

フラッシュダイヤフラム型圧力計を用いた静的 破碎剤の簡易膨張圧測定法

副田孝一*・原田哲夫**・上林真幸***・
細野克夫****

現在、静的破碎剤の膨張圧の測定法として、鋼管の外周面にひずみゲージを貼付し、厚肉円筒理論式により算出するいわゆる「外管法」が多く用いられている。筆者らは、静的破碎剤の膨張圧が液圧的に作用することを利用し、フラッシュダイヤフラム型圧力計を用いた簡易膨張圧測定法を考案した。本測定法は、測定精度が向上するばかりでなく、品質管理においては繰り返し使用することが可能となり、廃材を少なくする利点を有する。

Key Words : expansive demolition agent, expansive pressure, pressure transducer, strain gauge

1. 緒 言

静的破碎剤は、我が国で昭和54年に世界に先駆けて開発されて以来、無公害破碎工法のひとつとして破碎工事に広く使用されてきている。静的破碎剤を使用するにあたり、破碎設計を合理的に行ったり、品質管理を確実にするためには、静的破碎剤の膨張圧を精度良く測定することが不可欠である。

静的破碎剤は硬化とともに膨張するもので、その膨張圧を測定するにあたり、これまで、「外管法」、「内管法」と呼ばれる測定法が提案されている¹⁾。

現在、静的破碎剤の膨張圧の測定は、建設省技術評価規定に基づく建設技術「膨張圧を利用した破碎工法の開発」の技術評価委員会での試験法²⁾（以下建設省評価委員会法と略す）に準じて行われている。この方法は、口元まで水中に浸漬した長さ1mの鋼管に、静的破碎剤スラリーを充填し、鋼管外周面にあらかじめ貼付したひずみゲージによる値から、厚肉円筒理論式を用いて膨張圧を算出するもので、いわゆる「外管法」によって測定されている。

しかし、建設省評価委員会法では、鋼管長が長く取扱が不便なため、筆者らは、鋼管を短くする方策を検討した。鋼管を短くすると、口元から膨張圧が逃げるため、鋼管中央部の膨張圧が小さくなる傾向にある。そこで、長さ1mの鋼管の中央部の膨張圧と同等の膨張圧が得られるよう、上下を鋼板にて拘束する方法を考案し、品質管理試験に採用している。しかしながら、上述の測定法において、一度使用した鋼管は内部に静的破碎剤硬化体が密に詰まっているので、繰り返し使用するのが困難

であり、鋼管は使い捨てとなっている。また、外管法では標準的にはひずみゲージを鋼管の相対する面にそれぞれ円周方向、軸方向に貼付して計測しており、さらに測定精度を上げようとすれば、ゲージの貼付箇所を増す必要があり、一つの膨張圧を算出するための測定点数が多くなるわざらしさがある。

そこで、筆者らは、繰り返し使用可能な簡易膨張圧測定法を考案し、満足のいく結果が得られたので以下に報告する。

本測定法は、取扱いが簡便で、測定精度が高くかつ装置の繰り返し使用が可能であるという特長があり、静的破碎剤の品質管理が精度良く簡便に行うことができる。またFRP緊張材に使用する定着用膨張材³⁾およびケミカルジャッキ⁴⁾の現場での品質管理にも適用できるものと考える。

2. 簡易膨張圧測定法および測定装置

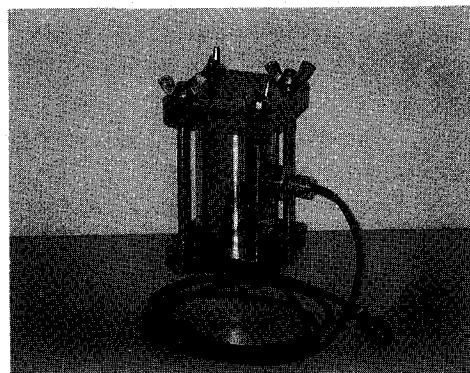
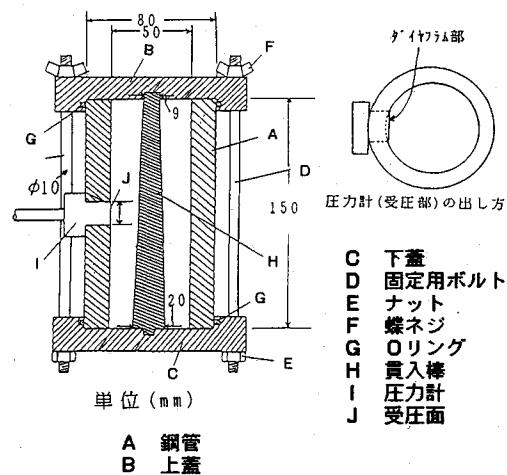
今回考案、試作した圧力計による静的破碎剤の膨張圧測定装置を図-1および写真-1に示す。文献1), 5)によれば、例えば外管法においては、膨張圧は鋼管内面の摩擦によって鋼管軸方向に引張力として作用するが、鋼管表面のひずみゲージから求めた軸方向引張力は、半径方向の膨張圧と静的破碎剤断面積との積に等しいという結果が得られている。また、外管の中に内管を挿入したいわゆる2重管試験において、外管および内管に作用する膨張圧はそれぞれ等しいという結果と、上記と同様に鋼管軸方向の作用引張力は半径方向の膨張圧と静的破碎剤断面積との積に等しいという結果が得られており、これらの実験結果から、静的破碎剤は固体化し膨張するがその圧力伝播は液圧的に挙動するとしている。本試験方法では、静的破碎剤の膨張圧が液圧的に作用することを利用し、膨張圧を直接フラッシュダイヤフラム型圧力計により計測するもので、測定点数は、圧力計1個に対し

* 正会員 小野田セメント（株）建設材料研究所
(〒285 佐倉市大作2-4-2)

** 正会員 工博 長崎大学助教授 工学部構造工学科

*** (株)小野田 発開研究所 土木材料チーム

**** 小野田セメント（株）建設材料研究所



て1箇所で済む利点がある。

さらに本測定装置は、鋼管内部にテーパー状の貫入棒を挿入している。これは膨張圧測定終了後、硬化した静的破碎剤硬化体の除去作業を容易にするために設けており、本測定法の特長の一つである。つまり、テーパー状であるため静的破碎剤の膨張圧に抗して簡単に貫入棒を取り出すことができ、静的破碎剤硬化体の上面と下面との間を貫通する、貫通孔が形成される。貫通孔が形成されると、拘束が解除されるため、容易に静的破碎剤硬化体を鋼管から取り除くことができる。

3. 膨張圧試験方法

圧力計による膨張圧測定方法が、従来の外管法と比較して、どの程度の精度が得られるか、また静的破碎剤の種類により違いはないのかを確認するため以下の条件で膨張圧試験を実施した。

(1) 静的破碎剤

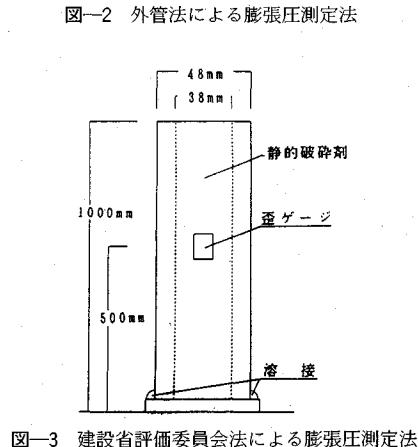
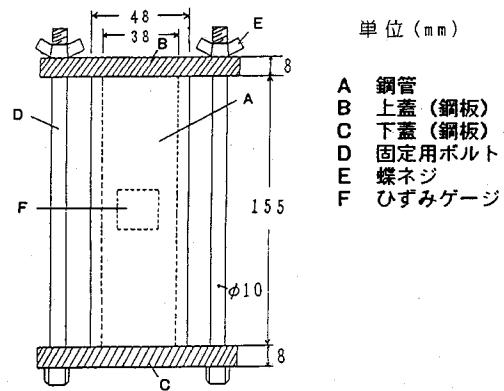
破碎剤A(O社製、夏期用)

破碎剤B(O社製、冬期用)

表-1にそれぞれの破碎剤の化学成分を示す。

表-1 使用した静的破碎剤の化学成分
(wt%)

	Igloss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
破碎剤A	1.3	8.5	2.0	0.9	82.9	0.7	3.3	99.6
破碎剤B	1.4	4.4	1.3	0.5	90.3	0.8	0.9	99.6



(2) 測定方法

a) 外管法

図-2に筆者らの採用している測定法の概略について示す。また、参考のため建設省評価委員会法(図-3)についても試験を実施した。

b) 圧力計による測定方法

図-1に示す試験装置にて測定した。なお、圧力計は(株)東京測器研究所社製フラッシュダイヤフラム型圧力計PWF-500を使用した。

(3) 試験条件

それぞれの静的破碎剤について水/破碎剤比=30%とし、ホバートミキサにて1分間練り混ぜそれぞれの試験装置に充填した。静的破碎剤は環境温度の影響を受けやすいので、その影響を無視できるよう、養生は破碎剤Aについて、20°C水中浸漬、破碎剤Bについては5°C水中浸漬とした。

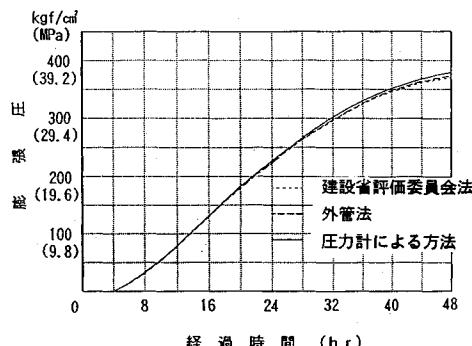


図-4 外管法および圧力計による膨張圧の経時変化(破碎剤 A)

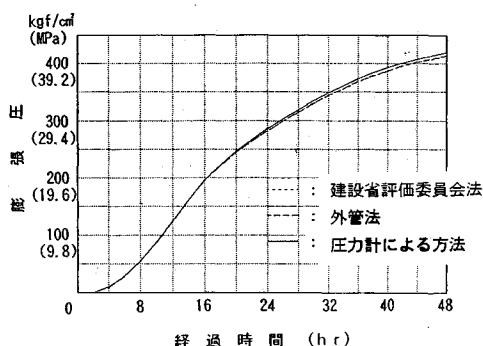


図-5 外管法および圧力計による膨張圧の経時変化(破碎剤 B)

(4) 試験回数

同一ロットの静的破碎剤を使用し、1回分毎練り混ぜ、外管法および圧力計による測定法について、10回ずつ試験を繰り返し実施した。なお、建設省評価委員会法については5回繰り返し試験を実施した。

4. 試験結果および考察

膨張圧試験結果および測定値のバラツキを表-2および表-3に取りまとめた。また、それぞれの試験法による測定値の平均値の経時変化を図-4、図-5に示す。

(1) 膨張圧の絶対値の比較

外管法および圧力計による膨張圧の平均値を比較すると、図-4、5に示すように、破碎剤A、Bとも試験法によってほとんど差はないが、両者とも圧力計による膨張圧の方が24時間で4~5 kgf/cm²程度、48時間で6~9 kgf/cm²程度高めにでているのが確認された。これらの値は、膨張圧の大きさに対して2%以下であり、表-2、3の標準偏差とほぼ同程度のバラツキの範囲内であるが、鋼管の肉厚の相違に起因する拘束度の影響とも考えられる。文献5), 6), 7)で、拘束度が大きくなるほど、膨張圧が高くなること、および拘束度がある程度以上になると膨張圧の差は小さくなることが報告されているので参考されたい。

表-2 外管法および圧力計による膨張圧測定結果とバラツキ
(破碎剤 A)

	外管法		圧力計法		建設省法	
	24時間	48時間	24時間	48時間	24時間	48時間
試験回数	10	10	10	10	5	5
平均値 (x)	223.1	373.2	226.7	379.3	221.9	370.2
最大値 (Max.)	230	388	232	386	228	385
最小値 (Min.)	213	367	221	373	210	365
Max. - Min.	17	21	11	13	18	20
標準偏差 (σ_{n-1})	6.38	9.74	3.59	5.52	6.57	9.79
変動係数 (%)	2.9	2.7	1.6	1.5	3.0	2.6

表-3 外管法および圧力計による膨張圧測定結果とバラツキ
(破碎剤 B)

	外管法		圧力計法		建設省法	
	24時間	48時間	24時間	48時間	24時間	48時間
試験回数	10	10	10	10	5	5
平均値 (x)	281.9	413.7	285.8	419.0	282.1	412.9
最大値 (Max.)	290	424	291	428	291	425
最小値 (Min.)	272	401	279	413	271	400
Max. - Min.	18	23	12	15	20	25
標準偏差 (σ_{n-1})	6.90	8.92	3.94	6.15	7.05	9.05
変動係数 (%)	2.4	2.2	1.4	1.5	2.5	2.2

(2) 膨張圧の測定精度

外管法による膨張圧と圧力計による膨張圧とのデータのバラツキの程度は、表-2により、圧力計による測定値の方がバラツキが小さくなっている、24時間で標準偏差が3 kgf/cm²程度、48時間で4 kgf/cm²程度、それそれ小さくなっている。

この理由は、外管法は、ひずみゲージの貼付状況や钢管の個体差の変動が誤差要因となるが、圧力計による測定値はこれらの要因が取り除かれるため、バラツキが小さくなるものと考えられる。

(3) 測定装置の繰り返し使用性

外管法では、钢管の内部に静的破碎剤硬化体が密に詰まっている、これを取り除くのは極めて困難で、钢管の繰り返し使用は難しい。一方、本試験法ではテーパー状の貫入棒を挿入しており、膨張圧測定終了後、静的破碎剤の膨張圧に抗して簡単に押し出すことができ、静的破碎剤硬化体の上面と下面との間を貫通する貫通孔が形成される。貫通孔が形成されると、拘束が解除されるため一昼夜水中に浸漬すると、未反応の静的破碎剤の体積膨張により、硬化体が脆弱になり、容易に钢管から取り除くことができた。またテーパー状の貫入棒を除去した後水中に浸漬せずに、ハンドドリルを使用すると、約10分程度で静的破碎剤硬化体を除去できた。また、本試験法に使用する钢管は、従来のものと比較して肉厚が厚いため、破碎剤の膨張圧によるひずみが従来の1/3となる

ので、繰り返し使用するのに有利となる。

以上より、本試験法では、特別な手段をとることなく容易に装置の繰り返し使用が可能となることが確認された。

5. まとめ

静的破碎剤の膨張圧が液圧的に作用することを利用しても、圧力計による膨張圧測定方法を考案し、従来の外管法と比較した結果、以下に示す結果が得られた。

(1) 圧力計による膨張圧測定法は、従来の外管法と比較して、破碎剤の種類によらずほぼ同等の値を示すが24時間で4~5 kgf/cm²程度、48時間で6~9 kgf/cm²程度高めにでているのが確認された。これらの値は、その時点での膨張圧の絶対値に対し、無視できる程度の大きさではあるが、鋼管の肉厚が厚くなることによる拘束度の影響とも考えられる。

(2) 圧力計による膨張圧測定法は、従来の外管法と比較して、測定誤差が小さくなり、24時間で標準偏差が3 kgf/cm²程度、48時間で4 kgf/cm²程度、それぞれ小さくなっている。

(3) 圧力計による膨張圧測定方法は、テーパー状の貫入棒を挿入しているため、内部の静的破碎剤硬化体を容易に取り除くことができ、測定装置の繰り返し使用が

可能となる。

(4) 以上より、フラッシュダイヤフラム型圧力計を用いた膨張圧測定法を静的破碎剤の膨張圧管理用の標準試験法として提案する。

参考文献

- 1) 原田哲夫・出光隆・渡辺明：静的破碎剤を用いたコンクリートの解体に関する基礎的研究、土木学会論文集、第360号/V-3, pp. 61~70, 1985年8月。
- 2) 建設省技術評価書、建技評第82301号、膨張圧を利用した破碎工法の開発、p. 16, 1983年。
- 3) 原田哲夫・出光隆・ミヨーキン・渡辺明：CFRP 緊張材の定着法とその長期および疲労特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 13, No. 2, pp. 759~764, 1991。
- 4) 原田哲夫・松田浩：静的破碎剤を用いたケミカルジャッキによるPC部材の接合法、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp. 177~182, 1992年。
- 5) 原田哲夫：静的破碎剤を用いたコンクリート構造物の解体に関する基礎的研究、東京大学学位論文、1988。
- 6) 原田哲夫・副田孝一・出光隆・渡辺明：静的破碎剤の膨張圧測定法と膨張圧の諸性質、土木学会論文集、第478号/V-21, 1993年11月。
- 7) 小林一輔・伊藤利治：膨張セメントの膨張圧に影響をおよぼす諸要因、土木学会論文集、第226号、pp. 67~72, 1974年6月。

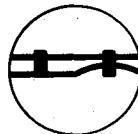
(1993.3.10受付)

THE MEASURING METHOD OF EXPANSIVE PRESSURE OF EXPANSIVE DEMOLITION AGENT USING FLUSH DIAPHRAGM TYPE PRESSURE TRANSDUCER

Koichi SOEDA, Tetsuo HARADA, Masaki KANBAYASHI and Katsuo HOSONO

When we measure expansive pressure of expansive demolition agent, "outer pipe method" has been generally adopted, which is calculated by the strain of strain gauges put on the outersurface of steel pipe. But in this method, steel pipes are not reusable because hardened materials in steel pipes are too hard to remove. Authors discovered that expansive pressure of expansive demolition agent is transmitted in a manner similar to that of fluid. And utilizing this character, authors developed new measuring method of expansive pressure using pressure transducer. This paper examines the accuracy of measuring value comparing the conventional outer pipe method. Test result are as follows : The standard deviation of expansive pressure using this method is 40% less than that of using outer pipe method. Besides, steel pipes are reusable due to the taper rod set inside the steel pipe when using this method.

図書案内



土木情報処理の基礎

—FORTRAN77に即して—

土木学会土木情報システム委員会
教育問題小委員会

B5版／331頁
定価／3,399円
会員特価／2,980円
￥480円

土木情報処理の基礎 II

(BASIC, Pascal, Cによる)

サンプルプログラム収録 フロッピーディスク(5inch)

土木学会土木情報システム委員会
教育問題小委員会

B5版／272頁
定価／3,800円
会員特価／3,400円
￥480円

学術用語集

～土木工学編（増訂版）～

B5版／931頁
定価／3,770円
￥550円

海岸工学用語集

「シソーラス付」「和英対照付」

A5版／430頁
定価／2,000円
会員特価／1,800円
￥480円

フォース橋の100年

100 YEARS OF THE FORTH BRIDGE

B5版／160頁
定価／5,000円
会員特価／4,500円
￥480円

コンストラクション クレーム

～予防と解決～

B5版／244頁
定価／9,500円
会員特価／8,550円
￥480円

■お申込は土木学会刊行物販売係へ

〒160 東京都新宿区四谷1丁目無番地 土木学会 電話03-3355-3411 内線144・145・146 振替東京4-763225
FAX.03-3355-3446

SAT/UNSAT

(SATURATED/UNSATURATED ANALYSIS PROGRAM)

適用例

- ダムや堤体の外水位の上昇・下降や降雨に伴う地下水解析
- トンネル掘削等による地下水への影響解析
- 矢板や連続壁による水の回り込みや止水効果の評価

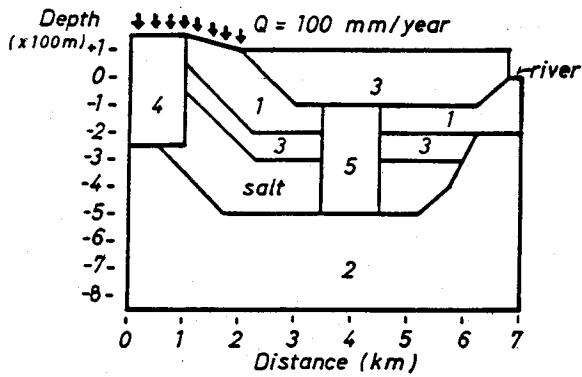


図1 放射性廃棄物処理場モデル

1:Sandstone 2:Sandstone 3:Shale 4:Limestone
5:Rubble zone Salt:Unpermeable

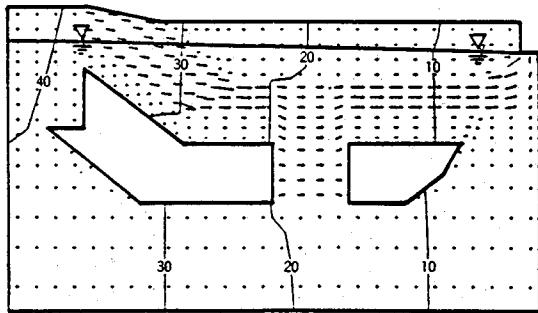


図2 放射性廃棄物処理場モデルの定常浸透流

EWS版 新発売!!

グラフィック機能に優れ、しかもコストパフォーマンスの高いエンジニアリング・ワークステーション(EWS)上で、ご利用いただけます。

NEWS, SUN, HP 等に対応。

自動車交通問題解析ソフト

TRシリーズ

未来設計企業
CRC

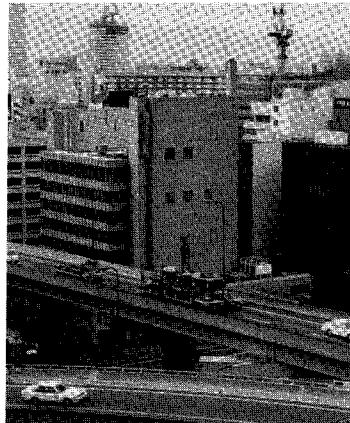
自動車騒音解析システム

TRNOISE

パソコン用に開発された自動車騒音解析システムです。道路に直角な断面における騒音レベルの中央値を予測します。計算方法は、日本音響学会式によるもので、1970年の提案以来、最も広く利用されている方法です。

操作は、画面に表示されるメニューを選択し、指定されたデータを入力します。特にコンピュータに関する知識は必要としません。

計算結果は、プリンタ及びフロッピーディスクに出力され、断面等騒音線図、距離減衰曲線を描くことができます。計算点は、格子点、環境基準評価高さ点、任意点の3方式による選択ができます。



自動車排ガス解析システム

TRGAS

パソコン用に開発された自動車排ガス解析システムです。道路に直角な断面における一酸化炭素(CO)・窒素酸化物(NO_x)の濃度(ppb)を予測します。計算方法は、建設省提案モデルです。

操作は、画面に表示されるメニューを選択し、指示に従ってデータを入力します。特に、コンピュータに関する知識は必要としません。

結果は、プリンタ及びフロッピーディスクに出力され、距離減衰曲線を描くことができます。計算予測点は、任意に10点まで設定できます。



自動車振動解析システム

TRVIB

パソコン用に開発された自動車振動解析システムです。道路に直角な断面における振動レベルの80%レンジの上端値を予測します。計算方法は、建設省提案モデルです。

操作は、画面に表示されるメニューを選択し、指示に従ってデータを入力します。特に、コンピュータに関する知識は必要としません。

結果は、プリンタ及びフロッピーディスクに出力され、距離減衰曲線を描くことができます。計算予測点は、任意に10点まで設定できます。



□お問い合わせ先

株式会社 **CRC総合研究所**

西日本支社 総合研究部

担当: 蔡内・中川

〒541 大阪市中央区久太郎町4-1-3 伊藤忠ビル
本社 / 〒103 東京都中央区日本橋本町3-6-2 小津本館ビル

☎06-241-4126

☎03-3665-9711(案内)



未来設計企業



(イタスカ)

米国ITASCA社開発の岩盤・地盤解析プログラム

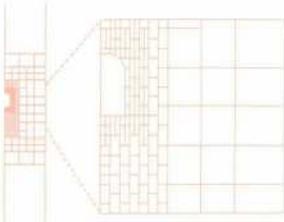
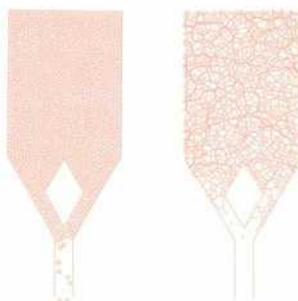
UDEC 3DEC

平成和二十七年五月一十八日
土木学会論文集(第222号)発行
平成和二十七年十一月十五日印刷
平成和二十七年十一月二十日二十二日発行

定価1,000円(本体価格・九七円)

個別要素法(DEM)プログラム

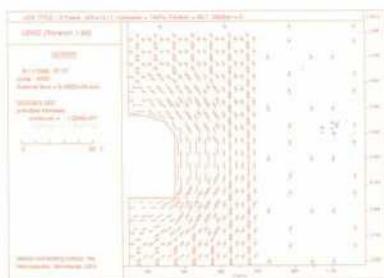
個別要素法(離散要素法)は、1971年にDr.P.Cundallが発表した不連続体数値解析手法であり、岩盤や地盤をブロックや土粒子の要素の集合体と考え、個々の要素が接觸要素から受ける力により運動方程式にもとづき挙動する様子を時間差分式にて時刻経過し計算する手法です。個別要素法は不連続力学の中心手法として位置づけられ、岩盤・地盤の崩落や安定性の解析、大深度地下空間、核廃棄物地下処理、鉱物資源開発等のプロジェクトおよび粒状体力学(粉体工学)の分野で有力な解析手段となっています。現在UDEC、3DECは全世界の研究機関・企業で標準コードとして広く使用されています。



ホッパー内粒状体挙動解析



亜裂性岩盤の3次元掘削解析



核廃棄物地中処理影響解析

オプション

■Barton-Bandisモデル

適用分野

- 粒状物質の挙動解析
- 鉱山採掘等 挖削解析
- 地震応答解析
- ジョイント内流れ解析
(浸透速成: UDEC)
- 核廃棄物の熱応力解析
(熱速成: UDEC)

販売条件

UDEC・3DEC・FLAC

- ◆EWS (SUN-SPARC)
- ◆IBM-PC/AT及び互換機
- ◆UDECはソースコードで提供します。
- ◆3DEC・FLACはロードモジュールで提供します。

FLAC

オプション

- ダイナミック解析モデル
- クリープ解析モデル
- 熱解析モデル

適用分野

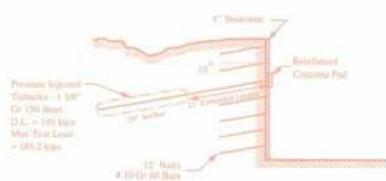
- 斜面・盛土の設計、安定解析
- 浅/深基礎設計
- アースダム、コンクリートダムの設計
- トンネルの設計
- 核廃棄物貯蔵解析
- 液状化解析

有限差分法(FDM)プログラム

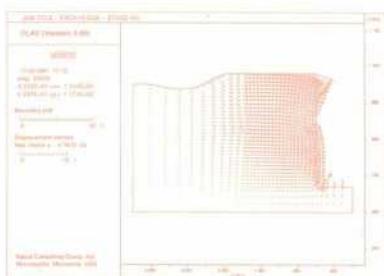
FLACは個別要素法コードUDEC、3DECを発展したDr.P.Cundallが同様の有限差分ソリューションを用いて連続体の塑性大変形の解析するために開発したコードで、現在、全世界で数多く使用されています。有限差分法は、地盤、岩盤を有限な領域内で離散化し、運動方程式と構成則を差

分方程式として解析するもので、有限要素法に比べ非線形大変形が扱えることで大きな優位性を持っています。

FLACは小一大変形、非線形、動的・静動學を始めとし、豊富な機能、オプションを備えたPC、ワークステーション用の地盤解析コードです。



地盤安定解析



円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

株式会社CRC総合研究所 西日本支社