

4. 様式の検討

リスクマネジメントのタイプは、とりあえず以下の2つのタイプのどちらかであると仮定してデータを収集した。

A：地質リスクを回避した事例

B：地質リスクが発現した事例

しかし、収集した事例のいくつかはA、Bいずれのタイプにも決めつけられないものがあった。すなわち、以下のような表現が適する事例である。

C：発現した地質リスクを最小限に回避した事例

A、Bは本研究の直接的目的である「マネジメント効果の計測」に馴染む事例であり効果を計測するための様式となっている。このタイプの事例のデータは、データ計測（推定）時点を特定して、その時点において評価を行ったものである。

しかし、多くの事例は、リスクが増大したり減少したりするプロセスを評価するもので、時点を特定せず、各段階における評価をもとに次の段階の計画を立てて管理するものである。A、BはCのプロセスの一部を記述するものと解すれば、全てCタイプで整理できるかも知れない。

特にAとCの区分は不明確で、発現していない段階をA、発現してしまった場合をCとした場合、「発現しそうな場合」をどちらにに入れるか、悩むことになった。しかし、発現した場合も、発現しそうな場合も、リスクを想定する「時点」の違いであり、発現（想定）した事象への対応という点ではCとして扱うのが妥当と判断した。この区分によって、Aは、リスクを過大評価して望んだケースに絞り込めるかもしれない。

また、記述の時点（調査、計画、設計、施工）毎にデータ項目の性格（例：「当初工事費」の意味するものなど）が異なるし、工種によっても異なると思われる。リスクマネジメントの種類表現方法は、タイプの違い（異なる様式）として捉えるか、同じ様式でもデータ項目の定義の解釈の違いとして（運用において）捉えるかいくつかの方法がある。

なお、Bタイプの検討において（今回掲載するに至らなかったが）、出現しそうなリスクに対応していれば結果的に対応費用の方が高く付いたというケースがあった。すなわちリスクを許容した方が安いケースである。リスクを許容するタイプ（D）として新しい様式を検討したが、Bタイプの結果論であることから様式としてのタイプDは提案するに至らなかった。

また、一つのデータ（例：調査費）を作成するにあたって、調査方法、数量などの「細かいデータ」の積み上げからなっており、どこまで様式で規定するかは様式を使い込む中で判断していくことになる。本研究においては事例数に制限があり、「記入例」を示すに止める。

4-1 様式

4-1-1 地質リスクを回避した事例のデータ収集様式(A表)

マネジメントによってリスクを回避した事例を収集する様式(A)を検討する。この場合のリスク回避とは、リスクの過大評価(過大積算)を工事着手前に回避(縮小)することで、後述のタイプCと似ている。Cは、リスクが発現した、あるいは発現しそうな場合に、マネジメントによって事前に対応するもので、リスクを過小評価して当初計画を立案したケース(Aは過大評価)である。過小評価したままリスクが発現してしまったケースがBである。リスクが発現した場合、そのままにしておくことはないから、リスクを最小化する行為(Cタイプ)は必然かも知れない。すなわちBの先にはCがあると考えられるべきであろう。このようにA、B、Cの管理のタイプは密接に関わっており、どの管理範囲を切り出すかによって様式(A、B、C)を使い分けることになる。

また、過大評価(Aタイプ)の原因はリスクの予測ミスの場合のみではなく、調査精度の向上によってリスクを縮小するケースもあり、過大評価が全て技術的ミスによるものではない。

Aタイプは以下の2事例を収集分析した。

A-1 (事例1) 海上橋梁下部工工事

A-2 (事例2) ダム建設事業の事例

(1) 分析に必要なデータ項目(3章各節第5項のまとめ)

A-1 (事例1) 海上橋梁下部工工事

A表原案に望まれる修正点は、「リスク回避事象」において①予測されたトラブル、②回避した事象および③工事への影響の各項目に対して、本事例では①②③と個別に説明することがやや困難(特に①と③)であったため、一括した項目に修正するものとした。

一方、「リスク管理の実際」は、本事例のように長年にわたる大きなプロジェクトの場合、幾つかの地質調査段階に応じたリスク管理が行われることになると考えられる。しかしながら、将来的なデータ収集を考慮した場合、その都度データの提供を求めることは困難を伴うため、基本的には、竣工時を想定しておけばよいものと考えられる。

A-2 (事例2) ダム建設事業の事例

本事例は、ダム事業(調査段階から完成まで調査担当会社として事業接点をもつことが可能)であるから提案できたものと考えられる。地質リスクについて回避は設計および施工初期段階、発現は施工段階が圧倒的に多いと考えられ、調書類は設計、施工終了段階に施工者や事業者が保有する資料を使い作成するものとのイメージで検討するほうが良いと考えられる。

(2) A型の様式の提案(3章各節修正案のまとめ)(表4-1)

2事例の分析の結果、「リスク回避事象」の細項目への提案があった。

①リスク回避シナリオ

リスク回避の事象を記述するのみ(原案)ではなく、予測されたトラブルから回避まで

のシナリオ（プロセス）を記述するよう提案があった。

②事業への影響

リスク回避の対象を工事（原案）としていたが、事業まで拡大して把握すべきとの提案であった。

表 4-1 A表(地質リスクを回避した事例)データ収集様式

大項目	中項目	A-1	A-2	
対象工事	発注者(事業主体)	○	○	
	工事名	○	○	
	工種	○	○	
	工事概要	○		
	①当初工事費	○		
	当初工期	○		
リスク回避事象	リスク回避のシナリオ		○	
	マネジメント実施者		○	
	アセスメント実施者		○	
	予測されるリスク発現時期	○	○	
	予測されたトラブル		○	
	回避した事象			
	予測されたトラブルおよび回避した事象	○		
	事象回避内容		○	
	工事への影響			
	事業への影響		○	
リスク管理の実際	判断時期	○	○	
	判断者	○	○	
	判断内容	○	○	
	判断に必要な情報	○	○	
リスク対応の実際	変更内容と費用		○	
	内容	追加調査	○	
		修正設計	○	
		対策工	○	○
	費用	追加調査	○	
		修正設計	○	
		対策工	○	
②合計		○		
変更後工事の内容	工事変更の内容	—		
	③変更後工事費	○		
	変更後工期	—		
	間接的な影響項目	—	○	
	受益者	○	○	
リスクマネジメントの効果	費用(①—③—②)	○	○	
	工期	—	○	
	その他	—	○	

4-1-2 地質リスクが出現した事例のデータ収集様式(B表)

マネジメントしなかったことでリスクが発現してしまった事例を収集する様式(B)を検討した。すなわちリスクを過小評価して失敗した事例であり、過大評価したリスクを減少するAタイプとは逆の展開(プロセス)を表現する。また、過小評価したことに気づき、対応を行うケースはタイプC(BからAへの転換)として様式を提案する。

Bタイプは以下の3事例。

- B-1(事例3) 県道トンネル掘削工事
- B-2(事例4) 林道改良工事における斜面崩壊事例
- B-3(事例5) 高規格道路堆積性硬岩地山の切り土事例

(1) 分析に必要なデータ項目(3章各節第5項のまとめ)

B-1(事例3) 県道トンネル掘削工事

- ①当該工事目的物の仕様
- ②発生したトラブルの位置、規模
規模には、工事遅延時間、間接的な影響(仮設工事の変更や別途業務・工事発注手間、隣接工区工程遅延など)が含まれる。
- ③トラブルを生じたリスク要素
トラブルを生じたリスク要素の特性、分布、発達密度など
- ④トラブルが発生した工事の費用
トラブル発生前後の当該工事の数量・費用変動額。リスク発現に関連した工種別のデータが望ましい。
- ⑤トラブルによって必要となった新規工種の工事費
新規工種が別途発注となった場合は、その数量・費用、工期。また暫定的な対策を実施した場合はその費用。
- ⑥トラブルによって生じた間接的な費用
追加買収費、工事遅延に伴う資機材リース費用、電力・燃料費、安全対策費など
- ⑦トラブルを解決するために実施した調査・設計の費用
測量費、地質調査・観測・地質解析費用、関係機関協議費用、対策工設計費、仮設工設計費など
- ⑧トラブルを生じた箇所周辺の地形・地質的特性
広域的な地質調査データ、工事現場周辺の地盤・岩盤の強度や透水性等の特性、断層や変質帯などの発達状況、地下水などの条件

以上のほか、地質調査・設計の各段階において、技術者がどのような情報をもとにどのようなリスク抽出・評価を行って次段階調査・設計に進んだのか把握できれば、実際的な事前対応策を想定する上で有益と考えられる。

B-2(事例4) 林道改良工事における斜面崩壊事例

- ①地質名、地質の特徴
- ②調査・設計段階で想定されたリスク、リスクの処理方法

B-3 (事例5) 高規格道路堆積性硬岩地山の切り土事例

- ① 基本的に、今回の様式で収集したデータで分析することは難しい。
- ② 今回は、事例収集として事後に調査技術者がまとめるためのものであるが、現実の事業を想定すると、各調査、各設計、施工の各段階で、リスク低減と処理方法の観点からの記述が必要なのではないかと考えられる。
- ③ 今回考案した様式は、リスクが施工段階で発現した場合により有効であろう。

(2) B型の様式の提案(3章各節修正案のまとめ)(表4-2)

3事例の分析の結果「リスク発現事象」の細項目への提案があった。また、事業段階毎のリスク把握の必要性も提案された。

①当該工事費

事例3 (B-1)のように、発注者による工事全体に対するリスクマネジメントと、工事段階に発生した変状に対する個別のリスクマネジメントという複数の階層がある場合がある。そのような場合、複数のリスクが混在し、総計としての工事費増減が必ずしも当該リスクだけに起因するとは限らないので、できる限り当該リスクに対応する工事費も記載する。

②「リスク発現事象」の細項目

「原因となった地質」及び「楽観的評価」がリスク発現の原因を把握する上で必要である。「原因となった地質」について「分類(カテゴリー)」をあらかじめ提示して選択する方式もある。

③追加工事の内容

修正設計内容では、対策工等の設計地質条件、用地等の周辺条件、対策工のリスク評価について記述する。対策工のリスク評価については、追加調査結果の評価や設計上の安全度の見込み方について記述する。

間接的な影響項目、影響額、例えば法面崩壊による交通遮断、工事遅延によって隣接工区へ与えた影響、追加新規工事の発注手間など、当該工事以外への影響について記述する。

④リスク伝達ツールとしての様式・事業段階毎のリスク管理の追跡

調査・設計・施工の各段階毎のリスクマネジメント(リスク抽出、インパクト評価、追加調査、リスク処理など)のプロセスを表現できる書式が望ましい。

リスクマネジメントのプロセスを表現することと、事業プロセスのどの段階でリスクが発現したかを分かりやすく表現したい。

表 4-2 B表(地質リスクが発現した事例)データ収集様式

大項目	中項目	B-1	B-2	B-3	
対象工事	発注者	○	○	○	
	工事名	○	○	○	
	工種	○	○	○	
	工事概要	○	○	○	
	①当初工事費	○	○	○	
	当該工事費	○			
	当初工期	○	○	○	
地質リスクの抽出・処理に関する総括表	地質概要			○	
	地質構造概要			○	
	地質リスクの抽出			○	
	地質リスクの伝達			○	
	地質リスクの低減等があったかどうか			○	
	地質リスクの反映又は発現			○	
リスク発現事象	リスク発現時期	○	○	○	
	原因となった地質		○		
	トラブルの内容	○	○		
	トラブルの原因	○	○		
	トラブル発生の原因となった地質リスクカテゴリー	○			
	原因となった(楽観的)リスク評価	○			
	工事への影響	○	○	○	
追加工事の内容	追加調査の内容	○	○	○	
	修正設計内容	○	○	○	
	対策工事	○	○	○	
	追加工事	○			
	追加費用	追加調査	○	○	○
		修正設計		○	○
		対策工		○	○
		追加工事	○	○	
		②合計	○	○	○
	延長工期	○		○	
	間接的な影響項目	○	○	○	
間接的な影響額	○				
負担者	○	○	○		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	○	○	○	
	対応(すべき)者	○	○	○	
	対応(すべき)内容	○	○	○	
	判断に必要な情報	○	○	○	
	対応費用	調査	○	○	
		対策工		○	
		③合計	○	○	
	想定工事	工事概要	○		○
		④工事費	○		
		工期	○		

大項目	中項目	B-1	B-2	B-3
リスクマネジメント の効果	費用(②-③)	○	○	○
	費用(((①+②)-(③+④))	○	○	
	工期	○		
	その他	○		○

4-1-3 発現した地質リスクを最小限に回避した事例のデータ収集様式(C表)

AとBの両方に係わる様式である。Bタイプになりそうなので対策を施してAタイプに持ち込んだもの、すなわちリスクを過小評価して計画し大きなリスクが生じそうなので対応してリスクを小さくしたケースである。Cはリスクの過小評価へ対応したもので、過大評価に対応したAとはマネジメントのプロセスが異なる。

またAは当初工事費①が明確なタイプで、この過大評価した①を対策②を行って変更工事費③にするもので、効果は①－③－②である。

大きなリスクが想定されるため対策②を行い、工事費③を算定したケースでは、元々リスクを考慮して当初工事費①を算定していれば効果は「①－③－②」で表すことが出来る。この場合、当初工事費①を推定しなければならない。一方、C表を用いれば、リスクを想定しなかった場合の当初工事費①、リスクが発現した後の追加工事費②（あるいは対策費③）によってリスク対策を行わなかった場合の工事費④（大幅な工事変更、災害復旧など）を回避することが出来ると考え、効果は④－（①＋②＋③）で算定する。C表の④こそ、上記のA表を用いた場合の①に相当する。A表においてリスクを未然に防止するのに必要な当初工事費①を想定するのではなく、C表を用いてリスクを回避しなかった場合の変更工事費④を想定するのが妥当である。

Cタイプは以下の3事例を収集分析した。

- C-1 国道道路改良工事
- C-2 トンネル施工の事例
- C-3 軟弱地盤における道路改良工事

(1) 分析に必要なデータ(3章各節第5項のまとめ)

C-1 (事例6) 国道道路改良工事

本事例では、施工に関するデータ、追加調査・解析・対策工事に関するデータを用いて分析を行った。一般的には、これに事前調査に関するデータ、当初計画の内容などのデータがあれば有益な評価が行えると考えられる。

以上を勘案すると、地質リスクマネジメントを進めていく上では次のようなデータが必要となってくる。

- ①地質リスク発現（回避）事象の内容と原因
- ②当初工事の内容・工事費
その計画（設計）に対する地質調査の内容と評価、費用
- ③追加（変更）工事の内容、工事費
その計画（設計）に対する地質調査の内容と評価、費用
- ④施工状況、施工データ、動態観測データ

C-2 (事例7) トンネル施工の事例

回避できなかった場合のシナリオを想定するため、それらを評価できるデータがあれば有効である。

リスク回避事象では、リスク発現の内容（どのような地質リスクに着目したかなど）も必要であり、発現した場合の予想費用も収集する必要がある。

C-3 (事例8) 軟弱地盤における道路改良工事

予測されたトラブルに関するデータについて、分析するための条件および設定は、経験や積算資料に基づいて行った。特に対策工について、別途、地域、規模、種類等の条件別の簡易な施工単価表があれば、ある程度不明な部分については、簡易に客観的な評価が出来る。

(2) C型の様式の提案(3章各節修正案のまとめ)(表4-3)

3事例の分析の結果、概ね原案で対応できたが、リスクの回避・管理・対応を1サイクルとしてこの情報を繰り返し記入できる様式への提案があった。

① リスクマネジメントプロセスの記述

A、Bのようにマネジメント効果を表現するというより、各段階でリスク対応をどうしたか、リスクを後段にどう引き渡したかを表現できる様式、すなわちリスク管理の経緯（プロセス）を記録する様式が望ましい。この場合、数量化ができなくても記録は取れる。

② リスク伝達ツールとしての様式

事業段階に沿ってリスクマネジメントのプロセスを整理するということは、この様式をリスク伝達ツールに使うことを意味している。

③ 汎用性の高い様式

実際の工事では様々な事象が発生しA、B、Cに分類できない(分類しにくい)事象も多々あると想定される。このため、最終的には様々な事例に対応できるような様式とすることが望ましい。

④ 詳細データを追記できる様式

工事毎に必要なデータは少しずつ違ってくることから、今回扱ったレベルのデータを基本として、詳細データを必要に応じて追記できるようにすべきである。

⑤ 段階毎の様式

計画・調査・維持管理に関するリスク管理の様式があればよい。

表 4-3 C表(発現した地質リスクを最小限に回避した事例)データ収集様式

大項目		中項目	C-1	C-2	C-3	
対象工事		発注者	○	○	○	
		工事名	○	○	○	
		工種	○	○	○	
		工事概要	○	○	○	
		①当初工事費		○	○	
		当初工期		○	○	
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期	○		○	
		トラブルの内容	○		○	
		トラブルの原因	○		○	
		事業・工事への影響	○		○	
	追加工事の内容	追加調査の内容				
		修正設計内容				
		対策工事				
		追加工事				
		追加費用	追加調査			
			修正設計			
			対策工			
	追加工事					
	②合計					
	延長工期					
間接的な影響項目						
負担者						
最小限に回避したリスク	リスク回避事象1	予想されたリスク発現時期	○	○	○	
		内容		○		
		予想されたトラブル	○	○	○	
		回避した事象	○	○	○	
	リスク管理の実際1	事業・工事への影響	○	○	○	
		判断(した)時期	○	○	○	
		判断した者	○	○	○	
		判断の内容	○	○	○	
	リスク対応の実際1	判断に必要な情報	○	○	○	
		内容	追加調査	○		○
			修正設計			○
			対策工			○
		費用	追加調査	○		○
			修正設計			○
	対策工				○	
	③合計	○		○		
	リスク回避事象2	予測されたリスク発現時期	○			
		予測されたトラブル	○			
		回避した事象	○			
		事業・工事への影響	○			
	リスク管理の実際2	判断(した)時期	○			
		判断した者	○			
		判断の内容	○			
		判断に必要な情報	○			
リスク対応の実際2	内容	追加調査	○			
		修正設計	—			
		対策工	○			
	費用	追加調査	○			
		修正設計	○			
		対策工	○			
③合計	○					
回避しなかった場合	工事変更の内容	○		○		
	④変更工事費	○	○	○		
	変更工期	○	○	○		
	間接的な影響項目	○		○		
	受益者	○		○		
	費用④-(①+②+③)	○	○	○		
リスクマネジメントの効果	工期		○	○		
	その他					

4-2 記入例

4-2-1 A表データ記入例

記入例として、2事例のデータを表4-4に示した。

A表は、①当初工事費が何らかの理由で過積算（これをリスクと考える）となっていたものを、追加調査、技術的判断などの②リスク対応によって③変更後工事費に縮減したケースである。

様式（大項目、中項目）はこれらのプロセスを表現するデータ項目となっており、文字情報として記述することで事例として保存できる。ただ、データベースなど、データのシステム化にあたっては「選択式データ」への変換を検討する必要がある。

表 4-4 A表(地質リスクを回避した事例)データ記入例

大項目	中項目	記入例	A-1	A-2
対象工事	発注者(事業主体)	(A-1) 福岡県 (A-2) 中央官庁	○	○
	工事名	(A-1) 北九州空港連絡橋下部工工事 (A-2) ダム建設事業	○	○
	工種	(A-1) 海上連絡橋の下部工 (A-2) ダム	○	○
	工事概要	(A-1) 海上連絡橋の下部工基礎として採用された鋼管矢板井筒基礎の工事	○	
	①当初工事費	(A-1) 21,195,000千円(中間支持、N値法)～28,060,800千円(岩盤支持)	○	
	当初工期	(A-1) 平成8年～平成13年	○	
リスク回避事象	リスク回避のシナリオ	(A-2) 『ダム監査廊迂回』の当初方針を検証調査結果に基づく地質評価、監査廊構造物対策にて『標準化:直線化』にもどし、施工費の大幅な削減を可能にした		○
	マネジメント実施者	(A-2) 事業主体(有識者会議提案)		○
	アセスメント実施者	(A-2) 有識者会議		○
	予測されるリスク発現時期	(A-1) 設計のための地質調査がほぼ終了した時期 (A-2) 共用後	○	○
	予測されたトラブル	(A-2) ダム基礎漏水などによる維持管理の増大および安全性低下		○
	回避した事象			
	予測されたトラブルおよび回避した事象	(A-1) 道路橋示方書によるN値を用いた杭の周面摩擦算定方法によると、摩擦算定精度が低下し、結果として杭長が増してコスト増大リスクが予想された。	○	
	事象回避内容	(A-2) 直線化に戻すことにより、標準的な維持管理を可能とした		○
工事への影響				
事業への影響	(A-2) 影響なし		○	
リスク管理の実際	判断時期	(A-1) 詳細設計が始まろうとしていた時期 (A-2) ダム敷掘削時の検証調査段階	○	○
	判断者	(A-1) 「新北九州空港連絡橋委員会」の委員、地質調査会社および設計会社の技術者 (A-2) 事業主体(有識者会議提案)	○	○
	判断内容	(A-1) 鋼管杭の閉塞効果が期待できない支持層であったので、その分摩擦力の予測精度が要求された。ただし、摩擦力を期待する対象地盤は、砂・粘土の区別が困難で、N値による設計では誤差が大きいと判断された。そこで、土の種類にあまり左右されない c' 、 ϕ' を用いて設計する方法を採用した。 (A-2) 断層の平面的範囲およびその性状の再評価に基づく監査廊の取扱い	○	○

大項目	中項目	記入例	A-1	A-2	
	判断に必要な情報	(A-1) 十分な質・量の地質調査による地層構成の詳細な把握。三軸圧縮試験による c' 、 ϕ' (A-2) 検証調査, 解析, 設計結果, その他	○	○	
リスク対応の 実際	変更内容と費用	(A-2) 監査廊迂回から直線化に伴い明らかに削減できた施工費のみとする		○	
	内容	追加調査	(A-1) 新たな設計法の確認のための杭の鉛直載荷試験(2箇所)	○	
		修正設計	(A-1) 詳細設計で対処	○	
		対策工	(A-1) なし (A-2) 1) 監査廊本体の延長縮小, アクセストンネル見直しに伴う施工コスト削減額(約 210,750 千円) 2) 監査廊補助カーテングラウチング, コンタクトグラウチング量減少に伴う削減額(約 45,400 千円) 3) コア敷標準化に伴うブランケットグラウチング量減少に伴う削減額(約 83,340 千円)	○	○
	費用	追加調査	(A-1) ボーリング: ▲48,115 千円(従来法より削減されるため減額) サンプリング: 18,181 千円 室内土質試験(三軸試験等): 50,141 千円 実杭の鉛直載荷試験(2箇所): 188,206 千円	○	
		修正設計	(A-1) なし	○	
		対策工	(A-1) なし	○	
		②合計	(A-1) 208,413 千円	○	
変更後工事 の内容	工事変更の内容	-			
	③変更後工事費	(A-1) 17,400,000 千円	○		
	変更後工期 間接的な影響項目	(A-2) 本体工事期間は変更されたが, 付帯工事など施工手順を変更することにより施工休止などには至らなかった		○	
	受益者	(A-1) 福岡県 (A-2) 事業主体	○	○	
リスクマネジ メントの効果	費用(①-③-②)	(A-1) 3,586,587 千円(対中間支持)~10,452,387 千円(対岩盤支持) (A-2) 約339,490 千円	○	○	
	工期	(A-2) 変更なし		○	
	その他	(A-2) 監査廊迂回時に懸念された維持管理上の諸問題は発生の可能性も含めコスト評価はできないが, 監査廊を直線化したことは維持管理手法を標準化できたことであり維持管理上の経済的リスク回避効果としては大きい		○	

4-2-2 B表データ記入例

記入例として、3事例のデータを表4-5に示した。

B表は、②リスク発現後の対応工事費（追加工事費）と、③理想的な管理を行った場合の工事費の差（②-③）を（想定）マネジメント効果としている。

一方、マネジメントの有無における工事費を比較すると、マネジメント効果は、マネジメント無（①当初工事費+②追加工事費）-マネジメント有（③理想的な対応を行うための費用+④その上での工事費）となる。すなわち、（②-③）と「（①+②）-（③+④）」の2つの算出方法がある。

どちらが記録しやすいか事例研究を通じて検討したものであるが、今回の検討では「②-③」と「（①+②）-（③+④）」で大きな差が生じている。事例3（B-1）においては、③理想的な対策費用と④その上での工事費の区分が不明確であったため、④に計上した項目の分だけ両方の算出式の差が生じた。

事例4（B-2）においては③対策費用=④工事費として、③と④を分離して考えなかったため、効果を「（①+②）-（③+④）」で算出できなかった。今後、データ項目の定義とデータ収集の容易さなどを勘案してマネジメント効果の計算式を定義していきたい。

「トラブル発生の原因となった地質リスクカテゴリー」では選択式（B-1）の記入例を示した。

「地質リスクの抽出・処理に関する総括表」（B-3）には三段式評価（○、△、×）を取り入れた。

なお、事例3（B-1）においては当初工事費の設定において、当該区間のみ取り出して算定したが、設計の見直しにおいては当該区間だけでは不十分であり、単純なコスト比較を行う上で「当初工事費」の定義とあわせて課題が残った。

表 4-5 B表(地質リスクが発現した事例)データ記入例

大項目	中項目	記入例	B-1	B-2	B-3				
対象工事	発注者	(B-1) 自治体 (B-2) 地方自治体 (B-3) 河川国道事務所	○	○	○				
	工事名	(B-1) 緊急地方道路整備事業トンネル工事 (B-2) 道路改良工事 (B-3) S 縦貫道, 国道新設工事	○	○	○				
	工種	(B-1) NATMトンネル本体工事 (B-2) 法面对策 (B-3) 法面工事(L=約 350m)	○	○	○				
	工事概要	(B-1) トンネル延長 364m(全体延長 1053m) (B-2) 道路法面崩壊対策工 (B-3) 最大6段の両切土。安定勾配(1:0.8, :1.2) での切土工が, アンカー工, ロックボルト工, 吹付法砕工などに変更	○	○	○				
	①当初工事費	(B-1) 10.29 億円(全体) (B-2) 500 万 (B-3) 364,600 千円	○	○	○				
	①当該工事費	(B-1) 3,800 万円(トラブル区間本体工事費、除仮設)	○						
	当初工期	(B-1) 平成 14 年~平成 19 年(平成 19 年度末 供用開始) (B-2) 平成 17 年 7 月から 11 月 (B-3) H17.9.29~H18.3.20	○	○	○				
地質リスクの抽出・処理に関する総括表	地質概要	(B-3) 中生代堆積性硬質岩盤(亀裂性)、 深層風化、熱水変質			○				
	地質構造概要	(B-3) 断層、褶曲			○				
		計画 段階	設計段階			施工 段階	-	-	-
			概略	予備	詳細				
	地質リスクの抽出※				×	×			○
	地質リスクの伝達※				×				○
	地質リスクの低減があったかどうか※				×	×			○
地質リスクの反映又は発現※				×	★			○	

※: 三段評価
○: 良くできている
△: 一部問題ある
×: できていない
★: 地質リスク発見

大項目	中項目	記入例	B-1	B-2	B-3
リスク発現事象 (リスク発言に至るプロセス)	リスク発現時期	(B-1) 工事段階 (B-2) H17年7月～11月: 自然斜面勾配で1m程度、切り下げて道路改良工を実施した。 H18年7月に斜面崩壊を確認した。 H18年9月～10月: 地質調査(2ヶ所25m)、法面対策工法の概略設計、対策工として自穿孔ロックボルト+吹付法砕工を提案。 H18年9月～H19年1月: 測量一式(横断測量16断面)、法面工詳細設計一式、詳細設計は崩壊部周辺については自穿孔ロックボルト+吹付法砕工とした。 (B-3) 工事施工時: 切土の施工進捗に合わせて法面崩壊、クラックが断続的に発生	○	○	○
	原因となった地質	(B-2) 亀裂の発達した中・古生代の砂岩、亀裂と層理面は流れ盤となっている。		○	
	トラブルの内容	(B-1) 内空変異60cm及び支保変形 (B-2) 法尻を掘削したことや冬季の凍結融解作用で亀裂が緩んだ所に豪雨が来たことが重なって法面崩壊が発生した。 (B-3) 岩盤すべり、くさび状崩落	○	○	○
	トラブルの原因	(B-1) 集水地形をなす小土被り区間に断層が発達していたが、この断層上盤には透水性の高い砂岩が分布しており、強雨時に作用した地下水圧が砂岩沿いに浸透して断層面に作用し、断層沿いの局部的なすべりを生じた。 地形、弾性波探査速度層の低下に着目した上で、断層の発達、地下水位等に関する追加調査を実施すべきであった。 (B-2) ・調査不足 ・岩盤斜面の安定に関する知識不足 ・法尻を掘削したために亀裂の緩みを増大させた。 (B-3) 当初設計時には、ボーリング調査1孔と弾性波探査を実施し、安定勾配を決定したが、調査数量が少なく、当該地山の地質状況を判断することが十分出来なかったものと推察される。	○	○	○
	トラブル発生の原因となった地質リスクカテゴリー	(B-1) ①支持層・安定層の凹凸 ②すべり・崩壊の危険度 ○③地盤・岩盤の等級評価誤差 ○④断層・熱水変質帯などの発生 ⑤土壌地下水汚染 ⑥地下水影響 ⑦その他	○		
	原因となった(楽観的)リスク評価	(B-1) 調査段階: 基盤速度層内に位置し、追加調査は不要 設計段階: 被りは十分であり、補助工法は不要	○		
	工事への影響	(B-1) 変位に対する地質調査、対策工事として支保パターンを追加。本体工事は1ヶ月の遅延。事業全体の工期は予定通り。 (B-2) 崩壊法面の対策工事の追加 (B-3) 供用目標が明示され、残された期間のうちで出来る対策工法での施行となり、費用が増大した。また供用目標に対する工程上のネックとなった。	○	○	○

大項目	中項目	記入例	B-1	B-2	B-3	
追加工事の内容 (リスクが発現した後の対応)	追加調査の内容	(B-1) 坑内より調査ボーリング(10m×4本、20m×1本、3m×1本)を実施 (B-2) 崩壊法面に対する調査ボーリング 2箇所、現地踏査、対策工比較検討 (B-3) ボーリング調査、のり面スケッチ(工事に含める形で)	○	○	○	
	修正設計内容	(B-1) 設計地質条件:地山分類を1段階下げ 周辺条件:特になし 対策工のリスク評価:不詳(二次覆工完了までに予想される降雨に対する安全性についての照査) (B-2) 崩壊部の法面対策工を自穿孔ロックボルト+吹付法砕工に変更 (B-3) 現場吹付法砕工、ロックボルト工、グラウンドアンカー工	○	○	○	
	対策工事	(B-1)なし (B-2)5250万 (B-3) 現場吹付法砕工、ロックボルト工、グラウンドアンカー工	○	○	○	
	追加工事	(B-1) 支保パターン変更(C II-b→D I b-i-s)にインバート追加	○			
	追加費用	追加調査	(B-1) 5,037千円 (B-2) 350万 (B-3) 15,000千円	○	○	○
		修正設計	(B-2) 450万 (B-3) 11,000千円		○	○
		対策工	(B-2) 自穿孔ロックボルト+吹付法砕工+幅員の拡幅 (B-3) 242,000千円、当初は切り土のり面緑化		○	○
		追加工事	(B-1) 25,435千円(支保変更とインバート14,809千円+設備リース延長10,626千円) (B-2) 5250万	○	○	
		②合計	(B-1) 30,472千円 (B-2) 6050万 (B-3) 268,000千円	○	○	○
	延長工期	(B-1) 全体工期に変更なし。トンネル工事は全体で2ヶ月遅延。当該区間での工事中断は約1ヶ月。 (B-3) H17.9.29~H18.3.20 ⇒H19.5.27 約13ヶ月	○		○	
間接的な影響項目	(B-1) 本体工事と付帯工事を並行作業とすることによるリソースのマネジメント (B-2) 調査・設計業務を別途発注 (B-3) 工期の延長、対策費用の増加	○	○	○		

大項目	中項目	記入例	B-1	B-2	B-3
	間接的な影響額				
	負担者	(B-1) 変更工事:発注者 間接的影響:工事業者 (B-2) 地方自治体 (B-3) 国	○	○	○
リスク管理の理想像(想定されるリスクマネジメント)	対応(すべき)時期	(B-1) 調査段階、設計段階、工事段階 (B-2) 当初の設計段階 (B-3) 調査設計段階での十分な調査(ルート選定、用地買収に関係するため)。工事実施段階での十分な調査(変状が起きた場合、対策工法検討のため)	○	○	○
	対応(すべき)者	(B-1) 調査段階:地質技術者 設計段階:設計技術者 工事段階:工事業者、発注者 (B-2) 設計者 (B-3) 発注者:調査から工事までの段階で、地質調査に関する出来る調査を実施すべき。	○	○	○
	対応(すべき)内容	(B-1) 調査段階: 谷を横断する小土被り区間の補足踏査を実施し調査ボーリングを提案。 設計段階: 重い支保の採用。 施工段階: 調査を兼ねた水抜きボーリングの提案 (B-2) ① 調査地は地元では崩壊しやすい山としてよく知られていた。地元での聞き込みを怠った。 ② 現地踏査して地質状況を確認すべきだった。 ③ 既存の地質調査結果を十分に理解して設計へ反映させるべきだった。 ④ 設計時に山岳地の気象を考慮すべきであった。 (B-3) ルート検討段階で問題となる地質かなど、地質専門家の意見も含め判断できる材料を持ってそのリスクも考慮したルート選定が必要。設計段階では、ボーリング調査等の詳細な調査を実施し、施工費や工事実施時でのリスク等を考慮し、道路縦断勾配やのり勾配、また切土かトンネルかなどの検討が必要。設計時には設計コンサルタントだけでなく、地質調査専門家も交えた検討設計が必要と思われる。	○	○	○
	判断に必要な情報	(B-1) 強雨時の水位変化、断層を推定するためのボーリングコア状況 (B-2) 亀裂の発達した中・古生層砂岩の崩壊のメカニズムや形態 (B-3) 地質および地盤情報、付随するリスク情報	○	○	○

大項目	中項目		記入例	B-1	B-2	B-3
	対応費用	調査	(B-1) 約 200 万円 (B-2) 地表地質踏査、調査ボーリング(2 断面程度)	○	○	
		対策工	(B-2) 崩壊地周辺:ロックボルト+吹付法砕工、 その他:法面勾配 1:1.0 で切土し、植生マ ットで保護		○	
		③合計	(B-1) 200 万円 (B-2) 5750 万	○	○	
	想定工事	工事概要	(B-1) 坑内より先進調査ボーリングを兼ねた水 抜きボーリングを実施し、支保パターンを あらかじめCⅡからDⅠへ変更 (B-3) ・切土として施工する場合には、安定勾配 でのり勾配として用地買収を実施。土 工が最も安上がり。 ・トンネル施工のケースも考えられたので はないか	○		○
		④工事費	(B-1) 水抜きボーリング 350 万円、当該区間工 事費 3800 万円、支保パターン変更に伴う 差額 1080 万円、合計 5230 万円	○		
	工期	(B-1) 数日	○			
リスクマネジメ ントの効果	費用(②-③)		(B-1) 2847.2 万円 (B-2) 300 万 (B-3) 結果、工費が増額となっているが、調査が充 実していれば、トンネルにするなど工法の選 択肢はあるが、当初から必要な予算であり、 それを計上していなかっただけである。本当 の損失は供用の遅れによる経済的損失、工事 がシムーズにすすまなかったための施工業 者の経費等の損失であると思われる。	○	○	○
	費用 (((①+②)-(③+④)))		(B-1) 1417.2 万円 (B-2) 800 万	○	○	
	工期		(B-1) トンネル本体工事約1ヶ月短縮	○		
	その他		(B-1) 工程遅延回復に対する工事業者のマメジ メント負荷軽減 (B-3) 供用期限のある施工段階での工法の見 直しは、限られた空間の中での対策工と なり、当該箇所では法砕、ロックボルト、ア ンカーと、結果的に切り土法面全てを覆う ことになり、また変状も部分的に発生 し、その都度対応している結果から継ぎ 接ぎでの施工とならざるを得なかった。道 路の景観という視点での課題が残る。	○		○

4-2-3 C表データ記入例

記入例として3事例のデータを表4-6に示した。

C表においては、①当初工事費においてはリスクが発現しそうなので、②変更工事（増額）を実施し、さらに「リスク回避事象」→「リスク管理の実際」→「③リスク対応の実際」のサイクルでリスクマネジメントを実施する。すなわち、①+②+③の費目を投入することで、投入しなかった場合に掛かる④想定工事費を防止するというシナリオから、

$$\text{マネジメント効果} = \text{④} - (\text{①} + \text{②} + \text{③})$$

で算出するものとした。

この場合、④の内訳に①②を含むか含まないかで算出式は異なり、含まない場合は①②は共通であるから、

$$\text{マネジメント効果} = \text{④} - \text{③}$$

で算出できる。

このように、「工事費」「対応費」の範囲（定義）を確定しないまま実証的にデータ収集を行ったものであり、今後使いやすい様式（データ項目の定義）にしていきたい。

C表の特徴は、マネジメントプロセスを表現するところにあり、「リスク回避事象」→「リスク管理の実際」→「リスク対応の実際」のサイクルを繰り返し利用する方法（C-1）もある。

表 4-6 C表(発現したリスクを最小限に回避した事例)データ記入例

大項目		中項目	記入例	C-1	C-2	C-3	
対象工事	発注者	(C-1) 地方自治体(県) (C-2) 〇〇県 (C-3) 県土木事務所		○	○	○	
	工事名	(C-1) 国道〇号道路改良工事 (C-2) 〇〇トンネル (C-3) 〇〇インター線道路改良工事		○	○	○	
	工種	(C-1) 道路切土 (C-2) 道路トンネル (C-3) 函渠工		○	○	○	
	工事概要	(C-1) 高規格道路の切土のり面工事(3段オープンカット) (C-2) 土砂部を含むトンネル(延長 279m) (C-3) ボックスカルバート工(施工延長 L=約 40 m、幅 B=約 24m)		○	○	○	
	①当初工事費	(C-2) 12.6 億円 (C-3) 89,500 千円			○	○	
	当初工期	(C-2) H13.4~H15.3 (24 ヶ月) (C-3) 200 日			○	○	
発 現 し た	リスク発現事象	リスク発現時期	(C-1) 工事中 (C-3) 工事中	○		○	
		トラブルの内容	(C-1) 道路の切土のり面(3段オープンカット)の工事中、最下段まで掘削した段階でのり面に地中変位が生じ、大規模地すべりの兆候が現れ、対策が必要となった。 (C-3) ボックスカルバート基礎部掘削時に、軟弱地盤が出現。	○		○	
		トラブルの原因	(C-1) 調査不足 (当該区域における事前調査なし) (C-3) 調査不足	○		○	
		事業・工事への影響	(C-1) 追加対策工事、工期延長(供用遅れ) (C-3) 工事の中断および対策工の追加。(ただし、当初工期内に対策工を含め完了。)	○		○	
リ ス ク	追加工事の内容	追加調査の内容					
		修正設計内容					
		対策工事					
		追加工事					
		追 加 費 用	追加調査				
			修正設計				
			対策工				
			追加工事				
②合 計							
延長工期							
間接的な影響項目							
負担者							

大項目		中項目	記入例	C-1	C-2	C-3
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク回避事象1	予想されたリスク発現時期	(C-1) 工事中 (C-2) 施工段階 (C-3) 工事中および、工事完了後の供用中	○	○	○
		内容	(C-2) トンネル天端および緩みエリア(1~2D)に土砂と岩盤が分布し、補助工法、支保パターンの切替の判断が難しい		○	
		予想されたトラブル	(C-1) 隣接区域の切り取り斜面で想定外の軟弱層が確認され、当該区域でも軟弱層が存在し、切土のり面での安定性が低下し、大規模地すべりに繋がるのが危惧された。 (C-2) 過大施工、天端部の崩壊 (C-3) 軟弱地盤区間において、地耐力不足による重機の施工不能および、ボックスカルバートの沈下、破損および舗装の破損。	○	○	○
		回避した事象	(C-1) 大規模地すべり (C-2) 過大施工、天端部の崩壊 (C-3) 工事の中断および、工事完了後の供用中の圧密沈下による道路変状に対する補修工事	○	○	○
		事業・工事への影響	(C-1) 追加対策工事、工期延長(供用遅れ) (C-2) 当初計画通り施工できた (C-3) 工事の中断、対策工の検討・施工	○	○	○
	リスク管理の実際1	判断(した)時期	(C-1) 工事中(当該地区の施工着手前) (C-2) 調査・設計時と施工時 (C-3) 工事中(基礎部掘削時)	○	○	○
		判断した者	(C-1) 施工者、地質技術者 (C-2) 調査時の地質技術者と発注者、地質調査者(設計者)施工者による委員会 (C-3) 施工者・地質調査業者	○	○	○
		判断の内容	(C-1) 隣接区域における掘削状況より、当該区域にも想定外の軟弱層が存在する可能性と切土のり面の安定性の低下 (C-2) 適切な地質調査を実施し地質断面図の精度を向上させ設計に反映した。 不確実な要素を回避するため委員会を設置し施工時に適時判断した。 (C-3) 地盤改良の提案	○	○	○
		判断に必要な情報	(C-1) 地盤情報、施工状況 (C-2) 土砂と岩盤の境界と施工時の情報 (C-3) 地質情報(地質層序、土質特性、地耐力)	○	○	○

大項目		中項目		記入例	C-1	C-2	C-3
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク対応の実際1	内容	追加調査	(C-1) 傾斜計による地中変位観測 (C-2) なし (C-3) ・地質調査(スウェーデン式サウンディング 試験 3 箇所、簡易動的コーン貫入試験 8 箇所) ・土質試験(セメント安定処理配合試験 1 式、六価クロム溶出試験 1 検体、一軸圧縮 試験 1 試料) ・平板載荷試験 1 箇所	○	○	○
			修正設計	(C-3) なし			○
			対策工	(C-3) 安定処理工(バックホウ混合)構造物基礎、1m 以下			○
		費用	追加調査	(C-1) 3 百万円 (C-2) なし (C-3) 280 千円	○	○	○
			修正設計	(C-3) なし			○
			対策工	(C-3) 1,900 千円			○
			③合計	(C-1) 3 百万円 (C-3) 2,180 千円	○		○
	リスク回避事象2	予測されたリスク発現 時期		(C-1) 工事中	○		
		予測されたトラブル		(C-1) 最下段まで掘削した段階で、地中変位が 大きくなり、このままでは大規模地すべり が発生する。	○		
		回避した事象		(C-1) 大規模地すべり	○		
		事業・工事への影響		(C-1) 追加対策工事、工期延長(供用遅れ)	○		
	リスク管理の実際2	判断(した)時期		(C-1) 工事中(掘削施工中)	○		
		判断した者		(C-1) 地質技術者	○		
		判断の内容		(C-1) 傾斜計による地中変位観測の結果、地中 変位が増大し、地すべり変動が発生したと 判断された。緊急措置として押え盛土で地 盤変位の増加を止め、その後、必要な調 査ならびに対策工設計を行うこととした。	○		
判断に必要な情報		(C-1) 地盤情報、施工データ、地盤挙動データ	○				
リスク対応の実際2	内容	追加調査	(C-1) ボーリング10本、 弾性波探査2測線、他	○			
		修正設計					
		対策工	(C-1) 集水井6基、グランドアンカー付鋼製受圧 盤 545 基	○			
	費用	追加調査	(C-1) 30 百万円	○			
		修正設計	(C-1) 10 百万円	○			
		対策工	(C-1) 760 百万円	○			
		③合計	(C-1) 800 百万円	○			

大項目		中項目	記入例	C-1	C-2	C-3
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	回避しなかった場合	工事変更の内容	(C-1) 大規模地すべりの発生により、地すべり土砂の撤去、安定対策が不可避。安定対策は長大のり面工事になっていた可能性大。また、用地の追加買収が必要となる。 (C-2) なし (C-3) 施工時、部分的な地盤破壊によるボックスカルバートの沈下・損傷および、供用後、圧密沈下による沈下・上部構造(舗装等)の損傷に対する補修工事。	○	○	○
		④変更後工事費	(C-1) 算定困難(2,000~3,000 百万円程度か) (C-2) 支保工延長増額 0.6 億円(想定) 崩壊対応増額 3.0 億円(想定) (C-3) 算定困難 94,500 千円(推定) (当初工事費 89,500 千円+補修対策工事費 5,000 千円)	○	○	○
		変更後工期	(C-1) 3年以上 (C-2) α日 (C-3) 90日~(推定)	○	○	○
		間接的な影響項目	(C-1) 供用時期の大幅な遅れ、用地の追加取得、地元とのトラブル、等々 (C-3) 供用時期への影響(遅れ)、圧密沈下による供用時の維持補修費の増大および、補修工事等による通行への影響(経済的損失)	○		○
		受益者	(C-1) 施主(地域住民、納税者) (C-3) 管理者、利用者(地域住民)、納税者	○		○
		リスクマネジメントの効果	費用④-(①+②+③)	(C-1) 1,000~2,000 百万円 (C-2) 想定増額 3.6 億円を押さえたこと (C-3) 2,820 千円(推定)	○	○
	工期	(C-2) α日 (C-3) 90日以上		○	○	
	その他	-		-	-	

5. 事例研究から見た地質リスクマネジメントの体系的整理に向けた一考察

事例研究を通して、地質リスクマネジメントの特徴と様々な実務上の課題を発見することができた。これらの課題を解決するためには、地質リスクマネジメントの特徴を幅広くかつ深く理解することが不可欠であることを再認識した。

そこで本章では、地質リスクマネジメントの体系的整理を最終目的として、事例研究から見えてきた地質リスクマネジメントの特徴を整理することを試みる。

5-1 地質リスクの種類・影響・発現過程

地質リスクの種類と発現時期の一例を表 5-1 に示す。

表 5-1 地質リスクの種類と発現時期の一例

地質リスクの種類	発現時期
1) 追加費用発生	調査・測量・設計・発注・工事・運用
2) 品質不良	設計・工事・運用
3) 工期延長	工事・運用
4) 安全不遵守	工事・運用

品質不良、工期遅延、安全不遵守のリスクは、追加費用発生というリスクを伴う場合が多い。本研究では、地質リスクを「事業コスト損失」に関わるものに限定している。

発現した地質リスクの影響を受ける主体とそれらの影響の一例を表 5-2 に示す。

表 5-2 発現した地質リスクの影響を受ける主体とそれらの影響の一例

影響を受ける主体	影響の一例
1) 納税者	費用負担、社会的便益低下
2) 利用者	安全・安心低下、健康被害、社会的便益低下、利用者満足度低下
3) 労働者	健康被害、費用負担
4) 施工者	費用負担、経営安定度低下、（利潤増大）
5) 設計者	費用負担、（利潤増大）
6) 調査・測量者	費用負担、（利潤増大）
7) 発注者	行政目標不遵守、社会的批判増大

() の部分は、正の影響を示す。発現した地質リスクは、契約の増額変更によって解決されることが少なくない。地質リスクは、民間企業に利潤増大という正の影響ももたらしていたことに留意する必要がある。

ここで、費用負担の中で、工期延長に伴う費用増加に言及しておきたい。旧来の公共工事の設計図書変更では、工期延長に伴う費用増加は別の費目として支払われる、或いは、小額の場合は施工者が負担する場合も少なくなかった。工期延長に伴う費用増加が明確に

認められることは多くなかったため、公共発注者も施工者もこの費用増加への関心は必ずしも高くはなかった。

ただし、今後の公共工事では、公共発注者の説明責任遂行の要請が益々高まることが予想される。また、受注競争の激化に伴い、施工者の経営リスクが増大することが懸念される。このことは、今後の地質リスクマネジメントでは、工期延長に伴う費用増加を正確に把握し、抑制することが益々重要となることを意味している。

本研究では、リスクの発現過程を以下のように表現し、データ収集様式を提案した。

- ・ マネジメントを実施しない場合

原因→トラブル（物理現象）→リスク発現→影響

- ・ マネジメントを実施した場合

原因→＜事前マネジメント＞→トラブル（物理現象）→＜事中マネジメント＞
→リスク発現→＜事中マネジメント＞→影響 →＜事後マネジメント＞

ここで、トラブルとは、法面崩壊などの物理現象を指す。

事前マネジメントとは、トラブルの発生前にその原因を特定し、適宜除去する行為を指す。事中マネジメントとは、現場の地盤状態を観測しながら、その結果に基づき迅速に適切な対策を採る行為を指す。事後マネジメントとは、影響の拡大を防止しつつ、工事の完成や施設機能の維持を図る行為を指す。

5-2 地質リスクマネジメントの類型化の一例

(1) リスク効率性について

リスクマネジメントの目的の一つは、リスクとリターン、或いはリスクとコストの最も好ましいバランスをもたらす対策を導出することにある。

図 5-1 にその概念図を示す。横軸は事業コストの期待値を、縦軸はそのばらつきを示す。事業コストは、事業の構想段階から運用段階までに要した費用を指す。縦軸のばらつきが、リスクを表す指標として用いられることが多い。一般に、ばらつきの指標として、標準偏差や分散が用いられる。本稿では、以下縦軸は標準偏差を表すものとする。

リスクマネジメントでは、より少ない費用でより多くのリスクを削減することが望ましいことは言うまでもない。この考え方をリスク効率的(risk efficient)であるという。図 5-1 において、対策 A と B は対策 D よりもリスク効率的である。より南西方向の結果をもたらす対応策が、よりリスク効率的な対応策となる。

ただし通常は、事業コストの期待値と標準偏差とは、トレードオフの関係にある。対策 A、B、C は、それぞれ他の対策よりもリスク効率的であるとはいえない。このように、よりリスク効率的な対策が他に存在しない対策を結んだ線を、リスク効率性曲線(risk efficiency curve)という。

リスクマネジメントでは、このリスク効率性曲線を求め、その中で最も望ましいバランスを生み出す対策を導出することが求められる。

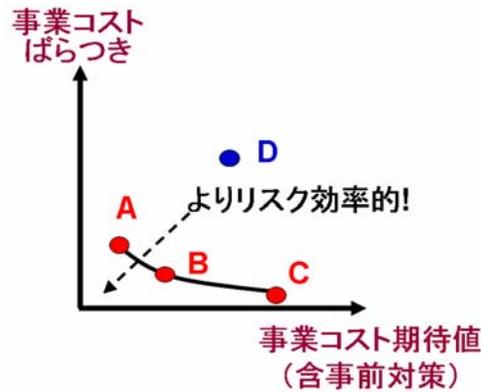


図 5-1 リスク効率性の概念図

(2) 本研究における地質リスクの定義

一般的に、リスクとは、事業コストのばらつきを指す場合が多い。しかし本研究では、「地質リスク」は、事業（損失）コストのばらつき（標準偏差）だけでなく、その期待値も含むものとした。このようにリスクを広義に解釈する理由は、以下の通りである。

- 1) 事業コストのばらつきだけでなく期待値も縮減することは、実務上重要な目的の一つであること、
- 2) それにもかかわらず、コストの期待値を縮減する手法さえ十分に活用されていないこと、
- 3) したがって、事業コストの期待値とばらつきを縮減する実践的方法論を確立することが、本研究の最終目的となっていること。

(3) リスク効率性に基づく地質リスクマネジメントの各類型の特徴の一例

本研究では、データ収集様式として A、B、C 表の三種類の表を提案した。

本節では、各表に該当する地質リスクマネジメントの特徴の一例を、推察も交えて以下のように整理することを試みた。

① A 表の特徴の一例

図 5-2 に、A 表に該当するリスクマネジメントの特徴の一例を示す。A₀ は通常の見当策、A₁ は当初見当策、A₂ は修正された最終見当策の期待値と標準偏差をそれぞれ示す。A₂→A₃ は工事段階と運用段階におけるリスクマネジメントの状況推移を表し、A₃ は事業終了時、すなわち、事業がその役割を果たし終えた時点での状態を表す。

まず、通常の見当策 A₀ では、事業コストのばらつき（狭義のリスク）が大きくなると考えられたため、ばらつきを小さくする修正案 A₁ が検討・提案されている。さらに、修正案 A₁ の経済性（コストの期待値）を改善するために詳細な分析・検討が重ねられた結果、最終案 A₂ が導出された。A₃ の横軸の値は最終的な事業コストを示す。事業コストは確定しているため、標準偏差はゼロとなる。

A 表に該当する事例の一つは、特に大規模な事業において、構想・設計段階で地質リスクマネジメントが十分に検討される場合であるといえる。

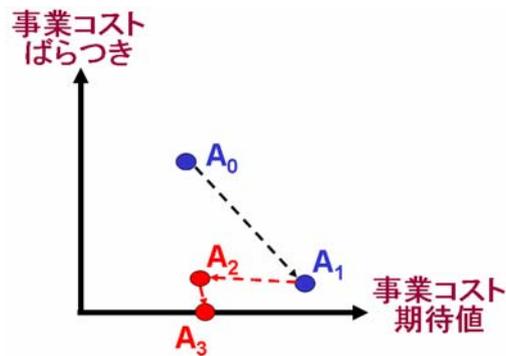


図 5-2 A 表に該当するリスクマネジメントの特徴の一例

② B 表の特徴の一例

図 5-3 に、B 表に該当するリスクマネジメントの特徴の一例を示す。 B_a は提案された対応策の事業コストの期待値とばらつきを著しく過小に評価した場合を示す。 B_{aL} は事業コストの想定下限値であり、 B_{aU} がその上限値である。

これに対して、 B_{b1} は提案対策の真の特性、すなわち、事業コストの期待値とばらつきの正しい値を示す。次に、 $B_{b1} \rightarrow B_{b2}$ は、リスクが発現した後、事後的に採用された対応策の推移を表す。この場合、最終的な事業コスト B_{b2} が、事業コストの想定上限値 B_{aU} を超過したことを示している。

B 表に該当するリスクマネジメントが実施される第一の要因は、地質リスクの著しい過小評価にある。

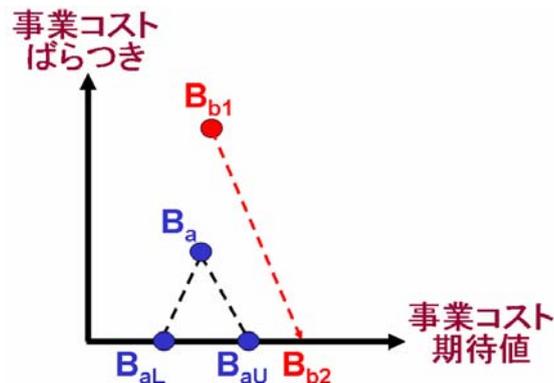


図 5-3 B 表に該当するリスクマネジメントの第一の特徴の一例

③ B 表の第二の特徴の一例

このリスクマネジメントが実施される要因は他にも存在する。それは、地質リスクの過大評価への恐れとそれに伴う過大設計防止の要請である。図 5-4 に、その概要を示した。

図 5-4(1) は、適切な事中管理が要求されている事例である。 B_a と B_b は事前に検討された二つの案を示す。 B_a は経済性を重視した案であり、 B_b はリスク低減を図った案である。

B_{aL} と B_{bL} はそれぞれ B_a と B_b の最終事業コストの想定下限値であり、 B_{aU} と B_{bU} はそれぞれの想定上限値である。

B_{aU} が B_{bL} よりも小さいと判断される場合は、 B_a が採用される可能性が高い。これは、最小限の対策から出発し、現場の状況を観察しながら、その結果に基づいて適切な対策を迅速に実施する方法である。この「事中管理」は、日本のこれまでの多くの公共工事で実施された方法であり、現在環境保全分野で注目されている **adaptive management**（適応型管理）と共通部分を持つ方法であるともいえる。過大設計を防止する合理的な方法であるといえる。

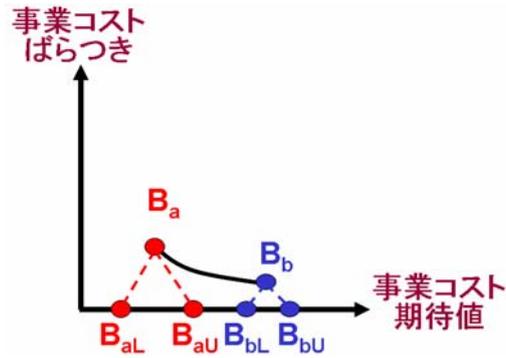
ただし、図 5-4(2) に示すように、事中管理が不適切に実施されるなどの理由で、最終的な事業コスト B_{a2} が大幅に上昇する場合もある。事中管理の適切な実施が必要であることを、再認識したい。

対応策の選択が難しくなるのは、図 5-4(3) の場合である。 B_{bL} を B_b の想定下限値とし、 B_{bU} はその上限値とする。この場合、 B_{aU} が B_b よりも大きく、 B_{bL} と B_{bU} の範囲が B_{aL} と B_{aU} の範囲の中に含まれると判断されている。 B_a は「ハイリスクハイリターン」、 B_b は「ローリスクローリターン」な対応策である。

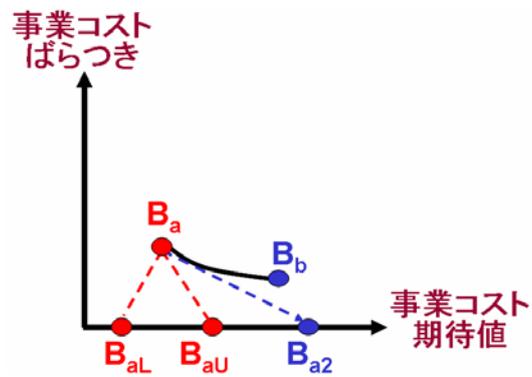
この場合、担当者には、「ハイリスクハイリターン」な対応策である B_a を採用する誘因が働くと思われる。それは、地質リスクの過大評価への恐れとそれに伴う過大設計防止の要請である。 B_a 採用に伴う最終コストが、 B_b 採用に伴う最終コストより小さくなる確率は小さくない。納税者からのコスト縮減への要請を日々実感して事業を実施する公共発注組織ほど、その傾向は顕著になると思われる。

ここで、留意すべき点は、

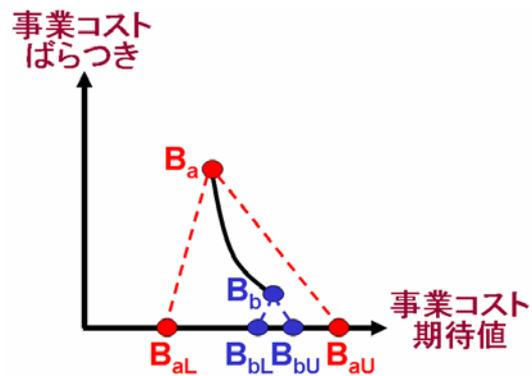
- 1) B_a と B_b の選択に関して、唯一絶対的な正答は存在しないこと、
- 2) B_a を採用して、リスクが発現した結果、その最終的な事業コストが B_b を上回った場合でも、それは決してマネジメントの失敗と捉えるべきではないこと、
などが挙げられる。



(1) 適切な事中管理が要求されている場合



(2) 事中管理が不適切に実施される場合



(3) ハイリスクハイリターンな B_a とローリスクローリターンな B_b の選択が困難な場合

図 5-4 B 表に該当するリスクマネジメントの第二の特徴の一例

④ C表の特徴の一例

図5-5に、C表に該当するリスクマネジメントの特徴の一例を示す。C₁は対応策の期待値と標準偏差を表す。C₁→C₂は、想定内、或いは想定外のリスクが発現した後に、標準的なリスクマネジメント対応策が採られた場合の、工事段階と運用段階における状況の推移を表す。C₂は事業終了時点での状態を表す。C₁→C₃は、より優れたリスクマネジメント対応策を実施したことによって、最終的な事業コストを縮減できたことを示している。C表は、優れた事後または事中のマネジメントを記録するための様式である。

C表によって記録される案件には、事前のマネジメントが不十分であった案件も含まれると予想される。事前、事中、事後のマネジメントは、互いに独立しているものではなく、それらのあり方は本来総合的に検討されるべきであると考えられる。したがって、C表による記録の充実は、優れた事後または事中のマネジメントの改善だけでなく、事前のマネジメントの改善にも貢献できると考えられる。

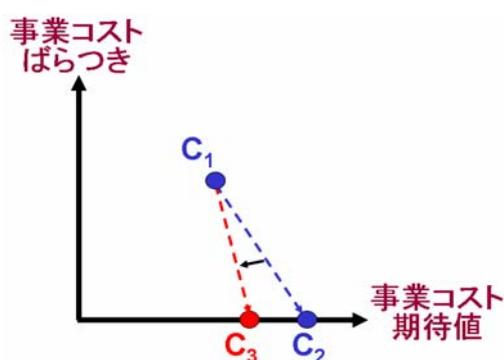


図5-5 C表に該当するリスクマネジメントの特徴の一例

5-3 地質リスクへの具体的対応策と結果について

以上の考察から、地質リスクへの対応策の分類として、表5-3から表5-5までの分類方法も有益であると考えられた。

表5-3 対応主体に基づく地質リスク対応策の一分類

対応有無	対応主体	対応主体例	対応方法例
有	自身	インハウス技術者	実施 (do something)
			無作為 (intentionally do nothing)
	他者	受託者、施工者、技術顧問 保険会社	移転 (transfer)
			保険 (insure)
無	---	---	不作為 (unintentionally do nothing)

表 5-4 削減水準に基づく地質リスク対応策の一分類

削減水準の程度	削減水準の内容
回避 (avoidance)	削減リスク 100%、残余リスク 0%
低減 (reduction)	削減リスク X%、残余リスク (100-X)%(*)
受容 (acceptance)	削減リスク 0%、残余リスク 100%

注*)削減水準 X は、 $0 < X < 100$ の値を採る。

表 5-5 結果に基づく地質リスク対応策と主に該当する提案データ収集様式の一分類

対応策の結果		結果の概要	主に該当するデータ収集様式
満足	タイプ 1	事前に十分な検討を行い、リスクの発現を回避し、最終事業コストを最小化した場合	A 表
	タイプ 2	想定内のリスクが発現したので、的確に対応し、最終事業コストを最小化した場合	C 表
	タイプ 3	想定内のリスクが発現したので、的確に対応したが、最終事業コストは最小化できなかった場合	C 表または B 表
	タイプ 4	想定外のリスクが発現したが、的確に対応し、損害の拡大を抑えた場合	C 表
不満	タイプ 5	想定外のリスクの発現に対して、その後の対応が十分ではなく、損害を拡大してしまった場合	B 表
	タイプ 6	リスクの発現を回避するために、過大な対応策を採用する場合	該当なし

表 5-3 には、対応主体に基づく地質リスク対応策の一分類を示した。今後の日本の公共工事では、リスクへの対応主体を明確にすることが重要である。表 5-4 には、削減水準に基づく地質リスク対応策の一分類を示した。今後の地質リスクマネジメントでは、残余リスクの正確な把握と適切な対応が重要になると考えられる。

表 5-5 には、結果に基づく地質リスク対応策と主に該当する提案データ収集様式の一分類を示した。ここで、特に今後の地質リスクマネジメントでは、不確実性が高い状況で一層の建設コスト縮減が求められることに再度留意する必要がある。地質リスクマネジメントの担当者には、地質リスク低減とコスト縮減の間の益々厳しい「せめぎ合い」が求められているのである。このことは、特に地質技術者による技術判断が不十分な場合には、タイプ 1 からタイプ 4 までの対応策を採ることは必ずしも容易ではない場合もあることを示唆している。

したがって、タイプ 5 の結果の招来は、決して社会的さらには組織内で批判や非難されるべきではないことを強調したい。もしそのような批判や非難が一般的に行われた場合は、地質リスクマネジメントの担当者は、タイプ 6 の非経済的な対応策を採用する「誘惑」に駆られることになるからである。

タイプ5の対応策を採用したことが判明した場合は、データ収集の姿勢に注意する必要がある。その第一は、当事者責任の追及を排除することである。その第二は、「タイプ5の対応策を採用せざるを得なかった理由」を関係者全員で丁寧に明らかにし、共有化することである。

データ収集には、「地質リスクマネジメントの現状を真摯に受け止め、それを改善するために、現状の情報を『オープン』にし、関係者全員で『楽しく』知恵を出し合っていく」、いわゆる、地道で、真摯で、建設的で、かつ明るい姿勢が求められている。地質技術顧問には、そのような明るくオープンな姿勢を引き出す「ファシリテーター」の役割も求められている。

6. 地質リスク計量化のための事例収集と事例区分の意義

6-1. 地質リスクに関する事例収集の意義

本研究で検討された地質リスク計量化のための事例収集のデータ様式は、ケーススタディを実施することにより、様々な課題が明確になった。この検討の結果、今後の事例収集に向けて、大きな進展が得られた。全国地質調査業協会連合会技術委員会地質調査の役割に関するワーキンググループは効果的な地質調査・不十分な地質調査の事例と合理的な地質調査の提案のため、「事例に学ぶ地質調査」の報告書(全国地質調査業協会連合会, 2003)を作成した。報告書には様々な地質リスクが発現した事例が示されており、その分析をもとに地質調査のあり方についての提言を行っている。今回の研究では、このケーススタディをさらに進めて、地質リスクマネジメントにおける地質調査の効果を貨幣価値として求めることにある。このようなデータ収集の試みは少なく、データ収集が進めば地質調査の役割を検討する上で参考になり、合理的な地質調査のあり方へ重要なデータを提供する。

海外においては地盤工学分野でリスクマネジメントの事例を収集する動きがある(Roberds, 2005)。そこでは事例名称、プロジェクトの概要、プロジェクトの発注者、事例評価の概要、リスクマネジメントの方法、リスクマネジメント結果、結果の費用と効用価値、今後の課題等が記述される。すなわち本研究で提案している事例収集のデータ様式と同様な様式によるデータ収集の動きが海外でも始まりつつあり、地質リスクマネジメントに関するデータ収集の意義が認識されつつあることを示している。今回本研究で検討された様式は Roberds(2005)の様式と比較し、より計量化に適しており、その点で今回実施した研究の先進性とその意義が明確である。

6-2. 地質リスク効果の計量化における各種費用の概念と事例区分

本項では効果計量化の費用内容の整理を行い、A、B、Cタイプに分類された地質リスクマネジメントパターンのそれぞれの特徴を見てみる。

始めに費用を以下のように区分し、数式ではアルファベットの略号で示すこととする。

I: 当初事業費 (Project cost initially planned)

A: 追加事業費 (Additional project cost)

F: 最終事業費 (実績事業費) (Final project cost)

E: 想定事業費 (Estimated project cost)

D: 設計費用 (地質調査費はここに含める) (Design cost)

B: 工事費 (Cost to build)

Di: 当初設計費

Da: 追加設計費

Df: 最終設計費 (実績設計費)

De: 想定設計費

Bi: 当初工事費

Ba：追加工事費

Bf：最終工事費（実績工事費）

Be：想定工事費

ここでは事業費を基本的には設計費と工事費からなるとする。地質リスクに関する議論を単純化するため、その他の費用についてはそのどちらかに含めることとする。

したがって

$$I = D_i + B_i$$

$$F = D_f + B_f$$

想定事業費には2種類が考えられる。地質リスクを適切にマネジメントし事業費を抑えた場合、マネジメントできなかった時の想定事業費と、地質リスクを適切にマネジメントできず事業費が増大した場合、適切にマネジメントできた場合の想定事業費である。

また様々なリスクが生じたことにより設計変更がなされ追加工事があった場合、追加設計費（Da）と追加工事費（Ba）と表現する。何回かの設計変更があればDa1、Da2等と示すことができる。同様にBa1、Ba2等も表現できる。

追加事業費Aは追加設計費と追加工事費の和になる。

すなわち

$$A = D_a + B_a$$

また追加設計があった場合、最終設計費は

$$D_f = D_i + D_a$$

同様に最終工事費は

$$B_f = B_i + B_a$$

これらから最終事業費は以下のようにも表現できる。

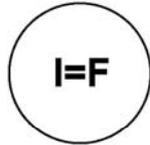
$$F = D_i + D_a + B_i + B_a$$

以上の定義の上で様々なケースを考える。ただし、地質リスクに関する議論なので、ここでは費用に与える影響は地質状況のみに起因するとして議論する。

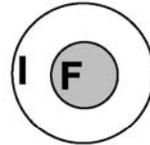
(1) ケース1：I=F の場合

この場合は最終事業費が当初事業費で計画されたとおりになったケースで、適切な地質調査に基づく設計により事業費が想定されたとおりになった場合である（図6-1a）。例えば、事業対象地域に断層破碎帯が存在していたとしても、適切な地表調査やボーリング調査、また物理探査によりそれが把握され、当初の計画から適切な工法が採用されることで、事業費の増大には至らなかった場合が含まれる。この点では、地質リスクが回避された例と言える。どのような工事にも地質的には様々な課題があると考えられるので、I=Fの場合、地質リスクが存在していなかったということではなく、地質リスクが適切に回避された事例と言える。

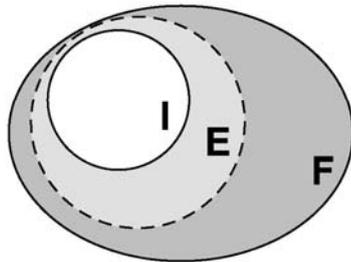
a. ケース 1



b. ケース 2



c. ケース 3



d. ケース 4

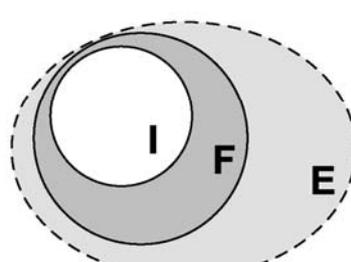


図 6-1 事業費の増減と地質リスクマネジメント

(2) ケース2: $I > F (=Bf + Di + Da)$

この場合は最終事業費が当初事業費を下回った場合で、計算上は事例分析(3章)のAタイプに相当すると考えられる(図6-1b)。すでに述べたように、Aタイプはリスクを過大評価して望んだと考えられる場合があるが、このケースはそれを示している。この場合、地質状況の不確実性に対して、より悲観的な判断を行い、それにもとづき事業費を計上したと考えられる。このケースでは最終事業費は当初事業費を下回ったものの、当初に適切な地質調査・試験を行っていれば B_i と B_f が一致し、またその場合の D_i は増加するものの、その増加分は D_a より少ない可能性がある。最終事業費が当初事業費を下回り、一見、リスクマネジメント効果があったようにも考えられるが、地質リスクを回避した事例とするにはさらに議論が必要と考える。

Aタイプの事例にある海上橋梁下部工工事の事例では、岩盤支持にもとづく当初事業費の計算があったものの、詳細な地質調査と試験の結果にもとづく設計に至る中で、実際の工法が決まり、事業費が算出されたとも考えられる。この場合、詳細な地質調査・試験が当初設計作業の一部ではないかとも考えられる。すなわち、詳細設計にもとづく事業費の計上は当初事業費であると考えられる。この当初事業費に対して、工事完了時点での最終事業費が同じであれば、ケース1に含まれることになる。この事例は地質調査と各種試験の結果による判断が工事費用削減に大きく貢献したことに間違いはないが、当初事業費を工事開始前のどの段階で定義するかでその見かけ上の効果が異なってくることが示されている。

(3) ケース3: $I < F$ で $E < F$

最終事業費が想定事業費を上回った場合である (図 6-1c)。もし適切な地質調査がなされていれば、想定事業費で示される、より少ない費用で済んだことになり、地質リスクマネジメントが適切でなかったと言える。これはBタイプの例と考えられる。ここでもし地質リスクマネジメントが適切であれば、 $F - E$ の効果が得られたことになる。ここで、最終事業費 F のための地質調査を含む設計費用 D_a と、想定事業費 E のケースでの追加設計費用 D_e を比較すると、 $D_e > D_a$ とすると考える。もしより多くの地質調査量を含めることができれば、最終事業費が削減できた可能性を示している。

(4) ケース4: $I < F$ で $F < E$

最終事業費が想定事業費を下回った場合である (図 6-1d)。 $I < F < E$ となる。当初事業費を上回ったものの予見できなかった地質リスクが適切に回避された場合と考えられる。これはCタイプの例と考えられる。この場合、地質リスクマネジメントで $E - F$ の効果が得られたことになる。

以上のような地質状況の変化とその対応がどのように事業費用へ影響するかを分析することにより、4区分のケースを示したが、それらと、事例区分のA、B、Cタイプを比較することにより、事例区分の意味が明確になったと考える。

文献

全国地質調査業協会連合会 (2003) 事例に学ぶ地質調査. 全国地質調査業協会連合会, pp. 114.

Roberds, B. (2005) Proposed case study format. Preliminary Draft, TC32 Case Study Data Base Proposal, <http://www.engmath.dal.ca/t32/casehists.html>, pp. 4.