

討議 (和文)

**DISCUSSION
/CLOSURE**

[討議・回答]

伊豆田久雄
山本 英夫 共著
生類 孝博

“シールド発進で造成される円板凍土の強度特性に関する室内実験”への討議・回答

(土木学会論文集, No. 454/Ⅲ-20, pp. 47~54, 1992 年掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

榎戸源則 (群馬大学)

Motonori ENOKIDO

低温土質工学におけるこのような実験研究は、既往の研究も極めて少なく、また常温の場合に比し、手間と時間のかかる困難な研究であると推察致します。地道な御精進に対し敬意を表する次第です。

以下、浅学な筆者の疑問に対し、御解答いただければ幸いに存じます。

1. 既往の文献について

既往の文献を参考文献として記載する意味は次の二点にあると考えられます。第一に、読者に対し著者自身の研究との関連、継続性を明らかにすること。第二に、著者以外の研究との対比を行い、著者の研究の妥当性を検証すること。このような観点から参考文献を見ますと、殆ど著者自身の既往の研究であり、著者以外の研究は、5) (Vialov), 6) (Klin), 12) (Sayles) の 3 編のみであり、我国の研究者のそれは皆無であります。そこで、僭越ながら、筆者の既往の研究 (鉄筋と凍土の複合体「鉄筋凍土」に関する基礎実験, コンクリート工学 Vol. 21, pp. 35~44, 1983) を紹介させていただきます。

この実験研究は、凍土の圧縮強度が -30°C 程度の低温で 200 kgf/cm^2 になることに着目して凍土をコンクリートに代用できないか、特に、鉄筋コンクリートの代りに鉄筋と凍土の複合体としての使用の可能性について検討したものであります。その中で、鉄筋を挿入した凍土梁の曲げ試験を行っております。図-1, 図-2, 表-1 にその結果を示します。また、図-3 に、応力~ひずみ曲線とこの結果から変形係数 (弾性係数) $E/1/3$, 即ち、圧縮強度の $1/3$ 点の正割係数として求めた結果を表-2 に示します。 -10°C , -20°C , -30°C について圧縮強度と変形係数を求めておりますが、温度降下とともに圧縮強度が増加し、変形係数も増加しております。図-4 は、 -20°C における凍土の応力度レベル 38 kgf/cm^2 (圧縮強度 114 kgf/cm^2 の $1/3$) に対するクリープひずみ変化を示しています。

これらの実験結果において特に注目すべき点は、凍土

のクリープが大きく、変形係数の値が -30°C において $2 \times 10^4\text{ kgf/cm}^2$ であり、コンクリートの約 $1/10$ となっていることです。このため、現在、凍土は永久構造物の躯体としては使用されず、仮設構造物として使用されているに過ぎません。しかし、仮設構造物として使用する場合にも、長期間にわたって使用する時は、凍土自身のク

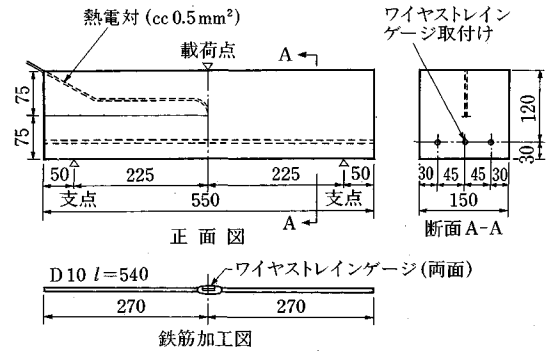


図-1 曲げ供試体構造図

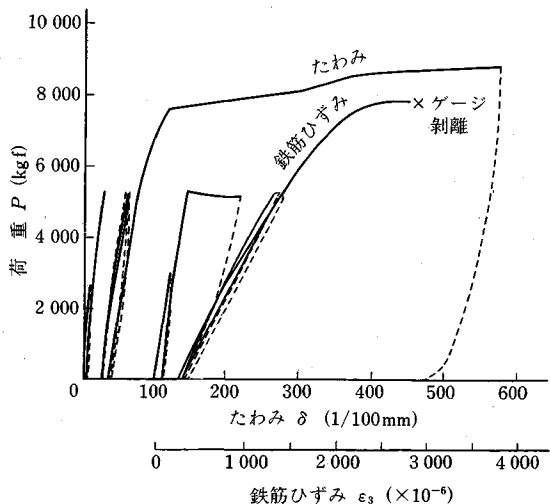
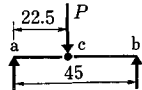


図-2 曲げ試験結果 (供試体 No. 6)

表-1 試験結果

供試体 No.	試験時温度 (°C)		初ひびわれ発生時		初ひびわれ発生時のたわみ (1/100mm)	初ひびわれ発生時の鉄筋ひずみ ($\times 10^{-6}$)	鉄筋降伏時		鉄筋降伏時のたわみ (1/100mm)	最大荷重時		備考
	開始時	終了時	荷重 (t)	モーメント (t·m)			鉄筋 (t)	モーメント (t·m)		荷重 (t)	モーメント (t·m)	
1	-34.0	-29.8	5.00	0.563	5	320	8.15	0.917	100	9.80	1.103	
2	-33.8	-29.0	5.50	0.619	25	410	7.20	0.810	75	11.20	1.126	
3	-34.1	-30.5	5.15	0.579	5	300	7.70	0.866	45	11.50	1.294	
4	-35.1	-31.0	6.85	0.771	45	710	7.00	0.788	95	9.00	1.013	変位計離脱
5	-34.5	-31.2	7.85	0.883	40	520	7.15	0.804	90	9.30	1.045	
6	-34.0	-27.5	5.30	0.596	32	400	7.30	0.821	110	8.80	0.990	繰返し載荷
7	-34.2	-28.0	5.95	0.669	30	530	7.65	0.861	90	8.55	0.962	持続荷重変位計離脱
平均値	—	—	—	0.669	—	—	—	0.838	—	—	1.076	



$$M_c = \frac{P}{2} \times 22.5$$

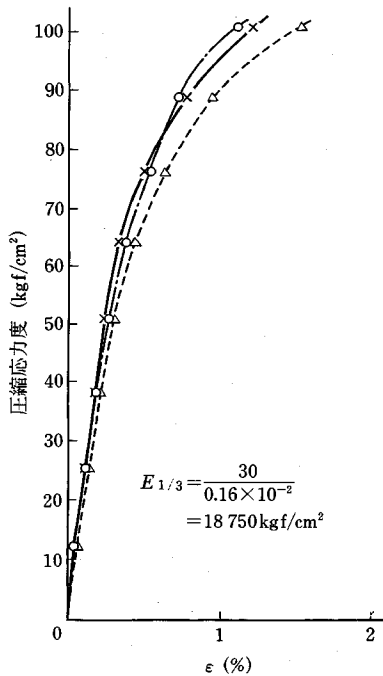


図-3 応力度-ひずみ曲線 (-20°C)

リーブや凍結膨張(凍上)に伴って発生する凍結土圧(凍結膨張圧)により、周辺地盤および構造物に変形が生じますが、この現象は、凍結工法の短所なので、一般的には明らかにされていないように見られます。

著者の研究においては、この点についての記述がみられないのは残念です。コンクリートの例(参考文献7))と対比して論じておりますが、上記の事実は、コンクリートと相違する凍土の特性であります。従って、著者の論文では、凍土壁は土圧と水圧により、図-5、図-6のようなクラックが生じますが、時間の経過と共に、クラックが修復される方向になる場合もあり、むしろ、クリー

表-2 圧縮試験および弾性係数測定結果

試験温度 (°C)	供試体 No.	試験時温度 (°C)		荷重 (t)	圧縮強度 (kgf/cm²)	弾性係数 (kgf/cm²)
		開始時	終了時			
-30	付着試験時採取	-35	-29	14.3	182	—
	"	-35	-29	17.1	218	—
	曲げ試験時採取	-35	-29	15.3	195	—
	"	-35	-29	15.3	195	—
	平均	—	—	—	198	20 000*
-20	1	-22	-18	9.01	114	—
	2	-22	-18	8.90	113	—
	3	-22	-18	9.02	115	—
	平均	—	—	—	114	18 750
-10	1	-11	-9	5.50	70	—
	2	-11	-9	5.65	72	—
	3	-11	-9	5.40	69	—
	平均	—	—	—	70	10 000

注) *弾性係数は圧縮強度の1/3点における正割係数を示す。

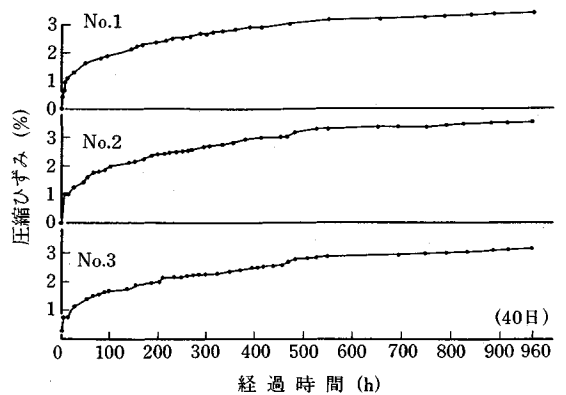
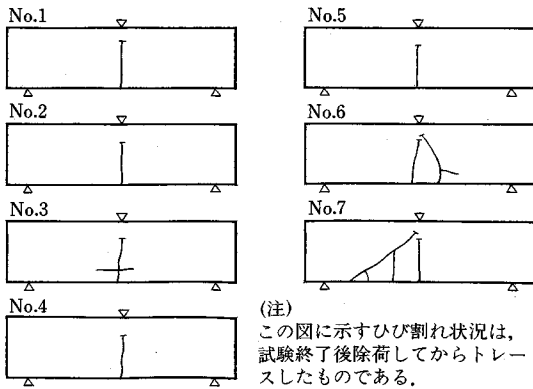


図-4 ひずみの経時変化 (試験温度 -20°C, 応力度レベル 38kgf/cm²)



図—5 ひび割れの発生状況

プによる変形の影響も考慮する必要があるのではないか。検討はされておるか伺いたい。尚、図—5は、私共の実験でのクラックの発生状況を示します。単独の集中荷重のせいもあり、著者の参考文献7) (集中荷重が2つ)と異なり、クラックの発生位置は載荷点の真下にあり、一部鉄筋に並行なひびわれの発生がみられるに過ぎません。

2. 著者の研究結果の最適設計および実際問題への適用例について

著者の研究は、最終的にはシールド工法に適用されることを最終目的として実施されたのだと思いますが、実際問題への適用結果について、明らかにしていれば幸いです。特に、クラックの発生状況とクリープおよび周辺地盤へ影響など、観測や測定の難しさはあると考えられますが。

3. 降伏点の決定について

著者の論文図—4から、液圧が直線的に増加する部分

表—3 鉄筋コンクリートと鉄筋凍土の比較

項目	コンクリート ($\sigma_c=200\text{kgf/cm}^2$)	凍土 (-30°C)
付着応力度	$\tau_{at}=7\text{kgf/cm}^2$	$\tau_{max}=54\text{kgf/cm}^2$
線膨張係数	$10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$	$16 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
圧縮強度	200kgf/cm^2	198kgf/cm^2
弾性係数	$2 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$	$2 \times 10^4\text{kgf/cm}^2$
引張強度	20kgf/cm^2	22kgf/cm^2

を推定し、降伏点を決定されておりますが、黒丸(●)の部分までが必ずしも直線の関係と推定されるのは、やや無理があるのではないのでしょうか。むしろ、黒丸(●)より白丸(○)の方がより降伏点に近いとみられますが。

4. 実験温度について

著者の研究では、-10°Cにおいて実験されておりますが、実際の凍結工法は、-20°C~-30°Cの温度で実施されるのではないのでしょうか。この点についての説明がなされておられません。

5. 凍着距離について

凍着距離 f と降伏圧力 P_v 、最大圧力 P_{max} との関係を厚み開口比 $t/2a=0.15$ の場合について図—7に示しております。何故0.15であるのか、「 $t/2a$ が異なる場合でも P_{max} 後に凍上の剝離は見られなかった。」とありますが、 $t/2a$ が異なる場合、例えば0.3の場合なども同じになるのですか。

参考文献

1) 榎戸源則：鉄筋と凍土の複合体「鉄筋凍土」に関する基礎実験、コンクリート工学, Vol. 21, No. 2, pp. 35~44, 1983.

(1992.12.4 受付)

回答者 (Closure)

伊豆田久雄・山本英夫・生頼孝博 ((株) 精研)

Hisao IZUTA, Hideo YAMAMOTO and Takahiro OHRAI

著者らの論文に対し、貴重な討議と質問を寄せて頂き、感謝いたします。御意見は5点からなりますが、第1点については、図表を豊富に使い詳しく説明されていますから、回答は第1点に重点をおいて述べます。

1) その1—凍土の変形・破壊に関する他の研究との関連性; 凍土の力学的性質の多くは、一軸圧縮試験によって調べられています¹⁾。また、凍土の曲げ強度特性に関する研究も、直方型のはり凍土²⁾⁻⁶⁾に対してされています。しかしながら、論文で示したように、凍土の形状が円板型になった場合には、直方型でこれまで得られた実験結果とクラック発生状況(分布、クラックの深

さなど)がかなり異なっていました。これが、本論文で直方型の凍土の曲げに関する先行研究の引用を省いた理由です。また、円板型の凍土に関する研究は、我々の調べた限りでは、過去に全くなかったため、参考文献を挙げる事ができませんでした。

御指摘のように既往の研究と比較検討することは重要と考えますが、他の研究を参照することができず、結果的に円板型凍土に関する我々の研究が多くなってしまいました。

1) その2—凍土のクリープ性の影響; 指摘されてますように、凍土は他の強度部材(金属、コンクリートな

ど)に比べると、クリープ性が高いと我々も考えております。クリープ性が円板型の構造体凍土の変形特性に及ぼす影響は、工学的に非常に重要であります。

一方、実際の凍結工事では開口径が10mを優に越す凍土を造成して、この円板型凍土によって30 ton/m²以上の土水圧に対抗させています。このため円板型凍土の安全性については充分かつ慎重な検討が要求されるわけで、円板型凍土のクリープ性については、系統立った実験と検討を終えたのちに論文発表し、改めて諸兄に御意見を頂戴したいと思っています。

なお、ひずみ速度が小さい、または、温度が氷点に近い凍土では、10パーセント近くたわんだ後も、クラックが全くないことを我々も観察しています^{7),8)}。この現象は、土粒子間の氷の転移および復氷によるものと考えていますが、同様の現象が例示されている鉄筋凍土でも生じたか、我々としては分かりません。

2) 実際の凍土壁の変形挙動;1)で述べたように、実際の工事では非常に大きな土水圧を凍土壁で支えるわけですから、変形やクラックは全く生じない安全率に基づいて設計・施工しています。したがって、質問されているようなクリープや、ましてやクラックの発生の観測例はありません。

なお、本実験で得られた結果を、実際の工事に適用するには、一般に知られているスケール効果、クリープ性、地盤の多層構造などの検討が必要と考えられます。

3) 降伏点の決め方:本論文中的図-4で例示した加圧液圧と時間(=加圧液量)曲線における特異点は、黒丸(●)と白丸(○)の2点であります。どちらを降伏点と定義するのが妥当であるかという御意見ですが、我々も厳密な見識は持っていません。降伏とは何かという点は難しく、現段階では未解明な問題です。このため、本論文では、円板型凍土全体に破壊が広がる最大圧力の点(白丸)と区別する意味から、黒丸の点を降伏点と呼びました。

なお、直線区間が通常の要素試験の場合より短いため、黒丸の決定については多少の誤差を伴うのは御指摘の通りです。しかし、この誤差が円板型凍土の強度特性全体に大きな影響を与えることはないと思われます。

4) 実験温度;実際の凍結工事において凍結管内のブライン温度は-30°C前後です。しかし、造成される凍土壁の平均温度は、-10~-20°Cの範囲にあり、過去の実験でもこの温度範囲を主な対象としています。

5) 凍着距離;図-10で示した全実験($t/2a=0.8\sim 3.5$)でも、 P_{max} で凍土の剝離は観察されませんでした。しかし、凍着距離が及ぼす影響の実験は、 $t/2a=0.15$ しか行っていません。今後、追加すべきものと考えています。

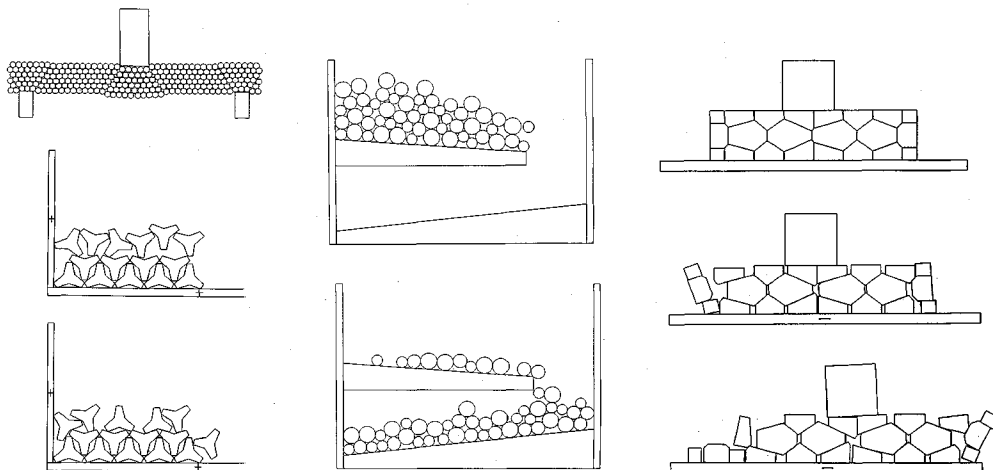
参 考 文 献

- 1) 土質工学会編:土の凍結—その理論と実際, 土質工学会, 1993.
- 2) Soo, S., Wen, R. K. and Andersland, B.: Flexural Behavior of Frozen Soil, Can. Geotech. J., Vol.23, 1986.
- 3) Fukuo Yoshiaki: On the Rheological Behavior of Frozen Soil (Part II), Bull. Disas. Prev. Rev. Inst., Kyoto Univ. Vol. 16, Part 1, No.106, 1966.
- 4) 榎戸源則:鉄筋と凍土の複合体に関する基礎研究, 土と基礎, 31-4, pp.13-18, 1983.
- 5) 栗原宏武・田中益弘・深沢栄造・堀 信之:凍結空洞の安定に関する研究(その1)—凍土の曲げ特性について—, 鹿島建設技術研究所年報, No. 32, pp.141-148, 1984.
- 6) 後藤 茂・赤川 敏・了戎公利:室内実験における凍結土の強度および変形特性, 清水建設研究所報, No. 3, pp.37-49, 1980.
- 7) 伊豆田久雄・生頼孝博・山本英夫:凍土の曲げ条件下における変形挙動と強度特性, 雪氷, Vol.50, No.1, pp.25-32, 1988.
- 8) 伊豆田久雄・生頼孝博・山本英夫:円板凍土の強度に関する模型実験(1), 土木学会第40回年次学術講演概要集, Vol. 3, pp.799-800, 1985.

(1993.7.24 受付)

個別要素法プログラムシリーズ

■開発元 Dr.Cundall (ITASCA社)



UDEC

個別要素、差分要素を基本とする汎用2次元コードです。転倒・滑落解析、不連続性岩盤の安定及び掘削解析、熱解析等の機能を有します。

BALL2D/3D

解析対象を円あるいは球でモデル化する手法のコードで、この手法は数多くの個別要素法プログラムに採用されています。

BALL2D-Polygon

BALL2Dに多角形ブロックを機能追加したバージョンです。任意剛体壁境界あるいは、飛翔体等を多角形ブロックとし、円ブロックとの相互作用解析が可能です。

BFLOW

解析対象を任意多角形でモデル化する手法のコードで、接触判定ロジック、特に凹型のブロックの接触判定の難点を解決したものです。

UDECではやや困難な完全崩壊、流動解析に適します。

CASK-3D

キャスク等の3次元円筒構造物の地震時の転倒解析コードです。

■価格

●UDEC	SUN/IBM-PC	ソース・コード	260万円
	(Barton-Bandis Model等の機能追加も可能です。)		
●BALL2D/3D	SUN/IBM-PC/FACOM/HITAC	ソース・コード	各200万円
●BALL2D-Polygon	SUN/IBM-PC	ソース・コード	260万円
●BFLOW	SUN/IBM-PC	ソース・コード	260万円
●CASK-3D	SUN/IBM-PC	ソース・コード	200万円

プログラムはいずれも最新バージョンを提供いたします。また、問題に応じた個別要素法プログラムの開発も行っています。

* 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

〒151 東京都渋谷区上原2-2-7 カマタビル201
TEL.(03)3485-9360 FAX.(03)3485-6955

地盤の有限要素法解析ソフト

未来設計企業



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、施工ステップを違った解析が可能
- ・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、梁要素の断面力図*、安全率図

降伏要素プロット図* (各図拡大可能)

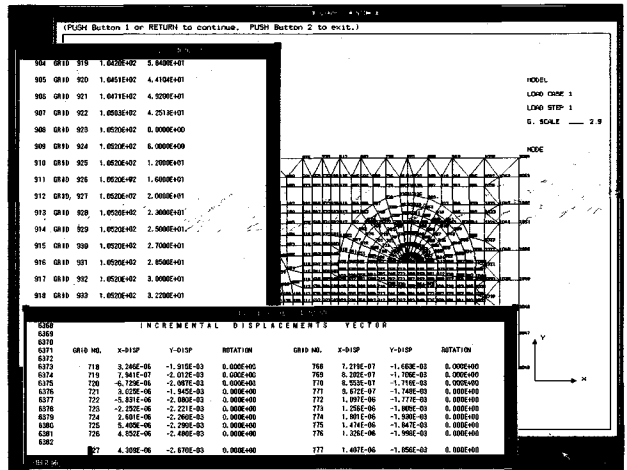
*はV2.5による追加機能

◆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など).....220万円 (税別)

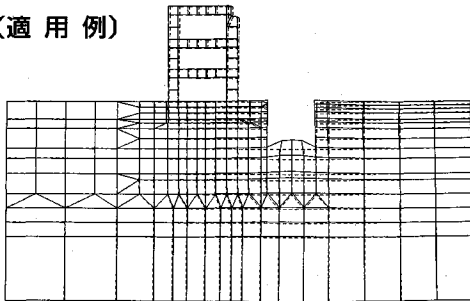
◆実績が示す信頼性

(使用実績 261本 平成5年8月現在)

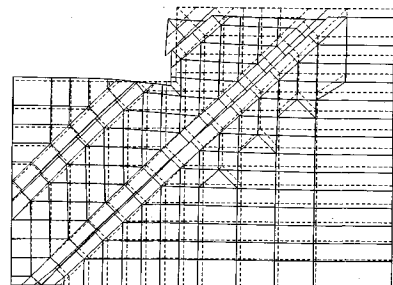


EWS画面表示

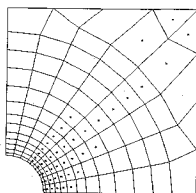
(適用例)



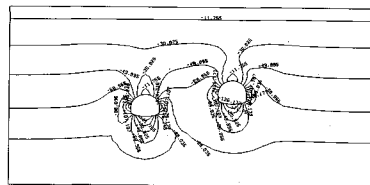
近接施工解析



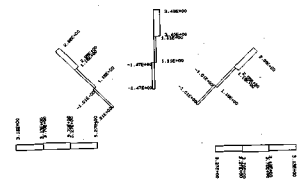
ジョイントを考慮した掘削解析



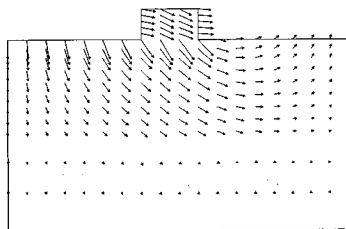
降伏要素プロット図



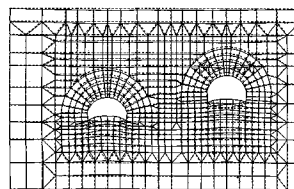
応力コンター図



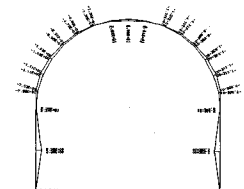
ロックボルト棒要素軸力図



変位ベクトル図



変形図



梁要素モーメント図

NATM工法による掘削解析

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

土と水の連成逆解析プログラム

未来設計企業

CRC

UNICOUP

応力解析と浸透解析がドッキングした!

軟弱地盤の解析に!

海洋開発・埋立

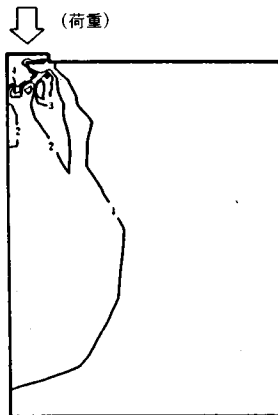
盛土・掘削

出力項目

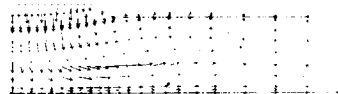
- 各節点での変位、各要素での応力
- 各節点での全水頭・圧力水頭 他
- 豊富な図化処理
変位図、変位ベクトル図、応力ベクトル図、応力コンター図、安全率コンター図、水頭コンター図、圧力水頭コンター図

プログラムの特長

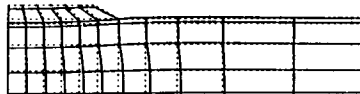
- 応力と地下水の流れをカップルさせた問題が解析可能です。(圧密含む)
- 地下水の流れは飽和・不飽和域を対象としています。
- 多段掘削・盛土や降雨等が扱えます。
- 梁や連結要素も扱え実用的です。
- 経時観測記録(変位・水位)があれば、非線形最小二乗法に基づき変形係数や透水係数が逆解析できます。(順解析、逆解析がスイッチにて選択可能です。)
- 弾性・非線形弾性・弾塑性・弾粘塑性を示す地盤が扱えます。
非線形弾性(電中研式、ダンカン・チャンの双曲線モデル)
弾塑性(ドラッカー・ブラガー、モール・クーロン、カムクレイモデル、ハードニング、ソフトニング)
弾粘塑性(関口・太田モデル)



応力増分コンター ($\Delta\sigma V$)
(10日後)



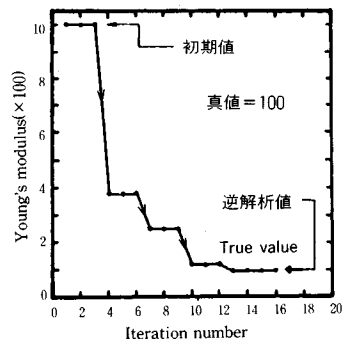
変位ベクトル図 (40日後)



盛土 (40日) 後の地盤の変形



盛土 (40日) 後の地下水の流れと水頭
コンターおよび自由水面



ヤング率と繰り返し回数の関係

逆解析によるパラメータの推定

この製品は、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。
通商産業省 特別認可法人

IPA 情報処理振興事業協会

株式会社 **CRC** 総合研究所

西日本支社

〒105 東京都港区芝公園三丁目1番38号
TEL. (03) 3437-2301

問合せ先

〒541 大阪府中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当: 岩崎
(03) 3665-9741 本社窓口: 菅原

旧バージョン(Ver. 1.0)ご使用の皆様、お待たせいたしました。

未来設計企業
CRC

好評につき

新バージョン(Ver. 2.0)

リリース開始!

任意形状臨界すべり面自動決定システム

Mr. 一番すべり Ver. 2.0

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、安全率を算定する斜面安定計算システムです。ご好評をいただいた本システムが、さらに充実した操作性、新機能を備えて新登場しました。

Ver. 2.0 新機能

- ◆ 計算対象すべり面制限機能(定義した部分をすべり面が必ず通過する)
- ◆ 必要抑止力の計算(任意の必要安全率に対して計算する)
- ◆ 臨界すべり面位置座標のファイル出力
- ◆ 既知すべり面のデータ入力による安全率の算定
- ◆ 外水面の導入(フィルダムなどの湛水斜面に対応)
- ◆ 結果のハードコピー機能
- ◆ マウス誤操作時のやり直し機能



軟弱層をはさむ場合

凸形基盤上の切土斜面

適応機種：NEC PC9801シリーズ

価格：50万円(税別)

(既にVer. 1.0をご使用の場合は、5万円で交換致します)

デモプログラム貸出中

あなた自身の手でご確認ください。

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
(03)3665-9741 本社窓口:小林