

1. ま え が き

第三紀層地すべりの大部分は、図-1に示す模式断面図の第Ⅱ層のなかに、過去生成していた、せん断破壊亀裂面、(これら残存亀裂面のうち光沢のある滑らかなものをwater film面という)に沿つて滑動する⁽¹⁾。この場合、滑動面のせん断定数は、時間経過とともに変わつてくることがわかつている。⁽²⁾したがって完成されたすべり面についての安全率も変化するので、この種の地すべり安定解析の考え方について検討した。

また最近よく見られる斜面の切取りにともなう地すべりの発生機構は、water film面の存在状態と、せん断特性の変化によつて説明できることを述べる。

2. 地すべり面のせん断特性

未滑動のwater film面は、過圧密状態になっており、長崎、山口県下で測定したところによると、 $1.3 \leq P_0/P_e \leq 2.0$ の過圧密比を呈する。⁽³⁾このために粘着力 C_w 内部摩擦角 ϕ_w の数値は表-1のようになりに低く、先行圧密荷重 P_0 以内では図2-(a)の直線ABで示すせん断特性をもつ。これらが滑動を開始すると、間隙水圧が上昇して非圧密非排水せん断形式になり、せん断特性は図2-(a)の直線 A_1B_1 に示した型に移行してせん断定数 C_s は、 C_w に比較すると、さらに低くなる。

この時期になると、water film面を結ぶ連続したすべり面と、water film面が擦過されることによつて生じた、薄い地すべり粘土といわれていた軟弱層が形成されているが、滑動が断続的になると、すべり面は徐々に圧密排水され、今度は圧密非排水のせん断特性を示すようになり、図2-(b)の A_2B_2 から、圧密完了によつて B_3 まで、土かぶりによる有効応力 P_0 の点を中心に变化して正規圧密の状態になる。表-1に長崎、山口県下の地すべり地区で測定されたせん断定数を示した。

3. すべり面の安全率

最近、道路工事にともなう山腹斜面の切取り工事が多くこれに付随する地すべりが各地で見られるようになった。

ここでは、このような例を中心に安全率を検討する。

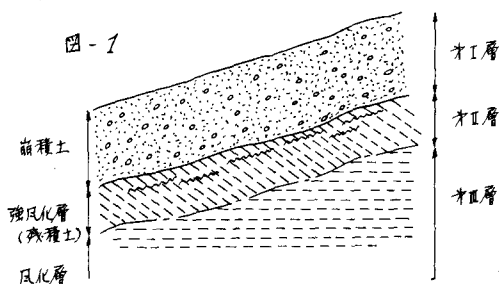


図-1

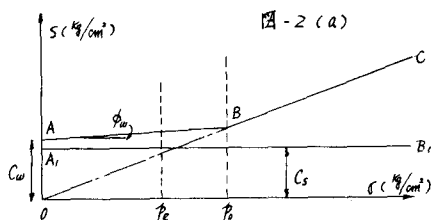


図-2(a)

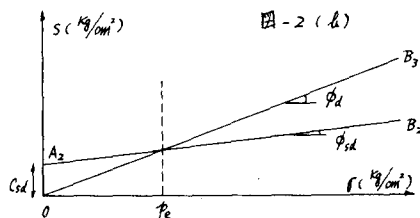


図-2(b)

図-3はこのような場合の第三紀層地すべりの模式断面図を示したものである。すべり面となる water film 面は、 $FQ=L$ の間に不連続に分布する。図の ld は不連続部（未破壊部分）を示しているが、この部分の長さを相対的に表すために

$$K = \Sigma ld / L \dots\dots\dots(1)$$

の比率をとり、これを不連続率 K とすれば、長崎、山口県下の第三紀層の場合には、 $0.15 \leq K \leq 0.25$ となっている。⁽⁴⁾したがって安全率は、 $\theta_w \div 0$ とすれば式(2)によつて計算される。

$$F_s = \frac{C_w(1-K) + C_2KL + K \tan \theta_2 \Sigma(W \cos^2 \theta - u) + P_p}{\Sigma(W \sin \theta \cdot \cos \theta) + P_a} \dots\dots\dots(2)$$

ここに C_2 、 θ_2 は第 II 層の粘着力と内部摩擦角を示し、 u 、 P_a 、 P_p はそれぞれ間隙水圧、主働、受働土圧を表わす。

この状態のときに図-3の ABE 部を切取ると、 P_p が減少するために F_s が低下する。この場合、未破壊部分に作用する応力と、未破壊部分のせん断抵抗との関係は式(3)のようになる。

$$\Sigma(W \sin \theta \cdot \cos \theta) + P_a - C_w(1-K)L - P_p \leq C_2KL + K \tan \theta_2 \Sigma(W \cos^2 \theta - u) \dots\dots\dots(3)$$

したがって、図-3における AB 部が自然の侵食作用、または人工的切取りによつて、減少すると左辺が大きくなり、未破壊部分 Σld には応力集中が発生する。未破壊部分の破壊形態は creep によるところが多いが、この現象が発生する一つの条件として、集中応力の値が上限降伏値に達することが必要で、式(3)の左辺を T 、右辺を R とすれば、

$$1.2 \leq R/T \dots\dots\dots(4) \quad (5)$$

においても破壊が発生する例が安定計算の結果から知られている。

未破壊部分の破壊によつて、連続した滑動面が形成されると、強い擦過作用によつて、薄いすべり面の間ゲキ水圧が上昇し、非圧密非排水の状態になるため滑動後まもなく、

$$F_s = \frac{C_sL + P_p}{\Sigma(W \sin \theta \cdot \cos \theta) + P_a} \dots\dots\dots(5)$$

の安全率になり、 F_s は一時的にいちじるしく低下し、滑動最盛期となる。

しかし、徐々に圧密排水されるため、せん断定数は、 $C_{sd} > 0$ 、 $\theta_{sd} > 0$ の状態になるから

$$F_s = \frac{C_{sd}L + \Sigma(W \cos^2 \theta - u) \tan \theta_{sd} + P_p}{\Sigma(W \sin \theta \cdot \cos \theta) + P_a} \dots\dots\dots(6)$$

の安全率に移行し、最終的には

$$F_s = \frac{\Sigma(W \cos^2 \theta - u) \tan \theta_d + P_p}{\Sigma(W \sin \theta \cdot \cos \theta) + P_a} \dots\dots\dots(7)$$

へと移行する。この時期になると F_s はかなり大きくなることが認められ、滑動を停止するにいたる。

図-4は長崎県富士山地すべりの断面図を示したもので、表-2は、この地区の地層の物理、力学的性質を示したものである。図-4の断面図においては、先端の受働土圧は、

$$P_p = \frac{\gamma_1 h^2}{2} \tan^2(45 + \frac{\theta_1}{2}) + 2ch \tan(45 + \frac{\theta_1}{2}) \dots\dots\dots(8)$$

となるから、式(8)に数値を代入してG E 面における P_p を求めると、

$$P_p = \frac{1.74 \times 3.4^2}{2} \tan^2 56^\circ + 2 \times 5.2 \times 3.4 \times \tan 56^\circ = 74.36 \text{ t/m}$$

この場合、右辺第二項の数値が大きくなり、主動土圧 P_a は負になるために、 $P_a=0$ と考える。

本地区では間隙水圧は作用しないので、表-2の数値を式(2)に代入すると

$$F_s = \frac{0.6 \times 0.8 \times 57 + 2 \times 0.2 \times 57 + 0.2 \times 326.6 \times 0.966 \times 0.438 \times 74.36}{326.6 \times 0.258} = 1.81$$

となつて、E F G 面は十分安定を保つていた模様である。

しかるに宅地造成のためにA B E の部分を切取つたので、このときの先端部の受働土圧は、式(8)によつて、

$$P_p = \frac{1.74 \times 0.8^2}{2} \tan^2 56^\circ + 2 \times 5.2 \times 0.8 \times \tan 56^\circ = 13.53 \text{ t/m}$$

まで低下する。このために安全率は、

$$F_s = \frac{0.6 \times 0.8 \times 57 + 2 \times 0.2 \times 57 + 0.2 \times 316.9 \times 0.966 \times 0.438 + 13.53}{316.9 \times 0.258} = 1.10$$

この結果、F G 間の未破壊部分に応力が集中し、式(4)の形式にしたがつて creep 破壊を生じて、切り後間もなく滑動を開始したものと考えられる。

滑動開始直後の安全率は、式(5)によつて、

$$F_s = \frac{0.6 \times 56 + 13.53}{316.9 \times 0.258} = 0.58$$

となるから、一時的に活発な滑動を開始し、図-4のC G 部に引張亀裂を生じた。

現在の安全率は式(6)によつて計算される。

$$F_s = \frac{0.27 \times 56 + 316.9 \times 0.966 \times 0.194 + 13.53}{316.9 \times 0.258} = 1.08$$

となつている。現在では防止グイも実施

されているので、本地区では、ほぼ安定を保つている。
(6)

4. すべり面のせん断定数の測定

water film 面は、攪乱によつてせん断特性を変えるので、テストピットによつて water film 面を含む30cm立方の不攪乱試料を採取する。

(7)

(1) C_w, θ_w の測定

地中に存在する water film 面のせん断定数は、滑動前の安定を調査する場合に必要である。これは

図-3

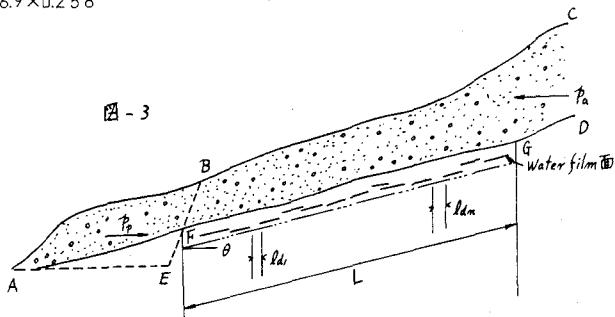
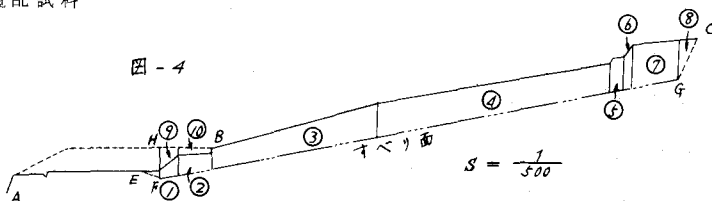


図-4



特殊カッターを使用して、試料を整形し、図-5に示すように、water-film面とせん断破壊面とが一致するようにして、圧密先行荷重以下の垂直応力のもとで、圧密非排水一面せん断試験をすれば求めることができる。

(2) C_s, ϕ_s の測定

第Ⅱ層の不攪乱試料を用い、圧密非排水一面せん断試験によつて測定する。

(3) C_s の測定

第Ⅱ層から直径5cm、高さ10cm程度の円柱試料をとり、0.3~0.4%の側圧によつて圧密非排水試験を行なうと、室内でwater film面をつくることができる。この試料をそのままにして一軸圧縮形式の試験方法に切替えて、最大圧縮荷重を求めると、

$$C_w = \frac{P}{2A} \cos \theta_r \cdot \sin \theta_r (1 - \frac{\epsilon}{100}) \cdots \cdots (9)$$

によつて、滑動開始直後のせん断定数の近似値が求まる。ただし θ_r は破壊面が水平面となす角度、 P は圧縮荷重、 A は断面積、 ϵ は圧縮ひずみとする。

(4) $C_{sd}, \phi_{sd}, \theta_{sd}$ の測定

一面せん断試験機を使用するが、図-5のA, B二つに分割した試料を準備する。A, Bの表面をヘラで薄く乱して密着させ、密着面と、せん断面とが一致するようにして、圧密非排水試験を行なう。圧密完了時(8)の結果は図を示し、圧密未了時のせん断試験結果は C_{sd}, ϕ_{sd} の数値を示す。(図2-(b)参照)

5. あ と が き

(1) 斜面切り取りによる、地すべりの発生は、先端の受働土圧の減少に起因するwater film面の間にある不連続面のcreep破壊によることが多い、この場合、不連続面の破壊にともなつて連続した地すべり面が形成され、すべり面のせん断特性が C_s に変わる過程を地表面で測定すると、特別な動きをする。

この種の地すべりは、water film面が地層中に存在しなければ、切り取りを行なつても発生し難い。

(2) これと類似の現象は自然条件のもとで、先端部地層(図-3のA部)の侵食として進行する。とくに豪雨による洗掘、下刻堀削作用は、受働土圧の減少を招き、不連続部の破壊を促進して地すべり誘発の原因となる。

参考文献 (1) 玉田文吾; 口芝津地すべりのすべり面形成過程について, 地すべり vol. 8, No. 1
(2) 玉田文吾; water film面を含む地すべり斜面の安定計算(未発表) (3) 玉田文吾; 第三紀層における地すべりの発生機構(未発表) (4) 文献3) (5) 文献2) (6) 長崎県林業コンサルタント;
昭和46年度地すべり調査報告書 (7) 文献1) (8) 玉田文吾; 地すべり vol. 7, No. 1

表-1

せん断定数	数	値
C_w (kg/cm ²)		0.05 ~ 0.1
ϕ_w (deg)		2 ~ 8
C_s (kg/cm ²)		0.04 ~ 0.07
C_{sd} (")		0 ~ C_s
ϕ_{sd} (deg)		0 ~ ϕ_d
θ_d (deg)		11 ~ 23

表-2

オ I 層	r_1 (kg/cm ²)	1.740
	C_1 (kg/cm ²)	0.52
オ II 層	ϕ_1 (deg)	22
	C_2 (kg/cm ²)	0.20
water film 面	ϕ_2 (deg)	23°20'
	C_w (kg/cm ²)	0.06
	ϕ_w (deg)	0°45'
	C_{sd} (kg/cm ²)	0.027
	ϕ_{sd} (deg)	11

表-3

すべり面長 L		87 m
すべり面角度 θ		15°
不連続率 K		0.2
今 割 重 量	①	6.74 t
	②	11.57
	③	92.92
	④	143.55
	⑤	7.91
	⑥	2.31
	⑦	40.89
	⑧	7.05
	⑨	6.32
	⑩	3.36
Σ		226.6

図-5

