

同位元素(Isotope)에 의한 堰堤 漏水探查法

李 昌 九

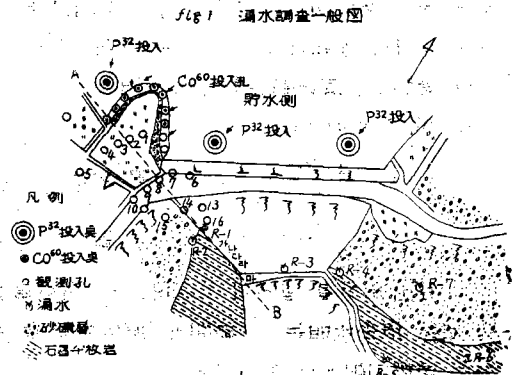
本誌 第2號에 同位元素를 堰堤漏水探查에 利用하여 그效果를 보았다는 紹介를 하면서 그實用例는 다음機會로 미룬다고 하였기때문에 今番에는 Isotope를 堰堤漏水探查에 實地適用하여 좋은結果를 본 實例를 몇개 紹介하여 讀者여러분의 參考에 供코저한다 例로서는 貯水池面積이 極히小한 三町步의 土堰堤와 이보다좀 큰 土堰堤와 貯水池面積은 50町步이지만 灌溉面積은 約4000町步나되는 水深이 55m인 깊은 Concrete Dam의例를 드렸다 우리나라에도 水原 西湖池같은것은 上流에서의 土砂沈澱으로 因하여 그內容積이 거의 半減되었음에도 不拘하고 多量の 漏水가 있어서 屢屢어 若干繼續되면 用水不足의 悲運에 逢着하지만 그 漏水脈을 把握하지못하여 現在로서는 束手無策으로 袖手傍觀만 하고있고 雲岩池같은 Concrete Dam도 亦是 相當量的 漏水가있으나 좋은對策을 發見하지 못하고있는 現狀이다 如斯한 事實은 우리技術者の 責務인 同時에 體面에 關한 問題이니만큼 이런것을 防止함에 努力하여야 할것이다 韓國에도 가까운 將來에 同位元素를 製造또는 導入할機會가 있다함을 듣고 欣快하여 마지않는 同時에 그의 豫備知識을 가주고 對備態勢로 있자는 老婆心으로써 이論文을 讀者諸彦에게 紹介하는 바이오니 널리 諒解하시고 더많은 研究를 하시어 國家에 貢獻하는바 있기를 冀願하는바이다.

Isotope(同位元素)에 의한 堰堤漏水探查 (應用例)

例 1. 灌溉面積	50町步
滿水面積	3町步
堤 長	70m
堤 高	15m인 土堰堤
所 在	日本三重縣

築堤年代는 未詳이나 約 百餘年前으로서 堤體右側의 漏水는 1944年度 大震災以後 漸次 漏水量

을 增加하여 最近에는 堤體의 洗堀이 顯著하여(主로 R-1) 漏水孔은 漸漸 위로 퍼지고있다 漏水時에 그漏水量은 4-5 l/sec로서 洗堀로 因한 堤體決潰의 危險도있다.

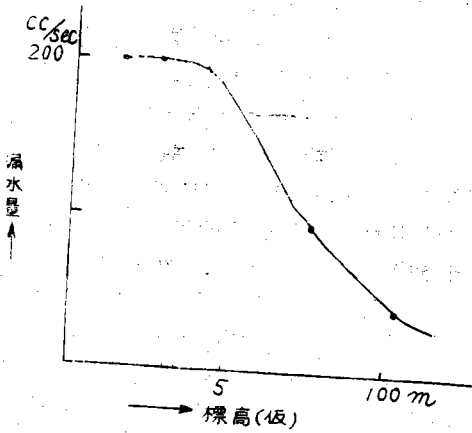


또 樋門이 老朽되여서 樋管排出口에 甚한 漏水가 있을뿐아니라 地山の 砂礫層中에로 數個所 存在하여서 總量은 6l/sec에 達하고 있다 從來方法으로서 試驗하여보았으나 全히漏水中에는 檢出되지 않았다 그래서 Isotope法으로서 試驗한것이다.

a. 地質及 漏水狀況

地質은 變成帶에 位置하여서 基盤은 石墨千枚岩으로 되어서 그위에 洪積砂礫層이 數米 堆積되고 堤體의 位置는 이兩層을 끊은곳이다. 基盤의 石墨千枚岩은 風化의 徵象은 보이지 않으나 場所에 따라서는 龜裂面에 따라 漏水의 可能性이 보이고 또 洪積砂礫層은 主로 凝灰質砂의 比較的 滲透性이 큰곳이있어서 漏水脈을 形成할 可能性이 充分히 있다 그러므로 堤體의 地質로서는 良好하다고 할수없으나 堤體用土는 그土質이 極히 良好하여 用土不良으로 漏水脈을 形成할 可能性은 없는것으로 認定된다.

Fig 2 標高와 漏水量과의 關係



b. 漏水狀況

漏水個所는 Fig 1에 表示한 R-1 右岸接合部 R-2 右岸 基盤露出面 R-3 底樋 及 左岸地山の R-4-5-6-7의 7點이다 (以下 漏水個所의 符號는 R로서 表示한다)

R-1은 1944年 大地震以來 漏水量을 增加하였다 하며 最近에는 特히 堤體 地山接觸部에 따라 洗堀이 甚하여서 漏水孔이 漸次 위로 波及하므로 急速한 對策이 必要하였다.

調査當時 貯水位와 漏水地點과의 標高差는 4.34 m이고 漏水量은 0.025 l/sec였으나 貯水位上昇으로서 漏水量은 增大되었다 한편 다른 모-든漏水地點에서는 이와같은 일은 없었다.

R-2는 0.01 l/sec 이고 Fig 1의 AB斷面의 R-1가, 나, 다, 라, 마의 漏水浸出을 合하면 計0.2 l/sec이다 以上右岸의 漏水는 貯水池에서 堤體接合部를 통하여 浸出되는것으로 생각되나 그의 漏水徑路는 不分明하다.

다음에 左岸 R-4, R-5, R-6은 基盤의 上面及 片理龜裂에서 湧出하는 것으로서 그 總量은 0.5 l/sec, R-7은 礫戶에서 pipe모양으로 噴出하여 2 l/sec나 되는것이 있으나 어느것이나 自然湧水인가 池水의 漏水에 依한것인가 調査前에는 不明이었다.

c. P³²에 依한 漏水의 檢出과 流速測定

(가) P³²(β線) 投入

3日 14時 P³² 5mc를 500cc 藥瓶 3個에 나누어 Fig 1에 表示한 3地點에 投入沈下시켜서 水中爆破로서 擴散시켰다.

이 投入方法은 池底 任意點의 位置에 Isotope를 擴散시키므로써 有利하다.

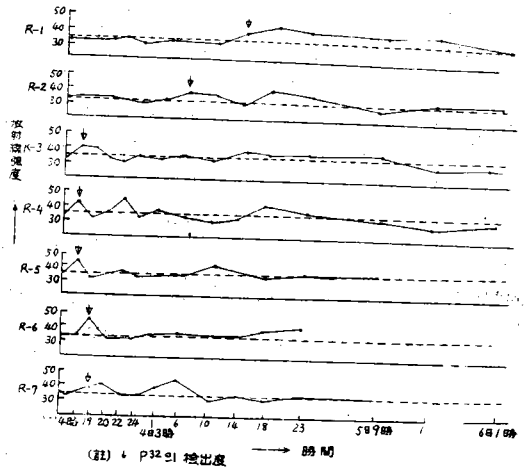
(나) 測定試料의 調製

投入後 約 2時間마다 R-1, R-7의 漏水量을 200 cc 式採取하여서 200cc beaker로서 蒸發濃縮하고 다시 stainless 試驗접시(徑 2cm, 깊이 0.5cm 의 圓筒皿) 中에서 乾固하였다.

(다) 測定

可動式 Geiger Muller 計數裝置를 使用하고 數管은 mica window type 를 使用하였다. 測定試料는 測定 stand에 넣어서 計數管과의 距離를 1 cm 로 하고 7-10分間의 測定으로서 c. p. m을 算出하였다.

Fig 3 P³²에 依한 漏水檢出



本調査地點에서의 放射能 自然計數에 關한 測定時間의 統計的 變動範圍는 31~35 c. p. m 이었으므로 測定數值가 이 範圍를 超過하는 것으로써 漏水中에서 P³²를 檢出하기로 하였다. 이數值를 Fig 3에서 縱軸을 放射能強度(c. p. m)橫軸을 資料의 採取時로 表示하였다.

(라) 結果

貯水池에 投入한 P³²는 各漏水地點에서 表1에 掲載한 時間을 經過하여 檢出되어서 어느것이나 貯水池의 漏水입을 確認하였다.

表 1. P³²에 의한 滲透流速

漏水點	所着	要時 到間	滲速流速	
			0.027 cm/Aec	1.0m/h
R-1		24		
R-2		16	0.047	1.70
R-3		2	0.52	1.90
R-4		2	0.48	1.75
R-5		2	0.93	33.50
R-6		4	0.57	20.5
R-7		4	0.31	11.2

Fig 3에서 檢出值의 時間的變化에 peak가 2個 있는것은 P³²의 投入地點이 3個所로 떠러져 있는 가답으로 生覺된다. 表1에서 보는바와같이 右岸의 漏水와 左岸의 漏水와의 實測에 큰 差가 있는 것은 兩者의 漏水機構의 性質이 틀림을 表示하는 것이다. 左岸의 漏水各地點은 따라서 相當히 洗堀이 進歩된 漏水脈일 것이다.

d. C⁶⁰에 의한 堰堤右側의 漏水機構의 究明

(가) C⁶⁰投入

右岸 R-1의 漏水에 對하여서는 前記와 如히 그 漏水經路를 探查할 必要가 있으므로 C⁶⁰을 써서 地表에서 그經路를 實測하였다.

漏水가 貯水池에서 滲入하는 地帶는 右岸堤體

와 地山接觸部 及 右岸池中으로 突出한 洪積礫層의 突出部로 推定된다. 따라서 이地帶의 水面에 따라 깊이 0.5m의 구멍 11個所를 5m間隔으로 地下水가 나타날때까지 파서 (Fig 1) 4日14時에 여기에 C⁶⁰ 20mc를 나누어서 投入하였다. 이 投入方法을 쓴것은 前記 P³²의 境遇는 池中全面에 投入擴散시켜도 半減期는 約14日로서 衛生上危險은 없었지만 比하여 C⁶⁰은 半減期가 길고 이 경우에 池中에 擴散시키는것은 危險하기때문이다.

이 投入方法에 依하면 C⁶⁰은 池中에 擴散하지 않고 堤體外部로 向하여 全部流下하므로 池水使用上 危險은 없는것이다. 다만投入된 C⁶⁰은 浸潤面에 퍼져 流下하는것으로 생각 되므로 深查效率을 올리기 爲하여 觀測點에서 觀測孔을 파서 計數管을 이孔에 매다려서 Isotope와 計數管의 距離를 되도록 接近시켰다.

(나) 測定

測點은 Fig 1와같이 16點을 擇하였다. 放射能測定을 均一化 하기爲하여 Fig 4와 같이 各其約1~2 m깊이의 小孔을파서 그속에다 計數管을 다려매서 測定하였다.

投入前의 自然計數 及 投入後 大略5~7分間마다(移動時間) 1測點當7~10分間の 測定을 하였다.

Fig 4 漏水Route橫斷圖

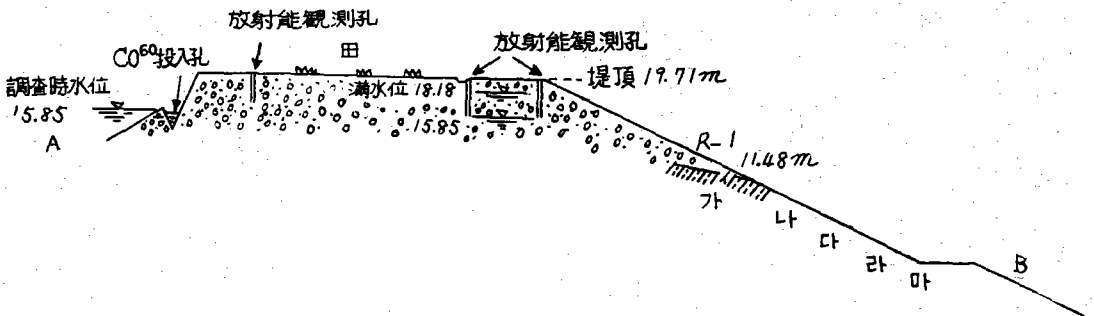


表 2. C⁶⁰投入後의 觀測孔內에 있어서의 γ 線 強度測定值

觀測點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	R-1	R-2	
自然計數測定時																			
4日13~17時	44.3	40.1	45.4	47.8	—	—	43.4	53.4	54.0	40.6	39.2	—	40.6	39.8	—	—	43.0	—	
22~01	43.0	54.6	57.0	59.0	—	—	43.2	50.2	56.6	—	41.1	—	42.0	43.4	—	—	38.6	45.7	44.6
5日6~9	39.8	42.8	45.4	50.6	—	40.8	46.0	55.5	50.3	42.0	38.0	43.1	41.4	44.3	43.4	—	40.3	34.2	0
11~13	45.4	53.0	47.4	66.8	56.1	42.2	52.5	90.8	54.8	—	—	44.3	44.0	44.3	—	—	40.0	45.2	53.0
15~17	—	—	—	—	—	—	—	65.0	52.3	46.0	37.4	46.2	51.1	42.0	43.4	—	52.3	57.1	—
21~24	47.1	59.4	47.5	61.1	57.1	—	47.3	66.0	54.2	—	42.7	—	56.3	46.6	46.7	—	55.7	58.0	44.0

同位元素(Isotope)에 의한堰堤漏水探查法

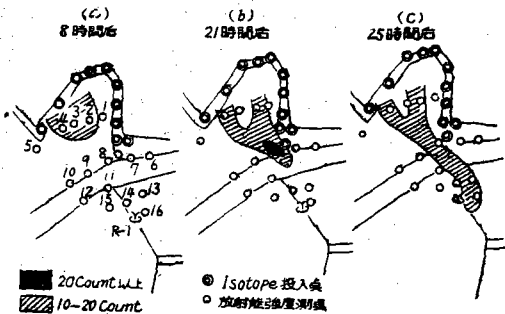
table 2에 投入前의 各 觀測點의 自然計數値와 投入後 5日21時에 이르기 까지의 測定値를 表示하였다. 但 全測點을 測定하는데 所要된 時間은 約 3時間前後로서 그로 因하여 測定時間에 制約을 받아 各 測定値는 2~3 Count의 統計的 誤差를 包含한 것이다.

即 測點 2, 3, 4, 5에서 投入後 8時間 다시 또 5時間後에는 9에 顯著하게 檢出되고 25時間後에는 13, 16에 到達하여 直時R-1에도 檢出되었다.

이 R-1까지의 檢出時間은 大略 P³²의 檢出時間과 一致하고있다. 漏水經路 即 放射能値가 增加한 地帶를 一定時間마다 8時間 21時間을 圖示하면 Fig5와 如히 된다. 이 Fig5의 數値는 投入前의 自然計數値를 投入後의 測定値에서 差引한것으로서 漏水脈中의 C⁶⁰에 依한 放射強度의 增加를 表現하는것이다.

即 投入後 8時間만에 堰堤洪積礫戶의 突出部에 11 c.p.m.以上의 計數가 나와서 池水는 同礫戶中에 侵入하여 漏水路로 된것을 알았다. 또 다시投入

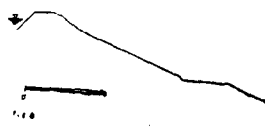
Fig 5. C⁶⁰에 의한 漏水脈探查



後 21時間에는 堰體와 山과의 接觸部 No. 8 測點附近을 通過하고 다시 25時間後에는 堰體와 山과의 接觸部를 지나 漏水點 R-1에 到達하였다. 即 突出된 砂礫戶이 漏水侵入地帶를 形成하고 砂礫戶과 堰體의 接觸部가 漏水路로 되어 있음을 알수있다

또 調査終了後 池水의 C⁶⁰에 依한 汚染은 認識되지 않고 또 C⁶⁰의 投入口는 試驗終了直後 粘土로 埋戻하여 compact하였다.

Fig 6 堰堤橫斷面圖



C⁶⁰投入前의 自然計數는 37 c.p.m.으로서 埋戻後에는 40 c.p.m.이 되어 危險性은 全然 없는것으로 생각된다.

以上 調査結果로서 다음것이 생각된다.

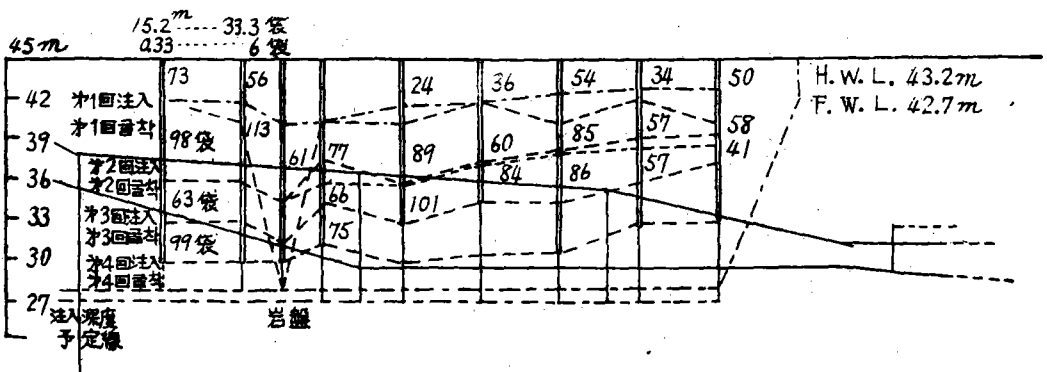
1. 左岸地山에서의 出水는 全部 漏水이고 堤防敷地의 地質은 基盤 及 洪積礫戶이 다같이不良하고 滲透實流速은 0.5 cm/sec 內外이다 右岸의 漏水는 前者와 그性質이 달라서 堤體의 基盤接合部의 缺陷으로 생긴것으로 볼수있으며 漏水의 實流速은 0.03 cm/sec 內外이다.

2. 그 漏水徑路는 右岸山 突出部에서 侵入하여 堤體와 山과의 接觸部에 集中하여 漏水口에 到達하는 것이다. 따라서 判明된 R-1의 漏水機構를 보아서 右岸接合部는 洗掘로 因하여 堤體의 決潰를 불 危險性이 있으므로 完全한 漏水防止工事를 할 必要性이 判定된것이다.

- 例 2. 流域面積 800町步
- 灌溉面積 135町步
- 堤頂기리 89.0m
- 堤高 16m
- 貯水量 25萬 立方米인 土堰堤

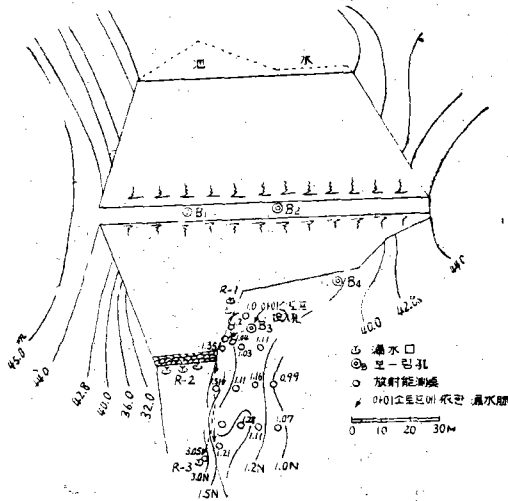
1942年頃부터 堰體下部 石築에서 漏水가 始作되어 漸次 그水量이 增加되어서 1953年의 颱風直後에는 漏水가 甚하여져서 石築部에서 噴流하여 缺潰의 危險이 있다고하여 下流住民이 避難을 할 程度까지 이르렀던 것이다. 1935年頃에 漏水對策으로서 grouting과 前鋼土等 工事를 하였으나 그 效果가 나지않았다. 다음 그림은 grout 實施圖이다.

Fig 7. 堰堤 Grout 工事圖



또 1949년에漏水經路追跡을 하기爲하여 電氣探查를 하였으나 그探查結果도 不明確하였다. 그래서 그堰堤는 機能을 喪失한채 今일에 이르렀다. 그러므로 Isotope法으로서 漏水脈을 探求하게 된 것이다. 그러나 調査時의 貯水位는 滿水面下 6.4 m로서 R-2, R-3 以外에는 漏水가 보이지않아서 漏水調査로서는 最惡條件이었다.

Fig 8. 放射能探查圖



a. 地質 及 漏水狀況

本貯水池附近은 古生代 砂岩戶에 屬하여 主로 砂岩 頁岩의 岩戶로 되어 特히 長石과 石英粒이 많다. 頁岩은 黑色으로서 化石도 包含되어 있다. 走向은 大略 N20°E~N50°E이고 SE로 10°~15°傾斜 되어 있다.

堰堤右岸은 3枚의 砂岩과 그와같은 두께의 頁岩(얇은 砂岩戶이 介在됨)으로 되어 構造는 一般으로 單斜構造이다. 堰堤左岸 及 貯水池 周邊附近에는 小規模의 斷戶이 보이고 그走向은 N50°E~N70°E로서 SE로 30°~40° 傾斜되어 있다. 이 斷戶들은 極히 적은 것으로서 貯水池 隧道內의 觀察에 依하면 斷戶個所에서 漏水는 少量이고 堤體의 漏水와는 關係가 없는것 같았다. 隧道內에서는 特히 漏水性岩戶은 볼수 없으나 砂岩戶中에 介在한 얇은 脆弱한 頁岩戶과의 境界面이 漏水脈을 形成하기 쉬운것으로 推定되었다. 隧道內의 漏水는 2~3 l/sec程度이다. 左岸의 基礎深度는 電氣探查結果 10~20m이니 相當히 깊다는것을 알수 있었다. 또 施工當時의 傳言에 依하면 左岸은 基盤이

깊어서 基盤까지 床堀을 하지 않았다는 것이다. 左岸의 地質條件이 이와같이 不良하여 漏水는 이것과 多分の關係가 있는것같이 생각되었다. 漏水는 堤體 外側傾斜(外法)左岸 (標高33.4m 2個所의 漏水口) 堤體下部 石築 及 堤體下流 左岸等에서 나타났다. 漏水時에 있어서는 其他에서도 漏水되는 것 같으나 이것은 不明이다.

調査當時 貯水位가 낮으므로 漏水狀況을 볼수 없었던 標高33.4m에 있어서의 漏水 R-1은 颱風當時 122 l/sec 까지 되었다.

表 3 土堰堤漏水量調査

滿水面에서의 水位降下量(m)	三角堰cm	R-1과 R-2의 合流漏水量 (l/sec)
1.21	0.1212	7.3
1.73	0.0939	3.7
2.12	0.0758	2.2
2.27	0.045	0.6
3.08	0.018	0.06
3.64	0.000	0.00

表3은 當時의 貯水位와 漏水量과의 關係이다. 本調査目的은 7線을 放射하는 C⁶⁰을 貯水池 漏水口附近 堤體內에 投入하여 이것에 依한 放射能強度分布를 堤體上에서 測定하여서 漏水 route를 追跡하는것이다. 그러나 調査當初 貯水位가 極히 낮고 滿水位下 6.4m 이었으므로 貯水位 上昇에 努力하였으나 그間 降雨가 없어서 不得已 다음方法으로 調査하였다.

b. 7線 自然計數 探查

地表에서의 自然7線 測定値는 斷戶岩石의 틈(割目) 龜裂等이 있으면 地下深所로서의 放射能物質이 空隙部를 通하여 表戶部에 集積되어서 7線이 增大하는것이다. 따라서 地質條件에 依하여 各測定點의 自然計數値는 달라지는것이다. Geiger Muller 計數管을 地表에 水平으로 設置하여서 10分間 測定하였다.

測線은 堰堤 及 여기서 214m上流에서 N-S方向 及 堤體下流 200m에서 N20°E에 設置한 測線의 測點間隔은 20~30m로 하였다. 7線 計數値가 大한 地點은 堰堤 上流214m 貯水池右岸 道路附近 及 堤體外側傾斜左岸으로 堤體下流 200m. 道路上附近이어서 自然計數値를 N으로하면 最大 1.4N으로 되었다. 地表地質踏査에 依하면 堤體右側附近

으로 N-S N50°E 方向의 斷戸이 있고 또 兩岸에 前記 그方向과 거의 同方向의 斷戸이 있다. 이것은 前記 7線強度가 큰地帶와 關聯이 있는것으로 생각되나. 이關聯性에 對하여서는 放射能測點이 적기때문에 不明確하다.

C, Isotope에 의한 漏水探查

貯水位가 낮기때문에 漏水量이 가장 큰 R-1에 水이 없고 石築部의 R-2의 漏水가 對象으로되었다. 堤體上에서 7線을 追跡하는것은 水位가 낮아서 困難하여서 堤體에 Boring을 하여 이孔內에 C₆₀을 投入하여서 漏水의 放射能 檢出을 하고 滲透速度 滲透係數를 求하였다. Boring No. 1孔에 投入한 結果는 R-2의 左岸에서의 漏水는 投入後 4時間8分만에 檢出되었다. 따라서 堤塘의 浸透係數를 計算하면

$$P : V = K \frac{h}{e}$$

v : 0.003 m/sec
 h : 7.59m
 l : 45.6m
 p : 堤體의 有效空隙率 20%
 k : 0.0037 m/sec 이다.

이數値는 石築下의 漏水標高가 實地보다 훨씬 낮게 나타났으므로 더욱더 큰것으로 믿는다. 다음에 Boring孔 No. 3에 Isotope를 投入하였다. 아마

表 4 Isotope放流前과放流後의 7線計數値의 變化

測 點	自然計數	測定時刻	Isotope投入後의計數値	自然計數와의比
1	35.0/分	10時20/分	39.0/分	1.11
2	36.0	10.25	37.0	1.03
3	36.0	10.30	41.0	1.14
4	35.0	10.35	42.0	1.20
5	36.3	10.38	49.0	1.35
6	38.7	10.42	50.4	1.31
7	36.3	10.46	42.3	1.51
8	35.0	10.50	39.0	1.11
9	35.5	10.55	37.0	1.16
10	36.5	11.00	36.2	0.99
11	36.3	11.10	42.3	1.16
12	35.0	11.24	44.7	1.20
13	36.0	11.31	40.0	1.11
14	35.5	11.41	38.0	1.07
15	34.5	11.46	42.0	1.21
16	36.3	12.15	110.7	3.05

도 漏水는 堤體와 山과의 接觸部를 通하여 于先먼저 R-2漏水에 나타날것으로 推定되어 地下水水位가 낮으므로 地表面에서 7線을 追跡하였다. 測點을 16個所 選定하고 1測點의 計測時間은 5分間으로 하였다. Isotope放流前과 放流後의 7線計數値의 變化를 表4에 掲載하였다.

또 이附近 堤體左岸 埋戾地帶는 그質이 疎惡하여 滲透性이 큰곳으로 생각된다.

Isotope를 投入하기前에 40分間 注水를 하고 投入後도 계속하여 注水하였다.

漏水經路는 Fig 9로서 分明함과같이 注入孔에서 上部漏水口 (標高33.4m)附近으로 向하여 흘러서 豫想과 反對로 堤體下部石築으로 나오지 않고 追跡를 轉換하여 N-S方向으로 埋戾地帶로 直進하여서 今番調査로서 判明된 新漏水口(最下流點)로가서 地表에 湧出하였다. 이漏水帶는 幅 6m으로 퍼지고 9個所의 漏水口가 있다. 川水位面以下이므로 이때것 發見되지 않았든 것이다. Isotope 投入孔에서 新漏水口에 到達하기 까지의 滲透時間은 2時間3分으로서 水流速은 0.50 m/sec이다. 前式과같은 모양으로

$$k = 0.0088 \text{ m/sec}$$

$$V = 0.005 \text{ m/sec}$$

$$h = 4.19 \text{ m}$$

$$l = 37.0 \text{ m}$$

$$p = 20\%$$

以上 Isotope探查로서 埋戾地帶의 滲透係數는 堤體의 그것보다 커서 堤體의 漏水는 容易하게 이 埋戾地帶를 지나 漏水帶를 形成함이 밝혀졌다. 또 Isotope放流 影響에 對하여서는 慎重히 考慮하여 地下水의 汚染 其他에 對하여 調査한 結果 그리 念慮할 必要가없음이 밝혀졌으므로 探查를 進行한것이다.

d. Boring孔에 의한 注水試驗

Isotope를 投入하기 爲하여 掘착한 堤體 中心線上的 Boring No 1, No. 2를 利用하여 中心鑿土의 滲透係數를 求하여보았다.

Boring No. 1은 中心土의 中心이되고 掘鑿深度는 16m이다. (Boring位置는 Fig 8를 參照할것)

No. 1 孔內의 地下水水位는 8.72m로서 그當時의 貯水池水位에 比하여 20cm下位에 있다. 每秒

0.85 l 注水하였는데 1時間半이 되도록 水位는 조금도 上昇하지 않았다.

Boring No.2는 堀鑿深度 12.0m 地下水位는 9.035m이고 그때의 貯水位에 比하여 27.5c m 下位에있다.

每秒 0.85l로서 1時間35分 注水한 結果 水位는 4.85 m로 上昇하여 爾後 水位는 一定하게 되었다. casing를 挿入하였으므로 물은 底面에만 進水되고 또 孔徑이 40 mm의 極히 작은 것이므로

$Q=4kr(H-h)$ 의 揚水 試驗式을 써서 k를 算出할수 있다.

$k=0.0021 \text{ m/sec}$

$Q=0.0007 \text{ m}^3/\text{sec}$

$H=9.035 \text{ m}$

$h=4.850 \text{ m}$

$r=0.020 \text{ m}$

따라서 前述한 Boring No.1 附近의 中心粘土의 k는 Boring No.2의 0.0021 m/sec에 比하여 더 큰 値로 되었다.

또 Isotope에 依한 漏水調査와 併行하여 流電電位法에 依한 電氣探查도 하였더니 그 探查對象인

堤體의 漏水量이 적고 또 水位가 낮으므로 明確히 漏水經路를 捕捉할수 없었다.

以上 諸實驗은 貯水位가 極히 낮았기때문에 堤體全般의 漏水 route 究明이 不能하였으나 內側 傾斜部의 試驗及 Isotope에 依한 試驗結果 堤體又是 中心土를 包含하여 到處에서 相當히 큰 k로서 漏水가 滲透할 可能性이 크다는것이 밝혀졌다. 이것은 Boring No.1의 Isotope投入 結果로서도 容易하게 推定할수 있다.

萬若 堤體中心線上에서 多數한 Boring를 하여서 各孔에 Isotope를 投入한 境遇에 어느것이나 같은 滲透經路를 밟는것으로 생각된다.

Fig 9. Boring 各孔別에 依한 注水試驗

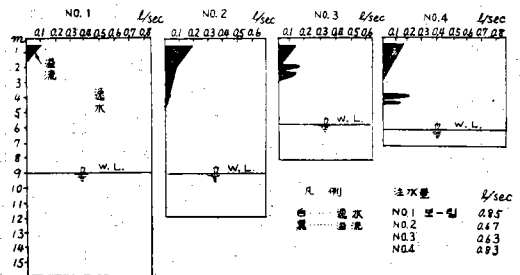
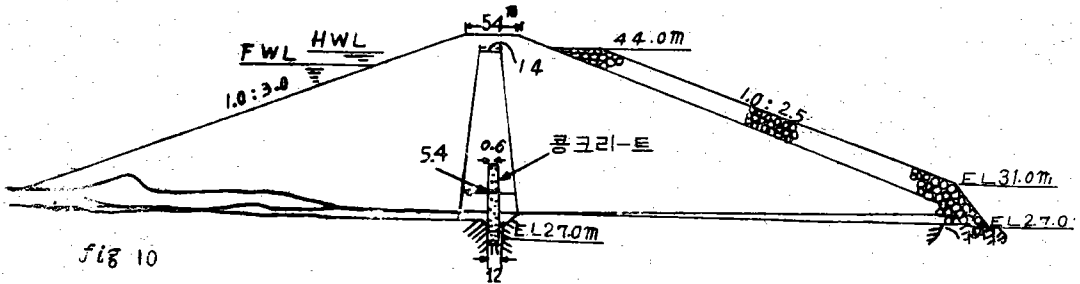


Fig 10. 堤塘 橫斷圖



이것은 注水試驗 結果 中心土의 滲透係數가 極히 크다는 것으로서 容易하게 理解할수 있다.

또 堤體 外側傾斜外 左岸의 埋戻地帶(B-3孔附近)는 堤體보다 滲透性이 크고 堤體를 侵透하여 漏水帶로 形成함이 明瞭하게 되었다. 따라서 이와같은 漏水機構를 가진 堤體의 漏水防止는 中心土를 다시改築하는 以外에는 달리 對策이 없는 것으로 생각되었다. 그러므로 그對策으로서는 堤頂中心線에 따라 어금매기型으로 間隔 1m以下로 grouting을 하여서 所謂 grouting curtains을 만드는 工法이 좋은것으로 思料된다.

例 3. Concrete Dam.

本Dam은 直線 重力式 Coconcrete Dam이다 Dam 概要는 다음과 같다.

Dam height	55.70m
堤頂標高	392.70m
堤 長	141.00m
Crest	385.50m
堤體積	97,755m ³
滿水位	385.80m
貯水量	8,500,000m ³
流域面積	32.45km ²
滿水面積	50町步
灌溉面積	3,933町步

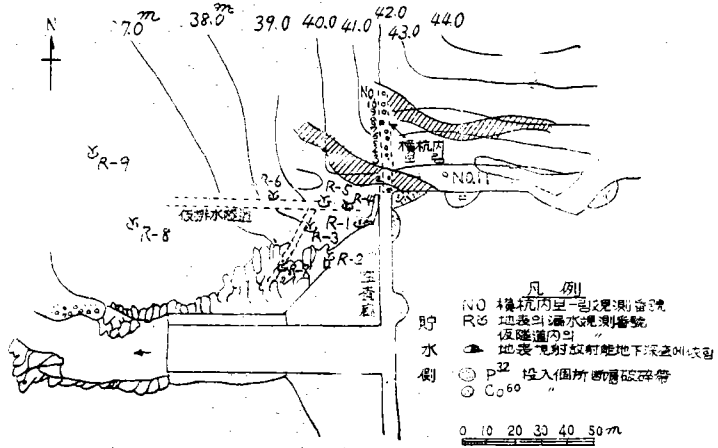
a. 漏水狀況

基盤은 古生代이며 互層狀 態로 粘板岩이 介在되어 있다. 右岸側은 主로 粘板岩質 이고 Apron部는 砂岩으로 되어 있다. 左岸은 石英斑岩 이 併入하여 호른펠스(horn false)化 하였다. 斷層은 東西 ~N30°W方向으로 發達하여 斷層과 거의 直角方向으로 龜裂 틈이 顯著하게 나타나고 있다.

漏水位置는 Fig 11에 表示 한다.

Shaft內의 漏水 R-3은 確實히 N80E. 80°S 幅 3cm의 斷層面에서 漏水되고 있다. R-1도 같은 모양으로 N70W의 斷層에서 R-2는 金(割目)에서

Fig 11 堰堤 漏水 探查圖



湧出하고 있는 것이다. 表4에 各漏水口의 狀態와 漏水量을 掲載한다.

表 5 漏水口의 狀態와 湧水量

漏水番號	漏水口의 狀態	漏水量 l/sec	貯水位 m	測定年月日	漏水標高
R-1	N 70W의 斷面에 의 湧出	0.016	滿水面下 4.2	1954. 10. 28	Pipe場所 383.209
		0.380	滿水位	12. 18	斷層場所 385.962
R-2	砂岩 龜裂面에서 湧出	0.58	滿水面下 4.2	1954. 10. 28	
		0.70	滿水位	12. 18	
R-3	橫坑內N80°E80°S巾3cm의 斷層 層堤頂巾의 堰堤方向에서 湧出	0.40	滿水面下 4.2	1954. 10. 28	348.327
		0.42	滿水位	12. 18	
R-4	假排水隧道內에 滯溜	不 明			347.092
R-5	假排水隧道內, 堰頂北側 6 m間 節理面에서 滴下	目 測 0.05	滿 水 位	1954. 12. 18	344.757
R-6	假排水隧道內堤頂北側 R-5程度10m間	日 測 0.10	滿 水 位	1954. 12. 18	344.412
R-7	橫坑內堤頂及堰堤의 側壁에서 湧出, 龜裂面이 많은 곳이다	0.15	滿 水 位	1954. 12. 18	
R-8	길이 80cm, 直徑 3m. 表尺에서 湧出, 滯溜되었다	不 明			361.499
R-9	自然湧水 같으나 根據는 없다 地下 50m에서 湧出	1.0		1954. 10. 28	

처음으로 漏水를 본것은 堰堤가 1949年7월에 完成되어 11月の 滿水時이다. 그後 grouting를 繼續하여 表5와같이 減少되었다.

表 6. Grout에 의한 漏水量減少

測定年度	最 高		最 低	
	漏水量	貯水位	漏水量	貯水位
1952年	240l/分	23.9m	48l/分	19.60m
1953年	160		34.8	
1954年	67		32.0	

또 漏水開始의 貯水標高는 383.0m 이다.

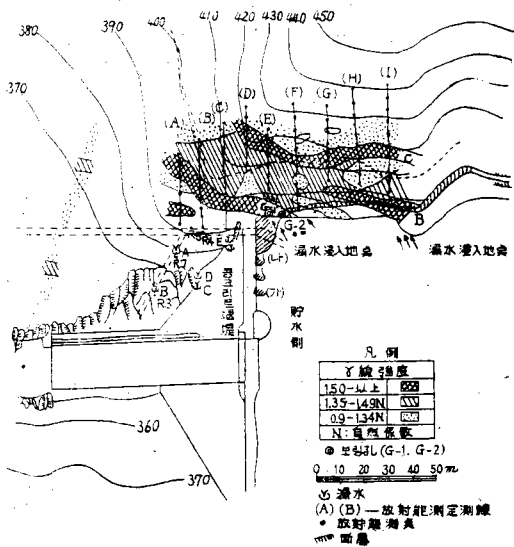
b. 貯水位 滿水面下 4.1m에서의 漏水調査

1954年 3月 20日부터 同31日 까지의 同堰堤 右岸接合部에서의 放射能 地下探查 結果에 依하면 γ線強度가 强하게 나타난 地帶 即 斷層으로 因한 틈이 많은 部分은 堰堤 右岸接合部에서 山으로 向하여 18m~20m巾을 占領하고 있다. (Fig 12 參照)

(가) 이 斷層 破碎帶와 貯水池에서 堤體 山接合部, 山及 假排水隧道內의 漏水點, R-1 R2..... R-8에 이르는 漏水徑路와의 關係

(나) 特히 R-1에 對하여서는 漏水가 同破碎帶를 山方向으로 迂迴하여 나타나는 것과, R-1이 存在하는 斷層面內에서 堤體下를 뚫고 나가는 것

Fig 12. 放射能 地下探查圖



이 一旦 생각되나 그의 實地關聯性

(다) 調査前 橫坑內 No. 1 Boring에서 No. 5 Boring 까지의 사이에 施工된 右岸 橫坑內에 있어서의 group 의 効果에 對하여 疑問을 究明하기 爲하여 貯水池 右岸 堤體를 따라 Isotope P³²을 投入하고 이것이 漏水徑路를 通하여 橫坑內 Boring孔 No. 12에서 No. 10까지 9點. 山上流側의 No. 11의 1點及 漏水點 R-1, R-2, ……R-8에 나타나는 時間及 放射能 強度 (P³²에 依한 count數)로 測定하여서 右岸堤體를 따르는 貯水池와 漏水點과의 關聯을 求하였다.

이때의 貯水位及 Boring孔 水位는 表6과 같다.

測定順序

P³²의 投入法

10月 29日 15時 15分 부터 30分사이에 Fig 11에 表示한 (다), (라)의 貯水池의 表戶及 水面下 10m 前後의 深戶

에 2個所, 各 5mc式을 投入 擴散시켰다. (擴散方法은 Blask를 水中에서 機械的으로 破碎)

測定法

測定器는 二進式 放射線 計數器 (型式 2S-P 1)로서 現地에서 測定하였다. 自然計數는 35.0 放射線 測定에 隨伴되는 計數誤差는 5-10分間 測定으로 2-3count 이었다.

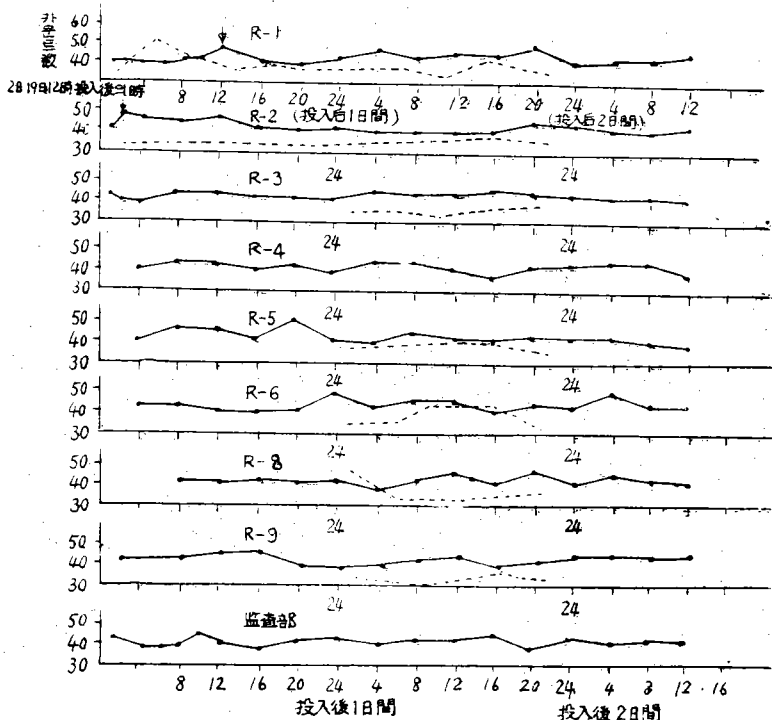
表 7. Isotope採水 Boring孔水位

Boring No.	水位標高	Boring No.	水位標高
1	測定不能	7	394,466
2	393,906	8	394,498
3	394,171	9	394,528
4	194,184	10	394,521
5	394,341	11	400,516
6	394,334	貯水位	385,700

測定試料

10個所의 Boring孔內의 물, 9個所의 漏水를 各 各 100cc로 測定時間마다 (大略4時間)採取하여 直

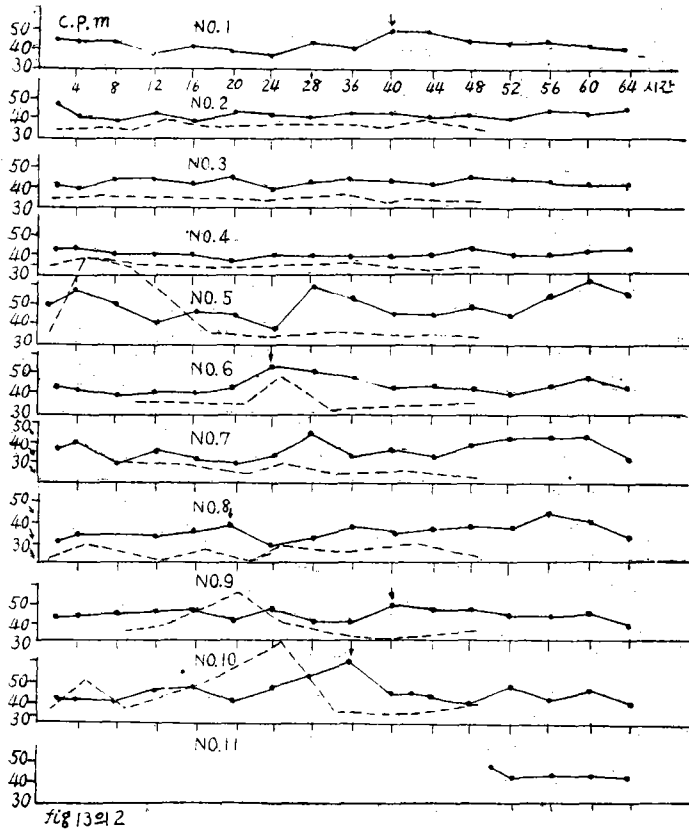
Fig 13. 漏水, Boring孔內에 있어서의 漏水의 放射線 變化曲線



--- 貯水位 水面下 410cm 1954年 10月 27日 ~ 11月 1日 測定
P³²自然計數 35~38 C.P.M. 39 C.P.M. 以上檢出

— 貯水位 水面下 11 1954年 12月 17日 ~ 25日 測定
C¹⁴自然計數 43~45 C.P.M. 48 C.P.M. 以上檢出 (印)

附錄 13:1



다 31日 11時까지 採水하였다.

測定結果

Fig 13에 29日 15時 30分에서부터 31日 11時까지 44時間의 各測點의 每測定時에 있어서의 測定count의 變化를 表示하였다. (點線)

이것으로써

(가) 橫坑內의 Boring孔의 各點은 No. 5 以外에는 Isotope投入後 16時間에 이르기까지 P³²의 檢出을 認定할수 없으나 18~24時間이 되어서 No. 6에서 No. 10까지의 5點에서 檢出되었다.

한편 堰堤와 山과의 接合部의 R-1, R-2, R-3에 對하여서는 R-1, R-3는 投入後 4時間만에 이것을 檢出하였는데 그以後는 認定할수 없었다. 따라서 No. 5以外의 橫坑內의 漏水는 堤體 接合部의 貯水와 R-1, R-2, R-3에 이르는 漏水 經路와는 關係가없다.

또 Boring No. 5의 放射線強度의 時間的 變化의 分布는 R-1, R-3의

境遇의 分布와는나르고 또 가장 強한 放射能을 表現하고 있다. 이것은 確實히 큰 漏水脈이 된것으로 思料된다.

山과 假排水隧道內의 漏水點 R-8, R-6, R-5에 있어서는 Isotope 投入後 24~32 時間까지에 P³²을 檢出한 點으로 보아서 橫坑內 Boring孔에서 檢出된 漏水는 斷戶 破碎帶는 兩側 下流의 山方向으로 向한것으로 생각된다.

No. 11 右岸上流 Boring孔에는 P³²의 檢出을 보지못하였으나 이것은 投入位置가 堤體에 가까웠던 까닭으로 생각된다.

(나) R-1의 漏水는 No. 5 測定値에 比하여 檢出 count 數가 적고 檢出時間도 짧았던 點으로 보아서 漏水經路는 脈狀으로되어 流速도 相當히 클것이다 測定値가 比較的 小한것은 이 漏水經路 以外의 漏水을 混入한 까닭으로 생각된다.

(다) Fig 13에 表示한 Boring No. 2, 3, 4 測點에 對하여는 漏水의 檢出을 볼수없으나 No. 5 에서는 投入後 16時間 사이에 最大count 76을 檢出

時 200cc beaker로서 蒸發시켜서 다시 徑 2cm 高 0.5cm의 圓筒型 試料접시에서 乾固하였다. 또 Boring孔內의 採水法은 試驗管을 다러매고 每回 새것과 바꿔 蒸發乾固은 採水試料에서 물을 完全히 除去하고 다시 물에依한 放射線(β線)의 自己 吸取를 除去하는 까닭이다.

測定值

測定試料접시를 放射線 測定 Stand內에 設置하고 計數管과의 距離를 1cm로하고 測定値는 7分間의 每分平均count數로 하였다. 自然計數 35.0 c. p. m에 對하여 39 c. p. m 以上을 超過한것으로써 P³²의 檢出로 認定하였다. (Isotope 投入前의 貯水池의 물을 30.5 c. p. m 漏水는 34.0 c. p. m으로서 自然計數值였다)

採水時間

Boring No. 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11. 漏水 R-1, R-2, R-3 地點에서는 投入時 29日 15時에서 부터 No. 6, 7, 9는 29日 23時서 부터 R-4, R-5, R-6, R-7, R-8, R-9는 30日 15時에서 부터 4~5時間마

하였다.

No. 6 에서는 24時間後에 No. 7. 8. 에서는 24時間後까지 檢出되었다.

No. 9. 10 에서는 各其 20時間 24時間後에 54及 72count를 세일수 있었다.

No. 2 No. 3間은 Test Boring을 하지않았기때문에 漏水를 認定할수 없으나 以上結果로서 結論하면 No. 2 Boring에서 No. 4까지의 橫坑入口는 이미 施工된 grout의 效果로서 山을 通過하는 漏水는 阻止되었으나 거기서부터 深部 橫坑內로 延長 30m 或은 그以上은 grout로서 漏水를 阻止할 必要를 認定하였다.

특히 No. 5는 測定值 大하여 堤體 右岸 接合部の 貯水와의 關係도 있고 또 橫坑內 17m附近의 放射能 自然值가 大한 斷戸破砕帶에 相當하므로 이것을 中心으로 하여 2~4m사이에 充分한 grouting 이 必要함을 推定하였다.

또 Boring No. 9. 10에 對하여도 No. 5와같이 count數가 大하므로 같은모양의 對策이 必要한 것이다.

Boring No. 5. No. 9. 10. No. 9의 測定值는 時間에 따라 漸次 山方向으로 移動하고 있으나 이것을 追跡하면 漏水와 關係있는 破砕戶中の 漏水 滲透速度는 0.5~1.0 m/h로 推定된다. 調査中과 調査後에 있어서의 河川 貯水池의 汚染은 Table7과 같이 自然計數值을 表現하여 全然 危險性은 없는 것이다.

表 8. P³²에 의한 貯水池, 河川의 放射線強度

場 所	試料	放射線強度 c. p. m	備 考
Isotope投入 個所(右岸)	1l	51.0	Isotope投入後 19時間
同 上	1l	37.0	同 上 42時間
貯水池左岸	1l	35.0	同 上 19時間
堰堤下流 50m	1l	35.5	同 上 4時間
堰堤下 150m	1l	34.5	Isotope投入後 8時間以後每 10時間에 測定하여도 變化量
貯水池	1l	35.0	Isotope投入前
自然計數		35.0	10時間測定

c. 貯水池 防水時의 調査測定 方法

前番에 P³² 에 의한 調査로서 調査時의 貯水池及 河川의 汚染은 거의 問題가 되지않음을 알았기 때문에 今番에는 C⁶⁰을 使用하였다. Isotope 投入

場所는 먼저번의 試驗結果로서 斷戸 破砕帶에 屬하는 (가) (나)地點도 漏水侵入地點으로 推定되었으므로 今番은 새로 이것을 追加하여 Fig13과 같이 (가), (나), (다), (라), 地點에 投入하였다 投入量은 (가)點(貯水池表戶) 12mc (나)點(表戶) 12mc(다)點(表戶) 12mc (다)點 水面下10m, 10mc로서 擴散方法을 먼지와같이 Blase를 水中에서 機械的으로 破壞시켰다.

測定方法

測定器는 二進式 放射線 測定器를 使用하였다. 自然計數는 現地에서 7~10分間 測定으로 每分當 41.6count 誤差範圍는 2~4count 以內이었다.

採水個所는 前番과 같으나 右 監査部(reserch hole)階段의 Block 接合部の 滲出水量을 追加하였다 이대의 Boring孔 水位는 Table9 와 같다.

表 9. Isotope投入前의 貯水池漏水의 放射線強度

測 點	放射線強度 c. p. m	備 考
Boring No. 1	45.0	200cc採水
〃 No. 2	43.4	〃
〃 No. 3	42.5	〃
〃 No. 4	45.0	〃
〃 No. 5	43.0	〃
〃 No. 6	43.0	〃
〃 No. 7	43.4	〃
〃 No. 8	45.0	〃
〃 No. 9	41.0	〃
〃 No. 10	42.6	〃
〃 No. 11	41.0	〃
漏 水 R-1	41.2	〃
R-3	45.0	1000cc採用
池 水		

表 10. 滿水時 Isotope 採水 Boring 孔水位

Boring No.	水 位 標 高
1	395.732
2	395.412
3	395.700
4	395.822
5	395.844
6	395.887
7	396.052
8	396.047
9	396.052
10	396.092
11	402.147
貯水池	389.800

採水量은 200cc로서 試料製作及 測定方法은 前番과 同一하다.

Isotope 檢出基準은 自然計數 每分 43.6 count 에 對하여 Isotope 投入前의 池水及 漏水의 count 는 Table 9 와같이 每分當 41~45.0 count 이므로 計數誤差를 考慮하여 每分 48 count 以上으로 하였다.

採水時間은 R-1, R-2, R-3, Boring No. 1~10 은 採入後 30分, 1時間, 2時間, 4時間 爾後 每4時間, 基地는 처음부터 每4時間으로하여 72時間 連續測定을 하였다.

測定結果

Fig 12에 Isotope를 投入하여서부터 72時間 連續觀測한 各測點結果를 表示하였다. 縱軸은 每分間의 count數 橫軸은 Isotope를 投入하여서 採水까지의 時間을 表示한 것이다 (點線은 前番의 P³² 調査) 實線이 今番 C⁶⁰에 依한 放射線 強度變化 曲線이다. 橫坑內 Boring에서 가장빨리 C⁶⁰이 檢出된 hole은 No. 5로서 Isotope 投入後 1時間만에 벌써 顯著하게 認定되고 4時間만에 放射線強度가 peak에 達하였다. No. 5 Boring hole을 境界로 하여서 여기서부터 안쪽의 橫坑內 Boring에서는 時間的遲延은 多少있지만 어느것이나 明瞭하게 C⁶⁰이 檢出되었다. 即 No. 5에서는 4時間後 No. 6, 8, 9, 10은 16~24時間後에 認定되었다. 또 No. 5에서 堰堤 接合部로 向하여서는 No. 3, No. 4에서는 全然 認識할수 없었고 橫坑內의 No. 2가 2時間後 No. 1이 36時間後에 檢出되었다.

한편 堰堤 山接合部の 漏水R-1, R-2는 各其 12時間, 2時間後에 檢出되었으나 隧道內의 斷戶에서 湧出하는 漏水 R-3은 全然認定되지 않았다. 또 假排水隧道內의 R-5 R-6에서는 20~24時間後에 檢出되었고 監査部에서는 檢出되지 않았다.

다음 防水時에 있어서의 以上測定結果를 前番의 調査結果(滿水面下 4m의 貯水位)와 比較對照하여 貯水位와 貯水의 滲透速度及 漏水經路의 變遷과의 關聯性을 深求하여 보기로 하였다. 그結果를 要約하면 다음과 같다.

A. 貯水位 4m上昇(滿水位)으로 漏水의 滲透時間이 빠르게된것

滿水時	滿水面下 4m	
R-6	24時間	33時間

Boring No. 5	1時間	4時間
〃 No. 7	4時間	24時間
〃 No. 8	20時間	24時間
〃 No. 9	16時間	20時間
〃 No. 10	16時間	24時間

B. 貯水位 4m上昇으로 漏水의 滲透速度가 느저진것

滿水時	滿水面下 4m	
R-1	12時間	4時間

C. 滿水時 滿水面下 4m 다같이 變化없는것

滿水時	滿水面下 4m	
Boring No. 6	24時間	24時間

D. 滿水面下 4m에서는 漏水を 認識할수 없으나 滿水位로되여 認定된것

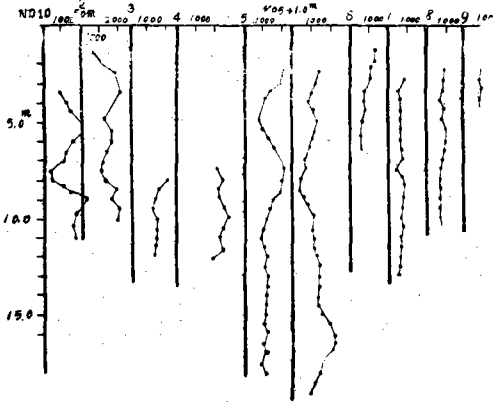
滿水時	滿水面下 4m	
R-2	2時間	未檢出
Boring No. 2	2時間	未檢出

以上과 같이 貯水位가 上昇하여 滿水位로 되면 一般으로 그것에따라 漏水의 滲透速度는 3~9時間 (No. 7은 例外로서 20時間)빠르게되고 R-2, No. 2와같이 滿水位로되여 처음으로 漏水を 檢出하게되는 것도있다. 그러므로 貯水池 水頭와 漏水의 滲透速度와는 거의 正常的인 關係가 있으나 R-1란은 全혀 反對의 關係를 表示하고있다. 即 漏水의 滲透時間은 滿水位로되면 滿水面下 4m의 境遇에 比하여 8時間이나 늦게된다. 이것은 아마도 滿水面下 4m의 境遇에는 R-1의 漏水는 山을 迂廻함이 없이 堤體下部를 通하여 이 漏水經路以外의 漏水와 合쳐서 湧出하는 것으로 생각되었다 (檢出된 放射能 強度로서도 알수있다) 그때의 漏水量은 0.016l/sec 이므로 堤體下部를 通하는 漏水量은 그보다도 훨씬 적을것으로 본다.

이와같은 狀態에있는 漏水 R-1이 4m 貯水位가 上昇되면 放射能 地下深套로서 明瞭하게된 右岸斷戶 破碎帶(Fig12 參照)를 容易하게 滲透하여 Boring No. 2 附近을 迂廻하여서 R-1, R-2에 達한것으로 보인다. 그러나 一部の漏水는 堤體下部를 通하는것으로 推定되나 이 漏水經路以外의 R-1에 合하는 漏水量이 滿水面下 4m인境遇에 比較하여 大端히 크므로 今番에는 堤體下部를 潛入하는 漏水는 明確히 捕捉할수 없었던것으로 보인다 또 橫坑No Boring孔에서 안쪽으로 山方向의 Boring孔에서는 前番과같이 count數가 많고 또 그

強度變化曲線이 모다 類似하여서 2~3의 peak가 나타나고있다 (peak가 2~3 나타난것은 C⁶⁰投入 個所 3個所에 걸쳐어있는 것으로 생각된다) 이 No.5

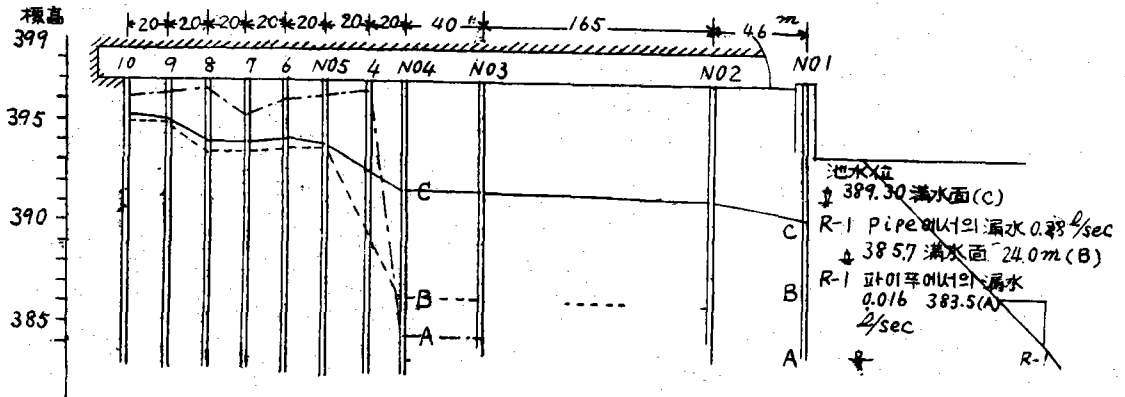
Fig 14. 橫坑內Boring 電氣coring



에서 안쪽은 거의같은漏水帶에 屬하는것이다. 이漏水帶는 放射能探查에 依하여 明白히 된바와 같이 γ 線強度가 큰地帶에 相當한 것으로서 큰斷 尸 破砕帶임을 推定하였다. 後의 橫坑內의 電氣coring圖14도 같은모양의 結論을 보았다. 이漏水帶의 漏水는 滲透速度가 얼마간 빨라졌으나 前回와 거의 같은 結果를 示現하고 西便 山쪽으로 滲透하여 그의 一部分은 이것과 거의 直角인 龜裂을 통하여 R-5, R-6에 나온것이다.

Boring孔內의 水位와 漏水와의 關係 Fig14 Fig 15에 滿水及 減水期의 Boring水位와 漏水R-1과의 關係를 表示하였다. 이것에 依하면 No. 5를 境界로하여 水位의 不連續線이 나타나고있다. 即 No. 1~No. 4의 사이의 Boring水位는 어느것이나 貯水位보다 0.5~1.5m 낮으나 No. 5에서 No. 10까지는 어느것이나 2~12m 높다.

Fig 15. 池水와 漏水R-1. Boring孔 水位와의 關係

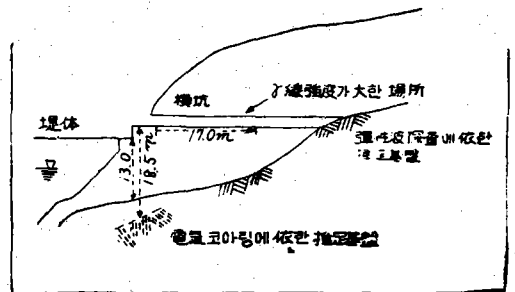


No. 1~No. 4의 水位가 貯水位보다 낮고 水位差도 적은것은 確實히 貯水池물이 山으로 滲透하고 있음을 表示하는 것이다. 이것은 橫坑內 Boring No. 2~No. 3사이가 漏水經路임을 推定한 Isotope 試驗結果와 一致한다.

또 滿水位에서 No. 5~No. 10의 Boring水位가 높은곳에 檢出된 Isotope는雨水와 類似한 上尸의 山의 地下水와 그下尸의 龜裂이 없는 不透水性 岩盤과 며려져서 存在하고 있다. Boring No. 5~No. 10의 前記 漏水帶가 Boring로서 通水되고 漏水中의 C⁶⁰이 擴散되어서 試錐孔으로 上昇하여 檢出된 것이다.

試錐孔에서의 擴散을 確證하기 爲하여 貯水池 左岸 灣入한곳에서 C⁶⁰水中의 擴散分布를 求한結

Fig 16. 物理探查에 依한 堰堤 接合部の 地質狀態



果 相當한 擴散作用이 있어서 大尸의 C⁶⁰이 試錐孔 上尸에 達함을 充分이 생각할수있다. 滿水面 下 4m 滿水位前後에 걸친 Isotope 投入試驗結果 다음과같은 結論을 얻었다.

1. 右岸 堤體 接續部 R-1의 漏水는 滿水面下 4m에서는 堤體下部를 通하여 R-1에 到達하나 滿水位로 되면 堤體下部의 漏水經驗以外에 橫坑內 試錐 No. 2~No. 3사이 No. 2에 가까운 風化帶中을 (深度約10m) 迂廻하여 R-1, R-2에 達하는 漏水經路가 形成된다.

2. 假隧道內의 斷戸에서 湧出하는 R-3漏水는 Isotope投入 範圍內의 貯水池의 漏水와는 關係가 없는 것 같다.

3. 橫坑內 No5~No. 10은 거의 同一한 漏水帶를 形成하고 그의 一部分인 Boring No. 5 附近의 漏水는 漏水R-2, R-5, R-6과 關係가 있는 것 같다 이 漏水帶에서는 그 上部의 不透水性 岩盤은 山의 地下水와 漏水脈의 滲透水를 分離하고 있다 이 調査結果로서 생각되는 漏水防止 對策은 다음과 같다.

R-1의 漏水對策 으로서는 第一着手로서 가장 漏水可能性이 큰 堰堤 接續部에서 北으로 約25m (No. 6附近까지)의 風化帶를 特히 No. 1~No. 2附近을 重點的으로 滿水位 標高에서 約15m 深度까지 1m間隔으로 grout을 할것이다. 後 橫坑內 Boring孔 (Isotope試驗時 漏水를 採水한 孔)에 grout를 하였더니 R-1漏水에 가장 效果가 있어서 R-1은 完全히 封止되었다. 特히 No. 2~No. 1 Boring사이의 grout가 効力이 있었던 것이다. 이 Boring孔은 Isotope 試驗時 漏水가 빨리 檢出되고 또 自然放射能이 가장 强하게 나타난 地帶로서 漏水 R-1에 가장 關係가 깊은 漏水脈으로 判定된 것이다.

調査時의 貯水池及 河川의 汚染은 表10에 記載한 바와같이 count는 自然計數値로서 汚染은 念慮할바가 아니다.

表 11. 調査時의 貯水池及 河川의 放射線強度 (採水量11)

位 置	放射線強度 c. p. m.	Istope投入後의 時間
貯 水 池	45.0	投入前
堤體下流 100m	44.5	投入前
Isotope投入 個所	44.0	22時間
Istopye投入 個所	44.2	27時間
堰堤下流 100m	43.6	10時間

堰堤下流 100m	43.0	15時間
同 上	46.0	20時間
同 上	43.7	25時間
同 上	45.7	40時間
同 上	45.0	60時間
同 上	44.0	70時間
自 然 計 數	44.5	

10分間測定

結 論

以上 堰堤漏水 主로 基盤의 漏水機構에 關하여 日本 落合氏가 行한例를 紹介하였다. 堰堤漏水는 基盤에 依한것이 많다는 것이다. 基盤漏水의 地質의 要因으로서는 다음과 같다.

A) 岩戸自體의 滲透性에 依한것

B) 岩石과의 接觸面에 依한것

C) 地戸의 騷亂—斷戸, 龜裂 節理에 依한것等으로 생각되나 中 特히 많은것은 斷戸인데 直接或은 間接的原因이 되고있다. 斷戸에 依한 龜裂, 節理의 發達度는 地表의 放射線 強度와 密接한 關係가 있음이 分明하게 되었다.

堰堤에서 自然의 放射線測定으로 그線이 强한 地帶가 貯水池물이 基盤으로 浸透하여 漏水地帶로되어 漏水脈을 形成하는 結果를 地表放射能 地下探查法으로서 岩石의 Permeability를 推定하여 漏水의 原因을 探求하는것이 좋은 手段일것이다. 電氣 探查法은 漏水와 山과의 比抵抗이 거의 같음이 많고 等電位 電線法으로서는 漏水脈을 發見하기 困難하다는 것이다. 音響探查法은 技術的으로 測定條件이 어렵기 때문에 堰堤漏水의 現場測定은 아직 無理하다. (事實 우리들이 物理探查도 하고있지는 못하지만) 그러므로 Isotope에 依한 漏水의 追跡을 함이 가장 正確하다는 것이다. 그러나 不幸히도 우리나라에서는 上記한 同位元素를 製作하기는 勿論 못하지만 友邦에서 輸入한 機構도 없이 束手無策임은 實로 遺憾千萬之事이다. 原子力法이 새로 發足되고 國防部의 科學 研究所에서도 모든 準備는 하고있지만 同位元素의 製作과 輸入route가 없어서 待機態勢라는 傳言을 듣고있으나 하로速히 이런 機構가 活動을 開始하여 必要한 實驗과 實現이 있기를 祈願하여 마지않는 바이다. (筆者; 서울大農大 農工學科長)