

本省各水利會污染水質損害灌溉排水 渠道混凝土內面工之經濟分析

Economic Analysis of Damaging Concrete Lining of Irrigation and Drainage Channel by Pollution Water of Irrigation Associations in Taiwan

台灣大學農業工程系碩士

林 家 祺
Chia-Chyi Lin

台灣大學農業工程系研究助理

唐 瑞 霖
J.L. Tang

台灣大學農業工程學系副教授

張 文 亮
W.L. Chang

摘 要

水質污染會影響灌溉排水渠道混凝土內面工的穩定度，進而增加渠道設施的維護費。本研究先以高雄後勁溪、鳳山幹線與彰化六股圳，三條嚴重污染的地區，採二十七個水樣，經過化學分析後，以主成份分析，篩選後具有顯著性的因子有四個，依次為電導度、硫酸鹽、硫化物、鹼度佔有69.3%變異代表性，採對混凝土腐蝕具有影響性的電導度與硫化氫，以不同濃度氯化鈉與硫化鈉浸泡混凝土塊，量測其重量減少率。電導度在2000 μ mhos/cm、硫化物在1.0 mg/l時，比起對照組減少混凝土相對百分比分別為33.4%與19.9%，以複利率6%計算工程維護費，以各水利會的廢水量、污染渠道總長度為固定，並以經濟分析計算各水利會水污染渠道的維護。並估計在民國83年需要28,505,513元的費用，約佔總工程維護費的2.41%。

關鍵詞：電導度，硫化氫，經濟分析，主成份分析。

ABSTRACT

Water pollution will decrease stability of concrete lining, and increase budgets of maintenance. Based on water sampling from three irrigation and drainage channels which are polluted by industrial or animal waste water at the Kou-Chon and Chung-Wa irrigation association in Taiwan. The principal component method is applied to chemical analysis of sampler. Four factors are contribute 69.3% of total variance, and regard as significant factors to represent, as a sequence electrical conductivity, sulfite sulfitem, and alkalinity. Electrical conductivity and sulfite are contributed significant corrosive to concrete. Different corrosive rates are measured in laboratory by different concentration of electrical conductivity, and

sulfide. As a result, electrical conductivity and sulfide concentration higher than 2000 μ mhos/cm and 1.0mg/l will cause increasing corrosive rate 33.4 % and 19.9 %, separately. Using increasing corrosive rate 33.4 % of electrical conductivity, and total amount of waste water, pollution channel length, 6 % of interest rate in engineering maintenance, and 2.668 % of geometric growth rate to estimate channel maintenance fee which is effected by polluted water in different irrigation association. Maintenance fee is 28,505,513 at a rate of 2.41 % of total maintenance in 1994.

Keywords : Electrical conductivity, Sulfide, Economical analysis, Principal components.

一、前言

灌溉渠道能將水源自取水口，輸送至需要灌溉的農田，是田間所必需灌溉設施，灌溉渠道主要有明渠(open channels)與暗管(closed conduits)二種，本省各水利會的灌溉輸水方式，除了瑯公水利會以暗管輸水為主；其他皆以明渠輸水為主。依現有的灌溉系統，渠道又分引水渠、幹、支、分線與中小給水路，共長約44,695公里(民國八十二年，台灣省農田水利聯合會)。目前這些灌溉渠道，約輸送 $4.1 \times 10^9 m^3$ 的水量，灌溉 3.85×10^5 公頃的農田，對於本省的農業灌溉扮演著非常重要的角色。

明渠並非開挖的土方，為了減少傳輸時的滲漏(seepage)損失，渠道都需加內面工(lining)。古老傳統的內面工有黏土砌、石砌、泥砌、磚砌，不過在使用上不耐水流沖刷；兩岸易生長雜草、水苔，增加渠道表面粗糙係數，減少輸水效率，增加輸水水頭損失；易被地鼠鑿洞增加漏水損失，與增加維護頻率(Israelsen 1950)。所以近代都使用混凝土(concrete)內砌，可以減低維護性，又能比傳統材料更有效的能降低輸水損失。本省早期最著名的灌溉內面工程就是在民國49年6月，嘉南水利會改善混凝土內面工，每年約可節省渠道輸水損失量 $1.04 \times 10^8 m^3$ ，所增加的水量，不僅灌溉嘉南平原的旱作，而且撥充水稻灌溉成三年二年制(嘉南農田水利會，民國65年)。

以水泥與砂漿混合的混凝土內面工，具有較長之使用持久性，但是Mehta(1986)提出混凝土材

料長期使用表面顆粒磨損與龜裂，是結構物破壞劣化的雨天徵狀。產生的原因，Fontana(1987)認為是物理破壞與化學腐蝕。物理破壞是水分滲入混凝土孔隙後，冷熱交替的體積改變，產生的膨脹壓，導致顆粒的剝落，與不均勻斷面的龜裂，另外流速過快也可以使混凝土表面不光滑處產生沖蝕；渠道路面的運輸工具、掘泥、噴藥、耕耘機的施壓也會導致混凝土接合縫處的龜裂(Burgi and Karaki, 1971)。

混凝土結構化學性的腐蝕有三種：鹽類的腐蝕，尤其是游離氯鹽(Chloride)在混凝土中改變矽酸鈣產生氫化鈣結晶沈澱，造成混凝土內部產生孔蝕，另外游離硫酸鹽與混凝土中的氫氧化鈣起反應，產生氫氧化鎂的異質性晶體，造成不均勻的膨脹，導致混凝土層狀剝落。酸性的腐蝕，主要來自水中pH值低，使混凝土中氫氧化鈣溶解(Bellport 1968)，加速顆粒的剝落，水中過多的硫化氫，一直是被視為混凝土腐蝕的主要因素(Boon, 1992)，這些影響混凝土內面工化學腐蝕的因子同時也都是水質的因子，因此水質與混凝土的使用期限具有密切的關係，可惜這方面很少有研究進行。尤其日前水利單位皆列有工程維護費，維修輸水圳路，目前皆祇考慮水災沖損，而在效益成本分析(民國71年，台灣省水利局)上，未考慮水污染影響之因子，致無法量化評估水污染對水利設施工程維護之損失。

本研究是探討灌溉水質對於混凝土內面工之影響與其損壞之經濟評估。其進行的程序為：(1)田間採水樣與檢驗混凝土內面工之強度，(2)以多變量統計分析篩選水質代表性因子，(3)在實驗室進行混凝土受化學腐蝕之試驗，(4)以結果進行撰寫經濟分

析。

二、田間調查

2-1 材料與方法

選擇本省三條具有污染性的渠道，分別是高雄後勁溪、鳳山幹線與彰化深港鄉的六股圳。依現場勘測後勁溪的水源來自曹公圳，在八卦寮制水門部份的新圳幹線水進入，而後流進仁武工業區、大社工業區、高雄煉油廠、高雄加工區與東源紙廠後在援申港圳制水門提高水位引水灌溉，渠道皆有內面工，因此沿著水源到灌溉區域下游的主幹線，共採十點位置分別如下：新圳線(H1)、曹公圳(H2)、八卦寮制水門前(H3)後勁溪仁武工業區前(H4)、後勁溪高楠紙廠前(H5)、後勁溪煉油廠排水口前(H6)、後勁溪東源紙廠前(H7)、後勁溪援申港制水門(H8)、後勁溪草潭支渠前(H9)、灌溉區域尾端(H10)。採樣位置如圖1所示。

鳳山幹線是穿經製皮革工業區，污染嚴重，沿著污染下游到上游共採八點，分別是鳳山幹線

內河圳(F11)、鳳山幹線外河圳(F12)、鳳山幹線與鳳山溪交會點(F13)、製皮革工廠排水口前(F14)、製皮革廠工業區上游(F15)、鳳山幹圳與曹公新圳幹線會合處(F16)、曹公新圳幹線(F17)、鳳山幹圳取水口(F18)。各採樣點位置如圖2所示。

彰化縣伸港六股圳的污染主要來自該地區之畜牧廢水，沿著圳路共採九點：六股圳水線(J19)、六股排水與管草溝排水會合處(J20)、溪底排水(J21)、六股圳與頂溪埔支線會合處(J22)、新港圳與頂溪埔支線會合處(J23)、什股排水與頂溪埔支線會合處(J24)、七股排水與頂溪埔支線會合處(J25)、什股線排水(J26)、寮仔地溝排水(J27)。各採樣點位置如圖3所示。

這三條渠道都有混凝土內面工，而且在過去後勁溪與鳳山幹線當地農民皆有因污染嚴重而抗爭，彰化伸港的六股圳主要用來排水，但是污染後的渠道內面工，制水門混凝土加速破壞，導致圳路排水不良而抗爭。

現場採水樣時，並用流速儀測定流速，並量渠道的矩形斷面的寬與水深。在現場並用溫度計

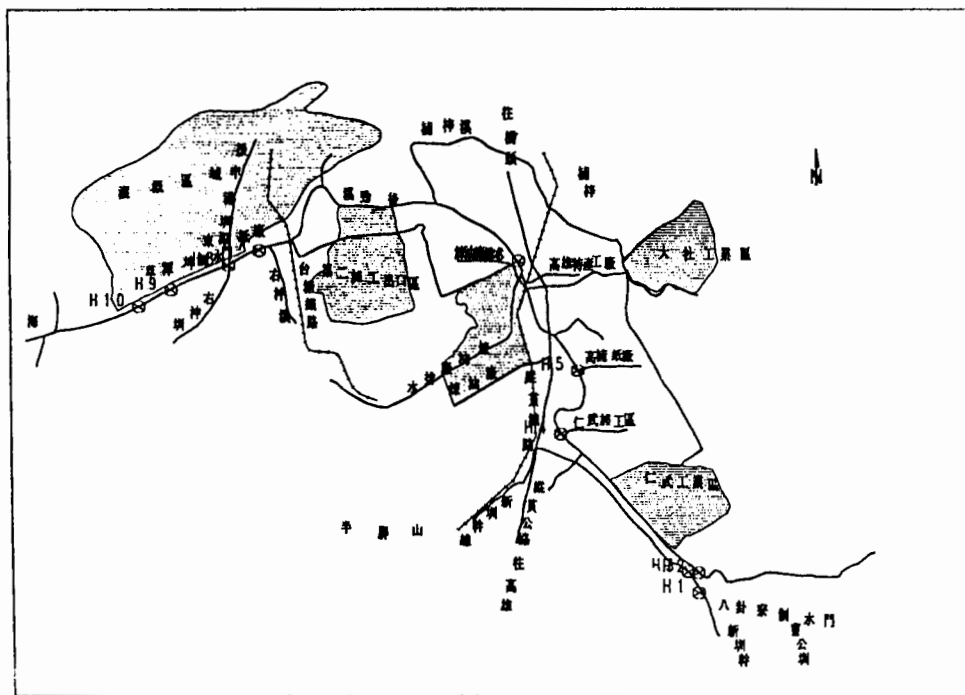


圖 1. 高雄縣後勁溪現場實驗測點分佈圖

測定水溫，玻璃電極法 (WTW Model 95) 測定 pH 值，比導度計 (ORION Model 22) 測定水中電導度，溶氧儀法 (WTW Model 196) 測定水中溶氧。水樣攜回實驗室以過濾烘乾法測定水中懸浮性固形物，硝酸銀滴定法測定氯離子，酸滴定法測定碳酸氫根與碳酸鹽、馬錢子鹼比色法測定硝酸鹽、濁度計法測定硫酸鹽、甲烯藍比色法測定硫化氫。

實驗分析之結果再用多變量分析的主成份 (Principal Components) 方法分析。主成份方法是將經過直線組合的原變數經過方差最大旋轉 (Varimax Rotation)，產生一組數目較少的主成份變數，而且能保持原來變數的大部份變異量 (Johnson and Wickern, 1982)。這個分析方法在過去二十年來廣泛的使用在環境污染主要因子的篩選 (張文亮，民國 81 年、民國 82 年)。

2-2 統計分析結果

實驗分析的詳細數據，列於林家祺 (民國 84 年) 的論文。實驗數據經過主成份分析法 (STATISTICA 軟體) 運算，結果以表 1 示之。結果顯示所調查的三條圳路受污染區域與未受污染的上游區域，其水質差異可由四個新的主成份表示之，原來的變數與新的主成份因子之相關顯著性，假設以特徵向量大於 0.75 為限值 (Pratsinis et al., 1988)。最具代表性的因子分別是以氯鹽為主的水導度差異，為第一個因子，具有原變異 21.914 % 的代表性。第二個因子是與硫酸鹽與硝酸根顯著相關，具有原變異 20.095 % 的代表性。第三個因子與硫化物具有顯著的負相關，具有原變異 15.58 % 的代表性。第四個因子與鹼度具有顯著的正相關，具有原變異 11.718 % 的代表性。這些因子中具有混凝土內面工之腐蝕性的水質特性有氯鹽、電導度與硫化物。

水中 pH 值太低也會產生腐蝕，由於土壤的 pH 緩衝能力，使的本省灌溉水質中很少呈現 pH 過酸的現象，在統計分析上也不具顯著性。

林家祺 (民國 84 年) 曾用混凝土試驗錘 (Concret Test hammer) (Proceq. Type M)，於枯水期間在水質調查的各樣採樣點之水位線上約 5 ~ 15 公分處，打擊渠道內面工，測得混凝土之強度。但是各渠道由於建造年代不同，不同區段的混凝土內面工厚度不同，而且有的內加鋼筋，施工優秀

更有不同，故無法用祇用田間水質資料去預測現場混凝土內面工之強度。因此需要實驗室有單純的控制條件來探討水質與混凝土之腐蝕性。

表 1. 灌溉水質各主成份因子的特徵向量與特徵值

	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
溫度	.19747	.72779	-.05015	.39321
pH	.33297	-.51941	.34406	.49632
電導度	.83280	.43697	.03409	.21279
溶氧	-.22982	-.20169	.07333	-.67849
流速	-.00094	-.19977	.72385	-.20278
水深	.39260	-.31323	-.50315	-.15883
渠底寬度	.02965	.04771	.01779	.01611
懸浮固體物	.86338	-.13740	-.02474	.10244
氯鹽	.85966	.14635	.13801	.26212
鹼度	.14022	-.23465	.07307	.87905
硫化物	-.16368	-.12967	-.76808	.44994
硫酸鹽	.50997	.80101	-.06118	-.06668
硝酸鹽	-.08187	.82953	.01753	-.17992
特徵值	2.84886	2.61241	2.06434	1.52323
變異百分比	.21914	.20095	.15680	.11718

三、試驗方法

3-1 材料與方法

混凝土方塊長×寬×高為 18.5cm × 5.0cm × 5.0cm。每塊重量約 1.3 ± 0.10Kg。混凝土材料水泥與沙漿的混合比，是由彰化水利會依照田間內面工程的比例，以木頭造模製成。實驗依在台灣大學實驗室進行，鹽分對混凝土之影響，以氯化鈉稀釋成電導度 2000, 4000, 6000, 10000 μ mhos/cm 四種處理。硫化物以硫化鈉稀釋成 0.5, 1.0, 2.5, 5mg/l 四種處理，並且以去離子水做為對照處理。實驗皆採四重覆。硫化鈉具有劇毒性，故在配置溶液其間，是在通風性佳下進行。

混凝土在實驗前，先仔細去除表面不光滑的顆粒與黏塊，再經水清洗後置於 45 °C 烘乾箱 (CHANNEL Model 120) 中 48 小時，使混凝土完全乾燥，置於室溫冷卻後再用電子秤測其重量至 0.1 克重。而後緩緩置入不同濃度的氯化鈉與硫化物的液體中。浸泡液是裝於每桶 3.5 升裝的玻璃瓶中，混凝土置入後玻璃瓶上蓋以防水分之蒸發。玻璃置於陰涼之實驗室中故每瓶的溫度幾乎一致。

每五日更換一次水溶液，而且更換水溶液時將混凝土緩慢取出，而後置於烘乾箱中，以 45 °C 再乾燥二日，再置回新泡之水溶液。如此進行六週

後將烘乾之混凝土稱重。減去原來混凝土的重量，即為混凝土腐蝕減輕之重量

3-2 試驗結果與討論

經過六週的腐蝕試驗結果以表 2 示之

表 2. 不同導電度與硫化氫濃度對於混凝土腐蝕重量相對比

處理	濃度	平均減輕重量 (g)	重量相對減少百分比 (%)
電 導 度 ($\mu S/cm$)	對照組	0.770	—
	2000	1.027	33.4
	4000	1.092	41.8
	6000	1.119	45.3
	10000	1.234	60.3
硫 化 物 (mg/l)	0.5	0.743	—
	1.0	0.923	19.9
	2.5	1.690	119.5
	5.0	1.594	107.0

實驗結果顯示電導度愈高的水中，混凝土塊的相對腐蝕率亦增加，這個實驗結果與 Fontana (1987) 的報告相似，證明電導度高時，水中的氯離子滲入混凝土孔隙與氫氧化鈣起反應，產生異質性的氯化鈣，導致顆粒性的剝落，在實驗進行期間，尤其在二週後部份混凝土的表面有局部性的孔穴 (pit) 的產生，是孔蝕的現象，但是孔蝕沒有再同一孔穴加深或擴大孔徑的跡象，而在別處表面繼續產生孔穴。不同孔穴的深度與穴徑外觀都很相似。由於是在靜態的水中進行，雖然每週更換試液，而且類似田間內面工有浸水與不浸水的交替處理，但是在缺乏水流動的影響下，水中濃度可能很快隨著動力反應趨於平緩，而與混凝土趨於反應平衡，使得腐蝕趨於穩定。電導度愈高的水中孔穴的數目有增多的現象，而且在盛裝的溶液底下有較多的剝落顆粒，水中懸著的混濁度也較高些。

表 2 顯示硫化物對混凝土的腐蝕，隨著濃度大於 1.0mg/l 而增加，硫化物濃度在 0.5mg/l 時，對混凝土的腐蝕不顯著，不過在試驗期間所加硫化鈉部份成為氣體，在水中成為氣泡又溢出水面，使得水中總硫化物濃度有偏低的誤差。硫化物對於混凝土的腐蝕，其型態與電導度有差異性。根據試驗期間的觀測，浸置在硫化物的水溶液中，混

凝土的表面產生一層淺黃色的黏液膜，用手輕撫表面會感到這層膜具有黏滯性，即使把混凝土取出液面，部份液膜仍會覆在混凝土表面，幾次不同期間與重覆處理的試驗皆發現有這種現象。表面沒有孔蝕產生。這層淡黃色的黏膜可能是泥沙中所含矽酸鐵，被腐蝕溶解釋出，與硫化物產生硫化鐵膠體。

實驗室的這些腐蝕特徵，與田間渠道的觀查具有相似性。在水中電導度愈高的渠道內面工是會有孔蝕的現象存在，尤其在後勁溪下游草潭附近是海潮區，連內面工附近的防波塊表面都具孔蝕。硫化氫的徵狀比較不易看出，不過在豬糞污染的彰化六股圳，在水位線上下會呈現淺黑線，用鐵器去推磨發現不是有機物的附著，也不是菌體的滋生，而是混凝土與水中化學物起作用所染上的顏色，這可能是水中硫化氫的腐蝕，在混凝土的表面產生硫化鐵的沈澱所致 (Mehta 1986)。

孔蝕或是與硫化氫的起作用，都會影響混凝土的強度進而影響增加日後混凝土內面工的維護費。

四、經濟分析

4-1 損害定量經濟分析

根據經濟效益分析，未來價值 (F) 的複利計算可以下式代表之 (Park and Sharp-Bette, 1990)。

$$F = P(1+i)^N \dots\dots\dots (1)$$

P 為現值，i 為利率，N 為期數。工程費一般以年為利率期數。N 為工程年限。(1) 式亦可表示為

$$P = F(1+i)^{-N} \dots\dots\dots (2)$$

一般水利工程設施年利率為 6%，混凝土內面工的耐用壽齡為 50 年，又固定存入的年金 (A) 可表示為

$$A \sum_{n=1}^N (1+i)^{N-n} = F \dots\dots\dots (3)$$

n 為存入年金的期限。根據等比級數換算

$$\sum_{n=0}^N x^n = \frac{1-x^{N+1}}{1-x} \dots\dots\dots (4)$$

故(3)式可改寫為

$$A \sum_{n=1}^N (1+i)^{N-n} = \frac{1-(1+i)^N}{1-(1+i)}$$

$$= A \frac{1 - (1+i)^N}{-i}$$

$$= A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i} \right] \dots\dots\dots (5)$$

將(5)式代入(3)式可得

$$R = A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i} \right] \dots\dots\dots (6)$$

將(6)式代入(1)式可得

$$P(1+i)^N = A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i} \right]$$

$$P = A \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right] \dots\dots\dots (7)$$

根據台灣省水利局(民國71年)水利設施的灌溉計畫的經濟評價法—內生報酬率法，A為年計成本。

$$A = B - \text{OMR} \dots\dots\dots (8)$$

B為年計效益，OMR為工程年運轉維護費。一般混凝土內面工的年維護費在不考慮水污染的影響下為年建造費的固定比率g，若在考慮水質污染腐蝕的影響下維護費增加為固定比率c，則第n年的

工程維護付出相當於第一年維護付出F₁的(1+cg)ⁿ⁻¹倍，故

$$F_n = F_1(1+cg)^{n-1} \quad n=1,2,\dots,N \dots\dots\dots (9)$$

由於由(2)式知

$$P = \sum_{n=1}^N F_n(1+i)^{-n} \dots\dots\dots (10)$$

將(9)式代入(10)式得

$$P = \sum_{n=1}^N F_1(1+cg)^{n-1}(1+i)^{-n} \dots\dots\dots (11)$$

因為(11)式中的F₁，c，g皆為定值，故可改寫為

$$P = F_1 \sum_{n=1}^N (1+cg)^{n-1}(1+i)^{-n}$$

$$= F_1 \sum_{n=1}^N (1+cg)^{-1}(1+cg)^n(1+i)^{-n}$$

$$= \frac{F_1}{1+cg} \sum_{n=1}^N \left[\frac{1+cg}{1+i} \right]^n$$

$$= \frac{F_1}{1+cg} \frac{1 - \left[\frac{1+cg}{1+i} \right]^N}{1 - \left[\frac{1+cg}{1+i} \right]}$$

表 3. 本省各水利渠道內面工受水污染影響之工程維護經濟分析

水利會	82年度			83年度預計		
	工程維護費 元/公尺(1)	廢水量 (噸/日)	受污染渠道 長度(公尺)	工程維護費 (元) (10)	污染增加維 護費(元)	合計 (元)
宜蘭	31.01	44,366	6,710	381,468	17,583	399,051
北基	8.31	1,471	223(4)	3,397	157	3,354
桃園	43.89	199,096	7,700	619,569	28,557	648,126
石門	20.75	15,032	581(5)	22,102	1,019	23,121
新竹	52.18	12,835	496(6)	47,448	2,187	49,635
苗栗	73.76	73,203	5,504	744,274	34,305	778,579
台中	23.49	102,121	7,678(7)	330,647	15,240	345,887
南投	7.70	7,580	570(8)	8,046	371	8,417
彰化	26.93	64,567	174,700	8,625,073	397,548	9,022,621
雲林	10.22	155,615	569,121	10,663,237	491,487	11,154,724
嘉南	6.63	37,295	99,913	1,214,420	55,975	1,270,395
高雄	30.66	51,029	49,028	2,755,814	127,020	2,882,834
屏東	15.49	45,392	16,000	454,365	20,942	475,307
台東	17.19	804	50	1,576	73	1,649
花蓮	16.28	57,526	3,400	101,477	4,678	106,155
七星	120.50	1,000(2)	6,000(2)	1,325,476	10,182	1,335,658
瑞公	181.23	0(3)	0	0	0	0
總計						28,505,513

表 3. 本省各水利渠道內面工受水污染影響之工程維護經濟分析(續)

水利會	84年度預計			85年度預計		
	工程維護費 (元) (10)	污染增加維 護費(元)	合 計 (元)	工程維護費 (元) (10)	污染增加維 護費(元)	合 計 (元)
宜蘭	556,180	32,898	589,078	720,809	52,078	772,887
北基	4,953	294	5,247	6,419	465	6,884
桃園	903,332	53,430	956,762	1,170,718	84,580	1,255,298
石門	32,245	1,907	34,215	41,790	3,019	44,809
新竹	67,179	4,092	71,271	87,064	6,478	93,542
苗栗	1,085,152	64,185	1,149,337	1,406,357	101,605	1,507,962
台中	482,083	28,514	510,597	624,780	45,138	669,918
南投	11,731	694	12,425	15,203	1,099	16,302
彰化	12,575,356	743,812	13,319,168	16,297,661	1,177,454	17,475,115
雲林	15,574,000	919,572	16,466,572	20,148,912	1,455,683	21,604,595
嘉南	1,770,624	104,729	1,875,353	2,294,729	165,786	2,460,512
高雄	4,017,977	237,654	4,255,631	5,207,298	376,206	5,583,504
屏東	662,464	39,182	701,646	858,553	62,025	920,578
台東	2,298	137	2,435	2,978	217	3,195
花蓮	147,954	8,753	156,707	191,748	13,856	205,604
七星	1,932,544	19,051	1,951,595	2,504,577	30,158	2,534,735
瑠公	0	0	0	0	0	0
總 計			44,009,634			57,690,175

註：(1)工程維護費=工程設備總共維護費÷(灌溉渠道長度+排水渠道長度)

(2)有廢水量但尚未查有數據。

(3)由現場調查粗估瑠公水利會皆用壓力管灌溉，不受外界污染。

(4)北基水利會受污染渠道長度缺數據，用宜蘭水利會的廢水量與渠道長度換算。

(5)石門水利會受污染渠道缺數據，用桃園水利會資料換算。

(6)新竹水利會受污染渠道數據，水利局(民國82年)公佈數據過大，用桃園水利會資料換算

(7)台中水利會受污染渠道數據，由苗栗水利會資料換算之。

(8)南投水利會受污染渠道數據，由苗栗水利會資料換算之。

(9)台東水利會受污染渠道數據，由花蓮水利會資料換算之。

(10)工程維護費利率以6%計算，混凝土受損以2%(或內面工有50年之壽命)，污染損害以
1. 334倍(即 $EC=2000 \mu \text{ mhos/cm}$)計算，故水污染影響下內面工的受損壞維修利率為
2. 668%=2%×1.334。

$$= F_1 \left(\frac{1+i}{1+cg} \right) \frac{[1-(1+i)^{-N}(1+cg)^N]}{i-cg} \dots\dots (12)$$

五、結論與討論

根據(7)式與(12)式，計算本省十七個水利會，受污染灌溉排水渠道的有考慮水污染影響與未受水污染影響下工程維護費，並且由各水利會82年度

(台灣省農田水利聯合會，民國83年)調查的廢水量，受污染渠道的總長度與水利工程設施維護費，由假設工程維護費6%與渠道內面工有50年使用年限的保守估計，與實驗結果的1.334倍(在 $EC=2000 \mu \text{ mhos/cm}$)的增加腐蝕率去估算83、84與85年度各水利會的受污染渠道的工程維護費用，計算結果以表3示之。

各水利會水利工程維護費的單價皆不相同，在渠道方面主要的原因為有因渠道斷面不同而造不同厚度的內面工，渠道的坡度、水流含泥沙量、淤積物、垃圾、水草清除費，各水利會的工資也不相同，所以維護單價不同。不過一般而言，灌區愈都市化的水利會，公、七星、桃園、高雄、新竹其工程維護費愈高，渠道有混凝土內面工比率愈高，其工程維護費愈低，如嘉南、石門等水利會，苗栗水利會的工程維護費特別高，其原因不詳。這些工程維護費主要是在灌排渠道與所附屬之水門、渡槽、涵洞等，仔細的一一估算相當繁雜。例如在彰化水利會的調查訪問(林達雄，民國84年)，渠道的水草(如布袋蓮)清除約需人工費 $20 \text{ 元}/\text{m}^2$ ，若再考慮藥物殺草劑清除則需再加 $5 \text{ 元}/\text{m}^2$ ，其清除費用是以單位水草的覆蓋面積來估計。清除水面垃圾約需 $200 \text{ 元}/\text{m}^3$ ，清除渠底土方約需 $150 \text{ 元}/\text{m}^3$ ，其清除費用是以單位體積來估算。尚需視附近有無堆積垃圾場可供使用而定。過去沒有污染時，渠道底泥視為田間肥料，現在污染區的底泥則成為垃圾。涵洞清除費用更高，在 $250 \text{ 元}/\text{m}^3$ 以上。因此在估算上要建立合於理論的，無法依當地人工費、藥物費、垃圾土方運費一一估計，而是直接由廢水量，與這些廢水量進入水中導致水質不合灌溉水標準之渠道度來估計，硫化氫濃度對混凝土內面工具有腐蝕影響，但是該項目不在本省灌溉水質標準上，所以各水利會的水質監測未包括此項。由於本省各水利會皆有定期監測電導度，故用電導度做損害評估的主要水質因子。

由比較各水利會之損害評估可發現影響最嚴重為雲林水利會，其次依序為彰化水利會、高雄水利會、七星水利會、嘉南水利會、苗栗水利會、桃園水利會、屏東水利會、宜蘭水利會、台中水利會等。83年度水污染渠道的維護工程費，約為各水利會呈報80年度的維護工程費用(27,130,676元)。但是遠比82年度呈報的126,803,913元為低，主要的差別所在是苗栗水利會過多的呈報99,999,999元。

如果廢水量與受污渠道長度在水利會全省嚴密監控下改變不大，則未來84、85年度亦可算出

如表3所示。這可做為未來水污染影響灌溉渠道之損害影響評估。

六、結 論

過去灌溉水污染，對於農業環境之損害影響，主要的評估受害對象是作物的減產、品質的劣化或是土壤理化性態的改變，地下水質的改變，很少考慮到灌溉水質污染也會對渠道內面工產生腐蝕性的破壞，進而直接影響到水利會在田間對於灌排設施的操作與維護。

本研究以田間水質多變量統計分析的特徵，發現水中氫鹽過多導致的電導度過高，與硫化物是污染渠道的主要特徵。再用實驗室之混凝土浸泡實驗，以其重量的耗損率去計算本省各水利會已知廢水量與污染渠道長度的維護費。計算結果亦發現全省污染渠道的維護費約為全省水利會水利工程設施維護費的2.5%，用經濟的計量分析不僅可以用來估算工程維護費，日後也可做環境污染損害的經濟影響評估與水利會考慮污水搭排的收費依據。

本研究雖然有彰化、高雄等地區的現場試驗，與實驗室內之腐蝕浸泡試驗，並有多變量分析與經濟效益分析之補助，對於全省各水利會渠道內面工受損害之情況，提供初步之評估，但是在實際用為環境污染之損害經濟評估仍有以下之困難：

(一)水利會的資料的不完整。尤其在灌溉區域內受污染渠道長度的調查，若干水利會，如北基、石門、新竹、台中、南投、七星等尚付諸闕如，在過去長期執行灌溉水質監測工作，應該可由各圳道監測點的水質狀況，而判斷得出來污染圳路之長度。

(二)各地區工程維護費的差異性太大。由表3知各地區的工程維護費差異很大，這些差距不一定是工程設施總工程費的一定比例，也非與該地區灌溉水中的懸浮顆粒多寡，容易淤積程度不同，或混凝土厚度不同所造成，而是以水利會財務狀況有關，如財務狀況好之水利會提出工程維護費的估計就較高，這與田間所需的真正維護費有很大的差異。例如彰化水利會的引水懸浮性顆粒多，易造成圳路淤積；又該會灌區

內電鍍工廠多，污染嚴重，但是工程維護費卻較桃園、新竹、苗栗等水利會低。

(三) 水工結構物的差異性大。在田間灌溉渠道分爲幹、支等分渠，又因地面坡地的不同，明渠水壓力的大小，混凝土內面工有 5,7,8,10,12,15 公分等厚度，在型狀上有 T 型與 U 形等，這些差異性使得渠道各段落的維護費估算又有不同的比例。水面的寬度、渠道深度，使得圳路清除雜草、垃圾也有差異。仔細而言，這使得污染影響評估成爲非常大的局部差異。

(四) 水質腐蝕結構物需要長時間的試驗觀察記錄。因爲腐蝕的影響需要較長的時間才會有顯著的呈現，本研究爲了縮短試驗時間方以電導度 2000 μ mhos/cm 處理。實際上田間除了感潮河段或是污染嚴重地區才會有如此高的電導度。

這些基本資料的缺乏，田間水工結構的差異，各地區維護估算尺度的不同與需要更長時間的腐蝕試驗，都有待未來在各水利會基本資料的輔導建立，與實驗的更多佐證，以對未來環境污染損害結構物提供更客觀、準確的評估依據。

七、誌 謝

本研究的進行承蒙農委會研究計劃“水污染對於灌溉結構物的損害研究 85-AST-2.9-FAD-15-(I-4)”與高雄水利會配合款的補助，田間實驗的進行有彰化水會林達雄先生的協助，並且提供許多寶貴的意見，六股工作站的水利同仁與高雄水利會的楊武平先生在田間採樣的協助，研究的進行有台灣大學農業工程學系徐玉標教授、張尊國教授與農委會的陳益榮先生惠賜意見，在此致上謝意。

八、參考文獻

1. 台灣省嘉南農田水利會，民國 65 年，學甲旱作灌溉試驗總報告。
2. 台灣省水利局，民國 71 年，灌溉規劃準則（草案）。
3. 張文亮，民國 80 年，利用主成份方法區分台灣西部灌溉水質污染，農業工程學報三十七卷第四期，56～63 頁。
4. 張文亮，民國 81 年，台灣西南部沿海貝類暴斃環境因子之探討，農業工程學報三十八卷第二期，33～39 頁。

5. 農田水利會聯合會，民國 82 年，“台灣區農田水利會八十二年度資料”。
6. 林家祺，民國 84 年，灌溉水污染對於水工結構物之損害研究，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文。
7. Bellport, B.P. 1968. Performance of Concrete. University of Toronto Press, Toronto.
8. Boon, A.G. 1992. Septicity in Sewers. Causes, Consequences and Containment J. IWEM. p.79-90.
9. Burgi, P.H. and S. Karaki, 1971. Seepage effect on Cannell bank stability. J. of Irrig and Drainage. Div. vol.97, p.59-72.
10. Eckstein, O. 1965. Water Resource Development-The Economics of Project Evaluation. Horvard University Press.
11. Fontana, M.G. 1987. Corrosion Engineering. McGraw-Hill Booke Company.
12. Hanson, B.R., And A.E. Fulton. 1994. Methods and economics of drainage reduction through improved irrigation. J. Irrig and Drainage Div. vol.120, p.308-321.
13. Israelsen, O.W. 1950. Irrigation Principles and Practices. John Wiley & Jons. In.
14. Johnson, R.A., and D.W. Wichern. 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis Prentice-Hall. Inc.
15. Kishel J. 1988. Seepage and contraction joints in concrete canal linings. J. of Irrig and Drainage Div. vol.115, p.377-383.
16. Krutilla, J.V. and A.C. Fisher. 1988. The Economics of Natural Environments. The Jonh Hopkins University Press.
17. Mehta, P.K. 1986. Concrete, Structure, Properties and Materials. Prentice Hall Inc.
18. Park, C.S., and G.P. Sharp-Bette, 1990. Advanced Engineering Economics. John Wiley & Sons, Inc.
19. Pratsinis, S.E., M.D. Zeldin and E.C. Ellis. 1988. Source resolution of the fine carbonaceous aerosol by principal component-stepwise regression analysis. Environ. Sci. Technol. vol.22, p.212-216.
20. Worstell. R.W. 1976. Estimating seepage losses from canal systems. J of Irrig and Drainage Div. vol. 102, p.137-147.

收稿日期：民國 84 年 12 月 10 日

修正日期：民國 85 年 4 月 29 日

接受日期：民國 85 年 5 月 8 日