

■小口径鋼管を用いた斜面補強システム共同研究グループ

財団法人先端建設技術センター

〒112-0012 東京都文京区大塚2-15-6 TEL.03(3942)3995

株式会社奥村組

〒108-8381 東京都港区芝5-6-1 TEL.03(5427)2316

株式会社ケー・エフ・シー

〒135-8073 東京都江東区青海二丁目45番地 TEL.03(3570)5182

サンドビクターヨー株式会社

〒224-0023 神奈川県横浜市都筑区東山田4-33-7 TEL.045(590)4111

住友金属工業株式会社

〒104-6111 東京都中央区晴海1-8-11 TEL.03(4416)6423

株式会社銭高組

〒163-1024 東京都新宿区西新宿3-7-1 TEL.03(5323)5761

ソイルメックジャパン株式会社

〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-12 TEL.03(5643)1271

大日本土木株式会社

〒162-8410 東京都新宿区市谷田町2-37 TEL.03(5229)8809

東洋建設株式会社

〒135-0064 東京都江東区青海二丁目43番地 TEL.03(6361)5469

株式会社成幸利根

〒101-0047 東京都千代田区内神田3-03-8 TEL.03(5297)1301

飛鳥建設株式会社

〒102-8332 東京都千代田区三番町二番地 TEL.03(5214)7091

株式会社トマック

〒299-0268 千葉県袖ヶ浦市南袖32 TEL.0438(63)9588

日本基礎技術株式会社

〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町15-17 TEL.03(3476)5701

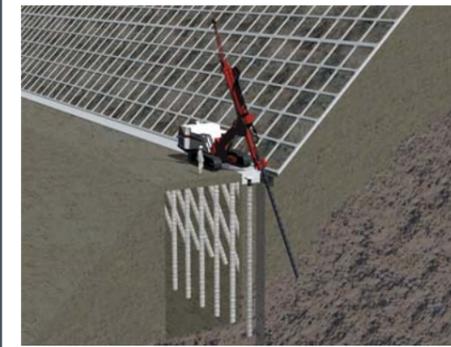
株式会社フジタ

〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2 TEL.03(3796)2296

三菱マテリアル株式会社

〒503-2394 岐阜県安八郡神戸町横井中新田1528 TEL.0584(27)5011

組杭抑止杭工法は、先端建設技術センターと民間14社による共同研究「小口径鋼管を用いた斜面補強システムに関する共同研究」で開発した工法です。 【特許出願 2001-76129】



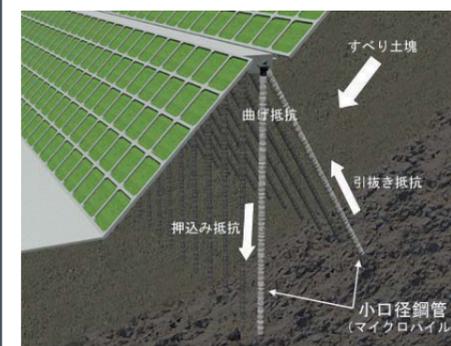
組杭抑止杭工法の施工概要図



斜杭30度の施工状況



北イタリアでの施工例



組杭抑止杭の概念図

曲げ・せん断および杭軸抵抗を発揮させる  
合理的な抑止工法

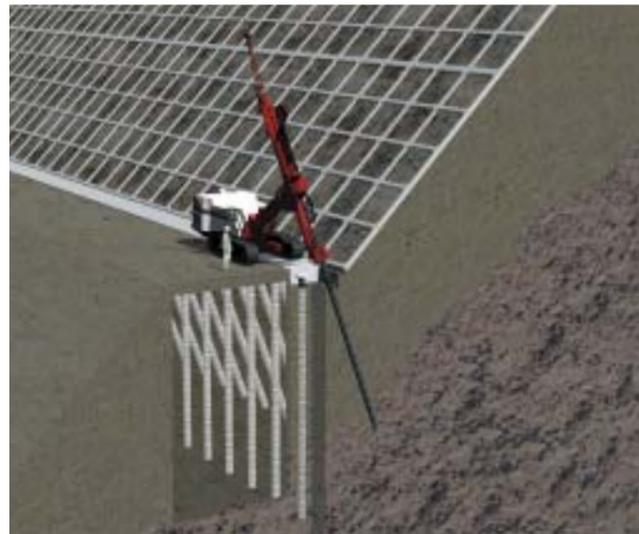
# 組杭抑止杭工法

小口径鋼管を用いた斜面補強システム共同研究グループ

# 小口径鋼管を用いた組杭抑止杭工法

## 概要

今後建設される道路の多くは急峻な山岳地を通過することとなるため、長大切土のり面の増加や不安定な地質との遭遇が多くなり、より合理的な斜面補強技術の開発が求められています。このため、従来工法が苦手とする玉石混じり砂礫層や崖錐性堆積層あるいは崩壊しやすい岩盤などにも適用性が高く、曲げ・せん断および杭軸抵抗が期待できる小口径鋼管(マイクロパイル; 300mm程度以下)を用いた斜面補強システムに関する共同研究を実施しました。共同研究は、平成12年度から平成14年度まで先端建設技術センターおよび民間14社で実施し、抑止効果が高く、耐久性・施工性に優れた組杭抑止杭工法を開発しました。



組杭抑止杭工法の施工概要

## 開発項目

- (1) 小口径鋼管を用いた組杭抑止杭工の設計手法の開発
- (2) 小口径鋼管を用いた組杭抑止杭工の施工方法の確立
- (3) 小口径鋼管に適した削孔技術・削孔ツールの開発

## 組杭抑止杭工法とは

組杭抑止杭工法は、抑止杭として切土のり面に小口径鋼管(マイクロパイル)を用いた斜杭および直杭を千鳥配列に打設し、斜杭と直杭の杭頭を連結した組杭構造としてすべり力に対して曲げ・せん断および杭軸抵抗を發揮させ斜面全体の安定性を高める工法です。

### 組杭抑止杭工法の特長

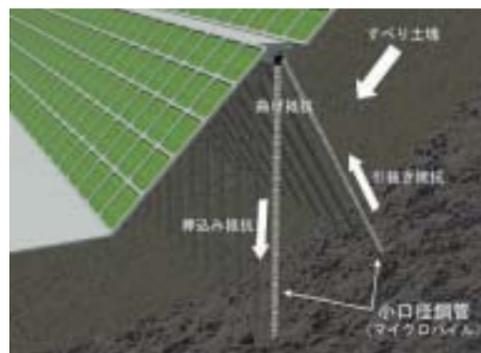
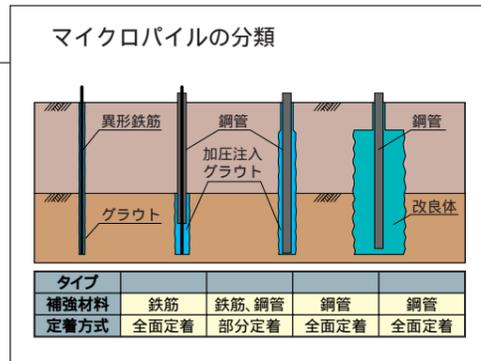
機動性の良い小型の施工機械設備で、用地等の制約を受ける狭隘な場所でも施工できます。

二重管削孔による杭の直接打設により、削孔性能に優れ、複雑な地盤に柔軟に対応できます。

高張力鋼管を用いた機械式ネジ継手の開発により、施工性・部材の耐久性が向上しています。

### マイクロパイルとは

マイクロパイルとは、杭径 100~300mm程度の小口径の場所打ち杭・埋込み杭の総称です。地山を削孔して鋼管などの補強材を挿入し、グラウトを注入してパイルを形成します。グラウト材を加圧注入して地山と鋼管を確実に一体化させるため、比較的大きな曲げ・せん断および軸方向支持力が期待できます。



組杭抑止杭の概念図

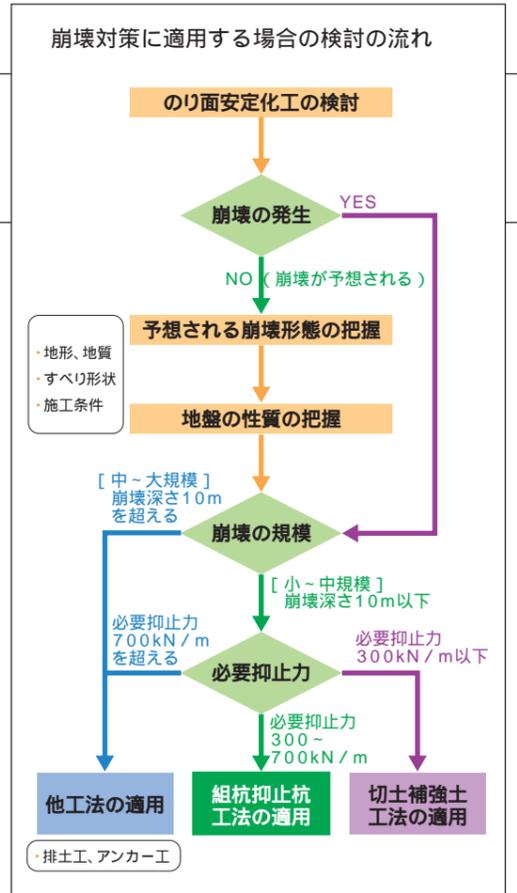
## 組杭抑止杭工法の適用条件

組杭抑止杭工法は、小口径鋼管に適した削孔方式・削孔ツールの開発改良により従来工法に比べて施工性および地盤条件・環境条件等に対する適応性が向上しています。

組杭抑止杭工法の適用条件

形式 (または工法種類)	項目	必要抑止力 ×100kN/m	崩壊長さ (m)	崩壊深さ (m)	崩壊規模 必要抑止力
組杭抑止杭工法 (径 200~300mm)			40m 以下	10m程度 以下	小~中規模 700kN/m 以下
グラウンド アンカー工			20~50m 程度	10m程度 以上	中規模以上
抑止杭工 (径 350~600mm)			20~50m 程度	10m程度 以上	中規模以上

【小口径鋼管を用いた組杭抑止杭工法の適用条件】  
必要抑止力が700kN/m以下の小~中規模の崩壊対策  
崩壊長さが40m以下の崩壊対策  
崩壊深さが10m程度以下(杭全長L 15m程度)の崩壊対策



地すべり対策・のり面崩壊対策工の比較表

形式(または工法種類)	検査項目	長期安定性	確実性	経済性	景観・環境	維持管理	施工性	柔軟性	類似実績	すべり規模 適用杭径
組杭抑止杭工										小規模~中規模 300mm程度以下
グラウンドアンカー工										中規模以上
抑止杭工										中規模以上 350~600mm程度

[備考] :非常に良い :良い :良い場合もある :検討を要する

### 従来工法との比較

アンカーは経済性や施工性の面から、地すべり対策工やのり面崩壊対策工として多数採用されていますが、構造が複雑であり、部材の耐久性や継続的な維持管理などに配慮した検討が必要です。一方、組杭抑止杭は構造が単純であり、部材の強度や耐久性に関する信頼性が高くなっています。

特に、限られた空間での施工や小~中規模程度の崩壊対策については、従来工法と比べ施工性・経済性に優れた工法です。

### 組杭抑止杭工法の長所

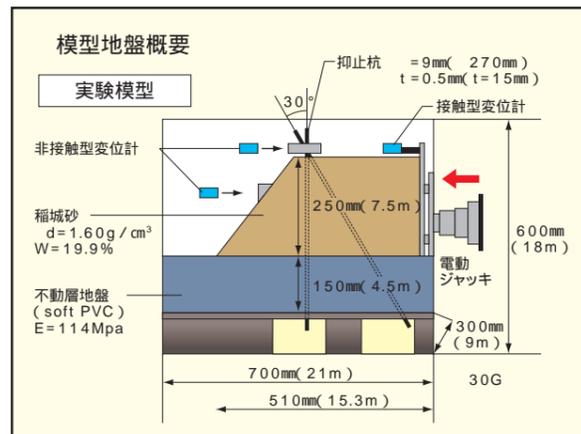
長期安定性..... 構造が単純であり、部材の強度・腐食環境への対応性に優れています。

経済性..... 構造性能に優れ、小口径杭にも拘わらず大きな抑止効果を發揮します。

維持管理..... 部材の耐久性に優れ、緊張管理等の煩雑な管理が不要です。

## 遠心模型実験

共同研究では、組杭抑止杭工のすべり抑止効果を評価するため、東京工業大学大学院 桑野二郎助教授)との共同研究として遠心模型実験を実施しました。また、遠心模型実験結果と解析結果との比較検討により、設計手法として簡便な梁～バネモデルによる骨組み解析の適用性を検証しています。



模型抑止杭の設置状況(千鳥配列)

### 実験結果と考察

直杭と斜杭による組杭を用いることで直列単杭と比較し、杭頭の水平変位量を抑えることができます。斜杭は直杭の倒れ込みを後方へ引っ張る形で変位を抑えます。

杭背面地盤の大小(1:0.8と1:0.4の斜面)により抑止効果に相違が生じることから杭背面抵抗を適切に評価する必要があります。

直杭(谷側)と斜杭(山側)の荷重分担率は概ね1:1.5となることを確認しました。

直杭が山側で斜杭が谷側となるように組杭の設置角度を変更した場合(逆配置)においては、斜杭が直杭の倒れ込みを支える形で抑止効果を発揮します。

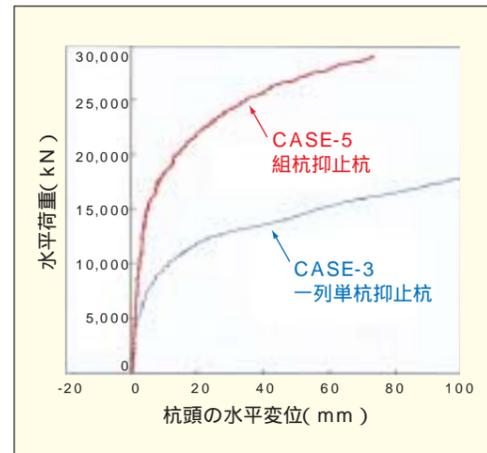
斜面および杭の変形状況



(一列単杭抑止杭)

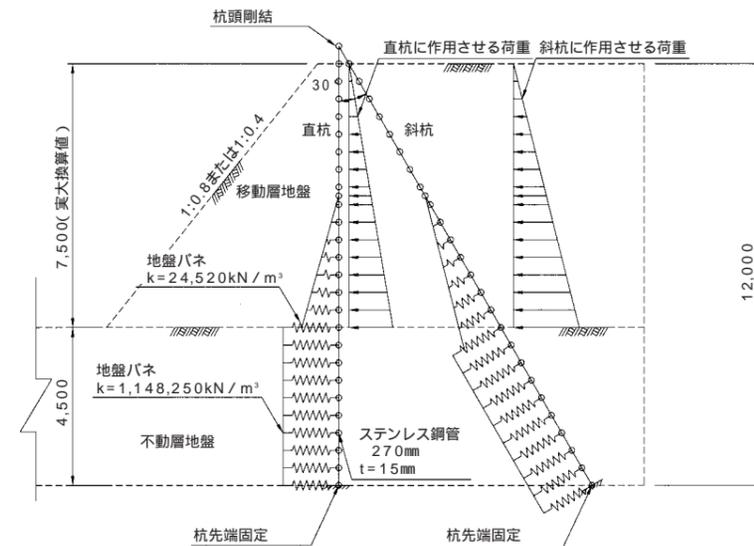
(組杭抑止杭)

水平荷重と杭頭水平変位の関係

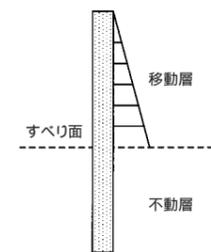


## 設計解析モデル

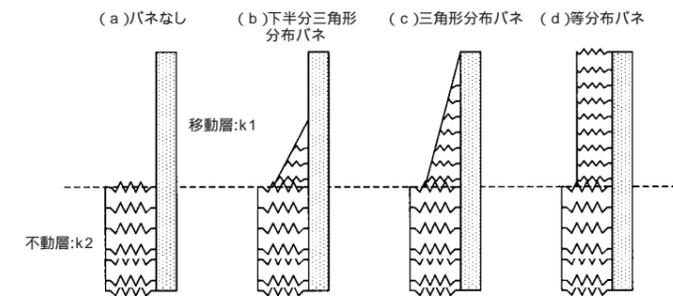
組杭抑止杭工法の設計解析モデル



荷重モデル



杭背面に設定する地盤バネモデル



### 骨組み解析モデル

杭部材を線形弾性体の梁要素、杭背面の地盤の抵抗を線形バネによってモデル化した梁～バネモデルを用います。解析モデルの境界条件は、杭先端は変位および回転固定とします。直杭と斜杭は千鳥配置とし、直杭と斜杭の杭頭連結部は杭頭剛結合(固定)とします。

### 支持力照査

杭の支持力および引抜抵抗力は、不動層への定着により確保するものとし、施工する地盤条件に応じて適切に照査します。

### 荷重モデル

日本道路公団「設計要領第一集」に示されている荷重モデルおよび遠心模型実験結果等に基づき三角形分布を採用します。直杭(谷側)と斜杭(山側)の荷重分担率は、遠心模型実験結果等に基づく検討から直杭:斜杭=1:1.5とします。

### 地盤バネモデル

(a)バネなし、(b)下半分三角形分布および(c)三角形分布等の中から、杭背面地盤の状況等に応じて適切に設定します。地盤バネの算出は日本道路公団「設計要領第一集」等を参考にしています。

## 施工性確認試験

組杭抑止杭工法の施工性確認および施工管理方法の検討を主な目的として、直杭・斜杭の削孔試験を実施し、削孔性能・地盤条件に対する適応性等を検証しています。乾式二重管削孔による鋼管杭の直接打設およびカプラー式ネジ継手による継杭施工法の確立、回転打撃削孔方式・回転削孔方式に対応した削孔ツールの開発改良により、削孔性能および地盤条件等に対する適応性が向上しています。

### 斜杭削孔試験

削孔試験状況

(使用鋼管 216.3mm、267.4mm、長さ12m=3m/本×4本)

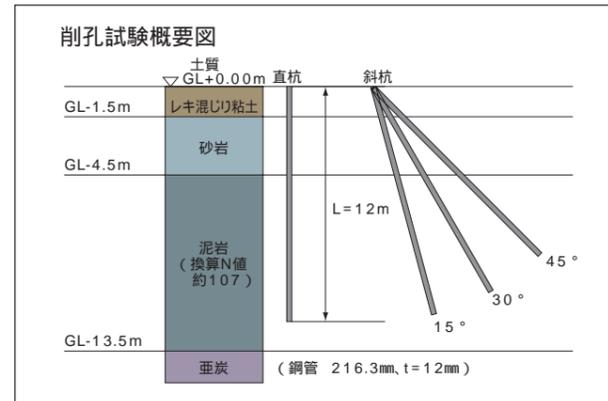


斜杭 15度

斜杭 30度

斜杭削孔試験の結果

角度	施工歩掛	削孔速度
45度	12~14m/日	約12分/m
30度	14~16m/日	約11分/m
15度	18~20m/日	約9分/m
直杭	18~22m/日	約8分/m



回転削孔ツール(SMB-R)



回転打撃削孔ツール(TUBEX)

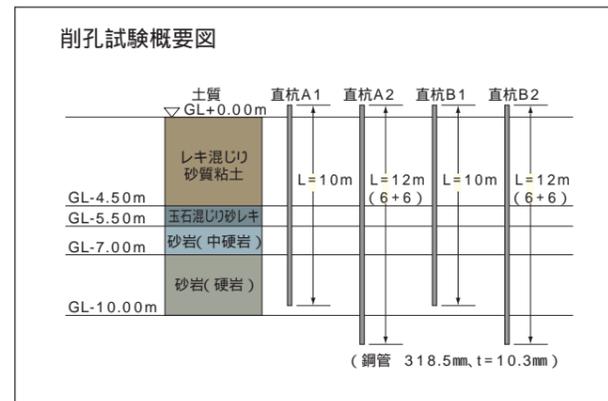
### 長尺削孔試験

削孔試験状況(使用鋼管 318.5mm本)



長尺削孔試験の結果(杭長 L = 10m / 本)

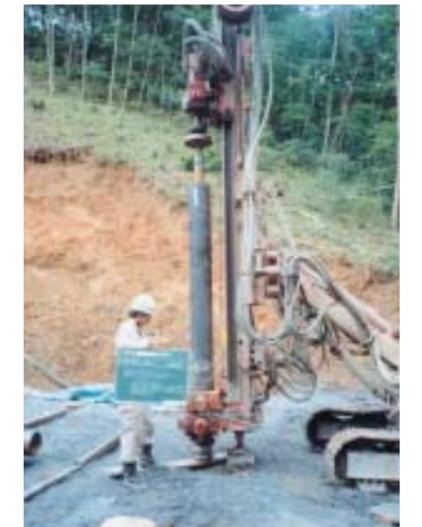
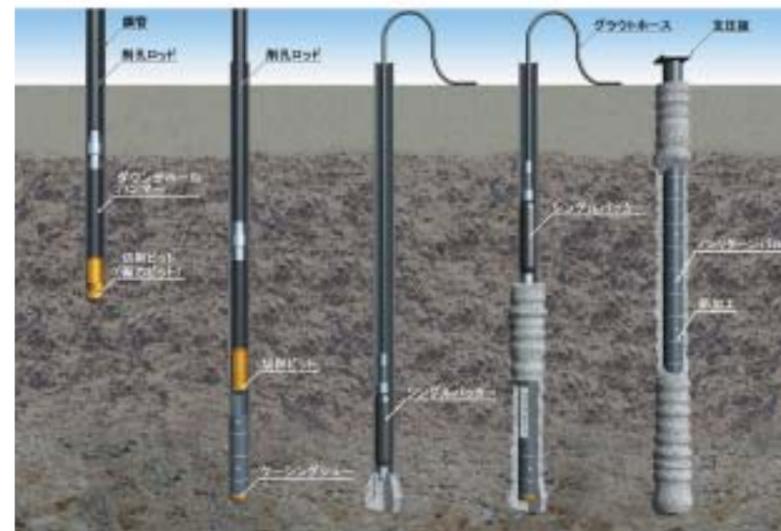
土質	施工歩掛	削孔速度
レキ質土	26~30m/日	6~8分/m
軟岩	19~23m/日	10~14分/m
中硬岩	12~18m/日	15~25分/m
硬岩	参考値(約30~40分/m)	



回転打撃削孔ツール(ソロフレックス)

組杭抑止杭工法の施工手順例(回転打撃削孔方式)

削孔・鋼管挿入・削孔ツール回収・ベースグラウトング・スキンググラウトング・管内充填・杭頭処理



抑止杭の施工状況

## 地山補強土工への適用

工法概要

小口径鋼管を用いた補強土工は、小口径高張力鋼管(100~200mm程度)を二重管削孔方式により地山に直接打設し、セメント系グラウト材を加圧注入して地山と一体化させる工法です。通常の地山補強に用いられる鉄筋補強材に比べて部材の耐力・断面剛性が大きいので、高い補強効果が発揮されます。小口径鋼管に適した削孔技術・削孔ツールの開発改良により、幅広い地山条件に柔軟に対応し優れた施工性を発揮します。

小口径鋼管を用いた斜面安定工法の適用条件

形式 (または工法種類)	項目	必要抑止力 ×100kN/m					崩壊長さ (m)	崩壊深さ (m)	崩壊規模 必要抑止力
		3	5	7	9	11			
地山補強土工法 (鉄筋D20~30mm)							30m以下	3m程度以下	小規模 300kN/m以下
小口径鋼管を用いた 地山補強土工法 (径114.3mm)							40m以下	8m程度以下	小~中規模 500kN/m以下
小口径鋼管を用いた 組杭抑止杭工法 (径200~300mm)							40m以下	10m程度以下	小~中規模 700kN/m以下

【小口径鋼管を用いた地山補強土工の適用条件】  
必要抑止力が500kN/m程度以下の小~中規模崩壊対策  
崩壊長さが40m以下の崩壊対策  
崩壊深さが8m程度以下(杭全長L 14m程度)の崩壊対策

