

1. はじめに

和泉層群は、おもに砂岩・頁岩の互層から形成されており、層理面が発達している。近年、四国縦貫自動車道建設工事に際しての切土工事により、層理面に沿ったのり面崩壊や地すべりが多数発生した。四国縦貫自動車道の建設工事が始まるまでは、和泉層群における大規模な切土工事はあまり行われていない。したがって、和泉層群の切土のり面の崩壊機構や対策に関する研究はほとんどなされていない。そこで、のり面施工地より採取した、粘性土に対する強度試験および岩石試料に対する摩擦試験を実施し、切土のり面の崩壊メカニズムを検討した。

2. 和泉層群の切土によるのり面崩壊事例

図-1 に流れ盤のり面におけるのり面勾配と崩壊実績を、図-2 に受け盤のり面における同様な調査結果を示す。これらの図には、本四架橋の鳴門ルートデータのデータも併せて示してあり、流れ盤のり面で99箇所、受け盤のり面で66箇所の変状の有(●)無(○)をプロットしている。なお、両図中には四国縦貫自動車道の設計のり面勾配を示している。

図-1 および図-2 より、和泉層群の切土のり面は崩壊しやすいこと、受け盤より流れ盤で崩壊が発生しやすいことがわかる。流れ盤でも7箇所の崩壊事例が見られるが、図中に記しているように、6箇所は地すべり性の大規模な変状に伴うものであり、破碎帯や熱水変質などの地質要因が大きく影響した事例である。流れ盤で多くの崩壊が発生した結果は予想された通りではあるが、岩級区分でD級に区分される土砂状のり面よりも、軟岩に区分されるD~CL級ののり面で崩壊が多く発生したことは、興味深い結果である。N値が50以下ののり面が1:1.5の切土勾配で安定しているのに対して、岩構造が残っているD~CL・CL・CL~CM級ののり面では、同じ切土勾配でも崩壊が多発している。以上のことから、和泉層群の切土のり面の設計・施工に際して、以下のことが指摘できる。

- ・受け盤構造であれば、四国横断自動車道で採用している設計のり面勾配で切土可能と考えられる。ただし、『破碎帯や熱水変質などの影響がある地質』ではこの限りではない。
- ・流れ盤では、土砂化していれば1割5分の切土勾配で安定が確保できるが、軟岩では非常に不安定化しやすい。

3. 切土によるのり面崩壊機構の検討

前章の検討結果から、風化が進行し土砂化した切土のり面よりも、岩構造を残している風化岩のり面の方に崩壊が多発していることが明らかになった。一般論としては、前者より後者的の方が強度は大きい。しかし、斜面の崩壊例からみれば逆である。この理由として、和泉層群が『層理面の発達した堆積岩で頁岩と砂岩の互層』であることが関係する。頁岩と砂岩が互層であることは、それらの境界部が弱点となる可能性がある。その中でも鏡肌状を呈する頁岩層面が最も弱い部分となり、崩壊が起こると考えられる。そこで、和泉層群の風化岩の強度で最も弱い部分の頁岩層面の強度を求めた。また、土砂化した土のせん断強度を調べ崩壊機構の検討をおこなった。

①試料および試験方法

今回使用した試料は、のり面の施工地(愛媛県伊予市三秋・香川県大川郡引田町(西・IC・東))より採取したものである。おこなった試験は、土砂化した土(以下風化土)に対して、定圧一面せん断試験、風化岩の強度については頁岩同士の摩擦試験、それらの風化岩を粉碎して練り返した試料に対するリングせん断試験である。頁

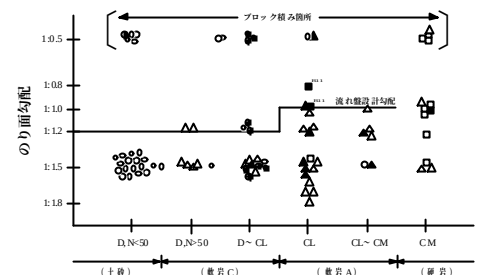


図-1 流れ盤のり面におけるのり面勾配と崩壊実績

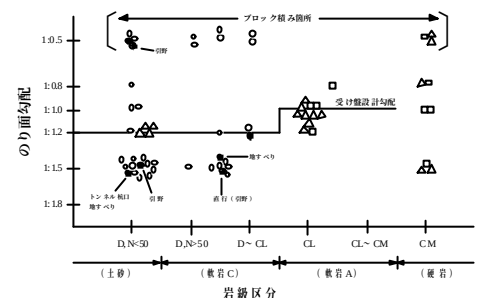


図-2 受け盤のり面におけるのり面勾配と崩壊実績

岩の摩擦試験は、一面せん断試験機を使用し、0.4mm/min のせん断変位速度でおこなった。岩石は、三秋地区の風化のあまり進行していない比較的新鮮なものである。この岩石をコアカッターで切断し、表面を研磨し試験をおこなった。風化土の一面せん断試験は、摩擦試験と同じせん断変位速度でおこなった。試料は、三秋・引田 IC・引田東のもので、2000 μ m 以上の通過分を用い、すべて気乾状態で試験をおこなった。

②風化岩石の摩擦試験および風化土の一面せん断試験

・風化土の一面せん断試験・・・初期条件として、初期間隙比（0.5 強から 0.9 弱）でおこなった。図-3 にせん断抵抗角 ϕ_d と間隙比 e の関係を、図-4 に ϕ_d と粘着力 c_d の関係を示す。これより ϕ_d が 27～43° 程度であることがわかる。今回の試験は、不飽和状態であったために、見掛けの粘着力が存在するが、飽和状態ではほぼゼロになると思われる。なお、三秋地区の地表の間隙比は 0.69 であった。これらの試験結果から、表層の完全に緩んだ地盤を別として 35° 以上のせん断抵抗角を有していることが推定できる。また不飽和状態では若干の粘着力を有していることがわかる。降雨時にも地盤は完全に飽和する事はないことから、この僅かの粘着力が斜面安定に大きく寄与すると考えられる。

・頁岩の摩擦試験・・・三秋地区の頁岩の摩擦角は、 $\phi_0 = 21.3 \sim 26.2^\circ$ であった。得られた摩擦角が比較的大きいのは、切断面の仕上げが不十分であったためである。今後、種々の仕上げをおこない摩擦特性を明らかにする必要がある。前述した風化土のせん断抵抗角と比較すると、頁岩同士の摩擦角の最大値（ $\phi_0 = 26.2^\circ$ ）の方が小さく、風化土の ϕ_d よりも 10～15° 程度低いことがわかる。

③風化岩石を破碎した試料のせん断試験

表-1 に各試料の物性値および $\phi_d \cdot \phi_r$ と含有鉱物を、図-5 に母岩による ϕ_d と ϕ_r の関係を示す。図上の点は、頁岩（●）、砂岩（○）を示している。試料によって、 ϕ_d から ϕ_r への強度低下は異なる。母岩と ϕ_d の関係を検討してみると、砂岩の ϕ_d が頁岩のそれよりも大きいことがわかる。このことから、頁岩を主体とする層の強度は低いと言える。しかし、残留状態の ϕ_r には傾向がみられない。そこで、含有鉱物を調べると、Sme（ス멕タイト）・Ver（パーミキュライト）の膨張性鉱物が検出された。図-6 に膨張性鉱物有無の ϕ_r と ϕ_d の関係を示す。膨張性鉱物を含有する試料（■）は、残留状態の ϕ_r が低いことがわかる。このことから、膨張性鉱物が粘性土および風化岩石の強度低下に影響するものと考えられる。以上をまとめると、頁岩の岩石同士の摩擦角 ϕ_0 が 25° 程度、頁岩を破碎した試料の ϕ_d は 17～22°、 ϕ_r は 15～21° 程度である。土砂化した土のせん断抵抗角が 35～40° であるのと比較すると、15～20° 程度大きい。この違いが、のり面を 1 割 5 分の勾配で切土をした土砂状のり面と軟岩のり面の崩壊・非崩壊に大きく影響するものと考えられる。

4. おわりに

和泉層群の切土のり面の崩壊特性を検討した。崩壊事例の整理では、土砂状のり面よりも岩構造が残るのり面で崩壊が多発していることがわかった。これは、一般的なのり面崩壊の考え方とは逆の傾向を示している。この理由として、種々のことが考えられるが、今回は、せん断試験より検討した。結果、土砂化した土のせん断抵抗角の方が、頁岩のせん断抵抗角および摩擦角よりも大きいことがわかった。これは崩壊事例での傾向を説明できる結果である。しかし、試験結果が少ないために、今後、多くの試料で試験をおこない検討しなければならない。

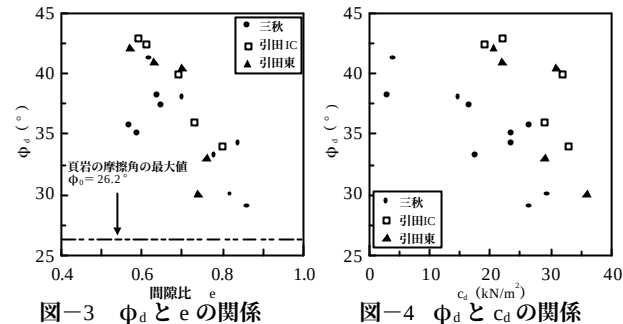


図-3 ϕ_d と e の関係

図-4 ϕ_d と c_d の関係

表-1 試料の物性値・ $\phi_d \cdot \phi_r$ ・含有鉱物

試料名	母岩	W _L (%)	W _P (%)	I _p	a _s	全体の割合(%)				リング		含有鉱物
						粘土 <5 μ m	シルト 5~75	砂 75~2mm	礫 2mm<	ϕ_d (°)	ϕ_r (°)	
三秋	① 頁岩	36.6	15.2	21.4	2.67	16.7	50.8	32.3	0	19.8	16.3	Mic,Chl,Qua,Fel
	② 頁岩	33.2	11.3	21.9	2.71	15.7	44.0	40.3	0	18.7	17.7	Mic,Chl,Qua,Fel
	③ 頁岩	34.7	15.2	19.5	2.74	22.6	41.6	35.8	0	22.0	21.2	Mic,Chl,Qua,Fel
	④ 頁岩	35.3	16.3	19.0	2.68	15.3	32.8	18.1	0	17.6	14.9	Mic,Chl,Qua,Fel,Sme
	⑤ 頁岩	35.5	18.4	17.1	2.67	16.0	40.9	23.6	0	18.0	16.6	Mic,Chl,Qua,Fel,Sme
	⑥ 頁岩	39.7	24.7	15.0	2.72	29.3	33.7	23.0	0	22.1	14.7	Mic,Chl,Fel,Sme
	⑦ 頁岩	36.4	19.2	17.2	2.74	15.5	40.1	18.9	0	19.3	17.2	Mic,Chl,Qua,Fel,Sme
	⑧ 風化土	47.2	17.3	29.9	2.67	24.8	52.8	22.3	0	21.2	18.3	Mic,Chl,Qua,Fel
引田西	① 砂岩(新)	39.4	20.4	19.0	2.56	23.6	50.0	26.0	0	23.7	16.9	Chl,Qua,Fel
	② 砂岩(旧)	32.0	16.8	15.3	2.55	39.7	58.8	12.2	0	24.5	18.7	Qua,Fel
	③ 頁岩(新)	37.1	17.2	19.9	2.62	36.0	43.8	21.2	0	21.7	17.2	Mic,Chl,Qua,Fel
	④ 頁岩(旧)	35.6	18.2	17.4	2.62	22.3	42.2	35.4	0	18.4	16.4	Mic,Chl,Qua,Fel,Ver
引田IC	① 砂岩	29.3	18.3	11.0	2.53	30.4	44.0	25.0	0	25.8	17.2	Qua,Fel
	② 頁岩	31.5	19.0	12.5	2.58	26.8	33.7	44.3	0	19.5	18.0	Mic,Chl,Qua,Fel
	③ 風化土	30.9	23.7	7.3	2.48	21.5	48.3	30.2	0	20.9	16.1	Mic,Chl,Qua,Fel
引田東	① 砂岩	31.3	16.5	14.9	2.73	13.3	56.5	28.3	0	23.9	20.6	Mic,Chl,Qua,Fel
	② 頁岩	31.8	17.2	14.8	2.77	15.5	57.5	28.3	0	20.5	19.3	Mic,Chl,Qua,Fel
	③ 風化土	43.5	28.2	15.3	2.46	18.0	43.2	38.0	0	23.8	16.3	Mic,Chl,Qua,Fel

Mic: 雲母, Chl: クロライト, Qua: 石英, Fel: 長石, Sme: ス멕タイト, Ver: パーミキュライト

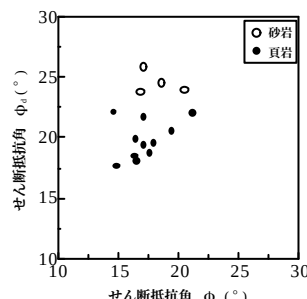


図-5 ϕ_d と ϕ_r の関係

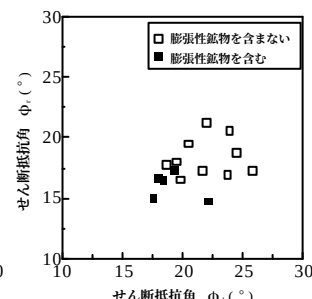


図-6 ϕ_r と ϕ_d の関係