

盛土上に構築する補強土壁の設計と原地盤表層部の軟弱層への対策事例

協和設計株式会社 ○ 白川 大雅
協和設計株式会社 柴原 祥泰
協和設計株式会社 中道 誠二

論文要旨

本稿は、原地盤表層に軟弱層を含む現場にて、施工済路体盛土上に構築される補強土壁の設計を行った事例について報告するものである。当該擁壁は本線とオフランプ間に計画され、本線盛土の安定を支える役割を担う。なお、本線部及びランプ部には先行して一部盛土が施工されている。盛土下部の原地盤表層には軟弱層(耕土)が存在しており、本層が残存した状態では、当該擁壁の全体安定(円弧すべり)は所定の安全率を満足せず、軟弱層上面での地盤支持力も補強土壁の反力に対して不足する。ただし、先行盛土による軟弱層の強度増加が確認できれば、擁壁の安定条件を満足する可能性がある。よって、軟弱層への対策工として地盤改良(中層混合処理)を適用した設計を実施するとともに、先行盛土による強度増加の確認に必要な土質調査として、土の三軸圧縮試験(UU試験)等を提案し、擁壁の安定条件を満足するのに必要な強度定数(内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c)の整理を行った。

キーワード：施工済路体盛土、補強土壁、地盤改良、軟弱層の強度増加

まえがき

当該路線は、高規格道路網を構成する国道として整備される第1種第3級の自動車専用道路である。県内交通の高速性・安全性を確保するとともに、現道国道沿線地域の生活環境の改善、地域活動の活性化などの向上が期待されることから、当該路線の整備が強く求められている。本設計では、当該路線の本線とオンランプとの間に構築する盛土部擁壁の検討・設計を実施した。

当該設計箇所は先行して一部盛土が施工されており、盛土下部の原地盤表層には軟弱層が存在する。軟弱層が残存した状態では、擁壁の安定条件を確保することができないため、対策が必要であった。

ここでは、軟弱地盤対策として採用された地盤改良(中層混合処理)を用いた擁壁計画と、盛土荷重による軟弱層の強度増加を見込んだ際の擁壁の安定性に関し、検討を行った事例について報告する。

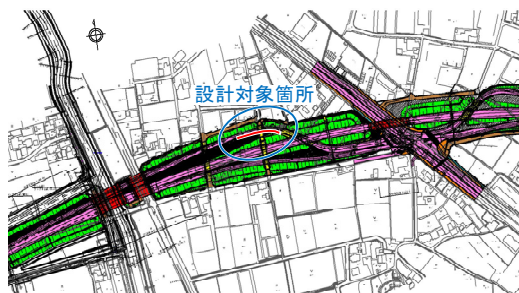


図-1 周辺平面図

1. 周辺の地形・地質状況

当該路線周辺は主として一級河川の運搬によって堆積した扇状性平地をなしている。擁壁計画箇所近傍の地質構成は、表層部に粘性土相当の耕土層、その下に新規扇状地堆積物である沖積礫質土層、さらに下部に火山灰層と古期扇状地堆積物である洪積礫質土層が堆積している。

地質構成を表-1に、擁壁計画断面と地盤モデルを図-2示す。

表-1 地質構成表

地質時代	記号	深さ(m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記号	N平均値
沖積層	Ts	1.40		砂混じりシルト	黒褐	中位	耕土、シルトは含水中位、粘土、細砂混じる。	3/3.0	
	Ag	5.50		玉石混じり砂	黄灰	密な	沖積礫質土 Ag 礫はφ2~30mm、max40mm程度、垂円礫、円礫主体、れき質は砂岩。砂は粗砂~中砂。 玉石はコア長7.5~10cm、実径で20~30cm、石質は砂岩、一様に点在し、玉石の混入率は30%程度。 マトリックスは細礫、砂主体、少量の細粒分も混じる。締り具合は中位~密。	21~38 /30.5	
		6.45		砂混じりシルト	暗灰	緩い	砂は細砂主体、G L-5.7~5.9区間に有機物混じる。G L-5.9~6.5m区間に火山灰が混じる。		
洪積層	Dg	13.00		玉石混じり砂	黄褐	非常に密な	洪積礫質土 Dg 礫はφ5~40mm、max50mm、垂円礫、円礫主体、礫質は砂岩、砂は粗砂主体。 玉石はコア長で7.5~13cm程度、実径で20~40cm、石質は砂岩主体一様に点在し、玉石の混入率は30%程度。 マトリックスは砂、細粒分主体、締り具合は密。 G L-12.5m付近に強風化した砂岩礫が混じる。	35~70 /54.1	

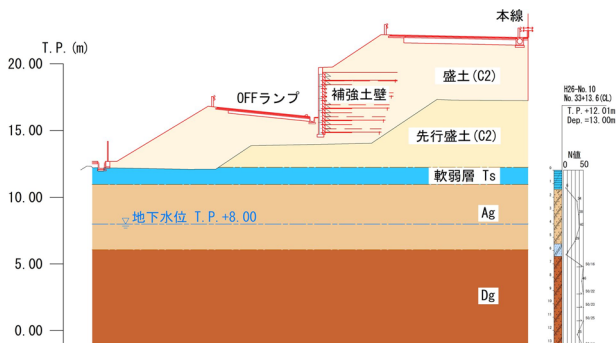


図-2 擁壁計画断面と地盤モデル

2. 擁壁の設計条件整理と構造形式の選定

2.1 要求性能の設定

当該路線は緊急輸送道路であり、万一擁壁が損傷し通行が困難になると道路ネットワークとしての機能に与える影響は大きい。従って、擁壁の重要度の区分は、重要度1となる。

「道路土工構造物技術基準・同解説」より、作用と要求性能の組合せは表-2のとおりである¹⁾。

表-2 道路土工構造物の作用と要求性能の組合せ

想定する作用	重要度	重要度1	重要度2
		性能1	性能1
常時の作用		性能1	性能1
降雨の作用		性能1	性能1
地震動の作用	レベル1地震動	性能1	性能2
	レベル2地震動	性能2	性能3

「道路土工-擁壁工指針」並びに「道路土工構造物技術基準」では、擁壁の要求性能に対する限界状態を表-3のとおり定めている^{2) 3)}。

当該擁壁においては、レベル2地震動で性能2(擁壁の損傷が限定的なものにとどまり、当該擁壁の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる限界の状態)を満足する必要がある。

表-3 擁壁の要求性能に対する限界状態

要求性能	擁壁の限界状態	構成要素	構成要素の限界状態
性能1	擁壁が健全である。又は、擁壁は損傷するが、当該擁壁の存する区間の道路としての機能に支障を及ぼさない限界の状態	擁壁 基礎地盤 背面盛土	擁壁が安定であるとともに、基礎地盤及び背面盛土の力学特性に大きな変化が生じず、かつ、擁壁を構成する部材及び擁壁により形成される道路から要求される変位にとどまる限界の状態
		擁壁を構成する部材	力学特性が弾性域を超えない限界の状態
性能2	擁壁の損傷が限定的なものにとどまり、当該擁壁の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる限界の状態	擁壁 基礎地盤 背面盛土	復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態
		擁壁を構成する部材	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態
性能3	擁壁の損傷が、当該擁壁の存する区間の道路の機能に支障を及ぼすが、当該支障が致命的なものとならない限界の状態	擁壁 基礎地盤 背面盛土	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態
		擁壁を構成する部材	部材の耐力が大きく低下し始める限界の状態

2.2 盛土材料の区分

(1) 盛土材料

当該現場には、他現場の発生土である礫質土(C1相当)を搬入するが、当該擁壁の周辺構造物で施工済の函渠工が砂質土(C2)で設計されていること、先行盛土の盛土材が砂質土(C2相当)であることから、当該擁壁との位置関係を考慮し、盛土材料の適用を区分した。

具体的には、施工済の函渠底板下端から45°の範囲を函渠に影響を与える土圧影響範囲(図-3)とし⁴⁾、盛土材は砂質土(C2)を使用することとした。結果、擁壁設計における盛土材料の適用区分及び土質定数⁵⁾は図-4及び表-4のとおりとした。

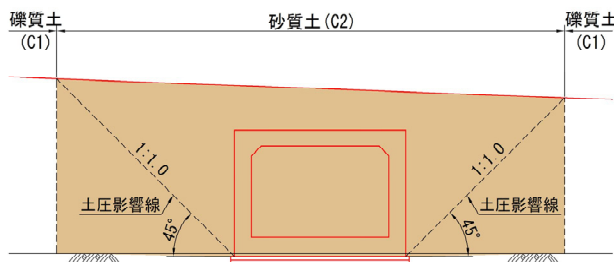


図-3 土圧影響範囲

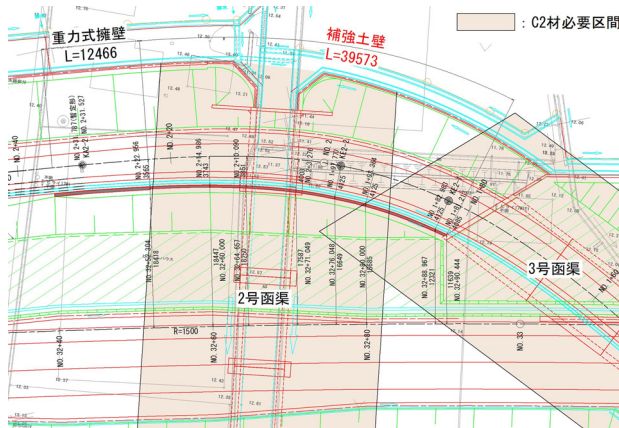


図-4 盛土材料の適用区分

表-4 盛土材料の土質定数

盛土材料	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)	備考
礫質土(C1)	20	35	—	重力式擁壁設置範囲
砂質土(C2)	19	30	—	補強土壁設置範囲

2.3 擁壁構造形式の比較検討

擁壁の構造形式は、壁面が垂直となる形式を候補とし、当該設計箇所適用可能な「重力式擁壁」、「逆T型擁壁」、「補強土壁」の3種類について擁壁高H=1.0~5.0mの範囲で比較検討を行った(図-5)。なお、プレキャストL型擁壁については擁壁上部に盛土がある場合、安定条件を満足する標準製品がないことから不採用とした。(壁高が高く

底版幅が大きい製品の堅壁を切断し使用することも可能であるが、高コストとなるため不採用とした。))

比較結果より、擁壁高 H=2.0m 以上では「補強土壁」、擁壁高 H=2.0m 未満では「重力式擁壁」を採用した。

補強土壁の工法は、代表的な帯鋼補強土壁⁶⁾、アンカー補強土壁⁷⁾、ジオテキスタイル補強土壁⁸⁾の3工法を比較検討し、構造特性、施工性、維持管理、環境性、経済性の総合点が最も高く、経済性に最も優れた「ジオテキスタイル補強土壁」を採用した(表-5)。

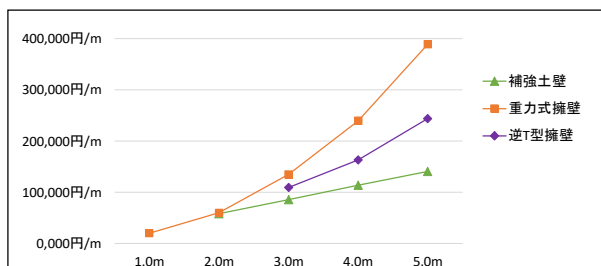


図-5 擁壁高による構造形式比較

表-5 補強土壁の構造形式比較

評価	第1案	第2案	第3案
	帯鋼補強土壁	アンカー補強土壁	ジオテキスタイル補強土壁
構造特性(10点)	9/10	10/10	9/10
施工性(10点)	9/10	10/10	9/10
維持管理性(10点)	10/10	9/10	10/10
環境性(10点)	景観性	5/5	5/5
	廃棄物処理	5/5	4/5
経済性(10点)	261,200円/m(114%) 53/60	242,600円/m(106%) 57/60	229,300円/m(100%) 60/60
総合点(100点)	91/100	96/100	97/100
総合評価	第3案に経済性が劣る(14%)のため不採用とする。他評価項目は他家と大差なし。	第3案に経済性が若干劣る(6%)のため不採用とする。他評価項目は他家と大差なし。	経済性に最も優れることから採用案とすること。他評価項目は他家と大差なし。

3. 軟弱層の対策検討

当該設計箇所の原地盤表層には軟弱層が存在している。当該擁壁は軟弱層を含む地盤上に設置するもので、軟弱層に対し無対策の場合、擁壁の全体安定(円弧すべり)、軟弱層上面での支持力不足および本線盛土による不同沈下や周辺地盤の大きな変形が懸念される。従って、無対策の場合の安定性を照査し、安定性を満足できない場合には、対策工の適用を検討する。

3.1 原地盤の詳細と設計上の問題点

当該設計箇所における原地盤の設計地盤定数を表-6に示す。原地盤表層には層厚1.3m程度の軟弱層(砂混じり粘土(Ts)、設計N値3)が存在している。擁壁基礎部は、原地盤表層上部に先行して高さ2mから5m程度の盛土が施工済みであり、当該擁壁はこの盛土上に構築される。

軟弱層に対し無対策の場合、擁壁の全体安定(円弧すべり)

り)は所定の安全率を満足せず、軟弱層上面での地盤支持力も補強土壁の反力に対して不足する(図-6)。

表-6 原地盤の設計地盤定数

地質	設計N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)
砂混じり粘土 Ts	3	16	-	18
沖積礫質土層 Ag	34	19	38	-
洪積礫質土層 Dg	47	20	38	-

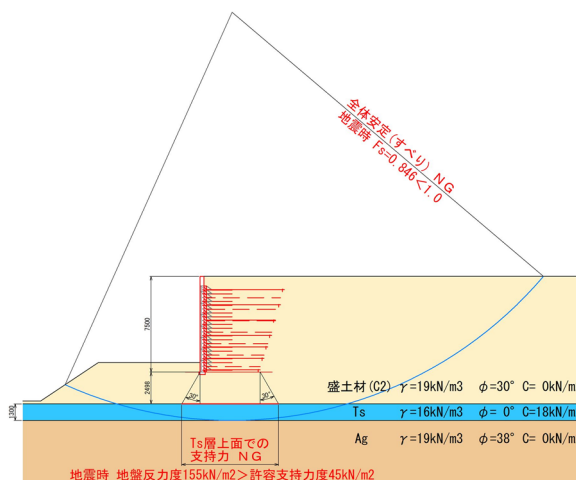


図-6 無対策での検討結果

3.2 軟弱層への対応策

(1) 高強度ジオテキスタイルによる対策検討

擁壁の安定対策として、盛土補強を目的とした背面盛土底面への高強度ジオテキスタイル敷設を検討した⁹⁾。検討結果を図-7に示す(壁高最大断面での計算結果)。

全体安定については所定の安全率を満足するが、軟弱層上面での極限支持力は、地盤反力度 155kN/m² に対し、許容支持力度 45kN/m² と大きく不足する。

軟弱層の支持力不足は、高強度ジオテキスタイルによる対策では十分な抑制効果を得られない。従って地盤改良の適用を検討する必要がある。

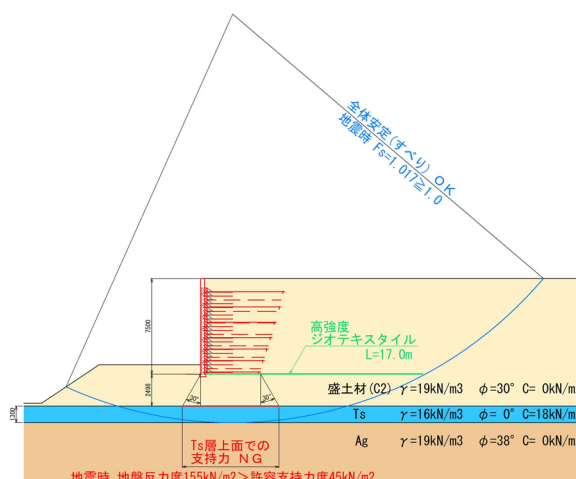


図-7 高強度ジオテキスタイル敷設による検討結果

(2) 地盤改良の適用

当該擁壁は供用車線(ランプ)に近接しており、万一周辺地盤の変形が生じた際に交通機能に与える影響は大きい。よって、安全側を考慮し、擁壁の安定条件を満足させるため、軟弱層下部まで地盤改良(中層混合処理)を施す計画とした(図-8)。なお、軟弱層上部の施工済路体盛土は最大H=5m程度で、置換基礎とした場合、掘削が大規模になり不経済であることから不採用とした。

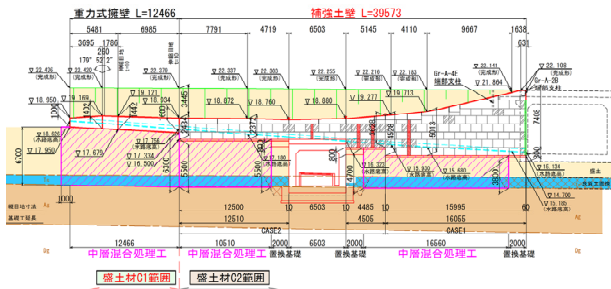


図-8 本設計における補強土壁計画

とする。

強度増加率 m については「道路土工-軟弱地盤対策工指針」に示される経験的な値を用いる方法(表-7)より、粘性土の最低値である 0.30 を用いる¹¹⁾。圧密度 U は 100% と仮定する。

上記を基に、強度増加を見込んだ軟弱層の粘着力を算出すると、強度増加前の粘着力に比べ約 2 倍の 36.2kN/m² となる(表-8)。

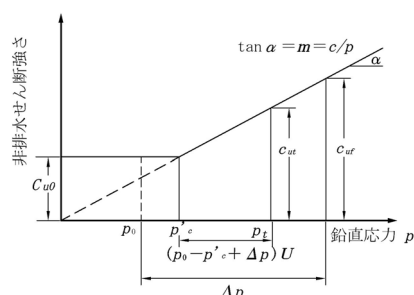


図-9 圧密による強度増加を考慮したせん断強さ

4. 軟弱層の強度増加を考慮した擁壁検討

軟弱層を改良するには、施工済みの盛土上面から改良する必要があるが、良質土部分(盛土材)を改良することは、経済的に好ましくない。当該設計箇所存する軟弱層(砂混じり粘土(Ts))について、先行盛土による強度増加を土質試験により確認できれば、3. 2に示すような地盤改良を施さずとも、安定条件を満足する可能性がある。本設計期間内で土質調査を実施することは困難であったため、軟弱層の強度増加確認に必要な土質調査を提案し、安定条件を満足するのに必要な強度定数(目安値)を整理した。

表-7 強度増加率 m の目安

土質	強度増加率 m
粘性土	0.30~0.45
シルト	0.25~0.40
有機質土及び黒泥	0.20~0.35
ビート	0.35~0.50

4. 1 強度増加を考慮した擁壁の安定計算

軟弱層の強度増加を見込むことで、当該擁壁の安定条件が確保される可能性があるか検証を行った。

なお、ここで強度増加を見込むパラメータは土の粘着力であるが、この強度増加だけでは、軟弱層上面での支持力を確保することは難しい。(内部摩擦角 $\phi=0^\circ$ の場合、粘着力 $c=220\text{kN/m}^2$ 程度必要。)

そのため、ここでは擁壁の全体安定についてのみ検証を行うこととし、支持力確保を含めた検討については次節 4. 2にて整理する。

表-8 粘着力の算出結果

地質	盛土前粘着力 c_{u0} (kN/m ²)	増加応力 Δp (kN/m ²)	圧密度 U (%)	鉛直応力 $P_c (= \Delta p \cdot U)$ (kN/m ²)	強度増加率 m	粘着力算定値 c_{u1} (kN/m ²)
Ts	18.0	60.8	100	60.8	0.30	36.2

(1) 強度増加後の粘着力の算定

盛土荷重による強度増加を見込んだ軟弱層の非排水粘着力 c_{u1} は、図-9に示す考え方により推定するものとし、次の式により求める¹⁰⁾。

$$c_{u1} = c_{u0} + m \cdot \Delta p \cdot U$$

ここに、 c_{u0} : 盛土前の非排水粘着力(kN/m²)、 m : 強度増加率、 Δp : 盛土荷重による増加応力(kN/m²)、 U : 圧密度(%)

(2) 強度増加後の粘着力を用いた安定計算結果

前述の粘着力算定値 c_{u1} による安定計算結果を図-10に示す(壁高最大断面での計算結果)。

安定計算の結果、全体安定は所定の安全率を満足することがわかった。よって、当該設計箇所においても、先行盛土による軟弱層の強度増加が十分に発現されれば、擁壁の全体安定は確保される可能性があると考えられる。

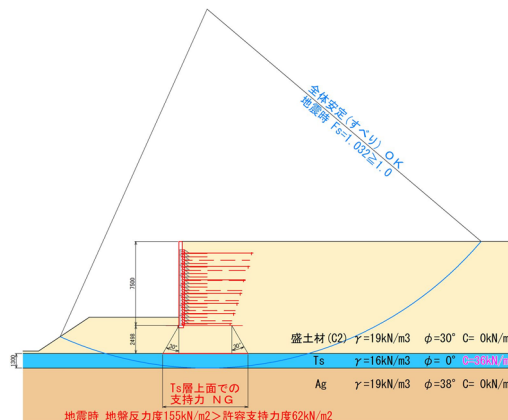


図-10 強度増加後の粘着力を用いた安定計算結果

4. 2 必要強度定数の整理

軟弱層の強度増加を確認するために、本設計では土質調査の提案を行った。設計上、軟弱層の内部摩擦角は $\phi=0^\circ$ としているが、実際にはある程度、内部摩擦角を有している可能性がある。内部摩擦角が大きくなれば、土のせん断強さも増加するため、粘着力 c の強度増加が十分に見込まれずとも、安定条件を満足することが考えられる。

そのため、内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c を評価するため、土の三軸圧縮試験(UU試験)を実施することとした。強度定数の確認に必要な土質試験として、提案した内容を図-11に示す。

試験値から設定した強度定数で全体安定、支持力の許容値を満足すれば地盤改良等の軟弱地盤対策を必要としない。安定条件を満足するために必要な強度定数を算定し、目安値として、内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c の組合せを整理した結果を表-9に示す。これにより、土質調査実施後、軟弱地盤対策の必要性を素早く現場判断できるようになった。

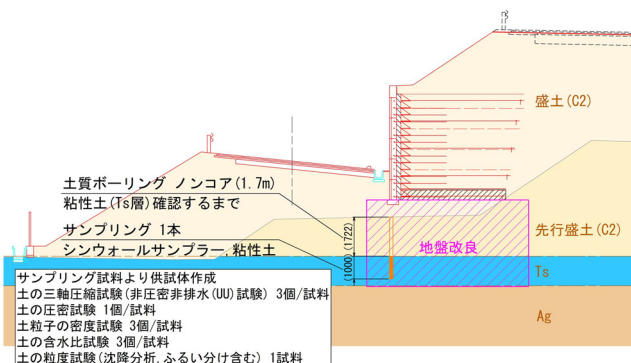


図-11 必要となる土質調査

表-9 安定条件を満足する強度定数の目安値

地質	Case	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)	許容支持力度 (軟弱層上面) q_a (kN/m ²)
Ts	Case1	16.0	0	220	163.361
	Case2		5	175	165.280
	Case3		10	125	163.488
	Case4		15	75	163.061
	Case5		20	30	164.240
	Case6		25	5	167.433

あとがき

本稿では、軟弱地盤対策として採用された地盤改良(中層混合処理)を用いた擁壁計画と、盛土荷重による軟弱層の強度増加を見込んだ際の擁壁の安定性に関し、検討を行った事例について報告した。

本研究により得られた結果、考察を以下に要約する。

(1) 軟弱層の地盤支持力が不足する場合、高強度ジオテ

キスタイルを敷設する対策だけでは十分な抑制効果を期待することはできない。本事例のように、軟弱層が施工基面より深い位置に存在し、対策を要する場合には、地盤改良の適用が有効である。

(2) 盛土荷重により軟弱層の非排水粘着力は強度増加が見込まれる。内部摩擦角についても、粘性土の場合、一般的に設計上は $\phi=0^\circ$ とするが、実際にはある程度、内部摩擦角を有している可能性がある。データをよく吟味した上で、必要に応じ土質試験を実施する等し、設計対象物に適した強度定数を設定することが望ましい。

なお、軟弱層の強度増加の確認については、本設計期間内で土質調査を実施することが困難であったことから未実施であり、今後の試験結果を踏まえ、より最適な擁壁構造・軟弱地盤対策を講じることが望まれる。

末筆ですが、本稿を作成するにあたり、ご指導、ご助言を賜った関係各位には、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説，日本道路協会，H29.3.31，p.44
- 2) 日本道路協会：道路土工-擁壁工指針，日本道路協会，H24.7.30，p.48
- 3) 国土交通省 道路局：道路土工構造物技術基準，国土交通省 道路局，H27.3.31
- 4) 日本道路協会：道路土工-カルバート工指針，日本道路協会，H22.3.31，p.102
- 5) 日本道路協会：道路土工-擁壁工指針，日本道路協会，H24.7.30，p.66
- 6) 補強土(テールアルメ)壁工法設計・施工マニュアル作成委員会：補強土(テールアルメ)壁工法設計・施工マニュアル第4回改訂版，土木研究センター，H26.8
- 7) 多数アーカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル第4版改訂委員会：多数アーカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル第4版，土木研究センター，H26.8
- 8) アテムウォール(補強土壁)工法設計・施工マニュアル技術委員会：アテムウォール(補強土壁)工法設計・施工マニュアル，土木研究センター，H26.9
- 9) ジオテキスタイル補強土工法普及委員会：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル第二改訂版，土木研究センター，H25.12，pp.364-366
- 10) 日本道路協会：道路土工-軟弱地盤対策工指針，日本道路協会，H24.8.31，pp.147-148
- 11) 日本道路協会：道路土工-軟弱地盤対策工指針，日本道路協会，H24.8.31，p.83