

徳島大学工学部

正 山上拓男

阿南高専土木工学科

正 ○ 植田康宏

1. まえがき : 斜面の安定解析は土質力学において古くから議論されてきた事項であり、また日常的な業務でもあることから、その取り扱いにはほぼ完備されたものと考えられているようである。事実、斜面内に水が存在しない場合は、採用すべき理論(解析法)に課せられる仮定の曖昧さはともかくとして、余り問題点は見当らない。ところが、斜面の一部もしくは全部が水中にあったり、斜面内に浸透流がある場合は、筆者らが経験した範囲内でもかなり混乱が見受けられる。すなわち、土塊が水から受ける力の評価や、水そのものの取り扱いに時として誤りがみられるのである。本報告では、こうした斜面安定解析に関して水にまつわる¹⁾²⁾2, 3の問題点を指摘してみたい。なお、ここでの議論のいくつかは、決して目新しいものではなく、すでに川上や中瀬・紙山らが論じており、それらに付加的な資料や説明を追加する形をとっている。

2. 土塊が水から受ける力について : 周知のように、浸透場にある土粒子骨格は間隙水から浸透力と浮力を受ける。言い換えると、土粒子骨格に作用する有効外力は浸透力と水中重量である。これはまた、土塊の全表面に働く(間隙)水圧と、土塊の全重量を合成したものに等しい。そこで以下においては、有効外力を評価するに際し2つのアプローチをそれぞれ(i).浸透力+水中重量法、(ii).全重量+全間隙水圧法と呼称することにす。一例として、多くのテキストにみられる、長大斜面に地表面に平行に地表面まで定常浸透がある場合を厳密に議論してみよう：

(i). 浸透力+水中重量法 : 斜面に沿う単位長さのslice ABCDに作用するおのれの力を考えると図-1(a)のようである。図で W' はsliceの水中重量、 F_i は浸透力で、飽水勾配 $i = \sin\beta$ であるから $F_i = \gamma_w Z \cos\beta \sin\beta$ となる。 σ' は側面AC, BDに働く共役応力、ただし、水の影響は W' と F_i にすべて反映されたから σ' は有効共役応力である。また、 σ'_v は底面におけるせん断応力及び有効垂直応力。まず、底面に平行な方向の力の釣り合いから、

$$\tau = W' \sin\beta + F_i = \gamma_{sub} Z \cos\beta \sin\beta + \gamma_w Z \cos\beta \sin\beta, \quad \gamma_{sub}: \text{水中単位重量}$$

$$\therefore \tau = \gamma_{sat} Z \cos\beta \sin\beta; \quad \gamma_{sat}: \text{飽和土の単位重量}$$

一方、底面に垂直方向の釣り合いから、 $\sigma'_v = W' \cos\beta = \gamma_{sub} Z \cos\beta$

(ii). 全重量+全間隙水圧法 : (i)の如く水の影響を最初から考慮するのではなく、slice ABCDに作用するおのれの力を図示すれば図-1(b)となる。こ

に、 W はsliceの全重量、 P_{wr}, P_{we} は側面に働く全間隙水圧、 u は底面の間隙水圧、他の記号は上と同じである。いま、 P_{wr}, P_{we} を底面ABに平行な方向と垂直な方向の成分に分けると、おのれの成分どうしが打ち消し合うから、結局、 $\tau = W \sin\beta = \gamma_{sat} Z \cos\beta \sin\beta$; $\sigma'_v = W \cos\beta - u = \gamma_{sat} Z \cos\beta - \gamma_w Z \cos\beta = \gamma_{sub} Z \cos\beta$

つまり、(i), (ii)いずれの方法でも、安定計算に必要な底面上のせん断応力と有効垂直応力は同じ値を与える。

3. 簡便法について : 図-2はいわゆる簡便法を示したものである。

(a)は任意sliceに働く力を、(b)はこれら力の多角形である。簡便法では両側面に働く不静定内力 X_n, E_n 及び W, X_{n+1}, E_{n+1} の合力 Q はslice底面に平行であると仮定される。さて、図-3に示すような浸透場にある斜面を簡便法で解析するものとしよう。この場合、浸透力+水中重量法は、浸透力の分布を既知とせねばならないので実用的でない。したがって全重量+全間隙水圧法で解析することになる。

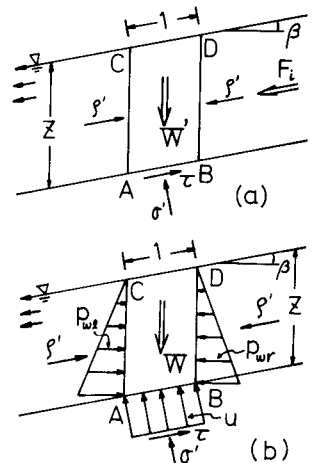


図-1 長大斜面の安定解析

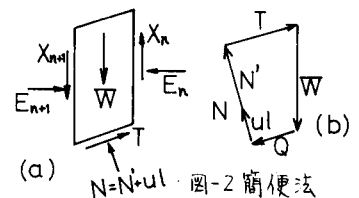


図-2 簡便法

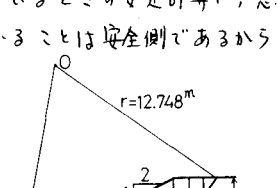
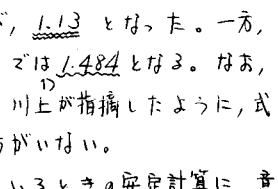
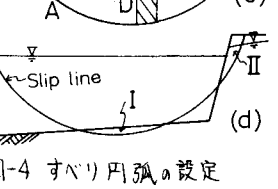
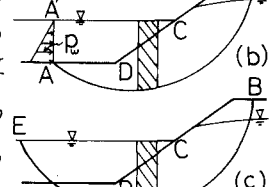
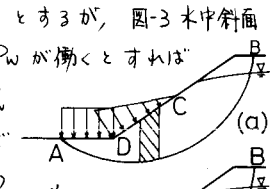
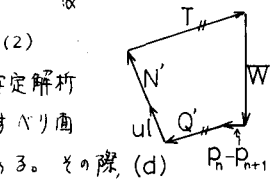
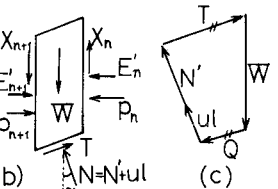
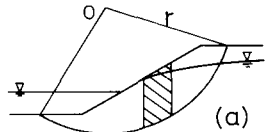
図-3(b)は任意sliceに働く力を示している。図で P_n, P_{n+1} は側面の間隙水圧を、 E_n, E_{n+1} は側面に垂直な有効不静定内力である。一般にこの種の問題を解析する場合、水圧 P_n, P_{n+1} も不静定力とみて、側面上のすべての力の合力 Q が slice 底面に平行であると仮定されている。このとき力の多角形は(c) 図となり、安全率は周知の:

$$F_s = \Sigma [cl + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi'] / \Sigma W \sin \alpha \quad \dots (1)$$

である。しかし、定常浸透場の水圧分布を決定することは容易であり、これを不静定内力とみることとは好ましくない。そこで、側面上の水圧は静定力(既知量)とみ、不静定力から除外し、有効不静定内力 E_n, X_n などの合力 Q が slice 底面に平行であると仮定すれば、力の多角形は(d) 図となる。このとき安全率は簡単な計算から:

$$F_s = \Sigma [cl + (W \cos \alpha - ul) - (P_n - P_{n+1}) \sin \alpha] \tan \phi' / (\Sigma W \sin \alpha + A) \quad \dots (2)$$

ここに、 W は slice の全重量、 A については後述する。ところで、図-3(a)の斜面を安定解析する際、いくつかの成書に、図-4(c)に示すようにすべり面を水中にまで延長し、すべり面 EAB より上方にある部分をあたかもすべり土塊の如くみて安定計算すればよいとある。その際、(d) 水の部分 EA はせん断抵抗を持たないと考える。また、(b) 図のようにすべり面は AB とするが、図-3 水中斜面これより上方の水も含めた部分をすべり土塊とみなし、さらに鉛直面 AA' 上に水圧 P_w が働くとするばよいとの記述もみられる。これら2つのやり方はいずれも正しく、(b) 図の場合、式(2)の A は $-P_w \cdot y_w / r$ となる。ここに、 y_w は P_w のウデの長さである。また、(c) 図では $A=0$ である。しかしながら、この場合、正確な計算の仕方は、(a) 図に示すように、あくまでもすべり土塊は土の部分 $ABCD$ と考え、これに AD, DC 面で図示するような水圧分布が作用するとして計算すべきである。その結果が、実は(b),(c) 図と等価になるのである。この点を誤解し、(c) 図のやり方を拡大解釈して、(d) 図のようなケースにまでこの方法を適用するなどは厳に慎まねばならない(電算機を利用するとき往々にして落ち入りがちである)。



4. 計算例 : 上述した注意事項に基づき、ここで2つの計算例を示す。一つは図-5にみられるように堤体に定常浸透がある場合、他の一つは図-6に示すように部分水中斜面で、水面が水平な場合である。物性値は $c'=0, \phi'=34^\circ, \gamma_t=1.6 \text{ t/m}^3, \gamma_{sat}=1.8 \text{ t/m}^3, \gamma_{sub}=0.8 \text{ t/m}^3$ とする。まず、図-5において、図中の仮定されたすべり面について式(1)で求めた安全率は、流線網と多少ラフに描いているが、1.13 となった。一方、式(2)によると 1.23 である。また、図-6については式(1)の場合 1.355、式(2)では 1.484 となる。なお、このケースは容易に浸透力+水中重量法が適用でき、その安全率は 1.482 となる。川上が指摘したように、式(1),(2)の安全率の差は無視すべきものではないが、慣用法は安全側であることはまちがいない。

5. むすび : 斜面内に浸透流がある場合、あるいは斜面の一部が水中に没しているときの安定計算に、意外に混乱が受えられることから、考え方の要点をまとめた。最後に、式(1)を用いることは安全側であるから許されるにしても、本質を見極めおくべきことを強調したい。【文献】1) 川上: 第25回土木学会年次講演会, III, pp.435~1970, 2) 川上: 第6回土質工学研究発表会, pp.479~1971, 3) 中瀬・紙山: 港研報告, 4巻1号, pp.29~1965, 4) 土質工学会: 土質工学ハンドブック, pp.213~214, 5) 山田: 土質力学, 技報堂, p.322, 1979.

