

既往研究

地質リスクマネジメントの3つのタイプに関して、以下の手順でマネジメントの効果を分析するとともに、そのために必要なデータ項目（様式）の検討を行った。

①事例の概要

対象とする工事の概要を説明し、リスク事象を特定する。

②事例分析のシナリオ

リスクの発現あるいは回避に至るプロセス（因果関係）を把握する。この因果関係からリスクの原因、マネジメントの効果などを想定し、分析のシナリオを設定する。

③データ収集分析

想定したシナリオ通りにデータが集まったか、集まったデータで、「地質条件の解明」「トラブルの内容・対応」「技術者の判断」「当初設計の変更」などのプロセスが解明できるか、その結果想定したシナリオは実証できたかなどを整理する。

④マネジメントの効果

マネジメントの有無によるリスク低減効果の考え方を示し計量的に算出する。

⑤データ様式の提案

以上の結果をデータ様式原案に記入し、マネジメント効果を計量するために必要なデータ項目、データ記入上の留意事項、様式統一化への課題などを検討し提案する。

本分析手法の特徴は、地質リスクマネジメントを「公共投資」と考え、投資便益、妥当投資に着目していることである。工事コストの縮減にあたっては地質調査の重要性、特に優秀な技術者による早期段階における判断が有効なことは異論のないところであるが、その効果に見合う報酬の考え方が成立していないことが早期段階での技術者投入がなされ難い原因となっている。このため、先ず効果を

計量化することに着目し、次に妥当投資額の考えを導入して早期段階に予算を投入する妥当性を説明しようとしている。また、技術投入効果の計量指標にリスクを用いたのは、計量化が比較的容易であることと説得性が高いことなどによる。

なお、分析に必要なデータについては、タイプ別にデータ様式原案を準備し、事例研究を通じて必要項目の抽出を行った。

1. 海上橋梁下部工工事(Aタイプ)

(1) 事例の概要

本事例は、図1¹⁾に示す空港人工島の連絡橋を対象に、合理的な設計を行なうために技術委員会(地盤基礎工部会)²⁾が組織され、その中で経験豊富な調査技術者と設計技術者が対等の立場で、地盤の特徴に合った調査・設計方法および地盤のモデル化を考えていったことにより、結果としてN値設計や岩盤への支持に比較して、大幅なコスト縮減を達成した事例である³⁾。

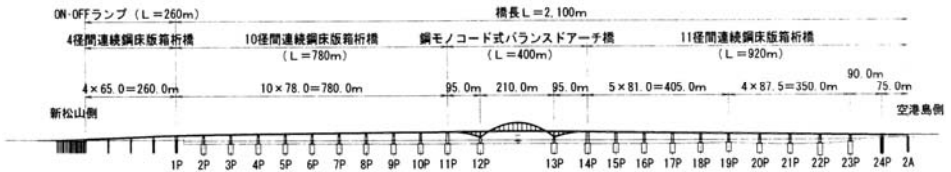


図1 新北九州空港連絡橋の一般図¹⁾

当該地の地盤は図2⁴⁾のように示され、橋梁の基礎(鋼管矢板井筒基礎)の支持層として、基盤岩が深いうえに起伏に富むため、その上部の砂と粘土が互層状を呈する洪積層に支持させることが目標となったが、完全支持杭とみなすことが難しいことから、杭周面の摩擦力をなるべく正確に評価することを求められた。ただし、この互層状を呈する洪積層の特徴として、砂と粘土の水平および鉛直方向への連続性がほとんどない(1m離れると異なってくる)ことがあげられ、N値で周面摩擦力を求めた場合、砂質土と粘性土で5倍の差があるために、土質判別が摩擦力評価に与える誤差が大きいと考えられ、土質判別にあまり左右されない摩

擦力評価方法が求められた。この考え方を反映した方法として、ここでは有効応力に基づく強度定数(c' , ϕ)を基礎としたモデル地盤の作成を選択した。この背景には、実際に行った膨大な室内三軸試験や土質調査の結果を無駄にせず、直接的に活用することが、結果として経済的で合理的な設計につながるという考えがあったようである⁵⁾。

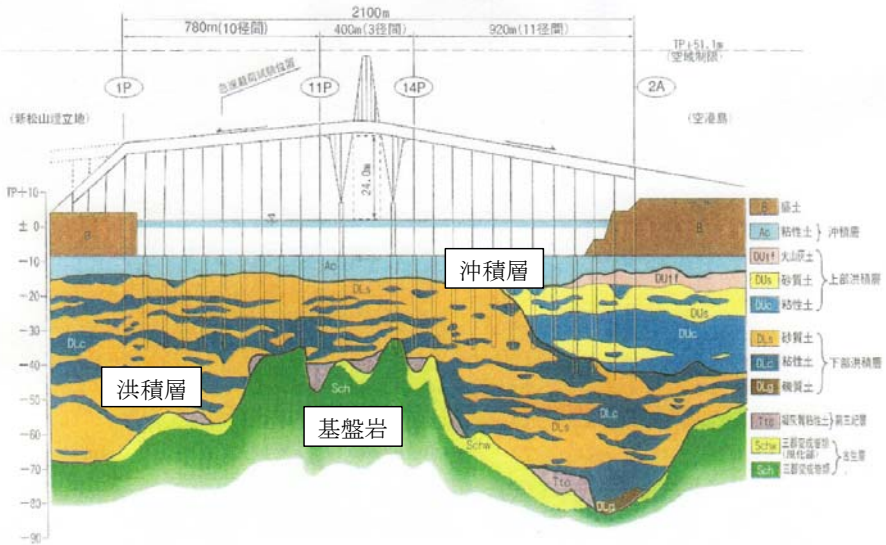


図2 地質縦断面図⁴⁾

(2) 事例分析のシナリオ

本事例における最大の課題は、従来のマニュアルに基づいた設計ではなく、すべての課題に対し地盤を正當に評価し、地盤の特徴に合わせた調査・設計法を考え、合理的な設計を行なう、ということにあった。24基の橋脚の基礎の深さを短くしてコストを縮減したというのも一つの事例である（その他として、橋脚基礎の流動化対策、浚渫粘土で埋め立てられた地盤への合理的な盛土方法、プレロードされた地盤で橋脚基礎を合理的に設計する方法など）⁶⁾。

組織された地盤基礎工部会では、図3⁷⁾に示されるように、経験豊富な調査担当

者と設計担当者が対等の立場で、1) 地盤に適した予測式の検討、2) その予測式に必要な地盤定数を得る方法、3) 設計に必要な地盤のモデル化、などについてまず両者で検討が行われた。そして、得られた調査結果に対してはさらに上記の知見に対して常に土質力学に基づいて吟味を行い、さらには予測結果に対して、原位置における試験（杭の載荷試験や試験盛土）で、必要な性能は満足されているかどうかを確認し、それから地盤定数、予測式、安全率も含めた設計手法を再評価して実施設計に推移していく、という方法が採用された⁷⁾。

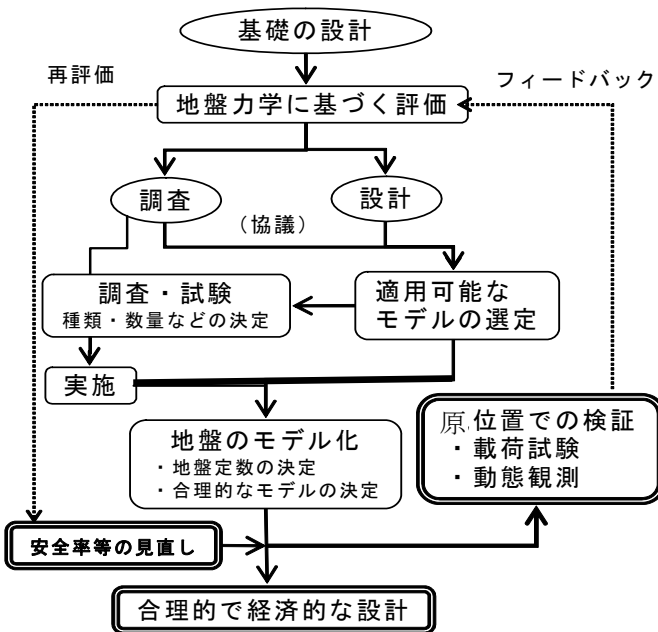


図3 地盤基礎工部会で実施した調査・設計の考え方⁷⁾

(3) データ収集分析

ここで24基の橋脚に限って言えば、「複雑な互層状の洪積層を設計用（摩擦力評価なども含めて）に如何にモデル化するか、などの課題に対して、入念な土質調査が繰り返され、当初比較的単純であった洪積層の状況がかなり詳細に把握さ

れるに至った。この調査には、年代分析試験、連続サンプリング、多くの三軸圧縮試験 (CTU)、などが実施された⁸⁾。

これらの結果に基づき、 c' 、 ϕ' を用いた新たな支持力算定法の検討が実施され⁹⁾、それを検証するために、実杭の鉛直載荷試験が2箇所で行われた¹⁰⁾。ここでは、海上で別にステージを設けて地盤が破壊するまで載荷されている。その結果、 c' 、 ϕ' を用いた新たな支持力算定法による予測値は、2箇所とも実測値をわずかに下回る程度の高い精度(約85%)を示したので、この手法が妥当であると判断された(ちなみに N 値での予測値は65%程度)¹⁰⁾。

本事例においては、発注当時の建設事務所が施工完了後に廃止されたため、バックデータの取り寄せは非常に困難な状況であったが、委員会でもとめた最終報告書¹¹⁾が非常に充実しているため、それだけでかなりの情報を得ることができた。

(4) マネジメントの効果

マネジメントの効果を表現するためにトータルコストを比較したものが表1¹²⁾である。なお、③が実際であるのに対して、①、②はあくまでも試算である。

① 岩盤に支持した場合

② N 値による従来法で支持力を算定し中間支持させた場合

③ c' 、 ϕ' 法で支持力を算定し中間支持させた場合

その結果、地盤調査は、①、②では各橋脚で基盤までボーリングを2本行うこととしているが、③ではボーリングがやや少ない代わりにサンプリング、土質試験および実杭の載荷試験の費用を要し、さらには載荷試験による支持力の算定方法の妥当性確認必要であったので、①、②に比較して、約2倍の調査費となっている。ただし、施工費と調査試験費を合わせたコストは、採用された③が①に比べ37%、②に比べ20%、それぞれコスト削減となっている¹²⁾。

このように結果的にかなりの額のコスト削減となった理由は、単に地盤調査を増やしたことではなく、

(i) 計画段階から地盤調査技術者が参加できたこと。

(ii) 施主および経験豊富な調査技術者と設計技術者が対等の立場で議論できたこと。

(iii) 上記の3者および学識経験者も交えて、地盤の特徴に合った調査・設計方法および地盤のモデル化を考えていったこと。

にあるものと考えられる。

表1 基礎の設計施工に関する各種工費の比較¹²⁾

項目		①岩盤に支持		②N値法（中間層に支持）		③c', ϕ 法（中間層に支持）	
		内訳	費用（千円）	内訳	費用（千円）	内訳	費用（千円）
調査・試験費	ボーリング調査	2,898m (各ピア2本)	188,350	2,898m (各ピア2本)	188,350	2,217m	140,235
	サンプリング		0		0		18,181
	室内土質試験		0		0		50,141
	孔内水平 載荷試験	c', ϕ 法と同等と仮定	11,543	c', ϕ 法と同等と仮定	11,543		11,543
	実杭の載荷試験	必要なし	0	必要なし	0	12P, 22Pの2箇所、破壊まで実施	188,206
	小計		199,893		199,893		408,306
	施工費	材料および施工費	平均深度60m (1~24P)	28,060,800		21,195,000	平均深度30.5m (1~24P)
合計			28,260,693		21,394,893		17,808,306

このような段階（検討ケース）と施工費および調査試験費との関係を示すと図4のようになる。調査試験費が倍増しているものの、それに比べはるかに多額の施工費が削減できるので、トータルコストも減少することになる。

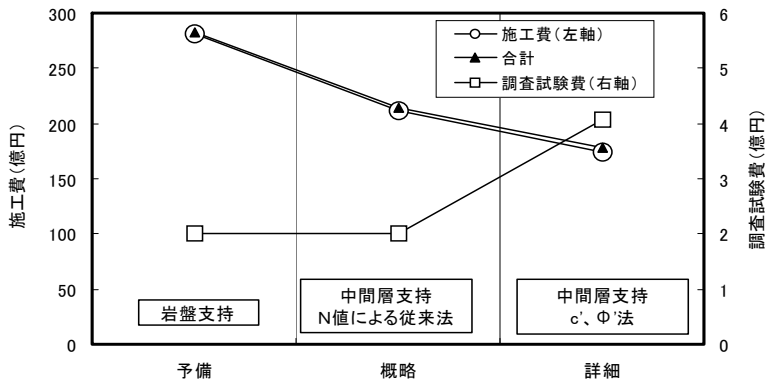


図4 各段階と建設コストの推移

(5) データ様式の提案

以上の検討データを A 表原案に記入し様式の妥当性を検討した。その結果、以下の点（網掛け部分）を修正した様式を表 2 に示す。

A 表原案は、「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分割しているが、本事例では特に分離して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おいてリスク管理が行われると考えられる。しかしながら、将来的なデータ収集を考慮した場合、そのつど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、様式記入の時期は竣工時を想定しておけばよいものと考えられる。

A表を用いることにより、マネジメントの効果を比較表として表現した表 3 に比してリスク対応プロセスがより明確に表現できたといえよう。

引用文献

- 1) 新北九州空港連絡橋設計・施工委員会編：新北九州空港連絡橋委員会報告書，第 1 章，p.5，2005.3.

- 2) 同, 第2章, pp.11—16, 2005.3.
- 3) 同, 第3章, 9, pp.63, 2005.3.
- 4) 同, 第1章, 图8, pp.9, 2005.3.
- 5) 同, 第3章, 3.4.4—4.3, pp.11—16, 2005.3.
- 6) 同, 第3章, 2, pp.21, 2005.3.
- 7) 同, 第3章, 1, 图2, pp.19, 2005.3.
- 8) 同, 第3章, 3.1—3.4, pp.23—33, 2005.3.
- 9) 同, 第3章, 4.2, pp.35—36, 2005.3.
- 10) 同, 第3章, 4.3, pp.36—38, 2005.3.
- 11) 同, 第1章—第9章, pp.1—291, 2005.3.
- 12) 同, 第3章, 9, 表26, pp.63, 2005.3.

表 2 A表修正案への記入

対象工事	発注者	福岡県	
	工事名	新北九州空港連絡橋下部工工事	
	工種	海上連絡橋の下部工	
	工事概要	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	
	①N 値設計などによる仮の工事費	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	平成 8 年～平成 13 年	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	設計のための地質調査がほぼ終了した時期	
	予測されたトラブル		
	回避した事象		
	工事への影響		
	予測されたトラブルおよび回避した事象	道路橋示方書による N 値を用いた杭の周面摩擦力算定方法によると、摩擦力算定精度が十分でないため、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。	
リスク管理の実際	判断した時期	詳細設計が始まろうとしていた時期	
	判断した者	「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	
	判断の内容	鋼管杭の閉塞効果が期待できない支持層であったので、その分摩擦力の高い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' 法を用いて設計する方法を採用した。	
	判断に必要な情報	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'	
リスク対応の実際	内容	追加調査	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	詳細設計で対処
		対策工	なし

	費用	追加調査	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	なし
		対策工	なし
		②合計	208,413 千円
変更工事の内容	工事変更の内容	－	
	③変更後工事費	17,400,000 千円	
	変更工期	－	
	間接的な影響項目	－	
	受益者	福岡県	
リスクマネジメントの効果	費用（①－③－②）	4,003,41 千円（対中間支持）～10,869,213 千円（対岩盤支持）	
	工期	－	
	その他	－	

網掛け：原案（様式）修正箇所

2. 県道トンネル掘削工事(Bタイプ)

(1) 事例の概要

当該トンネルは高知県が緊急地方道路整備事業の中で発注した全長 364m の道路トンネルであり、NATM 工法で施工された。このトンネルでは、調査～設計時点で十分良好な岩盤（地山分類CⅡ）と考えられていた区間において断層に起因して約 60cm の内空変位が生じた。当初想定していなかった変状であったため、工事を約 1 ヶ月中断して変状に対する調査・設計、対策工事を行ったものである。これによって必要となった工事費増額は調査費、工事中断に伴う機械リース費増も含めて約 3,000 万円となった。四万十帯の複雑な地質構造に起因する、岩盤の強度や変形性、不連続面分布などの不確実性を地質リスク事象とする事例で、リスク発現によってトンネル本体工事費が増加した。

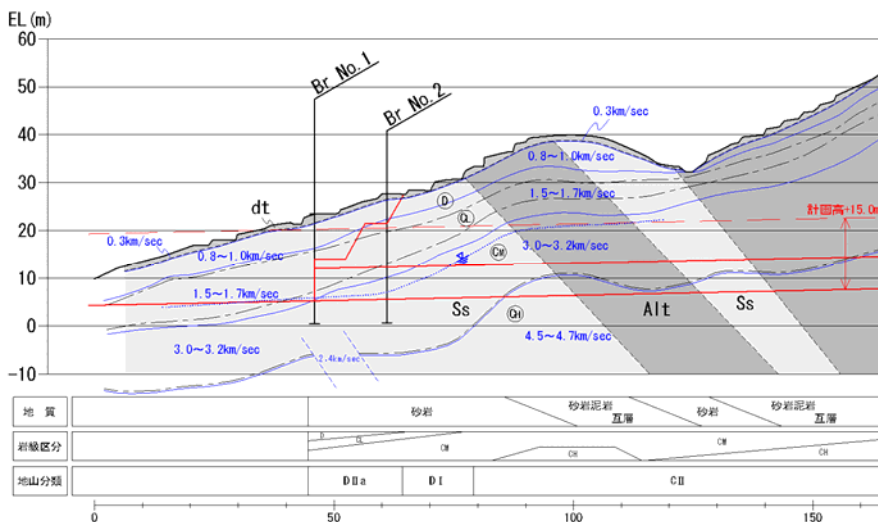
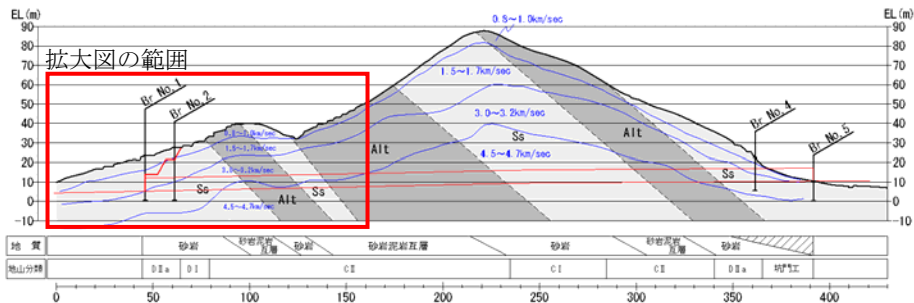


図5 トンネル地質縦断図（高知県実施の地質調査資料をもとに作成）

(2) 事例分析のシナリオ

当該事業における地質調査において、変状箇所付近が集水地形をなすことは認識されていたが断層そのものの発達を認識していたかどうかは不明である。地山は四万十帯の砂泥互層と砂岩に区分されている。当該箇所は互層よりなっており、定性的にはより緩みやすいという認識はあったが、トンネル計画高より15m上位での弾性波速度が3.0~3.2km/secを示していることから地山分類はCIIと評価さ

れた。

豪雨直後、区間長 10～15m 程度の範囲にわたって坑壁が約 60cm 押し出し、上半支保工が変形した。変状発生区間には断層ガウジを伴う破砕帯が発達しており、その上盤側に透水性の高い砂岩が分布していた。豪雨直後に変状が発生したことから、当該箇所付近が集水地形をなしていたこと、断層と高透水砂岩の存在、変形性の高い四万十砂泥互層、などを素因とし、豪雨による水圧上昇を誘因として変状が発生したと考えられる。

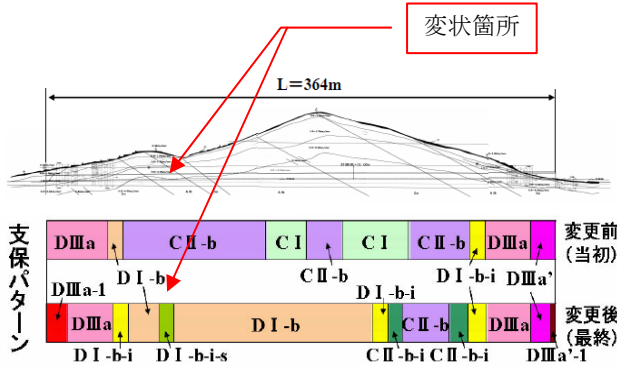


図 6 トンネル支保パターン変更実績¹⁾

対策工として、変状が発生した区間は支保パターンを C パターンから D パターンへ変更し、インバートコンクリートも追加された。この区間以外でも地山の状況に応じてより重い支保パターンに変更することにより、工事は無事完了した(図 6)。

このようなリスク発現を防止するためには、調査段階において、集水地形をなす小土被り部では追加調査ボーリングを実施し、断層の有無、地山の透水性状、地下水位等を把握し、その結果を踏まえて設計技術者にリスク伝達することが考えられる。設計段階においては、重い支保パターンを採用する。あるいは補助工法を採用するなどの対応が、さらに工事段階においては、水抜きボーリングを実施し、水圧をあらかじめ低減しておくなどの対応が考えられる。

マネジメントの効果は、リスク発現を防止するためのマネジメントを行った場合の追加費用（想定）と実際に発生した追加工事費とを比較して試算した。

マネジメント効果＝実追加工事費－（調査費用＋事前対策費）

調査費用＝調査ボーリング費用＋現位置試験費用

事前対策費＝水抜きボーリング費＋支保パターン変更（CⅡ→DⅠ）による工事費増

(3) データ収集分析

事前地質調査の取りまとめ結果とリスク発現後の対応経過記録より、設計段階での地質調査内容、これを用いた地質技術者による当初の判断（地山区分、設計上の留意点など）とトラブルへの対応状況などを知ることが出来る。当初判断では、集水地形をなしていることは認識されており、湧水量が若干多いとの記述があるが、土被りが最小で17mであることから、補助工法は不要としている。

トンネル本体工事においては2箇所に変状が発生したが、内空変位が大きいくところでは上半支保工が約60cm変状し、さらにクラウン中央部にもクラックが発生した。変状発生に対し、発注者からの指示（建設工事請負契約書19条）により追加調査ボーリングおよび孔内水平載荷試験などが行われた。これらの調査費(5,037千円)は全て請負契約の技術管理費の増額として支払われた。増し吹き、増し打ち、インバートの追加、支保パターン変更などを設計変更(25,435千円)で実施した。

地質調査技術者は、集水地形の存在や互層の変形性について着目はしていたが、リスク事象としては認識していなかった。当初調査結果の評価についての疑義は、設計技術者、発注者ともになかったと考えられる。しかし、発注者は地山条件の一般的な不確実性に鑑み、フォアボーリングのための十分な注入材料を計上していた。

(4) マネジメントの効果

「集水地形（沢地形）の発達に注目した調査を行って断層を把握し、事前に坑内から排水ボーリングを実施した」と想定してコスト比較を行った結果を表3に示す。

表3 トンネル変状対策想定コスト比較

費目		費用 (千円)	工期
①追加工事 (実績)	調査ボーリング	5,037	1ヶ月の工事中 断を回復する工 事工程調整
	インパート追加、支保パターン変更	14,809	
	設備リース費増	10626	
②事前対策 (想定)	調査ボーリング 1孔 30m	2,000	水抜きボーリン グ施工中の掘進 中断
	水抜きボーリング 3孔×30m	3,500	
	支保パターン変更 CII→D 30m	10,800	
マネジメント効果 (①-②)			14,172

リスクを予見してあらかじめ対策を講じていた場合を想定し、その対策費と上記実工事費増とのバランスから算定した地質リスクマネジメント効果は調査費の増分を含めると約 1,400 万円となった。なお、トンネル工事全体としては上記変状範囲以外で支保パターン変更による増額もあったが、補助工法として計上していたフォアボーリングの注入材料が不必要となり、結果的な工事費増は約 3,000 万円のみとなった。また付帯工事を平行作業で進めることによって完工遅延には至らなかった。すなわちトンネル掘削工事はリスク発現によりコスト増になったが、発注者によるトンネル工事全体のプロジェクトマネジメントは成功した例と考えられる。

本事例におけるリスク要因のうち、誘因となった水圧の作用については地形条件から定性的に予見可能と考えられる。さらに断層の発達については、四万十帯という地質を考慮すれば発達を予見することは可能であったと考えられる。具体の位置を正確に予見することは困難であろうと考えられるが、解析断面図を参照すると問題の箇所付近で基盤速度層上面がいくぶん低下しているため、地質技術者はこれを基に追加調査を提案するなどの対応が可能であったと考えられる。

すなわち、四万十帯という地質の持つ基本的な不確実性を踏まえ、追加調査を実施した上で最終評価を行うという対応、あるいは微妙な地質条件の箇所については地山分類ランクを1ランク下げるなどの対応も考えられる。

以上をまとめると、本事例においては、主に地質技術者が四万十帯という地質の特性（リスク）を踏まえ、追加調査の提案、地山分類へのリスクの反映、設計

技術者へのリスクコミュニケーション等のマネジメントを行うべきであった可能性がある。

工程は約 75 日遅延したが、付帯工事の工程を含めた全体工程が安全側の想定であったため、完工遅延には至らなかった。トンネル掘削に関する正味の工事費増は約 1400 万円であってそれほど大きな額ではないが、工程に余裕のない場合には相当の影響があったものと考えられる。

本事例では、地質的に課題のある区間の掘削工事中に豪雨が発生した。すなわち、豪雨のタイミングがずれておれば変状は発生しなかった可能性がある。これに対し、既述のマネジメント効果計量化シナリオは事後に想定したものであり、豪雨と掘削工程が一致する確率等については考慮していない。事前にそのような確率的検討を行うための情報を得るための詳細調査費は、本件のトラブルに起因して生じた工事費の増額（14,172 千円）に比べて小さくはないと考えられるが、比較すべきトラブルの規模（対策コスト、工程への影響、危険性の度合など）によっては必要である。これらは地質調査妥当投資額の問題であり、あわせてそのようなコスト変動幅を検討するための半定量的なリスク評価（全事象の予見とリスク要素の変動幅の推定）能力、そしてリスクを削減するために最も効果的な調査内容を提案できる能力を持った地質技術者の存在が重要と考える。

(5) データ様式の提案

本事例では、発現した地質リスクに対して事前に対応する場合のコストを想定することによって地質リスクマネジメントの効果を計量化した。この場合に必要なデータは表 4 に示すものであった。その他、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。

これらを考慮して B 表を修正しデータを記入した結果を表 5 に示す。さらに、主な項目についての記入上の留意点を表 6 に示す

引用文献

- 1) 楠本佳史：トンネル工事における地質リスクマネジメントに関する基礎的考察、高知工科大学大学院修士学位論文、2006.3

表 4 分析に必要なデータ

データ項目	説明
1) 当該工事目的物の仕様	構造物の諸元、当初設計の工法・補助工法の諸元、指定仮設の諸元、工期など
2) 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) 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。
4) リスク要因	トラブルを生じたリスク要因の特性、分布、発達密度など。
5) 追加調査・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。
6) トラブル前後の工事費	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。
7) 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。
8) 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。

表 5 B表修正案への記入

対象工事	発注者	自治体	
	工事名	緊急地方道路整備事業Oトンネル工事	
	工種	NATM トンネル本体工事	
	工事概要	トンネル延長 364m (全体延長 1053m)	
	①当初工事費	10.29 億円 (全体)	
	①当該工事費	38,000 千円(トラブル区間本体工事費、除仮設)	
	当初工期	平成 14 年～平成 19 年 (平成 19 年度末供用開始)	
リスク発現事象	リスク発現時期	工事段階	
	トラブルの内容	内空変位 60cm 及び支保変形	
	トラブルの原因※ 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。	
	トラブル発生の原因となった地質リスクカテゴリー	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達、⑤土壌地下水汚染、⑥地下水影響、⑦その他 (記述)	
	原因となった(楽観的)リスク評価	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※ ²	変位に対する地質調査、対策工として支保パターンを変更してインバートを追加。本体工事は1ヶ月の遅延。事業全体の工期は予定どおり。	
追加工事の内容	追加調査の内容	坑内より調査ボーリング (10m×4 本、20m×1 本、3m×1 本) を実施	
	修正設計内容	設計地質条件	地山分類を1段階下げ
		周辺条件	とくになし
		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付いての照査)
	対策工事	なし	
追加工事	支保パターン変更 (CII-b→DIb-i-s) にインバート追加		

	追加費用	追加調査	5,037 千円
		修正設計	—
		対策工	—
		追加工事	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)
		②合計	30,472 千円
延長工期		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	
間接的な影響項目		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	
間接的な影響額			
負担者		変更工事：発注者、間接的影響：工事業者	
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期		調査段階、設計段階、工事段階
	対応(すべき)者		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
	対応(すべき)内容		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 工事段階：調査を兼ねた水抜きボーリングの提案
	判断に必要な情報		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
	対応費用	調査	約 2,000 千円
		対策工	—
		③合計	2,000 千円
想定工事	工事概要 ^{※3}	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、支保パターンはあらかじめ C II から D I へ変更	
	④工事費	水抜きボーリング 3,500 千円、当初工事費 38,000 千円、支保パターン変更に伴う差額 10,800 千円 合計 52,300 千円	
	工期	数日	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④)) ^{※4}		14,172 千円
	工期		トンネル本体工事約 1 ヶ月短縮
	その他		工程遅延回復に対する工事業者のマネジメント負荷軽減

網掛け：原案（様式）修正箇所

- ※1 : 予期せぬ地質事象の顕在化・地質事象に対する判断ミス・不十分な調査・専門技術者不足など
- ※2 : 工種の追加・工事費増大・工期延長など
- ※3 : 事前対応を行った場合の工事
- ※4 : (当初工事費+追加費用) - (対応費用+想定工事費)

表 6 データ記入上の留意事項

留意事項	説明
1) 当該工事費	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、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) トラブル発生の原因となった地質リスクカテゴリー	複数選択可能。「その他」の場合は簡潔に直接記述する。
3) 原因となった(楽観的)リスク評価	事前対応を想定するためのヒントになるよう、判断材料と判断結果を記述する。
4) 修正設計内容	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。
5) 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。

3. 2. 3 軟弱地盤における道路改良工事(Cタイプ)

(1) 事例の概要

本事例は、空港と高速道路のインターチェンジを結ぶ道路の改良工事において軟弱地盤を要因として発生した地質リスクの事例である。

地質リスクが発生した工事箇所は、計画路線が伊達野川（現在、幅 2.5m の 3 面張りコンクリート農業用水路）の旧河道区間を渡る約 40m のボックスカルバート施工区間である。施工前の土地利用は、水田に利用されていた場所である。

一般に、道路改良工事において、路線区間での局所的な軟弱地盤の出現はしばしば発生するが、今回の事例は、施工者の迅速な現場対応と、発注者と地質調査者の連携により、リスクを最小限に回避できたものである。

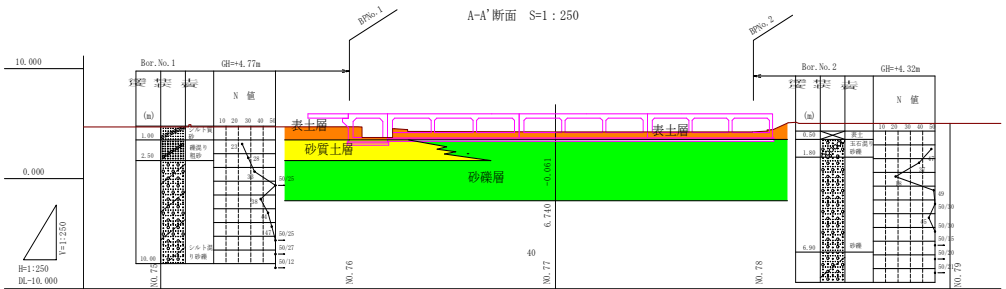


図 7 推定地質断面図（当初調査時）¹⁾

(2) 事例分析のシナリオ

当初調査では、調査時期が水田耕作期と重なったため、調査ボーリングは、旧河道の両岸で 2 箇所実施し、表土層（耕作土）が GL-0.5~1.0m に分布し、その下に、N 値 30 程度の砂質土層～砂礫層が分布すると推定されていた。しかし、施工時、ボックスカルバート基礎部の床掘り工程において、耕作土の剥ぎ取り作業中に、当初、想定されていない粘性土層が確認され、施工者が発注者に協議を行い、当事例が発覚した。

当初計画において、当区間が、伊達野川の旧河道で、現在も伊達野川氾濫時に湛水する湛水地であることは把握できており、このため、湛水時に流出水の流下を妨げないようにボックスカルバート形式の旧河道を渡る構造が計画されていた。

構造物の設計においては、基礎地盤調査として、地質層序、土質特性、地耐力等の把握が必要である。当初調査においては、旧河道を挟む形で、構造物起点と終点側の 2 箇所調査ボーリングを実施しており、終点側のボーリング地点では、旧河道の土手の河川側の低地で実施していた。ただし、調査時期が、水田耕作期

と重ったため、ボーリング地点においては、調査箇所の制約を受けた条件での評価となっている。

また、調査結果の評価について、①ボーリング区間が40m程度と、他の区間の100～200mに1本と比べ相対的に近い距離での評価であったこと、②当調査地は、所々後背湿地の存在も知られているが、近隣の一級河川の旧氾濫原で砂礫が全体的に分布していることでも知られていたこと、③地元の土木委員からのヒヤリング時に情報が得れなかったこと等が、慎重なリスク管理の評価ノイズとして入った可能性もあると考える。

当事例においては、施工管理者が地元業者であるため、類似の土質の特徴を知っており、調査結果（地層・土質）との違いについて楽観的な対応をせず、発注者と迅速な協議を行い、追加の地質調査の必要性を提案し、結果、工事区間の表土を剥ぎ取り、粘性土の分布を確認したところ、工事区間のほとんどに軟弱地盤が分布していることが確認された。

追加の地質調査は、軟弱地盤層の分布と層厚および、地耐力の把握のため、スウェーデン式サウンディング試験と簡易動的コーン貫入試験、平板載荷試験および、現地の作業重機を使用しての試掘を実施した。

調査の結果、軟弱層は、表土層（耕作土）GL-0.5m以深で旧河道の北端部（右岸側）を除く、ほぼ全域に分布し、左岸側に灰褐色～青灰色の砂質シルトがGL-2m程度まで、中央から右岸側かけて黒色～暗褐色の有機質土がGL-1.5m程度まで分布し、その下位に礫混じり砂層、砂礫層が続くと推定される。（図8参照）

当初調査での調査ボーリングで、旧河道内の終点側の低地部で実施しているにも関わらず、軟弱地盤が把握できなかった原因として、ボーリング地点の約4m南側で軟弱層と砂礫層との境界面が約60°の急勾配で変化しており、このわずかな調査位置のずれで、軟弱層を確認できなかったといえる。

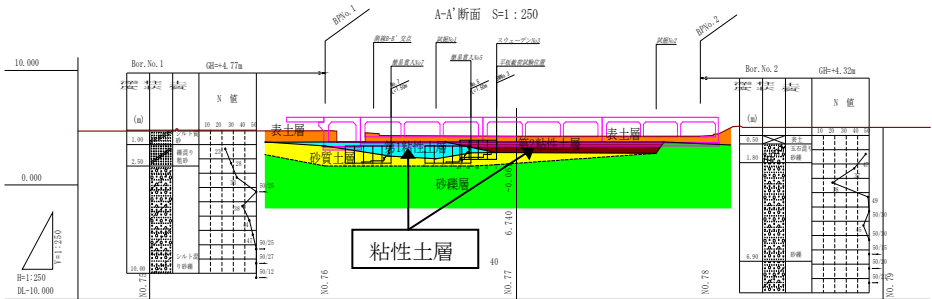


図8 推定地質断面図（追加調査時）²⁾

(3) データ収集分析

リスク発生の原因について、特に既存資料、調査時の経緯について、発注者から情報収集を行った。既存資料については、調査、設計報告書¹⁾を借用することができ、リスク発生時以降の工期・工費についても発注者より資料提供²⁾を頂いた。追加調査については実績値を計上した。

マネジメントを実施しなかった場合の工事費は、詳細な土質特性把握のための試験、解析等の資料がないため、被災時の対策費等は算定困難であり、経験的な見地から発生しうる事象の推定とした。

(4) マネジメントの効果

リスクの計量化は、様式原案に従い、リスク回避時の実際と、リスク発生想定時の工期・工費の比較によって行ったが、リスク発生時の追加工事費については、不確定要素を含むため、あくまで目安として評価した。

施工管理者が、楽観的な対応によって、簡易な現場対応や全く対応しなかった場合、工事中、地耐力不足により重機の施工が不能となったり、作業中の重機の転倒等の事故の発生、また、施工時の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等が、リスクとして考えらる。このリスクの発現により、供用時期の遅れ、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）まで及ぶ可能性があった。

マネジメントの結果について、推定となるが、表7に示すように2,820千円（工

期 90日) のリスクを回避できた。

当事例において、スウェーデン式サウンディング試験等によって、軟弱地盤の分布範囲、層厚、硬さを確認した結果、分布深度が 1.5m～2m程度と比較的浅く、全層について地盤改良で対応できた。このため、圧密沈下等の心配もなく、簡易なサウンディング試験と室内土質試験によって、約 2 週間の短期間で対策工の提案まででき、費用対効果においても妥当な投資額で実施できたと考える。

当事例においては、比較的リスク規模が小さく、簡易に一般的な技術で対応できた。ただし、軟弱地盤の規模が大きかった場合、地質技術者（技術顧問）の能力として、発現したリスクを最小限に回避するための地質調査・解析、対策工法の知識はもちろんのこと、対策工費算出に関する条件（施工管理・工程管理に関する知識）や、周辺環境への安全性の配慮を含めた条件設定での、客観的なデータに基づくリスクの計量化および地質調査妥当投資額の評価能力が求められる。また、発注者、施工業者、地質技術者、場合によっては地元住民への説明・コーディネート力も求められる。

表 7 マネジメント効果について

ケース	追加工事費（千円）		工期
①リスクを回避しなかった場合（想定）	施工後の地盤改良工法	5,000	90日以上 の遅延
	舗装のオーバーレイ等補修費他		
②リスクを回避した場合（実績）	追加調査費 280	2,180	
	対策工 1,900		
リスクマネジメントの効果（①ー②）		2,820	遅延回避

(5) データ様式の提案

リスクを回避しなかった場合の（想定）の工事費・工期は、経験や積算資料に基づいて行ったが、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、簡易に客観的な評価が出来る。

本事例はC表原案に記入し修正は加えなかったが、様式の統一化に当たっては以下のような課題が残った。

- リスクの計量化において、予測されるトラブルの範囲をどこまで（時系列・関与の範囲）とるか、また、推定の方法についての根拠付けをどうするかなど、いかに客観的なリスクの計量化ができるかがテーマとなる。
- 地質リスクの発現は、結果として施工時に集約されるが、計画時、調査時、維持管理時においても発生し、「プロジェクトの各段階の後段へのリスクの引渡し」によって、予算・工程の変更は起きている。このため、今後、様式の整備にあたっては、計画・調査・設計・施工・維持管理の各段階について作成することも必要と考える。
- 工事費の表記方法について、例えば、当初工事費については諸経費込みの落札額で、対策費は直接工事費での比較など、表記方法が統一できれば分かりやすい。

引用文献

- 1) 高知県 県道高知東インター線道路改築道路詳細修正設計委託業務報告書 2006
- 2) 高知県 県道高知東インター線道路改築工事報告書 2007

表8 C表原案（修正なし）への記入

対象工事		発注者	県土木事務所		
		工事名	〇〇インター線道路改良工事		
		工種	函渠工		
		工事概要	ボックスカルバート工（施工延長 L=約 40m、幅 B=約 24m）		
		①当初工事費	89,500 千円		
		当初工期	200 日		
発現したリスク	リスク発現事象	リスク発現時期	工事中		
		トラブルの内容	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	調査不足		
		工事への影響	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。）		
	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	予測されたリスク発現時期	工事中および、工事完了後の供用中		
		予測されたトラブル	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	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		

		工事への影響	工事の中断、対策工の検討・施工	
	リスク管理の実際	判断した時期	工事中（基礎部掘削時）	
		判断した者	施工者・地質調査業者	
		判断の内容	地盤改良の提案	
		判断に必要な情報	地質情報（地質層序、土質特性、地耐力）	
	リスク対応の実際	内容	追加調査	・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	なし
			対策工	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	280千円
			修正設計	なし
			対策工	1,900千円
			③合計	2,180千円
	回避しなかった場合	工事変更の内容	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	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	90日～（推定）	
間接的な影響項目		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		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)	2,820千円（推定）		
	工期	90日以上		
	その他	-		