

——フィルダム不透水性材料として——

名 越 庸 雄* 岸 洋 一**

塑性のある細粒土は、一般に締固めによりしゅ水性を得ることが容易であるため、アースダムの材料として古くから用いられてきた。しかしながら、近年ではダムの型式の多くが中心コア型ロックフィルダムとなったこと、また施工機械が大型化されたことにより、フィルダムの不透水性土質材料として

- (1) 所要のしゅ水性が得られること
- (2) パイピングに対する抵抗性があること
- (3) 堤体の安定のため、せん断強さ、密度が大きいこと
- (4) ダムの安定に支障を及ぼすような膨張あるいは収縮のないこと
- (5) 施工性が良いこと
- (6) 間ゲキ圧の発生が少ないこと

細粒分を多く含む土は、水溶性の確保は容易であり、同時にパイピングに対する抵抗性もある。しかし、わが国では細粒土の多くは自然状態における含水比が締固めの最適含水比よりも高いため施工性が悪く、過剰間隙水圧の発生が見られる。また、せん断強さ、密度はともに小さく、圧縮性も大きい。このため、フィルダムの不透水性材料として適当とはいえない。

この報告においては、細粒土に粗粒土を混合することによる締固め特性、せん断強さ、透水性の変化についての実験結果について述べる。

試験は A ダムおよび B ダム近傍で、それぞれ採取した細粒土 (F_A , F_B) および粗粒土 (G_A , G_B) について行った。

混合は細粒土 (F) と粗粒土 (G) の乾燥重量比が $F:G$ を 10:0 から 0:10 の範囲で、A については 6 段階、B については 7 段階とした。

締固め試験は乾燥非繰返し法により、JIS 第 1 法により行った。

透水試験の実施に当たっては、直径 10 cm、体積 1000 cm³ の供試体を、最適含水比で締固め作製した。

また、すべての試験における許容最大粒径は、三軸圧縮試験の許容最大粒径にあわせて 19.1 mm とした。

F_A および G_A の混合土の基本的性質を表-1(a)に、 F_B および G_B の場合を表-1(b)に示す。また、A および B の混合率の異なる各試料の粒度組成を図-1(a), (b)にそれぞれ示す。A ではレキ率の範囲は 5~89 %, 細粒分含有率の範囲は 0~67 % である。B においては、レキ率、細粒分含有率はそれぞれ 1~62 %, 5~75 % である。A, B とともに、粗粒土混合率が増加するに伴い、塑性指数は低下する。これは混合した粗粒土に含まれた砂、シルトの影響で、液性限界、塑性限界試験に用いた 0.42 mm 以下

土木試験所月報 1980年1月 No. 320

表-1(a) A 試料の基本的性質

混 合 割 合 (F : G)	10 : 0	8 : 2	6 : 4	4 : 6	2 : 8	0 : 10
レキ分(2.0mm以上)含有率(%)	4.7	21.6	38.4	55.3	72.2	89.1
砂 分(74 μ ~2.0mm)含有率(%)	28.6	25.0	21.6	18.0	14.5	10.9
細 粒 分 (74 μ 以下)	37.7	30.4	23.0	14.7	7.3	
含有率(%)	66.7	53.4	40.0	26.7	13.3	0
シルト分(5~74 μ) 粘土分(5 μ 以下)	29.0	23.0	17.0	12.0	6.0	
60% 粒 径 D_{60} (mm)	0.065	0.13	1.30	4.6	7.0	8.7
30% 粒 径 D_{30} (mm)	0.006	0.015	0.05	0.12	2.2	4.0
10% 粒 径 D_{10} (mm)	—	—	0.0012	0.0028	0.05	1.7
均 等 係 数 $U_c = D_{60}/D_{10}$	—	—	1083	1643	140.0	5.1
曲率係数 $U_c = (D_{30})^2/(D_{10} \cdot D_{60})$	—	—	1.6	1.1	13.8	1.1
自 然 含 水 比 w_n (%)	55.1	—	—	—	—	—
液 性 限 界 w_L (%)	60.0	51.2	50.9	50.8	48.1	NP
塑 性 限 界 w_P (%)	36.6	33.6	34.6	36.7	34.9	〃
塑 性 指 数 I_P	23.4	17.6	16.3	14.1	13.2	—
日 本 統 一 土 質 分 類	VH ₁	VH ₁	GV	GV	GV	GP _a
土 質 名	火山灰質粘性土(I型)	火山灰質粘性土(I型)	火山灰質 火レ	火山灰質 火レ	火山灰質 火レ	均等粒度の レキ
比 重 G_s	2.69	2.71	2.73	2.76	2.78	2.80

表-1(b) B 試料の基本的性質

混 合 割 合 (F : G)	10 : 0	8 : 2	6 : 4	4 : 6	2 : 8	1 : 9	0 : 10
レキ分(2.0mm以上)含有率(%)	1.4	13.5	25.5	37.6	49.7	55.7	61.8
砂 分(74 μ ~2.0mm)含有率(%)	23.8	25.6	27.5	29.4	31.2	32.2	33.1
細 粒 分 (74 μ 以下)	32.8	28.9	21.0	15.0	8.1	5.1	2.7
含有率(%)	74.8	60.9	47.0	33.0	19.1	12.1	5.1
シルト分(5~74 μ) 粘土分(5 μ 以下)	42.0	32.0	26.0	18.0	11.0	7.0	2.4
60% 粒 径 D_{60} (mm)	0.04	0.08	0.34	1.6	3.8	5.0	5.70
30% 粒 径 D_{30} (mm)	0.002	0.004	0.008	0.06	0.30	0.8	1.28
10% 粒 径 D_{10} (mm)	—	—	—	0.0014	0.004	0.05	0.165
均 等 係 数 $U_c = D_{60}/D_{10}$	—	—	—	1143	950	100	34.6
曲率係数 $U_c = (D_{30})^2/(D_{10} \cdot D_{60})$	—	—	—	1.6	5.9	2.7	1.7
自 然 含 水 比 w_n (%)	61.30	—	—	—	—	—	26.07
液 性 限 界 w_L (%)	62.90	52.60	48.10	38.20	35.30	NP	NP
塑 性 限 界 w_P (%)	34.60	26.13	29.93	29.25	33.00	〃	〃
塑 性 指 数 I_P	28.30	26.47	18.17	8.95	2.30	—	—
日 本 統 一 土 質 分 類	CH	CH	SC	GC	GC	G-C	G-M
土 質 名	粘土	粘土	粘土質砂	粘土質 火レ	粘土質 火レ	粘土まじり レキ	シルト まじりレキ
比 重 G_s	2.79	2.75	2.72	2.68	2.64	2.62	2.61

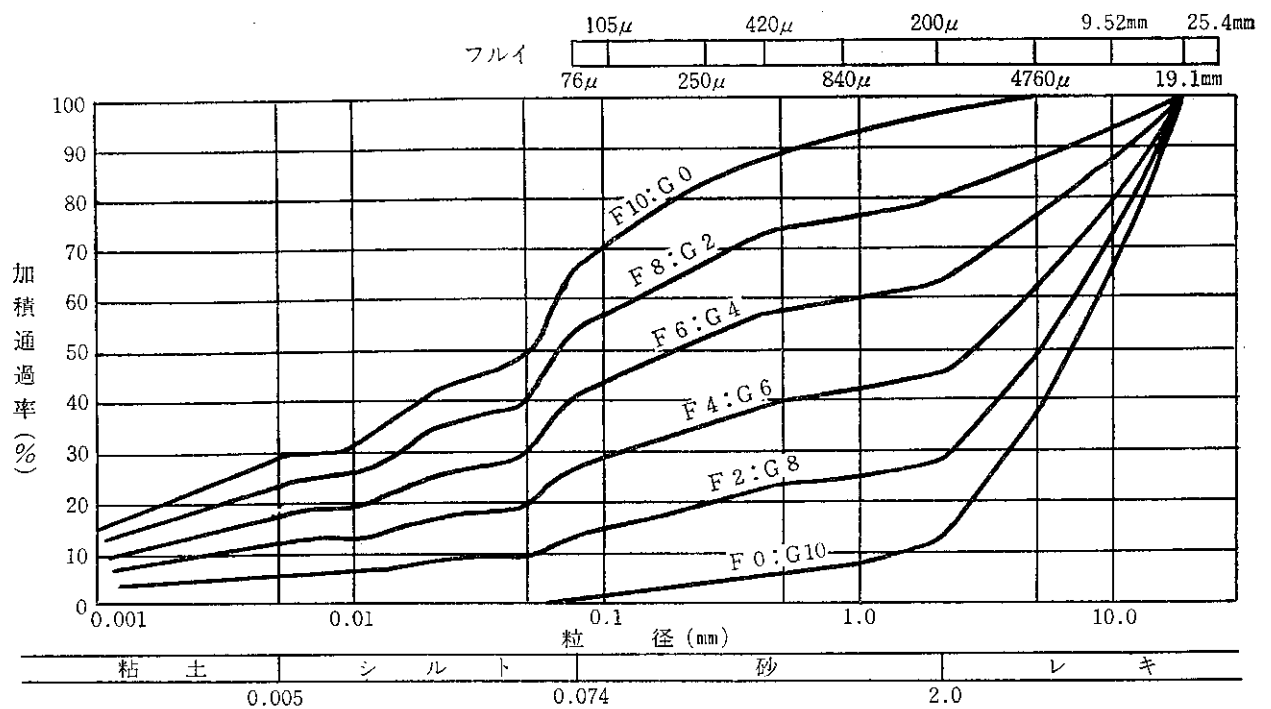


図-1(a) A 試料の粒径加積曲線

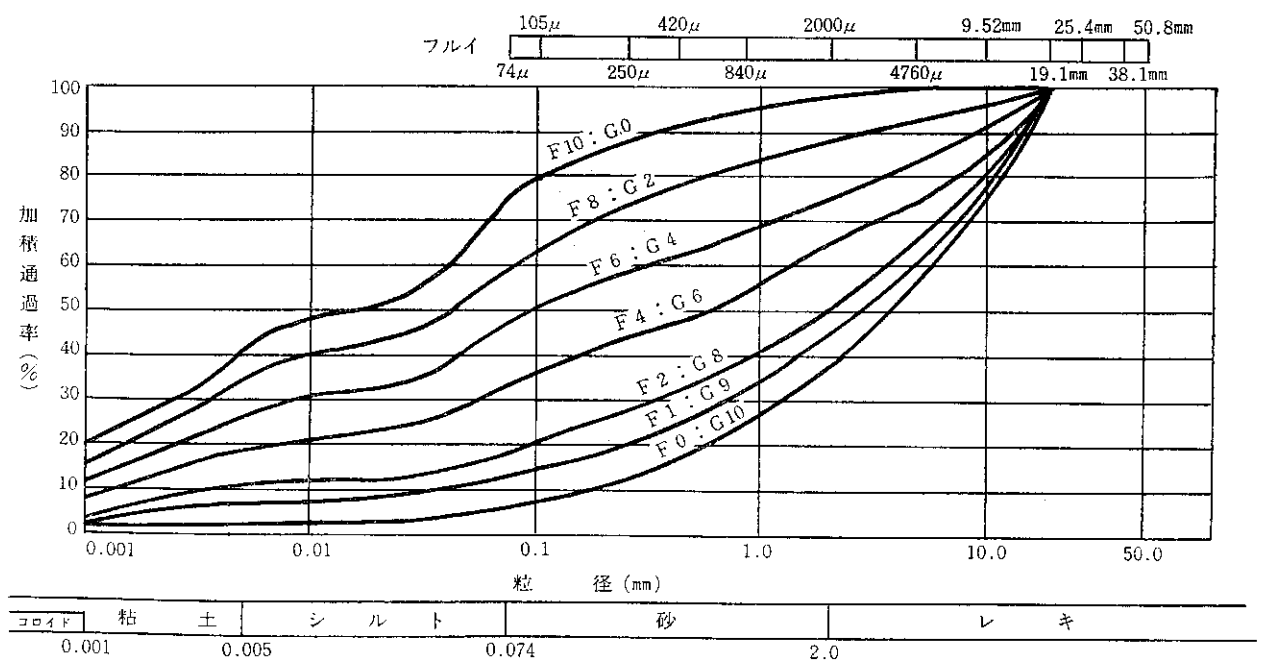


図-1(b) B 試料の粒径加積曲線

の部分粗粒化したことによるものである。

図-2(a), (b)に、A および B 試料の混合比別の締固め曲線を示す。いずれの場合も、粗粒土混合率の増加により、最適含水比の低下、最大乾燥密度の増大が見られる。図-3は最大乾燥密度 γ_{dmax} および最適含水比 w_{opt} と レキ

率 P の関係を示したものである。A, B の両試料の細粒分、粗粒分はそれぞれ基本的性質は異なるものであるが、同じレキ率では γ_{dmax} は 0.1g/cm^3 以下、 w_{opt} は 5% 以下の違いが見られる程度であり、混合後の粒度組成から明らかになるレキ率により、そのレキ率に対する

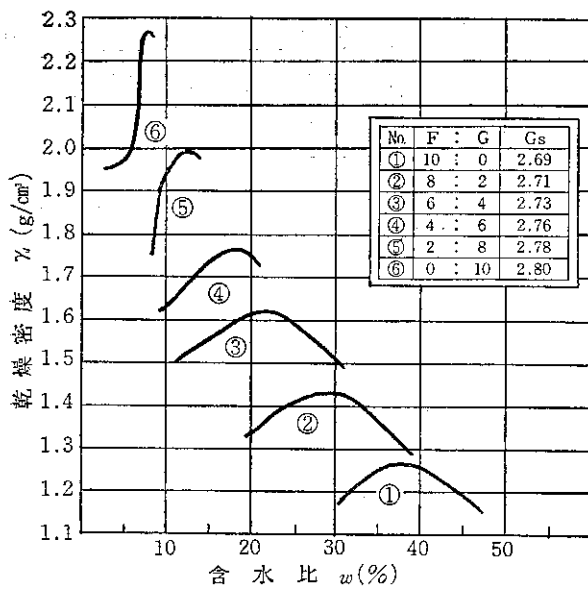


図-2(a) A 試料の締固め曲線

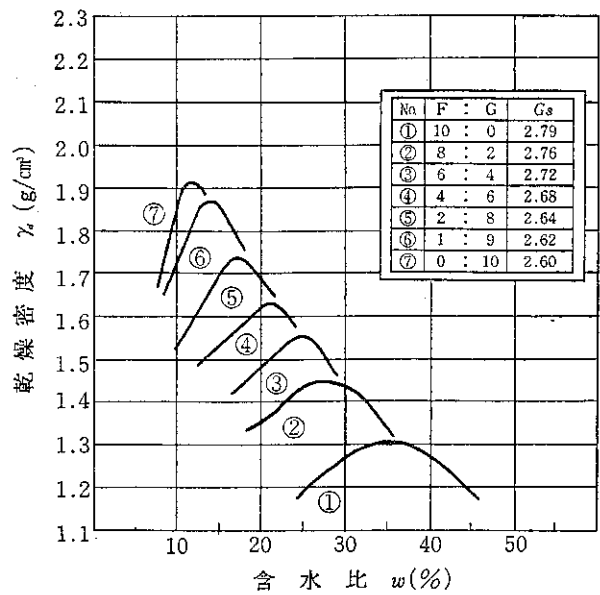


図-2(b) B 試料の締固め曲線

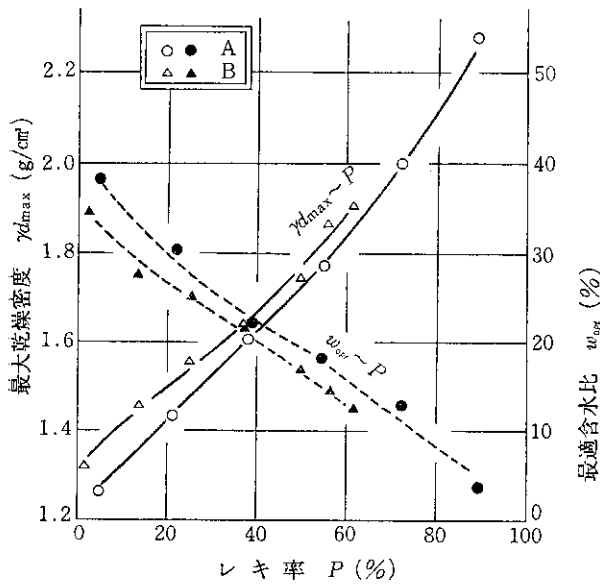


図-3 γ_{dmax} , $w_{opt} \sim P$

γ_{dmax} , w_{opt} が推定できることを示している。A, B 両試料ともに粒度分布は良いものであり、また、それぞれのレキの吸水率は A では 2%, B では 6% と、比較的良質のレキであることから、図-3 のような結果が得られたものと考えられる。

また締固め試験から得られた γ_{dmax} と w_{opt} の間には一般に次のような関係があるといわれる。

$$1/\gamma_{dmax} = a + bw_{opt}$$

この試験から得られた定数 a , b は、 $a=0.368$, $b=0.011$ であり、この数値は農林省フィルダム設計基準に

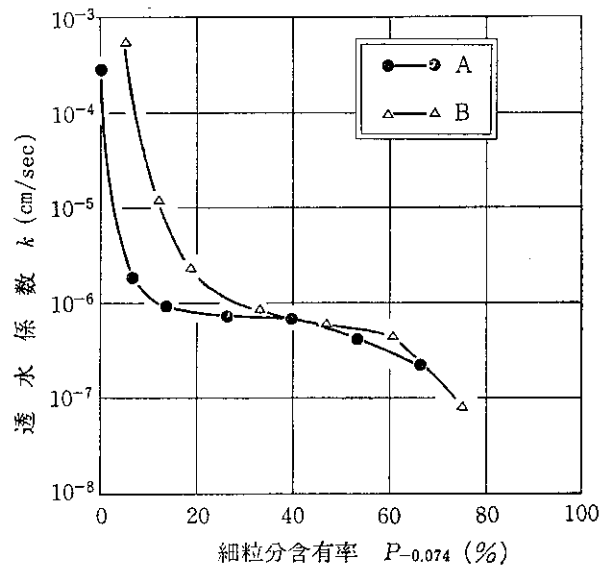


図-4 透水係数と細粒分含有率

示されている一般的なフィルダム土質材料における $a=0.36 \sim 0.40$, $b=0.010 \sim 0.013$, また、北海道でフィルダム土質材料として調査した火山性土の $a=0.40$, $b=0.011$ に比べ、大差なく細粒土にレキの混合を行っても締固め特性は特異なものにはならないことがうかがわれる。

次に、細粒土に粗粒土を混合したときの透水係数の変化であるが、図-4 に JIS 第 1 法による締固め試験の最適含水比状態における透水係数と細粒分含有率の関係を示す。A, B いずれの細粒土も塑性を有するものであり、

細粒土自身の透水係数は $2 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 以下である。これらの細粒土に粗粒土を混合すると透水係数は変化するが、Aの場合は15%以上、Bの場合は30%以上の細粒分含有率があれば、透水係数は $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 以下を保つ。A、Bともに、この細粒分含有率以上の細粒分を含む範囲での透水係数の変化はあまり見られず、細粒分含有率の増加に伴い、わずかに透水係数は低下する。Aの場合は15%以下、Bの場合は30%以下の細粒分含有率になると、透水係数は急激に増大し、粗粒土の性質を示すようになる。一般に10~20%以上の細粒分含有率があれば、フィルダム不透水性材料として適当な $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 以下の透水係数をもつといわれているが、Bの場合には、この範囲では細粒分含有率のわずかな変化により、透水係数は大幅に変化する。表-1に示すように、Bではこの範囲（混合率 $F:G=2:8 \sim 0:10$ ）の塑性指数はきわめて小さいが、Non Plasticとなっており、透水係数は細粒部分の土のコンシステンシーと関係があると思われる。

粗粒土の混合率と透水係数の関係からみると、塑性のある細粒分が20~30%含まれる範囲の粗粒土混合率であれば、混合土の透水係数はもとの細粒土の透水係数と大差ないと思われる。

次に、レキ混合割合の変化に伴うせん断特性の変化について述べる。図-5は細粒土とレキの混合比の変化に伴う、B試料の応力-ひずみの関係の変化を拘束圧 $\sigma_3=3 \text{kg/cm}^2$ の場合について示したものである。これによると、レキの混合比率が増加するに従って、主応力差の最大値は増加する。このとき、細粒土に対するレキの混入

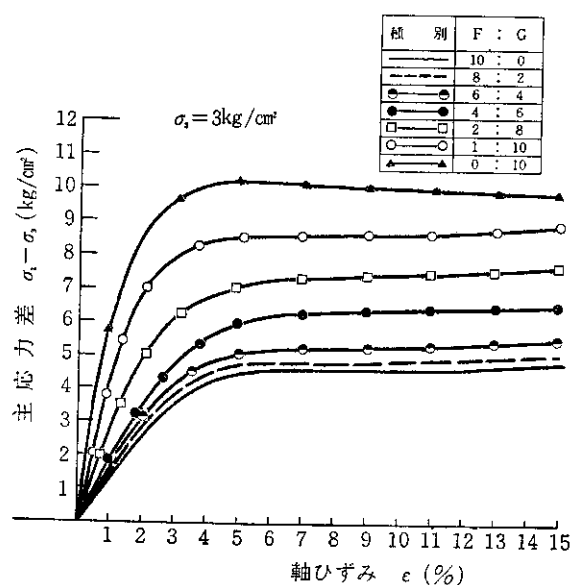


図-5 応力ひずみの関係

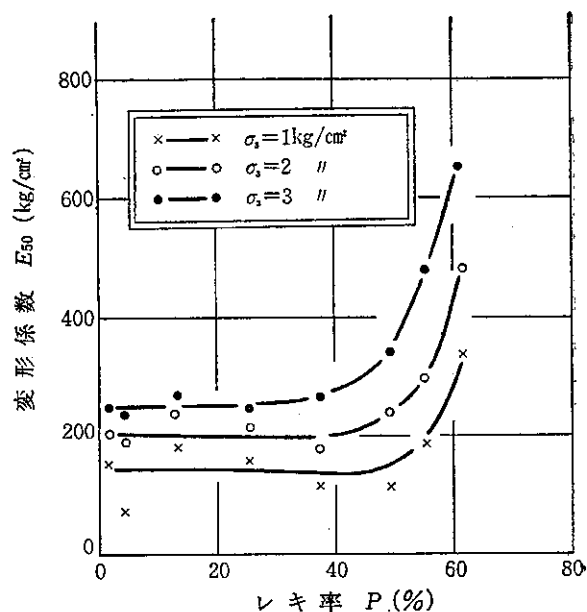


図-6 $E_{50} \sim P$

率が低ければ、最大主応力差はあまり違いがないが、レキの混入率が、細粒土より多くなると最大主応力差は顕著な増加を示す。また、最大主応力差を示す軸ひずみ（破壊ひずみ）は、レキの増加に伴い小さくなる。図-6は、応力-ひずみ曲線から求めた変形係数 E_{50} とレキ率 P の関係を示すものである。変形係数は拘束応力 σ_3 の増加により大きくなり、図-6にも同様なことが示されている。

図-6では、拘束圧が1~3 kg/cm^2 の範囲における細粒

表-2 レキ率とせん断定数

試料名	レキ率	$c'(\text{kg/cm}^2)$	$\phi'(\text{degree})$	$\tan \phi'$
A	4.7	0.741	26.0	0.479
	21.6	0.671	30.1	0.579
	38.4	0.660	31.3	0.605
	55.3	0.500	36.4	0.733
	72.2	0.433	38.1	0.782
	89.1	0.425	44.2	0.970
B	1.4	0.384	29.7	0.564
	13.5	0.323	30.1	0.579
	25.5	0.297	31.5	0.608
	37.6	0.183	35.4	0.707
	49.7	0.193	37.3	0.758
	55.7	0.190	39.0	0.810
	61.8	0.191	39.6	0.821

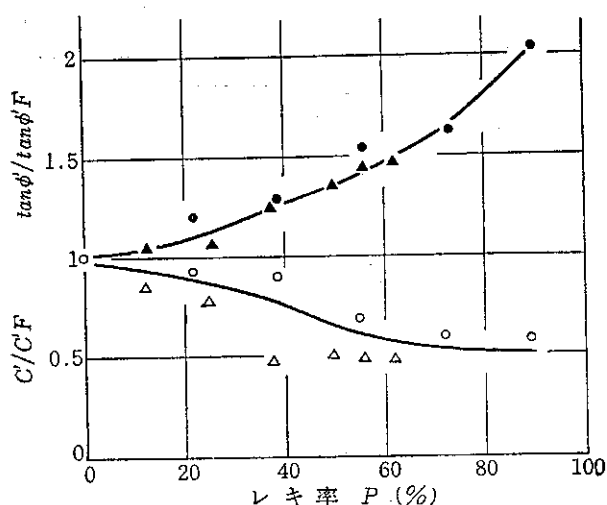


図-7 $\tan \phi' / \tan \phi'_F$, $c' / c'_F \sim P$

土の変形係数は $150 \sim 250 \text{ kg/cm}^2$ である。また、レキ率 40 % 以下の混合土の変形係数は、細粒土の変形係数と変わりはない。しかし、レキ率がさらに増加すると変形係数は急激に増加し、レキ率 60 % では $300 \sim 650 \text{ kg/cm}^2$ となる。このような結果から、レキ率 40 % 以下では粗粒土の混合の影響は見られない。

表-2 に A, B 各試料のレキ率とせん断定数を示す。表に示すように、レキ率の増加により見かけの粘着力 c' は小さくなるが、せん断抵抗角 ϕ' は大きくなる。

細粒土のせん断抵抗角を ϕ'_F 、見かけの粘着力を c'_F としたとき、それぞれのレキ率に対するせん断抵抗係数の比 $\tan \phi' / \tan \phi'_F$ 、見かけの粘着力の比 c' / c'_F とレキ率の関係を図-7 に示す。

この結果からは、レキ率 25 % 以下では $\tan \phi' / \tan \phi'_F \div 1$ であり、これ以上のレキ率では $\tan \phi' / \tan \phi'_F$ は 1 より大きくなる。また c' / c'_F は粗粒土の混合により 1 以下となり、レキ率が 40 ~ 50 % を越えると c' / c'_F はほぼ一定となる。これは、レキ率が 25 % 以下の範囲ではせん

断抵抗角 ϕ' は細粒土の ϕ' と変わらず、粗粒土の混合の影響はレキ率が 25 % を越えると現われること、見かけの粘着力 c' は粗粒土がわずかでも混合され、レキ率が増加すると変化し、レキ率が 40 ~ 50 % を越えると混合した粗粒土の c' を示すことを示している。

4 おわりに

細粒分含有率の高い土に、砂レキのような粗粒材料を混合することが、締固め特性、透水性、せん断特性などにどのような影響を及ぼすかについて実験を行った。この結果、次のような点が明らかになった。

(1) 締固めに関しては、粗粒土の混合による密度の増加量、最適含水比の低下量は、混合土のレキ率から推定が可能と思われる。

(2) 透水係数の点からは、不透水性材料では一般に細粒分含有率は 15 ~ 20 % が適当とされているが、混合土の場合には細粒分含有率を 20 ~ 30 % とすることが適当であろう。

(3) せん断強度の点からは、混合土のレキ率が 20 % 以上になるとせん断抵抗角の増加、見かけの粘着力の低下が見られるようになる。また、変形係数は混合土のレキ率が 40 % 以上になれば、レキの影響が現われるようになる。

以上の結果から、細粒土に粗粒土を混合することにより、フィルダムの不透水性材料とする場合、透水係数の増大を抑制しながら、締固め特性、強度特性を改良することは可能である。しかしながら、圧縮性、施工性などに粗粒材の混合が及ぼす影響については、今後検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 発電水力協会；最新フィルダム工学
- 2) 岸洋一；北海道の火山性土の工学的性質，農業土木学会大会講演会，昭和 50 年 6 月