

ISSN 1025-7683

中華民國自來水協會會刊



白

來

水

第21卷 第1期 (81)

中華民國九十一年二月



**WATER SUPPLY QUARTERLY**

Volume 21 NO.1 February 2002

Water Works Association of the Republic of China (Taiwan)



9 771025 768008

# 自來水會刊第二十一卷第一期⑧目錄

## 實務研究：

- 薄膜技術在二十一世紀淨水事業上之展望 .....吳建民 ..... 3
- 新竹科學工業園區用水供需之研究 .....楊清和等三人 ... 8

## 一般論述：

- 集水區經營管理——一位自來水事業經理人的看法 ...謝啓男 ..... 30
- 美國飲用水砷標準限值終於定案 .....姚關穆 ..... 35

## 他山之石：

- 國際水協會2001年國家代表會議及Water Research  
編輯會議出席報告 .....駱尚廉 ..... 37

## 特 載：

- 自來水設施耐震工法指南及解說（四）下.....蔡錦松 ..... 49

## 學術活動：

- 第八屆國際飲用水水質管理及處理技術研討會簡介 ..... 112
- 第13屆國際水協會西太會議徵求論文通告 ..... 114

## 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：陳志奕

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)22244191轉222

印刷：威文彩色印刷公司

地址：台中市工業區23路2-1號

電話：(04)23586977

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

# 「薄膜技術在二十一世紀淨水事業上之展望」

吳建民\*

## 壹、前言

隨二十世紀薄膜技術之日新月異，目前薄膜在淨水處理上，已有同時可去除懸浮質微粒、有機物、無機鹽及微生物等物質，而可取代傳統之混凝、沉澱、過濾、軟化、臭氧及活性碳等高級處理過程，廣泛被利用於自來水、工業廢水及水污染改善中各項淨水之技術。根據所收集之資料，二十世紀末薄膜過濾材料，可概分為逆滲透（Reverse Osmosis, (RO)）、超精濾膜（Nanofiltration (NF)）、超濾（Ultrafiltration (UF)）及微濾（Microfiltration (MF)）等四大體系。其分類係根據濾料篩孔之大小而概分如下：

逆滲透膜：孔徑 $0.0001 \mu$ ，係利用逆滲透原理而過濾真水之濾膜。其過濾物質為鈉、氯離子、亞鉛、氟、鉛、硝酸、三鹵化甲烷及農藥等，適用於海水之淡化用。

超精濾膜：孔徑 $0.001-0.01 \mu$ ，可將 $0.001 \mu$ 以上顆粒之污染物質過濾之濾膜；適用於半鹽水淡化及各種病毒、小兒

麻痺病毒、A型肝炎病毒、高分子有機物細菌、懸浮質等。

超濾膜：孔徑 $0.002-0.1 \mu$ ，可過濾細菌、懸浮質、高分子有機物等。

微濾膜：孔徑 $0.1-1.0 \mu$ ，可過濾細菌、懸浮質等。（註1： $\mu=1/1000\text{mm}$ ）

薄膜具有過濾性能強、佔地面積小、具擴充彈性等優點，在全球水污染益形惡化、飲用水標準不斷提升情況下，具有相當之實用潛力。雖然薄膜，尤以RO及NF有耗能源、高成本、易阻塞（Fouling）、回收率低、需前／後處理及廢液濃縮（Concentrate）等，但由於材質之日新月異、淨水過程之改良與能量之回收及操作維護方法之改善，其淨水能力已接近傳統之淨水方法，而甚至有「青出於藍，而勝於藍」之勢。二十世紀末薄膜技術之發展，在海水淡化事業中尤為顯著；目前產水能力為 $10,000-100,000$ 噸／天之水廠已在商業運轉中。

就已有之海水淡化技術而言，逆滲透法為最經濟之處理法。1980年代架橋

\*行政院經濟建設委員會顧問

#### 4 自來水會刊第二十一卷第一期⑧

Polyamide系複合膜（Crosslinked Aromatic Polyamide Composite Membrane, PA膜）之發展，使半鹵水（Brackish water）之低壓淡化及抗高壓海水淡化為可能。尤以半鹵水（Brackish water）淡化之透水率及水質較1970年初之技術提高約10倍有餘。在海水淡化方面，抗高壓逆滲透膜之二段淨化過程，可將淡水回收率由原來之40%提高為60%。此種鹵水二段淨化過程（Brine Conversion Two Stage Seawater Desalination, BCS）之優點已被理論及經驗所證實，二十世紀末全球已有十二廠日產41,000噸；現正積極被擴大利用中。此外，為擴大薄膜技術之更廣泛利用，薄膜界最近15年來之研究發展重點除繼續RO在海水淡化上之改善外，更注重於NF及UF/MF膜之改善與廣用。因RO雖可去除鹽分、懸浮微粒及離子等，但在飲用水處理上，並不需將所有離子均去除。而係希望保留某些礦物質；NF所需操作壓力僅為RO之約1/3，且可保留適當之離子，故NF膜將被廣泛利用於飲用水淨化及工業、都市用水色素及硫離子之去除上。

在淨水處理上，二十一世紀被稱為係薄膜淨化時代，上述耗能源、高成本、易阻塞（Fouling）、回收率低等缺陷雖有待逐一被改善與解決；惟實際上在二十世紀末，已有下述顯著之研究成果：

- 1.材料方面：濾材之化學成份及性能已根據原水之需要，設計與製造。
- 2.素材之形態：已可根據原水之性質採取中空或螺旋形孔徑。
- 3.元素／膜組：素材可根據實際需要組合成元素或膜組。
- 4.薄膜過程：可考慮省能源、高效率、輕污染方向設計與操作。

### 貳、薄膜及薄膜過程之成就

#### 一、逆滲透膜

逆滲透膜法為現階段被認為最經濟之海水淡化法。逆滲透膜被廣泛利用於海水及半鹵水淡化中。逆滲透膜之研究始於1950年代，由於Cellulose Acetate(CA)之出現與商業化，1964年已有逆滲透膜上市。

早期，逆滲透膜之開發研究曾針對200餘種高分子凝聚材料Polymer作比較研究，發展出Cellulose Acetate(AC), Polyamide(PA), Polysulfone(PS)及Thin-film Composite(TFC)等現代化之逆滲透膜材料。如前述Cellulose Acetate(CA)為首次嘗試之逆滲透膜材料。其後有各種不同之複合薄膜被發展出：如Linear Polyamide, Cross-linked Fully Aromatic Polyamide，而現階段以Cross-linked Fully Aromatic Polyamide複合薄膜被認為係最

普遍而最可靠之材料。複合薄膜一般有高通量、耐酸鹼、耐高溫、耐高壓、高去除率等特性。其透水率及水質較初期之CA已改善達10倍餘，但較CA膜易有生物阻塞現象。

逆滲透膜之功能，除去除鹽分外，尚需能去除原中之有機物。但其有機物之去除性，則受薄膜材料之左右。以三鹵甲烷為例：Cross-linked Fully Aromatic Polyamide複合薄膜可去除約95%以上；但如用AC時卻去除率甚低，甚至衍生新三鹵甲烷，因為AC膜將三鹵甲烷聚集於通過邊。

現階段RO膜之發展趨勢有二：一為低壓薄膜以減少耗能，以半鹵水淡化而言，低壓膜之壓力為1.3-1.5MPa，而超低壓為0.75MPa；有對象為去除色素及農藥時其超低操作壓力為0.5MPa，高超低壓力為0.3MPa。一為在海水淡化領域中發展出，耐高壓高鹽去除率薄膜。

另RO過程之改善亦提高其淡水回收率之高低。傳統之一段處理法其RO操作壓力為7.0MPa，而淡水回收率為40%（鹽水濃度3.5%）。改進之二段處理法其RO操作壓力為9.0MPa，鹽水濃度為5.8%，而淡水回收率為60%。

## 二、Nanofiltration膜

Nanofiltration膜又稱為鬆散逆滲透膜

（Loose RO(LRO)）。其材料為Cross-linked piperazine Polyamide或Crosslinked Aromatic Polyamide Ultra-thin Composite Membranes。此膜除去鹽性外，其他性能與RO相似，尤以在水中有機物之去除上，已證實有相當之成效。根據美國佛羅里達州之NF試驗地下水中溶解性有機碳（NPDOC）之去除率為97%，TOC為76.2%；另對消毒副產物（DBP）及鹵化有機物之前驅物；如THMFP、AOXFP亦有90%之去除率。

巴黎Mery-sur-Oise淨水廠為大型淨水場採用NF最成功之一例。其過程以前臭氧、混凝、沉凝、沙濾為NF之前處理；結果可去除DOC90%，並將沙濾出流水之需氯量由3.0mg/l降低至0.1-0.2mg/l；另對於THMFP及AOXFP亦有90%之去除率。

若地下水含有大量腐質酸（Humic Acid）時，一般將引致超色度問題。根據文獻過膜分子量（Molecular Weight Cut-off, MWCO在500-1,000之間時，經NF膜即可降低至200-400，而去除色度問題當MWCO在300-500時THMFP之去除率可達90%以上。其他如TOC去除率亦可達90%以上。

NF膜對於總硬度（Total Hardness）：包括鈣硬度與鎂硬度之去除率亦可達90%以上，以地下水之成果而言，硬度以碳酸鈣計為316mg/l之硬水，

經NF膜後降低為24mg/l；降低率為92.4%。另在地表水實驗中，對硬度及硫酸根離子之去除率亦均達90%以上。

然而NF膜對於單價離子，如鈉、鉀卻僅有20-60%之去除能力，此為構成NF僅供半鹵水及工業廢水淨化之原因。由於NF膜對於單價離子之去除效力不高，故海水淡化時需改用壓力較高之逆滲透膜。

### 參、薄膜處理上面臨之問題

RO及NF膜之優點已如上述，而UF及MF膜亦有類似之優點，可分別在淨水、廢水淨化上作不同之貢獻；惟各種薄膜均仍有產水率低（尤指RO及NF膜）、廢水量多、薄膜表面之阻塞及前處理程序繁雜等共同缺點。其中尤以表面阻塞（Fouling）最為嚴重，阻塞係指因顆粒物質阻塞薄膜之表面或孔道及金屬：如鐵及錳之氧化物或低溶解度之鹽類沈積物所引起之積垢或薄膜上生長之生物膜等，所引起之過濾液（Permeate）通量降低或操作壓力升高之現象。

為防止薄膜阻塞，薄膜原水需視其水質而施以不同形式之前處理。良好之前處理可大幅降低阻塞潛能，延長薄膜清洗之時間間距，降低操作成本。前處理有混凝、沉澱及砂濾之傳統淨水程序輔以MF及UF之方式；或傳統方式加生物氧化法

前處理，甚或前臭氧／混凝沉澱／砂濾／（或活性碳）／後臭氧等高級處理等。

根據文獻指出生物氧化法及混凝可以去除分子量大於1,000之有機物，可減少薄膜之有機物阻塞；又如海水淡化廠之取水口，如不直接引自海洋，反而引自滲透井，亦可減少薄膜之微生物及有機物阻塞。同理，如以MF或UF為前處理時，可去除水中之懸浮微粒；根據Chellam（1997）對MF、UF作為NF前處理之研究顯示：經MF或UF處理後之出水其阻塞指數（Fouling Index,FI）值小於1；較傳統處理相較，更能有後減少膠體阻塞。

所謂阻塞指數（Fouling Index,FI）係應薄膜淨水技術，為事前探知原水之阻塞程度而創造之新淨水名詞。此指數可分為Silt Density Index, SDI及Modified Fouling Index,MFI二種。SDI及MFI均可由實驗數求得，其中MFI係根據過濾機制推導而得，且與原水中膠質濃度成正比關係；SDI則不然。兩種指數愈高，則表示阻塞之時率愈大，反之則較輕。

在RO淨化中原水之SDI規定需要在0-2之間。NF則需在0-4之間，如前述巴黎Mery-sur-Oise淨水廠之NF膜其要求之SDI則需小於3。

另，RO操作系統中，通常MFI之值在0-2s/L<sup>2</sup>之間，而NF則在0-10s/L<sup>2</sup>之間。

由上述可知當有機物阻塞較嚴重時，

以傳統淨水法為較佳之前處理方式；當膠體阻塞將嚴重時，則以MF或UF為較佳之前處理方式。

## 肆、建議

### 一、從事自來水事業之技術人員應專業化，並具有專業技師執照，以確保人命之安全

自來水淨化操作、維護管理無論採用傳統方式、高級處理或進一步之薄膜處理方式，人員均將專業化，如操作人員無專業能力，勢將直接影響國民之生命與健康安全，為此從事淨水人員應規範證照制度，專業化操作人員須領有執照，淨水場對於操作、維護、管理及檢驗均應建立健全專業制度，分別授予不同執照，無執照者不得從事此項人命關天之業務。

### 二、積極研究各種膠凝劑、助凝劑及消毒劑等淨水藥品，提高自來水水質

國內自來水淨化場之膠凝劑一般均採用聚氯化鋁；在國外則使用硫酸鋁、氯化鐵，高分子凝聚劑，而以分子凝聚劑為助凝劑。因使用鋁鹽可能使鹼度降低，導致人體神經系統之失調，助凝劑之使用在減輕此種顧慮。惟歐洲及日本自來水當局對於高分子凝聚劑之安全性仍保持相當之保留態度，其原因為高分子凝聚劑中之聚丙烯醯胺被認為具有致癌風險。惟高分子凝聚劑種類甚多，如國內普遍使用之合成糊係以聚乙烯醇瀑水而成；此種聚乙烯醇近被認為係一種良好之膠凝劑及助凝劑。國內原水之水質在洪水時濁度過高，以傳統之膠凝劑、助凝劑，均無法達成淨水標準；據國外資料如使用硫酸鋁、氯化鐵，高分子凝聚劑，而以分子凝聚劑，為助凝劑時，則可突被此種困境，國內宜積極辦理模廠實驗，提高淨水效率。

（本文係中華民國自來水協會第十四屆第四次會員代表大會暨中華民國卅四屆自來水節慶祝大會專題演講內容。

# 新竹科學工業園區用水供需之研究

楊清和<sup>1</sup>、李堯賢<sup>2</sup>、賀力行<sup>3</sup>

## 摘要

新竹科學工業園區於民國69年12月成立，20年來政府投入新台幣214億元以上於園區之開發建設及管理上，至89年底止，園區引進289家廠商，總資本額6,945億元，年營業額達9,293億元，貿易總額9,685億元，佔全國貿易總額10.73%，整體表現卓越，受到國內外高度肯定。八十七年起，由於景氣的回升，高科技產業的蓬勃發展，需水量仍快速增加，八十八年更由於天候乾旱造成缺水危機，使園區總用水量受限而必須節約13%才能度過難關；甚而八十八年底至八十九年六月止，自來水公司因水源開發速度不及園區廠商急速擴廠所需用水，而暫停受理新增用水申請，造成全國產業界一片譁然，因此水的問題，逐漸突顯其重要性。

本研究的成果，可為往後相關高科技產業開發時，合理用水量推估之參考依據，使水資源能予有效開發利用，為國家經濟永續發展的後盾。

1 中華大學科管所碩士研究生

2 中華大學財管系系主任

3 中華大學管理學院院長

## 第一章 緒論

### 1.1 研究背景與動機

新竹科學工業園區於民國69年成立迄今已廿年，而它獨具的群聚效益更將我國科技產業推向世界舞台，展現羨煞全球的成績，更是孕育我國高科技產業發展的搖籃。近四年來（86年 - 89年），園區營業額成長一倍多<sup>(1)</sup>，相對其自來水用量也增加一倍<sup>(2)</sup>，更因政策性考量，園區三期由原計劃低耗能之生化科技產業，變更引進多家用水量甚大的半導體IC工廠，致用水量成長增加更為快速，且近年來由於自來水公司之大新竹供水系統出水量已達飽和，嚴重影響區內工廠之正常生產量及擴廠作業，致園區用水問題更感迫切。

### 1.2 研究目的

本研究目的主要對如何提供穩定而有效率之供水，滿足新竹科學工業園區用水需求，以配合政府大力推動產業升級政

策，並提供其它高科技園區用水需求與供給的探討。

### 1.3 研究範圍與內容

本研究主要範圍為新竹科學工業園區供水現況及廠商未來的用水需求，省自來水公司於本區域內未來規劃及水源的調配和寶山、永和山水庫、隆恩堰的聯合運用。主要分析重點如下：

1. 新竹科學工業園區各期用水量之探討。

2. 台灣地區相關科學園區用水計畫之探討。

3. 各類相關用水量之探討。

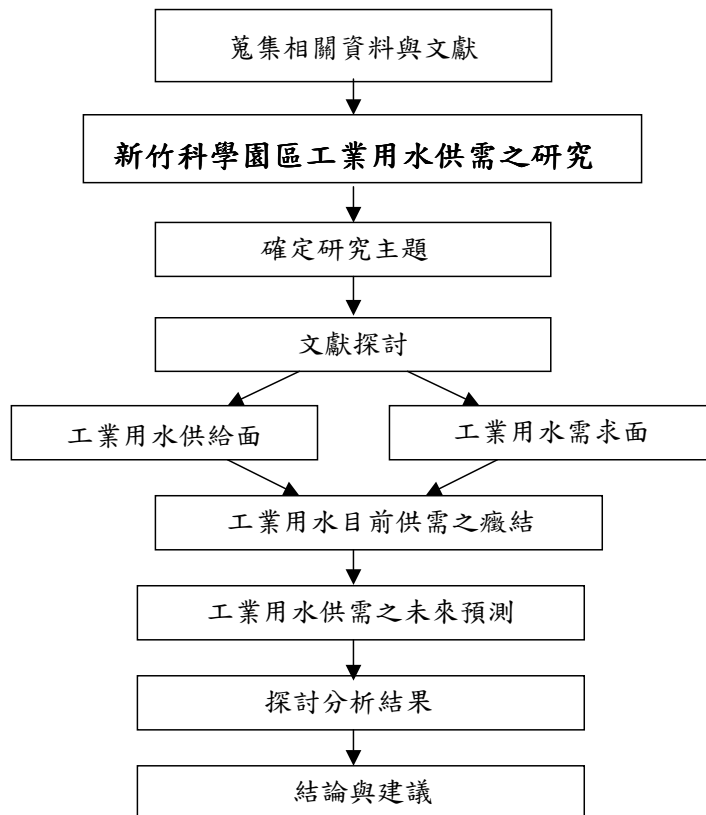
4. 新竹地區水資源調配利用之探討。

5. 新竹地區自來水開發及供給相關文獻之探討。

6. 用水調查問卷及分析。

### 1.4 研究架構及流程

研究流程如下圖一所示：



圖一 論文研究流程

## 第二章 文獻探討

### 2.1 相關名詞界定

- 一、家庭用水：包括飲用、廚房、洗澡、洗濯、衛生設備及庭園澆水等之用水。
- 二、商業用水：包括一般餐館、旅館、大飯店、戲院、娛樂場、百貨店、洗衣店、理髮美容院和食品店等營業用水。
- 三、工業用水：工業用水分為製造用水、鍋爐用水、冷卻用水、雜用水等。
- 四、公共用水：公共建築物，例如政府機關、監獄、學校、醫院、公共飲水機、游泳池、公共廁所及消防用水。
- 五、配水量：經輸水管通過各配水系統分水表之總和水量。
- 六、售水量：指實際計收水費之水量（即計費度），即包括用水未達契約基本用水量而以契約基本用水量計收之總水量。
- 七、抄見量：指由各用戶水表計出實際水量之和。
- 八、抄見率： $\text{抄見量} \div \text{配水量} \times 100\%$ 。
- 九、出水量：指經水源地總水管輸出之水量，即總水表之計水量。
- 十、售水率： $\text{售水量} \div \text{配水量} \times 100\%$ 。

### 2.2 新竹科學工業園區用水計畫及其

## 他工業區用水資料探討

### 2.2.1 新竹科學工業園區各期用水計畫之探討

#### 一、六十八年用水計畫書用水量之探討<sup>(3)</sup>

民國六十八年委由財團法人中華顧問工程司研提自來水需求量初步研究。園區計畫總面積為2000公頃，使用總面積為800公頃。園區初步規劃中係擬引進之工業，以有創新能力、高度科學技術密集，以及用水量不大、公害性較小之高級工業為主。故其工業用水量平均以每公頃每日80公噸估計之，飲用水部份則以每人每日平均用水量為270公升推算。並考慮15%滲漏損失後，平均日需水量為68,000公噸。

#### 二、八十六年用水計畫修正書用水量之探討<sup>(4)</sup>

配合政府大力推動產業升級政策，新竹科學園區自民國76年快速成長，近年來更因政策考量而引進多家用水量較大的半導體IC工廠；園區管理局於86年修正用水計畫預估於民國93年達到飽和平均日需水量131,000CMD，最大日需水量為158,500CMD，其需水量推估如表一所示。

#### 三、九十年用水計畫修正書用水量之探討<sup>(5)</sup>

1. 由於園區一、二、三期公共設施已開發

表一 新竹科學工業園區需水量推估

需水類別		面積(ha)	單位需水量 (CMD)/ha	平均日需 水量(CMD)	最大日需 水量(CMD)	
第一、二期開發區	工業區	半導體產業	91.30	460	42,000	50,800
		生物技術產業	1.82	220	400	500
		電腦及精密產業	121.75	130	16,000	19,300
		住宅社區 7,660 人	20.88	250 lpcd	2,000	2,400
		其它	162.55	30	1,100	1,300
		小計	398.29	-	61,500	74,300
第三期開發區	工業區	半導體產業	144.80	460	66,700	80,700
		通訊及光電產業	7.98	130	1,100	1,300
		住宅社區 6,000 人	19.78	250 lpcd	1,500	1,900
		其它	80.65	30	200	300
		小計	253.21	-	69,500	84,200
總計		651.50	-	131,000	158,500	

完成，雖園區總面積未擴大但有部份廠商正陸續建廠或擴充設備中，尤以原3" - 4" 晶圓廠，擴建為6" - 8" 晶圓廠，甚而原低建蔽率之一、二期標準廠房，擴充為大樓型建築廠房，致使其用水量大幅成長，故科學園區管理局依近年實際用水量重新辦理用水計畫書修正。

## 2. 低、中、高成長總需水量及分年供水需求推估

### (1) 低成長需水量推估

園區需水量分別依園區一、二期及三期開發面積並考量實施節約用水及廠內用

水回收措施推估而得，總需水量推估預估於民國93年達到飽和：平均日需水量修正為160,000CMD，最大日需水量為207,800CMD。

### (2) 中成長需水量推估

園區三期篤行營區基地開發面積約22公頃，預計民國92年7月廠商可申請進駐，如引進晶圓製造或代工之產業，預估於民國95年新竹科學工業園區用水量，將達到飽和；屆時平均日需水量為173,000CMD，最大日需水量為224,900CMD。

### (3) 高成長需水量推估

同中成長需水量推估。

12 自來水會刊第二十一卷第一期<sup>⑧</sup>

四、歷次修正需水量推估差異分析如下：

1. 單位面積工業用水量推估差異：

- (1) 68年：需水量343 CMD/ha。
- (2) 86年：需水量80 CMD/ha。
- (3) 90年：低成長需水量423 CMD/ha，  
中、高成長需水量423 CMD/ha。

2. 新竹科學工業園區總用水量推估：

- (1) 68年：平均日需水量68,000公噸。
- (2) 86年：平均日需水量130,000公噸。

(3) 90年：平均日需水量173,000公噸，  
為初期規劃之254%。

3. 總用水量：

- (1) 68年：包括15%滲漏量推估。
- (2) 86年、90年：以實際用水量推估。

2.2.2 台灣地區相關科學園區用水計畫探討<sup>(9)</sup>

一、竹南基地需水量推估（詳表二）<sup>(6)</sup>

表二 新竹科學工業園區竹南基地需水量推估

項目	生物科技	光電產業	通訊產業	公共設施	小計
用地面積(ha)	20	15	15	28	78
單位面積需水量 (CMD/ ha)	220	400	130	30	780
平均日需水量(CMD )	4,400	6,000	1,950	840	13,190

二、銅鑼基地需水量推估（詳表三）

表三 新竹科學工業園區第四期銅鑼基地擴建用地需水量推估

需水類別		面積(ha)	單位需水量 (CMD/ha)	平均日需水量 (CMD)	最大日需水量 (CMD)
工業區	光電產業	17.46	400	7,000	9,100
	半導體	18.08	800	14,500	18,900
	生物科技	8.90	220	2,000	2,600
	微機電	22.67	130	3,000	3,900
	通訊產業、電腦 及周邊產業	29.87	130	3,900	51,00
	研發用地	22.32	310	6,900	9,000
其它		233.54	30	700	1000
小計		352.79		38,000	4,9000

三、台南科學工業園區路竹基地需水量推估<sup>(7)</sup> (詳表四)

表四 路竹基地需水量推估

需水類別		日總用水量 (CMD/ha)	回收率(%)	日補充用水量 (CMD/ha)
工業區	光電產業	1,500	70	450
	半導體	3,200	75	800
	生物科技	470	50	240
	通訊產業、電腦 及周邊產業	280	50	140
其它		110	30	80

## 2.2.3 各類相關工業用水量探討

一、工業用水量的估計方法：1. 單位產品用水量。2. 單位面積日用水量。

(10) (12) (13) (14) (15) (16)

二、台灣地區工廠用水查核調查：1. 用水基本統計分析。2. 水源供給來源結構分析。3. 水源用途需求結構分析。

三、單位用水量之檢討與分析比較其與同年高雄地區評估之平均單位廠地面積用水量相差2倍，平均單位樓地板面積用水量相差1.5倍，平均單位產值用水量更相差達近100倍。(21) (22)

## 2.3 新竹地區自來水供給相關文獻探討

## 2.3.1 自來水現況及供水系統

一、主要供水系統<sup>(11)</sup> (大新竹供水系

統)：

1. 第一淨水場：設計出水量89,000CMD。
2. 浦雅淨水場：設計出水量40,000CMD。
3. 寶山淨水場：設計出水量40,000CMD。

二、獨立供水系統：

包括竹東鎮、橫山鄉、北埔鄉、新埔鎮、芎林鄉、峨眉鄉及關西鎮等<sup>(11)</sup>。

2.3.2 新竹地區水資源調配利用之探討<sup>(20)</sup>

一、計畫區域

民國86年人口數新竹縣為421,721人、新竹市為351,800人。屬都會地區生活圈，其產業以服務業及製造業為主。

二、自來水管線

如圖二。

三、水源聯合運用分析

為評估頭前溪水源聯合運用及其與鄰近流域聯合運用之供水潛能，水源聯合運

14 自來水會刊第二十一卷第一期⑧

用方案以流域別及跨流域分別敘述如下，請參考水源聯合運用調配成果分析如(表五)。

(一) 頭前溪流域水源運用方案：

隆恩攔河堰與寶山水庫及寶山第二水庫、移用農業用水聯合運用

(二) 中港溪流域水源運用方案

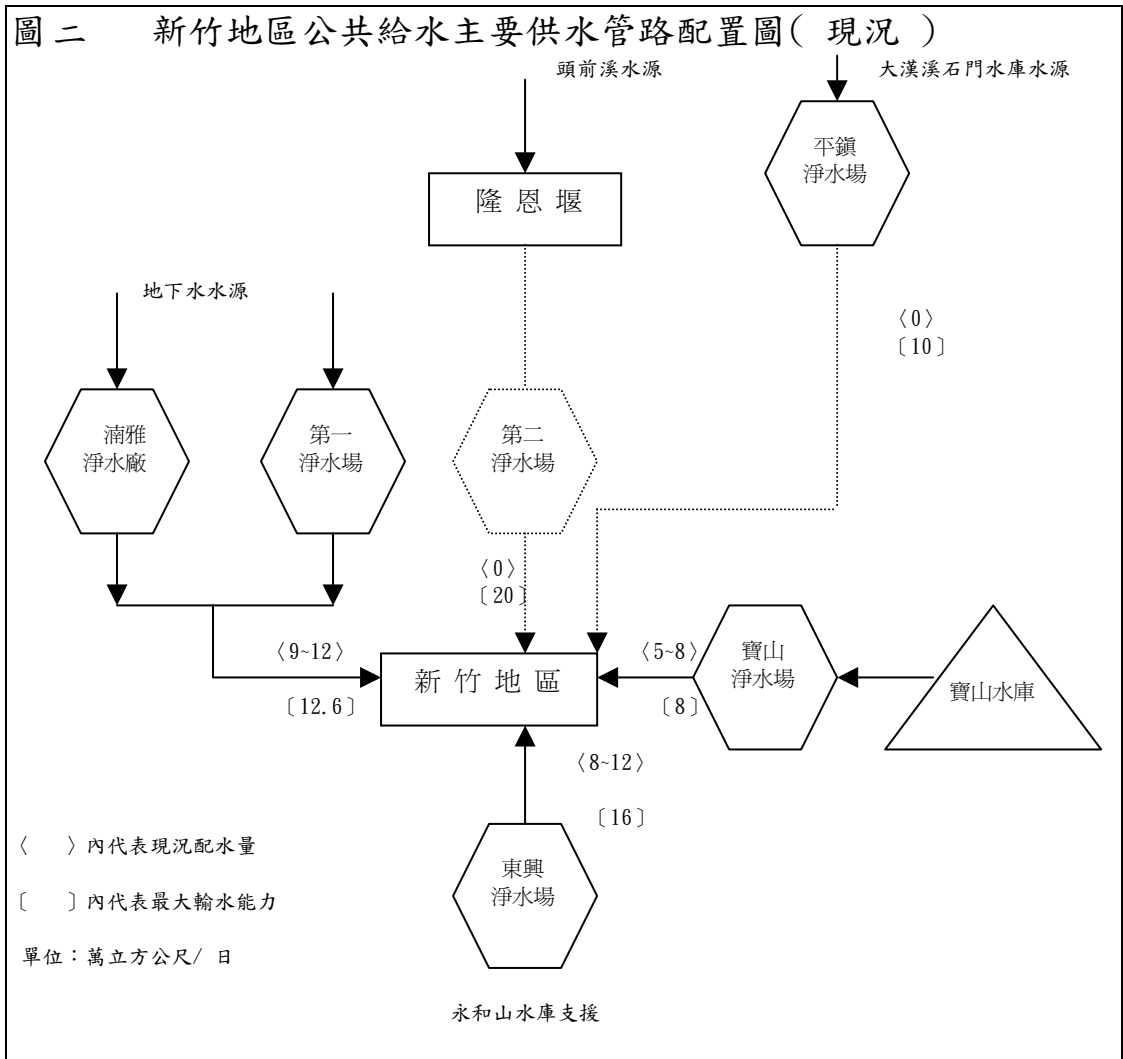
1. 永和山水庫單獨運用。

2. 永和山水庫豐枯期不同計畫供水量單獨運用。

3. 平安橋攔河堰與永和山水庫聯合運用。

(三) 跨流域水源運用方案：

寶山、寶二水庫與平安橋攔河堰、隆恩攔河堰及永和山水庫聯合運用。



表五 新竹地區與鄰近水源聯合調配之水量表 單位：萬立方公尺/日

項 目	目 標 年			
	現況	95 年 (近程)	100 年 (中程)	110 年 (遠程)
需 水 量	29.9	51.1	55	59.1
供 給 量	第一、滿雅淨水場	9~12	9~12 豐 9 枯	9~12
	第二淨水場 (隆恩堰)	--	13.9~20 豐 0 枯	42~45 豐 0 枯
	寶山及寶二水庫	5~8	0 豐 13.9 枯	0 豐 42~45 枯
	員嶼淨水場	3	3	3
支 援 量	永和山水庫 (中港溪)	8~12	8~12(豐, 建平安橋案) 15~16(枯, 建平安橋案) 8~12(未建平安橋案)	8~12
	石門水庫 (大漢溪)	--	10(建平安橋案) 14~17(未建平安橋案)	0~10

### 2.3.3 新竹地區自來水開發及供給相關文獻探討

#### 一、「新竹至湖口一帶自來水系統規劃報告」<sup>(17)</sup>

(一) 新竹科學工業園區工業用水需水量如 (表六)。

#### (二) 總需水量

依前述各種用水量估算至民國九十五年目標, 新竹至湖口一帶總需水量, 如表七。

#### 二、「新竹區自來水系統規劃人口及需水推估報告」<sup>(18)</sup>

#### (一)、計畫供水區

本計畫供水區分為主供水區及各獨立系統之供水。

1. 主供水區包含新竹市 (含香山)、竹北、新豐、湖口及相鄰之竹東、寶山之部分村落。(即為目前之大新竹供水系統)
2. 獨立供水系統, 包含竹東鎮、寶山鄉、橫山鄉、北埔鎮、新埔鄉、芎林鄉、關西鎮、峨眉鄉等8市鄉鎮。

#### (二)、供水量推估 (詳表八、九)。

表六 新竹科學工業園區工業用水需水量估算表

期 別	區 分	面 積 (ha)	計 劃 人 口 (人)	單 位 用 水 量	需水量 (CMD)				備 註
					平均日		最大日		
					工 業 用 水	一 般 用 水	工 業 用 水	一 般 用 水	
第 一 期	工業園區	305	--	65.5	20,000	--	24,000	--	
	住宅區	65	15,000	--	--	--	--	--	
	住宅區 (安遷戶)	25	10,000	--	--	--	--	--	
	小計	395	25,000	--	20,000		24,000		
第 二 期	工業區	40	--	35	1,400	--	1,700	--	
	住宅區	30	5,500	--	--	--	--	--	
	小計	70	5,500	--	1,400		1,700		
第 三 期	住宅區 (安遷戶)	59	15,000	--	--	--	--	--	
	第一階段 工業區	73.5	--	35	2,550	--	3,050	--	
	第二階段 工業區	87.5	--	35	3,050	--	3,650	--	
	第三階段 工業區	86	--	35	3,000	--	3,600	--	
	小計	306	15,000	--	8,600		10,300		
合 計	771	45,500	--		30,000		36,000		

註：1.工業園區單位用水量為CMD/h a。

2.住宅區需水量併入新竹市集居社區估算。

表七 總需水量表

用水別		需水量 (CMD)	
		平均日	最大日
一般用水		174,800	235,800
工業用水	一般工業區	49,700	59,500
	科學園區	30,000	36,000
漁業用水		2,000	2,400
其它用水		40,800	48,300
合計		297,300	382,000

表八 新竹區工業用水量估計表

工業區名稱	面積公頃	完成時間 (民國)	單位面積最大日需水量 (CMD/ha)	民國 110 年			民國 95 年		
				佔飽和用水量比 (%)	平均日 (CMD)	最大日 (CMD)	佔飽和用水量比 (%)	平均日 (CMD)	最大日 (CMD)
湖口	532	74	62	100	27,500	33,000	90	24,800	29,700
竹科一、二期	380	75	110	100	35,000	42,000	100	35,000	42,000
竹科三期	192 (新竹市)	83	114	100	17,500	21,900	100	17,500	21,900
	341 (新竹縣)	88	97	100	26,400	33,000	70	18,500	22,200
峨嵋	422	75		100	18,600	22,400	100	18,600	22,400
新竹市重劃區	305	75	80	100	20,000	24,000	85	17,000	20,400
竹北市	199		80	100	13,200	16,000	75	9,900	12,000
小計					158,200				
售水率 80%計					200,000	240,000		180,000	210,000

表九 新竹區計劃目標年總需水量統計表

單位名稱	9 5 年		1 1 0 年	
	平均日 CMD	最大日 CMD	平均日 CMD	最大日 CMD
一般用水	267,000	320,000	366,000	433,000
工業用水	180,000	210,000	200,000	240,000
特殊用水	2,000	2,000	2,000	2,000
其他用水	12,300	15,000	12,600	15,400
合 計	461,000 以 461,000	547,000 以 550,000	580,600 以 580,000	690,400 以 690,000

### 三、新竹區自來水系統規畫與大新竹系統

規畫差異分析比較<sup>(19)</sup>：

1. 區域差異分析：為竹東鎮、橫山鄉、北埔鄉、芎林鄉、關西鎮及峨嵋鄉、獨立供水鄉鎮地區。
2. 民國九十五年人口數差異計為256,800人，一般用水平均日差異值為93,000 CMD，工業用水平均日差異為100,300 CMD，而其中科學工業園區至民國九十五年各自評估需水量為30,000 CMD及71,000 CMD（售水率以80%計），如以九十年園區管理局提出之修正需水量173,000 CMD（篤行營區已於90年11月17日移交管理局設置12吋晶圓廠），以75%售水率計算配水量為231,000 CMD，平均日差異水量分別為201,000 CMD及160,000 CMD。
3. 經濟部水利處<sup>(20)</sup>規設科學工業園區總需水量為131,000CMD，亦有100,000 CMD之落差。

### 第三章 研究方法

#### 3.1、研究對象及樣本蒐集

本研究之對象包括目前已在新竹科學園區設廠的積體電路、生物科技、電腦及週邊設備、通訊產業、精密機械及光電產業等進行研究。因實務、人力、財力及資料收集不易等主、客觀因素限制，本研究分兩階段進行樣本收集，針對目前園區內用水廠商199家發出問卷，共計回收191份，剔除無效問卷4份，有效問卷共187份，總回收率為95.97%，有效回收率為93.96%。

#### 3.2定義及衡量工具

##### （一）名詞定義

1. 產業別：依科學園區引進產業別，區分為積體電路、生物科技、電腦及週邊設備、通訊產業、精密機械、光電產業等六類型產業。

2. 生產面積：以各公司生產廠房樓地板總面積計算。
3. 土地面積：以各公司座落土地基地面積計算。
4. 製程用水<sup>(8)</sup>：係指作為原料的水或製造過程中原料或半成品進行化學反應或物理作用所需的水。
5. 總用水量<sup>(8)</sup>：乃指工廠生產過程中所需之用水量，為原始取水量和重複利用水量之總和。
6. 鍋爐用水<sup>(8)</sup>：鍋爐用水係在工業生產中提供生產或發電所需蒸氣，在鍋爐內進行氣化所使用的水稱之。

#### (二) 衡量工具：

係以問卷調查為主，實地查訪為輔，而後作問卷整理作業及統計分析作業。

### 3.3、統計分析方法

本研究資料之統計分析係以統計軟體 SPSS 處理完成<sup>(23)</sup>，其問題之分析方法，包括：描述性統計（平均值、標準差）、單因子變異數分析（one-way ANOVA）與Scheffe檢定<sup>(24)</sup>。

### 3.4研究限制

本研究需先限制本系統內除園區用水外之其它主要用水水量，而其推估限量如下：

#### 1. 一般用水：

本地區歷年每人每日平均用（配）水量由70年~89年之趨勢推估平均值約332 LPCD，計算出本供水系統內一般用水量平均日配水量為189,550CMD。

#### 2. 售水率限制：

八十九年大新竹系統之售水率為68.8%成長至九十年代之70.2%；由於多方的期盼與要求下，提高自來水抄見率、降低漏水量為自來水公司往後業務推展之主要目標之一，故在本研究限制內，大新竹供水系統之售水率至九十五年被界定為75%。

## 第四章 研究結果與分析

### 4.1、樣本之各變項資料描述

本研究之有效樣本共計187份，受測廠商各變項平均值之最高及最低產業，綜合彙整如表十。

表十 各變項平均值之最高者及最低者比較表

變項 \ 最高、最低	平均值最高產業	平均值最低值產業
生產面積(CMD/ha)	積體電路業(590.681)	生物科技業(100.675)
土地面積(CMD/ha)	積體電路業(941.901)	生物科技業(151.700)
製程回收率(%)	通訊產業(79.906)	精密機械業(46.100)
全廠回收率(%)	積體電路業(70.739)	精密機械業(38.600)
節約用水(%)	生物科技業(5.375)	積體電路業(2.333)
載水應急(%)	精密機械業(7.400)	積體電路業(3.377)
部份停產(%)	精密機械業(11.000)	通訊產業(6.969)
四分之一停產(%)	精密機械業(14.700)	電腦週邊設備業(7.378)
二分之一停產(%)	通訊產業(20.469)	積體電路業(14.928)
全部停產(%)	通訊產業(30.313)	電腦週邊設備業(20.135)

4.2、產業別在單位面積每日需水量之差異分析，綜合彙整如表十一。

表十一 產業別在單位面積每日需水量之差異檢定後彙整表

項目 \ 差異別	差異最大者	差異次大者
單位生產面積每日需水量之差異(CMD/ha)	積體電路業—通訊產業(411.919)	積體電路業—電腦及週邊設備業(376.546)
單位土地面積每日需水量之差異(CMD/ha)	積體電路業—通訊產業(660.986)	積體電路業—電腦及週邊設備業(659.969)

4.3、產業別在用水回收率之差異分析，綜合彙整如表十二。

表十二 產業別在用水回收率之差異檢定後彙整表

項目 \ 差異別	差異最大者	差異次大者
製程回收率之差異(%)	通訊產業—精密機械業(33.806)	積體電路業—精密機械業(32.030)
全廠回收率之差異(%)	積體電路業—精密機械業(32.139)	通訊產業—精密機械業(28.838)

## 4.4、產業別在限水忍受程度之差異分析，綜合彙整如表十三。

表十三 產業別在限水忍受程度之差異檢定後彙整表

項目 \ 差異別	差異最大者	差異次大者
「節約用水」忍受程度之差異(%)	生物科技業—積體電路業(3.042)	生物科技業—光電產業(2.988)
「載水應急」忍受程度之差異(%)	精密機械業—積體電路業(4.023)	精密機械業—光電產業(4.013)
「部份停產」忍受程度之差異(%)	精密機械業—通訊產業(4.031)	精密機械業—光電產業(3.839)
「四分之一停產」忍受程度之差異(%)	精密機械業—電腦及週邊設備業(7.322)	精密機械業—積體電路業(7.019)
「二分之一停產」忍受程度之差異(%)	通訊產業—積體電路業(5.541)	通訊產業—光電產業(5.308)
「全部停產」忍受程度之差異(%)	通訊產業—電腦及週邊設備業(10.177)	通訊產業—光電產業(9.829)

## 4.5 新竹科學園區需水量推估

1. 園區實際用水量（抄見量）由七十五年平均每日3,200噸，成長至九十年平均每日100,213噸，平均每年用水成長率更高達25%。
2. 目前園區內主要登記廠家為319家，實際有生產用水家數為199家，依自來水公司八十九年全年實際收費水量（抄見量）計算，園區平均每日常用水量為95,896噸，其中以積體電路產業佔全部用水量之78.57%居首，其次則為光電產業佔12.29%。
3. 依據文獻探討各類產業別之單位面積補充用水量彙整如表十四，其中積體電路

產業平均每公頃需水量為724噸為最高，其次為光電產業每公頃483噸。

表十四 各類產業別單位面積補充用水量彙整表 單位：噸/公頃

計畫名稱 產業別	86年 竹科	90年 竹科	竹南 基地	銅鑼 基地	路竹 基地	89年 南科 光電	87年 竹科 半導 體	平均 補充 水量
積體電路	460	570		800	800		990	724
電腦及週邊	130	160		130	140			140
通訊	130	160	130					140
光電				400	450	600		483
精密機械	130	160	440					243
生物技術	220	220	220	220	240			224
微電機				130				130
研發				310				310
服務中心	30	30	30	30	30			30

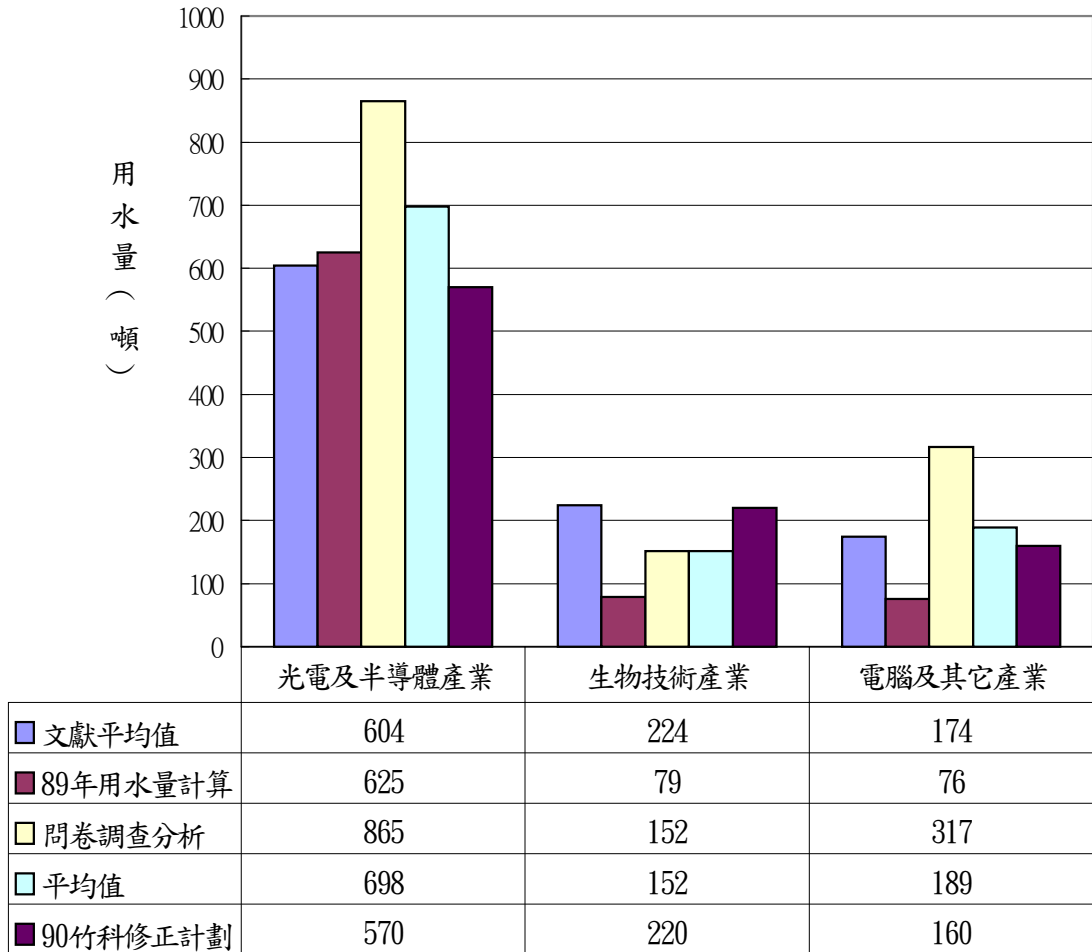
4. 依問卷調查分析各產業需水量如表十五。

表十五 問卷調查分析各產業需水量統計表

計畫名稱 產業別	86年 竹科	90年 竹科	竹南 基地	銅鑼 基地	路竹 基地	89年 南科 光電	87年 竹科 半導 體	平均 補充 水量
積體電路	460	570		800	800		990	724
電腦及週邊	130	160		130	140			140
通訊	130	160	130					140
光電				400	450	600		483
精密機械	130	160	440					243
生物技術	220	220	220	220	240			224
微電機				130				130
研發				310				310
服務中心	30	30	30	30	30			30

再迴歸至新竹科學園區用水計劃書內 之三大產業類別，如圖三。

圖三 三大產業各項數據分析彙整圖



以上各項數值相差甚大，尤以佔全面總用水量達90.8%之「光電及半導體產業」，其差距將大幅調整園區之最終需水

量，其修正後之最終需水量推估如表十六。

表十六 問卷調查分析之新竹科學工業園區需水量推估

需水類別		面積(ha)	單位需水量 (CMD/ha)	平均日需 水量(CMD)	
第一、二期開發區	工業區	半導體及光電產業	91.3	865	78,975
		生物技術產業	1.82	152	277
		電腦及其它精密相關產業	121.75	317	38,595
	住宅社區(人口 7,660 人)		20.88	250 lpcd	1,900
	其它		162.54	30	1,100
	小計		398.29	-	120,847
第三期開發區	工業區	半導體及光電產業	144.80	865	125,252
		電腦及其它精密相關產業	7.98	317	2,530
	住宅社區(人口 6,000 人)		19.78	250 lpcd	1,500
	其它		80.65	30	100
	小計		253.21		129,382
總計		651.50		250,229	

## 4.6大新竹供水系統需水量推估

依前述研究限制及經調查分析後之新竹科學園區需水量(九十五年達最終用水

量)，修正本供水系統內之工業區用水量及自來水總需水量詳如(表十七及表十八)。

表十七 大新竹供水系統內工業區用水量修正估計表

工業區名稱	面積 (公頃)	完成開 發時間 (民國)	單位面積 最大日需 水量 (CMD/ha)	民國 95 年		
				估飽和 用水量 比(%)	平均日 (CMD)	最大日 (CMD)
湖口工業區	532	95	180	100	75,000	90,000
科學工業園區 (一、二期)	398	75	188	100	74,824	89,789
科學工業園區 (三期)	275	88	357	100	98,175	117,810
新竹市重劃區	305	未定	80	70	17,080	20,496
高鐵重劃區	340	94	100	75	25,500	30,600
合 計					290,579	348,695
配水量(售水率 以 75%計)					387,438	464,927

表十八 修正民國九十五年大新竹供水系統自來水總需水量統計表

項目 (售水率 75%計)	平均日(CMD)	最大日(CMD)	百分比
一般用水	189,550	227,460	31.9%
工業用水	387,438	464,927	65.3%
其他用水	16,400	20,000	2.8%
合計	593,388	712,387	100.0%

## 4.7自來水大新竹供水系統各淨水場之出水能力評估（詳表十九）

表十九 大新竹供水系統各淨水場設計及實際出水量表 單位：CMD

淨水場名稱	設計出水量	豐水期出水量	枯水期出水量	水源	備註
寶山	80,000	60,000	80,000	寶山水庫	
寶山擴建	60,000	-	60,000	寶山水庫	91年底完工
寶山二期	240,000	120,000	240,000	寶二水庫	預定94年底前完工
寶山三期	(240,000)	(160,000)	(240,000)	寶二水庫	預定94年後施工
新竹第一	89,000	100,000	50,000	頭前溪	
新竹第二	200,000	200,000	50,000	頭前溪	
湳雅	40,000	45,000	30,000	頭前溪	
小計	709,000	525,000	510,000		
(小計)	(949,000)	(685,000)	(750,000)		
東興支援	80,000	80,000	12,000	永和山水庫	
平鎮支援	100,000	100,000	60,000	石門水庫	
小計	180,000	180,000	180,000		
合計	889,000	705,000	690,000		
(合計)	(1,189,000)	(865,000)	(930,000)		

依上表得知，自來水擴建及支援系統截至民國九十四年底，配水能力可達每日709,000立方公尺，可滿足依研究推估，新竹科學工業園區於九十五年全面開發（轉型）完成之每日所需配水量593,388立方公尺。

## 第五章 結論與建議

## 5.1結論

根據上述推估結果之分析，本研究有下列四點主要結論。

1. 新竹科學工業園區內主要產業別之單位基地面積補充水量以積體電路產業每公頃需水量942噸最高，次之為光電產業每公頃需水量788公噸，精密機械產業

為每公頃389公噸，電腦週邊產業為每公頃282公噸，通訊產業為每公頃281公噸，用水量最低為生物技術產業每公頃152公噸。

2. 推估新竹科學工業園區中成長需水量至民國95年達飽和，平均每日需水量為250,229公噸，超出園區管理局所提計畫量173,000CMD，而其中積體電路產業及光電產業用水量則佔全區之90.8%。
3. 以限水忍受程度衡量，以積體電路產業最低，生物科技產業最高。
4. 以自來水大新竹供水系統區域內推估，截至九十五年止本地區平均日總需求之配水量為593,388立方公尺。而自來水設施出水能力為709,000立方公尺，尚能維持供需平衡。

## 5.2 建議

1. 由上述評估得知，工業用水之快速成長，是為本地區供水吃緊之主因，因此工業用水合理化用水量的推動是節約用水措施中重要的一環，政府有關主管機關必須積極建立制度化，可管理、有誘因、具彈性的合理用水大環境，以加速推動節約用水之成效。
2. 面對新竹地區未來不斷成長的公共用水需求，政府除積極推動節約用水措施外，新水源之開發確實有其必要性與急

迫性。尤以寶二水庫是否能於九十四年底如期完工供水，將直接衝擊新竹科學工業園區擴展所需之穩定及安全供水能力，另中港溪平安橋堰之興建案能早日促成，亦將對園區用水之支援有所幫助。

3. 目前自來水平均水價僅約新台幣9.5元，不僅無法反應水源開發成本，更因水價低廉不利於節約用水之推動。應建立制度化、透明化及合理化之自來水價調整機制，以提升用水效率；同時使自來水公司有較充裕的經費進行自來水設備更新與投資，降低輸水損失並串聯區域間自來水管網，以利於區域間水資源調配，提升整體及資源之利用效率。
4. 由於我國即將加入WTO，入會後農業用水將隨農地的釋出，因此適度調整農業用水比例做為生活用水、保育用水與工業用水，除可紓緩用水不足之問題外，亦可節省水資源開發經費，並提昇產業競爭力，因此建請水利主管機關檢討依各標的（農田灌溉與公共給水）重新合理分配水權量。

## 參考文獻

- 〔1〕 行政院國家科學委員會科學工業園區管理局「新竹科學工業園區簡介」，民國九十年十一月。
- 〔2〕 省自來水公司第三區管理處新竹服

- 務所“新竹科學工業園區廠商用水量”，民國九十年十二月。
- [3] 財團法人中華顧問工程司“行政院國家科學委員會，新竹科學工業實驗區開發工程自來水需求量初步研究”，民國六十八年三月。
- [4] 行政院國家科學委員會科學工業園區管理局“新竹科學工業園區用水計劃書（修正本），民國八十六年三月。
- [5] 行政院國家科學委員會科學工業園區管理局“新竹科學工業園區用水計劃書（修正本），民國九十年三月。
- [6] 省自來水公司中區工程處“新竹科學工業園區第四期擴建（竹南基地）供水計劃，（修正計劃）”，民國九十年六月。
- [7] 行政院國家科學委員會“台南科學工業園區路竹基地用水計劃書”，民國九十年五月。
- [8] 工業技術研究院能源與資源研究所“工業用水合理用水量指標體系研究”，民國八十九年。
- [9] 工業技術研究院能源與資源研究所“台灣地區工廠用水查核調查結果分析”，民國八十九年九月
- [10] 高肇藩“工業用水”中國土木水利工程學會，民國八十三年一月。
- [11] 省自來水公司第三區管理處“新竹給水廠、寶山給水廠、湖口營運所簡介”民國九十年。
- [12] 水資局“工業用水合理用水量範圍之研究”民國八十六年。
- [13] 美國自來水協會“配水工程手冊”，一九六一年出版。
- [14] 日本“工業用水調查”。
- [15] 水資會“台灣各製造工業單位面積用水標準”，民國六十八年八月。
- [16] 陳仲仁等提出“工業節水潛力評估與成本效益之研析-以高雄地區為例”，民國八十九年三月。
- [17] 集美工程顧問公司“新竹至湖口一帶自來水系統規劃報告”，民國八十一年二月。
- [18] 省自來水公司北區工程處“新竹區自來水系統規劃人口及需水推估報告”，民國八十一年七月。
- [19] 省自來水公司北區工程處“新竹區自來水系統規劃”，民國八十四年十月。
- [20] 經濟部水利處“北部地區水源運用調配檢討（一）報告”，民國八十九年十二月。
- [21] 新竹科學園區“針對三期基地內半導體廠用水調查統計資料”民國八十七年。
- [22] 台南科學園區籌備處“台南科學園

區光電產業用水調查”，民國八十九年。

- [23] 張紹勳、林秀娟。(1994)。SPSS For Windows統計分析 - 初等統計與高等統計(上、下冊)。台北：松崗電腦圖書公司。
- [24] 黃俊英。(1995)。多變量分析(第五版)。台北：華泰。
- Davis ,D.and Cosenza, R.M.(1993). Business Research for Decision Making (3rdEd.). California : Wadsworth.
- [25] 省自來水公司“台灣省自來水事業統計年報第二十一期”，民國八十七年。

[26] 省自來水公司“台灣省自來水事業統計年報第二十二期”，民國八十八年。

[27] 省自來水公司“台灣省自來水事業統計年報第二十三期”，民國八十九年。

[28] 省自來水公司第三區管理處“營運成果統計快報(月報)”，民國八十九年一月～九十年十月。

[29] 省自來水公司第三區管理處“省自來水公司第三區管理處八十八年底至八十九年初大新竹地區乾旱時期調配供水檢討報告”，民國八十九年五月。

## 集水區經營管理——一位自來水事業經理人的看法

謝啓男\*

謝謝主辦單位的邀請參加第三屆集水區管理國際研討會的綜合討論，個人是自來水事業的工作者，從自來水事業經理人的角度來看集水區經營管理，提出一些淺見跟各位一起來思考。

1. 自來水事業是水資源的使用者，依政府核發的水權由水庫、湖泊、河川或地下水取水當作水處理廠的原料。在取水口的上游依自來水法劃定保護區，目的在保護水量及水質。
2. 在取水的過程中，我們擔心的是：在雨季的暴雨颱風帶來的土石流，尤其1999年9月21日大地震以後更嚴重，高到上萬的濁度，超過水廠處理能力，有時候要關廠；在乾季的時候，又要擔心缺水。
3. 集水區內私有土地的利用，常因法令的限制，導致土地所有人的抗爭，要求回饋補償他們的損失，否則不讓取水，這是需要法源來解決的。
4. 集水區內私有地的不當使用，尤其是養豬場的設置、農民使用肥料及農藥，已

在台灣地區造成某些水庫嚴重優養化，也有部份地區的地下水含硝酸鹽氮量已過高，水處理的技術及成本就會不斷地提升，對自來水事業的經營是不利的。我們也瞭解農委會對豬的離養政策已在執行，也期盼對地下水硝酸鹽氮的污染防治工作能有所進展。

5. 集水區內有太多的污染物，不論是豬糞尿、肥料、農藥、家庭污水、工業廢水及垃圾等，暴雨時是最佳的輸送體，因此，暴雨逕流的控制、工業廢水放流管制、衛生下水道的興建、垃圾掩埋場及焚化爐的設置等，是很重要的基礎建設。希望政府相關單位盡其最大努力完成，愈快愈好。
6. 在集水區內有許多斷層，加上原本脆弱的地層結構，在雨季很容易造成土石流，威脅人民的生命財產，所以治山防洪，水土保持，區域排水，緊急排洪閘門操作，水庫運轉操作，下游河道整治，乃至於警告系統的建置等，也是很重要的基礎建設，政府相關單位已努力

\*台灣省自來水公司副總經理

在做。

- 7.對於河川污染的調查，政府除了公佈個別的污染事件外，更要對污染物有全盤的監視制度（The whole lifecycle monitoring），建立監視網站（Network of monitoring stations），要使污染者不僅要付費去清除污染物，更要負法律責任。污染事件發生時，必須要有危機處理的能力。
- 8.河川承受水體所能忍受的程度，是不是應該去執行總量管制（Total maximum Daily Load），使生態得以平衡。
- 9.集水區內各種活動，可否透過GIS（geographic information system），GPS（global positioning system）及遙測技術

（remote sensing）來瞭解是否對水量水質已產生危害。

- 10.對台灣的幾條主要河川，尤其是自來水水源的河川，比如高屏溪，政府已經成立高屏河流域管理局，使水從源頭到出海，所有事權統一來管理，希望能對集水區的管理，樹立典範。是否可透過像這樣的研討會，將國外最佳管理實務作成建議送給政府參考。

集水區的管理相關的課題太複雜，透過國外成功的最佳管理實務經驗，相信對我國集水區管理有積極正面的助益。

（本文係90年12月12日發表於第三屆集水區管理國際研討會綜合討論會之引言）

## Watershed Management — a manager's view of water supply enterprise

謝啓男\*

Think You chairman , I am a worker of water supply enterprise, from a manager's view of water supply enterprise to see the management of watershed, I would like to submit some my thinkings, let me go shares with each other.

1. Water supply enterprise is one of the users of water resources, follow the water right issued by the government, we take the raw water either by gravity or by pump from reservoirs, lakes, rivers or underground deep wells, as the raw materials of purification plant. At the upstream of intake we limit the scope of protection area based on water supply law with the purpose of protection water quantity and quality.
2. In process of delivery, we worry about the stormwater or typhon brought with debries flow in the rain season, especially, after the terrible huge earthquake in

september 21, 1999. The status quo are worsen than before, making the raw water with very high turbidity far over the purification ability of water treatment plant. Seriously speaking, we close the treatment plants at that time. While in the dry season, we worry about watershed shortage.

3. The private lands use in the watershed, usually, are limited by the regulations, therefore, the owners of private lands protest against water utilities to ask for the compensations for their loss, otherwise, to prohibit the delivery of water from intake. It is the only good way to solve such problems by quickly establishing the compensation regulations legalized by legislative yuan, but it has not passed yet.
4. The unsuitable use of private land in watershed, especially, the installation of pig farm, the usage of fertilizer and

\*台灣省自來水公司副總經理

pesticied, have caused serious eutrophication in some reservoirs and high nitrate contents in underground water at some aeras. Those are harmful to the business of water supply enterprise, because of the upgrade of treatment facility and operations cost increase. We know that the pigs off-breeding policy has been executing under the Council of Agriculture, we also hope the reduction of high nitrate contents in underground water would be achieved in the near furture.

5. There are too much pollutants in the watershed, in spite of pig's night-soil, urine, fertilizer, pesticied, domestic sewage, industrial wastewater, garbage etc, stormwater becomes most likely an important pathway for those pollutants therefore, the control of stormwater runoff, the effluent of industrial wastewater discharge surveillane system, the construction of sewer and sewage treatment plant, the installation of garbage disposal sites or cinerators etc, are very important infrastructures. The governments should do their best to approach the goals, as soon as possible.
6. There are many faults, in additon to the intrinsic weak tectonic conditions of

geography in the watershed, during raining season it is easy to cause debries flow and to threaten the life and estate of people. Therefore, the mountain flood control meassures, forest conservation, stormwater drainage, emergency floodway gate operation, reservoir operation, downstream channel management and alarm system etc. are also very important infrastructures. The government authorities have been making every endeavor to do those.

7. Talking about the report of survey on river pollution, the authority must not just address pollution incidents in isolation. In order to achieve good quality status of waterbody, it is the way forward to set up network of monitoring stations. If a pollution incident happens in the river basin, makes the polluter not only to pay for the clean up cost but also to obey the legal responsibility. Besides, the authority should have the ability to deal with the emergency.
8. I do't know the tolerance capacity loading in the receiving river, whether or not , the authority has to execute the total maximum daily load control to maintain the ecosystem balance.

9. I think the various activities in watershed could be clearly understood if causing any impairment of quantity and quality of water body by properly integrating the technical method of remote sensing, geographic information system (GIS) and global positioning system (GPS) etc.
10. There are some major rivers in Taiwan, particularly, those of the raw water source for water supply utility, for instance, the Kao-Ping River, the central government has established the Kao-Ping River Bureau to unitedly deal with the complications of management affairs from the source to the sea. I hope the authority could manage soundly and make as a paradigm of watershed management. After this workshop, we

may have some recommendations of the best management practices and then send to the authority for reference.

Too much relative issues in the management of watershed, the authorities face far-reaching and implications problems to be solved. By the transfer of successful experience of the best management practices in watershed from foreign countries, I believe it is very important and positive aids for our authorities.

※ This speech was presented on the Third International Conference On Watershed Management General discussion by

Chi-Nan Hsieh (the vice president of Taiwan Water Supply Corporation)

## 美國飲用水砷標準限值終於定案

姚關穆\*

筆者曾在民國90年8月出版本會刊中報導，美國克林頓前政府在下台前，匆匆修訂飲用水砷的標準限值，從原來的0.05mg/l加嚴到0.01mg/l，並且在西元2001年1月20日公佈實施。布希新政府在西元2001年初一上任就宣佈凍結這項修正案，想不到在國會引起軒然大波<sup>(1)</sup>。環境品質標準成爲兩黨政治政爭核心，恐怕還是第一次。布希新政府這一行動，「司馬昭之心，路人皆知」，顯然是想把標準限值比0.01mg/l改得寬一些，或者至少拖延生效日期。但在各方面紛紛責難下，新任聯邦環保署長不得不辯稱是，由於克林頓前政府修訂這項標準限值時，科學研究不夠嚴謹，所以要重新評估，而且表示新標準限值將在0.003到0.002mg/l之間。言外之意，新政府的新標準限值，可能比0.01mg/l更嚴。同時並委請科學諮詢委員會、國家科學院及飲用水諮詢委員會，分別進一步評估效益、風險及費用。讀者也許有興趣知道，布希新政府的拖延戰術會不會成功？美國飲用水砷標準限值最後訂到多少？因爲美國的很多環境品質標準，

都具有指標作用，常爲其他國家和聯合國世界衛生組織採用，或者作爲主要參考資料。

事實上，美國國會裡的民主黨議員，一致認爲克林頓前政府提出的修訂標準限值，已經具有充分科學根據。布希新政府的舉動，只是唱反調，同時也不無想以放水來放寬修訂限值的企圖。因此立刻啓動政黨政治反制行動，通常採用的手段，頗像孫子兵法所說，攻其必救，看準布希新政府急乎要國會通過的議案，搭便車附上一個和原議案不一定有關係的修正提案，來達到在野黨目的。等到議案通過後，總統雖然不見得喜歡多出來的修正提案，但是爲了議案順利執行，只好忍痛簽署下去，使修正提案也成爲法律的一部份。對於砷標準限值這件事，眾議院民主黨議員首先發難，在西元2001年七、八月間看了HR2620號議案，內容是聯邦環保署西元2001年年度預算。民主黨密歇根州眾議員龐尼和民主黨加州眾議員魏曼在這個議案裡加上修正提案，禁止聯邦環保署執行飲用水砷標準限值寬於0.01mg/l，同時也

\*國立中央大學兼任教授

不得展延生效日期<sup>(2)</sup>。HR2620號議案關係到聯邦環保署年度預算約75億美元，布希總統絕對不可能因為區區砷的標準限值，予以否決。

不過這個包括修正提案的議案，只是經過眾議院通過，另外還得看參議院對同一議案的看法。如果兩院意見不完全一致，就要召開兩院聯席討論會議來定案。上面這個議案就訂在西元2001年11月6日舉行聯席討論會議。這時候，布希新政府看到民主黨在國會中捍衛克林頓前政府所修訂砷標準限值氣勢很盛，情況大為不妙，於是聯邦環保署長搶先在西元2001年10月31日宣佈，飲用水砷標準限值將由現訂的0.05mg/l加嚴為0.01mg/l，並且在西元2006年1月生效，和克林頓前政府公佈的限值和時程完全一樣。不過聯邦環保署長倒是大言不慚，聲稱這是根據她要求三個國家機構所作效益、風險及所需費用等方面評估所得的結論。為了爭取更多一點面子，還特別指出，全國受這項新限值影響的，有97%是供水人口在10,000以下的小型自來水處理廠，經濟和技術都很欠缺，因此政府將在此後兩年內，撥款美金兩千萬元，協助開發成本效益合理的處理科技<sup>(3)</sup>。

但是民主黨議員對上述新政府的姿態，並不領情。在11月6日的聯席討論會議中，仍然決議，飲用水砷標準限值不得

鬆於0.01mg/l。加上聯邦環保署長的宣佈，美國飲用水砷標準美值修正為0.01mg/l，應該已可視為定案<sup>(4)</sup>。

整個事件，充分顯示政黨政治運作的情形。大家都遵守同一套遊戲規則，勝敗本來是「兵家常事」。總統雖然位高權重，也不得不接受國會的制衡。對於台灣地區來說，飲用水砷現行標準限值的修訂，似乎只是時間問題。自來水管理當局不妨早日未雨綢繆，調查各地供水中含砷量。如果有超過0.01mg/l的地方，應該早日規劃因應之道。

參考文獻：

1. 姚關穆，「布希新政府與砷的標準限值」，自來水會刊，第二十卷，第三期，<sup>⑦</sup>民國90.8, pp.51-53。
2. "House Upholds Arsenic Standards", *Water Env. and Technology, Water Env. Federation, USA, Vol.13, No.9, Sept. 2001, p.10.*
3. "Arsenic in Drinking Water Limited to 10ppb", *Water Env. Regulation Watch, Water Env. Federation, USA, Vol.28, No.11, Nov.2001, p1.*
4. "U.S. EPA Budget Expected To Increase", *Water Env. & Technology, Water Env. Federation, USA, Vol.13, No. 12, Dec. 2001, pp.51-53.*

# 國際水協會(IWA) 2001年國家代表會議及Water Research編輯會議出席報告

駱尚廉\*

## 壹、國家代表會議

### 一、前言

國際水協會(International Water Association, IWA) 2001年國家代表會議(Board Meeting)已於10月11-14在德國柏林市的Grand Hyatt Hotel舉行, 11日全天及12日上午為IWA國家代表會議, 12日下午及13日為科技與技術委員會(STC)及管理與政策委員會(MPC)聯合會議及IWA基金會會議, 13日晚上安排在通訊博物館(Museum of communication)舉行Presidents' Dinner, 14日全天則為柏林市參觀, 包括搭乘德國傳統風味的火車, 以及乘觀光遊艇從Wansee湖至柏林的市中心Jannowitz Brücke。15日至19日則為第二屆世界水會議(IWA 2nd World Water Congress)。

### 二、IWA新任會長及副會長選舉

IWA目前共有57個國家或地區擁有National members, 受到美國與阿富汗戰爭的影響, 這次出席的僅有37個會員國, 我國由筆者與劉秘書長家堯(代表葉宣顯教授)、謝副總經理啓男出席參加。國家代表會議主席P. E. Odendaal首先歡迎各國代表出席此次IWA Board Meeting, 在通過議程與巴黎會議記錄後, 第一個重頭戲便是選舉新任的會長及副會長。會長候選人僅有日本Norihito (Ken) Tambo教授, 很順利的鼓掌通過。副會長有四名候選人, 依序為(1)澳洲的David Garman博士(也是下屆Melbourne大會的主席), (2)西班牙的Joan Ras先生(為西班牙最大水器材公司AGBAR的執行長), (3)英國的Michael Rouse博士(為英國水研究中心WRC資深研究員), (4)匈牙利的Laszlo Somlyody教授(為Budapest大學衛生與環境工程系教授兼主任, 也是現任IWA副會長)。

\*國立台灣大學環境工程學研究所教授兼所長

副會長的投票，每個會員國僅有一個投票權，採用投票機投票，並分成三輪進行。第一輪可投選兩人，並將得票數最少的先予以淘汰，結果是西班牙的Joan Ras先生票數最低。第二輪仍可投選兩人，選出得票數最多的兩人當選副會長，結果是英國的Michael Rouse博士與匈牙利的Laszlo Somlyody教授當選副會長。第三輪僅可投選一人，票數領先的為第一副會長，結果兩人分獲17票，平分秋色，現任會長P. E. Odendaal裁示兩人輪流擔任一年的第一副會長，不再進行投票了。

### 三、2006年IWA世界會議地點選舉

上次巴黎IWA國家代表會議曾決定2006年IWA世界會議地點應在東亞地區，之後計有中國、日本、馬來西亞與越南四國有興趣主辦，但越南隨即退出競選，經IWA執行長T. Milburn博士分別拜訪有意主辦的北京市、北海道市及吉隆坡市，最後選擇了北京市與北海道市參加最後的決選，兩市也分別提出計畫書與財務計畫。IWA就兩市爭取2006年主辦的條件列出11項比較，包括：主辦世界大會的能力、當地可能參加的人員、地點對海外參加者的吸引力、會議中心的容量與設備、簽證需求、住宿條件、技術參觀設施、地點航班之方便性、對IWA財務貢獻（約10萬英鎊）、執行長實地訪問、費用等。

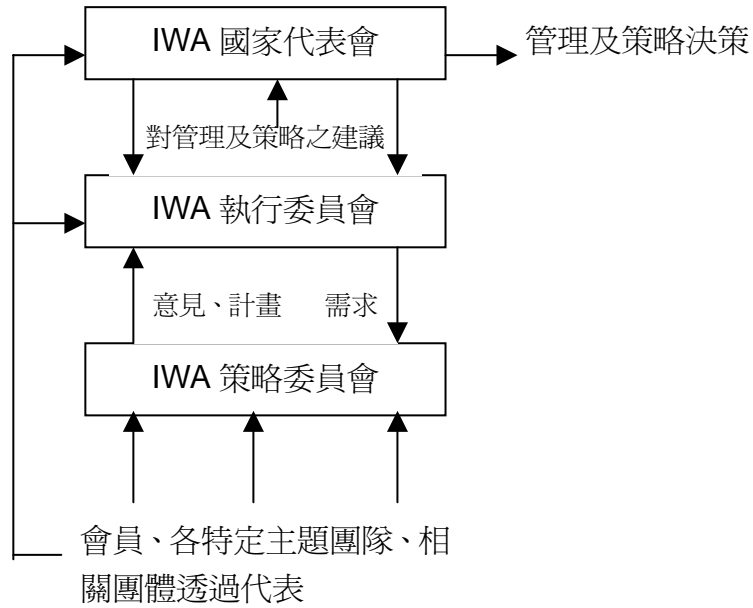
由於執行長的結論加入了日本曾主辦3次IWA世界大會（IAWQ1964及1990年大會，1978年IWSA大會），北京將主辦2008年奧運，以及近年來國際的「中國熱」，中國大陸最後以24票對12票獲得2006年IWA世界會議之主辦權。

### 四、策略委員會（Strategic Council）的成立

這次國家代表會議在IWA組織結構上做了重大改變，其改革的動機源自於：（1）學會及會員快速成長與發展所需，（2）各特定主題團隊（Specialist Group）審議委員會之建議，（3）執行委員會之仔細考量與背書。執委會先提出策略委員會的目標、角色、成員、任期、功能等構想，經國家代表會議討論，交付STC與MPC核心小組，在12日下午訂出詳細內容與成員遴選辦法，在10月13日經STC及MPC聯合會議通過之。

圖一為新的策略委員會與IWA國家代表會、IWA執委會及會員等之關係圖。策略委員會將由50個特定主題團隊選出12名代表，各相關團體代表12名，並再由低收入國家約5名所組成。特定主題團隊之委員候選人必須為各特定主題團隊主席（Leader）或由其推薦之人選，候選人先經所有特定主題團隊主席之投票，選出得票最高的9名當選為策略委員會委員，審

議委員會（Review committee）考量選出 干名參考名單，最後由執委會決定12名委員（包括得票最高的9名委員）。



圖一 策略委員會在IWA組織之角色

各相關團體（包括研究機構、器材廠商、政府管理人員、顧問公司人員、設備供應廠商、工業界及其他）的代表，候選人應先將資料寄給審議委員會，經審議委員會推薦15名或以上名單給執委會，再由執委會決定12名策略委員會委員。低收入國家代表主要考量他們沒有錢繳會費，無法成為會員國，但確有需要經國際水協會組織改善其水環境者，因此主要係由IWA基金會及執委會經通盤考量後，最多選出5名策略委員會委員。

未來策略委員會的任務則為：

1. 導引策略計畫以提昇各項會議與議程之

品質。

2. 提供執行委員會之意見與建議。
3. 刺激與提昇各特定主題團隊活動與其之合作。
4. 刺激與提昇各相關團體新的活動及與IWA其他組織之連繫。
5. 刺激與提昇IWA策略議程。
6. 加強與出版委員會及IWA基金會之合作。
7. 審議政策與各組織文件資料。

策略委員會將於2002年元月底前正式完成選舉與聘任，並隨即展開工作。

## 五、IWA新執行委員會成員

此次柏林世界水會議之後，將由日本Tambo教授擔任新會長，並組織新的執行委員會，成員包括：

1. 會長：Ken Tambo
2. 副會長：Michael Rouse（Melbourne世界水會議後兼財務長）
3. 副會長：Laszlo Somlyady（兼STC主席，策略委員會成立後兼SC主席）
4. 財務長：Peter Scherer（擔任至Melbourne世界水會議止）
5. 前會長：Piet Odendaal（負責IWA組織之整合與發展）
6. 前會長：Vincent Bath（擔任IWA基金會主席）
7. 世界會議主席：David Garman（Melbourne世界水會議）
8. 世界會議主席：Ali Fassi Fihri（Melbourne後至Marrakesh世界水會議）
9. Jerry Gilbert：擔任MPC主席至SC成立止。
10. Mogens Henze：擔任出版委員會主席
11. 執行長：Tony Milburn

## 六、IWA 2002年計畫

IWA執委會希望2002年提出一個較完整的IWA五年計畫，包括策略計畫、事業計畫、運作計畫及財務計畫，並每兩年檢

討一次。有關策略計畫方面主要有11項主要目標及21項初步行動方案（Initiatives）

：

### 1. 策略計畫目標：

- (1) 提供現有各類會員所需具附加價值之產品與服務。
- (2) 以具附加價值之各項活動吸引「失連會員」。
- (3) 以各項支持活動與初步行動方案，提供協會組織與成員之溝通與橋樑。
- (4) 與國家委員會與區域分會合作設立及執行IWA議程。
- (5) 持續吸收新會員與培訓領導人。
- (6) 尋求新財源與機構支持以提昇水及環境資源之管理。
- (7) 爭取認同IWA為水界最優秀之國際協會。
- (8) 建立協會內最有效率之通訊方法。
- (9) 在IWA內部培養能滿足會員個人需求之企業精神與合作環境之文化。
- (10) 建立與外部組織、協會有效與適當之合作關係。
- (11) 確保協會資源有效率之經營管理。

### 2. 初步行動方案：

- (1) 建立IWA知識網路（knowledge

- Network)。
- (2) 發行會員通訊以加強會員對各項活動之瞭解。
  - (3) 除雙年會與各特定主題研討會外，每年舉辦一至二次”International Leading Edge”會議，加強新科技在永續與整合城市水管理之應用。
  - (4) 依事業、管理及研究等之需要，主辦”International Leading Edge”研習會。
  - (5) 推展與強化青年專家之研究計畫。
  - (6) 成立IWA各獎項計畫。
  - (7) 發展對會員之專業仲介服務。
  - (8) 加強IWA倫敦總部對現有會員計畫及活動之支持；強化會員renew服務以減少失連會員人數，特別是對顧問公司、設備器材廠商及工業界之會員，輔導其成立相關小組推展活動。
  - (9) 在IWA內部成立有關管理與相關同業之會員小組。
  - (10) 選擇性地增加其他會員部門，特別是一些關鍵部門。
  - (11) 開始及完整IWAHQ策略計畫，包括運用最佳實作計畫於城市水管理，緊急應變計畫，先進國家或發展國家之最佳實作個案等。
  - (12) 延續IWA基金會策略計畫，提供對低收入國家之供水服務。
  - (13) 加強與相關國際協會與機構之親密夥伴關係。
  - (14) 探討對協會基金、代表權及與其他組織結盟之支持可能性。
  - (15) 推動整合性永續議題至IWA未來之活動中。
  - (16) 營造IWA家族之個人認同與歸屬感。
  - (17) 樹立IWA專業形象與公共行銷與通訊之管道。
  - (18) 開拓未來發展與增加IWA會員之活動。
  - (19) 檢討與更新國家委員會與地區分會之角色與責任。
  - (20) 在倫敦總部建立內部網路系統以加強內在資料管理及通訊之暢通。
  - (21) 成立國際水器材領導人論壇及年度會議。

## 七、會員及會費

IWA目前有繳2001年會費的會員共5774個，其中包括國家會員57個，團體會員424個，個人會員4900人，退休人員會員65人，學生會員285人，名譽會員43人。雖然時有降低國家會員與個人會員會費之建議，但IWA執委會分析2002年之總

## 42 自來水會刊第二十一卷第一期<sup>⑧</sup>

收入預算2,123,000英鎊，其中會費收入為850,000英鎊，總支出預算為2,113,500英鎊。要壯大協會及發展更多之會務活動與基金會支援計畫，會費收入仍是相當重要的，而且現在對會員的收費，相對地也對會員有許多優待（如表一），因此反而建議：

1. 團體及個人會員：依IWA營運費用及物價之提昇，建議在2002年增加5%。

2. 會員期刊費用：2002年調整為：

(1) Water Science and Technology: 調整10%（從65英鎊提高為72英鎊）。

(2) Water Science and Technology-Water Supply: 調整5%（從85英鎊提高為90英鎊）。

(3) Journal of Hydroinformatics: 調整5%（從55英鎊調整為58英鎊）。

(4) Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA: 調整33%（從55英鎊提高為73英鎊，主要是從一年6期增加為8期）。

(5) Water Research: 調整25%（從50英鎊提高為62.5英鎊，主要為從一年12期增加為18期）。

(6) 由電子傳送之期刊，除Water Research調整為60英鎊外，其餘仍維持不變。

3. 國家會員會費：維持不變，但該國若每增一名團體會員，可以減少國家會員會費250英鎊。因此，祇要參加IWA之團體會員夠多，國家會員會費甚至可降至零。

這項建議案也獲得國家代表會議出席人員之一致通過。

表一、IWA個人與團體會員之權益

種類	2001 會費 (英鎊)	標準權益			折扣權益			其他期刊權益	
		Water 21	Year book	參與 5 個 特定主題 團隊	期刊及 電子傳 送折扣	IWA 書 籍 25% 折扣	IWA 會 議註冊 費折扣	第一份 電子期刊 50%折扣	一份 IWA 期刊免費
個人會員	32	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
學生會員	16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
退休人員	16	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
榮譽會員	免費	✓	✓	✓		✓	✓		視需求
團體會員*	578	10 份	✓	可參加 10 個	✓	✓	✓		除 Water Research 外

\*另有刊登 Water 21 及 Yearbook 廣告之折扣。

## 八、榮譽與獎章

國家代表會議此次通過頒發之榮譽與獎章有：

1. IWA青年獎章：Dr. Lin Wang（中國）
2. IWA傑出服務獎章：Prof. Vladimir Novotny（美國）
3. IWA水管理科技傑出貢獻獎：Dr. S. William McCoy（美國）

## 九、下次會議時間

下次國家代表會議召開時間為2002年4月4-6日，在Melbourne會議（4月7-11日）的前一星期。

## 十、結語

此次IWA國家代表會議顯示，IWA新成立的策略委員會將扮演相當重要的角色，同時也希望大幅增加政府管理階層及廠商工業界的個人會員人數，以及團體會員數量，我國應積極考慮推薦適當人選參與策略委員會，並鼓勵自來水與下水道事業單位人員參與成爲IWA個人會員，及邀請業界參與成爲團體會員，以繼續壯大我國在IWA各項國際會議之聲譽。

## 貳、Water Research編輯會議

### 一、前言

今年度Water Research總編會議與亞

洲編委會議，已分別於4月及6月在荷蘭的阿姆斯特丹與日本的東京召開，國內水環境學者與研究人員也許對Water Research這兩次編委會議的統計資料很有興趣，故將相關資訊摘述如下，並希望大家更踴躍投出高水準的論文，以提昇我國的學術地位。

### 二、過去六年Water Research刊登論文數量統計

如表2所示，Full papers發表的數量在1995-1997三年內，大約在330篇左右，1998與1999兩年則約爲370篇，但2000年暴增爲456篇。Review papers過去很少，1999年最多爲12篇，2000年又降至5篇，Dr. M. Henze曾調查Water Research文章被「引用」（cited）的次數發現，Review papers被引用的頻率最高，似乎應鼓勵此類文章。

Technical notes, Research notes, Rapid communications及comments 過去六年每年發表的總數大約在60篇左右，Dr. M. Henze也指出這幾類文章幾乎沒有被引用。

以刊登的總文章數量統計，2000年比1999年整整多出100篇，全部頁數也多出900多頁，平均每篇論文長約9頁，比幾年前的8頁要長，編輯會議希望能將每篇論文頁數再降低至8頁。2001年預計的總刊登頁數爲5200頁，雖比2000年的4700頁要

#### 44 自來水會刊第二十一卷第一期<sup>⑧</sup>

多出500頁（10.6%），但由於投稿年增加率約為40%，勢必要縮短論文頁數或降低接受率，而總頁數的增加，也將使

Water Research的售價要上漲（不超過6.5%）。

表 2. 歷年刊登論文類別與數量統計

Year	Vol. 29 (1995)	Vol. 30 (1996)	Vol. 31 (1997)	Vol. 32 (1998)	Vol. 33 (1999)	Vol. 34 (2000)
Full papers	313	341	335	380	362	456
Review papers	1	4	2	3	12	5
Technical Notes	12	17	13	21	13	
Research Notes	20	21	32	33	32	60
Rapid Communications	10	7	4	1	4	
Comments	10	3	3	8	7	9
Total	356	393	389	446	430	530
Page Budget	2800	3200	3200	3300	3800	4700
Actual pages	2800	3160	3198	3816	3780	4714

### 三、2000年各國刊登的論文統計

如表3所示，表中括弧內數字為1999年刊登的論文數。2000年刊登論文總數仍以美國94篇排行第一；英國57篇也保持為第二名；加拿大則從1999年的第六名，躍升為第三名（36篇）；法國從1999年的第三名跌至第四名（29篇）；西班牙從1999年的第九名，躍升為第五名（27篇）；德國晉升一名，與日本同為第六名（23篇）；日本在1999年為第四名，但2000年文章反而少了三篇，降為第六名；台灣從

並列第九名升為第八名（18篇）；澳洲從1999年第五名，降為與義大利並列第九名（17篇）。韓國雖然未擠進前十名，但是文章從4篇進步為15篇，進步幅度最大；香港與新加坡也近倍數成長，因此，韓國、香港與新加坡已為我國未來強勁的對手。

表 3. 2000年各國刊登的論文統計

Country	No.of Papers	Country	No.of Papers
USA	94 (87)	Brazil	4 (4)
UK	57 (55)	Bulgaria	3 (0)
Canada	36 (19)	Greece	3 (3)
France	29 (29)	Ireland	3 (1)
Spain	27 (13)	Mexico	3 (1)
Germany	23 (18)	Argentina	2 (0)
Japan	23 (26)	Czech Republic	2 (0)
Taiwan	18 (13)	Hungary	2 (0)
Australia	17 (22)	Portugal	2 (3)
Italy	17 (11)	Thailand	2 (1)
South Korea	15 (4)	United Arab Emirates	1 (0)
Netherlands	15 (15)	Austria	1 (2)
Switzerland	12 (8)	Algeria	1 (0)
China	10 (12)	Egypt	1 (0)
Denmark	10 (3)	Estonia	1 (2)
Finland	9 (2)	Israel	1 (3)
Hong Kong	9 (5)	Jordan	1 (0)
India	9 (4)	Lebanon	1 (1)
Poland	8 (4)	Malaysia	1 (1)
Sweden	8 (8)	New Zealand	1 (4)
Belgium	7 (8)	Romania	1 (0)
Turkey	7 (4)	Tanzania	1 (0)
Croatia	6 (1)	Yugoslavia	1 (2)
Singapore	6 (3)		
Norway	5 (3)		
South Africa	5 (7)	Total	521

#### 四、接受刊登率

在2000年Water Research共收到1381篇論文稿，比1999年的987篇增加了40%。投稿的論文接受420篇，接受率為42%（因有部分稿件仍在審查中，故接受率係指（已接受稿件）/（總審完稿件）之比率，此比1999年的44%降低了2%，但編委會仍希望大幅降低接受率。

#### 五、各分區編委會統計

若以各分區編委會來統計，如表4所示。稿件最多的仍是美洲地區，有366篇，比1999年的299篇多出67篇，增加率23%。亞太地區有317篇，比1999的227篇多出90篇，增加率40%，依此趨勢，亞太地區可能在二、三年後變成第一大編委會。北東歐及南非與英國地區、以及中歐地區稿件均是增加最快速的區域，增加率分別為163%及66%。

以接受率來比較，澳洲地區最高，接受率為57%；北東歐及南非與英國地區次高，接受率為53%；美洲地區第三為

48%；亞太地區排名倒數第二，接受率僅有35%；非洲、印度及西亞地區為最低，接受率僅31%。

以每件文稿所需之平均處理時間來統計，各地區編委會約需3~14個月的時間，距所訂目標的3個月，目前僅美洲地區及澳洲地區較接近目標值，亞太地區從1999年的5.9個月再延長至7.1個月，主編Prof. Okada再三拜託大家研商如何縮短稿件處理的時間，並要求秘書Shibahara登錄每位Reviewer審稿時間，以為未來審稿之參考。

稿件修改頻率，亞太地區多為1次修改，有17%為2次修改；美洲地區與澳洲地區2次修改的頻率均甚高，分別為40%及41%，但仍能維持3.1~3.8個月完成處理一稿件，顯然她們審稿與修正稿件的速度甚為快速。

每篇稿件之編輯成本為32~75英磅，比1999年的33~198英磅要降低（主要是澳洲地區成本的降低），亞太地區則從52英磅微升至59英磅。

表 4. 2000年分區編委會投稿與接受稿件資料統計

	E. Asia & W. Pacific	Americas	N. + E. Europe RSA, UK Ed. Office	Australasia	Africa, India W. Asia	Central Europe	Mediterranean	Total
Papers received	317 (227)	366 (299)	250 (95)	45 (33)	75 (69)	143 (86)	185 (178)	1381 (987)
Papers accepted	88 (74)	128 (124)	39 (39)	17 (15)	21 (7)	49 (53)	78 (69)	420 (381)
Acceptance rate (%)	35 (38)	48 (57)	53 (na)	57 (60)	31 (11)	42 (58)	42 (39)	42 (na)
Average processing Time (months)	7.1 (5.9)	3.1 (2.9)	6 (na)	3.8 (5.0)	14 (27.5)	6.9 (6.5)	9.1 (10.6)	
Revision frequency								
0	4 (1)	0 (0)	na	0	2 (0)	0 (0)	1 (1)	
1	69 (64)	74 (74)		10	13 (4)	32 (24)	53 (39)	
2	15 (9)	51 (46)		7	5 (3)	15 (26)	24 (27)	
3	0 (0)	3 (4)		0	1 (0)	1 (3)	0 (2)	
Cost per paper(GBP)	59 (52)	68 (73)	na: not available	65 (198)	32 (33)	65 (61)	75 (72)	

## 六、亞太地區編輯狀況

表5為亞太地區編輯狀況之統計，2000年全年收到稿件為317篇，12月31日完成審查255篇，其中接受刊登88篇，退稿167篇，尚有162篇為審查中或修改中，故接受率為34.5%。在接受刊登的88篇論文中，審查（通常為兩位reviewers及一位編委共三人）最短為2.4個月，最長為10.9個月，平均5.7個月（表6），近兩年國內有幾位教授同仁，審查配合度不理想，經秘書Shibahara再三催促，審查時間仍然超過2、3個星期，甚至一直不回覆，留下不

良紀錄，令人遺憾。修正稿件最短為0.2個月，最長4.7個月，平均為1.3個月，作者自己拖延時間，相當不應該，未來也會將修正稿超過1個月者視為退稿，並重新以新稿件處理。接受稿件之總處理時間為2.4~12.4個月，總平均為7.1個月。由於接受稿件送至Elsevier Office刊登，平均還需要5.9個月，因此如何將審稿時程縮短至3個月，是大家努力的目標。

表 5. 東亞及西太平洋區（亞太地區）編輯統計

Status	Papers In		Papers Out	
	In hand 1 January	Received since 1 January	Completed by 31 December	In hand 31 December
Received		317		
Accepted			88 (B)	
Rejected			167	
Withdrawn			0	
Under Review	91			150
Under Revision	9			12
TOTAL	100	317 (A)	255 (C)	162

$$\text{Acceptance rate} = (B)/(C) \times 100 = 34,5\%$$

表 6. 亞太地區接受稿件之處理時程

Processing Activity	Processing intervals (months)		
	Minimum	Maximum	Average
Review(s)	2.4	10.9	5.7
Revision(s)	0.2	4.7	1.3
Total for all manuscripts	2.4	12.4	7.1

## 七、未來展望

Water Research 2000年的impact factor 為1.748，比1999年的1.616又上升了，在 Water Resources類別中為第2名（總共46種），在Environmental Science中為第17名（總共126種），在Environmental Engineering中為第3名（36種）。目前 Water Research最強勁的競爭對手為

Environmental Science and Technology, impact factor為3.751，為環境工程排行第一者；而排行第4的 Journal of Environmental Engineering (ASCE), impact factor 1.373。如何提昇 Water Research的水準，不被後面的競爭者追上，同時迎頭趕上前面的強勁對手，仍有待大家踴躍投稿高水準的論文。

## 自來水設施耐震工法指南及解說（四）一下

蔡錦松\*

### 4.9 潛盾結構耐震計算例

#### 4.9.1 概要

與潛盾結構相同之地下線狀結構物，因比周邊地盤輕或有同程度比重，所以地震時較周邊地盤變形量多，可從野外、室內模型實驗與實體結構物的地震觀測結果確定。

像此類結構物，地震時慣性力可依據耐震計算法求得，地震時的地盤變位或變形亦可依據反應變位法進行耐震計算求得。

但反應變位法的計算，在地形、地質等地盤條件與構造條件顯著變化時，應考慮潛盾結構受地震影響的因素，須審慎判定計算結果是否適當。

以反應變位法對潛盾結構在管路產生斷面力的計算，可依據下列準則施行。

- 1) 共同管溝設計指針（社團法人 日本道路協會）
- 2) 水道設施耐震工法指針・解說（社團法人 日本水道協會）

#### 4.9.2 設計條件

##### 4.9.2.1 設計模式

\* 國立成功大學土木工程研究所教授

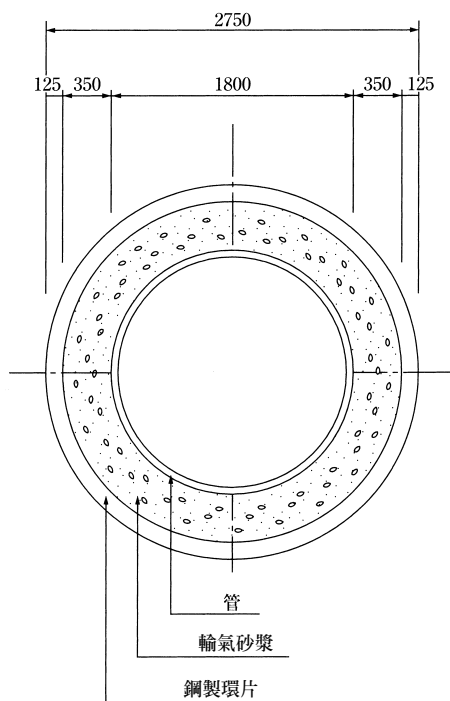


圖-4.9.1 潛盾結構斷面圖

表-4.9.1 環片條件 (鋼製環片)

環片外徑	$D_o$	(m)	2.750
內徑	$D_i$	(m)	2.494
寬度	$L_s$	(m)	1.000
環間螺栓口徑	$B_o$	(m)	M20
有效長度	$L_B$	(m)	0.0504
有效斷面積	$B_A$	( $m^2$ )	0.00245
圓坑直徑	$D_B$	(m)	2.614
個數	$B_N$	(個)	30
二次襯砌輸氣水泥砂漿厚度	$T_c$	(m)	0.35
彈性係數	$E$	( $tf/m^2$ )	$1.5 \times 10^4$
表面版厚度	$T_1$	(m)	0.0030
接合版厚度	$T_2$	(m)	0.0140
寬度	$T_3$	(m)	0.1250
個數	$T_4$	(個)	12
縱向加強筋厚度	$T_5$	(m)	0.007
長度	$T_6$	(m)	0.160
個數	$T_7$	(個)	24

4.9.2.2 地盤條件

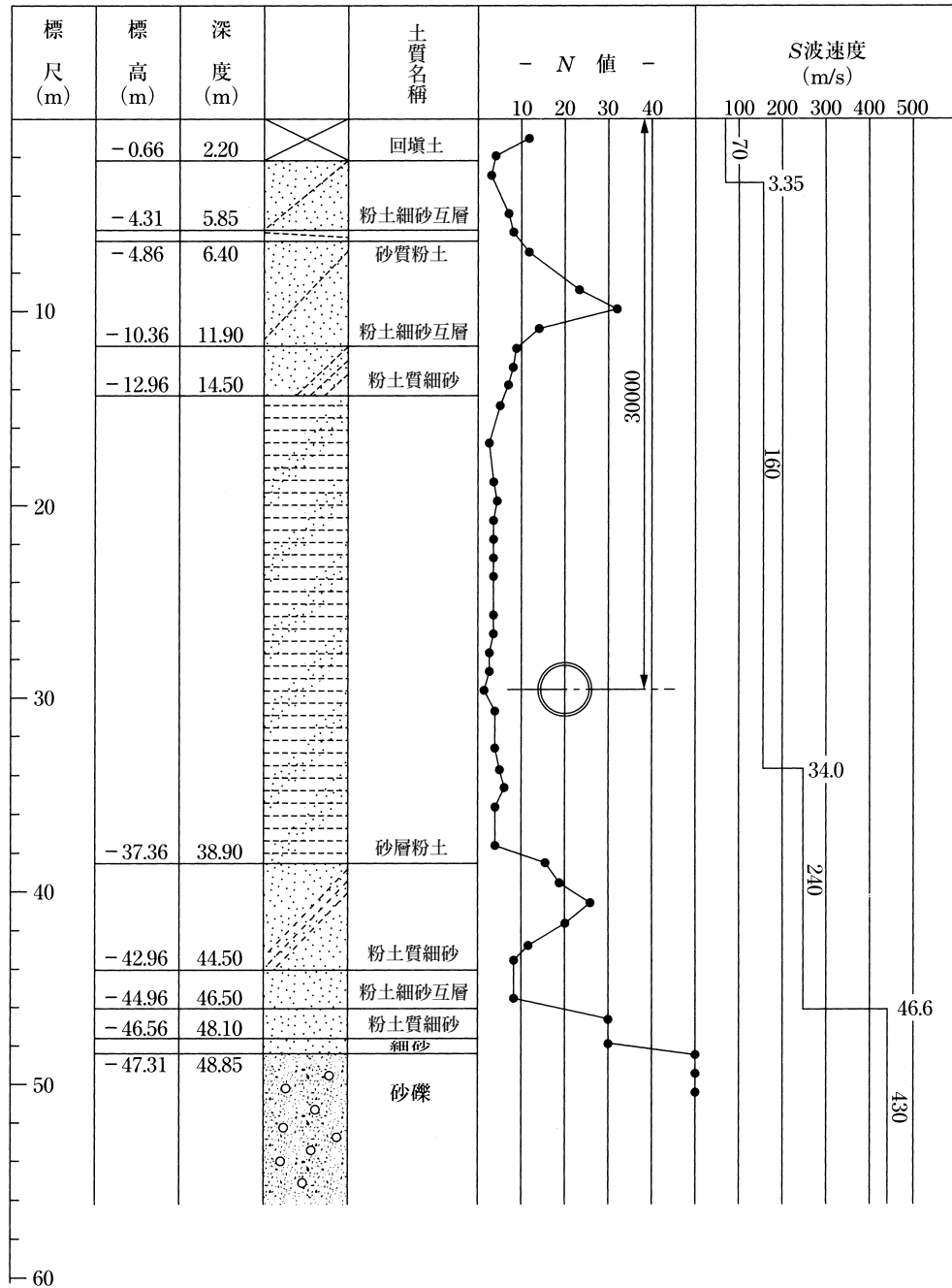


圖-4.9.2 檢討對象地盤

4.9.2.3 設計地域分區

耐震設計地域分區，依建設省告示第 1621 號（昭和 53 年 10 月 20 日）地域區分為 A、B、C 三類，其修正係數分別為 1.0、0.85、0.7。

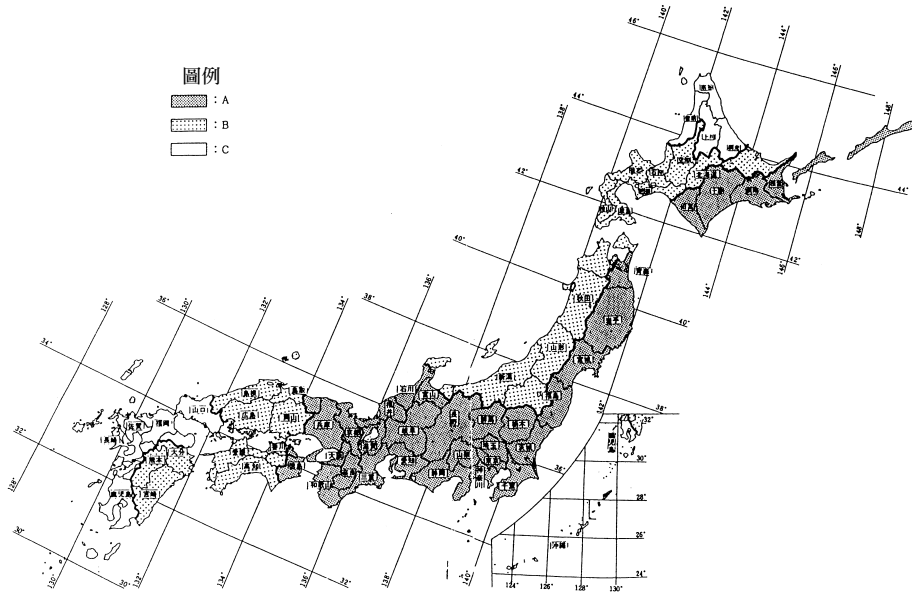


圖-4.9.3 地域分區

表-4.9.2 材料彈性係數與容許應力

材料	規格	彈性係數 $E$ ( $kgf/cm^2$ )	容許應力			備註
			種類	常時	地震時	
環片	鋼鐵 (SM490A)	$2.1 \times 10^6$	拉張、壓縮	1900	2850 <sup>1)</sup>	
			剪斷	1100	1650 <sup>1)</sup>	
螺栓	F4T	$2.1 \times 10^6$	拉張、壓縮	1200	1800 <sup>1)</sup>	
二次襯砌輸 氣水泥砂漿		$1.5 \times 10^4$	彎曲、壓縮	15	22.5 <sup>1)</sup>	
鋼管	SS400 STK400	$2.1 \times 10^6$	壓縮、拉張	1600	245,235 <sup>2)</sup>	地震時的單位 $N/mm^2$
鐵管（正直配管時最大伸縮量， $\phi 1800$ U形）				6.7 cm		

註 1) 容許應力增加值：地震時較常時增加 50%。

2) 降伏點應力或強度（單位： $N/mm^2$ ，JIS G3101-1995，G3444-1994）。

4.9.2.4 其他的地盤條件

1) 表層地盤基本自然周期：

一般而言，推算表層地盤之基本自然周期較為困難，但若求得地表層與構成土層之剪力波速時，可藉由下式求得地盤之自然週期。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots (4.9.1)$$

式中， $T_G$ ：地盤自然周期（ $s$ ）

$H_i$ ：第  $i$  層之土層厚度（ $m$ ）

$V_{si}$ ：第  $i$  層之地表平均彈性剪力波速（ $m/s$ ）

$V_{si}$  的決定可依下式求得。

粘性土層（沖積層）

$$V_{si} = 142N_i^{0.0777} \dots\dots\dots (4.9.2)$$

砂質土層（沖積層）

$$V_{si} = 90N_i^{0.211} \dots\dots\dots (4.9.3)$$

$N_i$ ：第  $i$  層土層之標準貫入試驗平均  $N$  值

各土層之  $V_{si}$  如表-4.9.3 所示。

表-4.9.3  $V_{si}$  與其他地盤參數

土層	土質名稱	$H_i$ ：層厚( $m$ )	$N$ 值	$V_{si}$ ( $m/s$ )	$H_i/V_{si}$
1	回填土	2.20	8	139	0.0158
2	粉土混細砂	3.65	5	126	0.0289
3	砂質粉土	0.55	8	168	0.0032
4	粉土混細砂	5.50	16	161	0.0341
5	粉土質細砂	2.60	8	139	0.0187
6	砂質粉土	24.40	3	155	0.1574
7	粉土質細砂	5.60	8	139	0.0402
8	粉土混細砂	2.00	15	159	0.0125
9	粉土質細砂	1.60	29	183	0.0087
10	細砂	0.75	30	184	0.0041
計		48.85			0.3236

由以上可得，表層地盤基本自然周期  $T_G$ ， $T_G = 4 \times 0.3236 = 1.294$  (s)

2) 單位震度平均反應速度

單位震度平均反應速度  $S_v$ ，依圖-4.9.4 可得。

$$S_v = 0.80 \text{ (m/s)} \quad (T_G \geq 0.5 \text{ s})$$

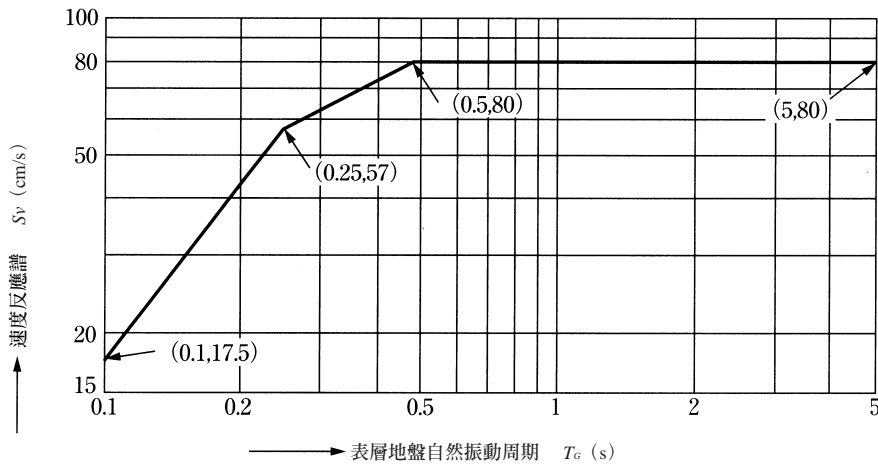


圖-4.9.4 單位震度平均反應速度

3) 基盤面之設計水平震度係數： $K'_{h1}$

基盤面之設計水平震度  $K'_{h1}$ ，可依下式求得。

$$K'_{h1} = C_z \cdot K'_{ho1} \dots\dots\dots (4.9.4)$$

式中， $C_z$ ：區域修正係數（1.0）

$K'_{ho1}$ ：基準水平震度係數（0.15）

$$\therefore K'_{h1} = 1.0 \times 0.15 = 0.15$$

4) 地盤彈性： $G$

管路周邊地盤之剪力彈性係數  $G$  可依下式求得。

$$G = \frac{\gamma}{g} \cdot V_s^2 = \frac{\gamma}{g} \cdot \left( \frac{4H}{T_G} \right)^2 = \frac{1.8}{9.8} \times \left( \frac{4 \times 48.85}{1.294} \right)^2 = 4188.2 \text{ (tf/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (4.9.5)$$

式中， $\gamma$ ：管路周邊土壤單位體積重量( $tf/m^3$ )

$g$ ：重力加速度( $m/s^2$ )

$H$ ：表層地盤厚度( $m$ )

5) 彈性係數： $K$

管路周邊地盤彈性係數  $K$  可依下式求得。

$$K = 3 \cdot G = 3 \times 4188.2 = 12564.6 (tf/m^2)$$

6) 波長： $L$

表-4.9.4 地盤參數表

彈性剪力波速	$V_{s1}$	139	( $m/s$ )
	$V_{s2}$	126	( $m/s$ )
	$V_{s3}$	168	( $m/s$ )
	$V_{s4}$	161	( $m/s$ )
	$V_{s5}$	139	( $m/s$ )
	$V_{s6}$	155	( $m/s$ )
	$V_{s7}$	139	( $m/s$ )
	$V_{s8}$	159	( $m/s$ )
	$V_{s9}$	183	( $m/s$ )
	$V_{s10}$	184	( $m/s$ )
表層地盤自然週期	$T_G$	1.294	( $s$ )
設計基準面	$H$	48.85	( $m$ )
反應速度 (單位震度)	$S_v$	0.80	( $m/s$ )
基盤設計震度	$K'_{h1}$	0.15	
剪力彈性係數	$G_2$	4188.2	( $tf/m^2$ )
地盤彈性係數	$K_2$	12564.6	( $tf/m^2$ )
管路深度	$X$	30.0	( $m$ )
地震波長	$L$	260	( $m$ )

波長  $L$  可由下式求得。

$$L = \frac{2 \cdot V_s \cdot V_{s0} \cdot T_G}{V_s + V_{s0}} = \frac{2 \times \left( \frac{4H}{T_G} \right) \times V_{s0} \times T_G}{\left( \frac{4H}{T_G} \right) + V_{s0}} = \frac{2 \times \left( \frac{4 \times 48.85}{1.294} \right) \times 300 \times 1.294}{\left( \frac{4 \times 48.85}{1.294} \right) + 300} = 260 (m)$$

式中， $V_s$ ：表層地盤彈性剪力波速(m/s)

$V_{s0}$ ：基盤面彈性剪力波速(m/s)；300 m/s

4.9.3 縱向地震檢討

4.9.3.1 剛性隧道

· 剛性評估模式

在縱向上潛盾隧道之耐震檢討，斷面剛性評估模式以圖-4.9.表示。

承受軸向壓力作用時由結構體內部抵抗，而軸向拉力作用時由本體、螺栓與接合板在同一直線上抵抗，如圖-4.9.所示，評估時以各自之彈性係數計算。

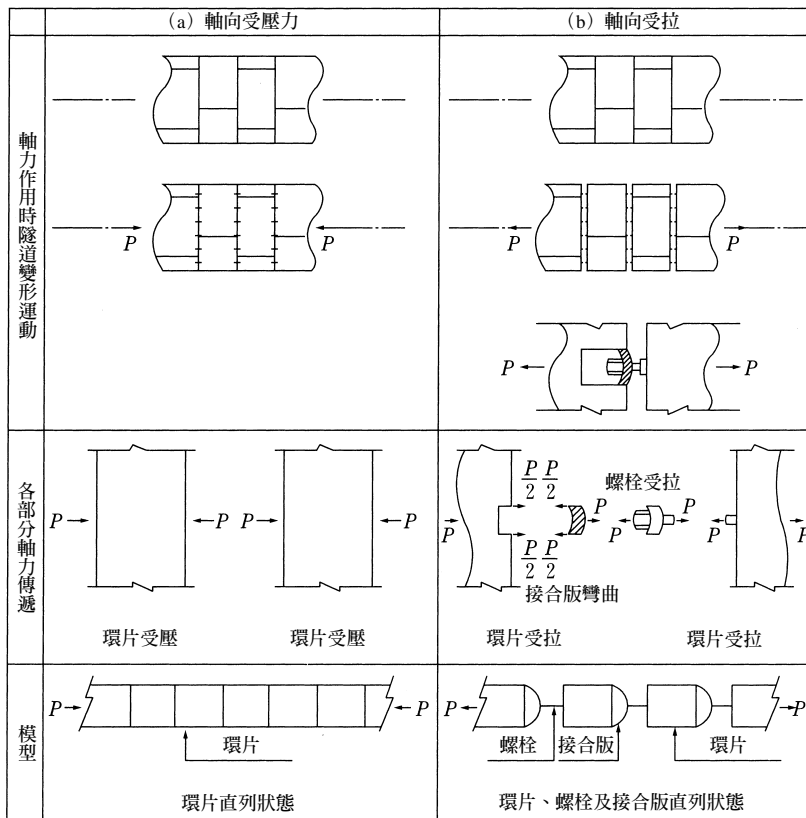


圖-4.9.5 剛性評估圖

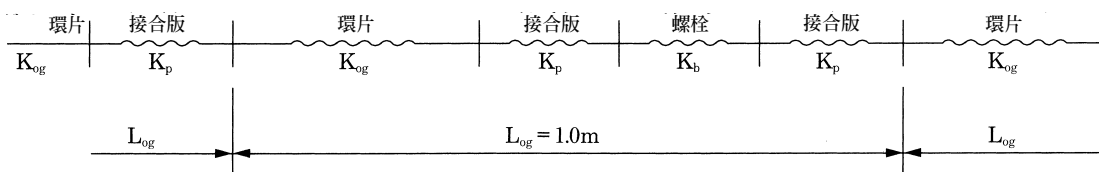


圖-4.9.6 軸向拉力作用時之直線彈性模式

## 4.9.3.2 管路剛性計算結果

表-4.9.5 軸向壓力之軸向剛性和彎曲剛性

項目	部份	二次襯砌輸氣水泥砂漿 ( $L_c$ )		合計
		環片 (SG)		
彈性模數 $E$	( $tf/m^2$ )	$2.1 \times 10^7$	$2.1 \times 10^7$	-
斷面積 $A$	( $m^2$ )	0.0737	2.772	13.10
斷面 2 次力矩 $I$	( $m^4$ )	0.065	1.998	11.10
$EA$	( $tf$ )	$1.549 \times 10^6$	$4.159 \times 10^5$	$1.965 \times 10^6$
$EI$	( $tf \cdot m^2$ )	$2.0 \times 10^5$	$2.997 \times 10^5$	$4.998 \times 10^5$

註) 1.  $A$ ,  $I$  的合計是由  $L_c$  換算的值

2. SG 軸向彎曲剛性 ( $EI$ ) 是依實驗結果，將鋼筋環片強度折減 15%，混凝土強度折減 40%，所求得之值。

表-4.9.6 軸向拉力時 (二次襯砌內無鋼筋) 之軸向剛性與彎曲剛性

項目	部分	二次襯砌輸氣水泥砂漿 ( $L_c$ )	
		環片 (SG)	接合螺栓 (B)
彈性模 $E$	( $tf/m^2$ )	$2.1 \times 10^7$	$2.1 \times 10^7$
斷面積 $A$	( $m^2$ )	0.0737	0.00735
長度 $L$	( $m$ )	1	0.05
$EA/L$	( $tf/m$ )	$1.549 \times 10^6$	$3.063 \times 10^6$
$K_{eq}$	( $tf/m$ )	$1.029 \times 10^6$ *	
$(EA)_{eq}$	( $tf$ )	$1.029 \times 10^6$ *	
$A_{eq}$	( $m^2$ )	0.04898 *	
$I_{eq}$	( $m^4$ )	0.04611 *	
$(EI)_{eq}$	( $tf \cdot m^2$ )	$9.682 \times 10^5$ *	

$$* (EA)_{eq} = K_{eq} \cdot l_{SG} \quad , \quad (EI)_{eq} = E_{SG} \cdot I_{eq} \quad , \quad A_{eq} = \frac{(EA)_{eq}}{E_{SG}}$$

$$K_{eq} = \frac{K_B \cdot K_{SG}}{K_B + K_{SG}} \quad , \quad K_B = \frac{E_B \cdot A_B}{l_B} \quad , \quad K_{SG} = \frac{E_{SG} \cdot A_{SG}}{l_{SG}}$$

$$I_{eq} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_1^4 - D_2^4) \quad , \quad D_2 = D_1 - 2t_{eq} \quad , \quad t_{eq} = \frac{\pi D_1 - \sqrt{(\pi D_1)^2 - 4\pi \cdot A_{eq}}}{2\pi}$$

式中， $K_B$ ， $K_{SG}$ ：螺栓與環片之彈性係數 ( $tf/m$ )

$D_1$ ：外徑 ( $m$ )

#### 4.9.4 地震時斷面力計算

##### 4.9.4.1 斷面力計算方法

###### 1) 傳達率

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L'} \right)^2} \\ \alpha_2 = \alpha_3 &= \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_2 \cdot L} \right)^4} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.9.7)$$

式中， $\alpha_1$ ， $\alpha_2$ ， $\alpha_3$ ：地盤產生傾斜時對結構物之傳達率

$L$ ：波長 ( $m$ )

$L'$ ：外視波長 ( $m$ )

式中，

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \sqrt{\frac{K_{g1}}{E \cdot A}} \quad (1/m) \\ \lambda_2 &= \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{E \cdot I_h}} \quad (1/m) \\ \lambda_3 &= \sqrt[4]{\frac{K_{g3}}{E \cdot I_h}} \quad (1/m) \\ L' &= \sqrt{2}L \quad (1/m) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.9.8)$$

$K_{g1}$ ， $K_{g2}$ ， $K_{g3}$ ：地盤的剛性係數 ( $tf/m^2$ )

2) 斷面力

斷面力，可由下式計算得知。

$$\left. \begin{aligned} P_h &= \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot A}{L} \cdot U_h \\ P_v &= \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot A}{L} \cdot \frac{U_h + U_v}{2} \\ M_h &= \alpha_2 \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot U_h \\ M_v &= \alpha_3 \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot U_v \\ Q_h &= \alpha_2 \cdot \frac{8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{L^3} \cdot U_h \\ Q_v &= \alpha_3 \cdot \frac{8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{L^3} \cdot U_v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.9.9)$$

式中， $P_h$ ， $P_v$ ：水平面與垂直面內波動形成之軸力 (tf)

$M_h$ ， $M_v$ ：水平面與垂直面內波動形成之彎曲力矩 (tf·m)

$Q_h$ ， $Q_v$ ：水平面與垂直面內波動形成之剪力 (tf)

$E \cdot A$ ：軸向剛性 (tf)

$E \cdot I$ ：彎曲剛性 (tf/m<sup>2</sup>)

$U_h$ ， $U_v$ ：潛盾結構隧道之中立軸在地盤水平向與垂直向之變位(m)

3) 用反應變位法求設計地震之反應

發生第 1 級地震時，距地表面  $X$ (m)深之地盤變位可由下式求得。

$$U_h(X) = \frac{2}{\pi^2} S_v \cdot T_G \cdot K'_{hl} \cos \frac{\pi \cdot X}{2H} \dots\dots\dots (4.9.10)$$

式中， $U_h(X)$ ：距地表面深  $X$  (m)之地盤水平變位(cm)

$X$ ：距地表面之深度(m)

$S_v$ ：基盤地震之速度反應譜(cm/s)

$T_G$ ：表層地盤之自然周期(s)

$H$ ：表層地盤的厚度(m)

另外，當考量地盤垂直向變位時，

$$U_v = \frac{U_h}{2} \dots\dots\dots (4.9.11)$$

4) 波動疊合

如圖-4.9.7 所示之軸力，在隧道軸向上互相直交之二平面，各有二個波動之分量與軸成 45° 的夾角。考量這四個波動分量之影響，軸力之組合力可由下式求得。

$$P_0 = \sqrt{2 \cdot P_h^2 + 2 \cdot P_v^2} \dots\dots\dots (4.9.12)$$

式中， $P_0$ ：距地表面深  $X(m)$  之地盤水平變位  $(m)$

計算應力時，應考慮表層地盤內波動成分之方向、位置關係，斷面力的組合可由下式求得。

$$\left. \begin{aligned} P &= \kappa_1 \cdot P_0 \\ M &= \kappa_2 \cdot M_h \\ Q &= \kappa_5 \cdot Q_h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.9.13)$$

$$\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa_3 = \kappa_4 = 0.707$$

$$\kappa_5 = 1.000 (\kappa_6 = 0)$$

$$\kappa_6 = 1.000 (\kappa_5 = 0)$$

另外，結構物之軸向變位，可以下式表示。

$$Y_t = \alpha_1 \cdot U_h \dots\dots\dots (4.9.14)$$

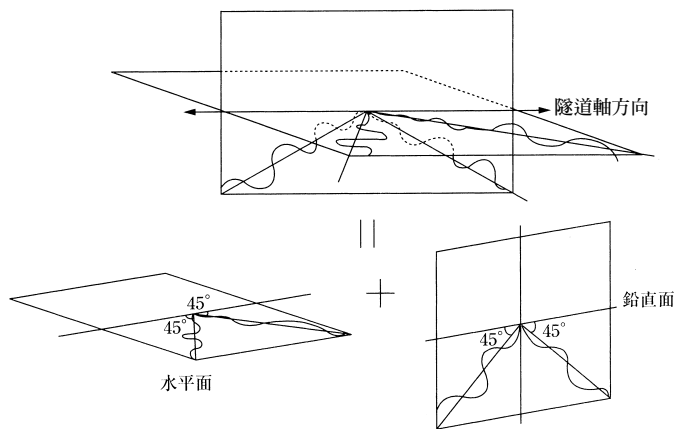


圖-4.9.7 波動疊合

## 4.9.4.2 斷面力計算

## 1) 軸向壓力作用時

## (1) 傳達率

$$L = 260 (m)$$

$$L' = \sqrt{2} \times L = 368 (m)$$

$$\lambda_1 = \left( \frac{K_G}{E \cdot A} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{12564.6}{1549 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.090$$

$$\lambda_2 = \left( \frac{K_G}{E \cdot I} \right)^{\frac{1}{4}} = \left( \frac{12564.6}{2.0 \times 10^5} \right)^{\frac{1}{4}} = 0.501$$

所以，

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L'} \right)^2} = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \times \pi}{0.090 \times 368} \right)^2} = 0.965$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_2 \cdot L} \right)^4} = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \times \pi}{0.501 \times 260} \right)^4} = 1.000$$

## (2) 中立軸之地盤水平變位

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K'_{h1} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{2 \cdot H}\right) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.80 \times 1.294 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi \times 30.0}{2 \times 48.85}\right) = 0.018 (m)$$

## (3) 中立軸之地盤垂直變位

$$U_v = 0.5 \times U_h = 0.5 \times 0.018 = 0.009 (m)$$

## (4) 水平面與垂直面內波動形成之軸力

$$P_h = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot E \cdot A \cdot U_h}{L} = \frac{0.965 \times \pi \times 1.549 \times 10^6 \times 0.018}{260} = 325.1 (tf)$$

$$P_v = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot E \cdot A \cdot (U_h + U_v)}{2 \times L} = \frac{0.965 \times \pi \times 1.549 \times 10^6 \times (0.018 + 0.009)}{2 \times 260} = 243.8 (tf)$$

$$P_0 \sqrt{2 \cdot P_h^2 + 2P_v^2} = \sqrt{2 \times 325.1^2 + 2 \times 243.8^2} = 574.7 (tf)$$

## (5) 水平面與垂直面內波動形成之彎曲力矩

$$M_h = \frac{\alpha_2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot U_h}{L^2} = \frac{1.000 \times 4 \times \pi^2 \times 2.0 \times 10^5 \times 0.018}{260^2} = 2.10 (tf \cdot m)$$

$$M_v = \frac{\alpha_3 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot U_v}{L^2} = \frac{1.000 \times 4 \times \pi^2 \times 2.0 \times 10^5 \times 0.009}{260^2} = 1.05 (tf \cdot m)$$

(6) 水平面與垂直面內波動形成之剪力

$$Q_h = \frac{\alpha_2 \cdot 8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot U_h}{L^3} = \frac{1.000 \times 8 \times \pi^3 \times 2.0 \times 10^5 \times 0.018}{260^3} = 0.05 (tf)$$

$$Q_v = \frac{\alpha_3 \cdot 8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot U_v}{L^3} = \frac{1.000 \times 8 \times \pi^3 \times 2.0 \times 10^5 \times 0.009}{260^3} = 0.03 (tf)$$

(7) 斷面力的疊合

$$P = \kappa_1 \times P_0 = 0.707 \times 574.7 = 406.3 (tf)$$

$$M = \kappa_2 \times M_h = 0.707 \times 2.10 = 1.48 (tf \cdot m)$$

$$Q = \kappa_2 \times Q_h = 1.000 \times 0.05 = 0.05 (tf)$$

(8) 結構物的軸方向變位

$$Y_1 = \alpha_1 \times U_h = 0.965 \times 0.018 = 0.017 (m)$$

2) 軸向拉力作用時

(1) 傳達率

$$L = 260 (m)$$

$$L' = \sqrt{2} \times L = 368 (m)$$

$$\lambda_1 = \left( \frac{K_{g1}}{E \cdot A} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{12564.6}{1.029 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.111$$

$$\lambda_2 = \left( \frac{K_{g2}}{E \cdot I} \right)^{\frac{1}{4}} = \left( \frac{12564.6}{9.682 \times 10^5} \right)^{\frac{1}{4}} = 0.338$$

所以，

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L} \right)^2} = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \times \pi}{0.111 \times 368} \right)^2} = 0.977$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_2 \cdot L} \right)^4} = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \times \pi}{0.338 \times 260} \right)^4} = 1.000$$

(2) 中立軸之地盤水平變位

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K_{h1} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot X}{2 \cdot H}\right) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.80 \times 1.294 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi \times 30.0}{2 \times 48.85}\right) = 0.018 \text{ (m)}$$

(3) 中立軸之地盤垂直變位

$$U_v = 0.5 \times U_h = 0.5 \times 0.018 = 0.009 \text{ (m)}$$

(4) 水平面與垂直面內波動形成之軸力

$$P_h = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot E \cdot A \cdot U_h}{L} = \frac{0.997 \times \pi \times 1.029 \times 10^6 \times 0.018}{260} = 218.7 \text{ (tf)}$$

$$P_v = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot E \cdot A \cdot (U_h + U_v)}{2 \times L} = \frac{0.997 \times \pi \times 1.029 \times 10^6 \times (0.018 + 0.009)}{2 \times 260} = 164.0 \text{ (tf)}$$

$$P_0 = \sqrt{2 \cdot P_h^2 + 2P_v^2} = \sqrt{2 \times 218.7^2 + 2 \times 164.0^2} = 386.6 \text{ (tf)}$$

(5) 水平面與垂直面內波動形成之彎曲力矩

$$M_h = \frac{\alpha_2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot U_h}{L^2} = \frac{1.000 \times 4 \times \pi^2 \times 9.682 \times 10^5 \times 0.018}{260^2} = 10.2 \text{ (tf} \cdot \text{m)}$$

$$M_v = \frac{\alpha_3 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot U_v}{L^2} = \frac{1.000 \times 4 \times \pi^2 \times 9.682 \times 10^5 \times 0.009}{260^2} = 5.1 \text{ (tf} \cdot \text{m)}$$

(6) 水平面與垂直面內波動形成之剪力

$$Q_h = \frac{\alpha_2 \cdot 8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot U_h}{L^3} = \frac{1.000 \times 8 \times \pi^3 \times 9.682 \times 10^5 \times 0.018}{260^3} = 0.3 \text{ (tf)}$$

$$Q_v = \frac{\alpha_3 \cdot 8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot U_v}{L^3} = \frac{1.000 \times 8 \times \pi^3 \times 9.682 \times 10^5 \times 0.009}{260^3} = 0.12 \text{ (tf)}$$

(7) 斷面力的疊合

$$P = \kappa_1 \times P_0 = 0.707 \times 386.6 = 273.3 \text{ (tf)}$$

$$M = \kappa_2 \times M_h = 0.707 \times 10.2 = 7.2 \text{ (tf} \cdot \text{m)}$$

$$Q = \kappa_5 \times Q_h = 1.000 \times 0.3 = 0.3 \text{ (tf)}$$

(8) 結構物的軸方向變位

$$Y_1 = \alpha_1 \times U_h = 0.977 \times 0.018 = 0.018 (m)$$

## 3) 斷面力計算結果

斷面力計算結果如表-4.9.7 所示。

表-4.9.7 斷面力計算結果

名稱	記號	單位	壓縮	拉伸	備註
軸向剛性	$E \cdot A$	tf	$1.549 \times 10^6$	$1.029 \times 10^6$	
彎曲剛性	$E \cdot I$	tf/m <sup>2</sup>	$2.0 \times 10^5$	$9.682 \times 10^5$	
地盤剛性係數	$K_{g1} = K_{g2} = K_{g3}$	tf/m <sup>2</sup>	12564.6	12564.6	
傳達率	$\alpha_1$		0.965	0.977	
	$\alpha_2 = \alpha_3$		1.000	1.000	
中立軸地盤水平變位	$U_h$	m	0.018	0.018	
中立軸地盤垂直變位	$U_v$	m	0.009	0.009	
斷面力	$P_h$	tf	325.1	218.7	
	$P_v$	tf	243.8	164.0	
	$P_0$	tf	574.7	386.6	
	$M_h$	tf·m	2.1	10.2	
	$M_v$	tf·m	1.1	5.1	
	$Q_h$	tf	0.05	0.3	
	$Q_v$	tf	0.03	0.12	
斷面力的重疊	$\kappa_1 \cdot P_0$	tf	406.3	273.3	
	$\kappa_2 \cdot M_h$	tf·m	1.48	7.2	
	$\kappa_3 \cdot Q_h$	tf	0.05	0.3	
結構物軸向變位	$Y_1$	m	0.017	0.018	

## 4.9.5 各部位之應力與變位計算

## 4.9.5.1 軸向壓力作用時

當二次襯砌輸氣水泥砂漿之強度遠小於環片強度時，可以忽略輸氣水泥砂漿之強度。此時，環片之應力可由下式求得。

$$\begin{aligned} \sigma_{SG} &= \frac{\kappa_1 \cdot P_0}{A_g} + \frac{\kappa_2 \cdot M_h}{I_g} \cdot r_{SG} \\ &= \frac{4063}{0.0737} + \frac{1.48}{0.065} \times 1.375 = 5544 (tf/cm^2) = 554.4 (kgf/cm^2) < 2850 (kgf/cm^2) \end{aligned}$$

式中， $A_g$ ：環片斷面積( $m^2$ )

$I_g$ ：環片斷面二次力矩( $m^4$ )

$r_{SG}$ ：環片外徑( $m$ )

#### 4.9.5.2 軸向拉力作用時

當環片和內管互相切離時，無法算出內管所產生變位與斷面力。若環片與螺栓之材料行爲爲線彈性模式時，螺栓與環片所產生之變位與應力可由以下求知。

##### 1) 螺栓

螺栓之變位與應力可由下式求得。

$$\sigma_t = \frac{\kappa_1 \cdot P_0}{A_{eq}} + \frac{\kappa_2 \cdot M_h}{I_{eq}} \cdot r_B = \frac{273.3}{4.898 \times 10^{-2}} + \frac{7.2}{4.611 \times 10^{-2}} \times 1.311 = 5784.5 (tf/m^2)$$

式中， $A_{eq}$ ：螺栓斷面積( $m^2$ )

$I_{eq}$ ：螺栓斷面二次矩( $m^4$ )

$r_B$ ：斷面中心至螺栓之距離( $m$ )

$$P_{eq} = A_{eq} \cdot \sigma_t = 4.898 \times 10^{-2} \times 5784.5 = 283.3 (tf)$$

$$K_B = \frac{E_B \cdot A_B}{L_B} = \frac{2.10 \times 10^7 \times 7.35 \times 10^{-3}}{0.0504} = 3.0625 \times 10^6$$

所以

$$\delta_B = \frac{P_{eq}}{K_B} = \frac{283.3}{3.0625 \times 10^6} = 0.93 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_B = \frac{E_B \cdot \delta_B}{L_B} = \frac{2.10 \times 10^7 \times 0.93 \times 10^{-4}}{0.0504} = 38750 (tf/m^2)$$

$$= 3875.0 (kgf/cm^2) > 1800 (kgf/cm^2)$$

##### 2) 環片

$$\delta_{SG} = \frac{P_{eq}}{K_{eq}} = \frac{283.3}{1.029 \times 10^6} = 2.75 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_{SG} = \frac{E_{SG} \cdot \delta_{SG}}{L_{SG}} = \frac{2.10 \times 10^7 \times 2.75 \times 10^{-4}}{1.00} = 5775 (tf / m^2)$$

$$= 577.5 (kgf / cm^2) < 2850 (kgf / cm^2)$$

4.9.5.3 應力計算結果

變位與應力之計算結果如表-4.9.8。

表-4.9.8 應力計算結果

軸向作用力			作用應力		容許應力		判定	
			壓縮	拉伸	壓縮	拉伸	壓縮	拉伸
應力 (kgf / cm <sup>2</sup> )	鋼製環片	$\sigma_s$	573	578	2850	2850	OK	OK
	接頭螺栓	$\sigma_B$	--	3875	--	1800	--	OUT
變位 (cm)	鋼製環片軸向	$\delta_s$	--	0.0003	--	--	--	--
	接頭螺栓	$\delta_B$	--	0.0001	--	--	--	--

4.9.5.4 軸向壓力作用時之內管計算

軸方向壓縮力作用時，當內管為延性鑄鐵管（DIP）或鋼管（SP）時，內管應力可以下式求得。

$$\sigma_{IP} = \frac{P_{IP}}{A_{IP}} + \frac{M_{IP}}{I_{IP}} \cdot \gamma_{IP} \dots\dots\dots (4.9.15)$$

式中， $A_{IP}$ ， $I_{IP}$ ：內管斷面積與斷面二次矩（ $A_{IP}$ ：DIP-0.112 m<sup>2</sup>，SP-0.091 m<sup>2</sup>，  
 $I_{IP}$ ：DIP-0.096 m<sup>4</sup>，SP-0.078 m<sup>4</sup>）

$\gamma_{IP}$ ：內管外半徑（DIP：0.924 m，SP：0.914 m）

$P_{IP}$ ， $M_{IP}$ ：受軸力作用之內管軸力與彎曲力矩，可由下式求得。

$$P_{IP} = \frac{(EA)_{IP}}{l'} \Delta l' \dots\dots\dots (4.9.16)$$

$$M_{IP} = \frac{(EI)_{IP}}{\rho_{IP}} \dots\dots\dots (4.9.17)$$

式中， $(EA)_{IP}$ ， $(EI)_{IP}$ ：內管之軸向剛性與彎曲剛性

$$(EA)_{IP} : \text{DIP-} 1.9 \times 10^6 \text{ tf} , \text{SP-} 1.6 \times 10^6 \text{ tf}$$

$$(EI)_{IP} : \text{DIP-} 1.9 \times 10^6 \text{ tf} \cdot \text{m}^2 , \text{SP-} 1.6 \times 10^6 \text{ tf} \cdot \text{m}^2$$

$l'$ ：內管之支點間隔(2.0 m)

$\Delta l'$ ： $l'$ 區間之軸向變位量(m)

$\rho_{IP}$ ：內管曲率

$$\Delta l' = \frac{P_{0P} l'}{(EA)_{0P}} \dots\dots\dots (4.9.18)$$

$$\rho_{IP} = \frac{(EI)_{0P}}{M_{0P}} \dots\dots\dots (4.9.19)$$

式中， $(EA)_{0P}$ ， $(EI)_{0P}$ ：隧道之軸向剛性( $1.55 \times 10^6 \text{ tf}$ )與彎曲剛性( $2.00 \times 10^5 \text{ tf} \cdot \text{m}^2$ )

$P_{0P}$ ， $M_{0P}$ ：軸力作用下之外管軸力與彎曲力矩

$$( P_{0P} = \kappa_1 \cdot P = 406.3 \text{ tf} , M_{0P} = \kappa_2 \cdot M = 1.5 \text{ tf} \cdot \text{m}^2 )$$

內管接頭產生之變位量，依下式可計算求出。

$$e = \epsilon_{0P} \cdot l' \dots\dots\dots (4.9.20)$$

式中， $e$ ：接頭處之伸縮量(m)

$l'$ ：接頭間距(4 m)

$\epsilon_{0P}$ ：隧道產生之應變

$$\epsilon_{0P} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{P_{0P}}{(EA)_{0P}} = \frac{406.3}{1.55 \times 10^6} = 2.6 \times 10^{-4} (m) = 0.26 (mm)$$

當內管為 DIP 管時之應力，

$$\Delta l' = \frac{P_{0P} l'}{(EA)_{0P}} = \frac{406.3}{1.55 \times 10^6} \times 2.0 = 1.0 \times 10^{-3} (m)$$

$$P_{IP} = \frac{(EA)_{IP}}{l'} \cdot \Delta l' = \frac{1.9 \times 10^6}{2.0} \times 1.0 \times 10^{-3} = 950 (tf)$$

$$\rho_{IP} = \frac{(EI)_{0P}}{M_{0P}} = \frac{2.00 \times 10^5}{1.5} = 1.3 \times 10^5 (m)$$

$$M_{IP} = \frac{(EI)_{IP}}{\rho_{IP}} = \frac{1.6 \times 10^6}{1.3 \times 10^5} 12.3 (tf \cdot m^2)$$

所以，

$$\sigma_{IP} = \frac{P_{IP}}{A_{IP}} + \frac{M_{IP}}{I_{IP}} \cdot \gamma_{IP} = \frac{950}{0.112} + \frac{12.3}{0.096} \times 0.924 = 8.60 (tf \cdot m^2) = 860 (kgf / cm^2) \quad (\text{判定 ok!})$$

另外，當內管為 SP 管時，

$$P_{IP} = \frac{(EA)_{IP}}{l'} \cdot \Delta l' = \frac{1.6 \times 10^6}{2.0} \times 1.0 \times 10^{-3} = 800 (tf)$$

$$M_{IP} = \frac{(EI)_{IP}}{\rho_{IP}} = \frac{1.6 \times 10^6}{1.3 \times 10^5} 12.3 (tf \cdot m^2)$$

$$\sigma_{IP} = \frac{P_{IP}}{A_{IP}} + \frac{M_{IP}}{I_{IP}} \cdot \gamma_{IP} = \frac{800}{0.091} + \frac{12.3}{0.078} \times 0.914 = 8.935 (tf / m^2) = 894 (kgf / cm^2) \quad (\text{判定 ok!})$$

#### 4.9.6 接頭螺栓之補強檢討

從表-4.9.8 可知，當螺栓受壓力作用時，其應力皆在容許範圍內，但如受拉力作用時，螺栓所產生之應力會超過容許範圍。此時，應使用高拉力螺栓作為應對措施，其口徑由 M20 增粗至 M24，個數從 30 個增加為 36 個。

而對壓力作用而言，補強前之應力已在容許範圍內，故省略其計算。

表-4.9.9 高拉力彈性係數與容許應力

材料	規格	彈性係數 $E (kgf / cm^2)$	容許應力 ( $kgf / cm^2$ )			備註
			種類	常時	地震時	
高拉力螺栓	10 · 9(高張力)	$2.1 \times 10^6$	拉伸 · 壓縮	3000	4500	

4.9.6.1 環片條件

表-4.9.10 環片條件（鋼製環片）

環片外徑	$D_0$ (m)	2.750
內徑	$D_i$ (m)	2.494
寬度	$L_S$ (m)	1.000
環間螺栓口徑	$B_O$ (m)	M24
有效長度	$L_B$ (m)	0.0504
有效斷面積	$B_A$ ( $m^2$ )	$3.53 \times 10^{-4}$
圓坑直徑	$D_B$ (m)	2.614
個數	$B_N$ (個)	36
二次襯砌輸氣水泥砂漿厚度	$T_C$ (m)	0.35
彈性係數	$E$ ( $tf/m^2$ )	$1.5 \times 10^5$
表面版厚度	$T_1$ (m)	0.0030
接合版厚度	$T_2$ (m)	0.0140
寬度	$T_3$ (m)	0.1250
個數	$T_4$ (個)	12
縱向加強筋厚度	$T_5$ (m)	0.007
長度	$T_6$ (m)	0.160
個數	$T_7$ (個)	24

表-4.9.11 螺栓計算結果

項目 \ 部分	環片 (SG)	接頭螺栓 (B)
彈性模數 $E$ ( $tf/m^2$ )	$2.1 \times 10^7$	$2.1 \times 10^7$
斷面積 $A$ ( $m^2$ )	0.07374	0.01271
長度 $L$ (m)	1.00	0.0504
$EA/L$ ( $tf/m$ )	$1.549 \times 10^6$	$5.296 \times 10^6$
$K_{eq}$ ( $tf/m$ )	$1.198 \times 10^6$	
$(EA)_{eq}$ ( $tf$ )	$1.079 \times 10^6$	
$A_{eq}$ ( $m^2$ )	0.051	
$I_{eq}$ ( $m^4$ )	0.04868	
$(EI)_{eq}$ ( $tf \cdot m^2$ )	$1.022 \times 10^6$	

## 4.9.6.2 承受軸向拉力時

當使用螺栓 M24× 36 時，其螺栓斷面積如以下所示，

$$A = 0.000353 \times 36 = 0.01271 (m^2)$$

$$K_{eq} = \frac{1.549 \times 10^6 \times 5.296 \times 10^6}{1.549 \times 10^6 + 5.296 \times 10^6} = 1.198 \times 10^6 (tf/m)$$

$$(EA)_{eq} = 1.198 \times 10^6 \times 0.9 = 1.079 \times 10^6 (tf)$$

$$A_{eq} = \frac{1.079 \times 10^6}{2.10 \times 10^7} = 0.051 (m^2)$$

$$T_{eq} = \frac{\pi \times 2.750 - \sqrt{(\pi \times 2.750)^2 - 4 \times \pi \times 0.051}}{2\pi} = 5.916 \times 10^{-3} (m)$$

$$D_2 = 2.750 - 2 \times 5.916 \times 10^{-3} = 2.738 (m)$$

$$I_{eq} = \frac{\pi}{64} (2.750^4 - 2.738^4) = 0.04868 (m^4)$$

$$(EI)_{eq} = 2.10 \times 10^7 \times 0.04868 = 1.022 \times 10^6 (tf \cdot m^2)$$

## 4.9.6.3 斷面力計算

## 1) 受軸向拉力作用時

(1) 水平面與垂直面內波動形成之軸力

$$P_h = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot E \cdot A \cdot U_h}{L} = \frac{0.977 \times \pi \times 1.079 \times 10^6 \times 0.018}{260} = 229.3 (tf)$$

$$P_v = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot E \cdot A \cdot (U_h + U_v)}{2L} = \frac{0.977 \times \pi \times 1.079 \times 10^6 \times (0.018 + 0.009)}{2 \times 260} = 172.0 (tf)$$

$$P_0 = \sqrt{2 \cdot P_h^2 + 2P_v^2} = \sqrt{2 \times 229.3^2 + 2 \times 172.0^2} = 405.4 (tf)$$

(2) 水平面與垂直面內波動形成之彎曲力矩

$$M_h = \frac{\alpha_2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot U_h}{L^2} = \frac{1.000 \times 4 \times \pi^2 \times 1.022 \times 10^6 \times 0.018}{260^2} = 10.7 (tf \cdot m)$$

$$M_v = \frac{\alpha_3 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot U_v}{L^2} = \frac{1.000 \times 4 \times \pi^2 \times 1.022 \times 10^6 \times 0.009}{260^2} = 5.4 (tf \cdot m)$$

(3) 水平面與垂直面內波動形成之剪力

$$Q_h = \frac{\alpha_2 \cdot 8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot U_h}{L^3} = \frac{1.000 \times 8 \times \pi^3 \times 1.022 \times 10^6 \times 0.018}{260^3} = 0.3 (tf)$$

$$Q_v = \frac{\alpha_3 \cdot 8 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot U_v}{L^3} = \frac{1.000 \times 8 \times \pi^3 \times 1.022 \times 10^6 \times 0.009}{260^3} = 0.13 (tf)$$

(4)斷面力的重疊

$$P = \kappa_1 \times P_0 = 0.707 \times 405.4 = 286.6 (tf)$$

$$M = \kappa_2 \times M_h = 0.707 \times 10.7 = 7.6 (tf \cdot m)$$

$$Q = \kappa_5 \times Q_h = 1.000 \times 0.3 = 0.3 (tf)$$

(5)結構物的軸方向變位

$$Y_1 = \alpha_1 \times U_h = 0.977 \times 0.018 = 0.018 (m)$$

2)斷面力計算結果

斷面力之計算結果如表-4.9.12 所示。

表-4.9.12 斷面力計算結果（拉伸）

名稱	記號	單位	拉伸	備註
軸向剛性	$E \cdot A$	$tf$	$1.079 \times 10^6$	
彎曲剛性	$E \cdot I$	$tf / m^2$	$1.022 \times 10^6$	
地盤剛性係數	$K_{g1} = K_{g2} = K_{g3}$	$tf / m^2$	12564.6	
傳達率	$\alpha_1$		0.977	
	$\alpha_2 = \alpha_3$		1.000	
中立軸地盤水平變位	$U_h$	$m$	0.018	
中立軸地盤垂直變位	$U_v$	$m$	0.009	
斷面力	$P_h$	$tf$	229.3	
	$P_v$	$tf$	172.0	
	$P_0$	$tf$	405.4	
	$M_h$	$tf \cdot m$	10.7	
	$M_v$	$tf \cdot m$	5.4	
	$Q_h$	$tf$	0.3	
	$Q_v$	$tf$	0.13	
斷面力的重疊	$\kappa_1 \cdot P_0$	$tf$	286.6	
	$\kappa_2 \cdot M_h$	$tf \cdot m$	7.6	
	$\kappa_5 \cdot Q_h$	$tf$	0.3	
結構物軸向變位	$Y_1$	$m$	0.018	

## 4.9.7 各部位之應力與變位計算

## 4.9.7.1 受軸向拉力作用時

## 1) 螺栓

螺栓之變位與應力，可依下式求得。

$$\sigma_r = \frac{\kappa_1 \cdot P_0}{A_{eq}} + \frac{\kappa_2 \cdot M_h}{I_{eq}} \cdot r_B = \frac{286.6}{0.051} + \frac{7.6}{0.04868} \times 1.311 = 5824.3 (tf/m^2)$$

$$P_{eq} = A_{eq} \cdot \sigma_r = 0.051 \times 5824.3 = 297 (tf)$$

$$K_B = \frac{E_B \cdot A_B}{L_B} = \frac{2.10 \times 10^7 \times 0.01271}{0.0504} = 5.30 \times 10^6$$

所以

$$\delta_B = \frac{P_{eq}}{K_B} = \frac{297}{5.30 \times 10^6} = 0.00006$$

$$\begin{aligned} \sigma_B &= \frac{E_B \cdot \delta_B}{L_B} = \frac{2.10 \times 10^7 \times 0.00006}{0.0504} = 25000 (tf/m^2) \\ &= 2500 (kgf/cm^2) < 4500 (kgf/cm^2) \end{aligned}$$

## 2) 環片

$$\delta_{SG} = \frac{P_{eq}}{K_{eq}} = \frac{297}{1.198 \times 10^6} = 2.5 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{SG} &= \frac{E_{SG} \cdot \delta_{SG}}{L_{SG}} = \frac{2.10 \times 10^7 \times 2.5 \times 10^{-4}}{1.00} = 5250 (tf/m^2) \\ &= 525 (kgf/cm^2) < 2850 (kgf/cm^2) \end{aligned}$$

## 4.9.7.2 應力計算結果

變位與應力計算結果如表-4.9.13 所示。

表-4.9.13 應力計算結果（拉伸）

軸向作用力		作用應力		容許應力		判定	
		拉伸		拉伸		拉伸	
應力 ( $kgf/cm^2$ )	鋼製環片	$\sigma_s$	525	2850	OK		
	接頭螺栓	$\sigma_B$	2500	4500	OK		
變位 ( $cm$ )	鋼製環片軸向	$\delta_s$	0.0003	--	--		
	接頭螺栓	$\delta_B$	0.00006	--	--		

## 4.9.8 縱斷方向與其他之檢討

## 4.9.8.1 差異沈陷之影響

像潛盾隧道此類線狀地下結構物，其發生地盤沈陷之原因有：①地下水或天然氣等過度開採而引發大區域之地盤沈陷，②結構物建造後其自重增加而導致地盤沈陷。在此，檢討潛盾結構物建造後所增加之荷重。

潛盾結構環片自重

$$W_1 = A_{SG} \cdot \gamma_{SG} = 0.074 \times 7.85 = 0.58 (tf/m)$$

二次襯砌輸氣水泥砂漿自重

$$W_2 = A_{LC} \cdot \gamma_{LC} = 2.77 \times 0.6 = 1.66 (tf/m)$$

內管自重

$$W_3 = A_{IP} \cdot \gamma_{IP} = 0.09 \times 7.85 = 0.71 (tf/m)$$

內部水重

$$W_4 = A_w \cdot \gamma_w = \frac{\pi}{4} \times 1.80^2 \times 1.0 = 2.54 (tf/m)$$

合計

$$\Sigma W = 5.5 (tf/m)$$

排除土壤重量

$$W_s = A_s \cdot \gamma_t = \frac{\pi}{4} \times 2.75^2 \times 1.7 = 10.1 (tf/m)$$

增加荷重

$$\Delta W = 5.5 - 10.1 = -4.6 (tf/m)$$

由以上可知，因結構物所增加之荷重為負荷重，所以不考慮結構物荷重對地盤差異沈陷之影響。

4.9.8.2 溫度變化影響

當外管埋於地盤中時，溫度的變化很小，可以不考慮溫度效應。此外，當內管為不連續支承且不完全束制之情形，以安全的角度考量，鋼管溫度應力可由下式求得。

$$\sigma_T = \alpha E \Delta t \dots\dots\dots (4.9.21)$$

式中， $\sigma_T$ ：溫度應力 ( $kgf/cm^2$ )

$E$ ：內管的彈性係數 ( $kgf/cm^2$ )

$\alpha$ ：線膨脹係數 ( $1/^\circ C$ )

$\Delta t$ ：溫度變化 ( $20/^\circ C$ )

$$\therefore \sigma_T = 1.2 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 20 = 50 (kgf/cm^2)$$

當內管使用鐵管時，因管路為 4 m 長之單管以接頭接續，所以不用考慮溫度變化產生之應力，而接頭部分之變位量，可由以下計算求得。

$$\delta_T = \alpha l \Delta t \dots\dots\dots (4.9.22)$$

式中， $l$ ：管長 (4.0 m)

$$\therefore \delta_T = 1.1 \times 10^{-5} \times 400 \times 20 = 0.088 (cm)$$

4.9.8.3 彎曲配管之影響 (DIP)

當彎曲配管時，接頭之容許變位量將減少，所以應盡量避免彎曲配管，且使用時須更為謹慎。

在此以曲率半徑 250 m 之彎曲配管為例，計算其影響情形。

接頭彎曲角 ( $\phi 1800$ , U 形)

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left( \frac{l}{2R} \right) \dots\dots\dots (4.9.23)$$

式中， $l$ ：管長 (4.0 m)

$R$ ：曲率半徑 (250 m)

$$\therefore \theta = 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{4}{2 \times 250} \right) = 0.92 (^\circ)$$

且彎曲配管之接頭變位量為，

$$\delta_D = D_0 \sin \theta \dots\dots\dots (4.9.24)$$

式中， $D_0$ ：管外徑(184.8 cm)

$\theta$ ：接頭的彎曲角(0.92°)

$$\therefore \delta_D = 184.8 \times \sin 0.92^\circ = 3.0(\text{cm})$$

#### 4.9.8.4 縱向計算結果與安全評估

隧道軸向依據反應變位法進行耐震計算，結果顯示，在軸向拉力方面有  
必要尋求補強對策。依據反應變位的計算，在接頭處會發生過大的力量。雖  
然現在接頭評估的方法已修正，環片的計算結果也較接近現實，但是否正  
確，尚屬難言。

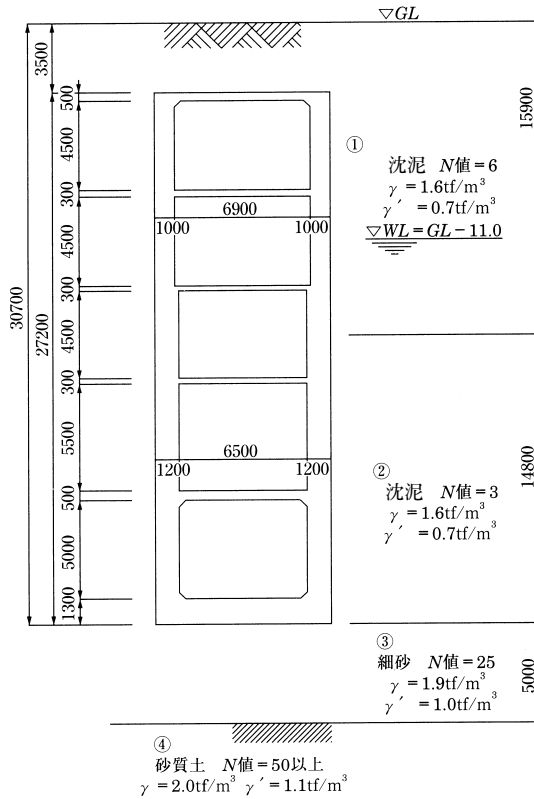
本計算中，螺栓從 F4T 改為 F10T，螺栓個數也相對的增加，但螺栓個  
數增加對環片之製作上也增加困難，故有充分檢討之必要。其他對策尚有使  
用可撓環片或補強鋼筋等方法，但無論採用何種方法，都應慎重考量。

一般上，軸直角方向耐震計算可以省略掉，但有必要時也須進行軸直角  
方向耐震計算。

4.10 豎坑的耐震計算範例（根據反應變位法）

4.10.1 地要與潛

盾結構相之地要與潛之地-4.10.1 下線狀



地-4.10.1物地要與潛，因坑形狀

4.10.2 地要盤式

或有為度重地要，所要以重地要之盤式狀

1) 震重時較變形量

震重時較變形量可從下度外得狀

度-4.10.1 度重地要時較變形量 (內, 較模變時實係)

		形量	$V_s (m/s)$		
		較模變	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$
的同堆果確定。像此類					
力果重	粘性。	$129 N^{0.183}$	$156 N^{0.183}$	$172 N^{0.183}$	
	依據。	$123 N^{0.125}$	$200 N^{0.125}$	$205 N^{0.125}$	
耐果重	粘性。	$122 N^{0.0777}$	$142 N^{0.0777}$	$143 N^{0.0777}$	
	依據。	$61.8 N^{0.211}$	$90 N^{0.211}$	$103 N^{0.211}$	

度-4.10.2物較變形量

No.	地據計	N算	$V_{si}$	法求
①	得位	6	140	
②	得位	3	133	
③	細依	25	184	
④	依據。	50	300	所要

4.10.3 度重地要時此類

反應進行但時地要此類可在用式 4.10.1 等條地要時件造顯動化考慮受可  
從度-4.10.3 盾類狀影地度響即為所要響慮須視為慎判類地要狀

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots (4.10.1)$$

式是慮  $T_G$  否地要時件造顯動化考 (s)

$H_i$  否慎  $i$  重。像時厚當 (m)

$V_{si}$  否慎  $i$  重。像時較變形量 (m/s)

對算可從度-4.10.1 外得狀

度-4.10.3 反應進行但時地要此類

地要此類	地要時件造顯動化考 $T_G$ (s)
慎判類	$T_G < 0.2$
慎管類	$0.2 \leq T_G < 0.6$
慎路類	$0.6 \leq T_G$

須地-4.10.1 之度重地要時此類產生斷面之下度下線狀

度-4.10.4。像，較變形量

No.	。據	重厚 $H_i$ (m)	。像較變形量 $V_{si}$ (m/s)	$H_i/V_{si}$
①	得位	15.9	140	0.1136
②	得位	14.8	133	0.1113
③	細依	5.0	184	0.0272
$\Sigma$				0.2521

下以慮該地要時件造顯動化考  $T_G$  為否

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} = 4 \times 0.2521 = 1.00(s)$$

下以慮度重地要時此類模為慎路類狀

4.10.4 地要時變位顯施

件地度響起某一深當時水（方向變位顯施可從下式外得狀  
慎 1 級地應否

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K_{h1} \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H} \dots\dots\dots (4.10.2)$$

慎 2 級地應否

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S'_v \cdot T_G \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H} \dots\dots\dots (4.10.3)$$

式是慮  $U_h(z)$  否件地度響起某一深當時水（方向變位顯施 (cm)

$S_v$  否 規有量當本模道算（慎 1 級地應確）（cm/s）

$S'_v$  否所要時量當本模道算（慎 2 級地應確）（cm/s）

$T_G$  否度重地要時件造顯動化考 (s)

$H$  否度重地要時厚當 (m)

$K_{h1}$  否進行所要響時水（應當係會 ( )  $C_z \cdot K_{h01} = 0.15$  )

1) 度重地要時件造顯動化考

度重地要時件造顯動化考為

$$T = T_G = 1.00 (s)$$

2) 所要地應動時量當本模道算

可從慎 1 級地應時所要量當本模道慮水慎路類地要慮  $T=1.00 (s)$  時與潛下慮量當本模道算爲否  $S_v = 80 (cm/s)$

慎 2 級地應時所要量當本模道 (非超越機式 90%) 慮  $T=1.00 (s)$  時與潛下慮量當本模道算爲否  $S'_v = 100 (cm/s)$

3) 地要時變位顯施行等

(1) 慎 1 級地應

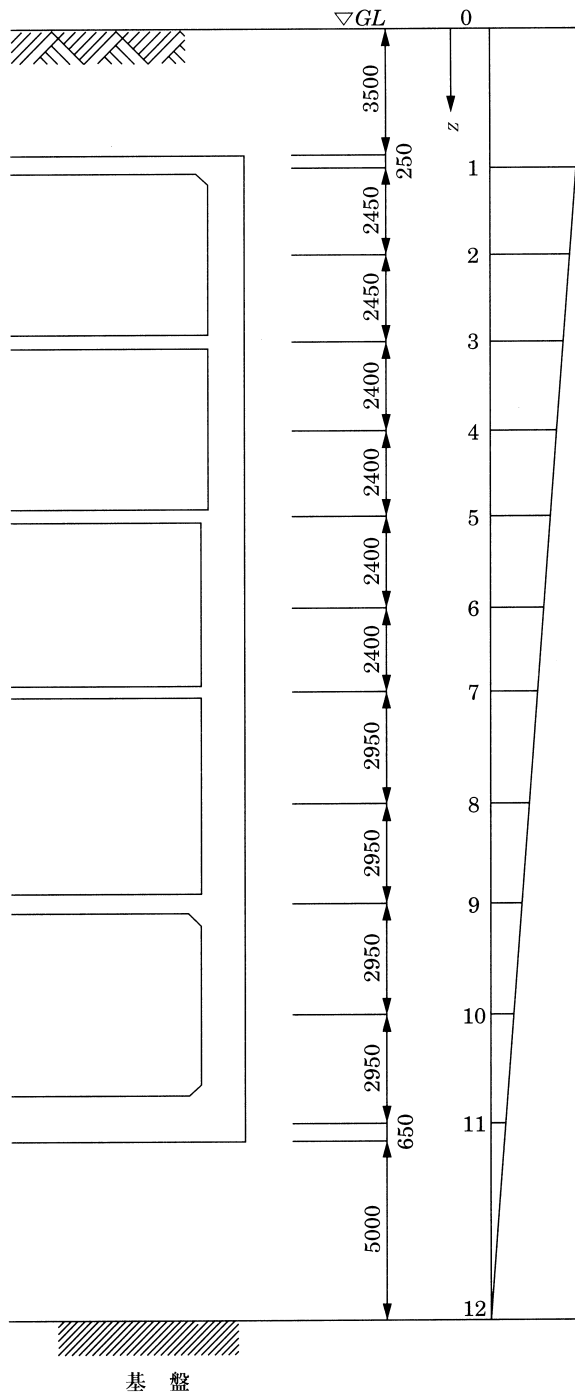
$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \times 80 \times 1.00 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi z}{2 \times 35.7}\right) = 2.43 \times \cos(0.044z)$$

(2) 慎 2 級地應

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \times 100 \times 1.00 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi z}{2 \times 35.7}\right) = 20.26 \times \cos(0.044z)$$

度-4.10.5 地要時變位顯施算

節表環片	z (m)	U <sub>h</sub> (z) (cm)	
		慎 1 級地應	慎 2 級地應
0	0.00	2.43	20.26
1	3.75	2.40	19.98
2	6.20	2.34	19.51
3	8.65	2.26	18.81
4	11.05	2.15	17.91
5	13.45	2.02	16.81
6	15.85	1.86	15.53
7	18.25	1.69	14.07
8	21.20	1.45	12.07
9	24.15	1.18	9.86
10	27.10	0.90	7.48
11	30.05	0.60	4.98
12	35.70	0.00	0.00



地-4.10.2物地要時變位顯施地

4.10.5 垂直方向斷面力之計算

1)分析模式

豎坑的垂直斷面，如圖-4.10.3 所示，各橫斷面假設為剛性模式，假設結構體的橫斷面形狀是固定的，以地盤的相對變位及地盤水平彈簧作用的強制變位，求取結構體之斷面力。

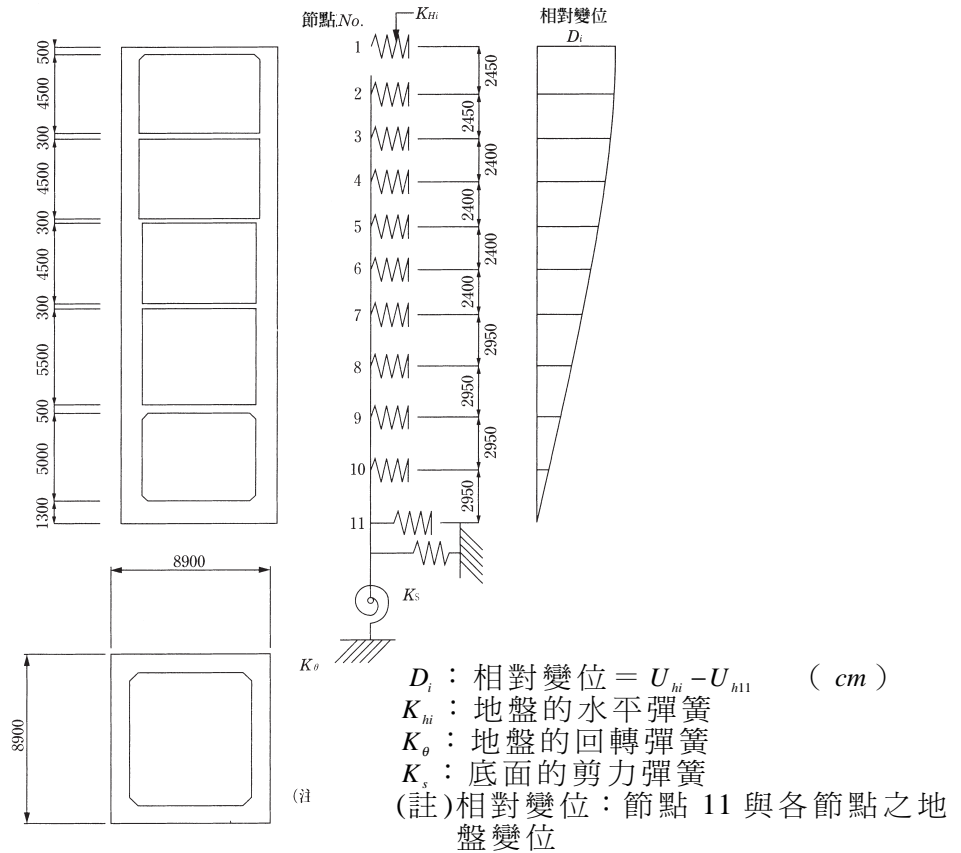


圖-4.10.3 豎坑的分析模式

而結構體剛性程度之  $\beta \cdot l$  值求法如表-4.10.6 所示。

表-4.10.6 豎坑之  $\beta \cdot l$  值

壁厚(m)	$I_{y-y}$ ( $m^4$ )	N 值	$K_H$ ( $kgf/cm^3$ )	$\beta$ ( $m^{-1}$ )	$\beta \cdot l$
1.0	334	6	0.694	0.0385	1.05
1.2	373	3	0.347	0.0315	0.86

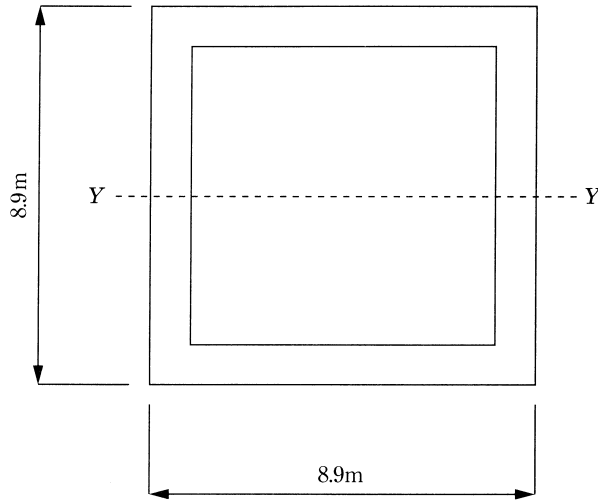


圖-4.10.4 豎坑的斷面形狀

式中， $K_H$  的值是根據表-4.10.7 所示。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_H \cdot \beta}{4EI}} \quad (m^{-1})$$

$$B = 8.9 \quad (m)$$

$$E = 2.1 \times 10^5 \quad (kgf/cm^2)$$

因此，表-4.10.6 中  $\beta \cdot l$  的值全部在 2 以下，故結構體可視為剛體。

2) 地盤反力係數

(1) 水平方向的地盤反力係數

$$K_H = K_{H0} \left( \frac{B_h}{30} \right)^{-\frac{3}{4}} = 12.8 K_{H0} \cdot B_h^{-\frac{3}{4}} \dots \dots \dots (4.10.4)$$

式中， $K_H$ ：水平方向的地盤反力係數 ( $kgf/cm^3$ )

$$K_{H0} = \frac{1.2}{30} a E_0 = 0.040 a \cdot E_0 \quad (kgf/cm^3)$$

$$E_0 = 28 \cdot N, \quad a = 2$$

$B_h$ ：基礎的等值寬度 (cm)

$$B_h = \sqrt{A_h}$$

$A_n$  : 豎坑之側面積 (  $cm^2$  )

$$B_n = \sqrt{8.9 \times 27.2} = 15.56 (m) = 1556 (cm)$$

表-4.10.7 水平方向的地盤反力係數

土質	N 值	$K_{H0}$ ( $kgf/cm^3$ )	$K_H$ ( $kgf/cm^3$ )
沉泥	6	13.44	0.694
沉泥	3	6.72	0.347

(2) 垂直方向的地盤反力係數

$$K_v = K_{v0} \left( \frac{B_v}{30} \right)^{\frac{3}{4}} = 12.8 K_{v0} \cdot B_v^{-\frac{3}{4}} \dots\dots\dots (4.10.5)$$

式中,  $K_v$  : 垂直方向的地盤反力係數 (  $kgf/cm^3$  )

$$K_{v0} = \frac{1}{30} a E_0 = 0.033 a \cdot E_0 \quad (kgf/cm^3)$$

$$E_0 = 28 \cdot N, \quad N = 25, \quad a = 2$$

$B_v$  : 基礎的等值寬度 (  $cm$  )

$$B_v = \sqrt{A_v}$$

$A_v$  : 豎坑之底面積 (  $cm^2$  )

$$E_0 = 28 \times 25 = 700 (kgf/cm^2)$$

$$K_{v0} = 0.033 \times 2 \times 700 = 46.2 (kgf/cm^3)$$

$$B_v = \sqrt{8.9 \times 8.9} = 8.9 (m) = 890 (cm)$$

$$K_v = 12.8 \times 46.2 \times 890^{-\frac{3}{4}} = 3.63 (kgf/cm^3)$$

(3) 水平方向的剪力彈簧係數

$$K_s = \lambda \cdot K_v \dots\dots\dots (4.10.6)$$

式中,  $K_v$  : 水平方向的剪力彈簧係數

$\lambda$  : 垂直方向的地盤反力係數  $K_v$  與水平方向剪力彈簧係數  $K_s$  之

比值,  $\lambda = \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$

$$\therefore K_s = \frac{1}{3.5} \times 3.63 = 1.04 (kgf/cm^3)$$

3) 地盤的彈簧

(1) 地盤的水平彈簧係數

$$K_{hi} = K_{hi} \cdot A_i \dots\dots\dots (4.10.7)$$

式中， $K_{hi}$ ：各節點的地盤的水平力彈簧係數 ( $tf/m$ )

$K_{hi}$ ：水平方向的地盤反力係數 ( $tf/m^3$ )

$A_i$ ：各節點分擔的面積 ( $m^2$ )

依據上式，各節點的地盤的水平彈簧計算如表-4.10.8 所示。

表-4.10.8 地盤的水平彈簧

節點編號	$A_i (m^2)$	$K_{hi} (tf/m^3)$	$K_{hi} (tf/m)$
1	10.90	694	7,560
2	21.81	694	15,140
3	21.58	694	14,980
4	21.36	694	14,820
5	21.36	694	14,820
6	21.36	521	11,130
7	23.81	347	8,260
8	26.62	347	9,110
9	26.62	347	9,110
10	26.62	347	9,110
11	13.13	347	4,560

(2) 地盤的回轉彈簧係數

$$K_{\theta} = K_v \cdot I \dots\dots\dots (4.10.8)$$

式中， $K_{\theta}$ ：地盤的回轉彈簧係數 ( $tf/m$ )

$K_v$ ：垂直方向的地盤反力係數 ( $tf/m^3$ )

$$K_v = 3.63 (kgf/cm^3) = 3630 t(f/m^3)$$

$I$ ：結構體斷面的二次矩 ( $m^4$ )

$$I = \frac{1}{12} \times 8.9^4 = 523 (m^4)$$

$$K_{\theta} = 3630 \times 523 = 1.90 \times 10^6 (tf \cdot m / rad)$$

(3) 底面的剪力彈簧係數

$$K_s = k_s \cdot A_v \dots\dots\dots (4.10.9)$$

式中， $K_s$ ：地盤的剪力彈簧係數 ( $tf/m$ )

$k_s$ ：水平方向剪力彈簧係數 ( $tf/m^3$ )

$$k_s = 1.04 (kgf/cm^3) = 1040 t(f/m^3)$$

$A_v$ ：結構體的底面積 ( $m^2$ )

$$A_v = 8.9 \times 8.9 = 79.21 (m^2)$$

$$K_s = 1040 \times 79.21 = 82378 t(f/m)$$

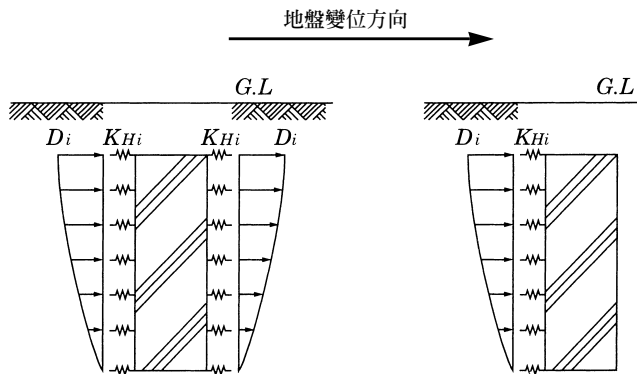
4) 計算假設

(1) 以本計算例第「4.10.5」節的 1) 分析模式所述，將結構體視為整體性的剛體進行下列計算。

剛體水平固定點設在節點 11，考慮各節點之地盤水平彈簧，節點 11 (底面) 之地盤回轉彈簧與底面的剪力彈簧，設水平彈簧於地盤及剛體各節點間，來表示剛體與地盤之相對變位，作用力以強制變位形式施加，依上述模擬求剛體斷面力。

上述情形下，假設垂直向沒有變位。

(2) 被動側土壤與豎坑的接觸條件，有下列兩種假設情況：



(a) 被動側土壤受拉力作用之強制變位 (b) 被動側土壤不受拉力作用之強制變位

圖-4.10.5 被動側之豎坑與土壤接觸條件之假設模式 (CASE-a 與 CASE-b 兩種情況)

(3) 結構體自重所形成之慣性力與覆土重的影響可以忽略。

5) 計算式

根據上述斷面力計算之假設前提，可推導出下列計算式。

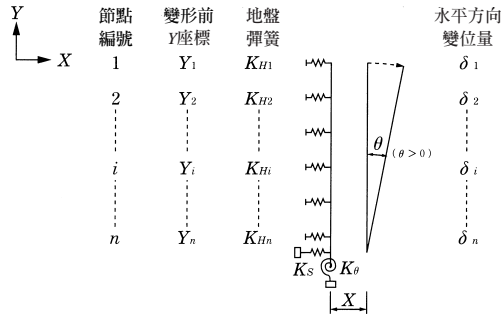


圖-4.10.6 力學模式

式中，強制變位為  $D_i$ 、剛體的變位為  $\delta$ 、地盤的水平彈簧為  $K_H$ 。

在圖-4.10.6 中，剛體水平方向的變位為  $X$ ，加上轉角  $\theta$ ，則節點  $i$  水平方向的總變位量  $\delta_i$  為

$$\delta_i = X + (Y_i + Y_n) \cdot \theta \dots\dots\dots (4.10.10)$$

若底面的剪力彈簧為  $K_S$ ，則水平方向的力平衡式為

$$\sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot [D_i - \{X + (Y_i - Y_n) \cdot \theta\}] - K_S \cdot X = 0 \dots\dots\dots (4.10.11)$$

而彎矩的平衡式為

$$\sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot [D_i - \{X + (Y_i - Y_n) \cdot \theta\}] \cdot (Y_i - Y_n) - K_\theta \cdot \theta = 0 \dots\dots\dots (4.10.12)$$

因此由式(4.10.11)，(4.10.12)可求得  $\theta$ ， $X$ 。

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot D_i \cdot \sum_{i=1}^n K_{Hi} (Y_i - Y_n) \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n K_{Hi} + K_S} - \sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot D_i (Y_i - Y_n)}{-K_\theta + \left[ \sum_{i=1}^n K_{Hi} (Y_i - Y_n) \right]^2 \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n K_{Hi} + K_S} - \sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot (Y_i - Y_n)^2} \dots\dots\dots (4.10.13)$$

$$X = \left\{ \sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot D_i - \left[ \sum_{i=1}^n K_{Hi} (Y_i - Y_n) \right] \cdot \theta \right\} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n K_{Hi} + K_s} \dots\dots\dots (4.10.14)$$

此外，節點  $i$  的水平方向變位  $\delta_i$ 、反力  $R_i$ 、剪力  $S_i$  及彎曲力矩  $M_i$  皆可由下列式子求得。

節點  $i$  的變位

$$\delta_i = X + (Y_i - Y_n) \cdot \theta \dots\dots\dots (4.10.15)$$

節點  $i$  的反力

$$R_i = K_{Hi} \cdot (D_i - \delta_i) \dots\dots\dots (4.10.16)$$

節點  $i$  的剪斷力

$$S_{i\uparrow} = \sum_{j=1}^i R_{j-1} \text{ 且 } R_0 = 0 \dots\dots\dots (4.10.17)$$

$$S_{i\downarrow} = S_{i\uparrow} + R_i \dots\dots\dots (4.10.18)$$

節點  $i$  的彎曲力矩

$$M_i = \left( \sum_{j=1}^i R_{j-1} \right) \cdot (Y_{i-1} - Y_i) + M_{i-1} \dots\dots\dots (4.10.19)$$

但是， $Y_0 = M_0 = 0$

更進一步可求節點  $i$  的地盤反力

$$q_i = 0.8 R_i \frac{1}{A_i} \dots\dots\dots (4.10.20)$$

式中， $q_i$ ：節點  $i$  的地盤反力（ $tf/m$ ）

$R_i$ ：節點  $i$  的反力（ $tf$ ）

$A_i$ ：表-4.10.8 所示之節點的分擔面積（ $m^2$ ）

但是，CASE-a 的情況是表-4.10.10 的 2 倍。

## 6) 地盤彈簧與強制變位

表-4.10.9 CASE-a 的地盤彈簧與強制變位

節點編號	$Y_i (m)$	$y_i (m)$	$K_{Hi} (tf/m)$	強制變位 $D_i (cm)$	
				第 1 級地震	第 2 級地震
1	0.00	26.30	15120	1.80	15.00
2	-2.45	23.85	30280	1.74	14.53
3	-4.90	21.40	29960	1.66	13.83
4	-7.30	19.00	29640	1.55	12.93
5	-9.70	16.60	29640	1.42	11.83
6	-12.10	14.20	22260	1.26	10.55
7	-14.50	11.80	16520	1.09	9.09
8	-17.45	8.85	18220	0.85	7.09
9	-20.40	5.90	18220	0.58	4.88
10	-23.35	2.95	18220	0.30	2.50
11	-26.30	0.00	9120	0.00	0.00

(註)  $Y_i$  是以節點 1 為原點時的座標，  
 $y_i$  是以節點 11 為原點時的座標。

$$K_{\theta} = 1.90 \times 10^6 (tf \cdot m / rad)$$

$$K_s = 82378 (tf / m)$$

表-4.10.10 CASE-b 的地盤彈簧與強制變位

節點編號	$Y_i (m)$	$y_i (m)$	$K_{Hi} (tf/m)$	強制變位 $D_i (cm)$	
				第 1 級地震	第 2 級地震
1	0.00	26.30	7560	1.80	15.00
2	-2.45	23.85	15140	1.74	14.53
3	-4.90	21.40	14980	1.66	13.83
4	-7.30	19.00	14820	1.55	12.93
5	-9.70	16.60	14820	1.42	11.83
6	-12.10	14.20	11130	1.26	10.55
7	-14.50	11.80	8260	1.09	9.09
8	-17.45	8.85	9110	0.85	7.09
9	-20.40	5.90	9110	0.58	4.88
10	-23.35	2.95	9110	0.30	2.50
11	-26.30	0.00	4560	0.00	0.00

(註)  $Y_i$  是以節點 1 為原點時的座標，  
 $y_i$  是以節點 11 為原點時的座標。

$$K_{\theta} = 1.90 \times 10^6 (tf \cdot m / rad)$$

$$K_s = 82378 (tf / m)$$

7)  $\theta$  ,  $X$  之計算

表-4.10.11 CASE-a 之  $\theta$  ,  $X$  計算值 (第 1 級地震)

$$S_v = 80 \text{ cm/s} \quad T = 1.00$$

節點 編號	$K_{Hi}$ ( $tf/m$ )	相對變位 $D_i$ (cm)	y座標 (m)	$K_{Hi} \cdot D_i$	$K_{Hi} \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot D_i \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot y_i^2$
1	15120	1.80	26.30	272.16	397656	7157.81	10458353
2	30280	1.74	23.85	526.87	722178	12565.90	17223945
3	29960	1.66	21.40	497.34	641144	10642.99	13720482
4	29640	1.55	19.00	459.42	563160	8728.98	10700040
5	29640	1.42	16.60	420.89	492024	6986.74	8167598
6	22260	1.26	14.20	280.48	316092	3982.76	4488506
7	16520	1.09	11.80	180.07	194936	2124.80	2300245
8	18220	0.85	8.85	154.87	161247	1370.60	1427036
9	18220	0.58	5.90	105.68	107498	623.49	634238
10	118220	0.30	2.95	54.66	53749	161.25	158560
11	9120	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0
$\Sigma$	237200	-	-	2952.44	3649684	54345.32	69279003

$$\theta = 70 (\times 10^{-5} \text{ rad})$$

$$X = 0.124 (\text{cm})$$

表-4.10.12 CASE-b 之  $\theta$  ,  $X$  計算值 (第 1 級地震)

$$S_v = 80 \text{ cm/s} \quad T = 1.00$$

節點 編號	$K_{Hi}$ ( $tf/m$ )	相對變位 $D_i$ (cm)	y座標 (m)	$K_{Hi} \cdot D_i$	$K_{Hi} \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot D_i \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot y_i^2$
1	7560	1.80	26.30	136.08	198828	3578.90	5229176
2	15140	1.74	23.85	263.44	361089	6282.95	8611973
3	14980	1.66	21.40	248.67	320572	5321.50	6860241
4	14820	1.55	19.00	229.71	281580	4364.49	5350020
5	14820	1.42	16.60	210.44	246012	3493.37	4083799
6	11130	1.26	14.20	140.24	158046	1991.38	2244253
7	8260	1.09	11.80	90.03	97468	1062.40	1150122
8	9110	0.85	8.85	77.44	80624	685.30	713518
9	9110	0.58	5.90	52.84	53749	311.74	317119
10	9110	0.30	2.95	27.33	26875	80.62	79280
11	4560	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0
$\Sigma$	118600	-	-	1476.22	1824843	27172.65	34639501

$$\theta = 69 (\times 10^{-5} \text{ rad})$$

$$X = 0.108 (\text{cm})$$

表-4.10.13 CASE-a 之  $\theta$ ,  $X$  計算值 (第 2 級地震)

$$S_v' = 100 \text{ cm/s} \quad T = 1.00$$

節點 編號	$K_{Hi}$ ( $tf/m$ )	相對變位 $D_i$ (cm)	y 座標 (m)	$K_{Hi} \cdot D_i$	$K_{Hi} \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot D_i \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot y_i^2$
1	15120	15.00	26.30	2268.00	397656	59648.40	10458353
2	30280	14.53	23.85	4399.68	722178	103936.46	17223945
3	29960	13.83	21.40	4143.47	641144	88670.22	13720482
4	29640	12.93	19.00	3832.45	563160	72816.59	10700040
5	29640	11.83	16.60	3506.41	492024	58206.44	8167598
6	22260	10.55	14.20	2348.43	316092	33347.71	4488506
7	16520	9.09	11.80	1501.67	194936	17719.68	2300245
8	18820	7.09	8.85	1291.80	161247	11432.41	1427036
9	18820	4.88	5.90	889.14	107498	5245.90	634238
10	18820	2.50	2.95	455.50	53749	1343.73	158560
11	9120	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0
$\Sigma$	237200	-	-	24636.6	3649384	453363.54	69279003

$$\theta = 583 (\times 10^{-5} \text{ rad})$$

$$X = 1.051 (\text{cm})$$

表-4.10.14 CASE-b 之  $\theta$ ,  $X$  計算值 (第 2 級地震)

$$S_v' = 100 \text{ cm/s} \quad T = 1.00$$

節點 編號	$K_{Hi}$ ( $tf/m$ )	相對變位 $D_i$ (cm)	y 座標 (m)	$K_{Hi} \cdot D_i$	$K_{Hi} \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot D_i \cdot y_i$	$K_{Hi} \cdot y_i^2$
1	7560	15.00	26.30	1134.00	198828	29824.20	5229176
2	15140	14.53	23.82	2199.84	361089	52466.23	8611973
3	14980	13.83	21.40	2071.73	320572	44335.11	6860241
4	14820	12.93	19.00	1916.23	281580	36408.29	5350020
5	14820	11.83	16.60	1753.21	246012	29103.22	4083799
6	11130	10.55	14.20	1174.22	158046	16673.85	2244253
7	8260	9.09	11.80	750.83	97468	8859.84	1150122
8	9110	7.09	8.85	645.90	80624	5716.21	713518
9	9110	4.88	5.90	444.57	53749	2622.95	317119
10	9110	2.50	2.95	227.75	26875	671.86	79280
11	4560	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0
$\Sigma$	118600	-	-	12318.3	182483	226681.76	34939514

$$\theta = 575 (\times 10^{-5} \text{ rad})$$

$$X = 0.908 (\text{cm})$$

8) 斷面力的計算

斷面力的計算，跟據被動側土壤與剛體接觸條件假設的兩種情況進行。

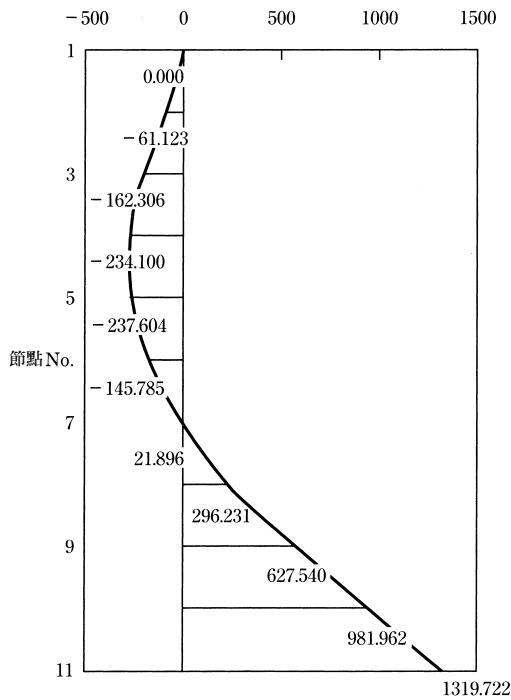
(1) 第 1 級地震

①CASE-a

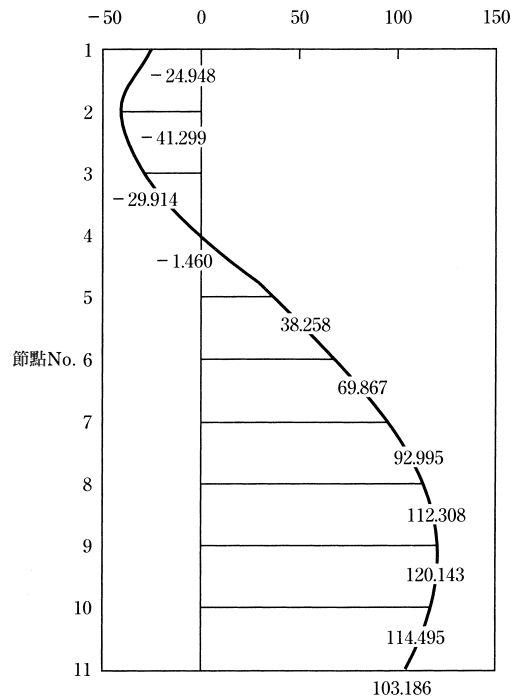
被動側土壤受拉力作用之強制變位

表-4.10.15 CASE-a 的彎曲力矩、剪力

節點 編號	剛體的變位 $\delta_i (cm)$	節點反力 $R_i (tf)$	地盤反力 $q_i (tf/m^2)$	彎曲力矩 $M_i (tf \cdot m)$	剪力	
					$S_i$ (上)	$S_i$ (下)
1	1.965	-24.948	-0.916	0.000	0.000	-24.948
2	1.794	-16.351	-0.300	-61.123	-24.948	-41.299
3	1.622	11.385	0.211	-162.306	-41.299	-29.914
4	1.454	28.454	0.533	-234.100	-29.914	-1.460
5	1.286	39.718	0.744	-237.604	-1.460	38.258
6	1.118	31.609	0.592	-145.785	38.258	69.867
7	0.950	23.128	0.389	21.896	69.995	92.995
8	0.744	19.313	0.294	296.231	92.995	112.308
9	0.537	7.835	0.119	627.540	112.308	120.143
10	0.331	-5.648	-0.086	981.962	120.143	114.495
11	0.124	-11.309	-0.345	1319.722	114.495	103.186



彎曲力矩圖



剪力圖

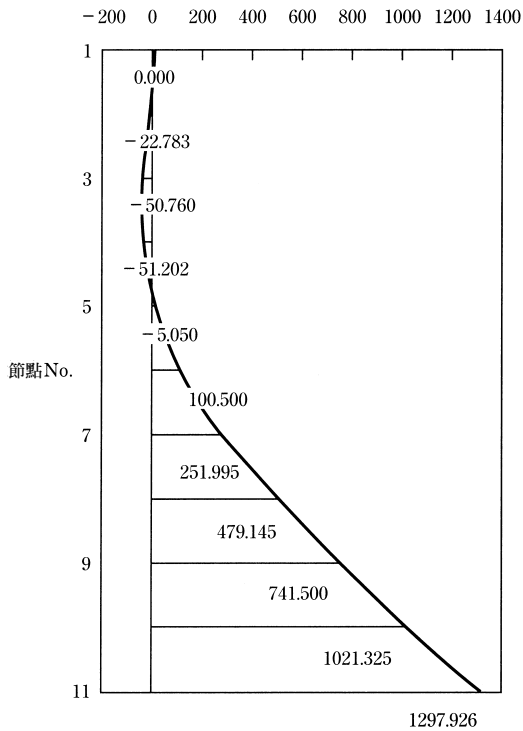
圖-4.10.7 CASE-a 之斷面力分布 (第 1 級地震)

②CASE-b

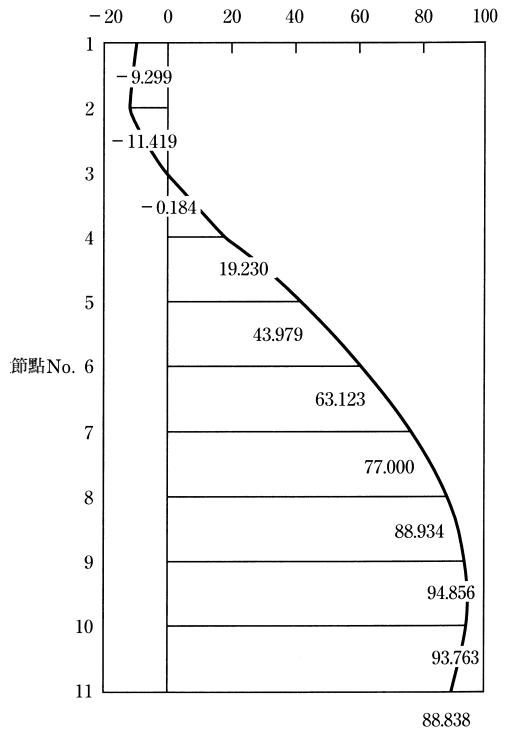
被動側土壤不受拉力作用之強制變位

表-4.10.16 CASE-b 的彎曲力矩、剪力

節點 編號	剛體的變位 $\delta_i (cm)$	節點反力 $R_i (tf)$	地盤反力 $q_i (tf/m^2)$	彎曲力矩 $M_i (tf \cdot m)$	剪力	
					$S_i$ (上)	$S_i$ (下)
1	1.923	-9.299	-0.682	0.000	0.000	-9.299
2	1.754	-2.120	-0.078	-22.783	-9.299	-11.419
3	1.585	11.235	0.416	-50.760	-11.419	-0.184
4	1.419	19.414	0.727	-51.202	-0.184	19.230
5	1.253	24.749	0.927	-5.050	19.230	43.979
6	1.088	19.144	0.717	100.500	43.979	63.123
7	0.922	13.877	0.466	251.995	62.123	77.000
8	0.719	11.934	0.364	479.145	77.000	88.934
9	0.515	5.922	0.180	741.500	88.934	94.856
10	0.312	-1.093	-0.033	1021.325	94.856	93.763
11	0.108	-4.925	-0.300	1297.926	93.762	88.838



彎曲力矩圖



剪力圖

圖-4.10.8 CASE-b 之斷面力分布 (第 1 級地震)

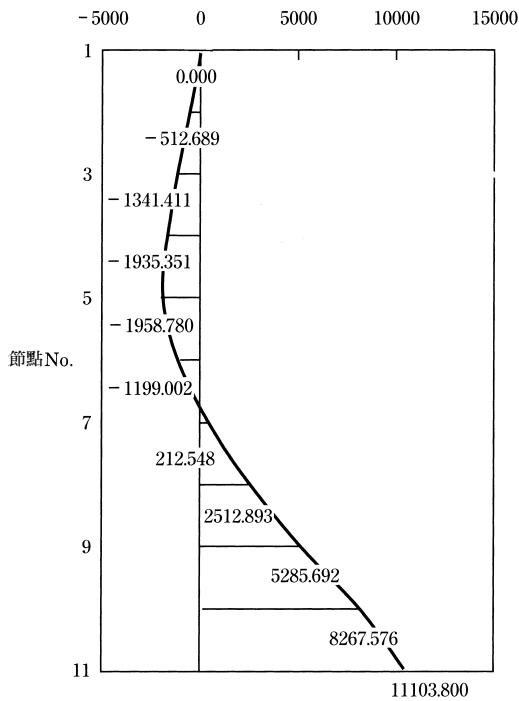
(2)第 2 級地震

①CASE-a

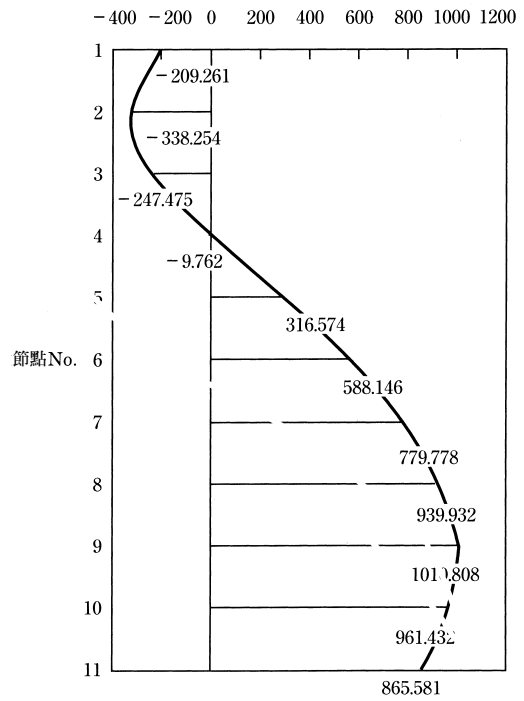
被動側土壤受拉力作用之強制變位

表-4.10.17 CASE-a 的彎曲力矩、剪力

節點 編號	剛體的變位 $\delta_i (cm)$	節點反力 $R_i (tf)$	地盤反力 $q_i (tf/m^2)$	彎曲力矩 $M_i (tf \cdot m)$	剪力	
					$S_i$ (上)	$S_i$ (下)
1	16.384	-209.261	-7.679	0.000	0.000	-209.261
2	14.956	-128.993	-2.366	-512.689	-209.261	-338.254
3	13.527	90.779	1.683	-1341.411	-338.254	-247.475
4	12.128	237.713	4.452	-1935.351	-247.475	-9.762
5	10.729	326.336	6.111	-1958.780	-9.762	3216.574
6	9.330	271.572	5.086	-1199.002	316.574	588.146
7	7.930	191.632	3.219	212.548	588.146	779.778
8	6.211	160.154	2.440	2512.893	779.778	939.932
9	4.491	70.876	1.080	5282.692	939.932	1010.808
10	2.771	-49.376	-0.752	8267.576	1010.808	951.432
11	1.051	-95.85	-2.920	11103.800	961.432	865.581



彎曲力矩圖



剪力圖

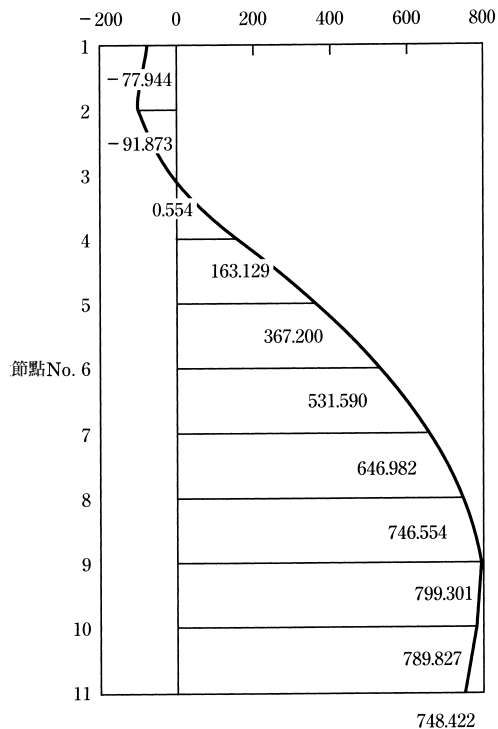
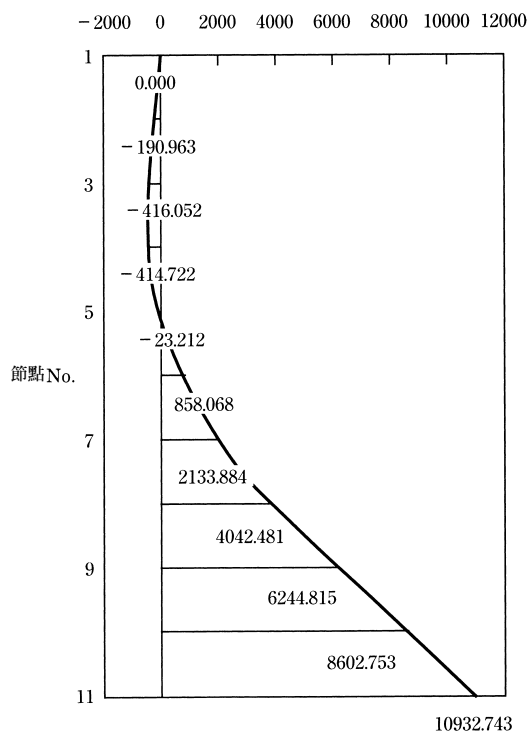
圖-4.10.9 CASE-a 之斷面力分布 (第 2 級地震)

②CASE-b

被動側土壤不受拉力作用之強制變位

表-4.10.18 CASE-b 的彎曲力矩、剪力

節點 編號	剛體的變位 $\delta_i (cm)$	節點反力 $R_i (tf)$	地盤反力 $q_i (tf/m^2)$	彎曲力矩 $M_i (tf \cdot m)$	剪力	
					$S_i$ (上)	$S_i$ (下)
1	16.031	-77.944	-5.721	0.000	0.000	-77.944
2	14.622	-13.929	-0.511	-190.963	-77.944	-91.873
3	13.213	92.427	3.426	-416.052	-91.873	0.554
4	11.833	162.575	6.089	-414.722	0.554	163.129
5	10.453	204.071	7.643	-23.212	163.129	367.200
6	9.073	164.390	6.157	858.068	367.200	531.590
7	7.693	115.392	3.877	2133.884	531.590	646.982
8	5.997	99.572	3.033	4042.481	646.982	746.554
9	4.301	52.747	1.607	6244.815	746.554	799.301
10	2.604	-9.474	-0.289	8602.753	799.301	789.827
11	0.908	-41.405	-2.523	10932.743	789.827	748.422



彎曲力矩圖 剪力圖  
圖-4.10.10 CASE-b 之斷面力分布 (第 2 級地震)

9) 斷面檢核

(1) 第 1 級地震

依照表-4.10.15~4.10.16 的斷面力計算結果，CASE-a、b 的最大斷面力發生在下列節點。

表-4.10.19 垂直方向的最大斷面力

CASE	位置	彎矩 ( $tf \cdot m$ )	剪力 ( $tf$ )	軸力 ( $tf$ )
a	節點 5	237.6	38.3	1454.7
	節點 10	982.0	120.1	2691.8
b	節點 4	51.2	19.2	1277.3
	節點 10	1021.3	94.9	2691.8

在此，軸力項須考慮結構體的自重與覆土重。

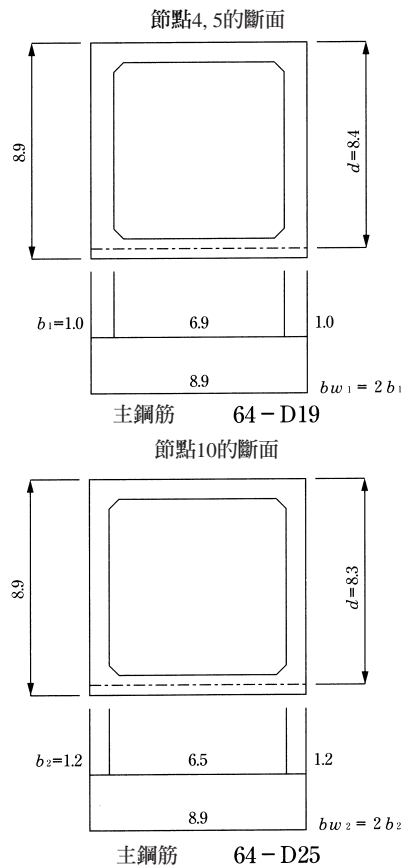


圖-4.10.11 豎坑的計算斷面（第 1 級地震）

表-4.10.20 斷面應力計算結果

CASE	位置	$\sigma_c$ ( $kgf/cm^2$ )	$\sigma_s$ ( $kgf/cm^2$ )	$\tau$ ( $kgf/cm^2$ )
a	節點 5	5.01	61.55	0.18
	節點 10	8.79	84.55	0.48
b	節點 4	4.08	58.24	0.08
	節點 10	8.86	83.67	0.38

## (2) 第 2 級地震

依照表-4.10.17~4.10.18 的斷面力計算結果，CASE-a、b 的最大斷面力發生在下列節點。

表-4.10.21 垂直方向的最大斷面力

CASE	位置	彎矩 ( $tf \cdot m$ )	剪力 ( $tf$ )	軸力 ( $tf$ )
a	節點 5	1958.78	316.57	1454.7
	節點 10	8267.58	1010.81	2691.8
b	節點 4	414.72	163.13	1277.3
	節點 10	8602.75	799.30	2691.8

在此，軸力項須考慮結構體的自重與覆土重。

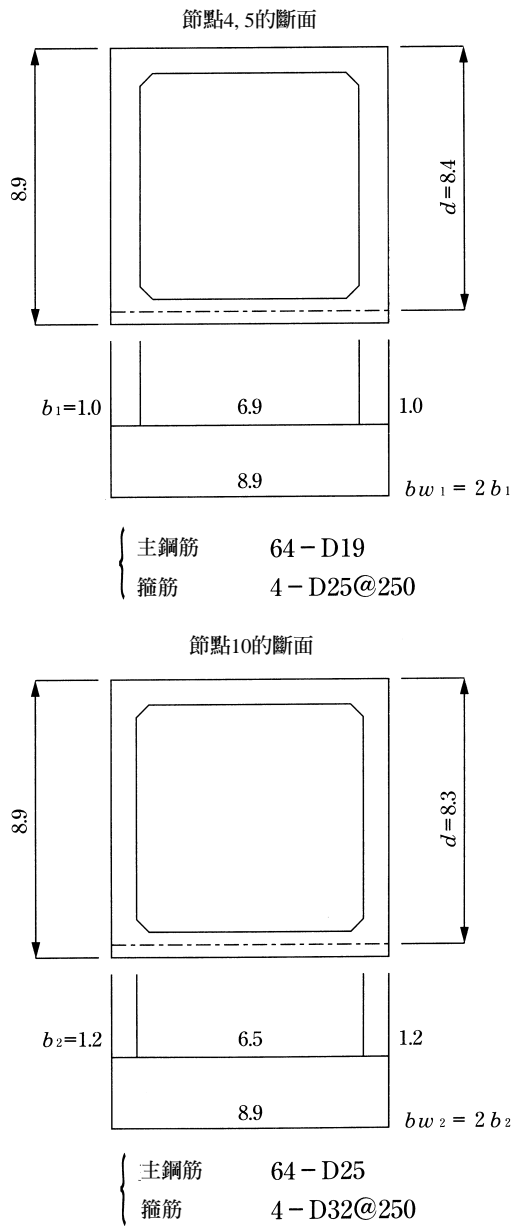


圖-4.10.12 豎坑的計算斷面（第2級地震）

表-4.10.22 斷面之檢核

節點 4, 5	
混凝土的材料強度=210 kgf / cm <sup>2</sup>	
鋼筋的材料強度=3500 kgf / cm <sup>2</sup>	
彎曲強度安全係數： $\gamma_c = 1.3$ $\gamma_s = 1/1.2$	
剪力強度安全係數： $\gamma_c = 1.3$ $\gamma_s = 1.0$ $\gamma_{bc} = 1.3$ $\gamma_{bs} = 1.15$ $\gamma_i = 1.0$	
	CASE-a
$M_d$ (tf · m)	1958.78
$N_d$ (tf)	1454.70
$V_d$ (tf)	316.57
$b$ (cm)	890
$b_w$ (cm)	200
$h$ (cm)	890
$d_i$ (cm)	50
$d$ (cm)	840
拉力鋼筋	64-D19
壓力鋼筋	64-D19
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	183.68
$A'_s$ (cm <sup>2</sup> )	183.68
$P_t$	0.00025
$f_{cd}$ (kgf / cm <sup>2</sup> )	4200
$f'_{cd}$ (kgf / cm <sup>2</sup> )	162
$M_u$ (tf · m)	12855.29
$M_d / M_u$	0.15
判定	OK
箍筋	4-D25@250
$A_w$ (cm <sup>2</sup> )	20.280
$S_x$ (cm)	25.0
$f_{wcd}$ (kgf / cm <sup>2</sup> )	3500
$f'_{wcd}$ (kgf / cm <sup>2</sup> )	5.061
$\beta_d$	0.587
$\beta_n$	0.478
$\beta_n$	2.000
$V_{cd}$ (tf)	367.03
$V_{sd}$ (tf)	1803.35
$V_{wd}$ (tf)	2170.38
$L = M_u / V_d$ (m)	6.19
$V_{mu} = M_u / L$ (tf)	2076.78
$\gamma_i \cdot V_{mu} / V_{sd}$	0.96
先發生彎曲破壞之判斷	OK
鋼筋比	0.406

## 節點 10

 混凝土的材料強度 =  $210 \text{ kgf/cm}^2$ 

 鋼筋的材料強度 =  $3500 \text{ kgf/cm}^2$ 

 彎曲強度安全係數： $\gamma_c = 1.3$      $\gamma_s = 1/1.2$ 

 剪力強度安全係數： $\gamma_c = 1.3$      $\gamma_s = 1.0$      $\gamma_{bc} = 1.3$      $\gamma_{bs} = 1.15$      $\gamma_i = 1.0$ 

	CASE-a	CASE-b
$M_d (tf \cdot m)$	8267.58	8602.75
$N_d (tf)$	2691.80	2691.80
$V_d (tf)$	1010.87	799.30
$b (cm)$	890	890
$b_w (cm)$	240	240
$h (cm)$	890	890
$d_f (cm)$	60	60
$d (cm)$	830	830
拉力鋼筋	64-D25	64-D25
壓力鋼筋	64-D25	64-D25
$A_s (cm^2)$	324.48	324.48
$A'_s (cm^2)$	324.48	324.48
$P_f$	0.00044	0.00044
$f_{yd} (kgf/cm^2)$	4200	4200
$f'_{cd} (kgf/cm^2)$	162	162
$M_u (tf \cdot m)$	22540.16	22540.16
$M_d / M_u$	0.37	0.38
判定	OK	OK
箍筋	4-D32@250	4-D32@250
$A_u (cm^2)$	31.760	31.760
$S_x (cm)$	25.0	25.0
$f_{wyd} (kgf/cm^2)$	3500	3500
$f'_{wd} (kgf/cm^2)$	5.061	5.061
$\beta_d$	0.589	0.589
$\beta_p$	0.546	0.546
$\beta_n$	1.483	1.464
$V_{cd} (tf)$	369.85	365.12
$V_{sd} (tf)$	2790.56	2790.56
$V_{wd} (tf)$	3160.41	3155.68
$L = M_u / V_d (m)$	8.18	10.76
$V_{mu} = M_u / L (tf)$	2755.52	2094.81
$\gamma_i \cdot V_{mu} / V_{sd}$	0.87	0.66
先發生彎曲破壞之判斷	OK	OK
鋼筋比	0.529	0.529

4.10.6 水平方向斷面力的計算

1) 第 1 級地震

(1) 計算假設

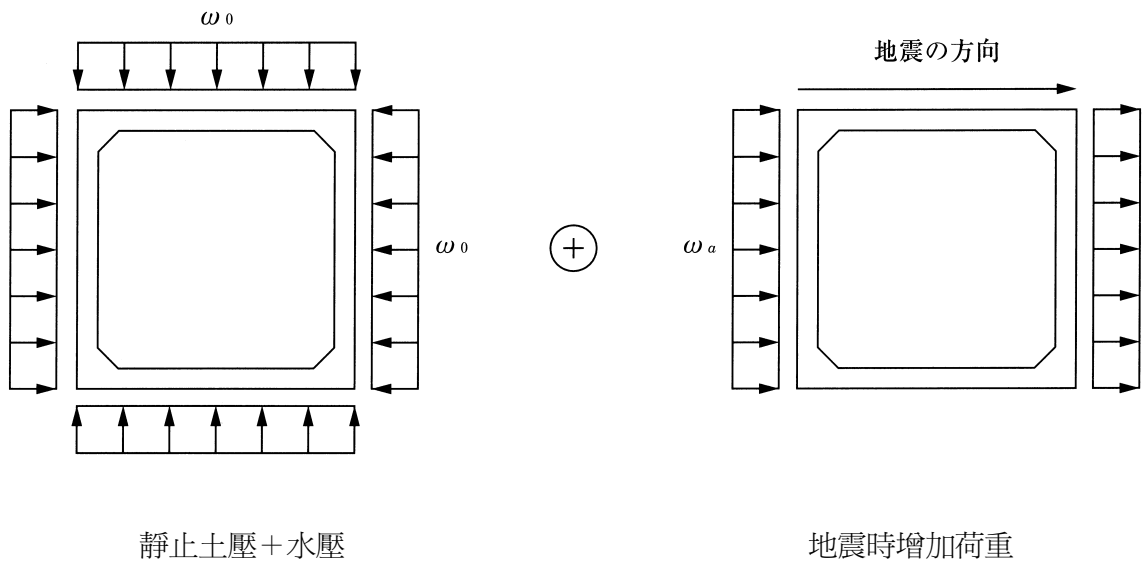
斷面力的計算，考慮表-4.10.15~4.10.16 所示之地盤反力  $q_i$  與地震時增加之荷重，依照圖 4.10.13~4.10.14 所示之荷重條件進行。

而地震時作用在結構體的側壓力，以靜止土壓 + 水壓計算之。

(2) 荷重

各節點的水平斷面在作用荷重是圖-4.10.13~4.10.14 表示荷重的組合依據求是表 4.10.24 ~4.10.25 像那樣。

i) CASE-a

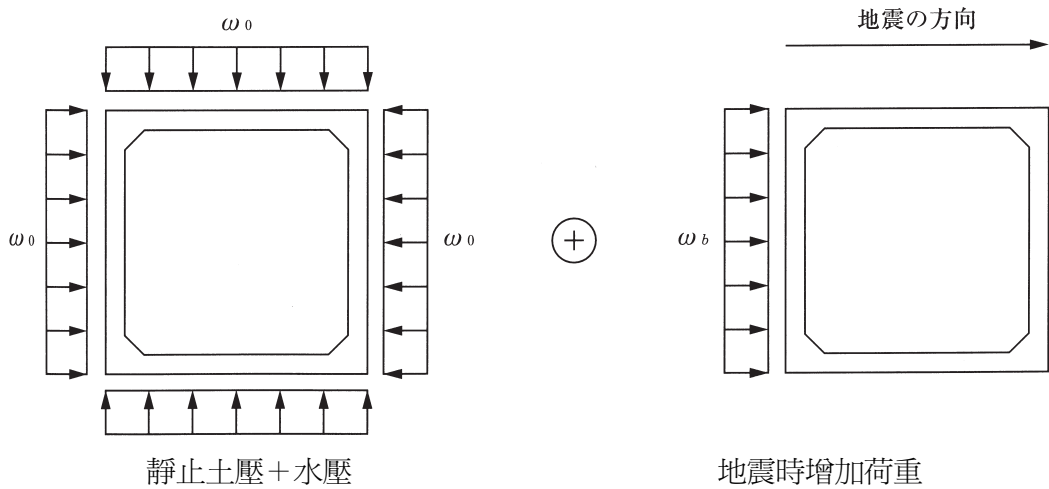


$\omega_0$  : 靜止土壓+水壓 ( $tf/m^2$ )  $K_\theta = 0.5$

$\omega_a$  : 表-4.10.15 表示地盤反力  $q_i$  ( $tf/m^2$ )

圖-4.10.13 CASE-a 的水平荷重條件

ii) CASE-b

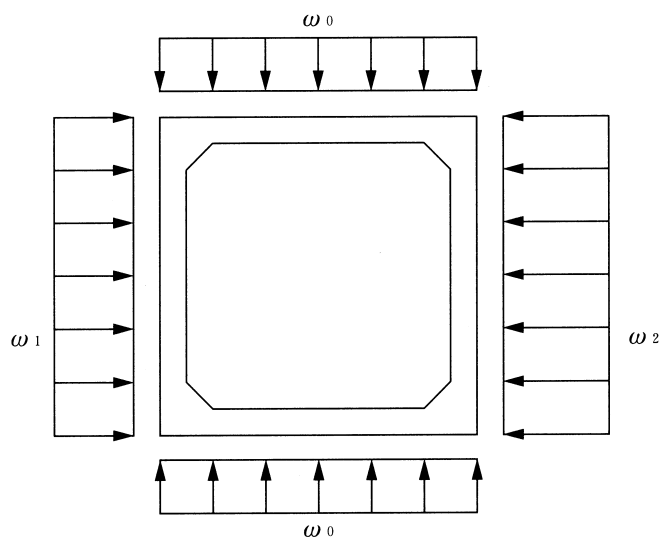


$\omega_0$  : 靜止土壓+水壓 ( $tf/m^2$ )  $K_\theta = 0.5$   
 $\omega_b$  : 表-4.10.16 表示地盤反力  $q_i$  ( $tf/m^2$ )

圖-4.10.14 CASE-b 的水平荷重條件

表 4.10.24 CASE-a 的水平斷面荷重

節點 No	$\omega_0$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_a$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_1 = \omega_0 + \omega_a$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_2 = \omega_0 - \omega_a$ ( $tf/m^2$ )	$\frac{\omega_1}{\omega_0}$	$\frac{\omega_2}{\omega_0}$
1	3.56	-0.92	2.64	4.48	0.74	1.26
2	5.89	-0.30	5.59	6.19	0.95	1.05
3	8.22	0.21	8.43	8.01	1.03	0.97
4	11.17	0.53	11.70	10.64	1.05	0.95
5	14.79	0.74	15.53	14.05	1.05	0.95
6	17.90	0.59	18.49	17.31	1.03	0.97
7	20.40	0.39	20.79	20.01	1.02	0.98
8	22.90	0.29	23.19	22.61	1.01	0.99
9	25.40	0.12	25.52	25.28	1.00	1.00
10	27.90	-0.09	27.81	27.99	1.00	1.00
11	30.40	-0.35	30.06	30.75	0.99	1.01



$\omega_0$  : 靜止土壓+水壓

$$\omega_1 = \omega_0 + \omega_a$$

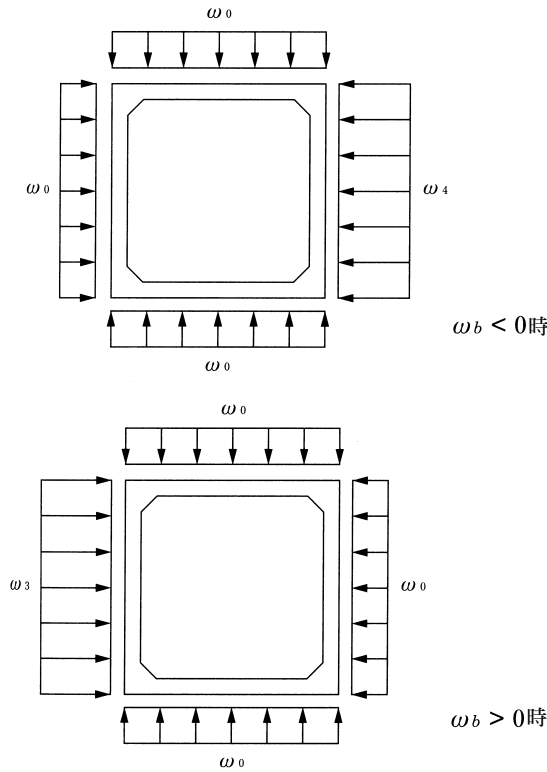
$$\omega_2 = \omega_0 + \omega_a$$

$\omega_a$  : 地震時增加荷重

圖-4.10.15 作用在水平斷面荷重 (第 1 級地震)

表-4.10.25 CASE-b 的水平斷面荷重

節點 No	$\omega_0$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_b$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_3 = \omega_0 + \omega_b$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_4 = \omega_0 - \omega_b$ ( $tf/m^2$ )	$\frac{\omega_3}{\omega_0}$	$\frac{\omega_4}{\omega_0}$
1	3.56	-0.68	2.88	4.24	1.00	1.19
2	5.89	-0.08	5.81	5.97	1.00	1.01
3	8.22	0.42	8.64	8.22	1.05	1.00
4	11.17	0.73	11.90	11.17	1.07	1.00
5	14.79	0.93	15.72	14.79	1.06	1.00
6	17.90	0.72	18.62	17.90	1.04	1.00
7	20.40	0.47	20.87	20.40	1.02	1.00
8	22.90	0.36	23.26	22.90	1.02	1.00
9	25.40	0.18	25.58	25.40	1.01	1.00
10	27.90	-0.03	27.87	27.93	1.00	1.00
11	30.40	-0.30	30.10	3.70	1.00	1.01



$\omega_0$  : 靜止土壓+水壓

$$\omega_3 = \omega_0 + \omega_b$$

$$\omega_4 = \omega_0 + \omega_b$$

$\omega_b$  : 地震時增加荷重

圖-4.10.16 水平斷面的計算模式 (第 1 級地震)

從表-4.10.25 判斷，因為  $\omega_3/\omega_0$ ， $\omega_4/\omega_0$  都在 1.5 以下，故可以常時荷重計算。

### (3) 應力計算

針對節點 4，10 進行常時荷重之應力計算。而各節點最大荷重如 CASE-b 所計算。

#### ① 節點 4 的應力

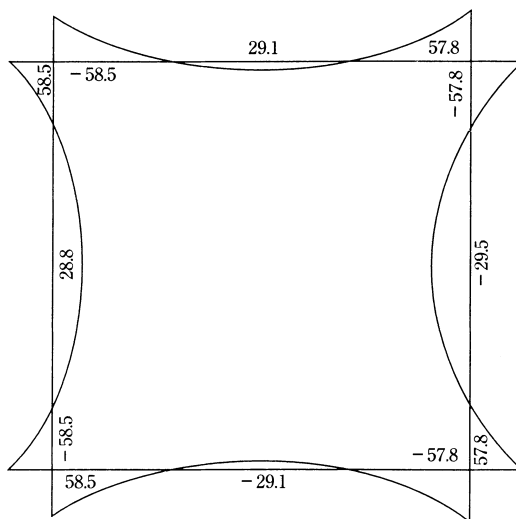


圖-4.10.17 彎矩圖 (節點 4)  
(第 1 級地震)

◎節點 10 的應力

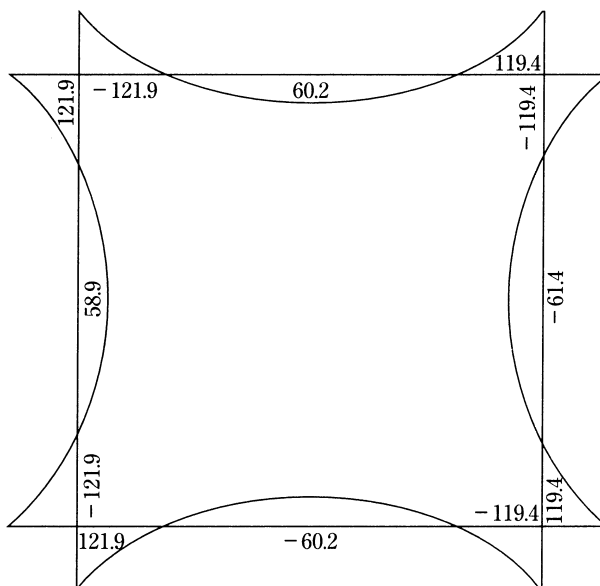


圖-4.10.18 彎矩圖 (節點 10)  
(第 1 級地震)

## (4) 斷面的檢討

表-4.10.26 單鋼筋斷面檢討 (第 1 級地震)

跨度 = 7.900 m     $\sigma_{ca} = 70.0$      $\sigma_{sa} = 2000$      $\tau_a = 4.25$      $\tau_{sa} = 15.0$  (kgf/cm<sup>2</sup>)

位置	節點 4		節點 10	
	端部	中央	端部	中央
$M$ (tf·m)	57.79	29.47	119.40	61.39
$Q$ (tf)	44.12	—	100.44	—
$b$ (cm)	100	100	100	100
$h$ (cm)	100	100	120	120
$d_t$ (cm)	10	10	10	10
$d$ (cm)	90	90	110	110
配筋	D25-125	D25-250	D32-125	D32-250
	D25-250	D25-250	D32-250	D32-250
$As$ (cm <sup>2</sup> )	40.56	15.48	63.52	31.76
$As'$	0.00	0.00	0.00	0.00
$As' / As$	0.00	0.00	0.00	0.00
$d' / d$	0.11	0.11	0.09	0.09
$P$	0.00451	0.00172	0.00577	0.00289
$K$	0.306	0.225	0.339	0.254
$J$	0.898	0.924	0.887	0.915
$M / bd^2$	7.13	3.64	9.87	5.07
$1 / Lc$	7.27	9.48	6.66	8.60
$1 / Ls$	247.12	480.36	195.20	378.41
$\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	51.89	34.49	65.71	43.62
$\sigma_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	1763.08	1747.65	1926.17	1919.85
$\tau$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	5.46	—	10.29	—
$\tau_0$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	8.38	—	12.87	—

· 剪力補強筋在第 2 級地震時進行檢討。

2) 第 2 級地震

(1) 計算假設

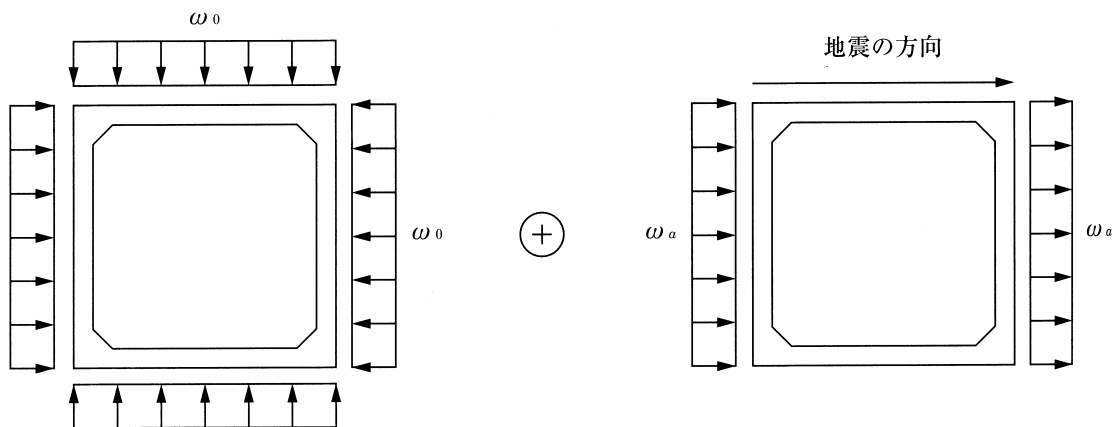
斷面力的計算，考慮表-4.10.17~4.10.18 所示之地盤反力  $q_i$  與地震時增加之荷重，依照圖 4.10.19~4.10.20 所示之荷重條件進行。

而地震時作用在結構體的側壓力，以靜止土壓 + 水壓計算之。

(2) 荷重

作用在各節點的水平斷面荷重為圖-4.10.19~4.10.20 所示之荷重組合，而結果示於表 4.10.27 ~4.10.28。

i) CASE-a



靜止土壓+水壓

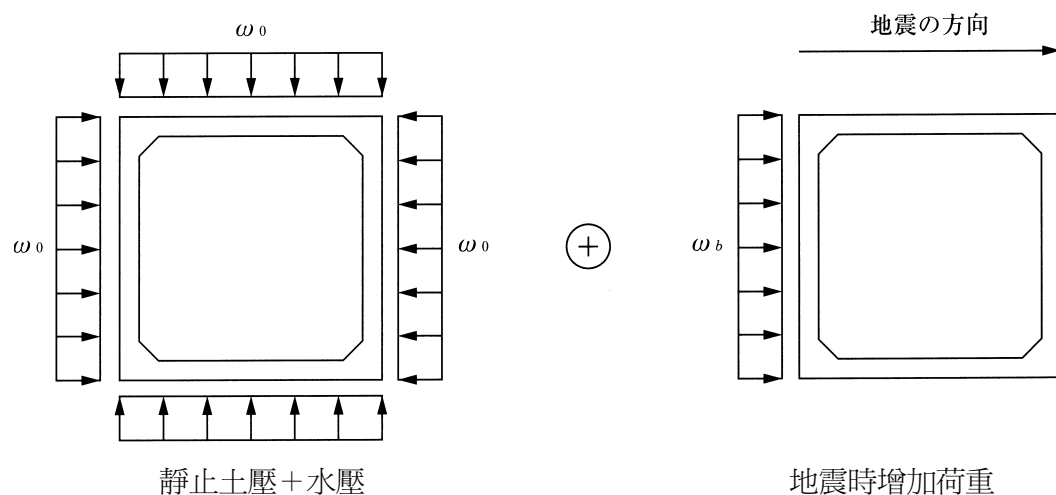
地震時增加荷重

$\omega_0$  : 靜止土壓+水壓 ( $tf/m^2$ )  $K_\theta = 0.5$

$\omega_a$  : 表-4.10.17 表示地盤反力  $q_i$  ( $tf/m^2$ )

圖-4.10.19 CASE-a 的水平荷重條件

## ii) CASE-b



靜止土壓+水壓

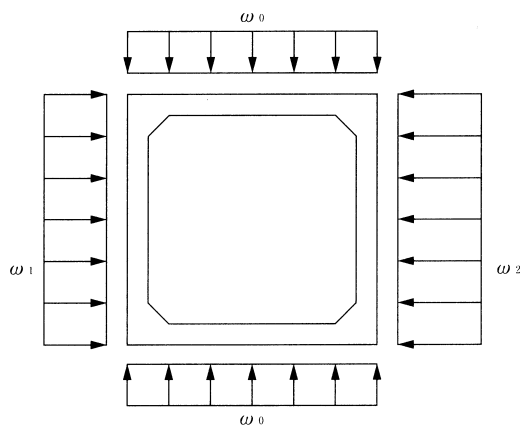
地震時增加荷重

 $\omega_0$  : 靜止土壓+水壓 ( $tf/m^2$ )  $K_\theta = 0.5$ 
 $\omega_b$  : 表-4.10.18 表示地盤反力  $q_i$  ( $tf/m^2$ )

圖-4.10.20 CASE-b 的水平荷重條件

表-4.10.27 CASE-a 作用在水平斷面之荷重

節點 No	$\omega_0$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_a$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_1 = \omega_0 + \omega_a$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_2 = \omega_0 - \omega_a$ ( $tf/m^2$ )	$\frac{\omega_1}{\omega_0}$	$\frac{\omega_2}{\omega_0}$
1	3.56	-7.68	-4.12	11.24	-1.16	3.16
2	5.89	-2.97	3.52	8.26	0.60	1.40
3	8.22	1.68	9.90	6.54	1.20	0.80
4	11.17	4.45	15.62	6.72	1.40	0.60
5	14.79	6.11	20.90	8.68	1.41	0.59
6	17.90	5.09	22.99	12.81	1.28	0.72
7	20.40	3.22	23.62	17.18	1.16	0.84
8	22.90	2.44	25.34	20.46	1.11	0.89
9	25.40	1.08	26.48	24.32	1.04	0.96
10	27.90	-0.75	27.15	28.65	0.97	1.03
11	30.40	-2.92	27.48	33.32	0.90	1.10



$\omega_0$  : 靜止土壓+水壓

$$\omega_1 = \omega_0 + \omega_a$$

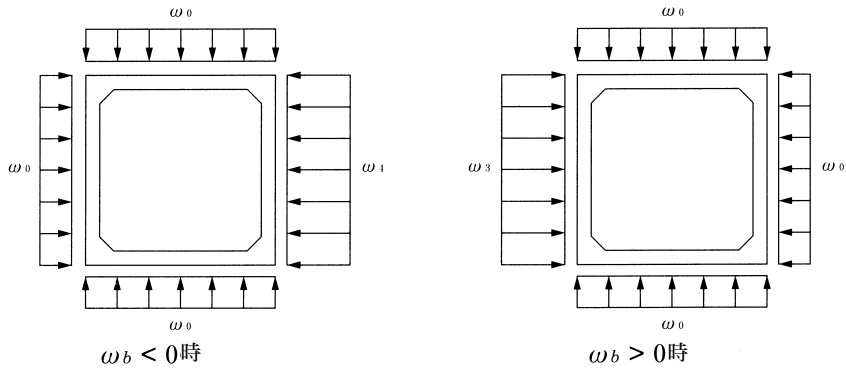
$$\omega_2 = \omega_0 + \omega_a$$

$\omega_a$  : 地震時增加荷重

圖-4.10.21 作用在水平斷面荷重 (第 2 級地震)

表-4.10.28 CASE-b 作用在水平斷面之荷重

節點 No	$\omega_0$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_b$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_3 = \omega_0 + \omega_b$ ( $tf/m^2$ )	$\omega_4 = \omega_0 - \omega_b$ ( $tf/m^2$ )	$\frac{\omega_3}{\omega_0}$	$\frac{\omega_4}{\omega_0}$
1	3.56	-5.72	3.56	9.28	1.00	2.61
2	5.89	-0.51	5.89	6.40	1.00	1.09
3	8.22	3.43	11.65	8.22	1.42	1.00
4	11.17	6.09	17.26	11.17	1.55	1.00
5	14.79	7.64	22.43	14.79	1.52	1.00
6	17.90	6.16	24.06	17.90	1.34	1.00
7	20.40	3.88	24.28	20.40	1.19	1.00
8	22.90	3.03	25.93	22.90	1.13	1.00
9	25.40	1.61	27.01	25.40	1.06	1.00
10	27.90	-0.29	27.90	28.19	1.00	1.01
11	30.40	-2.52	30.40	32.92	1.00	1.08



$\omega_0$  : 靜止土壓+水壓

$$\omega_3 = \omega_0 + \omega_b$$

$$\omega_4 = \omega_0 + \omega_b$$

$\omega_b$  : 地震時增加荷重

圖-4.10.22 水平斷面的計算模式 (第 2 級地震)

(3)應力計算

針對節點 4, 10 進行常時荷重之應力計算。而各節點最大荷重如 CASE-b 所計算。

①節點 4 的應力

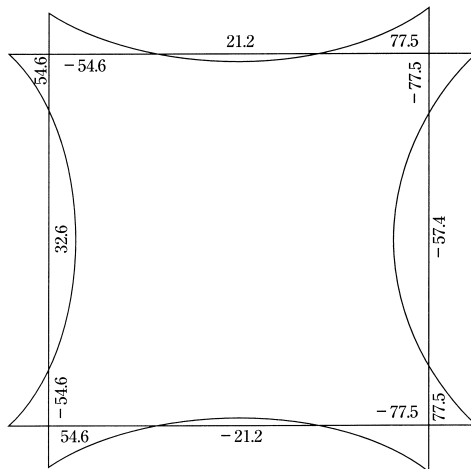


圖-4.10.23 彎矩圖 (節點 4)  
(第 2 級地震)

②節點 10 的應力

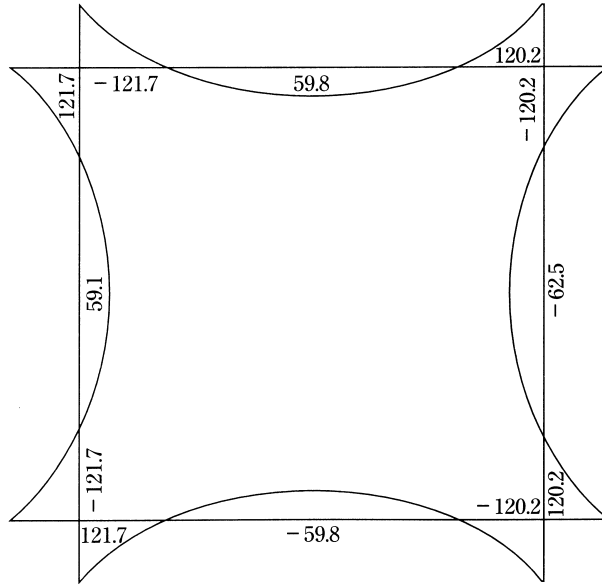


圖-4.10.24 彎矩圖 (節點 10)  
(第 2 級地震)

(4)斷面檢核

表-4.10.29 斷面檢核 (第 2 級地震)

混凝土的材料強度=210  $kgf/cm^2$

鋼筋的材料強度=3500  $kgf/cm^2$

彎曲強度安全係數： $\gamma_c = 1.3$      $\gamma_s = 1/1.2$

剪力強度安全係數： $\gamma_c = 1.3$      $\gamma_s = 1.0$      $\gamma_{bc} = 1.3$      $\gamma_{bs} = 1.15$      $\gamma_i = 1.0$

	節點 4	節點 10
$M_d (tf \cdot m)$	77.46	120.18
$N_d (tf)$	47.00	100.23
$V_d (tf)$	68.18	101.48
$b(cm)$	100	100
$h(cm)$	100	120
$d_t(cm)$	10	10
$d(cm)$	90	110
拉力鋼筋	D25@125	D32@125
壓力鋼筋	D25@250	D32@125
$A_s (cm^2)$	40.56	63.52
$A'_s (cm^2)$	20.28	31.76
$P_t$	0.00451	0.00569
$f_{yd} (kgf / cm^2)$	4200	4200
$f'_{cd} (kgf / cm^2)$	162	162
$X$	15.580	22.516
$M_u (tf \cdot m)$	159.22	315.41
$M_d / M_u$	0.49	0.38
判定	OK	OK
剪力補強筋	4-D19@250	4-D19@125
$A_w (cm^2)$	11.480	11.480
$S_s (cm)$	25.0	12.5
$f_{wyd} (kgf / cm^2)$	3500	3500
$f_{vcd} (kgf / cm^2)$	5.061	5.061
$\beta_d$	1.027	0.976
$\beta_p$	0.767	0.833
$\beta_n$	1.101	1.167
$V_{cd} (tf)$	30.39	40.63
$V_{sd} (tf)$	109.37	267.36
$V_{yd} (tf)$	139.76	307.99
$L = M_u / V_d (m)$	1.14	1.18
$V_{mu} = M_u / L (tf)$	139.67	267.30
$\gamma_i \cdot V_{mu} / V_{yd}$	1.00	0.87
先發生彎曲破壞之判斷	OK	OK
鋼筋比	0.459	0.905

