

土 木 研 究 所 資 料

フィルダム材料の性質に関する試験

昭和52年3月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

フィルダム材料の性質に関する試験

建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室

城 島 誠 之
高 瀬 正 良

目 次

1. まえがき	1
2. 目 的	5
3. 試験方法	6
3.1 試験項目	6
3.2 試験装置	6
3.3 ロック材料	9
3.4 フィルタ材料	11
3.5 コア材料	12
4. 試験結果	14
4.1 ロック材料	14
4.2 フィルタ材料	27
4.3 コア材料	29
5. 考察および今後の課題	34
5.1 花 崗 岩	34
5.2 阿蘇溶岩	34
5.3 弱風化花崗岩	35
5.4 コア材料	36
5.5 設計値の検討	39

1. ま え が き

本報告は、九州地方建設局竜門ダム工事々務所の依頼により、昭和50年度、51年度の2年間にわたって竜門ダムフィル材料の物理試験、力学試験を実施し、その結果について報告するものである。

これらの試験は、本来材料としての適否を判定し、使用材料については設計値を求め、さらには施工管理目標値を求めることを最終目的とするが、現地調査の進捗状況を勘案して、搬入された材料に対する適否の判定とこれらの材料が現場の代表材料であると仮定して設計参考値を示し、設計値を求めるための今後の調査課題を考察に加えた。

竜門ダムは熊本県菊池川右支川迫間川に特定多目的ダムとして建設を予定している中央コア型フィルダムである。ダムサイトの流域図、ダム平面図、断面図およびダム諸元をそれぞれ図－1.1～1.3および表－1.1に示す。

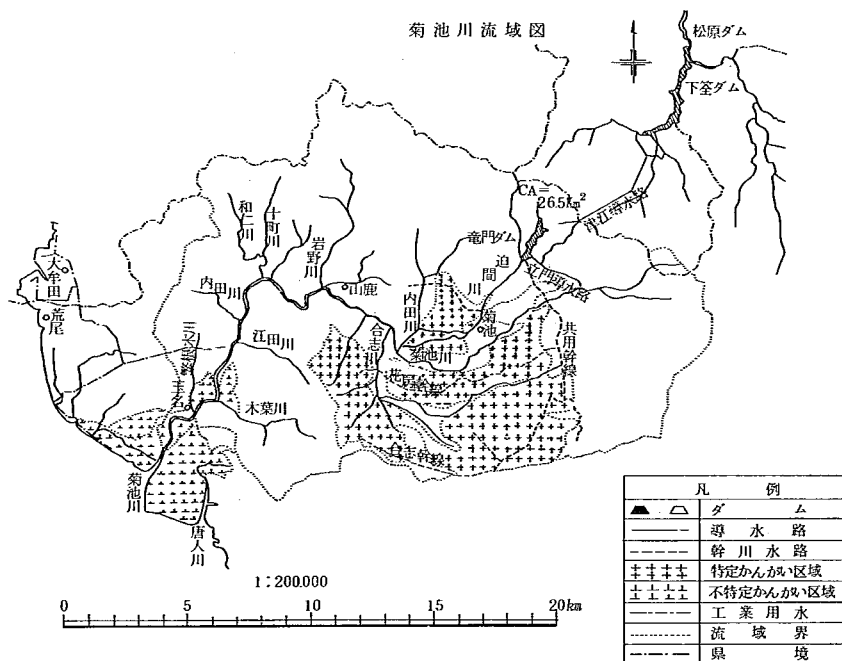
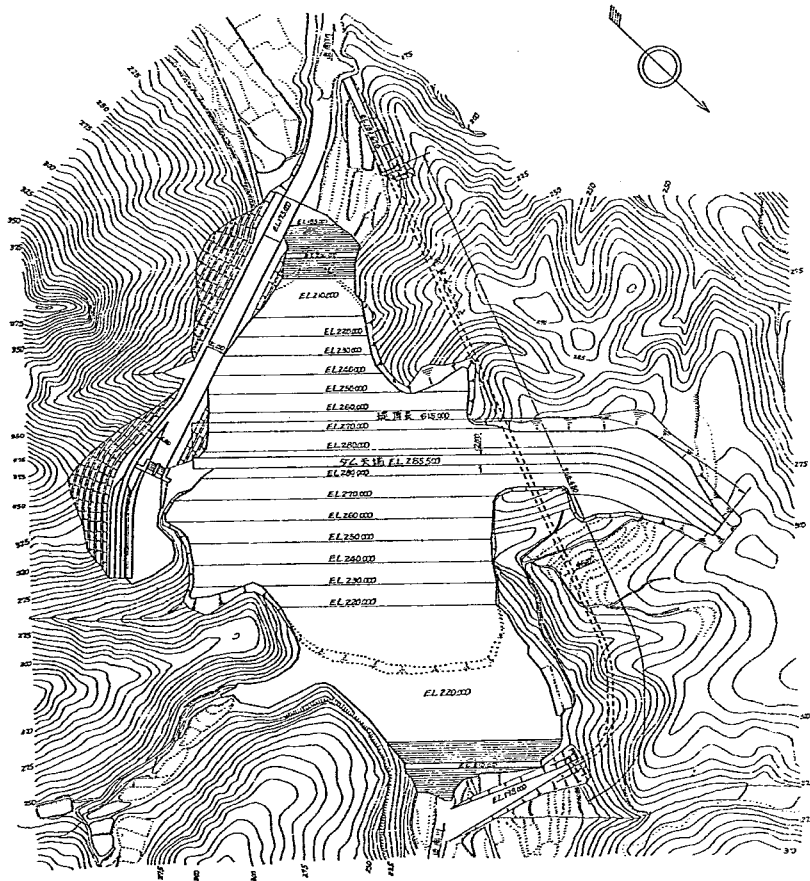
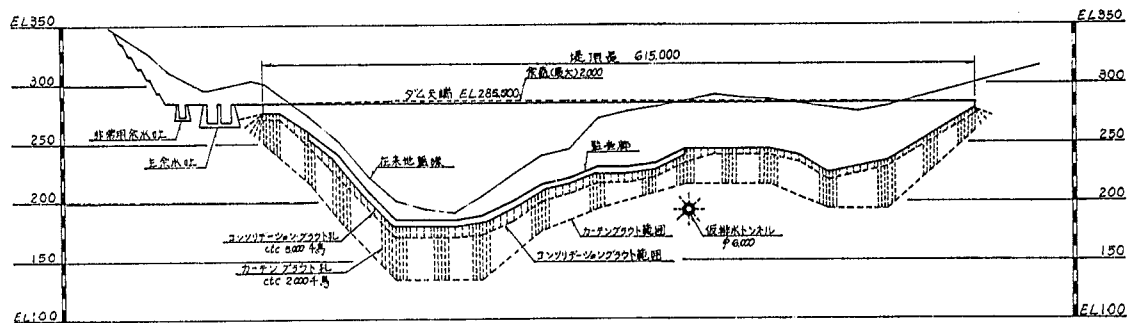


図-1.1 ダム流域図



- 2 -

上流面図



標準断面図

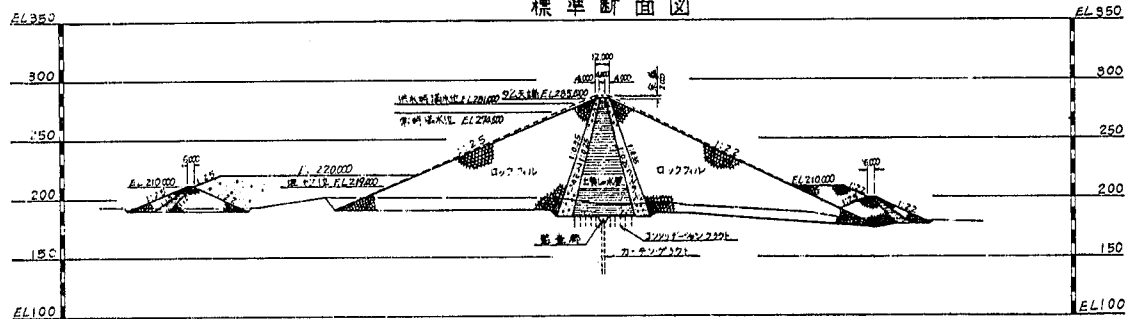


図-1.3 ダム断面図

表-1.1 ダム 諸 元

ダム 諸 元

(1) ダム		(2) 貯水池	(3) 余水吐
河 川 名	菊池川右支川迫間川	集 水 面 積 26.5 ㎦	型 式 越流式
位 置	熊本県菊池市大字竜門	湛 水 面 積 1.3 ㎦	計画高水流量 500 ㎥/s
型 式	中央土質しゃ水壁型 フィルタイプ	洪水時満水位 EL281.000	設計洪水流量 600 ㎥/s
堤 高	100 m	常 時 満 水 位 EL274.500	異常洪水流量 800 ㎥/s
堤 長	615 m	堆 砂 位 EL219.000	
堤 体 積	土質しゃ水壁	691,000 ㎥	総 貯 水 容 量 $42,500 \times 10^3$ ㎥
	フィルター	456,000 ㎥	有効貯水容量 $41,500 \times 10^3$ ㎥
	ロ ッ ク	3,774,000 ㎥	洪水調節容量 $8,000 \times 10^3$ ㎥
	リップラップ	79,000 ㎥	工業用水容量 $2,700 \times 10^3$ ㎥
	計	5,000,000 ㎥	不特定用水容量 $11,400 \times 10^3$ ㎥
堤 頂 巾	12 m	特定農業用水容量 $19,400 \times 10^3$ ㎥	
上流のり面勾配	1 : 2.5	堆 砂 容 量 $1,000 \times 10^3$ ㎥	
下流のり面勾配	1 : 2.2		
堤 頂 標 高	EL285.500		
余 裕 高	4.5 m		
(4) 導水路			
導 水 路 名	立門導水路	津江導水路	
位 置	取水 熊本県菊池市大字重味 吐口 " " " 班蛇口	取水 大分県日田郡上津江村中津江村 吐口 熊本県菊池市大字班蛇口	
構 造	馬蹄形コンクリート	馬蹄形コンクリート	
延 長	4.80 km		13.30 km
最大通水量	10.00 ㎥/s		10.00 ㎥/s
取水堰構造	越流式コンクリート堰		越流式コンクリート堰

補 償 概 要

種 別	細 別	単 位	数 量	備 考
土 地		ha	207.3	
	田	ha	34.5	
	畑	ha	10.0	
	山林	ha	153.0	
	原野	ha	2.0	
	宅地	ha	7.5	
	墓地	ha	0.3	
建 物				
	住 家	戸	133	
	非 住 家	戸	87	
	学 校	件	1	
	神 社	社	5	
	官 公 庁 建 物	棟	1	
付 替 道 路		km	13	
特 殊 補 償				
	発 電 所	ヶ所	1	九州電力KK竜門発電所
	漁 業 権	件	1	
	鉱 業 権	件	1	

2. 目 的

本報告書の目的は、次の3点にある。

- 1) 花崗岩、阿蘇溶岩について物理試験および大型三軸圧縮試験、粒度試験を行なうことにより、ロック材料としての特性を検討し、強度定数、密度の設計値を検討する。。
- 2) 弱風化花崗岩について物理試験および大型三軸圧縮試験、粒度試験を行なうことにより、フィルタ材料としての特性を検討し、強度定数、密度の設計値を検討する。
- 3) マサ土、ロームについて突固めによる締固め試験とこれに対応した透水試験を行なうことにより、コア材料としての適否を検討する。

3. 試験方法

各材料別に以下で述べる項目および方法により試験を行なった。

3.1. 試験項目

各材料について表-3.1に示す試験を行なった。また、各材料の採取地点の位置図を図-3.1に示す。

表-3.1 試験項目

材 料	材料の種類	試 験	備 考
ロ ッ ク	花 崗 岩	比重および吸水量試験 予備（締固め）試験 大型三軸圧縮試験 粒度試験	5mmで分級 振動締固め試験機 粒度 2種 間げき比 3種（他飽和1種）
	阿 蘇 溶 岩	比重および吸水量試験 予備（締固め）試験 大型三軸圧縮試験 粒度試験	粒度 1種 間げき比 1種
フ ィ ル タ	弱風化花崗岩	比重および吸水量試験 予備（締固め）試験 大型三軸圧縮試験 粒度試験	粒度 1種 間げき比 1種
コ ア	マ サ 土 ロ ー ム	比重試験 粒度試験 突固めによる締固めおよび透水試験	フルイ分けおよび沈降分析 マサ土+ローム 弱風化花崗岩（ ~ 19.1 mm）+ローム

3.2. 試験装置

本試験に使用した試験装置のうち大型三軸圧縮試験機および振動締固め試験機の概略を図-3.2、3.3に示す。また、試験装置の仕様を表-3.2に示す。

大型三軸圧縮試験機の測定できる項目および範囲は、側圧 $0 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ 、軸方向荷重 $0 \sim 150 \text{ ton}$ 、軸方向ヒズミ $0 \sim 150 \text{ mm}$ 、間げき水圧 $0 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ 、内体積および外体積 $0 \sim 5000 \text{ cc}$ である。

表-3.2 主な試験装置の仕様

大型三軸圧縮試験機		振動締固め試験機	
供 試 体 寸 法	D 300×H 600 mm	静的最大荷重	7.5 ton
最 大 側 圧	30 kg/cm ²	動的定荷重	300 kg
最 大 軸 力	150 ton	加 速 度	2 g
		振 巾	$\pm 1 \text{ mm}$

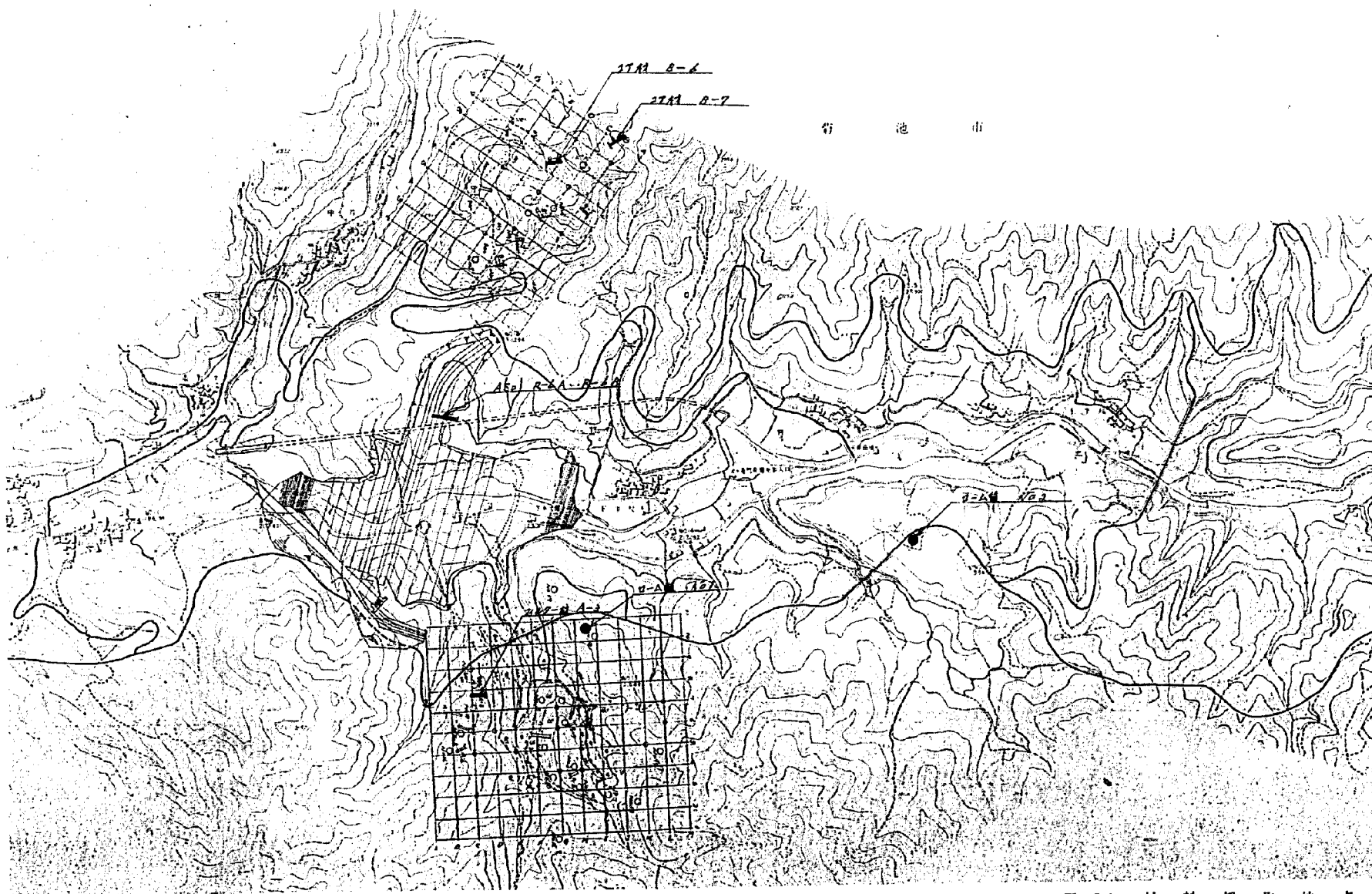


图-31. 材料提取地点

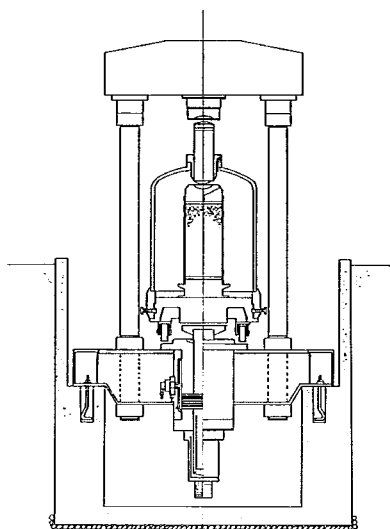


図-3.2 大型三軸圧縮試験機

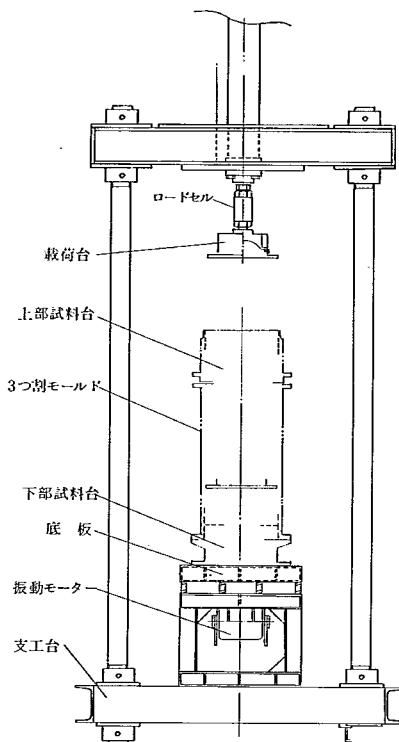


図-3.3 振動締固め試験機

3.3. ロック材料

1) 比重および吸水量試験

試料を5mmで分級し、5mm以上はJIS・A・1110により、5mm以下はJIS・A・1202によって試験を行なったが、阿蘇溶岩については5mm以上60mmまで標準網フルイにより粒径別に分け、比重および吸水量試験を行なった。

2) 試験試料の調整および準備

花崗岩の試験に用いた粒度分布は「ロックフィルダム材料調査業務総括報告書(竜門ダム工事々務所) S 49.9」を参考に現場粒度分布を最大粒径63.5mmとし、平行移動して決定した。また、阿蘇溶岩については、粒度分布の調査がまだ不足のため、搬入されたままの粒度分布により試料を調整し、試験試料とした。

締固め試験以後の試験に先だち、搬入された花崗岩試料(約2.5ton)を標準網フルイ63.5, 50.8, 38.1, 19.1, 9.52, 4.76mmを用いて、また搬入された阿蘇溶岩試料(約1.5ton)については、標準網フルイ63.5, 50.8, 38.1, 25.4, 19.1, 9.52, 4.76mmを用いてフルイ分けた。この重量百分率および粒径加積曲線の結果を表-3.3, 図-3.4に示す。

3) 締固め試験

三軸圧縮試験供試体作成のために密度と垂直荷重との関係を調べた。締固めは、締固め層数、振動数、振動時間、荷荷時間を一定とし垂直荷重を変化させた。締固め条件を表-3.4に示す。

表-3.3 試験粒度

粒 径 (mm)	花崗岩 粒度A		花崗岩 粒度B		阿 蘇 溶 岩	
	残 留 率 %	加積通過率 %	残 留 率 %	加積通過率 %	残 留 率 %	加積通過率 %
63.5	0	100	0	100	0	100
50.8	5	95	13	87	5.4	94.6
38.1					10.7	83.9
25.4					12.5	71.4
19.1	15	80	27	60	8.2	63.2
9.52					13.8	49.4
4.76	16	38	20	10	10.1	39.3
4.76 以下	38		10		39.3	

表-3.4 締 固 め 条 件

材 料	締固め層数	1層当り 試料高さ	振 動 数	振 動 時 間	載 荷 量	載 荷 時 間
阿 蘇 溶 岩	3 層	約 10 cm	rpm 550~550	sec 120	ton 1, 3, 5, 7	sec 120
花 崗 岩 粒A・Bとも	6 層	"	"	"	"	"

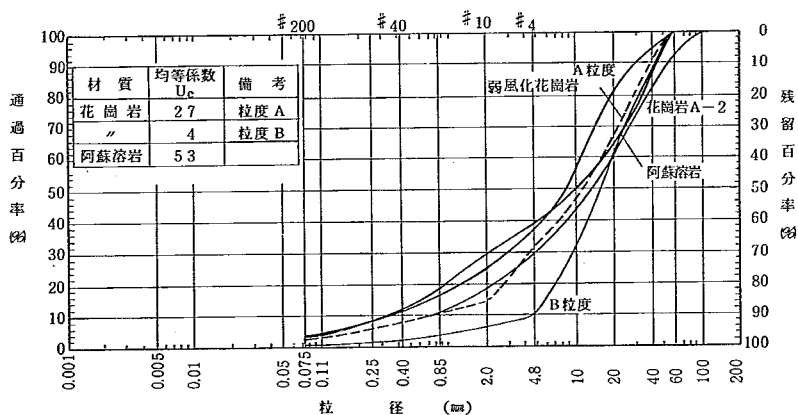


図-3.4 フルイ分けによる粒度分布曲線

試験の手順は、1層あたりの投入量を予め用意しておき、第1層をモールド内に投入したら、試料上面を平らにならして平均高さHを測定する。次に振動を与え、垂直载荷を加えたのち、締固め後の平均高さhを測定する。第2層目以後、第6層まで上記の操作をくり返す。また、締固め前の高さは、 $\sum_{n=1}^6 (H_n - h_{n-1})$ で計算する。ただし、 $n=1$ のときの h_{n-1} は 0 とする。締固め後の高さは第6層目のhである。

4) 大型三軸圧縮試験

試験供試体は、締固め試験の結果より決定した条件により締固めを行ない供試体を作成した。

三軸試験のせん断の方法はひずみ制御方式とし、せん断の速度は供試体長の約1%/minとした。表一3.5に試験方法を整理したものを示す。

表一3.5 大型三軸圧縮試験方法

	花 崗 岩	阿 蘇 溶 岩
側 圧 (kg/cm ²)	2.0 4.0 6.0 8.0	2.0 4.0 6.0 8.0
試 験 方 法	圧密排水(CD)試験	圧密排水(CD)試験
セ ン 断 方 法 速 度	ヒズミ制御 1%/min	ヒズミ制御 1%/min

5) 締固め、せん断による粒子の破碎

粗粒材のように、砂などに比べて小さい応力状態でも粒子破碎が生じる材料においては、粒子の破碎がせん断特性に与える影響は無視できない。

そこで、せん断による粒子の破碎を調べるために粒度試験を行なった。粒度試験の方法は、花崗岩の場合水洗いを行ないながらフルイ分けたが阿蘇溶岩の場合水分を含んで変化すること考えられ、そのままフルイ分けた。5mm以上は供試体全試料について、5mm以下は約500g(花崗岩)、約1000g(阿蘇溶岩)サンプリングしてフルイ分けた。

3.4. フィルタ材料

1) 比重および吸水量試験

試料を5mmで分級し、5mm以上は60mmまで標準網フルイで粒径別に分け、JIS・A・1110により、5mm以下はJIS・A・1202によって比重および吸水量試験を行なった。

2) 試験試料の調整および準備

フィルタ材料は所要のせん断強さを有することは、もちろんであるが、コア材料の細粒子の流出を防ぎ、かつ浸透した水を十分に流下させるだけの排水性も必要である。したがって、コア材料の粒度分布とは、密接な関係をもっている。

表一3.6

しかし、現段階ではコア材料が決定していないために本試験に用いた粒度分布は搬入された材料全量についてフルイ分けをして、その結果を他ダムの粒度分布と比較して決定した。表一3.6、図一3.5に結果を示すとともに図一3.6に弱風化花崗岩の粒度試験結果と他ダムの材料と比較するために示した。

今回、搬入された材料は60mmであるから現場で施工する材料は、これより粒径が大きいと予想され、既設ダムと比べても平均的な粒度分布であると判断し、搬入された材料の粒

粒 径 (mm)	弱風化花崗岩	
	残留率(%)	加積通過率
63.5	0	100
50.8	1.8	98.2
38.1	8.2	90.0
25.4	14.8	75.2
19.1	9.4	65.8
9.52	20.2	45.6
4.76	13.9	31.7
4.76 以下	31.7	

度分布を用いた。なお、締固め、三軸試験に用いる場合は、粒度試験でフルイ分けた材料を再び調整した。

3)～5)の締固め試験、大型三軸圧縮試験、せん断にともなう粒子破砕の試験方法、条件はロック材料の項と同じにした。

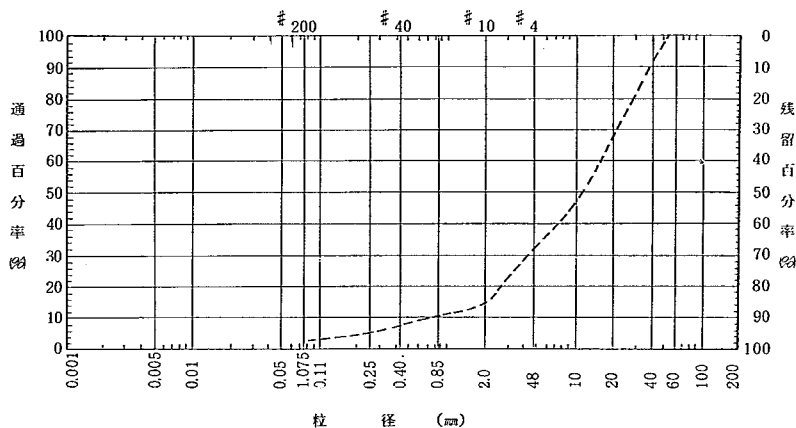


図-3.5 弱風化花崗岩の粒度分布

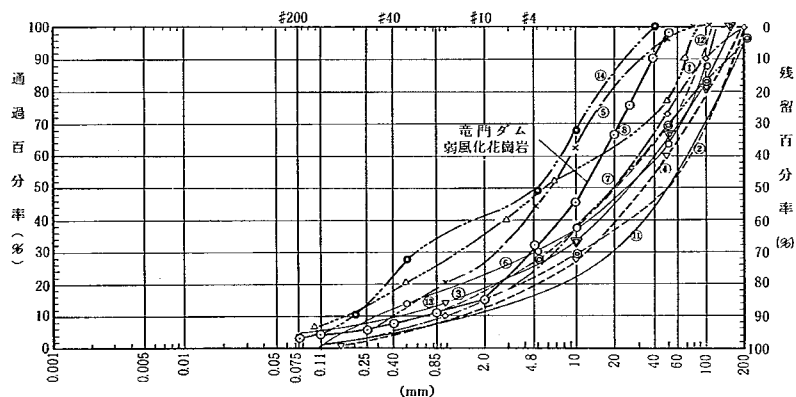


図-3.6 フィルタ材料の粒径加積曲線

3.5. コア材料

1) 比重試験

5mmで材料を分級し以下の材料について JIS・A・1202 により試験を行なった。

2) 粒度試験

搬入された材料ローム、マサ土（各2地点）について標準網フルイによるフルイ分けおよび比重浮ヒョウによる沈降分析で各材料の粒度試験を行なった。

3) 突固めによる締固め試験

突固め方法はランマー重量2.5 kg、モールド内径10 cm、突固め層数3層、各層の突固め回数25回、許容最大粒径19.1 mm、乾燥法、非繰返し法のJIS・A・1210（1.3-b）により行なった。粘性土試料の準備方法は非乾燥法によるのが望ましいが、今回の試験に用いたロームは自然含水比が高くそのままでは混合が難しいため便宜上40～50℃により乾燥炉でロームNo.1で4日間、No.2で2日間乾燥した結果含水比がNo.2で3.2%であった。またマサ土は、7日間室内で空気乾燥した結果乾燥後の含水比は2.2%であった。

今後、ロームに関しては非乾燥法、非繰返し法による試験が必要であろう。

4) 透水試験

締固め試験の供試体をそのまま用いてJIS・A・1218の変水位透水試験法により試験を行なった。

4. 試験結果

表-4.1に試験結果一覧表を示す。

4.1. ロック材料

1) 比重および吸水量

試験結果一覧表を表-4.2に示す。また、結果の考察に用いた比重および吸水量は、各粒径ごとに平均を求め、これを粒度で重みを加えた値を用いた。表-4.2の下段に加重比重を示した。なお、吸水量はJIS・A・1202の試験では求められないために5mm以上で算出した。

比重および吸水量の試験結果から花崗岩と阿蘇溶岩の材料の特徴を列記してみる。

- i) 花崗岩は表乾比重が2.758、吸水量が0.77%と、ロック材料としては比重が大きく、吸水量が小さい部類に入り耐久性もあり、堅硬で良好なロック材料である。
- ii) 阿蘇溶岩は表乾比重が2.173、吸水量が10.3%と多孔質であり、気象、乾湿のくり返しなどにより材料の劣化が予想される。

2) 締固め試験

i) 結果

花崗岩粒度A、粒度B、阿蘇溶岩の結果を図-4.1～図-4.3に示す。この結果を見ると、振動数に問題があるが振動締固めのほうが静的な垂直载荷による締固めよりも有効であると言える。

ii) 供試体作成条件

締固め試験から決定した供試体の作成条件を表-4.3に示すとともに、各粒度の目標乾燥密度と間げき比を表-4.4に示す。

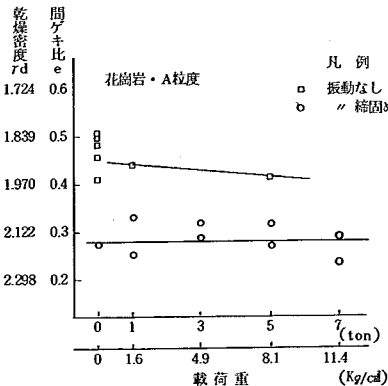


図-4.1 締固め試験結果

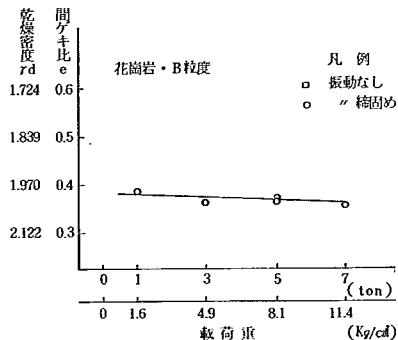


図-4.2 締固め試験結果

表-4.1 試驗結果一覽表

		花畑貯 粒度A dense								花畑貯 粒度A loose								花畑貯 粒度A dense (飽和)								花畑貯 粒度B dense								阿 波 湖 砂					係 風 化 花 畑 貯					コ ヲ ア 材																			
		セ ン 断 法								セ ン 断 法								セ ン 断 法								セ ン 断 法								セ ン 断 法					マツ土 ローム					マツ土+ローム(No.2)				風化花畑貯 +ローム 30%															
		試験貯 試みの後	振動時間 分	G _s =1.5	3.0	4.5	6.0	試験貯 試みの後	振動時間 分	G _s =1.5	3.0	4.5	6.0	試験貯 試みの後	振動時間 分	G _s =1.5	3.0	4.5	6.0	試験貯 試みの後	振動時間 分	G _s =1.5	3.0	4.5	6.0	試験貯 試みの後	R-1	R-2	R-3	R-4	試験貯 試みの後	振動時間 分	F-1	F-2	F-3	F-4	B-6	B-7	No.1	No.2	ローム10%	20%	30%	40%																			
粒度特性	レキ分 (+4.75mm) %	62	58.1	59.9			57.3	62	61.4	59.8			57.7	62						90	87.5	85.9			82.7	82.7	56.6	53.0	48.6	45.0	42.9	-	68.3	66.5	64.6	62.1	59.1	58.9	1.3	3.2	11.1	1.9	-	-	-	-	-																
	レキ分 (+2.00mm) %		73.4	73.7			75.3		76.0	75.1			71.6								90.5	91.9			90.3			70.0	67.5	64.0	60.9	58.6	56.4	-	65.2	75.8	73.9	73.3	68.3	68.1	15.5	16.8	20.3	1.3	-	-	-	-	-														
	砂 分 (74~2000μ) %		24.4	23.6			22.4		22.5	22.4			26.0								7.3	5.6			8.6			27.1	28.6	32.0	34.6	35.2	38.4	-																													
	シルト分 (5~74μ) %																											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-														
	粘土分 (-5μ) %																											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-														
	最大粒径 mm		63.5	63.5	63.5			63.5	63.5	63.5	63.5			63.5	63.5	63.5	63.5				63.5	63.5	63.5			63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	50.8	19.1	25.4	25.4	19.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
均等係数		27.3	18.7	33.5			23.8	27.3	15.3	24.5			34.0	27.3						4.0	6.0	4.9			7.1	53.1	38.3	52.4	44.7	42.4	35.3	-	26.1	50.0	13.5	41.7	55.0	52.5	18.5	22.0	26.0	40.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
曲率係数		1.5	1.29	2.10			1.74	1.5	1.12	1.69			1.73	1.5						1.0	1.57	1.36			1.70	0.74	0.76	0.73	0.68	0.74	0.71	-	2.02	2.72	2.30	1.67	1.31	1.38	1.69	1.86	1.63	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-												
比 重 (G _s ,G _a ,G _b ,G _c)		Ca=2.758, G _a =2.737, G _c =2.796								Ga=2.758, G _b =2.731, G _c =2.796								Ga=2.758, G _b =2.737, G _c =2.796								Ca=2.758, G _b =2.737, G _c =2.796								Ca=2.719, G _b =1.920, G _c =2.481					2.632	Ga=2.569, G _b =2.563, G _c =2.629					2.695	2.633	2.676	2.683	2.692	2.690	2.687	2.646											
吸 水 量 Q		0.77								0.77								0.77																10.3					10.3																								
自 然 含 水 比 W _n																																												170					181	97.2	56.5	21.5					25.4	29.3	37.0	-			
実測内・ 過水試験	最適含水比 W _{opt}																																																12.5					-	18.5					1.855	1.775	1.680	1.675
	Wa-W _{opt}																																																5.1					-	7.5					10.4	12.8	16.1	-
	最大乾燥密度 ρ _{dmax}	1.857	2.126	2.161	2.119	2.122	2.111	1.887	1.918	1.945	1.866	2.010	1.970	1.867	2.126	2.125	2.146	2.142	2.120	1.752	2.011	1.980	1.954	1.959	1.999	1.450	1.647	1.652	1.651	1.655	1.662	1.980	1.770	2.067	2.049	2.040	2.030	2.032	1.845	-	1.885					1.855	1.775	1.680	1.675														
	固 ケ 比 e	0.478	0.297	0.276	0.301	0.300	0.306	0.478	0.438	0.418	0.478	0.372	0.400	0.478	0.297	0.297	0.225	0.288	0.301	0.555	0.371	0.393	0.411	0.408	0.380	0.490	0.320	0.315	0.316	0.313	0.307	0.329	0.470	0.250	0.264	0.269	0.275	0.274	0.461	-	0.429					0.451	0.515	0.619	0.411														
	過水係数 K _{min} cm/sec																																						3.1×10 ⁻⁴										4.8×10 ⁻⁴					-	2.5×10 ⁻⁴					1.1×10 ⁻⁴	6.1×10 ⁻⁴	5.3×10 ⁻⁴	2.3×10 ⁻⁴
過水係数 K _{opt} cm/sec																																						3.6×10 ⁻⁴										4.2×10 ⁻⁴					-	2.5×10 ⁻⁴					1.3×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻⁴	6.5×10 ⁻⁴	2.0×10 ⁻⁴	
大型三軸 圧縮試験	強度定数 C=φ	C _φ =0.6%, φ _{cφ} =47°45'								C _φ =0, φ _{cφ} =41°00'								C _φ =0, φ _{cφ} =47°10'								C _φ =0, φ _{cφ} =44°20'								C _φ =0.6%, φ _{cφ} =44°					C _φ =12%, φ _{cφ} =41°																								
	変形係数 E ₅₀	700 950 661 935								610 458 720 716								553 704 1020 803								300 636 677 618								- 1000 1600 1700 1800					- - 1200 1400 1500 1500																								

注) 花重、阿重、固重、花固重の関与比率 α の計算には表紙比重 G_s を用いた。また、試験前、振動締固後の密度は締固め試験のデータを用いた。

iii) 供試体初期状態

供試体の作成は慎重に行ったが表-4.5に示すように密度にバラツキが生じている。このうち花崗岩粒度Aが(1.866~2.009 g/cm³)と最もバラツキが大きく、振動締固めを行わずに垂直荷重により締固めたことに起因していると考えられる。また、空気乾燥により調整した試料の含水比は、各ケースとも1~2%であった。

3) 大型三軸圧縮試験

試験結果一覧表を表-4.6に示す。また、各粒度のモールの応力円を図-4.4, 図-4.6, 図-4.8, 図-4.10, 図4.12, 応力~ひずみ

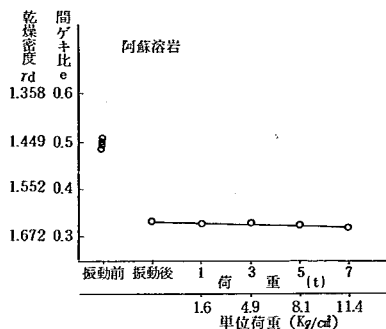


図-4.3 締固め試験結果

表-4.2 比重および吸水率試験結果

粒 径 (mm)	花 崗 岩				阿 蘇 溶 岩			
	表乾比重 Ga	絶乾比重 Gb	Gsに対応した 比重 Gg	吸 水 率 Q (%)	表乾比重 Ga	絶乾比重 Gb	Gsに対応した 比重 Gg	吸 水 率 Q (%)
63.5~50.8	2.758	2.737	2.796	0.77	2.161	1.962	2.454	10.3
50.8~38.1					2.158	1.956	2.453	10.4
38.1~25.4					2.185	1.990	2.469	9.8
25.4~19.1					2.186	1.996	2.464	9.5
19.1~9.52					2.183	1.976	2.490	10.4
9.52~4.76					2.175	1.951	2.516	11.5
4.76以下			2.806				2.493	
加重平均	2.758			0.77	2.173	1.920	2.481	10.3

$$\text{注) } G_a = \frac{B}{B-C}, \quad G_b = \frac{A}{B-C}, \quad G_g = \frac{A}{A-C}$$

A: 絶乾重量, B: 表乾重量, C: 水中重量

表-4.3 供試体作成条件

材 料	粒 度	締固め層数	振 動 数	振動時間	載 荷 重	載荷時間	供 試 体 の 状 態	備 考
		層	r.p.m	sec	ton	sec		
花 崗 岩	A(U=27)	6	500~550	120	5	120	dense	飽和時
	A(U=27)	6			5	120	loose	
	B(U=4)	6	500~550	120	5	120	dense	
阿 蘇 溶 岩	(U=53)	6	500~550	120	5	120	dense	

表-4.4 目 標 密 度

材 料	粒 度	供 試 体 の 状 態	乾燥密度	間ゲキ比	備 考
			$\gamma_d(\text{g/cm}^3)$	e	
花 崗 岩	A (U=27)	dense	2.15	0.30	飽和時も
	A (U=27)	loose	1.93	0.45	
	B (U=4)	dense	2.03	0.38	
阿 蘇 溶 岩	(U=53)	dense	1.65	0.32	

注) 花崗岩のeはGgにより算出した。

表-4.5 供試体初期状態

	側 圧 (kg/cm ²)	含 水 比 (%)	乾 燥 密 度 (g/cm ³)	間 げ き 比 (e)
花 崗 岩 粒 度 A dense	1.5	0.43	2.161	0.276
	3.0	0.40	2.119	0.301
	4.5	0.28	2.122	0.300
	6.0	0.28	2.111	0.306
花 崗 岩 粒 度 A dense	1.5	0.20	1.945	0.418
	3.0	0.35	1.866	0.478
	4.5	0.32	2.010	0.372
	6.0	0.43	1.970	0.400
花 崗 岩 粒 度 A dense飽和	1.5		2.125	0.297
	3.0		2.146	0.285
	4.5		2.142	0.288
	6.0		2.170	0.301
花 崗 岩 粒 度 B dense	1.5	0.30	1.980	0.393
	3.0	0.28	1.954	0.411
	4.5	0.20	1.959	0.408
	6.0	0.15	1.999	0.308
阿 蘇 溶 岩	2.0	2.1	1.652	0.315
	4.0	2.5	1.651	0.316
	6.0	2.1	1.655	0.313
	8.0	1.3	1.662	0.307

曲線を図-4.5, 図-4.7, 図-4.9, 図-4.11, 図-4.13に示す。

4) 締固め, せん断による粒度変化

締固め, せん断による粒子の破碎を数値で表わすには種々の方法が提案されているが, ここでは Marsal の方法により計算した。各粒度について計算した破碎率を表-4.7に, 粒度試験結果の粒径加積曲線を図-4.14~4.17に示す。

表-4.6 大型三軸圧縮試験結果一覧表

試験試料	供試体	1	2	3	4	強度定数
花崗岩 (粒度A) dense	含水比 W(%)	0.43	0.40	0.28	0.28	$C_{CD} = 0.4\%$ $\phi_{CD} = 47^{\circ}46'$
	圧密前開けき比 e_0	0.276	0.301	0.300	0.306	
	圧密後開けき比 e	0.252	0.265	0.255	0.257	
	側圧 σ_3 (kg)	1.5	3.0	4.5	6.0	
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg)	10.5	19.0	26.5	29.0	
	ε_f (%)	3.5	5.5	5.8	7.5	
	$(\Delta V/V)_f$ (%)	0.80	0.10	-0.85	-1.25	
	E_{50} (kg)	700	950	981	935	
試験試料	供試体	1	2	3	4	強度定数
花崗岩 (粒度A) loose	含水比 W(%)	0.20	0.35	0.32	0.43	$C_{CD} = 0\%$ $\phi_{CD} = 41^{\circ}00'$
	圧密前開けき比 e_0	0.418	0.478	0.372	0.400	
	圧密後開けき比 e	0.381	0.412	0.350	0.377	
	側圧 σ_3 (kg)	1.5	3.0	4.5	6.0	
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg)	6.1	11.9	18.0	22.9	
	ε_f (%)	7.0	10.0	9.5	11.2	
	$(\Delta V/V)_f$ (%)	-0.25	-1.7	-2.9	-3.5	
	E_{50} (kg)	610	458	720	716	
試験試料	供試体	1	2	3	4	強度定数
花崗岩 (粒度A) dense 飽和	飽和度 S_r (%)	96.6	95.4	95.7	96.0	$C_{CD} = 0\%$ $\phi_{CD} = 47^{\circ}10'$
	圧密前開けき比 e_0	0.297	0.285	0.288	0.301	
	圧密後開けき比 e	0.254	0.234	0.225	0.235	
	側圧 σ_3 (kg)	1.5	3.0	4.5	6.0	
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg)	8.3	16.9	24.9	27.8	
	ε_f (%)	4.7	6.5	7.0	7.5	
	$(\Delta V/V)_f$ (%)	0.55	-0.15	-0.80	-2.15	
	E_{50} (kg)	553	704	1020	803	
試験試料	供試体	1	2	3	4	強度定数
花崗岩 (粒度B) dense	含水比 W(%)	0.30	0.28	0.20	0.15	$C_{CD} = 0\%$ $\phi_{CD} = 44^{\circ}20'$
	圧密前開けき比 e_0	0.393	0.411	0.408	0.380	
	圧密後開けき比 e	0.359	0.358	0.356	0.317	
	側圧 σ_3 (kg)	1.5	3.0	4.5	6.0	
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg)	9.0	14.0	21.0	27.8	
	ε_f (%)	7.5	9.0	12.0	11.6	
	$(\Delta V/V)_f$ (%)	1.35	-0.9	-1.75	-2.75	
	E_{50} (kg)	500	636	677	818	
試験試料	供試体	1	2	3	4	強度定数
阿蘇溶岩	含水比 W(%)	2.1	2.5	2.1	1.3	$C_{CD} = 0.6\%$ $\phi_{CD} = 44^{\circ}00'$
	圧密前開けき比 e_0	0.315	0.316	0.313	0.307	
	圧密後開けき比 e	0.284	0.280	0.275	0.243	
	側圧 σ_3 (kg)	2.0	4.0	6.0	8.0	
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg)	11.6	21.8	29.8	35.2	
	ε_f (%)	2.5	3.5	4.2	5.0	
	$(\Delta V/V)_f$ (%)	0.54	0.11	-0.24	-0.79	
	E_{50} (kg)	1000	1600	1700	1800	

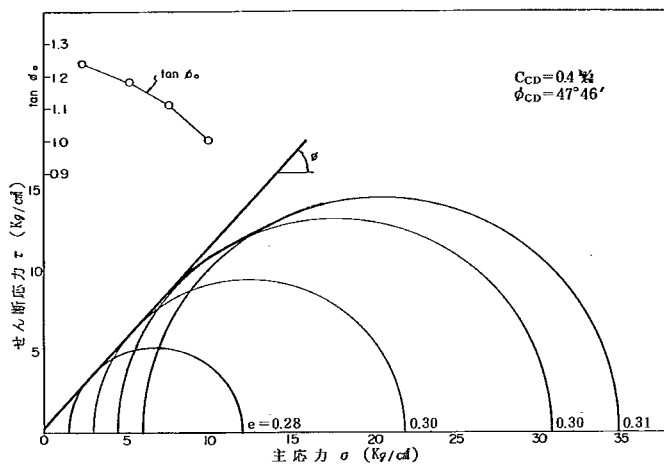


図-4.4 モールの応力円と包絡線，主応力と $\tan \phi_0$ の関係 花崗岩（粒度A）

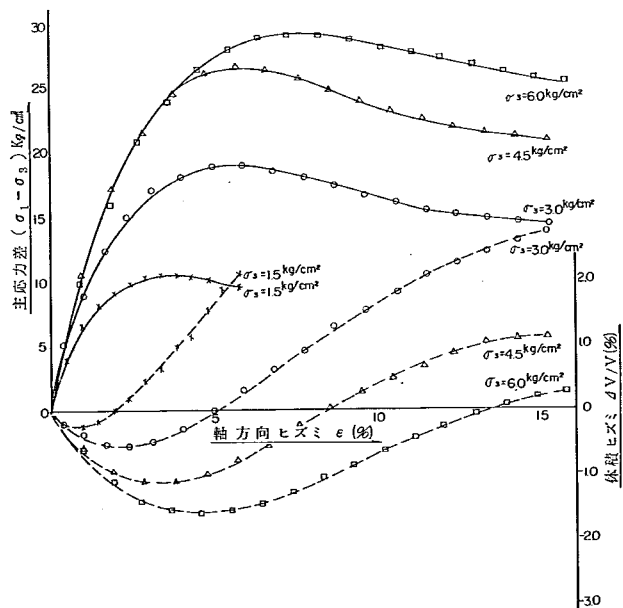


図-4.5 軸方向ヒズミと主応力差，軸方向ヒズミと体積ヒズミの関係 花崗岩（粒度A）

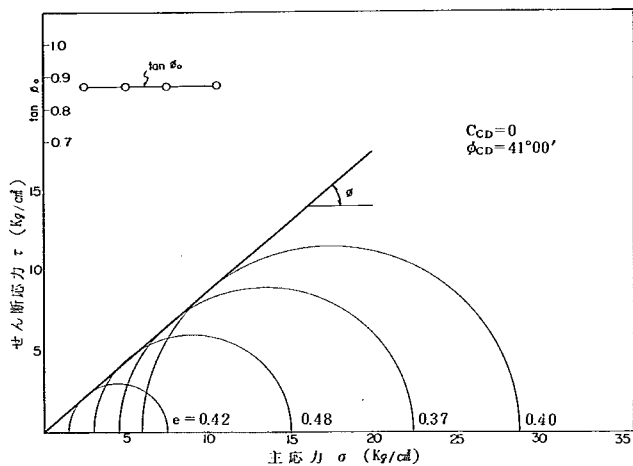


図-4.6 モールの応力円と包絡線、主応力と $\tan \phi$ の関係 花崗岩（粒度A）

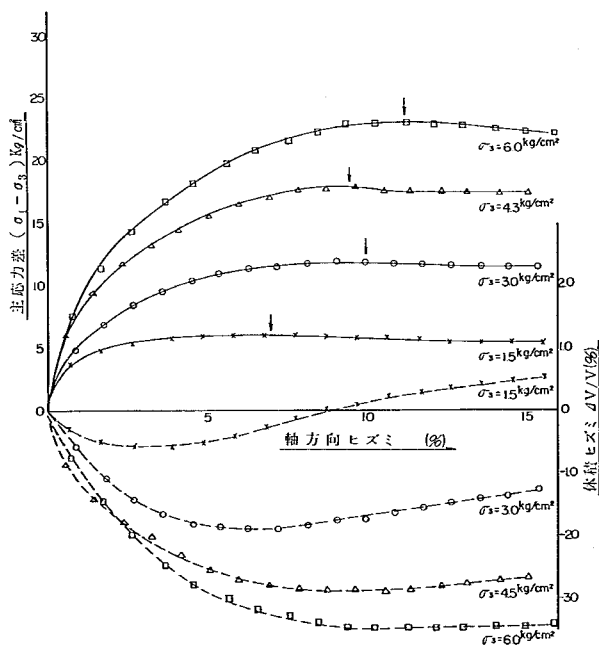


図-4.7 軸方向ヒズミと主応力差、軸方向ヒズミと体積ヒズミの関係 花崗岩（粒度A）

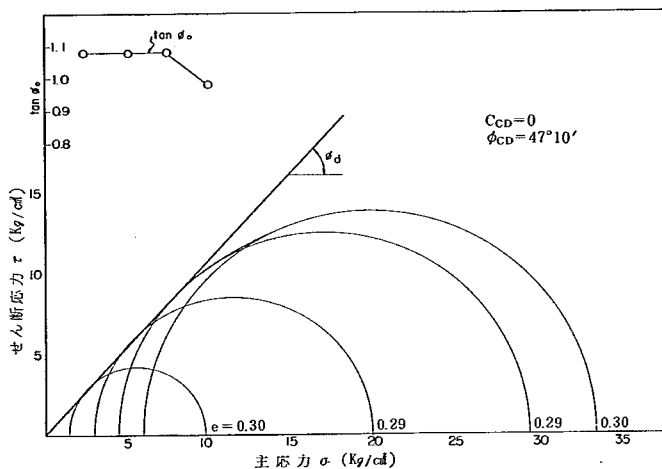


図-4.8 モールの応力円と包絡線、主応力と内部摩擦係数の関係 花崗岩（粒度A）飽和

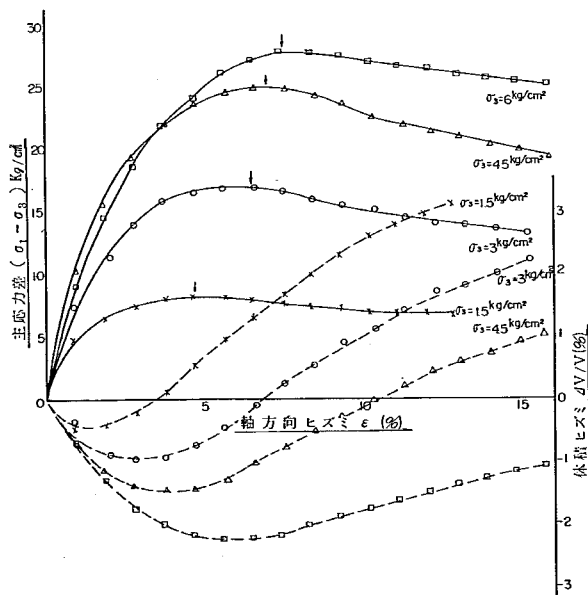


図-4.9 軸方向ヒズミと主応力差および体積ヒズミの関係 花崗岩（粒度A）飽和

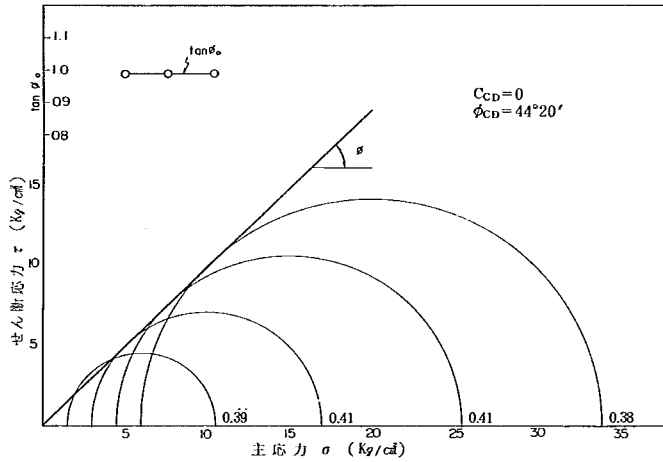


図-4.10 モールの応力円と包絡線，主応力と $\tan \phi_0$ の関係 花崗岩（粒度B）

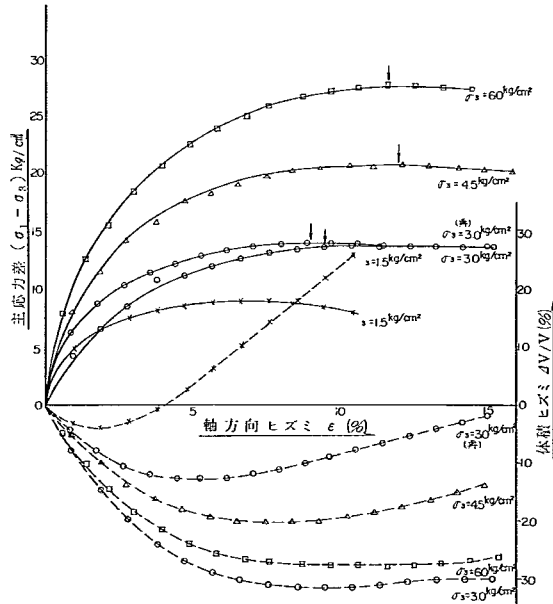


図-4.11 軸方向ヒズミと主応力差，軸方向ヒズミと体積ヒズミの関係 花崗岩（粒度B）

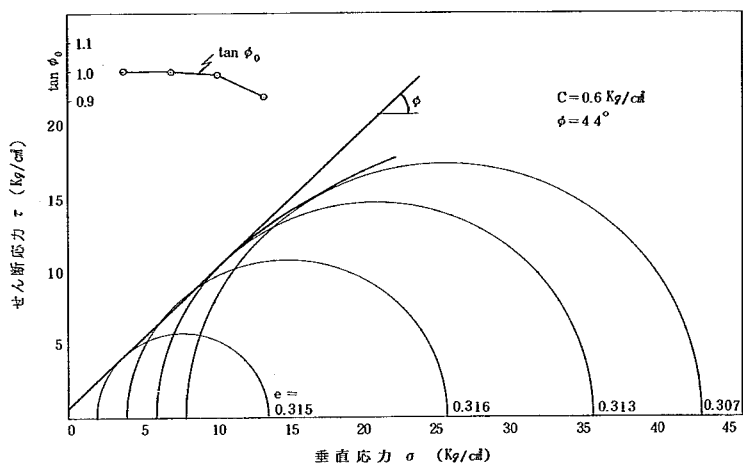


図-4.12 阿蘇溶岩 モールの応力円と包絡線

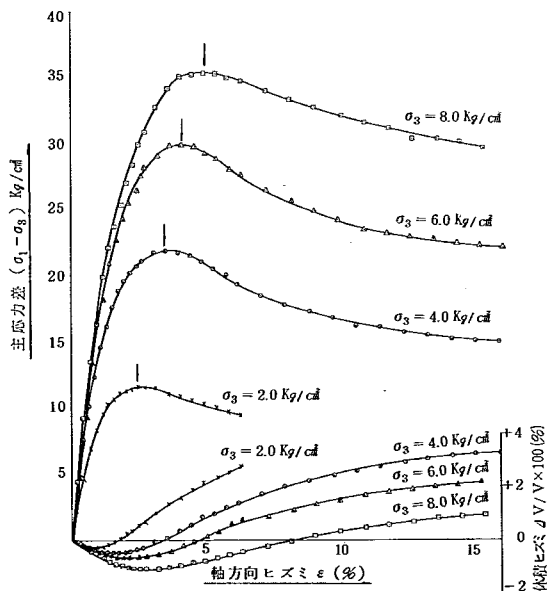


図-4.13 阿蘇溶岩 軸方向ヒズミと主応力差、体積ヒズミの関係

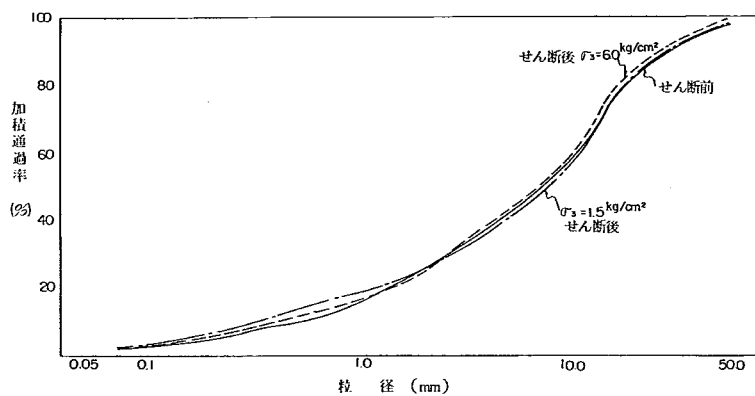


図-4.14 せん断による粒度曲線の変化 花崗岩 (A 粒度) dense

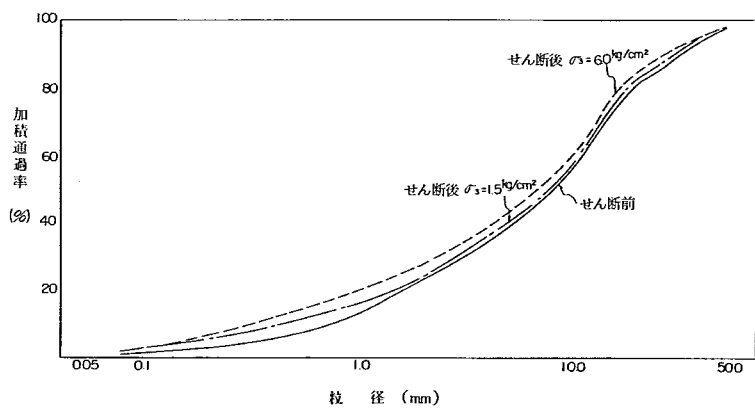
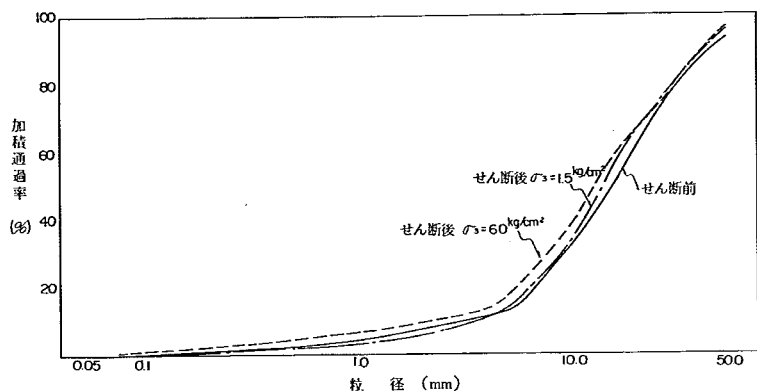
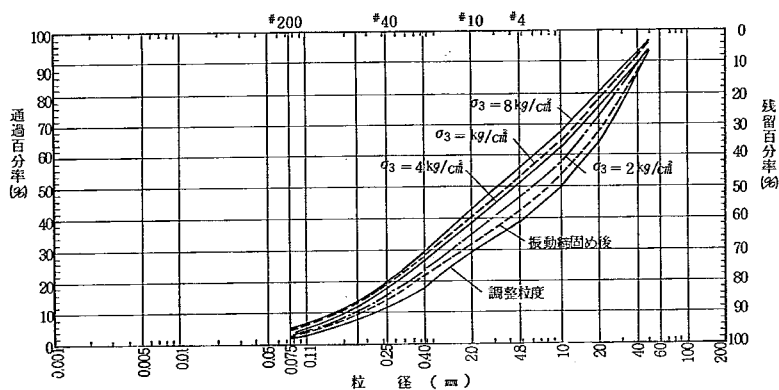


図-4.15 せん断による粒度曲線の変化 花崗岩 (A 粒度) loose



図一 4.16 せん断による粒度曲線の変化 花崗岩 (B 粒度)



図一 4.17 阿蘇溶岩 振動締固めおよびせん断後の粒度分布曲線

表一 4.7 破碎率一覧表

材 料		側 圧 (kg/cm ²)	締 固 め に よ る (%)	圧 密 + せん断に よ る (%)	締 固 め + 圧 密 + せん 断 に よ る (%)
花 崗 岩	粒度A	1.5	4.2	2.3	3.0
	dense	6.0		2.7	5.2
	粒度A	1.5	3.0	2.6	3.4
	loose	6.0		3.7	5.6
	粒度B	1.5	3.0	4.7	5.3
	dense	6.0		5.9	7.7
阿 蘇 溶 岩		2.0	6.3	4.6	8.9
		4.0		10.3	13.4
		6.0		10.6	15.1
		8.0		13.7	18.3

4.2 フィルタ材料

1) 比重および吸水量

弱風化花崗岩の試験結果一覧表を表-4.8に示す。また、結果の考察に用いた比重および吸水量はロック材料と同じ方法により求めた。

表-4.8 弱風化花崗岩の比重および吸水量

粒 径	粒徑重量百分率 (%)	表 乾 比 重 Ga	絶 乾 比 重 Gb	土質材料の比重 Gs に対応した比重 Gg	吸 水 量 Q (%)
~ 50.8 mm	1.8	2.595	2.580	2.621	0.61
~ 38.1	8.2	2.579	2.556	2.616	0.90
~ 25.4	14.8	2.589	2.565	2.626	0.91
~ 19.2	9.4	2.584	2.557	2.629	1.07
~ 9.52	20.2	2.598	2.572	2.640	1.01
~ 4.76	13.9	2.582	2.547	2.640	1.38
4.76以下	31.7	—	—	2.623	—
加重平均		2.589	2.562	2.629	1.03

2) 締固め試験

i) 結 果

試験の結果を、図-4.18に示す。ロック材料と同様に振動によって得られた間げき比と振動後載荷して得られた間げき比の間には、ほとんど差がなく、0.02程度であった。

ii) 供試体作成条件

供試体の作成条件はロック材料の阿蘇溶岩と同じにした。また、目標密度を乾燥密度 2.07 g/cd とした。

3) 大型三軸圧縮試験

試験結果一覧表を表-4.9に示す。また、各粒度のモールの応力円を図-4.19、応力~ひずみ曲線を図-4.20に示す。

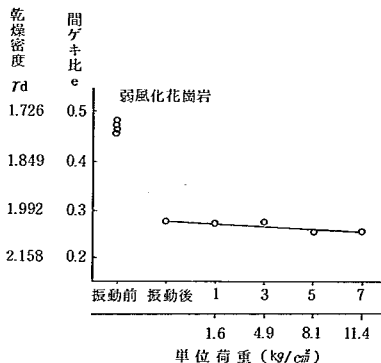


図-4.18 振動締固め試験結果

表-4.9 大型三軸圧縮試験結果一覧表

試験試料	供 試 体	1	2	3	4	強度定数
弱風化花崗岩	含水比 W (%)	0.3	0.4	0.4	0.3	$C_{CD} = 1.2 \text{ kg/cd}$ $\phi_{CD} = 41^{\circ}00'$
	圧密前間げき比 e_0	0.264	0.269	0.275	0.274	
	圧密後間げき比 e	0.236	0.235	0.227	0.223	
	側 圧 σ_3 (kg/cd)	2.0	4.0	6.0	8.0	
	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kg/cd)	12.5	19.8	27.3	34.2	
	ϵ_f (%)	2.5	4.2	5.0	5.7	
	$(\Delta V/V)_f$ (%)	0.27	-0.05	-0.68	-1.02	
	E_{50} (kg/cd)	1200	1400	1600	1500	

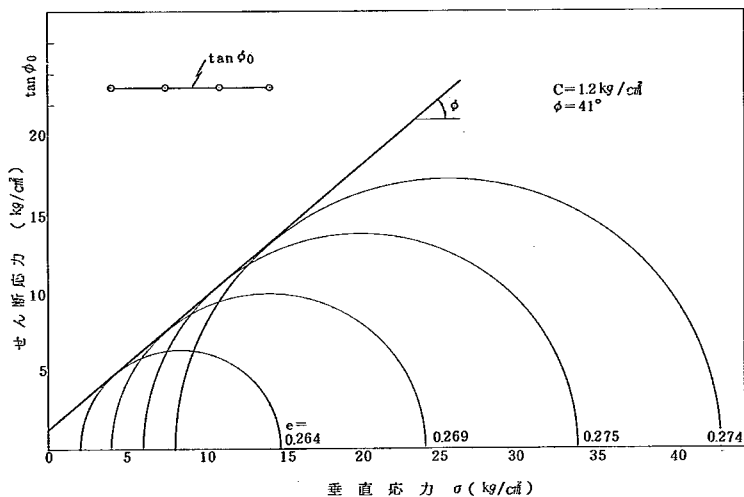


図-4.19 弱風化花崗岩 モールの応力円と包絡線

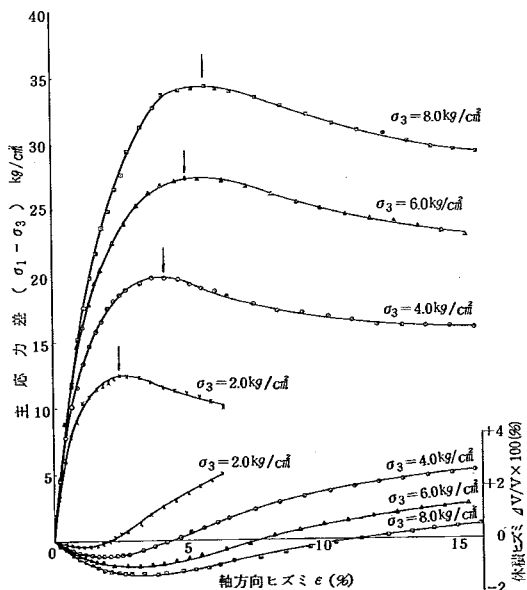


図-4.20 弱風化花崗岩 軸方向ヒズミと主応力差、体積ヒズミの関係

4) 締めめ, せん断による粒度変化

ロック材料と同じ方法により調べた結果の破砕率を表-4.10, 粒径加積曲線を図-4.21に示す。

表-4.10 破 砕 率

材 料	締めめに よる (%)	圧密+せん断による(%)				締めめ+圧密+せん断による(%)			
		$\sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$	4	6	8	$\sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$	4	6	8
弱風化花崗岩	10.9	3.0	4.8	7.8	8.2	12.9	13.2	17.7	18.1

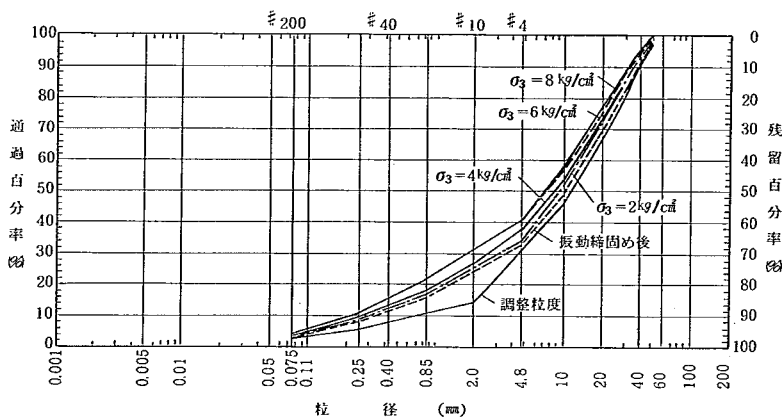


図-4.21 弱風化花崗岩 振動締めめおよびせん断後の粒度分布曲線

4.3. コア材料

1) 比重および自然含水比

マサ土は, B-6, B-7の自然含水比に大きな違いはなかった。比重試験は混合した材料について実施した。なお, マサ土, ロームの比重および自然含水比 (W_n)をまとめたものが表-4.11である。この結果から特徴をまとめてみる。

表-4.11 コア材料の比重および自然含水比

	マ サ 土		ロ ム	
	B-6	B-7	No. 1	No. 2
比 重 G_s	2.695		2.683	2.678
自然含水比 W_n (%)	17.1	18.1	97.2	56.5

i) マサ土のB-6, B-7とも自然含水比はほぼ同じであるが, ロームの場合, No.1とNo.2で大きく違っている。

ii) 今回搬入された試料の自然含水比を現場で実施されたものと比較すると、マサ土はほぼ一致しているが、ロームのNo 1の $W_n = 97.2\%$ は、粒度から考えられるより含水比が高く、採取地の違いによる含水比のバラツキが大きいと予想される。またNo 2は、現場の一般的な値である。

2) 粒度試験

マサ土、ロームの粒度の特性および粒径加積曲線を表-4.12、図-4.22に示す。この結果を整理すると次のようになる。

表-4.12 粒度の特性

i) マサ土のB-6、B-7は、よく似た粒

度分布であるがロームのNo 1とNo 2はまったく違う粒度分布をしている。

ii) マサ土に関しては、現場における試験値にはほぼ等しい結果である。ロームNo 1は細粒分が少なく、No 2は現場で行なわれた試験の一般的な値である。

3) 試料準備

① 試料の選定

i) マサ土は、B-6、B-7で自然含水比、粒度分布ともほぼ同様であり、かつ、現場の試験値とも一致していることから、B-6、B-7を混合して用いた。

ii) ロームのNo 2は竜門ダムのごく平均的なロームと考えられること、施工を考えた場合No 2と比べてNo 1のような高含水比のものを用いることは不可能に近いこと、透水係数を小さくするには細粒分の多いNo 2を用いた方が有利であることなどの理由によりNo 2を用いることにした。

iii) 搬入されたマサ土は、粒度試験の結果からも明かなように粗粒分が少なく現場での細かい部分の試料と考えられる。高いダムでは、コア材料の主目的であるしゃ水だけでなく、堤体の安定上大きなせん断強さも必要とするなどの理由により、フィルタ材料の弱風化花崗岩の-19.1mmを用いた。

② 粒度分布

突固めによる締固め試験、透水試験前および混合時の粒度分布を図-4.23に示した。なお、図-4.23に示した粒度分布はマサ土、ローム、花崗岩の粒度試験結果から各粒径の重量によって比例配分して計算したものである。

試料名	マサ土		ローム	
	B-6	B-7	No 1	No 2
番号	(1)	(2)	(3)	(4)
レキ (4.76mm以上) 分%	1.3	3.2	11.1	1.9
レキ (2.00mm以上) 分%	15.5	16.8	20.3	9.3
砂 (74~2,000 μ) 分%	69.5	64.6	55.2	26.6
シルト (5~74 μ) 分%	11.0	13.6	24.2	31.1
粘土 (5 μ 以下) 分%	4.0	5.0	0.3	33.0
4#フルイ通過重量百分率 %	98.7	96.8	88.9	98.1
10#フルイ通過重量百分率 %	84.5	83.2	79.7	90.7
200#フルイ通過重量百分率 %	15.0	18.6	24.5	64.1
最大粒径 mm	19.1	25.4	25.4	19.1
60% 粒径 mm	0.630	0.550	0.520	0.040
30% 粒径 mm	0.190	0.160	0.130	0.004
10% 粒径 mm	0.034	0.025	0.020	0.001
均等係数	18.5	22.0	26.0	40.0
曲率係数	1.69	1.86	1.63	0.40

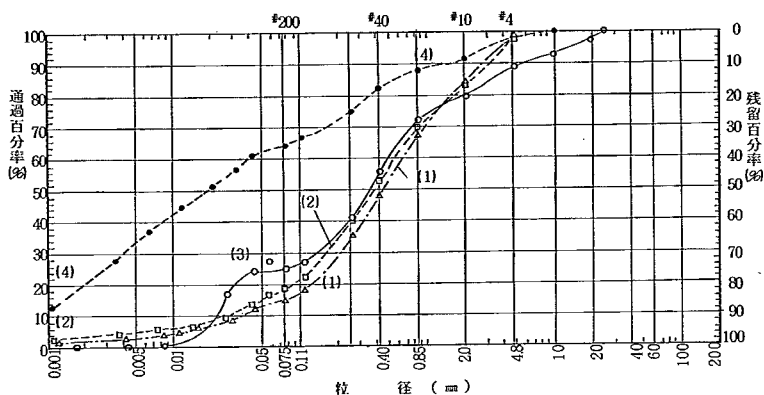


図-4.22 粒度分布曲線

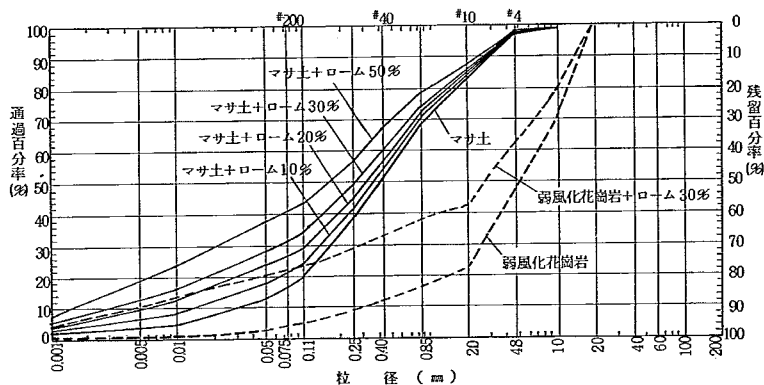


図-4.23 突固め透水試験前の粒度分布曲線

③ 混合割合

マサ土もしくは、弱風化花崗岩をコア材料とするには、しゃ水性および塑性の低さに問題があり、細粒分の多い材料を混合させ、必要なしゃ水性の確保と同時に、塑性の高い材料に改良することを検討する。混合割合は既往の実例から30%程度が限度と考えられる。したがって、本試験では、当初マサ土とロームの混合比を9:1(ローム10%)、8:2(ローム20%)、7:3(ローム30%)に計画した。また、弱風化花崗岩を粗粒分のコア材料にした場合の混合比は同じ理由から、弱風化花崗岩とロームの混合比を8.5:1.5に(ローム15%)および7:3(ローム30%)とした。

④ 突固めによる締固めおよび透水試験結果

コア材としてマサ土、弱風化花崗岩、およびそれぞれにロームを混合した場合について締固め、透水試験を行ない検討した。その結果はマサ土+ローム(30%)の透水係数は $K_{opt} = 1 \times 10^{-6}$ cm/sec, $K_{min} = 6.1 \times 10^{-7}$ cm/sec, 弱風化花崗岩+ローム(30%)で $K_{opt} = 2 \times 10^{-5}$ cm/sec, $K_{min} =$

2.3×10^{-6} cm/sec であり、室内試験では、コア材料としては透水係数が $1 \times 10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/sec を十分得られることが必要であるとの見地から、マサ土とロームの混合比を 5 : 5 (ローム50%) でもう一点試験を行ない、弱風化花崗岩 + ローム (15%) は試験を中止した。

突固めによる締固め試験および透水試験の結果を表-4.13、図-4.24に示す。これらの結果から特徴をあげると、次のようになる。

- i) 各ケースとも最適含水比よりやや湿潤側で最小透水係数を与えており、一般的な傾向と一致している。
- ii) マサ土単体では Wopt 12.5% で γd_{max} 1.845 g/cm³ また、単体の最小透水係数 4.8×10^{-6} cm/sec である。
- iii) 最小透水係数が 10^{-7} cm/sec の透水係数を得るためには、マサ土にロームを30%混合する必要がある。
- iv) 弱風化花崗岩の-19.1mm 材料では、Wopt 7.5%, γd_{max} 1.980 g/cm³ および Kmin 3.1×10^{-6} cm/sec である。

表-4.13 突固め透水試験結果

試料名	自然含水比 W _n (%)	最適含水比 W _{opt} (%)	W _n -W _{opt} (%)	最大膨張密度 γd_{max}	4.75mm以上の 粒子の重量 百分率 (%)	75μ以下の 粒子の重量 百分率 (%)	最適含水比 の透水係数 K _{opt}	最小透水 係数 K _{min}	自然含水比 の透水係数 K _{wn}	K _{min} の 含水比 W _{kmin}
マサ土	17.6	12.5	5.1	1.845	23	16.8	4.2×10^{-6}	4.8×10^{-6}	4.8×10^{-6}	17.3
マサ土 + ローム 10%	21.5	14.0	7.5	1.885	23	21.5	2.5×10^{-6}	2.5×10^{-6}	-	14.2
マサ土 + ローム 20%	25.4	15.0	10.4	1.855	22	28.3	1.3×10^{-6}	1.1×10^{-6}	-	17.3
マサ土 + ローム 30%	29.3	16.5	12.8	1.775	22	31.0	1.0×10^{-6}	6.1×10^{-7}	-	20.2
マサ土 + ローム 50%	37.1	21.0	16.1	1.660	21	40.5	6.5×10^{-7}	5.3×10^{-7}	-	26.2
弱風化花崗岩	-	7.5	-	1.980	51.8	4.9	3.6×10^{-6}	3.1×10^{-6}	-	7.0
弱風化花崗岩 + ローム 30%	-	14.5	-	1.875	36.8	22.7	2.0×10^{-6}	2.3×10^{-6}	-	16.5

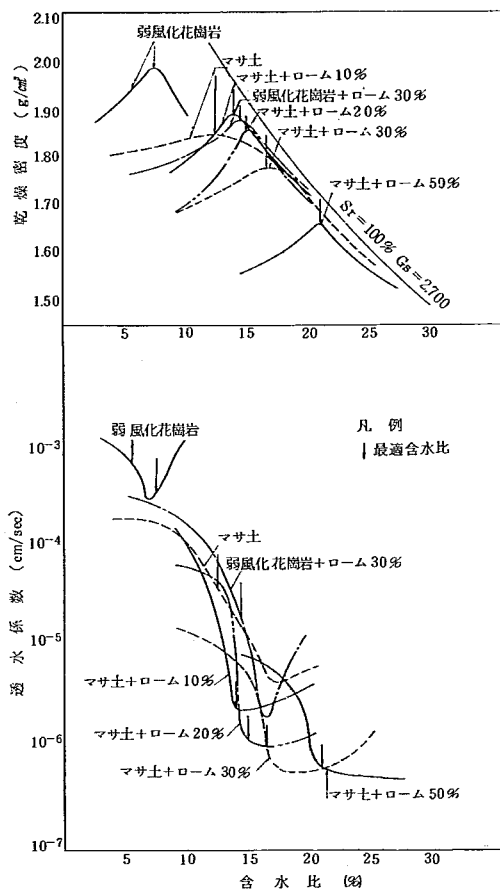


図-4.24 突固め・透水試験結果

5. 考察および今後の課題

5.1. 花 崗 岩

- i) 今回試験に用いた花崗岩は、表乾比重2.76と大きく、吸水量0.8%と小さい、試験値から判断して良質で堅硬な材料であり、水および気象作用に対する耐久性も問題ないと思われる。(図-5.1参照)
- ii) 粒度はやゝ細粒分が多いが、これは原石山の調査横坑の掘削屑の粒度を基に、最大粒径60mmとして相似粒度を作成したためである。実際の施工時粒度は、横坑発破により採取された材料とは発破の方法、装薬量が異なり、より粗粒になると思われるが、現段階で設計値を検討するためには、材質を考慮すると大きな問題はないと思われる。

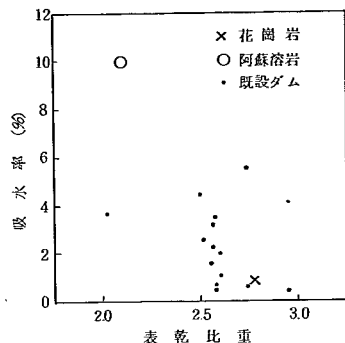


図-5.1 吸水率と表乾比重(既設ダムとの比較)

- iii) 締固め後の粒度試験結果は締固め前の粒度とあまり変わらず、材料の破砕は殆んどない。したがって盛立て時に自由な排水性を損なうような材料の破砕による細粒化はない。

- iv) 材料はよく締固まり、粒度A ($U_c = 27$)の振動締固めで乾燥密度 $\gamma_d = 2.2 \text{ t/m}^3$ (間げき比 $e = 0.25$) 程度と大きな密度が期待できる。また内部摩擦角は $\gamma_d = 2.13$ ($e = 0.29$) で $\phi = 47^\circ 46'$ となり大きなせん断強さが期待できる。気乾状態と飽和試料の供試体に内部摩擦角の差はなく、気乾状態の試験で設計値を決めても問題はないと考えられる。

以上から今回試験に用いた花崗岩は粒度、密度、せん断強さ、排水性、耐久性など質的にロック材料として適当である。したがって今後の調査は試験に用いたような未風化の花崗岩の量的な確認が主体となる。

5.2. 阿蘇溶岩

- i) 今回試験に用いた阿蘇溶岩は表乾比重2.17と小さく、吸水量10.3%と大きく多孔質な材料なので、耐久性が問題になると予想され、今後、浸水乾燥繰返し、圧縮性などの試験を行い、材質を十分把握する必要がある。(図-5.1参照)
- ii) 今回搬入された材料の粒度はロック材料としては細細分が多かった。しかも締固め後の粒度試験からかなりの破砕が認められ、盛立て時に材料が細粒化し所要の排水性が得られない恐れがある。したがって今後現場転圧試験による十分な検討が必要である。
- iii) 振動締固め試験から得られた $\gamma_d = 1.65 \text{ t/m}^3$ は一般のロック材料と比べて小さく、上流側に使うとのり面勾配を緩くしなければならない。
- iv) せん断強さは拘束圧により変化する。側圧範囲 $\sigma_3 = 2 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ ではモールの応力円の接線勾配は 44° になるが、 $\sigma_3 = 6 \sim 8 \text{ kg/cm}^2$ の間では 35° に減少し、拘束圧が大きくなると ϕ_{CD} が小さくなる傾向

を示す。さらに施工後、時間の経過に伴ない材料が変化する恐れがあるので十分注意しなければならない。

以上から今回試験に用いた材料が現場における阿蘇溶岩を代表しているか否か疑問があるが、堤体積基礎掘削により相当量が出ることで、フィルダムの利点であるダムサイト近辺の材料を使えることなどから使用する方向で考えること、量的調査とともに綿密な材質調査により、粒度、密度、変形特性、せん断強さ、耐久性などロック材料の必要な条件についての試験を行って検討する必要がある。さらに変形解析、安定解析などを行い、使用する範囲を検討するなど、十分な設計、施工上の配慮が必要であろう。

5.3. 弱風化花崗岩

- i) 今回試験に用いた弱風化花崗岩は、表乾比重2.59、吸水量1%が示すように、材質的には既設ダムのフィルタ材料と比べても遜色のない材料である。
- ii) 「ダム設計基準」のフィルタ材料に関する粒度規定に従い、コア材料試験に使用したマサ土およびマサ土+ローム30%の混合材料をベース粒度とした場合に必要のフィルタ材料の粒度範囲および試験に用いた弱風化花崗岩の粒度を図-5.2に示す。この図から明らかにようにマサ土およびマサ土+ローム30%の範囲をコア材粒度とした場合の弱風化花崗岩はフィルタ材料としての粒度基準を十分満足する。
- iii) 振動締固め前後の粒度変化が少なく、実際の施工時には粗粒径が多くなることを考慮すると、粒子の破砕による影響は大きな問題にはならないと思われる。
- iv) 振動締固め試験から得られた乾燥密度は $\gamma_d = 2.06 \text{ t/m}^3$ と大きく、また三軸試験で $\gamma_d = 2.04 \text{ t/m}^3$ での内部摩擦角は $\phi_{CD} = 41^\circ$ であり、既設ダムのフィルタ材料と比べ、十分な密度とせん断強さを有していると言える。
- v) 20 mm以上を除去した弱風化花崗岩の透水係数は 10^{-4} のオーダーであり、施工時の粒径および粒度分布を考慮すると、フィルタ材料としての適度な透水性を満足すると思われる。

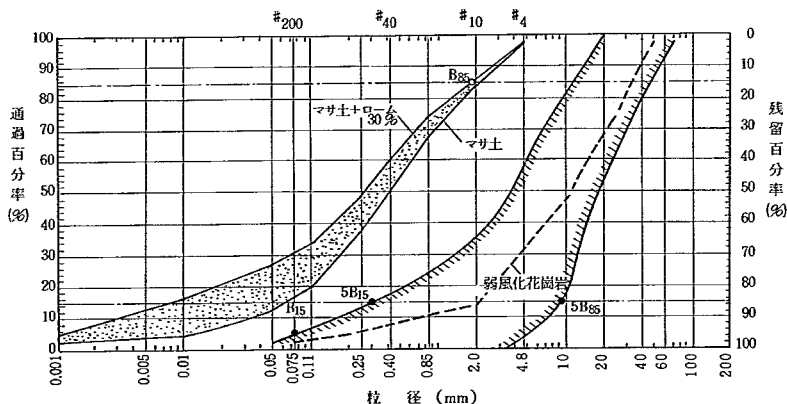


図-5.2 マサ土をベースにしたときのフィルタ材の粒度範囲

245

以上から弱風化花崗岩は所要量が得られれば、粒度、密度、せん断強さ、適度な透水性などフィルタ材料としての条件は満足できるものと予想されるが、今後大型透水試験、現場透水試験などによる確認が望まれる。

5.4. コア材料

(1) マサ土単体およびマサ土とロームの混合材料の性質

i) 今回試験に用いたマサ土は 200 番ふるい通過率が 15 ~ 18 %, 0.005 mm 以下の粘土分が 5 % 前後含まれており、コア材料として最小限必要な細粒分は含まれている。

ii) マサ土の最適含水比は $W_{opt} = 12.5$ % で、 W_{opt} での透水係数は $K = 4 \times 10^{-8}$ cm/sec であった。マサ土の自然含水比 $W_n = 17.6$ % での透水係数は $K = 5 \times 10^{-8}$ cm/sec で、この値が最小透水係数である。締め固め試験結果では W_n は W_{opt} の 5 % 湿潤側であり、実際の施工時には重機による破砕効果も期待されるが、採取場所による風化程度の違い、自然含水比のばらつきを考慮するとマサ土単体の透水係数は安全を見て 4×10^{-8} cm/sec 程度と想定するのが妥当であろう。

iii) 一般のコア材料の実験室における K は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ cm/sec であり、マサ土単体の透水係数はこれと比べるとやや大きい。今回用いたマサ土は横坑の掘削ずりを採取したものであり、現場でも風化の進んだ細粒分の多い材料と思われる。深くなると風化程度が弱く粗粒分を含んだマサ土であると予想され、コア材料の主目的である所要のしゃ水性が得られない恐れがあり、しかも竜門ダムのように高さの大きなフィルダムでは、粗粒分をある程度含んだ材料の方が施工上、力学的安定上有利であることを考慮すると、マサ土単体ではコア材料として使うことには疑問が残る。

iv) 混合材料としてダムサイト付近で得られる材料としてロームが考えられる。ロームの No. 1 材料は、No. 2 材料と比べて細粒分が少なく（シルト分 24.2 %, 粘土分 0.3 %）、大部分が砂であるにもかかわらず、自然含水比は 97.2 % と高く、一般的傾向とは合致しない。No. 2 材料は #200 ふるい通過率が 64.1 % であり、また粘土分を 33 % 含む混合材料として使い得る。自然含水比も 56.5 % で No. 1 材料より低い。但し全体的には自然含水比が高く、混合するときの施工性、また自然含水比と最適含水比の差が大きすぎるものが施工上問題になると思われる。

v) マサ土とローム No. 2 の混合材料の最小透水係数は、# 200 ふるい通過率が有効な目安となり（図-5.7 参照）、# 200 ふるい通過率が 28 % 程度（マサ土+ローム約 21 %）で 1×10^{-7} cm/sec オーダーの最小透水係数が得られるが（図-5.5 参照）、最適含水比前後で 1×10^{-7} cm/sec の透水係数を確保するためには 30 % のロームを混合しなければならない。一方自然含水比（ W_n ）と最適含水比（ W_{opt} ）の関係は、 W_n が W_{opt} よりかなり湿潤側にあり、マサ土単体で $W_n - W_{opt}$ は 5 %, マサ土+ローム 30 % では $W_n - W_{opt}$ が 16.5 % にもなり、施工の面からこのままの含水比の材料を用いることは全く不可能である。図-5.3 にマサ土+ローム混合材料のローム混合率と最大乾燥密度の関係を、図-5.4 にローム混合率と W_n , W_{opt} の関係を示す。

(2) 弱風化花崗岩にロームを混合した場合

i) 今回用いた弱風化花崗岩は図-5.8 で明らかなように粗粒分が多すぎ、ロームと混合しただけでは中間粒径が不足し粒度分布の悪い材料となっている（図-4.23 参照）。このため混合材（ローム 30 %）の透水特性は含水比の変化に対し非常に鋭敏となっている（図-4.24 参照）。にもかかわらず、図-5.7

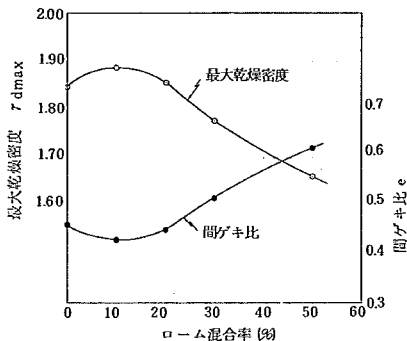


図-5.3 ローム混合率と最大乾燥密度、間ゲキ比

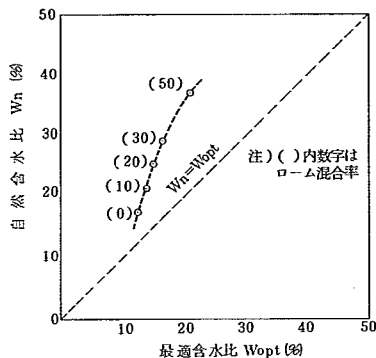


図-5.4 コア材料の自然含水比と最適含水比の関係

で見られるように#200ふるい通過率と最小透水係数の関係はマサ土+ロームの場合と同一線上にある。いずれにしても弱風化花崗岩とロームの混合は中間粒径が不足し、コア材料としてはこのまゝでは不適合であり、さらに中間的粒度を持つ材料(マサ土はこの条件に適合)を混合する必要がある。

(3) コア材料のまとめ

(1)、(2)の結果からマサ土、弱風化花崗岩およびこれらとロームの混合材料について、コア材料としての適否をまとめる。

i) マサ土の単体使用で問題になるのは、コア材料としてのしゃ水性と、クラック発生に対する抵抗性および発生した場合の自癒性である。このうちしゃ水性については、今回の試験結果が重機施工による粒子破碎効果、大きな締固め仕事量による締固め効果などによる期待要素と、マサ土の風化程度の違いによる不安要素により変動するので、単体使用の可能性を追求するためにはこれらに対する調査が不可否となろう。クラック発生に対する抵抗性と自癒性は、盛立て時の締固め度よりもコア材料がある程度以上の塑性を有することが大切であり、塑性指数(PI)15%以上の土をよく締固めるのが最も良く、PI=6%以下の土をよく締固めても、PI=15%以上の土の締固め不十分なものには及ばないと言われている。今回はコンシステンシー試験を行っていないが、現場で実施した結果ではNPと報告されており、クラックに対する抵抗性は小さいと思われる。

ii) マサ土とロームの混合材料は、しゃ水性とクラック発生に対する抵抗性は十分改善されたと思われるが、前述したように施工性に大きな問題が残る。

iii) 以上からコア材料として必要な性質を満足し、しかも施工性を確保するには、今回は試験しなかったが、マサ土を主体に弱風化花崗岩を含めた粗粒分に適当量のロームを細粒分として混合する材料が考えられる。マサ土と弱風化花崗岩は元来全く別々に存在するものではなく深さ方向に漸変していると思われるので、採取方法、ストックパイルを有効に使えば適切な粒度をもった粗粒分の採取が可能であると思われる。このためには量的調査とともに深さ方向での風化度を正確に知るための調査が必要であろう。

また細粒分としてのロームは採取地点によって自然含水比に相当のばらつきが予想され、今後十分な調査が必要である。

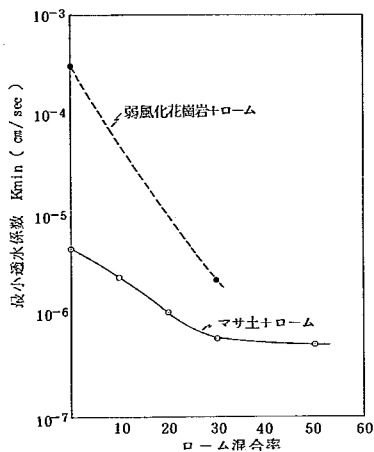


図-5.5 ローム混合率と最小透水係数

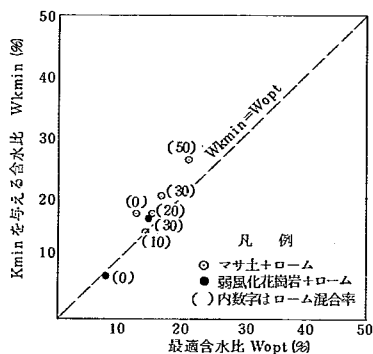


図-5.6 Kminを与える含水比と最適含水比の関係

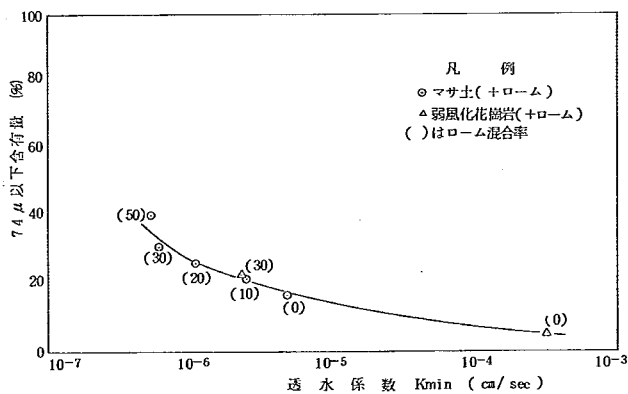


図-5.7 74 μ以下含有量と透水係数の関係

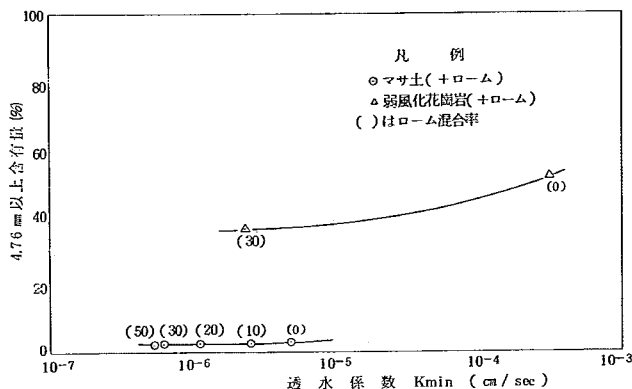


図-5.8 4.76 mm 以上含水量と透水係数の関係

5.5. 設計値の検討

竜門ダムのフィル材料試験を2年間にわたって行ってきたが、試験点数が少ないこと、試料のサンプリングの問題などを含んでおり、今回試験に用いた材料が現場における代表的な材料であるか否かを確認する調査も必要であるが、これらについては現場における今後の調査に期待したい。

本報告は目的で述べたように花崗岩、阿蘇溶岩、弱風化花崗岩については、それぞれロック材料、フィルタ材料としての適否を判定し、設計値を決めるための参考値を与えること、またマサ土については単体および混合した場合の材料の性質を把握し、コア材料としての適否を検討することを主眼とする。前述したような問題は残るが、今回試験に用いた材料の範囲で、試験値(図-5.9参照)と試験値をもとに定めた設計参考値を表-5.1に示す。但し設計値は今後盛立試験を行い、この結果に基づいて更に検討する必要がある。

設計参考値の決定根拠は次の通りである。

- (1) 花崗岩は、今回用いたような材料が量的に十分得られるなら、施工時の締めめ規定によってはより大きな値を採用することも可能であるが、ある程度弱風化花崗岩の混入が予想されることと弱風化花崗岩の試験値を考慮して、密度に余裕を持たせ $e = 0.35$ に設定した。その結果 $\phi_{CD} = 42^\circ$ となった。
- (2) 阿蘇溶岩は5.1で述べたように、ロック材料として必要な密度、せん断強さ、排水性などに問題の多い材料である。試験値としては、低側圧部で $\phi_{CD} = 44^\circ$ 、高側圧下で $\phi_{CD} = 35^\circ$ と著

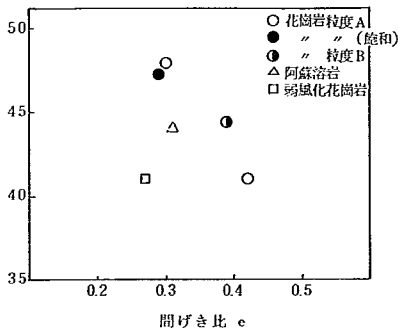


図-5.9 間ゲキ比と内部摩擦角の関係

しい（低下）を示しており、施工後時間の経過とともに材料の性質が変化することも予想され、最低値の35°を採用した。但し今回の試験は密な状態1種類しか行われておらず、今後の調査試験に応じて修正するものとする。

(3) 弱風化花崗岩は、フィルタ材料として所要の性質を十分満足する。密度1条件での三軸試験しか実施しておらず、この結果のみから設計値を決めることは無理であるが、参考値としては、粒度、材質を既設ダムの材料と比較し、それらの実績から判断すると、乾燥密度 $\gamma_d = 2.0 \text{ t/m}^3$ は十分得られると予想され、今回の試験密度とはほぼ同程度であり、 ϕ_{CD} は試験値41°の正接に1割の余裕を見込み、38°とした。

(4) コア材料については、今回は材料としての適否の判定、今後の方向の考察にとどまり、設計値を検討するまでに至っていない。

表-5.1 試験結果及び設計参考値

ゾ ー ン	材 質	試 験 値								設 計 参 考 値				備 考
		表 比	乾 重	含水率 (%)	密 度 (g/cm ³)	飽 和 率	飽 和 比	内部摩擦角 (°)	粘 着 力 (kg/cm ²)	乾 燥 密 度 (g/cm ³)	飽 和 比	表 比	乾 重	
ロ ッ ク	花崗岩 粒度A	2.758	0.77	2.128	2.135	0.30	47°46'	0.4	2.04	0.35	2.75	42°00'	0	飽 和
				1.948	1.954	0.42	41°00'	0						
				2.133	2.143	0.29	47°10'	0						
	花崗岩 粒度B			1.978	1.973	0.39	44°20'	0						
	阿 蘇 岩	2.173	10.3	1.655	1.688	0.31	44°00'	0.6			2.17	35°00'	0	
フィルタ	弱風化 花崗岩	2.589	1.03	2.038	2.042	0.27	41°00'	1.2	2.00	0.29	2.58	38°00'	0	

参 考 文 献

- 1) 土質工学会編「土質試験法」
- 2) 建設省技術研究会編「フィルダムの設計と施工に関する研究」第29回建設省技術研究会報告
1976. 11 pp. 549～560
- 3) Marsal, R. J. "Mechanical Properties of Rockfill" Embankment Dam Engineering, 1973 JOHN WILEY & SONS
- 4) 発電水力協会編「最新フィルダム工学」1972. 7
- 5) 山口, 大根「フィルダムの設計および施工」1973. 5