

道路における地すべり抑止杭の挙動と設計法

The Behavior and Design of Landslide Prevention Piles along Highway

黒川 国夫* 菅野 誠**

Kunio KUROKAWA and Makoto KANNO

抑止杭の挙動観測を行った8カ所の解析結果を取りまとめ、従来の設計法の適合性や問題点を明らかにし、合理的な抑え杭設計法を提案する。

抑え杭、くさび杭の区分は、地すべり地形と杭の施工位置によって決定される。しかし、急な斜面に施工された杭は従来の区分と異なり、地すべり中部であっても抑え杭の挙動を示す。くさび杭の挙動を示す地形の特徴は移動層の厚さが十分で、地表面の勾配が緩やかなことである。

抑え杭は、門形ラーメン構造による計算が現地における挙動とよく合致した。今後、抑え杭の設計は千鳥配列、杭頭は剛結合とし、門形ラーメン構造による計算が合理的である。

杭の必要抑止力は、従来から行われている簡便分割法によって精度よく算出できるが、前提として地すべり機構解析を適切に行うことが重要である。

《地すべり；地すべり抑止工；地すべり抑止杭；斜面安定解析》

A rational design method with piles for landslide prevention is suggested by an analysis of the behavior of such piles. Wedge Piles and cantilever piles are classified from the geographical features and the position of the piles in cut slopes.

Piles set to prevent landslides in steep cut slopes are regarded as cantilever piles even in the center of the slope. Piles are classified as wedge piles when set in an adequately thick stratum with a gentle slope.

The behavior of cantilever piles agreed with analytical result of a rigid frame model. Cantilever pile designs based on the rigid frame model suggest that a staggered alignment and rigid structure are advantageous. Pile numbers are accurately calculated by a simplified model under the condition where the landslide mechanism is analysed.

Keywords: landslide, landslide prevention works, landslide prevention pile, slope stability analysis.

まえがき

地すべり対策工のひとつとして、鋼管による抑止杭工がある。抑止杭は抑え機能、くさび機能、補強機能の3つの機能¹⁾があり、それぞれ種々の算定式が提案されている。一般に基礎杭は杭頭に鉛直力や水平力が作用し、周辺地盤が支持する主働杭である。一方、地すべり抑止杭は、地盤の移動に応じて杭が支持する受働杭であり、提案されている杭の解析方法も主働杭と異なる。

道路の場合、地すべり地の切土や盛土を伴うことが多いために杭の挙動も複雑であり、従来の設計法では適合しない場合が少なくない。このため、挙動観測を行った8カ所の杭の応力解析結果^{2),3),4),5)}を取りまとめ、従来の設計法の適合性や問題点を明らかにするとともに、抑え杭設計法として門形ラーメン構造の計算モデルを提案する。

*防災雪氷研究室主任研究員 **前防災雪氷研究室員 現室蘭開発建設部苫小牧道路事務所第2工事課

1. 地すべり調査個所の概要

昭和58年度以降、国道の地すべり対策工として施工された抑止杭設置個所のうち、12カ所の挙動観測を行った。これらのうち、表-1に示す8カ所の杭では一定の曲げモーメント分布が観測され、杭に作用する地すべり力と作用位置などが明らかになった。8カ所の地質は白亜紀の泥岩、砂岩を基盤岩とするもの3カ所（A, C, F）、新第三紀層の泥岩を基盤岩とするもの5カ所（B, D,

E, G, H）である。地すべり規模は、幅員50～180 m、延長50～200 m、深度10～20 mである。

対策工は、抑制工として8カ所のうち7カ所（A, B, C, D, E, G, H）で集水井や集水ボーリングが施工されている。抑止工はすべて鋼管杭（ $\phi 318.5 \sim 609.6$ mm）が採用され、せん断杭として設計されたものが5カ所（B, C上・下段, D, F上段）、くさび杭が5カ所（A, E下段, F下段, G, H）、他の方法によるもの

表-1 地すべり調査個所の概要

記 号	調 査 個 所 名	地 質 (上)移動層 (下)不動層	地すべり 規 模	抑 制 工	抑 止 工			
					上下 別	鋼 管 杭	施 工 年 度 (昭和)設計法	
A	一般国道239号 苦前町 二股地すべり	強風化泥炭 泥 炭	幅100 m 長200 m 深 18 m	集水井 3 基 集水ボーリング	—	千鳥配列1.10 m間隔 径 609.6mm 厚 40mm	59	くさび杭
B	一般国道237号 平取町 幌毛志地すべり	礫混じりシルト 粘 土 泥 岩	幅 50 m 長160 m 深 15 m	集水井 1 基 集水ボーリング	—	千鳥配列0.90 m間隔 径 508mm 厚 12.7mm	58	せん断杭
C	一般国道274号 夕張市 登川地すべり	礫混じりシルト 強風化砂岩 砂 岩	幅100 m 長 90 m 深 15 m	集水井 1 基 集水ボーリング	上段	千鳥配列1.00 m間隔 径 600mm 厚 18mm	61	せん断杭
					下段	千鳥配列1.00 m間隔 径 318.5mm 厚 13mm	61	せん断杭
D	一般国道274号 占冠村 名石(I)地すべり	強風化泥岩 泥 岩	幅 50 m 長 50 m 深 10 m	集水ボーリング	—	千鳥配列1.25 m 径 318.5mm 厚 6.9mm	61	せん断杭
E	一般国道229号神恵内村 窓岩地すべり	砂 礫 角礫凝灰岩 泥 岩	幅 60 m 長 50 m 深 20 m	集水井 1 基 集水ボーリング	上段	千鳥配列1.00 m間隔 径 600mm 厚 12mm	61	曲 げ 杭
					下段	単 列1.00 m間隔 径 406.4mm 厚 12.7mm	63	くさび杭
F	一般国道274号 穂別町 楓地すべり	強風化砂岩 砂 岩	幅180 m 長 75 m 深 10 m	—	上段	千鳥配列1.50 m間隔 径 400mm 厚 16mm	62	せん断杭
					下段	千鳥配列1.50 m間隔 径 600mm 厚 19mm	62	くさび杭
G	一般国道274号 占冠村 名石(II)地すべり	礫、火山灰 砂岩、泥岩	幅100 m 長120 m 深 15 m	集水井 2 基 集水ボーリング	—	千鳥配列1.50 m間隔 径 609.6mm 厚 16mm	62	くさび杭
H	一般国道237号 日高町 日高峠地すべり	強風化泥岩 泥 岩	幅100 m 長100 m 深 11 m	集水井 3 基 集水ボーリング	—	千鳥配列1.50 m配列 径 500mm 厚 12mm	62	くさび杭

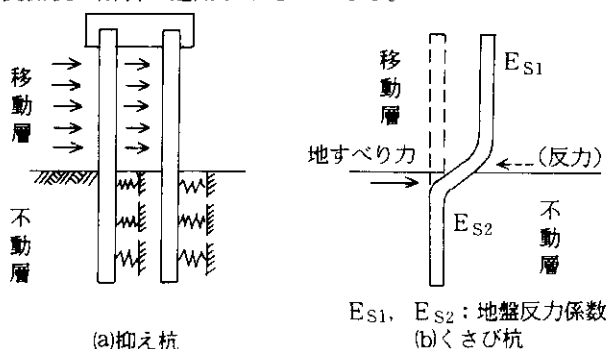
が1カ所（E上段）である。杭の配列は千鳥または単列であり、いずれの場合にも鉄筋コンクリートにより頭部が連結されている。

2. 抑止杭の解析方法

現在、杭に作用する地すべり力の正確な値を、直接計測する方法は確立されていない。このため、鋼管杭にひずみゲージまたはひずみ計を取りつけ応力を測定するとともに、孔内傾斜計により杭と地盤の水平変位を測定し、これらの値と各種計算モデルの解析による計算値とがほぼ一致した場合の水平力をすべり力とする。

採用した計算モデルは、A～Fの6カ所は抑え杭，G，Hの2カ所はくさび杭である。抑え杭は、地すべり移動層を片持ちばり的に直接抑えようと杭である。くさび杭は、移動層と不動層の間にたわみやすい杭を設置した場合、杭が2層をつなぎ止めるくさびのようにダウエル力を発揮する杭である。

抑え杭個所の杭の配列は、8カ所（A，B，C上・下段，D，E上段，F上・下段）で千鳥，他の1カ所（E下段）は単列であり、杭頭部はいずれも鉄筋コンクリートにより連結されている。このため、千鳥配列の場合は計算モデルとして門形ラーメン構造の導入をはかり、単列の場合には単杭とし、いずれの場合も移動層の地盤反力を考慮しない弾支承上のはりとして解析する（図－1(a)）。この解析手法は一般的には主働杭の計算に用いられているが、移動層の地盤反力を考慮しないことにより、受働杭の解析に適用するものである。



図－1 抑止杭解析モデル図

G，H杭は、「道路土工指針」⁶⁾に示されているくさび杭式により解析を行う（図－1(b)）。当箇所は千鳥配列で、杭頭部は鉄筋コンクリートにより連結されているが、くさび杭式では単杭として扱う。

3. 抑止杭の挙動と考察

(1) 地すべり力と曲げモーメント分布

杭に作用する地すべり力と曲げモーメントの計測値および計算値を比較し、図－2に示す。これらの結果から

抑え杭とくさび杭に区分し考察を加える。

(a) 抑え杭

A～F杭は、抑え杭として計算された。地すべり力の分布はA，B杭ですべり面上方に集中し，C上段，D，E下段，F上・下段の杭は移動層区間に大きくバラついている。また曲げモーメント分布は、E下段杭の配列が単列のため異なった分布形状を示しているが、他の杭は荷重形態に応じて類似の分布形状である。

さらに、杭頭や杭先端に水平力の作用している杭もあり、これらについて検討を加える。B杭先端に地すべり方向と同一で、大きな水平力が作用している。これは、杭長が短いために地すべり力によって杭先端は頭部と反対方向に変位しようとし、このときの地盤反力が水平力と置き換えて計算されたためと考えられる。E下段杭は、先端に地すべり方向と逆向きの水平力が作用している。当箇所の調査結果を総合的に判断すると、深さ14.0 m付近にも移動速度の遅い地すべりの発生が認められた。この移動に伴って、杭先端に反力として水平力が作用していると考えられる。またC上段，D，F下段の杭には、杭頭に地すべり方向と逆向き水平力が作用している。原因として、杭は列方向に連結されているため、この効果によって地すべり力の卓越した計測杭の杭頭変位が拘束されたためと考えられる。

このように、個々の杭には複雑に水平力が作用しているが、杭の安定した挙動を示すとされている π/β （ β ；基礎の特性値⁷⁾）以上の不動層への根入れ長を十分確保することによって、地すべり力の分布はA，B杭の集中荷重型とC上段，D，E下段，F上・下段の分散荷重型に区分できると考えられる。

(b) くさび杭

G，H杭はくさび杭として計算され、曲げモーメント分布は、計測値と計算値がよく合致する結果が得られた。しかし、両者とも計算に用いた移動層のN値は、地盤調査結果から求まる平均N値の約1/2とする必要があった。今後の計算に留意すべき点と考えられる。

「道路土工指針」のくさび杭式における必要根入長は、 X_{10} ， X_{20} （すべり面上，下におけるモーメント第一零点）の1.5倍以上とされている。検討結果G杭の移動層および不動層の根入れ長はそれぞれ X_{10} ， X_{20} の1.71倍，1.38倍，H杭はそれぞれ1.22倍，1.65倍で、両者とも必要根入長には近い値である。移動層が薄く地盤強度が弱い場合は、根入長を X_{10} ， X_{20} の1.5倍以上確保するために杭剛性を小さくすることが必要であり、このことがくさび杭の挙動を示すひとつの条件と考えられる。

(2) 杭と地盤の変位

3カ所（A，C上段，G）の杭と地盤変位の計測結果を、図－3に示す。杭変位については抑え杭（A，C上

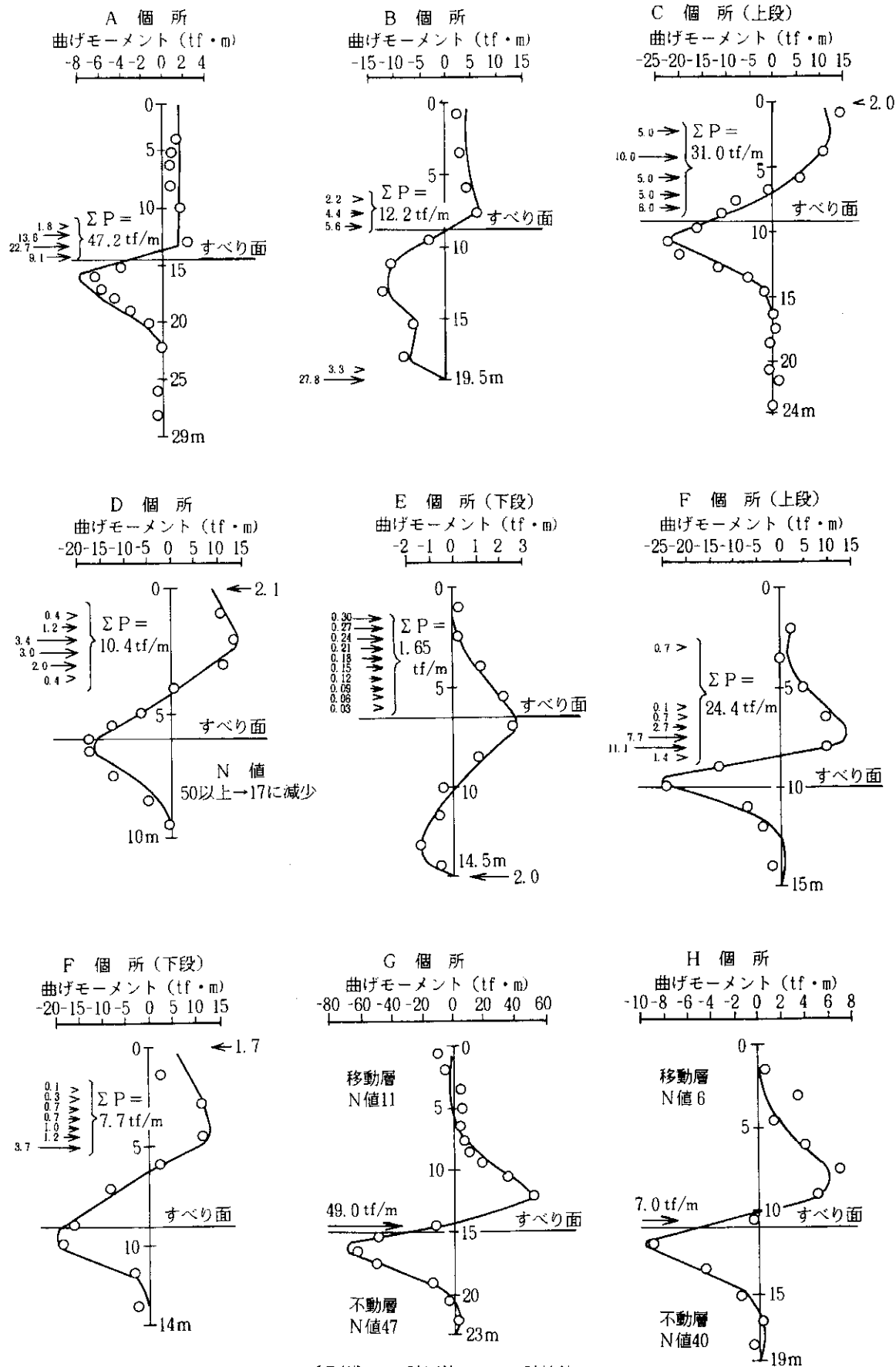


図-2 地すべり力と曲げモーメントの計測値、計算値との比較

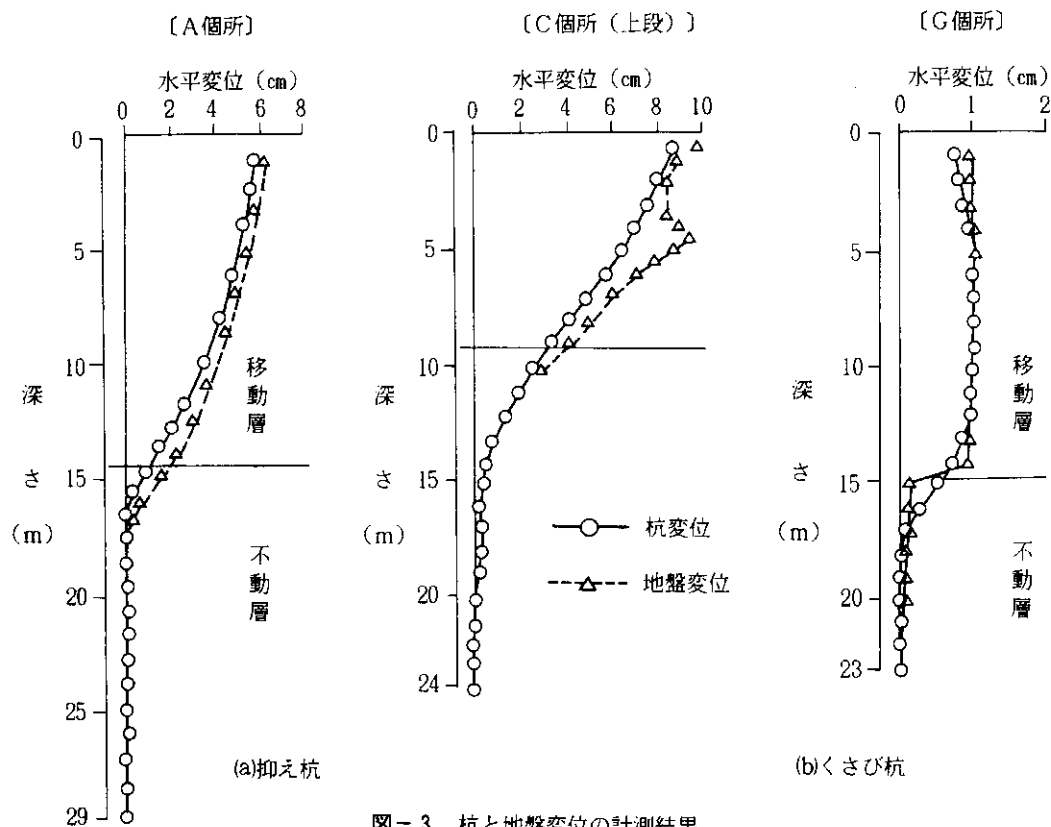


図-3 杭と地盤変位の計測結果

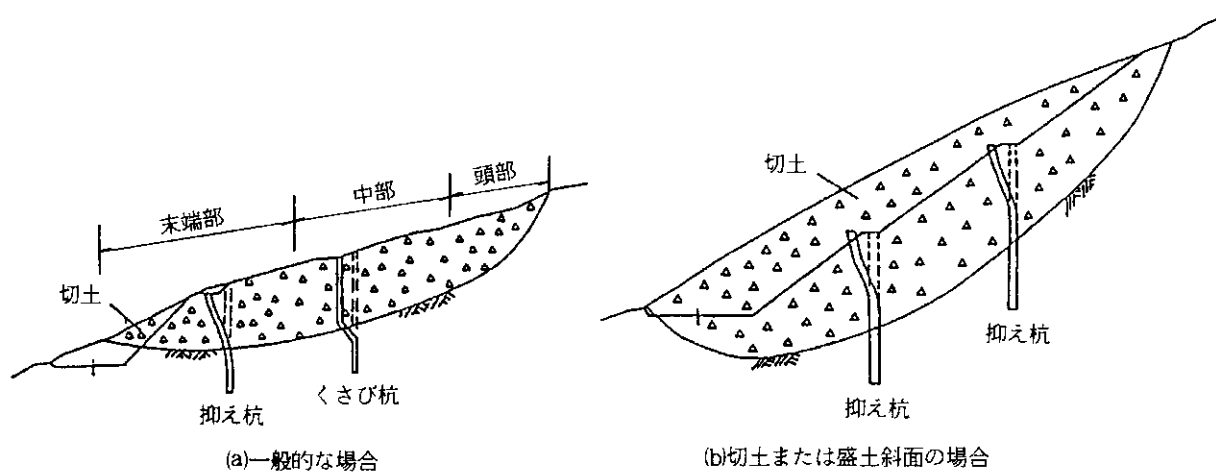


図-4 杭の施工位置に基づく概念図

段) の場合, ある深さを軸にして上部ほど変位量が大きくなり, くさび杭 (G) の場合はせん断的な変位点が形成され, それより上部の区間の変形はわずかである。このように, 抑え杭とくさび杭の変位形状は明瞭に異なっている。

また, 抑え杭では, 移動層の杭変位と地盤変位に差が生じている。杭は土塊の移動に追従しておらず, 杭の背面側に空間が生じていることがうかがえる。杭の挙動は, 杭剛性と地盤強度の相互作用によって決定されるが, 杭

剛性の大きさに比べ地盤の拘束力 (または反力) が弱く, 杭と地盤に空間を作り, この結果, 片持ちばりの状態になったと考えられる。一方, くさび杭の場合は, 杭と地盤変位がほぼ同一の変位量を示し, 両者が一体となって移動している。すなわち, くさび杭は地盤の大きな拘束力を受けていることがうかがえる。

(3) 地すべり地形と杭の挙動

これまで, 抑え杭とくさび杭の区分は, 図-4 (a) に示す地すべり地形と施工位置によって概念的に区分されて

個所名	地すべり地形と杭の設置位置
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	

図-5 地すべり地形と杭の設置位置図

いた。この区分から考えると、A、B、C（下段）、D、E（上・下段）、F（下段）の7カ所は抑え杭、C（上段）、F（上段）、G、Hの4カ所はくさび杭となる（図-5）。しかし、計測に基づく検討結果はC（上段）、F（上段）の2カ所において、くさび杭ではなく抑え杭の挙動を示した。このように、急な斜面の場合は、土塊の移動に伴い杭を固定する地盤の拘束力が弱くなり、抑え杭になると考えられる。

G、Hの2カ所は、くさび杭の挙動を示した。両箇所とも地すべり地の中部に施工され、杭背面の排土を伴わないこと、また地表面の勾配が緩やかなことなどが移動層の地盤の拘束力を十分確保する結果となり、くさび杭

の挙動を示したと考えられる。

4. 地すべり機構解析と安定解析

抑止杭の挙動観測を行った8カ所の地すべりは、それぞれ1年以上安定した状態である。したがって、杭に作用する地すべり力は、安定解析によって求められる計画安全率 $F_s = 1.0$ とした杭の必要抑止力と一致すると考えられる。このため、地すべり機構解析および安定解析を行い、これらについて確認する。

地すべり機構解析および安定解析は、対策工を設計する時点で行われる。しかし、施工後実施された抑止杭個所の調査結果から、すべり面の深さをはじめ排土工による不動層の地盤強度低下など、設計時に比べ異なる点が明らかとなった。このため、これまでの検討結果を総合的に考慮する地すべり機構解析と安定解析を実施した。

この結果を表-2に示す。A、C、D個所のすべり面強度の内粘着力 $C(t f / m^2)$ は、設計時に比べ今回検討された値は小さい。A、D個所の場合、地すべりが繰返されたために、粘着力が残留強度に近くなったこと、加えて排土工による地盤強度の低下によるものと考えられる。一般には排土工を行っても、すべり面強度に影響を与えないものとして取扱われている。しかし、当個所の地質はいずれも泥岩を基盤としているため、D個所の調査で明らかなように、排土工の影響が大きいものと思われる。C個所は原地形の地すべり層厚が設計時と異なり、今回5～8mとなったためこれに合せて粘着力を小さく設定した。他の5カ所（B、E、F、G、H）のすべり面強度は、設計時と今回はほぼ同一の値を示している。

原地形の安全率は、設計時 $F_s = 0.90 \sim 1.00$ の間でそれぞれ設定され、今回は $F_s = 0.95$ が7カ所（A、B、C、D、E、F、H）と $F_s = 1.00$ が1箇所（G）である。設計時と今回検討された値は4カ所（A、C、D、F）で異なり、設計時における原地形の安全率設定のむずかしさを示している。

安全解析は、地下水位の条件を杭施工後の最高水位（H. W. L. S. W. L.）とし、安定状態である安全率 $F_s = 1.0$ になる杭の必要抑止力を求めた。この計算値と抑止杭の計測から求めた地すべり力を比較すると、8カ所の全部ではほぼ一定する値が得られた。このことは、地すべり機構解析を適切に行うことができれば、従来からの安定計算手法である円弧法などの簡便分割法によって、杭に作用する地すべり力を精度よく推定可能なことを示している。道路における地すべり対策工の調査から施工までの期間は、限られている場合が多い。しかし、地すべり機構解析で重要なことは、地下水位の変動の把握、すべり面など規模の確定であり、これらの決定には一定の調査期間の確保が必要である。このことが結果と

表-2 地すべり機構解析と安定解析の結果

個 所 名	区 分	すべり面強度		現地形の安全率 (H.W.L.)	抑 止 杭 安 定 解 析 結 果					備 考
		C (tf/m ²)	φ (°)		上・下 別	安全率	地下水位 条 件	必要抑止力(tf/m)	計測により求められた 杭作用力(tf/m)	
A	設計時	1.5	6.2	0.91	—	0.92	H.W.L	46.7	47.2	
	今 回	1.0	9.8	0.95					[集中荷重型]	
B	設計時	1.5	17.0	0.95	—	0.98	S.W.L	12.2	12.2	
	今 回	1.5	16.9	0.95					[集中荷重型]	
C	設計時	1.25	15.0	1.00	上 段	0.88	H.W.L	32.8	31.0 [分散荷重型]	計測していない
	今 回	0.5	18.2	0.95	下 段					
D	設計時	0.9	24.0	1.00	—	0.72	H.W.L	10.6	10.4	
	今 回	0.5	19.9	0.95					[分散荷重型]	
E	設計時	2.0	19.0	0.95	上 段				1.7 [分散荷重型]	計測していない
	今 回	2.0	19.0	0.95	下 段	0.99	S.W.L	1.7	24.4 [分散荷重型]	
F	設計時	1.0	22.5	0.90	上 段	0.93	H.W.L	24.7	7.7 [分散荷重型]	
	今 回	1.0	20.5	0.95	下 段	0.96	H.W.L	5.0		
G	設計時	1.2	11.0	1.00	—	0.87	H.W.L	49.5	49.0	
	今 回	1.2	11.3	1.00						
H	設計時	1.5	6.0	0.95	—	0.95	H.W.L	10.8	7.0	
	今 回	1.5	6.0	0.95						

※S.W.L；集水井施工後の設定水位

して、抑止杭をはじめとする対策工の合理的な設計につながるひとつの要素と考えられる。

5. 抑止杭設計法の提案

8カ所の抑止杭挙動の検討結果を踏まえ、切土や盛土を伴う場合など、道路の地すべり対策工として施工される抑止杭の具体的な設計法を以下に示す。

(1) 杭の施工位置による区分

地すべり地形と杭の施工位置によって、図-4(a)または(b)に示す抑え杭、くさび杭に区分して設計する。ただし、道路切土、盛土など急斜面に施工される抑止杭は、

施工位置が地すべり中部であっても抑え杭とする。また、くさび杭の挙動を示す地形の特徴は、移動層の厚さが十分で杭背面の地盤が無限に続くと思えることができ、さらに地表面の勾配が緩やかなことが必要条件と考えられる。

(2) 抑え杭の設計

抑え杭は、図-6に示すモデルにより計算する。計算モデルによる試算結果を図-7に示す。千鳥配列として杭頭を剛結した場合は、移動層の深さによって異なるが、分散荷重型、集中荷重型のいずれも門型ラーメンの効果により、曲げモーメント分布が⊕側⊖側に平準化する。

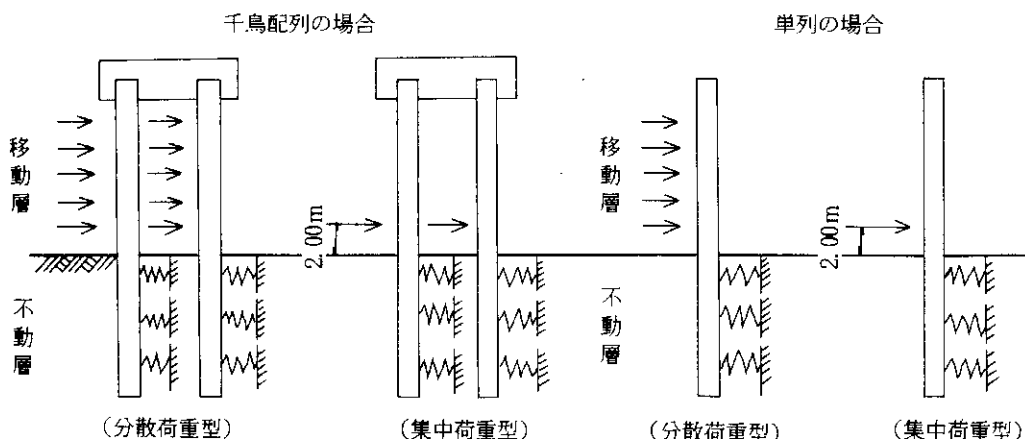


図-6 抑え杭計算モデル

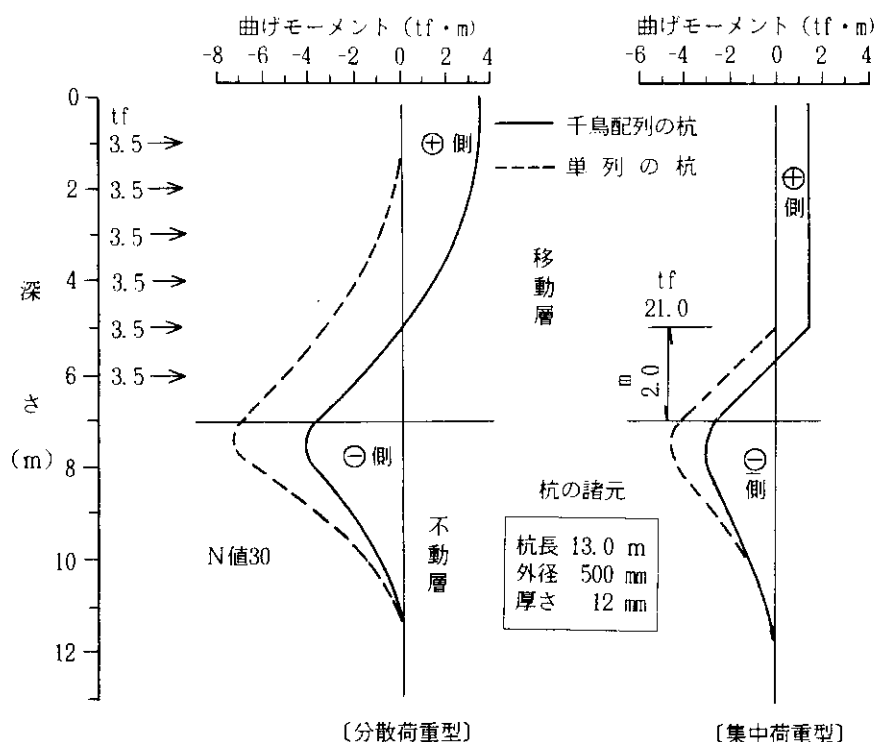


図-7 計算モデルによる曲げモーメント分布の比較

一方単列の場合は、千鳥配列に比べ最大曲げモーメントも大きくなり、分布も弓型となる。以上の結果から杭は千鳥配列とし、杭頭をコンクリートにより剛結することを標準とする。単列で行う場合は、杭頭剛結の効果が現れないため、コンクリートによる杭頭連結は行わない。

抑え杭の荷重形態を設計時に推定することは、現状ではむずかしい課題である。しかし、分散荷重または集中荷重として計算した場合、曲げモーメント分布とその大きさは異なり、以下に示すような方法により区分して設計することが合理的と考えられる。(図-7)

集中荷重型となったA、Bの2カ所の地すべり力の作用角はほぼ水平であり、一方、分散荷重型となった6カ所の地すべり力の作用角は斜面勾配に近く急角度である。このため、図-8に示す地すべり力の作用角により概念的な区分をすることができる。また、集中荷重の作用位置については、検討結果を参考に安全側の値を採用し、すべり面から2 m上方の位置とする。

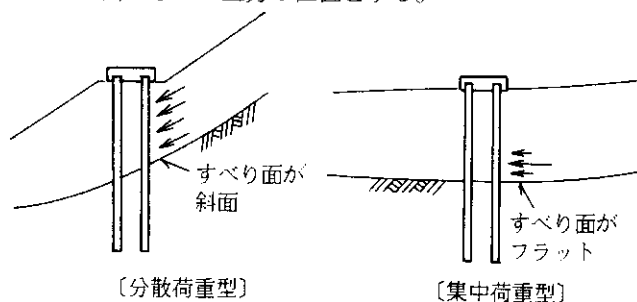


図-8 地すべり力作用パターン

不動層の根入長は、 π/β 以上とし、安定した杭の挙動を得るものとする。

(3) くさび杭の設計

G、H箇所は、千鳥配列であり杭頭剛結としているが、門形ラーメンの効果はみられない。くさび杭式は単杭で考えられているため、千鳥配列、単列のいずれの場合もコンクリートによる杭頭連結は行わない。

根入長は X_{10} 、 X_{20} の1.5倍以上とする。移動層の根入長は、地すべり層厚と地盤強度の大きさによって所定の長さを確保できない場合も考えられるが、杭径や厚さ、杭間隔などを検討することで対処する。これは、所定の長さを確保できないような剛性の大きい杭は、それに見合った地盤の拘束力を確保できず、くさび杭の挙動を示さない恐れがあると考えられるためである。

(4) 計画安定率の設定

安定計算で最も重要なことは、道路を建設した場合に確保すべき安全率(計画安全率)をどう決めるかである。計画安全率を高くするのが望ましいが、対策工費も高くなる。一方、抑止杭の安定性を考える場合は、今後作用するすべての外力を予測することができれば、その外力に対して満足する剛性の杭であればよい。今回の検討結果から明らかなように、杭の必要抑止力を精度よく推定することは可能であり、また提案する設計法によって、実際に発現する杭の挙動に接近した杭の構造にできると考えられる。しかし、地震時の間隙水圧の上昇やこれに伴う杭の挙動など、明らかな点も残されている。し

たがって、これらを考慮し、抑え杭とくさび杭の計画安全率は $F_s = 1.05$ を標準とする。

6. まとめ

抑止杭の挙動観測を行った8カ所の計測に基づく応力解析結果から、以下に示すことが明らかとなった。

- 1) 抑え杭およびくさび杭の区分は、地すべり地形と杭の施工位置によって決定される。ただし、道路の切土や盛土などの地表面勾配が急な斜面に施工した杭は、施工位置が地すべり地の中部であっても抑え杭の挙動を示す。急な斜面の場合は、土塊の移動に伴い杭を固定する地盤の拘束力が得られず、抑え杭になると考えられる。
- 2) 抑え杭の設計は、千鳥配列として杭頭を剛結し門形ラーメン構造とする計算が有用と考えられる。この設計法を適用することによって、計算値と現地の挙動が一致する合理的な構造とすることが可能である。
- 3) 抑え杭の荷重形態は、杭に作用する地すべり力の角度によって、集中荷重型および分散荷重型に区分することができる。作用角がフラットな場合は集中荷重型となり、急角度の場合は分散荷重型となる。
- 4) くさび杭の挙動を示す場合の杭剛性と地盤強度は、移動層・不動層ともに杭と地盤が同一の変位をするような、つりあった条件が必要である。このため、移動層と不動層の根入れ長は X_{10} 、 X_{20} （すべり面上、下におけるモーメン第一零点）の1.5倍以上とする。特に移動層は、杭剛性や杭間隔を検討することで、根入れ長を確実に確保する必要がある。
- 5) 地すべり機構解析を適切に行うことにより、従来からの安定計算手法である簡便分割法によって、杭の必要抑止力を精度よく推定することができる。8カ所の検討結果は、計測から求めた地すべり力と安定解析により求めた杭の必要抑止力（ $F_s = 1.0$ ）とはほぼ一致する値が得られた。
- 6) 設計における抑え杭およびくさび杭の計画安定率

は、応力的な安定と経済性を考慮し $F_s = 1.05$ に設定することが合理的と考えられる。

あとがき

地すべり機構や杭の抑止機構はきわめて複雑であり、究明されていない部分も多い。今回8カ所の挙動観測結果を詳細に解析検討することによって、これまで設計のネックとなっていた抑え杭の設計法を実用的な形で明らかにできたと考える。しかし、検討を加えた調査箇所数も十分とはいえず、本設計法によっても新しい問題点の出現も考えられる。このため、さらに調査検討を継続し設計法の充実をはかる必要があり、現場を担当される各位には、なお一層の御協力を御願ひする次第である。

最後に、本調査に御協力いただいた関係各開発建設部の方々に對し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 中村浩之；地すべり防止対策杭の三つの機能，土質工学会論文報告集Vol.17, No 1, Mar, 1977.
- 2) 阿部和明，黒川国夫，木村誠一；地すべり抑止杭の挙動観測結果について，土木試験所月報No 403, 昭和61年12月.
- 3) 阿部和明，根岸正充，黒川国夫，木村誠一；地すべり抑止杭の挙動観測結果について，建設省技術研究会論文集，昭和62年10月.
- 4) 黒川国夫，菅野 誠，里 輝政；地すべり抑止杭の挙動観測結果，土質工学会北海道支部技術報告集，昭和63年2月.
- 5) 菅野 誠，黒川国夫；地すべり抑止杭の挙動について，平成元年度，北海道開発局技術研究発表会論文集，平成2年2月.
- 6) 日本道路協会；道路土工 のり面工・斜面安定工指針，昭和61年11月.
- 7) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説 下部構造編，平成2年2月.