

现代隧道技术(增刊)

第四届中日盾构隧道技术交流会  
论文专辑

第4回 日中シールド技術交流会  
THE FOURTH CHINA-JAPAN SYMPOSIUM  
ON SHIELD TUNNELLING 2007

中国·广州

2007年9月19~22日

现代隧道技术(增刊) 現代隧道技術(特別号)

第4届中日盾构隧道技术交流会  
第4回日中シールド技術交流会

THE FOURTH CHINA - JAPAN SYMPOSIUM  
ON SHIELD TUNNELLING 2007 (Guangzhou, China)

# 论文专辑(論文集)

中国 广州(中国 広州)

2007年9月19~22日

# スーパーウェルポイント(SWP)工法の原理と 地下掘削工事・シールド工事での事例

高橋茂吉<sup>1</sup> 細川土佐男<sup>2</sup> 神野健二<sup>3</sup> 孫建生<sup>4</sup>

(1 有限会社アサヒテクノ代表取締役社長；

2 九州産業大学工学部教授 都市基盤デザイン工学科；

3 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門；

4 青木あすなろ建設株式会社技術本部担当部長 企画エンジニアリング部)

スーパーウェルポイント工法(SWP(Super Well Point)工法)は近年開発された真空ポンプを利用した地下水位低下工法である。この工法では、真空ポンプにより井戸管内の空気を吸引して地下水面に負圧を与え、集まる地下水を水中ポンプで揚水する。ディープウェル工法(DW(Deep - Well)工法)に比べ少ない井戸本数で地下水位を低下させ、大深度の地下水位低下にも適用可能である。地下掘削工事や地下鉄シールド工事に適用し、良好な地下水位低下が得られた。

キーワード 地下水位低下工法 真空ポンプ 地下掘削工事 シールド工事 立杭

## 1 はじめに

地下構造物を建設する場合、地下水は掘削工事に支障をきたすものとして排除される。通常の地下掘削であれば鋼矢板などで掘削範囲を囲み、その中に揚水井戸を設置して水中ポンプ(DW工法)で汲み上げる。しかし、この工法では掘削箇所周辺の地下水面の低下が懸念され、鋼矢板を深くするあるいは掘削箇所の底盤や周辺地盤を改良するといった対策が講じられる。

本稿で紹介するSWP工法は真空ポンプを利用した新しい地下水位低下工法<sup>[1]</sup>である。この工法では、地下水面の低下が大きく、速く、かつ効率的であり、掘削箇所を鋼矢板などで囲い込む場合には周辺の地下水面がほとんど低下しないという特徴をもつ。

ここではSWP工法の仕組みとともに、この工法を利用した2つの事例を紹介する。

## 2 SWP工法の概要

SWP工法の井戸構造を図-1に示す<sup>[2]</sup>。井戸管は上蓋に空気を吸引する小さい孔があるほか、

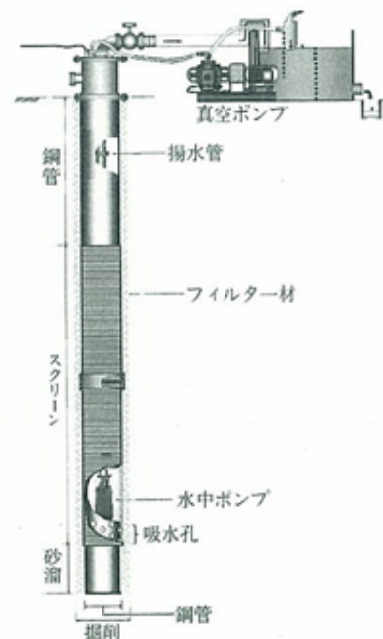


図-1 SWP工法の井戸構造

底部に吸水孔があるだけの閉じた構造をしており、吸水孔から自然地下水面のレベルまで分離型のスクリーンで取り囲まれる。運転方法は真空ポンプにより井戸内の空気を吸引して地下水に負圧

を与え、集まる地下水を水中ポンプで汲み上げるというものである。地下水を井戸に集める機能を真空ポンプが、地上に汲み上げる機能を水中ポンプが担う。

本工法はもともとバキュームディープウェル工法(VDW (Vacuum Deep Well) 工法)の弱点を補完するものとして開発された工法である。VDW工法の運転方法はSWP工法と同様であるが、スクリーンが井戸管と一体化しており地下水面が低下してスクリーンの位置に達すれば、地下空気が井戸に入り込むため真空度が低下し地下水に負圧を与

えられなくなる。SWP工法は前述の構造により地下空気を吸い込みにくくして井戸の真空度を低下させず、地下水に負圧を与え続けられるものとなっている。

SWP工法とVDW工法を比較した概念図を図-2に示す。図-2より、二つの工法の地下水面の低下が大きく異なる。SWP工法では、地下水面が吸水孔の直上まで大きく低下し、その地下水面の形状は通常対数曲線とはならず直線状を示す。一方、VDW工法では、井戸管に地下空気が入り込めばDW工法に近い地下水面形状になる。

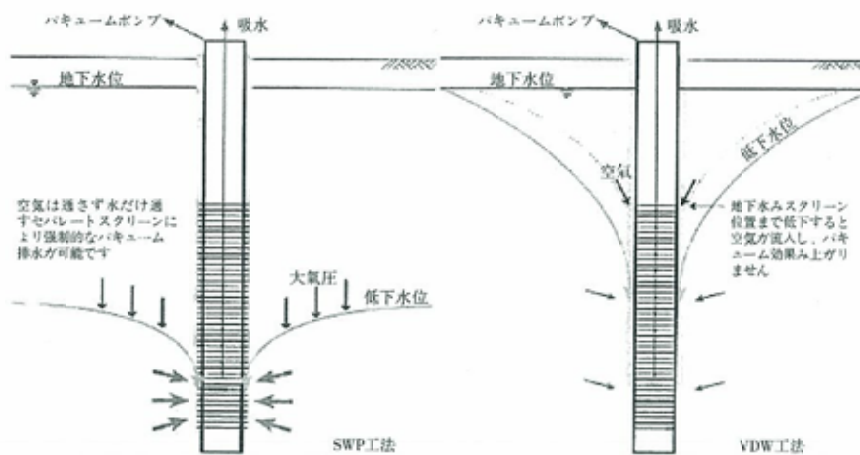


図-2 SWP工法とVDW工法の水位低下の比較

SWP工法の仕組みについては中川らによる室内実験を対象とした解析により確認され<sup>[3]</sup>、地下水面の形状が直線状として得られている。また、鋼矢板で囲まれた場合については細川らの解析により、地下水面が急速に低下することや周辺地下水面の低下が小さいことが再現されている<sup>[4]</sup>。

ここで、両解析とも境界条件となる井戸の地下水に負圧を与えている。飽和水が負圧状態にあるとした条件が解を得るポイントだったもので、これまでの地下水解析になかった解析法として評価される。

### 3 地下掘削工事での事例

SWP工法は、その特長を生かし多くの地下掘削工事で利用されている。本章では、仙台空港アクセス鉄道地下部本体工事での事例<sup>[5]</sup>を紹介する。

施工区間の空中写真を写真-1に示す。ここで地下水低下工法では、近くに運河が流れ地下水が豊富にあること、周辺には供用中の滑走路や進入灯などの空港施設があり、地下水低下による地盤沈下の影響が懸念されること、また、地下水には排水基準を上回る溶解性鉄が含まれ、河川に放流するためには沈殿・ろ過等の処理が必要であることなどが課題であった。これらの課題解決のためSWP工法が選定された。

その理由として、SWP工法では、①周辺の地下水位低下による地盤沈下や既設井戸枯れが防止できること、②汲み上げる地下水が空気に触れないため酸化されにくく、復水(リーチャッジ)しやすい水質を確保できること、すなわち沈殿・ろ過等の水処理施設が不要になること、③掘削箇所での完全なドライワークが可能であること、④排水



写真-1 施工区間の空中写真

量(揚水量)が少ないこと(DW 工法による計画排水量は12 000 ton/日であった),が挙げられた。

当該地の地質断面および施工断面を図-3に示す。図-3より,構造物の底面はT. P. -7.8 m ~ -8.7 mの深度にあり,遮水壁はT. P. -18 m ~ -19 mまで打設されている。そこでSWP 井戸の深さをT. P. -18 mとし,汲み上げた地下水は深部の砂礫層に復水した。復水では目詰り防止を図るため,復水前の地下水中の砂分を空気に触れさせない方法(とるとる砂Q)で除去した。

SWP 井戸,復水井戸および水位観測井戸の平面配置を図-4に示す。SWP 井戸は計12本設置した。井戸間隔は平均25 mで,最大35 mであった。これは従来の揚水法であるDW 工法に比べてかなりの数量減である。復水井戸はSWP 井戸に対応させ配置した。ただし,メンテナンス等を考慮して計14本を設置した。

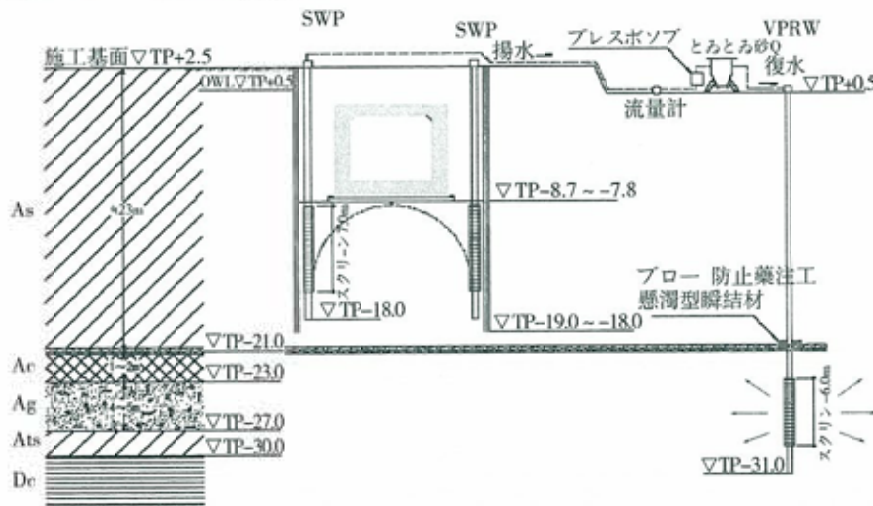


図-3 地質断面および施工断面図

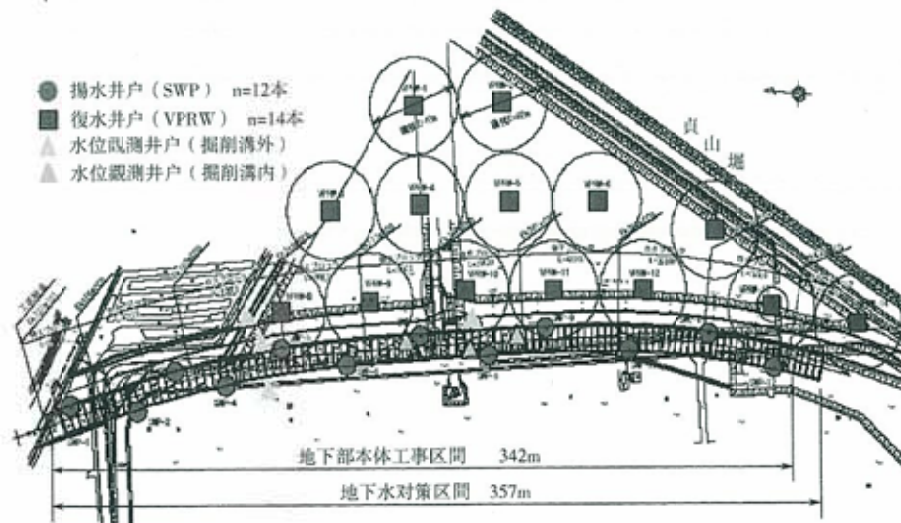


図-4 SWP 井戸,復水井戸および水位観測井戸の配置図

水位観測井戸は遮水壁内の内側に3本、外側に4本設置した。これらの地下水位観測記録を図-5に示す。図-5より、掘削箇所(遮水壁内)の地下水位が低下し、周辺(遮水壁外)の地下水位はほとんど低下していないことが確認される。

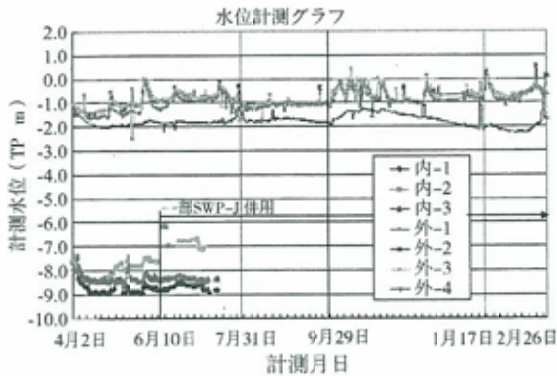


図-5 地下水位変化図

すべてのSWP井戸の総揚水量(=総復水量)の変化図を図-6に示す。図-6より、運転を開始してから8ヶ月間の揚水量(復水量)はほぼ一定量を保持している。最大揚水量は7300 ton/日であり、計画揚水量の約半分であった。また、掘削期間中の周辺地盤の沈下、井戸枯れは見られず、進入灯など構造物への影響もなかった。

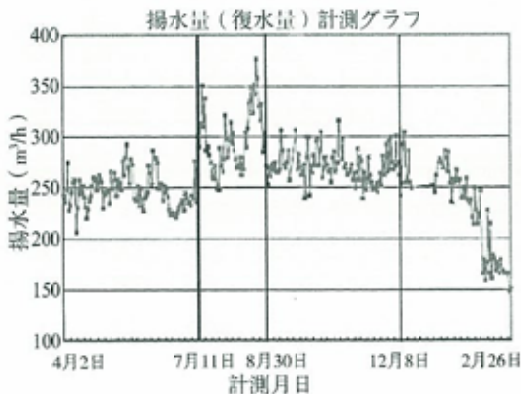


図-6 総揚水量の変化図

#### 4 地下鉄シールド工事での事例

東京都の地下鉄13号線シールドトンネル工事の西早稲田二工区側立坑では、シールドを安全に到達又は再発進させるため、地下水位をシール

ド機械設置面の下端まで低下させる必要があった<sup>(6)</sup>。

当初、DW工法で排水を行った。しかし、期待された効果が得られなかった。そこで井戸の増設等を検討したが、早急な対応が必要であることや経済性を考慮して、排水方法(地下水位低下工法)をSWP工法に変更した。ただし、その方法として既設のDW工法の井戸管を利用することにした。

改良した井戸(AW工法)を図-7に示す。図-7に示すように、井戸に流入する地下水に負圧を与えるための集水管(AW集水管, L=5.5m)を既設の井戸管内に設けている。そのため、本来のSWP井戸とは井戸構造、スクリーン形状、フィルターサンドなどが異なる。また水中ポンプには多段式水中ポンプを使用した。

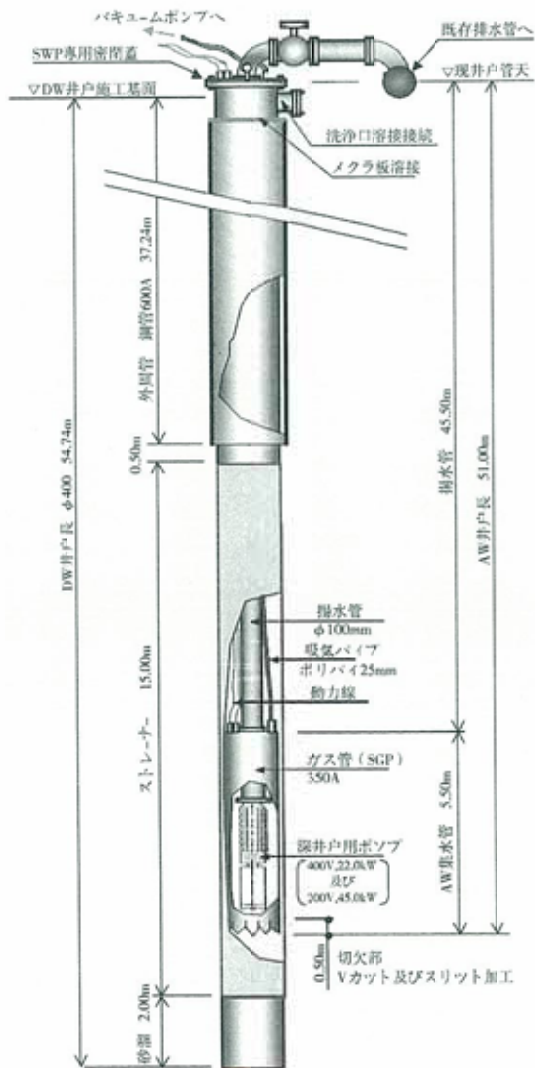


図-7 改良井戸(AW工法)

立坑周辺の平面図を図-8に示す。図-8には2本の改良井戸AW-1,AW-2および地下水位観測井戸である水位A,水位Bの設置場所を記載する。また,改良井戸での揚水量(当初のDW工法時の揚水量含む),湧水量などの結果を併記する。

図-8より,AW-1では,DW工法では平均 $q=$

143 L/分の揚水量であったものが,AW工法では $q=837$ L/分と5.9倍(バキューム係数 $\alpha$ )の増加を示す。AW-2では同様に平均 $q=143$  L/分の揚水量であったものが827 L/分と5.8倍の増加である。一方,切羽における湧水は少なく,A線側では16 L/分~17 L/分,B線側では15 L/分であった。

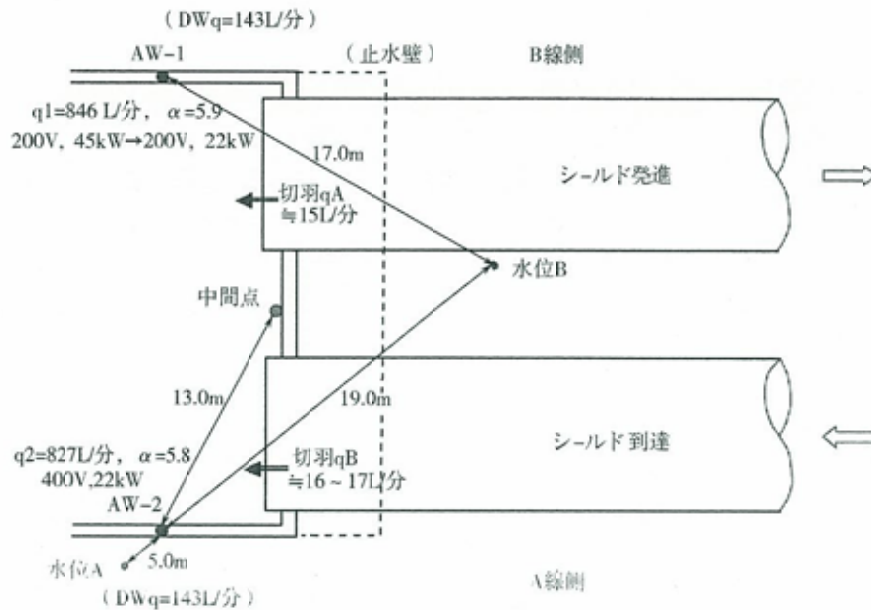


図-8 立坑周辺の平面図

地下水位の観測では,水位Aでは地下水位を目標の水位より低下させることができた。しかし,水位Bでは水位低下が不足した。ただし,前述のように湧水量はB線側においても少なく,支障なくシールドを発進させることができた。

以上,AW工法によるわずか2本の井戸の運転により所期の目的を達することができた。集水能力で換算すればDW井戸10本分の節約であった。

紹介した事例は,DW工法による地下水位低下工法を変更し,その井戸を利用したSWP工法(AW工法)による地下水位低下工事であった。しかし,これが本来のSWP井戸の仕様であればより明確な効果があったものと考えられる。その場合,図-8の点線で示す範囲にモルタル止水壁(鋼材なし)を構築して,その内部にSWP井戸を設置し立杭と止水壁に挟まれる区間の地下水位を低下させる方法が考えられる。

## 5 まとめ

本稿ではSWP工法の原理について説明し,これが井戸内の地下水に負圧を与え続けられる技術により大きな地下水位低下をもたらすことを示した。これまでの地下水低下工法を発展させた技術であり,その効果から画期的な技術として位置づけられる。

仙台空港アクセス鉄道地下部本体工事に適用した事例では,地下水位低下とともにSWP工法では汲み上げる地下水が空気(酸素)に曝されないため赤水対策として有効であり,復水(リチャージ)工法を可能とした。地下鉄工事におけるシールド立杭の発進及び到達工事に適用した事例では,既存のDW井戸を改良したSWP工法(AW工法)ではあったが地下水位を低下させ,切羽でのトラフィカビリティの向上により,低コストのシールドの発進?到達工事を実現した。

謝 辭

本稿の執筆では、国際航業株式会社の尾崎哲二主任技師、清華大学(中国)の武曉峰教授、西松建設株式会社の宮崎啓一郎部長および萩原敏行課長、ならびに有限会社シエスタクラブの中山比佐雄社長に多大な協力をいただいた。ここに、記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 建設通信新聞:スーパーウェルポイント工法, p. 7, 2006
- [2] 尾崎哲二, 高橋茂吉, 中山比佐雄, 神野健二: 真空ポンプを利用した新しい地下水位低下工法(CEレポート), pp68 - 69, 土木学会誌 8月号, 2007
- [3] 中川啓, 初井和郎, 神野健二, 和田信一郎, 朴崎篤, 中山比佐雄, 高橋茂吉: スーパーウェルポイント工法(SWP工法)の地下水低下に関する数値解析による検討, 94 ~ 97, 日本地下水学会 2006年春季講演会講演要旨, 2006
- [4] 細川土佐男, 高橋茂吉, 神野健二, 中山比佐雄, 朴崎篤: 飽和 - 不飽和浸透解析による改良型バキュームウェルポイント工法の水位低下に関する検討, 84 ~ 87, 日本地下水学会 2006年秋季講演会講演要旨, 2006
- [5] 太田耕栄, 河野悦朗, 高橋茂吉: 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, pp. 55 - 59, 基礎工 No. 3, 2006
- [6] 有限会社アサヒテクノ: 地下鉄13号線戸山工区シールドトンネル工事立坑到達・発進に伴う地下水位低下工事AW工法施工報告書, 2006

## The theory of SWP method and application to underground excavation and shield construction

Shigeyoshi Takahashi<sup>1</sup> Tosao Hosokawa<sup>2</sup> Kenji Jinno<sup>3</sup> Jiansheng Sung<sup>4</sup>

(1 ASAHI - TECHNO CORP;

2 Department of Civil and Urban - Design Engineering, Faculty of Engineering Kyushu Sangyo University;

3 Department of Urban and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University;

4 Engineering Headquarters, AokiAsunaro Ltd)

**Abstract** The SWP (Super Well Point) method is a dewatering method, using a vacuum pump developed in recent years. In this method, the air of the well tube is sucked with the vacuum pump, negative pressure is given to the water table, and the gathering underground water is pumped with the submerged pump. This method dewateres in few well numbers in comparison with the DW method and can apply it to great depth dewatering. It applied to the underground excavation construction and the subway shield construction, and an excellent dewatering was obtained.

**Key words** Dewatering method; Vacuum pump; Underground excavation; Shield construction; Vertical shaft