

基礎捨石とケーソンの摩擦係数確認実験

鍛冶壮吉¹・後藤貞治²・滝本孝哉³

¹正会員 白島石油備蓄(株)建設一部 次長

²コスモエンジニアリング(株)四日市事業所 プロジェクト部 次長(前:白島石油備蓄(株)北九州事業所 課長)

³正会員 日本シールドエンジニアリング(株)第二事業部 企画調査室 課長

白島石油備蓄基地では、ケーソンの基礎マウンドに捨石を使用している。ケーソンの波浪に対する抵抗力は、ケーソンの底面と捨石間の摩擦力を期待している。設計では摩擦係数に $\mu=0.6$ を採用しているが、現場施工と同様の均し方法において同値が確保できることを確認する目的で室内実験を行った。実験の結果、平均最大摩擦係数は $\mu=0.66$ が得られた。

Key Words: rubble, coefficient of friction, foundation mound, caisson type breakwater

1. はじめに

「白島石油備蓄基地」では、貯蔵船の安全係留を確保するためにケーソン式防波堤を貯蔵船の周囲に配している(基地の概要は、本号掲載の「ケーソン式防波堤の背面に配した捨石土圧の現場計測」を参照)。

ケーソンは、図-1に示すように50~2000N級の門司産の基礎捨石の上に設置し、背面には裏込捨石を施工している。波浪に対するケーソン式防波堤の安全性は、ケーソンの底面と基礎捨石の摩擦抵抗力と背面の裏込捨石の土圧抵抗力で確保している。

石材は防波堤などの基礎材料として、しばしば多量に使用される材料であり、設計で用いる諸定数は種々の基準に示されている¹⁾。本設計では、ケーソンの底面と基礎捨石間の摩擦係数に $\mu=0.6$ を採用している。

本室内実験は、ケーソンの底面と基礎捨石間の摩擦係数について、現場施工で設定している基礎捨石の均し方法で設計上期待している摩擦係数が確保できることを確認する目的で行ったものである。

2. 実験概要

実験では、図-2に示す幅4600mm×長さ7000mm×深さ5400mmのコンクリート製ピット内に投入した捨石の上に鉄筋コンクリート製版(以下、載荷版と称する)を置き、水平方向にジャッキで載荷し、その時の作用荷重および載荷版の変位を逐次測定した。

実験に使用した捨石は、現場で実際に使用する門司産の50~2000N級の硬質砂岩を用いた。表-1には、JIS A 5006に基づいた捨石の力学的性質を示す²⁾。表

表-1 実験に使用した捨石の力学的性質

吸水率	見かけ比重	圧縮強度	単位体積重量
%	-	kN/m ²	kN/m ³
0.114	2.79	1.9×10^5	16.5

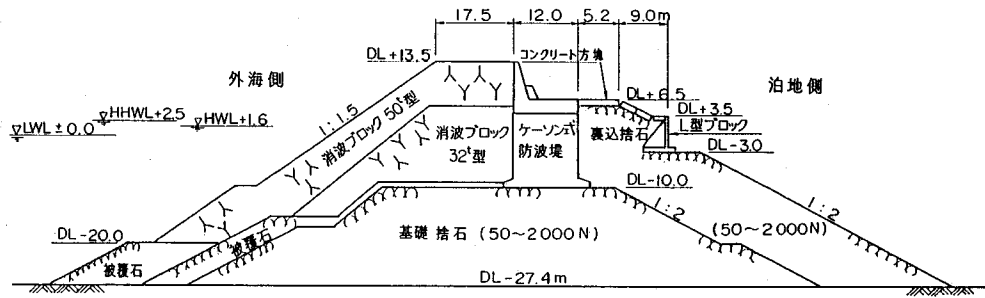
1-1の室内実験結果は、基礎捨石として必要な力学的性質を満足したものである。単位体積重量は、ピット内に作成した実験用マウンドから約0.5m³の捨石を壺状に取り出し、重量および取り出したところにシートを張り水による体積測定を行って求めた。表-1中の値は、上記の試験を3回繰り返した平均値である。

捨石の粒度分布については、採石場で採取した60~90kNの捨石を重量別に8段階に分類して、図-3に示す分布を得た。上記の分類を2度行った平均値は、荘司²⁾が行った門司産の粒度分布と近いものであった。

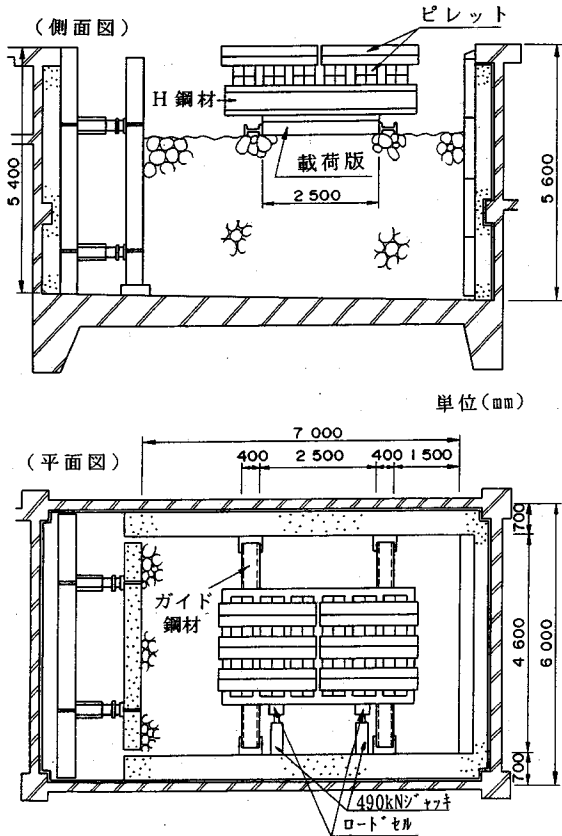
ピット内の実験用マウンドの作成は、基礎マウンドが海水中であることから予めピット内に水を満たし、捨石の締め固め度を考慮して³⁾水面付近から均等に捨て込んでいった。なお、水面は載荷版の底面付近になるように調整し、載荷版に浮力が生じないようにした。

捨石の均しは荒投入した後に人力で移動できる捨石で間詰めを行い、均しの平滑度は ± 5 cmとした(間詰め石均し)。なお、均し精度は写真測量で確認した。写真測量は、均し後の捨石面を2方向から撮影し、画像から得られる捨石表面の標高を電算処理して、表面の凹凸の量を数値で求める方法である。

ケーソンをモデル化した載荷版は、捨石の最大径が50cm程度であることから⁴⁾長さ2.5m×幅2.5mとし、載荷版が鉛直荷重で変形しないように厚さ0.3mの鉄



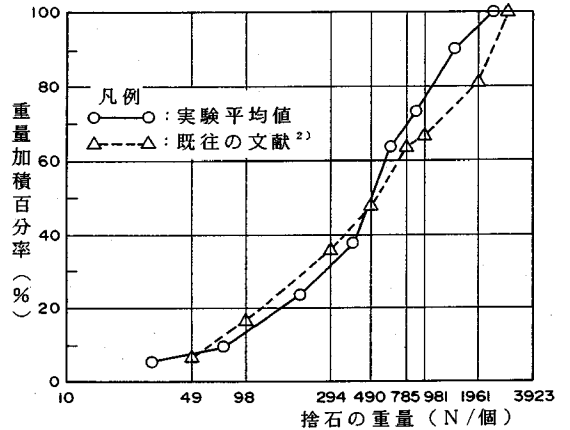
図一 北防波堤断面図



図二 実験装置の概要

筋コンクリート製とした。

マウンドは、1個1個の捨石の組み合わせで形成されている。そのため、ケーソンに作用する水平波力合力が小さい領域においては、個々の捨石が一体と成っている度合いによっては捨石が移動や回転を起こし、ケーソンに滑動変位が生じると推定された。この現象を確認するために、載荷は摩擦係数で0.1増加する毎の抵抗力まで載荷しては除荷する繰り返し荷重を作用させた。載荷を $\mu=0.6$ まで繰り返した後は、変位量で100mm程度まで継続して載荷し最大抵抗力を確認することとした。な



図三 捨石の粒度加積分布

表二 実験パラメーター

載荷版規模	捨石環境	鉛直荷重(kN)
長さ×幅 2.5m×2.5m	水中状態	208, 439, 603
	気中状態	607
2.5m×5.0m	水中状態	390

お、変位量の100mmは、ジャッキストローク長から制限された値である。実験は、表二に示すように載荷版の大きさならびに鉛直荷重を変化させて行った。鉛直荷重は、1組あたり約33.7kNの鋼製のピレットを使用し、載荷版上で偏心しないように上載した。なお、鉛直荷重は実験の安全管理上から98kN/m²を最大値とした。捨石の環境の欄の気中状態(捨石は表面乾燥状態)というのは、ピット内に水を満たさない状態で実験マウンドを作成したものである。

3. 実験結果

図四は、表三に示す12通りの実験のうち、No.2, 4, 6, 8について作用荷重(縦軸)と載荷版の水平変位量(横軸)の関係を示したものである。表三は、各実

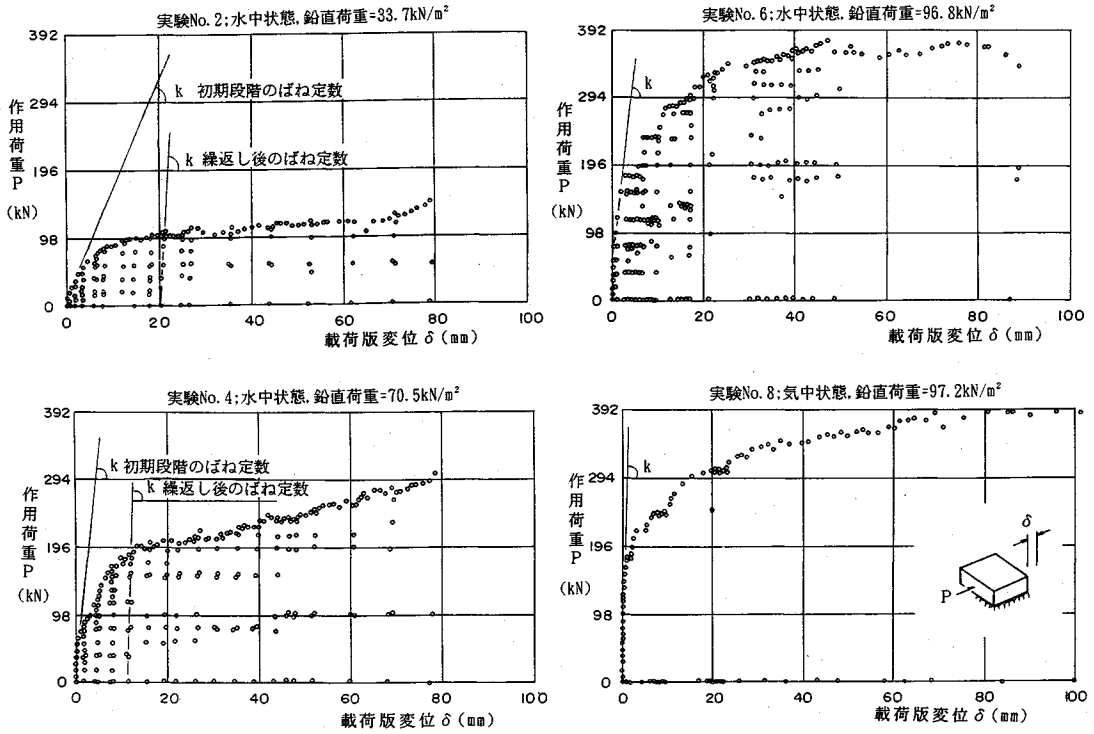


図-4 載荷版の荷重～変位図

表-3 最大作用荷重および摩擦係数

載荷版底面積 (m×m)	捨石の環 境状態	実験 No	鉛直荷重 (kN/m ²)	最大作用荷重 (kN)	最大摩擦係数 μ_{max}
2.5×2.5	水中	1	33.0	148.3	0.72
		2	33.7	146.1	0.69
		3	69.9	266.1	0.61
		4	70.5	305.0	0.69
		5	96.1	361.7	0.60
		6	96.8	375.6	0.62
	気中	7	97.0	405.1	0.67
		8	97.2	388.9	0.64
		9	97.2	406.7	0.67
2.5×5.0	水中	10	34.1	268.7	0.63

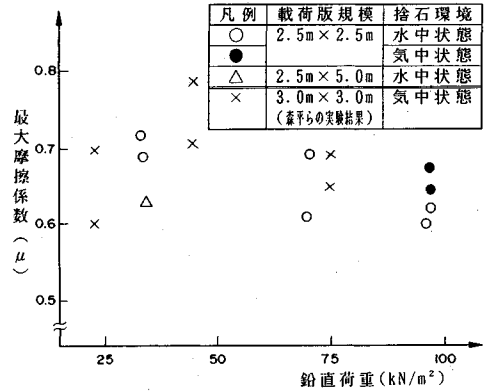


図-5 単位面積あたりの鉛直荷重に対する摩擦係数

験における最大作用荷重および最大作用荷重を全鉛直荷重で除した最大摩擦係数 (μ_{max}) を示したものである。

各実験の最大作用荷重は、載荷版が 45～90 mm の変位後に生じている。これは、載荷版の変位とともに捨石が移動し、個々の捨石間の隙間が無くなり、捨石が一体となって摩擦力に抵抗したためと思われる。

載荷版の変位が少ない初期の段階における作用荷重 (P)～変位 (δ) 曲線のばね定数 ($k=P/\delta$) は、実験 No. 8 の捨石が気中状態にある場合の方が、実験 No. 2,

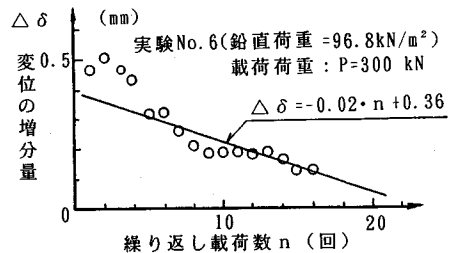


図-6 同一荷重の繰り返し載荷による滑动変位増分

4, 6 の水中状態に比較して大きい値を示している。これは、水中状態の場合には捨石が浮力を受けて軽くなっていることから捨石の締固め状態が気中状態に比較して十分でない状況にあったと予想される。しかし、水中状態にある場合でも繰返し載荷後のばね定数は、初期のばね定数より大きい値を有しており、水中状態であっても載荷版の変位量が比較的少ない段階で気中状態と同程度の締固めが完了すると思われる。また、2.5 m×2.5 m の載荷版における最大摩擦係数の平均値は、捨石の環境状態が水中状態および気中状態の両者とも同じ値であり、その値は $\mu_{\max}=0.66$ であった。

森平ら⁵⁾は、490~2256 N/個の捨石を用い、長さ 12 m×幅 5 m のマウンドを本実験と同様の土 5cm の均し精度で作成し、長さ 3.0 m×幅 3.0 m の鉄筋コンクリート製の載荷版を用いた摩擦係数を求める実験を行っている。図-5 は、単位面積あたりの鉛直荷重と摩擦係数の関係を示したものであり、森平らの実験結果(×印)を本実験結果と併せて示したものである。森平らの結果とほぼ同様の傾向を示しており、本実験の鉛直荷重の範囲では、鉛直荷重と摩擦係数の関係に明瞭な傾向は見られなかった。

図-6 は、実験 No.6 において、 $P=300$ kN の荷重を繰返し載荷した時の載荷版変位の増分量の推移を示したものである。変位の増分量は約 20 回の繰返し載荷後で、0.1 mm 以下となった。これは、荷重を繰返し載荷することで、捨石が移動して捨石間の隙間が間詰めされ、捨石が一体と成って摩擦力に抵抗したためと考えられる。

4. ま と め

本実験の結果をまとめると、次のようになる。

- 1) 捨石の最大摩擦係数は捨石の環境状態によらず同じ値であり、その平均値は $\mu_{\max}=0.66$ である。
- 2) 摩擦係数は、載荷版の大きさにほとんど関係しない。
- 3) 捨石が水中状態にある場合には、気中状態に比較して初期のばね定数は小さい。しかし、繰返し載荷後のばね定数は、初期のばね定数よりも大きい。

以上から、ケーソン防波堤完成後の初期の状態においては、ケーソンは小さい波圧が作用した場合でも残留変位は生じるが、その後の繰返し作用する波圧により徐々にマウンドが締め固められ、同じ波圧でも滑動量は小さくなり、完成後からある程度の期間を経過した後からは、ケーソンに滑動変位を伴わないで設計上期待した摩擦係数 $\mu=0.6$ に相当する摩擦抵抗力が早期から期待できる状態になると考えられる。

最後に、ご指導ご協力をいただいた福岡正巳博士ならびに運輸省港湾技術研究所、石油公団、白島石油備蓄基地建設工事 JV の関係各位をはじめ多くの方に深謝する次第である。

参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻): 社団法人日本港湾協会, p.128, 1989年改訂版。
- 2) 荘司喜博: 大型三軸圧縮試験による捨石材のせん断特性に関する考察, 港湾技術研究所報告, 第22巻, 第4号, pp.59-120, 1983.12.
- 3) 高橋英俊, 他8名: 捨石の水中落下速度について, 港湾技研資料(運輸省港湾技術研究所), No.249, pp.1-36, Dec.1976.
- 4) 粗粒材料の変形と強度: I 粗粒材料を用いた大型共通試験, 社団法人土質工学会, p.134, 1986.
- 5) 森平倫生, 他2名: 混成防波堤捨石マウンドの摩擦係数について, 第25回海岸工学講演会論文集, pp.337-341, 1987.

(1994.6.2 受付)

EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF THE COEFFICIENT OF FRICTION BETWEEN RUBBLE FOUNDATION AND A CAISSON

Sokichi KAJI, Teiji GOTOH and Takaya TAKIMOTO

At Shirashima Petroleum Storage Base rubble is used in the foundation mound for a caisson type breakwater. The resistance of the caisson breakwater against waves is expected to be the frictional force between the bottom slab of caisson and the rubble mound foundation. In the design a value of $\mu=0.6$ was used for the coefficient of friction. Laboratory experiments were conducted so that an identical value could be guaranteed with the same grading method as used on site. The results of the experiments give $\mu=0.66$ as the average maximum coefficient of friction.

道路公団、建設省、通産省の
研究機関をはじめ、ゼネコン
やコンサルのユーザーは既に

170社以上

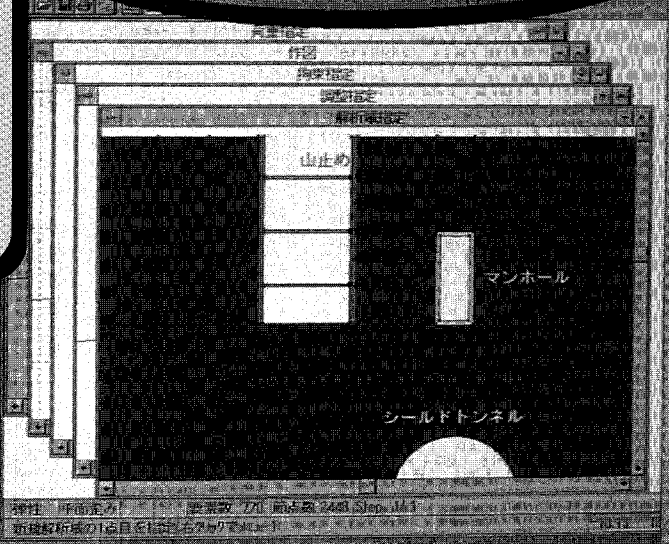
土木学会第19回情報システム
シンポジウムにて**受賞**

「日経コンストラクション」
コンピュータ応用技術
特集記事 掲載



夢の**構造解析システム**

もうご存知ですか

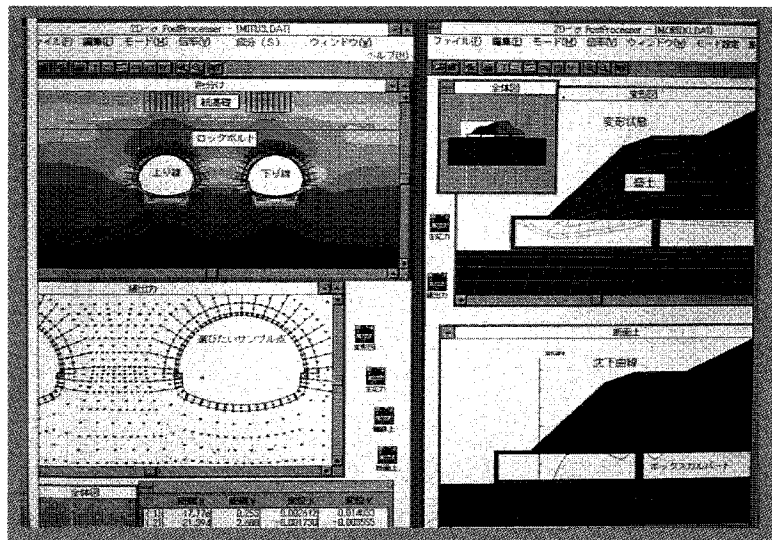


お確かめください。世界の土木構造解析をリードする。

斬新なコンセプトと驚異の自動化・高速化・大容量

大型機で数日間かかった解析がパソコンでわずか数十分間で！ 有限要素を意識せず、
誰でも、どこでも、低コストで簡単に！（一般技術者がノートPCによる現場解析も楽々）

- 有限要素の概念は一切表に出ない。解析の条件とプロセスを内蔵の高性能CADで作成した図面へ直感的に与えるのみ。土木構造解析特有の面倒な解析に特に有効（ステップ施工、掘削、盛土、支保、近接・拡幅、接触問題など）。
- 膨大な解析容量（1万節点以上）と驚異の演算速度（例えば5000節点前後の解析は66MHzのPCでも2、3分間で完了）。
- 豊富な入出力図面に編集を加え、コメントやキャプチャーを付けた上、最終成果物としてあらゆる出力装置へ出力できる。ワープロや表計算などの他のソフトにも図面を転送できるので設計技術者が夢見る調査・設計・評価の一括自動化を実現。
- 土木解析に必要な機能のほとんどに対応（非線形、弾塑性、接触面、熱応力、地震慣性力等）。



土木業界で**大好評**

詳細資料提供

開発・販売



ソフトプレーン (株)

本社：〒001 札幌市北区北37条西4丁目 王陽ビル

お問合せは **03-3592-7659**

Tel 011-736-7009 Fax 011-736-7449

地震を科学するCRC専門技術

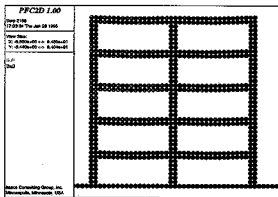
耐震
免震

倒壊, 瓦解
崩壊

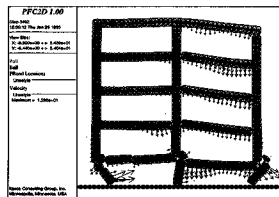
CRCでは、地盤、岩盤、橋梁構造物、地中構造物、ビル等の耐震、崩壊、安定性、液状化等、地震に関する種々の解析・評価を支援する専門技術を備えております。

断亀
裂裂

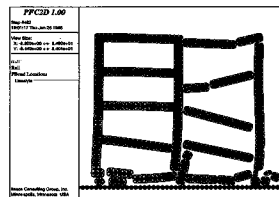
液状化



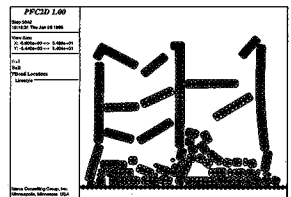
初期形状



崩壊モード(1)

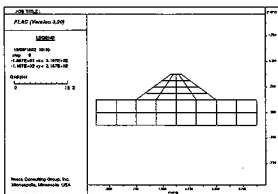


崩壊モード(2)

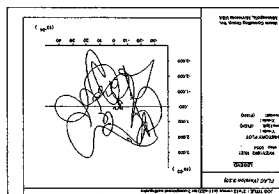


崩壊モード(3)

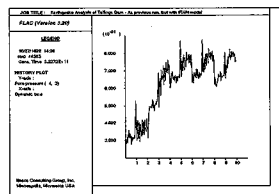
地震による建物の崩壊過程 (PFC使用)



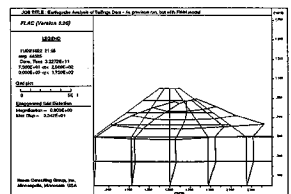
初期形状



歪みの時間軌跡



間隙水圧の時刻歴

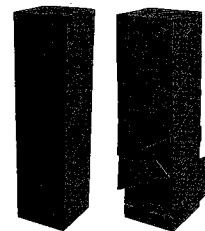


破壊状態

地震によるフィルダムの液状化による破壊 (FLAC使用)

解析コード

- SHAKE : 地盤地震応答解析プログラム
- DYNA2E : 骨組構造物の耐震解析プログラム
- DINAS : 構造物-地盤連成地震応答解析プログラム
- UDEC, 3DEC : 2次元, 3次元個別要素法プログラム
- FLAC, FLAC-3D : 2次元, 3次元有限差分法プログラム
- PFC, 3DPFC : 2次元, 3次元粒状体挙動解析プログラム
- SLOPE, Mr. SOIL : 地盤安定解析プログラム
- KASETU-5X : 矢板連続壁の仮設計プログラム



柱の崩壊 (3DEC使用)

株式会社 **CRC** 総合研究所

本社 建設技術部
 〒103 東京都中央区日本橋本町3-6-2 <TEL>(03)3665-9741
 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

パソコン用、準3次元広域地下水変動解析プログラム

未来設計企業

CRC

PC/UNISSF Ver.3.0 for Windows

“PC/UNISSF Ver.3.0”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、UNISSF(V-2)に強力なプリ・ポスト処理プログラムを付加し、Windows版として新登場しました。このプリ・ポストプログラムは、マウスを使ったメニュー形式の導入、画面上での入出力等の機能により、すぐれた操作性をもたらします。

新登場!

プログラムの特徴 (☆印は新機能)

■プリ処理

- ☆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、初期水位データ等の自動発生機能
- ☆モデル図を参照しながら、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

- ☆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

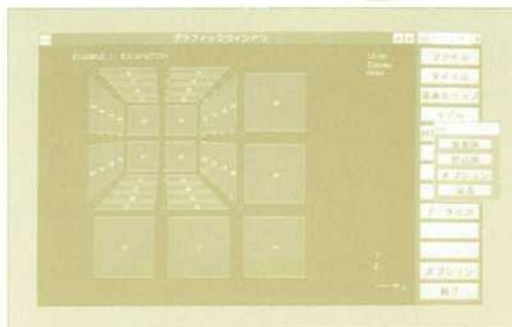
■ポスト処理

- ☆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

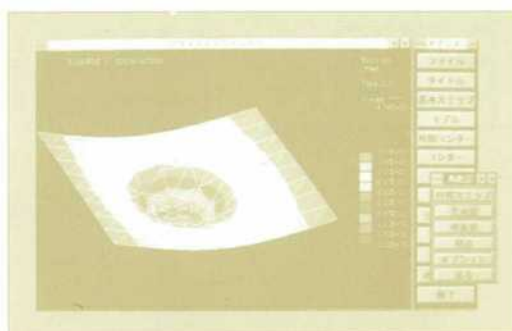
動作環境

Windows Ver.3.1
CPU: 80386 以上 (推奨 80486DX 33MHz以上)
RAM: 8MB 以上
ハードディスク空容量: 10MB以上

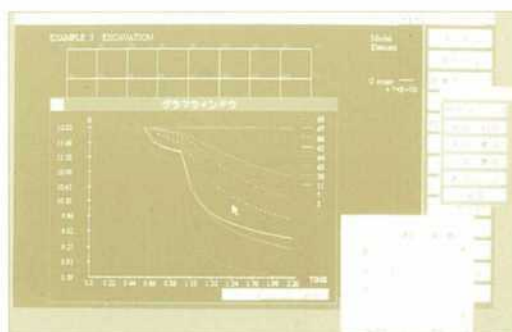
- ・UNISSFは情報処理振興事業会の委託を受けて当社で開発したプログラムです。
- ・Windowsは米国マイクロソフト社の商標です。



【モデル図】



【全水頭コンター】



【水位変化グラフ】

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..06-241-4730 (担当/松本)

通商産業省 特別認可法人
情報処理振興事業協会 (IPA)
〒105 東京都港区芝公園3丁目1番38
TEL..03-3437-2301