

< 参考資料-9 安定計算の一例 >

安定計算の計算事例を図6-26に示す。

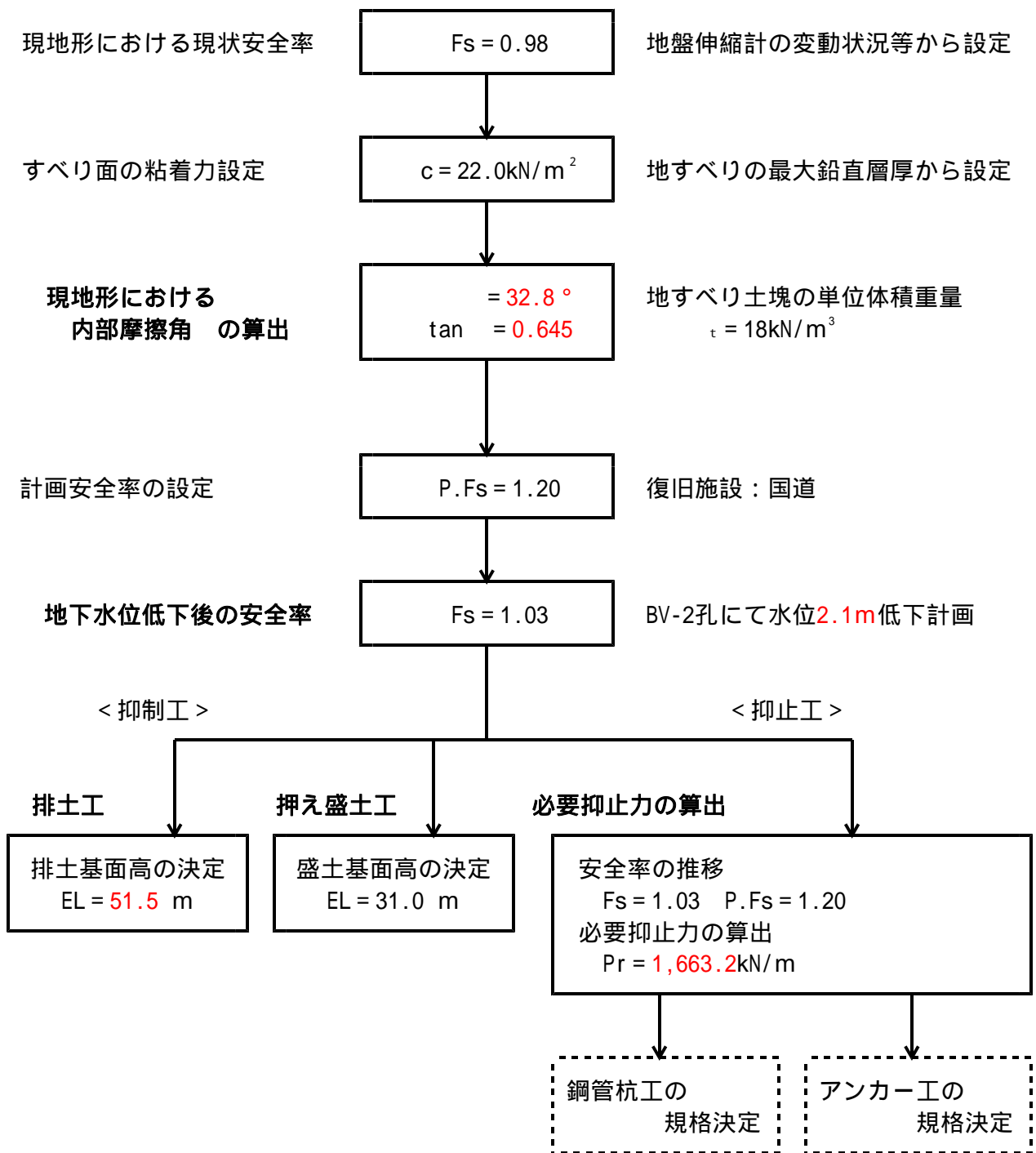


図6-26 安定計算フロー

現地地形における内部摩擦角 の算出

現状安全率時 ($F_s = 0.98$) における内部摩擦角 () を算出する (図6-27, 表6-13参照)。現地地形におけるスライス集計表 (表6-12参照) から得られた地すべりの諸元 (表6-13参照), 並びに粘着力 ($c=22.0\text{kN/m}^2$) を式6-5 へ代入して内部摩擦角を逆算する。

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{F_s \sum T - c \sum L}{\sum (N - U)} \quad \dots\dots (式6-5) \\ &= \frac{0.98 \times 9,919.92 - 22.0 \times 95.30}{16,034.90 - 4,217.60} \\ &= 0.645 \end{aligned}$$

以上により, すべり面の土塊強度は以下のとおりとなる。

$$c = 22.0\text{kN/m}^2, \quad \tan \phi = 0.645 \quad (\phi = 32.8^\circ)$$

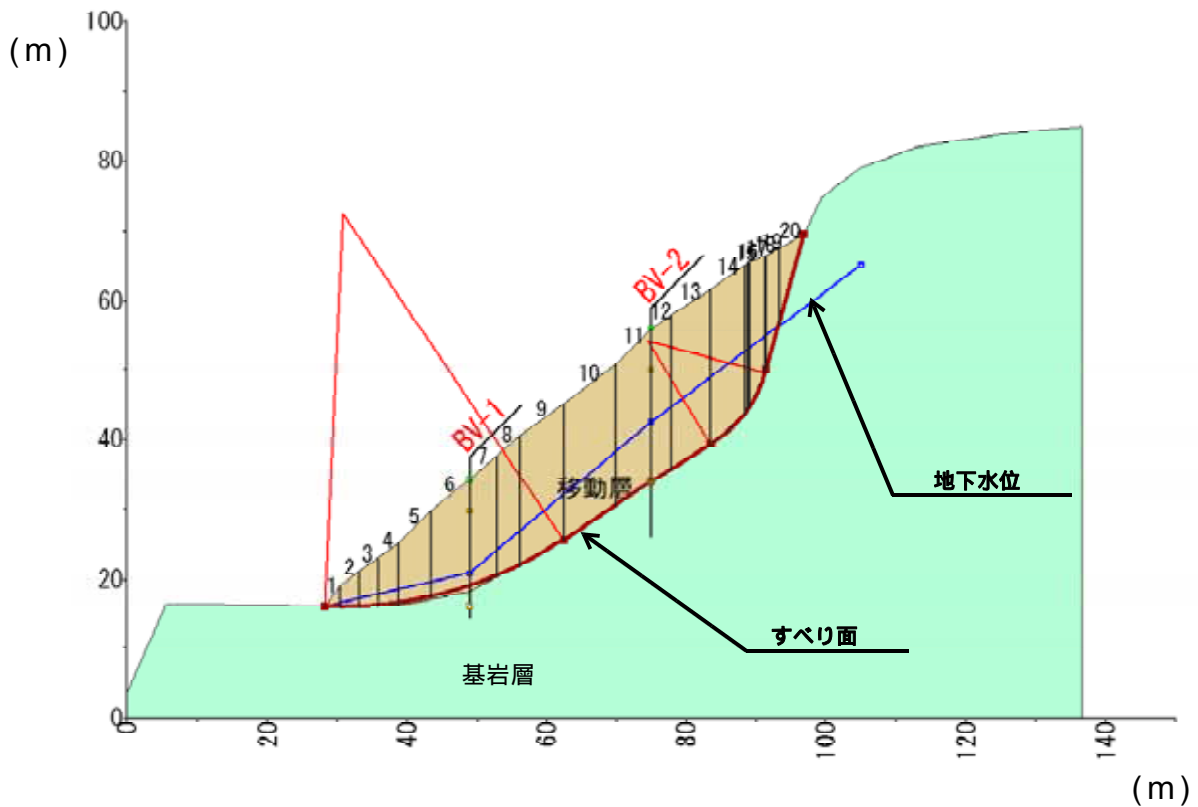


図6-27 現地地形におけるスライス分割図

表6-12 現地地形におけるスライス集計表

No.	スライス			すべり面長 L(m)	すべり面 傾斜角 (°)	水位から すべり面深さ h w(m)	スライス の重量 W(kN/m)	すべり面 法線分力 N(kN/m)	間隙水圧 U(kN/m)	地すべり 抵抗力 S(kN/m)	地すべり力 T(kN/m)	有効抵抗力 Ru(kN/m)	
	すべり面深さ h(m)		幅 d(m)									左側	右側
	左側	右側											
1	0.000	3.063	2.200	2.201	-1.262	0.295	61.1	61.1	6.4	83.716	-1.346	0.0	85.1
2	3.063	5.119	2.800	2.801	1.017	0.882	206.8	206.8	24.2	179.439	3.671	85.1	260.8
3	5.119	6.782	2.575	2.581	3.682	1.402	276.4	275.8	35.5	211.828	17.750	260.8	454.9
4	6.782	8.527	2.925	2.943	6.472	1.792	403.7	401.1	51.7	290.186	45.504	454.9	699.6
5	8.527	12.270	4.700	4.779	10.461	2.098	882.6	867.9	98.4	601.635	160.247	699.6	1141.0
6	12.270	15.398	5.600	5.819	15.778	2.089	1399.7	1347.0	119.2	920.219	380.588	1141.0	1680.6
7	15.398	17.264	3.764	4.024	20.694	2.779	1108.3	1036.8	109.7	686.711	391.655	1680.6	1975.7
8	17.264	18.653	3.336	3.669	24.572	4.253	1079.7	981.9	153.1	615.476	448.981	1975.7	2142.2
9	18.653	19.600	6.300	7.287	30.068	5.740	2179.1	1885.9	410.3	1112.401	1091.786	2142.2	2162.8
10	19.600	20.348	7.400	8.904	33.794	7.041	2660.4	2210.9	615.0	1225.595	1479.739	2162.8	1908.6
11	20.348	22.000	5.300	6.378	33.794	8.070	2020.0	1678.7	504.9	897.675	1123.543	1908.6	1682.8
12	22.000	22.287	2.800	3.282	31.457	8.711	1116.0	952.0	280.5	505.469	582.391	1682.8	1605.8
13	22.287	22.400	5.700	6.682	31.457	9.353	2292.5	1955.6	613.1	1013.212	1196.355	1605.8	1422.7
14	22.400	21.487	4.837	6.565	41.201	9.710	1934.4	1455.4	625.3	680.027	1274.195	1422.7	828.5
15	21.487	21.178	0.463	0.790	54.141	8.950	177.8	104.2	69.4	39.834	144.100	828.5	724.3
16	21.178	20.885	0.273	0.492	56.246	8.707	103.5	57.5	42.0	20.825	86.053	724.3	659.0
17	20.885	16.947	2.186	5.352	64.083	7.332	757.3	331.0	331.0	117.744	681.137	659.0	95.6
18	16.947	16.500	0.140	0.526	74.521	5.204	42.2	11.3	11.3	11.572	40.669	95.6	66.5
19	16.500	11.131	1.757	6.584	74.521	2.504	437.0	116.6	116.6	144.848	421.150	66.5	-209.8
20	11.131	0.000	3.643	13.649	74.521	-	365.0	97.4	0.0	363.122	351.761	-209.8	-198.4

表6-13 現地地形における諸元

種別	記号	単位	結果
安全率	Fs	-	0.98
計画安全率	P.Fs	-	1.20
抑止力	Pr	kN/m	2,182.40
すべり面長	L	m	95.30
面積	A	m ²	1,083.52
法線力	N	kN/m	16,034.90
間隙水圧	U	kN/m	4,217.60
地すべり抵抗力	S	kN/m	9,721.53
地すべり力	T	kN/m	9,919.92

地下水排除工の計画

地下水排除工を実施して、現状の安全率 ($F_s = 0.98$) を向上させる。
すべり面の土塊強度は、現地形にて逆算した下記の値を使用する。

- ・粘着力 $c = 22.0 \text{ kN/m}^2$
- ・内部摩擦角 $\tan \phi = 0.645$ ($\phi = 32.8^\circ$)

以下に地下水排除工を計画し、BV-2孔において地下水位が2.1m低下した場合の安全率を算出する（図6-28参照）。

地下水排除工を実施した後（計算上はBV-2孔の地下水位が2.1m低下したものとして検討）の安全率は、地下水排除後におけるスライス集計表（表6-14参照）より算出した諸元（表6-15参照）を、式6-7 に代入して求める。

$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{(N - U) \tan \phi + c}{T} \quad \dots\dots \text{(式6-7)} \\
 &= \frac{(16,034.80 - 3,413.00) \times 0.645 + 22.0 \times 95.30}{9,919.81} \\
 &= 1.03
 \end{aligned}$$

以上により、地下水排除工の実施後における安全率は、 $F_s = 1.03$ となる。

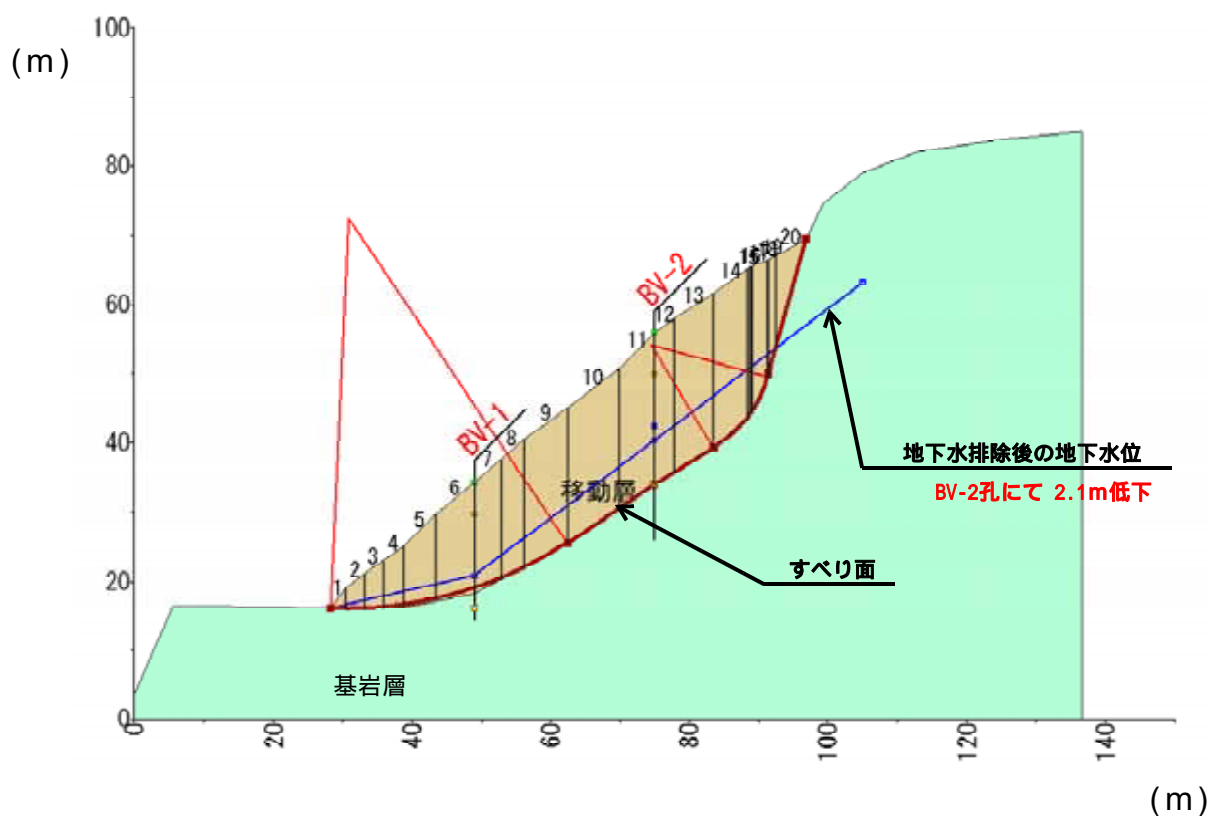


図6-28 地下水排除後におけるスライス分割図

表6-14 地下水排除後におけるスライス集計表

No.	スライス			すべり面長 L(m)	すべり面 傾斜角 (°)	水位から すべり面深さ h w(m)	スライス の重量 W(kN/m)	すべり面 法線分力 N(kN/m)	間隙水圧 U(kN/m)	地すべり 抵抗力 S(kN/m)	地すべり力 T(kN/m)	有効抵抗力 Ru(kN/m)	
	すべり面深さ h(m)		幅 d(m)									左側	右側
	左側	右側											
1	0.000	3.063	2.200	2.201	-1.262	0.295	61.1	61.1	6.4	83.716	-1.346	0.0	85.1
2	3.063	5.119	2.800	2.801	1.017	0.882	206.8	206.8	24.2	179.439	3.671	85.1	260.8
3	5.119	6.782	2.575	2.581	3.682	1.402	276.4	275.8	35.5	211.828	17.750	260.8	454.9
4	6.782	8.527	2.925	2.943	6.472	1.792	403.7	401.1	51.7	290.186	45.504	454.9	699.6
5	8.527	12.270	4.700	4.779	10.461	2.098	882.6	867.9	98.4	601.635	160.247	699.6	1141.0
6	12.270	15.398	5.600	5.819	15.778	2.089	1399.7	1347.0	119.2	920.219	380.588	1141.0	1680.6
7	15.398	17.264	3.764	4.024	20.694	2.628	1108.2	1036.7	103.7	690.518	391.620	1680.6	1979.5
8	17.264	18.653	3.336	3.669	24.572	3.816	1079.7	981.9	137.3	625.671	448.981	1979.5	2156.2
9	18.653	19.600	6.300	7.287	30.068	4.914	2179.3	1886.0	351.3	1150.533	1091.886	2156.2	2214.8
10	19.600	20.347	7.400	8.904	33.794	5.665	2660.4	2210.9	494.8	1303.150	1479.739	2214.8	2038.3
11	20.347	22.000	5.300	6.378	33.794	6.183	2020.0	1678.7	386.9	973.811	1123.543	2038.3	1888.5
12	22.000	22.287	2.800	3.282	31.457	6.611	1116.0	952.0	212.9	549.086	582.391	1888.5	1855.2
13	22.287	22.400	5.700	6.682	31.457	7.253	2292.5	1955.6	475.4	1102.059	1196.355	1855.2	1760.9
14	22.400	21.487	4.837	6.565	41.201	7.609	1934.4	1455.4	490.0	767.325	1274.195	1760.9	1254.1
15	21.487	21.178	0.463	0.790	54.141	6.853	177.9	104.2	53.1	50.351	144.181	1254.1	1160.2
16	21.178	20.885	0.273	0.492	56.246	6.585	103.3	57.4	31.8	27.342	85.886	1160.2	1101.7
17	20.885	16.947	2.186	5.352	64.083	5.232	757.3	331.0	274.7	154.070	681.137	1101.7	574.6
18	16.947	16.500	0.140	0.526	74.521	3.136	42.2	11.3	11.3	11.572	40.669	574.6	545.5
19	16.500	13.383	1.020	3.822	74.521	1.451	274.3	73.2	54.4	96.214	264.351	545.5	377.4
20	13.383	0.000	4.380	16.412	74.521	-	527.6	140.8	0.0	451.911	508.464	377.4	320.8

表6-15 地下水排除後における諸元

種別	記号	単位	結果
安全率	Fs	-	1.03
計画安全率	P.Fs	-	1.20
抑止力	Pr	kN/m	1,663.20
すべり面長	L	m	95.30
面積	A	m ²	1,083.51
法線力	N	kN/m	16,034.80
間隙水圧	U	kN/m	3,413.00
地すべり抵抗力	S	kN/m	10,240.63
地すべり力	T	kN/m	9,919.81

排土工の計画

地下水排除工実施後 (Fs = 1.03) から, 排土工を行って計画安全率 (P.Fs = 1.20) を確保する (図6-29 参照)。

排土工を計画する場合は, 下記の事項に注意を要する。

- ・ すべり面のc, は, 現地地形にて逆算した値を使用する。
- ・ 排土基面は, すべり面まで直線的に切る形状とする。
- ・ 排土に伴う地下水位の低下を勘案する。

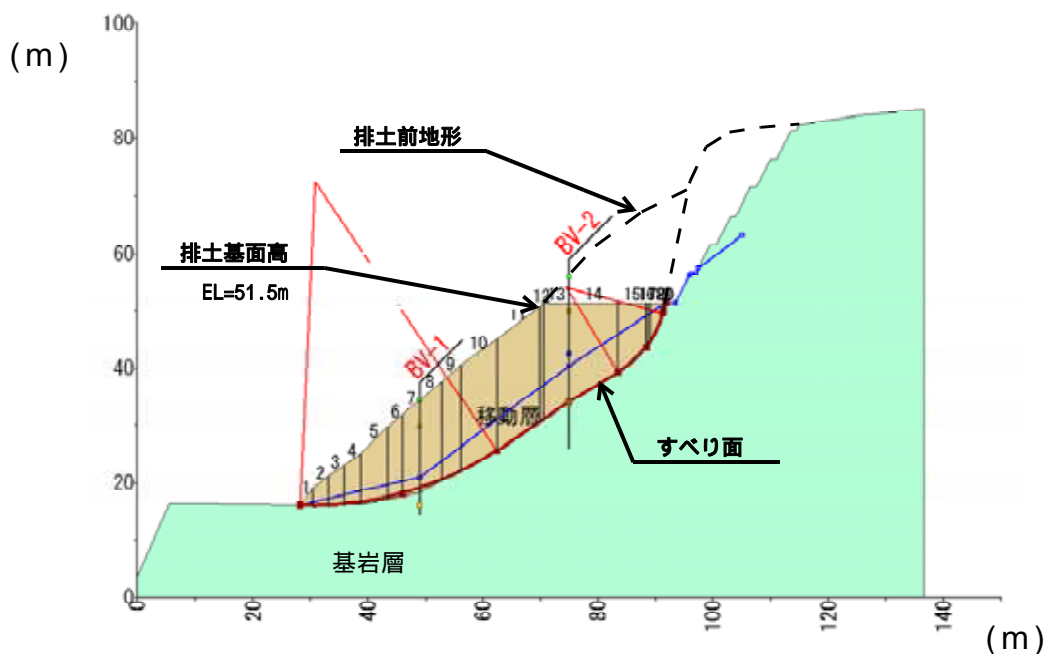


図6-29 排土工計画断面図

表6-16 排土工後におけるスライス集計表

No.	スライス			すべり面長 L(m)	すべり面 傾斜角 (°)	水位から すべり面深さ h w(m)	スライス の重量 W(kN/m)	すべり面 法線分力 N(kN/m)	間隙水圧 U(kN/m)	地すべり 抵抗力 S(kN/m)	地すべり力 T(kN/m)	有効抵抗力 Ru(kN/m)	
	すべり面深さ h(m)	幅 d(m)										左側	右側
1	0.000	3.063	2.200	2.201	-1.262	0.295	61.1	61.1	6.4	83.716	-1.346	0.0	85.1
2	3.063	5.119	2.800	2.801	1.017	0.882	206.8	206.8	24.2	179.439	3.671	85.1	260.8
3	5.119	6.782	2.575	2.581	3.682	1.402	276.4	275.8	35.5	211.828	17.750	260.8	454.9
4	6.782	8.527	2.925	2.943	6.472	1.792	403.7	401.1	51.7	290.186	45.504	454.9	699.6
5	8.527	12.270	4.700	4.779	10.461	2.098	882.6	867.9	98.4	601.635	160.247	699.6	1141.0
6	12.270	13.835	2.664	2.747	14.157	2.162	626.3	607.3	58.3	414.660	153.185	1141.0	1402.5
7	13.835	15.398	2.936	3.072	17.100	2.023	773.1	738.9	61.0	504.979	227.321	1402.5	1680.1
8	15.398	17.264	3.764	4.024	20.694	2.628	1108.2	1036.7	103.7	690.518	391.620	1680.1	1979.0
9	17.264	18.653	3.336	3.669	24.572	3.816	1079.7	981.9	137.3	625.671	448.981	1979.0	2155.7
10	18.653	19.600	6.300	7.287	30.068	4.914	2179.3	1886.0	351.3	1150.533	1091.886	2155.7	2214.3
11	19.600	20.347	7.400	8.904	33.794	5.665	2660.4	2210.9	494.8	1303.150	1479.739	2214.3	2037.8
12	20.347	20.569	0.713	0.859	33.794	5.999	262.6	218.2	50.6	127.037	146.061	2037.8	2018.7
13	20.569	17.500	4.587	5.519	33.794	6.212	1571.6	1306.1	336.3	747.152	874.139	2018.7	1891.7
14	17.500	12.300	8.500	9.964	31.457	6.606	2279.7	1944.7	645.7	1057.349	1189.675	1891.7	1759.4
15	12.300	7.919	4.837	6.565	40.544	6.493	904.1	687.0	418.2	317.865	587.691	1759.4	1489.6
16	7.919	7.891	0.021	0.035	52.932	5.691	3.1	1.9	1.9	0.770	2.474	1489.6	1487.9
17	7.891	6.869	0.715	1.247	54.925	5.344	95.1	54.6	54.6	27.434	77.830	1487.9	1437.5
18	6.869	2.007	2.186	5.352	63.024	3.677	187.6	85.1	85.1	117.744	167.188	1437.5	1388.1
19	2.007	1.500	0.140	0.526	74.521	1.426	4.3	1.1	1.1	11.572	4.144	1388.1	1395.5
20	1.500	0.001	0.415	1.555	74.521	0.602	5.6	1.5	1.5	34.210	5.397	1395.5	1424.3

表6-17 排土工実施後における諸元

種 別	記 号	単 位	結 果
安全率	Fs	-	1.20
計画安全率	P.Fs	-	1.20
すべり面長	L	m	76.63
面 積	A	m ²	865.07
法線力	N	kN/m	13,574.60
間隙水圧	U	kN/m	3,017.60
地すべり抵抗力	S	kN/m	8,497.44
地すべり力	T	kN/m	7,073.15

押え盛土工の計画

地下水排除工実施後 (Fs = 1.03) から、押え盛土工を行って計画安全率 (P.Fs = 1.20) を確保する (図6-30参照)。

押え盛土工を計画する場合は、下記の事項に注意を要する。

- ・ すべり面の c_s は、現地形にて逆算した値を使用する。
- ・ 盛土内のすべり面の c_s は、盛土材料を勘案して設定する。
- ・ 盛土材の土質強度は、盛土材料を勘案して設定する。
- ・ 盛土内の新たなすべりの安全率は、計画安全率とする (図6-30参照)。
- ・ 受働破壊すべりの安全率を必要に応じて確認する (Fs = 1.00) (図6-31参照)。

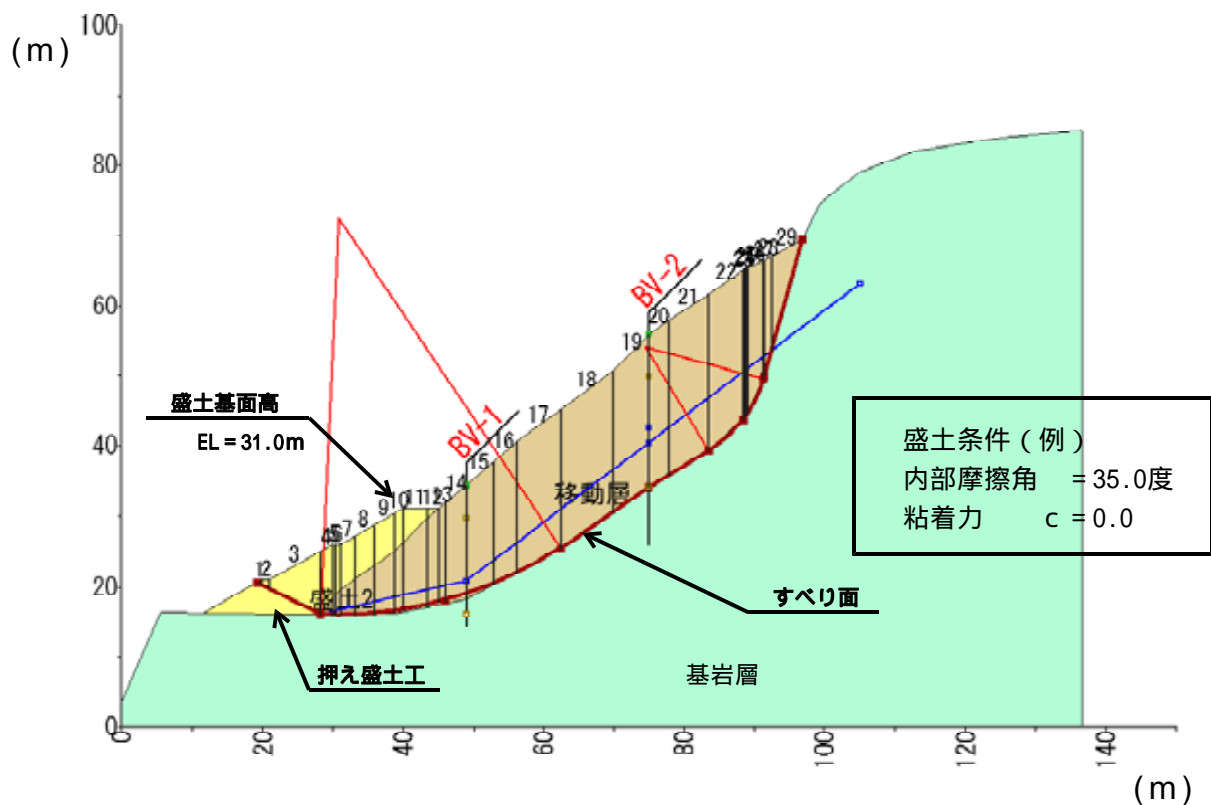


図6-30 押え盛土工計画断面図

表6-18 押え盛土後におけるスライス集計表

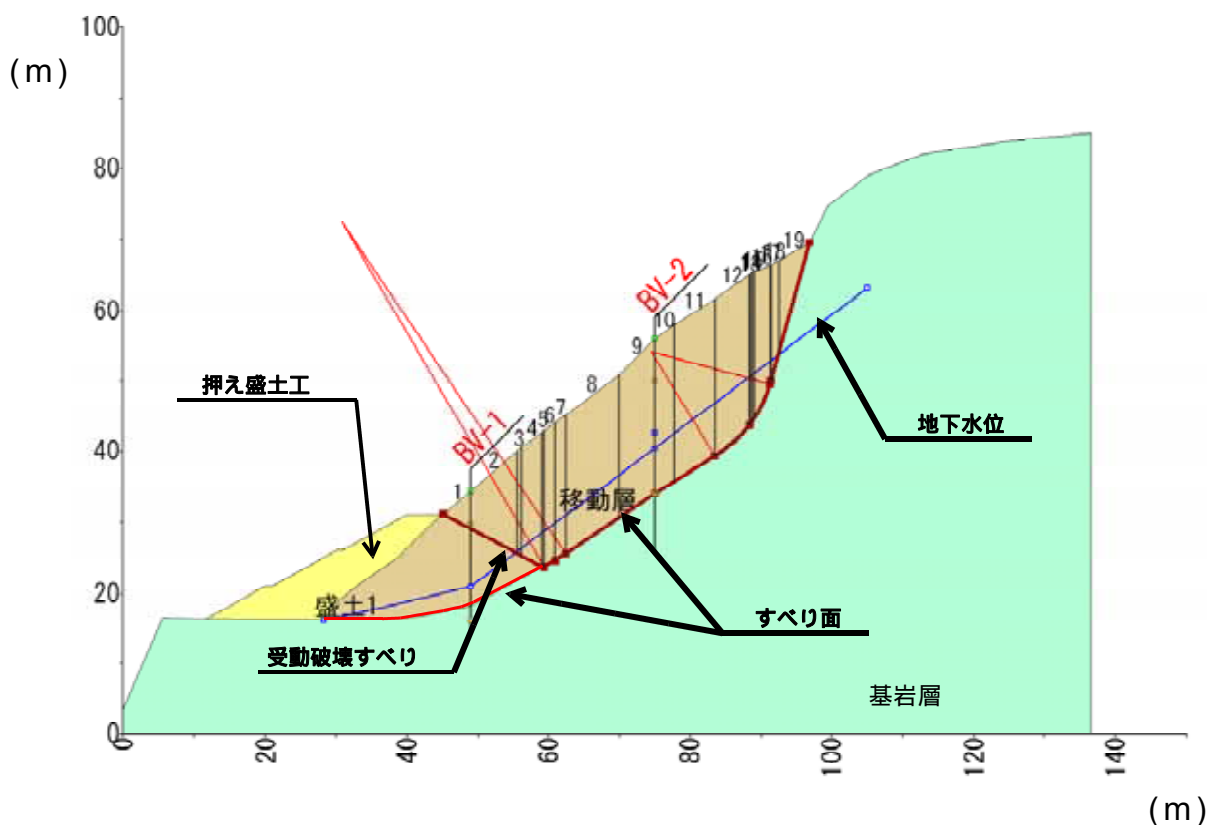
No.	スライス			すべり面長 L(m)	すべり面 傾斜角 (°)	水位から すべり面深さ h w(m)	スライス の重量 W(kN/m)	すべり面 法線分力 N(kN/m)	間隙水圧 U(kN/m)	地すべり 抵抗力 S(kN/m)	地すべり力 T(kN/m)	有効抵抗力 Ru(kN/m)	
	すべり面深さ h(m)		幅 d(m)									左側	右側
	左側	右側											
1	0.000	0.715	0.664	0.749	-27.500	-	4.3	3.8	0.0	2.661	-1.986	0.0	4.6
2	0.715	1.235	1.000	1.127	-27.500	-	17.6	15.6	0.0	10.923	-8.127	4.6	23.7
3	1.235	9.018	7.232	8.153	-27.500	-	667.3	591.9	0.0	414.453	-308.125	23.7	746.3
4	9.018	10.057	1.768	1.769	-1.834	0.238	303.6	303.4	4.1	232.032	-9.717	746.3	988.0
5	10.057	10.063	0.432	0.432	-0.737	0.509	78.1	78.1	2.2	58.476	-1.004	988.0	1047.5
6	10.063	10.065	0.568	0.568	-0.231	0.634	103.0	103.0	3.5	76.695	-0.415	1047.5	1124.6
7	10.065	11.259	2.232	2.233	1.207	0.945	428.8	428.7	20.7	312.376	9.035	1124.6	1428.0
8	11.259	12.527	2.575	2.581	3.645	1.402	551.8	550.7	35.5	389.199	35.076	1428.0	1782.1
9	12.527	13.823	2.925	2.943	6.440	1.792	694.4	690.0	51.7	476.590	77.885	1782.1	2180.8
10	13.823	14.336	1.268	1.282	8.559	2.003	321.3	317.7	25.2	216.931	47.821	2180.8	2349.9
11	14.336	13.670	3.432	3.496	10.955	2.133	866.2	850.4	73.2	578.377	164.612	2349.9	2763.7
12	13.670	13.266	1.668	1.716	13.606	2.176	404.7	393.3	36.6	267.902	95.205	2763.7	2936.4
13	13.266	13.835	0.996	1.031	15.005	2.139	242.8	234.5	21.6	160.049	62.864	2936.4	3033.5
14	13.835	15.398	2.936	3.072	17.100	2.023	773.1	738.9	61.0	504.979	227.321	3033.5	3311.2
15	15.398	17.264	3.764	4.024	20.694	2.628	1108.2	1036.7	103.7	690.518	391.620	3311.2	3610.1
16	17.264	18.653	3.336	3.669	24.572	3.816	1079.7	981.9	137.3	625.671	448.981	3610.1	3786.8
17	18.653	19.600	6.300	7.287	30.068	4.914	2179.3	1886.0	351.3	1150.533	1091.886	3786.8	3845.4
18	19.600	20.347	7.400	8.904	33.794	5.665	2660.4	2210.9	494.8	1303.150	1479.739	3845.4	3668.8
19	20.347	22.000	5.300	6.378	33.794	6.183	2020.0	1678.7	386.9	973.811	1123.543	3668.8	3519.1
20	22.000	22.287	2.800	3.282	31.457	6.611	1116.0	952.0	212.9	549.086	582.391	3519.1	3485.8
21	22.287	22.400	5.700	6.682	31.457	7.253	2292.5	1955.6	475.4	1102.059	1196.355	3485.8	3391.5
22	22.400	21.487	4.837	6.565	41.201	7.609	1934.4	1455.4	490.0	767.325	1274.195	3391.5	2884.6
23	21.487	21.474	0.021	0.035	52.932	7.114	8.1	4.9	2.4	2.383	6.463	2884.6	2880.6
24	21.474	21.178	0.442	0.755	54.200	6.840	169.6	99.2	50.7	47.903	137.556	2880.6	2790.9
25	21.178	20.885	0.273	0.492	56.246	6.585	103.3	57.4	31.8	27.342	85.886	2790.9	2732.4
26	20.885	16.947	2.186	5.352	64.083	5.232	757.3	331	274.7	154.070	681.137	2732.4	2205.3
27	16.947	16.500	0.140	0.526	74.521	3.136	42.2	11.3	11.3	11.572	40.669	2205.3	2176.2
28	16.500	13.383	1.020	3.822	74.521	1.451	274.3	73.2	54.4	96.214	264.351	2176.2	2008.1
29	13.383	0.000	4.380	16.412	74.521	-	527.6	140.8	0.0	451.911	508.464	2008.1	1951.5

表6-19 押え盛土工実施後における諸元

種 別	記 号	単 位	結 果
安全率	Fs	-	1.20
計画安全率	P.Fs	-	1.20
すべり面長	L	m	105.33
面 積	A	m ²	1,207.21
法線力	N	kN/m	18,175.00
間隙水圧	U	kN/m	3,412.90
地すべり抵抗力	S	kN/m	11,655.19
地すべり力	T	kN/m	9,703.68

受働破壊すべりの確認

受働破壊すべりの安全率を必要に応じて確認する ($F_s = 1.00$) (図6-31参照)。



*1) 受働破壊すべりの c は、地すべりの c と同じ値とする。

*2) 受働破壊すべりの角度 () は、 $45^\circ/2$ とし、安全率は $F_s = 1.00$ であることを確認する。

図6-31 押え盛土工による「受働破壊すべり」の断面図

表6-20 受働破壊すべりの諸元

種別	記号	単位	結果
安全率	F_s	-	1.14
すべり面長	L	m	78.90
面積	A	m^2	860.53
法線力	N	kN/m	12,107.80
間隙水圧	U	kN/m	2,777.60
地すべり抵抗力	S	kN/m	7,755.91
地すべり力	T	kN/m	6,794.27

抑止工の計画

ア) 必要抑止力の算出

必要抑止力は、地下水排除工の実施後 ($P'.Fs = 1.03$) から、計画安全率 ($P.Fs = 1.20$) を確保するために実施する抑止工の規模を決定する際に必要となる。必要抑止力 (Pr) を付加した場合の計画安全率 ($P.Fs$) は、式6-8 によって示される。

$$P.Fs = \frac{(N - U) \tan \phi + c \cdot L + Pr}{T} \dots\dots (式6-8)$$

式6-8 より下式を導くことができる。

$$Pr = P.Fs \cdot T - (N - U) \tan \phi - c \cdot L \dots\dots (式6-9)$$

式6-9に、表6-15 地下水排除後の諸元を代入すると、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} Pr &= 1.20 \times 9,919.81 - (16,034.80 - 3,413.00) \times 0.645 - 22.0 \times 95.30 \\ &= 1,663.2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

以上により、 $Pr = 1,663.2 \text{ kN/m}$ の抑止力を付加すれば計画安全率 ($P.Fs$) を確保することができる。

イ) 抵抗力について

鋼管杭工等を検討する場合、杭谷側に期待される抵抗力 (以下、「有効抵抗力」という。) の大きさは、杭の設計に重大な影響を与えるので、その評価は慎重に行う必要がある (詳細は、参考文献16) を参照されたい)。

くさび杭の設置可能範囲は図6-32に示すとおりであるが、地すべり土塊の運動を考慮すると、最大有効抵抗力が生じる位置から谷側の範囲に計画することが望ましい。