報告 Technical report

■地すべりとリスクマネジメント－金融工学的手法を用いた地すべり防止工法の評価と地すべり防止対策終了後に関する安定度評価手法の検討－

Risk Management for Landslide Remedy

－Estimation of Landslide Remedy Risk using Financial Engineering and Landslide Stability Analysis after Remedy working－

有限会社太田ジオリサーチ／林　義隆
Ohta Geo-Research Co., Ltd.／Yoshitaka HAYASHI
有限会社太田ジオリサーチ／太田英将
Ohta Geo-Research Co., Ltd.／Hidemasa OHTA
有限会社太田ジオリサーチ／國眼定
Ohta Geo-Research Co., Ltd／Sadamu KOKUGAN
有限会社Murotec／飯室明夫
Murotec Co., Ltd.／Akio IIMURO

キーワード：リスクマネジメント，金融工学，地すべり対策終了，リアルタイム安定解析
Key words：Risk Management, Financial Engineering, Completion of Remedy working, Real Time Landslide Stability Analysis,

1．はじめに

本論では，地すべり防止対策におけるリスクの概念について，土木工学的な定義と金融工学的な定義を行い，それぞれについて具体的に検討する。

次に，対策によって地すべりが沈静化した場合のリスク評価手法についての事例を紹介する。事例は降雨－地下水位変化－地すべり安定計算を組み合わせて，対策後の地すべり安定度をリアルタイムに評価するシステムである。また，地すべり防止対策が終了した後のリスクマネジメントについても提言する。

2．地すべり防止対策におけるリスク工学の適用

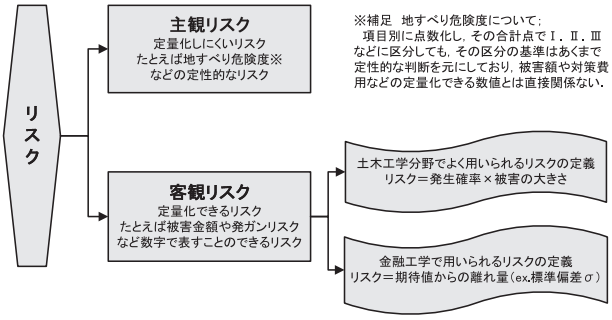
2.1　リスクの定義

リスクという言葉は，使用する立場や対象によって異なる意味で用いられので，議論する場合は事前にその定義をしておく必要がある（大津，2004）。

一般にリスクは図－１のように，主観リスクと客観リスクに大別され，さらに客観リスクは，土木工学などの分野で用いられてきた定義と金融工学の分野で用いられてきた定義とでは異なっている。

A．主観リスク

主観リスクとは，定量化できないリスクである。たとえば地すべり危険度は，危険度をⅠ（危険＝リスクが大きい），Ⅱ（やや危険），Ⅲ（安定＝リスクが小さい）などにランク分けする。これらのリスクは，地形や地質，移動履歴，保全対象などの情報を基に，技術者の定性的な判断によって定義される。



図－１　リスクの定義

B．客観リスク

客観リスクとは定量化できるリスクである。たとえば健康被害において発ガン率予測などを基に数値でリスクを表現する場合が相当する。

B－１　土木工学分野での客観リスク

「リスク＝発生確率×被害額の大きさ」によって定義されることが多い。たとえば，地震被害リスクでは対象となる地震の発生確率と地震が発生した場合のその地域の被害想定額の積で表される。

B－２金融工学分野での客観リスク

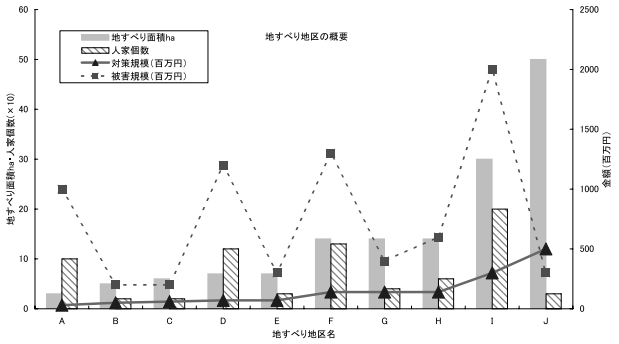
「リスク＝期待値からの離れ量」によって定義される。たとえば，株価の変動予測において，統計的な処理をした予測値からのばらつきがリスクとして定義され，数学的には標準偏差σに相当する。

上記のように，土木工学分野での客観リスクとは，災害などにより現状の機能が損なわれた場合にはどの程度の損失が発生するかが，そのリスク評価における最大の関心事であると位置付けられる。これに対し，金融工学分野においては，金融商品の変動が期待値（リターン）どおりであるならば誰にも損失は発生しないため，その期待値からのはずれ量がどの程度となるかが，そのリスク評価における最大の関心事となる（楠見ら，2006）。

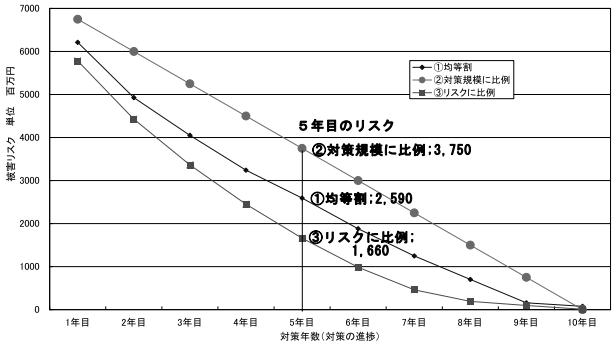
本論では，まず土木工学分野でのリスク評価について地すべり防止対策を例にして検討する。次に，地すべり防止工法の種類選定について，金融工学のリスク評価の概念を用いて検討を行うこととする。

2.2　土木工学分野における一般的なリスク評価手法の適用例

地すべり対策の進捗と被害リスクの関係を例にして検討する。



図－２　地すべり地区の概要



図－３　対策工の進捗と被害リスク

検討では，図－２に示すAからJの10箇所の地すべりについて，対策に必要な金額（対策規模）と地すべりが発生したときの被害金額（被害規模）が想定されており，これらの地すべりを対象とする。

次に，被害リスクを下記のように定義する。

リスクの定義；地すべり地における被害リスク＝{(計画安全率－対策中の現況安全率）／（計画安全率－地すべり発生時の初期安全率)}×予想被害額……(1)

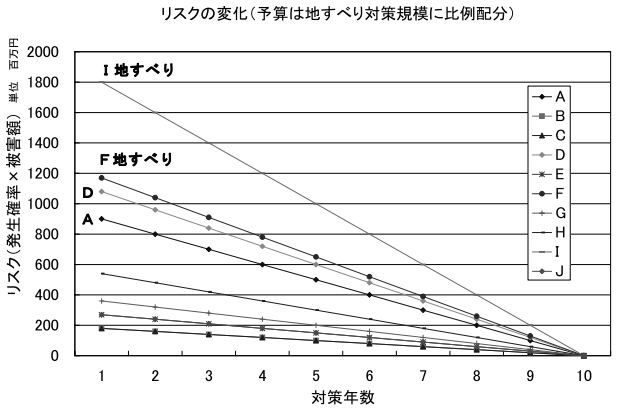
すなわち，地すべり対策中の個々の地すべり地の被害リスクは，計画安全率と現況の安全率との差分に比例するものと考え，これに予想被害額を掛け合わせて定義する（リスク＝発生確率×被害の大きさ)。

検討は，地すべり対策が終了する（現況安全率が計画安全率になる）まで，①毎年定額の対策費用（150百万円）をAからJの各地すべり地に均等に割り当てる。この検討では毎年150百万円÷10箇所で，当初は１箇所当たり15百万円となる。対策が進捗し，ある地域の地すべり対策が終了すれば,150百万円÷（10－終了箇所数）の均等割りとする。②地すべり対策規模に比例して対策費用を各地すべり地に割り当てる。すなわち１箇所当たり年間対策費＝150百万円×（当該箇所の対策規模／全箇所の対策規模の合計）③対策による効果を差し引いた残りのリスクの大きさに比例して対策費用を各地すべり地に割り当てる。すなわち１箇所当たり年間対策費＝150百万円×（当該箇所の当該年度の被害リスク／全箇所の当該年度の被害リスクの合計）の３つの基準を用いて，リスクの経年変化をグラフ化した（図－３)。なお，各年度内における対策費用の総合計は150百万円とし，被害リスクゼロとなる年までの合計対策費用は①～③ともに同じ額となるように割り当てた。

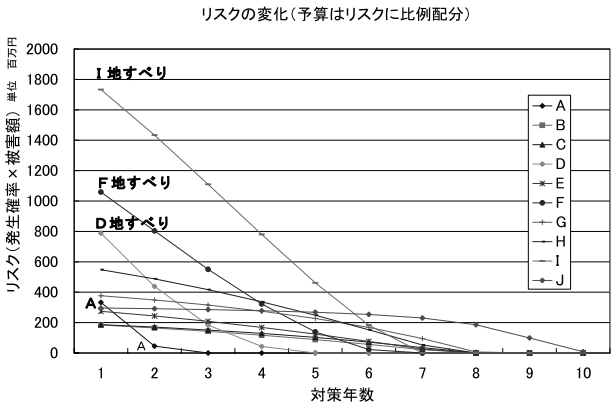
グラフを見ると最終的なリスクはいずれもゼロになるが，注目すべき点は各ケースの被害リスクの減少の仕方が異なっていることである。すなわち，②よりも①，①よりも③の方が，途中段階でのリスクが小さい。たとえば，対策５年目では②のリスクが3,750百万円　①が2,590百万円　③が1,660百万円であり，②の様な投資を行うよりも③のような投資を行う方が3,750－1,660＝2,090百万円リスクが小さいということができる。

図－４は，②と③のケースについて，A～J地すべりのリスクを計算したものである。これを見ると当初被害リスク（０年目）の大きい４つの地すべり地（I.F.D.A）のリスクの減少が図－４．ａの②に比較して図－４．ｂの③では急激になっていることがわかる。すなわち，リスクの大きさを考慮して対策の重み付けを行った方が，対策の過程では被害リスクがより小さく，効果的な対策費の運用ができることが伺える。

これを安全率の変化で示したのが，図－５である。図は，対策による安全率の変化について②と③のケースを個々の地すべりについて比較したものである。③の手法の場合は図－４のリスクの大きい４つの地すべりの安全



図－４．ａ　地すべり毎のリスク変化　②の場合

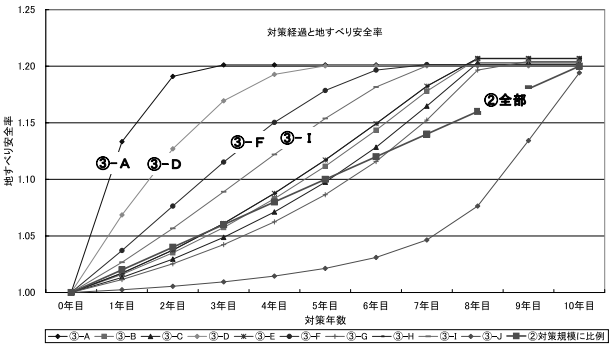


図－４．ｂ　地すべり毎のリスク変化　③の場合

表－１　地すべり防止工法の組み合わせ（ポートフォリオ）

各工法のリスクとポートフォリオの相関関係

防止工法の組み合わせ（ポートフォリオ）		期待値 安全率上昇度	標準偏差 ばらつき	相関係数	分散	共分散	事例1	事例2	事例3	事例4	事例5
A 杭+集水井	工法1；杭	15%	1.87%	0.47	0.035%	1.E-04	0.14	0.14	0.13	0.17	0.17
	工法2；集水井	10%	1.41%		0.020%		0.08	0.09	0.11	0.11	0.11
B アンカー+集水井	工法1；アンカー	15%	1.87%	−0.94	0.035%	−2.E-04	0.17	0.17	0.13	0.14	0.14
	工法2；集水井	10%	1.41%		0.020%		0.08	0.09	0.11	0.11	0.11
C 排土+集水井	工法1；排土	15%	1.41%	0.63	0.020%	1.E-04	0.14	0.14	0.14	0.16	0.17
	工法2；集水井	10%	1.41%		0.020%		0.08	0.09	0.11	0.11	0.11
D 盛土+集水井	工法1；盛土	15%	1.00%	−0.35	0.010%	−4.E-05	0.15	0.16	0.14	0.14	0.16
	工法2；集水井	10%	1.41%		0.020%		0.08	0.09	0.11	0.11	0.11



図－５　地すべり毎の安全率変化　③と②の比較

率がより早く計画安全率（＝リスク０）に達している。しかし，②の手法では個々の地すべりの安全率は直線的に増加し，その値はすべての地すべりで同じとなる。

2.3　金融工学的手法によるリスク評価の適用例

本項では，地すべり防止工法の選定を例にとり，金融工学における分散投資の考え方を工法選定に適用し，リスクの評価を行う。本項におけるリスクは下記のように定義される。

リスクの定義；地すべり防止工法選定におけるリスク＝地すべり防止工法の組み合わせによる安全率上昇のばらつきの大きさ。……(2)

すなわち本節でいうリスクとは，2.2節のような予想される被害の大きさではなく，防止工の効果のばらつき（確からしさ），に関係するものである。期待される防止工の効果が同じでも，ばらつきの大きいものは小さいものより信頼性が少ない。この関係を，金融工学的手法を用いて客観的に数値で表現しようという試みである。

表－１は，２組からなる地すべり防止工の組み合わせを作成し，両者の相関係数を算出した結果である。表のA，B，C，Dは異なる地すべり防止工法の組み合わせパターンであり，金融工学でいう最も単純なポートフォリオ※となっている。

本検討では，防止工事費の総額を固定し，２組の工事費組み合わせ割合を０～100%まで変化させて配分した場合の地すべり安全率上昇度（＝期待値；リターン）とそのばらつき（＝標準偏差；リスク）をA～Dのポートフォリオにおいて算出し（表－２），図－６に表現した。

安全率上昇度の計算式；x%×工法１の安全率リターン＋（100－x）%×工法２の安全率リターン　……(3)

リスクの計算式；$\sqrt{}$（工法１の分散×x%^{2}＋工法２の分散×（100－x）%^{2}＋２×相関係数×工法１の標準偏差×工法２の標準偏差×x%×(100－x)%）　……(4)

ここにx；表－２の分散投資の比率%（０～100%までの範囲）

図－６ポートフォリオAは工法１（杭）と工法２（集水井）の相関係数が0.47（表－１）であり，正の相関を示すモデルである。すなわち杭による安全率上昇が大きい時には集水井による効果も高いという関係であり，標準偏差が大きく，グラフは右寄りになる。一方ポートフォリオBは逆相関のモデルで，工法１（アンカー）の効果が大きい時は工法２（集水井）の効果が少なく，標準偏差（安全率上昇度のばらつき）が小さくなってグラフは左にシフトする。これら２者を比較すると逆相関のポートフォリオBの方が同じ安全率上昇度を期待する場合には，ばらつきの幅が狭いため，リスクが少ないと考えることができる。

以上のように，この図は，どのような割合の組み合わせで投資するのが最適であるかを選択するための手段として位置づけられる（金融工学でいう分散投資）。

図－６のポートフォリオAとBでは，現場にうまく防止工がフィットすれば，Aの方がBよりも標準偏差が大きい分，期待される安全率以上に安定度は上昇する可能性がある。しかし，思ったようにフィットしない場合はBよりも安全率上昇度が小さくなることを表しており，Aはいわゆるハイリスク・ハイリターン型の投資となる。すなわち投資に対する結果の振れ幅が大きいということを表現している。

次に，最もリスク（振れ幅）の小さい投資パターン（ローリスクローリターン）について考えるとポートフォリオBの期待値ΔFs＝12.5%　リスク$\Delta\sigma$＝0.35%付近の投資パターン（工法１が50%　工法２が50%）であることが読み取れる。

このように図－６は，いろいろな投資パターンを想定し，現場状況を勘案して，最も効果的な工種の組み合わせとその投資比率を検討するための図として活用することができる。

※投資パターンのことで，トータルリスクを低減するために分散投資を意識的，継続的に行うための１つ１つの投資形態のことを意味する．

表－２　リスク（標準偏差）とリターン（期待値）の計算表

対策金額の配分率		A 杭+集水井		B ｱﾝｶｰ+集水井		C 排土+集水井		D 盛土+集水井	
工法1	工法2	標準偏差	期待値	標準偏差	期待値	標準偏差	期待値	標準偏差	期待値
0%	100%	1.41%	10.00%	1.41%	10.00%	1.41%	10.00%	1.41%	10.00%
2%	98%	1.40%	10.10%	1.35%	10.10%	1.40%	10.10%	1.38%	10.10%
4%	96%	1.39%	10.20%	1.29%	10.20%	1.39%	10.20%	1.34%	10.20%
6%	94%	1.39%	10.30%	1.22%	10.30%	1.38%	10.30%	1.31%	10.30%
8%	92%	1.38%	10.40%	1.16%	10.40%	1.37%	10.40%	1.27%	10.40%
10%	90%	1.37%	10.50%	1.10%	10.50%	1.37%	10.50%	1.24%	10.50%
12%	88%	1.36%	10.60%	1.03%	10.60%	1.36%	10.60%	1.21%	10.60%
14%	86%	1.36%	10.70%	0.97%	10.70%	1.35%	10.70%	1.17%	10.70%
16%	84%	1.36%	10.80%	0.91%	10.80%	1.34%	10.80%	1.14%	10.80%
18%	82%	1.35%	10.90%	0.85%	10.90%	1.33%	10.90%	1.11%	10.90%
20%	80%	1.35%	11.00%	0.79%	11.00%	1.33%	11.00%	1.08%	11.00%
22%	78%	1.35%	11.10%	0.73%	11.10%	1.32%	11.10%	1.05%	11.10%
24%	76%	1.35%	11.20%	0.67%	11.20%	1.31%	11.20%	1.02%	11.20%
26%	74%	1.35%	11.30%	0.61%	11.30%	1.31%	11.30%	0.99%	11.30%
28%	72%	1.35%	11.40%	0.55%	11.40%	1.30%	11.40%	0.96%	11.40%
30%	70%	1.35%	11.50%	0.49%	11.50%	1.30%	11.50%	0.93%	11.50%
32%	68%	1.35%	11.60%	0.44%	11.60%	1.29%	11.60%	0.90%	11.60%
34%	66%	1.36%	11.70%	0.39%	11.70%	1.29%	11.70%	0.87%	11.70%
36%	64%	1.36%	11.80%	0.35%	11.80%	1.29%	11.80%	0.85%	11.80%
38%	62%	1.36%	11.90%	0.31%	11.90%	1.28%	11.90%	0.82%	11.90%
40%	60%	1.37%	12.00%	0.28%	12.00%	1.28%	12.00%	0.80%	12.00%
42%	58%	1.38%	12.10%	0.27%	12.10%	1.28%	12.10%	0.78%	12.10%
44%	56%	1.39%	12.20%	0.27%	12.20%	1.28%	12.20%	0.76%	12.20%
46%	54%	1.39%	12.30%	0.29%	12.30%	1.28%	12.30%	0.74%	12.30%
48%	52%	1.40%	12.40%	0.31%	12.40%	1.27%	12.40%	0.72%	12.40%
50%	50%	1.41%	12.50%	0.35%	12.50%	1.27%	12.50%	0.71%	12.50%
52%	48%	1.43%	12.60%	0.40%	12.60%	1.27%	12.60%	0.69%	12.60%
54%	46%	1.44%	12.70%	0.45%	12.70%	1.28%	12.70%	0.68%	12.70%
56%	44%	1.45%	12.80%	0.50%	12.80%	1.28%	12.80%	0.67%	12.80%
58%	42%	1.46%	12.90%	0.56%	12.90%	1.28%	12.90%	0.67%	12.90%
60%	40%	1.48%	13.00%	0.62%	13.00%	1.28%	13.00%	0.66%	13.00%
62%	38%	1.49%	13.10%	0.68%	13.10%	1.28%	13.10%	0.66%	13.10%
64%	36%	1.51%	13.20%	0.74%	13.20%	1.29%	13.20%	0.66%	13.20%
66%	34%	1.52%	13.30%	0.80%	13.30%	1.29%	13.30%	0.67%	13.30%
68%	32%	1.54%	13.40%	0.86%	13.40%	1.29%	13.40%	0.67%	13.40%
70%	30%	1.56%	13.50%	0.92%	13.50%	1.30%	13.50%	0.68%	13.50%
72%	28%	1.57%	13.60%	0.98%	13.60%	1.30%	13.60%	0.69%	13.60%
74%	26%	1.59%	13.70%	1.04%	13.70%	1.31%	13.70%	0.70%	13.70%
76%	24%	1.61%	13.80%	1.11%	13.80%	1.31%	13.80%	0.71%	13.80%
78%	22%	1.63%	13.90%	1.17%	13.90%	1.32%	13.90%	0.73%	13.90%
80%	20%	1.65%	14.00%	1.23%	14.00%	1.33%	14.00%	0.75%	14.00%
82%	18%	1.67%	14.10%	1.30%	14.10%	1.33%	14.10%	0.77%	14.10%
84%	16%	1.69%	14.20%	1.36%	14.20%	1.34%	14.20%	0.79%	14.20%
86%	14%	1.71%	14.30%	1.42%	14.30%	1.35%	14.30%	0.81%	14.30%
88%	12%	1.73%	14.40%	1.49%	14.40%	1.36%	14.40%	0.84%	14.40%
90%	10%	1.75%	14.50%	1.55%	14.50%	1.37%	14.50%	0.86%	14.50%
92%	8%	1.78%	14.60%	1.61%	14.60%	1.37%	14.60%	0.89%	14.60%
94%	6%	1.80%	14.70%	1.68%	14.70%	1.38%	14.70%	0.91%	14.70%
96%	4%	1.82%	14.80%	1.74%	14.80%	1.39%	14.80%	0.94%	14.80%
98%	2%	1.85%	14.90%	1.81%	14.90%	1.40%	14.90%	0.97%	14.90%
100%	0%	1.87%	15.00%	1.87%	15.00%	1.41%	15.00%	1.00%	15.00%

実際の投資では，先のローリスク・ローリターンのケースには投資しないであろう。リターンがなるべく大きく，リスク（標準偏差）がなるべく小さい組み合わせをまず選択し，その中での工法１と工法２の投資比率をさらに検討することとなる。図－６の例では，ポートフォリオDの「押え盛土と集水井の組み合わせ」の中で選定することとなろう。なお，現場状況で押え盛土が不可能な場合は，アンカーと水抜，または，排土と水抜が次の候補となると考えられる。

なお，Dの組み合わせの検討では，図のグラフは連続であるが実際には施工位置や盛土高さの制限があり，すべての組み合わせが有効になるとは限らないことにも注意する必要がある。

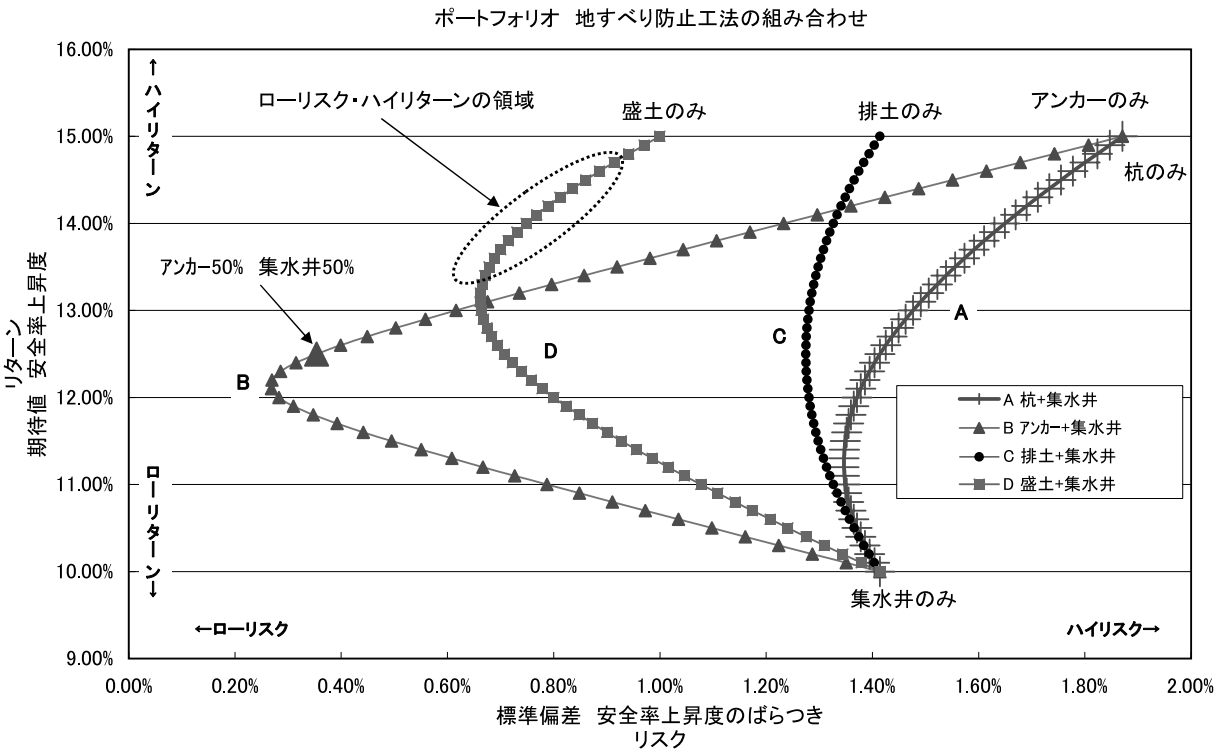
上記の例は筆者が仮定した相関係数を例として用いたが，実際には地すべりの規模や滑動形態別に分類，統計した結果を用いてリスクを推定することとなる。

３．地すべり対策後の安定度評価手法の検討

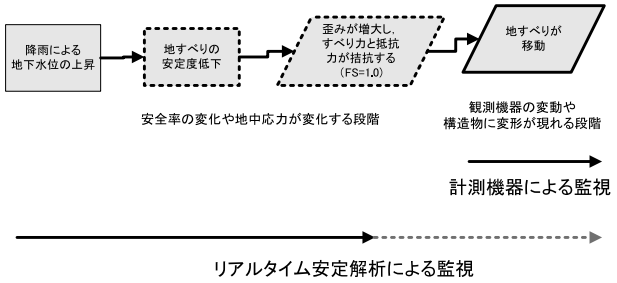
3.1　リアルタイム安定解析の必要性

地すべり対策が終了した後でも，多くの場合，地すべり土塊自体は存在し，施設の機能低下や予期せぬ豪雨による安全率の低下が懸念される。従来は簡易な計測機器を設置したり，水路の変形や構造物の亀裂の確認などの点検によってそれに対応してきた。しかし，野口ら（2000）が指摘したように，地すべりに亀裂や変状が現れた場合はすでに安全率は$Fs=1.0$付近になっている可能性が高く，警戒避難や応急対策の準備に間に合わない可能性もある。従って地すべり対策終了後の安全管理には，対策施設に変状が再発生する以前に地すべりが危険な方向に向かっているかどうかの状態を把握しておくことが望ましいと考えられる。

図－７は地すべり地管理における安定解析の位置付けを示したものである。対策工を施工した地すべりは，対策工の許容値内では変状が発生しにくいため，降雨状況（予測も含む）に応じて地すべりの安定度を安定解析に



図－６　地すべり防止工法の組み合わせ（ポートフォリオ）におけるリターン（安全率上昇度）とリスク（ばらつき）の関係図



図－７　地すべり地管理における安定解析の位置付け

図－８　リアルタイム安定解析初期画面

よって随時把握することが重要である。

3.2　リアルタイム安定解析の適用例

筆者らは，地すべりのリアルタイム安定解析システムを開発し，高規格道路の降雨時通行規制管理に適用した。

地すべり地の安定度を決定づけるものは，地形形状・すべり面形状・地下水位の３要素である。このうち地形およびすべり面形状に関しては，道路の供用後に変化はなく，地下水位の変動が安定度の変動に対応することになる。

地下水位の変動の最大要因は降雨によるものであるが，地すべり地の地下水位の場合，降雨時から遅れて地下水位が上昇する傾向があること（タイムラグ），および先行降雨量の影響を強く受けることが特徴としてあげられる。

このため，斜面崩壊・法面崩壊の防災基準の拠り所となる「連続雨量」の指標だけでは地下水位変動を十分に評価できず，先行降雨量や地下水位上昇のタイムラグを考慮した評価が地すべり安定度の精度のよい予測には必要となる。

本システムでは，その点を考慮し，実計測データから降雨－地下水位応答モデルを自動的に解析し，そのモデルを用いて地下水位変動予測・安全率変化予測を行い，その結果に基づいて通常の地すべり監視から，警戒体制・緊急体制への移行および体制解除の判断材料を提供できるようにした。

システムの起動画面は，図－８のような表示となる。表の左端にはそれぞれの地すべりブロック名称が記載されている。それ以外の項目の意味は，以下の通りである。

■現安全率：実測地下水位を元にリアルタイム安定解析を行って算出されたそれぞれの地すべりブロックの安全率である。

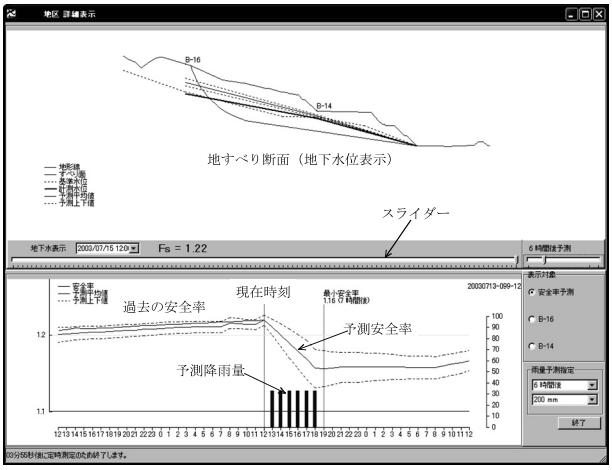
■体制：現安全率の値に応じて，体制なし［----］・［警戒体制］・［緊急体制］の判断が自動的に行われる。デフォルトの閾値は，安全率≦1.2となると警戒体制，安全率≦1.1で緊急体制の評価となり，その時点で警報電話システムのスイッチが作動する仕組みとなっている。

■傾向：現時点を基準として，安全率が上昇傾向（安全側）にあるのか減少傾向（危険側）にあるのかを自動的に表示する。すなわち，現安全率が同じでも，減少傾向にある場合がより危険であると判断する。

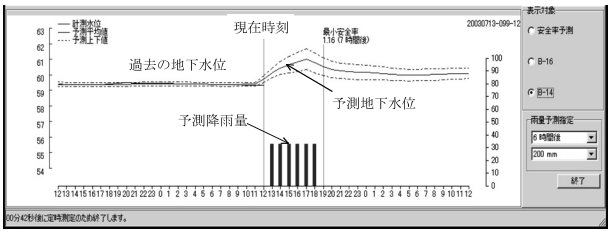
■予測最小安全率：現時点を基準として，今後どの時点で安全率がどの程度まで低下するのかを予測する。安全率が上昇傾向にある場合には，現安全率が最小となるため表示しない。

■予測体制：予想最小安全率の値に基づいて，［体制］の判定と同様の基準で体制を表示する。

■回帰式指定：降雨－地下水位応答モデルは，季節的な降雨特性の違いがあるため，長期間を単一の応答関係で表現するのは難しい。このため，降雨がある毎にモデル計算を逐次行い，その結果を蓄積し，それらの中で実測水位との誤差が最も小さい応答モデルを自動検出して予測が行われる。応答モデルは，降雨を独立変数とし，地下水位を従属変数とする重回帰分析モデルを用いているので，モデルの特性として「内挿」の場合予測精度が高く，「外挿」の場合予測精度が低くなる。このため，できるだけ降雨量が多かったときのデータを用いて解析したモデルを用いる方が予測精度は高くなる。プログラムの応答モデルは，降雨量が多くしかも，相関係数のよいものを自動的に採用することにしている。



図－９．ａ　断面毎の詳細表示（下部画面は安全率の時系列表示となる）



図－９．ｂ　下部画面を地下水位の時系列表示にした場合（この例ではB－14孔）

図－９の各断面の表示では，上段に断面形状を示し，下段に安全率の時系列表示と地下水位表示を示す。中段にあるスライダーを動かすことにより任意の時刻の安全率や地下水位を表示することができる。また，降雨量の予測値（気象予報）などが入手できた場合には，それ（今後何時間に何mmの降雨量か）を入力することにより，将来予測を行うことができる。

予測される最小安全率がどの時点で発生し，その値がどの程度かもグラフ上でみることができるため，警戒や緊急体制への移行あるいは体制解除の判断材料となる。

４．まとめ

土木工学分野における一般的なリスク評価手法の適用例

効率的なリスク低減手法としてリスクを客観化（損害額に換算）して検討した事例を示した。その結果，地すべり対策費用は，地すべり規模に比例するよりも被害リスクに比例して投資したほうが，地すべり対策中のリスクは小さいという結果を得た。この手法は被害をすべて客観化する必要があるため，人命や環境，また，個人の価値観によって変わるファクターについての客観化に関する検討が今後の課題として残っている。

リスクの客観化におけるグローバルな事例では，地球温暖化対策ですでに環境要素を客観化し，CO_2排出権取引も行われている。しかし，このような手法はいわゆる欧米型の問題解決手法であって，文化や価値観の異なる国際社会間で契約を結ぶ必要があるため，ある基準に客観性を持たせ，ルールを作り，参加者がリスク評価について意義を唱えないように，やむを得ず想起されたものであると筆者らは考えている。

日本国内でも，情報公開などが進み，ますます事業の客観化・効率化が求められてくると思われる。地すべり対策事業についても上記のような地球温暖化対策並みにリスクの客観化やリスクの低減シナリオの作成が本当に必要であるかどうかについて，今後議論していくべきであるものと思われる。

金融工学的手法によるリスク評価の適用例

地すべり防止工による安全率上昇度についてリスクを期待値からの離れ量（標準偏差）として定義した場合の検討を行った。検討では，A～Dの防止工法の組み合わせ（ポートフォリオ）を作成し，期待値とリスクを統計学の手法で算出し，リスクの少ない防止工法の選定に役立てようというものである。本項で定義したリスクには負のリスクと正のリスクがあり，負のリスクに注目した場合は「期待はずれのマイナス効果」として，正のリス

クに注目する場合は「予想外のプラス効果」として，意識されるものであり，この幅が大きいものが，ハイリスク・ハイリターン型の投資として定義された。

実際には種々の組み合わせから相対的にローリスク・ハイリターンとなる組み合わせについて，現場条件を勘案し決定することとなる。

以上のように，本手法は防止工の種類を複数行うことにより（いわゆる分散投資），リスクを軽減するための意志決定の一つのツールとして活用されるものである。

リスクマネジメントにおけるリアルタイム安定解析の効果（対策終了後のソフト的防災効果の意味）

地すべり対策終了後になぜ，リアルタイム安定解析が必要であるのか。対策後の地すべり地は，今まであまり注目されなかったが，ある程度監視や管理をしていかないとやがて思わぬ時期に地すべりが再発して被害を拡大させることになりかねない。

リアルタイム安定解析を行って対策後の地すべり地の安定度を広く公開することは，地元住民の関心が集まり，その地域の防災意識の向上につながると考えられる。すなわち住民が地すべりの安定度に関心を持つことによって，安全率の変動状態をもとに，自らの地域を，自らの目で監視・点検し，危険をより早く的確に認識する契機となると考えられる。

上記のような活動をとおして，行政のみにすべてを寄りかからず，行政と協同して，地元が自らの土地の安全管理を行うようなシステムを構築することが，今後必要なリスクマネジメントとなるであろうと思われる。

最後にリスク評価とは，それそのものが災害を軽減するものではなく，今まで不確実性が高く，曖昧と思われてきた問題解決のための「一つの有効な意志決定手法」であると考えられる。

引用文献

楠見晴重，地盤汚染の環境評価および拡散防止技術に関する研究委員会．2006，地盤汚染のリスク評価および調査対策に関する講習会テキスト，社団法人地盤工学会関西支部，175p.

野口隆，酒井哲也，大西民男，林義隆，太田英将，國眼定．2000，リアルタイム三次元安定解析．第39回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.63－66.

大津宏泰．2004，リスク工学と地盤工学　5.ジオリスクエンジニアリング．土と基礎，Vol.52，No.7，pp.27－34.

（原稿受付2006年７月24日，原稿受理2006年10月５日）