

土壤及地下水污染事件應變作業

賴允傑

瑞昶科技股份有限公司專案副理

劉泰銘

瑞昶科技股份有限公司副總經理

摘要

土壤及地下水污染整治法通過施行至今已逾十年，環保主管機關對於污染場址之調查、列管方式已依法令相關規定建置固定之作業模式，但對於污染事件發生初期，其危害程度之判定方式、應變措施執行之必要性、以及應變作業程序等方面，由於個案差異較大，若無實務經驗較難以於第一時間妥善因應處理。

本文參考美國 ASTM 所發展之以風險為基礎之決策方式，分析國內常見之土壤及地下水污染事件，依據其危害性程度，簡要提出相對應之因應原則概念，提供相關人員實務應用時參考。

關鍵字：土壤、地下水、應變原則、應變措施、ASTM E1739-95、ASTM E2081-00

一、前言

「土壤及地下水污染整治法」（簡稱土污法）於民國 89 年 2 月公布施行，為國內最後一個針對特定環境介質所訂定之環境保護法令。與其他法令相較，土污法之立法意旨主要係以「污染整治」為目的，藉由定期監測、調查發現土壤及地下水污染潛勢區，並妥為因應處理，屬「第二線」或「末端處理及管理」之環境保護法規，與以「污染防制（治）」為目的所訂定之其他環境介質保護法令有其差異性。

相較於空氣污染或水污染案件，由於土壤及地下水為陸域環境中各種污染物之最終受體（載體），涵容及緩衝能力較大，污染物之擴散速率較慢（特殊案例除外），多數之污染事件於事發後僅需採取必要之污染擴散控制措施因應，即不



致於立即造成嚴重之危害。

然而，部分土壤及地下水污染事件一旦經民眾檢舉或通報相關污染情事，所造成之危害情形多半已相當嚴重，又因此類型案件不易自其外觀察覺及辨識，且往往肇因於污染物長期洩漏或累積，污染擴散程度更涉及複雜之水文地質環境空間變異性、介質種類特性與時空延續性等因素，以致實際之污染影響情形相當難以掌握且較為複雜，相關類型案件大致可區分為下列三類，包含：

- (一) 重大意外或災害事故：此類型案件之特性為反應時間相當短，受體可能直接接觸或暴露污染物，如輸油管線破裂、載運危險化學品之槽車翻覆、如近期之台塑六輕、南亞嘉義廠火災事故。
- (二) 污染物長期洩漏或累積：此類型案件之特性為污染物已長期洩漏或擴散，受影響之區域範圍較大，且污染區內之受體可能早已受到不同程度之健康危害，如台塑仁武廠、台氯頭份廠地下水污染事件。
- (三) 污染事件與飲用水安全或食品衛生安全有關：此類型案件之特性為受體可能直接或間接食用或飲用污染物質，受污染區域之環境復原時程較長，如稻米重金屬污染、戴奧辛污染（生物累積性污染）。

「掌握污染現況，避免污染擴大，降低對民眾健康及環境品質之危害」為第一線污染現勘及調查人員之責任及目標，如何從現有資訊評估一污染事件情節，掌握場址污染情形及受體可能危害影響，進而研判是否執行應變必要措施或其他因應作為，實為污染案件初期重要之工作事項。

二、相關法令規定

「土壤及地下水污染整治法」已授權各級主管機關針對可能造成人體健康危害之污染事件，辦理各項必要之應變作業，茲分述說明如下：

第十二條第一項：各級主管機關對於有土壤或地下水污染之虞之場址，應即進行查證，並依相關環境保護法規管制污染源及調查環境污染情形。換言之，污染事件發生（通報）後，主管機關應派員到場勘查，研判其污染現況，若可尋獲污染來源，可依相關環保法令（如水污法、廢清法等）優先管制污染源並調查污染情形。

第七條第五項：各級主管機關為查證工作時，發現土壤、底泥或地下水因受污染而有影響人體健康、農漁業生產或飲用水水源之虞者，得準用第十五條第一

項規定，採取應變必要措施；對於第十五條第一項第三款、第四款、第七款及第八款之應變必要措施，得命污染行為人、潛在污染責任人、場所使用人、管理人或所有人為之，以減輕污染影響或避免污染擴大。此條文授權環保機關人員於發現污染情事對於國民健康有重大危害之虞時，得依法辦理應變必要措施。

第十五條第一項則列舉可依場址實際狀況減輕污染危害或避免污染擴大，所採行之應變必要措施事項，包含：

- (一) 命污染行為人停止作為、停業、部分或全部停工。
- (二) 依水污染防治法調查地下水污染情形，並追查污染責任；必要時，告知居民停止使用地下水或其他受污染之水源，並得限制鑽井使用地下水。
- (三) 提供必要之替代飲水或通知自來水主管機關優先接裝自來水。
- (四) 豎立告示標誌或設置圍籬。
- (五) 會同農業、衛生主管機關，對因土壤污染致污染或有受污染之虞之農漁產品進行檢測；必要時，應會同農業、衛生主管機關進行管制或銷燬，並對銷燬之農漁產品予以相當之補償，或限制農地耕種特定農作物。
- (六) 疏散居民或管制人員活動。
- (七) 移除或清理污染物。
- (八) 其他應變必要措施。

第十五條第二項則規範前項第三、四、七、八款之應變必要措施，可由地方主管機關命令污染行為人、潛在污染責任人、污染土地關係人或委託第三人為之。

三、污染事件危害性程度之判定與因應作為決策

當污染事件發生後（或通報後），雜亂且片段的事件相關消息經民眾通報或媒體報導於第一時間湧入，主管機關若無一套作業準則或合適之評估依據，適度的篩選過濾相關資訊以正確研判事件危害程度，將會導致所採取之因應作為，會與實際情況產生相當大的落差。

如同醫院以檢傷分類方式依據病情之危急程度篩選所有送入急診處之病患，在土壤及地下水污染之環境問題管理議題中，美國材料試驗學會（ASTM）所發展之應用風險為基礎之決策方式(risk based decision making)，或以風險為基礎之復育措施評估方式(risk based corrective action, RBCA)，為目前應用最廣泛並被美國環保署及各州採行之評估架構依據，其特點為已將人體暴露情境與風險評估方式整合於決策模式中，以利決策者可迅速採取最快速且經濟的方式降低污染事件對人體健康或其他受體之危害性。



參考 ASTM 於 2010 年修正之「Standard Guide for Risk-Based Corrective Action」(ASTM E2081-00)，與「Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites」(ASTM E1739-95)中，於污染事件發生初期，最優先辦理之事項為初步的場址評估作業，依據所蒐集之資訊，研判污染擴散途徑及可能受體，並據以區分場址之危害緊急程度採取因應作為。

在 ASTM 規範中，建議於污染事件發生後所需蒐集之場址資訊包含：

- (一) 相關法令規範
- (二) 場址之土地使用變遷等歷史背景資訊以及曾發生洩漏之紀錄
- (三) 化學污染物質性質確認
- (四) 關切之化學污染物質主要來源
- (五) 關切之化學污染物質於土壤及地下水中之最大濃度位置
- (六) 可能受影響之居民以及環境受體位置（暴露點）
- (七) 可能之傳輸方式及暴露途徑確認（地下水傳輸、土壤氣體逸散等）
- (八) 場址及場址週邊目前以及預期未來可能之土地、地下水、地表水及敏感棲地之利用方式
- (九) 區域水文地質及地質特性（如地下水水位、含水層厚度、流向、水力梯度、地層分佈及地下水質）
- (十) 對環境受體影響之定性評估描述

美國 ASTM 將污染事件對於人體健康、公共安全或環境敏感受體之危害緊急程度區分為四級，分別為立即性危害（已證實受影響或有立即性威脅）、短期（0~2 年）危害、長期（大於 2 年）危害、或無危害，其列舉之污染危害情境分級與相對應之可能初始應變措施（initial response actions）範例請參閱表 1。

應變措施係針對降低人體危害及環境污染所採行之作為，由於污染事件發生之原因眾多，且各類污染事件隨污染源種類、傳輸途徑、及可能危害受體之不同而有其相對應之因應措施，不一而足，但其主要之應變原則與方式可歸納為污染源控制、避免污染擴大、及減輕受體危害等三大類，列舉如下，表 2 之應變措施參查表範例，可供相關人員參查使用：

- (一) 污染源控制：移除土壤或儲槽中之有害物質、清除處理有害物質、修復或更新發生洩漏之管線或儲槽、利用化學物質控制有害物質之洩漏。
- (二) 避免污染擴大：如圍堵、覆蓋或採取其他有效方法避免有害物質隨風或雨水擴散。



(三)減輕受體危害：如提供安全飲水予遭有害物質污染影響之居民、暫時疏散受有害物質影響範圍內之居民、設立圍籬避免直接接觸有害物質。

採取初始應變措施之目的主要為減輕任何可能對於人體健康或環境所造成之立即性危害，以及減少對於後續採行 RBCA 決策方式時可能之影響。實務上，初始應變措施並不一定需要辦理實際之挖除土壤或抽除地下水等整治作為，在許多案例中僅需辦理定期監測或進一步調查評估場址實際之污染情形，以確保場址於一定時間內其危害性均於可接受之風險範圍內，且若未經充分調查瞭解場址之特性，即貿然採行不適當之整治方法，將會導致污染物加速擴散，或擴大污染影響範圍。

由於污染事件發生初期所獲取之各項資訊並非相當完整，因此決策者應依據現場人員陸續回傳或自各有關單位取得之資訊，隨時修正對於場址危害程度之判定，必要時調整採行合適之應變措施因應。

以有害物質洩漏之應變程序而言，於事發初期瞭解事件之概況特性後，可能即需採取合適之污染物移除措施，美國環保署透過案例分析發現並非所有案件均需立即移除污染物，例如火災、爆炸、或儲槽大量洩漏等事件，確實需要立即、迅速執行相關應變措施；但就桶裝廢棄物或廢棄工廠污染案例，其急迫性則明顯較低。因此，依據移除污染物之急迫性、污染範圍擴大程度、受體危害影響等考量，可將後續應變作為區分為短期與長期兩類，短期應變工作包括有害物質移除及定義危害範圍（包括健康危害與環境污染）兩項，需於事發現場立即（於數分鐘至數小時內）採取污染物移除措施。長期應變工作則屬於整治工作之範疇，依據場址評估結果，美國環保署判定可於 6 個月內或 6 個月以上之時間內辦理污染物移除作業。其中短期應變相當於國內土污法之第七條第五項規定，主管機關於事發後應立即主動辦理之應變必要措施，長期應變則為污染控制或整治，相當於土污法第十五條規定，於調查評估後後續要求污染行為人或代履行辦理之應變必要措施。

若參考參考美國 ASTM 與美國環保署之做法，針對前述國內三種較為重大之土壤及地下水污染事件，建議之應變必要措施辦理方式流程圖如圖 1 所示。



表 1 美國 ASTM E1739-95 危害緊急程度分類與建議之應變方式

影響情形或定義的情境	初始應變措施範例
1. 對於人體健康、安全、環境敏感受體造成立即威脅 - 住宅或其他建築物之測爆值或危害性氣體濃度過高，可能造成急性健康影響 - 污染性氣體存在地下公共管線系統中，但建築物或住宅尚未受影響 - 浮油明顯存在於地表、地面水體、非輸水管線系統或地表逕流中 - 使用中之公共用水井、輸水管線或取水口遭受污染或有立即威脅 - 環境空氣/粒狀物濃度超過法令規定急性暴露或安全濃度標準 - 環境敏感棲息地或資源遭受衝擊或影響	通知相關主管機關、土地所有人和可能受影響民眾，並評估進行 - 疏散民眾，並且執行污染減輕策略，例如地下室通風、建築物空氣加壓方式 - 疏散鄰近受影響民眾，且進行地下室通風等減輕策略 - 利用適當方式阻止浮油持續擴散，採取浮油回收和控制措施 - 通知用水戶並提供替代水源、受污染水體水力控制、及用水端水處理措施等 - 設置氣體屏障（覆蓋、阻絕層等），移除污染源、限制進入污染區 - 設法避免污染擴大，採取棲地管理措施避免受體曝露污染物
2. 短期（0~2 年）對於人體健康、安全、環境敏感受體造成威脅 - 累積於住宅或其他建築物中之氣體濃度，可能因測爆值或危害性氣體濃度過高，造成急性健康影響 - 淺層受污染表土區域係開放供公眾使用，且住宅、公園、兒童遊樂場、醫院、學校位於 152 公尺內 - 非飲用水井遭受影響或有立即威脅 - 地下水受到污染，且汲取受污染含水層地下水之公共或生活用水井，位於地下水傳輸途徑下游區域，並可能於 2 年內因污染物擴散而受到污染 - 地下水受到污染，且汲取未受到污染含水層地下水之公共或生活用水井，位於已知污染範圍內 - 受污染地表水、暴雨或地下水排放處距敏感棲息地、飲用水取水口或遊憩用水小於 152 公尺	通知相關主管機關、土地所有人和可能受影響民眾，並評估進行 - 藉由監測或模式模擬方式評估土壤氣體傳輸潛勢，必要時移除污染來源，或設置氣體屏障設施 - 移除土壤、覆蓋土壤、限制人員進出 - 通知所有人/使用者並評估是否設置用水端水處理設備、採取水力控制措施或提供替代水源 - 現地監測並評估其自然衰減情形，或採取水力控制措施 - 監測地下水水質，並評估是否採取控制措施，避免產生垂直污染情形造成供水井污染 - 採取管制措施，限制接近排放源，並評估排放量體及可能受影響程度
3. 長期（大於 2 年）對於人體健康、安全、環境敏感受體造成威脅 地表下 0.9 公尺下方之土壤明顯受污	通知相關主管機關、土地所有人和可能受影響民眾，並評估進行： 監測地下水，並研判污染物未來對含水

影響情形或定義的情境	初始應變措施範例
染影響，且污染土層和第一層飲用水含水層間距小於 15 公尺 • 地下水受到污染，且汲取受污染含水層地下水之飲用水供水井，位於污染團 2 年後擴散影響區域 • 地下水受到污染，且汲取受污染含水層地下水之非飲用水供水井，位於污染團 2 年後擴散影響區域 • 地下水受到污染，且汲取未受到污染含水層地下水之非飲用水供水井，位於已知污染範圍內 • 受污染地表水、暴雨或地下水排放處距敏感棲息地、飲用水取水口或遊憩用水小於 457 公尺 • 淺層受污染表土區域係開放供公眾使用，且住宅、公園、兒童遊樂場、醫院、學校位於 152 公尺以外	層之污染擴散潛勢 • 監測污染團，並評估其自然衰減情形，及採取水力控制措施之必要性 • 確認水井用途，評估影響潛勢，監測污染團，評估其自然衰減情形或採取水力控制措施之合宜性 • 監測污染團，確認縱向污染潛勢，通知使用者，瞭解是否有任何可能影響 • 調查目前對棲地或地面水體的影響，必要時限制人員接近排放源，並評估污染限制/控制之需求 • 限制人員接近受污染土
4. 對於人體健康、安全、環境敏感受體並無明顯長期威脅 包含其他所有未於前述 1、2、3 項描述之情境，列舉數例如下： • 非飲用水取水層未受影響 • 受污染土壤位於地表下 0.9 公尺下方，且距離最近之含水層距離 15 公尺以上 • 地下水受到污染，且汲取未受到污染含水層地下水之非飲用水供水井，位於已知可能受污染區域外	通知相關主管機關、土地所有人和可能受影響民眾，並評估進行： • 監測地下水並評估污染團移動之自然衰減情形 • 監測地下水並評估污染物淋洗移動之自然衰減情形 • 監測地下水並評估污染團移動之自然衰減情形

表 2 污染事件處理應變措施參查表

應變措施種類		擴散途徑	可能之情境	建議之應變措施
污染源控制	—	—	儲槽、管線洩漏 油品、化學品洩漏	• 關閉設施 • 儲槽或管線洩漏檢測 • 抽乾或修補可疑洩漏儲槽或管線 • 油品或化學品回收
			廢棄物掩埋或堆置	• 進行廢棄物再包裝及暫存 • 清除廢棄物
避免污染擴大	地表水	—	地表水出現浮油	• 攔油索、吸油棉等阻隔 • 浮油回收
			廢棄物、油品、化學品洩漏 地表水顏色異常	• 地表水截留 • 收集洩漏廢水
	土壤	—	廢棄物、油品、化學品洩漏	• 污染土壤挖除 • 污染區覆蓋
			廢棄物堆置	• 廢棄物覆蓋
	地下水	—	地下水出現異色、異味 地下儲槽、管線洩漏	• 停止使用地下水（污染區附近及下游） • 水力牆控制
			地下水出現浮油	• 停止使用地下水（污染區附近及下游） • 抽除浮油 • 提供替代水源
減輕受體危害	I	農作物	人或動物食攝入	• 農作物剷除銷毀（農政主管機關執行，環保機關協助）
		農作物	人或動物食攝入	• 農作物採收管制
	II	空氣	隨大氣洩漏逸散	• 污染區覆蓋 • 污染區設置圍籬並管制進出 • 儘速移除污染源
		地表水	使用地表水	• 暫停取水
		地下水	使用地下水	• 停止使用地下水（鄰近污染區） • 提供替代水源
污染源追查	—	—	農作物檢出污染 溝渠、河川污染 地下水、土壤出現異狀	• 研判污染來源（廢水排放、管線洩漏等） • 調查場址及周遭灌溉方式、溝渠位置與上下游關係 • 場址鄰近環境、潛在污染區位置 • 相關擴散途徑環境介質樣品檢測 • 鄰近加油站、儲槽測漏管油氣檢測 • 鄰近工廠製程、原物料、產品及副產品種類與儲放情況 • 鄰近工廠廢水、空氣、廢棄物處理與儲放情況

註：I 為農作物檢出污染時、II 為其他污染情況。

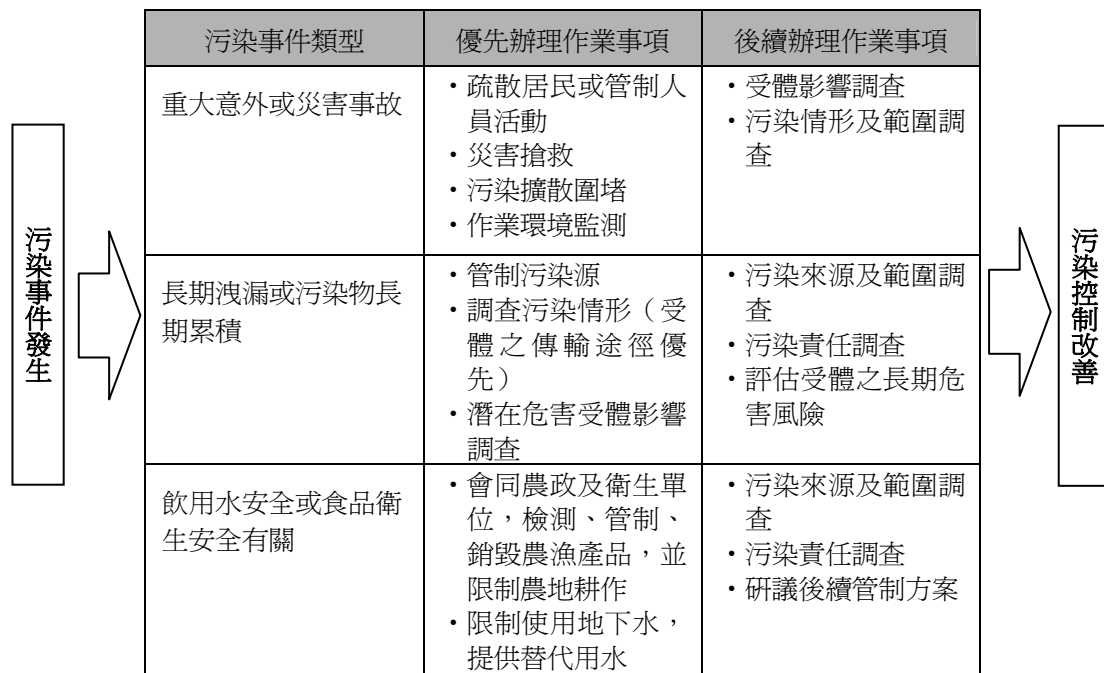


圖 1 國內重大土壤及地下水污染事件建議之應變必要措施辦理方式流程圖

四、污染事件應變作業案例

在土壤及地下水污染事件發生之原因中，地下長途管線之洩漏往往造成嚴重之污染情事，例如 96 年 2 月桃園縣 112 號縣道 3.3 公里處之中油油管遭人鑽孔竊油，導致燃料油洩漏至數公里長之灌溉渠道及其鄰近農地；97 年 6 月澎湖縣馬公機場油管洩漏事件，因管線破裂造成航空燃油外洩並隨雨水流入當地飲用水源成功水庫，造成水庫停止供水及機場跑道旁土壤受到污染。一般而言，大口徑之重要管線埋設深度多位於地表下 2~5 公尺之間，埋設深度越深越易造成地下水之污染，並增加污染改善及處理之難度及成本。雖然工程單位於施工前多會會同管線單位辦理現勘及試掘作業，但仍常會發生誤擊管線以致污染物大量洩漏之情事，彙整近年新聞揭露之長途管線洩漏事件如表 3。

以 97 年 12 月宜蘭縣蘇澳港區附近台化公司輸送管線洩漏事件為例，本案於事發後所接獲之通報內容為：「台電公司因地下管線埋設不慎，鑽斷地下 6 公尺處之台化公司對二甲苯及柴油輸送管線，所洩漏之化學品並溢流至地表，且沿場址周邊之雨水下水道，流入白米溪中，造成白米溪出海口魚群暴斃及居民因異味感到不適。」由於事發初期並無法確知空氣中實際之污染物濃度（多數案例甚至並不清楚污染物為何），但由於附近居民已出現因異味而不適之現象，顯示對於人體健康可能已有立即性之危害，現場人員可視風向及污染物氣味濃烈程度要求



附近下風處居民疏散或加強通風。另因污染物隨地面水體溢流，污染物持續擴散，應即採取必要之污染擴散控制作業。

本案台電公司除緊急於白米溪出海口設置攔油索，並以麻布吸附對二甲苯，另亦於白米溪及周圍海域豎立警告標誌，避免人員撿拾魚蝦食用並持續清除魚屍。事發後隔日並立即召集各相關單位協調應變處理事宜，於 40 天內完成汙染區開挖、管線修復等工作，開挖區面積約 9 公尺× 6 公尺，深度約 8 公尺，挖除之受污染土壤則運至台化公司暫存。推進井內洩漏之對二甲苯由台化公司槽車抽除載回處理，有機性污泥運往合法執照廠商焚化，地面洩漏之化學品則以木屑、洗衣粉吸附處理後收集運往焚化廠焚化。相關之應變必要措施分析彙整於表 4。

表 3 近年長途管線洩漏事件彙整

事發時間	管線洩漏地點	事件緣由	洩漏污染物
94 年 7 月	苗栗縣省道台 1 線 129 公里處之中油油管	鋼板樁施工不慎鑿破	95 無鉛汽油
96 年 2 月	桃園縣 112 號縣道 3.3 公里處之中油油管	油管遭人鑽孔竊油	燃料油
97 年 6 月	澎湖馬公機場聯勤長途輸油管	管線破裂	航空燃油 (JP-8)
97 年 12 月	宜蘭縣蘇澳港區附近台化公司輸送管線	地下潛盾機具施工不慎鑿破	對二甲苯、柴油

表 4 台化管線洩漏緊急應變案例分析

步驟	項目	內容	備註
1	污染事件資料蒐集	事件原因及影響：地下管線埋設不慎，鑽斷地下 6 公尺處之對二甲苯及柴油輸送管線，所洩漏之化學品並溢流至地表，且沿場址周邊之雨水下水道，流入白米溪中，造成白米溪出海口魚群暴斃及居民因異味感到不適。 污染物質確認：對二甲苯 污染物性質：對二甲苯比重較水為輕、浮於水面	• 施工廠商通報 • 民眾通報 • 環境毒災應變隊人員到達現場後，立即以光離子偵測器 (PID) 測值 36ppm，並以氣相層析質譜儀 (GC/MS) 與傅氏紅外光譜儀 (FT-IR) 量測，確認化學品為對二甲苯 • 環保署稽查人員檢測空氣中對二甲苯濃度約 40ppb，低於危害濃度 125ppm
2	污染危害性程度研判	具立即性危害	• 居民身體不適 • 污染物溢流至地面水體造成污染擴散 • 河口魚群死亡
3	應變必要措施	污染源控制	• 井內洩漏之對二甲苯已由台化槽車抽除載回處理 • 地面洩漏之廢液以槽車抽取，並於路面等污染處以洗衣粉清洗皂化後，以木屑吸收以太空包裝袋 • 挖除受污染之土壤
		避免污染擴大	• 於白米溪河口設置攔污索 • 以麻布吸附對二甲苯
		減輕受體危害	• 於白米溪及周圍海域豎立警告標誌 • 避免人員撿拾魚蝦食用 • 持續清除魚屍

五、結論與建議

土壤及地下水污染案件，由於個案間差異相當大，且不易自其外觀察覺及辨識，實際之污染影響情形相當難以掌握且較為複雜，亦難以預期可能發生之危害，若視現場狀況研判後再行於繁多之選項進行挑選，實屬不易且易生缺漏。

建議相關應變作業人員可於各污染案件發生初期，判別污染類型及事件危急程度，優先針對人體健康與受體之危害辦理因應措施，後續則應於短時間內完成初步污染調查評估或污染查證階段性工作，迅速進行採樣與檢測分析，以判明污染物、瞭解污染物特性及證據保全，提供後續決策或推動相關工作建議。



參考文獻

1. American Society for Testing and Materials (ASTM), 2010, Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites. E 1739-95. West Conshohocken, PA.
2. American Society for Testing and Materials (ASTM), 2010, Standard Guide for Risk-Based Corrective Action. E 2081-00. West Conshohocken, PA.
3. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2009, Superfund Removal Guidance for Preparing Action Memoranda, Office of Emergency Management, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
4. 行政院環境保護署，民國 97 年，「96-97 年度土壤及地下水污染事件應變調查、查證及技術支援工作計畫（96 年度）」期末報告，EPA-96-GA12-03-A181。
5. 行政院環境保護署，民國 98 年，「96-97 年度土壤及地下水污染事件應變調查、查證及技術支援工作計畫（97 年度）」期末報告，EPA-97-GA12-03-D086。
6. 行政院環境保護署，民國 99 年，「98-99 年度土壤及地下水污染事件應變調查、查證及技術支援工作計畫（98 年度）」期末報告，EPA-98-GA102-03-A205。

參考網址：

1. 美國環保署超級基金緊急應變措施網頁：
<http://www.epa.gov/emergencies/content/hazsubs/ractions.htm>