

應用判別分析區分水質對灌溉 與排水渠道腐蝕之影響

Application of Discriminate Analysis to Classify Effect of Corrosion on Irrigation and Drainage Channel Caused by Water Quality

國立台灣大學農業工程學系教授

張文亮

Wen-Lian Chang

摘 要

根據兩年的田間實驗，九處埋放在彰化伸港地區灌排圳路內的鋼筋拉力，與混凝土柱之衝擊力的負荷，發現有海水影響的地區，鋼筋與混凝土的腐蝕速率比起對照組，最大可增加2.2倍與3.97倍。在有豬糞尿影響區域，鋼筋與混凝土的腐蝕速率則最大可增加2.90倍與4.3倍。經過判別分析可知海水的影響最顯著的因子為氯鹽，豬糞尿污染的因子為硫化氫。這兩個化學因子對於鋼筋與混凝土的腐蝕都有加速的影響。判別分析的結果用在高雄後勁與鳳山溪內面工的強度，發現內面工的強度與水質的關係不大，主要是受內面工級配、維護及建造年代不同所影響。
關鍵詞：判別分析，腐蝕，水質。

ABSTRACT

Based on concrete impact loading and steel wire tension experiment in field at Sin-Kaun irrigation and drainage channel, tide may produce corrosion and reduce steel and concrete strength about 2.2 and 3.97 times after two years. Irrigation water polluted by swine caused corrosive rate increasing by 2.9 and 4.3 times on steel and concrete. After statistical analysis by discriminate method, we found that the most significant factor cause corrosion by times and animal waste (effect) is chloride and hydrogen sulfide. After applying discriminate function to concrete lining strength at How-Shin and Fan-Sang stream in Kao-Shong area, we found that lining strength was not correlated with water quality, but was mainly effected by engineering construction and maintenance.

Keywords: Discriminate analysis, Corrosion, Water quality.

一、前 言

所有人類的工程，都需要工程材料，而工程材料的適用性與持久性將會影響到工程所要達到目的的成敗。同樣的，在灌溉與排水工程建造中需要用到許多的材料，如混凝土、鋼筋、塑膠等去建造渠道之內面工、水門、渠首工、攔水堰、水井、陡槽、涵洞、欄柵、沉泥池等水工結構物，以達到灌溉與排水設施的目的。但是隨著混凝土的龜裂、金屬材料的腐蝕及塑膠材料的老化，這些結構物會逐漸的損毀，造成灌溉與排水管理上的困擾。例如因著鍍鋅鐵的腐蝕產生孔蝕(pit)可導致水井成為廢井；混凝土的龜裂致使結構無法承受壓力，因而產生塊狀的破裂或崩落造成渠道內面工的破壞與輸水損失的增加；鋼筋的生銹(rusting)造成自動水門傳輸信號的中斷，或是金屬輸水管路的漏水損失。這些現象不僅造成有效水資源的巨量損失，同時由於排水溝渠的破壞將造成如淹水等環境災害的損失。

所有的農業工程師都知道：工程材料都會老化。混凝土總會有龜裂的時候，金屬會有腐蝕到不能用的一天，為此工程都需要維護費，定期修護、更換，維護費是無法避免的支出。但是當工程材料所接觸的水或土壤有受到污染的情況時，將加速混凝土的龜裂與金屬材料的腐蝕速率，導致工程結構物的加速破壞，或增加工程維護經費。本省的農業用水被污染的非常嚴重，因此在污染區的水井、水門、內面工等結構物也時傳破壞損毀，甚至成為農民抗爭的議題，演變成爲社會問題。

腐蝕是金屬材料與環境接觸後所產生的化學反應，反應的金屬自表面流失或是改變其化學型態，成氫氧化物、碳酸化物、硫化物等在表面沉澱，可改變金屬的重量，表面積，電導性與應力承受性。金屬的腐蝕有八種型態(Fontana, 1986)，分別是(1)均勻腐蝕(uniform attack)，是整個金屬的表面以均勻的速率在腐蝕，如一般酸性溶液對金屬的腐蝕；(2)電位腐蝕(galvanic corrosion)，是兩種不同電位的金屬放在一起，容易失電子或負電性(electrode potential)較大的金屬則因失電子成爲陽極(anode)，不易失電子的則成陰極(cathode)，

因陰陽極的電位差造成的腐蝕。如鍍鋅鐵是鋅爲陽極鐵爲陰極，使鐵成爲較不易腐蝕的金屬；(3)裂縫腐蝕(crevice corrosion)，常發生在金屬與非金屬性的接觸，非金屬的還原物與金屬的氧化物結合而產生腐蝕。如不銹鋼與含硫溶液的接觸；(4)細絲腐蝕(filiform corrosion)，是在金屬鍍膜上產生直線性細絲狀的腐蝕。如鍍鋅鐵的一端暴露在相對濕度65~90%的大氣中，表面金屬溶解產生的濃度與接觸之空氣中水分子形成滲透壓(osmotic pressure)，使水分不斷進入溶解處前促使金屬界面產生膨脹壓，產生一種自發延伸性的腐蝕；(5)孔腐蝕(pitting)，是金屬結構性嚴重破壞的腐蝕，整個金屬的腐蝕只集中在一個洞，腐蝕期間整個金屬的重量減輕很少，但深入結構內。例如鍍鋅鐵在高氯離子濃度的水中，由於氯離子不斷局部性的與二價鐵結合成氯化亞鐵，以致在非常小的地區產生深入的孔洞；(6)內部性粒狀腐蝕(integrular corrosion)，由於金屬在製造過程中成分不純，使金屬在高溫焊接時不同的金屬有不同的移動速率，造成金屬在冷卻後產生粒狀脫落；(7)沖蝕腐蝕(erosion corrosion)，發生在流速較迅速的水中，水中懸浮性顆粒(suspended solids)對金屬表面的撞擊而產生的摩擦。如抽水井馬達的腐蝕；(8)格網腐蝕(fretling corrosion)，是金屬在受力不均情況下的腐蝕。例如鐵軌在受力不均下凸出界面的金屬部分磨損速率較其它位置大，就造成局部性纖細網格的裂縫。

金屬在這八種的腐蝕型態中，皆可能由於水質污染而加速其腐蝕。因著水中導電度(electrical conductivity)的增加而增加金屬在水中氧化-還原反應的電子傳遞速度，使均勻腐蝕型的反應速率增加；或是水中硝酸鹽(NO_3^-)、碳酸氫鹽(HCO_3^-)與碳酸鹽(CO_3^{2-})濃度的增加，使鍍鋅鐵的鋅失去活性，鐵反而成爲失電子的陽極形成二價鐵，容易與碳酸或硝酸結合發生電位腐蝕(Haney, 1982)。水中硫化物(sulfide)濃度愈高，金屬裂縫腐蝕速率也會愈快。金屬的孔腐蝕與水中氯離子(Cl^-)濃度有其密切之關係。沖蝕性的腐蝕與水中懸浮性顆粒濃度有關。根據熱力學，水中酸鹼值愈低則氫離子活性愈高，愈會增加水中氧接受電子的趨勢，及增加金屬在陽離子電子的損失，或是增加腐蝕速

率，因此水質因子對於金屬的腐蝕具有密切的關係。

混凝土是水泥與砂以體積 1 比 3 混合比所形成非均勻性材料。水泥是石灰石 (calcium carbonate, CaCO_3) 在高溫燃燒下形成氧化鈣 (calcium oxide, CaO)。氫氧化鈣成泥濘狀時與砂混合，逐漸乾燥的過程中吸收空氣中的二氧化碳又逐漸形成碳酸鈣結晶。混凝土能承受壓力負荷，是最普遍的施工材料。

混凝土破壞的現象是龜裂，Derucher and Korfiatis (1988) 認為混凝土龜裂的原因有：(1) 施工不良 (construction deficiencies) 造成的龜裂，這包括施工後的排水不良、沒有預留混凝土膨脹之縫隙、地基的下陷或滑動、混凝土的拌合不均、施工迅速造成內部的氣孔形成孔穴，拌合之水中含有細微的黏粒或粉粒造成日後混凝土面的顆粒剝落；(2) 物理性龜裂 (physical cracking)，混凝土的熱脹冷縮造成體積改變的龜裂；(3) 化學性龜裂 (chemical cracking) 有二種，一是高鹽分的水分滲入混凝土的孔隙中，乾燥沉澱後鹽類的再結晶 (recrystallization)，產生內部的膨脹造成內部的龜裂；二是混凝土接觸的水中含有較高濃度的氨 (ammonium) 與鎂 (magnesium) 可取代混凝土中的鈣，形成混凝土中膠合性鈣的流失。或是水中過多的硫酸鹽 (sulfate) 取代碳酸鹽，使碳酸鈣變成石膏 (gypsum)，減少混凝土對於壓力的承受性；(4) 意外性碰撞的龜裂 (mechanical cracking)，如渠道在挖掘底泥或水草時機械的碰撞混凝土表面所產生的龜裂；(5) 腐蝕的龜裂 (corrosive cracking)，是混凝土中金屬的腐蝕或生銹導致混凝土內部承受壓力的改變，因而產生龜裂。這是由於混凝土化學性與腐蝕性的龜裂都與水質有關。

金屬的腐蝕與混凝土的龜裂實驗的研究者很多，大部分的研究與水質有關的都是考慮單一因子對於混凝土 (Boon, 1992) 或金屬 (O'Day, 1989) 的影響，而且大部分的實驗是在實驗室，而非田間的試驗。田間的情況經常是多個因子共同性的影響，因此在評估環境因子對於田間的金屬材料腐蝕與混凝土龜裂的影響時必需考慮多變量。本研究的目的，是以判別分析法 (discriminate analysis) 分析田間水質污染因子對於灌排渠道中的鋼筋與

混凝土的影響程度。

二、理論分析

判別分析法是由 R. A. Fisher 在 1938 年所創，主要的功能有二：一是將已知分類的觀測值建立一組判別函數，能將觀測值線性組合轉換成一新的變數，並使原來的分類組群 (class) 經過轉換後能夠達到最大的區分；二是將未知組群的新觀測值，經過判別函數轉換後可以區分到已知之分類群。Johnson and Wichern (1982) 認為 Fisher's 判別分析能夠建立區分 (separation) 函數去分類已知，又能對未知從新配置 (allocation) 達到分類之目的。判別分析已經在近代廣泛的使用在多變量之環境評估問題中，如 Harding et al. (1985) 用判別分析模式來評估森林種植白針樅木 (white spruce) 的林址適合性，Wodden (1986) 用來區分空氣污染中碳氫化合物的分布區域，Lewis and Rice (1990) 用來區分山坡地沖蝕的嚴重性分類。

假設已知分類的兩個組群 π_1 , π_2 ，其區分的根據是 p 個觀測變數， x_1, x_2, \dots, x_p ，用一個矩陣表示如下

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_p]$$

根據 Fisher's 理論，有一線性組合，將 x_1, x_2, \dots, x_p 轉換成單變值矩陣 Y ，故

$$Y = L' X \quad (1)$$

L' 為直線組合的係數矩陣， $L' = [l_1, l_2, \dots, l_p]$ 。令 μ_1 為原多變數在的期望值 (expected value)， μ_2 為原多變數在的期望值，

$$\mu_1 = E(X/\pi_1) \quad (2)$$

與

$$\mu_2 = E(X/\pi_2) \quad (3)$$

令 Y 變數在組群 π_1 的平均值為 μ_{1Y} ，在組群 π_2 的平均值為 μ_{2Y} ，故

$$\mu_{1Y} = L' \mu_1 \quad (4)$$

同理

$$\mu_{2Y} = L' \mu_2 \quad (5)$$

Y 矩陣變數的變異表示為

$$\sigma_Y^2 = L' \Sigma L \quad (6)$$

Σ 為 Y 在不同組群間之變異一共變異矩陣 (variance-covariance matrix) Y 變數矩陣在 π_1 與 π_2 組群差之平方為

$$(\mu_{1Y}-\mu_{2Y})^2=(L'\delta)^2 \quad (7)$$

根據 Fisher's 理論，線性組合係數矩陣 L 必需滿足使兩個組群差的平方和除以變異量達最大值，故以 (6)(7) 式表示之，L' 必需滿足 Cauchy-Schwarz inequality 理論

$$L'=\delta'\Sigma^{-1} \quad (8)$$

將(8)式代入(1)式得

$$Y=(\mu_1-\mu_2)'\Sigma^{-1}X \quad (9)$$

(9)式稱為 Fisher's 線性判別函數 (linear discriminate function)。

對於一個未知組群的 X_0 ，代入(9)式可得一變數 Y_0

$$Y_0=(\mu_1-\mu_2)'\Sigma^{-1}X_0 \quad (10)$$

令 m 值為 μ_{1Y} 與 μ_{2Y} 的中間點，即

$$m=1/2(L'\mu_1+L'\mu_2) \quad (11)$$

即當

$$Y_0 \leq m, X_0 \text{ 屬於 } \pi_1 \text{ 組群}$$

或

$$Y_0 > m, X_0 \text{ 屬於 } \pi_2 \text{ 組群}$$

上述組群的分類可依同理推算當組群數大於 2 的情況，惟各組群都屬於多數量常態分佈 (multivariate normal distribution)，而且各組群的 Σ 變異一共變異矩陣都相同。

三、試驗與方法

本研究試驗分析都是在田間進行。且依統計試驗，田間試驗的進行分為二個部分進行。第一個部分是在彰化濱海地區，六股水利工作站灌溉轄區內進行。選擇該區域的原因是當地正界於淡、鹽水交界處，部分渠道水中受感潮影響而鹽化；另一個原因是該地區豬糞尿進入部分渠道，道成水中成厭氣、惡臭。該地區的農民與養殖魚塢者曾在民國八十年間，因為排水渠道的水門與混凝土內面工的剝落影響排水，甚至造成大雨時期的淹水而抗爭。研究試驗前的現場勘查，發現當地的灌溉水路水質差異很大，因此不同渠道的內面工龜裂程度也有所不同，但卻不易區分是水污染所導致，或是當地的酸雨（臨近大肚溪口的興達火力電廠），或是原本的渠道施工不良，或是沿海的海風所影響，或者只是工程材料的老化所致。在現場有太多無法控制的因子，以致於在結

構物的損害上難加以鑑定。於是選擇九處分別是：(1)六股排水出海口處；(2)六股排水海尾村段；(3)溪底排水；(4)頂溪埔支線；(5)(6)(7)三處皆在頂溪埔支線新港村附近；(8)什股排水；(9)寮地溝排水。依現場實地勘查，(1)(2)二點是屬於海水影響區段，溝渠淤積處仍有招潮蟹與彈塗魚等感潮性生物的活動。(3)至(7)等五處除了零星受社區污染影響外，主要的水仍來自烏溪的水，水中仍有許多黃色懸浮性顆粒。(8)與(9)主要是受豬糞尿所影響，底泥污黑，時而冒出厭氧性氣泡，使水色呈污黑。

在這九處的渠道中，於民國八十三年八月十八日，將試驗的鋼筋與混凝土柱沉放進入水中。鋼筋為一般築用的材料，直徑為 13 ~ 15mm，依 120cm 等長裁切。混凝土係以水泥：砂料：小石子（粒徑 < 1/2 吋）= 1 : 2 : 4 的含量拌合，這個比例是水利會按現場工程級配之比例製成，混凝土製模凝固後之斷面長 × 寬為 5 × 5cm，長度為 120 cm。鋼筋與混凝土柱置入渠道中完全覆沒後，在現場採取水樣 1 升，並且立刻攜回實驗室進行水質分析。分析之項目與方法如下：水中電導度以比導度法測定，溶氧以溶氧儀法測定，酸鹼值以玻璃電極法測定，懸浮性固形物濃度以過濾烘乾法測定，氯離子以硝酸銀滴定法測定，鹼度以酸法滴定法測定，硫化氫以甲稀藍比色法測定，硫酸鹽以濁度法測定，硝酸鹽以馬錢子鹼比色法測定。

在民國八十三年十一月十八日（浸置後三個月）、八十四年三月十八日（浸置後八個月）、八十四年十二月二十八日（浸置後十七個月）與八十五年六月二十八日（浸置後二十三個月），在現場測定混凝土的壓力與鋼筋的拉力。試驗之前三日，混凝土與鋼筋都自水裏撈上來，以乾淨的水洗拭附在表面的淤泥，置於空氣中乾燥再進行試驗。實驗進行至二十二個月時，當地縣政府浚通水路，以致有四處之混凝土與鋼筋試驗材料失蹤，無法進行試驗。

混凝土的壓力測定是以瑞士製的建築材料 P 型測試錘 (Building Material Test Hammer Type P, Switzerland) 測定之。測試錘的試驗原理是在混凝土的表面，以測試錘給予混凝土一定量的衝擊

力，由混凝土對衝擊力的回彈值對照 P 型測試錘的標準曲線，得知混凝土之耐衝力(N/mm²)。鋼筋的拉力是以瑞士製 SM150 型鋼筋張力計(Wire Tension Meter, Proceq, Switzerland)測定。鋼筋張力計的試驗原理是以夾子固定鋼筋的兩端，在鋼筋的中間勾上一個勾函，以微調尺控制勾函拉了 1mm 的距離，張力計上即有數字讀數，顯示拉力值(N/mm)。

渠道的內面工強度是由瑞士製 M 型混凝土測試錘(Concert Test Hammer Type M, Switzerland)測定。在現場測定渠道混凝土內面工強度是非常不容易的試驗，需要測試者下到水中，兩手夾緊重達 20Kg 的測試錘，並且預先去除衝擊點的附著污泥、落葉、青苔及水面漂浮物後，再行測驗。混凝土測試錘的測試原理與 P 型建築材料測試錘的原理相似，是以較大的衝擊能量測定混凝土的回彈值(Rebound Number)，再由室內檢測之標準線換算成爲所承受之壓力(N/mm²)。

田間試驗的第二個部分是在本省嚴重的水質污染區，高雄的後勁溪與鳳山圳。由上游至下游(後勁溪至出海口)採水樣，後勁溪由取水口之新圳幹與曹公圳八卦寮制水門會合處開始，沿著後勁溪的流向，分別在仁武加工區、高楠紙廠、煉油廠、東源紙廠、援中港制水門、草潭埤圳、海口處維持採點並且用 M 型混凝土測試錘測定混凝土強度。鳳山圳的採樣點由曹公圳幹線開始，沿途經過製皮革加工區，至內河圳止。兩條溪水都呈嚴重的有機與無機性的污染。採樣同時也用 M 型混凝土測試錘測定混凝土內面工之強度。水樣測定項目皆與在彰化測定的水質項目相同。採樣點在後勁溪共採十點，在鳳山圳採八點。

四、結果與討論

在彰化縣伸港鄉的試驗鋼筋與混凝土，在九處不同的灌排渠道的水中，浸置二十三個月，期間曾取出分別測定其拉力與衝擊回彈力，其測試結果以表 1. 與表 2. 示之。鋼筋與混凝土在田間不同水質與流況的水中，材料受腐蝕的程度雖然有所不同，在受近海影響的六股排水線海口處(試驗位置第一點)，與六股排水線海尾村段(試驗位置第二點)，在浸泡三、六、十七、二十三個月的期

間，鋼筋拉力的遞減率分別爲 0%、2.89%、1.82%、2.15% 與 0.03%、0.95%、2.17%、1.10%。浸置在受豬糞尿污染的溪底排水線(試驗位置第三點)，什股排水線(試驗位置第八點)，與寮地溝排水線(試驗位置第九點)，在田間試驗期間，鋼筋拉力的遞減率爲 0%、2.61%、1.33%；0.15%、0.13%、2.41%；與 0%、0.95%、2.33%、0.87%。這些拉力的遞減率分別比不受海水與豬糞尿污染影響的其它試驗地點(視爲對照組)爲高，例如頂溪埔支線之(-)的試驗位置，四段試驗期間，鋼筋拉力的遞減率爲 0.005%、1.46%、0.83%，較受海水或豬糞尿污染影響爲低。

表 1. 彰化縣伸港鄉灌排渠道不同試驗期間鋼筋中央點位移 1mm 的張力值(N)

試驗位置\期間	三個月	六個月	十七個月	二十三個月
1.六股排水線海口處	13.20	14.15	16.98	19.17
2.六股排水線海尾村後段	13.04	13.41	16.61	17.71
3.溪底排水線	13.03	14.05	16.11	—
4.頂溪埔支線之(-)	13.05	13.62	14.86	—
5.頂溪埔支線之(二)	13.02	13.22	14.86	—
6.頂溪埔支線之(三)	13.05	13.01	13.49	15.29
7.頂溪埔支線之(五)	13.06	13.03	14.39	14.69
8.什股排水線	13.09	13.14	16.62	—
9.寮地溝排水線	13.03	13.40	16.83	17.71

註：原來鋼筋中央每位移 1mm 的平均拉力爲 13.03±0.03N

—：渠道淤通時遺失

表 2. 彰化縣伸港鄉灌排渠道不同試驗期間混凝土的衝擊回彈力(N/mm²)

試驗位置\期間	三個月	六個月	十七個月	二十三個月
1.六股排水線海口處	6.32	5.84	3.05	3.10
2.六股排水線海尾村後段	8.50	6.50	2.50	2.10
3.溪底排水線	5.90	4.25	3.95	—
4.頂溪埔支線之(-)	6.50	5.40	3.60	—
5.頂溪埔支線之(二)	7.90	6.95	5.20	—
6.頂溪埔支線之(三)	7.65	6.55	6.30	5.70
7.頂溪埔支線之(五)	6.95	5.90	5.15	4.95
8.什股排水線	7.80	6.40	1.80	—
9.寮地溝排水線	6.80	6.03	3.90	2.70

註：原來混凝土的平均衝擊力爲 7.05±2.07(N/mm²)

—：渠道淤通時遺失

根據 Fantana(1986) 金屬的腐蝕理論，在理想狀態下金屬的腐蝕有一段金屬結晶結構的穩定期，腐蝕的速率很低，或不會有金屬被氧化離開金屬結構，而開始進入腐蝕時，腐蝕速率約以一定斜率的增加。本研究在田間的狀況在浸三個月期間，鋼筋幾乎未呈現腐蝕，到六個月後才開始顯著的腐蝕現象，依現場之觀測，鋼筋在表現凸出螺紋開始呈現銹斑，而且會逐漸剝落，相對於減

少拉力承受的斷面積。因此鋼筋的張力隨時間的延長而減少，但是遞減率並非以一定之斜率遞減，這種與 Fantana 理論不同之處主要在於田間的水質並非一成不變，受到渠道枯豐水期與降雨的影響。

混凝土柱的衝擊回彈力在四段試驗期間的測試結果以表 2. 示之。雖然第四次的試驗四處混凝土柱受到水路施工而遺失，但其變化趨勢與鋼筋相似，在有海水與豬糞尿污染的圳路，在十七個月或二十三個月期間混凝土柱的衝擊回彈力都顯著的減少，如六股排水線的海口處，受海水影響後的衝擊回彈力降到 3.10N/mm^2 ，在海尾村段也降至 2.10N/mm^2 。在現場觀測混凝土柱，已見混凝土龜裂並且一些石材已自混凝土柱的表面剝落。惟在混凝土柱的衝擊回彈力在初始就呈現較大的變異性，主要原因是混凝土柱是混合材料。

依試驗設計，在彰化伸港地區的水質狀況可以分為三個組群：海水影響組群，豬糞尿組群與未受污染組群。在進行判別分析以前，所調查分析的八個變數：水中電導度，懸浮性顆粒濃度，酸鹼值，氯鹽，鹼度，硫酸鹽，硝酸鹽與硫化氫。需要經過 F 檢定，以確定該變數在三個組群的平均值有極顯著的差異 ($P < 0.01$)。經過 F 檢定後之差異性機率與三個組群及其各變數的平均值以表 3. 示之。結果顯示各組群具有極顯著差異性的只有二個變數：氯鹽與硫化氫。其它六個變數雖然在理論上都能加速鋼筋的腐蝕與混凝土的龜裂，但是在彰化伸港地區能夠區分出海水、有機污染與對照組的只有這二個因子。氯鹽與硫化氫加速鋼筋的腐蝕都在陰離子的氯與硫化物，在高表 3. 判別分析的已知三個組群的顯著機率與平均值

變數	P 值	平均值		
		海水影響	有機污染	對照影響
電導度(μ s/cm)	0.7194	1319.00	1238.00	453.00
懸浮性顆粒濃度(mg/l)	0.0574	66.50	38.30	98.50
酸鹼值(pH)	0.2613	7.61	7.22	7.34
氯鹽(mg/l)	0.0001**	369.80	50.30	11.70
硫酸鹽(mg/l)	0.3477	256.50	154.27	126.50
硝酸鹽(mg/l)	0.4534	121.25	462.64	79.97
硫化氫(ug/l)	0.4644	0.19	8.96	2.45
鹼度(mg/l)	0.0015**	1.05	45.20	15.23

** P<0.01 為極顯著

濃度時增加鋼筋中鐵的氧化，形成二價鐵後，形成氯化亞鐵(FeCl_2)與硫化鐵(FeS)的黑色沉澱物。氯鹽與硫化氫加速混凝土龜裂的影響，氯鹽取代水泥中的碳酸鹽形成氯化鈣(CaCl_2)沉澱改變水泥在混凝土中的膠結性，加速混凝土表面顆粒的剝落。硫化物除了對於碳酸鈣中的碳酸鹽有其取代性外，同時附在混凝土表面的硫化氫經過混凝土暴露在空氣的氧化後形成硫酸，對於混凝土表面更具有強烈的穿孔性。

將氯鹽與硫化氫經過判別理論的直線組合未經標準化的判別係數可以表示為

$$Y_1 = -6.215 + 0.903(\text{氯鹽濃度}) - 0.1446(\text{硫化氫濃度})$$

$$Y_2 = 1.932 - 0.005(\text{氯鹽濃度}) - 0.063(\text{硫化氫濃度})$$

判別係數經過標準化結果表示於表 4.。由各判別的特徵值(eigenvalues)得知第一個判別式(Y_1) 在區分上的權重已佔 99.6%。第二個判別式只有 0.4%(=100-99.6)的權重。各判別式所要區分的依表 5. 各組群判別係數的平均值得知 Y_1 判別式在區分出海水影響，其值為第一組別組合中的最大值 27.031。比較表 4. 正值最大的原變數為氯鹽，因此得知區分受海水影響鋼筋與混凝土承受拉力與衝擊回彈力最主要的因子，在彰化縣伸港地區為氯鹽。

Y_2 的區分式區分出有機影響，因為在表 5. 中第二組判別區分在最大的區分值為-1.183。比較表 4. 得知最大的負值為-0.886的硫化氫，因此證明在彰化縣伸港地區的溪底排水線，什股排水線，寮地溝排水線水中的鋼筋與混凝土材料的力學特性，在豬糞尿中過多的有機硫，於厭氣情況下的硫化氫腐蝕。根據現場試驗，在這三個試驗位置撈取之混凝土與鋼筋都具有濃厚之硫化氫臭味。

根據上述區分的判別式，可知對渠道內面工有氯鹽污染，硫化氫污染與未受污染三種型態，把在高雄地區後勁與鳳山溪測定的水質資料經過判別分析分類後之結果，與渠道水位線上 5 公分的內面工衝擊試驗測定位互相比較，以表 6. 示之。

可知判別區分的結果與內面工的測定結果不一定有相關。在後勁溪，有些有氯鹽污染的段落，內面工的衝擊彈性仍很好，如第十點的後勁溪河口；有些水質沒有污染，內面工的衝擊彈性

反而較低，如第三點新幹線內面工。這種現象主要與渠道內面工在不同段落有不同級配、厚度、建造時間、施工後的維護有關。在後勁溪的河口處接近海防堤，其混凝土內面工唯恐波浪影響混凝土的有效強度，雖然現場有看到表面些許的龜

表 4. 彰化縣伸港地區海水、有機與對照的二個區分變數的判別係數

	變數	判別係數		
		未標準化	標準化	平均值
第一判 組別 組合	常變	-6.215		
	氯鹽	0.903	2.208	0.400
	硫化氫	-0.1446	-2.027	-0.057
	特徵值		313.359	
	累積比(%)		99.60	
第二判 組別 組合	常變	1.932		
	氯鹽	-0.005	-0.126	-0.316
	硫化氫	-0.063	-0.886	-0.998
	特徵值		1.253	
	累積比(%)		100	

表 5. 各組群判別係數的平均值

	第一組判別組合	第二組判別組合
海水影響	27.031	-0.044
有機影響	-8.208	-1.183
對照組	-7.360	0.909

註：第一組在區分海水與有機、對照，主要的因子是 Cl⁻
第二組在區分有機與海水、對照，主要的因子是 H₂S

表 6. 高雄後勁、鳳山圳路水質分類區分與混凝土內面工之衝擊試驗

分類點	由判別區分判斷污染型態	內面工的衝擊回彈力 (N/mm ²)
1	未受污染	6.7
2	未受污染	5.3
3	未受污染	4.0
4	氯鹽污染	11.1
5	氯鹽污染	6.1
6	氯鹽污染	4.0
7	氯鹽污染	14.2
8	未受污染	4.0
9	未受污染	3.5
10	氯鹽污染	5.9
11	氯鹽污染	5.3
12	未受污染	6.0
13	氯鹽污染	5.4
14	氯鹽污染	3.1
15	氯鹽污染	1.0
16	氯鹽污染	5.7
17	硫化氫污染	8.7
18	未受污染	5.3

裂，但是衝擊回彈性仍然很好。

五、結 論

本研究證明彰化伸港地區，鋼筋與混凝土在水中的腐蝕，不是受單一因子鹽分入侵的影響，而是有豬糞尿有機污染中硫化氫的共同影響所致。而且海水中的鹽分影響，也是以氯鹽為主。用判別分析能夠有效的區分試驗設計所置入的材料，但是對於其他地區渠道的內面工強度的分類，卻不盡理想，主要還是內面工不同級配與年代的影響。不過判別分析仍然不失為環境評估與區分污染損害的方法。

六、致 謝

本研究計畫的進行承蒙農委會「水污染對於灌溉結構物的損害研究 85-AST-1.10-FAD-07(2)」經費的支持，與高雄水利會配合款的資助。研究期間有農委會陳益榮技正，彰化水利會林達雄先生的協助在伸港地區的採樣工作，高雄水利會楊武平先生協助在高雄地區的採樣，彰化六股工作站站員的協助撈放試驗材料，在此致上感謝。

七、參考文獻

- 林家祺，唐瑞霖，張文亮，民國 85 年，本省各水利會污染水質損壞灌溉排水渠道混凝土內面工之經濟分析，農業工程學會，82 卷，2 期，50-59 頁。
- Boon, A. G. 1992. Septicity in Seuers, Causes, Consequences, and Containment. Journal. IWEM. Vol. 6. pp. 79-90.
- Derucher, K. N. and G. P. Korfiatis. 1988. Materials for Civil & Highway Engineers, Prentice Hall.
- Fontana, M. G. 1986. Corrosion Engineering. McGraw-Hill Book Company.
- Harding, R. B., D. F. Grigal, and E. H. White. 1985. Site quality evaluation for white spruce plantations

- using discriminate analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 49. pp. 229-232.
6. Haney, E. G. 1982. The zinc-steel potential reversal in cathodic protection. Materials Performance. Vol. 21. pp. 44-50.
7. Johnson, R. A. and D. W. Wichern. 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice-Hall, Inc...
8. Lewis, J. and R. M. Rice. 1990 Estimating erosion risk on forest lands using improved methods of discriminate analysis. Water Resour. Res. Vol. 26. No. 8. pp. 1721-1733.
9. Wodden, S. A. 1986. Source discrimination for short-term hydrocarbon samples measured aloft. Environ. Sci. Technol. Vol. 20. pp. 473-483.
10. O'Day, D. K. 1989. External corrosion in distribution systems. Journal AWWA. Vol. 82. pp. 45-52.

收稿日期：民國 85 年 10 月 5 日
修正日期：民國 86 年 11 月 22 日
接受日期：民國 86 年 11 月 25 日

歡 迎 踴 躍 投 稿

增 添 本 刊 內 容