

山口県宇部市の古第三紀泥岩地帯における道路敷設工事に伴う問題点

A Few Problems during Road Construction in Palaeogene Mudstone in Ube, Yamaguchi

山本哲朗	Tetsuro Yamamoto	(山口大学工学部助教授)
高本直邦	Naokuni Takamoto	(山口大学大学院博士前期課程学生)
瀬原洋一	Yoichi Sehara	(常盤地下工業(株)次長)
川崎主税	Chikara Kawasaki	(山口大学工学部学生)

山口県宇部市の第三紀泥岩の丘陵地において山岳道路の敷設工事が行われ、その際の切土および盛土工事に際して発生した3種類の地盤被害とその対策工を記載した。その被害は1)基礎地盤の切取り時のすべり破壊と盛土の側方変形、2)豪雨による切土斜面の崩壊、3)盛土材としての泥岩の水侵食であり、いずれも規模は小さい。さらに泥岩の岩石学および土質工学上の諸性質を調べた結果を述べた。

キーワード：土工、斜面安定、堆積岩、降雨、地質学 (IGC:K4/C0)

1. まえがき

山口県宇部市において延長3.5kmの市道請川-王子線の敷設が計画されて、丘陵地の山腹が切取られ、谷間部で盛土が行われた。この短距離の路線沿いにおいて、請川から王子にかけて、中生代三郡変成岩(狭義には周防変成岩)、中生代広島花崗岩、新生代古第三紀泥岩といった地質が狭窄している。

山本らはこの請川地域を含め、山口県下における三郡変成帯で発生した切土斜面の豪雨による崩壊に対して現地調査を行い、当請川地域の切土斜面に代表されるように、著しく風化した片岩からなる切土斜面の崩壊機構を明らかにした¹⁾。

本報告は、王子側における古第三紀宇部層群の泥岩地域で行われた、1993年4月から1995年4月までの土工の際に発生して問題になった3つのタイプの被害事例およびその対策工を記載するとともに、この泥岩の性質を岩石学および土質工学の観点から調べた結果を述べる。その被害は盛土の基礎としての泥岩のすべり破壊、切土斜面の崩壊、盛土斜面に用いた塊状泥岩の水食であって、いずれも規模は小さい。

2. 調査地の地形・地質

市道請川-王子線の敷設に伴い、標高125mの丘陵地で、切土および盛土工事が実施された。請川地区における三郡変成岩からなる切土斜面の豪雨による崩壊機構は山本ら¹⁾によって明らかにされている。

この度の調査は王子側における延長0.4kmの範囲で施工された切土・盛土現場で発生した、土工上、問題となった被害に対するものであり、その位置を図-1に示す。

当現場は標高80m程度の丘陵地にある。地質は古第三紀宇部層群の泥岩(以下、特に断らない限り泥岩という)であり、中生代白亜紀広島花崗岩と境界を接し、その一部には第四紀洪積層の覆う箇所も見られる。

3. 土工被害

図-2は調査した泥岩地域における土工時の被害箇所をその種類ごとに分けて①、②、③で示したものである。このうち、①では盛土施工前の泥岩末端部の切取りにおいて破壊が発生した。②-1および②

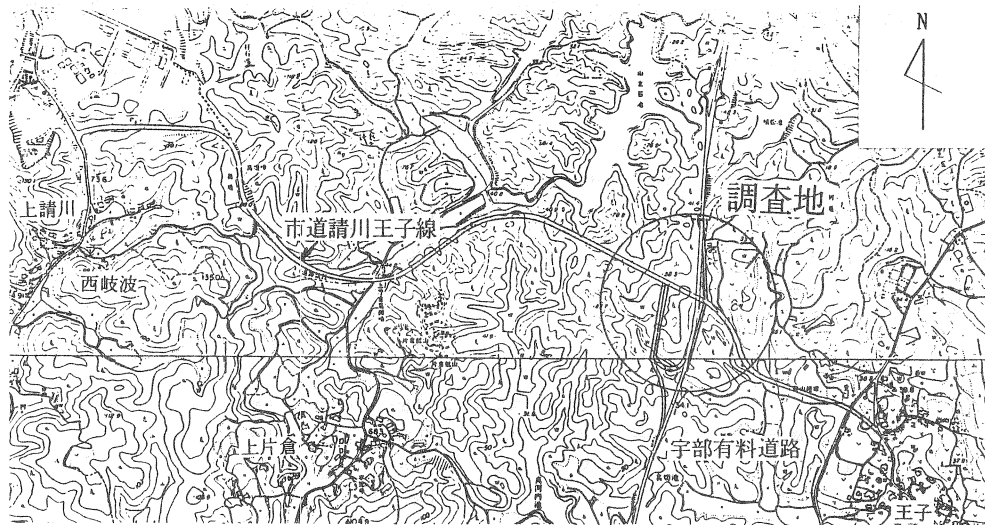


図-1 調査位置

200m

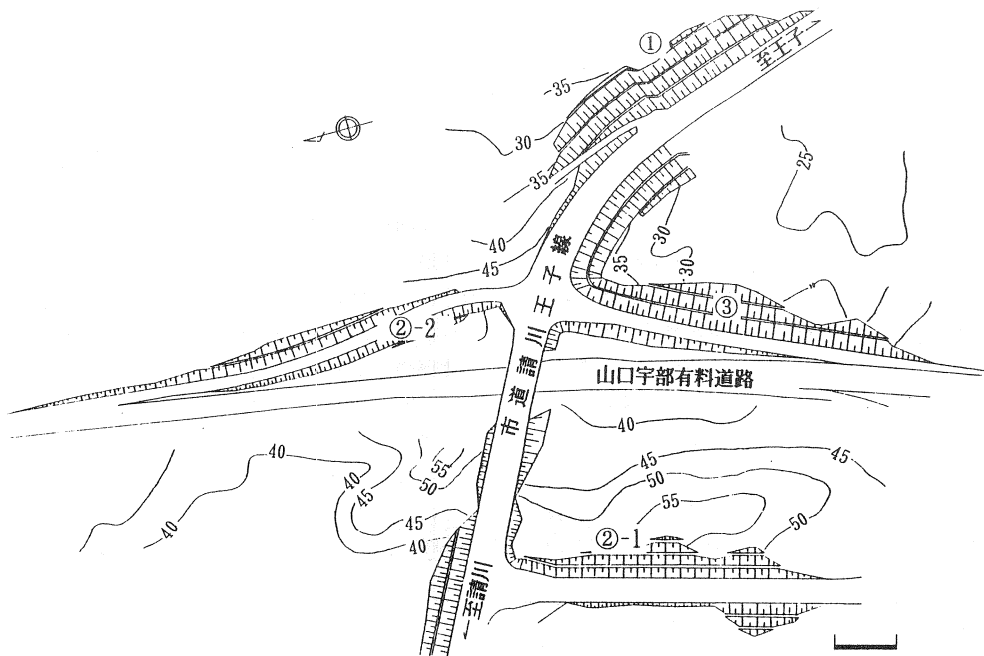


図-2 土工被害の発生場所

20m

-2では切土斜面において小規模の崩壊が発生した。
③では盛土斜面に用いた塊状泥岩の水侵食が発生した。いずれも豪雨の際に被害の兆候が現れたものであるか、あるいは被害の程度が助長されたものである。

以下、この3つの被害の状況とそれらの対策工を

記載する。

1) 基礎泥岩の破壊

図-2の①の場所以てまさ土を用いた高さ4~5mの斜面盛土工(勾配1割5分)を実施する前に泥岩末端部の切り取り時(1993年11月)にすべり破壊が発生した。延長距離は25m程度と推定された。その状況の一部を

写真-1に示す。当地域の泥岩はその堆積年代による分類では硬岩に属するが、その特徴は風化によって著しい劣化を伴うものである²⁾。

盛土施工後に後述の盛土の側方変形に対して対策を講じた斜面の状況を図-3に示す。盛土直後の斜面にはかなりの側方への張りみ出しが発生して、法尻部の水路に被害が発生した。盛土材に用いたまさ土は泥岩と境界を接し、当現場のごく近傍に存在する広島花崗岩の風化したものである。

この斜面に対して、2箇所(BV.1、2)でボーリング調査を行い、さらに孔内傾斜計で側方変形を測定した。BV.1で測定したその経時変化を図-4に示す。

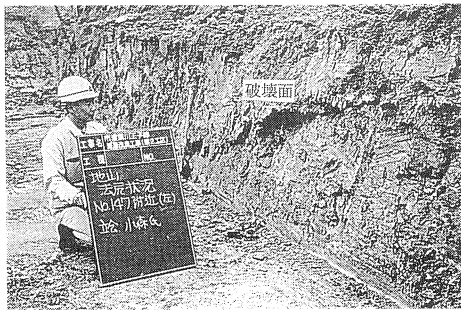


写真-1 基礎泥岩の破壊

図-5は盛土および泥岩の側方変位を測定した期間の日降雨量および地下水位高さを示す。

図-4から泥岩のすべり破壊面(深さ4.5m)より上の盛土部の側方への変形量が大きいことが分かる。さらに図-4、5から、特にこの盛土の変位量は1995年7月2日の豪雨(当日雨量:159.5mm)以降に顕著に増加しているのが分かる。

このように、まさ土盛土斜面に側方変形が発生した理由は、基礎としての泥岩の変形の他に、所定の締固めを行ったまさ土であっても、自重あるいは交通荷重によって徐々に側方への変形が増大するためであろう。ことに豪雨の際にこの側方変形が助長されるのは自明であろう。

このような盛土斜面の側方変形に対する対策として、のり尻部付近を中心に布団かご工、水抜きボーリングが施工された(図-3)。また、小段およびその間には補強土工法が用いられた。これらの対策によっても図-4に見られるように、豪雨時には斜面の側方変形量が依然として増加しているため、今後、さらにその対策に鋼管抑止杭工を用いることも検討されている。

2) 切土斜面の崩壊

図-2の②-1、②-2で発生した切土斜面の崩壊について述べる。上述したように、当地域の泥岩は硬

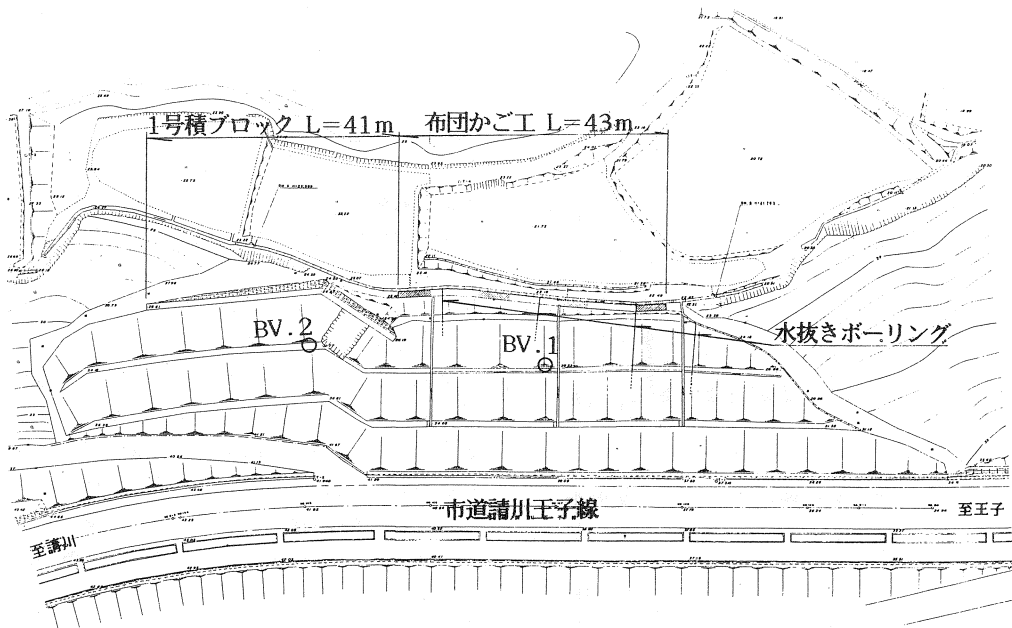


図-3 基盤泥岩①上の盛土斜面とその側方変形の対策工

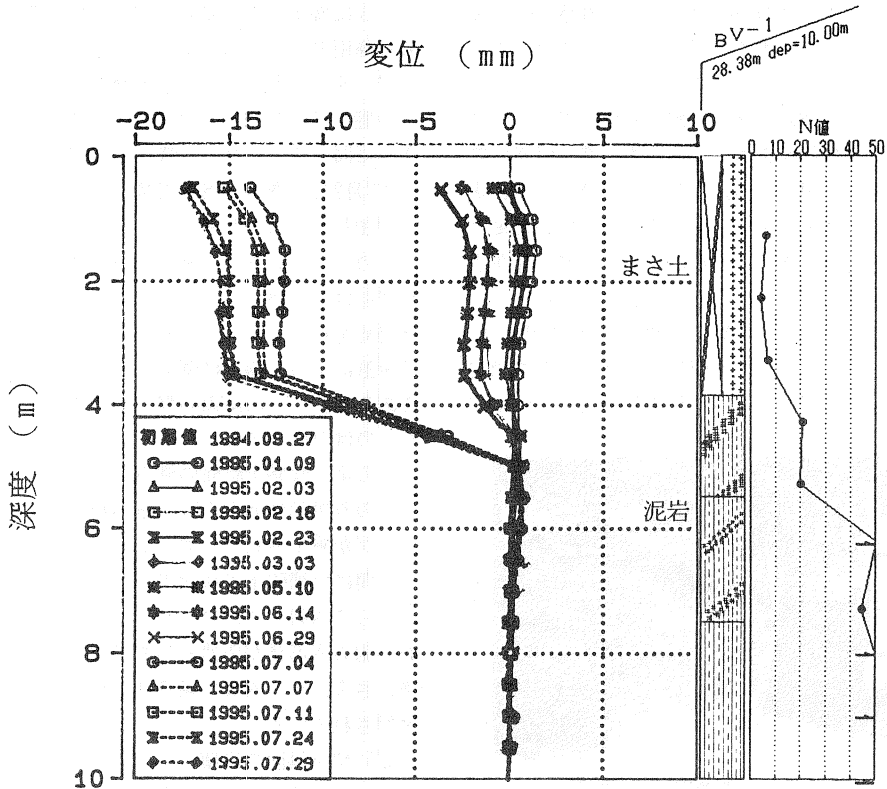


図-4 盛土および基盤泥岩のボーリング柱状図(BV-1)と側方変形の日変化

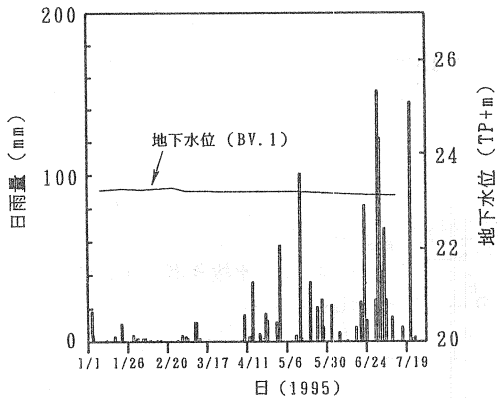


図-5 側方変形観測中の日降雨量および地下水位

岩に分類されるが、道路土工指針によると、硬岩地山の切土斜面の勾配は3~8分を基準としている。当地域の泥岩山腹の切土はその基準値よりも緩勾配の

1割勾配で行われた。②-1は斜面延長180m、最大斜面長22mであり、また②-2は斜面延長180m、最大斜面長9mである。写真-2に斜面②-2の全景を示す。

本現場における泥岩の特徴としては、写真-2に見られるように、その中に風化の著しい塊状の花崗岩質砂岩を介在し、両者の間には硬い褐鉄鉱(写真で黒っぽく見える部分)が扁平ないし楕円形でかなりの範囲で沈積している。泥岩の上には洪積層が堆積しており、これには明瞭な破断面を有して稜角のとれた種々の大きさの石英粒子が含まれている。

当地域の泥岩も、よくいわれるように、切り取り直後からスレーキングを起こして劣化し、その表面は鱗形となり、容易に剥離した。斜面②-1では降雨毎に泥岩の表面剥離に起因して小規模の崩壊を繰返したが、その表面剥離の状況の一例を写真-3に示す。

斜面②-2では1995年7月1日に4箇所で豪雨による崩壊が発生した。その規模のもっとも大きい代表的な崩壊の状況を写真-4(a)、(b)に示す。写真-4(a)はこの崩壊の発生した翌日に撮影したものである。

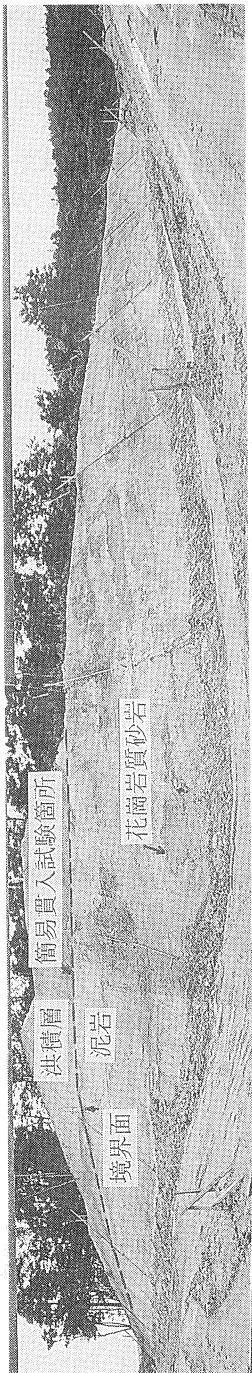


写真-2 切土斜面(②-2)の全景とその地質

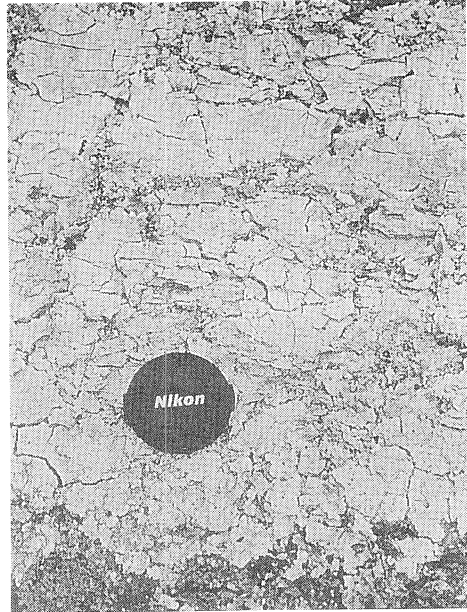


写真-3 泥岩表面の鱗状剥離



写真-4(a) 豪雨による崩壊開始時(1995年7月2日)の切土斜面(②-2)の状況

崩壊の当日雨量は159.5mm、前2週間累積雨量は101mmであり、斜面の崩壊を発生する条件を満たす降雨量¹⁾であった。写真-4(b)は7月5日の状態を示し、崩壊開始からこの日までの累積雨量は399.5mmに達した。この写真において斜面法尻部に崩落している泥岩は液性限界以上の含水比でねばり気のある、いわゆる”ぬかるみ”状態にあり、歩行は容易ではなかった。このときの崩壊領域は放物線で近似された。その末端部の幅は10.2m、斜面長4.6mである。

7月4日朝7時過ぎに採取した泥岩の崩壊土の含水比

wは33.8%であった。また、花崗岩質砂岩はw=28.4%、洪積層はw=17.1%であった。

当地域の泥岩切土斜面は豪雨によってその異種の岩石の境界部付近から崩壊が発生し、その後は徐々に崩壊の規模を拡大してゆく。その規模は小さい。この点は本泥岩切土斜面の崩壊の特徴といえる。すなわち、通常の砂質土あるいは粘性土質切土斜面とは相違して、ひとたびの豪雨によって一

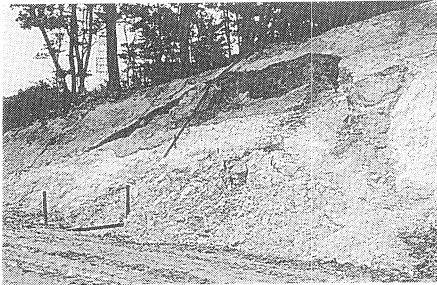


写真-4 (b) 豪雨による崩壊後(1995年7月5日)の切土斜面(②-2)の状況

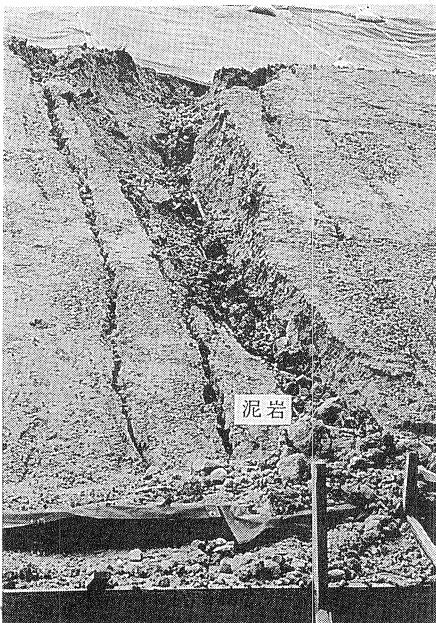


写真-5 盛土斜面に用いた塊状泥岩のガリ侵食

気に斜面が崩壊することはない。これは泥岩斜面が切り取られて新鮮であり、さらに雨水を含むと泥岩はきわめて高い粘り気を有するためである。

斜面②-1、②-2の崩壊対策にはそれぞれ植生ネット併用客土吹付工、吹付法砕工(中詰め栗張)が施工された。

3) 泥岩盛土の水食

花崗岩質砂岩を含有する泥岩の山腹からの切り取土を用いて作った盛土斜面(高さ18m、延長180m)において豪雨時に水食が発生した(図-1の③)。その最初は5月14日の豪雨(日雨量105mm、時間雨量11mm)の際に発生し、その後も先述した7月2日以降の豪雨の際に水食が繰返して発生した。状況の一例を写真-5に示す。水食の規模は層状侵食~リル侵食~ガリ侵食といった具合に多岐にわたる。

このうち層状侵食の大きいものは幅24.3m、斜面長7.9mであって、その中に幅1.4m、深さ0.3mのガリ侵食が形成された。水食は大礫状の泥岩や砂岩の間を充填した、それらの破碎した細かい粒子が雨水によって流出するという形態であった。

その流失部分に細かく砕いた泥岩および砂岩を充填した後、改めて転圧することで補修工が講じられた。

4. 泥岩の諸性質

4.1 岩石学上の性質および土質工学上の物理定数

土工被害の現場②-1および②-2で採取した乳白色から青灰色を呈する泥岩について岩石学的試験を初めとして、物理試験、力学試験および締固め試験を行った。

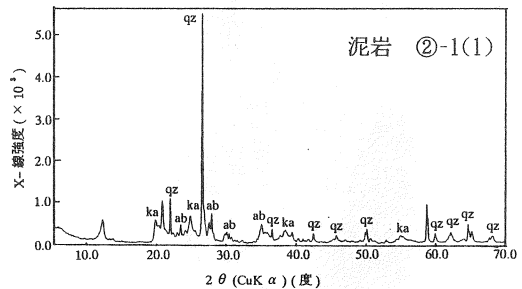


図-6 泥岩のX線回折図

(qz, 石英; pl, 斜長石; ka, カオリナイト)

図-6は泥岩のX線回折図を示す。この図から泥岩の主要な鉱物は石英、曹長石であり、その他にカオリナイトを含むことが分かる。写真-6は泥岩内に介在していた風化花崗岩質砂岩の偏光顕微鏡写真である。この写真に見られるように、石英、斜長石の大きい粒子間にそれらの破碎した小さい粒子が入り込んだ組織が認められるが、これが本岩石の大きな

特徴である。

表-1は泥岩を粉末にした試料の土質工学上の諸物理定数を一覧表にしたものである。表には泥岩中の花崗岩質砂岩およびまさ土の同様の定数も示す。表中、②-2は今回対象にした斜面であり、②-1は前回に調査した斜面である³⁾。図-7は両者のそれぞれの試料の粒度分布曲線を示す。表-1および図-7から分かるように、互いがそれほど離れていない2つの斜面で採取した泥岩はもちろん、同じ斜面で採取した泥岩でもその物理定数や粒度分布が少しずつ異なることが分かる。また泥岩には石英粒子がかなり多く含有されているものもあり、その石英粒子の大きさが表中の最大粒径 D_{max} に相当する。さらに、粘土分含有率も0~31%といった広範囲にわたる。

表-1に示されるように、泥岩を粉末にした試料は土質分類上は非塑性土のシルト質砂(SM)から高塑性粘土(CH)の範囲にある。

なお、表-1に示すように当地域の第三紀泥岩は岩石学上は砂質泥岩ないし泥岩に分類されることがこの度の調査によって明らかとなった。このように泥岩の粒度組成が場所によって違うことは当然のことではあるが、泥岩の生成過程において土粒子の堆積状況が場所ごとに一樣に行われなかったことを意味する。

先に述べたように、泥岩上に堆積した洪積地盤中には大小さまざまな大きさで稜角の丸い礫状の石英粒子が含まれているが、その多くは平面状の破断面を有していた。なお、採取した石英粒子中で最も大きいものは長さ58mm、それと直交する方向の長さはそれぞれ40mm、36mmであった。

4.2 強度定数

図-8は②-1で採取した泥岩の一面せん断試験の結果である³⁾。同図には飽和状態の再構成土の結果

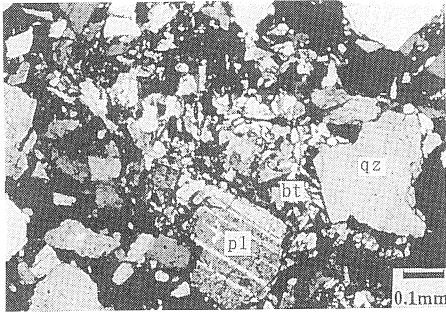


写真-6 風化花崗岩質砂岩の偏光顕微鏡写真(クロスニコル)
(qz, 石英; pl, 斜長石; bt, 黒雲母)

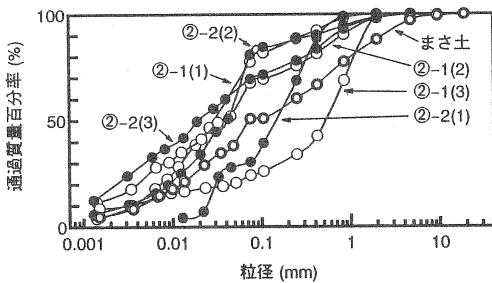


図-7 粉末にした泥岩の粒度分布

表-1 粉末にした泥岩の諸物理定数

試料	Gs	w _L (%)	w _p (%)	I _p	D _{max} (mm)	D ₅₀ (mm)	FC (%)	礫 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	土質分類	岩石分類	
泥岩②-1	(1)	2.603	71.8	25.8	46.0	0.9	0.028	46.7	0	23	63	14.0	CH	泥岩
	(2)	2.475	45.4	16.9	28.5	4.0	0.040	52.1	1	31	45	23.0	CL	泥岩
	(3)	2.549	39.5	17.2	22.3	2.5	0.600	20.6	0	76	13	11.0	SM	泥質砂岩
泥岩②-2	(1)	2.692	36.7	NP	NP	4.4	0.150	29.0	0	69	31	0.0	SM	泥質砂岩
	(2)	2.606	44.2	15.4	28.8	7.6	0.050	50.8	1	18	67	14.0	ML	泥岩
	(3)	2.630	41.1	16.1	25.0	7.6	0.019	61.8	2	29	38	31.0	ML	砂質泥岩
花崗岩質砂岩	2.605	26.1	19.1	7.0	15.0	0.280	26.6	13	55	25	8.5	SM	砂岩	
まさ土	2.638	41.2	22.5	18.7	10.7	0.090	37.0	12	37	39	10.3	ML	-	

も示す。再構成土は泥岩を粉末状に粉碎した後、含水比108%（液性限界の1.5倍）となるように脱気水を加えたスラリー状試料を塩化ビニール製圧密容器（内径98mm、高さ190mm）に詰めて圧密して得られた。

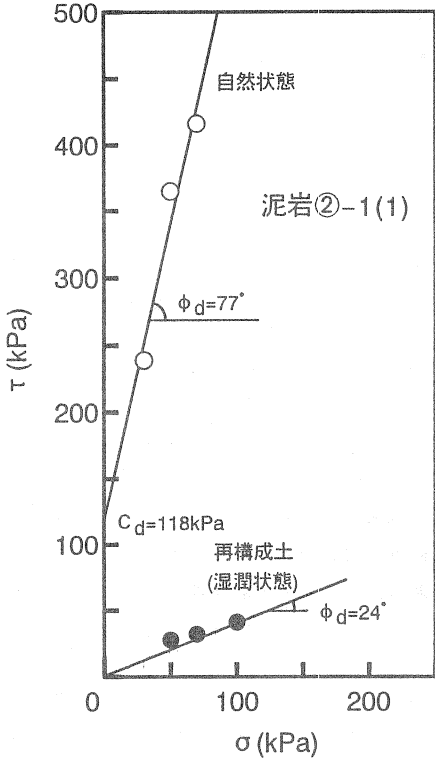


図-8 泥岩の一面せん断試験の結果

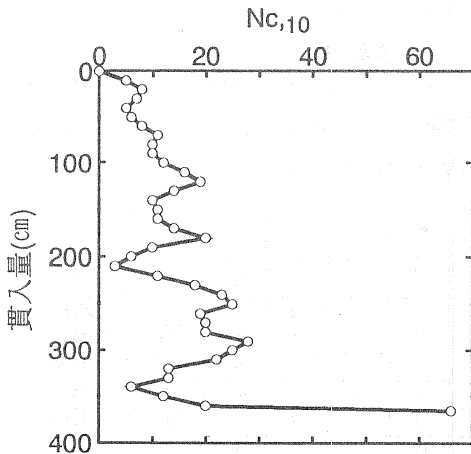


図-9 切土斜面②-2の簡易N値(Nc,10)

圧密は鉛直圧49kPaのもとで2週間行った。

図-8から自然状態の塊状の泥岩(w=10%)の場合には内部摩擦角 $\phi_a=77^\circ$ 、粘着力 $c_a=118\text{kPa}$ が得られているのに対して、再構成飽和土の場合には $\phi_a=24^\circ$ 、粘着力 $c_a=0$ 度となり、粘着力が完全に消失していることが分かる。この結果から、泥岩の細粒化と吸水によって強度が著しく低下すると言っていることができる。とりわけ粘着力の低下が大きい。

しかしながら、本現場での泥岩切土斜面の豪雨時に見られる漸次的に進行する崩壊は、こういった細粒化や吸水による泥岩の強度低下に起因して発生するのではなく、異種の岩石間の不連続性に起因して発生すると考える方が自然であり、このことはすでに述べた。

図-9は写真-3に示す位置で行った斜面調査用の簡易貫入試験から得られた簡易N値(Nc,10)の深さ方向分布を示す。

4.3 締固め特性および修正CBR値

粉碎した泥岩とまさ土に対して締固め試験および修正CBR試験を実施した。

図-10は泥岩ならびに比較のために行ったまさ土の締固め試験の結果を示す。Nは1層当たりの締固め回数を表す。N=25の試験はJIS A 1210に規定されている呼び名1・1による方法で行った試験であり、内径10cmのモールド、重量24.5Nのランマーを用いた。同様にN=92の試験は同規定の呼び名2・5による方法で行った試験であり、内径15cmのモールド、重量

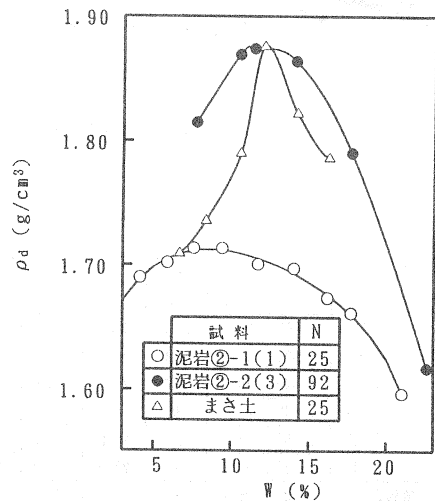


図-10 泥岩およびまさ土の締固め試験結果

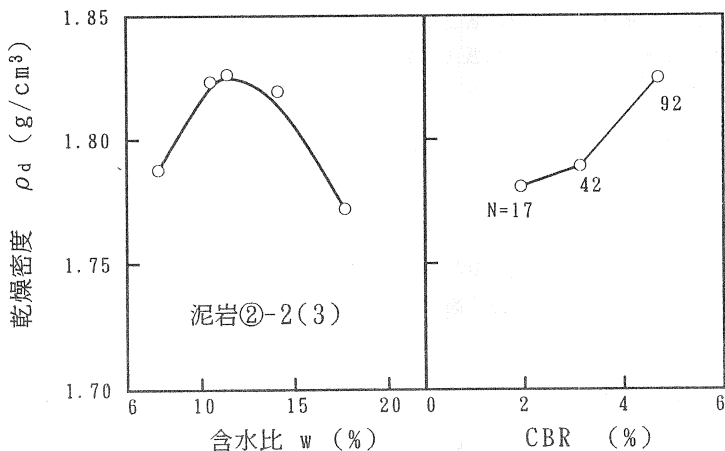


図-11 泥岩の修正CBR試験結果

44. 1Nのランマーを用いた。

図-10から泥岩の場合も他の土と同様に締固め回数が多いほど、すなわち締固めエネルギーが大きいほど最大乾燥密度 ρ_{dmax} が大きく、また最適含水比 w_{opt} も大きくなるのが分かる。また同じ締固めエネルギー(N=25)の場合、泥岩の ρ_{dmax} は $1.87g/cm^3$ であり、まさ土は $1.71g/cm^3$ であって、泥岩の締固め度は、山口県下で各種の盛土・路盤材などに汎用されるまさ土⁴⁾に比べて若干小さいものであるといえることができる。

前述したように、斜面盛土には大礫状の泥岩が用いられているが、締固めはユンボを主体に人力を援用して行われた。このような大きい塊状の泥岩の締固め特性は前述の締固め試験の結果からは推定することはできない。現場において大礫状の泥岩を締固めの際には容易に土塊の破碎が起こる点を考慮すると、その締固め時の密度は当然、塊状の泥岩自体の密度 $1.90g/cm^3$ を超えることはないといえる³⁾。

図-11は修正CBR試験の結果を示す。この結果から得られる最大乾燥密度の90~95%以上($\rho_d=1.68\sim 1.78g/cm^3$ 以上)の施工管理密度に対する修正CBR値は図-11からは求めることができない。しかし、所要の締固め度に対するCBR値は最大でも5%であり、この値は路盤材に用いられる一般の土に比べると一桁も小さいものであることが注目される。泥岩は細粒化と水浸によって著しく強度が低下することを先に示したが、同様に泥岩の修正CBR値は細粒化と水浸によってきわめて小さい値となることが示された。

5. 結論

山口県宇部市の第三紀宇部層群の泥岩地域での道路敷設工事に伴う土工の際に主に豪雨に起因して発生した3種類の被害の状況、その対策工を最初に記述した。次いで、泥岩の岩石学・土質工学の諸性質を述べた。それらは次のとおりにとまることができる。

- 1) 当地域の泥岩は岩石学の分類では砂質泥岩から泥岩の範疇にあり、わが国の土質分類ではシルト質砂から高塑性粘土の範疇にある。
- 2) 泥岩の災害は基礎地盤としての末端部のすべり破壊、降雨時の切土斜面の崩壊および盛土斜面に用いた塊状泥岩の水食であって、その規模はいずれも小さい。このように当地域の泥岩も一般にいわれるように脆い性質があり、土質工学上の問題がある。
- 3) 当地域の地質を反映して泥岩層には楕円形あるいは帯状の風化した花崗岩質砂岩を挟んでいることが特徴である。この両岩石の境界部から豪雨時に切土斜面の崩壊が発生し、その後の豪雨とともにその崩壊領域が累進する。
- 4) 現位置の塊状の泥岩はかなり大きい内部摩擦角、粘着力を有するが、その飽和再構成土では粘着力が完全に消失する。
- 5) 泥岩の締固め度はその近傍で採取したまさ土のそれと比べると幾分小さい程度である。一方、修正CBR値は通常、路盤材料に用いられる土に比較して一桁も小さいものであるが、これは泥岩の細粒化と水浸による泥岩の軟弱化に起因する。

6) 斜面崩壊に対しては植生ネット併用客土吹付工あるいは吹付法砕工が施工された。また盛土の側方変形に対しては布団かご工、水抜きボーリング、補強土工が併用された。

謝辞

原位置調査においては、共立工業(株)井上美幸氏に、施工中にもかかわらず調査を実施させて頂く等、種々の便宜を図って頂いた。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山本哲朗・大原資生・西村祐二郎・島 敏史・高本直邦・瀬原洋一：山口県下の三郡変成帯における切土斜面に見られる豪雨時崩壊の特徴、地盤と建設、Vol. 12、No. 1、pp. 35～48、1994
- 2) 土木学会岩盤力学委員会編：軟岩－調査・設計・施工の基本と事例－、土木学会、1991
- 3) 山本哲朗・高本直邦・瀬原洋一：宇部市における第三紀泥岩の土質工学的性質、平成7年度土木学会中国支部講演会講演集、pp. 294～295、1995
- 4) 瀬原洋一・山本哲朗：山口県西部地域における盛土材の土質工学特性、地盤と建設、Vol. 13、No. 1 (投稿中)