

高架橋予備設計段階における地盤調査結果の考察

屋良 隆司¹、泉水 雄太¹

¹ (株) 沖縄建設技研 (沖縄県浦添市字前田 1124 番地)

キーワード：高架橋、地盤の成層状況、地盤強度、液状化、地下水

1. はじめに

橋梁・構造物基礎の地質調査においては、構造物の基礎形式選定とその設計・施工のための地盤情報・地盤特性を得ることが調査の目的となる。

橋梁・高架構造物の基礎は、常時はもちろん、地震時においても支持、転倒、水平移動に対して安全であるとともに、その変位量は許容値の範囲内にならなければならない。また、フーチング施工時における根切り掘削の安定性や地下水の処理が問題となることもある。

一般に橋梁・高架構造物基礎の設計において検討すべき必要な項目として、以下のものが挙げられる。

- ① 支持層の選定
- ② 支持力・変形量の検討
- ③ 圧密沈下・負の摩擦力の検討
- ④ 液状化の検討
- ⑤ 地下水の状況

本報文は、高架橋予備設計段階における地盤調査結果の考察について報告するものである。

2. 業務概要

本高架橋は、沖縄本島南部西海岸側に位置し、上部工は PC 連続中空床版橋および鋼連続非合成細幅箱桁橋、下部工は RC 橋脚および鋼製橋脚、基礎工は場所打ち杭(φ1500)で計画されている。

本業務では、これらの高架橋予備設計

に必要な地質調査を実施し、地層状況の把握、支持層の選定、地盤定数の設定、液状化の検討を行ったものである。

本調査地周辺の地形は、図-1 に示すように、東側は小起伏丘陵地を呈し、その丘陵地の谷部や麓では谷底低地や海岸低地が形成されている。



図-1. 本調査地周辺の地形分類図

本調査地周辺の地質は、図-2 に示すように、新生代第三紀鮮新世～第四紀更新世初期の島尻層群(豊見城層)および第四紀完新世の沖積層で構成されている。

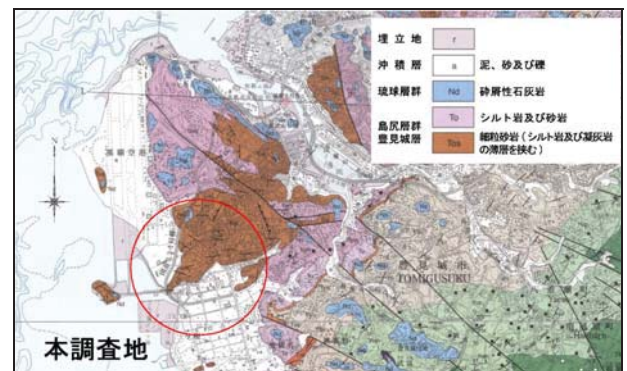


図-2. 本調査地周辺の地質図

対象橋梁区間は、延長約 2km と長く、地質調査結果より算出された地盤の特性値を基に区別した耐震設計上の地盤種別がⅠ種～Ⅲ種と混在する(Ⅰ種:良好な洪積地盤・岩盤、Ⅱ種:Ⅰ種・Ⅲ種のいずれにも属さない洪積地盤・沖積地盤、Ⅲ種:沖積地盤のうち軟弱地盤)。そのため、耐震設計上の基礎面までの深度、中間層の連続性を考慮して、図-3 に示す 4 つのゾーンに区分した。

ここでは、特に沖積粘土層が厚く堆積し、液状化の可能性のある沖積砂層が挟在する“ゾーンC”について報告する。

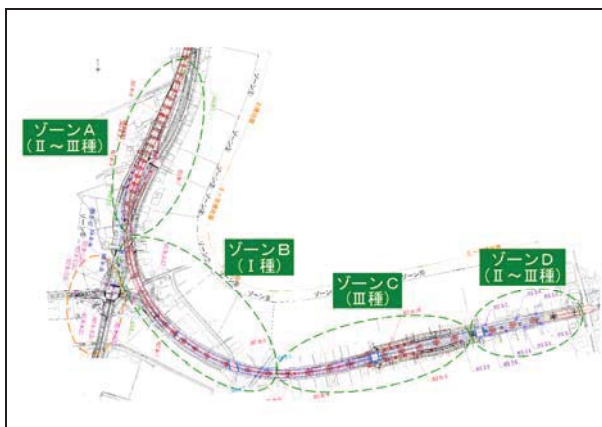


図-3. ゾーン区分

3. 留意すべき地盤に関する課題

橋梁・高架構造物の設計において、留意すべき地盤に関する課題には次のような事項がある。

(1) 地盤の成層状態

地盤の成層状態を把握することは、支持層の選定以外の検討項目にも共通した基本的項目である。支持層を選定する上で地盤の成層状態を確認することが重要であるが、厚い軟弱粘性土層や地震時に液状化が懸念される砂質土層が存在する場合には、基礎形式や根入れ長決定に大きく影響するので特に留意する必要がある。

(2) 地盤強度

地盤の強度・変形特性は、支持層の選定並びに基礎形式を選定する上で重要な要素となる。

(3) 圧密沈下の有無

橋台背面部のアプローチ盛土によって圧密沈下が発生する軟弱地盤では、橋台の側方移動や基礎杭に作用する負の摩擦力(ネガティブフリクション)の発生が問題となる。

今回の対象橋梁区間では、橋台背面部のアプローチ盛土が発生しなかったため、検討項目の対象外となった。

(4) 液状化発生の有無

地震時に液状化の発生が懸念される砂質土層においては、地震時に地盤反力が失われるため液状化対策が必要になる。

(5) 地下水および被圧地下水の有無

地下水の賦存状況や被圧地下水の有無は、施工条件に大きな影響を与える要素となる。

4. 調査計画

(1) ボーリング箇所数

本調査地の地形は、図-1 でも示したように“海岸低地”が大半を占め、対象構造物は“橋長 50m 以上の高架橋”であることから、橋梁計画区間全体の地質状況が把握できるように“100m～200m 間隔に 1 箇所”を目安(表-1 参照)にボーリング箇所を配置した。

表-1. 一次調査のボーリング箇所数

地形	調査実施地点
低地	両橋台部で各1箇所および100m～200m間隔に1箇所
台地丘陵地	両橋台部で各1箇所および50m～100m間隔に1箇所
山岳地	両橋台部で各1箇所およびおよそ50m～100m間隔に1箇所

(2) 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験については、図-4 に示すように、橋梁基礎の杭頭付近を考慮して、地表面下 8m より試験を実施した。

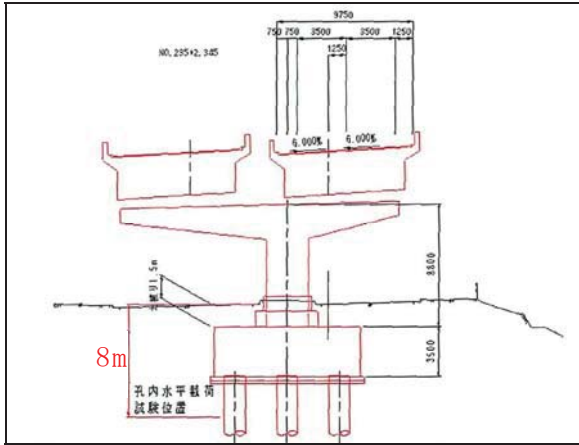


図-4. 孔内水平載荷試験位置

(3) サンプルング・室内土質試験

サンプルング(乱れの少ない試料採取)については、軟弱な沖積粘土層を対象に、3m~5m 間隔に 1 本を目安にサンプルングを実施し、室内土質試験に供した。

室内土質試験においては、土の基本的性質の把握、液状化の判定を行う必要がある土層かどうかを判断するため、各層を対象に物理試験一式および力学試験(土の一軸圧縮試験)を実施した。

5. 調査結果

本調査においては、既往の地質調査結果も含めた合計 32 本の調査結果を踏まえて、地盤の成層状況、地盤強度等の検討を実施した。その内訳を表-2 に示す。

表-2. ボーリング使用データ一覧表

ゾーン名	本業務(本)	既往業務(本)	合計(本)
A	5	2	7
B	2	5	7
C	4	2	6
D	0	12	12
合計	11	21	32

(1) 地盤の成層状況

本調査地の成層状況は、表-3 の地質層序および図-5 の地質断面図に示すように、上位より埋土層(Fc)、沖積層、二次堆積物層(Tr)および島尻層群で構成されている。さらに、沖積層は、沖積砂層(As1・As2・As3)および沖積粘土層(Ac1・Ac2)に、島尻層群は風化の度合いにより、風化泥岩層(w-Tms)および泥岩層(Tms)に細区分される。

表-3. 地質層序

地質時代	地層区分	記号	主な土質名	N 値	層厚(m)		
新生代	現世	埋土	Fc	礫混じり粘土 粘土	1~6 (過大値除く)	2.45~4.15	
		沖積層	砂	As1	粘土質砂 礫混じり砂	1/40(=0.8)~2	0.40~1.20
	粘土		Ac1	砂混じり粘土 砂質粘土	自沈~4	1.65~5.90	
	砂		As2	粘土質砂	自沈~8	0.70~1.30	
	砂		As3	粘土質砂 シルト質砂	4	1.70~3.30	
	粘土		Ac2	粘土	自沈~9	3.80~19.20	
	二次堆積物		Tr	砂混じり粘土 礫混じり粘土	6	0.75~1.90	
	第三紀	島尻層群	風化泥岩	w-Tms	風化泥岩	5~50以上	1.25~6.00
			泥岩	Tms	泥岩	50以上	(5.25~5.59)

※表中の()内は確認層厚を示す。

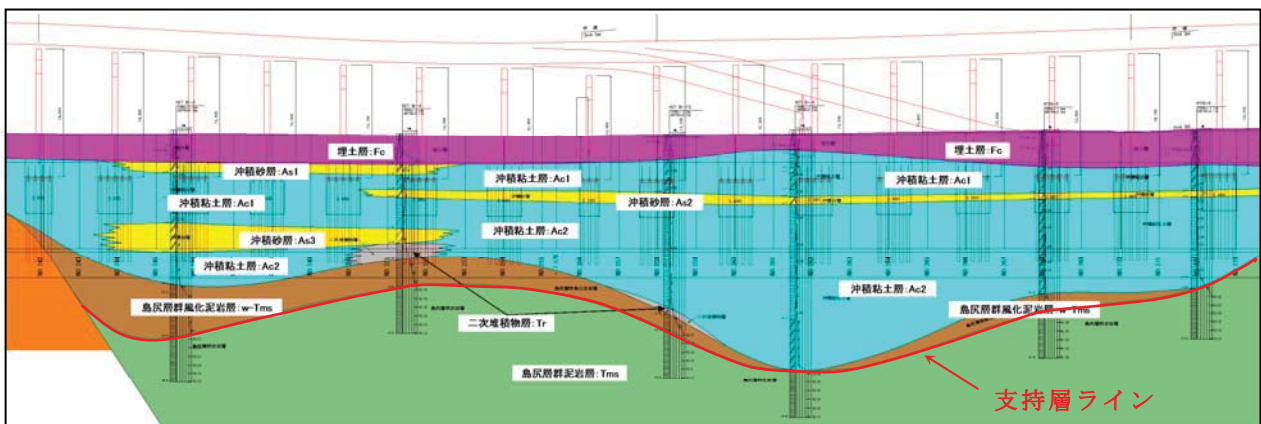


図-5. 地質縦断面図

本調査地における支持層は、N値 50 以上の島尻層群泥岩層である。泥岩層は起伏があり、その上位の風化泥岩層の層厚も場所によって様ではない。また、砂質土層や軟弱粘性土層が確認され、砂質土層の液状化や軟弱粘性土層の地盤強度が懸念された。

(2) 地盤強度

① 設計用 N 値

設計用 N 値については、各層の N 値の平均値および標準偏差 (σ) を求め、“平均値 -0.5σ ” により算出した。

各地層における N 値を整理した結果、表-4 のようになる。

表-4. 設計用 N 値一覧表

地層名 (地質記号)	平均N値	標準偏差 σ	変動係数 V	平均N値 -0.5σ	設計用N値
埋土層 (Fc)	3.5	1.9	0.6	2.5	2.5
沖積砂層 (As1)	1.4	0.8	0.6	1.0	1.4
沖積粘土層 (Ac1)	1.0	1.4	1.5	0.3	0.3
沖積砂層 (As2)	4.7	4.2	0.9	2.6	2.6
沖積砂層 (As3)	4.0	0.0	0.0	4.0	4.0
沖積粘土層 (Ac2)	2.3	2.3	1.0	1.1	1.1
二次堆積物層 (Tr)	6.0			6.0	6.0
島尻層群風化泥岩層 (w-Tms)	30.7	13.5	0.4	24.0	24.0
島尻層群泥岩層 (Tms)	91.6	27.0	0.3	78.1	78.1

埋土層 (Fc) および沖積粘土層 (Ac) は N 値が 4 未満を示し、非常に軟らかい状態であり、沖積砂層 (As) は N 値が 4 以下を示し、非常に緩い状態である。また、島尻層群の風化泥岩層および泥岩層については、標準偏差が大きく、N 値にばらつきが見られた。

② 粘着力

沖積粘土層 (Ac) の粘着力は、土の一軸圧縮試験結果から得られる一軸圧縮強度より算出した。

沖積粘土層 (Ac1・Ac2) における標高と粘着力の関係図を図-6～図-7 に示す。

図-6 より、沖積粘土層 (Ac1) の粘着力は $13.8 \sim 34.8$ (kN/m^2) の範囲を示し、その平均値は 24.0 (kN/m^2) を示す。また、各プロット値より近似式を算出すると、 $c_u = -5.698 \times \text{EL} + 4.842$ (kN/m^2) が得られ、相関係数は $R=0.806$ を示し、強い相関がある。

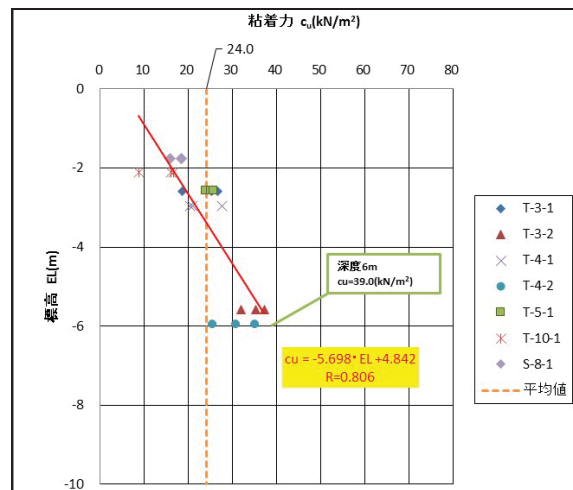


図-6. 沖積粘土層 (Ac1) における

標高と粘着力の関係図

図-7 より、沖積粘土層 (Ac2) の粘着力は $21.8 \sim 48.9$ (kN/m^2) の範囲を示し、その平均値は 34.8 (kN/m^2) を示す。また、各プロット値より関係式を算出すると、 $c_u = -3.498 \times \text{EL} - 1.855$ (kN/m^2) が得られ、相関係数は $R=0.677$ を示し、やや強い相関がある。

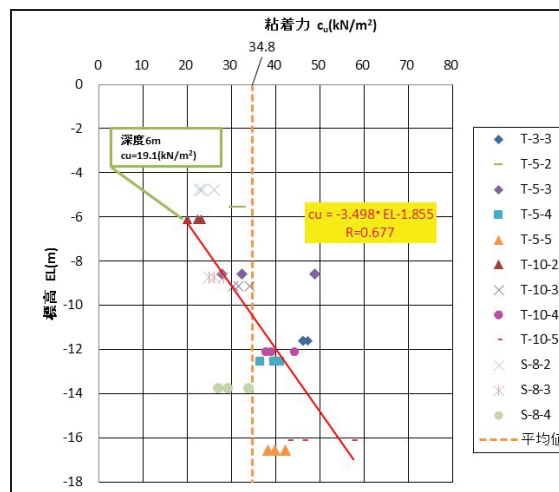


図-7. 沖積粘土層 (Ac2) における

標高と粘着力の関係図

沖積粘土層 (Ac1・Ac2) の近似式において標高 EL=-6m 付近の粘着力を比較すると、沖積粘土層 (Ac1) では $c_u=39.0$ (kN/m²)、沖積粘土層 (Ac2) では $c_u=19.1$ (kN/m²) を示した。この原因としては、互いの沖積粘土層の間に沖積砂層 (As2) が挟在していることや沖積粘土層中に存在する細砂の薄層も影響しているものと考えられる。

③変形係数

変形係数は、沖積粘土層 (Ac) および沖積砂層 (As) を対象に行った。その結果を表-5 に示す。

表-5. 孔内水平載荷試験結果一覧表

地層名	記号	試験数	変形係数E (kN/m ²)	
			試験値	平均値
沖積粘土層	Ac1	3	1,679~2,805	2,305
沖積砂層	As2	1	1,395	1,395
沖積砂層	As3	1	2933	2,933
沖積粘土層	Ac2	7	1,945~5,490	3,247

図-8 は、代表的な土質に対して、孔内水平載荷試験から得られた変形係数 E と標準貫入試験の N 値の関係を示したものである。沖積粘土層 (Ac) および沖積砂層 (As) の試験結果をプロットすると図-8 のようになる。

沖積粘土層において N 値 1 付近の試験結果にややばらつきは見られるものの、いずれの層も、図中のプロット範囲内にあり、本地層についても図中の関係式は適用できるものと考えられる。

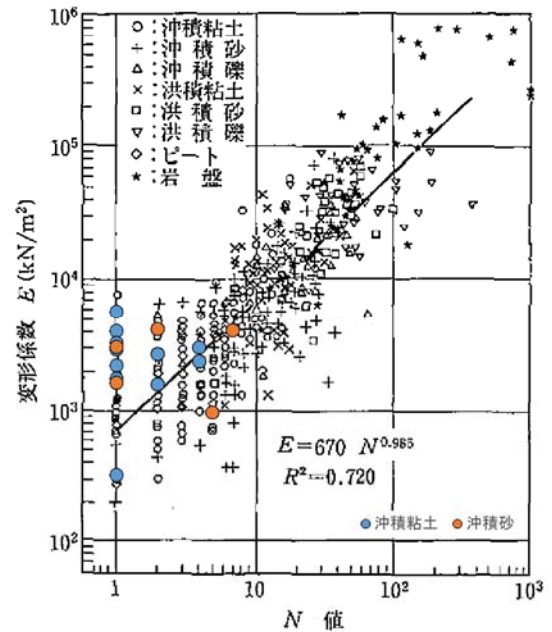


図-8. 孔内水平載荷試験より得られた変形係数と N 値との関係

以上の検討結果より、各地層の強度定数を整理すると、表-6 のようになる。

変形係数については、N 値、一軸圧縮試験および孔内水平載荷試験の 3 項目で推定した。

沖積粘土層 (Ac) においては、N 値と孔内水平載荷試験より推定した変形係数を比較すると、その値は大きく異なる結果となり、N 値が 1 程度又は 1 未満の軟弱粘土地盤の場合、N 値による推定は過小評価の傾向にあると考えられる。また、一軸圧縮試験と孔内水平載荷試験より推定した変形係数を比較すると、孔内水平載荷試験より推定した変形係数がやや小

表-6. 強度定数一覧表

地層名	地質記号	設計用 N 値	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)		粘着力 c (kN/m ²)		内部摩擦角 ϕ (度)	変形係数 αE_0 (kN/m ²)			
			道示設計要領	土質試験	N 値より	q_u 値より		N 値より $E_0=2,800N$ ($\alpha=1$)	一軸圧縮試験より ($\alpha=4$)	孔内水平載荷試験より ($\alpha=4$)	
埋土層	Fc	2.5	18.0	-	15.6	-	-	7,000	-	-	
沖積層	砂層	As1	1.4	17.0	-	-	-	23.4	3,920	-	-
	粘土層	Ac1	0.3	14.0	18.1	1.9	$c_u = -5.698 \cdot EL + 4.842$ (平均値: $c_u = 24.0$)	-	840	13,320	9,220
	砂層	As2	2.6	17.0	-	-	-	31.2	7,280	-	5,580
	砂層	As3	4.0	17.0	-	-	-	27.0	11,200	-	11,730
	粘土層	Ac2	1.1	14.0	17.4	6.9	$c_u = -3.98 \cdot EL - 1.855$ (平均値: $c_u = 34.8$)	-	3,080	19,040	12,240
二次堆積物層	Tr	6.0	18.0	17.7	37.5	30.5 ($q_u = 60.9$ kN/m ²)	-	16,800	17,360	-	
島尻層群	風化泥岩層	w-Tms	24.0	18.0	-	150.0	-	-	67,200	-	-
	泥岩層	Tms	78.1	18.9	-	227.2	-	-	53,770	-	-
			-	-	20.0	-	306.2 ($q_u = 612.4$ kN/m ²)	-	-	-	-

さめの値となるがほぼ近似した値である。

沖積砂層 (As) においては、N 値と孔内水平載荷試験より推定した変形係数の 2 項目の比較となるが、それぞれの値はほぼ近似している結果となった。

よって、設計に用いる地盤定数を設定する場合には、安全側を考慮して、孔内水平載荷試験より推定した変形係数を用いる方が望ましいと思われる。

(3) 液状化発生の有無

「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」において、表-7 に示す 3 つの条件全てに該当する場合には、地震時に橋に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、液状化の判定を行わなければならないとされている。

表-7. 液状化が生じる可能性のある条件

条件①	地下水位が地表面から10m以内にあり、かつ、地表面から20m以内の深さに存在する飽和土層
条件②	細粒分含有率 F_c が35%以下の土層、又は、 F_c が35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層
条件③	50%粒径が10mm以下で、かつ、10%粒径が1mm以下である土層

地下水位観測結果、土の粒度試験結果等より上記の 3 つの条件に該当する地層は、表-8 に示すように、沖積粘土層中に挟在する“沖積砂層 (As)”となり、液状化が生じる可能性があるため、液状化の判定を行う必要がある。

表-8. 液状化判定の有無一覧表

地層名 (地質記号)	条件①			条件②			条件③			液状化判定の有無
	地下水位 GL-(m)	飽和土層	該当有無	細粒分含有率 FC (%)	塑性指数 I_p	該当有無	50%粒径 D_{50} (mm)	10%粒径 D_{10} (mm)	該当有無	
沖積砂層 (As1)	2.40	○	○	32.9	-	○	0.122	-	○	有
	2.00	○	○	37.7	-	○	0.109	-	○	有
沖積砂層 (As2)	1.90	○	○	24.1	-	○	0.139	-	○	有
	0.95	○	○	4.0	-	○	0.164	0.110	○	有
沖積砂層 (As3)	2.40	○	○	29.1	-	○	0.138	-	○	有
	2.00	○	○	43.5	5.6	○	0.094	-	○	有

(4) 地下水

本調査地で確認された地下水位は、概ね深度 1m~3m の範囲で推移しており、埋土層 (Fc) 内に分布している。また、本調

査地は海岸付近に隣接しているため、潮位(干満)の影響を受けるかどうかを把握するため連続観測(観測間隔:10分)を行った。その結果を図-9 に示す。

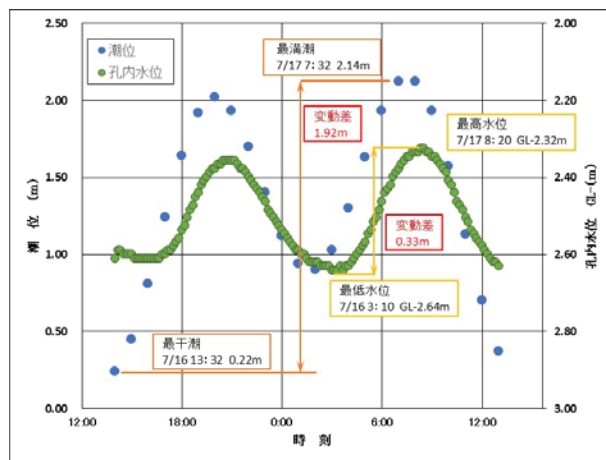


図-9. 潮位と孔内水位の関係図

地下水位観測の結果、観測時間内の干満の変動差が 1.92m であるのに対し、地下水位の変動差は 0.33m である。

潮位(干満)と孔内水位との関連性は確認されたが、潮位の変動による地下水位の変動は約 30cm であるため、施工時への影響はほとんどないものと思われる。

6. おわりに

本業務では、高架橋予備設計時における全体的な地盤の成層状態や比較設計のための定数設定等が主体の業務であった。

今後の詳細設計時においては、橋脚位置での詳細な地質調査を行い、地盤の成層状態(特に横断方向の地層傾斜等)に留意するとともに、地盤強度の精度向上、設計・施工時における問題点等を明確にする必要がある。

参考文献

- (一社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編(平成 27 年 6 月)
- (一社)全国地質調査業協会連合：地質調査要領(平成 27 年 9 月)