

杭を有する斜面の安定解析法 (第2報)

仁田ソイロック(株) 正○山川 治
徳島大学工学部 正 山上拓男

1. はじめに 著者らは、前報¹⁾において斜面全体の安定性を高めることを目的とした杭の設計法に関して、「杭を有する斜面の安定解析法」を提案した。この方法の基本概念は、「杭を打設することにより、その上流側と下流側で異なる安全率 F_a 、 F_b が出現する」と考えることと、「 F_a 、 F_b の値を担当技術者が指定し、実際にこれら安全率の値が確保されるためには、杭はどれだけの強さ(規模)のものでなければならないか?」といった設計法を採ることである。そして、斜面に打設された杭に関する2つの力、つまり抑止力 F_D と水平支持力 F_R に注目する安定解析法を構築した。本文では、この提案法とHassiotisらの方法²⁾を比較・検討し、考察を加えることとする。

2. Hassiotisらの方法(以下、Ha法と略す) Ha法では、杭の抵抗力は伊藤・松井理論に基づき評価され、この力が摩擦円法を用いた安定解析に組み込まれている。そして、杭打設後の斜面の臨界すべり面を探索するのである。このとき、杭を横切るすべり面を認めているところが、提案法とは大きく立場を異にする点である。

以下にHa法の解析手順を示す。

- ①杭径 d 、杭中心間隔 D_1 、打設位置を仮定する。
- ②1つのすべり面(円弧の中心と半径)を仮定する。
- ③杭打設位置で、地表面からすべり面までの深さを有効長さ l とする。
- ④伊藤・松井理論によって杭1本当たりの抵抗力 F_{Ha} を求める。
- ⑤ F_{Ha} を単位奥行き当たりの力に換算する。そして、この力を摩擦円法に基づく安定解析に取り込み、安全率を算定する。
- ⑥上記②から⑤までを、最小安全率とそれを与える臨界すべり面が得られるまで反復する。

3. 比較事例 図-1に示す斜面を対象として、提案法とHa法を適用した。両者の整合性を図るため、解析条件を次のように定めた。

計画安全率: $F_s = 1.2$ 杭径 : $d = 0.5\text{m}$
 杭の列数 : 1列 杭打設位置: 図中①~⑤の位置
 最大杭長 : 14m (これは提案法における「探索深度」であり、Ha法では試行すべり面の下限を定めるものである。)
 打設間隔を表すパラメータ: $D_2/D_1 = 0.55 \sim 0.95$ 。ここに、 D_2 は杭の純間隔($D_1 - d$)である。

まず、提案法の適用結果を図-2に示す。計画安全率1.2のもとに、それぞれの打設位置における抑止力 F_D を求め、次いで、 $F_R = F_D$ となる杭打設間隔を決定した。なお、 F_D の評価には簡便分割法およびBishop簡便法に基づく方法を適用した。

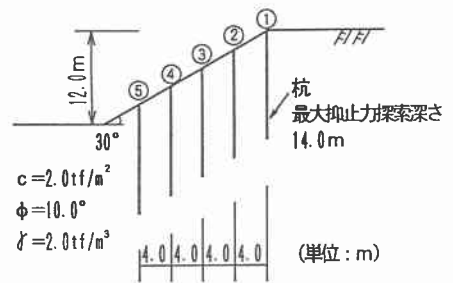


図-1 仮想斜面と杭の打設位置

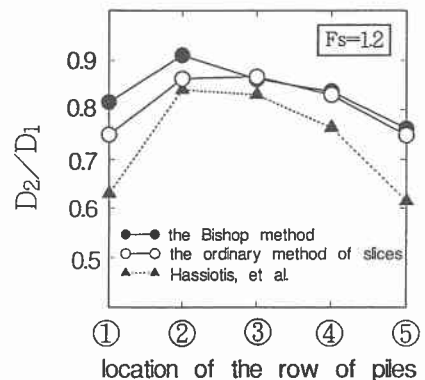


図-2 $F_R = F_D$ を満たす D_2/D_1

一方、Ha法に基づく解法では、各打設位置において、 D_2/D_1 を上記解析条件に従って変化させ、それぞれの D_2/D_1 に対応する最小安全率を求めた。それらの結果を図-3に整理する。次に、同図よりFsが1.2のときの D_2/D_1 の値を求め、図-2に掲げた。さらに、杭が③に打設されるときすべり面を一点鎖線で図-4に示した。なお、図-4には同じ打設位置のもとで実施した提案法の解析結果も併せて示している。

以上の比較例をとおして、次のような結論を得ることができる。

- (1) 斜面両端部では、中央部に比して杭を密に打設せねばならない。図-2によれば両端部の D_2/D_1 が中央部のそれに比べて小さいためである。この事実は、提案法、Ha法等しく言い得る。
- (2) Ha法から求めた D_2/D_1 は、いずれの打設位置においても提案法のそれより小さく、見かけ上「安全側」にある。この限りにおいて、Ha法の方が提案法に比べて経済的には不利であるが、「安全側」にはあると言える。
- (3) Ha法には「必要抑止力」という観点で脱落している。そのために期待した計画安全率の得られない可能性がある。

図-4には3つのすべり面が示されている。いずれも安全率1.2を与える円弧である。実線は簡便分割法に基づく提案法の解析結果であり、抑止力が35.47tf/m（杭径を0.5mと仮定すると杭1本当たり132.3tf）と算定されている。破線はBishop簡便法に基づく結果を表しており、その抑止力は16.22tf/m（杭1本当たり58.4tf）である。一点鎖線はHa法で得られた臨界円弧で、杭の抵抗力 F_{Ha} は14.42tf/m（杭1本当たり42.4tf）となっている。これらをもとに以下に検討を加える。

Ha法においては、一点鎖線のすべり面に対する必要抑止力（いま仮にこれを $F_{D\cdot Ha}$ と表しておく）が評価されていない。もしこの必要抑止力 $F_{D\cdot Ha}$ を提案法を適用して求めたとすると、Bishop簡便法に基づく円弧とHa法の円弧の位置がさほど離れていないことから、これ（ $F_{D\cdot Ha}$ ）は上記Bishop簡便法の抑止力に比較的近い値となることが予想される。よって、次式が成立するものと考えてよいであろう。

$$F_{Ha} (= F_R) = 42.4 \text{ tf/本} < F_{D\cdot Ha} \approx F_D = 58.4 \text{ tf/本} \tag{1}$$

ところが、現実には安全率1.2が確保されるためには、 $F_{Ha} \geq F_{D\cdot Ha}$ となっていなければならない。よって式(1)はHa法が危険側の設計に陥る可能性のあることを示唆するものである。つまり F_R が F_D より小さいため、杭に異常が出る前に地盤そのものが破壊してしまう恐れがあるのである。

【参考文献】1) 山川・山上・斎藤: 杭を有する斜面の安定解析について、土木学会中国四国支部研究発表会、pp.478~479, 1994. 2) Hassiotis, S. and Chameau, J.: Stabilization of Slopes Using Piles, Joint Highway Research Project, No. JHRP-84-8, Purdue Univ. 181pp., 1984.

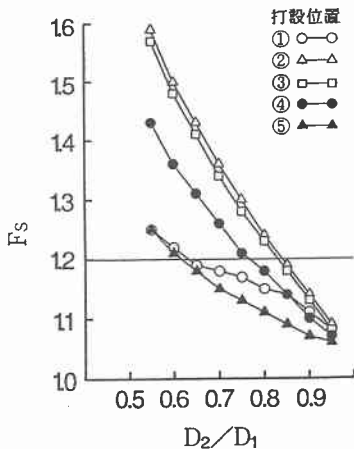


図-3 Ha法によるFsと D_2/D_1 の関係

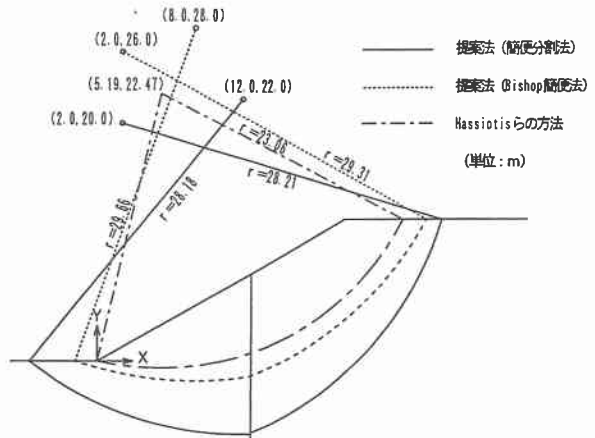


図-4 $F_s=1.2$ を与えるすべり面