

흙댐의 密度變化에 의한 壓密沈下에 대한 研究

A study on the settlement of earth dam by the changes of the density

尹 忠 變*
Yoon, Choong sup

Summary

This study was carried out for the settlement and camber of earth dam by the changes of the density.

The testing material was taken five kinds of soil used as banking material and it was compacted by 100, 95, 90, 85 and 80% compaction degree.

The results of the settlement of earth dam whose height ranges from 10m to 50m are as follows.

1. The more the fine particle (n) increases, the higher the liquid limit (w_L) and the lower the dry density (r_d) becomes as follows;

$$r_d = 2.22 - 0.0052n \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$r_d = 2.394 - 0.0164w_L$$

$$r_d = 2.185 - (5.8n - 2.5w_L) \times 10^{-3}$$

2. The higher the optimum moisture content (w_0) becomes, the lower the density becomes as follows;

$$r_t = 2.68 - 0.028w_0$$

$$r_d = 2.578 - 0.04w_0$$

3. Most of the consolidation occurs immediately by loading and the more the fine particle increases, the lower the coefficient of consolidation becomes.
4. The more the fine particle increases and lower the compaction degree (D) becomes, the lower the pre-consolidation load (P_c) becomes but on the contrary the compression index (C_c) becomes higher. Those equation is as follows.

$$P_c = 3.32 - (4.3n - 3.0D) \times 10^{-2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$C_c = 0.41 + (1.33n - 4.44D) \times 10^{-3}$$

5. The more the consolidation load (P) increases, the lower the coefficient of volume change (m_v) becomes with $m_v = ap^{-b}$, the higher the consolidation ratio (u) becomes with $U = (0.6 \sim 1.35)P^{0.4}$
6. The more the fine particle (n) increases, the more the settlement of dam occurs with $U = an^b$ and 60~80% of the settlement occurs under construction.
7. The camber of dam has higher value in condition that has more fine particle, poorer compaction and higher height of dam. In the dam construction about twice value of table 7 is required for dam safety.

* 慶尙大學校 農科大學

I. 序 論

흙댐이나 防潮堤 및 河川堤防과 같은 土工構造物을 축조할 때는 力學的으로 安定性이 있고 工事費가 적게드는 經濟的인 施工이 되도록 技術的인 設計와 施工이 이루어져야 한다.

土工構造物의 安定性 檢討는 斜面崩壞, 壓密沈下 및 浸透水 등에 대해서 실시해야 하며, 이와 같은 安定性을 높이기 위해서는 築造部位에 알맞은 良質의 盛土材料를 선택하고 施工時에는 다짐을 잘하여 흙의 密度를 크게 해야 한다¹⁾.

이러한 다짐의 중요성으로 인해서 여러 종류의 다짐기계가 개발되고 있으므로 구조물 시공시에는 현장조건(특히 흙의 종류)에 알맞은 다짐기계를 선정하고 철저한 品質管理를 하지 않으면 안된다^{10,20,21)}.

土工構造物 施工을 위한 다짐의 學門的인 體系가 이루어진 것은 1926年代 후반기부터이고 1933년에 Procter에 의해서 다짐에 대한 기초적인 理論이 확립되었으며 이를 시험실의 標準다짐試驗方法으로 규정하고 있다^{14,5,16,12)}.

一般的으로 土工 구조물을 築造할 때는 標準다짐試驗方法으로 구한 最大乾燥密度($r_{d,max}$)를 기준으로 하여 다짐의 基準를 정하고 있으며 현재 우리나라에서 사용하고 있는 흙댐의 코어부에 대한 다짐율(D)은 4번체(4.76mm) 통과율이 75% 이상되는 흙에 대하여 댐높이 15m 이하에서는 95% 그리고 15m 이상에서는 98%로 규정하고 있으며 盛土部位에 대해서는 92~95%로 규정하고 있다^{9,15,10)}.

흙의 다짐의 효과를 높이기 위하여 1946년에 美國 Ohio州 道路局에서는 Sheeps foot Roller와 振動 Roller에 대한 現場試驗을 기초로 하여 다짐의 규정을 정하였으며 우리나라에서도 1975년에 蔡⁹⁾이 沼陽江댐과 安東댐에서 實施한 試驗結果를 발표한 바 있으며 또 尹^{17,19)}은 1973~1976年 사이에 축조된 榮山江 4個댐에서 실시한 코어부와 透水性部의 現場다짐試驗結果를 分析研究하여 土質種類 및 Roller 種類에 따른 盛土두께 및 다짐回數를 발표하였다. 흙댐과 같은 土工構造物의 壓密沈下量은 흙의 種類(粒度和 含水比), 施工方法(다짐방법, 성토두께, 다짐율) 및 施工期間(空隙水壓의 消散) 등에 따라서 施工後에도 발생하므로 댐이나 堤防을 築造할 때는 余盛土를 하지 않으면 안된다^{2,7,13,14,16)}.

흙댐의 余盛土 높이는, 基礎地盤이 연약한 경우에

는 이 연약지반의 壓密沈下量과 댐 자체의 壓密沈下量을 합하여 결정해야 하며, 기초지반이 良好한 댐에서는 盛土의 總壓密沈下量에서 工事中的의 沈下量을 뺀 量, 即 工事完了後에 생기는 沈下量만으로 定한다.

댐의 壓密沈下量은 다짐이 잘되고 성토재료가 粗粒材料일수록 적게 일어나며 含水比가 最適含水比보다 적은 狀態에서 施工하고 工事期間이 긴 경우에는 空隙水壓의 消散이 커서 工事完了後의 余盛土量은 적어진다^{1,8,11,13)}.

1954년에 Gould는 美國 內務省 開拓局에서 施工한 20개 以上の 주요 fill dam에 대해서 구한 댐의 壓縮率을 발표하였는데 70t/m²의 有效應力이 作用할 때의 壓縮率은 흙의 種類에 따라서 0.9~4.2%가 된다고 하였으며⁹⁾ 1976년에 발표한 日本大댐위원회 的 設計基準를 보면 기초지반이 양호한 경우, 댐의 余盛土 높이는 3.2%가 되는 경우도 있다²⁾.

그리고 1976년에 完成된 長城댐에서 尹¹⁹⁾은 댐높이(터파기면으로부터의 높이) 42m에 약 50cm의 여성토를 설계함으로써 댐높이의 약 1.2%의 여성토를 두었다. 일반적으로 댐의 여성토는 댐높이의 1~2%가 많으며 순수한 흙댐에서는 3~5%를 두는 경우도 있으나 다짐을 철저히 하면 1% 정도로도 가능하다^{2,15)}.

그러나 아직도 대부분의 작은 댐이나 방조제, 河川堤防 等에서는 다짐不良으로 많은 壓密沈下가 일어나고 있으나 이에 대한 精確한 여성토를 하고 있지 않는 실정이다. 그러므로 本 研究에서는 흙댐의 다짐정도에 따라 密度가 變할 때 생기는 성토의 壓密沈下狀態를 조사하여 댐의 適正余盛土量을 구하고 댐의 安定性을 높이고자 한다. 이를 위하여 시험에 사용한 흙 재료는 細粒土에서 粗粒土까지의 5種을 選定하였으며 이들 흙에 대하여 밀도를 5種類(다짐율 80~100%)로 변화시켜서 댐높이 10~50m에 대한 압밀침하상태를 시험분석하고 댐의 余盛土量을 구하였다.

II. 흙댐의 余盛土 및 壓密沈下量 計算

흙댐의 余盛土 높이는 댐 完工後의 壓密沈下量으로서 다음과 같은 經驗式을 利用하여 求할 수 있다^{7,9)}.

$$\Delta H = 0.001 \cdot H^{3/2} \dots\dots\dots (1)$$

흙댐의 密度變化에 의한 壓密沈下에 대한 研究

$$\Delta H = k \cdot H^2 \times 10^{-5} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 H : 댐의 높이(m)

k : 경수로 0.1~0.7

그러나 보다 정확한 方法은 壓密試驗結果에 근거를 둔 다음 式에 의해서 推定할 수 있다.

$$\Delta H = \frac{W \cdot H_b^2}{2E} + \frac{W \cdot H_a \cdot H_b}{E} \times A \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta H_1 = \frac{1}{2E} \cdot W \cdot H_b^2 \times A \dots\dots\dots (4)$$

但 $E = \frac{P_m}{S}$, $A = 1 - \frac{S_p}{S}$

여기서 ΔH : 任意的 點에서 沈下量(m)

ΔH_1 : 댐마루부($H_a=0$)의 沈下量(m)

H_a : 任意點보다 윗부분의 盛土高(m)

H_b : 任意點보다 아래의 盛土高(m)

E : 荷重-沈下率曲線에서 求하는 沈下係數

A : 空隙水の 消散과 관계되는 壓密沈下率

P_m : 作用荷重(t/m²)

S : 全沈下量(m)

S_p : 先行荷重(P_c)에 대한 沈下量(m)

댐의 壓密沈下量 公式(式 3 및 4)의 沈下係數(E)는 有效應力(壓密荷重)-壓密度曲線으로부터 구하엿으며 壓密度(u)는 式 5로 계산하였다.

$$u = \frac{e_0 - e_m}{1 + e_0} \times 100(\%) \dots\dots\dots (5)$$

여기서 e_0 : 初期 空隙比

e_m : 荷重 P_m 때의 空隙比

또, 壓密量을 容積變化率(m_v)을 이용하여 구하거나 上載荷重(P_o)이 先行荷重(P_c)보다 큰 경우에는 다음 式을 이용하여 구할 수 있다.

$$S = \frac{C_c}{1 + e} \cdot H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c} \text{ (m)} \dots\dots\dots (6)$$

그러나 다짐성토의 경우는 성토가 過壓密되어 있는 상태이므로 다음과 같이 先行荷重(P_c)를 사용하여 計算해야 한다.

$$S = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c} \text{ (m)} \dots\dots\dots (7)$$

III. 材料 및 試驗

1. 使用材料

本 試驗에 使用한 흙 材料는 댐이나 堤防築造에 많이 使用되는 無機質 흙 材料로서 4번체(4.46mm)를 전부 통과하고 細粒材(74 μ 以下)의 含有量이 78.58%, 64.84%, 51.04%인 3개의 細粒土와 細粒材가 34.42%, 19.22% 混合된 2個의 粗粒土로서 粒度 曲線은 Fig. 1과 같다. 그리고 이들 재료의 物理性 試驗結果 및 標準다짐試驗結果는 Table-1과 같다.

2. 壓密試驗

壓密試驗에 使用한 試料는 Table-1의 5個 試料를

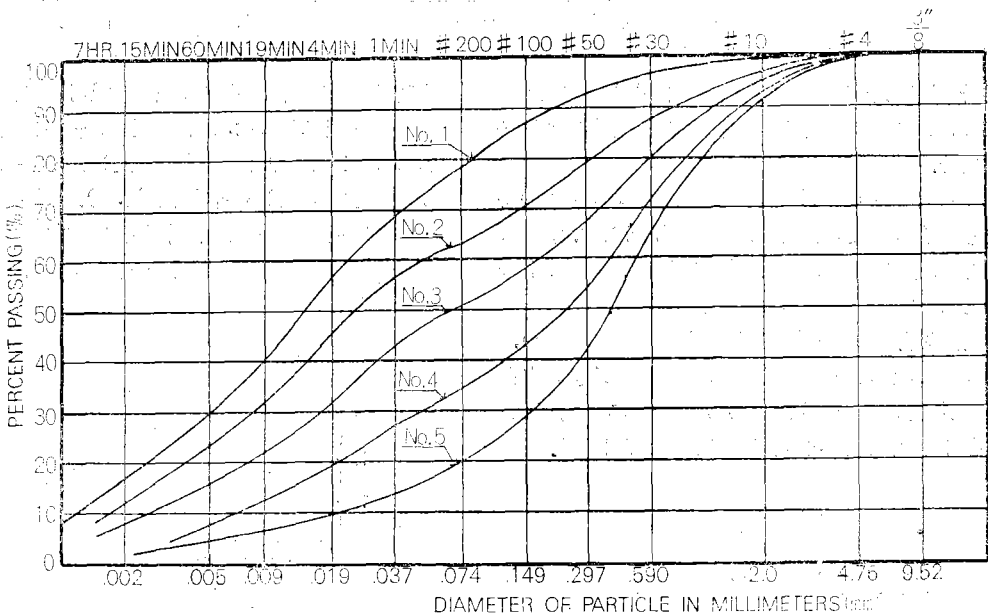


Fig. 1. Gradation curve

Table-1. Soil Properties

properties		Sample	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Specific gravity			2.60	2.61	2.63	2.67	2.70
Gradation analysis	Sand(>74 μ)(%)		21.4	35.2	48.9	65.6	80.8
	Silt and clay(<74 μ)(%)		78.6	64.8	51.1	34.4	19.2
	Silt(5 μ ~74 μ)(%)		50.6	40.8	35.1	26.4	15.2
	Clay(<5 μ)(%)		28.0	24.0	16.0	8.0	4.0
Consistency	Liquid limit(%)		35.1	31.6	25.8	21.7	17.6
	Plastic limit(%)		23.6	21.5	17.4	14.9	N.P
	Plastic index(%)		11.5	10.1	8.4	6.8	N.P
Classification			CL	CL	CL	SC-SM	SM
Compaction test	Max dry density(gr/cm ³)		1.823	1.880	1.951	2.035	2.124
	Opt. misture content(%)		18.4	17.1	15.5	13.2	11.3
	Max. wet density(gr/cm ³)		2.158	2.201	2.253	2.304	2.364
Consolidation test	Misture content(%)		18.4	17.1	15.5	13.2	11.3
	D=100% dry density(gr/cm ³)		1.823	1.880	1.951	2.035	2.124
	D=100% wet density(gr/cm ³)		2.158	2.201	2.253	2.304	2.364
	D=95% wet density(gr/cm ³)		2.050	2.091	2.140	2.189	2.246
	D=90% wet density(gr/cm ³)		1.942	1.981	2.028	2.074	2.128
	D=85% wet density(gr/cm ³)		1.834	1.871	1.915	1.958	2.009
	D=80% wet density(gr/cm ³)		1.726	1.761	1.802	1.843	1.891

각각 다른 5種의 密度(最大密度에 대하여 100%, 95%, 90%, 85% 및 80% 다짐)로 만들어서 試驗을 하였다.

壓密試驗은 標準壓密試驗機(D=6cm, H=2cm)를 사용하였고 壓密荷重은 0.1kg/cm², 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8kg/cm²의 8段階로 加했으며 各荷重別 壓密計算은 \sqrt{t} 法을 적용하였다.

壓密試驗結果로부터 各荷重에 대한 空隙比(e), 90% 壓密에 要하는 시간(t_{90}), 壓密係數(c_v), 容積變化率(m_v) 및 一次壓密比(r_p)를 구하고 空隙比를 이용하여 有效應力에 대한 壓縮率을 구하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 흙의 粒度和 軟硬度 및 密度

盛土材料는 一般的으로 細粒材의 含有量에 따라

軟硬度和 密度가 많이 變하여 200번체 통과율(n)이 많을수록 밀도는 Fig. 2와 같이 작아지며 液性限界(w_L)가 큰 흙일수록 乾燥密度(γ_d)는 ($\gamma_d = 2.394 - 0.0164w_L$ 의 관계) 작아진다(Fig. 3). 이러한 관계는 1976년에 尹¹⁹⁾이 흙의 다짐과 Consistency에 관한 연구결과와 同一한 현상을 나타내고 있다. 그리

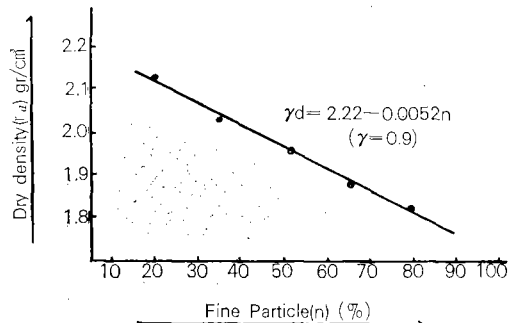


Fig. 2. Relationship between n and r_d

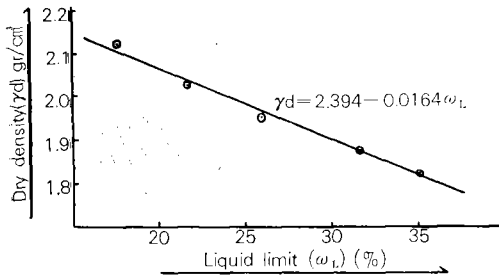


Fig. 3. Relationship between w_L and r_d

고 200번체 통과율과 液性限界로부터 乾燥密度(r_d)는 다음 式으로 구할 수 있다.

$$r_d = 2.185 - (5.8n - 2.5w_L) \times 10^{-3} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots (8)$$

2. 흙의 最適含水比와 다짐密度

흙의 最適含水比와 다짐密度는 密接한 관계가 있으며 最適含水比(w_o)가 클수록 밀도는 Fig.4와 같이 작아진다.

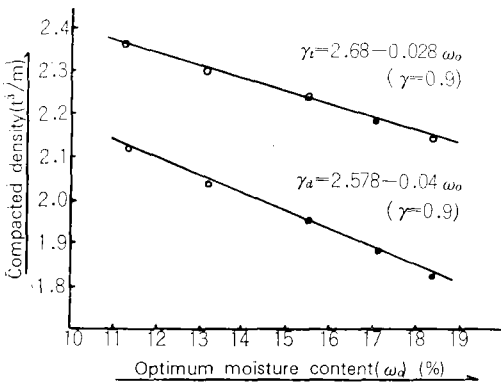


Fig. 4. Relationship between w_o and r_d

Fig. 4에서 濕潤密度(r_s)는 $r_s = 2.68 - 0.028w_o$ 의 관계로, 그리고 乾燥密度(r_d)는 $r_d = 2.578 - 0.04w_o$ 의 관계로 最適含水比의 반비례해서 直線的으로 감소하고 있으며 이러한 결과는 尹¹⁷⁾의 관계식 $r_d = 2.04 - 0.037w_o$ 과 거의 같으며 姜⁴⁾의 연구에서 $r_d = 2.23 - 0.028w_o$ 의 관계식과 비슷한 變化를 나타내고 있다.

3. 흙의 粒度, 다짐率 및 壓密時間

壓密試驗에서 흙이 90% 壓密되는데 要하는 時間(t_{90})은 21.6~31.9sec로서 載荷初期에 대부분의 압

밀이 일어나지만 細粒材가 많을수록 다소 길게 된다. 그리고 細粒土는 다짐율이 클수록 압밀량은 적지만 압밀시간(t_{90})은 다소 길어지는데 이는 세립재가 많고 다짐율이 좋을수록 투수계수가 작기 때문으로 생각된다. 그러나 細粒材가 50% 미만인 粗粒土에서는 다짐율에 관계없이 하중을 加함과 동시에 대부분의 압밀이 일어남을 알 수 있다. 그리고 각 試料別 平均 壓密係數(C_c)는 Table-2와 같다.

Table-2. Coefficient of consolidation(C_c) ($\times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{sec}$)

Sample	n(%)	D(%)					mean
		100	95	90	85	80	
No. 1	78.58	2.56	2.69	2.97	3.05	3.35	2.92
No. 2	64.84	3.02	3.17	3.21	3.25	3.35	3.20
No. 3	51.06	3.23	3.44	3.58	3.68	3.63	3.51
No. 4	34.42	3.82	3.79	3.76	3.75	3.72	3.77
No. 5	19.02	3.84	3.82	3.80	3.79	3.77	3.80

Table-2에서 보면 壓密係數(0.026~0.038)는 細粒材가 많을수록 작아지며 細粒土에서는 다짐율이 작아질수록 압밀계수가 커지나 粗粒土에서는 오히려 반대현상이 일어나고 있다. 이러한 현상은 細粒土는 다짐율이 클수록 압밀계수가 작지만 粗粒土에서는 다짐율에 관계없이 90% 압밀이 초기에 일어난다.

4. 先行荷重 및 壓縮指數

어떤 盛土層의 先行荷重(다짐하중)이 그 盛土層 위에 작용하는 흙의 하중보다 크면 이 土層은 壓密이 안일어난다고 볼 수 있다.

Table-3. Pre-consolidation load(P_c) kg/cm^2

Sample	n(%)	D(%)				
		100	95	90	85	80
No. 1	78.58	2.07	1.65	1.26	1.17	1.07
No. 2	64.84	2.42	2.20	2.04	1.80	1.52
No. 3	51.06	3.30	2.95	2.69	2.45	2.10
No. 4	34.42	5.00	3.40	2.96	2.75	2.35
No. 5	19.02	6.50	4.34	3.54	3.05	2.60

$$P_c = -3.32 - (4.3n - 9.0D) \times 10^{-2} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (9)$$

Table-3 및 式 (9)은 試料別, 다짐율 변화에 따른 先行荷重을 표시한 것으로서 鬼塚⁸⁾의 연구 결과와 같이 다짐율이 감소할수록 선형하중이 작아짐을 알 수 있다. 그리고 세립재가 50% 미만인 粗粒土는 細粒土보다 선형하중이 커서 95% 이상 다짐시 댄높이가 20m까지는 압밀침하는 별로 안일어 난다.

또한 先行荷重보다 큰 荷重이 作用할 때의 壓密沈下量計算에 필요한 壓縮指數(C_c)는 Table-4 및 式 (10)과 같이 細粒材가 많고 다짐율이 작을수록 커져서 100% 다짐시에 비해서 90%로 다짐 경우에는 압축지수가 2~3배 커짐을 알 수 있다.

Table-4. Compression index(C_c)

Sample	$n(\%)$	$D(\%)$				
		100	95	90	85	80
No. 1	78.58	0.063	0.087	0.103	0.142	0.169
No. 2	64.84	0.036	0.076	0.099	0.124	0.158
No. 3	51.06	0.033	0.056	0.080	0.111	0.134
No. 4	34.42	0.017	0.032	0.049	0.069	0.079
No. 5	19.02	0.013	0.023	0.040	0.050	0.066

$$C_c = 0.41 + (1.33n - 4.44D) \times 10^{-3} \dots\dots (10)$$

5. 容積變化率 및 壓密率

Fig. 5는 다짐율이 90%인 경우에 壓密荷重(P)과 容積變化率(m_v)의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 荷重이 증가됨에 따라 容積變化율은 $m_v = a \cdot p^{-b}$ 의 관계로 감소되며 관계식에서 $b = 0.66 \sim 0.7$ 로써 荷重이 10배 증가되면 용적변화율은 1/4.5~1/5로 감소되고 세립재가 적을수록 용적변화율은 감소됨을

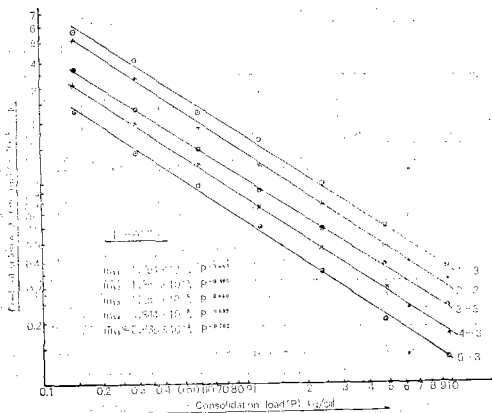


Fig. 5. Relationship between P and m_v

알 수 있다.

그리고 有效應力(E)이 16~120t/m² 작용할 때의 壓密度(u)는 Fig. 6과 같다.

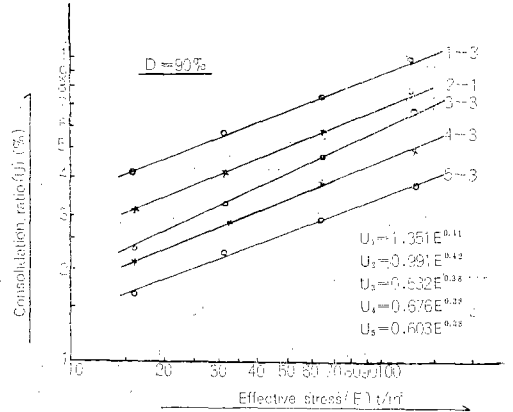


Fig. 6. Relationship between E and u when compaction degree is 90%

Fig. 6에서 댄이 높아서 유효응력이 클수록 壓密度는 $u = (0.6 \sim 1.3)E^{0.4}$ 의 관계로 증가되며 荷重이 10배 증가되면 沈下率は 약 2.5배 증가된다. 이러한 현상은 J.P. Gould가 그의 연구에서 有效應력과 壓縮量의 관계를 兩對數用紙에서 直線으로 나타낸 것과 같은 현상이다.

또한 壓密度는 다짐율(D)이 나쁠수록 Fig. 7과 같이 $u = a - bD$ 의 관계로 증가되어 有效應력이 32t/m²인 경우에 細粒土는 다짐율이 5% 적어지면 壓密度는 약 0.8%씩, 그리고 粗粒土는 0.35%씩 增加됨을 알 수 있다.

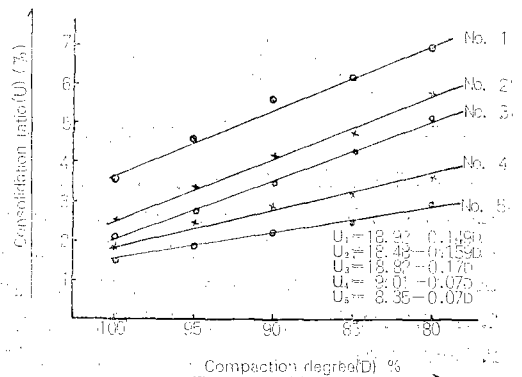


Fig. 7. Relationship between D and u when effective stress is 32t/m²

6. 一次壓密比

Rao¹¹⁾는 그의 연구에서 댄 築造中の 壓密은 一次

壓密로 생각하고 工事完了後의 沈下는 二次壓密로 나타낼 수 있으며 이는 다짐율과 土粒子에 영향이 크다고 하였다.

Table-5는 시료별 다짐율 변화에 의한 一次壓密比의 평균값을, 그리고 Fig. 8은 細粒材含有量에 의한 각시료의 평균 一次壓密比의 값을 나타낸 것이다.

Table-5. Primary Compression ratio (r_p)

Sample	D(%)						
	n (%)	100	95	90	85	80	mean
No. 1	78.58	0.481	0.472	0.499	0.553	0.559	0.513
No. 2	64.84	0.599	0.584	0.618	0.605	0.582	0.597
No. 3	51.06	0.623	0.633	0.670	0.631	0.604	0.632
No. 4	34.42	0.643	0.664	0.673	0.670	0.649	0.660
No. 5	19.02	0.689	0.694	0.692	0.697	0.694	0.693

Table-5와 Fig. 8에서 다짐율이 적을수록, 그리고 細粒材가 많은 흙일수록 一次壓密比는 커지며 그 값은, 細粒材는 약 0.5, 粗粒材는 약 0.7로서 댐시공시에는 粗粒土 일수록 壓密沈下의 대부분이 시공중에 일어남을 알 수 있다.

7. 댐높이와 沈下率

댐높이를 10, 20, 30, 40, 50m로 축조했을 경우

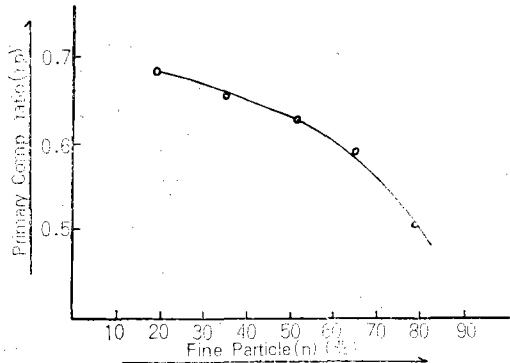


Fig. 8. Relationship between n and r_p

의 總沈下量(S_1)과 댐높이에 대한 總沈下率(U_1)을 구하고 工事完了後의 沈下量(S_2)과 沈下率(U_2)은 부록의 Table-6과 같다.

이 결과로부터 다짐이 잘되고 粗粒材가 많을수록 댐의 沈下率은 작아서 粗粒土를 100% 다질 경우에는 댐 完了後의 沈下는 거의 없음을 알 수 있다.

Fig. 9는 댐높이가 30m인 경우 粒度狀態에 따른 總沈下率과 댐 完了後의 沈下率을 나타낸 것으로 細粒材(n)가 많을수록 침하율(U_2)은 $U_2 = a \cdot n^b$ 의 관계로 증가되어 粗粒土 일수록 댐 完了後의 沈下量은 작으며 沈下量의 대부분(60~80%)은 工事中에 일어난다.

Table-6. Settlement after completed dam

Sample	Settlement D(%)	H(m)									
		10		20		30		40		50	
		S_2	U_2	S_2	U_2	S_2	U_2	S_2	U_2	S_2	U_2
No. 1	100	cm 2.80	% 0.28	cm 7.61	% 0.48	cm 21.02	% 0.70	cm 34.40	% 0.86	cm 49.52	% 0.99
	95	4.20	0.42	13.68	0.68	27.43	0.91	43.11	1.08	62.01	1.20
	90	5.59	0.56	17.20	0.86	32.80	1.09	51.33	1.28	70.23	1.40
	85	6.90	0.69	20.20	1.01	37.43	1.25	57.73	1.44	80.05	1.60
	80	8.09	0.81	22.70	1.14	40.91	1.36	63.24	1.58	90.05	1.80
No. 2	100	0	0.06	3.17	0.16	7.42	0.25	14.46	0.36	24.58	0.49
	95	1.40	0.14	5.30	0.27	12.60	0.42	22.96	0.57	34.44	0.69
	90	2.21	0.22	6.89	0.34	15.44	0.51	27.22	0.68	44.03	0.88
	85	3.04	0.30	9.13	0.46	19.13	0.64	34.25	0.86	53.33	1.10
	80	4.20	0.42	12.02	0.60	25.14	0.84	44.78	1.12	67.46	1.35

No. 3	100	0	0	0.98	0.05	2.96	0.10	5.80	0.15	10.39	0.21
	95	0.70	0.07	3.20	0.16	7.21	0.24	13.59	0.36	23.02	0.46
	90	1.40	0.14	4.84	0.24	10.56	0.35	19.20	0.48	31.08	0.62
	85	1.81	0.18	6.42	0.32	14.44	0.48	26.04	0.65	43.12	0.86
	80	2.64	0.26	9.25	0.46	19.52	0.65	34.48	0.86	52.56	1.05
No. 4	100	0	0	0.42	0.02	1.33	0.04	2.52	0.06	4.59	0.09
	95	0	0	1.37	0.07	4.23	0.14	8.57	0.21	13.61	0.27
	90	0.96	0.10	2.94	0.15	6.99	0.23	13.11	0.33	20.67	0.41
	85	1.04	0.10	3.51	0.18	9.13	0.31	17.92	0.45	29.94	0.60
	80	1.54	0.15	6.73	0.34	14.59	0.49	25.15	0.63	38.81	0.78
No. 5	100	0	0	0	0	0.44	0.01	1.16	0.03	2.65	0.05
	95	0	0	0.99	0.04	2.35	0.08	4.21	0.11	8.82	0.14
	90	0.72	0.07	2.30	0.12	5.18	0.17	9.66	0.24	14.79	0.30
	85	0.90	0.09	2.58	0.13	7.88	0.26	13.48	0.34	20.50	0.41
	80	1.21	0.12	4.51	0.23	9.31	0.31	16.31	0.41	29.51	0.59

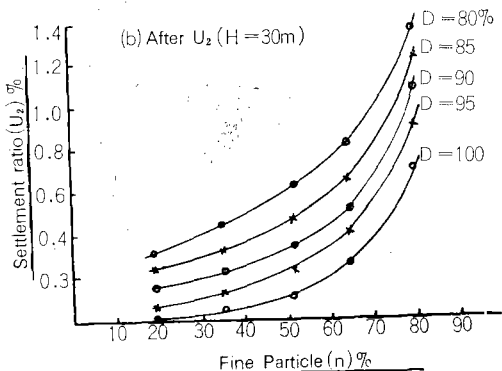
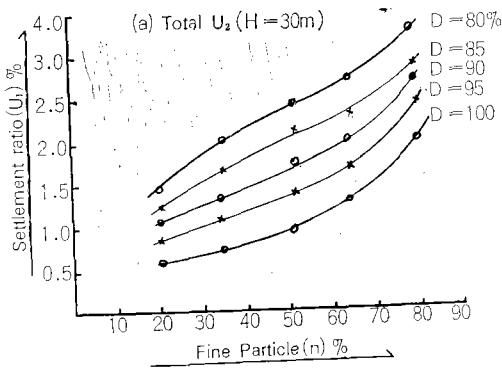


Fig. 9. Relationship between n and u

8. 댐의 余盛土

댐의 余盛土는 댐施工完了後의 沈下量만큼 盛土를 더해주는 것으로서 Table-6과 이를 Fig. 9(b)와 같이 높이 별로 작도한 그림으로부터 求할 수 있으며 이를 댐의 높이, 細粒材의 含有量 및 다짐율에 대하여 求하면 Table-7과 같다.

Table-7에 표시된 余盛土의 높이는 最適含水狀態의 試驗結果를 기준으로 한 것으로서 실제로 댐을 施工時에 철저한 品質管理下에서는 이 값을 택할 수 있으나 품질관리가 不良할 때는 이 값의 약 1.5~2 배를 取하여 댐의 安全을 도모하는 것이 바람직하며 이 값은 현재 댐을 설계할 때 댐높이의 1~2%의 余盛土를 取하는 것과 거의 一致하고 있다^{2,7,9,16,18}.

V. 結 論

흙댐의 壓密沈下와 余盛土의 量을 精確히 求하여 댐의 安定度를 높이기 위하여 실시한 연구 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 盛土에 細粒材(n)가 많고 液性限界(w_L)가 커질수록 乾燥密度(r_d)는 작아지며 그 관계는 다음과 같다.

$$r_d = 2.22 - 0.0052n$$

흙댐의 密度變化에 의한 壓密沈下에 대한 研究

Table-7. Extra banking (camber) height

		(cm)								
H	D(%)	n(%)								
		10	20	30	40	50	60	70	80	
10	100	0	0	0	0	0	1.0	2.0	4.0	
	95	0	0	0	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	
	90	0	0	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	
	85	0	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	
	80	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	
20	100	0	0	0	1.0	2.0	3.0	6.0	10.0	
	95	0	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	8.0	13.0	
	90	0	1.5	2.5	3.5	5.0	7.0	10.0	16.0	
	85	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	9.0	12.0	19.0	
	80	4.0	5.0	6.0	7.0	9.0	11.0	14.0	23.0	
30	100	0	0	1.0	2.0	4.0	7.0	12.0	23.0	
	95	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0	16.0	28.0	
	90	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	33.0	
	85	6.0	7.0	9.0	11.0	14.0	17.0	24.0	38.0	
	80	8.0	10.0	12.0	15.0	18.0	21.0	28.0	43.0	
40	100	0	1.0	2.0	4.0	7.0	13.0	23.0	36.0	
	95	3.0	5.0	7.0	10.0	13.0	19.0	30.0	44.0	
	90	7.0	9.0	12.0	16.0	20.0	25.0	37.0	52.0	
	85	12.0	14.0	17.0	22.0	27.0	33.0	44.0	60.0	
	80	16.0	19.0	23.0	28.0	33.0	40.0	51.0	68.0	
50	100	1.0	2.0	4.0	6.0	10.0	20.0	30.0	54.0	
	95	4.0	8.0	11.0	15.0	20.0	30.0	41.0	64.0	
	90	10.0	15.0	18.0	24.0	30.0	40.0	52.0	74.0	
	85	16.0	22.0	26.0	33.0	40.0	50.0	63.0	84.0	
	80	24.0	29.0	34.0	43.0	50.0	60.0	74.0	94.0	

H : dam height
 D : degree of Compaction
 n : fine particle

$$r_d = 2.394 - 0.0164w_L$$

$$r_t = 2.08 - 0.028w_0$$

$$r_d = 2.185 - (5.8n - 2.5w_L) \times 10^{-3}$$

$$r_d = 2.578 - 0.04w_0$$

2. 最適含水比(w_0)가 큰 흙일수록 다짐 密度는 다음과 같이 반비례하여 작아진다.

3. 壓密의 대부분은 載荷初期에 일어나고 細粒材가 많을수록 壓密係數는 작아지며 그 값은 (0.026~

0.038)cm²/sec이다.

4. 先行荷重(P_c)은 細粒材가 많고 다짐率이 작을 수록 감소되고 壓縮指數(C_c)는 반대로 커지며 그 관계식은 다음과 같다.

$$P_c = -3.32 - (4.3n - 9.0D) \times 10^{-2} (\text{kg/cm}^2)$$

$$C_c = 0.41 + (1.33n - 4.44D) \times 10^{-3}$$

5. 壓密荷重(P)이 증가됨에 따라 容積變化率(m_v)은 $m_v = a \cdot p^{-b}$ 의 관계로 감소되며 壓密度(u)는 $u = (0.6 \sim 1.35)P^{0.4}$ 의 관계로 커진다.

6. 댐전체 沈下量의 60~80%는 施工中에 생긴다.

7. 댐의 余盛土量은 細粒土에서 다짐이 不良하고 댐이 높을수록 커져 댐 築造時에는 施工管理狀態에 따라서 Table-7의 값의 1.5~2배 程度를 하면 좋을 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- 1) Barden, L. (1974), Consolidation of clays compacted dry and wet of optimum water content, Journal of geotechnique 24, No. 4 pp.605~625.
- 2) Japanes national comittee on large dams (1976), Design criteria for dams, pp.97~98.
- 3) 秦柄益(1975), Fill dam의 機械化 다짐 施工에 관한 研究, 대한토목학회지 23권 2호
- 4) 姜又默(1969), 흙의 다짐에 관한 研究, 한국농공학회지 12권 1호
- 5) 久野悟郎(1962), 土の締固め, 技報堂全書 57호 pp.1~3, 44~100
- 6) 金周範, 尹忠燮(1975), 흙의 工學的 性質에 관한 研究 한국농공학회지 17권 3호
- 7) 電力土木技術協會(日本)(1981), 最新 フィルダム工學, pp.131~133.
- 8) 鬼塚克忠, 林重德(1979), 締固めた土の 壓縮及び強度異方性について, 土質工學會 論文報告集

Vol. 19, No. 3, pp.113~12.

- 9) 농수산부, 농업진흥공사(1982), 농지개발사업 계획설계기준(댐편), pp.258~263.
- 10) Ordemir, I.M. and A.A. Birand(1981), Settlement of a test fill, XICSMFE Vol. 2, pp.541~544
- 11) Rao, D.J. and K.K. Rao(1968), Movement on some earth dams during and after construction symposium on earth and rock fill damis.
- 12) Sherard, J.L, R.J. Woodward, S.F. Gizienski and W.A. Clevenger(1967), Earth and earth rock dams, pp.93~94, John Wiley and sons.
- 13) Spyros Cavounidis and Koare Høeg(1977), Consolidation during construction of earth dam, Journal of A.S.E.E. GT10
- 14) Togrol E. and P. Anapnosti(1980), Design Parameters for fills, VIII ECSMFE, Vol. 4, pp.209~236.
- 15) U.S. Dept. of the Interior Bureau of Reclamation(1973) Design of smali dams, pp.270~274. Water Resources Technical.
- 16) _____ (1974), Earth manual, pp.253~260. Water Resources Technical.
- 17) 尹忠燮(1971), 築堤用 흙의 含水比變化에 의한 다짐을 및 透水係數變化에 관한 研究, 한국농공학회지 13권 4호
- 18) 尹忠燮, 尹在漢(1973), 흙댐 設計에 있어서 전자기산기의 利用, 한국농공학회지 15권 3호
- 19) 尹忠燮(1976), 흙의 다짐과 consistency에 관한 研究, 한국농공학회지 18권 4호
- 20) 尹忠燮, 金周範(1979), Fill dam의 機械輾壓效果에 관한 研究, 한국농공학회지 21권 3호
- 21) 尹忠燮(1981), 透水性 盛土材料의 機械 다짐에 관한 研究, 한국농공학회지 23권 3호