

討議 (和文)

**DISCUSSION
/CLOSURE**

[討議・回答]

山田 正
日比野忠史 共著
中津川 誠

“流域スケールの風の場合の計算法に関する研究”への討議・回答

(土木学会論文集, No. 503/II-29, pp. 49~58, 1994年11月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

市川陽一 (電力中央研究所)

Yoichi ICHIKAWA

先生方の論文を、気流、大気拡散におよぼす地形影響の研究に携わる者として、興味深く拝見させて頂きました。貴論文は山岳地域の風の場合を予測する新しい数値モデルを提案したもので、前半では3種類の既存のモデル、後半では観測データとの比較により妥当性を検討しています。提案されたEkman-potential flowモデルは地形効果や地表付近の境界層の特徴を表現できており、今後、種々の地形、広範な気象条件下への適用が期待されます。ここでは、前半のモデル間の比較方法について、私の意見を述べさせて頂きたいと存じます。

新しく開発した数値モデルの比較対照となるモデルは、その性能が十分発揮できる条件で用いることが重要です。貴論文では、MASCONモデルの入力として、同じ高度の3地点のデータを与えています。MASCONモデルは観測データをもとに、質量保存則を満たすように領域全体の風の場合を求めるものです。そのため、計算結果は観測データの質と量に強く依存します。通常、MASCONモデルを用いる場合、3地点のデータでは少なすぎます。少なくとも10点程度、しかも1点は鉛直分布がないとよい予測結果は得られません。もちろん、観測地点の空間分布も影響します。また、貴論文でも指摘されていますが、式中の係数 α_1 、 α_2 の値によって計算結果が大きく変わります。鉛直方向の風速成分についての検討は、例えばKitadaら¹⁾が行っています。MASCONモデルの計算を十分な観測データ(貴論文ではEkman-potential flowモデルの計算結果)をもとに、 α_1 、 α_2 の最適値を用いて実施しては如何でしょうか。

一般に、数値モデル間の比較を行う場合、(1)開発したモデルよりレベルの低いモデルと比較して、改良点

を明らかにする方法、(2)開発したモデルよりレベルの高いモデルと比較して、結果にそれほど遜色がないことを示す方法がとられると思います。Ekman-potential flowモデルとPotential flowモデルとの比較は(1)の方法です。Kaoモデルとの比較はモデルの種類が異なるので明言できませんが、Kaoモデルが運動方程式で記述されていることを考えると(2)に分類されるのではないのでしょうか。しかし、Kaoモデルが静水圧分布を仮定しているため、貴論文で今回検討された孤立峰のように、鉛直方向の現象のスケールが大きい場合の比較対照モデルとしては適切でなかった面もあると思います。非静力学モデルとの比較を行い、Ekman-potential flowモデルの結果が遜色ないことを示しては如何でしょうか。もちろん、Kaoモデルの結果を見ることは読者にとって有意義と考えます。なお、大気拡散の分野では、ポテンシャル流モデルを修正して地表近くの風速分布を予測する方法が幾つか提案されております^{2),3)}。

以上、私の考えるところを述べさせて頂きましたが、先生方のご意見を賜れば幸いです。

参考文献

- 1) Kitada, T. et al.: Estimation of vertical air motion from limited horizontal wind data—A numerical experiment, *Atmos. Environ.*, Vol.17, No.11, pp.2181-2192, 1983.
- 2) 長沢伸也, 他: 起伏のある地形上における大気汚染予測システムに関する研究 (I)—風系の推定モデル—, 大気汚染学会誌, 第19巻, 第2号, pp.149-158, 1984.
- 3) 市川陽一, 四方浩: 風の場合計算のための擬似ポテンシャル流モデルの開発, 土木学会論文集, 第363号/II-4, pp.61-69, 1985.

(1995.3.2 受付)

著者らの論文に対して懇切丁寧な論評と討議を寄せていただきまして有り難うございます。以下に著者らの本論文に対する基本的な考え方を示すことで貴兄からの討議に対する返答としたいと思います。

本論文中においても記しているように、本研究の目的は非常に強い風のもとでの山地地形によって引き起こされる風の場合、特にいわゆる地形性降雨を引き起こす山地斜面の風上斜面に沿う上昇気流の場を的確に表現あるいは再現する計算手法を開発する事にある。より詳しく説明すると、一般に降雨現象は水蒸気を含む空気が何らかの原因で上に持ち上げられるときに、上昇に伴う自身と周囲大気との気温、気圧の減少による水あるいは水に対する飽和水蒸気圧の減少により、保持している水蒸気(気体)の一部が雲粒子(液体)や氷晶(固体)に凝結及び昇華することにより発生する。このとき氷晶を作るほど周囲大気との気温が低いか否かで冷たい雨(cold rain)と暖かい雨(warm rain)に大別され(このあたりはKessler⁶⁾やSteaven and Hobbs⁷⁾の論文あるいはPruppacher⁸⁾の本に詳しい)。よって研究対象としている降雨が夏期の熱帯地方や亜熱帯地方で生じる暖かい雨ならば計算対象とする高度は地上から高々5 km程度までである。一方冷たい雨では上空10 km程度までを考慮しなければならない。降雨の形成にとって水蒸気から雲粒子等への相変化を起こすあたりの高度の気流場が決定的に重要であり、地上から数100 mのオーダーの上空までの接地境界層はこの場合は本質的ではない。この理由で著者らの提案するEkman-Potentialモデルに関して接地境界層の風速分布の精度を上げることはしていない。山地斜面に沿う上昇気流を作り出す要因としては上空の一般風が山地斜面に当たることによってあたかも強制的に作り出されるものや密度成層している大気が山地地形を越えるときに発生するいわゆるLee waveによるものや越えることが出来ないときに発生するいわゆるBlocking (Planetary waveの蛇行から成長した形態の近年研究が精力的に行われたBlockingではない)によるもの他に、水蒸気から雲への相変化において放出される潜熱による浮力の発生が自励振動的に上昇流を継続させる、いわゆる対流不安定によるもの等がある。従来の理論研究によりLee waveは内部フルード数をパラメータに持つ方程式の解として内部フルード数がある臨界値以下の場合に発生する(モードを持つ内部波の位相速度が一般風の風速に等しいか大きい場合には基礎方程式が双曲型になり定在波が存在し得る^{1),2),4)}。台風等の強風時には一般風は内部波の波速に比べて大きくなり、内部フルード数は臨界値を越えて基礎方程式は楕円型と

なる。このときがまさに著者らの研究対象としている場合である。すなわちメソ-βやγ程度の水平スケールの場合(大雑把に言えば100 km×100 km以下の日本の河川流域スケール以下)での気流の計算においては、一般風の風速が大きいときには大気の成層効果は純粹のポテンシャル流れに微小な修正を施すほどのものであり、その効果より地形の起伏がより大きいスケール(メソ-α)で決まっている風の場合(これをここでは一般風と呼んでいる)に摂動を与えている。この様な事情を前提に本論文では従来提案されているMASCANモデル、Kaoモデル、Potentialモデルの3つをとりあげており、さらに著者らの提案するEkman-Potentialモデルとの比較を行い、さらに観測データとの比較を行っている。Navier-Stokes方程式の直接計算(層流としての扱いはあるが)も著者らは行っているが³⁾、ここでは論じない。本研究に対する討議の前半部に記されているMASCANモデルに関する著者(市川)の提案(モデル中の係数 α_1 , α_2 の値如何では結果が大きく変わる。そのため、十分な観測データをもとに係数 α_1 , α_2 の最適値を用いて計算する)に関しては、まさにその通りであると思われる。ただしメソ-βやγの空間スケールで十分な精度(100 m程度の分解能)で風の場合を求めることは甚だ困難なことである。現在著者の一人(山田)の研究室(中央大学理工学部)に最近になってドップラー機能付きのレーダ観測装置(Xバンド、最小分解能は65 m、最大観測距離、120 km)を設置することが出来、上述のスケールでの風の場合の観測を始めたばかりである。近い将来著者らの提案する風の場合の計算方法と関東地方の風の場合との比較を行ってみたいと思っている。

次に討議の後半に記されているモデルの比較方法の問題に移る。これに関しても基本的には著者らは市川氏と同様の考え方の上に計算を実行し、モデル間の比較を行っている。ここで著者らのモデルは解析解であるがこれに関しては、著者らは他のモデルとの優位性を何等主張するものではない。計算機環境と計算技術の進歩によりポテンシャル流れの計算では有限差分法、有限要素法あるいは境界要素法で十分な精度で計算出来ることは周知のことである。著者らの取り扱いでは山地地形をいわば微小振幅波としており、地表での境界条件は地形の平均標高で与えられており計算の精度はこのことを踏まえて論じなければならない。著者らの取り扱いでは山地地形をデジタルマップで表現しており、さらにこれを空間2次元のフーリエ変換しているため、地形の持つ空間波数成分の風の場合への寄与を容易に知ることが出来た。この結果、地形性降雨に貢献するのは5~10 km程度以上

の大きさを持つ地形の起伏であり、それより小さい地形成分による一般風の変形は、実際に降雨が形成される地表より2, 3 km 以上では減衰してしまう。これにより地形性降雨を論じる限りは2500分の1の地形図で示される詳細な地形の起伏より、100000分の1の地形図で表現される程度の地形の起伏が降雨を形成する上昇流の成因として本質的であるという重要な結論を得る。将来一つのダム貯水池の集水面積程度の流域における地形性降雨の物理モデルに基づいた短時間予測を行うに当たって、重要な知見を得たものと著者らは考えている。

以上著者らの返答は必ずしも的を得たものとなっていないことを危惧するところではあるが、著者らの研究の目的を本論文につけ加えることによって、市川氏の討議に対する返答としたい。

参考文献

- 1) 吉川秀夫, 山田正, 水谷俊孝: 非定常選択取水に関する研究, 第22回水理講演会論文集, pp.95-100, 1978.
- 2) 吉川秀夫, 山田正, 水谷俊孝: 2次元及び軸対象選択取水に関する研究, 土木学会論文報告集, 第280号, pp.67-79, 1978.
- 3) 山田正, 日比野忠史, 深和岳人, 中津川誠: 密度成層を考慮した山地流域における風の場の解析, 土木学会水工学論文集, 38, 1994.
- 4) Kashiya, K., Jiang, C. and Yamada, T.: Three Step Taylor-Galerkin Finite Element Method for Orographic Rainfall, Journal of Wind Engineering, No.52, pp.158-163, 1992.
- 5) 例えば, Turner, J.S.: Buoyancy Effects in Fluids, Cambridge University Press, pp.58-63, 1973.
- 6) Kessler, E.: On the Distribution and Continuity of Water Substance in Atmospheric Circulation, Meteorological Monographs, Vol.10, No.32, pp.2-31, 1969.
- 7) Steven, A. R. and Hobbs, P. V.: The Mesoscale Structure and Organization of Clouds and Precipitation in Midlatitude Cyclones. V III: A Model for the "Seeder-Feeder" Process in Warm-Frontal Rainbands, Journal of The Atmospheric Sciences, Vol.40, pp.1185-1206, 1993.
- 8) Pruppacher, H.R. and Klett, J.D.: Microphysics of Clouds and Precipitation, D. Reidel Publishing Company, 1980. (1995.12.19 受付)

3次元構造解析の
流れを変える。

初

What you see is what you want!

3Dの時代、ビジュアルの時代

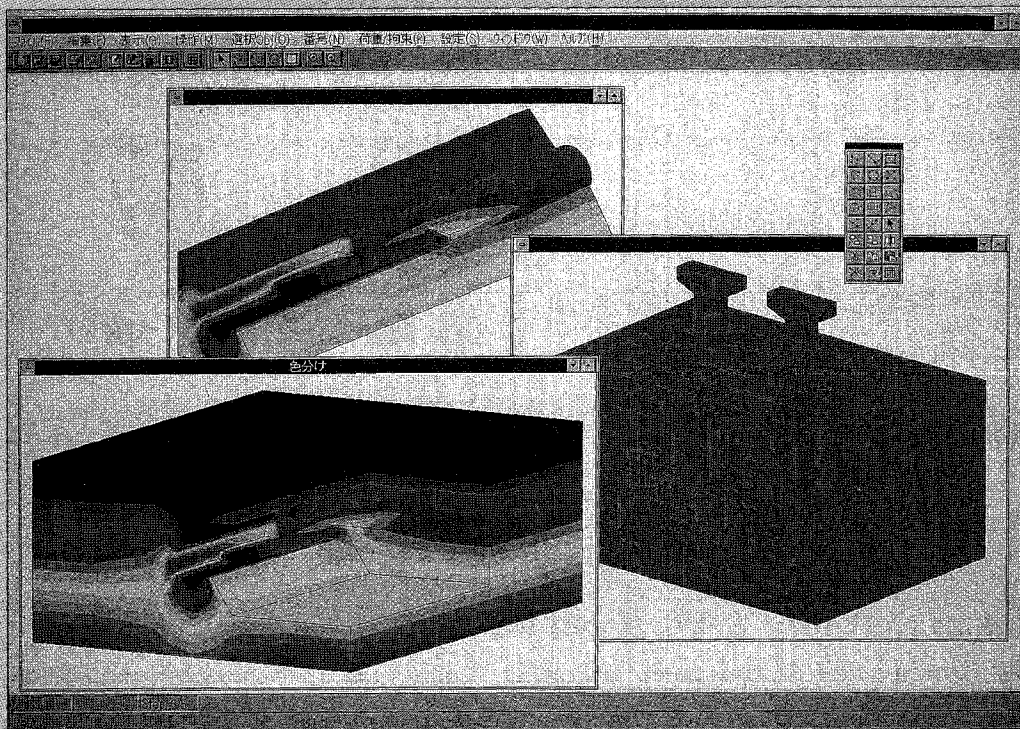
'95. 12 Release

3D-σ

3次元土木解析システム

パソコンで
FEMを意識せず
内蔵3次元CADを用いて
解析対象および施工過程(STEP)
をそのまま直感的に入力するだけ！
好評の「2D-σ」のデータも直接利用可能！

■大容量、大規模、高速 ■掘削、盛土、支保などはワンタッチで！



2次元土木解析システム「2D-σ」も 好評発売中！

開発・販売



ソフトプレーン (株)

お問い合わせは 03-3592-7659

本社：〒001 札幌市北区北37条西4丁目 玉陽ビル

TEL 011-736-7009 FAX 011-736-7449

地盤の非線形解析プログラム

■開発元 Dr.Cundall (ITASCA社)

FLAC-2D/3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua)

- 幾何学的大変形及び材料非線形を取り扱うことができます。陽解法のため歪み軟化解析が容易です。
- 複雑な3次元地盤をモデル化するため、優れたジェネレーター機能をそなえています。
- 機能追加のための開発ツールFISHプログラミング言語を備えていますので、機能追加が容易です。

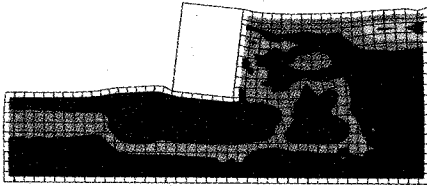
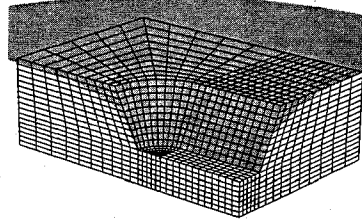
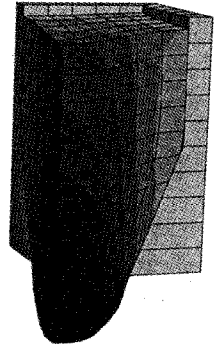


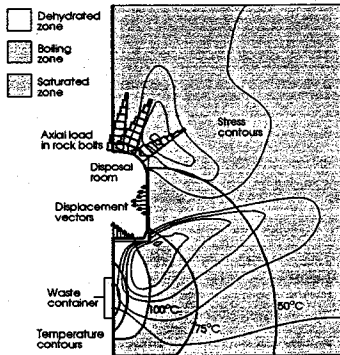
Figure 2. Distorted grid and contours of pore pressure ratio after shaking applied at base



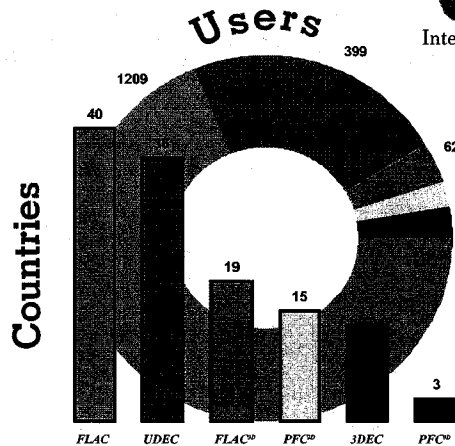
Water flow analysis



Interaction analysis



Thermomechanical conditions five years after nuclear waste emplacement.



■価格(ロード・モジュール)

- FLAC-2D SUN/IBM-PC(標準バージョン)80万円
(Dynamic, Creep, Thermal Optionを含む場合)110万円
- FLAC-3D SUN/IBM-PC(標準バージョン)190万円
(Dynamic, Creep, Thermal Optionを含む場合)250万円

Itasca Software & Windows 95

Yes, Itasca codes do run under Microsoft Windows95. *Windowsは米国マイクロソフト社の商標です。

*当社は1988年7月からITASCA社の販売代理店をしています。

OKL株式会社 応用工学研究室

TEL.03-3437-2164 FAX.03-3437-2652
〒105 東京都港区虎ノ門5-1-4 東都ビル6F
株システムネットワーク内

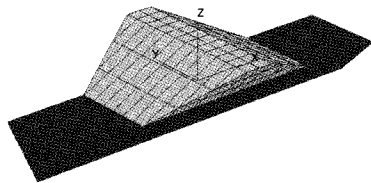


Figure 1. Grid for earth dam and foundation

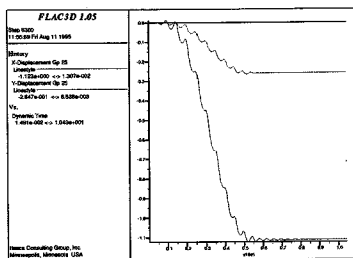


Figure 2. Displacement records (in x- and y-directions) at crest of dam

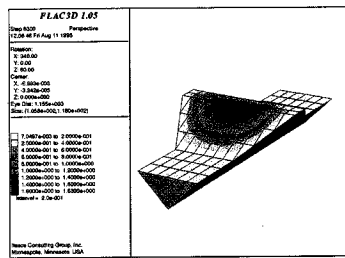
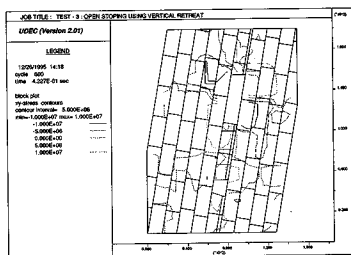


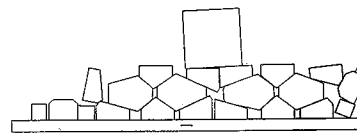
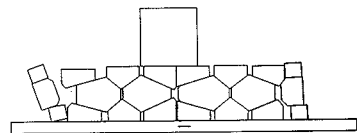
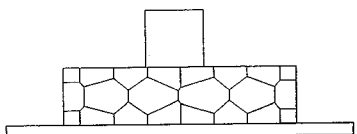
Figure 3. Contours of final displacement magnitude

Dynamic analysis

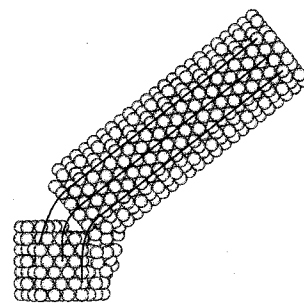
個別要素法プログラムシリーズ



UDEC

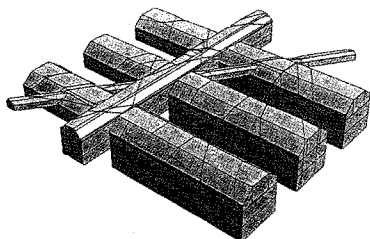


BFLOW

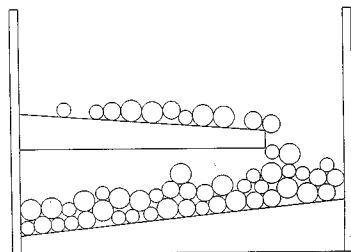


Topping of pier after horizontal crack forms near base, (reinforcement has pulled out of concrete)

PFC-3D



3DEC



BALL-Poly

■価格

●ロード・モジュール

- ・UDEC SUN/IBM-PC(標準バージョン)110万円
(Barton-Bandis Optionを含む場合)160万円
- ・3DEC SUN/IBM-PC550万円
- ・PFC-2D SUN/IBM-PC70万円
- ・PFC-3D SUN/IBM-PC250万円

●ソース・コード

- ・UDEC SUN/IBM-PC(標準バージョン)190万円
(Barton-Bandis Optionを含む場合)240万円
- ・BFLOW SUN190万円

日本技術開発研究所

◆FLAC、個別要素法コードとも導入時に初期購入価格の10~15%程度です。但し
◆当社ではこれらソフトによる解析コンサル



、将来のバージョン・アップ代金は除きます。
てっています。

パソコン用、地下水解析トータルシステム

PC/UNISSF Ver. 3.5 for Windows

PC/UNISSF Ver. 3.5 for Windowsは、すでに汎用機やEWSで実績のある準3次元広域地下水変動解析プログラムと断面2次元飽和/不飽和浸透解析プログラムに強力なプリポスト処理プログラムを付加し、Windows版として、生まれ変わったPC用地下水解析トータルシステムです。

準3次元版 PC/UNISSF(H)	} セットの場合	¥1,400,000
¥980,000		
断面2次元版 PC/UNISSF(V)		
¥700,000		

プログラムの特徴

■プリ処理 [(H)、(V)共通]

- ★モデル作成のためのメッシュジェネレート機能
- ★地層データ(PC/UNISSF(H)のみで使用)、初期水位データ等の自動発生機能
- ★モデル図を参考しながら、境界条件等各种データの入力、修正が可能
- ★マウス入力とメニュー形式による操作性の向上

■解析機能

[準3次元版PC/UNISSF(H)]

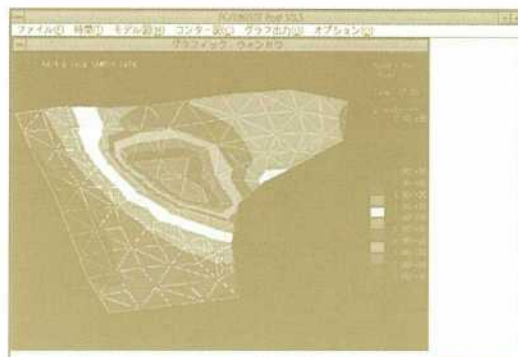
- ★汎用機、EWS版と同一機能(順解析)、同一データフォーマット
- ★約3000~10000節点までのモデルが解析可能
- ★降雨・揚水井・浸出面の取り扱いが可能
- ★水位・流量の経時変化
- ★境界条件の変更、材質の変更
- ★掘削機能・簡易漏水機能
- ★初期定常計算・非定常計算・最終定常計算

[断面2次元版PC/UNISSF(V)]

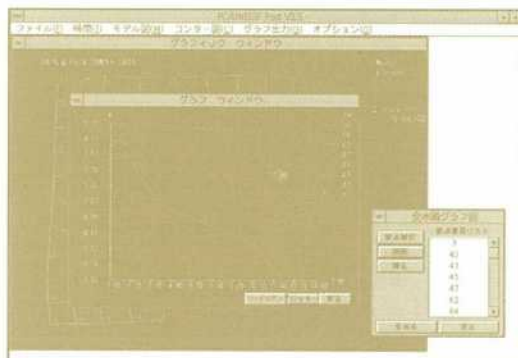
- ★収束状態により Δt を変化
- ★降雨および水位の経時変化に対応可能
- ★鉛直二次元解析だけでなく軸対称解析が可能
- ★自由地下水面を求めることが出来る
- ★浸出点の位置と浸出量を求めることが出来る
- ★①定常計算、②非定常計算、③定常計算を行ったのち非定常計算の3通りが可能

■ポスト処理 [(H)、(V)共通]

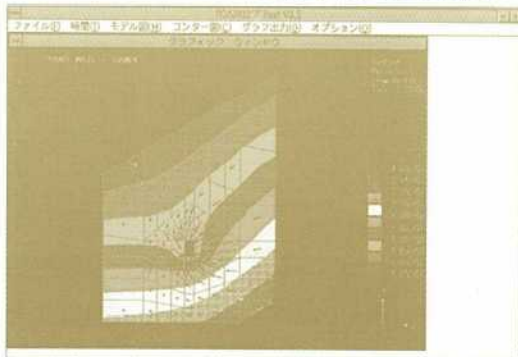
- ★線画に加えて画面塗りつぶし処理が可能
- ★水位の時間変化が簡単にグラフ化可能
- ★マウス入力とメニュー形式による操作性の大幅な向上



PC/UNISSF(H) : 全水頭コンター図



PC/UNISSF(H) : 水位時間変化グラフ



PC/UNISSF(V) : 圧力水頭コンター図と流速ベクトル図

動作環境	Windows Ver. 3.1 CPU:80486DX 33MHz以上 RAM : 8MB以上 ハードディスク空容量 : 10MB以上
------	---

* Windowsは米国マイクロソフト社の商標です。

問い合わせ先

株式会社 **CRC総合研究所**

西日本事業部 科学システム営業部

〒541 大阪市中央区久太郎町4-1-3

Tel.06-241-4121 (担当/岩崎)

E-Mail : iwasaki @ crc. co. jp