

## 2.6.4 杭工（抑止杭工）

杭工（抑止杭工）は、新潟県が創造し発展させると共に調査研究に貢献した工法である。この工法は緊急性の高い地すべり地に防止効果を発揮するので、移動中斜面において他の工法に先行して施工されてきた。これまでに施工された新潟県の杭総本数は5万3千本を超え全国でも卓越した施工実績となっている。このことは新潟の地すべり災害の多発性と激しい移動斜面の多いことと深く結びつき、危険性の高い地すべり移動を防止する効果を最も発揮した工法である。

新潟県の杭工の歴史的経過と調査研究および施工斜面の解明について報告する。

### （1）杭工（抑止杭工）創造の歴史

#### 1）杭打工の原型

杭打工の原型は、十日町市（旧松之山町）中尾において天保年間（1829～1843年）に発生した地すべり災害当時、中尾集落では人家や土蔵の周辺に丸太杭を打込んで地すべり移動を防止したと伝えられ、明治以降もこの丸太による杭打がおこなわれてきた。この杭打は移動土塊とすべり面の下の不動層を縫合するものではなく、移動土塊中に杭を打込んで土を緊迫させ移動を防止することを目的とした。

#### 2）松丸太による杭打工法

1914（大正3）年、国鉄金沢保線事務所が北陸本線筒石（現糸魚川市、旧能生町）において丸太杭を打込んで杭のせん断力によって移動土塊とすべり面以深の土塊を縫合する杭打工法を実施した。筒石川西約150mの北陸本線の線路が、1914（大正3）年12月14日、移動開始し、28日までに線路が40m区間にわたり680mm移動し、100mm隆起した。

この対策工事<sup>1)</sup>として、「松丸太12～21尺もの48本を2列に打込み土留枠とし、切取法尻に設置して切取勾配を緩和し、上部に排水溝を設ける等一時的設備をなし少々小康を得た。」と記され、その後の追加工事も含め杭打工事が下記のように行われたことが記録されている。

「大正3年 2,520円 松丸太84本法尻に杭打其他  
大正4年 250円 松丸太追加」

これがわが国最初の杭打工法の開始であって今から94年前の施工であった。

#### 3）戦後の杭工法施工と発展

県砂防課は、1952（昭和27）年、丸太杭による杭打工を開始し、翌年松之山町月池（現十日町市）において丸太杭（30本、長5m、径15cm）による杭打工を施工した<sup>2)</sup>。これが戦後最初の杭打工法である。その後高柳町（現柏崎市）栃ヶ原においても丸太杭の杭打工を実施したが、1959（昭和34）年、県単独費によるプレパクトコンクリート杭の開発試験が成功し、プレパクトコンクリート杭が普及した<sup>3)</sup>。プレパクトコンクリート工法はボーリング機で掘削した孔に鉄筋籠を挿入、砂利を充填したのち、孔底まで差し込んだ注入パイプを通してグラウトポンプでモルタルを注入する工法であって丸太杭よりはるかに強度が高くなった。しかし、掘削孔に沈殿するスライムの除去が困難で、そのためモルタルの充填が不完全になりやすかった。

1962（昭和37）年、松之山地すべり災害が発生し、緊急災害防止工事として1,000本を超える鋼管杭とコンクリートPCパイルが併用され、集水井と共に激しい移動の防止安定に著しい効果を発揮した。しかし、昭和30年代は地すべり防止地区における鋼管杭工法は地すべりの事業予算が少なく、高価な鋼管杭使用は困難でコンクリートPCパイルが多く使われた。昭和40年代になって予算の増大にともなって鋼管杭に交替してゆき1970（昭和45）年頃には鋼管杭の杭工法が一般的となり、現在の杭工法が確立された。

一方、昭和30年代から全国的にダム建設が急増し、それにとまってダムサイトに地すべりが発生した。地すべり危険ダムは21カ所におよんだ。二瀬ダムの麻生地すべり（埼玉県）においては1961（昭和36）年、鋼管杭の杭工法が施工された。新潟県の儀明ダム、五十嵐川ダム、奥三面川ダムの地すべりにおいても杭工を施工して安定を計った。

## (2) 杭工（抑止杭工）設計法研究の経過

### 1) 初期の杭打工（抑止杭工）設計

杭打工研究を歴史は Lamb、White による粘性流動体中に剛な杭が挿入された時に杭に作用する抵抗力を求める解析式や実験式があり、また、Highway Research Board で当時アメリカの地すべり防止対策杭の設計に用いられていた Hennes 式が紹介されて杭打工の設計に用いられた。この式は地すべり土塊を塑性体として杭に作用する土圧を理論的に求めたものである。

県砂防課係長湊元光春はプレパクトコンクリート杭を開発し、その設計計算法<sup>4) 5)</sup>は C. M. White の粘性流体中の円筒抵抗式を援用した。その式は杭をすべり面より突出した片持梁とし、その断面を曲げ応力によって計算する式である。

1963（昭和 38）年、谷口敏雄は著書「地すべり調査と対策」<sup>6)</sup>の中で設計計算法を提案した。この式は杭をすべり面から突出する片持梁のとする考え方は湊元と同様であるが、杭強度によって抵抗力を増加させることと、軟弱な土に杭打ちすることによって緊密させ抵抗力を増加することを目的とした。

### 2) 弾性梁としての抑止杭計算式の確立

#### ① 片町地すべり地（旧牧村）におけるコンクリートパイルのモーメント分布と破壊型の解明

県治山課技師福本安正は 1967（昭和 42）年 11 月、片町地すべり地杭打工事における 2 本のコンクリートパイルにひずみ計と土圧計を杭前面と後面に取り付けて挿入し計測を続けた。



写真 2.6.17 ひずみ計取り付けパイル

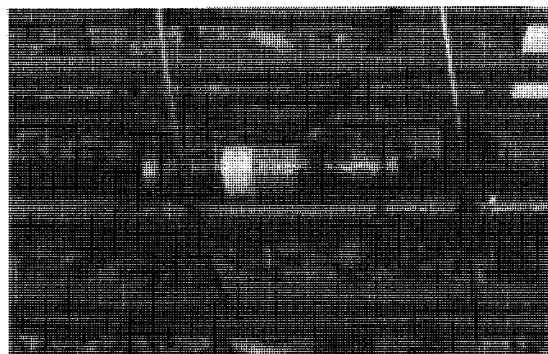


写真 2.6.16 パイルの主鉄筋のひずみ



写真 2.6.18 ひずみ計取り付け

高野秀夫は地すべり移動層を直接抑えるために地すべり地内に杭を打ち、基岩中に挿入して杭の抵抗力で阻止する考えに立った式を提案<sup>7)</sup>

した。渡正亮は杭打工法には地盤を強化し、コンプレッションゾーンの強化を図るものと、移動土塊と不動地盤の間にくさびを打ち込んですべりを抑止する 2 つの工法があることについて説明した<sup>8)</sup>。

その結果、ひずみ計測からもとめたモーメントおよびせん断力分布は図 2.6.11 のようになった。

地スベリ防止グイ

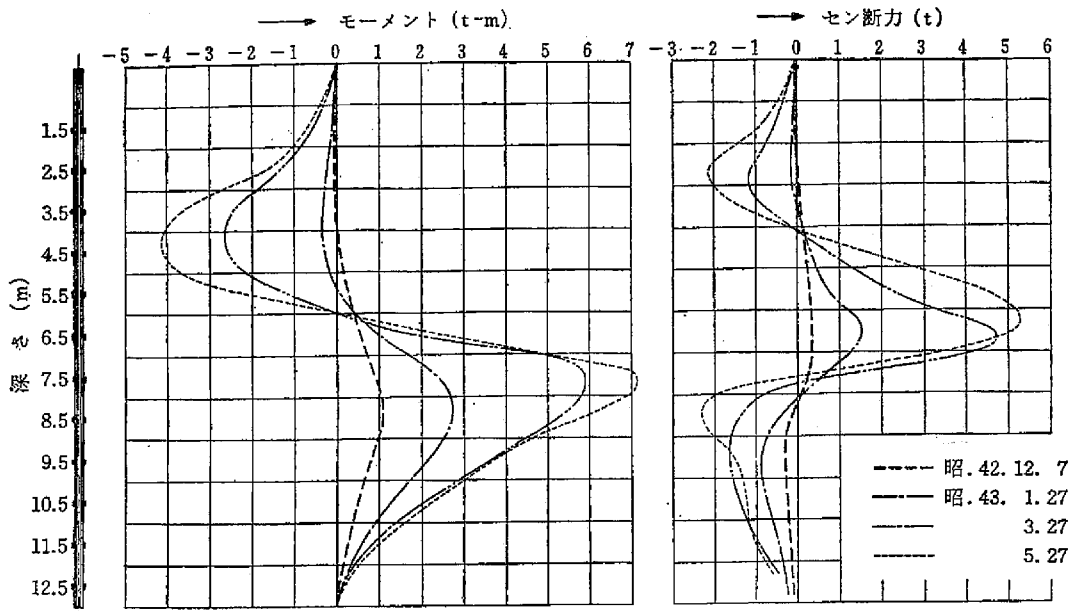


図 2.6.11 パイルのモーメント、せん断力分布図

図で見るとすべり面上に第1最大モーメントとすべり面下に第2最大モーメントが分布し、すべり面部分はモーメントゼロとなっている。計測開始1年後モーメント最大点は弾性領域を超え塑性領域に移行し断線を開始した。それと共に写真 2.6.19 に見るようにどの杭も杭頭が傾いた。1969 (昭和 44) 年 5 月、2 本の歪計パイルの引抜き破壊調査をおこなった。その結果写真 2.6.21 のような破壊がみられた。

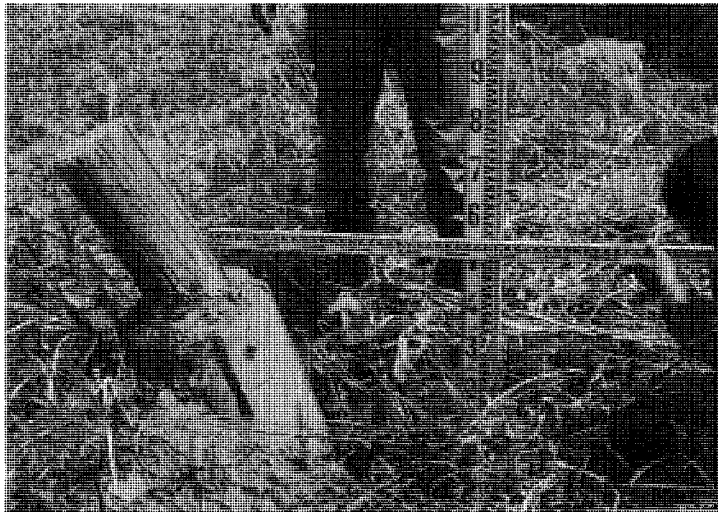


写真 2.6.19 パイルの頭部変位



写真 2.6.20 パイルの破壊状況

以上のことを考察すると次のことが明らかになった。

- a) 引き抜いた 2 本の杭の杭破壊はすべり面上と下の 2 カ所で発生し、すべり面部分は無傷で、ひずみ計から求めた最大曲げモーメント分布と杭破壊部分が一致している (右側の杭は手前が杭下、向こう側が杭頭、左側の杭は手前が杭頭、向こう側が杭下)。
- b) 写真 2.6.20 右側のパイルの破壊はすべり面上の破壊よりもすべり面の下の破壊が大きく、図 2.6.11 の第 2 最大モーメントの大きさが第 1 最大モーメントより大きいのと良く対応している。
- c) すべり面上部鉄筋の屈曲方向は杭の応力方向を表している。

d) 土圧計による土圧の大きさは、すべり面上部の第1最大モーメント付近の下流側が最も高く  $7 \text{ kg/cm}^2$  となり、地盤反力の大きさを示した。

以上のことから地すべり土圧に抵抗する杭は片持梁ではなく弾性梁として挙動することが実証された。そして「杭反力は杭のたわみに比例する」とする K. Y. Chang の式が抑止杭のモーメント、せん断力、反力等の応力計算に適合することを究明し、土質工学会論文報告集<sup>9)</sup>に発表した。この考えがやがて定説となっていった。

### ② 向山地すべり地（旧牧村）のコンクリートパイルの破壊型

片町地すべり地のパイルの破壊型は向山地すべり地のパイルの引抜調査においても実証された。写真 2.6.21 に見るようにすべり面の上下でコンクリートが破壊し、すべり面部分のコンクリートは無傷であって前述の片町地すべり地の杭破壊およびモーメント分布図と一致している。鉄筋の屈曲方向は地すべり土圧および地盤反力とその方向を表している。したがって、杭のモーメントと杭・地盤反力の関係は図 2.6.12 のように表され、杭頭に拘束反力が働いていることになる。



写真 2.6.21 向山地すべり地のパイル破壊

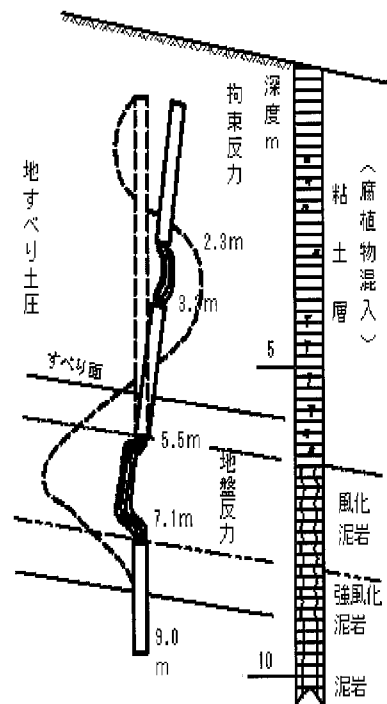


図 2.6.12 パイルの破壊、すべり面、応力  
点線の曲線はモーメント分布

### 3) ひずみ計鋼管杭による解明

県治山課は、防止杭の効果的な設計および施工法を確立するため、激しい移動を続ける地すべり地を選び、その斜面の防止杭（鋼管杭）に歪計・土圧計を取り付け計測すると共に、杭の引抜破壊調査を行って弾性梁としての杭挙動と杭抵抗力の解析を行った。地すべり地数は9地区、歪計鋼管杭の総本数は49本となった。主要な解明課題は次のとおりである。

#### ① 調査課題

- ひずみ計を取り付けた鋼管杭とコンクリートパイルの強度試験<sup>10)</sup>
- 杭剛性の大きい杭と小さい杭のモーメント分布の相違：八幡地すべり地・東戸野地すべり地

- c) 地すべり発生時の最大モーメントの急増が、地すべり停止後どのように推移するか：八幡地すべり地
- d) 地すべり発生時のモーメント分布と土圧：八幡地すべり地
- e) 杭配列位置による杭の応力分布と杭破壊型の相違：東戸野地すべり地
- f) 杭の破壊点と地すべり面の深さから K. Y. Chang 式の適合検証：仁上地すべり地・切光地すべり地
- g) 杭頭剛結によるモーメント分布：東野名地すべり地
- h) 鉄筋コンクリート集水井は剛性杭か弾性杭か：東野名地すべり地
- i) 地すべり面からの杭突出長の相違によるモーメント分布型の相違：上牧地すべり地
- j) すべり面が深いときのモーメント分布：機織地すべり地
- k) 杭土圧の深さごとの土圧量・方向変化（ベクトル）：片町地すべり地
- l) 破碎帯・礫層地すべりにおける杭のモーメント分布：橋立地すべり地

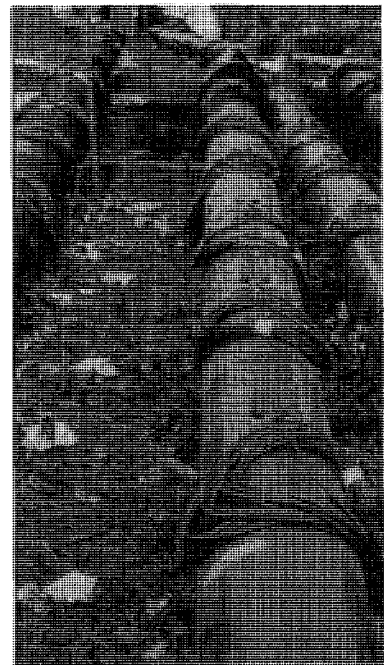


写真 2.6.22 ひずみ計鋼管杭

これらの調査は次の地すべり地で実施した。

## ② 調査地すべり地

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 東野名地すべり地（魚沼市） <sup>11) 12) 13) 14) 15)</sup> | 八幡地すべり地（妙高市） <sup>16) 17)</sup> |
| 東戸野地すべり地（上越市） <sup>18) 19) 20) 21)</sup>     | 機織地すべり地（妙高市） <sup>22)</sup>     |
| 仁上地すべり地（上越市） <sup>23) 24)</sup>              | 上牧地すべり地（上越市） <sup>25)</sup>     |
| 片町地すべり地（上越市） <sup>26) 27)</sup>              | 向山地すべり地（上越市） <sup>28)</sup>     |
| 橋立地すべり地（糸魚川市） <sup>29)</sup>                 |                                 |

## ③ 研究報告書

研究成果は次の文献に報告された。

- 新潟県農林部治山課（1977. 1）：地すべり調査報告書—地すべり工法（杭打）調査
- 地すべり学会・新潟県（1991. 17. 17）：東野名地すべり
- 福本安正（1972）：地すべり防止グイの挙動に関する研究、土質工学会論文報告集、Vol. 12、No. 2
- 福本安正（1970）：地すべり防止杭打工法の杭の強度について、地すべり、Vol. 6、No. 4
- 福本安正（1967）：東野名地すべりの地下内部変動について、地すべり、Vol. 15、No. 3
- 福本安正（1980）：地すべり斜面土塊の変位計測と安定解析の総合的調査方法、地質と調査、3号
- 福本安正・山田精二（1982. 1）：集水井に生ずる応力と変形および破壊について、地すべり、Vol. 19、No. 1、pp. 27～33
- 福本安正・五十嵐祐介（2004. 3）：風化黒色泥岩に形成したすべり面、地すべり、Vol. 40、No. 6
- 福本安正・長清（2000）：地すべり防止杭の応力分布、挙動および地盤反力について、地すべり、Vol. 37、No. 1
- 福本安正（1972）：地すべり防止グイの挙動について、土質工学会論文報告集、Vol. 16、No. 2
- 福本安正（1974）：地すべり防止杭打工法について、地すべり、Vol. 11、No. 2
- 福本安正・西田隆・五十嵐祐介（2006. 11）：新第三紀の風化泥岩中に形成されたすべり面、地すべり、Vol. 43、No. 4
- 福本安正・五十嵐祐介（2004. 1）：寺泊層の風化黒色泥岩に形成したすべり面、地すべり、Vol. 40、No. 5
- 福本安正（1972）：地すべり土圧の変動状態について、新砂防、Vol. 12、No. 2
- 福本安正・富永功一・佐藤哲・古川昭夫（1983）：破碎地帯地すべり地における移動土塊と杭の挙動および杭打効果について、地すべり、Vol. 19、No. 3

#### 4) ひずみ計鋼管杭と施工杭等の破壊についての3つの調査例

上記9の調査現場から3つの調査例を選んで簡潔に概要を説明する。

##### ① 東戸野地すべり地 (旧清里村、現上越市) <sup>30)</sup>

1971 (昭和46)年7~8月、活発な移動が続く図2.6.13に示す斜面下部に35本の鋼管杭の挿入を行った。そのうちの4本の杭にひずみ計を取り付けて計測を続けた。

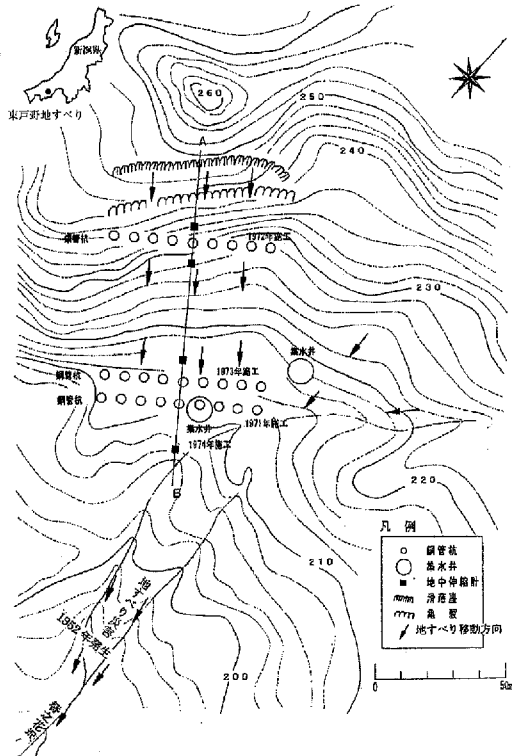


図 2.6.13 東戸野地すべり地平面図

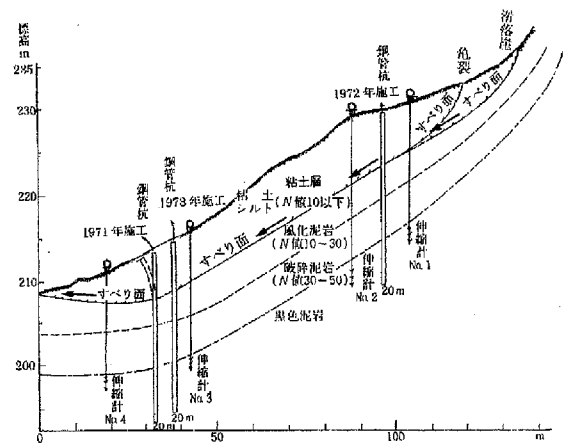


図 2.6.14 杭工斜面断面図

鋼管杭、すべり面、地層累重

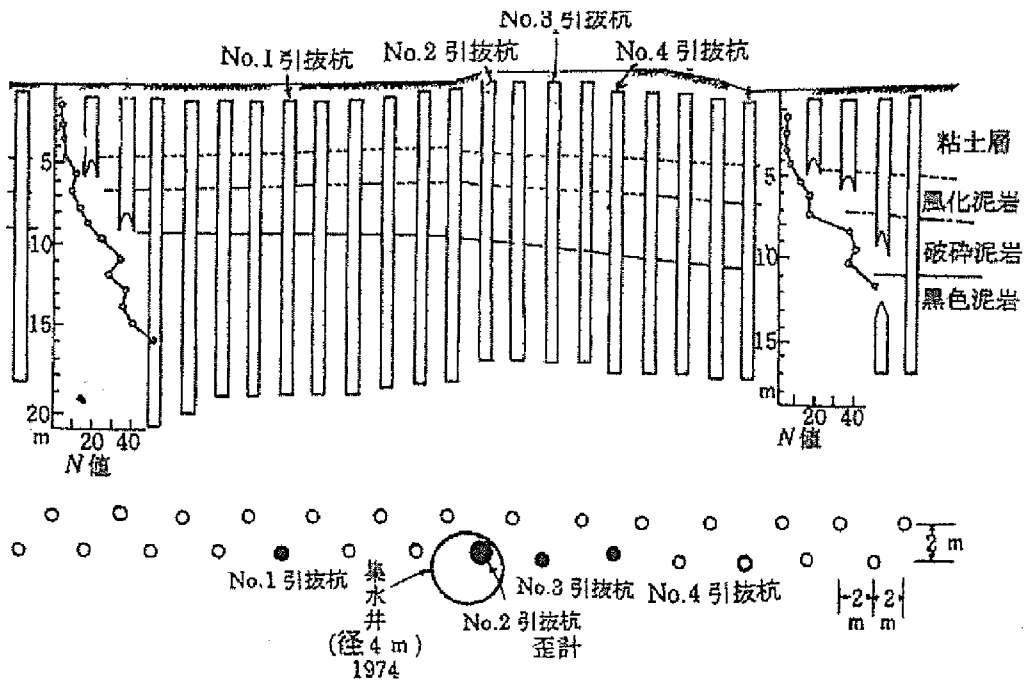


図 2.6.15 鋼管杭配列・引抜杭、土質累重 東戸野地すべり地 (旧清里村)

杭挿入3か月後杭頭が30cm傾き、6か月後60cm変位した。翌年8月、図2.6.15に示す4本の杭を引き抜いた結果、杭の変形状態は写真2.6.25および図2.6.16のようになった。



写真 2.6.23 鋼管杭の杭頭変位

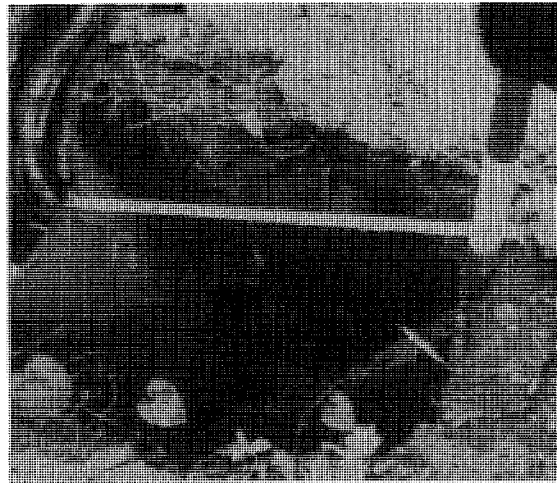


写真 2.6.24 ひずみ計鋼管杭 (No.2 引抜杭) の変位

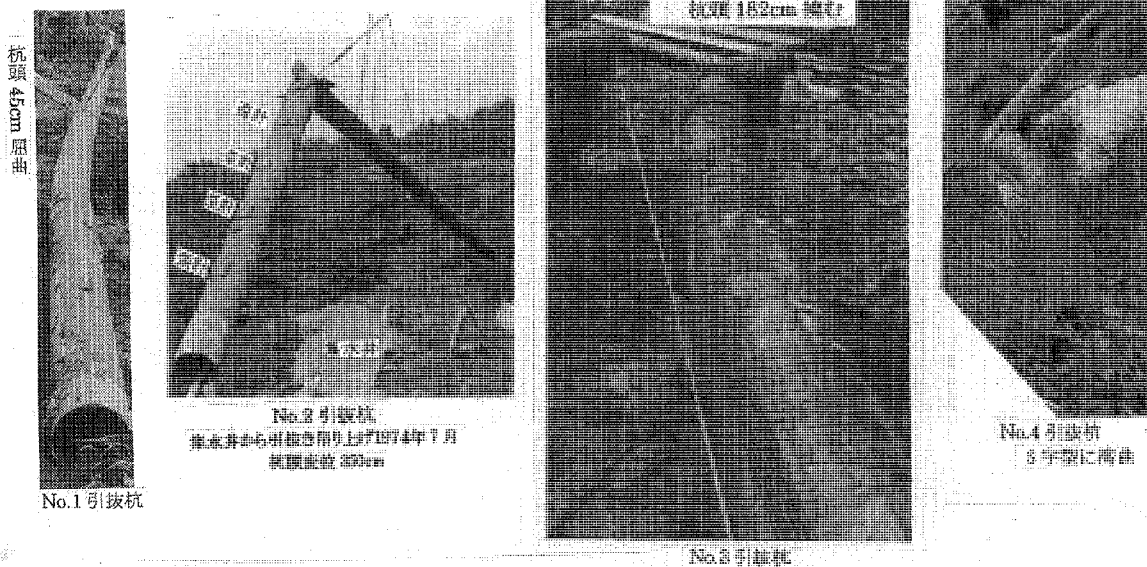


写真 2.6.25 移動土圧による鋼管杭の屈曲、変形状態 (No.1、3、4 引抜杭撮影 1973 (昭和 48) 年 8 月)

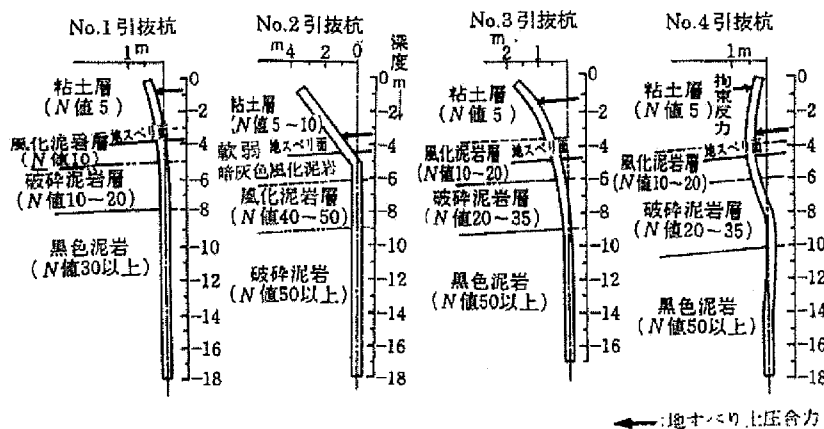


図 2.6.16 鋼管杭屈曲、応力、すべり面 東戸野地すべり地 (旧清里村)



以上の写真と図から次のことを考察することができる。

- a) 4本の引抜杭は隣接して近距離であるが、破壊型が著しく異なっている。移動土塊が粘弾性流動ないし塑性破壊する状態を表し、地すべり土圧が不均等にかかっている。
- b) これらの杭施工位置は斜面下部である。杭の変形、つまり土圧のかかり方と杭応力の応答は斜面位置に決まるものではないことを示している。
- c) 4本の杭の屈曲、湾曲状態の相違は地すべり土圧の合力点のすべり面からの高さや地盤反力の相違によるものと考えられる。
- d) 屈曲点、破壊点深度とすべり面の関係から地盤反力が作用している。とくにNo.4引抜杭の杭頭付近には拘束反力が作用している。破壊点深度からみて弾性曲線式から求める深度と一致する。
- e) 2年後の1973（昭和48）年に、この杭配列の10m上方に杭打を施工し、そのうちの2本の鋼管杭にひずみ計を取り付けて計測を行ったが、モーメントは著しく微少ですでに安定状態にあった。

② 仁上地すべり地（旧大島村、現上越市）<sup>31)</sup>

1974（昭和49）年3月30日、図2.6.17に示す位置に鋼管杭85本を挿入し施工完了した。30日後の4月30日に地すべりが発生し、杭位置の土塊を抉って流下した。鋼管杭挿入付近の斜面を掘削してすべり面と杭破壊状態を調査した結果以下のようなになった。

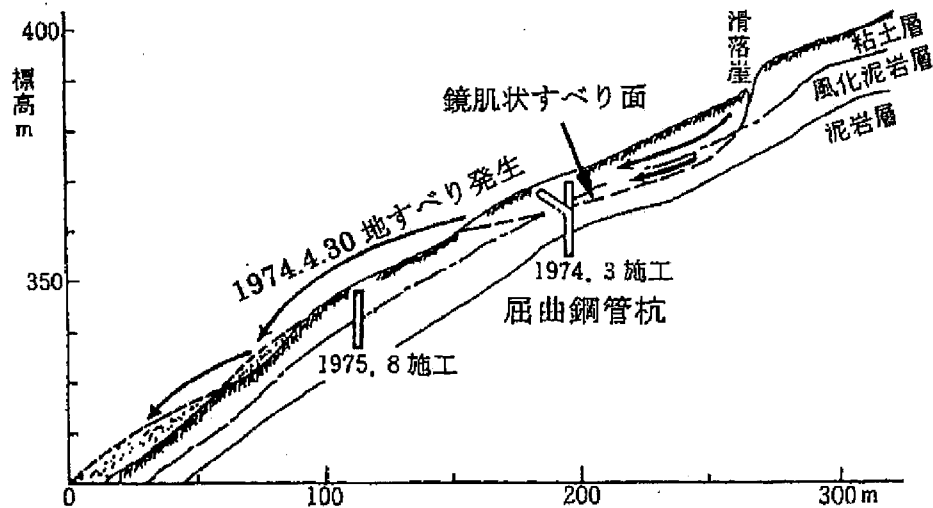


図 2.6.17 地すべり斜面断面図

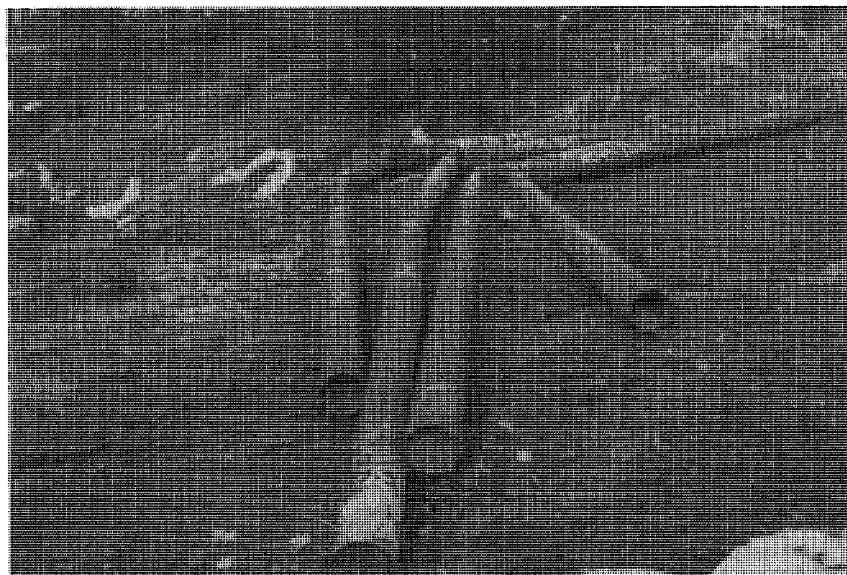


写真 2.6.26 鋼管杭の破壊状況



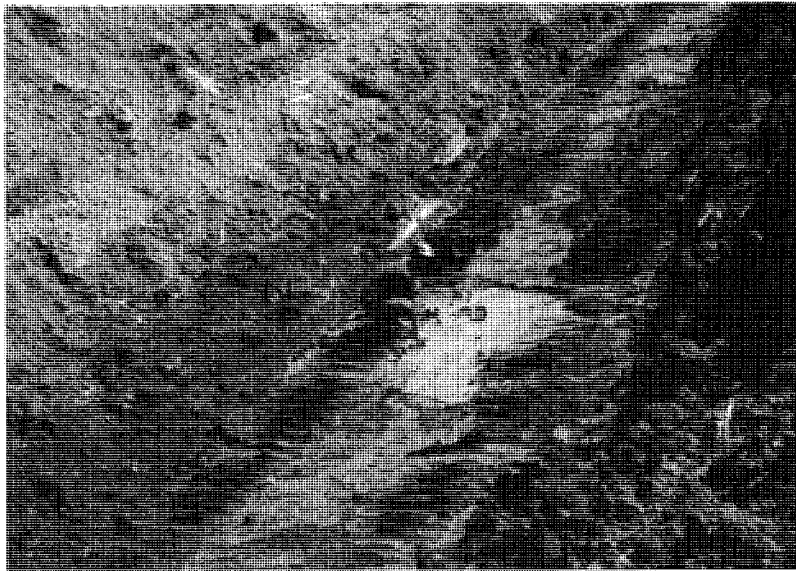


写真 2.6.27 掘り出されたすべり面

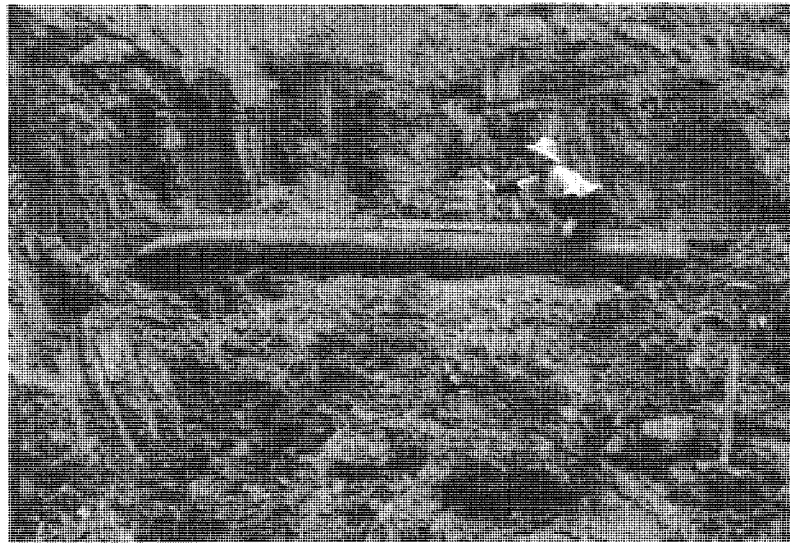


写真 2.6.28 引抜杭の破壊点 鋼管杭屈曲点はすべり面の下 0.7m

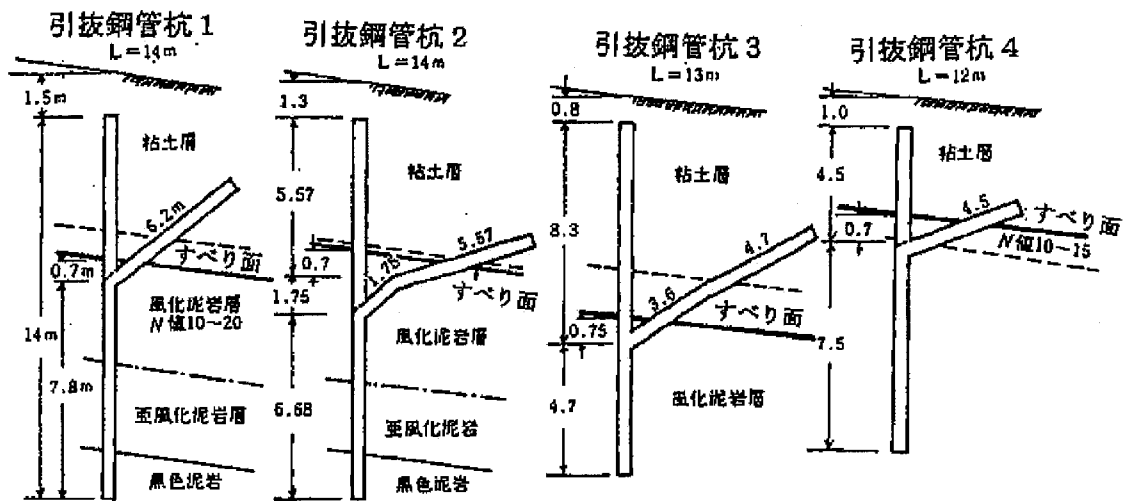


図 2.6.18 鋼管杭破壊点、すべり面、土質

すべり面は写真で見ると鋭い鏡肌状をなして形成し、杭の破壊点はすべり面の 0.7m と 0.75 m 下で屈折しており、Y. L. Chang の弾性曲線式から求めた 0.7m の深度と 3 本の杭がほぼ一致し、弾性曲線式の正しさを現場で検証することができた。

### ③ 八幡地すべり地 (旧新井市、現妙高市) <sup>31) 32)</sup>

八幡地すべり地の蛇香沢斜面は、大災害を反復する県下で著名な地すべり地で、古くから災害時には大量な移動土塊で下流の平丸川を堰き止め集落を水没させ、あるいは平丸川を氾濫させて砂防堰堤を倒壊するなどの被災を繰り返してきた。

蛇香沢の斜面長は約 1km で、激しい移動が斜面全体に発生するが、とりわけ上部斜面 450m の移動が最も激しく、水路、集水井工、土留工等の防止構造物は施工後たちまち破壊されてきた。しかし、1981 (昭和 56) 年から杭工法を本格的に開始し、斜面上部から下方に向かって初年度は 7 段の杭工を施工した。そして 2000 (平成 12) 年までに 21 段、杭総本数 1,180 本の施工によって、それまで防止不可能と言われてきた移動をほぼ完全に防止することができた。県下最大の杭工施工現場となり、杭に関する多くの計測・解析と共に施工法を学ぶことができた。とりわけ、激しく移動する斜面の上部から杭工を施工する効果を確認できたことは貴重であった。

図 2.6.19 平面図に鋼管杭の配列、ひずみ鋼管杭、集水井、土留工等の施工配置を示した。これらの杭 19 本にひずみ計、土圧計を取り付け、観測を続け地すべりと鋼管杭の挙動の解明を行った。

移動を防止する過程で集水井、水路、杭工等の構造物の被災状況を写真 2.6.29~2.6.32 に示した。

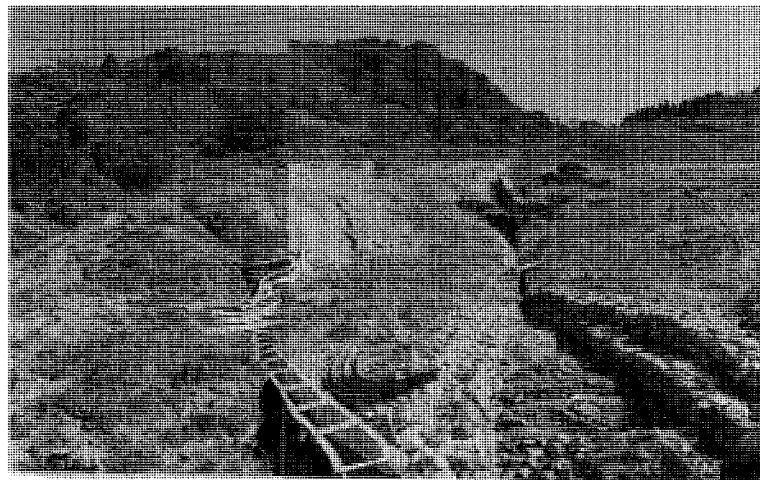


写真 2.6.29 蛇香沢上部斜面の水路の蛇行・隆起変形、土留工、集水井破壊状況

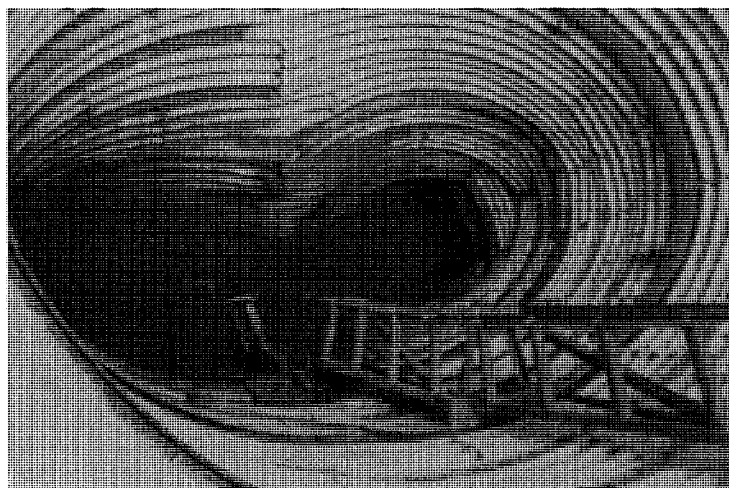


写真 2.6.30 集水井変形破壊



写真 2.6.31 鋼管杭頭変位



写真 2.6.32 斜面上部の集水井の隆起、水路変形

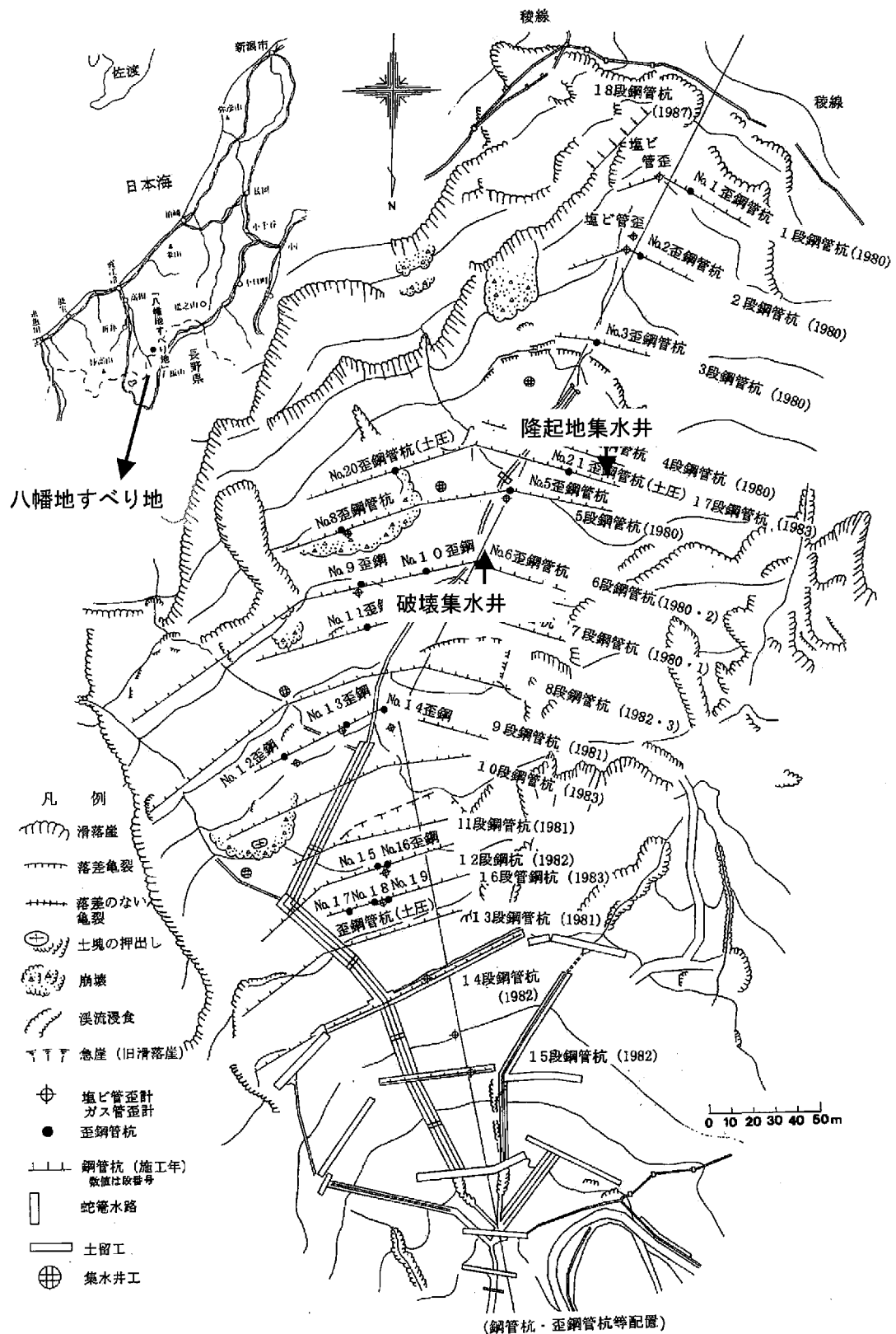


図 2.6.19 蛇香沢上部斜面平面図 八幡地すべり地 (妙高市)

以上、新潟県が先駆的に果たした杭工法の歴史的経過を概説した。

地すべり防止杭の研究が進み、防止杭の施工が急速に普及する中で、1977 (昭和 52) 年、中村浩之技官 (当時建設省土木研究所) が「地すべり防止対策グイの三つの機能」を土質工学会論文集に発表し<sup>33)</sup>、防止杭には斜面の位置によって 3 つの機能があると説明した。1988 (昭和 63) 年、(社

団法人) 地すべり対策技術協会に地すべり鋼管杭設計施工要領検討委員会が作られ、この会で抑止杭の研究調査結果を検討し、1990(平成2)年、「地すべり鋼管杭設計要領」を出版された<sup>3,4)</sup>。この設計要領は中村浩之博士の研究成果を反映して作成された。

### (3) 杭工(抑止杭工)施工経過の考察

新潟県砂防、治山、農地建設3課が地すべり等防止法成立以降施工した年代別杭工の杭本数は表2.6.1の通りとなる。

表 2.6.1 砂防、治山、農地建設3課の施工杭打工の杭本数

年代	砂防課	農地建設課	治山課	計	%
1958~'65	5,020		1,212	6,232	12%
'66~'70	3,386		5,304	8,690	16%
'71~'75	1,425	896	5,442	7,763	15%
'76~'80	1,132	4,663	4,623	10,418	20%
'81~'85	1,656	1,846	4,391	7,893	15%
'86~'90	466	1,350	1,545	3,361	6%
'91~'95	736	2,494	2,003	5,233	10%
'96~'00	164	1,934	592	2,690	5%
'01~'05	129	653	209	991	2%
'6	0	38	0	38	0%
計	14,114	13,874	25,321	53,309	100%
%	26%	26%	47%	100%	

この表から次のことを考察することができる。

- 施工本数5万3千本は、全国の施工総本数の過半数を優に超えていると考えられる。杭工法は緊急性の高い移動斜面に他の工法に先行して施工する工法である。それだけにこの工法が多いことは新潟県が地すべり災害の多発県であることを表している。
- 杭工の施工経緯をみると、1976(昭和51)~1980(昭和55)年をピークに最も多く施工されたのは1966(昭和41)~1995(平成7)年であって、この間に全体の82%を占め、1996(平成8)年以降はわずかになっている。このことは下表の地すべりによる死傷者と全壊人家の経緯とよく照応している。地すべり被害のうち最も深刻な死傷者と全壊人家であるが、1949(昭和24)年から1985(昭和60)年まで死傷者97人、全壊人家561戸で被災がピークをなし杭工最盛期と一致している。しかし、1986(昭和61)年以降は死傷者ゼロ、全壊人家3戸と著しく低減し、規模の大きな地すべり災害が減少しているが、杭工も減少の一途を辿ってきた。杭工法の効果が災害防止に有効に発揮され、1986年(昭和61)年以降、規模の大きな地すべり災害発生が少なくなってきたものと考察することができる。

表 2.6.2 地すべりによる死傷者、人家全壊年代別経緯

	'49 ~'65	'66 ~'70	'71 ~'75	'76 ~'80	'81 ~'85	'86 ~'90	'91 ~'96	'96 ~'00
死者	32	9	1	13	10	0	0	0
負傷者	24	0	0	1	7	0	0	0
全壊人家	467	24	5	40	25	0	6	3

- 総杭本数のうち砂防課、農地建設課はそれぞれ26%を占めているが、治山課は47%で約半数となっている。地すべり等防止法成立以来、治山課所管の地すべり地に移動斜面が多かったことを物語っている。

### (4) 杭工(抑止杭工)施工斜面の解析・・・どのような斜面で施工したか

杭工(抑止工)施工はどのような移動地すべり斜面に行ってきたかについての解析を、施工総本数の半数近くを占める治山課所管の地すべり地について述べる。治山課が1964(昭和39)年から

1990（平成2）年までの27年間の杭工施工斜面数は452、杭本数22,388本であって、この間の3課施工杭総本数合計の59%を占めている。1964（昭和39）年当時、治山課所管の地すべり地で移動継続中斜面が極めて多かった。施工費の高い杭工は予算の制約で緊急性の高い地すべり地から順次着工した。

いずれの斜面も杭のせん断抵抗によって設計計算を行い施工した。

### 1) 杭工施工斜面の分布

杭工施工斜面の郡別分布は表2.6.3および図2.6.20のようになる。

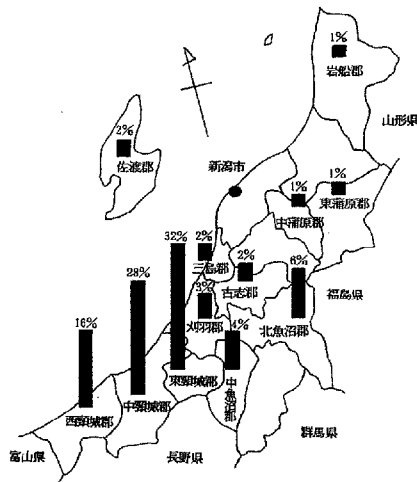


図2.6.20 杭工施工斜面郡別分布

図でみるように東頸城32%、中頸城28%、西頸城16%であって頸城3郡が76%であって全県の2/3を占め、地すべり災害発生分布と照応する。

### 2) 杭工斜面の地質

杭工施工斜面の地質は図2.6.21に表される。

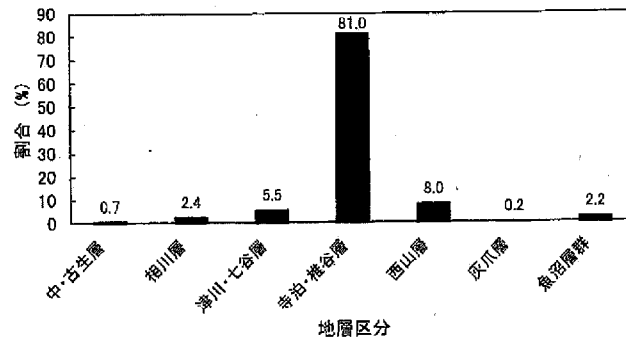


図2.6.21 杭工施工斜面と地層の関係

寺泊・椎谷層が81%と大半を占め、次いで西山層8%、津川・七谷層5.5%となる。

### 3) 杭工施工斜面のすべり面土質

杭工施工斜面のすべり面付近の土質は図2.6.22に示す通りである。

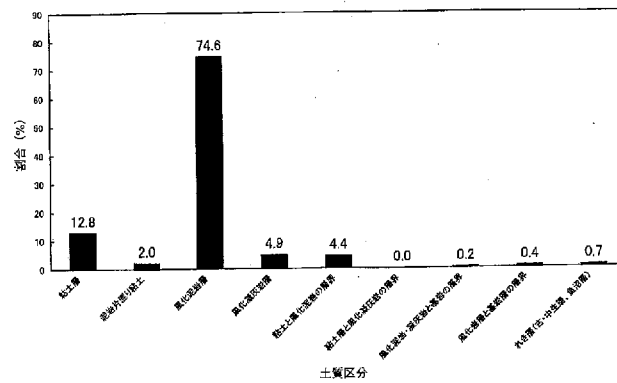


図 2.6.22 地すべり面付近の土質

図にみるように風化泥岩が74.6%を占め圧倒的に多く、次いで粘土層12.8%となっている。すべり面は強度の低い粘土層に形成されることが多いと想定されやすいが、風化泥岩層の中での形成が圧倒的に高くなる。

4) 地すべり面深度

地すべり斜面の上部から末端までの中間点のすべり面深度をその地すべり斜面のすべり面深度とし、その分布状態を図2.6.23に示す。

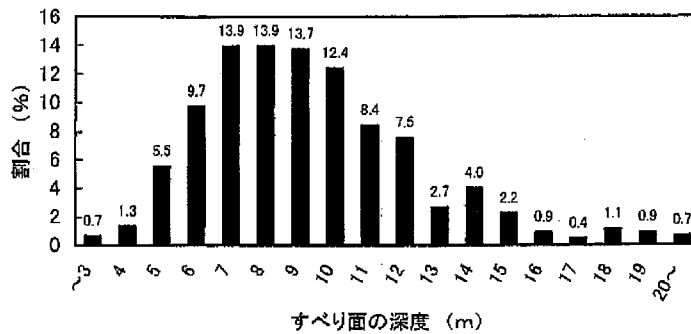


図 2.6.23 すべり面深度

深度7~10mの間に53.9%、6~12m79.5%と大半を占め、13m以深は12.9%とわずかとなる。

5) 杭工施工斜面の斜面長

斜面上部の移動開始点から末端部までを斜面長とし、10分類した分布を図2.6.24に示す。

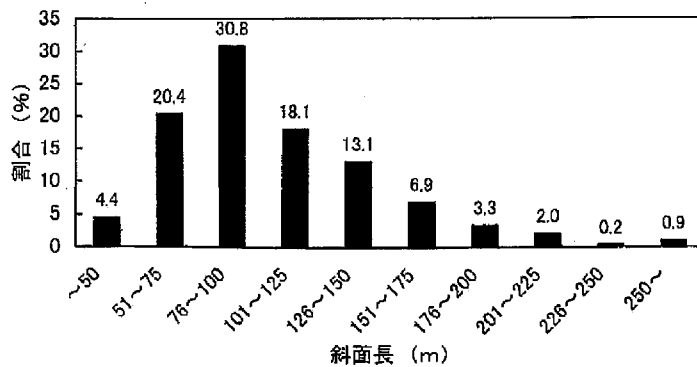


図 2.6.24 杭工施工斜面の斜面長

斜面長分布は76~100m間に30.8%、51~125m間に69.3%で全体の2/3を占める。

6) 杭工施工斜面の傾斜角

斜面上部移動地点から末端地点を結んだ線を平均勾配とし、その値の分布を図2.6.25に示す。



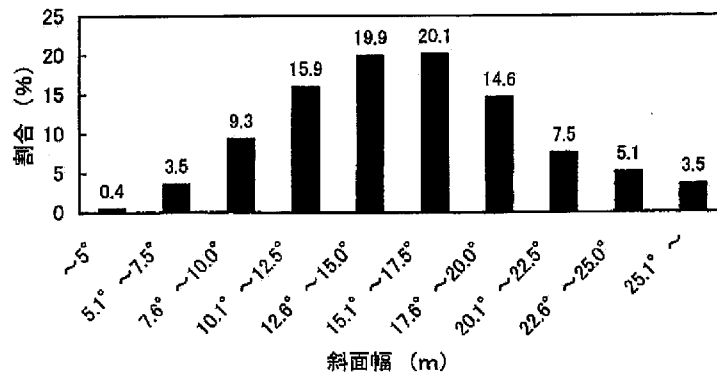


図 2.6.25 杭工施工斜面の傾斜角

図が示すように斜面傾斜角 12.6° ~ 17.5° 間に 40% を占めてピークをなす正規分布となる。

### 7) 杭工 (抑止杭工) 施工の段数

杭工の設計は地すべり斜面の安定計算を行って杭の剛性と施工段数を決定し、杭間隔は 2m の千鳥配置として施工されている。施工後、移動が停止しない時は安定するまで段数を追加施工してきた。また、安定計算の杭抵抗は杭のせん断抵抗として設計してきた。

425 斜面の杭段数は図 2.6.26 となった。

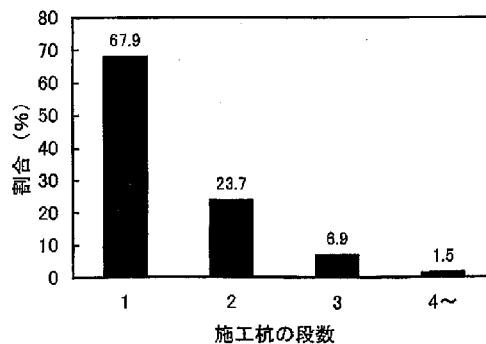


図 2.6.26 杭施工段数の分布

図のように、杭 1 段によって移動が停止した斜面数 68%、2 段が 24%、3 段以上は 9% となる。

以上の解析結果を以下にまとめる。

- 杭工施工斜面 (移動斜面) 分布は地すべり災害発生分布とよく相似する。
- 杭工施工斜面 (移動斜面) の地層は寺泊・椎谷層が 81% を占める。
- 杭工施工斜面 (移動斜面) のすべり面付近の土質は風化泥岩が 75% を占める。
- すべり面深度は 7~10m が 54% を占める。杭工施工に適した深度である。
- 杭のせん断抵抗で設計計算し施工した結果、杭 1 段で移動が停止する斜面が 70%、2 段で停止する斜面 24%、3 段以上が 8% であった。移動中斜面の 70% が杭工 1 段のせん断力により安定させることができたことはこの工法の効果の大きさを示している。3 段以上施工の斜面は極めて移動が激しい災害反復地であるが、杭工によって安定しその後再発はほとんど見られない。
- 安定計算をモーメント対応で行うと杭せん断抵抗の場合の 4 倍以上となる。いずれの計算方法を採用するか以上に当該斜面の安全率をいかに正確に捉えるか、しかも四季によって変化することを考慮することが大切である。
- 杭を多段配列する場合、単年で多段施工するか、それとも連年で多段とするかによって杭の応力挙動は大きく変化する。
- 杭 3 段以上施工して斜面が安定状態となった時点の安全率 1.0 として移動時点の安全率を逆算で求めると 0.8 前後か、さらに低く、著しいところでは約 0.5 となる<sup>32)</sup>。これらの値は抑え盛土によって移動を停止させた時の逆算安全率値と似通っている<sup>33) 34)</sup>。移動斜面の安全率は移動運動

のプロセスによって変化する。それだけに杭工設計因子評価と安定計算は設計技術者の英知に任されている。

以上、新潟県の杭工の歴史的経緯を報告しました。中村浩之博士から貴重なご助言を頂き上梓できましたことを厚く感謝いたします。

(福本 安正)

#### 引用文献

- 1) 堀山力熊 (1936) : 北陸本線筒石・名立間地這り、土木工学、第5巻第2号 pp.92~91
- 2) 新潟県砂防課 (1958.3) : 地すべり調査報告書、pp. 64~65
- 3) 新潟県 (昭和38年5月) : 新潟県地すべりの現況と対策、p.20
- 4) 湊元光春 (1962) : 地すべり防止杭打工法について、全国地這対策協議会、第5集、pp.96~105
- 5) 全国地這対策協議会 (1965.7) : 杭打工法、松之山地すべり、pp.30~32
- 6) 谷口敏雄 (1963) : 地すべり調査と対策、pp.136~139、山海堂
- 7) 高野秀夫 (1960) : 地すべり防止工法、地球出版、pp.131~141
- 8) 渡 正亮 (1971) : 地すべり・斜面安定の実態と対策、山海堂、pp.167~182
- 9) 福本安正 (1972) : 地すべり防止グイの挙動に関する研究、土質工学会論文報告集、Vol.12、No.2、pp.61~73
- 10) 福本安正 (1970) : 地すべり防止杭打工法の杭の強度について、地すべり、Vol.6、No.4、pp.15~25
- 11) 福本安正 (1967) : 東野名地すべりの地下内部変動について、地すべり、Vol.15、No.3、pp.40~48
- 12) 福本安正 (1977) : 杭頭剛結による効果と挙動、地すべり調査報告書—地すべり工法 (杭打) 調査、新潟県治山課、pp.18~26
- 13) 福本安正 (1980) : 地すべり斜面土塊の変位計測と安定解析の総合的調査方法、地質と調査、3号 pp.12~21
- 14) 福本安正・五十嵐祐介 (2004.3) : 風化黒色泥岩に形成したすべり面、地すべり、Vol.40、No.6、pp.69~71
- 15) 福本安正・山田精二 (1982.1) : 集水井に生ずる応力と変形および破壊について、地すべり、Vol.19、No.1、pp.27~33
- 16) 福本安正 (1987.3) : 歪鋼管杭による測定解析、八幡地すべり、新潟県治山課・林業試験場、pp.34~94
- 17) 福本安正・長清 (2000) : 地すべり防止杭の応力分布、挙動および地盤反力について、地すべり、Vol.37、No.1、pp.25~34
- 18) 福本安正 (1972) : 地すべり防止グイの挙動について、土質工学会論文報告集、Vol.16、No.2、pp.91~96
- 19) 新潟県農林部治山課 (1997.1) : 地すべり調査報告書—地すべり工法 (杭打) 調査
- 20) 福本安正 (1974) : 地すべり防止杭打工法について、地すべり、Vol.11、No.2、pp.21~29
- 21) 福本安正・西田隆・五十嵐祐介 (2006.11) : 新第三紀の風化泥岩中に形成されたすべり面、地すべり、Vol.43、No.4、pp.51~58
- 22) 9) 地すべり面が深いときの杭反力分布状態、 pp.28~34
- 23) 15)96~97
- 24) 福本安正・五十嵐祐介 (2004.1) : 寺泊層の風化黒色泥岩に形成したすべり面、地すべり、Vol.40、No.5 pp.97~99
- 25) 15) pp.99~100
- 26) 福本安正 (1972) : 地すべり土圧の変動状態について、新砂防、Vol.12、No.2、pp.31~38
- 27) 7)
- 28) 15) pp.97~99
- 29) 福本安正・富永功一・佐藤哲・古川昭夫 (1983) : 破碎地帯地すべり地における移動土塊と杭の挙動および

- 杭打効果について、地すべり、Vol. 19、No. 3、pp. 1～9
- 30) 16)、17)、18)、19)
  - 31) 24)
  - 32) 14)、15)
  - 33) 中村浩之 (1977) : 地すべり防止対策グイの三つの機能、土質工学会論文報告集、Vol. 17、No. 1、pp. 99～109
  - 34) 地すべり対策技術協会 (1990. 10) : 地すべり鋼管杭設計要領
  - 35) 新潟県農林水産部治山課(1987. 3) : 八幡地すべり、pp. 93
  - 36) 谷信弘、福木安正 (1991. 9) : 北陸自動車道大平寺地区における地すべり変状と対策工、基礎工、総合土木研究所
  - 37) 高速道路技術センター (1998. 2) : 地すべり対策、北陸自動車道 (上越一朝日) — I 期線における設計・施工から管理まで一、pp. 11-1. ～11-8