

7-9. 地盤(土地の安定性、地盤沈下)

(1) 現況調査

① 調査内容

対象事業実施区域およびその周辺の地盤の状況を把握するため、現地調査を行った。

② 調査方法

調査は以下により実施した。

・機械ボーリング(φ66mm：4箇所、φ116mm：2箇所)

機械ボーリングは、ハイドロリック型(油圧フィード)ロータリー式ボーリングマシンを用い、孔径φ=66mmまたは116mmで掘進した。

掘進にあたっては、シングルコアチューブを使用し、コア採取率の向上に努めた。

原則として、地下水位を確認するまでは無水掘で行い、以後ケーシングパイプによって孔壁の安定を保ちながら掘進した。掘進作業中は、翌朝の作業前に孔内水位を測定した。なお、掘削後の孔は検尺終了後、現地発生土にて埋め戻し、廃資材等も完全に回収して原形復旧した。

ボーリング地点を図7-9-1に示す。

・標準貫入試験4箇所

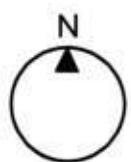
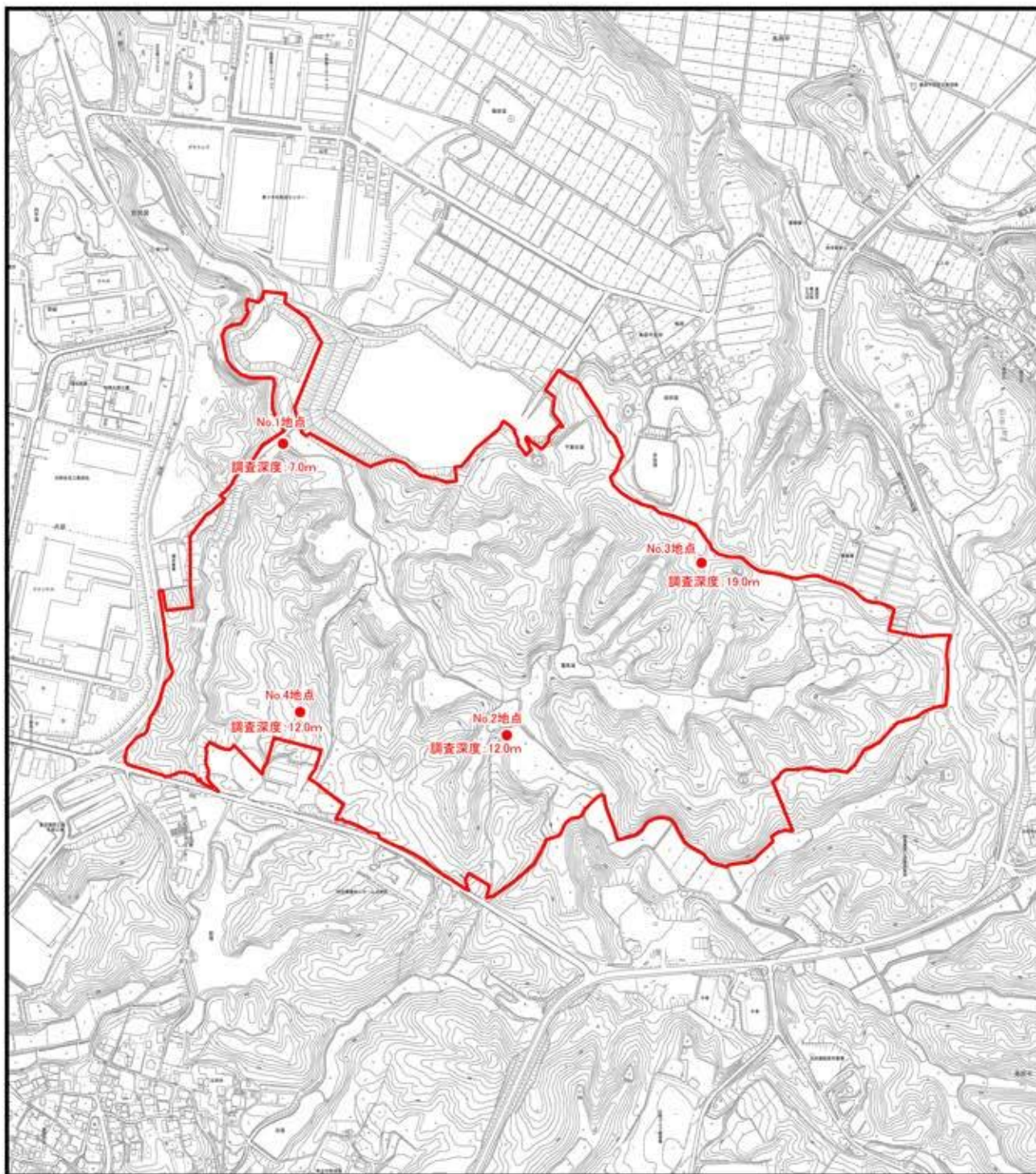
標準貫入試験は、原位置における土の硬軟あるいは土の締め具合の相対指数であるN値の測定と土の代表的な試料(攪乱試料)の採取を目的として実施した。

試験方法はJIS-A-1219の規格に従い、標準貫入試験用サンプラーを所定の孔底に下し、重量63.5±0.5kg、落下高さ76±1cmよりドライブハンマーの自由落下による打撃で15cmの予備打ちの後、30cm貫入させ更に5cmの後打ちを行った。この30cm貫入の際の打撃回数をN値とするもので、打撃回数の上限は60回とし貫入量10cm毎に打撃回数を記録した。なお地盤の強度評価については粘性土を対象として相対稠度、砂質土を対象として相対密度の判定により実施した。

表7-9-1 相対稠度、相対密度

N値	相対稠度 (粘性土)	N値	相対密度 (砂質土)
0~4	軟らかい	0~4	非常に緩い
4~8	中位	4~10	緩い
8~15	硬い	10~30	中くらい
15~30	非常に硬い	30~50	密な
30以上	固結した	50以上	非常に密な

出典：(公)地盤工学会「地盤調査の方法と解説」(2013)



1 : 10 , 000

200m 0 200 400

● : ボーリング調査地点

図7-9-1

ボーリング調査地点位置図



対象事業実施区域

- ・ シンウォールサンプリング 1 箇所 (1 試料)、デニソンサンプリング 2 箇所 (2 試料)

試料のサンプリングは、土質により採取方法が異なるため、地盤工学会基準に準拠し実施した。本調査では、軟らかい粘性土を対象としてシンウォールサンプリングを、やや硬質な粘性土を対象としてデニソンサンプリングを実施した。サンプリング後は、サンプルの両端をパラフィン等で密封し、振動を与えないように試験室まで運搬した。

- ・ 室内土質試験

持ち帰った試料について、土の諸性質を明らかにする目的で室内土質内試験を実施した。

実施した室内土質試験の基準および規格は以下によった。

- ・ 土の湿潤密度試験：JGS-0191、JIS-A-1225
- ・ 土の圧密排水（UU）三軸圧縮試験：JGS-0521

調査は令和 2 年 4 月 20 日～令和 2 年 7 月 3 日の期間に実施した。

③ 調査結果

A. ボーリング調査結果

ボーリング調査結果の概要を表 7-9-2 に示す。

柱状図は資料編 p. 129～132 に掲載した。

ボーリング調査を実施した地点の地盤構成は、調査深度内では上部より盛土層、沖積層、古琵琶湖層群が分布している。

B. 土質試験結果

土質試験結果の概要を表 7-9-3 に示す。

本調査で得られた土の単位体積重量の値は、表 7-9-4 の値と比較して概ね妥当であると考えられる。

C. 土質定数

ボーリング調査結果より得られた N 値から各土質定数を算定した。

算定結果を表 7-9-5 に示す。（算定方法の詳細は資料編 p. 133～152 に掲載した。）

表 7-9-2 ボーリング結果の概要

地点	時代	地層名	地質名 (記号)	N 値		層厚 (m)	特 徴
				範囲	平均値		
No. 1	現世	盛土層	粘性土主体 (B)	—	—	1.00	玉石混じり砂質粘土主体の盛土。粘性は弱位。全体に少量の細砂を混入する。玉石はφ100mm程度。含水量は中位。
	完新世	沖積層	粘性土層 (Ac)	1	1.0	2.10	砂質粘土主体。粘性は弱位。全体に細砂を混入する。含水量は少ない。
	更新世	古琵琶湖層群	粘性土層 (Kc)	12~46	31.4	4.40	粘土~固結粘土主体。粘性は中位。全体に固結化しており硬質である。7.30m付近より若干の微細砂を混入する。含水量は少ない。
No. 2	更新世	古琵琶湖層群	粘性土層 (Kc)	4~60	34.9	12.50	粘土~固結粘土~砂質シルト主体。粘性は弱位~中位。全体に固結化しており硬質である。混入する砂は微細砂主体。11.70~12.10m間は砂を挟在する。含水量は少ない。
No. 3	更新世	古琵琶湖層群	粘性土層 (Kc)	20~60	50.9	19.35	粘土~シルト質粘土~固結粘土~砂質シルト~砂混じりシルト主体。粘性は弱位~中位。全体に固結化しており硬質である。混入する砂は微細砂~細砂主体。局部的に有機物を混入する。含水量は少ない。
No. 4	更新世	古琵琶湖層群	粘性土層 (Kc)	12~60*	29.5	0.15~2.05	砂質シルト~粘土~砂混じりシルト~固結粘土主体。粘性は弱位~中位。全体に固結化傾向にあり硬質である。混入する砂は微細砂~細砂主体。含水量は少ない。
			砂質土層 (Ks)	9~45*	27.9	0.30~2.40	砂~シルト混じり砂主体。砂は細砂主体。含水量は少ない。

* : 貫入試験が2層に渡る場合は10cm毎の打撃数から推定した。

表 7-9-3 土質試験結果の概要

試料採取地点		No. 1		No. 2	
試料番号		T1-1	D1-1	K2-2	
(深さ)		1.80~2.50m	3.20~4.05m	3.00~4.50m	
一般	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.798	1.805	1.675	
	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.306	1.299	1.123	
	自然含水比 w_n (%)	37.7	39.0	49.1	
	単位体積重量 (kN/m ³)	17.6	17.7	16.4	
せん断	全応力表示	試験条件	UU	UU	UU
		粘着力 C (kN/m ²)	27	428	300
		せん断抵抗角 ϕ (°)	0.0	0.0	0.0
地層名		Ac層	Kc層	Kc層	

表 7-9-4 土の単位体積重量既存データ

種類	状態		単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	地盤工学会 基準*2
盛土	礫および礫まじり砂	締固めたもの	20	40	0	{G}
	砂	締固めたもの	20	35	0	{S}
		粒径幅の広いもの	20	35	0	
		分級されたもの	19	30	0	
	砂質土	締固めたもの	19	25	30以下	{SF}
粘性土	締固めたもの	18	15	50以下	{M}、{C}	
関東ローム	締固めたもの	14	20	10以下	{V}	
自然地盤	礫	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	40	0	{G}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	35	0	
	漢まじり砂	密実なもの	21	40	0	{G}
		密実でないもの	19	35	0	
	砂	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	30	0	
	砂質土	密実なもの	19	30	30以下	{SF}
		密実でないもの	17	25	0	
	粘性土	固いもの(指で強く押し多少へこむ)*1	18	25	50以下	{M}、{c}
		やや軟らかいもの(指の中程度の力で貫入)*1	17	20	30以下	
		軟らかいもの(指が容易に貫入)*1	16	15	15以下	
	粘土 および シルト	固いもの(指で強く押し多少へこむ)*1	17	20	50以下	{M}、{C}
		やや軟らかいもの(指の中程度の力で貫入)*1	16	15	30以下	
		軟らかいもの(指が容易に貫入)*1	14	10	15以下	
関東ローム		14	5(φu)	30以下	{V}	

注) *1: N値の目安は次のとおりである。

固いもの(N=8~15)、やや軟らかいもの(N=4~8)、軟らかいもの(N=2~4)

*2: 地盤工学会基準の記号は、およその目安である。

出典: NEXCO 設計要領第一集

表 7-9-5 ボーリング調査地点の各地層の土質定数

地点	地層名		記号	設計N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 φ (°)	変形係数 E (MN/m ²)
No. 1	盛土層	粘性土主体	B	—	18.0	—	—	—
	沖積層	粘性土層	Ac	1.0	17.6	27.0	0.0	2.8
	古琵琶湖層群	粘性土層	Kc	31.4	17.7	428.0	0.0	87.9
No. 2	古琵琶湖層群	粘性土層	Kc	34.9	16.4	300.0	0.0	97.7
No. 3	古琵琶湖層群	粘性土層	Kc	50.9	18.0	318.1	0.0	142.5
No. 4	古琵琶湖層群	粘性土層	Kc	29.5	18.0	184.4	0.0	82.6
		砂質土層	Ks	27.9	18.0	0.0	35.8	78.1

注) N値の上限値は60として推定を行った。

太字は土質試験値を示す。

(2) 予 測

(2)-1 土地の安定性に及ぼす影響

① 予測内容

事業により形成される洪水調整池や宅地の法面の存在が、土地の安定性に与える影響について予測した。

② 予測方法

以下の適用指針に従い、斜面の安全率が基準を満たしているか否かにより、土地の安定性の検討を行った。

- ・「開発に伴う雨水排水計画基準(案)」(平成14年4月滋賀県土木交通部河港課作成)
- ・「開発に伴う雨水排水計画に関する基準」(各河川・水路等の管理者(市町長等)作成)
- ・「防災調節池等技術基準(案)」((社)日本河川協会)
- ・「大規模宅地開発に伴う調節池技術基準(案)」((社)日本河川協会)
- ・「宅地防災マニュアルの解説」(宅地防災研究会)

A. 円弧すべり計算による安全率の計算式

安全率は「修正フェレニウス法 円弧すべり(有効応力法)」に準じて、以下の式を用いて、常時および地震時の2ケースで計算した。なお調整池法面については空虚時、満水時の別で計算した。

$$F = \sum \{Cl + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot l) \tan \phi\} / \sum (W \cdot \sin \alpha) \cdots \cdots \cdots \text{常時}$$

$$F = \sum \{Cl + ((W \cdot \cos \alpha - u \cdot l) - kh \cdot W \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi\} / \sum (W \cdot \sin \alpha + kh \cdot W \cdot \cos \alpha) \cdots \cdots \text{地震時}$$

ここで、 F: 安全率

W : 各分割片のすべり面より上の土と水の重量(載荷重を含む) (kN/m)

α : 各分割片の底版と水平面のなす角度 (度)

l : 各分割片の底版長(=b/cos α) (m)

b : 各分割片の幅 (m)

C : 各分割片の底版位置における土の粘着力 (kN/m²)

ϕ : 各分割片の底版位置における土の内部摩擦角 (度)

u : 各分割片の底版位置における間隙水圧 (kN/m²)

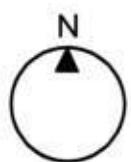
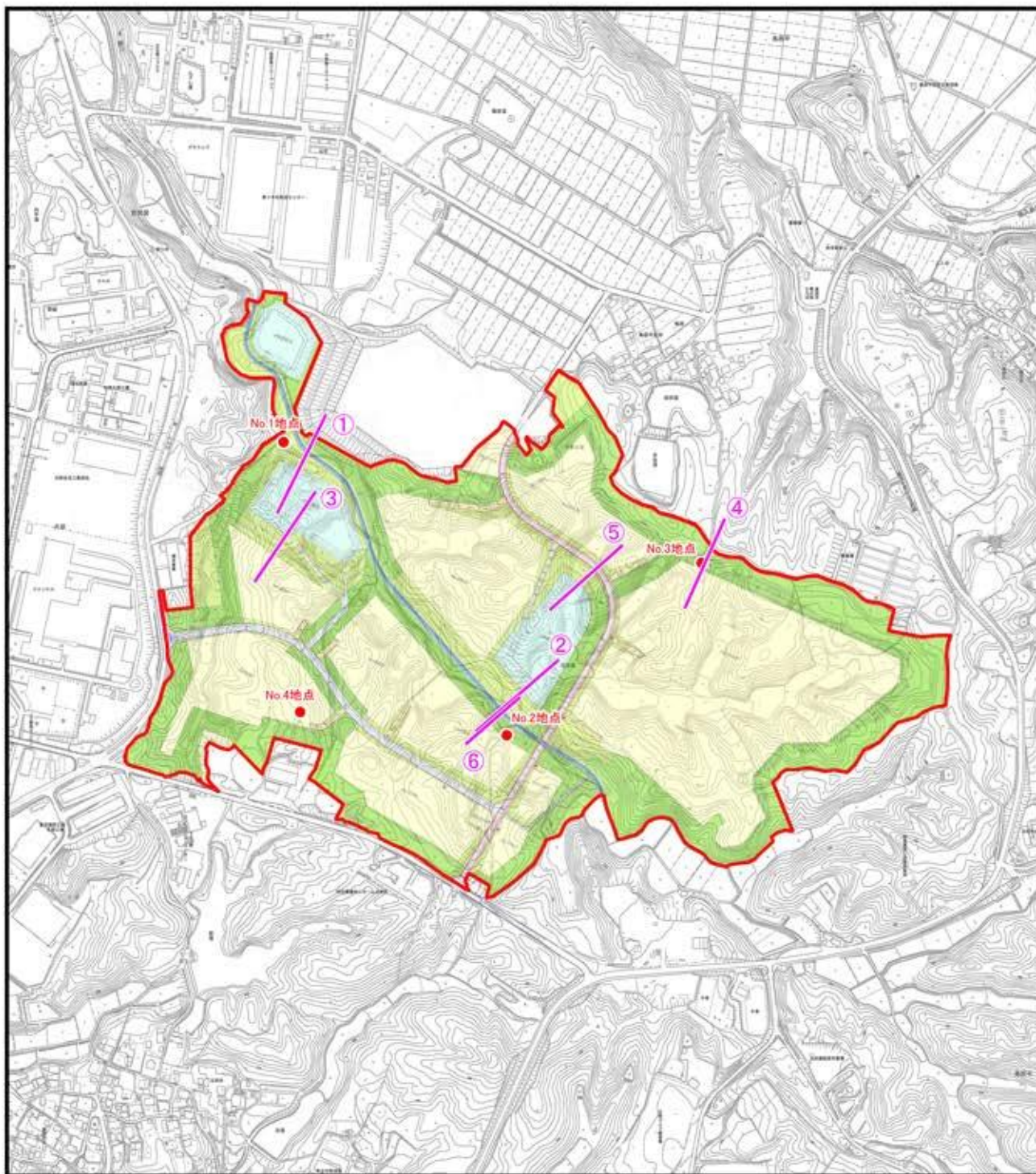
r : すべり円の半径 (m)

h : 各分割片の重心と円弧の中心の鉛直距離 (m)

$$\cos \alpha = h / r$$

kh : 設計水平震度 $\cdots \cdots \cdots$ 常時の場合はkh=0

円弧すべり計算の検討位置を図7-9-2に示す。切土部分については④が区域内で最も大きな切土斜面であり、④を除く残りの①～⑥は調整池があることから斜面解析の地点として選定した。



1 : 10 , 000

200m 0 200 400



: 円弧すべり計算検討断面

図7-9-2

円弧すべり計算検討断面位置図



対象事業実施区域

③ 予測条件

地盤の条件を表7-9-6に示す。

各断面の地層構成は、現地調査結果と造成計画を考慮して設定した。各地層の土質定数は、現地調査結果をもとに設定した。なお、提体および宅地盛土は流用土を使用することから、提体部および宅地盛土の裏面部の盛土材は3,000m³ごとに3試料のサンプリングを行い、三軸圧縮試験により単位体積重量(γ)=18kN/m³、粘着力(C)=30kN/m²以上が得られているか確認を行うこととしている。また河川改修部およびその周辺の盛土法尻7m幅程度の範囲の、沖積層の粘性土についてはN値が低く、強度が不足していることからセメント系固化剤で改良し、C=120kN/m²以上の強度を確保することとしている。

表7-9-6 地盤の条件

検討断面	地層番号	地層区分	上流						下流					
			空虚			満水			空虚			満水		
			γ	c	ϕ	γ	c	ϕ	γ	c	ϕ	γ	c	ϕ
1号調整池 断面①	1	流用盛土(切土・搬入土)	18	30	0	18	30	0	18	30	0	18	30	0
	2	地山(沖積層、粘性土)	18	27	0	18	27	0	18	27	0	18	27	0
	3	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	18	400	0	18	400	0	18	400	0	18	400	0
	4	改良土(沖積層を地盤改良)	18	120	0	18	120	0	18	120	0	18	120	0
	5	改良土(沖積層を地盤改良)	18	120	0	18	120	0	18	120	0	18	120	0
	6	地山(沖積層、粘性土)	18	27	0	18	27	0	18	27	0	18	27	0
	7	地山(沖積層、粘性土)	18	27	0	18	27	0	18	27	0	18	27	0
	8	湛水(濁水)				11	0	0				11	0	0
2号調整池 断面②	1	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	16.5	300	0	16.5	300	0	16.5	300	0	16.5	300	0
	2	流用盛土(切土・搬入土)	18	30	0	18	30	0	18	30	0	18	30	0
	3	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	18	400	0	18	400	0	18	400	0	18	400	0
	4	湛水(濁水)				11	0	0				11	0	0
1号調整池 断面③	1	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	18	400	0	18	400	0						
	2	地山(沖積層、粘性土)	18	27	0	18	27	0						
	3	湛水(濁水)				11	0	0						
切土法面 断面④	1	地山(古琵琶湖層群、粘性土)	18	50	0									
	2	地山(段丘堆積物、粘性土)	17	30	0									
2号調整池 断面⑤	1	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	18	400	0	18	400	0						
	2	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	16.5	300	0	17	300	0						
	3	流用盛土(切土・搬入土)	18	30	0	18	30	0						
	4	湛水(濁水)				11	0	0						
2号調整池 西側宅地法面 断面⑥	1	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	16.5	300	0									
	2	流用盛土(切土・搬入土)	18	30	0									
	3	地山(古琵琶湖層群、固結粘土)	18	400	0									

④ 予測結果

円弧すべり計算による斜面の安定性の検討結果を表7-9-7に示す。(各断面、各ケースにおける最小安全率のすべり面の位置は資料編p.153~180に掲載した。)

検討対象とした6断面については、いずれのケースでも最小安全率は基準を上回っており、安定性は確保されると予測される。

表7-9-7 円弧すべり計算結果一覧

番号	位置	条件			安全率		判定	備考
		堤体条件	貯水条件	地震	基準	結果		
1	1号調整池 断面位置①	上流側	空虚	常時	1.5	2.536	OK	地層ブロック4,5についてはセメント系固化剤で地盤改良
				0.2	1.2	1.228	OK	
			満水	常時	1.5	2.911	OK	
		0.1		1.2	1.267	OK		
		下流側	空虚	常時	1.5	3.431	OK	
				0.2	1.2	1.861	OK	
満水	常時		1.5	2.962	OK			
	0.1	1.2	2.069	OK				
2	2号調整池 断面位置②	上流側	空虚	常時	1.5	27.931	OK	
				0.2	1.2	11.666	OK	
			満水	常時	1.5	65.161	OK	
		0.1		1.2	22.979	OK		
		下流側	空虚	常時	1.5	28.719	OK	
				0.2	1.2	9.718	OK	
満水	常時		1.5	28.724	OK			
	0.1	1.2	14.655	OK				
3	1号調整池 断面位置③	上流側	空虚	常時	1.5	36.732	OK	
				0.2	1.2	13.874	OK	
			満水	常時	1.5	44.617	OK	
0.1	1.2	21.217		OK				
4	切土法面 断面位置④	-	-	常時	1.5	5.513	OK	
				0.2	1.2	1.603	OK	
5	2号調整池 断面位置⑤	上流側	空虚	常時	1.5	12.913	OK	
				0.2	1.2	15.774	OK	
			満水	常時	1.5	12.913	OK	
				0.1	1.2	21.185	OK	
6	2号調整池 断面位置⑥ 西側宅地法面	-	-	常時	1.5	15.688	OK	
				0.2	1.2	9.229	OK	

(2)-2 地盤沈下に及ぼす影響

① 予測内容

事業の実施による盛土により、地盤沈下を生じる可能性について予測する。

② 予測方法

現況の地質調査結果から判明した問題点と、造成工事で講じる対策を対比することにより予測する。

③ 予測条件

A. 現況の地質調査結果から判明した問題点

地質調査結果によると、野川沿いおよび谷筋には谷底堆積物や低位段丘層が分布しており、ボーリング地点No.1での貫入試験では、これらの地層のN値は極めて低いことが確認されている。このような地層の上に盛土を行った場合、沈下や崩壊を生じるおそれがある。

なお、地質断面図に示すように、対象事業実施区域および周辺の地層は北西方向へ傾斜しているが、地すべりの兆候は確認されておらず、防災関係の規制区域には指定されていない。

B. 造成工事で講じる対策

谷底堆積物や低位段丘層が分布している区域（野川の河川付替え範囲およびその両サイドの盛土法尻、調整池内の盛土堤体法面部、野川周辺の谷筋底部）についてはセメント系改良材による地盤改良を行う。厚さが1～2 m程度の軟弱層の場合は、ズリによる置き換えを行う。野川の付替えでは河床を1～2 m上げるため、付替え範囲では現状を地盤改良したのち良質土で1～2 mの盛土を行う。

野川周辺の谷筋は、併せて暗渠によりある程度排水するとともに、大型ダンプの走行、重機による転圧で、強制圧密が作用する。

なお、セメント系改良材による地盤改良については六価クロム溶出の問題が生じることがあるため、資材の購入に当たっては六価クロム含有量が低い材料を選定するとともに、室内試験で溶出がないことを確認したうえで施工する。

また盛土部分に根株や枝葉等、腐って空洞ができるものは埋めないよう現場作業員に徹底する。

④ 予測結果

地盤沈下については、現地調査から判明した軟弱地盤に対して対策を実施するとともに、盛土の安定性を損なわないよう工事を行うことにより不同沈下は生じないと予測される。

(3) 評価

① 評価の方法

評価は、環境の保全上の目標と予測結果および環境保全のための措置を対比し、その整合性を検討するとともに、地盤(土地の安定性・地盤沈下)への影響が実行可能な範囲内で回避または低減されるか否かについて検討することで行った。

② 環境の保全のための措置

環境の保全のための影響の回避・低減対策は以下のとおり計画している。

A. 工事中

- ・ 谷底堆積物や低位段丘層が分布している区域の内、中央の河川付替え付近の両サイドの盛土法尻と調整池内の盛土法面部についてはセメント系改良材による地盤改良を行う。
- ・ 厚さが1～2 m程度の軟弱層の場合は、ズリによる置き換えを行う。
- ・ 付替河川により河床を1～2 m上げるため、付替河川付近では現状を地盤改良し、良質土の盛土を1～2 m行う。
- ・ 盛土部分に根株や枝葉等、腐って空洞ができるものは埋めないよう現場作業員に徹底する。

③ 環境の保全上の目標

地盤(土地の安定性・地盤沈下)の環境の保全上の目標は、生活環境の保全上支障を招かないことを基本として、次のように設定した。

土地の安定性に支障を生じないこと。 地盤沈下を生じさせないこと。

④ 環境の保全上の目標との整合性の検討

A. 土地の安定性に及ぼす影響

円弧すべり計算による斜面の安定性の検討の結果、検討対象とした6断面については、いずれのケースでも最小安全率は基準を上回っており、安定性は確保されると予測されたことから、環境の保全上の目標と整合している。

ただし、現地で土質調査は行ったものの代表地点の特性のみをもって予測を行っているため、予測地点として選択しなかった区域内の切土斜面および盛土斜面については、現地盤の土質・地質、盛土材の特性等が解析諸元と同等または同等以上であることを確認する必要があり、また軟弱地盤上についての盛土は動態観測等の品質管理が最も重要であることから、造成工事にあたって沈下量・隆起量および水平移動量の地盤変形観測や現地発生盛

土材の土質試験を実施し、予測・評価の妥当性を確認する。

B. 地盤沈下を生じる可能性

現地調査から判明した軟弱地盤に対して対策を実施するとともに、盛土の安定性を損なわないよう工事を行うことにより不同沈下は生じないと予測されたことから、環境の保全上の目標と整合している。

⑤ 評価

予測を行った各項目について、予測結果と環境の保全上の目標は整合が取れており、実行可能な範囲で影響を回避または低減できていると評価する。