

大清複合댐 接合面에 대한 土壓 및 間隙水壓의 變動分析

Analysis of the Variation of Earth Pressures and Pore Pressures on the Interfaces of Taechong Composite Dam.

林 熙 大*

Lim, Heui-Dae

金 翔 圭**

Kim, Sang-Kyu

Abstract

The Taechong Dam completed in 1980 is a composite dam at which a junction was formed partly by butting the core against the end face of the concrete gravity section and partly by the core overlapping the upstream face of the concrete.

In order to evaluate the performance of the junction, the interfaces between the concrete dam and core of the embankment dam were well instrumented with total pressure cells and piezometers.

A nonlinear incremental finite element analysis simulating its construction behaviour was carried out under plane strain conditions. Material parameters for the core are determined from triaxial tests on the specimens, sampled in the quarry site and compacted to the field dry density at the field moisture content. Material parameters for the filter, transition materials and the rockfill are estimated from literature.

When compared with the earth pressures measured at the interfaces, the analytical results show good agreement in the core, however, there are some discrepancy in the shell. A nonlinear model for pore pressure response is used successfully to predict the pore pressures at the interface in the core.

要 旨

1980년에 完工된 大清댐은 콘크리트댐과 石塊댐으로 混合된 複合댐으로서 結合部에는 堤體에서 가장 취약한 곳인 接合面이 存在하므로 堤 建設時 計測器를 埋設하여 土壓 및 間隙水壓을 계속 測定하고 있다.

本研究에서는 解析的 方法으로 平面變形下에서 建設段階를 荷重増分形態로 보는 非線型增加 有限要素解析方法을 適用하였으며, 이에 대한 心壁材料의 파라미터들은 土取場에서 채취한 粘土를 現場密度 및 含水比로 다진후 삼축압축시험을 실시하여 推定하였고 濾터 및 堤殼部의 파라미터들은 관계

* 正會員 · 忠南大學校 工科大學 土木工學科 助教授

** 正會員 · 東國大學校 工科大學 土木工學科 教授

문헌을 이용하여 推定하였다.

比較分析結果 心壁部の 土壓은 대체적으로 豫測値와 實測値가 一致하는 경향을 보였으나 堤殼部에서는 다소의 차이가 있었다. 또한 間隙水壓 모델은 心壁部の 間隙水壓豫測에 좋은 結果를 보여 주었다.

1. 序 論

大清댐은 大田 北方 약 16km, 清州市 南方 16km 地點에 位置하고 있으며 1975년 3월에 着工하여 1980년 12월에 竣工된 우리나라 最大의 複合댐이다. 모두 5회에 걸친 地質調査結果 左岸과 右岸의 風化的 差가 甚하게 나타나 보다 경제적인 建設을 위하여 傾斜가 급하고 堅固한 片岩이 露出된 右岸은 콘크리트 重力式댐으로, 傾斜가 완만하고 腐蝕岩이 발달한 左岸은 石塊댐으로 각각 設計되었다.

따라서 이러한 複合댐은 콘크리트 重力式댐과 石塊댐 사이에 接合面을 가지며 이 部分이 댐의 安定에 중요한 역할을 하게 된다. 接合面의 安全한 거동을 위해서는 土壓이 龜裂이나, 滲水時 水壓割裂(Hydraulic fracturing)¹⁰⁾ 및 內部浸蝕을 막을 수 있을 만큼 충분히 커야하며 間隙水壓은 가능한한 작게 발생해야 한다. 그러므로 大清댐에는 施工時와 完工後의 거동을 파악하기 위하여 接合面에 土壓計 및 間隙水壓計가 埋設되었으며 현재까지 그 結果가 계속 計測되고 있다. 計測은 댐의 거동을 파악하는데 가장 확실한 方法이나 댐 本體의 모든 位置에 다 設置할 수가 없을 뿐만 아니라 그 結果를 댐 築造前에는 알 수 없는데 制限性이 있다. 1970년대에 利用되기 시작한 解析的 方法은 이러한 計測의

制限性을 補充해 줄 수 있으며 특히 댐의 거동을 築造前에 미리 豫測할 수 있다는데 큰 意味가 있다. 解析的 方法에는 여러가지가 있으나 그 중 有限要素解析方法^{1),2)}이 가장 널리 適用되고 있다.

本研究에서는 數値모델을 利用한 有限要素解析方法으로 接合面의 土壓 및 間隙水壓을 豫測하고 이를 施工時 設置한 計測器에 의한 實測値와 比較分析하려는데 目的이 있다. 堤體 接合部의 應力—變形舉動에 대한 有限要素解析에 대해서는 筆者等이 이미 發表한 바 있으나¹⁴⁾ 여기서는 이것을 다시 整理하고 그 이후 계속해서 研究한 結果를 포함하여 提示함으로써 댐의 安定檢討 및 향후 유사한 複合댐의 設計 및 施工에 필요한 資料를 제공하려고 한다.

2. 接合面의 設計 및 施工

2.1 接合面의 構成

接合面은 콘크리트 重力式댐과 石塊댐의 境界面으로 構成되며 接合部의 形狀은 그림 2-1 및 그림 2-2와 같이 下流側 法面 1:0.75, 上流側 法面 1:0.15로 하여 이를 上流側 法面 1:2.0, 下流側 法面 1:1.8인 石塊댐이 圓錐形으로 둘러 쌓이게 하였다.

接合部의 콘크리트 重力式댐은 石塊댐의 不透水性 心壁部와 完全히 接着되도록 점차로 확대

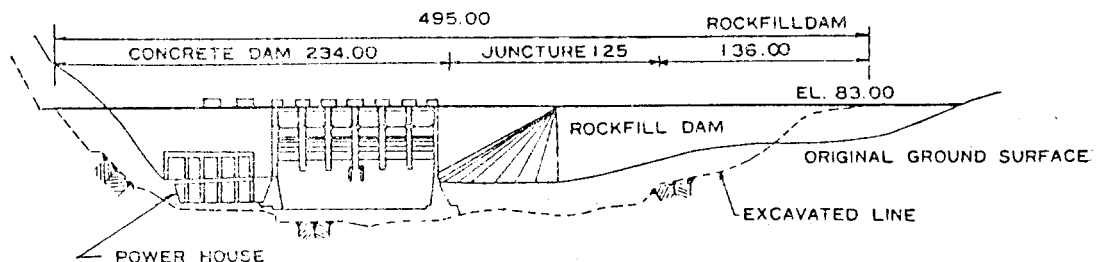


Fig. 2-1 Downstream view

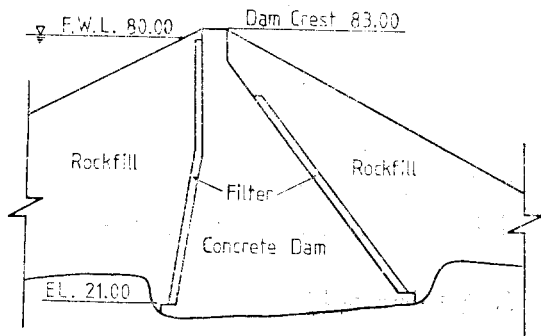


Fig. 2-2 Section of juncture

하였으며 接合面の 기울기는 不透水性 心壁部에서 應力과 變形이 急激히 變化할 可能性을 排除하기 위해 1:0.6의 傾斜로 기울어지게 하였다. 이 값은 上段部 心壁部の 安定뿐만 아니라 댐의 높이와도 관계가 있으나 大淸댐의 경우 현재까지의 施工實例 1:0.5~0.6의 값을 따른 것으로 보인다. 堤殼部の 接合面은 上流側 法面 1:0.25, 下流側 法面 1:0.75로 기울어지게 設計되었다.

2.2 接合面の 施工

콘크리트의 表面에 接合되는 心壁材料를 盛土하기 前에 콘크리트面을 거칠은 面이 되게 쪼아내고 콘크리트面의 곱보(Honey comb)와 岩盤위의 모든 不良物質을 完全히 除去한 다음 깨끗이 淸掃한 후 築造를 開始하였다. 表面이 乾燥한 곳은 接着이 잘 되게 물을 축축히 뿌렸으며 心壁材料의 敷設은 人力으로 하고 다짐장備는 디젤 콤팩터나 空氣壓 6kg/cm² 이상의 공기램머를 사용하였다. 다짐회수는 現場에서의 다짐成果에 따라 決定하였다.

2.3 盛土材料의 特性

不透水性 心壁材料의 管理試驗은 材料의 均質性과 安全性의 確保를 目的으로 粒度, 密度, 含水比 등을 通常의인 試驗方法으로 測定하였으며 築造高 5m 마다 土性試驗 및 現場透水試驗을 실시하여 材料의 性質 및 築造方法에 대한 檢討를 하였다.

管理圖에 의한 品質管理試驗結果¹⁵⁾는 表 2-1 및 그림 2-3에 각각 나타나 있으며 剪斷強度는

Table 2-1 Soil properties of embankment materials

Control Item	Unit	Core		Sand & Gravel (Filter)		Rock
		Average value	Standard deviation	Average value	Standard deviation	
r_d	t/m ³	1.586	0.021	1.904	0.059	1.920
D	%	98.6	0.053	87.8	3.2	1.0
W	%	23.55	0.478	—	—	—
PI	%	19.50	6.060	—	—	—
c	t/m ²	0.558	0.138	—	—	—
ϕ	tan ϕ	0.529	0.037	0.65	—	0.78

* D : Ratio of dry density of embankment material to maximum dry density

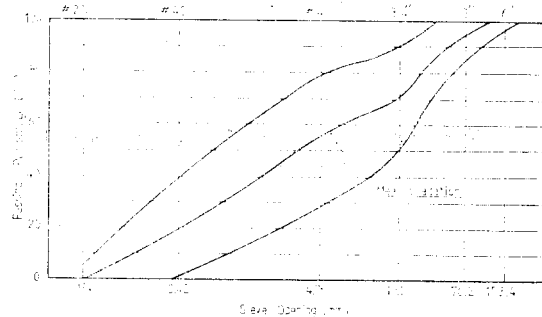


Fig. 2-3 Mean gradation of core material

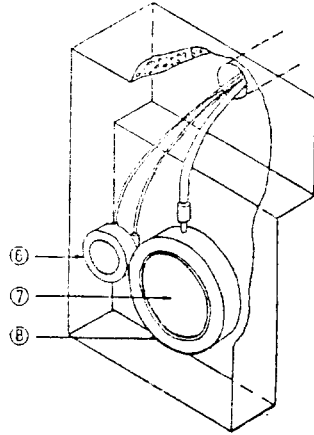
直徑 5cm 공시체에 대한 삼축압축시험(UU 시험) 결과로부터 구하였다.

2.4 測定計器 및 結果

本項에는 築造過程 및 完工後 進행되는 堤體 内部의 微細한 거동을 觀測함으로써 築造時에 施工管理를 도모함과 아울러 完工後에는 安全管理를 合理的으로 수행하기 위하여 9個 種類의 計器 184個를 埋設하였으며 그 중 土壓計 16個, 間隙水壓計 8個를 그림 2-4 및 그림 2-5와 같이 接合面に 각각 設置하였다.

(1) 土壓比

土壓比는 盛土重量에 대한 土壓으로 定義되는데 本 完工後 心壁部の 接合面の 土壓比는 標高 51.00m 부위에서 貯水位와 관계없이 점차 떨어지는 현상을 보였으며 같은 標高의 堤殼部에서는 貯水位에 따라 변동폭이 약 20%까지 增加하다가 貯水位가 하강함에 따라 떨어지는 경향을 나타내었다. 또한 標高 69.00m 부위에서 心壁部 接合面の 土壓比는 貯水位의 變動에 따라 20



- 6 Piezometer
- 7 Earth Pressure Cell
- 8 Cast Iron Backing Piece

Fig. 2-4 Installation of pressure cell and piezometer

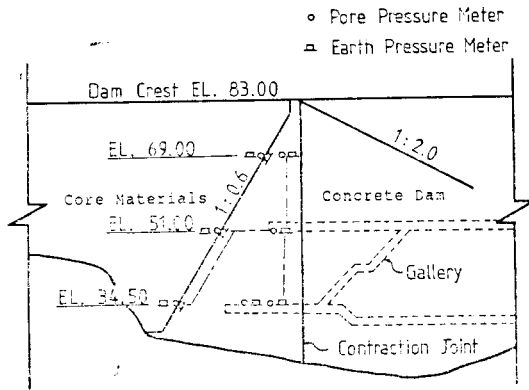


Fig. 2-5 Location of instrumentation

~30%의 증폭으로 거의 一定한 값을 유지하고 있으며 현재까지의 觀測結果 이상압력이나 기타 특이한 현상은 발생하지 않고 있다. 반면 같은 標高의 堤殼部에 있어서는 測定結果가 매년 약간씩 상승하고 있다.

(2) 間隙水壓比

間隙水壓比도 土壓比와 같이 盛土重量에 대한 間隙水壓으로 定義되는데 工事期間中の 間隙水壓比는 堤體完成直後인 1980년 6월초에 10~35%의 範圍에 있었으며 그 후 점차 消散되어 현재 貯水位의 變動에 따라 어느정도 불규칙한 分布를 나타내면서 正常流狀態에 接近하고 있다.

특히 接合面에 設置한 計器는 建設期間中에 13% 내외의 낮은 값을 유지하였으나 湛水開始後 1個月부터 增加하는 추세를 보여왔으며 心壁部의 最大間隙水壓比는 1985년 12월(R.L. 77.67m)에 標高 34.50m에서 31.20%로 測定되었으며 그 후 貯水位의 變化에 따라 조금씩 增減되었으나 현재까지 큰 變化는 없는 것으로 보여진다.

3. 有限要素解析

3.1. 數值모델

흙댐의 建設은 1850년에서 1940년대에 걸쳐 建設裝備의 급속한 발달로 과거의 주먹구구식 設計¹³를 벗어나 빠른 속도로 발전되면서 댐 높이를 增加시키고 體積을 減小시켜 댐 建設의 能力 및 經濟性을 向上시켰다. 댐 建設能力의 向上은 보다 精確한 댐의 거동해석을 要求하게 되었고 이로부터 여러가지 새로운 解析方法들이 시도되어 왔으며 이들 方法中 有限要素法은 1960년대 중반 이후부터 시도되어 컴퓨터의 발전과 함께 현대에 가장 널리 適用되고 있다. 특히 댐의 어느 위치에서도 거동을 把握할 수 있어 댐의 形狀決定, 計測位置의 選定 및 댐 建設成果의 評價等に 이용된다.

이러한 有限要素解析을 위해서는 무엇보다 築造材料의 應力-變形率 特性을 理論적으로 數值化하는 것이 가장 중요한 課題이다. 현재까지 많은 모델들이 발표되었으나 그동안 문헌조사를 통하여 각 모델들이 댐의 거동해석에 適用된 例를 檢討한 결과 雙曲線 모델^{3,12)}이 가장 바람직함을 알게 되었다. 雙曲線 모델이 提案되는 과정은 Duncan³⁾의 論文에 자세히 밝혀져 있으므로 여기서는 편의 상 有限要素解析의 基本式인 應力-變形率 매트릭스만을 表示하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma_x \\ \Delta\sigma_y \\ \Delta\tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{3B}{9B-E} \begin{bmatrix} (3B+E) & (3B-E) & 0 \\ (3B-E) & (3B+E) & 0 \\ 0 & 0 & E \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\epsilon_x \\ \Delta\epsilon_y \\ \Delta\gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.1)$$

여기서

$\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\tau_{xy}$: 應力増分

$\Delta\varepsilon_x, \Delta\varepsilon_y, \Delta\gamma_{xy}$: 變形率増分

B : 體積係數(bulk modulus)

E : 영係數

댐의 築造過程은 層別로 이루어지므로 間隙水壓도 댐 전체가 순간적으로 盛土되는 것으로 보아 한번에 댐 전체를 解析하는 重量依存方法(Gravity turn-on method)⁹⁾보다 築造段階를 荷重増分形態로 고려하는 増分方法(Incremental method)²⁾으로 解析하는 것이 더 正確할 것이다. 그러므로 非飽和粘土의 삼축압축시험(UU 시험) 또는 (CU 시험) 結果로부터 間隙水壓을 荷重増分形態로 표시하면 間隙水壓増分, ΔU_w 는 다음 式과 같이 된다.

$$\Delta U_w = \Delta U_{wi} + \Delta U_{wd} \quad (3.2)$$

여기서

ΔU_{wi} : 拘束應力増分 $\Delta\sigma_3$ 에 의한 間隙水壓増分
 ΔU_{wd} : 主應力差増分($\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$)에 의한 間隙水壓増分

따라서 Skempton¹¹⁾의 式에 荷重増分形態를 고려하면 間隙水壓増分은 다음 式과 같이 표시된다.

$$\Delta U_w = B_i [\Delta\sigma_3 + A_i (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (3.3)$$

여기서 係數 B_i 및 A_i 는 각각 다음과 같다.

$$B_i = \frac{\Delta U_{wi}}{\Delta\sigma_3} \quad (3.4)$$

$$A_i = \frac{\Delta U_{wd}}{B_i (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)} \quad (3.5)$$

Parkin 等⁸⁾은 非飽和粘土의 삼축압축시험 結果로부터 拘束應力과 B_i 값을 雙曲線으로, 主應力差와 間隙水壓을 拋物線으로 각각 다음과 같이 模型化할 수 있음을 提案하였다.

$$B_i = \frac{\sigma_3}{a + \sigma_3} \quad (3.6)$$

$$U_{wd} = r'(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + s(\sigma_1 - \sigma_3) \quad (3.7)$$

式 (3.7)을 拘束應力 ($\sigma_1 - \sigma_3$)로 微分하고 式 (3.5)에 代入하면 式 (3.8)을 얻을 수 있다.

$$A_i = \frac{1}{B_i} [r(\sigma_1 - \sigma_3) + s] \quad (3.8)$$

여기서 $r = 2r'$ 이고 r 및 s 는 삼축압축시험 結果로부터 결정되는 係數들이다.

3.2 파라미터 및 有限要素 망

앞에서 기술한 數值模型에 사용되는 파라미터는 재료의 삼축압축시험으로부터 쉽게 구할 수 있다. 大淸댐의 경우 表 2-1과 같이 品質管理試驗結果¹⁵⁾에서 乾燥密度, 含水比 및 剪斷強度는 구하였으나 應力-變形率 關係曲線은 찾을 수 없었다. 그러므로 댐 築造時 사용한 土取場에서 心壁材料를 채취하여 品質管理基準에 맞추어 여러차례의 室內試驗을 실시한 結果 그림 3-1의 應力-變形率 關係曲線, 그림 3-2의 $B_i - \sigma_3$ 關係曲線 및 그림 3-3의 間隙水壓-主應力差 關係曲線 등 만족할만한 結果를 얻을 수 있었으며 이들 關係曲線으로부터 應力-變形率 模型의 파라미터 및 間隙水壓 模型의 파라미터를 推定하면 각각 表 3-1 및 表 3-2와 같다. 여기서 砂礫(윌터포함) 및 捨石材料의 파라미터는 品質管理試驗結果를 基礎로 昭陽江댐을 비롯한 既存의 댐

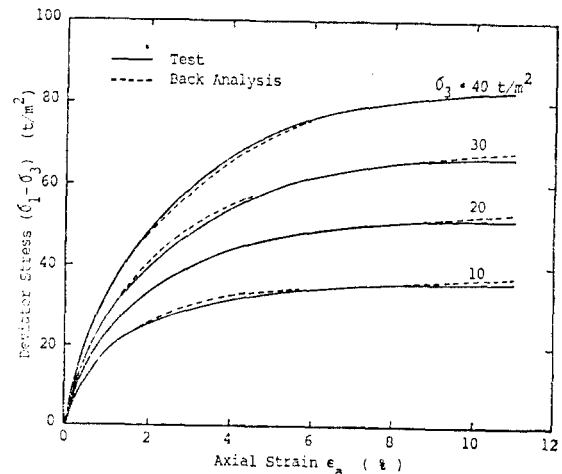


Fig. 3-1 Stress-strain behaviour of core material from UU tests.

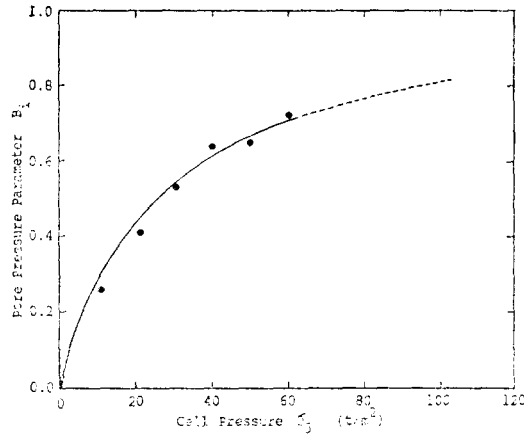


Fig. 3-2 Pore pressure parameter variation with cell pressure

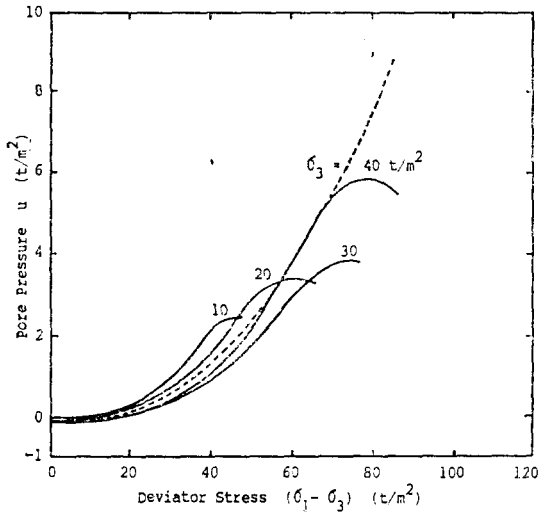


Fig. 3-3 Pore pressure variation with deviator stress

Table 3-1 Nonlinear pore pressure parameters

$a(t/m^2)$	$r(t/m^2)^{-1}$	s
26	3.0×10^{-3}	-2.57×10^{-2}

Table 3-2 Nonlinear hyperbolic parameters

Zone	K	n	R_f	K_b	m
Core	380	0.14	0.89	190	0.12
S&G	600	0.40	0.70	175	0.20
Rockfill	500	0.40	0.70	100	0.20

* S&G: Sand and Gravel

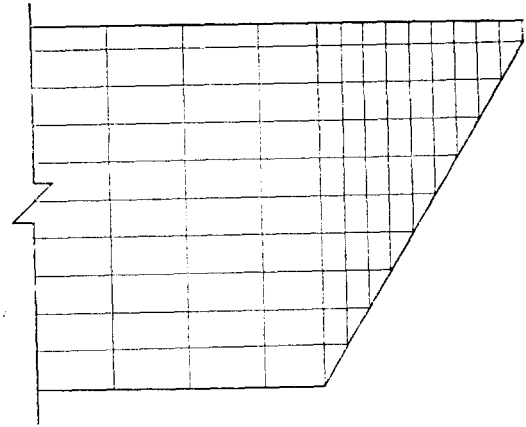


Fig. 3-4 Finite element mesh in core

들에 대한 자료와 Duncan 등⁵⁾ 및 Marachi⁷⁾가提示한 土性試驗結果에 따른 應力—變形率의 關係를 이용하여 파라미터들을 변경해가면서 대체로 信賴性이 가장 큰 變位와 比較하여 妥當한 값을 追跡하였다. 파라미터들중 거동에 가장 큰 영향을 미치는 K 와 K_b 를 變更시켜가며 解析하였는데 K 와 K_b 의 變化에 따라 鉛直 및 水平變位가 예민한 반응을 보였으므로 수차례에 걸친 변경과정을 통하여 妥當性이 크다고 판단되는 경우의 값을 선택하였다.

心壁部에 대한 有限要素 망은 層의 두께에 따른 解析結果의 正確성과 計算時間의 경제성을 고려하여 그림 3-4와 같이 10個層, 258個의 要素로 나누었다.

3.3 解析條件 및 컴퓨터 프로그램

有限要素解析에서 數值모델 설정 다음으로 중요한 것은 실제 문제의 解析條件이다. 本研究에서 心壁部의 경우 縱斷面에 대한 거동해석이므로 基本式이 가지고 있는 平面變形條件과 다소 差異가 있으나 먼저 橫斷面을 解析한 결과 中央部에는 側方變形이 거의 없음을 발견하였고, 또한 接合面의 測定計器가 모두 中央部에 設置되어 있는 점을 감안하여 中央의 縱斷面을 平面變形狀態로 假定하였다. 堤殼部의 경우 心壁部와는 달리 橫斷面에 대한 解析이며 橫斷面に 비해 接合部의 縱方向 길이가 충분히 크므로 平面變形狀態로 볼 수 있다.

基本式의 解析條件뿐만 아니라 境界條件도 解

析의 결과에 영향을 미치게 된다. 接合面은 物理的 特性이 서로 다른 心壁材料와 콘크리트와 結合으로서 固着狀態 및 미끄럼狀態로 각각 나누어 생각될 수 있다. 단일 固着狀態일 경우 댐의 上部에 引張應力 및 引張變形의 발생이 豫想되며, 미끄럼狀態일 경우는 引張應力의 발생이 완전히 배제될 수 있으나 실제에 있어서는 두가지 경우가 각각 독립적으로 存在하지 않을 것이다. 大清댐의 경우 콘크리트面을 곰보(Honey comb)가 되게 쪼아내었을 뿐만 아니라 철저한 品質管理를 通하여 두 材料가 충분히 密着되도록 施工하였기 때문에 接合面은 미끄럼狀態보다는 固着狀態에 더 가까울 것으로 생각된다. 따라서 接合面을 固着狀態로 解析하였다.

本研究에 사용된 컴퓨터 프로그램은 댐의 全應力解析 프로그램으로서 1969년 캘리포니아대학교(Berkeley)에서 Kulhawy, Duncan 및 Seed⁶⁾가 開發한 다음 1973년과 1975년에 Ozawa와 Duncan⁴⁾이 補完하고 이를 다시 1980년에 Duncan⁵⁾ 등이 體積係數에 대한 새로운 應力依存 모델을 설정하여 修正한 프로그램인 FEADAM이다.

4. 豫測值와 實測值의 比較分析

4.1 土 壓

接合面의 土壓은 心壁部와 堤殼部에 따라 다르며 그림 4-1 과 그림 4-2는 心壁部의 鉛直 및 水平土壓의 豫測值를 각각 土壓計에 의한 實測值와 比較한 것으로서 鉛直土壓은 댐 完工後 標高 51.00m에서 약간 減小하였는데 이는 心壁材料의 壓密에 의한 것으로 판단된다. 반면 水平土壓은 時間이 지남에 따라 큰 變化를 가져와 豫測值에 거의 接近하고 있다. 이는 湛水로 인하여 水平土壓이 서서히 增加되었음을 의미하며 현재 貯水位의 變動에 따라 조금씩 增減되고 있다.

그림 4-3 과 그림 4-4는 각각 그림 4-1 및 그림 4-2에 나타난 값을 盛土重量에 대한 土壓比로 표시한 것이다. 그림 4-3의 標高 69.00m에서 댐 完工時 實測된 土壓比는 21.40%로 매우 작아 이 部分에 不等沈下에 의한 아칭 효과가 발

생하였음을 示唆하고 있다. 標高 34.50m에서 최근의 實測值가 표시되지 않은 것은 土壓計의 고장으로 測定이 곤란하였기 때문이며 鉛直土壓의 경우 1980년 6월 標高 51.00m에서 土壓比가 47.65%로 가장 크게 나타난 것은 貯水位의 상승에 의한 有効應力의 變化에 의한 것으로 판단된다. 그 후 점차 消散되어 현재 약 40% 내외로 貯水位의 變動에 따라 增減하고 있으며 현재 實測된 土壓比가 가장 작은 위치인 標高 69.00m에서 水壓割裂의 가능성을 檢討해 볼 때 鉛直 및 水平土壓이 각각 $6.03t/m^2$, $3.84t/m^2$ 이고 靜水壓이 $3.33t/m^2$ 으로서 土壓이 靜水壓보다 크므로 水平方向의 균열 발생가능성은 없는 것으로 판단된다.

堤殼部에 있어서는 測定計器가 上流側 接合面에만 設置되었으며 이 지점에 대한 鉛直 및 水平土壓을 표시하면 각각 그림 4-5와 그림 4-6과 같다. 그림에서 보이는 것처럼 標高 51.00m 지점에서 水平土壓의 實測值가 豫測值보다 대단히 크게 나타났으며 시간이 지남에 따라 매년 增加되고 있어 測定計器의 고장유무에 대한 現場調査 및 測定資料의 精밀분석이 先行되어야 할 것으로 생각한다. 그림 4-5에서는 豫測值가 標高에 따라 불규칙한 모양을 보이는데 이는 接合面이 1:0.25의 급한 傾斜로 기울어져 있어 局部的인 荷重轉移(Load transfer)가 발생하였기 때문으로 판단된다. 그림 4-7 및 그림 4-8은 각각 鉛直 및 水平土壓比를 표시한 것이며 댐 完工時 標高 33.00m에서 鉛直土壓比 25.60%, 水平土壓比 13.20%로 매우 작은 값을 나타내고 있어 콘크리트 下段部와 心壁部의 基礎岩盛이 만나는 주위에 기하학적 특성으로 인한 아칭 효과가 발생하였음을 示唆하고 있다. 따라서 빠른 속도로 湛水할 경우 水壓割裂의 가능성을 내포하였으나 1987년 12월(R.L. 72.33m)에는 $41.46t/m^2$ 까지 增加하여 이 때의 靜水壓 $39.33t/m^2$ 와 비교할 때 均열의 발생가능성은 없는 것으로 보인다.

각 計測結果를 分析할 때 全般的으로 土壓이 작게 測定되었으며 이는 接合面의 기울기 및 특성이 서로 다른 두가지 材料의 相對變位에 따른 不等沈下, 土壓計設置의 예민성등 여러가지 원인에서 비롯된 것으로 생각된다. 또한 既存의 댐

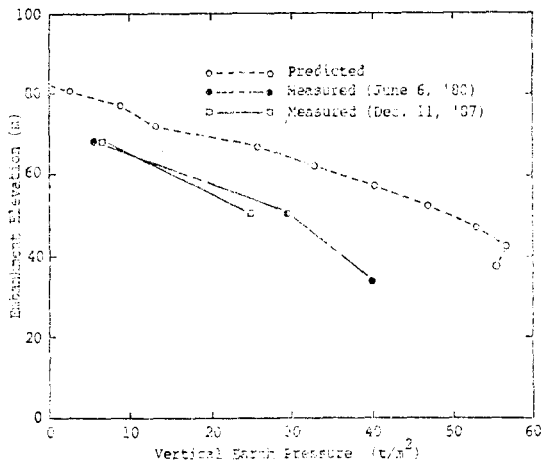


Fig. 4-1 Vertical earth pressures at interface in core

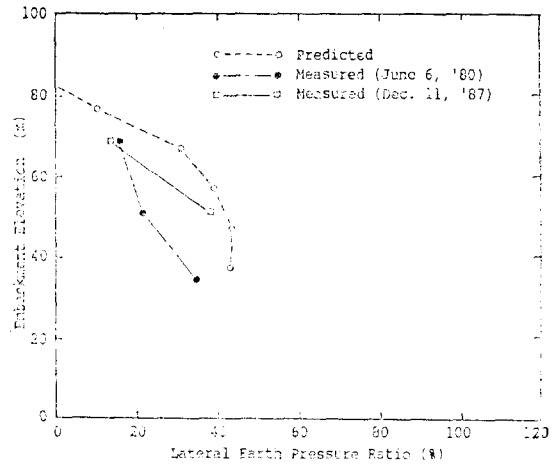


Fig. 4-4 Lateral earth pressure ratios at interface in core

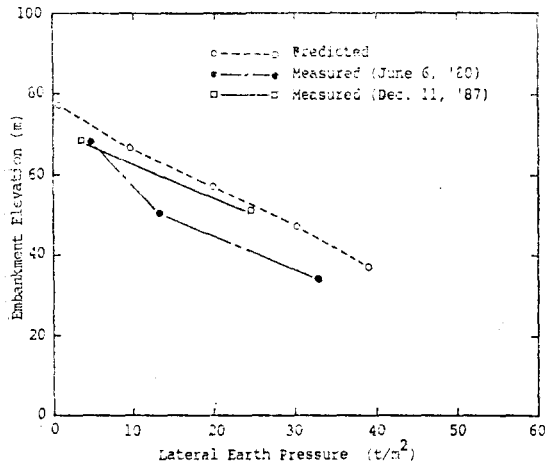


Fig. 4-2 Lateral earth pressures at interface in core

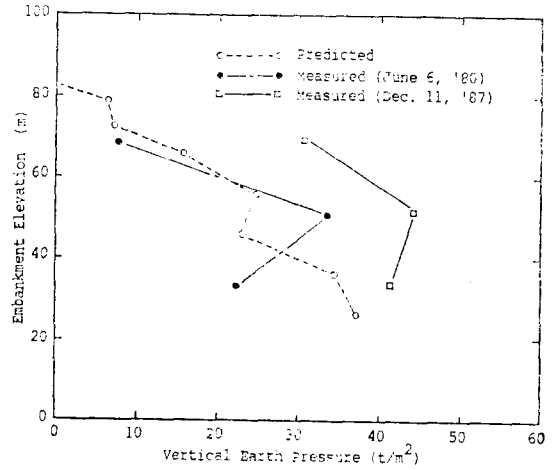


Fig. 4-5 Vertical earth pressures at interface in shell

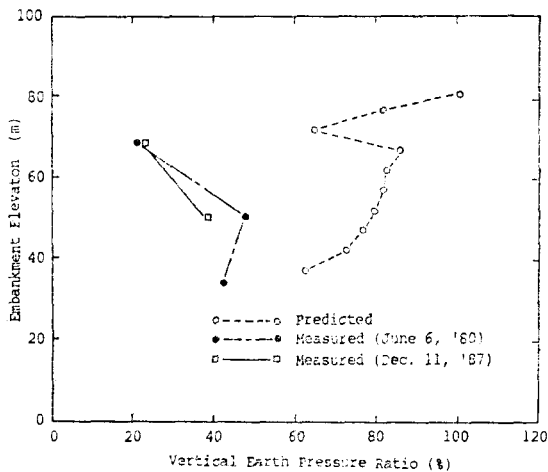


Fig. 4-3 Vertical earth pressure ratios at interface in core

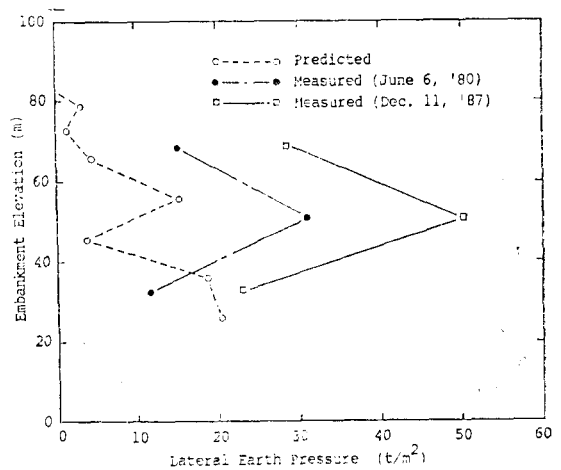


Fig. 4-6 Lateral earth pressures at interface in shell

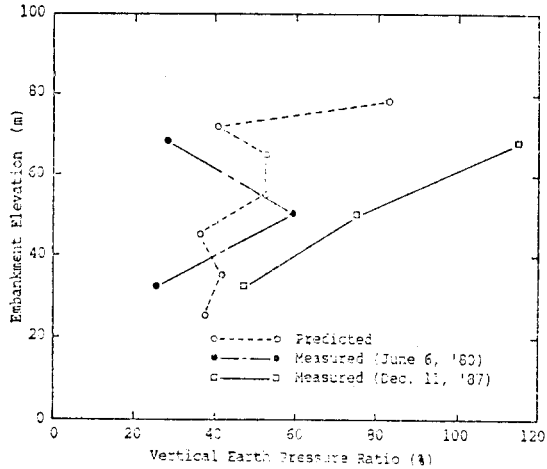


Fig. 4-7 Vertical earth pressure ratios at interface in shell

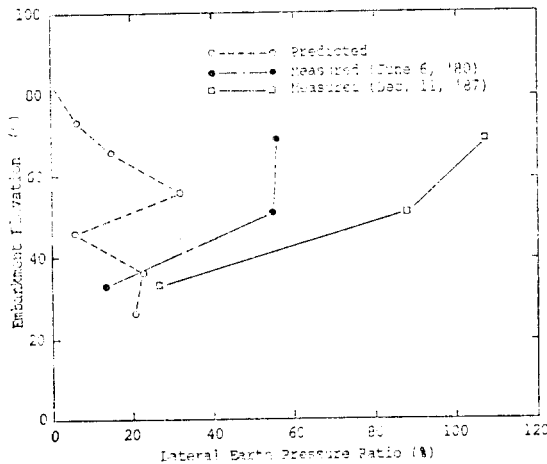


Fig. 4-8 Lateral earth pressure ratios at interface in shell

들에서 지적되고 있는 土壓計 自體의 過小評價 에도 원인이 있는 것으로 본다.

4.2 間隙水壓比

建設期間中 間隙水壓은 주로 施工含水比에 의 해 決定되며 施工中 有効應力을 減小시켜 堤의 安定에 많은 영향을 주므로 事前에 그 값을 豫測하는 것이 바람직하다. 그림 4-9 및 그림 4-10 은 有限要素解析에 의한 間隙水壓과 間隙水壓計에 의한 實測値를 比較한 것으로서 全般的 으로 實測値가 豫測値보다 조금 크게 나타났다. 특히 標高 34.50m 에서 心壁部의 實測値는 堤 完工時 15.30%에서 1987년 12월 (R.L. 72.33m)

에는 28.70%로 크게 增加되었는데 이는 湛水로 인한 水壓의 增加에 起因한 것으로 판단되며 현재 貯水位의 變動에 따라 약간의 增減만 있을뿐 대체적으로 安定된 값을 유지하고 있다. 湛水後의 間隙水壓에 대해서는 정상침투를 고려한 解析結果와 實測値를 比較하는 것이 바람직하나 堤 縱斷面解析에서 이를 고려하기가 어려웠다.

그림 4-11 및 그림 4-12 는 間隙水壓을 盛土重量에 대한 間隙水壓比로 표시한 것으로서 心壁部의 경우 堤 完工時 標高 40.00m 부위에서 減小하는 경향을 보이고 있다. 이는 이 지점이 콘크리트담과 石塊담의 基礎岩盤이 약 120°정도의 角度로 만나는 곳이므로 아칭효과가 발생하여 全應力을 減小시켰기 때문이라고 생각된다. 그림 4-12에서 標高 69.00m의 實測値가 표시되지 않은 것은 間隙水壓計의 고장으로 測定이 어

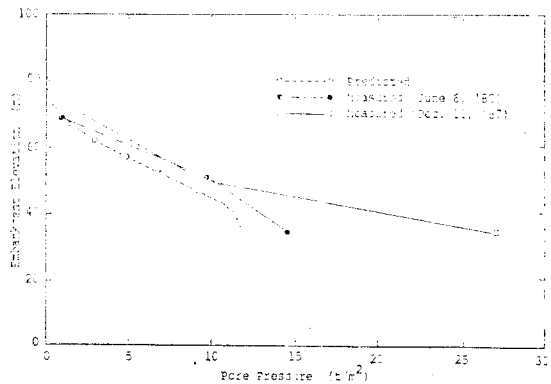


Fig. 4-9 Pore pressures at interface in core

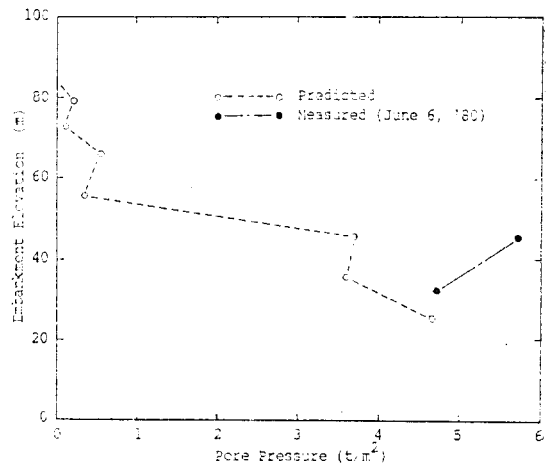


Fig. 4-10 Pore pressures at interface in shell

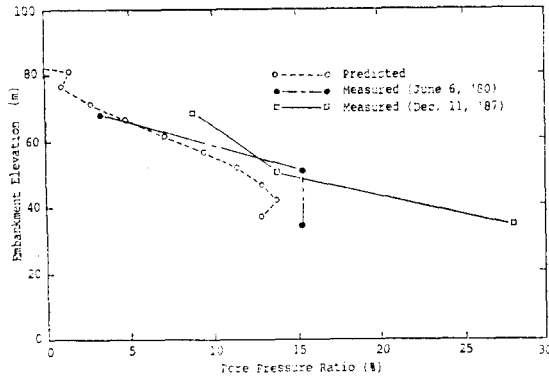


Fig. 4-11 Pore pressure ratios at interface in core

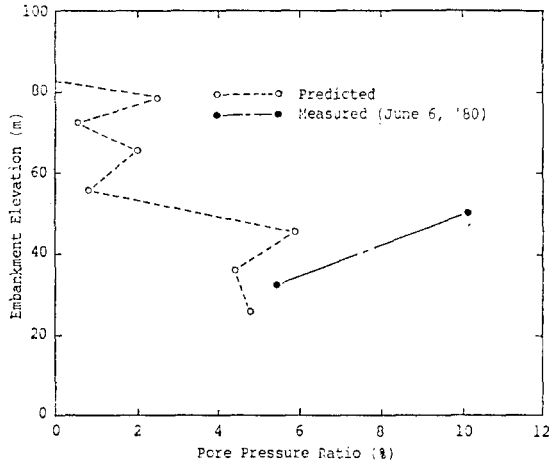


Fig. 4-12 Pore pressure ratios at interface in shell

려있기 때문이며 標高에 따라 豫測値가 불규칙한 모양을 나타낸 것은 土壓의 경우처럼 接合面の 급한 기울기와 특성이 서로 다른 두 材料의 相對變位에 起因한 不等沈下일 것으로 판단된다.

각 計測結果를 分析한 바 心壁部에 설치한 計測器의 間隙水壓比는 고른 分布를 나타내고 있으며 모두가 設計値 50%이하로 나타난 것을 볼때 接合面부위를 통한 누수는 없는 것으로 판단되며 이는 철저한 施工 및 品質管理의 결과라고 볼 수 있다.

5. 結 論

豫測値와 實測値를 比較分析한 結果 全般的으

로 土壓은 豫測値가 實測値보다 크게 나타났으며 間隙水壓은 實測値가 豫測値보다 크게 測定되었다. 이는 計測器의 選定 및 設置의 예민성에 대한 問題와 또한 有限要素解析이 많은 假定을 內包하고 있을 뿐만 아니라 應力-變形率을 상당히 單純化하여 다루고 있기 때문에 발생할 수 있는 問題點으로 생각되나 比較의 크기에 대한 問題를 배제시키면 解析値와 實測値는 心壁部의 경우 거의 같은 傾向을 나타내고 있으며 不等沈下를 비롯한 計測結果에서 分析된 接合面の 거동 상황이 解析結果와 많은 一致를 보이고 있어 本研究에 사용된 解析技法이나 모델링技法의 妥當性에 근거를 마련해 주고 있다. 比較分析結果는 다음과 같다.

(1) 心壁部の 鉛直土壓은 댐 完工後 接合面 中央部에서 약간 減小하였으며 댐 完工時 標高 69.00m에서 土壓比가 21.40%로 매우 작게 測定되었음을 볼 때 이 部分에 不等沈下에 의한 아칭 效果가 발생하였음을 示唆하고 있다.

(2) 心壁部の 水平土壓은 댐 完工後 湛水로 점차 增加하여 貯水位變化和 土壓의 依存的 關係를 나타내었으며 湛水後 7년이 경과한 1987년 12월 (R.L. 72.33m)에는 豫測値에 거의 接近하였다.

(3) 댐 完工時 堤殼部の 鉛直土壓은 豫測値와 實測値가 거의 一致하였으나 水平土壓은 實測値가 매우 크게 나타났으며 時間의 경과에 따라 점차 增加하여 현재 댐 上段部에서는 鉛直 및 水平土壓比가 100%를 넘고 있어 보다 精確한 分析이 要求된다.

(4) 鉛直 및 水平土壓으로부터 水壓割裂의 可能性을 檢討할 때 完工直後에는 接合面の 下段部에 약간의 可能性을 보였으나 段階的인 湛水로 인해 현재 모든 位置에서 土壓이 靜水壓보다 크게 測定되고 있어 균열의 發生可能性은 없는 것으로 판단된다.

(5) 間隙水壓은 心壁部의 경우 土壓에 비하여 豫測値가 잘 一致하고 있어 間隙水壓모델의 妥當性을 뒷받침하고 있다. 또한 댐 完工時 基礎部分에서 15.30%로 測定된 間隙水壓比가 1987년 12월에는 28.70%로 거의 두배 가까이 增加하였으며 현재 貯水位의 變動에 따라 약간씩 變

化하고 있으나 設計值 50%에 비하면 安定된 값으로 볼 수 있다.

感謝의 말

本研究의 實測值分析에 도움 말씀을 주신 產業基地開發公社의 金瑗泰 部長님과 그리고 댐 管理部 關係者 여러분에게 深甚한 感謝를 드린다.

參 考 文 獻

1. Brown, C.B. and King, I.P., "Automatic Embankment Analysis: Equilibrium and Instability Conditions", *Geotechnique*, Vol. 16, No. 3, January, 1966, pp. 209-219.
2. Clough, R.W. and Woodward, R.J., "Analysis of Embankment Stresses and Deformations", *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, Vol. 93, No. SM4, July, 1967, pp. 529-549.
3. Duncan, J.M., "Hyperbolic Stress-Strain Relationships", *Proceedings*, the workshop on Limit Equilibrium, Plasticity and Generalized Stress-Strain in Geotechnical Engineering, University of McGill, 1980, pp. 443~460.
4. Duncan, J.M. and Ozawa, Y., "A Computer Program for Analysis of Static Stresses and Movements in Embankments", *Report*, Grant GK-35894, University of California, Berkeley, 1973.
5. Duncan, J.M., Byrne, P., Wong, Kai S. and Marbry, P., "Strength, Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Soil Masses", *Report*, No. UCB/GT/80-01, University of California, Berkeley, 1980.
6. Kulhawy, F.H., Duncan, J.M. and Bolton Seed, H., "Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Embankments during Construction", *Report*, No. TE-69-4, University of California, Berkeley, 1969.
7. Marachi, N.D., Chan, C.K. and Seed, H.B., "Evaluation of Properties of Rockfill Materials", *Proceedings*, ASCE, Vol. 98, No. SM1, 1972, pp. 95-114.
8. Parkin, A.K. and Adikari, G.S.N., "Rockfill Deformation from Large Scale Tests", *Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng.* Stockholm, 1981.
9. Richards, R., Jr. and Schmid, W. E., "Body-Force Stresses in Gravity Structures", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, Vol. 94, No. SM1, January, 1968, pp. 205-229.
10. Sherad, J.L., "Hydraulic Fracturing in Dams", *Seepage and Leakage from Dams and Impoundments, Proceedings, ASCE*, National Convention, Denver, Colorado, 1985, pp. 115-141.
11. Skempton, A.W., "The Pore Pressure Coefficients A and B", *Geotechnique*, Vol. 4, No. 4, 1954, pp. 143-147.
12. Turner, M.J., Clough, R.W., Martin, H.C. and Topp, L.J., "Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures", *Journal of Aeronautical Sciences*, Vol. 23, No. 9, September, 1956, pp. 805-823.
13. Wilson, S.D. and Squier, L.R., "Earth and Rockfill Dams", *Proceedings*, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, State of the Art Volume, Mexico City, 1969, pp. 137-223.
14. 金翔圭, 林熙大, "콘크리트댐과 石塊댐으로 混合된 大清댐 接合部の 應力-變形舉動", 學術發表會概要集, 大韓土木學會, 1987, pp. 362-369.
15. 產業基地開發公社, 大清多目的 댐 工事誌, 建設部 서울, 1981, pp. 1202-1212.

(접수일자 1988. 5. 30)