

淀川左岸線延伸部事業における地質リスク低減 に向けた取り組みについて

大京 真也¹・中村 佳正²

¹近畿地方整備局 河川部 河川計画課 (〒540-8586大阪府大阪市中心区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 計画課 (〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16番)

国道1号淀川左岸線延伸部は都市部かつ大部分が地下構造の計画であり、ほかにあまり事例が見られない大規模事業である。調査・設計を進めるうちに、地質固有課題を抱えながら近接する多くの重要構造物との影響について慎重に設計を進めていくことへの重要性を強く意識した。そのため、地質を起因とするリスクについて検討を行うこととしたが、都市部で実施された事例はこれまでなかった。本論文では、既存の地質リスク検討例を参考とし、都市部における手法を検討したため、事例的に紹介する。

キーワード 地質リスク、大規模事業、都市部、トンネル

1. はじめに

日本の国土は、その7割が急峻な山岳地と丘陵地で占められ、狭い平野には軟弱層が広く厚く堆積する特徴がある。また、多くの断層が分布しており、きわめて複雑で軟弱層を含んだ地質構造となっている。このような国土における建設工事では、地質情報の適切な把握と地質リスクの分析が不十分であったことによる施工の手戻りが発生し、構造物の設計変更、現場・公衆災害など事業コストや工期が大幅に増大した事例も少なくない。

本論文では、都市部における設計段階、施工段階の地質リスクに関する分析評価を行い、今後の設計・施工の効率化と安全性の確保に向けた取り組みについて紹介する。

2. 地質リスクとは

まず、地質リスクについて紹介する。2016年11月の福岡市の地下鉄延伸工事における道路陥没事故をふまえ、社会資本整備審議会・交通政策審議会により『地下空間の利活用に関する安全技術の確立について』の答申¹⁾がとりまとめられており、「工事着手前にすべての地質情報を明らかにできないことから、安全性や効率性に対するリスクが常につきまとっている。」とされている。この答申を受け、国土交通省および国立研究開発法人土木

研究所では、土木工事における地質・地盤リスクを適切に評価し対応するための『土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン』²⁾をとりまとめている。国土交通省近畿地方整備局では、山岳道路事業を想定したものであるが、『地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)』³⁾をとりまとめ、地質リスクの定義を以下のように提示している。

【地質リスクの定義】

「事業のコスト増大や工期の延長等に結びつく地質や地下水に起因するリスク」を「地質リスク」と定義する。また、広義では「地質リスクの存在を認識していないこと」もリスクの一部であると考えられている。

また、地質リスクの低減の考え方・方法については、「計画、調査、設計各段階で地質調査成果(地質リスクの検討内容等)が効果的に活かされること、事業管理者、地質技術者、設計技術者が地質リスクの情報を共有し、適切な対応策を検討すること、各段階における地質リスク検討結果を、施工・維持管理段階に有効活用できるよう引き継ぐこと。」と示されている。

3. 淀川左岸線延伸部の概要

国道1号淀川左岸線延伸部(以下淀川左岸線延伸部)は、都市部かつ大半が地下構造の計画である延長8.7kmの自動車専用道路であり、一部は地上より約70m以深の大深度地下利用が計画されている。(図-1)

事業化に先立ち、淀川左岸線延伸部有識者委員会によるPI提言もいただき、2016年に大阪府、大阪市により都市計画決定され、2017年に国土交通省、西日本高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社により事業化している。

現在は、地質調査、測量などの事前調査について概ね終了し、予備設計を進めている段階にある。



図-1 淀川左岸線延伸部位置図

4. 淀川左岸線延伸部をとりまく状況

淀川左岸線延伸部は大阪平野北東部に広がる沖積平野に位置しており、浅層部では軟弱地盤や浅層地下水、深層部では高い被圧地下水を有する砂・粘土層の互層とな

る、大阪平野を構成する南北走向の地質構造と直交するなど、大きなリスクとなり得るさまざまな地質的課題がある。(図-2)

また、都市部であり既に相当の開発が進んでいることや、重要構造物が埋設されていること、計画中の重要構造物など回避すべき構造物などを考慮したうえで、目的を達する接続位置を考慮すると、ルートや構造の変更余地が少ない。

さらに、大規模プロジェクトであることから、社会的・経済的、専門技術の多様性なども考慮した上での計画、地質調査、設計、施工などが必要な状況である。

このように淀川左岸線延伸部ではさまざまな課題を抱えており、一度施工のトラブルが発生した場合、構造物の設計変更、現場・公衆災害等によって事業コストや工期の遅延など、直接的な施工の手戻りとなるなどの影響が想定される。そのような背景のなかで、慎重に設計を進め、施工の安全性向上、周辺影響の回避・低減やコスト縮減を図るため、地質リスクの検討が重要となると考えた。

5. 淀川左岸線延伸部におけるこれまでの取組

事業化後、まずは基礎調査として以下の測量及び地質調査を行った。(1)、(2)の実施にあたっては、淀川左岸線延伸部技術検討委員会(国土交通省近畿地方整備局、西日本高速道路株式会社関西支社新名神大阪事務所、阪神高速道路株式会社建設事業本部大阪建設部)を設置し、委員会でご意見を伺っている。

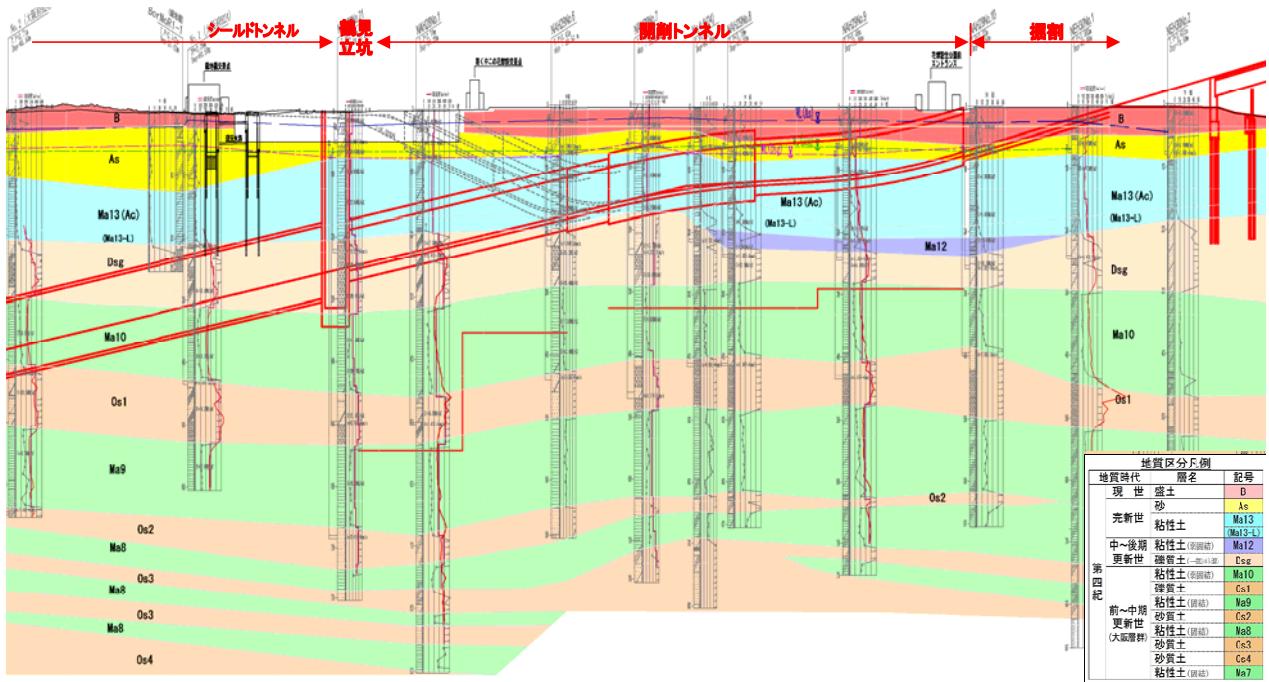


図-2 淀川左岸線延伸部における複雑な地質構造 (抜粋)

事業者として、各技術指針等^{6)~9)}の趣旨を踏まえ、さらに有識者等の意見も頂きながら、丁寧に調査、設計を進めている。

(1)地質調査

開削トンネル部は100mピッチ程度、シールドトンネル部は200mピッチ程度を目安に地質調査を行った。

(2)地下水位観測

トンネル深さ付近（深層）の地下水位とトンネルに最大水圧が作用するとされる地表面の地下水位を通年観測行うこととした。

(3)地下埋設物調査

道路管理者や地下埋設物管理者に資料要求を行うとともに、設計上重視する必要がある水路（大阪第三水路、西三荘水路等）、道路構造物（緑地橋、緑地新橋）、地下鉄、上水道（幹線）、地下河川構造物（古川調節池）など重要構造物について、資料調査と可能な限り現地測量を行い、埋設位置の正確な把握に努めた。

(4)新規計画の情報収集

(3)以外にも新規に計画されている構造物があるか関係部署にヒアリングを行い、ある場合はその最新設計を入手した。

(5)三次元化測量

デジタル撮影を行い、地図情報レベル500の三次元化地形モデルデータを作成した。

6. 地質リスク検討の先例

国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所は、先に供用した紀勢線で道路施工中に調査設計時に想定していない法面崩壊等が発生した。この経験を踏まえ、一般国道42号すさみ串本道路では、これらの地形や地質等を素因として生じるものを「地質リスク」と捉まえ、各種基準類、既往の文献調査に加えて、紀勢線での事例を分析・抽出し、対策を行うことを目的として地質リスク検討業務を試行的に導入⁹⁾したとされている。その中では、「近接道路の地質リスク発現事例の解析」したうえで、「事業計画箇所の地質リスク要因の抽出」、地質リスクのランク付けおよび評価を行っている。さらには、後続調査計画の立案も行っている。結果的に該当箇所はなかったと結論づけてあるが、影響度が特に大きいと評価された箇所は、計画ルート回避も選択肢の一つとしていたというのが特徴的ともいえる。しかし、この例はあくまで地方部の山岳道路における検討である。

そもそも地質リスクの概念はまだ若く、特に、市街化の進んだ都市部の地下開発で検討した事例はリスク学会を含めて見当たらず、手順書のようなマニュアルはない状況にある。

7. 地質リスクの要因の抽出・分析

我々は今回次の手順で、「事業のコスト増大や工期の延長等に結びつく地質や地下水に起因するリスク」を「地質リスク」として精査・評価し、予備設計段階、詳細設計段階、施工段階に考慮すべき事項を整理することとした。（図-3）

(1)着眼点の抽出

実施済の基礎調査結果を整理・統合し、計画路線沿いの地質層序、地質構造、地下水状況および土質工学的特性を統合的に分析・評価した。また、表層付近の軟弱層、盛土・埋土や地下水状況を反映すると考えられる旧河道、湿地、自然堤防等の分布を文献地形分類図から把握した。これら地形・地質条件と計画構造物の種別・深度をふまえ、技術基準書等により指摘されている要留意地形・地質要素と想定されるトラブル事象を抽出し、地形・地質解析の着眼点を整理した。

(2)資料収集（文献調査）

(1)で抽出した着眼点について精査を行うため、以下資料を収集・分析した。

- a) 地形、土地利用
地形図、空中写真、地形分類図、土地利用図
- b) 地質・地盤・地下水
表層地層図、地域地盤図・同解説
- c) 災害・防災
地盤災害履歴、浸水履歴、災害想定
- d) 近接・干渉構造物
水路（大阪第三水路、西三荘水路等）、道路構造物（緑地橋、緑地新橋）、地下鉄、上水道（幹線）、地下河川構造物（古川調節池）
- e) 周辺の存置物件
撤去不能管や工事用仮設物などやむを得ず道路内に存置されたものについて、道路管理者や地下埋設物管理者、地下鉄（大阪メトロ（大阪市高速電気軌道株式会社））などの資料調査を行った。

(3) 地形地質解析

上記(1)で抽出した要留意地形・地質要素に対し、(2)、空中写真判読の情報を加えた地形・地質解析を行い、後述する地質リスクの発現事例や予防保全事例との比較・検討に必要な精度を確保した。

(4) 地質リスク事例の収集・整理

本業務における“地質リスク事例”の収集対象は、全国の技術論文・技術委員会等の公表資料によるリスク発現事例を基本とし、特に大阪平野域では工事誌等を加えた掘り下げを行った。

事例収集では、開削トンネル、シールドトンネルに関するリスク発現事例および予防保全事例を幅広く収集し、地質の地域性を考慮し区分した。

近年では、技術論文、工事誌等の施工記録などの刊行物や、事業の積極的な情報公開により、公表される情報は増加しており、工事場所、工法、地質・地下水条件など、地質リスクの具体的な分析・評価に必要な情報が記載されているものが多く、工法の類似性も高かった。

こうして収集した開削トンネル/シールドトンネルによる地質リスク発現事例は、大阪平野で54/39件、近畿地方および全国で27/71件あり、発生事象の種別傾向も概ね一致する結果が得られた。

一方で、事例収集を行うなかで、聞いたことのある事案が必ずしも文献等で具体的に公開されていないこともある。これは、工事に伴う事故やトラブルに関する技術的な情報が、それ自体に技術的な価値があることから企業等の秘匿情報となり得るためと推測している。

(5) 地質リスク分析・評価

(1)~(4)の情報をもとに、地質リスク事象、リスク発現事例、素因・誘因、要留意地形・地質を分類し、それぞれの発生確率、影響度の予測を行うため、地質リスクランクの評価指標を作成した。(表-1)そして、各構造

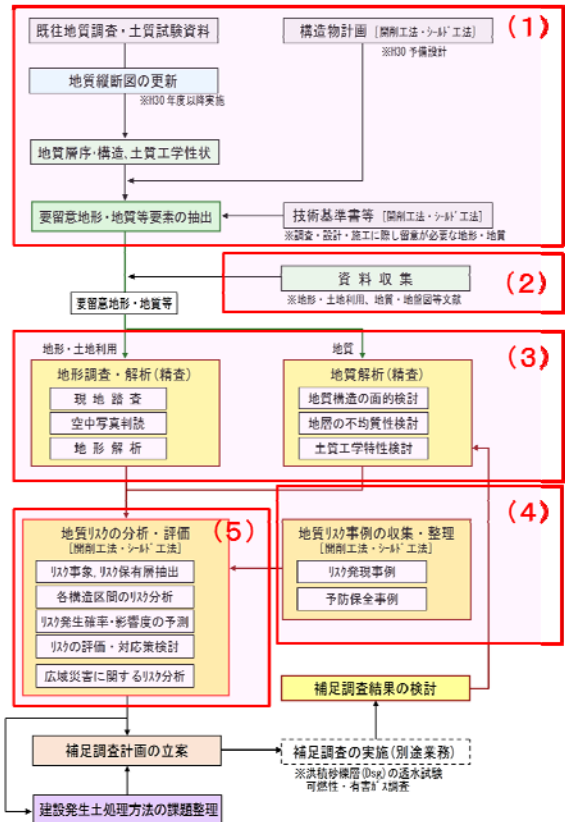


図-3 本検討における地質リスクの要因の抽出・分析の手順

表-1 発生確率と影響度から作成した地質リスクのランク評価指標

			発生確率		
			低い	中程度	高い
		○類似条件の先行工事での発現事例または近傍の先行工事(論文・工事記録)における予防保全事例がある ○技術基準書等で指摘されている要留意地形・地質と類似する条件がある	○類似条件の先行工事での発現事例または近傍の先行工事(論文・工事記録)における予防保全事例が複数ある ○技術基準書等で指摘されている要留意地形地質と一致する条件が複数ある ○土壌・ガス等法令基準の超過が一部地点で確認されている	○類似条件の先行工事での発現事例または近傍の先行工事(論文・工事記録)における予防保全事例が相当数ある ○技術基準書等で指摘されている要留意地形地質と一致する条件が相当数ある ○土壌・ガス等法令基準の超過が複数地点で確認されている	
影響度	大きい	○事業が中断または大幅な遅延となる (第三者の生命及び財産の被害が甚大、建設作業員の死亡災害)	II	II	I
	大きい ~ 中程度	○工事の一部中断・遅延に対応できるが、事象が拡大し事業の中断または大幅な延長に発展する懸念がある (沿道通行等への重大な影響がある)	III	III	II
	中程度	○工事の一部中断・遅延が生じるが、事業は継続可能 (沿道通行等への軽微な影響がある)	IV	III	III
	小さい	○工事を継続しながら対応可能である (軽微・短期の修復で事業継続が可能)	IV	IV	III

■ リスクランクに応じた対応

- I：リスク回避することが望ましい事象（回避のための詳細な検討及び補足調査を実施する）
- II：リスク移転を講じるべき事象（移転のための検討及び必要に応じて補足調査を実施する）
- III：リスク低減を講じるべき事象（低減のための検討及び必要に応じて補足調査を実施する）
- IV：リスク回避や低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを留保することが可能な事象

表-2 地質リスク事象とそのランク及び対応方針（抜粋）

指摘されるリスク事象	リスク分析		リスク評価・対応方針（着眼点）					
	素因(ハザード)	誘因(メカニズム)	発生確率	影響度	補足調査・検討	予備・詳細設計	施工段階	
ii-4 地下水低下工法併用時の地下水・地盤障害 ※DN:デンプナル RW:リフアラ	○高い被圧水位(Dsg, Os1) ○厚い鋭敏粘土(Ma13) ○ON値10以下を含む弱固結粘土(Ma12, Ma10)	○DN:周辺地下水低下・粘土層の沈下 ○RW:土留遮水不良による周辺地下水低下・粘土層の沈下 ○被圧構造による広い影響範囲	高	大	I	基本土質調査済 基本地下水観測 併	-	【RW併用】 特にDsgの揚水は広域の地下水・地盤障害が大きい
ii-b-2 盤ぶくれ、底盤出水 推進精度低下	○底盤付近に砂混り粘土(Ma3-I) ○底盤に高被圧帯水層(Dsg) ○細粒分を含む不均質な砂礫(Dsg)	○Ma13-I:砂混り部のみみち形成 ○Dsgの細粒分による改良不均質 ○Dsgの不均質による推進精度低下	中	大	II	基本土質調査済 基本地下水観測 併 複井揚水試験 影響予測解析	設計水位の精査 土留の止水性確保 地下水低下量の 最小化・併検討	【RW併用】 土留壁の止水性確保の提案要請 周辺建物調査・地盤・地下水の詳細 監視・坑内側地盤の沈下管理
ii-b-4 可燃性ガス・有害ガスの 発生～濃集	○高透水、高間隙の砂礫(Dsg) ○還元状態の土層・地下水(Ma13以深) ○Dsg層分析値(NH:29N67) 溶存鉄:14.0 (vol%) 溶存酸素:6.8 (vol%)	○土中の遊離ガスの漏出 ○包蔵地下水の大気圧解放 ○還元状態にある地盤の解放に伴う急速な酸素消費 ○掘削形状や換気停止による滞留・濃集	中	大	II	補足調査済 面的な濃度調査	土留穴掘削止水 底盤直下Dsgの止水・盤ぶくれ対策	調査・設計条件の明示 予防保全向上・広域災害時の電源喪失対策の提案要請 安衛法・安衛規則の遵守明記
ii-c-1 可燃性ガス・有害ガスの 発生～濃集	○高透水、高間隙の砂礫(Dsg) ○Dsg層分析値(NH:29N21) 溶存鉄:3.6 (vol%) 溶存酸素:6.2 (vol%)	○II-1dと同様	中	大	II	補足調査済	換気等ガス対策の 事例調査・検討	同上

表-3 地質リスク管理台帳の一例（抜粋）

地質リスク管理台帳

区間における、地質リスク事象をランク評価し、その結果を踏まえ、今後の補足調査、設計段階、施工段階等に応じた対応方針を作成した。（表-2）

今回は、予備設計実施中であつたことから、対応方針については、淀川左岸線延伸部の構造や工法特性を理解している設計エンジニアと意見交換を行い、実施中の設計内容に反映するとともに、今後の詳細設計段階及び施工段階で検討するべき事項について仕分けを行った。

また、リスクランクが高いものについては地質リスク管理台帳としてとりまとめを行った。（表-3）

8.終わりに

本検討を行うにあたり行政内部、設計エンジニアなど様々な立場の方から、「そもそも地質リスク検討が必要なのか？」という問いを受けた。

たしかに調査も解析も設計もしない業務であり、設計エンジニアも技術に自信があるが故の発言とも言える。

しかし、現実的には、工期が大幅に増大するなどのリスク発現事例は少なくなく、設計段階においては、①計画、（地質）調査、設計、施工など段階的に進めるなかで空白化しやすい、②求められる多様な専門性領域のなかで空白化しやすい、③コストや工期について、正常性バイアスがかかりやすい、④そもそも設計エンジニアに俯瞰的地質リスクを考慮する指示、費用、時間を与えて

リスク事象	ii-b-4, ii-c-1, iii-5, iv-6 可燃性ガス・有害ガスの発生～濃集【(ハ)】(ハ)～鶴見立坑～開削(ハ)】
左岸線延伸部で想定される事象	<p>リスク発現想定範囲および箇所 ・No.348+11.5～No.378 溝線(開削区間) ・No.347+5～No.348+11.5 溝線(鶴見立坑) ・No.317～No.347+5 溝線(浅深度～ハ)トシホ) ・No.278+10～No.317 溝線(中深度～ハ)トシホ)</p> <p>リスク保有層 ・Dsg, Os1, Os2, Os3, Os4, Os5</p> <p>素因 ・高透水、高間隙の帯水層(Dsg, Os1～4) ・ガス濃集しやすい地質構造</p> <p>誘因(メカニズム) ・地中からの遊離ガスの漏出</p> <p>リスク対応方針(設計段階) ・換気・防爆等ガス対策の事例調査 ・防塵・換気等検討の検討</p> <p>リスク対応方針(施工段階) ・調査・設計条件の明示 ・予防保全向上・広域災害時の電源喪失対策の提案要請 ・安衛法・安衛規則の遵守</p>
類似リスク発現事例	<p>【工事名】居住給水所送水管新設工事(事例番号:全-11) 【場所】東京都江東区堤1丁目 【発現事象】配水圧シールドトンネルのメタンガス爆発事故 【発現日】1993年2月1日 【発現内容】シールドトンネル掘削に伴い、地中から湧出したメタンガスが何らかの火源により燃発し、掘削作業中の作業員4名が死亡、1名負傷 【被害内容】作業員4名死亡、1名負傷 【誘因】メタンガスを包蔵する地層の存在 【誘因(メカニズム)】 ・地下水に溶解したメタンガスを含む湧水がセグメントの間にシールド内に侵入し、大気圧に拡散、酸化したメタンガスが坑内へ引込、爆発。 ・施工中のガス計測が未実施、かつ自動警報装置が坑内に存在せず 【事後対応】 ・メタンガス用換気設備、自動警報装置、ガス検知センサー(先端部)を設置 ・日々のガス濃度計測(作業前・中・後)の徹底</p> <p>メタンガス対策要旨 ・メタンガス発生予測(メタンガス発生予測)によるメタンガス発生予測 ・メタンガス発生予測(メタンガス発生予測)によるメタンガス発生予測 ・メタンガス発生予測(メタンガス発生予測)によるメタンガス発生予測</p>
予防保全事例	<p>【工事名】土佐第一浄水幹線下水管築造工事 【場所】大阪市東淀川区3丁目～浪速区1丁目 【発現日】1995年4月12日～1996年1月31日(工事期間) 【発現事象】 ・3,000mmの土圧式シールド掘削に伴って地質調査で最大で46.6vol%のメタンガスが検出。 【誘因】メタンガスを包蔵する地層の存在 【誘因(メカニズム)】 ・地下水に溶解した(水溶性)メタンガスが、遊離ガスとして酸化し高濃度で検出 【予防保全内容】 ・後方台車の切羽側からシールドのチェンバーまでを危険区域とし、この全ての区間内の全ての電気機器を防爆構造とした ・換気効率や換気効果の高い併用方式の換気方式を採用 ・メタンガス爆発下限値の30%(1.5vol%)を超えたと直ちに警報を発生し、自動的にシールドへの電源が遮断できる自動検知システムを採用</p>

はない、ということがある。

そういった中で、予備設計実施中に俯瞰的に物事をみることによって、その後の詳細設計や施工のエンジニア、行政担当者、あるいは管理担当者に、問題意識を記録して目に見える形で残していくことが大切である。それができることによって、国民に求められる安価で工期が短い公共事業を安全に進める事が出来るのではないかと考える。

今回の検討が、都市部の地下開発における地質リスク検討手法の一例となり、より早く、安全に高品質な社会資本整備を行うための一助になればと考える。

※本論文については、執筆者が前所属における担当事業について執筆したものである。

謝辞：本論文の執筆にあたって(株)建設技術研究所の関係者には資料提供等様々な面で多大なご協力頂きました。また浪速国道事務所、関係職員の皆様には多方面からご指導、ご助言を受け作成することができました。皆様にはここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

1) 社会資本整備審議会・交通政策審議会：地下空間の利活用に関する安全技術の確立について 答申 (2017.9)

- 2) 国土交通省大臣官房 技術調査課, 国立研究開発法人 土木研究所, 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会: 土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン (2020.3)
- 3) 国土交通省近畿地方整備局: 地質リスク低減のための調査・設計マニュアル (案) (2018.3)
- 4) (一社) 全国地質調査業協会連合会: 2016 改定地質リスク調査検討業務発注ガイド (2016.9)
- 5) 国土交通省近畿地方整備局紀南河川国道事務所: すさみ串本道路事業における地質リスクの試行的導入と調査・設計への適用について (2017)
- 6) 土木学会: 2016 年制定トンネル標準示方書 [開削工法編]・同解説 (2016.7)
- 7) (株) 阪神高速道路: 開削トンネル設計指針 (平成 20 年改訂版) (2008.10)
- 8) 土木学会: 2016 年制定トンネル標準示方書 [シールド工法編] (2016.7)
- 9) 建設省: 地下水調査および観測指針 (案) (1993.3)