

セメントを安定材に用いた事前混合処理土の強度に及ぼす粒度の影響

伊藤 臣政*・辻 幸和**

セメントを安定材に用いた事前混合処理土の強度は、セメントの種類とその添加率のみならず、処理対象土の種類、細粒分含有率によっても変化する。本文は、それらの原因を明らかにするため、粒度を調整した山砂事前混合処理土の強度とその粒子間隙におけるセメント水和物の架橋状況、さらに水セメント比が変化した場合の粒度の影響を検討した。その結果、処理対象土の粒度が、事前混合処理土の強度に影響を及ぼすのは、貧配合の場合に限られること、そして粒子間隙の小さいものほど、セメント水和物の架橋が密であり、事前混合処理土の強度が増大することなどを明らかにした。

Keywords : cement stabilization, grading, cement hydrate, pore, water cement ratio

1. ま え が き

近年、地震時における砂質土地盤の液状化に伴う土木構造物の被害が問題となり、種々の対策工法が開発されている。それらの1つに事前混合処理工法がある^{1)~3)}。この工法は、例えば処理対象土の山砂に安定材としてのセメントを事前に混合した処理土を用いて水中に人工地盤を造成するものであり、安定材の化学的固化作用により事後の地盤改良を不要とするものである。

このような砂質事前混合処理土の強度は、安定材の種類およびその添加率に主として支配されるが、処理対象土の性状によっても変化する。例えば、処理対象土の種類が異なると安定材の使用効果が著しく変化すること⁴⁾、山砂事前混合処理土の強度は、山砂中の細粒分含有率により変化すること^{5), 6)}などが報告されている。

ところで、コンクリートの固化は、セメント水和物が骨材間を架橋することによるものであり⁷⁾、その強度は、骨材が良質であれば、骨材間隙を架橋するセメント水和物の体積が骨材間隙空間に占める割合、すなわち、セメント水和物の間隙充填率に比例する⁸⁾と考えられている。セメント水和物の間隙充填率は、施工条件、養生条件と材令が同じであれば、水セメント比の逆数に比例する。

セメントを安定材に用いた事前混合処理土の場合、水セメント比が大きいので、セメント水和物の粒子間隙充填率は、一般にコンクリートの約1/3以下と小さい。この特徴が、事前混合処理土の固化機構に影響を及ぼすものと考えられる。すなわち、セメント水和物の粒子間隙充填率の低下とともに、粒子間隙中のセメント水和物は、密に連続した状態から、個々に独立した状態に変化する

のである。そして、粒子間隙の空間距離すなわち間隙寸法より小さいセメント水和物は、架橋が不可能となる。すなわち、セメント水和物の粒子間隙充填率が同じである事前混合処理土の強度には、間隙寸法が影響を及ぼすことになる。間隙寸法は、処理対象土の粒度および粒形ならびに事前混合処理土の締め固め度により変化する。従って、事前混合処理土の強度は、処理対象土の種類および細粒分含有率などの変化に影響されるものと考えられる。

本文は、このような見地から、事前混合処理土の強度に及ぼす粒度の影響について、事前混合処理土の室内強度試験と粒子間隙の顕微鏡観察により検討したものである。すなわち、まず、適当な間隙寸法になるように粒度を調整した同じ配合の山砂事前混合処理土の強度を比較して粒度すなわち間隙寸法の影響を調べ、次に、強度試験に用いた供試体を顕微鏡観察して粒度と間隙寸法とセメント水和物の架橋状況の関係を調べた。さらに、セメント水和物の粒子間隙充填率が変化した場合に粒度が強度に及ぼす影響の度合いを把握するため、水セメント比と粒径の異なるガラスビーズ事前混合処理土の強度についても検討している。

2. 試験の概要

試験に用いた材料を表-1に示す。処理対象土は、山砂系として山砂、山砂から細粒分を除去した洗砂、ふるい分けにより粒径を均等化した粗粒砂、中粒砂、細粒砂、およびガラスビーズ系として粒径が均等な5種類のガラスビーズである。これらの粒度を表-2に示す。表には、最大粒径、60% 粒径、10% 粒径、最小粒径および均等係数を示している。

事前混合処理土の配合を表-3に示す。山砂系事前混合処理土は、水セメント比が271%のS271、ガラスビーズ系事前混合処理土は、水セメント比が50%、100%、

*正会員 群馬大学大学院 工学研究科 (生産)
(〒376 桐生市天神町1-5-1)

**正会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科

表一 使用材料

記号	材料名	種類・物理的性質
C	セメント	高炉セメントB種
W	水	千葉市水道水
S	山砂	千葉県富津産 表乾比重 2.71 粗粒率 1.34
G	ガラスビーズ	真比重 2.49

表二 処理対象土の粒度

記号	名称	粒径 (μm)				均等 係数 U _c
		最大 D _{max}	60% D ₆₀	10% D ₁₀	最小 D _{min}	
YS	山砂	2000	325	134	0	2.43
WS	洗砂	2000	328	140	75	2.34
FS	細粒砂	250	192	120	106	1.60
MS	中粒砂	425	355	268	250	1.32
CS	粗粒砂	850	680	468	425	1.45
G08	ガラス08	88	78	66	63	1.18
G12	ガラス12	125	117	107	105	1.09
G21	ガラス21	250	221	184	177	1.20
G43	ガラス43	500	440	365	350	1.21
G85	ガラス85	990	878	738	710	1.19

表三 事前混合処理土の配合

記号	水セメン ト比 (%)	単位量 (kg/m ³)		
		水	セメント	細骨材
	W/C	W	C	S or G
S271	271	388	143	1,469
G050	50	233	466	1,494
G100	100	290	290	1,494
G300	300	347	116	1,494

300%のG050, G100, G300の配合とした。

供試体は、ホバート型ミキサにより練り混ぜた事前混合処理土を径が5cm・高さが10cmのモールドに打込み、飽和湿気中において28日間養生したものである。そして、強度試験は、一軸圧縮試験(JIS A1216)によった。

3. 山砂系事前混合処理土の強度に及ぼす粒度の影響

処理対象土の粒度を調整した山砂系事前混合処理土の強度試験結果を表一に示す。3本の平均値であるが、試験値の範囲についても示している。

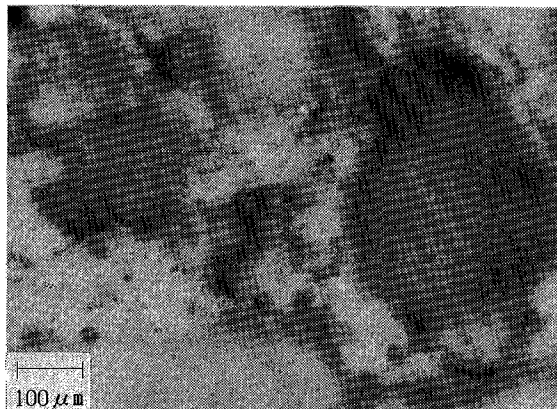
粒子の間隙寸法を主に支配する処理対象土の粒度が事前混合処理土の強度に及ぼす影響は次のようである。す

表四 山砂系事前混合処理土の強度試験結果

記号	処理対象土	一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)
YS	山砂	18.9 (18.6~19.4)
WS	洗砂	14.0 (11.9~16.0)
FS	細粒砂	14.5 (12.2~15.9)
MS	中粒砂	11.1 (10.4~12.2)
CS	粗粒砂	6.2 (5.9~6.8)

配合は S271, 試験材令は28日

()内は、試験値の範囲を示す。



写真一 山砂事前混合処理土の間隙とセメント水和物

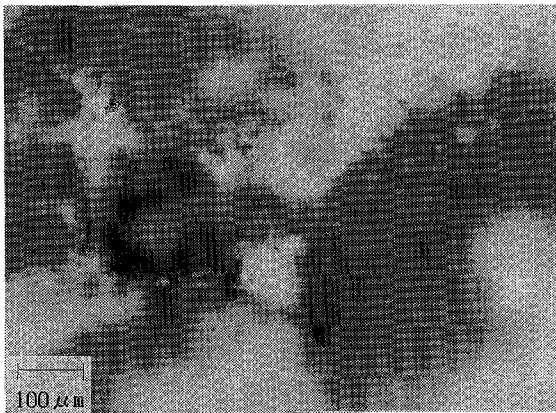
なわち、山砂から細粒分を除去した洗砂事前混合処理土の強度は、山砂事前混合処理土の強度の74%であることから、山砂中の細粒分含有率が低下すると、山砂事前混合処理土の強度は低下する。また、粒径が均等な事前混合処理土の強度を比較すると、強度の高いものから細粒砂、中粒砂、粗粒砂の事前混合処理土の順であり、細粒砂と粗粒砂それぞれの事前混合処理土の強度比は2倍を超えている。このことは、粒径が均等な砂質土において、粒径が大きいものほど、その事前混合処理土の強度は低下することを示している。

上記の山砂系事前混合処理土の強度低下の要因となった山砂における細粒分の減少および粒径が均等な砂における粒径の増大は、粒子の間隙寸法を増大させる要因であり、間隙寸法の増大は事前混合処理土の強度を低下させるものと推察される。

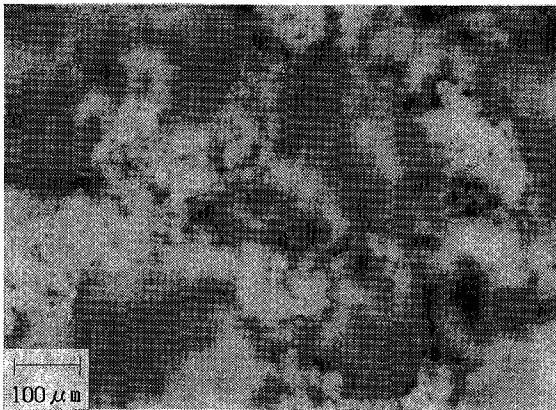
4. 山砂系事前混合処理土の粒子間隙の観察

処理対象土の間隙寸法と事前混合処理土の強度の関係を確認するため、強度試験に用いた供試体の破壊面における間隙およびセメント水和物による架橋の状況を顕微鏡により観察した。

写真一は、山砂事前混合処理土の破断面を示したものである。大小さまざまな粒子が点在し、粒子の間隙は



写真一2 粗粒砂事前混合処理土の間隙とセメント水和物



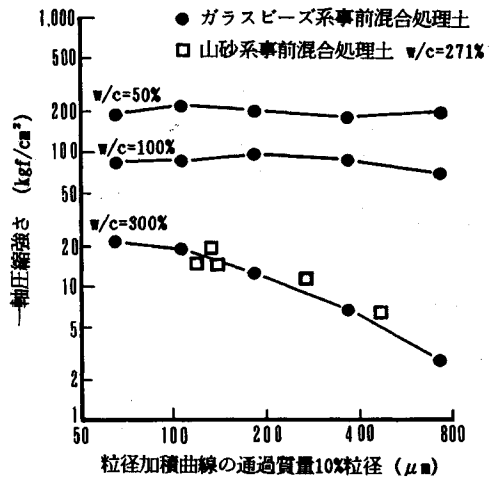
写真一3 細粒砂事前混合処理土の間隙とセメント水和物

狭い。その間隙は、白色のセメント水和物で密に埋められ架橋されている。また、セメント水和物の中には細粒分が点在しており、このことがセメント水和物を密にしている。

写真一2は粗粒砂事前混合処理土のものである。粗大な土粒子と大きな粒子間隙が認められる。粒子表面に生成している大きなセメント水和物は、粒子の間隙が大きいため、その先端が隣合う粒子表面まで達することができず、架橋していない。

細粒砂事前混合処理土の破断面を示したのが写真一3である。小粒径の粒子が多くみられる。その間隙寸法は狭く、セメント水和物が比較的密に架橋している。

これらの写真の観察結果をまとめると、次のようである。すなわち、事前混合処理土の間隙寸法は、粗粒砂で大きく、細粒砂および山砂で小さいことから、砂質事前混合処理土の間隙寸法は、粒度に伴って変化し、小粒径の細砂を含むものが小さい。そして、セメント水和物の架橋は、細粒砂および山砂の事前混合処理土において密であるが、粗粒砂事前混合処理土において著しく疎であることから、セメント水和物の架橋は、粒子の間隙寸法の小さい事前混合処理土において密である。なお、セメ



図一1 水セメント比と粒度が及ぼす影響

ント水和物は、細粒分を含むことにより、見かけの体積が増大することが認められた。

以上から、事前混合処理土の強度は、粒子の間隙寸法の小さいものにおいて高いことが示され、間隙寸法を支配する要素の1つである粒度、特に処理対象土の細砂および細粒分の含有量が事前混合処理土の強度に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。すなわち、処理対象土の性状により事前混合処理土の強度が変化することの要因の一つが明らかとなったと言える。

5. 水セメント比と粒度が及ぼす影響

セメント水和物の粒子間隙充填率、すなわち、水セメント比の変化に伴い、粒子間隙の架橋状況が変化すると考えられる。この考えの確認のため、水セメント比と処理対象土の粒径を要因とする事前混合処理土の強度試験を実施した。事前混合処理土の強度は、処理対象土の鉱物的組成および粒形によっても変化する。その影響を排除するため、鉱物的組成と粒形が均一なガラスビーズを処理対象土とした。セメント水和物の粒子間隙充填率をおよそ80%、50%、20%とすることを目標に、水セメント比をそれぞれ50%、100%、300%とした。

一軸圧縮強さの試験結果を図一1に、山砂系事前混合処理土の結果と併せて示す。横軸は、粒子の間隙寸法と相関性が高いと考えられる10%粒径で表示している。

水セメント比が50%において、各粒径の事前混合処理土の強度はほぼ同等であり、粒径の影響はほとんど認められない。水セメント比が100%においては、粒径の最も大きな事前混合処理土の強度がやや小さいものの、その他の事前混合処理土は、ほぼ同等の強度であり、粒径の影響はほとんど認められない。しかしながら、水セメント比が増加して300%になると、粒径の影響が顕著であり、事前混合処理土の強度は、粒径の大きいものほ

ど低くなっている。そして、この傾向は、水セメント比が271%の山砂系事前混合処理土と同様である。

以上より、処理対象土の粒径が事前混合処理土の強度に影響を及ぼすのは、水セメント比が100%を超えた場合に認められ、300%前後の貧配合の事前混合処理土において顕著であること、そして、その影響は、山砂系事前混合処理土においても、ガラスビーズ系事前混合処理土においても、ほぼ同様の傾向であり、鉱物組成あるいは粒形によるものではないことが示唆されるのである。

久保らによる山砂事前混合処理土の実験によると、その強度が、山砂中の細粒分の増加に対し、水セメント比が310%および480%の場合は線形的に増大し、水セメント比が1000%の場合は一定で変化しないことが報告されており⁵⁾、処理対象土の粒度が事前混合処理土の強度に影響を及ぼす水セメント比の上限が存在し、それが1000%未満であることを示している。

この結果を勘案すると、処理対象土の粒度が事前混合処理土の強度に影響を及ぼすのは、粒子の間隙寸法にも関連するが、水セメント比が271%から480%を含むある範囲の貧配合の処理土においてであると言える。

6. 結 論

本文では、事前混合処理土の強度に及ぼす処理対象土の粒度の影響について、粒度を要因とした山砂系事前混合処理土の強度実験結果を報告するとともに、粒子の間隙とセメント水和物の架橋状況を顕微鏡で観察した結果を示した。さらに、水セメント比と粒径を要因としたガラスビーズ系事前混合処理土の強度についても、検討した。本研究で得られた主な結果は、次のようである。

(1) 事前混合処理土の強度は、水セメント比がある範囲にある貧配合の場合において、処理対象土の粒度の影響を顕著に受ける。

(2) 水セメント比がある範囲にある貧配合の事前混合処理土の強度に及ぼす粒度の影響については、①山砂中の細粒分含有率の低下に伴い、事前混合処理土の強度は低下すること、②粒径が均等な砂質土は、粒径が大き

いものほど、事前混合処理土の強度は著しく低下することが明らかになった。

(3) 処理対象土の粒度が、事前混合処理土の強度に影響を及ぼす要因の一つは、セメント水和物の架橋状況が、粒子の間隙寸法により変化することによるものであると考えられる。セメント水和物の架橋は、事前混合処理土の間隙寸法が小さいほど、密になる。すなわち、事前混合処理土は、同じ配合でも、細砂、細粒分の増加により、強度が増大する。

以上の知見により、砂質事前混合処理土の品質管理において、処理対象土の粒度、特に細砂・細粒分の含有率の変動に配慮すべきこと、また、処理対象土の性状の変動に対して、粒度調整によって、事前混合処理土の強度を安定化させるなどの対応が容易となることが示された。

参 考 文 献

- 1) 善 功企ほか：セメント混合した砂質土の埋立工法に関する研究—改良土の基本的特性と混合・埋立実験—、港湾技研資料、No. 579, 1987.
- 2) 前田依彦・篠原洋司：東京湾横断道路建設における土質工学的諸問題について、土木学会論文集、第400号/Ⅲ-10, pp. 13~28, 1988.12.
- 3) 後藤年芳・片岡宏治：土を固める、コンクリート工学、Vol. 28, No. 8, pp. 52~62, 1990.8.
- 4) 善 功企：液状化対策としての事前混合処理工法の開発、土と基礎、Vol. 38, No. 6, pp. 27~32, 1990.6.
- 5) 久保博・漆原知則・川地武：水中打設ソイルセメント工法に関する研究（その8）、第26回土質工学研究発表会講演集、pp. 2047~2048, 1991.
- 6) 伊藤亜政・富岡良光・辻幸和：関東ロームなどの細粒分が事前混合処理盛土の強度と流動性に及ぼす影響、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、V-270, pp. 556~557, 1991.
- 7) 後藤誠史・大門正機：エトリンガイト、セメント化学雑論、セメント協会、pp. 59, 1985.
- 8) Neville, A. M. : Properties of Concrete, 3rd edition, Longman Scientific & Technical, pp. 268~279, 1987. (1992.2.10 受付)

EFFECT OF GRADING OF SANDY SOIL ON STRENGTH OF CEMENT TREATED SANDY SOIL

Tsugumasa ITO and Yukikazu TSUJI

The strength of the cement treated sandy soil depends on the kind of the soil to be treated and also on the amount of fines, i.e. silt and clay portion, as well as on the kind of the cement used and its amount added. In order to clarify such inter-relationships, this paper intends to study, first, the strength variations of the cement treated sandy soil with different gradings and corresponding bridging state of the cement hydrates in the pores, and secondly the effects of grading with different water cement ratio. The strength of the cement treated sandy soil is found to be affected by the grading of the soil only in case of lean mix. It was also found that with smaller distance between soil particles, the cement hydrate bridging tends to be denser, thereby increasing the strength of the cement treated sandy soil.

圧密解析ソフト パソコンに上陸!!

未来設計企業
CRC

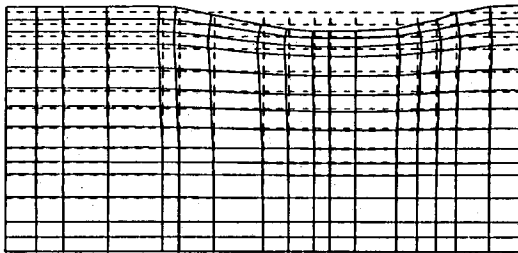
地盤の非定常圧密解析プログラム

Mr. 圧密

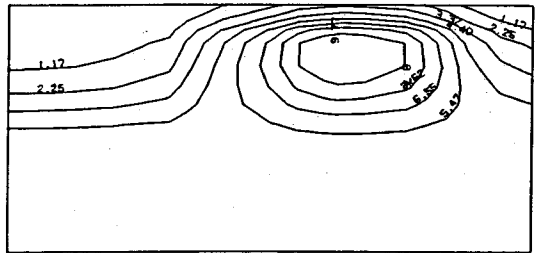
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケールングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化处理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧コンター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06)241-4121 営業担当: 岩崎

個別要素法プログラム

未来設計企業

CRC

CRC-ITASCAが提供するカンドールモデル個別要素法(DEM)!!

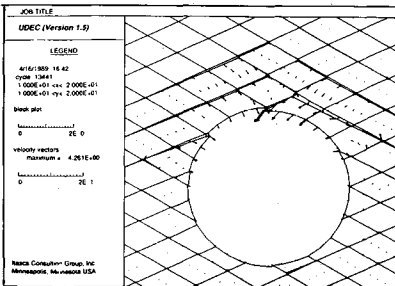
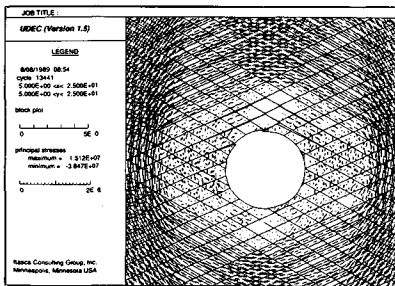
二次元個別要素法プログラム(ソースコード)

UDEC

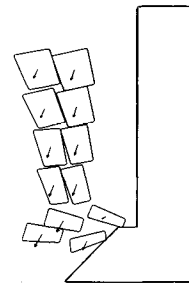
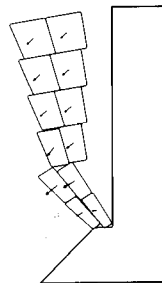
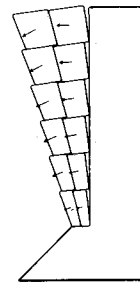
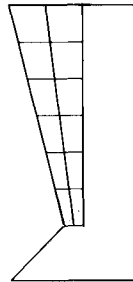
三次元個別要素法プログラム(ロードモジュール)

3DEC

個別要素法とは、1971年にDr. P. Cundallが発表した不連続体に対する動的崩壊過程をシュミレートするための解析手法です。すなわち、岩盤をジョイントとブロックから構成される岩石ブロックの集合体と考え、個々のブロックの挙動を時々刻々に追跡し、全体挙動を解析しようとするものです。集合体としての岩盤や地盤が最終的に、安定状態となるものか、あるいは大変形するのか、崩壊していくのかなど、時間の経過に伴うモデル全体のブロックの動きや破壊の進行の様子を視覚的に追跡できます。現在、岩盤・地盤の崩落や安定性の解析など、不連続体力学の有力な解析手法となっています。



大深度地下掘削時の安定解析



岩盤斜面崩落シミュレーション

- 岩盤の転倒・滑落解析
- 岩盤の掘削解析
- 不連続性岩盤の安定解析
- 地震応答解析
- 浸透—ブロック連成解析(UDEC)
- 熱—ブロック連成解析(UDEC)

■販売条件

UDEC・3DEC

- ◆ EWS, SUN-SPARC, HP, SONY-NEWS
- ◆ IBM-PC/AT及び互換機
- ◆ UDECはソースコードで提供します。
- ◆ 3DECはロードモジュールで提供します。

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

〒541
大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06)241-4121 営業担当: 岩 崎

より現実的な解析を！

未来設計企業
CRC

任意形状臨界すべり面自動決定プログラム

Mr. 一番すべり

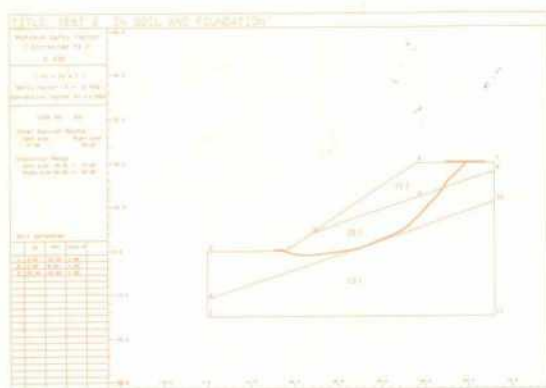
・概要

Mr. 一番すべりは、簡易 Janbu 法に基づき任意形状臨界すべり面位置を自動的に探索し、安全率を計算する斜面安定解析プログラムです。また、操作性が良く、グラフィックやプロッタ出力も充実しています。

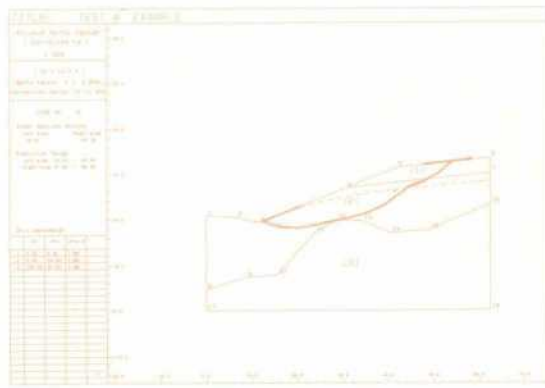
・適応機種 NEC PC9801シリーズ

・価格 50万円（税別）

・適用例



傾斜地盤上の盛土



凸形基盤上の切土斜面

☆デモプログラム貸出し中

あなた自身の手では是非ご確認下さい。

株式会社CRC総合研究所 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当：岩崎