

切土ノリ面の風化特性に関する研究

日本道路公団試験所 第二土質試験室 正会員 中沢 裕

奥園誠之

正会員 ○ 島田忠則

まえがき

高速道路の建設が全国的に進むにつれて、道路は山間部におよび、その路線延長に対する切土ノリ面の占める割合は増加の傾向にある。この切土ノリ面の安定性を検討することは、設計施工の段階だけでなく、維持管理の段階においても極めて重要な問題である。しかしながら、地山の地質が複雑に構成されていることや、地山を構成している岩石や土砂の強度が切土後、二次的に変化して行く場合があるなどの理由で、切土ノリ面の安定検討は難しい問題点をカカえている。二次的な強度低下とは、岩石が、切土に伴う応力解放によって吸水膨張し強度低下することや、乾湿くり返しなどの長期的な風化作用を受けて強度低下することなどを意味している。

本研究は、「切土ノリ面の安定性に関する研究」の一環として実施したもので、東名中央高速道路切土ノリ面追跡調査の結果を中心に、乾湿くり返しなどの長期的な風化によって、ノリ面表層部の岩石の破碎と変質が経年的に深部にどのように拡大していくか、それに対して切土ノリ面が安定であるかどうかを検討したものである。

1. 東名中央高速道路切土ノリ面追跡調査

本追跡調査は、切土ノリ面の風化の進行状況をは握するために、東名中央高速道路において、建設後3年目の昭和45年と6年目の48年に行なった。対象は植生工のみの、すなわち構築物によるノリ面保護工のない代表的なノリ面約20箇所について、主として地表調査と弾性波探査を行なったものである。地表調査では植生の状況、地下水・地表水の状況、ノリ面の崩壊状況などを調査した。弾性波探査は、切土ノリ面の風化の進行状況を定量的には握するために行なったもので、測線配置(1測線34.5m、1箇所当り3測線)、受振点間隔(1.5m)、発振点位置(測線の両端および中央)、発振方法(ハンマー)などは、両年度とも同じ条件で行なった。調査した切土ノリ面の岩種は、第3紀たい積岩類、古生代の変成岩類および火成岩類の3種に大別できる。

2. 弾性波探査による風化の進行状況

図-1は、各地の測定結果からノリ表面より深さ方向に、第1月、第2月および第3月と区分し、45年と48年に測定した各月の速度(P波-縦波)について、両者の対比を示したものである。図中の実線は45年と48年の弾性波速度に変化がない場合で、この実線より下にプロットされたものは、3年間に速度が低下したものである。48年の結果を整理してみると、全般的な傾向として、第1月の速度は250~500 m/secの範囲を示し、第2月は主に500~800 m/secに

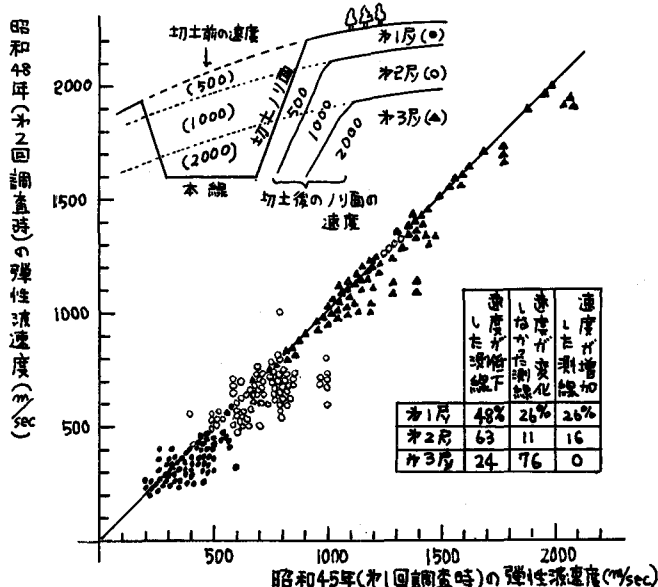


図-1 弾性波速度(P波)の経年変化

集中しているが、第3月分は岩種や岩質によって大きくバラシキがみられ600~2000の広範囲におよんでいる。図中の表は45年から48年にかけて速度が低下したものの割合を示したものである。

各月の速度が掘削前と比較して、どの程度速度低下しているかを検討するためには、掘削前の速度を知る必要があるが、実際には計測していない場合が多いため、図中に示したように、深部の速度は掘削後も変化しないものとして、45年測定時の最高速度を掘削前の速度と仮定して議論をすすめた。

図-2は、岩種別に45年と48年の第1月の速度の低下状況を示したものである。横軸は速度低下率 d_{tn} は(式-1)により求めた値であり、縦軸は速度低下率 d_{tn} ごとの度数である。

$$\text{速度低下率 } d_{tn} = 1 - V_n / V_0 \quad \text{.....(式-1)}$$

ここで、 V_0 は前記の最高速度であり、 V_n は切土後 n 年(45年は $n=3$)経過した調査時の各月の速度である。 V_0 は不変であるから V_n が低下するほど d_{tn} は1.0に近くなる。45年の速度低下率 d_{tn} ごとの度数分布と比較すると、48年の結果は速度低下率の上限値はあまり変動していないが、下限値が上昇し分布域がせばまっており、全体的に弾性波速度が低下していることが認められる。

同様に第2月の場合についても検討してみた結果、第3紀たい積岩類は速度低下率の分布域が0.38 ~ 0.64から0.45~0.62に変動しており、下限値の上昇が認められる。変成岩類についてみると分布域は0.34 ~ 0.63から0.43 ~ 0.76と全体的な分布域の移行となっており、第1月に較べ第2月の風化の進展が考えられる。火成岩類は0.25 ~ 0.68と広範で、分布域の大きな変動はみられない。

上記の考察をノリ面のキレシ状態から整理してみると、速度低下率の上限値はあまり変動していないが、月理や割れ目の発達したノリ面では、キレシのないノリ面に較べて下限値の上昇がかなり大きく出ている。この場合、割れ目の方向性よりもキレシ密度(たとえば単位体積当りの割れ目本数)の方が大きな影響をおよぼしているようである。

図-3は、追跡調査を行った切土ノリ面のうち、建設直後に弾性波探査を実施していたものについて、第1月の弾性波速度の経年変化を示したものである。角せん岩などの硬岩の場合、切土後3年間で急激に低下して、その後の3年間の低下の割合はあまり大きくない傾向がみられる。また、マサ土のように切土直後から土崩れしているような場合、弾性波速度は経年的に変化しない傾向がみられる。いずれにしても、切土ノリ面建設後の風化の進展によって、表月の弾性波速度は250~500 m/sec に収れんしていくようである。この収れん値は、図-2の速度低下率の上限値にあたると思われる。

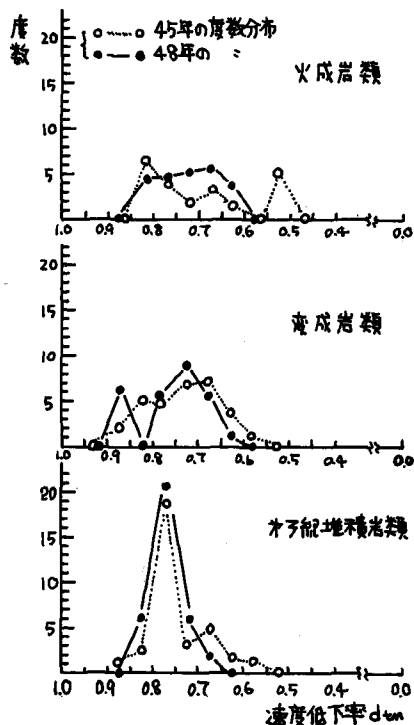


図-2 岩種別の弾性波速度(第1月)の低下状況

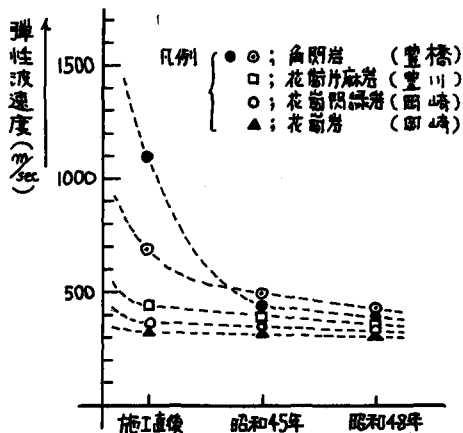


図-3 第1月の弾性波速度の経年変化

図4は、中央高速道路において46年と48年に、板たたき法により測定したS波(横波)の伝播速度を示したものである。前述したごとく、表層におけるP波(縦波)の伝播速度は6年目で収束するが、S波の場合、まだ低下をつづけているようである。

弾性波速度から風化の進行状況を定量的には握しようとする場合、弾性波速度の経年変化のほか、風化層厚の経年変化もみる必要がある。図-1に示した第1層と第2層は、切土ノリ面表層部の風化層に相当すると考えられるので風化層厚の経年変化を知るために各層の45年と48年の結果を比較検討した。建設後6年目の風化層厚は、地区や岩種によって大きく異なり、第1層は0.2~1.6m、第2層は0.4~9.1mと広範囲におよんでいる。45年から48年にかけての風化層厚の変化をみてみると、全般的に肥厚化の傾向が認められる(第1層、第2層とも、48年の層厚は45年の1~2倍程度である)。

図-1に示した弾性波速度の変化の中に、一部速度が増加したものが見られるが、これは、弾性波速度が地山の乾湿状況に影響を受けたことや、風化の進行に伴い岩のキレツ間に粘土などが充てんしたためと考えられる。室内試験で、岩のキレツ間に粘土などを充てんして弾性波速度を測定すると、充てんしないときよりも弾性波の伝播速度が大きくなることをたしがめたことがある。

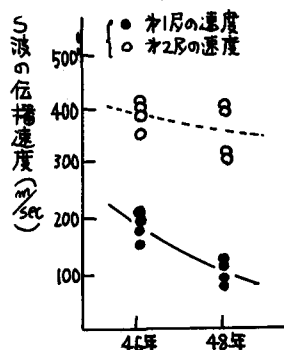


図4 S波の伝播速度の経年変化

3. 地表調査による風化の進行状況

地表調査から風化の進行状況を定量的に表示することは困難であるが、ノリ面表層部の崩壊状況を観察し、45年の調査時以後の3年間ににおける風化の進行程度を「進行している」と「進行していない」に判別することは可能である。判別の結果、進行しているものと、していないものの割合はほぼ半々であった。地表調査から風化による切土ノリ面の崩壊状況を分けると次の3タイプになるが、発生の頻度は(a)(b)のタイプが高いようである。

(a) 第3紀の泥岩と軟岩に多くみられるタイプで、風化により表層部がぜい弱化して、雨水により風化土砂が流出し、雨裂・洗掘溝および肌落ちなどの崩壊形態をとるもの。(b) 安山岩などの硬岩に多くみられるタイプで、風化により節理面などの結合力が弱まり割れ目に沿ってはく離し・落石などの崩壊形態をとるもの。(c) 軟岩や硬岩の区別なく、断面や岩の貫入など地質構造の影響を受けたノリ面にみられるタイプで、風化が弱線に沿って深部にまで進行し、地すべりなどの崩壊形態をとるもの。

4. 風化によるノリ面の安定性の推移

図-5は、各地区のノリコウ配と基盤の弾性波速度(ノリ面深部の速度)との関係を示したものである。図中の「●」印は建設中またはその直後に崩壊を起したものであり、「x」印は開通後から約3年の間(昭和45年まで)に崩壊を起したものである。「△」印は、45年~48年の間に崩壊を起したものであり、「○」印は現在でも健全なノリ面である。「●」印の分布する領域、「x」、「△」印の分布

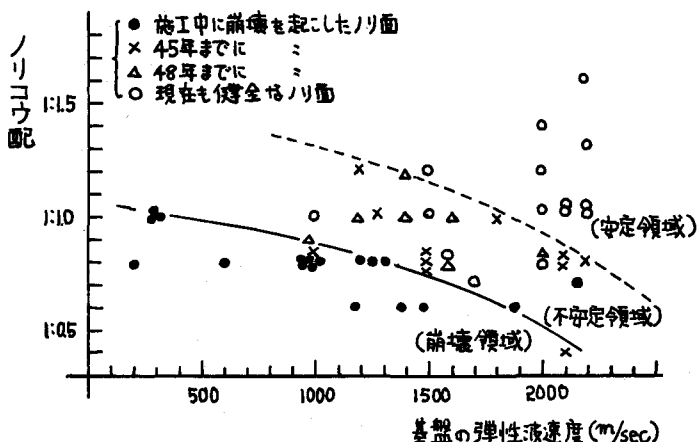


図-5 風化の進行によるノリ面の安定性の推移

する領域および印の分布する領域を、それぞれ「—」線と「……」線で、図に示すような崩壊領域、不安定領域および安定領域の3ゾーンに区分する。この不安定領域が、建設直後は健全であっても、風化の進行に伴って崩壊する領域である。「……」線は建設後6年目の現在での安定領域と不安定領域の境界線であるので、今後も風化が進めば「……」線は安定領域内に少し移動すると考えられる。

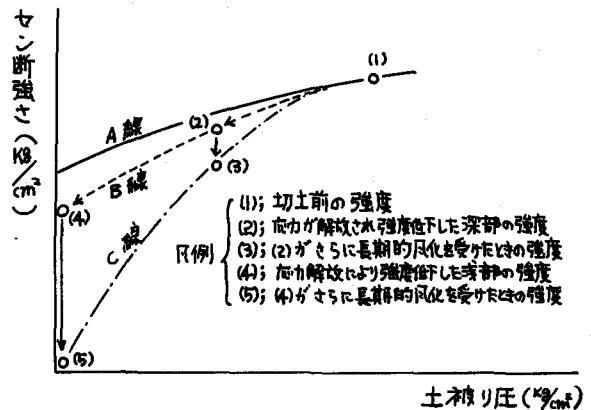


図-6 風化による強度低下の概念図

5. 風化による強度低下と対策工の考え方

図-6は、切土ノリ面の建設直後と風化を受けた場合の、ノリ面深部および浅部での強度低下の状態を概念的に図示したものである。図において、A線は切土以前の地山強度と土被り圧の関係を示し、岩種や集木状況により地山ごとに異なる値である。これが切土によって応力解放されると、岩が吸水膨張して密度が低下したり、岩にキレシが発生したり、もとからあったキレシの間隔が拡大したり、あるいは、キレシ間を充てんしている粘土などが吸水膨張を起して、強度低下をきたします。B線のようになる。この時点で、崩壊の滑動力が地山のセン断抵抗力を上まわると崩壊が発生することになるが、これを応力解放と、それによる地山の吸水膨張によって起った崩壊とよぶことにする。

つぎに、乾湿くり返しや凍結凍上などいわゆる風化作用を受けて強度低下したものがC線である（固結度の極端に低い泥岩などにおいて、乾湿くり返しなどの風化による強度低下を急激に受ける場合もあるが、一般的に、この風化による強度低下は長期にわたって起る）。この場合、地山の抵抗力が崩壊の滑動力を下まわったり、豪雨の影響を受けたりすると、3筋で述べた種々の崩壊形態を示すことになるが、これを、前述の吸水膨張による崩壊に対処して、長期的な風化による崩壊とよぶことにする。

B線、C線で示す強度低下は、土被り圧に大きな影響を受けると考えられるが（浅部ほど大きな影響を受ける）ノリ面保護工にも大きく影響を受ける。このノリ面保護工の設計にあたっては、図-6に示した強度低下の概念を十分考慮に入れて行わなければならない。すなわち、将来の風化による強度低下を考慮して設計するなら、図-6のC線（すなわち風化による最終的な強度低下）を明確につかんで、十分安全なノリコウ配を決定しなければならないし、また、やむおえない理由があってノリコウ配を急にする場合は、強度低下によって起こる崩壊の滑動力を十分押えることのできる保護工を設計しなければならない。また、風化による強度低下を防止する保護工を考えるなら、B線がC線にならないよう、すなわち、長期的な風化による強度低下を起さないような工法を検討する必要がある。

あとがき

今後の課題としては、データ数を増し、どの種の岩が、吸水膨張による風化を受けるのか、また、乾湿くり返しなどによる長期的な風化を受けやすいのか、あるいは、どの程度まで受けるのかなどを明確にして、「切土ノリ面の安定検討に用いる地山強度の考え方」を実用化していく一方、どこまで風化が進行すれば切土ノリ面が危険になるかを判定する手法も確立していかなければならないと考えている。また、各種のノリ面保護工がどの程度風化に対して効果をあげているかを現地で調査していきたいと考えている。最後に、追跡調査や資料収集等に多大な御協力をいただいた関係機関の各位に、厚く御礼申し上げます。

Study on weathering characteristics of cut slopes
in the Tomei Expressway and the Chuo expressway

Yutaka Nakazawa
Seishi Okuzono
Tadanori Shimada
Laboratory, Nihon Doro Kodan

Abstract

As Japan is a mountainous country, there are many cut slopes along highways. In case of examining the stability of a cut slope, we have to study various problems. Especially, as weather condition in Japan is severe, it is necessary to study about the weathering of cut slopes.

We have investigated the weathering characteristics of cut slopes using the results obtained from the seismic prospecting and the geological surveying of cut slopes in Tomei and Chuo Expressway. We report and discuss the results of investigations on weathering of cut slopes carried out in 1970 and 1973.