

行政院國家科學委員會

八十八年度石油暨石化產業科技學術合作研究計畫

智慧型輸油／氣管線資訊及安全管理輔助決策系統一

子計畫六：輸油／氣管線結構安全監測系統研發

中華民國八十八年十月三十日

智慧型輸油／氣管線資訊及安全管理輔助決策系統—

子計畫六：輸油／氣管線結構安全監測系統研發

期末報告

委託單位：中國石油股份有限公司

計畫類別：技術發展

計畫編號： NSC 88-CPC-E-009-012

執行期間：八十七年八月一日至八十八年十月三十一日

計畫主持人：趙文成

執行單位：國立交通大學土木系

地下管線監測系統規劃與分析

研究生：陳昶旭

指導教授：趙文成 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

近年來地下管線因破壞所造成的公安問題非常嚴重，由於與管線攜帶的流體性質有關，對於攜帶有毒的氣體，或是可燃的氣體，當其外洩時輕者可能只是造成洩漏並未發生事故，重者可能連民眾的生命財產都不保，且對於環境保護意識高漲的今天，外洩的氣體已經是直接污染了環境。

因此如何去做一套合適自己管線的監測系統，是一個刻不容緩的事情，但對於世界上大多數的管線監測系統，多以腐蝕監測，以及洩漏監測為最主要方向，或者說是對於外力監測是以非即時(real time)監測為大部分，因此要如何除了使用腐蝕監測，洩漏監測之外，能夠有一個簡易並且不需太複雜的管線公司自身經驗模式的外力監測系統作一個研究，俾有助於提供管線公司的監測系統參考與應用，即為本文的最主要的目標

Planing of Underground Pipeline Monitoring Systems

Stndent : Chung-Chi Chen

Advisor : Dr. Wen-Chen Jau

Institute of Civil Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Cracks appearing in underground pipelines in recent years pose a severe threat to public safety. Toxic and flammable gases, transported with liquids through pipelines, may cause negligible effect when leaked in small amounts. However, leaks from more extensive cracks pose the deadliest of threats to life and property. Moreover, in our present highly environmentally-conscious society leaks of any quantity are sufficient to contaminate the surrounding environment.

Therefore, a pressing issue is to develop a pipeline monitoring system suited to the pipeline conditions found in Taiwan. Most monitoring systems currently available internationally focus on corrosion and leak detection monitoring. In other words, monitoring in the broad majority of outside force monitoring is done in non-real time. This thesis thus seeks to address the issue of how to conduct outside force monitoring research without utilizing either traditional corrosion and leak testing systems in a relatively easy & methodologically simple way using a company experience model.

誌 謝

本研究得以順利完成，首先感謝中油公司及國科會通過審查並予補助，其次感謝中油公司探勘研究所林所長國安及諸位同仁提供諮詢、資訊及建議。研究生陳昶旭之辛勤工作亦值得嘉許，對本文之完成，提供相當大之助力。

目錄

	頁次
中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	viii
圖目錄.....	ix
中英對照表.....	xi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究目的及動機.....	1
1.2 地下管線損壞原因分析.....	2
第二章 變形監測.....	8
2.1 管線破壞模式.....	8
2.1.1 過載重所造成的軸向破壞.....	8
2.1.2 樑破壞模式.....	8
2.1.3 接頭破壞.....	9
2.1.4 接頭爆裂.....	9
2.1.5 Bearing fractures.....	10
2.1.6 腐蝕破壞.....	10
2.1.7 管線接頭受溫度，壓力影響的破壞模式.....	10
2.1.8 焊接上的破壞.....	11
2.1.9 殼挫曲模式.....	11
2.1.10 就區域的觀點來看管線的破壞行為.....	12
2.1.11 其他形式接頭破壞.....	12
2.1.12 地震，土壤液化與管線破壞的關係.....	12
2.1.13 管線地表土壤變動與破壞率的關係.....	12
2.2 監測目標.....	13
2.3 變形監測設置點計算及特殊限制流程表.....	13
2.4 監測點細部計算.....	15
2.4.1 最小，最大距離以及建議監測位置.....	15
2.4.2 破壞率的計算.....	16

2.4.3 所需設置監測點數計算.....	17
2.4.4 特別限制條件.....	23
2.4.5 其他注意事項.....	27
2.4.6 圖形表示方式.....	27
2.5 應用儀器.....	28
2.5.1 高程監測.....	28
2.5.2 應力(變)計.....	32
2.5.3 量測土壤液化.....	34
第三章 腐蝕監測.....	35
3.1 監測目標.....	35
3.2 監測儀器.....	35
3.2.1 皮爾森(Pearson)法.....	35
3.2.2 電磁波衰減法.....	36
3.2.3 緊密電位量測.....	38
3.2.4 腐蝕檢查 PIG.....	40
3.2.5 牽引式遙控監視攝影系統.....	44
3.2.6 Coupon (weight loss coupons)	45
3.2.7 ER (electrical resistance probe)	46
3.2.8 LPR (linear polarization probe)	48
3.2.9 Acoustic emission.....	50
3.3 腐蝕率監測位置.....	51
3.4 建議監測方式.....	52
第四章 測漏監測.....	54
4.1 目標	
4.2 測漏檢測方法.....	54
4.2.1 超音波偵測.....	54
4.2.2 聲射(AE-Acoustic Emission)測漏法.....	56
4.2.3 追蹤劑法(同位素法).....	58
4.2.4 SCADA(監測和數據取得系統;軟體測漏).....	60
4.2.5 紅外線偵測.....	61
4.2.6 利用傳統的目視或嗅覺.....	62
4.2.7 流場變化觀察法.....	64
(一) 壓力差/流量差量測分析法(可為 SCADA 的測漏軟體).....	64
(二) 壓力模式分析法.....	66

(三) 音波測漏法.....	67
4.2.8 測漏 PIG.....	68
4.2.9 採樣分析法.....	69
4.2.10 試壓法.....	70
4.2.11 體積平衡測漏法.....	71
4.2.12 偵測線法.....	72
4.2.13 儀器探測法.....	73
4.3 建議監測方式.....	74
第五章 綜合設置流程及範例.....	76
5.1 綜合設置流程表.....	76
5.2 各種地形，狀況下的危險度 (D_R) 值圖示.....	77
5.2.1 單獨各種地形下，無其他的建物於其附近.....	77
5.2.2 各種地形下，有其他的建物或特別地形於管線附近.....	77
5.2.3 綜合設置方式.....	78
5.2.4 特別地形的設置點圖示.....	79
5.3 腐蝕，測漏設點示意圖.....	80
5.3.1 腐蝕儀器監測點設置.....	81
5.3.2 測漏監測設點.....	82
5.3.3 應變計放置.....	82
5.3.4 監測土壤液化區.....	83
5.4 計算範例.....	84
5.4.1 先確定下列數據.....	85
5.4.2 依據 5.1 的計算流程如下.....	85
5.4.3 各區段的管線計算如下.....	86
5.5 與國外的曲率監測比較.....	90
5.6 如何減少監測點設置.....	91
第六章 結論與建議.....	93
參考文獻.....	96
附錄 1.....	100
附錄 2.....	104
附錄 3.....	108
附錄 4.....	111
附錄 5.....	112

附錄 6.....	113
附錄 7.....	115
附錄 8.....	116
附錄 9.....	117
附圖 1.....	122
附圖 2.....	123
附圖 3.....	124
附圖 4.....	125

表目錄

	頁數
表 1.1 美國輸送石油產品管線損害原因統計.....	2
表 1.2 我國近年來管線破損原因比率分析.....	3
表 1.3 美國液體管線損害原因統計.....	4
表 1.4 美國液體管線損害統計表.....	5
表 1.5 美國天然氣分配 (Distribution) 管線災害統計表.....	6
表 1.6 美國天然氣傳輸 (Transmission) 管線災害統計表.....	7
變形監測設置點計算流程表.....	13
表 2.1 破壞率的分級.....	16
表 2.2 危險度分類表.....	19
表 2.3 預估的各項值大約範圍.....	20
表 2.4 透地雷達天線適用範圍頻率.....	31
表 3.1 ER 監測結果.....	47
表 4.1 各式探測氣體儀器比較表.....	74
表 5.1 綜合設置流程表.....	76

圖目錄

	頁數
圖 2.1 過載重所造成的軸向破壞.....	8
圖 2.2 樑破壞模式.....	9
圖 2.3 接頭破壞.....	9
圖 2.4 接頭爆裂.....	10
圖 2.5 Bearing fractures	10
圖 2.6 管線接頭受溫度，壓力影響的破壞 1.....	11
圖 2.7 管線接頭受溫度，壓力影響的破壞 2.....	11
圖 2.8 管線段的行為.....	12
圖 2.9 接頭破壞.....	12
圖 2.10 管線 X Y Z 軸定義圖.....	13
圖 2.11 監測設置數為 1.....	15
圖 2.12 監測設置數為 2.....	15
圖 2.13 監測設置數為 3.....	16
圖 2.14 建議儀器設點位置.....	16
圖 2.15 斜坡產生最大應力圖.....	23
圖 2.16 監測方式.....	24
圖 2.17 設點假設值.....	24
圖 2.18 曲率計算圖.....	24
圖 2.19 裝置應變計圖.....	25
圖 2.20 裝置應變計斷面位置圖.....	25
圖 2.21 讀數計算方式圖.....	26
圖 2.22 彎管裝置圖.....	26
圖 2.23 點 1,2,5 (3,4,5) 的 X(或 Y)與 Z 圖.....	26
圖 2.24 點 1,2,3,4,5 的高度值 (有時間歷程)	27
圖 2.25 鄰近監測點所形成的 5 度多項式.....	28
圖 2.26 各點深度變動軌跡.....	28
圖 2.27 路面連通式沈陷計示意圖.....	29
圖 2.28 GPR 系統操作圖 1.....	30
圖 2.29 系統操作圖 2.....	30
圖 3.1 皮爾森法裝置及原理圖.....	36
圖 3.2 電池電流衰減法測試法.....	37
圖 3.3 緊密電位量測法.....	39
圖 3.4 磁通量檢測原理.....	40
圖 3.5 超音波檢測原理圖.....	42

圖 3.6 光學照相，攝影 PIG.....	43
圖 3.7 牽引式地下管線偵檢攝影監視裝置.....	45
圖 3.8 ER 電子式探針圖.....	47
圖 3.9 LPR 電子式探針圖.....	49
圖 4.1 超音波偵測洩漏圖.....	55
圖 4.2 AE 儀器配置圖.....	56
圖 4.3 AE 偵測結果.....	57
圖 4.4 SCADA 流程圖.....	61
圖 4.5 SCADA 結果.....	62
圖 4.6 紅外線偵測系統圖.....	63
圖 4.7 壓力差/流量差量測分析法裝設圖.....	65
圖 5.1 單獨各種地形下 D_R 值.....	77
圖 5.2 各種地形下，有其他的建物或特別地形 D_R 值.....	78
圖 5.3 局部地區設置圖.....	78
圖 5.4 局部地區監測點設置圖.....	79
圖 5.5 管線設點圖例.....	79
圖 5.6 滑動土層監測圖.....	80
圖 5.7 腐蝕建議監測圖.....	82
圖 5.8 應變計放置圖.....	83
圖 5.9 地下水位監測位置.....	83
圖 5.10 管線實例.....	84
圖 5.11 BC 段儀器設置圖.....	86
圖 5.12 AB 段所經過地區.....	87
圖 5.13 A-A1 的管線的包含區域.....	88
圖 5.14 區域 1 的內部情況.....	89

中英對照表

受傷人數(injuries)

死亡人數(fatalities)

財產損失(property damage)

意外事件數目(No. of incidents)

破壞率(Damage Rate)

易損害分級(Vulnerability Class)

每公里需修復數(Repairs per Kilometer)

地表最大位移(PGD)

1.1 研究目的及動機

地下管線是一段很長並且埋於地下的管線，所經過的地形非常複雜，幾乎各種地形（質）都有可能（例如：斜坡，土壤液化區，軟弱土層），而且其破壞模式除了自身所造成的影響（例如：熱破壞，操作壓力不正常，材料製造時的缺陷未檢測出，埋設時管線披覆損壞造成日後腐蝕，埋設管線時造成外傷造成日後應力集中而損壞）之外，還有環境的因素（例如：地震，腐蝕環境的影響，迷失電流的影響，外力破壞），除了有上述這些的因素之外，管線變形之後還有殘留應力，因此要正確的去預估管線的破壞位置是非常困難的。

由 1.2 節現今管線的破壞模式統計，因此得知世界上在管線的破壞方式以內，外腐蝕破壞，外力損壞，與其他之情況為主，因此世界上的管線監測大都以 1。腐蝕監測，2。測漏監測，3。管線外力（變形）監測此三個部分為主，腐蝕的監測技術主要是以腐蝕率的量測為最常使用的技術，測漏的技術則以軟體分析（SCADA）系統為主要方向，對於外力（變形）監測技術上，則並沒有一定常用的技術，一般的使用方式大多是利用 PIG 去量測管線的現在狀況，或者是利用自己公司的經驗模式去評估現行管線狀況。

因此如何去將外力（變形）監測，以及世界上各個公司常見的管線破壞現象結合起來，使得外力（變形）監測能夠偵測出常見的管線破壞現象，甚至於監測點位置的計算，監測目標為何，極限值為何，但是一個完整的地下管線監測系統還包括了腐蝕監測，測漏監測，因此收集現行的管線監測已經使用的腐蝕，測漏監測技術、原理、設置方式及別人使用上的優缺點經驗，再加上如何對一條管線監測系統設置上的完整佈點，做一個完整流程的規劃與分析，是為我的論文的一個研究主要目標。

1.2 地下管線損壞原因分析：

1.2.1 由於管線長久埋在地下，易受地下土壤中濕氣的腐蝕，其外壁受到周圍泥土濕氣、酸鹼環境或外力的影響，會有逐漸腐蝕及劣化的情形，而管內壁則因輸送物質腐蝕性質的不同，腐蝕速率也有所不同。當腐蝕達一定程度，即有破裂的危險，在我國根據過去幾年的經驗，發現地下管線的損害大約可以分為土壤腐蝕、細菌腐蝕，以及散失電流腐蝕及外力破壞（包括路面超載、挖掘不當等）以下則是我國近年來管線破損原因，以及一些外國破損原因的統計數據

1。EFA 公司的統計：1993 年所發表：

表 1.1 美國輸送石油產品管線損害原因統計（EFA 公司的統計）
美國輸送石油產品管線不同損傷原因統計

事故原因	10年之事故總數
外力	581
腐蝕	523
其他	496
操作錯誤	107
管線缺陷	98
焊接缺陷	54
洩壓設備	42

2。工研院材料所所收集：(1995)

表 1.2 我國近年來管線破損原因比率分析

我國近年來管線破損 原因比率分析

原因	次數	百分比
外部腐蝕	62	81.6%
內部腐蝕	6	7.9%
外力破壞	7	9.2%
不明原因	1	1.3%
合計	76	100%

資料來源：工研院材料所收集

- 我國與美國的破損報告比較發現腐蝕損害偏高的原因如下：
 - 國內缺乏共通管線破損紀錄格式，因此對於外力等原因不會主動記錄，因此外力破壞紀錄較少
 - 美國的管線防蝕比率較高，較徹底
 - 國內的防蝕施工品質較差
 - 國內的環境易有腐蝕狀況發生

3。液體管線災害所造成的損失統計：

(1994~1999.6.21)

表 1.3 美國液體管線損害原因統計 (OPS 統計數據)

OFFICE OF PIPELINE SAFETY
HAZARDOUS LIQUID PIPELINE
ACCIDENT SUMMARY BY CAUSE
1/1/94 - 6/21/99

原因	事故數目	事故百分比
內部腐蝕	81	8.48
外部腐蝕	151	15.8
焊接缺陷	49	5.13
操作錯誤	63	6.6
管線缺陷	51	5.36
外力損壞	239	25
洩壓設備	49	5.13
其他	272	28.5
總數	955	100

表 1.4 美國液體管線損害統計表 (OPS 統計數據)

**OFFICE OF PIPELINE SAFETY
HAZARDOUS LIQUID PIPELINE OPERATORS
ACCIDENT SUMMARY STATISTICS BY YEAR
01/01/1984 TO 06/21/1999**

Year	No. of Incidents	Fatalities	Injuries	Property Damage	Net Loss bbls
1984	186	0	17	\$2,065,016	172,610
1985	183	5	18	\$5,132,647	149,480
1986	209	4	32	\$16,027,846	219,413
1987	237	3	20	\$13,140,434	312,654
1988	193	2	19	\$32,414,912	114,251
1989	163	3	38	\$8,813,604	121,179
1990	180	3	7	\$15,720,422	54,663
1991	216	0	9	\$37,788,944	55,774
1992	212	5	38	\$38,651,062	68,742
1993	230	0	10	\$28,873,651	58,108
1994	243	1	7*	\$58,453,804	112,348
1995	188	3	11	\$32,518,689	53,113
1996	195	5	13	\$49,704,731	96,141
1997	175	0	5	\$38,565,295	105,952
1998	154	1	2	\$57,211,497	51,730
1999	39	0	1	\$7,336,040	14,722
Totals	3,003	35	247	\$438,468,394	1,776,336

Historical totals may change as OPS receives supplemental information on accidents.

4。天然氣管線災害所造成的損失統計：(1986~1999.6.21)

表 1.5 美國天然氣分配 (Distribution) 管線災害統計表 (OPS 統計數據)

**OFFICE OF PIPELINE SAFETY
NATURAL GAS PIPELINE OPERATORS
INCIDENT SUMMARY STATISTICS BY YEAR
01/01/86 - 06/21/1999**

DISTRIBUTION OPERATORS				
Year	No. of Incidents	Fatalities	Injuries	Property Damage
86	142	29	104	\$11,078,800
87	164	11	115	\$11,788,125
88	201	23	114	\$12,131,436
89	177	20	91	\$8,875,816
90	109	6	52	\$7,594,040
91	162	14	77	\$7,765,748
92	103	7	65	\$6,777,500
93	121	16	84	\$15,346,655
94	141	21	91	\$53,260,166
95	97	16	43	\$10,950,673
96	110	47	109	\$16,252,842
97	102	9	67	\$12,493,163
98	134	16	62	\$18,081,118
99	37	6	31	\$3,341,350
Totals	1,800	241	1,105	\$195,535,432

Historical totals may change as OPS receives supplemental information on incidents.

表 1.6 美國天然氣傳輸 (Transmission) 管線災害統計表 (OPS 統計數據)

**OFFICE OF PIPELINE SAFETY
NATURAL GAS PIPELINE OPERATORS
INCIDENT SUMMARY STATISTICS BY YEAR
01/01/86 - 06/21/1999**

TRANSMISSION OPERATORS

Year	No. of Incidents	Fatalities	Injuries	Property Damage
86	83	6	20	\$11,166,262
87	70	0	15	\$4,720,466
88	89	2	11	\$9,316,078
89	103	22	28	\$20,374,543
90	89	0	17	\$11,302,316
91	71	0	12	\$11,931,238
92	74	3	15	\$24,578,165
93	96	1	18	\$23,035,268
94	81	0	22	\$45,170,293
95	64	2	10	\$9,957,750
96	77	1	5	\$13,078,474
97	73	1	5	\$12,078,117
98	98	1	11	\$29,652,472
99	16	0	0	\$11,640,000
Totals	1084	39	189	\$238,085,838

* Historical totals may change as OPS receives supplemental information on incidents.

* 結果顯示：

腐蝕與外力損害是管線損害的兩大重要因素，且因為管線的災害所造成人、財物以及社會成本等各方面的損失，並沒有隨著年代的增加而有下降的趨勢

第二章 變形監測

2.1 管線破壞模式

2.1.1 過載重所造成的軸向破壞：(造成過度彎曲)

- 過載重：

上部覆土壓力過大 (設計不良)

- 會發生於管線的上，下以及旁邊，對於極寬的強化管線是一個典型的破壞模式



圖 2.1 過載重所造成的軸向破壞

例如：強化鋼 (steel-reinforced)，延展性材料， $(D/t) > 100$

- 對於非強化脆性材料：

會先破壞某一個地點，甚至穿過管厚，形成一個 hinge，然後再陸續破壞其他的地點 (以管線斷面對稱的點為第二破壞的機率較高)，形成如上面的斷面圖所示，4 個破壞點形成 90° 例如：混凝土管線，脆性材料

- 對於下面的狀況也是相同：

不良的基礎

2.1.2 樑破壞模式：

- 如果連接節點夠強的話，例如：節點部分被水泥沙漿包覆，管線埋於較淺的地盤，或是地表上的管線



圖 2.2 樑破壞模式

- 可能發生的地方：
 - 不平坦的基礎
 - 不均勻沈陷
- 長度與厚度比越大，則破壞機率越高，當材料的強度越低越有這樣的趨勢
- 當管線上面覆土高度太低（設計上有規定至少要多少覆土高），當有額外的集中載重時，也會產生此破壞模式，會有局部材料發生降伏且於管線底部

2.1.3 接頭破壞：

- 過度的垂直剪應力作用造成



圖 2.3 接頭破壞

- 可能發生的地點：
 - 不平坦的基礎
 - 不均勻沈陷

2.1.4 接頭爆裂：

- 由接頭周圍的內壓力所造成，會如圖所示一小部分裂縫通過管線

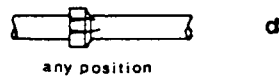


圖 2.4 接頭爆裂

- 若接頭有水泥沙漿保護者，較不會有這樣的問題
- 溫度亦有影響

2. 1. 5 Bearing fractures :

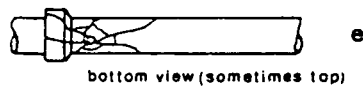


圖 2.5 Bearing fractures

- 受集中外力所造成
- 例如：挖斷

2. 1. 6 腐蝕破壞：

- 材料（例如：鑄鐵（iron steel），cement-based，steel）易受環境所影響造成腐蝕的現象
- 會造成材料逐漸的減少，若受到外力，或其他能使其破壞的現象（例如：地震造成的土壤變動因而造成的管線變動），常會有局部的點破壞或裂縫，因而發生洩漏

2. 1. 7 管線接頭受溫度，壓力影響的破壞模式：

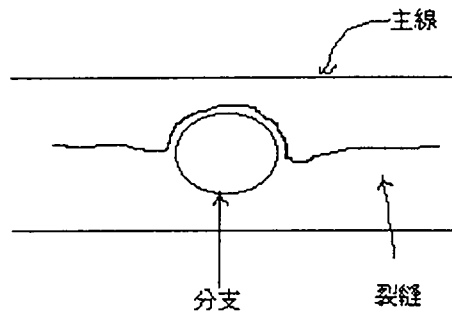


圖 2.6 管線接頭受溫度，壓力影響的破壞 1

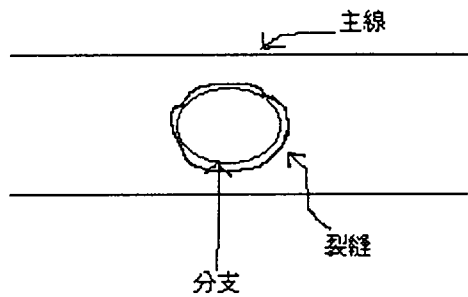


圖 2.7 管線接頭受溫度，壓力影響的破壞 2

2.1.8 焊接上的破壞：

- 對於某些管線會有焊接上的弱點
- 對於因溫度的降低造成的收縮而造成管線銲接上的破壞
- 地震影響
- 管線上面有結構物造成的影響

2.1.9 殼挫曲模式 (shell mode of buckling)：

管線埋於較深的地下，且管徑較薄 ($R/t > 100$)，受到軸壓的影響，

會有此一皺摺現象，尤其是結合彎曲應力

2.1.10 就區域的觀點來看管線的破壞行為：

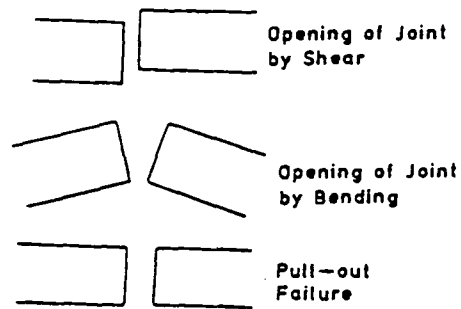


俯視圖

圖 2.8 管線段的行為

。管線的排列參差不齊

2.1.11 其他形式接頭破壞



2.9 接頭破壞

2.1.12 地震，土壤液化與管線破壞的關係

請見附圖 1

2.1.13 管線地表土壤變動與破壞率的關係

請見附圖 2

2.2 監測目標

- 幾何，曲率監測
(X, Y) 軸皆需要監測
- 單點變位值變化顯示且要加上以前的資料 (時間歷程) 同時顯示，至少要有 5 點能同時顯示於螢幕上 (X, Y) 軸皆需要
- 若設置儀器具有定位功能者 (例如：使用 GPS)，則建議做 Z 軸相對位置的資料比較

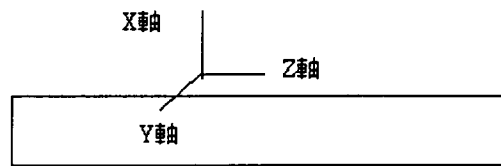
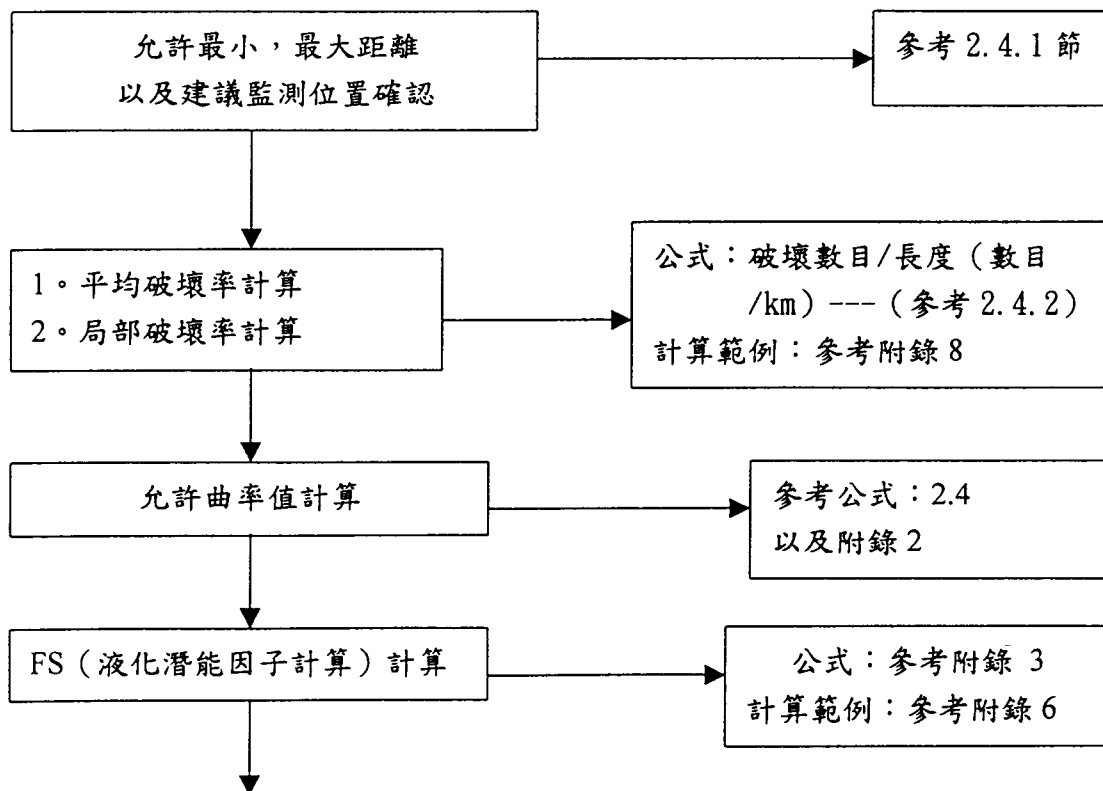
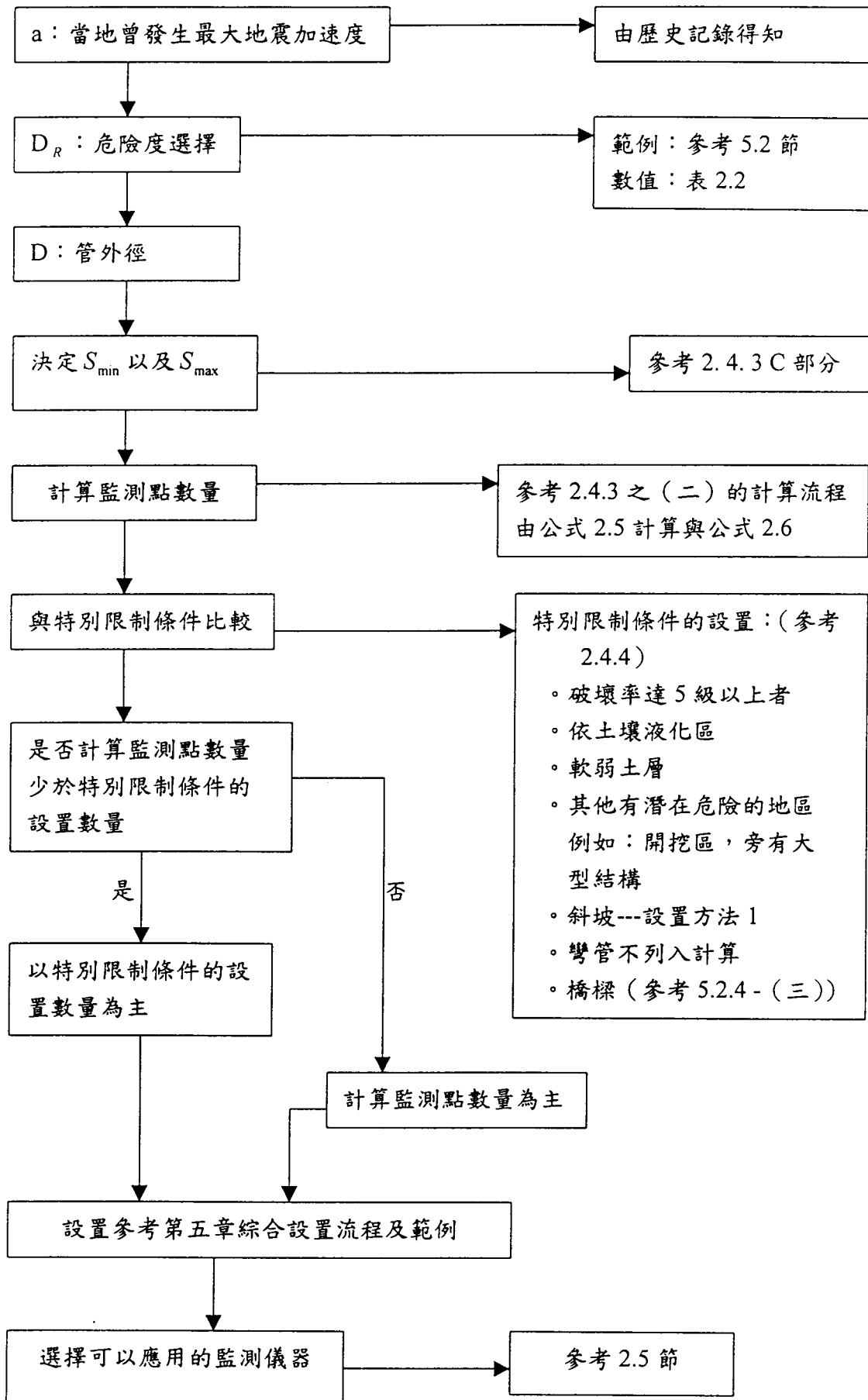


圖 2.10 管線 X Y Z 軸定義圖

2.3 變形監測設置點計算及特殊限制流程表





2.4 監測點細部計算

2.4.1 允許最小，最大距離以及建議監測位置

- 允許最大設點距離

根據國外的經驗：小於 15 公尺

- 最小距離應大於 1.5 公尺
- 建議放置監測點及距離如下

當設置點數為 1 點時，設置方式如下：

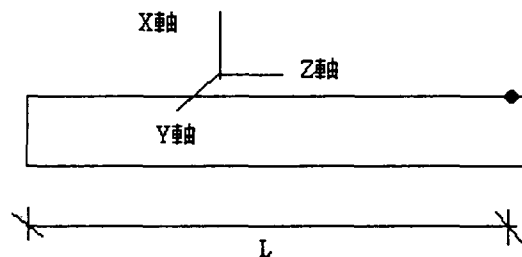


圖 2.11 監測設置數為 1

其中：

L 為管線出廠時未經任何焊接處理的單一管線段長度

當 $L \leq 10$ 公尺時則建議設點如下（設置點數為 2 點）：

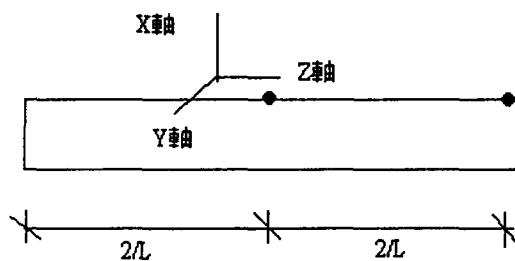


圖 2.12 監測設置數為 2

◦ 當 $L > 10$ 公尺時則建議設點如下 (設置點數為 3 點):

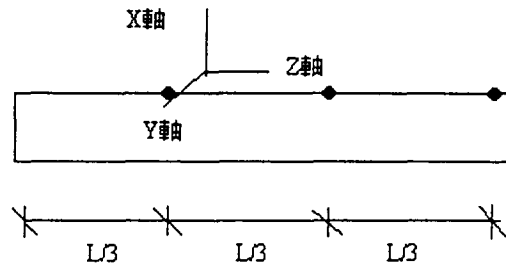


圖 2.13 監測設置數為 3

◦ 若設置儀器允許則應設置於凹口底部 (範例如下圖所示)

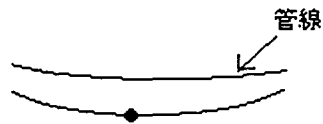


圖 2.14 建議儀器設點位置

2.4.2 破壞率的計算

◦ 破壞率的導入

表 2.1 破壞率的分級 (Donald Ballantyne, P.E. 1996 [10])

Pipeline Vulnerability Class

Vulnerability Class	Damage Rate	Probability of Damage in 1 km	Vulnerability Rating
High	$1.4 < \text{Damage Rate}$	$0.75 < \text{probability}$	5
Moderate - High	$0.7 < \text{Damage Rate} < 1.4$	$0.50 < \text{prob.} < 0.75$	4
Moderate	$0.1 < \text{Damage Rate} < 0.7$	$0.10 < \text{prob} < 0.50$	3
Low - Moderate	$0.01 < \text{Damage Rate} < 0.1$	$0.01 < \text{prob} < 0.10$	2
Low	$\text{Damage Rate} < 0.01$	$\text{probability} < 0.01$	1

- 對於一些國外的破壞經驗顯示：(參考附錄 1)

一般的破壞率通常會介於 0.1 ~ 0.7 之間，但是在某些局部區段則會有破壞率遠大於 1.4

- 平均破壞率的計算

平均破壞率 (B_o) = 管線歷年破壞總數 / 管線全區段長

- 某一區段的破壞率計算

局部破壞率 (B_p) = 局部破壞總數 / 破壞所經過的管線段長

- 若平均破壞率位於 5 級以上，則建議以附錄 5 的方式計算

2.4.3 所需設置監測點數計算

(一) 曲率監測的允許值計算：

- 允許曲率值計算 (只有彎曲的效應時)：

$$k = \frac{1}{R} \quad (2.1)$$

k ：曲率

R ：曲率半徑

- 曲率半徑的求法：

$$R = \frac{EI}{M} \quad (2.2)$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.3)$$

整理 (2.1), (2.2), (2.3) 項後得：

$$k = \frac{\sigma}{Ec} \quad (2.4) \text{ --- 此項為限制條件}$$

R ：曲率半徑

E ：楊氏係數

I ：斷面模數

M ：彎矩力

σ ：計算如下所示

c ：管外徑

◦ σ 的計算：

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_t - \sigma_p \quad (\text{各式的計算請見附錄 2})$$

其中：

σ_t ：溫度所造成的軸向力

σ_p ：設計內壓所造成的軸向力

σ_1 ：規範所規定允許軸向應力（警戒值）

或者是最小降伏強度（minimum yield strength）

（行動值）

（二）監測點數的計算：

一般世界上對於管線的破壞機率來說，以地震，以及土壤液化所造成的管線破壞機率較高，除此之外管線的外徑與破壞也有關係（由國外的破壞報告得知），但是對於材料的因素，由於各個管線公司出來的破壞報告差異甚大，甚至沒有某一種管線材料較容易破壞的趨勢可言，因此材料因素建議不要加上去（或者由單一公司管線公司自行評估），加上以危險度因子評估各個區段的危險程度比較，將上面的各種看法，寫成建議設置基數公式（式 2.5）以及設點密度公式（式 2.6）如下：

A。設置基數：

$$S_x = a^{\frac{1}{2}} \times L_q^{2/3} \times D_R / D^{\frac{1}{3}} \quad (2.5)$$

其中：

S_x ：為某一區段的設置基數（例如： S_{max} ）

a ：當地最大地震加速度（g），且當 $a=0.03\text{ g}$ （MMI=5 以下）

以 $a = 0.03\text{g}$ 計算（g：重力加速度）

$$L_q \text{ (液化因子)} = (1/FS)$$

其中：

FS：土壤抗液化的安全係數（參考附錄 6）（無因次）

D_R ：危險度，範例參考 5.2 節的詳述部分（無因次）

D：管外徑（mm）

表 2.2 危險度分類表

人口密度 / 鄰近有危險建物	D_R (危險度)
Class 1	0.4
Class 2	0.5
Class 3	0.6
Class 4	0.72

（以 ASME B31.8 的分類為基準）

Class 1：沙漠或農田

Class 2：市區以及郊外

Class 3：市區（人口密集區，例如商業區，住宅區，工業區的一般地區），鄰近大型建物（非交通頻繁區），一般工廠，附近有斜坡

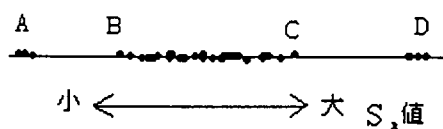
Class 4：交通要道，危險工廠，例如核能電廠，污水處理廠，有毒氣體處理廠，鄰近大型建物（且為交通頻繁區），軍事火藥庫，製煙火工廠，通過斜坡

注：若對於一些人口稀少區（例如：郊外），有道路經過（可為非交通要道），經常性有重型車輛（大卡車）經過，則建議危險度值（ D_R ）= 0.72

表 2.3。預估的各項值大約範圍

a	0.03g ~ 0.83g (~MMI 10)
L_q	1/3.2 ~ 1/0.3
D_R	0.4 ~ 0.72

◦ 若計算的 S_x 值有下列現象(有特別突出的值如下圖的 A、D 區)



建議：

- D 區的值以 C 值代替
- A 區的值以 B 值代替
- 只計算 B ~ C 的區間

◦ 由公式 2.6 我們可知 N (設點密度) 值會與下面的比例有

關：

$$a^{\frac{1}{2}} : (0.83/0.03)^{\frac{1}{2}} = 5.26$$

$$L_q^{2/3} : (3.2/0.3)^{2/3} = 4.84$$

$$D_R : (0.72/0.4) = 1.8$$

$$D^{\frac{1}{3}} : (500/75) = 1.88$$

由此我們可知 a (地震加速度) 與 L_q (土壤液化因子)

將會有較大的影響

B。設點密度計算： (單位：設置數目/公里)

$$N_n = \frac{(S_n - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} \times K_1 + K_2 \quad \text{--- (2.6)}$$

其中：

N_n ：待計算區的設置點數

S_n ：待計算區的設計基數

S_{\min} ：最小設置基數（請見下面 C 說明）

S_{\max} ：最大設置基數（請見下面 C 說明）

K_1 值：

$L \leq 10$ ：

$$K_1 = 2000 / L - 67$$

$L > 10$

$$K_1 = 3000 / L - 67$$

$$K_2 = 67 \text{ (建議)}$$

K_1, K_2 ：也可經由自己選取

原則如下：

K_1 ：希望 S_{\max} 設置密度 - K_2

K_2 ：希望 S_{\min} 設置密度 ≥ 67

$$K_1 + K_2 \leq 667$$

C. S_{\min} 與 S_{\max} 的選取：

S_{\min} 的選取原則

- MMI 值 < 5 以下（MMI（參考附錄 7）與地震加速度的關係如下）
- 不可選擇液化潛能區以及地震頻繁帶
- 破壞率 2 級以下
- 對於經判定為非常穩定的地區可以不用設點
- 且為破壞率 4 級以下的最小值

S_{\max} 的選取原則

◦ 破壞率 4 級以下的最大值

* a (地震加速度) 與 MMI 的關係：

由 Tayler 提出 (1991)：

$$\text{Log } g = -2.94 + 0.286 \text{ MMI}$$

MMI6~7 (0.059g~0.115g)

MMI7~8(0.115g~0.223g)

MMI9 以上 (0.223g~0.43g 以上)

D。設點密度限制條件：

$$67 < D \leq 667 \quad (2.7)$$

(單位：點數/每公里)

其中：

$$1000 / 1.5 \doteq 667 \quad (\text{單位：點數/每公里})$$

$$1000 / 15 \doteq 67 \quad (\text{單位：點數/每公里})$$

(三) 限制值：

$$\kappa \leq \kappa_a \quad (2.8)$$

$$\kappa \leq \kappa_y \quad (2.9)$$

κ_a ：利用規範允許軸向應力值計算出的曲率

κ_y ：利用規範最小降伏強度 (minimum yield strength)

值計算出的曲率

以上的 κ 值由 (2.4) 式算出

2.4.4 特別限制條件

(一) 破壞率 5 級以上者，建議直接以設置點數為 2 或 3 (參考 2.4.1)

設置

(二) 設置點數 $N > 1000/L$ 之情形如下

N (單位：設置數目/公里)

- 最大地震強度層大於 $0.1g$ 以上者 (或者是強震頻繁帶)，可以設置偵測地震的儀器
- 軟弱土層 (定義如附錄 4)
- 其他有潛在危險的地區 (局部)

例如：旁有大型結構，旁有危險建物 (核電廠)

(三) 潛在土壤液化區

- 設置點數 $N > 1000/L$
- 設置監測水位高度儀器 (相同地質狀況設置數量 1)

(四) 斜坡的設置方法如下

a. 斜坡產生最大應力處

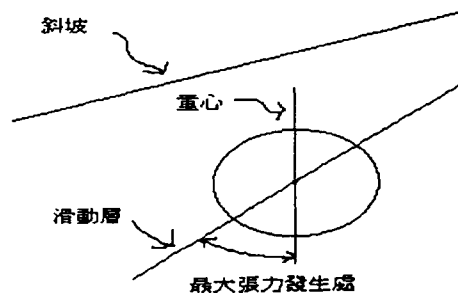


圖 2.15 斜坡產生最大應力圖

b. 監測方式如下

◦ 方法 1 :

設置 GPS 儀器 :

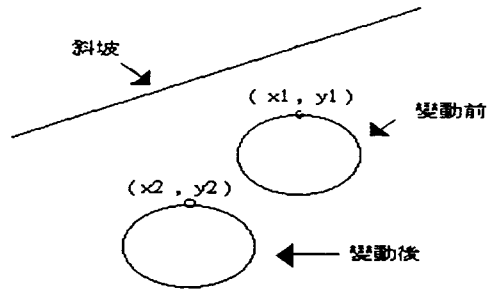


圖 2.16 監測方式

◦ 計算以及監測如下

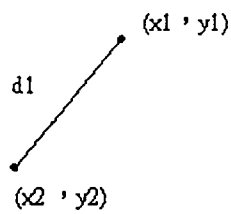


圖 2.17 設點假設值

$$d_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.10)$$

◦ 曲率計算如下 :

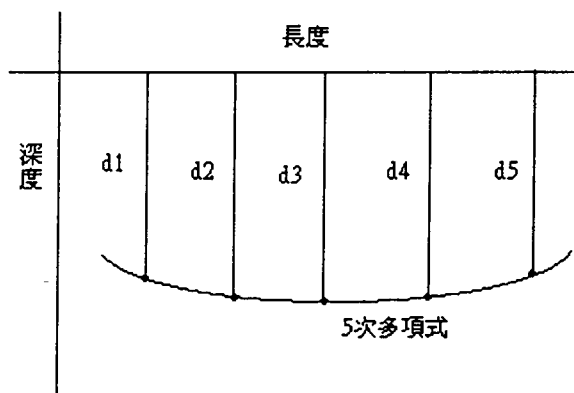


圖 2.18 曲率計算圖

d2, d3, d4, d5....計算方式同 d1

設置點數 $N > 1000 / L$

法 2 :

裝置應變計

設點如下 :

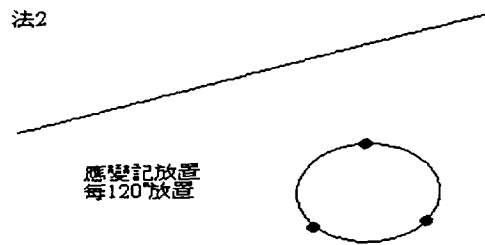


圖 2.19 裝置應變計圖

斷面位置如下 :

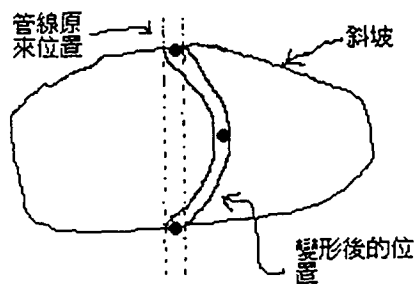


圖 2.20 裝置應變計斷面位置圖

- 一般置於中心點
- 讀數計算方式如下 :

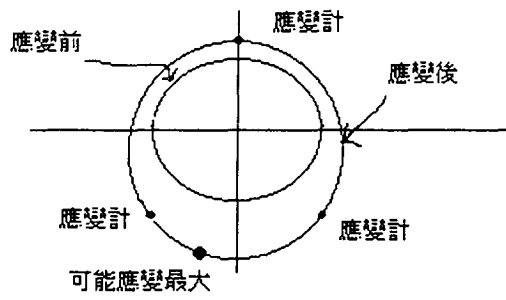


圖 2.21 讀數計算方式圖

(五) 彎管部分

。監測方式如下：

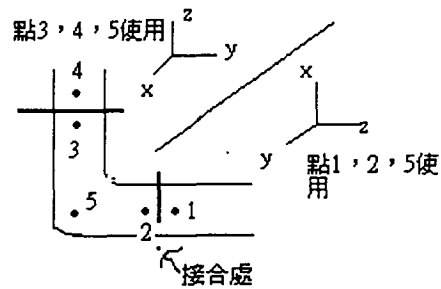


圖 2.22 彎管裝置圖

。資料應圖示如下：

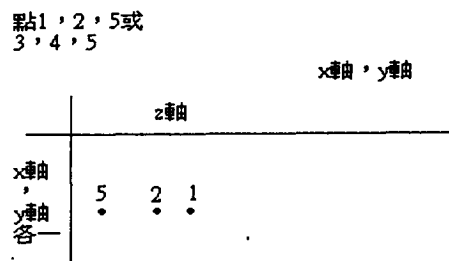


圖 2.23 點 1,2,5 (3,4,5) 的 X(或 Y)與 Z 軸

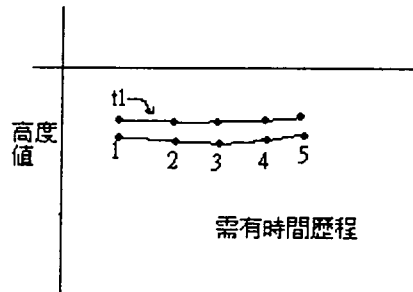


圖 2.24 點 1,2,3,4,5 的高度值 (有時間歷程)

(六) 鄰近大型建物或危險建物：

其附近區域的設點數目應大於 1000/L

2.4.5 其他注意事項

- 當單點高度值較原有設點時的值差達 1~2 公尺時需注意，此時破壞的機率增高，除非左右的點皆有如此的差值時，才不需注意
- 對於經判斷已經非常穩定的地區可以不用設點，例如：已壓密完成的地區
- 對於垂直地表面的管線的監測方式也適用
- 地震強度達 MMI 7 以上破壞率增加的機率變高

2.4.6 圖形表示方式

- 多項式曲率的計算：

$$\kappa = \frac{f''(x)}{[1 + f'(x)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.11)$$

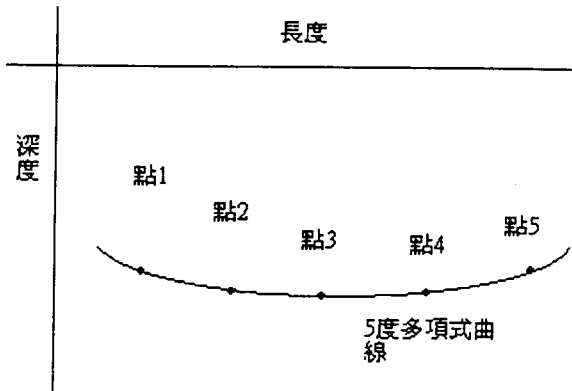


圖 2.25 鄰近監測點所形成的 5 度多項式

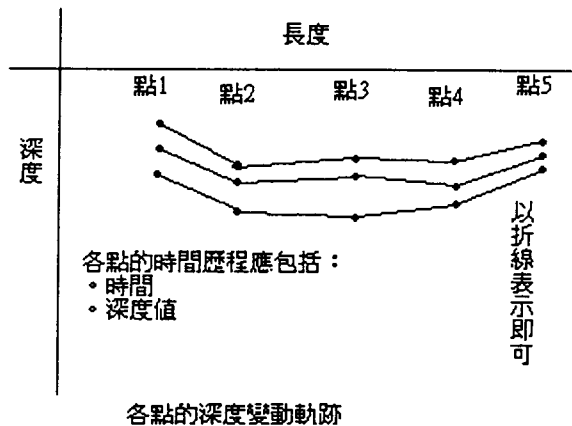


圖 2.26 各點深度變動軌跡

2.5 應用儀器

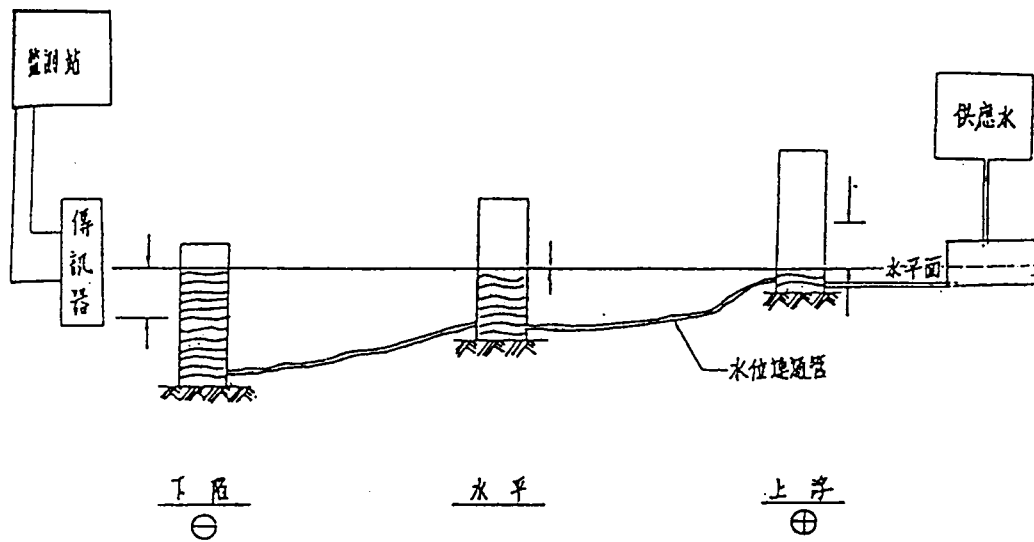
2.5.1 高程監測：

(1) 連通管式沈陷計：

原理：

- 利用連通管的原理，依水位差藉電阻式之變化量來改變輸出訊號，經由放大器傳輸至主控制系統接收並顯示，其量度精確度可達 mm (有效數字)，範圍可達 ± 100 mm
- 觀測點以 12mm Φ 之 PU 管，製成倒勾之形狀

。連接方式如圖：



路面連通管式沉陷計示意圖

圖 2.27 路面連通式沈陷計示意圖

埋設儀器規格：

0~200mm 精度 $\pm 0.2\%$

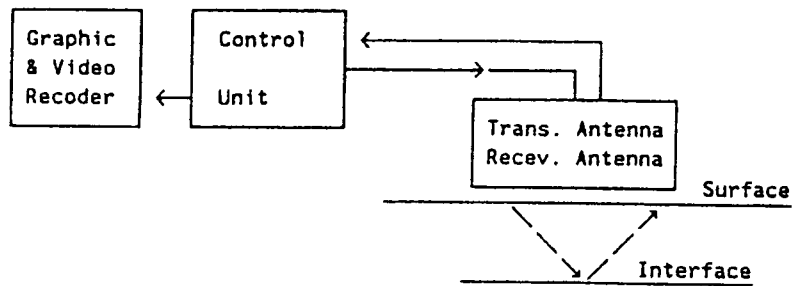
(二) 利用 GPR 量測管線深度：

簡介：

a. 前言：

透地雷達 (Ground Penetrating Radar) 簡稱 GPR，是目前非破壞性檢測之重要工具，其波源為高頻電磁波，高解析度的探測能力，透地雷達主要的目地在探測淺質地層構造或公共工程設施中的微小空洞、管線等，其優異的探測能力已廣為國內外各工程單位所接受，且已廣泛應用於各項工程設施的安全檢測。

b. 操作原理：



Basic operation of ground penetrating radar.

圖 2.28 GPR 系統操作圖 1

c. 儀器：

- 控制主機
- 資料顯示器
- 記錄器
- 交直流電源供應器
- 發射與接收天線

GPR 系統操作如下圖所示：

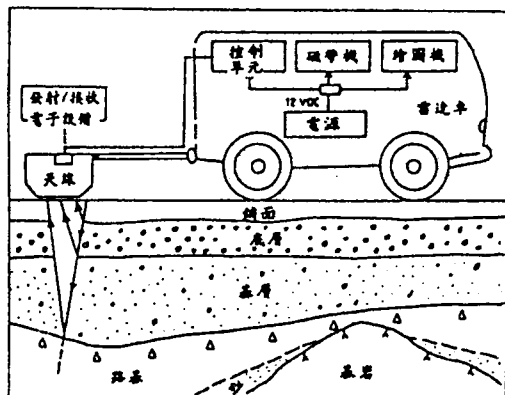


圖 2.29 系統操作圖 2

d. 透地雷達的工程應用範圍：

- 瀝青混凝土厚度檢測
- 路基種類及厚度檢測
- 橋墩基礎受河流沖刷外露之檢測
- 橋台路面瀝青混凝土厚度及水泥路基之檢測
- 鋼筋大小與間距的檢測
- 保護層厚度的檢測

- 水泥混凝土內之管線追蹤
- 河床剖面之調查
- 工址開挖前地面下異物之檢測

e. 結論：

- 鑄鐵管的反射最強
- 對於兩個鄰近的鑄鐵管 (iron pipes) 也能夠區別出來
- 混凝土材質的反射僅次於鑄鐵管
- 對於 PVC 管線不易偵測出來
- 現場偵測時測線與管線走向直交可得較好的結果
- 高頻天線探測深度較小，但解析度較佳，利於工程使用
- 低頻天線則適用於地質調查

天線適用頻率範圍

GSSI 天線探測深度

中心頻率 (百萬赫茲)	應用範圍	深度 (公尺)
80	地質	5-30
100	地質	4-25
120	環境 地質	4-20
300	環境 淺層地質 工程	1-9
500	環境 淺層地質 工程	0.5-3.5
900	環境 考古 混凝土 土壤	0-1
1000	考古 橋樑 混凝土	0-0.5

(GSSI 提供，1993)

表 2.4 透地雷達天線適用範圍頻率

(三) 電磁波衰減法：

參考腐蝕監測 (3.2.2 節)

(四) 幾何變形 PIG：

原理：

可以由航空以及量測儀器（caliper measurements）探頭裝入 PIG 本體中，並且可提供下列的資料：

- 3-D 的幾何圖形，可精確的測知管線是否在一直線上，並且可以繪於圖上
- 兩軸的資料，內部斷面的資料
- 預測或評估沈陷，霜害，不穩定斜坡，地層相對滑動所造成的影響
- 溫度壓力的改變
- 精確的量測管線凹陷，橢圓，皺摺等現象
- 分析挫曲，過度彎曲，降伏

2.5.2 應力（變）計：

◦ 設置區域：

裝置於與較大結構物連結處管線，例如與 tank 的接頭，與 valve 的接頭，與人孔的接頭處

◦ 儀器形式：

(一)◦ 振動鋼弦應變計：

埋設儀器原理：

1◦ 應變計：

利用振動鋼弦原理去量度應變，原理是兩端受固定鋼弦，振動頻率，隨著鋼線所受張力的平方根而變化。

最大應變範圍： $\pm 1500 \times 10^{-6}$ strain

量測溫度範圍： $0^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$

溫度熱膨脹係數： $10.8 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$

2◦ 感應器：

可引起鋼弦作穩定振動

3◦ 指示器：

感應振動頻率計算其平方值且能直接顯示應變的變化，它亦能量感應器的溫度變化

量測儀器規格：

讀數器

量測溫度範圍： $0^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$

溫度係數：應變量：±(0.015%讀數+0.15數位) /°C
週期：±0.002% 讀數/°C
最小刻度：應變量：1 微應變量=1 數位
週期：0.1 微秒=1 數位
電流：1 微安培=1 數位
溫度：0.1°F=1 數位
使用時間：可連續使用 12 小時
電 源：內藏 6V,6AH 可充電式電池，可外接 DC 10-15V, 1A 電池

(二) 電子式應變計：

埋設儀器原理：

本項系統包括應變計、電纜等，比振弦式少一感應器，可接自動量測

規格如下：

1. 應變計

利用電阻式應變規原理去量度應變，原理是兩端受力變形，應變規也跟隨改變阻抗，依惠斯登電橋原理測得之阻抗，即可求得應變。

額定容量：±2000 ×10⁻⁶ strain

檢出方式：應變規

出力電壓感度：1.5mv/v

非線性：1%R0 以下。

2. 指示器

同鋼筋計為電阻式應變計，它能直接測讀應變量。

儀器規格：

測定範圍：0~ ±19999 μ Strain 可變 K 值

最小刻度：1 μ Strain

測定精度：±(0.8%之讀值+2 數值)

使用時間：可連續使用 8 小時

電 源：內藏 6V,6AH 可充電式電池，2 只串連而成 12V
可外接 DC 10-15V, 1A 電池

(三) 應力計：

量測儀器原理：

利用承壓板壓力平衡之原理，由液壓泵之壓力表得反壓力。油壓泵 0~250bar 壓力表±0.01bar 精度

理設儀器規格：

(1)0~20bar 150 ×250 ×7mm

(2)0~50bar 200 ×300 ×10mm

(3)0~200bar 400 ×400 ×12 mm

2.5.3 量測土壤液化：

設置區域：

◦ 對於液化潛能區可以設置

◦ 由 $\sigma' = \sigma - u_w = 0$ ，可以求得當水壓高多少時，sand 會產生液化

其中： σ' ：有效應力

σ ：總應力

u_w ：孔隙水壓力

◦ 應設置到管線所在沙層底部

可以應用的儀器如下：

(一) 壓氣式水壓計：

◦ 量測儀器原理：(圖請見附圖 3)

水壓計內有一瓣膜，該膜一面承受自讀數計供給之氮氣。當水壓與氣壓相同，瓣膜的氣閥則將多餘的氮氣釋放，使膜兩面的氣壓達到平衡。氣壓的讀數即為水壓力

◦ 儀器規格：

壓氣式水壓計構造較為複雜，包含水壓計本體，雙管輸氣管及讀數計等

(二) 水位觀測井：(圖請見附圖 4)

◦ 儀器規格：

◦ 本項觀測系統主要儀器包括鑽有透水孔之塑膠管，管外須包三層尼龍網

◦ 可為數位電表或水位指示器 (每一公尺有熱印記號的電纜)

觀測方法：

將水位指示器之電表開關打開，將導線徐徐放入 PVC 管中，當電表有變化指示，讀取電纜線上刻度即為水位深度。

第三章 腐蝕監測

3.1 監測目標：

- 管線內部腐蝕監測——腐蝕率監測
- 管線外部腐蝕監測
- 需包括防蝕披覆檢測

3.2 監測儀器：

3.2.1 皮爾森 (Pearson) 法：

- a. 此法使用兩組與地接觸之金屬棒或釘鞋，量測因 AC 訊號於被覆破裂處洩漏造成的訊號梯度，而由前行的量測員之訊號接收器予以探測出被覆缺陷之地點。
- b. 儀器：
 - 發射器：普通被覆材料，如膠帶包覆放射出約 1000 赫茲之交流訊號；而於較薄之被覆材料，如環氧樹脂則放射出較低約 175 赫茲的交流訊號
 - 接收器：此接收器可調到與發射器相同的頻率，為一手提型儀器
 - 接地：量測者穿著的鋁釘鞋即可做為接地功能
 - 連接線：即連接量測者及接地間之電纜裝置
 - 發射器的接地樁及其接線
- c. 使用方法：

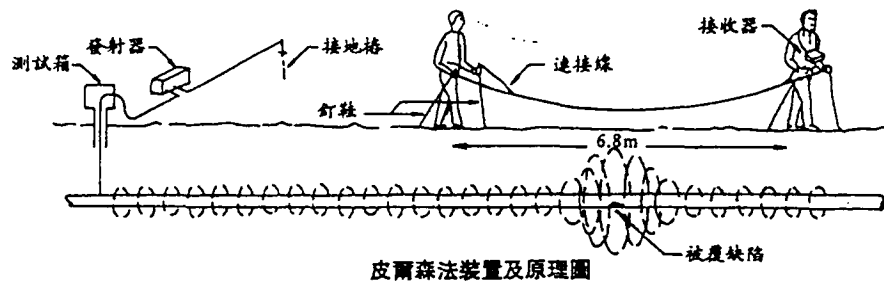


圖 3.1 皮爾森法裝置及原理圖

d. 優點：

- 能探測出所有造成電位梯度之影響因子，如被覆缺陷位置及接近管線之外在金屬物件的位置。
- 由於所用的頻率並不高，外來電磁干擾因素除了電力交流訊號外並不嚴重，且容易借一簡單之高通濾波器加以排除

e. 缺點：

- 量測員需走過整條管線所經過的路線
- 管線經過柏油路、混凝土、河流時不易量測
- 難區別被覆缺陷與管溝中之外在金屬物
- 無法了解缺陷的嚴重性
- 不適用於管線彎曲處
- 無法顯示陰極防蝕的效力
- 不易量測出被覆剝離（無破裂或孔隙產生）
- 依賴操作者的分析能力
- 無法指示腐蝕程度

3.2.2 電磁波衰減法：

a。此法亦使用 AC 訊號源產生磁場，而沿著管線前進，此磁場會產生均勻的的衰減，而在管線被覆破損處，因管線直接接觸土壤，此磁場因信號洩漏較易有明顯的下降，利用此原理可探測出被覆之缺陷處

b。儀器：

- 發射器
- 接收器
- 發射器的接地樁及其接線

c。使用方法：

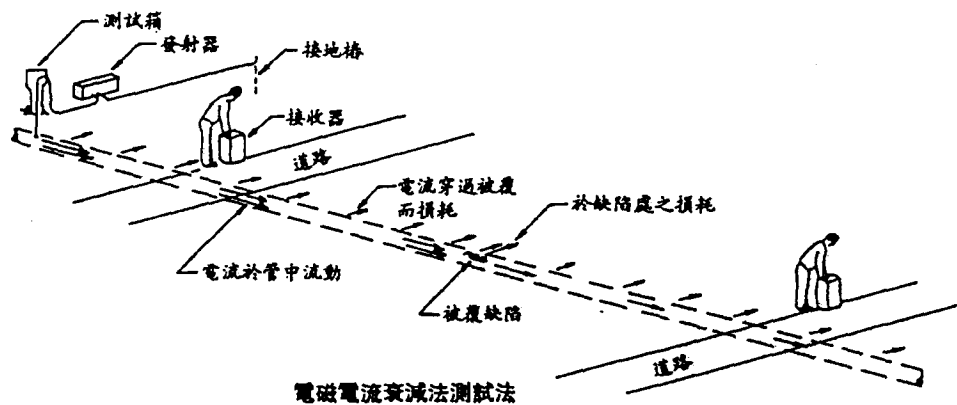


圖 3.2 電池電流衰減法測試法

d。優點：

- 量測員不需走過整條管線所經之路線，而可以選點測量
- 於人員不易靠近管線之區域，如道路、鐵軌旁、河流或農田皆可以包含於檢驗之範圍
- 可測出管線埋藏之深度

- 接收器不需與地連接
- 比較不同時間之量測值，可以了解被覆材料隨時間之劣化情形
- 可指示被覆材料缺陷的嚴重性
- 可定位低阻抗電位位置

e. 缺點：

- 於高阻抗土壤處之被覆缺陷無法正確求出
- 無法準確了解小缺陷的位置，因有時會被所選擇的信號電流衰減遮蔽住
- 易受外界電流干擾
- 無法了解陰極防蝕的效力
- 無法探出剝離而無破裂的被覆
- 難定微缺陷
- 無法了解腐蝕程度
- 於管彎曲處或旁邊有其他金屬物件存在時，磁場會受扭曲

3.2.3 緊密電位量測：

- a. 此法為利用鋼鐵對地電位差圖，以了解陰極防蝕系統之功能及被覆效果
- b. 儀器：
 - 同步計時器
 - 數據資料記錄器
 - 硫酸銅參考電極
 - 距離記錄器

- 測管器
- 電腦軟硬體：處理資料用
- 繪圖機

c. 使用方法：

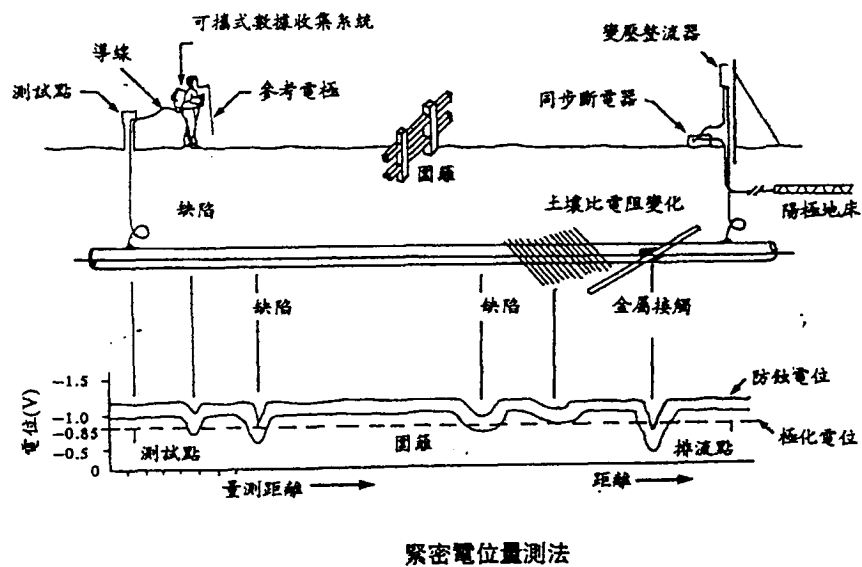


圖 3.3 緊密電位量測法

d. 優點：

- 全線的保護電位及極化電位均可求得
- 所得的電位圖容易判別
- 可了解陰極防蝕是否發揮功能
- 於有散失電流處，亦可利用記錄器予以記錄
- 不需由陰極防蝕工程有經驗之人員參加測量工作
- 可了解被覆缺陷處是否得到良好陰極防蝕保護
- 可定位陰極防蝕不良區域
- 可定位電流干擾區域

e. 缺點：

- 需量測整條管線；即量測員必須走過整條管線所經之路線
- 於柏油路、混凝土路或河流經過之處皆不易量測
- 無法探測出被覆材料是否剝離
- 無法標示腐蝕程度

3.2.4 腐蝕檢查 PIG：

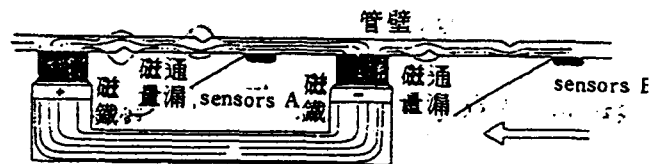
*PIG 簡介：

PIG 是個長條狀多節的機械裝置，配備有檢測探頭及資料紀錄器、維持密閉性的墊圈、測定位置的測程輪及提供記錄器等設備的電力電池等，若所配置的檢測探頭為超音波探頭，即為超音波 PIG，同理若放置磁通漏探頭即稱為磁通漏 PIG

a. 磁通漏 PIG

原理：

- 利用磁通量變化的原理來做缺陷的檢測工作，原理如下：



磁通量檢測原理

圖 3.4 磁通量檢測原理

Sensor A 置於剛刷之間，能接收到管內外腐蝕缺陷信

號 Sensor B 只能接收到管內缺陷信號，將 sensor A 和 sensor B 的信號加以比較，就能分辨出是管內缺陷或是管外缺陷，並可測得金屬損失的位置和大小

- 深度在 $0.4t$ (t 為管壁厚度) 以上點狀的腐蝕缺陷 (面積在 $3t \times 3t$ 以下) 可以有 90% 以上的檢出率
- 對於均勻腐蝕 (尺寸大於 $3t \times 3t$)，深度在 $0.2t$ 以上即有 95% 以上的檢出率，其尺寸準確度更可達到 $\pm 0.1\%$ 以內

優點：

- 適用於液、氣體管線
- 可精確定量內外缺陷或腐蝕情況

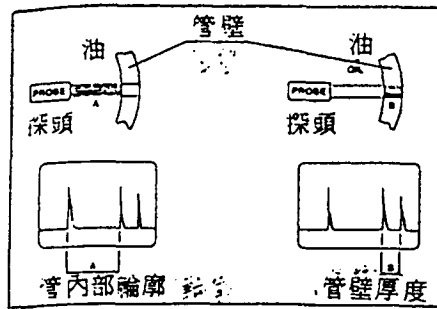
缺點：

- 價格昂貴，但較超音波 PIG 便宜
- 只能相對定量缺陷大小
- 靈敏度及精確度較低
- 目前沒有檢測垂直裂痕的能力
- 無法用於太厚的管壁
- 對淺的缺陷不靈敏
- 易受金屬碎片的影響
- 無法在高溫的環境中使用

b. 超音波 PIG

原理：

- 超音波 PIG 的檢測原理如下所示：



超音波檢測原理

圖 3.5 超音波檢測原理圖

優點：

- 可精確定量管壁腐蝕情況
- 能測得管內外腐蝕缺陷的大小
- 檢測過程較不受外在環境干擾
- 可 on-line 操作
- 能測得管的殘餘厚度

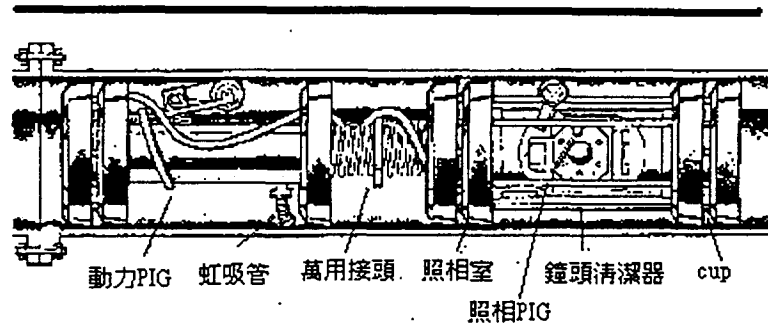
缺點：

- 價格昂貴
- 只能運用於液體管線中
- 對薄管壁的檢測效果較差
- 對管的清潔度要求較高，否則有卡管之虞
- 目前沒有檢測垂直裂痕的能力
- 對裂縫之偵測靈敏度低
- 無法在高溫的環境中使用

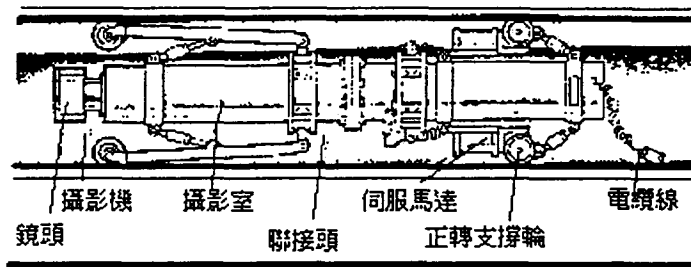
c. 光學照相或攝影 PIG

原理：

- 照相 PIG 與攝影 PIG 是利用光學照相或光學攝影的方法來顯示管內部的腐蝕缺陷，構造如下圖：



光學照相PIG的構造圖



光學攝影PIG

圖 3.6 光學照相，攝影 PIG

前面部分是動力 PIG，有電池部分提供 PIG 前進的動力，後面部分是照相 PIG，包括 cups、閃光燈、照相機、電子線圈和廣角鏡頭等，鏡頭被保護在能承受 1600psi 的壓力，且鏡頭有清潔器隨時清除鏡頭上的污物以保證能得到最佳影像

優點：

- 可用於 6 吋以下的管線
- 可 on-line 操作

- 價格較其他腐蝕檢查 PIG 便宜
- 可看到管路內壁的實況

缺點：

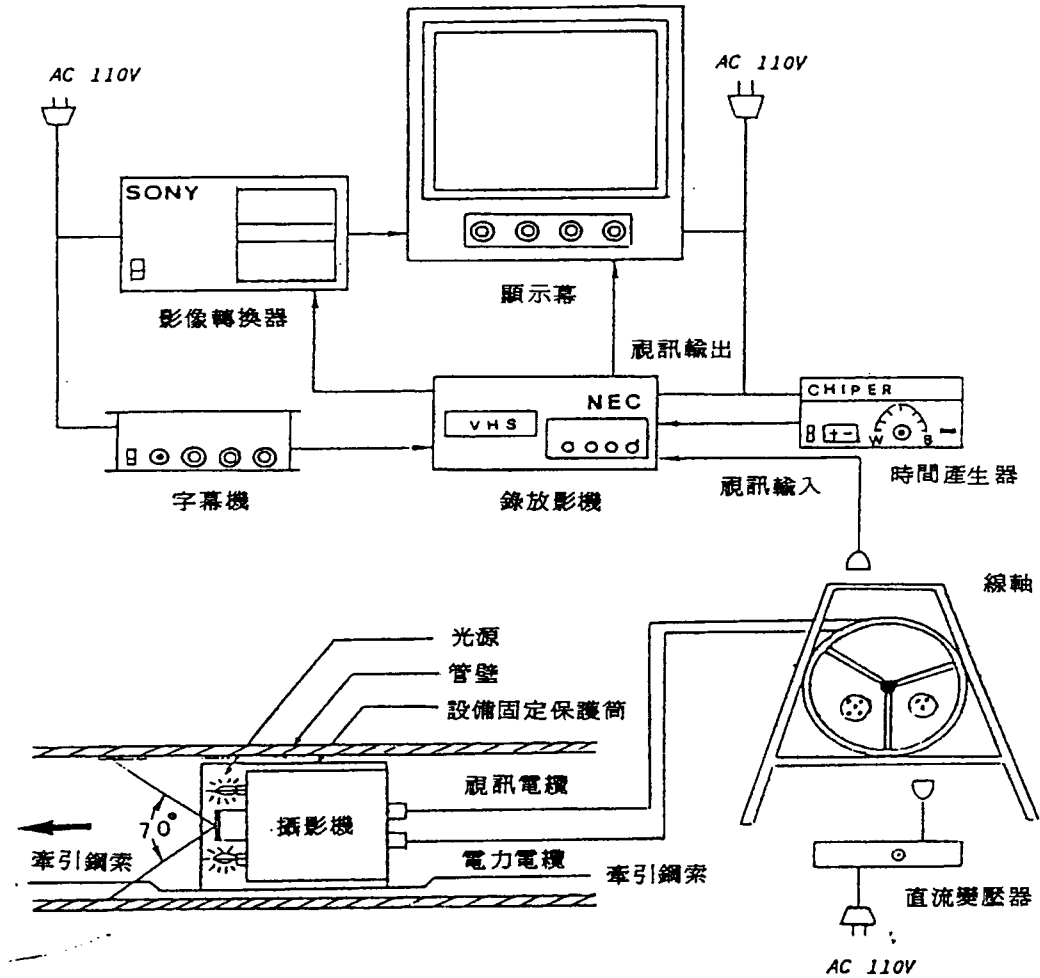
- 有效距離較短
- 只能觀察管路的內部缺陷

3.2.5 牽引式遙控監視攝影系統：

a. 儀器：

- 攝影機
- 鏡頭
- 監視器
- 錄影機
- 直流變壓器
- 照明燈
- 字幕機
- 視訊信號燈
- 里程表
- 影像轉換器

b. 使用方法：



牽引式地下管線偵檢攝影監視裝置

圖 3.7 牽引式地下管線偵檢攝影監視裝置

3.2.6 Coupon (weight loss coupons) :

a. 原理 :

針對一個點量測腐蝕率 (MPY)，重量損失對時間的關係

直接量得腐蝕率

b. 儀器 :

◦ Coupon 探針

c. 優點 :

- 可使用於液體及氣體管線
- 可以測所有的腐蝕狀況
- 全世界廣泛使用
- 裝置簡單
- 可長期監測
- 資料簡單且易於瞭解
- 能對均勻腐蝕 (uniform corrosion) 提供一個正確的量測

d. 缺點：

- 只能提供平均重量損失
- 不能告知何時正在發生腐蝕
- 長期的腐蝕行為能夠得知
- 能夠提供良好金屬損失的關係
- 需花一段時間才能得知正確的結果
- 若腐蝕率超出設計允許值則 coupon 變成較沒效用
- 若腐蝕率非常小時，則 coupon 變成較沒效用
- 量測時需要流速相當慢
- 對於點狀 (pitting) 腐蝕能夠得知

3.2.7 ER (electrical resistance probe)：---電子式探針

a. 原理：

由電阻與斷面積成反比，當腐蝕時斷面積減少，電阻增高

$$R = \rho L / A$$

其中：

R：電阻

ρ : 電阻係數

L : 導體長度

A : 斷面積

腐蝕率的計算：

$$MPY = \Delta \text{DIV} / \Delta \text{time} \times 0.365 \times \text{Probe Span}$$

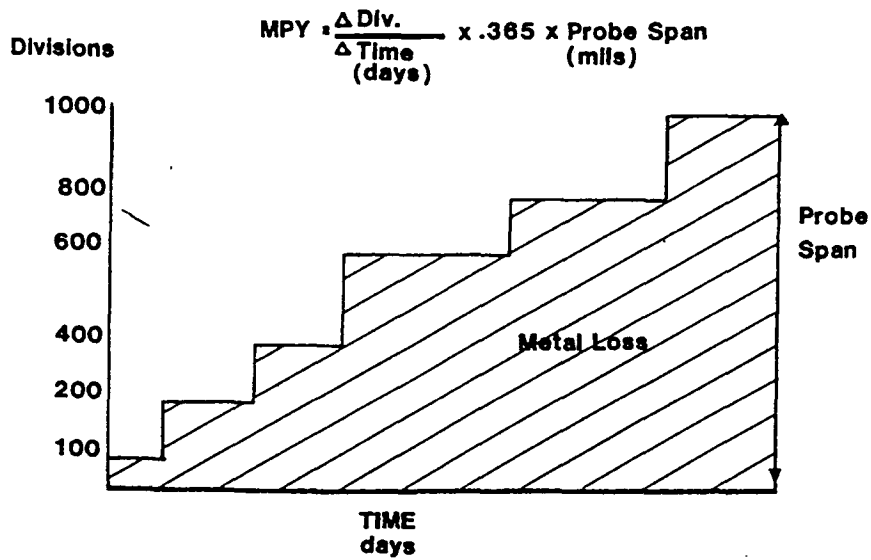


表 3.1 ER 監測結果

b. 儀器：

◦ 電子式探針 (如下圖)

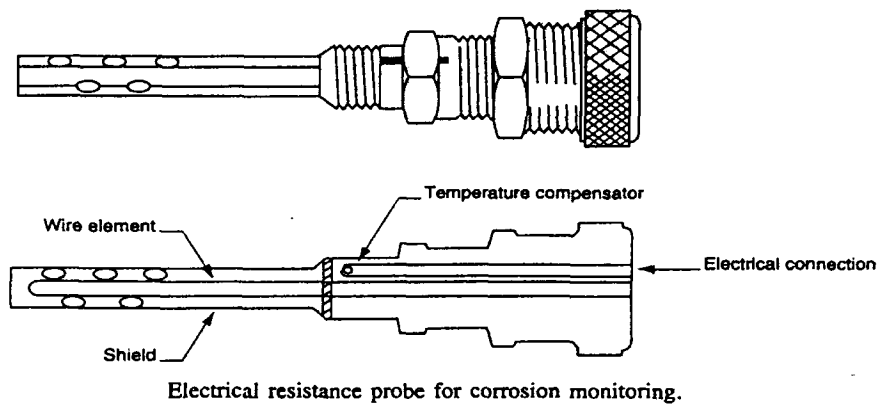


圖 3.8 ER 電子式探針圖

c. 優點：

- 可以使用於液體以及氣體
- 高解析度
- 低耗電 (20mA)
- 可偵測 erosion corrosion
- 有效的量測剩餘金屬厚度
- 裝設容易
- 需貫穿管線裝設

d. 缺點：

- 偵測需花幾天
- lifetime 有限
- 當在量測時有溫度改變，會造成誤差
- 不能告知何時腐蝕發生
- 不能告知為何種腐蝕形式
- 置於高腐蝕環境會使其使用壽命縮短
- 當有固體物流動於管線時，會造成探測上不正確
- 需貫穿管線裝設

3.2.8 LPR (linear polarization probe)：---電子式探針

a. 原理：

小電流擾動穿過電擊---電流密度被測得---給一個腐蝕率

◦ 腐蝕率的計算：

$$\text{MMPY (MPY)} = I_c / C \times K_1 / D \times 1000 / L \times K_2$$

其中：

I_c ：腐蝕電流 (A/cm^2)

K_1 ：質量損失常數 (kg)

D：密度 (kg/cm^3)

L：長度 (cm)

$K_2 = 2.433 C/A$

C：96487

mpy：Milli-inches per year

mmpy：Millimeters per year

b. 儀器：

◦ 電子式探針 (如下圖所示)

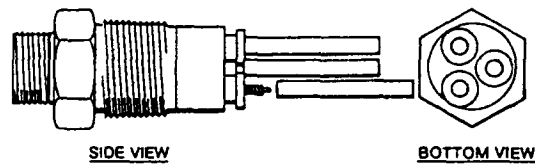
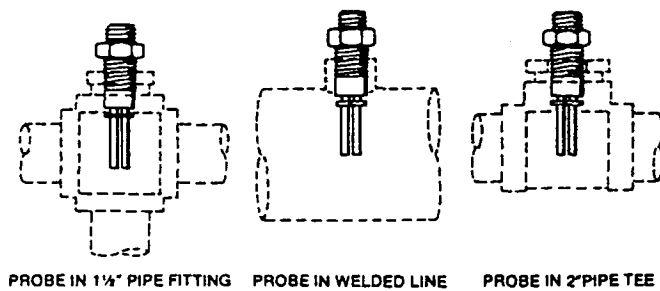


FIG. 4a—Typical three-electrode polarization resistance probe.



Typical installation of polarization resistance probes (1 in. = 25.4 mm)

圖 3.9 LPR 電子式探針圖

c. 優點：

- 為用於液體最好的系統
- 能夠立刻偵測得知
- 能夠表示 pitting corrosion (點狀腐蝕)
- 能運用於高壓及低壓系統

d. 缺點：

- 系統比其他的系統複雜
- 需液體作為傳導溶液
- 對於有沈澱物的 $Fe_x S_y$ ，會造成誤差但是對於裝有 ER 探針者此一問題能夠被解決
- 置於高電阻的溶解液中，會有低腐蝕率的誤差
- 需貫穿管線裝設
- 當使用低傳導性，薄的的試片效果不好

3.2.9 Acoustic emission(聲射法或應力波監測)

a. 原理

缺陷成長時(變長或變大)會釋放爆發性能量，產生應力波(stress waves)，或者在原有的缺陷上施壓力也會使其產生應力波

b. 探頭與訊號纜線

- 頻率：0.1Hz~100Khz
- 訊號線：軟硬適中且低衰減的三軸纜線
- 防水探頭
- 訊號接收及分析

c. 使用方法

在管線上方裝上，距離最大可達 250 公尺

也有手提式儀器

d. 優點

◦ 不像超音波或是放射線探測系統 (radiography) 需依賴外來刺激，只需由材料本身釋放的應力波即可偵測得知

◦ 對於應力腐蝕破壞 (stress corrosion cracking) 能夠提供一個良好的監測

◦ 能夠線上即時監測

e. 缺點

◦ 在低壓力系統量測不良

◦ 當材料的裂縫繼續發展時，此時量測效果最好

3.3 腐蝕率監測位置

◦ 能造成擾流 (turbulent flow) 的地區

例如：

◦ 管路的進出口

◦ 管線大小改變處

◦ terminal point

◦ 能改變流體方向者

◦ 例如

◦ 彎管處，T 形管

- 改變流速者
 - 例如：管線大小改變處
- 造成 erosion (沖蝕) 處
 - 例如：彎管處，T 形管
- 會造成 galvanic 處
- 不同金屬交接處
- 溫度，壓力有週期性改變處
- 焊接結點後面
- 探針應置接近底部，整根探頭接應近於液體或氣體內
- 在低壓力流場，監測裝置可以經由閘門 (gate-valves) 裝設

3.4 建議監測方式

- 在裝設前，應先檢測哪些地方有哪些腐蝕型態
- 對於線上及時的監測系統---採取腐蝕率監測
 - 腐蝕率監測，採用兩種探頭以上的監測設備 (all on one sensor) 而所需的 sensor 應依此地點的腐蝕情況去選取較好的監測儀器
- 若非使用 all on one sensor 則需注意下列事項：
 - 待監測區有何種腐蝕型態
 - 此儀器可否偵測到
 - 反應時間符合要求否
 - 精確度符合需求否
- 對於防蝕披覆的檢測建議使用電磁波衰減法
- 對於檢測內，外部腐蝕缺陷，可以使用 PIG，因為 PIG 也可以 on-line 操作之外，是所有腐蝕監測方法中可以最準確的告知腐蝕缺陷 (大小，

形狀，深度)的一種方法

- 建議在作全面性檢測時，不論使用 on-line 或 off-line 儀器要作內外缺陷評估，且要能定位，測殘留厚度，並且對於缺陷位置需做詳細紀錄（應包括，位置，缺陷大小，何種形式腐蝕）

第四章 測漏監測

4.1 目標

- 洩漏位置準確度高
- 反應時間快
- 誤警信號少

4.2 測漏檢測方法

4.2.1 超音波偵測

a. 原理：

氣體：利用外洩的氣體，會對外界大氣產生振動，而造成超音波，而超音波可以沿著大氣向外傳播也沿著輸氣管壁傳播

液體：地下油管有滲漏現象時，該處油管流將由片流（laminar flow）變為擾流（turbulent flow）並增加能量產生聲波而為超音波測試儀測得，聲波的頻率與破孔的形狀、大小、流體的壓力和速度、管厚度與包覆狀態有關

b. 偵測方式：

- 儀器可以分成攜帶式以及固定式

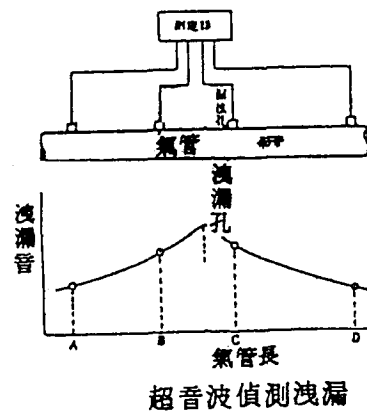


圖 4.1 超音波偵測洩漏圖

- 利用傳送器接收超音波的強弱關係來推算洩漏地點及大小
 - 目前所能運用的範圍為 10~100 公尺
 - 美國 EPA 要求從 1988 年起所有地下管線安裝時必須配置有音洩檢測探頭
 - 可以用來偵測高壓 (50 psig ~ 50000 psig) 管線
 - 有 10^{-3} std cm³ /s 的靈敏度
- c. 優點：
- 靈敏度高
 - 洩漏大小可精確算出
 - 孔隙大小可精確算出
 - 反應時間快
 - 可連續性監視
 - 可以測得 1/32 in 的洩漏孔隙
- d. 缺點：
- 超音波會因為材質及音波頻率的高低而有很大的衰減，而影

響靈敏度

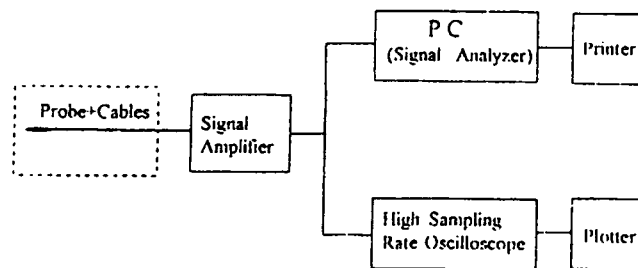
- 所需的感測器很多，才足以對長途管線監視

4.2.2 聲射 (AE-Acoustic Emission) 測漏法

a. 原理：

聲射測漏法乃係藉助儀器設備檢測管路或容器因材料變異或洩漏時所發出之應力波（負壓力波）以進行測漏、定位

b. 儀器以及偵測方式：



使用儀器配置圖

圖 4.2 AE 儀器配置圖

- 探頭與訊號纜線
- 頻率：0.1Hz~100Khz
- 訊號線：軟硬適中且低衰減的三軸纜線
- 防水探頭
- 訊號接收及分析
- 靈敏度：在 2 kg/cm^2
- 定位準確度： $\pm 0.3 \text{ m}$

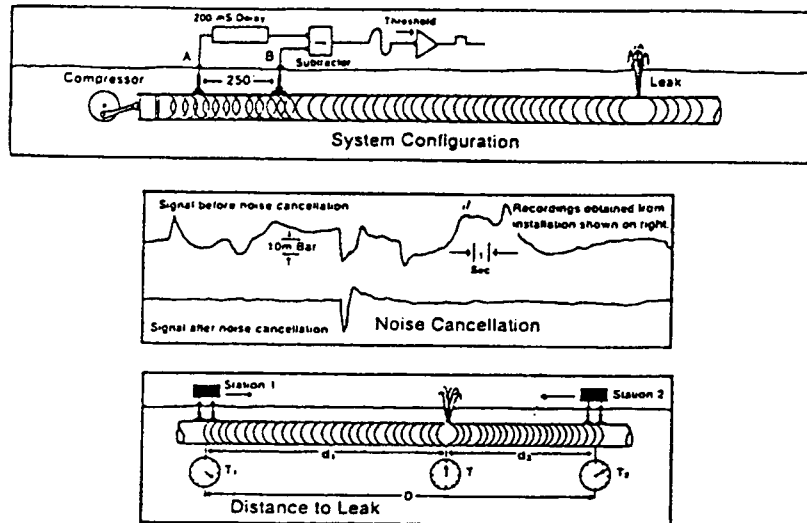


圖 4.3 AE 偵測結果

c. 使用方法：

有三種：

- i. 沿管線上方以 AE 儀器進行外部偵測，此方法在混凝土結構物不易發揮效果，且易受外界環境干擾
- ii. 局部開挖並以接觸探頭進行檢測，施工方法需先克服，且受外界環境干擾
- iii. 在管線上方裝上（非侵入式系統）

d. 優點：

- 能及時反應洩漏
- 定位性佳（±150 m）
- 計算量小
- 反應快
- 設備簡單
- 不影響管線正常操作
- 經濟
- 可檢出短程管線的微小洩漏（限於方法 1 與 2）

e. 缺點：

- 有效距離短
- 需局部開挖
- 僅為一種定位輔助設備較不適合單獨進行測漏之功能
- 外界噪音影響大，效果差
- 靈敏度較差
- 不適用於低壓流場
- 對缺陷的大小評估性差（方法3）
- 易受背景雜訊干擾

4.2.3 追蹤劑法(同位素法)

a. 將放射性同位素示蹤劑注入地下管線流體內，當流體流經外漏處時，放射性示蹤劑會隨之流出，利用偵檢器計讀放射性強度可以判斷破口位置和大小。

b. 儀器：

- 偵檢器
- 同位素示蹤劑
- ^{24}Na 及 ^{82}Br
- 兩者具備短半衰期、高偵檢靈敏度、價廉、易獲得

c. 使用方法：

- 依現地不同狀況的差異，而有下列幾種不同的方法

i. 浸泡法：

- 首先將含放射性同位素的溶液注入欲檢測之地下管路中，予以封閉，滯流甚至加壓，使其外洩然後排除溶液，清洗管線，再以偵檢器在管外或管內測量
- 靈敏度：：每小時 100 毫升外洩量
- 適合於短程地下管線測試

ii。流動法：

- 將放射性示蹤劑注入地下管路流體，並加壓使其向前流動，待行進一段時間後，置入附有記錄器之偵檢器隨後與放射性液體等速向前進，放射性液體自裂隙處滲出，隨後跟進之偵檢器可檢出滲漏位置。
- 適合於長途管線外漏測試

iii。流速法：

- 藉同位素示蹤技術量測地下管線內流速的變化。若管線沒有洩漏，示蹤劑流速一定，且不會擴散混入管線流體中，但是遇有破孔時流速改變
- 常用在高流速的管線

iv。流向法：

- 在欲檢測已密封的地下管線流體中加入微量的同位素示蹤劑，示蹤劑流動的方向就是向流體外漏位置的方向前進，如此多次試驗，就能找到靠近破口的位置

d。優點：

- 可測出微量洩漏
- 經濟
- 簡便
- 可 on-line 操作
- 靈敏度高 (0.004 gph)
- 不影響管線操作
- 所釋出的輻射線不受環境客觀因素影響
- 隨需要採用不同化學成分的示蹤劑
- 是地下管線測漏最好的方法

e. 缺點：

- 輻射安全問題
- 地層因素影響測試結果
- 不能全天候監測
- 易受地下水等特性干擾而影響其定位性
- 廢液處理問題易受地下水干擾

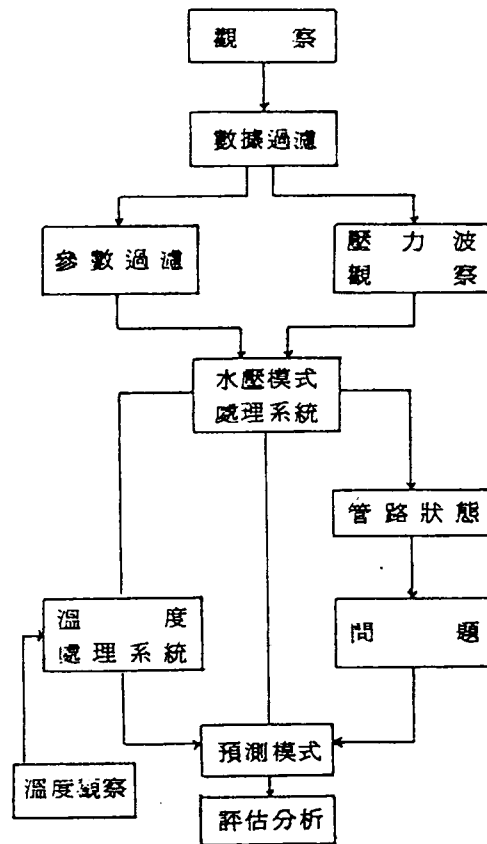
4.2.4 SCADA (監測和數據取得系統；軟體測漏)

a. 原理及方法：

利用電腦來監視，控制管線的外漏和破壞偵測，首先由管線上的閘取得該點壓力、流量、密度數據送回監控中心，經由電腦的水壓模式處理系統 (monitoring hydraulic mode) 作動態模擬，而得到管線中的各段的壓力、流量分佈，此一軟體利用即時的動態分佈資料，計算管線中的氣體 (液體) 的存量，再透過質量平衡 (體積平衡) 方式及各段監控中心取回的實測值，與電

腦取回的基值，在加上壓力的變率等三種方法來作測漏的判斷

b. 流程圖：



SCADA 流程图

圖 4.4 SCADA 流程图

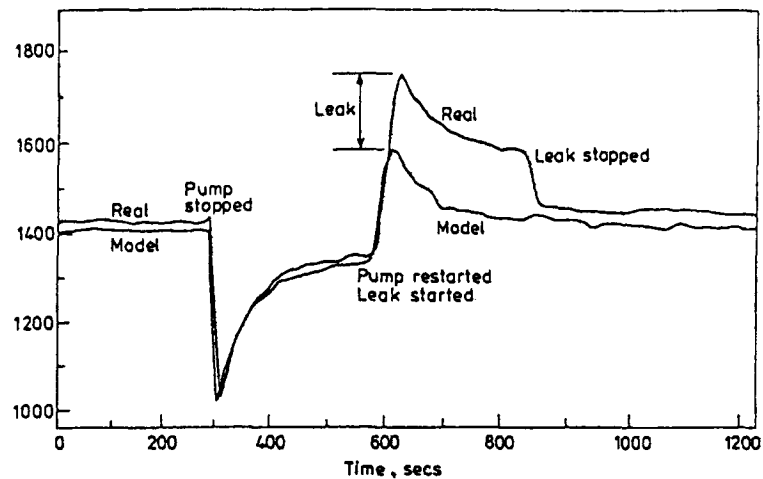
- 溫度參數 (thermal observation) 係因泥土熱傳導到流體的熱量會有所不同，故有必要加以考慮
- 靈敏度：
 - 取決於測量儀器的準確度，對於小洩漏 (2% 以下的流率變化)，通常用質量平衡方式作計算
- 洩漏的位置與孔隙大小：

利用邊界值的壓力差作內差法作估計，通常較不準確若將邊界值之間距離縮短，也就是將管線的分段，分段較多，則對測漏的位置及孔隙大小的精確大大的提高，但是很浪費計算的時間

◦ 反應時間：

對於小量的洩漏，必須用質量平衡長時間累積，所以較慢；但對較大量的洩漏，則可迅速的反應；利用軟體測漏可以 24 小時連續對整個管線監視

◦ 結果類似下圖：



Example of transient real time modelling of pipelines (data from Ref 9)

圖 4.5 SCADA 結果

c. 優點：

- 可以 24 小時連續對整個管線監視
- 附加價值高（可順便作儀器的偏位（offset）校正、訓練操作人員應變能力及短期需求預測等的應用）
- 不易有誤警信號產生（因為資料的更新在 30 秒左右）

d. 缺點：

- 。取決於測量儀器的準確度

4.2.5 紅外線偵測

a. 原理及方法：

利用紅外線光譜吸收原理，在輸氣管附近安置紅外線放射及吸收感應器，當洩漏的天然氣遇到紅外線時，吸收紅外光譜，使紅外線的強度減弱，利用強弱的關係可以得知天然氣洩漏的大小及位置

b. 使用方法：

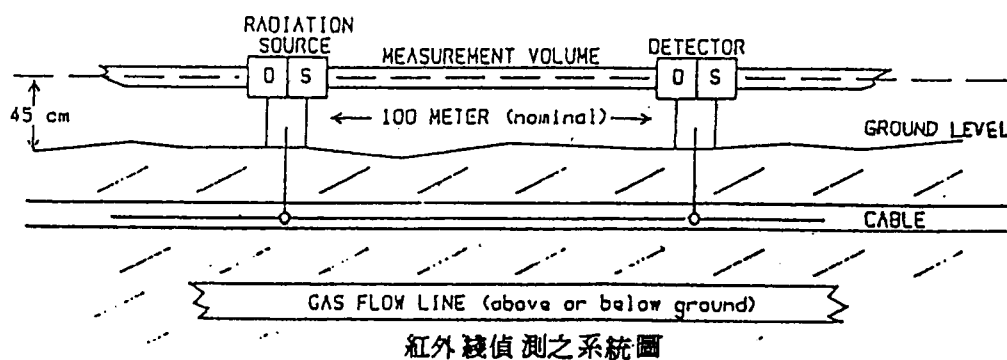


圖 4.6 紅外線偵測系統圖

- 。靈敏度：可測得 50~100ppm 之間的濃度

c. 優點：

- 。對地面管線可以很快測得

d. 缺點：

- 。長距離需要很多的感測器

- 對風很敏感
- 對於地下管線則要等到天然氣滲透到地面才能感應得到
- 位置可約略測得
- 孔隙的大小則由濃度量略為估算

4.2.6 利用傳統的目視或嗅覺

- a. 這個方法是最直接的方法，通常在管線中，加上一些有顏色或有臭味的化學物質，管線的巡視人員沿著輸氣管巡視，監視管線的安全狀態
- b. 優點：
 - 地點可以確定
- c. 缺點：
 - 靈敏度不高
 - 必須有相當的洩漏才可察覺
 - 需耗費大量的人力，尤其是長途管線
 - 漏孔大小則由實際觀察得知

4.2.7 流場變化觀察法

(一) 壓力差/流量差量測分析法 (可為 SCADA 的測漏軟體)

- a. 原理：

利用有限差分之數值方法求解流場之控制方程式，將所得的物理量與管內的實際量測值，進行比較，來研判是否有外漏發生

b. 儀器以及裝設方式：

- 高品質的比重計
- 壓力計
- 溫度計
- 流量計
- 裝設方式可以如下

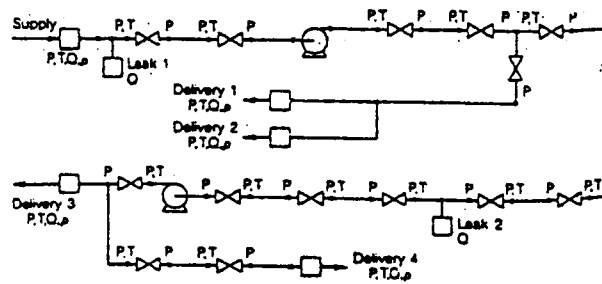


圖 4.7 壓力差/流量差量測分析法裝設圖

P：壓力計

T：溫度計

Q：流量計

ρ ：密度計

監測點的設置原則如下：

- 管線的流體性質發生變化的地方一定要有精確及重複性高的溫度計及壓力計說明如下：
- 開關閥及管線上有進，出料的地方需要有量測點
- 每個幫浦站都需要有前端及後端的溫度及壓力計

◦ 比重計及密度計安置會增加測漏系統的精準度但非必須的

c. 優點：

- 任何大小的管線皆可量測
- 能及時反應洩漏
- 準確性佳
- 具定位功能（±500 公里）
- 較不受外在環境影響
- 具有管理功能
- 可以全天候偵測

+

d. 缺點：

- 設備複雜，價格昂貴
- 計算量大
- 對大型洩漏其量測之時間長
- 靈敏性受限於流量，溫度壓力等量測計之精確度

（二）壓力模式分析法

a. 原理：

藉由儀器設備檢測管路或容器洩漏時所發出之應力波（負壓力波）所衍生的流場壓力變化來研判是否有外漏發生

b. 裝置：

- 聲波儀
- 反應時間：數秒至數分

- 設置間距：30 公里
- 偵測的結果如同聲射法
- 偵漏靈敏度 1/16 in

c. 優點：

- 能及時反應洩漏
- 設備簡單操作容易
- 經濟
- 對管線干擾性低
- 可以全天候偵測
- 具定位功能（±300 ft）

d. 缺點：

- 定位性差
- 無法評估缺陷的大小
- 易受幫浦等壓源的影響
- 能偵測中大型的外漏
- 僅有測漏的功能

（三）音波測漏法

a. 原理：

將管線本身當作導音管，由管的一端送出音訊而由管的另一端接收訊號，利用輸氣管洩漏前與洩漏後的接收音訊特徵不同，而決定管線是否有洩漏

b. 裝置：

- 音波探測器
- 反應時間 600 秒內
- 裝置間距：8 公里
- 偵測的結果如同聲射法

c. 優點：

- 能及時反應洩漏
- 定位性佳
- 計算量小
- 可以全天候偵測

d. 缺點：

- 靈敏度差
- 不適用於低壓流場（因為負壓較小，應力波的訊號微弱）
- 對缺陷的大小評估性差
- 易受背景雜訊干擾（例如閘門開關，幫浦位置）
- 在大而複雜的管線網路並不能達到預期的效果

4.2.8 測漏 PIG

a. 原理：

任何固定範圍內流體質量的減少都將導致流體流量（或壓力）的改變，越接近漏點其流速（或壓力）的改變越大，測漏 PIG 即是利用此原理，以攜帶精密儀器流量計於管路中藉由對流場流量變化之偵測來研判外漏發生的位置

b. 儀器：

- 攜帶流量計的 PIG

c. 優點：

- 準確度高
- 可測出微量洩漏
- 可 on-line 操作
- 定位性佳

d. 缺點：

- 費用昂貴
- 不能隨時反應監控，及時反應外漏

4.2.9 採樣分析法（油氣濃度分析法）

a. 原理：

由於氣體的擴散速度遠高於液體，因此當管線有外漏發生時，此外漏的物質將迅速擴散到附近的土壤之中，而滲透入充滿流動氣體的管子，由流動的氣體，將外洩的物質送到主機內的偵測器加以分析，與背景參考濃度比較，察看是否有高濃度的碳氫氣體產生，而研判是否有洩漏發生

b. 儀器：

- 光離子化檢測器（Photo-Ionization Detector 簡稱 PID）
或火焰離子裝置（Flame-ionization Device 簡稱 FID）

- 馬達（為了使氣體不斷流動）
- 距離可達 1~3 公里
- PID：辨認芳香族類的碳氫化合物
- FID：辨認直長鏈族類的碳氫化合物
- 使用此兩種儀器能辨認所有溢出的碳氫化合物

c. 優點：

- 能及時反應洩漏
- 靈敏性佳（100ppm 即可測得）
- 結構單純，操作容易
- 可以 24 小時連續監測

d. 缺點：

- 價位高
- 施工複雜僅能適用於新管
- 定位性差
- 對大型缺陷其反應性時間長
- 但是由管線經由地層再滲透入偵測的管線需相當的濃度

4.2.10 試壓法

a. 原理：

藉由管路的壓力差是否正常來研判是否有外漏發生

b. 優點：

- 執行容易

- 可偵測小洩漏
- 不用依賴流量量測裝備

c. 缺點：

- 準確性低
- 不能定位
- 對於可壓縮液體沒有效用（例如 LPG）
- 溫度的變化有影響
- 0.3%的誤差
- 需等待兩點的溫度相同（可能超過 20hr）

4.2.11 體積平衡測漏法（可為 SCADA 的測漏軟體）

a. 原理：

當一段管線沒有洩漏時，量測流進量減掉量測的流出量再減掉
管內疊積量應該等於零即物質守衡

$$\Delta V = V_{in} - V_{out} - V_1$$

其中：

ΔV ：洩漏體積

V_{in} ：入口體積

V_{out} ：出口體積

V_1 ：管內疊積量

b. 儀器和使用方法：

- 只依賴流量計
- 可以使用手算

- 若加上電腦的 RTM (real time model) 及時模式，則效果會更明顯
- 管內的體積變化量經過溫度以及壓力的修正後取出一段時間的平均值，如此值大於一標準值則發出洩漏警訊，此標準值是依據量測儀器可能的誤差及對流體物性估計值偏差而定

c. 優點：

- 管線操作改變下測漏功能仍可保持
- 只依賴流量計
- 溫度計與壓力計的精確度並不會影響此方法的精確度

d. 缺點：

- 不能測出洩漏的位置及大小
- 無法立即得到偵測的結果
- 對於微小洩漏需花長時間去偵測 (例如：1 小時)

4.2.12 偵測線法

a. 原理：

管線埋設時同時埋設一碳氫化合物的電纜，當遭受碳氫化合物浸濕後將產生電容，電阻的變化的導線來偵測外漏

b. 儀器：

- 導線
- 主機

利用每分鐘可產生並接收數千次脈衝的主機與經過特殊包覆的

導線進行外漏偵測，當油槽或管線洩漏時，外層的碳氫化合物通過包覆層漏濕導線，使導線的電容，電阻發生變化，由主機對此變化的偵測，判斷是否有外漏發生

c. 優點：

- 高定位性
- 反應快

d. 缺點：

- 需施工時一併設置
- 適用於新管
- 單價太高
- 有效距離短（約 1 公里）

4.2.13 儀器探測法

a. 原理：

利用管線內的輸送物質與儀器的反應器起化學反應

b. 使用方法：

巡視人員攜帶儀器沿著管線上方巡視

c. 儀器：(圖示如下)

表 4.1 各式探測氣體儀器比較表

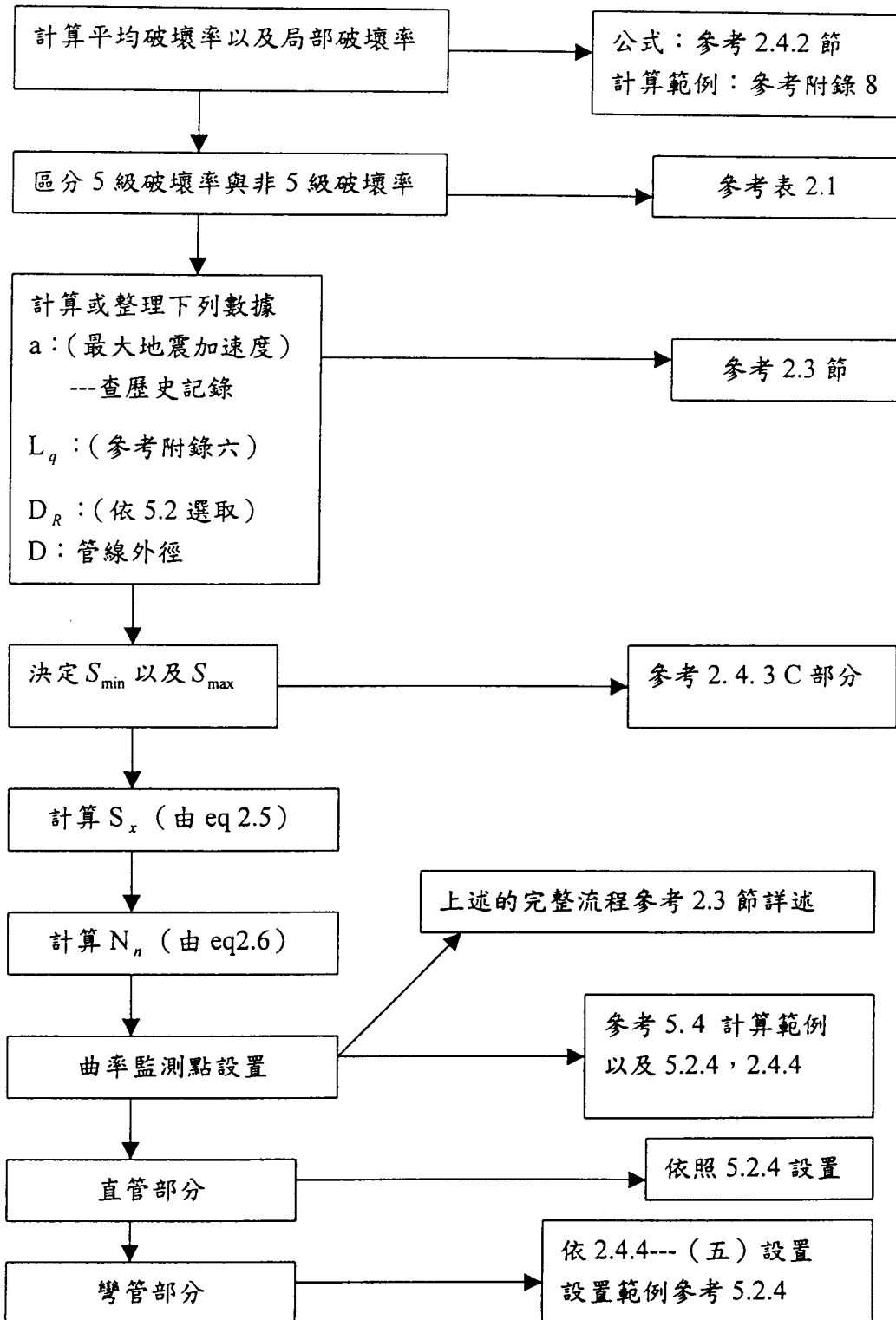
偵測器 項目	FID 偵測器	HIGH DENSITY 偵測器	FLAMMABLE 偵測器	INSPECTION 偵測器	RECOGNIZE 偵測器
偵測氣體	碳氫化合物	空氣以外的 氣體	可燃性氣體	含 CO 的 氣體	碳氫化合物
偵測範圍	0~10000ppm	0 ~ 100%	Methane LEL %	CO 濃度 0.01~0.1%	0~10000ppm
精確度	2 ppm	0.2%	LEL 2%	0.01%	2 ppm
原理	離子導電度 法	熱傳導度法	反應熱法	偵測管比 色法	氣層分析法
優點	◦ 高靈敏度	◦ 測高濃度 ◦ 可測 GAS 的濃度分 佈而得到 洩漏點	◦ 反應可燃性 氣體	◦ 不易故 障	◦ 可識別洩 漏的石油 蒸氣
缺點	◦ 受車輛的 排氣影響	◦ CO ₂ 太多 造成指針 逆震動		◦ 比色計 精密度有 缺點	最好與 FID 合併使用
用途	發現洩漏	發現洩漏 濃度測定	發現洩漏	濃度測定	發現洩漏

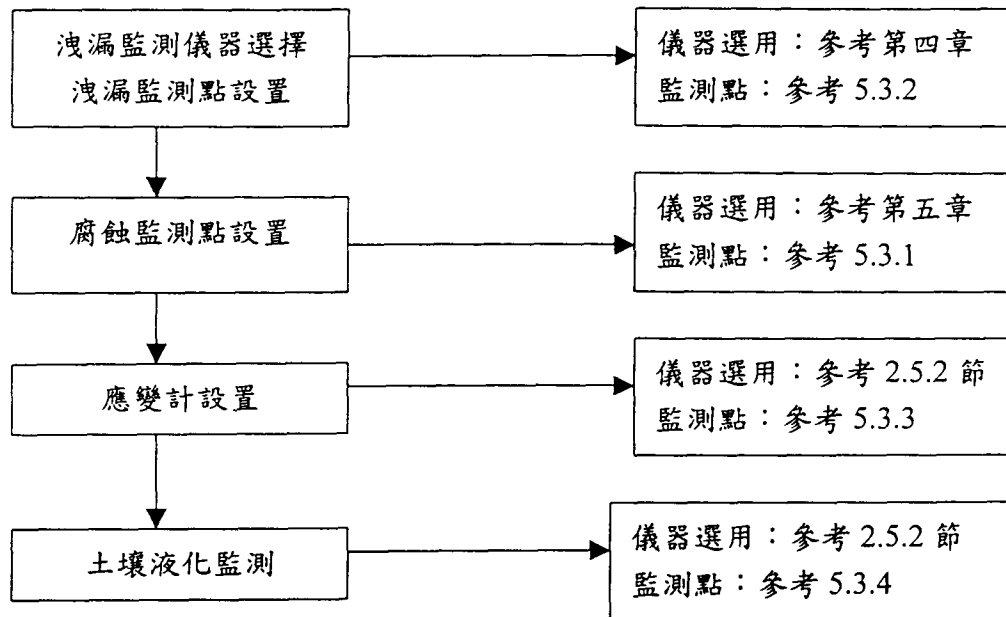
4.3 建議監測方式

- SCADA 系統的使用，而其計算的使用的軟體可以使用體積平衡測漏法以及壓力差/流量差量測分析法

- 除了 SCADA 加上一種可以直接量測到洩漏信號的儀器，並且利用 SCADA 的方法來分辨儀器的誤警信號
- 避免只使用一種方式去做監測

5.1 綜合設置流程表





5.2 各種地形，狀況下的危險度 (D_R) 值圖示

5.2.1 單獨各種地形下，無其他的建物於其附近

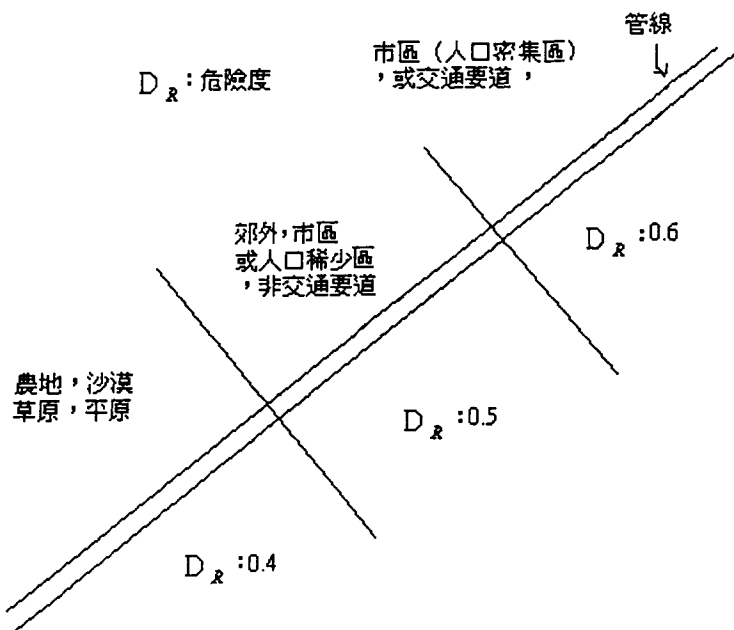


圖 5.1 單獨各種地形下 D_R 值

5.2.2 各種地形下，有其他的建物或特別地形於管線附近

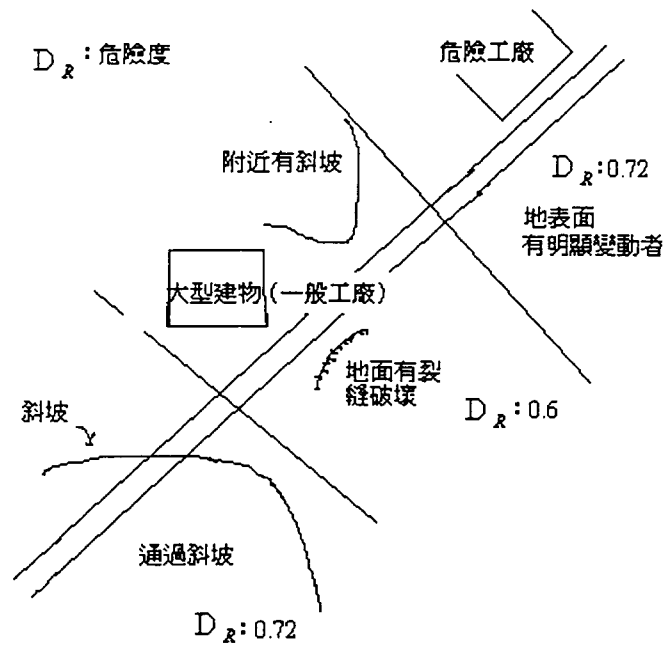


圖 5.2 各種地形下，有其他的建物或特別地形 D_R 值

其他地區

經過確認（理論或實物上）的確能夠造成大位移者可以 D_R :

0.72 設置例如：

通過斷層： $D_R = 0.72$

5.2.3 綜合設置方式

- 當局部破壞率達 1.4 時（5 級破壞率），以長度 L 設置點數為 2 或 3 的建議監測位置（參考 2.4.1）
- 局部地區有建物或特別地形則應以建物或特別地形的 D_R 為主，不應以一般地形的 D_R 為主
- 若是局部地區有不同的危險值，則評估出來的設點值只適用於於局部地區例如：

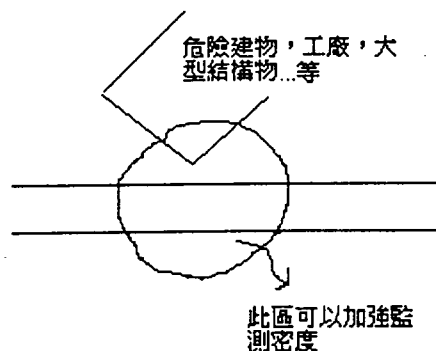


圖 5.3 局部地區設置圖

。設置點數例如下圖：

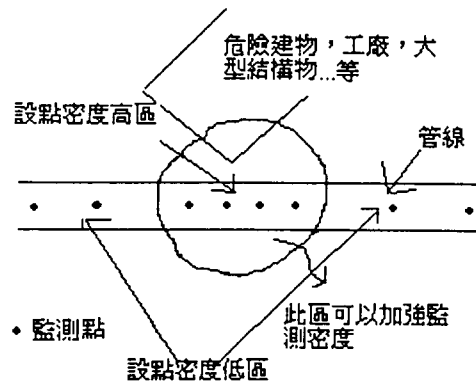


圖 5.4 局部地區監測點設置圖

。一管線段的例子如下圖

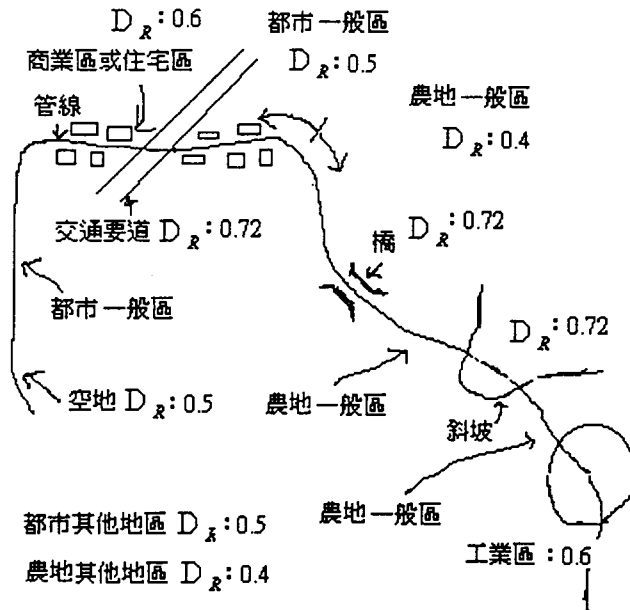


圖 5.5 管線設點圖例

。D_R 的選取優先順序：

局部特殊性 > 局部的一般性

例如：

農地 D_R : 0.4 (一般性)

農地的某條路上經常有重型車輛經過 (車潮多) D_R : 0.72 (特殊性)

5.2.4 特別地形的設置點圖示

(一) 彎管：

- 不需計算，直接設點即可
- 設置方式參考 2.4.4- (五) 的設置方式

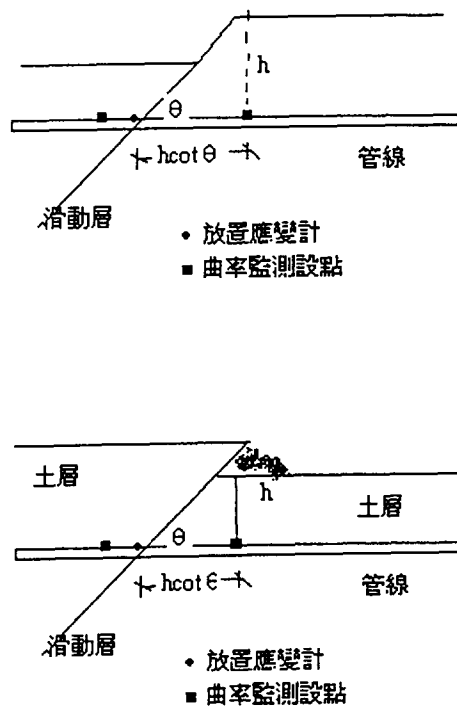
(二) 一般直管設點

- 重點如下所示：
 - 危險度 (D_R) 的選擇
 - 局部地區會設置密度較大
 - 破壞率大於 5 級的地方不需計算，直接以建議監測位置 (L 內設置 2 或 3 點) 設置

(三) 管線過橋樑，斷層 (或經過滑動土層者)

橋樑：(不需計算)

- 由於是一個可以由人員直接觀察的地區建議以設置點數 $N = 1000/L$ 設置
 - 於與地面的接處地區可以設置應變計
- 斷層 (或經過滑動土層者)



(四) 其他地區：

- 經確認 (經驗或理論) 是一個可以造成管線較大變動設置 D_R

可以為 0.6 以上

- 沒有土層覆蓋的地區，建議以 $N=1000/L$ 設置（例如：經過河流的管線）

5.3 腐蝕，測漏設點示意圖

5.3.1 腐蝕儀器監測點設置：

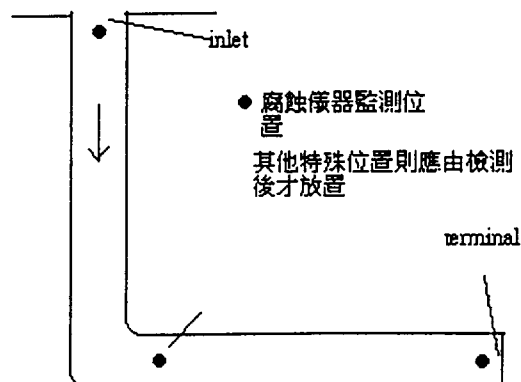
（一）設置儀器前應先檢視

- 運輸物質與管材會產生何種腐蝕物質
- 建議監測位置是否有腐蝕作用，為何種腐蝕情況
- 其他地方是否有易發生腐蝕現象，為何種腐蝕情況

（二）建議監測位置：

- 應放置於局部腐蝕率最大的地方
- 放置原則應接近入口處，溫度，壓力最高應設置腐蝕率監測儀器
- 彎管處除了腐蝕還有沖蝕(erosion)處
- 管線末端
- 不同金屬管材交界處
- 其他地區的腐蝕型態應以事先檢視再埋設腐蝕率監測儀器
- 會發生 (turbulent flow) 處
- 儀器的裝設要能夠使探頭完全進入溶液中

圖例如下：



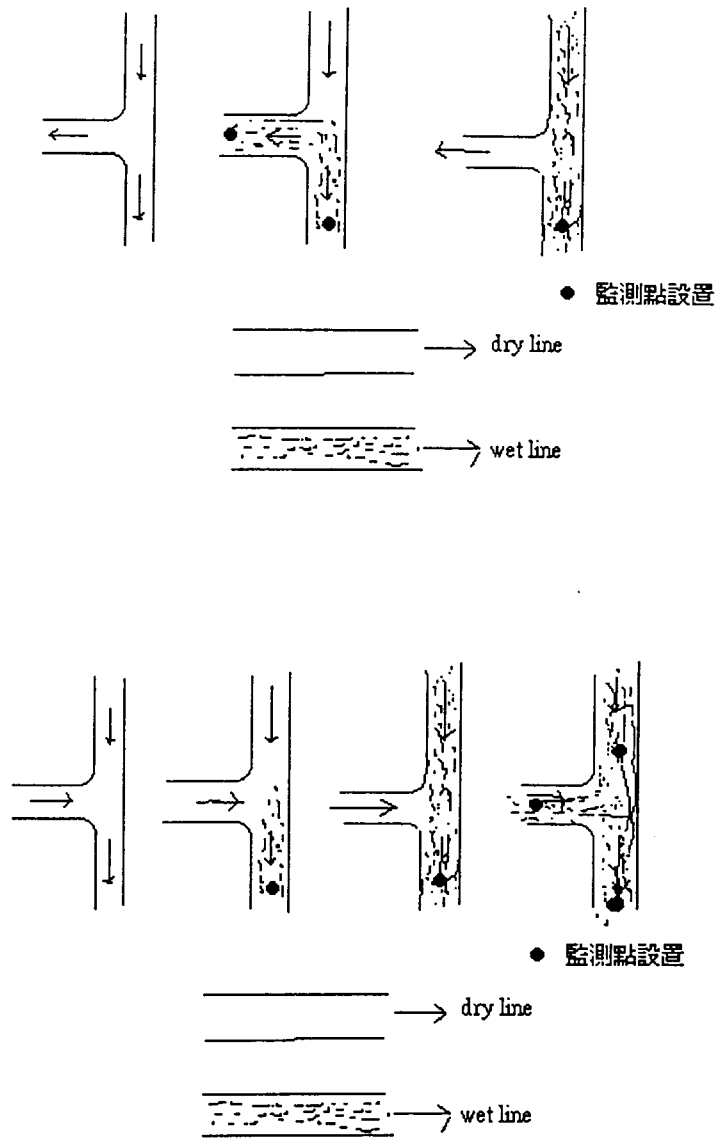


圖 5.7 腐蝕建議監測圖

5.3.2 測漏監測設點

- 選定使用儀器以及監測型態
- 依照第四章測漏的設置距離即可
- 可以參考 5.4 的計算範例

5.3.3 應變計放置

- 熱源與小管的連接部分

- 與大型結構物連接的管線
- 與熱交換機的接頭
- 經常性的溫度與壓力變動（或常超出限制值）之接頭
- 人孔旁的管線（破壞頻繁）

設置圖示如下

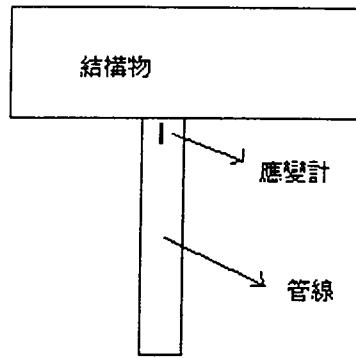


圖 5.8 應變計放置圖

5.3.4 監測土壤液化區

- 相同土壤分佈只需設置監測地下水位儀器 1 個
- 監測位置如下圖所示

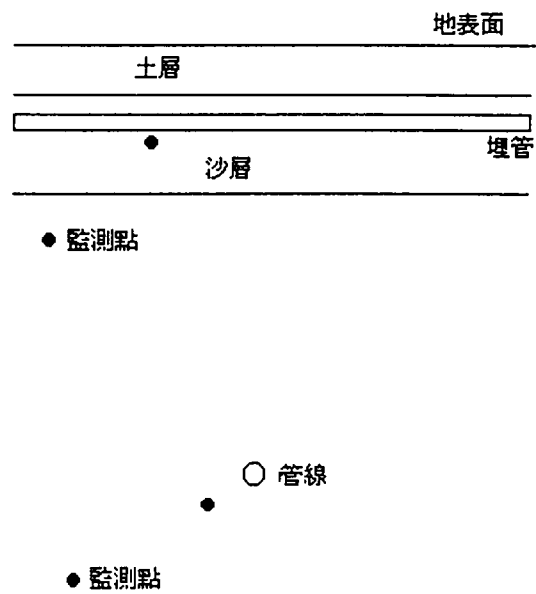


圖 5.9 地下水位監測位置

5.4 計算範例

有一管線狀態如下：

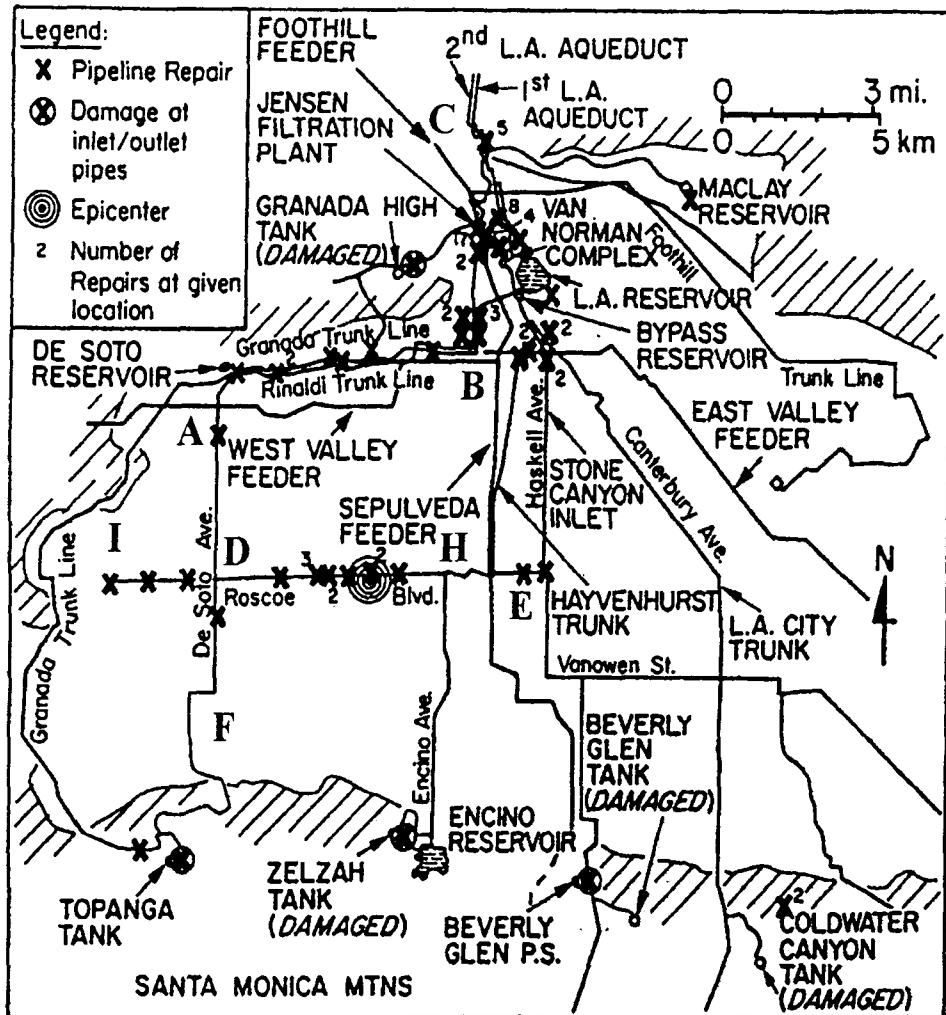


圖 5.10 管線實例

管線條件：

$L = 6$ 公尺

運送物質為液體

腐蝕監測選用儀器：

- 腐蝕率監測儀器 (all on one 形式)

測漏監測儀器：

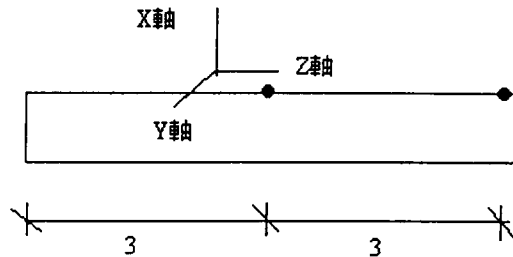
- SCADA 系統 --- 主要
- 音波探測儀 --- 輔助 (裝置範圍 8 km)

管線段 CB, AB, AD, DF, DH, HE, DI 各別計算

- 曲率監測點設置密度及數量
- 腐蝕監測儀器位置及數量
- 測漏監測儀器位置及數量
- 應變計設置位置及數量 (只須設置於 5.3.3 所列條件者)
- 偵測土壤水壓 (FS < 1, 地層條件相同者設置一, 且地震越大又越頻繁處更須設置)

5.4.1 先確定下列數據

(一) 建議監測位置如下(參考 2.4.1)



設點密度： $1000/3 = 333$ (設點數目/公里)

5.4.2 依據 5.1 的計算流程如下

(一) 計算各區段破壞率：

AB 段：

破壞數目：7 個

長度：10 公里

破壞率： $7/10 = 0.7$

同理：

BC 段： $29/10 = 2.9$

AD 段： $1/7.5 = 0.133$

ID 段： $3/5 = 0.6$

DH 段： $9/7.5 = 1.28$

BH 段： $0/6.67 = 0$

(二) 區分 5 級破壞率 (破壞率 ≥ 1.4):

只有 BC 段達到此一條件

(三) S_{max} , S_{min} 的條件是經過選取出來的 (參考第二章)

S_{max} 的條件如下：

a (地震加速度) : 0.4

FS (液化潛能) = 0.75

位於 Class 3 的地區 : 危險度 0.6

$D = 12.75$

計算：

$$\begin{aligned} S_{max} &= a^{\frac{1}{2}} \times L_q^{2/3} \times D_R / D^{\frac{1}{3}} \\ &= 0.4^{0.5} \times (1/0.75)^{2/3} \times 0.6 / 12.75^{\frac{1}{3}} \\ &= 0.142 \end{aligned}$$

S_{min} 的條件如下：

a (地震加速度) : 0.03

FS (液化潛能) : 1.39

位於草地的地區 : 危險度 0.4

$D = 4.5$

計算：

$$\begin{aligned} S_{min} &= 0.03^{0.5} \times (1/1.39)^{2/3} \times 0.4 / (4.5)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0.034 \end{aligned}$$

5.4.3 各區段的管線計算如下：

(一) BC 段

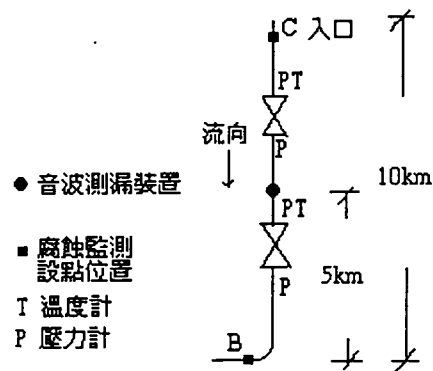


圖 5.11 BC 段儀器設置圖

因為破壞率已超過 5 級，按照建議監測位置設點

變形監測點計算：

- 設點密度 333 (設點數目/公里)
- 設置數量 $333 \times 10 = 3300$ 個

腐蝕監測儀器位置及數量

- 位置：如圖所示
- 數量：2

測漏監測儀器位置及數量

- 音波測漏裝置 (不要裝置接近於彎管，或產生大量噪音干擾處)

數量：1

位置：如圖

- SCADA (軟體測漏系統)

溫度計：2

壓力計：4

位置：如圖

(二) AB 段

假設 AB 段經過地區如下圖

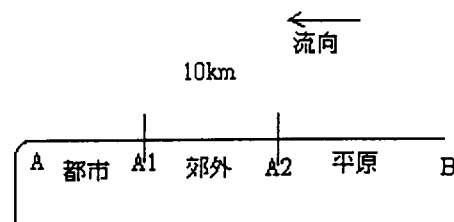


圖 5.12 AB 段所經過地區

假設：A-B 的區段經過都市，郊外，平原，由於直接經影響危險度 (D_R) 的選取，且若土層狀況不一也可如此區分，分別計算 (FS)

對於各個地區單獨計算：

圖例如下：

A-A1 :

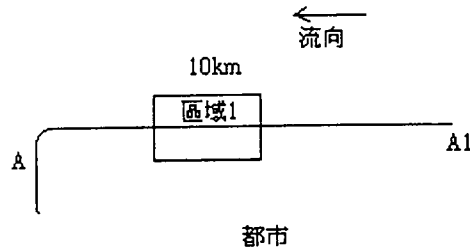


圖 5.13 A-A1 的管線的包含區域

由於區域 1 的危險值與非區域 1 的危險值不同，所以需要分開計算：

非區域 1 的地區：

條件：

a (地震加速度) : 0.07

FS (液化潛能) : 1.1

危險度 : 0.5 (參考 5.2)

D = 4.5

計算：

$$S_n = 0.07^{0.5} \times (1/1.1)^{2/3} \times 0.5 / (4.5)^{\frac{1}{3}}$$
$$= 0.075$$

$$N_n = \frac{(S_n - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} \times K_1 + K_2$$
$$= (0.075 - 0.034) / (0.142 - 0.034) \times 266 + 67$$
$$= 168 \text{ (設置點數/每公里)}$$

區域 1 的地區

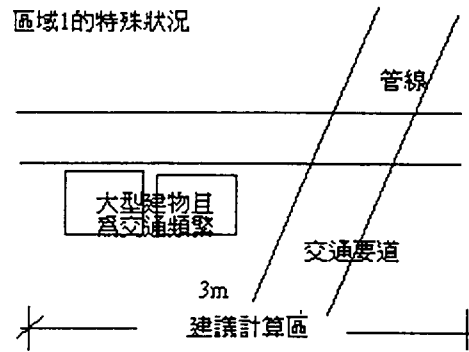


圖 5.14 區域 1 的內部情況

條件：

a (地震加速度)：0.07

FS (液化潛能)：1.1

危險度：0.72 (參考 5.2)

D = 4.5

計算：

$$S_n = 0.07^{0.5} \times (1/1.1)^{2/3} \times 0.72 / (4.5)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0.108$$

$$N_n = \frac{(S_n - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} \times K_1 + K_2$$

$$= (0.108 - 0.034) / (0.142 - 0.034) \times 266 + 67$$

$$= 250 \text{ (設置點數/每公里)}$$

還需 Check 如下：

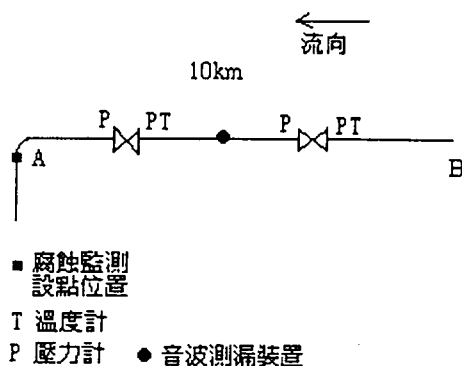
依表 2.3 所示區域 1 為特別限制條件區依表 2.3 其限制設點數目應大於

$$1000/L = 1000/6 = 167 < 250 \text{ ----OK}$$

註：若計算值小於 1000/L 則應使用 1000/L

同理：

A1-A2 的計算方式相同



腐蝕監測儀器位置及數量

- 位置：如圖所示
- 數量：1

測漏監測儀器位置及數量

- 音波測漏裝置
數量：1
位置：如圖
- 若使用超音波儀器
數量： $10000/200 = 50$ 個
位置：每 200 公尺設置 1

5.5 與國外的曲率監測比較

	論文建議	外國曲率監測
監測目標	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 除了只作曲率監測（參考國外）之外 ◦ 自行研究管線破壞模式後—建議加上單點位置值變化，並設置建議監測點位置 ◦ 做 X, Y 軸的曲率監測 ◦ Z 軸也可（若儀器允許） 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 只做曲率監測 ◦ 也可做單點位置值變化（但只限設點區域） ◦ 只做 X 軸的曲率監測
監測方法	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 管線凹口底部設點（儀器若允許） ◦ 或是管線上部設點 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 管線上部設點
監測位置比較	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 確定穩定地區不需監測外，其餘地區皆需監測，只是設置數量的大小不同 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 只作特定局部的區域（例如：結冰後融化的不穩定土層）

<p>監測密度比較</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 局部： 5m ~ 15m ◦ 就整體總數而言 需就個案而言（但會比右邊大很多，初估：380 英哩至少在 20000 點以上，因為做全面性的監測） 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 局部： 5m ~ 15m ◦ 就整體總數而言 國外實例： 380 英哩設置 2300 點（只有極少部分區域（融化的不穩定土層）做監測）
<p>優點</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 當管線曲率到達臨界值時可以得知 ◦ 管線接頭有相對位移時，設置密度大於 1000/L 區，可以得知的機率很高 ◦ 易破壞區，或危險度高的區域可以監測 ◦ 可以預防管線的皺摺現象 ◦ 對於新設管線，可以易於瞭解此區域對管線的影響 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 當管線曲率到達臨界值時可以得知 ◦ 可以預防管線的皺摺現象 ◦ 對於新設管線，可以易於瞭解此區域對管線的影響 ◦ 設點數目少
<p>缺點</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 設點數目多 ◦ 需輔助儀器：例如：應變計設置，PIG ◦ 接頭或管體有裂縫無法得知 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 管線接頭有相對位移時，只有在設點旁，才有機會監測的到 ◦ 需輔助儀器：例如：PIG ◦ 接頭裂縫無法得知 ◦ 但監測區域限於局部，整體效果有限 ◦ 未設點監測區，無法得知任何狀況

5.6 如何減少監測點設置

- 經費若足夠建議以第二章的完整方式作監測
- 若經費有限則建議以重要局部方式作監測

重要局部地區如下所示：

- 局部破壞率高的地方（大於 5 級以及破壞率遠大於 1.4 者）
- 地震強度（MMI 8 以上）的地區
- 地震頻繁帶且潛在土壤液化區
- 前面所敘述過的特別地區
 - 斜坡
 - 彎管
 - 斷層
 - 軟弱土層
 - 旁有大型結構，危險建物
 - 人口密集區

- 經常性 PGD (地表最大位移) 變位處
- 監測點數目計算依前述
- 應變計的放置
 - 同前述
- 土壤液化的監測
 - 同前述
- 腐蝕監測：
 - 採用單一腐蝕率監測儀器
 - 採用前需針對單一管線的腐蝕狀態作一研究，看有哪些腐蝕型態，位於管線的何處，再選用適當的監測儀器，放置於該處作監測
 - 易腐蝕區 (或常有腐蝕所造成破壞的區域) 可以使用
 - all on one 形式腐蝕率監測儀器
 - PIG 的輔助使用
- 測漏監測
 - 一般地區 SCADA 的使用
 - 可以加上音波或超音波儀器作為輔助工具的地區如下
 - 洩漏頻繁區
 - 人口密集區
 - 危險工廠
 - 經認定為危險區域者

第六章 結論與建議

由於管線因地點，材料，運送物質，環境等因素的使用上不同損壞差異性很大，甚至不同公司使用相同材質的管線，可能損壞的損壞的型態上可能有完全不同（這可以由國外公司的損壞報告與管線災害的報告上比較出來），因此對於各種破壞形式應以自己公司的破壞方式為主要參考

1. 儀器使用上的建議：

- 對於個別公司使用時，上述的儀器的優缺點只能做一個參考，對於資料的研判上仍須有自己公司的一套標準去判斷錯誤訊號，尤其是對於雜訊，或其他足以影響判讀的干擾更須如此
- 由於沒有一種完美無缺的儀器，因此對於任何一種的監測建議使用兩種以上的儀器監測，提供兩組以上的資料判讀

2. 變形（曲率）監測：

對於變形上的監測可以直接以第二章建議的方式去設置，計算監測點，但若經費有限，則建議依照 5.6 節所述的方式監測

3. 腐蝕監測：

- 在裝設前，應先檢測哪些地方有哪些腐蝕型態
- 對於線上及時的監測系統---採取腐蝕率監測
 - 對於腐蝕率的監測，建議使用多探頭式的（all on one）
 - 若採用單一儀器型態，則需考慮下列因素
 - 待監測區有何種腐蝕型態
 - 此儀器可否偵測到

- 反應時間符合需要否
- 精確度符合需要否
- 對於防蝕披覆的檢測建議使用電磁波衰減法
- 對於檢測內，外部腐蝕缺陷，可以使用 PIG，因為 PIG 除了可以 on-line 操作之外，是所有腐蝕監測方法中可以最準確的告知腐蝕缺陷（大小，形狀，深度）的一種方法
- 但若經費有限，則建議依照 5.6 節所述的方式監測

4. 對於測漏監測：

建議可以使用軟體測漏作為主要，加上一音波或超音波儀器作為輔助工具，使用軟體測漏來作錯誤訊號的修正

- 但若經費有限，則建議依照 5.6 節所述的方式監測

5. 監測顯示以及報告的建議：

- 可以使用 PC 的形式，使所有現在管線狀況資料都顯示於主機螢幕上
 - 資料包括現行所有的監測項目
 - 變形監測
 - 腐蝕監測
 - 洩漏監測
 - 應變計監測
 - 水位監測
 - 警戒值，行動值的顯示
 - 管線位置圖
 - 超過警界值可以以黃色圖形桿（bar）標示此值
 - 超過警界值可以以紅色圖形桿（bar）標示此值

- 資料庫的建立是必須的
 - 管線一切資料包括下列（參考附錄 9）
 - 年份
 - 材質分佈
 - 破壞資料完整記錄
 - 土層資料
 - 土壤液化區分佈
 - 地震大小分佈

- 破壞紀錄的完整記錄應包括下列：（參考附錄 9.4）
 - 時間
 - 地點
 - 地震強度
 - 破壞型態
 - 周圍的土層狀況
 - 破壞原因分析（參考表 1.1）
 - 還要有隨時可以調閱查詢的功能

6. 總體檢時的建議：

可以利用 PIG 去做包括管線，定位，曲率，內外腐蝕缺陷的精確檢查，並且作完整資料的報告，並與即時監測系統上的數值作比較，作為監測方法上的修正依據。

參考文獻

1. Pangborn, R. N. and Ed, E. A., "Damage Assessment, Reliability, and Life Prediction of Power Plant Components," The 1990 Pressure and Piping Conference, ASME, New York, 1990.
2. Jeyapalan, J. K. and Jeyapalan, M., "Advances in Underground Pipeline Engineering," ASCE, New York, 1995, 860p.
3. Mohinder, L. N., "Piping Handbook," 6ed ed., McGraw-Hill, 1992.
4. Helmut, T., "Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping," 1965, 427p.
5. Chan, S. L. I. and Tsai, W. T., "Corrosion Prevention for Industrial Safety and Environmental Control," Proceeding of the 9th Asian-Pacific Corrosion Control Conference, Corrosion Engineering Association of the R.O.C., 1995.
6. Denny, A. J., "Principles and Prevention of Corrosion," Macmillan Publishing Company, 1991.
7. Bennett, B. A., "Pipeline Infrastructure," ASCE, New York, 1988.
8. Pickell, M. B., "Pipeline Infrastructure II," ASME, New York, 1993.
9. Collacott, R. A., "Structural Integrity Monitoring," London New York Chapman and Hall, 1985.
10. Hamada, M. and O'Rourke, T. D., "Proceedings from the Sixth Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction," NCEER, 1996.
11. Fontana, M. G., "Corrosion Engineering," 3rd ed., McGraw-Hill Book Company, 1986.
12. O'Rourke, T.D. and Hamada, M., "Proceeding from the second U.S.-Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines," NCEER, 1989.
13. Jacob, K. H., "Proceedings from the Symposium on Seismic Hazards, Ground Motions, Soil-Liquefaction and Engineering Practice in Eastern North America," NCEER, 1987.
14. Schiff, A. J., "Northridge Earthquake Lifeline Performance and Post-Earthquake Response," Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph No.8, ASCE, New York, 1995.
15. Kienow, K. K., "Pipeline Design and Installation," ASCE, New York, 1990.
16. Jeyapalan, J. K., "Advances in underground pipeline engineering," ASCE, New York, 1985.
17. Brown, G. K. and Rothwell, N., "Corrosion Surveillance for Continuous

- Pipeline Integrity Monitoring,” Corrosion Prevention & Control February, 1993, pp.19-23.
18. Rowell, P., “Turbine Flowmeters , Monitor of Choice for Custody Transfer,” Control Engineering, Vol.43, No.7, 1996, pp.85-86.
 19. Khadakkar, A. G., Sankar, K. R., Rathinam, P. N., R,Rao, S. P. and Popli, J. K., “Case Study of Safe Lowering of an in Service Gas Pipeline,” Strain, Vol.33, No2, 1997, pp.57-60.
 20. Schubert, P. F., Sheridan, D., R, Cooper, M. D. and Banchieri, A. J., “Monitoring Gas Pipeline,” Mechanical Engineering, Vol.118, No.12, 1996, pp.69-71.
 21. Um, J. S. and Wright, R., “Pipeline Construction and Reinstatement Monitoring: Current Practice, Limitations and the Value of Airborne Videography,” Science of the Total Environment, Vol.186, No3, 1996, pp.221-230.
 22. Khadakkar, A. G., Sankar, K. R., Rathinam, P, N., R, Rao, S. P. and Popli, J.K., “Case Study of Safe Lowering of an in Service Gas Pipeline,” Strain, Vol.33, No.2, 1997, pp.57-60.
 23. Jeyapalan, J. K., “Advances in Underground Pipeline Engineering,” 1985, 585p.
 24. Robinson, R. C., “Computerized Corrosion Monitoring for Metallic Pipeline Structures,” Materials Performance, Vol.32, No.2, 1993, pp.30-34.
 25. Rotithor, H. G., “High-Performance Pipelined Architecture for Measurement and Monitoring of Multiple Sensor Signals,” IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, Vol.41, 1992, pp.808-814.
 26. Laursen, P. and Atherton, D. L., “Effects of Line Pressure Stress on Magnetic Flux Leakage Patterns,” British Journal of Non-Destructive Testing, Vol.34, No.6, 1992, pp.285-288.
 27. Solomon, I. and Maddocks, S., “Data Loggers and Computerized Systems for Pipeline Stray Current Monitoring,” Materials Performance, Vol.31, No.1, 1992, pp.23-27.
 28. “Metering, Other Equipment Head for Colombian Gas Pipeline,” Oil & Gas Journal, Vol.94, No.41, 1996, 3pp.
 29. Reeve, A., “Scada for Pipeline Monitoring and Control,” Control & Instrumentation, v 19, n 11, 1987, pp. 55, 57, 59.
 30. Pope, D. H. and Morris, E., “Some Experiences with Icrobiologically Influenced Corrosion of Pipelines,” Materials Performance, Vol.34, No.5, 1995, pp.23-28.
 31. “Beyond the Plant Feed Line: Issues in Gas Transportation,” Power, Vol.141, 1997, pp.27-8.
 32. “SCADA Helps Pipeline Boost Safety, Savings, Quality,” Control

- Engineering, Vol.42, 1995, pp.52.
33. 葉泓暉,「施工安全監測系統規劃與分析」, 國立交通大學碩士論文, 民國 85 年 6 月。
 34. 「共同管道和地下管線設計與防蝕維護研討會論文集」, 中華民國防蝕工程學會, 民國 84 年 3 月。
 35. 馬殷邦、馮玉明、林永鵬、蕭德勇、馬國棟、鍾年勉,「核能電廠管路中流場對沖/腐蝕之影響與檢測應用」, 臺電工程月刊, 581 卷, 1997, pp.1-20。
 36. 江福財、許世希、賴文壽、沈宏俊,「聲射技術在短程地下管線之測漏研究」, 石油季刊, 34:1, pp.21-28。
 37. 蘇春華,「動態模式在天然氣管線輸送操作上之應用」, 石油季刊, 34:1, pp.29-35。
 38. 蘇俊吉、沈宏俊、陳孟宏,「地下管線風險性評估探討」, 石油季刊, 33:4 期, pp.61-69。
 39. 吳覺宇,「地下管線之安全與檢測技術(四)」, 工業材料, 105 期, pp.112-118。
 40. 吳覺宇,「地下管線之安全與檢測技術(三)」, 工業材料, 104 期, pp.102-105。
 41. 吳覺宇,「地下管線之安全與檢測技術(二)」, 工業材料, 103 期, pp.97-104。
 42. 吳覺宇,「地下管線之安全與檢測技術(一)」, 工業材料, 102 期, pp.102-110。
 43. 梁文泉,「模擬技術應用於天然氣管線測漏」, 石油季刊, 31:2 期, pp.65-70。
 44. 蔡猷鐘、鍾政雄,「地下管線應力分析」, 化工技術, 17 期, pp.103-110。
 45. 「SSI 管線模擬與測漏軟體」, 化工, 40:4 期, pp.46-48。
 46. 江福財、陳孟宏、林吉義,「地下管線腐蝕缺陷之檢測與評估」, 石油季刊, 28:3 期, pp.67-74。
 47. 芮況、鍾守文、鄧世沫等,「放射性同位素示蹤技術應用於地下管線洩漏偵檢研究(二)牽引式遙控監視攝影系統之應用」, 檢測科技, 10:4 期, pp.56-61。
 48. 童永黔、芮況、鍾守文等,「放射性同位素示蹤技術應用於地下管線洩漏偵檢研究」, 檢測科技, 10:2 期, pp.4-9。
 49. 江福財、陳孟宏,「地下管線腐蝕剩餘強度評估之探討」, 檢測科技, 10:1 期, pp.4-11。
 50. 曾銘棟,「地下管線被覆缺陷測量方法探討」, 材料與社會, 4:11 期, pp.39-43。
 51. 許世希,「地下管線內部腐蝕位置檢測」, 檢測科技, 8 卷 5 期, 1990, pp.9-

13。

52. 林振村、廖惠貞、葉淵源，「生產井油管及油氣管線內之腐蝕偵測及其應用」，石油季刊，24:4 期，pp.20-24。
53. 鄭俊彥譯，「淺談腐蝕基礎理論(上)」，防蝕工程，民國 76 年，pp.95-113。
54. 鄭俊彥譯，「淺談腐蝕基礎理論(下)」，防蝕工程，民國 77 年 6 月，第二卷第 2 期，pp.63-79。
55. 楊聰仁，「腐蝕概論」，防蝕工程，六卷二期，民國 81 年 6 月，pp.57-65。
56. 王繼勝，「地下油管滲漏與地層污染檢測」，現代營建，81.10，pp.29-33。
57. 蔡克群，「地下管線外部腐蝕檢測技術」，材料與社會，70 期，81.10。
58. 曾銘棟，「地下管線被覆缺陷偵測方法探討」，材料與社會，4:11，1990.11。
59. 陳兆年，「應用透地雷達技術於土木工程結構物之非破壞性檢測」，國立中央大學應用地質研究所碩士論文，1997。
60. 沈國瑞，「土壤力學精要」，文笙書局，1996。
61. 施國欽，「大地工程學(二)」，文笙書局，1997。
62. 馮玉明、馬殷邦、馬國棟、鐘年勉，「電廠管路薄化位置預測與檢測應用」，台電工程月刊，606 期，1998，pp.10-27。
63. 陳四桂、翁榮洲，「地下管線檢測技術的現況與展望」，材料與社會，70 期，1992。
64. 鐘次文，「長途輸氣管線測漏系統之研究」，22 卷 3 期，pp.144-148。
65. 林慶義、楊秀之、郭仁洋等，「地下管線檢測技術探討」，檢測科技，8:4 期，1990，pp.97-110。

Selected Pipeline Earthquake Loss Study Results

Project/Earthquake/System	Pipe Length (km)	Number of Failures	Failure Rate /km	Dollar Losses
Marin Municipal Water District (Kennedy/Jenks, 1995)				
San Andreas Earthquake - Backbone System	165	400	0.41	
San Andreas Earthquake - Distribution System	1250	5000	0.25	
Unified Sewerage Agency, Hillsboro Oregon (Dames & Moore, 1995)				
Operating Basis Earthquake	112	37	0.33	\$0.5 million (1% of \$50 million total pipeline replacement cost; 6% of total losses including WWTP's)
Design Basis Earthquake	112	910	8.1	\$12.2 million (24% of \$50 million total pipeline replacement cost; 15% of total losses including WWTP's)
City of Bellevue, Washington (Dames & Moore, 1996)				
Operating Basis Earthquake	887	24	0.03	
Design Basis Earthquake	887	350	0.39	
Seattle, Washington (Ballantyne, 1990)				
Operating Basis Earthquake	1055	84	0.08	\$0.1 million
Design Basis Earthquake	1055	831	0.78	\$1.9 million (assumes repair cost double of OBE because of more severe post-earthquake conditions)
Everett, Washington (Kennedy/Jenks, 1991)				
Design Basis Earthquake	570	196	0.34	\$0.63 million
Greater Vancouver Regional District, Burnaby, B.C., Canada (Kennedy/Jenks, 1993)				
Operating Basis Earthquake	440	4	0.01	
Design Basis Earthquake	440	31	0.07	

Summary of Damage to Water Distribution F

Waterworks Bureau	Damages mode kind of pipe	Damages to pipe bodies					Damages to joint						
		Straight pipe	Fitting			Subtotal	Slip-out		Failure		Intrusion		Unknow
			Bends	Branch	Others		Straight pipe	Fitting	Straight pipe	Fitting	Straight pipe	Fitting	
Kobe City	DIP	9	0	1	0	10	669	23	0	0	5	0	0
	CIP	155	44	36	18	253	118	13	6	3	0	0	0
	VP	11	0	0	0	11	11	1	1	0	0	0	0
	SP	9	1	0	0	10	0	0	3	0	0	0	0
	SGP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ACP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unknown	16	1	3	0	20	99	2	1	1	0	0	0
Subtotal	200	46	40	18	304	897	39	11	4	5	0	0	
Ashiya City	DIP	0	0	0	0	0	65	18	0	0	0	0	0
	CIP	54	3	9	1	67	3	0	14	0	0	0	0
	VP	33	2	2	0	37	10	0	61	2	0	0	0
	SP	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	SGP	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	ACP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal	88	5	11	1	105	78	18	76	2	0	0	0	
Nishinomiya City	DIP	0	0	0	0	0	234	10	0	0	4	0	0
	CIP	68	8	10	0	86	85	2	2	0	1	0	0
	VP	52	24	12	0	88	51	15	56	0	3	0	0
	SP	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	SGP	2	1	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0
	ACP	30	0	1	0	31	9	0	2	0	0	0	0
	Unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal	153	33	23	0	209	380	27	61	0	8	0	0	
Takarazuka City	DIP	0	0	0	0	0	97	0	0	0	0	0	0
	CIP	2	6	7	0	15	0	0	2	0	0	0	0
	VP	29	0	0	0	29	1	0	0	0	0	0	0
	SP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SGP	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	ACP	44	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0
	Unknown	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal	77	6	7	0	90	99	0	2	0	0	0	0	
Amagasaki City	DIP	0	0	0	0	0	35	4	0	0	0	0	0
	CIP	31	5	8	0	44	8	2	2	1	0	0	0
	VP	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0
	SP	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
	SGP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ACP	8	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
	Unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal	41	5	8	0	54	44	6	7	1	0	0	0	
Osaka City	DIP	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
	CIP	139	2	1	0	142	29	1	6	1	0	0	0
	VP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SGP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ACP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Unknown	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal	140	2	1	0	143	46	1	6	1	0	0	0	
Hokudan-cho	DIP	1	0	0	0	1	9	0	0	0	1	0	0
	CIP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VP	22	5	5	0	32	7	0	7	0	0	0	0
	SP	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	SGP	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	ACP	4	0	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0
	Unknown	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Subtotal	29	5	8	0	42	16	0	8	0	1	0	0	
Total of the above	DIP	10	0	1	0	11	1126	55	0	0	10	0	0
	CIP	449	68	71	19	607	243	18	32	5	1	0	0
	VP	147	31	19	0	197	81	16	128	2	3	0	0
	SP	14	1	0	0	15	0	0	5	0	0	0	0
	SGP	3	1	0	0	4	2	0	2	0	0	0	0
	ACP	86	0	3	0	89	9	0	2	0	0	0	0
	Unknown	19	1	4	0	24	99	2	2	1	0	0	0
Total	728	102	98	19	947	1560	91	171	8	14	0	44	

1. Most of damages to the pipe bodies of DIP were due to local breakage by hard objects such as H-beams directly below installed in the upper portion of the culvert.
2. In addition to the damages described above, there were works for temporary piping, exploratory drilling, and gate v

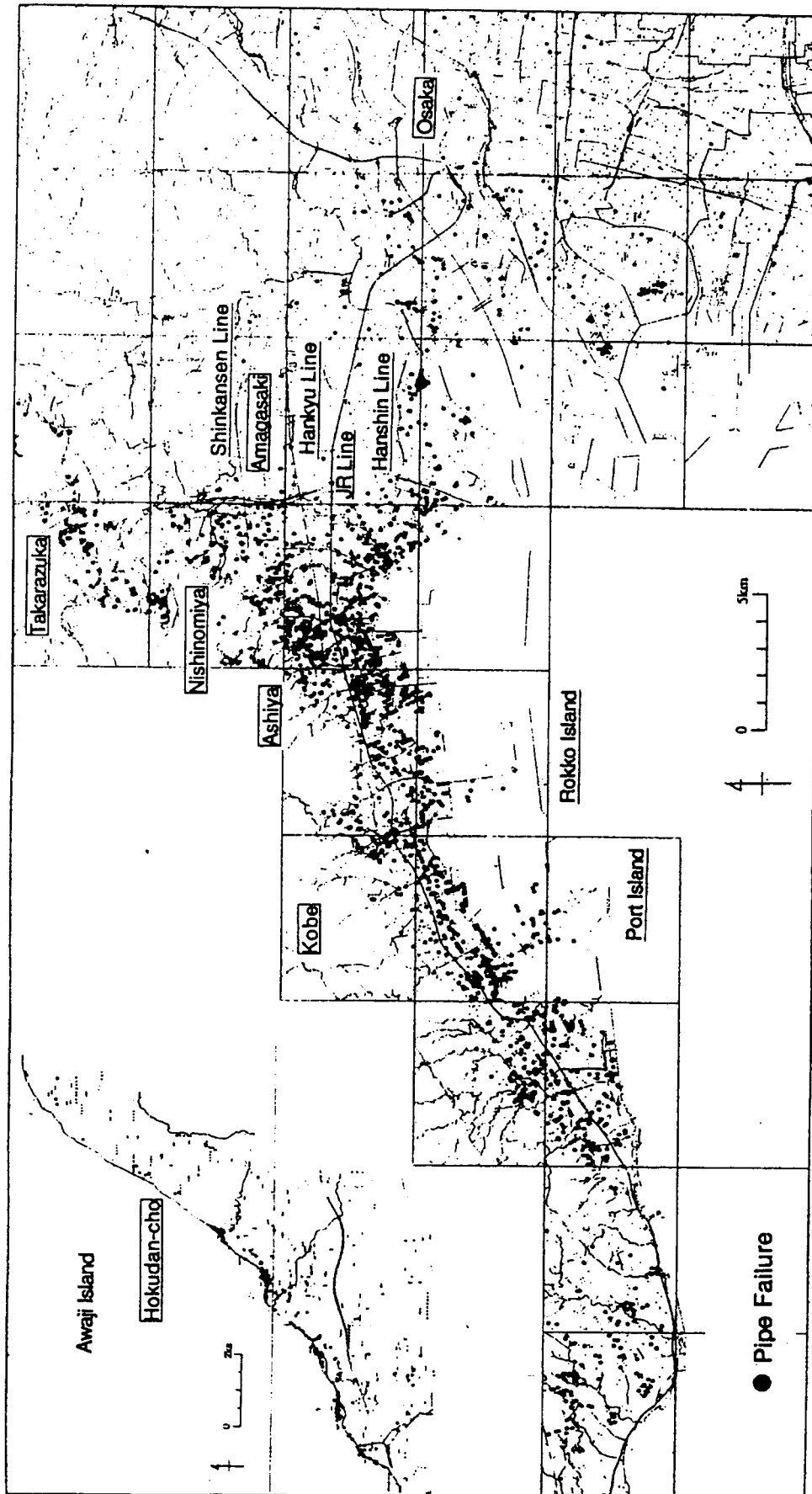
Pipes in 7 Waterworks Bureaus

No.	Subtotal	Unknown	Total	References		Accessories				Unknown	Subtotal	Total of damages
				Extension (km)	Mean damage rate (case/km)	Air valves	Gate valves	Fire hydrants	Snap taps & others			
3	700	0	710	3452.1	0.206							
1	141	0	394	316.4	1.245							
0	13	0	24	128.6	0.187							
0	3	0	13	104.9	0.124							
0	0	0	0	—	—							
0	0	0	0	—	—							
0	103	0	123	—	—							
4	960	0	1264	4002	0.316	127	281	60	25	0	493	1757
3	86	4	90	72.1	1.249							
0	17	4	88	89.4	0.985							
1	74	5	116	22.9	5.066							
1	1	0	2	0.3	5.797							
0	1	0	1	—	—							
0	0	0	0	—	—							
0	0	0	0	—	—							
5	179	13	297	184.7	1.608	2	53	0	10	0	65	362
8	256	0	256	635.1	0.403							
0	90	0	176	97.7	1.801							
3	128	0	216	185.9	1.162							
0	0	0	1	29.1	0.034							
0	2	0	5	2.3	2.178							
1	12	0	43	16.2	2.655							
0	0	0	0	—	—							
2	488	0	697	966.3	0.721	12	80	11	24	0	127	824
1	98	6	104	732.0	0.142							
0	2	3	20	117.0	0.171							
0	1	0	30	6.9	4.348							
2	0	0	0	—	—							
2	1	0	1	17.0	0.059							
0	0	0	44	1.3	33.846							
0	0	2	4	—	—							
1	102	11	203	874.2	0.232	0	16	1	5	0	22	225
1	39	0	39	721.3	0.054							
1	13	0	57	110.9	0.514							
1	4	0	4	6.9	0.580							
1	2	0	4	7.3	0.548							
1	0	0	0	—	—							
1	0	0	8	0.3	26.667							
1	0	0	0	—	—							
58	0	0	112	846.7	0.132	0	12	1	5	0	18	130
19	0	0	19	3508.0	0.005							
55	0	0	197	1374.0	0.143							
0	0	0	0	—	—							
0	1	1	1	110.0	0.009							
0	0	0	0	—	—							
0	0	0	0	—	—							
0	0	0	1	—	—							
74	1	1	218	4992	0.044	0	0	0	4	13	17	235
11	3	0	15	40.7	0.368							
0	0	0	0	1.7	0							
15	0	0	47	80.1	0.587							
0	0	0	1	8.9	0.113							
0	0	0	1	—	—							
0	3	0	9	22.7	0.397							
1	19	0	21	—	—							
27	25	0	94	154.1	0.61	1	1	0	1	0	3	97
1209	13	0	1233	9161.3	0.135							
318	7	0	932	2107.1	0.442							
235	5	0	437	431.3	1.013							
6	1	0	22	260.5	0.084							
4	0	0	8	19.3	0.415							
12	3	0	104	40.5	2.57							
104	21	0	149	—	—							
1888	50	0	2885	12019.9	0.24	142	443	73	74	13	745	3630

pipe body or due to differential settlement of the ground through which pipes were

lives-inserting

(Japan Water Works Association, 1996)



Distribution of Damage to Water Distribution Pipes in 7 Waterworks Bureaus

(Japan Water Works Association, 1996)

**OFFICE OF PIPELINE SAFETY
HAZARDOUS LIQUID PIPELINE OPERATORS
ACCIDENT SUMMARY STATISTICS BY YEAR
01/01/1984 TO 06/21/1999**

Year	No. of Incidents	Fatalities	Injuries	Property Damage	Net Loss bbls
1984	186	0	17	\$2,065,016	172,610
1985	183	5	18	\$5,132,647	149,460
1986	209	4	32	\$16,027,846	219,413
1987	237	3	20	\$13,140,434	312,654
1988	193	2	19	\$32,414,912	114,251
1989	163	3	38	\$8,813,604	121,179
1990	180	3	7	\$15,720,422	54,663
1991	216	0	9	\$37,788,944	55,774
1992	212	5	38	\$38,651,062	68,742
1993	230	0	10	\$28,873,651	58,108
1994	243	1	7	\$56,453,604	112,348
1995	188	3	11	\$32,518,689	53,113
1996	195	5	13	\$49,704,731	96,141
1997	175	0	5	\$36,565,295	105,952
1998	154	1	2	\$57,211,497	51,730
1999	39	0	1	\$7,336,040	14,722
Totals	3,003	35	247	\$438,468,394	1,776,336

Historical totals may change as OPS receives supplemental information on accidents.

(OPS 資料統計~1999.6.21)

全長：251238 公里

破壞率：3003/251238 = 0.012

◦ σ_t 與 σ_p 的計算如下：

$$\sigma_t = E\alpha\Delta T$$

其中

σ_t ：溫度所造成的軸向力

E：楊式係數

α ：熱膨脹係數

ΔT ：與裝置時的溫度差

$$\Delta T = (T_2 - T_1)$$

T_2 ：管線安裝溫度

T_1 ：管線最大或最小操作溫度

$$\sigma_p = \frac{PD}{4t}$$

其中

σ_p ：設計內壓所造成

P：設計內壓力

D：管線外徑

t：管線厚度

規範所規定允許軸向應力：

ASME B31.4 (用於液體管線)：

$$S_L = 0.75 S_a$$

其中：

S_L ：允許應力值

$$S_a = 0.72 \text{ SMYS}$$

SMYS：Specified Min Yield Strength (請見下表-3)

ASME B31.8 (用於氣體管線線):

$$S_L = 0.75 \text{ SFT}$$

其中

S_L : 允許應力值

S : SMYS

F : 設計因子 (見表-1)

T : 溫度因子 (見表-2)

表-1 :

Type	Design Factor F
A	0.72
B	0.6
C	0.5
D	0.4

Type A : 人口稀少的地區，例如，沙漠，高山，農田

Type B : 都市，城鎮邊緣

Type C : 都市，城鎮的建築物沒有超過3層樓高

Type D : 高層建物的地區

表-2 :

溫度°F	溫度因子 T
250 或以下	1.000
300	0.967
350	0.933
400	0.900
450	0.867

表-3 SMYS 如下表所示：

Allowable stress values (S) shown in this Table are equal to $0.72 \times E$ (weld joint factor) \times specified minimum yield strength of the pipe.

Allowable stress values shown are for new pipe of known specification. Allowable stress values for new pipe of unknown specification, ASTM A 120 specification or used (reclaimed) pipe shall be determined in accordance with 402.3.1.

For some Code computations, particularly with regard to branch connections [see 404.3.1 (d) (3)] and expansion, flexibility, structural attachments, supports, and restraints (Chapter II, Part 5), the weld joint factor E need not be considered.

For specified minimum yield strength of other grades in approved specifications, refer to that particular specification.

Allowable stress value for cold worked pipe subsequently heated to 600 F or higher (welding excepted) shall be 75 percent of value listed in Table.

Definitions for the various types of pipe are given in 400.2.

Specification	Grade	Specified Min Yield Strength psi	Notes	(E) Weld Joint Factor	(S) Allowable Stress Value -20 F to 250 F psi
Seamless					
API 5L	A25	25,000	(1)	1.00	18,000
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106	A	30,000	(1) (2)	1.00	21,600
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106	B	35,000	(1) (2)	1.00	25,200
ASTM A 106	C	40,000	(1) (2)	1.00	28,800
ASTM A 524	I	35,000	(1)	1.00	25,200
ASTM A 524	II	30,000	(1)	1.00	21,600
API 5LU	U80	80,000	(1) (4)	1.00	57,600
API 5LU	U100	100,000	(1) (4)	1.00	72,000
API 5LX	X42	42,000	(1) (2) (4)	1.00	30,250
API 5LX	X46	46,000	(1) (2) (4)	1.00	33,100
API 5LX	X52	52,000	(1) (2) (4)	1.00	37,450
API 5LX	X56	56,000	(1) (4)	1.00	40,300
API 5LX	X60	60,000	(1) (4)	1.00	43,200
API 5LX	X65	65,000	(1) (4)	1.00	46,800
API 5LX	X70	70,000	(1) (4)	1.00	50,400
Furnace Welded-Butt Welded					
ASTM A 53		25,000	(1) (2)	0.60	10,800
API 5L Class I & Class II	A25	25,000	(1) (2) (3)	0.60	10,800
API 5L (Bessemer), ASTM A 53 (Bessemer)		30,000	(1) (2) (5)	0.60	12,950
Furnace Welded-Lap Welded					
API 5L Class I		25,000	(1) (2) (6)	0.80	14,400
API 5L Class II		28,000	(1) (2) (6)	0.80	16,150
API 5L (Bessemer)		30,000	(1) (2) (6)	0.80	17,300
API 5L Electric Furnace		25,000	(1) (2) (6)	0.80	14,400
Electric Resistance Welded and Electric Flash Welded					
API 5L	A25	25,000	(1) (7)	1.00	18,000
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 135	A	30,000	(2)	0.85	18,360
API 5L, API 5LS, ASTM A 53, ASTM A 135	A	30,000	(1)	1.00	21,600
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 135	B	35,000	(2)	0.85	21,420
API 5L, API 5LS, ASTM A 53, ASTM A 135	B	35,000	(1)	1.00	25,200
API 5LS, API 5LX	X42	42,000	(1) (2) (4)	1.00	30,250
API 5LS, API 5LX	X46	46,000	(1) (2) (4)	1.00	33,100
API 5LS, API 5LX	X52	52,000	(1) (2) (4)	1.00	37,450
API 5LS, API 5LX	X56	56,000	(1) (4)	1.00	40,300
API 5LS, API 5LX	X60	60,000	(1) (4)	1.00	43,200
API 5LS, API 5LX	X65	65,000	(1) (4)	1.00	46,800
API 5LS, API 5LX	X70	70,000	(1) (4)	1.00	50,400
API 5LU	U80	80,000	(1) (4)	1.00	57,600
API 5LU	U100	100,000	(1) (4)	1.00	72,000

(Piping Handbook, 1992)

Specification	Grade	Specified Min Yield Strength psi	Notes	(E) Weld Joint Factor	(S) Allowable Stress Value -20 F to 250 F psi
Electric Fusion Welded					
ASTM A 134	-	-		0.80	-
ASTM A 139	A	30,000	(1) (2)	0.80	17,300
ASTM A 139	B	35,000	(1) (2)	0.80	20,150
ASTM A 155	-	-	(2) (8)	0.90	-
ASTM A 155	-	-	(1) (8)	1.00	-
Submerged Arc Welded					
API 5L, API 5LS	A	30,000	(1)	1.00	21,600
API 5L, API 5LS	B	35,000	(1)	1.00	25,200
API 5LS, API 5LX	X42	42,000	(1) (2) (4)	1.00	30,250
API 5LS, API 5LX	X46	46,000	(1) (2) (4)	1.00	33,100
API 5LS, API 5LX	X52	52,000	(1) (2) (4)	1.00	37,450
API 5LS, API 5LX	X56	56,000	(1) (4)	1.00	40,300
API 5LS, API 5LX	X60	60,000	(1) (4)	1.00	43,200
API 5LS, API 5LX	X65	65,000	(1) (4)	1.00	46,800
API 5LS, API 5LX	X70	70,000	(1) (4)	1.00	50,400
API 5LU	U80	80,000	(1) (4)	1.00	57,600
API 5LU	U100	100,000	(1) (4)	1.00	72,000
ASTM A 381	Y35	35,000	(1) (2)	1.00	25,200
ASTM A 381	Y42	42,000	(1) (2)	1.00	30,250
ASTM A 381	Y46	46,000	(1) (2)	1.00	33,100
ASTM A 381	Y48	48,000	(1) (2)	1.00	34,550
ASTM A 381	Y50	50,000	(1)	1.00	36,000
ASTM A 381	Y52	52,000	(1)	1.00	37,450
ASTM A 381	Y60	60,000	(1)	1.00	43,200
ASTM A 381	Y65	65,000	(1)	1.00	46,800

- NOTES (1) Weld joint factor *E* (see Table 402.4.3) and allowable stress value are applicable to pipe manufactured after 1958.
(2) Weld joint factor *E* (see Table 402.4.3) and allowable stress value are applicable to pipe manufactured before 1959.
(3) Class II produced under API 5L 23rd Edition, 1968, or earlier has a specified minimum yield strength of 28,000 psi.
(4) Other grades provided for in API 5LS, API 5LU, and API 5LX not precluded.
(5) Manufacture was discontinued and process deleted from API 5L in 1969.
(6) Manufacture was discontinued and process deleted from API 5L in 1962.
(7) A25 is not produced in electric flash weld.
(8) See applicable plate specification for yield point and refer to 402.3.1 for calculation of (*S*).

(Piping Handbook, 1992)

Seed 分析法：

步驟如下：

a. 修正標準貫入試驗之 N 值

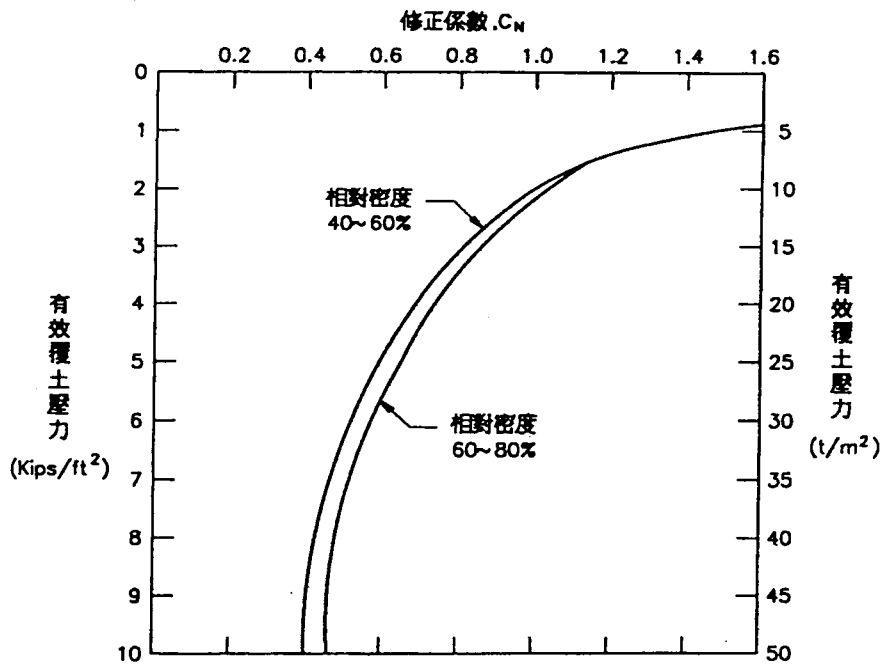
$$N_1 = C_N N$$

$$C_N = 1 - 1.25 \log \frac{\sigma'_v}{\sigma'_0}$$

σ'_v ：計算點的有效覆土壓力 (t/m^2)， $\sigma'_v > 2.5 t/m^2$

$\sigma'_0 = 10 t/m^2$

或者可查下圖：



修正係數 C_N 與有效覆土壓力(取自 Seed, 1983)

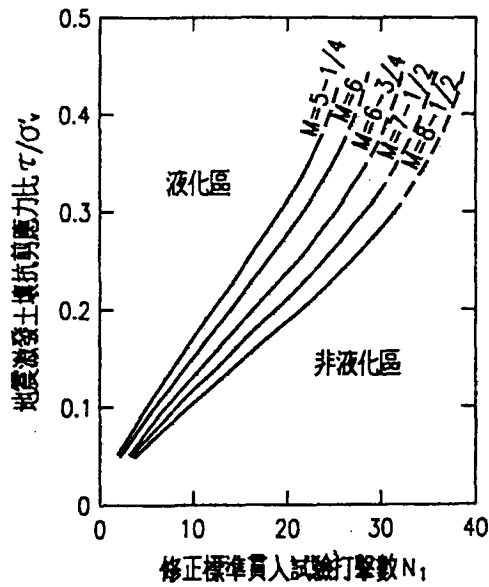
b. 計算土層對液化之抗剪強度 τ ：

由 N_1 值及地震規模 M 查下圖，可求得土壤對液化的抗剪應力比

$$\tau / \sigma'_v$$

σ'_v ：有效覆土壓力

τ ：抗液化的剪力強度



不同地震規模， N_1 與土壤抗剪應力比之關係
(取自 Seed, 1983)

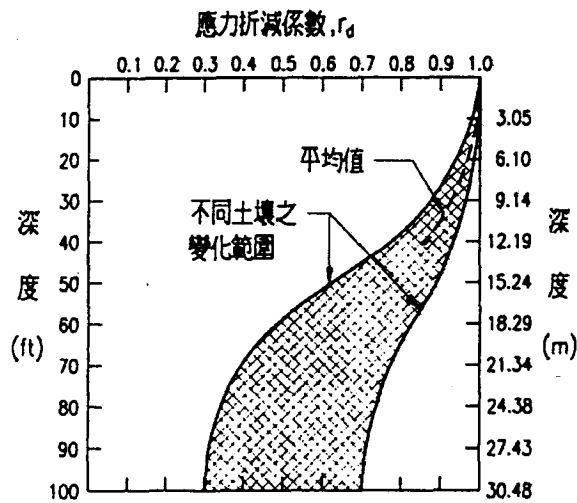
c. 計算地震所引起的平均剪應力 τ_{av} :

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

a_{max} : 選擇現地之地表最大加速度

g : 重力加速度

r_d : 深度折減係數



應力折減係數 r_d 與深度之關係(取自 Seed, 1971)

d。計算土壤液化的安全係數 FS：

$$FS = \text{土壤抗剪應力比} (\tau/\sigma'_v) / \text{地震引起的平均剪應力比} (\tau_{av}/\sigma'_v)$$

軟弱土壤與軟弱地盤：

1. 軟弱土壤的定義：

軟弱土壤一般是指天然含水量大，壓縮性高，承载力低的一種軟塑到流塑狀態的粘性土。如淤泥，淤泥質土以及其他高壓縮性飽和粘性土，粉土等

2. 常見軟弱土層：

- 飽和性黏土層---軟黏土層
- 高度有機質土層----泥炭土層
- 鬆砂質土層---亦呈現流沙狀態或液化現象之鬆砂土層，鬆沈泥質沙土層

3. 定量指標：

- 由黏土，沈泥或其他土壤（砂土泥炭土所組成）
- 地下水位高
- 土壤呈飽和狀態
- 土壤的承载力小

4. 定量指標：

軟弱地盤可以含水量，單軸壓縮強度 q_u 及標準貫入阻抗 N 值之大小研判

土壤性質 土層種類	含水量 (%)	單軸壓縮強度 (kg/cm^2)	標準貫入抵抗 N 值
泥炭土層	大於 100	小於 0.5	小於 4
黏性土層	大於 50	小於 0.5	小於 4
砂土層	大於 30	約等於 0.5	小於 10

(沈國瑞，1996)

方法 1：

若經濟允許，則依照計算流程設置

方法 2：

若經濟不允許：

- 破壞密集區---以危險度 5 級設置
- 其他地區：
 - 以每 5 年（或 n 年）的破壞率為計算（以平均破壞率的計算來決定 n 值）
 - 先計算平均破壞率（使其介於危險度 4~5 之間，靠近 4，且此年份最好包括曾發生過較大地震時的資料），此時 n 值已決定
 - 計算各區的破壞率
 - 依照計算流程計算

範例如下：

以下為美國氣體管線 1983 年 distribution 管線 Iowa 公司全長 11565 英哩的管線的資料：

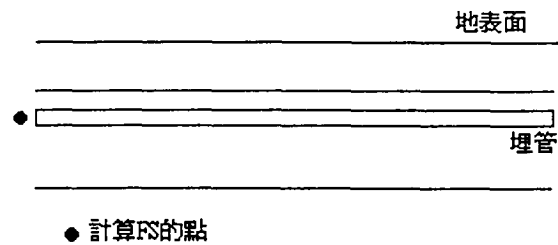
1983 Iowa Gas Main Breakdowns

Cast iron	870 miles	(7.8%)
Steel	9,323 miles	(83.5%)
Plastic	946 miles	(8.5%)
Other	20 miles	(0.2%)
	<u>11,159 total</u>	

5 年的破壞紀錄如下：

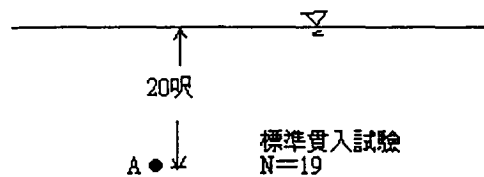
<u>Type of Pipe</u>	<u>Leak Reports</u>	<u>% of Pipe in Service</u>
Cast Iron	12 (31%)	7%
Steel	17 (44%)	82%
Plastic - PE	8 (20%)	11%
Plastic - PVC	2 (5%)	less than 1%

土壤液化潛能的計算



計算範例如下：

假設有一埋管如下所示：



$$\gamma_{sat} = 125 \text{ pcf}$$

地震規模：M = 7.5

地表加速度： $a_{max} = 0.15 \text{ g}$

應力遞減因素 $r_d = 1.0$ (地表面 $h=0$)

1. A 點有效覆土壓力 σ'_v 計算：

$$\sigma'_v = \gamma'z = (125 - 62.4) \times 20 = 1256 \text{ lb/ft}^2$$

2. N 值覆土壓力修正

由 $\sigma'_v = 1256 \text{ lb/ft}^2$ 查修正係數 C_n 與有效覆土壓力圖

得 $C_n = 1.24$

$$N_1 = C_n \times N = 1.24 \times 19 = 23.56$$

3. 求土壤對液化之抗剪強度 τ

由 $N_1 = 23.56$ 及 $M=7.5$ 查 N_1 與土壤抗剪強度比關係
得 $\tau / \sigma'_v = 0.26$

$$\tau = 0.26 \times \sigma'_v = 0.26 \times 1252 = 325.5 \text{ lb/ft}^2$$

4. A 點總應力 σ_v 計算

$$\sigma_v = \gamma_{sat} z = 125 \times 20 = 2500 \text{ lb/ft}^2$$

5. 求 A 點之應力折減因數 r_d

由 $h = 20\text{ft}$ 查 應力折減係數與 r_d 的關係
得 $r_d = 0.96$

6. 地震所引起的平均剪應力 τ_{av} 計算

$$\begin{aligned} \tau_{av} &= 0.65 r_d \times \sigma_v \times a_{max} / g \\ &= 0.65 \times 0.96 \times 2500 \times 0.15 = 234 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

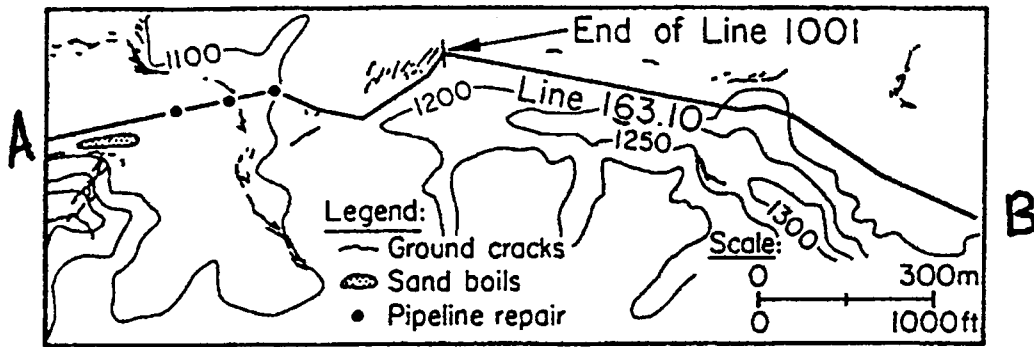
7. 液化的安全係數 FS

$$FS = \frac{\tau}{\tau_{av}} = 325.5 / 234 = 1.39$$

MMI：地震等及的分類（意義如下表所示）

Modified Mercalli Intensity Scale (excerpt, abridged)	
I - V	Not significant to structures.
VI	Felt by all; many are frightened and run outdoors. Some heavy furniture moves; a few instances of fallen plaster or damaged chimneys. Damage slight.
VII	Everybody runs outdoors. Damage negligible to buildings of good design and construction; slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken. Noticed by persons driving motorcars.
VIII	Damage slight in specially designed structures; considerable in ordinary substantial buildings, with partial collapse; great in poorly built structures. Panel walls thrown out of frame structures. Chimneys, factory stacks, columns, monuments and walls fall. Heavy furniture overturned. Disturbs persons driving motorcars.
IX	Damage considerable in specially designed structures; well-designed frame structures thrown out of plumb; damage great in substantial buildings with partial collapse. Buildings shifted off foundations. Ground cracked conspicuously. Underground pipes broken.
X	Some well-built wooden structures destroyed; most masonry and frame structures destroyed, along with foundations; ground badly cracked. Rails bent. Landslides considerable from river banks and steep slopes. Shifted sand and mud. Water splashed (slopped) over banks.

破壞率的計算：



.c) East Section

Map of locations of pipeline repair and ground deformation features in Potrero Canyon. [Based on map prepared by Rymer, et al. 1995.]

◦ 上圖為一個真實的案例：

◦ 由 A 到 B 距離為 1700 公尺，破壞數目 3 個

$$\text{破壞率 (個數/公里)} = 3/1.7 = 1.76$$

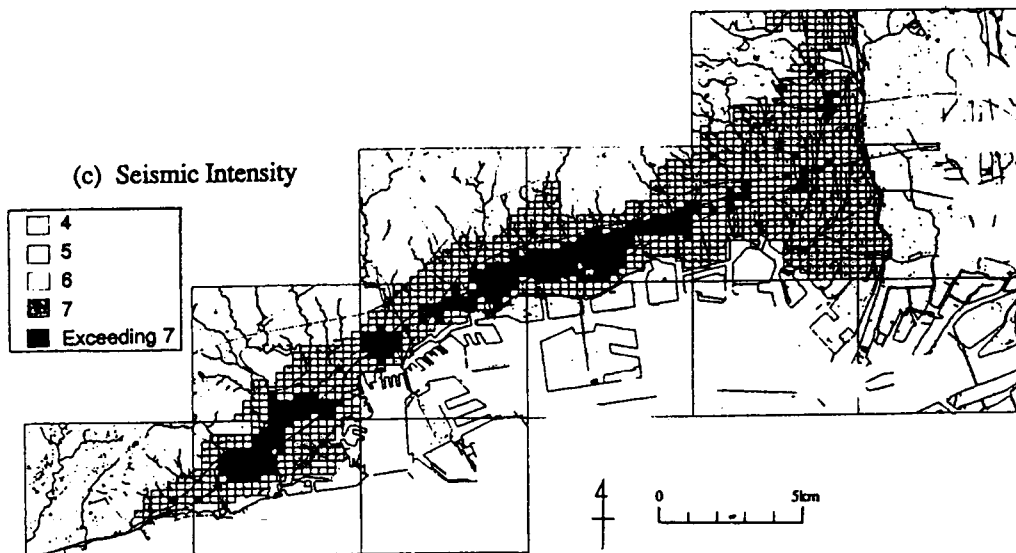
資料庫範例如下：

9.1 土壤液化區分佈



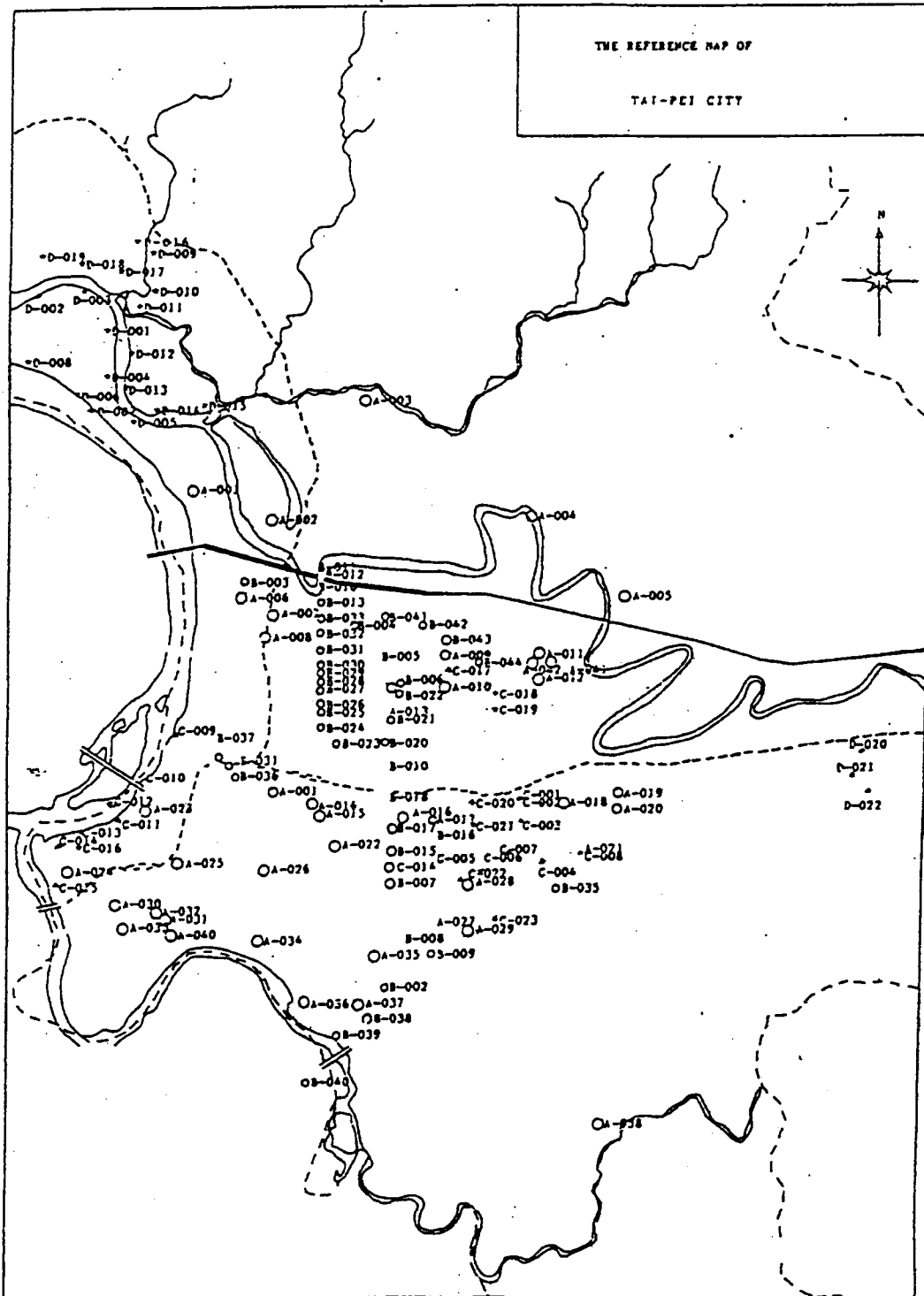
(Japan Water Works Association, 1996)

9.2 地震大小分佈

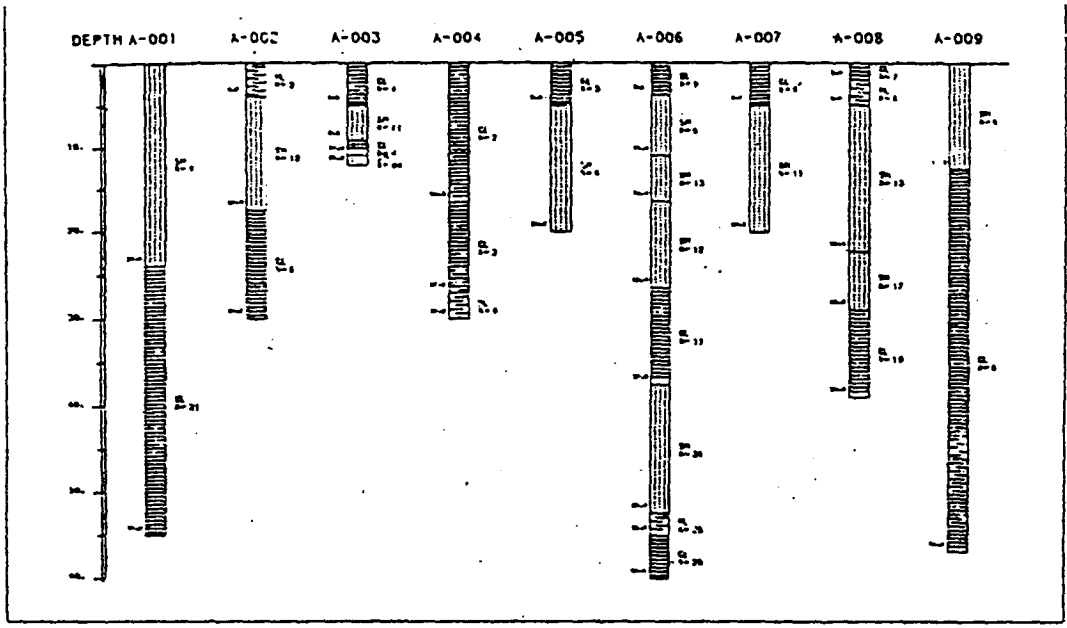


(Japan Water Works Association, 1996)

9.3 土層資料



(台灣電力公司, 1985)

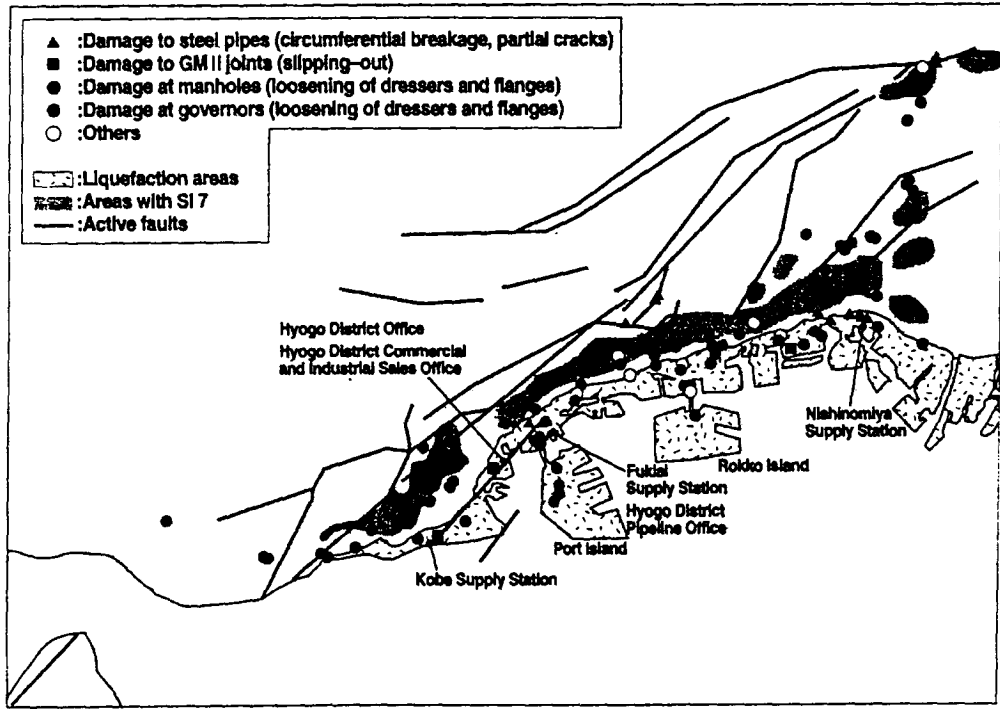


土壤柱狀圖

(台灣電力公司, 1985)

9.4 破壞資料顯示如下

9.4.1 管線位置與破壞歷史的表示 (範例如下所示)



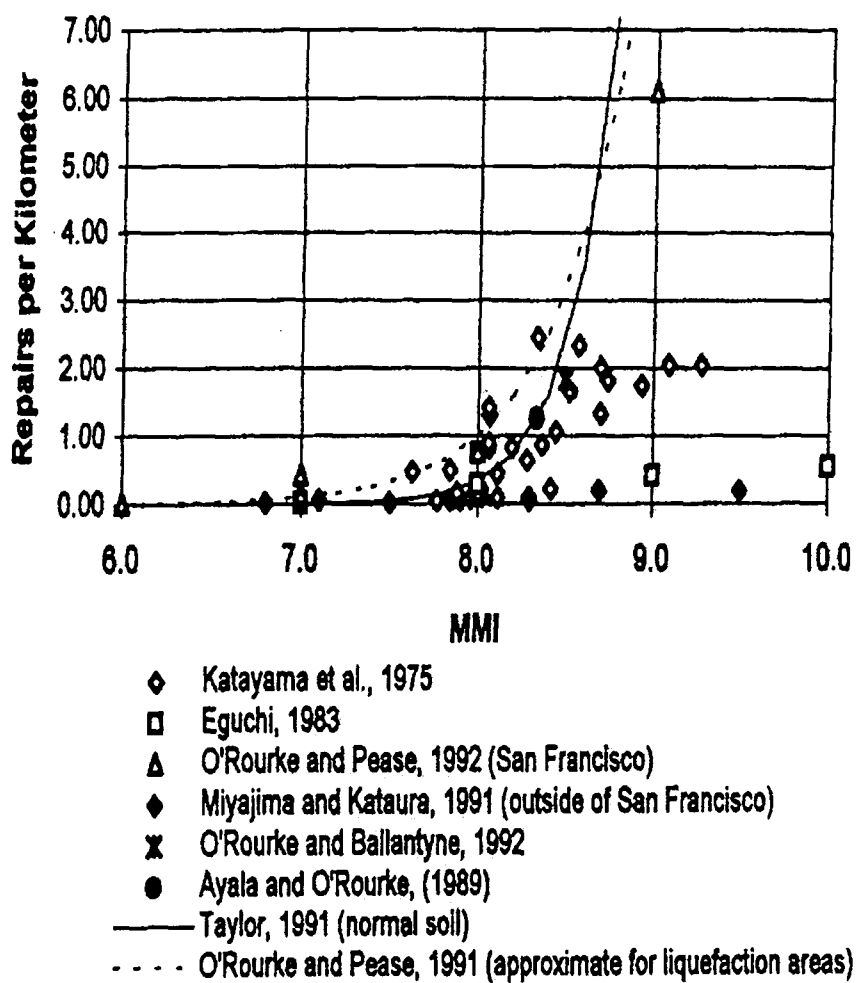
Damage distribution map on medium-pressure system

Distribution Pipes: Total of Kobe, Ashiya and Nishinomiya

Diameter						Seismic intensity					Geology of surface layer				Liquefaction			
φ75	φ100	φ200	φ300	φ450	φ500	Unknown	~4	5	6	7	Exceeding 7	Bedrock or diluvium	Alluvium	Natural levee, sand bar	Reclaimed ground	0%	50%	100%
124	196	53	32	6	0	0	14	206	103	65	23	198	216	31	56	261	98	52
277.16	1433.48	442.63	300.39	155.92	18.80	0.00	280.61	1168.40	703.20	388.79	140.03	947.91	1292.40	156.21	285.43	2060.33	388.32	232.39
0.45	0.14	0.12	0.11	0.04	0.00	0.00	0.05	0.18	0.15	0.17	0.16	0.11	0.17	0.20	0.20	0.13	0.25	0.22
45	87	27	9	3	0	0	6	73	52	26	15	36	107	13	16	86	67	19
266.12	1422.60	439.90	362.65	169.50	20.27	0.00	280.61	1168.40	703.20	388.79	140.03	947.91	1292.40	156.21	285.43	2060.33	388.32	232.39
0.17	0.06	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.06	0.07	0.07	0.11	0.04	0.08	0.08	0.06	0.04	0.17	0.08
142	681	249	165	20	0	0	61	733	280	127	56	433	407	57	360	677	297	283
266.12	1422.60	439.90	362.65	169.50	20.27	0.00	280.61	1168.40	703.20	388.79	140.03	947.91	1292.40	156.21	285.43	2060.33	388.32	232.39
0.53	0.48	0.57	0.45	0.12	0.00	0.00	0.22	0.63	0.40	0.33	0.40	0.46	0.31	0.36	1.26	0.33	0.76	1.22
85	50	7	5	2	0	0	4	81	39	21	5	42	76	23	8	88	52	10
266.12	1422.60	439.90	362.65	169.50	20.27	0.00	280.61	1168.40	703.20	388.79	140.03	947.91	1292.40	156.21	285.43	2060.33	388.32	232.39
0.32	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.07	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.15	0.03	0.04	0.13	0.04
3	2	0	2	2	0	0	0	5	3	1	0	1	5	2	1	4	3	2
266.12	1422.60	439.90	362.65	169.50	20.27	0.00	280.61	1168.40	703.20	388.79	140.03	947.91	1292.40	156.21	285.43	2060.33	388.32	232.39
0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
4	11	5	1	0	0	0	1	11	9	0	0	9	8	3	1	14	6	1
266.12	1422.60	439.90	362.65	169.50	20.27	0.00	280.61	1168.40	703.20	388.79	140.03	947.91	1292.40	156.21	285.43	2060.33	388.32	232.39
0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00
94	286	70	68	54	0	0	12	194	188	116	62	132	334	42	63	396	134	42
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4	1	2	0	0	0	0	3	8	1	1	5	8	0	0	10	3	0
266.12	1422.60	439.90	362.65	169.50	20.27	0.00	280.61	1168.40	703.20	388.79	140.03	947.91	1292.40	156.21	285.43	2060.33	388.32	232.39
0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
59	540	182	117	7	0	0	43	550	199	89	34	324	256	40	295	472	212	231
67.96	1111.28	333.87	243.62	114.55	4.07	0.00	216.48	782.32	460.18	303.37	112.09	655.10	888.57	105.39	225.29	1445.27	255.56	173.65
1.93	0.49	0.55	0.48	0.06	0.00	0.00	0.20	0.70	0.43	0.29	0.30	0.49	0.29	0.38	1.31	0.33	0.83	1.33
60	322	144	75	10	0	0	26	288	170	83	44	167	311	32	101	361	171	79
23.08	173.13	85.35	88.19	33.21	2.19	0.00	33.71	172.03	123.09	57.09	19.23	158.48	197.47	20.10	29.09	310.52	64.79	29.83
2.60	1.86	1.69	0.85	0.30	0.00	0.00	0.77	1.67	1.38	1.45	2.29	1.05	1.57	1.59	3.47	1.16	2.64	2.65
246	85	0	-	-	0	0	7	204	80	34	6	106	178	38	9	213	101	17
157.94	73.44	0.06	-	-	1.00	0.00	21.03	137.73	54.77	14.52	3.49	74.96	126.64	24.04	5.91	188.68	23.43	19.42
1.57	1.16	0.00	-	-	0.00	0.00	0.33	1.48	1.46	2.34	1.72	1.41	1.41	1.58	1.52	1.13	4.31	0.88
1	1	4	4	4	0	0	0	10	3	1	0	3	1	3	7	4	3	7
0.76	1.40	6.37	9.76	11.22	0.07	0.00	5.35	14.28	7.47	1.57	0.91	10.33	8.60	1.04	9.61	20.60	2.42	6.55
1.32	0.71	0.63	0.41	0.36	0.00	0.00	0.00	0.70	0.40	0.64	0.00	0.29	0.12	2.90	0.73	0.19	1.24	1.07
6	0	-	-	-	-	0	0	3	2	1	0	2	3	1	0	4	2	0
0.72	0.37	-	-	-	-	0.00	0.23	0.75	0.02	0.10	0.00	0.07	0.81	0.10	0.12	0.99	0.10	0.00
8.32	0.00	-	-	-	-	0.00	0.00	4.02	92.90	9.99	0.00	30.52	3.69	9.98	0.00	4.02	19.94	0.00
26	14	2	1	0	0	0	0	24	15	4	0	10	27	5	1	25	6	12
9.91	10.33	2.70	0.98	0.20	0.01	0.00	4.04	11.34	7.97	0.78	0.00	3.29	17.70	2.12	1.02	22.75	0.86	0.53
2.62	1.36	0.74	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	1.88	5.13	0.00	3.64	1.53	2.36	0.98	1.10	7.00	22.74
3	69	10	19	12	0	0	10	33	25	29	16	23	61	10	29	62	30	21
7.56	52.64	11.54	20.11	10.32	12.93	19.17	46.19	31.43	14.92	3.40	0.00	44.78	52.60	3.42	14.30	87.42	15.30	12.39
0.40	1.31	0.87	0.94	1.16	0.00	0.00	0.52	0.71	0.80	1.94	4.71	0.51	0.97	2.92	2.03	0.71	1.96	1.70

505	-	-	-	-	-	20	270	133	70	13	190	235	51	29	346	120	39	
1.2	-	-	-	-	-	43.20	137.79	62.15	18.05	4.93	117.07	119.29	20.90	8.88	223.46	30.89	11.76	
1.90	-	-	-	-	-	0.46	1.96	2.14	3.88	2.64	1.32	1.97	2.44	3.27	1.55	3.88	3.32	
	1317	-	-	-	-	41	616	368	197	93	429	616	85	185	835	335	145	
	1422.60	-	-	-	-	134.24	569.32	406.09	232.75	80.20	504.51	726.10	91.46	100.52	1134.06	207.70	80.84	
	0.93	-	-	-	-	0.31	1.08	0.91	0.85	1.16	0.85	0.85	0.93	1.84	0.74	1.61	1.79	
		412	-	-	-	26	230	88	46	24	98	148	14	154	194	99	121	
		439.90	-	-	-	49.56	205.96	95.64	51.16	27.57	156.72	185.63	20.35	77.20	312.23	62.98	64.69	
		0.94	-	-	-	0.52	1.12	0.92	0.75	0.87	0.63	0.80	0.69	1.99	0.62	1.57	1.87	
			284	-	-	7	174	59	20	24	40	111	10	123	115	75	94	
			362.65	-	-	38.60	186.51	75.33	41.86	20.35	112.16	158.34	16.21	75.94	244.78	58.16	59.71	
			0.78	-	-	0.18	0.93	0.78	0.48	1.18	0.36	0.70	0.62	1.62	0.47	1.29	1.57	
				87	-	4	16	35	24	8	11	51	11	14	46	31	10	
				169.50	-	12.43	58.42	58.54	33.38	6.73	49.13	93.93	6.32	20.12	130.53	26.26	12.71	
				0.51	-	0.32	0.27	0.60	0.72	1.19	0.22	0.54	1.74	0.70	0.35	1.18	0.79	
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
						20.27	2.60	10.39	5.45	1.59	0.24	7.31	9.12	0.96	2.87	15.26	2.34	2.67
						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							98	-	-	-	53	12	0	33	61	6	31	
							300.00	-	-	-	252.26	19.20	0.36	8.90	270.02	4.95	5.64	
							0.33	-	-	-	0.21	0.63	0.00	3.75	0.23	1.21	5.50	
								1306	-	-	433	348	56	464	586	344	376	
							1164.63	-	-	-	410.87	428.89	59.39	269.25	733.63	209.12	225.65	
							1.12	-	-	-	1.07	0.91	0.94	1.72	0.80	1.64	1.67	
								682	-	-	164	403	107	8	422	258	2	
								684.94	-	-	179.85	444.42	72.32	6.61	575.65	126.46	1.10	
								1.00	-	-	0.93	0.91	1.48	1.21	0.73	2.04	1.82	
									357	-	61	269	17	0	309	48	0	
									392.35	-	73.45	292.01	22.57	0.77	345.24	43.55	0.00	
									0.91	-	1.16	0.92	0.75	0.00	0.90	1.10	0.00	
										162	32	129	1	0	158	4	0	
										139.11	31.43	107.88	1.57	0.00	135.79	4.24	0.00	
										1.16	1.02	1.20	0.64	0.00	1.16	0.94	0.00	
											768	-	-	-	768	0	0	
											947.01	-	-	-	947.01	0.00	0.00	
											0.81	-	-	-	0.81	0.00	0.00	
												1161	-	-	711	411	40	
												1292.40	-	-	986.85	281.57	23.98	
												0.90	-	-	0.72	1.46	1.67	
													171	-	46	123	2	
													156.21	-	115.32	38.12	2.76	
													1.09	-	0.40	3.23	0.72	
														505	11	126	368	
														285.43	11.15	68.63	205.64	
														1.77	0.99	1.94	1.79	
															1536	-	-	
															2076.20	-	-	
															0.74	-	-	
																660	-	
																362.45	-	
																1.82	-	
																	409	
																	242.38	
																	1.69	

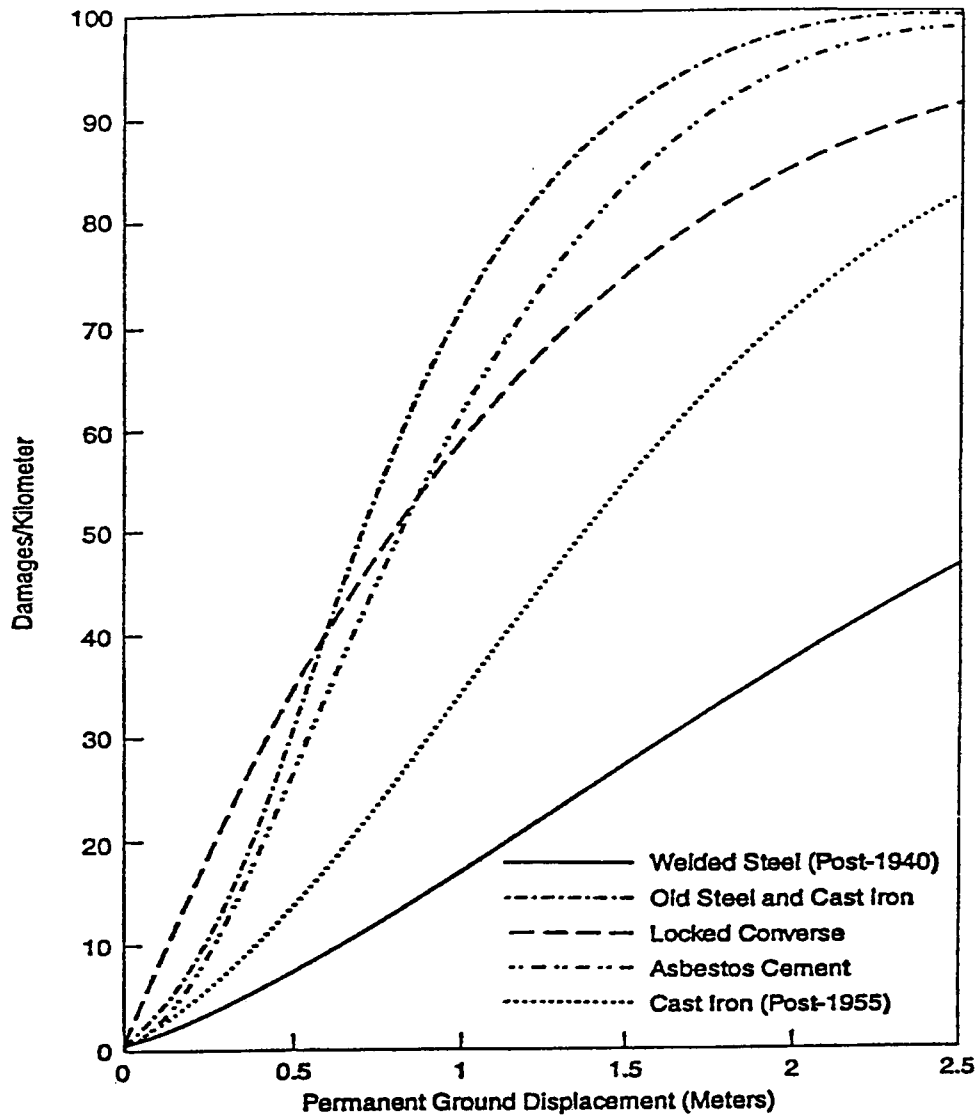
(Japan Water Works Association , 1996)



Plot of Historical Pipeline Damage Data From Various Sources

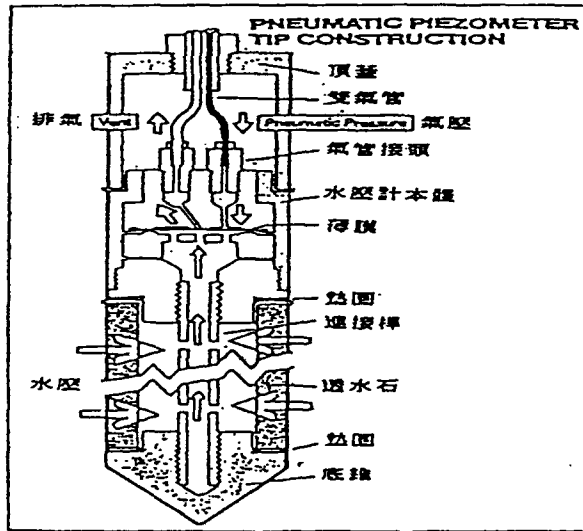
(Jeyapalan, J. K. 1995 [2])

附圖 2



Permanent Ground Displacement Damage Algorithms

(Jeyapalan, J. K. 1995 [2])

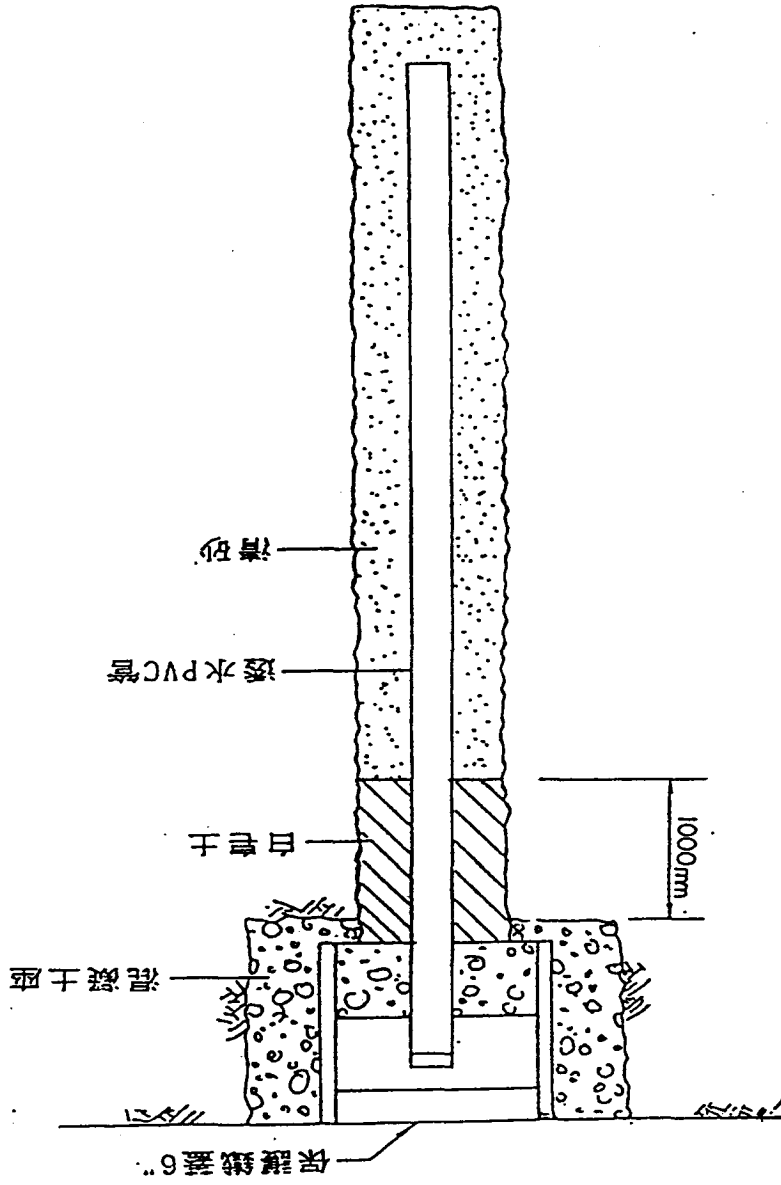


壓氣式水壓計

(葉泓暉，1996)

(葉泓暉, 1996)

水位觀測井裝設示意圖



附圖 4