

スーパーウェルポイント工法

大深度真空排水・圧密脱水工法（SWP工法）

真空プレス型リチャージウェル工法（VPRW工法）

【SWP工法の応用技術】

（SKK工法，Hi-Wai工法，Qin-TAKO工法他）

技 術 資 料

平成23年度版

SWP

スーパーウェルポイント協会

まえがき

はじめに当資料発刊に当り、今回の平成23年3月11日発生した東日本大震災に遭遇しお亡くなりになられた方々のご冥福をお祈り申し上げますと共に、被害を受けられた皆様、そのご家族に心よりお見舞いを申し上げます。

これからは復興の時となりますが、当SWP協会もスーパーウェルポイント工法（SWP工法）をはじめとし、軟弱地盤改良工法，土壌浄化工法への応用技術としてすっからか〜ん工法（SKK工法）等の開発と実績を積み重ねており、震災福幸(=復興)事業の一役を担えれば幸いと思えます。

今回の震災は地震と言うよりも津波が主要な災害原因となっております。被害が海岸近くに集中し、地盤沈下も相成って、地盤がヘドロ状態となった地域も有ります。

ヘドロ等の真空気化脱水，滅菌も得意分野である事から何らかの形でお役に立てればと願っております。

尚、この技術・積算資料の作成に当っては前回発行の平成18年度版を基に、発行以後に開発した新技術も取りまとめて掲載した他、積算歩掛もこれまでの実績を踏まえて主に仕上げ洗浄法，運転管理，揚水機材損料について変更しております。

SWP工法は、バキューム吸引力を利用して地下水の集水能力を大巾に向上させた工法で、重力排水の井戸と比較した場合、2~20倍以上の揚水能力があります。

バキューム効果を利用したウェルポイント工法及び各種大気圧工法では、地上に吸引ポンプを設置している為、その吸引効果は深度的にGL-6.0m前後となり、対地盤に対するバキューム効果は $P_v \approx -0.025MP$ です。

それに対し、SWP工法では、井戸内に揚水ポンプを設置したことにより、吸上げ揚程にバキューム効果を使用せず、全バキュームエネルギーを地盤中に及ぼすことが出来、その効果は $P_v \approx -0.085MP$ と非常に高い真空効果を発揮します。

又、深度的にも、揚水ポンプ能力からGL-300mまでの範囲に、高真空を伝播する事が出来ます。SWP工法は、地下水を高真空にて集水する能力を高めた点が、画期的なものです。

地盤の透水係数〈k〉は大きく出来ませんから、地下水を多量に集めるために井戸内のピエゾ水頭を下げ、外部の地下水との動水勾配を大きくしたのがSWP工法です。飽和地下水に及ぼす負圧伝播の効果です。

最近では、井戸内の空気だけでなく、井戸周辺の地盤中の空気を吸引減圧する事により、二つの効果をもたらす事がわかってきました。

一つは、真空状況下では軟弱地盤の水分気化が促進され、広い範囲で圧密促進が出来た事、もう一つは、汚染土壌からの VOCs（揮発性有機化合物）の回収が出来た事です。

高真空による吸引効果としては、

- 1) 地下水の集水能力が従来の重力排水に比べ 2~20 倍以上有る事。
- 2) 海成粘土（マリンクレー： $k = \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ ）のような粘性土までも圧密脱水が可能になった事。
- 3) 山留内の根入れ部分で揚水した場合、山留内部だけ少ない揚水量で目的の水位低下が望め、周囲の水位は殆ど低下せず、地盤沈下等の問題は発生しない傾向にあります。
- 4) 井戸ロスが少なく、動水勾配が log 曲線から直線勾配へと変化する事。
- 5) 地中の部分的なゾーンの減圧が可能となり、河川橋脚工事等がオープン施工で可能となります。
- 6) 真空プレス型リチャージウェル（VPRW 工法）との組合せで、溶解性鉄分の多い地下水を、空気と触れずに酸化（サビ）せず、中間ポンプで加圧して注水する事が出来ます。

VPRW 工法は、長期に安定して復水する事が出来、赤水対策として有効な事。

SWP 工法は、“土と水”をテーマとし、都市型土木・建築工事、地滑り対策、地下ダムの揚水井、飲料用等の井戸、消雪設備、盤膨れ対策、ドラーワーク、軟弱地盤改良、河川・海岸等の水際工事、土壌改良工事、プレロードへの応用、等様々な分野での採用が可能な工法です。又、動水勾配が直線勾配である事。山留周りの水位が低下しない理由等、真空吸引による効果も数値解析により表現出来る様になりました。

SWP 工法及び応用技術である V.P.RW 工法、SKK 工法等は、施工性能の向上、大幅なコストダウン、工事の安全に効果があります。

又、適応範囲も広い事から、多くの採用を願っております。



スーパーウェルポイント協会
会長 高橋茂吉

スーパーウェルポイント工法(SWP工法)の展望と技術的課題

技術アドバイザー
九州大学名誉教授
神野健二

SWP工法では、井戸内の空気を真空ポンプで吸引して減圧し、同時に井戸内の水を上昇させないように水中ポンプで揚水する。これにより井戸の吸い込み口周辺の地下水に負圧（空気圧と水柱重量の合計値を負にする）を与えるもので、このような状態でSWPを稼働すると、吸い込み口周辺と境界水位（河川などの水位境界がなければ影響半径での地下水位）との間に大きな水位差が生じ、取水量を大きくすることができる。

「負圧」という言葉を聞くと、不飽和浸透流へ思考が向いてしまい、「負圧→不飽和（毛管上昇）→不飽和領域での透水係数の低下」を思い浮かべがちであるが、井戸の吸い込み口周辺で「負圧で飽和状態」の領域が形成されれば、「注射器で空気を入れることなく水を吸う場合」と同じように大きな動水勾配と飽和透水係数下で浸透速度を大きくできる。この結果、不圧帯水層では大気圧に等しい地下水面が大きく低下する。このとき、鉛直流速成分も大きいため、スクリーンへの流入と言うよりも「吸い込み点」への流入に近い流れが生じる。これは鉛直地下水流動成分を無視した揚水公式とは異なる地下水面形になる（九州産業大学教授細川土佐男、報告書「数値解析によるSWP工法とディープウェル工法の地下水位低下量の比較」、2006年4月発表）。

このように、SWP工法による揚水では、設置深度、構造、形状、配置、地質構造に応じて多様な地下水面の低下や帯水層内での水圧分布が現れることが予想される。開削工事では地盤の変形・崩壊を防ぐために掘削部周辺に連続地中壁を設置し、SWPを稼働する。この場合には、地中壁の透水性や設置形状、井戸の設置個数に対応して地下水面が多様に低下する。しばしば「何故このような地下水面低下になるのか？」という質問を受けることがある。しかし、SWP工法では井戸内の真空のかけ方や、井戸内水柱の高さのコントロール、吸い込み口の位置、連壁の深度、地層の透水係数の分布等に応じて3次元的な流れの場を形成するため、個々の場合に応じた説明は容易ではない。

SWP工法については断面2次元解析あるいは軸対称解析のほか、現場の実状にあわせた実践的な数値解析技術の進展と観測データの充実により、様々な条件に応じた解析を実施できる体制の確立が望まれる。

一方、水に溶解した揮発性汚染物質は、液相と接する気体成分との間に平衡関係を保っている。ヘンリーの法則で記述されるように、液体への気体溶解度は気体の圧力に比例する。したがって、液体に加わる空気の圧力が低下すれば、液体に溶解している溶存物質は揮発する。すなわち井戸へ間隙気体の吸い込みも起こる場合には、地下水に溶存する揮発性汚染物質の回収のみならず、不飽和間隙に残存する原液も同時に回収できる

ことになる。

以上のように、SWP工法により地盤の空気圧を低下させることにより、我々が余り経験していない現象が発生し、様々な工学的に興味ある現象が発現する。SWPによる地下水流動が吸い込み口や連続地中壁周辺の3次元分布に大きく左右されるため、現象を理解するためには数値解析に頼らざるを得ないが、「負圧であるから不飽和」という不飽和浸透理論の束縛から離れて「負圧で飽和」、「井戸側の境界条件を負圧に設定できる」という設定以外に、現象を支配する運動方程式と連続の式に特殊な操作を加えなくても、以上のような結果が得られる※。今後は様々な境界条件に対する数値解の挙動を詳しく吟味し、SWP工法を支える解析技術を確立することが望まれる。

※流速が大きく、非ダルシー則を適用することも想定しなければならないかは別途研究課題。

目次

1. 概要と特徴	
1-1) 概要	P. 1
1-2) 特徴	P. 3
1-3) SWPの構造	P. 5
1-4) SWP工法の種類	P. 6
2. 設計	
2-1) 事前調査	P. 7
2-2) 粒度と排水の方法	P. 10
2-3) 揚水量の算定	P. 11
2-4) 井戸本数の算定	P. 14
2-5) 計算例	P. 15
3. SWP工法を用いた解析	
3-1) SWP工法の研究について	P. 18
3-2) 断面二次元モデル	P. 18
3-3) 解析例	P. 20
3-4) 事例	P. 20
4. 施工手順	
4-1) SWP工法の施工手順	P. 21
4-2) 削孔方法の種類と特徴	P. 28
5. 機械及び装備	
5-1) 使用機械一覧表	P. 30
5-2) 主要機械(削孔用)	P. 32
5-3) 主要機械(揚水用)	P. 35
5-3-1) バキューム装置	P. 35
5-3-2) 揚水用ポンプ	P. 36
5-3-3) セパレータースクリーン	P. 38
6. 適用事例	
地下水位低下工法としての利用	P. 41
7. VPRW工法	
7-1) 概要	P. 48

7-2)	VPRWの構造	.....	P. 49
7-3)	VPRWの特徴	.....	P. 52
8.	Hi-Wai工法		
8-1)	Hi-Wai洗浄工の概要	.....	P. 59
8-2)	相互Hi-Wai洗浄工の概要	.....	P. 60
8-3)	リングHi-Wai洗浄工の概要	.....	P. 60
9.	SKK工法		
9-1)	SKK工法の概要	.....	P. 61
9-2)	SKK工法による真空気化及び脱水について	.....	P. 62
9-3)	地下水の回収方法	.....	P. 62
9-4)	SKK工法の特長	.....	P. 63
9-5)	SKK工法の施工例	.....	P. 63
10.	SKK工法+Qin-TAKO工法		
10-1)	SKK工法+Qin-TAKO工法の概要	.....	P. 64
10-2)	SKK工法+Qin-TAKO工法の地盤改良法	.....	P. 65
10-3)	地盤改良比較	.....	P. 69

1. 概要と特長

1-1) 概要

従来、地下水位低下工法としてウェルポイント工法【強制排水工法】、ディープウェル工法【重力排水工法】、バキュームディープウェル工法(重力排水+強制排水)が採用されてきた。ウェルポイント工法の場合には、1段設置での地下水位低下量が約6.0mであり、深い場合には、多段設置を必要とした。また、ディープウェル工法は、重力排水のため井戸効率が低く、相当数の本数が必要となる課題があった。また、バキュームディープウェル工法は、図1.1.1に示すように、スクリーンの位置まで地下水位が低下すると、井戸内に空気が侵入し、バキューム効果が著しく低下する課題があった。

これに対し、SWP工法は、特殊スクリーンの開発により空気を吸わずに地下水面をスクリーン底部まで低下させることができる。

従って、SWP工法は、井戸の深度が大きくてもバキューム効果を維持した強制排水が可能であり、従来工法にくらべ揚水量が2~20倍以上と多く、より広範囲の地下水を低下させることができる。

また、シルト層や粘性土地盤、風化岩のように重力排水では困難とされた土質条件でも、地下水位低下が可能となり、さらに応用技術として真空気化乾燥による地盤改良工法や土壌浄化工法も可能も開発中である。

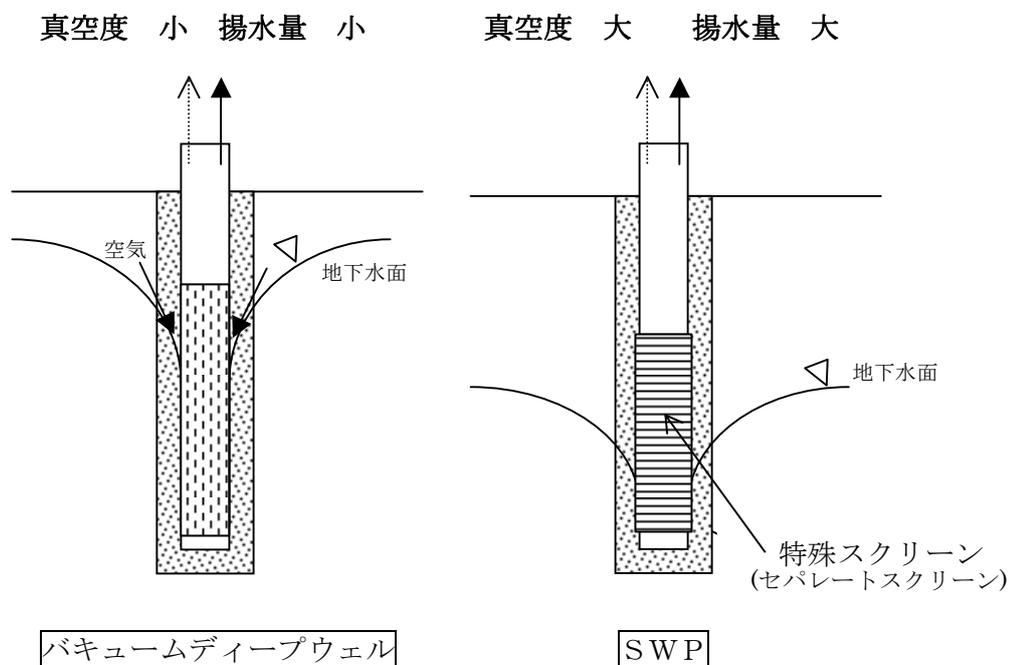
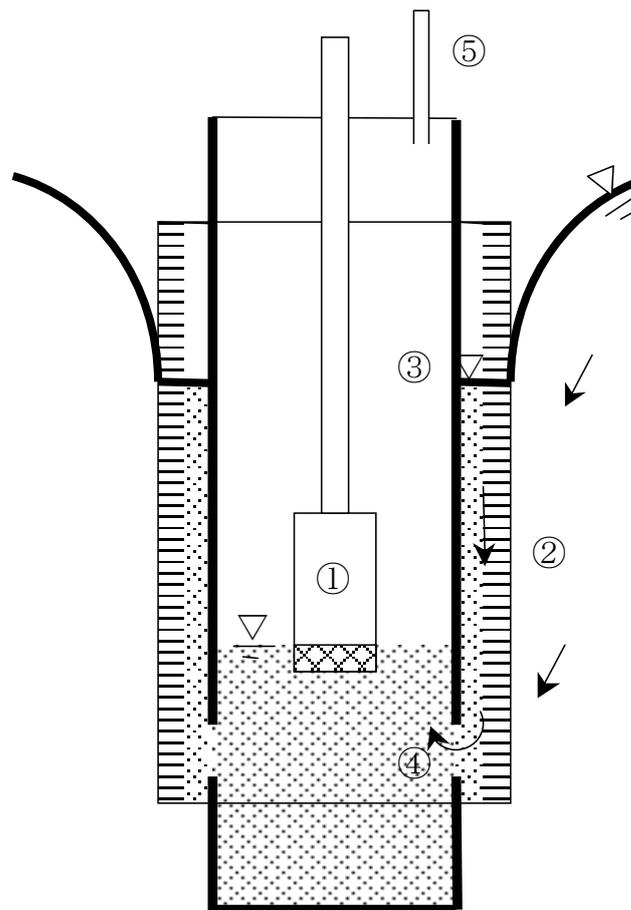


図 1.1.1 SWP工法とバキュームディープウェル工法の比較

図1.1.2に、SWP工法の揚水井戸構造を示す。ディープウェル工法との相違点は、ストレーナー管②の内側に内筒管③が存在し二重管構造となっている点である。ストレーナー管から流入した地下水は、二重管の間を流下し内筒管の下部に設けられた通水孔④を通して水中ポンプ①に達する。真空ポンプにより二重管の内部に負圧を作用させればより効果的に揚水することができる。SWP工法では、地下水面を通水孔の位置まで低下可能である。



- ①水中ポンプ ②ストレーナー管
- ③内筒管 ④吸水孔 ⑤バキューム管

図 1.1.2 セパレートスクリーンの内部構造

1-2) 特長

ディープウェル工法に対して以下のような特長を有する。

A) 吸水能力の向上

従来工法に対して、施工実績より 2～20 倍以上の吸水効果がある。(表 2.4.1 参照)

B) 井戸 1 本当りの地下水位低下量と影響範囲の拡大

バキューム効果により、重力排水にくらべ地下水位低下量と影響半径が増大するため、井戸本数を減らし井戸間隔を広げることが可能となる。

C) 遮水性連続壁の壁内限定排水が可能

遮水性連続壁 (SMW・鋼矢板等) の根入による遮水効果を利用した壁内限定排水が可能で、壁周囲の地下水位は殆んど低下しないため、水位低下による影響 (地盤沈下等) が殆どない。

D) 上記 3 項目の飽和地下水に対する効果は、SWP によって飽和地下水負圧伝播が生じる事による効果で、その現象については九州大学名誉教授：神野先生グループらによって数値解析する事が可能である。(3. SWP 工法を用いた解析参照)

E) あらゆる地質に対応可能

バキューム効果を利用して排水を行う為、粘性土(シルト)を始め砂質土、砂礫層、風化岩盤等に至るまで強制排水が可能である。尚、Hi-Wai 洗浄 (8. Hi-Wai 工法参照) の併用でその効果も大きい。

F) クリーンなりチャージ工法として適応可能 (7. VPRW 工法参照)

真空排水により空気接触が無い為、水中の鉄分が酸化せず、無公害でのリチャージが可能となり、また、中間プレスポンプの加圧により安定して地中へ復水させる事が可能となった。

G) 大深度に適用可能

深度 300m まで適用可能である。(深井戸用ポンプの限界揚水深度まで)

H) 応用技術

応用技術として『SKK工法』(9. SKK工法及び 10. SKK工法+Qin-TAKO 工法参照) により、軟弱地盤 (粘性土) では大深度でも施工が可能である。また、VOCs, 油分等の揮発性物質の土壌浄化も可能となった。

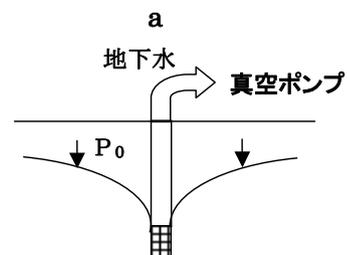
D) 経済的

従来工法に比べ設置本数を減らす事が出来、30～40%のコスト削減効果が期待出来る。

J) 地下水位低下工法の比較

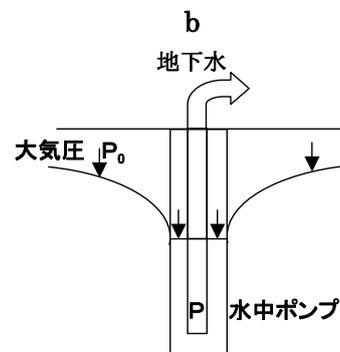
a) ウェルポイント工法 (WP工法)

真空により地下水を汲み上げ、周辺の地下水面を低下させる。ウェルポイントの先端では地下水の圧力はゼロ (大気圧) であり、DW工法と同じ境界条件である。



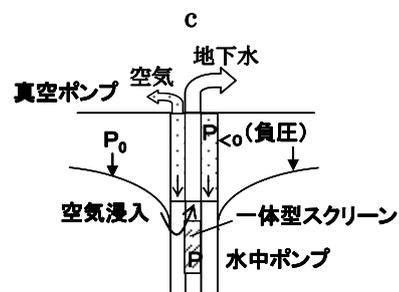
b) ディープウェル工法 (DW工法)

水中ポンプにより揚水して井戸内の水面を下げ、この条件 (境界条件) に対応応じて周辺の地下水面が低下する。
水中ポンプは井戸内の水を汲みだしているだけである。



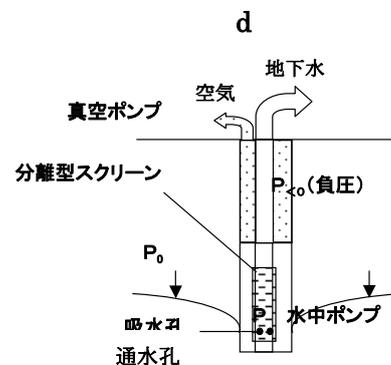
c) バキュームディープウェル工法 (VDW工法)

SWP工法と同様の仕組みにより周辺の地下水面を低下させる。しかし、スクリーンが井戸管と一体化しているため、地下水面の低下に伴い地下空気が井戸管に入り込む。そのため真空度が低下し、ディープウェル工法と同じ状態となる。



d) スーパーウェルポイント工法 (SWP工法)

VDW工法の欠点を改良した工法であり、スクリーンは井戸管と分離して井戸管を取り囲む。また、井戸管の下端近くに通水口を設置する。これらにより地下空気が吸引されにくい構造となっている。



1-3) SWPの井戸構造

SWP工法の基本井戸構造を以下に示す。

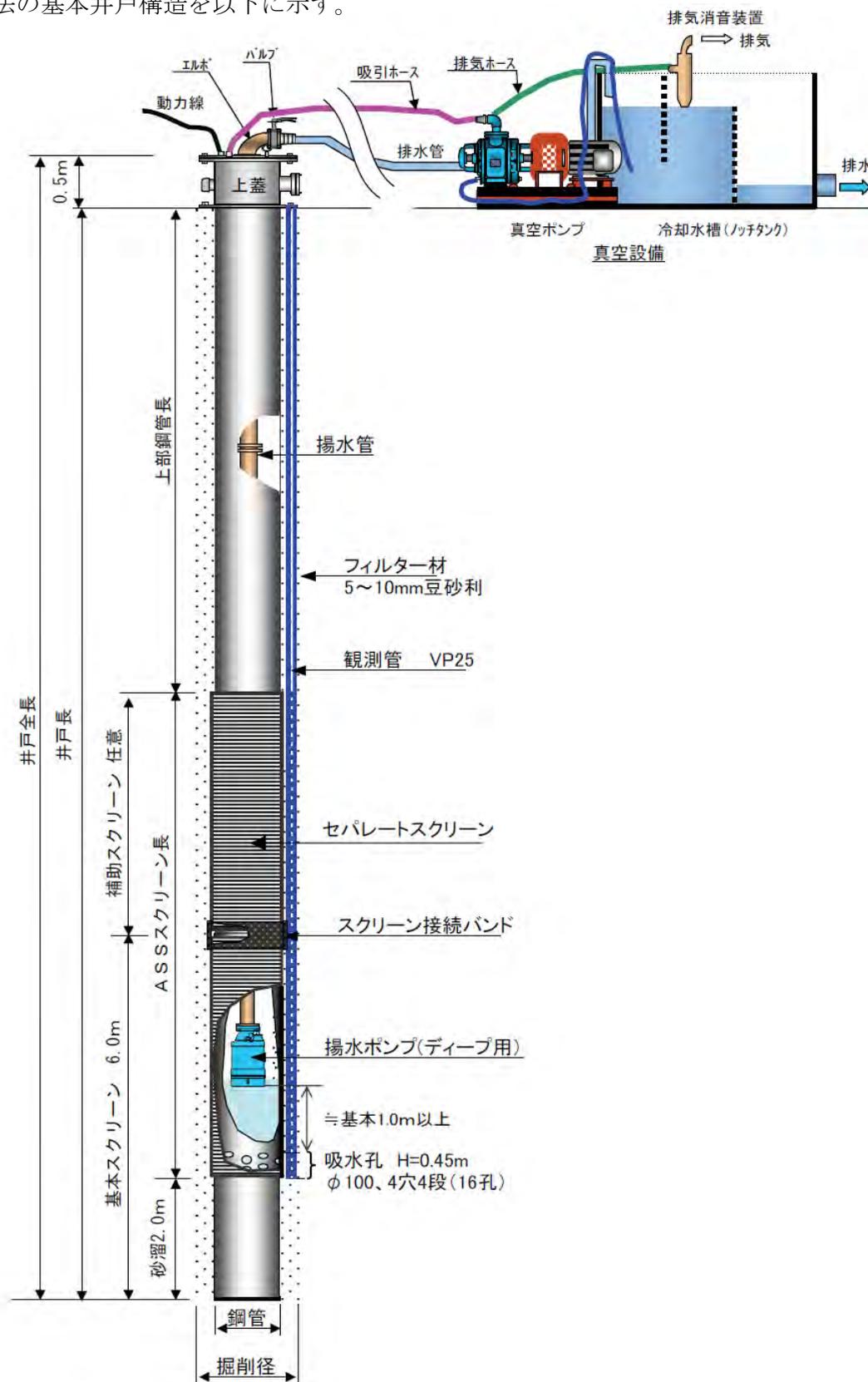


図 1.3.1 SWP井戸基本構造

1-4) SWP工法の種類

SWP工法は、適用深度に応じて表 1.4.1 に示した標準的な井戸システムを採用する。標準システムとしては深度 50m までを示している。

深度 50m 以上でも適用可能であるが、その場合は別途にシステムの検討を行うことが必要である。

バキュームポンプとして、標準的にはエルモ型バキュームポンプ(11.0kw)を使用する。このポンプ 1 台にて、SWP 井戸 1～3 本の範囲で負担可能である。但し SKK 工法等では SWP 井戸 1 本に付き 1 台の使用を基本とする。

表 1.4.1 深度別の標準的な井戸システム

種 類	適用深度	使用ポンプ 揚水量	削孔径 ケーシング径	削孔方法
SWP-S	0～15m	ディープ用ポンプ 口径 4 インチ、11kw～ Q<1500 ㎥/min	550mm 400mm	パーカッション (オーガー) (大口径ボーリング)
SWP-M	15～25m	ディープ用ポンプ 口径 4 インチ、11kw～15kw Q<1500 ㎥/min	550mm 400mm	パーカッション (オーガー) (大口径ボーリング)
SWP-L	25～35m	ディープ用ポンプ 口径 4 インチ、11kw～19kw Q<1500 ㎥/min	550mm 以上 400mm 以上	パーカッション (大口径ボーリング) (オールケーシング)
SWP-L L	35～50m	ディープ用ポンプ 口径 4 インチ、11kw～19kw Q<1000 ㎥/min	550mm 以上 400mm 以上	パーカッション (大口径ボーリング) (オールケーシング)

注 1) 井戸径，使用ポンプなどは各現場条件により異なることから、上表は選定する上での参考とし、詳細は計画検討により決定する。

注 2) 深度 50m 以上の場合や水量確保のため集水能力アップを目的とする等の場合も、計画検討により決定する。

注 3) 削孔方法は、マットケーキの生じないパーカッション方式を基本とする。SWP は、井戸下端吸水孔の集水能力が重要ポイントで、完全に掘削スライムをベラーで排出出来るパーカッション方式が最も有効である。

2. 設計

SWP工法を使用した排水計画は、事前調査の結果を踏まえて、下記の事項を考慮して行う。

- ・掘削深度および目的の水位低下量
- ・排水対象土の位置および透水性
- ・不透水層の位置
- ・初期湧水量とSWP 1本当たりの吸水量
- ・SWP井戸の設置間隔

2-1) 事前調査

SWP工法による地下水位低下工法を設計するに当たり、その効果および周辺への影響について事前の調査が必要である。図2.1.1に調査および設計の概略をフロー図として示す。

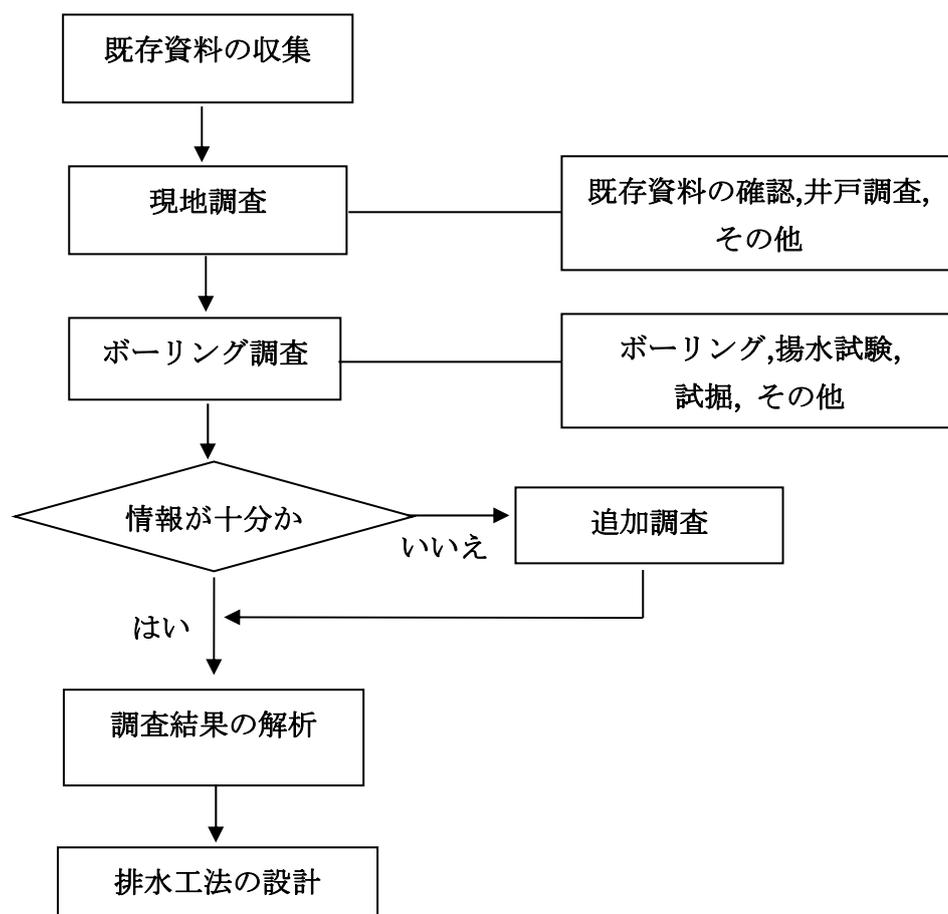


図2.1.1 SWP工法の調査・設計

主な調査項目を以下に示す。

A) 地盤調査

ボーリング調査を主体とした地盤調査結果から、地盤構成を知り、帯水層の深度や厚さ、連続性等について把握する。

B) 土質試験

物理特性としての粒度は、地盤の透水試験が行われていない場合には、概略の透水性を評価するために重要な指標となる。例えば、比較的均一な(均等係数 $U_c < 2$ のとき) 緩い砂では、下記の Hazen (ハーゼン) の式から地盤の透水係数 k (cm/s)の概略値を推定することが行われている。

$$k=C \cdot (D_{10})^2 \quad (\text{式 2.1})$$

D_{10} :有効径(粒径加積曲線の 10%に相当する粒子径) (cm)

C :100~150

一般には $U_c > 2$ 以上の土が多く、このような土では Hazen の式は適用できない。この場合に対しては、Creager (クレーガー) その他が 20%粒径 D_{20} (mm)と k (cm/s) の関係について、多くの実験の結果から表 2.1.1 を与えている。

表 2.1.1 Creager による D_{20} と透水係数

D_{20} (mm)	k (cm/s)	土質分類	D_{20} (mm)	k (cm/s)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗粒粘土	0.30	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト	0.35	3.20×10^{-2}	
0.02	4.00×10^{-5}	粗砂シルト	0.40	4.50×10^{-2}	
0.03	8.50×10^{-5}		0.45	5.80×10^{-2}	
0.04	1.75×10^{-4}		0.50	7.50×10^{-2}	
0.05	2.80×10^{-4}		0.60	1.10×10^{-1}	粗粒砂
0.06	4.60×10^{-4}	極微粒砂	0.70	1.60×10^{-1}	
0.07	6.50×10^{-4}		0.80	2.15×10^{-1}	
0.08	9.00×10^{-4}		0.90	2.80×10^{-1}	
0.09	1.40×10^{-3}		1.00	3.60×10^{-1}	
0.10	1.75×10^{-3}		2.00	1.80	細礫
0.12	2.60×10^{-3}	微粒砂			
0.14	3.80×10^{-3}				
0.16	5.10×10^{-3}				
0.18	6.85×10^{-3}				
0.20	8.90×10^{-3}				
0.25	1.40×10^{-2}				

また、周辺地盤の地下水位低下に伴う圧密沈下の程度や、圧密による地盤改良を検討するためには地盤の圧密特性や強度特性を把握する。

C) 地下水調査

観測井戸や周辺の既存の井戸により、地下水位観測を行い、地下水分布の状況を推定する。また、必要に応じて揚水試験等を行い、地盤の透水係数や貯留係数等を把握する。

D) 近接構造物に関する調査

地下水位の低下に伴う地盤の圧密等によって、周辺に影響を与える可能性もあり、周辺における構造物の種類および用途等を調査しておく。

既設構造物の施工法によっては、構造物周辺の透水性が高い状態となっていることもある。

また、ガス管等の地下埋設物、地下鉄等の地下構造物の有無についても調査する。

E) 周辺における井戸調査

施工箇所周辺に井戸がある場合には、地下水位の分布に関する情報が得られる。尚、排水による地下水位の低下による井戸枯れ、地盤沈下等が発生しないよう配慮しなければならない。

F) 施工方法(掘削、土留め工法)

G) その他

施工現場がどのような場所に位置しているかは、基本情報として必要である。現場が海岸、湖沼、河川に近い場合には、地下水位がそれらの影響を受けて変動している可能性がある事にも留意する。

2-2) 粒度と排水の方法

地盤の透水係数は前述の Hazen の式等に示されるように、構成土粒子の粒度分布によって変化する。したがって、実際の現場での最適な排水工法は、地盤の土質によって異なる。各種の土質に対応する適当な排水工法の目安を図 2.2.1 に示した。

SWP工法を地下水低下工法として使用する場合には、シルト質の地盤でも十分に適用可能である。

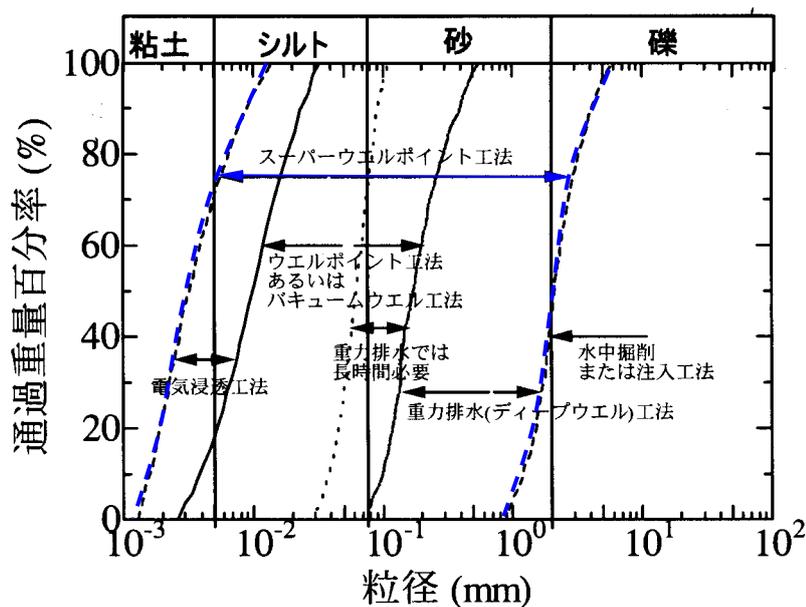


図 2.2.1 各種土質に適用される排水工法

※ 海成粘土（マリンクレイ）の様な透水係数（ k ） $=1.0 \times 10^{-8}$ cm/sec の土質でも、SWP工法にて吸引揚水した実績（シンガポールにて）がある。

2-3) 揚水量の算定

SWP工法での湧水量の算定に当っては、実際の地盤構成を単純化し平衡状態を想定して、井戸公式（ティームの式）に実績値（ β ）を加味した式を以下に示す。

A) 自由地下水からの揚水量

井戸が帯水層を貫通して、井戸底が不透水層まで達している場合(図 2.3.1 参照)には、平衡状態における井戸からの揚水量は次式で求められる。

$$Q = \frac{\pi k(H^2 - h_0^2)}{2.3 \log_{10}(R/r_0)} \times \beta \quad (\text{式 2.2})$$

ここに、

Q : 平衡時揚水量(m^3/sec)

r_0 : 井戸の半径(m) (注-1)

h_0 : 井戸の水深(m)

H : 揚水前水位(m)

k : 透水係数(m/sec)

R : 井戸中心からの影響半径(m) (注-2)

β : 排水対象層に遮水壁根入がある場合の真空遮水効果係数 (注-3)

B) 被圧地下水からの揚水量

井戸が帯水層を貫通している場合には、揚水量は次式で求められる。

$$Q = \frac{2\pi kb(H - h_0)}{2.3 \log_{10}(R/r_0)} \times \beta \quad (\text{式 2.3})$$

ここに、

Q : 平衡時揚水量(m^3/sec)

r_0 : 井戸の半径(m) (注-1)

h_0 : 井戸の水深(m)

H : 揚水前水位(m)

k : 透水係数(m/sec)

R : 井戸中心からの影響半径(m) (注-2)

b : 帯水層厚(m)

β : 排水対象層に遮水壁根入遮水壁がある場合の真空遮水効果係数 (注-3)

排水計画の立案に当っては、排水初期の揚水量増加分を考慮した計画揚水量（ Q_{max} ）の1.5～2.0倍程度とする。

ただし、正確を期する意味では現場揚水試験をSWP工法で実施し、バキューム吸引による真空排水での見掛けの透水係数(k)を揚水量算定式の変形式により求め、最終的な排水規模を計画する必要がある。

$$\text{計画揚水量 } [Q_{max}] = (1.5 \sim 2.0) \times Q \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad (\text{式 2.4})$$

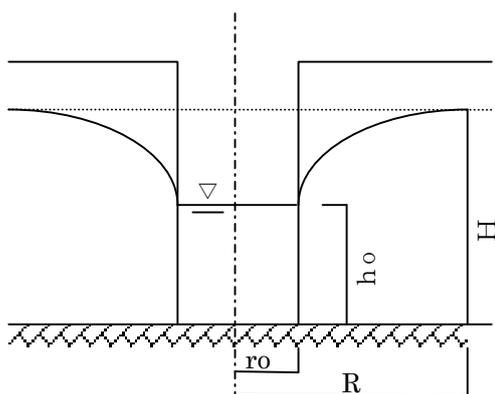


図 2.3.1 不圧帯水層の完全貫入井戸

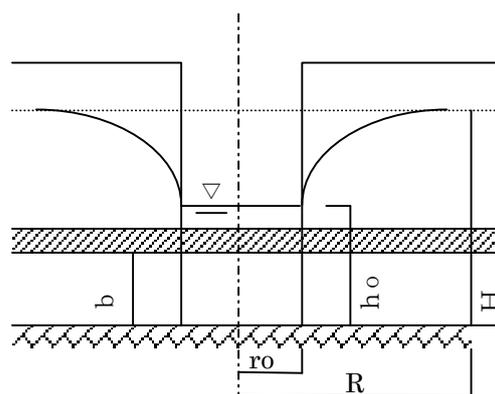


図 2.3.2 被圧帯水層の完全貫入井戸

(注-1)井戸の半径 r_0

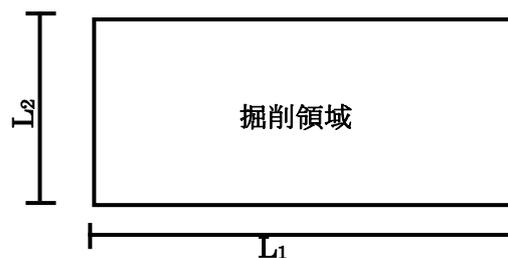
井戸半径の決定は掘削外周をこれと同じ周長をもつ円に置き換えて算定する。

$$r_0 = \frac{L_1 + L_2}{\pi} \quad \text{長方形 (式 2.5)}$$

ただし、 $L_1/L_2 < 3$

または、

$$r_0 = \sqrt{\frac{L_1 \times L_2}{\pi}} \quad \text{正方形 (式 2.6)}$$



※上式に当てはまらない場合は、簡易的に長辺の1/2と仮定する。

(注-2)影響半径 R

影響円の半径とは揚水により影響を受ける地下水の範囲であるが、この算定ははなはだ不確実であって通常 r_0 の3000～5000倍、または500～1000m位にとることが多い。Rは揚水量により変化するのが実際である。しかし、揚水量 Q の算定にこのRはlog関数(対数)として入ってくるから、その影響は比較的小さい。実際問題と

しては、地形、地質、井戸の水位低下量、揚水量などから経験的に決めることが多い。
表に、各地質に対するRの概算値を示す他、SWP工法で通常採用している算定式を記す。

土質区分	粒径 (mm)	影響円の半径 (m)
粗れき	>10	1500以上
れき	2~10	500~1500
粗砂	1~2	400~500
中砂	0.25~1	100~400
細砂	0.05~0.25	10~100
シルト	0.025~0.05	5~10

Rの算定には、シーハルト(Sichart)の式により求める。

$$R=3000 \cdot s \cdot \sqrt{k} \quad (\text{式 2.7})$$

ただし、R:井戸中心からの影響半径(m)

s:水位低下量(m)

k:透水係数(m/sec)

尚、掘削面積が水位低下量に対して著しく広い場合には、次式により求める。

$$R=3000 \cdot s \cdot \sqrt{k + r_0} \quad (\text{式 2.8})$$

(注-3) 遮水壁がある場合の真空遮水効果係数 (β)

山留めに遮水性連続壁(鋼矢板・SMW壁など)を用いる場合、SWP工法はこの連続壁の根入を利用した壁内限定排水が可能で、揚水量が少なく壁周囲の地下水位が殆んど低下しない。

この場合の根入長は排水対象滞水層に最低5.0m以上とし、スクリーン下端は根入下端より上部へ1.0m以上とする事が必要であると考えている事から、対象層内へのスクリーン配置は最低4.0mとなる。

土質及び根入長などの条件により β 値は0.5~0.7の範囲を基本とするが、実揚水試験により確認する。

遮水性連続壁を用いない場合は1.0とする。

2-4) 井戸本数の算定

SWP 1 本当当たりの吸水可能量(q)は、下記のシーハルトの式に SWP 係数(α)を乗じて算定する。

$$q = \alpha \cdot 2 \pi r h' \frac{\sqrt{k}}{15} \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad (\text{式 2.9})$$

ここに、 α :SWP 係数(表 2.4.1 参照)

r :井戸の掘削半径(m)

h' :スクリーン有効長(m)

k :スクリーン位置の透水係数(m/sec)

したがって、SWP 井戸の必要本数 n は、次式で求める。

$$n = \frac{Q_{\max}}{q} \quad (\text{本}) \quad (\text{式 2.10})$$

土質名	透水係数(cm/sec)	SWP 係数 (α)
粗 砂	$1.1 \times 10^{-1} \sim 3.6 \times 10^{-1}$	2.0 ~ 2.5
中粒砂	$2.2 \times 10^{-2} \sim 7.5 \times 10^{-2}$	2.0 ~ 3.0
細 砂	$2.6 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-2}$	2.0 ~ 5.0
ごく細砂	$4.6 \times 10^{-4} \sim 1.8 \times 10^{-3}$	2.0 ~ 10.0
シルト	$1.0 \times 10^{-5} \sim 2.8 \times 10^{-4}$	2.0 ~ 20.0
粘 土	$k < 3.0 \times 10^{-6}$	2.0 ~ 20.0

表 2.4.1 SWP 吸水量の目安(施工実績より)

表 2.4.1 の SWP 係数値は、従来のディープウェル工法における井戸の揚水能力を基準として、SWP 井戸での吸水能力を施工実績から経験的に設定したものである。

SWP 工法の設計に当っては、前項の各種算定式や諸表は目安であると考えべきものであり、実際の施工に当っては 1 本～数本の SWP と数本の水位観測井戸を設置して揚水試験を行い必要な SWP 井戸の本数や排水規模を定めることが望ましい。

SWP 工法では、従来のディープウェル工法に比べ井戸効率が大きいため、井戸間隔を広げることが可能となる。しかし、SWP の設置間隔は 30m～50m を基本とし、施工に当っては揚水試験等により、設計井戸間隔を確認することが望ましい。

2-5) 計算例

算定条件:

地表面下 2.0m に地下水位があり、地下水面下 5.5m まで掘削する現場を想定する。掘削面の寸法は 60.0m×35.0m であり、山留めは鋼矢板方式で地表面下 13.0m まで設置する。壁内排水法として SWP 井戸を鋼矢板内部設置し、地下水位を 6.0m(すなわち、掘削底面より 50cm 下)まで下げる時の、井戸の本数、揚水量を求める。地盤構成は地表から 16.0m 位置に不透水層があり、その上部は地表面まで均一な砂層である。砂層の透水係数は 0.0002m/sec である。

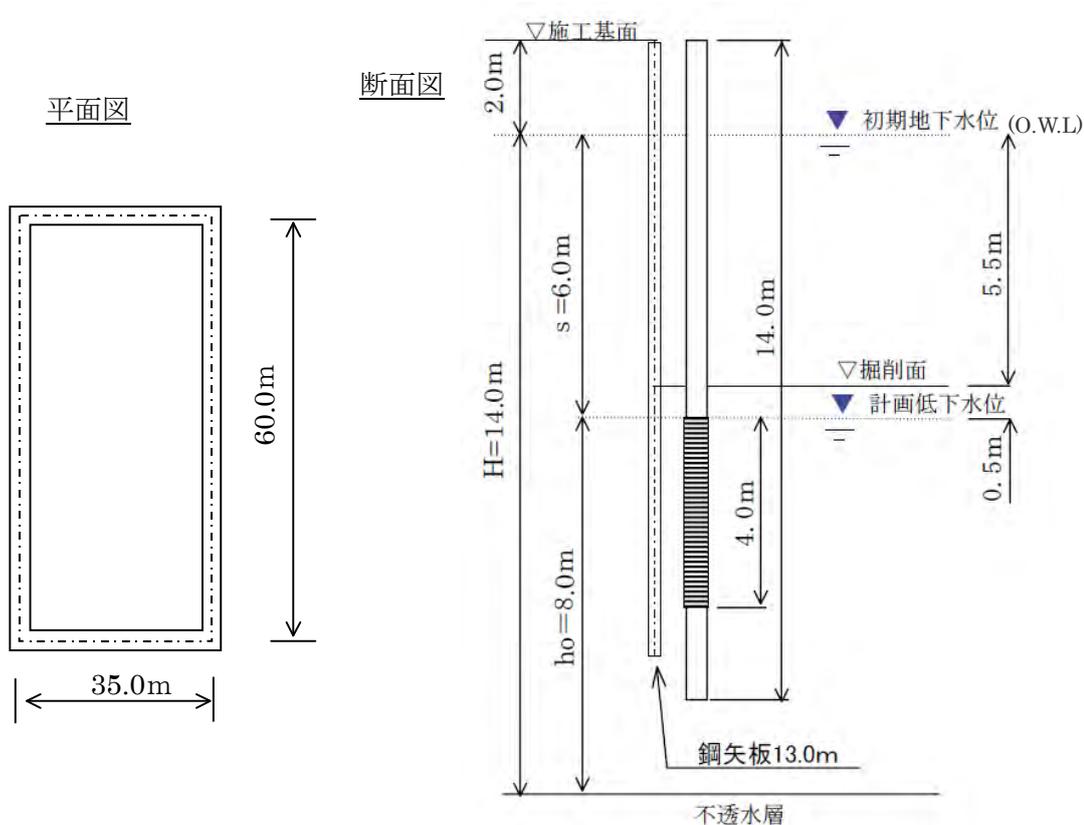


図 2.5.1 掘削平面および掘削断面図

算定例:

上記条件図より、実スクリーン長を計画水位以下から矢板下端+1.0mまでの 4.0m (基本スクリーン) を配置する。

(尚、一般的な計画で h_o や鋼矢板根入長が長い場合の実スクリーン長は、最大 10.0m とする。)

以上より、スクリーン有効長 (h') は計画水位以下の配置長 4.0m とし、SWP 井戸の深さはスクリーン下部に砂溜を 2.0m 加えて 14.0m とする。

まず、鋼矢板で囲まれた領域の幅および長さを L_1 , L_2 として、仮想井戸半径 r_0 を求める。

$$r_0 = \frac{L_1+L_2}{\pi} = \frac{60.0+35.0}{\pi} = 30.2 \quad (\text{m})$$

すなわち、半径 30.2m の井戸を中央部に設置したのと同じ効果があることになる。

影響半径 R は次式で求める。

$$R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k} = 3000 \times 6.0 \times \sqrt{0.0002} = 254.6 \quad (\text{m})$$

真空遮水効果係数 (β) は根入条件が最小値である事から、0.7 を採用する。

以上の条件により、揚水量 Q は以下となる。

$$Q = \frac{\pi \cdot k(H^2 - h_0^2)}{2.3 \text{Log}_{10}(R/r_0)} \times \beta = \frac{\pi \times 0.0002 \times (14.0^2 - 8.0^2)}{2.3 \times \text{Log}_{10}(254.6/30.2)} \times 0.7 = 0.0273 \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

上記算定揚水量は平衡状態の場合であり、初期揚水量 Q_{\max} を下記とする。

$$Q_{\max} = 2.0 \times Q = 2.0 \times 0.0273 = 0.0546 \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

径 550mm の SWP を穿孔するとして、井戸 1 本あたりの揚水量 q は、SWP 係数 α を 2.5 と仮定すると以下となる。

$$q = \alpha \cdot 2 \pi r \cdot h' \cdot \sqrt{\frac{k}{15}} = 2.5 \times 2 \times \pi \times 0.275 \times 4.0 \times \sqrt{\frac{0.0002}{15}} = 0.0163 \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

したがって、必要な井戸本数 n は以下となる。

$$n = \frac{Q_{\max}}{q} = \frac{0.0546}{0.0163} = 3.35 \quad \rightarrow \quad 4.0 \quad (\text{本})$$

井戸の平面配置:

SWP井戸の平面的な配置は、一般には影響圏半径を考慮して井戸間隔(a)が50.0mを超えないよう、均等に配置する。

本計算例では井戸4本を下図のように配置する。

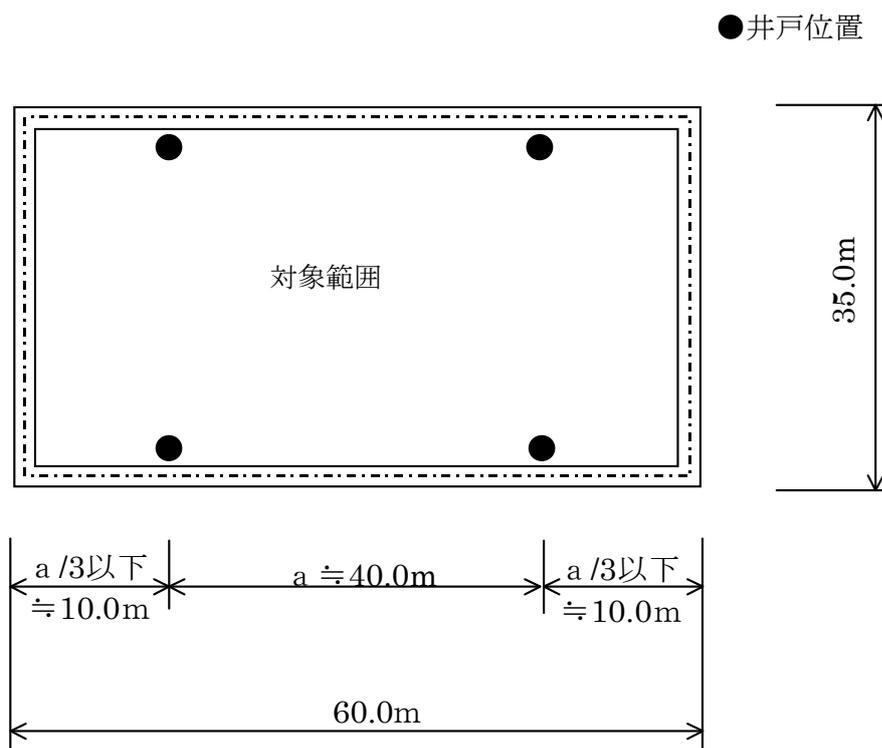


図 2.5.2 SWP井戸の配置

注) 検証や確認

上記設計に続き、真空揚水による実揚水テストを実施し確認する方法を推奨する。
また、重要度が高く事前に検証する必要性の有るような場合は、数値解析により水位低下のシミュレーションを行う事も必要である。

3. SWP工法を用いた解析

3-1) SWP工法の現象に関する研究について

SWP工法を用いる場合の地下水の挙動は重力排水では想像出来ない挙動をします。SWPの現象については神野九州大学名誉教授【研究当初は工学部教授】、九州産業大学・細川教授【工学部】、中川鹿児島大学助教授【農学部】と研究チームをつくりおよそ2年間で解明を行いました。その成果を踏まえて水理実験【九州産業大学細川研究室】で水理現象を再現し、その現象を再現できる解析モデルを構築しました。解析モデルは断面二次元【飽和・不飽和モデルで鉛直方向には数cmのメッシュ】を構築し、SWP工法を適用するに当たり安全で効率よく所定の効果が得られる配置【遮水壁の有無、SWPの深さ、スクリーンの位置、SWPの間隔及び遮水壁との位置など】計画を立案します。以下に解析手法の説明を行います。

3-2) 断面二次元モデル【飽和・不飽和 非定常モデル】

これまではバキューム効果を用いた【SWP工法】の解析を行ってきた。この工法は地下水排水を効率よく行うために真空吸引圧を利用した排水工法で、SWPを稼働した瞬間から急激な地下水の導水勾配が発生して地下水の排水が急速に進行する。この現象をシミュレートするために稼働開始から3分間位は1/1000秒のインターバルで計算を行います。

尚、この解法は以下の実験に基づいて構築しています。

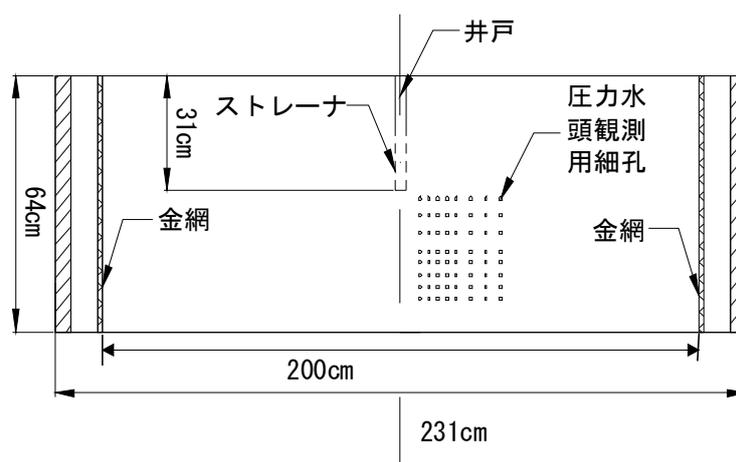


図 3.1 実験装置の概略

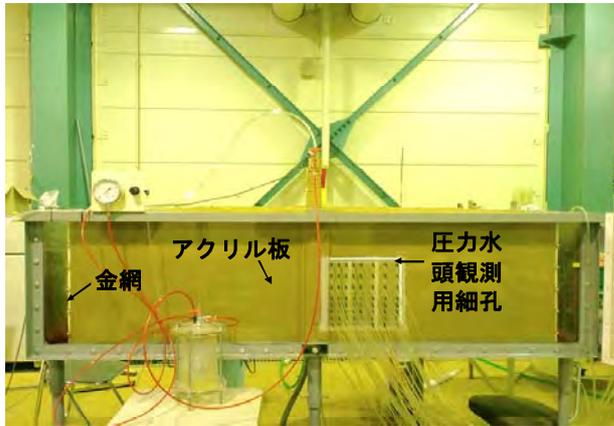


写真1 実験装置の正面写真

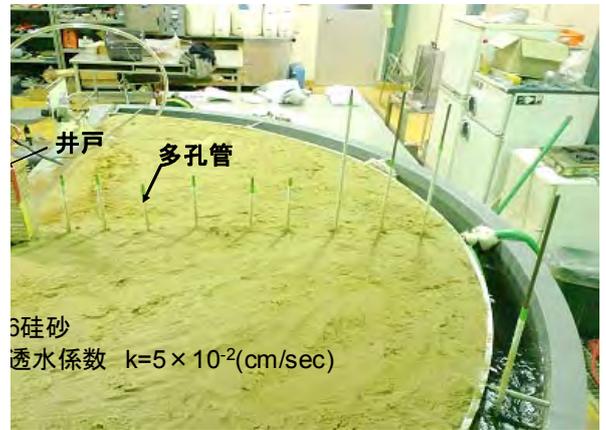


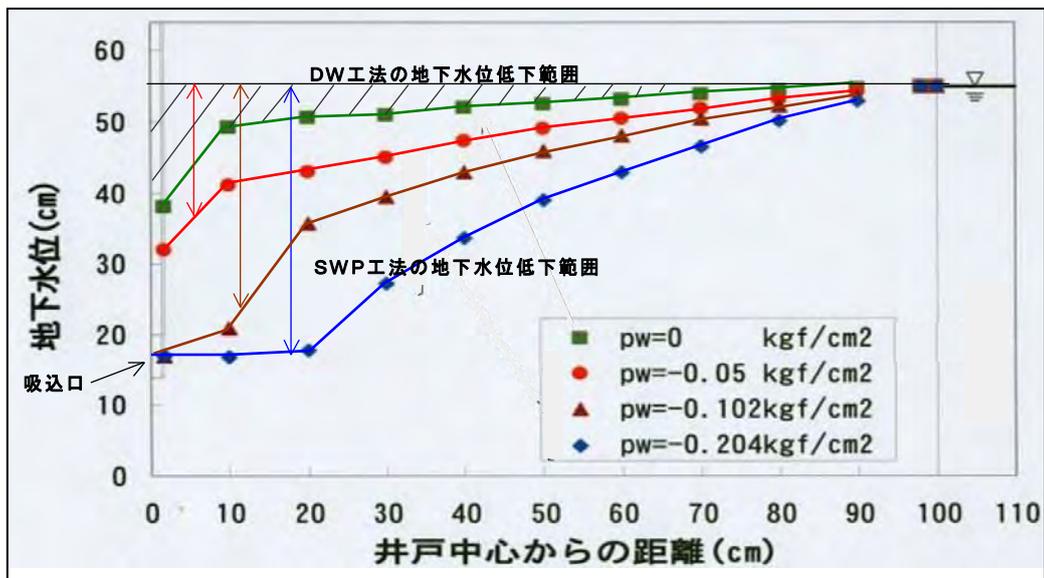
写真2 実験装置の平面写真

図 3.2 実験結果による工法比較

SWP工法とDW工法の比較

遮水壁がない場合でDW (PW=0) とSWP (PW≠0) の比較でSWPはDWに比べて地下水位低下の範囲が大きくなる。

なお、DW・SWPの吸込口の深さは同じ。



緑色：DW工法， 赤、茶、青色：SWP 工法 【半円形で遮水壁が無い場合】

3-3) 解析例

具体的な解析結果：SWP 工法特長は地下水の排水効率が非常に高いこと、下図のように遮水壁を利用すると、遮水壁の外側の地下水位を下げずに、遮水壁内部の地下水位を低下させることが出来ます。ドライワークや盤ぶくれ対策で地下水の豊富な地域で利用されています。計算は初めの3分間位は 1/1000 秒の計算で、徐々にインターバルを 1 秒くらいに広くして計算しました。

河川内の工事、地下水の豊富な下水道施設の工事などに用いられています。

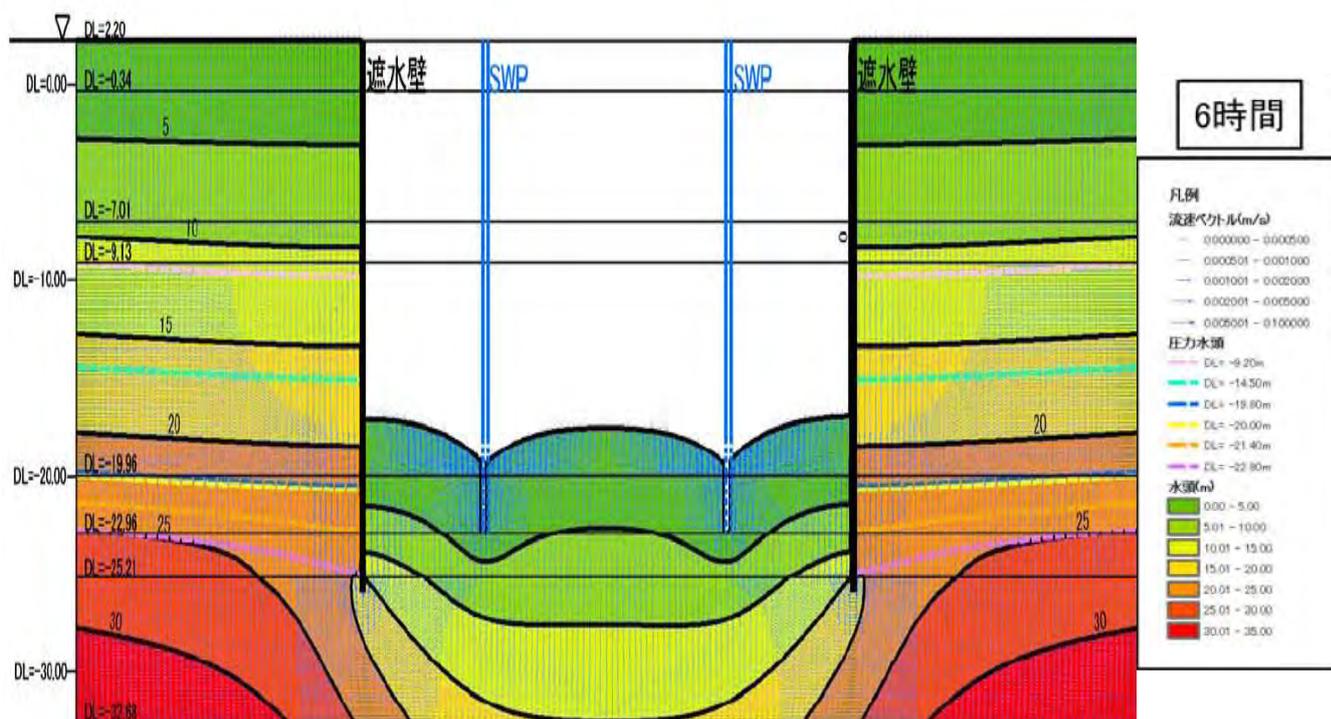


図 3.3 解析図

摘要事例：河川や海岸堤防の浸透防止工法解析、干潮区間の地下水への塩水浸入解析、盤ぶくれ対策工法【構造物下の減圧】、田畑の除塩工法の効果解析など

3-4) 応用事例

SWP工法を応用したSKK工法があります。この工法は高濃度土壌汚染対策として、地下水の浄化、地中の有毒ガスを同時に浄化します。東京都豊洲の土壌浄化技術の一つに認定されています。また同工法は岩手県・青森県境の不法投棄での土壌浄化工法として平成 22 年に試験工法に採用され、すぐれた効果を発揮しました。

4. 施工手順

4-1) SWP工法の施工手順

施工サイクルを図 4.1.1 に示す。

事前の地質調査結果をもとに排水計画をたてる。排水計画にあたっては、帯水層の構造、帯水層定数をもとに揚水井戸の構造、本数、配置を計画する。また、工事箇所周辺に既存の井戸がある場合には、揚水に伴う井戸枯れの検討、粘性土地盤の圧密沈下が予想される場合には、事前に圧密沈下の検討を必要とする。

排水計画の後、揚水井戸周辺の適切な位置に観測井戸を設置する。次に、その現場に最適なさく井方法を選定し削孔を行い、揚水井戸を建て込む。この際、最初に施工する井戸に関しては、揚水試験を適宜実施し設計の確認を行うと共に、最終的な揚水井戸本数を決定する。

図 4.1.2 に揚水試験フローを示す。

SWP工法では、対象帯水層の地下水を効率良く排水し、水位低下させることが重要である。

このためには、

- ① 井戸設置のための削孔により、水位低下させる帯水層の透水性を低下させない。
- ② Hi-Wai 洗浄等を十分行う。
- ③ 井戸の揚水により地盤中の細粒土分が洗い流されない井戸構造とすることが重要である。

また、地下水位低下工法を用いた根切り工事では、揚水井戸を工事中に停止することは、掘削面の水没による工事の中断を余儀なくされる。

このため、

- ④ 揚水中の停電等のトラブルに備える。

このほか、地下工事終了後の揚水井戸撤去のタイミングについても、地下水位の回復の影響を事前に検討しておくことが必要である。

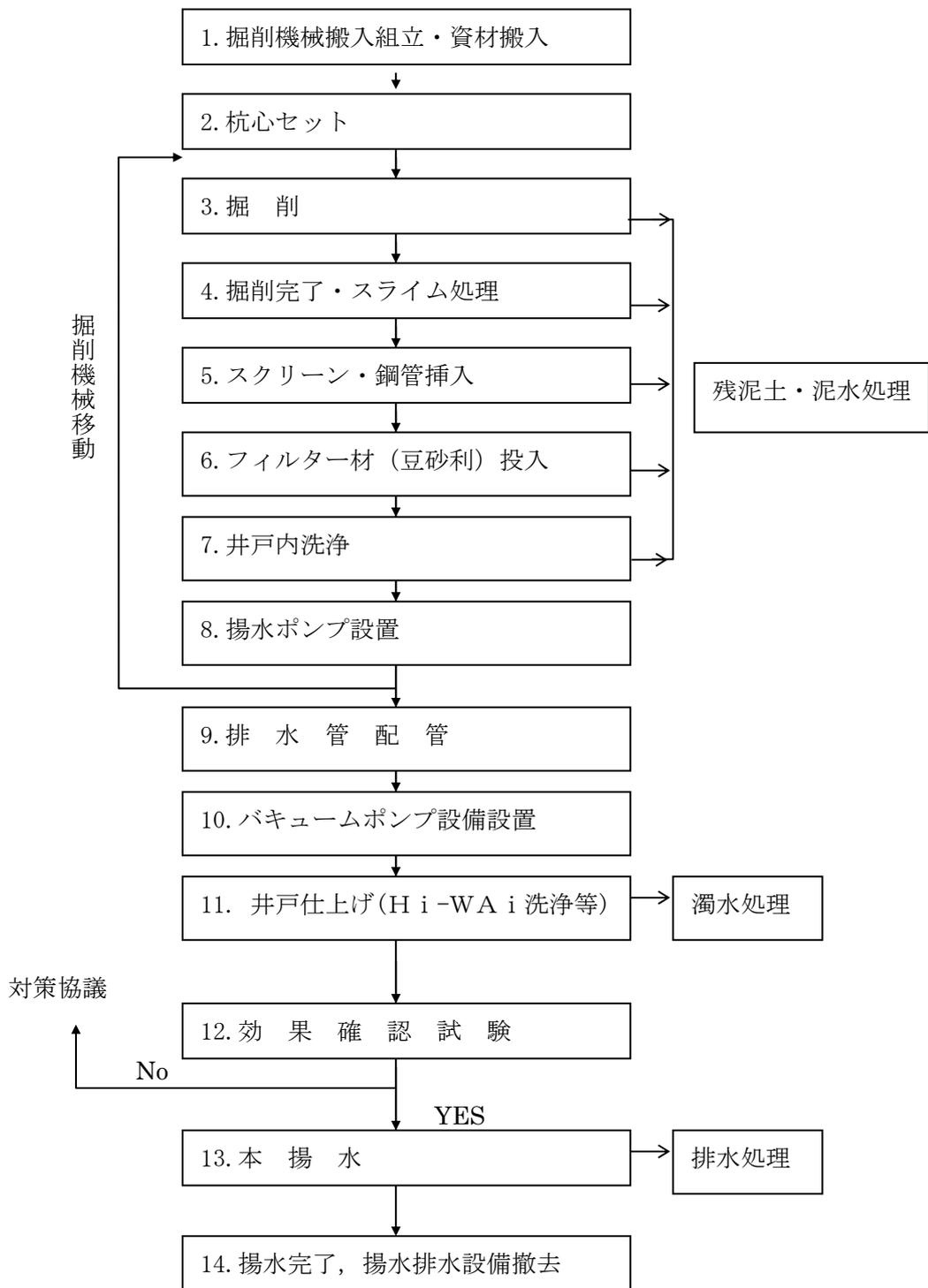


図 4.1.1 施工サイクル

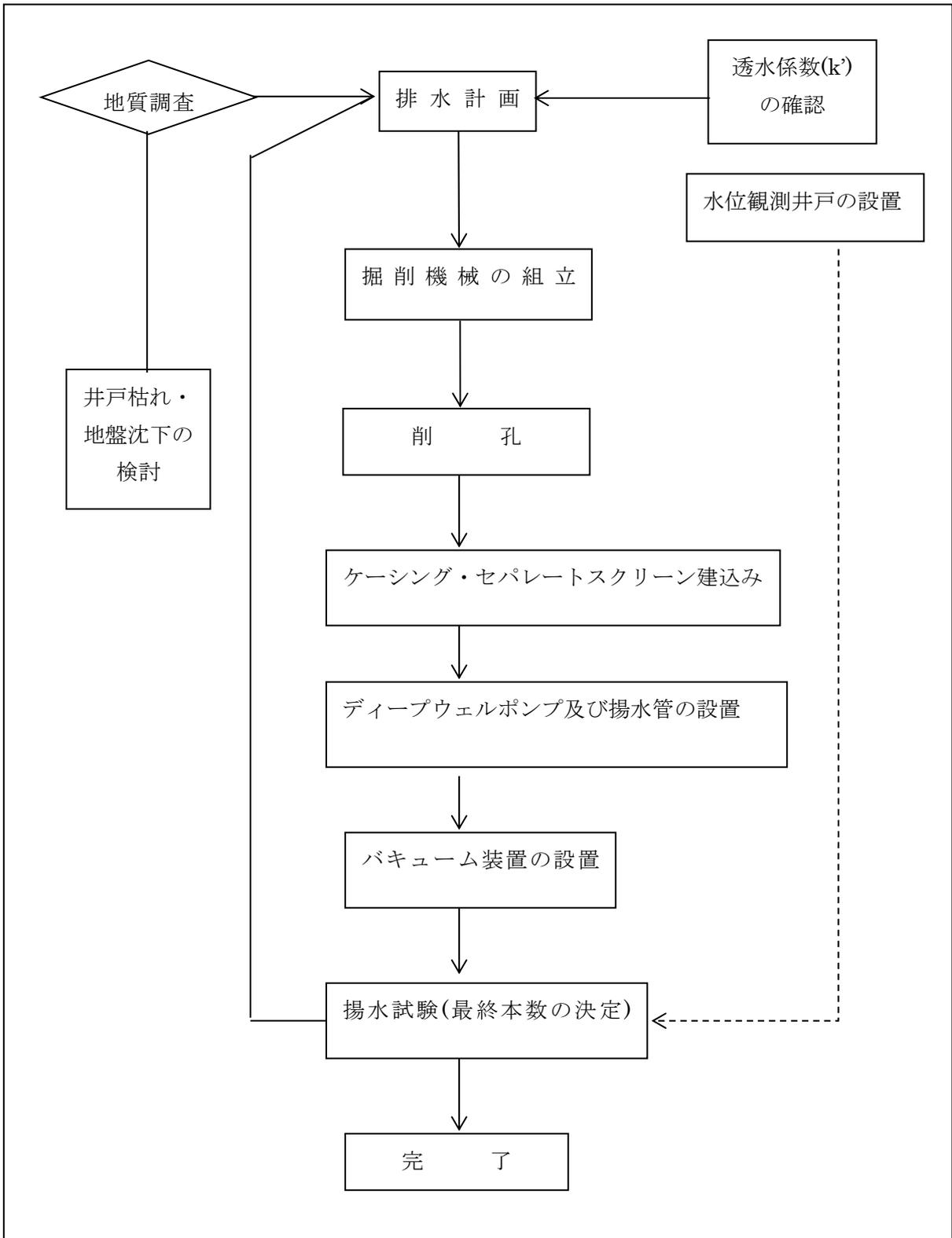


図 4.1.2 揚水試験フロー

① 削孔径と井戸管(ケーシング管、スクリーン)

揚水井戸の削孔径は、井戸径にフィルター充填層厚を加算した値とする。ただし、井戸径は水中ポンプの外径にも依存するため、その揚水量に見合う水中ポンプの外径を勘案して決める必要がある。

フィルターの充填厚さは、5~20cm程度とする。

スクリーンの設置位置と長さは、原則として排水対象帯水層中に4m以上のスクリーン長を設定するが、揚水量Qと井戸吸水能力qの関係や地下水位低下量s、地層堆積状況等を考慮して決定する。

SWP工法で使用するセパレートスクリーンは重力排水と異なりスクリーンの連続性が必要となるため、スクリーンを長く設定する場合には補助セパレートスクリーンにて延長し、接続用スクリーン接続バンドにて一体化する。

(互層の場合も連続して接続する)

$$\begin{aligned} \text{セパレートスクリーン長} &= \text{基本スクリーン} + \text{補助スクリーン} \\ &= 6.0\text{m}(\text{砂留 } 2.0\text{m} + \text{スクリーン } 4.0\text{m}) + \text{補助スクリーン長} \end{aligned}$$

スクリーンの種類はA型とB型があり、今日ではA型を主要スクリーンとしている。又、外筒管のスクリーンタイプとしては、

a) 巻線スクリーン (亜鉛メッキ材)

目的 . . . 一般清水用 (揚水量Q = 小~大対応)

b) 巻線スクリーン (プラスチック塗布材)

目的 . . .

{	長期安定型	(揚水量Q = 小~大対応)
	塩分対応用	
	サビ対応	
	土壌浄化用	

c) ポリエチレンスクリーン (ウインドータイプ)

目的 . . .

{	長期安定型	(揚水量Q = 小~中対応)
	塩分対応用	
	サビ対応	
	土壌浄化用	

特に材質が全てポリプロピレンであり、酸化鉄を含んだ地下水や科学的に汚染された地下水に安定している。

又、ウインドータイプであり細砂層に有効である。

d) 平面ポリエチレンスクリーン

目的 . . . 粘性土地盤改良の補助スクリーンとして使用。
軟弱地盤改良として利用。
(揚水量Q = 小の場合に限定)

② フィルター材料の選定と充填

フィルター材が具備すべき条件を掲げる。

- ・井戸内への地下水流入を妨げない。
- ・井戸層中の細粒土分や砂分を井戸内に流入させない。

フィルター材料は、 $\phi=5\text{mm}$ 以下の細粒分を洗い流した、粒径 $\phi \leq 5\sim 10\text{mm}$ の範囲の粒径のそろった、粒度曲線が立っている均等係数の小さいものがよい。

できれば、川床の砂利等の丸みが有るものを使用することが望ましい。

③ 井戸の洗浄と揚水

揚水井戸を仕上げるための最も重要な事項は、フィルター充填後の井戸内洗浄と井戸設置完了後の仕上げ洗浄（H i - W a i 洗浄）を十分に行うことである。

この作業の結果が水替排水工事の成否を左右するといっても過言ではない。

井戸内洗浄はケーシング挿入後のスワッピング作業であり、H i - W a i 洗浄は揚水設備設置後に井戸を密閉状態にして大量の水を地盤内に送水し、続いて真空吸引し揚水する。次に大型のコンプレッサーにより空気を地盤内に送気し、引き続き真空吸引し揚水する。この作業を繰り返すことで井戸の集水能力が向上する。

ロータリーボーリングやリバースサキュレーション工法のように、ベントナイト泥水を使用する削孔方法の場合、H i - W a i 洗浄（相互・リングH i - W a i 洗浄含む）を入念に行いマッドケーキを破壊除去することが必要である。

④ 揚水ポンプの設置

井戸内の洗浄後、揚水管先端にポンプを取付け、所定の深さまで順次揚水管を継ぎ足してポンプを設置する。

SWP工法で使用するセパレートスクリーンは、図 1.1.2 に示すように二重管構造となっており、地下水はスクリーン下部位置の内筒管にあけられた吸水孔から流入する。このため、揚水ポンプはスクリーン内に設置しても、周囲の地盤から細粒分や砂分を直接吸入することはない。原則的には、揚水ポンプ底は吸水孔上部 50~100cm の位置に設置する。

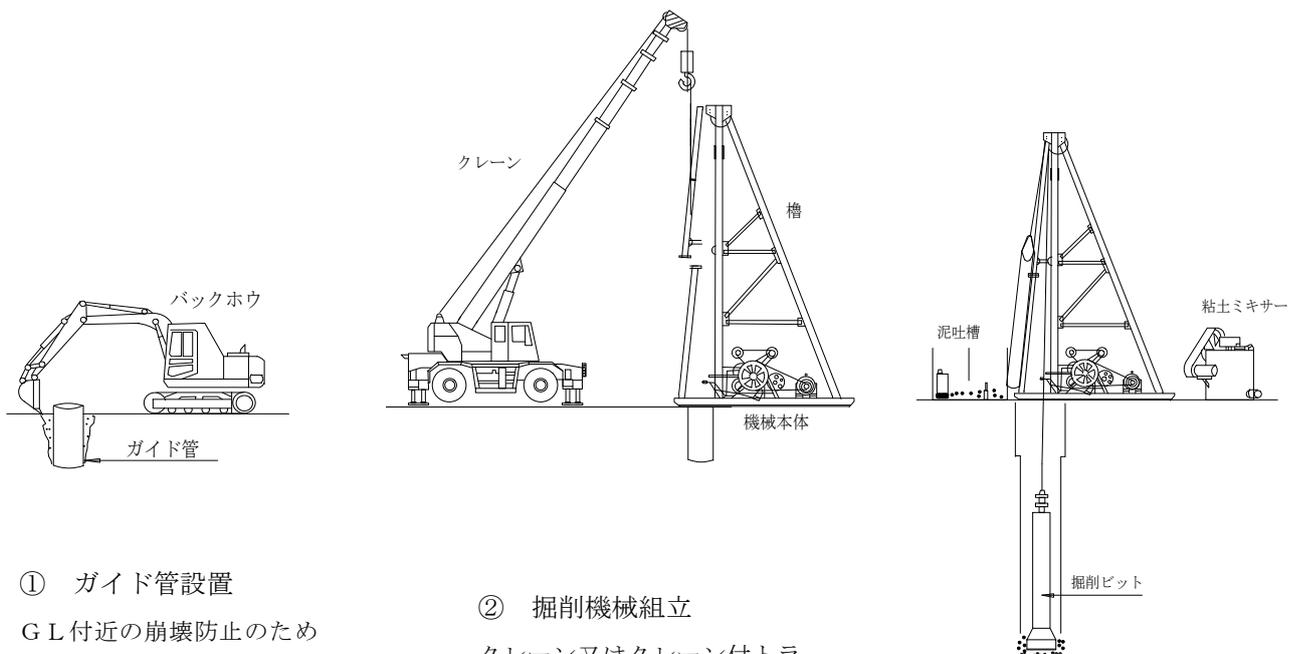
⑤ 観測井の設置、揚水量測定装置の設置

観測井は、原則として揚水井を中心に直線状に配置し、観測井の間隔は揚水井の近くでは小さく、離れるにしたがって粗くする。ただし、地下水の流動があると推定される場合や水理的な境界が不明な場合には、観測井を放射状や十字状に配置する場合もある。

揚水量の測定方法としては、直角三角堰や四角堰による手動方式、積算流量計や電磁流量計を用いた半自動、自動計測方式がある。適宜、現場条件により適切なものを選択する。

又、スポット位置の間隙水圧（ポテンシャル）の測定にはロッド式の水位観測井戸もある。（ロッド先端部の水位（水圧）測定用）

図 4.1.3、図 4.1.4 に SWP 井戸標準設置手順図を示す。



① ガイド管設置

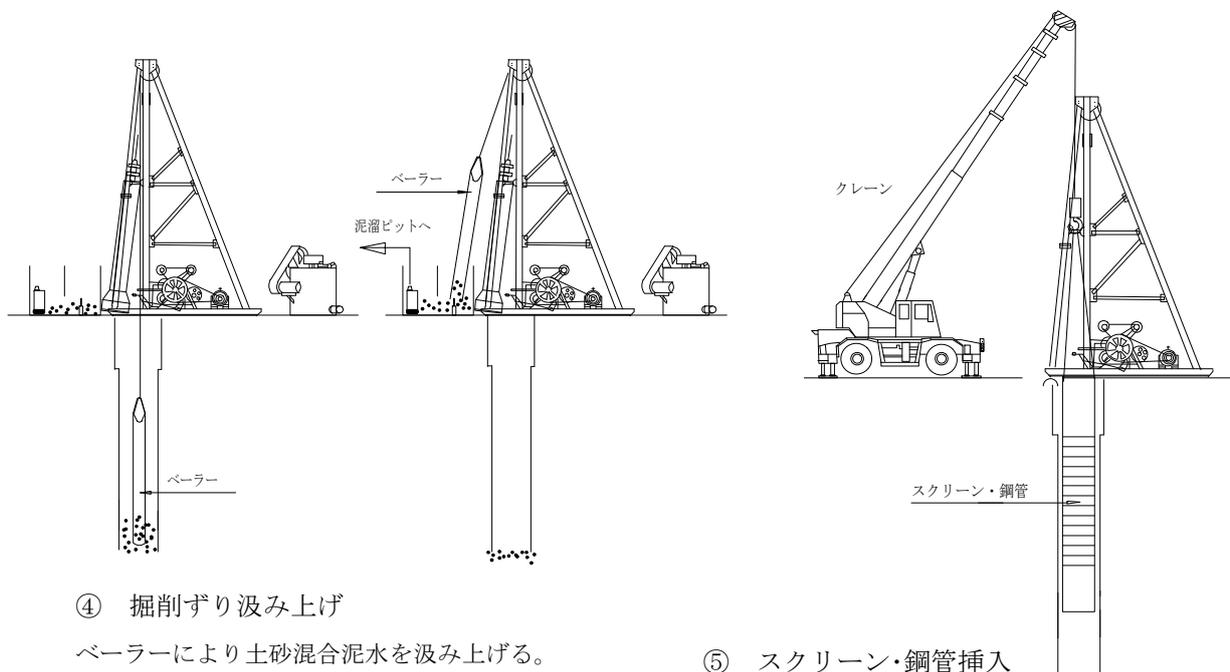
GL付近の崩壊防止のため
口元管として約 3.0m程バ
ックホウにより建て込む。

② 掘削機械組立

クレーン又はクレーン付トラ
ックにより機械の組み立てを
行う。

③ 掘削

粘土泥水を充填しながら、ビットの自
重による落下衝撃により土砂を粉碎し
て粘土泥水と混合させる。



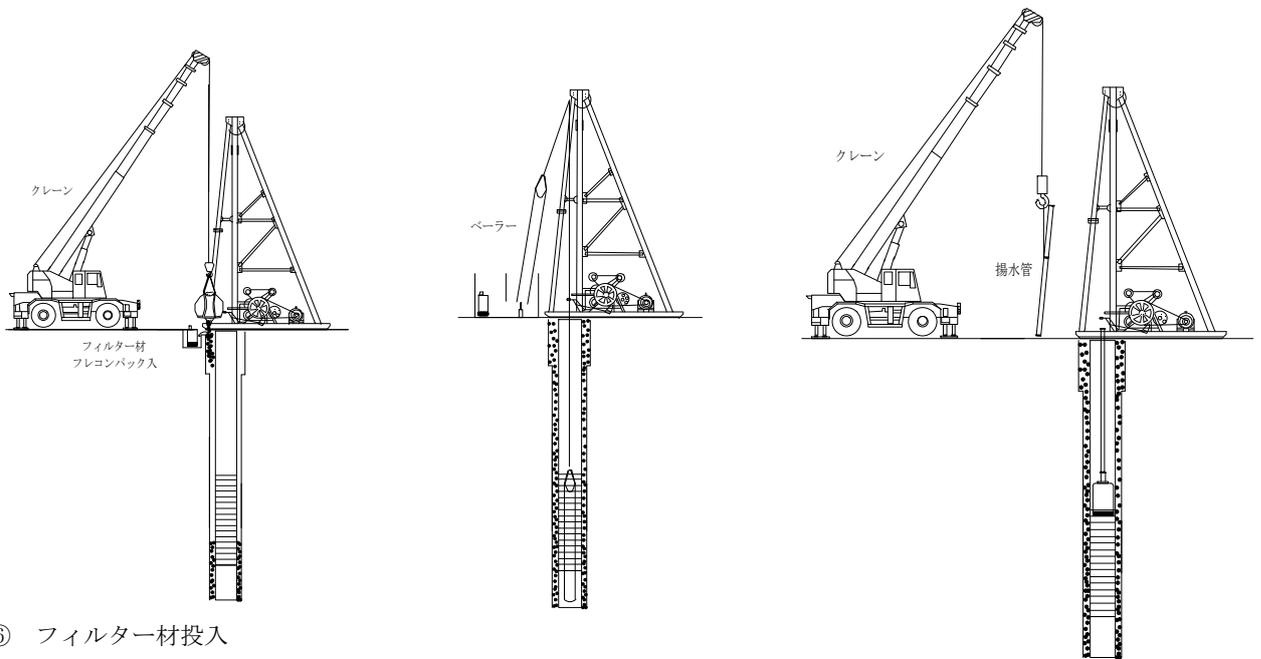
④ 掘削ずり汲み上げ

ベラーにより土砂混合泥水を汲み上げる。
この場合、粘土泥水は常に補給する。
③と④を繰り返して所定深度まで掘削する。

⑤ スクリーン・鋼管挿入

掘削深度検尺後、スクリーン・鋼管をクレーン
により1本毎に吊り込んで、順次溶接接続し孔内に
建て込む。

図 4.1.3 井戸設置手順図 (1)



⑥ フィルター材投入

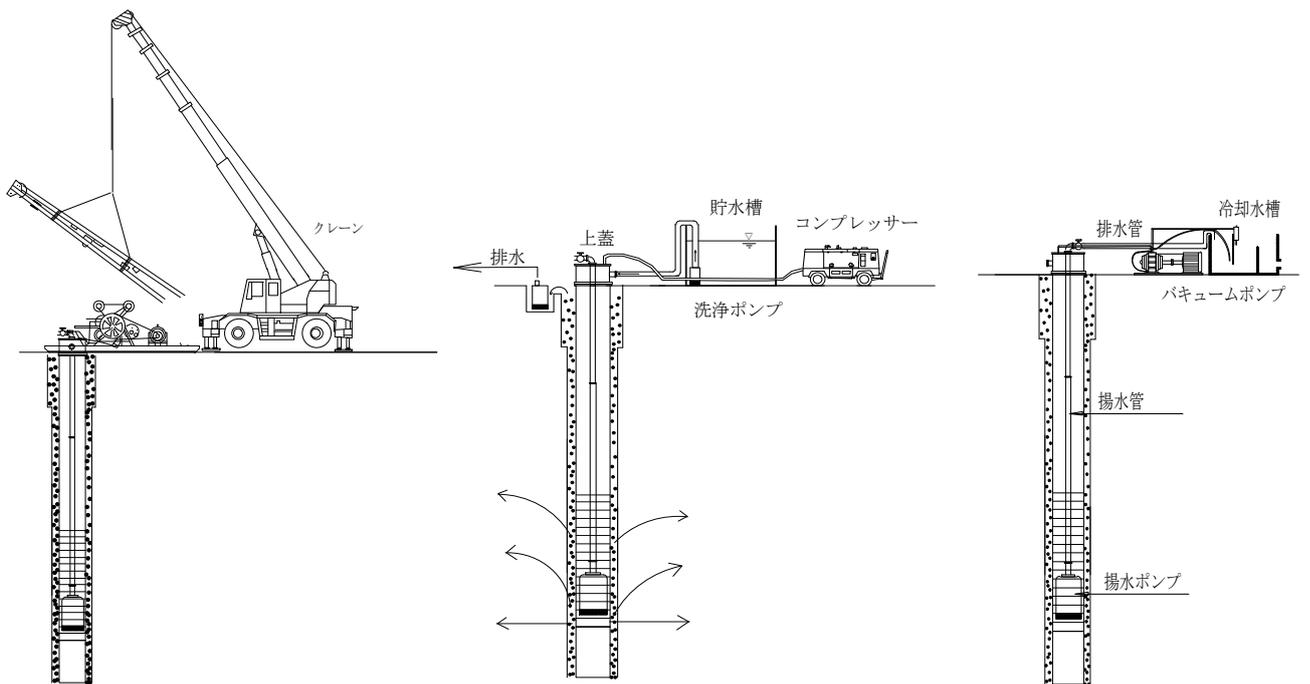
鋼管建て込み完了後直ちにフィルター材（豆砂利）を投入する。クレーン付トラックによりフレコンパック（1.0 t 入）を利用して慎重に行う。

⑦ 井戸内洗浄

ベラーにより管内の泥水を汲み上げる。

⑧ ポンプ設置

槽及びクレーンにより、揚水管及びポンプをフランジ接続により建て込む。



⑨ 掘削機械解体

クレーン付トラックにより槽, 本体を解体し、次孔移動又は搬出する。

⑩ Hi-Wai 洗浄

洗浄用ポンプにより大量の水を密閉した井戸内に送水する事と、大型コンプレッサーによる送気と、揚水ポンプによる負圧揚水する作業を十分に繰り返す。

⑪ 揚水

真空設備設置・接続後にポンプを稼働させ、初期揚水（機能確認揚水試験）後、本揚水を行う。

図 4.1.4 井戸設置手順図 (2)

4-2) 削孔方法の種類と特長

SWP工法の施工に当っては、工事の施工規模、土質条件、施工条件、経済性を考慮して削孔方法を決定する。

SWP工法のようにバキュームを利用する工法では、フィルター材の透水性がその井戸の集水能力を左右するため、完全にスライム除去が可能なパーカッション方式が経済的、効率的であり、当工法の基本掘削方式とする。

しかし、他工事(杭工事等)との関係で大型の杭打機等が現場に有る場合には、その機械を利用して行う場合もある。

地質条件で削孔が困難な場合にはロータリーボーリングマシンを使用することもある。

SWP工法の削孔に用いられる各工法の特長を以下に示す。

1) パーカッション方式(SWP工法の基本方式)

- イ) パーカッション方式は古くから、井戸の設置方法として用いられている方法でスーパーウェルポイント工法には特に有効な方法である。
- ロ) 削孔径としては、通常 $\phi=550\text{mm}$ までの径の機種が多く普及しているが、 $\phi=750\text{mm}$ までの削孔が可能な機種も有る。
- ハ) ベントナイトを使用せず、粘土にて孔内と土圧のバランスを保ち削孔するため、孔壁に泥膜が出来ないので、地下水の集水能力が維持できる。
- ニ) ロータリー方式と比べると、プラント関係等の段取り及び作業スペースがコンパクトで済む。
- ホ) 地質条件としては、粘性土、砂質土、砂礫層、玉石、軟岩等の削孔が可能である。
- ヘ) 削孔時のビット・ワイヤー等の衝撃による騒音および振動が問題になる箇所では対応策が必要となる。

2) 大口径ボーリングマシン方式(一部条件のみ採用)

- イ) ベントナイト液を利用して、孔壁を保護しつつ削孔するため、SWP設置後はマットケーキの除去に充分注意を要する。
- ロ) 各種の土質と、軟岩、中硬岩、軟岩等あらゆる地質条件に対応出来る。
- ハ) パーカッション方式に比較するとプラント段取工、作業エリア、工程が多く必要となる。
- ニ) 騒音、振動は比較的少ない。

3) オーガ方式

- イ) 現場の施工条件で、杭打及び SMW 工法等で大型の機械が現場で調達出来る場合には、附帯工事として比較的安価で工期短縮が出来る。
- ロ) オーガ掘削の場合、孔壁保護としてレスター等の時間差粘性消失材を使用して、ケーシングを建て込む。
- ハ) オーガ方式では、通常削孔径 $\phi=600\text{mm}$ 位までで、 $\phi=400\text{mm}$ のケーシング径まで可能である。
- ニ) ドーナツオーガ等ケーシングと併用した場合には $\phi=1000\text{mm}$ 程度までの大口径の設置が可能である。
- ホ) SWP 井戸数本程度では単独で施工するには高価なものとなるが、附帯工事としては経済的でその内容は現場状況に大きく左右される。

4) オールケーシング方式

- イ) 大口径の削孔に適している。

削孔径で $\phi=1000\text{mm}$ 程度に適し、ケーシング径としては $\phi=500\sim 600\text{mm}$ の挿入が出来、殆どのディープウェルポンプの設置が可能である。当工法に於けるディープウェルポンプの最大機種は 19.0kW を基準としているので、ケーシング径は $\phi=500\text{mm}$ を考えておけば十分である。

SWP 工法はバキューム排水のため、あまり井戸口径と湧水量の比例関係はなく、この規模で 1 本当たりの能力は最大限とし、その後は施工本数の増設で対応する。

5. 機械及び装備

5-1) 使用機械一覧表

SWP工法に使用する機械及び機器を表 5.1.1, 5.1.2 に示す。

(ケーシング径φ400～φ500用)

機械名称	細目	台数
削孔機械 定置式	片櫓型 B 片櫓型 C	} 選定機種 1set
掘削用ビット	400A用 500A用	1set //
掘削用ベアラー	400A用 500A用	// //
ミキサー	単槽	//
電気溶接機	300A	//
エンジンウェルダー	300A	//
ガス溶接器具		//
水中サンドポンプ	5.5kw	1台
水中ポンプ	3.7kw	//
仕上げベアラー	400A用 500A用	1set //
掘削用工具		//
分電盤		//
泥水タンク	1～10m ³	n台
発電機	60KVA	1台
トラッククレーン	5～25t	//
クレーン付トラック	2.9t吊 3.0t積	//
バックホウ	0.1～0.4m ³	//
H i - W a i 洗浄機器		1式
その他		//

表 5.1.1 削孔関係(基本掘削方法“パーカッション方式”の場合)

用 途	規格・機械名	機 種	動 力	記 事
ディープウェル 用ポンプ	φ=400A 用	LH411	11.0kw	4 インチ
	〃	LH615	15.0kw	4～6 インチ
	φ=500A 用	LH619	19.0kw	6 インチ
	〃	LH622	22.0kw	〃
ディープウェル 高揚程ポンプ	φ=300A 用	LH25.5W	5.5kw	2 インチ 2 ステージ
		LH311W	11.0kw	3 インチ 2 ステージ
	φ=400A 用	LH322W	19.0kw	〃
		LH430W	30.0kw	4 インチ 2 ステージ
バキューム装置	バキュームポンプ 冷却水槽 排気消音装置 付属品	水封式エルモ型 流量 2.0m ³ 計測用	11.0kw	SW1～3 本当り 1set バキュームポンプ 1 台当り 1 基 〃 〃
スパーウェルポント 用上蓋	φ=300A 用			気密型・洗浄口付き
	φ=400A 用			〃
	φ=500A 用			〃
ケーシング管	φ=300A 用			STK-400
	φ=400A 用			〃
	φ=500A 用			〃
セパレートスクリーン	φ=300A 用			A 型, B 型
	φ=400A 用			〃
	φ=500A 用			〃
スクリーンバンド	φ=300A 用			スクリーン延長接続用
	φ=400A 用			〃
	φ=500A 用			〃
揚水管 バルブ・エルボ その他	10K フランジタイプ			4～6 インチ
				〃
				〃

表 5.1.2 井戸関係(井戸径 φ=300～500mm 用)

5-2) 主要機械(削孔用)

パーカッション式掘削機器

基本的には、装備された櫓・ビット・ベラーおよび工具類があれば、井戸を掘さくして仕上げることができる。

櫓：一般に鋼製の組立式で、型式としては定置型の四つ櫓・片櫓がある。井戸掘削工事に使用するものでは7～10mが最も標準的な高さである。

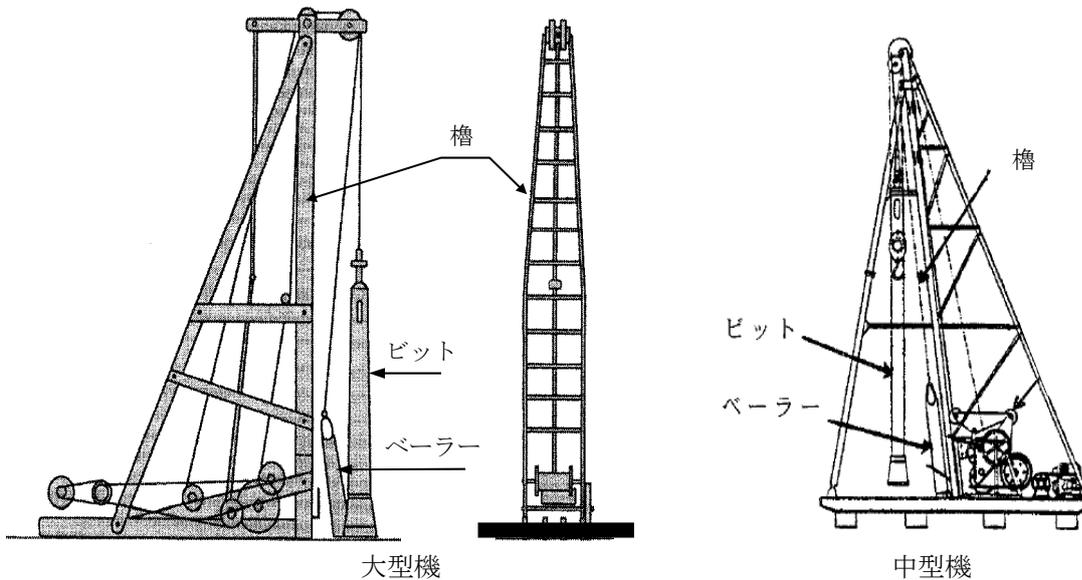


図 5.2.1 パーカッション式さく井機

掘削機械については種々の形式や機種があるが、これらを掘削能力により下記種類に大別し、各機種の出力および使用発電機を表に示す。

表 5.2.1 パーカッション式さく井諸元

機種	形式	さく井機出力		発電機容量
		ディーゼル	電動機	
パーカッションA	小型機	23PS	15kw	45KVA
パーカッションB	中型機	33PS	22kw	60KVA
パーカッションC	大型機	46PS	30kw	75KVA

ビット：衝撃力を利用する工法であるため、ビットの自重は大きく、0.5t以上3.0t程度までの各種ビットがあり、地質や口径に合わせて選択される。刃先の形状は、一文字形・十文字形など種々工夫されているが、平野部の堆積層ではお椀を伏せたような椀ビットがもっとも一般的である。

堅硬な地盤には跳ね返される椀ビットも、軟弱な地盤には適度な喰い込みと離脱時の吸い上げ効果が地盤の破砕・突き崩しに有効で、平野部ではこれ以外のビットが使用されることはない。

ベラー：鋼管を加工した掘り屑の排除用具で、掘進中はビットと交互に使用される。
下端につけられた弁（平板弁・ゲート弁・ボール弁等）は巻き上げの時に閉じる構造となっている。

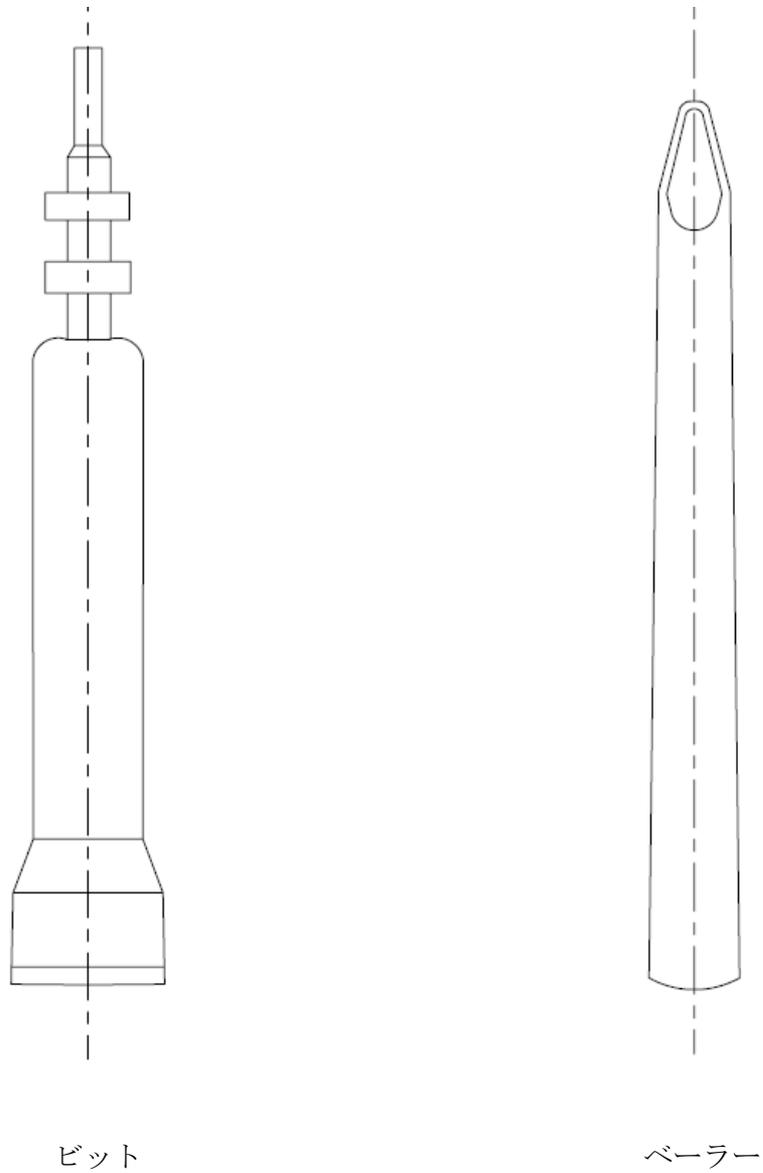


図 5.2.2 ビットとベラー

標準機械配置図

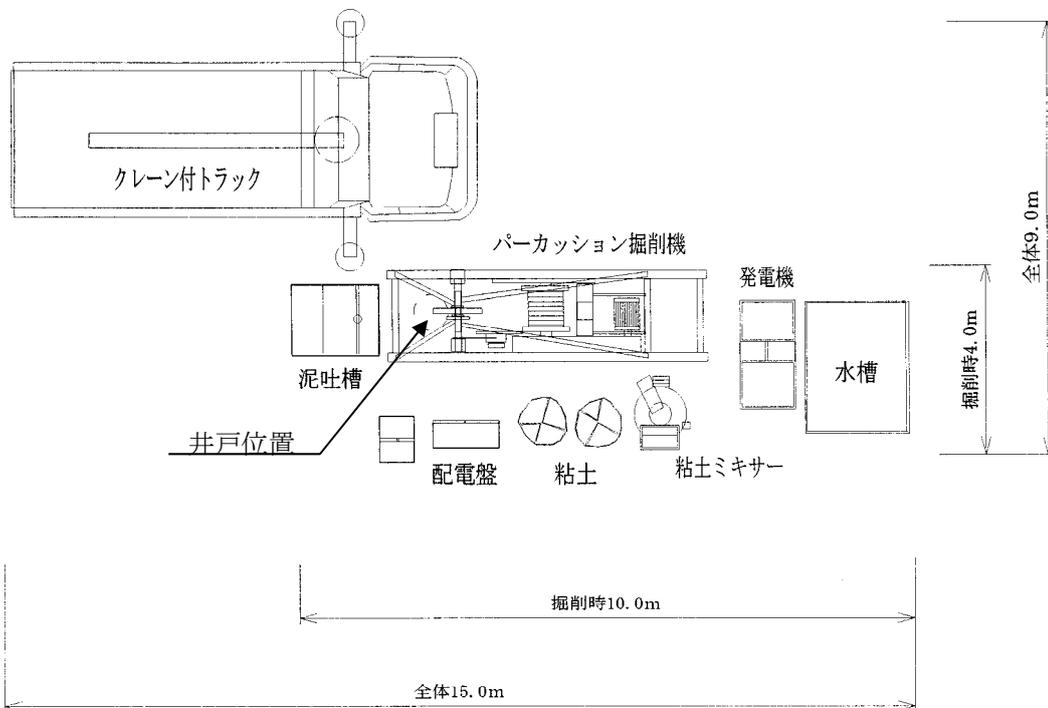
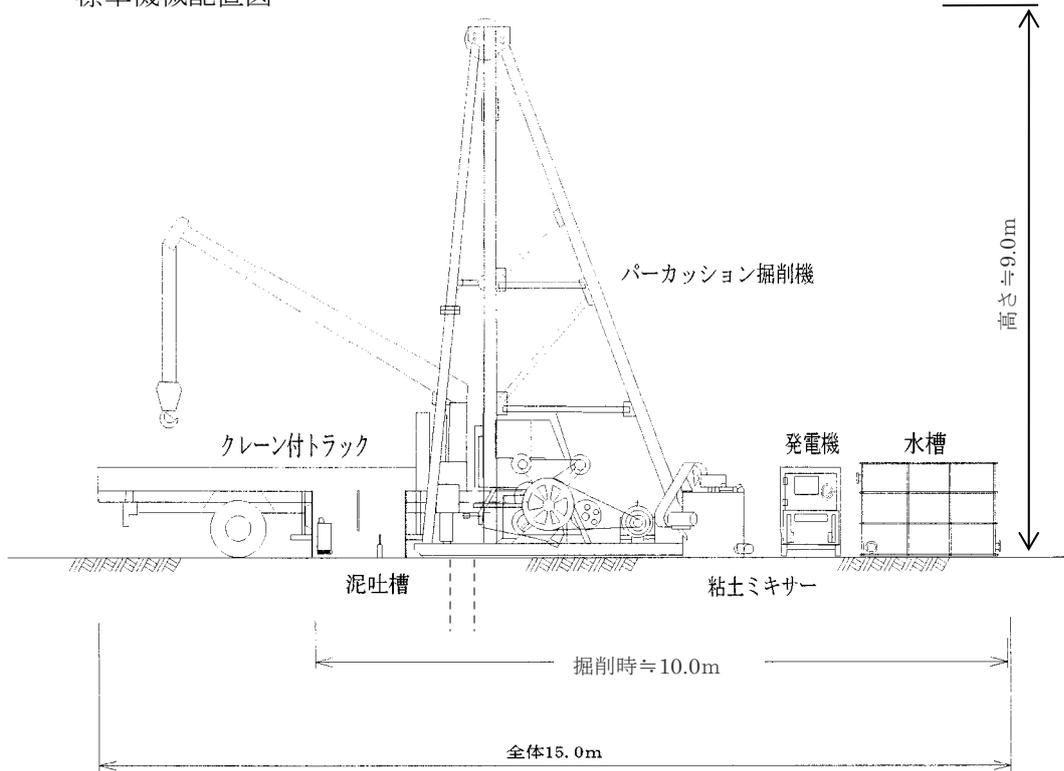
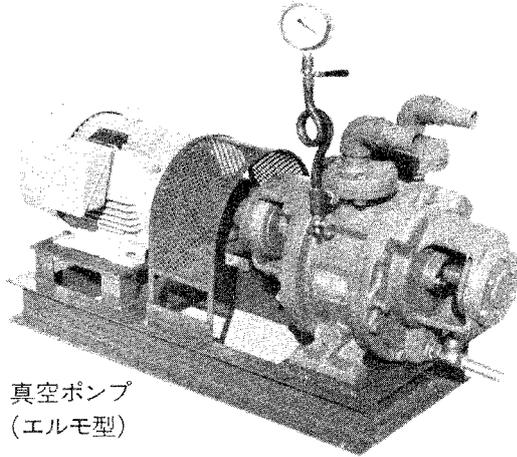


図 5.2.3 標準機械配置図（掘削機械：中型機）

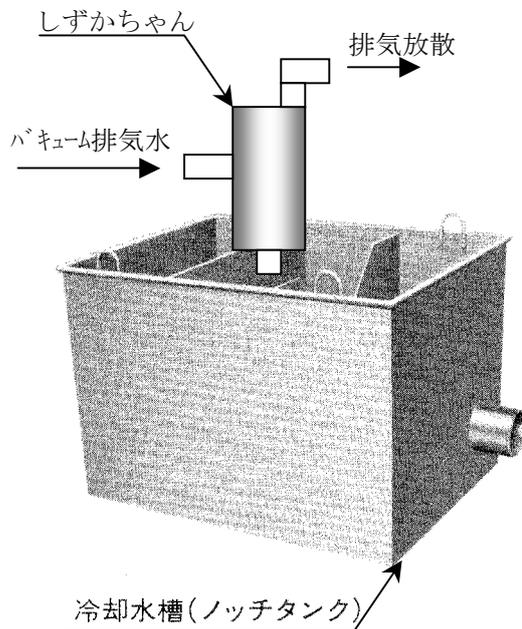
5-3 主要機械(揚水用)

5-3-1) バキューム装置



型式	エルモ型(水封式真空ポンプ)
大きさ	全長 1,110mm 全巾 450mm 全高 500mm
ベース	全長 1,100mm
全重量	300kg(11.0kw モータを含む)
真空度	740mmHg
排気量	3.3m ³ /分
動力	11.0kw(50/60Hz 共用タイプ)
回転数	1,450RPM(50Hz) 1,750RPM(60Hz)
伝動方式	直結型

図 5.3.1 バキュームポンプ



- ・バキュームポンプ排気消音装置
(しずかちゃん)

φ 100~150mm×H500mm

- ・冷却水槽 (ノッチタンク)
バキュームポンプ冷却水取水用
兼揚水量測定用
容量≒1.0m³
寸法 : H770mm×W920mm×L1220mm

図 5.3.2 バキュームポンプ付随品

5-3-2) 揚水用ポンプ

LH シリーズ ディープウェル用 水中ポンプ

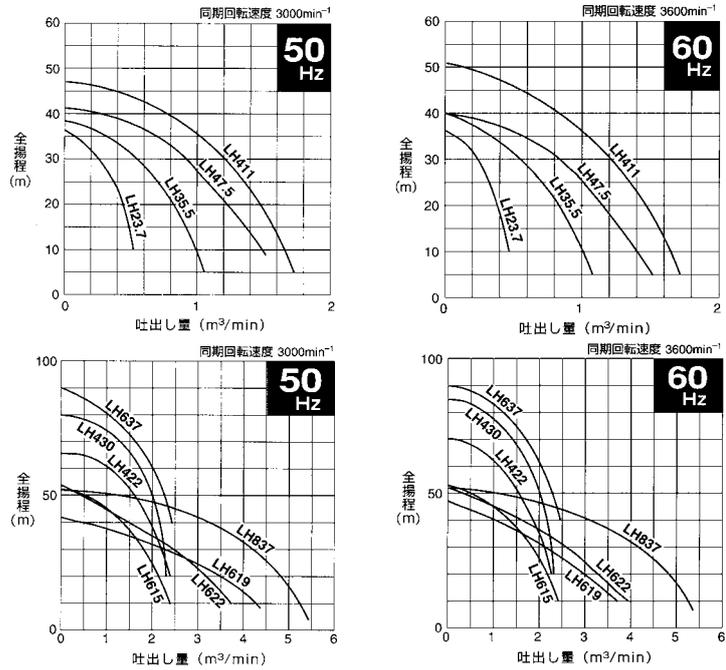
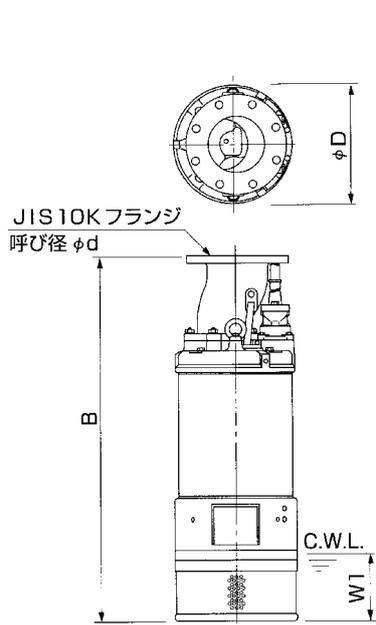


図 5.3.3 LH 性能曲線図

■ 50/60Hz共通標準仕様

吐出し口径 mm	型 式	出力 kW	相・電圧 (三相)V	全揚程 m		吐出量 m³/min		始動方式	質量 (重量) kg	異 物 通過径 mm	キャブタイヤケーブル			
											材 質	心数×断面積 mm²	仕上外径 mm	長さ m
50	LH23.7	3.7	200	30	30	0.2		じか入	87	8.5	2PNCT・F	4×2	14.4	15
80	LH35.5	5.5	200	35	30	0.3	0.5	じか入	89	8.5	2PNCT・F	4×3.5	16.8	15
100	LH47.5	7.5	200	35	30	50Hz 0.6 : 0.9 60Hz 0.6 : 0.8		じか入	130	8.5	2PNCT・F	4×5.5	19.8	15
100	LH411	11	200	35	30	1.0	1.2	じか入	137	8.5	2PNCT・F	4×8	21.7	15
100	LH422	22	200	60	35	1.0	2.0	じか入	350	6	2PNCT・F	4×22	31.6	10
100	LH430	30	200	50Hz 70 : 50 60Hz 75 : 50		1.0	2.0	スターデルタ	355	6	2PNCT・F	9 { 6×22 1×14 2×2	38.8	10
150	LH615	15	200	35	25	1.5	2.0	じか入	213	8.5	2PNCT・F	4×14	25.6	10
150	LH619	19	200	30		2.0		じか入	350	12	2PNCT・F	4×22	31.6	10

寸法表

単位: mm

型 式	φd	B	B1	φD	W1
LH23.7	50	791	—	254	150
LH35.5	80	791	—	254	150
LH47.5	100	901	—	300	160
LH411	100	901	—	300	160
LH422	100	1352	—	420	250
LH430	100	1352	—	420	250
LH615	150	1014	—	330	185
LH619	150	1423	—	420	270

表 5.3.1 LH 仕様表・寸法表

LH-W タイプ (2 ステージシリーズ 高揚程水中ポンプ)

形 式	口径	全揚程	吐出量	最高揚程	モータ出力	最大径	高さ	重量
	mm	m	m ³ /min	m	kw	mm	mm	kg
LH25.5W	50	45	0.3	60	5.5	244	750	80
LH311W	80	65	0.5	80	11	270	1024	130
LH322W	80	100	0.6	120	22	330	1235	304
LH430W	100	105	1.0	125	30	365	1375	324

表 5.3.2 LH-W 仕様表

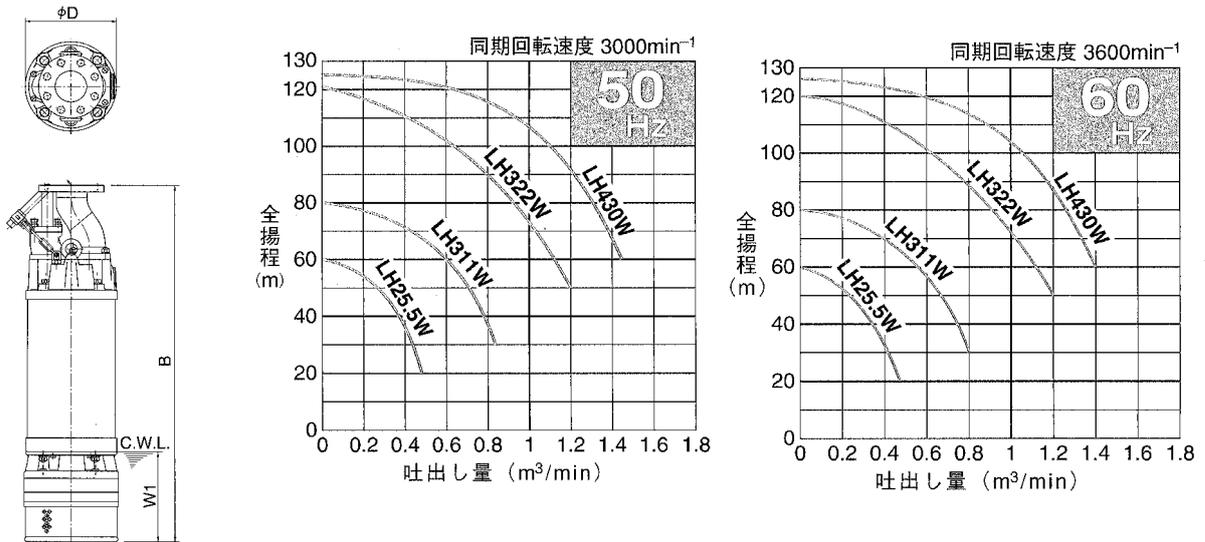
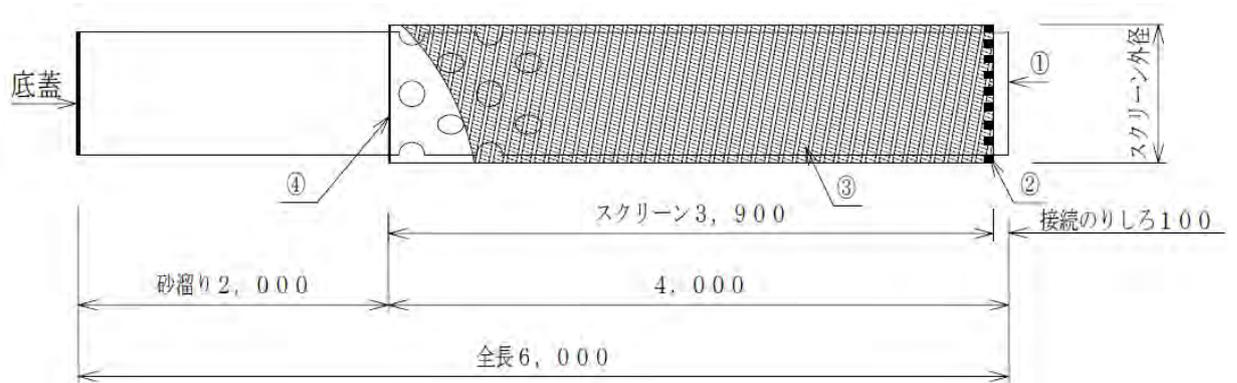


図 5.3.4 LH-W 性能曲線図

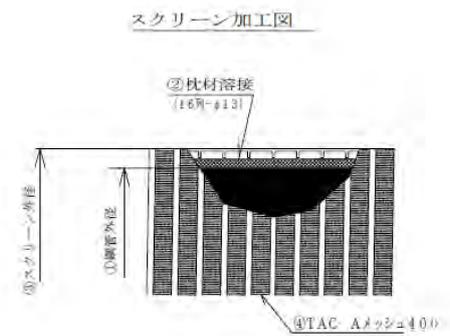
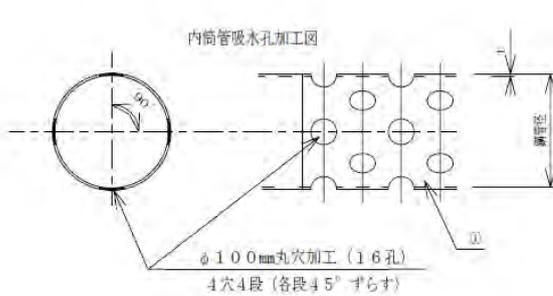
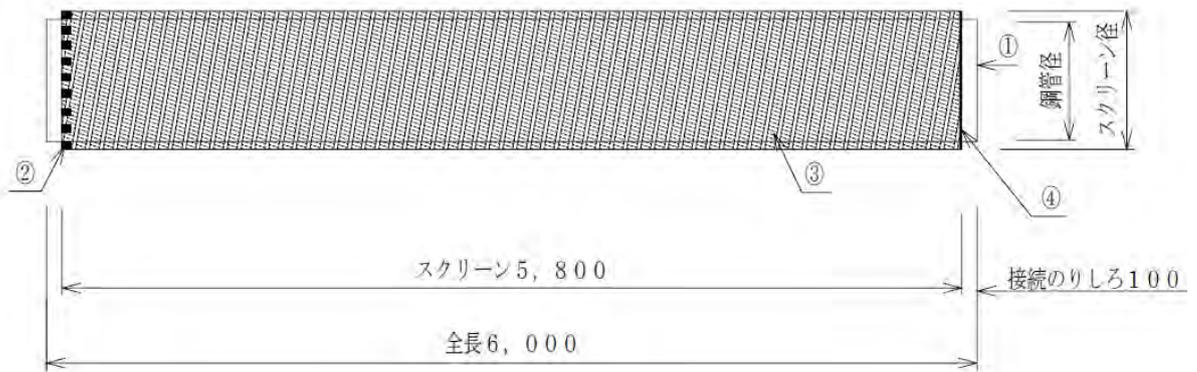
注意) SWP工法では、採用する水中ポンプ(サンドポンプ)は、バキュームによる負圧効果のため、公称能力の70～80%の範囲で選定する必要がある。

5-3-3) セパレートスクリーン

A型スクリーン①【ポリエチレンタイプ】



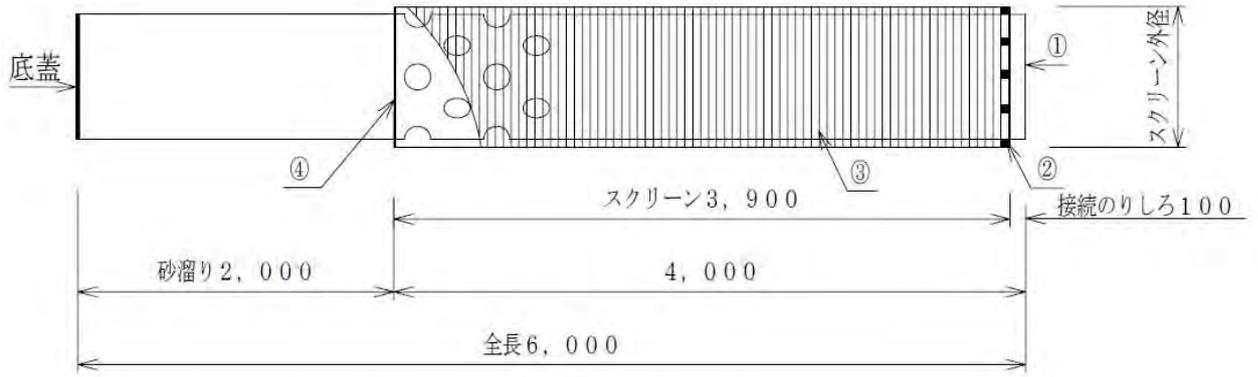
補助スクリーン



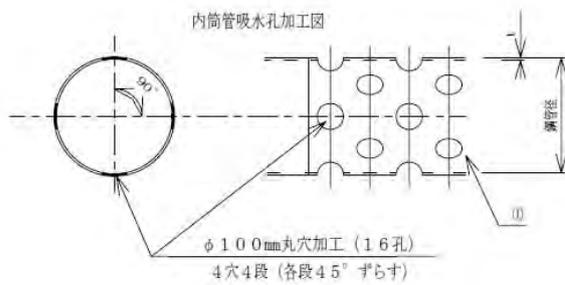
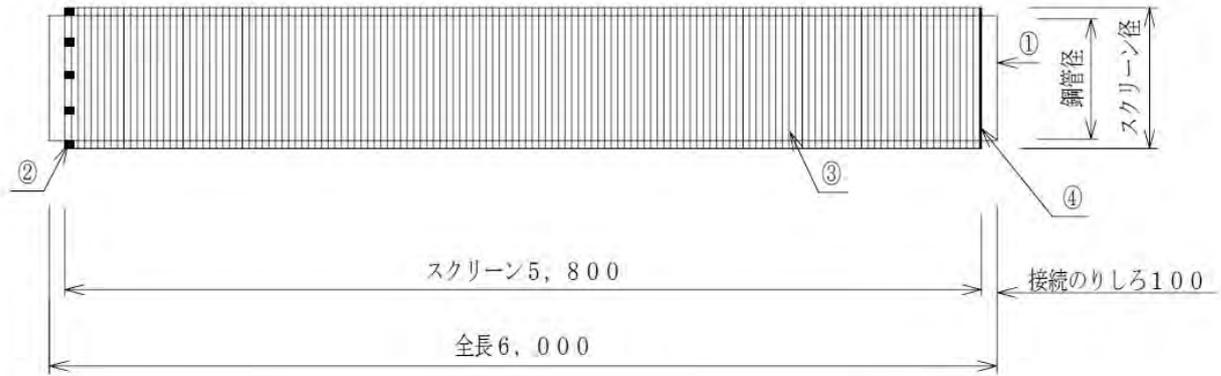
品番	名 称
1	鋼 管
2	枕 材
3	Aメッシュ
4	リング

図 5.3.5 A型スクリーン【ポリエチレンタイプ】

A型スクリーン②【巻線タイプ】

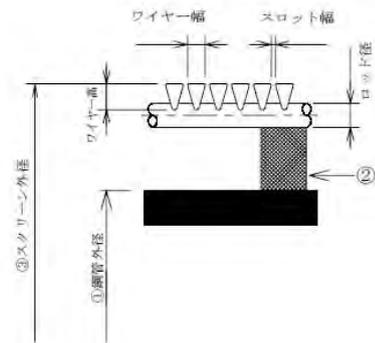


補助スクリーン



φ100mm丸穴加工(16孔)
4穴4段(各段45°ずらす)

スクリーン加工図



品番	名称
1	鋼管
2	スペーサー
3	亜鉛メッキV線
4	リング

図 5.3.6 A型スクリーン【巻線タイプ】

6. 適用事例

地下水低下工法としての利用

- a) SWP工法は、排水工法および粘性土地盤での排水工法として使用される事例が多い。通常のディープウェルやウェルポイントを用いて、地下水位低下を目的とする事例には、SWP工法を適用することが可能である。
- b) 例えば、掘削工事におけるドライ施工や盤ぶくれ対策として使用することで、
- ・多段設置のウェルポイントを必要としない。
 - ・1本当たりの集水能力が大きく井戸本数をディープウェル工法より少なく出来る。

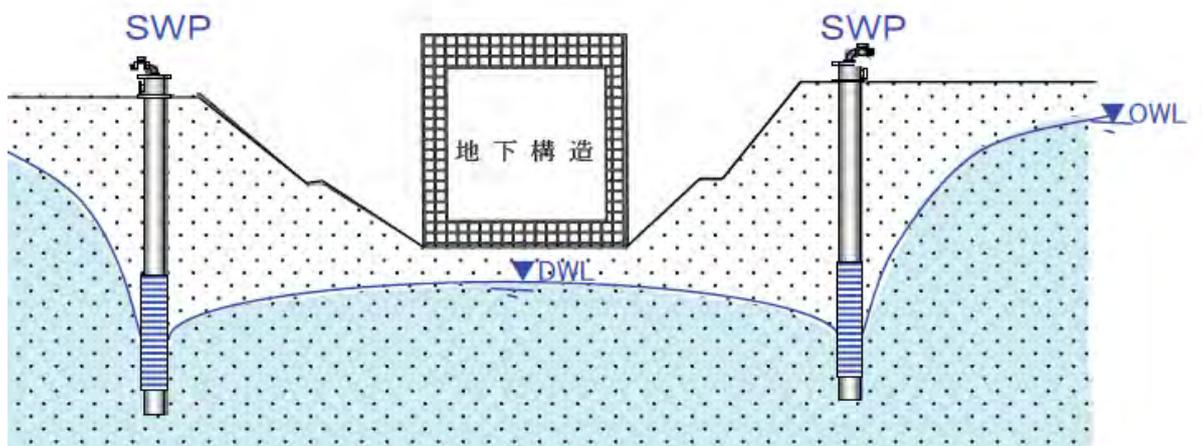


図 6.1 法切オープンカット

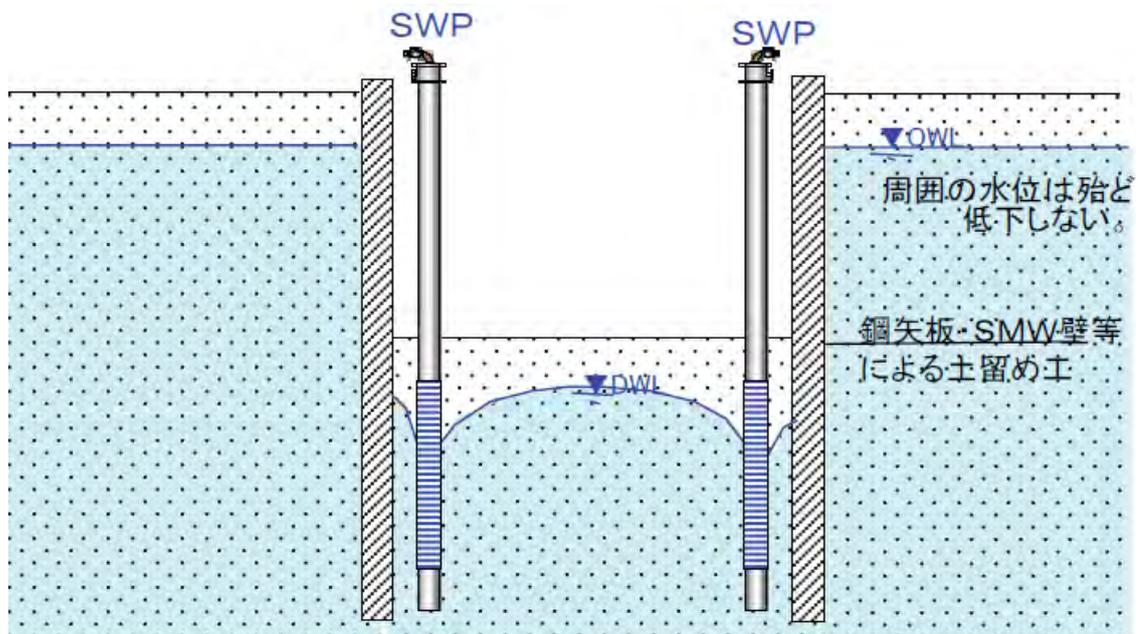


図 6.2 山留め壁を用いたオープンカット

c) 又、下水道管等布設工事のような延長方向に長い施工においては、**図 6.3** の様に SWP を長距離間隔に設置することでドライワークが可能となる。湧水量と必要な地下水位低下量の検討が必要であるが、設置井戸の間隔は経験的に 30~80m 程度と考えられる。しかし、一般に地下水低下の確実性から 50m 程度を限度として設計することが望ましい。

他、SWP-Jr との組合せではロングピッチの設置も可能です。

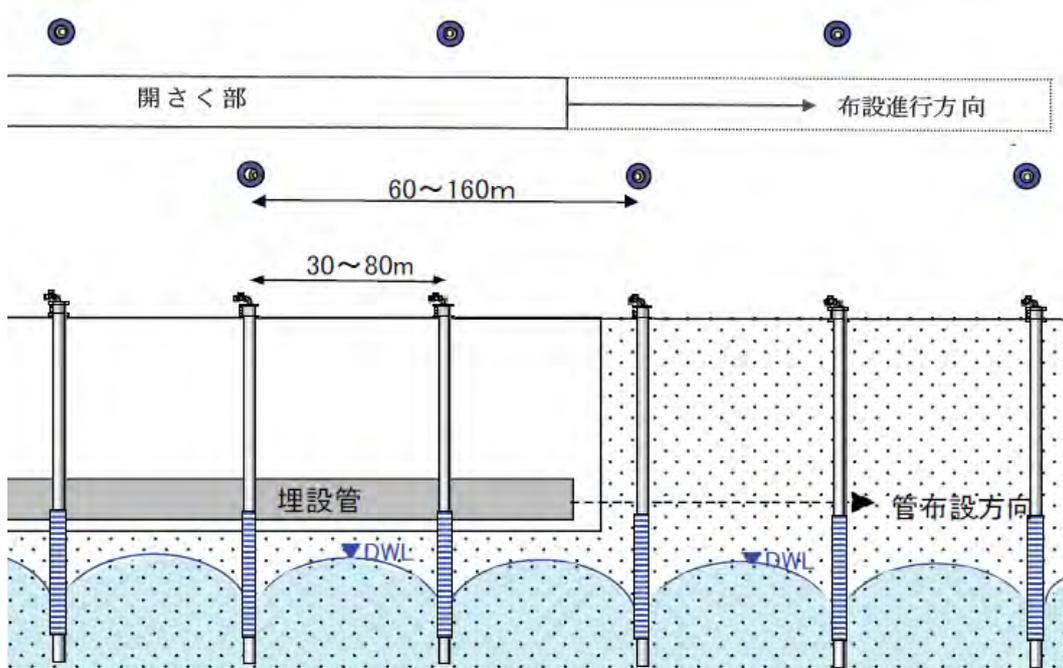


図 6.3 長距離間隔での井戸設置

d) 橋脚基礎工事のドライワーク施工

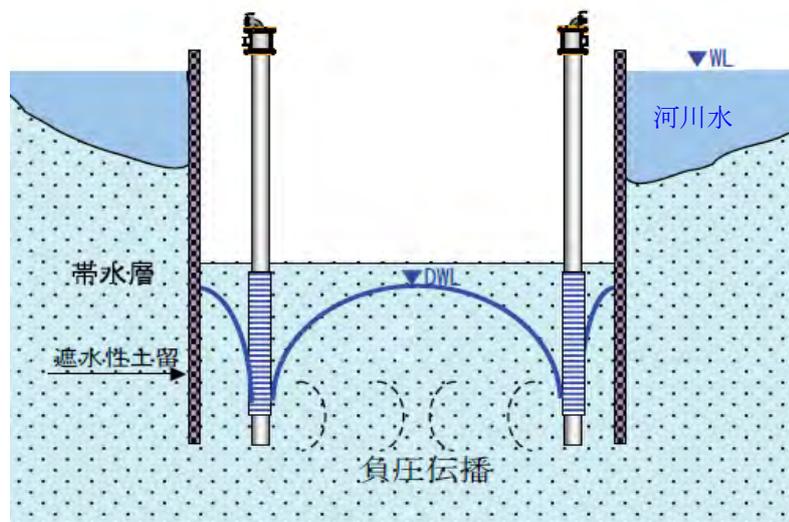


図 6.4 河川内橋脚での井戸設置

e) Qin-newma 工法 (大深度吸引式ニューマチックケーソン工法)

・工法の概要

SWP工法により、大深度(地下300mまで)の範囲に於いて、飽和地盤に負圧伝播する事により地下水の集水能力の向上や、動水勾配が直線的になる事、限定された範囲内の減圧効果が有る事が判明した。

近年大都市において大深度開発が進んでおり、地下構造物の計画、需要が多く計画されている。ニューマチックケーソンも大深度化が進み、高压気ケーソン(ヘリウムガス使用)、又無人化ケーソン等の開発が進み実用化されつつ有る。

しかし、高压気作業は劣悪な作業環境と、外部に与える影響が大きい。又、メンテナンスの時には、どうしても人間が中に入らざるをえない事などが、問題となっている。

Qin-newma 工法の特長は、ケーソン切羽部にSWPを用いる事で限定された範囲内に負圧を伝播させる事(スポット減圧)により、低压気でケーソンを沈める事の出来る大深度吸引式工法である。

・工法の内容

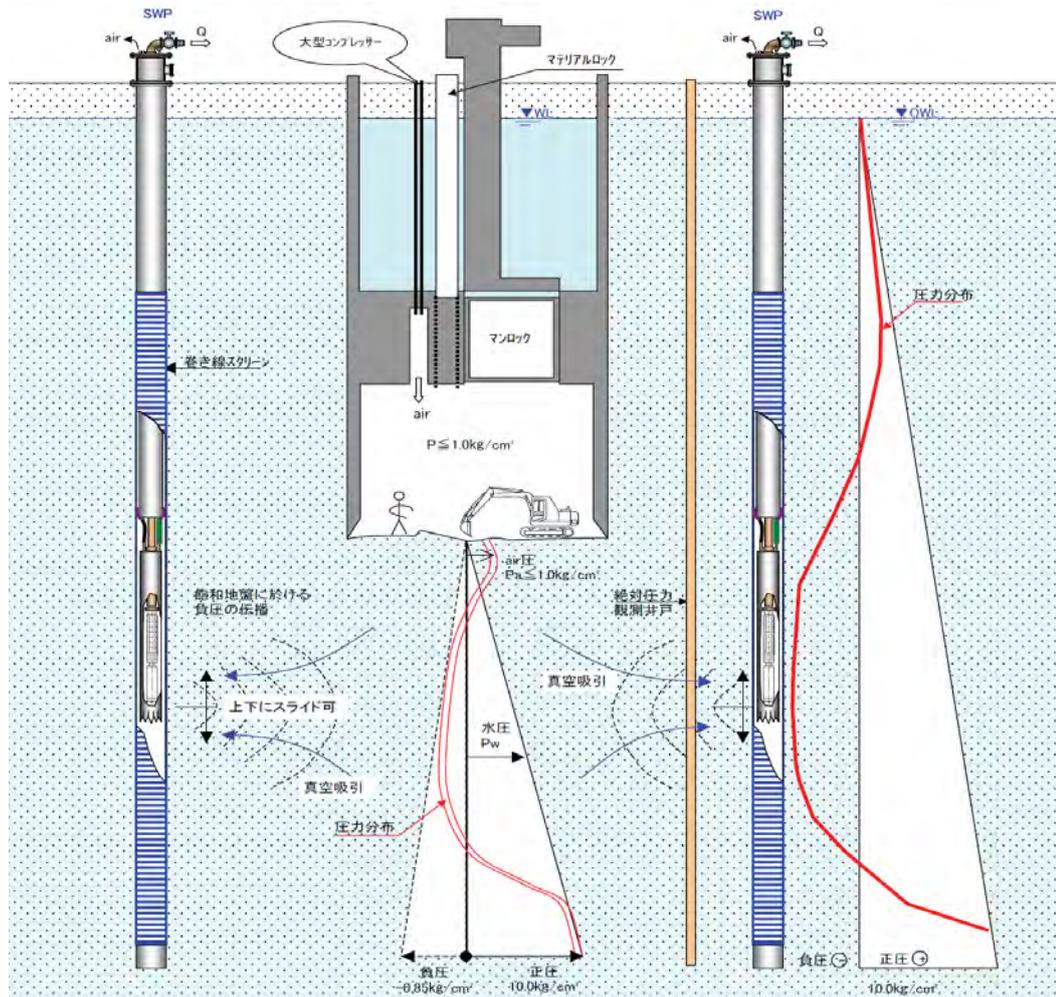


図 6.5 Qin-newma 概要図

f) 海岸での施工例 (某 防潮水門工事)

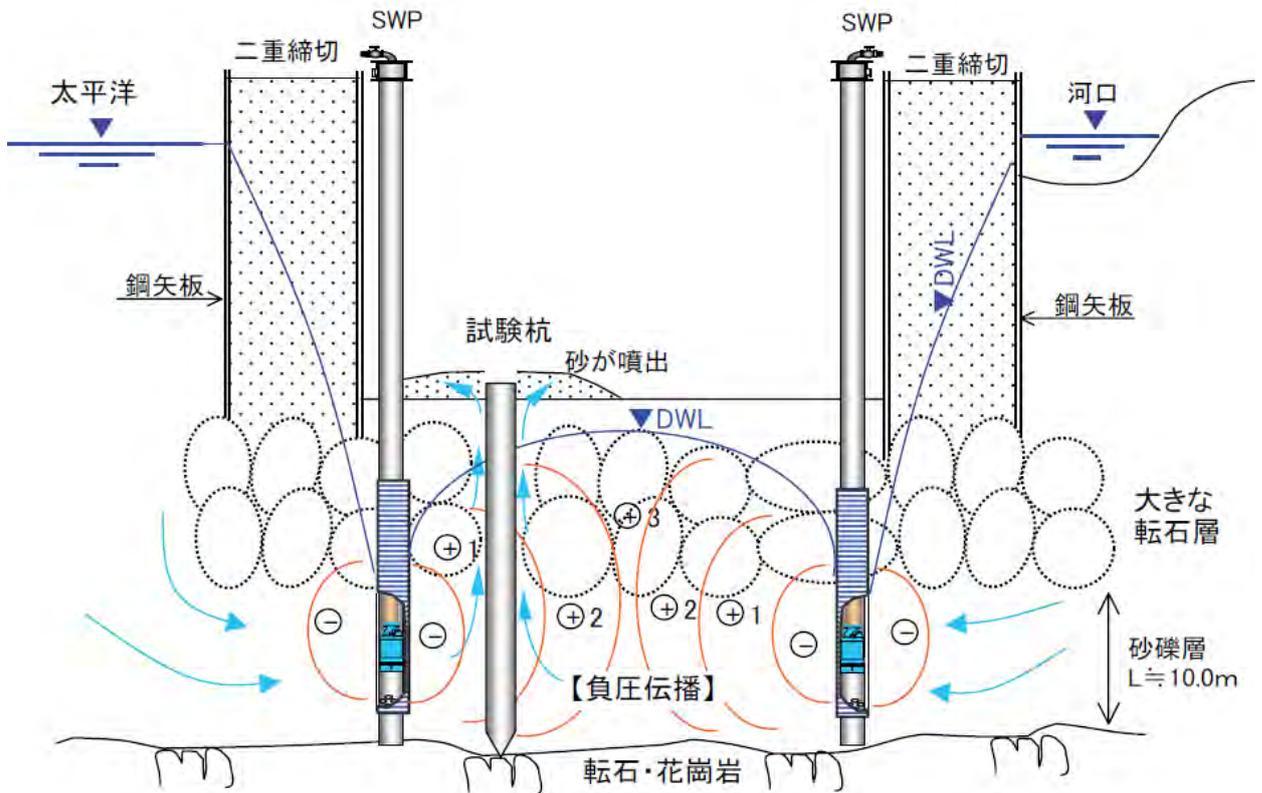


図 6.7 設置概要図

1. 問題点

試験杭を施工した所大きな転石の下が砂礫層で湧水圧により砂が噴出し、ボイリングが発生。

2. 検討

①止水壁を着岩まで → 転石 ϕ 2.0m以上と大きい → NG。

②ジェットグラウト → 砂礫層の礫径大きい → NG。

③地下水位低下工法

→重力排水(DW 工法), WP 工法では太平洋と熊野川による水の供給のため、動水勾配エリアが少なく水位低下出来ない → NG。

④SWP の実績は新潟沈埋トンネルの実績しかないが、日本海の近くでスポット減圧出来た例があり、検討の結果⇒挑戦する。

※後にこの事が負圧伝播である事が九州大学グループにより解明される。

3. 計画

井戸本数を順次増設してその都度揚水試験により真空排水によるマクロ的透水係数 (k') を求め、最終本数を決定した。

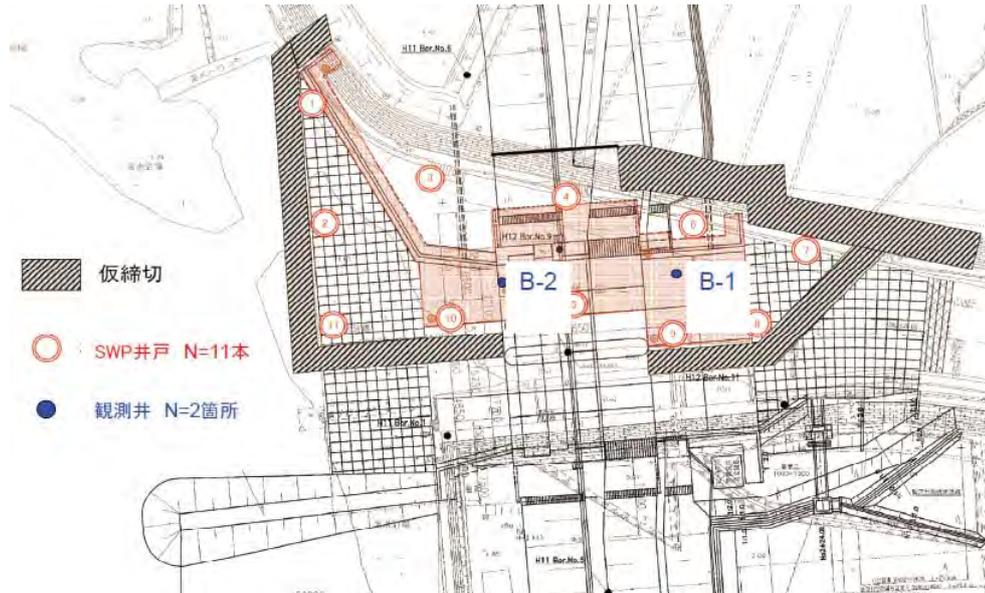


図 6.8 設置図



SWP揚水状況



四角ゼキでの排水状況
 注) 井戸 1 本当り排水量 $4.0\text{m}^3/\text{min}$ 以上



写真-3 設置状況

f) 深礎（ライナープレート）の掘削補助工法としての採用例

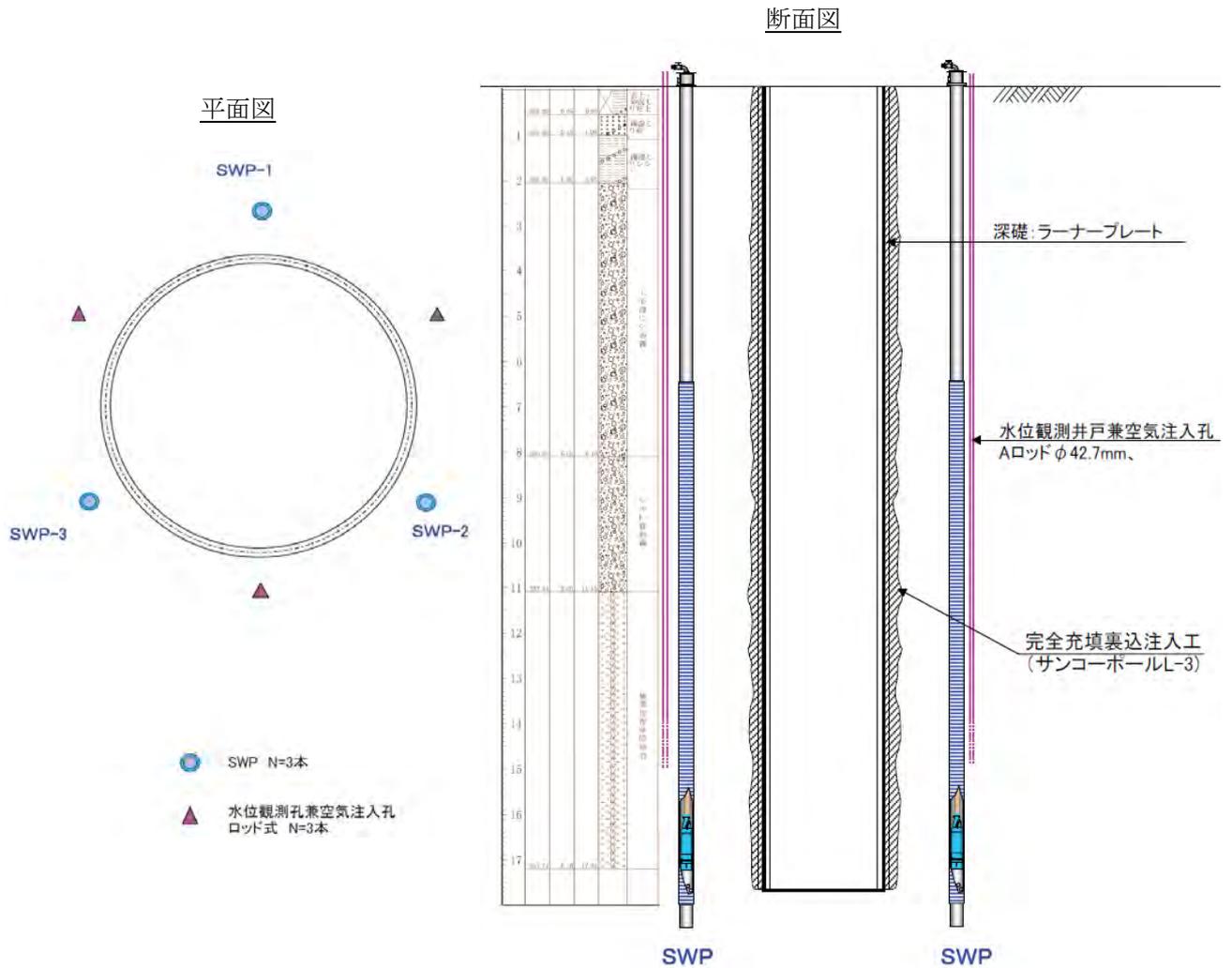


図 6.9 設置概要図

深礎掘削は背面土砂の自立が条件で有ることから、地下水の水圧及び湧水による背面土砂の崩壊防止が必要であり、事前に水位を低下させ地盤の安定を図ることを目的としてSWPを設置。

ライナー背面の裏込め注入（モルタル）では空隙の充填が不十分で、ライナープレートが土圧に対して有効に働いていない場合が多いため、裏込め注入材をゲルタイムのある瞬結型注入剤（土質安定注入剤：サンコーポールL-3）に変えて行い土砂との密着を図る他、宙水を掘削背面に流下させないように空気注入パイプ（Qin-TAKO）の設置等を行い、SWPの真空吸引と空気注入孔による限定圧気で、ライナープレート内に流入する流量を減少させる事。

また、空気トラップをする事で不飽和地盤に変え、止水効果を高めた複合法とした。

7. 真空プレス型リチャージウェル工法（VPRW工法）

7-1) 概要

SWP工法では真空揚水を行うことにより、空気中の酸素と溶解性鉄分の多い地下水とを接触させずに揚水することが出来るため、赤錆（鉄分の酸化）の発生を防ぐ事が出来る。

揚水からリチャージまで地下水と空気が接触する事がないため、スクリーン及び地盤の目詰りを防止することが出来る工法である。

VPRW工法は、上記のSWPでの特徴を生かし、SWP工法と同じスクリーンをリチャージ井戸に使用し、密閉式の配管の途中に中間ポンプを設置し圧送することで、井戸の最先端部より注水する事が出来、二重管のストレーナー注水が可能となった。

通常のリチャージウェルでは静水圧により表層部分しか復水できない事が多いが、本工法では深い位置からリチャージ水を送り込むことにより、均質なストレーナー注水が可能なるものである。

また、地層の中間部に粘性土が介在している場合には、この部分にセメント系の薬液注入等によって、ケーシングと粘性土地盤をコンソリデーション化して、中間粘性土層上部の土重量（w）をプレス圧に対する押え荷重として利用し、中間ポンプによる加圧注水を有効的に行うことが可能となった。

この工法の特徴としては、リチャージ井戸のケーシング内に残存するエアアの除去がリチャージ量を左右するため、特殊な装置にてエアアを抜きながら加圧注水することが重要なポイントとなる。

井戸タイプとしては水平タイプと垂直タイプが有り、それぞれ施工条件、土質条件により使い分けを行う。

1) 垂直タイプ

- ・土質条件

深い所（GL-10.0m以上）に砂層・砂礫層等の透水層がある場合。

中間粘性土層がある場合には上部層の重量を押え荷重として利用できるため特に有利となる。

- ・施工条件

工事区域と掘削域との間に設置するスペースが狭い場合に有効。

2) 水平タイプ

- ・土質条件

浅い所（GL-10.0m以内）に透水層がある場合、水平タイプは広範囲に低圧にて復水できるため有効。

揚水に伴う周囲の地下水低下防止に有効。

- ・施工条件

掘削区域外に復水範囲として、概ね50m以上の長いスペースが確保できる事。

7.2 VPRW工法の構造

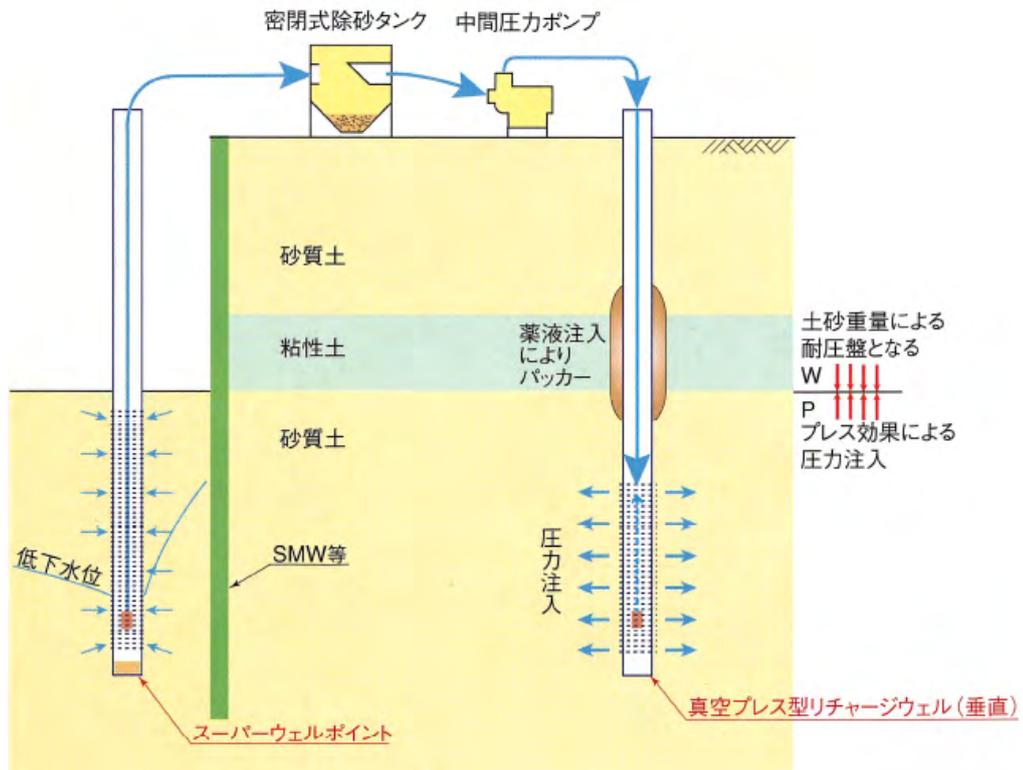


図 7-2-1 垂直タイプ

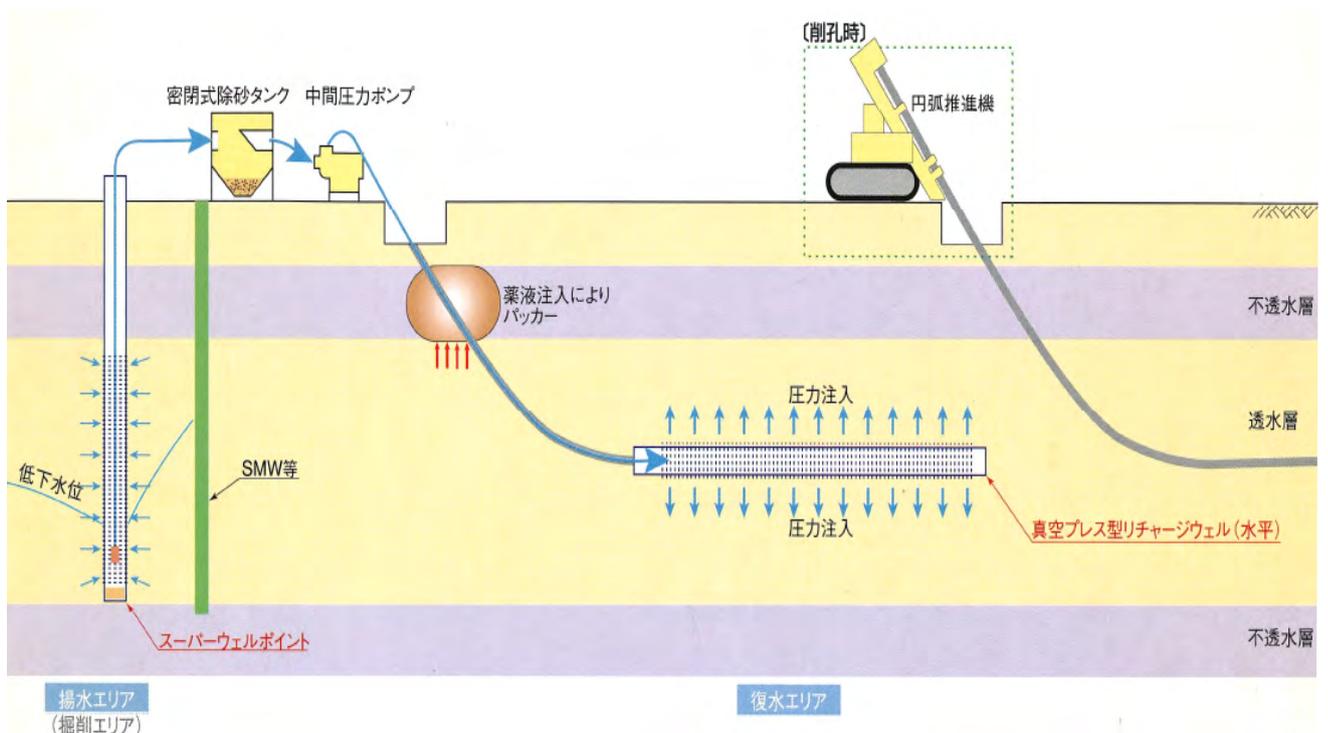


図 7-2-2 水平タイプ

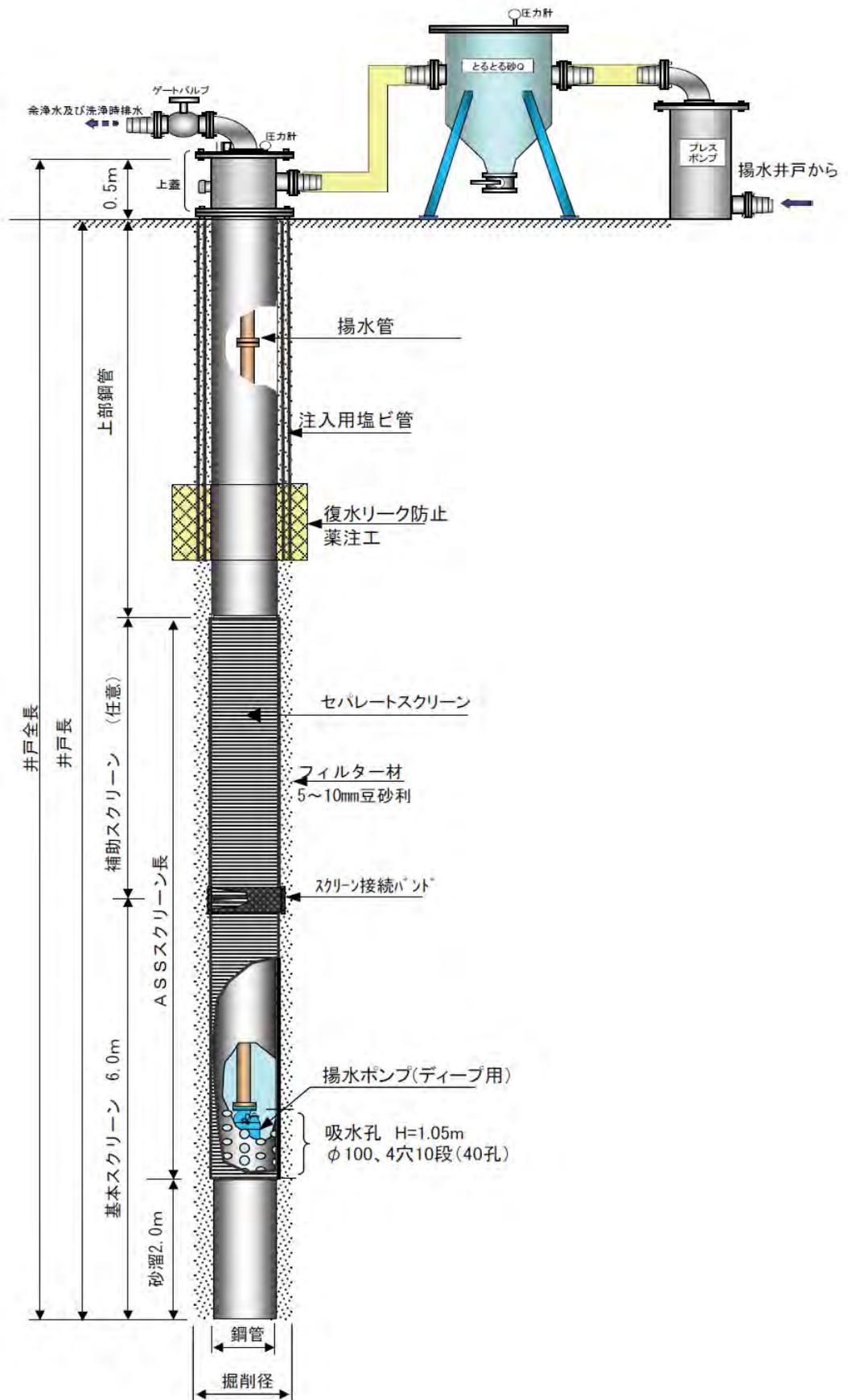


図 7-2-3 VPRW 垂直タイプ基本構造図

7.3 VPRWの特徴

VPRWの設置方法はSWP工法と同様であるが機材に特徴があり、その内容を下記に記す。

1) セパレートスクリーン

基本的にはSWPと同じであるが、内管の通水孔配置長さを1.0mとしている。

2) 中間プレスポンプ

プレス圧力は管理圧力として最大 $P \approx 3.0 \sim 5.0 \text{kg/cm}^2$ 以内とする。

プレスポンプの機種選定は、井戸のリチャージ量及び目安最大圧力より高く加圧できる機種を選定し、大気に触れないよう配管経路内に密閉式で設置。

機種は復水量に見合う能力機種とし、ディープ用ポンプの特殊加工品または横型サンドポンプを使用する。

3) 配管

リチャージに使用する配管材は、加圧を伴う事を考慮して鋼管（スパイラル鋼管等）を基本とし、屈曲部・ジョイント部はサクションホース等とする。

4) エアー抜き装置

リチャージ井戸内の上部に溜まる空気を除去するために使用するもので、SWP側へ吸引させる装置。

5) 薬液注入によるパッカー

注入改良ゾーンが小さく、高強度に改良できるセメント系の2液瞬結タイプ（ゲルタイム $t \approx 3$ 秒）を使用する。

注入は圧力管理で行う事が望ましく、土質の相違はあるが $P \approx 5 \sim 15 \text{kg/cm}^2$ を目標に注入を行う。

6) リチャージ用井戸ポンプ

リチャージ量の減少、リチャージ圧力の上昇等、目詰りに起因する現象が生じた場合、井戸のメンテナンスとしてHi-Wai洗浄を行うため、予め11kwのDW用ポンプを設置しておく。

この洗浄を行う場合は、洗浄用のポンプ、貯水槽等の設備を必要とし、洗浄時の濁水は処理が必要となる。

7) 削孔機械

垂直タイプはSWPと同様にパーカッション方式とするが、水平タイプはフローモールやアスタックルモール等の機械を使用する。

8) 除砂装置（とるとる砂Q）

SWP工法で揚水した地下水には多少の細粒分を含んでいる。この細粒分によりリチャージ井戸が目詰まりを起こすことから、井戸のリチャージ効率維持のため、リチャージ配管経路の途中に密閉式の除砂装置（とるとる砂Q）を組み込む。

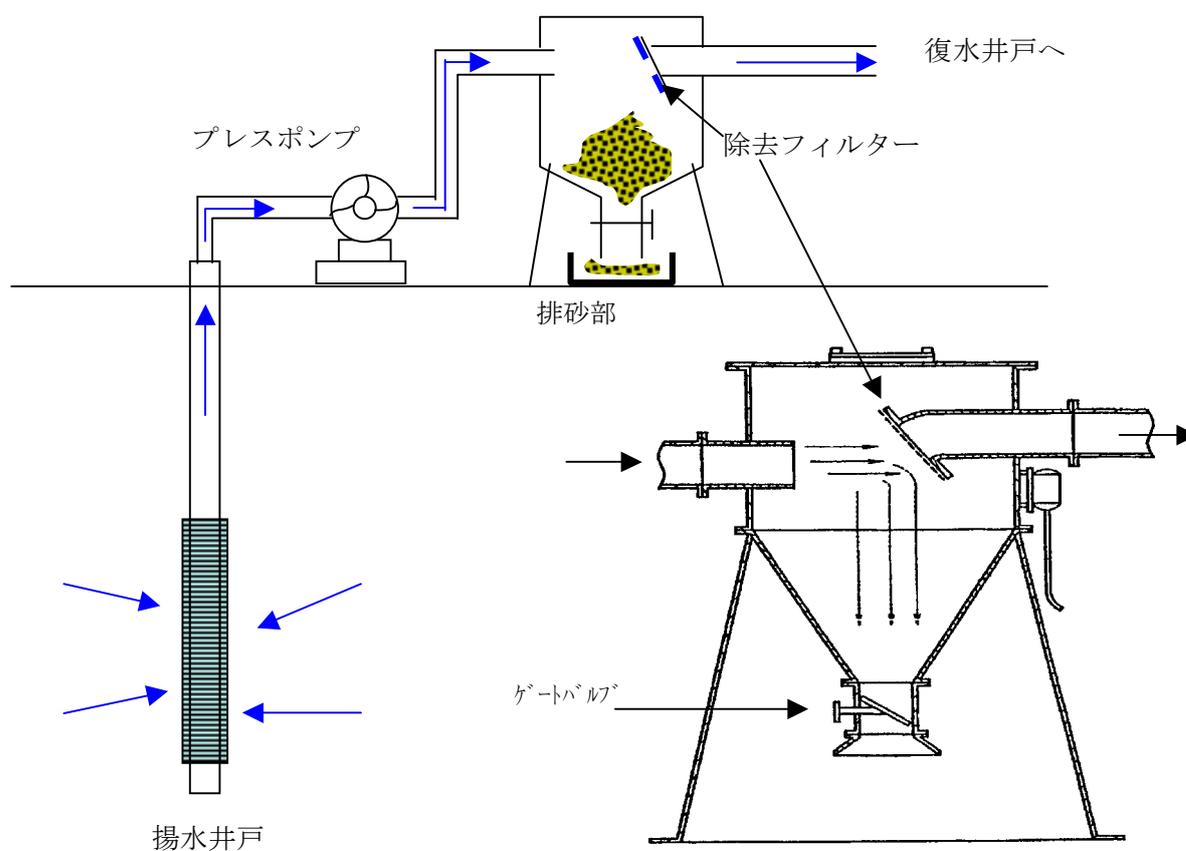
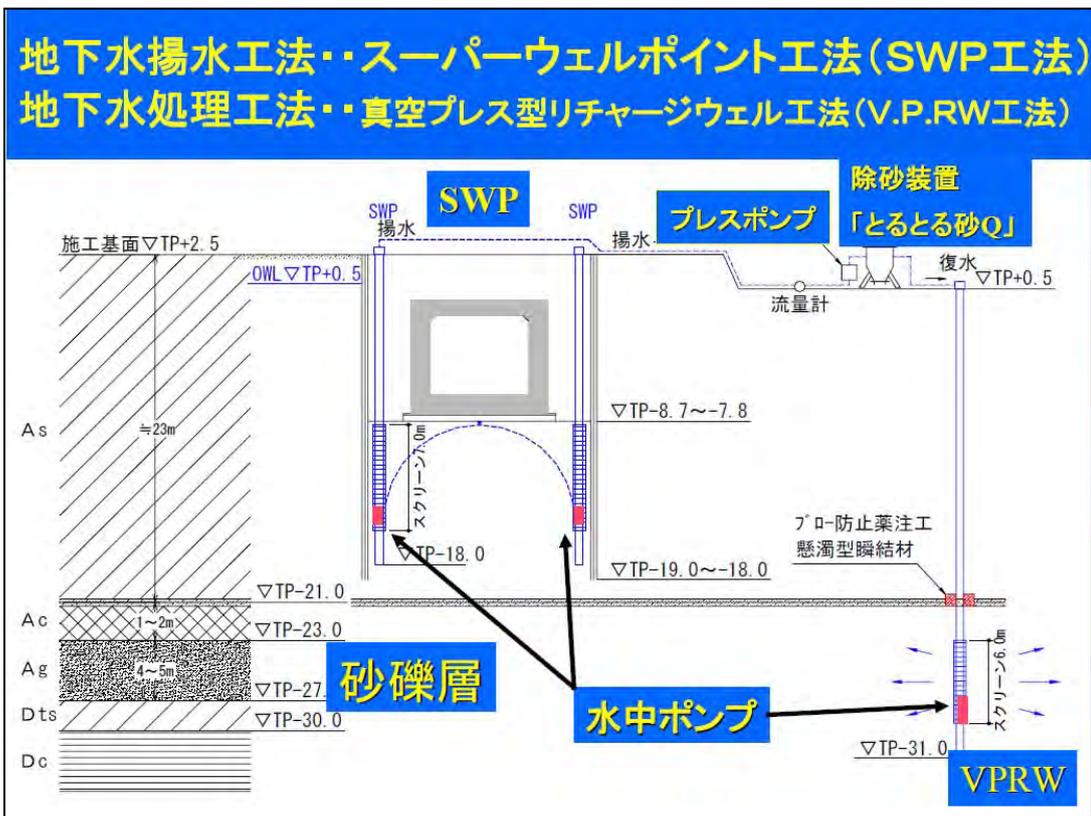
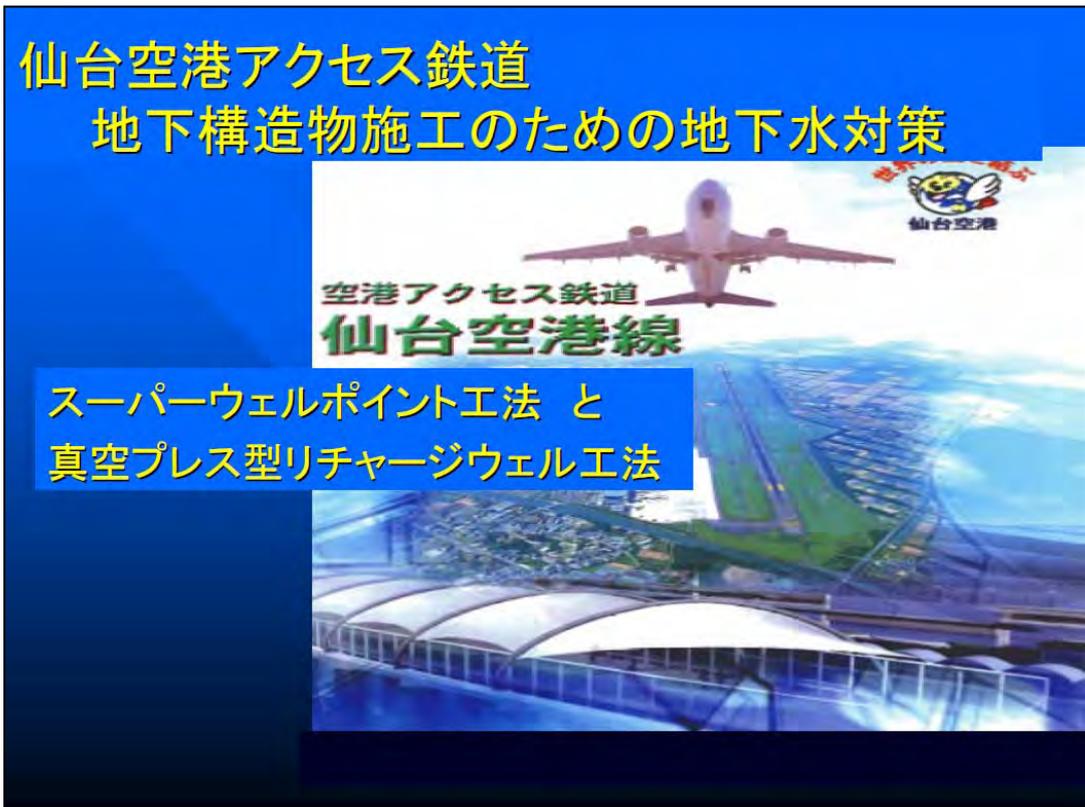


図 7-3-1 除砂装置（とるとる砂Q）

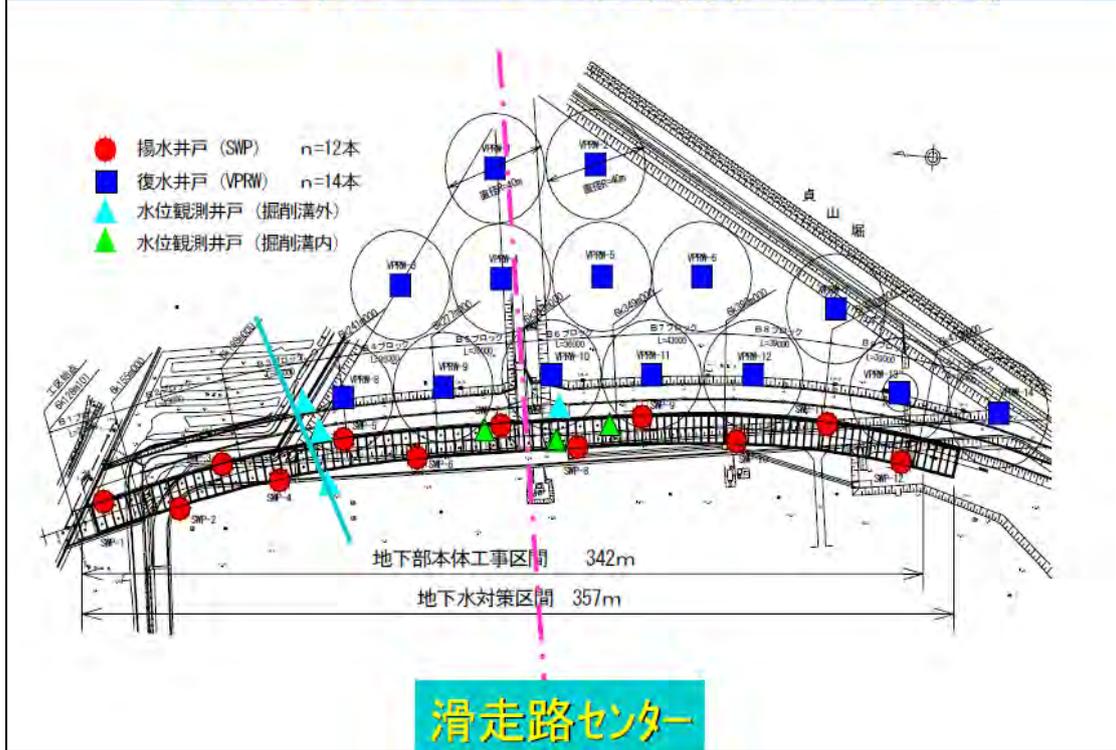
9) 管理

管理は注水圧と注水量を監視し、目詰り状態と判断した場合はH i - W a i 洗浄を行い、井戸機能を回復させる他、長期間の復水に於いては、H i - W a i 洗浄のサイクルを設定し、定期的に行う事が必要である。

10) 施工例



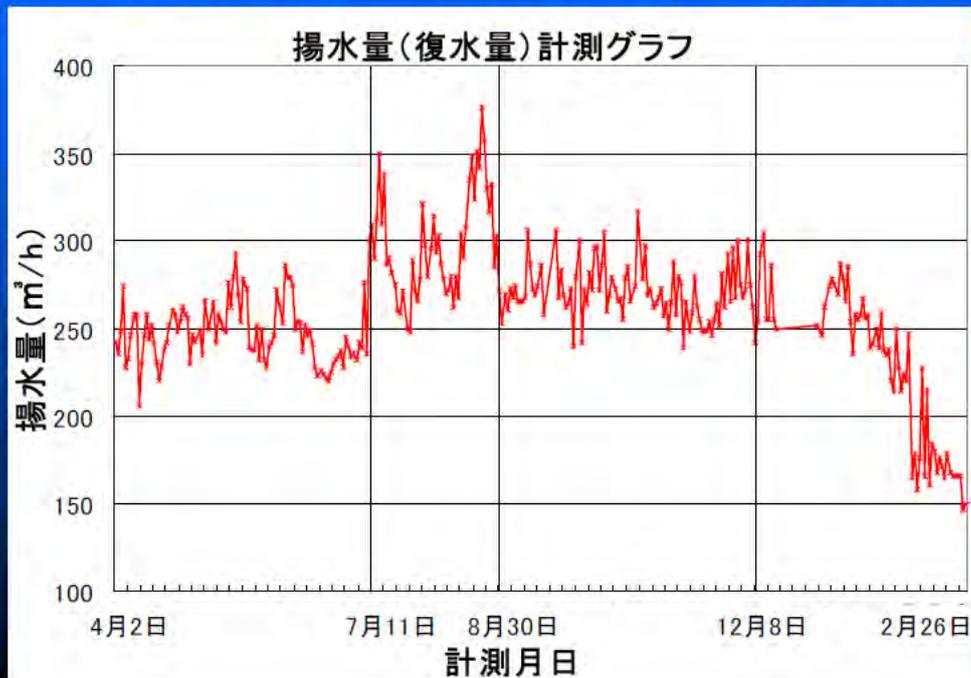
SWP, VPRW工法計画平面図



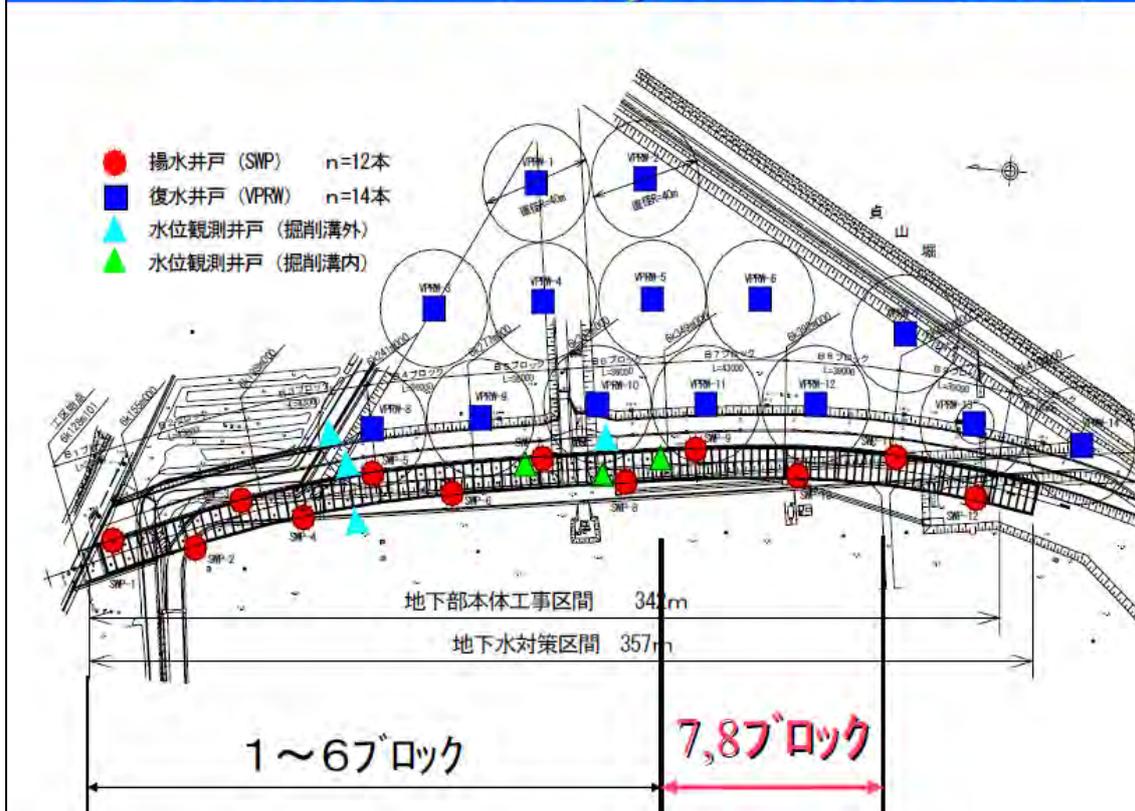


揚水量実測グラフ

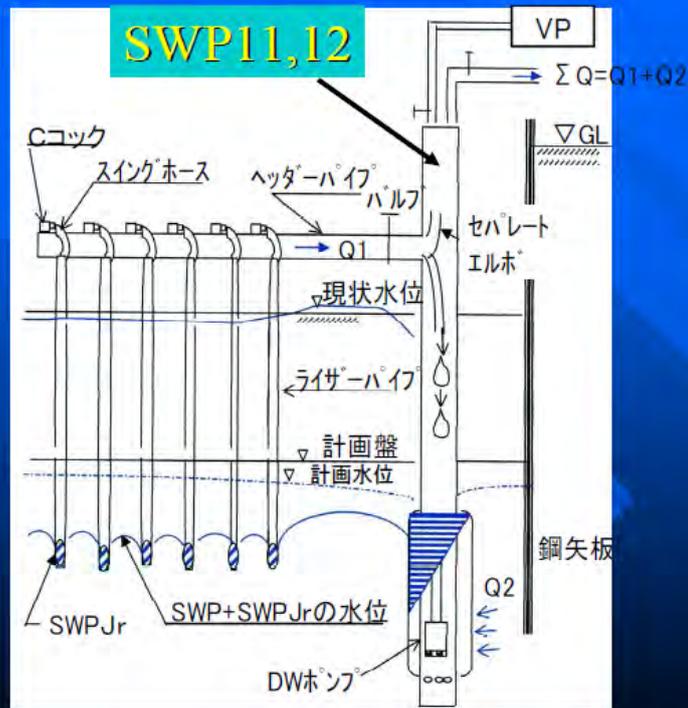
計画揚水量12,000t/日の約半分7,000t/日

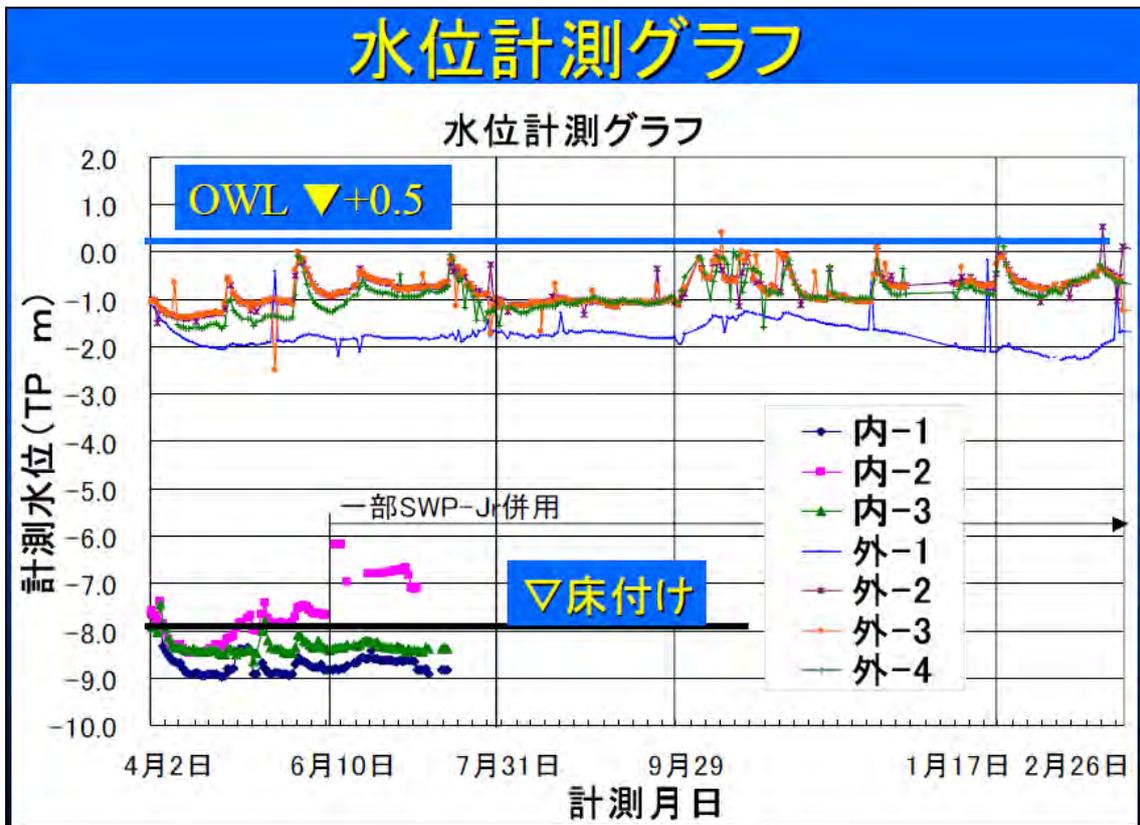
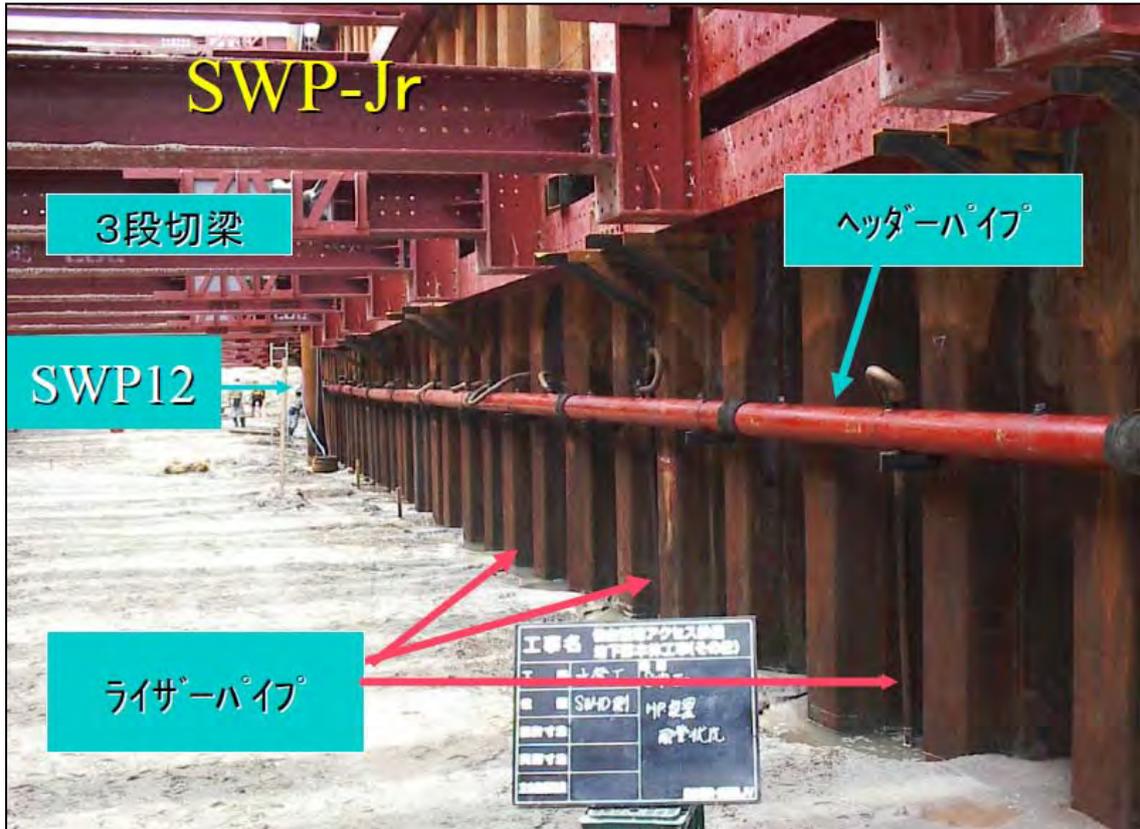


ボックスカルバート 7,8ブロック位置図



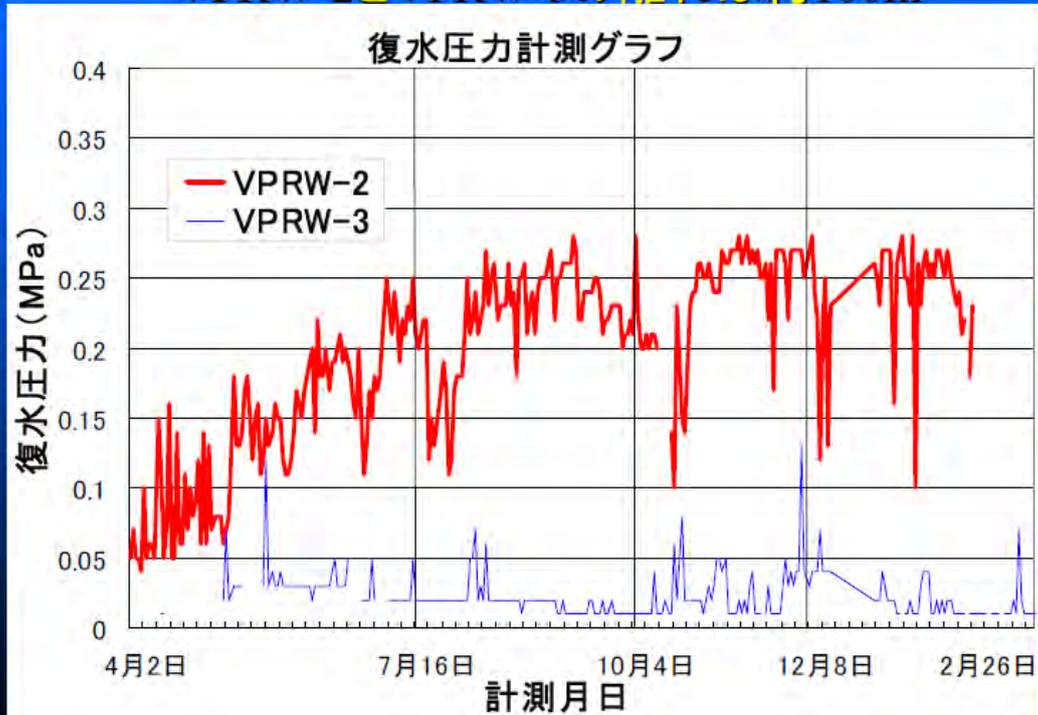
SWP-Jr 模式図





復水圧力計測グラフ

VPRW-2とVPRW-3の離れは約100m



参考報文：

土木学会発表資料（仙台空港アクセス鉄道地下部本体工事における地下水対策）

8. Hi-Wai工法 (Hi-Wai洗浄工)

従来のスイング洗浄 (SW洗浄) の改良としてHi-Wai洗浄工 (ハイウェイ洗浄) を開発し、SWPの負圧伝播を大巾に改良した。

主な内容としては、SW洗浄は水を主としてSWP井戸内への圧送、吸水を繰り返す事による地盤の透水性の改善でしたが、Hi-Wai洗浄工は、大型のコンプレッサーを用いて空気の圧送・吸気の繰返しも加えた工法である。

また、応用技術としてリングHi-Wai洗浄や相互Hi-Wai洗浄等もある。

8-1) Hi-Wai洗浄工の概要

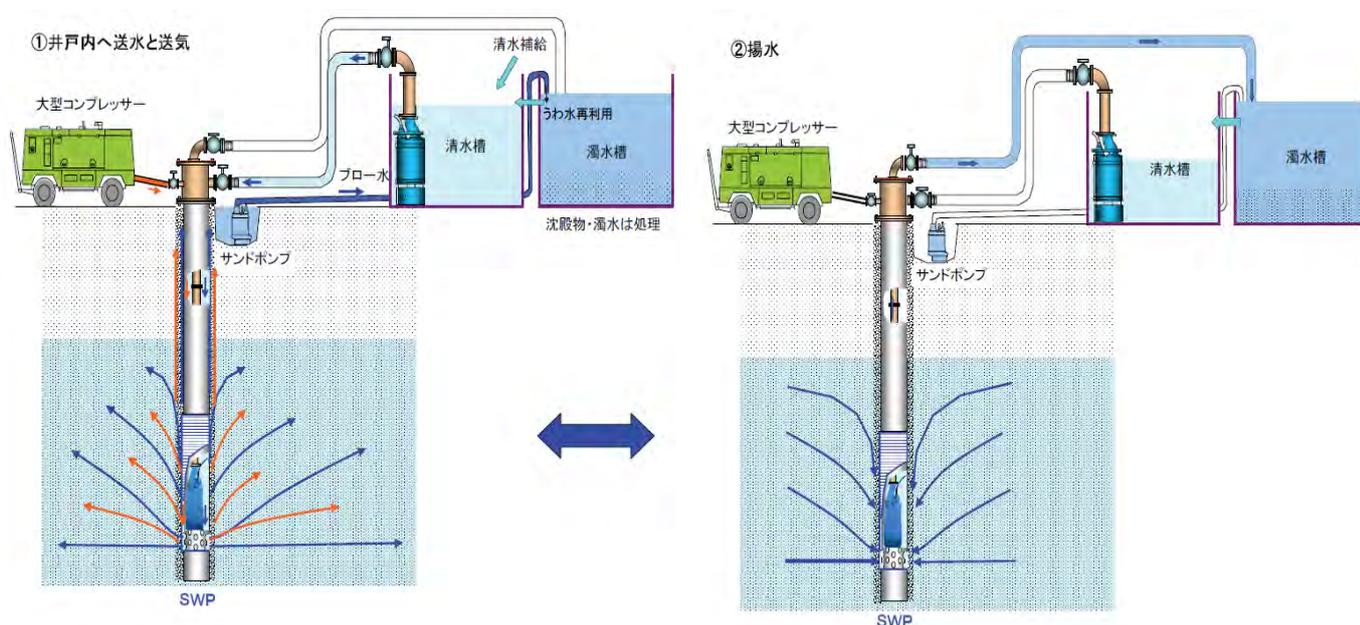


図 8.1 Hi-Wai洗浄概要図

特徴：

- ①スイング洗浄(SW洗浄)を、より効果的に行なう為、大量の圧力水+大型コンプレッサーによる大量圧縮空気を同時又は、交互に地盤中に圧入作業と吸引作業を繰り返す事により、「水みち作成」の効果を大巾に改善した
- ②毛管現象などによる吸い上げや透水係数(k)の小さな地盤(細砂,粘性土,砂岩層等)で、目的の水位をほぼ完全に低下させる事が出来る。
- ③土壤浄化の現場で、ヘビーメタル(重金属)やVOC,油分,等の洗浄効果が期待出来る。
- ④地中への空気と水の衝撃(インパクト)効果で砂の締め固め効果が期待出来ます。・特に送水送気によって、一度ゆるめた後、バキューム吸引で締め固める事で土粒子の配置(スワリ)が変化し、地盤強度が改善出来る。

8-2) 相互Hi-Wai 洗浄工の概要

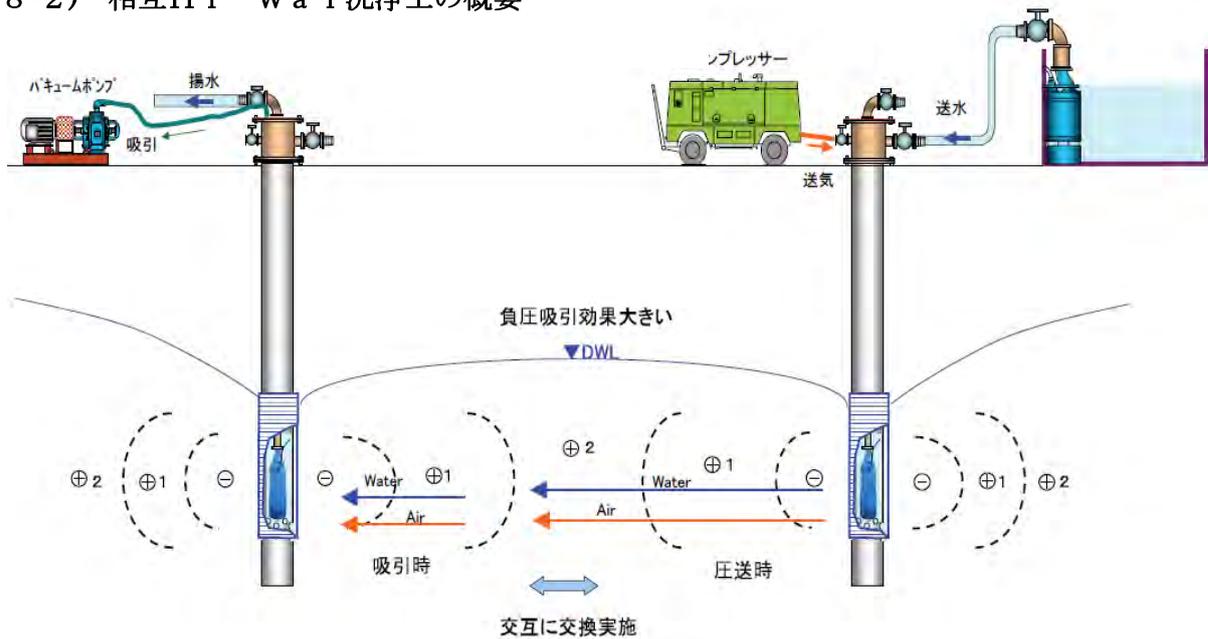
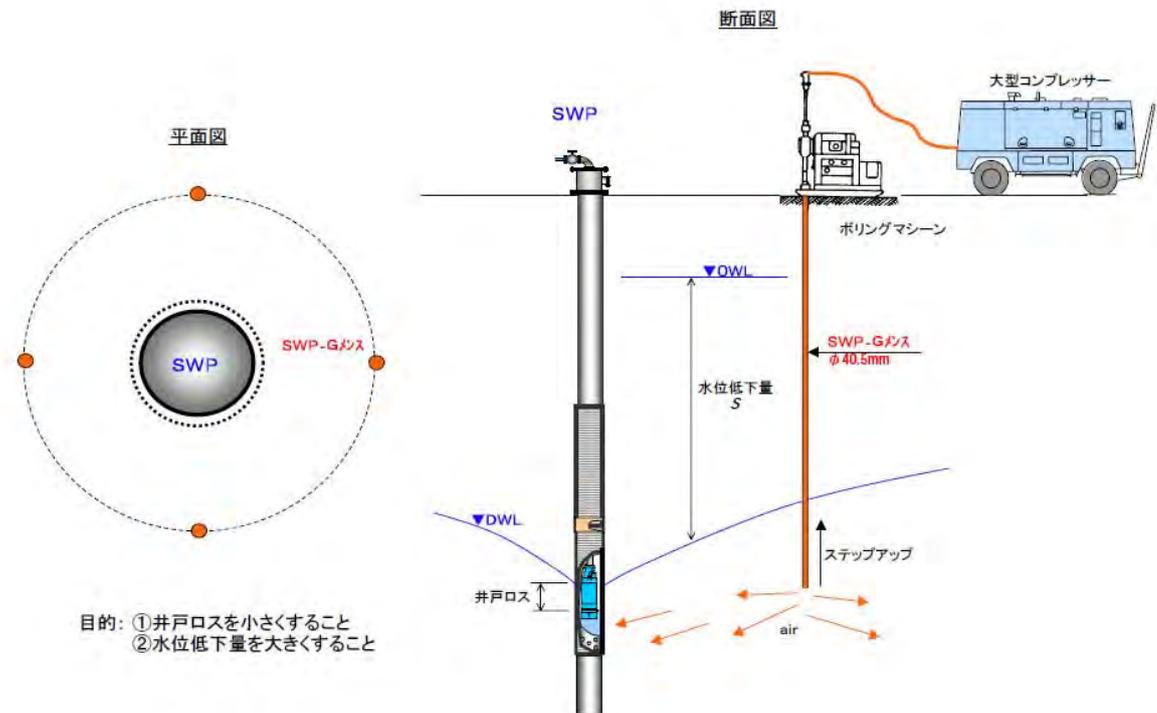


図 8.2 相互Hi-Wai 洗浄概要図

目的：圧送と吸引を相互の井戸で繰り返し行うことで、SWP井戸間の透水係数が大幅に改善され水位低下効果が大きくなり、又、井戸ロス小さくする効果も大幅に改善した洗浄法です。

8-3) リングHi-Wai 洗浄工の概要



目的：①井戸ロスを小さくすること
②水位低下量を大きくすること

図 8.3 リングHi-Wai 洗浄概要図

9. SKK工法（土壌浄化用）

SKK工法（すっからか〜ん工法）とはSWP工法の応用技術であり、地下水および地下空気の回収技術として“地盤改良”や“土壌・地下水汚染の浄化”に利用する。

土壌・地下水汚染の浄化では原位置浄化技術として位置づけられ、VOCs、ベンゼン（油分含む）などの揮発性物質を回収し、処理する。

この場合、前提として対象地盤を矢板で囲み、地表部を空気遮断し、井戸管に沿って吸引パイプを挿入する。

9-1) SKK工法の概要

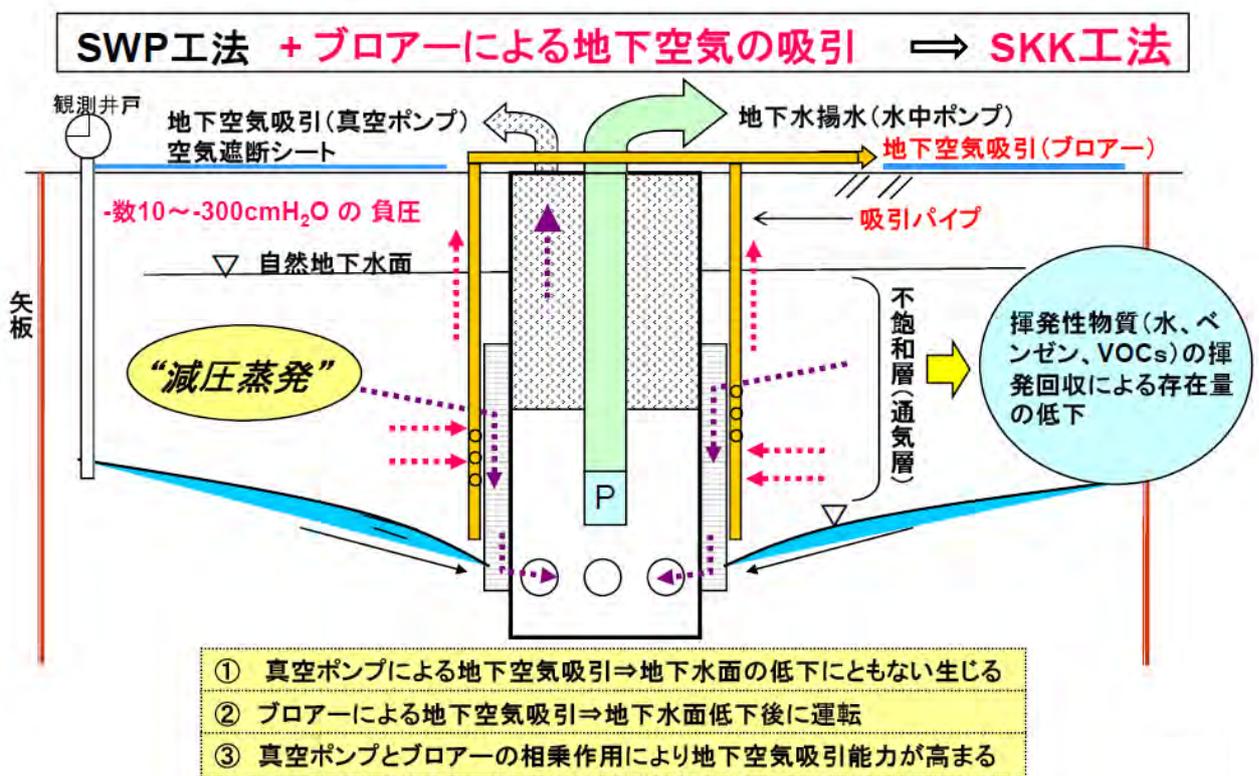


図 9.1 SKK 工法概要図

9-2) SKK工法による真空気化蒸発及び脱水について

SWP工法に於いて、飽和地下水を負圧伝播で揚水する事で山留め内側のみの水位低下が出来、水位低下によって形成された不飽和領域をボルテックスフロア等により更に負圧吸引すると、そのエリアは負圧化する。

この負圧化により水分、油分・VOCs等の揮発性の物質は体積膨張して気化する。水の場合は、その体積変化率は実に1,700倍にもなると言われており、特に粘性土の間隙水は、気化する時の体積膨張で容易に水蒸気として地表へ回収する事が出来、この事によって地盤が乾燥し地盤改良が出来る。

土壌浄化の場合は油分・VOCs等を減圧する事で蒸発させ、SKK工法とQin-TAKO工法で吸引して地表に回収し、活性炭に吸着させて大気開放する。

真空気化とは、地中の空気を減圧する事で沸点温度を下げ、蒸発させる事である。

地中の温度は概ね15°C~19°C位であるが、少しの負圧化でも常温にて容易に気化(水蒸気化)させることが出来る他、地中に空気が流れる事でも気化は進む。(例：洗濯物は風に晒すだけで乾燥する。)

9-3) 地下水の回収方法

地下水は “浸出水(自由水)と保留水(毛管水、吸着水)” に分類される

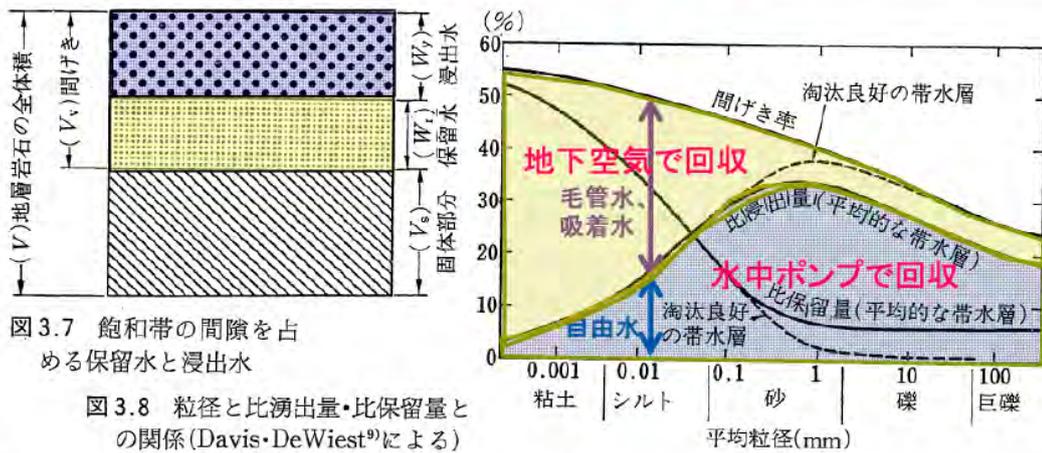


図3.7 飽和帯の間隙を占める保留水と浸出水

図3.8 粒径と比湧出量・比保留量との関係(Davis・DeWiest⁹⁾による)

出典

共立出版株式会社「地下水資源・環境論—その理論と実践—」水収支研究グループ 編 1993年(初版)

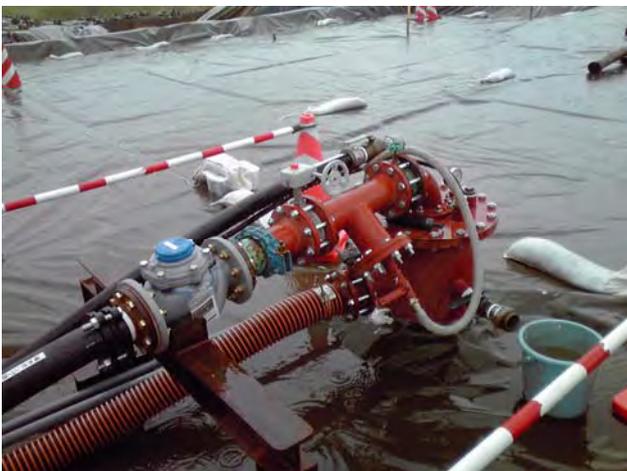
“SKK工法では、自由水は水中ポンプで揚水し、毛管水、吸着水は地下空気の吸引(減圧蒸発)で回収する”

9-4) SKK工法の特長

- a) 高い地下水揚水能力により汚染した地下水を回収する。同時に地下水面を大きく低下させる。
 - ⇒ 地下水の浄化を図るとともに汚染土壌を地下空気に曝す。
- b) 強力な地下空気の吸引（減圧蒸発）により汚染物質をガスとして回収する。
 - ⇒ 汚染土壌を浄化する。
- c) 課題：適切な真空度と地下空気回収量の確立
 - ⇒ 真空度が高くなれば減圧蒸発（揮発）が促進されると判断されるが、一定の地下空気回収量も必要である。

9-4) SKK工法の施工例

SKK井戸



対象範囲の四隅に Qin-TAKO を設置



写真-4 設置状況（岩手県境土壌浄化）

10. SKK工法+Qin-TAKO工法（地盤改良用）

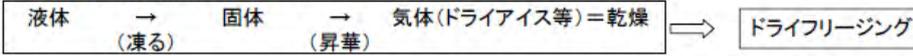
10-1) SKK+Qin TAKO工法の概要

Q: SKK工法とは

A: 大地のドライフリージングかな！

ドライフリージングは、負圧化すると沸点温度が低下して気化し、乾燥が進む技術だよ！

ただ、バキュームポンプがオイルの粘性を利用して真空を作り出しているため、水蒸気ではポンプがキャビテーションを起こす事から、一度凍らせて昇華の技術です。



SKK工法は、バキュームポンプをオイル式ではなく水封式(エルモ型ポンプ)を用いるために、

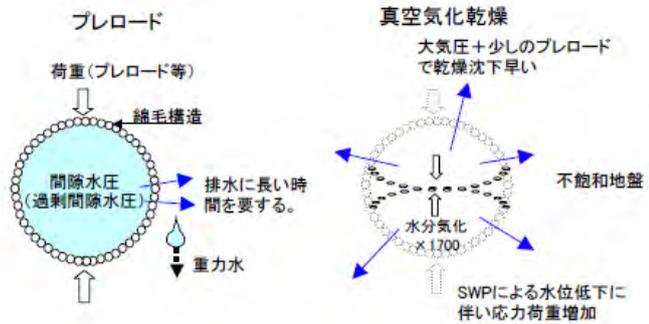
液体 → 水蒸気 → 直接気化させて乾燥できる工法です。

但し、エルモ型では高真空は望めない(Pv≒8.5m/w)ため、完全気化は出来ず、水蒸気として水分を回収し乾燥させます。

また、気化する時の水の体積変化率は実に×1,700倍で、容易に粘土の中より水分を気化して回収することが出来る。



圧密沈下と真空気化のちがいを



SKK施工前



SKK施工後

写真-5 掘削土改良状況

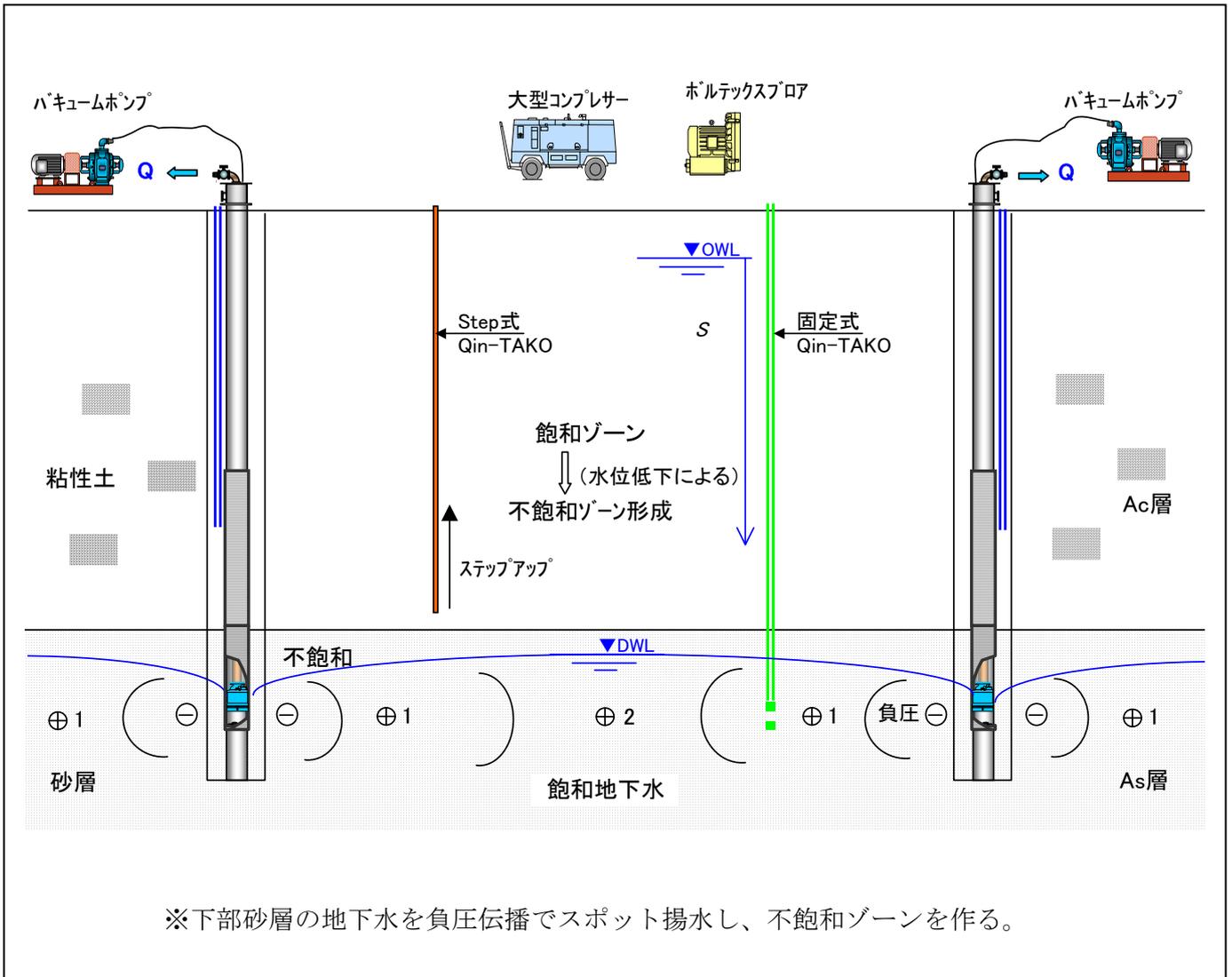


SKK工法+QinTAKOによる真空気化沈下促進

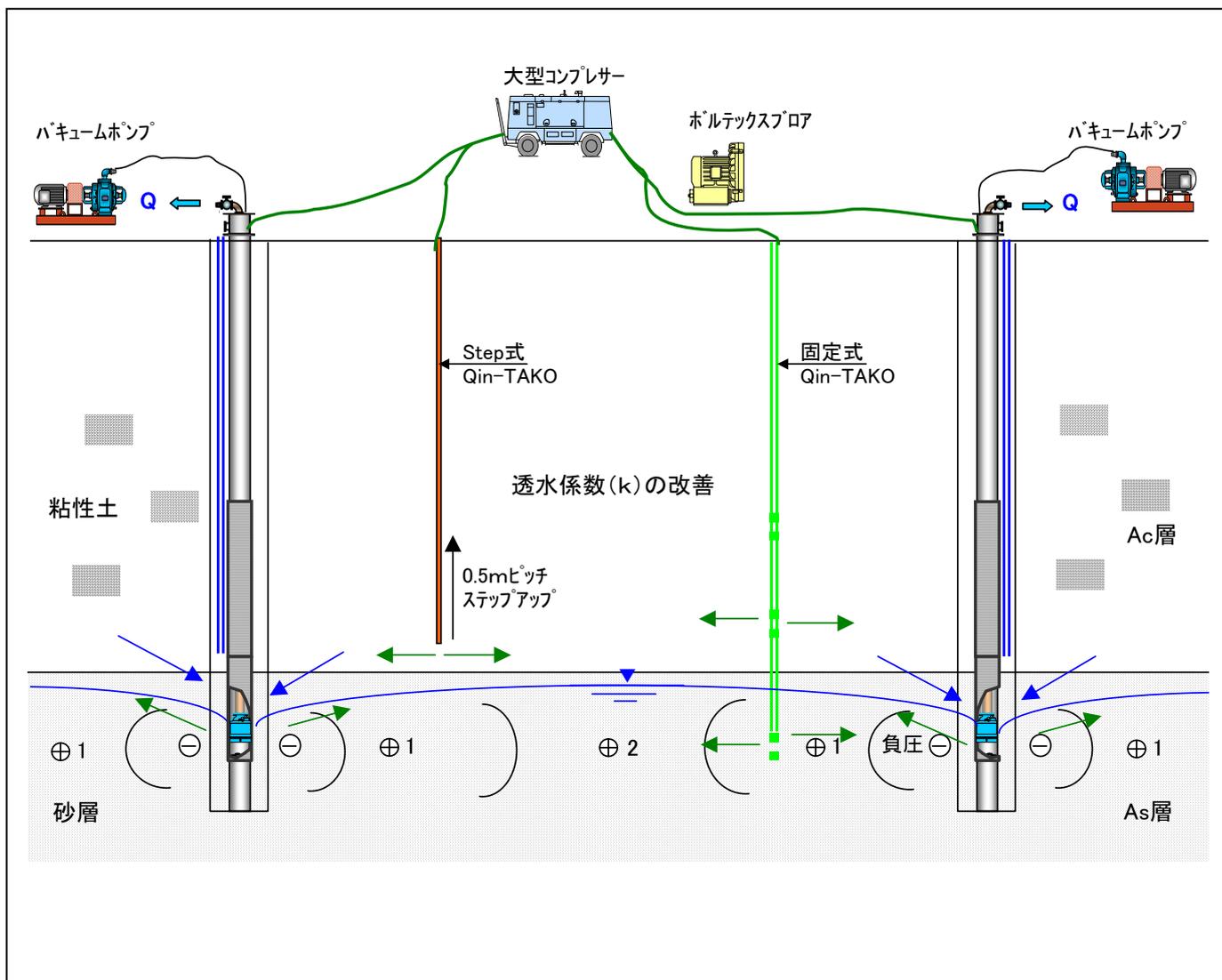
写真-6 設置状況

10-2) SKK+Qin TAKO 工法の地盤改良方法 (粘性土の地盤改良)

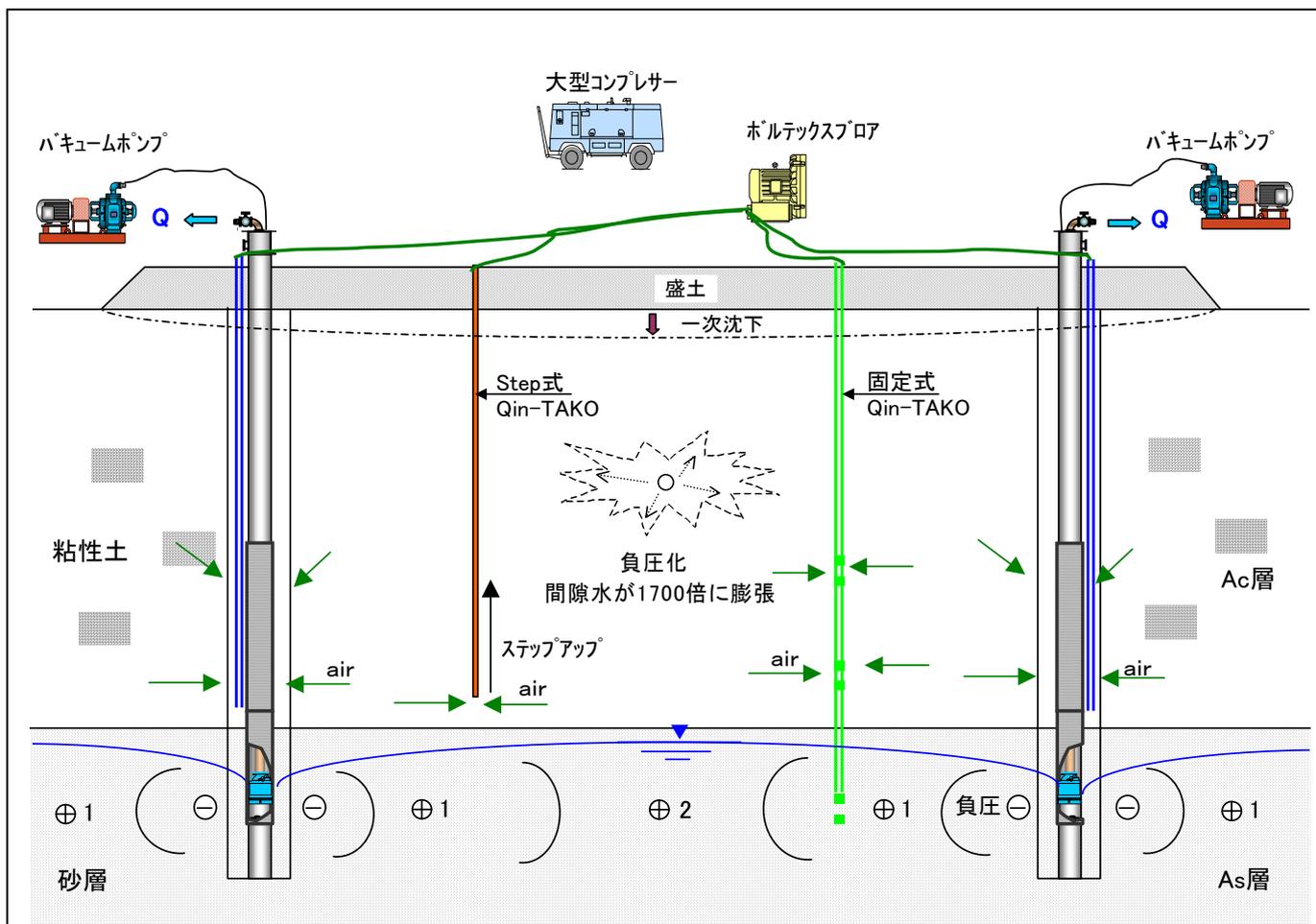
手順No.1



- ① SWP工法にて上部粘性土と下部砂層の地下水を負圧伝播でスポット減圧を行う。
- ② 粘性土と砂層の天場に不飽和ゾーンを設ける。
- ③ 負圧伝播で揚水する場合は重力排水と異なり、
 - ・井戸ロスが少なく効率的に水位が低下する。
 - ・広い範囲で水位を低下する必要がない為に、少ない揚水量で高い水位低下が可能。

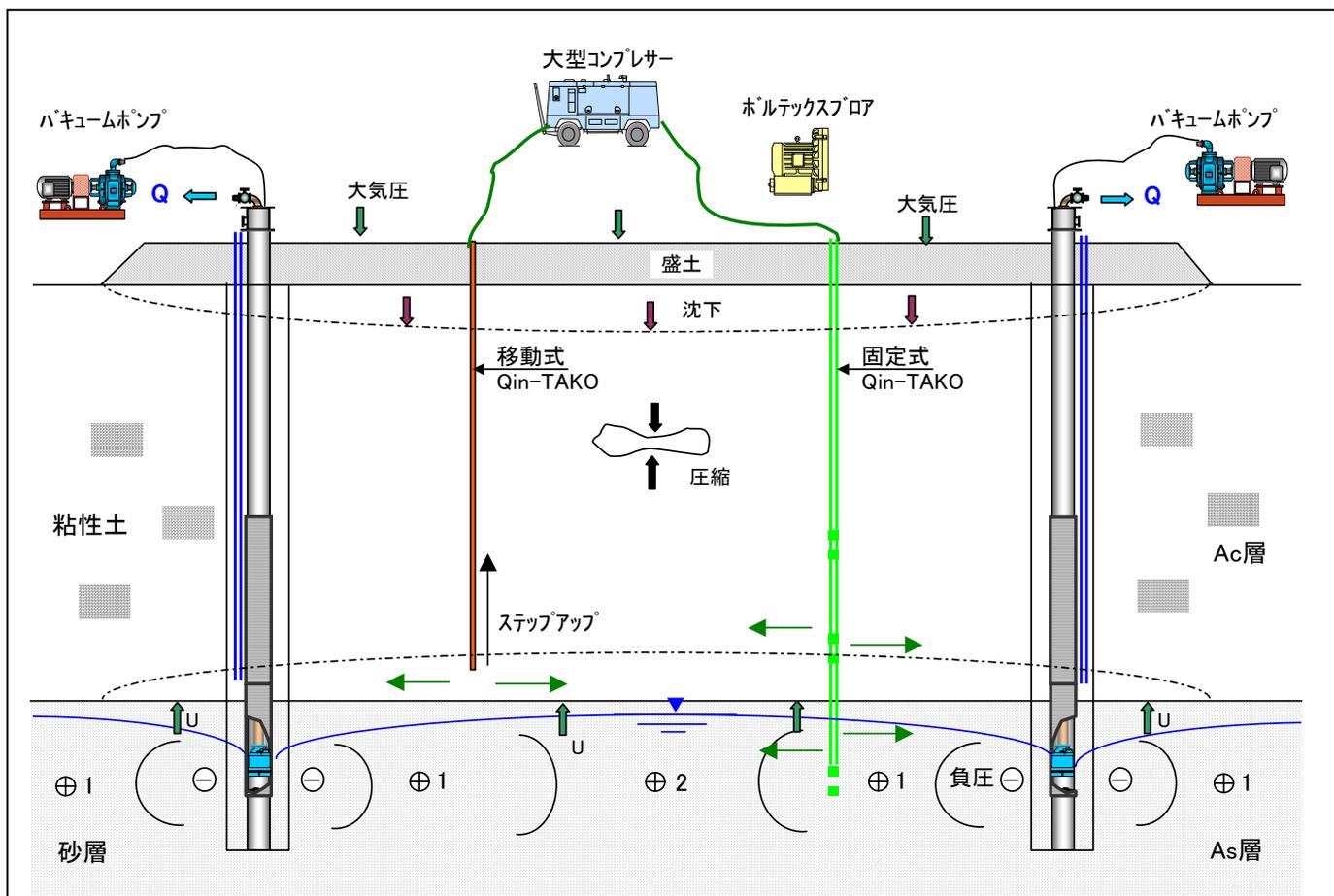


- ① Hi-Wai 洗浄は、大量の水と大型コンプレッサーにより地盤に水及び空気を送り込む。
- ② その後、バキューム吸引により空気と水を除去し、更にコロイド分を除去して揚水し地盤を負圧化させる。
- ③ ①～②の作業を繰り返す。
- ④ SWPと Qin-TAKO を使用し、SWP で吸引、Qin-TAKO で圧送する事で井戸ロスを小さくする。(リングHi-Wai 洗浄)
- ⑤ Step 型 Qin-TAKO によりムラ無くみずみちを付ける。
- ⑥ 脈状にみずみちを付ける事で、マクロ的に透水係数を改善させる。



※負圧条件下で粘土の間隙水が真空気化して、×1,700倍に膨張し吸引され乾燥が進む。

- ① SKK と Qin-TAKO により、ホルテックスプロアにて砂層の天場と粘性土を真空化（負圧化）させる。
- ② その事により水の沸点温度が低下して間隙水が水蒸気として膨張し、SKK 及び Qin-TAKO により地表へ吸引排出され、地盤が乾燥される。
- ③ この時、間隙水圧は負圧化していて、地震時に過剰間隙水圧にはならず、液状化防止できる。
- ④ 砂層では間隙の 5%以上の真空トラップによる空気量が永久に残留する為、液状化防止として有効（港湾空港研究所との共同特許申請中）



※大型コンプレッサーで砂層に空気を圧送し、揚圧力(U)により粘性土を圧縮し、その後、負圧吸引で圧縮沈下させる。

- ① 真空気化による細空洞化した地盤はそのままで沈下が小さい為に、大型コンプレッサーにより砂層天場に圧縮空気を送る事により、空気圧による揚圧力が発生します。(最大 $P \approx 6.5t/m^2$) = アップリフトによる圧縮
- ② 移動式 Qin-TAKO によりムラ無くダイレクトに粘性土を圧縮させる。
- ③ エアーブローによる含水比軽減を図る。
- ④ その後、全体を真空気化する事で大気圧と盛土加重により圧縮沈下を図る。
- ⑤ 含水比の軽減と圧縮沈下により、地盤の強度増加が出来る。
- ⑥ その後、ポンプを停止して地下水を復元させる。
復元させても圧縮しているためリバウンドは無い。

10.3 地盤改良比較

工法名	各種バーチカルドレーン	大気圧工法	N&H工法等	ドレーン材+直接吸引工法	SKK工法	SKK+QinTAKO工法
略図						
盛土・沈下量・間隙水圧変化						
載荷方法	盛土(大) $P = \gamma_s \times H$	盛土(中)+大気圧($P_a = 4 \sim 6t/m^2$) $P = \gamma_s \times H + P_a$	盛土(中)+大気圧($P_a = 4 \sim 6t/m^2$) $P = \gamma_s \times H + P_a$	(盛土)直接ドレーン $P = \gamma_s \times H + P_a$	大気圧+水位低下に伴う応力荷重 $P = P_a + \gamma_w \times H$ (or W (小))	大気圧+応力荷重+コンプレッサー圧 $P = P_a + \gamma_w \times H + P_c$ ($P_c = 30 \sim 65t/m^2$)
(例)	$P = 1.8 \times 10.0m = 18.0t/m^2$	$P = 1.8 \times 5.0m + 4.0 = 13.0t/m^2$	$P = 1.8 \times 5.0m + 4.0 = 13.0t/m^2$	$P = 1.8 \times 5.0m + 4.0 = 13.0t/m^2$	$P = 4 + 1.0 \times 20m (1.8 \times 3) = 29.4t/m^2$	$P = 4 + 1.0 \times 20m + 65 = 89.0t/m^2$
吸上げ揚程	—	有効6.5m (Max 8.5m)	有効6.5m (Max 8.5m)	有効6.5m (Max 8.5m)	Max 300m	Max 300m
対地盤負圧度	—	GL-6.5mで $P_v \approx 2.0t/m^2$ まで	GL-6.5mで $P_v \approx 2.0t/m^2$ まで	GL-6.5mで $P_v \approx 2.0t/m^2$ まで	全深度で $P_v \approx 4 \sim 8.5t/m^2$	全深度で $P_v \approx 4 \sim 8.5t/m^2$ (+エリア均質化)
バキューム吸引	—	—	—	—	—	—
脱水方法	盛土により過剰間隙水圧で脱水	盛土により過剰間隙水圧で脱水+大気圧	盛土により過剰間隙水圧で脱水+大気圧	盛土により過剰間隙水圧で脱水+大気圧	バキューム吸引と真空気化(×1700倍) 水の体積変化率気化した場合×1700倍に容易に脱水	同左 +コンプレッサーによる圧気 水の体積変化率気化した場合×1700倍に容易に脱水
工期	長期(約2年~5年位)	中期(約4ヶ月~2年位)	中期(約4ヶ月~2年位)	中期(約4ヶ月~2年位)	短期(約1.5ヶ月~6ヶ月位)	短期(約1.5ヶ月~4ヶ月位)
コスト	大 (△)	大~中 (△)	中 (□)	中 (□)	小 (○)	小 (◎)

表 10-1 比較表



スーパーウェルポイント 協会

《 《 会員名簿 》 》

平成28年4月現在

会員区分	会社名	〒	住所	TEL
特別会員	株式会社アサヒテクノ	024-0322	岩手県北上市和賀町岩崎新田5-16-8	0197-73-6015

正会員(A)	西松建設株式会社	105-6310	東京都港区虎ノ門1丁目23番1号 虎ノ門ヒルズ森タワー10階	03-3502-0962
正会員(B)	株式会社大橋商会	733-0833	広島市西区商工センター4丁目3番17号	082-277-7744
正会員(B)	旭ボーリング株式会社	024-0056	岩手県北上市鬼柳町都鳥186-1	0197-67-3121
正会員(B)	有限会社 八戸地下開発工業	039-1104	青森県八戸市大字田面木字前田表1番1	0178-27-0838
正会員(B)	有限会社互幸基礎工業	986-0041	宮城県石巻市伊原津2丁目10-29	0225-96-2496
正会員(B)	株式会社 明翔	065-0015	北海道札幌市東区北15条東18丁目3-15	011-785-7750
正会員(C)	国土防災技術株式会社	105-0001	東京都港区虎ノ門3丁目18番5号	03-3432-3673
正会員(D)	地建興業株式会社	485-0048	愛知県刈谷市場割町1丁目4番地1	0566-21-0691
正会員(D)	株式会社カナイワ	921-8027	石川県金沢市神田2-9-19	076-244-6447
正会員(D)	近畿地水株式会社	527-0173	滋賀県東近江市上岸本町1180	0749-46-1595
正会員(D)	株式会社東さく技工	101-0047	東京都千代田区内神田2丁目16番11号	03-3256-1271
正会員(D)	株式会社田畑工業所	120-0005	東京都足立区綾瀬1丁目33番28号	03-3603-9911
正会員(D)	ムサシ建設工業株式会社	110-0015	東京都台東区上野1-24-2	03-3835-3631
正会員(D)	丸八鋼管株式会社	279-0025	千葉県浦安市鉄鋼通り1-9-8	047-355-0808
正会員(D)	株式会社アクティオ北海道支店	003-0811	北海道札幌市白石区菊水上町1条4-1-14	011-814-1412

賛助会員	財)地域地盤環境研究所	540-0008	大阪府大阪市中央区大手前2丁目1-2 国民会館・住友生命ビル6階	06-6941-8800
賛助会員	中外テクノス株式会社	733-0013	広島県広島市西区横川新町9-12	082-295-2222
賛助会員	株式会社キャプティ	230-0045	神奈川県横浜市鶴見区末広町2-1-5	045-505-0692
賛助会員	長谷川鋼業株式会社	274-0824	千葉県船橋市前原東6-35-20	047-478-5576
賛助会員	株式会社創研コンサルタント	010-0951	秋田県秋田市山王1丁目9番22	018-863-7121
賛助会員	株式会社鶴見製作所	984-0042	宮城県仙台市若林区大和町4丁目9-11	022-284-4107
賛助会員	株式会社アステック	670-0028	兵庫県姫路市岩端町107-4	079-298-6666
賛助会員	太閤テックス株式会社	731-0215	広島県広島市安佐北区可部町南原208	082-818-0081

SWP スーパーウェルポイント協会

本 部 : 〒024-0322
岩手県北上市和賀町岩崎新田5-16-81
株式会社アサヒテクノ内
TEL:0197-73-6399 FAX:0197-73-7699

東京支部 : 〒105-6310
東京都港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階
西松建設株式会社内
TEL:03-3502-0962 FAX:03-3502-0228

西日本支部 : 〒733-0833
広島県広島市西区商工センター4-3-17
株式会社大橋商会内
TEL:082-501-2877 FAX:082-501-2800