樹木根を含んだ表層土の静的力学特性について

○(株)森林土木施設研究所　野田　龍
室蘭工業大学大学院　川村　志麻
室蘭工業大学　猪股　諒大
日鐵住金建材(株)　岩佐　直人

1. はじめに

森林の持つ斜面崩壊防止機能は，根が存在しうる表層崩壊に対して有効で，もっぱら根の緊縛力によって発揮されている。根が持つ斜面崩壊防止機能についてはこれまで多くの研究が進められており，その評価手法としてすべり面に存在する根の引き抜き抵抗力が用いられている。この評価手法によって，樹木根系の力学的崩壊防止力はクーロン式の粘着力の増加分として評価できることが明らかとなっている（遠藤・鶴田 1969，阿部 1997 など)。ところで，根はすべり面のみに存在しているのではなく，すべり面より上層には細根から大径根まで多様な根が土中に張り巡らされている。しかし，根が含まれた土の強度を力学的に評価された事例は少ない。

そこで，本研究ではすべり面より表層の土に含まれる根の存在が土のせん断強さにどのような影響を及ぼすか評価することを目的として，樹木根を含んだ表層土を採取し，圧密非排水三軸圧縮試験(CU 試験)を実施して樹木根を含んだ土の静的力学特性を明らかにした。

2. 試料の採取場所

本研究では北海道登別市鉱山町のトドマツ人工林から採取したトドマツの根を，北海道富良野市の広葉樹天然林から採取したミズナラの根を対象とした。対象とした樹木の樹齢はトドマツが約 29 年，ミズナラは約 68 年である。採取地点近傍の斜面勾配はトドマツで約 9°，ミズナラで約 2° である。なお，根を含んだ土の呼称は便宜上，地名を用いてそれぞれ鉱山土，富良野土とする。

3. 試料の採取方法と試験方法

試料の採取方法には不撹乱試料を得ることを目的として，ブロックサンプリング法(JGS2009)を採用した。試料は A_0 層を取り除いた位置より約 30cm の深さの土壌を対象とし，試料を採取後，断熱容器に入れ，冷凍庫内においてブロックサンプラーごと凍結状態（約-25℃）で保存した。そのため，凍結過程における変形は拘束されており，凍結履歴による乱れはほとんどない。その後，角柱に切り出し，さらに直径 70mm，高さ 150mm の円柱形に成形し，三軸供試体を作製した。本試験では凍結されたブロック試料から以下の 2 種類の不撹乱供試体を用意した（図－1）。

(1) RC　供試体：サンプリング試料上方から15cmまでの根系混入量が多い供試体
(2) NRC 供試体：サンプリング試料下方から15cmまでの根系混入量が少ない供試体

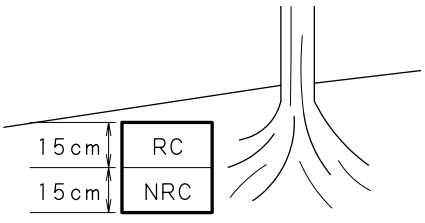
供試体成形後，凍結供試体をセル内に設置し，有効拘束圧 $\sigma c'$ ＝19.6kPa のもとで融解させた。また，196kPaのバックプレッシャーを供給することにより供試体の間隙水圧係数B値は0.96 以上を得ている。その後，有効拘束圧 $\sigma c'$ ＝49，98，147kPa のもとで等方圧密後，ひずみ速度0.25%/min でCU試験を行った。

4. 試験結果と考察

鉱山土および富良野土の NRC 供試体の主応力比と主ひずみの関係を図－2，3 に示す。

鉱山土，富良野土ともに，強度－変形特性は有効拘束圧の増加に伴って初期の立ち上がりは緩くなり，また，主応力比は小さくなっていることが分かる。このことから，鉱山土，富良野土ともに本試料の力学特性は砂の挙動と類似している。

鉱山土および富良野土の RC 供試体の主応力比と主ひずみの関係を図－4，5 に示す。NRC 供試体と比べて主応力比のピークの現れ方が異なることがわかる。例えば，鉱山土の NRC 供試体では主応



図－1 不撹乱試料の模式図

力比が現れるのは 8～15%で,同じく富良野土では 5～10%である。一方，RC 供試体では鉱山土で 15～20%，富良野土で 15～25%と RC 供試体の方が NRC 供試体よりもひずみ値は大きくなっている。これは，根が存在することによって供試体の靭性能が向上したことを意味している。なお，本試験で得られた強度－変形特性からは針葉樹と広葉樹による明確な違いは認められない。

根を含む鉱山土，富良野土の粘着力，内部摩擦角をそれぞれ求めたところ，鉱山土では粘着力，内部摩擦角ともに，ある一定量までは根混入量が多いほど値は大きくなるが，それを越すと値は小さくなった。特に，内部摩擦角は根混入量が多くなると，根がほとんど入っていない NRC 供試体よりも値は小さくなった。富良野土の場合，根混入量が多いほど粘着力は増加した一方で，内部摩擦角は根混入量が多いほど減少した。そこで，得られた粘着力，内部摩擦角を用いて，試料を採取した深さ 30cm の位置における土のせん断強さの評価を行った。

図－6 に地中深さ 30cm の位置における土のせん断強さと根混入量の関係を示す。富良野土では，根混入量の増加に伴い，せん断強さは増加している。一方，鉱山土では根混入量が多くなるとせん断強さは減少しているが，ある一定の量までは富良野土と同様，根混入量が多いほどせん断強さは高くなっている。これは，ある一定量の根が土中に存在することで土のせん断強さを高めており，これによって表層崩壊の発生を抑制する効果を発揮していることを意味している。

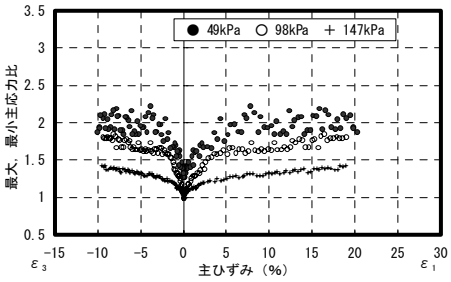
5. まとめ

一連の圧密非排水三軸圧縮試験(CU 試験)の結果,以下の結論を得た。

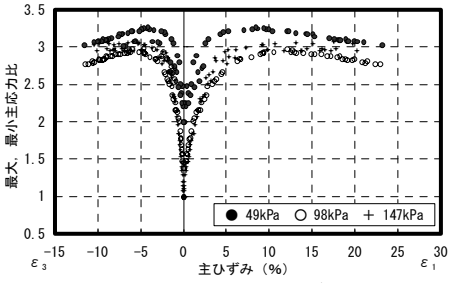
- 鉱山土，富良野土の力学特性は，砂の強度－変形特性に類似している。
- 根を含む斜面表層部の安定性を評価する上では粘着力と内部摩擦角が重要である。
- 本試験では，針葉樹と広葉樹の樹種による力学挙動の違いは認められなかった。
- 根の存在は土のせん断強さの向上に貢献するものの，その効果は根混入量に依存することが認められた。

＜参考文献＞

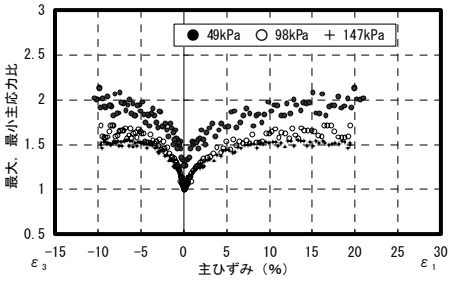
(1) 遠藤泰造・鶴田武雄：樹木の根が土のせん断強さにあたえる作用（第 1 報），林試北海道支年報，P.167-182，1969
(2) 阿部和時：樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究，森林総合研究所研究報告 Vol.373，P.105-181，1997
(3) 小林靖明・川村志麻・小室智・野田龍・岩佐直人：自然斜面から採取した不撹乱試料の静的力学特性，第 46 回地盤工学研究発表会，P.1989-1990，2011



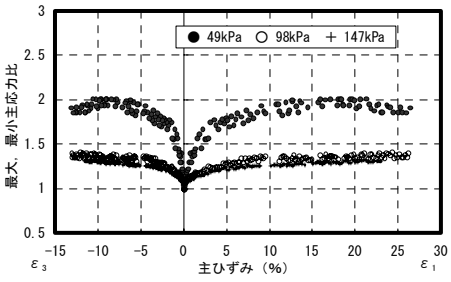
図－2 主応力比－主ひずみ関係
（NRC 供試体，鉱山土）



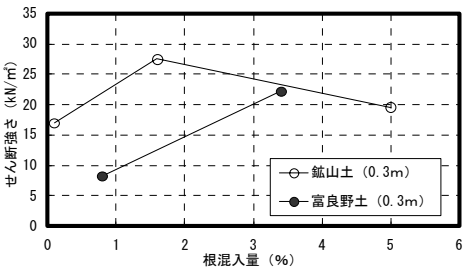
図－3 主応力比－主ひずみ関係
（NRC 供試体，富良野土）



図－4 主応力比－主ひずみ関係
（RC 供試体，鉱山土）



図－5 主応力比－主ひずみ関係
（RC 供試体，富良野土）



図－6 土のせん断強さと根混入量の関係