

論文

秋田南西地域における泥岩の力学特性

今井忠男*・鴨志田直人*・西村幸一*・杉本文男*
渡部専一**・渡辺幸弘**・佐藤允***

Mechanical Properties of the Mudstone in the Southwest
Area of Akita Prefecture.

Tadao Imai*, Naoto Kamoshida*, Kouchi Nishimura*, Fumio Sugimoto*
Sennichi Watanabe**, Hiroyuki Watanabe**, Makoto Sato***

Abstract

In this research, we propose a design of safe cutting slope for mudstone (Neogene) in the southwest area of Akita Prefecture.

At Iwaki-cho(southwest area of Akita Prefecture), a slope failure occurred at a rock cut site for a highway. We investigated its geological structure, physical and mechanical properties, and weathering characteristic.

As result, it is found that slaking and wash-off of cementing materials by seepage flow cause the the mudstone to deteriorate and its compressive strength decrease remarkably. Therefore, when cutting the slope in this area, care should be taken to prevent filtration of rainwater. Moreover, a newly cutting slope for the mudstone should be designed at 20-25 degrees because the suitable angle of the slope for naturally weathered mudstone is about 20 degrees.

1. はじめに

秋田県の南西部に位置する岩城町では、1998年から日本海沿岸道路の開発に伴い、町道（二古－亀田線）の整備がおこなわれている。しかし、2000年より、既の開発された一部の法面で崩壊等が発生し、これ以降の開発は慎重に進められている。

斜面崩壊が発生している地域は、堆積性軟岩が広く分布する地域に属し、今後、日本海沿岸道路の開発および周辺のアクセス道の整備を進めるにあたっては、これら日本海沿岸に広く分布する泥岩の力学的な特徴および風化特性を、詳細に解明する必要がある。

本研究では、上述の災害事例を踏まえ、今後、二古－亀田線の拡幅工事が予定されている露頭について、地質調査、採取されたボーリングコアの物理および力学的試験、風化特性などについて詳細な検討をおこない、安全な斜面の開発計画について考察をおこなった。

2. 調査地域

2.1 調査地域の地質・地形と災害

図1に今回の調査地域の地質図を示す。図より、日本海沿岸道路の開発およびアクセス道の整備にあたっては、海岸線に平行して南北に伸びる天徳寺層（新第三紀）の調査・研究が重要と考えられる。本論では、図中の天徳寺層内の研究地域について、調査・研究をおこなった。

図2にこの地域の航空写真を示す。沿岸の二古地区は二古川の扇状地であるが、その他の大部分は山岳地形である。この地域を東西に貫く二古－亀田線は、沿岸の二古地区から図中の（a）および（b）を通過して内陸の亀田地域に至る道路である。従来、この道路は二古川支流の水文に沿って建設されていた。

図3に図2で示した（a）、（b）地点の露頭を示す。図3（a）は今回の調査・研究地域であり、道路拡幅のため、西側斜面を開発する予定である。この断崖は、周囲の岩盤に比較し硬いシルト岩からなり、顕著な崩壊の跡は見あたらない。また、図3（b）は、新たに開発された二古－亀田線のバイパス道であり、開発後1年程度（2000年）で斜面崩壊した現場である。この法面では、開発によって露出した泥岩層が、雨水の影響によって、短期間に風化（スレーキングなど）している。

本研究では、図3（b）の崩壊事例を参考に、道路

2004年7月24日受理

* 秋田大学工学資源学部地球資源学科, Department of Earth Science and Technology, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University.

** 岩城町役場, IWAKI Town Office.

*** 創和技術(株), SOWA Engineering Co., Ltd.

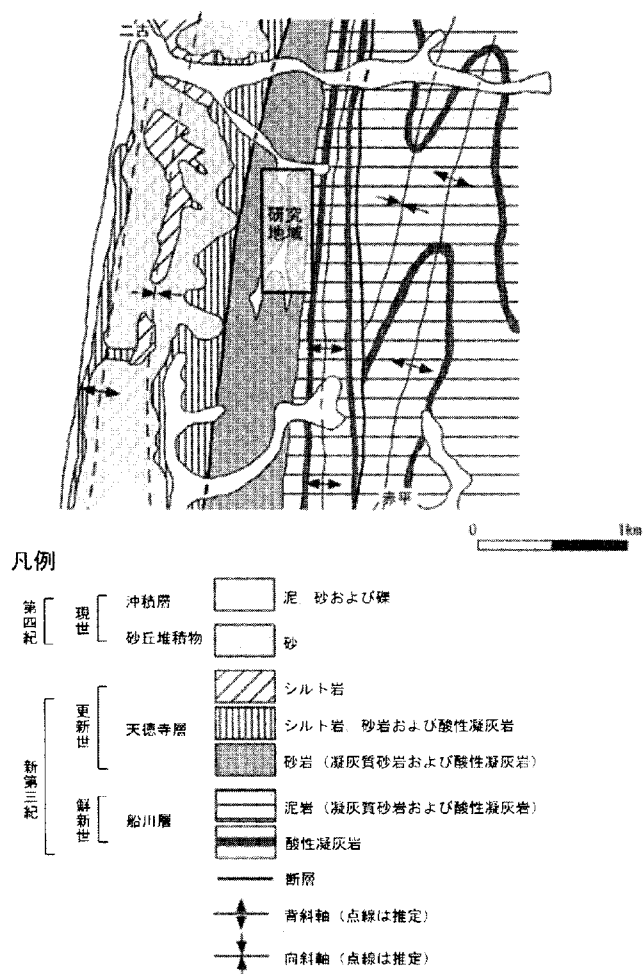


図1 調査地域の地質図

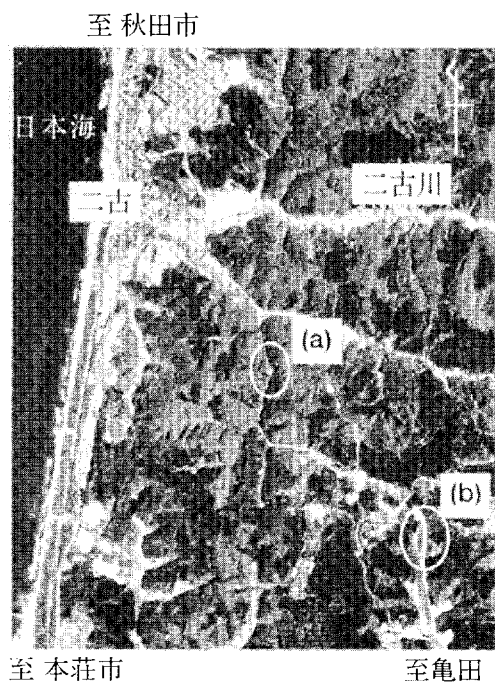
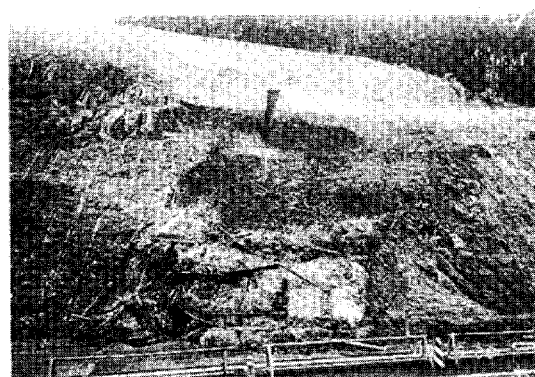


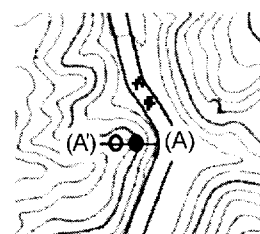
図2 調査地域航空写真



(b) 斜面崩壊



(a) 調査露頭



調査地点(●No.1, ○No.2)

図3 調査地域の露頭

図4 ボーリング位置

拡幅工事によって切出される図3 (a) の露頭で、どのような開発の場合に崩壊が発生するのか、露頭の開発条件などについて検討をおこなった。

2.2 ボーリング位置と露頭断面

図4に先の図3 (a) の露頭におけるボーリング位置を示す。露頭下部の●はNo.1孔、露頭上部の○はNo.2孔を示している。次に、図5にNo.1孔およびNo.2孔におけるボーリング柱状図およびRQDを示す。No.1孔では、数cmの表土の下に深度17mまで風化シルト岩およびシルト岩層で、それ以深は泥岩層となっている。RQDは、シルト岩層では70～100%と大きい、泥岩層では40～70%と小さく、とくに26m以深で小さい傾向になることがわかる。また、No.2孔では、数十cmの表土の下に深度9mまで強風化シルト岩および風化シルト岩層で、それ以深は泥岩層となっている。RQDは、風化シルト岩層および泥岩層で大きな違いはなく、ほぼ60～100%の間に分布している。

次に、図6は、図4の(A)および(A')間の地質断面を露頭の調査をもとに推定したものである。図より、露頭の勾配はNo.1孔の少し上部で変化しており、勾配変化点の上部で約20°、下部で約40°である。また、地層は約80°東へ傾斜しており、シルト岩と泥

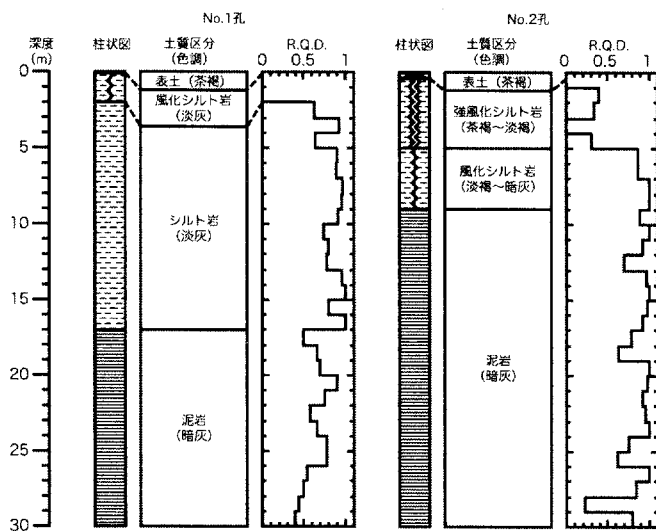


図5 ボーリング柱状図

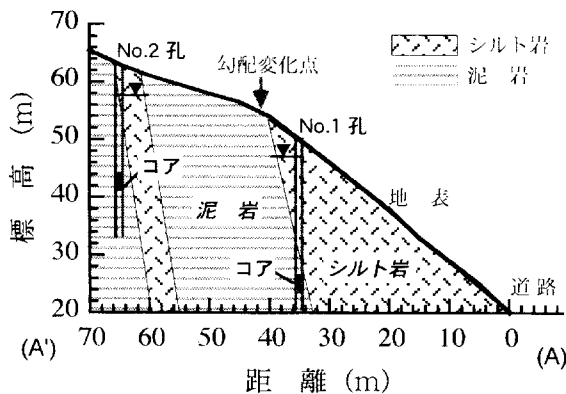


図6 露頭断面図

岩の互層となっている。道路から勾配変化点まで上部シルト岩層、次に上部泥岩層、その下に下部シルト岩層を挟んで下部泥岩層が続いている。ただし、上部泥岩層と下部シルト岩層の境界位置は推定である。

ボーリング孔内の水位は、図中に▼で示しており、No.1孔およびNo.2孔とも表層より3～4m下のあたりにある。

ここで、道路拡幅のため露頭を切り取ると、道路側のシルト岩層はほとんど掘削され、一部に下部シルト岩を挟んだ泥岩層が法面となることが予想される。よって、上・下部の泥岩層による法面の安定性を検討するため、図中に示したボーリング孔の位置からそれぞれの泥岩を採取し、これら泥岩の物理的および力学的性質を検討した。

泥岩試料は、No.1孔から5つ、No.2孔から4つのコアを採取し、ラップに包んで現場から輸送した。

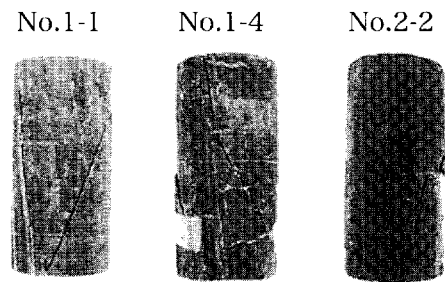


図7 試験片の破壊状態

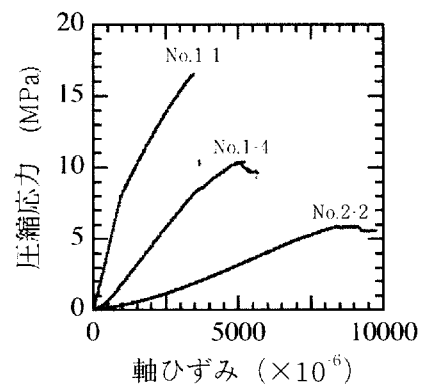


図8 試験片の応力-ひずみ線図

泥岩試料は試験片に整形した後、湿潤のままチャック付きビニール袋で保存し、すばやく試験に供した。なお、試料番号は、上方からNo.1-1, 1-2,・・・とする。

3. 実験結果

3.1 ボーリング深度と諸物性値

図7に一軸圧縮試験後の泥岩試験片を示す。圧縮試験では、ボーリング軸方向に載荷した。上部泥岩層の試験片No.1-1およびNo.1-4は、表面が暗灰色から黄褐色に変色しており、70～80°に傾斜した層理がみられる。圧縮破壊によるき裂は、この層理に沿って発達しやすく、明確な破断面が形成されている。これに対し、下部泥岩層の試験片No.2-2は、暗灰色のままで明瞭な層理も見られず、圧縮過程において、き裂は発達するが明確な破断面は形成されない。

図8に先の試験片の応力と軸ひずみの関係を示す。No.1-1は脆性的に破壊し、強度もヤング率も3者の中で最も大きい。No.1-4も脆性的に破壊しているが、強度、ヤング率ともにNo.1-1より40%程度小さい。また、No.2-2は強度、ヤング率ともに小さくNo.1-1の1/3程度であるだけでなく、明瞭な強度点

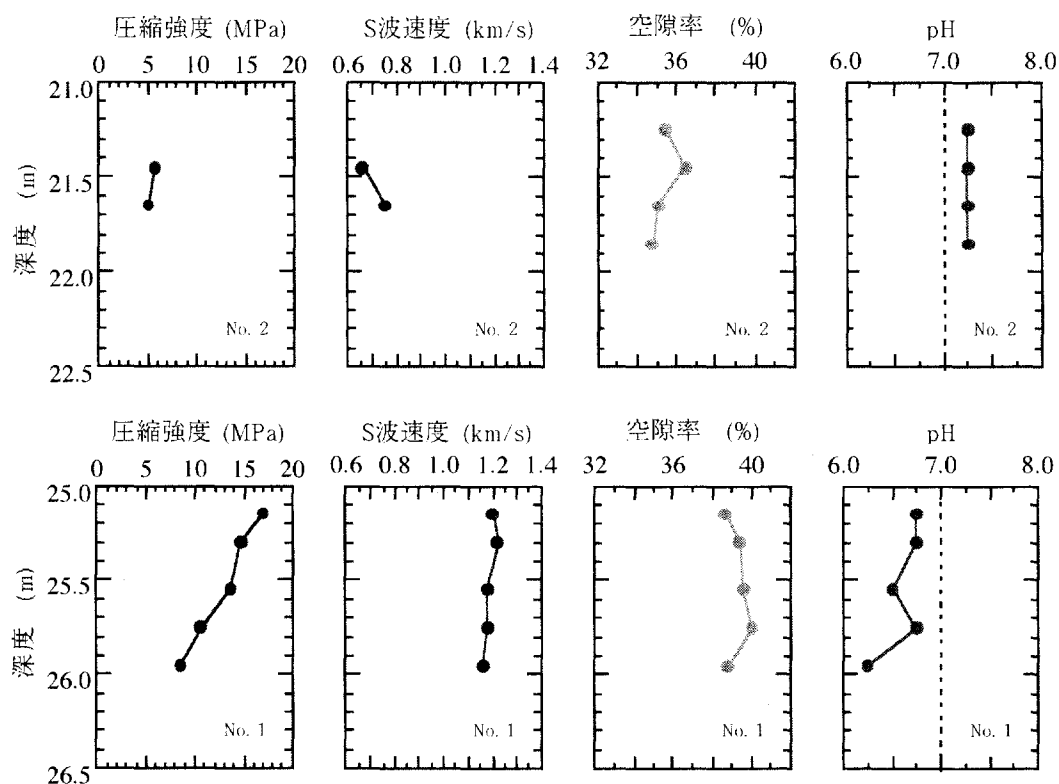


図9 ボーリング深度と各物性値

が見られずに延性的に破壊することがわかった。

図9は、No.1孔およびNo.2孔の各泥岩試料について、一軸圧縮強度、S波速度、空隙率、試料の新鮮な表面（切断面）のpHを測定し、試料の深度と各測定値との関係をボーリング孔ごとに示したものである。なお、岩石のpH測定にあたっては、試料を水で飽和させたのち、乾燥が進み難い室内で数時間放置し、表面を湿らせた試料に直接pH試験紙を押し当てて測定した。また、No.2孔の試料は軟弱でき裂が多く、円柱試験片が作製しにくかったため、一軸圧縮強度とS波速度のデータは2つとなった。図より、No.1孔の上部泥岩層では、1mの区間において、深くなるにしたがい、一軸圧縮強度が低下する傾向が見られる。また、S波速度と空隙率はあまり変化しないが、pHは深度にしたがって低下することがわかった。さらに、No.1孔では、図5のRQDが示すように、26m以下の深度からは、コアに多くのき裂が発達し、棒状のコアは採取しにくかった。このことから、No.1孔の深部の泥岩は、浅部より軟弱であると推察される。

これに対し、No.2孔の下部泥岩層では、No.1孔試料と比較し、強度、空隙率、S波速度は小さく、pHは中性付近であることがわかる。すなわち、この泥岩は、強度およびS波速度が小さいことから、固結度が低く、土や粘土のような塑性体に近い、典型的

な軟岩であると考えられる。

3.2 化学的变化

図10にNo.1孔およびNo.2孔それぞれの泥岩試料のX線分析（粉末法）結果を示す。図より、両者とも、主にスメクタイト、石英、斜長石からなる同様な鉱物組成を示している。とくに、No.2孔試料には、より多くのスメクタイトが含まれていることがわかる。すなわち、両者は、地質年代および鉱物組成とも極めて似かよった泥岩であり、同層上部の岩石（No.1孔）に比較し、下部岩石（No.2孔）は、スメクタイト含有量が多く固結度が低いことを考慮すると、下部岩石（No.2孔）は風化したと推測される。

図11は、No.1孔試験片の表面と内部（破断面）を示したものである。表面は黄褐色であるが、内部はNo.2孔試料と同様の淡灰色である。すなわち、No.1孔の試料は、短時間のうちに表面で化学反応が進んでいると考えられる。これに対し、No.2孔試料に色の変化はない。

図12にNo.1孔試料の表面の顕微鏡写真を示す。試料表面に析出した結晶は、色および形態から、鉄明礬石や石膏などの硫酸塩および赤鉄鉱と推察される。すなわち、No.1孔の泥岩は、水と空気の触れる領域で酸化反応を生じやすく、これによってpHが低くな

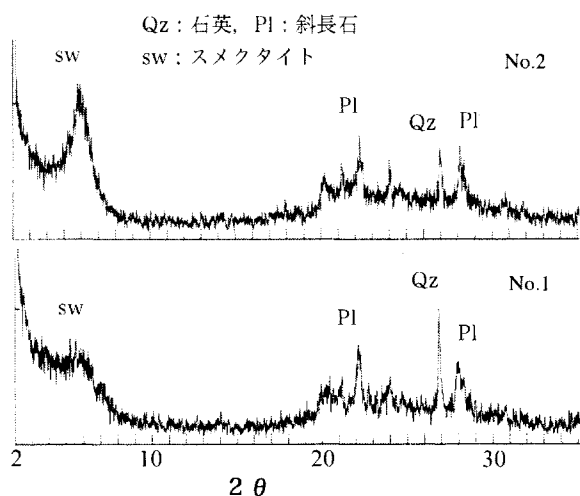


図10 岩石試料のX線分析結果

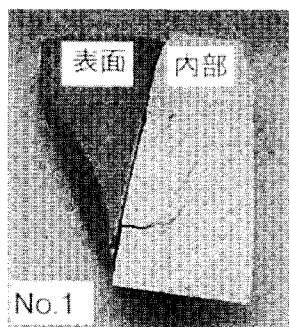


図11 試験片 (No.1) の破断面

ると考えられる。なお、本泥岩試料からは黄鉄鉱が確認されなかったが、泥岩中の植物起源の硫黄とバクテリアの反応によって、酸化反応および硫酸塩の析出は可能であることが知られている⁽¹⁾。

4. 考察

4.1 泥岩の風化

調査対象にした露頭では、上部のシルト岩層および泥岩層 (No.1 孔) に比較し、下部のシルト岩層および泥岩層 (No.2 孔) が風化し劣化していることが、柱状図 (図5) に示したコアの観察および力学試験の結果わかった。また、露頭の表層において、上部シルト岩層の斜面勾配は40°であり、上部泥岩層の斜面勾配は20°であることから、泥岩は表層で風化し、強度の低下が大きいと推察される。

これら泥岩の風化は、露頭の観察や力学試験結果などを考慮すると、表層での酸化反応等の化学的要因より、スレーキングおよび浸透流による固結成分の流出による影響⁽²⁾が大きいと推察される。泥岩に

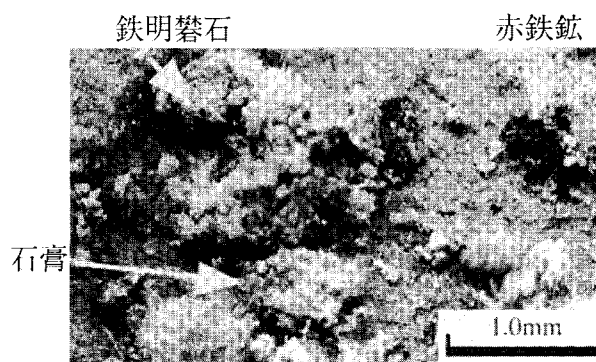


図12 試験片表面の酸化状態

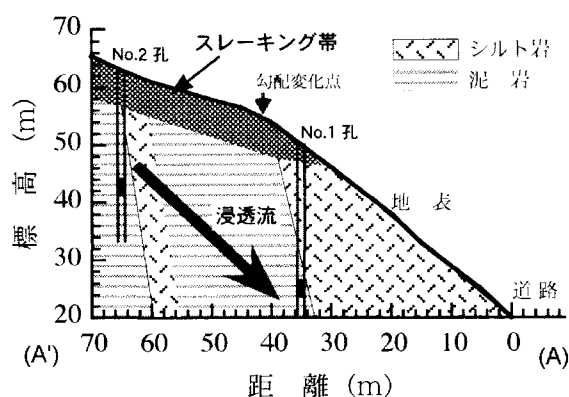


図13 路頭断面の風化モデル

スレーキングが生じるためには、含水状態とある程度の乾燥状態とを繰り返す必要がある⁽³⁾。したがって、この露頭の場合、表層から30mの深部で十分な乾燥状態になることは困難である。すなわち、泥岩層は、表層ではスレーキング、深部では浸透流による固結成分の流出によって、変質・劣化すると考えられる。

以上のことを考慮すると、露頭上方から浸透した雨水は、No.2 孔深部まで浸透した後、No.1 孔の深部へと浸透する経路を形成し、浸透した領域の岩石を劣化せたと推察される。

また、No.2 孔深部の泥岩は、地表に取り出してもNo.1 孔の泥岩のように酸化反応が進まないことから、浸透流は、この泥岩中の固結成分とともに、酸化物質も流出させてしまったと思われる。これら泥岩の酸化反応については、酸化物質の特定など、今後の調査が望まれる。

4.2 露頭の切取り

本露頭では、露頭下方の急傾斜斜面を形成する強固なシルト岩層が擁壁となって、下部泥岩層など風化した地層を支えていると推察される。よって、上

部シルト岩層を除去し、泥岩層のみで斜面を形成させた場合、自然状態での風化過程を考慮すると、将来的には安定な斜面の傾斜角は 20° 以下と予測される。

図3(b)に示した泥岩斜面の崩壊事例では、法面勾配は 45° 程度もあることから、施工から1年程度の短期間の風化で法面が崩壊したことも理解できる。

今回の露頭の切取りにあたって、上部シルト岩層をすべて切取り、泥岩層のみで山頂まで傾斜角 $20\sim 25^{\circ}$ の法面を施工することは、多大なコストが必要となるため現実的でない。

実際には、上部シルト岩層の勾配を多少大きくしても、できるだけ上方までこの層を残すことができれば、これまでのような擁壁効果が可能となる。また、法面の勾配を均一とせず、地層によって変更し、上方の泥岩層では斜面勾配を 20° 程度に施工することが必要である。

5. おわりに

本研究では、この災害事例を踏まえ、今後、二古

一亀田線の拡幅工事が予定されている露頭について、地質調査、岩石の物理および力学的試験、風化特性などについて詳細な検討をおこない、安全な斜面の開発計画について考察した。

この結果、この地域に広がる新第三紀の泥岩層は、スレーキングおよび浸透流による固結成分の流出によって劣化しやすく、圧縮強度が著しく小さくなることがわかった。また、自然状態で風化したこの泥岩層の斜面の安定角は 20° 以下であることがわかった。したがって、この泥岩層を含む地層で斜面の開発をおこなう場合、泥岩層への雨水の浸透を防ぐ方策を検討するとともに、開発する斜面の勾配は、出来るだけ小さくする必要がある。

参考文献

- (1) 陽田秀道(1999):新第三紀層泥岩の生化学的風化現象と被害,土木工学会論文集, No.617/III-46, pp.213-224.
- (2) 奥園誠之(1978):切取ノリ面の風化とその対策,土と基礎, No.1065, pp.37-44.
- (3) 桑原啓三,平野勇,神保悟(1983):軟岩の吸水劣化試験,土木研究所資料, No.1930.