

# 40 斜面安定に用いるアンカー工の配置に関する解析的研究

愛知県豊田土木事務所 ○近藤 観 慈  
三重大学生物資源学部 林 拙 郎

## 1. はじめに

斜面の安定化のために用いるアンカー工の設計においては、崩壊の想定されるすべり面形状とともに、アンカー力の導入位置と導入角（アンカー工の配置等）を決定したうえで必要アンカー力を求めなければならない。アンカー力の導入によるすべり面の変化については、先に近藤<sup>1)</sup>が検討した。一方、アンカー工の配置等に関しては、これまではすべり面を既知とした状態において検討していたが、斜面崩壊のようにあらかじめすべり面が明らかとなっていない場合の検討はほとんどなかった。そこで、崩壊の想定される斜面の安定化のために用いるアンカー力の導入位置と導入角の違いによる斜面の安定性への影響を、スライス境界にバネを用いた斜面安定解析法(SS法)<sup>2)</sup>によって解析的に求め、その結果の応用によってアンカー工の配置等の合理的な設計法を明らかにする。

解析に用いる斜面安定解析法にはSS法とともに比較のためSpencer法(SP法)<sup>3)</sup>による解析も同時に行う。すべり面の最適化（安全率の最小化）に非線形計画法の一つである準Newton法<sup>4)</sup>を用いる。SS法では各スライスの変位が考慮されて内力の作用角が決定されるため、従来法では精度の高い解が得にくい支持力問題に対しても適用性が高く<sup>2)</sup>、斜面に導入されたアンカー力の影響が適切に評価されるものと考えられる。

## 2. モデル斜面による解析

アンカー力の導入位置と導入角を変えることによって生ずる必要アンカー力の変化を、モデル斜面の解析から明らかにする。モデル斜面には図-1を用いる。斜面部を4つのスライスに分割し、さらに末端と上端にそれぞれ1つのスライスを考える。斜面には5箇所の同荷重のアンカー力を想定し、計画安全率 $F_{sp}=1.500$ が得られる全アンカー力を求める。1つのスライスに2つのアンカー力が作用する場合には、2つの力の合力の重心にアンカー力が作用しているものとする。SS法の解析に用いるポアソン比は0.3、ダイレイタンシー角は内部摩擦角と同値とする。以下、SS法の解析において同じである。

**2.1 アンカー力の導入位置による変化** 斜面に直角方向のアンカー力を想定し、5箇所のアンカー力の導入位置 $L$ を全スライスで同時に変化させながら解析する。導入位置 $L$ は、アンカー力の作用するスライス左側境界からの水平距離で表し、これを全スライス同一とする。SS法とSP法とによって得られた必要全アンカー力の変化を図-2に、このときのSS法のすべり面形状を図-3に示す。

図-2から、両解析法とも導入位置が斜面の上側に移動するにしたがって、必要アンカー力が増加することがわかる。その傾向は、SS法では $L=0.3\text{m}$ に変化点が見られるが、 $L$ の変化に対してほぼ直線的である。一方、SP法では若干下に凸な曲線状を示す。 $L=1.0\text{m}$ における表示の不連続は、各アンカー力の作用スライスが $L$ の増大によって上側スライスに変わったことが原因である。SP法の必要アンカー力はSS法に比べて大きい値をとる。その差は、 $L$ の増大に伴って大きくなり、SS法に対する百分率で $L=0.0\text{m}$ のとき2%で、 $L=1.2\text{m}$ のとき29%に拡大する。一方、図-3に示すSS法によるすべり面は、 $L$ の増大に伴ってすべり面上端が中央斜面寄りに変化し、末端は中央斜面と反対側に変化している。

**2.2 アンカー力の導入角による変化** 各アンカー力の導入位置を $L=0.50\text{m}$ に固定し、アンカー力の導入角 $\beta$ を変化させて解析する。SS法とSP法によって得られた必要全アンカー力の変化を図-4に、このときのSS法によるすべり面形状を図-5に示す。

図-4から、両解析法とも導入角 $\beta$ の増大に伴って、必要アンカー力が増加することがわかる。その傾向は、 $\beta$ の増大に伴って必要アンカー力の増加程度が大きくなっており、下に凸な曲線状である。SP法の必要アンカー力はSS法に比べて大きい値をとる。その差は、 $\beta$ の増大に伴って大きくなっており、SS法に対する百分率で $\beta=13.66^\circ$ のとき5%で、 $\beta=52.00^\circ$ のとき16%に拡大する。一方、図-5に示すSS法のすべり面は、 $\beta$ の増大に伴ってすべり面上端が中央斜面寄りに変化し、末端は中央斜面と反対側に若干変化している。

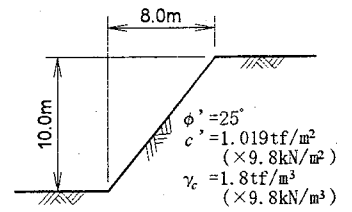


図-1 モデル斜面

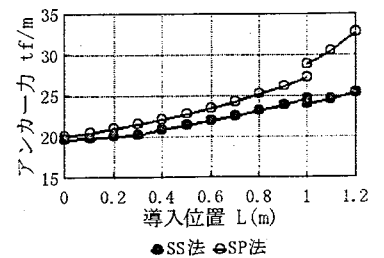


図-2 アンカー力の導入位置による変化

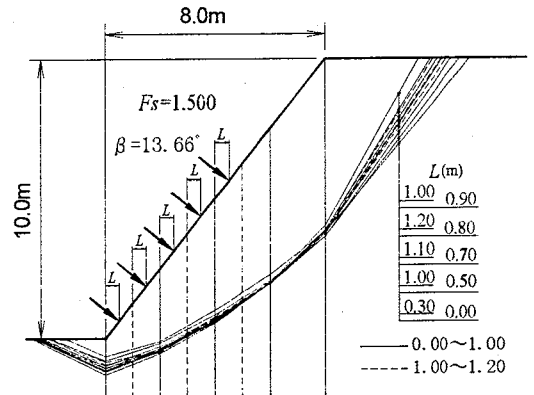


図-3 導入位置によるSS法のすべり面

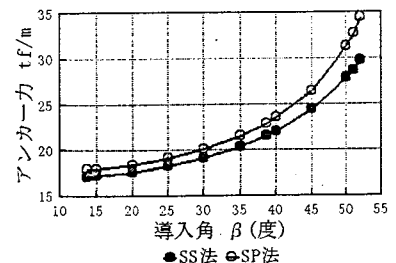


図-4 アンカー力の導入角による変化

### 3. 考察

**3.1 アンカー工の配置等** 前章の検討結果を踏まえて合理的なアンカー工の配置等について考察する。まず、アンカー力の導入位置について考える。斜面崩壊現象を想定する場合、この斜面が計画上の安定性をもつためには、地表面上の任意の点を末端とする任意のすべりに対して、計画安全率が確保されている必要がある。また、斜面上のある点を末端とする任意のすべりに対して計画安全率が確保されるときは、この点より上部にアンカー力をあえて導入する必要はないが、アンカー力の導入によって斜面全体の安定性は向上する。ところが、この場合には、上側の斜面にアンカー力を導入する代わりに、斜面全体の安定性により有効に作用する下側の斜面に、アンカー力を導入することによって、より経済的な設計が可能となる。同様に、計画安全率の確保のためにアンカー力の導入が必要なスライスにおいても、計画安全率以上の安定性が確保されている場合には、アンカー力を計画安全率に対応する値にまで削減し、削減されたアンカー力を斜面の下側に用いることによって、アンカー力をより有効に利用することが可能となる。次に、アンカー力の導入角について考える。アンカー力を斜面に導入する場合には、通常、アンカー力を確実に斜面の土塊に伝達させるため、斜面沿いに棒形状等の構造物が設置される。アンカー力を有効に用いるためには、前章の検討結果からわかるように導入角 $\beta$ を小さくする必要があるが、アンカー力や導入角によっては、構造物と土塊との接触面で塑性変形が発生し、与えられたアンカー力が土塊に完全に伝達されないばかりか、構造物を持ち上げる力として作用する。したがって、アンカー力の導入角を小さくする場合においても、導入角は斜面勾配に対して、構造物と土塊の摩擦角以下にする必要がある。

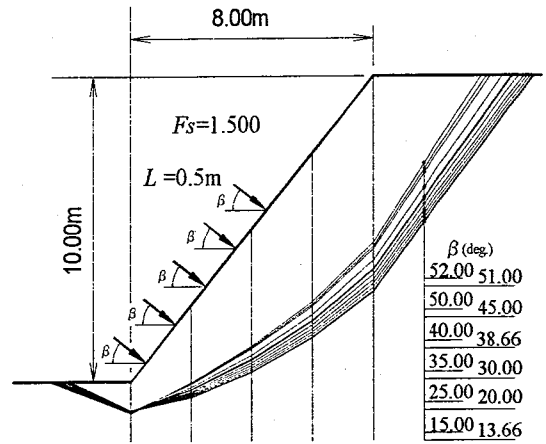


図-5 導入角によるSS法のすべり面

**3.2 適用例** アンカー工の合理的な設計法について、図-1に示す斜面を例に、SS法を用いて考察する。計画安全率 $F_{SD}$ には1.500を用い、アンカー力の導入角には、斜面沿いに設置された構造物と土塊との摩擦角を $25.0^\circ$ として、前節の結果を踏まえ、斜面直角方向に対して、この摩擦角だけ水平側に傾けた角( $\beta=13.66^\circ$ )を用いる。

まず、図-6のスライス境界線番号6の境界線と地表面の交点(以下、境界点6という)を末端とする最適化計算を行う。その結果、計画安全率より大きな $F_s=1.642$ が得られた。このため、この点より上部斜面にアンカー力を導入する必要はない。次に、1つ下の境界点5において、上記と同様の最適化計算を行う。その結果、安全率に $F_s=1.388$ が得られ、 $F_{SD}=1.500$ が確保されていないため、境界点5と6の間にアンカー力の導入が必要になる。そこで、境界点5をすべりの末端とする最適化計算によって、境界点5と6の間に導入する必要アンカー力を求める。その結果、 $0.737\text{tf/m}$ ( $7.22\text{kN/m}$ )が得られた。上記と同様に各境界毎の必要アンカー力を、上側スライスですでに求められたアンカー力を導入した状態で、順次算出する。最後に、斜面の末端スライスに導入するアンカー力は、このスライスの前面(水平地盤面)にアンカー力を導入しない場合、斜面末端の下をとおり、水平地盤面に達するすべりに対しても、計画安全率が確保できるように算出される必要がある。

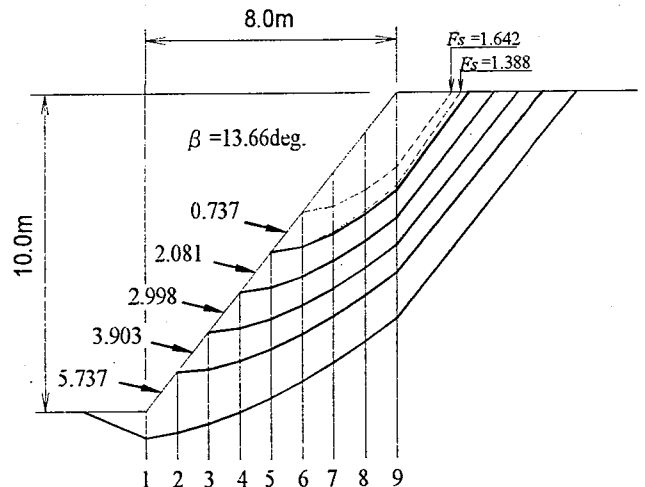


図-6 合理的な設計法によるSS法のすべり面

以上のようにして得られたアンカー力とそのときのすべり面形状を図-6に示す。求められたアンカー力の合計値は $15.456\text{tf/m}$ ( $151.47\text{kN/m}$ )である。この値は、各アンカー力の導入角を斜面に対して直角とし、各アンカー力を同値(等分布)としたときの合計アンカー力 $20.850\text{tf/m}$ ( $204.33\text{kN/m}$ )に対して35%の削減が図られている。また、同様に各アンカー力を同値とし、アンカー力の導入角を $\beta=13.66^\circ$ としたときの必要アンカー力 $17.300\text{tf/m}$ に対しては12%の削減が図られている。このように、この方法によってより経済的なアンカー工の設計が可能となる。

**3.3 アンカー力の荷重分布** 上記の合理的な設計法によって求めた各アンカー力の分担荷重(分布荷重)は、図-7に示すように土圧分布と同様、概ね三角形となっているが、最下段(1段目)のアンカー力は、他のアンカー力の変化傾向から考えた値より大きくなっている。これは、斜面末端の下をとおりすべりに対しても計画安全率を確保するために、大きなアンカー力が算出されたためである。

**参考文献** 1)近藤観慈：アンカー工による斜面安定の解析的研究。新砂防, Vol.49, No.3, pp.3~10, 1996 2)近藤観慈, 林 拙郎：スライス境界にバネを用いた斜面安定解析法。土木学会論文集, No.561 / III-38, pp.33~46, 1997 3) Spencer E. : Thrust Line Criterion in Embankment Stability Analysis. *Geotechnique*, 23, No.1, pp.85~100, 1973 4)茨木俊秀・福島雅夫：最適化の手法。共立出版株式会社-情報数学講座 14-, pp.118~122, 1993

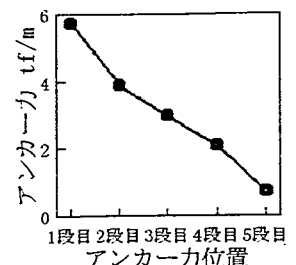


図-6 アンカー力の荷重分布