

都會區淹水境況模擬與應用

Simulation and Application of Inundation Scenarios for Urban Areas

許銘熙

台大生物環境系統工程學系教授兼國家
災害防救科技中心洪旱防治組召集人

鄧懋先

國立聯合大學建築學系
副教授

黃成甲

國家災害防救科技中心
助理研究員

摘要

台灣地區颱風及豪雨造成的洪災損失對台灣經濟與社會造成相當大的衝擊，根據內政部消防署 1981 年至 1999 年台灣地區天然災害損失統計資料顯示，近二十年來，台灣地區颱風及豪雨侵襲即佔所有 112 次天然災害中之 94 次，造成傷亡人數累計達 2307 人，房屋全倒和半倒累計超過 48,389 間。財務損失方面，依據 1996 年的統計，因颱風造成之農業損失每年平均高達上億元。除整體洪水損失外，都市型洪水災害所造成的損失與威脅有逐年提升的趨勢。台北市民國 90 年 9 月受到納莉颱風重創，造成重大人員傷亡與財產損失；民國 90 年 7 月高雄市水災，在以往全然無洪水經驗的都市地區造成遠超出過去的巨額損失，更突顯出都市型洪水災害的嚴重衝擊的範圍正擴大中。本文之主要目的在應用國家災害防救科技中心研發之都會區淹水潛勢分析技術，進行都會區淹水境況模擬與實例分析研究，研究成果可提供擬定都市洪災防制策略規劃之參考與建議。

一、前言

由於都市土地開發程度日益提高，人口在都市化地區集中，例如民國 90 年納莉颱風在台北市與汐止地區造成的嚴重淹水事件，高雄等地區也因集中豪雨而發生水災。現有洪水管理多以水利工程的方式防堵外水溢淹、或藉開發的排水工程宣洩都市洪水，但是對於上位的洪水敏感區土地利用、開發總量管制、都市開發逕流管制及都市雨水蓄水功能的維持，或是對已開發區的計畫通盤檢討或建築使用管理等等以非水利手段，對應都市洪水的管理，比較少受到重視。

基於上述背景，本文之主要目的在應用國家災害防救科技中心研發之都會區淹水潛勢分析技術，進行都會區淹水境況模擬與實例分析研究，研究成果可提供擬定都市洪災防制策略規劃之參考與建議。

一、研究方法

本文主要在模擬不同降雨條件下流域因河川水位高漲或暴雨宣洩不及所造成之淹水情況。上游山區因地勢高坡度陡，降雨產生之逕流量會快速流入中、下游平原地區，故使用山區逕流模式計算上游地區逕

流量；中、下游平原地區因地勢平坦，暴雨漫地流形成淹水，且其淹水情況受河川水位影響，故須分開處理堤防外河川水流與堤防內地表漫地流，分別採用一維河系變量流模式、二維漫地流淹水模式模擬(含抽水站操作)與都市雨水下水道排水模式，並結合上述模式進行淹水模擬。

(一) 山區逕流模式

山區逕流量計算採用美國陸軍工兵團所發展的 HEC-1 模式，配合山區集水區面積、形狀、坡度及水路長度等地文特性及設計降雨量推估之，並作為一維河系變量流模式之上游邊界條件及二維漫地流淹水模式之上游側入流邊界條件。

(二) 二維漫地流淹水模式

本文為模擬不同重現期暴雨發生時所造成之淹水情況，在淹水模擬部分，採用二維漫地流淹水模式，做為演算之主要工具。本節將針對二維漫地流淹水模式之理論部分作一簡介。

1. 基本方程式

對於一般之地表漫地流而言，變量流方程式中加速項之大小級次 (order of magnitude) 通常遠小於重力

項或摩擦項。假設洪水歷線上升平緩，且忽略科氏力、風力及加速項之影響，則地表漫地流況可用二維零慣性模式予以描述。模式中包括連續方程式與沿 x,y 方向之運動方程式。若地形高程、曼寧糙度和側流量已知，則淹水深、與沿 x,y 方向之流速，可由上述偏微分聯立方程式，利用數值方法求解之。

2. 數值方法

假若地表於初始時刻為無水狀態，洪流傳遞之前緣與乾地表接觸之交界鋒線將隨時間向下游推進，為簡易處理這種移動邊界水流流況，本研究採用交替方向顯式差分法 (Alternating Direction Explicit Method, 簡稱 ADE) 以建立模式。依標示網格 (Marker And Cell, 簡稱 MAC) 差分觀念，若將連續方程式與沿 x,y 方向之運動方程式採差分式求解。

(三) 都市雨水下水道排水模式(SWMM)

本研究為掌握水流在雨水下水道系統之流動狀況，採用美國環保署所發展之都市暴雨經理模式 (SWMM, Storm Water Management Model)[9]來模擬模擬區域內雨水下水道排水系統之水流情形。SWMM 模式主要依據變量流理論，以一維連續方程式與動力波理論為基礎，依水流流程之特性，將模式分成地表逕流與排水幹管輸水兩部份。地表逕流是指雨量降落地面後，流入各排水幹管前之水流狀況，模擬方式是經由動力波逕流演算，計算匯入排水人孔之水流流量歷線；幹管輸水部份則是利用疊代法求解動力波方程式，計算各排水幹管系統之流量以及溢出人孔之水量。

(四) 初始及邊界條件

二維漫地流淹水模式之初始條件係依臨前水又情況而定，並假設模擬區域內為無水狀態，亦即水深及流速均為零。邊界形態在本模式主要為閉合邊界，任何阻擋水流穿越之障礙物，如堤防線、擋水牆或模擬區域之周圍高地等皆可視為閉合邊界。因水流無法穿越堤防，故垂直於堤防線之流速可令為零，即為數值模擬之閉合邊界條件。

三、應用實例—南港區淹水模擬

本文以台北市南港區為淹水境況演練模擬實

例，台北市南港區東以大坑溪中心線與台灣省汐止市為界，南方以福壽(大坪)山山脊與文山區及台灣省深坑鄉及石碇鄉為鄰，西界以舊六張犁水道至西部縱貫鐵路與松山區為界另以中坡南北路接福德街至姆指山山脊與信義區為界，北面則以基隆河中心線與內湖區為鄰，其數值地形高程如圖 1 所示。

(一) 區域概述

南港區面積共 22.2 平方公里，區內人口共 3 萬 3 千 7 百戶，約 11 萬 1 千人，本區一向以都市型態工業發展為主，大小工廠林立，空氣汙染嚴重，環境品質不佳，導致建設落後，人口外流。近來政府正規劃暨辦理多項重大經建工程，例如：南港經貿園區、世貿第二展覽館、軟體工業園區、南港捷連機場聯合開發、北二高、北宜快速公路、基河快速道路等等，未來發展潛力不可言喻。

(二) 模擬條件

為模擬台北市南港區納莉颱風及不同重現期降雨條件下之淹水位，必須將台北都會區設有雨水下水道排水系統納入考慮，目前其管路排水容量僅為 5 年重現期暴雨強度設計，當發生上述重現期洪水時，山區及逕流下水道之溢流，將形成地表漫地流使水流在模擬區中運行；故洪水水位之模擬推估，應以完整集水與排水區域來研究分析。故整個模擬區應包含台北市原市區、南港區及文山區等大台北都會區中人口最密集之處。

1. 地形資料

DTM 數值地形資料為農林航空測量所於民國 70-78 年間為配合繪製 1/5000 台灣地區像片基本圖，而經由航空測量所製作得到，後來交由國立中央大學太空及遙測中心使用保管。本研究所使用之 DTM 資料係由國立中央大學太空及遙測中心提供，其資料型態為 ASCII 碼，網格為 40 公尺×40 公尺，資料內容含各點之 UTM 國際座標與高程資料，整個模擬區域之網格數共計有 43541 點，本研究假設數值地形資料配合實地測量資料，可以代表模擬範圍現況地形特性。另外，本研究根據內政部地政司的台灣省國土利用現

況調查數化資料，將模擬區分為水利用地、建築、工業用地、農業、交通、遊憩、礦業、軍事及其他用地等，再以不同土地利用狀況來決定曼寧糙度 n 值。下水道管線資料包括主要排水幹線資料則由中華顧問工程司提供，區內共計 1141 個主要人孔節點，如圖 2 所示，並經由地理資訊系統，根據人孔座標建立二維地表與下水道銜接對應之位置關係。

2. 雨量資料

(1) 納莉颱風事件

納莉颱風降雨最大期間 (16 日 12 時至 17 日 23 時) 中央氣象局及水利處有完整記錄之雨量站資料，共計十座雨量站，分別為士林、三重、台北、中正橋、永和、木柵、信義、南港、大直及內湖，其中南港站於 9 月 17 日上午 7 時之降雨強度 105 mm/h 為各雨量站記錄之冠，9 月 16 日 12 時至 9 月 17 日 23 時之總雨量 787 mm，亦為十座雨量站記錄中之最高，模式演算之雨量資料輸入根據雨量站位置以徐昇氏法進行降雨分區。

(2) 重現期降雨條件

根據經濟部水利署委託台灣大學生工所針對大台北整體防洪檢討之研究結果，可得知以交替區塊法所設計之雨型較適用於基隆河流域，因此本研究探討之設計雨型方法，乃以交替區塊法為主，此方法係由周文德教授所發展之設計雨型方法。進行南港區二維淹水模擬時，雨量資料使用台北站 50 年及 100 年重現期之降雨資料，詳見表 1 所示。

3. 水利設施

目前台北市都會區沿淡水河、基隆河新店溪及景美溪岸共有 25 座抽水站，位置如圖 2 所示。一般而言，當降雨規模低於 5 年重現期的設計標準，若所有抽水站與疏散閘門均正常操作，且無河川外水流入時，台北市都會區應無淹水之虞；反之若降雨規模大於 5 年，雖河水不溢岸至堤防內市區，但抽水站及雨水下水道系統仍將受排水容量之限制，無法將降雨有效排出市區，此時市區之降雨將在地勢平坦的區域形成淹水。

4. 重大開發案

南港區目前進行之重大交通建設有鐵路地下化及捷運內湖機廠興建，土地開發包含南港經貿園區，南港捷運機場聯合開發及南隆鋼鐵廠，如圖 3 所示，在南港區的淹水模擬針對交通建設及土地開發案的不同組合，並配合成功及南港抽水站正常與停止操作兩種情形，進行 50 年及 200 年重現期降雨條件下之淹水模擬。

(三) 模式銜接

模擬區東兩側上游集水區部份，則採用美國陸軍工兵團所發展之 HEC-1 模式，配合山區集水區面積、形狀、坡度等地形特性及雨量資料計算逕流量，並將山區逕流歷線，提供二維漫地流之上游入流邊界條件；基隆河與大坑溪匯流處溢堤之水位資料，則是採用一維河系變量流模式演算結果，並將二維漫地流模式與一維河系變量流模式進行銜接，計算河水溢堤進入堤內之流量，做為二維漫地流模式沿河川之入流邊界條件。

四、應用實例模擬結果

(一) 納莉颱風事件

圖 4 為南港區於納莉颱風過後調查之淹水範圍 (台北市政府，2001)，圖中顯示受到基隆河與大坑溪匯流處溢堤之影響，南港區發生嚴重積水，且因南港及成功及玉成等三座抽水站遭洪水淹沒而故障，另外，濱江與萬芳抽水站亦因超大降雨量造成內水淹水而於颱風期間故障，抽水站無法發揮應有之排洪功能，淹水情況因而加劇，洪水更從台鐵松山隧道出土段、捷運南港機廠、昆陽站與市政府站灌入地下鐵及捷運系統，北市兩大交通動脈嚴重受創。

圖 5 為納莉颱風南港區模擬淹水深度圖，與圖 4 之淹水調查範圍相較，本模式之模擬已可反映出此次風災主要淹水範圍。由圖上套疊之避難場所可看出，納莉颱風造成台北市南港區嚴重淹水時，位於區內之避難場所，其中南港國中及胡適國小均已遭洪水侵襲，只有成德國中可供民眾避難之用，未來淹水潛勢

圖套疊各地區之避難場所，將可更有效地分析避難場所設置地點及避難路徑的分析，以提供洪災來臨時地方機關研擬防救災相關決策。

(二)重現期降雨事件

圖 6 至 11 分別為南港區於 50 年及 200 年重現期降雨條件下，配合成功及南港抽水站正常或停止抽水，於現況地形、交通建設及土地開發後之淹水潛勢圖，由圖 6 至 8 可看出，如成功及南港抽水站正常操作，於 50 年重現期降雨條件下，現況地形與進行交通建設後之淹水範圍差異不大，但土地開發後由於地表高程經填土後已有大幅改變，南港經貿園區內除人孔冒水造成道路積水外，已幾乎無淹水情形。然而在 200 年重現期降雨條件下，由圖 9 至 11 顯示由於地表積水情形較嚴重，鐵路地下化後由於失去鐵軌增高的地形阻隔，使得地表淹水容易往下游較低窪處流動，當土地開發後地表淹水則會造成周邊地區淹水情形稍有增加的趨勢，但南港抽水站上游人孔冒出的水量因為能夠沿著道路排到下游抽水站附近，反而使成功及南港抽水站中間原本積水情形改善。

若成功及南港抽水站無法正常運轉而停止操作，地表將淹水嚴重，於現況地形下捷運內湖機廠已有積水情形，但交通建設完成後因廠區內填土，已無淹水，但易造成周邊積水；由圖 11 與圖 12 比較結果顯示土地開發後，因人孔冒出的水量無法由抽水站排出河川，地形積水順著地勢流至成功及南港抽水站中間原本積水地區，使得積水情形更加嚴重。

不同重現期降雨之淹水面積統計如表 2 所示，由表中可看出，在抽水站正常操作下，50 年重現期之淹水面積隨著開發程度而有加大的趨勢，而 200 年重現期土地開發後的淹水面積反而變小，主要是因為 200 年重現期之降雨量造成地表有較多的淹水，土地開發後由於開發區域內地表皆有填土，因此減小了淹水範圍；在抽水機停止抽水時，地表淹水無法利用抽水機排至河川而造成較大的淹水深，交通建設後由於鐵路地下化段之鐵軌高程降低，故地表淹水較能順利地流至下游而使得淹水範圍減小，但土地開發後的淹水面

積卻有增加的趨勢，主要是因為開發區內地表填土使得區內淹水情形減輕，但由於原本可排至河川中的地表淹水量太大，而漫淹至其他低窪地區，故淹水面積有增大的趨勢。

表 1 台北站不同重現期降雨資料(單位：公厘)

時間 (hr)	200 年重現期	50 年重現期	時間 (hr)	200 年重現期	50 年重現期
1	6.99	6.26	13	15.80	12.65
2	7.70	6.81	14	12.59	10.42
3	8.61	7.50	15	10.57	8.96
4	9.81	8.40	16	9.16	7.92
5	11.48	9.62	17	8.13	7.14
6	13.99	11.40	18	7.33	6.52
7	18.24	14.29	19	6.69	6.03
8	27.11	20.05	20	6.17	5.62
9	57.74	38.77	21	6.17	5.62
10	142.48	93.52	22	5.94	5.43
11	36.61	25.96	23	5.73	5.27
12	21.72	16.59	24	5.54	5.11

表 2 南港區不同重現期淹水模擬面積統計 (淹水深大於 0.5 公尺)

重現期	重大開發案	抽水站正常操作	抽水站停止操作
50 年	現況地形	56.80	99.20
	交通建設	57.44	96.16
	土地開發	58.56	101.60
200 年	現況地形	135.52	186.88
	交通建設	137.60	185.60
	土地開發	136.32	187.04

單位：公頃

五、未來發展方向

- (一) 未來都市規劃工作一定要將淹水空間分布的觀念納入都市洪災管理與規劃工作中，淹水潛勢資料是將這個構思付諸實現是最佳工具之一，無論是水利或是都市規劃專業人員都可以使用淹水潛勢圖於洪災避難相關規劃工作中。
- (二) 台北市南港區的淹水模擬結果，可以有效提供洪災避難系統規劃所需之基本資料，因為該淹水模擬設定之條件，包括水文、地文、與人文等因子，在水文方面已將不同降雨頻率與暴雨中

劃方案納入模式中。

二) 在淹水潛勢之模擬部份,不但可以利用數值方法模擬協助繪製淹水潛勢的空間分布地圖,還可以將都市開發之程度利用量化的方式,計算出對淹水情況的改變。在未來利用績效為基礎的管制方式時,土地開發或規劃者可以依適當的計算方式,得到開發地區合理的開發水準。

參考文獻

- (一) 許銘熙等,「縣市淹水潛勢分析及 1998 汐止淹水」,防災國家型科技計畫辦公室,民國 89 年 1 月。
- (二) 許銘熙等,「台北都會區淹水區域預測之研究(二)」,行政院國家科學委員會,民國 89 年 8 月。
- (三) M. H. Hsu, S. H. Chen, T. J. Chang, 2002.3, Dynamic Inundation Simulation of Storm Water Interaction between Sewer System and Overland Flows, Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 25, No. 2, 171-177.
- (四) M. H. Li, M. H. Hsu, L. S. Hsieh and W. S. Teng, 2002, Inundation Potentials Analysis for Tsao-Ling Landslide Lake Formed by Chi-Chi Earthquake in Taiwan, Natural Hazards, Vol. 25, 289-303.

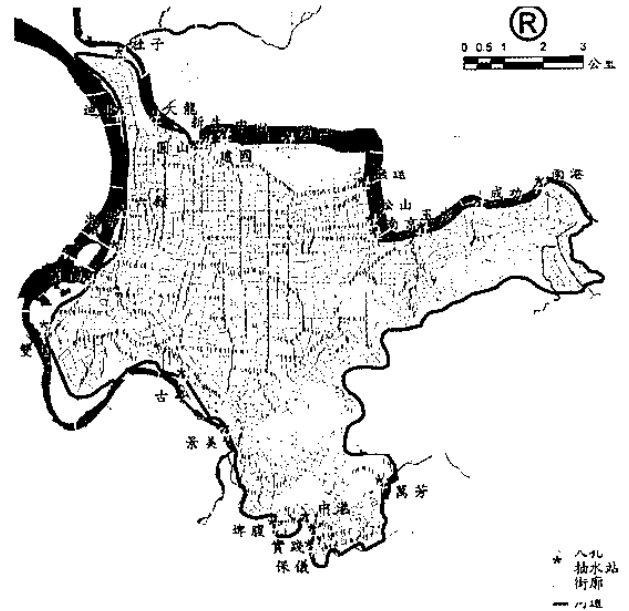


圖 2 台北市都會區抽水站及主要排水入孔

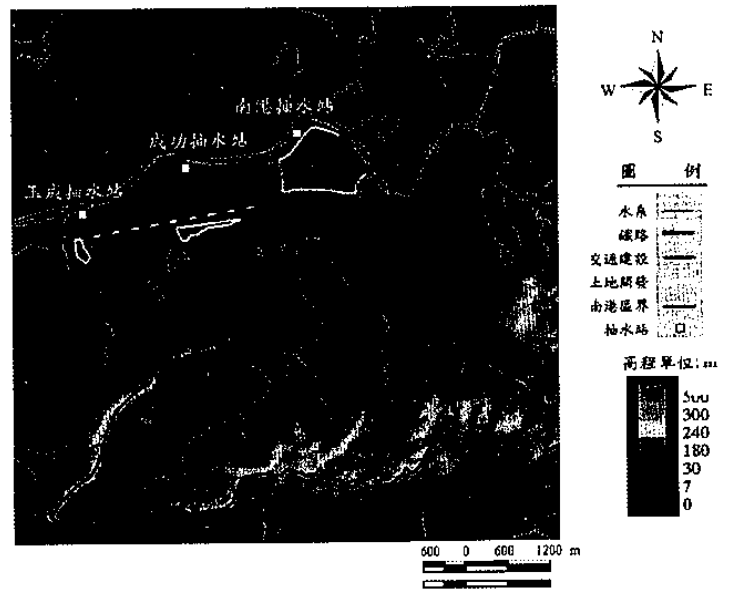


圖 3 南港區重大開發案位置圖

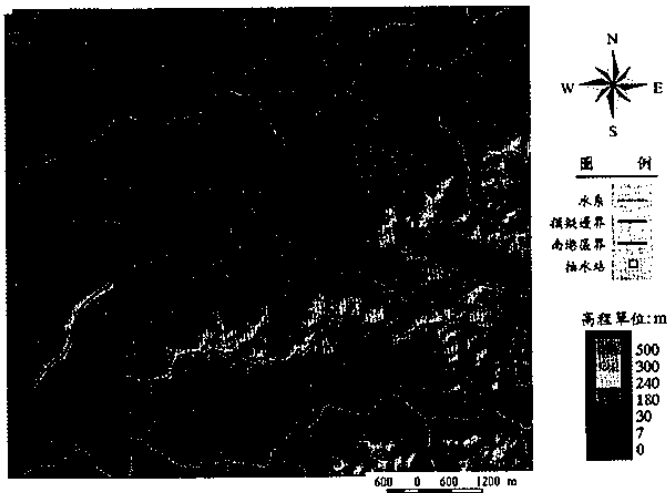


圖 1 台北市南港區數值地形與水系圖

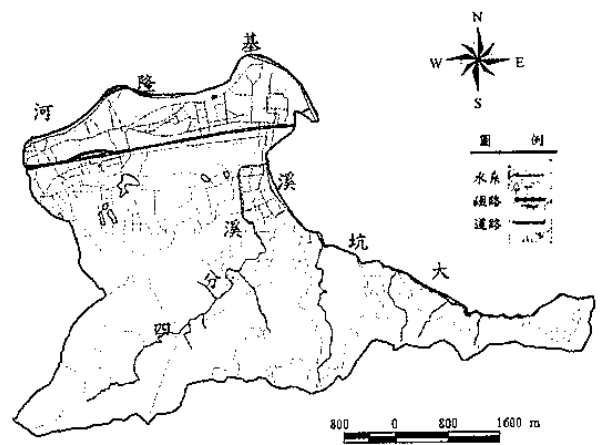


圖 4 台北市南港區納莉颱風淹水範圍 (資料來源：台北市政府)

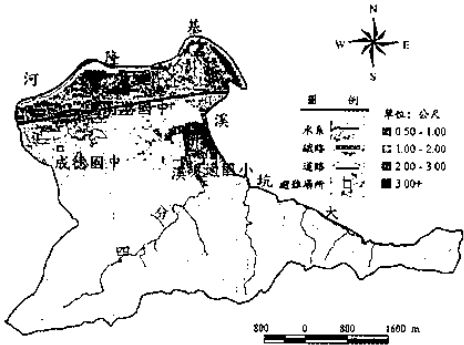


圖 5 台北市南港區納莉颱風淹水結果

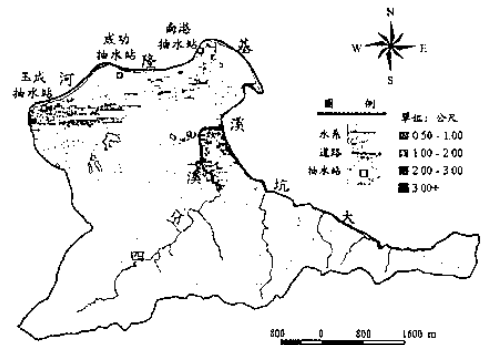


圖 9 南港區 200 年重現期最大淹水深圖 (抽水站失常操作, 現況地形)

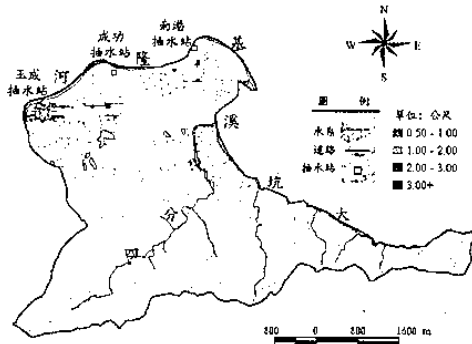


圖 6 南港區 50 年重現期最大淹水深圖 (抽水站正常操作, 現況地形)

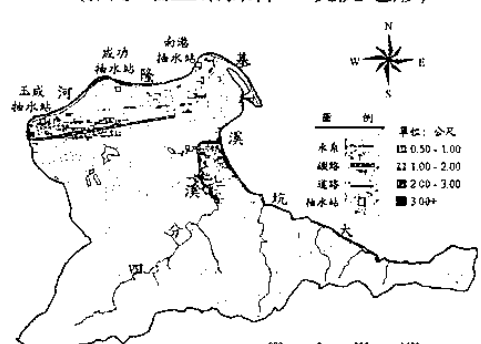


圖 10 南港區 200 年重現期最大淹水深圖 (抽水站正常操作, 交通建設)

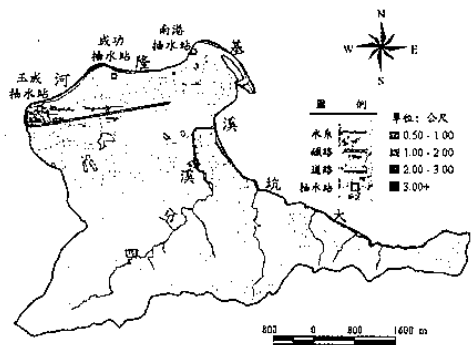


圖 7 南港區 50 年重現期最大淹水深圖 (抽水站正常操作, 交通建設)

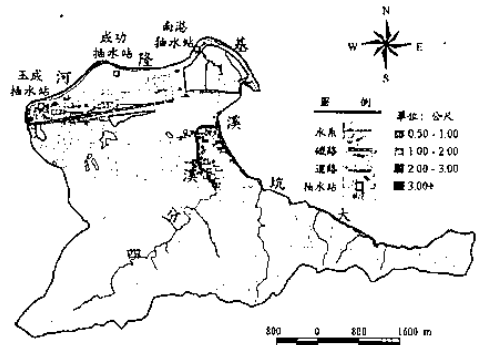


圖 11 南港區 200 年重現期最大淹水深圖 (抽水站正常操作, 土地開發)

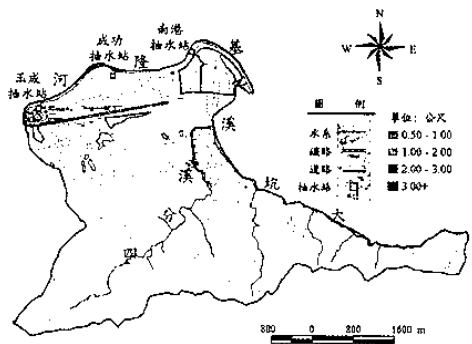


圖 8 南港區 50 年重現期最大淹水深圖 (抽水站正常操作, 土地開發)

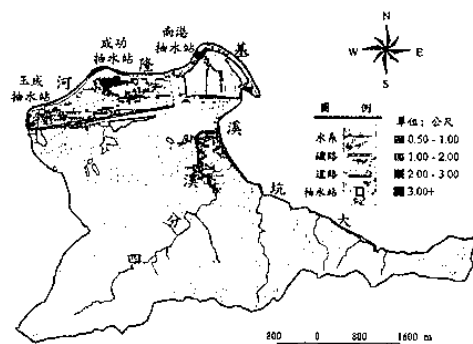


圖 12 南港區 200 年重現期最大淹水深圖 (抽水站停止操作, 土地開發)