

投稿論文 (和文ノート)
**TECHNICAL
NOTE**

潮汐により堰を越える流れによる養殖池の水位応答

荻原国宏¹・田中修三²・福井吉孝³・NADJADJI ANWAR⁴

¹正会員 工博 東洋大学教授 工学部環境建設学科 (〒350 埼玉県川口市鯨井中野台 2100)

²正会員 工博 東洋大学助教授 工学部環境建設学科

³正会員 工博 東洋大学教授 工学部環境建設学科

⁴Member of JSCE, Ph. D., Department of Civil Engineering Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), Surabaya, Indonesia

スラバヤのラモン川に結合している養殖池の現地調査を重ねた結果、養殖池の多くは堰、あるいはゲートで結合していることが分かってきた。ラモン川とそれに結合している養殖池の塩分濃度、水質の変化を知るためには、そのような場合に対応した潮汐運動による養殖池の水位応答を解析しておく必要がでてきた。この報告は、河川と養殖池が堰やゲートで結合している場合の、潮汐による養殖池の水位の応答についての理論式と実験結果をまとめたものである。

Key Words : tidal river, numerical analysis, flow over the weir and gate, response of water level fish pond

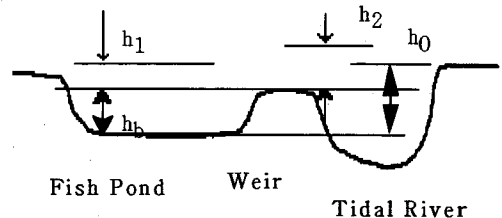
1. はじめに

インドネシア (Indonesia) のスラバヤ (Surabaya) 東部のグレシク (Gresik) 地区にあるインドネシアラモン川 (Kali Lamong) に結合している養殖池の水位は、潮汐運動によって変化し、その水位応答はオリフィスや堰を越える流れの非線形方程式によって決定される。オリフィスを流れる養殖池の水位応答はすでに理論解析を行い、その結果は観測データに良く一致し、解析の正しさを証明できた^{1), 2), 3), 4)}。

その後、スラバヤのラモン川に結合している養殖池の現地調査を重ねた結果、養殖池の多くは堰、あるいはゲートで結合していることが分かってきた。

そこで、ラモン川とそれに結合している養殖池の塩分濃度、水質の変化を知るためには、そのような場合に対応した潮汐運動による養殖池の水位応答をも解析しておく必要がでてきた。

この報告は、河川と養殖池が堰やゲートで結合している場合の、潮汐による養殖池の水位の応答についての理論式と実験結果をまとめたものである。なお、本報告は養殖池の塩分濃度の変化を求めることを最終目標としているが、潮汐貯水池を用いて河口閉塞制御を論じた沢井等⁵⁾の論文がある。



図一 養殖池と河川の水位

2. 理論的な検討

(1) 池の概要

ラモン川における養殖池と河川の水位の関係を図一に示す。養殖池と河川は頂部を有する堰で結ばれている。

堰の幅は1.5 mより小さく、深さは1.0 mより浅いものがほとんどである。そこで、堰を越える流量は、川と池の水位応答による流れの方向の変化によって決定されるので、堰を越える流量は本間の公式⁶⁾を使用することにした。

(2) 基礎方程式の誘導

ここでは最も単純な場合の、一つの養殖池が河川に結合している場合を考えた。堰を越える流れには本間の式を適用することにした。

図一の h_1 、 h_2 は養殖池と河川の水位であり、堰の高さ h_b を基準としている。 h_b は池の底からの堰の高さ

である。 h_0 は池の底からの河川の平均水位である。

堰を越える流れのパターンは、養殖池から河川へ流れる場合と河川から養殖池へ流れる場合とがあり、それぞれ完全越流型と不完全越流型に分けることができる。したがって、4種類の流れのパターンが存在し、以下の方程式で示すことができる。

$$\frac{2}{3}h_1 > h_2, \quad q = mh_1\sqrt{2gh_1} \quad (1a)$$

$$h_1 > h_2 > \frac{2}{3}h_1, \quad q = m'h_2\sqrt{2g(h_1-h_2)},$$

$$m' = \frac{3\sqrt{3}}{2}m \quad (1b)$$

$$h_2 > h_1 > \frac{2}{3}h_2, \quad q = m'h_1\sqrt{2g(h_2-h_1)},$$

$$m' = \frac{3\sqrt{3}}{2}m \quad (1c)$$

$$\frac{2}{3}h_2 > h_1, \quad q = mh_2\sqrt{2gh_2} \quad (1d)$$

ここに、 q は単位幅当たりの流量である。 m は流量係数であり、通常 0.35 を使用する。

養殖池における連続の方程式は次のように書ける。

$$\frac{dh_1}{dt}A = qB \quad (2)$$

ここに、 A は養殖池の表面積、 qB は河川からの流入流量である。

河川の水位変動は海の潮汐運動に依存し、次のように書くことができる。

$$h_2 = \frac{H}{2}\sin(\omega t) + h_0 - h_b, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

H は潮汐の振幅、 T は潮汐の周期、 h_0 は養殖池の底を基準とした河川の平均水位である。したがって、 h_2 は堰の頂部からの水位変動を与えることになり、堰を越えて流入してくることになる。数値計算では、 $h_2 \geq 0$ 以上で計算している。

(3) 数値計算の方法

数値計算は式(2)を差分して解くことになるが、その前に潮汐の波高 H で割った形の無次元化した方程式に書き直す。

無次元化した、4つの方程式と連続の式は次のようになる。

$$\frac{2h_1}{3H} > \frac{h_2}{H}, \quad \frac{QT}{AH} = m\alpha\left(\frac{h_1}{H}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (4a)$$

$$\frac{h_1}{H} > \frac{h_2}{H} > \frac{2h_1}{3H}, \quad \frac{QT}{AH} = m'\alpha\frac{h_2}{H}\sqrt{\left(\frac{h_1}{H} - \frac{h_2}{H}\right)},$$

$$m' = \frac{3\sqrt{3}}{2}m \quad (4b)$$

$$\frac{h_2}{H} > \frac{h_1}{H} > \frac{2h_2}{3H}, \quad \frac{QT}{AH} = m'\alpha\frac{h_1}{H}\sqrt{\left(\frac{h_2}{H} - \frac{h_1}{H}\right)},$$

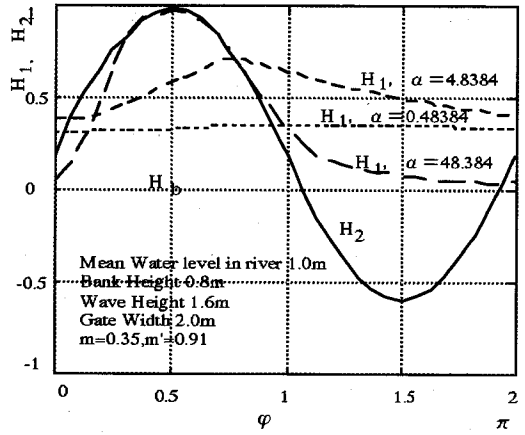


図-2 水位応答と時間

$$m' = \frac{3\sqrt{3}}{2}m \quad (4c)$$

$$\frac{2h_2}{3H} > \frac{h_1}{H}, \quad \frac{QT}{JH} = m\alpha\left(\frac{h_2}{H}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (4d)$$

$$d\left(\frac{h_1}{H}\right) = \frac{QT}{AH}d\left(\frac{t}{T}\right) \quad (5)$$

ここに、 α は

$$\alpha = \frac{B\sqrt{2gH}}{A}T \quad (6)$$

であり、現象を支配するパラメータである。

河川の側岸における堰を越える水位の変動は、式(3)を無次元化して式(7)で与えられる。

$$\frac{h_2}{H} = \frac{1}{2}\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) + \frac{h_0}{H} - \frac{h_b}{H} \quad (7)$$

計算に際して、一潮汐を 12 時間、時間刻みを 50 ステップとしたので、1 ステップは 0.24 時間である。池の面積 A 、堤防の高さ h_b 、堰の幅 B 、潮汐の波高 H を変えて、色々な場合について計算した。

池の水位が負の時は、 h_1 と h_2 は 0 として計算している。

(4) 計算結果

計算にはルンゲ・クッタ法を用いた。

図-2 は水位応答と時間の関係を示したものである。縦軸に無次元化した水位、横軸は位相 ϕ を表している。

河川の平均水位、堤防高、ゲートの幅、流量係数は同じにし、池の面積を $A = 2 \times 10^4 \text{m}^2$, $2 \times 10^5 \text{m}^2$, $2 \times 10^6 \text{m}^2$ にして $\alpha = 0.484, 4.84, 48.4$ の場合について、計算した。

その結果、 α が小さくなると、池の水位の応答は小さく、かつ遅くなる。 α が 48.4 より大きくなると池の水位の応答は河川と同じになることが分かった。

図-3 に河川の水位応答と α の関係を示している。2

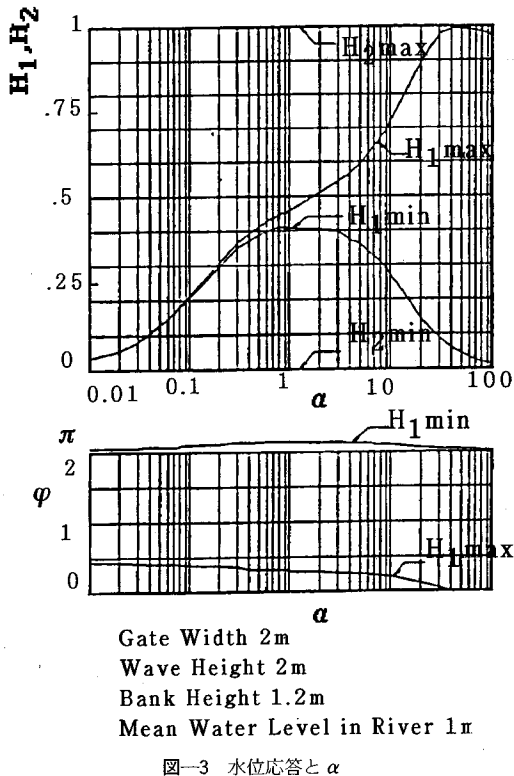
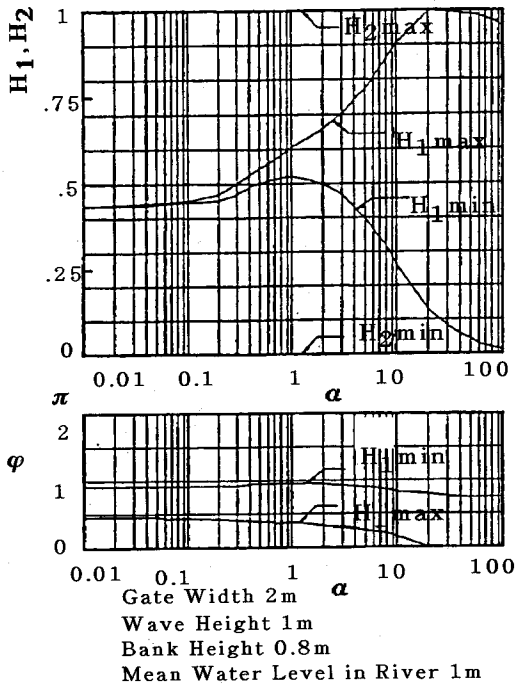


図-3 水位応答と α

つのケースについて示しているが、河川の平均水位、ゲート幅、池の面積は同じにしている。縦軸 H は無次元化した水位、横軸は無次元パラメータ α である。 H_{2max} は河川の最高水位であり、すべての α に対して1の値で

表-1 実験条件

	ケース1	ケース2
周期	6種類	6種類
ゲート幅	10cm	10cm
波高	8cm	5.5cm
堰の高さ	22.5cm	15cm
河川の平均水位	21.9cm	20cm
池の面積	4種類	4種類

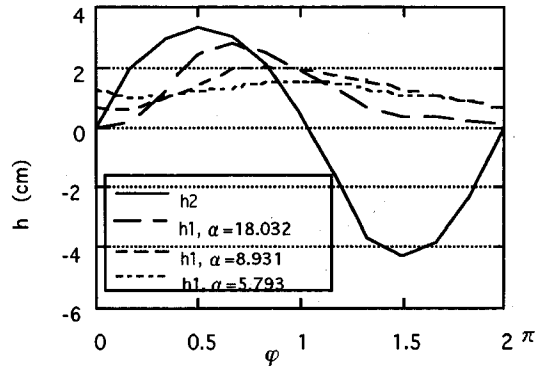


図-4 水位応答と時間

ある。 H_{2min} は河川の最低水位であり、すべての α に対して0の値である。これは、堤防の頂部より河川の水位が低い場合は0としているためである。

H_{1max} は池の最高水位であり、 α が1より大きくなると、池の最高水位もより大きくなる。 H_{1min} は池の最低水位を示しており、 α が1より大きくなると最低水位は下がりはじめ、 α がさらに大きな値になると最低水位は0になる傾向を示している。 H_{1min} が最大になるのは $\alpha=1$ の時である。

さらに、図-3には、 α と河川水位の位相との関係をもグラフで示しているが、波高、ゲート幅、堤防高の組み合わせにより、 H_{1min} が周期遅れで出現することが分かる。

数値計算によって、堰を有する池の水位応答を示すことができた。この応答は、非線形の応答であり、波高、波の周期、池の表面積、堰の幅を含むパラメータ α によって決まることを示すことができた。 α が大きくなると、池の水位は波高と同じくらい大きくなり、 α が小さくなると、池の水位は小さくなる。

3. 模型実験

理論式の数値解析の結果を検討するために、以下のよな模型水路による実験を行った。

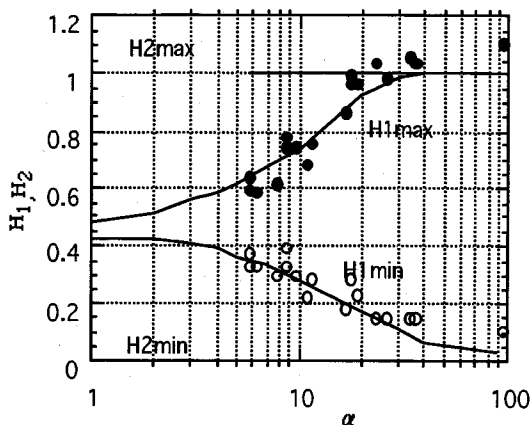


図-5.1 水位応答と α

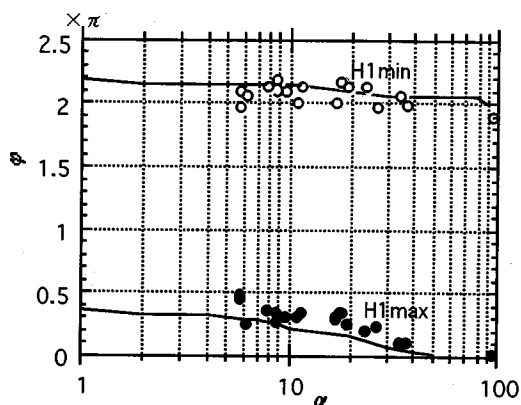


図-5.2 位相と α

(1) 模型水路と実験条件

実験に使用した水路は、文献(4)と同様のものであり、長さ6.0m、幅0.1mのアクリル製の水路である。下流端に河川補給用の貯水槽、潮汐用ゲートを取り付けている。池の面積は水路を仕切ることによって、変更している。

実験ケースを表-1に示す。周期は14秒から90秒の間の6種類である。池の面積は、100cm²、200cm²、300cm²、600cm²の4種類である。

(2) 実験結果

図-4にケース1の水位応答と時間の関係を示している。

縦軸は水位、横軸は無次元化した時間である。池の面積が600cm²の時の波形は非常に小さく読みとることができなかったため省略している。

α が小さくなると、池の水位応答は小さくなり、かつ遅くなるのが分かる。このことは、理論解析の図-2に対応し一致していることが分かる。

図-5.1にケース1の場合の、河川の水位応答と α 、図-5.2に位相と α の関係を示している。図中の実線は、理論曲線である。実験結果は理論曲線に定性的、定量的に一致しており、理論式ならびに数値解析の正しいことが証明できたと考えている。

4. おわりに

数値計算によって、堰を有する池の水位応答を示すことができた。この応答は、非線形の応答であり、波高、波の周期、池の表面積、堰の幅を含むパラメータ α によって決まることを示すことができた。 α が大きくなると、池の水位は波高と同じくらい大きく、 α が小さくなると、池の水位変動は小さくなる。

模型実験の結果は、数値計算の結果に定性的、定量的に一致しており、本解法の正しいことが証明できたと考えている。

参考文献

- 1) Nadjadji Anwar and Kunihiro Ogihara.: Non-linear response of water table in fish Pond by tide, *Proc. of Symposium on coastal, port and rive engineering hosted by ITS Delft*, Surabaya, Indonesia, October, 1990.
- 2) Nadjadji Anwar, Anggrahini, Kunihiro Ogihara and Yoshitaka Fukui.: Observation of salt intrusion in the tidal river with fish Ponds, *Proc. of 8th Congress of APD IAHR*, pune, India, October, 1992.
- 3) Nadjadji Anwar, Anggrahini, Kunihiro Ogihara and Yoshitaka Fukui.: Analysis on the response of water level in series fish ponds by tidal motion, *Proc. of 25th IAHR Congress*, Tokyo, Japan, 1993.
- 4) 荻原, 田中, 福井, Nadjadji Anggrahini: ラモン川の養殖池の水位応答, 土木学会論文集 No. 509/II-30, 1995.
- 5) 沢井健二, 沈 建華: 潮汐貯水池を用いた河口堆砂制御に関する研究, 水工論文集, 37巻, pp. 729-736, 1993.
- 6) 水理公式集, 土木学会編, 1985.

(1995. 9. 11 受付)

NUMERICAL ANALYSIS OF WATER LEVEL RESPONSE IN FISH POND BY TIDAL MOTION THROUGH WEIR AND GATE

Kunihiro OGIHARA, Shuzo TANAKA, Yoshitaka FUKUI
and Nadjadji ANWAR

Supply of water to the fish ponds from a tidal river depends on the response of water level in ponds due to the tide motion through the weir and gate. The most simple case is introducing single fish pond connected to a tidal river and the flow over the weir can be applied Dr. M.Homma's equation. The patterns of flows over the weir are four cases. Those are free flow and submerged flow in both directions river to pond and pond to river. This paper is summarized numerical analysis of water level responses in fish ponds using trial data and comparing to the measurement data from model experiment.

「土木学会論文集購読のお願い」

1944年（昭和19年）に土木学会誌の臨時増刊号として第1号が発行されてより1947年第2号、1949年第3号が発行されました論文集は、1949年より正式に「土木学会論文集」と呼称することとなりました。

その後紆余曲折を経て1985年（昭和59年）4月より部門制となり現在に至っております。この間購読者数も増減を繰り返しておりますのが現状です。

購読者の増減は直接論文集発行経費に影響を与えております。

先に学会誌会告にてお知らせ致しましたように、本年より第Ⅶ部門が発足することとなりました。これを期に、下記の表をご参照いただきまして是非関連部門の「土木学会論文集」をご購読賜りたくご案内申し上げます。

購読ご希望の方は、会員番号・氏名・購読希望部門を適宜用紙にお書きのうえ郵送、またはFAXにて土木学会事務局会員課までお申し込み下さい。

なお、定期購読者は本会個人会員に限ります。会員以外の方で購読を希望される方は書店經由丸善（株）へお申し込み下さい。

記

(社)土木学会事務局会員課 〒160 東京都新宿区四谷1丁目無番地 FAX 03-5379-2769

本件に関するお問い合わせは、土木学会事務局会員課までお願い申し上げます。

論文集購読料

部 門	内 容	発 行 月	購 読 料
第Ⅰ部門	応用力学、構造工学、鋼構造、耐震工学など	4月、7月、10月、1月	4,000円
第Ⅱ部門	水理学、水文学、河川工学、水資源工学、港湾工学、海岸工学、海洋工学、環境水理など	5月、8月、11月、2月	4,000円
第Ⅲ部門	地盤工学、基礎工学、岩盤工学、土地地質など	6月、9月、12月、3月	4,000円
第Ⅳ部門	道路計画、鉄道計画、土木計画、交通計画、都市計画、国土計画、測量など	4月、7月、10月、1月	4,000円
第Ⅴ部門	土木材料、土木施工法、舗装一般、コンクリートおよび鉄筋コンクリート工学など	5月、8月、11月、2月	4,000円
第Ⅵ部門	工事マネジメントシステム、設計、施工・補修技術、環境公害対策、建設労務、契約・積算など	6月、9月、12月、3月	4,000円
第Ⅶ部門	環境システム、環境保全、環境管理、用排水システム、廃棄物など	11月、2月（平成8年度のみ）	2,000円

注：第Ⅶ部門は平成9年度より年4冊の発行（発行月：5月、8月、11月、2月）となり、購読料は4,000円となります。

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。

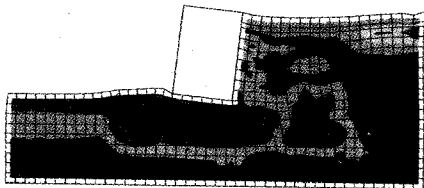
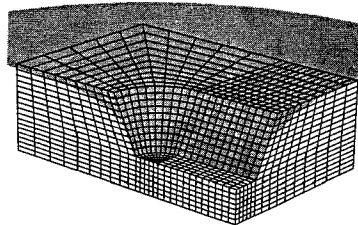
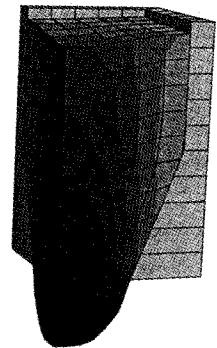


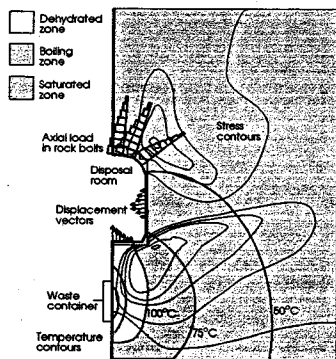
Figure 2. Distorted grid and contours of pore pressure ratio after shaking applied at base



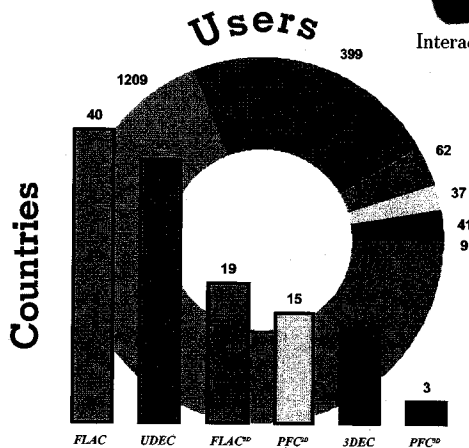
Water flow analysis



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

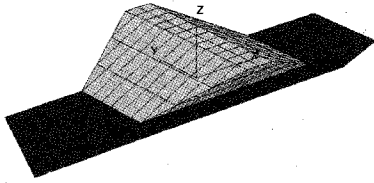


Figure 1. Grid for earth dam and foundation

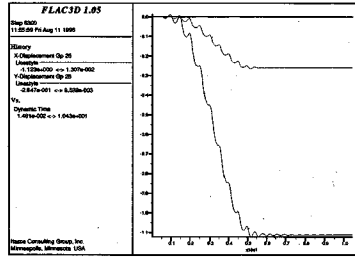


Figure 2. Displacement records (in x- and y-directions) at crest of dam

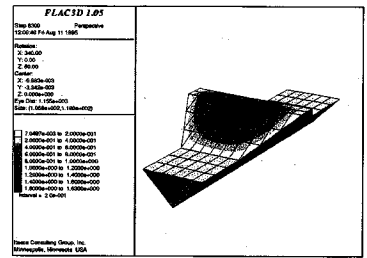
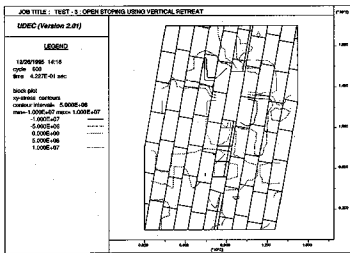


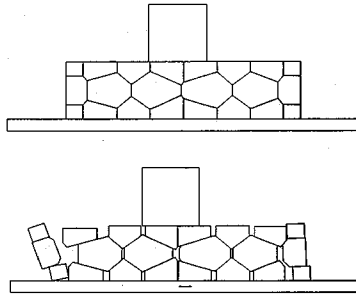
Figure 3. Contours of final displacement magnitude

Dynamic analysis

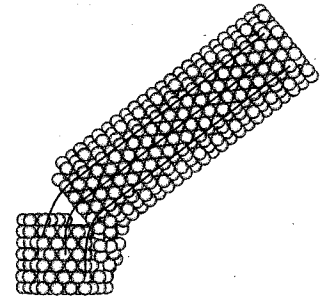
個別要素法プログラムシリーズ



UDEC

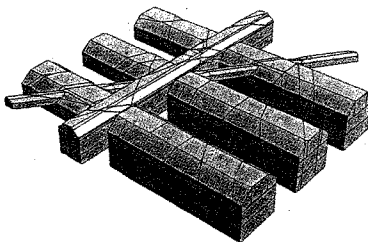


BFLOW

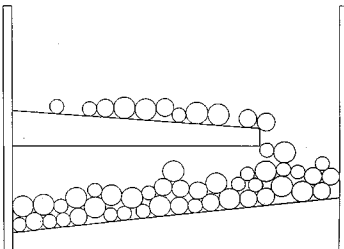


Toppling of pier after horizontal crack forms near base, (reinforcement has pulled out of concrete)

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

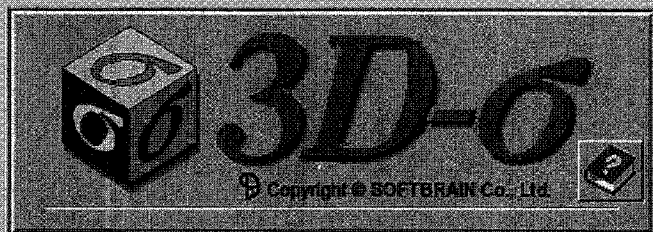
- ・UDEC SUN/IBM-PC (標準バージョン)190万円
(Barton-Bandis Optionを含む場合)240万円
- ・BFLOW SUN190万円

◆FLAC、個別要素法コードとも導入時に移植費等の追加料金はありませぬ。将来のバージョン・アップ代金は初期購入価格の10~15%程度です。但し、比較的開発の新しいPFC-3Dを除きます。

◆当社ではこれらソフトによる解析コンサルタント、問題に応じた機能追加も行っています。

ニュー・コンセプト パソコン用3次元土木構造解析システム

スリーディー シグマ



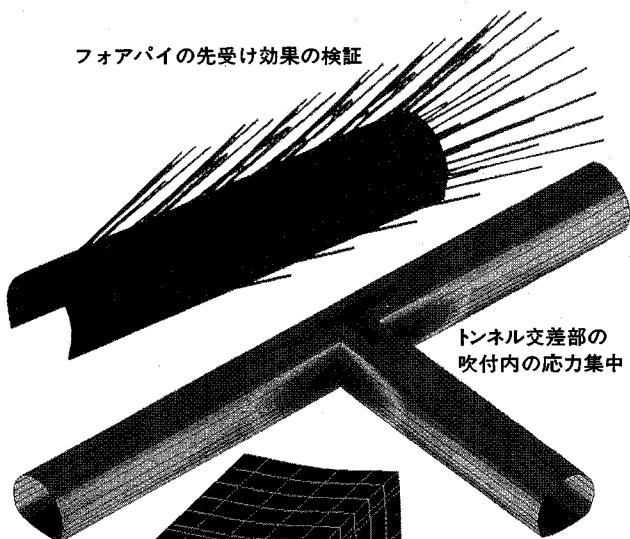
申し訳ない!

これまでのものとは
これほど違う。

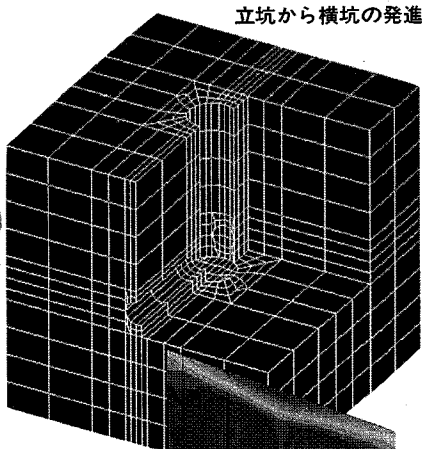
数千万円と数週間がかかった
解析をパソコンで数時間で。

誰でも、どこでも、低コストで、簡単に!

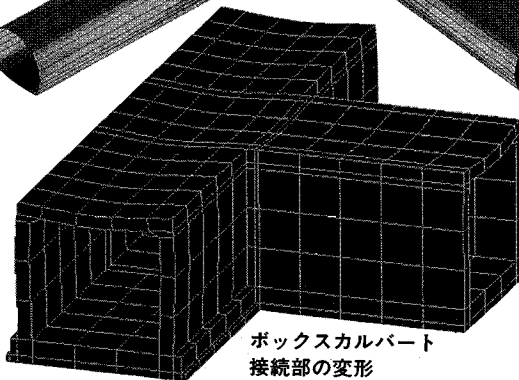
フォアパイの先受け効果の検証



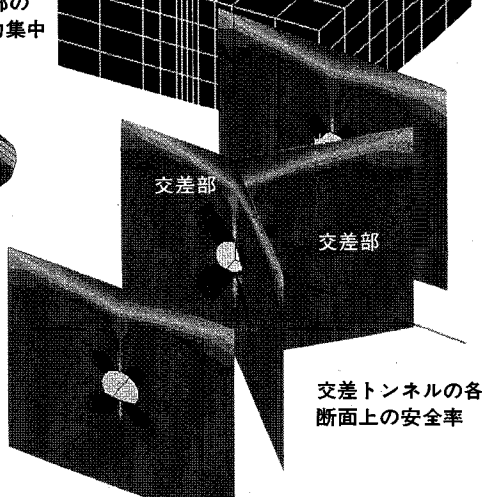
トンネル交差部の
吹付内の応力集中



立坑から横坑の発進



ボックスカルバート
接続部の変形



交差部

交差部

交差トンネルの各
断面上の安全率

- 有限要素を意識させない、要素や節点などの概念は一切表に出ない。あらゆる指定は直接図面上に。
- 強力な自動ステップ解析機能。掘削、盛土、地盤改良、支保などの施工過程をステップ毎に直感的に。
- 強力で痒いところに手が届くような3次元表現機能を豊富に実装。表示断面、表示部分が自在に設定可能。
- 図面入力から報告書作成まで全面的にサポートする統合システム。CAD、ワープロ、編集機能なども内蔵。
- 大容量：数万節点も解析可能。 ■高速解析：例えば、ペンティアムで6千節点に2時間。

開発・営業社員を募集中!



ソフトブレン株式会社

お問合せは 03-5695-1009

本社：〒001 札幌市北区北37条西4丁目 王陽ビル

TEL：011-736-7009 FAX：011-736-7449

東京営業所：〒103 東京都中央区日本橋茅場町3-8-5 308ビル

TEL：03-3663-7009 FAX：03-3663-7008

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)

¥980,000

断面2次元版

PC/UNISSF(V)

¥700,000

セットの場合

¥1,400,000

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、境界条件等各種データの入力、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)]

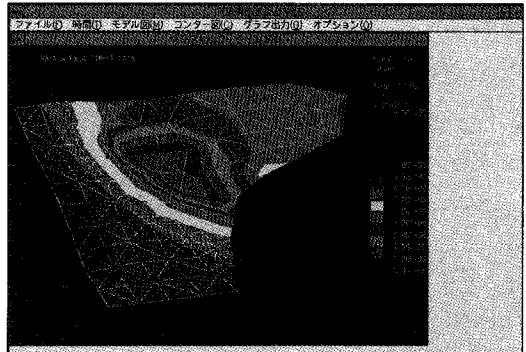
- ★収束状態により Δt を変化
- ★降雨および水位の経時変化に対応可能
- ★鉛直二次元解析だけでなく軸対称解析が可能
- ★自由地下水面を求めることが出来る
- ★浸出点の位置と浸出量を求めることが出来る
- ★①定常計算、②非定常計算、③定常計算を行ったのち非定常計算の3通りが可能

■ポスト処理 [(H)、(V)共通]

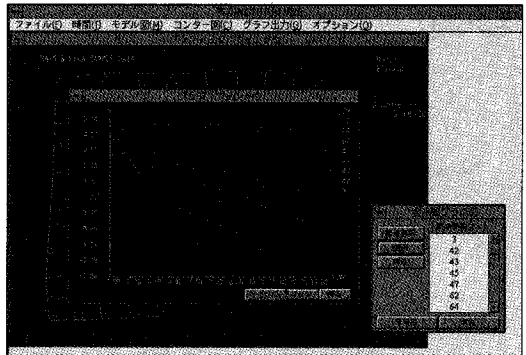
- ★線画に加えて画面塗りつぶし処理が可能
- ★水位の時間変化が簡単にグラフ化可能
- ★マウス入力とメニュー形式による操作性の大幅な向上

動作環境

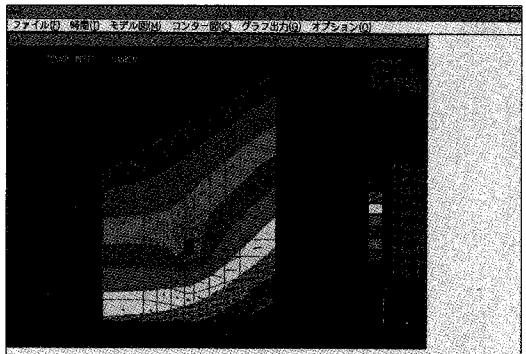
Windows Ver. 3.1
CPU:80486DX 33MHz以上
RAM: 8MB以上
ハードディスク空容量: 10MB以上



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

問い合わせ先

株式会社CRC総

日本技術開発株式会社

科学システム営業部

TEL: 06-241-4121

営業第1部/担当: 澤

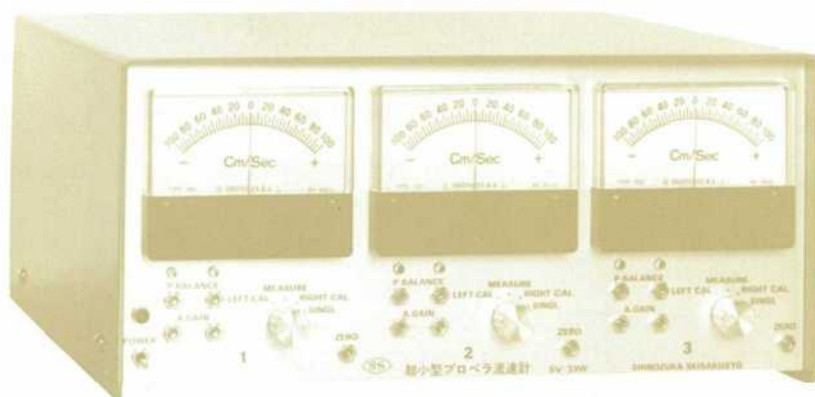


* Windowsは米国マイクロソフト社の商標です。
* UNISSFは情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

直径3ミリ

水理実験用に理想的

超小型プロペラ流速計 3チャンネル SV-33W型



米粒とプロペラ

- プロペラ検出器軸長
30~50cm, 軸の曲ったものも製作致します。

特徴

- ◎ 赤外線回転検出で水温や水質に影響されません。
- ◎ 往復流の正逆判別は高感度で確実です。
- ◎ 正逆判別のないシングルプロペラも使用出来ます。
- ◎ 独自の楕円軸に依り流れを乱すことが非常に小さくて済みます。
- ◎ プロペラが小さいので流速100cm/secで800~900パルスと高い分解能です。

水理実験用測定器専門

SS 篠塚製作所

〒196 東京都昭島市玉川町2-8-21 電話 0425-44-1731

昭和二十七年五月二十八日 第三種郵便物認可
平成八年八月十五日 印刷
平成八年八月二十一日 発行
土木学会論文集(毎月一回二十一日・二十二日発行)

定価 一、五〇〇円(本体価格・二四五六円)