在している。密閉型（土圧系、泥水系）に限ると泥水シールドの中間支持方式が最も大口径の実績があり、また、土圧系に比較し、泥水系の方が大口径化には、適していると言える。

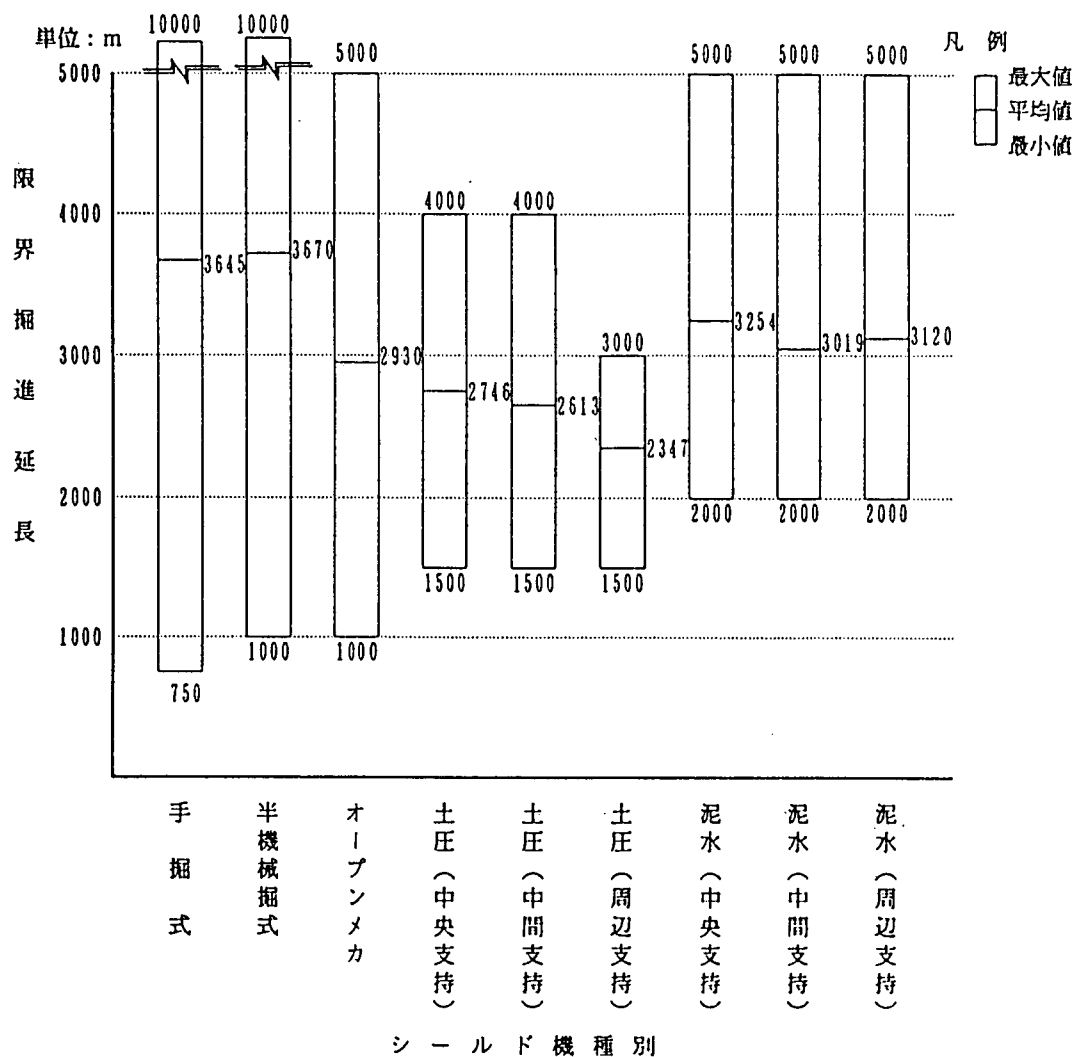
技術面からの限界については、平均で直径 ϕ 14～17mの範囲が可能であり、また、土圧系、泥水系共中間支持方式が大口径化には向いているとの判断を示している。いずれも、シールド機械メーカーの判断と比較すると定性的には類似しているものの、量的には低めの値となっている。

2) 掘進延長

掘進延長は特に密閉型の場合に問題となる。以下密閉型に限定し、アンケート結果を以下に示す。



(a) 実績限界



(b) 技術的限界

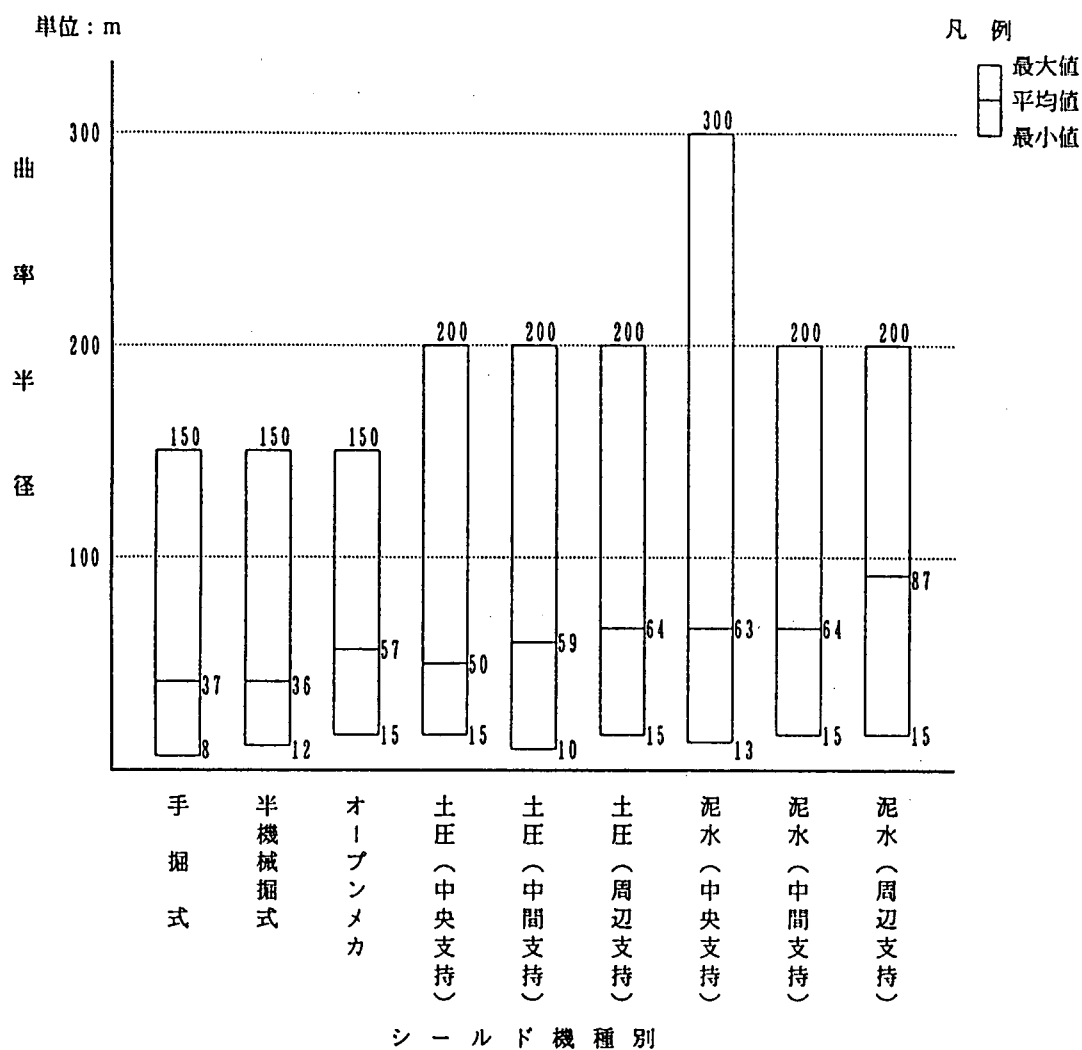
図-4. 3. 15 シールド掘進延長の適用限界

実績面から見るとあまり差異は無く、2,000m前後の範囲に止っている。

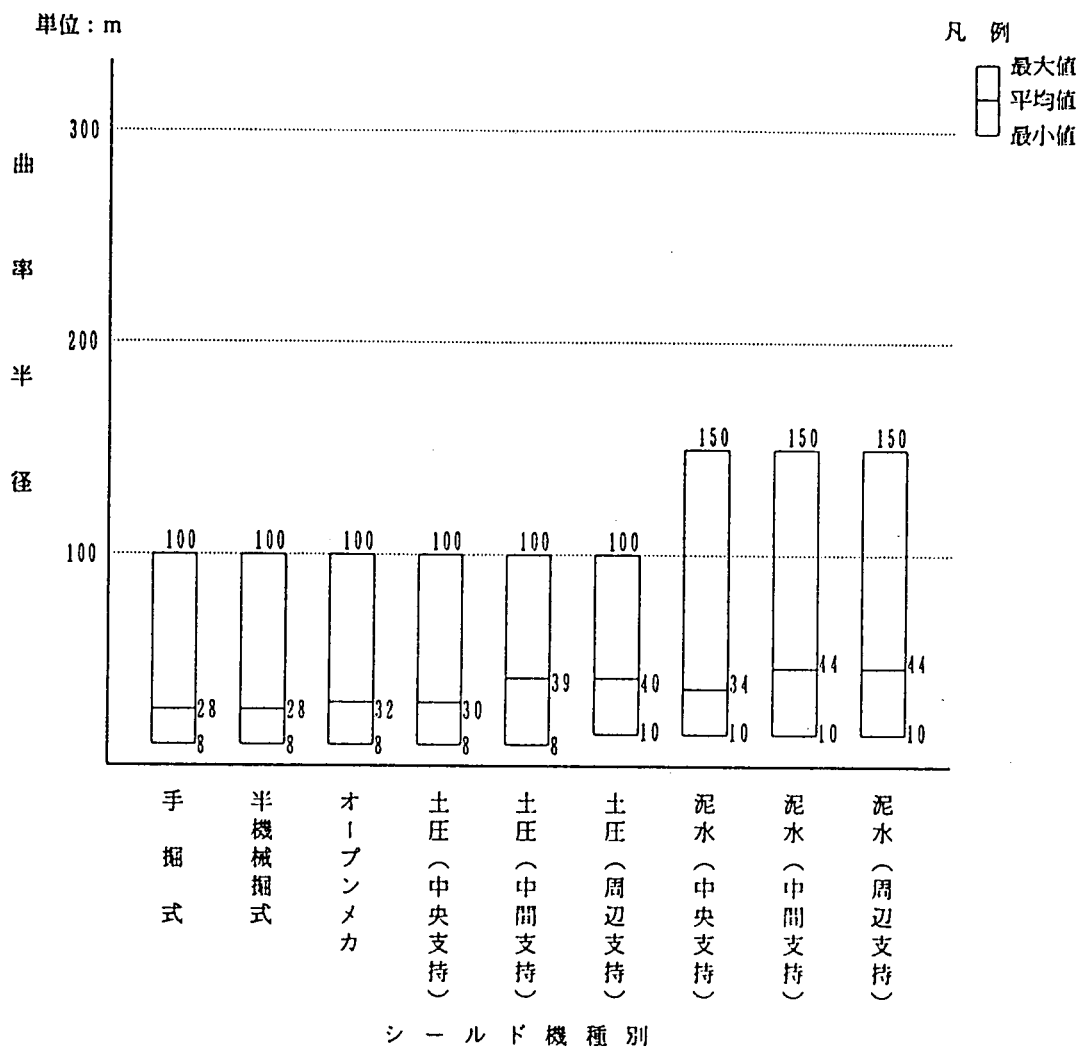
技術面からの限界としては、平均で2,500～3,000m、上限値で5,000mとなっている。ここで、適用限界が存在する理由としてテールシール、あるいはカッターフェイス・ビットの磨耗があがっている。これらの判断は、シールド機械メーカーとほぼ近い考えにある。実質的には、各部の保守修理費用等経済性の面から制約が出てくるものと考えられるが、一応の技術的な限界として泥水系が約3,000m、土圧系はやや短く2,500m程度と判断される。

3) 急曲線対応技術

施工技術における急曲線対応の、実績・技術面からの限界についてのアンケート結果を以下に示す。



(a) 実績限界



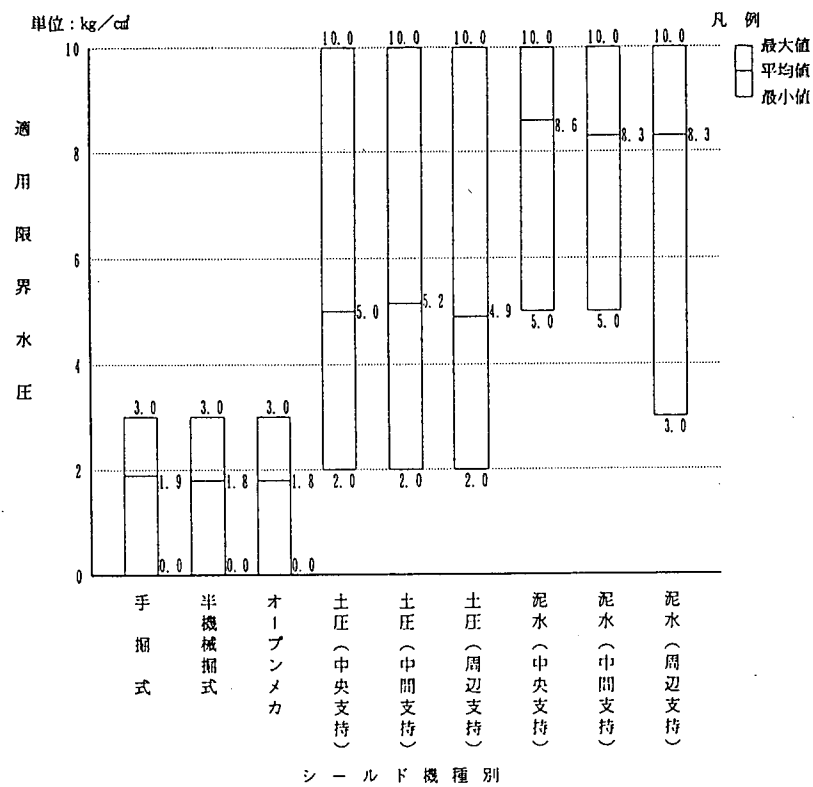
(b) 技術的限界

図-4. 3. 16 シールド急曲線の適用限界

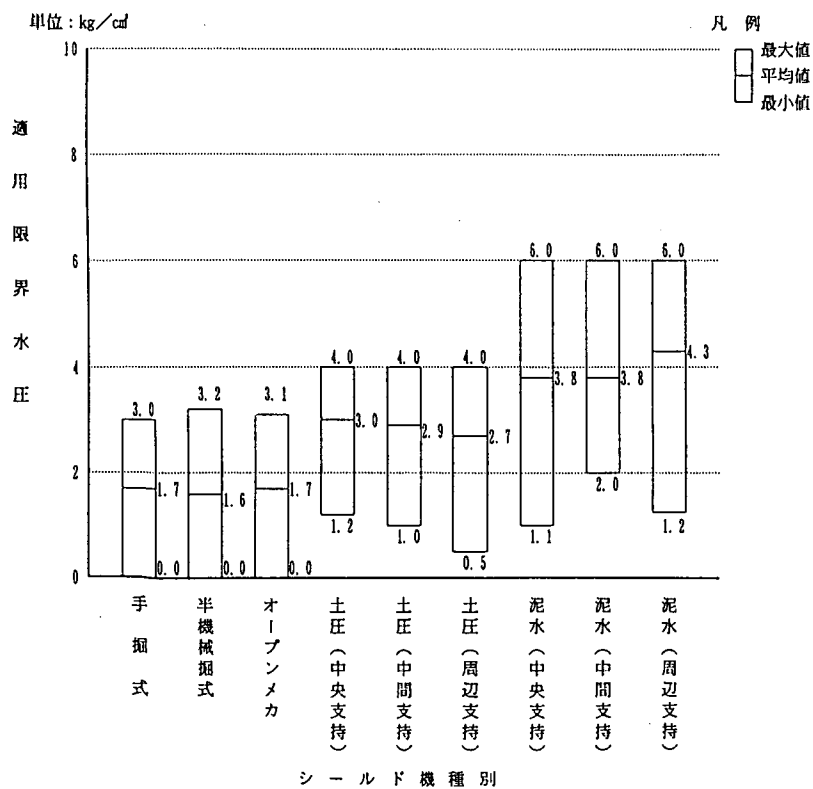
急曲線対応技術については、実績及び技術面からの限界（下限値）がかなり近似しており、シールド機械メーカーの判断と比較し、極めて近い結果となっている。しかし、技術面からの限界についての平均的な判断は、最小曲線半径 $R = 28 \sim 44$ m と実績と比較しても高くなっており、施工面からは、急曲線対応技術に、まだ解決すべき点があること（オーバーカットした部分の地山の安定確保等）を窺わせる。

4) 水 圧

施工技術における耐水圧の実績・技術面からの限界についてのアンケート結果を以下に示す。



(a) 実績限界



(b) 技術的限界

図-4. 3. 17 シールド適用水圧の限界

各シールド工法に対する技術面からの適用限界の判断が最も異なるのは、水圧に対する考え方である。

表－4. 3. 6 シールドの限界

(単位 kg/cm^2)

	土圧系	泥水系
シールド機械メーカー	11	14
建設会社	5	9

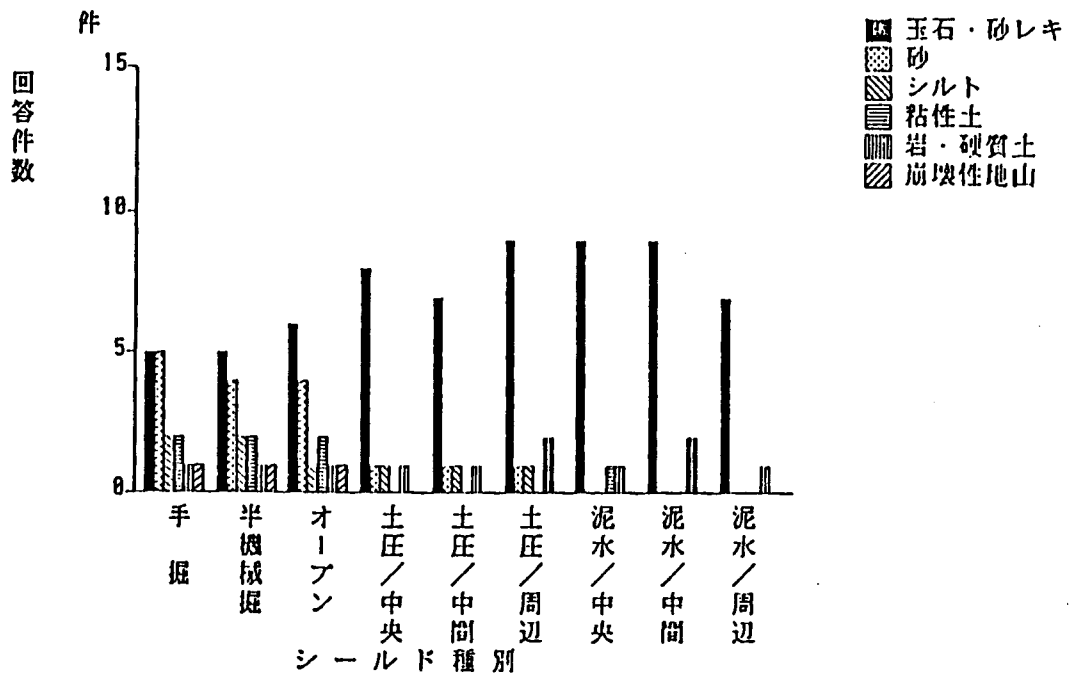
(平均値を表示)

泥水系、土圧系共シールド機械メーカーが考える限界が建設会社より高く、特に土圧系については、その差は大きい。

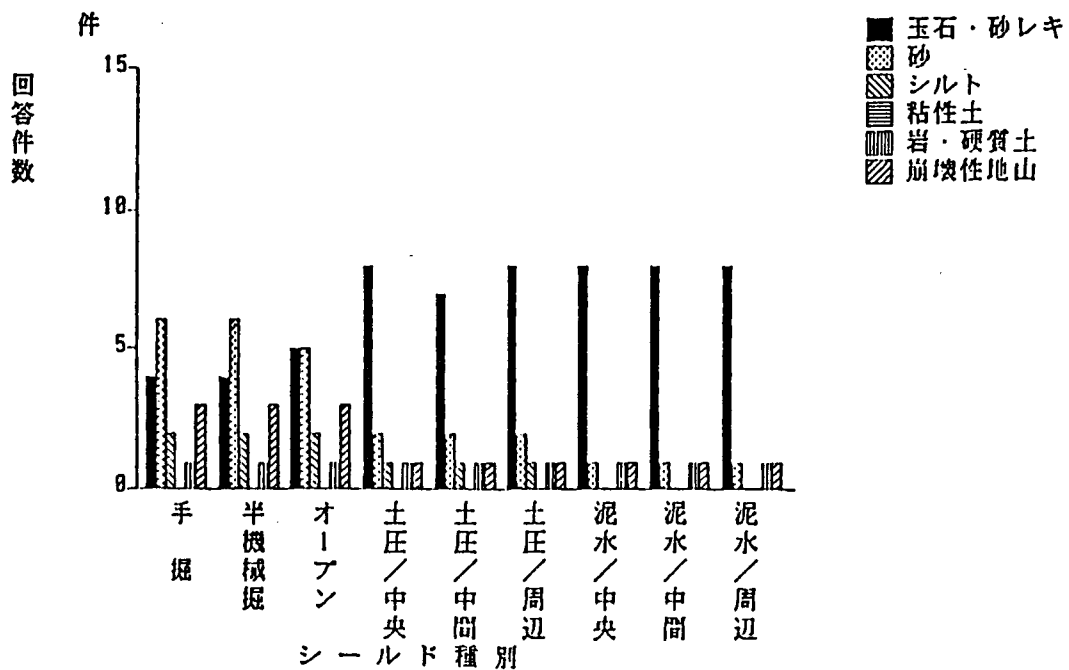
これは、シールド機械メーカー側が、ロータリーフィーダ等の機械的な耐圧を限界と考えたのに対し、建設会社側は、現状のスクリーコンベヤ・ロータリーフィーダ（ロータリーバルブ等）で連続的に排土していく際の止水機構に限界があると考えているためである。ここでは、下限側にある建設会社側の限界をこの値を採用し、土圧系統は $5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、泥水系は $9 \text{ kg}/\text{cm}^2$ を限界と考える。この値を基準に考えた場合、土圧系では大深度への適用は問題が多いといえる。

5) 問題となる土質種別

問題となる土質種別に関し、実績・技術の両面からの限界についてのアンケート結果を以下に示す。



(a) 実績面からの限界



(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 17 問題となる土質種別

問題となる土質は、実績面及び技術面共に同じで、開放型（手掘、半機械掘、オープンメカ）については砂質土が、密閉型（土圧系、泥水系）では玉石、砂礫地盤に問題があるとしている。

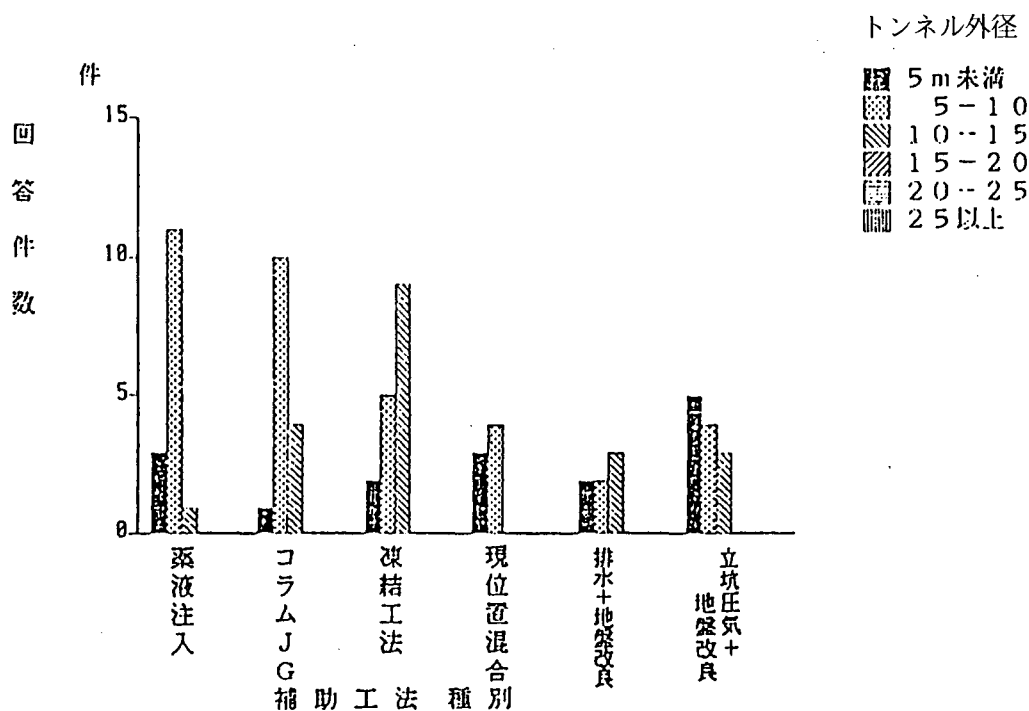
なお、この場合、単一の層よりは、問題となる土質を含む複数の地盤を掘削する場合に問題を起こすことが多い。

土圧系、泥水系に限って言えば、発進・到達、構造物の防護等特殊な事例を除き、薬液注入等の対策を採用することは少なく、現状のシールド工法はほぼ満足できるレベルにあると考える。

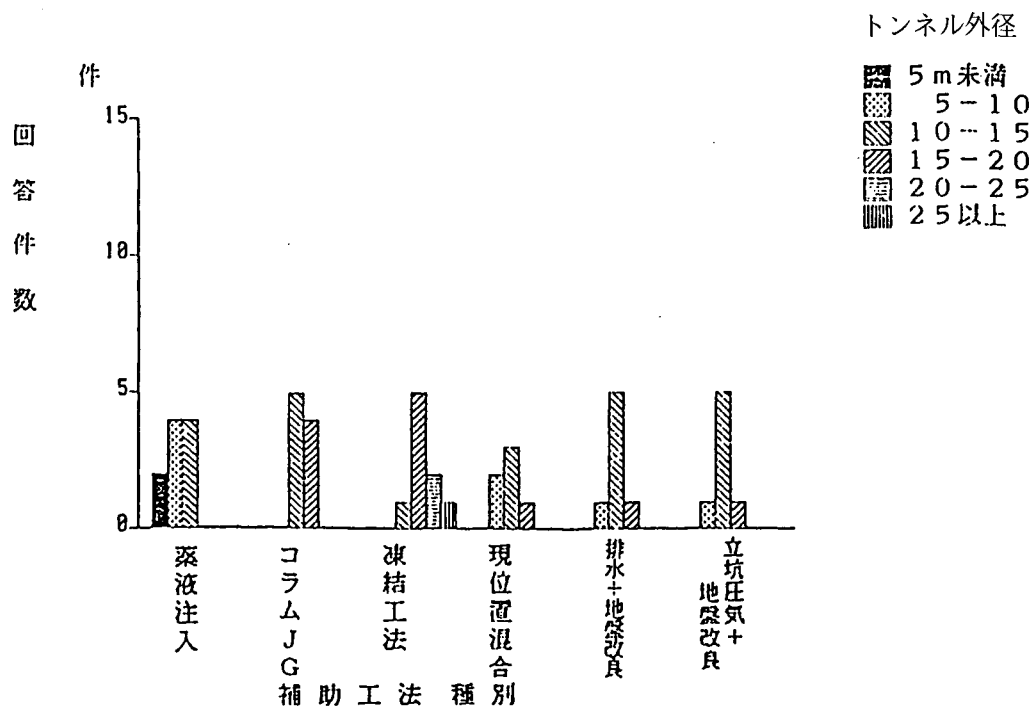
② 発進・到達技術

発進・到達技術について各種の補助工法で対処可能なトンネル外径、改良深度、水圧への実績、技術の両面からの限界についてのアンケート結果を以下に示す。

1) トンネル外径



(a) 実績面からの限界



(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 18 トンネル外径

各種の補助工法で対処可能なトンネル外径の限界は、土質により異なり一義的に決めるのは困難であるが、アンケート結果より実績からは、薬液注入の場合、平均で5～10 m、最大で10～15 m、凍結工法の場合、平均約10 m、最大10～15 mで、最も大口径のものの実績が多い。また、コラムJGの場合、上記の中間にある。

排水あるいは圧気を併用する事例は、平均で5～10 m、最大で10～15 mと、若干薬液注入単独のものより範囲が広がる。

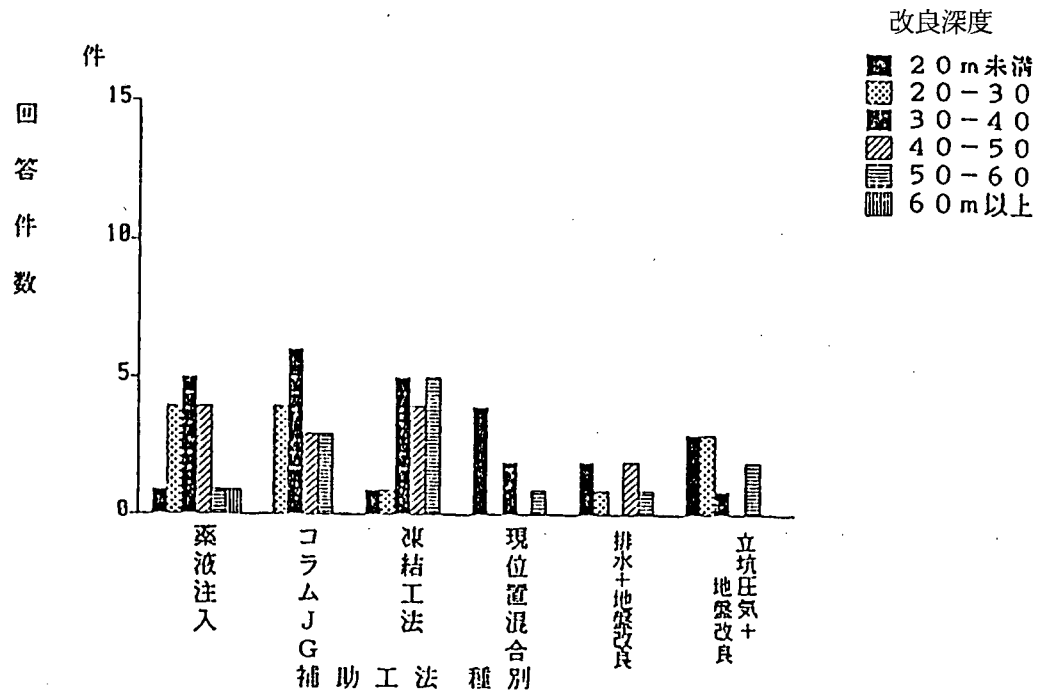
一方、技術面からの限界については、薬液注入の場合、平均で約10 m、凍結工法の場合、平均で約20 m、コラムJGの場合、上記の中間で、平均で約15 m、排水あるいは圧気を併用する事例については、実績の場合と同様に、薬注より若干範囲が広がっている。凍結工法を除き、いずれも大断面となる場合は問題があるものと言える。なお、凍結工法についても、工期、経済面で問題が残されている。

2) 改良深度

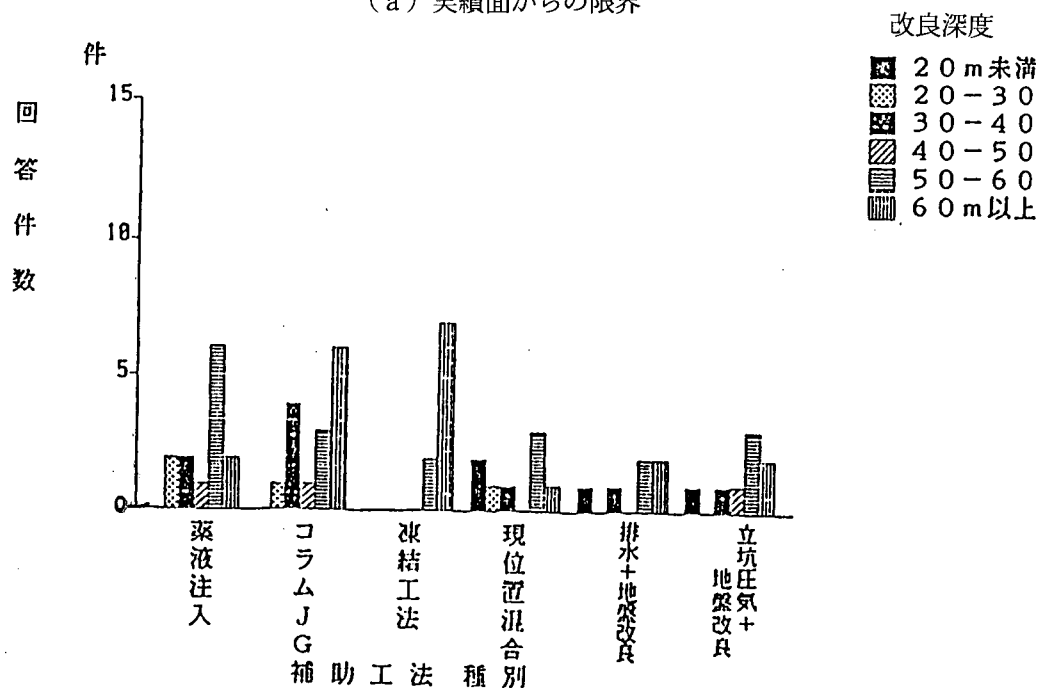
地盤改良の場合、いずれも地表から施工することが多いので、施工精度の面から限界が存在する。現状で大深度へ適用するのに、十分とは言えず、一段の開発が必要である。

なお、凍結工法及び薬液注入工法の場合、坑内より水和施工する方法も実際に行われている。この場合には、特に、施工精度との問題は生じないものの、条件によっては、実際採用できない場合がある。（凍結工法の場合、凍結管がシールド掘進の障害となる等）

大深度へ適用していく際には、単に地盤改良のみに頼らず、より合理的な発進、到達、地中接合等の研究を進める必要がある。



(a) 実績面からの限界



(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 19 改良深度

各種の補助工法で対処可能な深度の限界は土質により異なり、一義的に決めるのは困難であるが、アンケート結果より実績からは、薬液注入の場合、平均で約40m、最大で60m以上、凍結工法の場合、平均で約40～50m、最大で50～60m、コラムJGの場合、平均で約40m、最大で50～60mとなっている。

一方、技術面からの限界については、薬液注入の場合、平均で約50m、凍結工法の場合、平均で60m（次図より約400m）、コラムJGの場合、平均で約50mとなっている。

また、排水・立坑圧気併用方式の場合、平均で50m程度であり、コラムJGとほぼ同程度である。なお、技術面からの限界について縦軸を改良深度で表わすと次図のようになる。

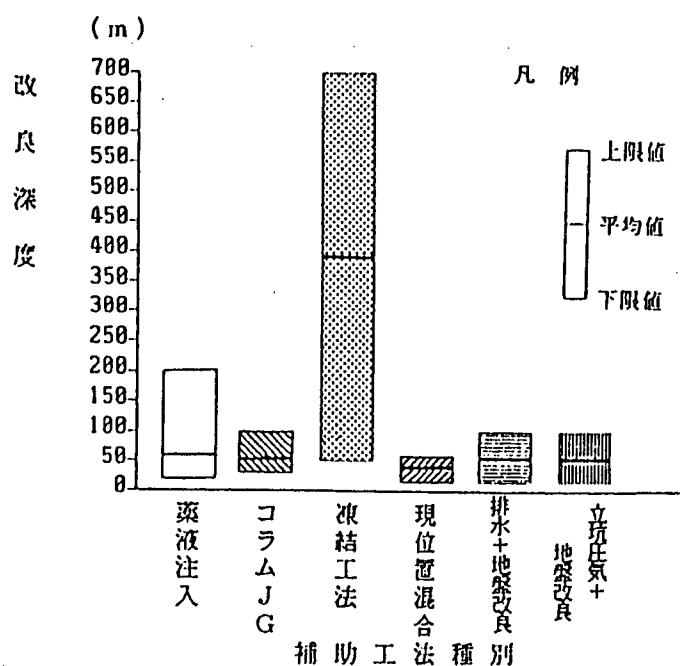
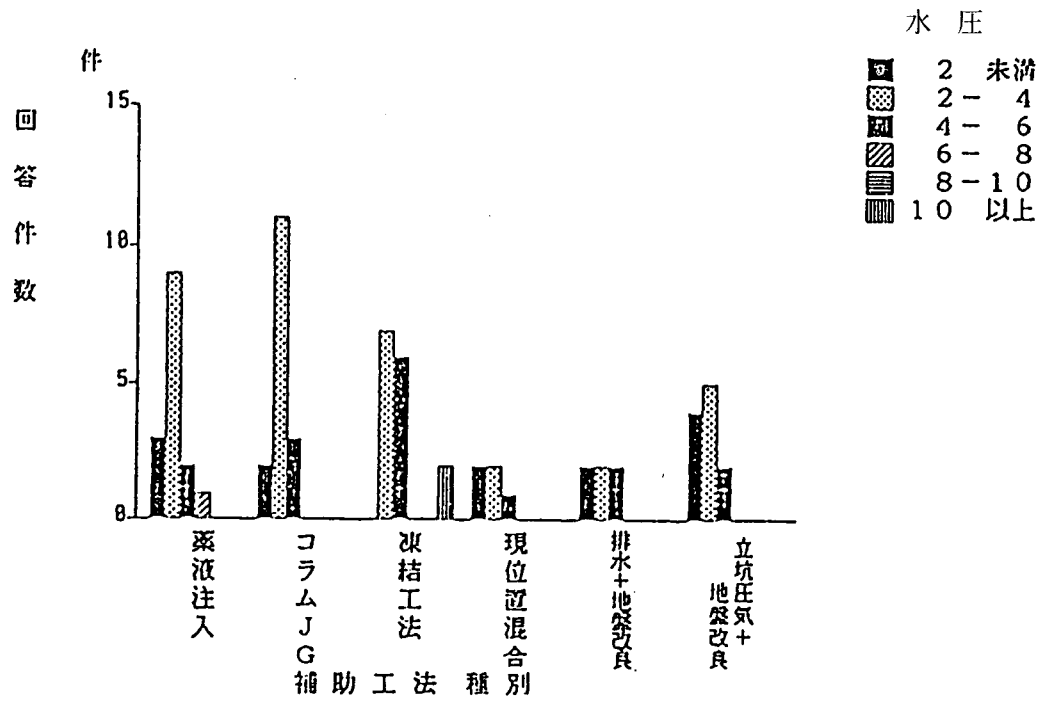


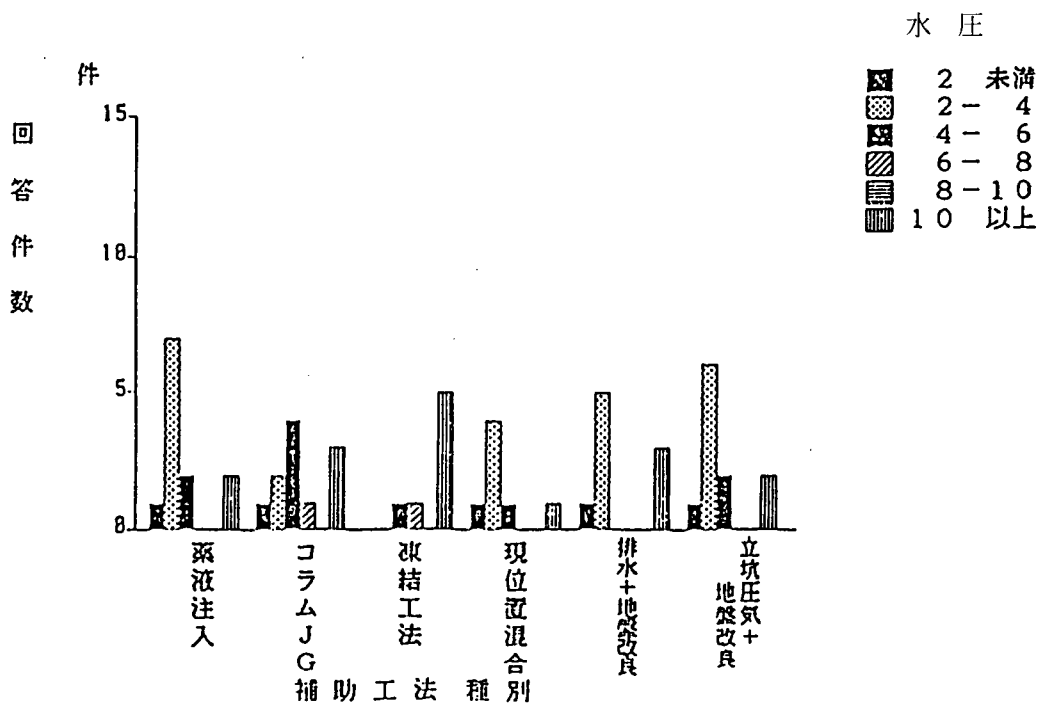
図-4. 3. 20 シールドの限界（改良深度）

3) 水 圧

各種補助工法で対処可能な耐水圧の限界についてのアンケート結果を以下に示す。



(a) 実績面からの限界



(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 2 1 シールドの限界 (水圧)

各種補助工法で対処可能な耐水圧の限界は土質、用途等により異なるが、実績から判断すると、薬液注入の場合、最大で $6 \sim 8 \text{ kg/cm}^2$ 以上であるが、 $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ が大半である。コラム J G の場合、最大で $4 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ であるが、 $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ が大半である。また、凍結工法の場合、水平方向の改良が可能なためか、最大 10 kg/cm^2 以上であるが、平均的には $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ のものが多い。

一方、技術面からの限界については、薬液注入の場合、平均で 6 kg/cm^2 、コラム J G の場合、平均で 6 kg/cm^2 、また、凍結工法の場合、平均で 12 kg/cm^2 以上となり、大深度には凍結工法が一応の技術のレベルにあると言える。

なお、先にも述べたように、凍結工法は、工程あるいは経済性の面で難点もあるため、他の方式について、さらに技術開発が必要と考える。

技術面からの限界について縦軸を適応水圧で表すと、次図のようになる。

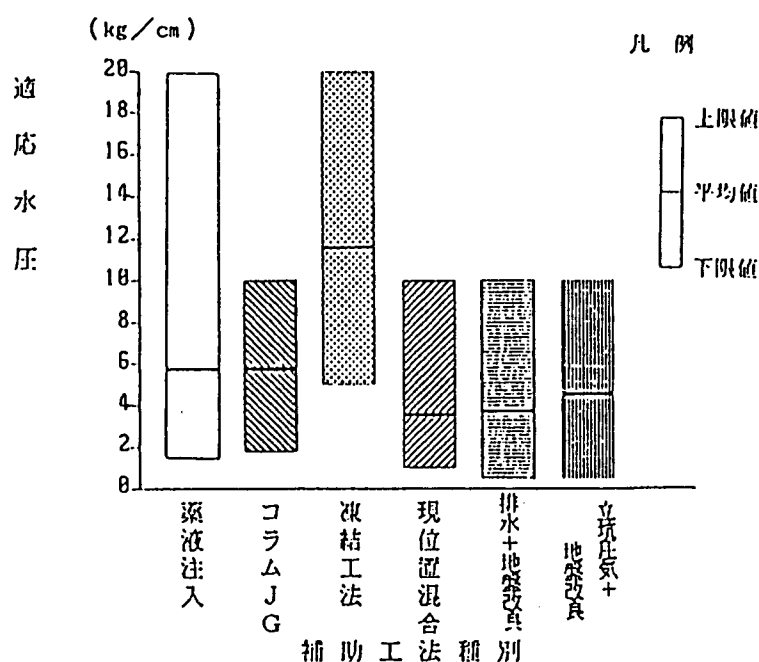


図-4. 3. 22 シールドの限界（水圧、発進到達時補助工法）

4) 補助工法の主に対象とする土質、適用困難な土質

補助工法の主に対象とする土質は、薬液注入が砂・砂礫となっているのに対し、コラムJG、凍結工法では、粘性土の比率が高まる。この傾向は実績及び技術的な判断でいずれにも認められる。

これに対し、技術的に適用が難しい土質としては、上とは逆に薬液注入では粘性土が、コラムJG、凍結では、砂礫層があげられている。

なお、実際面からは、上記の技術を組み合わせ、対応しており、土質面からの限界は、特に考慮する必要はないと考える。

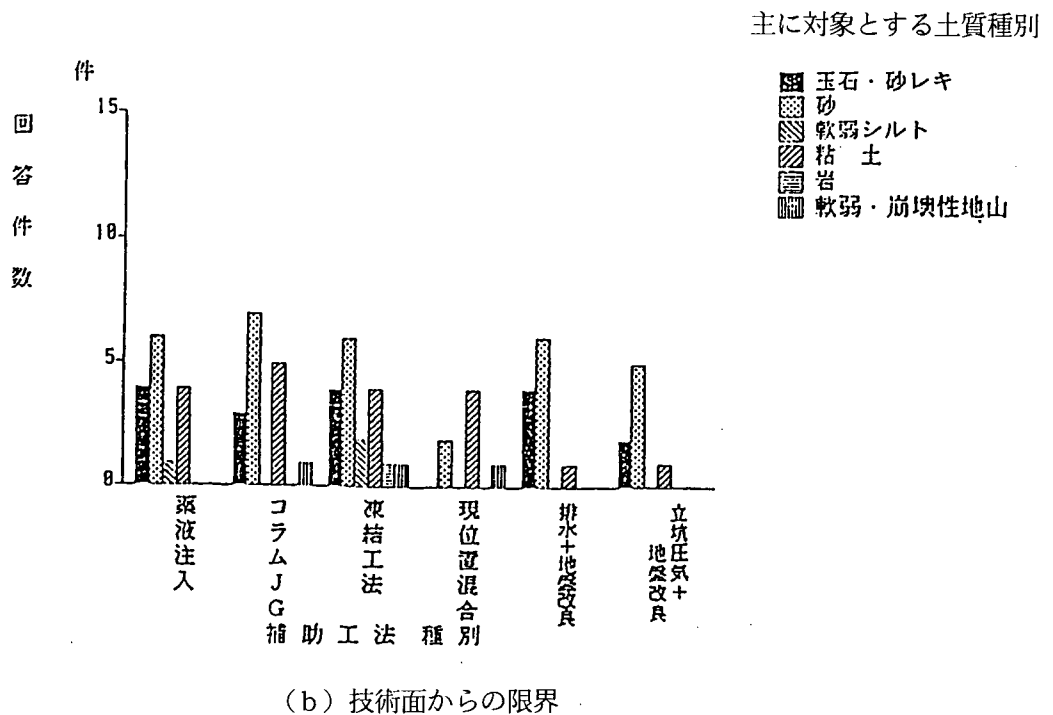
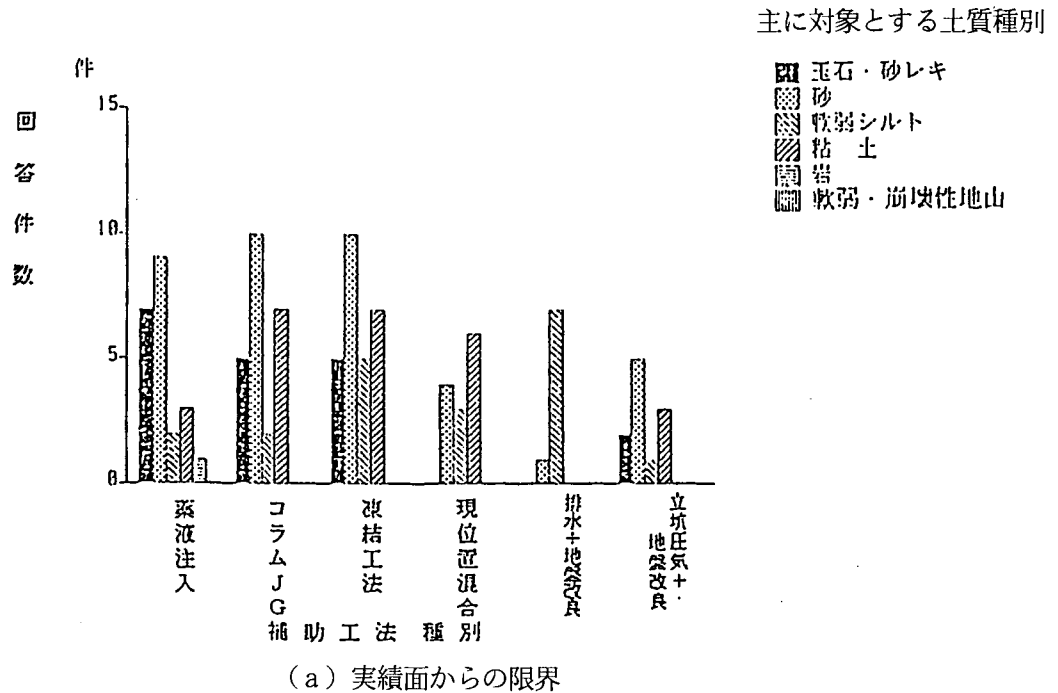
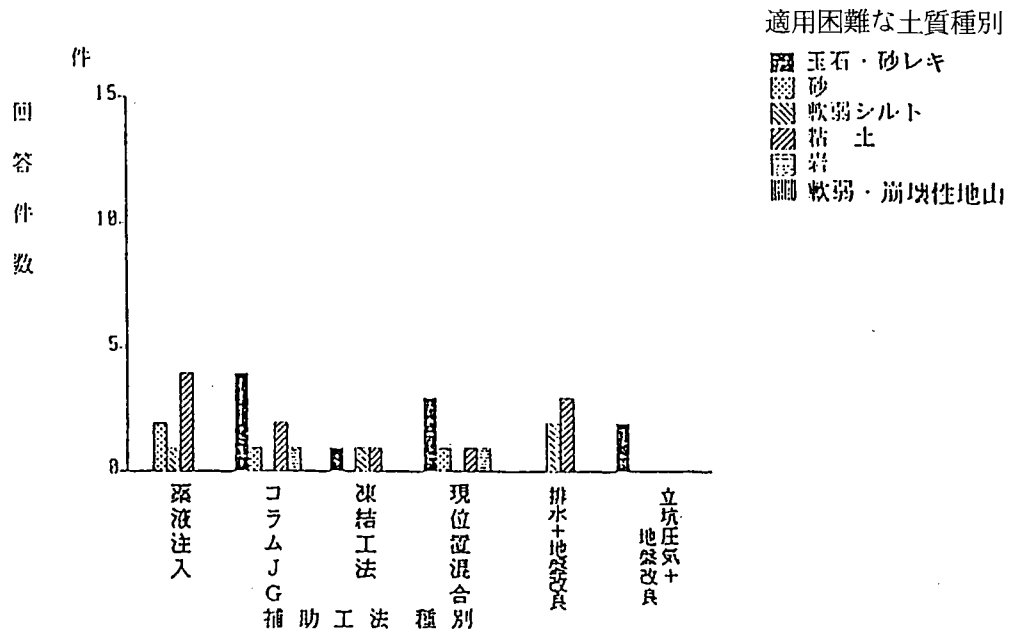
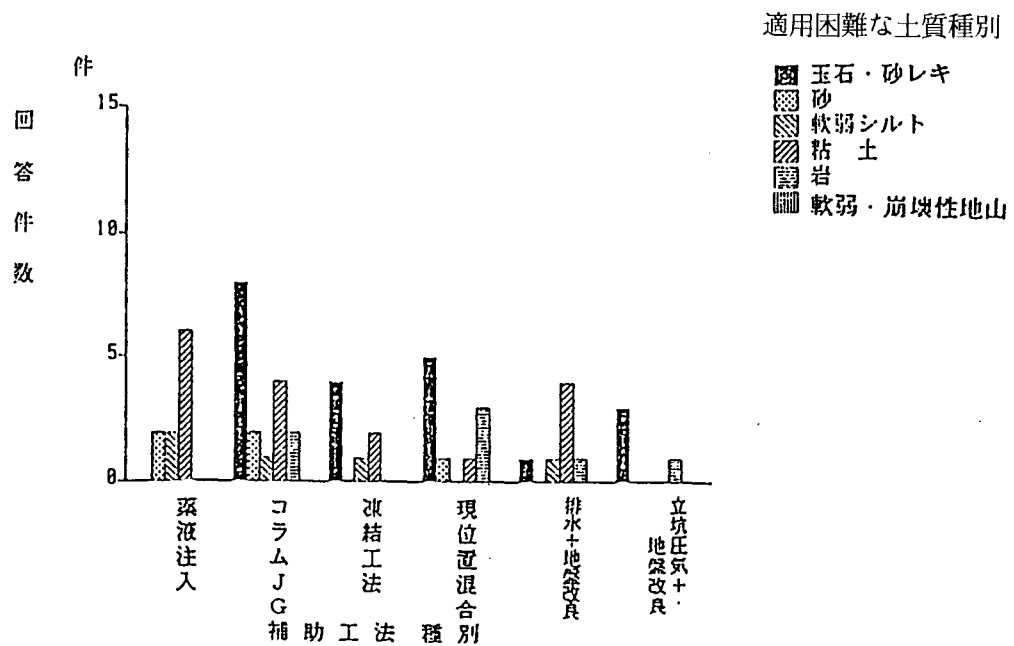


図-4. 3. 24 シールドの限界 (主に対象とする土質別)



(a) 実績面からの限界



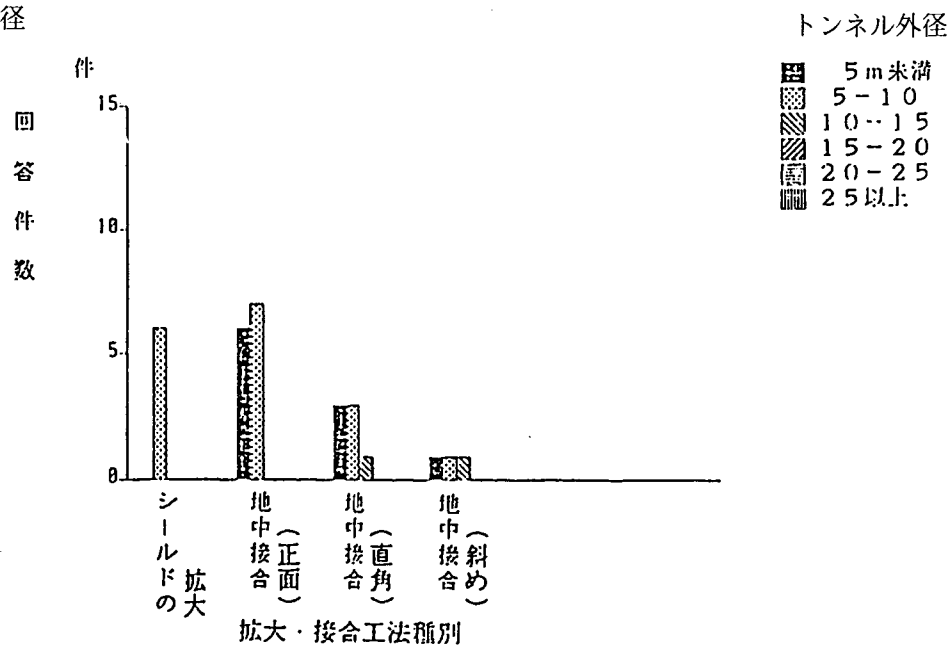
(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 24 シールドの限界 (適用困難な土質種別)

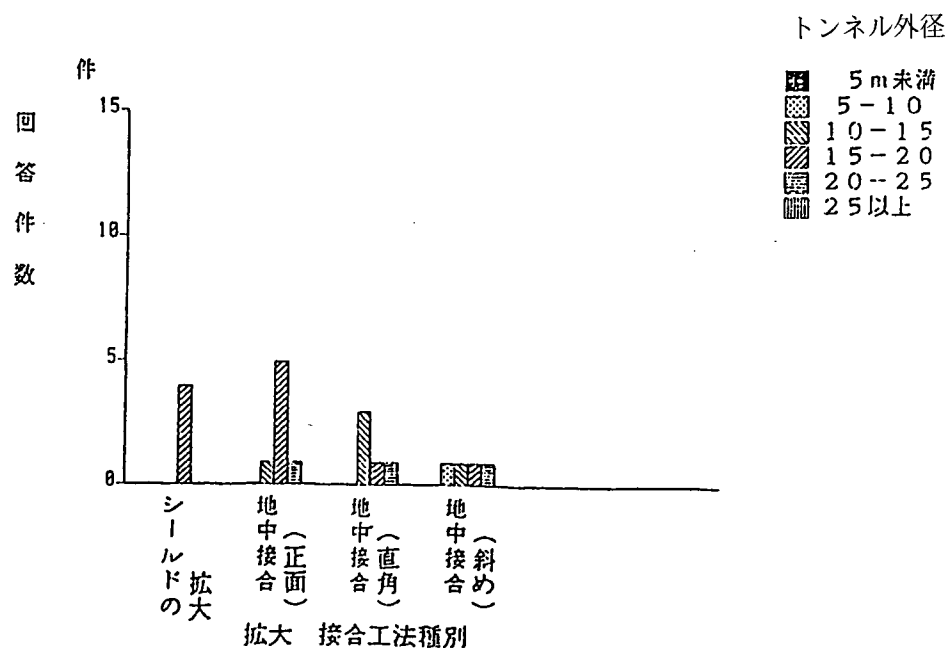
③ 地中拡大・接合

立坑を用いずにシールドを地中で拡大したり、接合したりする方法において、トンネル外径、深度、水圧等の限界を実績・技術の面からみると、アンケート結果は以下のようである。

1) トンネル外径



(a) 実績面からの限界



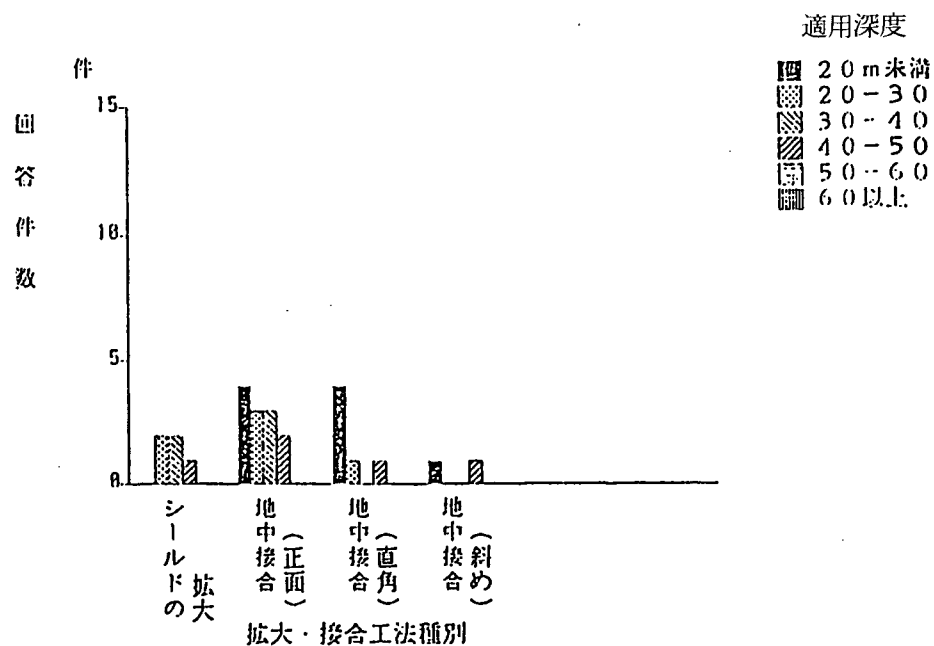
(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 2 5 シールドの限界 (トンネル外径)

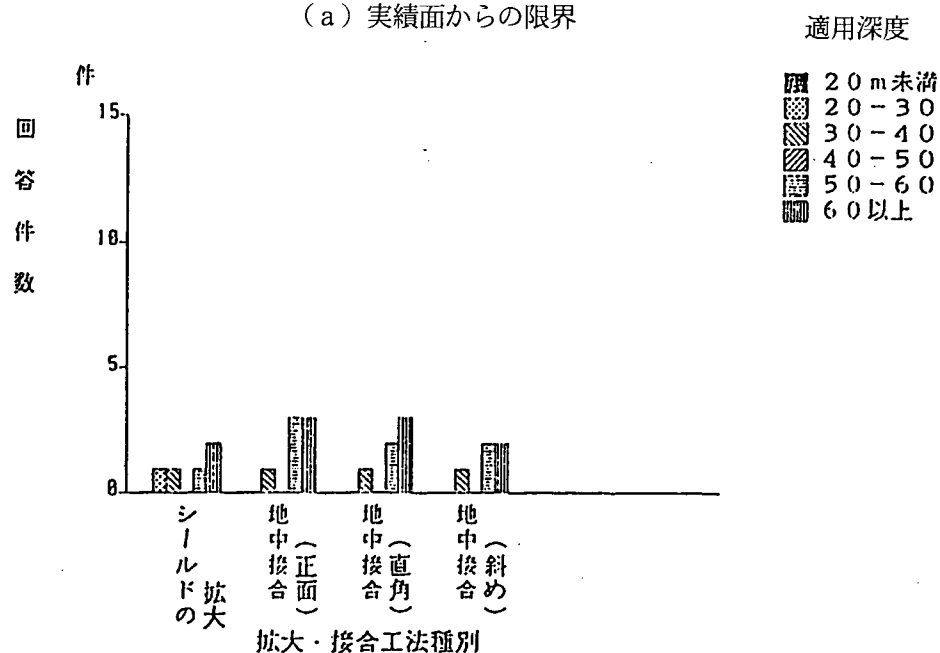
表-4. 3. 7 シールドの限界（トンネル外径）

	実績面からの限界	技術面からの限界
シールドの拡大	5 ~ 10 m	15 ~ 20 m
地中接合（正面）	5 ~ 10 m	15 ~ 20 m
地中接合（直角）	5 ~ 10 m	10 ~ 20 m
地中接合（斜め）	5 ~ 10 m	10 ~ 20 m

2) 適用深度



(a) 実績面からの限界



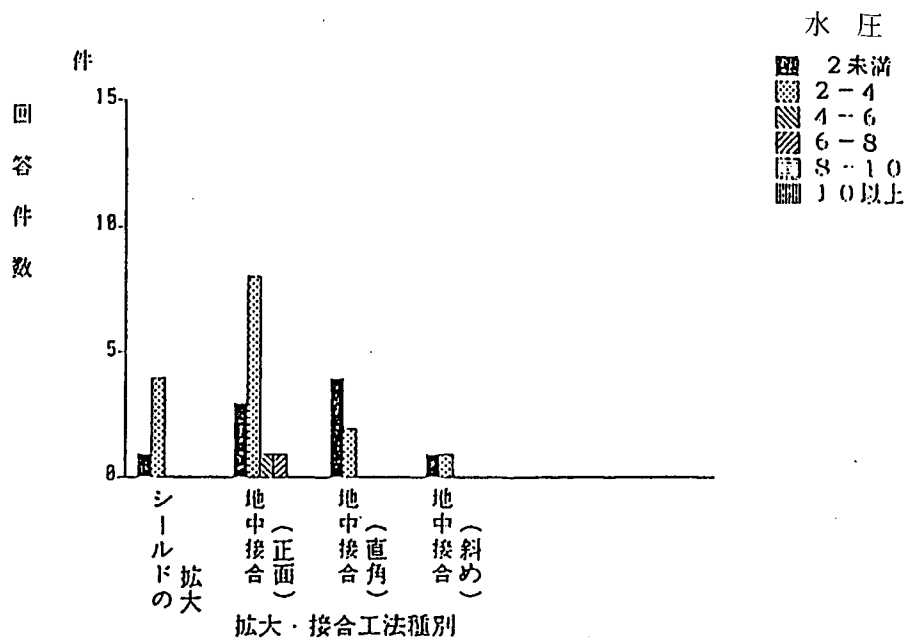
(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 26 シールドの限界(適用深度)

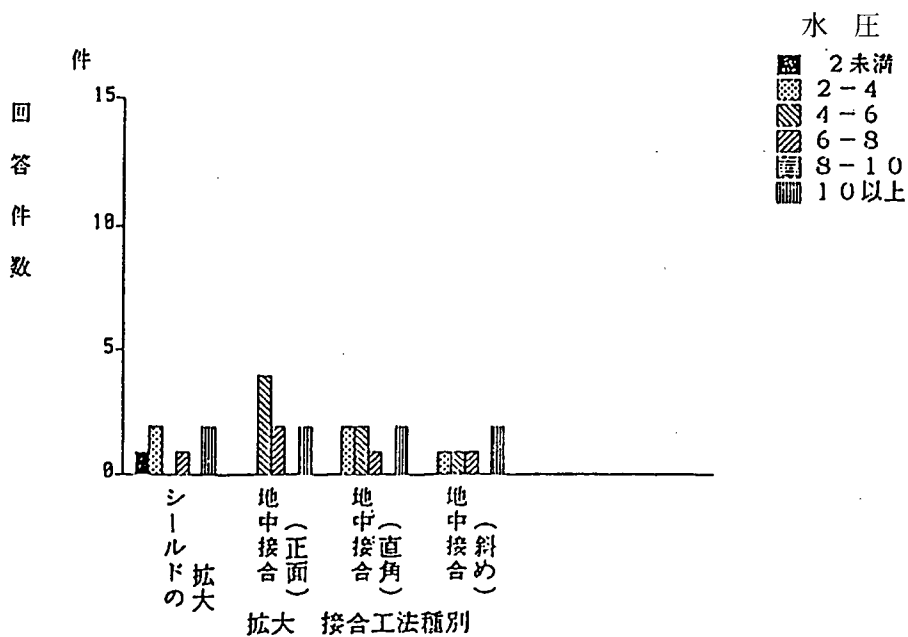
表-4. 3. 8 シールドの限界(適用深度)

	実績面からの限界	技術面からの限界
シールドの拡大	30 ~ 40 m	20 ~ 40 m
地中接合(正面)	20 ~ 40 m	60 m以上
地中接合(直角)	20 m前後	60 m以上
地中接合(斜め)	20 ~ 40 m	50 ~ 60 m以上

3) 水 圧



(a) 実績面からの限界



(b) 技術面からの限界

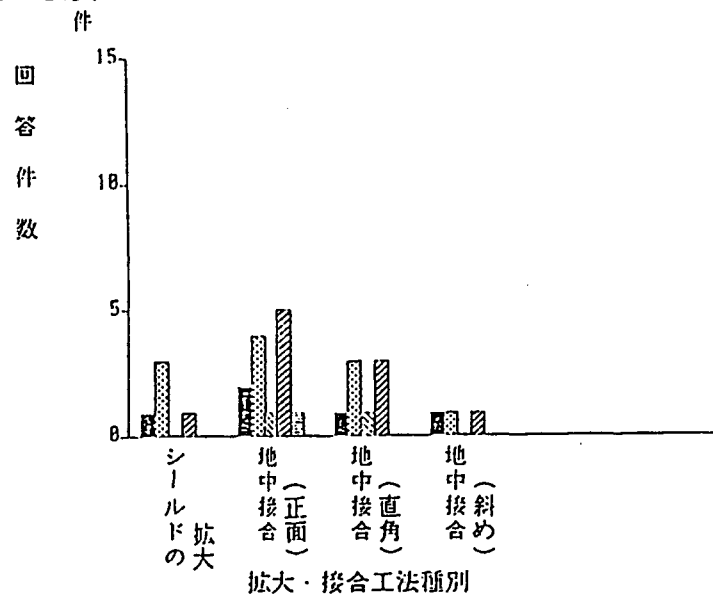
図-4. 3. 27 シールドの限界 (水 圧)

表-4. 3. 9 シールドの限界 (水 圧)

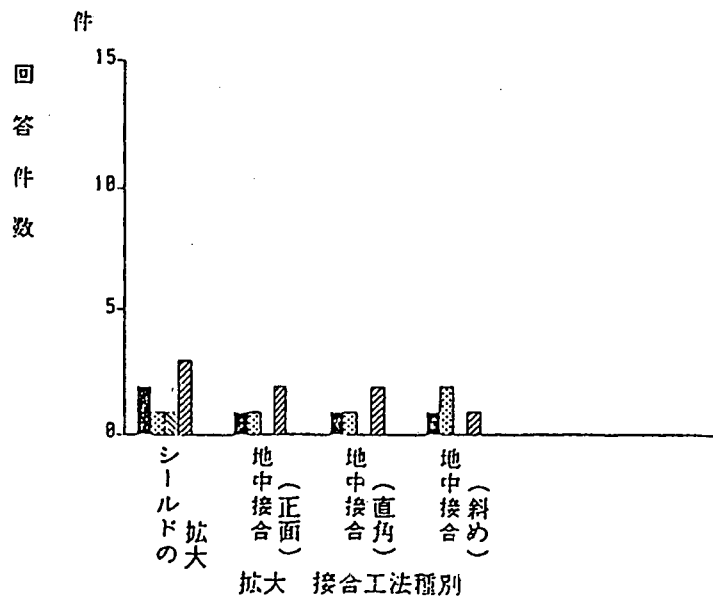
	実績面からの限界	技術面からの限界
シールドの拡大	2 ~ 5 kg/cm ²	2 ~ 4 (10以上) kg/cm ²
地中接合 (正面)	2 ~ 4 kg/cm ²	4 ~ 6 (10以上) kg/cm ²
地中接合 (直角)	1 ~ 4 kg/cm ²	6 ~ 8 (10以上) kg/cm ²
地中接合 (斜め)	1 ~ 4 kg/cm ²	6 ~ 8 (10以上) kg/cm ²

() は、条件によって可能な場合もある。

4) 主に対象とする土質



(a) 実績面からの限界



(b) 技術面からの限界

図-4. 3. 28 シールドの限界 (主に対象とする土質種別)

表-4. 3. 10 シールドの限界 (主に対象とする土質種別)

	実績面からの限界	技術面からの限界
シールドの拡大	砂	粘土
地中接合(正面)	砂, 粘土	粘土
地中接合(直角)	砂, 粘土	粘土
地中接合(斜め)	砂, 粘土	砂

5) 適用困難な土質

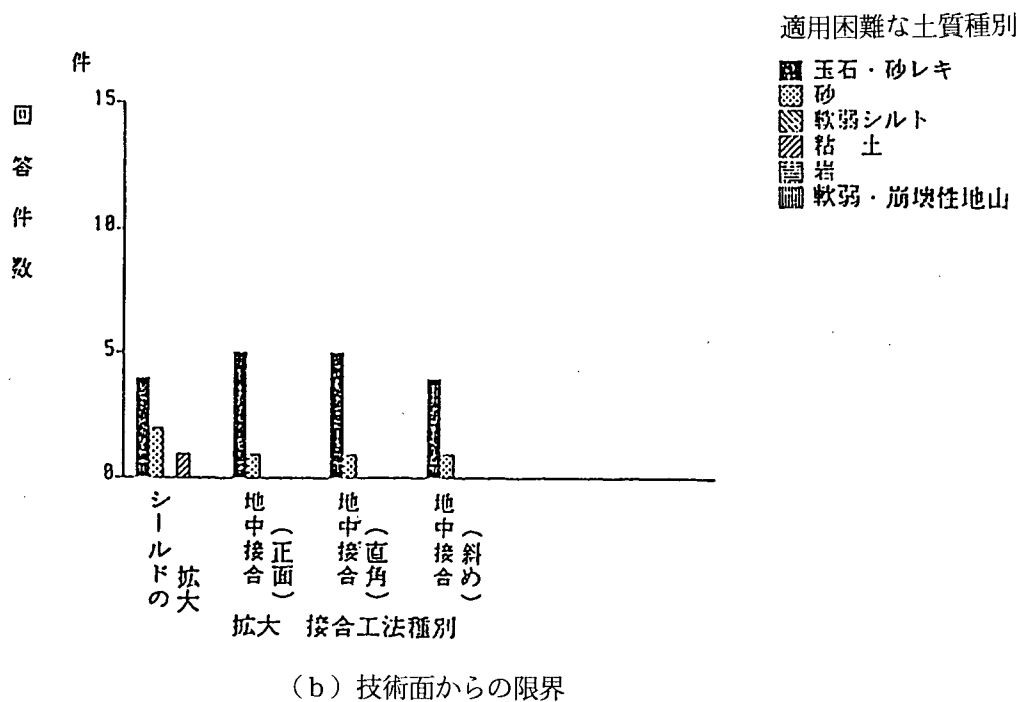
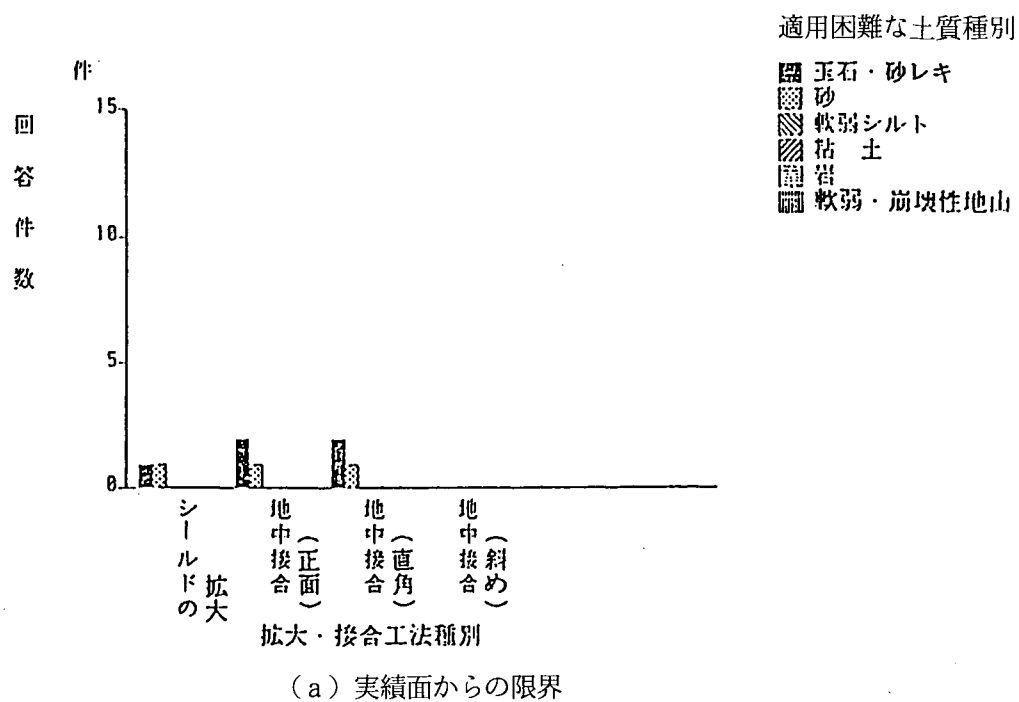


図-4. 3. 29 シールドの限界 (適用困難な土質種別)

地中拡大・接合において適用困難な土質は実績面，技術面からも玉石・砂礫と言える。

なお，いずれも実績は少なく，また，技術面からの限界について，無回答が多い。すなわち，これらの技術は，まだ，十分定着しているとは言い難く，今後とも，研究を続けていくべきものと言える。特に，大断面，大深度への適用という面から判断すると，問題が多い。

地中拡大・接合において限界が存在する理由としては，次のものがあげられる。

- ・地盤改良技術に信頼性の限界がある。
- ・正面以外のメカニカル接合が開発されていない。
- ・分岐，合流部の接合角度に限界がある。

④ 自動化技術

セグメント搬送、組立、土砂搬送、ECLについての自動化技術の実績面、技術面からの限界は以下のように考えられる。

表-4.3.11 自動化技術の限界（セグメント自動搬送）

実績面からの限界		技術面からの限界	
能力	範囲	能力	範囲
・バッテリー 4 ton ・掘削外径 ϕ 3.730 ・完全無人 ・切羽付近での部分自動化 ・ϕ 6 ~ 8.0m ・L = 500 ~ 600 m ・ϕ 5m以下困難	・立坑→切羽 ・セグメント台車→エレクター ・継続設備→エレクター	・セグメント吊り降し時の安全性 ・仕上り内径 ϕ 3.000未満は不可 ・完全自動化可能	・無人牽引車による搬送 ・地上→エレクター

表-4.3.12 自動化技術の限界（セグメント自動組立）

実績面からの限界		技術面からの限界	
能力	範囲	能力	範囲
・ϕ 3.730 ・省力化した自動化 ・ϕ 5m以下困難	・粗位置決めまで ・組立全工程	・4.5m以上 ・継手構造 ・ϕ 2.5m以下困難 ・セグメントがせった場合の組立 ・重量・スピード ・完全自動化	・ボルト締結 ・完全自動化 ・組立機の大きさ

表-4. 3. 1 3 自動化技術の限界（土砂搬送）

実績面からの限界		技術面からの限界	
能力	範囲	能力	範囲
◦ 泥水（ϕ 9.7m） ◦ 土圧（ϕ 7.8m） ◦ 泥水 95 m³ /H ◦ 土砂圧送80m³ /H ◦ ϕ 8.210 ◦ 1.5 km可能 ◦ シルトのみ ◦ ϕ 9.7 m ◦ （泥水）100m³ /H ◦ 35 m³ /H/1台 ◦ 80 m³ /H	◦ 泥水（ϕ 2.1km） ◦ 土圧（ϕ 1.3km） ◦ （泥水）土量計測制御 ◦ （土圧）土砂圧送 ◦ ポンプオペ→土砂ポンプまで ◦ 切羽→立坑 ◦ 細砂・シルト ◦ L=600 m/1台 ◦ L=550 m ◦ L=1,200 m	◦ 土圧力系は玉石困難 ◦ ポンプ能力で制限 ◦ 送泥管の閉塞 ◦ シルトならホッパまで可能 ◦ 自動化可能 ◦ 玉石困難	◦ 圧送量の計測・制御 ◦ 切羽→地上

表-4. 3. 1 4 自動化技術の限界（ECLの自動化）

実績面からの限界		技術面からの限界	
能力	範囲	能力	範囲
◦ 軟弱地盤施工 ◦ コンクリート打設管理	◦ 厚さの計測 ◦ 各工程部分の自動化 ◦ プレス作業まで	◦ 型枠組立，鉄筋組立，コンクリート打設まで自動化可能 ◦ 作業複雑 ◦ サイクルタイム短縮 ◦ 相互関連のコントロール ◦ コンクリート圧送管理 ◦ 鉄筋組立困難	◦ 完全自動化困難

自動化において適用限界が存在する理由には以下のものが考えられる。

- ・経済的に割高となる（全体的）
- ・機械の機能不足（全体的，スペース的な制約と関係する）
- ・スペース的な制約（セグメント自動組立，ECLの自動化）
- ・礫，玉石でパイプ閉塞（土圧系の土砂搬送）が対策不十分
- ・軟弱地盤でのコンクリート打設脱水が不十分となる（ECLの自動化）

4. 3. 2 シールド工法の課題

シールド技術に関して、今後大深度、大断面化を進めるにあたり、現状技術の課題についてアンケートに基づいてまとめると表-4. 3. 2のようになる。これらを技術要素別に要約する。なお、課題には現状技術の改善・改良に関するものと、技術の限界を突破するためのものとが含まれる。この仕分けはアンケート上ではあまり明確ではないが、若干の技術的判断を加え、それぞれについて重みづけ（技術の限界を突破するためのものを重要課題と分類）をおこなった。

(1) 設計技術

安全でかつ合理的な大深度、大断面トンネルを実現するには、設計法の一層の向上が重要である。

覆工の設計法としては、設計荷重の合理的な評価方法が永遠の重要課題として想定されるが、これに加え、以下の項目についての研究が必要である。

- ①土性値の評価方法の高精度化
- ②一次覆工の剛性評価・応力履歴を考慮した設計法の確立
- ③二次覆工を考慮した設計法（荷重分担の決定方法等）の確立

周辺地盤への影響評価についても、より合理的な施工を実現するには、精度の向上が重要である。

- ④シールド施工に伴う周辺地盤・既設構造物あるいは地下水等の挙動予測評価技術の向上
- ⑤情報化施工技術の向上

上記の5項目のうち、大深度、大断面化を進めるには④が特に重要であろう。

(2) シールド機械

シールド機械に関しては、大深度化、大断面化、長距離化が狙いと言える。いずれも工法によって状況は若干異なるが、概略以下のような課題についての研究が必要である。

[大深度化]

- ①止水性、耐久性を兼ね備えたシール機構の開発（土砂シール、テールシール）
- ②土圧系シールドの掘削・排土システムの耐水性向上技術の開発

[大断面化]

- ③大口径シールド機加工機械設備の開発
- ④土圧系シールドの掘削土砂流動化（カッタートルク軽減）技術の開発

[長距離化]

- ⑤カッター、カッタービット等の耐磨耗性能の向上
- ⑥テールシール、カッタービットの交換技術（補助工法を必要としないもの）の開発

上記の課題のうち、泥水系シールドの場合は比較的課題は少なく、アンケートでも水圧 9 kg/cm^2 、外径 17 m 、掘進延長 $3,000 \text{ m}$ まで可能との結果が得られている。これに対し、土圧系シールドの場合、水圧 5 kg/cm^2 、外径 15 m 、掘進延長 $2,600 \text{ m}$ と十分とはいえない。

これは主に②、④、⑥によるものと言える。

なお、大断面化に対しては、③が課題であるが、技術的な課題と言うよりも、社会的な課題（従来はこの様なニーズが無かった）であり、ニーズがあれば突破可能なものと言える。

（３）一次覆工（セグメント）

一次覆工は、大深度、大断面化に対し、主に経済的な面からの課題がある。即ち、超大型かつ重量のセグメントの取扱いに関するものである。

技術課題としては、以下の項目が上げられる。

①高強度、高剛性セグメントの開発（軽量化）

②セグメントの組立て精度の向上（自動化）

いずれも大深度、大断面化に際して重要な課題と言える。

（４）施工技術

シールド工法に関しては、主として、施工性、安全性向上を狙った課題が多い。

①大断面切羽安定対策と解析方法の開発

②あらゆる土質に対応可能なシールド工法の開発

③異形断面（合理的断面）シールド工法の開発

発進・到達技術、地中接合・拡大技術、に関しては、地盤改良に関する課題が中心となる。

④深層地盤改良技術（材料、施工法、効果確認方法）の開発

⑤補助工法を使用しない発進・到達技術、地中接合・拡大技術の開発

その他自動化技術の開発、改善が課題として上がっている。

大深度、大断面化を進めるにあたっては④、⑤が重要である。また、大断面化に関連し、より合理的な断面のシールド機或いはその施工法の開発を目指す③の課題も重要と考えられる。



表-4. 3. 15 シールド工法の課題

大分類		中分類	小分類	課 題
シールド 技 術	設計技術	覆 工		一次覆工の剛性評価・応力履歴を考慮する設計法の確立 一次覆工と二次覆工の設計法の整合（荷重分担）
		周辺地盤		物性値の評価方法と高度化、境界条件の把握と高度化、裏込めの評価方法 ゆるみ領域評価方法、情報化施工の高度化、予測精度の向上
	シールド機 機 械	シールド機 本 体	本 体	超大口径加工可能マシンの開発 高水圧シール開発、水没掘削機械の開発、土圧系シールドの削土の流動化促進と チェンバー充填
			テールシール	止水性と耐久性を両立させる新しいシール機構・材料の開発 ワイヤブラシの塑性変型、シール面圧力コントロール機構付テールシールの開発
			急曲線対応	屈曲機構（フレキシブル、超多節） アーティキレートシール・高寿命中折シールの開発
			急勾配対応	後方設備牽引方式、急勾配用排土装置、推進反力の取り方 資機材運搬システム、姿勢制御、切羽の安定
		推進機構		超高圧油圧対応型シールドジャッキ及び各油圧ユニットバルブの開発 超高強度セグメントの開発
	掘削機構	カッター 回転機構		小型高トルクモータの開発、超大口径加工機械設備の開発
			土砂シール	—
		カッタービット		耐摩耗性ビットの開発、土質万能型ビットの開発、ビット交換技術の開発
			排土機構	排土装置の小形化、圧力・流量・排土量制御システム、大容量排泥ポンプ 土圧系シールドの土砂圧送技術（長距離、高水圧、礫投入条件）の開発
	自動化技術			小型・高信頼性各種センサー（物体認識、位置、力覚、圧覚等）の開発 機器及び要素技術（ハンドリング技術、位置検出、小型高出力アクチュエータ等） の開発、AI制御、土砂長距離輸送システム
	一次覆工 (セグメント)	セグメント 本 体		一次覆工材料の開発（覆工厚の増加抑制）、水密性の改善、継手の剛性の強化 施工精度・組立精度の向上、施工中の欠損クラック対策（RCセグメント） 腐食対策（ダクタイル、スチール）
		継手構造		締結・組立作業の自動化、高水圧下での止水性の向上 はり～バネモデルにおけるバネ定数の把握、設計における継手の適性評価
		漏水防止		シールの耐久性、異質材境界面の表面処理方法、セグメント継手面の製作精度と 構造、裏込注入方法と材料の研究
施工技術	シールド 工 法	外 径		大断面切羽安定対策と解析方法の開発、シールド機運搬方法・分解組立精度 異形断面シールド工法開発、大空隙への即時裏込充填技術の開発
			掘進延長	補助工法を伴わないシール・ビットの交換方法の開発 シールド機性能とバランスのとれた後続設備の開発
			最小半径	—
		水 圧		高水圧下で使えるテールシール・土砂シールの開発 土圧系シールドのスクリュコンベアの耐水性向上あるいはロータリーフィダー ロータリーバルブの開発 高水圧と大空隙に対応できる裏込注入材料及び工法
			土 質	あらゆる土質条件に対応できるシールド工法の開発
	発進・到達			深層地盤改良技術の開発、大深部での改良精度と均一性の確保 立坑（例えば地中連壁）をシールド機で掘削し発進・到達する工法の開発 坑内（切羽）からの改良技術 安全・安価で強度が確実に期待できる材料の開発
		地中接合・拡大		メカニカル接合・拡大技術の確立、補助工法を使用しない工法の開発 補助工法の設計理論の確立、位置検出の精度向上 経済的で強度・信頼性の高い補助工法の開発
		自 動 化		土砂・材料の搬送技術、信頼性の向上、コストダウン、施工速度の向上 制御・計測方法の確立、ECL鉄筋組立自動化

4. 4 開削工法

4. 4. 1 開削工法の現状

開削工法は、地下掘削工法として最も一般的に採用されており、土木建築構造物の両者を対象として、現在まで膨大な施工例が報告されている。現在まで実施されてきた工法を大別すると、以下の5工法にわけることができる。

- ① 親杭横矢板 ② 鋼製矢板 ③ R C 地下連続壁工法 ④ 柱列式連続壁工法
- ⑤ ケーソン

これら5工法の施工実績を、①掘削深度別、②施工面積別、に既応の文献調査に基づいてとりまとめるとともに、③設計時の検討要因、との関連性について検討を加えた。

(1) 掘削深度別実績

掘削深度別の施工件数の実績を、図-4. 4. 1に示す。

施工件数を深度別にみると、25m以浅の施工件数と25m以深の件数に大きなギャップが認められる。これはおそらく、対象構造物の種類、地盤条件、周辺環境等の制約条件が反映されているものと考えられる。

また、今回の調査結果から見るかぎり、最深の開削工法は、60m(55.4m)まで実績があることがわかった。

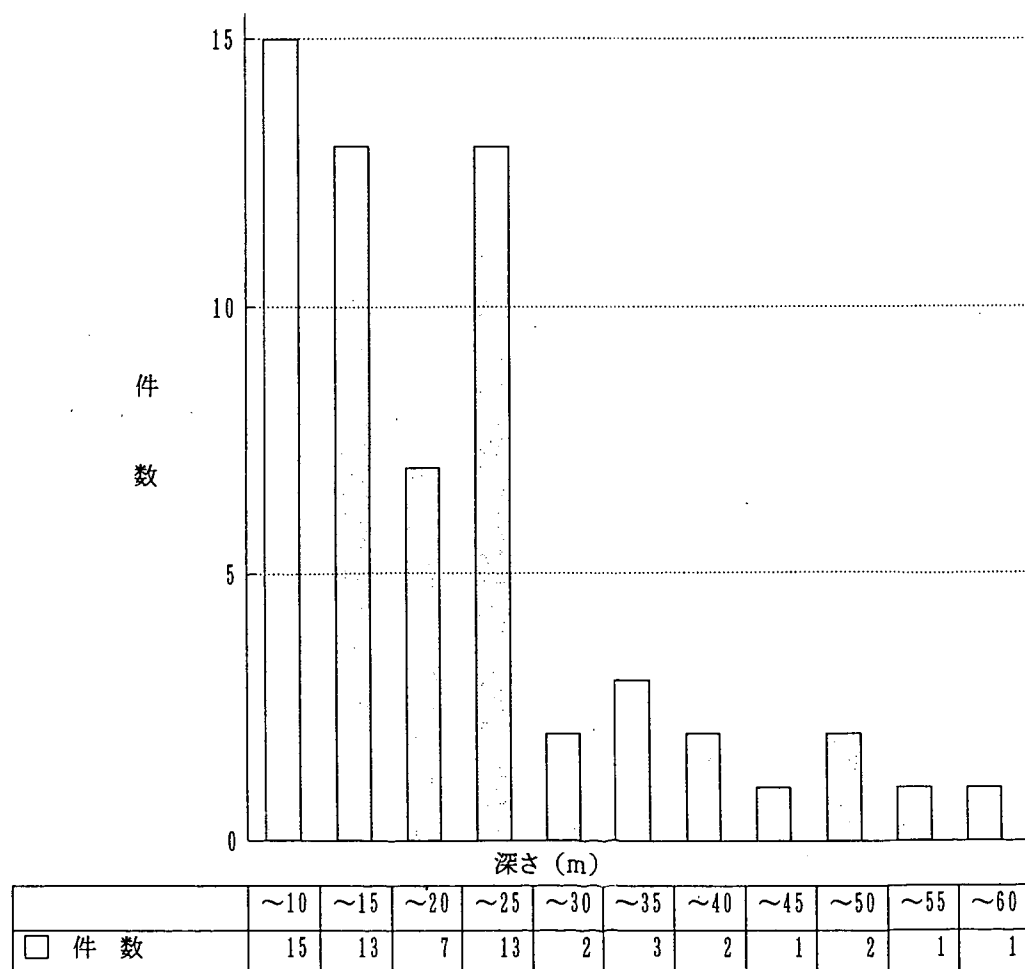


図-4. 4. 1 掘削深度別の開削工法の実績

図-4. 4. 2に、掘削深度別の各工法の施工実績内訳を示す。

25m以深で行われる開削工法は、RC連続壁、柱列式連続壁とケーソン工法が主体となっている。（一部、鋼製矢板が用いられている箇所もある）

25m以浅は、各工法とも用いられており、地盤条件、経済性その他から取捨選択されるものと考えられる。すなわち、これら各工法は、25m程度の深度に対しては、技術的に完成された工法と判断できる。

50m以深に対しては、RC地下連続壁とケーソンの2種しか用いられておらず、現状で対応可能な工法としては、これら2工法に限定されよう。

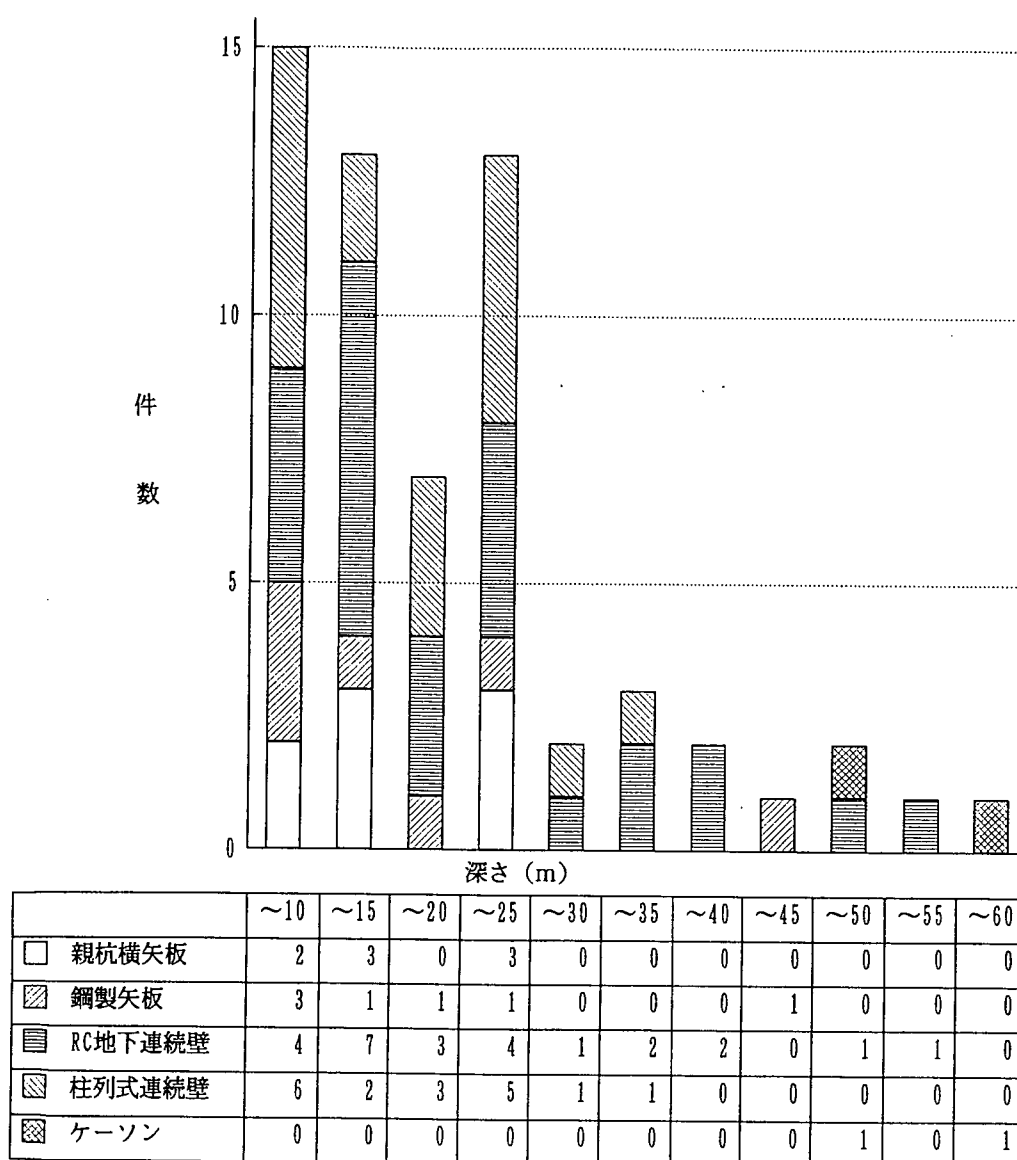
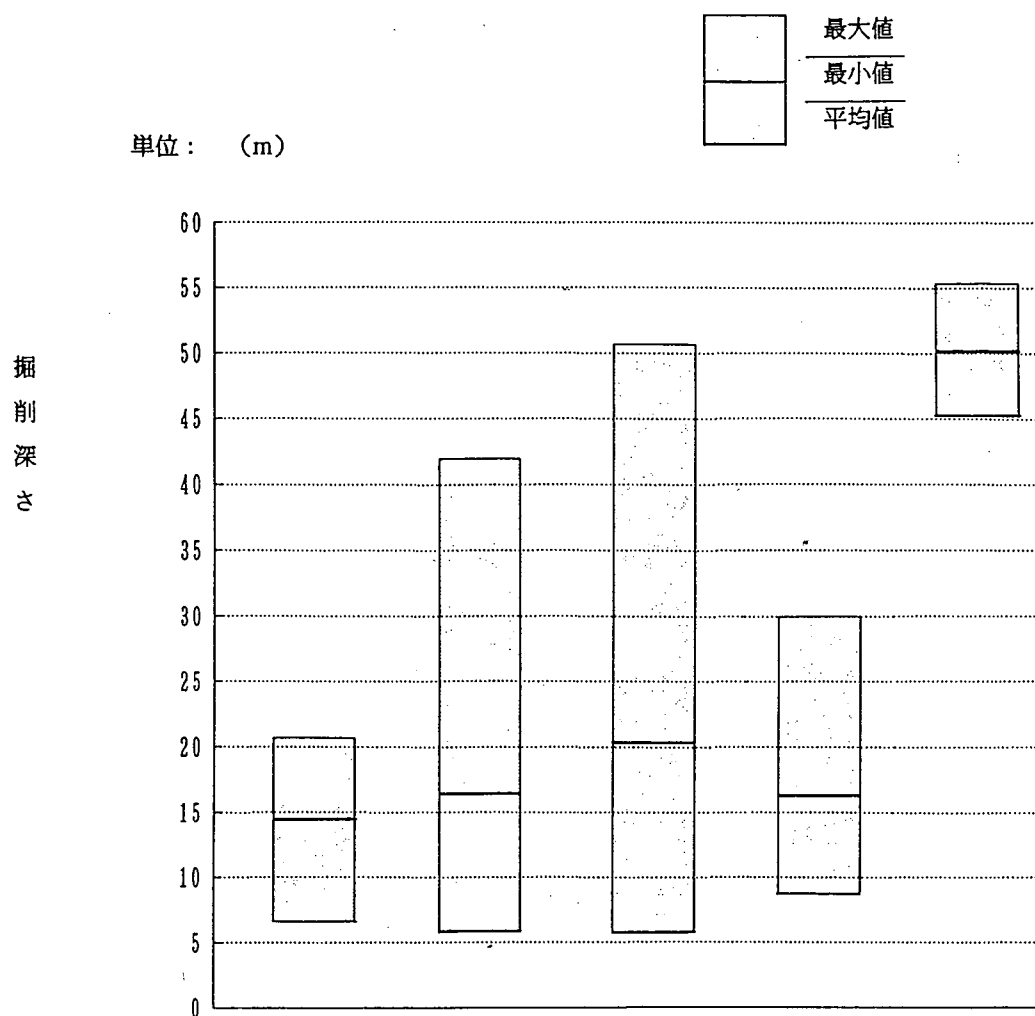


図-4. 4. 2 掘削深度別の各工法の施工実績

図－4. 4. 3に、各工法ごとの最大・最小掘削深度及び平均掘削深度の実績を示す。一般に、鋼製矢板、RC地下連続壁は掘削深さに対して汎用性が高いが、親杭横矢板工法は対象掘削深度が浅く、止水性を確保するのが困難であることから汎用性が限定された工法であると言える。また、ケーソン工法は、深い掘削深度の場合に限定して用いられているようである。



	親杭横矢板	鋼製矢板	RC地下連続壁	柱列式連続壁	ケーソン
□ 最大値	20.7	42.0	50.7	30.0	55.4
□ 最小値	7.0	6.0	5.8	8.8	45.1
□ 平均値	14.7	16.6	20.4	16.4	50.3

工 法 名

図－4. 4. 3 各工法の最大、最小及び平均掘削深度の実績

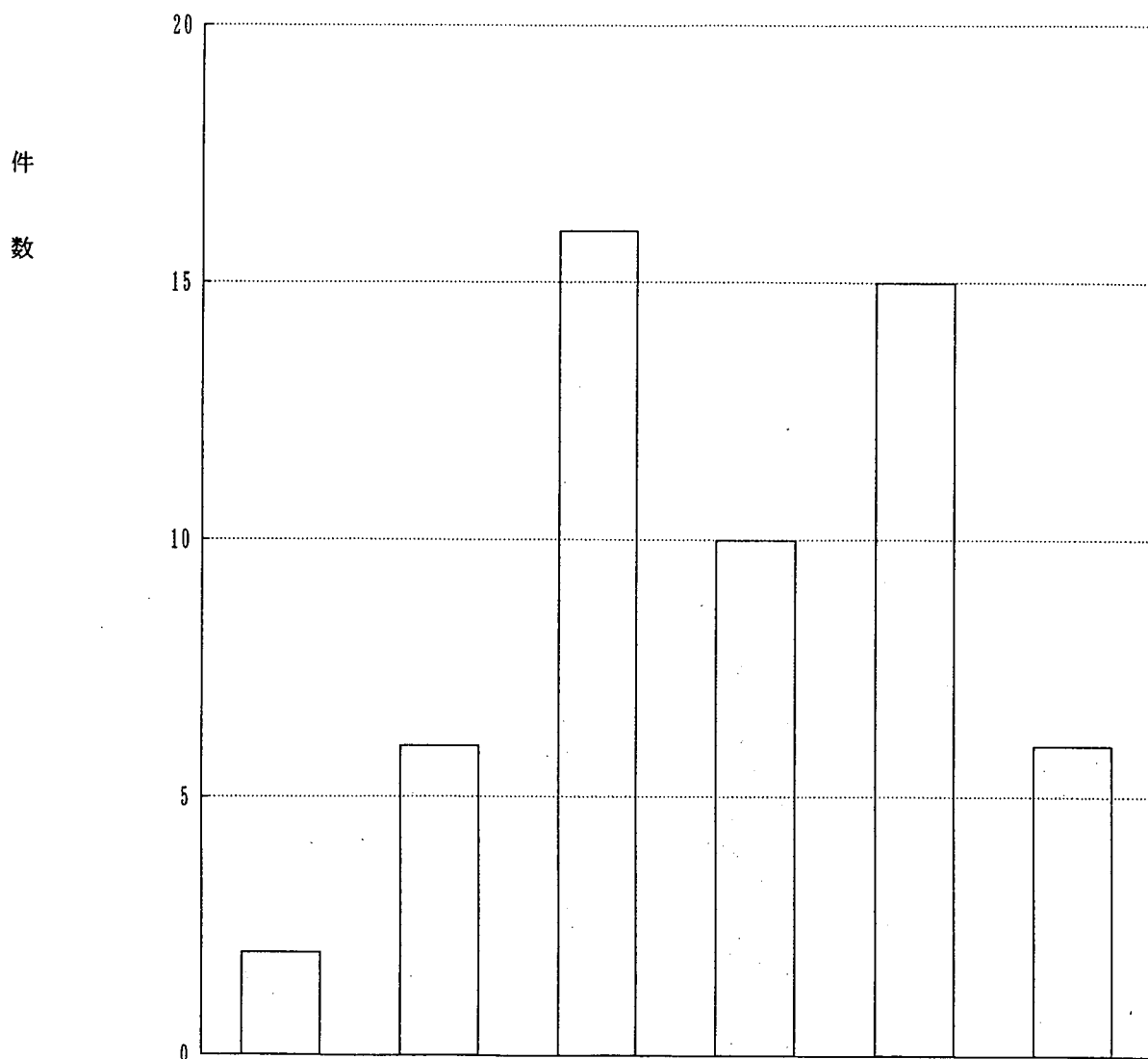
(2) 掘削面積別施工実績

図-4.4.4に掘削面積別施工実績を示す。

開削工法としては、一般に3000～10000㎡の掘削面積のものが、実績としては一番多いようである。また、開削工法においては、掘削の平面規模からの制約は特に認められないようである。

平面規模分布

単位：件



	～500 未満	～1000 未満	～3000 未満	～5000 未満	～10000 未満	10000 以上
□ 件 数	2	6	16	10	15	6

規模 (㎡)

図-4.4.4 掘削面積別施工実績

(3) 設計条件の各要因と実績の関係について

開削工法において、根切り・山留めを行う場合、考慮すべき要因として、

- ① 土圧・水圧と壁体の変形
- ② ヒービング
- ③ ボイリング、盤膨れ
- ④ その他（支保の方法、段数等）

等を上げることができる。

ここでは、施工実績に基づいて、これら各要因が各掘削工法、掘削規模（深度、掘削幅）に対してどのような関係であったかをまとめる。

① 壁体の変形

図-4. 4. 5に、掘削深さと壁体の変位の関係を示す。壁体の変位に関しては、どの工法を採用しようと、掘削深度にかかわらずほぼ5 cm内外の変位で収まっている（42例を除く）。すなわち、30～5.0 m程度の掘削深度であろうとも、壁体変位を5 cm程度に抑えるような工法選択、及び施工管理が、一般には行われているようである。

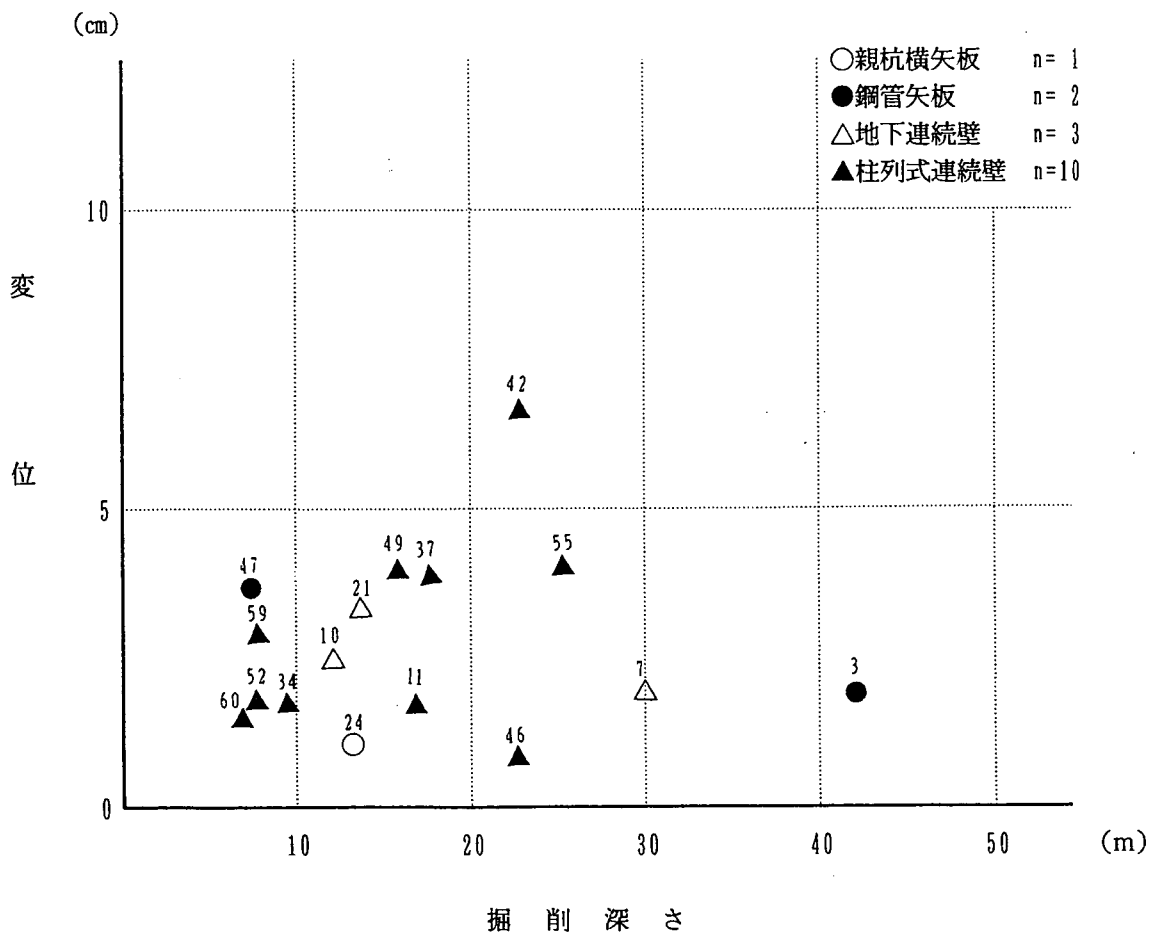


図-4. 4. 5 掘削深さと壁体変位の関係

② ヒービング

ヒービングに対しては、通用Peakの安定係数で評価されることが多い。すなわち、

$$Nb = \frac{\gamma H}{c}$$

γ : 土の単位体積重量
 H : 掘削深度
 c : 土のせん断強さ

Nbの限界値として、Peakは7～8程度を与えている。

図-4. 4. 6に掘削幅とPeakの安定係数Nbの関係を示す。

この図より、Nbは、最大でも10前後で施工されていることがわかる。

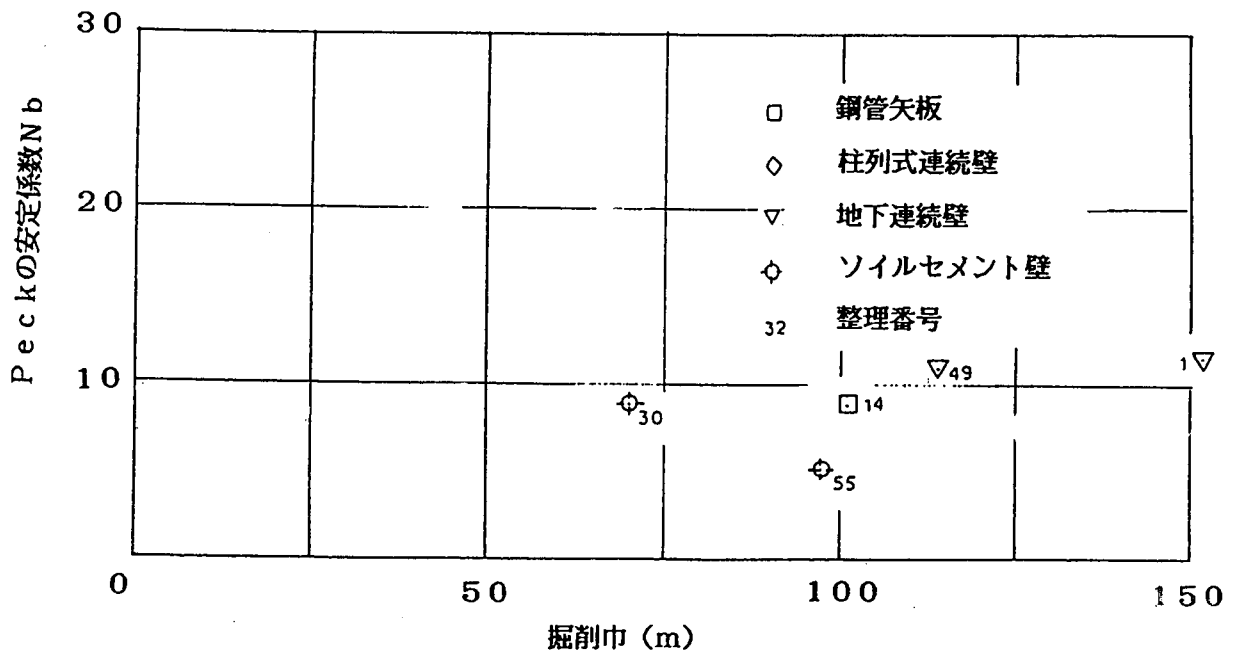


図-4. 4. 6 掘削巾とPeakの安定係数Nbの関係

③ ボイリング

ボイリングに対する安全率は、山留めの根入れ長で評価できる。

図-4. 4. 7に、根入れ長と掘削深さの関係を示す。同図中の各直線は、根入れ長：掘削深さの比を表している。

20m以浅では、根入れ長：掘削深さの比が1：1より大きい値を示すものが多少認められるが、20m前後では、この値はほぼ1：0.5の直線を中心にして均等に分布している。また、掘削深度が深くなると、この比は1：0.25より小さくなる傾向を示している。

根入れ長は、地盤条件に大きく依存すると考えられるが、少なくとも図-4.4.7からは、大深度掘削では根入れ長は大きな限界要因とはなりにくいものと判断される。

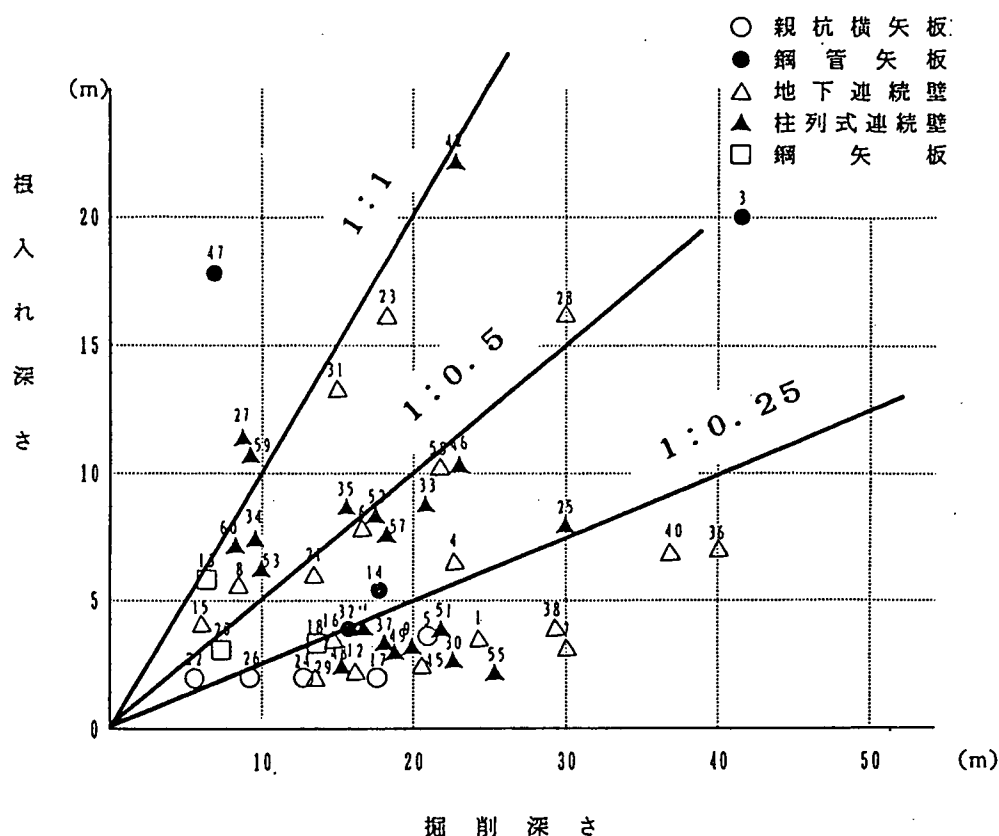


図-4.4.7 掘削深さと根入れ長の関係

④ 支保の方法、段数

支保の方法、段数は、地盤条件、壁体の剛性、掘削の深さ、周辺との取り合い、施工手順等に依存している。ここでは、代表的な支保工である鋼製切梁、アースアンカー、切梁とアースアンカーの併用方法、逆打ちと切梁の併用方法について、掘削深さと段数の関係でまとめた。図-4.4.8にそれらの関係を示す。支保のピッチは種類によって多少の差はみられるが、ほぼ深さ方向に、4～6mピッチで施工されているのが一般的状況である。

逆打ちは、一般に根切りが深い場合に適用されるが、調査データでは20m及び30mの掘削深さで用いられており、他の方法に比較してピッチは大きめにとられているようである。

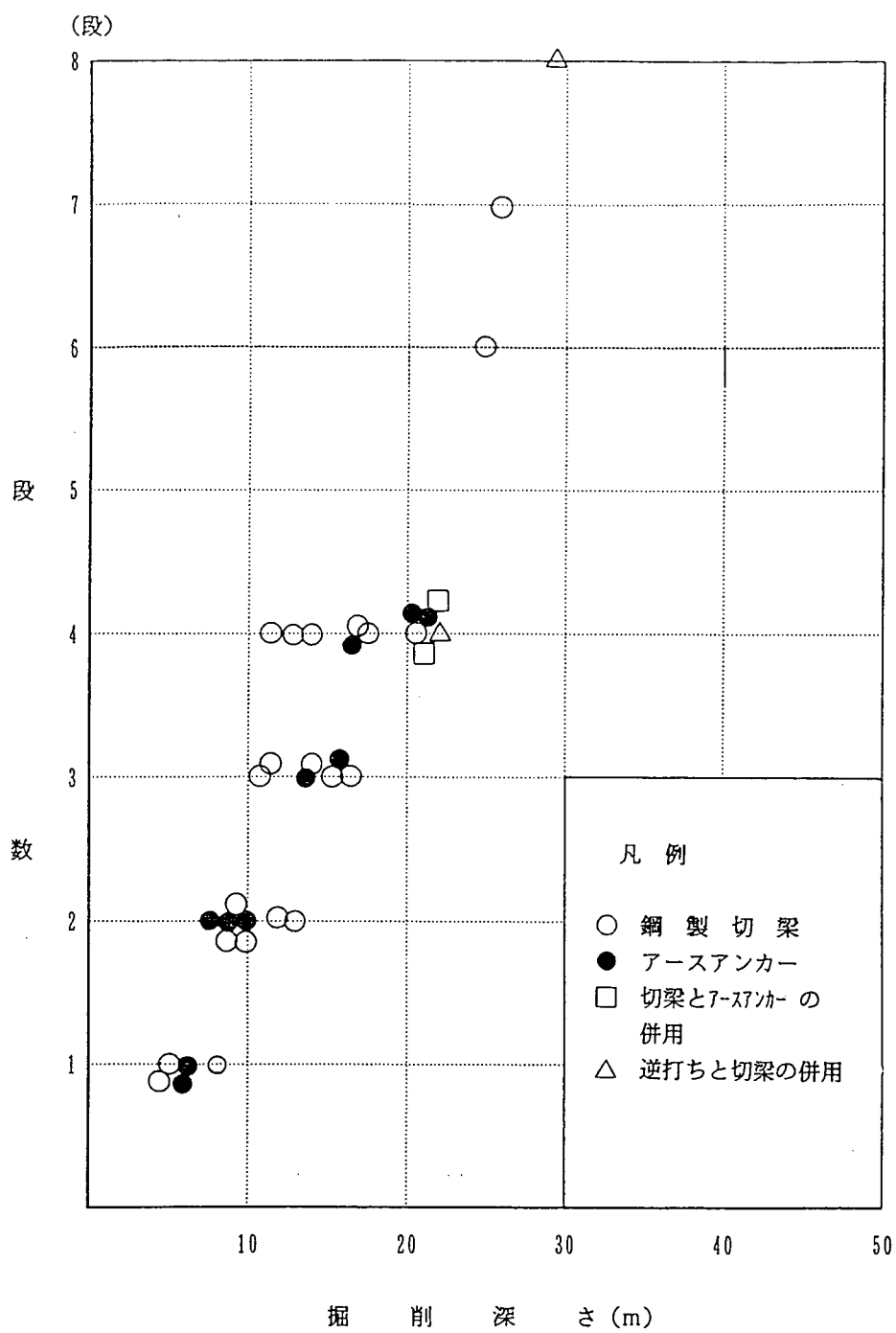


図-4. 4. 8 工法別の掘削深さと支保段数の関係

4. 4. 2 開削工法の適用限界

(1) 適用限界抽出のための条件設定

開削工法が現有技術の延長上で、どのような地盤でどの程度の深度まで適用可能であるか、また、適用が限界になる要因として、どのようなものが挙げられるかを明らかにするため、アンケート調査を実施した。

アンケートでは、地盤条件、対象工法、対象とする掘削深度、適用限界要因等のイメージを統一するため、次のような条件を設定した。

① 設定地盤と対象掘削深度

想定地質横断面図(図-4. 4. 9)より、東京圏の代表的地盤と考える2種類の地盤、すなわち山の手地盤と下町地盤を選定し、そのモデル地盤柱状図を図-4. 4. 10のように設定した。

開削工法の場合、地上より所定の深度まで多様な土質構成の地盤を掘削するため、一義的に土質種類を与えることが困難であるので、図に示すような6種類の掘削深度を与え、それらの掘削が可能であるかどうか、また、困難であるならばどのような要因が限界になるのかを明らかにした。

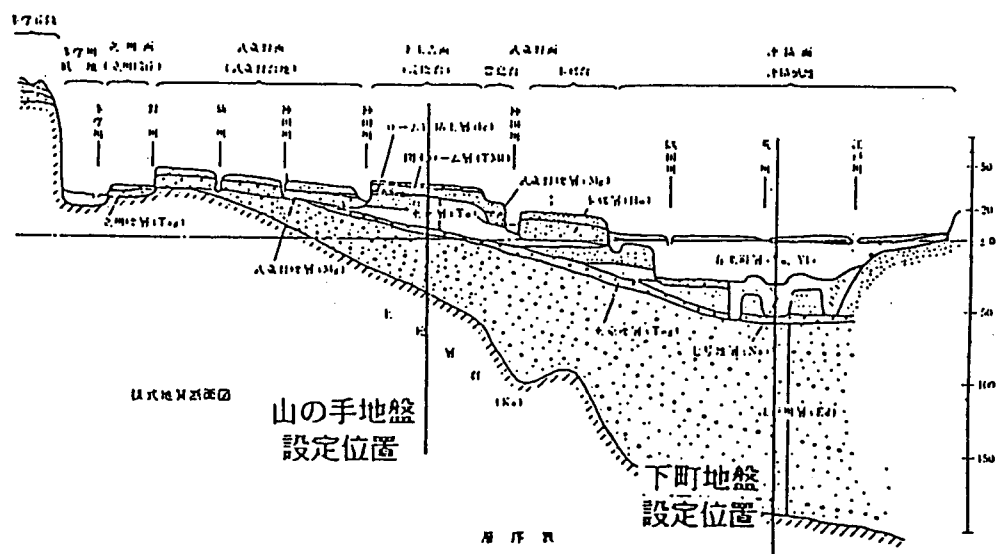


図-4. 4. 9 想定地質横断面図(東京地盤図より)

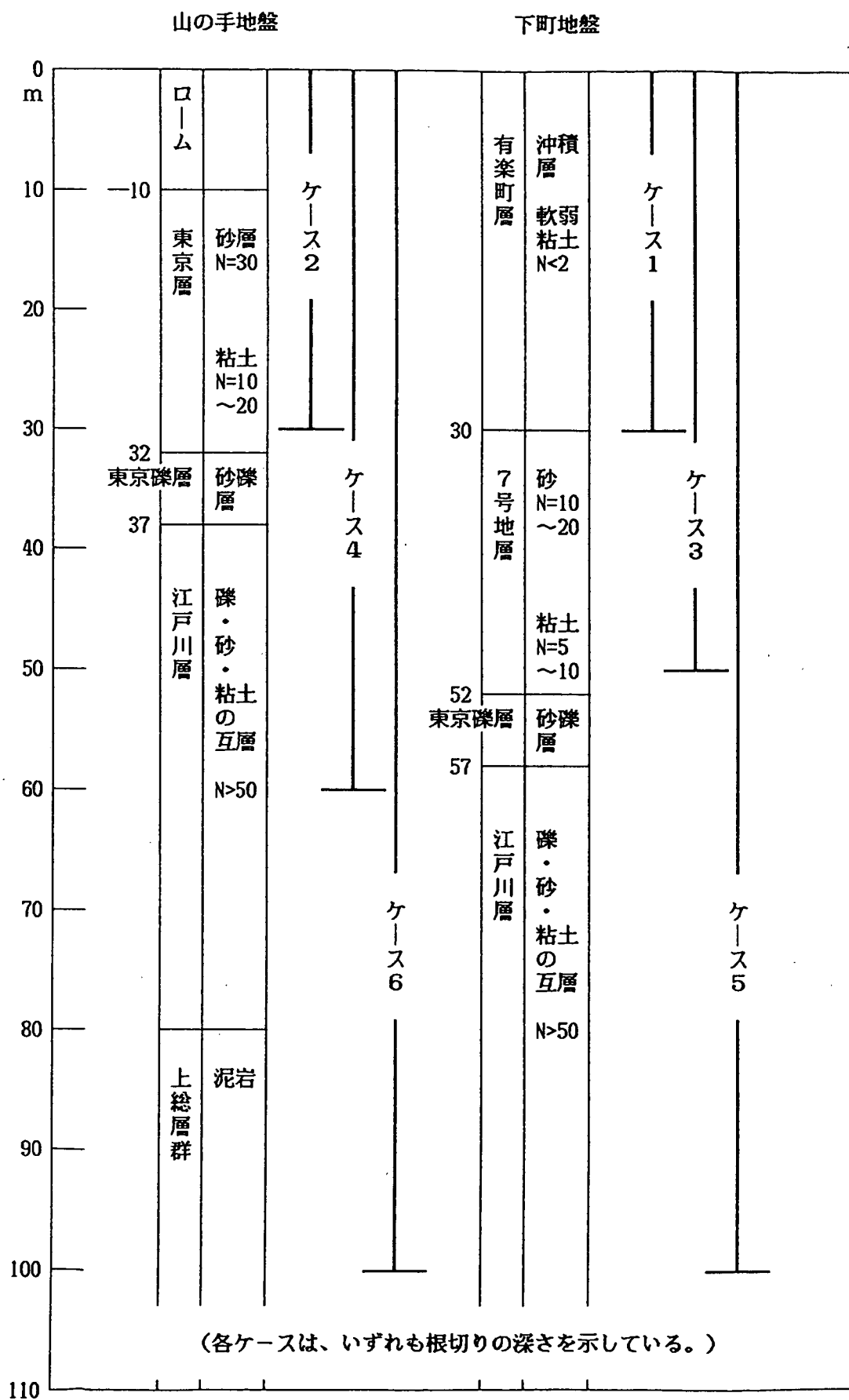


図-4. 4. 10 設定地盤柱状図と対象掘削深度

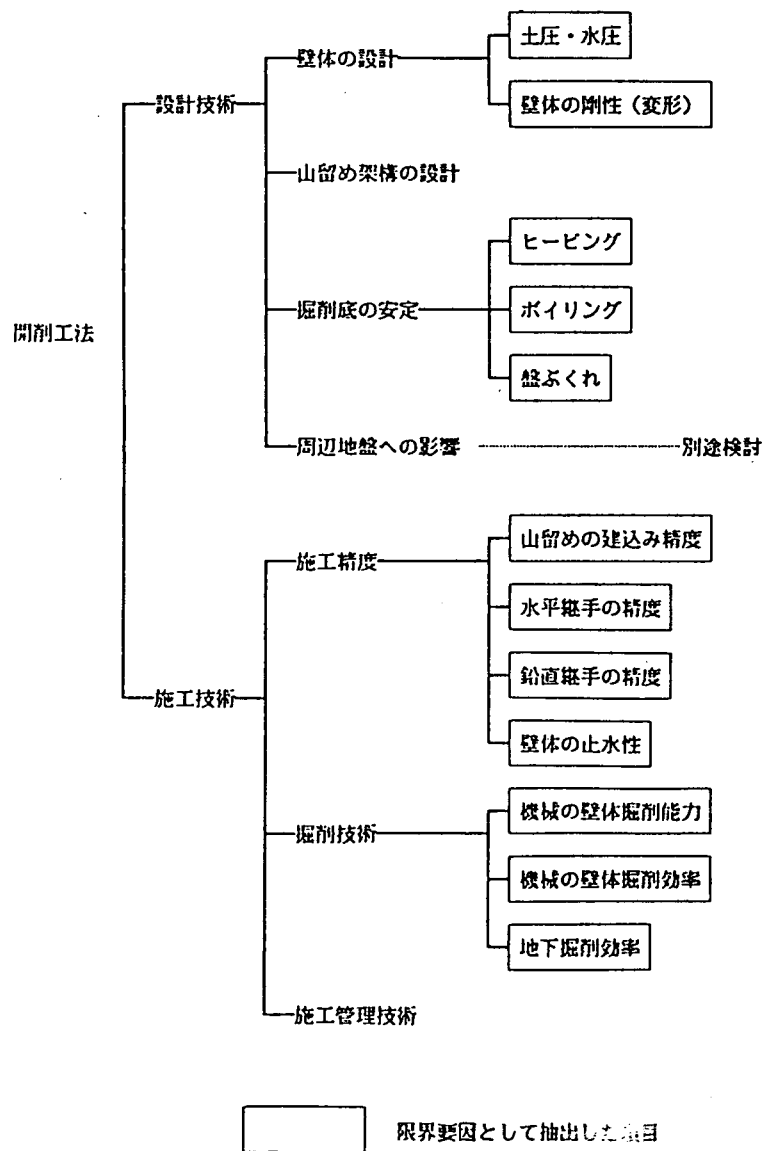
② 対象工法

開削工法の対象としては、4. 4. 1と同様に以下の5工法に分類した。

- ① 親杭横矢板
- ② 鋼製矢板
- ③ R C地下連続壁
- ④ 地盤改良式山留め壁（ソイルセメント壁、泥水固化壁、柱列式地下連続壁）
- ⑤ ケーソン

③ 技術要素の分類と適用限界要因の抽出

開削工法の技術要素を設計及び施工の観点から分類し、適用限界となる要因を抽出すると、次のようにまとめることができる。（図－4. 4. 1 1）



図－4. 4. 1 1 開削工法の技術要素の分類

設計に関する適用限界要因としては、土圧・水圧、壁体の変形、ヒービング、ボイリング、盤ぶくれ等が挙げられ、施工要因としては、山留めの建込み精度、鉛直継手の精度、水平継手の精度、掘削機械の壁体の掘削能力、地下掘削の施工効率、壁体の掘削効率、壁体の止水性等を挙げることができる。

アンケートでは、このように選定した各適用限度要因を抽出してもらう形式で調査を行った。

(2) 各工法の適用可能性

設定地盤に対する各工法の適用可能性を、山の手地盤と下町地盤の2ケースに分けて調査した結果を示したのが、図-4.4.12と図-4.4.13である。

なお、適用可能性の意味するところは、現状技術あるいはその延長上の改善、改良で、総括的に判断（技術的、経済的）して、適用が妥当であるかどうかの目安と解釈する必要がある。

工 法	適用 可 能 率 (%)	適 用 可 能 性						限 界 要 因
		ケース6 深 度						
		ケース4						
		ケース2						
		20	40	60	80	100	120	
親 杭 横 矢 板	100						1.土圧、水圧 2.ボーリング 3.壁体の止水性	
	50	0	0	0				
鋼 製 矢 板	100	75					1.掘削機械の壁体の掘削能力 2.山留め建込み精度 3.土圧、水圧	
	50		35	0				
R C 地下 連 続 壁	100	100	100	100			特になし	
	50							
地盤改良式山留め壁	100	79					1.山留め建込み精度 2.掘削機械の壁体の掘削能力 3.土圧、水圧	
	50		21	8				
ケ ー ソ ン	100	86					1.地下掘削の施工効率	
	50		43	0				

図-4.4.12 設定地盤に対する各工法の適用可能性（山の手地盤）

工 法	適用 可 能 率 (%)	適 用 可 能 性						限 界 要 因
		ケース5 深 度						
		ケース3						
		ケース1						
		20	40	60	80	100	120	
親 杭 横 矢 板	100						1.土圧、水圧 2.ヒービング 3.壁体の変形	
	50	0	0	0				
鋼 製 矢 板	100	74					1.山留め建込み精度 2.土圧、水圧 3.壁体の変形	
	50		47					
R C 地 下 連 続 壁	100	100	100	92			特になし	
	50							
地盤改良式山留め壁	100	64					1.土圧、水圧 2.壁体の変形 3.山留め建込み精度	
	50		43	8				
ケ ー ソ ン	100	93	79				1.地下掘削の施工効率 2.ヒービング	
	50			0				

図-4. 4. 13 設定地盤に対する各工法の適用可能性（下町地盤）

親杭横矢板工法は、実績からは20.7mまでしか報告されておらず、設定地盤に対する適用可能性についても30m以深の深度に対しては、現状技術のままでは困難である。

鋼製矢板工法については、30m以深では掘削機械の掘削能力の改善、山留め建て込み精度の改善等の技術開発を必要とする。

R C地下連続壁は、100m程度の掘削深度に対しても技術的なポテンシャルは十分有しており、現状技術の延長で、改良、改善を行えば、適用の可能性は最も高い。

地盤改良式山留め壁は、30m以深ではかなり新しい技術開発を行わないと適用は困難である。

ケーソン工法については、55m程度の施工実績は現状でもあるが、施工効率等の施工性を改善しないと汎用性のある工法として用いることは現状では問題点を残している。

これらの結果を踏まえて適用可能性をランク分けすると、次のようになる。なお、各ランクは次のように分類する。

ランク I : 現状技術、あるいはその延長上の改良、改善で適用可能

(適用可能率 > 75%)

ランク II : 新しい技術開発を必要とする

(75% > 適用可能率 > 25%)

ランク III : 適用が殆ど不可能

(適用可能率 < 25%)

表-4. 4. 1 掘削深度からみた各工法の適用可能性のランク (山の手地盤)

工 法	適 用 深 度 (山の手地盤)		
	～ 30m	～ 60m	～ 100m
親杭横矢板	III	III	III
鋼製矢板	I	II	III
RC地下連続壁	I	I	I
地盤改良式山留め	I	III	III
ケーソン	I	II	III

表-4. 4. 2 掘削深度からみた各工法の適用可能性のランク (下町地盤)

工 法	適 用 深 度 (下町地盤)		
	～ 30m	～ 50m	～ 100m
親杭横矢板	III	III	III
鋼製矢板	I	II	III
RC地下連続壁	I	I	I
地盤改良式山留め	I	II	III
ケーソン	I	I	III

(3) 適用限界の検討

次に、これらの各工法を、大深度に適用するにあたっての限界となる要因を調査した結果を前節で分類した各適用限界要因ごとにまとめた。

① 土圧・水圧

大深度掘削を考えた場合、山留めに作用する土圧・水圧が適用限界要因となる工法として、親杭横矢板工法、鋼製矢板工法、地盤改良式山留め壁工法を挙げることができる。特に、親杭横矢板工法は適用性が低く、工法的にも止水性に大きな問題点を有していると考えられる。RC地下連続壁、ケーソン工法は、壁体の剛性、止水性の面で大深度掘削工法に適していると考えられる。

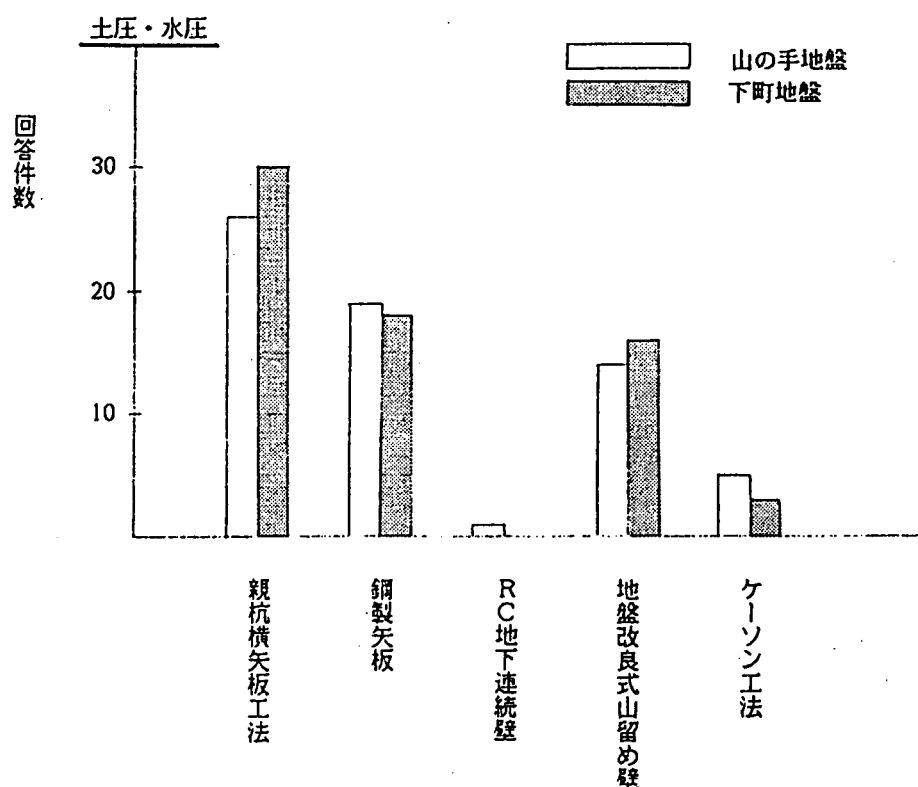


図-4. 4. 14 土圧・水圧が適用限界となる工法

② 壁体の変形

壁体の剛性からみた場合、土圧、水圧の影響で①と同様、親杭横矢板工法、鋼製矢板工法、地盤改良式山留め壁が不利となる。従って、壁体剛性を上げる技術開発、改良がこれらの工法では重要になる。

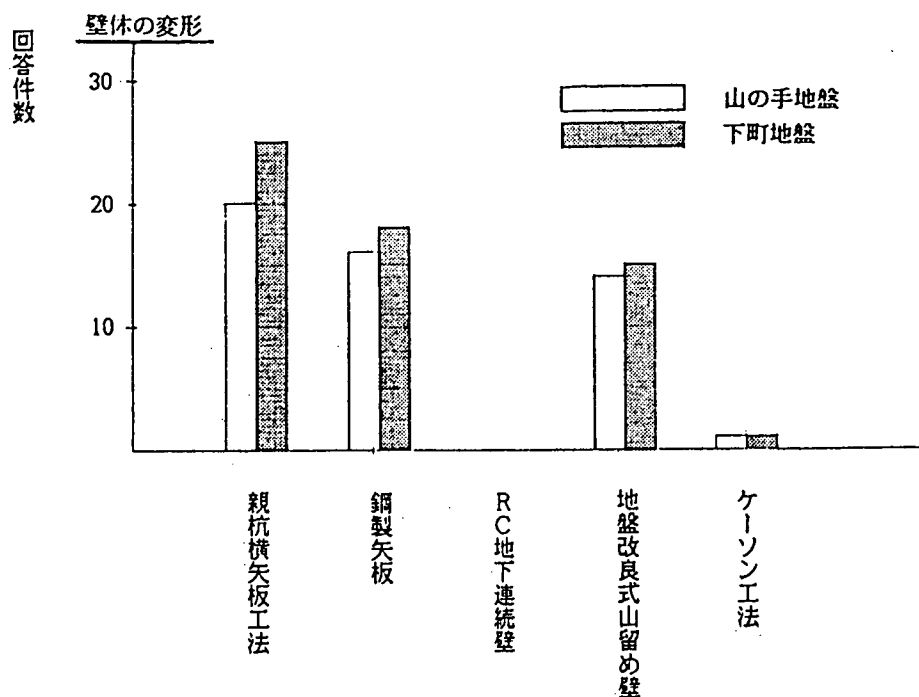


図-4. 4. 15 壁体の変形が適用限界となる工法

③ ヒービング、ボイリング

一般的には、ヒービングは軟弱な沖積層が厚く堆積している地盤で掘削工事を行う場合に検討を要する事項であり、ボイリングは、地下水位の高い砂質土層での掘削工事において留意しなければならない。

調査結果からもこれらの傾向がうかがわれ、特に、親杭横矢板工法はどちらの要因に対しても、山留め設計上厳しい工法として指摘されている。したがって、大深度の開削工法としては適していない。この点、RC地下連続壁は有利な工法であることがわかる。

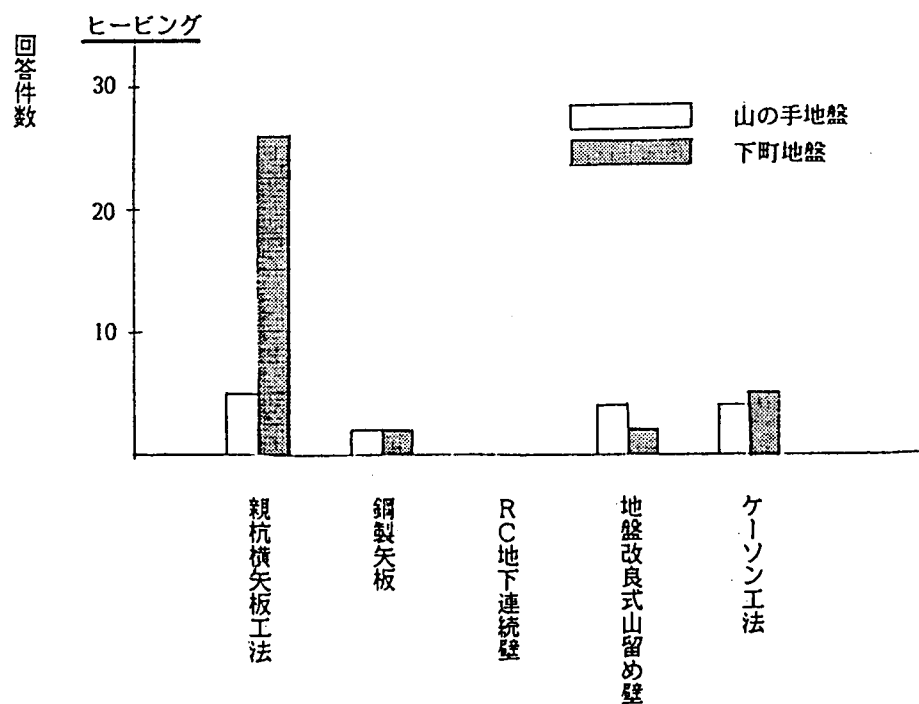


図-4. 4. 16 ヒービングが適用限界となる工法

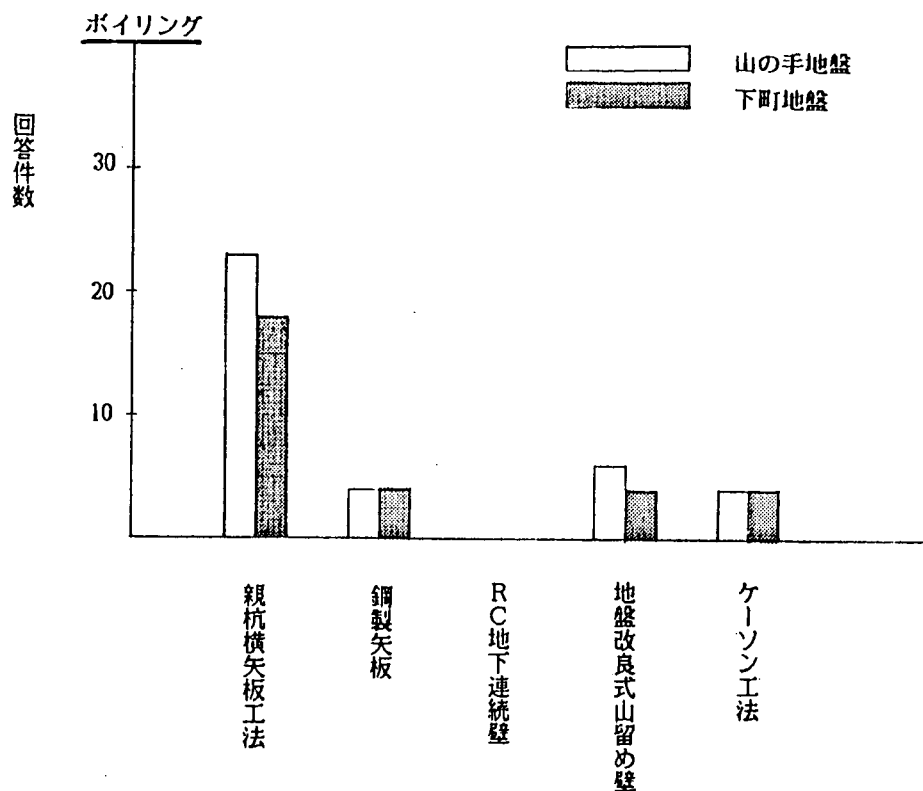


図-4. 4. 17 ボイリングが適用限界となる工法

④ 盤ぶくれ

盤ぶくれ現象に対しては、各工法とも大きな限界要因にならない。これは掘削底における上載荷重とのバランスの問題であって、工法の差異による適、不適に帰着出来ない事項であると考えられる。

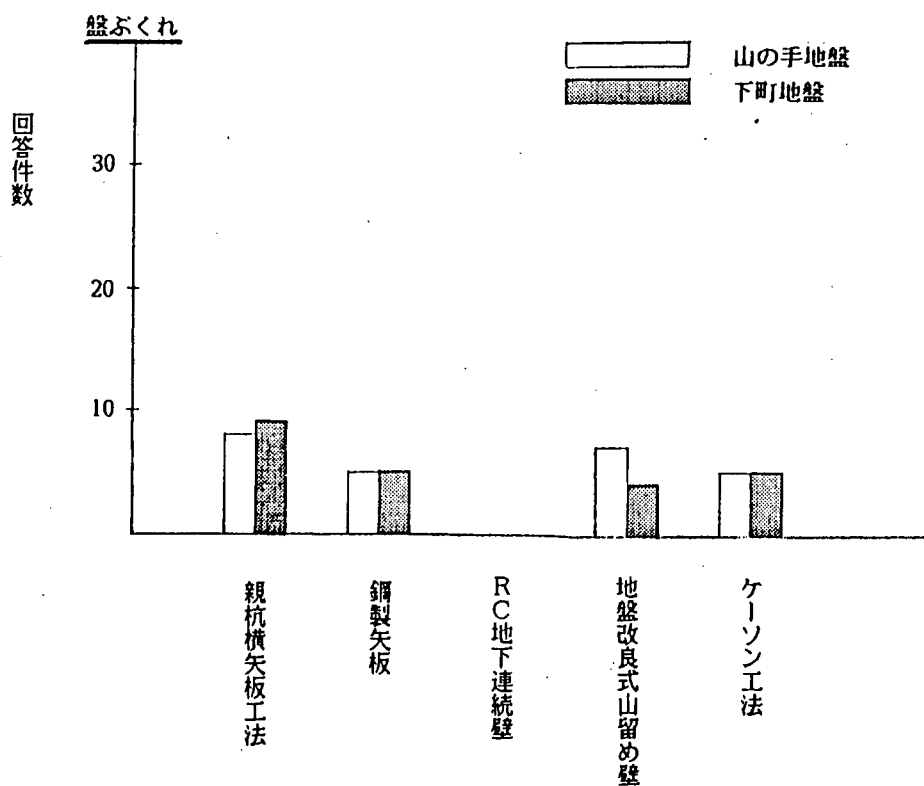
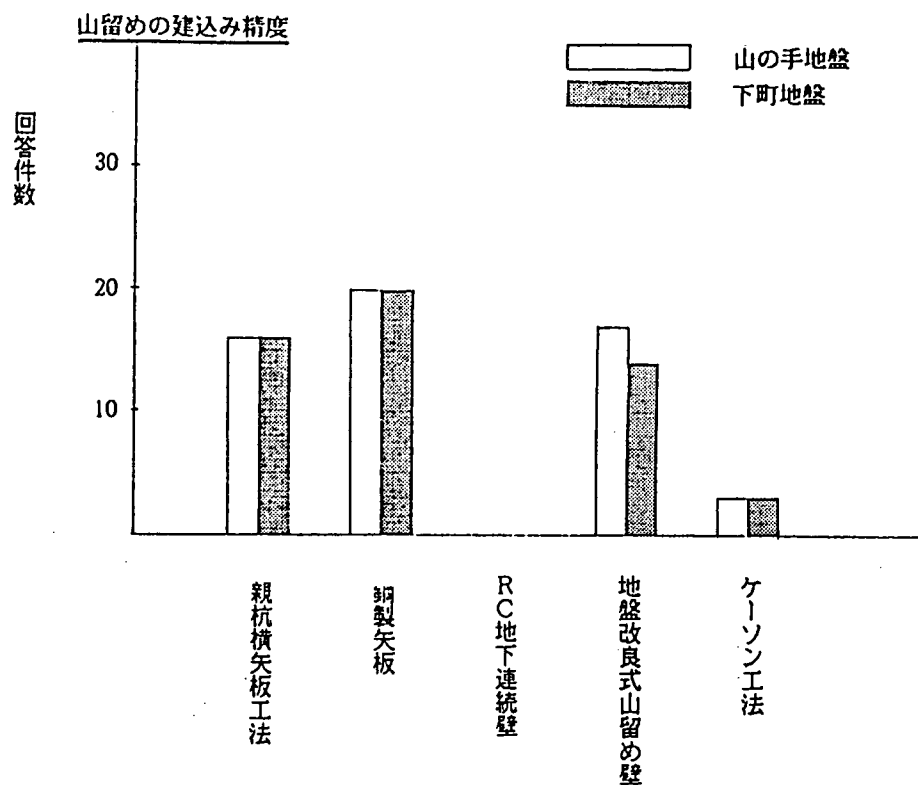


図-4. 4. 18 盤ぶくれが適用限界となる工法

⑤ 山留めの建込み精度

R C連続壁，ケーソン工法を除いて，いずれの工法も大深度掘削では，山留め壁の鉛直精度に問題が生ずる可能性があることを示唆している。



図－4. 4. 1 9 山留めの建て込み精度が適用限界となる工法

⑥ 鉛直継手，水平継手

鋼製矢板，地盤改良式山留め壁の場合大深度になると，壁体の継手を多数設けることになるが，これらが止水性，壁体の垂直精度等に大きく影響を及ぼすことが考えられる。このことは，調査結果からも指摘されており，これら両工法の不利な点に挙げる事が出来よう。

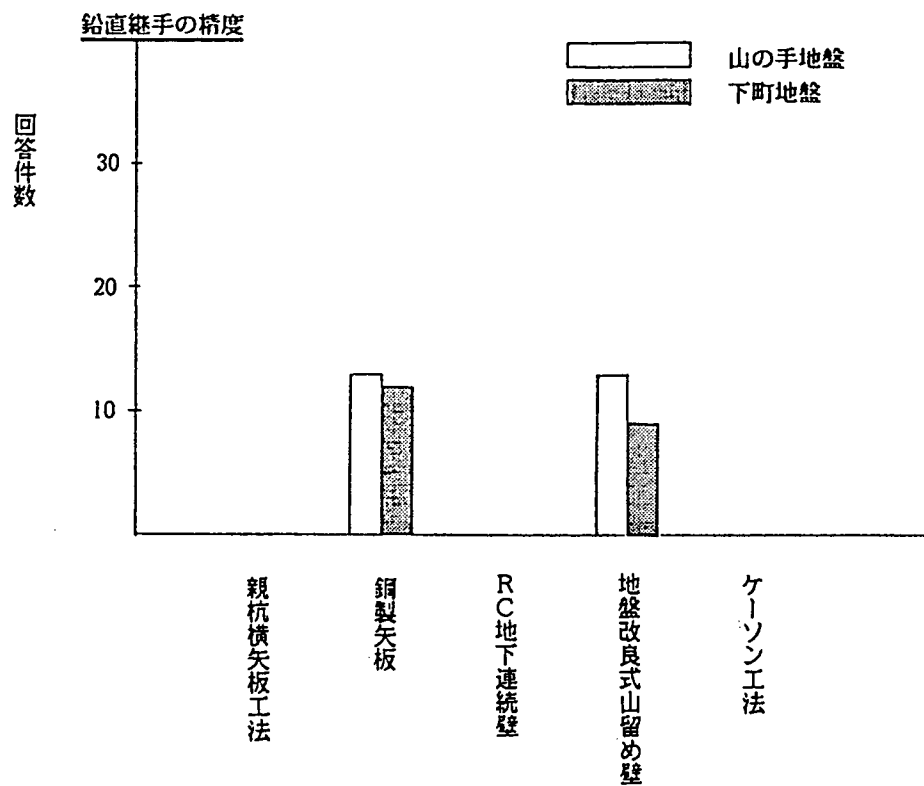


図-4. 4. 20 鉛直継手の精度が適用限界となる工法

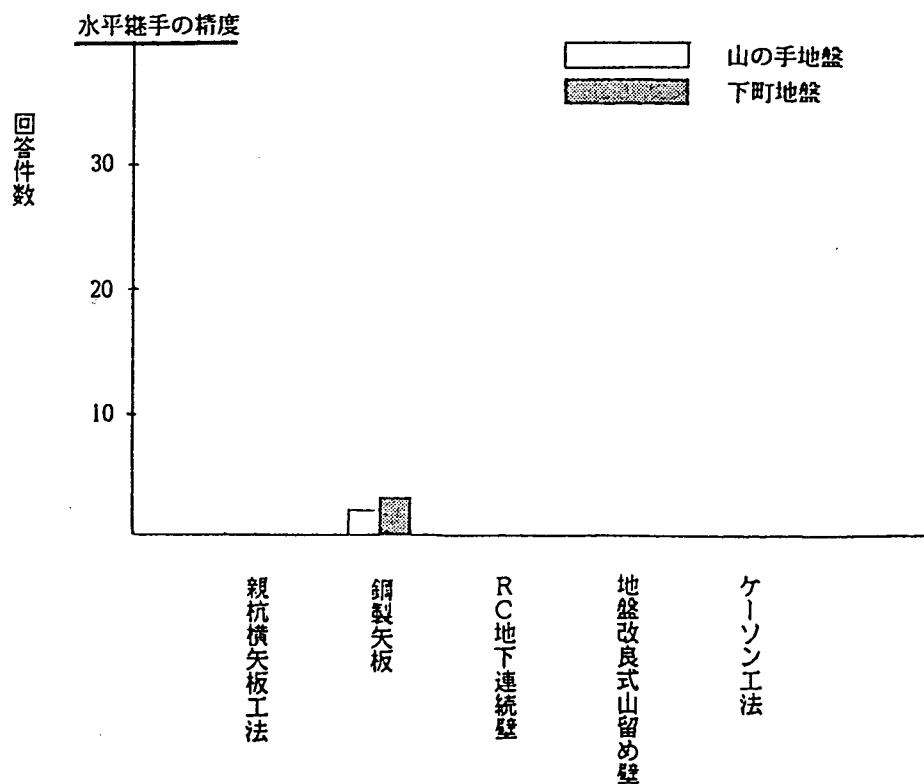


図-4. 4. 21 水平継手の精度が適用限界となる工法

⑦ 掘削機械の壁体の掘削能力

R C連続壁は、止水壁としてではあるがすでにG L - 1 5 0 m以深の施工実績があり、機械の掘削能力には問題はないと言えよう。しかし他の工法は、いずれも現有機械のままでは、掘削能力に限界があることが指摘されており、機械の改善、開発の余地が残されている。特に、東京層、江戸川層が比較的浅い位置で出現する山の手地盤では問題になる。

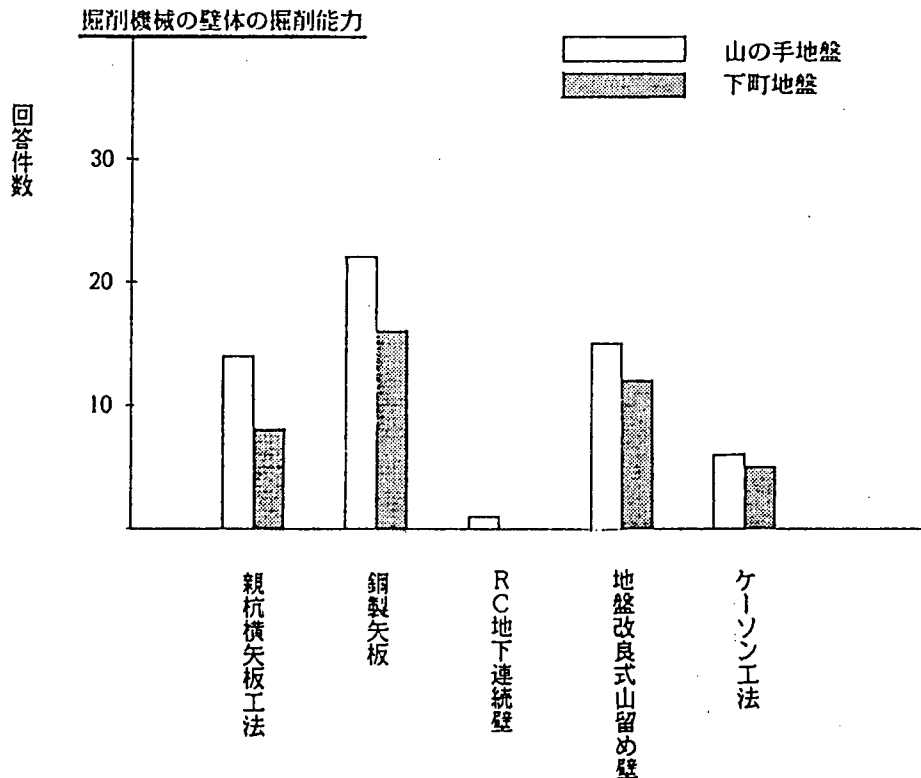


図-4. 4. 2 2 掘削機械の壁体の掘削能力が適用限界となる工法

⑧ 地下掘削の施工効率

ケーソン工法の場合、掘削深度が大きくなると側壁のフリクション、あるいは限られたスペースにおける掘削のため、施工効率が低下することが指摘される。

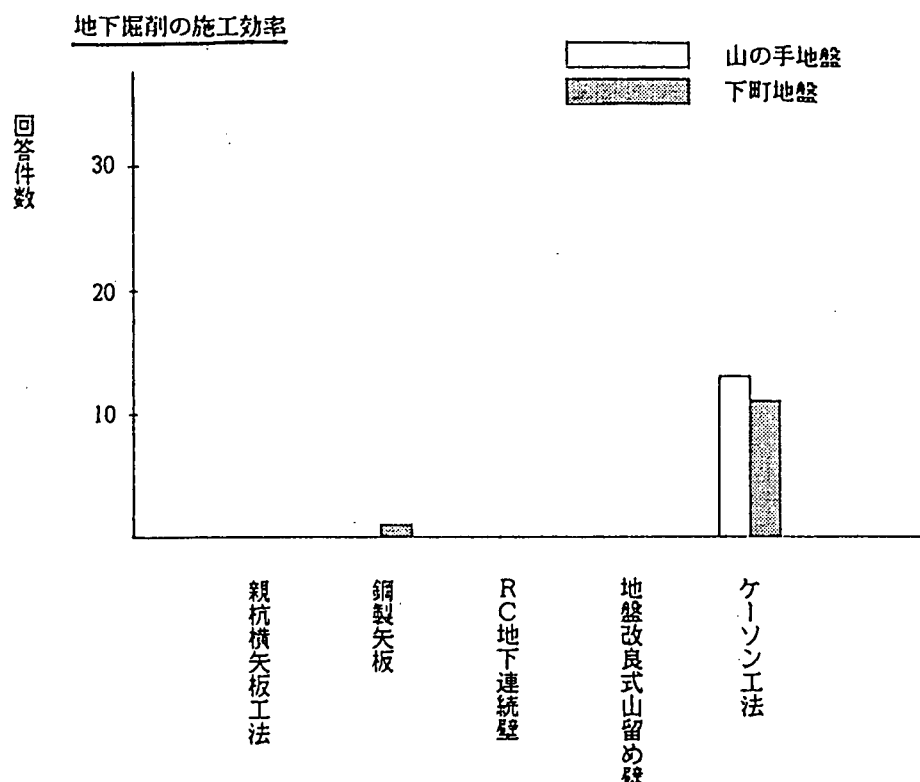


図-4. 4. 2 3 地下掘削の施工効率が適用限界となる工法

⑨ 壁体の止水性

土圧・水圧の項と同様、親杭横矢板工法、地盤改良式山留め壁工法は止水性の問題を残している。

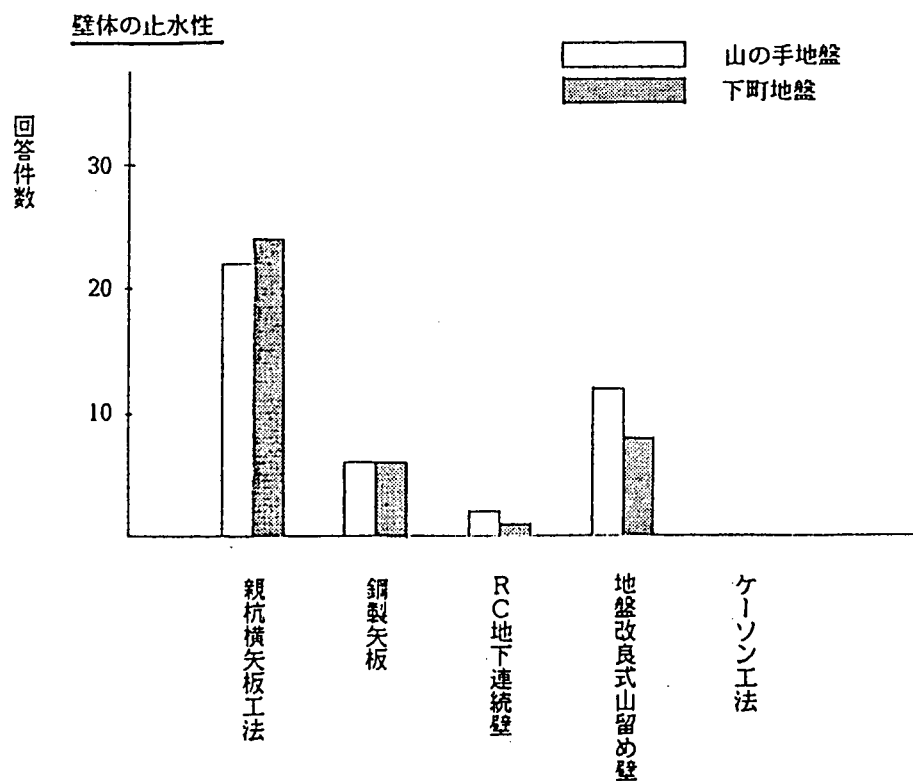


図-4. 4. 2 4 壁体の止水性が適用限界となる工法

以上の結果を、各工法ごとに対象地盤に対してまとめると、図-4. 4. 25～図-4. 4. 34で与えることができる。

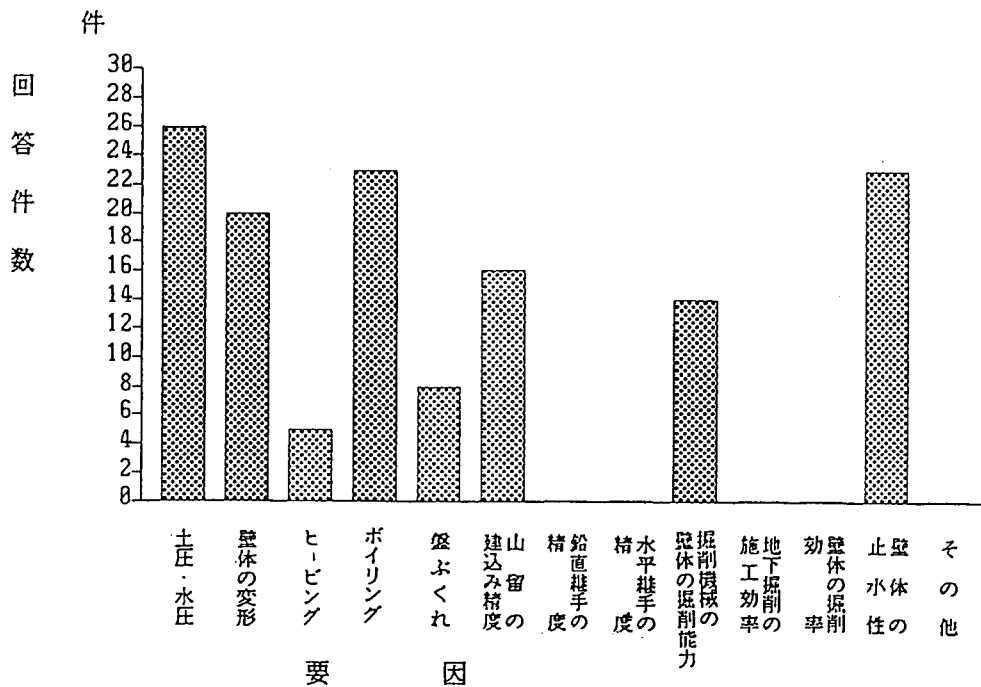


図-4. 4. 25 親杭横矢板工法の適用限界要因 (山の手地盤)

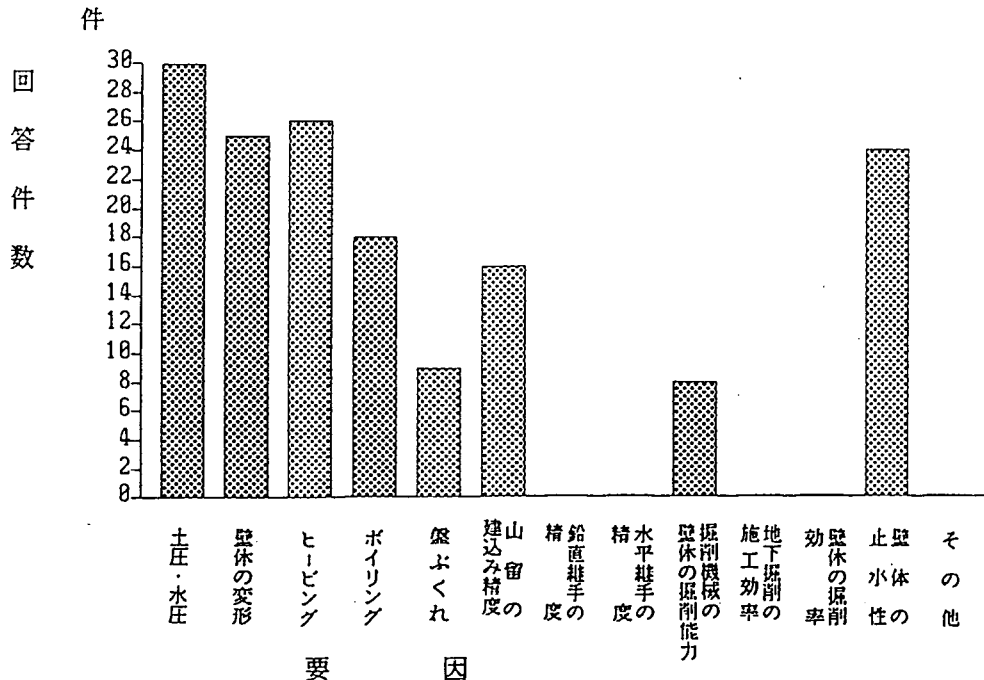


図-4. 4. 26 親杭横矢板工法の適用限界要因 (下町地盤)

親杭横矢板工法においては、土圧、水圧、ボーリング、ヒービング、壁体の止水性、変形等が大きな要因として挙げられる。これらは、山留めの設計に際しての基本的検討要因であり、これら複数要因がからまっていることが大深度への適用性を困難にしているものと判断される。

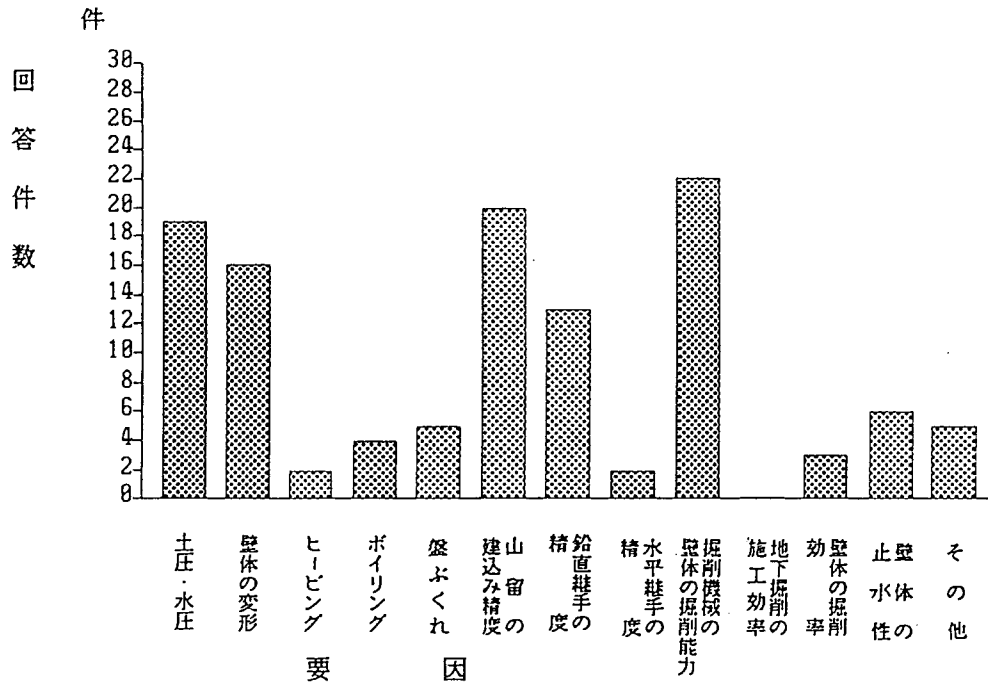


図-4. 4. 27 鋼製矢板の適用限界要因 (山の手地盤)

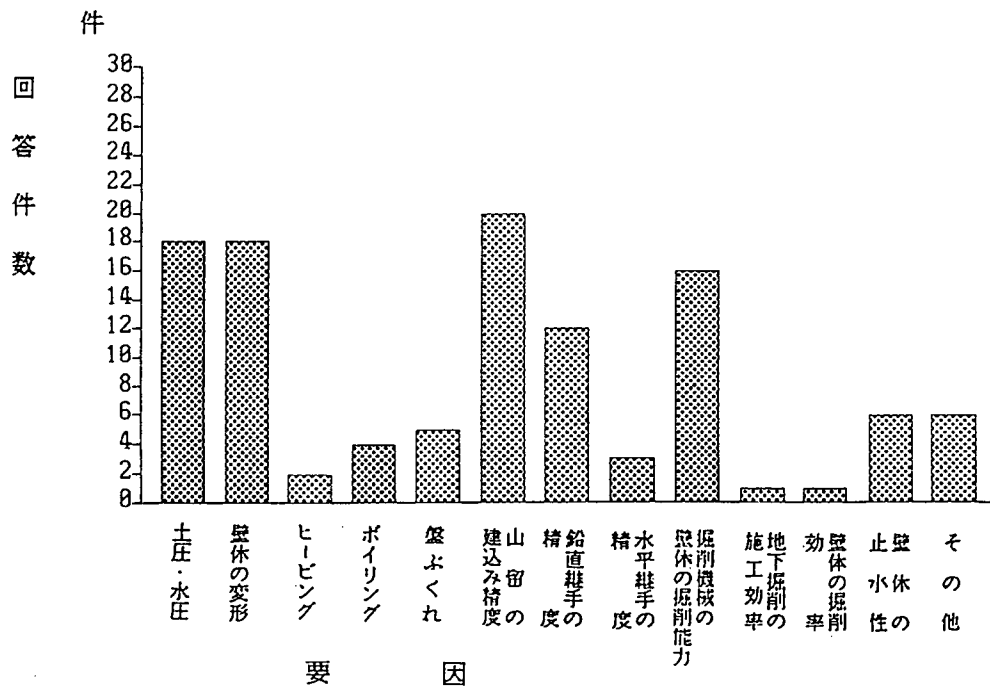


表-4. 4. 28 鋼製矢板の適用限界要因 (下町地盤)

鋼製矢板工法においては、土圧、水圧の問題とともに、壁体の建て込み精度、掘削能力等の施工性も大きな要因になっている。

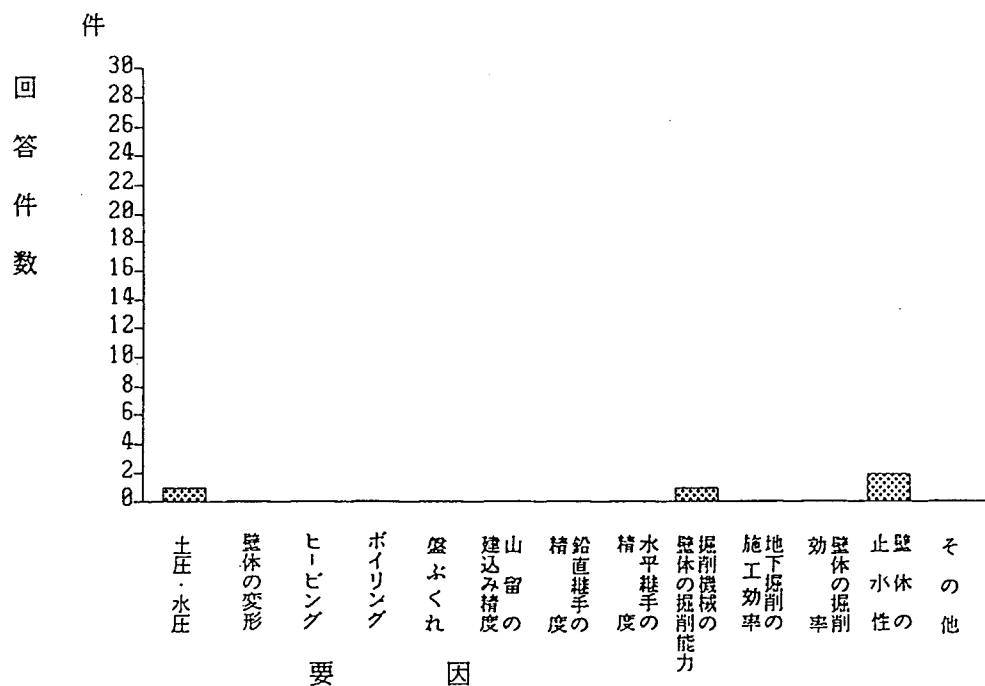


表-4. 4. 29 RC地下連続壁の適用限界要因（山の平地盤）

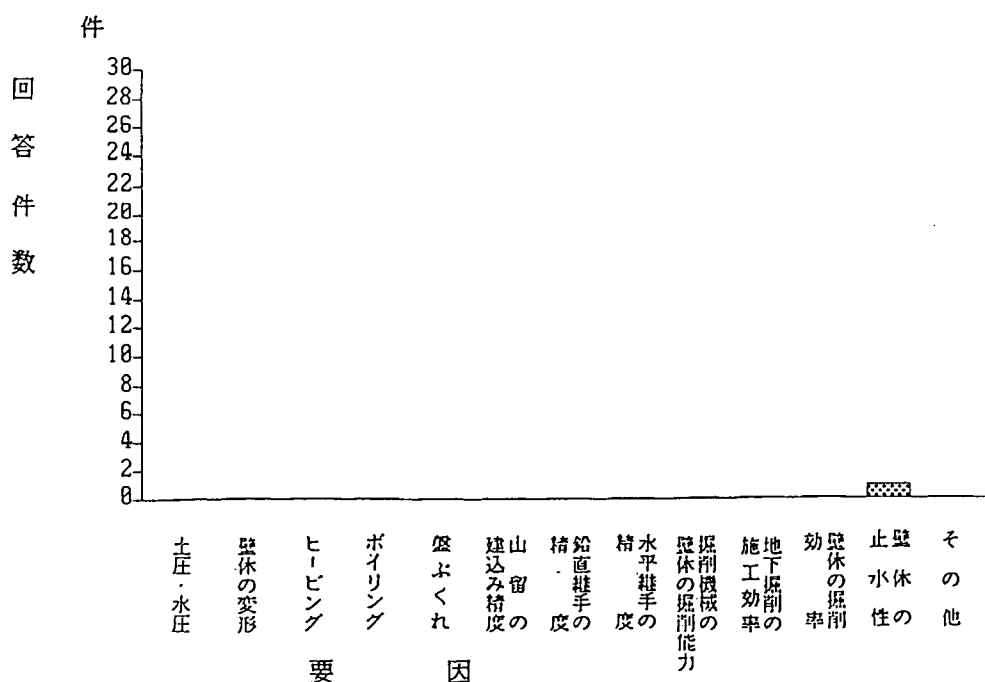


図-4. 4. 30 RC地下連続壁の適用限界要因（下町地盤）

RC地下連続壁は、現状技術においても、100m以深の実績があり最も適用可能性は高い。改善、改良の余地として、大深度の土圧、水圧等に対してさらに剛性の高い壁体を確保すること、止水性を確保することと機械の壁体掘削能力を上げること等が指摘されているが、今後の技術改善で最も有望な工法として挙げることができる。

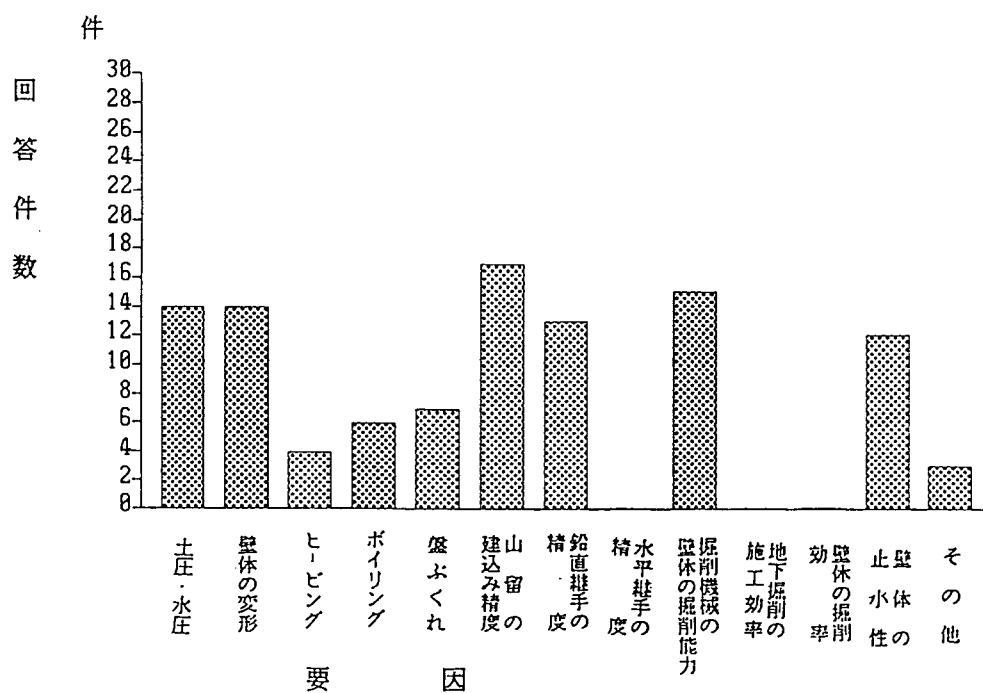


図-4. 4. 3 1 地盤改良式山留め壁の適用限界要因 (山の手地盤)

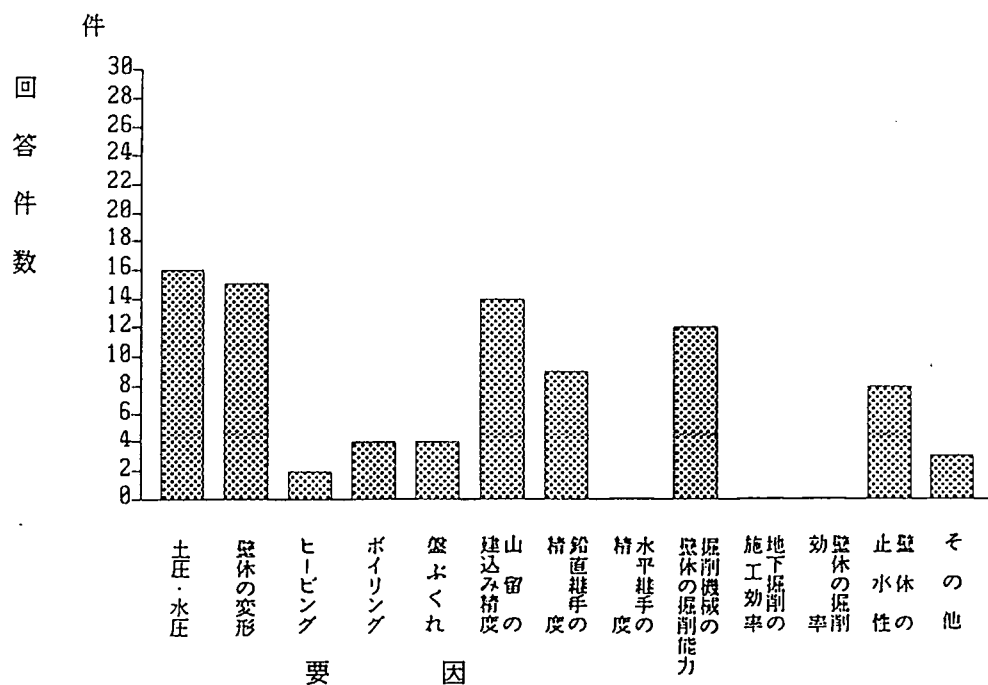


図-4. 4. 3 2 地盤改良式山留め壁の適用限界要因 (下町地盤)

地盤改良式山留め壁は、建て込み精度、機械の掘削能力、土圧、水圧等が大深度に適用するにあたって大きな限界要因となっている。

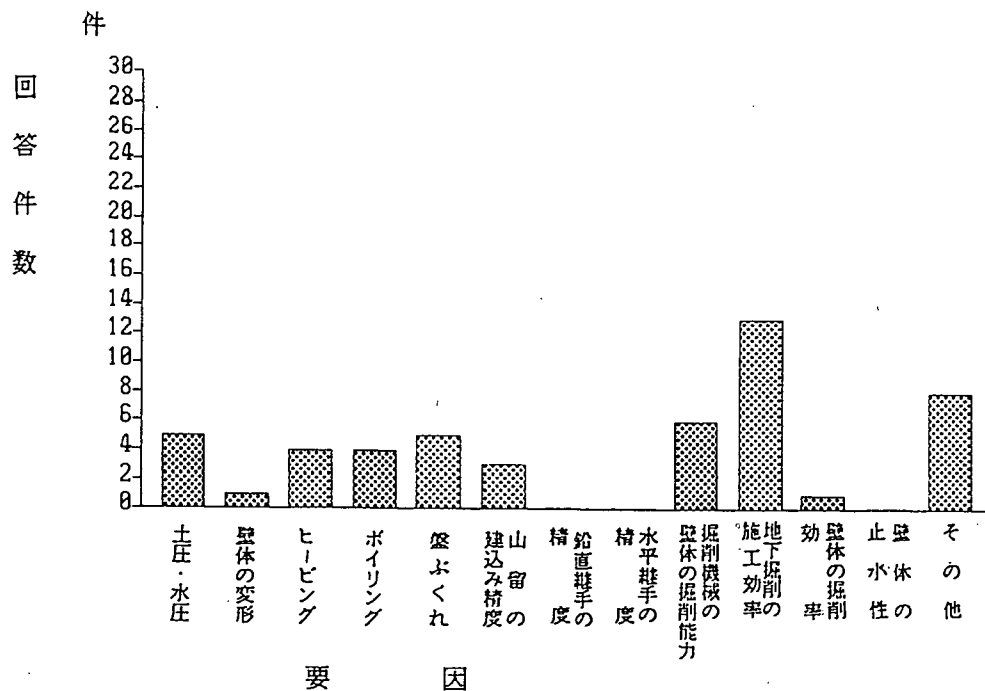


図-4. 4. 3 3 ケーソンの適用限界要因 (山の手地盤)

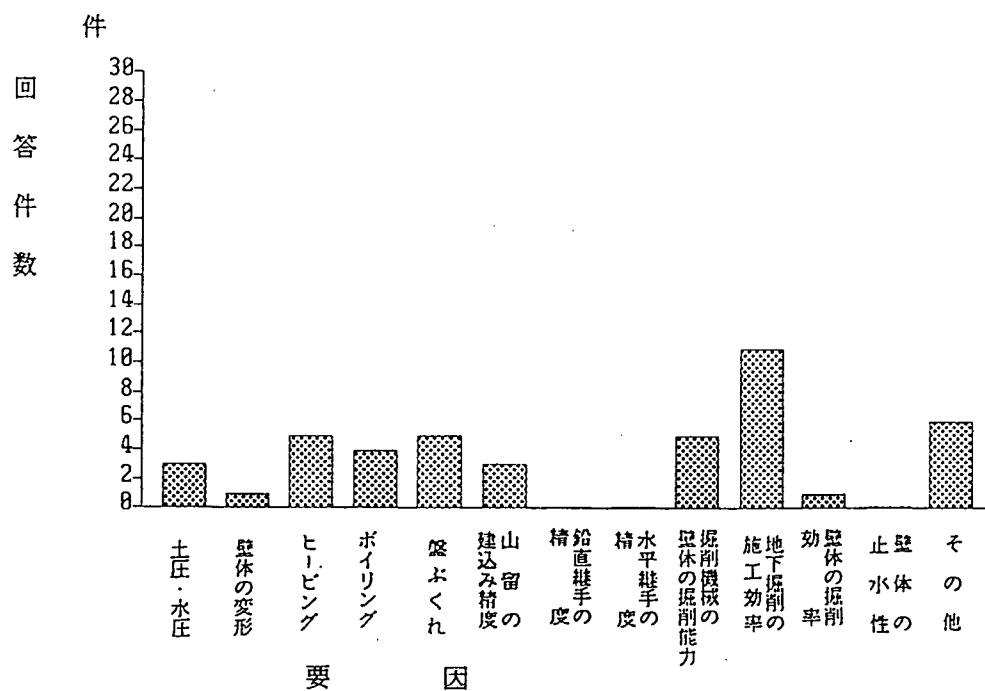


図-4. 4. 3 4 ケーソンの適用限界要因 (下町地盤)

ケーソン工法は大深度になれば掘削効率の低下が大きな限界要因になることが指摘されている。

また、各工法ごとの設定掘削深度に対する限界要因をまとめたものを図-4. 4. 3 5～図-4. 4. 3 9に示す。

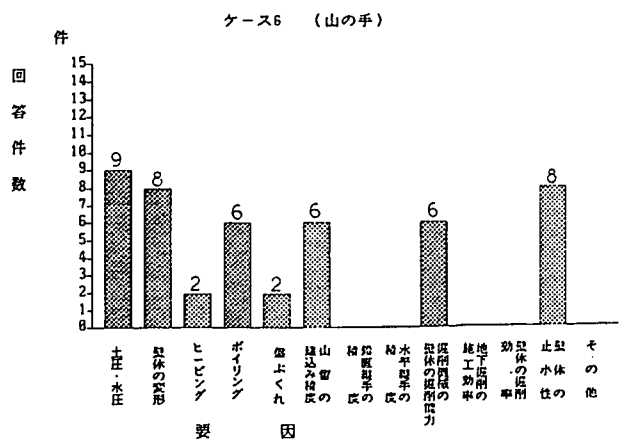
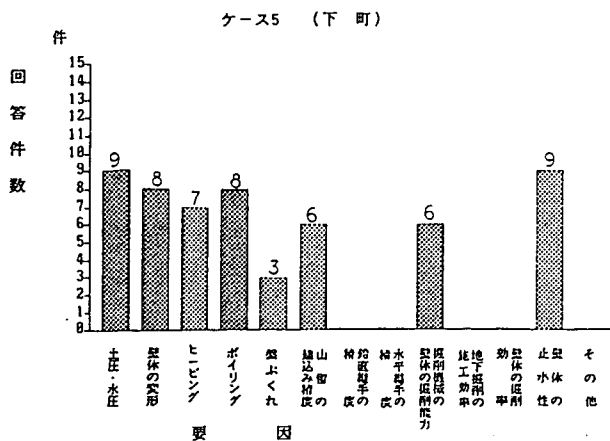
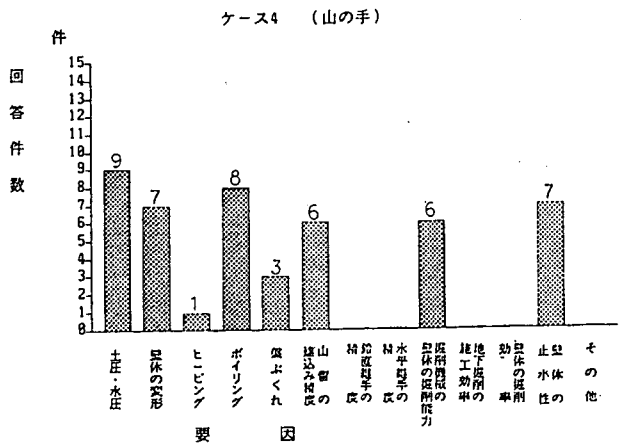
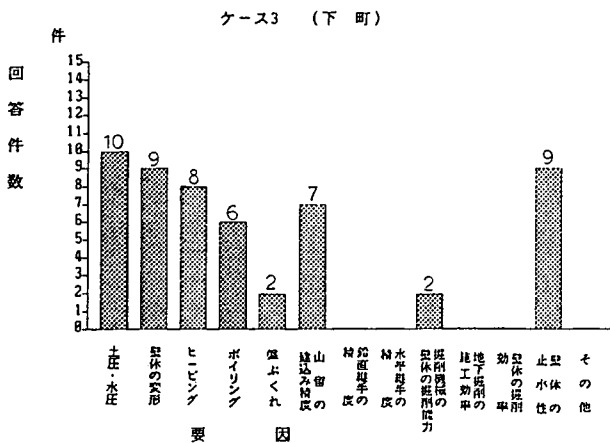
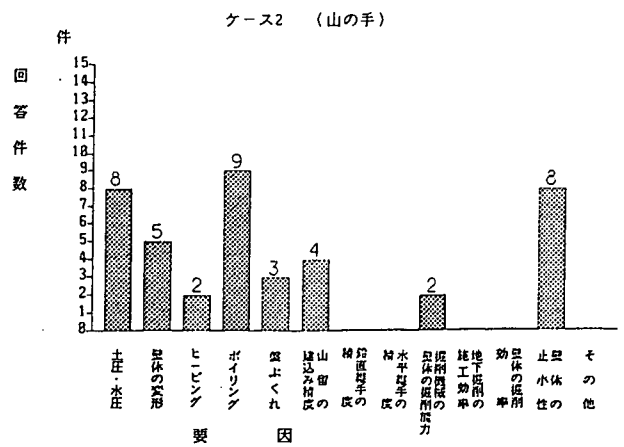
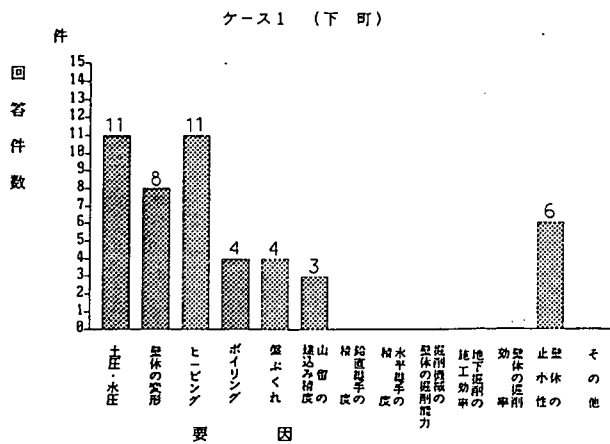


図-4. 4. 3 5 親杭横矢板工法の掘削深度別適用限界要因

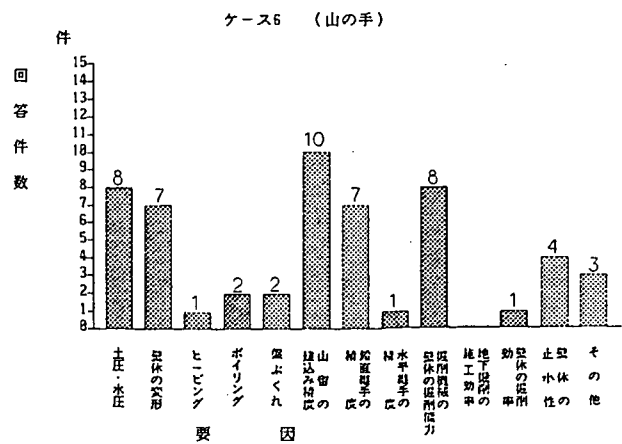
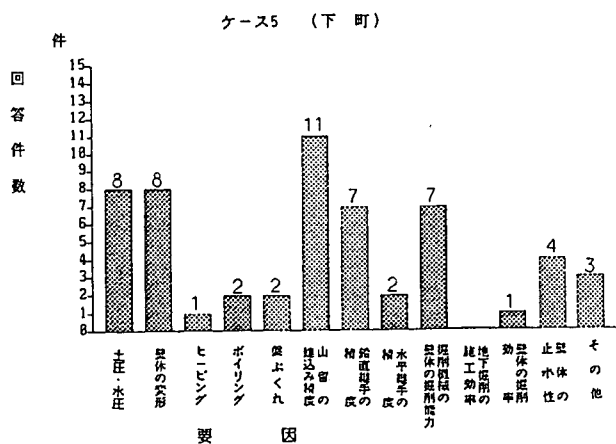
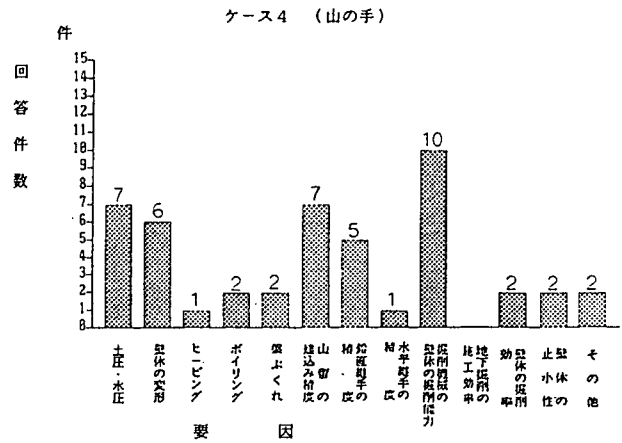
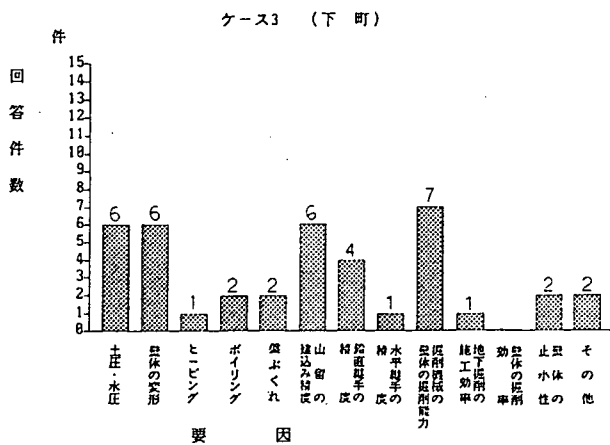
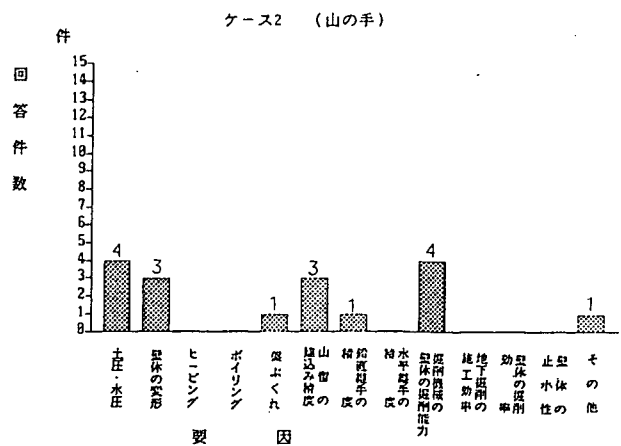
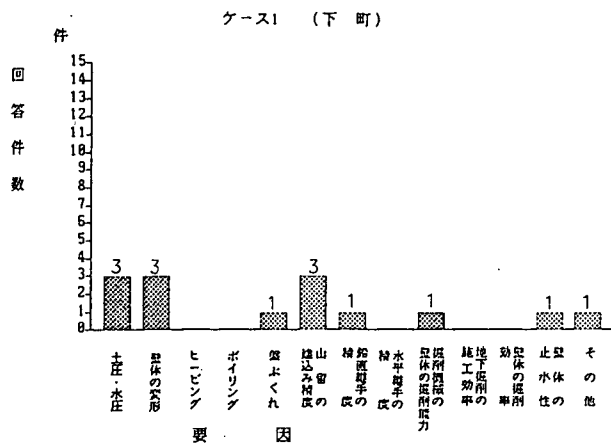


図-4. 4. 36 鋼製矢板の掘削深度別適用限界要因

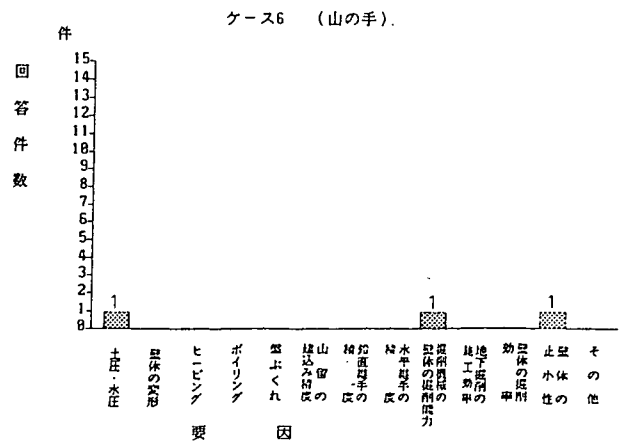
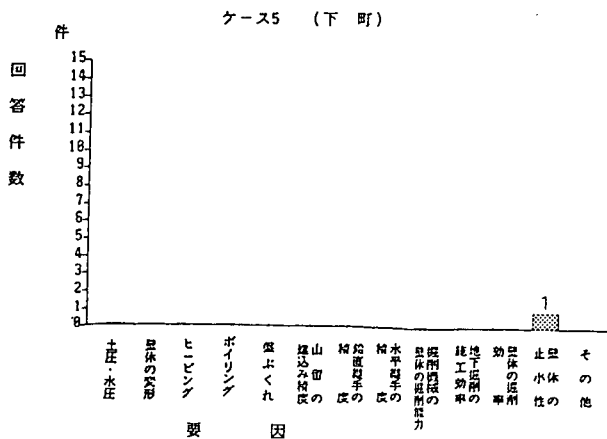
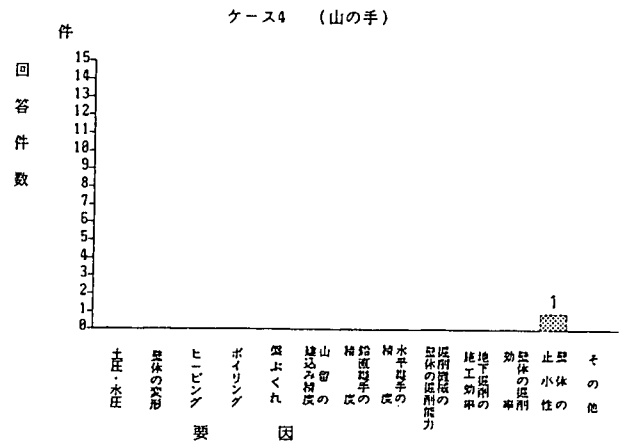
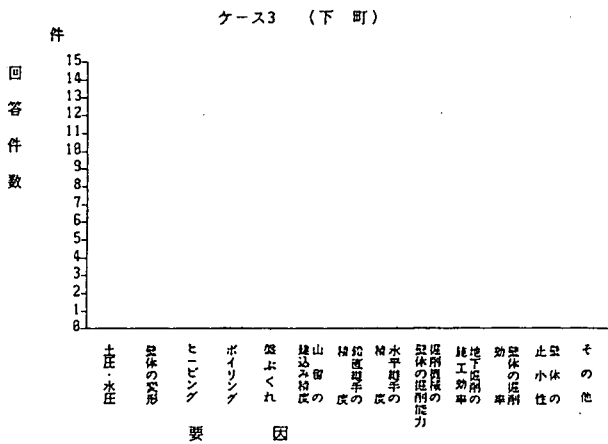
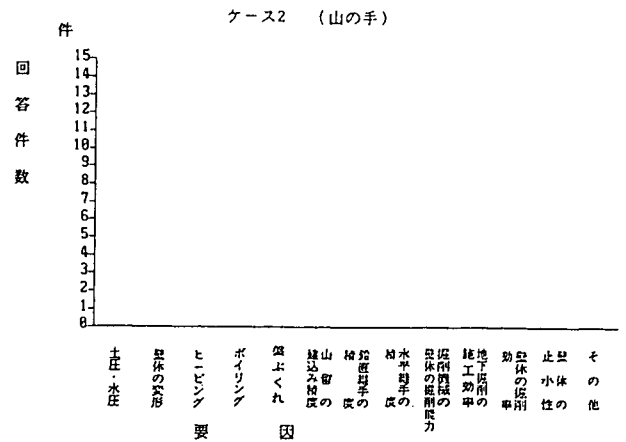
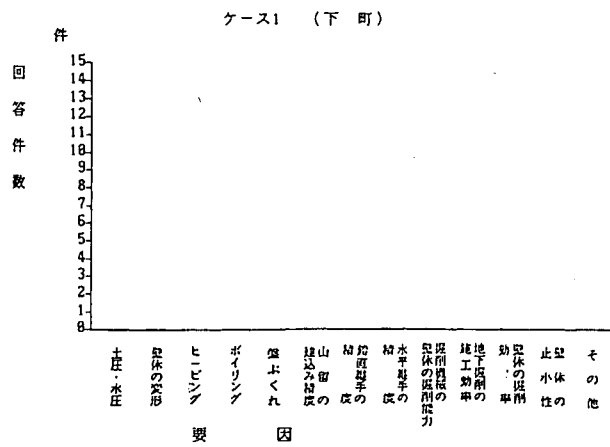


図-4. 4. 3 7 R C地下連続壁の掘削深度別適用限界要因

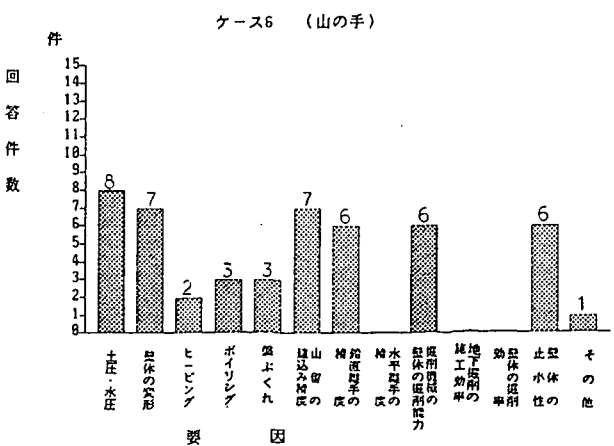
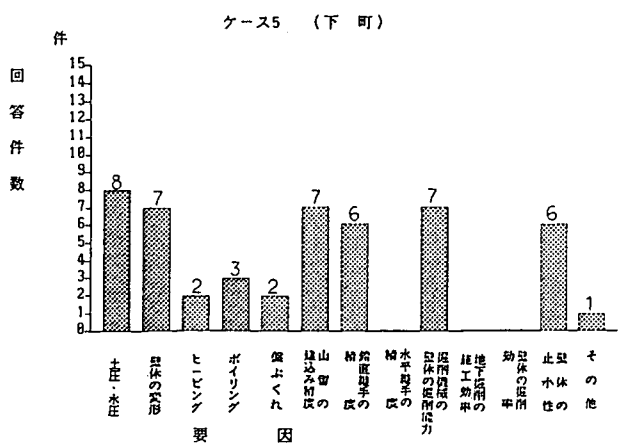
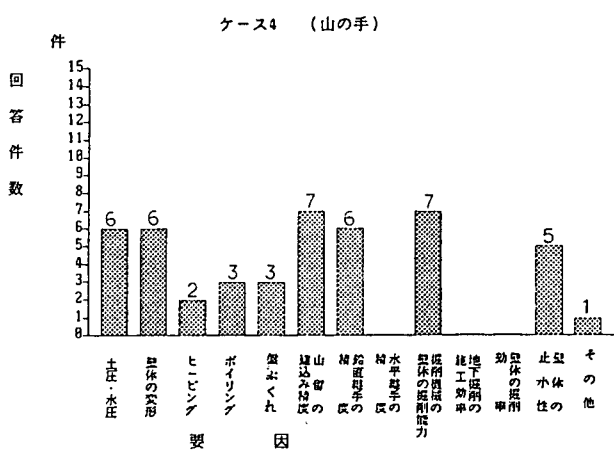
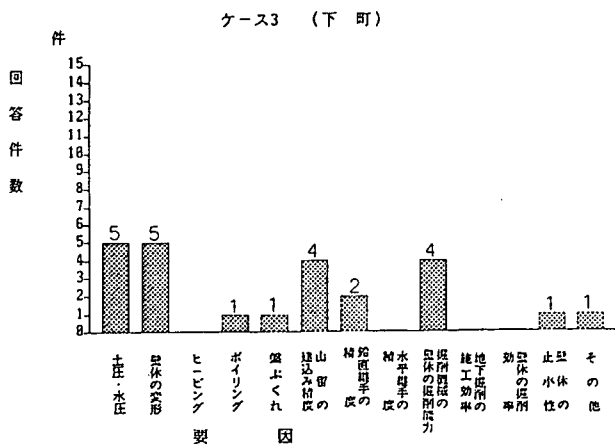
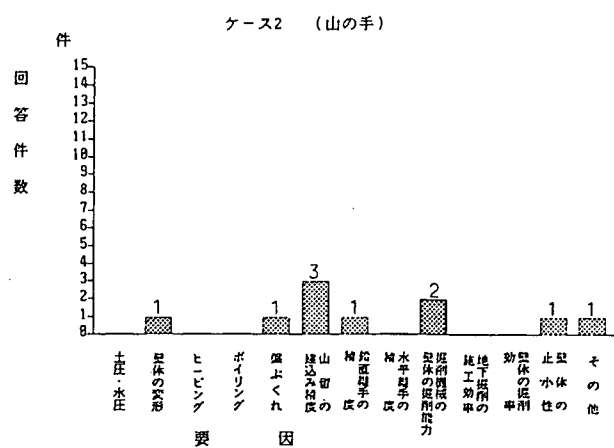
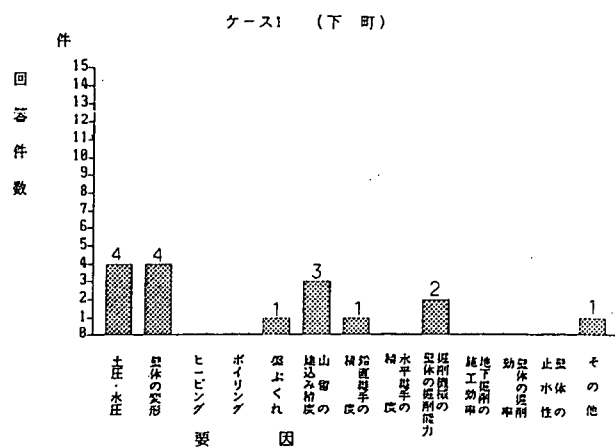


図-4. 4. 38 地盤改良式山留め壁の掘削深度別適用限界要因

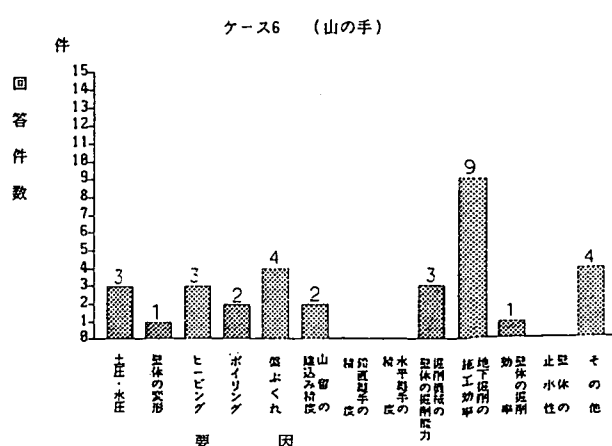
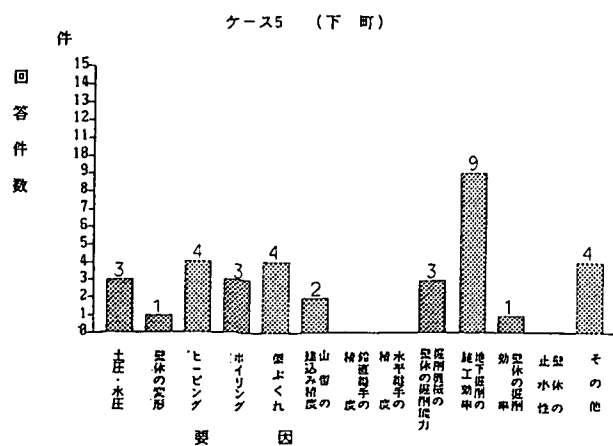
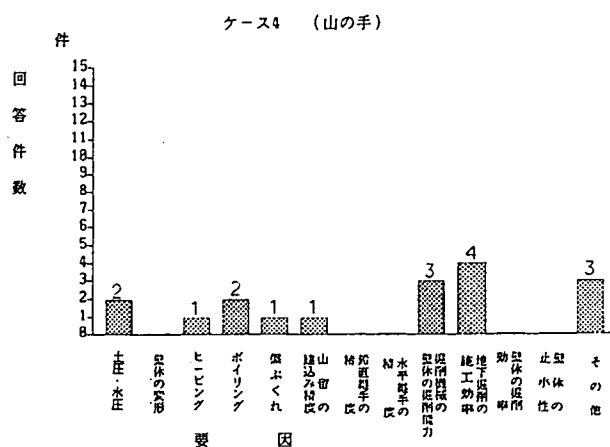
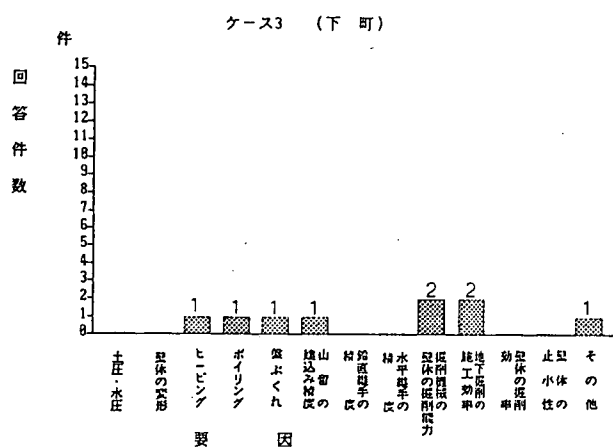
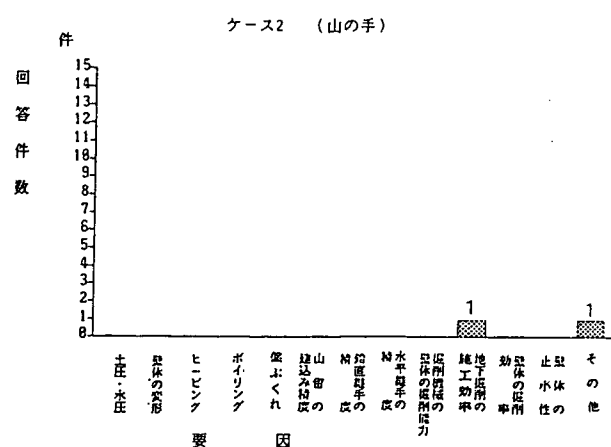


図-4. 4. 39 ケーソンの掘削深度別適用限界要因

4. 4. 3 技術課題の抽出

(1) 各工法における技術課題

次に、以下のような通用限界要因を踏まえて、どのような技術開発課題が抽出できるか調査した。

表－4. 4. 3～表－4. 4. 7, 及び図－4. 4. 40～図－4. 4. 45に今回の調査結果から挙げられた各工法毎の限界要因とそれを突破するための必要な技術課題を示す。

表－4. 4. 3 必要な技術課題（親杭横矢板）

地盤	限界要因の上位		技 術 課 題	件 数
山の 手 地 盤	1	土圧・水圧	高剛性親抗横矢板の開発	8
	2	ボーリング	大深度地盤改良工法の開発	5
	3	壁体の止水性	背面止水工法の開発	7
	4	壁体の変形	1. に同じ	
	5	山留め建込み精度	建込み工法及び継手の開発	5
	6			
	7			
	8			
下 町 地 盤	1	土圧・水圧	高剛性親抗横矢板の開発	8
	2	ヒービング	大深度地盤改良工法の開発	4
	3	壁体の変形	1. に同じ	
	4	壁体の止水性	背面止水工法の開発	7
	5	ボーリング	2. に同じ	
	6	山留め建込み精度	建込み工法及び継手の開発	5
	7			
	8			

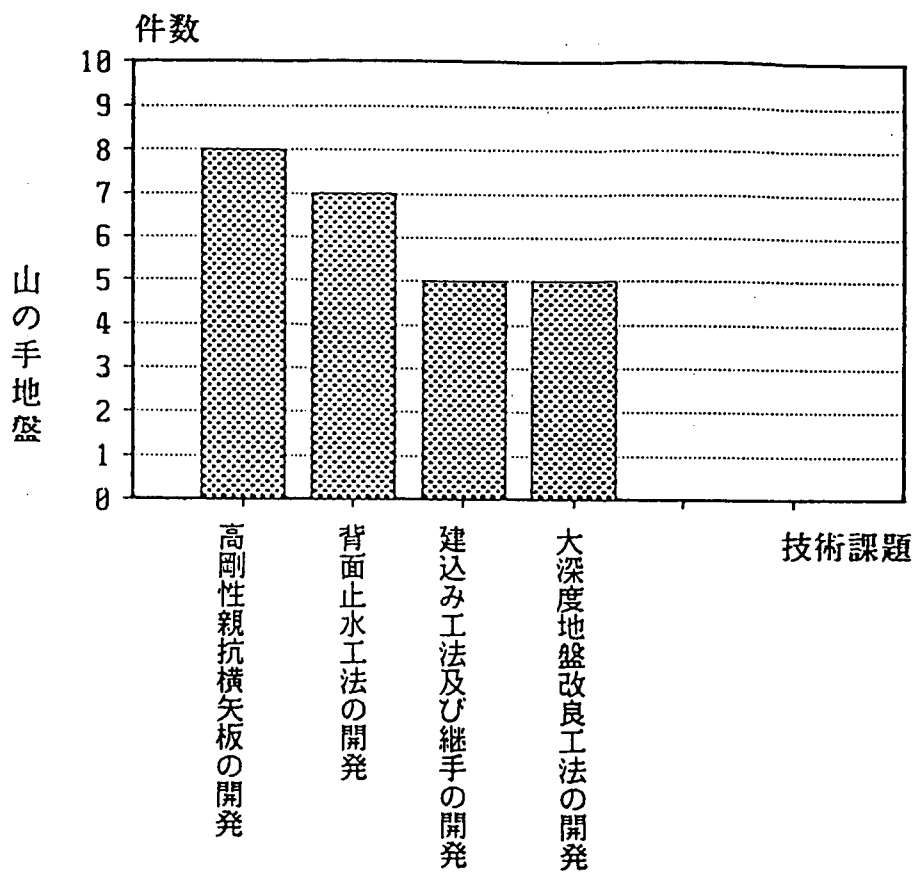


図-4. 4. 40 必要な技術課題（親杭横矢板、山の手地盤）

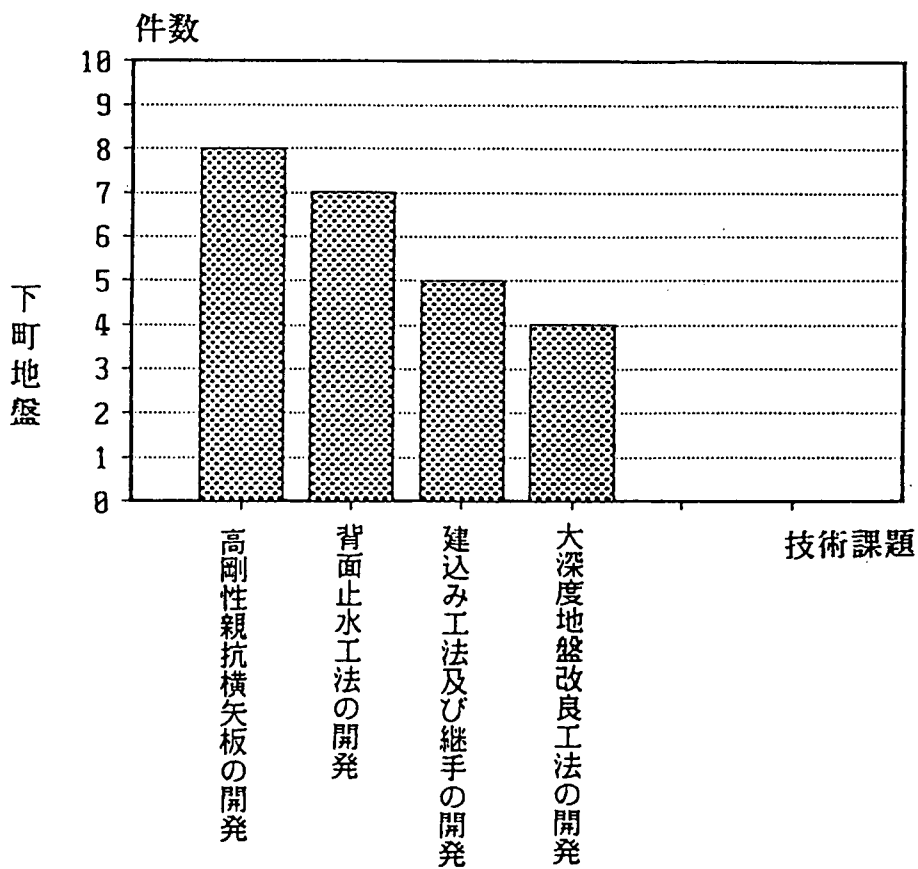


図-4. 4. 41 必要な技術課題（親杭横矢板、下町地盤）

表－ 4. 4. 4 必要な技術課題（鋼製矢板）

地盤	限界要因の上位		技 術 課 題	件数
山 の 手 地 盤	1	掘削機械の壁体の掘削能力	硬質砂レキ地盤の穿孔技術開発	1
	2	山留め建込み精度	鉛直精度の確保や管理方法の開発 建込み・打込み技術の改良 方向制御可能な掘削機械の開発	1 1 1
	3	土圧・水圧	高剛性矢板の開発 継手強度・接合方法の改善	7 3
	4	壁体の変形	3. に同じ	
	5	鉛直継手の精度	建込み能率を向上させるための継手の開発 現場縦継ぎ・溶接の合理性(コスト)開発	1 1
	6			
	7			
	8			
下 町 地 盤	1	山留め建込み精度	同 上	
	2	土圧・水圧	〃	
	3	壁体の変形	〃	
	4	掘削機械の壁体の掘削能力	〃	
	5	鉛直継手の精度	〃	
	6			
	7			
	8			

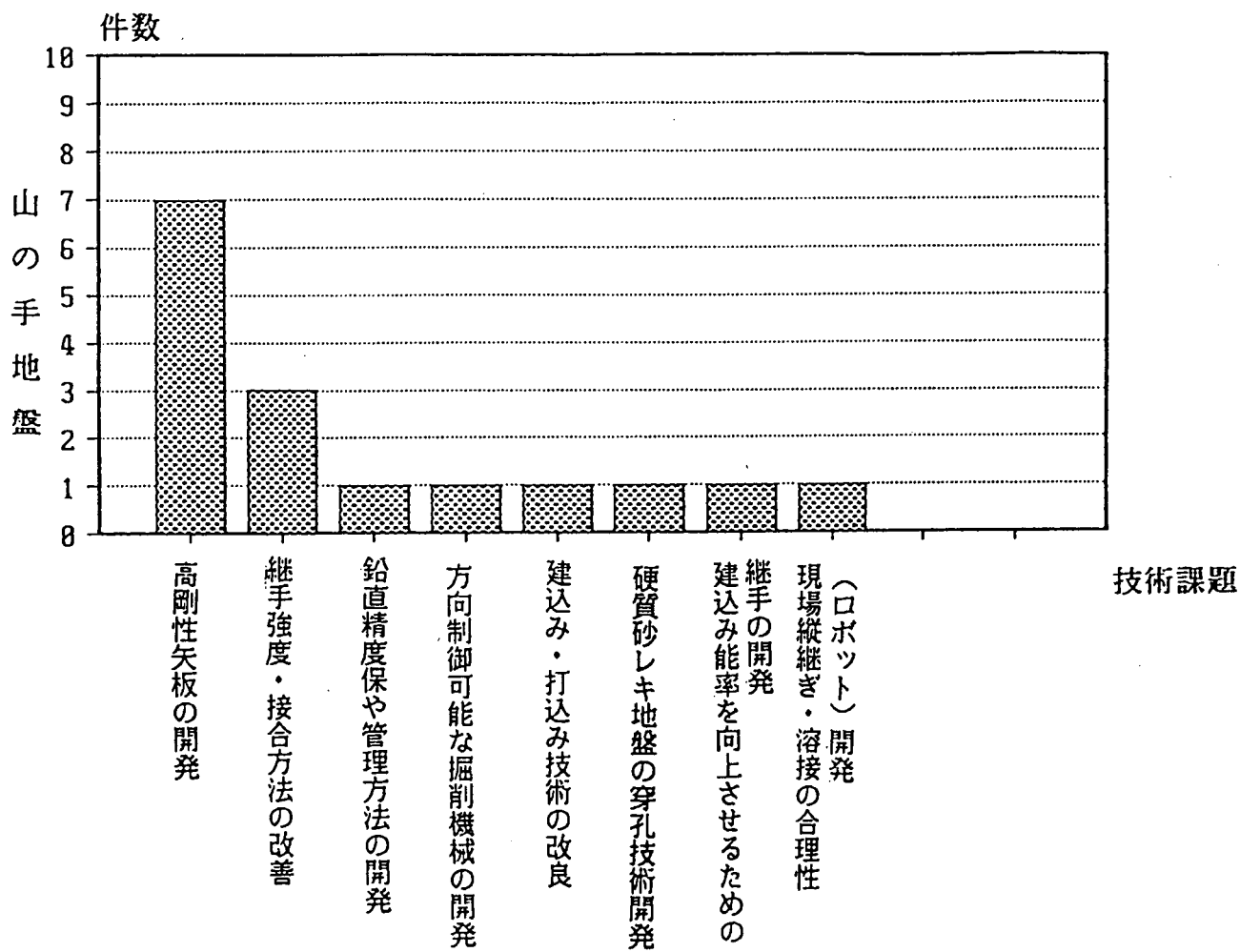


図-4. 4. 4 2 必要な技術課題 (鋼製矢板)

表-4. 4. 5 必要な技術課題（RC地下連続壁）

地盤	限界要因の上位		技 術 課 題	件 数
山の 手 地 盤	1	土圧・水圧	掘削能力の改善（泥岩層・レキ層）	1
	2	掘削機械の壁体 掘削能力 壁体の止水性	鉄筋カゴ建込み方法の改善	1
	3		継手部の止水性向上	1
	4		高強度コンクリートの開発	1
	5			
	6			
	7			
	8			

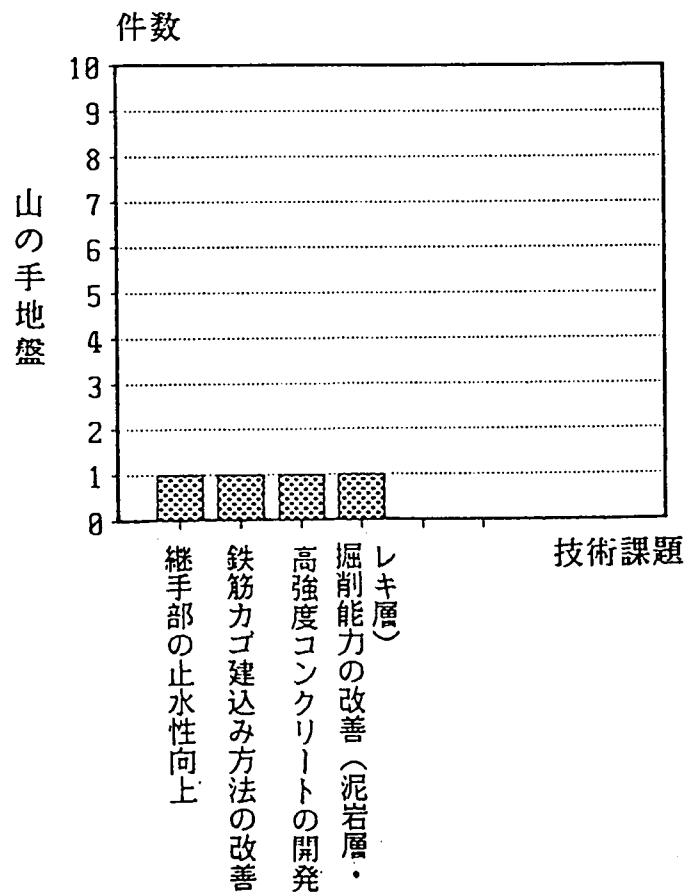


図-4. 4. 4 3 必要な技術課題（RC地下連続壁）

表-4. 4. 6 必要な技術課題（地盤改良式山留め壁）

地盤	限界要因の上位	技 術 課 題	件数
山の 手 地 盤	1 山留め建込み精度	鉛直継手の改良 穿孔技術・芯材の建込み技術の改良	1 1
	2 掘削機械の壁体の掘削能力	長尺掘削機械の開発 効率のよい隙層岩盤掘削機械の開発	1 1
	3 土圧・水圧	高強度高剛性芯材の開発 高強度ソイルセメントの開発	4 1
	4 壁体の変形	3. に同じ	
	5		
	6		
	7		
	8		
下 町 地 盤	1 土圧・水圧	同 上	
	2 壁体の変形	〃	
	3 山留め建込み精度	〃	
	4 掘削機械の壁体の掘削能力	〃	
	5		
	6		
	7		
	8		

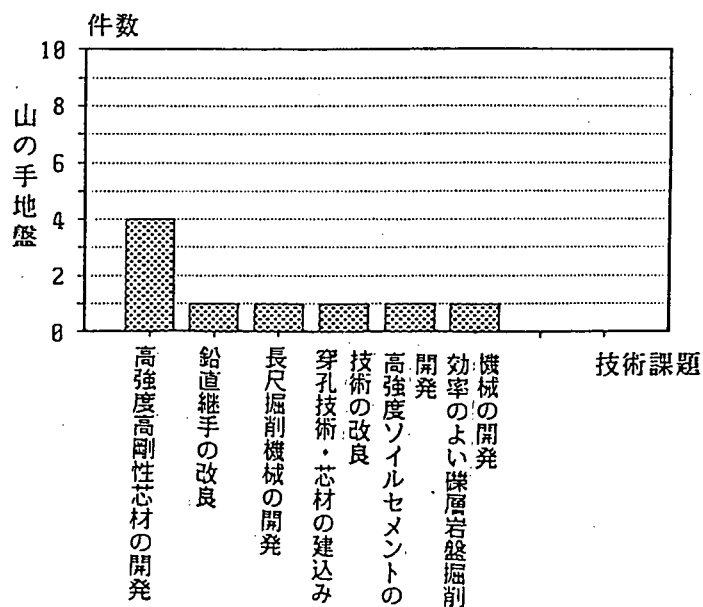


図-4. 4. 4. 4 必要な技術課題（地盤改良式山留め壁）

表-4. 4. 7 必要な技術課題（ケーソン）

地盤	限界要因の上位	技術課題	件数
山の 手 地 盤	1 地下掘削の施工効率	無人化省力化施工技術の開発 フリクションカット方法の開発 高圧対策	5 6 1
	2 掘削能力		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
下町 地 盤	1 地下掘削の施工効率	同 上	
	2 ヒーピング	〃	
	3 ボイリング	〃	
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		

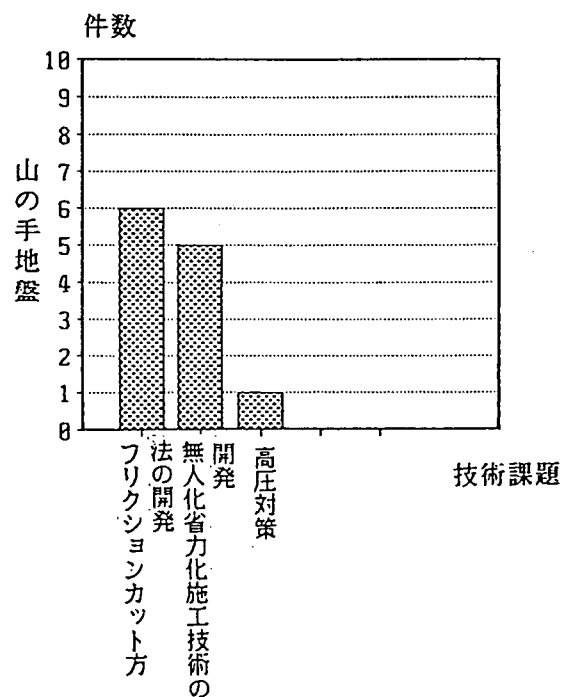


図-4. 4. 4 5 必要な技術課題（ケーソン）

(2) 設計・施工上の観点からの技術課題

前節では、各工法の適用限界要因から技術課題の抽出を行なった結果を示したが、ここでは、開削工法全般を通して、設計・施工技術の観点からアンケート結果をまとめた。その結果、次のような技術課題が示された。

① 設計法

	件数
・周辺構造物への影響予測の評価法と対策工の確立	5
・大深度土圧、水圧の算定方法の確立	4
・深い山留め解析方法の確立	1
・深層地盤の効率的な地盤調査法の確立	1
・合理的な本体利用の設計法	1
・施工管理ならびに将来の技術開発のための計測システム	1
・盤膨れ（高水圧下）の評価法と対策工法の開発	1

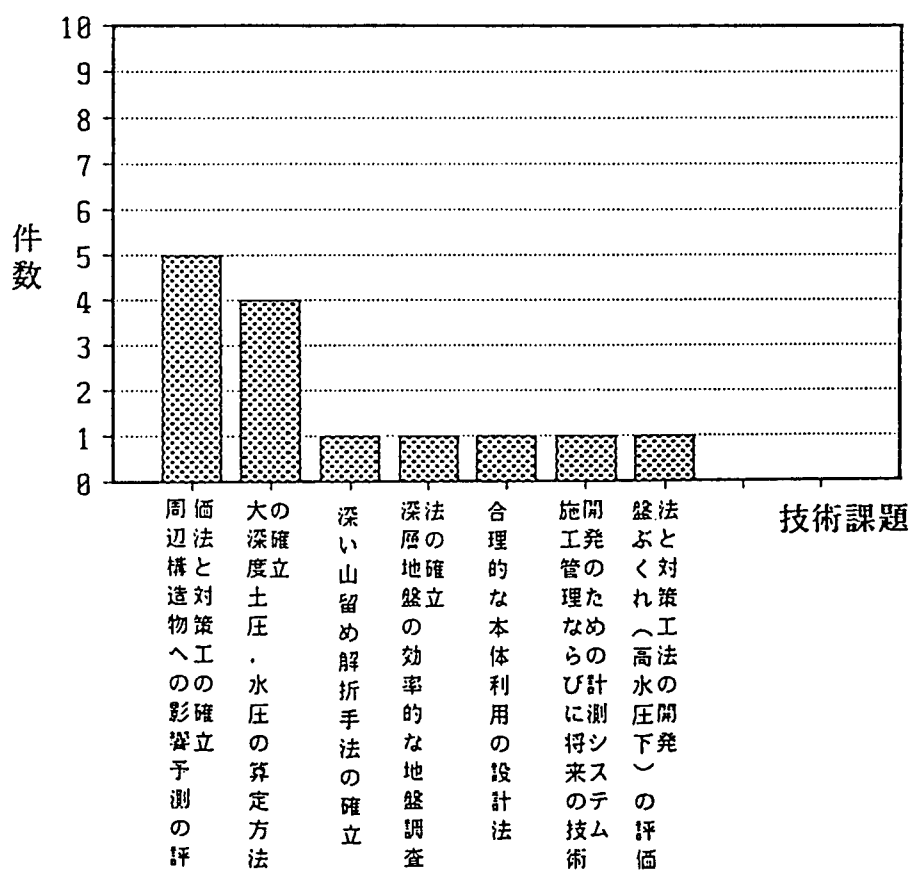


図-4. 4. 4 6 設計法からみた技術課題

② 施工法

・大深度掘削用施工機械の開発	3
・高強度コンクリート	2
・効率，安全，経済的な自動掘削技術の開発	2
・連続ズリ搬出設備	1
・高能率の排水設備，復水工法	1
・水中土留め掘削システム	1
・高圧（圧縮空気の代用，改善）ケーソン，オープンウェル型ケーソン	1
・セグメント式ケーソン	1
・大深度用施工機械の精度向上	1
・連続壁に鋼製プレキャスト板を用いた薄壁高剛性連続壁の開発	1
・大深度用ケーソンの無人化施工機械の開発	1
・高水圧下における止水技術と止水の確認方法	1
・大深度連続壁の多段配筋	1

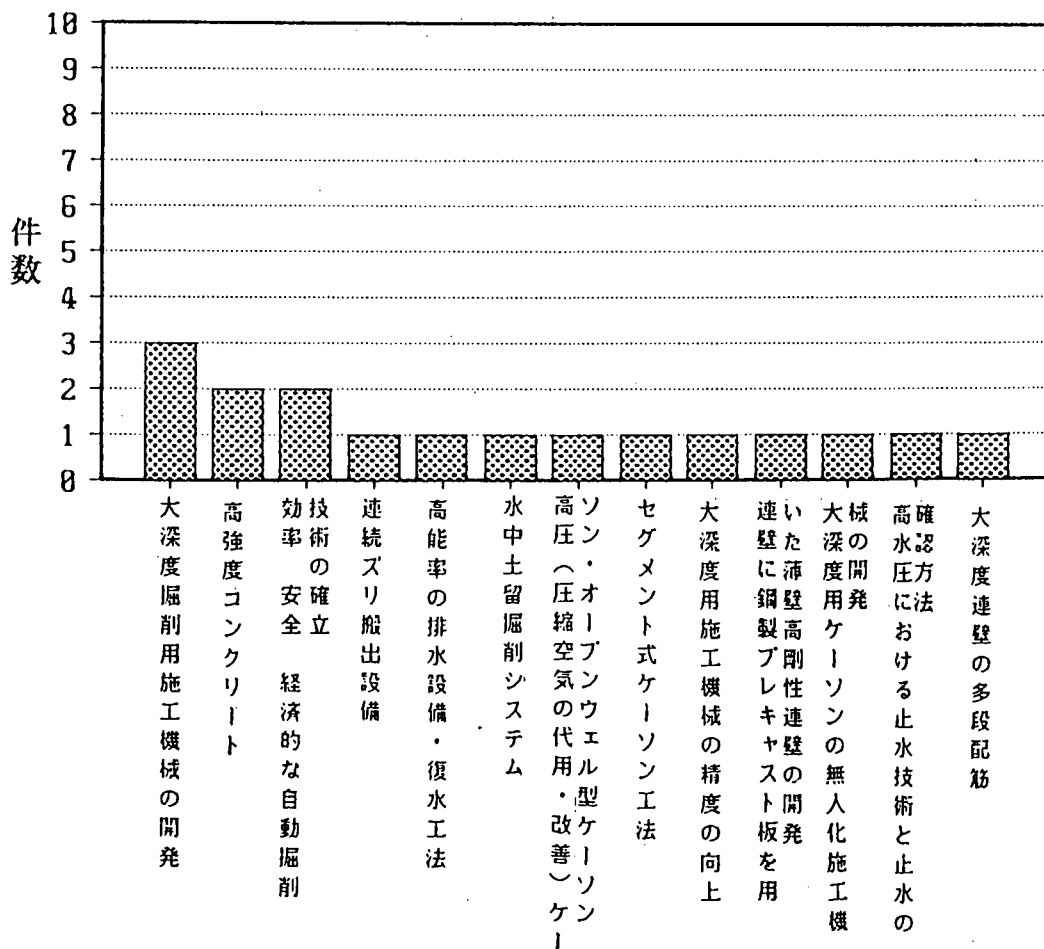


図-4. 4. 4 7 施工法からみた技術課題

③ 開削工法における無人化技術

a. 地下連続壁工法

- ・掘削精度管理
- ・掘削精度制御
- ・コンクリート打設管理
- ・安定液管理
- ・孔壁測定システム
- ・鉄筋組み立て
- ・玉掛けはずし装置

b. ニューマチックケーソン

- ・反力自動制御
- ・排土自動運転
- ・リモコン掘削機

(3) 周辺構造物への影響評価技術と課題

市街地における開削工法では、周辺構造物への影響評価は重要な検討課題である。これに関して、予測評価方法、防護方法、適用限界の観点から現状技術と課題についてまとめた。

① 予測評価法

	件
・ F E M	12
・ 弾塑性解析法	8
・ 予測データ（過去の実測値からの推定）	3
・ すべり面を仮定する方法	3
・ ベックの経験的図表による方法	2
・ 情報化施工	1

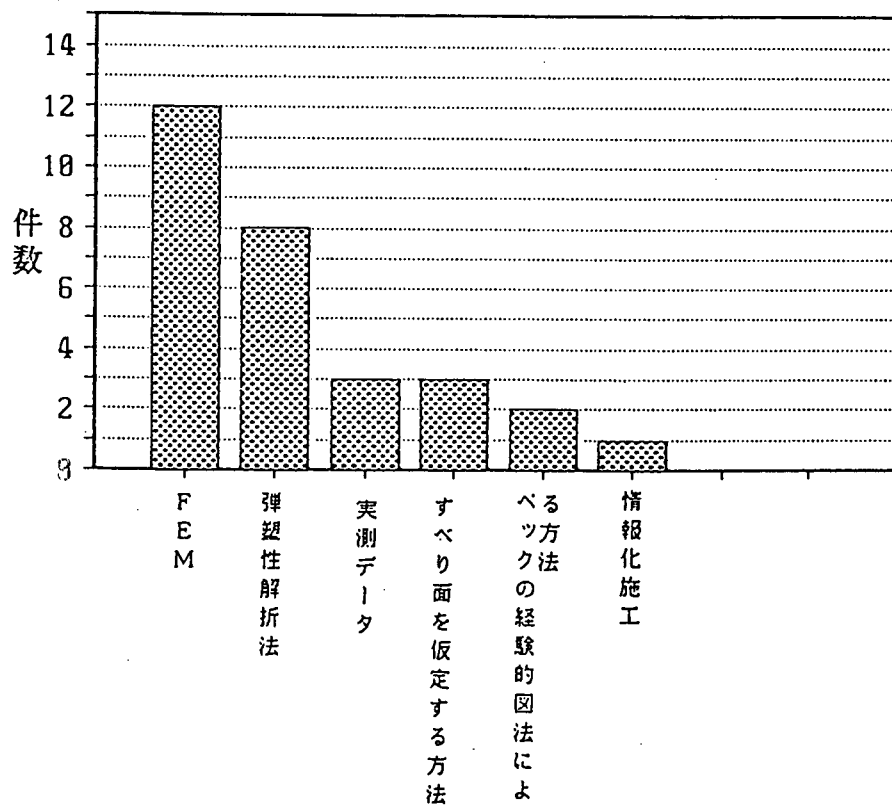


図-4. 4. 4 8 周辺構造物への影響予測評価法

② 防護方法

・地盤改良	5
・プレロード工法	4
・高剛性山留め壁工法	4
・アンダーピニング	3
・薬液注入工法	2
・リチャージウエル	2
・地下水位低下工法	1
・遮断壁工法	1

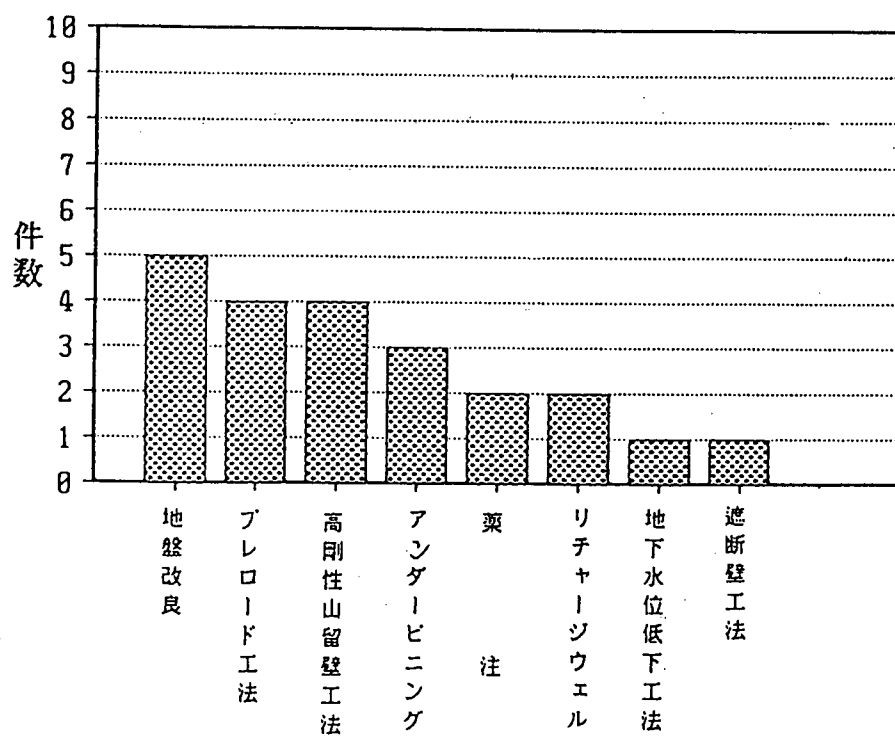


図-4. 4. 49 周辺構造物への影響防護法

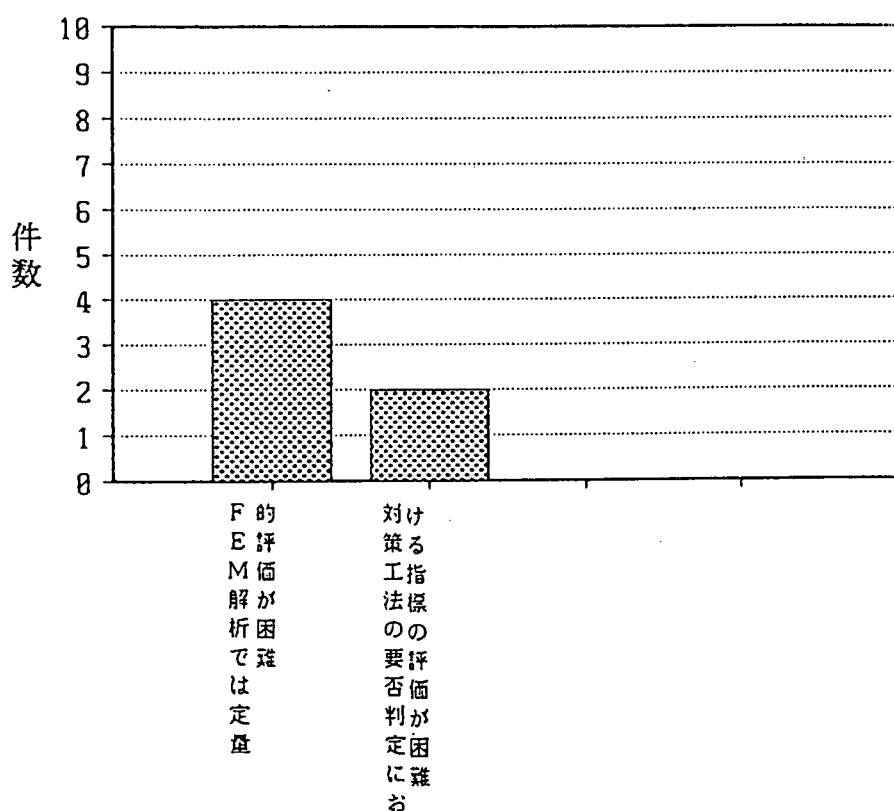
③ 限界について

- ・ F E M解析では、入力条件に不確定性が大きく定量的評価は必ずしも信頼出来ない面がある。

4

- ・ 対策工法の適否判定を行う指標の種類とその値（許容変位等）の評価が困難

2



図－4. 4. 5 0 周辺構造物への影響予測評価の限界

予測評価方法としては、F E M、弾塑性解析が主に用いられているが、特に、F E M解析では、入力条件に不確定要素が大きく定量的評価が必ずしもうまく出来ないことが指摘されている。

また、防護方法は、周辺環境、構造物の種類用途に応じて種々の方法が用いられているようである。しかし、防護を行う場合、許容変位をどのように評価するのか等の基準の設定が困難である場合が多い。従って、技術課題としては、より定量的評価が可能な理論・解析法を確立することと、このような計算法に基づいた施工管理手法（管理値の設定も含めて）を提案できるようにすることであろう。

(4) 技術課題のまとめ

以上、各工法ごとの技術課題、および、設計・施工の観点からの技術課題について調査した結果を示したが、これらの結果を総括して一般化すると、次のようにまとめることができる。

表-4. 4. 8 限界要因と技術課題のまとめ

限界要因 / 要素技術	壁体の剛性の確保	地盤改良工法の開発	山留め壁体の精度の確保	掘削効率の改善
土圧・水圧	●			
壁体の変形	●			
ヒーピング		●		
ボイリング		●		
盤ぶくれ		●		
山留めの建て込み精度			●	
鉛直継手の精度			●	
水平継手の精度			●	
機械の壁体の掘削能力				●
地下掘削効率				●
壁体の施工効率				●
壁体の止水性			●	
総合評価	2	3	4	3
設計面を中心とした技術課題	・大深度の主働土圧の研究	・盤ぶくれの破壊性状の解明		
施工面を中心とした技術課題	・新材料、複合材料を用いた山留壁の開発 ・パットレス 連壁	・新注入剤の開発、 ・施工法、施工管理方法の開発	・先端技術を用いた掘削管理技術の開発 ・掘削の自動化	・掘削の自動化ロボット化

今後、開発すべき技術課題として設計の観点から見るならば、大深度土圧（主働土圧）の解明と算定法、剛性が確保できるような壁体材料、壁体の設計法に主眼がおかれるものと予想される。

また、施工面から見るならば、高剛性を確保できるような山留め工法の開発、盤ぶくれ、ヒービングに対抗できるような地盤改良工法の開発、さらに、掘削能力、効率等の改善研究が挙げられる。

工法的には、地下連続壁工法が現時点で最も潜在的に適用可能性が高いとの評価が得られており、各技術課題は、地下連続壁を主体に改善開発することが合理的であると考えられる。

以上、開削工法を大深度地下空間掘削工法として適用する場合の適用可能性、適用限界となる要因、技術課題についてアンケート調査結果をもとにまとめた。

しかしながら、大深度地下空間だけを利用する場合、開削工法により掘削すると利用しない部分の支保工、掘削、埋戻し土量は膨大なものとなり、開削工法は不利となる。このようなことから、開削工法を適用するには開削の大部分を利用できそうな地域再開発、駅ビルや本設、仮設立坑等の利用に限られるであろう。

第5章 今年度の総括

本年度（昭和63年度）は、共同研究の初年度であり、都市における地下空間利用の現状と将来（以下、ニーズ調査）および地下空間建設技術の現状と課題（以下、建設技術調査）について調査した。調査方法は、ニーズ調査については、今後ますます地下空間への需要が高まるであろうと思われる施設を対象として、首都圏と地方中心都市（政令指定都市）における、道路、河川、上水道、下水道、地下街、鉄道、電力、ガス、鉄道等地下施設の事業主体である国、地方公共団体及び企業に対して、それぞれの機関が現在もっている、計画・構想段階の地下利用施設で、施設の概要、計画の背景、技術課題等についてのアンケート調査を行った。

また、建設技術調査については、地下空間を建設するに必要な技術として、地盤調査、NATM、シールド工法、開削工法の3工法に絞り、共同研究に参加している会社を対象として、建設技術の現状と技術的課題についてアンケートを行い、アンケートによる調査結果をもとに、おのこの技術の現状と技術的課題について検討を加えた。

ニーズ調査の結果明らかになった主な点は以下の通りである。

- ① 地下空間施設として利用が予定されている施設の深度は一部のものをのぞき50m程度である。
- ② 調査を行ったほとんどの施設で地下利用将来計画構想があり、件数としては下水道関係施設が多かった。工法としては、ほとんどの施設で地中連続壁による開削工法が採用され、線的な施設ではシールド工法も多く採用されている。地下空間を利用する理由としては既存施設の拡張等、用地取得が困難、絶対的な空間不足、環境への配慮などが挙げられている、地下空間にした場合のデメリットは建設費や維持管理費の増大が考えられる。

建設技術調査に関しては、本年度は、地盤調査、NATM、シールド工法、開削工法について、文献調査および共同研究に参加している会社に対するアンケート調査を行い、現状技術の適応限界、今後の可能性を明らかにした。

- ① 地盤調査については、ボーリング調査と物理検査手法を併用していくこと等の課題を指摘した。
- ② 土砂地山におけるNATMについてこれまでの施工実績は断面積170㎡、深度70m、水頭20mであることが、明らかとなった。またアンケート結果によれば、都市部の大深度トンネルにNATMを適用することが可能であると考えられていることが示された。

技術的課題については、アンケートより、高水位・未固結地山を対象とするため切羽安定対策として、断面切上げ拡大工法確立や補助工法として効果的な排水・止水あるいは、地盤強度の増加工法に関する施工技術の改革、地表及び地中の構造物への影響に対する地盤強度の増加工法に関する施工技術の改革、地表及び地中の構造物への影響に対する予測・評価技術の開発等があると考えられた。

- ③ シールド工法のこれまでの施工実績は口径13m、水圧4kgf/cm²、掘進距離2.4kmであることが明らかとなった。

また、アンケート結果によれば、シールド工法の適用は、口径20m、水圧10kgf/cm²、掘進距離5kmまで適用可能であると考えられていることが示された。技術的課題について、今後の大断面・大深度に対応するため、設計技術として、シールド施工に伴う周辺地盤・既設構造物あるいは地下水等の挙動予測評価技術の向上、ニーズに応えるシールド機械の開発セグメントの軽量化、自動化及び施工技術として地盤改良技術の開発等が考えられた。

- ④ 開削工法のこれまでの施工実績は深度55mであり、また掘削深さが25m程度以上になれば地下連続壁やケーソン工法の適用が多くなることが明らかとなった。また、アンケート結果によれば、都市部でのRC地下連続壁の適用は深度100mまで可能であると考えられていることが示された。開発すべき技術課題として、設計の観点からは、大深度土圧（主働土圧）の解明と算定法、剛性が確保できるような壁体材料、壁体の設計法について、施工面からは、高剛性を確保できるような山留め工法の開発、盤ぶくれ、ヒービングに対抗できるような地盤改良工法の開発、掘削能力や効率等の改善の研究について、また工法的には、地下連続壁工法が現時点で最も潜在的に適用可能性が高いとの評価が得られており、各技術課題は地下連続壁を主体に改善開発することが合理的であると考えられた。

今後は、これらの調査結果を踏まえ、地下空間の安全かつ合理的な利用方法についてさらに詳細に検討を進めていく必要がある。

参 考 資 料

地下空間の利用ニーズ及び利用技術に関するアンケート・ヒアリング調査の調査容姿を参考として以下に添付する。

- A. 地下空間利用のニーズ
- B. 地盤調査技術
- C. NATM
- D. シールド工法
- E. 開削工法

A. 地下空間利用のニーズ

地下空間利用に関するアンケート

1. 目的

本アンケートは、今後の合理的で安全な地下空間利用のための計画策定およびそれに必要な技術の開発を行うに当たっての基礎資料とするため、現在計画あるいは構想中の地下空間利用施設について、その計画・構造の背景、動機（理由）並びにその施設の建設・運用（管理）に当たってかかえておられる技術課題を調査することを目的としております。

なお、アンケートで御回答いただきました内容については、その取り扱いに十分注意させていただきますので、できるだけ詳細に御回答くださるようお願いいたします。

2. 記入要領

- ・ 現在計画中あるいは構想中の各施設について、以下の設問に御回答下さい。施設が複数の場合は、御手数ですがアンケート用紙を複写して御使用くださるようお願いいたします。
- ・ 回答方法には、①具体的な名称、数値を記入するもの、②○印をつけて選択するもの（複数回答可）があります。また、“その他”を選択されたときは具体的にご記入ください。

3. 返送期限 : 平成 元 年 2 月 1 0 日までにご返送お願い致します。

4. 問合せ先 : 建設省 土木研究所 河川部 総合治水研究室 大原 修
馬場 隆司
“ “ 道路部 トンネル研究室 真下 英人
〒305 つくば市大字旭1番地
TEL. 0298(64)2211

5. 地下空間を利用しようと思う理由、背景について何が重要ですか。

該当するものに○を付けて下さい。

a. 既存施設、関連施設との関係 施 設 名 : _____

b. 用地取得問題

c. 防災面での利点 具 体 的 に : _____

d. 維持管理上の利点 具 体 的 に : _____

e. 景観上好ましい

f. 地下特性の利用 ※ f. に○を付けられた方のみ以下の①～⑫の該当するものに○を付けて下さい。

①恒温性 (温度変化が小さい)

②恒湿性 (湿度変化が小さい)

③断熱性 (熱が遮断される)

④遮光性 (光が遮断される)

⑤遮音性 (騒音の出入りが無い)

⑥気密性 (空気に対して)

⑦隔離性 (悪臭等の遮断)

⑧空間性 (大きな空間ができる)

⑨難透性 (水に対して)

⑩安全性 (耐震、耐圧等)

⑪天候による影響が小さい

⑫その他 _____

g. その他 _____

6. 地下空間を利用する際のデメリットは何ですか。

該当するものに○を付けて下さい。

a. 建設費

b. 維持管理 具 体 的 に : _____

c. 環境制御 空調、換気、採光

d. 防災・避難等安全対策

e. 閉鎖性による心理的不安感

f. 地上へのアクセス

g. 漏水対策

h. 浸水対策

i. 周辺環境への影響（地下水、沈下）

j. その他 _____

7. 施行法はどのようなものを用いようと思われていますか。

該当するものに○を付けて下さい。

a. 地中連続壁工法

b. ケーソン工法

c. ニューマチックケーソン工法

d. 切羽開放型シールド工法

e. 密閉型シールド工法

f. NATM工法

g. その他 _____

8. 構想中の事業を実施する際の技術的課題についてお答え下さい。

（1）地盤調査技術では今後どのようなことが重要な課題となるでしょうか。

該当するものに○を付けて下さい。

a. 地中情報に関するデータベースの整備

b. 地盤の地層構造の簡易的把握技術

c. 地盤の工学的性質の簡易的把握技術

d. 既設の埋設構造物や空洞等の探査技術

e. 地下水状況の把握技術

f. その他 _____

（2）計画・設計技術では今後どのようなことが重要な課題となるでしょうか。

該当するものに○を付けて下さい。

a. 大深度地下構造物に作用する荷重の評価方法

b. 地下構造物の耐震設計法

c. 地下河川内の流れの評価方法

d. 掘削による環境影響の評価手法

e. その他 _____

（3）施工技術は今後どのようなことが重要な課題となるでしょうか。

該当するものに○を付けて下さい。

a. NATM ①高い地下水压を的確に処理する技術

②周辺地山安定化技術

③効果的なコンクリート吹付け技術

④大断面化への対応

b. シールド ⑤高水压に対する遮水技術

- ⑥長距離化への対応
- ⑦急曲線施工技術
- ⑧急勾配施工技術
- ⑨大断面化への対応
- ⑩異形断面への対応
- ⑪地中での接合，分岐への対応
- c. 開削
 - ⑫水中施工技術
 - ⑬大規模化への対応
- d. その他
 - ⑭無人化施工技術
 - ⑮効果的な排土システム
 - ⑯その他 _____

(4) 防災対策技術は今後どのようなものを研究開発すべきだと思いますか。

該当するものに○を付けて下さい。

- a. 火災に対する防災技術
- b. 浸水に対する防災技術
- c. 地震に対する防災技術
- d. その他 _____

(5) 環境対策技術は今後どのようなものを研究開発すべきだと思いますか。

該当するものに○を付けて下さい。

- a. 掘削による地盤変形防止技術
- b. 地下水保全技術
- c. その他 _____

(6) 運用管理技術は今後どのようなものを研究開発すべきだと思いますか。

該当するものに○を付けて下さい。

- a. 道路トンネルの換気制御技術
- b. 地下河川内の換気制御技術
- c. 地下空間利用に伴う振動，騒音対策技術
- d. 地下空間の補修改造技術
- e. その他 _____

ありがとうございました。

B. 地盤調査技術

地下空間の利用技術に関するアンケート・ヒアリング調査

1. 目 的

大深度（大断面）地下を利用するにあたり、現状技術の適用限界及び、今後開発すべき技術課題を明らかにすることを目的としています。

2. 調査期間

- ・アンケート 提出期限 平成元年1月31日
- ・ヒアリング 平成元年2月中旬
ヒアリングについては必要に応じて行います。

3. 調査項目及び調査方法

- ・別添のアンケート調査票に示す項目について調査を行います。
- ・調査方法としましては、調査項目の回答を記入の上アンケート用紙を提出していただき、後日その内容についてヒアリングを行います。

4. アンケート先

建設省土木研究所 道路部トンネル研究室 真下 英人

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211

5. アンケート内容に関する問い合わせ先

パシフィックコンサルタンツ(株) トンネル事業部 鈴木 久尚

〒150 東京都渋谷区神宮前2-8-2 TEL 03-404-1125

建設省土木研究所 道路トンネル研究室 真下 英人

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211

平成元年____月____日

地下空間利用技術に関する調査アンケート

1. 調査分類：_____

2. 会社名：_____

3. アンケート回答者

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

ヒアリング先

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

[地下空間利用技術に関する調査アンケート]

1. 調査分類：調査

2. 調査項目

(1) 土質調査

- ① 以下の土質を調査・評価する最も合理的な方法を1～2個挙げ、その内容を概説するとともに、過去の実施例を挙げて下さい。
- ② 上記の調査方法について、技術面からみた調査深さ等の適用限界（土質ごと）をお答えください。また、その理由を挙げてください。
- ③ 調査費用が限定された場合の代替の調査方法を1～2個挙げ、その内容を概説するとともに、技術的な適用限界をお答えください。また、その理由を挙げてください。
- ④ 上記について技術課題があれば、挙げてください。

対 象 土 層		概略の深度	アウトプット
有楽町層下部		GL - 50 ~ 100 m	土層区分（土層構成）
七号地層	砂・砂礫		C, ϕ , q_u
	粘土		K, E
東京層	砂層		密度, 含水量, 比重
	粘土		粒度組成（最大粒径）
東 京 礫 層			間隙水圧
江戸川層	砂・砂礫		透水係数
	粘土		影響半径
上総層群	砂		貯留係数
	粘土		等

調査方法名称：

調査方法概要：

調査実績：

(2) 環境保全の為の調査

- ① 広域の地下水を調査・評価する最も合理的な方法を1～2個挙げ、その内容を概説するとともに、過去の実施例（最も深いもの、広域のもの）を挙げてください。
- ② 上記について、技術面からみた深さ、平面的広さ等の適用限界をお答えください。また、その理由と技術的課題を挙げてください。

調査方法名称：

調査方法概要：

調査実績：

適用限界（深さ、広さ、など）

技術課題

- ③ 広域の地下水変動予測及び検証方法について、最も合理的な方法を1～2個挙げ、その内容を概説するとともに過去の実施例（最も深いもの、広域のもの）を挙げてください。
- ④ 上記について、技術面からみた適用限界をお答えください。また、その理由と技術的課題を挙げてください。

予測方法名称：

予測方法概要：

検討実績：

適用限界（深さ，広さ，など）

技術課題

検証方法名称：

検証方法概要：

検討実績：

適用限界（深さ，広さ，など）

技術課題

3. その他

- ・上記の項目以外に適用限界が存在するものがあれば挙げて下さい。

- ・適用限界を判断する資料がありましたら，添付して下さい。

C. NATM

地下空間の利用技術に関するアンケート・ヒアリング調査

1 目 的

大深度（大断面）地下を利用するにあたり，NATMについて現状技術の適用限界，および今後開発すべき技術課題を明らかにすることを目的としています。

2 調査期間

・アンケート提出期限 平成元年 1 月 3 1 日

・ヒアリング 平成元年 2 月中旬

ヒアリングについては必要に応じて行ないます。

3 調査項目，および調査方法

・別添のアンケート調査票に示す項目について調査を行います。

・調査方法としましては，調査項目について記入の上，アンケート用紙を提出していただき，後日その内容についてヒアリングを行います。

4 アンケート提出先

建設省土木研究所 道路部トンネル研究室 真下 英人

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地

TEL 0298-64-2211(代)

5 アンケート内容に関する問い合わせ先

パシフィックコンサルタンツ(株) トンネル事業部 鈴木 久尚

〒150 東京都渋谷区神宮前2-8-2

TEL 03-404-1125

建設省土木研究所 道路部トンネル研究室 真下 英人

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地

TEL 0298-64-2211(代)

平成元年 1月 日

地下空間利用技術に関する調査アンケート

1. 調査分類: _____

2. 会社名 : _____

3. アンケート回答者

氏 名: _____

所属・役職: _____

連絡先:住所 _____

TEL _____

FAX _____

ヒアリング先

氏 名: _____

所属・役職: _____

連絡先:住所 _____

TEL _____

FAX _____

調査を実施するに当たっての前提条件を次のように設定致します。

- ①都市内での工事を想定します。
- ②深度は30～100mを想定します。
- ③断面は小断面（断面積10㎡以下）の構造物は対象としません。

次の4種類の地盤を対象とし、いずれも地下水位は地表面にあるものとします。

- ①地盤 1 : 砂質土 (N 値 = 15 ~ 30 程度)
 ②地盤 2 : 洪積粘性土 (N 値 = 10 ~ 20 程度)
 ③地盤 3 : 砂礫層 (N 値 = 50 以上)
 ④地盤 4 : 土丹層

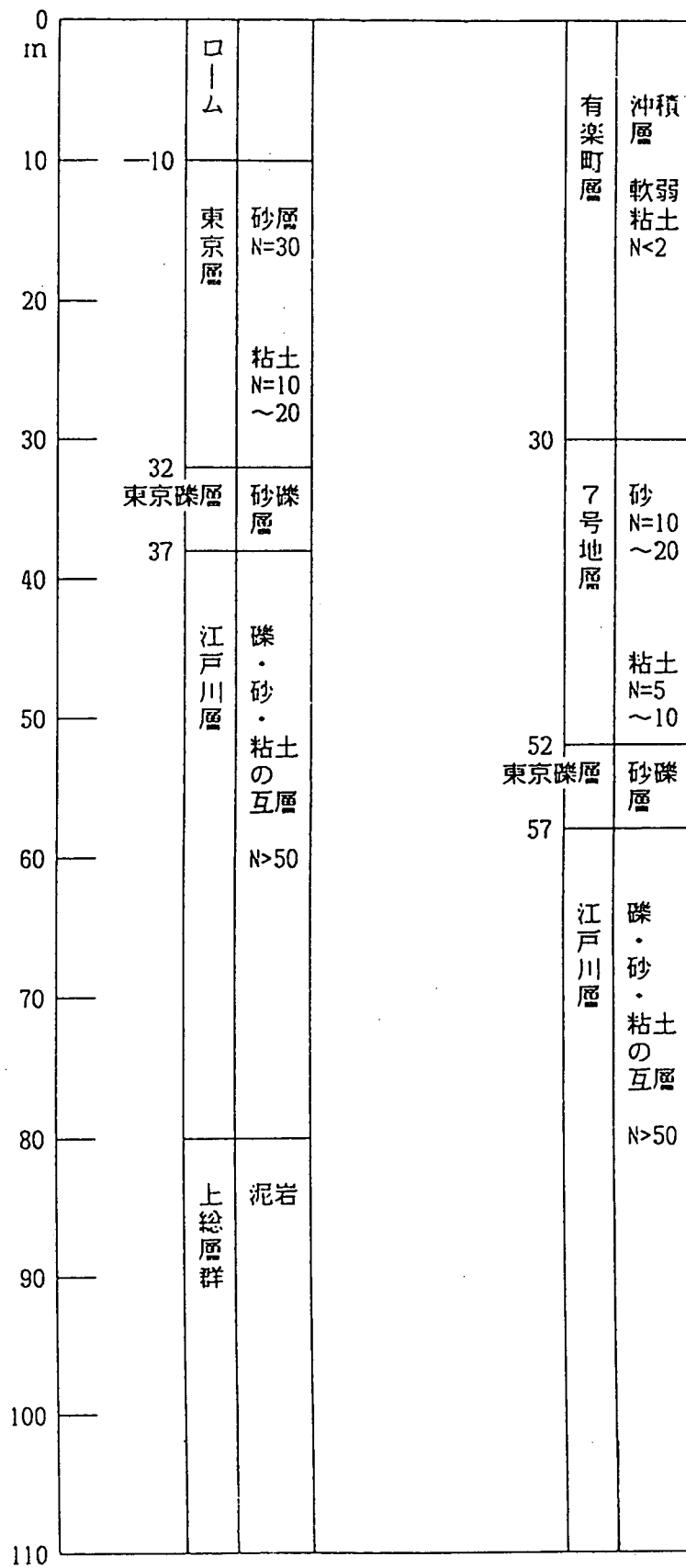
This detailed geological cross-section illustrates the subsurface geology along the Sagami River. The top of the diagram labels several river faces from left to right: 多摩川面 (Tama River Face), 立川面 (Tachikawa River Face), 武蔵野面 (Musashino River Face), 下末吉面 (Shimomatsuyoshi River Face), 武蔵野面 (Musashino River Face), and 沖積面 (Alluvial River Face). Below these are corresponding land types: 低地 (Lowland), 武蔵野台地 (Musashino Plateau), 下末吉台 (Shimomatsuyoshi Terrace), 武蔵野台 (Musashino Terrace), and 沖積低地 (Alluvial Lowland).

The cross-section shows various geological strata labeled with abbreviations: Tag (立川砂層 - Tachikawa Sand Layer), Mg (武蔵野砂層 - Musashino Sand Layer), To (洞窟ローム層 - Cave Loam Layer), TMI (間道ローム層 - Mado Loam Layer), Ho (本郷層 - Honjo Layer), YI (有楽町層 - Yurakucho Layer), Na (七号地層 - No. 7 Layer), Ed (江戸層 - Edo Layer), and Ka (山の手地盤 - Mountain Hand Ground). Specific features like 地盤1 (Ground 1), 地盤2 (Ground 2), 地盤3 (Ground 3), 地盤4 (Ground 4), and 山下地盤 (Mountain Foot Ground) are marked with dots. A vertical scale on the right indicates depths from 0 to 150 meters.

地盤柱状図

山の手地盤

下町地盤



2 調査項目

(1) 掘削方法

掘削断面積を次のように設定した場合、実績および技術的判断を踏まえ、各地盤条件ごとにそれぞれの掘削方法の適用についてお答え下さい。また、そのときの判断理由をお答えください。なお、切羽の条件は調査(3)の補助工法を採用して安定しているものとします。

〈掘削方法〉 A：全断面、B：2分割、C：3～4分割、D：5分割以上

断 面 積	地 盤 1	地 盤 2	地 盤 3	地 盤 4
1 0 m ²				
	理由	理由	理由	理由
3 0 m ²				
	理由	理由	理由	理由
8 0 m ²				
	理由	理由	理由	理由
1 5 0 m ²				
	理由	理由	理由	理由
2 0 0 m ²				
	理由	理由	理由	理由

大深度（大断面）の掘削に際し、現在用いられている技術の適用の可能性、および技術課題についてお答え下さい。

①適用できる地盤はどこまでですか。 ◎：適用可，○：改良して適用可，×：適用不可

	地 盤 1	地 盤 2	地 盤 3	地 盤 4
排水を主体とする工法				
薬液等注入を主体とする工法				
凍結工法				
その他				

②上記工法の適用に当たり、改良すべき技術課題について工法ごとにお答え下さい。

・排水工法を主体とする工法

.....

.....

.....

・注入を主体とする工法

.....

.....

.....

・凍結工法

.....

.....

.....

・その他（新工法を含む）

.....

.....

.....

.....

(2) 支保工

1) 吹付けコンクリートの適用限界（施工限界）とその理由について、実績および技術的判断を踏まえてお答え下さい。

項 目	適 用 限 界	理 由
多層吹き付けによる 最大仕上げ厚さ (cm)		
多層吹き付けによる 1回当りの最大厚さ (cm)		

2) 壁面の湧水状態に対して、どの程度まで吹付けコンクリートが施工可能ですか。下記より選んでください。なお、その理由についてもお答え下さい。

- a. 壁面にしみでる
- b. 滴水
- c. 部分的流れ
- d. 連続的流れ
- e. 連続的流れ（被圧状態）
- f. その他（ ）

理由

.....

.....

.....

3) 吹き付け工法として大深度（大断面）の施工について必要な技術課題があればお答え下さい。

4) ロックボルトの適用限界（長さ、効果等）とその理由について実績および技術的判断を踏まえてお答え下さい。

①ロックボルトの施工限界（長さ）についてお答え下さい。

	地 盤 1	地 盤 2	地 盤 3	地 盤 4
長 さ (m)				
適用限界が 存在する理由				

②ロックボルトの効果についてお答え下さい。（効果：大，中，小，効果無し）

	地 盤 1	地 盤 2	地 盤 3	地 盤 4
効 果				

5) ロックボルト工として大深度（大断面）の施工について必要な技術課題があればお答え下さい。

(3) 補助工法

1) 分割施工を前提に、加背割りの最小断面積を10㎡として先進させる場合を想定して、湧水および切羽安定に対しての補助工法を、地盤ごとの実績および技術的判断を踏まえてお答えください。

①湧水に対する補助工法の適用に当たって、その組合せを下記に示す記号で地盤ごとにお答え下さい。

<補助工法>

A 止水工法：a 1 薬液注入（坑外から），a 2 薬液注入（坑内から），a 3 凍結工法（坑外から）
a 4 凍結工法（坑内から），a 5 圧気工法，その他（a 6 _____，a 7 _____
a 8 _____）

B 排水工法：b 1 ディープウェル，b 2 坑内ディープウェル，b 3 先行水抜きボーリング
b 4 水抜き導坑，その他（b 5 _____，b 6 _____）

C 併用補助工法：c 1 補助圧気，c 2 バキュームの併用，c 3 ウェルポイント，
その他（c 4 _____，c 5 _____）

止水工法を主体とする場合の組合せ

	地 盤 1		地 盤 2		地 盤 3		地 盤 4	
	①	②	①	②	①	②	①	②
主体となる 止水工法								
併用工法 (A, B, Cの 中から該当する 工法を選ぶ)								

排水工法を主体とする場合の組合せ

	地 盤 1		地 盤 2		地 盤 3		地 盤 4	
	①	②	①	②	①	②	①	②
主体となる 排水工法								
併用工法 (A, B, Cの 中から該当する 工法を選ぶ)								

②それぞれの止水工法，排水工法の適用限界（施工限界）について，実績および技術的判断を踏まえてお答えください。また，適用限界が存在する理由，大深度（大断面）に対する技術課題についてもお答え下さい。技術課題については，改良範囲，改良効果等を含め，幅広く一般的にお答えください。

止水工法

止 水 工 法	適 用 限 界	理 由	技 術 課 題
a 1 薬液注入 (坑外から)	施工深さ (m) : 対象地質 :		
a 2 薬液注入 (坑内から)	施工深さ (m) : 対象地質 :		
a 3 凍結工法 (坑外から)	施工深さ (m) : 対象地質 :		
a 4 凍結工法 (坑内から)	施工深さ (m) : 対象地質 :		
a 5 圧気工法	設備容量 : 対象地質 :		
a 6 その他 ()			
a 7 その他 ()			

排水工法

排水工法	適用限界	理由	技術課題
b 1 ディープ ウェル	施工深さ (m) : 対象地質 :		
b 2 坑内ディープ ウェル	施工深さ (m) : 対象地質 :		
b 3 先行水抜き ボーリング	施工深さ (m) : 対象地質 :		
b 4 水抜き導坑			
b 5 その他 ()			
b 6 その他 ()			

③分割施工を前提に、加背割りの最小断面積を10㎡とした場合、切羽安定のために最も適当と思われる補助工法の組合せをそれぞれの地盤ごとに選び、表中に○印を記入して下さい。

<補助工法>

d 1 パイプルーフ、d 2 フォアパイリング、d 3 薬液注入（周辺）d 4 ウレタン注入（周辺）、
d 5 鏡吹き付け、d 6 切羽ボルト、d 7 薬液注入（切羽）、d 8 ウレタン注入（切羽）、d 9 ウィングリブ、d 10 吹き付けによる一次閉合、その他（d 11 _____, d 12 _____）

	地盤 1			地盤 2			地盤 3			地盤 4		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
d 1 パイプルーフ												
d 2 フォアパイリング												
d 3 薬液注入（周辺）												
d 4 ウレタン注入（周辺）												
d 5 鏡吹き付け												
d 6 切羽ボルト												
d 7 薬液注入（切羽）												
d 8 ウレタン注入（切羽）												
d 9 ウィングリブ												
d 10 吹き付けによる一次閉合												
d 11 その他（ ）												
d 12 その他（ ）												

④それぞれの切羽安定工法の大深度（大断面）に対する技術課題についてもお答え下さい。

	技 術 課 題
d 1 パイプルーフ	
d 2 フォアパイリング	
d 3 薬液注入（周辺）	
d 4 ウレタン注入（周辺）	
d 5 鏡吹き付け	
d 6 切羽ボルト	
d 7 薬液注入（切羽）	
d 8 ウレタン注入（切羽）	
d 9 ウィングリブ	
d 1 0 一時閉合	
d 1 1 その他（ ）	
d 1 2 その他（ ）	

2) 断面を切り広げ拡大するに当たっての湧水対策、切羽安定についての補助後方についてお答え下さい。

①湧水に対する補助工法の適用に当たって、その組合せを下記に示す記号で地盤ごとにお答え下さい。

<補助工法>

A 止水工法：a 1 薬液注入（坑外から），a 2 薬液注入（坑内から），a 3 凍結工法（坑外から）
a 4 凍結工法（坑内から），a 5 圧気工法，その他（a 6 _____，a 7 _____
a 8 _____）

B 排水工法：b 1 ディープウェル，b 2 坑内ディープウェル，b 3 先行水抜きボーリング
b 4 水抜き導坑，その他（b 5 _____，b 6 _____）

C 併用補助工法：c 1 補助圧気，c 2 バキュームの併用，c 3 ウェルポイント，
その他（c 4 _____，c 5 _____）

止水工法を主体とする場合の組合せ

	地 盤 1		地 盤 2		地 盤 3		地 盤 4	
	①	②	①	②	①	②	①	②
主体となる 止水工法								
併用工法 (A, B, Cの 中から該当する 工法を選ぶ)								

排水工法を主体とする場合の組合せ

	地 盤 1		地 盤 2		地 盤 3		地 盤 4	
	①	②	①	②	①	②	①	②
主体となる 排水工法								
併用工法 (A, B, Cの 中から該当する 工法を選ぶ)								

②断面を切り広げ拡大するに当たって、切羽安定のために最も適当と思われる補助工法の組合せをそれぞれの地盤ごとに選び、表中に○印を記入して下さい。

<補助工法>

d 1 パイプルーフ， d 2 フォアパイリング， d 3 薬液注入（周辺） d 4 ウレタン注入（周辺），
d 5 鏡吹き付け， d 6 切羽ボルト， d 7 薬液注入（切羽）， d 8 ウレタン注入（切羽）， d 9 ウィングリブ， d 10 吹き付けによる一次閉合， その他（d 11， d 12）

	地盤 1			地盤 2			地盤 3			地盤 4		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
d 1 パイプルーフ												
d 2 フォアパイリング												
d 3 薬液注入（周辺）												
d 4 ウレタン注入（周辺）												
d 5 鏡吹き付け												
d 6 切羽ボルト												
d 7 薬液注入（切羽）												
d 8 ウレタン注入（切羽）												
d 9 ウィングリブ												
d 10 吹き付けによる一次閉合												
d 11 その他（ ）												
d 12 その他（ ）												

③断面を切り広げ拡大するに当たっての、技術課題があればお答え下さい。

- (4) 大深度におけるずりの縦方向搬出技術について、現状技術を列挙し、その適用限界についてお答え下さい。また、技術課題があればお答え下さい。

搬 出 技 術	適 用 限 界

技術課題

- (5) 自動化技術（掘削、ずり出し、吹き付け等）について、現状技術を列挙し、その適用限界（能力、自動化の範囲）についてお答え下さい。また、技術課題があればお答え下さい。

自 動 化 技 術	適 用 限 界

技術課題

(6) NATMの掘削に伴う周辺構造物，あるいは環境への影響を予測，評価する方法について現状技術を
列挙し，適用限界についてお答え下さい。また，その理由と技術課題を挙げて下さい。

1) 地盤変位

方 法	適 用 限 界	理 由

技術課題

2) 構造物（建物，基礎，地中埋設物等）への影響

方 法	適 用 限 界	理 由

技術課題

3) 地下水等への影響

方 法	適 用 限 界	理 由

技術課題

(7) NATMの二次覆工の設計法について、二次覆工を考慮した設計法を採用した実績があれば、挙げて下さい。また、設計・施工上の課題があればお答え下さい。

工事名称：

概 要：

設計・施工上の課題

(注) 技術資料がありましたら添付してください。

(8) その他

上記の項目以外にNATMの施工について適用限界となる要素技術があればお答え下さい。

[illegible]

以上

御協力ありがとうございました。

D. シールド工法

地下空間の利用技術に関するアンケート・ヒアリング調査

1. 目 的

大深度（大断面）地下を利用するにあたり，現状技術の適用限界及び，今後開発すべき技術課題を明らかにすることを目的としています。

2. 調査期間

- ・アンケート 提出期限 平成元年1月31日
- ・ヒアリング 平成元年2月中旬
ヒアリングについては必要に応じて行います。

3. 調査項目及び調査方法

- ・別添のアンケート調査票に示す項目について調査を行います。
- ・調査方法としましては，調査項目の回答を記入の上アンケート用紙を提出していただき，後日その内容についてヒアリングを行います。

4. アンケート先

建設省土木研究所 道路部トンネル研究室 真下 英人

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211

5. アンケート内容に関する問い合わせ先

パシフィックコンサルタンツ(株) トンネル事業部 鈴木 久尚

〒150 東京都渋谷区神宮前2-8-2 TEL 03-404-1125

建設省土木研究所 道路トンネル研究室 真下 英人

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211

平成元年____月____日

地 下 空 間 利 用 技 術 に 関 す る 調 査 ア ン ケ ー ト

1. 調査分類：_____

2. 会社名：_____

3. アンケート回答者

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

ヒアリング先

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

[シールドトンネルに関する技術調査アンケート]

1. 調査分類：シールド機械

2. 調査項目

(1) 以下のシールド機について適用の限界を実績、技術の両面からお答えください。

また、その理由を挙げてください。技術課題があれば挙げてください。

実績面からの限界		トンネル 外径 (m)	断 面 積 (m^2)	掘 進 延 長 (m)	最 小 曲 率 半径 (m)	水 圧 (kg/cm^2)	地 山 強 度 q_u (kg/cm^2)
手掘り							
半機械							
オープンメカ							
土圧式	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
泥 水	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
特殊 断面	矩 形						
	多 円 形						
	拡 大						
	メカ接合						
技術面からの限界							
手掘り							
半機械							
オープンメカ							
土圧式	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
泥 水	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
特殊 断面	矩 形						
	多 円 形						
	拡 大						
	メカ接合						

適用の限界が存在する理由

.....

.....

.....

.....

技術課題

.....

.....

(2) 推進機構について、単位面積当たりの総推力の実績、技術の両面からの限界をお答えください。
また、その理由と技術課題を挙げてください。

切羽単位面積当たりの総推力の限界	実績面からの限界	技術面からの限界
(T o n / m ²)		

適用の限界が存在する理由

.....

技術課題

.....

(3) 掘削機構のうち、①カッター回転機構、②土砂シール、③カッタービットについて実績、技術の
両面からの限界をお答えください。また、その理由と技術課題を挙げてください。

実績面からの限界	トンネル 外径 (m)	掘進延長 (m)	最小曲率 半径 (m)	水 圧 (kg / cm ²)	地 山 強 度 q u (kg / cm ²)	備 考
カッター回転機構						
土砂シール						
カッタービット						
技術面からの限界						
カッター回転機構						
土砂シール						
カッタービット						

適用の限界が存在する理由

技術課題

- (4) 排土機構（土圧系については、スクリーコンベア、ロータリーフィーダー等、泥水系の場合は、アジテーター、排泥管、ポンプ等）に関して、実績、技術の両面からの限界をお答えください。
また、その理由と技術課題を挙げてください。

実績面からの限界	トンネル 外径 (m)	掘進延長 (m)	掘進深度 (m)	水 圧 (kg/cm ²)	玉石直径 (cm)	玉石強度 (kg/cm ²)
土圧系の排土機構						
泥水系の排土機構						
技術面からの限界						
土圧系の排土機構						
泥水系の排土機構						

〔注〕玉石直径は、取り込みの可否の観点から、玉石強度は、切羽で破碎できるか否かの観点から記入してください。

特別な対策がある場合、その旨を注記し、限界をお答えください。

適用の限界が存在する理由

技術課題

対策方法とその限界

- (5) テールシール機構について、実績、技術の両面からの限界をお答えください。また、その理由を挙げてください。

実績面からの限界	トンネル 外径 (m)	掘進延長 (m)	最小曲率 半径 (m)	水 圧 (kg/cm ²)	備 考 (テールシールの種別)
テールシール機構					
技術面からの限界					
テールシール機構					

適用の限界が存在する理由

.....

技術課題

.....

- (6) 急曲線対応（中折れ機構など）について、実績、技術の両面からの限界をお答えください。また、その理由を挙げてください。

実績面からの限界	トンネル 外径 (m)	掘進延長 (m)	最小曲率 半径 (m)	水 圧 (kg/cm ²)	備 考 (テールシールの種別)
急曲線対応機構					
技術面からの限界					
急曲線対応機構					

適用の限界が存在する理由

.....

技術課題

.....

- (7) 急勾配対応（斜坑掘削向け、4～45度の範囲）について、実績、技術の両面からの限界をお答えください。また、その理由を挙げてください。

	実績面からの限界	技術面からの限界
急勾配対応技術（限界勾配）		

適用の限界が存在する理由

.....

技術課題

- (8) 自動化技術について、実績、技術の両面からの限界（能力及び自動化の範囲）をお答えください。
また、その理由と技術課題を挙げてください。

		実績面からの限界	技術面からの限界
セグメント自動搬送	能力		
	範囲		
セグメント自動組立て	能力		
	範囲		
土砂の自動搬送	能力		
	範囲		
ECLの自動化	能力		
	範囲		

適用の限界が存在する理由

技術課題

3. その他

- ・上記の項目以外に適用限界が存在するものがあれば挙げてください。

- ・技術面からの限界と、ニーズがないから設備を設けないことによる限界とを分類して表現してください。

適用限界を判断するに役立つ資料がありましたら、添付してください。

平成元年____月____

地 下 空 間 利 用 技 術 に 関 す る 調 査 ア ン ケ ー ト

1. 調査分類：_____

2. 会社名：_____

3. アンケート回答者

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

ヒアリング先

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

[シールドトンネルに関する技術調査アンケート]

1. 調査分類 : 一次覆工

2. 調査項目

- (1) 以下のセグメントについて設計・製作・運搬・組立て面からの適用限界（口径，断面積，厚さ，重量，最小曲率半径等ごとに）を実績及び技術の両面からお答えください。また，その理由を挙げてください。技術課題があれば挙げてください。

形 状	種 別
円 形	スチール
矩 形	R C（中子，平板）
だ 円 形	ダクタイル
多 円 形	コンボジット
その他特殊形状	

セグメント種別：_____

実績面からの限界	トンネル 外径 (m)	断 面 積 (m^2)	1 R i n g の 重量 (ト)	最小曲率 半径 (m)	水 圧 (kg/cm^2)	問題となる 土質種別
円 形						
矩 形						
だ 円 形						
多 円 形						
その他特殊形状						
技術面からの限界						
円 形						
矩 形						
だ 円 形						
多 円 形						
その他特殊形状						

適用限界が存在する理由 _____

技術課題 _____

- (2) 上記の各セグメントについて継手構造の種類を挙げ、実績、技術の両面から、その適用限界（設計法上、セグメント厚等）をお答えください。また、その理由と技術課題を挙げてください。

継ぎ手構造の種類	実績面からの限界	技術面からの限界

適用限界が存在する理由

技術課題

- (3) 漏水防止の観点から見たセグメントの耐水圧を実績、技術面から述べるとともにネックとなる部分（セグメントシール、コーキング被覆等）をあげ、その理由をお答えください。また、技術課題があれば、挙げてください。

	実績面からの限界	技術面からの限界
セグメントの耐水圧 (kg/cm ²)		

ネックとなる部分	適用限界が存在する理由

技術課題

3. その他

- ・上記の項目以外に適用限界が存在するものがあれば挙げてください。

- ・技術面からの限界と、ニーズがないから設備を設けないことによる限界とを分類して表現してください。

適用限界を判断する資料がありましたら、添付してください。

平成元年____月____

地 下 空 間 利 用 技 術 に 関 す る 調 査 ア ン ケ ー ト

1. 調査分類：_____

2. 会社名：_____

3. アンケート回答者

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

ヒアリング先

氏 名：_____

所属・役職：_____

連絡先：住所_____

TEL _____

FAX _____

[シールドトンネルに関する技術調査アンケート]

1. 調査分類：シールドに関する設計・施工技術

2. 調査項目

(1) 以下のシールド機について適用の限界を実績、技術の両面からお答えください。また、その理由を挙げてください。技術課題があれば挙げてください。

実績面からの限界		トンネル 外径 (m)	断 面 積 (m^2)	掘 進 延 長 (m)	最 小 曲 率 半径 (m)	水 圧 (kg/cm^2)	問 題 と な る 土 質 種 別
手掘り							
半機械							
オープンメカ							
土圧式	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
泥 水	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
特殊 断面	矩 形						
	多 円 形						
	拡 大						
	メカ接合						
技術面からの限界							
手掘り							
半機械							
オープンメカ							
土圧式	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
泥 水	中央支持						
	中間支持						
	周辺支持						
特殊 断面	矩 形						
	多 円 形						
	拡 大						
	メカ接合						

適用の限界が存在する理由

.....

.....

.....

.....

技術課題

.....

.....

.....

(2) 発進，到達技術について，実績，技術の両面からの限界をお答えください。また，その理由と技術課題を挙げてください。

実績面からの限界	トンネル 外径 (m)	改良深度 (m)	水 圧 (kg/cm ²)	主に対象とする 土質種別	適用困難な 土質種別
地盤改良	薬液注入				
	コラム J G				
	凍結				
	現位置混合				
排水＋地盤改良					
立坑圧気＋ 地盤改良					
技術面からの限界					
地盤改良	薬液注入				
	コラム J G				
	凍結				
	現位置混合				
排水＋地盤改良					
立坑圧気＋ 地盤改良					

適用の限界が存在する理由

.....

技術課題

.....

- (3) 立坑を用いしないでシールドを拡大，接合する方法について，実績，技術の両面からの限界をお答えください。また，その理由と技術課題を挙げてください。

実績面からの限界		トンネル 外径 (m)	適用深度 (m)	水 圧 (kg/cm ²)	主に対象とする 土質種別	適用困難な 土質種別
シールドの拡大						
地中	正 面					
	直 角					
接合	斜 め					
技術面からの限界						
シールドの拡大						
地中	正 面					
	直 角					
接合	斜 め					

適用の限界が存在する理由

.....

技術課題

.....

.....

- (4) シールド掘進に伴う周辺構造物への影響を予測，評価する方法について現状技術を列挙し，適用の限界をお答えください。また，その理由と技術課題を挙げてください。

予 測 方 法

適 用 の 限 界

①

②

③

技術課題

.....

- (5) 自動化技術について、実績、技術の両面からの限界（能力及び自動化の範囲）をお答えください。
また、その理由を挙げてください。

		実績面からの限界	技術面からの限界
セグメント自動搬送	能力		
	範囲		
セグメント自動組立て	能力		
	範囲		
土砂の自動搬送	能力		
	範囲		
ECLの自動化	能力		
	範囲		

適用の限界が存在する理由

.....

技術課題

.....
.....
.....

- (6) シールドの二次覆工の設計法について、二次覆工を考慮した設計法を採用した実績があれば、挙げてください。また、設計・施工上の課題があれば挙げてください。

工事名称：

概要：

設計・施工上の課題：

[注] 技術資料がありましたら添付してください。

3. その他

- ・上記の項目以外に適用限界が存在するものがあれば挙げてください。

- ・技術面からの限界と、ニーズがないから設備を設けないことによる限界とを分類して表現してください。
- ・適用限界を判断するに役立つ資料がありましたら、添付してください。

E. 開削工法

地下空間の利用技術に関するアンケート・ヒアリング調査

1. 目 的

大深度（大断面）地下を利用するにあたり，開削工法について現状技術の適用限界および，今後開発すべき技術課題を明らかにすることを目的としています。

2. 調査期間

- ・アンケート 提出期限 平成元年 1 月 3 1 日
- ・ヒアリング 平成元年 2 月中旬
ヒアリングについては必要に応じて行います。

3. 調査項目及び調査方法

- ・別途のアンケート調査票に示す項目について調査を行います。
- ・調査方法としましては，調査項目の回答を記入の上アンケート用紙を提出していただき，後日その内容についてヒアリングを行います。

4. アンケート先

建設省土木研究所 道路部トンネル研究室 真下 英人
〒305 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211

5. アンケート内容に関する問い合わせ先

パシフィックコンサルタンツ(株) トンネル事業部 鈴木 久尚
〒150 東京都渋谷区神宮前2-8-2 TEL 03-404-1125

建設省土木研究所 道路トンネル研究室 真下 英人

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211

平成元年 1月__日

地下空間利用技術に関する調査アンケート

1. 調査分類: _____

2. 会社名 : _____

3. アンケート回答者

氏 名: _____

所属・役職: _____

連絡先:住所: _____

TEL: _____

FAX: _____

ヒアリング先

氏 名: _____

所属・役職: _____

連絡先:住所: _____

TEL: _____

FAX: _____

開削工法に関する技術調査アンケート

1. 調査を実施するにあたって、以下の点を前提条件としています。

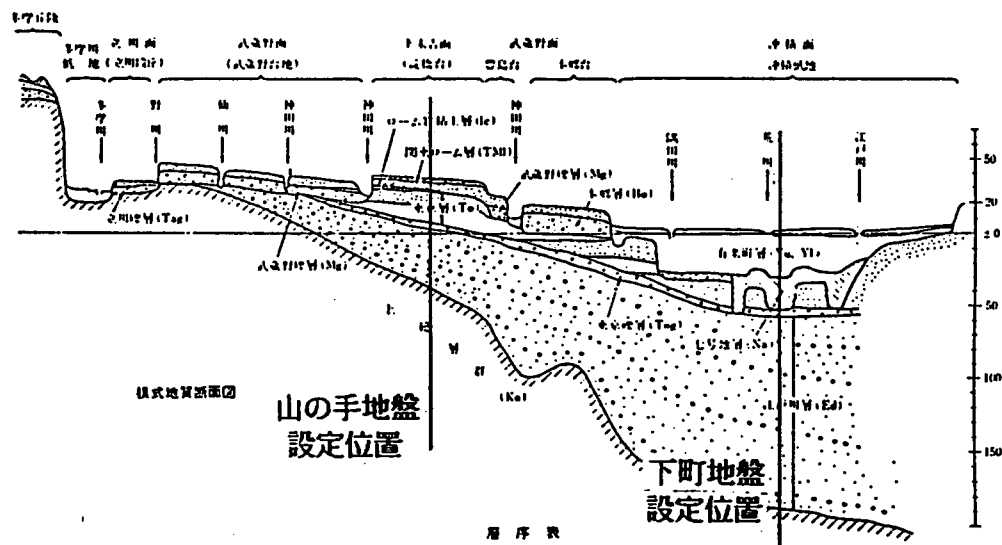
(1) 対象とする開削工法

- ①親杭横矢板
- ②鋼製矢板（鋼矢板，鋼管矢板，その他）
- ③R C地下連続壁（柱列式地下連続壁，地下連続壁）
- ④地盤改良式山留め壁（ソイルセメント壁，泥水固化壁，その他）
- ⑤ケーソン

(2) 対象とする地盤，掘削深度

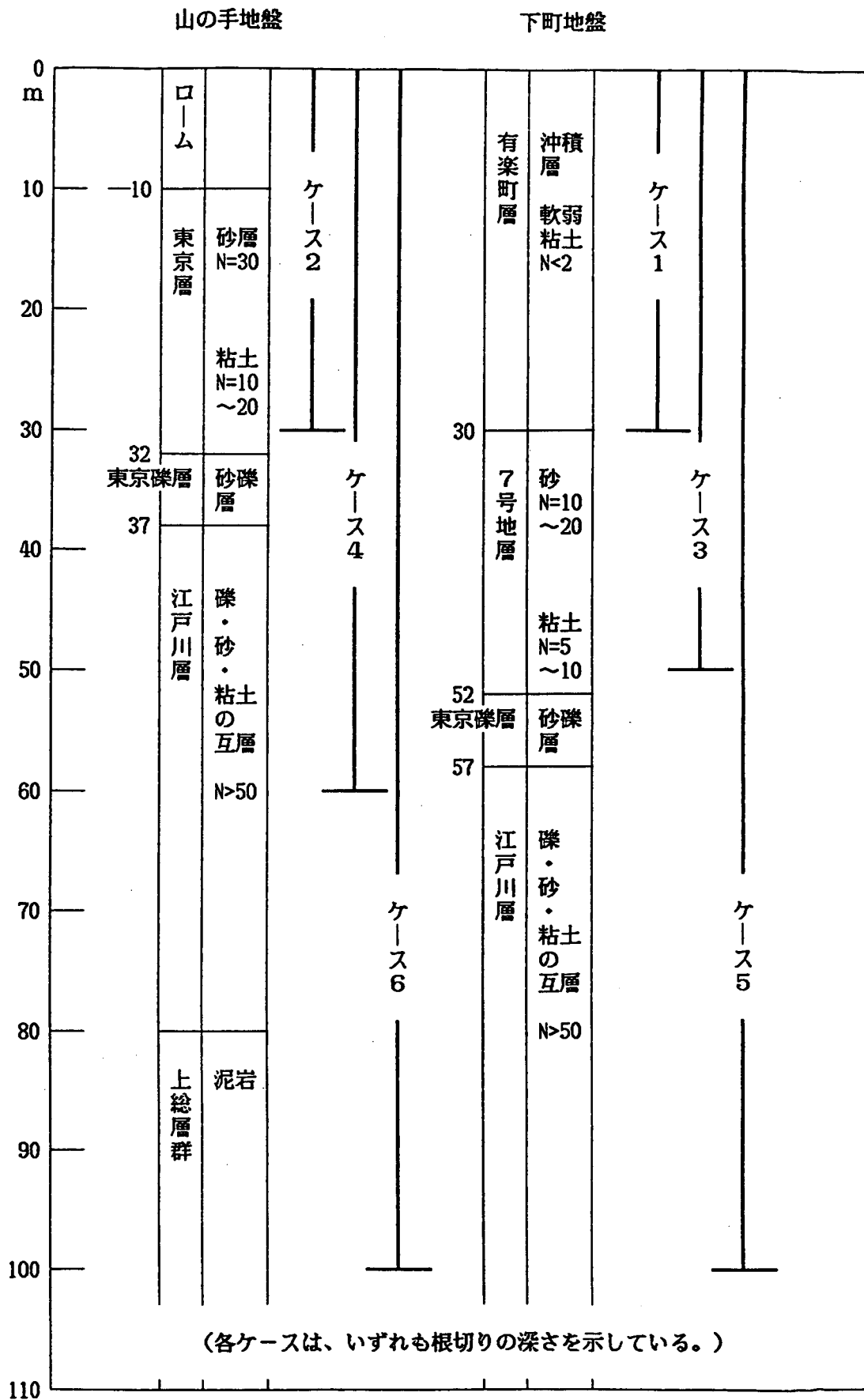
以下に示す，山の手，下町の地盤に対してケース1から～ケース6までの6種類の土質，掘削深度を想定しています。

・想定地質横断面図（東京都地盤図より）



地質時代	山 手 地 盤					下 町 地 盤						
	武蔵野面 武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	A	B	C	D	E	F	G
沖積層	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)
洪積層	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)
	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)
	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)
	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)
	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)
基岩	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)	武蔵野面 (武蔵野面)

・設定地盤柱状図と掘削ケース



2. 調査項目

(1) 今回のアンケート調査で対象としている各開削工法を、設定された6ケースに対して適用する場合、実績、技術の両面から適用可能かどうかを下の表の中に○、×(○—可能、×不可能)で記入してください。記入にあたっては、経済性、現状の設計法、実績等を考慮して、判断してください。また、×を記入した欄については、適用の限界となる要因を注-1の番号の中から選んで記入してください。なお、要因に対してコメントがあれば添えてください。

(要因は複数でも可)

注-1) 設計上の要因 ①土圧、水圧 ②壁体の変形 ③ヒービング ④ボイリング ⑤盤ぶくれ

施工上の要因 ⑥山留め建て込み精度 ⑦鉛直継手の精度 ⑧水平継手の精度

⑨掘削機械の壁体の掘削能力(地山強度、障害物対策を含む)

⑩地下掘削の施工効率(垂直搬土法、ケーソンでのフリクションカット、等も含む)

⑪壁体の掘削効率 ⑫壁体の止水性

⑬その他(具体的な要因を記入してください)

(記入要領)

		親杭横矢板	鋼製矢板	RC地下連続壁	
ケース	適用性	×	×	○	
	○ 限界要因	④, ⑫ (コメントがあれば記入)	①, ⑥ (コメントがあれば記入)		

記入用紙 1

工 法		親 杭 横 矢 板	鋼 製 矢 板	R C 地下連続壁	地 盤 改 良 式 山 留 め 壁	ケ ー ソ ン
ケ ー ス 1	適 用 性					
	限 界 要 因					
ケ ー ス 2	適 用 性					
	限 界 要 因					
ケ ー ス 3	適 用 性					
	限 界 要 因					

記入用紙 2

工 法		親杭横矢板	鋼製矢板	R C地下連続壁	地盤改良式 山留め壁	ケーソン
ケース4	適用性					
	限界要因					
ケース5	適用性					
	限界要因					
ケース6	適用性					
	限界要因					

(2) 前述の各工法の×をつけた欄について、その適用限界を突破する技術課題を、設計上の課題、施工上の課題の2点から記述してください。(P. 8 記入例参照)

工 法	技 術 課 題	
	<u>設計上の課題</u> (土圧, 水圧, 変形, ヒービング ボーリング, 盤ぶくれ等)	<u>施工上の課題</u> (建て込み精度, 継手, 掘削能力 掘削効率, 止水性等)
親杭横矢板		
鋼製矢板		
R C地下連続壁		
地盤改良式 山留め壁		
ケーソン		

——記入例——

(2) 前述の各工法の×をつけた欄について、その適用限界を突破する技術課題を、設計上の課題、施工上の課題の2点から記述してください。(P. 8 記入例参照)

工 法	技 術 課 題	
	設計上の課題 (土圧, 水圧, 変形, ヒービング ボーリング, 盤ぶくれ等)	施工上の課題 (建て込み精度, 継手, 掘削能力 掘削効率, 止水性等)
親杭横矢板	高剛性の親杭(材料面・断面寸法)の開発(ケース4)	N>50の礫層を掘削する機械の開発(ケース4) 滯水砂層からの漏水を完全に止める横矢板の開発(ケース3)
鋼製矢板		
RC地下連続壁		上総層泥岩を効率よく掘削する機械の開発(ケース6)
地盤改良式 山留め壁	礫層における改良固結土の強度評価法 (ケース4, ケース5)	
ケーソン		

- (3) 開削工法において、周辺構造物への影響を予測、評価する方法および防護方法について現状技術を列挙し、実績、技術の両面から限界（注－1参照）を述べるとともに、その理由についてご記入ください。

- (4) 開削工法における自動化，無人化技術について，実績，技術の両面からその現状と適用限界（能力，適用範囲等）を述べるとともに，その理由についてご記入下さい。

(5) その他、開削工法の各工法の適用性、適用限界、開発課題等について、御意見、コメント等がありましたら御記入願います。

御協力どうも有難うございました。

