

投稿論文 (和文)
TECHNICAL
PAPER

ファジィ回帰モデルに基づくトンネル岩盤分類と岩種特性

鈴木昌次*・古川浩平**・井上洋司***・
中川浩二****

著者らはすでに、花崗岩地山に施工されるトンネルに対するファジィ岩盤分類基準式を提案している。本研究では同様な手法を粘板岩、黒色片岩地山に施工されたトンネルに適用し、岩種ごとの岩盤分類基準式を同定した。また、各岩種の岩盤分類基準式に採用された岩盤分類要素とファジィ係数から、各岩種の岩盤分類基準式が岩種の基本的な物理特性を反映したものであることを示した。

Keywords: characteristics of rock, rock mass classification, the fuzzy regression model, granite, slate, schist

1. はじめに

トンネルの施工中に行われる切羽の岩質判定においては参考とするデータが主として切羽の状態や開削後の状態等となるため、現状では適用する基準も定性的な記述によらざるを得ない。このようなことから現状の岩質判定は従前の施工経験、切羽および切羽周辺の目視観察を主たる参考資料とした技術者の経験的判断に依存して行われている。

著者らはこのような施工中の岩質判定を専門技術者の経験的主観に基づく一つのあいまいシステムであると考え、ファジィモデルの概念に基づく可能性線形システムを用いて、現時点で実際に行われている岩質判定の過程を定量的に表現することを試みた¹⁾。ここでは、広島型花崗岩地山に施工されたトンネル（以下、花崗岩トンネルという）での切羽観察記録と岩質判定結果を用いて可能性線形システムを同定し、このシステムがトンネル施工中の切羽における岩盤分類基準式として利用できることを示した。

本報では前報¹⁾の花崗岩トンネルに加え、粘板岩、黒色片岩地山に施工されたトンネル（以下、粘板岩トンネル、片岩トンネルという）における岩盤分類基準式を同定する。さらに、それらの比較により各岩種の一般的な物理的性質との関連において、提案式の工学的な妥当性を検討するとともに、岩種ごとのトンネル切羽としての特性を明らかにするものである。

2. 岩盤分類基準式の同定

前報では花崗岩トンネルにおける岩盤分類基準式として下式(1)を提案した¹⁾。

$$Y = (1.0, 0.0)X_D + (0.25, 0.25)X_C + (0.0, 0.5)X_I \quad (1)$$

同様に粘板岩トンネル、片岩トンネルに対する岩盤分類基準式を同定した結果を式(2)、(3)に示す。同定の手法については前報¹⁾を参照されたい。同定に用いたデータは粘板岩トンネルで6トンネル、全210データ、片岩トンネルで3トンネル、全188データである。

$$Y = (0.55, 0.0)X_C + (0.0, 0.38)X_D + (0.51, 0.0)X_E \\ + (0.09, 0.02)X_H + (0.35, 0.0)X_I \dots \dots \dots (2)$$

$$Y = (0.15, 0.0)X_C + (0.59, 0.0)X_E + (0.13, 0.0)X_F \\ + (0.41, 0.0)X_G + (0.0, 0.38)X_H + (0.15, 0.0)X_I \\ \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 X_C, X_D, \dots, X_I は図-1に示す切羽観察記録における◎～①項目の評価ランクを1～4の数値に対応させたものである。()で記述された係数は可能性分布であり、図-2に示す対称な三角形ファジィ数を採用している。三角形ファジィ数は式(4)で表現し、分布関数は式(5)で定義される。式(4)において、 β_j は中心、 C_j は可能性の幅を与えるものである。

$$A_j = (\beta_j, C_j) \quad j = C, D, E, \dots, I \dots \dots \dots (4)$$

$$\mu_{A_j}(\theta) = 1 - |\theta - \beta_j| / C_j, \quad C_j > 0 \dots \dots \dots (5)$$

図-3～5は式(1)～(3)を用いて各切羽の切羽観察記録から岩盤等級を予測した例である。図中、縦軸は岩盤等級、横軸は対象切羽であり、各切羽ごとに予測された等級の可能性分布を示している。黒丸は施工時の岩質判定結果を示す。ただし、判定等級は日本道路公団の定める地山等級A～D²⁾を1～4の数値に対応させたものであるため、判定値自身も図中の黒丸に関してある程度の幅を有する¹⁾。また、5以上の予測結果はD等級と判定される切羽の中でも特に劣悪な状態にあるものと解釈できる。

* 正会員 山口大学助手 工学部建設工学科 (現・(株)大本組技術研究所) (〒755 岡山市内山下1-1-13)

** 正会員 工博 山口大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 日本道路公団広島建設局建設第二部調査役 (現・西宮北管理事務所)

**** 正会員 工博 山口大学教授 工学部建設工学科

④	切羽の状態	1.安定	2.鏡面から岩塊が抜け落ちる	3.鏡面の押出しを生じる	4.鏡面は自立せず崩れるいは流出	
⑤	素掘面の状態	1.白(骨筋不要)	2.時間がたつと積み残る(後骨筋)	3.自立困難崩落後(先骨筋)	4.掘削に先行して出を受けておく必要がある	
⑥	圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 1000 \text{ kgf/cm}^2$ ハンマー打撃は返る	2. $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃でくだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でくだける	4. $50 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先くい込む	
⑦	風化変質	1.なし・健全	2.岩目に沿って変色、強度やや低下	3.全体に変色、強度相当に低下	4.土砂状、粘土状、砂状、当初より未固結	
⑧	割れ目の頻度	1.間隔 $d \geq 1\text{m}$	2. $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	3. $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	4. $5\text{cm} > d$ 破砕、当初より未固結	
⑨	割れ目の状態	1.密着	2.部分的に開口	3.開	4.粘土をはさむ、当初より未固結	
⑩	割れ目の形態	1.ランダム形状	2.柱状	3.層状、片状、板状	4.土砂状、細片状、当初より未固結	
⑪	湧水	1.なし、滲水程度	2.滴水程度	3.泉中湧水	4.全面湧水	
⑫	水による劣化	1.なし	2.緩みを生ず	3.軟弱化	4.崩壊・流出	
⑬	割れ目の方向性(傾斜角)をみて	掘削方向(切羽面)をみて 1.水平($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直($\theta \geq 80^\circ$) (最大傾斜角をとる)				
⑭	割れ目の方向性(傾斜角)をみて	掘削方向(切羽面)をみて 1.水平($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直($\theta \geq 80^\circ$) (切羽面のみかけの傾斜角をとる)				

図-1 切羽観察記録

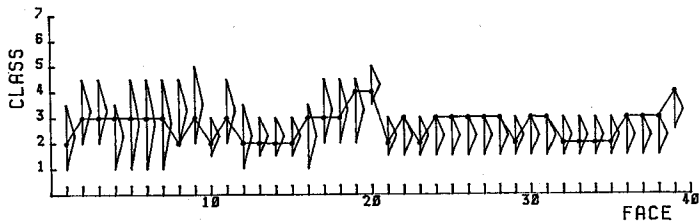


図-3 花崗岩トンネルにおける予測結果の一例¹⁾

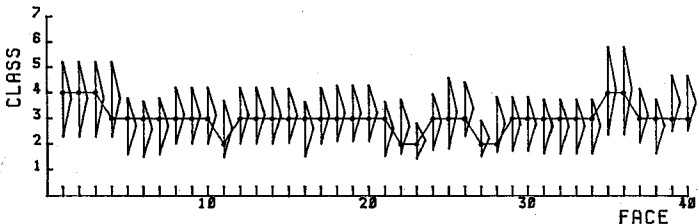


図-4 粘板岩トンネルにおける予測結果の一例

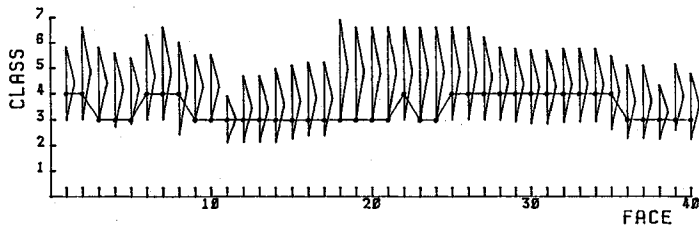


図-5 片岩トンネルにおける予測結果の一例

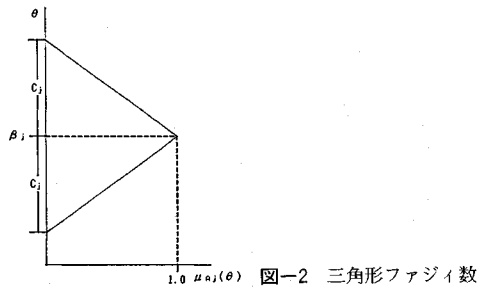


表-1 岩盤分類基準式のファジィ係数

項目	花崗岩		粘板岩		片岩	
	中心	幅	中心	幅	中心	幅
圧縮強度 ⑥	0.	0.	0.55	0.	0.	0.
風化変質 ⑦	1.0	0.	0.	0.38	0.	0.
割れ目の頻度 ⑧	0.	0.	0.51	0.	0.59	0.
割れ目の状態 ⑨	0.	0.	0.	0.	0.13	0.
割れ目の形態 ⑩	0.25	0.25	0.	0.	0.41	0.
湧水 ⑪	0.	0.	0.09	0.02	0.	0.38
水による劣化 ⑫	0.	0.5	0.35	0.	0.15	0.
定数項	0.	0.	0.	0.	0.15	0.

3. 岩盤分類基準式に関する考察

表-1は式(1)~(3)における各切羽観察項目に対するファジィ係数を示したものである。以下では表-1に従って、各岩種の一般的な物理的性質^{3)~6)}に基づいた考察を行う。まず、表より全岩種に共通して④、⑤項目が採用されていないことがわかる。④項目は「切羽の状

態」、⑤項目は「素掘面の状態」を総合的に評価する項目であり、その他の項目の総合として切羽の巨視的な挙動を評価するものと考えられる。このため岩質の具体的な評価には用いられていないものであろう。そこで、以下においては⑥~⑫項目を考察の対象とする。

(1) 切羽観察項目の圧縮強度⑥、風化変質⑦は切羽の力学的な岩盤強度を評価するものと考えられる。これ

について、花崗岩トンネルでは⑩項目のファジィ係数に (1.0, 0.0) が与えられ、粘板岩トンネルでは⑨項目に (0.55, 0.0), ⑩項目に (0.0, 0.38) が与えられている。片岩トンネルでは⑨, ⑩項目ともに基準式に採用されていない。

花崗岩は一般に塊状の組成構造であり、特に風化を受けやすく、風化作用による破碎状態への移行が他の岩種に比し早い。このようなことから、花崗岩トンネルにおいて⑩項目に対するファジィ係数の中心値に 1.0 というかなり支配的な数値が採用されたものと考えられる。粘板岩は一般に泥質系堆積物の中で最も固結度の高い岩石であり、本研究で対象とした粘板岩層では花崗岩類に対して比較的風化を受けにくい傾向にあると考えられる。このことから、粘板岩トンネルにおいては風化の進行状況よりも圧縮強度で岩盤強度に関する良好度を判断しているものと考えられる。黒色片岩は粘板岩が高圧の動力変成を受けて再結晶されたものであり、硬度が高く、本研究で対象とした範囲内では最も風化を受けにくいと考えられる。このことから片岩トンネルにおいては切羽の工学的な良好度の判定要因としては岩盤強度以外の項目を重視しているものと考えられる。

(2) 割れ目の頻度⑥, 割れ目の状態⑦, 割れ目の形態⑧など「割れ目」に関する観察項目については花崗岩トンネルで⑥項目に (0.25, 0.25), 粘板岩トンネルで⑥項目に (0.51, 0.0) が与えられている。片岩トンネルでは⑥項目に (0.59, 0.0), ⑦項目に (0.13, 0.0), ⑧項目に (0.41, 0.0) とすべての項目にファジィ係数が与えられている。花崗岩では割れ目は一般に細かくランダムに存在し、頻度や開口状態等よりも柱状、片状といった割れ目の巨視的な形態で判断した方が適正な評価ができるものと考えられる。粘板岩では、割れ目は多くの場合に層状を成すため割れ目の形態による評価では特に切羽ごとに差は生じず、頻度による評価が必要になるためと考えられる。片岩トンネルにおいては割れ目に関するすべての項目に対してファジィ係数が与えられている。しかも、すべてのファジィ係数が中心値のみであり、数値的にも比較的大きい値をとることから片岩トンネルでの岩質判定は「割れ目」に関する評価でほぼ決定付けられているといえよう。また、結晶片岩類では微細な片理面やへき開面がよく発達しており、片理面における滑性を伴う。特に滑性についてはトンネル構造上の安定性もさることながら、施工上の安全面において大きな問題となる。このような性質により風化および強度に関する評価の与える影響が小さく、割れ目の評価に強く依存していることは当然のことと考えられる。

(3) 地下水に関する項目として湧水⑪, 水による劣化⑫がある。これについては花崗岩で⑪項目に (0.0, 0.5), 粘板岩トンネルで⑪項目に (0.09, 0.02), ⑫項

目に (0.35, 0.0), 片岩トンネルでは⑪項目に (0.0, 0.38), ⑫項目に (0.15, 0.0) が与えられている。湧水⑪に関しては、粘板岩トンネルに対するファジィ係数に中心値が与えられているものの数値的に小さい。また、片岩トンネルでは幅のみが与えられている。これより、湧水はいずれの岩種においても岩質判定における決定要因とはならず、施工性に与える影響を考慮したうえでの可能性として岩質判定に加味されているものと考えられる。また、水による劣化⑫には粘板岩、片岩トンネルにおいて中心値が与えられているが、これら層状組織を有する岩盤においては掘削によって開口した割れ目が滑り面となり、さらに滑り面での水による滑性の増大を岩盤の良好度として考慮したものと考えられる。花崗岩においては上記のような滑り面の形成、滑性の増大は他の岩種に対して比較的考えにくく、地下水の滞留に対する施工性への影響を考慮したものと考えるのが妥当であろう。

以上、岩盤分類基準式の各係数ごとに各岩種の一般的な物理的性質との対応において考察を加えた。これより、同定された各岩種ごとの岩盤分類基準式は各岩種の特性を具体的に反映しており、実際の施工現場で行われる専門技術者の岩質判定においても結果的には岩種の特性を考慮して行われているといえよう。すなわち、現実に行われている岩質判定においては、判定に考慮する切羽観察項目、判断の基準等が各岩種ごとに相異なり、著者らの仮定¹⁾のように岩盤分類基準式の同定を岩種ごとに行うことの必要が示されたものと思われる。

なお、片岩トンネルについてのみ (0.15, 0.0) のファジィ定数項が現れる。これは花崗岩、粘板岩に比し黒色片岩がトンネル施工において基本的に不良であり、安全性に問題があることと関連するものと思われる。

4. 岩盤分類基準式の評価

ここでは、同定された各岩種における岩盤分類基準式の精度および予測結果の有するあいまいさについて検討を加える。ただし、予測値は可能性分布関数で与えられている。また、現場判定結果も実際には幅をもった段階的な評価がなされているため精度面での具体的な評価は困難である。そこで、現場判定値は前述のように 1~4 の数値に対応させ、図-6 に示すような可能性分布の幅 J_i および現場判定結果 y_i に対して予測値のとり可能性 K_i の切羽数 N に対する平均値で評価する¹⁾。

$$J = (1/N) \sum_{i=1}^N J_i, \quad J_i = C^t X_i \dots \dots \dots (6)$$

$$K = (1/N) \sum_{i=1}^N K_i, \quad K_i = \mu_{Y_i}(y_i) \dots \dots \dots (7)$$

$$L = J(1-K) \dots \dots \dots (8)$$

$$X_i = (X_{iC}, X_{iD}, X_{iE}, \dots, X_{iI})^t, \quad C = (C_C, C_D, C_E, \dots, C_I)^t$$

式(6)の J は予測値の平均幅であり、値が小さいほど

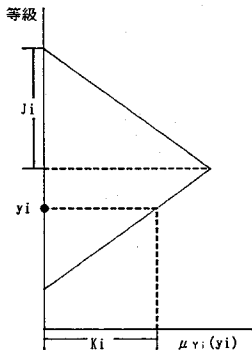


図-6 予測岩盤等級の評価要素

表-2 評価関数値

J	花崗岩 (0.99)	片岩 (1.44)	粘板岩 (1.51)
K	粘板岩 (0.62)	片岩 (0.58)	花崗岩 (0.4)
L	粘板岩 (0.57)	花崗岩 (0.6)	片岩 (0.61)

値より片岩トンネルでは現場判定値と予測値との対応が最も悪いが、花崗岩トンネルと数値的に大きな差はなく、J値も粘板岩トンネルに比較的近いことから花崗岩、粘板岩トンネルの中間的な状況にあると考えられる。

5. おわりに

本研究では、トンネル施工中の切羽における岩盤分類法としてすでに著者らの提案した方法¹⁾を用い、花崗岩に加え、粘板岩、黒色片岩地山を対象とした岩盤分類基準式を同定するとともに岩種によるトンネル切羽としての特性を明らかにした。以下に結論を列記する。

(1) 著者らの同定した岩盤分類基準式は岩種ごとの物理的性質がトンネル構造の安定、施工性に及ぼす影響を反映したものとなっている。この結果からわかるように、岩盤分類基準式は地山岩種別に定義する必要がある。

(2) 岩盤分類における各岩種ごとの影響要因を要約すると、3岩種とも地下水の影響は重要な評価要素であるが、花崗岩トンネルでは風化の状況、粘板岩トンネルでは圧縮強度と割れ目の頻度、片岩トンネルでは割れ目の状況全般が評価の中心的要素と考えられる。

(3) 地山ごとの地質の変化に対する施工時岩質判定のばらつきは花崗岩トンネルで最も小さく、片岩、粘板岩トンネルの順に大きくなる。上記は花崗岩トンネルでの水による劣化と割れ目の形態、粘板岩トンネルでの風化変質、片岩トンネルでの湧水に対する評価の困難さに起因するものと考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木昌次・古川浩平・井上洋司・中川浩二：ファジィ回帰モデルに基づくトンネル岩盤分類法の提案，土木学会論文集，第418号/Ⅲ-13，pp.181～190，1990.6.
- 2) 日本道路公団：設計要領第三集第9編トンネル，pp.34，1985.10.
- 3) 土質工学会：岩の工学的性質と設計・施工への応用，1977.7.
- 4) 小松田精吉・西尾潤四朗・忠岡志善・橋川邦武：わかりやすい岩盤調査の基礎知識，鹿島出版会，1985.3.
- 5) 三木幸蔵：わかりやすい岩石と岩盤の知識，鹿島出版会，1984.5.
- 6) 藤本治義：新地質学汎論，地人書館，1985.4.

(1990.7.16 受付)

ROCK CHARACTERISTICS AND ROCK MASS CLASSIFICATION FOR TUNNELS USING THE FUZZY REGRESSION MODEL

Shoji SUZUKI, Kohei FURUKAWA, Hiroshi INOUE and Koji NAKAGAWA

A rock mass classification using the fuzzy regression analysis has been proposed by the authors for granite tunnels. In the present report, the same method was used for slate and schist tunnels. Discussions on the adequacy in rock engineering, on characteristics of each rock at tunnel face and on the fuzziness in the proposed equations are mentioned. The 3 types of proposed equations show that each tunnel face must be classified individually because of the dependency of physical characteristics of each rock.

内容紹介

土木学会論文集 内容紹介

No. 424/Ⅲ-14, 1990.12

数量化理論による地すべりの危険度評価法の一試案

杉山和一・後藤恵之輔・吉住龍也・棚橋由彦

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.69~74, 1990.12.

地すべりの危険度評価の従来手法は、地形・地質等のデータを基に、経験的な判断により行うものである。これに対し、本研究は数量化理論第Ⅲ類を適用することにより、危険度評価を定量的・客観的に行うことを目的とする。本手法における結果の良否は、抽出する地すべり素因データの内容およびカテゴリーの群別分類により左右される。ここでは、特にカテゴリーの群別分類に着目した多次元空間におけるカテゴリーの配置を数量的に把握する手法を試みた。

杭打ち解析のための波動方程式の数値解法

境 友昭

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-15, pp.75~83, 1990.12.

打撃時の杭の動的挙動を表現する波動方程式の有限差分法による数値解法および、計算結果について示す。本論では、境界で成立する波動方程式の数値解を得るため、波動方程式および境界条件を差分化して連立させるという方法を用いている。この解法によって、杭の動的挙動が精度良く計算されること、差分間隔を十分に小さくすれば、解析解と同等の解が得られることが分かった。

地盤浸透の新しい準三次元解析手法に関する基礎的研究

大西有三・西垣 誠・西野賢治

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.85~94, 1990.12.

本研究はトンネル掘削現場等の三次元地盤内浸透流問題の簡便な解析手法の開発を目的とする。本研究は解析領域を鉛直方向のスライスに分割して、各スライスには二次元有限要素法を用いた飽和-不飽和浸透解析を行いつつ、スライス間の水収支を一次元線要素にて考慮することにより、三次元問題を近似的に解析する。解析手法の妥当性は軸対称問題にて検討した。この手法は三次元解析よりも計算容量、費用の面で有利となる。

粗粒材料のせん断強度と動的変形特性

松本徳久・安田成夫・大久保雅彦・木下 靖

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.95~104, 1990.12.

ロックフィルダムの設計の高度化を目指して、主要構成材料であるロック材料のせん断強度・動的変形特性（せん断弾性係数および減衰定数）を大型ねじり単純せん断試験と大型三軸試験により求め、両者を比較した。さらに、粗粒材料の動的変形特性と間隙比・せん断ひずみ・拘束圧の関係、および繰返しと単調載荷試験における微小ひずみ時の弾性係数の関係等を明らかにした。

連続的な静的載荷と繰返し載荷を同時に受ける飽和砂の非排水せん断特性

松澤 宏・杉村昌広・坂本 悟

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.105~113, 1990.12.

地震時の土留め壁のような構造物近傍の土要素には、地震力による動的載荷と、構造物の一方方向への累積変位による強制的な累積変形が同時に発生すると考えられる。著者は、このような地盤における飽和砂の非排水せん断挙動を明確にすることを目的に、連続的な静的載荷と繰返し載荷を供試体に同時に作用させる三軸試験を行った。その結果、液状化を含む非排水破壊特性、液状化強度の周波数依存性などについて、従来の「両振りせん断」や「片振りせん断」と異なった新たな特性を見いだした。

推進工法におけるカーブ推進に関する研究

南野輝久

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.115~123, 1990.12.

都市トンネル工法として推進工法による曲線施工の技術面での確立は強く望まれている当面の課題である。

著者は先導管を方向調整するだけで、管列を曲線軌道に誘導しようとする現在の曲線施工がなぜ不安定で不経済なのか、その原因を理論的に解析し、これらの原因を取り除いた新しいカーブ推進工法を力学的に解明し、ついで実用的な機材を開発してその施工手順を確立した。本工法の施工例は既に15件を数え、いずれも良好な結果を得ている。

軟岩に対する比切削抵抗と定常掘削力の発生機構

室 達朗・深川良一・藤田克美

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.125~133, 1990.12.

軟岩に対する二次元比切削抵抗と定常掘削力の発生機構を岩石材料の破壊基準に基づいて解析している。その結果、比切削抵抗はせん断破壊が0.30乗で分布する垂直応力下の直線すべり線上で発生するとし、また、定常掘削力はせん断破壊が対数らせん上と1.79乗で分布する垂直応力下の直線すべり線上で発生すると仮定すると一軸圧縮強度、圧裂引張強度の関数で表現される。さらに、定常掘削力は比切削抵抗、掘削深さ、すくい角の関数となる。

蒸発による円柱カラム不飽和帯の溶質移行と蓄積に関する基礎的研究

佐藤邦明・福原輝幸・宗像雅広・Serge BORIES

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.135-144, 1990.12.

太陽輻射や風による地表からの蒸発現象に着目し、砂カラム実験により温度、含水率、および溶質の分布とそれらの経時変化を測定した。実験結果は、熱・水分・溶質の基礎式の定常解を得て、比較・検討され、現象メカニズムと同時に式中のパラメータ値が判明した。現象的に見て、地下水位の深さと毛管帯の存在が支配的に重要となるという新しい成果を得た。

地盤の微動に現われるやや長周期成分についての実測による検討

森 芳信

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.169-177, 1990.12.

耐震工学や地盤調査に利用される地盤の微動には、地盤構造に関係のないやや長周期成分が含まれていることが多い。臨海地域と内陸地域での多くの長期にわたる微動測定により、このやや長周期成分は海洋波浪の影響が強いことを示した。また海岸から60 km以上離れた内陸でもこの影響は大きく、15 km四方程度の盆地では盆地内の堆積地盤と周辺丘陵地とで振幅、周期の変動に相関性があり、新たな工学的利用が考えられる。

トンネルの断熱処理によるつらら防止工法における断熱材幅の余裕長の提案

岡田勝也・松本嘉司

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.145-152, 1990.12.

寒冷地の多くのトンネルでは断熱処理によるつらら防止工法が採用され、効果を発揮している。しかし、断熱材の端部は寒気の横からの廻り込みのために断熱材で被覆されているにもかかわらず氷点下になる。したがって断熱材の幅にはある余裕長が必要になる。当論文は、余裕長を考慮できる2次元非定常熱伝導トンネルモデルによる温度解析を実施し、この計算値が実測値を十分満足することを確認した後、トンネル内気温の気象条件をパラメーターに余裕長を提案したものである。

鉄道トンネルにおける凍結深度の実態とトンネル内気温の周期的変化に対するその解析

岡田勝也・松本嘉司

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.179-186, 1990.12.

寒冷地トンネルの多くはつらら、側水あるいは凍上などの被害を蒙る。本論文は、鉄道トンネルにおける凍結深度の経日変化、その最大値の実態と、潜熱を考慮した一次元非定常熱伝達・熱伝導トンネル地山モデルによるシミュレーション解析を述べた。この解析結果が実測値を十分満足することを確認した後、このトンネル地山モデルを用いて凍結深度の経日変化などの温度挙動をトンネル内気温の年周期変動に対してパラメトリックに解析した。

杭の動的支持方式の理論的解析

境 友昭

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.153-159, 1990.12.

波動理論に基づいた杭の動的支持方式を導出し、従来から用いられている動的支持方式とともに、理論的適用性の検討を行った。この結果、本論で導出した動的支持方式の適用性が高いこと、従来からの支持方式では、Weisbachの式の適用性が高いことがわかった。杭の貫入量が杭頭での打撃力の時間波形に強く影響されることから、杭の動的支持方式を適用する場合、打撃力の波形を考慮する必要があることが分かった。

AE測定による原位置花崗岩加熱時挙動の観測

石田 毅・北野晃一・木下直人・若林成樹

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.187-196, 1990.12.

原位置岩盤の加熱過程における挙動や微小破壊のメカニズムを明らかにするため、花崗岩採石場の跡地に深さ約6 mの鉛直ボーリング孔を掘削し、下部2 mの間をヒーターで800°Cまで加熱し、加熱に伴って発生するAEを周辺ボーリング孔で測定した。震源を決定できた636個のAEの震源分布の経時変化をボーリングコアの観察結果と比較したところ、AEを伴う微小破壊は結晶粒径の大きい部分や既存の割れ目の周辺で発生しやすいことがわかった。

高有機質土の短時間載荷圧密試験方法に関する実験的一考察

及川 洋・石田昌達

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.161-168, 1990.12.

高有機質土の短時間載荷圧密試験方法の確立を目的にして実験的な検討が行われている。その結果、各荷重段階での圧密時間を短縮しても圧密係数には実用上問題となるほどの差異は生じないこと。しかし、予想沈下量値は対象土の圧密状態によって異なること。すなわち、対象土が過圧密状態にある場合には載荷時間を短縮すると沈下量値は小さく予測されるが、正規圧密状態にある場合には載荷時間を短縮しても標準圧密試験結果とほぼ同一の沈下量値が予測できること、などが示されている。

エネルギー論に基づく楕円トンネル安定解析

杉本光隆・松本嘉司・金沢芳信

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.197-205, 1990.12.

Airyの応力関数を用いて楕円トンネルの応力・変位を求め、これに形状弾性歪エネルギーを用いた安定解析法を適用することにより、楕円トンネルの安定性を各施工段階毎に検討し、楕円トンネルの安定性に対する地山・支保工の各種物性値およびトンネル諸元の影響を明らかにしたものである。これより、楕円トンネルの事前設計方法を提案するとともに、実測データを解析し、実際のトンネルの安全率を求めている。

円柱状埋設型計測装置を用いた地山応力測定結果に及ぼす接着層、すべりおよびオーバーコアリング径の影響の理論解析

平島健一・佐久間彰三・菊地慎二・松田 武

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.207~216, 1990.12.

有限の剛性を有する円柱状の埋設型計測装置によって地山岩盤の初期ないし変動応力を測定する際に、従来必ずしも明確にされていない計測値に及ぼすいくつかの問題点について、等方性弾性媒体の仮定の下に、総合的に厳密で定量的な取り扱いが可能であることを理論的に示した。具体的には、標題に示した3つの問題設定を行い、それらすべての場合について理論解析過程を示すとともに、多くの計算例を通して現場計測に利用できるように系統的に結果を整理した。

不飽和粘性土のサクシオンに与える凍結—融解の影響

西村友良・小川正二・和田 正

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.243-250, 1990.12.

寒冷地、山岳地域では凍結—融解作用によって路床・路盤の支持力の低下等の被害が発生している。本研究ではクローズドシステムの状態で三次元的な凍結—融解作用を受けた不飽和粘性土の等方圧縮特性、せん断特性とサクシオン力の関係について検討を行い、せん断強さの低下の原因がサクシオン力の減少であることを明らかにし、また等方拘束圧力とサクシオン力をパラメーターとしてせん断強さの変化を定量的に解明している。

不連続性岩盤斜面におけるすべり岩体の特定と安定性の評価

太田秀樹・大森晃治・寺田武彦

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.217~225, 1990.12.

不連続面が分布する岩盤斜面の崩壊は、不連続面の分布と切土の形状・方向によって決定されるすべり岩体の性質に支配される。本論文では、まず、地山を微小な直方体要素に分割されたモデルで表わし、不連続面・地表面の分布を入力することにより、すべり岩体を定量的に特定する方法を提案する。ついで、すべり岩体に作用する外力とすべり面上でのせん断抵抗力とのつり合いより、安定性を評価する方法について述べる。最後に、実際の斜面崩壊事例に適用した結果を紹介する。

一次覆工・二次覆工間のせん断特性を考慮したシールドトンネルの軸剛性評価

佐久間彰三・石田智朗・上原精治・小泉 淳

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.251~259, 1990.12.

シールドトンネルの耐震性を検討する場合に、トンネル軸方向の剛性を適切に評価することが重要な問題である。しかしながら、シールドトンネルは、多数のセグメントおよびボルト継手等で構成された一次覆工とその内面に存在する二次覆工とで構成されているため、トンネル全体の剛性評価は難しい問題である。本報告は、一次覆工と二次覆工との間のせん断特性を把握するために、種々のアイソレーション材を用いて模型せん断実験を行い、両覆工間のせん断特性を確認し、一次覆工と二次覆工との間のせん断特性を考慮したシールドトンネルの軸方向構造モデルを提案した。さらに、このモデルを用いて地震時応答解析を実施し、シールドトンネルの地震時の挙動を検討したものである。

熱水貯蔵時の空洞の安定性と漏水に関する基礎的研究

稲田善紀・木下尚樹・中崎英彦・上田貴夫

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.227~234, 1990.12.

ゴミ焼却時の廃熱を利用して熱湯を得、多目的に使用する場合、安定供給のため一時的に地山岩盤内空洞に貯蔵することを想定する。この場合、空洞の安定性や漏水が問題となる。本論文では、空洞周辺の温度分布を要素分割法を用いて計算し、これをもとに熱応力を求め、空洞の安定性および亀裂の挙動を検討した。また、高温・高圧下における岩石の透水性を実験により求め、これを用いて熱水の漏水量を試算した結果を述べている。

亀裂性岩盤の透水性評価に関する一考察

神尾重雄・玉田 晟・浦山真次郎・解良一夫

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.261~269, 1990.12.

亀裂性岩盤中の浸透流の動きは、不連続面の影響を受けてかなり複雑となるため、透水性評価の定式化が極めて難しい。そこで本研究では、ボーリング・コア観察により得られる地質情報をもとに、亀裂性岩盤の透水性を実用的な面からの確かつ容易に把握する方法について主として数量化分析Ⅰ類を用いて検討を行った。そして、割れ目の開口幅および充填物の透水性に及ぼす影響が、岩種、割れ目間隔に比べて極めて大きいことを示した。

逆解析結果による盛土基礎の安全管理

村上 章・長谷川高士

土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.235~242, 1990.12.

逆解析結果に基づいて、局所漸増載荷を受ける飽和粘土地盤の支持力を観測的に推定した。逆解析にあたっては、基礎全体の接線剛性を、全応力と有効応力とにより推定した。初期において均質な地盤と、非均質な地盤とを例にとり、実地盤挙動を観測するかわりに、弾塑性有限要素解析により地盤挙動を再現した。他の観測的方法との比較を行い、結果を評価した。さらに、安全管理のための計測位置や荷重制御について考察した。

個別要素モデルを用いた液状化地盤の永久変形解析

五十嵐俊一・目黒公郎

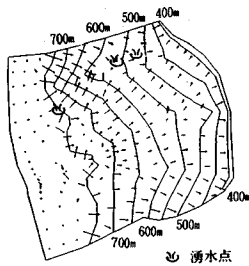
土木学会論文集 第424号/Ⅲ-14, pp.271~282, 1990.12.

液状化による地盤の永久変位を個別要素法 (DEM) を用いて解析した。日本海中部地震 (1983年) において永久変位が生じた能代市前山付近の地盤 (幅 200 m, 深さ 30 m, 平均斜度 2.6° の傾斜地盤) を 3180 要素の DEM にモデル化し、液状化による土質の変化を考慮した静的震度法により解析を行った。表層地盤のクラック、沈下を伴う永久変形が、実測結果に近い形でシミュレーションされた。パラメーターの検討により、この種の地盤では、液状化層の体積変化が永久変形に大きく影響している事がわかった。

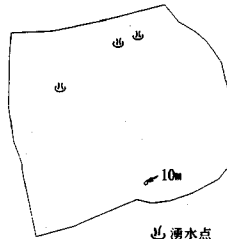
あの地下水解析ソフトがさらに機能充実!

UNISSE_{ユニセフ}(V-2)

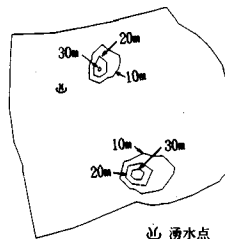
スピーディな同定・安価な解析



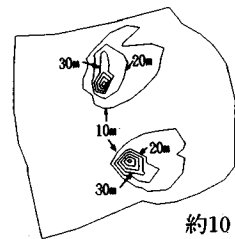
初期状態の地下水流



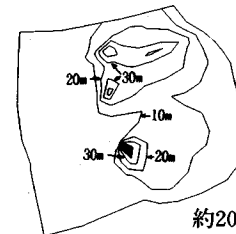
トンネル掘削開始直後



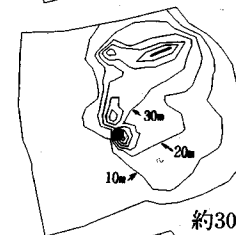
約4日後



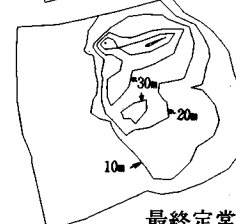
約10日後



約20日後



約30日後



最終定常状態

特長 ○有限要素法による準3次元解析を中心とした地下水の流れのトータルシステムです。

○観測水位と計算水位より、非線形最小二乗法を用いて帯水層定数の同定が可能です。(逆解析手法)

○建設・土木工事(掘削・ディープウェルその他)の解析に対応する多くの機能を備えています。

○メッシュ・ジュネレータにより、モデル(要素分割)作成の手間を軽減できます。

○図化処理プログラムにより、結果の確認が容易に行えます。

適応機種: SUN, NEWS, HP, IBM 30XX, FACOM-Mシリーズ 他

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

IPA 情報処理振興事業協会

CRC 未来設計企業
センチュリリサーチセンター株式会社

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

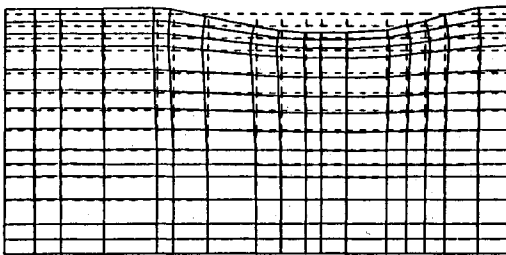
地盤の非定常圧密解析プログラム

Mr. 圧密

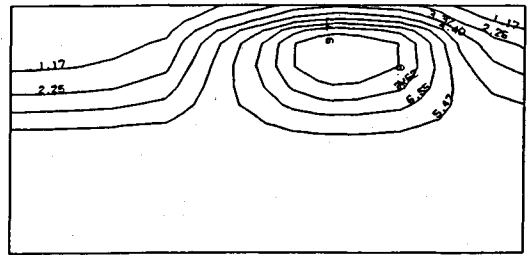
(特長)

- 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。

世界標準のソフトウェア

Mr. SOIL

Version-2.5

■豊富な機能

- ・弾性及び弾塑性解析が可能。
- ・掘削・盛土機能により、施行ステップにしたがった解析が可能。
- ・荷重の段階的載荷が可能
- ・側圧係数の指定が可能*
- ・充実したグラフィック機能
- 変位ベクトル図⁺、変位コンター図⁺
- 応力ベクトル図、応力コンター図
- 棒・梁要素断面力図⁺
- 降伏要素プロット図⁺

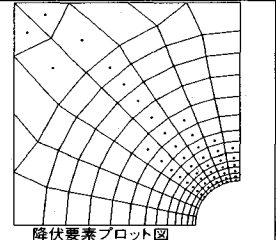
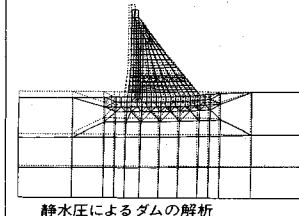
*はV.2.5による追加機能

■お求めやすい価格設定

パソコン版(PC-9801シリーズ)……64万円(税別)
EWS版(NEWS, SUN, HP, VAX など)……220万円(税別)

■実績が示す高信頼性(使用実績187本 平成2年度8月末現在)

〔適用例〕



(株)アースコンサルタント
 アイドールエンジニアリング(株)
 (株)葵エンジニアリング
 (株)荒谷建設コンサルタント
 石川工業高等専門学校
 (株)ウエスコ
 上山試験工業(株)
 運輸省港湾技術研究所
 (株)エイトコンサルタント
 (株)N T T 鈴鹿電気学園
 (株)オリエンタルコンサルタンツ
 (株)応用地学研究所
 大阪大学
 大阪市交通局
 大阪市立工業研究所
 (財)大阪土質試験所
 大阪府立工業高等専門学校
 大阪府立大学
 岡山大学
 岡山大学
 (株)奥村組 技術研究所
 奥村組土木興業(株)
 小田急建設(株)
 小野田ケミコ(株)
 小野田ケミコ(株)
 鹿児島大学
 梶谷エンジニア(株)
 鹿児島建設(株)
 金沢大学
 川崎地質(株)
 関西電力(株)
 岩水開発(株)
 関西航運(株)
 (株)基礎建設コンサルタント
 関西大学
 九州共立大学
 九州産業大学
 九州産業大学
 九州産業大学
 九州大学
 九州電技開発(株)
 京都市立伏見工業高等学校
 京都大学
 京都大学
 京都大学
 協和電設(株)
 近畿実測(株)

近畿大学
 近畿大学
 近畿大学
 岐阜工業高等専門学校
 久保田建設(株)
 (株)熊谷組
 (株)熊谷組
 (株)建設企画コンサルタント
 (株)建設工学研究所
 神戸大学
 神戸大学
 神戸大学
 奥重開発(株)
 佐賀大学
 佐伯建設工業(株)
 佐田建設(株)
 佐藤工業(株)
 佐藤工業(株)
 サコーコンサルタント(株)
 滋賀県立短期大学
 (株)CIT構造技術研究所
 島根大学
 昭和地質情報リサーチ(株)
 (株)新日本技術コンサルタント
 新日本製鉄(株)
 新技術計画(株) 技術設計部
 JR西日本コンサルタンツ(株)
 (株)住化土建設
 住友建設(株)
 住友建設(株)
 (株)西播設計
 (株)ソイルプレーン
 促進工事(株)
 (株)第一コンサルタンツ
 大成建設(株)
 大成基礎設計(株)
 大豊建設(株)
 大豊建設(株)
 (株)ダイヤコンサルタント
 (株)ダイヤコンサルタント
 (株)高千穂設計コンサルタント
 (株)タカラエンジニアリング
 (株)竹中工務店
 玉野総合コンサルタント(株)
 (株)地崎工業
 (株)地盤調査事務所
 (株)中央設計技術研究所
 中央復建コンサルタンツ(株)

中国電力(株)
 中部工事(株)
 中部電力(株)
 通信土木コンサルタント(株)
 (株)テックス
 東海大学
 (株)東京建設コンサルタント
 東京大学
 東京地下工事(株)
 東京都土木技術研究所
 東建地質調査(株)
 東鉄工業(株)
 東電設計(株)
 東電設計(株)
 (株)東日測量設計社
 東邦エンジニアリング(株)
 (株)東和技術コンサルタント
 動力炉・核燃料開発事業団
 戸田建設(株)
 (株)中堀ソイルコーナ
 西谷技術コンサルタント(株)
 西松建設(株) 技術研究部
 日本大学
 日本大学
 日本鋼管(株)
 日本鋼管(株)
 日本シールドエンジニアリング(株)
 日本工営(株)
 日本工営(株)
 日本交通技術(株)
 日本通信建設(株)
 日鉄鉱コンサルタント(株)
 日本水工設計(株)
 日本道路公団 試験所
 (株)日本パブリックエンジニアリング
 (株)日建技術コンサルタント
 (株)ニュー設計
 八戸工業大学
 林建設工業(株)
 (株)阪神コンサルタンツ
 東日本旅客鉄道(株)
 (株)日立造船技術研究所
 ヒメノコンサルタント(株)
 ヒロセ(株)
 福井大学
 (株)藤井基礎設計事務所
 フジタ工業(株)
 フジタ工業(株)

(株)復建エンジニアリング
 (株)復建エンジニアリング
 藤原技術士事務所
 復建調査設計(株)
 不動建設(株)
 不動建設(株)
 不動建設(株)
 (株)芙蓉調査設計事務所
 北光ジオリサーチ(株)
 前田建設工業(株)
 前田建設工業(株)
 前田設計(株)
 (株)松村組
 三井建設(株)
 三菱重工(株)
 明治コンサルタント(株)
 メトロ設計(株)
 (株)守谷商会
 山口大学
 山口大学
 山口大学
 (株)四電技術コンサルタント
 りんかい建設(株)
 和歌山工業高等専門学校
 和歌山工業高等専門学校

海外

オランダ デルフト大学
 米国 ミネソタ大学
 米国 イタスカ社
 西オーストラリア大学
 韓国 大林エンジニアリング
 韓国 大林産業
 韓国 三星建設
 韓国 現代エンジニアリング
 韓国 大韓コンサルタント
 韓国 正友エンジニアリング
 韓国 先進エンジニアリング
 韓国 大宇
 韓国 大宇
 韓国 又大エンジニアリング
 韓国 原子力研究所
 韓国 三安エンジニアリング
 韓国 都和エンジニアリング
 韓国 宇星エンジニアリング
 韓国 ソウル大学
 韓国 ソウル大学
 韓国 光州大学

(五十音順 敬称略)

地球を切る! 視る! 創る!



3次元地質解析システム

GEORAMA

ジオラマ

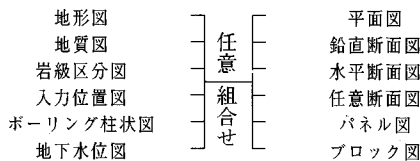
概要

地質調査で得られたデータを基に、利用者の判断を加味して3次元地質モデルを作成します。この3次元モデルより地質・岩級区分・地下水位等をグラフィック表示並びに作画します。今後この3次元モデルを利用して解析用メッシュ作成等への応用が考えられます。

特徴

- ・ 走向・傾斜データも考慮できる高度な推定法
- ・ 複雑な地質体モデルの表現が可能
- ・ ビジュアルで豊富な出力機能
- ・ 図面間での整合性がとれる
- ・ 操作性の高いシステム

出力図面



ユーザーインターフェースにより、拡がる適用分野

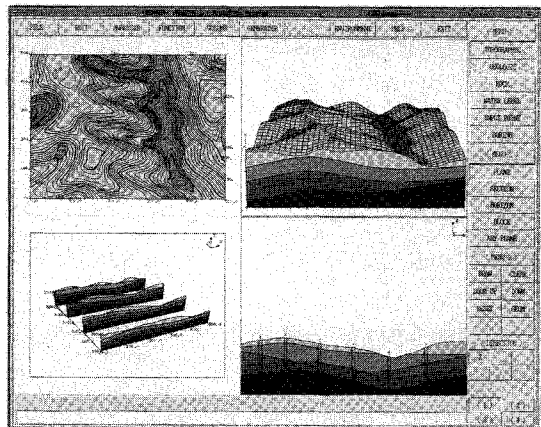
- | | | |
|------------|-------------|----------|
| データベース | 土量計算 | 構造物マッピング |
| メッシュジェネレータ | プレゼンテーション資料 | その他 |

標準適応機種(EWS)

- ・ SONY-NEWSシリーズ*
 - ・ Sun-3, Sun4, Sun-SPARCシリーズ*
 - ・ HP9000/300, HP9000/800シリーズ*
- * ウィンドウシステムとしてX-Windou System, Version 11 (X11)が必要です。
(標準以外のものにつきましても御相談に応じます)

(株)アイ・エヌ・エー アイサワ工業(株) アイドールエン지니어リング(株) アサヒ地水探査(株) (株)エイトコンサルタント 応用地質(株) 大阪ガス(株) 大手開発(株) (株)大林組 (株)奥村組 川崎地質(株) 基礎地盤コンサルタンツ(株) (株)熊谷組 (株)建設技術研究所 建設省 土木研究所 五洋建設(株) 佐藤工業(株) サンコーコンサルタント(株) (株)四国総合研究所 (株)四電技術コンサルタント 清水建設(株)	(株)情報数理研究所 (株)新日本技術コンサルタント 住友建設(株) 住友建設(株) 石油資源開発(株) 全日本コンサルタント(株) 大成建設(株) 大豊建設(株) (株)ダイソク (株)ダイヤコンサルタント (株)竹中工務店 中央開発(株) (株)地球科学総合研究所 中電技術コンサルタント(株) 通産省 地質調査所 電源開発(株) (株)電力中央研究所 東急建設(株) 東建地質調査(株) 東京電力(株)	東電設計(株) 東電ソフトウェア(株) 東洋地質調査(株) 動力炉・核燃料開発事業団 (株)中堀ソイルコーナ 西松建設(株) 日本工管(株) 日本国土開発(株) (株)日本パブリック エンジニアリング (株)間組 (株)阪神コンサルタンツ ヒロセ(株) フジタ工業(株) (株)富士和ボーリング 北光ジオリサーチ(株) 北海道開発コンサルタント(株) 三井建設(株) 三菱金属(株) 村本建設(株) 明治コンサルタント(株)
---	---	--

3次元地質解析システム研究会 参加メンバー



個別要素法プログラム



CRC-ITASCAが提供するカンドールモデル個別要素法(DEM)!!

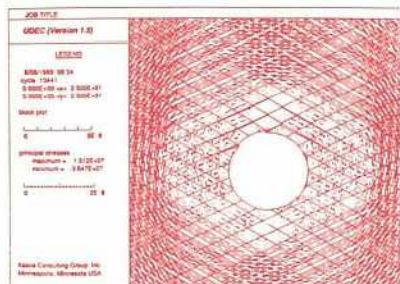
二次元個別要素法プログラム(ソースコード)

UDEC

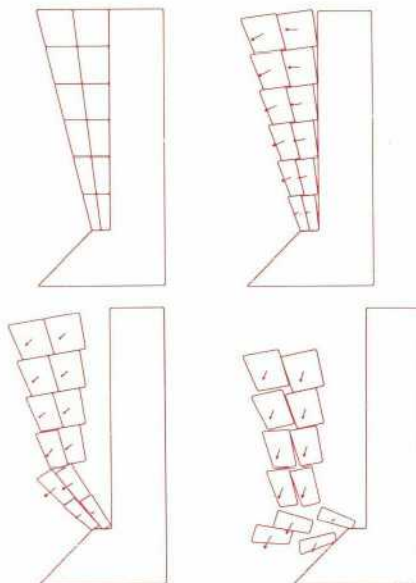
三次元個別要素法プログラム(ロードモジュール)

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ミュ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。

CRC 未来設計企業
 センチュリリサーチ センタ 株式会社

〒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