

地質リスク・エンジニア(GRE) 養成講座

講義2 地質事象の把握における 不確実性と地質リスクの類型化

地質リスク学会
特定非営利活動法人地質情報整備活用機構

内容

2.1 はじめに

2.2 地質事象の把握における不確実性と地質リスク

2.2.1 地質事象の把握における不確実性

2.2.2 不確実性とリスクマネジメント

2.2.3 地質に関連するリスクとその特徴

2.3 地質リスク効果の計量化における事例区分と各種費用の概念

2.3.1 地質リスク効果の計量化のための事例区分

2.3.2 地質リスク効果の計量化における各種費用の概念

2.4 地質リスクマネジメント事例研究の成果と意義

講師プロフィール

小笠原 正継(おがさわら まさつぐ)

1952年生まれ。
アデレード大学(オーストラリア)大学院
博士課程修了。Ph.D.
専門:地質学

通商産業省工業技術院地質調査所および
独立行政法人産業技術総合研究所地質
調査総合センターでは鉱物資源関連プロ
ジェクト、国際共同プロジェクトでの研究を
行う。

全国地質調査業協会連合会技術委員会
地質リスクワーキンググループの委員など
歴任。
地質リスク学会副会長(2016年)
技術士(総合技術監理部門、応用理学部
門)、APEC Engineer (Mining)、第1種放射
線取扱主任者などの資格を有する。



2.1 はじめに

- 地質調査においてはボーリングの本数や各種調査の量は有限であり、そのため地質事象の把握における不確実性が存在し、リスクの要因となる。
- 全地連(全国地質調査業協会連合会)地質リスクワーキンググループでは地質リスクを地質に係わる事業リスクと定義し、事業コスト損失そのものと、その**要因の不確実性**を指すとした。
- 自然災害を含めて地質に関連するリスクの特徴を概観し、さらに**地質現象把握における不確実性とそれに起因する地質リスク**について紹介する。

2.2 地質事象の把握における不確実性と地質リスク

2.2.1 地質事象の把握における不確実性

不確実性 (Uncertainty): 不確かさ

- **無秩序性 (Randomness): 分布の規則性の欠如**

地質分布の規則性の欠如を意味する。付加体メランジ中の岩石ブロックの分布などはこの例である。

- **不明瞭性 (Fuzziness): 定義または概念の曖昧さ**

地質の解釈が進めばこの要因に区分される不確実性は削減できると考えられる。すなわち地質の解釈に起因する。

- **不完全性 (Incompleteness): 完全なるデータの欠如**

完全なる地質・地盤データの欠如に由来し、地質リスクの主たる要因となる。

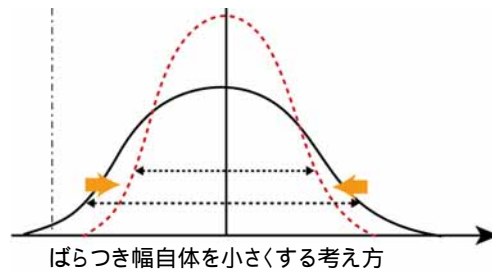
van Staveren (2006)

地質調査と不確実性

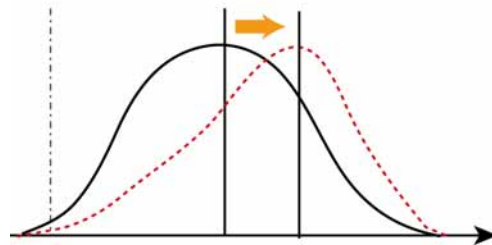
- 地質調査量を増やせば**不完全性**は減少させる事ができるが、完全なる地質・地盤データを得るためには、対象とする地質体をすべて掘り起こさなければならない。例えば、トンネル工事等において掘削された部分の地質は完全なデータが得られる。
- ただしその場合でも、もし岩相区分等に曖昧さがあり、そのために**不明瞭性**が残れば、地質の把握には不確実性が存在する場合が考えられる。

2.2.2 不確実性とリスクマネジメント

不確実性とマネジメント



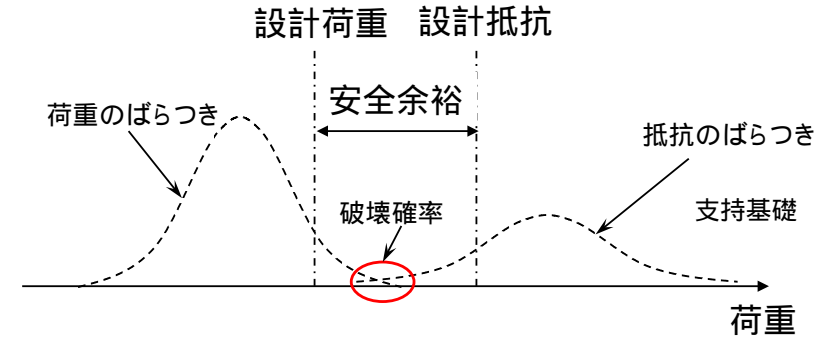
地質調査量を増やし、
不確実性を低くする。
ボーリングの本数を増
加



地質調査結果をもとに、
設計に反映させる。

(野口, 2010)

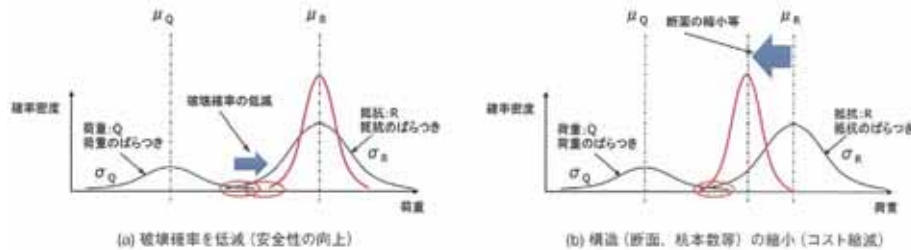
構造物の安全余裕とリスクマネジメント



定量的地質リスクマネジメント

計算により設計される構造物は、一般に荷重と抵抗の関係から所定の**安全余裕**を確保するように、構造物の材料や形状寸法等が決定される。ここで所定の安全余裕とは、例えば図に示すように荷重と抵抗の関係に着目した場合、荷重と抵抗のばらつきから推定される破壊確率が構造物として妥当な範囲となるように、荷重と抵抗の特性値の離隔であるといえる。この際の破壊確率が、これを満足しないことによって生じる事業コストや損失に及ぼす影響を考え合わせ、「どの程度が対象構造物としての妥当な破壊確率なのか」を検討するのが「リスクマネジメント」である。

適切な地質調査により抵抗のばらつき(不確実性)を低減する効果



定量的地質リスク評価

ある特性値のばらつきは、**適正な情報量**があれば特性値が何らかの確率分布モデルに従うと仮定することによって計量化可能である。ばらつきを計量化できれば、**リスクが発現する確率(破壊確率)**を求めることができ、**事業コスト損失は確率的に算定**される。

この場合、既述の事業コスト削減シナリオも想定できる。抵抗や荷重のばらつきを計量化する信頼性設計では、(a)に示すように、**適切な地質調査によって構造物の基礎地盤の抵抗のばらつき(不確実)を小さく**することができれば、荷重条件が同じである限り破壊確率を低減させることができ、安全性は向上する。そして、安全性を同じレベルで許容するならば、(b)**抵抗のばらつきを小さくしつつ平均値を下げる**ことにより、**コストを縮減**することができる。

2.2.3 地質に関連するリスクとその特徴

地質関連リスクの主要区分

- 自然現象に起因するリスク
- 人間活動に起因する地質環境リスク

人間活動に伴い発生したリスクであり、発生場所やその要因に地質体が含まれる。
- 開発事業に伴う地質リスク

国土開発や資源開発に伴う地質リスクの顕在化であり、予見できない (unforeseeable) 好ましくない地質状況の場所に開発が進むことにより、リスクとなる。

地質に関連したリスクの特徴と区分

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
	ラドン	◎								◎
人間活動に起因する地質環境リスク	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
	土壌汚染		◎		○	○			◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎		◎	◎		◎	◎	◎
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	◎

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

発生要因、不確実性の内容、リスクを受ける主体を示し、地質に関連したリスクの特徴をまとめた。

公共工事における地質調査をはじめ、火山噴火災害ハザードマップ、活断層調査、地すべり調査等の業務において、対象とするリスクの特徴の把握が重要。

火山噴火災害リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎

- 火山噴火災害リスクはその**発生時期に不確実性**がある。地質学的手法を用いて、詳細な火山活動の歴史を解明することで、次の噴火の可能性は推定されるが、その発生時期には不確実性がある。
- ただし、マグマが地下浅部に供給されその動きが観察されれば、噴火活動の**発生時期**については予測も可能となる場合がある。
- 火山噴火については**発生の場所**はある程度は特定される。また**噴火の規模と様式**については噴火活動の歴史の分析からある程度の精度で推定される。これらの情報をもとに**ハザードマップ**の作成が可能となる。
- 巨大噴火の場合は地球環境や気候へのリスクが生じる。また火山災害リスクには火山ガスによるリスクも含まれる。

地震・津波災害リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
	ラドン	◎								◎
人間活動に起因する地質環境リスク	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
	土壌汚染		◎		○	○			◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎		◎	◎		◎	◎	◎
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	◎

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- **地震災害リスク**については**発生時期、場所、規模に不確実性**があるが、
- 最近の詳細な研究調査から全国規模での地震動予測の確率論的な取り扱いが可能となってきた。また活断層については活断層活動確率図の作成がある。
- **津波災害リスク**は表2に示した項目上では地震災害リスクと同じ性格をもつが、より詳細に見れば、津波被害リスクの**発生場所**は海岸線からある限定された範囲となり、また被害範囲は地形にも依存する。このことから、津波災害の場合は**ハザードマップ**の作成がなされている。

地すべり災害(斜面災害)リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
人間活動に起因する地質環境リスク	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
	土壌汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎		◎	◎		◎	◎	
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- ・**地すべり(斜面災害)リスク**は台風、集中豪雨、地震や火山噴火を**引き金**として発生する。豪雨による斜面災害の発生時期については降雨量に関連する場合が多いので、災害発生の可能性が高くなる**時期**を把握することは可能と考えられる。したがって、リスクマネジメントとして避難命令等の発令がなされる。ただし、地震や火山噴火を**引き金**とする地すべりは突破的に発生することもある。
- ・また地すべりの発生には、新たな道路の建設や森林の伐採による土壌の保水力の変化なども一要因となり、引き金となる豪雨時に地すべりや斜面災害を発生することもあり、人間活動も要因の一部となり得る。
- ・**発生場所と規模**については、地形と地質状況から推定され、道路沿いや人の生活している範囲を中心に**ハザードマップ**が作成される。**リスクを受ける主体は道路の管理者である国や自治体、対象地域に生活している個人**となる。ここでは洪水リスクについては地質関連リスクには含めないが、地震による地すべりや火山噴火物が河川をせき止めて形成された自然ダムが決壊することによる大規模洪水のリスクは地質に関連したものである。

天然ガス災害リスク、ラドンリスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
人間活動に起因する地質環境リスク	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
	土壌汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎		◎	◎		◎	◎	
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- ・天然ガスが地下から流出し建築物内に滞留すると、ガス爆発や火災が生じる危険がある。また温泉ボーリングの掘削中や温泉とともに流出する天然ガスによるリスクは、地下深部にあるガスを強制的に取り出す点で一部は人間活動に起因する。場所としては天然ガスを胚胎する堆積盆の地域である。**リスクの主体は個人または企業**になる。
- ・日本ではあまり指摘されないが、イギリスやチェコではラドンリスクが挙げられている。ウランを含む鉱物に富んだ花崗岩等の露出地域では、地下からのラドンの放出が大きな健康被害のリスクとなっている。ここで**リスクを受ける主体は個人**である。

人間活動に起因する地質環境リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
人間活動に起因する地質環境リスク	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
	土壌汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎		◎	◎		◎	◎	
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- ・地盤沈下、土壌汚染、地下水汚染はいずれも人間活動に伴い発生したリスクであり、**発生場所**やその要因に地質体が含まれる。ただし、自然由来の重金属による土壌汚染や地下水汚染も考えられる。
- ・地下水汲み上げや、天然ガスの採取による地盤沈下は広域的な社会的影響を及ぼす。そのリスク対策として地下水汲み上げ量の制限、天然ガス採取の制限等のマネジメントがなされる。地下水の流れについてはシミュレーションにより把握することが可能で、不確実性の要因を低くすることができる。
- ・土壌汚染は地下水等への溶出の危険性があるが、比較的汚染源に近い限られた範囲となる。リスクマネジメントとしては汚染土壌の浄化等が行われる。**リスクの主体は汚染の排出側を含めその土地に直接関係した個人や企業**となる。地下水汚染は土壌汚染より広範囲に影響が出る。そのため**リスクの主体は個人を含め広く社会**となる。

開発事業に伴う地質リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
人間活動に起因する地質環境リスク	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
	土壌汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎		◎	◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎		◎	◎		◎	◎	
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- ・**建設工事や資源探査における地質リスクは、国土開発や資源開発に伴う地質リスクの顕在化**であり、**予見できない(unforeseeable)好ましくない地質状況の場所**に開発が進むことによりリスクとなる。開発事業の進行とともにある時期にリスクが顕在化する。ただし、**発生時期の不確実性をリスクの要因**としているわけ**ではない**。基本的には地質状況の把握における不確実性を要因としている。

建設工事における地質リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
	ラドン	◎								◎
	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
人間活動に起因する地質環境リスク	土壌汚染		◎		○	○			◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎			◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- 建設工事における地質リスクは、工事執行上望ましくない地質事象が存在する場所と規模に関する不確実性を要因とする。またリスクの主体は工事の契約内容に依存し、発注者(国または地方自治体および企業)または工事請負者(企業)となる。

資源開発事業に伴う地質リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
自然現象に起因するリスク	火山噴火	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	地震	◎		◎	○	○	◎	◎	◎	◎
	津波	◎		◎(○)	◎(○)	◎	◎	◎	◎	◎
	地すべり	◎	○	○	○	○		◎		◎
	天然ガス ^{*1}	◎			○	○				◎
	ラドン	◎								◎
	地盤沈下		◎		○	○	◎	◎	◎	◎
人間活動に起因する地質環境リスク	土壌汚染		◎		○	○			◎	◎
	地下水汚染		◎		○	○	◎			◎
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- 資源開発には金属鉱物資源、工業原料鉱物資源、石油資源、地熱資源等が含まれる。リスクの主体はいずれも開発企業、金属鉱物資源や石油資源探査分野では、資源探査の経済性評価の点から、地質状況の把握の不確実性に関する取り扱いの議論は多い。
- 金属鉱物資源探査では、地下数百メートルに存在する鉱床の探査が主であり、地質状況の把握の不確実性とそのリスクの程度は石油資源探査とは異なる。金属鉱床の場合、鉱床の単位体積当たりの価値(金属価格)が大きく、その価値に見合っただけの地質調査が可能となる。また金属鉱山における探掘技術の物理的制約と経済性から探掘可能深度が限定され、各種の探査手法により、3次元的な鉱床形態の把握が可能となっている。鉱物資源の場合、鉱床の規模を示す量として重要な情報は埋蔵鉱量である。それは地質学的確実性(certainty)と経済性を指標に定義される。すなわち、金属鉱物資源探査においては鉱量に関する地質リスクが存在する。
- 鉱山開発時にはさらに岩盤工学リスクが存在する。坑内探掘の場合は、土地地質におけるトンネル工事と同様に岩盤工学的な地下地質状況の把握が必要となる。

資源開発事業に伴う地質リスク

		発生要因		不確実性			リスクを受ける主体			
		自然	人間活動	発生時期	場所	規模	社会	国・自治体	企業	個人
開発事業に伴う地質リスク	建設工事 ^{*2}	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎
	資源探査 ^{*3}	◎	○		◎	◎			◎	

◎:該当する項目、○:一部該当する項目、*1:天然ガス爆発リスク、*2:建設工事に伴う地質リスク、*3:資源探査と開発に伴う地質リスク

- 資源開発には金属鉱物資源、工業原料鉱物資源、石油資源、地熱資源などが含まれる。リスクの主体はいずれも開発企業となる。金属鉱物資源や石油資源探査分野では、資源探査の経済性評価の点から地質状況の把握の不確実性に関する取り扱いの議論は多い。
- 金属鉱物資源探査では、地下数百メートルに存在する鉱床の探査が主であり、地質状況の把握の不確実性とそのリスクの程度は石油資源探査とは異なる。金属鉱床の場合、鉱床の単位体積当たりの価値(金属価格)が大きく、その価値に見合っただけの地質調査が可能となる。また金属鉱山における探掘技術の物理的制約と経済性から探掘可能深度が限定され、各種の探査手法により、3次元的な鉱床形態の把握が可能となっている。鉱物資源の場合、鉱床の規模を示す量として重要な情報は埋蔵鉱量である。それは地質学的確実性(certainty)と経済性を指標に定義される。すなわち、金属鉱物資源探査においては鉱量に関する地質リスクが存在する。
- 鉱山開発時にはさらに岩盤工学リスクが存在する。坑内探掘の場合は、土地地質におけるトンネル工事と同様に岩盤工学的な地下地質状況の把握が必要となる。

地質リスク

- 国土開発や資源開発に伴う地質に関連するリスクの顕在化。
- 予見できない(unforeseeable) 好ましくない地質状況の場所に開発が進むことによりリスクとなる。
- 開発事業の進行とともにある時期にリスクが顕在化する。ただし、発生時期の不確実性をリスクの要因としているわけではない。
- 基本的には地質状況の把握における不確実性を要因としている。

地質リスクと類似した用語とその特徴

- 地質リスク (Geologic Risk)
- 地盤リスク (Ground Condition Risk)
- 地盤工学リスク (Geotechnical Risk)

地盤リスクに関しては、その概要を地盤工学会が解説書で記述している。

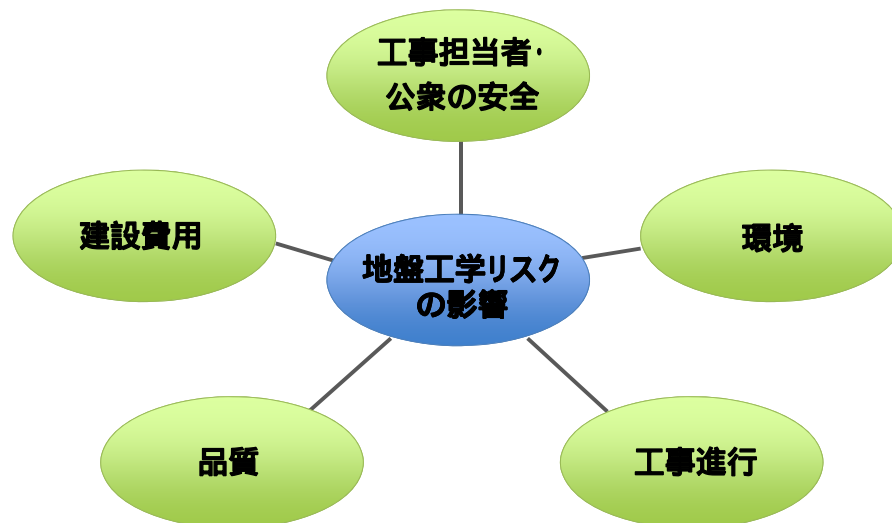
地盤工学リスクはGeotechnical Riskの直訳で、ジオテクニカル・リスクとも記述される。

国外ではGeo Risk との表記も見られ、地質に関連するリスクの包括的な用語として用いられている。

地盤リスクには地下埋設物、埋蔵文化財の存在等も対象となる。

ジオテクニカル(地盤工学)リスクのハザード

- 予見できない地盤工学状況
- 地盤状況が既知でも、その地盤状況の不十分な理解による不適切な設計や工事執行



Clayton (2001)

2.3 地質リスクマネジメント効果の計量化における事例区分と各種費用の概念

2.3.1 地質リスクマネジメント効果の計量化のための事例区分

地質リスク学会の地質リスクマネジメント事例区分

区分	内 容
A型	地質リスクを回避した事例
B型	地質リスクが発現した事例
C型	発現した地質リスクを最小限に回避した事例
D型	A型、B型、C型以外の事例

地質リスクマネジメント事例研究発表会では地質リスクマネジメント効果について、定められた様式で効果の計量化を進めている。計量化にひつようとなる要素の基本概念を次に紹介し、各事例区分毎のと特徴を解説します。

2.3.2 地質リスクマネジメント効果の計量化における各種費用の概念

地質リスクの計量化の課題と目的

•地質リスクの計量化

地質の不確実性の取扱い
地質調査における技術的課題
地質・地盤情報の整備

•地質リスクマネジメント効果の計量化

地質リスクへの対応結果の分析
地質リスクマネジメント事例研究

地質リスクマネジメントの効果計量化における費用項目の定義

- 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: Construction cost)

- | | |
|-------------|-----------|
| • Di: 当初設計費 | Bi: 当初工事費 |
| • Da: 追加設計費 | Ba: 追加工事費 |
| • Df: 最終設計費 | Bf: 最終工事費 |
| • (実績設計費) | (実績工事費) |
| • De: 想定設計費 | Be: 想定工事費 |

各種費用の関係

- 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。

$$I = D_i + B_i$$

- 追加工事があった場合

Da: 追加設計費とBa: 追加工事費が計上される

$$D_f = D_i + D_a$$

$$B_f = B_i + B_a$$

- 最終工事費は

$$F = D_f + B_f$$

想定事業費

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**
- 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。

追加設計費、追加工事費、最終事業費

- 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。

$$A = D_a + B_a$$

- 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。

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

$$F = D_f + B_f$$

事業完了時点での各種費用

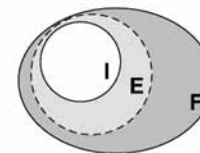
a. ケース 1



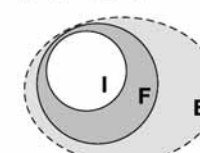
b. ケース 2



c. ケース 3



d. ケース 4



- ケース1:** 最終事業費が当初事業費で計画されたとおりとなった場合

$$I = F$$

- ケース2:** 最終事業費が当初事業費を下回った場合

$$I > F (= B_f + D_i + D_a)$$

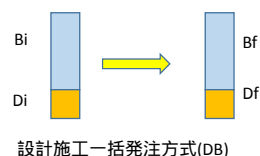
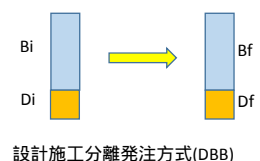
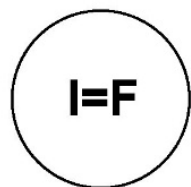
- ケース3:** 最終事業費が想定事業費を上回った場合

$$I < F \text{ で } E < F$$

- ケース4:** 最終事業費が想定事業費を下回った場合

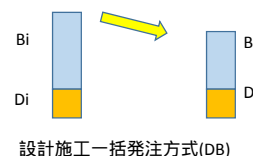
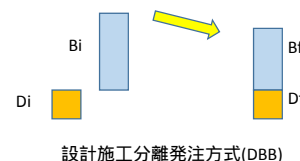
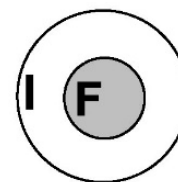
$$I < F \text{ で } F < E$$

(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となったケースで、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となった場合である。
- 例えば、事業対象地域に断層破砕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言うことではなく、**地質リスクが適切に回避された事例**と言える。

(2) ケース2: $I > F (= Bf + Df)$

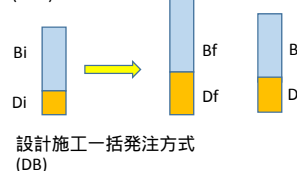
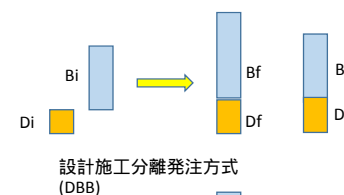
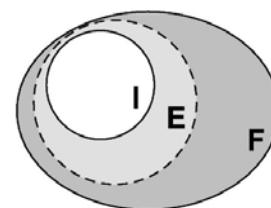


- この場合は**最終事業費**が**当初事業費**を下回った場合で、計算上は事例分析の**Aタイプ**に相当すると考えられる。
- すでに述べたように、**Aタイプ**はリスクを過大評価して望んだと考えられる場合があるが、このケースはそれを示している。この場合、地質状況の不確実性に対して、より**悲観的**な判断を行い、それにもとづき事業費を計上したと考えられる。
- このケースでは**最終事業費**は**当初事業費**を下回ったものの、当初に適切な地質調査・試験を行っていればBiとBfが一致し、またその場合のDiは増加するものの、その増加分はDaより少ない可能性がある。**最終事業費**が**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。

(2) ケース2(その2): $I > F (= Bf + Df)$

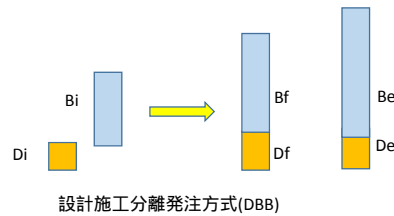
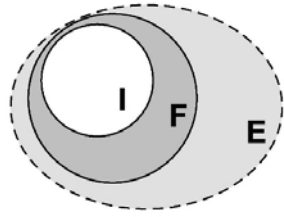
- **Aタイプ**の事例にある海上橋梁下部工工事の事例では、岩盤支持にもとづく**当初事業費**の計算があったものの、詳細な地質調査と試験の結果にもとづく設計に至る中で、実際の工法が決まり、事業費が算出されたと考えられる。
- この場合、詳細な地質調査・試験が**当初設計作業**の一部ではないかとも考えられる。すなわち、詳細設計にもとづく事業費の計上は当初事業費であると考えられる。
- この**当初事業費**に対して、工事完了時点での**最終事業費**が同じであれば、**ケース1**に含まれることになる。この事例は地質調査と各種試験の結果による判断が工事費用削減に大きく貢献したことに間違いはないが、**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。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**Daと、**想定事業費**Eのケースでの**追加設計費用**Deを比較すると、 $De > Da$ 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ていれば、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。 $I < F < E$ 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。

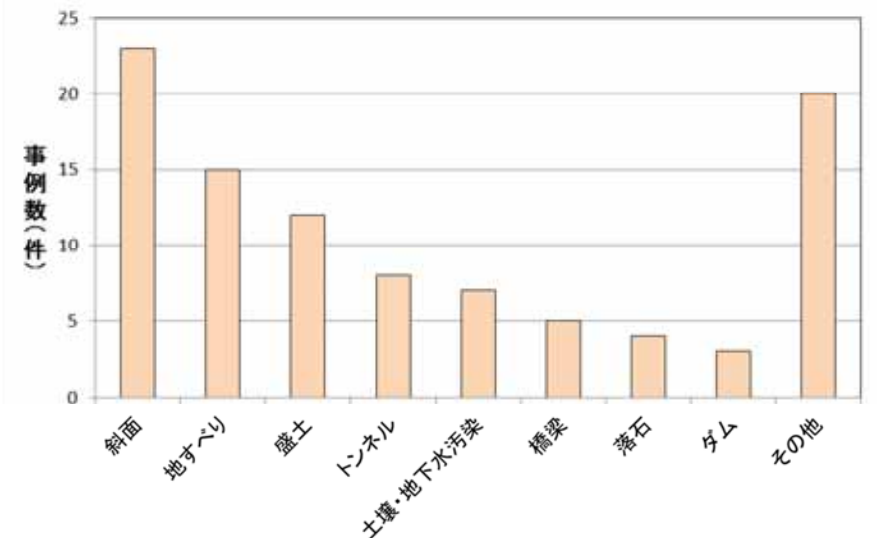
・この場合、地質リスクマネジメントで**E - F**の効果が得られたことになる。

2.4 地質リスクマネジメント事例研究の成果と意義

事例研究の区分ごと発表数

区分	A型	B型	C型	D型	計
2010	9	2	4	2	17
2011	9	1	5	10	25
2012	4	3	5	4	16
2013	5	8	0	3	16
2014	5	4	5	9	23
計	32	18	19	28	97

工種区分による事例数



区分別のリスクマネジメント効果費用一覧表

区分	事例 総数 (件)	計量 事例数 (件)	最小値 (千円)	最大値 (千円)	平均値 (千円)
A型	32	30	3,500	5,473,800	323,085
B型	18	12	3,606	2,500,000	275,699
C型	19	10	1,800	2,173,000	288,555
D型	28	10	1,259	385,000	54,671

妥当な地質調査量：英国の高速道路プロジェクトにおける
現場調査費用/工事契約金額と追加工事費用の関係

