弾性波探査に基づく風化した切土のり面の安定評価に関する基礎的検討

中日本高速道路㈱　正会員　○永田　政司
横浜国立大学　正会員　菊本　統
㈱高速道路総合技術研究所　正会員　藤原　優
明治コンサルタント㈱　正会員　佐藤　尚弘

1. はじめに

切土のり面は，掘削時や完成直後には安定であっても，時間が経過するにつれて風化が進行し，不安定になる事例が報告されている。こうした風化進行の程度を定量的に評価し予測することができれば，切土のり面の不安定化を未然に防止することにつながる。そこで，NEXCO が管理する高速道路では，全国で 96 箇所の切土のり面に対し，施工完了後から地盤の風化進行を評価するために弾性波探査などの調査を継続的に行なっている。本稿では，このうち約 50 年間の計測データを蓄積した東名高速道路吉田地区の切土のり面を対象として，これまでの継続調査（弾性波探査）と，新たに実施した貫入試験や調査ボーリング等の地盤調査の結果を元に，弾性波探査の計測結果に基づく切土のり面の安定評価について検討した内容を述べる。

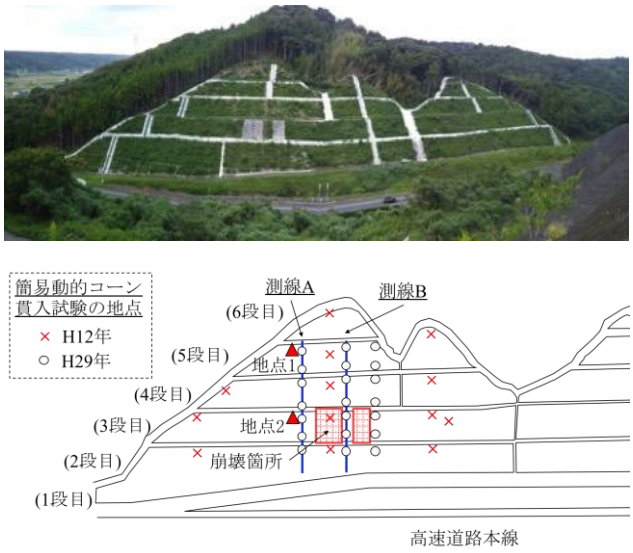

図-1　のり面の全景と調査位置

2. 検討内容

検討対象のり面を図-1 に示す。地質は，新第三紀中新世相良層群の泥岩が優勢な砂岩泥岩互層であり，地層は受け盤構造である。この泥岩は，風化の影響を受けやすく，降雨により表層が崩壊した履歴がある。

弾性波探査は，図-1 の測線 A および測線 B で継続的に行っている。弾性波伝播速度（P 波）（以下，P 波速度という）は，図-2 のように深さ方向に分布し，地盤の風化とともに経年的に小さくなることを確認している[1]。そこで本検討では，P 波速度の計測結果をもとにのり面の安定を評価すべく，地盤強度と P 波速度の関係について検討した。地盤強度は簡易動的コーン貫入試験やベーンコーンせん断試験，コアサンプルによる室内試験で取得した。簡易動的コーン貫入試験は，図-1 の 21 箇所で実施し，過去の結果との比較から貫入量の経年変化を確認した。ベーンコーンせん断試験は，簡易動的コーン貫入試験の貫入孔を用い，深度 0.5m の強度定数を得た。室内試験は，地点 2 の深度約 0.5m から採取したコアサンプルに対し，多段階載荷の三軸圧縮試験$\overline{CU}$ (以下，多段階三軸試験という)[3] を行い，強度定数を得た。そして，これらの強度定数による無限長斜面の安定計算を行った[2]。

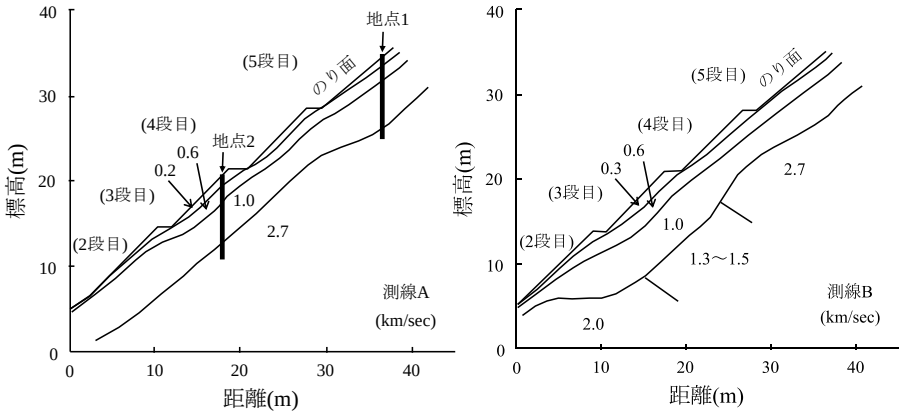

図-2　弾性波探査解析の結果（平成 29 年調査時の P 波速度分布）

3. 検討結果

図-3 に平成 12 年と平成 29 年に実施した簡易動的コーン貫入試験の結果を示す。同図より，これらは同一地点にお

キーワード　切土のり面，泥岩，風化，表層崩壊，弾性波探査，高速道路
連絡先　〒460-0003　愛知県名古屋市中区錦 2 丁目 18 番 19 号　中日本高速道路㈱　TEL:052-222-3623

ける結果ではないが，平成 12 年の調査結果よりも平成 29 年の結果の方が全体的に貫入量が大きい。これは，経年的な地盤の風化の進行により，風化土層厚が大きくなったためだと考えられる(平成 12 年：平均 0.8m，平成 29 年：平均約 1.0m)。なお，平成 29 年の貫入量は地点 1 のボーリングで確認した強風化シルト岩の層厚約 1.35m や[1]，測線 A の P 波速度 0.2km/sec の層厚 1.2m と概ね整合している(**図-2**)。

図-4 に降雨時の表層崩壊を想定した無限長斜面の安定計算結果を示す。また，風化土層の強度定数等の計算条件を**表-1** に示す。安定計算は，経年的に風化がのり面の深部へ進展することを想定し，風化土層厚を変化させて行った。風化土層の物性は，地点 2 の深さ 0.5m 付近の採取試料に対して行った土質試験の結果により設定した。粘着力 c と土のせん断抵抗角 φ については，強度定数による違いを知るために，ベーンコーンせん断試験による強度定数の小さいものと，同試験による全 20 地点の定数の平均，多段階三軸試験のピーク強度時の定数の 3 つの条件とした。計算の結果，斜面が不安定状態となる安全率 F＜1 の風化土層厚は，条件①の場合が最も小さく，土層厚が 0.8m 程度以上で不安定となった。この結果は，当該のり面で過去に生じた表層崩壊の深さが約 1m であった事実と概ね整合している。このときの崩壊土は**図-2** より P 波速度 0.2～0.3km/sec 程度の強風化土であったと想定され，条件①のように強度定数が小さかったと考えられる。また，崩壊箇所の深部に局所的な低速度帯が確認されていることから，地層構造に破砕帯等の弱部が存在し，水の影響を受けやすい環境にあった可能性も考えられる。一方，条件②や条件③の場合は，F＜1 となる風化土層厚が大きく，条件③については 3.6m 程度以上で不安定化する結果となった。これは，多段階三軸試験による粘着力 c が他の条件よりも大きいことや，実際には**図-2** のように P 波速度は深度方向に分布するが，計算上は，層厚を大きくしても滑り土塊の物性は一様だと仮定したことが影響している。しかし，今後風化が進行し，P 波速度が深層まで低下する場合には計算結果のように不安定化のリスクが高まると考えられる。

今後，弾性波探査の結果から風化土層が崩壊するか否かの判断指標の導出を試みる予定であるが，地盤強度の設定が結果に大きく影響することから，風化土層の状態に応じた適切な地盤強度を用いて検討していく必要がある。また，**図-2** に示すとおり，風化が進行したのり面には P 波速度が 0.2～0.3km/sec 程度の表層土が全体的に分布するが，これだけでは崩壊の可能性を判断することが難しい。このため，地盤強度の適切な設定に加え，断層破砕帯などの崩壊性要因の有無を考慮する必要があると考えられる。

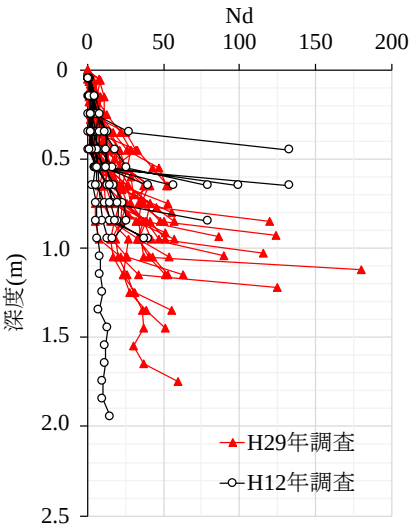

図-3　簡易動的コーン貫入試験結果

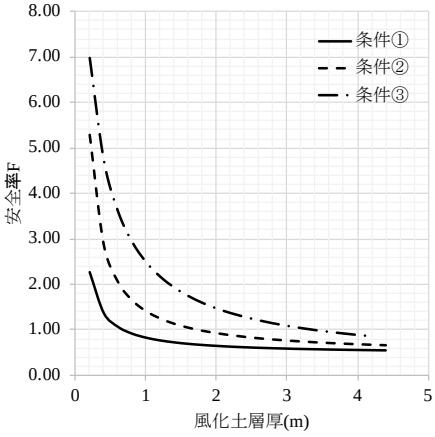

図-4　安定計算の試算結果

表-1　安定計算の条件

計算条件	
土の単位体積重量γ	19.64 kN/m^3
土の飽和単位体積重量γ_{sat}	20.02 kN/m^3
水の単位体積重量γ_w	9,8 kN/m^3
水中単位体積重量γ'	10.22 kN/m^3
地下水位	満水状態と仮定
すべり土塊の厚さ	変数
傾斜角度	45 °
強度定数	
・粘着力c	
条件① ﾍﾞｰﾝｺｰﾝせん断試験_弱部	3.6 kN/m^2
条件② ﾍﾞｰﾝｺｰﾝせん断試験_平均	9.7 kN/m^2
条件③ 多段階三軸試験CUBar_地点2	26.9 kN/m^2
・せん断抵抗角φ	
条件① ﾍﾞｰﾝｺｰﾝせん断試験_弱部	42.5 °
条件② ﾍﾞｰﾝｺｰﾝせん断試験_平均	40.17 °
条件③ 多段階三軸試験CUBar_地点2	26.3 °

4. まとめ

地盤調査の結果をもとに，風化土層厚を変化させた斜面の安定計算を行い，弾性波探査の計測結果に基づくのり面の安定評価を実施するうえでの留意事項を確認した。今後は，風化土層の地盤物性を適切に設定するために地盤の風化機構を明らかにし，弾性波探査の結果をもとに風化土層が崩壊するか否かの判断指標の導出を試みる予定である。

＜参考文献＞

1) 永田，菊本ら：長期風化による切土のり面の物理的性質の経年変化，第 53 回地盤工学研究発表会，2018.

2) 藤原，佐藤ら：切土のり面の弾性波探査の計測データに基づく安定評価，土木学会第 73 回年次学術講演会，2018

3) Kovari,K. and A. Tisa: Multiple Failure State and Strain Controlled Triaxial Tests, Rock Mechanics, Vol. 7, No. 1, pp. 17-33, 1975.