

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iv
目錄	.....	v
表目錄	.....	vii
圖目錄	.....	ix
符號說明	.....	xiv
第一章	緒論	1
1.1	研究動機與目的.....	1
1.2	研究範圍與內容.....	2
1.3	研究論文組織.....	2
1.4	研究方法與流程.....	3
第二章	下水道潛盾施工沿革與卵礫石層工址調查	5
2.1	下水道潛盾工法沿革及施工原理.....	5
2.2	下水道潛盾機型式.....	7
2.3	下水道潛盾施工理論基礎及潛盾工法之優缺點.....	9
2.4	下水道潛盾機適用地質狀況探討.....	11
2.5	下水道施工從設計排放污水量觀點探討.....	16
2.6	下水道潛盾施工引起地表沉陷之原因.....	18
2.7	下水道潛盾施工對現有建物與道路之保護.....	20
2.8	卵礫石層工址調查.....	22
第三章	國內外下水道潛盾施工遇礫石層案例	26
3.1	地盤改良輔助工法.....	26
3.1.1	灌漿工法.....	26
3.1.2	凍結工法.....	28
3.2	開放式潛盾機高地下水位施工.....	28
3.2.1	降低水位工法.....	28
3.2.2	大直徑降水井.....	28
3.2.3	壓氣工法.....	29
3.3	密閉式潛盾機的改良.....	30
3.3.1	切削輪與切削齒.....	30
3.3.2	潛盾機千斤頂推力及水力閘門.....	33
3.3.3	卵礫石處理設備與螺運機.....	33
3.4	國內外潛盾機施工遭遇卵礫石層案例探討.....	34
3.4.1	開放型--手挖式潛盾機.....	35
3.4.2	開放型--半機械式潛盾機.....	37
3.4.3	開放型--機械式潛盾機.....	38
3.4.4	密閉型--泥水式潛盾機.....	43
3.4.5	密閉型--土壓平衡式潛盾機.....	47
3.4.6	密閉型--水壓式土壓平衡潛盾機.....	56
3.4.7	密閉型-泥水加壓式及土壓式潛盾機.....	57
3.5	施工管理.....	58

3.6	國內外下水道潛盾施工遭遇礫石層案例及分析結果·····	59
第四章	潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策 ·····	60
4.1	地盤改良輔助工法案例問題解決與處理對策·····	60
4.2	開放式潛盾機高地下水水位施工案例問題解決與處理對策··	61
4.3	密閉式潛盾機的改良案例問題解決與處理對策·····	62
4.3.1	切削輪與切削齒案例問題解決與處理對策·····	62
4.3.2	潛盾機千斤頂推力及水力閘門案例問題解決與處理對策··	64
4.3.3	卵礫石處理方式·····	65
4.3.4	卵礫石處理設備與螺運機案例問題解決與處理對策·····	67
4.4	潛盾機型式選擇·····	70
4.5	國內外潛盾機施工遭遇到礫石地層問題探討與處理對策··	73
4.5.1	開放式潛盾機施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策·····	73
4.5.2	依開放式潛盾機施工實例作比較·····	75
4.5.3	密閉式潛盾機施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策·····	76
4.5.4	依密閉式潛盾機施工實例作比較·····	89
4.5.5	竹科下水道潛盾工法施工案例比較·····	93
4.6	日後潛盾施工建議應採之較佳管理模式·····	95
4.7	下水道潛盾施工遭遇礫石地層問題結論及建議·····	97
第五章	下水道潛盾施工災害原因與防災對策研究 ·····	98
5.1	潛盾施工作業災害發生原因與類型·····	98
5.2	下水道潛盾隧道施工安全評估·····	100
5.3	下水道潛盾施工作業流程與建議注意事項·····	102
5.4	下水道潛盾施工作業安全管理架構之研擬·····	111
5.5	下水道潛盾施工作業工安問題之處理·····	113
5.6	下水道潛盾施工作業防災對策·····	115
第六章	結論及建議 ·····	119
6.1	結論·····	119
6.2	建議·····	119
6.3	下水道潛盾施工之展望與後續研究方向建議·····	120
參考文獻	·····	123
附錄一	潛盾工法之沿革·····	127
附錄二	國內潛盾工程施工實績表·····	128
附錄三	卵礫石層潛盾隧道施工案例一覽表·····	131
附錄四	初步危害分析表·····	139
附錄五	主要作業程序分析表·····	143
附錄六	特有災害評估表·····	144
作者簡歷	·····	155

表目錄

頁數

表 1	衛生下水道管線施工方法特性分析.....	2
表 2	潛盾機的分類與型式.....	7
表 3	泥水式潛盾機開挖時管控項目.....	10
表 4	土壓式潛盾機開挖時管控項目.....	10
表 5	地質條件與潛盾機型之選擇一.....	12
表 6	地質條件與潛盾機型之選擇二.....	12
表 7	土壤粒徑分佈與潛盾機適用範圍.....	13
表 8	潛盾機型式與適用土質、輔助工法之關係.....	14
表 9	潛盾機分類與特性表.....	15
表 10	下水道管線施工方法選擇.....	18
表 11	地盤變形之機制.....	19
表 12	地盤變形之誘因.....	19
表 13	卵礫石工址調查方式比較表.....	25
表 14	國內外潛盾機遭遇礫石層案例歸納表.....	27
表 15	各類切刃適用之岩石單軸壓縮強度.....	32
表 16	竹科三期之二放流管工程地質鑽探及土壤試驗結果報告表.....	54
表 17	國內外下水道潛盾遭遇礫石層施工案例分析結果表.....	59
表 18	地盤改良灌漿工法第一種情形事件案例表.....	60
表 19	地盤改良灌漿工法第二種情形事件案例表.....	60
表 20	地盤改良凍結工法事件案例表.....	60
表 21	潛盾工程之降低水位工法事件案例表.....	61
表 22	潛盾工程之大直徑降水井事件案例表.....	61
表 23	潛盾工程之壓氣工法事件案例表.....	61
表 24	千斤頂推力及水力閘門事件案例表.....	64
表 25	螺運機種類與可排除最大粒徑.....	68
表 26	各種卵礫石處理設備之優缺點比較(一).....	69
表 27	各種卵礫石處理設備之優缺點比較(二).....	69
表 28	潛盾機常用機種及特性表.....	71
表 29	A 營造公司潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策表.....	73
表 30	開放式潛盾機施工實例比較表.....	75
表 31	B 營造公司一號工作井開挖遇地下透水層之處理情形表.....	76
表 32	B 營造公司二號工作井開挖遇地下透水層之處理情形表.....	76
表 33	B 營造公司潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策.....	78
表 34	C 營造公司潛盾施工遭遇礫石地層問題解決與處理對策表.....	84
表 35	密閉式潛盾機施工實例比較表.....	90
表 36	竹科下水道潛盾工法施工案例比較表.....	93

表 37	下水道潛盾施工營建管理重點提示表.....	95
表 38	潛盾施工材料試〈檢〉驗規範索引表.....	96
表 39	下水道潛盾工法施工作業流程說明比較表.....	109
表 40	下水道傳統潛盾施工作業流程與首創含安衛流程比較表.....	110
表 41	下水道潛盾施工防災主要措施表.....	115



圖目錄

圖 1	本研究架構與流程圖.....	4
圖 2	潛盾施工作業循環示意圖.....	6
圖 3	擠壓式潛盾機.....	7
圖 4	各種潛盾機之構造示意圖.....	8
圖 5	土壓式潛盾機受力示意圖.....	9
圖 6	泥水式潛盾機受力示意圖.....	9
圖 7	潛盾機施工所承受之土、水壓力示意圖.....	10
圖 8	φ 2480mm 放流管襯砌斷面圖.....	17
圖 9	放流管 PVC 防蝕襯裡功能斷面圖.....	17
圖 10	工作井擋土開挖及支撐相片.....	18
圖 11	地層穩定處理措施相片.....	18
圖 12	潛盾施工前附近原有結構物及管線情形.....	20
圖 13	潛盾掘進施工後可能對原有結構物及管線造成影響.....	21
圖 14	施工地盤改良、強化施工例.....	21
圖 15	潛盾掘進施工遮斷防護工施工例.....	21
圖 16	臺灣地區卵礫石層分佈示意圖.....	24
圖 17	灌漿材料之分類.....	26
圖 18	附切削齒之切刀盤適合切削卵礫石及流木.....	31
圖 19	切削硬岩、軟岩及礫石之切削輪.....	31
圖 20	潛盾機耐久性及可更換性之刀刃.....	32
圖 21	直徑6.71 m 礫石破碎型土壓平衡式潛盾機.....	32
圖 22	螺桿式與帶狀螺旋式螺運機之比較.....	34
圖 23	手挖式潛盾機結構示意圖.....	35
圖 24	大阪防洪計劃.....	36
圖 25	Tennohi-Benten 地下水主幹管 Block 2 沿線及土層斷面.....	36
圖 26	半機械式潛盾機.....	37
圖 27	第二加壓站至污水處理廠潛盾路線平面圖.....	38
圖 28	日本日機裝置株式會社開放式機械型潛盾機.....	39
圖 29	竹科污水處理廠第三期擴建工程第二加壓站至污水處理廠污水收集 管線工程 CH1~CH8 地質鑽探柱狀圖.....	40
圖 30	地下水位變化與管線高程示意圖.....	41
圖 31	地下水位變化前後管線高程示意圖.....	41
圖 32	地下管線與潛盾路線平面圖.....	42
圖 33	污水管線水力剖面圖.....	42
圖 34	泥水加壓式潛盾機示意圖.....	45
圖 35	卵礫石處理方式選擇.....	45

圖 36	日本橫濱市下水道採用之泥水式潛盾機.....	46
圖 37	日本地中接合式MSD工法之泥水式潛盾機.....	46
圖 38	南灣海上放流管位置及剖面圖.....	48
圖 39	Tennohi-Benten地下水主幹管Block3 沿線及土層斷面	49
圖 40	Tennohi-Benten 地下水主幹管Block3 粒徑分佈曲線.....	49
圖 41	園區污水處理廠三期之三放流管工程平面圖.....	50
圖 42	新竹科學工業園區第三期開發工程第三期給水污水增設工程配合工程 之三-放流管線第三階段延伸工程 BH1~BH8 地質鑽探柱狀.....	51
圖 43	竹科採用日本三菱重工業株式會社之土壓平衡式潛盾機.....	51
圖 44	園區污水處理廠三期之二放流管工程平面圖.....	51
圖 45	園區污水處理廠三期之二放流管工程鑽探位置平面圖.....	53
圖 46	土壓平衡式潛盾機頭斷面及剖面圖示意圖.....	55
圖 47	竹科採用日本三菱重工業株式會社之土壓平衡式潛盾機.....	55
圖 48	日本川崎市雨水幹線採用之加泥土壓平衡式潛盾機.....	55
圖 49	水壓式土壓平衡潛盾機示意圖.....	56
圖 50	具備 T.B.M 功能之密閉型潛盾機	57
圖 51	適用於卵礫石層之各式型潛盾機.....	58
圖 52	卵礫石層適用潛盾機示意圖.....	62
圖 53	潛盾機滾動切刃之種類.....	62
圖 54	日本潛盾機所採用切削鑽頭及滾動切刃相片.....	62
圖 55	日本潛盾機採切削鑽頭及滾動切刃 (一次破碎方式).....	63
圖 56	卵礫石層潛盾機開挖造成周邊地盤鬆動之模式.....	65
圖 57	卵礫石之切割破碎型態	66
圖 58	機內破碎方式所採用潛盾機(二次破碎).....	66
圖 59	採機內碎石機之潛盾機.....	67
圖 60	採機內碎石機之潛盾機(二次破碎).....	67
圖 61	經切削齒切削之礫石及流木.....	68
圖 62	螺旋式螺運機及後方排土狀況.....	68
圖 63	土壤粒徑分佈與潛盾機適用範圍.....	71
圖 64	潛盾機選擇評選之準則層級架構圖.....	72
圖 65	工作井伸縮臂怪手試挖情形.....	73
圖 66	工作井伸縮臂怪手試挖情形.....	73
圖 67	補充地質鑽探施工情形.....	73
圖 68	補充地質鑽探取得土樣相片.....	73
圖 69	工作井發進口注藥灌漿施工.....	74
圖 70	工作井發進口注藥灌漿施工.....	74
圖 71	工作井上方吊棄土施工.....	74
圖 72	工作井下方礫石土出土情形.....	74

圖 73	潛盾機尾出土施工相片.....	74
圖 74	隧道內潛盾機操作台相片.....	74
圖 75	隧道內轉彎處一次襯完成相片.....	74
圖 76	隧道內已完成一次襯相片.....	74
圖 77	工作井開挖至第 10 層遇地下水	76
圖 78	工作井內鋼襯版組裝施工.....	76
圖 79	工作井開挖至第 10 層遇地下水.....	77
圖 80	工作井開挖至第 10 層遇地下水.....	77
圖 81	工作井開挖至第 11 層情形.....	77
圖 82	工作井縱樑垂直精度檢查.....	77
圖 83	91.08.05 三號潛盾機掘進遭遇到地下舊有鋼軌樁及嚴重磨損斷.....	80
圖 84	91.08.06 三號潛盾機螺運出土機遭遇到地下舊有鋼軌樁嚴重磨損斷裂..	80
圖 85	91.10.14 一號潛盾機出土時遭遇卵礫石層.....	80
圖 86	91.10.18 一號潛盾機遭遇高湧水層出土閘門開啟產生大量湧水情形..	80
圖 87	91.10.30 一號潛盾機遭遇地下不明鐵件及大粒徑卵礫石層.....	80
圖 88	潛盾機操作平台之監視螢幕.....	80
圖 89	91.12.18 二號潛盾機頭滾輪刀刃保護鋼板嚴重磨損斷裂.....	81
圖 90	91.12.23 二號潛盾機遭遇巨大粒徑堅硬且密集之卵礫石層.....	81
圖 91	92.02.13 三號潛盾機遭遇大粒徑、堅硬且密集之卵礫石層.....	81
圖 92	92.02.19 三號潛盾機磨損嚴重之滾輪刀刃更換檢修.....	81
圖 93	三號潛盾機遭遇大粒徑、堅硬且密集之卵礫石層.....	81
圖 94	92.04.10 三號潛盾機開土艙檢修滾輪刀刃及切削刃齒.....	81
圖 95	92.05.07 三號潛盾機遭遇大粒徑（ ϕ 40 CM 以上）堅硬且密集之 卵礫石層導致切削刀刃磨損嚴重.....	82
圖 96	92.05.12 三號潛盾機遭遇大粒徑（ ϕ 36 CM 以上）堅硬且密集之 卵礫石層導致切削刀刃磨損嚴重.....	82
圖 97	92.06.28 三號潛盾機清理土艙後檢修機頭前方刀刃磨損情況.....	82
圖 98	92.06.29 三號潛盾機檢查切削刀刃.....	82
圖 99	92.08.17 三號潛盾機完成掘進出坑及吊出二號工作井之作業.....	82
圖 100	92.01.13 一號潛盾機鋼環片襯砌完成.....	82
圖 101	園區污水處理廠三期之二放流管工程高程及坡度定線圖.....	83
圖 102	機頭滾輪刀刃磨損.....	85
圖 103	滾輪刀刃更換之備品.....	85
圖 104	潛盾機頭遇大粒徑卵礫石.....	86
圖 105	潛盾機頭遇大粒徑卵礫石.....	86
圖 106	滾輪刀刃磨損情形.....	86
圖 107	預備更換之備品.....	86
圖 108	滾輪刀刃磨損情形.....	86

圖 109	預備更換之備品.....	86
圖 110	三刃滾刀磨損情形.....	87
圖 111	週邊滾刀磨損情形.....	87
圖 112	機頭潛盾施工遭遇之卵礫石層.....	87
圖 113	潛盾施工遭遇之卵礫石層.....	87
圖 114	滾刀切削齒磨損情形.....	87
圖 115	潛盾施工遭遇卵礫石層.....	87
圖 116	滾刀齒磨損情形.....	88
圖 117	潛盾施工遭遇 ϕ 40cm之卵礫石.....	88
圖 118	潛盾機吊出工作井相片.....	88
圖 119	已施工完成之鋼環片襯砌相片.....	88
圖 120	日本潛盾、推進隧道災害類型之比率.....	99
圖 121	日本潛盾災害發生原因件數圖.....	99
圖 122	下水道潛盾施工災害要因圖.....	101
圖 123	潛盾工法施工流程圖.....	103
圖 124	潛盾工法施工作業流程.....	104
圖 125	潛盾掘進及二次襯砌施工作業流程圖.....	105
圖 126	下水道潛盾工程施工流程.....	106
圖 127	說明下水道潛盾施工至初期掘進(含安衛)作業流程圖一.....	106
圖 128	說明下水道潛盾施工至潛盾竣工(含安衛)作業流程圖二.....	108
圖 129	下水道潛盾施工作業安全管理架構訂定流程圖.....	112
圖 130	安全圍籬及夜間警示燈.....	115
圖 131	工作井安全網及護欄.....	115
圖 132	隧道入坑一覽表管制進出.....	115
圖 133	施工人員配帶安全帶施工.....	115
圖 134	支撐需先檢算合格後施工.....	115
圖 135	鋼襯版需逐層施工並備妥深井抽水機.....	115
圖 136	工作井開挖土方運棄.....	116
圖 137	工作井設置聯絡電話.....	116
圖 138	工作井上下設備設置.....	116
圖 139	訓練合格者操縱天車.....	116
圖 140	工作井電力配置場圍設.....	116
圖 141	工作井內注意通風排氣.....	116
圖 142	沉陷點觀測.....	116
圖 143	潛盾機入坑注意吊裝.....	116
圖 144	潛盾機夜間吊放安全設施及指揮.....	116
圖 145	檢查升降機.....	116
圖 146	隧道內測量.....	116

圖 147 工作井設安全網.....	116
圖 148 潛盾操作機臺控制開挖.....	116
圖 149 隧道設滅火器緊急照明.....	116
圖 150 隧道加強照明排氣設備.....	116
圖 151 隧道內腳踏板固定.....	117
圖 152 污水處理設備.....	117
圖 153 隧道外噪音偵測.....	117
圖 154 鼓風通風設備.....	117
圖 155 注意通風安全.....	117
圖 156 通風設備設置.....	117
圖 157 鋼環片無輻射偵測.....	117
圖 158 氧氣量偵測.....	117
圖 159 有害氣體偵測.....	117
圖 160 隧道內有害氣體偵測.....	117
圖 161 隧道內有害氣體偵測.....	117
圖 162 二襯鋼模需夥伴作業.....	117
圖 163 透地雷達探測及交維.....	117
圖 164 義大利透地雷達.....	117
圖 165 透地雷達探測及交維.....	117
圖 166 1992 年大阪平野川調節池築造工程採用之三菱重工株式會社- 泥土壓式潛盾機.....	121
圖 167 1989 年英法海峽隧道工程採用之三菱重工株式會社-泥水壓式潛盾機	121
圖 168 1996 年 9 月橫濱市下水新羽末幹線長距離施工技術球形鉛實交換工 程採用三菱重工株式會社之潛盾機.....	122
圖 169 1992 年 7 月法國里昂市高速公路隧道工程採用三菱重工株式會社 之土壓式潛盾機.....	122

符 號 說 明

- t : 襯砌寬度
x : 搭接長
 Δ : 潛盾機殼厚度
 D_s : 潛盾機外徑
 D_r : 襯砌外徑
 k_o : 側向土壓係數
 ν : 柏松比
T : 潛盾機切刀扭距
 α : 潛盾機切刀扭距係數
 ϕ : 直徑
T. B. M : 泥水加壓及土壓式潛盾機
R : 曲率半徑

