

落石シミュレーションプログラム

Rocksys

Rockfall simulation study program for civil engineers

操作マニュアル

(吉 田 ら の 手 法)

Ver 1.01



CIVIL WORKS

まえがき

去る平成14年4月、「落石対策便覧に関する参考資料」～落石シミュレーション手法の調査研究資料～(以後、「参考資料」)が発行され、それまでの予測評価手法の取り組みが、一冊の書籍としてまとめられました。

「参考資料」によれば、現時点ではその殆どのシミュレーション手法において、パラメータの設定方法や解析データの処理方法など未確立の点が多く、さらなる研究が必要とされています。しかし予測評価手法の道筋がある程度示されたことで、今後はシミュレーション手法の活用事例も徐々に増加するものと期待されます。活用事例の増加は、フィードバックにより理論体系を向上させ、それがさらなる活用事例の増加を促します。このようなスパイラルアップ効果は、予測評価手法の確立には必要不可欠であり、一人でも多くの技術者が積極的に実務への活用を図ってゆくことが望まれます。

本プログラムを通して、一人でも多くの技術者に落石シミュレーションを理解していただき、或いは実務への活用を図っていただくことで、微力ながら今後の予測評価手法や性能設計の発展に貢献することが出来れば幸いです。



CIVIL WORKS

-シビルワークス-

まえがき

1. 概要	5
1-1. 機能概要	5
1-2. 必要システム	5
1-3. シミュレーションによる落石対策フローチャート	5
1-4. 計算内容	7
1-5. 本プログラムの特長	8
1-6. 使用上の注意	9
1-7. 適用基準及び参考文献	10
2. プログラムの起動と終了	11
2-1. プログラムの起動	11
2-1-1. 起動方法	11
2-1-2. パスワード入力画面	11
2-1-3. 画面構成	12
2-2. プログラムの終了	12
3. 操作説明	13
3-1. 標準的な処理の流れ	13
3-2. メインメニューの操作	14
3-3. ツールバーの操作	15
3-4. 入力制限一覧表	16
3-5. 初期設定	18
3-5-1. 画面構成	18
3-5-2. 計算書名ほか	18
3-5-3. 計算手法	18
3-5-4. 落石運動基本条件	18
3-5-5. ボタンの説明	19
3-6. 地形条件	20
3-6-1. 画面構成	20
3-6-2. 形状データ(地形形状)	20
3-6-3. 抵抗係数	23
3-6-4. パラメータの設定	24
3-6-5. 地形条件の保存読込	26
3-6-6. ボタンの説明	26
3-7. 落石条件	27
3-7-1. 画面構成	27
3-7-2. スタート条件	27
3-7-3. 落石重量の設定方法	28
3-7-4. 落石の大きさ・重量	28
3-7-5. ボタンの説明	28
3-8. 計算条件	29
3-8-1. 画面構成	29
3-8-2. 試行回数	29
3-8-3. 時間刻み	29
3-8-4. 乱数パターン	30

3-9. シミュレーション	31
3-9-1. 開始	31
3-9-2. 中止	31
3-10. 軌跡図	32
3-10-1. 軌跡図表示	32
3-10-2. 内部計算表示	33
3-11. 照査点設定	36
3-11-1. 画面構成	36
3-11-2. 照査点の設定方法	37
3-12. 分析設定	43
3-12-1. 画面構成	43
3-12-2. 統計処理に用いる理論分布	43
3-12-3. 信頼係数	44
3-12-4. 分析対象	44
3-12-5. 照査点分析時の跳躍量(h)	44
3-12-6. 正規性検定条件	45
3-12-7. ヒストグラム分割数	46
3-12-8. ボタンの説明	46
3-13. 照査点分析	47
3-13-1. 画面構成	47
3-13-2. 分析データ一覧	48
3-13-3. 跳躍量分析	50
3-13-4. 線速度分析	56
3-13-5. エネルギー分析	57
3-13-6. 関係図	58
3-14. 分析結果一覧	59
3-14-1. 結果一覧表	59
3-14-2. 斜面特性グラフ	60
3-14-3. ボタンの説明	61
4. 計算理論	62
4-1. 「吉田らの手法」について	62
4-1-1. 概要	62
4-1-2. 運動形態の遷移条件	62
4-2. 統計分析	63
4-2-1. 分析手法	63
4-2-2. 正規性検定	65
5. 出力(印刷)	67
5-1. 印刷	67
5-2. DXF出力	68
5-3. EXCEL出力	69
6. サポート	70

1. 概要

1 - 1 . 機能概要

本プログラムは、「落石対策便覧に関する参考資料」(H14.04、日本道路協会)の中で紹介されている質点系シミュレーション手法に基づき、斜面上を落下する落石運動の軌道予測と統計解析をおこなう数値シミュレーションソフトです。現バージョンでは、「吉田らの手法」に対応しています。

「Rocksyst」は、Rockfall simulation study program for civil engineers を簡略語です。

1 - 2 . 必要システム

本製品をご利用いただくには、以下のシステムが必要です。

必要システム

オペレーティングシステム(OS)	WindowsXP/Vista/7/8/8.1/10
プロセッサ	Pentium 4 2GHz 以上
ディスプレイ	17inch 以上 画面解像度 1,024×768 ドット以上 (モニター解像度=96dpi とし、画面拡大していないこと)
メモリ	500MB 以上
マウス	本体に対応し、日本語 MicrosoftWindows で使用可能なもの
プリンター	本体に対応し、日本語 MicrosoftWindows で使用可能なもの
必要環境	・.Net Framework 3.5(注1)

注1)未インストールの場合は、セットアップ時に自動的にインストールした上で、Rocksyst をインストールします。

1 - 3 . シミュレーションによる落石対策フローチャート

次頁は落石シミュレーションを使用した場合の落石対策の基本的な流れを示したフローチャートです。

本プログラムは、フィールドデータや既往資料等に基づき、地形条件(形状データやパラメータ等)を設定することで、落石運動のシミュレーション計算と、複数の照査点における統計解析をおこない、その後の施設計画に必要な設計値を求めることを目的としています。

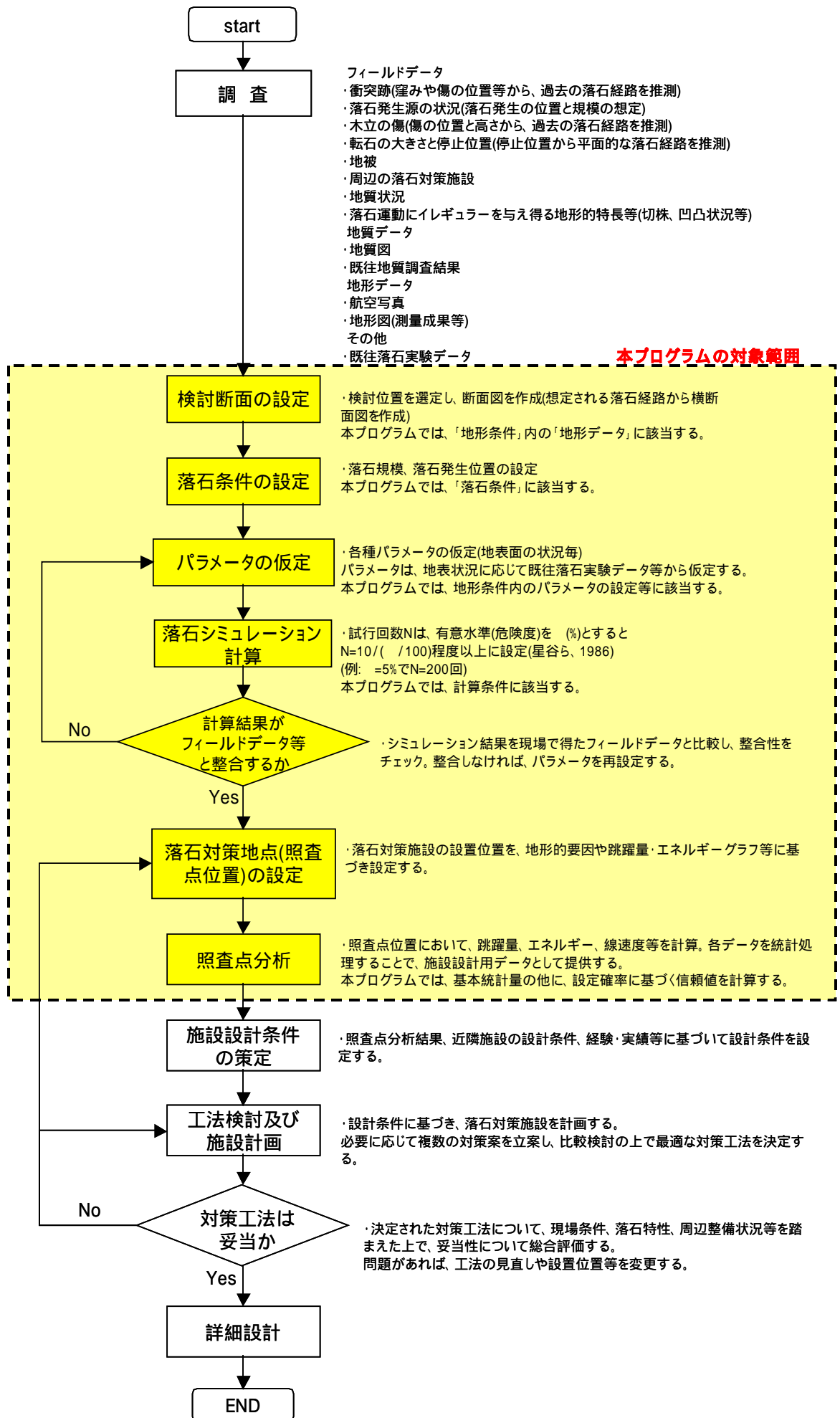


図-1-1 落石シミュレーションの流れと本プログラムの位置づけ

1 - 4 . 計算内容

1) 落石運動の計算

設定した地形条件、落石条件、計算条件に基づき、落下開始から停止するまでの落石運動の計算を試行回数分繰り返します。この落石運動の全計算過程は、内部計算表により詳細に把握することができます。

2) 基本統計量の計算

落石運動データから、照査点での最大値、平均値、標準偏差、尖度、歪度などの基本的な統計量を計算します。

3) 正規性検定の計算

信頼値算定に用いる理論分布を選定するために、正規性検定を行うことができます。判定可能な理論分布は、正規分布と対数正規分布の2種類。正規性検定の結果、適合すると認められた理論分布を用いて信頼値(落石対策に使用する設計値)を算定することができます。

4) 理論分布に基づく信頼値の計算

3)で決定した理論分布もしくは設計者が指定した理論分布に基づいて、設定された信頼係数に応じた信頼値(落石対策に使用する設計値)を計算することができます。本プログラムでは、跳躍量、線速度、エネルギーの3種類について計算をおこないます。

Info.

信頼値とは

信頼値(落石対策に使用する設計値)は、信頼係数(95%などの確率)で規定された信頼区間(例:95%信頼区間)の上限値と定義します。「信頼値」は正式な統計学用語ではないようですが、多くの論文等でこの名称が使用されているので、本プログラムでも準用しています。

1 - 5 . 本プログラムの特長

1) 全落石運動の計算過程を表示可能(3-10-2. 参照)

斜面上を落下する過程で、すべり運動、転がり運動、衝突運動、飛行運動と様々に変化する落石運動。本プログラムは、そのすべての過程を「内部計算表」によって時間刻みごとに追跡してゆることが可能です。内部計算表により、いつ、どこで、どんな原因で運動が遷移していったかを追跡でき、斜面と落石運動の関係を詳しく調べることができます。

2) 正規性検定による理論分布の判定機能(4-2-2. 参照)

落石シミュレーションの最終的な目的は、落石対策の設計値としての跳躍量や落石エネルギー等を求めることです。設計値には、統計量の最大値を用いることも考えられますが、適切な理論分布に基づく信頼値(例えば 95%信頼値等)を用いるのが一般的と考えられます。文献等によれば、理論分布として「正規分布」もしくは「対数正規分布」が多用されています。しかし、適用時の判断基準については十分明記されていません。本プログラムでは、得られた統計量に対し正規性検定を実施することで、適合する理論分布を自動判定し、その分布に基づく信頼値(落石対策に使用する設計値)を算定する機能を装備しています。(勿論、正規分布あるいは対数正規分布と仮定して解析することも可能です。)

3) 跳躍量&エネルギー追跡グラフを表示(3-11-2. 参照)

対象斜面内の跳躍量と落石エネルギーの変化をグラフ化。斜面のどこで跳躍量やエネルギーが小さいのかを把握することで、照査点設定をより合理的におこなえるようにしました。グラフの表示データは、各項目の最大値もしくは信頼係数(初期設定は 95%)に対応した信頼値から選択可能です。

4) 多様な関係図と斜面特性グラフ(3-13-6、3-14-2 参照)

跳躍量と線速度(h-V 図)、落下高と跳躍量 (H-h 図)、落下高と線速度 (H-V 図)、落下高とエネルギー (H-Q 図)など、5 種類の関係図と斜面特性グラフを表示。

5) 多様な出力機能(5. 参照)

印刷は勿論、軌跡図の DXF 出力、地形データのファイル(csv)入出力が可能です。また、内部計算表及び分析データ一覧表をファイル出力(csv)することで、ユーザー自身が統計処理をおこなうことも可能です。

1 - 6 . 使用上の注意

本プログラムは、基本的に「落石対策便覧に関する参考資料」(H14.04、日本道路協会、以降「参考資料」と呼びます)に準じて作成したものです。しかし、「参考資料」の冒頭にも述べられているように、現時点では各シミュレーション手法とも多くの課題が残っています。課題の主要部分は、パラメータなどの条件設定に関するものですが、それ以外にも、得られたデータの評価方法や解析方法など、十分確立されていない事項が多くあります。

従って、「参考資料」で詳述されていない下記事項については、他の論文や本プログラム独自の考えに基づき決定しています。その点を十分ご理解の上、ご使用ください。

1) 抵抗係数 C_k の設定方法(3-6-3. 参照)

抵抗係数については、「参考資料」P19 に「斜面性状(残存係数)と抵抗係数の関係より推定する」という記述のみで、具体的な設定方法は明記されていません。そこで、「斜面性状を考慮した落石覆工の衝撃荷重の評価」(構造工学論文集 Vol137A, 1991.03)内に掲載されている図-17「抵抗係数と残存係数」関係図を利用して、等価摩擦係数と斜面傾斜角から抵抗係数を求めることができました。

2) 分析手法について(4-2-1. 参照)

落石シミュレーションでは、照査位置で得られたデータから、その後の対策に使用する設計値をどのように求めるかが重要となります。「参考資料」では、P238 の表-4.3.1 に「吉田らの手法では対数正規分布により統計処理」とありますが、その理由は明記されていません。一方、同P387 には、「結果出力を正規分布あるいは対数正規分布などの確率密度関数と仮定して求めた信頼値 90%や 95%に対応する値を、設計値に用いたケースがある」との記述もあり、十分整理されていません。

そこで本プログラムでは、「正規分布と仮定して処理」、「対数正規分布と仮定して処理」、「正規性検定に基づき、どちらか近い方の理論分布により処理」のいずれかの方法によって信頼値を算出する方法を採用しています。(

3) 正規性検定について(4-2-2. 参照)

正規性検定とは、わかり易く言えば、ある統計量が正規分布に従うかどうかを判定するものです。しかし、「正規分布に従う」という帰無仮説が採択されたからといって、帰無仮説が正しいという意味ではなく、厳密には「正規分布に従う」という帰無仮説が誤りとは言えないということを意味します。

なお対数正規分布に対しては、データを対数変換してから正規性検定をおこないます。

4) 分析対象の選定(3-12.3)参照)

本プログラムでは、分析の対象を「全落石運動」と「飛行運動」の2種類から選択することが出来ます。「参考資料」では分析対象を限定せず、「全落石運動」を対象としているようです。しかし、線運動と飛行運動という挙動が全く異なる運動データを統計量として扱う場合、それが正規分布に従うことは希(線運動の出現率が極めて低い場合のみ)です。従って、「参考資料」P397 の適用事例4のように、跳躍運動に主眼をおいた落石対策においては、「飛行運動」に限定した解析も、場合によっては必要との判断によるものです。

5) 停止限界速度について(3-5-4. 参照)

「吉田らの手法」では、「線速度が $V = 0$ の場合には停止する」とされています(「参考資料」P17、iii)参照のこと)。本プログラムでは、それ以下の速度では停止する「停止条件としての限界速度」を「停止限界速度」と規定し、ユーザー側で設定する仕様としています。

1 - 7 .適用基準及び参考文献

適用基準等

- 1) 「落石対策便覧」(平成 1 2 年 6 月、(社)日本道路協会)
- 2) 「落石対策便覧に関する参考資料」～落石シミュレーション手法の調査研究資料～(平成 1 4 年 4 月、(社)日本道路協会)

参考文献

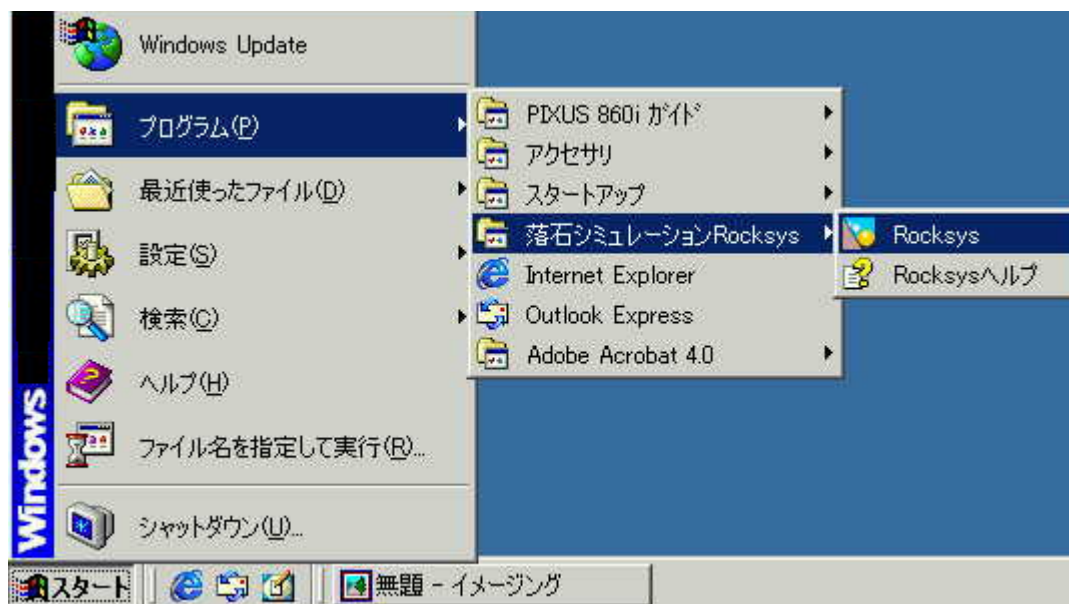
- 3) 吉田博、右城猛、榎谷浩、藤井智弘「斜面性状を考慮した落石覆工の衝撃荷重の評価」AN EVALUATION OF IMPULSIVE DESIGN LOAD OF ROCK SHEDS TAKING INTO ACCOUNT SLOPE PROGRAM (構造工学論文集 Vol.37A , pp1603-1616 、1991.3)
- 4) 右城猛、吉田博、矢野光明、高石協、八木則男、「斜面を落下する落石の運動定数と跳躍量に関する考察」A STUDY OF PARAMETERS FOR FALLING ROCKS ON SLOPES AND JUMPING HEIGHT (土木学会論文集 No.581/ -37,pp49-58 、1997.12)
- 5) 勘田益男「落石対策工設計マニュアル」(理工図書、2002.05)
- 6) 箕谷千鳳彦「金融データの統計分析」(東洋経済新報社、2001.10)

2. プログラムの起動と終了

2-1. プログラムの起動

2-1-1. 起動方法

プログラムのインストール完了後、[スタート] - [プログラム] - [落石シミュレーション Rocksyst] - [Rocksyst]の順で選択し、プログラムを起動します。なお、インストール方法については、Readme.htmをご覧ください。



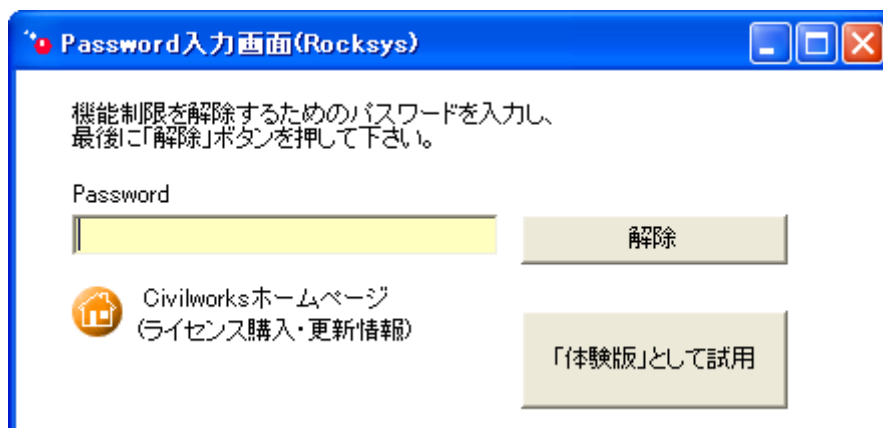
2-1-2. パスワード入力画面

プログラムを起動すると、パスワード入力画面が表示されます。

体験版として試用する場合は、「体験版として試用」ボタンを押して下さい。ただし、体験版では以下の機能制限があります。

地形データの入力点数が5点以下に制限されます
計算回数が80回に固定されます
ファイルの保存が出来ません
印刷時に「体験版」の文字が上書きされます

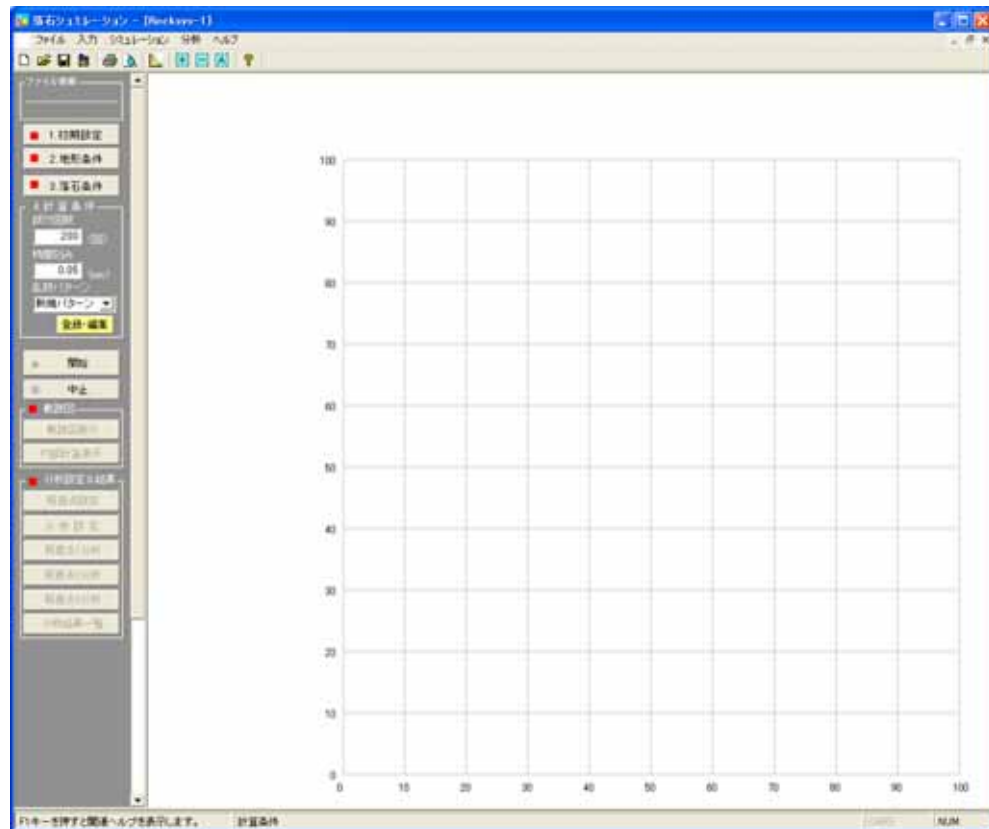
機能制限を解除するには、ライセンス購入に伴い発行されるパスワードが必要になります。パスワードを入力欄に入力後、「解除」ボタンを押して下さい。機能制限が解除されます。なお、ライセンスの購入方法については、ホームページもしくはReadme.htmをご覧ください。



2 - 1 - 3 .画面構成

「体験版として試用」ボタンを押すと、次にシミュレーション計算をおこなう下記メイン画面が表示されます。

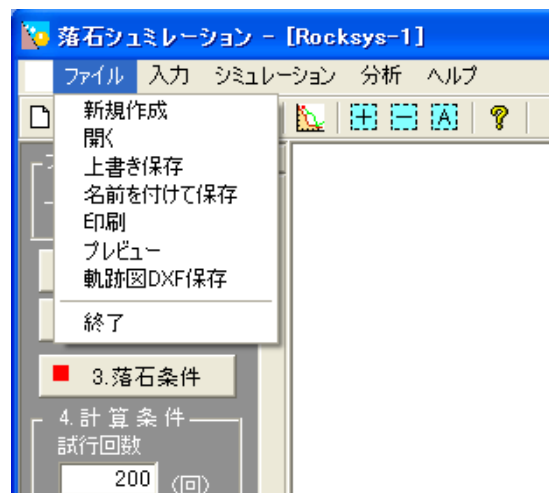
なお、機能制限を解除した場合には、それ以後、プログラム起動直後には下記メイン画面が表示されるようになります。



2 - 2 .プログラムの終了

「Rocksyst」を終了するには、[ファイル]-[終了]コマンドを選択するか、メインウィンドウ右上の×ボタンをクリックします。

閉じる前に、確認メッセージが出ますので、データ保存を忘れていた場合などは、[Cancel]ボタンを押し、元画面にて保存作業を行ってください。[OK]ボタンを押すとプログラムを終了します。



3 . 操作説明

3 - 1 . 標準的な処理の流れ

「Rocksyst」の操作は、起動直後の画面左側にあるメインメニューを上から下方に向かって、順番に処理してゆくことが基本となります。

メインメニューは、「条件設定」「シミュレーション計算」「分析設定」「分析結果」の順に構成されています。

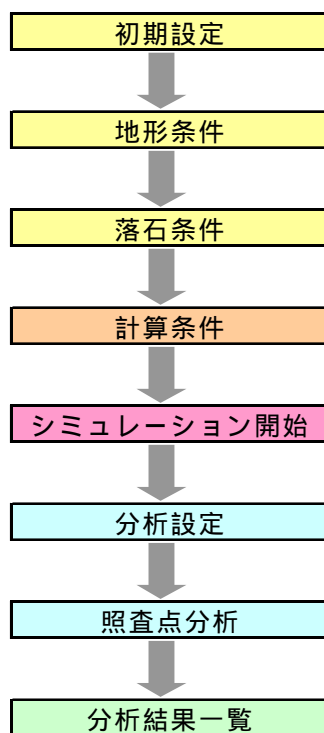


図 3-1. 標準的な処理の流れ

3 - 2 . メインメニューの操作

1) 初期設定

計算書のタイトルや落石運動の基本条件を設定します。

設定が完了し OK ボタンを押すと、設定値がすべて正しい場合はボタン内の が緑色になります。
赤い場合は設定値に不備があることを意味します。

2) 地形条件

落石経路の横断形状、落石運動を規定するパラメータを設定します。ボタンの色は初期設定と同じ機能です。

3) 落石条件

落石の開始位置や落石の大きさ及び重量等を設定します。ボタンの色は初期設定と同じ機能です。

4) 計算条件

シミュレーションの試行回数、計算間隔(時間刻み)等を設定します。乱数パターンは、通常は「新規パターン」で行います。しかし、以前の軌跡図を再描画する場合は、「前回パターン」もしくは「登録済みのパターン」を使用します。なお、ボタンの色は初期設定と同じ機能です。

5) シミュレーション

[開始]・・・シミュレーション計算を実行します。

[中止]・・・実行中のシミュレーション計算を中断します。

シミュレーション計算は、上記 1) ~ 4) の諸条件がすべて揃わないと開始しません。

条件がすべて揃うと、ボタン内の が青くなり、計算が可能であることを示します。

6) 軌跡図

[軌跡図表示]・・・シミュレーション計算で得られた軌跡図を表示します。

[内部計算表示]・・・シミュレーション計算の過程を表す「内部計算表」を表示します。

7) 分析設定&結果

[照査点設定]・・・落石対策施設の設置地点など、落石運動データの統計量を求めたい地点を設定します。設定箇所は 3 点までです。

[分析設定]・・・照査点分析のための条件設定をおこないます。

[照査点 1 分析]・・・照査点 NO.1 の分析結果を表示します。分析項目は「跳躍量」「線速度」「エネルギー」の 3 種類です。

[照査点 2 分析]・・・照査点 NO.2 の分析結果を表示します。分析項目は NO.1 と同じです。

[照査点 3 分析]・・・照査点 NO.3 の分析結果を表示します。分析項目は NO.1 と同じです。

[分析結果一覧]・・・照査点分析で求めた基本統計量と信頼値(落石対策に使用する設計値)を照査点別にまとめた一覧表を表示します。

3-3. ツールバーの操作

メニューバーの下領域で、この領域に図案化されたボタン(ツールボタン)が配置されています。



[新規作成] 新規にデータを入力し、計算をおこなう場合に使用します。



[開く] 落石シミュレーションデータファイル(*.frs)を開く場合に使用します。



[名前をつけて保存] 作成したデータを名前をつけてファイルに保存する場合に使用します。



[上書き保存] 読み込んだデータファイルに、現在のデータを上書き保存する場合に使用します。



[印刷] 計算結果を印刷するための印刷設定画面を表示します。



[プレビュー] 印刷イメージの確認画面を表示します。



[DXF 出力] 軌跡図を DXF ファイルに保存します。



[範囲拡大] で囲んだ範囲を拡大表示する場合に使用します。「軌跡図」と「照査点設定」画面のみ有効です。



[縮小] 画面を一段階縮小表示します。「軌跡図」と「照査点設定」画面のみ有効です。



[全体表示] 拡大した画面を全体が表示される初期画面に戻します。「軌跡図」と「照査点設定」画面のみ有効です。



[ヘルプ] ヘルプ画面を表示します。

3 - 4 . 入力制限一覧表

下表は、Rocksys 内の入力データおよび設定値の入力制限を示した一覧表です。

初期設定入力範囲

設定項目		記号	単位	最小値	最大値	入力単位	標準値 (参考値)	備考
タイトルほか	計算書名		文字	---	30	1		文字数は全角換算
	タイトル		〃	---	30	1		- 〃 -
	コメント		〃	---	60	1		- 〃 -
基本条件	最大飛び出し角	θ_{max}	度	1	89	1	45	「参考資料」P115(参考値)
	停止限界速度	V_{min}	m/s	0.00	1.00	0.01		
	空気抵抗係数	k	1/s	0.000	0.010	0.001	0.001	「参考資料」P19(標準値)

地形条件入力範囲

設定項目		記号	単位	最小値	最大値	入力単位	標準値 (参考値)	備考
地形データ	座標入力点数		点	2	50	1		
	座標値(X軸)	X_i	m	0.000	1000.000	0.001		$X_{i+1} \geq X_i$ であること
	座標値(Y軸)	Y_i	m	0.000	1000.000	0.001		
	等価摩擦係数	μ	--	0.001	1.000	0.001		
	抵抗係数	C_k	--	0.001	5.000	0.001		
	換算式用係数	a	--	-10.000	10.000	0.001	-2.500	「斜面性状を考慮した落石覆工の衝撃荷重の評価」図-17近似式(参考値)
	- 〃 -	b	--	-10.000	10.000	0.001	2.500	
パラメータ	区分	区分数		種類	1	8	1	
		名称		文字	1	12	1	文字数は全角換算
	平均値	すべり摩擦係数	μ	--	0.010	1.000	0.001	
		法線方向速度比	e	--	0.010	1.000	0.001	
		接線方向速度比		--	0.010	1.000	0.001	
		限界速度	V_{cr}	m/s	0.010	15.000	0.001	
	標準偏差	すべり摩擦係数	μ	--	0.000	1.000	0.001	
		法線方向速度比	e	--	0.000	1.000	0.001	
		接線方向速度比		--	0.000	1.000	0.001	
		限界速度	V_{cr}	m/s	0.000	5.000	0.001	

落石条件入力範囲

設定項目		記号	単位	最小値	最大値	入力単位	標準値 (参考値)	備考
スタート条件	落下開始X座標	X_0	m/s	X_{min}	X_{max}	0.001		地形データのX範囲
	落下高	H_0	m	0.000	10.000	0.001		
	初速度(水平)	V_H	m/s	0.000	10.000	0.001		落下高 $H_0 > 0$ の場合のみ有効
	初速度(垂直)	V_V	m/s	0.000	10.000	0.001		
落石の大きさ・重量	半径	r	m	0.100	2.500	0.001		
	密度	ρ_s	KN/m ³	1.000	30.000	0.001		
	重量	W	KN	0.100	1000.000	0.001		直接指定の場合に適用

計算条件入力範囲

設定項目	記号	単位	最小値	最大値	入力単位	標準値 (参考値)	備考
試行回数	N	回	20	600	1	1/ × 10	:有意水準 (=0.05) 「参考資料」P386(参考値)
時間刻み	t	sec	0.01	0.50	0.01	0.05	「参考資料」P19(標準値)
乱数登録数		個	---	20	1		

照査点及び分析設定入力範囲

設定項目		記号	単位	最小値	最大値	入力単位	標準値 (参考値)	備考
照査点設定	照査点数		個	1	3	1		
	照査点位置	X_{pi}	m	$X_{min}+0.5$ ($X_{pi}+0.5$)	$X_{max}-2.0$ ($X_{pi}-0.5$)	0.01		X:地形データのX座標 X_{pi} :他の照査点のX座標
	照査線角度		度	0.0000	89.9999	0.0001		
分析設定	確率値	p	%	80	99	1	95	「参考資料」P387(参考値)
	ヒストグラム分割	K	分割	5	15	1		分割数指定の場合に適用

3-5. 初期設定

3-5-1. 画面構成

初期設定は、下図のとおり計算タイトルと基本条件の設定で構成されています。

初期設定

計算書名

タイトル

コメント

計算手法

☒ 吉田らの手法

☐ 榎谷・小村らの手法

☐ トロント大学の手法

落石運動基本条件

1. 最大飛び出し角 $\Psi_{\max} = 45 (^{\circ})$

2. 停止限界速度 $V_{\min} = 0.01 \text{ (m/s)}$

3. 空気抵抗係数 $\alpha_k = 0.001 \text{ (1/s)}$

Cancel

OK

計算書名最大入力文字数 --- 全角換算で30文字以内

F1キーを押すと関連ヘルプを表示します。

3-5-2. 計算書名ほか

計算地点や計算タイトル等を、必要に応じて[計算書名][タイトル][コメント]欄に入力します。ただし、未入力のままでもその後の計算は可能です。

3-5-3. 計算手法

シミュレーションの計算手法を選択します。本バージョンでは「吉田らの手法」のみの選択となります。

3-5-4. 落石運動基本条件

落石運動を規定するパラメータのうち、下記の基本値を設定します。

[最大飛び出し角] Ψ_{\max}

線運動中の落石は、その速度が限界速度を越えた場合、飛行運動に移行します。飛び出し角とは、その際の飛行開始角度（図 3-5-1 参照）を示します。 Ψ_{\max} 欄には、その上限角(最大値)を入力します。

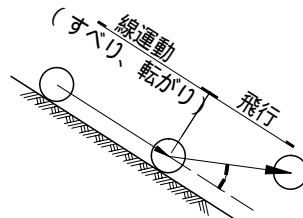


図 3-2. 飛び出し角

Info.

Ψ_{\max} の設定値について

Ψ_{\max} は「参考資料」P18 に説明されていますが、具体的な設定方法は明記されていません。ただ同 P115 に、実験の結果として 45° との記述があり、設定時の参考になると思われます。本プログラムは、この値を初期値としています。

[停止限界速度] V_{min}

落石速度が、ある値以下になった場合に停止する速度(停止条件としての限界速度)を入力します。

Hints

V_{min} の設定値について

停止条件は「参考資料」P17 に説明されていますが、 $V = 0$ という曖昧な表現のみで、厳密な設定値は明記されていません。本プログラムでは、現場での落石停止位置等のフィールドデータ等を参考にユーザー設定する仕様としています。

[空気抵抗係数] k

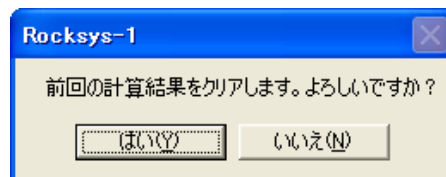
飛行運動時に作用する空気抵抗を考慮する際の係数を設定します。

通常、 $k = 0.001(1/s)$ …「参考資料」P19 より

3 - 5 - 5 . ボタンの説明

[O K] ボタン……設定を保存してウインドウを閉じます。この時、入力値が正しければ(入力制限に合致すれば)、ボタンシグナルがレッドからグリーンに変わります。不適切なデータがあれば、ボタンシグナルはレッドとなります。

また、既にシミュレーション計算が行われた後に、タイトル・コメント以外の内容が変更された場合は、下記メッセージが表示され、シミュレーション結果がリセットされます。



[Cancel] ボタン……設定を破棄してウインドウを閉じます。

3 - 6 . 地形条件

3 - 6 - 1 . 画面構成

地形条件は、下図のように「形状データ入力欄」「形状確認図」「パラメータの設定欄」等から構成されます。

形状データ

NO	X座標	Y座標	等価摩擦係数 μ	パラメータの区分
1	0.000	110.000	0.300	高松実験参考値
2	5.000	100.000		
3	10.000	80.000		高松実験参考値
4	15.000	65.000		
5	30.000	60.000		
6	50.000	40.000		
7	70.000	35.000		
8	90.000	30.000		
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

形状確認図

パラメータの設定

NO	区分	すべり摩擦係数 μ		法線方向速度比 m		接線方向速度比 ρ		限界速度 V_{cr}		線色設定
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
1	高松実験参考値	0.690	0.180	0.470	0.296	0.553	0.227	4.690	2.020	黒色
2										青色
3										緑色
4										赤色
5										黄色
6										白色

3 - 6 - 2 . 形状データ(地形形状)

1) 入力内容

形状データの入力欄は、左側から座標番号、地形 X 座標、地形 Y 座標、等価摩擦係数/抵抗係数、パラメータの区分となります。

等価摩擦係数/抵抗係数列は、抵抗係数 C_k の設定方法の切替えにより表示が変わります。またパラメータの区分は、パラメータの設定欄で設定したパラメータ区分リストから選択することになります。

2) 座標変化点

落石経路の横断地形変化点を XY 座標値(絶対座標)として入力します。単位は m(メートル)です。最大 50 点の入力が可能です。

Point

[行挿入]... 空白行を追加したい行で「Insert」キーを押します。1 行追加されます。

[行削除]... 削除したい行をクリックした後、「Delete」キーを押します。1 行削除されます。

[コピー&ペースト]

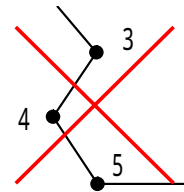
... 右図のように、範囲を指定後に右クリックすると、ショートカットメニューが表示され、コピー&ペースト等が可能となります。また Excel で作成した XY データ表を、コピー&ペーストで形状データに貼り付けることも可能です。

形状データ

NO	座標変化点		等価摩擦係数 μ
	X座標	Y座標	
1	0.000	110.000	0.300
2	5.000	100.000	
3	10.000	80.000	
4	15.000		
5	30.000		
6	50.000		
7	70.000	35.000	

Hints

座標入力時の注意点
オーバーハング地形は入力しないで下さい。



3) 等価摩擦係数/抵抗係数

この欄は、形状データ欄の下にある抵抗係数設定欄と連動しており、初期設定では等価摩擦係数 μ を入力するようになっています。抵抗係数設定欄を「直接入力」に変えると、抵抗係数 C_k を直接入力する欄となります。

抵抗係数 C_k
☐ 直接入力
☒ 等価摩擦係数 μ から換算

➡

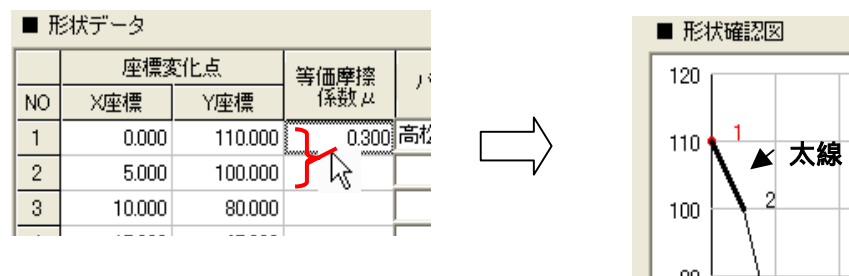
点	等価摩擦係数 μ	パラメータ
Y座標		

抵抗係数 C_k
☒ 直接入力
☐ 等価摩擦係数 μ から換算

➡

点	抵抗係数 C_k	パラメータ
Y座標		

設定対称は、形状確認図にて太線で表されます。(例えば下図の場合、No.1 で設定する等価摩擦係数は、座標 No.1 ~ No.2 間の斜面に対するものとなります)



等価摩擦係数 μ を入力する場合は、下表を参考にして下さい。

斜面の種類と等価摩擦係数 (μ) の値		「落石対策便覧」P18より	
区分	落石及び斜面の特性	設計に用いる μ	実験から得られる μ の範囲
A	硬岩、丸状：凹凸なし、立木なし	0.05	0 ~ 0.1
B	軟岩、丸状～角状：凹凸中～大、立木なし	0.15	0.11 ~ 0.2
C	土砂・崖錘、丸状～角状：凹凸小～中、立木なし	0.25	0.21 ~ 0.3
D	崖錘・巨礫混じり崖錘、角状：凹凸中～大、立木なし～あり	0.35	0.31 ~

4) パラメータの区分

「パラメータの設定」欄で設定したパラメータ区分の一覧から、該当するパラメータを設定します。

等価摩擦 係数 μ	パラメーターの区分
0.300	高松実験(コンクリー)
	高松実験(風化花崗岩)
	下呂実験(風化流紋岩)
	下呂実験(崖錘(礫))

←

■ パラメーターの設定

NO	区分
1	高松実験(コンクリート)
2	高松実験(風化花崗岩)
3	下呂実験(風化流紋岩)
4	下呂実験(崖錘(礫))
5	

リスト

Point

等価摩擦係数とパラメータの設定は、変化点のみ設定すれば OK。それ以降の空白はすべて上方の値と同一とみなされます。

■ 形状データ

NO	座標変化点		等価摩擦 係数 μ	パラメーターの区分
	X座標	Y座標		
1	0.000	110.000	0.150	高松実験(コンクリー)
2	5.000	100.000		
3	10.000	80.000		
4	15.000	65.000		
5	30.000	60.000	0.350	下呂実験(風化流紋)
6	50.000	40.000		
7	70.000	35.000		

↑
同
設
定
↓

■ 形状データ

NO	座標変化点		等価摩擦 係数 μ	パラメーターの区分
	X座標	Y座標		
1	0.000	110.000	0.150	高松実験(コンクリー)
2	5.000	100.000	0.150	高松実験(コンクリー)
3	10.000	80.000	0.150	高松実験(コンクリー)
4	15.000	65.000	0.150	高松実験(コンクリー)
5	30.000	60.000	0.350	下呂実験(風化流紋)
6	50.000	40.000	0.350	下呂実験(風化流紋)
7	70.000	35.000	0.350	下呂実験(風化流紋)
8	90.000	30.000		

5) 形状データ消去

[形状データ消去]・・・形状データをすべて消去します。

3 - 6 - 3 . 抵抗係数

抵抗係数 C_k は、線運動時に作用する抵抗力(摩擦を除く)を求めるときに使用するパラメータです。本プログラムでは、その設定方法として「直接入力」と「等価摩擦係数等から推定」の2つの方法から選択できます。

[直接入力]・・・形状データ表内の抵抗係数入力欄に直接入力します。設定は、斜面を構成する線分単位で設定できます。

[等価摩擦係数等から推定]・・・斜面の等価摩擦係数 μ と斜面傾斜角 から、換算式により抵抗係数を算定します。換算式は、[換算式編集]ボタンを押して設定・編集します。

[換算式編集]ボタン・・・抵抗係数を算定するための換算式設定ウインドウを表示します。

換算式設定用の上記ウインドウにて、抵抗係数算定用の係数 a, b を設定します。

Info.

「等価摩擦係数等から推定」の考え方

「参考資料」P19 に、抵抗係数は「斜面性状(残存係数)と抵抗係数の関係より推定する」との記述がありますが、具体的な推定方法は明記されていません。

そこで、本プログラムでは「斜面性状を考慮した落石覆工の衝撃荷重の評価」(構造工学論文集 Vol137A, 1991.03)内に掲載されている図-17「抵抗係数と残存係数」の関係図(右図参照)を利用して、等価摩擦係数と斜面傾斜角から抵抗係数を求めるようにしました。

右図から近似式を求めると、ほぼ $C_k = -2.5 + 2.5$ となり、係数はそれぞれ $a = -2.5$ 、 $b = 2.5$ となります。

これを標準値としていますが、本プログラムでは、必要に応じて設定値を変更可能です。

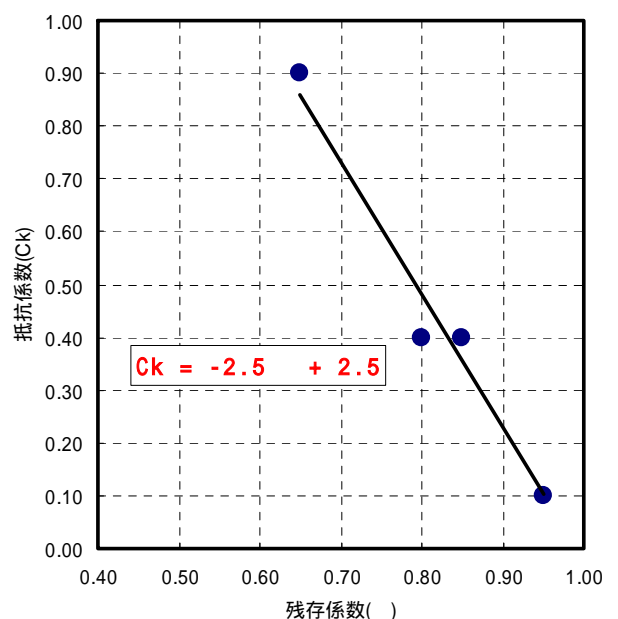


図-17 抵抗係数と残存係数

3-6-4.パラメータの設定

落石運動の主要パラメータである「すべり摩擦係数」「法線方向速度比」「接線方向速度比」「限界速度」を設定します。各パラメータは、地表の不規則性を考慮し、設定した平均値と標準偏差に基づく正規乱数値(ただし 95%信頼区間)を発生させて求めます。

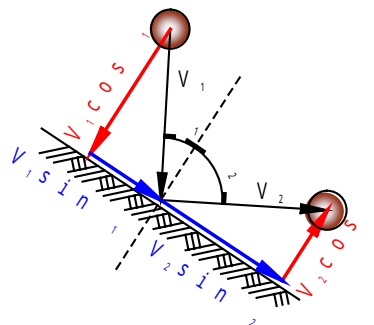
NO	区分	すべり摩擦係数 μ		法線方向速度比 e		接線方向速度比 ρ		限界速度 V_{cr}		線色設定
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
1	高松実験参考値	0.690	0.180	0.470	0.296	0.553	0.227	4.690	2.020	
2										
3										
4										
5										
6										

1) 設定内容

- [区 分]・・・パラメータの組み合わせ(最大 10 組)に名前を設定してそれぞれを区分します。全角 12 文字以下。
- [すべり摩擦係数 μ]・・・すべり運動時に抵抗力として影響。
- [法線方向速度比 e]・・・衝突前後の斜面直角方向の速度成分比。
- [接線方向速度比 ρ]・・・衝突前後の斜面方向の速度成分比。
- [限界速度 V_{cr}]・・・線運動から飛行運動に移移する際の判定基準速度。線運動時の線速度がこの速度を越えると、飛行運動に移移します。
- [線 色 設 定]・・・パラメータ区分毎に異なる線色を設定します。パラメータの設定状況を、形状確認図にて確認できます。

$$e = \frac{V_2 \cos \theta_2}{V_1 \cos \theta_1}$$

$$= \frac{V_2 \sin \theta_2}{V_1 \sin \theta_1}$$



ここに、

V_1 : 入射速度

V_2 : 反射速度

θ_1 : 入射角(入射ベクトルが斜面垂線となす角)

θ_2 : 反射角(反射ベクトルが斜面垂線となす角)

Info.

正規乱数の発生方法

本プログラムでは、正規乱数の発生に Box-Muller-Wiener アルゴリズムを用いています。これは、ふたつの一様乱数 ξ_1, ξ_2 を用いて標準正規乱数 $\eta(0,1)$ 及び正規乱数 $\eta(\mu, \sigma)$ を作るもので、下式により表されます。

$$\eta(0,1) = \sqrt{-2 \cdot \ln(\xi_1)} \cdot \sin(2\pi\xi_2) \cdots \cdots \text{式 3-6-1)}$$

$$\eta(\mu, \sigma) = \mu + \eta(0,1) \cdot \sigma \cdots \cdots \text{式 3-6-2)}$$

ここに、平均値: μ

標準偏差: σ

なお本プログラムでは、一様乱数を「線形合同法」により擬似乱数として発生させています。これは、下記漸化式を用いて乱数列 X_n を生成するものです。

$$X_{n+1} = a \cdot X_n + C(\text{mod } m) \quad n = 0, 1, 2, \cdots \cdots \text{式 3-6-3)}$$

あらかじめ、 a, c, m を決めておき、 X_0 を与えて順次 X_n を計算すると、0 から $m - 1$ までの整数からなる擬似乱数列が得られます。上式内の $(\text{mod } m)$ は、式の値を m で割った余りを意味します。

Point

速度エネルギー比による乱数制限

「吉田らの手法」では、法線方向速度比と接線方向速度比それぞれの正規乱数が自由に組み合わせられて、衝突後の運動が規定されます。従って、パラメータの組み合わせによっては、結果的に衝突前より衝突後の速度が大きくなる場合も考えられます。

しかし、現実には衝突後にエネルギーが増加することはないため、本プログラムでは速度エネルギー比が1未満となるよう、乱数制限をおこなっています。(「参考資料」P238の表4.3.1に上記同様の乱数制限についての記述があります)

$$= \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 < 1.0 \quad \text{ここに、} \gamma: \text{速度エネルギー比}$$

V_1 : 衝突前の線速度
 V_2 : 衝突後の線速度

2) パラメータ消去

[パラメータ消去]・・・パラメータ設定表内のデータをすべて消去します。

3) 規定値

[規定値として保存]・・・現在のパラメータの設定値を規定値として保存します。以降、[新規作成]時の初期設定値として使用します。

[規定値に戻す]・・・現在のパラメータ設定を規定値に戻します。規定値に戻すと、それまでの設定は消去されます。

Info.

初期規定値について

本プログラムでは当初、パラメータ設定の一例として、下記に示す初期規定値を表示します。この規定値は、「参考資料」P273, P295 の設定例(落石実験での設定パラメータ)に基づいたものです。あくまで参考値であり、この設定値を使用することを推奨するものではありませんのでご注意ください。

初期規定値

名称	滑り 摩擦係数: μ		法線方向 速度比: e		接線方向 速度比:		限界速度 : V_{cr}		摘要
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
高松実験(コンクリート)	0.690	0.180	0.480	0.190	0.532	0.167	4.690	2.020	「参考資料」 P273 表4.3.11参照
高松実験(風化花崗岩)	0.690	0.180	0.470	0.296	0.553	0.227	4.690	2.020	
下呂実験(風化流紋岩)	0.690	0.180	0.540	0.280	0.580	0.250	4.690	2.020	「参考資料」 P295 表4.3.13参照
下呂実験[崖錘(礫)]	0.480	0.060	0.580	0.260	0.770	0.170	8.500	2.500	

パラメータの設定方法について

パラメータの設定は、「参考資料」P384に記述されている下記事項が参考になると考えられます。

地質の評価と地盤データを利用する。

過去の実験分析値から推定する。

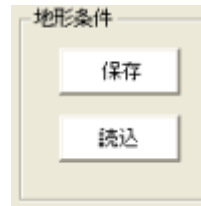
プログラム開発者などから示されているパラメータの経験値を利用する。

周辺の落石状況および被災状況(フィールドデータ)からパラメータを逆算する。

「吉田らの手法」においては、上記のうち 以外、現時点でただちに適用できる手法は示されていません。 の逆算法については、「落石の速度に関する研究」～地盤工学の諸問題に関する講演会～(右城猛博士、2002/04)の中で、斜面に残された痕跡からパラメータを逆算する試みが発表されていますが、今後の研究が期待されるところです。

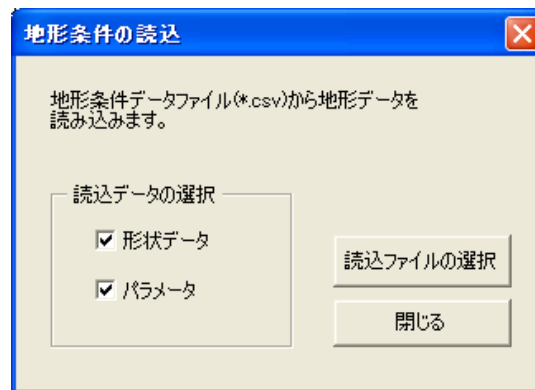
3 - 6 - 5 . 地形条件の保存読込

地形条件で設定したデータを csv ファイルに保存したり、保存したデータを読み込むことが出来ます。この[保存][読込]の活用により、他の落石シミュレーションファイルの地形データを読み込むことが出来ます。



[保存]……形状データ、抵抗係数 C_k の設定、パラメータの設定値など、すべての地形データを csv ファイルとして保存します。ファイルは、Excel で編集することが出来ます。

[読込]……[保存]した地形データファイル(*.csv)を読み込みます(地形データファイルでない csv ファイルは読み込みません)。なお、その際「地形データ」と「パラメータ」設定データを選択して読込むことが可能です。



Hints

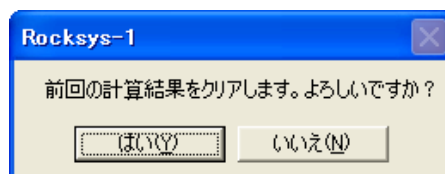
地形データファイル編集時の注意事項

地形データファイル(*.csv)を編集する際は、入力欄を移動したり、項目名の削除は避けてください。様式を変えると地形データファイルと認識されず、[読込]が出来なくなる可能性があります。

3 - 6 - 6 . ボタンの説明

[O K] ボタン……設定を保存してウインドウを閉じます。この時、入力値が正しければ(入力制限に合致すれば)、ボタンシグナルがレッドからグリーンに変わります。不適切なデータがあれば、ボタンシグナルはレッドとなります。

また、既にシミュレーション計算が行われた後に、内容が変更された場合は、下記メッセージが表示され、シミュレーション結果がリセットされます。



[Cancel] ボタン……設定を破棄してウインドウを閉じます。

3-7. 落石条件

3-7-1. 画面構成

落石条件では、落石のスタート条件と大きさ・重量等を入力します。



落石条件

落石のスタート条件

落石開始点 X座標 X_0 = 0.00 (m)

斜面上からの落下高 H_0 = 0.00 (m)

初速度

右(+) V_H (水平)= 0.00 (m/s)

下(+) V_V (鉛直)= 0.00 (m/s)

落石質量の設定方法

☐ r と γ_s から算定 ☒ 直接指定

落石の大きさ・質量

落石の重量 W = 12.043 (kN)

落石の密度 γ_s = 23.000 (kN/m³)

落石の半径 r = 0.500 (m)

Cancel OK

落石開始X座標入力範囲 --- 0.000 ~ 90.000 (m) F1キーを押すと関連ヘルプを表示します。

3-7-2. スタート条件

[落石開始点X座標: X_0]・・・落石開始点のX座標値(m)を入力します。落石開始点とは、「落石が斜面と接している(もしくは落下後に接する)点」を指します。

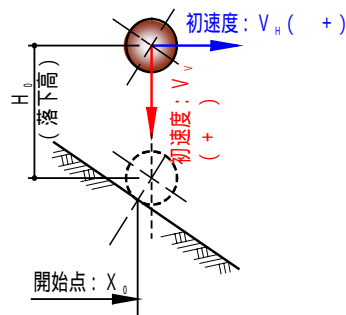


図 3-3. 開始条件図

[斜面からの落下高: H_0]・・・落石が空中から落下する場合の落下高(m)を入力します。落下高とは、落下開始時と斜面衝突時の落石重心の比高差を指します。

[初速度 V_H (水平)]・・・落石の初速度の水平成分 V_H (m/s)を入力します。ただし、この値は $H_0>0$ (空中落下時)の場合のみ入力可となります。

[初速度 V_V (鉛直)]・・・落石の初速度の鉛直成分 V_V (m/s)を入力します。ただし、この値は $H_0>0$ (空中落下時)の場合のみ入力可となります。

3-7-3. 落石重量の設定方法

落石重量の設定方法を選択します。なお、落石形状は「球」であることを前提としています。

[r と s から算定]……落石半径(r)と落石の密度(s)から重量を求めます。

[直接指定]……落石重量を指定し、落石の密度(s)から半径(r)を逆算します。

設定方法	指定値	算出値
r と s から算定	r、 s	W
直接指定	W、 s	r

r: 落石半径、 s: 密度、 W: 重量

3-7-4. 落石の大きさ・重量

3-7-2. の設定に応じて指定値を入力します。

[落石の半径]……落石を球形とした場合の半径を入力します。なお、3-7-2 の設定により重量を直接指定とした場合は、下式により半径を逆算します。

$$r = \sqrt[3]{\frac{3W}{4\pi s}}$$

ここに、W: 落石重量
s: 落石密度
r: 落石半径

[落石の密度]……落石密度(単位体積重量)を入力します。

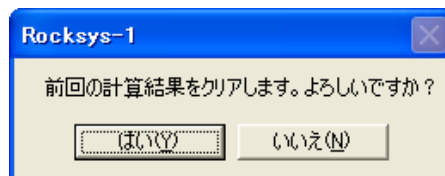
[落石の重量]……重量は下式により算定します。なお、3-7-2 の設定によっては落石の重量を直接入力する場合があります。

$$W = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot s$$

3-7-5. ボタンの説明

[O K]ボタン……設定を保存してウインドウを閉じます。この時、入力値が正しければ(入力制限に合致すれば)、ボタンシグナルがレッドからグリーンに変わります。不適切なデータがあれば、ボタンシグナルはレッドとなります。

また、既にシミュレーション計算が行われた後に、内容が変更された場合は、下記メッセージが表示され、シミュレーション結果がリセットされます。



[Cancel]ボタン……設定を破棄してウインドウを閉じます。

3 - 8 .計算条件

3 - 8 - 1 .画面構成

計算条件では、シミュレーションの試行回数、計算間隔(時間刻み)等を設定する。

3 - 8 - 2 .試行回数

シミュレーション回数(20 回)を設定します。最低回数 20 回は、その後の解析の有効性を考慮してのものです。

Info.

試行回数の設定方法について

シミュレーションの試行回数については、「参考資料」P386 に記述されている下式(試行回数の最小値)が、設定時の参考になると思われます。

$$N = \frac{1}{\alpha} \times 10$$

ここに、 N : 試行回数(回)
: 有意水準(= 0.05)

3 - 8 - 3 .時間刻み

落石運動計算の時間間隔(sec)を設定します。ただし、「参考資料」P19 の表 2.3.1 に通常 $t=0.05(\text{sec})$ と記述されていますので、通常は変更する必要はありません。

なお衝突後の反射角が極めて大きい(90° に近い)場合には、飛行距離が次の刻み時間までに何度か衝突をおこす場合もあるため、実時間(実際の衝突時間)を表示するようにしています。下表では、経過時間 0.55(sec)から次の刻み時間 0.60(sec)までに 2 回衝突が起こっているのがわかります。

内部計算一覧表

NO	経過時間 t(sec)	運動形態	X座標 (m)	Y座標 (m)	反射角 2(°)	法線方向速度 比e	接線方向速度 比	飛行距離 S(m)	式判定	遷移状態
0	0.000	すべり	0.447	110.224					1	すべり 転がり
1	0.050	転がり	0.451	110.217						
2	0.100	転がり	0.461	110.196					2	転がり すべり
3	0.150	すべり	0.479	110.161						
4	0.200	すべり	0.503	110.112						
5	0.250	すべり	0.535	110.048					1	すべり 転がり
6	0.300	転がり	0.573	109.971					5	転がり 飛行
7	0.350	飛行	0.626	109.882						
8	0.400	飛行	0.679	109.769						
9	0.414	衝突	0.695	109.729	78.5776	1.021	0.718	0.271	6 8	飛行 衝突 飛行
10	0.450	飛行	0.759	109.635						
11	0.500	飛行	0.823	109.516						
12	0.550	飛行	0.886	109.373						
13	0.585	衝突	0.931	109.256	88.029	0.104	0.468	0.529	6 8	飛行 衝突 飛行
14	0.612	衝突	0.953	109.212	88.6193	0.407	0.511	0.049	3 9	飛行 衝突 転がり
15	0.650	転がり	0.978	109.161					2	転がり すべり
16	0.700	すべり	1.011	109.096					1	すべり 転がり
17	0.750	転がり	1.050	109.017					5	転がり 飛行
18	0.800	飛行	1.132	108.955						

3 - 8 - 4 .乱数パターン

乱数パターンとは、全試行回数分のシミュレーション計算に使用する(または使用した)正規乱数列を指します。従って、同じ乱数パターンを使用して計算をおこなえば、何度でも全く同じ軌跡図及び計算結果を再現することができます。

[乱数パターン選択欄]…選択リストは、計算の履歴状態に応じて以下のように表示されます。

乱数パターンの選択欄

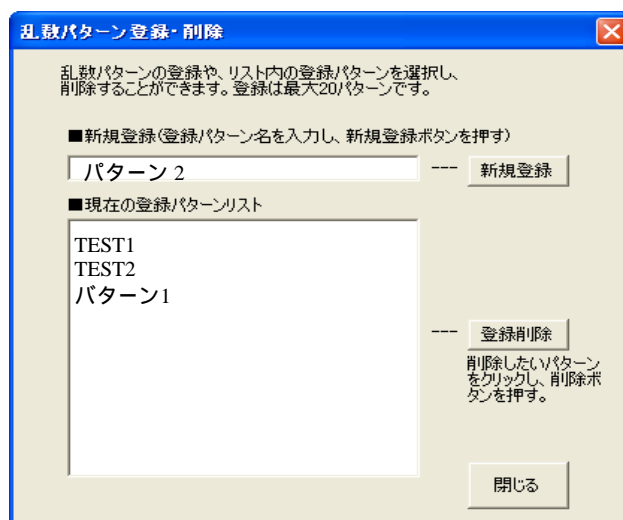
計算状態	登録パターン	リストに表示される選択肢
未計算時	---	新規パターン
計 算 後	無	新規パターン / 前回パターン
	有	新規パターン / 前回パターン / 登録パターン名
ファイル 読込時	未計算のまま 保存した場合	新規パターン
	計算後に保存 した場合	前回パターン / 登録パターン名

ここに、「新規パターン」:新規に正規乱数を発生させて計算をおこないます。

「前回パターン」:直前の軌跡図に使用した正規乱数パターンを用いて再計算をおこないます。なお、軌跡図描画後に保存したファイルを読み込んだ直後は、「前回パターン」が表示されます。これはファイル保存直前の乱数パターンを示し、パターン登録をしていなくても、保存時と全く同じ軌跡線を再現することができます。

「登録パターン名」:登録済みの乱数パターンがある場合に、その名前がリストに表示されます。選択したパターンにて再計算をおこないます。

[登録・編集]……シミュレーション計算に用いた乱数パターンの登録(最大 20)および、登録済みの乱数パターンを削除する場合に使用します。ボタンを押すと、下記ウインドウが表示されます。



「新規登録」ボタン…新規登録欄に入力したパターン名を登録します。

「登録削除」ボタン…現在の登録欄の中から、マウスで指定した登録名を削除します。

「閉じる」ボタン……「パターン登録・削除」ウインドウを閉じます。

- ・ 名称変更について……パターン名を変更したい場合は、まずメインメニューにて変更したいパターンを表示。「開始」ボタンを押して計算させた後、「乱数パターン登録・編集」メニューを表示します。そして変更したいパターン名にて「新規登録」した後、旧パターン名をクリックして「削除」ボタンを押します。少し面倒ですが、こうすることでパターン名を変更することが出来ます。

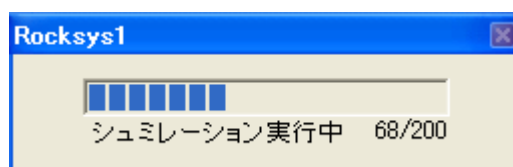
3-9.シミュレーション

シミュレーション計算の実行に関する操作をおこないます。すべての条件が整い、計算が可能になると、[開始]ボタン内の マークが青色になります。



3-9-1.開始

[開 始]……シミュレーション計算を実行し、軌跡図を画面上に描画します。計算中は、下記のプログレスバーが表示され、進行状況(実行回数/全試行回数)を確認できます。



3-9-2.中止

[中 止]……シミュレーション計算の実行を、途中で停止することが出来ます。

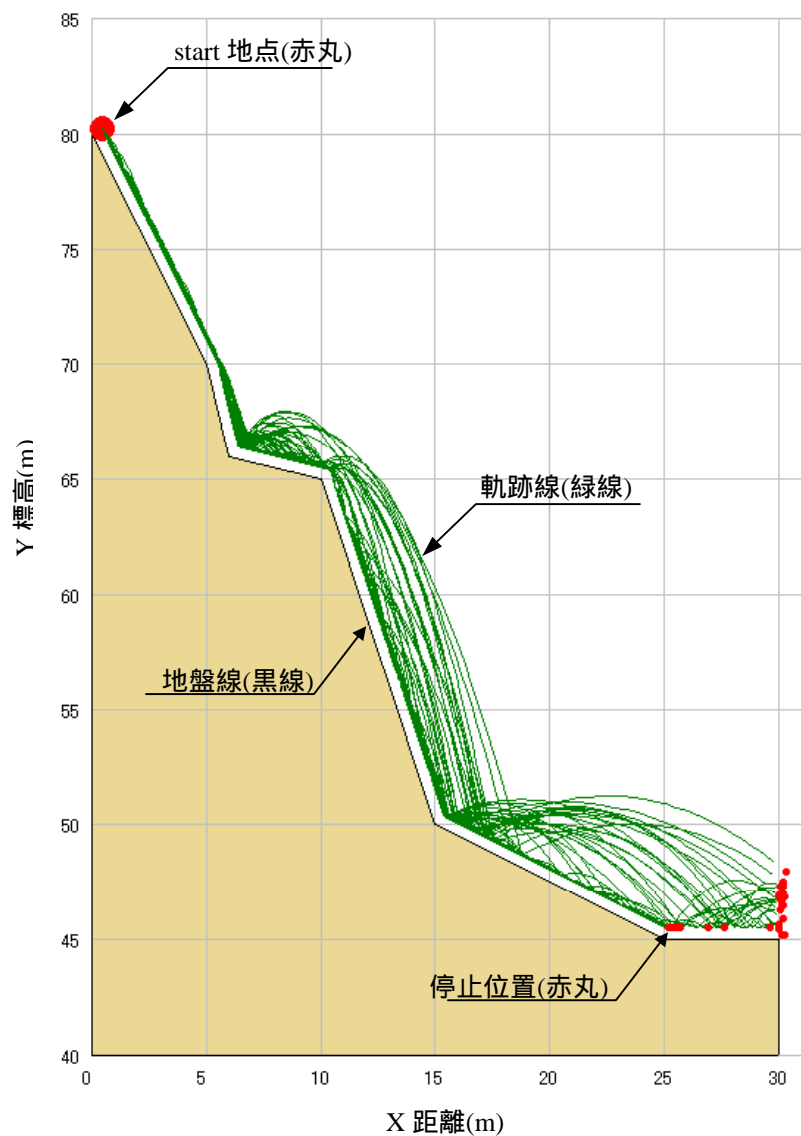
3 - 1 0 . 軌跡図

3 - 1 0 - 1 . 軌跡図表示

シミュレーション軌跡図を表示します。照査点設定等の他画面から軌跡図を再表示する場合に使用します。軌跡図において、緑線は軌跡線、赤丸は運動停止位置を示します。

拡大縮小機能……軌跡図の画面操作として、メニューアイコン内の「拡大」「縮小」「全体表示」各コマンドが使用できます。「拡大」は、マウスで指示した場所を中心に画面を拡大します。

画面移動機能……マウスドラッグにて軌跡図画面を移動することができます。ただし、ドラッグ移動が可能な範囲は、拡大周辺部のみに限られます。



軌跡図の画面説明

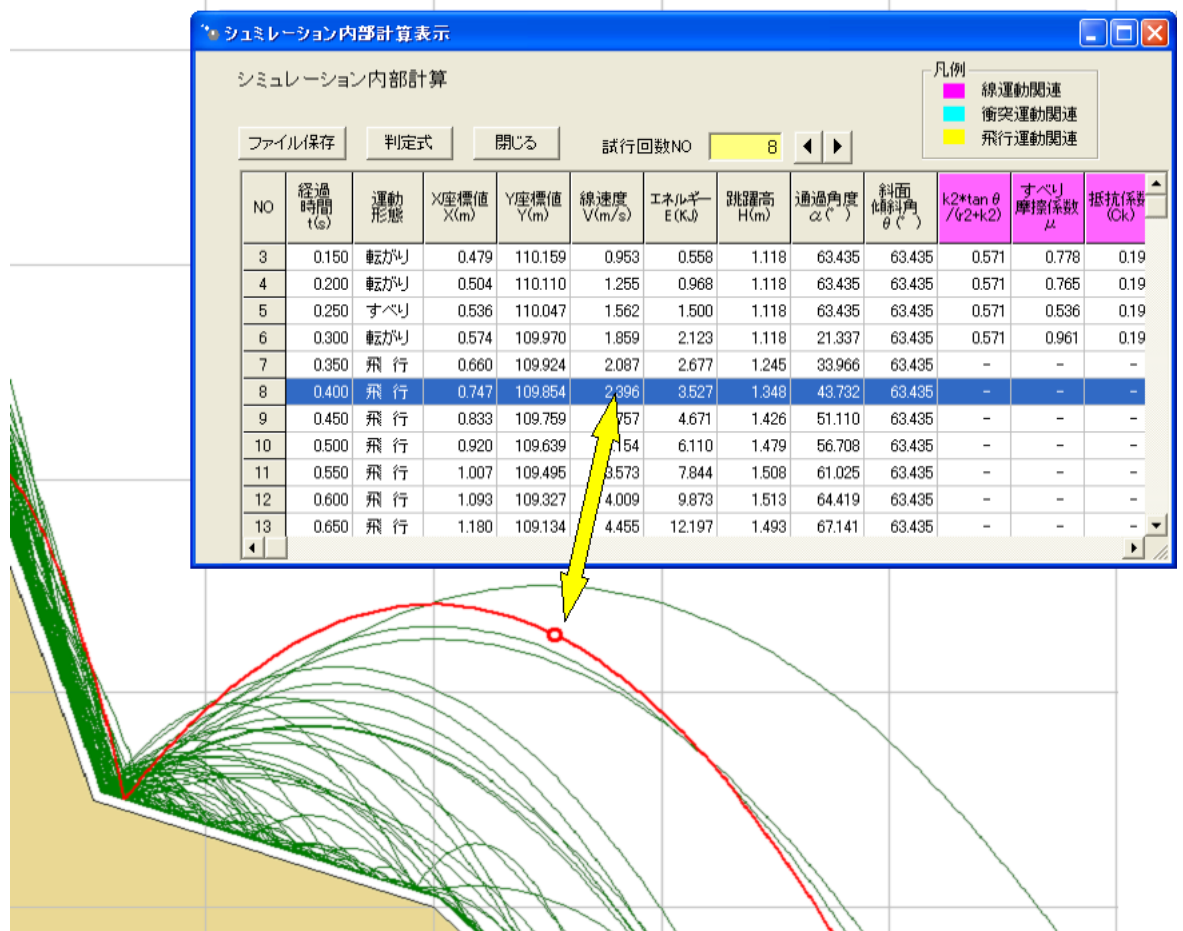
3-10-2. 内部計算表示

シミュレーション計算でおこなった計算過程を「内部計算表」として一覧表示します。

1) 画面構成

内部計算の内容確認には、「軌跡図」と「内部計算表」がペアで機能します。つまり、内部計算表のある行をマウスクリックすると、その行に該当する計算ポイントが、軌跡図上に赤丸で表示されます(下図参照)。これにより、内部計算表内の計算行(計算ポイント)が、軌跡図上のどこに位置するかを確認できます。

また逆に、軌跡図上の特定の軌跡線をマウスでクリックすると、そのポイントに該当する内部計算行がハイライト表示されます。これにより、軌跡線上の指定ポイントについて、その計算過程を内部計算表内で簡単に確認することができます。



2) 表示項目

内部計算表では、下記 27 項目の落石計算に関するデータを表示しています。

内部計算表示項目

項目		説明
NO(計算数)		計算カウント数
経過時間(sec)		時刻ごとの累積経過時間(ただし、衝突現象は現象時間を表示)
運動形態		「すべり」「転がり」「衝突」「飛行」の4パターンから、経過時間ごとの運動状態を表示
X座標(m)		経過時間での落石のX座標を表示
Y座標(m)		経過時間での落石のY座標を表示
線速度V(m/s)		落石の線速度
エネルギーQ(KJ)		落石エネルギー
跳躍高H(m)		落石重心と地盤高との垂線方向の比高差
通過角度 (°)		落石の速度ベクトルが水平線となす角
斜面傾斜角 (°)		地盤線が水平線となす角
線運動 関連	$\frac{\kappa^2 \cdot \tan \theta}{(r^2 + \kappa^2)}$	「すべり」-「転がり」の遷移判定時に使用。「参考資料」式2.3.22(23)の左項。
	すべり摩擦係数 μ	「すべり」-「転がり」の遷移判定時に使用。「参考資料」式2.3.22(23)の右項。正規乱数値。
	抵抗係数 Ck	線運動の計算に使用する値。地形条件にて設定。
衝突運動 関連	入射角 θ_1 (°)	衝突前の落石速度ベクトルと地盤に対する垂線との交角
	反射角 θ_2 (°)	衝突後の落石速度ベクトルと地盤に対する垂線との交角
	入射速度 V_1 (m/s)	衝突前の落石速度(線速度)
	反射速度 V_2 (m/s)	衝突後の落石速度(線速度)
	法線方向速度比 e	正規乱数値
	接線方向速度比	正規乱数値
	速度エネルギー比	$=V_2^2/V_1^2$
飛行運動 関連	V^2/r	「線運動」「飛行運動」の遷移判定時に使用。「参考資料」式2.3.25の左項。
	$g \cdot \cos$	「線運動」「飛行運動」の遷移判定時に使用。「参考資料」式2.3.25の右項。
	限界速度 V_{cr} (m/s)	正規乱数値
	飛び出し角 (°)	一様乱数値
	飛行距離(m)	「衝突運動」「飛行運動」の遷移判定時に使用。「参考資料」式2.3.26の左項。
運動遷移	判定式	「参考資料」P17の図2.3.5等参照
	遷移状態	「すべり」「転がり」「衝突」「飛行」の運動遷移状態を表示

3) 試行回数

内部計算表に表示する軌跡線の計算 NO を表したものです。NO は 1 ～ 試行回数までの整数で、後述する分析データ一覧表内の「NO」と同じ意味です。

4) ファイル保存

内部計算データを、csv ファイルに出力することができます。出力は、画面表示されている試行回数 NO のみのデータです。出力したファイルは、必要に応じて Excel にて分析することができます。

5) 判定式

内部計算表では、落石運動の遷移状態を表すことができます。また運動が遷移したときの根拠となる判定式を、番号で表記します。各番号の判定式の詳細は、4-1-2. をご覧下さい。

飛行距離 S(m)	判定式	遷移状態
-		
0.406	6	飛行→衝突
-	8	衝突→飛行
0.160	6	飛行→衝突

3-11. 照査点設定

一連のシミュレーション計算が終わると、メインメニュー内の「照査点設定」ボタンの文字がアクティブとなり、照査点の設定が可能な状態に変わります。

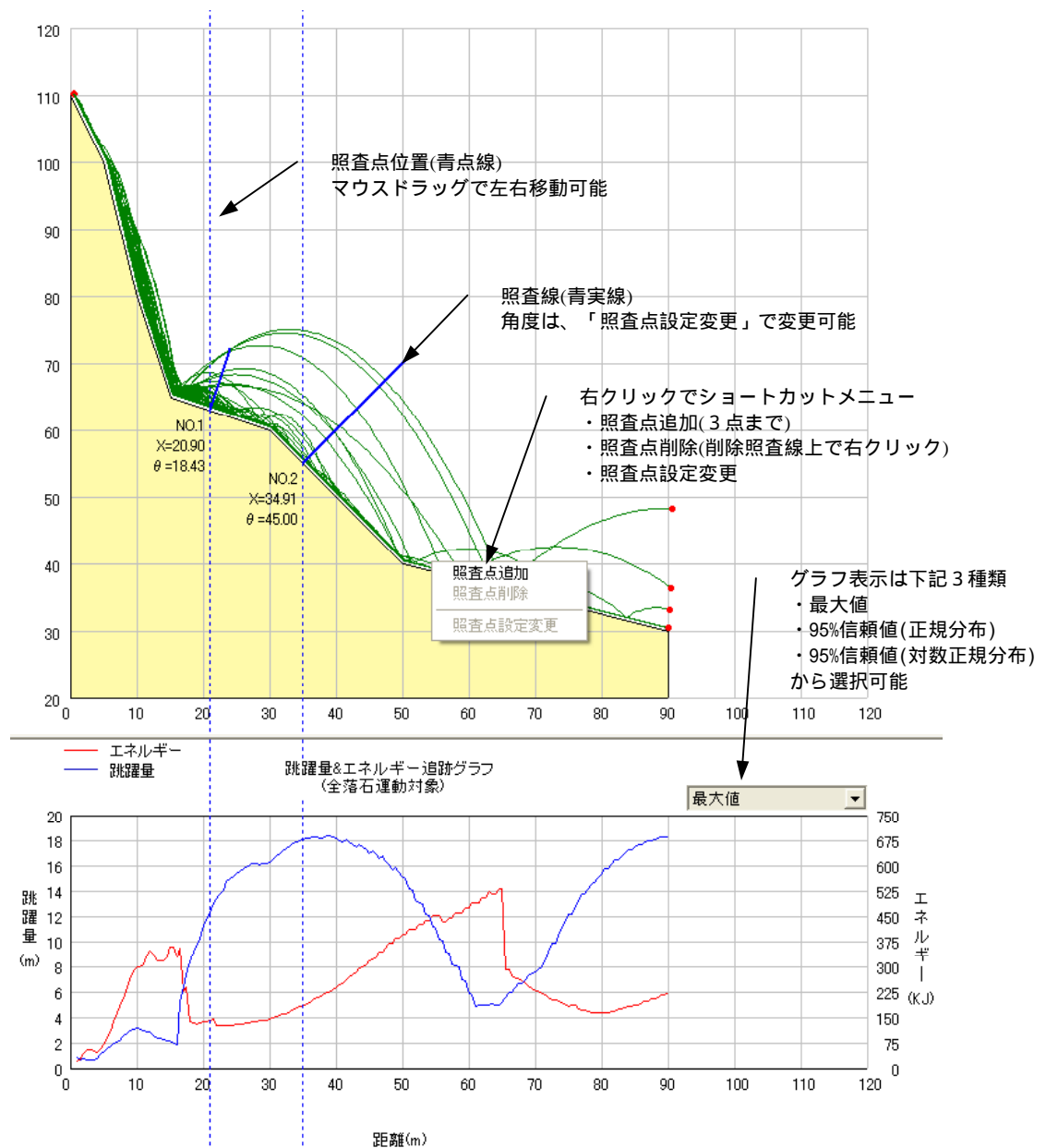
「照査点」とは、落石の跳躍量やエネルギーなどの統計量を求め、統計的分析をおこなう地点のことです。落石対策施設の設置予定地点などがこれに該当します。照査点は、最大3点まで設定できますが、複数設定しても落石エネルギーを順次吸収してゆくものではありませんのでご注意ください。

3-11-1. 画面構成

照査点設定画面は、下図のように「軌跡図」と「跳躍量&エネルギー追跡グラフ」の2種類の図が上下に並んだ構成となっています。また双方のX座標は共通スケールとなっています。

従って図を上下に並べることで、一連の軌跡図の変化を、跳躍量などの主要データと対比させながら、目的に応じて照査点を設定することができます。

また、照査点設定図は拡大・縮小することができます。操作方法は3-10-1.と同じです。



照査点設定画面

3-11-2. 照査点の設定方法

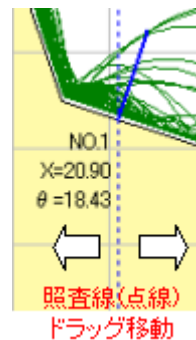
本プログラムでは、照査点が未設定の場合、「照査点設定」ボタンを押すと、自動的に照査点が設定されます。設定位置は斜面中央、照査線角度は「斜面垂線方向」が初期設定値となります。

この初期設定された「照査点」を移動することで、目的の位置に照査点を配置することができます。

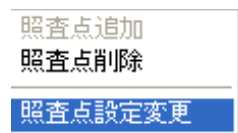
1) 照査点の移動

照査点を移動するには下記に示す2つの方法があります。

ドラッグ移動……照査点位置を示す青い垂線(青点線)を、左右にドラッグすることで位置を移動することができます。



X座標の直接入力……まず、移動したい照査線上で右クリックします。次に、表示されたショートカットメニュー内の「照査点設定変更」をポイントします。「照査点設定変更」ウインドウが表示されますので、[照査点位置]入力欄にX座標を直接入力します。[OK]ボタンを押すことで、設定が変更されます。



ショートカットメニュー



照査点設定変更ウインドウ

Hints

移動可能範囲について

照査点が設定できるX座標(Xp)は、以下の範囲に限られます。ご注意ください。

Xp 地形データのX座標の最小値+0.5m

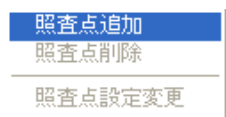
Xp 地形データのX座標の最大値-2.0m

Xp が他の照査点位置から0.5m以上離れていること

2) 照査点の追加

照査点の追加は以下の手順でおこないます。(照査点は3点までです)

「軌跡図」画面の追加したい地点の周辺で右クリック(or ダブルクリック)
ショートカットメニュー(下図)が表示されます(ただし、前述の移動可能範囲外では表示されません)



「照査点追加」を選択

照査点が追加されます。追加された照査点を設定地点に移動します(移動方法は前項参照のこと)

3) 照査点の削除

照査点の削除は以下の手順でおこないます。

削除したい照査線上で右クリック(or ダブルクリック)
ショートカットメニュー(下図)が表示されます



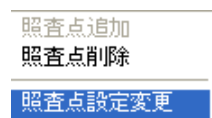
「照査点削除」を選択(「照査点削除」が選択できない場合は、右クリック位置を少し変えてみてください)

照査点が削除されます。

4) 照査点設定変更

照査点の設定変更は、照査点位置の直接入力による変更や、照査線の角度設定をおこなうものです。まず下記の手順で照査点設定変更ウインドウを表示します。

設定を変更したい照査線上で右クリック(or ダブルクリック)
ショートカットメニュー(下図)が表示されます



「照査点設定変更」を選択(「照査点設定変更」が選択できない場合は、右クリック位置を少し変えてみてください)

照査点設定変更ウインドウ(下図)が表示されます。



[照査点位置]……照査点位置(X)を直接入力します。(指定可能な範囲については前述の「移動可能範囲について」を参照ください)

[照査線角度の設定方法]……照査線の角度を下図の選択リストから設定方法を選択します。それぞれの設定方法は以下のとおりです。

設定方法	斜面法線方向
	斜面法線方向
	垂直方向
	角度指定

斜面法線方向

照査点の地盤面に対して垂直方向に照査線を設定します。

鉛直方向

照査線を絶えず鉛直方向に設定します。(角度指定で $=0^{\circ}$ と同)

角度指定

照査線が鉛直線となす角度を指定します。照査点が移動しても、絶えずこの指定角度に設定されます。

Point

照査線角度の意味

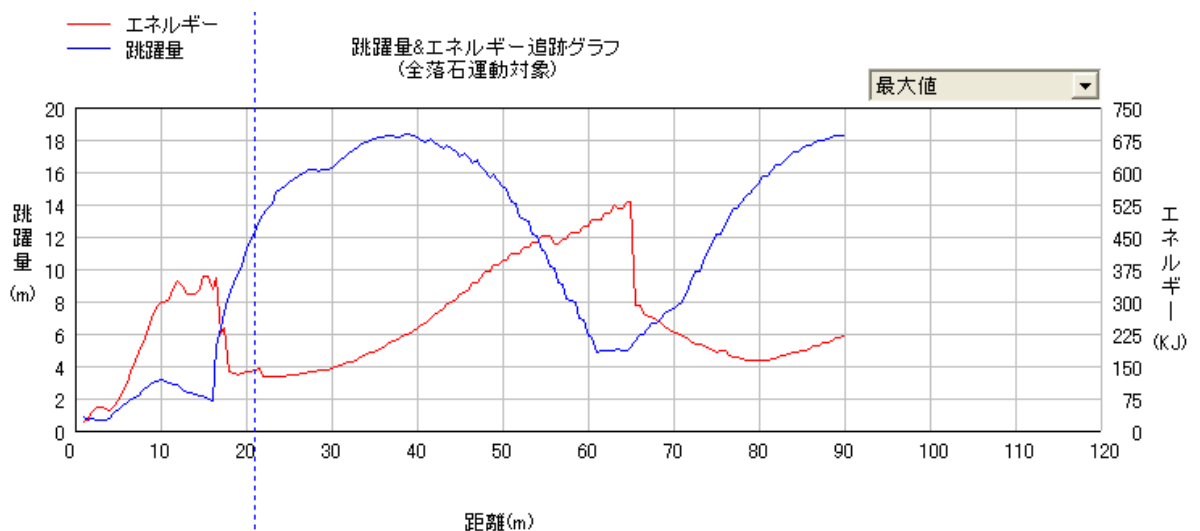
落石軌道が照査線と交差した点での落石運動量(跳躍量や線速度など)が、分析データとして統計処理されます。照査線角度は、落石対策施設の衝突面の角度と考えると設定しやすいと思われます。

5) 跳躍量&エネルギー追跡グラフ

跳躍量&エネルギー追跡グラフは、跳躍量と落石エネルギーの斜面全体の変化をグラフ化したものです。「軌跡図」と組み合わせることで、斜面のどこがエネルギー的に小さいかを把握でき、照査点設定時の参考とすることができます。

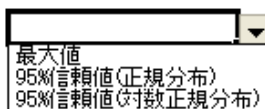
a) 画面構成

グラフ縦軸は、2軸構成となっています。左軸が跳躍量、右軸が落石エネルギーです。グラフ線は、跳躍量が青線、落石エネルギーは赤線で表示されます。グラフ右上にはリストボックスがあり、グラフ化する際の統計処理の方法を選択できます。



b) 表示切替

グラフの表示内容(統計処理手法)を下記3種類から選択することができます。



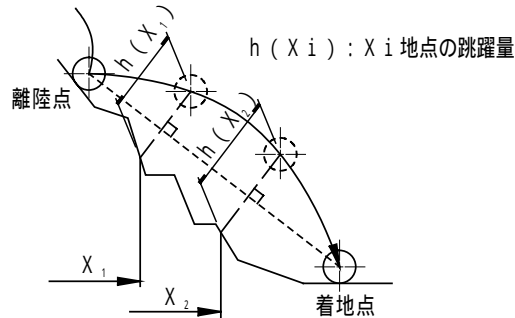
[最大値].....各地点の跳躍量&エネルギーの最大値を結んでグラフ化します。

[信頼値(正規分布)].....「分析設定」で設定された信頼係数(初期設定は95%)に基づいて各地点の信頼値を計算。その値を結んでグラフ化します。このとき、信頼値計算に用いる確率密度関数は「正規分布」と仮定します。

[信頼値(対数正規分布)].....「分析設定」で設定された信頼係数(初期設定は95%)に基づいて各地点の信頼値を計算。その値を結んでグラフ化します。このとき、信頼値計算に用いる確率密度関数は「対数正規分布」と仮定します。

跳躍量&エネルギー追跡グラフでの「跳躍量」について

跳躍量とは、「参考資料」P4 のとおり「落石重心から斜面までの最短垂線距離」をいいます。しかし複雑な地形では、一つの跳躍の中で地形勾配が大きく変化するため、「垂線方向」が一定しません。そこで本プログラムでは、「参考資料」P191 の図-3.5.7(a)の考え方を一部取り入れ、落石の「離陸点」と「着地点」を結んだ線を仮想地盤線と捉え、その線に対する垂線距離としました。ただし、実際の跳躍量は、仮想地盤線に対して垂線方向をとった落石重心と地盤線までの距離としています。下図の場合、地点 X_1 の跳躍量は $h(X_1)$ となります。



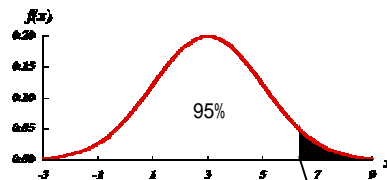
一方、後述する照査点分析での「跳躍量」は、照査点地盤に対して垂線をとっています。

従って、跳躍量&エネルギー追跡グラフでの「跳躍量」と、照査点分析での「跳躍量」は、例え同地点でも垂線方向の違いから、異なる値となる場合があります。あくまで跳躍量&エネルギー追跡グラフでの「跳躍量」は、全体的な跳躍量の傾向もしくは概略値と考えてください。

信頼値(正規分布)

ある地点の統計量(跳躍量・エネルギーなど)が正規分布すると仮定し、その確率密度関数を用いて(例えば 95%確率の)信頼値を求めるものです。信頼値とは、ある事象が「ある値」以下となる確率が、信頼係数で表される確率(95%など)を示す「ある値」のことです。

例えば跳躍量の平均値を \bar{X} 、標準偏差を σ とすると、95%信頼値(それ以下となる確率が 95%である値)は、 $\bar{X} + 1.645$ で表されます。(パラメータ正規乱数値の 95%信頼区間($=\bar{X} \pm 1.96$)とは異なりますので注意して下さい!)



正規分布の概形

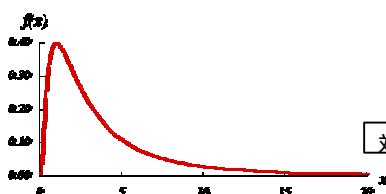
$\bar{X} + 1.645$ (95%信頼値の場合)

信頼値(対数正規分布)

ある地点の統計量(跳躍量・エネルギーなど)が対数正規分布すると仮定し、(例えば 95%確率の)信頼値を求めるものです。対数正規分布とは、対数変換したデータ $[\ln(X_i)]$ が正規分布とみなせるような分布です。

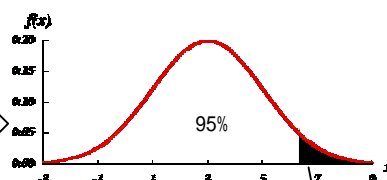
対数変換後の平均値と標準偏差は、元データの平均値を \bar{X} 、標準偏差を σ とすると、下式により表すことができます。(ただし、本プログラムではこの換算式は使用せず、対数変換したデータから信頼値を求めています)

$$\xi = \sqrt{LN\left(1 + \frac{\sigma^2}{\bar{X}^2}\right)} \quad \lambda = LN(\bar{X}) - \frac{\xi^2}{2}$$



対数正規分布の概形

対数変換



正規分布の概形

$+1.645$ (95%信頼値の場合)

Info.

「参考資料」P396 の式について

対数変換前後の平均値と標準偏差の換算式は、「参考資料」P396 に記述されています。しかし、式(5.5.2)は記述に誤りがあるようです。正しくは、下記の通りと考えられます。

-----証明-----

変換前のデータの平均値を μ 、分散を σ^2 、また対数変換後のデータの平均を λ 、分散を ξ^2 とする。

確率分布が対数正規分布と仮定すると、 λ および ξ^2 は、変換前の μ および σ^2 によって下式のように表される。

対数正規分布の確率密度関数

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \xi x} \exp \left[-\frac{(\ln(x) - \lambda)^2}{2\xi^2} \right], x > 0$$

また μ 及び σ^2 は下式により表される。

$$\mu = \exp \left(\lambda + \frac{\xi^2}{2} \right) \dots\dots\dots \text{式-1)}$$

$$\sigma^2 = \exp(2\lambda + \xi^2) (\exp(\xi^2) - 1) \dots\dots\dots \text{式-2)}$$

式 1-1) の両辺を対数にとると、

$$\lambda + \frac{\xi^2}{2} = \ln(\mu) \dots\dots\dots \text{式 1-3)}$$

上式から、 λ は下式によって表される。

$$\lambda = \ln \left(\mu - \frac{\xi^2}{2} \right) \dots\dots\dots \text{式 1-4)}$$

一方、式 1-2) は、式 1-3) の関係式を用いて以下のように表される。

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \exp(2\lambda + 2\xi^2) - \exp(2\lambda + \xi^2) \\ &= \exp(2\lambda + 2\xi^2) - \mu^2 \end{aligned}$$

上式右辺の μ^2 を左辺に移動した後、両辺に対して対数をとると、 ξ^2 は下式により表される。

$$\xi^2 = \ln(\sigma^2 + \mu^2) - \ln(\mu^2)$$

$$\xi^2 = \ln \left(\frac{\sigma^2 + \mu^2}{\mu^2} \right)$$

$$\xi^2 = \ln \left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2} \right) \dots\dots\dots \text{式 1-5)}$$

上記の通り、「落石対策便覧に関する参考資料」P396 の式(5.5.2)及び式(5.5.3)は、それぞれ上式 1-4)、式 1-5) で表すことができる。式(5.5.2)の左辺は λ ではなく、 ξ^2 と考えられる。

3 - 1 2 .分析設定

3 - 1 2 - 1 .画面構成

本プログラムの目的は、落石対策に有用な設計値を推定することにあります。そのためには、得られたデータを、有効な統計手法を用いて分析処理する必要があります。本項では、「参考資料」等を参考に、照査点の統計分析に関する設定をおこないます。

3 - 1 2 - 2 .統計処理に用いる理論分布

「参考資料」P238 の表-4.3.1 に、「吉田らの手法」では「対数正規分布にて統計処理」とあるとありますが、同 P387 に、「結果出力を正規分布あるいは対数正規分布などの確率密度関数と仮定して求めた信頼値 90%や 95%に対応する値を、設計値に用いたケースがある」との記述もあります。そこで本プログラムでは、適用する確率密度関数として「正規分布」「対数正規分布」の 2 種類から選択できるようにしています。ここでは、その選択方法を設定します。

[自動(正規性検定結果重視)]・・・正規性検定に基づいて、「正規分布」と「対数正規分布」のどちらの理論分布(確率密度関数)に適合するかを判定します。正規性検定の結果、「適合分布なし」と判定された場合でも、より近い方の理論分布を採用して信頼値を算定します。ただしその場合は、統計的有意性が小さいことを考慮の上で、結果を取り扱う必要があります。

[正規分布]・・・・・・・・・・・・・・出力結果が正規分布に従うと仮定して信頼値(落石対策に使用する設計値)を計算します。いくつかの論文やプログラムでは、この方法による信頼値が提示されているようです。

[対数正規分布]・・・・・・・・・・・・・・出力結果が対数正規分布に従うと仮定して信頼値(落石対策に使用する設計値)を計算します。「参考資料」P394～P396 の適用事例 4 は、この手法で分析が行われています。なお、「参考資料」P238 の表-4.3.1 には、「吉田らの手法」では「対数正規分布にて統計処理」とありますが、文献を盲目的に適用すべきでなく、あくまで統計データの分布等を考慮の上で判定する必要があると考えます。

3-12-3.信頼係数

ある事象における信頼区間内の発生確率を意味し、本プログラムでは%(パーセント)で表記しています。信頼度ともいい、この設定確率に基づいて信頼値を計算することになります。

Info.

信頼係数の設定値について

信頼係数とは、ある事象における信頼区間内の発生確率を意味し、本プログラムでは%(パーセント)で表記しています。信頼度ともいい、この設定確率に基づいて信頼値を計算することになります。

信頼係数をいくらに設定するかは一概には言えませんが、「参考資料」などでは90%や95%程度で設定されているケースがあるとされています(P387)。参考値としては「参考資料」内の適用事例3では90%が適用されています(P396)。また、いくつかの論文では、95%が使用されているようです。

一方、経験則に基づく跳躍量では一般に2mが最大跳躍量とされています。これは、跳躍量の80%~85%が2m以下であるという経験則から定められたもののようです(P396)。

以上のことから、信頼係数の設定値としては、一般に80%~95%の範囲で定めるのが妥当ではないかと考えます。しかし、具体的な値は、保全対象の重要度や交通量、落石時の影響度、経済性、既存施設との整合性などを総合的に勘案して定めることが必要と考えられます。

3-12-4.分析対象

分析の対象とする落石運動を下記から選択します。

[全落石運動].....すべてのデータを使用して分析をおこないます。(標準設定)

[飛行運動のみ].....「飛行運動」のデータのみを使用して分析をおこないます。対象データ数は「全落石運動」の場合より少なくなります。

Hints

[飛行運動のみ]の考え方について

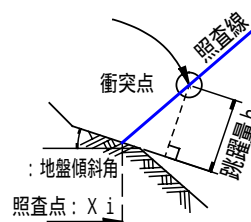
[飛行運動のみ]に限定したデータ解析は、本プログラム独自の設定です。この設定は、例えば「参考資料」P397の適用事例4のように、特に飛行運動時の特性が解析上重要となる場合などに効果的ではないかと思われます。

この設定は、線運動と飛行運動の出現率が拮抗するようなケースでは、両データを特定の理論分布にあてはめて解析することが極めて困難と判断されることから付加したものです。

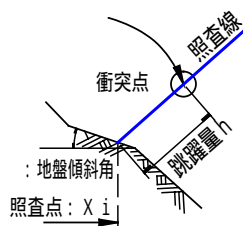
3-12-5.照査点分析時の跳躍量(h)

照査点分析における跳躍量のとり方を設定します。

[照査点地盤面に対する垂線距離]...照査線交差時における落石重心と照査点地盤面との最短垂線距離



[照査線方向の距離].....照査線交差時における落石重心までの照査線方向の長さ



[照査点地盤面に対する垂線距離]を h 、[照査線方向の距離]を h' とすると、両者には下式の関係があります。

$$h = h' \cdot \cos(\theta' - \theta)$$

ここに、 θ' : 照査線角度
 θ : 地盤傾斜角

3 - 1 2 - 6 . 正規性検定条件

「正規性検定」とは、対象データが正規分布とみなせるかどうかを判定する統計学的検定手法です。本プログラムでは、「正規分布である」という帰無仮説を有意水準で検定します。なお、これは「分析設定」-「統計処理に用いる理論分布」にて、「自動」を選択した場合のみ有効です。

1) 検定手法

「正規性検定」には複数の手法がありますが、本プログラムでは下記の2種類の手法から選択します。

[D'Agostino and Pearson検定].....ダゴスティノ・パーソン検定(K^2 検定)。歪度(skewness)と尖度(kurtosis)から正規性を検定(累積分布関数に基づく推測)するものです。データ数 20 以上で有効とされています。

[Anderson and Darling 検定].....アンダーソン・ダーリン検定(A^2 検定)。経験累積分布関数に基づく推測。一般に、データ数 8 以上で有効とされていますが、本プログラムでは 20 以上としています。

どちらを選択するかはユーザーの判断ですが、本プログラムでは K^2 検定を標準設定としています。

2) 有意水準

検定の危険度を設定します。本プログラムでは、5%と 1%のどちらかを選択する設定としています。

Info.

有意水準について

例えば有意水準 $\alpha=5\%$ とは、20 回に 1 回の頻度で検定を誤る危険性があることを意味し、 $\alpha=1\%$ は、100 回に 1 度しか検定を誤る危険性がないことを意味します。つまり、 $\alpha=1\%$ の検定結果は同 $\alpha=5\%$ に比べ、検定を誤る危険性(いわゆる「第 1 種の誤り」を犯す危険性)は小さくなります。

そうすると、一見 α をなるべく小さくしたほうが良いように思われます。ところが、 α を小さくしすぎると「正規分布するという帰無仮説が誤りであるのに受容してしまう確率」すなわち「第 2 種の誤り」を犯す確率が大きくなってしまいます。従って、検定全体の精度を考えると、 α は程々の値が良いということになります。通常、 α は 5%(もしくは 1%)がよく用いられているようです。

3 - 1 2 - 7 . ヒストグラム分割数

本プログラムでは、各統計量についてヒストグラム(統計量のバラツキの分布状態を表す棒グラフ)を作図します。ここで設定された分割数は、すべてのヒストグラムに適用されます。

[自動(スタージェス式)]……Sturges 式。最もよく知られた分割数の算定方法で、下式により求めます。本プログラムでは、小数第一位を切り上げた整数としています。

$$K = 1 + \text{LOG}_2 N$$

ここに、 K :分割数
 N :データ数

ヒストグラムの分割数

データ数N	分割数K
50	7
100	8
150	9
200	9
250	9
300	10
400	10

[分割数指定]……ユーザーが分割数を設定します($K=5 \sim 15$)。

3 - 1 2 - 8 . ボタンの説明

[O K]ボタン……設定保存後にウインドウを閉じ、分析結果を更新します。

[Cancel]ボタン……設定を破棄してウインドウを閉じます。分析結果は変わりません。

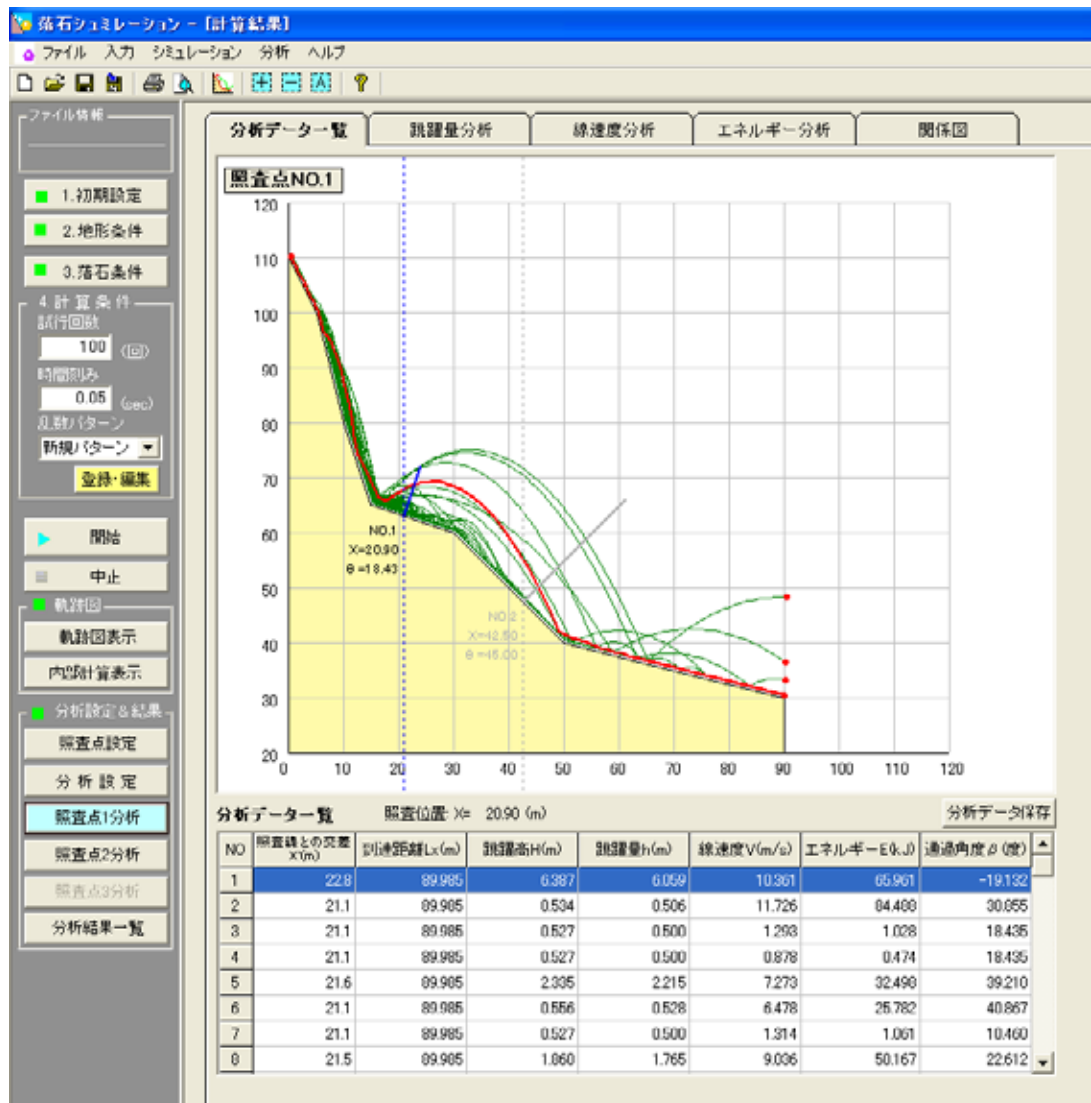
3-13. 照査点分析

3-13-1. 画面構成

ここでは、各照査点で得られた落石運動データを統計処理し、落石対策に有用な分析結果として表示します。

照査点分析は、下記5つの分析結果で構成され、それぞれのタブをクリックすることで表示の切替えをおこないます。

分析データ一覧
跳躍量分析
線速度分析
エネルギー分析
関係図(h-V, h-)



Info.

最少有効データ数について

照査点での分析データ数が20未満の場合は、有効な分析が不可能なため、分析画面及び結果を表示しません。

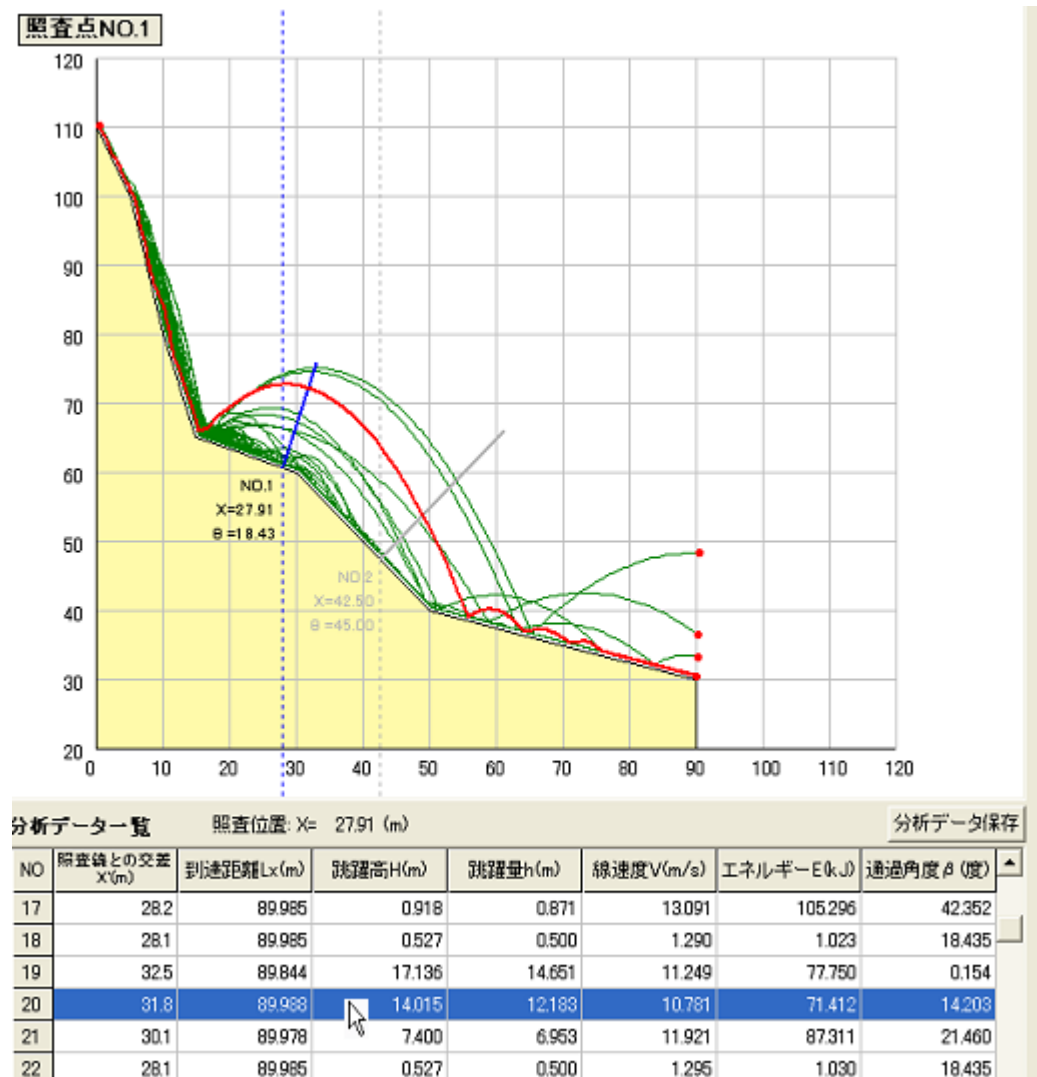
なお最少有効データ数は、正規性検定(K2-test)の有効数に基づいて設定したものです。

3-1 3-2 .分析データ一覧

照査点で得られた試行回数分のデータを一覧表として表示します。

1) 画面構成

分析データ一覧は、軌跡図と分析データ一覧表が上下に並んだ構成となっています。分析データ一覧表内のデータ行をクリックすると、その行(試行回数)に対応する軌跡線が赤く表示されます。



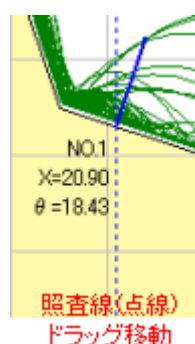
分析データ一覧の画面

2) 軌跡図

軌跡図には、軌跡線と照査線(青線)が表示されます。照査点が複数設定されている場合は、該当する照査点以外は退色表示(灰色)となります。

また、照査点位置を示す青い垂線(青点線)を、左右にドラッグすることで位置を移動することができます。ただし、隣の照査点との離れを 0.5m 以下にすることはできません。照査点を移動した場合、移動が完了した時点で分析結果は更新されます。

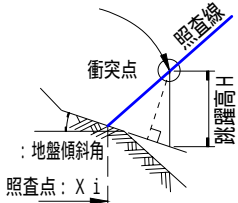
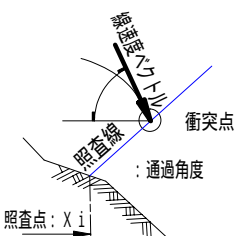
なお、「照査点設定」画面と異なり、本画面では照査点の追加や削除、照査点変更は出来ません



3) 分析データ一覧

分析データ一覧では、以下の分析項目に関するデータを一覧表示します。

分析データ一覧表

項目	記号	単位	説明
NO	--	--	試行回数の番号
照査点との交差	X'	m	軌跡線と照査線との交点X座標
停止位置	Lx	m	落石の停止X座標
跳躍高	H	m	照査線交差時における落石重心の、照査点地盤線(延長線)に対する鉛直方向の高さ。下式は跳躍量hとの関係式。 $H = h \cdot \sec(\theta)$ 
跳躍量	h	m	「分析設定」内で選択した「照査点分析時の跳躍量」
線速度	V	m/s	照査線交差時の落石速度(線速度)
エネルギー	E	KJ	照査線交差時の落石エネルギー
通過角度		度	照査線交差時における線速度ベクトルの鉛直線となす角度 

注)上記いずれも、データが求まらない場合は「---」を表示します。

4) 分析データ保存

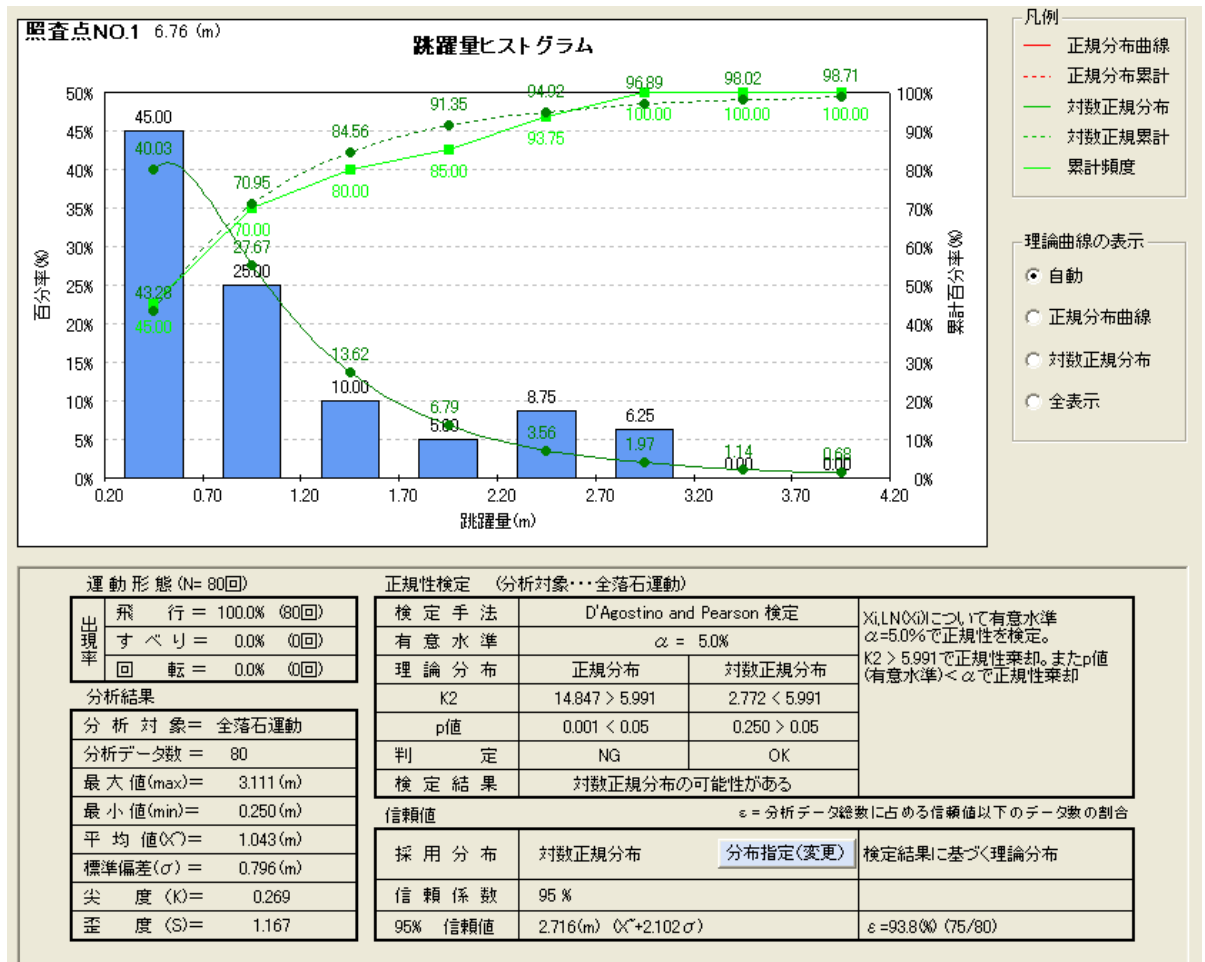
分析データ一覧表を csv ファイルに保存することができます。Csv ファイルは、Excel 等により、ユーザー側で自由に分析処理することができます。

3-1 3-3. 跳躍量分析

照査点で得られた試行回数分のデータに基づき、跳躍量に関する分析結果を表示します。

1) 画面構成

跳躍量分析結果は、ヒストグラムと分析結果一覧表が上下に並んだ構成となっています。



2) ヒストグラム

a) ヒストグラムの機能

ヒストグラムとは、統計量のバラツキの分布状態を表す棒グラフのことです。横軸に跳躍量、縦軸に出現頻度(百分率)をあらわします。なお、横軸の分割数の設定は「分析設定」にておこないます。

ヒストグラムにより、以下を把握することができます。

分布の状態を見やすくして、大まかな分布の姿を把握できる
 分布の中心位置、分布のバラツキの大きさを把握できる
 分布が統計的にどのような分布型になるのか、概ね判断できる(本プログラムでは、正規性検定結果をヒストグラムと比較することで、検定の妥当性をある程度確認することができます。)

b) 理論曲線の表示

ヒストグラム上に、正規分布および対数正規分布の理論分布曲線を重ね合わせることができます。表示する曲線は、「理論曲線の表示」内のオプションボタンの切替えによって選択することができます。

[自動]……………信頼値計算で採用(もしくは指定)された理論分布曲線を表示します。

[正規分布曲線]……………正規性検定の結果に関係なく、正規分布曲線をヒストグラム上に表示します。ヒストグラムの形状と正規分布曲線がほぼ一致していれば、分布は概ね正規分布に近いことが推測されます。(ただし、感覚的には類似していても正規性検定では棄却されることがあります)

[対数正規分布曲線]……正規性検定の結果に関係なく、対数正規分布曲線をヒストグラム上に表示します。ヒストグラムの形状と対数正規分布曲線がほぼ一致していれば、分布は概ね対数正規分布に近いことが推測されます。(ただし、感覚的には類似していても正規性検定では棄却されることがあります)

[全表示]……………正規性検定の結果に関係なく、正規分布曲線と対数正規分布曲線の双方をヒストグラム上に表示します。

c) 凡例について

ヒストグラム上の描画線に関する凡例は、以下の通りです。

[正規分布曲線]……………正規分布グラフ。確率密度関数は、4-2-1.2)a)を参照のこと。

[正規分布累計]……………正規分布の累積グラフ。関数は、4-2-1.2)a)を参照のこと。

[対数正規分布]……………対数正規分布グラフ。確率密度関数は、4-2-1.2)b)を参照のこと。

[対数正規累計]……………対数正規分布の累積グラフ。関数は、4-2-1.2)b)を参照のこと。

[累 計 頻 度]……………シミュレーションの結果得られたデータの頻度を累積したグラフ。

3) 分析結果

正規性検定 (分析対象…全落石運動)			
検 定 手 法	D'Agostino and Pearson 検定		Xi, LN(Xi)について有意水準 α=5.0%で正規性を検定。 K2 > 5.991で正規性棄却。またp値 (有意水準)<αで正規性棄却
有 意 水 準	α = 5.0%		
理 論 分 布	正規分布	対数正規分布	
K2	14.847 > 5.991	2.772 < 5.991	
p値	0.001 < 0.05	0.250 > 0.05	
判 定	NG	OK	
検 定 結 果	対数正規分布の可能性がある		
信頼値 ε = 分析データ総数に占める信頼値以下のデータ数の割合			
採 用 分 布	対数正規分布	分布指定(変更)	検定結果に基づく理論分布
信 頼 係 数	95 %		
95% 信頼値	2.716(m) (X̄+2.102σ)		ε=93.8%(75/80)

a) 運動形態

照査線と交差した時点の落石運動形態を、飛行運動、すべり運動、回転運動別に比率(度数)表示します。

b) 基本統計量

照査点で得られたデータに基づき、基本的な統計量を計算して表示します。表示するのは下表の8種類です。

基本統計量

項目	記号	説明
分析対象		「分析設定」-「分析対象」で設定した運動
分析データ数	N	分析の対象となるデータ数。分析対象が落石運動のみの場合は、運動形態が「飛行運動」のみのデータ数を表示します。
最大値	Xmax	統計量の最大値
最小値	Xmin	統計量の最小値
平均値	X~	統計量の平均値
標準偏差		統計量の散らばりの度合いを示す数値で、下式で表されます $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$
尖度	K	標準となる正規分布と比較して、対象分布の裾の広がり度を現す指標。下式で表されるK値がゼロに近いほど、正規分布の裾の広がり具合(尖り具合)に近いことを意味します。平均をX~、標準偏差を とすると、尖度Kurtは下式で表されます。 $Kurt = \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$
歪度	S	標準となる正規分布と比較して、対象分布の左右対称性を現す指標。この値がゼロに近いほど、正規分布の裾の広がり具合(尖り具合)に近いことを意味します。平均をX~、標準偏差を とすると、歪度Skewは下式で表されます。 $Skew = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{X}}{\sigma} \right)^3$ 上式で表される尖度と歪度がどちらも0に近い分布は、正規分布に近いことを意味します。

c) 正規性検定

正規性検定の計算結果と判定結果を一覧表示します。ただし、「分析設定」-「統計処理に用いる理論分布」において、[自動]を指定した場合のみ表示されます。

[検定手法]…………「分析設定」-「正規性検定条件」-「検定手法」にて選択した検定手法を表示します。

[有意水準]…………「分析設定」-「正規性検定条件」-「有意水準」にて選択した値を表示します。

[理論分布]…………正規性検定で検定する理論分布は「正規分布」および「対数正規分布」の2種類のみです。

[K² (A²)]…………検定手法が[D'Agostino and Pearson検定]の場合は[K²]、[Anderson and Darling 検定]の場合は[A²]と表示されます。それぞれの算定方法によって求めた検定値を、有意水準に応じた判定値と比較します。K² (A²)値が判定値より大きい場合は、正規分布(対数正規分布)ではないと判断します。

[p 値]…………本プログラムでは、検定手法が[D'Agostino and Pearson 検定]の場合に p 値を計算します。p 値とは、シミュレーションで得られた検定統計量の値に対応する上側確率のことで、有意確率ともいいます。この値が有意水準より小さい場合は、正規分布(対数正規分布)ではないと判断します。p 値は、下式から求めます。

$$p\text{値} = \text{EXP}\left[-\frac{K^2}{2}\right]$$

[判定]…………正規分布及び対数正規分布に対する検定結果をそれぞれ表示します。「OK」はそれぞれの分布の可能性があることを、「NG」はその可能性がないことを示します。判断は、下表に従っておこないます。

判定の考え方

判定基準	判定
$K^2(A^2)$ 値 < 判定値 p値 > 有意水準	OK
$K^2(A^2)$ 値 > 判定値 p値 < 有意水準	NG

[検定結果]…………「判定」結果に基づき、最終的な検定結果を表示します。検定結果は下表の考え方に基づいておこないます。

検定結果の考え方

NO	正規分布	対数正規分布	検定結果
1	OK	OK	< 判定値に、より近い分布を採用 > (対数)正規分布の可能性がある
2	OK	NG	正規分布の可能性がある
3	NG	OK	対数正規分布の可能性がある
4	NG	NG	どちらの分布にも該当しない

d) 信頼値

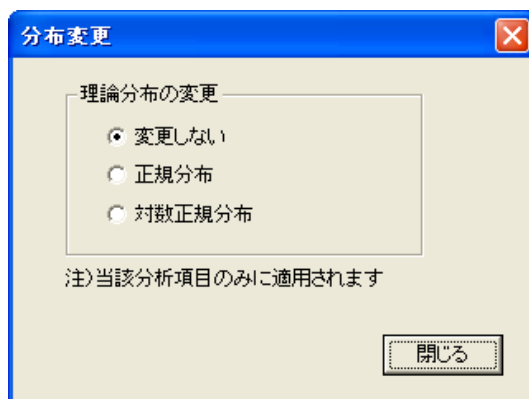
「分析設定」-「統計処理に用いる理論分布」で指定した理論分布、もしくは正規性検定結果に基づく理論分布の下で、信頼値(落石対策に使用する設計値の推奨値)を算定します。

[採用分布]……「分析設定」-「統計処理に用いる理論分布」で指定した理論分布、もしくは正規性検定結果に基づいて、より近い理論分布を表示します。

なお、「自動(正規性検定結果重視)」を選択している場合は、適用分布を指定(変更)することができます。このコマンドは、分析項目毎に個別に設定が可能です。

分布を変更する場合は「分布変更」ボタンを押すと、下図のような「分布変更」ウィンドウが表示されます。

表示された[理論分布の変更]欄から、変更したい理論分布のオプションボタンを選択します。



[信頼係数]……「分析設定」-「統計処理に用いる理論分布」-「信頼係数」で設定した値(%)を表示します。

[信頼値]……片側検定において、ある値以下となる確率が、信頼係数で設定した確率以下となる値を表示します。例えば正規分布の場合、95%信頼値は $\bar{X}+1.645$ で表されます。

$$\text{信頼値} = \bar{X} + m \cdot \sigma \quad m = \frac{\text{信頼値} - \bar{X}}{\sigma}$$

ここに、mは信頼係数(確率)に応じた(対数)正規累積分布の逆関数です。

なお、信頼値の右欄に表示している「 ε 」は、信頼値以下であるデータが、シミュレーションで得た全データの中に占める割合を表し、下式により表されます。

これにより、理論的に求めた信頼値を、実際のシミュレーションで得た結果と比較することができます。

$$\varepsilon = \frac{\text{信頼値以下であるデータの数}}{\text{全データ総数}} \times 100(\%)$$

3 - 1 3 - 4 .線速度分析

機能説明については、前述の 3-13-2.跳躍量分析を参照のこと。

3 - 1 3 - 5 .エネルギー分析

機能説明については、前述の 3-13-2.跳躍量分析を参照のこと。

Hints

線速度と落石エネルギーの関係について

「吉田らの手法」では、基本的に落石の回転エネルギーは考慮されていないため、線速度と落石エネルギーには、基本的には以下の関係式が成り立ちます。

ただし、信頼値など統計分析結果においては必ずしも成立しない場合があります。

$$E = \frac{w \cdot V^2}{2g}$$

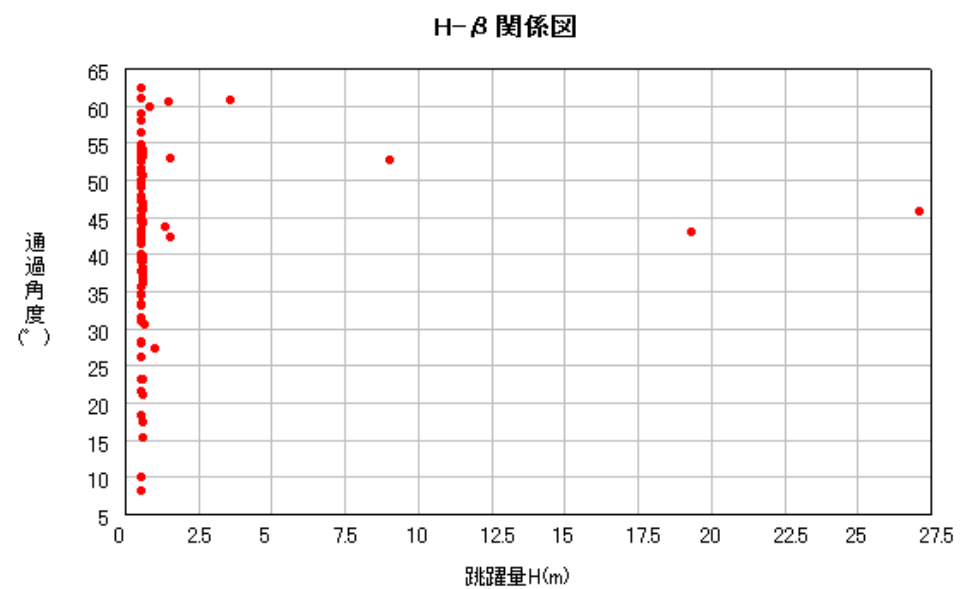
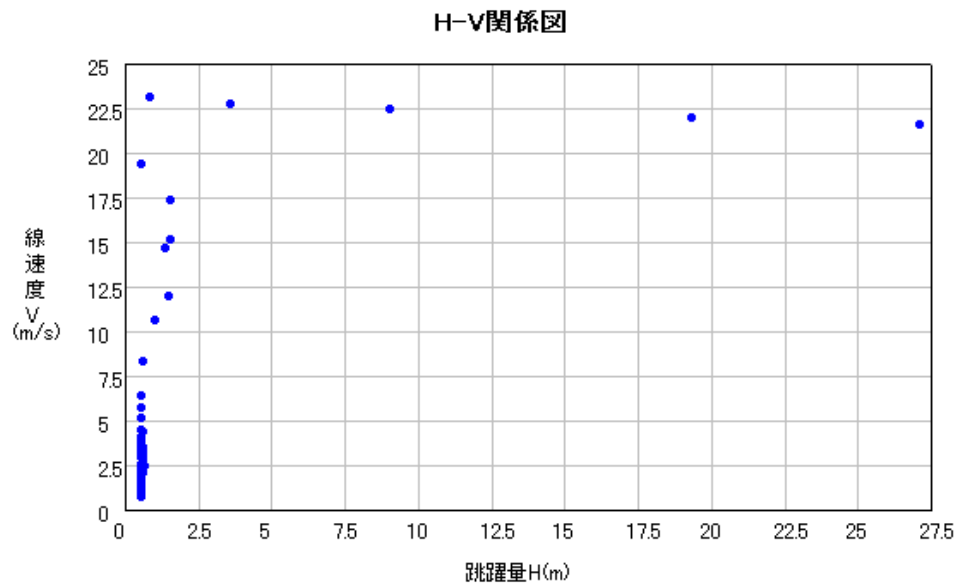
ここに、 E :落石エネルギー(KJ)
 w :落石重量(KN)
 V :線速度(m/s)
 g :重力加速度(m/s²)

3 - 1 3 - 6 . 関係図

当該照査点における跳躍量(h)と下記 2 種類の統計量の関係図を示します。

跳躍量(h)と線速度(V)グラフ………跳躍量と線速度を散布図にプロット

跳躍量(h)と通過角度()グラフ………跳躍量と通過角度を散布図にプロット

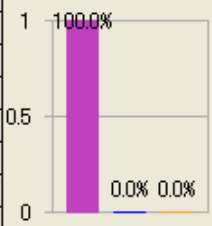
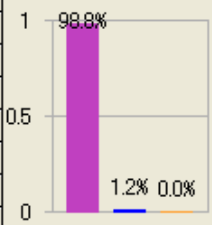
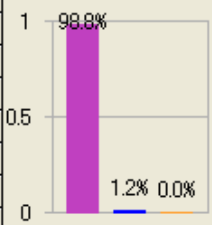


3-14. 分析結果一覧

3-14-1. 結果一覧表

分析結果は、「分析結果一覧表」と「斜面特性グラフ」からなります。「分析結果一覧表」は、照査点分析で求めた照査点毎の分析結果を、一覧表にまとめたものです。各項目に関する説明は、照査点分析のそれぞれの項をご参照下さい。

分析結果一覧表

照査点	照査位置X(m) 照査角度θ(°) 分析データ数N(個) 分析対象	項目	跳躍量 h(m)	線速度 V(m/s)	エネルギー Q(KJ)	運動形態 (全試行回数)
NO.1	X = 6.76m θ = 27.0721° N = 80 全運動	最大値(Xmax)	3.111	15.733	21.078	 <p>飛行 回転 すべり</p> <p>飛行= 80 回 回転= 0 回 すべり= 0 回</p> <p>計 80 回</p>
			(X̄+2.60σ)	(X̄+1.18σ)	(X̄+1.37σ)	
		95%信頼値	2.716	17.640	23.001	
			(X̄+2.10σ)	(X̄+1.64σ)	(X̄+1.64σ)	
		対数正規分布		正規分布	正規分布	
		ε(参考値)	ε=93.8%	ε=100.0%	ε=100.0%	
		最小値(Xmin)	0.250	1.783	0.271	
		平均値(X̄)	1.043	10.936	11.581	
		標準偏差(σ)	0.796	4.076	6.943	
		尖度	0.269	-0.987	-1.548	
		歪度	1.167	-0.544	-0.156	
		X̄+1σ	1.839	15.012	18.524	
		X̄+2σ	2.635	19.088	25.467	
		X̄+3σ	3.430	23.163	32.410	
NO.2	X = 24.40m θ = 29.5778° N = 80 全運動	最大値(Xmax)	15.961	21.691	40.064	 <p>飛行 回転 すべり</p> <p>飛行= 79 回 回転= 1 回 すべり= 0 回</p> <p>計 80 回</p>
			(X̄+2.68σ)	(X̄+1.03σ)	(X̄+1.29σ)	
		95%信頼値	19.468	24.364	43.728	
			(X̄+3.55σ)	(X̄+1.64σ)	(X̄+1.64σ)	
		対数正規分布		正規分布	正規分布	
		ε(参考値)	ε=100.0%	ε=100.0%	ε=100.0%	
		最小値(Xmin)	0.250	1.206	0.124	
		平均値(X̄)	5.077	17.208	26.806	
		標準偏差(σ)	4.058	4.350	10.288	
		尖度	-0.427	3.390	-0.166	
		歪度	0.745	-1.742	-0.879	
		X̄+1σ	9.135	21.558	37.094	
		X̄+2σ	13.192	25.909	47.382	
		X̄+3σ	17.250	30.259	57.670	
NO.3	X = 37.10m θ = 29.5778° N = 80 全運動	最大値(Xmax)	12.179	26.162	58.281	 <p>飛行 回転 すべり</p> <p>飛行= 79 回 回転= 1 回 すべり= 0 回</p> <p>計 80 回</p>
			(X̄+3.28σ)	(X̄+1.41σ)	(X̄+1.87σ)	
		95%信頼値	12.008	27.563	54.869	
			(X̄+3.22σ)	(X̄+1.64σ)	(X̄+1.64σ)	
		対数正規分布		正規分布	正規分布	
		ε(参考値)	ε=98.8%	ε=100.0%	ε=95.0%	
		最小値(Xmin)	0.250	1.021	0.089	
		平均値(X̄)	3.110	17.573	29.398	
		標準偏差(σ)	2.763	6.073	15.485	
		尖度	0.578	1.067	-0.533	
		歪度	1.091	-1.070	-0.003	
		X̄+1σ	5.873	23.646	44.883	
		X̄+2σ	8.636	29.720	60.368	
		X̄+3σ	11.400	35.853	75.853	

ε = 分析データ総数に占める信頼値以下のデータ数の割合

3 - 1 4 - 2 .斜面特性グラフ

分析結果一覧画面内に配置された「斜面特性グラフ」ボタンを押すことで、斜面の特性を表す下記3種類のグラフを表示することができます。各グラフは、落石が水平方向に数m(2~3m程度)移動する毎の各特性値をプロットしたものです。

[H - h 図].....落下高(H) - 跳躍量(h)グラフ。落石の落下高と跳躍量の関係を散布図で表します。

[H - V 図].....落下高(H) - 線速度(V) グラフ。落石の落下高と線速度との関係を散布図により表示します。なお、散布図に描画された青い曲線は、斜面に抵抗がなかった場合の最大速度を示したものです。プロットがこのラインより右側にある場合は、入力等に問題がある可能性があります。最大速度曲線は、下式により表されます。

$$V(H) = \sqrt{2gH} \quad \text{ここに、} V: \text{線速度}(m/s) \\ g: \text{重力加速度}(m/s^2) \\ H: \text{落下高}(m)$$

[H - Q 図].....落下高(H) - エネルギー(Q) グラフ。落石の落下高と落石エネルギーの関係を散布図で表します。なお、散布図に描画された赤い直線は、斜面に抵抗がなかった場合の最大エネルギーを示したものです。プロットがこのラインより右側にある場合は、入力等に問題がある可能性があります。最大エネルギー線は、下式により表されます。

$$E(H) = wH \quad \text{ここに、} E: \text{落石エネルギー}(KJ) \\ w: \text{落石重量}(KN) \\ g: \text{重力加速度}(m/s^2)$$

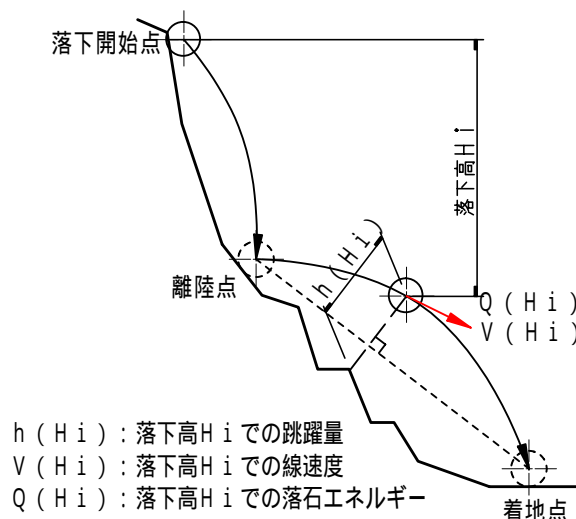


図 3-4. 落下高 H_i での落石の h 、 V 、 Q

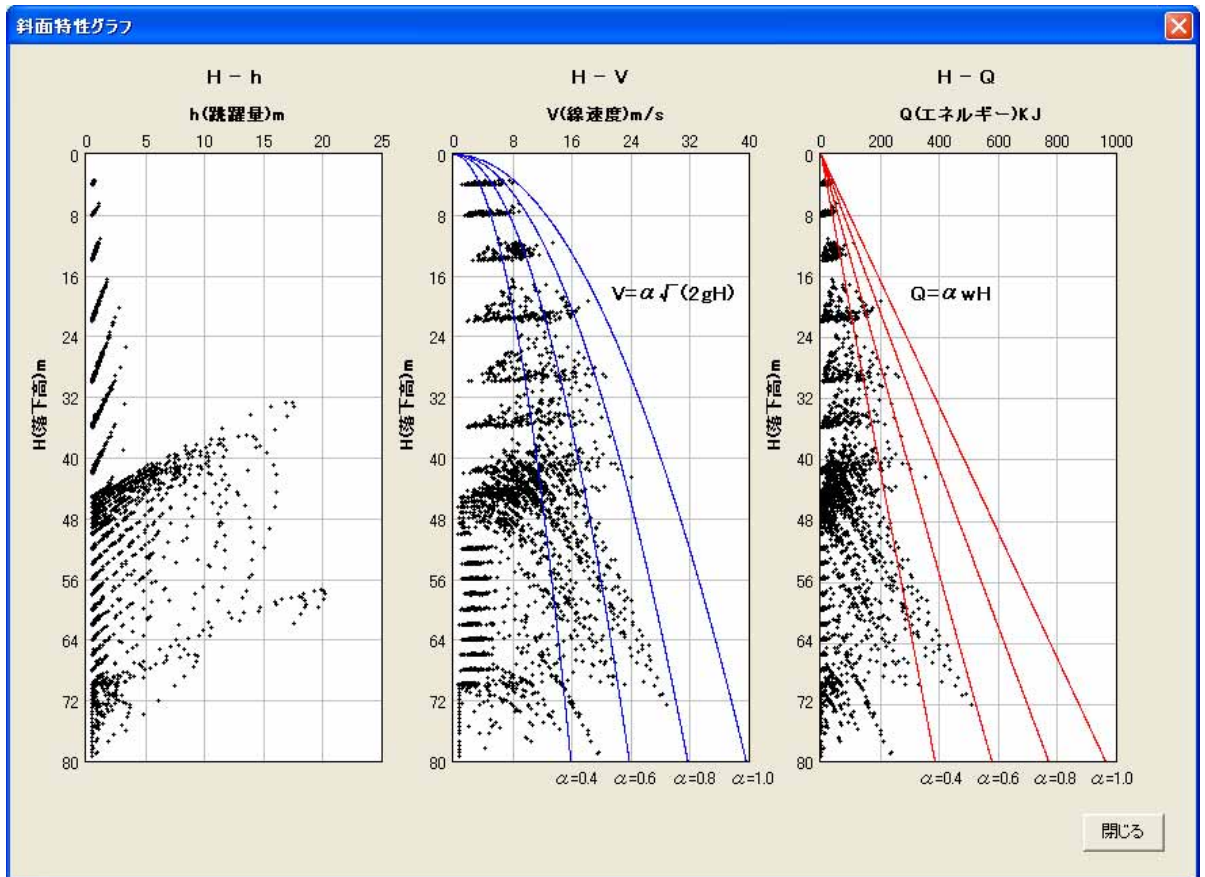


図 3-5. 斜面特性グラフ

Info.

最少有効データ数について

照査点での分析データ数が 20 未満の場合は、有効な分析が不可能なため、分析画面及び結果を表示しません。

なお最少有効データ数は、正規性検定(K2-test)の有効数に基づいて設定したものです。

3 - 1 4 - 3 . ボタンの説明

[結果一覧表印刷]ボタン・・・「分析結果一覧表」と「斜面特性グラフ」を印刷します。

[斜面特性グラフ]ボタン・・・「斜面特性グラフ」を表示します。

4. 計算理論

4-1. 「吉田らの手法」について

4-1-1. 概要

本プログラムで扱う「吉田らの手法」は、二次元の質点系シミュレーション手法の一つで、落石の運動を「すべり」「転がり」「衝突」「飛行」の4つの運動形態で表します。

本手法の最大の特徴は、シミュレーションにおいて最も重要な「衝突運動」が、「法線方向速度比 e 」と「接線方向速度比 μ 」の僅か2つのパラメータで表されることです。他の手法のように速度依存性は考慮しておらず、比較的簡易的なシミュレーション手法と考えられます。

ただし、複雑な理論を駆使し、速度依存性を考慮したシミュレーション手法が、必ずしも正しい結果を生むとは限りません。どのシミュレーション手法を用いたかより、「どのように用いたか」が重要となるためです。

4-1-2. 運動形態の遷移条件

「吉田らの手法」では、「すべり」「転がり」「衝突」「飛行」の4つの運動形態の遷移条件を、以下のようにまとめることができます。

運動遷移判定式

番号	判定式	運動遷移状態
	$\frac{V_{\text{接線}}^2}{V_{\text{法線}}^2} \cdot \tan \mu$	すべり 転がり
	$\frac{V_{\text{接線}}^2}{V_{\text{法線}}^2} \cdot \tan \mu > \mu$	転がり すべり
	$i < i+1$	線運動 飛行
	$V > V_{\text{cr}}$	
	$\frac{V^2}{r} > g \cdot \cos$	
	(斜面への着地)	飛行 衝突
	$i > i+1$	線運動 衝突
	$S > D/10$	衝突 飛行
	$S < D/10$	衝突 線運動
	$V < V_{\text{min}}$	線運動 停止 衝突 停止

注1)線運動は、「すべり」もしくは「転がり」を示す

注2)判定式 $i < i+1$ は上部傾斜角<下部傾斜角を示す

注3)Dは落石径、rは落石半径、 μ は回転半径を示す

注4)Vminは停止限界速度を示す

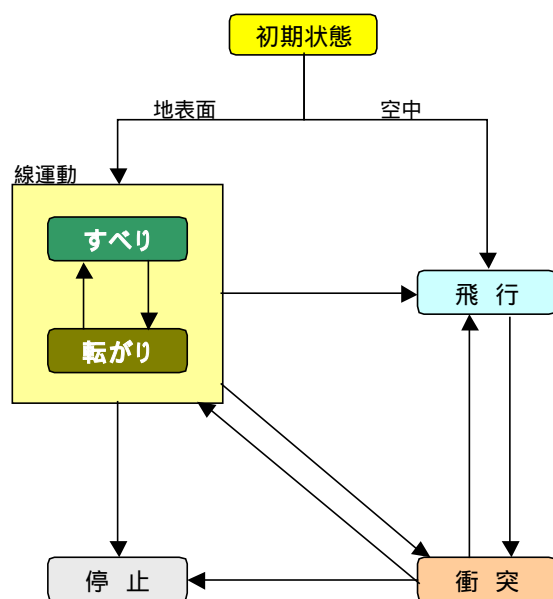


図 4-1. 運動形態の遷移条件

4 - 2 . 統計分析

4 - 2 - 1 . 分析手法

1) 分析の考え方

「落石シミュレーション」は、乱数を用いて確率的な現象を解明する、いわゆる「モンテカルロ・シミュレーション」に該当します。従って、その結果は実験的計測による標本と類似したものと考えられ、統計学的に処理することが可能と考えられます。

「参考資料」では、具体的な分析手法については言及されていませんが、本プログラムでは下記理由により、理論分布(確率密度関数)から求めた信頼値を、設計値として提案する手法を採用しています。

「参考資料」P387 に、「結果出力を正規分布あるいは対数正規分布などの確率密度関数と仮定して求めた信頼値 90%や 95%に対応する値を、設計値に用いたケースもある」と紹介されていること

「参考資料」P394 の適用事例 3 で、結果出力を対数正規分布と仮定した分析がおこなわれていること

いくつかの論文では、結果出力を正規分布と仮定して、95%信頼値が求められていること

Info.

モンテカルロ法 【Monte Carlo method】

乱数を用いたシミュレーションを何度も行なうことにより近似解を求める計算手法。解析的に解くことができない問題でも、十分多くの回数シミュレーションを繰り返すことにより、近似的に解を求めることができる。適用範囲が広く、問題によっては他の数値計算手法より簡単に適用できるが、高い精度を得ようとすれば計算回数が膨大になってしまうという弱点もある。

~ e-Wordsより、<http://e-words.jp> ~

2) 理論分布(確率密度関数)について

理論分布とは、確率密度関数で表される確率的なモデルのことで、最も有名な理論分布に「正規分布」があります。また、確率密度関数とは、確率変数の各々の値に対して、その起こりやすさ、つまり確率を表す関数を指します。

理論分布には、正規分布以外にも二項分布や指数分布など、数多くの種類があるため、結果出力がどのような理論分布に従うかを判断することは重要です。

「正規分布」に従う例としては、学校の成績や身長などが有名です。一方、「対数正規分布」に従う例としては、所得分布などがよく知られています。

なお、「参考資料」P238 の表-4.3.1 には、「吉田らの手法」では「対数正規分布で統計処理する」旨の記述がありますが、本プログラムでは、前項 ~ の記述を考慮し、「正規分布」と「対数正規分布」のいずれかを指定(もしくは正規性検定による自動選択)して統計処理をおこなっています。

a) 正規分布

正規分布の確率密度関数および累積確率密度関数は、下式により表されます。

$$\text{正規分布の確率密度関数: } f(x) \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$\text{正規分布の累積確率密度関数: } F(x) \quad F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right] dx$$

ここに、 \bar{x} : 平均値
 σ : 標準偏差

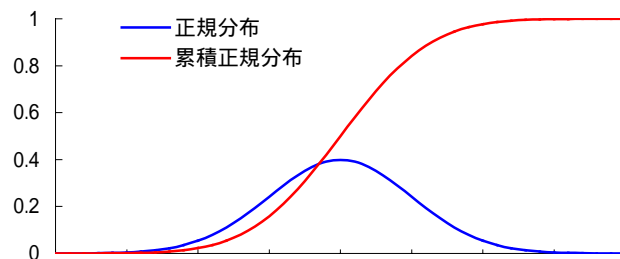


図 4-2. 正規分布の概形

b) 対数正規分布

対数正規分布の確率密度関数および累積確率密度関数は、下式により表されます。

$$\text{対数正規分布の確率密度関数: } f(x) \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$\text{対数正規分布の累積確率密度関数: } F(x) \quad F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right] dx$$

ここに、 \bar{x} : 平均値
 σ : 標準偏差

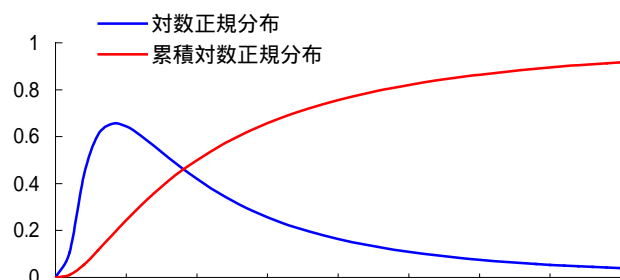


図 4-3. 対数正規分布の概形

4 - 2 - 2 .正規性検定

正規性検定とは、結果出力が「正規分布」に従うかどうかを、有意水準()にて判定するものです。「対数正規分布」については、結果出力を対数変換した値に対して「正規分布」に従うかどうかを判定します。

1) 検定手法

正規性検定の手法は多く、中でも D'Agostino-Pearson 検定、Anderson - Darling 検定、Kolmogorov-Smirnov 検定、Jarque-Bera 検定、Geary 検定などがよく知られている手法です。

本プログラムでは、このうち文献(「参考文献 5」)で比較的高い評価を得ている D'Agostino-Pearson 検定、Anderson - Darling 検定、Geary 検定のうちの下記 2 手法を採用しています。

適用検定手法…… D'Agostino-Pearson 検定
Anderson - Darling 検定

2) 検定理論

a) D'Agostino-Pearson 検定

ダゴスティーノ・パーソン検定(K^2 検定)。歪度(skewness)と尖度(kurtosis)から正規性を検定(累積分布関数に基づく推測)するもので、正規分布であれば自由度 2 の (カイ) 2 乗分布にしたがうことを利用した手法です。データ数 20 以上で有効とされています。

D'Agostino-Pearson 検定の値 K^2 は、歪度 (b_1) を基準化した Z_1 及び、尖度 b_2 を基準化した Z_2 を用いて下式により表されます。

$$K^2 = Z_1^2 + Z_2^2 \cdots \cdots \text{式 (1.0)}$$

適用条件 : $n > 20$

$K^2 < 5.991 (9.210) \cdots$ 正規分布である

$K^2 > 5.991 (9.210) \cdots$ 正規分布でない

ここに、有意水準 = 5%(1%)

【 Z_1 の算定(歪度=0 検定)】

標本数 $n > 8$ のとき、歪度の基準化により下式を得る。

$$Z_1 = \delta \cdot LN \left[\frac{Y}{\alpha} + \left\{ \left(\frac{Y}{\alpha} \right)^2 + 1 \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \sim N(0,1) \cdots \cdots \text{式 (1. 1)}$$

ここに、

$$\left(\begin{aligned} &= \frac{1}{\sqrt{LN(B)}} \\ Y &= \sqrt{b_1} \cdot \left\{ \frac{(n+1)(n+3)}{6(n-2)} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= \left\{ \frac{2}{(B^2-1)} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ B^2 &= -1 + \{2(-1)\}^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{3(n^2 + 27n - 70)(n+1)(n+3)}{(n-2)(n+5)(n+7)(n+9)} \\ \sqrt{b_1} &= \frac{m_3}{m_2^{\frac{3}{2}}} \\ m_2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \end{aligned} \right.$$

ここに、 X_i : データ
 \bar{X} : 平均値
 n : データ数

【Z₂の算定(尖度=3 検定)】

標本数 n > 20 のとき、尖度の基準化により下式を得る。

$$Z_2 = \frac{\left(1 - \frac{2}{9A}\right) - \left\{\frac{1 - (2/A)}{1 + Y' \cdot \sqrt{2/(A-4)}}\right\}^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{2/(9A)}} \sim N(0,1) \quad \dots\dots\dots \text{式 (1.2)}$$

ここに、

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 6 + \frac{8}{\kappa_3} \left\{ \frac{2}{\kappa_3} + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{\kappa_3}\right)^2} \right\} \\ \kappa_3 = \frac{6(n^2 - 5n + 2)}{(n+7)(n+9)} \sqrt{\frac{6(n+3)(n+5)}{n(n-2)(n-3)}} \\ Y' = \frac{|b_2 - E(b_2)|}{\sqrt{\text{var}(b_2)}} \\ E(b_2) = \frac{3(n-1)}{n+1} \\ \text{var}(b_2) = \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)} \\ b_2 = \frac{m_4}{m_2^2} \\ m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \end{array} \right.$$

b) Anderson - Darling 検定

Anderson - Darling 検定は、以下の手順でおこないます。

データ: X(i) を大きさの順に並び替える

$$X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq \dots \leq X_{(n)}$$

データ: X(i) を標準化する

$$Z_{(i)} = \frac{X_{(i)} - \bar{X}}{\sigma}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad \text{ここに、 } X_i : \text{データ}$$

\bar{X} : 平均値
 n : データ数

pi を計算する

$$p_i = \phi(Z_{(i)}) = \int_{-\infty}^{Z_{(i)}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad i = 1, 2, \dots, n$$

ここに、 $\phi()$: 標準正規変数の分布関数

Anderson-Darling 統計量 A² を求める

$$A^2 = \lambda \cdot \left[- \sum_{i=1}^n \left\{ (2i-1) \frac{LN(p_i) + LN(1-p_{n+1-i})}{n} \right\} - n \right]$$

ここに、 λ : 修正統計量算定用のパラメータ

$$\lambda = 1.0 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2}$$

適用条件 : n > 8

A² < 0.752(1.035) … 正規分布である

A² > 0.752(1.035) … 正規分布でない

ここに、有意水準 = 5%(1%)

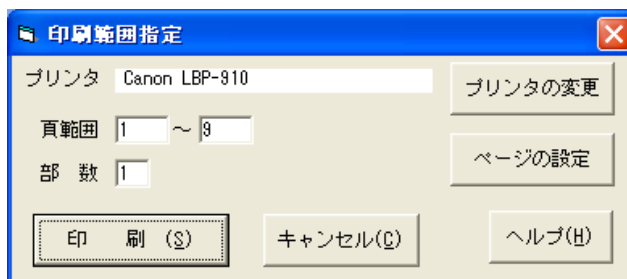
3)

5 . 出力(印刷)

5 - 1 . 印刷

落石シミュレーションの計算結果を印刷します。印刷ボタンを押すと、以下の画面が表示されます。

1) 印刷範囲指定



[プリンタ].....標準設定のプリンタが表示されます。機種変更やカラー設定をおこなう場合は「プリンタの変更」ボタンを押します。

[頁設定].....印刷の開始ページと終了ページを指定します。初期設定は全頁印刷となっています。

[部 数].....印刷部数を指定します。

[プリンタの変更].....プリンタ機種の変更画面を表示します。

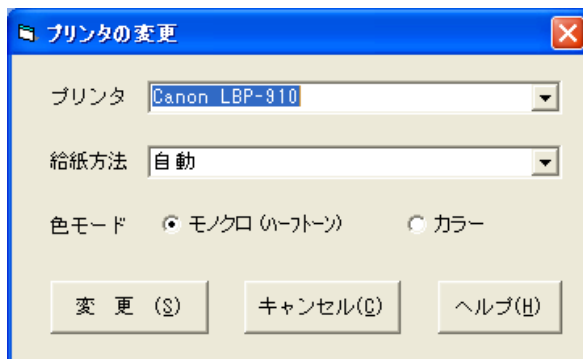
[ページの設定].....用紙サイズ、向き、ページの余白等の設定画面を表示します。

[ヘルプ].....印刷範囲指定に関する詳しい説明書が表示されます。

[キャンセル].....印刷範囲指定ウインドウを閉じます。印刷はおこないません。

[印 刷].....印刷を開始します。

2) プリンタの変更



[プリンタ].....リストから印刷機種を選定します

[給紙方法].....「自動」(標準)、「手差し」、「カセット番号」等から選択します。

[色モード].....「モノクロ(ハーフトーン)」、「カラー」から選択します。

[変 更].....設定変更を確定する場合はこの「変更」ボタンを押します。

[キャンセル]...設定変更しない場合は、「キャンセル」ボタンを押します。設定は変わりません。

[ヘルプ].....設定に関する説明書が表示されます。

3) ページの設定

ページ設定をおこないます。

ページの設定

プリンタ Canon LBP-910

給紙方法 自動

用紙サイズ 009 A4

高さ 296.9 [mm] 幅 209.95 [mm]

用紙の種類
☒ 単票 ☐ 連票

印刷方向
☒ 縦 ☐ 横

マージン [mm]
上 10 (5.08) 右 5 (5.08)
左 20 (5.08) 下 10 (5.08)

()内は、最小値。
負の数値を指定した時は、最小値からの相対位置。

設定 (S) キャンセル(C) ヘルプ(H)

[用紙サイズ]……印刷用紙のサイズをリストから選択します。本プログラムでは「A4」を標準とします。

[用紙の種類]……「単票(単ページ印刷)」、「連票(連続帳票印刷)」から選定します。

[用紙方向]……印刷方向を「縦方向」「横方向」から選択します。本プログラムでは「縦方向」を標準とします。

[マージン]……余白を設定します。単位はmm(ミリメートル)です。

[変更]……設定を確定する場合はこの「設定」ボタンを押します。

[キャンセル]……設定変更しない場合は、「キャンセル」ボタンを押します。設定は変わりません。

[ヘルプ]……設定に関する説明書が表示されます。

5 - 2 .DXF 出力

シミュレーション計算で求めた軌跡図を DXF ファイル(*.dxf)として出力します。

1) 出力設定

出力時に、縮尺及び出力要素を設定します。なお計算を最後までさせないまま出力した場合、計算結果等の一部のデータが出力されない場合があります。その場合は計算結果まで表示させてから出力して下さい。

DXF出力

縮尺1: 100

出力要素
☒ 地盤線
☒ 軌跡線
☒ 照査線
☒ 計算結果

注)計算結果等、一部のデータが出力されない場合は、最後まで計算をおこなってからDXF出力して下さい。

Cancel DXF出力

2) DXF 出力要素

DXF へは下記要素を出力します。出力要素は、上記「DXF 出力」設定ウインドウにて選択することが可能です。

縮尺=1:100

出力要素	要素種別	線種	線(文字)色
地形線	ライン	実線	——
軌跡線	ライン	実線	——
照査線	ライン	実線	——
落石停止点	円	実線	——
軸 線	ライン	実線	——
目 盛	文字	--	——
照査点情報	文字	--	——

5 - 3 .EXCEL 出力

本プログラムでは、シミュレーションの計算結果をファイル出力することができます。EXCEL 等の表計算ソフトの活用により、ユーザー側が自由に解析することが可能です。

ファイル出力可能なデータは、下表の通りです。

ファイル出力データ

データ種別	内容	拡張子	備考
地形データ	地形座標、パラメータ 設定値	*.CSV	
内部計算結果	シミュレーション内部 計算結果	*.CSV	ファイル保存 は軌跡線毎
分析データ一覧	照査点での跳躍量、線 速度、エネルギー等	*.CSV	ファイル保存 は照査点毎

6. サポート

サポートは、基本的にメールにておこなっております。また、最新版はホームページに随時掲載いたしますので時折ご確認くださいませ。

なお、本プログラムは主に技術研究用に開発したものであり、本プログラムを使用したいかなる損害にも応じられませんことを予めご了承ください。



落石数値シミュレーション計算プログラム

Rocksys1

(吉田らの手法)

Rockfall simulation study program for civil engineers

E-mail アドレス

civilworks_hp@yahoo.co.jp

ホームページ

<http://www.civilworks.jp/>



CIVIL WORKS