

地下 댐

金 周 範*

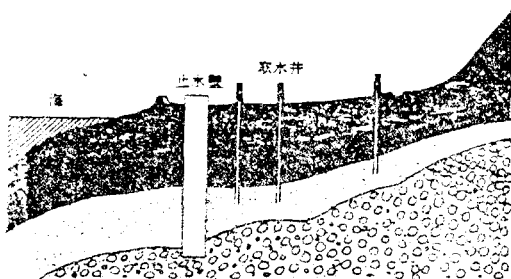
1. 地下댐의 沿革

地下댐이란 「地下에 設置된 보」라고 定義할수 있다.

地下水流를 遮水하기 爲하여 地中の 一部에 粘土나 콘크리트等으로 置換한 壁體를 만드는 것은 오래전부터 해오던 것으로 沢가 그 一種에 該當된다고 하겠다.

地下댐의 構想은 具體的으로 明確히 한 것은 日本의 松尾新一郎 京大教授이다. 松尾氏는 1964年에 이 構想을 發表한 以來 理論的, 實驗的으로 研究를 繼續하여 土木學會에 意慾的으로 發表하였다.

그러나 처음 試圖하는 일이라 좀체로 採用되지 못하고 있던차 1971年 長崎縣野母崎町의 水道擔當者로 하여금 이 마을이 있는 樺島에서 本格的인 地下댐을 처음으로 建設하게 되었다. 그



* 正會員, 南原建設엔지니어링, 副社長

後 1979年에는 農林省에서 沖繩縣宮古島에 地下댐을 建設하였다.

2. 地下댐의 効用

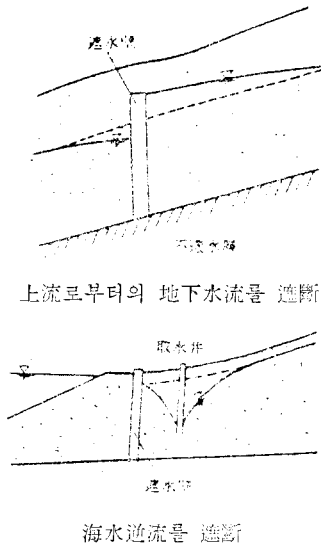
여기서 地下댐의 効用에 對해서 생각해 보면 地下 帶水層에 遮水壁을 設置함으로써 效果를 얻는데 이를 크게 두 가지로 나누면 다음과 같다.

① 上流에서의 地下水流를 沢로 阻止

② 下流에서의 逆流를 防止(海水)

上流에서의 地下水流를 沢로 阻止하는 경우에는 實用的인 目的으로 보아 두가지의 效果가 있다.

첫째 : 取水가 容易하게 되는 것이다. 日本에서는 地下의 帶水層의 構成이 複雜한 일이 많고 특히 地下水流가 많은 砂礫層에서는 地層이 均一하지 않고 “물길”의 存在가 指摘된다. 그러나 이와같은 “물길”의 位置를 地表에서 正確히 안다는 것은 쉽지 않다. 이 때문에 地下의 帶水層을 橫斷하여 遮水壁을 設置함으로써 넓은 範圍의 地下水流를 確實하게 捕捉하는 것이 可能하다. 이 目的을 逆行하는 것으로 地下水排水壁이 있다. 이것은 地下댐과는 逆으로 帶水層을 橫斷하는 壁을 透水性이 좋은 材料를 만들어 橫斷方向으로 물을 移動시키기 쉽게한 것으로 오스트리아等에서 實用化하고 있다.



上流로부터의 地下水 흐름 遮斷

海水逆流를 遮斷

돌재 : 물을貯留시키는 것이다. 上流側의 地下水水位를 上昇시켜서 물을貯留한다. 帶水層은 地層에 따라 다르다. 一例로 體積의 10%~20%의 많은 空隙을 가지며 이 空隙이 貯水池가 되는 셈이다. 다만 여기서 注意할 것은 地下댐을 貯水池로 생각할 때 그 容量은 意外로 적다는 것을 念頭에 두어야 한다.

止水壁의 깊이는 經濟的인 面에서 보더라도 깊지 않은 것으로 大略 10m 程度가 좋다. 한편 地下水를 取水할 때 水位低下量이 必要하다. 따라서 帶水層의 水深全部가 利用되는 것은 아니다. 이 때문에 地下水水位를 既存높이 보다 높지 않게 할 때는 利用水深이 制限되어 容量이 그리 크지 않게 된다.

地下水水位를 높여 물을貯水하는데 日本에서는 地下水水位는 거의 地表에 가깝게 있어 이것은 地下水의 流出量에 比하여 雨水의 函養이 큰데 起因하나 이런때는 地下水水位를 높으려해도 그 餘裕가 적다. 또 地下水가 地表 가까이까지 上昇하면 土壤이 濕潤化하여 作物等에 나쁜影響을 준다. 地下水水位가 地表에서 1m 보다 얕으면 그 影響은 大端히 크다고 한다. 이런 理由로 地下水水位를 높이는 것이 어려운 때가 많다. 그러나 山麓等에서 地下水水位가 깊은 位置에 있는 것은 雨水의 函養에 比하여 地下流出量이 많기 때문이다. 이와같은 때는 나쁜 影響을 미치지 않는 範圍에서 地下水水位를 높이는 것이 可能하다. 以

上은 上流에서의 地下水 흐름을 堰堤로 遮斷시키는 效果이나 意外로 下流에서의 逆流를 防止하는 副次的인 效果도 있다(海岸에 隣接한 地域).

地下水를 取水하기 위해서는 水位低下가 따른다. 地下水는 面으로 存在하나 取水井은 點이라 볼 수 있다. 取水하기 爲해서는 우물地點까지 물이 移動되어야 한다. 그런데 地下水가 移動되려면 큰 勾配가 必要하다. 따라서 取水하기 爲해서는 周邊의 地下水水位를 낮추어야 한다. 이것이 問題되는 것은 海岸附近의 取水이다. 地下水 取水에서 海水의 逆流를 招來하기 쉽고 地下水 흐름은 많은데 鹽水의 混入 때문에 取水가 困難하게 되는 경우가 많다. 이런 때는 帶水層을 橫斷하는 遮水壁이 效果的이다. 이 경우에서도 貯水의 效果는 있다. 即 地下水流量이 적은 때는 流量以上을 取水하고 流量이 클때는 水位를 回復시킨다.

海岸附近에는 海退期에 形成된 埋沒谷이 많이 存在한다. 地下水가 海岸附近에서 埋沒谷을 통하여 直接 바다에 流出하는 섬(島) 등에서 地下水를 利用할때는 이 埋沒谷中の 地下水를 捕捉하는 것이 效果的이다. 地下水의 貯留量은 앞에서 말한바와 같이 그리 많은 것은 아니나 小規模로 飲料水를 確保하는 方法으로서 地下댐이 效果的이다.

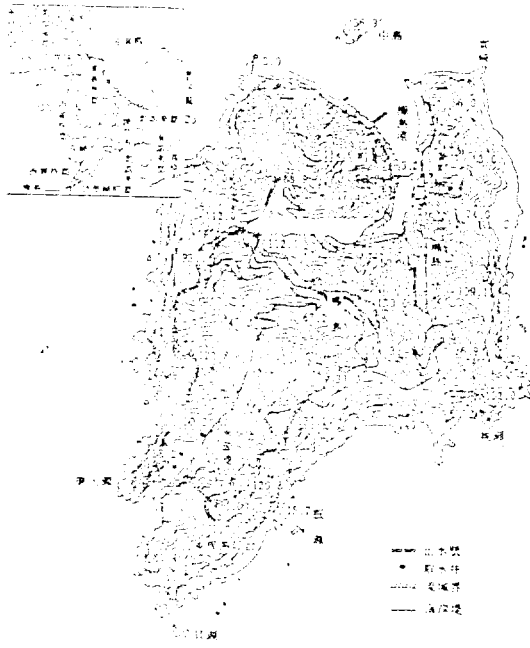
3. 野母崎町의 地下댐

3.1 經緯

이 地下댐은 町(村)當局의 獨自的인 判斷으로 建設한 것으로 1973년부터 貴重한 食水를 供給하고 있다.

野母崎町은 長崎市에서 南西로 突出한 長崎半島의 南端에 位置하고 있다.

地下댐이 建設된 樺島는 野母崎町에 屬하고 이 마을에서 海上 300m 떨어진 곳에 位置한다. 樺島는 周圍約 4km, 面積 2.2km²의 작은 섬이다. 이 섬은 거의 傾斜가 急한 山地로 長崎半島에 面한 樺島港이 되어 있는 入江周邊과 地下댐 敷地인 섬의 南西部에 있는 작은 平地이다. 섬의 人口는 樺島港周邊에 集中되어 있고 約 400戶에 1600名이 漁業과 西側山 중턱에서는 비파



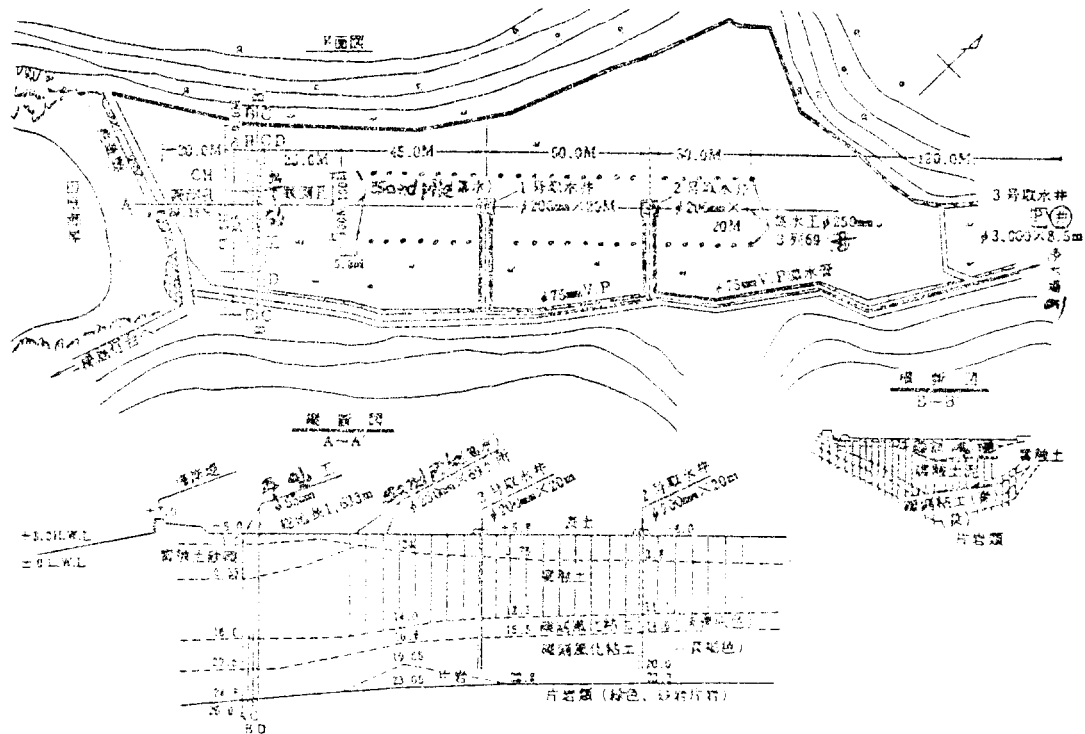
를 栽培하여 生計를 영위하고 있다. 傾斜가 急한 이 섬에서는 利用可能한 地表流水는 거의 없고 人口密集地에 있는 22個의 우물로 生活用水를 하고 있다. 그러나 점차로 이 우물도 食水에 不適하여 現在 3個만 쓰이고 있다. 이 때문에 마을에서는 1961年에 이섬 西南部 即 現在 地下 澗 用地로 되어 있는 平地에 깊이 8.5m 直徑 300mm의 우물을 竄다.

이것이 3號 取水井이며 이 우물의 集水能力은 初期에는 300m³/日 이었는데 얼마 못가서 100m³/日으로 減少되었다. 特히 여름에는 물이 不足하여 2日에 1時間씩으로 給水制限을 하였다.

3.2 地下澗의 建設

(1) 遮水壁

地下水가 바다로 流出하는 것을 防止하고 取水에 따른 海水의 逆流를 防止하기 爲하여 海岸에서 약 50m 떨어진 골짜기에 橫方向으로 施工하였다.



遮水壁은 注入工으로 하고 注入材로는 시멘트 1과 벤토나이트 2의 比率(重量比)의 懸濁液을 使用하였다. 注入孔은 4列로 하였으며 外側 2列은 地表에서 岩盤에 達하기까지 最大깊이 26m로 施行하였다. 中央 2列은 孔底에서 帶水層上 限까지의 約 10m 깊이로 施行하였다.

施工은 中央部에서 始作하여 兩側으로 向하여 施行하였으나 最終적으로는 兩岸附近에서 注入을 施工하지 않은 部分이 생겼다. 掘進은 40mm 룯드로 2~3kg/cm²의 注入壓으로 하였고 全體的으로 시멘트 2000 袋, 벤토나이트 1600 袋를 使用하였다. 砂礫層의 透水係數는 注入施工前에는 $k=3\sim6\times 10^{-2}$ cm/sec 였던 것이 施工後에는 $k=8\times 10^{-6}$ cm/sec 로 改良되었다.

(2) 集水工

砂礫層上部에 約 10m 두께의 腐蝕土를 主體로 하는 層은 不透水層으로 생각하였으므로 地層地下水가 下層砂礫層으로 浸透 할 수 있도록 샌드파일工을 實施하였다.

샌드파일은 250mm로 孔間隔 5m, 列間隔 1m 3列, 孔數 69孔, 延穿孔長 1,133m 였다.

(3) 取水工

取水는 口徑 200mm, 길이 19m, 스트레나 區間 11~19m의 우물 2個를 鑿井하였다. 바다에 가까운 1號 取水井은 豫備井으로 하고 常時 2號 取水井을 使用하였다.

이 工事는 1972年에 着工하여 1973年 3月에 完工되었다. 地下댐 完成後에는 거의 一定한 取水가 可能하였다. 특히 1974年度에는 日最大 400m³을 取水하여 섬 사람들이 大端히 좋아하였다. 그러나 地下댐 建設後에 地下水位가 차차 低下되어 8~9月의 渴水期에는 地下水位가 海水面보다 낮아진 것이 觀測孔에서 確認되었다. 또 取水된 물의 水質調査結果 鹽素이온 濃도가 漸次커지는 것이 判明되었다. 即 1972年에는 鹽素이온濃도가 約 40ppm 이던 것이 1974年 1月에는 1號井에서 47ppm, 2號井에서 70ppm, 1975年 1月에는 1號井에서 180ppm 이 되어 海水가 一部 浸入된 것으로 推定되었다.

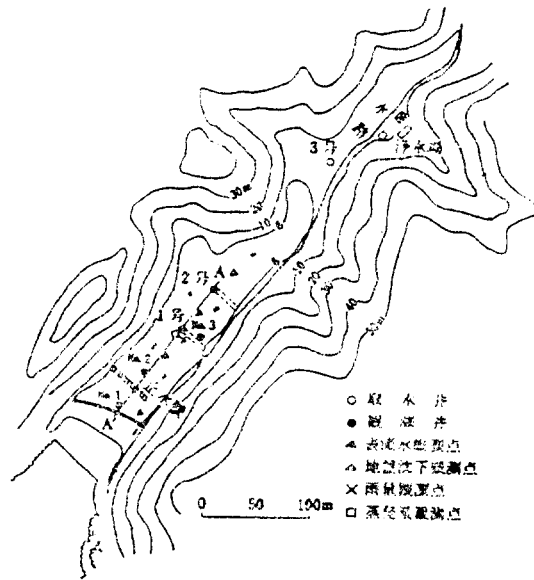
3.3 地下댐의 調査

앞에서와 같은 事情으로 1977年 8月부터 土

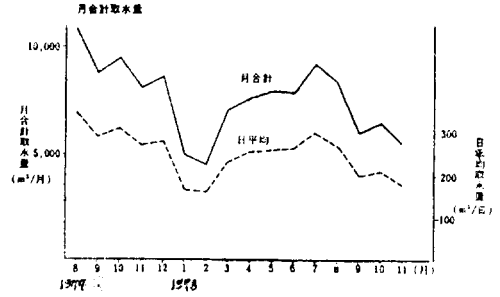
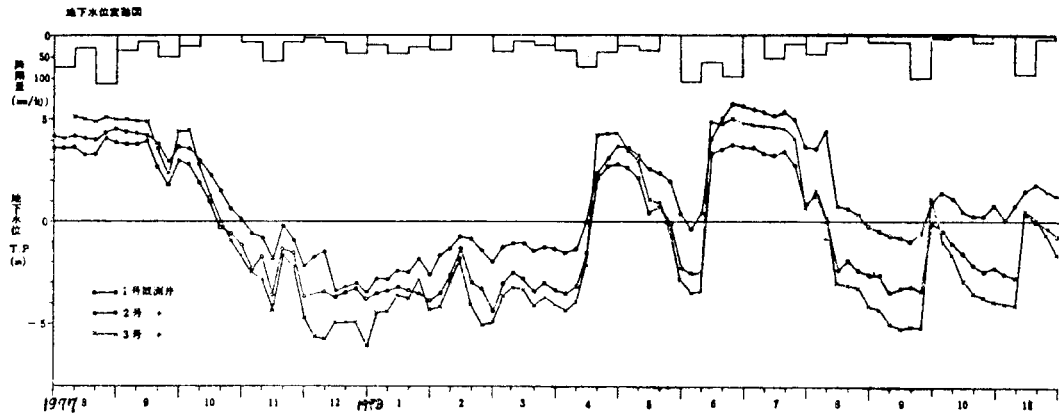
木研究所, 九州地方建設局, 野母崎町 等 三者가 合同으로 調査를 實施하였다. 調査項目은 降雨量 3個所, 地下水位 3個所, 蒸發量 1個所, 取水量 3個所, 地盤沈下量 3個所, 水質 6個所 이였고 帶水層과 遮水壁도 調査하였다.

(1) 물收支

調査對象期間인 1977年 8月부터 1978年 11月까지의 地下水位의 變化를 나타낸 것이다.



이 期間의 降雨量도 함께 表示하였다. 觀測井에 따라 多少의 差異는 있으나 地下水位의 變化는 大體로 같은 傾向을 보이고 있다. 降雨量이 20mm /月인 1977年 10月부터 12月 中旬에 걸쳐서 下降線을 나타내고 있으나 같은 降雨量에서도 12月~1978年 3月에는 水位가 -3.0m 附近에서 平行한 狀態에 있다. 4月과 6月에는 水位가 急上昇하고 있으나 이때의 降雨量은 4月에 148mm, 6月에 282mm 이다. 以後 地下水位는 차차 低下하나 9月, 11月에는 一時回復한다. 이때의 降雨量을 보면 9月 134mm, 10月 101mm 로 되어 있다. 이들 傾向을 보면 一時的으로 多量의 降雨가 있을 때는 地下水로 補給이 되는 것 같다. 調査期間內的 總降雨量은 1564mm 였다. 이것은 平均降雨量(1970年~1974年)과 比較하여 約 60%이고 渴水狀況이라 할 수 있다. 이 期間의 取水量은 그림과 같다.



水需要が多い 4月~8月は 250m³/日 以上の取水を 하였는데 大部分の 取水は 鹽分濃度が 적은 3號 取水井에서 하였다.

地下수에 流入되는 河川の 集水面積은 0.58km² 이므로 上記 取水量은 이 期間全體에서 209mm 에 相當한다. 이것은 1日에 0.4mm 에 相當한다. 다음 이 流域에서의 蒸發量에 對해서 살펴 보면 1977年 8月부터 測定한 觀測値는 年間 約 1300mm 가 되었다. 그러나 이것은 實際보다 多少 큰 값인 것 같다. 年間蒸發量은 全國河川流量에서 調査한 것에 의하면 九州地方은 600mm 程度이다.

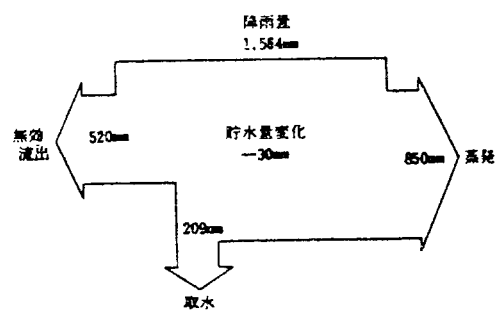
한편 推算式에 依하면 스스웨이트 法에서 800mm, 벤단法에서는 600mm 가 된다. 다음 이 期間의 地下水位低下는 4m 程度이다. 지금 帶水層의 空隙率을 0.1로 假定하면 水量이 15,000m³ 이고 流域의 降雨量으로 換算하면 30mm 程度가 된다. 以上 檢討에서 물 收支를 綜合하면 다음과 같다.

㉠ 이 期間의 降雨量은 1564mm 이고 이 中 850~1130mm 의 蒸發이 있었으므로 利用된 有効降雨量은 430mm~700mm 程度이다.

㉡ 이 期間의 取水는 209mm 였는데 이 中 30mm 는 地下수의 貯水에서 取水한 것으로 雨水에 起因하는 流出에서는 179mm 를 取水한 것으로 된다.

㉢ 이 값은 有効降雨量에 比하여 적고 그 差 250~520mm 는 有効하지 못하게 流出된 量으로 推定된다. 이 流出은 地表에서 바다로 流出하는 것과 地下에서 바다에 流出하는 것으로 여겨지는데 그 比率은 알수가 없었다.

㉣ 여기서 取水가 되고 있는 量은 利用可能한 有効降雨量에 比하면 아직도 적음으로 條件만 잘 갖추어지면 取水를 増대시킬 수 있을 것이다.

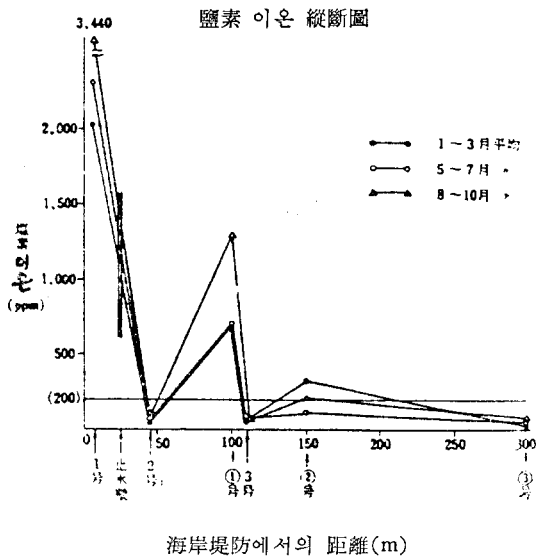


水收支期間 1977年 8月~78年 11月

以上과 같이 물 收支調査는 地下댐의 計劃에서 큰 位置를 占하고 있음에도 不拘하고 疏忽하게 다루어 졌다.

(2) 水質調査

水質은 6地點(3 取水井, 3 觀測井)에서 6成分(pH, 鹽素이온, 硬度, 칼슘硬度, 鐵分, 망강)을 調査하였다. 이 中 鹽分에 關한 調査結果를 그림에 나타냈다. 取水井에 鹽分의 混入이 나타난 것은 1號井이 현저하고, 2號井에서 200ppm을 넘었다. 海岸에 가까운 1號觀測井에서는 取水를 하지 않았으나 高濃度로 되어 이 附近을 通하여 海水가 混入된다고 여겨진다. 2號觀測井에 鹽分混入의 傾向이 보이지 않는 것은 地表에 가까이 있기 때문일 것이다.



以上과 같이 今般施工된 遮水壁은 海水의 逆流防止에 있어서 機能發揮가 充分하지 못함을 알 수 있었다.

(3) 地盤沈下

1977年 10月부터 1年間 아래와 같이 沈下가 일어났다.

- 1號 沈下盤 約 45cm
- 2號 沈下盤 約 40cm
- 3號 沈下盤 約 20cm

이 地盤沈下는 腐蝕土層에서 물이 짜져 나오는데 起因한다. 이 댐에서 地上의 土地利用를 하지 않음으로 特別한 問題는 생기지 않았다. 特히 上記 沈下量에서 推定되는 水量은 約 5000 m³ 程度로 물 收支計算에서는 無視할 程度의 量이다.

(4) 遮水工法에 對하여

野母崎地下댐에서 現在海水의 逆流를 防止하는 工法을 檢討中에 있으나 여기서는 遮水壁工法과 그 選擇에 對해서 記述한다.

㉠ 置換工法

트렌치 또는 보링等に 依하여 시멘트, 벤토나이트等の 遮水性의 材料로 置換한다.

㉡ 強制攪拌工法

보링孔에서 周邊에 高壓의 시멘트液이나 藥液을 噴射하여 地盤을 攪拌하여 固給시킨다.

㉢ 注入工法

보링孔에서 周邊에 注入液을 注入하여 地盤의 空隙을 메운다.

㉣ 鋼矢板工法

鋼矢板을 連續的으로 打入하여 止水壁을 만든다.

(5) 地下댐費用

이 댐에서 이제까지의 費用은 3000萬円이 들었다. 1日의 取水量 250m³ 이라하면 施設耐用年數를 20年이라 할때 물 1m³에 36円이 된다.

※ 地下水 Hand book에서 번역함(建設産業調査會)