

樹木根系効果を考慮したすべり面の検討

(株)北海道技術コンサルタント 神原孝義・大谷健一
北海道立林業試験場 佐藤創・鳥田宏行

1.はじめに

樹木根系による斜面安定効果は定性的には認識されているが、実際に根系抵抗を定量的に評価し、施設計画に反映した事例は無いのが現状である。今後、更に、斜面での樹木保全が求められる傾向にあることから、樹木を景観や生態の面だけで評価するのではなく、物理的に樹木根系の効果を解明し、斜面安定解析へ導入する価値は高い。

本稿では、根系ネットワーク効果の定量化のために作成したすべり面探索プログラムの概要と、根系ネットワーク効果を導入した土留柵工の配置計画について報告する。

2.これまでの研究成果と課題

筆者らは、これまで北海道内2地区5箇所(苫前①～③、歌志内①～②)の斜面で、根系の分布状況と、根1本毎の引抜き抵抗力を調べ、樹木根系の効果を導入した安全率評価を行ってきた。その結果、急傾斜地において、根系の大部分は深度1.0m程度までに分布し、根の最大深度は1.5m～2.0m程度であり、深く発達した根は樹幹から半径0.5m程度の範囲であることが判明した。さらに、昨年度、実施した原位置せん断試験により、引抜き抵抗力と崩壊抵抗力の関係を調べたところ、崩壊抵抗力は引抜き抵抗力の40%程度であることが判明した。

表-1に、現況安全率を1.0とした場合の、各調査地の設計すべり面における根系効果を導入した安全率を示す。根系抵抗力を従来の引抜き抵抗から崩壊抵抗に変更した結果、苫前②及び歌志内①、②では、根系効果はほとんど安全率に寄与していないことが判明した。最も、根系効果が発揮された斜面は苫前③であったが、この斜面は最下端と最上端のスライスに大きな樹木が複数生育しており、これらの樹木が根系抵抗力の約90%を占めていた。現実的には、崩壊はこれらのスライスを避けた形で発生すると考えられるため、上下端のスライスを除いて再計算すると、根系効果導入安全率は引抜き抵抗1.06・崩壊抵抗1.02となり、苫前②や歌志内①、②と実質的な違いはなかった。唯一、苫前①のみ他の箇所よりも大きな効果が期待できるが、これは平均すべり層厚が1.0mと他箇所より浅く、根系が多く発達している層をすべり面が貫いているためであった。

これらの結果から、現行設計でのすべり面における根系効果は苫前②、③、及び、歌志内①、②ではほとんど期待できないと言える。しかし、樹木は歌志内①を除き多く繁茂しており、浅い崩壊に対する根系ネットワーク効果は明らかに存在する印象を受けた。そこで、北海道で多用されている急傾斜地崩壊対策工法である土留柵工を対象に、苫前③、歌志内②の斜面において、浅い崩壊に対する根系効果の検証を試みた。

3.土留柵工配置計画への根系効果導入

土留柵工は、対象斜面において線的に柵を配置する工法である。そのため、柵と柵の間に樹木を残すことが出来る工法と認識されている。しかし、写真-1に示すように、実際は施工時の作業スペース確保のためほとんどの樹木は伐採される状況にある。

現在の設計では、土留柵の配置計画は以下の手順で行う。(A)斜面下端より安全率が1.5となる位置に1段目を配置する。(B)1段目より直高約5.0m毎に順次柵を配置する。(C)各柵に土圧・すべり推力の外力を与え、計画安全率1.5を満たすH鋼のサイズを決定する。

ここで、計画安全率1.5を満たすことを目的とすると、最下段の土留柵のH鋼サイズを大きくするか、あるいは、鋼管杭等を用いれば、計算上は計画安全率を満たすことが可能であり、この方が非常に経済的である。しかし、このような配置を行うと、斜面内での小規模な崩壊が発生した場合に、崩壊土砂が土留柵を乗り越え、保全対象に被害を及ぼす可能性がある。そのため、土留柵は斜面内での小規模崩壊に配慮して経験的に直高5.0m毎に配置するものとしている。一方、根系効果は前記の通り、すべり面が浅いほど大きく作用する。従って、土留柵間で発生が懸念される小規模崩壊に対しては大きな効果が期待できる。この効果を定量化することにより、土留柵工の段数を減らすことが出来れば大きなコスト縮減が可能であると考えた。

表-1 根系効果導入安全率と調査地の概況

	根系効果導入安全率		調査地の地形			植生状況		
	引抜き抵抗	崩壊抵抗	崖高(m)	傾斜度(°)	平均すべり層厚(m)	立木密度(本/ha)	最大胸高直径(cm)	平均胸高直径(cm)
苫前①	1.28	1.11	26.5	32.5	1	1933	36.2	12.2
苫前②	1.06	1.02	35	34.4	1.36	2229	54.4	11.6
苫前③	1.77	1.32	28.5	33.6	1.64	1820	43.3	13.5
歌志内①	1.03	1.01	12.6	38.1	1.33	400	19.5	13.5
歌志内②	1.06	1.02	27.5	35	1.32	1260	35.5	16.4



写真-1 土留柵施工直後の斜面の様子

樹木根系効果を導入した土留柵工配置計画は、最弱すべり面探索プログラムを用いて以下のような流れで行った。(A)設計すべり面をネバーカットラインとする。(B)区間最小根系効果導入安全率が1.5となる位置に1段目を配置する。(C)下段から区間根系効果導入最小安全率が1.2以下となる位置に次の柵を配置する。ただし、柵間の直高は最低5.0mとする。また、土留柵直近スライスの樹木は伐採されるものとして、根系は存在しないものとする。(D)各柵に土圧・すべり推力の外力を与え、計画安全率1.5を満たすH鋼のサイズを決定する。

4.最弱すべり面探索プログラムの概要

図-1にすべり面探索プログラムの概要を示す。プログラムでは、各スライスで勾配が負とならない条件下で、各格子点を深度10cm刻みで変動させ最弱すべり面を探索する。根系抵抗力については、各スライスの中央に深度方向に与える。

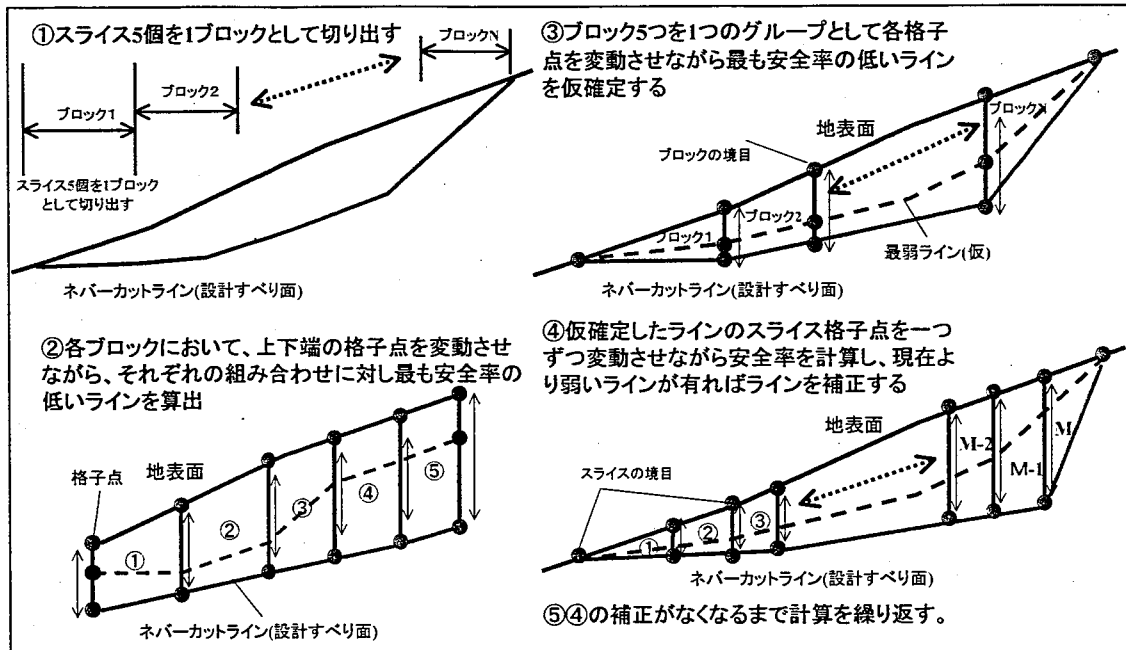


図-1 最弱すべり面探索プログラムの概要

5.検討結果

現行計画(現在の設計手法)と改良計画(根系効果を導入した土留柵配置計画)による土留柵配置計画の検討結果を表-2に示す。改良計画による柵間の直高間隔は、苫前③で5.6m・歌志内②で5.3mとなり、現行計画より若干広げることが出来た。

苫前③では、現行計画では6段の土留柵が計画されているが、根系効果を導入した改良計画では4段で斜面安定が可能となった。

一方、歌志内②においても、現行計画では5段の土留柵が必要であるが、改良計画では4段と1段低減出来る結果となった。

6.まとめと今後の課題

本検討の結果、現行設計でのすべり面に対する根系効果導入安全率が1.02と低い斜面(苫前③、歌志内①)においても、最弱すべり面探索プログラムを用いた小規模崩壊防止効果(根系ネットワーク効果)を導入することで、土留柵工の柵間隔を広げることが可能で、土留柵の段数を低減することが出来た。このことから、土留柵工を採用するような斜面では、本検討手法を採用することでコスト削減が大きく期待できることが判明した。

今後の課題としては、まず、プログラムの改良が挙げられる。今回開発したプログラムは、各スライスに存在する樹木の根系抵抗力をスライス中央に集中して与える形で計算しているため、スライス近傍に存在する樹木の抵抗力は不正確な与え方となっている。この点については各樹木位置に抵抗力を与えて計算するように改良する必要がある。また、今回の計算では、現行設計で用いているスライス分割をそのまま適用したため、スライスの境界に位置する樹木も多く見られた。従って、根系効果を導入した計算では従来の地形変化のみではなく、樹木の分布状況にも配慮したスライス分割の方法を検討する必要がある。

表-2 根系効果を導入した土留柵工配置計画

項目	苫前③		歌志内②		
	現行計画	改良計画	現行計画	改良計画	
1段目の土留柵	斜面下端との直高(m)	1.47	5.76	1.9	2.8
	上段側土留柵との 区間最小安全率	-	1.34	-	1.09
2段目の土留柵	下段柵との直高(m)	5.0	6.0	4.2	5.0
	上段側土留柵との 区間最小安全率	-	1.3	-	1.25
3段目の土留柵	下段柵との直高(m)	5.0	5.0	5.0	7.6
	上段側土留柵との 区間最小安全率	1.09	1.14	1.12	1.18
4段目の土留柵	下段柵との直高(m)	5.0	5.8	5.0	5.8
	上段側土留柵との 区間最小安全率	1.36	1.36	1.24	1.22
5段目の土留柵	下段柵との直高(m)	5.0	不要	5.0	不要
	上段側土留柵との 区間最小安全率	1.46		1.22	
6段目の土留柵	下段柵との直高(m)	5.0	不要	無し	無し
	上段側土留柵との 区間最小安全率	2.00			