<報 文>

放射集水井工の開発の歴史と施工例について

On the Development History of the Radial Well
and its Executive Example in Niigata Prefecture.布施 弘* 八木良 征**
Hiroshi FUSE, Yoshiyuki YAGI

1. はじめに

地下水位の上昇と地すべりの発生との間には密接な関係があるといわれている。したがって、地すべりを防止するには、地下水を排除し、常に地下水位を低くおさえておくことが必要である。地下水を排除する工法としては、浅い地下水を対象とする暗渠工、深い地下水を対象とするボーリング工がある。さらに、ボーリング工の効果を大きくするために、トンネルやたて井戸とボーリングとを組み合わせた工法が開発されている。このうち、たて井戸とボーリングとを組み合わせた工法がいわゆる放射集水井工である。

この放射集水井工は新潟県砂防課の主要な地すべり対策工法である。ここでは、砂防課の考え方や施工例を中心として、放射集水井工の本体である井筒の変遷および集水井戸の施工例について紹介する。

新潟県砂防課副参事の湊元光春理博からは、古い事故例について御教示をいただいた。また、砂防課の石黒重実主任*** および早福和夫技師には写真や資料の手配をしていただくなど便宜をはかっていただいた。ここに記してあつく感謝する次第である。さらに、忙しい時期であったにもかかわらず、株式会社武江組および太陽開発株式会社の方々には、井筒施工の実態についての調査に協力していただいた。両会社の方々には心からお礼を申し上げる次第である。

2. 井筒の種類と変遷

集水井戸の本体である井筒は、その材料によって2種類に分けられる。ひとつは、鉄製のライナープレートを使用した井筒であり、他のひとつは、鉄筋コンクリートで作られた井筒である。

鉄筋コンクリート製井筒は、さらに地すべり防止工事の施工現場でコンクリートを打設する現場打設式の井筒と、井戸枠を工場で鉄筋コンクリートのブロックとして製作し、それを施工現場で組み立てる組立式の井筒とに分けられる。

これらをまとめるとつぎのようになる。

井筒	{	ライナープレート製井筒	{	現場打設式井筒
		鉄筋コンクリート製井筒		組立式井筒

これらのうち、ライナープレート製井筒は、全国的にもっとも広く使われている。新潟県でも農地建設課ではすべてライナープレート製井筒を使用している。また、治山課ではとくに井筒の種類を指定していないが、実際に施工するときはライナープレート製井筒が多いということである。一方、砂防課では鉄筋コンクリート製井筒を主体にしている。

このように、新潟県では農地建設課、治山課および砂防課の各課によってそれぞれの方針のもとに井筒の種類が選択されている。そこでつぎに各課とくに農地建設課と砂防課との方針の背景を明らかにするために、井筒の開発の歴史をべっ見する。そしてさらに過去の事故例を検討しながら砂防課の考え方を明らかにする。

2-1 井筒開発の歴史

最初の放射集水井工の施工は今からおよそ20年前、昭和30年(1955年)にさかのぼる。砂防課が直営で栃ヶ原地すべり地(刈羽郡高柳町)で最初の放射集水井工を施工している。このときの井筒は現在でも用いられているものと同じく、鉄筋コンクリート製現場打設式の井筒である。井筒の形状寸法は外径 4.0 m、内径 3.4 m、深さ 15.0 m であった。この第1号の放射集水井工以来、昭和48年(1973年)度までに、砂防課だけで257基の放射集水井工を施工してきている。この変遷を示すと図-1のとおりである。昭和30年(1955年)度から昭和38年(1963年)度までは、1年間にだいたい数基(平均5基)であった。ところが、昭和38年(1963年)度からはじまった松之山地すべり(東頸城郡松之山町)の復旧工事に放射集水井工が大幅に採用された。その結果、昭和39年(1964年)度には16基となり、昭和38年(1963年)度7基の2.7倍に達した。松之山地すべり地での採用がピークを過ぎるとともに施工数は10基前後に減少している。やがて、松之山地すべり地での放射集水井工の効果が認められるようになるとともに施工数が急激に増加しはじめた。現在では放射集水井工は砂防課での主要な地すべり対策工法となっている。

*新潟県土木部砂防課(現在、土木部河川開発課)

**北日本ブロック工業株式会社

***現、新潟県土木部道路建設課舗装係長

図-1 放射集水井工施工数の変遷 (新潟県土木部砂防課所管分のみ)

一方、ライナープレート製井筒は、昭和36年(1961年)に建認省土木研究所新潟試験所が猿供養寺地すべり地(中頸城郡板倉町)において試験的に施工したのがはじまりである。このときの井筒の形状寸法は直径 3.0 m, 深さ 15.0 m で、板厚を深さによって 2.7mm から 4.0 mm まで3段階に変えて使用している。その後、昭和38年度に農地建設課が水梨地すべり地(東頸城郡松之山町)でライナープレート製の井筒を本体とする集水井戸17基を施工した。このときの井筒の形状寸法は直径 3.5 m, 深さ 15.0 m, ライナープレートの板厚 4.0mm であった。これが、ライナープレート製井筒を用いた放射集水井工を地すべり防止工事に採用する端緒となったのである。そして、昭和40年(1965年)頃から、このライナープレート製井筒を本体とする放射集水井工が工法として確立するとともに全国に普及し、現在にいたっているのである。

このように、砂防課では鉄筋コンクリート製の井筒を開発し、農地建設課ではライナープレート製の井筒を実用化してきた。この井筒の開発の歴史からもうかがえるように、現在でも砂防課では鉄筋コンクリート製井筒を用いた集水井戸が多く、農地建設課ではライナープレート製井筒を用いた集水井戸を採用している、といえるのである。

しかし、砂防課が現在でも鉄筋コンクリート製井筒を本体とする集水井戸を主体にしているのは、たんに上に見てきたような開発の歴史の故だけではない。昭和30年(1955年)度に施工した第1号放射集水井戸の井筒を沈下設置するときに事故が起きているのである。そして、このときの事故から得た教訓として、現在でも砂防課は鉄筋コンクリート製井筒を用いた集水井戸を採用しつづけているのである。

それではつぎに第1号集水井戸の井筒を沈下設置しているときに発生した事故について簡単にふれ、井筒を沈下設置する際の掘削時における安全性や施工性について検討する。さらに、この検討を通して、鉄筋コンクリート

製井筒が現場打設式の井筒から工場製作による組立式の井筒へと改良されたいきさつについて述べる。

2-2 事故例と安全性・施工性

さきのべたように、昭和30年(1955年)に第1号の集水井戸(鉄筋コンクリート製現場打設式井筒)が施工されている。このときの井筒の内部を掘削しているときに事故が起きている。

鉄筋コンクリート製の井筒は、上部に井筒を継ぎ足した後に孔底を掘削し、自重で沈下させて設置する。この第1号集水井戸の井筒は深さ 10 m 付近までは順調に沈下していった。しかし、その後は沈下しなくなった。そこで3人の作業員が孔底をさらに掘削し、井筒の先端からおよそ 1m ほど掘り下げた。このとき突然、孔壁が崩れ、ドロドロとなった土砂が噴き出してきた。ふたりの作業員は階段にとびつきようやく難をのがれた。それでもそのうちのひとりには膝まで土砂にのまれたということである。階段にのがれそとなった3人目の作業員は、とっさに掘削土の搬出に使用していたバケットにつかまった。階段に難をのがれた作業員の機転によってバケットの巻き上げが地上のウィンチマンに指示され、バケットにつかまった作業員は胸まで土砂に埋まりながらもようやく救出された。彼は巻き上げられるバケットによじのぼり、ワイヤロープにしっかりつかまっていた。このため、手には大けがをしていた。しかしまさに九死に一生を得たのであった。

この事故の原因は、井筒が沈下しなくなってからさらに 1m もの掘削を行ない、井筒の下に素掘りの壁を作ったことに求められる。これは、たんに 1m という掘削の深さに問題があるのではなく、井筒の下に素掘りの壁を作ったことに問題があるというべきである。したがって、これは 50cm 以上の掘削を行ってから井戸枠を組み立てるライナープレート製の井筒にもそのまま通用する問題点でもある。

この種の事故は、直ちに人命の損傷につながる事故である。したがって、井筒の下を掘削することによって孔壁が崩れるかどうかを予知できない現状である以上、それが 1/100 あるいは 1/1000 の確率で発生する事故であっても、あるいは、今までに事故が発生していないとしても、避けられる事故は避けるべきである。

ライナープレート製の井筒は、孔底を掘削し、掘削した部分にプレートを組み立てる方式であるのに対し、鉄筋コンクリート製の現場打設式井筒は、地上部に 3m 程度の鉄筋コンクリートを打設した後に孔底を掘削し、井筒の自重によって沈下させる方式をとる。したがって、後者は掘削した分だけ沈下し、孔底と井筒の先端とが常に接していることになる。このため、孔壁が素掘りのままになっていることからくる孔壁の崩壊や土砂の孔内への噴き出しなどの事故が防げる。さきの事故例において

も、沈下しなくなった時点で、荷重をかけるとかその他の強制的に沈下させる対策を講じていけば防げた事故であったであろう。このことから、鉄筋コンクリート製井筒の方がライナープレート製井筒より安全であるといえる。

しかし、同時にこのことは鉄筋コンクリート製現場打設式井筒の最大の欠点である工期の長期化につながっている。つまり、地上部に鉄筋コンクリートを打設するための鉄筋の組み立てや型枠の組み立て、さらにコンクリートの打設養生などに日時を要する。この間は孔底の掘削は行なわれない。したがって、この間は井筒が固定されている。このため、深さ 15m の井筒を沈下設置させるのに50日から60日を要するのが通常である。また、井筒を固定している間に、井筒の周囲マサツが大きくなり、沈下しにくくなることがある。こうなると、契約によって工期が定められていても、この工期はあっても無きがごとくなる。

このような鉄筋コンクリート製現場打設式井筒の欠点の解決には、施工業者によっていろいろと工夫がなされている。まず、荷重をかけて沈下をはかる。荷重をかけることによって多くの場合に井筒は沈下をはじめめる。荷重をかけても沈下しないときには、井筒の周囲にボーリング孔を削孔し、周囲の土をゆるめることによって周囲マサツの低下を期待したり、あるいは砂利やベントナイトを井筒の周囲に投入して同様の効果を期待している。なかには、どの方法を用いても沈下しなかった井筒が、新潟地震(昭和39年(1964年))の振動によって沈下したという例(松之山地すべり地)もあった。また、沈下をはじめても、傾斜したまま沈下し、最後まで直せなかった例もあった。

このような「井筒が沈下しない」というトラブルは最近ではほとんど聞かなくなった。しかし、これは上にの

べたように施工業者の熟練や努力工夫によるところが大きいのであって、現場打設式井筒に由来する欠点が抜本的に解決されたわけではない。

このことから、砂防課では鉄筋コンクリート製現場打設式井筒の安全性を生かしながら、工期の短縮をはかる抜本的な改良を試みた。北日本ブロック工業株式会社の協力を得て、新しい方式の井筒を本体とする集水井戸を考案したのである。昭和45年度に沖見地すべり地(東頸城郡牧村)で施工された組立式集水井戸がこれである。この集水井戸の井戸枠は工場で1/4 円あるいは1/2 円の鉄筋コンクリートブロックとして製作され、施工現場で環状に接合される。そして、環状に接合されたブロックを積み上げて井筒とするものである。井筒は自重によって沈下する。したがって、この井筒の先端は現場打設式の井筒と同様に孔底に接しており、安全性が確保される。また井戸枠が工場製品であるため、鉄筋および型枠の組み立てやコンクリートの打設および養生等の日時が施工現場では不用となる。ブロックの接合に時間を要するとはいえ、この接合は鉄製のクサビの打ち込みと接合部のモルタル打設だけである。したがって、井筒を固定しておく時間が現場打設式井筒と比較して大幅に減少し、工期の短縮に大きな効果をあげている。また、組立式井筒の施工にあたっては、沈下しないというトラブルもなく、この点からも施工性の改良に効果が認められている。さらに、井戸枠(鉄筋コンクリートのブロック)が工場製品であることから、井戸枠の品質管理が容易であるという利点も付加されている。

3. 組立式井筒の施工例

鉄筋コンクリート製の組立式井筒を用いた集水井戸は、昭和45年(1970年)度に沖見地すべり地で試験的に施工されて以来昭和48年(1973年)度までに21基施工されて

表 1 組立式集水井施工一覧表

番 号	施工年度	地 す べ り 名	所 在 地	工 期	内 径 深 さ	沈下設置日数	備 考
1	45	沖 見	東頸城郡牧村	46. 1. 4~46. 3. 31	2.5m 15.0m	30日	4 基施工
2~5	46	"	"	46.10. 8~47. 3. 31	"	30~40	
6	"	栗 沢	中頸城郡板倉町	46. 9. 13~47. 2. 9	"	50	
7	47	沖 見	東頸城郡牧村	47. 5. 26~47. 12. 31	"	35	
8	"	"	"	47. 8. 30~48. 3. 17	"	35	掘削中孔内観察 " "
9	"	木 入 場	東頸城郡安塚町	47. 8. 23~48. 1. 29	"	45	
10	"	栗 沢	中頸城郡板倉町	47. 9. 6~48. 3. 14	"	60	
11	"	"	"	47. 5. 22~47. 12. 7	"	60	
12	48	沖 見	東頸城郡牧村	48. 7. 14~49. 2. 20	"	40	2 基施工
13	"	木 入 場	東頸城郡安塚町	48. 6. 18~48. 11. 29	"	40	
14	"	栃 窪	見附市	48. 7. 3~48. 12. 9	2.5 13.0	20	
15	"	栗 沢	中頸城郡板倉町	48. 7. 13~49. 1. 28	2.5 18.0	70	
16	"	"	"	48. 6. 29~49. 1. 9	2.5 15.0	28	2 基施工
17	"	水 窪	"	48. 8. 21~49. 5. 7	"	55	
18	"	小出~銀山平線	"	48.11.13~49. 3. 31	2.5 12.0	20	
19	"	久 江 の 峰	東頸城郡安塚町	48. 6. 25~49. 1. 3	2.5 15.0	50	
20~21	"	"	"	48. 8. 13~49. 1. 24	"	25	2 基施工
計	21基						

いる(表-1)。ここでは、最初に施工された事例を中心として、この井筒の問題点にふれ、さらにその後改良された点について論及する。

施工場所や井筒の形状寸法等はつぎのとおりである。

施工場所 沖見地すべり地(東頸城郡牧村大字神谷地内)

井筒の組立および沈下設置時期 昭和46年(1971年)

1月4日から昭和46年(1971年)2月5日(30日間)まで。

井筒の形状寸法 外径 2.9m, 内径 2.5m, 深さ 15.0m

井筒の種類 鉄筋コンクリート製組立式井筒

施工地の土質 0~6m 粘土 } 崩土
6~13m 風化した泥岩 }
13~15m 泥岩(黒色泥岩)

東頸城地方は新潟県下でも有数な地すべり地帯である。この沖見地すべり地はおよそ70年前からすべり続けており、地すべり地のほとんどは水田耕作さえもできず、放牧場となっている。

鉄筋コンクリート製組立式井筒の施工はこのときが最初の施工であり、砂防課および北日本ブロック工業株式会社の関係者からは期待をもって見守られていた。一方、現地の作業員の間からは一まつの不安をもって迎えられた。ブロックを環状に接合し、ただそれを積み上げるだけの工法(実際には、上下のブロックは鉄筋でつながれ、

鉄筋をそう入した穴はモルタルが注入されるのである)で、地すべりが起きたら井筒が上下に分割されるのではないだろうか、そうなったら井筒の中で作業している作業員はどうなるのか。作業員はこのような不安を持ち続けながら作業を進めていった。しかし、作業が進むにつれて、そのような不安はしだいに解消していった。このことは施工業者((株)武江組)のつぎの話からもうかがえる。「このブロック井筒(組立式井筒)は30段に分かれているが、完全な連結性の特徴を持った特殊工法であることがわかった。たしかに安全であるということ、作業員態度からも認められるようになった。」

井筒はA型、B型、およびC型の3種類のブロックからなる(写真-1, 2, 3, 図-2)。井筒の先端のC型ブロックおよびこれに続くB型ブロックの外径は3.1mであるが、A型ブロックの外径は2.9mである。運搬の都合から各ブロックの1個当りの重量を500kg以下とするために、A型ブロックは1/4円、B型およびC型ブロックはそれぞれ1/8円とし、施工現場で横継手で接合して環状にする。なお、写真-1, 2, 3および図-2はその後に改良されたブロックであるので、この当時の形状寸法とは若干異なっている。しかし基本的には同一である。

環状に接合されたブロックは順次積み上げられ(写真-4, 5)下のブロックと結合される。ついで井筒内部が掘削される。掘削にしたがい井筒は自重で沈下する。このときの井筒は深さ12mまでは自重で沈下したが、残り

図-2 組立集水井筒(内径 3.0m, 鉄筋コンクリート製品)

写真-1 A型ブロック

写真-2 B型ブロック

写真-3 C型ブロック

写真-4 施工現場で環状に組み立てられた井筒枠

の 3m 分は荷重をかけて沈下させ設置した。

このときの組立式井筒の長所および短所を従来の現場打設式井筒と比較するとつぎようになる（施工業者の話から）。

長 所

1. 工場製品であるので品質について安心である。コンクリートの養生や硬化日数および品質管理などの面で煩わせられることがない。
2. 施工の段取りが簡単で施工管理が容易である。
3. 施工現場で必要とする資材が少なく、材料に無駄がない。
4. 組立式であるため、掘削作業を休むことが少なく、そのため沈下設置に要する日数が少なくてすむ(表-2)。
5. コンクリートの打設を要しないため、天候に左右されない。

6. 総合的にみても、施工が容易である。

また、ライナープレート製の井筒との比較では、さきのべた安全性のほかに、ライナープレートの組み立てのときに見られるような井戸枠の曲がりがないという指摘があった。

短 所

1. ブロックを環状に組み立てるのが手間どる。

写真-5 井筒枠の組み立て

表-2 各種井筒の沈下設置日数

井 筒 の 種 類	沈下設置日数	備 考
ライナープレート製	約30日	掘削及び組み立ての日数
鉄筋コンクリート製	現場打設式	約70日
	組 立 式	掘削、コンクリート打設及び沈下の日数 21基(表-1)の平均日数

2. 上下の環状ブロックを連結する鉄筋を差し込む穴にモルタルを注入する際に、上下のブロックの継ぎ目からモルタルが漏れやすい。

3. 昇降階段に踊り場がなく危険である。

4. 井筒の内径が 2.5m であるため、集水および排水用のボーリングのロッドが短くなり、ロッドの継ぎ足しに手間がかかる。

5. 重量物であるため運搬が困難である。

これらの短所のいくつかは、現在までに逐次改良されている。その主な点はつぎのとおりである。

1. A型ブロックを1/2円、B型およびC型ブロックを1/4円とした。この結果、接合能率が上り、施工が早くなった。

2. 各環状ブロックの上下端をかぎ型に段差をつけ、相欠き継手とした。この結果、注入モルタルの漏れが少なくなった。

3. 昇降階段については 5m 毎に踊り場を設けた。また、手すりをつけることによって安全性を増した。

4. 井筒の内径を集水および排水ボーリングが可能な最小径である 2.5m としてきたが、施工現地の要望から、内径 3.0m の井筒をも製作することとした。

このような点を改良することによって、施工性がさらに向上した。しかし、各ブロックが重量物であるため、運搬ににくいという難点が未解決のままである。この点については今後の研究課題である。

なお、表-2 で組立式井筒の沈下設置に要する日数が 39.4日となっているが、この中には掘削中に孔壁の観察を行なったために作業が遅れた例（昭和47年度、栗沢地すべり地、写真-6）やバケットの落下による事故のために作業中止命令が出された例を含めているため、実際の日数より多くなっている。これら 3 例を除くと沈下設置に要する日数は36日となる。

4. まとめ

放射集水井工の本体である井筒の開発の歴史および施

写真-6 井筒掘削時（深さ13.0m）に見られたすべり面（ハンマーに平行に白く見える部分）（中頸城郡板倉町栗沢地すべり地）

工例についてのべてきた。

放射集水井工は、昭和30年（1955年）に開発されて以来、昭和48年（1963年）度までに新潟県砂防課だけで 257 基も施工されており、地すべりの防止に大きな効果をおさめてきた。現在では、この放射集水井工は新潟県砂防課での主要な地すべり対策工法となっている。しかし、放射集水井工が地すべり対策の主要な工法となるまでには、昭和30年（1955年）度での事故をはじめとして、各種のトラブルがあったのである。

新潟県砂防課では昭和30年（1955年）度での事故を教訓として、主として鉄筋コンクリート製現場打設式の井筒を本体とする集水井戸を施工してきた。そして、この現場打設式井筒の欠点を抜本的に改良するために、昭和45年（1970年）度には鉄筋コンクリート製組立式井筒を開発してきたのであった。

施工例としては、昭和45年（1970年）度に沖見地すべり地（東頸城郡牧村）で施工した組立式井筒についてのべている。そして、この組立式井筒にもいくつかの短所があり、逐次改良されつつあることをのべている。

（原稿受理日 昭和49年9月6日）