

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第1914号
マイクロフィルム第 号

土木研究所資料
杭工に関する調査報告書

昭和58年3月

建設省土木研究所
砂防部急傾斜地崩壊研究室

目 次

第Ⅰ部 斜面安定に用いる杭工の設計、施工に関する検討

第1章 総 説	1
1.1 杭工の目的および一般的留意事項	1
1.2 杭工の種類	1
1.3 杭工の計画および調査	2
第2章 杭工の設計	4
2.1 一般的留意事項	4
2.2 杭の設計の基本的な考え方	5
2.3 すべり面の想定	8
2.4 単位幅当りの必要抑止力の算定	8
2.5 杭の挙動の検討	9
2.6 杭の配列と間隔	10
2.7 設置された杭上部の破壊に対する安定の検討	10
2.8 杭にかかる土圧（外力）の算定	11
2.9 杭の構造の検討	11
2.10 杭に生ずる応力の算定	11
2.11 杭断面の安全性の検討	18
2.12 杭の根入れ長の検討	19
第3章 杭工の施工	20
3.1 一般的留意事項	20
3.2 準備および削孔	20
3.3 杭の建込みおよび杭の継手	22
3.4 コンクリート填充およびグラウト	23

第Ⅱ部 杭工の設計、施工実例

第4章 急傾斜地崩壊防止工事に用いた杭工	25
4.1 大阪府木部	25
4.2 山形県能中	31
4.3 北海道広尾入舟	38
4.4 兵庫県城の下	46
4.5 兵庫県高尾台	49

第Ⅲ部 杭工に関する資料

第5章 「斜面崩壊防止工事の設計と実例」（抄）	53
第6章 土木研究所急傾斜地崩壊研究室による試験、調査	60

第7章	高速道路調査会「斜面の影響を考慮した弾性支承上の梁」の解析プログラムを使用した斜面上の杭の計算図表	66
7.1	設計方法の概要	66
7.2	斜面上の杭の根入れ長算出図	67
第8章	資料文献	75
8.1	土質工学会規格，杭の水平載荷試験基準	75
8.2	杭工に関する文献	77

ま え が き

急傾斜地崩壊対策事業が昭和42年度から開始されて以来すでに16年が経過しており、この間急傾斜地崩壊防止工事が概成した箇所はすでに全国で約7,500箇所に達しており、国民の生命と財産の保護に大きく貢献してきている。

急傾斜地崩壊防止工事の技術的水準も幾多の経験の積重ねにより向上してきており、急傾斜地崩壊防止工事の特徴である①がけの上下に人家が密集している、②対象が自然斜面であり地質状況が多様、複雑である、③環境の保全を考慮する等に適した設計、施工法がなされつつある。

近年、急傾斜地崩壊防止工事においては、長大斜面对策が問題となってきた。長大斜面とは一般に直高30m以上の斜面をさすが、斜面長が大きな場合には通常の切土工や擁壁工では工費がかさみ、また環境の面からも自然の緑を保全することが望まれる場合が多い。このような長大斜面の安定を計るために、兵庫県、大阪府等では杭工を用いている場合があり、注目されている。

しかしながら、このような杭工は勾配が30°以上という急勾配上に設置されるため、従来の水平地盤に設置された杭の設計法をそのまま用いることは問題があり、さらに急傾斜地の崩壊機構は地すべりの機構とは異なるため、地すべり対策に用いられている設計法をそのまま用いることにも問題がある。

このようなことから、当研究室では昭和56年度と昭和57年度の2年間、急傾斜地崩壊防止工として用いられる杭について、現地での杭の水平載荷試験、杭工の設計、施工事例の調査、既往文献の収集、整理等により検討を行ってきており、ここにその成果をまとめた。未解決な部分、不十分な点も多々あると思われますが、先輩諸賢、各現場担当者の皆様方の御指導と御鞭撻をお願いします。

最後に、この調査に当って御協力、御支援下さった本省傾斜地保全課、兵庫県の砂防担当課と各土木事務所の皆様方に心より感謝を申し上げます。また、高速道路調査会の解析プログラムの使用に当っては、日本道路公団試験所をはじめ関係の旁々の御配慮を得たことを感謝する次第です。

安 江 朝 光
石 川 芳 治
右 近 則 男

第 I 部

斜面安定に用いる杭工の設計, 施工に関する検討

第 1 章 総 説

1.1. 杭工の目的および一般的留意事項

(1) 目 的

杭工は急傾斜地の斜面上に設置され、杭のせん断抵抗および曲げモーメントにより斜面のすべり力に抵抗し、斜面を安定させようとするもので、急傾斜地では比較的斜面の傾斜の緩い長大斜面で用いられていることが多い。杭工は限られた用地で崩壊に対して比較的大きな抑止力を発揮することができ、急傾斜地崩壊防止工事においても斜面の条件により有効な工法のひとつとなる。また、アンカー工と組み合わせることにより、より有効な杭が設計される場合もある。さらに一部では擁壁工や落石防護柵と組み合わせられて用いられる場合もある。

以下では斜面の安定度を向上させるために用いられる比較的大きな杭について主に述べることにし、土留柵工、編柵工のような小規模な杭は対象としない。

- i) 地すべり性崩壊斜面あるいは流れ盤となっている岩盤斜面の崩壊防止に用いる。
- ii) 打設方法により挿入杭と打込杭に分けられる。一般に斜面崩壊防止工事では、地盤に有害な振動を与えないよう挿入杭が用いられる。
- iii) 挿入杭のための削孔において、ボーリング時に循環水を用いる場合は、循環水からの浸透水により斜面地盤を緩めて崩壊を引き起こさないようできる限り循環水の使用量を少なくしたり、泥水を濃くする。特に透水性の大きな砂質地盤などでは無水ボーリングによることが望ましい。
- iv) 杭工は単独に用いられる場合は少なく、排水工や切土工などの他の工種と併用される場合が多い。
- v) 杭工のための調査は主として地盤の調査に重点を置いて行う。すなわち、すべり面を正確に想定するよう努め、不動地盤の位置、深さ、強度定数等を正確に把握するよう努める。
- vi) 杭工の設計は原則として地すべり防止工事における杭工の設計法に準ずる。ただし、斜面崩壊防止工事においては原則として曲げ杭で設計し、曲げモーメントおよびせん断の両方に対して安全な杭を用いる。
- vii) 杭の種類としては、鋼管杭、H形鋼杭および鉄筋コンクリート杭が用いられる。

1.2 杭工の種類

(1) 機能（目的）による分類

斜面上に杭を設置して斜面の安定度を向上させようとする工法（広い意味での杭工）は、主としてその機能（目的）により表 1-1 に示すように一般に杭工（狭義での）、土留柵工および編柵工に分類される。以下では主として狭義での杭工について述べる。

(2) 打設方法による分類

杭工はその打設方法により挿入杭と打込み杭に分類される。前者はまず地盤を機械（大口径ボーリング等）等で適当な径・深度で削孔し、次にその削孔内に杭を挿入し設置するものである。後者は杭頭を叩いて地盤内に杭を打込む方法である。一般の急傾斜地崩壊防止工に用いられる杭工では主として前者（挿入杭）が用いられる。この理由としては打込み杭は挿入杭に比べて施工性が早く、挿入杭

表 1-1 杭工、土留柵工および編柵工の特徴

工 法	機 能 (目的)	規模	杭 の 材 料	打設方法	適 用 斜 面	杭 の 設計計算
杭 工	① 杭のせん断抵抗および曲げモーメントにより斜面のすべり力に抵抗し、斜面を安定させる。 ② 軟弱な地盤に杭を打込むことにより土塊を緊密にさせ、土塊の強度を増加させ斜面を安定させる。	大	鋼管杭 H形鋼杭 現場打鉄筋コンクリート杭	挿入 打込	地すべり斜面 地すべり性崩壊斜面 流れ盤になっている岩盤斜面	行う 曲げ杭 ・せん断杭
土留柵工	① 斜面の表層土が薄い(2.0m以下)場合、斜面の侵食を防止し、表層土の局部的な崩壊を防止する。 ② 上部からの小崩壊土塊や侵食土砂を柵により堆積させ、崩壊の拡大を防止する。	中	合成樹脂製杭 鋼管杭 H形鋼杭 プレキャスト鉄筋コンクリート杭	挿入 打込	比較的斜面長が長く かつ 緩傾斜で表土層の薄い斜面	場合により行う (曲げ杭)
編 柵 工	① 切土後の斜面などに植生を導入する場合、植生が十分に發育するまで斜面の侵食を防止するために用いる。	小	木杭 合成樹脂製杭 H形鋼杭 プレキャスト鉄筋コンクリート杭	打込	緩傾斜で比較的小規模な斜面 表面侵食の恐れのある斜面	ほとんど行わない

に比べて安価であるが、杭の打込時に基盤を破壊したり、すべり土塊に振動を与えるなどの悪影響が考えられ、また地盤の構成材料によっては打込めないこともあるためである。

(3) 杭の材料による分類

杭の種類としては、H形鋼杭、鉄筋コンクリート杭、鋼管杭および合成杭がある。合成杭は鋼管内にH形鋼又はより小径の鋼管を挿入し、鋼管内にコンクリートを注入し組み合わせたものである。杭の中詰めコ

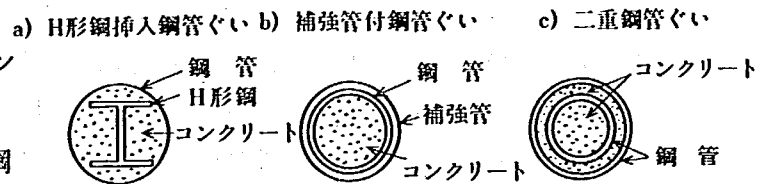


図 1-1 代表的な合成鋼ぐい

ンクリートは挿入されたH形鋼および鋼管を固定する効果を有し、またある程度せん断、曲げ応力とも増加させることができる。(図1-1参照)

1.3 杭工の計画および調査

(1) 計 画

一般に急傾斜地崩壊防止工事の対象となる斜面は、斜面長も短かく勾配も急で崩壊土層の厚さも薄い場合が多いため、杭工は抑止できる土塊の範囲が狭く、急な斜面上での施工も困難であり、工費も比較的高いことから不適当な場合が多い。

しかしながら、比較的勾配が緩くすべり層も厚い長大斜面等での崩壊に対しては用地、環境、工費、施工性を検討した上で杭工が適する場合もある。(図1-2参照)

このように杭工は一般に他の工法(切土工、排水工、擁壁工、枠工等)では対処しきれないか著し

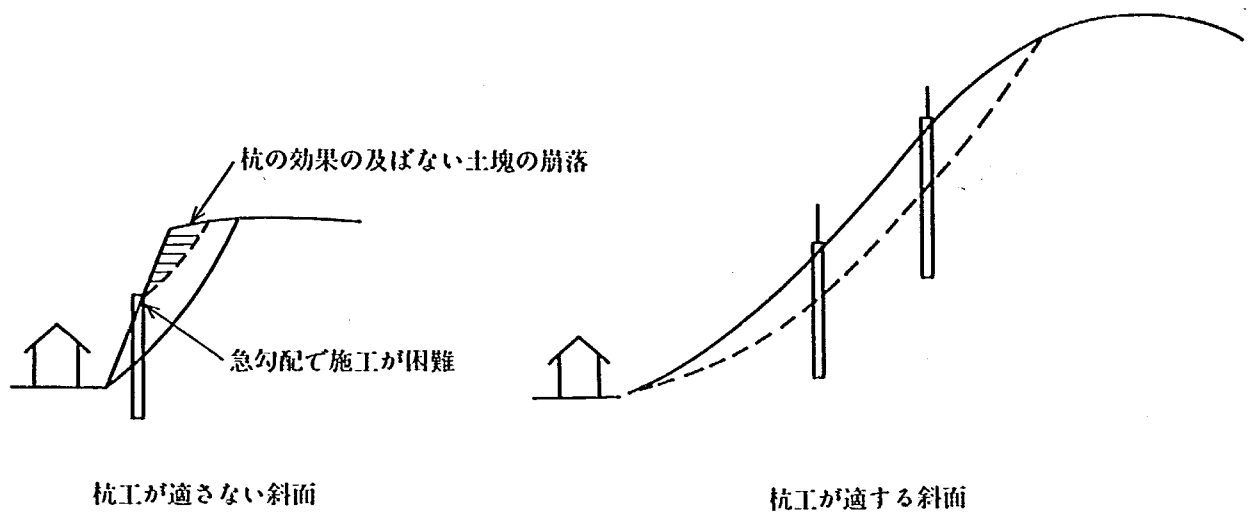


図1-2 杭工の計画

く不適当な場合に用いられることが多く、杭工を計画するに当ってはその特性を十分考慮する必要がある。

(2) 調査

杭工のための調査としては、一般的な調査に加えて特に地盤の調査に重点をおいて調査を行う必要がある。すなわち、ボーリング、サウンディング、物理探査などよりすべり面を正確に想定するよう努め、また不動地盤の位置や強度定数を正確に把握するよう努める。

また、特に必要と思われる場合には現地において杭の水平載荷試験等を行い、設計・施工・積算等の資料とする。

第2章 杭工の設計

2.1 一般的留意事項

(1) すべり面の想定

すべり面の想定は杭工の設置位置、深さ、杭の径、長さおよび施工の方法、工費等を決定する上での基本的な事項であるため、調査結果をもとに正確に想定するよう努める。

(2) 単位幅当りの必要抑止力の算定

想定すべり面において単位幅当りの杭にかかる土圧（外力）すなわち、杭に必要な抑止力 $H(t/m)$ を算定する。斜面の安定計算式には種々のものがあるが、想定すべり面等を考慮の上選択する。

(3) 杭の挙動の検討

杭の計算方法を定めるため、杭の根入れ地盤を検討し、弾性体とみなすかあるいは堅固な不動地盤とみなすか決定する。次に、たわみ杭とするか剛体杭（シャフト杭）とするか検討する。さらに、杭の設置位置を検討し、抑え杭とするかくさび杭とするか検討する。

(4) 杭の配列と間隔

杭間隔は、同列の杭間隔は少なくとも1.5m以上あることが望ましい。また、すべり土塊が軟弱な場合には中抜けを生じるおそれがあるので、同列の杭間隔は4mを越えないよう配列する。

(5) 設置された杭上部の破壊に対する安定の検討

杭の配置が仮定されたならば、設置された杭の上部での新しいすべり面に対して、所定の安全率を有しているかどうかその安全性を検討する。

(6) 杭にかかる土圧（外力）の算定

杭の配置が適当に仮定されたならば杭1本当りにかかる土圧（外力）を算定する。

(7) 杭の構造の検討

一般に急傾斜地崩壊防止工事では、杭にかかる土圧（外力）が小さいので、たわみ杭として施工性のよいH形鋼杭、鋼管杭および合成杭が用いられる。

しかしながら、杭にかかる土圧（外力）が大きい場合には剛体杭（シャフト杭）として径の大きな現場打ち鉄筋コンクリート杭が用いられる。

たわみ杭において曲げ強度が不足する場合には頭部剛結によるラーメン構造としたり、杭頭部にアンカーを設置したりする場合もある。

(8) 杭に生ずる応力の算定

急傾斜地崩壊防止工事に用いる杭は原則として曲げモーメントに対して安全であるように設計する。同時にせん断力に対しても安全であるように設計する。さらに、すべり面での杭の変位量についても参考までに求めて検討しておくことが望ましい。

杭の変位と杭断面に働く応力の算定方向にはその杭および斜面の計算条件により種々のものがあるが、対象斜面および杭の特性を十分に把握して最も適するものを選択する。

(9) 杭断面の安全性の検討として、(i)せん断力に対する検討、(ii)曲げモーメントに対する検討を行う必要がある。さらに、参考として、(iii)杭の変位量に対する検討も行うことが望ましい。

原則として急傾斜地崩壊防止工事に用いる杭の鋼材の設計強度としては、短期強度を用いる。

(10) 杭の根入れ長の検討

設計された杭について根入れ地盤の安全性を検討して杭の根入れ長を決定する。

2.2 杭の設計の基本的な考え方

(A) 河川砂防技術基準(案)地すべり防止施設の設計編における基本的な考え方

(1) 杭の設置位置……原則として地すべり運動ブロックの中央部より下部のすべり面の勾配が緩な所、すなわち地すべり土塊の圧縮部でしかもすべり層の厚さの比較的厚い受働破壊の起らないところとする。(図2-1参照)

(2) 杭の設置位置によるせん断杭と曲げ杭の選定

i) せん断杭……杭背面の土塊反力の大きな地

すべり運動ブロック圧縮部に施工する場合にはせん断応力のみを考慮する。

ii) 曲げ杭……地すべり運動ブロックの引張部又は土塊が軟弱で杭背面(斜面下方)の土塊の反力が期待できない場合。

(3) せん断杭と曲げ杭の判定

i) せん断杭

地すべりの各分割片ごとの抵抗力 R_i と滑動力 T_i を求め、 $R_i = T_i$ なる境界を求めると境界より下方で $R_i > T_i$ なる位置にある杭(図2-2参照)

$$\text{なお, } R_i = (W_i \cdot \cos \theta_i - u_i) \cdot \tan \phi + c \cdot \ell_i$$

$$T_i = W_i \cdot \sin \theta_i$$

W_i : 分割片の重量 (t/m)

θ_i : すべり面の分割片部における傾斜角 (度)

u_i : 分割片に働く間隙水圧 (t/m)

ℓ_i : 分割片のすべり面延長 (m)

ϕ : すべり面の内部摩擦角 (度)

c : すべり面の粘着力 (t/m²)

ii) 曲げ(モーメント)杭

上と同様に R_i 、 T_i を求め、 $R_i < T_i$ なる位置に設置された杭

(4) せん断杭と曲げ杭の計算方法

i) せん断杭でのせん断力 S (図2-3参照)

$$S = P_R \cdot \cos \theta$$

S : 杭にかかるせん断力

P_R : 土圧(三角形分布でかかる)

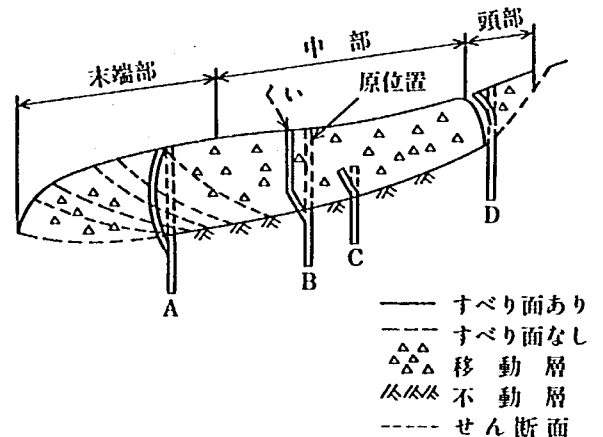


図2-1 地すべりと杭の概念図

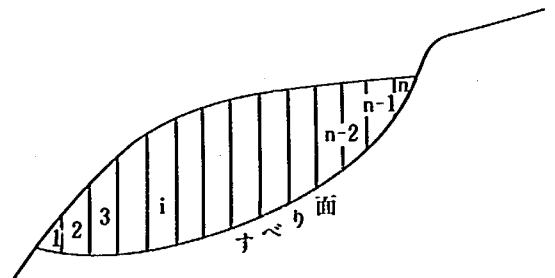


図2-2

θ : 杭設置位置でのすべり面の傾角

ii) 曲げ(モーメント)杭で地盤を剛体と考え、片持梁として解く場合

$$M_{max} = P_R \cdot \cos \theta \cdot \frac{h}{3}$$

M_{max} : 杭の受ける最大曲げモーメント

h : 杭のすべり面より上の長さ

iii) 曲げ(モーメント)杭で地盤を弾性体として Chang の式で解く場合

すべり面上下で無限長と考えられる杭での最大曲げモーメントを Chang の式より求める。

すべり面上部では

$$M_{1max} = \frac{-5}{2} \cdot e^{-\alpha_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_1 - \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_1 \right\}$$

すべり面下部では

$$M_{2max} = \frac{-5}{2} \cdot e^{-\alpha_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_2 - \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_2 \right\}$$

(各記号の詳細については後述する)

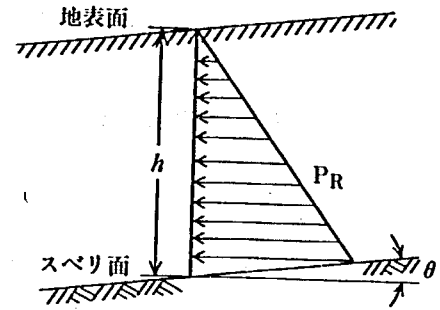


図 2-3 杭の負担荷重分布図

(5) 杭の根入長

i) せん断杭の根入長

$$\frac{\text{根入長}}{\text{杭の全長}} \geq \frac{1}{3} \quad \dots\dots \text{基礎地盤の } N \text{ 値が } 50 \text{ 以下}$$

$$\frac{\text{根入長}}{\text{杭の全長}} = \frac{1}{3} \quad \dots\dots \text{第三紀泥岩, 凝灰岩}$$

$$\frac{\text{根入長}}{\text{杭の全長}} = \frac{1}{4} \quad \dots\dots \text{堅硬な結晶片岩, 砂岩, 花崗岩, 安山岩}$$

ii) 曲げ杭の根入長

$$h_b > \frac{\pi}{\beta}$$

$$\text{ただし, } \beta = 4 \sqrt{\frac{KD}{EI}}$$

h_b : 杭の根入長 (m)

K : すべり面より下部基盤の横方向地盤係数 (t/m^3)

D : 杭の外径 (m)

E : 杭材の弾性係数 (t/m^2)

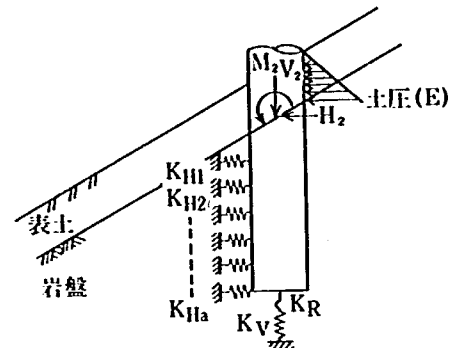
I : 杭の断面二次モーメント (m^4)

(B) 高速道路調査会における基本的な考え方

斜面上に設けられた深礎工法による杭(橋梁の基礎となる杭)を「斜面の影響を考慮した弾性支承上の梁」として解析する方法である。(図 2-4 参照)

その設計手順の概略は以下の通りである。

- i) まず与えられた地盤条件（地盤の変形係数）より水平地盤での水平方向地盤反力係数（ t/m^3 ）を求める。
- ii) K_0 を用いて各深さにおける地盤反力係数 K_{Hn} を斜面の影響を考慮して求める。
- iii) さらに K_0 を杭の形状寸法（杭径）により底面鉛直バネ定数（ K_V ）と底面回転バネ定数（ K_R ）に直す。
- iv) K_{Hn} 、 K_V 、 K_R を用いて杭を弾性支承上の梁として解析し、各深さ毎に水平地盤反力 R_{Ti} を求める。
- v) 一方、これとは別に地盤条件（地盤の単位体積重量、粘着力、内部摩擦角）から各深さごとの地盤の許容水平支持力 R_{qa} を計算する。



V_2 : クイ頭に作用する鉛直力
 H_2 : " 水平力
 M_2 : " 曲げモーメント
 K_{Hn} : ■ 番目の水平バネ定数
 K_V : 鉛直バネ定数
 K_R : 回転バネ定数

- vi) 以上より求められた R_{Ti} と R_{qa} 各深さごとに比較して、 $R_{qa} > R_{Ti}$ ならば水平に対する安定は満足する。また、 $R_{qa} < R_{Ti}$ ならば水平に対する安定は満足しない。

図 2-4 高速道路調査会解析モデル

- vii) $R_{qa} < R_{Ti}$ の場合は、その深さまでの地盤は塑性化したものとして水平バネ定数 K_{Hn} を0として杭に対する地盤のバネ分布を修正するとともに、塑性化領域についてはその土塊のすべり面に作用する摩擦力を抵抗力と考え外力から差引き(vi)の計算をくり返し、(vi)において、各深さにおいて $R_{qa} > R_{Ti}$ となるまで繰り返す。
- viii) そしてバネの存在する弾性領域（杭下端から上の部分の鉛直長さ）が最少根入長（支持層が軟岩の場合2D、硬岩の場合1D）以上であるならば、杭の水平に対する安定は満足であるとする。
- ix) ただし、(vii)を満たさないとき、あるいは水平変位量、鉛直地盤反力、又は杭本体の応力が許容値を越えた場合は杭の根入長を増加させるか、杭径を修正して、すべてが許容値に入るまで(iii)～(vii)と同様の計算を繰り返す。

(C) 急傾斜地崩壊防止工における杭工の基本的な考え方

- i) 急傾斜地でのすべりでは一般に杭背面でのすべり土塊の反力は期待できないため、原則として曲げモーメント杭として設計する。したがって、河川砂防技術基準(案)地すべり防止施設的设计編における曲げ杭を対象とした考え方、計算式を準用しても良い。ただし、「地すべり」では杭のすべり面における許容変位量について触れていないが、後述するように「急傾斜地」では検討を行う。
- ii) 高速道路調査会の考え方はおおむね「急傾斜地」においても準用できる。ただし、高速道路調査会では地盤の許容水平支持力 R_{qa} （安全率は常時で3、地震時で2を用いている）を用いているが、これでは「急傾斜地」では厳し過ぎるため、「急傾斜地」では極限水平地耐力 R_q （安全率は1.0）を用いる。
- iii) 以上より、「急傾斜地」の杭の設計においては、「地すべり」の曲げ杭で計算するものとし、斜面勾配が急な場合などでは必要に応じて「高速道路調査会」の斜面上の杭の設計法でも計算を行い、チェックする。
- iv) 杭の許容変位量については、「地すべり」の曲げ杭あるいは「高速道路調査会」の斜面上の杭の設計法で計算し、その時すべり面での杭の水平変位（当初の基準線からの変位）を参考として

求める。高規格の道路（高速道路など）の橋梁基礎では、すべり面での変位を 1.5 ～ 2.5 cm 以下とする設計が用いられていることもあり、「急傾斜地」においてもすべり面での変位量が 1.5 ～ 2.5 cm 以下であることが望ましい。

2.3 すべり面の想定

すべり面の想定は杭の設置位置、杭の径、長さ、根入長さ等を決定する上での基本事項である。したがって、すべり面の想定にあたっては対象斜面の調査結果（近隣における過去の斜面崩壊例、地質・土質横断面図、地形図、土質試験結果、地下水の分布、対象斜面の変状等）を総合的に検討して対象斜面におけるすべり面の形、大きさ、深さ、危険度等を想定する。なお、この場合すべり面は一種類とは限らない。

2.4 単位幅当りの必要抑止力の算定

すべり面が想定されたならば、次に安定解析により、杭にかかる単位幅当りの必要抑止力 H を求める必要がある。一般には安定解析には取り扱いの便利な簡便法が用いられている。

すなわち、図 2-5 のような円形すべり面が想定されたならばすべり土塊をいくつかのスライスに分割し、すべり土塊全体のモーメント平衡が成り立つものとして現状の安全率 F_0 を 1 としすべり面での地盤定数 c' 、 ϕ' を逆算して求めることが多い。

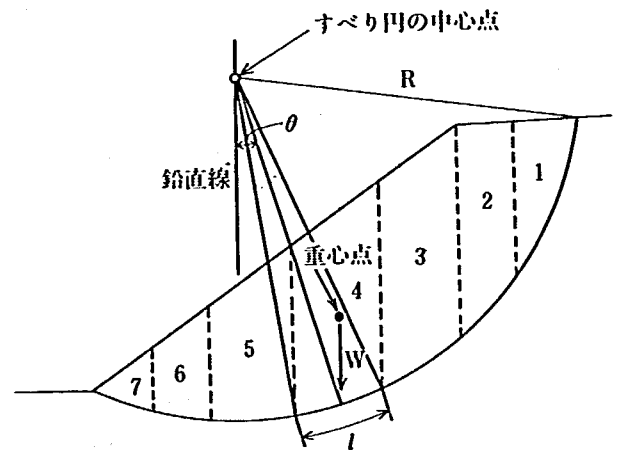


図 2-5 円形すべり面の安定計算法

$$F_0 = \frac{\sum \{ c' \ell + (W \cos \theta - u \ell) \tan \phi' \}}{\sum W \sin \theta}$$

（有効応力）

ここに、 F_0 ：現状の安全率

c' ：すべり面の粘着力（有効応力）

u ：間隙水圧

ℓ ：各スライスの弧長

W ：各スライスの土塊の自重

θ ：想定すべり面と水平面のなす角

ϕ' ：すべり面の内部摩擦（有効応力）

このとき、 $\ell = L$ 、 $W \cos \theta = N$ 、 $u \ell = U$ 、 $W \sin \theta = T$ においてこの式を簡略化すると

$$F_0 = \frac{c' \sum L + \sum (N - U) \tan \phi'}{\sum T}$$

次に、簡便法によるすべり土塊の各スライスに働く水平内力（ P_i ）の分布を調べる。斜面上部から i 番目のスライス壁に作用する限界平衡状態（ $F_0 = 1.0$ ）における水平内力は次式で表わされる。

(図2-6参照)

$$P_i = \sum_{i=0}^n T_i - \{ c' \sum_{i=0}^n L + \sum_{i=0}^n (N-U) \tan \phi' \}$$

これらを模式的に示したものを図2-6に示す。もしこのすべり土塊の現状安全率 $F_0 = 1.0$ であり、これを杭工により安全率 $F_p = 1.2$ まで上昇させるために必要な単位幅当りの水平抑止力を H とすると

$$H = F_p \cdot \sum T - \{ c' \sum L + \sum (N-U) \tan \phi' \}$$

により H が求まる。

2.5 杭の挙動の検討

(1) 根入れ地盤の検討

杭の根入れ地盤、すなわち杭を支える地盤を弾性体とみなすか、あるいは不動地盤を想定するかにより杭の挙動は2つに大別される。

すなわち、前者の杭の根入れ地盤を弾性体とみなす場合には根入れ地盤内の杭体の変位を考慮する必要がある。

一方、後者の堅固な不動地盤を想定した場合には、不動地盤内での杭体は完全に固定されているものとみなされるため不動地盤内では杭体の変位を考慮する必要がない。

(2) たわみ杭と剛体杭(シャフト杭)

杭を弾性体と考える場合(たわみ杭)と剛体と考える場合(剛体杭)の判別方法は一般に次式によって行われている。

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{E_s}{4EI}} \leq \frac{2}{\ell} \dots\dots\dots \text{剛体杭}$$

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{E_s}{4EI}} > \frac{2}{\ell} \dots\dots\dots \text{たわみ杭}$$

ここで、 $E_s = Kd$

K : 杭天端から $\ell/3 - \ell/2$ までの平均的な水平地盤反力係数 (kg/cm^3)

d : くい径

E : くい本体の弾性係数 (kg/cm^2)

I : くい本体の断面二次モーメント (cm^4)

EI : 杭の剛度

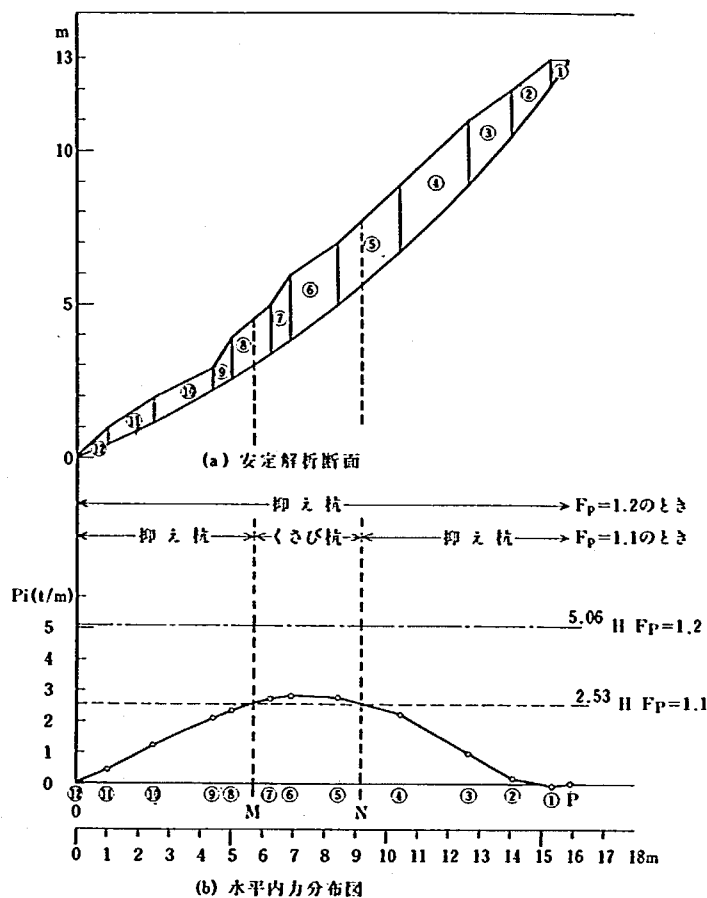


図2-6 安定解析による水平内力分布の比較

一般に斜面安定に用いられている鋼管杭やH鋼杭などは弾性体の杭として、またシャフト杭は剛体杭として解析できる。しかしながら、上式より明らかなように、剛な杭か弾性体の杭かは杭の剛度、径、長さおよび地盤条件によって定まる値なので、すべりによってはたとえ直径が3.5 mあっても弾性体の杭として解析する場合もあるので、設計にあたっては上式で判別を行う必要がある。

(3) 抑え杭とくさび杭

杭の必要抑止力Hを図2-6(b)にプロットすると、この水平抑止力線Hが水平内力分布曲線と交わる点が2点求まり、その水平線上の位置をM・Nとする。もしM～Nの区間に杭が施工されれば杭は地すべり土塊内に挿入された杭、すなわちくさび杭として挙動する。

ところが、OMあるいはNPの区間に杭が施工されれば、Hの設計外力がかかったとき杭より下方斜面の土塊の反力を期待できなくなり、杭は単独で外力に対抗しなければならない抑え杭として設計する必要がある。ただし、図2-6(b)において $F_p = 1.2$ のときでも杭を2段あるいは3段に配置することによりくさび杭で設計することも可能である。

一般に抑え杭よりもくさび杭で設計した方が杭の断面上は有利になる場合が多い。

2.6 杭の配列と間隔

杭の配列は、すべりの方向に対しておおむね直角にかつ等間隔になるよう計画し、密な配置となるときは基礎の破壊を起こさないよう千鳥状の配列とし、同列の杭間隔は少なくとも1.5 m以上あることが望ましい。また、すべり土塊が軟弱な場合には中抜けを生ずる恐れがあるので、同列の杭間隔は4 mを越えないよう配列する。

大口径の杭(シャフト杭)の間隔は、各シャフトが受けもつ土圧に対してのシャフト自体のせん断強度、土の中抜けに対する安定性、基礎の安全性からみて一般的に中心間隔で7～10mが多い。

2.7 設置された杭上部の破壊に対する安定の検討

杭の配列が仮定されたなら、図2-7に示すような杭の上部で受働破壊による新しいすべりが発生しないよう配置する必要がある。このためには次式を用いて判定する。

$$F_1 = \frac{\sum \{ (N-u) \tan \phi' + c'l \} + H}{\sum T}$$

ここで、 F_1 ：杭設置後の元のすべり面に対する安全率

H ：杭によるすべり抑止力

$$F_2 = \frac{\sum \{ (N-u_2) \tan \phi' + c'l_2 \}}{\sum T_2}$$

ここで、 F_2 ：杭設置後の杭上部の破壊での想定すべり面に対する安全率

α ：一般に $45^\circ - \frac{\phi'}{2}$

以上により求めた F_1 、 F_2 に対して

$$F_2 > F_1 > 1$$

ならば、設置された杭上部の破壊に対しては適するものと判定される。

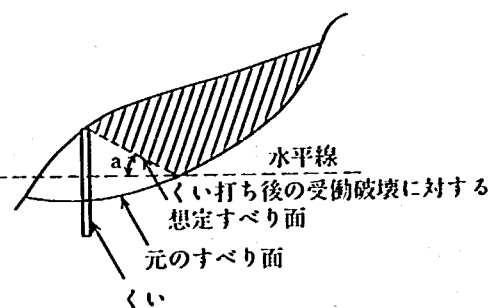


図2-7 杭上部の破壊

なお、不適と判断された場合には杭の設置位置を変えたり、2段あるいは3段に配置するなどの検討を行う。

2.8 杭にかかる土圧（外力）の算定

杭の配列を適当に仮定したら次式により杭1本당りにかかる土圧（外力）を算定する。

$$P = \frac{H}{N}$$

P ：杭1本당りにかかる土圧（外力）（t/本）

H ：単位幅當りの杭の必要抑止力（t/m）

N ：単位幅當りに配列される杭の本数（本/m）

2.9 杭の構造の検討

一般に、急傾斜地崩壊防止工には挿入杭が用いられ、杭の種類としては一般にたわみ杭としてH形鋼杭、鋼管杭および合成杭が用いられる。しかしながら、すべり土圧が大きく上述のような杭では1本當りの抑止力が小さ過ぎ、所定の計画安全率の確保が困難な場合などでは大口徑の場所打ち鉄筋コンクリート杭（剛体杭）が用いられる。前者のたわみ杭では一般に杭徑が0.2～0.5m程度のものが多く、後者の剛体杭としては徑が1.5～3.5m程度のものが多い。

合成杭の中空部には、中詰コンクリートを填充し外力に対して杭の全断面が有効に働くようにしなければならない。

また、たわみ杭において曲げ強度が不足する場合には頭部剛結によるラーメン構造としたり、杭頭部にアンカーを緊結したりする場合もある。

合成杭の中詰めコンクリートはせん断、曲げ応力ともかなり増加させることが室内実験では認められているが、実際の施工時に室内実験ほどのコンクリート強度が得られているかどうか地中深い作業であるため確認できない点が多いので計算には考慮せず、プラス部分として考えた方がよい。

杭周辺へのグラウトは基礎地盤の風化を防ぎ、すべり力を直ちに杭に伝える効果がある。

2.10 杭に生ずる応力の算定

杭の変位と杭断面に働く応力の算定方法にはその杭および斜面の性質を十分に把握して最も適するものを選択する。

急傾斜地崩壊防止工事に用いられる主な計算方法は表2-1に示す通りであり、このうち(イ)と(イ)のChang式および(ヘ)と(ト)の式についてその計算法の概略を以下に示す。

なお、(ロ)の計算法については概略およびその解析プログラムを用いて作成した杭の計算図表を第7章に示す。

(1) 根入れ地盤を弾性とみなした場合のたわみ杭の計算方法

(i) 抑え杭 — イ. Changの式（杭頭自由半無限長杭）

ここではすべり面以上の土塊は滑動する土塊であり、杭はこのため前面より滑動力に相応する横方向の荷重をうけるが、後方の土塊は下方へ滑動するため、杭に変形が生じてもこの土塊からは何等の力をうけないものとする。

一般に横方向の荷重を受ける杭のたわみと応力の問題は杭の弾性たわみ成分と土塊の弾性変形成分と塑性変形成分との加え合わさった複雑な変形であって、これに関係する因子として、杭の剛性、土の弾性、塑性などの特性

表 2 - 1 杭の計算方法の分類

根入れ地盤	杭体の性質	杭の背面地盤の抵抗	代 表 的 な 計 算 法
弾性体とみなす	(1) たわみ杭	抑 え 杭	イ. Chang 式の杭頭自由半無限長杭)
		く さ び 杭	ロ. 高速道路調査会の橋梁基礎
	(2) 剛 体 杭 (シャフト杭)	抑 え 杭	ハ. Chang の式 (無限長杭)
		く さ び 杭	ニ. ケーソン基礎に準じる
不働地盤を想定し杭下部は固定	(3) たわみ杭	抑 え 杭	ホ. シャフト杭 (ダウエル杭) の計算法
			ヘ. 片持梁の計算法
			ト. 門型ラーメンの計算法
			チ. アンカーを頭部に用いた場合

指数を多く含んだ極めて厄介な現象である。

そこで、特に土と杭の応力と変形が弾性的な領域にある場合を対象として、問題を弾性方程式によって解く手法が一般に用いられている。

ここで杭の根入部を地盤反力係数が一定な半無限長の弾性床においた梁として解く Y.L. Chang の手法によって解明することにする。(図 2 - 8 参照)

以下計算に使用する記号を次のように定める。

$E_s = K \cdot d$ 土の弾性係数 (kg/cm²)

d ……杭の幅または口径 (cm)

K ……横方向地盤係数 (kg/cm³)

$E \cdot I$ ……杭の曲げ剛さ (kg · cm²)

E ……杭材の弾性係数 (kg/cm²)

I ……杭の断面二次モーメント (cm⁴)

H ……水平荷重 (kg)

h …… H の作用する高さ (cm)

δ ……杭頭部の変位 (cm)

f ……すべり面における杭の変位 (cm)

ℓ_m ……最大せん断力の発生する点のすべり面よりの深さ (cm)

M_{max} ……杭に発生する最大曲げモーメント (kg · cm)

S_{max} ……杭に発生する最大せん断力 (kg)

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{KD}{4EI}} \quad (\text{cm}^{-1})$$

地すべり地に施工された杭に滑動力が図 2 - 8 に示されるように集中荷重として作用した場合を考えてみる。

杭の頭部の変位を求めると、

$$\delta = \frac{(1 + \beta h)^3 + \frac{1}{2}}{3EI\beta^3} H$$

次にすべり面における杭の変位は

$$f = \frac{1+\beta h}{2EI\beta^3} H$$

杭に生ずる最大曲げモーメントは一般にすべり面以下になり、その深さ ℓ_m は、

$$\ell_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}$$

この位置の曲げモーメントを求めると、これが最大曲げモーメントとなり、

$$M_{max} = -Hh$$

$$: \frac{\sqrt{(1+2\beta h)^2 + 1}}{2\beta h}$$

$$\exp \left[-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h} \right]$$

また、すべり面より上の部分の杭のせん断力は $-H$ であり、すべり面より下方向に距離 x 離れた点で杭に生ずるせん断力 S_x は、

$$S_x = -He^{-\beta x} \{ \beta h \cos \beta x + (1+\beta h) \sin \beta x \}$$

より求まるので、各深さにおいて杭に生ずるせん断力を求めて最大せん断力を求める。

(iii) くさび杭 — H. Chang の式 (無限長杭)

この計算方法はたわみ杭の背面からの土圧の抵抗が期待できる場合、すなわちくさび杭の場合に用いる。

杭の計算は次に示す Chang の式を応用して用いる。

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} + E_s y = 0$$

すなわち、すべり面の上下で杭長が無限長と考えられるときは次式によって y , M , S を計算できる。(図2-9参照)なお、計算式中の記号は前述の(i)に準じる。

すべり面上部では、

$$y_1 = \frac{P}{4EI\beta_1^2} \cdot e^{-\beta_1 x_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_1 x_1 + \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_1 x_1 \right\}$$

クイ頭が自由の場合	
クイ頭が自由の場合	
a	クイ頭変位 δ (cm)
b	地表面変位 f (cm)
c	クイ頭傾斜角 α (rad)
d	クイ各部の曲げモーメント M (kg·cm)
e	クイ各部のせん断力 S (kg)
f	クイ頭曲げモーメント M_0 (kg·cm)
g	地中 I_m の点の曲げモーメント M_m (kg·cm)
h	I_m (cm)
i	第一不動点の深さ l (cm)
j	クイ頭角となる深さ L (cm)
k	ばね常数
l	

図2-8

$$M_1 = -\frac{P}{2} \cdot e^{-\beta_1 x_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_1 x_1 - \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_1 x_1 \right\}$$

$$S_1 = P \cdot \beta_1 e^{-\beta_1 x_1} \left(\frac{1}{\beta_1} \cos \beta_1 x_1 - \frac{1}{\beta_2} \sin \beta_1 x_1 \right)$$

すべり面下部では

$$y_2 = -\frac{P}{4EI\beta_2^2} \cdot e^{-\beta_2 x_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_2 x_2 - \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_2 x_2 \right\}$$

$$M_2 = \frac{P}{2} \cdot e^{-\beta_2 x_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_2 x_2 + \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_2 x_2 \right\}$$

$$S_2 = P \cdot \beta_2 e^{-\beta_2 x_2} \left(\frac{1}{\beta_2} \cos \beta_2 x_2 - \frac{1}{\beta_1} \sin \beta_2 x_2 \right)$$

ただし,

$$\beta_1 = 4 \sqrt{\frac{E_{s1}}{4EI}}, \quad \beta_2 = 4 \sqrt{\frac{E_{s2}}{4EI}}, \quad E_s = KD$$

y , M , S を計算し, 杭の許容応力をチェックする。

杭の根入れ長はモーメント第一零点までの長さの1.5倍以上とする。

すべり面の上下で無限長と考えられる杭での最大曲げモーメントおよび最大曲げモーメントの発生する位置のすべり面からの距離はすべり面の上下でそれぞれ,

すべり面上部で,

$$M_{1max} = \frac{-P}{2} \cdot e^{-\alpha_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_1 - \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_1 \right\}$$

$$x_{1max} = \frac{1}{\beta_1} \cdot \tan^{-1} \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (\text{ただし, } \alpha_1 = \tan^{-1} \frac{\beta_2}{\beta_1})$$

$$M_{2max} = \frac{-P}{2} \cdot e^{-\alpha_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_2 + \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_2 \right\}$$

$$x_{2max} = \frac{1}{\beta_2} \tan^{-1} \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (\text{ただし, } \alpha_2 = \tan^{-1} \frac{\beta_1}{\beta_2})$$

また, 必要根入れ長は,

すべり面上部

$$x_{1e} = 1.5 \frac{1}{\beta_1} \left(\tan^{-1} \frac{\beta_2 - \beta_1}{\beta_2 + \beta_1} + \pi \right)$$

すべり面下部

$$x_{2e} = 1.5 \frac{1}{\beta_2} \left(\tan^{-1} \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_2 + \beta_1} + \pi \right)$$

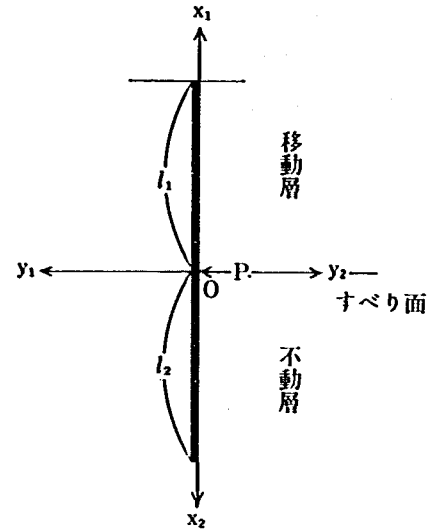


図2-9 くいのモデル化

(補足) 横方向地盤反力係数 K 値の求め方

K 値の求め方には、①現地における水平載荷試験による荷重と変位の関係から逆算によって求める方法と、②地盤調査結果に基づいて推定する方法とがある。

① 水平載荷試験による方法

一般に杭が水平力を受けると地盤が地表面から逐次破壊して明確な降伏点を持たない、従って、水平載荷試験における荷重－杭頭変位曲線は図2-10に示すように、一般には曲線であり、短い杭の場合を除けば明瞭な降伏荷重や極限荷重が求められないのが普通である。したがって、荷重－変位曲線は降伏荷重や極限荷重を求めるためではなく、杭頭変位量を抑えるために用いられる。また、この水平載荷試験の場合、注意を要するのは、地盤や杭径などの条件が違えば杭の挙動に大きな影響を与えるということである。したがって、できるだけ設計条件に近い条件で実測したデータを用いることが望ましい。杭の挙動に影響する要素としては、杭の剛性、杭径、載荷高、杭頭条件、地盤条件、荷重の性質などがある。

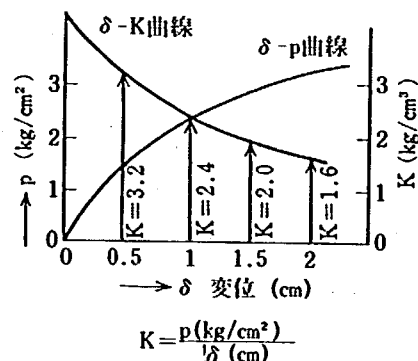


図2-10 K 値の求め方

水平載荷試験結果は図2-10のように示される。このように変位によって、横方向地盤反力係数は異なった値を示すので、設計に際して杭の変位量を求める場合に使用する K 値は、その変位量に対する値を用いなければならない。

② 地盤調査結果による推定

地盤調査結果に基づいて横方向地盤反力係数を求める方法は、プレシオメータなどによるボーリング孔内載荷試験、乱さない試料による一軸および三軸試験などによるもの、 N 値より推定する手法などがある。この場合も K 値は変位量によって異なってくるが、変位量 1 cm のときの K 値を基準 K 値 K_0 として設定し、それを基に着目する変位量 y の K 値を推定すればよい。すなわち、

$$K = K_0 y^{-1/2}$$

ここで、

K : 横方向地盤反力係数 (kg/cm^3)

K_0 : 地表面変位量を 1 cm としたときの横方向地盤反力係数で次式による。

$$K_0 = \alpha E_0 D^{-3/4} \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

E_0 : 表2-2に示す方法で求めた変形係数 (kg/cm^2)

α : E_0 の求め方に対応す

る表2-2に示す係数

D : 杭径 (cm)

y : 着目する変位量 (cm)

表2-2 E_0 と α の関係

地盤の変形係数 E_0 (kg/cm^2)	α
ボーリング孔内で測定した地盤の変形係数	0.8
一軸または三軸圧縮試験から求めた変形係数	0.8
標準貫入試験の N 値より $E_0 = 28N$ で推定した変形係数	0.2

杭の水平抵抗に關与する地盤と

しては、設計地盤面から $1/\beta$ 程度までを考える ($\beta = (K \cdot D / 4E \cdot I)^{1/4}$, EI : 杭の曲げ剛性)。

上述の考え方は「道路橋杭指針」によっているが「鉄道基礎標準」もほぼ同じ考え方を規定し

ている。

なお、上述の考え方による推定 K 値と杭の水平方向載荷試験結果から求めた逆算 K 値と比較した一例が図2-11である。

(2) 根入れ地盤を弾性体とみなした場合の剛体杭(シャフト杭)の検討

剛体杭(シャフト杭)は前述したように、剛体とみなされる杭のことであり、一般には直径1.5m～3.5mといった大口径の鉄筋コンクリート杭をさす。

剛体杭(シャフト杭)は地盤条件の関係で機械搬入ができず、大口径ボーリングによる挿入杭の施工が困難であったり、すべり土圧が大きく、一般のたわみ杭では所定の計画安全率の確保ができない場合に用いられる。

しかし、急傾斜地ではこのような大口径の杭が用いられることはほとんどなく、大きな地すべりの抑止などに用いられているのが現状である。従って、ここでは詳しい説明は省く。

なお、剛体杭(シャフト杭)の一般的な安全条件は以下の通りである。

- i) シャフト杭自身がせん断応力に十分耐えること
- ii) シャフト杭が土圧(外力)によって生ずる曲げモーメントに十分耐えること
- iii) シャフト杭の基礎地盤がせん断応力によって破壊されないこと
- iv) 基礎地盤中の反力によってシャフト杭底部の地盤が破壊されないこと

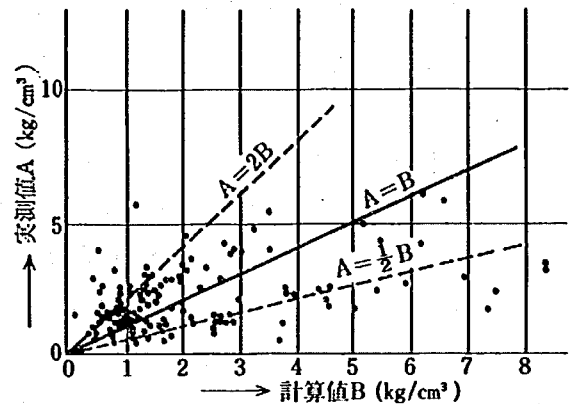


図2-11 K 値の推定式の精度

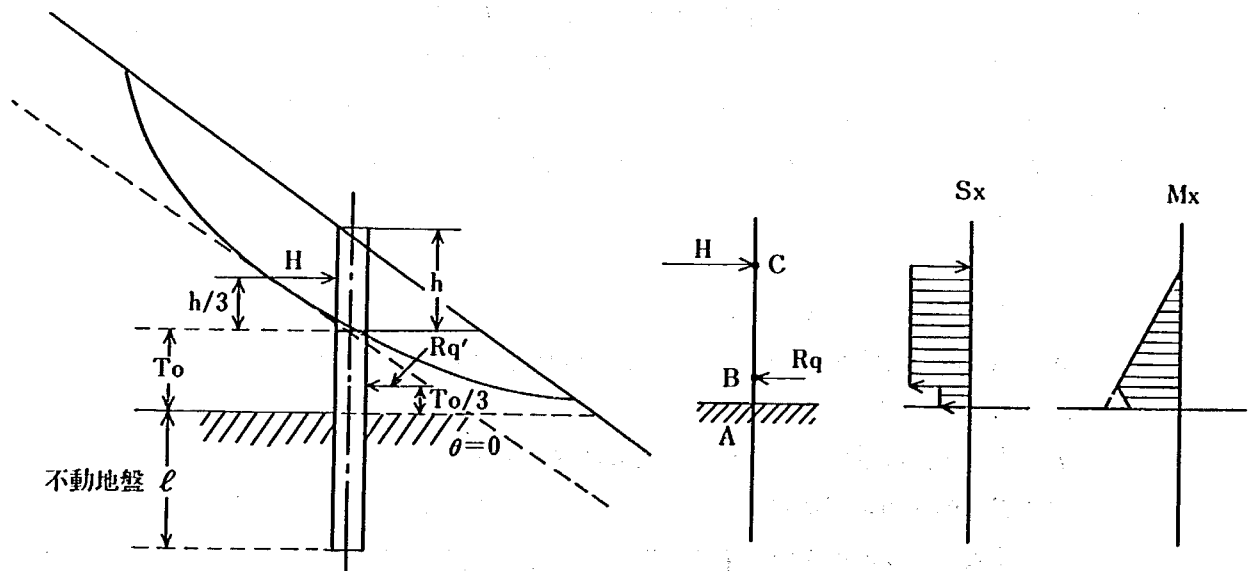


図2-12 不動地盤上の片持梁

(3) 根入れ地盤内に堅固な不動地盤を想定した場合のたわみ杭の計算方法

(i) 不動地盤に打込まれた片持梁としての計算法

図2-12に示すように想定すべり面より T_0 下方の不動地盤に打込まれた杭について必要抑止力 H および T_0 間の地盤耐力 Rq' を受けた片持梁として計算する方法である。

杭にかかる最大せん断力はB～C点間で

$$S_{max} = H$$

最大曲げモーメントは

$$M_{max} = H_x (T_0 + h/3) - R_q' \times T_0/3$$

従って、杭に働く最大縁応力 σ_1, σ_2 は

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = \pm \frac{M_{max}}{Z}$$

(ii) 不働地盤に打込まれた門型ラーメンとした場合の計算

図2-13のように杭を2列に打ち、頭部を剛結した場合の杭で門型ラーメンの計算を行った場合、杭に生ずる最大曲げモーメント M_{max} は(ただし、この場合は R_q' は無視する) 次式により求まる。

$$M_{max} = \frac{P_r \cdot a \{ (3k+1)h + 3k(h-a) \}}{(6k+1)h}$$

ここで

$$k \text{ (剛比)} = \frac{K}{K_0} = \frac{I}{I_0} \cdot \frac{h}{\ell}$$

I : 梁材の断面2次モーメント

I_0 : 杭の断面2次モーメント

ℓ : 梁材の長さ

h : 杭の不働地盤よりの長さ

a : 不働地盤より P_r が作用するまでの長さ

(iii) アンカーを杭頭に用いた場合の考え方

アンカーを杭頭に用いることは杭の断面上有利であり、特に急傾斜地崩壊防止工事においてはアンカーを用いることにより、すべり面での杭の変位量を少なくできるので有効である。

図2-14には杭頭にアンカーを用いた場合の杭の考え方を示す。

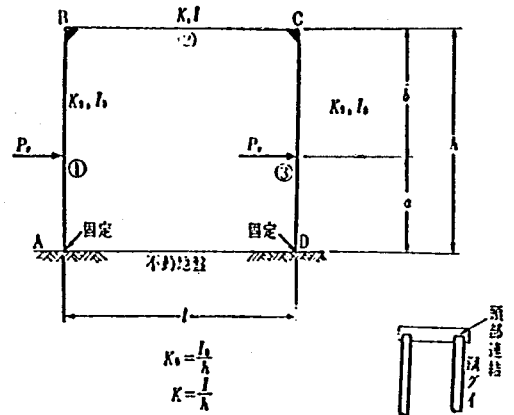


図2-13 不働地盤上の門型ラーメン

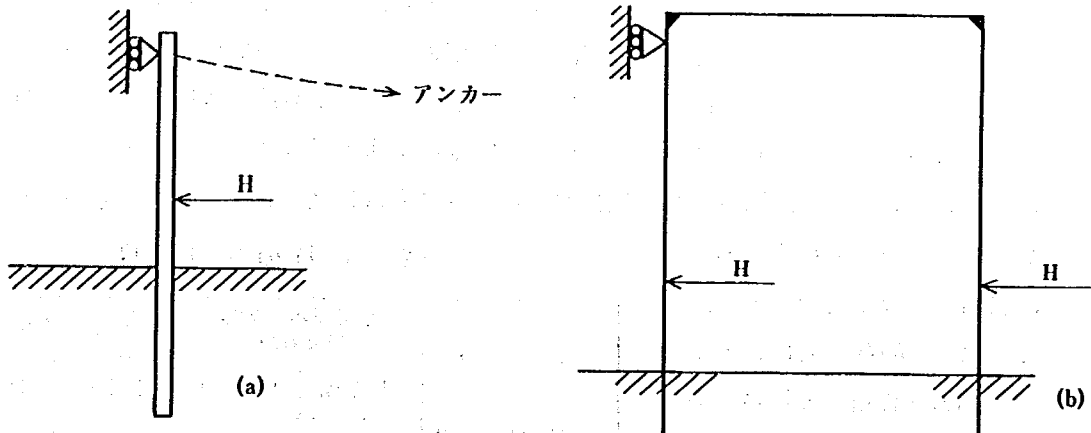


図2-14 アンカーを杭頭に用いた場合の考え方

2.11 杭断面の安全性の検討

(1) 杭断面の安全性の検討事項

杭の断面の安全性の検討としては、(i)せん断力に対する検討と、(ii)曲げモーメントに対する検討および(iii)許容変位量に対する検討がある。急傾斜地崩壊防止工事に用いる杭においては(i)および(ii)に対して安全であるよう設計することはもちろんであるが(iii)についても許容変位量を設定しておく(例えば、すべり面での許容変位量 $Y_a = 2\text{ cm}$)その安全性を検討しておくことが望ましい。

(2) 合成杭の安全性の検討

次に合成杭の安全性の検討方法を述べる。他の種類の杭についても基本的には同一の考え方を行う。ただし、一般に中詰コンクリートは補強材と見なさない。

(i) せん断力に対する検討

$$S_{max} < r_p \cdot A_p + r_s \cdot A_s$$

S_{max} : 杭に生ずる最大せん断力 (t)

r_p : 鋼管の許容せん断応力 (t/m²)

A_p : 鋼管の断面積 (m²)

r_s : 補強材の許容せん断力 (t/m²)

A_s : 補強材の断面積 (m²)

(ii) 曲げモーメントに対する検討

$$\sigma_{max} > \frac{V}{A_p} + \frac{M_{max}}{Z_p}$$

σ_{max} : 鋼管の許容曲げ応力度 (t/m²)

V : 杭に生ずる軸力 (t)

M_{max} : 杭に生ずる最大曲げモーメント (t・m)

A_p : 杭の鋼材部分の断面積 (補強材を含む) (m²)

Z_p : 杭の鋼材部分の断面係数 (補強材を含む) (m³)

(3) 杭に使用する鋼材の設計強度

一般に崩壊発生の誘因は降雨、地震など一時的なものであり、すべり面での安定度の低下も限られた期間内にとどまるものと考えられる。従って、この時期のみすべり力を抑止し得れば崩壊の発生に至らないものと考えられる。また、杭工などの抑止工は地下水排除工や地表水排除工などの抑制工と併せて実施されるのが原則であり、従って、斜面の安定度は排水効果等によって杭工施工後は当初よりも徐々に向上していくことが期待され、杭に対するすべり力は軽減されていくので原則として短期強度を用いて検討を行うものとする。

しかし、斜面崩壊の機構や杭の設置位置によっては一時的な応力にとどまらず長期間の応力が作用する場合もあり、このような条件の所では長期強度を用いる必要がある。

参考として表 2-3 に杭の設計強度例を示す。

表 2-3 杭の設計強度

区 分	短期許容応力度 (kg/cm ²)		長期許容応力度 (kg/cm ²)	
	せん断	曲 げ	せん断	曲 げ
STK 41 及び 同 等 品	1,350	2,400	900	1,600
SM 50 及び 同 等 品	1,950	3,300	1,300	2,200

2.12 杭の根入れ長の検討

設計された杭の安全性を検討する際には前述の杭断面の安全性の検討の他に、ここで述べる杭の根入れ地盤の安全性の検討を行う必要がある。

表2-1の杭の計算方法のうち、イ、ハを用いた場合には次の(1)に示すように、杭の根入れ長が計算条件である無限長を満たす程度に長くなければならない。

また、表2-1のロ、ニ、ホを用いて計算した場合には根入れ地盤が杭の許容変位に対して安全である必要がある。これは杭に生ずる応力の計算途中に明らかとなる。

また、表2-1のヘ、ト、チを用いて計算した場合には、杭は岩盤等の堅固な不動地盤に十分挿入される必要がある。不動地盤の判定および必要な杭の根入れ長についての明確な基準はないのが現状である。しかしながら、一般には前述した2.2(A)の(5)における(i)および(ii)の両方を満たすよう検討することが望ましい。

(1) 根入れ地盤を弾性体とみなした場合のたわみ杭の根入れ長の検討(Changの式を用いた場合)

Changの式は杭の根入れ長を無限長として仮定しているため、この式を用いる場合に杭が無限長として挙動するよう、十分な根入れ長を確保する必要がある。

この十分な根入れ長は一般には次式により計算する。

$$h_b > \frac{\pi}{\beta}$$

ここで

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{K \cdot d}{4 \cdot E \cdot I}} \quad (\text{m}^{-1})$$

h_b : 杭の必要な根入れ長 (m)

K : すべり面より下部基盤の横方向地盤係数 (t/m³)

d : 杭の外径 (m)

E : 杭材の弾性係数 (t/m²)

I : 杭の断面二次モーメント (m⁴)

第3章 杭工の施工

3.1 一般的留意事項

(1) 環境保全

杭工の施工に際し振動、騒音、水質汚濁をできるだけ発生させないよう環境保全に注意しなければならない。

(2) 準備および削孔

削孔機械の機種、足場の種類、搬路等は地形、地質を勘案して危険のないように決める必要がある。

杭の施工箇所、搬路等の地均しは切土、盛土をできるだけ少なくすべきである。

施工地域は地盤が一般に脆弱で、場所も斜面の狭い所での施工が多いので、重機の足場の安全性並びに機械の安全管理等に充分配慮し、またボーリング泥水並びに捨土の処理に際してもすべりを誘発しないよう注意すると共に水質汚濁等をできるだけ発生させないよう留意しなければならない。

(3) 杭の建込み

杭の建込みは削孔後直ちに行わなければならない。

(4) 杭の継手

現場で鋼管を継ぐ場合は全周溶接するものとする。この場合、インナースリーブ(ソケット)を併用することが望ましい。

すべり面付近や最大曲げモーメントの発生が予想される位置に継手を設けてはならない。

(5) コンクリート填充およびグラウト

i) 鋼管建込み後、清水を孔底に圧送して孔内を清掃し、コンクリート(孔内の地下水位の高い場合)を填充する。

ii) 孔壁と鋼管の間隙にあらかじめグラウトパイプを挿入してグラウトを行い、基礎部の亀裂充填と孔壁と管との間詰めを行うものとする。

3.2 準備および削孔

(1) 準備

杭工の施工は施設(足場等)が大がかりになるので、施工に先立って、足場として最低4~6mの水平面を確保してから施工を始める。

せん孔機での掘削概念は図3-1のようになり、主要な使用機械は表3-1のとおりである。削孔には大口径せん孔機と称される原動機出力11~35kW、掘進深度200~1,500m、孔径200~1,500mm程度の機種にφ85~150mm程度のロッド、および最大吐出量300~800ℓ/min程度の試錐ポンプが組み合わされる。

(2) 削孔

杭の施工は急傾斜崩壊防止工事では地盤に振動を与えたり、騒音を発生させないよう環境面へ配慮するため、施工が確実、合成杭の施工が容易、岩盤内固定が容易、破碎岩・転石を貫いての施工が可能、設備が比較的小規模ですむといった施工面の利点もあって、打込み方式ではなく削孔して杭を挿入する建込み方式が多い。

杭の建込みのためには削孔径の方が杭径よりも若干大きくする必要があります。(表3-2参照)

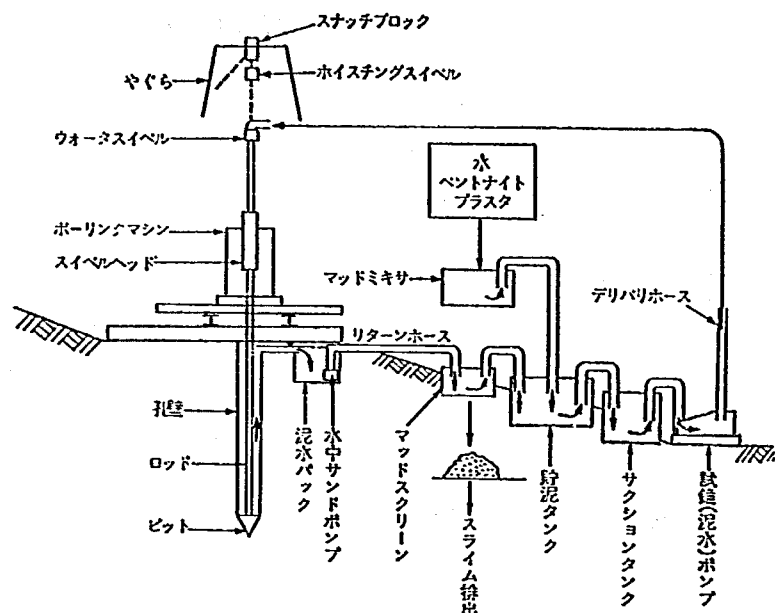
削孔用ビットは硬～軟岩にはトリコンビットに拡孔形ドリルカラーを組み合わせたものを用い、転石、破碎岩にはメタルクラウンと羽根付コアチューブを、また風化岩～粘性土にはウイングビット等が用いられるが、地層の状況に応じて現場でさまざまな加工が加えられ、能率向上の工夫がなされる。

ボーリング用水は一般にベントナイト系泥水が使用され、循環使用される。逸泥を少なくするように泥水の調整、ケーシングの使用などを図り、斜面の悪影響を与えないよう心掛けなければならない。また、できる限り無水ボーリングが望ましい。

削孔設備は地質調査や横ボーリング用の施工設備より相当大がかりとなり、扱う材料・機材も大きくなるのでロッド1本の扱いにも心して、安全施工を図らなければならない。

(3) その他

例えば、斜面末端を切土して、上方にクラックが発生し、設計変更して杭工で補強する場合などでは、先ず横ボーリング工等による地下水排除や、斜面末端への抑え盛土等により、すべりの移動を停止させ、斜面が安全な状態になってから施工する。



マッドミキサ——泥水製造
 泥水ポンプ——泥水圧送
 サンドポンプ——泥水を戻す（吐出量は泥水ポンプと同等）
 マッドスクリーン——スライム分離
 泥水タンク——泥水貯蔵用
 高圧デリバリホース——泥水圧送用 泥水ポンプからロッドウオークスイベルまで
 リターンホース（パイプ）——サンドポンプからマッドスクリーンまで

図3-1 くい工用削孔および泥水循環系統概念図

表3-1 くい工施工用主要機械

工 種	名 称	規 格 他
整 形 , 掘 削	ブルドーザ せん孔機 やぐら	11~35 kW ロッド昇降用
泥 水 循 環	試験ポンプ 泥水ミキサ マッドスクリーン 水中サンドポンプ 揚水ポンプ	削孔 給水用タービン
建込み, 小運搬	レッカ車 電弧溶接機 グラインダ やぐら	建込み用
グ ラ ウ ト	グラウトミキサ グラウトポンプ	
発 電	発動発電機	

表 3-2 挿入鋼管径とさく孔径の関係表

鋼 管 ぐ い			H 形 鋼 ぐ い		
くいサイズ (mm)	削 孔 径 (mm)		くいサイズ (mm)	削 孔 径 (mm)	
	土 塊	基 盤 岩		土 塊	基 盤 岩
φ 267.4	φ 350	φ 300	150 × 150	φ 300	φ 250
318.5	400	350	200 × 200	350	330
355.6	450	400	250 × 250	450	400
406.4	500	450	300 × 300	500	450
457.2	550	500			

3.3 杭の建込みおよび杭の継手

削孔後の孔壁の保持が非常に困難なため、直ちに建込みを行うものとする。

杭の先端は挿入を容易にするために鋼管の尖端部を絞ったり、孔壁に衝突して尖端をこわすことのないように補強することもある。(図 3-2 参照)

杭先端を開放している場合は、挿入にあたって杭体に浮力が働くことがなく、杭の曲がりも少ないが、外周グラウト時にグラウトが内周に逃げやすい欠点もある。合成杭の場合は先端閉鎖杭のほうがグラウトにあたって好ましい結果が得られる。

管体および内部挿入鋼材の溶接継手は相互にずらすとともに、すべり面ともずらす。

鋼材建込み作業は鋼管類に手足等をはさまれるなどの人身事故の危険性が高く、作業に関係のない人は退避させるなり、監視人を置いて安全管理に努める。

現場に搬入される鋼管等は、普通長さが12m以下である。したがって、それより長い杭では挿入しながら現場継手として、溶接継手を採用しなければならない。鋼管をつなぐ場合には図 3-3 のようにインナースリーブや裏あてリングを用いるとよい。JIS 規格では鋼管の継手として、図 3-4 のように全周突合せ、V形溶接とす

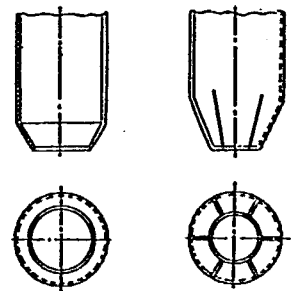
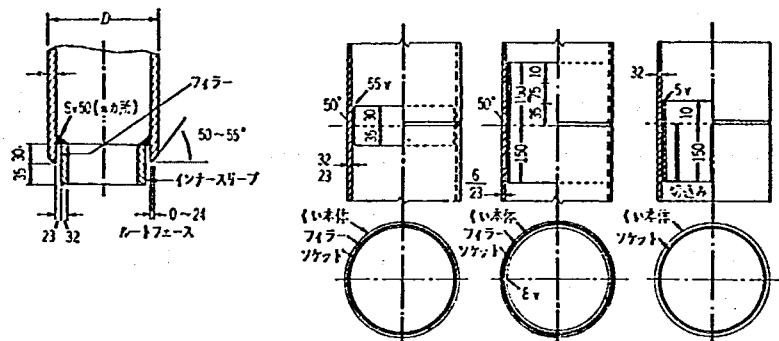
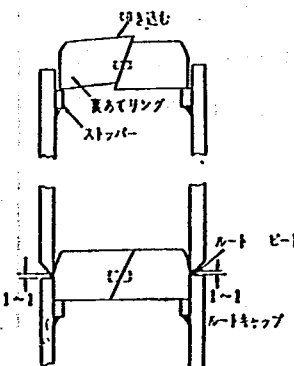


図 3-2 くい先端のしぼり



(a) インナースリーブを用いた例



(b) 裏あてリングを用いた例

図 3-3 鋼管の継手

るよう定められている。この継手溶接のみで不安なときには、更に添え板を付けて溶接するなりしてその強度を増大させることがある。継手の溶接にあたって、上下の杭の曲がりを防ぎ、かつ接合の確実さと同時に溶接にあたっての溶け込み不足等を防ぐため、上杭下端にインナスリーブまたはソケットを用いることも一般に行われている。また、継

手部とすべり面とが一致しないよう、現場搬入前に管長の調整を行って、先端しぼり、閉塞等の加工を行っておく。

溶接においては上下の杭の軸線を一致させ、ルート間隔を正しくするとともに開先面の清掃、水気、油脂の除去を行って電気溶接に着手する。溶接にあたっては前のパスのスラグを完全に清掃し、杭は溶接が完了するまで動かさないようにする。

3.4 コンクリート充填およびグラウト

挿入の完了した鋼管の内外は、仕様書に示される配合のモルタ

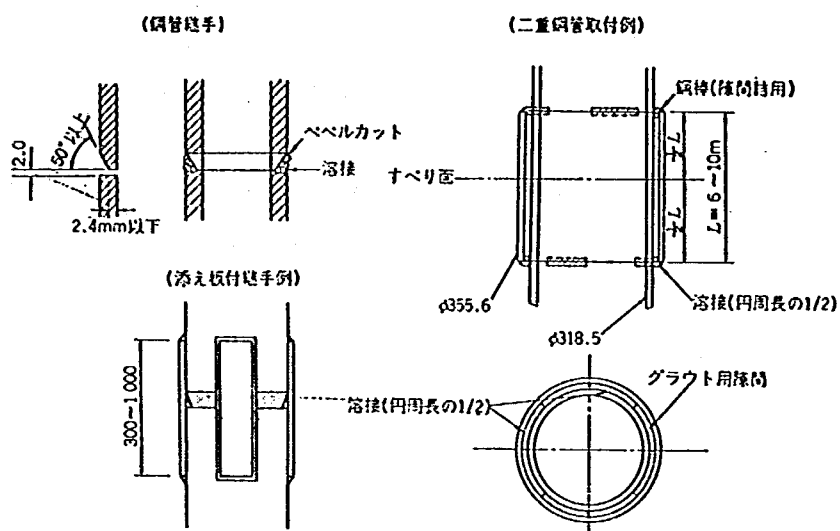


図 3-4 継 手

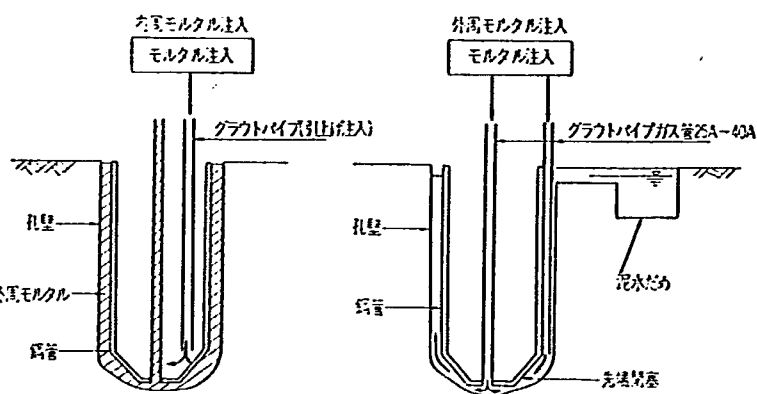


図 3-5 くい工、グラウト概念図(先端閉鎖ぐい)

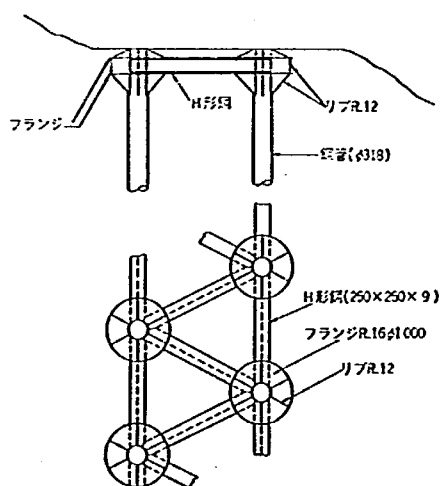


図 3-6 頭部連結工の例

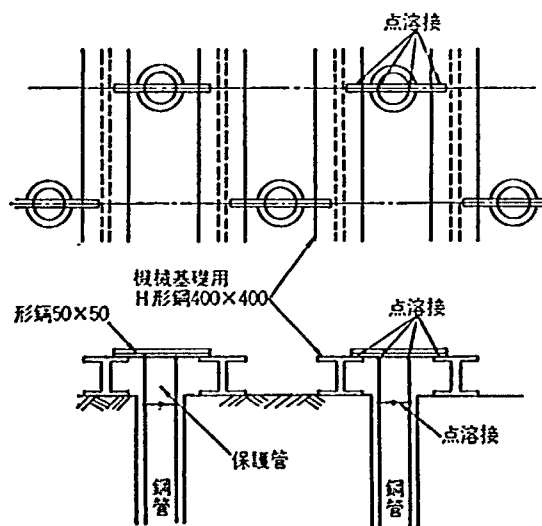


図 3-7 くい偏心防止

ルを図3－5に示すように、グラウトポンプで圧送注入する。注入管は25A～40Aガス管を用い、外周モルタルは管底に開口させたパイプおよび外周に沿わして設けるパイプで注入する。モルタルが孔口周辺に上昇してきたことを確認して完了とし、中詰めモルタルは管底より注入管を漸次引き抜きながら注入する。

頭部連結は、図3－6のようなH形鋼と鋼板の組合せで行うのがよく、建て込まれた群抗の頭部は挿入直後に図3－7のように仮止めの保護管を装着して、溝形鋼等で足場に連結しておき、杭頭の偏心を防いでおく必要がある。

第II部

杭工の設計・施工実例

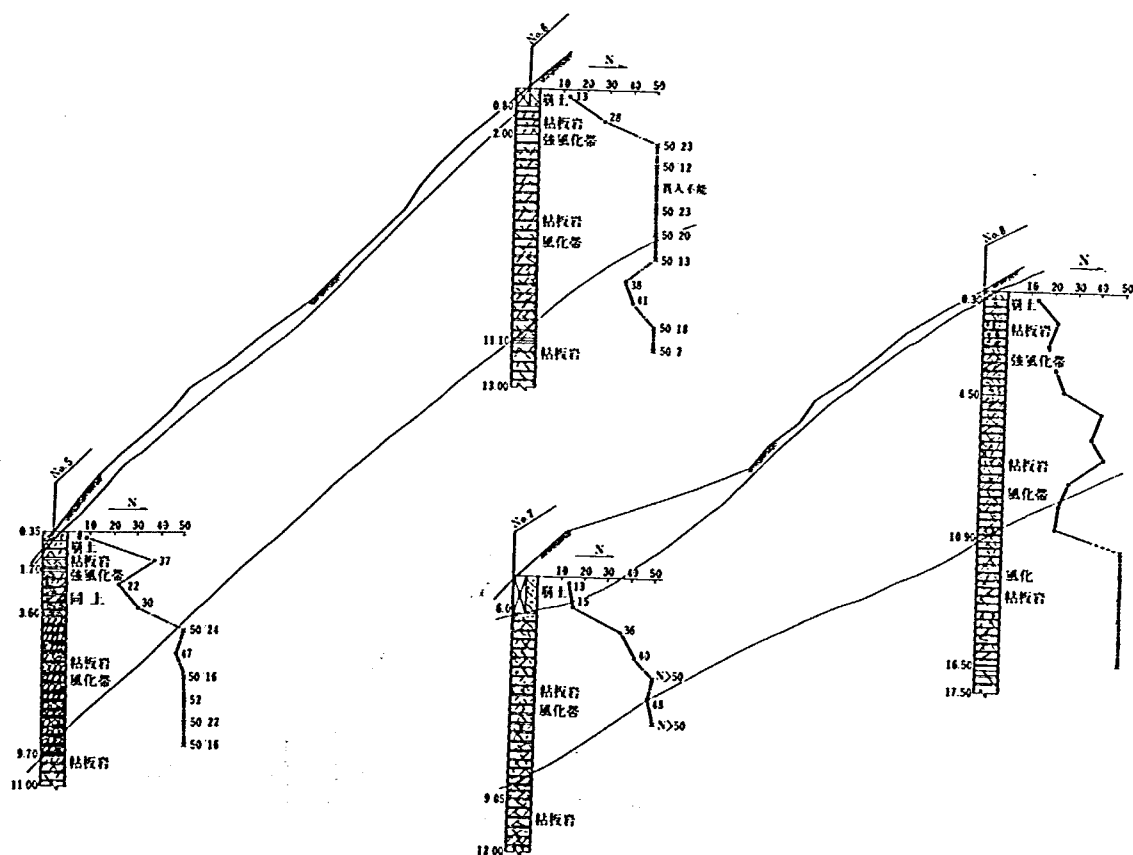
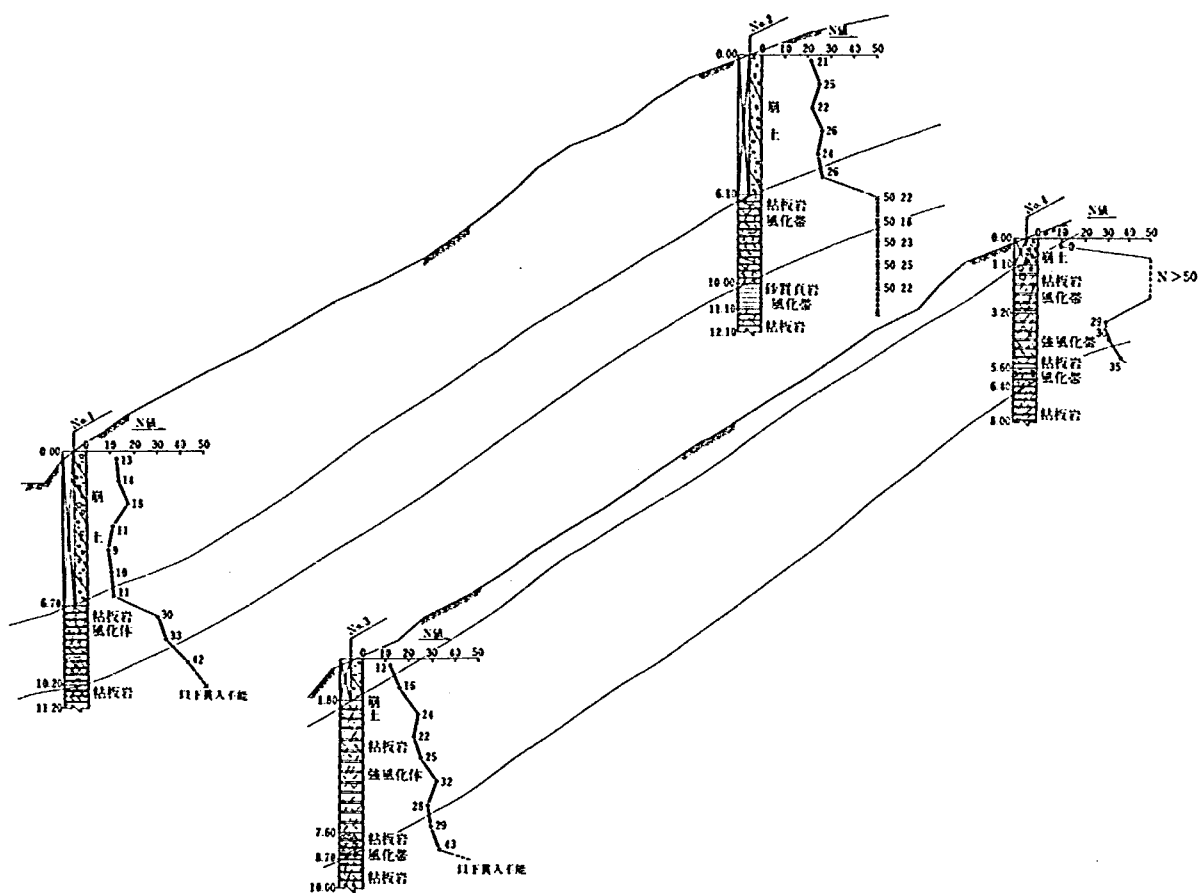
第 4 章 急傾斜地崩壊防止工事に用いた杭工

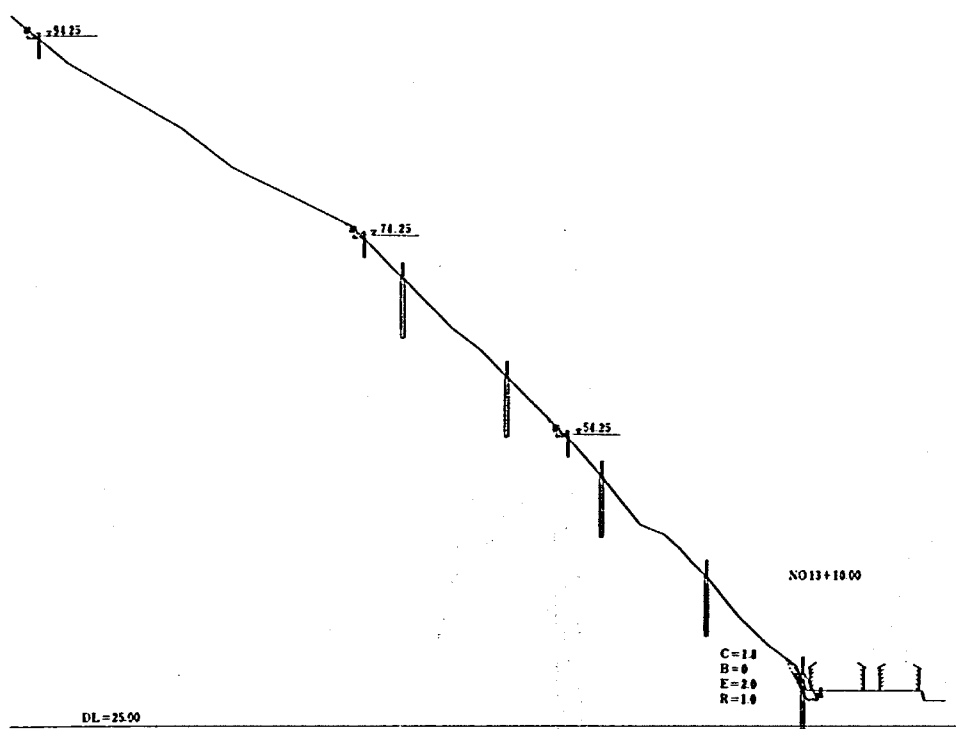
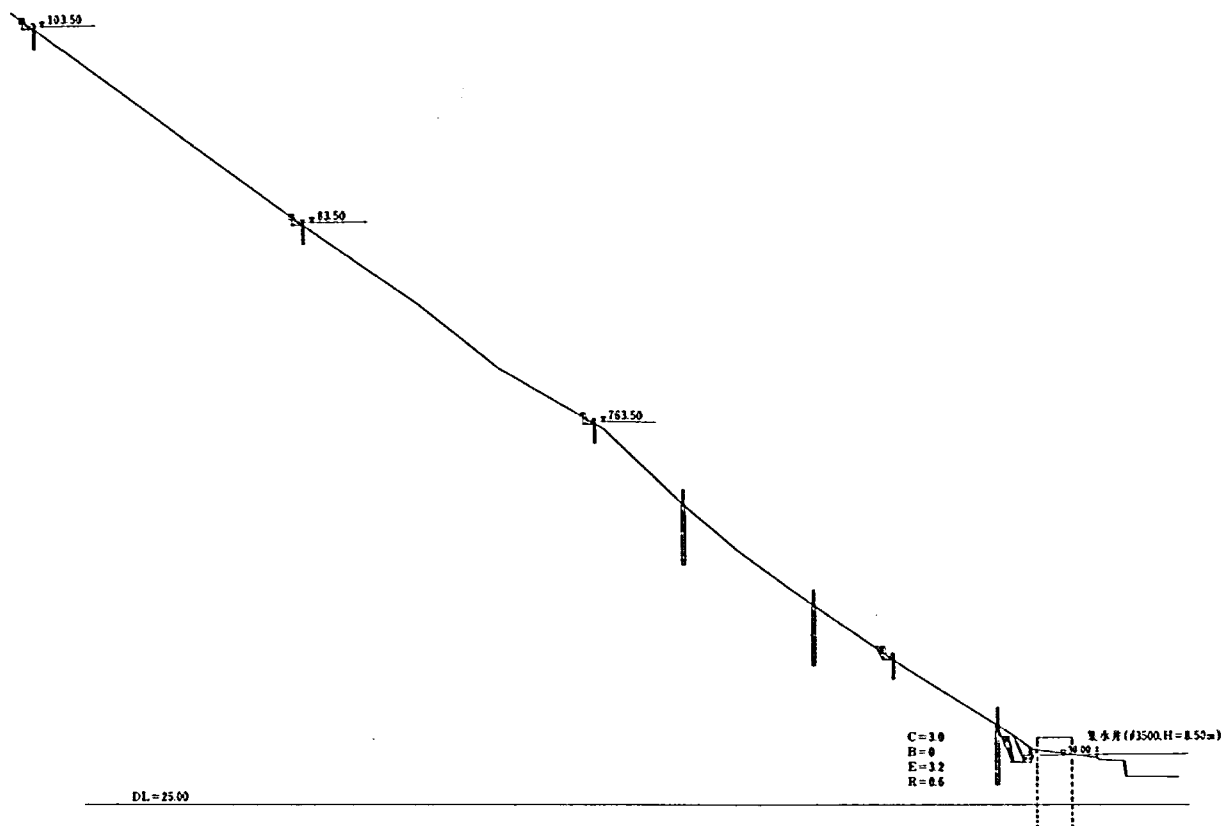
4.1 急傾斜地崩壊防止工事に用いた杭工

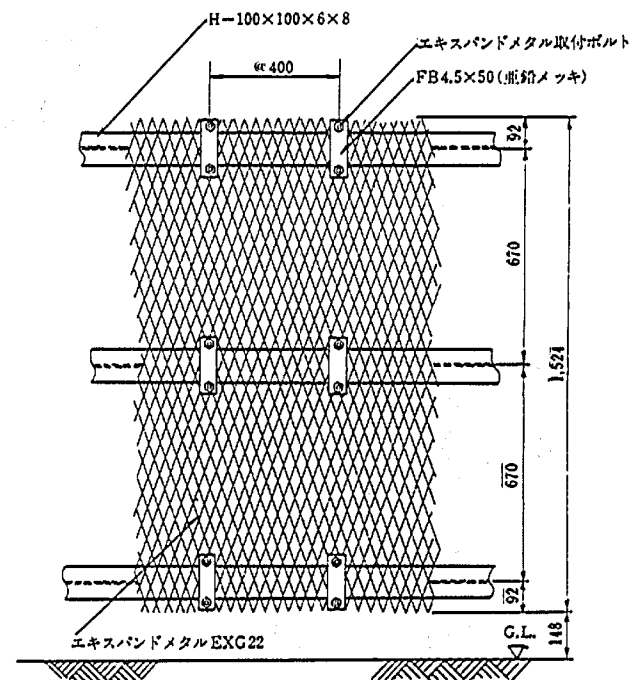
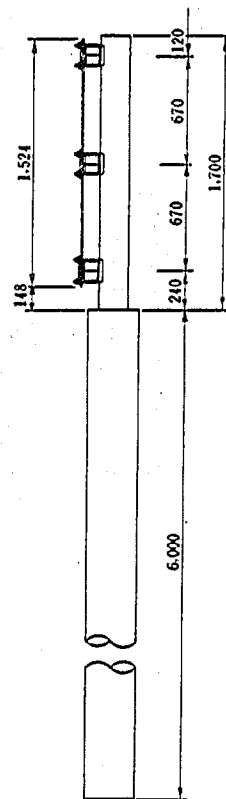
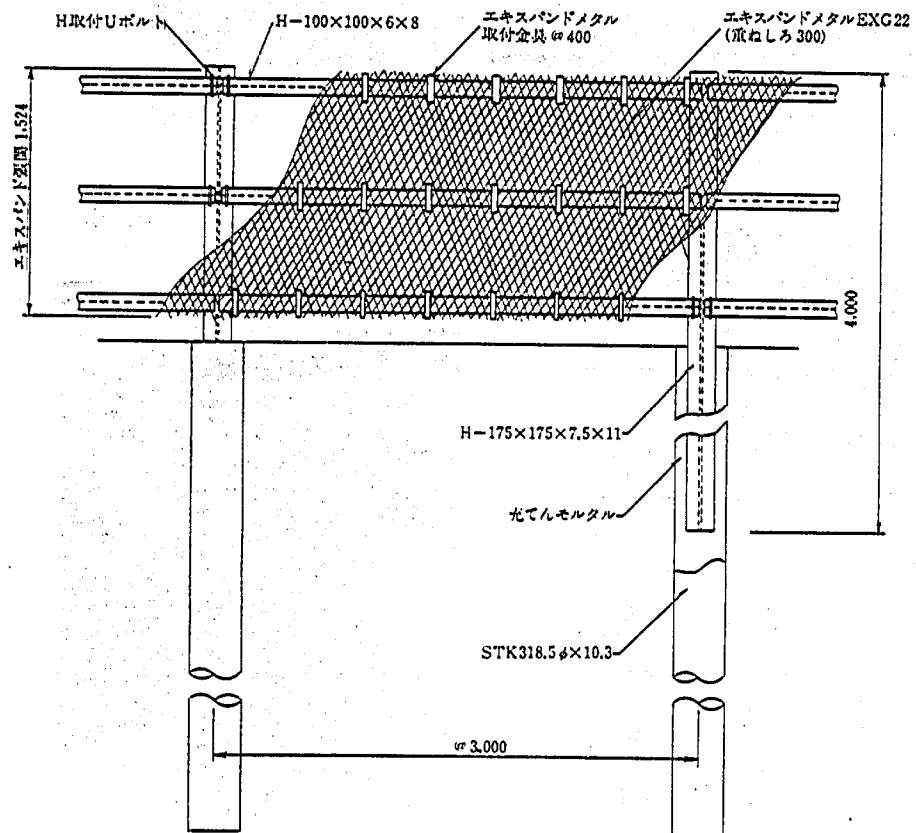
- | | |
|----------|------------|
| (1) 工 種 | 杭工 |
| (2) 場 所 | 大阪府池田市木部地内 |
| (3) 斜面概要 | 高さ 150m |
| | 勾配 40° |
| | 地質 粘板岩 |

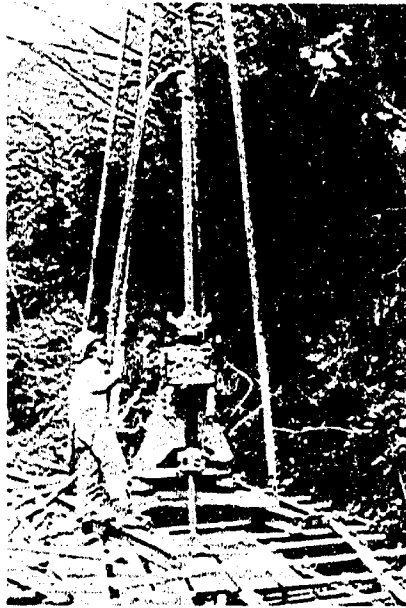


図4-1 杭 工

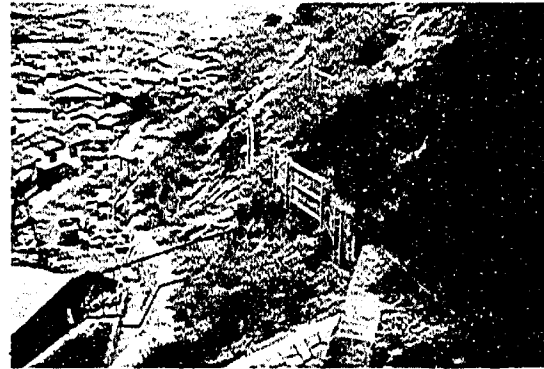








施工中（大口径ボーリング）



施工中



施工中



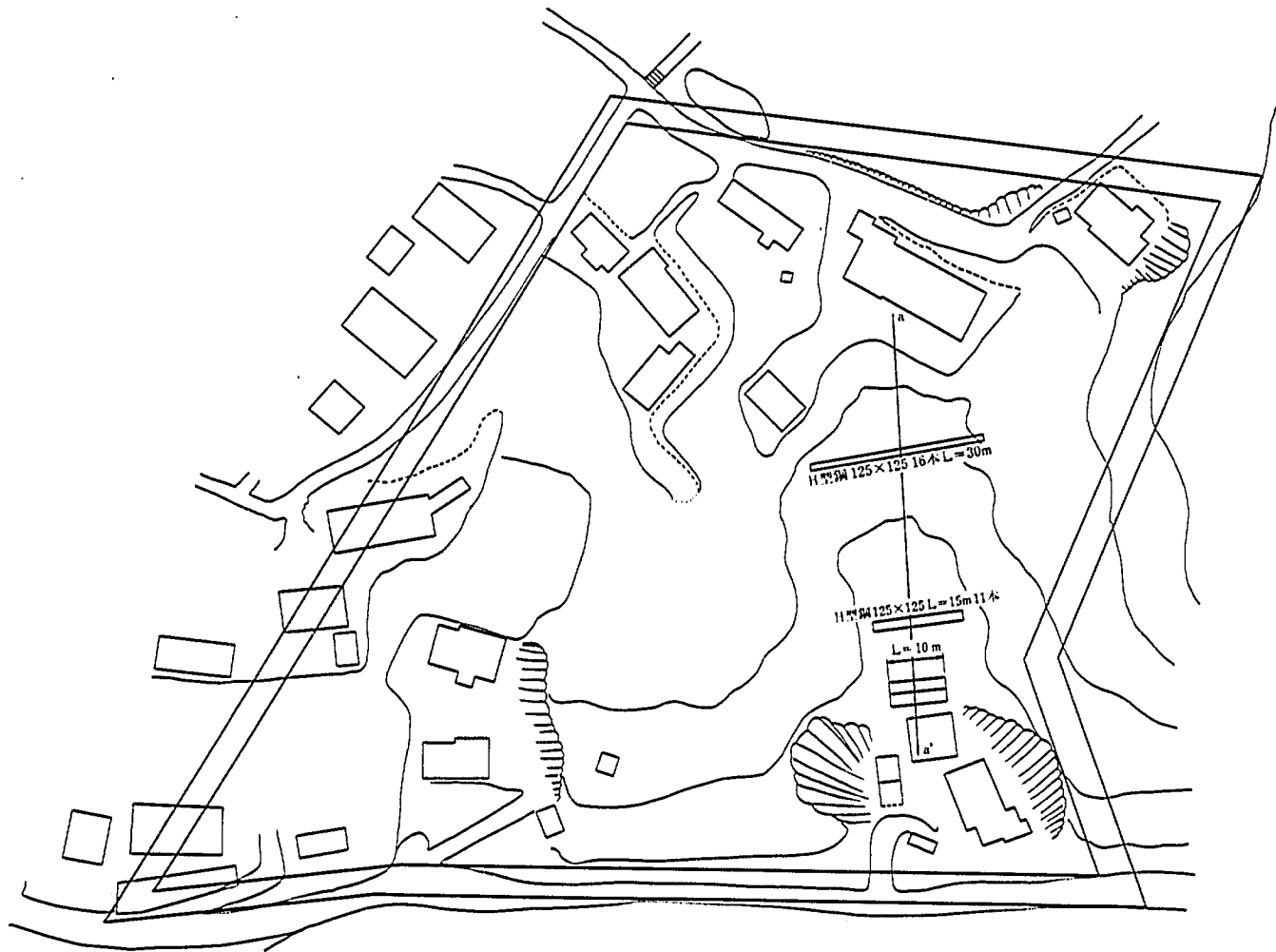
施工中（エキスパンドメタルの取付）

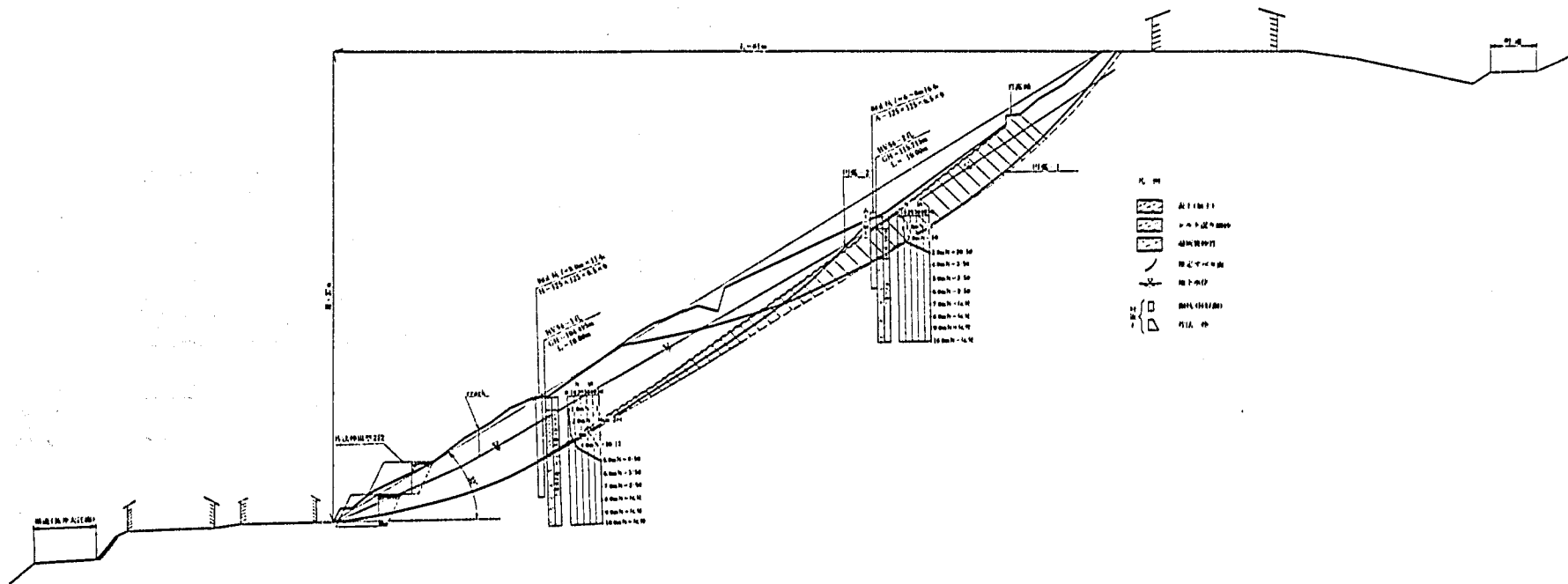


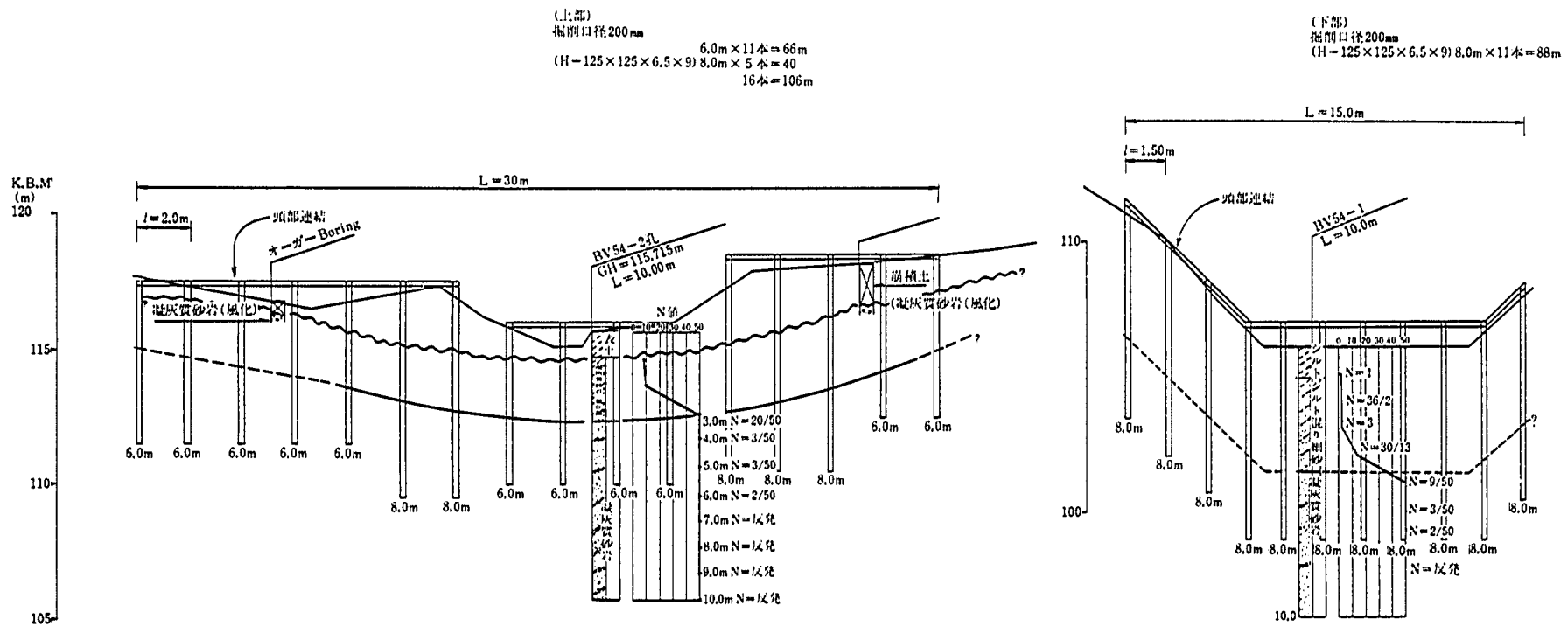
施 工 後

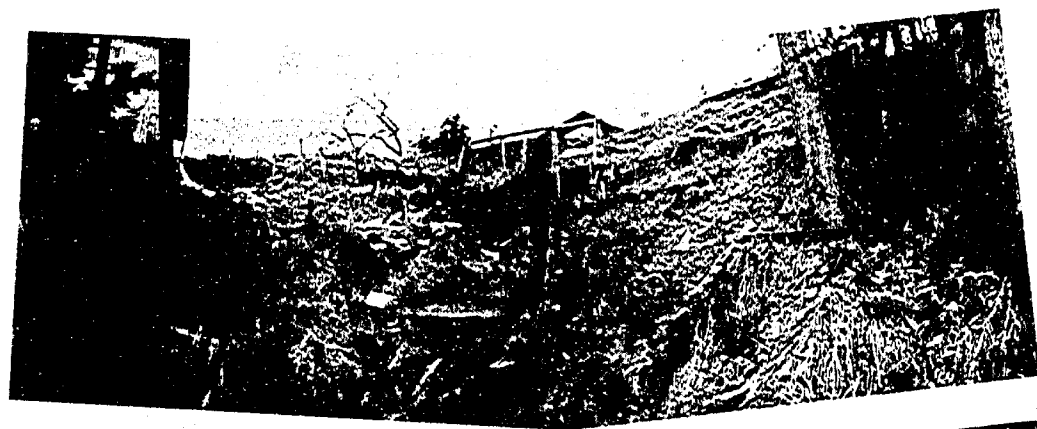
4.2 山形県能中地区設計施工例

- (1) 工 種 杭工
- (2) 場 所 山形県西村山郡朝日町大字三中
- (3) 斜面概要
 - 高さ 30 m
 - 勾配 30°
 - 地質 凝灰質砂岩

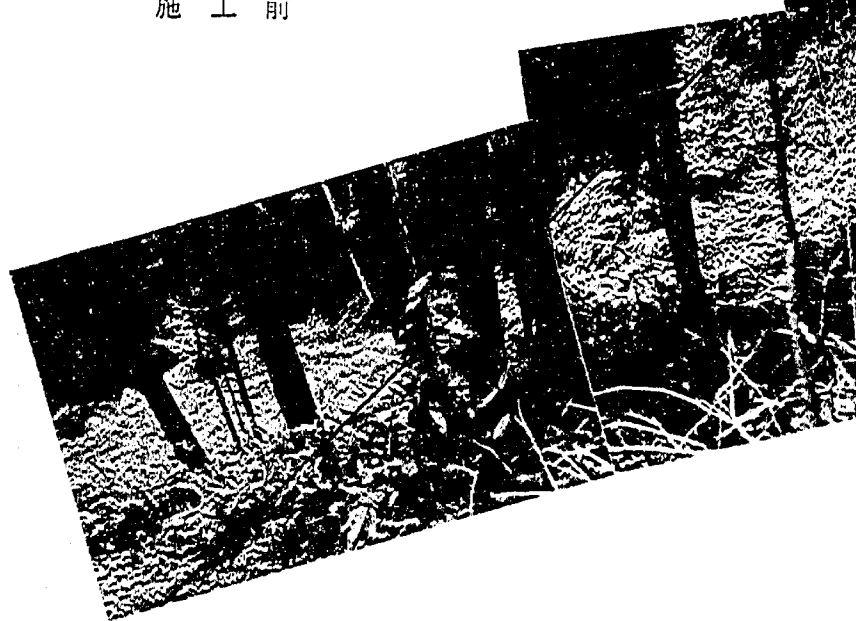








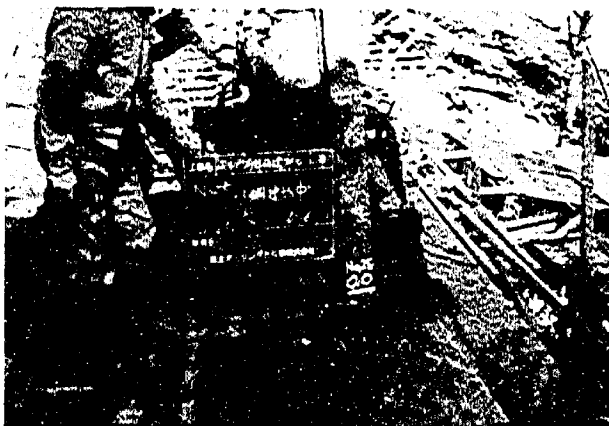
施 工 前



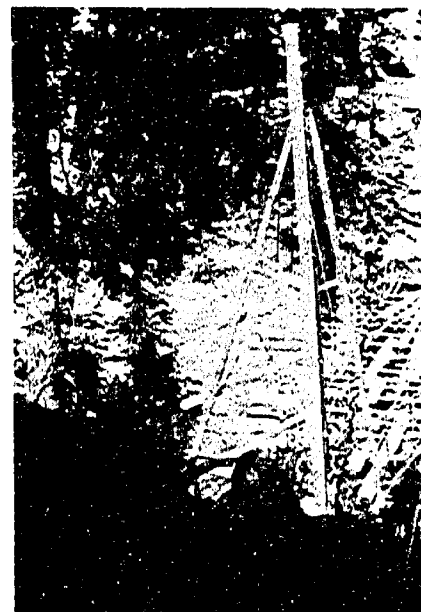
施 工 前



施 工 前



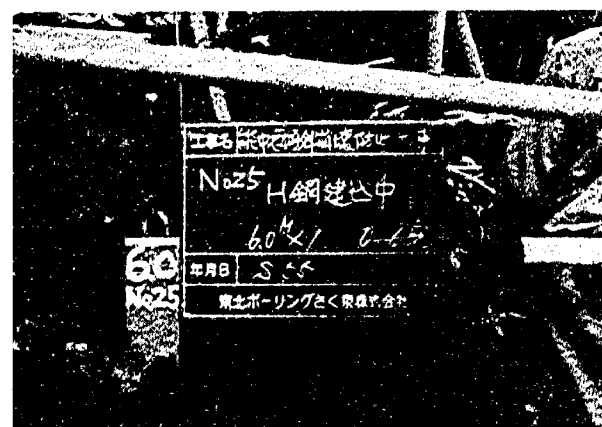
施 工 中



施 工 中



施 工 中



施 工 中



施 工 後



施 工 後

4.3 広尾入舟地区設計・施工例

(1) 設計・施工概要

(i) 工 種

土留柵工

(ii) 場 所

北海道広尾郡広尾町字入舟町

(iii) 斜面概要

高さ 19.5m

勾配 48°

地質 新第三紀洪積層

保全対象人家戸数 87戸

(iv) 工法選定理由

対象斜面は崩壊土層と想定される表土層が約0.5~1.0mと薄く、また杭の基礎地盤が $N>50$ と比較的堅硬である。また斜面勾配が約48°と比較的急であり、さらに人家が斜面上下部に接近しており用地が非常に限定される。

以上のような斜面条件より矢板とH鋼杭を組み合わせた土留柵工を計画した。さらに斜面表面は不安定な小土塊を除去し、のり面保護工として軽量のり砕工、張芝工を計画した。



図4-1 広尾入舟地区平面図

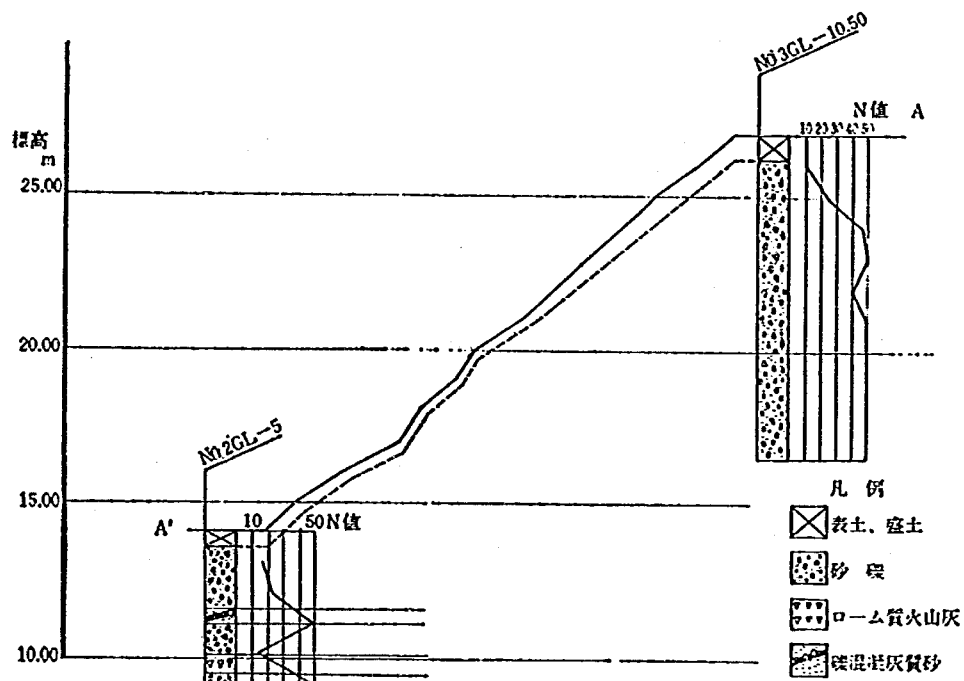


図4-2 広尾入舟地区A-A'断面図

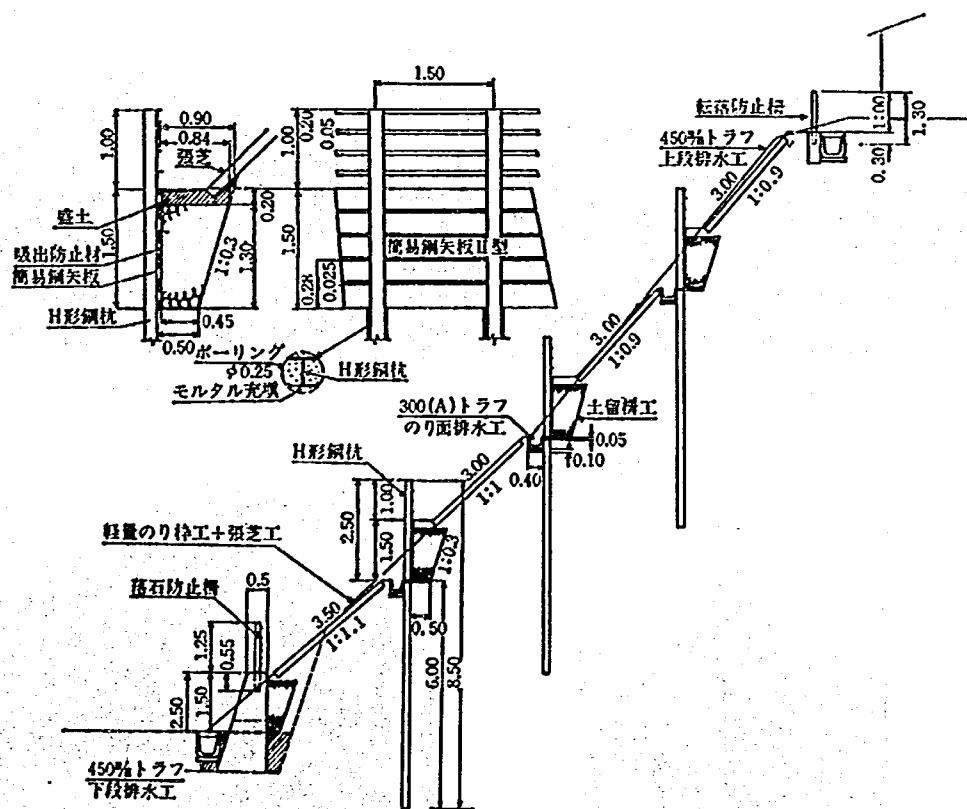


図4-3 土留構工標準横断面図(単位:m)

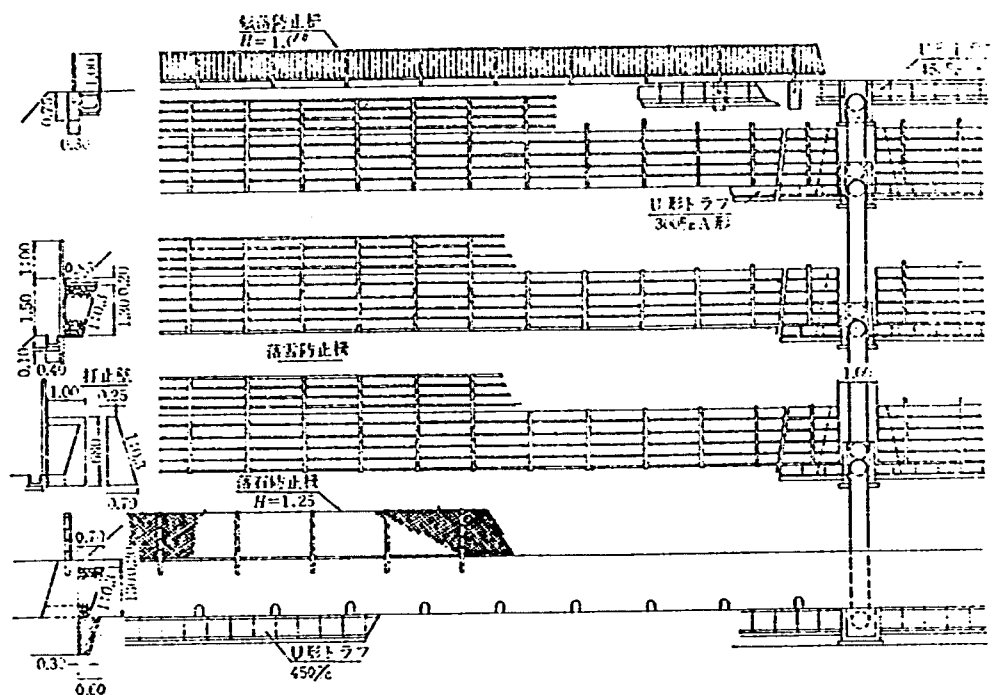


図4-4 土留構工構造図(単位:m)



写真4-1 広尾入舟地区施工前

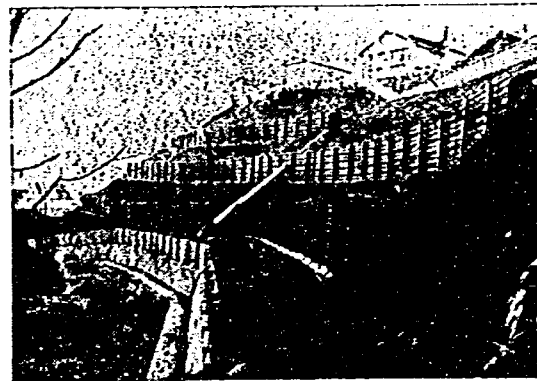


写真4-2 広尾入舟地区施工後

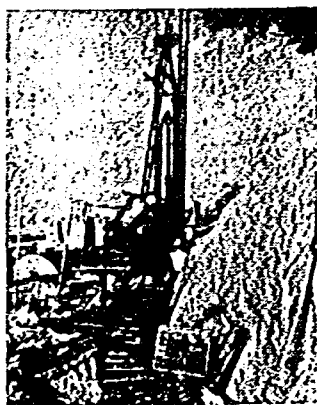


写真4-3 ボーリング削孔中



写真4-4 杭の建込み

(2) 土留構工詳細設計例

<設計条件>

- (i) 崩落は強風化岩以上の堆積物とし、N値20を境界層とする。
- (ii) 底部崩壊は起こらないものとし、計算の便宜上地表面に平行な崩壊面とする。
- (iii) 仮定以外の作用による急激な崩壊から、より安全性(避難対策)を保つため、斜面を4分割し個々のブロックごとに抑止工を考えることとする。
- (iv) 各 諸 元

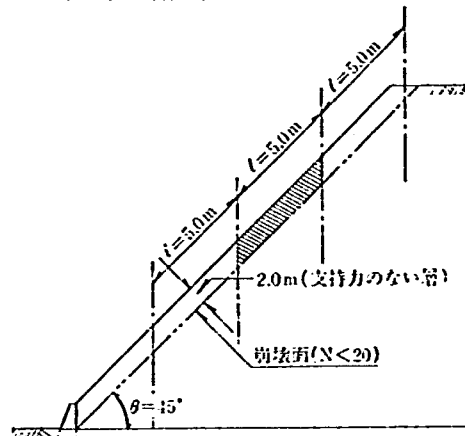


図4-5 設計対象断面

各諸元は以下のとおりである。

土砂の単位体積重量 $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$ (調査より)

雪の単位重量(融雪最盛期) $\gamma_w = 0.5 \text{ t/m}^3$

粘着力 $c = 0.8 \text{ t/m}^2$ (調査より)

崩壊面が水平面となす角 $\theta = 45^\circ$ (調査より)

計画安全率 $F_s = 1.2$

(v) H形鋼の許容応力度

材質がSS 41より(長期強度),

せん断応力度 $\sigma_s = 900 \text{ kg/cm}^2$

曲げ応力度 $\sigma_b = 1,600 \text{ kg/cm}^2$

(vi) 断面の仮定

図13-5のような断面を仮定し、 $\ell = 5.0 \text{ m}$ (最大のり

長)のところで考える。表面下2.0mまでを支持力のない土層とする。

<安定計算>

(i) 崩壊推力の算出(単位幅当たり)

① T_o , N_o の計算

ここで,

T : 各細片におけるせん断力(t/m)

N : 各細片における垂直力(t/m)

積雪荷重(W_w)の分力(T_w , N_w)は,

$$W_w = 0.71 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 0.5 \text{ t/m}^3 \approx 1.78 \text{ t/m}$$

$$T_w = W_w \cdot \sin \theta = 1.78 \times \sin 45^\circ = 1.26 \text{ t/m}$$

$$N_w = W_w \cdot \cos \theta = 1.78 \times \cos 45^\circ = 1.26 \text{ t/m}$$

土塊荷重(W_r)の分力(T_r , N_r)は,

$$W_r = 2.00 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 1.7 \text{ t/m}^3 \approx 17.00 \text{ t/m}$$

$$T_r = N_r = 12.02 \text{ t/m}$$

合力(T_o , N_o)は,

$$T_o = T_w + T_r = 1.26 + 12.02 = 13.28 \text{ t/m}$$

$$N_o = N_w + N_r = 1.26 + 12.02 = 13.28 \text{ t/m}$$

② 土の内部摩擦角(ϕ)の算出

ϕ は次式より求める。

$$F_s = \frac{\tan \phi \sum N + c \sum \ell}{\sum T}$$

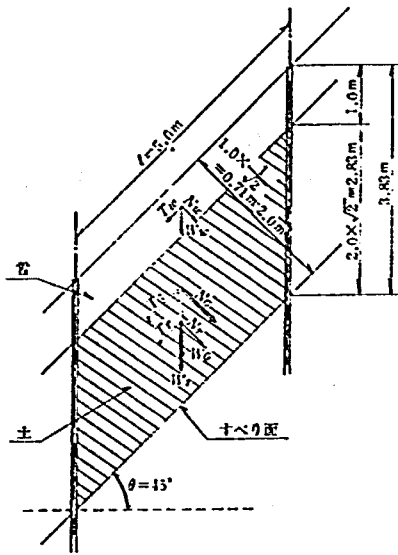


図4-6 設計単位断面

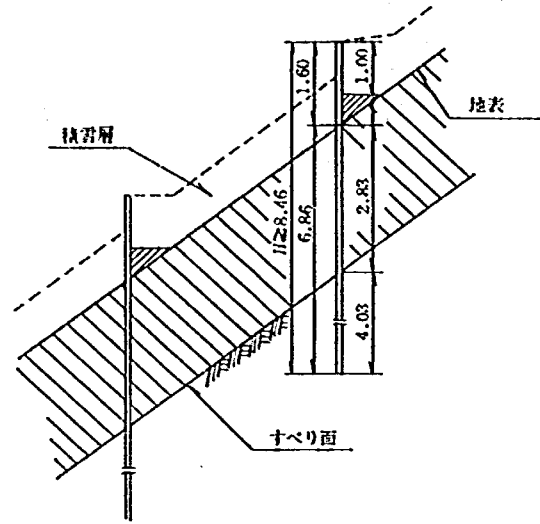


図4-7 土留構の概要(単位:m)

$$\therefore \tan \phi = \frac{F_t \cdot \sum T - c \sum \ell}{\sum N}$$

ここで、現状の安全率 $F_t=1.0$ とすると、

$$\sum T = T_0 = 13.28 \text{ t/m},$$

$$\sum N = N_0 = 13.28 \text{ t/m}$$

$$c = 0.8 \text{ t/m}^2 \text{ (土の粘着力)}$$

$$\sum \ell = \ell = 5.0 \text{ m (杭間ののり長)}$$

であるから、

$$\tan \phi = 0.6988$$

$$\therefore \phi \approx 34^\circ 57'$$

③ 杭棚(幅 1.0m) が受け持つ水平推力 (P_H)

杭棚が受け持たなければならない推力 (P) は次式より、

$$F_{tp} = \frac{\tan \phi \sum N + c \sum \ell + P}{\sum T}$$

以下のようになる。

$$P = F_{tp} \cdot \sum T - (\tan \phi \sum N + c \sum \ell)$$

ここで、計画安全率 $F_{tp}=1.2$ とすると、

$$P \approx 2.66 \text{ t}$$

水平推力 (P_H) は、

$$\therefore P_H = P \cos \theta \approx 1.880 \text{ kg/cm}$$

となり、杭棚はこの水平推力 (P_H) によって生じる最大曲げモーメント (M_{max}) に抵抗しうる鋼材でなければならない。

(ii) 杭の設計

杭が外力によって破壊しないためには次式、

$$\sigma_n > \frac{V}{A} + \frac{M_{max}}{Z} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots(13.1)$$

ただし,

σ_m : 鋼材の許容曲げ応力度 (kg/cm^2)

V : 杭に生ずる軸方向圧縮力 (kg)

$M_{\max}$: 杭に生ずる最大曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)

A : 杭の断面積 (cm^2)

Z : 杭の断面係数 (cm^3)

を満足しなければならない。

ここで, 杭に生ずる最大曲げモーメントは, チャン (Chang) の式より,

$$M_{\max} = P_A \cdot h \cdot \frac{\sqrt{(1+2\beta h)^2 + 1}}{2\beta h} \cdot \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}\right) \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}) \quad (\text{杭頭自由杭}) \quad (13.2)$$

P_A : 水平推力 (t) (本例の場合以下に述べる条件2により杭間隔が1.5mだから, $P_A = 1.5P_H$)

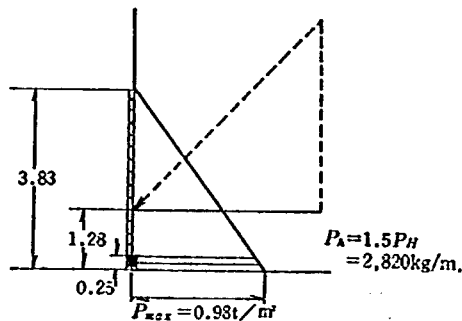


図4-8 杭および矢板に作用する力(単位:m)

ただし,

h : 水平推力 (P_A)の作用点=崩壊面より上の杭長の1/3

$\therefore h = 383 \text{ cm} \times 1/3 = 128 \text{ cm}$ (図13-8参照)

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KB}{4EI}} \quad (\text{cm}^{-1}) \quad (13.3)$$

E : 杭材のヤング係数 (kg/cm^2). $\therefore E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$

I : 杭の断面二次モーメント (cm^4)

B : 杭幅 (cm)

K : 水平方向の地盤反力係数 (kg/cm^3). N値20以上より, $\therefore K = 50 \times 10^3 \text{ t}/\text{m}^3 = 5.0 \text{ kg}/\text{cm}^3$ により求められ杭材が決定されるが, (13.1), (13.2), (13.3) の3式とも杭材の種類によって変化するものであるから, 数種のH形鋼について検討をし, また下記の条件にあてはまる最も経済的なものを採用することとする。

条件1 すべり面の許容変位量 (f_s) は1.0cmより小とする。

条件2 杭間隔は, 経験上および経済上 (ポーリング数をできるだけ少なくする), 1.5mとする。

① 杭材の検討

検討する杭材はH形鋼の, 150×150 mm, 175×175 mm, の2種類とする。

H形鋼 (150×150×7×10 mm) は,

断面二次モーメント $I = 1,640 \text{ cm}^4$

断面係数 $Z = 219 \text{ cm}^3$

断面積 $A = 40.17 \text{ cm}^2$

幅 $B = 15.0 \text{ cm}$

であるから, (13.1), (13.2), (13.3) の3式を求めると, (13.3) 式より,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{5.0 \times 15.0}{4 \times 2.1 \times 10^6 \times 1,640}} \approx 0.0086 \text{ cm}^{-1}$$

(13.2) 式より,

$$M_{\max} = 1.5 \times 1,880 \times 128 \times \frac{\sqrt{(1+2 \times 0.0086 \times 128)^2 + 1}}{2 \times 0.0086 \times 128}$$

$$\begin{aligned} & \times \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1+2 \times 0.0086 \times 128}\right) \\ & = 1.5 \times 1,880 \times 128 \times \frac{3.35}{2.20} \times \exp(-\tan^{-1} 0.312) \\ & = 406,187 \text{ kg} \cdot \text{cm} \\ & \therefore \exp(-\tan^{-1} 0.312) = \exp(-0.302428) = 0.739 \end{aligned}$$

(13.1) 式より,

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{V}{A} + \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{2,820}{40.17} + \frac{406,187}{219} \quad (V=P_A=1.5P_B) \\ &= 70.2 + 1,854.7 \\ &= 1,924.9 \text{ kg/cm}^2 > 1,600 \text{ kg/cm}^2 = \sigma_n \end{aligned}$$

となり、杭材としては不適当である。

H形鋼 (175×175×7.5×11 mm) は,

$$A : 51.21 \text{ cm}^2$$

$$I : 2,880 \text{ cm}^4$$

$$Z : 330 \text{ cm}^3$$

$$B : 17.5 \text{ cm}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{5.0 \times 17.5}{4 \times 2.1 \times 10^4 \times 2,880}} \doteq 0.0078 \text{ cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 1.5 \times 1,880 \times 128 \times \frac{\sqrt{(1+2 \times 0.0078 \times 128)^2 + 1}}{2 \times 0.0078 \times 128} \\ & \quad \times \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1+2 \times 0.0078 \times 128}\right) \\ &= 1.5 \times 1,880 \times 128 \times 3.16 \times 1/2.00 \times \exp(-\tan^{-1} 0.334) \\ &= 412,910 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

$$\therefore \exp(-\tan^{-1} 0.334) = \exp(-0.322346) = 0.724$$

以上より (13.1) 式は,

$$\begin{aligned} \frac{V}{A} + \frac{M_{\max}}{Z} &= \frac{2,820}{51.21} + \frac{412,910}{330} \\ &= 55.1 + 1,251.2 \\ &= 1,306.3 \text{ kg/cm}^2 < 1,600 \text{ kg/cm}^2 = \sigma_n \end{aligned}$$

ここで、条件 1 よりすべり面の杭の変位 (f) は,

$$\begin{aligned} f &= \frac{P_A(1+\beta h)}{2EI\beta^3} \\ &= \frac{1.5 \times 1,880 \times (1+0.0078 \times 128)}{2 \times 2.1 \times 10^4 \times 2,880 \times (0.0078)^3} \\ &\doteq 0.975 \text{ cm} < 1.0 \text{ cm} = f_0 \end{aligned}$$

ゆえに杭材として適している。

② 杭材の決定 (断面の決定)

ボーリング孔径 250mm に挿入可能な範囲の杭材断面として、上記の 2 種類について検討した結果、諸条件を満足するものは、H形鋼 175×175×7.5×11 mm である。

③ 杭の根入れ長

杭を曲げ杭とした場合の根入れ長は、 $h_0 > \pi/\beta$ であるから、

$$\therefore h_3 > \frac{3.14}{0.0078} \doteq 403 \text{ cm} = 4.03 \text{ m}$$

④ 杭の長さ

ここで、図 13-7 より支持力のない層および積雪の深さの部分の杭長 (h_1) は、

$$h_1 = 2.83 + 1.0 = 3.83 \text{ m}$$

地表上のステップによる杭長 (h_2) は、

$$h_2 \doteq 0.60 \text{ m}$$

根入れ長 (h_3) は上記より、 $h_3 = 4.03 \text{ m}$ であるから、杭の全長 (H) は、

$$H \geq h_1 + h_2 + h_3 = 3.83 + 0.60 + 4.03 = 8.46 \text{ m}$$

$$\therefore H = 8.50 \text{ m}$$

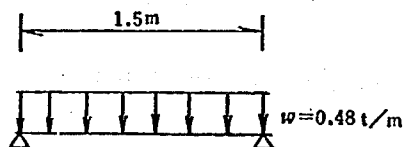
とする。

(iii) 土留矢板の検討

土留矢板に働く水平力は全体では $P_H = 1.88 \text{ t/m}$ である。この水平力が三角形の分布荷重であると仮定すると、後述の図 13-12 よりその最大分布荷重 ($p_{\max}$) は、

$$\begin{aligned} P_H &= \frac{1}{2} \times 3.83 \times p_{\max} \\ &= 1.88 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\therefore p_{\max} = 0.98 \text{ t/m}^2 \text{ (図 13-8 参照)}$$



土留矢板として、簡易鋼矢板Ⅱ型 (250×36×5 mm) を用いると仮定すると、すべり面上に置いた鋼矢板 (すなわち最下段の矢板) が最大の荷重を受けることになり、その分布荷重 (w) は、図 13-9 より、

図 4-9 最下段の矢板に作用する力

$$w \doteq p_{\max} \times 0.25 = 0.98 \times 0.25 = 0.48 \text{ t/m}$$

この鋼矢板を 1.5m 離して設置した杭で支える。杭間隔を ℓ (m) とし、このとき鋼矢板を 2 本の杭で支える単純バリとして計算すると、鋼矢板に働く最大せん断力 ($S_{\max}$) および最大モーメント ($M_{\max}$) は、

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{w \cdot \ell}{2} = \frac{0.48 \times 1.5}{2} \\ &= 0.72 \text{ t} \end{aligned}$$

$$M_{\max} = \frac{w \cdot \ell^2}{8} = \frac{0.48 \times 1.5^2}{8} = 0.135 \text{ t} \cdot \text{m}$$

このとき鋼矢板に働く最大曲げ応力度 ($\sigma_{\max}$) と最大せん断応力度 ($\tau_{\max}$) は、簡易鋼矢板Ⅱ型 (250×36×5 mm) の、断面積 $A = 18.85 \text{ cm}^2$ 、断面係数 $Z = 10.2 \text{ cm}^3$ より、

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{13,500}{10.2} = 1,323 < 1,600 = \sigma_a$$

$$\tau_{\max} = \frac{S_{\max}}{A} = \frac{720}{18.85} = 38.2 < 900 = \tau_a$$

ただし、

σ_a : 矢板の許容曲げ応力度 (kg/cm^2)

τ_a : 矢板の許容せん断応力度 (kg/cm^2)

となり、この鋼矢板は安全であり、設計条件を満足する。

4.4 城の下地区設計・施工例

(i) 工 種

土留柵工

(ii) 場 所

兵庫県神戸市灘区上野

(iii) 斜面概要

高さ 50m以上 (山腹斜面)

勾配 40°

地質 花崗閃緑岩 (地表面付近は強風化)

保全対象人家戸数 66戸

(iv) 工法選定理由

対象斜面は六甲山地の山腹斜面の下部であり、平均勾配は約40°と比較的緩斜面である。また崩壊土層は表層土および花崗岩の風化残積土(マサ)と想定され、この厚さは約1.0mである。したがって崩壊形態としては表層土の滑落が予想される。また対象斜面には樹木が生育しており、比較的良好な自然環境を形成している。さらに人家が斜面下部に迫っている。

以上の斜面条件より、斜面全体の切土あるいは現場打コンクリートのり枠等で斜面を安定させることは困難である。したがって基本的には斜面下部に待受式擁壁を設置して崩土の人家への衝突を阻止するとともに、斜面下部を安定させる。さらに斜面中部からの小崩壊に対しては植生を残したまま小崩壊の発生を防止し、また小さな崩土を止めたり落下力を減少させるための土留柵工を計画した。

なお、ここで用いた土留柵工は根入れ長が約1.0mと浅く、また杭長も約2.0mと小さな杭である。このことから施工にあたってはφ300mmの削孔はオーガーで簡便にでき、大規模な施設や仮設道路を必要としない。

以上のように、この土留柵工は施工が簡便で斜面上の植生保全が可能なことが特色である。

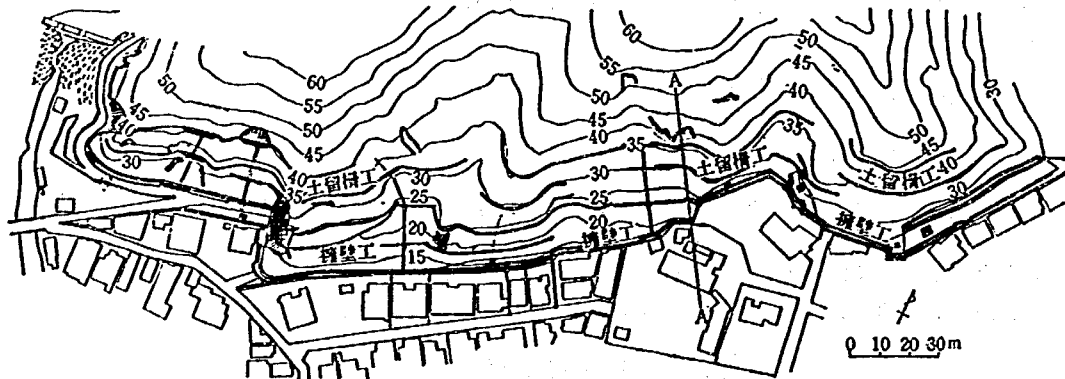


図4-10 城の下地区平面図

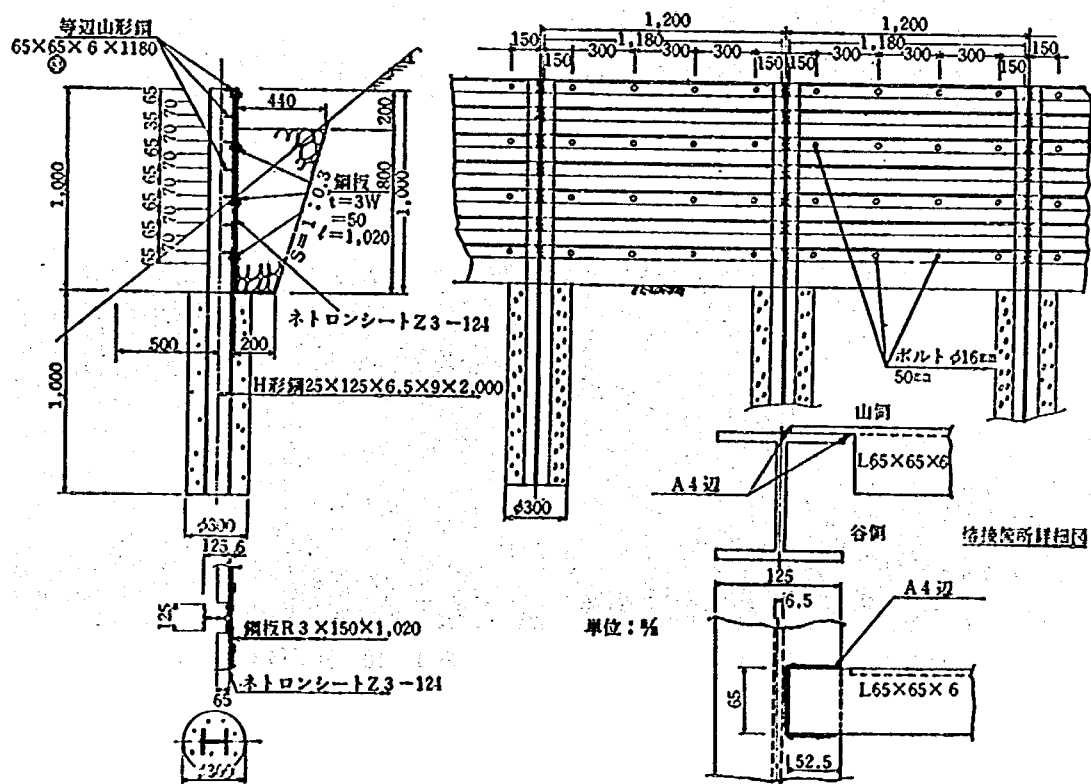
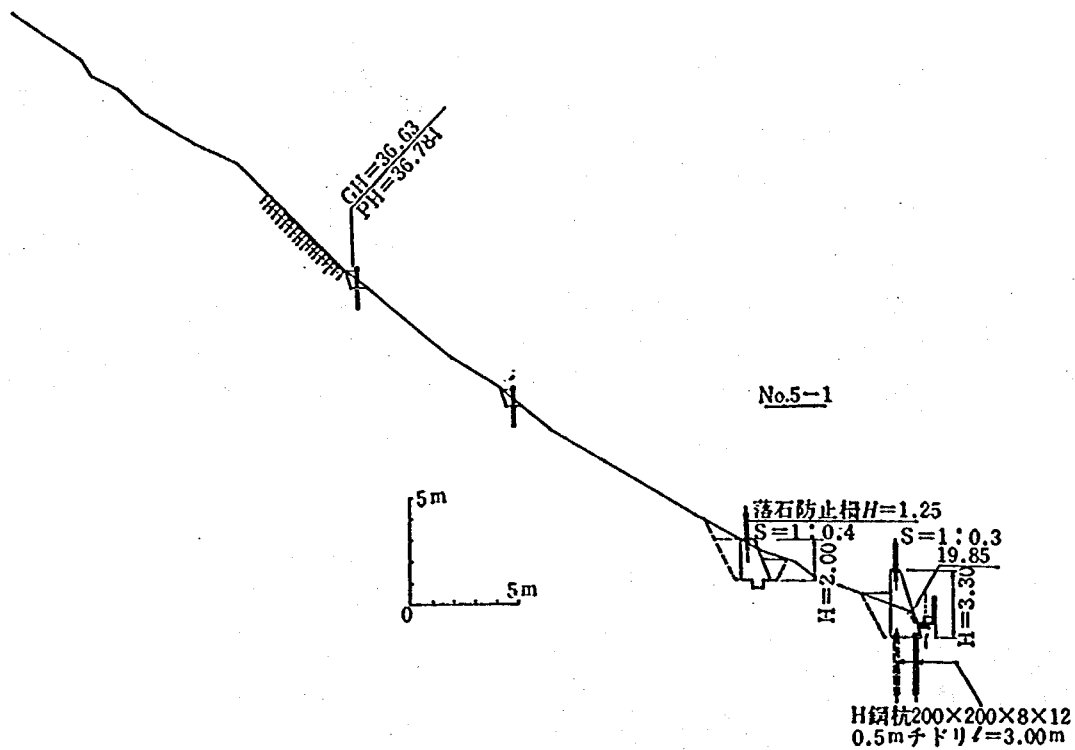




写真4-5 城の下地区施工前



写真4-6 オーガーによる削孔



写真4-7 杭の建込み



写真4-8 柵部の取付け



写真4-9 施工後

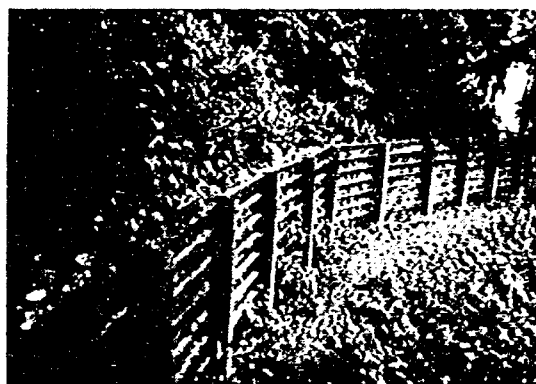
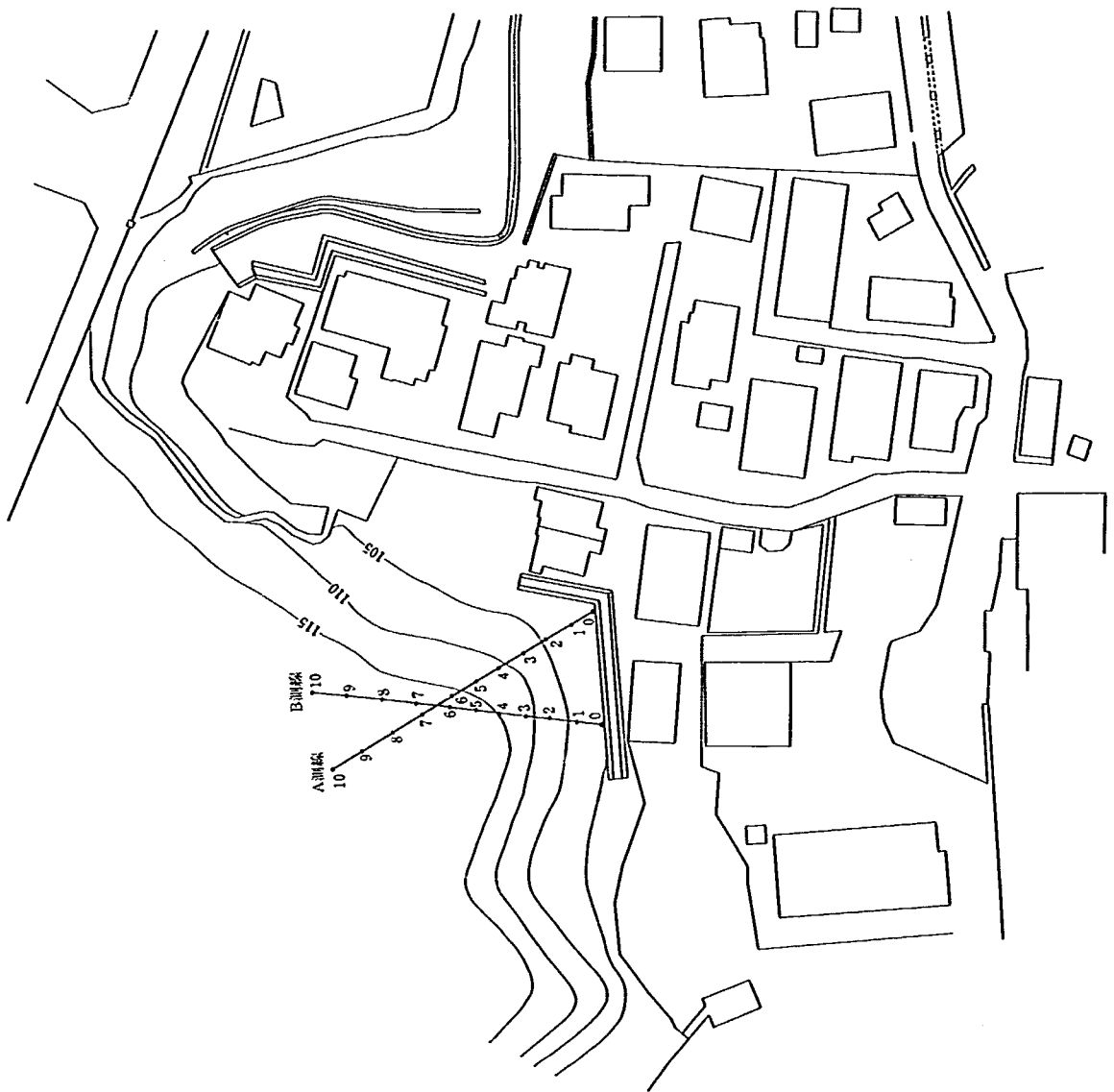
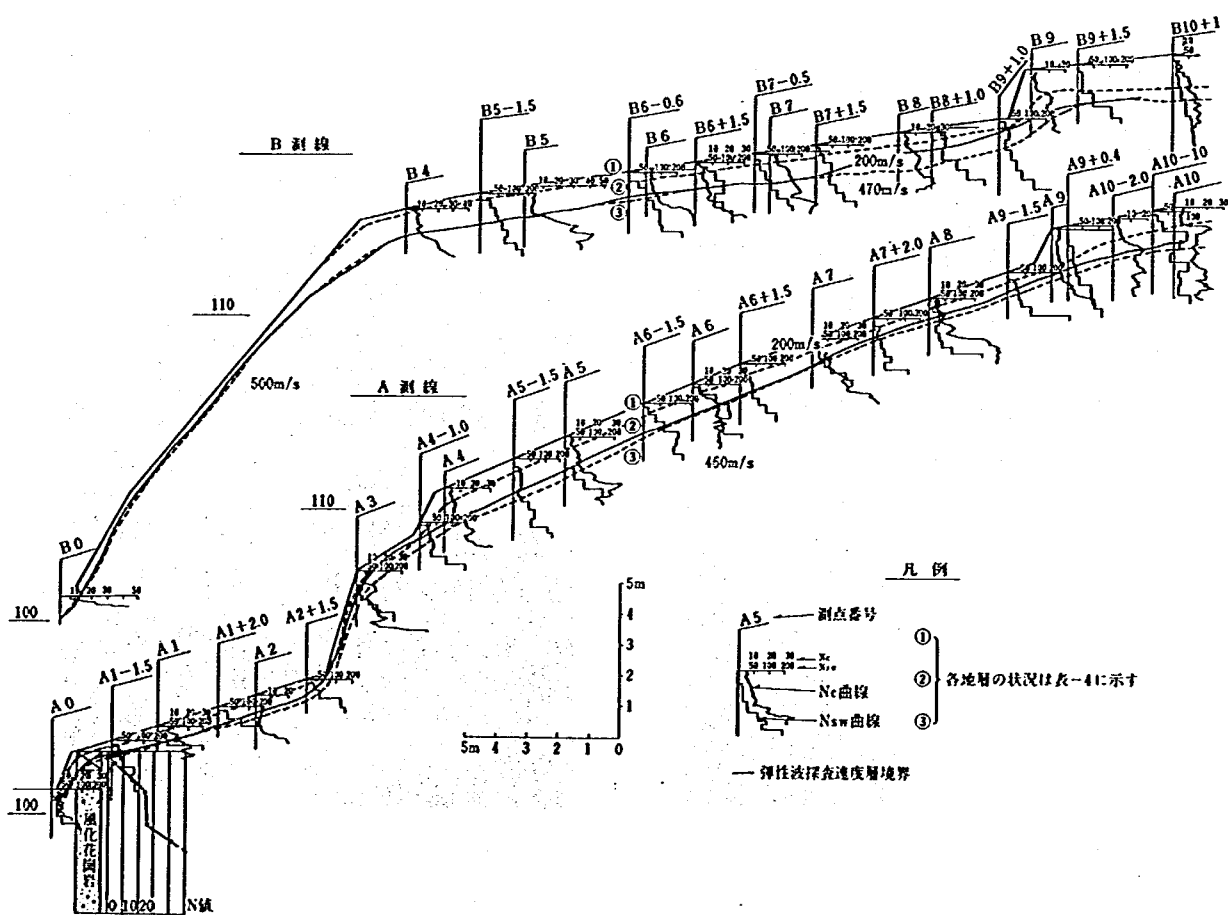
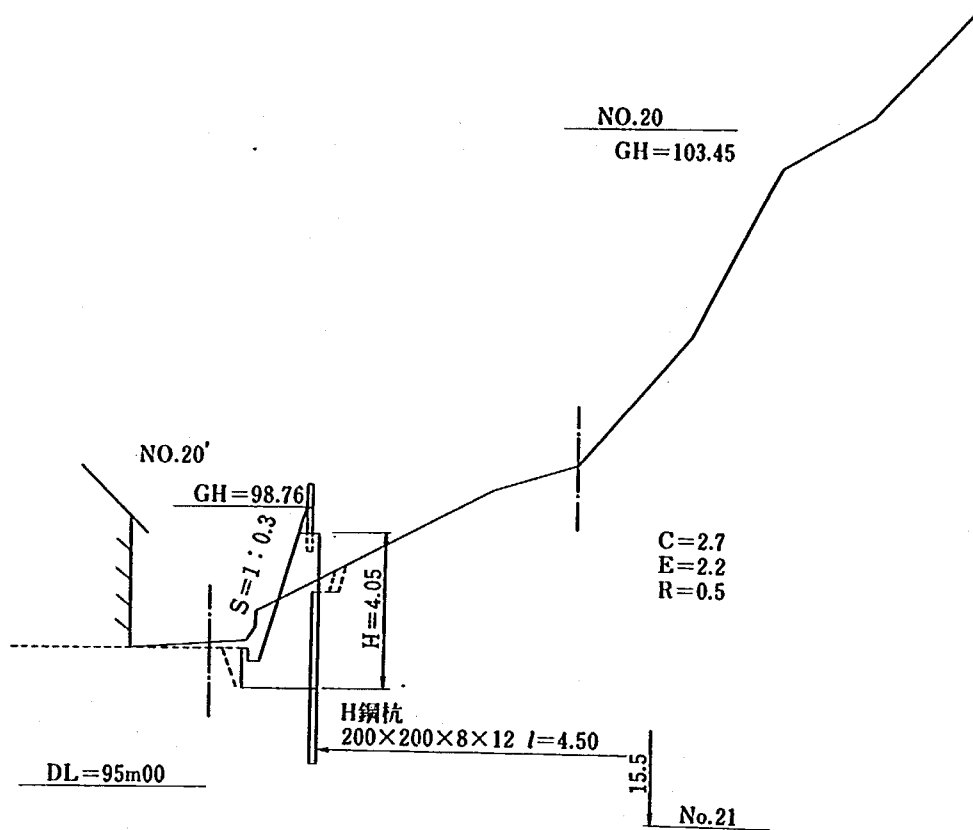


写真4-10 施工後(土留柵工近景)

4.5 兵庫県高尾台地区設計施工例

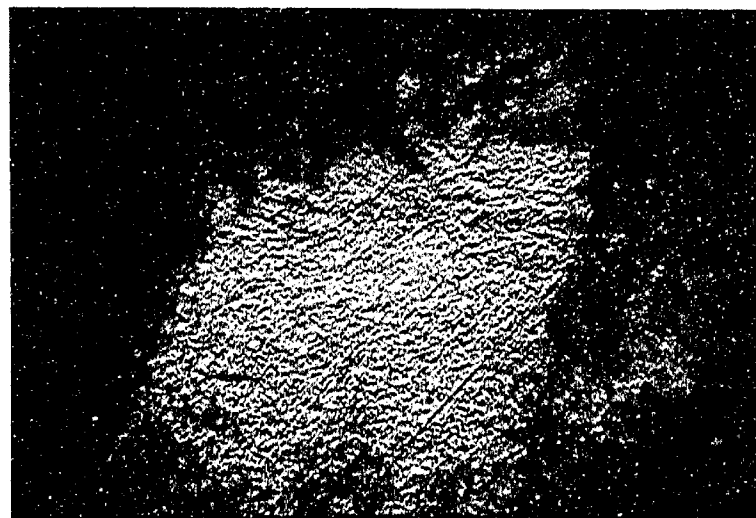
- (1) 工 種 杭工 + 擁壁工
- (2) 場 所 神戸市須磨区高尾台
- (3) 斜面概要 高さ 20 m
 勾配 40°
 地質 (風化)花崗岩



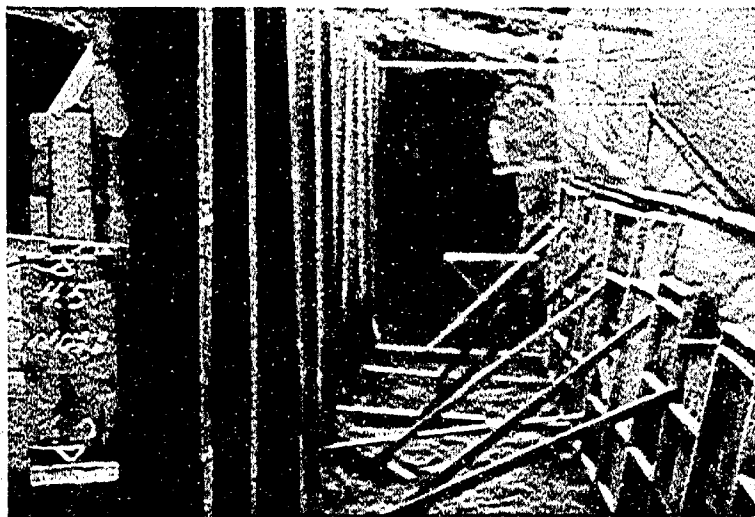




完成後遠景



地質状況



H形鋼建込み



完成後近景

第III部

杭工に関する資料

第5章 「斜面崩壊防止工事の設計と実例」(抄)

5.1 杭工, 土留柵工および編柵工

5.1.1 杭工, 土留柵工および編柵工の目的と一般的留意事項

斜面上に杭を設置して斜面の安定度を向上させようとする工法には一般に杭工, 土留柵工および編柵工があり, これらは主として機能(目的)により表5-1のように分類される。

表5-1 杭工, 土留柵工および編柵工の特徴

工 程	機 能 (目的)	規模	杭 の 材 料	打設方法	適用斜面	杭 の 設計計算
杭 工	① 杭のせん断抵抗および曲げモーメントにより斜面のすべり力に抵抗し, 斜面を安定させる。 ② 軟弱な地盤に杭を打込むことにより土塊を緊密にさせ, 土塊の強度を増加させ斜面を安定させる。	大	合成樹脂製杭・ 鋼管杭 H形鋼杭 現場打鉄筋コンクリート杭	挿入 打込	地すべり斜面 地すべり性崩壊斜面 流れ盤になっている岩盤斜面	行う (曲げ杭・せん断杭)
土留柵工	① 斜面の表層土が薄い(2.0m以下)場合, 斜面の侵食を防止し, 表層土の局所的な崩壊を防止する。 ② 上部からの小崩壊土塊や侵食土砂を柵により堆積させ, 崩壊の拡大を防止する。	中	合成樹脂製杭・ 鋼管杭 H形鋼杭 プレキャスト鉄筋コンクリート杭	挿入 打込	比較的斜面長が長く, かつ緩傾斜で表土層の薄い斜面	場合により行う (曲げ杭)
編 柵 工	① 切土後の斜面などに植生を導入する場合, 植生が十分に発育するまで斜面の侵食を防止するために用いる。	小	木杭 合成樹脂製杭 H形鋼杭 プレキャスト鉄筋コンクリート杭	打込	緩傾斜で比較的規模な斜面 表面侵食の恐れのある斜面	ほとんど行わない

(1) 杭工の一般的留意事項

- (i) 地すべり性崩壊斜面あるいは流れ盤となっている岩盤斜面の崩壊防止に用いる。
- (ii) 打設方法により挿入杭と打込杭に分けられる。一般に斜面崩壊防止工事では, 地盤に有害な振動を与えないよう挿入杭が用いられる。
- (iii) 挿入杭のための削孔において, ボーリング時に循環水を用いる場合は, 循環水からの浸透水により斜面地盤を緩めて崩壊を引き起こさないようできる限り循環水の使用量を少なくしたり, 泥水を濃くする。特に透水性の大きな砂質地盤などでは無水ボーリングによることが望ましい。
- (iv) 杭工は単独に用いられる場合は少なく, 排水工や切土工などの他の工種と併用される場合が多い。
- (v) 杭工のための調査は主として地盤の調査に重点を置いて行う。すなわちすべり面を正確に想定するよう努め, 不動地盤の位置, 深さ, 強度定数等を正確に把握するよう努める。
- (vi) 杭工の設計は原則として地すべり防止工事における杭工の設計法に準ずる。ただし, 斜面崩壊防止工事においては原則として曲げ杭で設計し, 曲げモーメントおよびせん断の両方に対して安全な杭を用いる。
- (vii) 杭の種類としては, 合成樹脂製杭, 鋼管杭, H形鋼杭および鉄筋コンクリート杭が用いられる。

(2) 土留柵工の一般的留意事項

(i) 土留柵工は一般に比較的緩傾斜で表土層が薄い(2.0m以下)斜面の局所的な表土層の崩壊を防止し、またその拡大を防止するために用いられる。

(ii) 斜面中腹に設置するため、土留柵工により降雨水や湧水等が滞留したり、また新たな水みちができないよう注意するとともに、適切な排水工を設置することが望ましい。

(iii) 地盤に有害な振動を与えないため、一般に挿入杭が用いられる。なお削孔にあたってはできる限り循環水の使用量を少なくしたり泥水を濃くしたりして、浸透水により斜面地山を緩めないよう配慮する。地盤の比較的緩い斜面ではオーガーボーリングが使用される。透水性の大きな砂質地盤などでは、無水ボーリングによることが望ましい。

(iv) 一般に侵食土砂や積雪の下方への移動を防止するため、地表面より1~2m程度高い柵を設ける。柵部には一般に鋼矢板、H形鋼、等辺山形鋼、金網、合成樹脂網、木製矢板等が用いられる。

(v) 杭および杭間の土留柵部の設計を計算で行う場合には、対象とする土留柵工の目的に応じてそれらに作用する外力を適正に算定し、せん断および曲げモーメントに対して安全であるように設計する。

(vi) 杭の根入れ長は根入れ地盤の破壊が起こらないよう十分にとる。水平な地盤に根入れする場合よりもいくらか割増して挿入する必要がある。

(vii) 一般に表土層が薄く、また杭径も小さいことが多いから、中抜けを防止するため杭の間隔は1~2m程度とする。また杭の配列間隔は一般に斜面長方向に5~7m程度に設置することが多い。

(3) 編柵工の一般的留意事項

(i) 編柵工は植生工の補助として用いられることが多い。編柵工の杭や柵の材料は短期に植生が活着繁茂すると予想される場合は松丸太や粗朶、竹を使用し、植生の活着までに比較的長期間を要すると考えられる場合、あるいは特に斜面が不安定と考えられる場合は合成樹脂製品の杭や柵あるいはH形鋼杭などを用いる。

(ii) 編柵工の杭は一般に径も小さく長さも短いことから、打込方式により設置されることが多い。

(iii) 一般に杭長は1~2m程度とし、杭の太さは9~15cm、杭間隔は0.5~1.0mを標準とする。また杭の配列間隔は傾斜度や杭の長さにより異なるが、一般に斜面長方向に1.5~3.0m程度とする。

(iv) 杭の根入れは杭長の2/3以上は埋め込まなければならない。

(v) 杭の打込方向は一般に鉛直方向から斜面直角方向までの間とする。

5.1.2 杭工、土留柵工および編柵工の計画、調査、設計および施工

(1) 杭工の計画、調査、設計および施工

(i) 計 画

杭工は斜面崩壊防止工事では、地すべり性崩壊斜面や流れ盤となっている岩盤斜面の崩壊防止などの特別な場合に用いられる(図28-1参照)。杭工を計画する場合には他の切土工や排水工と併用することが望ましい。また他の工種との施工性、工費等を十分比較検討し、適当と思われる場合に用いる。一般に急傾斜地崩壊防止工事の対象となる斜面は崩壊土層も薄く勾配も急なため、他の工種に比べて施工が困難であり、工費も高くなる場合が多い。しかしながら限られた用地で崩壊に対して比較的大きな抑止力を発揮することができ、また植生の保全も可能なことから対象斜面の条件によっては有効な工法の一つとなる。

(ii) 調 査

杭工の調査は、主としてすべり面の想定と根入れ地盤および不動地盤の位置と地盤定数の推定を目的としてボーリング、サウンディイング、弾性波探査および孔内横方向載荷試験などを必要に応じて行う。

(iii) 設 計

原則として地すべりに用いられている設計方法を準用する。ただし斜面崩壊防止工事に用いる杭は原則として曲げ杭で設計し、モーメントとせん断の両方に対して安全なように杭の断面を決定する。

また参考までに杭の変位量を算定する。許容変位量としてはすべり面において 2 cm 程度とする方法も用いられている。

また、杭間隔は一般に径が 20~30 cm 程度の合成樹脂製杭を用いる場合には 1~3 m 程度と狭くし、土塊の中抜けを防ぐ。

杭の根入れ長は地すべりで用いられている値よりも長くとする。これは斜面上の根入れ地盤の横方向の地耐力が、水平地盤上のものに比して小さくなるためである。

(iv) 施 工

一般に地盤へ有害な振動を与えることを避けるために挿入杭を用いる。削孔にあたっては、循環水を多量に使用すると地盤を緩めたり水みちをつくり崩壊の原因となるので、なるべく循環水の使用量を少なくしたり泥水を濃くする等の配慮を行う。特に透水性の大きな砂質地盤などでは無水ボーリングによることが望ましい。

(2) 土留柵工の計画、調査、設計および施工

(i) 計 画

土留柵工は一般に比較的緩傾斜で表土層が薄い (2.0 m 以下) 斜面に用いられ、表土層の局部的な崩壊を防止し、またその拡大を防止するために用いられる。土留柵工により斜面上に降雨水や湧水等が滞留したり、また新たな水みちができ崩壊を引き起こさないよう斜面の地形や土留柵工の構造に十分注意するとともに、適切な排水工をあわせて計画することが望ましい。

(ii) 調 査

土留柵工の調査はすべり面の想定と根入れ地盤の位置と強度を推定することを目的として、ボーリング、サウンディグおよび弾性波探査等を必要に応じて行う。また表面水の流れを把握するため、地形を検討し、地下水、湧水等の調査も行うことが望ましい。

(iii) 設 計

杭および杭間の土留柵部の設計を計算により行う場合には、対象とする土留柵工の目的に応じてそれらに作用する外力 (土圧、積雪圧等) を適正に算定し、それにより生ずるせん断および曲げモーメントに対して安全であるように設計する。また参考までに杭の変位量も算定する。すべり面での杭の変位量は 1 cm 以下であることが望ましい。

また、土留柵部は侵食された土砂や積雪の下方への移動を防止するため、一般に地表面より 1~2 m 程度の高さとする。また柵部には一般に鋼矢板、H 形鋼、等辺山形鋼、金網、合成樹脂網、木製矢板等が用いられる。

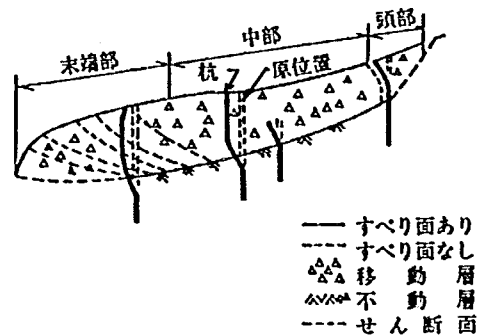


図 5-1 地すべりと杭の概念図

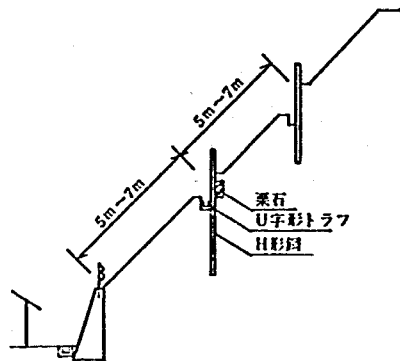


図5-2 土留柵工の標準的な例

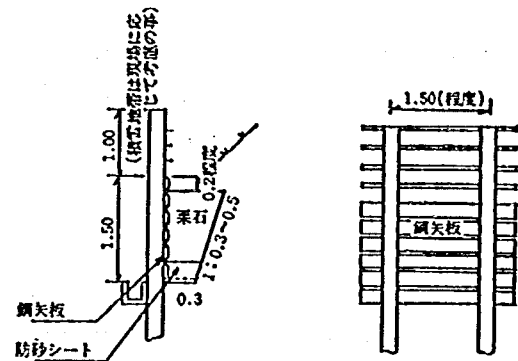


図5-3 土留柵工の構造の一例(単位:m)

杭の根入れ長は根入れ地盤の破壊が起こらないように十分にとる。根入れ地盤が傾斜している場合には、水平な地盤の場合よりも割増しをして用いる。

杭の間隔は一般に表土層が薄く、また杭径も小さいことが多いから、土塊の中抜けを防止するため1~2m程度とする。

杭の配列間隔は表土層の厚さや斜面の傾斜度を考慮して決定するが、一般に斜面長方向に5~7m間隔に配置する(図5-2参照)。

杭にH形鋼を用いる場合には、H形鋼の回転により耐力が減少することのないようH形鋼を鋼矢板等でしっかりと緊結する(図5-3参照)。また挿入杭とする場合には、削孔した孔とH形鋼等の杭の間にモルタル等を充填して杭を地盤に固定するとともに、防錆の効果进行期待する。

(iv) 施 工

地盤に有害な振動を与えないよう、一般に挿入杭が用いられる。

削孔においては循環水により地盤が緩んだり水みちができ斜面崩壊を起こすおそれがあるので、できる限り循環水の使用量を少なくしたり泥水を濃くする等の配慮を行う。地盤の比較的緩い斜面ではオーガーボーリングが使用される。透水性の大きな砂質地盤などでは無水ボーリングによることが望ましい。また、長区間にわたり同時に削孔等を行うと斜面崩壊を起こすおそれがあるので、短区間ごとに施工する。

土留柵工は一般に斜面中腹で施工されるため、施工にあたっては斜面下方に土砂や工事用資材を落とさないよう注意するとともに、工事用防護柵を斜面下方に設置する。

土留柵工の斜面上方側に排水用の栗石を埋め戻す場合には締固めを十分行い、栗石の沈下により斜面に悪影響を与えないようにする。

土留柵工により、地表水や湧水が滞留したり新たな水みちが生じないよう地形を十分考慮して施工する。

(3) 編柵工の計画、設計および施工

(1) 計 画

編柵工は植生工の補助として、降雨や地表流水による斜面表土の侵食を防止するために用いられる。したがって切土工、排水工、植生工などと併用される場合が多い。

また土留柵工と同様に斜面上に降雨水や湧水等が滞留したり、また新たな水みちができ侵食を引き起こさないように、斜面の地形や編柵工の構造に十分注意するとともに、適切な排水工をあわせて計画することが望ましい。

編柵工の杭や柵の材料は、短期に植生が活着繁茂することが予想される場合は松丸太や粗朶、竹

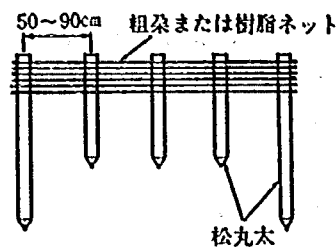
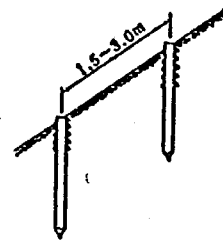
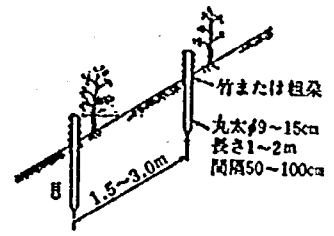


図 13-4 編柵工の一例

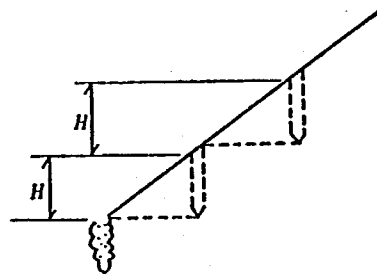


(a) 柵を埋め殺しにする場合

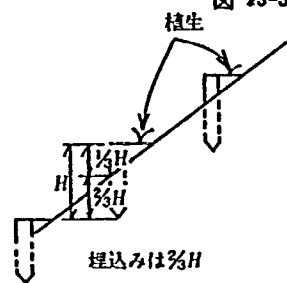


(b) 柵の一部を表面に出す場合

図 13-5 編柵工の打込方法



(a) 杭の埋込方法



(b) 杭の根入れ長

図 5-4 編柵工の打込深さ

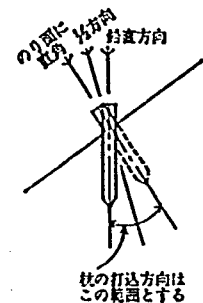


図 5-5 杭の打込方向

柵でよいが、植生の活着までに比較的長期間を要すると考えられる場合、あるいは特に斜面が不安定と考えられる場合は、合成樹脂製品の杭や柵あるいはH形鋼杭などを用いる。

(ii) 設計

一般に杭長は1~2m程度とし、杭の太さは径9~15cm、杭間隔は0.5~1.0mを標準とする(図13-4参照)。また杭の配列間隔は傾斜度や杭の長さにより異なるが、一般に斜面長方向に1.5~3.0m程度とする。

杭の根入れは下段の杭頂と同じ深さ程度とするのが望ましいが、斜面の安定上問題がないと考えられる場合はこの限りでない。杭長の2/3以上は埋め込まなければならない(図5-5、6参照)。

杭の打込方向は鉛直方向と斜面直角方向の間とする(図5-7参照)。

(iii) 施工

編柵工の杭は一般に径も小さく、長さも短いことから打込方式により設置する。

編柵工により地表水や湧水が滞留したり新たな水みちが生じないように、斜面の形や編柵工の構造を十分考慮して入念に施工を行う。

5.2 他指針等との関連

この表は、項目ごとに単に機械的に抜き書きしたものであり、その内容については本指針、他指針とも、本文を見により、その意味するところを十分理解したうえで適用していただきたい。

本 指 針		他 指 針 等	
項 目	内 容	引用文献番号	内 容
①杭の設計方法	・原則として曲げ杭。	5-1)	・一般にせん断杭。ただし、テンションゾーンに設置する杭では、曲げ杭。
		5-2)	・杭背面の土塊反力が期待できるとき… …せん断杭 杭背面の土塊反力が期待できないとき ……曲げ杭
		5-3)	・圧縮部……せん断杭 引張り部……曲げ杭
		5-4)	・斜面上に設けられた橋梁の基礎となる杭を「斜面の影響を考慮した弾性支承上の梁」として解析する。
②曲げ杭の計算方法	・なし 13-2) (地すべり綱) を準用。	5-1)	・荷重をすべり面までの深さ 2/3 点に受けるいわゆる曲げ杭 (片持ちバリ)。 弾性杭としては Chang の式を用いる。
		5-2)	・地盤を用体と考え片持ちバリとして解く場合。 地盤を弾性体とし Chang の式で解く場合。
		5-3)	・Chang の式。
		5-4)	・斜面の影響を考慮した弾性支承上のハリ。
③杭の許容変位量	・すべり面において 2 cm 程度 (参考)	5-1), 5-2), 5-3)	・なし
④杭間隔	・一般に径 20~30cm 程度の合成杭を用いる場合には 1~3 m。	5-1), 5-2)	・1.5~4 m $\frac{\text{杭の抑止力}}{\text{必要な抑止力}}$
		5-3)	・ $\phi 300 \sim 400 \text{ mm}$ 程度の杭では 2 m 以下。 $\phi 1,500 \sim 3,500 \text{ mm}$ シャフト工では 4~6 m 以下。
⑤杭の根入れ長	・斜面の影響を考慮して地すべりで用いられる値よりも長くとる。	5-1)	・曲げを考慮した杭では、 $h > \frac{\pi}{\beta}, \quad \beta = 4\sqrt{\frac{kd}{4EI}}$ Chang の式を用いた弾性杭では、 $h = 1.5 \frac{1}{\beta} \left(\tan^{-1} \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} + \pi \right)$ せん断杭の場合、一般に杭全長の 1/4~1/3。 (N 値 50 以下、第三紀層泥岩、凝灰岩) …… 1/3 (堅硬な結晶片岩、砂岩、花崗岩、安山岩) …… 1/4
		5-2)	・曲げ杭の根入れ長 $h = \frac{\pi}{\beta}$ 。 せん断杭の根入れ長 一般に杭全長の 1/4~1/3。

本 指 針		他 指 針 等	
項 目	内 容	引用文献番号	内 容
			(N値50以下, 第三紀層泥岩, 凝灰岩) 1/3 (堅硬な結晶の片岩, 砂岩, 花崗岩, 安山岩.....1/4)
		5-3)	・Changの式において杭の根入れ長 モーメント第1 零点までの長さの1.5倍以上とする。
⑥土留杭工でのすべり面での杭の許容変位量	・1cm 以下であることが望ましい。		
⑦桐部の地表面上りの突出高	・1～2 m程度。		
⑧土留杭工の杭の間隔	・1～2 m程度。		
⑨土留杭工の杭の配列間隔	・斜面長方向に5～7 m程度。		
⑩掘削工の杭長	・1～2 m程度。	5-1), 5-2)	・1.5m程度 (図示)。
		5-3)	・80～150cm
⑪掘削工の杭の太さ	・9～15cm	5-1), 5-2)	・なし
		5-3)	・9～15cm
⑫掘削工の杭間隔	・0.5～1.0m	5-1)	・0.5～1.0m
		5-2)	・なし
		5-3)	・50～90cm 程度。
⑬掘削工の杭の配列間隔	・一般に斜面長方向に1.5～3.0m程度。	5-1), 5-2)	・なし
		5-3)	・1.5～3.0m 程度。
⑭掘削工の杭の根入れ長	・2/3程度。	5-1), 5-2)	・2/3 (図示)。
		5-3)	・なし
⑮掘削工の杭の打込み方向	・鉛直方向と斜面直面方向までの間。	5-1), 5-2)	同左 (図示)。
		5-3)	・鉛直方向 (図示)。

〔第 5 章引用文献〕

- 5-1) 中村二郎編：砂防・地すべり防止・急傾斜地崩壊防止施工法，山海堂，1978年11月。
5-2) 日本河川協会編：建設省河川砂防技術基準(案) 設計編，未発刊。
5-3) 日本道路協会編：道路土工一のり面工・斜面安定工指針，1979年4月。
5-4) 高速道路調査会・基礎構造研究委員会・基礎構造設計研究班：基礎構造に関する研究報告書，昭和45年度，昭和46年度，昭和47年度，昭和48年度，1971～1974年各年2月。

第6章 土木研究所急傾斜地崩壊研究室による試験、調査

1 砂防調査

1.4 斜面崩壊対策工法に関する調査

1.4.1 杭工の設計に関する調査

急傾斜地崩壊研究室 室長 舟江朝光
研究員 石川芳治
右近則男
岸利 豊

1. まえがき

急傾斜地崩壊防止工に用いられる杭は、一般の構造物に用いられる大規模な支持杭や地すべりの抑止杭等と比べ、その施工例も少なく、また杭の挙動解析自体が杭の形状寸法、周辺地盤の力学的特性や載荷方法など種々のファクターを考慮しなければならないことから、統一的な設計手法、評価法が確立されていない。急傾斜地に用いられる杭工のケースも少しづつ増加しており、それらの効果や試験法、設計法等に関する指標が望まれている。本年度は、それらの基礎資料を得るために全国的に最も数の多い、兵庫県で用いられている橋梁用の小型の杭の現地での水平載荷試験を実施した。

2. 調査目的

一般の杭工は建物や橋脚等の基礎として用いられる所謂ゆる支持杭がほとんどであり、それらの挙動については理論上や実験、あるいは現地試験などからある程度の統一的な考え方が構築されている。一方、急傾斜地で用いるような規模の小さい杭や、斜面上の杭は支持杭と比べて載荷試験などのデータも少ない上に取扱い上、難しい点も多々ある。今年度は杭の設置条件の違いによる耐力や挙動の把握を中心に試験を実施した。

3. 杭の水平載荷試験

3.1 試験地

試験地は神戸市の北方約2Kmにある六甲山地斜面にあり、地質的には白亜紀後期の花崗岩（新垣系花崗岩）の斜面である。地盤は後で詳述するが、風化花崗岩の上に表土が薄く載っており、深部から表面に向い厚さに風化度が大きくなっている。試験はこの斜面を切土して行なった。

3.2 地盤調査

試験地周辺の地質・地盤等を把握するために、スウェーデン式サウンディング、ボーリング、孔内水平載荷試験（LST）を実施した。それによると調査地全域にわたって数10cm程度の深さまで花崗岩が風化し、真砂化している。それ以深ではスウェーデンの平均断数（貫入量1m）が1000以上の風化岩が存在している。また標準貫入試験では、N値>50となっており、50回打撃の貫入量は深さに比例して減少している。つまり深い程、地盤強度は高くなっていると言える。孔内水平載荷試験で

は、明確な荷伏圧 (P_v)、破壊圧 (P_c) が認められるのは地表から 50 cm 程度までの真砂土部分についてのみであり、それ以深の風化花崗岩では最大圧 $P_{max} = 2.5 \text{ kg/cm}^2$ でも P_c , P_v は認められなかった。

3.3 杭の概要

試験に用いた杭は H 形鋼を使用した。各杭の寸法及び設置状況を図-1 に示す。これら①②③④の4ケースについて根入れ、杭前面土かぶり等の違いによる杭の挙動を調べた。杭の打設は $\phi 50 \text{ mm}$ のボーリング孔を $\phi 300 \text{ mm}$ に杭孔した後、杭を垂直に挿入し、モルタルを注入した。

3.4 測定項目 (図-2 参照)

① 水平力測定

杭に水平力を加ける装置として油圧ジャッキ ($P_{max} = 20 \text{ t}$) を地上 30 cm の高さに設置し、ロードセルにて読み取る。

② 杭及び杭前面地山の変位

杭の変位は杭頭及び地上 30 cm の荷重点で測定した。また、杭前面地山の变位は、のり面に沿って垂直高さ 20 cm 毎に 3ヶ所をそれぞれダイヤルゲージで測定した。

③ ひずみ測定

各杭の荷重点、地表部、及び地中部分については 50 cm 毎にそれぞれ圧縮側と引張側にひずみゲージを貼付した。

3.5 荷重パターン

荷重パターンには、同一方向に徐々に荷重を増してゆく一方向荷重と、荷重方向を反転させる交番荷重とがある。今回の試験は地山からの土圧を想定しているので一方向荷重で行った。杭の弾性変り量、塑性変形量を調べる為には、ある程度の荷重サイクルを設ける必要があるが、一般には 3~5 サイクルを用いることが多い。荷重速度は荷重増加時に 0.5 t/min 、除荷時は 1 t/min とし、サイクル数は各杭で若干の差はあるが、今回は 5~6 サイクルとした。

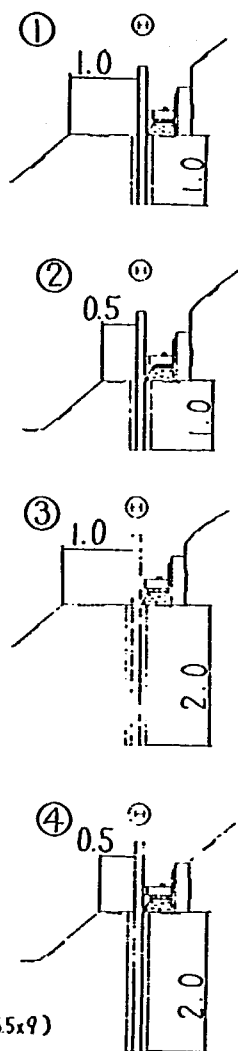


図-1 杭の概要

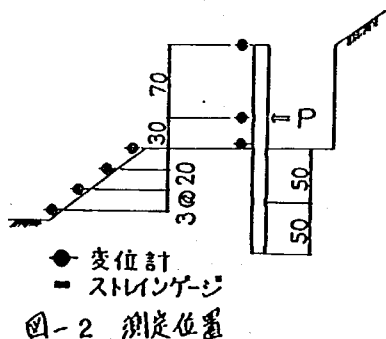


図-2 測定位置



写真-1 杭の試験風景

3.4 試験結果

3.4.1 杭の変位

図-3に各杭の載荷点での時間・荷重・変位・残留変位量曲線を示す。これによると②の根入れ長1.0m、杭前面土かぶり0.5mの杭が最大荷重8tfと4本の中で最も低く、変位の増分も多い。また、4本の残留変位をまとめた図-4を見ると①、②の根入れ長1.0mの杭では残留変位が破壊時まで徐々に増加し、その増分が大きいのにに対し、③、④の根入れ長2.0mの杭では初期の残留変位増分は小さく、破壊時のサイクルで急激に増大している。これは根入れ長が長い程、一旦、破壊が進行した場合、急激な破壊形態をとることを示している。

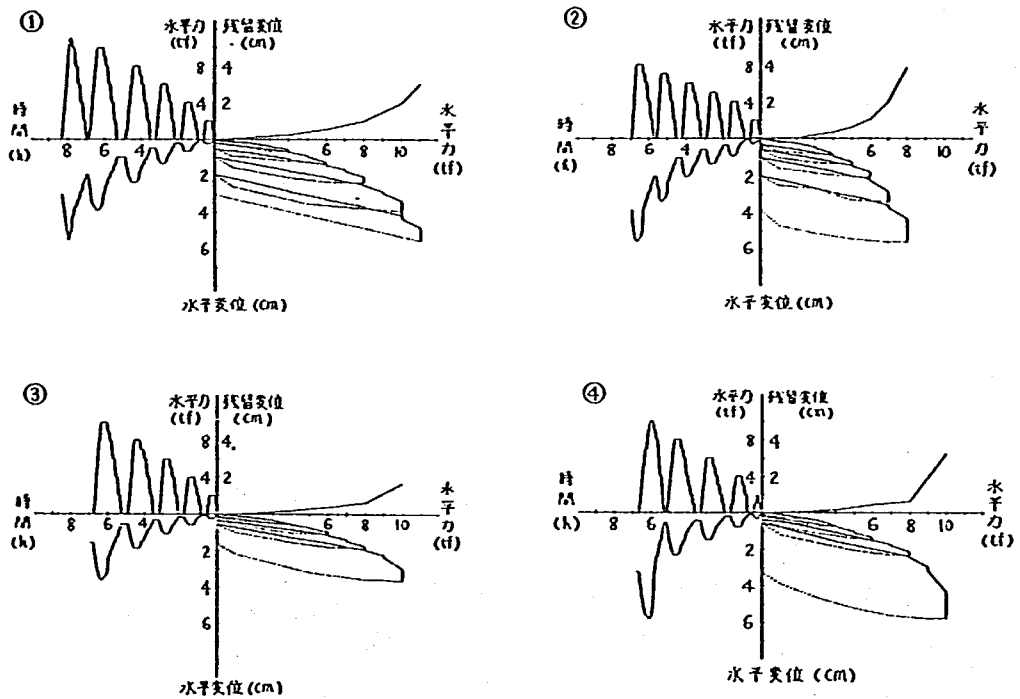


図-3 時間・荷重・変位・残留変位量曲線

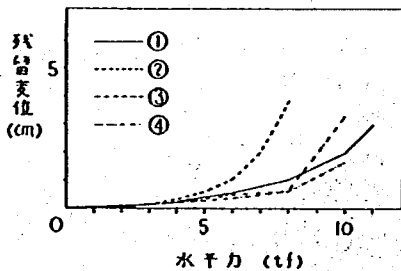


図-4 残留変位曲線

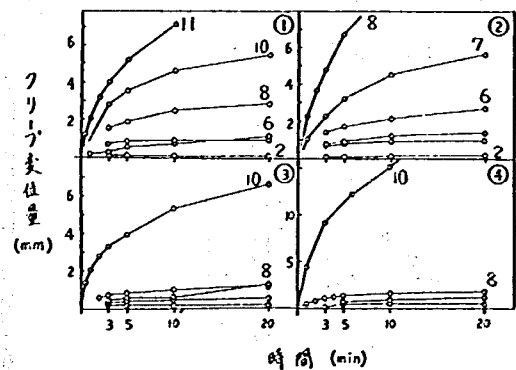


図-5 クリープ曲線

各荷重サイクル最大荷重時のクリープ曲線を前ページ図-5に示す。根入れ長が1mの①、②杭では2時、4時……と最終クリープ量(20分後)が徐々に増大してゆくのに対し、根入れ長2mの③、④杭では8時程度まで最終クリープ量の増大がほとんどなく、1~2mmの範囲におさまっており、最終荷重サイクルで急激に増大していることが特徴的である。このことから根入れの長い杭は耐力的には根入れの短い杭に勝っているものの急激な破壊を生じやすいことが伺える。また、図-3から根入れが短くても土がボリを大きく取れば耐力的には根入れの長い杭と同程度の効果が得られることがわかる。

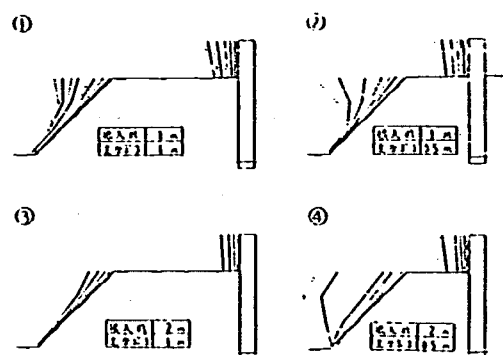


図-6 杭前面地山の変位

杭前面地山の変位と荷重点での杭変位を図-6に示す。図中、実線は各荷重載荷直後の変位で、破線は20分後を表わしている。これを見ると、①、③と②、④の土がボリの大きさによる地盤変位の相違がよくわかる。また、②、④は破壊時のクリープ的な変位増加量が著しく大きいことが特徴的である。

3.4.2 杭のひずみとモーメント

杭のひずみを弾性論に基づいて曲げモーメントに変換した。各杭の各サイクル最大荷重時下の曲げモーメント分布を図-7に示す。図中、点線はChang式により求めた曲げモーメント分布である。これらの図によると、引張りひずみを生じる側のモーメント分布は、低い荷重レベル下では地表付近のモーメントが最も大きく、地中深くなるとともにその値は小さくなる。荷重の増加に伴ない②杭を除いて地表から50cmのモーメントが最大となる分布形状となる。また他の部位と比べ地表から50cm付近のモーメントの増加率は大きく、実際には、地表部より順次地盤が塑性化して、最大曲げモーメントの発生位置が徐々に下方へ下がっていくことが伺える。一方、②杭では4~6時の荷重下では、地表から0.5mの位置で最大曲げモーメントが発生しているが、7時以上になると再度地表部に発生している。また、この杭では破壊荷重下でも杭は極限曲げモーメントに達しない。これは後で詳述するが、地盤の破壊により杭が矢張りヒンジとして回転破壊したものとと思われる。

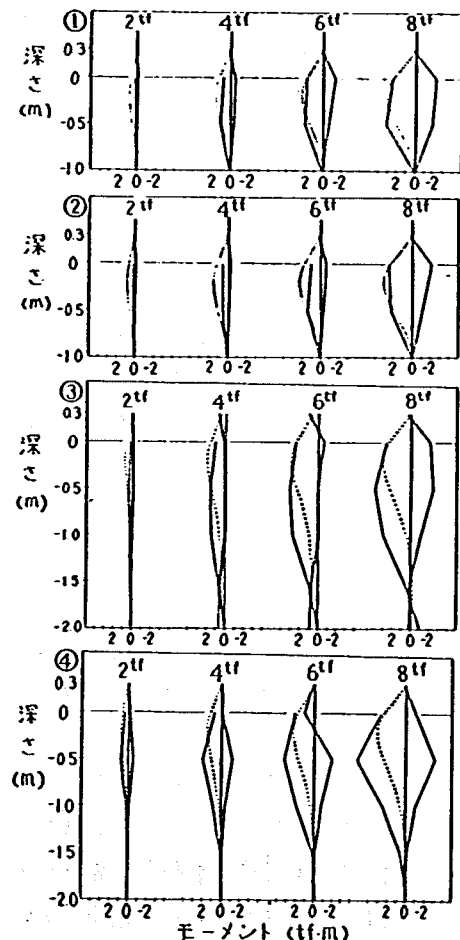


図-7 各杭の曲げモーメント

る。各サイクル最大荷重下での最大曲げモーメントを図-8に示す。これを見ると根入れ長が2.0 mの杭は1.0 mの杭に比べ大きなモーメントが発生している。これは、後でも述べるが、根入れの短い杭の耐力が地盤条件に大きく影響されるのに対し、根入れの長い杭の耐力が杭材自身に影響されることを示している。また、Changの式により求めた分布形状をみると概略形状は似ているが、最大曲げモーメントの発生位置、大きさなどが異なっている。また荷重レベルによっても良く近似しているものとそうでないものがある。これは、今回の杭が斜面上に設置された杭であること、Changの式が弾性理論に基づいた式であり、今回の様に塑性領域に及ぶ場合の誤差、また、一般に言われているようにK値が杭の変位によって変化する、深さによるK値の違いを考慮していないこと等が考えられる。

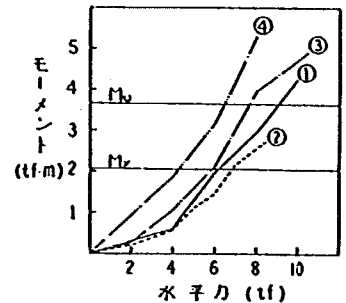


図-8 各杭の最大モーメント

4. 考察及び今後の問題点

現在、斜面安定に用いる杭の水平荷重に対する降伏値及び極限耐力の評価方法について、特に定まった基準はない。これは試験法自体が一義的に決められないことから無理からぬことであろう。しかし、一般には鉛直載荷試験の結果整理と同じように荷重-変位の関係から降伏、極限耐力を評価する方法が多く用いられている。今回の試験でもその手法によって比較的良好的結果を得ることができた。その結果を図-9に示す。これは荷重(P)と載荷点での杭変位(S)を両対数にプロットしたものである。これによれば各杭とも1ヶ所、及び2ヶ所の変曲点を有しており、それぞれを降伏荷重(P_y)、極限荷重(P_u)とすれば図中の各値を得ることができる。図中の P_{A1} は杭材が長期許容応力度(σ_a)、極限曲げ応力度(σ_u)を超えた時点の水平力を示している。

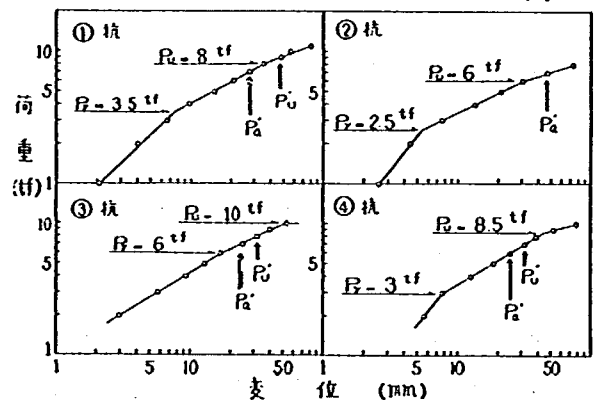


図-9 $\log(P) - \log(S)$ 曲線

P_y 、 P_u に注目すれば、根入れ長が長い程、また杭前面の土かぶりが多い程、降伏荷重、極限荷重とも大きくなっている。

以上は杭の降伏、極限耐力を全体的に評価したものであるが実際の杭の破壊では、(i)杭材の降伏・破壊、(ii)杭周辺地盤の破壊および両者が複合された形態をとる。そこで杭材と地盤との関係を各杭毎に見てみると

①杭：水平荷重 $P = 7$ tf程度で長期許容応力度を超えるが、 $\log(P) - \log(S)$ 曲線より求めた杭の降伏値は $P_y = 3.5$ tfであり、これは杭材の降伏よりも、むしろ杭前面上の降伏が早くあらわれ、杭の降伏が周辺地盤に依存する割合が高い下めと思われる。また極限値も杭材で $P = 9$ tf時に現われ $\log(P) - \log(S)$ 曲線より求めた極限値 $P_u = 8.0$ tfであり、地盤が破壊して杭材が極限値を超えている。

②杭：長期許容耐力は $P=7$ tfで超えているが、その後、極限耐力を超えるまでには至っていない。杭の降伏荷重は $P_y=2.5$ tfであり、①杭と同様杭の降伏は周辺地盤に大きく依存している。また降伏値を超えたモーメントのその後の増大が少ないのは、地盤の破壊の塑性領域が深部にまで及び杭の固定度が減少し、図-10(a)のように杭が倒れるように破壊したためと考えられる。これは一般的に短い杭に特徴的な現象であるが、斜面上の土かぶり量が少ない杭では特にこの傾向が顕著である。

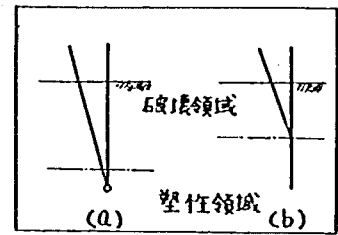


図-10 杭の破壊形態

③杭： $P=6$ tfで長期許容耐力を超え、 $P=8$ tfで極限耐力を超えている。一方、杭の降伏荷重 P_y は6tf、極限荷重は10tfであり、根入れの短い①、②杭とは異なり、杭材の降伏荷重と同程度であり、極限荷重では逆に杭材のそれを上回っている。これは一般の長い杭で言われるような杭の水平耐力が杭材の強度によって決まっていることを示しており、このような杭では周辺地盤よりもむしろ杭自身の強度特性に依存する割合が高いと言える。

④杭：水平荷重 $P=5$ tfで長期許容耐力を、 $P=7$ tfで極限耐力を超えている。また $\log(P) - \log(S)$ 、曲線より求めた降伏荷重は $P_y=3$ tf、極限荷重は $P_u=8.5$ tfであり、降伏荷重は杭材のそれよりも小さいものの、極限荷重では杭材のモーメントより求めたそれよりも大きい。これは②と③の中間的な性質を持つと考えられ、低い荷重レベルでは杭前面の土かぶり量が少ないために地盤の比較的浅いところで破壊塑性化を生じやすく、杭全体としての降伏点が早く現れるが、根入れ長が長いために塑性化領域が杭先端部まで及びにくく、極限荷重も高くなっていると考えられる。以上、斜面上の杭の降伏、破壊を考えた場合、その形態は水平荷重の増加に伴って土の降伏が先に現れるか、杭自身の曲げ降伏が先に現れるか、また降伏値を超えて最終的な破壊に至る時に地盤が破壊するか、杭材自身の曲げ耐力が先に極限に達するかの違いをもつ。このような形態に影響を及ぼす因子としては、杭前面の土かぶり量、横方向地盤反力、杭幅、根入れ長、杭剛性などが考えられるが、今回の試験でこれらすべてを考慮した結論を出すのは不可能である。しかし、少なくとも斜面上の杭については、杭前面の土かぶり量を多くし、根入れを長くするほど有利であることは理解できる。特に降伏値以内では、杭前面の土かぶり量を増やす効果は大きく、実際の斜面上の杭ではそれらを留意した上での施工が経済的に耐力を増やす方法と言えよう。

今回行なった短杭の水平載荷試験の結果について若干の考察を試みたが、定性的な表現が多く、有効な解析法、杭の評価法を見出すまでには至らなかった。今後は今回の結果を踏まえたうえで、杭の降伏・破壊荷重の推定法、杭の設計法等について調査・研究を進めていきたい。

5. あとがき

杭の挙動は、地盤の強度と杭材の強度との相互作用によってさまざまな形態をとるが、両者を含めた形での一連の評価が必要であるとともに、それらを実際の設計・施工にいかに関与させていくのが大きな課題であろう。

— 66 —

ϕ : 岩盤の内部摩擦角 (度)

α : くい前面と破壊面のなす角度で R_{qa} が最小となる角度 (度)

n : 水平支持力の安全率で常時 3。地震時 2 とする。

$$R_{qan} > \left(\frac{R_o}{n} \right) + \sum_{i=m+1}^n R_i \cdots \cdots \cdots \text{(式 7-3)}$$

ここに

R_{qan} : n 段目のバネ位置での許容支持力 (t)

$\left(\frac{R_o}{n} \right)$: 塑性化領域の抵抗力 $\frac{R_o}{n}$ を考慮したことに対して弾性領域部に作用する逆反力で

$$\left(\frac{R_o}{n} \right) = \frac{R_o}{n} \quad (t)$$

$\sum_{i=m+1}^n R_i$: $m+1$ 段目から n 段目までのバネ位置における地盤反力の総和 (弾性領域の地盤反力の総和) (t)

式 7-3 を満足しない場合は、その範囲 (塑性化領域と呼ぶ) は塑性化したものとみなし、バネ定数をゼロとすると同時に塑性化領域の抵抗力 $\frac{R_o}{n}$ を別途算出し、式 7-3 を満足するまで同様な計算および操作を繰返す。水平バネの有効な範囲 (弾性領域と呼ぶ) が最小根入長 (支持層が軟岩の場合 2 D, 硬岩の場合 1 D) 以下であれば、根入長を増加させる等の形状寸法の修正を行った上で、再び安定するまで繰返し計算を行う。

水平方向の安定計算終了後は、水平変位量の計算、鉛直支持力の計算、くい本体応力の計算を行い、すべてが許容値内であればライナープレートの設計を行って、深礎ぐいの設計は終了する。ひとつでも許容値を越えた場合は、形状寸法の修正を行い同様の手順で再計算を行う。

7.2 斜面上の杭の根入れ長算出図

均一な岩盤から成る斜面上に設置される杭に働く水平力 H とモーメント M に対して安定であるための杭の必要根入れ長 L (図 7-4 参照) を求めるための図を次に示す。

以下の図における設計方法は前述の 7.1 に示すものであり、設計条件は次の通りである。

(1) 一定条件

① 杭の種類……H形鋼とコンクリート (径 30cm)

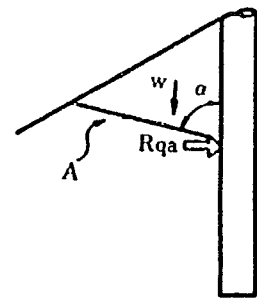


図 7-2 支持力の説明図

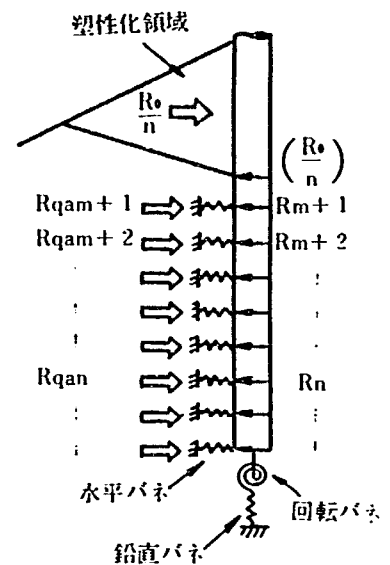


図 7-3 水平方向の安定検討

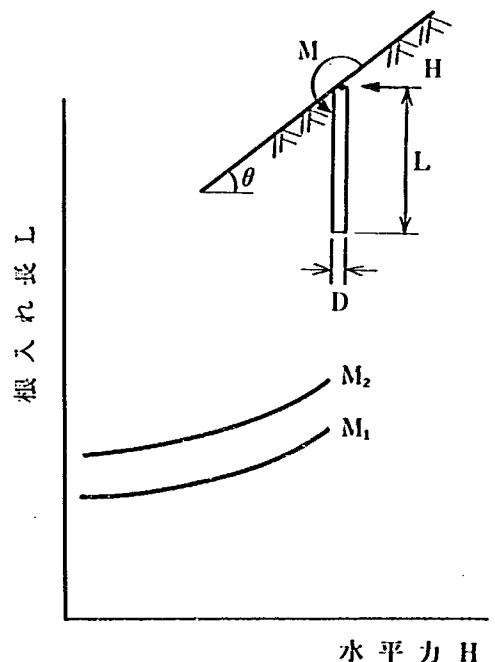


図 7-4 杭にかかる水平力 H およびモーメント M と必要根入れ長 L の関係

を組み合わせたもので以下の2種類

種類	H 形 鋼	面 積 $A \text{ cm}^2$	断面係数 $Z \text{ cm}^3$	断面二次 モーメント $I_x \text{ cm}^4$	杭 径 $D \text{ cm}$	抵抗モーメント $\text{kg}\cdot\text{cm}$ $M_1=M_2=M_3$
①	125×125×6.5×9	30.31	136	847	30	3.26×10^5
②	200×200×8×12	63.53	472	4,720	30	1.13×10^6

② 岩盤の種類……以下の3種類

岩盤区分			D_L	D_R	C_L
内 部 摩 擦 角	ϕ	度	25	25	30
粘 着 力	C	kg/cm^2	0.5	1.0	2.0
単 位 体 積 重 量	r	kg/cm^3	0.0018	0.0018	0.0019
変 形 係 数	$\alpha_o E_o$	kg/cm^2	500	1,000	3,000

③ 斜面の傾斜角 θ ……以下の3種類

$$\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$$

④ 許容水平変位量

杭の頭部(斜面表面)で2 cm

⑤ 杭の弾性係数

$$2.1 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

⑥ 水平震度 $K_H = 0.0$

⑦ 安全率 $n = 1.00$

(2) 座 標 軸：水平力 H ，根入れ長 L

(3) パラメータ：モーメント M

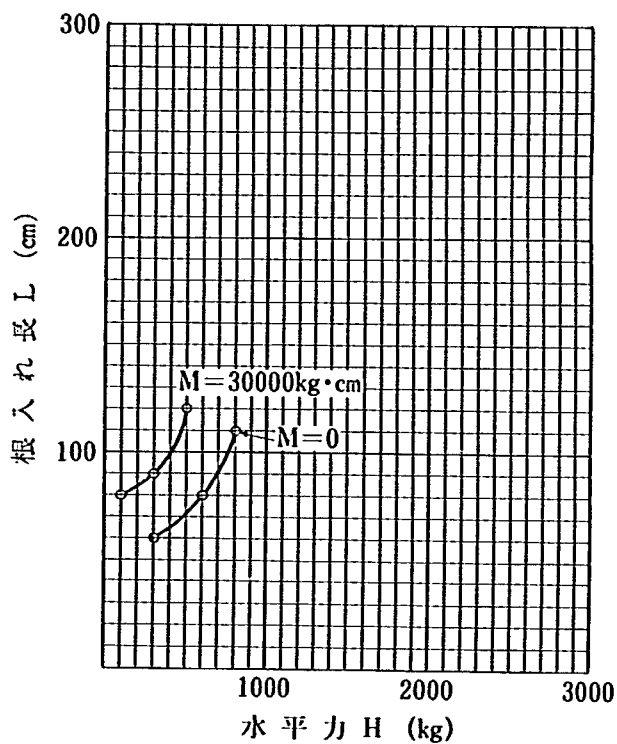


図 7-5 斜面角 $\theta = 30^\circ$

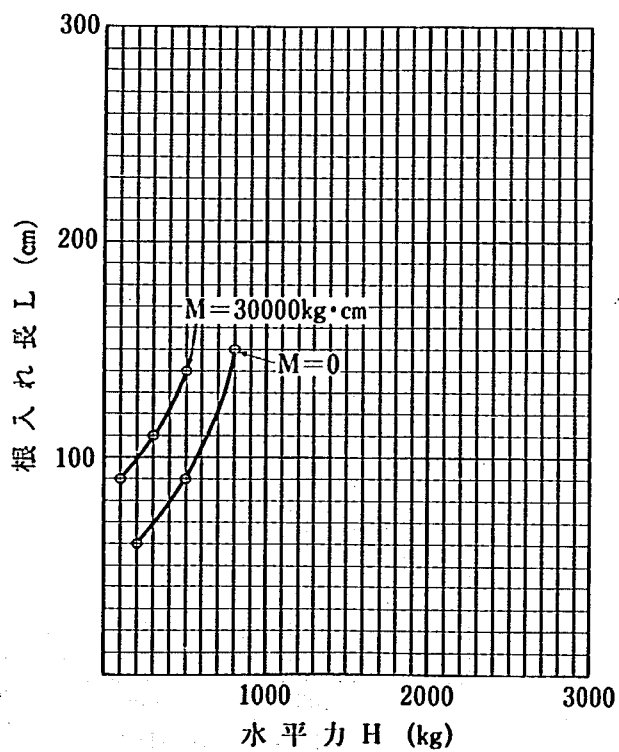


図 7-6 斜面角 $\theta = 40^\circ$

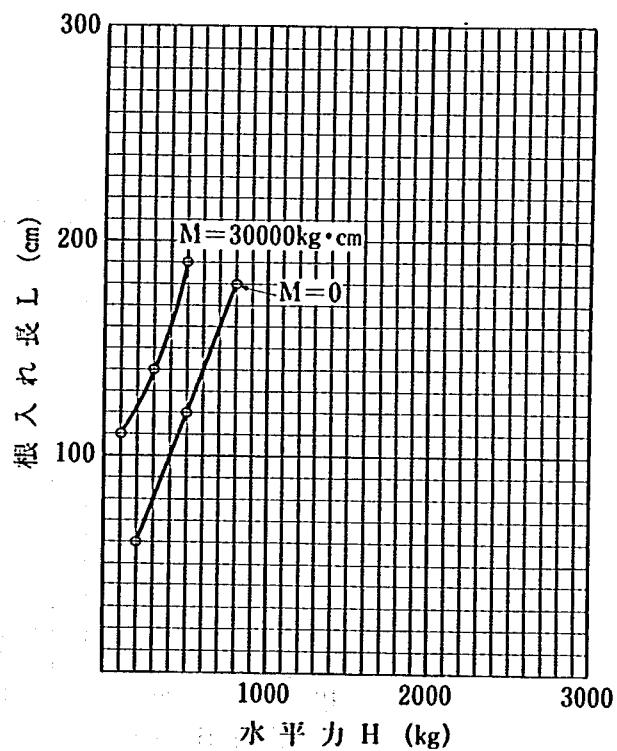


図 7-7 斜面角 $\theta = 50^\circ$

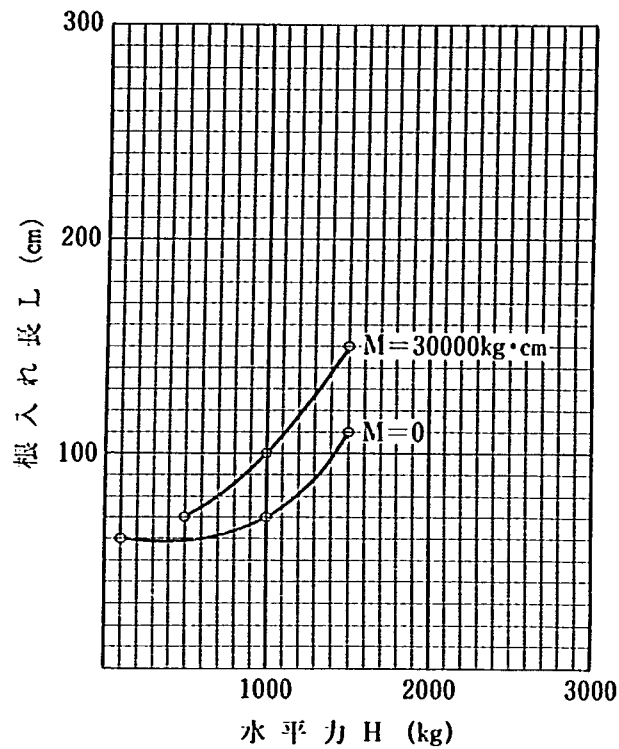


図7-8 斜面角 $\theta = 30^\circ$

設計条件

杭の種類: H形鋼 125×125

岩盤の種類: D_H

斜面の傾斜角: $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$

許容水平変位量: 2 cm

最小根入れ長: $2D = 60 \text{ cm}$

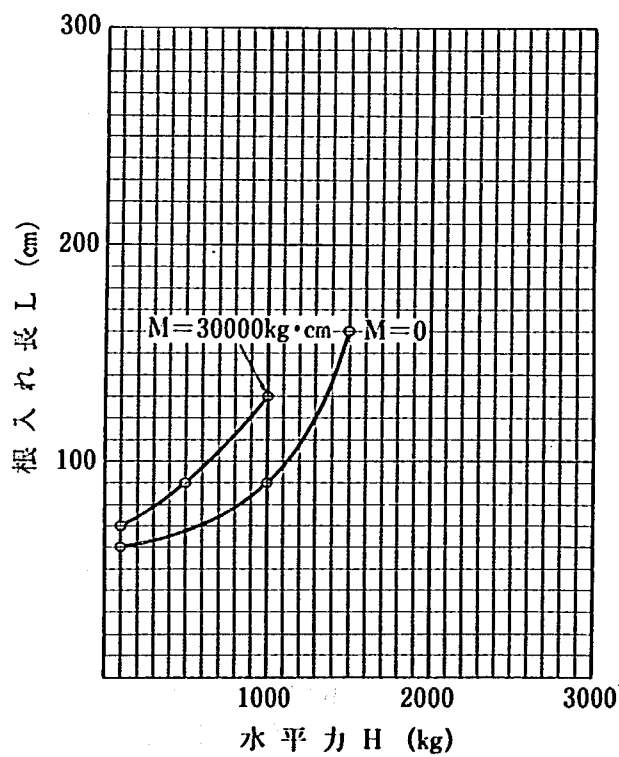


図7-9 斜面角 $\theta = 40^\circ$

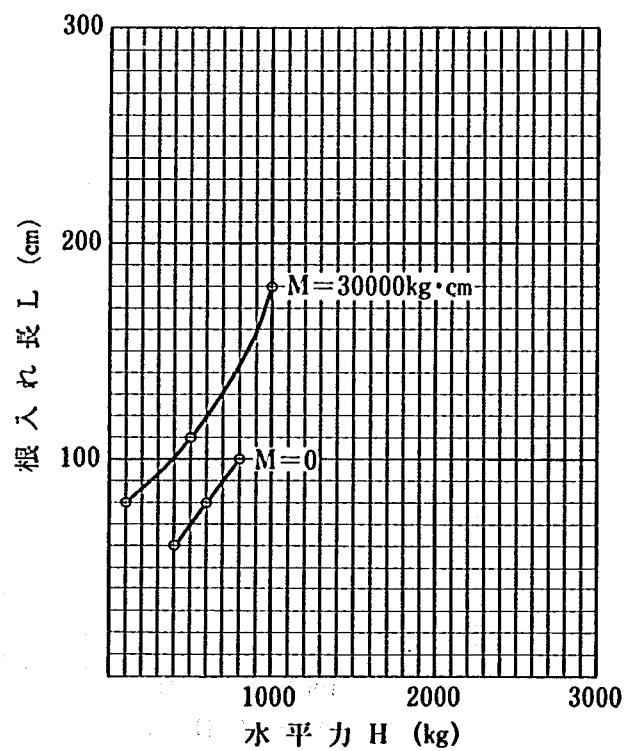
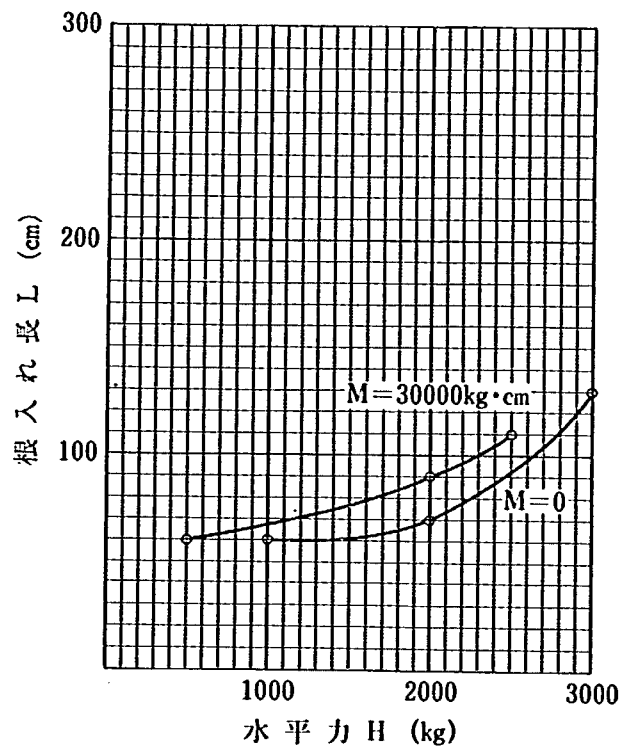


図7-10 斜面角 $\theta = 50^\circ$



設計条件

杭の種類：H形鋼 125×125

岩盤の種類： C_L

斜面の傾斜角： $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$

許容水平変位量：2 cm

最小根入れ量： $2D = 60 \text{ cm}$

図7-11 斜面角 $\theta = 30^\circ$

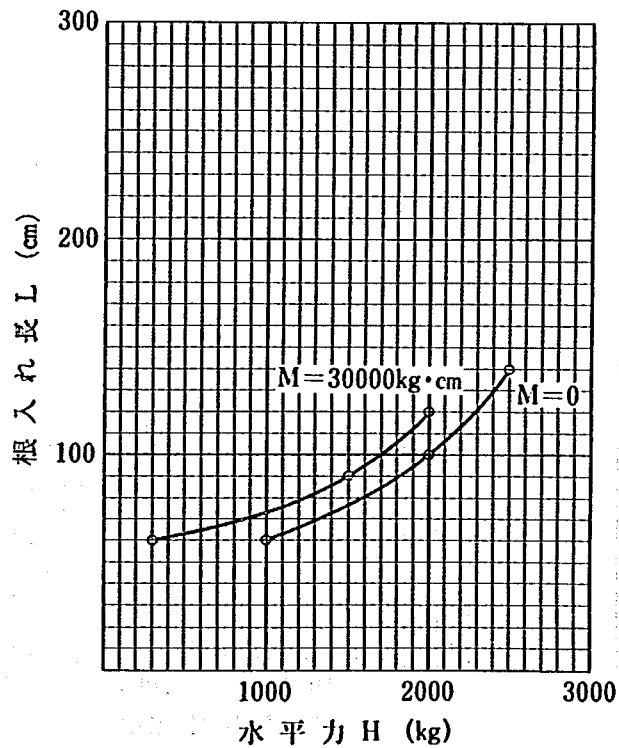


図7-12 斜面角 $\theta = 40^\circ$

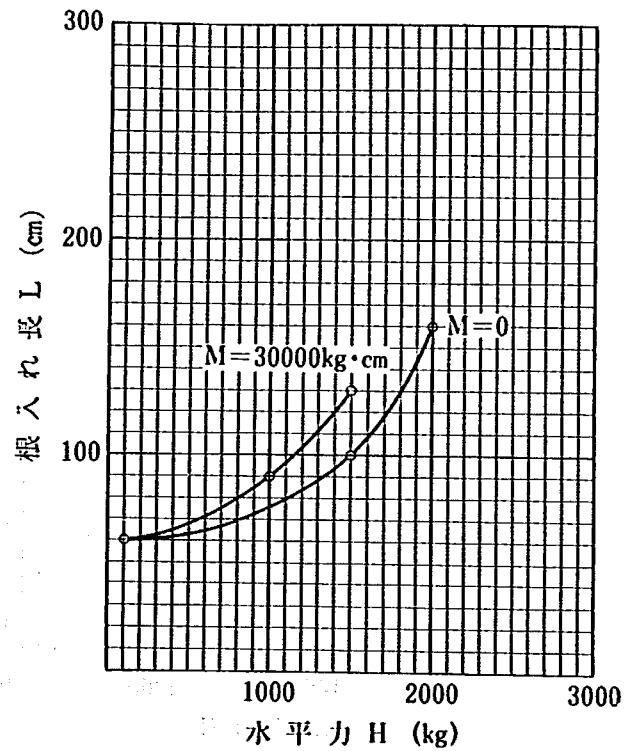


図7-13 斜面角 $\theta = 50^\circ$

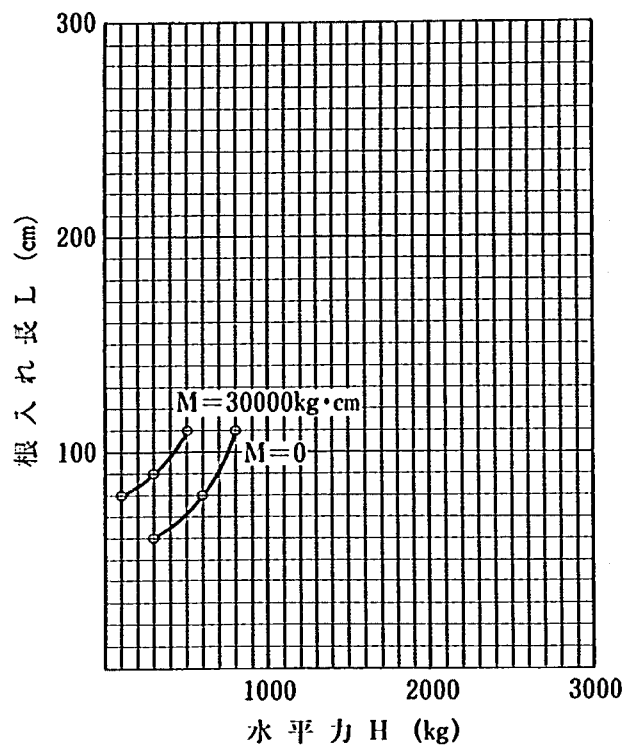


図7-14 斜面角 $\theta = 30^\circ$

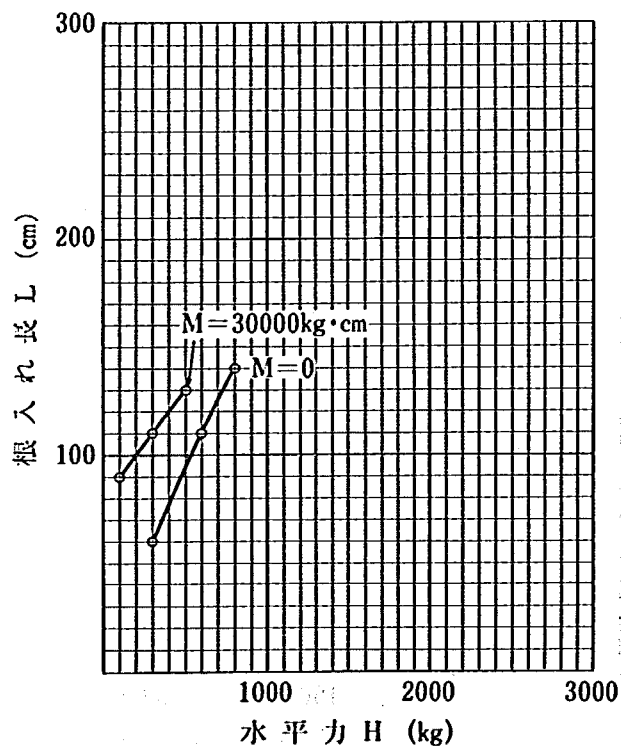


図7-15 斜面角 $\theta = 40^\circ$

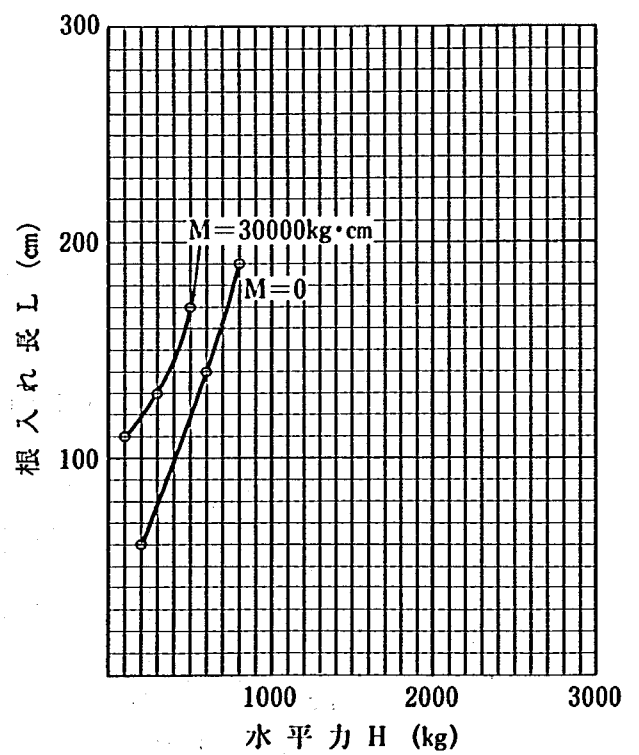


図7-16 斜面角 $\theta = 50^\circ$

設計条件

杭の種類：H形鋼 200×200

岩盤の種類： D_L

斜面の傾斜角： $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$

許容水平変位量：2 cm

最小根入れ長： $2D = 60 \text{ cm}$

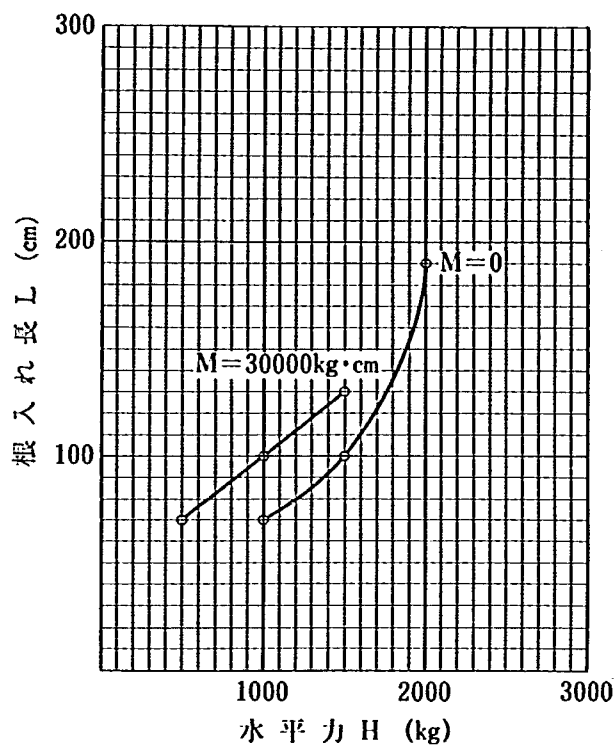


図 7-17 斜面角 $\theta = 30^\circ$

設計条件

杭の種類: H形鋼 200×200

岩盤の種類: D_H

斜面の傾斜角: $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$

許容水平変位量: 2 cm

最小根入れ長: $2D = 60$ cm

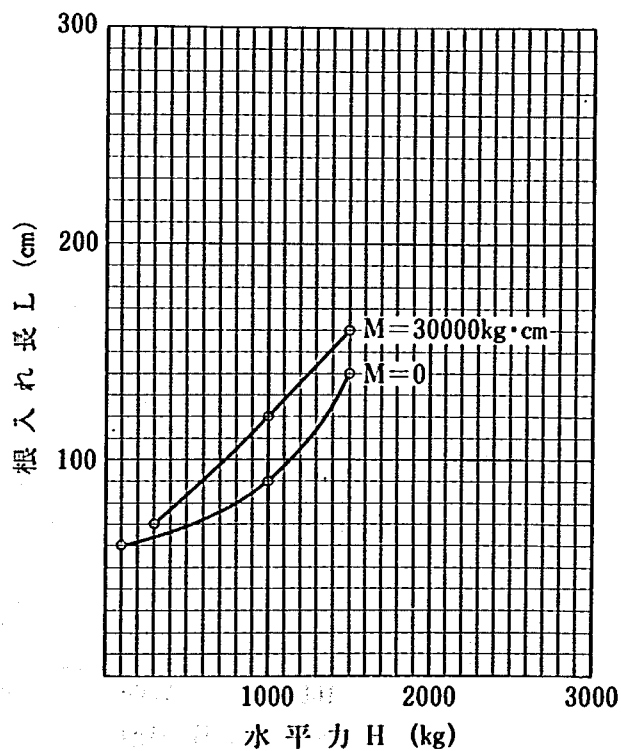


図 7-18 斜面角 $\theta = 40^\circ$

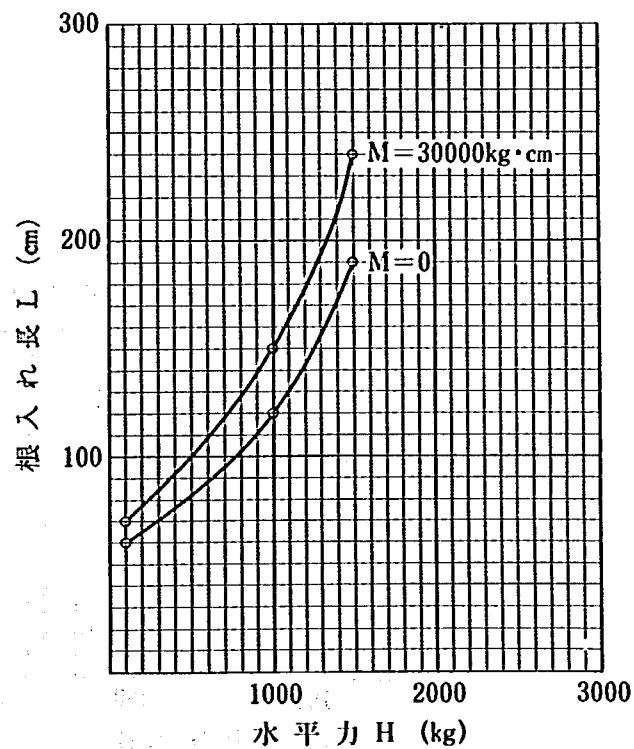
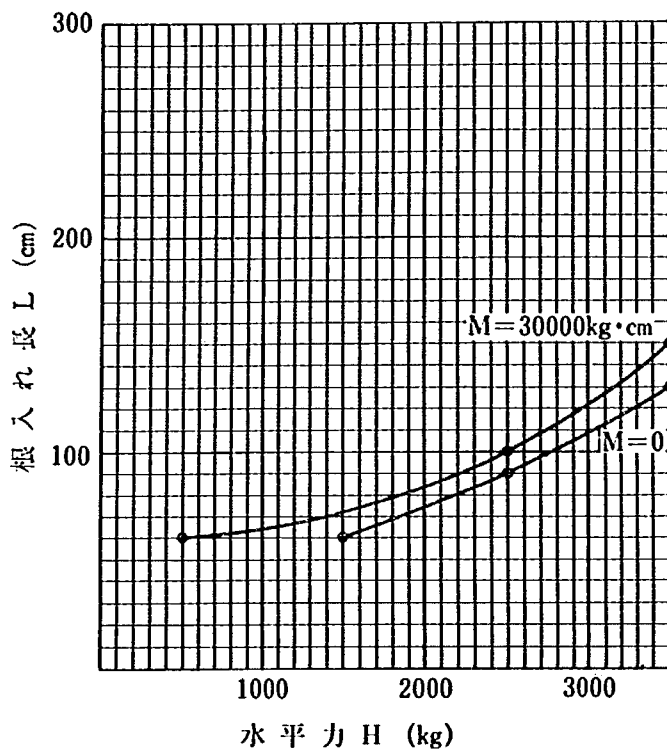


図 7-19 斜面角 $\theta = 50^\circ$



設計条件

杭の種類: H形鋼 200×200
 岩盤の種類: C_L
 斜面の傾斜角: $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$
 許容水平変位量: 2 cm
 最小根入れ長: $2D = 60 \text{ cm}$

図7-20 斜面角 $\theta = 50^\circ$

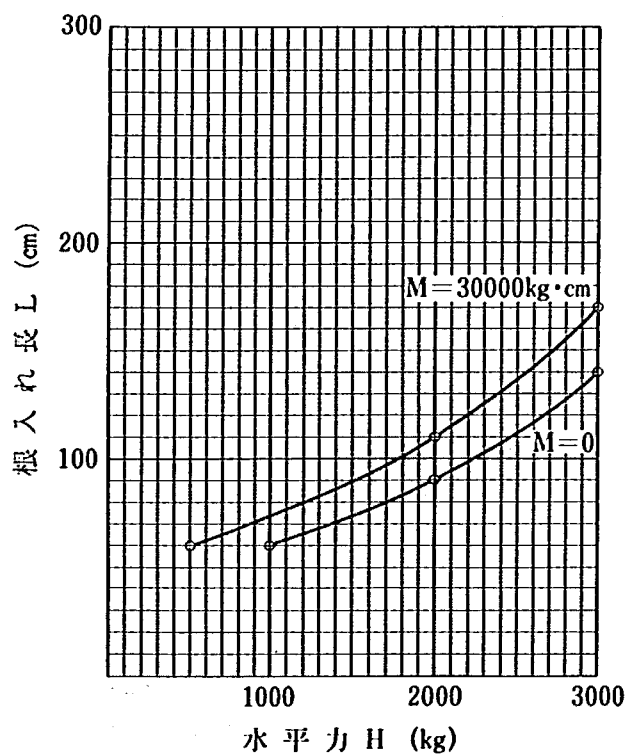


図7-21 斜面角 $\theta = 40^\circ$

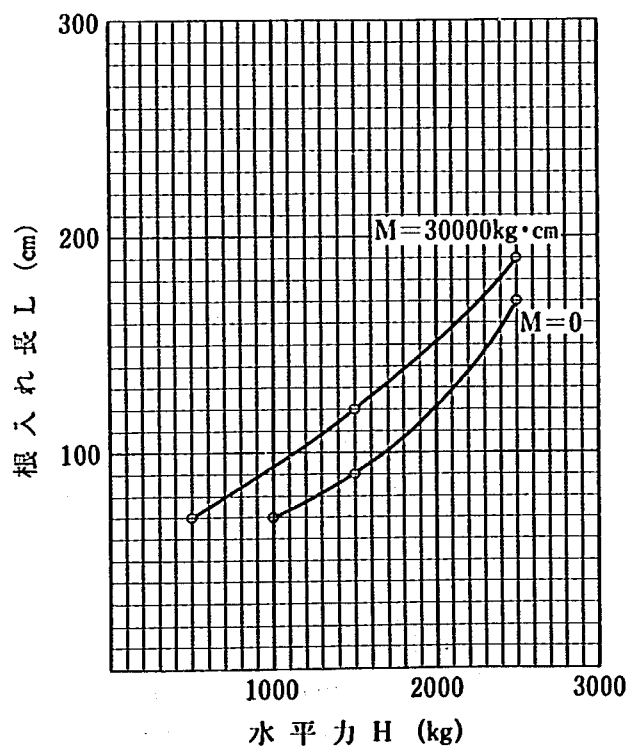


図7-22 斜面角 $\theta = 30^\circ$

第8章 資料文献

8.1 土質工学会基準案「杭の水平載荷試験方法」

(JSF 規格: T 32-82 T)

1. 総 則

1.1 適用範囲

本基準は、原則として単杭の水平載荷試験（以下、本基準では載荷試験と呼ぶ）を対象とし、下記の標準的な載荷試験に対して適用される。

- 1) 地表面上で行われる載荷試験
- 2) 静的な載荷試験
- 3) 軸力のかからない載荷試験

2. 基本計画

2.1 載荷試験の目的

載荷試験は、杭の水平抵抗に関する各種の資料を得ることを目的とする。

2.2 載荷試験の計画

載荷試験の計画に当たっては、杭の設計条件との関連を考慮して、試験杭、試験方法および試験装置を決定しなければならない。

2.3 載荷試験の種類

載荷試験は杭頭自由の状態で行うことを標準とする。載荷様式は

- 1) 正負交番載荷
- 2) 一方向載荷

のいずれかとし、試験方式は載荷速度一定の多サイクルを原則とする。

3. 試験杭

3.1 試験杭の種類

試験杭は下記のいずれかとする。

- 1) 載荷試験のために施工された杭（以下、本基準ではA試験杭と呼ぶ）。
- 2) 構造物の基礎として施工された杭（以下、本基準ではB試験杭と呼ぶ）。

3.2 試験杭の選定

試験杭は、杭の諸元、杭周辺の地盤などを検討し、代表的なものを選ぶこととする。

3.3 試験杭の位置

試験杭の周囲は地表面に乱れがなく、原則として水平な地盤であるものとする。また、試験杭の変形に影響すると思われる範囲内に、構造物、盛土、反力杭などがあってはならない。

3.4 試験杭の養生期間

試験杭は、コンクリートやセメントミルク等の硬化および杭の施工によって乱された地盤の強度復元を考慮して、十分な期間養生しなければならない。

3.5 杭体の補強

試験杭の加力点は、局部的な破損や変形が生じないように、適当な補強を施すものとする。また、補強にあたっては加力装置の安全性も考慮する。

4. 試験方法

4.1 載荷点高さ

載荷点の高さは、杭が実際に構造物として荷重を受ける状態を考慮して、それに最も近い位置とする。

4.2 載荷様式の選定

構造物の種類、外力の種類および試験の目的を考慮して、載荷様式を決定する。載荷様式としては、正負交番載荷と一方向載荷がある。各々の載荷方法を表-1および表-2に示す。

4.3 計画最大荷重、計画最大変位

試験において設定すべき最大荷重および最大変位は、試験の目的、試験杭の種類や変形性態を考慮して決めなければならない。

4.4 試験方式の選定

試験方式は載荷速度一定の多サイクルを原則とする。ただし、試験の目的によっては1サイクルでもよい。

表-1 載荷方法（正負交番載荷）

項 目	増 荷 時	減 荷 時
荷 重 段 階	8段階以上	同 左
荷 重 速 度	計画最大荷重 8~20 t/分	計画最大荷重 4~10 t/分
荷重保持時間	各荷重段階 3分	同 左

表-2 載荷方法（一方向載荷）

項 目	増 荷 時	減 荷 時
荷重保持時間	3分 15分	3分

(注) 荷重段階、荷重速度は表-1に同じ。

4.5 測定項目

測定項目は次に定めるものとする。

- 1) 時間、天候、気温
- 2) 荷重
- 3) 載荷点の変位
- 4) 杭頭傾斜角
- 5) 反力杭の変位
- 6) 周辺地盤の状況
- 7) 杭体の曲げひずみ
- 8) 杭体のたわみ角
- 9) 土圧

なお、上記 1)～6) については必ず測定、または観察し、その他は必要に応じて測定する。

4.6 測定間隔

測定間隔は、測定項目や載荷様式に応じて表-3 および表-4 に定めるとおりとする。

4.7 試験終了の判定

試験の終了は以下のいずれかの場合とする。

- 1) 計画最大荷重に達した場合
- 2) 計画最大変位に達した場合
- 3) 所要の記録が得られ、試験の目的を達した場合

5. 試験装置

5.1 載荷装置

載荷装置は、試験の目的、方法、計画最大荷重、杭の種類、周囲の状況等の諸条件を考慮して、安全に加力できるものとする。載荷装置は、加力装置および反力装置よりなる。

5.2 加力装置

加力装置は計画最大荷重の120%以上の加力能力を持ち、予想される試験杭等の変形に十分追従できるものとする。

5.3 反力装置

反力装置は計画最大荷重に対して十分な抵抗を有し、安全なものとする。

5.4 計測装置

計測装置は試験目的に合致した能力および精度を有するものとする。なお、試験中は、作業や交通による振動、気象条件等によって支障を受けないように注意しなければならない。

5.5 荷重の計測装置

荷重の計測には、ロードセルまたは圧力変換器を使用することとし、ブルトン管圧力計のみでの計測は避けるものとする。

5.6 変位の計測装置

変位の計測装置は一般に基準点、基準ばり、変位計によって構成される。

基準点は、試験杭および反力杭の変形等によって影響を受けない範囲に設置するものとする。

基準ばりは、基準点の間隔に応じた十分な剛性を有するものとし、外気温の変化等の影響を受けにくい支持方法を選定する。

変位計は、変位量を正確に計測できるよう、正しい方向に確実に設置する。

5.7 その他の計測装置

杭体の曲げひずみ、土圧等を計測する場合には、試験目的に応じて適当な装置を選定し、設置方法等を十分検討するものとする。

6. 結果のまとめ

6.1 結果の整理

杭頭部における荷重-変位曲線および荷重-時間曲線を図示する。また、荷重と杭頭傾斜角の関係も図示する。なお、多サイクル載荷試験では、荷重-弾性戻り曲線、荷重-残留変位曲線も作成する。

杭体のひずみ量を測定した場合は、処女荷重段階ごとあるいは代表的な荷重段階について杭体のひずみ分布あるいは曲げモーメント分布を図示する。

6.2 結果の利用

水平力を受ける杭の挙動を載荷試験から推定しようとする

場合には、実際の構造物における杭および荷重の条件と、載荷試験における杭および荷重の条件との違いを十分考慮しなければならない。

6.3 報告書

試験方法、試験装置、結果の整理のほか、地盤の概要、試験杭の施工状況、試験工程等を簡潔に分かりやすくまとめる。

表-3 測定間隔（正負交番載荷）

測定項目	増荷時測定時間	減荷時測定時間
荷重	各荷重段階 0分、約2分	0分
変位、杭頭傾斜角	各荷重段階 0分、約2分	0分
その他（注1）	各荷重段階 0分	0分

注1) 杭体のひずみ、杭体のたわみ角、土圧、反力杭の変位、周辺地盤状況等。

表-4 測定間隔（一方向載荷）

測定項目	増荷時測定時間	減荷時測定時間
荷重	処女荷重、履歴内荷重 0分、約2分 0荷重 0.2, 4.8, 約14分	0分
変位、杭頭傾斜角	処女荷重、履歴内荷重 0荷重 0分、約2分 0.2, 4.8, 約14分	0分
その他（注1）	処女荷重、履歴内荷重 0荷重 0分 0.8, 約14分	0分

注1) 表-3の注) 参照

8.2 杭工に関する文献

- 陶山, 今井: 地盤の横方向K値, 橋梁と基礎 Vol. 2
- 今井: 地盤の横方向K値の研究(3)設計に用いるK値, 土と基礎 1969
- 吉中: 横方向地盤反力係数, 土木技術資料 Vol. 10-1
- 西田義親: 杭基礎の水平支持力-文献資料と研究解説, 「鋼管杭協会報告」第1号, 鋼管杭協会
- 足立義雄: くい基礎の静的水平抵抗に関する実験研究, 土木研究所報告 146号-3, 昭和49年3月
- 篠原, 久保: 杭の横抵抗に関する実験的研究(その1), 運輸省港湾技術研究所報告 11-6, 1961.7
- 久保浩一: 杭の横抵抗に関する実験的研究(その2)(その3), 運輸省港湾技術研究所報告 11-12および12-2, 1962.2, 3
- 山肩, 富永: クイの水平加力試験における横抵抗土圧と弾塑性解析法, 第6回土質工学研究発表会, 昭46.6
- 山肩, 富永: 地盤変形を考慮した単ぐいの水平抵抗機構について, 日本建築学会学術講演梗概集, 昭47.10
- 中井, 岸田: 水平方向地盤反力係数の非線形性, 第11回土質工学研究発表会講演会, PP 609~612, 1976
- 高速道路調査会: 基礎構造に関する調査研究昭和45年度報告書, 1971.2
- 高速道路調査会: 基礎構造に関する調査研究昭和46年度報告書, 1972.2
- 高速道路調査会: 基礎構造に関する調査研究昭和47年度報告書, 1973.2
- 高速道路調査会: 基礎構造に関する調査研究昭和48年度報告書, 1974.2
- 高速道路調査会: 深礎ぐいの設計に関する研究報告書, 1978.2
- 日本道路公団試験所: 斜面上の深礎ぐいの計算図表, 試験所技術資料第602号, 1978.10
- 土質工学会: クイ基礎の調査, 設計から施工まで, 1977.1
- 中村二郎編: 砂防・地すべり防止, 急傾斜地崩壊防止施工法 山海堂, 1978.11
- 全国治水砂防協会: 斜面崩壊防止工事の設計と実例, 1982.8
- 日本建築学会: 建築基礎構造設計基準・同解説, 丸善, 1974.11
- 大西靖和他 杭の水平載荷試験の現状, 杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集, S 54.12
- 豊岡義則他: 水平載荷試験時の最大荷重・最大変位にらいて, 杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集, S 54.12
- 富永晃司他: 杭前面地盤の変位の実測と考察, 杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集, S 54.12
- 儀賀俊成他: 荷重-変位曲線に与える荷重速度の影響, 杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集, S 54.12
- 矢作枢他: 大口径場所打ち杭($\phi 3.0\text{ m}$)の長期水平載荷試験, 杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集, S 54.12

- 塩井幸武他：杭の水平載荷試験での降伏点の評価法，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 今井常雄他：LLT試験による杭の水平載荷挙動の予測，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 城郁夫他：鋼管杭の水平載荷試験，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 田中徹也他：大口径深礎杭の水平載荷試験，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 山本紀夫他：大口径場所打ち杭の水平載荷試験，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 奥田康：群杭の水平抵抗－群杭静的水平載荷試験の結果－，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 藤原光寿他：多径間連続高架橋基礎の水平載荷試験（群杭），杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 杉村義広他：杭の水平載荷試験と新耐震設計法との関係，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 山肩邦男：杭の水平載荷試験の今後への課題，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 江口正後：港研方式による水平載荷試験結果の解析について，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 西村昭彦：国鉄の耐震設計と杭の載荷試験の今後の課題，杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム発表論文集，S 54. 12
- 佐藤輝行：クイの水平載荷試験の荷重－変位曲線にみられる特性について，土と基礎，Vol. 24－9，1976. 9，PP 25～32
- 中村浩之：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 1，1977，PP 99～109
- 中村浩之：地すべり防止対策グイにかかる土圧とその設計，地すべり Vol. 7，No 2，PP 8～12，1970
- 中村浩之：シャフトグイの設計法，地すべり Vol. 17，No 2，PP 1～9
- 駒田敬一：土木構造物のクイの水平抵抗，土と基礎 Vol. 25－8，1977. 8，PP 1～6
- 山肩邦男：建築構造物のクイの水平抵抗，土と基礎 Vol. 25－8，1977. 8，PP 7～14
- 古藤田，風間：クイ材の塑性を考慮した解析法，土と基礎 Vol. 25－8，1977. 8，PP 15～20
- 岸田，中井：地盤反力－変位関係の非線形性，土と基礎 Vol. 25－8，1977. 8，PP 21～28
- 矢作枢：クイの水平耐力と地盤の変形－N値とK値の関連について－，土と基礎 Vol. 25－8，1977. 8，PP 29～

杭工に関する調査報告書

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第1914号

マイクロフィルム第 号

昭和58年3月(1983)

急傾斜地崩壊研究室

キーワード：杭工，斜面上の杭，急傾斜地崩壊防止工事

急傾斜地崩壊防止工事において，斜面上で用いられる杭工について，主としてその設計法の検討を行なった。また杭工の設計，施工実例や関係資料を集め，杭工を設計，施工する際に使い易い手引きとなるようまとめた。



郵便はがき

は40
円切
手
を
い。

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防部急傾斜地崩壊研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1914号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印