

アースダム盛土に使用される粘性土の強度常数に関する実験的考察

九州電力 赤 司 六 哉
九州電力 山 本 繁 登
九州電力 財 津 忠 雄

1 まえおき

土質工学の発達につれて、フィルタイプダムの設計および施工に、画期的な諸検討が加えらるようになった。純粋なアースダムやロックフィルダムの不透水部については、水理学的安定と力学的安定の二つの立場から論ぜられているの物理状で、特に、締固め土の諸性質に因する各方面の研究は多岐なものがあり、堤体の模型実験にも大きな進展がみられるようになった。その例を、電源開発株式会社で企画された御母衣ダムなどに見ることもできる。

当報告は、アースダムの盛土に使用される土質材料について実施した一連の土質試験のうち、とくに締固め試験結果と三軸試験結果（乾燥密度とパラメーターにした飽和度と C' 、 ϕ' との関係）とに重点を置いて考察したものである。

2 粘性土の一般的な諸性質について

土質材料30種の試料について、自然含水比、真比重、アッターベルフ限界および粒度分析の諸試験を実施し、各種の分類を試みた。（第1表参照）この結果から、実験に供された土質材料は、真比重26～27程度の細粒土で、シルト質土または粘土質土であることが判明した。

なお、試料No.21, No.23, No.29の3種の粘性土については、その特性の一部を知る意味から、次に示すような仕様で、締固めの試験および透水試験を実施した。

第1表 土質材料の物理試験とその分類

試料番号	真比重	自然含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	液性指数	流動指数	塑性指数	土の粒度分析					土の分類			
								レキ分 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	均等係数	三角座標分類	粘性土分類	改良土分類	改良土分類
No.1	2.67	—	37.0	17.2	14.8	6.9	7.0	0	58.0	20.0	22.0	68.2	61.0	砂質、粘土ローム	CL	A-6
No.2	2.75	—	48.5	23.7	24.8	14.1	15.6	0	27.0	39.0	34.0	—	86.6	粘土 土	CL	A-7-6
No.3	2.64	—	38.0	25.5	13.0	2.8	1.2	0	44.0	29.2	26.8	—	29.8	粘土質ローム	ML	A-2-6
No.4	2.67	—	36.0	19.0	17.0	8.7	10.8	0	37.6	38.0	24.4	—	84.0	粘土質ローム	CL	A-6
No.5	2.67	—	32.1	20.4	11.7	9.2	3.4	0	57.5	22.0	20.5	—	47.5	砂質、粘土ローム	CL	A-6
No.6	2.68	—	44.1	21.3	22.8	9.6	6.3	0	15.8	48.2	36.0	—	43.7	粘土 土	CL	A-6
No.7	2.64	—	47.7	22.3	25.4	7.4	14.5	0	37.5	19.5	43.0	—	69.9	粘土 土	CL	A-6
No.8	2.67	—	32.5	23.8	8.7	6.3	4.3	0	64.0	25.5	10.5	2.3	54.5	砂質ローム	ML	A-6
No.9	2.70	—	41.6	20.3	21.3	13.9	18.6	0	57.0	21.0	22.0	—	55.3	砂質、粘土ローム	CL	A-7-6
No.10	2.80	—	45.0	26.6	18.4	23.1	12.4	0	29.0	39.0	32.0	—	79.9	粘土 土	OL	A-7-6
No.11	2.67	—	42.4	25.7	16.7	13.8	2.9	0	41.7	35.3	23.0	—	28.5	粘土質ローム	CL	A-2-6
No.12	2.65	—	35.0	16.7	18.3	9.8	3.2	0	62.5	20.5	17.0	—	22.0	砂質ローム	CL	A-2-6
No.13	2.64	—	46.6	18.0	28.6	7.0	16.8	0	30.0	37.0	33.0	—	86.0	粘土 土	CL	A-6
No.14	2.64	—	35.2	20.6	14.6	10.9	8.0	0	74.0	13.5	12.5	44.0	31.8	砂質ローム	CL	A-2
No.15	2.75	26.9	41.1	30.8	30.3	13.4	9.8	0	25.0	35.0	40.0	—	46.8	粘土 土	CH	A-6
No.16	2.78	21.4	67.2	25.0	32.2	17.0	3.2	0	40.5	32.5	27.0	—	32.4	粘土質ローム	CH	A-2-6
No.17	2.76	21.4	60.0	26.2	33.8	17.8	20.0	0	18.0	50.4	31.6	—	95.0	粘土 土	CH	A-7-6
No.18	2.69	14.7	39.7	16.3	23.4	12.9	5.2	0	74.0	14.8	11.2	35.0	13.1	砂質ローム	CL	A-2-6
No.19	2.64	16.6	(N)	(P)	()	()	()	0	88.8	5.2	6.0	3.7	6.8	砂	—	A-3
No.20	2.64	16.5	(N)	(P)	()	()	()	0	86.0	7.0	7.0	7.3	7.5	砂	—	A-3
No.21	2.69	19.8	39.6	28.0	11.6	10.8	8.8	0	51.0	41.0	9.0	8.0	93.4	砂質ローム	ML	A-6
No.22	2.75	17.5	48.2	24.4	23.8	9.9	15.7	0	38.0	41.0	21.0	35.0	95.1	粘土質ローム	CL	A-7-6
No.23	2.67	33.3	42.2	23.7	18.5	12.0	7.3	0	52.0	34.0	14.0	—	59.0	砂質ローム	CL	A-7-6
No.24	2.70	30.7	48.2	37.6	10.6	7.0	7.0	0	70.0	19.0	11.0	21.1	60.5	砂質ローム	OL	A-7-5
No.25	2.68	21.4	38.4	21.1	17.3	11.9	6.5	0	65.0	24.0	11.0	26.3	53.2	砂質ローム	CL	A-6
No.26	2.65	18.7	39.9	28.4	11.5	12.6	7.9	0	72.0	21.0	7.0	7.0	70.9	砂質ローム	ML	A-6
No.27	2.70	24.4	36.4	20.2	16.2	8.0	8.3	0	57.0	29.0	14.0	27.9	64.4	砂質ローム	CL	A-6
No.28	2.68	19.4	35.7	20.4	15.3	7.6	7.6	0	56.0	26.0	18.0	44.7	63.1	砂質ローム	CL	A-6
No.29	2.67	25.2	43.3	24.8	18.5	12.6	12.0	0	40.0	38.0	22.0	—	87.1	粘土質ローム	CL	A-7-6
No.30	2.73	28.8	43.8	19.6	24.2	13.3	14.3	0	35.0	60.0	5.0	5.8	98.2	シルト質ローム	CL	A-7-6

① 締固め仕事量の相違による最適含水比および最大乾燥密度の変化について。(第2表, 第1図, 第2図, 第3図参照)

② 標準締固め状態における, 含水比と透水係数との関係について。(第4図参照)

試験結果から, この粘性土については次のようなことが言えよう。

当粘性土は, ある仕事量に対する最適含水比の状態に, 自由に調節できるのであれば, 容易に高い乾燥密度を得ることができる。もし, 自然含水比が高い状態にあると, 仕事量を増加させることによる効果は, 十分に期待することのできない。しかし, 盛土材料として, $16\% \sim 17\%$ 程度の最大乾燥密度と $10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ の透水係数とは充分期待できるので, アースダム用土質材料として, 一定の基準に達しているものと見てよい。

3. 三軸圧縮試験による強度係数 C' , ϕ の考察

3.1 三軸圧縮試験の実施

土は, 乾燥密度を一定に保って, 飽和度 S の相違により, セン断強度係数 C' , ϕ に変化があると考えることができる。この推論(詳細は後述)の解明を行うため, 試料 No. 21, No. 23, No. 29 の三種の代表粘土について, 三軸圧縮試験を実施した。その試験方法ならびに諸仕様は, 次の各項に記述するとおりである。

(1) 試験方法

圧密非排水試験による有効応力の解析を実施し, C' および ϕ を求める。

(2) 側圧

圧密時側圧 σ_c はセン断時側圧時と同じ値をとり ($\sigma_c = \sigma_3$), $\times$ の標準値として, $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $15 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ を用いたが, この他, 再試験が要求される時には, $13 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $17 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $23 \text{ kg}/\text{cm}^2$ などの側圧も, 適宜に補足採用した。なお, 圧密促進のため, 側面排水ろ紙を供試体に巻付け, 圧密時間を約1~2時間に短縮することができた。

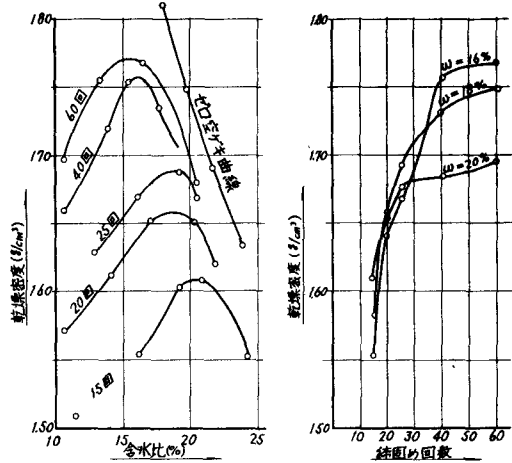
(3) 供試体の性状

供試体寸法: $\phi 50 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$

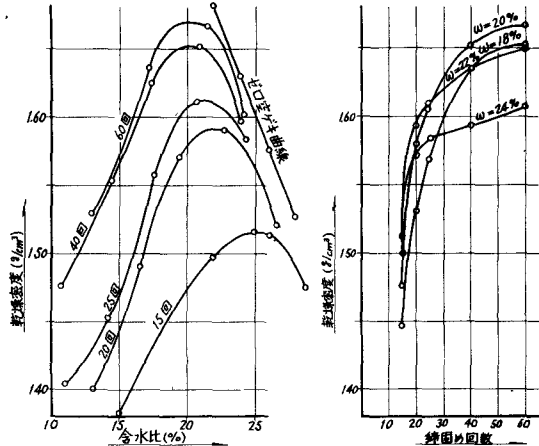
乾燥密度: 試料 No. 21 ($\gamma_d = 1.620, 1.550, 1.500 \text{ g}/\text{cm}^3$)

第2表 締固め方法・締固め仕事量

層数	締固め方法		締固め仕事量 ($\text{cm}^3 \cdot \text{kg}$)
	数	締固め回数	
3層	15回	回	3.375
3層	20回	回	4.500
3層	25回	回	5.625
3層	40回	回	9.000
3層	60回	回	13.500



第1図 No. 21 試料による締固め試験



第2図 No. 23 試料による締固め試験

乾燥密度 試料 NO.23

$$(\gamma_d = 1.570, 1.500, 1.450 \text{ g/cm}^3)$$

試料 NO.29

$$(\gamma_d = 1.640, 1.550, 1.480 \text{ g/cm}^3)$$

飽和度：各試料とも ($S = 100, 95, 90, 85, 75\%$) の5種類を標準とした。

(4) 供試体の作製

供試体は、所定の性状に一致するように、静的に締固めて作製した。なお、第5図は使用した小型モールドならびに作製状況の一部を示したものである。

① 各試料とも、48mmフルイでふるい分け、自然乾燥状態の含水比を測定する。

② まず、所定の乾燥密度および飽和度を導くに必要な、試料の作製含水比、湿润密度、添加水量を算出する。供試体作製の1日から2日前に、所定の水を加えてよく混合し、試料の調整を終る。なお、供試体作製に必要な諸数値の算出は、次の式を用いた。

$$w = S(G - \gamma_d) / G\gamma_d$$

$$\gamma_s = \gamma_d(1 + w/100)$$

$$W_w = W_s(w - w')$$

ここに

G = 試料土の真比重

w = 試料の作製含水比 (%)

w' = 試料の自然含水比 (%)

S = 試料の作製飽和度 (%)

γ_d = 試料の作製乾燥密度 (g/cm^3)

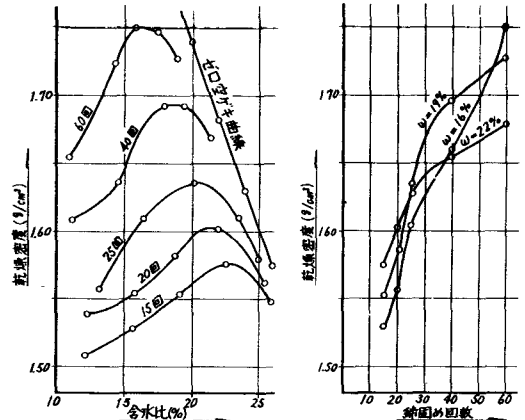
γ_s = 試料の作製湿润密度 (g/cm^3)

W_w = 試料調整時の添加水量 (g)

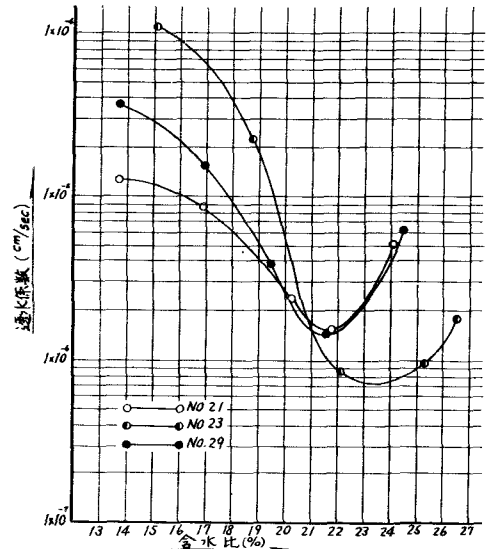
W_s = 試料の乾燥重量 (g)

③ 所定の供試体を作製するために必要重量だけ、すでに調整済みの試料を計りとり、小型モールドに軽く突きながら詰める。(第5図に参照)

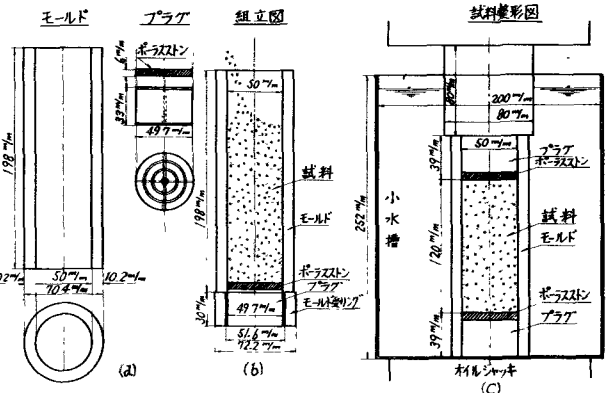
④ 上下のプラグを、圧縮機により



第3図 NO.29 試料による締固め試験



第4図 透水試験



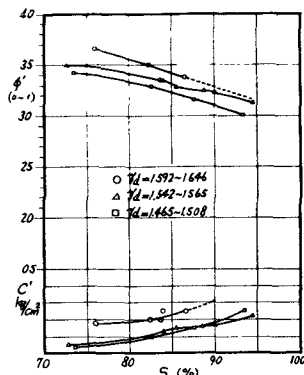
第5図 小型モールドおよび供試体作製状況

用定の位置まで手動で圧縮し、供試体を静的に締固める。ところが、締固めをねう場合、飽和度が90%以上のものになると、急速の圧縮を加えることによる間がキ水圧が供試体内に発生し、モールド外へ水の滲出が見られた。これに対処する一方法として、当実験では、第5図Cに示されるように、簡単な水中セリットを実施するとともに、発生する間がキ水圧を緩和する意味から、約1～2時間を静置して徐々に供試体を締固めた。しかし、この方法を用いても、所定の飽和度や乾燥密度を得るという点からは、満足な供試体を作製することができなかった。

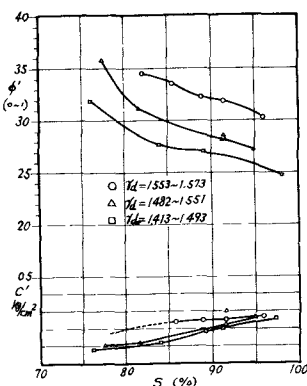
3.2 三軸圧縮試験結果と其の考察

第6図、第7図、第8図は、三軸試験結果をもとにして、乾燥密度 ρ_d をパラメーターにした、 S と C' 、 ϕ' との関係を図示したものである。この結果からみて、前記推論の数式的な説明はできなかったが、其の裏付けとなる資料としては、充分其の目的を果したものと考える。ちなみに、盛土用の土質材料については、それを代表すると考えられる数種の土をとりあげ、当実験程度のものを実施しておけば、特定の乾燥密度と飽和度の状態にある、固有の強度定数 C' 、 ϕ' を推定することが可能となる。盛土の実施設計および施工管理の前からみても、より正確を期することができようであろう。最後に、試験結果を統括してみると、次のとおりである。

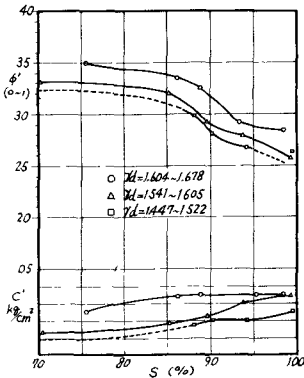
- ① 乾燥密度を一定に保てば、飽和度が大きくなるにつれて、内部摩擦角 ϕ' は比較的に急激に減少し、粘着力 C' は極めて緩慢ではあるが増大する。
- ② 飽和度を一定に保てば、内部摩擦角 ϕ' 、粘着力 C' ともに、乾燥密度に比例して相当大幅に増加する。
- ③ 各試料の内部摩擦角 ϕ' および粘着力 C' の増減割合は不定で、結局、粘性土において、 $S \sim C'$ 、 ϕ' 曲線の規則的形狀を推定することはできなかった。



第6図 No.21 試料 $S \sim C'$ 、 ϕ' 曲線



第7図 No.23 試料 $S \sim C'$ 、 ϕ' 曲線



第8図 No.29 試料 $S \sim C'$ 、 ϕ' 曲線