

平成23年度 建設施工と建設機械シンポジウム

汎用建設機械を用いた 土の強度に関する実務的簡易推定手法の開発

～社団法人日本建設機械化協会研究開発助成 成果報告～

長崎大学大学院 杉本 知史

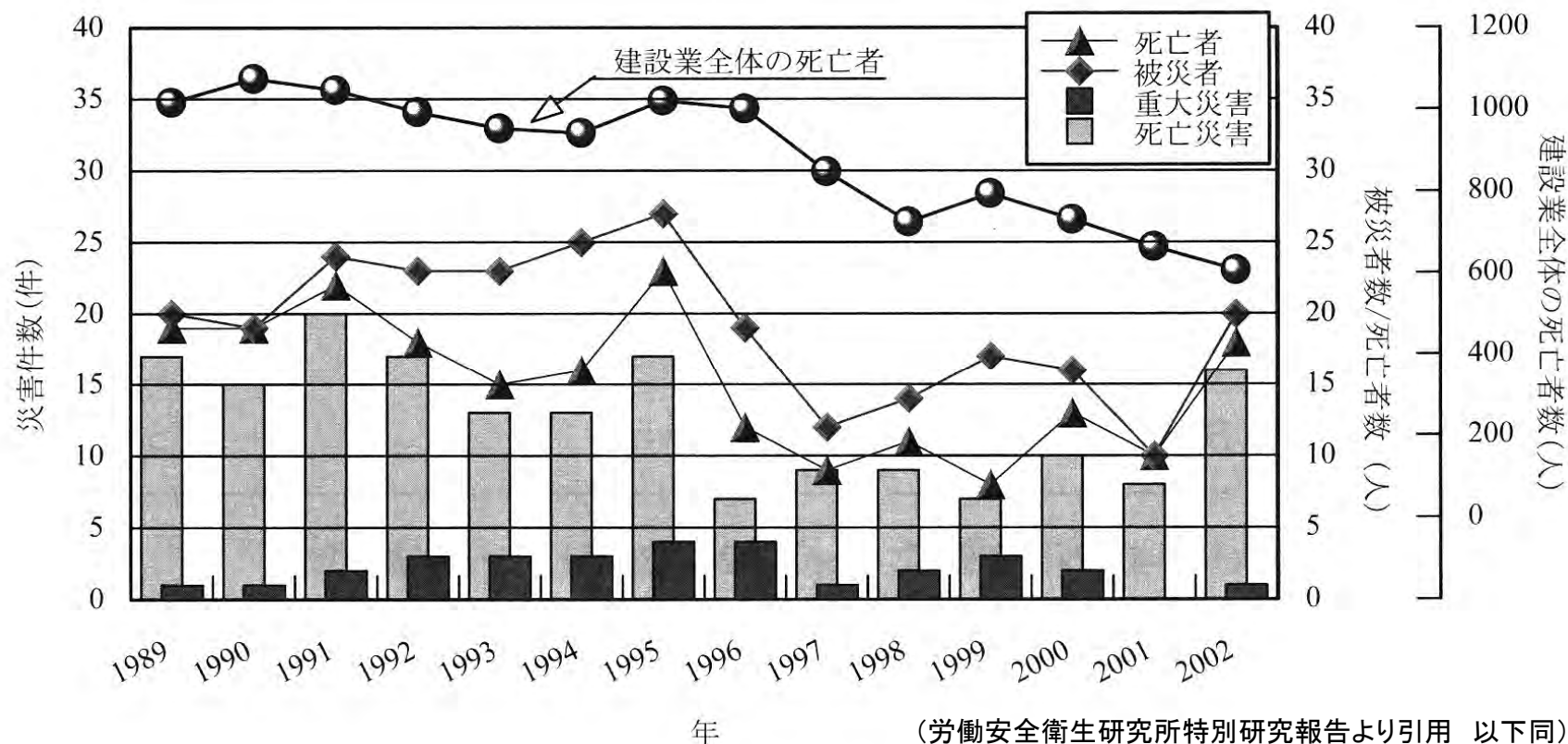
研究の背景

切土・擁壁構築工事における法面の崩壊事例



切土工事における労働災害の現状

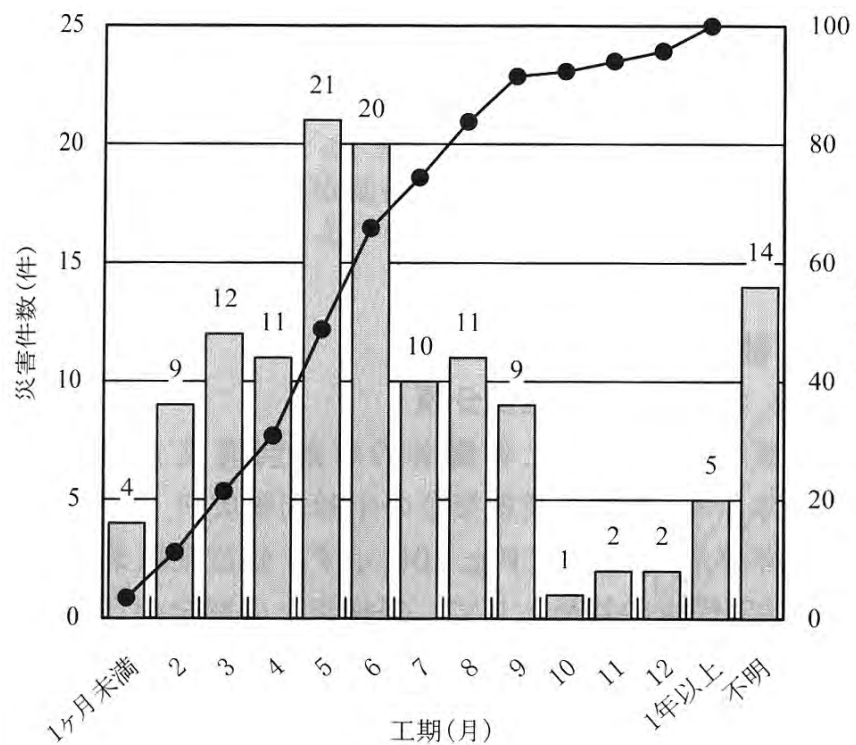
建設工事中の斜面崩壊による労働災害の年度別発生件数



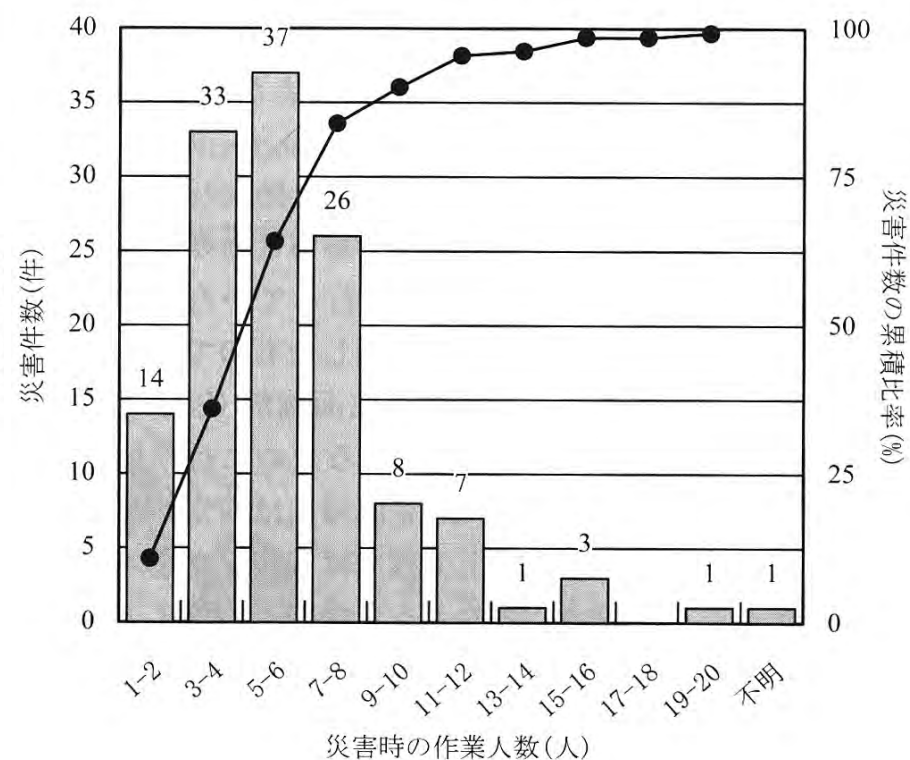
- 建設業全体 → 1996年以降は減少傾向
- 斜面関連 → 引き続き増減を繰り返す傾向にある

切土工事における労働災害の現状

工期別災害件数(1989～2002)



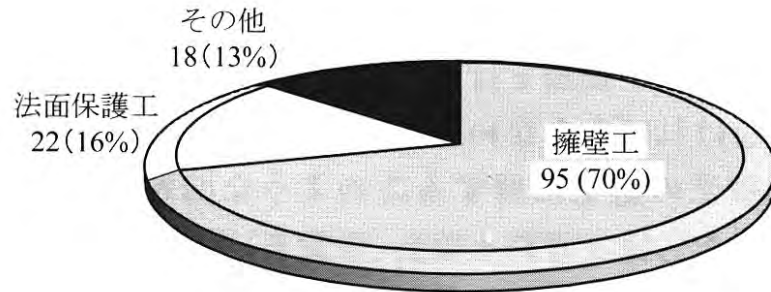
作業人数別災害件数(1989～2002)



- ・短期の工事での災害件数が多い
- ・作業人数が少ないほど災害件数が多い

切土工事における労働災害の現状

災害の工事種別分類(1989～2002)

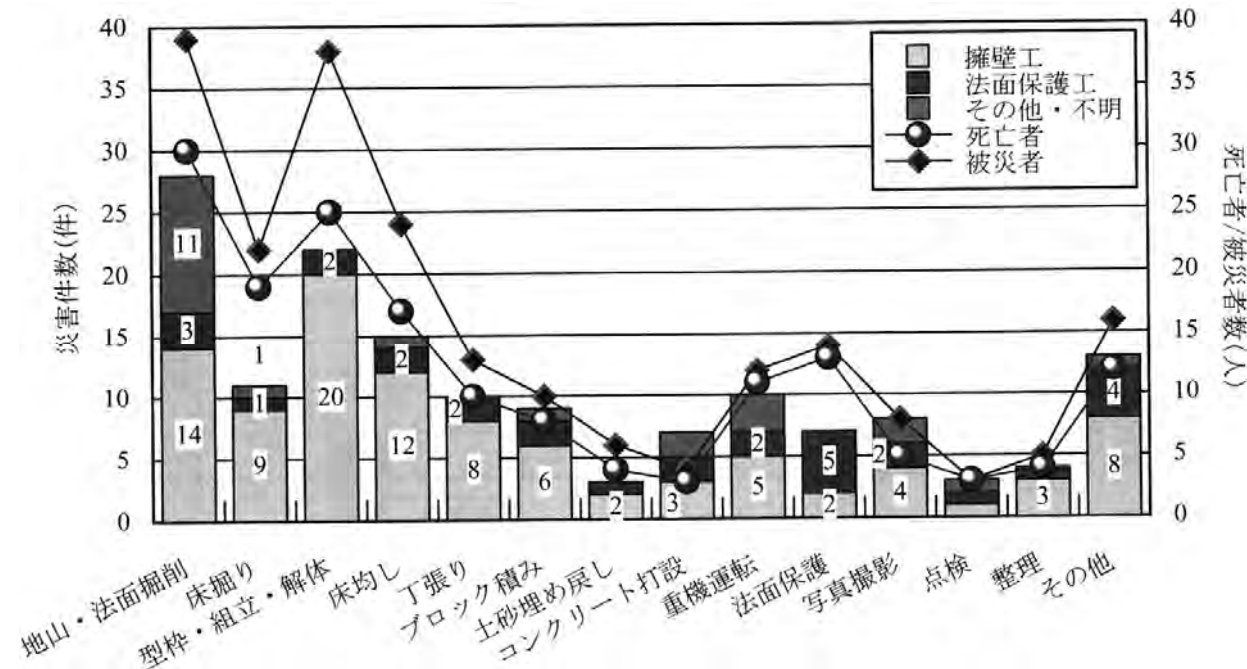


擁壁工が圧倒的に多い

掘削・床掘り: 直接の掘削作業

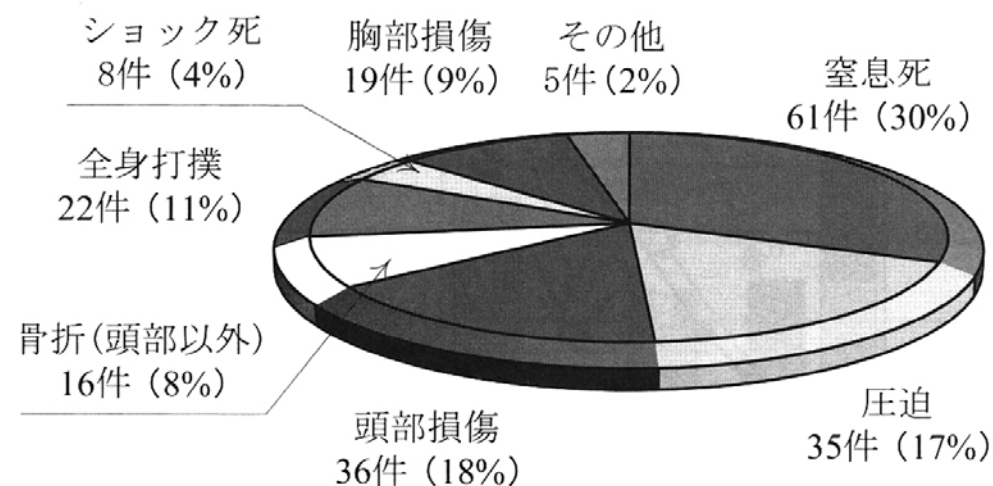
型枠組立・解体 } 掘削後の不安定な
床均し・丁張り } 地山付近での作業

災害発生時に被災者が行っていた作業(1989～2002)

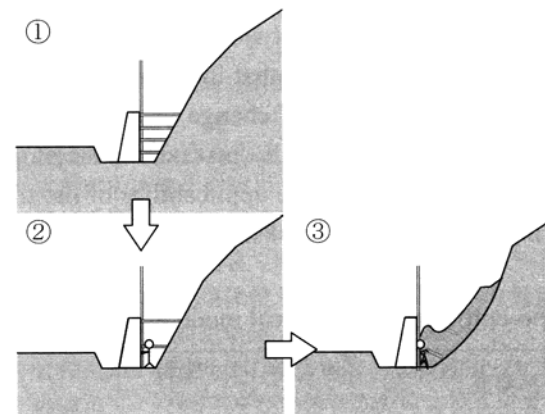


切土工事における労働災害の現状

被災者の死亡原因 (1989～2002)

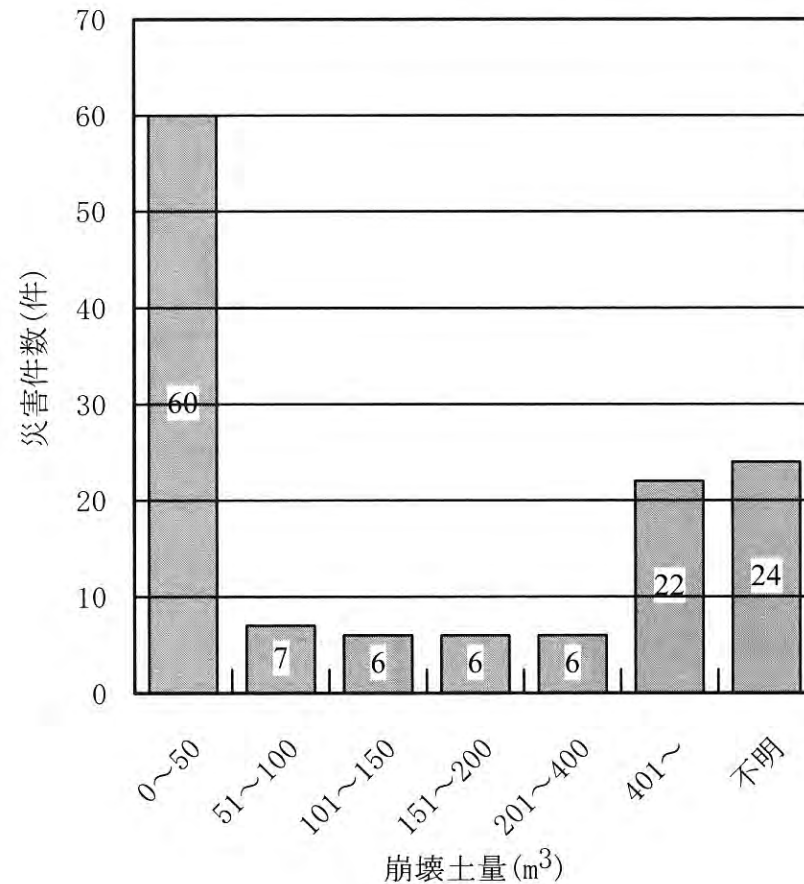


死亡原因: 約3割が窒息／約2割が圧迫 ➡ 土砂崩壊による生き埋め



切土工事における労働災害の現状

崩壊土量別の災害件数(1989～2002)

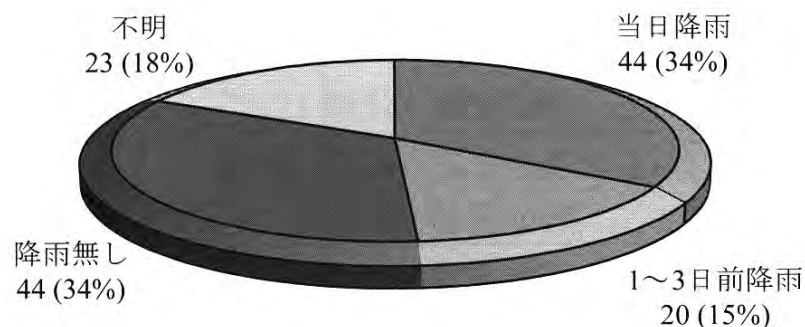


小規模な斜面の崩壊は、大規模なものに比べ瞬時に起こることが多い

➡ 退避等に時間的余裕が少ない

切土工事における労働災害の現状

災害発生時の降雨状況(1989～2002)



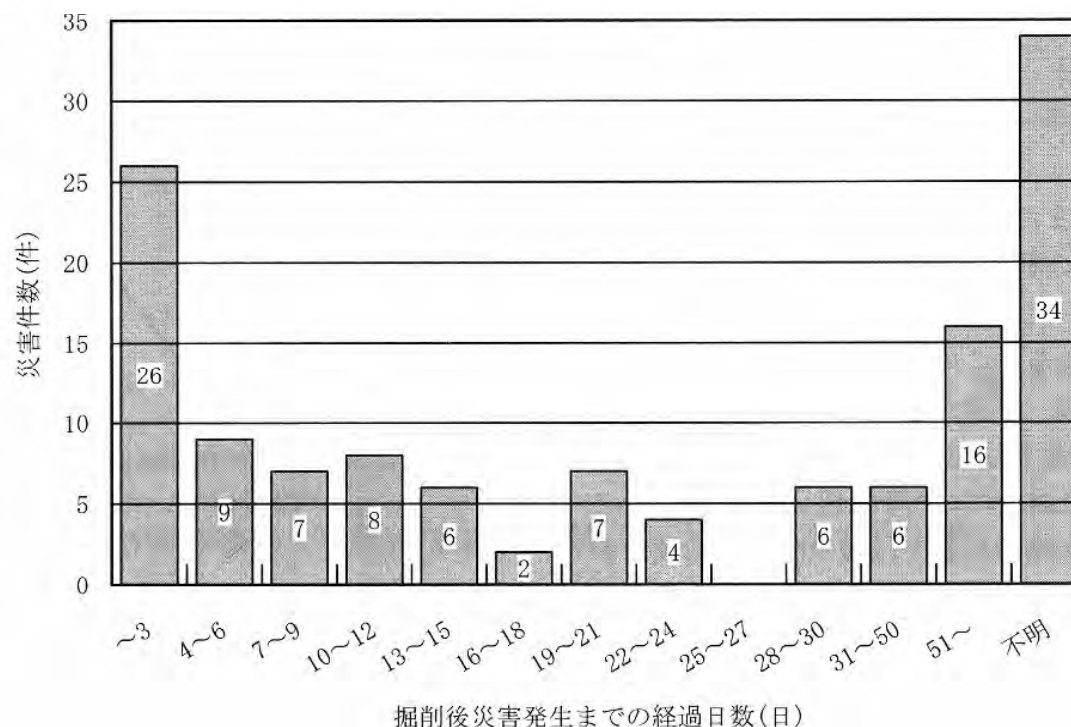
降雨を伴う災害が約半数を占める

→ 土のせん断強度低下・ γ_t の増加・ Δu の発生

降雨なしのケースも多い → σ_h 低下に伴う崩壊

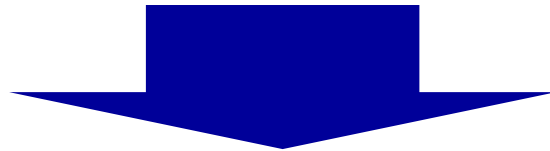
掘削直後の災害が多いが、崩壊まで2ヶ月近く要する場合もあり素因・誘因に大きく影響していると考えられる

法面掘削後災害発生までの経過日数(1989～2002)



研究の目的

- 施工箇所には孔内傾斜計を設置するには高額
- 伸縮計は変位が発生してから設置するので、それでは遅い
- 施工中に崩壊の危険性がある地山の特性を知る必要がある



身近にある**建設機械**で危険性の判定ができないか？

表層地盤の強度推定の必要性

- 切土掘削斜面における表層崩壊 ➡ 概ね数mオーダーの範囲
- 多くの切土掘削工事の現場に配置している機材を使用できないか？
- 将来的に現地作業員が各自で判断できる仕組につなげる



バックホーを利用した表層掘削による
表層地盤の強度推定手法の開発

上記手法開発のため原位置で精度のよい土の強度評価を行う手法の開発

➡ 原位置一面せん断試験機の開発と性能の評価

表層地盤の強度推定の提案



運転席モニターによる
油圧観測

→土の抵抗値を数値化
(将来的には、重機オペレータにも
判断できるようなメッセージの
表示も検討)

一定条件下でトレンチ側壁を
バケットのみで掘削



バケットシリンダー内の油圧
を圧力計・動ひずみ測定器
を介して計測。



表層地盤の強度推定の必要性

- 切土掘削斜面における表層崩壊 ➡ 概ね数mオーダーの範囲
- 多くの切土掘削工事の現場に配置している機材を使用できないか？
- 将来的に現地作業員が各自で判断できる仕組につなげる

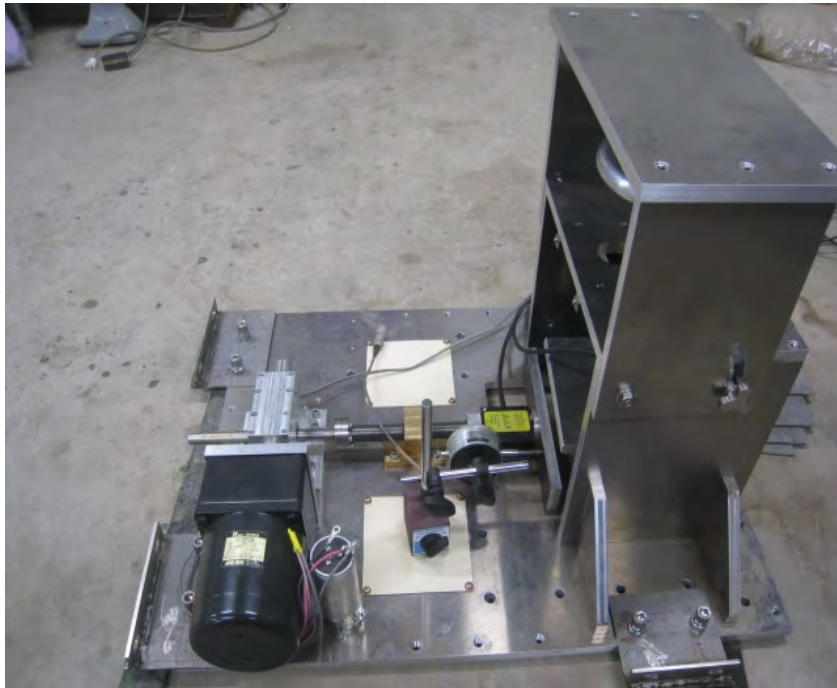


バックホーを利用した表層掘削による
表層地盤の強度推定手法の開発

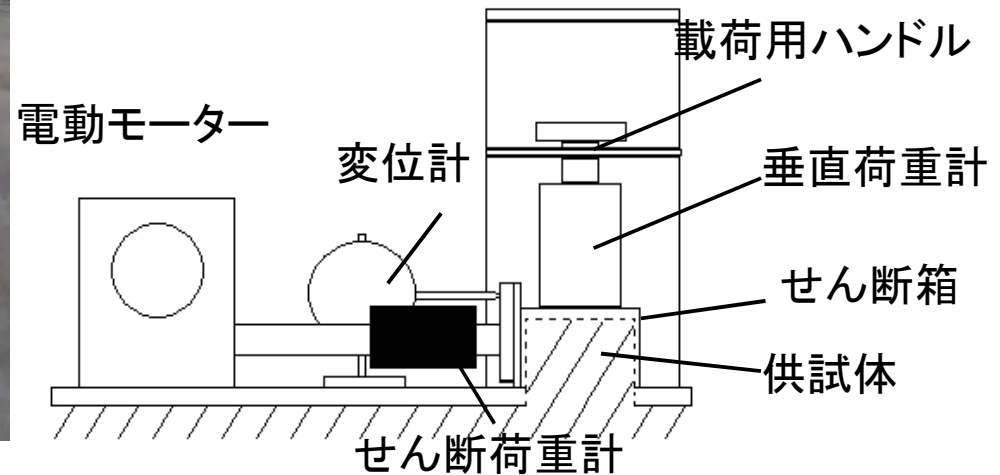
上記手法開発のため原位置で精度のよい土の強度評価を行う手法の開発

➡ 原位置一面せん断試験機の開発と性能の評価

改良型原位置一面せん断試験の開発



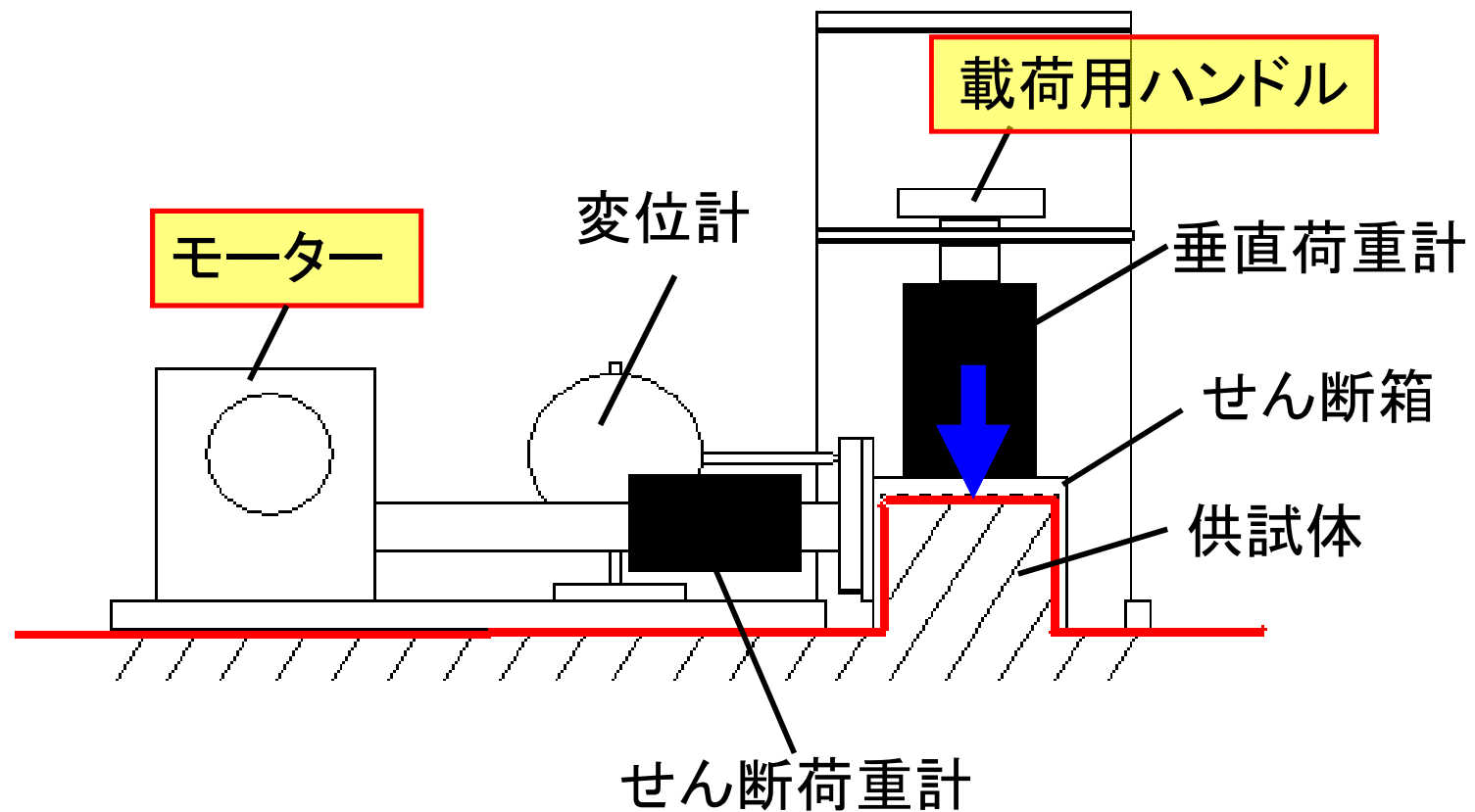
供試体寸法: 20 × 20 × 5 (cm)



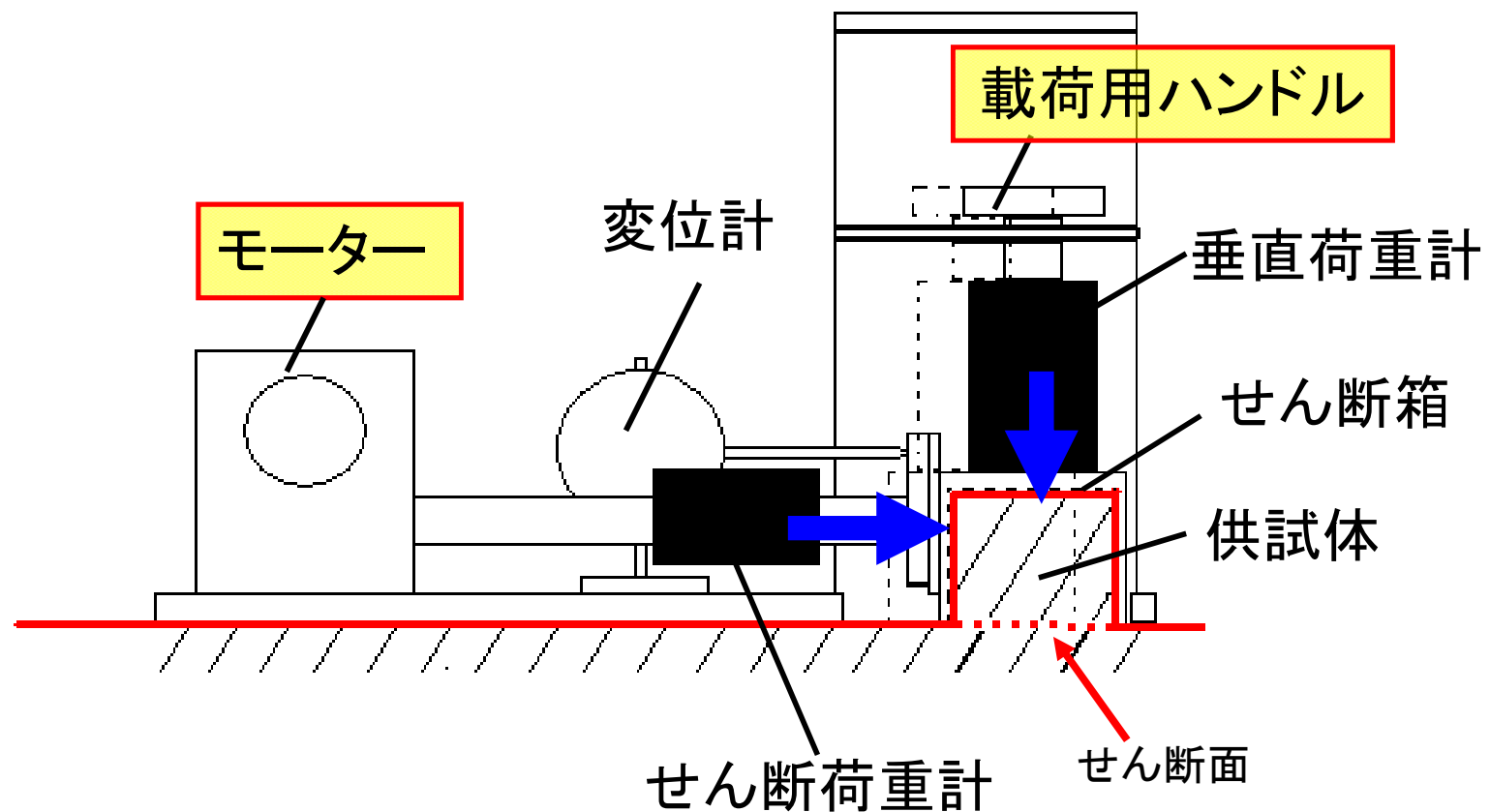
●主な改良点

- ・礫混じりの地盤において、供試体寸法の影響を減らすようせん断箱を拡大
- ・大きな強度を有する土質に対して安定したせん断変位を与えられるようモーター駆動とした

改良型原位置一面せん断試験の概要



改良型原位置一面せん断試験の概要



対象試料

風化土の土質試験結果

土粒子の密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.84
最適含水比	w_{opt}	(%)	35.5
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.306



対象試料(風化土)

対象試料

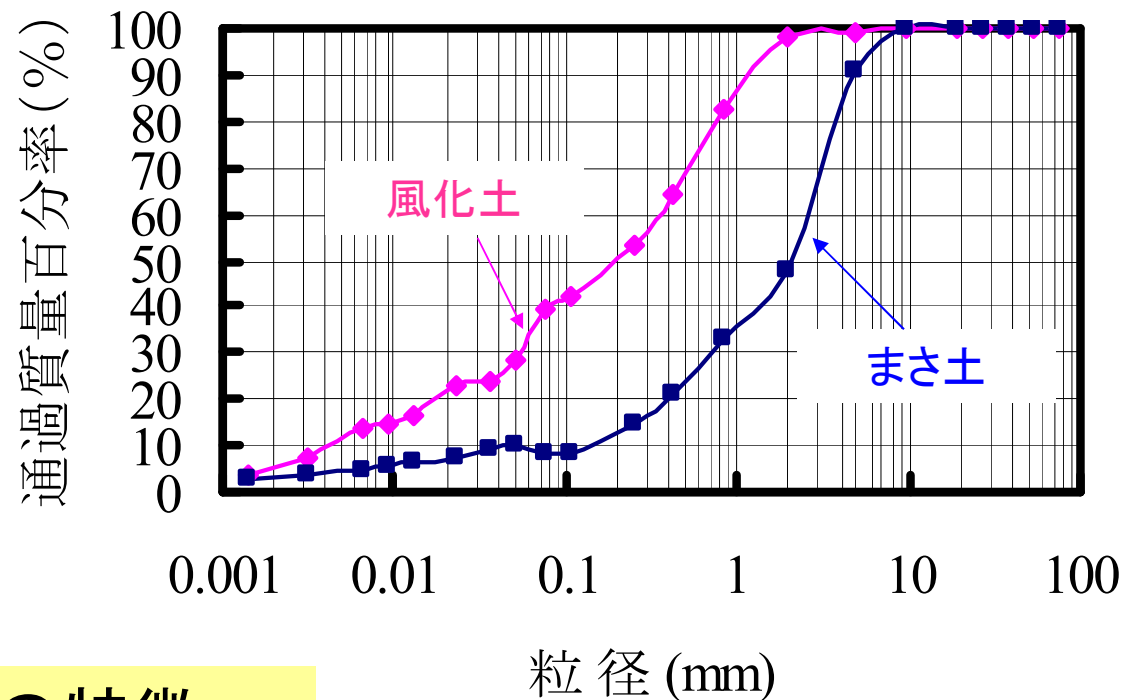
まさ土の土質試験結果

土粒子の密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.52
最適含水比	w_{opt}	(%)	12.0
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.913



対象試料(まさ土)

対象試料の粒度分布

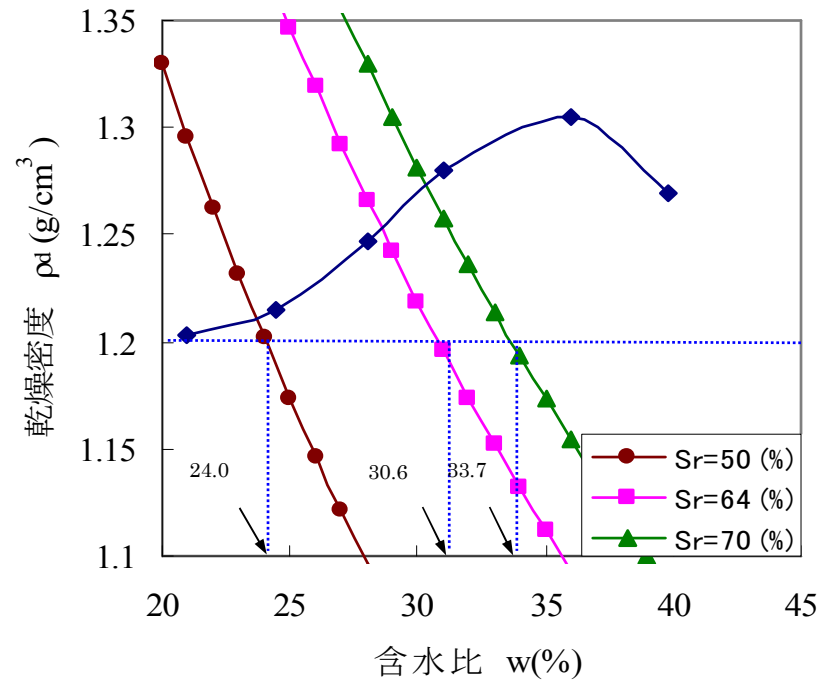


両者の特徴

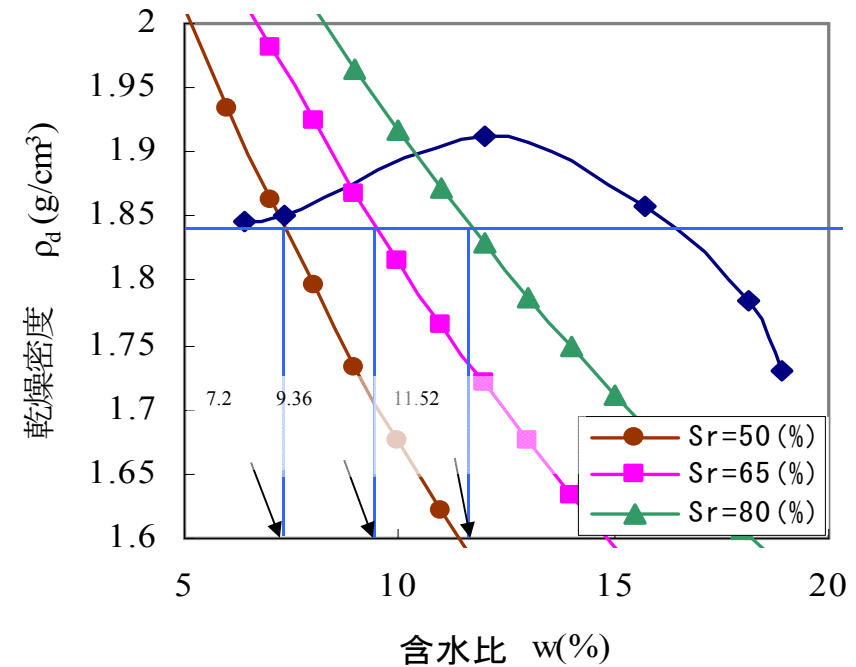
- 粒径の含有幅が広い
- 水分を過度に含むと粘土のような性質を示す

攪乱試料の締め固め条件

風化土



まさ土



実験ケース

風化土

飽和度 (%)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	上載圧に相当する土被り深さ (m)
50	24.0	1.2	0.5 , 1.0 , 1.5
64	30.6		
70	33.7		

まさ土

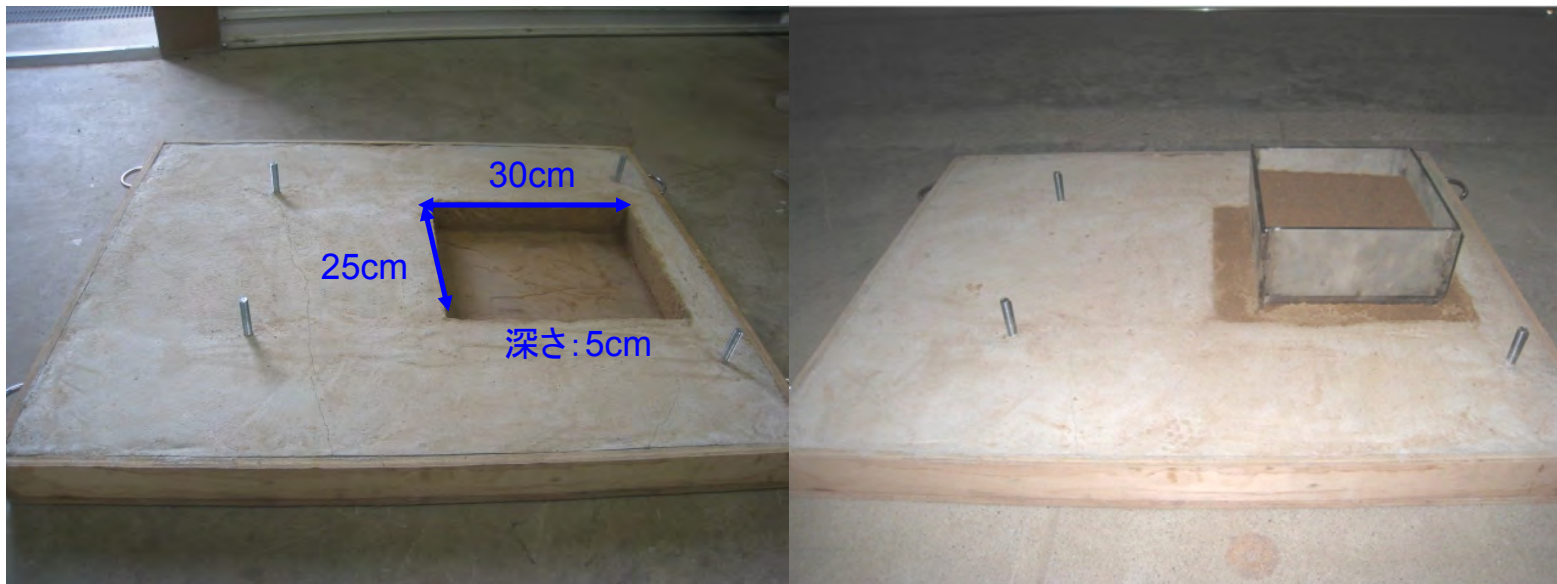
飽和度 (%)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	上載圧に相当する土被り深さ (m)
50	7.2	1.85	0.5 , 1.0 , 1.5
65	9.36		
80	11.52		

供試体作成方法

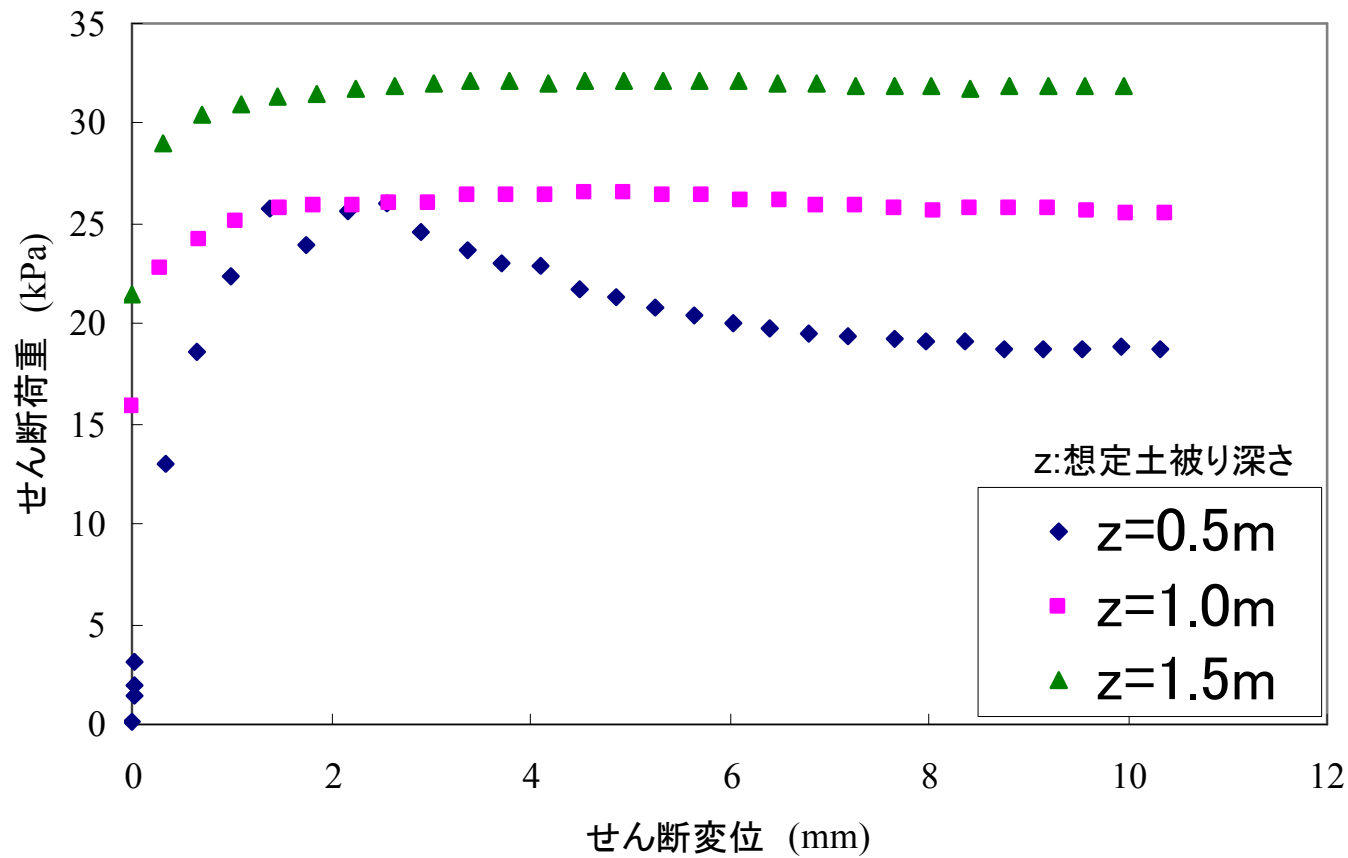
原位置一面せん断試験の精度評価のための実験



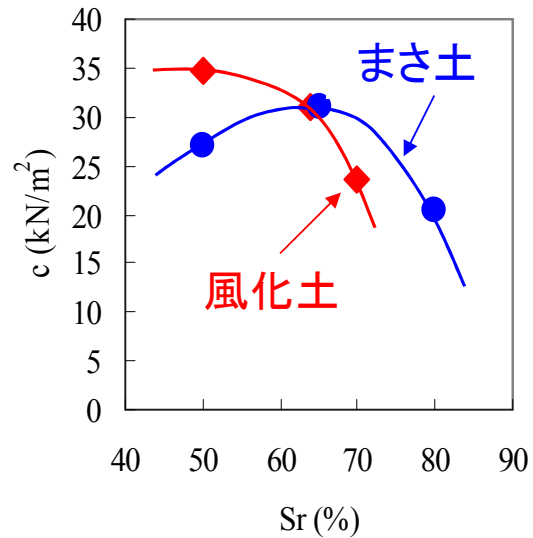
室内試験の結果と比較を行うため
締固め条件を統一した



せん断変位とせん断荷重の関係

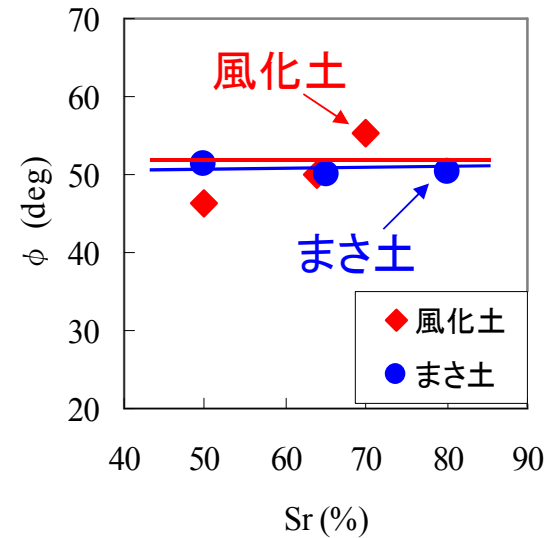


試験結果



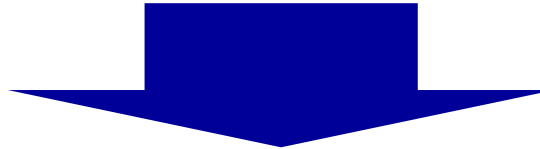
飽和度 S_r と粘着力 c の関係

飽和度の増加に伴い粘着力
に減少傾向が見られる



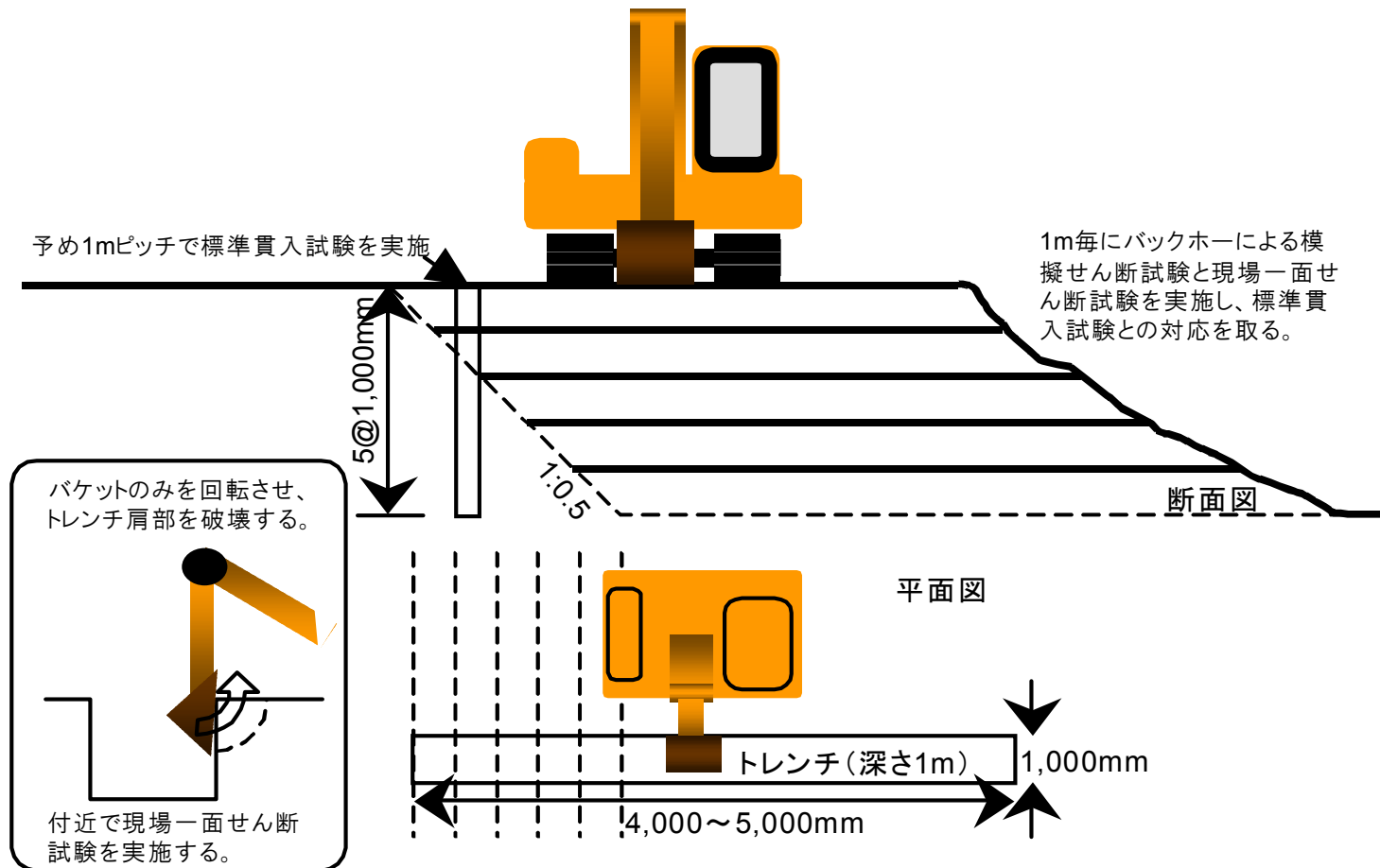
飽和度 S_r と内部摩擦角 ϕ の関係

50° 付近でほぼ一定である



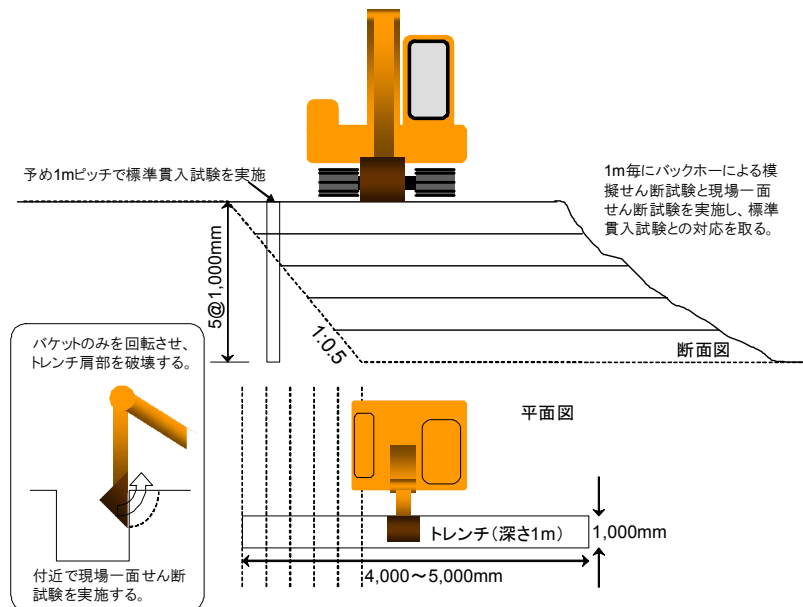
粘着力に着目した表層地盤の強度評価を行う

バックホウによる地盤の掘削方法



溝掘り箇所において6~8回の掘削実験を行う
同時にバックホウの油圧変動を測定

建設機械を用いた地山の強度推定に関する研究



原位置一面せん断試験 バックホー掘削実験 (標準貫入試験)



バックホーによる掘削実験の様子



原位置一面せん断試験機による検証

バックホーによる地盤の掘削方法



- ・Eモード(軽負荷作業モード)
- ・アイドリング(ミニマムな回転数)
- ・フルレバー(バケット油圧全開)
- ・ブームとバケットの垂直性
- ・使用機械の最大油圧34.8MPa

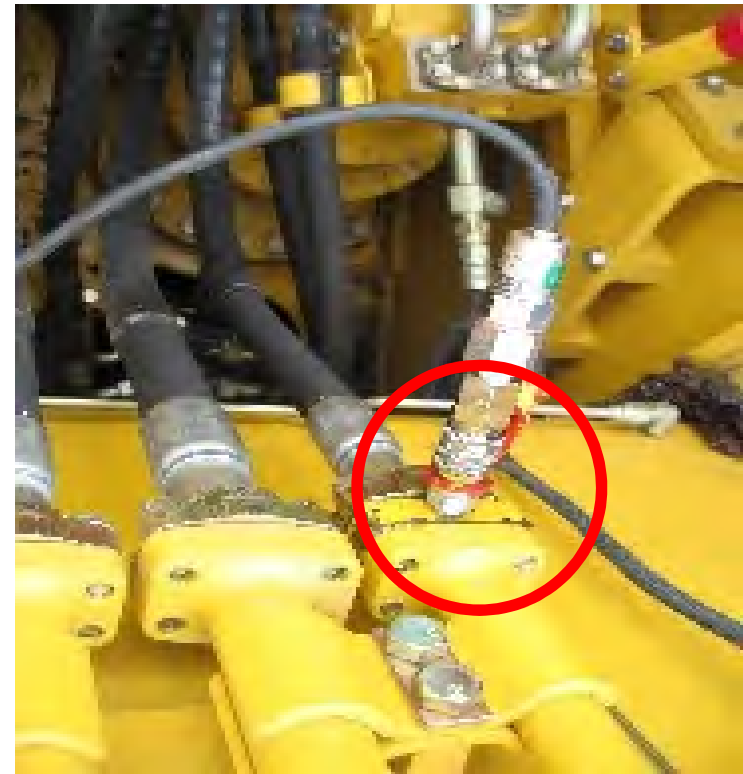


掘削状況

油圧モニタの信頼性確認のための油圧計測



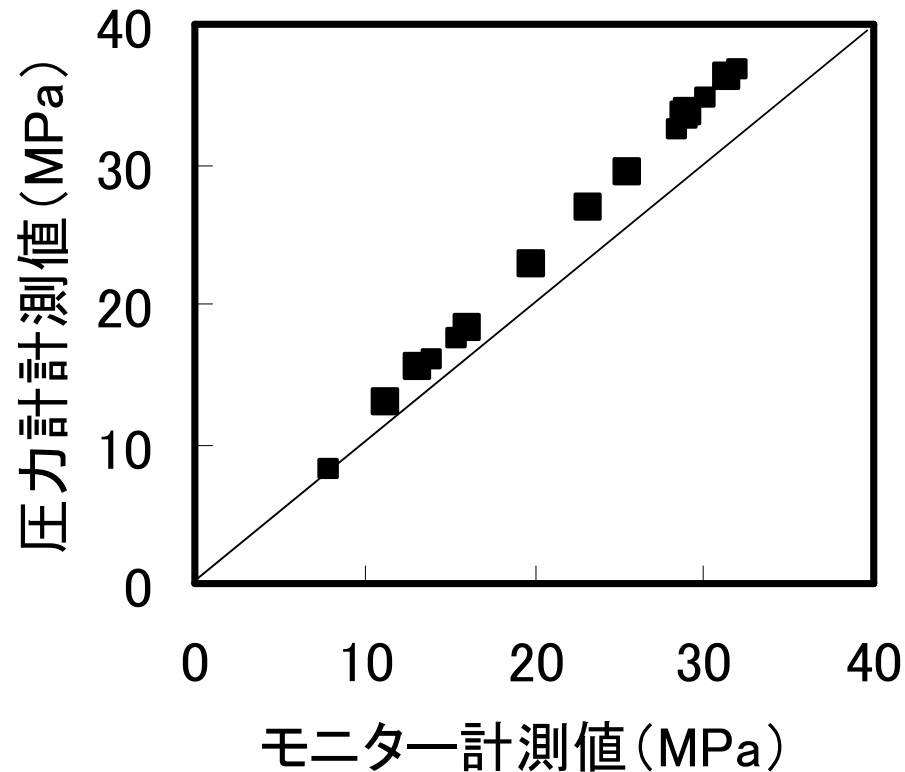
アタッチメント



取付け状況

油圧配管継手部にアタッチメントを挿入
圧力計により直接油圧を計測

油圧モニターとシリンダーの油圧ゲージの関係



圧力計と運転席モニターの油圧表示値との関係

油圧の相関は概ね1対1の値

モニタに表示される値の利用は可能

バックホーによる掘削状況

H=0.5m



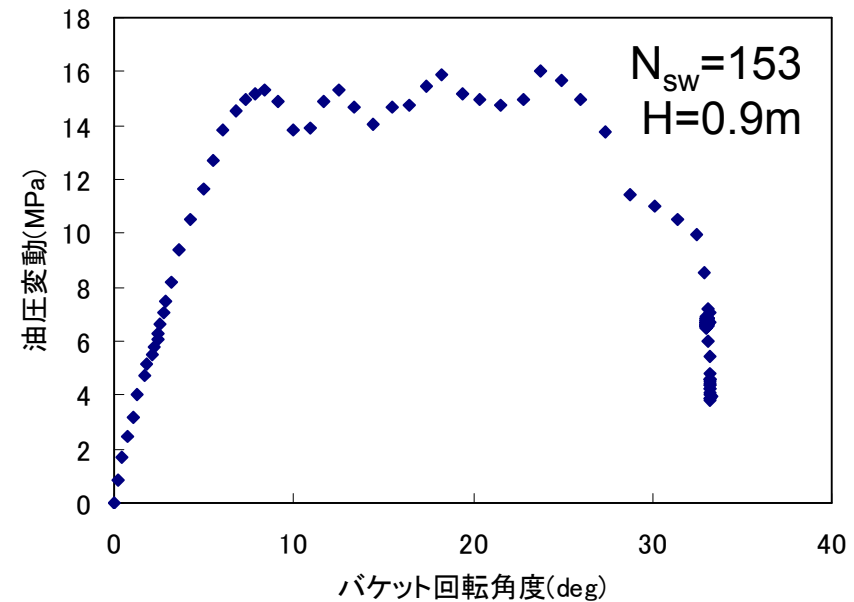
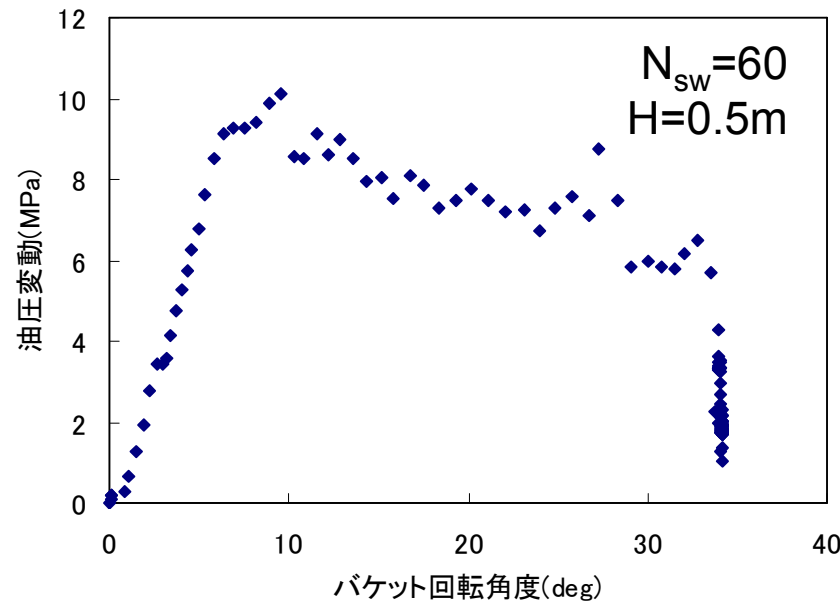
H=0.9m



0.5mに対し0.9mの方が土塊の破壊領域が大きく、
毎回の掘削でばらつきが見られる

バックホーの油圧変動とバケット回転角の関係

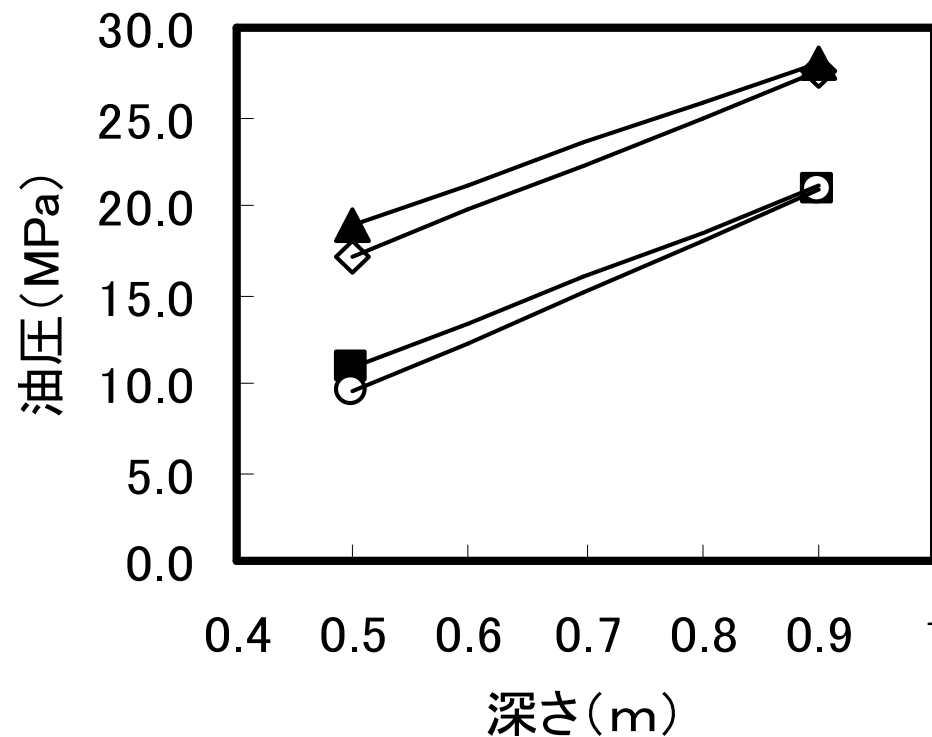
バックホーの油圧変動の一例



- ・回転角が概ね5～20° 程度で最初のピーク値が現れる
- ・最初のピーク値を以って掘削部全体が破壊したとみなす

掘削深さと油圧の関係

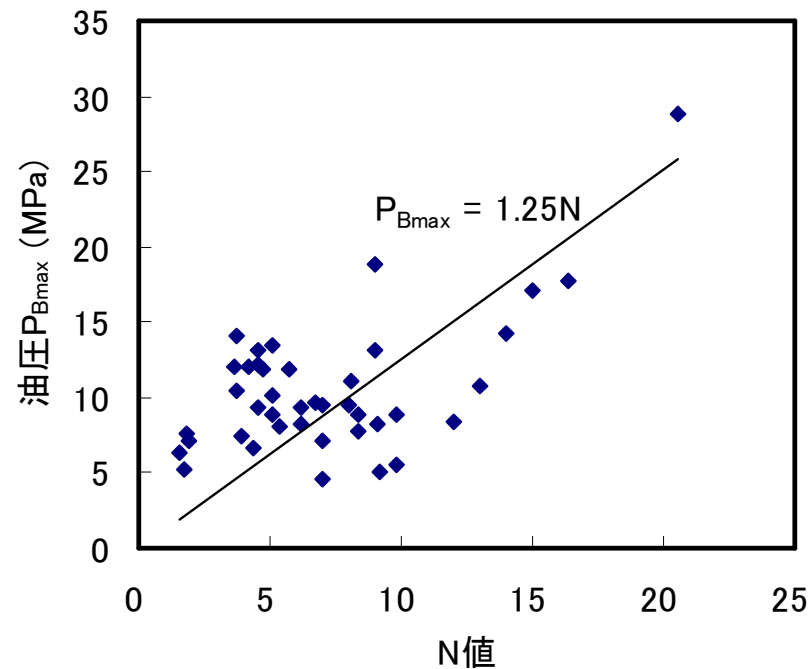
バケット掘削深さとバックホーの油圧との関係の一例



深さが増すにつれて油圧はほぼ一定の割合で増加

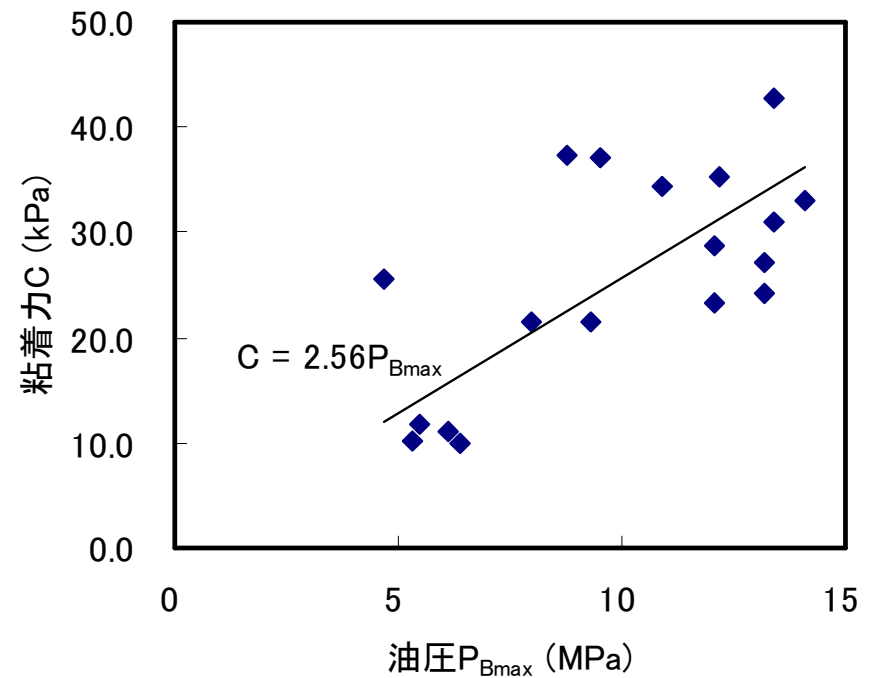
掘削深さと油圧の関係

油圧 P_{Bmax} —N値の関係



・標準貫入試験の結果もしくはスウェーデン式サウンディング試験から得られた値を換算したN値に基づく

粘着力 C —油圧 P_{Bmax} の関係



・原位置一面せん断試験から得られた粘着力 C に対し油圧 P_{Bmax} が正の相関を示した。

今後の展開

➤ 性質の異なる土質におけるバックホーによる実験の実施

➡ 大分類の土質間で生ずる油圧変動の傾向の把握
軟弱地盤の支持力評価への応用

➤ メーカー・機種・バケットサイズ間の適用範囲・取得データの検証

➡ 簡単な換算で汎用性のある評価法の検討

➤ 建機メーカーの協力に基づくシステムの構築

➡ モニター上での警告表示等、作業員も判断が可能なツール