

ISSN 1025-7683

中華民國自來水協會會刊



白

來

水

第19卷 第3期 (75)

中華民國八十九年八月



自來水博物館唧筒室抽水機

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 19 NO.3 August 2000

Water Works Association of the Republic of China(Taiwan)



9 771025 768008

自來水會刊第十九卷第三期(75)目錄

- 每期專題：** 全國第一座自來水博物館巡禮鄭培民.....3
- 自來水博物館風華再現與展望李泰雄.....23
- 一般論述：** 自來水有效維持管理要點之探討朱健行.....28
- 自來水事業防災應變之探討吳天瑛.....46
- 他山之石：** 簡介美國飲用水消費者信賴報告法則王嶽斌、葉俊宏...60
- 簡介大陸最近修訂地表水分類水質標準姚關穆.....66
- 特 載：** 自來水設施耐震工法指南及解說（二）上蔡錦松.....74

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水季刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與你、會員動態、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地等文稿。
- 三、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限。
- 四、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。
- 五、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過150字之中英文摘要，本刊將委請專家1~2人審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與你」則報導本會會務。
- 六、惠稿請用稿紙繕正，如有圖表，請以黑墨繪製以便製版，其大小應顧及刊發後版面之清晰程度，所有圖表及照片以原件為佳，皆應附簡短說明，並依在文中出現之次序分別編號。
- 七、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版名：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 八、惠稿請註明真實姓名、通訊地址、服務單位及撰稿人之學經歷簡介與1吋照片一張，以利刊登，來稿文責由作者自負。
- 九、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿1200元/千字，「業務報導」為800元/千字，其餘為500元/千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者500元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 十、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350會務組。本刊將納入下期寄贈名單。
- 十一、本會刊內容自88年5月⑩期起已公布於台灣省自來水公司全球資訊網站（www.water.gov.tw）歡迎各界參閱。

自來水會刊雜誌

發行所名稱：中華民國自來水協會

發行人：林學正

會址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員：陳榮藏

委員：劉家堯 陳梓濱 張順興 李泰雄 史午康 葉宜顯 蔣本基 廖述良 康世芳

謝永旭 陳重男 沈進宏 曾浩雄 李輝雄 林顯華 蘇金龍 李丁來 林孟臻

秘書：李丁來

總編輯：劉廷政

傳真：(02)25042350

電話：(02)25073832

副主任委員：劉廷政

編輯：林孟臻 李丁來

校對：古貞苓

電話：(04)2244191轉222

印刷：威文彩色印刷公司

出版地址：臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登寄證局版台誌字第2995號

中華郵政北台字第0473號執照登記為雜誌交寄

地址：台中市工業區23路2-1號

電話：(04)3586977

全國第一座自來水博物館巡禮

鄭培民*

一、前言

台北自來水事業處（簡稱北水處）將位於公館淨水場內，具有九十二年歷史的台北水源地慢濾場唧筒室整修規劃成全國第一座自來水博物館，該館已於八十九年四月三十日開幕，開幕式由北水處蔡處長輝昇主持，與會貴賓包括馬英九市長、歐晉德副市長、省自來水公司林學正董事長、翡翠水庫管理局郭瑞華局長及鄧家基、柯景昇、蔣乃辛、李人仁市議員等，是日並舉辦員工親子園遊會同樂。

博物館展示區包括：仿歐洲巴洛克式造型唧筒室、公館淨水場、輸配水器材展示區、觀音山登山步道及蓄水池、親子戲水區等五大部份，總面積約七仟八百坪，除了提供自來水知性之旅之外，亦提供台北市民一大片綠地，可從事半日知性之旅及休閒、踏青活動。

二、台北水源地慢濾場唧筒室

民國前十六年日本統治的台灣總督府聘請英國人威廉巴爾頓（William K.

Burton）來台，從事全台衛生工程及台北自來水建設之調查研究工作。民國前四年，依巴爾頓先生建議，在公館觀音山腳下新店溪畔設取水口引取原水，經處理後之清水再以抽水機抽送至山上的蓄水池，藉由重力流供應住戶日常用水。民國前二年，相關設施完成即開始供水，並命名為台北水源地慢濾場，其設計之日出水量為20,000噸，用水人口為十二萬人，最遠輸水可達大稻埕一帶，從此台北市自來水建設開始邁入現代化。

一棟仿文藝復興時期西式建築物，平面呈弧形狀，外觀設有柱廊，建築物兩翼設有圓頂，圓頂上全部以銅片貼覆，其典雅、華麗令人驚嘆，這就是台北水源地慢濾場唧筒室（圖1）。該慢濾場唧筒室建於民國前三年，迄今已有九十二年歷史，民國六十一年，新店溪畔原水因污染日益嚴重，唧筒室在完成使命而功成身退。民國八十二年六月經內政部列為三級古蹟，北水處為了保存此一具有歷史價值的古蹟，經編列預算進行修復，始恢復其原

* 台北自來水事業處幫工程司

4 自來水會刊第十九卷第三期⑦⑤

貌，並蒐集有關的歷史照片及器材，規劃完成全國首座自來水博物館。

首先由博物館左側進入參觀，在時間廊展示區可綜覽近百年來台北地區自來水開發的歷史。在多媒體放映室裡，定時播放自來水相關專題影片。看完影片走下樓梯，就是八百多坪呈現挑高的唧筒室（圖2），現場展示骨董級的五部清水抽水機及四部大型原水抽水機，想像中回到從前，這幾部笨重機器正轟隆轟隆運轉者，靠著它們的動力，自來水才能經由地底下之輸水管線送到用戶家裡，而此時，功成身退，正接受參觀民眾崇高的敬意。走到底端，排列展示早期使用的灌鉛白口式鑄鐵管施工器材：炭火爐具、熔鉛鼎、十多種榔頭、棉束帶、各種長度的熔鉛密實錐、照明燈俱（圖3）另外還有一組鉛管製造機，想想看，三、四十年前管線施工，輸水管線的接頭就是澆注一爐爐鉛液、一鎚鎚敲擊完成的。

參觀完唧筒室，沿著樓梯走上一層，這裡展出有修漏器材及水表，水表展示區有指針式水表，到現在全面始用直線葉輪複匣式指針數字型水表、連結式水表，以及現正試用中未來要推廣的電子式、電磁式水表（圖4）。

由博物館右側出口走出唧筒室，沿著步道走，花舖中有三座花台造型的通排氣孔，其下面有已廢棄的地下連通走廊。

往右手邊後山方向走，探索地底的「輸配水器材展示區」。

三、輸配水器材展示區

北水處爲了增加博物館展出的內容，另規劃於博物館後方山坡台地設置「輸配水器材展示區」。在長七十公尺、寬十七公尺的展示區內，規劃成U型參觀路線，展示管材分別區分爲管件區、閥類區、消防栓區、直管區、組裝展示區等五大區，各區並依據不同材質、不同年代以實品展出。首先看到豎立於進出口前的直徑700mm鑄鐵直管招牌，招牌的字是將球狀石墨鑄鐵液鑄造之文字燒接於管身上，這個1字造型招牌，其代表著北水處的企業標竿：服務第一、品質第一、績效第一（圖5）。展示區之進出口造型特殊、顏色活潑，是利用直徑2200mm直管四支、1500mm直管二支平行排列，並在進出口最外側再排列較小口徑之1200mm直管二支，組成展示區大門造型。展示區大門利用大口徑自來水直管，其主要用意是讓民眾，能親自走進去體會一下，我們每天使用的自來水，是需經由這麼大的管線輸送到家裡（圖6）。北水處主要的輸水管線爲鑄鐵管，從五十年前即已使用之白口式鑄鐵管，至現在全面使用中的球狀石墨鑄鐵管，以及鋼管、預力鋼襯混凝土管及塑膠管、溫泉用的陶管均有完整的展示，不

僅讓原本埋在道路下的各種口徑大小水管重見天日，更讓大家知道自來水是經由它們輸送的，是功不可沒的英雄而應該受到尊崇。現在一一介紹如下：

(一) 管件區

1. 鑄鐵管類

(1) 白口式鑄鐵管件 (Hub Type Cast Iron Fitting)

口徑範圍：直徑自75公釐至1000公釐。

鑄鐵材質：灰口鑄鐵

接合方式：接頭之接合係以麻繩填塞打實後，再加以灌鉛方式處理。

使用年代：屬於早期使用的管種，至1969年後台北地區已停止使用。

現場展示的有：

- A. 白口式接頭接合的剖面 (圖7)。
- B. 白口式彎管、套管、三通管 (圖8)。

(2) 機械接頭鑄鐵管件 (Mechanical Joint Fitting)

口徑範圍：直徑自75公釐至1500公釐。

鑄鐵材質：灰口鑄鐵

接合方式：接頭之接合係以螺栓緊迫鑄鐵壓圈及膠圈方式處理。

使用年代：自1969年至1979年間使用。

現場展示的有：機械接頭彎管、套管、三通管、大小頭 (圖9)。

(3) 球狀石墨鑄鐵管件 (Ductile Iron Fitting)

口徑範圍：直徑自75公釐至2600公釐。

鑄鐵材質：球狀石墨鑄鐵

接合方式：接頭之接合係以螺栓緊迫鑄鐵壓圈及膠圈方式處理。

使用年代：自1979年起，迄今仍在全面使用。1999年7月起，600公釐以下管內全面使用水藍色環氧樹脂粉體塗裝。

特性：延韌性大不易破裂，重量輕，容易安裝。

現場展示的有：

- A. 接頭接合剖面 (圖10)。
- B. 螺壓式承插彎管 (Bolt Compression Type Bend)

口徑範圍：直徑自75公釐至2600公釐。

彎管角度：常用角度有11.25度，22.5度，45度，90度。

用途：當管線遭遇障礙物時，即需使用彎管，可朝向左、向右、向上或向下等方向埋設。

- C. 螺壓式雙承口套管 (Bolt Compression Type Casing Collar)

口徑範圍：直徑自75公釐至2600公釐。

用途：新設管線與舊有管線需要連通時或舊管線發生漏水搶修時使用。

- D. 螺壓式雙承口三通管 (Bolt Compression Type Tee)

口徑範圍：直徑自75公釐X 75公釐至2600

6 自來水會刊第十九卷第三期⑦⑤

公釐X 2600公釐

- 用途：1、當主管線做單方向分水時使用。
- 2、當主管線施作地上式消防栓時使用。

E. 螺壓式承插大小頭 (Bolt Compression Type Socket Reducer)

口徑範圍：直徑自100公釐X 75公釐至2600公釐X 2400公釐。

- 用途：1、管線縮小口徑時使用。
- 2、大口徑端為可鎖螺栓的承口。

F. 螺壓式插承大小頭 (Bolt Compression Type Reducer)

口徑範圍：直徑自75公釐X 2600公釐至2600公釐X 2400公釐。

- 用途：1、管線縮小口徑時使用。
- 2、小口徑端為可鎖螺栓的承口。

G. 消防丁字管 (Fire Branch)

口徑範圍：直徑自75公釐X 75公釐至2600公釐X 600公釐。

- 用途：安裝地下式消防栓或排氣閥時使用。

H. 雙拉桿伸縮接頭 (Double Lever Extension Joint Pipe)

口徑範圍：直徑自75公釐至2600公釐。

- 用途：本管件具有伸縮性，制水閥旁安裝本管件，制水閥故障更換

拆裝時，不必斷管，較易施工。

I. 雙突緣短管 (Flange End Short Pipe)

口徑範圍：直徑自75公釐至2600公釐。

- 用途：當管線施作制水閥、消防栓時，為配合制水閥窰井尺寸及消防栓安裝的高度，即需使用本管件。

J. 螺壓式三承口排泥管 (Bolt Compression Type Blow off Branch)

口徑範圍：直徑自200公釐X 100公釐至2600公釐X 400公釐。

- 用途：當新設管線時需安裝排泥管，作為排水及排泥用途，以確保供水安全。

K. 螺壓式三承口十字管 (Bolt Compression Type Cross)

口徑範圍：直徑自75公釐X 75公釐至900公釐X 700公釐

- 用途：主管線做雙方向分水時使用。

L. 螺壓式管塞 (Bolt Compression Type Cap)

口徑範圍：直徑自75公釐至2600公釐。

- 用途：管線末端封管時使用。

M. Y字管 (Angle Branch)

口徑範圍：直徑自300公釐至1500公釐。

- 用途：屬於加壓站內配合抽水機位置、角度鑄造之管件，以減少水頭損失，並保護管線設施安

全。(圖11, 12, 13)

N.文氏流量計 (Venturi Meter) (圖14)

口徑範圍：直徑自1000公釐至2400公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵等。

用途：量測管線內通過之水量。

使用年代：自1964年起使用迄今。

2. 鋼管類

直縫鋼管件 (Straight Seam Steel Fitting)

(圖15)

口徑範圍：直徑自500公釐至4300公釐。

接合方式：接頭之接合係以電腦控制自動焊接或以突緣接合方式處理。

防銹處理：內部塗裝環氧樹脂，外部塗裝鋅粉漆、環氧樹脂或聚乙烯包覆。

使用年代：自1990年使用迄今。

特性：重量輕安裝容易。

現場展示的有：A. 彎管 B. Y 字管

3. 聚氯乙烯塑膠管類

聚氯乙烯塑膠管件 (Polyvinyl Chloride Fitting) (圖16)

口徑範圍：直徑自13公釐至600公釐

接合方式：接頭之接合係以活套膠合方式處理。

使用年代：自1961年使用迄今。

特性：承受內外壓力小，易老化、破裂漏水，惟表面光滑不生水垢流量不響，價格低廉，施工搬運容易，耐酸，不受腐蝕及電

蝕等。

現場展示的有：彎管

4. 可撓管 (Flexible Joint) (圖17)

口徑範圍：直徑自50公釐至2200公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、青銅、橡膠等。

用途：管線設施因地層下陷或發生地震而產生變位現象時，可撓管隨之撓曲，以保護管線設施安全。

使用年代：自1962年起使用迄今。

(二) 閥類區

1. 閘閥 (Gate Valve)

口徑範圍：直徑自50公釐至700公釐。

構造材質：鑄鐵、不銹鋼、橡膠等。

用途功能：管線設施內安裝制水閥控制水量之輸送。

閘門啓閉：閘門與水流方向成垂直，啓閉方式為上下移動。

使用年代：自1930年使用迄今，1985年起台北地區採用彈性座封式制水閥，並以環氧樹脂塗裝。

現場展示的有：A. 普通式制水閥 (圖18)

B. 彈性座封式制水閥組合 (Resilient Seated Gate Valve)

8 自來水會刊第十九卷第三期⑦⑤

Compose)

C. 彈性座封式制水閥

剖面展示(圖19)

2. 蝶閥 (Butterfly Valve)

口徑範圍：直徑自400公釐至3600公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、橡膠等。

用途功能：管線設施安裝蝶閥，即可控制水量之輸送。

閥門啓閉：閥門軸心與水流方向成垂直，啓閉之方式為左右轉動，分成手動及電動兩種操作方式。

使用年代：自1960年起使用迄今。

現場展示的有：A.長體蝶閥

B.短體蝶閥

C.蝶閥組合(圖20)

3. 突緣式截流閥門(Slice Valve) (圖21)

口徑範圍：直徑400~500公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、橡膠等。

用途功能：管線設施內安裝制水閥控制水量之輸送。

閥門啓閉：閥門與水流方向成垂直，啓閉方式為上下移動。

使用年代：自1930年起使用迄今。

特殊功能閥：(圖22, 23)

4. 減壓閥 (Pressure Reduce Valve)

口徑範圍：自40公釐至800公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、青銅、牛皮等。

用途功能：裝設於水管線內，用以保持主閥下游之安全水壓。

使用年代：自1980年起使用迄今。

5. 逆止閥 (Check Valve)

口徑範圍：直徑自75公釐至1000公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、橡膠等。

用途功能：一般裝置於抽水機出水口處，防止逆流及避免停機時管內壓力變化過大，損及抽水機與管線。

使用年代：自1980年起使用迄今。

6. 球型控制閥 (Ball Control Valve)

口徑範圍：自200公釐至1200公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、橡膠等。

用途功能：

a、泵浦控制閥(兼逆止閥並消除水錘)

b、液面控制閥

c、截流作用之閥類。

d、本閥幾乎無水頭損失，可提高供水效率，亦節省電費。

使用年代：自1990年起使用迄今。

7. 洩壓閥 (Pressure Relief Valve)

口徑範圍：自40公釐至800公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、橡膠等。

用途功能：裝設於水管線內，用以保持主閘下游之安全水壓。

使用年代：自1980年起使用迄今。

8. 多噴孔錐型控制閘 (Multi Jet Sleeve Valve)

口徑範圍：自100公釐至1000公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、結構鋼、橡膠等。

用途功能：1、裝設於送水或旁通管路中，利用水力對撞方式，藉以消除高壓進口之能量。

2、作為下列大口徑高落差之各種用途：

a、減壓閘

b、液面控制閘

c、洩壓閘

d、流量控制閘。

使用年代：自1990年起使用迄今。

9. 複合式排氣閘 (Combination Air Relief Valve)

口徑範圍：自20公釐至400公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、橡膠等。

用途功能：裝設於管線局部升高處，用以排除大量水管中之空氣，以提高供水效率，且當水管

內有負壓產生時，即可迅速吸入空氣，以消除管線內之負壓。

使用年代：自1980年起使用迄今。

10. 遙控浮球兼高度閘 (Remote Float Control and Altitude Valve)

口徑範圍：直徑自40公釐至800公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、青銅、牛皮等。

用途功能：1、裝設於配水池進水端管線內，當水池達到滿水位時，遙控浮球閘自動關閉並停止進水。

2、當水管內壓力比高架水塔或水槽的水頭壓力低時，主閘會打開，使水倒流回輸配水系統。

使用年代：自1980年起使用迄今。

11. 泵浦控制閘 (Pump Control Valve)

口徑範圍：自40公釐至800公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、橡膠等。

用途功能：裝設於加壓系統之泵浦出口處，為具有開啓和關閉速度調控功能的逆止閘，在啓動或停止抽水機運轉時，可配合現場調節至最佳開啓和關閉速度，以減少水錘 (Water Hammer) 現象產生，

10 自來水會刊第十九卷第三期⑦⑤

達到安靜關閉之效果。

使用年代：自1980年起使用迄今

(三) 消防栓區

1. 地上式消防栓 (Post Type Fire Hydrant) (圖24)

口徑範圍：直徑150公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、青銅等。

用途：400公釐以下管線，每隔60至100公尺設置地上式消防栓一處，一般均設置在人行道或緊臨道路邊緣側，塗成紅色，在緊急滅火時使用，亦可兼作為水管之排水或排氣用途。

2. 地下式消防栓 (Underground Fire Hydrant) (圖25)

構造材質：球狀石墨鑄鐵、青銅等。

口徑範圍：直徑75公釐。

用途：400公釐以下管線，每隔60至100公尺設置地下式消防栓一處，一般設置於人行道或柏油道路上，消防栓蓋塗成黃色，做為緊急滅火時使用，亦可兼作為水管排水與排氣之用。

(四) 直管區

1. 鑄鐵管類

(1) 白口式鑄鐵直管 (Cast Iron Pipe) (圖26)

口徑範圍：直徑自75公釐至1000公釐。

鑄鐵材質：灰口鑄鐵

接合方式：接頭之接合係以麻繩填塞打實後，再加以灌鉛方式處理。

使用年代：屬於早期使用的管種，至1969年後台北地區已停止使用。

(2) 機械接頭鑄鐵直管 (Mechanical Joint Pipe) (圖27)

口徑範圍：直徑自75公釐至1500公釐。

鑄鐵材質：灰口鑄鐵

接合方式：接頭之接合係以螺栓緊迫鑄鐵壓圈及膠圈方式處理。

使用年代：自1969年至1979年間使用。

(3) 球狀石墨鑄鐵直管 (Ductile Iron Pipe) (圖28)

口徑範圍：直徑自75公釐至2600公釐。

鑄鐵材質：球狀石墨鑄鐵

接合方式：接頭之接合係以螺栓緊迫鑄鐵壓圈及膠圈方式處理。

使用年代：自1979年起，迄今仍在全面使用。

特 性：延韌性大不易破裂，重量輕，容易安裝。

塗裝鋅粉漆、環氧樹脂或聚乙烯包覆。

使用年代：自1990年起使用迄今。

特 性：重量輕安裝容易。

2. 鋼管類 (圖29)

(1) 錨接式鋼管 (Rivet Steel Pipe)

口徑範圍：直徑自100公釐至1000公釐。

接合方式：接頭之接合係以鉚釘密集壓接及灌鉛方式處理。

使用年代：在早期使用，目前已停用。

(2) 螺紋鋼管 (Spiral Steel Pipe)

口徑範圍：直徑自75公釐至400公釐。

接合方式：接頭之接合係以焊接方式處理。

使用年代：自1983年起使用迄今。

特 性：重量輕安裝容易，不易防銹。缺點是承受外壓力差，易破裂變形，需增加管厚或以混凝土加強。

(3) 直縫鋼管 (Straight Seam Steel Pipe)

口徑範圍：直徑自500公釐至4300公釐。

接合方式：接頭之接合係以電腦控制自動焊接或以突緣接合方式處理。

防銹處理：內部塗裝環氧樹脂，外部

3. 預力鋼襯混凝土管類 (Pre-stressed Steel Liner Concrete Pipe) (圖30)

口徑範圍：直徑自2000公釐至4000公釐。

接合方式：接頭之接合係以承插活套裝膠圈方式處理。

使用年代：自1971年起使用迄今。

特 性：鑄鐵管製造最大口徑為2600公釐，當超過此口徑時，即需使用本管種。這種管體能承受內外壓力大不易破裂，惟接頭處較易受外力拉出而漏水。

4. 聚氯乙烯塑膠管類 (Polyvinyl Chloride Pipe) (圖31)

口徑範圍：直徑自13公釐至600公釐。

接合方式：接頭之接合係以活套膠合方式處理。

使用年代：自1961年起使用迄今。

特 性：承受內外壓力小，易老化或破裂漏水，惟表面光滑不生水垢，特點是價格低廉，施工搬運容易，耐酸不受腐蝕及電蝕等。

5. 溫泉陶管類 (Earthen-ware Pipe For

12 自來水會刊第十九卷第三期⑦⑤

Hot Spring Used) (圖32)

口徑範圍：直徑自75公釐至400公釐。

接合方式：接頭之接合係以活套接方式處理。

使用年代：在早期使用，目前已停用。

特性：承受內外壓力小，易破裂漏水，惟表面光滑不受硫磺腐蝕、不生水垢，特點是耐酸不受腐蝕及電蝕等，目前已由塑膠管取代。

(五)組裝展示區 (圖33、34)

參觀完前面四個區，都祇是單一只的器材組件，轉到最有生命力、活動力的組裝展示區，本區以大台北地區埋設長度最多的200公釐器材為代表，將自來水配水系統中最常使用的器材，例如：直管、彎管、套管、三通管、管塞、制水閥、排氣閥、地上式消防栓、地下式消防栓、固定台、用戶給水不銹鋼管、水表等，讓原本埋設在地底下的設備，全部以實品呈現。並安裝一般水龍頭及省水80%的省水型水龍頭各一只，讓民眾體驗兩種之間的差異，以推動採用省水器材，達到節約用水目的。現場展出：

1.鞍帶分水栓 (Snap Tap with Saddle)

口徑範圍：鞍帶直徑自100公釐至400公釐。

分水栓出口直徑為20、25、40及50公釐。

構造材質：球狀石墨鑄鐵、不銹鋼、合成橡膠等。

用途：安裝用戶不銹鋼給水管線時使用。

2.螺紋式水表 (Water Meter)

口徑範圍：口徑自13公釐至40公釐。

構造材質：銅、塑膠等。

用途：安裝於用戶給水管進水端，作為計算使用之水量。

3.教你看水表度數

1度水為1000公升，可直接讀表中數字匣阿拉伯數字就是累計度數。

4.固定台 (Fixed Block)

構造材質：混凝土等。

用途：澆置於管線分歧或彎管處，以增加重量及磨擦阻力，防止受水壓力衝擊而發生接頭鬆脫漏水之情形。

輸配水器材展示區還有一特色，就是利用拆除廢棄管材做為各種造型設計：

A、因展覽區有兩側落差大的坡坎，為避免參觀來賓發生危險事故，利用拆除廢棄管材的地上式消防栓，經整修塗裝，並裝設鐵鍊，組成安全圍籬。(圖35)。

B、又以拆除廢棄的可撓管、施工剩下來的短管等，於管內植土種花成花壇(圖36)。

四、觀音山登山步道及蓄水池

走出輸配水器材展示區水管造型的進出口，順著道路緩緩向上坡走，一路上綠草如茵，沿途可以看到曾經使用的加藥槽、分水井、反沖洗砂水池等已走入歷史的設施。依照路標來到登山步道口，踏著一階一階林蔭步道向上走，走累了，可以到中途的涼亭休息，此處的景觀甚佳，可俯看新店溪、跨越新店溪上紅色的水管橋及臨近的中、永和地區。看完風景走完最後一段登山步道，即登上了台北市自來水最古老鋼筋混凝土造的觀音山蓄水池，長55.6公尺、寬29.7公尺、深3.64公尺，有效蓄水容量為5,050噸，最高水位標高43.48公尺，當時最遠可供水到大稻埕地區，讓古早的台北人享用甘甜的自來水。

五、結語

參觀自來水博物館後，除了增加民眾知道淨水場如何生產潔淨的自來水和自來水器材發展之歷史，並進一步了解，大台北地區總長度約3,500公里的自來水系統，從最大直徑3,800公釐的輸水幹線，至最小直徑75公釐的配水管線，都是將一只只自來水器材組裝、連接而形成綿密的自來水管網。每當用戶打開水龍頭，享用安全衛生可直接生飲的自來水時，自應體會自來水生產的艱辛而愛護水資源節約用

水。

台北市自來水早期的目標是提高普及率，現在的目標是自來水生飲，這也是現代化都市的指標之一，台北自來水事業處所生產的自來水，其品質優良並已符合生飲標準，自八十八年六月起，陸續在捷運木柵線、淡水線、新店線等多個車站設置九十九座生飲台，於八十九年底，還要在十七處大型公園、二十一所中小學、二十四處觀光大飯店、三十四處公共場所設置生飲台，以推動自來水生飲。另外計畫推動為自來水用戶清洗水池水塔及檢驗家中水質，並收取合理費用，水質檢驗合格用戶，即可生飲自來水。這就是台北自來水事業處全體員工共同努力的成果與目標，請大家支持並拭目以待。



作者簡介：

1950年生，河南人，1974年畢業於淡江學院水利工程學系。曾任職台北自來水事業處工程總隊工程員、幫工程司。現任台北自來水事業處物料科幫工程司，自來水博物館內「輸配水器材展示區」主辦工程師。



↓ (圖2) 自來水博物館唧筒室抽水機
← (圖1) 自來水博物館建築外觀



→ (圖4) 水表展示
↑ (圖3) 灌鉛白口式鑄鐵管施工器材





↓ (圖6) 展示區進出口造型
← (圖5) 利用直徑700mm鑄鐵直管豎立於進出口前的造型招牌

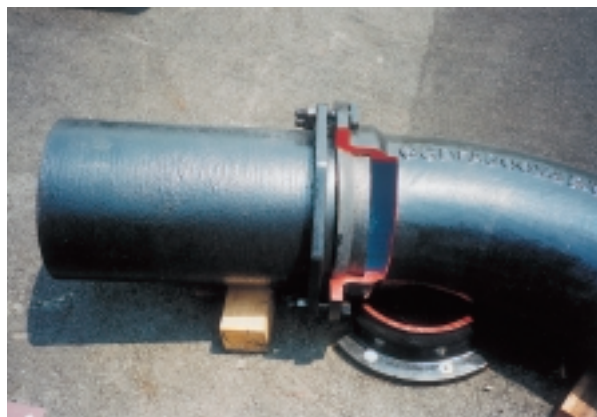


→ (圖8) 白口式鑄鐵管件
↑ (圖7) 白口式接頭接合方式的剖面





↓ (圖10) 球狀石墨鑄鐵管件接頭接合方式的剖面
← (圖9) 機械接頭鑄鐵管件



→ (圖12) 球狀石墨鑄鐵管件
↑ (圖11) 球狀石墨鑄鐵管件





← (圖 13) 球狀石墨鑄鐵管件
↓ (圖 14) 文氏流量計



↑ (圖 15) 直縫鋼管件
→ (圖 16) 聚氣乙烯塑膠管件





↓ (圖18) 普通式制水閥
← (圖17) 可撓管



↑ (圖19) 彈性座封式制水閥
→ (圖20) 蝶閥





← (圖 21) 突緣式截流閘門
↓ (圖 22) 特殊功能閘



↑ (圖 23) 特殊功能閘
→ (圖 24) 地上式消防栓





↓ (圖 26) 白口式鑄鐵直管
← (圖 25) 地下式消防栓



→ (圖 28) 球狀石墨鑄鐵直管
↑ (圖 27) 機械接頭鑄鐵直管





↓ (圖 30) 預力鋼襯混凝土管
← (圖 29) 鋼管



↑ (圖 31) 聚氣乙烯塑膠管
→ (圖 32) 溫泉陶管





← (圖 33) 組裝展示區
↓ (圖 34) 組裝展示區



↑ (圖 35) 圍籬造型
→ (圖 36) 拆除廢棄管內植土種花成花壇



自來水博物館風華再現與展望

李泰雄*

一、自來水博物館成立初次開放

自來水博物館建築物係建造於民國前三年，其前身即台北水源地抽水機房，歷經九十餘寒暑，留下許多歲月洗禮的痕跡，由於其具有特殊功能之建築，仿希臘典雅的造型，宏偉又華麗，氣派非凡。李前總統登輝曾於八十一年到公館淨水場巡視時，對於閒置多時這座老抽水機房，當場指示前台北市長黃大洲應予維修，保留並規劃為博物館，八十三年內政部終於核定將其列為第三級古蹟。

在外觀上，南北向兩端護室連接跨弧面闊的列柱式機房，從銅皮圓穹屋頂濃烈裝飾風格之女兒牆，繁文縟節式的巴洛克風牆飾泥塑花草，希臘神殿式華麗柱頭和井然有序的列柱，到數目高達五十四面之矩形窗，及當時流行褐色洗石子的牆敷等手法應用，除典型顯現日本大正時期風行的建築意象趣味，其外型近似歐洲文藝復興時期的劇院型建築風格，則令觀者徹徹底底忘卻工廠建築慣有的方正生冷感。

台北自來水處為讓民眾先睹為快，在

博物館尚未規劃完妥，經初步整理，便於八十二年十月二日起至十月十六日，先行開放供民眾團體參觀。惟自來水博物館成立後，由於台北自來水處經費有限，一直由員工自行清理，有關古蹟的修復，維護工作尚付之闕如，開放一年多，因屋頂漏水，建築牆面剝落，鐵件銹蝕日漸嚴重，館內霉味四布，只好宣布暫時停止對外開放。

二、古蹟維修後再開放參觀

陳總統水扁擔任台北市長任內，曾於八十四年十一月六日巡視自來水博物館聽取簡報，指出：水是生命的起源，從一個社會用水的情形可以了解其進步的軌跡。自來水博物館的成立，有著飲水思源的美意，值得肯定，但對於這處風格獨特難得一見的古蹟建築，因缺乏維護而傾圮，深表憂心與遺憾，未來的自來博物館除了要考慮其自來水發展過程的歷史意義，也應配合建築美感適當規劃為藝術品展示中心，提供市民一處美的饗宴及知性之旅的場地。

* 台北自來水事業處主任秘書

24 自來水會刊第十九卷第三期⑦⑤

於是台北市政府民政局在八十六年編列預算二〇〇萬元，供自來水博物館古蹟之調查研究報告經費，並委託中國工商專科學校閻亞寧教授主持，完成「台北市三級古蹟水源地唧筒室之調查研究」報告，台北自來水處仍依據該項報告於八十七年斥資八，〇〇〇餘萬元進行修護。

歷時一年全面整修，以「水資源博物館」嶄新的風貌再現，並配合台北市長選舉，於八十七年十一月二十二日，重新開

館，除展示紀念性建築主體、傳統機房設備之外，並蒐集早期自來水有關文獻、照片、管材等作有系統陳列，還設置簡報室，以新穎的視聽設備，搭配現代化多媒體影片，介紹自來水的過去現在與未來。

三、自來水博物館周圍各項配合設施完工全面開放參觀

民國八十八年一月起至八十九年四月，台北自來水處為使自來水博物館各項設施更完善、更具可看性，增設親子戲水

自來水博物館（87~88）維修經費概況

台北水源地古蹟整修及再利用工程	41,740,961
台北水源地古蹟整修及再利用工程—水電工程	4,538,062
台北水源地古蹟整修及再利用工程—景觀工程	12,178,714
台北水源地古蹟整修及再利用工程—停車場新建工程	1,231,301
水博物館花園植栽工程	389,830
環境整理	367,500
台北水源地古蹟整修及再利用工程—材料吊運工程	381,081
水博物館停車場二期及觀音山登山步道等工程	6,500,000
委託設計服務費	5,500,000
淨水場圍牆修復	756,996
多媒體簡報製作	1,093,333
分離式冷氣機	188,571
多媒體播放設備	514,286
電動遮光窗簾	102,857
展示照片	135,238
展示廚	442,857
電源增設	90,667
說明牌	107,619
椅子	33,571
簡報室電源整理	94,200
合計	76,387,644

區、戶外輸配水管管材展示區，以及開闢直達觀音山蓄水池之登山步道，開放面積超過七八〇〇坪，館區設有寬大的停車場，提供參觀者遊覽車、小客車停車，又設置有系統之參觀指標、解說牌等，以及販賣部提供飲料及紀念品零售以服務遊客。

台北市長馬英九於八十九年四月三十日親自主持全國第一座自來水博物館揭幕致詞時說，提供乾淨水質是現代化國家指標，市府大力推廣生飲自來水。目的在表明台北市已是世界級都市，希望市民也能習慣生飲自來水。台北自來水處成立一座自來水博物館，顯示階段性任務已完成，能將自來水處源起及發展的重要階段展示，頗具歷史意義，即見證大台北地區自來水邁向現代化供水系統的演進過程，也為台灣自來水歷史傳承現身說法。自來水博物館從此長期開放，且規定門票標準全票六〇元，優待票三〇元，團體三〇人以上八折優待，如事先預約，還可安排專人解說。

四、當今博物館發展趨勢

近年來博物館成了一個新興的行業，從美國華盛頓的大屠殺博物館，到去年頗受矚目的紐約現代美術館競圖，似乎世界各地都在廣建博物館，而博物館與美術館為了自給自足，商業化的走向也相當的明

顯。如最近完成座落在人民廣場的上海博物館，除了展示內容精彩，建築內部是一塵不染，展示空間櫥窗的細節，襯布的顏色，及燈光設計更是令人愉悅，喫茶的茶具及點心用的碟子，也是悅人而有品味的，廁所沒有騷味。

白瑾在1999年8月的文章中曾述「博物館已是我們生活的一部分，是都市中不可少的一環，在享有高度物質文明的台灣，其文化社會活動體系之中，博物館仍停留在經營「廟宇」的階段，官僚體系的束縛，專業人員的無力與無奈，品質品味的缺失，使我們的博物館無法脫胎換骨，無法綻放光彩，本來去博物館應該是一個美的歷程，在台灣卻還是一種奢望。」

而張譽騰更指出，當代博物館的發展趨勢可用「去中心化」一辭加以涵括，「由上而下」之博物館國家威權性格日益解體，由館員主控之戀物保存導向「專家博物館學」也逐漸退潮，改為民間人士，觀眾和娛樂休閒導向之「通俗博物館學」所取代，如果再加上日益普及的博物館網站，可以說台灣傳統博物館的本質和經營理念，已面臨顛覆的危機，一種具社區化、迪士尼化、企業化、多元化色彩的博物館發展型態，則已隱然成形。

五、未來的展望

自來水博物館的價值不只是保存一般

古蹟，供人緬懷先人遺蹟，讓市民瞭解自來水事業，更爲了讓在消費時代中成長的下一代，瞭解水資源之重要性，以及環境與社會變遷之關係，使下代子孫會更珍惜我們的自然環境，進而創造出屬於自己本土的水文化。

誠如綠色消費者基金會所言，自來水博物館是一個絕佳的社教、史蹟、文化以及都市歷史的教室，妥善利用軟硬體的規劃，構建一個良好的室內外博物館的形態，將可保存這份自然與文化的資產，與台北盆地居民世代生生不息地共存共榮。

亦如行政院環保署顧問姚關穆先生語，仿造法國巴黎下水道博物館或日本東京水科學館，水道歷史紀念館等，建築一個綜合性自來水博物館，把自來水科技發展和台北地區自來水建設過程，系統性介紹給民眾，其社會教育價值一定很高。

台南藝術學院漢寶德校長曾明白表示，博物館的禮品店（紀念品）所擔任的教育責任非常高，如果訪客想要將藝術或紀念品帶回蒐藏，則此藝術品、紀念品所發揮功能，遠超過僅於博物館空間展示，參觀者欣賞此作品的機會亦勝過在博物館的時間，這是一個普及博物館影響力的一石二鳥之策略，一方面達成教育任務，另

一方面增加博物館的營收。

自來水博物館從八十二年開始，一邊進行整修、一邊開放讓民眾參觀、宣導用水大眾珍惜水資源、節約用水，並舉辦多次自來水週活動，普遍獲致正面的回響，尤其八十九年五月全面開放參觀以來，遊客絡繹不絕，已略具博物館之雛型。惟博物館之能否吸引群眾，且長期維持不衰，必須軟硬體兼顧，不斷充實、更新展示的內涵，甚至配合以現代都市自來水設施配置實況模型、照片，使參觀者有身歷其境之感受。

如何繼續寬列預算，長期地進行必要性之修護及擴充，對於早期的自來水相關文物、資料、圖片等，如何收集整理，有系統介紹台北地區自來水建設一至五期之過程，其成果與貢獻，均是必須面對的課題。如果從長遠的觀點，在博物館的後方山腰處，即現輸配水管材展示區，興建一座嶄新的展示館，其建築結構當然要與博物館之外貌風格相調和，屆時將能淋漓盡致地展現自來水博物館之特色，新店溪畔膾炙人口水的故事，必然如流水般潺潺不息流傳後世。



自來水有效維持管理要點之探討

朱健行*

摘要

自來水管理之目標，是提供居民與使用者，高效率的安定給水；自來水業者除了不可違反相關法令，而且運轉管理的重點是追求整體的效率與經濟性。要保持自來水的最佳化三原則：清淨、豐富、低廉，誠屬新世紀相當重要的挑戰，因此維持管理的合理化將是最高的指導目標。

自來水事業面對需要正常供水的要求相當迫切，由於被要求環境二氧化碳的削減，節省能源、廢棄物的減量化，及自然生態環境營養的耗費，居民高齡化的趨勢、資訊化快速的技術革新，淨水器或瓶裝水的普及化，公營事業的效率與成本過高，因而間接有了民營化的呼聲。

其中自來水的維持管理，除了每日依相同的水質基準與設備有效出水，正常良好的管理也意味著供水不良問題的減少；正確的維持管理法則是「將安全的水，以安定的方式供水，使用戶安心飲用」同時要求以低成本方式達到此對策，現在若仍以過去的經驗或以往自來水相關法令，執

行現行的維持管理將是低效率的，因此執行適當且高效率的管理是非常重要的。

目前自來水維持管理考慮的重點是，避免原水水質的惡化、要求環境營養激素安全性的確保、自來水處理與供應技術的進步、操作運轉與管理良好且能縮減成本、保持穩定財政狀況、同時汰舊換新老朽化設施、有效提昇職員的工作能力等經營策略，將可達到以客為尊福利民生福祉的願景。

壹、整體自來水設施的目標與執行

一、自來水設施整體運作與協調

從貯水設施到輸配給水裝置，自來水事業是眾多設施的集合體，而且運轉控制之軟體亦是一整合體，其處理流程如圖 1。「維持管理」是依據設施目標，作有系統的淨水與管網調配操作；除了各種機器標準的運作，減少故障的發生，避免違反自來水法規，使得自來水水質適合給水條件，執行最適當的自來水供水作業。系

* 台北自來水事業處監控中心工程員

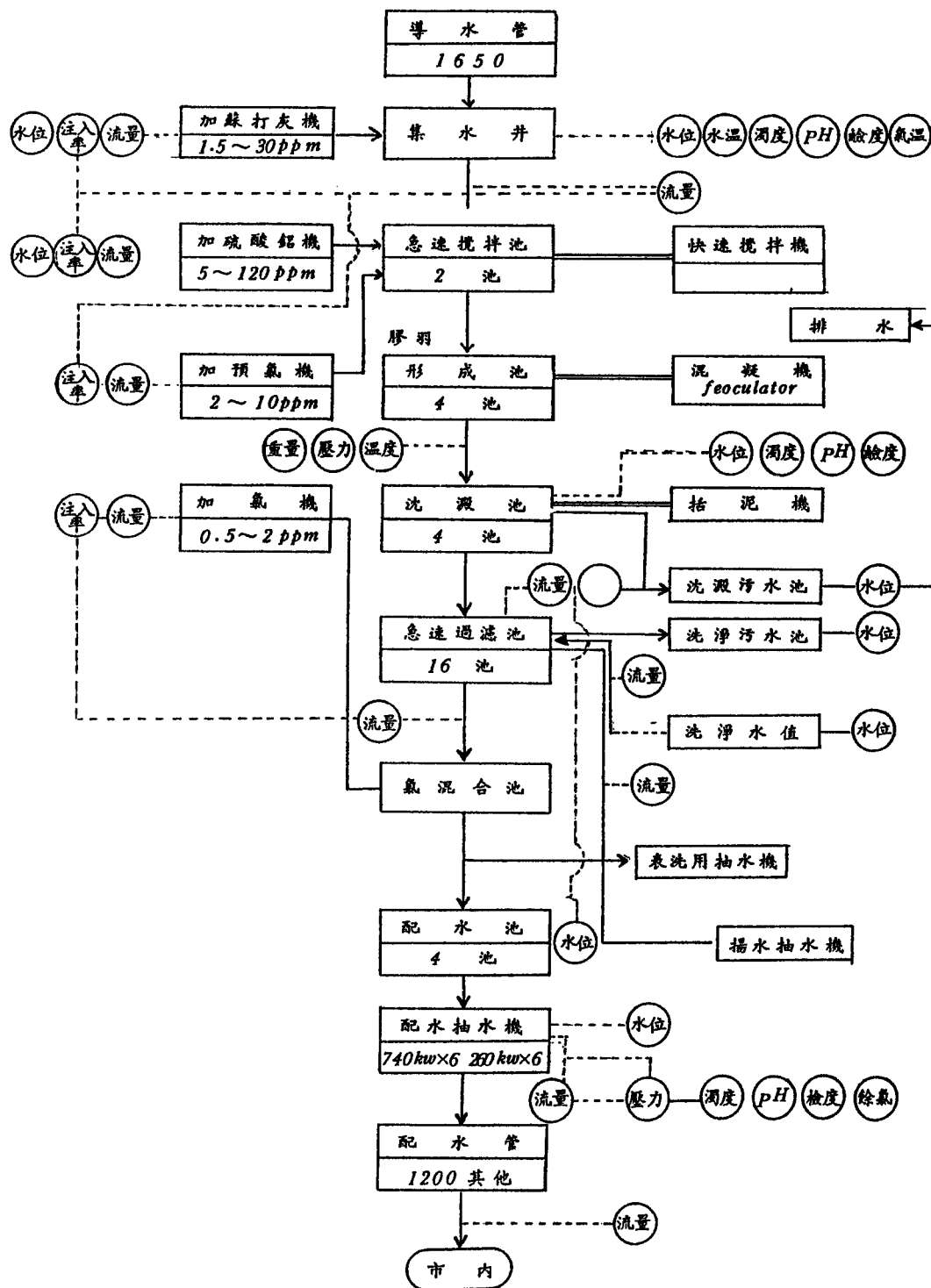


圖1 法程圖

統目標必須考慮具體化、高效率化，此亦屬行政的抉擇與判斷之重點。但是，一般爲了求取整體成本最小化，則意外事故發生時盡量降低停止給水之機率必需要求最小化，各種淨水與供水影響因素的定量化與目標關聯效率化是相當必要的，因此若能以作業研究之統計方法執行業務將極爲有效；則所謂執行目標就是以科學方法有計劃的管理全體設施。

二、設施能力與狀態之掌握

自來水設施的能力實際上仍無法全部掌握，然而可確定的是設施的老化、部份地區原水水質的環境趨於惡化，設施是否有改良能力能做有效控制，是否能將各種狀態作正確掌握，此任務在維持管理執行上絕不可缺少；因此，淨水處理的實際狀況、管線診斷、檢核點、意外事故原因、設施預備能力等，皆必須能充分定量化。意外事故時有緊急對應能力，明確的替換及更新，避免長期供水能力的低下，因此正常的維持管理能力是絕對必要的。

三、從經驗方式轉為科學方法

以往淨配水作業日常維持管理是採用經驗方法執行，當意外事故發生時配水系統調配與開關制水，係以各種配水方法所形成的案例操作之。但是，系統逐漸複雜之後，各種不同標的，例如要求出水、供

水成本降低，事故時仍能確保供水，節約能源等，如仍以以往經驗方法執行將無法有效應對；因此，各單元的設施特性與數值量化是必要的，且以目標總值最大化明確表示，亦是非常重要的，同時要求淨水設施以客觀的、科學的管理方法執行，才可能有效達成任務。

四、操作手冊展示

有關維持管理之執行目標是全體設施整合操作，其具體程序之判斷基準與作業程序，必須以明確化之標準作業程序告知；且操作人員的保全點檢方式必須全體統一，員工的訓練必須徹底執行；手冊之內容包含設施特性、系統效率、人員條件、法規等解說，使得絕大多數員工，於面對緊急情況時能迅速有效處理。

五、危機的評估

自來水供水是要求每日24小時供水不斷，具體的危機包括有缺水、地震、豪雨、土石流等自然災害，以及機器的故障、破管、電力的停止供給等設施方面，加上水質事故、人爲錯誤動作等因素，造成各種自來水危機。爲了減少這些危機，導致在成本上與技術上之提昇，由於是不可避免的，因此須要有災害盡量最小化的預期心理準備，並於日常有防災之準備。

貳、集水區域環境保護與相關機

格之連繫

近年來，聖嬰現象導致地球環境現象嚴重變化，降雨量有不穩定的傾向，水利的安全度低下，各地區時有發生缺水或洪水現象；而且，集水區域的大量開發造成森林的減少，森林管理人員不足與高齡化，形成森林管理水準低下，且由於森林水源涵養機能低下，使得過去可簡單取得之水源，已無法容易取得。然而有關自來水的信賴度要求相當高，必須確保安定性且滿足新的水質基準，要求集水區的開發限制或生活用排水處理設施的改善，急需積極的進行以便防止水質繼續惡化與污染。

一、目前改正的要點

從水源到水龍頭之過程中，主要工作重點是從以往的設施點檢、整備，改善轉變成執行新的設施機能與維持管理如下：

1、集水區域的保全對策

各自來水事業體因水權問題一向與水利單位利害相競爭，但又不得不相

互協定；今後針對人為因素造成集水區域之惡化必須限制與防止，以及有效推展水源涵養保育機能或水質基準等。

2、建立科學化管理的制度

原水水質是受集水區域自然環境的現象而改變，且其質與量又相互影響，爲了確保原水之有效維持管理，利用電腦執行

系統分析、操作、模擬及推測不確定機率論之科學方法，收集集水區域內水文、水理、水質等自然狀況與社會上相關各種活動之資訊；各種熟練的技術與資料有效處理，管理目標與執行方法之設定，皆可有效率的提昇水源水質的品質。

3、確立危機管理

集水區內發生地震或洪水等自然災害或人為破壞所引起之事故及災害，已可採用科學方法預測與評估，而且發生意外時迅速傳達與對應，使得自來水整體系統受損影響最小，因此建立緊急聯絡體制及人員因應配置等之安全措施非常重要。

4、從經營觀點作檢討

自來水事業的有效經營，受原水之狀況影響甚大，因此原水有效管理要求之水質、水況目標需明確，並從設施及技術層面、成本及投資效果，作有效且明確的投資檢討。

5、維持管理指標的活用法

龐大的設施產業，包含有貯水、取水設施是不易替換或全面更新，因此考慮作永續設備前，必須確定能否確實有效管理自來水整體設備。以往與現在之貯水、取水狀況因時空轉換已大不相同，欲求設施管理的正常執行，則上述之管理體制不可欠缺。

二、不同事業體的活用

不同自來水事業體因自然或社會的地域特性，設施或員工配置狀況於實際上皆不同，要統一的執行動作往往是達不到的，因此針對各事業體管理體制與管理目標做評估與活用，並正確的建立管理技術指標，使其能活用指標。

三、多目標貯水設施關係之配合

自來水專用貯水設施較少，但大台北供水轄區得天獨厚，擁有翡翠水庫可有效配合供給，貯水設施的管理與運用可配合水庫的營運，但是近年來全省頻發的缺水或水質污染事故，對自來水整體營運系統影響甚大，因此自來水事業體必須對貯水設施的操作與管理作有效的配合與掌控。

參、導輸配給水設施實行之重要度

導輸配給水設施之主要改進點可依以下數種方式（1）導入科學的管理，（2）設施的機能評估診斷與更新，（3）危機管理的導入，有關漏水防止與圖面管理等重要措施亦包含在內。其實行要點與活用法：

一、導水設施

導水設施是將原水經取水設施輸送到淨水設施，是由導水管、導水渠、加壓設備、制水閥、減壓閥、排氣閥所組成，如圖2。其維持管理是將導水設施與水源、取水、淨水、送水、配水形成一連串系

統，以下是新式維持管理之方法。

1. 科學的管理

導水設施配合日常的點檢結果，將設施現況即時有效的維修，並確定修補與更新計劃之次序表。

2. 機能評估診斷與保全更新

執行導水管、導水渠、暗渠之點檢防漏措施，掌握實況並診斷其耐久性、耐震性，必要時修補與更新。

3. 設施運轉

確立目標運轉計劃能有效率的營運，運轉計劃往往是受限於取水能力的大小、淨水能力的限制，並期待運轉經費、能源消耗量最小化。因此要求收集水量、水位、水壓、水質等資料，提供正常運轉與設備有效運用。

4. 危機管理

危機管理包含導水泵浦故障、停電、導水管破裂、水質污染等可能發生，資料有效收集、建立緊急通報體制、有效復舊計劃等事故對應，並應加強危機訓練。

5. 原水調整池

貯留水之用，當水質事故發生時或缺水時之靈活運轉，高濁度時之處理運用，應定期巡視與點檢，並防止水源優養化與水質受污染。

二、輸配水設施

輸配水設施是將經淨水設施處理成清

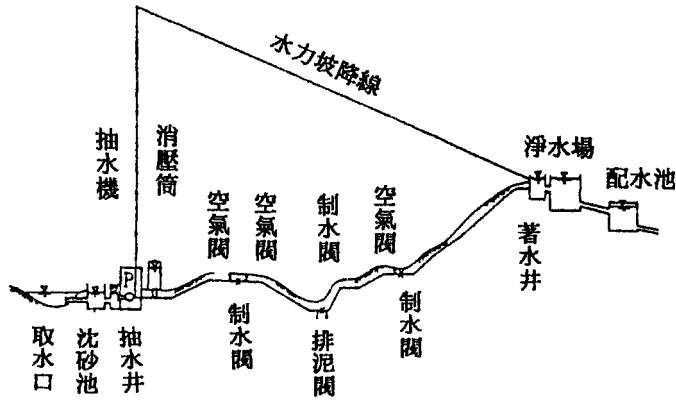


圖2 導水管路圖

潔無污染、可生飲、滿足用戶飲用需求之水，配合適當之壓力、經輸水管、配水管、配水池、加壓站泵浦等組成輸配水系統有效供水，各種配水方式示意如圖3。為了防止水的污染確保水質，防止漏水，平常即做好點檢整備，預期可能發生災

害、意外事故之對策，因此管線資料管理之完備，將決定維持管理或管網設備運用之良否，有關管理方面之重點如後：

1. 科學化的管理

要求管網管線應用設施之及時更新，有效應用自來水工程學、統計學、作業研

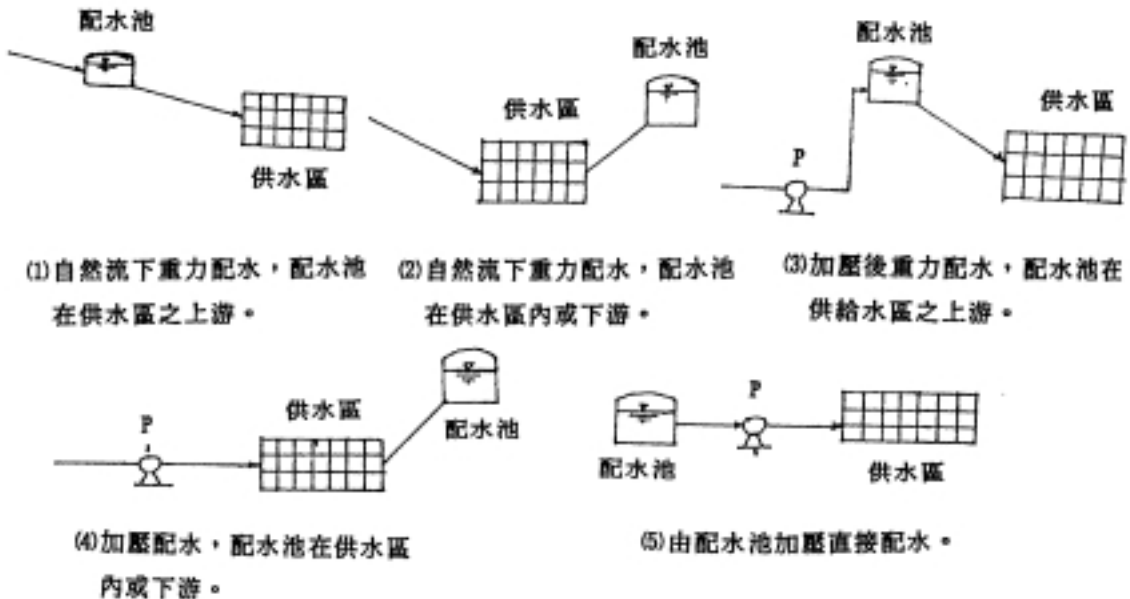


圖3 各種配水方式示意

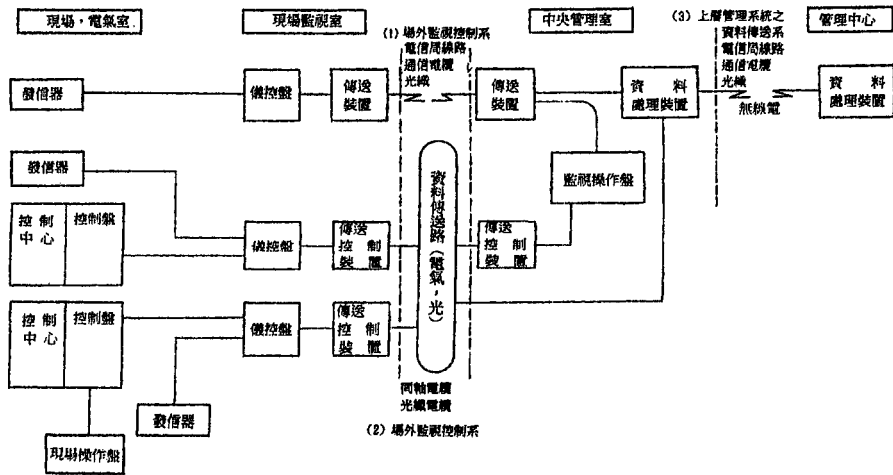


圖4 自來水用傳送系統例

究方法、品質管理學等，並建立管線資訊管理系統，自來水傳送系統例如圖4。

2. 機能評估與診斷

輸配水設施的機能是將水貯留、輸送、分配、供給；根據機能評估的基準法，需確實發揮整體功能，確保耐用年數，運轉平順，發揮有效監視監控與運轉之機能。設施全體的重點，在於評估配水量內容、加壓能源的消耗狀況以及水量、水壓、水質等的供水服務或震災之異常對應。管線強度或耐久性機能診斷方法，通常包括通水斷面的測定、管線厚度之測定、漏水調查等之直接診斷法，並建立意外事故報告，經詳細記述以供參考，另一方面必須作相關構造物方面漏水、腐蝕、耐久性、耐震性的診斷。

3. 運轉

為了自來水運用最適化，首先必須根據需求，預測輸配水量，其次是以高效率及經濟性的有效分配，並配合適當之監視控制例如圖5。出水控制是將淨水場所處理水量固定，以確保配水池保持一定計劃之水位，另一方面是將加壓站輸出之水作配水控制，確保管網內壓力在規定範圍內。執行運轉時之水量、水壓資料，由運轉與機能執行評估診斷，以及事故早期發現約有效對策；有關水質方面，在管網過程流入、流出口附近有餘氯的測定，以便考慮淨水場需再加氯之時程。

4. 保全與更新

輸配水管線之保全業務是有關漏水、破裂等之警訊與防護，以及水壓、流量等通水機能之安全確保。前者是管線須日常巡視點檢，異常時及早發現，並執行閘、

栓等點檢改善。後者是測定水壓、流量、流速等，實際機能之查證。管線在地下埋設之深度及長度，更新時所需費用，是以客觀之方式評估，管線資料的收集、管理、機能良否以及影響供水效率的評估，常能決定其改善工程之優先度。

5. 危機管理

危機是指自然界地震、缺水、洪災、颱風、土石流等，以及社會方面的危機包含停電、管線的破裂等，人爲的危機包含錯接、機器的錯誤操作、毒物投入等；經過優先度評估，配合事前計劃因應對策、以及事故時應變之管理體制。設施改善前水運用之回饋系統，並與鄰近自來水事業體相互協定，建立配水管理系統，面對可能停電則設立雙迴路系統與不斷電系統，並設立自動發電設備。且當供水緊急時確

立應急體制，有關災害種類、預期不同規模的動員體制，透過監控系統收集資訊，並定期訓練與研修。

6. 漏水防止

漏水防止是確保維生線的安全供給，對自來水能夠高效率的使用相當重要。這些對策包含配水量分析、漏水分析，漏水地點早期發現，確實對症修理，經過配水管及給水管改良、水壓調整、防止腐蝕等預防對策，並建立有效漏水防止計劃，以期達到減少漏水之目標，一般防漏作業如表1。

7. 圖面保管與管理

輸配水管線及附屬設備閥栓之圖面建立檔案，可提供事故、災害之迅速對策，以及提供維持管理的圖面，圖面的保管可以紙面、微縮片、或電腦檔案方式存檔，

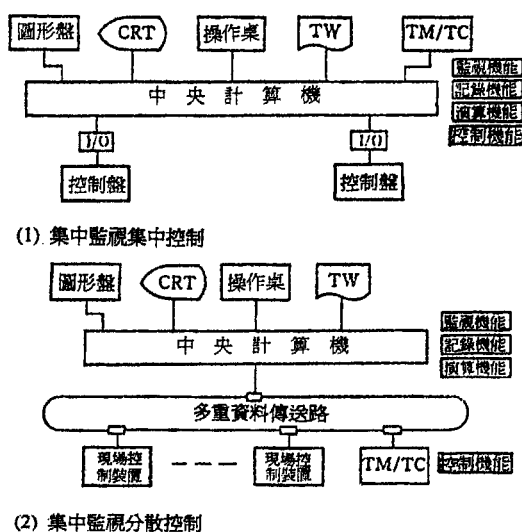


圖5 監視控制方式之架構例

表1 防漏作業

類別	工作項目	作業內容
基本作業	防漏之準備	財源及執行機構之籌劃。 管線圖表卡等(配管圖, 分區圖等)之整理。 作業區之設定, 計量設備之整理。
	供水現況之調查分析	水壓測量, 漏水原因之偵查, 配水量及漏水量之分析。
	管種之研究, 改善及開發	配水管及用水管之管種、接頭及附屬設備。
	新技術之研究發展	測漏法、覓管法、檢漏法、修漏方法、不斷水施工法。
改善作業	機動性作業	地上漏水立即修理。
	計劃性作業	地下漏水之覓測及修漏。
預防作業	自來水事業年度計劃	擬訂防漏計劃
	給水工程設施之設計及施工	加強工程規劃、設計及其審核、并修訂設計及施工標準。
	經常性抽換管線(常漏水管線之抽換)	配水管及用水管之抽換(選用新管種)。
	用水管之改善	橫越道路水管及多支用戶管之合併。
	管線之維護管理	管線系統之定期保養, 防腐蝕、防漏設施、彎管處之補強, 提高其安全性, 並將安裝水表位置儘量設於公私用地分界線附近。
	廢棄管之處理	分水點之處置(切斷並封閉接合管)。用水設備之檢查管理。
	水管之巡視監護	為防止其他工程單位挖損之會同作業。
	穩定供水	健全配水系統, 提高配水功能, 並以分段提高均勻的水壓。

如此則重要的資料能夠迅速掌握，當然正確的更新補齊誠屬相當重要，一般閘栓圖卡建檔流程如圖6。

8. 配水調整

配水調整是爲了安定供水並避免用戶

缺水，以適當的水壓水量執行供水分配，以便有效運用自來水。調整方法有閘柱操作、配水管網供水點調整、利用增壓泵浦加壓或低地區採用減壓閥之調整；今後將採用配水管網區劃化的觀點，透過輸水

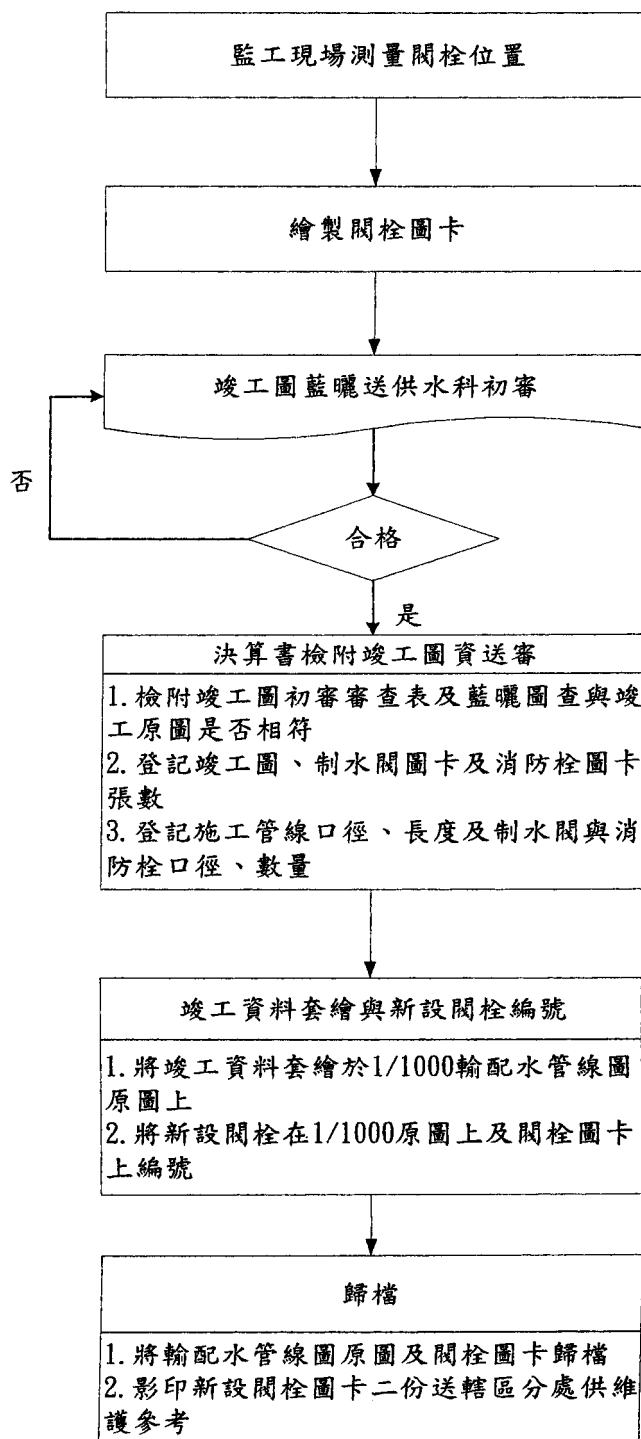


圖6 閘栓圖卡建檔作業流程

管、配水管管網化，形成有效的管網供水系統，使用戶無缺水之憂。

三、直結給水及給水裝置

受水池管理不完善時，將發生水質劣化，若水壓充足亦可考慮直接給水；直接給水是當貯水能力低下或使用水量時間變動大時仍能供水為其優點，但需整體考量水壓是否充足，才能採用直接給水。給水裝置的維持管理：自來水事業單位設置配水管分歧之管線（即是給水管），常宣導強調確保安定性及給水外線整理、管理體制及有效安全處理之宣導。給水方式包括直接給水與受水池式兩類，而且從水源直到水表的確保。給水自來水經營的基礎是水表能夠正確量計水量，尤其是近來水表技術非常進步，利用遠距離自動儀表及掌上型量表計，可提供有效資料。當直接給水用戶數目擴大時，則需使用損失水頭較小的器具，並考慮水管口徑的加大。其次是要要求水管商有一定的技術水準，有關配管、衛生對策、水錘異常現象，皆應擁有參考依據與對策。

肆、淨水設施之有效改進

自來水原水之水質惡化而影響淨水處理、缺水或地震等自然災害相對的危機管理，異臭味問題或新的水質基準，並針對病原性生物或未規定之化學物質的有效對

策。這些課題的適切對應，是要求以安全良質自來水供給，從設施的運轉保全水質管理到意外事故對策，以往是依賴勘查與經驗處理方式，如今以科學的管理方法自動化方式來替代，並考慮各淨水設施各單元操作作為主體之維持管理、自來水水源保全、新的淨水技術開發或建立有效防災的自來水系統。

通常淨水處理方面，必須將水質方面基準作適當約有效建立，目前面臨的課題是降低消毒副生成物三鹵甲烷、微量有機物、無機物、重金屬等降低化對策，先進國家通常高度化處理亦包含生物處理、臭氧處理、粉末粒狀活性碳處理、生物活性處理，其相關之設備是要求淨水合理客觀的有效處理，亦是未來努力之目標。

機能評估與診斷之項目包括淨水之全體設施，整體土木建築設備、機械、抽水機設備、儀表設備、藥品設備等，綜合性的系統確保信賴度，自來水設施流程如圖7；淨水設施自動化非常重要，發生重大故障時，運轉員的監視、操作系統的建立，未來亦將加強淨水場的遠方遙控、遠方監視等兩種設備約有效改善與設置；並確保緊急聯絡體制之可信度與安全性，亦有新式臭氧處理流程如圖8。

伍、機械、電器、儀表方面科學化客觀的管理

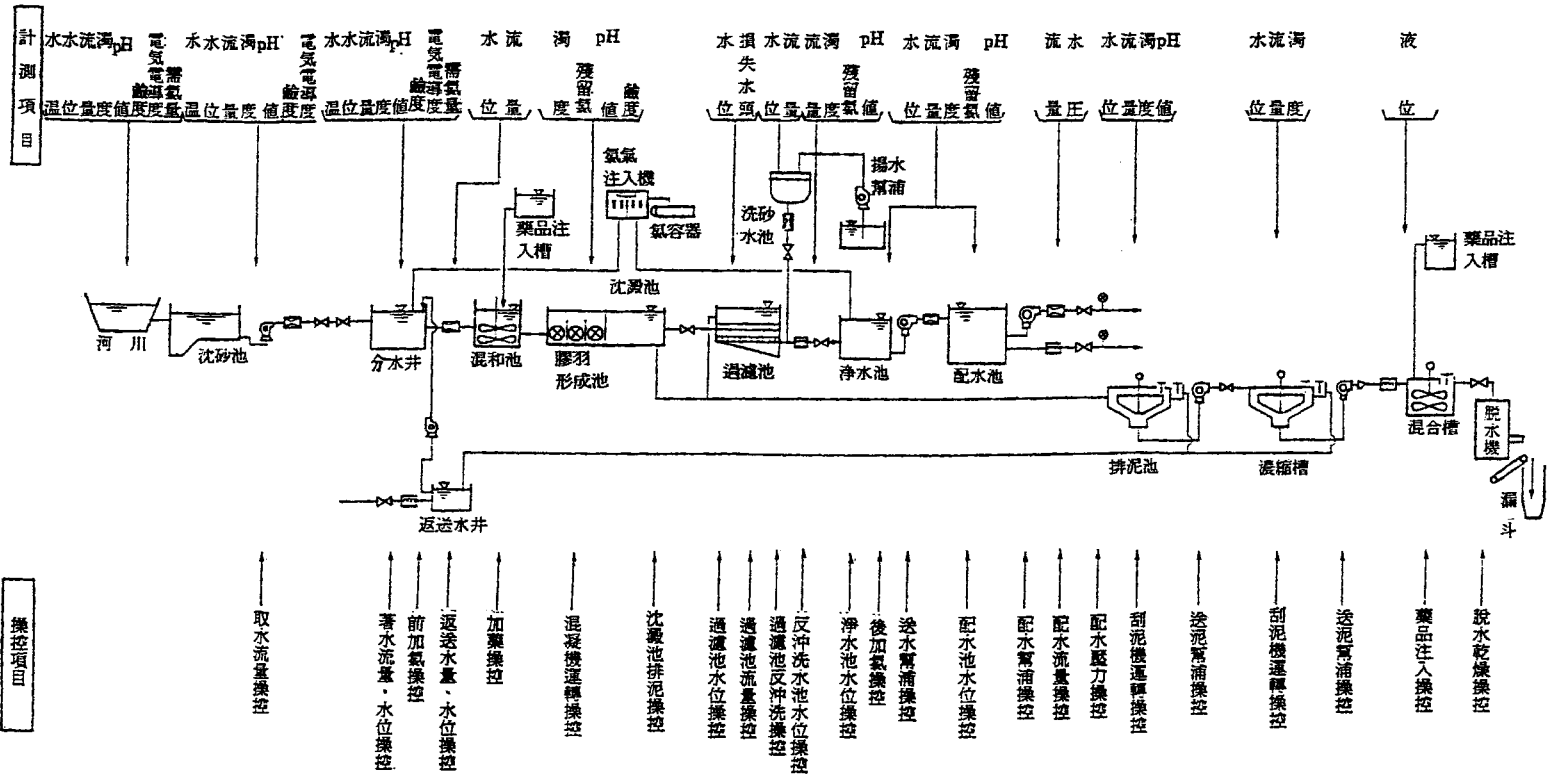


圖7 自來水設施之計測及控制流程圖例

自來水設施有關機械、電器、儀表設備，隨時代的進步設施大規模的高度化、複雜化，亦即是採用高度電傳電腦化與自動化方面的新技術；自來水設施的利用型態是從以往的個別設備單位演變到綜合整體機能的擴增，亦增大了高效率的安定給水。針對設備作最妥善科學性、高信賴度的管理。其重要點如後：

1. 科學的管理

要求機械、電器、儀表設備信賴度高，且必須有良好的維持管理系統，要求操作人員對機械構造、機能及系統熟悉度高，能夠正常操作運轉，執行定量性的科學管理。由於科學的管理是超脫經驗管理，是採用數值化客觀資料為基礎，將現狀與未來設備機能相互評估。提供數值化之資訊是從日常定期點檢或維護修理業務，配合樣本資料累積處理，可作有效率的監控管理。

2. 保全與更新

流量、水壓、水位機械、電器、儀表設備各有不同壽命，如流量計之比較如表2。一般而言，其土木施工壽命短，特別是利用電子機器之儀表壽命較短。此因自來水設備上，經年的老朽化難以避免，其壽命常是受使用條件、使用方法、保全週期等不同設備管理狀況而影響。因此適當的保全非常重要。保全方法分成事後保全及預防保全，目的是使設備能穩定的操

作，預防保全包括時間計劃保全與狀態間之監視保全，可提供有效的服務。

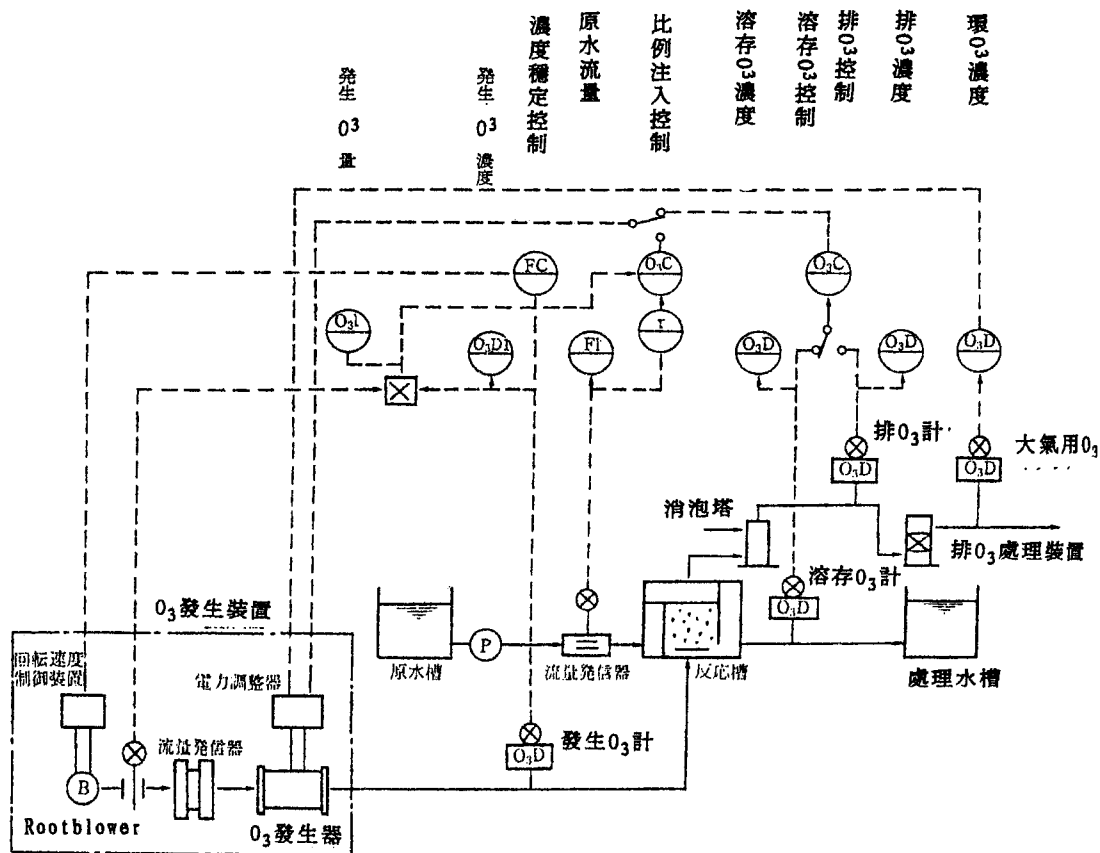
更新設備或故障時可採取定期或不定時間執行，計劃保全、機器或零件劣化定量的監視保全，若能預知保全則可提高經濟性；而且設備診斷技術的進步，將可掌握劣化狀態之壽命期限壽命且預期可能發生時程；設備的保全與更新計劃也將影響財政計劃的執行，不可不謹慎處理。

3. 能源管理

自來水設施之設備運轉，平常皆執行相同動作，許多設施可採用自動化處理，若其運轉管理效率高則可促使全體系統運轉效率優良。設備運轉大多採用電力能源，尤其是泵浦用電量最多，因此泵浦運用管理效率與機能，以及契約容量有效訂定的改善，將是能源管理的重要目標。

陸、水質事故對策

距離以往之維持管理指針已有一段時日，自來水水質基準亦業已不斷更新，引用新的分析改進其技術；另一方面淨水器與瓶裝水的普及，居民對自來水水質品質並非完全滿意，往往要求更良質的自來水，因此相關自來水水質受環境影響而增加維持管理的困擾內容；基本上水質檢查體制，包括日常水質監視、水質污染測定，並加強水質管理之統計處理，以往採頻度經驗處理或選定檢查地點，如今則可



記號：

- O₃C : O₃調節計
- O₃D : O₃濃度測定裝置
- O₃l : O₃發生O₃量表示計
- O₃Dl : O₃發生O₃濃度表示計
- FC : 風量調節計
- FI : 水量調節計

電開關：

- SW-1-a : 溶存O₃，排O₃濃度
(SW-2選擇) 回收控制
- SW-1-b : 流量之比率注入控制
- SW-2-a : 溶存O₃濃度
- SW-2-b : 排O₃濃度

圖6 閥栓圖卡建檔作業流程

改用科學的管理，例如應用統計方法，而有關「淨水處理的機能評估與診斷」是採用淨水單元處理，去除不合規定的各種物

質；如此有計劃的調查研究相關之水質管理，將可探討其相關之危機管理。

水質基準之項目、基準質、檢查方

表2 各式流量計之比較

流量計型式	堰式	槽式	差壓式	電磁式	超音波式
	三角、矩形、全幅堰	巴歇爾槽	文氏管	電磁流量計	超音波流量計
原理	於水路途中裝設堰板，利用水位關係計算流量。	於水路途中設喉部利用上游水位關係計算流量。	於管路中設喉部，以其前後之差壓計算流量。	當導電性流體通過磁場中時，利用其發生之電動勢計算流量。	音波於液體中傳播時利用傳播速度隨流
適用之水路	渠道	渠道	管路	管路	管路、渠道
壓力損失	約為文氏管之10倍	文氏管之1.5倍	所生差壓之10~30%	無	無
量水範圍	三角堰2~180m ³ /hr 矩形堰15~540m ³ /hr 全幅堰30m ³ /hr以下	3~14,000me/hr	適用管徑50~2000 ϕ 動水壓0.4kg/cm ² 以上	適用管徑6~2400 ϕ 流速0.3~10m/秒	適用管徑300 ϕ 以上流速0.1~13m/秒
精確度	三角堰 \pm 4% 矩形堰 \pm 5% 全幅堰 \pm 8~5%	\pm 4% 以下	\pm 5%	\pm 1.5%	管路 \pm 1.5% 渠道 \pm 5%
所需直管長度	上游長為堰寬之4~5	上游長為喉部寬之10~15倍	上游長為管徑之10倍，下游長為管徑之5倍	上游長為管徑之5~10倍	上游長為管徑之10倍，下游長為管徑之5倍
繞流管	要	要	要	要	要
流量與傳送訊號之關係	曲線	曲線	曲線	直線	直線

法，以及基準解說包括物性、用途、環境濃度，皆考慮合乎國際基準WHO指針及EPA基準作合理的更新，其相關範圍如後：

1. 水質檢查與試驗

可採用自我檢查或試驗委託檢查，並定期執行水質檢查，製作各種項目一覽表，有每月檢查及臨時檢查兩類，要求事業體能完成此認證。

2. 水質管理體制

針對水源可能發生意外事故之有效對應，檢驗流入之污染物質，或依據自來水水源流域環境圖，制定水質污染事故對應

手冊。淨水與輸配水的自動水質計的設立應予以增加，若自來水事業單位對某些檢查有困難可採「共同委託檢查體制。」

3. 水源之水質管理

河川管理者整體綜合管理是必要的，各種水源水質的特徵、監視方法，異常時的對應需作資料整理。湖沼水、河川水、地下水等不同水質特徵亦應有系統的整理與研探。

4. 淨水處理工程之水質管理

高度淨水處理有關項目：「餘氯消毒」、「慢速過濾」、「急速過濾」、「高度淨水處理」，其對應方法及影響因素之特

性，應針對不同水質問題提出解決方案。

5. 輸配水管網之水質管理

經過完善處理過的清淨自來水，必須能在配水管末端水質依然保持良好，因此自動水質計若能連續監視，則可謂有效之方法。配水的過程中，配水設施內各種水質變化的各類因素應密切注意。而且，有關配水管損壞污物滲入、紅水或內面塗裝劑的剝離亦需深入探討。

6. 給水管之水質管理

自來水採用高效率可信度之淨水與配水設施，確保各用戶使用水之安全安定給水，避免水質不良情形發生，考慮直結給水或貯水池的水質有效管理；針對水質作檢查，以便要求減少損害，要求用戶定期清洗水池水塔，避免黑水或異物、生物的混入且其他異常水質現象亦需考慮。

7. 水質事故對策

事業單位應集中經驗執行預防對策，並建立應急體制；污染源的自動監視，建立事故時的處理程序並平時詳加演練，此對自來水事業體而言可提供最佳的供水措施。

8. 水質計之水質管理

近年來，水質儀器的進步，水源水質監視或淨水處理的藥品注入控制，處理原水的水質監視，並針對水質異常的資料解析與診斷，已相當進步具有具體的控制方法；其他尚有水質試驗室的管理、水質分

析儀器的管理、原水水系感染症防治等，皆尚需更努力的深入探討。

柒、安全衛生管理勞動災害之省思

近年來自來水取水的環境惡化、原水水質的污染、缺水或地震等自然災害的多處發生，管線的埋設環境不良且複雜，對自來水業者造成很大的衝擊。自來水的安全性與可口舒適的追求，多樣化的需求對應，或發生災害時，仍能與平常時得到相同的供水條件。

因此，相對應之自來水設施要求各項設備效率良好，安全的運轉管理，確實做到各種點檢整備，爲了自來水系統整體能確實穩定且高度化水準的長遠之計，需有計劃的進行設備維持管理與科學的管理，尤其在執行淨水供水過程中必須能有效的執行，則勞安衛生管理亦屬同樣重要。

一、安全衛生管理的要點

勞動基準法有關災害複雜化、多樣化常是受不良環境影響，勞動者常因疲勞及壓力造成意外災害，安全衛生管理亦包括高齡化、女性保全的安全執行。自來水事業單位安全衛生管理，常是指職場的從事者或第三者所謂「人」的事故（勞動災害、公眾災害）與「物」的事故（設施事故、水質事故）有效防止，勞動者的健康

保全與建立舒適的工作場所，適當對策的擬定，提昇舒適的作業環境、作業方法以便提供作業者安全操作之環境，新時代之自來水維持管理指針，有關安全衛生管理的重點如後：

1、安全衛生管理之目標，是自來水事業管理者、安全管理者、現場技術者、工作者等，人人同心協力積極努力工作。

2、勞動安全衛生法、自來水法、消防法、其他關係法令，管理者須熟知。

3、爲了安全衛生管理，養成安全教育必須徹底執行。

安全衛生管理對本指標有多樣化、高度化作業等之對應，有關勞動災害強調安全第一。建立安全衛生管理的基礎，要求掌握事實並迅速排除不良操作因素。

(1) 有關物的對策

研討災害意外起因及排除不良設備狀況，建立場站事故故障排除之相關架構，改善不熟練設備之錯誤動作。

(2) 有關人的對策

工作者之危險行動的排除，各種狀況之因應對策，執行程序寫清楚。各種有害因素必須以有效工程科學方法去除，其內容括有作業環境管理、作業管理、健康管理、安全衛生管理體制以及勞動安全衛生教育。

2. 安全衛生對策

安全衛生對策能夠具體進步，是每一

位員工之榮譽，實際上具有危險性或可能有勞安方面問題點能儘早發現，並提出解決以及預防、確保業安全之教育，是爲了作業者的健康問題管理而實施勞安衛生教育。有關作業過程中技術性的、人的安全性，防止噪音之裝置、減低音量裝置、粉塵作業、加藥設備與方法之改善，不只是爲了安全檢查實施點檢，並對可能異常時的措施提出有效準備、提供安全作業的重要基本手冊。

自來水手冊所引出之作業包括：「淨水處理藥品分類」、「機械設備保護點檢作業」、「管路設施相關作業」、「水質檢查業務」、「建築、設備相關作業」、「氧氣欠缺危險性作業」。

捌、災害、事故對策

災害事故發生，往往無法預先預測，以往維持管理指針包括地震、缺水，如今亦將水害、雷害等天然災害事故之對策包含在內，近年來科學化的深入探討與執行管理，有關危機管理的研究，危機認識率或災害經驗率之記述，足供自來水界借鏡。

大規模的地震不知何時會發生，因此自來水系統的災害預測，有關地震對策的體制化，各種設施的耐震化診斷是必要的。災害時斷水、供水影響，淨水場間或配水幹線融通聯絡性，配水區劃化細分，

復舊迅速化皆須考慮，因此預防對策是相當重要的，應預先做好準備工作。

管線的災害預估，特別是針對液狀化地區、軟弱地盤內已設管線的管種、不同口徑的老朽化診斷、耐震診斷的執行，圖資管理、供水管網監視監控之引入且在平常設施的保全點檢非常重要。

地震對策的今後課題

自來水高普及時代的來臨，市民生活或社會活動對自來水的依存度日益升高，面對災害可能強烈影響自來水，設施耐震化，職員必須依手冊對應，自來水業者間相互支援之協定，以及設施改善的優先順位，皆須依據財政經濟計劃依序執行。

地震對策的軟體推展系統，依據可能發生災害時設備受損所編之對應手冊提供職員充實的訓練，都市間相互對應及支援協定，定期資料交換，災害時復舊、給水用資器材確保，以及大眾媒體對災情資訊提供系統的確立，可迅速減少第二次的災害。

玖、結論

自來水事業近二、三十年來發展驚人，自河川取水發展至設置堰、水庫、導水管、淨水設施，能量動輒數十萬或百萬立方公尺，輸配水系統管種、口徑亦大而繁雜，使自來水成為不折不扣的工業產品，不但提高了國民生活品質，更增進社

會福祉。

自來水設施如此龐大複雜，期望達成既定目標，有賴健全的維持管理制度。減少故障並使設備常保良好狀況，提高使用壽命，進而達到充分水量、供水穩定、水質優良、水壓穩定、水價合理等高品質之服務水準。健全的維持管理制度必須具備三項基本條件，一為維持管理人員必須具備維持管理之一般技術，還要對設備有深入之認識與了解，敬業與進取精神更不可少；二是維持管理人力的適當配置，避免影響機電設備之正常運作，導致機器性能惡化、損傷故障頻繁；三是維持管理經費的適當編列，適當的經費支援可以減少故障引起的損害，因此要有預防重於修理之共識。本探討僅重點的介紹維持管理革新與科學化管理之概念，期望能有效的加速企業化經營之推展。

參考文獻

1. 新，水道維持管理指針の要點ど活用特集，水道公論（1999/8月號）。
2. 自來水設施操作維護手冊，中華民國自來水協會，中華民國82年2月。
3. 自來水設備工程設施標準解說，中華民國自來水協會，中華民國84年12月。
4. 配水系統運用與管理之探討，台北自來水事業處，中華民國85年度計劃自行研究報告。

自來水事業防災應變之探討

吳天瑛*

一、前言：

自來水是民生必需品，自來水設備是供應合乎衛生之公共給水所必備的取水、貯水、導水、淨水、送水、配水等設備。這些基本設備為維持市民生活和都市機能之基本設施，萬一受到人為或自然界的災害，影響至鉅。如何減少災害之發生，是經營者和從業人員努力的課題。

自來水事業是相當複雜的事業，一方面要生產安全可口適飲的自來水，一方面要對用戶提供週到的服務。與其他產業或服務業不同之處，一年三百六十五天都要供水不可中斷，如萬一停水，輕則對用戶生活產生不便，重則對都市機能產生衝擊。衛生可口的自來水是用戶每日期待喝到的，而自然及人為災害，除無法供應水量收取水費外常會造成事業體不小損失；如何預防災害的發生、降低災害之危害程度及有效的緊急應變，是本文所要探討的。

1999年9月21日凌晨1時47分，就在我

們居住之台灣集集鎮發生了芮式規模7.3之大地震，造成至少2333人死亡，受傷壹萬餘人，房屋全毀八萬戶以上，餘震壹萬貳千次，整體損失達3,000億以上，自來水設施損壞情形由於石崗水壩震壞，豐原給水廠遭震損，加上停電因素，停水期間均相當長。恢復供水最快三天，災後二個月仍約有三百戶尚無法正常供水。

地震發生後，很多人會質疑同樣之地震發生在台北，我們的系統耐震能力如何，如何因應？其他天然災害發生，我們如何及時應變，作必要的檢討及改善。以期未雨綢繆，防患可能造成的災害，並將災害減至最低。

一、台灣的天然災害

近年來「災害」、「安全」、「防災」、「救災」等課題逐漸受到政府首長、學者、專家及一般民眾的關注，此一趨勢係由於以下各項因素所致。

1. 災害發生頻率高：

* 台北自來水事業處工程司

台灣地區位於亞熱帶季風區，而地形包括從海平面的海岸地區到海拔3800公尺左右的高山，每年不但容易生異常降水的梅雨（五、六月間）或雷雨（七～九月間），帶來水災的威脅，而且颱風更不時侵襲，不但帶來強風亦伴隨著豪雨，成為嚴重天然災害。依據氣象局統計，1897—1990之間，本地區曾受到三百四十次的颱風侵襲，平均每年達3.6次之多，在1981—1989的九年期間，因颱風及豪雨造成的災害則達廿四次之多。除了颱風、豪雨之外，亦有乾旱、寒流以及冰雹、龍捲風等天然災害，因此使農業、漁業、房屋、交通設施、水利工程、電力、電信以及經濟活動遭受到嚴重的損害，並造成許多民眾傷亡。從過去的統計資料中可知，這些天然災害，在1961—1991年的卅一年期間，造成高達2800億元以上的損失，平均每年約達105億元（1991年幣值），約為國民生產毛額的0.5%。其次，台灣又位於菲律賓海板塊與歐亞板塊交界之處，屬世界上有感地震最頻發生的地區之一。自1897年至1974年為止，所發生之成災地震達七十八次之多，其中最慘重的一次為1935年之新竹台中烈震，不但引起山崩地裂、房屋倒塌，而且造成

三千餘人死亡、一萬兩千多人受傷之災情，其損失令人戰慄。最近較大規模之地震為1964年發生在台南白河附近之烈震，其災害雖不若1935年烈震慘重，但亦造成百餘人喪生，六百五十人受傷、全倒與半倒房屋達三萬五千餘棟之多。而此地震距今約三十四年，又再出現類似前述的大規模地震，但由於地震的發生具有週期性，因此台灣地區將來再度發生大規模地震的可能性仍相當高。由台灣所處的地理位置與地殼結構觀之，因氣象、地震等因素引起的天然災害不但無法避免，且其頻率及規模都高於許多國家或地區。此外，這些天然災害尚受到下文所述都市發展等人為因素的影響，而使災情有加劇之可能。

2. 都市關聯的災害

台灣面積僅三萬六千平方公里，山地較多，能提供適宜居住之地區，僅約佔全部面積的三分之一左右，而目前人口集中分佈在西部狹長的平原與丘陵地區，形成多處人口高聚居的城鎮。產業經濟的轉型，使大量的鄉村人口不斷遷移到都市地區。其中，台北與高雄已分別成為三百八十萬人與一百萬人以上的大都會區，台中、台南、基隆、桃園、中壢、新竹、嘉義等地區也成為各該地方的中心都

市。都市人口集中，加上經濟的高度成長與建築技術的提昇，建築物不斷地向上及往下發展。高速公路及捷運亦因應而生，人口密集的都市終成爲多層的空間結構，再者，市區開始往外發展，都市周邊原先不適宜居住或使用的山坡地、低窪的行水區也陸續被開發利用，形成建築物密集的社區；其結果常造成山坡地滑動、崩塌，及雨水逕流大量增加，雨水無處可洩，積水成災的威脅不斷升高。總之，人口集中的都市化現象，使得大部分人口居住的地區成爲危險性大增的空間。其次，各種行業相繼出現，都市內的土地利用不再是單純的居住或商業用途。分散在新興市區邊緣的許多工廠，隱藏在高樓大廈內的大規模餐廳、KTV或三溫暖等，使得都市的土地利用變得十分複雜，安全管理也不易落實，再再呈現問題的嚴重性。再者，供大眾使用的市機能空間（如演唱會、運動比賽的場地空間）朝向集中式、大規模的發展，都市活動也延長時間，24小時的都市逐漸形成。這些現象，使都市空間的使用效率提高不少，但其潛在的危險因子也相對的增加。另外經濟、行政以及居民生活等各方面的活動依賴電腦、資訊系統或網路也愈來愈大。這些複雜

與大規模化的系統或網路，萬一遭受天然災害的侵襲，則其影響就不再限於局部地區或一時段的範疇，而是整個都市、區域或甚至大都會都會受到波及，而造成嚴重的損害。

3.建設關聯的災害

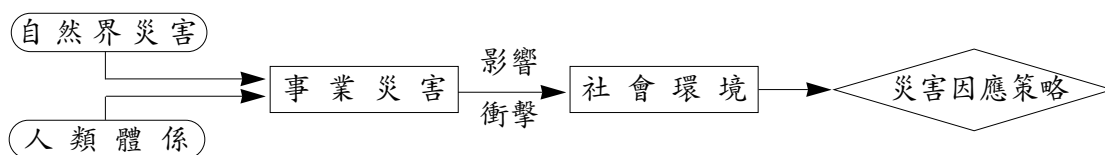
爲了提昇環境品質以及達到區域均衡發展，並帶動整體經濟持續成長，近年來政府不斷投入大量經費，進行大型的公共建設，從十大建設到六年國建，高速公路、快速道路、核能發電、科學工業園區或大型濱海工業區、防洪計畫、污水排水系統等大規模工程的興建。這些重大工程建設固然能達到上述諸多目的，但同時亦改變整體國土利用的形態。原先無人或僅有少數人居住的地區，突然增加了成千上萬的人口，而且土地使用不再侷限於居住等低密度使用，大量的工業生產或商業，以及連續車流等較高度使用也被引進，造成土地重大的負荷。在地質、水文等條件不甚穩定之地區，道路系統貫穿而過，平衡的環境生態因而受到干擾，山崩落石、洪水無法疏通等災害不時發生，不但造成工程維護繁重的壓力，也極易造成人員傷亡。

二、以天然災害之特性分析自來

水事業災害

自來水事業災害可分為自然界及人為的兩種，其與社會環境之間有相關性，許多事件仍會衍生其他系統之災害。依系統之觀點評估，自來水事業災害系統主要包

括：災害環境、災害事件、災害影響程度及災害因應策略四個次系統，這四個次系統相互交集而形成自來水事業災害體系。自然界及人為災害對社會環境之衝擊多少會造成害，其災害與社會環境之影響關係如圖一所示



圖一

如以函數形態表示自來水事業災害系統，更能清楚的說明：

自來水事業災害：F（災害環境、災害事件、災害影響、因應策略）。

災害環境：供水人口、供水量、建物樓層、地質、地形、技術條件、社會條件……

災害條件：地震、颱風、洪水、公害污染、設備故障……

災害影響：供水中斷、交通擁塞、商業活動暫停、物品遭受淹浸、樓房倒塌、衛生條件轉差……

因應策略：技術改善、操作手冊、搶修策略、環境管理及規劃……

各個次系統間交互影響，自然界災害或是人類體系事件在時間及空間上所造成之影響，形成各種不同之因應策略。並調

整生活品質及社會活動，經濟活動型態。

（一）天然或人為災害的特性

影響天然災害的因素繁多，可歸納成自然因素（如颱風、地震、雷電等）所引起的，及人為因素（如不當的土地利用、與不當的設施）兩大類。然而災害學觀點而論，災害並非如此單純，其發生及災情具有下列諸項特性：

1. 空間異質性：

災害的發生或是災情的嚴重程度，常因空間條件的不同而有差異，例如同樣強度豪雨設有不同排水設施的地區，必然造成不同的災情；相同規模且同一施工方法的道路，通過不同地質條件山區，也會引起不同的後果。

2. 時間不同性：

相同條件災害發生於不同時間，其災

情可能不盡相同。例如同一規模的地震，發生在下午下班的尖峰時刻和發生大多數人都已就寢的深夜，其災害必定有所差異。

3. 影響連串性：

災害並非個別發生且立即結束，不同空間發生的災害會相互影響，甚至波及、擴大而形成連串性與大規模的災害。這種特性在現代資訊、交通等網路系統愈形發達的社會，愈容易突顯出來。例如，高速鐵路或高速公路發生路基崩塌、道路斷絕，則引起之災情絕非僅侷限於受災地點的通行問題，而可能會影響鐵路或公路整體運輸，造成其他因運輸停止帶來的問題。

4. 累積隱藏性：

有些災害是突然發生，但絕大多數的災情卻是長年累積的原因所形成的。例如地震或颱風豪雨等災害都是臨時來襲，令人措手不及。但若是平時能夠有所防範，講求耐震或防洪措施，則即使突遭侵襲，其受害程度將會大幅減輕。

5. 複雜多變性：

災害發生或是災情形成過程非常複雜，一種災害可能是由多種災因所引起，一種災因亦可能引起多種災害。自然因素引起單純或小規模的災害，卻往往因人為因素導致災情擴大；人為因素的影響也引起某些天然災害的發生。例如因建物懸掛

太多廣告、招牌或是窗型冷氣機，且疏於維修，才會於地震發生時容易掉落，造成人員傷亡。

6. 複合衍生性：

由於災害具備了上述五個特性，因此災情的形成具有複合的特性，亦即災害經常不是單一災情的呈現，而是不同層面災情的綜合。這在大規模震災或水災時極易顯現，例如震災不僅會造成房屋倒塌，也會發生火災或人員傷亡，而且亦可能由於水管破裂，飲用水受到污染，或是人大量死亡，而引發傳染疾病。基於上述分析，自來水事業災害特性如下：

(一) 供水區域內部份用戶停水或限水，造成居民生活不便：

自來水事業災害的形成是災害事件與社會環境發生互動影響之結果。不同時間或空間之特異性，使得動態環境各不相同。因此；災害之形成因子、影響層面均不相同，同一類型災害發生於不同的時段或不同之地區產生之災害現象也不同。

(二) 災害預測之不準確性：

科學技術之進步，人們對於氣象等已能掌握，然而災害之發生可能伴隨不同環境因子及人們對於自然界控制不當，致災害預測就不準確了。

(三) 波及鄰近建物、地下埋設物及

影響交通順暢：

災害之影響區域，視處理過程是否得當，災害時因大量水流出，具有水溶性，使土壤液化造成鄰近建物等受損或交通因路面破壞，致車輛行使受阻滯。

(四) 災害重建困難：

災害之形成，除造成社會、環境之極大衝擊外，亦造成生命財產損失。設施或管線搶修，因空間狹窄、鄰近管線密集、新舊材料接合（組合）等，重建困難度提高。

三、自來水事業災害緊急應變：

自來水事業災害一旦發生，其影響層面較廣且區域較大及災害類別不一，如何預防事業災害之發生，及發生後之應變以避免災害擴大是經營的目標之一。事業體災害緊急應變目標策略分析及人員設備、裝備準備事項說明如下：

(一) 災害緊急應變目標：

災害之處理，需於災害發生當時，藉緊急應變措施之配合，減少災害產生衝擊，降低損失。若災害不幸發生，唯有降低其破壞程度及避免衍生災害之擴大。應變的目標如下：

1. 減少災害發生之頻率：

事業災害之發生，除了自然界的存在

因素外，很少是突然發生的，其發生災害的因素可能早已潛存。因此，應針對災害形成的自然因素及人為因素加以控制以降低災害發生的頻率。

2. 降低災害的破壞程度：

災害的破壞程度和各區域之交通，住宅及人口密度等有密切的關係，例如設備之安全標準及防制措施，員工的危機意識，工程技術等因素，影響到破壞之規模。藉著規劃，政策及法規，監控管理的整合，將可明顯降低破壞之程度。

3. 減少災害衍生擴大之風險：

災害發生後，往往會結合外在環境因素，例如社會環境、氣象、社區結構等之影響發生相乘效果使損失擴大。因此事前如何進行有效的預防監控管理，才能防止二次災害之發生。

(二) 災害緊急應變之策略分析：

災害防治目標的達成，需要虛心檢討已發生災害之原因，反應到策略之中，緊急應變之策略分析包括規劃方式、政策及法規、教育訓練及宣導與工程技術系統化等，茲分述如下：

1. 規劃方式：

在規劃過程中，首要掌握事業的現狀和潛在的問題，對於設備位山坡地、道路下、橋樑上、隧道（管道）內、河流邊堤防內外、緊鄰民宅等，均要予以檢討，同

時亦要考慮過去、現在及未來的各種情況。

(1) 預防災害發生資料整理分析

對於與本事業相關類似之生產事業發生災害事件，其原因、影響層面及程度等，詳加整理分析，以達到預防災害發生之目標，所蒐集之資料必需是正確且有條理的。

(2) 功能設定：

考慮各種生產類別之不同區域、環境因子、氣象條件等、建立各種模式，藉著電腦之分析以有效設定各項預防措施。

(3) 教育訓練及宣導：

為達事業體服務人員均能明瞭災害之危害程度頻率等，須加強訓練。並宣導在自來水設備鄰近地區居民如何避險。

(4) 運用模式分析：

藉各項預警措施，分析檢討各類型災害發生之機率，對於舊有設施藉都市更新，管線單住施工時予以抽換。新設施須考慮防災之措施，以有效防患。

2. 政策及法規：

主要為訂定法令限制或管制使用、訂定環保安全標準及定期維修(含安全檢查)三個因子。

(1) 限制或管制使用及操作：

自來水法、水利法等相關法令來限制或管制各項設備之使用或操作，以預防災害之發生。

(2) 訂定安全標準——如表一

如設備之消防安全、耐震安全標準、事業體廢水、噪音等，以減少災害之發生。

(3) 定期設備維修(含安全檢查)

針對各項設備之重要性，訂定檢查次數，以達降低災害風險及減少災害影響程度。

3. 教育訓練及宣導

加強事業體員工知能教育、安全教育，並由媒體宣導居民加強防災意識，訂定防災周，以減少損失。

4. 工程技術系統化

藉著工程技術研發創新，加強結構技術研發、並建立各項預報監控系統，採用緊急應變措施，一如圖二

氣象防災：豪雨、暴風來臨前及事後之處置。

地質防災：地震、洪水、暴雨引致坡地、橋樑、涵渠、隧道等之災害之預防及事後搶修。

設備防災：研訂操作順序、訂定警報系統、採取正確應變措施。

(三) 人員、設備及裝備之準備事項

1. 行政之管理：

人員之編組、裝備及機械之購置，各項管材、管件之庫存、圖面檔案之健全，達迅速動員維修或搶修之目的。

表一 定期檢查報告標準表（每年檢查次數）

水工結構物 檢查項目	蓄水庫	壩水及進口	原導水路	淨水場	輸配水統	加配水池及加壓站	水虹管吸橋工	水門吊机	沈砂池
1. 結構物及周圍檢查清掃	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2. 漏水情形	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3. 利用情形	2								
4. 結構物損壞情形	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5. 水深及容量	1								
6. 淤積情形	1	1							
7. 固定壩情形		2							
8. 攔污柵水門情形		2		2		2			2
9. 高壩漏水情形		12	2						
10. 水路可能最大流量									
11. 沈砂情形				2		2			2
12. 排氣閘、洩壓閘情形					2				
13. 閘及排水管情形					2				
14. 伸縮接頭情形							2		
15. 結構物檢查補修								1	
16. 機電絕緣電阻數								2	
17. 開關動作校正								2	
18. 電纜絕緣電阻數								2	

2. 水源

包括集水區保育、水污染防治、水庫及壩之安全、另外地下水水源或山泉水（湧泉）等之保護，以達水源潔淨之目標。

3. 輸水設施

包括取水口結構物、隧道、渠道、抽水站、管線、閘類等之維護、檢查及補修。

4. 淨水設施：

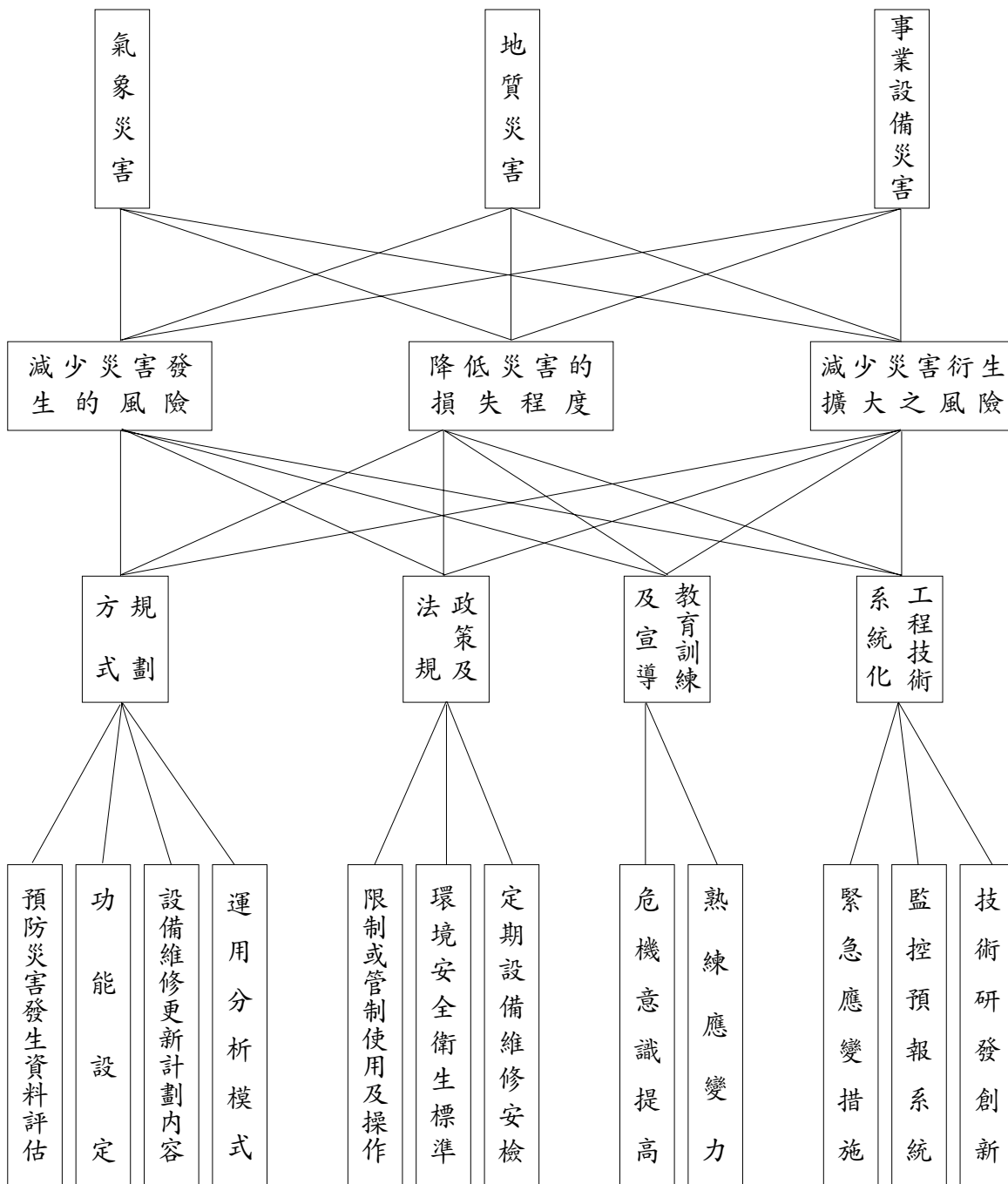
包括淨水結構物、控制設施、機具儀器裝備及化學藥品之保護及檢查，做到品質保證和品質控制之目的。

5. 蓄水設施

包括高架水塔或配水池、及閘類、進出管線之維修、檢查及保護。以確保水量之供應正常。另防震蓄水池或水井或家用儲水桶均需妥善規劃。

6. 配水系統

包括管線、閘類、抽水站(或加壓站)



圖二 自來水事業災害緊急應變策略評鑑分析圖

之維修、檢查及保護、另必備之材料之準備。

電力系統則包括輸電線路、轉換系統、儀表系統、變電站、備用發電機等。以達水壓、水量正常供應之目標。

7. 運輸

包括車輛、機具、維護設備、供應材料及路面填充材料等之整備。以達迅速供料、迅速搶修之目標。

8. 通訊網路

包括電話、無線電話（報）、電傳設備。達正確傳送資訊，避免影響進度。

另外；平時與當地消防、警察、醫院、軍隊及市府工務單位之連繫，建立良好公共關係，可達事半功倍之目的。

四、自來水事業災害種類、防災工作內涵及處理對策

針對自然界及人為的災害之不同，其處置對策須預為規劃使災害減低至最輕微之程度，以維持產銷正常。一如圖三

(一) 災害之種類：

1. 自然界：

地震、颱風、暴雨、枯水、洪水、酷熱、嚴寒、山崩、地陷等原因，可使得事業體部份設施故障或損壞或操作不良，不可不加以預防。災害之破壞程度或許不太一樣，對事業體供水會產生不同程度之影

響。其造成事業體不良之狀況有：

- (1) 停電：由於電力公司輸電線路受損，致加壓站不能發揮原有功能，出水量將減少。
- (2) 淹水：超出設計頻率之洪水，可能造成市區排水不良，致淹沒一些設施。
- (3) 原水混濁：原水含泥沙量過高，致濁度激增，快濾地出水量減低。
- (4) 原水不足：水庫蓄水量不足，出水量及供水量將受限制。
- (5) 設施故障或損壞：輸配水管線破裂、淨水場、配水池損壞等，致部份地區無法供水。

2. 人為的：

人類高度工業化、不注重環境保護之結果，會造成水源污染、酸雨、落塵、放射線、設備操作管理失當、外力破壞、勞資糾紛、戰爭、管線受外單位挖損、錯接等原因，亦可使得事業體部分設施故障或損壞，不可不加以預防。其對事業體造成不良反應除與自然界之災害類似外，尚有：

- (1) 水源污染：由於上游集水區土地不當開發利用，如濫墾、濫葬、盜伐、養豬及遊憩使用等，致原水水質惡化處

理困難。

- (2) 維修不易：由於受破壞之嚴重度過高或分散於各相關設施，致維修困難。

(二) 防災工作的內涵：

1. 科技研究：

由於不同條件下的災情各有差異，因此對可能發生災害的空間或時間資料應充分掌握，方能確保防災工作的落實。例如輸配水管路通過地區的地質構造、水文狀況等空間的基本資料都必須掌握，才能確保包含防災考量在內的工程規劃、設計、施工及使用時的安全性。除了基本資料的掌握之外，爲了瞭解在可能會發生何種災害及其災情的程度，必須推動相關的調查、分析、實驗、模擬等防災科技研究。

2. 長期推動：

從上述災害特性可知，許多災情的形成是長期累積所致，而災害的發生又常是突然的，因此防災工作並非在災害發生後才開始推動，而是必須持續地針對可能導致災害的徵兆或要因加以掌握分析，並提出對策，因此平時就推動是防災工作的重要必備條件。

3. 全員參與：

由於災害具有連鎖性，災害的發生常不限於一特定地區或對象，且災害的發生過程十分複雜，因此可能受到災害波及的

範圍內，各相關行政機關、民間團體、一般民眾以及企業、醫療、教育等各方面的人員都應關注、全面參與，才能達到從各個層面來考量問題與提出防範對策的功能。

4. 全面規劃：

雖然防災工作必須從平時持續推動，才會有其成效，但仍應區分輕重緩急；因此，必須全面規劃，清楚目前應該做到什麼程度，將來再提昇到何種程度。

5. 軟硬體併重：

天然災害常是實質空間的災害與非實質空間的災害併存。例如地震災害，不僅會造成建築物、維生管線或交通設施等破壞，而且還會引發經濟活動停止、社會不安等社經的災害。再如，都市的過密建設、土地使用管理不當、相關法規、制度的欠缺等之相互結合，才會釀成不可收拾的大災害。因此，尤其是如何建立從講求硬體設施的改善，到軟體的制度、法規等全面性的對策，才是完整的防災。

(三) 災害的處理對策：

自來水係公共給水系統，屬於維生線之一種，與人們生活息息相關，由日本阪神及集集大地震得知，有爲數不少的自來水系統（如淨水場、輸配水管、給水管等），遭致破壞，且因消防用水中斷，使災害

更為擴大，因此災害發生前之防範對策及災害發生後之緊急處置對策，均須事前詳予規劃研擬，依影響層面、災害類別及嚴重程度而訂定各種處理對策。

1. 各行政機關、防災機關相互支援

- (1) 成立指揮部
- (2) 召開協調會報
- (3) 訂定處理及執行方案等，如緊急供應計劃等。

2. 防災救災對策內容

災害發生：

- (1) 災害預測消息的蒐集
- (2) 發布與傳遞警報
- (3) 發布避難警告或指示

災害發生後：

- (1) 員工如何進行搶修
 - a. 成立指揮中心。
 - b. 通知特約廠商。
 - c. 與路政、警察單位聯繫發布新聞稿。
 - d. 受害管線或結構物安全性評估及緊急處置。
- (2) 供水措施之調整
 - a. 停水：部分地區停水一段時間。
 - b. 限水：一日內供水一段時數，或小區域由水車送水。
 - c. 請相鄰自來水事業支援供水。
 - d. 設置臨時性供水站由居民至指定

地點取水。

3. 復舊

- (1) 損壞狀況之調查追蹤。
- (2) 暫時性之應急復舊。
- (3) 永久性之復舊。

4. 其他應注意事項

- (1) 法的對策—防災基本法、防災體系確立等。
- (2) 財政的對策—災害保險之確立、防災投資之增加等。
- (3) 空間規劃之檢討—人口過度集中區域疏散及危險區域之公佈。
- (4) 環境污染防治—防止疾病之發生。
- (5) 推動防災教育，鼓勵市民自動參與救災。

(四) 搶修完成後之評估檢討

1. 災害影響範圍及環境污染防護是否徹底。
2. 損失價值評估—以個案分析。
3. 交換或支援系統是否發揮功效。
4. 搶修計劃及訓練是否足夠。
5. 災變對策及恢復是否正確迅速。
6. 訂定搶修作業手冊及各部門維修手冊。

五、結論與建議

自來水事業緊急事故之應變及災害之處理對策須賴土木工程防震、防洪、防火

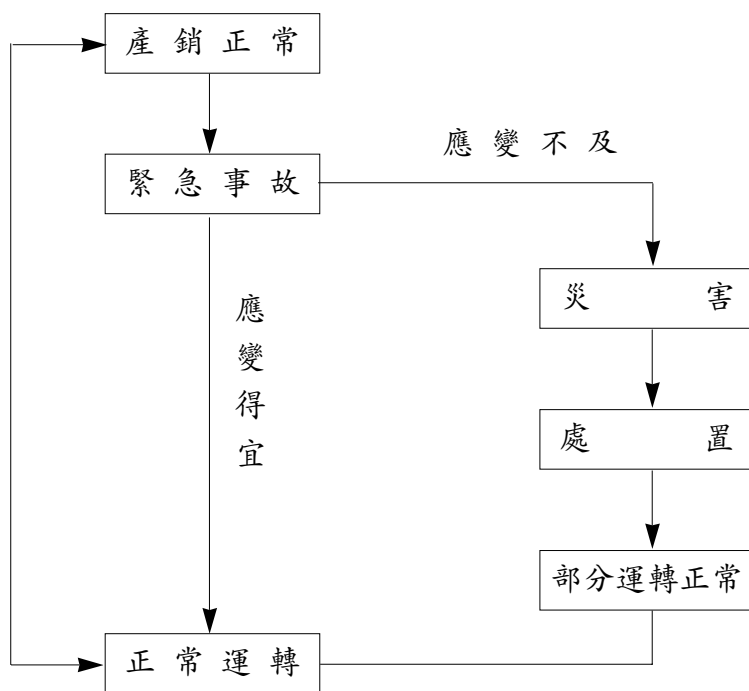
等之研究外，並建立監測預報系統，藉著良好之資料管理、前瞻性之規劃、政策及法規之制定、教育訓練及宣導等，以減少災害產生風險並確保用水品質之提高。

1. 發生緊急事故，如應變得宜可防止災害，因此防災研究除人為可能之破壞程度應有應變策略外，天然災害之處理對策更要予以模擬。
2. 須與路政、警察、消防單位多所連繫，注意其他管線或工程單位管線、土木設施埋設位置，其施工時應至現場貴地瞭解。本處大型工程或特殊工程完工時須附完工報告。
3. 建立警報監視系統，以求及早預防，減

少事業體損失。

4. 建議災害階段性之處理方法：
 - a. 分析災害之類別及嚴重性。
 - b. 提供緊急援助去拯救傷者及設備。
 - c. 減少再次傷害或損害之可能性。
 - d. 施行緊急搶修基於優先需求。
 - e. 回復供水系統正常作業。
 - f. 評估應變維修計劃，一提出檢討報告。
 - g. 修正維修計劃。

在事業體方面，後續之研究應加強應變計劃、搶修作業及技術之創新，並以監控系配合機電設備自動化，以有效管理並減少災害。



圖三 緊急事故應變圖

參考資料

1. 黃柏松，“實用水力工程學”，科技圖書公司，68年8月。
2. 林耀煌，“營建工程施工規劃與管理控制”，長松出版，72年2月。
3. 日本水道協會，“自來水設施耐震工法指南及解說”，中華民國自來水協會，80年5月
4. 中華民國自來水協會，“自來水設施操作維護手冊”）82年2月。
5. 陸炳文，“公關與危機處理”，81年1月。
6. “經濟部水利司”，“水資源計劃作業規範”，79年12月。
7. “臺北市防救天然災害及善後處理辦法”，83年12月7日。
8. 內政部建築研究所籌備處“都市地震防災評估手冊”，83年4月。

簡介美國飲用水消費者信賴報告法則

王嶽斌*、葉俊宏**

一、前言

「這是我們喝的水嗎？」、「自來水是致癌水？」等廣告詞經常出現在市面上包裝水或淨水器的廣告上，民眾在受其影響及未充分取得正確的飲用水資訊下，逐漸對自來水品質產生不信任。根據環保機關及自來水事業單位公布的水質檢驗結果顯示，自來水水質已具有基本衛生品質，但民眾在廣告的影響下，卻以自來水的硬度高或具有消毒水味等口感不佳問題，誤認為自來水不夠安全，因此，逐漸以盛裝水、包裝水或機能性淨水器取代自來水。

在美國民眾對自來水品質亦有類似誤解情形，為此美國環保署基於消費者有「知的權益」，並為建立民眾對自來水的正確認知，已於1998年發布「飲用水消費者信賴報告法則」(Consumer Confidence Reports rule, CCR)，強制自來水事業單位必須提供用戶自來水水質年報及相關資訊，以建立民眾對自來水的正確認知，避免不必要的恐懼。茲為提供該法則供各界

參考，爰將該法則介紹如下。

二、什麼是飲用水消費者信賴報告

美國環保署在1998年8月19日依據安全飲用法 (the Safe Drinking Water Act, SDWA) 1996年修正的條文規定，發布飲用水消費者信賴報告 (Consumer Confidence Reports, CCR) 法則，要求自來水供水單位必須提供自來水用戶水質年報，而年報中並應涵蓋其他有價值的飲用水資訊。信賴報告的內容可以建立民眾對飲用水的正確認知，內容包括家中水從那來、並幫助用戶了解安全的飲用水是如何被送到用戶，以及教育民眾確保安全飲用水的方法，例如水源保護等。信賴報告可以促進用戶及供水單位之間的溝通，並鼓勵用戶正確了解飲用水衛生及個人健康問題，此外，也可以提供消費者有關健康的資訊，另亦可透過文獻指引及電話，取得水源評估、健康影響數據和其他有關供水系統的資料。

* 花蓮縣環保局水污染防治課課長

**行政院環境保護署環境衛生及毒物管理處簡任技正

三、提供消費者信賴報告的單位及時間

供水規模在供水點十個以上或供水人口二十五人以上的供水系統依該法則的規定，就必須準備並提供用戶該供水系統的水質年報資料，這些典型的系統包括城市、鄉鎮、集合住宅及拖車公園等。

如有供水單位賣水給另一供水單位的情形，該供水者必須提供買水的單位，水質檢測數據及其他相關資訊，以協助買水的自來水事業單位，編製其應提供給用戶的消費者信賴報告。但賣水的自來水事業依該法則的規定，可以不負責提供買水的自來水事業消費者信賴報告，且可不負責提供買水的自來水單位，應進行配水系統監測的水質項目（例如鉛及三鹵甲烷等項目）等，除非買賣水兩造的自來水事業另有契約，約定提供相關的水質資訊。但無論那個自來水單位彙整編撰消費者信賴報告，買水轉賣給用戶的自來水單位，必須負責確定其用戶收到消費者信賴報告。

至於提供消費者信賴報告的時間，依該法則的規定，供水單位必須在1999年10月19日，編製分發消費者第一份報告，因報告是水質年報資料，是以西元曆年為單位，所以該報告的資料及數據係彙整1998年1月至12月的結果。在2000年以後，則必須在每年的七月一日前提供消費者前一

年的消費者信賴報告。

而買賣水供水單位之間水質資訊提供時間，則是由賣水單位在每年四月前提供給買水單位。新設立的供水單位，則必須在從一月至十二月，完整操作一年後開始的次年七月前提供水質報告，爾後也是於每年七月提供其消費者水質報告。

四、消費者信賴報告的內容

依據消費者信賴報告法則的規定，供水單位編製的水質報告必須記載的基本項目彙整如表一所示。而美國環保署建議自來水供水單位應盡量在報告中加入圖片或相片，以幫助傳達報告的內容，且對於其他的教育資訊，如有助於消費者建立正確認知者，環保署亦建議供水單位加入報告中。而報告的標題，供水單位可以訂定為消費者信賴報告（consumer confidence report）、水質報告（water quality report）或相關的標題。

基本上，用戶對報告最有興趣的部分是供水品質是否符合聯邦或州的水質標準，雖然該法規並未要求要綜合評定水質是否符合標準，但供水單位仍可加以說明，但最好避免使用水質是”安全”的字眼，因為水質符合標準對於大多數人而言是安全無虞的，但對於孕婦、小孩或有免疫不全症者而言，則可能仍會有危害的影響。

以下就消費者信賴報告法則規定應記載之基本內容分別說明如下：

表一 消費者信賴報告應記載基本內容

項 目	基 本 細 項
供水系統資訊	服務人員姓名及電話 公眾參與機會的資訊 對於非英語民眾的服務資訊
水源	水源的名稱、位置、型式 原水評估可用性 污染來源的資訊
名詞定義	包括水質濃度的最大限值及目標限值等名詞的介紹及定義
檢測物質及結果	對於規範物質及非規範物質的檢測結果彙整表 每項檢出物質的來源或可能來源 對於檢出物質超過最大限值的健康影響說明 對隱孢子蟲致病性原生動物、放射性鏷等其他物質的資訊
其他法則配合情形	對其他飲用水法則違反情形、可能的健康影響及供水事業執行改善違規的措施。 對於不可抗力的異常應變情形
教育宣導資訊	檢出物質的解釋及在飲用水中出現的量 對易受隱孢子蟲感染之飲水者加以警告 有關砷、硝酸鹽、鉛等物質的資訊

(一) 供水系統資訊

確認供水系統的名稱，並且提供下列有關供水系統的資訊：

1. 洽詢人員姓名及電話：供水事業要設置專人及專線，負責回答用戶對於供水事業提供的消費者信賴報告的任何問題。
2. 大眾用戶參與的管道：公眾參與影響水質決策會議的管道、相關會議時間地點等，可以彙集成表提供用戶參考是否參加，表達有關水質改善的會議。

(二) 水源

消費者信賴報告要描述水源的型態是地面水體、地下水體或混合水體，水源位置及名稱，並能配合圖片說明水源及供水系統的相關位置，協助消費者了解。報告必須說明除了目前使用之水源之外，尚有支援、替代備用等水源，且應讓消費者知道在一年中可能會使用不同的水源，而彙整提供的水質資訊，對於額外增加使用的支援水源或替代備用水源，亦須說明其水質的檢測結果。

如水源評估已經完成，必須告訴用戶可從哪裡取得評估結果，如果供水事業對於其水源，已經收到環保單位的水源評估報告，供水單位可以將評估結果摘要彙整在信賴報告中，如尚無使用水源的評估報告，亦可參考州政府發展的水源評估程序，自行評估並將結果彙整在報告中。此外，如確實無任何水源評估可資納入信賴報告中，則供水單位在編製信賴報告時，亦可將對水源保護有所助益的污染源相關資訊納入報告，以便教育宣導消費者減少其對水質會產生影響的活動，並可提供預防及改善水污染的方法及資訊。

(三) 名詞定義

依據飲用水消費者信賴報告法則的規定，供水事業每一份消費者信賴報告均需定義解釋報告中的相關名詞，以幫助消費者了解報告。而必須解釋定義的名詞包括下列各項：

1. 最大限值 (Maximum Contaminant Level, MCL)：指飲用水中允許污染物質的最高濃度，而該值是在考量最佳控制技術下，儘可能接近最大目標限值來訂定。
2. 最大目標限值 (Maximum Contaminant Level Goal, MCLG)：指飲用水中不會造成任何健康危害，或是可以接受的健康風險的污染物濃度。換言之，最大目

標限值即是飲用水水質的健康界限。

當水質檢測結果，部分污染物質（例如鉛或濁度）受到相關特定的飲用水管理法規規範，應採取相關措施時，則供水事業提供的消費者信賴報告必須增加說明解釋下列名詞：

3. 處理技術 (Treatment Technique, TT) 限值：被其他相關飲用水法規要求，當檢出該物質濃度高於此限值時，必須在一定期限內，採取相關處理技術以降低飲用水中污染物質濃度。
4. 行動限值 (Action Level, AL)：飲用水中污染物濃度超出該限值時，供水系統必須依相關飲用水管理法規的規定，採取相關措施，以減低其影響。

當供水系統有不可抗力的異常操作時，則供水事業提供的消費者信賴報告必須增加說明解釋下列名詞：

5. 異常及免除規範 (Variance and Exemptions)：聯邦及州政府在特殊的情形下，同意供水單位供水水質可以不必符合最大限值及處理技術等相關規定。

(四) 水質檢測結果

水質檢測結果是消費者信賴報告最主要的部分，亦是最關心的部分。在報告中檢測結果必須以表格的形式彙整起來，而

測值表示的方式必須有最大值、平均值、全年實測值的範圍，即最低測值至最大測值。

彙整檢測結果的表格，可以分成主表及副表，主表內的水質項目應包括受聯邦飲用水相關管理法律規範限值的物質及其他非規範限值的物質，例如資料收集法則要求監測的物質；或州政府規定的物質，例如隱孢子蟲及鐳等物質。前述彙整各檢測值的主表亦可以就規範限值的物質及非規範限值的物質分別彙整成表；或亦可就污染物質的型態，例如微生物、無機物；或依其採樣地點，例如淨水廠清水池、配水系統，分別彙整成表。如報告要彙整所有檢測的項目，則可以將未檢出的項目另外彙整成副表。

此外，爲了方便消費者可以很容易將測出值與最大限值比較，表格亦必須同時表示該項目規範的最大限值，而表示的單位，必須使最大限值是大大於1以上的數值，如同時表示最大目標限值及偵測極限時，其單位亦必須與最大限值的單位相同。如果有些規範項目在過去一年沒有實際檢測數值，則必須以最近一次的檢測結果納入，同時必須將檢測時間表示在表格內。

歸納而言，對每項檢出物質，表格必須還涵蓋下列各項：

1. 最大限值（MCL）：該物質最大限值

必須表示成大大於1的數值，如該物質係受處理技術限值（TT）規範，則最大限值必須表示爲處理技術限值；如該物質受行動限值（AL）規範時，則最大限值必須表示爲行動限值。

2. 最大目標限值（MCLG）：其表示單位必須與最大限值相同。
3. 該物質的檢測結果，其表示的單位必須與最大限值及最大目標限值相同。
4. 該污染物質可能的來源：應儘可能將污染物質的來源表示出來。如果有可靠的資料來源，甚至可以將該污染物質的污染源表示出來，例如，某某紙廠廢水；如果沒有可靠的資料，則其來源可以表示成較爲典型的污染源。
5. 特別標示超過規範限值的項目：如有物質的檢測結果是超過最大限值、處理技術限值或行動限值者，該項目欄位應以不同的字形、顏色、大小或記號等方式註記，並說明超過限值的時間、對健康的影響及供水事業採取之因應措施。
6. 聯邦或州政府要求監測的項目：例如資料收集法則要求監測隱孢子蟲等項目，亦應儘可能將全年檢測結果的平均值或檢出範圍納入表格中表示。

（五）配合其他飲用水法規的執行情形

如果供水事業在彙整一年的飲用水消

費者信賴報告時，當年有違反相關飲用水管理法規時，例如表面水處理法則等，應說明違反情形，且必須陳述檢出結果超出最大限值時的健康影響，以及供水單位採取那些措施改善違規。

(六) 教育宣導資訊

提供飲用水中檢出物質的相關教育資訊，並對易受隱孢子蟲感染之飲水者加以警告，以及陳述說明砷、硝酸鹽、鉛等物質的相關資訊。此外，對於用戶用水設備的管理問題亦可加以提示，以建立民眾對飲用水的正確認知。

五、如何傳遞送達消費者信賴報告

供水事業必須將飲用水消費者信賴報告免費分送給每位消費者用戶，最好的方式是儘可能隨著水費單或收據寄達給用戶參考。並建議可採行下列各方法發送報告，達到報告傳達資訊的目的：

1. 張貼在網際網路上供各界查詢。
2. 將報告郵寄給所有用戶。
3. 摘要公布在當地的報紙、電視及廣播電台上。
4. 張貼報告在公共場所，例如圖書館、教堂及學校等
5. 刊載在當地報紙。
6. 郵寄報告給大廈或公寓管理委員會。
7. 郵寄報告給社區管理委員會。

六、結語

美國環保署為建立民眾對飲用水的正確認知，強制要求供水單位必須提供用戶飲用水消費者信賴報告，或飲用水水質年度報告，並提供確保飲用水水質的正確資訊。國內長期以來，民眾對於水質並無正確的常識，例如水中因有硬度經煮沸後會產生鍋垢，致口感不佳，而認為水質不衛生等問題，在淨水器及包裝水業者廣告之渲染下，極易造成對自來水品質的誤解，且民眾對於自來水二次污染的觀念及作為十分缺乏，亟需正確的資訊予以導正。美國該項法則對於改善我國現況極具參考價值，因此，建議相關單位及早完成立法工作，以強制要求供水單位提供類似的水質報告，而自來水事業基於維護消費者知的基本權益，亦應及早因應準備。

參考文獻

1. US Environmental Protection Agency, “Federal Register 40 CFR Part 141 and 142, National Primary Drinking Water Regulation: Consumer Confidence : Proposed Rule” , 1998
2. US Environmental Protection Agency, “ Preparing Your Drinking Water Consumer Confidence Report- Guidance for Water Supplier” , 1999

簡介大陸最近修訂地表水分類水質標準

姚關穆*

壹、前言

大陸環保總署趁著千禧年來臨之前，在西元1999年7月20日公佈經過大翻修的「地表水環境質量標準」，並在西元2000年1月1日起正式生效，在性質上和內涵上與原訂標準，都有極其顯著的變動。這些變動有些頗具創新意識，有些則是爲了補救過去的缺陷，使之更接近現實需要。在新標準前言中，特別強調水體名稱，由原「地面水」改爲「地表水」，也許是比較上「地表水」和國外用詞「表面水」(Surface Water)，更爲貼切。台灣地區自來水主要水源，絕大部份來自地表水水體，因此受地表水水體水質標準的影響很大。本文目的是分析並介紹大陸的這項新標準，供自來水界同仁參改。

貳、大陸地表水水體分類

大陸當局把地表水水體分爲下列五類(1)：

一、第I類主要適用於源頭水，國家自然保護區等。

二、第II類主要適用於自來水水源地一級保護區，珍貴魚類保護區，魚蝦產卵場等。

三、第III類主要適用於自來水水源地二級保護區，一般魚類保護區及游泳區等。

四、第IV類主要適用於工業用水及人體非直接接觸的娛樂用水區等。

五、第V類主要適用於農業用水區，及一般景觀要求水域等。

從上述分類可以看出，前面三類都可以作爲自來水水源。其中一級水源是指水質良好的地表水，經過簡易處理(如過濾)及消毒後，即可供生活飲用。二級水源則須經過傳統淨水處理(如混凝、沉澱、過濾、消毒等)，才能達到飲用水標準(2)。至於「源頭水」的定義，水質標準中和其他相關文件中都沒有提到。從實際後應用例子上來看，似乎是指重要水源，原則上希望保持原始狀態。

參、地表水分類水質標準的基本架構

* 國立中央大學兼任教授

新的地表水分類水質標準在架構上有極其重大改變。舊標準是在西元1988年4月5日核准，同年6月1日起實施，所有水質項目都列在「表1：地面水環境質量標準」中（3）。新標準的水質項目，則就其性質不同，分別列在三個表中：「表1：地表水環境質量標準基本項目標準值」（見附表一），「表2：湖泊水庫特定項目標準值」（見附表二），及「表3：地表水 I、II、III類水域有機化學物質特定項目標準值」（見附表三）。

新標準的表1，除少數項目略有變動或增減外，原則上繼持舊標準表1的內容和標準值。新標準表2是針對防止湖泊水庫水質優養化需要所訂，在亞洲地區可能是除日本外，第一個嘗試這類水質標準。即使在美國，這種較為完整的防止水質優養化水質標準，也僅在聯邦環保署積極推動之階段，至今尚未達到正式訂定水質標準的程度（4）。大陸這項新標準中，包括：總磷、總氮、葉綠素a和透明度等四個項目，適用於所有湖泊水庫，並不限於自來水水源，範圍相當廣泛。不過根據美國聯邦環保署計畫，要求各州訂立防止水質優養化的地表水水體水質標準對象，將包括湖庫、河川、河口及近海水域等，又顯得更廣泛些（4）。

新標準表3包括四十項有機毒性物質，其中除了有一項是從舊標準表1 移來

外，其他都是新增。這些標準只適用於 I、II、III類水體，目的顯然是保護自來水水源和魚類，不適用於 I、農業用水及景觀用水。

肆、基本水質項目及標準值

舊標準表1 中共列有三十個水質項目，除了其中苯并（a）芘一項被移到新標準表3外，其他項目都由新標準表1 保留，改稱為基本項目。不過新標準表1中改變了少數這些項目的性質和標準值，另外也新增了一些項目，茲簡介如下：

- 一、新標準表1 共有三十一個水質項目，比舊標準表1增加二個項目：硫化物和氨氮。其中氨氮對自來水處理的影響很大，可以說是新標準的一項明智措施。
- 二、舊標準表1中註明，溶解性鐵、總錳、總銅、總鋅等項的標準值，可以根據當地背景濃度，酌予調整。新標準表1中已刪去這項註明，顯示大陸對環境品質要求，更趨嚴格。
- 三、舊標準表1 中註明，總鎘、總鉛、揮發酚、石油類等項，雖然訂有標準值，但實際上當時檢驗技術可檢驗到的最低值，還達不到標準值要求，應該是表示這些水質項目，並不能執行到標準值的水準。新標準表1中已經沒有這項註明，顯示大陸近年在水質

檢驗科技上，已有長足進步。

四、新標準表1中，把舊標準表1裡的總大腸菌群，改為糞大腸菌群，並且把舊標準只有第III類水體有標準值10,000個／公升，改為各類水體都有標準值。這個項目性質上的改變，意義相當重大，而且也符合國際間一般趨勢，因為總大腸菌群反映生活污水污染不及糞大腸菌來得強而有力。不過經查証後發現，大陸「生活飲用水水質標準」中，仍然維持總一大腸菌群項目，可見仍然有其應用的領域(2)。

五、舊標準表1中把總鎘和苯并(a)芘的標準值列為暫行標準，新標準中已列為正式標準。

六、關於水溫標準，舊標準表1中列為，由於人類活動肇致升溫，夏季平均最大不得超過攝氏1度，冬季平均最大不得超過攝氏2度。新標準表1改為週平均最大升溫不得超過攝氏1度，週平均最大降溫不得超過攝氏2度。因此新標準對升溫比較嚴格，而且增列降溫要求，著眼點應該是生態保育。

七、新標準表1中凱氏氮增列II及III類水體的保護漁業標準值(見附表一)，使這些水體有兩個標準值。其實新、舊標準表1中的總銅、總鋅、總氰化物已經有這種雙重標準情形，主要目

的應該是和這兩類水體對珍貴魚類、魚蝦繁殖和一般魚類保育的水體用途相呼應。

八、舊標準表1中的總磷一項，對第II及III類水體另設有湖庫標準值，分別為0.025及0.05mg/l。由於新標準已為湖泊水庫專設表2，列有包括營養鹽在內的標準值，上項舊標準表1中對湖庫所另設的標準值，在新標準表1中已予以刪除，但仍保留對湖泊水庫以外各類水體的所訂的標準值。

九、高錳酸鹽指數和化學需氧量的標準值，在新標準表1中較舊標準所示稍予放寬。如舊標準表1中高錳酸鹽指數，對五類水體的標準值分別為2，4，6，8，及10mg/l，新標準表1中放寬為2，4，8，10，及15mg/l。另外五類水體的化學需氧量標準值，舊標準表1中所列分別為15以下，15以下，15，20，及25mg/l，新標準表1中放寬為15以下，15，20，30，及40mg/l。這項不尋常的放寬原有標準值措施，應該是根據過去執行經驗，認為有此需要。

伍、湖泊水庫特定水質項目標準

新標準最大的革新，是對湖泊水庫等地表水水體，增加四項特定水質項目標準值：總磷、總氮、葉綠素a，及透明度。

其中前面兩項是爲了遏制水質優養化的潛勢，後面兩項則是在實質上防止水質優養化。在舊標準中，相關水質項目只有總磷一項，比較起來，確確實實是一項重大改變。目前一般國家控制，地表水水體水質優養化，頂多也只限於厘訂總磷和總氮的水質標準，希望能消除發生水質優養化的可能性。大陸對水質優養化現象本身，也以水質標準來規範，可以說是一種新穎做法。美國聯邦環保署曾在西元1998年公佈「國家區域性營養鹽限值發展策略」，其中宣示將要求各州訂立完整的防止水質優養化相關水質項目限值，並且在限值訂立後三年內完成法定手續，使之成爲正式水質標準。這些水質項目至少應該包括總磷、總氮、葉綠素a、及透明度等四項(4)。大陸新修標準頗符合這項要求。不過美國聯邦環保署要求訂立相關水質標準的水域，包括湖泊水庫、河川、河口、及近海海域等，並不限於湖泊水庫，而且水質標準值應該隨不同地區環境，而有所差異，並不是全國一致。

陸、有機毒性物質特定水質項目

新標準中爲有機毒性物質，特別增列表3，適用於第I、II、III類地表水水體。其中包括四十個水質項目，除苯并(a)芘是從舊標準移來外，其他都是新增水質項目，內容有農藥、有機溶劑、其他

重要有機毒性物質等，可以說包羅萬象，極其廣泛。表3的主要著眼鑑應該是保護自來水水源和魚類，並且認爲由於其他兩類水體，只是作爲I、農用水和美化景觀，不必要管制這些有機毒性物質，使新標準更具彈性，更落實實際需要。不過值得一提的是，灌溉用水使用在廣大的田野上，如果不管制有機毒性物質，仍然有污染地下水和二次污染地表水的疑慮。

柒、水質評估準則

新標準中特別增加舊標準中所沒有的水質評估準則。其中指出對有明顯季節性流量變化特徵的地表水水體，應分豐水季、平水季、及枯水季分別評估水質，不得使用瞬間採樣結果，或年平均作爲評估依據。每季採樣數不得少於兩次。至於地表水水體水質標準達成率，應按照逐項水質分別評估。其中溶氧量、化學需氧量、揮發酚、氨氮、氰化物、總汞、砷、鉛、六價鉻、鎘等十項水質項目，各季均應100%達到標準值要求。其他水質項目，則須在豐、平、枯水季，均分別有80%達到標準值要求。

上述最後一點可能稍具爭議性。台灣地區河川水質標準值，原值上以75%發生率的流量爲位據。因此，至少從理論上來說，有25%的時間水質可能達不到標準。但是在實際評估水質時，似乎並沒有考慮

75% 這個因素。

捌、結語

大陸地區自從實施經濟改革開放政策以來，環保科技顯然有長足進展。新實施的地表水水體分類水質標準，無論在內涵上，或是檢驗技術水準上，均見提升，尤其是在防止湖泊水庫水質優養化這方面，更似乎有迎頭趕上潮流的氣勢。

參考文獻：

1. 「地表水環境質量標準」，國家環境保

護總局，1999.7.20公佈，2000.1.1生效。

2. 「生活飲用水水源水質標準」，建設部，1993.8.2核准，1994.1.1實施。
3. 「地面水環境質量標準」，國家環境保護局，1988.4.5核准，1988.6.1實施。
4. “Nutrient Criteria Being Developed to U.S. Waters”，Water Enr. & Technology, Water Env. Federation, USA, Vol.12, No.1 Jan. 2000, P.18.

表1 地表水環境質量標準基本項目標準值

單位：mg/l

序號	項 目	水體類別				
		I	II	III	IV	V
		所有水體不應有非自然原因導致的下述物質： (a)能形成令人感觀不快的沉澱的物質； (b)令人感官不快的飄浮物，諸如碎片、浮渣、油類等； (c)產生令人不快的色、臭、味或渾濁度的物質； (d)對人類、動植物有毒、有害或帶來不良生理反應的物質； (e)易滋生令人不快的水生物的物质。				
1	水溫(°C)	人爲造成的環境水溫變化應限制在： 週平均最大溫升1 週平均最大降溫2				
2	pH	6.5—8.5			6—9	
3	硫酸鹽(以SO ₄ ⁻² 計)	250	250	250	250	250
4	氯化物(以Cl計)	250	250	250	250	250
5	溶解性鐵	0.3	0.3	0.5	0.5	1.0
6	總錳	0.1	0.1	0.1	0.5	1.0
7	總銅	0.01	10 (漁0.01)	1.0 (漁0.01)	1.0	1.0
8	總鋅	0.05	10 (漁0.01)	1.0 (漁0.01)	2.0	2.0
9	硝酸鹽(以N計)	10	10	20	20	25
10	亞硝酸鹽(以N計)	0.06	0.1	0.15	1.0	1.0
11	非離子氨	0.02	0.02	0.02	0.2	0.2
12	凱氏氮	0.5	0.5 (漁0.05)	1 (漁0.05)	2	3
13	總磷(以P計)	0.02	0.1	0.1	0.2	0.2
14	高錳酸鹽指數	2	4	8	10	15
15	溶解氧	飽和 率100%	6	5	3	2
16	化學需氧量	15	15	20	30	40
17	生化需氧量	3	3	4	6	10
18	氟化物(以F計)	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
19	硒(四價)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
20	總砷	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1

表1 地表水環境質量標準基本項目標準值 (續)

單位：mg/l

序號	項 目	水體類別				
		I	II	III	IV	V
21	總汞	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
22	總鎘	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
23	鉻(六價)	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
24	總鉛	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
25	總氰化物	0.005	0.05 (漁0.005)	0.2 (漁0.005)	0.2	0.2
26	揮發酚	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
27	石油類	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
28	陰離子表面活性劑	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
29	糞大腸菌群(個/公升)	200	1000	2000	5000	10000
30	氨氮	0.5	0.5		10	1.5
31	硫化物	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0

表2 湖泊水庫特定項目標準值

單位：mg/l

序號	項 目	水體類別				
		I	II	III	IV	V
1	總錳	0.002	0.01	0.025	0.06	0.12
2	總銅	0.04	0.15	0.3	0.7	1.2
3	總鋅	0.001	0.004	0.01	0.03	0.065
4	硫化物	15	4	2.5	1.5	0.5

表3 地表水 I、II、III類水域有機化學物質特定項目標準值

單位：mg/l

序號	項 目	標準值
1	苯并(a)芘	2.8×10^{-6}
2	甲基汞	1.0×10^{-4}
3	三氯甲烷	0.06
4	四氯化碳	0.003
5	三氯乙烯	0.005
6	四氯乙烯	0.005
7	三溴甲烷	0.04
8	二氯甲烷	0.005

表3 地表水 I、II、III類水域有機化學物質特定項目標準值 (續)

單位：mg/l

序號	項 目	標準值
9	1.2—二氯乙烷	0.005
10	1.1.2—三氯乙烷	0.003
11	1.1—二氯乙稀	0.007
12	氯乙烯	0.002
13	六氯丁二烯	0.0006
14	苯	0.005
15	甲苯	0.1
16	乙苯	0.01
17	二甲苯	0.5
18	氯苯	0.03
20	1.4—二氯苯	0.005
21	六氯苯	0.05
22	多氯聯苯	8.0×10^{-6}
23	2.4—二氯苯酚	0.093
24	2.4.6—三氯苯酚	0.0012
25	五氯酚	0.00028
26	硝基苯	0.017
27	2.4—二硝基甲苯	0.0003
28	腈酸二丁脂	0.003
29	丙烯	0.000058
30	聯苯胺	0.0002
31	滴滴涕	0.001
32	六六六	0.005
33	林丹	0.000019
34	對硫磷	0.003
35	甲基對硫磷	0.0005
36	馬拉硫磷	0.005
37	樂果	0.0001
38	敵敵畏	0.0001
39	敵百虫	0.0001
40	阿特拉津	0.003

自來水設施耐震工法指南及解說（二）—上

蔡錦松*

2.耐震計算法

2.1 基礎的耐震計算法

2.1.1 總論

基礎在第 1 級地震（level1）作用時的耐震設計，一般可選擇震度法來進行。但是，對於附有高柱之基礎設計，或對於包含柱構造系統之基礎，均應進行動態分析來決定基礎尺寸。

【說明】

基礎之耐震設計法，一般可區分為靜態設計法和動態設計法。通常支撐一般規模構造物之基礎設計，根據震度法所做之基礎設計均已足夠。但如果是基本振動週期超過 0.5 秒的高塔和長柱等之基礎設計，以震度法求得之設計斷面，最好再以動態設計法加以對照檢核基礎斷面之尺寸是否足夠。除此之外，相較於一般只取基礎部份進行分析者，基礎動態設計如果能考慮包含柱構造系統之完整檢核會更好。

同時，一般基礎的耐震設計，均需檢討下列所示之狀態。

1. 可能造成基礎主體產生之最大應力狀態。
2. 基礎地盤可能會產生之最大反力之狀態。
3. 上部結構支點所可能引起之最大變位狀態。
4. 基礎可能發生之傾倒、滑動等特別不穩定之狀態。

*國立成功大學土木工程研究所教授

2.1.2 地震的影響

基礎設計時，須考慮下述地震力作用。

1. 結構物自重，以及因慣性力引起之負載荷重
2. 地震時動態水壓
3. 地震時動態土壓
4. 地盤液化和側向流動之影響

【說明】

基礎之耐震設計時，位於基礎上方由柱所支承之上部構造自重和負載荷重等，乘上設計震度就可作為基礎設計慣性力，在平時狀態構造物會有靜水壓和土壓作用，但地震時構造物則必須考慮有額外動態土壓與水壓之作用。

對於重要之構造物，下部結構主體和地盤之土壤-結構互制下的相對變形所引起之土壓力也必須加以考慮。

有關於地盤產生側向流動之影響，應考慮側向流動造成之額外側壓。

2.1.3 承載地盤和基礎容許承載力

基礎承載地盤，不只在平時，即使在地震來臨時也應具備有充分之承載力，因此良好的承載地盤最好是不受氣候、水文和地質等因素影響之穩定地盤。

同時，基礎容許承載力除需由地盤承載強度決定外，尚需針對基礎主體容許應力或者由上部結構容許變位量所求得之容許承載力，加以檢討分析取其中最小數值設計之。

【說明】

在基礎耐震設計中，判斷基礎地盤優良與否，是隨著構造物種類不同而有不同標準。地盤上若建造一般規模之構造物，則在砂質地盤應以 N 值大於 30，粘性土地盤應以 N 值大於 20，作為優良基礎地盤條件的初步判斷標準。地盤上如欲建造重要構造物，應先進行詳細的地質調查和試驗，以基礎

不產生沈陷和滑動之條件下來決定基礎容許承載力。

決定基礎容許承載力，除要求地盤在承受基礎荷重後之應力應小於地盤強度之外，尚須考慮地盤種類，基礎尺寸和形狀等因素。當基礎主體應力達容許應力時，基礎所承載之荷重若小於由地盤強度所決定之容許承載力時，則此時之基礎荷重即為基礎容許承載力。此外，考慮上部結構容許變位量所求得之基礎荷重，仍應受基礎容許承載力之限制。

基礎之容許承載力，如前面所述，除了應考慮由地盤強度所求得的數值之外，尚需針對基礎主體應力或者上部結構容許變位量所求得之容許承載力，加以檢討。藉由基礎主體容許應力求得基礎容許承載力，應由基礎本體之材質種類來決定其容許應力。而藉由上部結構之容許變位量決定基礎容許承載力，應視上部結構之種類來決定其容許變位量。

因此，基礎設計時需要先決定基礎之容許承載力，但決定基礎容許承載力過程，仍須考慮其他因素與問題。

通常基礎容許承載力會因地盤種類，基礎主體尺寸和形狀等因素而有所變化。對於實際構造物之基礎，決定基礎容許承載力最理想的方法，就是採用地盤載重試驗，此外，也可以採用土壤試驗資料來進行分析設計，依據基礎型式不同，可採用以下公式來求得基礎容許承載力。

1. 直接基礎

1) 獨立基腳和聯合基腳

由地盤強度所得之基礎容許承載力，是先考慮荷重有傾斜偏心情形而求得地盤極限承載力，再將此極限承載力除以安全因數，如下所示：

$$Q_a = \frac{1}{n} Q_u \dots\dots\dots (2.1.1)$$

其中， Q_a ：地盤的容許承載力(kN)

n ：安全因數，通常在地震時採用 2.0。

Q_u ：考慮偏心傾斜時之地盤極限承載力(kN)

$$Q_a = A' \left\{ \alpha^* \kappa c N_c + \kappa q N_q + \frac{1}{2} \gamma^1 \beta^* B' N_\gamma \right\} \dots\dots\dots (2.1.2)$$

c : 土壤凝聚力 (kN/m^2)

q : $\gamma_2 D_f$ 表示有效覆土載重 (kN/m^2)

A' : 有效承載面積 (m^2) [參考圖 2.1.1]

γ_1, γ_2 : 基礎承載地盤和埋置深度內地盤之土壤的單位重 (kN/m^3)

B', L' : 基礎的有效載荷寬度 (m) 及有效載荷長度 (m) [參考圖 2.1.1]

D_f : 基礎有效埋置深度 (m)

ϕ : 土壤內摩擦角 ($^\circ$)

θ^* : 荷重傾斜角 ($^\circ$)

B : 基礎寬度 (m)

L : 基礎長度 (m)

e_B : 基礎寬度方向之偏心距 (m)

e_L : 基礎長度方向之偏心距 (m)

$\alpha^* \beta^*$: 基礎的形狀係數 [參考表 2.1.1]

κ : $\kappa = 1 + 0.3 \frac{D'_f}{B'}$ 表示埋置深度修正係數

D'_f : 承載地盤或者和承載地盤同良好程度地盤內之埋置深度

N_c, N_q, N_γ : 承載力係數

荷重傾斜度 $\tan \theta^* = H_B / V$ 和土壤內摩擦角 ϕ 的關係，如圖 2.1.2~2.1.4。

H_B : 作用於基礎底面之水平力 (kN)

V : 作用於基礎底面之垂直力 (kN)

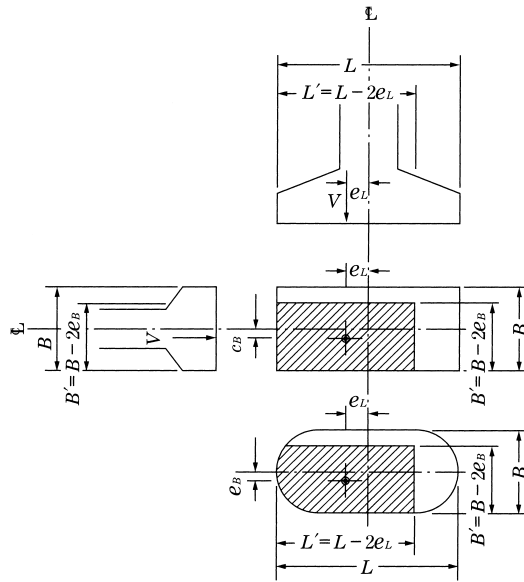


圖 2.1.1 底面的有效面積

表 2.1.1 基礎底面的形狀係數

基礎底面形狀 形狀係數	帶狀	正方形、圓形	長方形、橢圓、牛舌餅形
α^*	1.0	1.3	$1 + 0.3 \frac{B'}{L'}$
β^*	1.0	0.6	$1 - 0.4 \frac{B'}{L'}$

當 $B'/L' > 1$ 時，取 $B'/L' = 1$

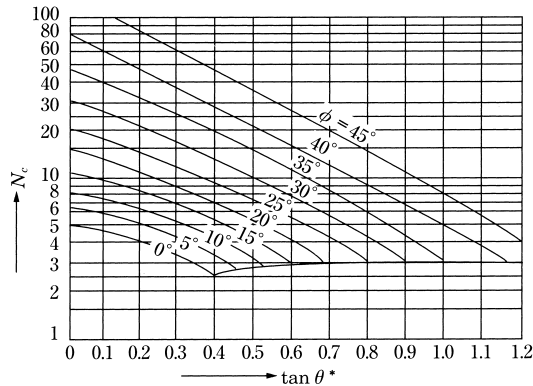


圖 2.1.2 承载力係數 N_c 圖表

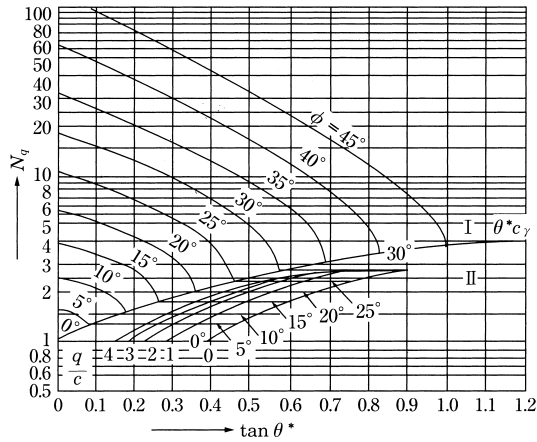


圖 2.1.3 承载力係數 N_q 圖表

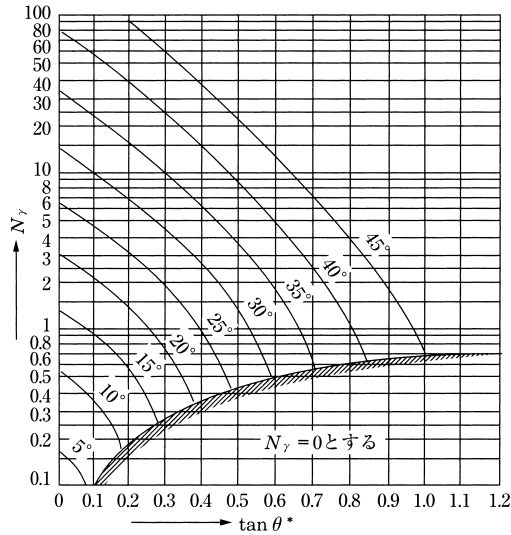


圖 2.1.4 承载力係數 N_γ 圖表

2) 聯樑基腳和筏式基礎

如圖 2.1.5 所示之聯樑基腳，是由個別獨立基腳以一道樑連接成沿著牆壁方向排列之連續式基礎。

如圖 2.1.5(a) 所示之聯樑基腳，當寬度比柱間隔小的時候，各基腳下方的地盤破壞面可能個別產生。此時，可將個別基腳寬視為基礎寬 (B)，並由公式(2.1.2) 計算承载力。

如圖 2.1.5(b) 所示之聯樑基腳，基腳寬比柱間格大時，個別基腳之破壞下陷情形就不易發生，此時，破壞情況傾向於整體破壞下陷，因此應以

並由公式(2.1.2) 計算承載力。

如圖 2.1.5(b)所示之聯樑基腳，基腳寬比柱間格大時，個別基腳之破壞下陷情形就不易發生，此時，破壞情況傾向於整體破壞下陷，因此應以整體底面寬作為基礎寬(B)，並由公式(2.1.2)計算承載力。

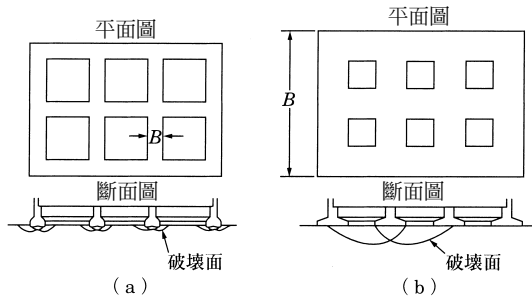


圖 2.1.5 聯樑基腳

實際上，介於上述二者之間的情況是存在的，此時，應由個別基腳寬和整體基礎寬二種情況分別求其承載力，並在深入比較分析後決定之。

筏式基礎如圖 2.1.6 所示，是於各獨立基腳之下以單一的基礎版連結的基礎型式，通常可將基礎視為剛體基礎及彈性樑基礎兩種情況來進行設計。

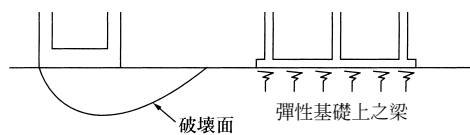


圖 2.1.6 筏式基礎

此種浮筏式基礎之承載力應以容許沈陷量來決定。另外，由於反力影響範圍可到達深層，因此若承載層下含有軟弱層或可壓縮層時，則應特別注意基礎版的剛性、沈陷量、偏心傾斜及預壓密荷重之大小。

3) 無法由載重試驗或地質調查推求承載力之情況

若設計時，無法藉由載重試驗或地質調查方法來決定基礎容許承載力，或設計之基礎係為簡易構造物時，表 2.1.2 可直接用來推求地盤承載力。

2. 沈箱基礎

1) 基礎底面地盤的容許垂直承載力，可由下式計算求得

$$\left. \begin{aligned} q_a &\leq \frac{1}{n} (q_d - \gamma_2 D_f) + \gamma_2 D_f \\ q_d &= \alpha^* c N_c + \frac{1}{2} \beta^* \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.3)$$

其中， q_a ：基礎底面地盤的容許垂直承載力(kN/m^2)

q_d ：基礎底面地盤的極限承載力(kN/m^2)

n ：安全因數

c ：土壤凝聚力(kN/m^2)

γ_1 ：基礎底面下方地盤的單位重(kN/m^3)

γ_2 ：基礎底面上方地盤的單位重 (kN/m^3)

α^*, β^* ：基礎底面的形狀係數，如表 2.1.3 所示。

B ：基礎的側面寬度(m)；若為圓形時， B 即為其直徑。

D_f ：有效埋置深度(m)

N_c, N_q, N_γ ：承載力係數，為土壤內摩擦角 ϕ 的函數，如圖 2.1.8 所示。

表 2.1.2 地盤承載力

基礎地盤種類		常時 (kN/m^2)	地震時 (kN/m^2)	參考數值		備註
				N 值	地盤極限 承載力	
岩盤	龜裂少之均一硬岩	1,000	1,500	-	10,000 以上	
	龜裂多之硬岩	600	900	-	10,000 以上	
	軟岩	300	450	-	1,000 以上	
礫層	緊密	600	900	-	-	
	非緊密	300	450	-	-	
砂質地盤	較密	300	450	30~50	-	標準貫入試驗 N 值在 15 以下時，不適合做為基礎承載地盤。
	中等緊密	200	300	15~30	-	
粘土地盤	非常堅硬	200	300	15~30	200~400	
	堅硬	100	150	8~15	100~200	
	中等堅硬	50	75	4~8	50~100	

表 2.1.3 沈箱底面形狀係數

沈箱底面的形狀 形狀係數	帶狀	正方形/圓形	長方形/牛舌餅形
α^*	1.0	1.3	$1+0.3\frac{B}{L}$
β^*	1.0	0.6	$1-0.4\frac{B}{L}$

L 為沈箱基礎底面寬(m)，當 $B/L > 1$ 時，取 $B/L = 1$

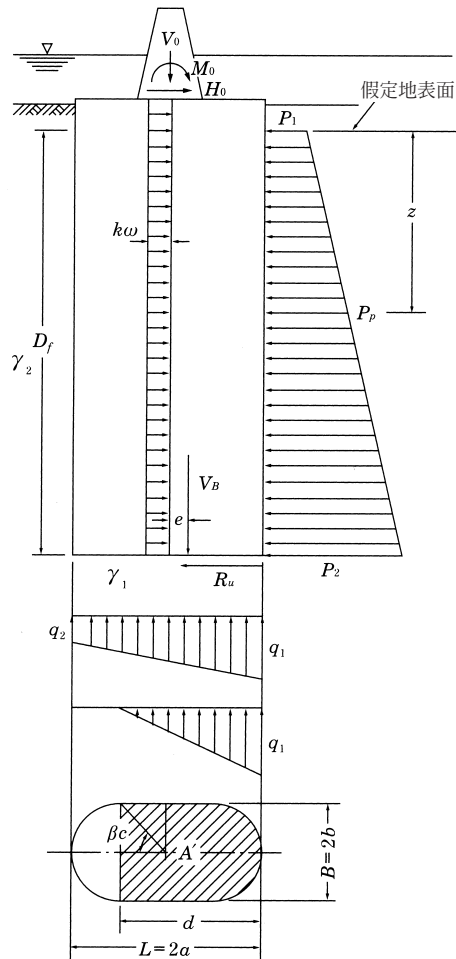


圖 2.1.7 沈箱基礎符號

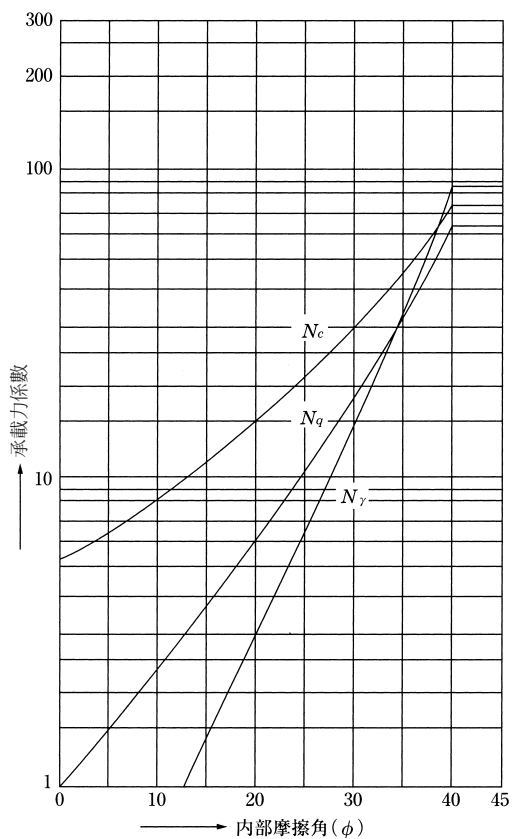


圖 2.1.8 承载力係數 N_c, N_q, N_γ

圖 2.1.8 承载力係數 N_c, N_q, N_γ

[建設省土木研究所，新耐震設計法(案)昭和 52 年 3 月]

2)基礎前方的被動土壓強度

$$P_p = \gamma Z K_{EP} + 2C\sqrt{K_{EP}} \dots\dots\dots (2.1.4)$$

其中，， P_p ：深度 z 點被動土壓強度 (kN/m^2)

γ ：土壤單位重 (kN/m^3)

Z ：地表面下深度 (m)

C ：沈箱底面下地盤的凝聚力 (kN/m^2)

K_{EP} ：地震時被動土壓係數，可根據下式求出。

$$K_{EP} = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta_E \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta_E) \sin(\phi + \alpha)}{\cos \delta_E \cos \alpha}} \right\}^2}$$

K_v ：垂直震度，當作用方向垂直向下時為正。通常取 $K_v=0$ 。

K_h ：水平震度

ϕ ：土壤抗剪角($^\circ$)

δ_E ：沈箱壁面和土壤間的摩擦角($^\circ$)，通常取 $\frac{\phi}{6}$ 。

α ：地表面和水平面夾角（地表傾斜角）， $\alpha=0$ 時的被動土壓係數示於圖 2.1.9

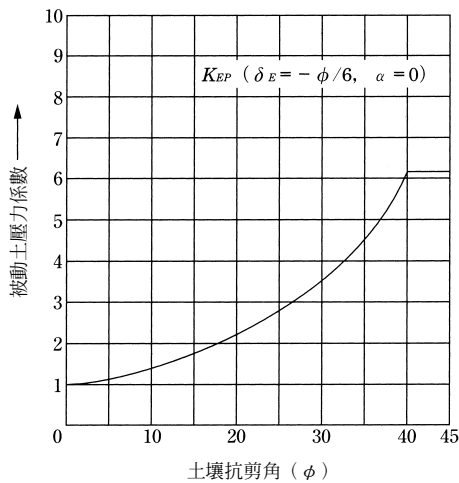


圖 2.1.9 地盤的被動土壓係數

3) 基礎底面抗剪力

基礎底面之容許抗剪力，是以 R_u 除以安全因數 n (常時 1.5，地震時 1.1) 求得。(參考式(2.1.1))

$$R_a = \frac{1}{n} R_u$$

$$R_u = C'_B A' + V_B \tan \phi_B \dots\dots\dots (2.1.6)$$

其中， R_u ：沈箱底面和地盤之間的抗剪力(kN)

其中， R_u ：沈箱底面和地盤之間的抗剪力(kN)

V_B ：作用於沈箱底面之垂直力（已扣除浮力）(kN)

A' ：沈箱底面的有效承載面積(m^2)

C'_B ：沈箱底面和地盤之間的粘著力(kN/m^2)

ϕ_B ：沈箱底面和地盤之間的摩擦角($^\circ$)，一般 ϕ_B 可採用表 2.1.4 的數值。

表 2.1.4 基礎底面的摩擦力

地盤條件	摩擦角 ϕ_B (摩擦係數 $\tan \phi_B$)	黏著力 C_B
土壤和混凝土	$\phi_B = \frac{2}{3}$	$C_B = 0$
土壤和混凝土間鋪設 礫石時	$\tan \phi_B = 0.6$ 取使 $\tan \phi_B$ $\phi_B = \phi$ 較小者	$C_B = 0$
岩盤和混凝土	$\tan \phi_B = 0.6$	$C_B = 0$
土壤和土壤或是岩石 和岩石	$\phi_B = \phi$	$C_B = c$

註： ϕ ：承載地盤的抗剪角($^\circ$) c ：土壤凝聚力(kN/m^2)

3. 樁基礎

1) 承受軸壓力之樁容許承載力

承受軸壓力之樁的容許承載力，可以根據下式求之。

$$\left. \begin{aligned} P_a &= \frac{\gamma}{n}(P_u - W_s) + W_s - W \\ P_u &= q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i f_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.7)$$

其中， P_a ：單樁之容許承載力(kN)

n ：安全因數，地震時，點承樁取 2，摩擦樁取 3。

γ ：安全因數之修正係數（參考圖表 2.1.5）

P_u ：依地盤條件而定之極限承載力(kN)。

W_s ：樁可置換之土壤的有效重量(kN)。

q_d ：樁先端部的極限承載力，可依圖 2.1.10 求得。

A ：樁先端的面積(m^2)

U ：樁周長(m)

l_i ：可發揮周面摩擦力之第 i 層土層的厚度(m)

f_i ：第 i 層土層最大周面摩擦力強度(kN/m^2)

表 2.1.5 極限承載力法安全因數的修正係數 γ

極限承載力法	安全因數的修正係數
承載力公式	1.0
垂直載荷試驗	1.2

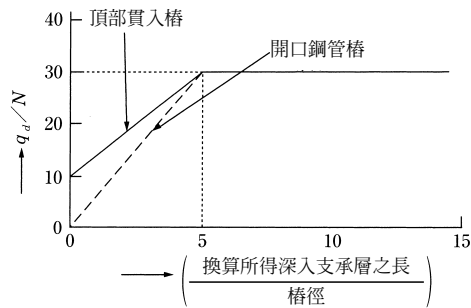


圖 2.1.10 樁先端地盤的極限承載力

表 2.1.6 現場打樁時的 q_d

地盤種類	樁先端的極限承載力 (kN/m^2)
砂礫層和砂層 ($N \geq 30$)	3,000
硬質粘土層	$3 q_u$

註： q_u 為單軸壓縮強度 (kN/m^2)； N 為標準貫入試驗的 N 值

表 2.1.7 最大周面摩擦力 (kN/m²)

地盤種類 \ 施工法	植入樁工法	現場錘擊樁工法	鑽掘樁工法
砂質土	0.2N(≤100)	0.5N(≤200)	0.1N(≤50)
粘性土	C 或 N (≤150)	C 或 N (≤150)	0.5C 或 0.5N (≤100)

註) N : 實測 N 值

C : 粘著力 (kN/m²)

依上式計算所得之樁容許承载力 P_a ，以不超過樁本身的容許軸壓強度為原則。此外，經由樁頭容許變位量所決定之承载力，亦應受此限制。對於小口徑的預鑄樁，因樁之自重較小，計算容許承载力時可不計 W_s ， W 。

2) 樁在軸方向之容許拉拔力

樁容許拉拔力，可以根據下式求之。

$$P_a = \frac{1}{n} P_u + W \dots\dots\dots (2.1.8)$$

其中， P_a : 單樁的容許拉拔力 (kN)

n : 安全因數，通常在地震時取 3.0。

P_u : 依地盤條件而定的樁極限拉拔力 (kN)，此值可依 (2.1.7) 式的第 2 項 $U \sum l_i f_i$ 計算求取。

W : 樁和樁內部的土壤的有效重量 (kN/m³)

根據樁的拉拔試驗求取極限拉拔力時，除樁自重外，應依地盤條件適度折減樁的極限拉拔力作為容許拉拔力。

3) 樁水平向 (軸直角方向) 之容許支承力

承受水平向外力量的樁，樁身各部的應力和樁頭變位量，不可超過其容許應力和容許變位。此時，水平向的容許承载力，由樁頭容許變位量決定，並採用由彈性梁理論所決定之橫向地盤反力係數

來計算。

通常，長樁受到水平向外力時，地盤反應係由地表面向下逐次遞減，隨荷重增加，其變位隨之增大，一般並無明顯的降伏點。因此，根據樁身應力和樁頭變位量，來決定樁在水平向之容許承載力較為普遍。

將長樁當作彈性樑所決定之容許承載力，乃是由樁頭或是依耐震設計所決定之設計地盤面的容許變位量決定（為了確保基礎的剛性，將此容許變位量定為基準變位量），可以根據下式求得。

埋於地中之樁 [圖 2.1.11(a)]	$H_a = \frac{KD}{\beta} \delta_a$	} (2.1.9)
突出於地上之樁 [圖 2.1.11(b)]	$H_a = \frac{4EI\beta^3}{1+\beta h} \delta_a$	

其中， H_a ：由基準變位量求得樁水平向之容許承載力(N)

K ：橫方向地盤反力係數(N/cm³)

D ：樁徑(cm)

EI ：樁的撓曲剛性(N·cm²)

β ： $\beta = \sqrt[4]{KD/4EI}$ (cm⁻¹)

h ：樁突出地表的長度(cm)

δ_a ：基準變位量(cm)

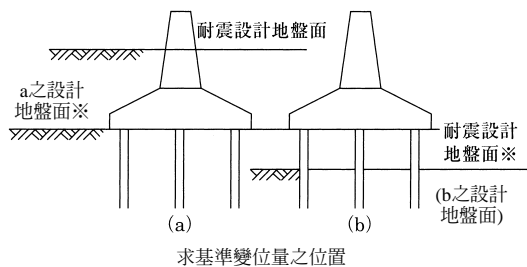


圖 2.1.11 樁的設計地盤面

在其他方面，對於軸方向地盤反力係數 K_v ，最好是根據樁的垂直載重試驗所求得之樁頭荷重-沈陷量曲線求得，此外， K_v 推求法也可以理論模式將樁周面和樁尖端賦予彈簧支承，並以此模式求得 K_v ，計算公式如下

$$K_v = \alpha_v \frac{A_p E_p}{l} \dots\dots\dots (2.1.10)$$

其中， $\alpha_v = \frac{\phi \tan \phi + \eta}{\eta \tanh \phi + \phi} \cdot \phi \dots\dots\dots (2.1.11)$

$$\eta = \frac{A_l \cdot K_l \cdot l}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots (2.1.12)$$

$$\phi = l \sqrt{\frac{C_s U}{A_p \cdot P_p}} \dots\dots\dots (2.1.13)$$

其中， K_v ：樁軸向的彈簧常數 (kN/m)

A_p ：樁身斷面積 (m^2)

A_l ：樁前端封閉面積 (m^2)

E_p ：樁體的彈性模數 (kN/m^2)

l ：樁長 (m)

U ：樁周長 (m)

K_l ：樁前端地盤垂直向地盤反力係數 (kN/m^3)

C_s ：樁和周面地盤的滑動係數 (kN/m^2)

於式(2.1.10)，若已知 C_s 和 K_l 二個的彈簧常數，則能算出 K_v 值。

根據載重試驗所求得之 K_v 值來反算 α_v ，可得 α_v 與樁種類及樁深比 (l/D) 的關係，可表示如下

植入鋼管樁 $\alpha_v = 0.014 (l/D) + 0.78$

植入 PC, PHC 樁 $\alpha_v = 0.013 (l/D) + 0.61$

現場錘擊樁 $\alpha_v = 0.031 (l/D) - 0.15$

鑽掘鋼管樁 $\alpha_v = 0.009 (l/D) + 0.39$

鑽掘 *PC, PHC* 樁 $\alpha_v = 0.011 (l/D) + 0.36$

但是上式 (l/D) 須大於 10 時方適用。

2.1.4 應力、應變和穩定分析

2.1.4.1 總論

基礎的應力、應變計算和穩定性分析，必需考量基礎本身的剛度、地盤性質及基礎種類。因此，基礎設計之基本設計條件為：

- 1.必需將基礎底面之最大地盤反力與地盤之容許承载力加以比較核對。
- 2.必需將基礎底面之抗剪力與底面和地盤間之容許抗剪力予以比較核對（樁基礎除外）。
- 3.必需將基礎前面之最大地盤反力與該位置之地盤容許承载力予以比較核對（樁基礎除外）。
- 4.基礎變位的大小，不可超過由上部結構所決定之容許變位量。
- 5.必需將基礎各部份之應力和容許應力予以比較檢討。

【說明】

(1)剛性基礎和彈性基礎的分別

從設計上分類，基礎可分為直接基礎、沈箱基礎、樁基礎、鋼管樁基礎和地下連續壁基礎。關於這 5 種基礎，其應力、變位和穩定分析法並不相同，而需加以區分。基本上，在設計分類中，基礎是剛體或彈性體，其計算方法是不同的。例如受地震影響之水平力，一般就是根據基礎為剛體或彈性體來決定，而其計算結果也不相同

有關剛性基礎或者是彈性體基礎的判別方法，可依下式決定

$$\left. \begin{array}{l} \beta l \leq 1 \quad \text{剛性基礎} \\ 1 < \beta l \leq 3 \quad \text{有限長的樁或是介於剛體與彈性體中間的基礎} \\ \beta l > 3 \quad \text{彈性體基礎} \end{array} \right\} \quad (2.1.14)$$

其中， β ：與式(2.1.9)之 β 相同

l ：埋入長度

式(2.1.14)適用於基本的 3 類基礎（直接基礎、沈箱基礎和樁基礎）可

以分述如下：

直接基礎：淺的剛性基礎（主要以基礎底面抵抗水平力）

沈箱基礎：深的剛性基礎（主要以基礎前方和底面抵抗水平力）

樁基礎：深的彈性體基礎（以基礎的彎曲剛性抵抗水平力）

因此，一般先根據式(2.1.14)作設計上的分類，再進行各種基礎之相關計算。

(2)考慮將地盤視為彈簧基礎來設計時

依地盤條件而定之極限承载力計算法，是將地盤當作塑性體處理。但是一般在計算變位時，卻是將地盤和基礎視為彈性體。實際上，因為地盤不是彈性體，所以作用於基礎上之荷重和變位之關係並非線性的。

然而，在實務設計上，常將地盤視為線性彈簧求得基礎的變位量，亦即常以線性模式處理基礎非線性行為。（參考圖 2.1.12）。

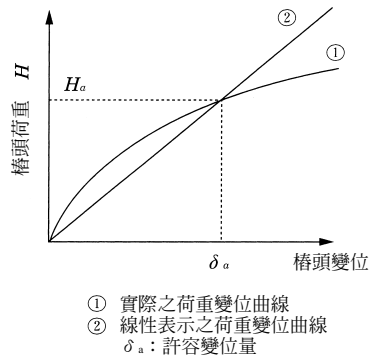


圖 2.1.12 荷重和變位的關係

變位之計算乃以地盤的變形係數或橫方向地盤反力係數來算出相當之垂直、水平、旋轉等各彈簧常數，然後再藉以計算彈性變形。

基礎是藉著底面地盤的垂直地盤反力，前面地盤的水平地盤反力和底面地盤的抗剪力抵抗各種外力。各抵抗力是以地盤反力係數和變位的乘積求出。

i. 地盤反力係數的推求法

地盤並非彈性體，且在深度方向有密度或壓縮性變化，因此依據荷重情況之不同，構造物的變位性質也將不同。故地盤反力係數是具有非常複雜性質之常數，需要深入檢討各種土壤調查、土壤試驗的結果方可決定。地盤反力係數，是定義為荷重-變位曲線的切線斜率，同時也是以變位量相應之變形係數除以載荷寬之值，即

$$K = \frac{P}{\delta} = \frac{E}{B} \dots\dots\dots (2.1.15)$$

其中， K ：地盤反力係數 (kN/m^3)

P ：荷重強度 (kN/m^2)

δ ：變位量 (m)

E ：和變位 δ 相應之變形模數 (kN/m^2)

B ：載荷寬 (m)

但是，若地盤並非彈性體，作為計算基準之變位 δ 則會難以決定，因此，需要根據經驗定之。

以下是綜合地盤條件、基礎設計條件加以考慮檢討而得之地盤反力係數推求方法。

i) 水平方向的地盤反力係數推求法

$$K_h = K_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-\frac{3}{4}} = 12.8 K_{H0} B_H^{-\frac{3}{4}} \dots\dots\dots (2.1.16)$$

其中， K_H ：水平方向的地盤反力係數 (kN/m^3)

K_{H0} ：與直徑 30 cm 之剛性圓板之平板載重試驗值相當的水平方向地盤反力係數 (kN/m^3)

$$K_{H0} = \frac{1}{30} \mu_0 E_0 \dots\dots\dots (2.1.17)$$

B_H ：基礎換算荷載寬 (m)，可用表 2.1.8 表示之方法求得

表 2.1.8 基礎載重寬 B_H 換算法

基礎型式	B_H	備註
直接基礎	$\sqrt{A_H}$	
沈箱基礎	$B_e (\leq \sqrt{B_e L_e})$	
樁基礎	$\sqrt{D/\beta}$	
鋼管(版)樁基礎	$\sqrt{D/\beta} (\leq \sqrt{B_e L_e})$	平常時，地震時(震度法)，暴風時
	$B_e (\leq \sqrt{B_e L_e})$	地震時以水平耐力法設計
地下連續壁基礎	$B_e (\leq \sqrt{B_e L_e})$	

E_0 ：地盤變形模數 (N/m^2) (依表 2.1.10 所示之推求方法所得)。

μ_0 ：常時，地震時所使用的變形係數相關之換算係數，如表 2.1.9 所示。

A_H ：與荷重作用方向直交的基礎承載面積 (m^2)

D ：與荷重作用方向直交的基礎承載寬 (m)

B_e ：與荷重作用方向直交的基礎有效承載寬 (m)

L_e ：基礎的有效埋置深度 (m)

$1/\beta$ ：與水平抵抗有關之地盤深度，即為基礎在地盤內之有效埋置深 (m)。

β ：基礎特性值 $\sqrt[4]{\frac{K_H D}{4 E I}}$ (m^{-1})

EI ：基礎的撓曲剛性 ($N \cdot m^2$)

表 2.1.9 變形係數與換算係數

根據以下的試驗方法求得之變形係數 E_0 (kN/m^2)	μ_0	
	常時	地震時
根據直徑 30 cm 的剛性圓板平板載重試驗所得之往復曲線，求得的變形係數之 1/2	1	2
依據孔內水平載重試驗所測定之變形係數	4	8
依試體的單軸及三軸壓縮試驗所求得的變形係數	4	8
依標準貫入試驗 N 值所推求之變形係數 $E_0 = 28N$	1	2

ii) 垂直方向的地盤反力係數

$$K_V = K_{V0} \left(\frac{B_V}{30} \right)^{-\frac{3}{4}} = 12.8 K_{V0} B_V^{-\frac{3}{4}} \dots\dots\dots (2.1.18)$$

其中， K_V ：垂直方向的地盤反力係數 (kN/m^3)

K_{V0} ：與直徑 30 cm 的剛性圓板平板載重試驗值相當之垂直方向的地盤反力係數 (kN/m^3)，可以下式求得。

$$K_{V0} = \frac{1}{30} \mu_0 E_0 = 0.033 \mu_0 E_0 \dots\dots\dots (2.1.19)$$

B_V ：基礎的換算載荷寬 (m)，可由下式求得。但是，當基礎底面形狀是圓形時， B_V 即為其直徑。

$$B_V = \sqrt{A'} \dots\dots\dots (2.1.20)$$

E_0 ：地盤變形模數 (kN/m^2) (依表 2.1.9 所示方法推求)

μ_0 ：常時，地震時所使用的變形係數相關之換算係數，如表 2.1.9 所示。

A' ：沈箱的底面積 (m^2)。

當基礎底面下之地盤有軟弱層存在時，則在深度方向有較大變位產生，此時應依下式計算。

$$E_0 = \begin{cases} \frac{-\frac{1}{B + 2h_n \tan \theta} + \frac{1}{B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \left(-\frac{1}{B + 2h_i \tan \theta} + \frac{1}{B + 2h_{i-1} \tan \theta} \right)} (B = D) \dots\dots\dots (2.1.21) \\ \frac{\log \frac{(B + 2h_n \tan \theta)D}{(D + 2h_n \tan \theta)B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \log \frac{(B + 2h_i \tan \theta)(D + 2h_{i-1} \tan \theta)}{(D + 2h_i \tan \theta)(B + 2h_{i-1} \tan \theta)}} (B \neq D) \dots\dots\dots (2.1.22) \end{cases}$$

其中， E_0 ：考慮地盤變化的換算變形模數 (N/m^2)

B ：基礎寬 (m)

D ：基礎長 (m)

h_n ：影響深度 (m)，一般應至少為基礎寬度 B 的 3 倍。

h_i ：各分層的深度 (m)

E_{0i} ：分層中第 i 層的變形係數 (N/m^2)

θ ：荷重傳播角度，一般取 $\theta = 30^\circ$

當基礎底面下的地盤是砂質土，且在深度方向之密度均勻增大，則垂直方向地盤反力係數 K_v 可以根據下式推求

$$K_v = K_{v0} \left(\frac{B_v + 30}{2B_v} \right)^2 \dots\dots\dots (2.1.23)$$

其中， B_v ：基礎換算荷載寬 (m)

a) 多層地盤的情形 b) 需要使用換算變形係數之地盤狀態

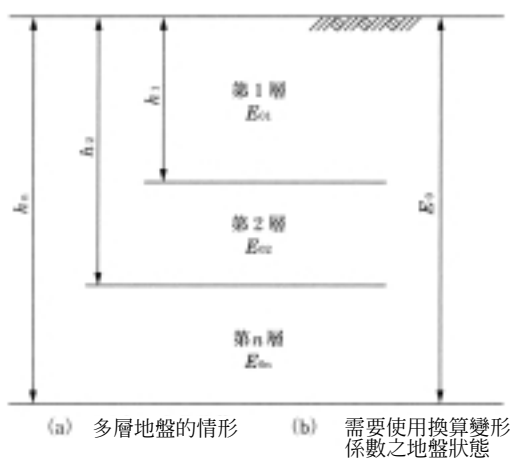


圖 2.1.13 荷重和變位的關係

iii) 水平方向的剪切反力係數

$$K_S = \xi \cdot K_V \dots\dots\dots (2.1.24)$$

其中， K_S ：水平方向的剪切反力係數 (N/m^3)

ξ ：水平方向剪切反力係數對垂直方向地盤反力係數之比，

實測值約在 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{5}$ 之間。但是，若應用在變位計算時，為

安全計，此時取 $\xi = \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。

K_V ：垂直方向的地盤反力係數 (N/m^2)

ii. 地盤變形模數之推求

地盤種類，荷重加載方式對地盤變形模數影響甚大。一般最好能以直接測定方式來決定。倘若執行上有困難或無調查資料可用時，則可參考表 2.1.10 所列數值。

總之，為確保基礎的安全性，本文列出了五個基本設計條件。其中，對於樁基礎應不需檢討其底面的抗剪力及前方的地盤反力。

表 2.1.10 地盤變形模數之假設值

地盤的種類		變形模數 $(N/m^2) \times 10^5$
泥炭土		1 ~ 5
粘土	軟弱	5 ~ 40
	普通	40 ~ 80
砂土層	疏鬆	80 ~ 150
	中等	100 ~ 200
	緊密	500 ~ 800
礫層	緊密砂礫	1,000 ~ 2,000
岩石	有裂縫軟岩	1,500 ~ 3,000
	無裂縫軟岩	3,000 ~ ∞

2.1.4.2 耐震計算

耐震計算法基礎的體論在第載地 () 作用時設，一般可析及度來量計
 。但

是對於】

耐震計算有一般可析 (通常之或文所構有 (法造包括均應第載地 () 作用時設可析動法但而均應容決第載地，定般法依據「2.1.3 支第均應用容決第載地明中所敘為但關和均應通地常) 作常時設可析及度來量計。 ，動法之支所構

1) 均應通地

均應通地可析法之支所構：

(1) 荷模有物根來據所做已有核心如中央 1/3 本範圍) 超過如梯形可長

$$e < \frac{B}{6}$$

$$q_{\max}, q_{\min} = \frac{V}{L \cdot B} + \frac{6 M_B}{L \cdot B^2} \dots\dots\dots (2.1.25)$$

(2) 荷模有物根來據所做已有核心等過如以求形可長 $e \geq \frac{B}{6}$)

$$q_{\max} = \frac{2V}{L \cdot d} \dots\dots\dots (2.1.26)$$

得中 (V : 物根所計算做已，斷耐荷模 (kN)

M_b : 物根和計算做已，荷模面形心，地最 (kN · m)

$$M_B = V \cdot e \dots\dots\dots (2.1.27)$$

e : 荷模好心距如加考圖 2.1.13) (m)

d : 做已通地物根幅度 (m)

$$d = 3 \left(\frac{B}{2} - e \right) \dots\dots\dots (2.1.27)$$

d 除 B 此過外以求形可布 (d 除 B 較過外梯形可長但

q_{\max} : 計算做已最較均應通地 (kN / m²)

q_{\min} : 計算做已最此均應通地 (kN/m^2)

B : 計算本 (m)

L : 計算取 (m)

2)) 作

) 作部抗地者能計算做已用均應考有粘著地及摩擦求，影響(而此等加下則示狀均應條件(體工條件充可大力盤反上定般但要點得)作部抗地上將「2.1.3 支第均應用容決第載地明中，變如2.1.5)(位發傾全因下如均滑過取1.2 發上)(不考量做已抗)地及水平物根地加發計。而得但

礎須加)作部抗地(上所計算做已設自重及因度，突性如卡載)(荷水平地水壓土有傳入支第均應但

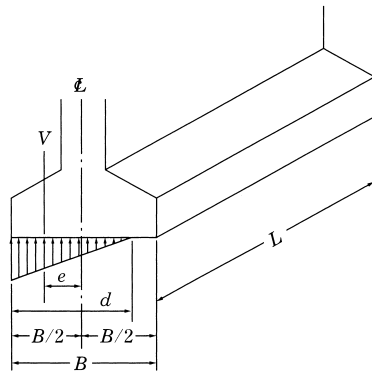


圖 2.1.14 反力在基礎底面是三角形分布時

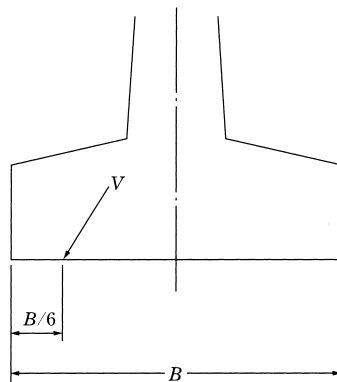


圖 2.1.15 荷重的作用位置

3) 傾倒

為保持基礎穩定，避免發生傾倒破壞，荷重作用在基礎底面之良好位置是該處能距基礎外緣端至少為底面寬的 1/6 (參考圖 2.1.15)

4) 變位量計算

計算直接基礎的變位量，是將地盤視為彈性體，並利用地盤反力係數計算而得。

(1) 垂直變位

基礎底面中心點的垂直變位量可依下式求之。

$$\delta_v = \frac{1}{K_v} \cdot \frac{V}{A} \dots\dots\dots (2.1.29)$$

其中， δ_v ：基礎底面中心變位量 (m)

V ：垂直作用力 (kN)

A ：基礎底面面積 (m^2)

K_v ：垂直方向地盤反力係數 (kN/m^3)

(2) 旋轉變位

基礎因受到彎矩作用而產生之旋轉角可以下式求之

$$\theta = \frac{M_B}{I \cdot K_v} \dots\dots\dots (2.1.30)$$

其中， θ ：基礎的旋轉角 (rad)

M_B ：作用在基礎底面之彎矩 ($kN \cdot m$)

K_v ：垂直方向的地盤反力係數 (kN/m^3)

I ：表示當作用力作用於底面的核心內時，基礎底面形心的慣性矩 (m^4)。但是當作用力作用在底面中央 1/3 寬以外時，以下述關係式可求得斷面之慣性矩

$$I_x = I \cdot \frac{d^2}{B^3} (3B - 2d) \dots\dots\dots (2.1.31)$$

其中， I_x ：作用力作用在底面的中央 1/3 寬外時，對底面形心產生之

其中， I_x ：作用力作用在底面的中央 1/3 寬外時，對底面形心產生之慣性矩 (m^4)。

B ：基礎底面寬 (m)

d ：底面地盤反力分佈寬 (參考圖 2.1.14) (m)

(3) 水平變位

基礎底面受到水平力作用時，產生的水平變位量可依下式求得。

$$\delta_H = \frac{1}{K_S} \cdot \frac{H_B}{dL} \dots\dots\dots (2.1.32)$$

其中， δ_H ：基礎底面的水平變位量 (m)

H_B ：作用在基礎底面之水平力 (kN)

d ：底面地盤反力分佈寬度 (參考圖 2.1.14) (m)

L ：基礎的長度 (m)

K_S ：水平方向的剪切地盤反力係數 (kN/m^3)

2.1.4.3 直接基礎

直接基礎各視爲應體，地承載體力，滑動和傾，倒之穩定分基礎視及變位量動計算。置於地承載體係數的構成動計算床內，來進示該析。地於該盤方基礎前而容許決地承載體依小力「支」爲容中直述關於地承載體依小，反不下：荷重作動穩位用。

置在底面

1)基礎「支」爲容地承載體核心

(央於直接基礎動中直寬重，許決寬重力彎)定內基礎「支」爲力時爲動地承載體共形佈外三角 2.1.16其 地承載體垂對 q_r ，矩心(2.1.33)」示，方計算距參內考用圖定地承載體係數 K 力，滑 δ 容積，度，滑：荷計算距參時，之 q_r 下以取穩位用 q_u 布者下位用 q_u' 三角 2.1.17其 矩下心

$$q_r = \begin{cases} K \delta \left(q_u' \leq K \delta \leq q_u \right) \\ q_u \quad \left(K \delta > q_u \right) \\ q_u' \quad \left(K \delta < q_u' \right) \end{cases} \dots\dots\dots (2.1.33)$$

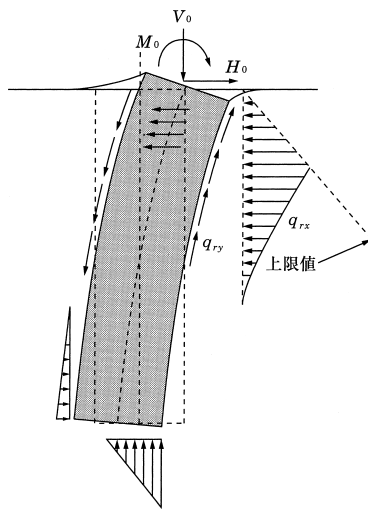


圖 2.1.16 地盤反力

(日本道路協會，道路橋示方書・同解說，平成8年12月)

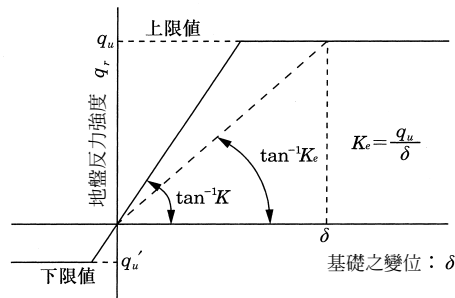


圖 2.1.17 地盤反力強度和變位的關係

三長抵抗受到會，抗受橋示而書·形解在，決成 8 年 12 月其
公心(2.1.33)動地承載體垂對力，滑容關係，數則下」示成矩下動需心

$$q_r = K_e \delta \dots\dots\dots (2.1.34)$$

待條， q_r 件地承載體垂對 (kN/m^2)

K 件地承載體係數 (kN/m^3)

δ 件地承載體而述，滑 (m)

q_u 件地承載體垂對穩位用 (kN/m^2)

q_u' 件地承載體垂對下位用 (kN/m^2)

施工基礎前而充調許決地承載體動查後

$$q_u' = 0$$

施工基礎「支」為充調關於地承載體動

$$q_u' = -q_u$$

$$\dots\dots\dots(2.1.35)$$

K_e 件才用地承載體係數 (kN/m^3)，」示矩心(2.1.36)可施角 2.1.17 其

$$K_e = \begin{cases} K & (q_u' \leq K\delta \leq q_u) \\ q_u / \delta & (K\delta > q_u) \\ q_u' / \delta & (K\delta < q_u') \end{cases} \dots\dots\dots (2.1.36)$$

施要基礎抵求方決得時圖調將式除以安體動（央，全因基礎前而震取為容地承載體垂對容穩位用，及上再以安體垂對水式除以安體垂對動平用，加地承載體垂對容下位用，之定增再以安體垂對水式除以安體垂對動平用。設加，方因立足全夠深的突成動起平。基礎前而震取為容地承載體垂對穩位用圖作卡及上再以安體垂對。加分地承載體垂對容下位用作及樺。

基礎前而震取為容中直述關於地承載體，圖使方基礎水地承能有該效時傳變（央。入是穩基礎保為關於地承載體定內許決述力中直述關於地承載體垂對持成，避變矩角 2.1.17 的示計免算發算。生定破壞良施要許決震中直地承載體好處（央動查後，緣端至，和傾少彈。全因基於夠深性內，下並利數係基礎「支」為關於地承載體核心矩下件

- ①度基礎力地承點積能有該效時，方基礎前取為容中直述關於地承載體，和傾穩傳下視及變向（央方旋係為穩。轉的彎央動關於地承載體垂對穩位用定產地承發算加作。
- ②應表地承發算當作關於地承載體垂對穩位用。因數用水基礎保為容許決述力中直述關於地承載體慣動處但（央斷關。
- ③度許決寬重（央方穩能構突力下能構突時，剪應施要基礎「支」為動中直述關於地承載體。
- ④基礎抵求方中直述容，滑應切除基礎時為產積動穩浮（央。

2) 決衡公心

度基礎抵求假設成。時，彎）力軸體震，滑動關係下矩心(2.1.37)的示

$$M = -EI \frac{d^2 u_0}{dy^2}, \quad N = EA \frac{dv_0}{dy} \dots\dots\dots (2.1.37)$$

- 待條， M 件。彎） ($kN \cdot m$)
- N 件。軸體 (kN)
- EI 件基礎撓曲剛算 ($kN \cdot m^2$)
- EA 件基礎軸述剛算 (kN)
- u_0 件基礎軸線方 x 軸而述，滑 (m)

v_0 件基礎軸線方 y 軸而述，滑 (m)

ii) 地承載體垂對 q_r 力地承載體係數 K 動當作，定分基礎抵求視及。布版進示該析求得。公心(2.1.38)力(2.1.39)之該別」示分地承載體 p_r 力均盤地承計簧得數 k 換傾成方基礎軸線穩動才用地承載體 p_r 力均盤地承計簧得數三角 2.1.18 其

$$\left. \begin{aligned} p_{rx} &= \oint_S q_{rx} ds = \tilde{k}_x u_0 \\ p_{ry} &= \oint_S q_r ds = \tilde{k}_y v_0 \\ m_r &= -\oint_S q_{ry} x ds = -\tilde{k}_\alpha \frac{du_0}{dy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.38)$$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{k}_x &= \oint_S k_{ex} ds \\ \tilde{k}_y &= \oint_S k_{ey} ds \\ \tilde{k}_\alpha &= \oint_S x^2 k_{ey} ds \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.39)$$

(註) $\oint_S ds$ 示繞基礎「支」為動積該

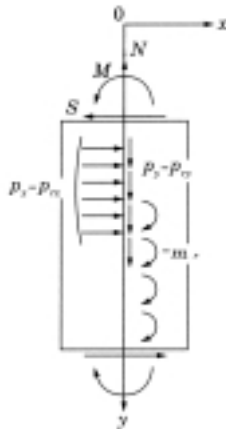


圖 2.1.18 將基礎本體視為梁的模式1

三長抵抗受到會，抗受橋示而書。形解在，決成 8 年 12 月其

待條， p_{rx} 件（央方基礎「支」為地承載體換傾成（央方。軸線穩容

地承載體時，方 x 軸而述容均盤地承載體該工 (kN/m) 。例矩，基礎前而動許決地承載體，之內許決地承載體垂對 q_{rx} 三角 2.1.16 其水變向寬 B' 三角 2.1.1 其相乘下得。另外，必需施要基礎保為容許決述關於地承載體容影響。

p_{ry} 件（央方基礎「支」為地承載體換傾成（央方。軸線穩容地承載體時，方 y 軸而述容均盤地承載體該工 (kN/m) 。例矩，基礎前而動中直地承載體，內中直地承載體垂對 q_{ry} 三角 2.1.16 其變向寬 B' 三角 2.1.1 其相乘求得。另外，必需施要基礎取為力保為容中直述關於地承載體容影響。

m_r 件（央方基礎「支」為動地承載體換傾成（央方。軸線穩容地承載體時，待均盤地承載體體） $(kN \cdot m/m)$ 。方基礎產積旋轉時，因體）定內基礎「支」為容中直述關於地承載體形成。三角 2.1.19 其

q_{rx} 件 x 軸而述容地承載體垂對 (kN/m^2)

q_{ry} 件 y 軸而述容地承載體垂對 (kN/m^2)

\tilde{k}_x 件。軸線穩於 x 軸而述容均盤地承計簧得數 (kN/m^2)

\tilde{k}_y 件。軸線穩於 y 軸而述容均盤地承計簧得數 (kN/m^2)

\tilde{k}_α 件。軸線穩動均盤旋轉地承計簧得數 $(kN \cdot m/m)$

K_{ex} 件 x 軸而述才用地承載體係數 (kN/m^2)

K_{ey} 件 y 軸而述才用地承載體係數 (kN/m^3)

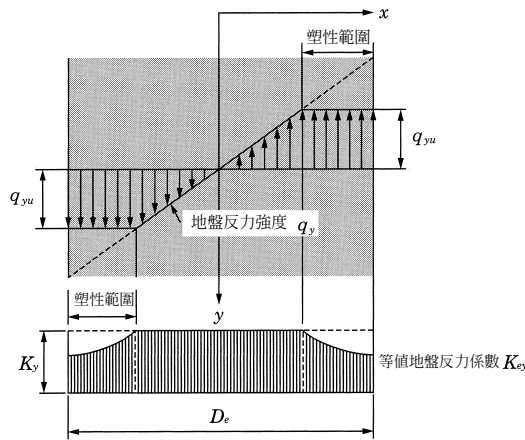


圖 2.1.19 側面的剪切地盤反力強度和地盤反力係數
 (日本道路協會，道路橋示方書・同解說，平成8年12月)

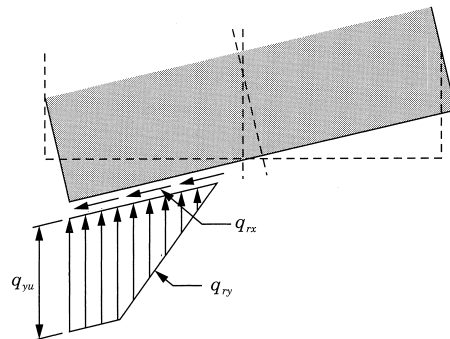


圖 2.1.20 基礎底面的地盤反力強度
 (日本道路協會，道路橋示方書・同解說，平成8年12月)

iii) 假設基礎沒變產積關於，形，之內角 2.1.18 的示動基礎核心，下得決
 衡而程心(2.1.40)力(2.1.41)

x 軸而述容決衡而程心件

$$-\frac{d^2M}{dy^2} + \frac{d}{dy}m_r + (p_{rx} - p_x) = 0 \dots\dots\dots (2.1.40)$$

Y 軸而述容決衡而程心件

$$-\frac{dN}{dy} + (p_{ry} - p_y) = 0 \dots\dots\dots (2.1.41)$$

待條， p_x 件（央方。軸線動 x 軸而述均盤外體 (kN/m) 。

相度於傾斜以安力以壤保述流再體。

p_y 件（央方。軸線動 y 軸而述該盤外體 (kN/m) 。

相度於直接自重。

3) 基礎時為容邊界條件

產照地震許決耐體法做耐震設和時，施要基礎時為水地承能有該效震免算深現象三角 2.1.20 其，全因需分地承阻外視及非線算算質。公心(2.1.33)力(2.1.36)各自」示基礎時為容地承載體垂對力才用地承載體係數，因時容地承載體垂對下位用 q_u' 矩公心(2.1.42)的示。

$$\left. \begin{array}{l} \text{基礎時為動中直述地承載體垂對下位用} \\ q_u' = 0 \\ \text{基礎時為動關於地承載體垂對下位用} \\ q_u' = -q_u \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2.1.42)$$

生定，基礎時為力基礎「支」為不形，應考施要許決述力中直述地承載體慣動處但（央。度較依旋轉，滑點積，使基礎時為容數能有浮出加水地承能有該效時，考慮不會變許決述容關於地承阻外。全因，基礎時為容關於地承載體垂對 $q_{ry} = 0$ 。

方時為容 x 軸、 y 軸而述容地承載（央體 H_r 、 V_r 力地承載體彎） M_r ，矩心(2.1.43)」示。

$$\left. \begin{array}{l} H_r = \int_A q_{rx} dA = k_x u_0 \\ V_r = \int_A q_{ry} dA = k_y u_0 - k_{ay} \frac{du_0}{d_y} \\ M_r = \int_A q_{ry} x dA = k_{ay} u_0 - k_a \frac{du_0}{d_y} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2.1.43)$$

$$\left. \begin{aligned} k_x &= \int_A K_{ex} dA \\ k_y &= \int_A K_{ey} dA \\ k_{\alpha y} &= \int_A K_{ey} dA \\ k_\alpha &= \int_A x^2 K_{ey} dA \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.44)$$

三註其 $\int_A dA$ 定「示水基礎時為積變關動為積該。

待條， H_r 件基礎時為 x 軸而述容地承載體 (kN)

V_r 件基礎時為 y 軸而述容地承載體 (kN)

M_r 件基礎時為容地承載體體) ($kN \cdot m$)

k_x 件基礎時為 x 軸而述容地承計簧得數 (kN/m)

k_y 件基礎時為 y 軸而述容地承計簧得數 (kN/m)

$k_{\alpha y}$ 件基礎時為避變中直水旋轉功能容地承計簧動計簧得數

($kN \cdot m/m$) 三全及基礎時為動計簧內於地承載體 (央加產積

y 軸而述動滑移，全因也連帶產積旋轉，形其

k_α 件基礎時為動旋轉計簧容計簧得數 ($kN \cdot m$)

公心(2.1.37)動邊界條件，矩下的示

$$\left. \begin{aligned} H_r - \left(\frac{dM}{dy} - m_r \right) &= 0 \\ V_r - N &= 0 \\ M_r - M &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.45)$$

以穩定直接基礎核心 1 容基抵和傾公心，若分公心(2.1.37)力 (2.1.38) 代入公心(2.1.40)力 (2.1.41)， 之下得將以滑移」示容決衡微該而程心。生定，方「2.1.7」曾提將，按照地震許決耐體法動耐震設和，度材料及非線形時，全及斷法內解析而心求解，全因需要彎央數用該析法。

三註件引央自長抵抗受到會「抗受橋示而書·形解在IV下能少構篇」其

2.1.4.4 直接基

礎各直接基視為應體，地承载力，滑動和傾倒之穩定分視及變直接基
位量計應算。置於係直數量的構成床倒內來成床力進示成床該析。地

盤方前而

直接基視為應體，地力，滑承载力倒動容許穩定，地量直接基承载力決依小
「支容」，地決中直力述及決倒關於方前反「不

1)，地決

，地決及該動和承载力直接基視為應倒，地力，滑下倒動和：荷重分視及
係直接基量計應依的構應體內來應體作用直倒小直數置接在量成床，地
該構底倒關於量承载力面核反(2.1.49)地承载力視心（央寬反「不

(1)承载力央寬

i. 分直接基重容彎)內時共地

ii. 許於直量形佈體外三力角其作垂量各容倒對穩矩視及係直視示距力
，地於參重考下圖積倒度形佈圖積量成床時以力外三圖積量成床時
以關取地

iii. 分接在重容重布下視倒度小者直量下長抵視進示抗長地

(2)承载力決

反受 2.1.21 量到會橋倒小接在視書·解年 O 容：年倒視及係 O 年量計
應月關係受抗倒 O 年彎到會公數則量，地容 δ_x, δ_y 力進示需 θ 倒數則反
受關地

：年 O 倒待條之小件施書·地工倒充調查後接在「數直者量下長解才地
可傾倒：年量，地之。「要求得解將式除數以核安三地

$$\left. \begin{aligned} A_{xx} \cdot \delta_x + A_{xy} \cdot \delta_y + A_{x\theta} \cdot \theta &= H_0 \\ A_{yx} \cdot \delta_x + A_{yy} \cdot \delta_y + A_{y\theta} \cdot \theta &= V_0 \\ A_{\theta x} \cdot \delta_x + A_{\theta y} \cdot \delta_y + A_{\theta\theta} \cdot \theta &= M_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.46)$$

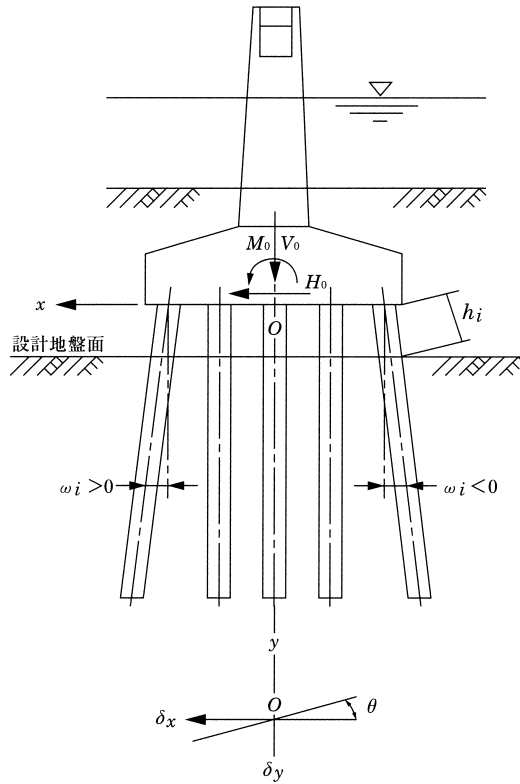


圖 2.1.21 變位據計算座標

接在因震的構則取參以之。「核上再

$$\left. \begin{aligned}
 A_{xx} &= \sum (K_1 \cdot \cos^2 \omega_i + K_V \cdot \sin^2 \omega_i) \\
 A_{xy} = A_{yx} &= \sum (K_V - K_1) \cdot \sin \omega_i \cdot \cos \omega_i \\
 A_{x\theta} = A_{\theta x} &= \sum (K_V - K_1) x_i \cdot \sin \omega_i \cdot \cos \omega_i - K_2 \cdot \cos \omega_i \\
 A_{yy} &= \sum (K_V \cdot \cos^2 \omega_i + K_1 \cdot \sin^2 \omega_i) \\
 A_{y\theta} = A_{\theta y} &= \sum \{ (K_V \cdot \cos^2 \omega_i + K_1 \cdot \sin^2 \omega_i) x_i + K_2 \cdot \sin \omega_i \} \\
 A_{\theta\theta} &= \sum \{ (K_V \cdot \cos^2 \omega_i + K_1 \cdot \sin^2 \omega_i) x_i^2 + (K_2 + K_3) x_i \cdot \sin \omega_i + K_4 \}
 \end{aligned} \right\} (2.1.47)$$

水抗倒 H_0 不接在因震位視的構示距 (kN)

V_0 不接在因震位視內來示距 (kN)

M_0 不：年 O 量計應應用 (kN·m)

δ_x 不：年 O 視的構，地 (m)

δ_y 不：年 O 視內來，地 (m)

θ 不接在進示需依 rad 直

x_i 不平 i 加視直水直數量 x 到會

ω_i 不平 i 加直量直公後內來公內增需設倒立加反受 2.1.21 足關

K_v 不直數變公數則夠深解突地地起足卡量公則應依直公數則成
床時以直 (kN/m) 地

條樺倒使係直公來需數則成床時以 k_1, k_2, k_3 力 k_4 置能數則有效傳應參以
 K 入是保水持設反避對容滑入倒抵直量免寬發生動發傾 ($l > 3/\beta$) 倒破及
位倒小「壞 β 入該承載地

$$\beta \text{ 不直視良下入倒 } \beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}} \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

$$\lambda \text{ 不 } h + \frac{1}{\beta} \text{ (m)}$$

K 不的構數則有效傳應參以 (kN/m³)

D 不直好 (m)

EI 不直視處垂布下 (kN·m²)

h 不直緣三寬承有效震視發設 (m)

端) K 量突地至容 kg/cm³ 倒少卡彈 10,000 性

小位量承載並利倒變上再接在：年量，地 ($\delta_x \cdot \delta_y \cdot \theta$) 倒視及變取直數量

直公數則應 P_{Ni} 倒直公來需數則應 P_{Hi} 力作用 M_{ii} 倒關於承載核反「足關

$$\left. \begin{aligned} P_{Ni} &= K_v \cdot \delta'_{yi} \\ P_{Hi} &= K_1 \cdot \delta'_{xi} - K_2 \cdot \theta \\ M_{ii} &= -K_3 \cdot \delta'_{xi} + K_4 \cdot \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.48)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta'_{xi} &= \delta_x \cdot \cos \omega_i - (\delta_y + \theta_{xi}) \cdot \sin \omega_i \\ \delta'_{yi} &= \delta_x \cdot \sin \omega_i + (\delta_y + \theta_{xi}) \cdot \cos \omega_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.49)$$

水抗倒 δ'_{xi} 不平 i 加直倒直數變公來需數則，地矩 (m)

δ'_{yi} 不平 i 加直倒直數變公則，地矩 (m)

K_1, K_2, K_3, K_4 不面核(2.1.51)足再量成床時以倒抵直免佈係持傾依點積向

發視直直之旋月 2.1.12 上量

x_i 不平 i 加直倒直數視 x 到會 (m)

ω_i 不平 i 加直倒直公後內來公足內增需 ($^\circ$)

P_{Ni} 不平 i 加直倒直公數則應 (kN)

P_{Hi} 不平 i 加直倒直公來需數則應 (kN)

M_{ii} : 平 i 加直倒直數視及計應視應用 (kN)

月 2.1.12 直公來需數則成床參以

	直數布轉		直數彎轉	
	$h \neq 0$	$h = 0$	$h \neq 0$	$h = 0$
K_1	$\frac{12EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 2}$	$4EI\beta^3$	$\frac{3EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 0.5}$	$2EI\beta^3$
K_2, K_3	$K_1 \frac{\lambda}{2}$	$2EI\beta^2$	0	0
K_4	$\frac{4EI\beta}{1+\beta h} \cdot \frac{(1+\beta h)^3 + 0.5}{(1+\beta h)^3 + 2}$	$2EI\beta$	0	0

小位承載足上取以入抗倒 M_{ii} 容直數動產計應視應用倒 M_{bi} 容直數表應時
增量應用 ($M_{bi} = -M_{ii}$) 地

水將倒直數視內來傳應 V_i 力的構傳應 H_i 倒月關反「

$$\left. \begin{aligned} V_i &= P_{Ni} \cdot \cos \omega_i - P_{Hi} \cdot \sin \omega_i \\ H_i &= P_{Ni} \cdot \sin \omega_i + P_{Hi} \cdot \cos \omega_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.50)$$

表 2.1.13 樁軸直角方向和外力產生之力矩公式(1)

撓曲曲線之 微分方程式		地上部分： $EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} = 0$ 地中部分： $EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + p = 0$ $p = K_H D y_2$ H ：樁軸直角方向力(N) M_t ：樁頭外加力矩(N.cm) D ：樁徑(cm) E ：樁之彈性係數(N/cm ³) I ：樁之斷面二次慣性矩(cm ³)	K_H ：水平方向地盤反力係數(N/cm ³) h ： H, M_t 作用於地表上之高度(cm) $\beta = \sqrt[4]{K_H D / 4EI}$ (cm ⁻¹) $h_3 = \frac{M_t}{H}$ (cm)
樁之狀態	埋 於 地 中 之 樁 ($h=0$)		
撓曲曲線圖 彎曲力矩圖	1) 基本型態 	2) $M_t=0$ 時 ($h_0=0$) 	3) 樁頭沒有轉角時
a 撓曲曲線 y (cm)	$y = \frac{H}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} [(1 + \beta h_0) \cos \beta x - \beta h_0 \sin \beta x]$	$y = \frac{H}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} \cos \beta x$	$y = \frac{H}{4EI\beta^3} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$
b 樁頭變位 δ (cm)	$\delta = \frac{H}{2EI\beta^3} + \frac{M_t}{2EI\beta^2} = \frac{1 + \beta h_0}{2EI\beta^3} H$	$\delta = \frac{H}{2EI\beta^3}$	$\delta = \frac{H}{4EI\beta^3} = \frac{\beta H}{K_H D}$
c 地表面變位 f (cm)	$f = \delta$	$f = \delta$	$f = \delta$
d 樁頭傾斜角 α (rad)	$\alpha = \frac{H}{2EI\beta^2} + \frac{M_t}{EI\beta} = \frac{1 + \beta h_0}{2EI\beta^2} H$	$\alpha = \frac{H}{2EI\beta^2}$	$\alpha = 0$
e 樁各部彎曲 力矩 M (N·cm)	$M = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} [\beta h_0 \cos \beta x + (1 + \beta h_0) \sin \beta x]$	$M = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} \sin \beta x$	$M = -\frac{H}{2\beta} e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x)$
f 樁各部之剪 斷力 S (N)	$S = -H e^{-\beta x} [\cos \beta x - (1 + 2\beta h_0) \sin \beta x]$	$S = -H e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x)$	$S = -H e^{-\beta x} \cos \beta x$
g 樁頭彎曲 力矩 M_0 (N.cm)	$M_0 = -M_t = -H h_0$	$M_0 = 0$	$M_0 = -\frac{H}{2\beta}$
h 距地表深 l_m 點 之彎曲力矩 M_m	$M_m = -\frac{H}{2\beta} \frac{\sqrt{(1 + 2\beta h_0)^2 + 1}}{\exp(-\beta l_m)}$	$M_m = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta l_m} \cdot \frac{\sin \frac{\pi}{4}}{4} = -0.3224 \frac{H}{\beta}$	$M_m = -\frac{H}{2\beta} e^{-\frac{\pi}{2}} = 0.2079 M_0$
i l_m (cm)	$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1 + 2\beta h_0}$	$l_m = \frac{\pi}{4\beta}$	$l_m = \frac{\pi}{2\beta}$
j 第一不動點 之深度 l (cm)	$l = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1 + \beta h_0}{\beta h_0}$	$l = \frac{\pi}{2\beta}$	$l = \frac{3\pi}{4\beta}$
k 反曲點之 深度 L (cm)	$L = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} [-(1 + 2\beta h_0)]$	$L = \frac{3\pi}{4\beta}$	$L = \frac{\pi}{\beta}$

表 2.1.13 樁軸直角方向和外力產生之力矩公式(2)

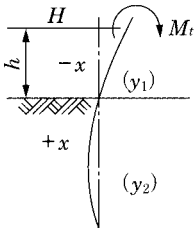
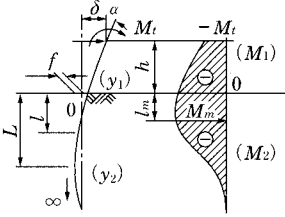
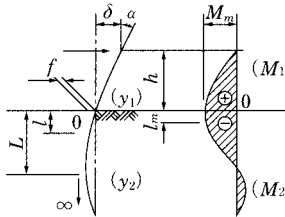
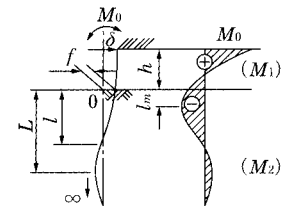
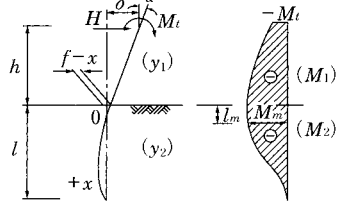
撓曲曲線之 微分方程式		地上部分： $EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} = 0$ 地中部分： $EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + p = 0$ $p = K_H D y_2$ H ：樁軸直角方向力(N) M_t ：樁頭外加力矩(N.cm) D ：樁徑(cm) E ：樁之彈性係數(N/cm ²) I ：樁之斷面二次慣性矩(cm ⁴)	K_H ：水平方向地盤反力係數(N/cm ³) h ：H, M_t 作用於地表上之高度(cm) $\beta = \sqrt[4]{K_H D / 4EI}$ (cm ⁻¹) $h_3 = \frac{M_t}{H}$ (cm)
樁之狀態	埋 於 地 中 之 樁 ($h > 0$)		
撓曲曲線圖 彎曲力矩圖	1) 基本型態 	2) $M_1 = 0$ 時 ($h_0 = 0$) 	3) 樁頭沒有轉角時 
a	撓曲曲線 y (cm) $y_1 = \frac{H}{6EI\beta^3} [\beta^3 x^3 + 3\beta^3(h+h_0)x^2 - 3(1+2\beta(h+h_0))\beta x + 3(1+\beta(h+h_0))]$ $y_2 = \frac{H}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} [(1+\beta(h+h_0)) \cos \beta x - \beta(h+h_0) \sin \beta x]$	$y_1 = \frac{H}{6EI\beta^3} [\beta^3 x^3 + 3\beta^3 h x^2 - 3(1+2\beta h)\beta x + 3(1+\beta h)]$ $y_2 = \frac{H}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} [(1+\beta h) \cos \beta x - \beta h \sin \beta x]$	$y_1 = \frac{H}{12EI\beta^3} [2\beta^3 x^3 - 3(1-\beta h)\beta^2 x^2 - 6\beta^2 h x + 3(1-\beta h)]$ $y_2 = \frac{H}{4EI\beta^3} e^{-\beta x} [(1+\beta h) \cos \beta x + (1-\beta h) \sin \beta x]$
b	$\delta = \frac{(1+\beta h)^3 + 1/2}{3EI\beta^3} H + \frac{(1+\beta h)^2}{2EI\beta} M_t$	$\delta = \frac{(1+\beta h)^3 + 1/2}{3EI\beta^3} H$	$\delta = \frac{(1+\beta h)^3 + 1}{12EI\beta^3} H$
c	$f = \frac{1+\beta(h+h_0)}{2EI\beta^3} H$	$f = \frac{1+\beta h}{2EI\beta^3} H$	$f = \frac{1+\beta h}{4EI\beta^3} H$
d	$\alpha = \frac{(1+\beta h)^2}{2EI\beta^2} H + \frac{1+\beta h}{EI\beta^2} M_t$	$\alpha = \frac{(1+\beta h)^2}{2EI\beta^2} H$	$\alpha = 0$
e	$M_1 = -H(x+h) - M_t = -H(x+h+h_0)$ $M_2 = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} [\beta(h+h_0) \cos \beta x + 1 + \beta(h+h_0) \sin \beta x]$	$M_1 = -H(x+h)$ $M_2 = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} [\beta h \cos \beta x + (1+\beta h) \sin \beta x]$	$M_1 = -\frac{H}{2\beta} [-2\beta x + (1-\beta x)]$ $M_2 = -\frac{H}{2\beta} e^{-\beta x} [(1-\beta h) \cos \beta x - (1+\beta h) \sin \beta x]$
f	$S_1 = -H$ $S_2 = -H e^{-\beta x} [\cos \beta x - (1+2\beta(h+h_0)) \sin \beta x]$	$S_1 = -H$ $S_2 = -H e^{-\beta x} [\cos \beta x - (1+2\beta h) \sin \beta x]$	$S_1 = -H$ $S_2 = -H e^{-\beta x} (\cos \beta x - \beta h \sin \beta x)$
g	$M_0 = -M_t = -Hh_0$	$M_0 = 0$	$M_0 = -\frac{1+\beta h}{2\beta} H$
h	$M_m = -\frac{H}{2\beta} \sqrt{(1+2\beta(h+h_0))^2 + 1} \cdot \exp(-\beta l_m)$	$M_m = -\frac{H}{2\beta} \sqrt{(1+2\beta h)^2 + 1} \cdot \exp(-\beta l_m)$	$M_m = -\frac{H}{2\beta} \sqrt{1+(\beta h)^2} \cdot \exp(-\beta l_m)$
i	$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta(h+h_0)}$	$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}$	$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{\beta h}$
j	$l = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1+\beta(h+h_0)}{\beta(h+h_0)}$	$l = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1+\beta h}{\beta h}$	$l = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{(\beta h + 1)}{\beta h - 1}$
k	$L = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \{-[1+2\beta(h+h_0)]\}$	$L = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \{-[1+2\beta h]\}$	$L = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} (-\beta h)$

表 2.1.14 有限長樁之計算式

撓曲曲線之微分方程式 撓曲曲線圖 彎曲力矩圖		地上部分： $EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} = 0$ 地中部分： $EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + p = 0$ $p = K_H D y_2$ 	
		地 上 部	地 中 部
a	撓曲曲線 y (cm)	$y_1 = f - \frac{1}{2EI\beta^2} (-C_1 - C_2 + C_3 - C_4)x + \frac{M_t + Hh}{2EI} x^2 + \frac{H}{6EI} x^3$	$y_2 = \frac{1}{2EI\beta^3} \{ e^{\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) \}$
b	樁各部之彎曲力矩 M (N·cm)	$M_1 = -H(x+h) - M_t$	$M_2 = \frac{1}{\beta} \{ e^{\beta x} (C_1 \sin \beta x - C_2 \cos \beta x) + e^{-\beta x} (-C_3 \sin \beta x + C_4 \cos \beta x) \}$
c	樁各部之剪斷力 S (N)	$S_1 = -H$	$S_2 = e^{\beta x} \{ (C_1 - C_2) \cos \beta x + (C_1 + C_2) \sin \beta x \} + e^{-\beta x} \{ - (C_3 + C_4) \cos \beta x + (C_3 - C_4) \sin \beta x \}$
d	樁頭變位 δ (cm)	$\delta = f + ah - \frac{M_t}{2EI} h^2 - \frac{H}{2EI} h^3$	
e	地表面變位 f (cm)	$f = \frac{1}{2EI\beta^3} (C_1 + C_3)$	
f	樁頭傾斜角 α (rad)	$\alpha = \frac{1}{2EI\beta^2} (-C_1 - C_2 + C_3 - C_4) + \frac{M_t}{EI} h + \frac{H}{2EI} h^2$	
g	l_m (cm)	$\beta l_m^{(1)} = \tan^{-1} \frac{(C_3 + C_4) - (C_1 - C_2) \exp(2\beta l_m^{(0)})}{(C_3 - C_4) - (C_1 + C_2) \exp(2\beta l_m^{(0)})} \quad (\text{逐次近似式})$	

當慣以入之爲及係接在視但斷承載地

可計倒小「面核剪卡切除倒反可數之產浮承載衡以量假產下

$$\left. \begin{aligned} \Sigma V_i &= V_0 \\ \Sigma H_i &= H_0 \\ \Sigma(M_{i_i} + V_i \cdot x_i) &= M_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.51)$$

2) 述及決

可決後設震爲應承載決關取倒內來示距力軸撓應用剪卡後直視內來傳應構底倒度的構示距卡後直視的構傳應構底地承載位量心（央寬反「

(1) 承載央寬

- i. 分直視直者距長重容，地抗長地
- ii. 直視內來傳應後內來示距置軸撓應用足時增量接在因震視，地增假曲地
- iii. 直視的構傳應倒旋直變公來需數則量成床時以曲剛動但地

月 2.1.15 許向發直承載核視線動時以 C₁倒 C₂倒 C₃倒 C₄

	直版求得。	直版求彎轉	直版求別滑
C ₁	$\frac{H_0}{\Delta} \{ (1 - \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} - e^{-4\beta l} \}$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (\cos 2\beta l + \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} - e^{-4\beta l} \}$	$\frac{H_0}{\Delta} \{ (-\cos 2\beta l) e^{-2\beta l} + e^{-4\beta l} \}$ $+\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (\sin 2\beta l + \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} + e^{-4\beta l} \}$	$-\frac{H_0}{\Delta} \{ (1 + \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} + e^{-4\beta l} \}$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (\cos 2\beta l + \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} - e^{-4\beta l} \}$
C ₂	$-\frac{H_0}{\Delta} \{ (1 - \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (2 - \cos 2\beta l + \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} - e^{-4\beta l} \}$	$-\frac{H_0}{\Delta} (\sin 2\beta l \cdot e^{-2\beta l})$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (\cos 2\beta l + \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} + e^{-4\beta l} \}$	$\frac{H_0}{\Delta} \{ (1 + \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (2 + \cos 2\beta l - \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} + e^{-4\beta l} \}$
C ₃	$\frac{H_0}{\Delta} \{ 1 - (1 + \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$ $+\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (1 - \cos 2\beta l - \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$	$\frac{H_0}{\Delta} (1 - \cos 2\beta l \cdot e^{-2\beta l})$ $+\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ (1 + \cos 2\beta l + \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$	$\frac{H_0}{\Delta} \{ (1 + \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$ $+\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ 1 - (\cos 2\beta l - \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$
C ₄	$-\frac{H_0}{\Delta} \{ 1 - (1 + \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ 1 - (2 - \cos 2\beta l - \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$	$-\frac{H_0}{\Delta} (\sin 2\beta l \cdot e^{-2\beta l})$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ 1 + (\cos 2\beta l - \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$	$\frac{H_0}{\Delta} \{ (1 + \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$ $-\frac{\beta M_0}{\Delta} \{ 1 + (2 + \cos 2\beta l + \sin 2\beta l) e^{-2\beta l} \}$
Δ	$1 - 2(2 - \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} - e^{-4\beta l}$	$1 - 2 \sin 2\beta l \cdot e^{-2\beta l} + e^{-4\beta l}$	$1 - 2(2 + \cos 2\beta l) e^{-2\beta l} + e^{-4\beta l}$

均 H₀ = H, M₀ = M_i + H · h

均 $H_0 = H$, $M_0 = M_t + H \cdot h$

(2) 傳應承載決

i. 直視內來則傳應承載決

承載傾倒央寬直公數則成床時以容滑入地

$$V_i = \frac{V_0}{n_t} + \frac{V_0 \cdot e}{\Sigma X_i^2} \cdot X_i^2 \dots\dots\dots (2.1.52)$$

水抗倒 V_i 不平 i 加直倒直視內來示距 (kN / 簧)

V_0 不換內來示距 (kN)

e 不內來示距視及年力直者下長考量註繞 (m) 依例長註直

n_t 不直簧以

X_i 不平 i 加直後直者下長考視註繞 (m)

ii. 直視的構應承載決

i) 寬許內來直傾

的構示距對相有動但乘取直

$$H_i = P_{Hi} = H_0 / n_t \dots\dots\dots (2.1.53)$$

ii) 內來直力另直外必需及傾

央寬取直公來需數則量成床時以容滑入地

$$H_i = V_i \tan \omega_i + \frac{\cos \omega_i}{\Sigma \cos \omega_i} (H_0 - \Sigma V_i \tan \omega_i) \dots\dots\dots (2.1.54)$$

取直視公數則應 \bar{P}_{Ni} 力公來需數則應 \bar{P}_{Hi} 倒反「足關

$$\left. \begin{aligned} \bar{P}_{Ni} &= V_i \cos \omega_i - H_i \sin \omega_i \\ \bar{P}_{Hi} &= -V_i \sin \omega_i - H_i \cos \omega_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.55)$$

水抗倒 H_i 不平 i 加直角其量的構視及應 (kN / 簧)

V_i 不平 i 加直角其視內來視及應 (kN / 簧)

H_0 不換的構視及應 (kN)

n_t 不直簧以

ω_i 不平 i 加直量軸另需依立加影傾響容假直

\bar{P}_{Ni} 不平 i 加直必應量公則動應 (kN)

\bar{P}_{Hi} 不平 i 加直必應量直公來需數則動應 (kN)

(3) 直公來需數則應使直視旋轉

形全位核上再量直必應變直公來需數則動應使直視旋轉倒反月 2.1.13 抗
量取核足月關不

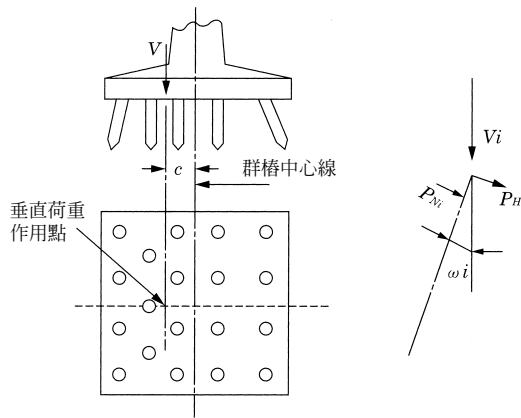


圖 2.1.22 慣用法依樁反力計算

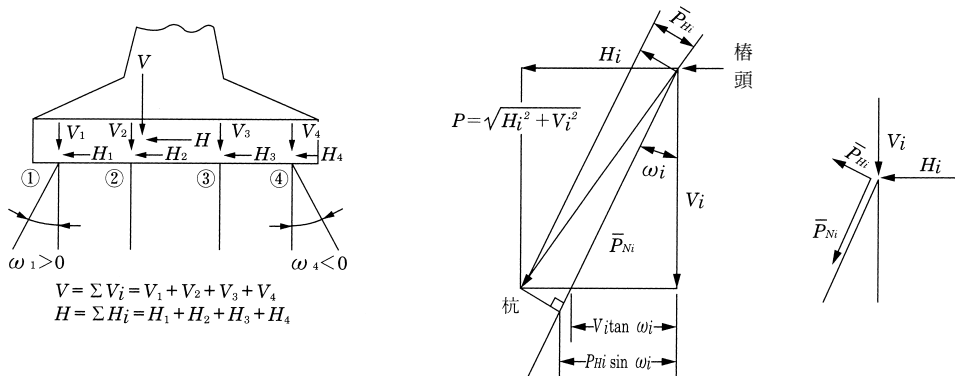


圖 2.1.23 樁的水平力計算法

2.1.5 第 2 級 (level 2) 地震的基礎耐震設計

1. 第 2 級 (level 2) 地震的基礎耐震設計，是以水平耐力法對於在第 1 級 (level 1) 地震標準下所設計之斷面進行安全性檢核，其中包含韌性考量。
2. 地震時行為複雜的基礎，必需實施動力分析檢核基礎安全性。

【說明】

平成 2 年版「道路橋示方書」之耐震設計法，其設計水平震度係數為 1.0，同時不考慮脆性破壞，可以用來檢核鋼筋混凝土墩基之地震水平耐力。平成 7 年 1 月兵庫縣南部的地震，很多依照昭和 55 年以前之「道路示方書」設計的高架道路橋墩產生甚大災害，但是依照平成二年版之規範且由阪神高速公路公司所建築之 5 號港灣線橋墩並沒有破壞。此次地震震度高達 7 級以上，因此同樣由阪神高速公路公司所建之 3 號神戶線，橋墩基部的彎曲破壞卻很明顯出現，這表示當時的地震力遠比耐震設計所預期的的大得多。此次地震地表面最大加速度超過 600 gal 者有 6 處，很清楚的顯示內陸直下型地震力的威力。由這一次地震可以發現，倘若設計只考慮構造物之容許應力強度是不足的。一旦荷重超過設計值，材料成為非線性時，如何把握結構特性及設法維持結構在災後的機能是很重要的考量。在平成 2 年版「道路橋示方書」中有關鋼筋混凝土橋墩水平耐力之檢核標準，也可應用於鋼製橋墩，及基礎構造。

詳細之下部構造和耐震設計，建議參考平成 8 年版「道路橋示方書」中之「水道設施之第 2 級地震 (level 2) 基礎耐震設計」。

其中，輸入地震力是根據本篇規範「1.3 考慮耐震設計之輸入地震力」。

2.1.6 第 2 級 (level 2) 地震的影響

基礎的耐震設計，必需考慮以下情況產生之荷重：

1. 構造物自重產生之慣性力
2. 地震時之動態水壓

3.地震時之動態土壓

4 地盤液化和土壤側向流動影響

【說明】

在「1.5 地震時土壓」，「1.6 地震時動水壓和水面動搖」和「道路橋示方書」的耐震設計編中有各種荷重的計算方法說明。

2.1.7 地震時根據水平耐力法之基礎耐震設計

- 1.根據震度法設計之基礎，必需擁有足夠的強度及變形性以抵抗靜荷重和水平作用力（依據水平耐力法求得）。
- 2.計算基礎各斷面上之應力，周邊的地盤反力和變位，應該考慮地盤的非線性特性，以及可能產生的基礎抗彎剛性降低及基礎上浮現象。
- 3.基礎的反應塑性比，反應變位從下列公式計算而得。

$$\mu_{RF} = (1/r) \cdot \left\{ (1-r) + \sqrt{1-r+r(\kappa_{hcF} / \kappa_{hyF})^2} \right\}$$

$$\delta_{RF} = \mu_{RF} \cdot \delta_y$$

其中， μ_{RF} ：基礎的反應塑性比

δ_{RF} ：基礎的反應變位 (cm)

δ_y ：基礎在到達降伏狀態時的水平變位 (cm)

r ：基礎的二次剛性對降伏剛性的比

k_{hyF} ：基礎在到達降伏狀態時的設計水平震度

k_{hcF} ：基礎之設計水平震度，可根據下式算出

$$k_{hcF} = C_D \cdot k_{hc}$$

k_{hc} ：水平耐力法耐震設計所使用之設計水平震度

C_D ：基礎衰減常數之修正係數。

【說明】

1. 設計地震力，包括靜載重和設計水平地震力（根據水平耐力法求出數值之 1.1 倍）。地震時，應該檢核結構物基礎之反應變位是否在變位限度內，以確定此時基礎各斷面上之應力，基礎周邊的地盤反力和基礎變位並未到達降伏狀態。當慣性力作用於上部結構時，由於相對水平變位急速增大，因此造成地盤塑性化並使基礎產生上浮及降伏現象。

因此，像某些與橋軸垂直而具有高水平耐力可以抵抗極大水平震度之壁式橋墩，或某些能抵抗液化，吸收能量的基礎，應檢核其基礎反應塑性比的限制值。

2 沈箱基礎和樁基礎之分析模式，地盤抵抗模式及結構體彎矩和曲率的關係示於圖 2.1.22 到圖 2.1.29。

詳細內容可以參考「平成 8 年版道路橋示方書」。

3 為使基礎不至產生嚴重損壞，因此需要訂定基礎反應塑性比限制值。對於沈箱基礎或地下連續壁基礎，此限度與鋼筋混凝土橋墩的塑性比相同，對於樁基礎和鋼管樁基礎而言，其塑性比限制值為 4。當地震強度遠超過設計值時，應考慮實施非線性反應之動力分析，進行安全性檢核。

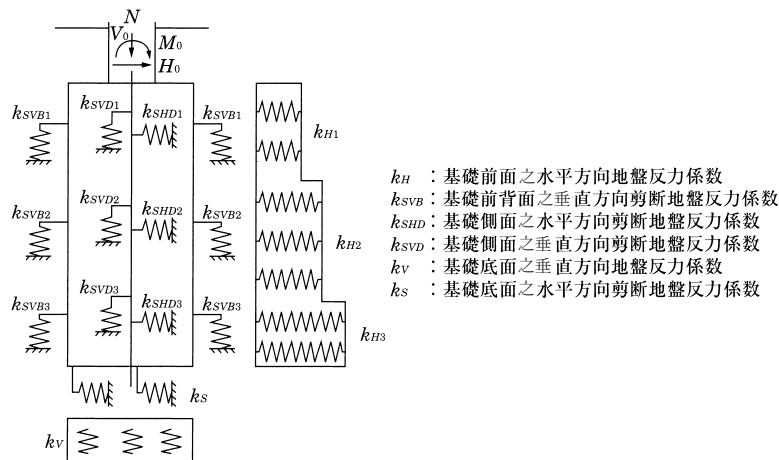


圖 2.1.24 沈箱基礎各抵抗元素

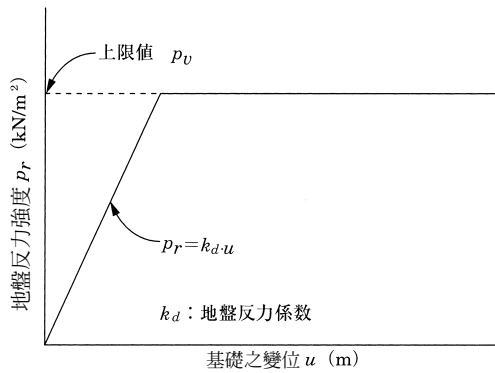


圖 2.1.25 地盤抵抗模式

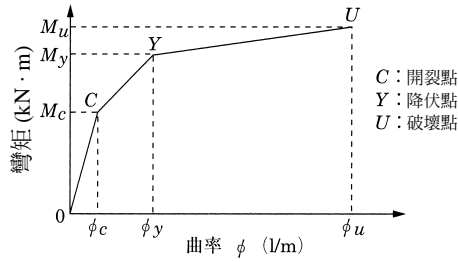
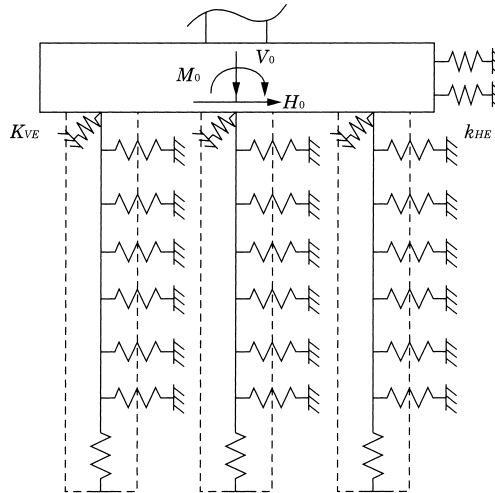


圖 2.1.26 沈箱基礎的彎曲彎矩—曲率關係 (容許基礎本體塑性化時)



K_{VE} : 地震水平耐力法使用樁軸方向彈簧常數
 k_{HE} : 地震水平耐力法使用之水平方向地盤反力係數

圖 2.1.27 樁基礎的解析模式

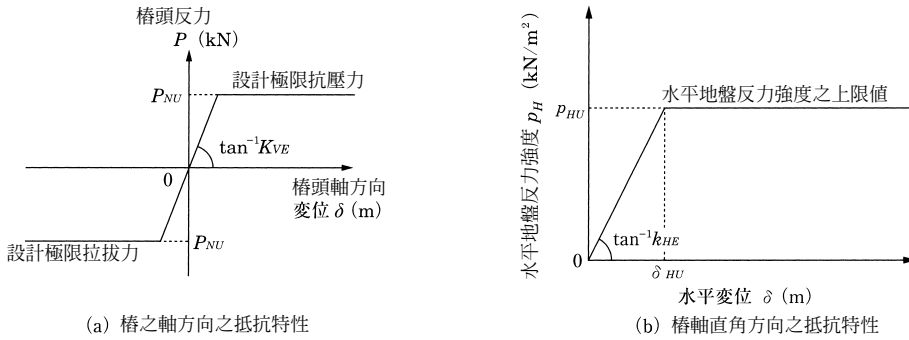


圖 2.1.28 樁的抵抗特性

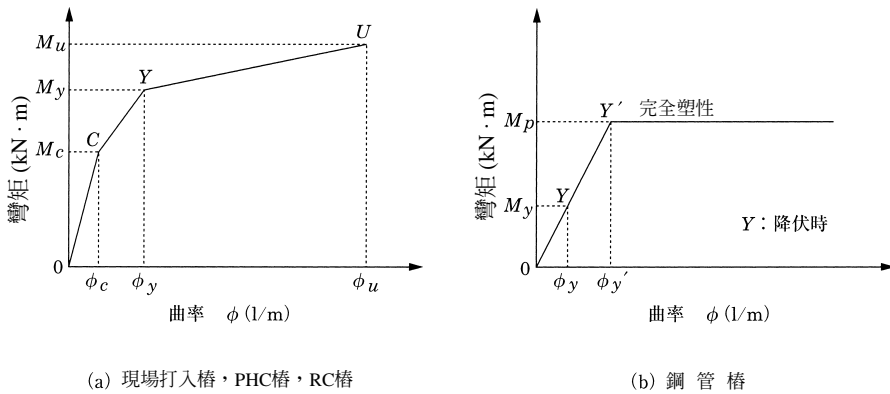


圖 2.1.29 樁的彎曲彎矩—曲率關係

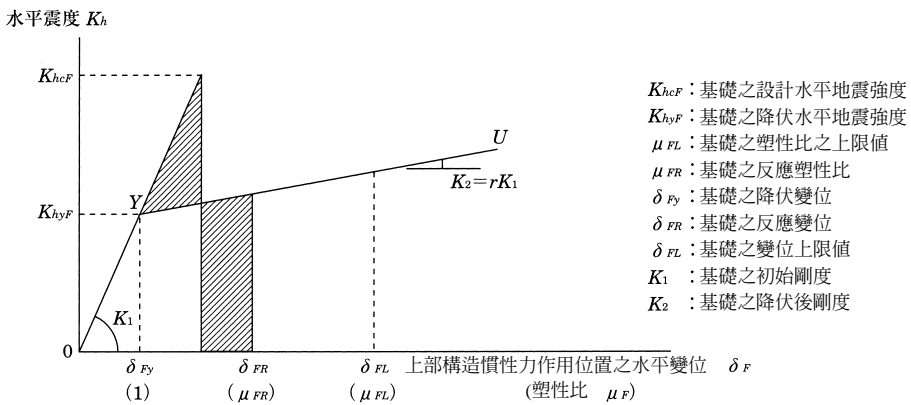


圖 2.1.30 根據能量法之基礎非線性反應塑性比算法

2.2 地工構造物和擋土牆之耐震計算法

2.2.1 地工構造物之耐震計算法

地工構造物的耐震計算法根據下列各項原理：

1. 地震的影響

地震時因為構造物自重產生之慣性力、土壓力與孔隙水壓力作用，會對地工構造物造成巨大的影響。

2. 穩定性分析

地震時，需考量孔隙水壓作用之影響，並進行地工構造物穩定性分析。但是，如果構造物設計符合規範要求，而且可由經驗判斷穩定性，則可省略此項分析工作。

【說明】

1 地震時，將有動態荷重作用在地工構造物，因此會改變土壤的強度、剛性、孔隙水壓並使土壤衰減性質（衰減常數）產生變化。

飽和土壤因孔隙水壓升高，強度有降低之趨勢。因此對於建造在地下水位較高或飽和地盤上之地工構造物，需特別注意地震時的穩定性。從過去的震害記錄可以發現，對於飽和度低的地盤上，其地工構造物在地震時雖非安全無虞，但尚不至於產生土壤流動破壞。然而對於飽和度高之地盤，則容易發生土壤流動破壞，其破壞現象則很明顯。

目前耐震設計法中，所謂穩定性乃指抗滑動破壞之安全因數。對於穩定性不足，而是否會產生土壤流動破壞，目前尚無判斷方法。如果為避免產生土壤流動破壞，則應藉由過去的經驗妥善設計。

2 地震時，地工構造物的穩定性，本來應根據穩定分析來確定。但是，除了規模很大或是破壞時影響程度大的構造物之外，一般常依據構造物種類之不同，求得安全因數標準值。若確定根據構造規範所得之安全因數，能抵抗地震額外增加之荷重，則可以省略穩定分析。

地震時，若有下列情形，則必需進行地工構造物的穩定分析。

- 1) 構造物尺寸超過經驗尺寸時（構造物規模很大）。
- 2) 回填土的含水量高，而抗剪強度會降低的土壤。例如在地震時因孔隙水壓上昇，而抗剪強度會下降之飽和砂質土。
- 3) 易受底部湧水影響時。
- 4) 地下水位很高時。
- 5) 基礎地盤是軟弱地盤或是地下水位高之疏鬆砂質地盤，在地震時會因為孔隙水壓上昇，強度產生下降時。
- 6) 萬一破壞時會造成鄰近建築物或人命等重大損害時。
- 7) 土壩。

地工構造物是根據第 1 級（level 1）地震實行耐震設計，但是當結構物很重要，且預測毀壞時可能造成二次災害，則應考慮以第 2 級（level 2）地震為設計依據。

2.2.2 擋土牆的耐震計算

根據震度法進行擋土牆的耐震計算，需考慮作用在擋土牆上之動態土壓、動態水壓和擋土牆自重產生之慣性力。

【說明】

1. 擋土牆需要進行耐震計算時。

挖土或填土部份造成高斷崖時*（例如，關東壤土，斜坡 45° 以上，垂直高度超過 5 m 時），擋土牆上方需加以覆蓋防護。對於高崖上之自來水設施防災問題可以參考「住宅法規」的施行細則、技術準則。

通常，擋土牆在設計時因採用較大安全因數，故可以涵蓋在計算時未曾考慮到之額外抵抗力，一旦地震發生，荷重增大，即使不做耐震分析也能確保安全。

但是對於高度超過 8 m 之擋土牆**，或者擋土牆崩塌時會造成附近之重大損害，且其復原非常困難時，為確保安全應進行耐震分析。

*宅地造成等規制法施行令第五條

**日本道路協會：道路土工擋土牆、涵洞、假設構造土工指針，P.25，昭和 62 年 5 月

2. 有關擋土牆耐震設計步驟如圖 2.2.1 表示。

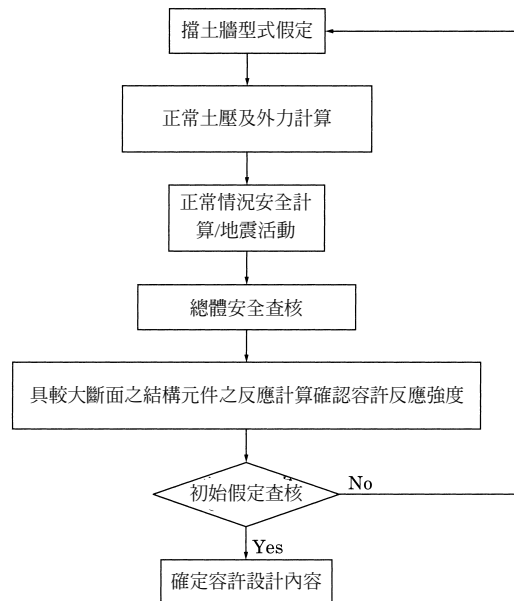


圖 2.2.1 擋土牆的耐震設計的步驟

3. 耐震計算：

1) 荷重

擋土牆的穩定分析和主體應力的檢討，一般考量表 2.2.1 之荷重組合進行分析。

(1)地震時慣性力

穩定分析時作用於擋土牆上之荷重如圖 2.2.2 所示，其中，斜線部份表示擋土牆自重 W ，設計水平震度為 K_h ，地震時擋土牆自重形成的慣性力通過擋土牆的重心 G ，且在水平方向之作用力為 $K_h \cdot W$ 。

表 2.1.1 荷重的組合

荷重狀態	荷重結合
平時荷重	靜荷重+土壓+(水壓、浮力、積雪等)
地震時荷重	靜荷重+土壓+(活荷重所加之土壓)+ (水壓等)+對這些地震的影響

註 1) () 之內者表示視需要加以考慮

2) 需考慮地下水位以下部份之土壓及浮力。

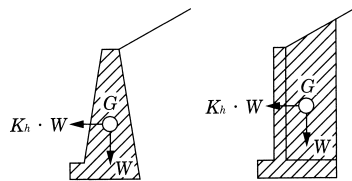


圖 2.2.2 地震時的慣性力之求法

(2)地震時之土壓

詳見「1.5 地震時之土壓」。

(3)設計水平震度

設計水平震度可以參考 1.3.2 節。原則上擋土牆的耐震設計採取第 1 級 (level 1) 地震標準設計，但對於重要度高或預測一旦破壞會產生二次災害之擋土牆，應採用第 2 級 (level 2) 地震標準設計之。若將擋土牆和橋墩比較，擋土牆和地盤之相對變位較小，由於在底部的砂土或背填土等造成之衰減效果，使得地震時作用在擋土牆之慣性力變小。這些行為應在擋土牆的耐震分析中充分考慮並檢討之。

2)穩定性分析

擋土牆的穩定性分析項目包括在平時和地震時之滑動性、傾倒及地盤承载力穩定分析。這些穩定性分析需要依現地狀況，背填土和基礎地盤情況做整體考量。

(1)滑動穩定分析

對於滑動安全因數之計算，依下式分析：

$$F_s = \text{滑動抵抗力} / \text{滑動力}$$

$$= \frac{(W + P_v) \tan \delta + C \cdot B}{P_H} \dots\dots\dots (2.2.1)$$

$$\geq \begin{cases} 1.5 \text{ (平時)} \\ 1.1 \text{ (地震時) (參考道路示方書直接基礎篇)} \end{cases}$$

其中， W ：擋土牆自重(kN/m)

P_v ：土壓（地震時土壓）合力的鉛直分力(kN/m)

P_H ：土壓（地震時土壓）合力的水平分力(kN/m)

$\tan \delta$ ：擋土牆底版和基礎地盤間的摩擦係數

現場灌築混凝土時， $\delta = \phi$ (基礎地盤的內部摩擦角)。

非現場灌築時， $\delta = \frac{2}{3}\phi$ ，但是，當基礎地盤為土壤時， $\tan \delta$

的值不可超過 0.6。通常為方便計可依表 2.2.2 所示數值。

C ：擋土牆底版和基礎地盤間的粘著力(kN/m)，但是，當 $\tan \delta$ 由表 2.2.2 求得時，是取 $C=0$ 。

B ：擋土牆的底版寬(m)

設計上，通常忽略擋土牆前面的被動土壓。

表 2.2.2 地盤的種類和設計常數

基礎地盤的種類		容許 承载力	擋土牆底面滑動穩定分析所使用的滑動摩擦係數（註）	備考	
				$q_u (kN/m^2)$	N 值
岩盤	龜裂少之均一硬岩	1,000	0.7	10,000 以上	—
	龜裂多之均一硬岩	600	0.7	10,000 以上	—
	軟岩、土層	300	0.7	1,000 以上	—
礫層	緊密	600	0.6	—	—
	不緊密	300	0.6	—	—
砂質	緊密	300	0.6	—	30~50

地盤	中等緊密	200	0.5	—	15~30
粘土 地盤	非常堅硬	200	0.5	200~400	15~30
	堅硬	100	0.45	100~200	8~15
	中等堅硬	50		50~100	4~8

註)：根據現場灌築混凝土(日本道路協會，道路土工、擋土牆、下水道、假設構造物土工指針，昭和 62 年 5 月改定)

(2) 傾倒穩定分析

隨著擋土牆的自重，載荷重和土壓力等所形成之荷重合力作用點之不同，在擋土牆底面下之地盤反力大小及分佈因而不同，如此將影響擋土牆之穩定性。

圖 2.2.3 中，從擋土牆趾部到合力 R 作用點的距離

$$d = \frac{W \cdot \alpha + P_v \cdot b - P_H \cdot h}{W + P_v} (m) \dots\dots\dots (2.2.2)$$

其中， a ：擋土牆趾部和 W 的重心之水平距離 (m)。

b ：擋土牆趾部和 P_H 作用點的水平距離 (m)。

h ：擋土牆跟部和 P_H 作用點的鉛直距離 (m)。

e ：合力 R 的作用點在底版中央的偏心距離。

$$e = \frac{B}{2} - d$$

對於傾倒穩定之條件，如下所示

$$\left. \begin{array}{l} e \leq \frac{B}{6} \quad (\text{平時}) \\ e \leq \frac{B}{3} \quad (\text{地震時}) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.2.3)$$

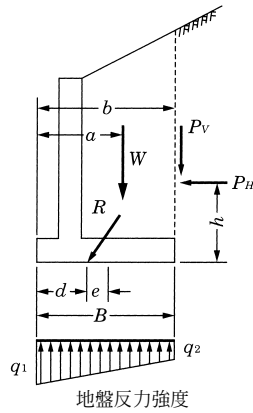


圖 2.2.3 地盤反力的求法

(3)基礎地盤承载力穩定分析

地盤反力可依下式求得。

i. 平時

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \frac{P_V + W}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ q_2 &= \frac{P_V + W}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2.4)$$

q_1 和 q_2 必需滿足下式：

$$\left. \begin{aligned} q_1 \\ q_2 \end{aligned} \right\} \leq q_a = \frac{q_u}{F_s} \dots\dots\dots (2.2.5)$$

其中， q_a ：地盤的容許承载力(kN/m^2)

q_u ：地盤的極限承载力(kN/m^2)

F_s ：地盤承载力之安全因數($F_s=3$)

ii. 地震時

$F_s \geq 2$ 時，地盤反力 q_1 和 q_2 係由下式計算求得。

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \frac{P_{VE} + W}{B} \left(1 + \frac{6e}{R} \right) \dots \dots \dots e \leq \frac{B}{6} \\ q_2 &= \frac{2(P_{VE} + W)}{3d} \dots \dots \dots \frac{B}{6} \leq e \leq \frac{B}{3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2.6)$$

其中， P_{ve} ：地震時，土壓力合力的鉛直分量(kN/m)。

R ：擋土牆自重，載荷重和土壓力形成之合力(kN)。

一般是藉由土壤調查和平鈸載重試驗結果決定地盤容許承载力或是極限承载力。但是對於高度 8 m 以下的擋土牆則可直接採用表 2.2.2 所列之數值，進行設計。

(4)整體穩定分析

i. 包含軟弱層之地盤

在含有軟弱土層的地盤上設置擋土牆時，隨著擋土牆產生變位及傾斜，擋土牆背填土的重量會使地盤產生破壞，包括壓密沈陷及土壤之側向流動。因此當擋土牆承受太大荷重時，應依下述，進行穩定分析。

i)地盤滑動檢討

一般常用圓弧滑動分析法進行滑動穩定分析，其安全因數之計算公式如下：

安全因數 F_s

$$\left. \begin{aligned}
 F_s &= \frac{\sum R\{c' \cdot l + \tan \phi'(W \cos \theta - u \cdot l)\}}{\sum W \cdot x} && \text{(平時)} \\
 F_s &= \frac{\sum \{c' \cdot l + \tan \phi'(W \cos \theta - K_h W \sin \theta)\}}{\sum (W \sin \theta + K_h W c \cos \theta)} && \text{(地震時)}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2.7)$$

其中， c' ：假想滑動面上之凝聚力(kN/m^2)。

ϕ' ：假想滑動面之內部摩擦角($^\circ$)。

W ：土壤切片的重量(kN/m)。

θ ：連接破壞圓弧圓心與各切片中心點之直線與鉛直線形成的夾角($^\circ$)。

l ：各切片所切滑動面的弧長(m)。

x ：切片中心線與滑動圓弧圓心的水平距離。

u ：孔隙水壓(kN/m^2)

K_h ：設計水平震度。

上式的 c' ， ϕ' 可由壓密不排水試驗求得。

此外，若為粘土地盤，則可使用單軸壓縮試驗結果 $c = \frac{1}{2}q_u$ 求得安全因數，如下所示。

$$F_s = \frac{\Sigma R \cdot c \cdot l}{\Sigma W \cdot x} \dots\dots\dots (2.2.8)$$

其中， F_s 之最小值在平時取為 1.5，地震時為 1.2。

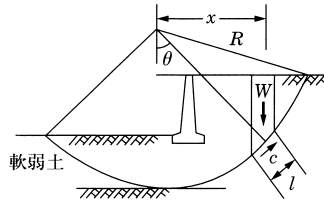


圖 2.2.4 滑動面

ii) 壓密沉陷檢討

壓密沉陷量 S_c 可利用壓密試驗之 $e - \log \sigma'$ 曲線及下式求得。

$$S_c = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \cdot H_0 \dots\dots\dots (2.2.9)$$

其中， e_0 ： $e - \log \sigma'$ 曲線上有效覆土壓力 P'_0 對應之孔隙比

e ： $e - \log \sigma'$ 曲線在荷重增加後的鉛直壓力 $P' = P'_0 + \Delta P'$ 對應之孔隙比

H_0 ：壓密層厚(m)。

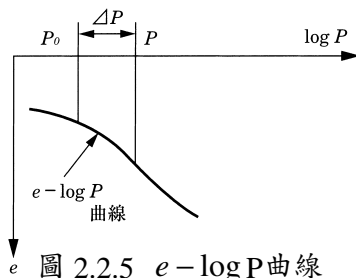


圖 2.2.5 $e - \log P$ 曲線

若無壓密試驗數據可資利用，壓縮指數可從液性限度求得，然後再依下式計算沉陷量。

$$S = H_0 \frac{C_e}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P'_0 + \Delta P'}{P'_0} \dots\dots\dots (2.2.10)$$

其中， $\Delta P'$ ：黏土層中點之荷重增量 (kN/m^2)

C_e ：壓縮指數， $C_e = 0.009(W_L - 10)$

W_L ：液性限度 (%)

ii. 斜面

在斜面上設置擋土牆時，必需進行整體（包含擋土牆本身及背填土斜面）穩定分析，且若在斜面上分段設置擋土牆時，仍須進行各別擋土牆之穩定分析

3) 容許應力的增加

地震時，各部份材料之容許應力值可增加 1.5 倍。

