

都市部での地質調査における地質リスク低減プロセスの事例

(株)荒谷建設コンサルタント 阿川 展久

1. 事例の概要

本事例は、都市部における高架橋を対象に、構造物基礎詳細調査及び詳細設計までを同時並行で実施する条件の下で、特に時間的な視点により調査工期を最大限活用して地質リスクをマネジメントし、建設プロジェクトのトータルコスト増大を抑制した事例である。

調査地は三角州平野の最南端に位置し、干拓により平坦な埋立地形を呈する。図1に示すように、対象箇所は延長1km程度の高架橋調査区間に23基の橋脚が計画されており、周辺には標高40~50mの3つの小規模な丘陵地（孤立丘陵片）が分布し、地山の大半は河川堆積物により埋没している。

また、隣接工区の支持層はT.P. -30m付近以深に分布する洪積砂礫層（N値50以上）で概ね水平と単調であるが、調査地は江戸時代以降の埋立地であり、埋立前は島であった3つの丘陵地山が分布し一部は造成切土により改変されている。そのため、調査区間では支持層となる基盤岩の不規則な起伏が想定されたことから、橋脚毎に正確な支持層深度を把握し、極力地質リスクを低減して精度の高い調査結果を提供する必要がある。しかし、地質リスクを低減するためには、以下に示す主に3つの制約条件があり、特に、限られた事業用地と工期内という厳しい条件で、全橋脚部の支持層起伏の把握が困難であることが問題となった。すなわち、調査不足によりリスクが悲観的な形で施工時に顕在化すると、支持層の落ち込みによる基礎形式の変更や杭長の大幅な不足等に伴う設計の手戻りや施工ストップ等が発生し、プロジェクト全体の大幅なコスト増大や工事延期等が懸念された。

【制約条件】

- ①人口集中地区で路地が狭い上に交通量が多く民家が密集するため、現場作業時は周辺環境負荷（騒音，振動，搬入出時の交通支障）を低減する必要性。
- ②調査可能な箇所は、事業用地と公道以外の官地のみと限定されていた。その為、受注当初は23橋脚中7箇所調査が不可能であった。
- ③地質調査と予備詳細設計業務は同時並行であり設計工期にあまり余裕がない為、タイムリーで正確な地質情報を設計業者に提供する必要があった。また、発注者の要望により、限られた調査工期の中で、今回調査で全橋脚部の詳細設計ができるレベルの成果品を望まれており、工程と品質との間にトレードオフの関係が発生した。

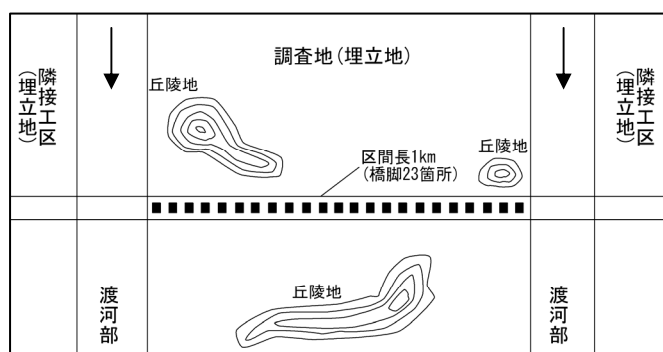


図1 調査位置概要図

2. 事例分析のシナリオ

通常的地質調査は1業務の中で一連の調査を連続的に行うが、今回は業務期間（1年強）を最大限に活用して地質調査を1次と2次に分割し、以下のa)~c)の手順で時間的な視点から地質リスクをマネジメントした（図2）。地質リスクマネジメントのプロセスにおいて特に注意した点は2点あり、一つは、発注者・調査業者・設計業者の三者による技術面に

関する積極的なリスクコミュニケーションの実施である。これは、地質と設計・施工の両観点からの見解を同時に発注者に示すことができるため、スムーズな追加調査等の意志決定を可能にした。二つ目は、技術面以外の点において、前述の制約条件のうち外部環境、すなわち社会環境負荷に対する地元住民へのリスクコミュニケーションや情報公開による不安や不信感の払拭、未然防止活動等の安全管理、CSRの観点より発注者、設計者（施工業者）、地元住民等のステークホルダーの要望に可能な限り応え、バランスよく俯瞰的にマネジメントした結果、品質と工程との間のトレードオフを解決した点である。

- a) まず予備設計段階で1次調査を実施し、調査区間全体の地質構成を概略的に把握した（図4）。これは、予備設計と1次調査結果より抽出された問題点を整理して合理的な2次調査を計画する為と、1次調査中に事業用地の増加が見込まれた為である。
- b) その結果、2次調査時は事業用地が追加され、設計上の問題点を加味した無駄のない合理的な調査（原位置試験及び室内試験の集中的実施等）が可能となった（図5）。詳細な調査により、支持層は旧河道により谷地形を呈する箇所と洪積砂泥互層の存在、貫入岩分布の詳細とN値50未満の強風化部の存在、1橋脚内で支持層傾斜が顕著である箇所の存在等が判明し、調査段階で地質リスクが概ね顕在化した。
- c) さらに、1橋脚内で支持層傾斜が顕著と想定した箇所（図5のボーリング②'）では、今回調査段階で可能な限り地質リスクを低減し成果品質を向上させる必要があった。従って、発注者及び設計業者と協議の上で、地質リスクが許容または保有困難な箇所では、設計業者に渡さなければならない最遅工程を逆算して、さらなる事業用地の追加を待ち、可能な限り追加調査を提案・実施した（図3）。

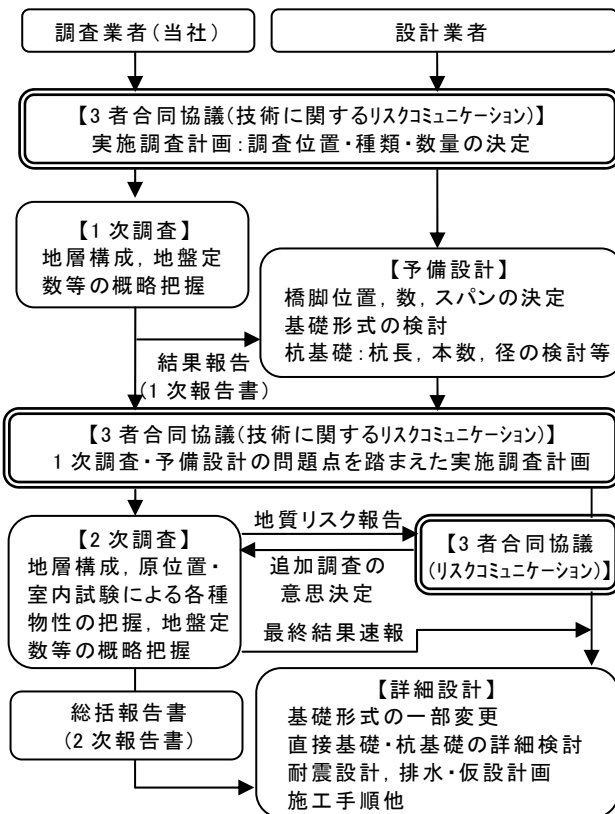


図2 調査実施シナリオ

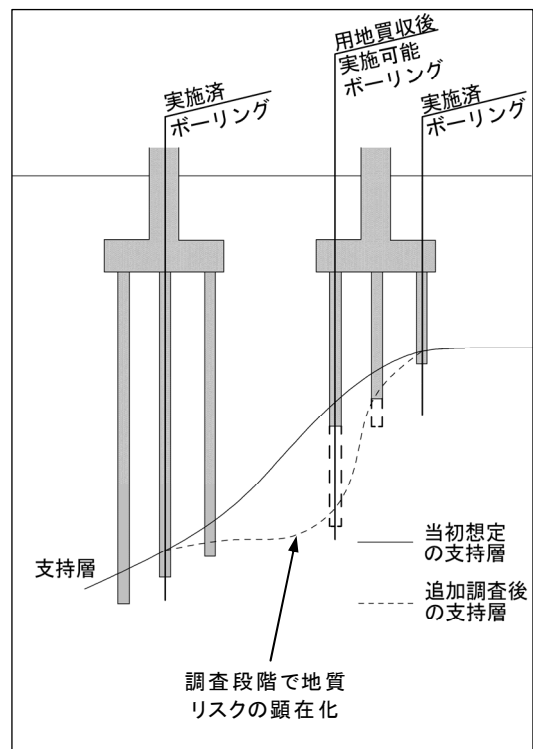


図3 2期に分けた調査で、地質リスク保有困難箇所での追加調査による地質リスク低減(図5参照:Bor②')

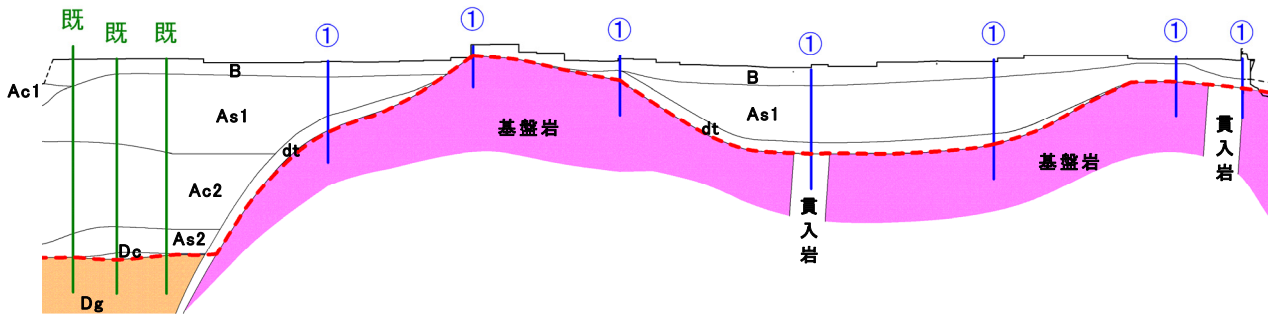


図4 第1次調査結果（予備設計段階）

地質凡例

- 既：既往調査，①：1次調査，②：2次調査，②'：2次調査中における追加提案
- 支持層線（N値50以上）
- B：盛土，As1・2：沖積砂層，Ac1・2：沖積粘土層，dt：沖積及び洪積崖錐層
- Dc：洪積粘土層，Ds：洪積砂層，Dg：洪積礫層

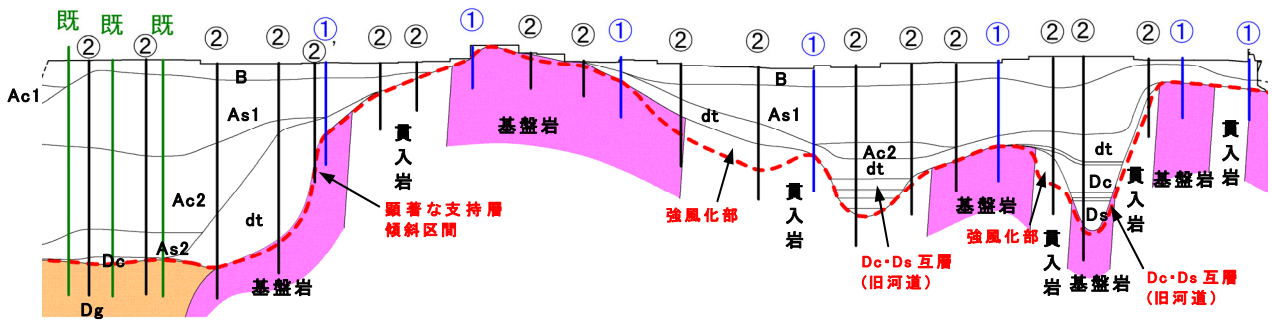


図5 第2次調査結果（詳細設計段階）

3. データ収集分析

今回の調査事例では、1次と2次の2期に分けたことにより、工期内に事業用地が追加され全橋脚部において地質リスクの低減を達成した。しかし、仮に調査を1期のみで実施していた場合は図6のデータに示すように、最も遅い場合は施工中に6橋脚で地質リスクが顕在化して、施工中断や修正設計が発生していた可能性が高い。なお、施工直前にチェックボーリングを実施したとしても、少なくとも修正設計は必要であったと考えられる。

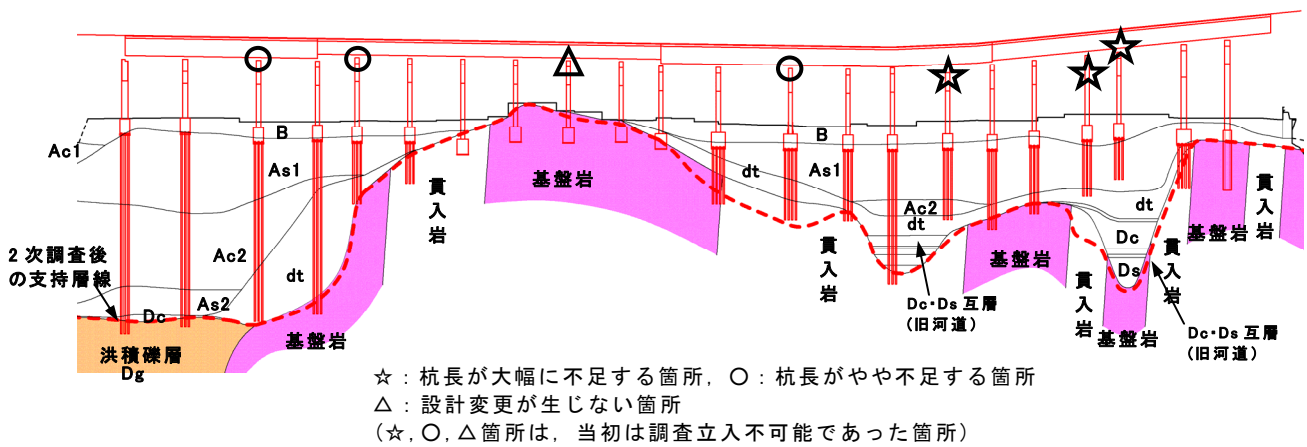


図6 地質調査を1次と2次に分けない連続的な実施により詳細設計した場合、施工時における地質リスク顕在化に伴う事業コスト損失箇所（○☆の計6橋脚）

4. マネジメント効果

(1) 地質リスクマネジメント効果

今回実施した地質リスクマネジメントにより、主に以下の3点のマネジメント効果が得られたと考えている。表1に地質リスク顕在化段階と事業コスト損失規模の関係を示す。

- 1) 地質リスクの低減は、建設プロジェクトの早期段階で対処するほど次工程へのリスクが低減され、トータルコストの増大を回避できることを示した事例であるといえる。今回は、調査・詳細設計段階で地質リスクを低減したため、施工中に地質リスクが顕在化された場合と比較すると、概算で最大4500万円－追加調査費650万円＝3850万円のマネジメント効果が試算される。
- 2) 上記のような比較的容易にマネジメント効果が試算できるものの他に、金銭的試算が容易ではない大規模な時間的・人的コスト損失等を回避したことも評価できる。
- 3) トータルコスト増大抑制に加えて特筆すべき点は、調査不足による施工費増大や工事の延期により、地元市民等からのコンセンサスの喪失を回避したことである。

表1 地質リスクマネジメントの時期と想定事業損失規模

地質リスク 顕在化の時期	地質リスクの影響	事業コスト損失規模 (概算)
調査・詳細設計時 (今回事例)	詳細設計段階で解決済み	特になし
施工直前の チェックボーリング	修正設計, 施工開始時期の延期	【修正設計費用】 2000～3000万円 +小～中規模な間接的影響
施工中	施工中断, 施工終了時期の大幅な延期, 修正設計, 施工段取り替え, 資機材レンタル料等の投資額増大, 地元市民とのコンセンサスを失う等	【修正設計費用+鉄筋かご】 3500～4500万円 +大規模な間接的影響

(2) 今回事例の総括

今回の事例は、調査業者と設計業者との並行作業であり、業務期間内で事業用地が増加する見込みがあったため、主に工期を最大限に活用した工程管理の視点から地質リスクの低減を達成した。しかし、調査を1次と2次に分けない連続的な実施であった場合は、23橋脚中6橋脚において悲観的地質リスクが潜在したままとなる。おそらく調査業者は発注者から責任を追及される可能性は低いだろうが、地質技術者に求められることは、地質リスクマネジメントを活用して発注者・設計・施工業者・市民等のあらゆるステークホルダーの要望に可能な限り応える社会的責任を備えることである。また、現場制約条件がさらに厳しい場合の地質リスクマネジメントのあり方について重要なことは、各現場条件を把握・分析して建設プロジェクト全体最適の地質リスクマネジメントを提案かつ実現することである。そのためには、積極的なリスクコミュニケーションを行うことが重要である。

なお、今回の事例は、土質地質調査において日常的に起こりうる事象であると思われる。大切なのはその「地質リスク」を放置せずに、できる限り早期の段階でリスク評価及びリスク対策を実施することと、調査段階で解決できない場合は、建設プロジェクト次工程へ地質リスク及び想定される懸念事象と対応の方向性を明確に示すことである。

5. データ様式の提案

以上の検討データを総括したものをA表原案に記入した結果、A表の記入項目の一部を修正することとなった。修正記入した様式を表2に示す。

A表原案では、マネジメント効果＝（①当初工事費用）－（③変更後工事費用）－（②リスク対応費用）と考えており、地質リスクマネジメントの効果で、より施工に経済的な地質データ及び見解の提示や工法等の提案による当初工事費の縮減を達成した事例として取り扱われている。しかし、今回の事例は、高架橋の支持層調査不足により、施工直前～施工中に地質リスクが悲観的な形で顕在化した場合を想定し、調査地全体の支持層把握の品質（精度）に焦点を当てたものであり、地質リスクマネジメントの効果により経済的な設計・施工ができる調査結果や新たな経済的工法の提案に焦点を当てた事例ではない点が原案とは大きく異なる。

今回事例の地質リスクマネジメントは、様々な制約条件の下で全橋脚の支持層深度を把握したことであり、マネジメントの効果は基礎形式の変更や杭長が到達しない等の不測の建設コスト増大の抑制という視点で評価した。すなわち、精度の高い地質調査結果の基で下部工設計した工事費をゼロベースとして、調査→設計→施工というプロセスの中で、地質リスクの悲観的な顕在化によるコスト増額分を抑制した事業コストや間接的效果を地質リスクマネジメント効果として提案する。以上をまとめると、今回事例の地質リスクマネジメントの効果は、マネジメント効果＝（③変更設計・工事費用）－（②リスク対応費用）＋間接的影響項目（時間的・人的、社会的コスト）として取り扱うこととした。

ただし、今後の課題としては、時間的・人的及び社会的な間接的費用についての明確な金銭的試算を行うことである。なぜならば、本コストは決して小さいものではないため、極力正確な試算ができれば客先等に対して地質リスクマネジメントを実施することへの説得力を与える大きな資料となることは間違いないからである。しかし問題点として、地質技術者の知識のみでは限界があるので、正確な試算には発注者や設計技術者の協力が不可欠であることと、あくまでも仮説であることから施工中断期間やこれに伴う損失金額は流動的であるので、発注者や議会等に示す説得力のある資料とすることができるかどうか疑問が残る点がある。

補足説明として、今回調査地の下部工基礎形式は、地質条件や経済比較にもよるが、基本的には大別して杭長L=30m以上では鋼管ソイルセメント杭基礎、杭長L=10～30mの短杭では場所打ち杭（ベノト杭）または大口径深礎杭、GL-5m付近では直接基礎が選定されており、中間層は支持層として不適である。また、調査地の支持層深度は深くてもT.P.-30m前後と比較的浅いことから基本的に支持杭を採用している。

直接基礎の場合は、施工時に支持層変更が生じた場合は設計段階にまで大きな手戻りが生じる。杭基礎の場合は、現場対応はある程度可能である。但し設計上は、①当初設計で杭長が長いもので地層の周面摩擦が期待できる場合は、支持力を周面摩擦と支持層で受け持っているため、多少の杭長の変更があった場合でも周面摩擦の影響により支持力計算上は安定と評価されることが多い。一方、当初設計で杭長が短い場合は、支持力は支持層が支配的に受け持つため、杭長に変更が生じると支持力計算上は不安定となるリスクがある。よって、設計時は過大設計とならない範囲で安全側をみて設計することが多い。

表2 A表修正案への記入

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	自治体	
	工事名	都市高速道路高架橋下部工工事	
	工種	高架橋	
	工事概要	都市高速道路の橋梁構造物基礎	
	①当初工事費	不明	
	当初工期	不明	
リスク回避 事象	予測されたリスク発 現時期	詳細設計のための2次調査中（当該調査は1次と2次の2期に分けて実施した一連の地質調査業務であり、予備と詳細の一連の設計業務と並行作業で実施している）。	
	予測されたトラブル	用地制約条件により、当初は全橋脚部での調査は不可能であった。そのため、一部の橋脚を調査未実施のまま設計した場合は、全23橋脚中6箇所において杭基礎が支持層まで到達せず、工事ストップと修正設計の手戻りが生じていた。	
	回避した事象	1) 施工中断、追加調査と修正設計に伴うコスト増や、2) 施工計画変更や工期延期、3) 工事延期による地元市民とのコンセンサスを失う等。	
	工事への影響	施工中断、段取り替え等の再計画と追加資機材調達等	
リスク管理 の実際	判断した時期	2次調査中	
	判断した者	発注者、設計業者、調査業者の三者	
	判断の内容	1) 事業用地増加により追加調査が見込める箇所は、設計業者へ調査解析結果を引渡さなければならぬ最遅工程を逆算して（バックワードスケジューリング）、工期内で可能な限り追加調査を実施する。2) 1橋脚内で支持層傾斜が顕著と想定される箇所は、地質リスク許容または保有が困難な箇所と判断し、追加調査を実施する。	
	判断に必要な情報	判断直前の最新地質断面モデル、調査業者及び設計業者の見解	
リスク対応 の実際	内容	追加調査	ボーリング6箇所ΣL=169m（支持層確認）
		修正設計	詳細設計段階で対応可能
		対策工	なし
	費用	追加調査	650万円（当初調査委託費内で対応可能）
		修正設計	なし
		②合計	650万円（一般調査費）
変更工事の 内容	工事変更の内容 （想定シナリオ）	追加調査を実施せずに地質リスクが顕在化した場合、6橋脚で杭長の変更が生じることを想定。	
	③変更設計・工事費 （推定）	修正設計費用2000～3000万円（6橋脚、動的解析一式他） 鉄筋かご1500万円（仮に6橋脚分が変更になった場合）	
	変更工期	—	
	間接的な影響項目	工事計画変更に伴う段取り替え等の時間・人件的費用の増加（これは③に反映していない）、地元感情の悪化等。	
	受益者	自治体、納税者（またはステークホルダー）	
リスクマネ ジメントの 効果	費用（③－②）	施工中に地質リスクが顕在化した場合は、最大で3850万円（+間接的影響項目の回避）	
	工期	地質リスク低減のための地質調査及び詳細設計は施工前（工程通り）に終了。	
	その他	本事例は、総合技術監理の視点より、1) 用地制約条件の時間的な変化をマネジメントし、2) 調査工期を最大限に活用して極力地質リスクの低減を図り、3) 予備及び詳細調査・設計が同時並行作業であったため、発注者・設計及び調査業者の三者合同により積極的な地質や設計に関するリスクコミュニケーションが行われ、スムーズな追加調査の意志決定がなされた。また、1次及び2次調査を通してタイムリーで正確な調査結果の提供（毎日のBor柱状図送信）により、設計者が早急に杭長の決定を行うこと等を可能とした（設計クリティカルパスの短縮に寄与）。その結果、建設プロジェクトのトータルコスト増大の抑制と調査・設計業務の工期厳守の両方を達成したと評価できる。	