

地すべり粘土のクリープ強度定数の推定法

九州大学工学部○学生員 井澤 茂雄
九州大学工学部 正 員 橋木 武
九州大学工学部 正 員 平田登基男

1. はじめに 地すべり解析に用いられる強度定数の決定において、土質試験より得られる強度定数があまり重要視されていない現状である。その理由としては、試験法や、サンプリング上の問題があり、従って強度定数の精度が低いことが指摘される。そこで筆者らは、クリープ現象の典型である地すべりの、せん断強度定数決定にあたって、従来から行われているひずみ制御方式によるせん断強度試験結果を活かしながら、地すべり本来のクリープ強度定数を推定する方法を見出そうとするものである。すなわち、粘土の基本的性質のなかでクリープ強度定数に影響を与えと思われる因子について、それらの水準を変化させることによって定量的に把握し、それと、ひずみ制御によるせん断試験結果からクリープ強度定数を推定する方法を提案することを目的として、以下に述べるような研究を行った。

2. 試験方法 試料は地すべり現場から採取した2種類の地すべり粘土を、試験機は改良型一面せん断試験機を用いた。強度定数に影響を及ぼす主要因と考えられる塑性指数、密度、含水比を表-1に示すように調整し、合計8ケースについて試験を行った。はじめに、定圧、ひずみ制御(ひずみ速度1.0mm/min)の一面せん断試験を行った。次に、得られた一面せん断強度(τ_{max})の値に対して100, 95, 90, 85, ... (%)となる一定のせん断応力(τ_c)を作用させて、変形量-時間の関係を調べる、いわゆる一面せん断クリープ試験を行った。これより、3. で述べる方法により各 τ_{max} について上限降伏値(τ_{cy})を求め、後の解析の試料とした。せん断試験では垂直圧は0.5, 1.0, 1.5, 2.0(kgf/cm²)を採用した。

3. クリープ強度定数の決定法 土のクリープ現象では上限降伏値なるものが重要である。この値より大きな応力が作用すると、土は終局的には破壊に至る。よってこの値は設計上重要な指標となる。そこでこの値をいかに正確に求めるかが重要なポイントとなる。図-1には変位量-対数時間関係の一例を示す。この図から、先の上限降伏値を正確に求めることは困難である。そこで、図-2に示すように、横軸にひずみ制御による一面せん断強度に対する一面せん断クリープ応力比(τ_c/τ_{max})を、縦軸に6, 9, 15(秒)における各変位量(mm)の平均値をとった。図より明らかなように、 τ_c/τ_{max} の値が0.7 付近を境にしてそれぞれのデータは2本の直線で回帰できる。この点より τ_c/τ_{max} の値が小さい領域では変位量が小さく安定していることを示し、大きい領域では変位量が大きく不安定であることを明確に示している。よって、この点での τ_c を上限降伏値(τ_{cy})とすることができる。このようにして、各ケースにつき3個

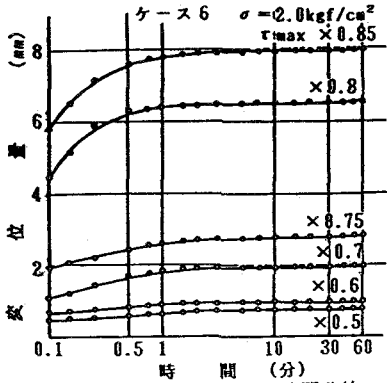


図-1 変位量-対数時間曲線

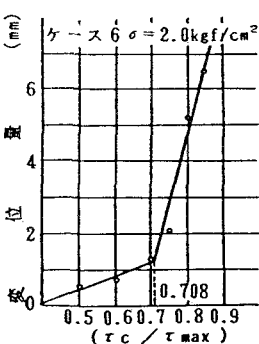


図-2 変位量- (τ_c / τ_{max}) 曲線

表-1 試験因子と水準

因子 \ 水準	1	2
A: 塑性指数 I_p (%)	21.7	44.1
B: 密度 γ_d / γ_{dmax}	1.0	0.8
C: 含水比 w (%)	$w_{opt}+5$	$w_{opt}-5$

安定していることを示し、大きい領域では変位量が大きく不安定であることを明確に示している。よって、この点での τ_c を上限降伏値(τ_{cy})とすることができる。このようにして、各ケースにつき3個

の垂直圧に対する τ_{cy} が求められる。それらのデータより回帰直線を求め、クリープ試験による降伏基準線 ($\sigma - \tau_{cy}$ 線)とした。その一例を図-3(a), (b)に示す。実線は通常の一面せん断試験によって得られた破壊基準線 ($\sigma - \tau_{max}$ 線), 破線は一面せん断クリープ試験によって得られた降伏基準線である。これらの図より、各ケースにおけるクリープ強度定数 C_{cy} , ϕ_{cy} を求めた。そのようにして求めた全ケースの結果を表-2に示す。

4. 結果と考察 表-2において、ひずみ制御による一面せん断強度 (τ_{max})に対する上限降伏値 (τ_{cy})の比 (τ_{cy}/τ_{max})は、ケース3,5のそれぞれで、垂直応力 $\sigma=1.5, 2.0$ (kgf/cm²)において1.0を上回っているが、他のケースではすべて、下回っており、上限降伏値は、一面せん断強度と比較すると、一般に、小さいと言える。1.0を上回ったケース3,5は、いずれも密度が $\gamma_d/\gamma_{dmax}=1.0$ の密づめ、含水比が $w=w_{opt}-5$ (%)の場合であり、この時は、含水状態が不飽和であると判断され、拘束圧が大きくなることにより、体積が大きく減少し、そのため密度が増加し、上限降伏値が一面せん断強度を上回ったものと考えられる。 C_{cy}/C_{max} は8ケース中7ケースで1.0以下を示しているが、地すべり粘土は強度定数としては、粘着力が大きく効いてくることを考えると、このことは、注目すべきことである。また、表-1の要因について分散分析を行った結果も表-2に示している。クリープ強度に影響を与える大きさは、密度が最も大きく、含水比、塑性指数の順に小さくなっていることが明らかである。

5. まとめ 今回試験を行った8ケース(供試体個数139個)では、クリープ強度定数を決定するには不十分である。今後はさらに試験を重ねることによって、データ数を増やし、クリープ強度定数を塑性指数、密度、含水比、せん断強度定数の変量で推定する予測式の提案を試みたい。詳細については発表当日に述べる。

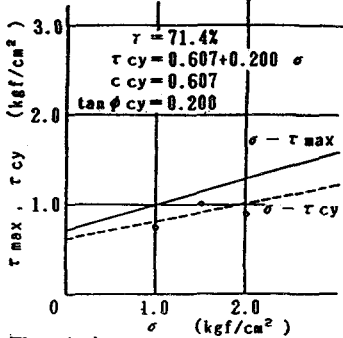


図-3(a)クリープ強度定数の求め方 ケース2

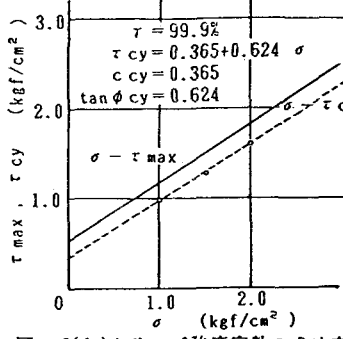


図-3(b)クリープ強度定数の求め方 ケース8

表-2 試験結果

ケース	A 塑性 指数	B 密 度	C 含水 比	C _{max}	tan(φ _{max})	σ=1.0(kgf/cm ²)			σ=1.5			σ=2.0			C _{cy}	tan(φ _{cyl})	C _{cy} C _{max}	tan(φ _{cyl}) tan(φ _{max})	
						τ _{max}	τ _{cy} τ _{max}	τ _{cy}	τ _{max}	τ _{cy} τ _{max}	τ _{cy}	τ _{max}	τ _{cy} τ _{max}	τ _{cy}					
1	A1	B1	C1	0.526	0.364	0.890	0.754	0.671	1.072	0.956	1.025	1.254	0.906	1.136	0.247	0.465	0.470	1.278	
2	A1	B2	C2	0.696	0.303	0.999	0.751	0.750	1.150	0.887	1.020	1.302	0.730	0.950	0.607	0.200	0.872	0.660	
3	A2	B1	C2	1.782	0.623	2.405	0.913	2.196	2.716	1.200	3.259	3.028	1.106	3.349	1.205	1.153	0.676	1.851	
4	A2	B2	C1	0.715	0.402	1.118	0.810	0.906	1.319	0.862	1.137	1.520	0.958	1.456	0.341	0.550	0.477	1.368	
5	A1	B1	C2	0.888	0.877	1.765	0.997	1.760	2.204	1.319	2.907	2.642	1.131	2.968	0.710	1.228	0.800	1.400	
6	A1	B2	C1	0.084	0.552	0.606	0.914	0.554	0.868	0.803	0.697	1.129	0.708	0.799	0.316	0.245	3.762	0.444	
7	A2	B1	C1	1.901	0.205	2.106	0.781	1.645	2.208	0.820	1.811	2.311	0.990	2.288	0.950	0.643	0.500	3.137	
8	A2	B2	C2	0.530	0.646	1.176	0.839	0.987	1.499	0.853	1.279	1.822	0.884	1.611	0.356	0.624	0.672	0.966	
分散比				A	5.95 [▲]	0.11	9.34 [*]	0.06	5.10 [▲]	8.25 [*]	0.39	1.53	5.72 [▲]	2.72	3.96	1.55	1.32	1.25	7.32 [▲]
				B	7.52 [▲]	0.06	15.40 [*]	0.19	12.06 [*]	15.57 [*]	5.84 [▲]	10.72 [*]	12.38 [*]	9.22 [*]	12.10 [*]	3.65	6.67 [▲]	1.89	10.44 [*]
				C	0.36	1.96	3.81	0.65	4.69 [▲]	6.08 [▲]	4.93 [▲]	6.51 [▲]	6.87 [▲]	1.06	5.13 [▲]	1.72	3.24	0.47	1.06

A: 塑性指数 I_p(%) A1:21.7, A2:44.1 B: 密度 γ_d/γ_{dmax} B1:1.0, B2:0.8 C: 含水比 w(%) C1: w_{opt}+5, C2: w_{opt}-5
C_{max}, C_{cy}, τ_{max}, τ_{cy}の単位は kgf/cm²
*は α=0.05, ▲は α=0.10 で有意