地下水問題に挑み 着実に成果拡大

国土交通省東北地方整備局塩釜港湾空港整備事務所仙台空港建設事務所
所長 武田 滋生

公共工事において、コスト縮減、安全確保、環境保全などさまざまな課題の解決を図ることが求められている中、これらを解決するソールとして「新技術の活用」が積極的に進められています。こうした中、仙台空港アクセス鉄道地下本体工事における地下水対策として「真空プレス型リチャージウェル工法」を採用しました。地下水を処理したのは、空港敷地内のトンネルと掘割構造の合計391㍍の区間。最大で約7400立方㍍／日の地下水を処理し、開削工法で施工しました。

施工個所の地下水位は地下2㍍、掘削深さは最大で12・5㍍。そのため揚水井戸にスーパーウェルポイント（SWP）を採用。揚水能力が高く、コンパクトなヤードで施工することができました。

復水には、真空プレス型リチャージウェルを採用。空気に触れると赤く変色する溶解性鉄分を含んだ地下水を地中に戻すことで赤水の防止と滑走路や進入灯など、空港施設の地盤沈下も防止することができました。

地下工事は、より深く広くなり、それに伴って地下水位低下工法の重要性も増してくると思われます。今後、本工法の施工と実績が集積され、技術的、経済的に最適な設計手法の確立や井戸管理の自動化など、ますますの研究開発を祈念するものであります。

ますますの開発祈念

岩手県工業技術センター
副理事長 小山 康文

スーパーウェルポイント工法を知ったのは2000（平成12）年です。私は当時、県から異動で岩手大学の地域共同研究センター（当時）に籍を置いていたのですが、そこにSWPの考案者である高橋さんが工法紹介を兼ねて訪ねてこられたのです。協会を設立される前後の時期だったと思います。ものすごく情熱のある人で、強く惹きつけられたのが印象に残っています。

高橋さんは、自分のアイデアを世に問いたいという強い思いをもっていて、フットワークも良く、いまでも折りに触れて訪ねてこられます。その都度、SWP工法の特徴である真空技術をコテコテのビジネスとしたお新しいアイデアを紹介してくれます。岩手発のオリジナル技術が開発・実用化され、広く社会に貢献するのは素晴らしいことであり、ぜひ応援したいと思っています。

SWP工法はいまでは全国で実績を重ねており、一つの標準になりつつあると聞いています。また台湾でも採用されており、海外での実績拡大も期待できます。03年に岩手県は宮城県らと共催で、中国・大連で商談会を開いたのですが、高橋さんはアサヒテクノ社長としてそこにも参加され、同国関連では清華大学とも技術交流しているようです。私自身もSWP技術が国内はもとより、世界に羽ばたく希望に胸が膨らみます。

海外での拡大に期待

九州大学大学院工学研究院
環境システム科学研究センター
教授 神野 健二

ウェルポイント工法については、建設現場の横を通るときにいつも興味を持って見ていました。多くのライザーパイプ（先端にはウェルポイントが接続）がヘッダーパイプに接続され、地下水が揚水されていました。

深い掘削を行うときの地下水位低下にはディープウェル工法もしくは多段配置のウェルポイント工法が適用される、というのが私の理解の範囲でしたが、真空圧がいつまでも揚水による地盤沈下の問題解決につながる可能性があるため、この技術には明るい未来があると確信しています。

もう一点は、SWP工法で揚水したとき井戸周りの地下水位の低下曲線の理論では、井戸の周りの地下水位がLogの曲線になると計算したり、設計したりしてきました。

最近では井戸内の空気だけではなく井戸周辺の地盤中の空気を吸引減圧することにより、二つの効果をもたらすことがわかってきました。

一つは軟弱地盤の圧密促進であり、もう一つは汚染土壌からのVOCs（揮発性有機化合物）の回収です。地盤中の地下水や空気を強力に回収するSWP工法は、われわれに知恵さえあれば、まだまだ活躍する場面があるように感じられます。

合理的設計が可能

国土交通省
国土技術政策総合研究所
副所長 山根 隆行 氏

高橋　お陰さまでスーパーウェルポイント（SWP）協会も創立5周年を迎えることができました。山根副所長が工事事務所長を務められていた、新潟の沈埋トンネル関連で採用していただいてから早5年半ほどになります。

山根　当時、信濃川最下流の河口部で建設中であった沈埋トンネルの、いわゆる左岸アプローチ部の建設で使いました。ディープウェル工法で水位を下げ、開削で施工する計画だったのですが、水位が設計どおり下がらない。初めはディープウェルの建て込みがいでしたね。

高橋　最初の日、雪の中を事務所にお訪ねしたのを鮮明に覚えています。

山根　試験的に導入しようと決めたのですが、当時はSWP工法の設計方法が確立されていなかったので、どれだけディープウェルと入れ換えたら良いのかが分からない。効果がわからなければ設計もできないというので、とりあえず試験孔で様子をみるかということになり、実施してみた、ということだったと記憶しています。ところが、埋め込んで3日くらいで確実に水位が下がった。「これはいける」と判断し、正式に採用して驚異的な成果をあげました。

高橋　既存の工法よりは良い結果が出るだろうという自信はありました。しかし、いかんせん相手は土ですし、かなりスケールの大きい現場でしたので、後戻りはできない、といった怖さみたいなのがあったのを思い出します。あのときに限らず、大なり小なり、どの現場でもそうした緊張感はあるのですが。

山根　現場で困っていることを目の前で解決するという技術がSWP工法だな、と思っています。技術というのは基本的に、現場でやってみないと判断できないという面があって、いまから考えると、あのときも仮に設計法が確立していたら、逆にこの設計法でいいのかという風に議論が流れてしまったのではないかと思います。たまたま、設計法がないから現場でやるしかない、といって現場でデータをとって、現場が使えるならそのデータを使って次は何本を建て込んだらいいかを決めれば良いので、とりあえず現場でやるという風に判断したということですかね。

土木屋というのは現場で勝負しているので、現場で必要性があり、やれるかやれないかは現場で判断できるという風にみんなが考えていたということでしょうね。

高橋　そうした段階を通過しながら、いまでは私の会社（アサヒテクノ）だけでも累計で100件を優に超える実績を残しています。（協会の）会員会社の総計だともっと多いですから、やりがいもあります。

山根　実績を拝見すると、こんなにも困っている現場がある、という証明みたいなものですね。なぜなら、設計法が確立されていないにもかかわらず現場でこれほど採用されているというのは、困っておられる現場が多い証拠だと思うのです。鉄道の『つくばエクスプレス』の建設現場でも使われているのを拝見したことがあるのですが、あの時も「ああ、ここの現場も困っているんだなあ」と思ったものです。

高橋　あの現場ではディープウェルでたまたま17㌢しか水位が下がらなかったんです。ところが、SWPを使ったら根切り深さの3・5㍍くらいをクリアできそうだということで、（採用決定は）その差があったかなと思います。

設計法の不確立がもたらした成功

スーパーウェルポイント協会
会長 高橋 茂吉 氏

山根　土木構造物というのは一品特注生産で、どれも同じようにやれるというものではないし、現場ごとに独自の問題がありますので、上手に解決できたというのが一番楽しいというか、面白いところですよね。

高橋　そういえば最近、九州大学の神野先生のグループが、壁の内側だけ水位が下がって外側は下がらないという理論式を作ってくれましたので、それを先日、ある地下鉄のご発注者へ説明にお邪魔したところです。これが確立できれば、これまでの底盤注入をジェットグラウトで行うか、山留めの施工期間は大幅に短くできるとか、それでもなおかつ周辺の地盤沈下がないとか、安心して低コストで深い地下構造物を築造できるというのは魅力的だと思うんです。これまでは「設計式がないから、良いのはわかっているけれど採用に踏み切れない」というケースがあったのですが、これからは採用件数が増えてくるのではないかと考えているところです。

山根　現場というのはそれぞれに施工条件が異なりますから、いろんな技術がたくさんあって選択肢も多い方が良いと考えています。だから、いろんな技術がオールラウンドに扱えるような活動が技術の社会では必要だと思います。いま世の風潮は、コスト縮減をするには競争さえすればいいといった考えが持てはやされがちですが、技術の社会ではいろんな技術が共存している状態が良いと思います。言葉が妥当かどうかわかりませんが、技術開発については覇道を唱えるのではなく、いろんな技術が共存できる王道をいくような取り組みというのが求められるのではないでしょうか。

SWP協会にもそのことを期待したいですね。覇道だと、競合工法を蹴散らしたときに技術の進歩もその時点で止まる危険性がありますから。共存しているからこそ、それぞれの良いところを尊重し、現場に合うように議論できる技術と考えがちですが、実は「真空」と「気体」と「液体」と「固体」が混じったときの技術開発だと考えるべきで、真空というものをいわゆる水と土があるところに適用するといろんなことができるということがわかってきた。SWP工法は確かに井戸の世界から真空の世界に入ったわけですが、真空の世界に入ってから世の中を見ると真空というのはもっといろんなことに使えるよ、ということですね。

高橋　お陰さまで実績も順調に伸びておりますが、正直申しますと現場で苦労した、壁にぶち当たったというのも少なくありません。そうした試行錯誤の中から、スイング洗浄を開発したとか、水位を下げるだけじゃなく圧密脱水として使えることがわかった、といった発見もあります。気持ちとしては、真空方式というのは面白いなあ、というのが正直なところです。本日は、ありがとうございました。

真空技術の裾野の広さに期待

表彰状を受ける高橋会長

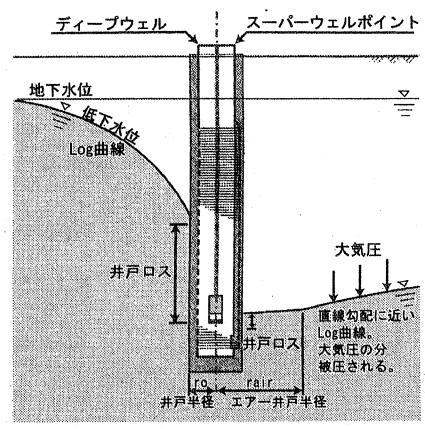
SWP工法「特許庁長官奨励賞」受賞

スーパーウェルポイント（SWP）協会が実施している東北地方発明表彰の「特許庁長官奨励賞」に選ばれ、2004年11月12日、山形市内の山形グランドホテルで行われた表彰式で、高橋会長ら関係者に表彰状が贈られた。

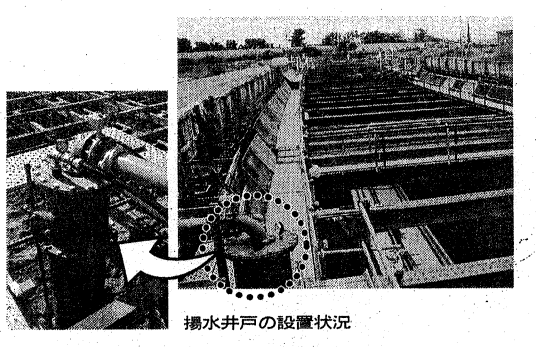
また当日は、授賞した発明の普及に尽力した人に贈られる「実施功績賞」に、SWP工法の普及に携わった西松建設の國澤幹雄社長ら3氏も受賞、表彰状と記念品などが贈られた。

スーパーウェルポイント工法

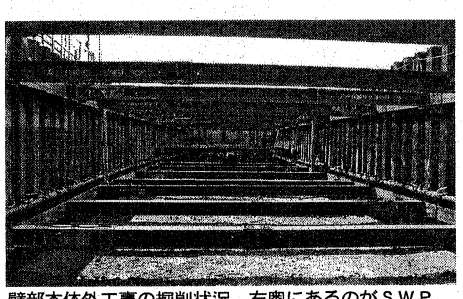
スーパーウェルポイント工法と他工法の揚水量、低下水位の違い



現場で困っていることを目の前で解決



揚水井戸の設置状況



壁部本体外工事の掘削状況。右奥にあるのがSWP。鋼矢板部にヘッダーパイプが見える。Jr工法も併用している。地下水位が下がり、ドライワークが可能だ。

仙台空港建設における活用事例

建設技術の多くは、現場の悩みを解決する創意工夫の結果として生まれている。土木分野の問題児ともいえる地下水に挑み、〝救世主〟として各地で評価を不動のものとしつつあるスーパーウェルポイント（SWP）工法もその一つだ。いまではコアの「真空技術」を応用して多くの姉妹工法も開発・実用化され、海外からも引き合いが寄せられるまでになっている。

■SWP工法

SWP工法は、数ある姉妹工法の文字どおり「親工法」といえるものだ。揚水工法の一つで、地中に設置した揚水井戸に真空圧をかけて、特殊スクリーンを通して周辺地盤の地下水位を効率的に下げるのが最大の特徴だ。

粘性地盤でも揚水が可能で、すでに十分な地盤改良効果を発揮できることを証明済み。鉛直ドレーン工法を併用したプレロード工法といった従来の工法に比べ、工期を2、3割短縮でき、1割以上コストダウンできることも確認している。

■VPRW工法

真空プレス型リチャージウェル（VPRW）工法は、SWP工法で吸み上げた地下水を処理するため地下に圧力復水（リチャージ）する。吸み上げられた地下水は空気に触れず直接地下に復水するため、従来工法のような復水時の目詰まりなどの問題点が解消される。

SWP工法と同様に、復水用の管を垂直に設ける方式と、円弧推進機械で水平に設ける方式など現場の要求に応じて対応できる。

■SWPJr工法

スーパーウェルポイントジュニア（SWPJr）工法は、SWP工法を採用している現場の局部的な土質変化に対応するものとして開発された。スイングホースとヘッダーパイプを通してSWP工法のケーシングに接続し、ウェルポイントポンプを使わずに揚水する。いわばSWP工法の補助工法で、従来のウェルポイント工法の簡易性とSWP工法の大深度に対応できる工法との長所を兼ね備えたものだ。SWP工法の設計時の安全係数を小さく取ることができ、経済的な工法となる利点がある。

■姉妹工法の〝見本市〟

仙台空港へのアクセス鉄道のトンネル工事では、前記のSWP工法、VPRW工法、SWPJr工法などが使われ、威力を発揮した。

採用区間は開削工法でトンネルや掘割を施工する設計だったが、地下水位が地下2㍍と高く、しかも溶解性鉄分を含んでいて空気に触れて酸化すると赤く変色してしまうといった問題があった。含有の鉄分は水質汚濁防止法の2、3倍という高濃度で、ろ過などを施すと費用がかさむため、地盤沈下防止にも役立つ復水を実施。

さらに、SWP井戸を経済的に設置したため派生した、局部的な土質変化への対応にSWPJr工法も併設して施工した。

採用区間の施工を終え、発注者の国土交通省らは論文を発表。その中で、SWP工法などの組み合わせによる地下水位低下および地下水処理は、「赤水対策などのように河川や水路への放流が困難な場所での水処理対策として、合理性・経済性がよい環境配慮型の工法と考えられる」としている。

■AW工法（土壌浄化＝VOC除去）

SWP工法を使って、揮発性有機化合物（VOC）汚染土壌を効率的に浄化する工法を開発、効果を検証している。井戸の管内を真空ポンプで吸引して汚染水を徹底的に吸み上げると同時に、地下水の水位低下によって拡大した不飽和帯の空気も吸い出せる。従来の土壌浄化工法に比べVOC回収量が多く、浄化効果も高い。

■海外へ紹介、実績も

2004年8月、岩手、宮城両県と岩手県産業貿易振興協会、宮城県国際経済振興協会が中国東北部の大連で主催した商談会に参加したのを始め、同国の清華大学と技術交流するなど海外にも熱い眼差しを注いでいる。台湾では地下鉄工事などでの採用実績もあり、他の地域からも照会が寄せられるなど、海外での注目も高まっている。

創立5周年　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
TEL0197－73－6399　FAX0197－73－7699
東京支部　〒105－8401　東京都港区虎の門1－20－10
TEL03－3502－0309　FAX03－3502－0228
大阪支部　〒540－0008　大阪市中央区大手前1－7－24
TEL06－6944－8827　FAX06－6910－3130

国際航業
地盤環境エンジニアリング事業部
工学博士 尾崎 哲二

スーパーウェルポイント工法のこれまでの進展は、この工法の画期的な仕組みとともに、考案者でもある高橋会長の試行錯誤の努力の賜であると言ってよいと思います。

われわれが住む地球の表面は大気圧下にあります。その表面で真空状態をつくり出し、大気圧を利用する機械が数多く発明されています。井戸水の汲み上げに使用してきた手押しポンプがそうであり、これを電気式としたウェルポイント工法は地下水位低下工法として広く利用されています。これらの機械は〝真空力〟を、地下水を汲み上げる力に変換して利用しているものです。

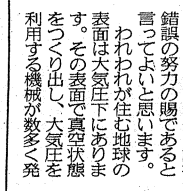
これに対し、SWP工法はこの真空力を、地下水を集水する力として利用したところが画期的な点だと考えられます。

地盤の透水係数は大きくできませんから、地下水を多量に集めるには井戸内の地下水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するしかありません。これを実現するためSWP工法では、井戸内を吸引・減圧して地下水の圧力を負圧にしたのであり、これにより多量の地下水を集め、地下水位を大きく下げることが可能になりました。

最近では井戸内の空気だけではなく井戸周辺の地盤中の空気を吸引減圧することにより、二つの効果をもたらすことがわかってきました。

一つは軟弱地盤の圧密促進であり、もう一つは汚染土壌からのVOCs（揮発性有機化合物）の回収です。地盤中の地下水や空気を強力に回収するSWP工法は、われわれに知恵さえあれば、まだまだ活躍する場面があるように感じられます。

試行錯誤、努力の賜



国土交通省東北地方整備局塩釜港湾空港整備事務所仙台空港建設事務所
所長 武田 滋生