

岩土专业顾问与地下工程之安全管理

黄南辉¹、莫若楫²

1.国际亚新工程顾问有限公司副总经理

2.国际亚新工程顾问有限公司总经理

联络: richard.hwang@maconsultants.com

摘要

由于人口的持续增长，而可用的土地有限，加上环保意识抬头，限制了许多环境敏感地区的使用，所以城市发展只有上天及下地以争取生存空间，减少因人口增长所带来的生活压力。近廿年来，超高大楼如雨后春笋般地出现，而地下空间的发展也逐渐受到重视，尤其是为了疏解交通，地铁路网更在各大城市陆续兴建，为土木工程师创造发展契机。然而往往由于土质松软，地稠人密，管线密布，在城市进行地下工程的复杂性及困难度相当高，如不谨慎从事极易发生灾变，造成生命及财产损失。岩土工程师身为地下工程之要角，身无旁贷必须为地下工程之安全把关。但由于地下工程不确定因素太多，许多疑难杂症有赖经验丰富的资深工程师判断。尤其是地铁系统的兴建常有国内外公司参与，设计理念及施工水平相当分歧，必须使其一致，所以新加坡地铁工程局及台北地铁工程局都聘有岩土专业顾问在整个规划、设计及施工过程中提供咨询服务，除促进工程本体的安全以及加强邻近结构体的保护外，亦有助于经验之汇整及传承。有鉴于地铁工程灾变规模之大、后果之严重，岩土专业顾问之重要性不言而喻。

1. 前言

岩土工程师在地下空间的开发过程中扮演一个不可或缺的角色，无论是规划、设计或施工，均有岩土工程师相当程度的参与。往往由于土质松软，地稠人密，管线密集，在城市进行地下工程的复杂性及困难度相当高，如不谨慎极易发生灾变。以最能代表地下工程的地铁工程为例，世界各大都市的地铁系统，在施工过程中鲜有不出事者。由于地铁大多在交通干道下方穿越，而且地铁车站占地广，开挖深，一旦发生灾变，规模极大。如果邻近又有瓦斯、自来水干管、高压电缆的话其后果更为严重，除了生命及财产损失外，交通瘫痪所衍生的社会成本难以估计。更重要的是，一旦广大民众对施工质量丧失信心，其住处附近如有地铁施工的话，必将百般阻扰，使得工程难以进行。

由于科技的进步，施工机具及施工方法不断改进，地下工程施工的安全性理应会提高，但事实上并不全然如此。一方面是由于市场的开放，竞争越来越激烈，在低价抢标的情况下，施工质量自然下降。再来就是因为地下工程越挖越深，施工环境越来越复杂，工程难度也因此越来越高。尤其是在现有地铁隧道或者地铁车站下方施工时，如何维持现有路线的营运不至受到影响是一个新的挑战。

由于设计者与施工者常隶属不同单位，而施工过程中，设计者甚少全程参与，所以常有设计理念不能落实的情事。最常发生的情形是施工者不重视监测，甚至认为监测作

业会妨碍其施工进度，或者监测结果会对其不利，以致监测作业能免则免，或者监测资料无人分析及研判，无法发挥预警的功能，不但徒费公帑，身陷危机而不自知更是可虑。另外一种情形是灾变发生后，由于设计者及施工者因角色不同，立场冲突，各说各话，无法达成共识，以致影响救灾及复旧作业。针对这些问题，新加坡地铁工程局及台北地铁工程局都曾聘请岩土专业顾问以协助业主以加强安全管理工作。岩土专业顾问以其独立及超然的立场，代表业主审查设计者及施工者的工作计划，以及督导现场监测作业，检视监测资料并对特殊地质问题提供其专业建议，为施工安全把关。由于岩土专业顾问的中立性以及权威性，遇到僵局时，可以突破契约或规范的束缚，有助于问题的解决；在仲裁及诉讼事件中，岩土专业顾问尚可扮演专家证人的角色，有助于案情的澄清。

2. 台北地铁工程与岩土专业顾问

在台湾地铁称为捷运，为方便读者，以下统称地铁。台北地铁系统之推动始于1975年，1986年行政院核定初期路网，同年6月地铁工程筹备处成立，1987年2月改制为台北市政府捷运工程局（以下称地铁工程局）。除木栅线延伸至内湖路段以及板桥线延伸至土城路段如今（2004年）尚未完成之外，初期路网（全长88公里）的建设现已告一段落（莫若楫，2004）。内湖延伸线之所以未能早日完成是因高架与地下之争迟至2001年方才定案。至于后续路网（参考图1），正在施工中的有新庄线及芦洲线，正在设计中的有信义线及松山线，其余各线（图1之虚线部分）仍有待行政院核定。

自1986年规划初期，地铁工程筹备处即有鉴于地铁路线皆位于台北盆地，后续设计和施工均将面临盆地内软弱土层所带来的各方面岩土工程问题之挑战，乃聘请亚新工程顾问公司为专业之岩土工程（在台湾称大地工程）顾问，以协助地铁工程筹备处执行地铁工程规划作业。在地铁工程筹备处改制为地铁工程局后，岩土专业顾问即继续提供地铁工程局主管规划作业的第一处地质方面的咨询服务，并参与制度之建立以及规范之制定。在设计阶段，岩土专业顾问与主管设计作业的第二处密切配合，审查细部设计顾问所提送的设计及发包文件。在施工阶段，岩土专业顾问配合主管现场作业的第四处以及各地区工程处审查承包商的施工计划，并协助各工务所督导现场作业。由于岩土专业顾问全程参与规划、设计及施工，所以规划及设计理念能在施工时落实，许多接口问题也都因此而消弭于无形。在地铁局工程成立的最初几年，由于组织急速扩张，人员异动频频，很多承办人员对许多事情的来龙去脉并不清楚，而且总顾问也从英国的顾问团队换为美国的顾问团队，两者理念回异，益增困扰。岩土专业顾问自筹备处时代即全程参与，所以对许多事务的前因后果最为清楚，手中资料也最为完整，充分发挥承先启后、沟通协调的功能，有助于地铁工程的顺利推动。

在施工阶段，为确实掌握现场状况，岩土专业顾问除在总部有顾问群提供咨询服务之外，在工地派有驻地工程师，每日巡视工地，并协助地铁工程局现场人员督导承包商之现场作业，以确保有关岩土工程的作业正确无误。其中监测作业攸关施工安全，最为重要，也最为岩土专业顾问所关注。施工厂商监测仪器的装设以及量测仪器的校验，都有岩土专业顾问人员的参与，以确保仪器的可靠度。监测资料的研判更是岩土专业顾问重要职责之一。有些监测资料看似正确，其实不然。图2显示某工地两开挖区所测得地下连续墙侧向位移。由于两区相距不远，地质状况极为相近，但因为开挖深度不同，两地的倾度管（*inclinometer*）的埋测深度并不相同。左边子图显示开挖到16.2公尺，倾度管（SID4）长53公尺，贯入岩盘，而右边子图显示开挖到11.2公尺，倾度管（SID6）

只有 26 公尺长。当开挖到深度 11.1 公尺时，SID4 的最大侧向位移为 45mm，而 SID6 的最大侧向位移只有 22mm，相差 23mm。比较两子图可见，在深度 26 公尺（也就是 SID6 的底部深度）处，SID4 显示 30mm 侧向位移，而 SID6 的底部都被当成不动点，所以没有位移。由以上资料可以推论 SID6 的底部应有约 30mm 的位移。一般而言，倾度管的底部可以假设为不动点，再以此推算上方的侧向位移，但倾度管之底部应贯入坚硬土层。但有时上层软弱土层的确太厚，而开挖不是太深的话，为节省经费，会容许倾度管底部停在开挖面下方某一深度，但规定承包商要进行管口位移的检测，并根据管口位移反推下方的侧向位移。由于地面常有施工机具放置，妨碍通视，无法进行管口位移量测，或者承包商根本无视此规定，所以得到的是错误的资料，只有有丰富经验的岩土工程师才能看出其端倪。像这样的例子颇多，在岩土专业顾问主动发掘问题的情况下，许多错误得以避免。

现场量测所得的监测资料由承包商传送给岩土专业顾问驻地工程师，由驻地工程师以计算机与预设之管理值比对，如发现异常现象（超过管理值或突然变化），驻地工程师与承包商确认资料的正确性以及是否有合理的解释。如有必要，岩土专业顾问会会同承包商进行复测以确证资料的正确性，如证实的确有安全顾虑时，驻地工程师即发布预警通知给相关单位，相关单位即应依建筑物保护计划进行后续因应措施。在平时，岩土专业顾问也进行独立检测，主动发掘问题。独立检测的仪器约为仪器总数的十分之一，在岩土专业顾问之严格要求以及积极参与之下，监测资料的质量得以维持。

岩土专业顾问的主要职责是咨询服务，其成果大都是无形的。唯一有形的成果是信息中心。为汇整所有监测资料以便进行施工安全管理及反馈分析，岩土专业顾问在总部设有信息中心。信息中心有完整的软硬件，自动检查各线现场数万个监测仪器量测所得数千万笔监测资料、并有信息系统管理追踪与施工安全有关事务。

除了监测作业的督导之外，岩土专业顾问对设计及施工质量之提升也贡献良多。以下就在台北地铁工程设计及施工过程中，岩土专业顾问之具体事迹举其荦荦大者作概要性报告。

3. 区域地质评估

地质是岩土的基础，了解岩土特性之必先了解地质，而地质构造的形成源远流长，必须以宏观的角度探讨区域地质，才能对当地的地质作正确的研判。岩土特性是地下工程设计与施工的基本资料，所以区域地质评估直接或间接地影响地下工程的安全，是地下安全管理链的第一个环节。许多地质风险在进行区域地质评估时即可预测，如果有适当的防范计划，许多风险都可及早规避。

一条地铁路线通常分为数个设计标，而每个标的设计者只负责一小段工程（通常包括 2 至 3 个车站及其间隧道）的设计，缺乏宏观视野，所以对地质及岩土特性判断错误难免。早在 1987 年，亚新工程顾问公司即以其丰富的经验以及完整的地质资料，完成台北盆地东半部的地质分区图（亚新工程顾问公司，1987），除土层分布外，其中尚包括断层、煤坑等特殊地质构造。该图日后成为地铁路线规划极为重要之参考资料。与地质分区图同时发表的是台北盆地地质特性研究报告（莫若楫等，1989；Woo and Moh, 1990），其中包括各地质分区的岩土特性及基本工程设计参数，这些资料对地铁路线以及施工方案之选定有决定性的影响。当年因为淡水河以西地区资料不足，所以该图只涵盖淡水河以东地区，直至 1996 年，板桥线及中和线陆续开工，钻孔数量大增，而且中

央地质调查所也在淡水河以西的完成数个深井（最深达 360 公尺），才有足够的地质资料，西区之地质图（参考图 3）也才得以完成（李咸亨，1996）。

在地下工程中，绝大多数的灾变起因于地下水的处理不当。所以岩土专业顾问自始对地下水之水位及水位变化极为重视。如图 4 所示，台北盆地地表的沉积层分为松山层、景美层两层。地铁路线主要是在松山层中穿过，但因为下方景美层之贮水量非常地大、透水性相当高，对地下工程之威胁极大。景美层是砾石层，起自南方山麓，所以与南方山丘之水脉相连。早年其水位超过地表，呈受压状态（artesian），但在 60 年代因超抽以致水头下降至地表下 40 公尺处。有鉴于景美层的地下水将是地铁工程施工安全最大的威胁，岩土专业顾问在规划之初即搜集历史资料，研判松山层及景美层中地下水水位变化，结果（参考图 5）显示景美层以及松山各次层中的地下水水位自 1980 年起迅速回升，威胁日增，不能掉以轻心。细部设计顾问得以根据岩土专业顾问的研究结果对各层之水位作正确的判断，并在设计中妥善考虑，施工厂商也采取适当的因应措施，许多风险得以避免。

如上所述，地质评估攸关地下工程之安全，但无可讳言的是，地质探勘分包商良莠不齐，有些地质探勘分包商的水平不是很高。尤其是在低价竞标以及人才青黄不接的情况下，如缺少监督，探勘的质量堪虑。所以无论是规划阶段，或者是设计阶段，甚至到施工阶段，岩土专业顾问的首要任务是确认设计者或施工者的地质探勘工作正确而确实。举一例以说明之，在某地铁车站承包商施作上百水压锥（piezocone）试验以决定松山层中各次层的分布及地下连续墙的贯入深度，但如图 6 之左侧子图所示，结果甚不理想。岩土专业顾问以其对台北盆地的经验，坚持如此结果不能接受，要求承包商在专业人员的监督下重新施作三孔。如图 6 之右侧子图所示，结果与前大异其趣，两者直有天渊之别。在重新施作的三孔中，水压反应灵敏，松山层的 6 个次层清晰可辨，足证岩土专业顾问所言不虚。检讨其原因，很可能是因为水压锥前端量测水压变化的水压计

（piezometer）未饱和所致。要是没有岩土专业顾问的督导，地下连续墙的深度将无法正确地判断。

其它类似情形不胜枚举，例如标准贯入试验其实并不标准，不同厂商所的 N 值差距甚大。现场取样的技术也甚不一致，试体扰动的程度差别甚大，试验结果自然不同。以土壤的抗剪强度而言，50% 的差异不足为奇，而许多安全系数不过 1.2 或 1.3，抗剪强度差上 20% 至 30%，安全系数即失其意义。由于六条地铁路线同时施工，不但执行现场作业的专业厂商严重不足，各负责设计的技术顾问公司的技术人员（不限于岩土工程师）也极度欠缺，所以不但现场作业之质量堪虑，结果之研判也是错误重重。岩土专业顾问在这方面投入相当大的精力，使得所有地铁工程的地质评估不致有严重疏失。

由于过去从无经验，在地铁工程开始之头几年，规划、设计甚至施工都有赖外国专家的指导，最早地铁工程局聘请的是英国的顾问群作为总顾问，其后由美国顾问群接手。这些外国顾问对本地的地质不熟悉，对本地工程界的技术水平亦缺乏了解，所提出有关岩土方面的建议无法切合本地的地质与民情。地铁的细部设计是由细部设计顾问负责，每个设计标含二至三个车站，所以每条地铁路线少则切分为二个设计标（如中和线），多则切分为四个设计标。细部设计顾问来自世界各国，包括美国、英国、法国、日本、奥地利、瑞士等国，而施工厂商除了来自上述国家之外，更有韩国、新加坡、德国等国。这些国家的风土民情不同，工程师的素养以及理念亦不相同。岩土专业顾问要逐一了解各国作法并竭尽可能消弭其与本地工程界之歧见，煞费心力。从另一个角度来看，本地的工程师得与这些外国专家切磋，接触新知、吸取各国之长，再根据本土经验，发展出自己的技术，赶上世界水平，亦是幸事。

4. 深开挖之安全管理

细部设计顾问基本上遵照地铁工程局所制订的设计规范设计，施工厂商遵照地铁工程局以及设计者所制订的施工规范施工，所以设计规范以及施工规范关系整个地铁工程的安全及造价，兹事体大，必须拿捏得宜，不宜过于宽松但也不宜过于严苛。身为地铁工程局之专业顾问，岩土专业顾问在岩土工程相关的设计及施工规范之制定过程中居主导地位。诸如地下水的容许泄降、地表的容许沉降、抗浮安全系数、抗隆起（heave）安全系数、抗管涌（piping）安全系数、抗上举（blow-in）安全系数等等规范都是经岩土专业顾问建议，学者专家讨论后，由地铁工程局核准颁布实施。基本上，这些规范不应违背政府现行建筑规则。但因为地铁工程毕竟与一般高楼建筑不同，所以在特殊考量下，地铁规范得与现行建筑规则有某些差异。一般而言，因为施工期间长，而且地铁车站无论是规模或者深度都超出一般高楼地下室之规模及深度、并且地铁工程各标环环相扣，牵一发而动全身，任何一标出问题，都可能导致全线工期的延宕，所以其规范也较一般建筑为严谨。

由于台北盆地的土质过于软弱，无法以暗挖施工，台北地铁所有地下车站以及除以盾构施工之隧道外之路段都是以明挖工法构筑。由于深度颇深，贮水丰沛的景美层对深开挖是一个极大的威胁。在初期路网中，开挖深度超过30公尺的有四个工地，其中三个是以降水工法以减少地下水水压。抽水量达每小时4,000吨，水头泄降达10公尺。有一个工地是以土质改良工法在地下连续墙底部形成封底（参考图7），增加土栓长度以抵抗地下水水压。在这几个工地的设计过程中，岩土专业顾问与细部设计顾问充分讨论以求得安全而且经济的方案，在施工过程中也密切注意水压的安全管理。值得一提的是，细部设计顾问以及承包商都曾施作抽水试验以求得景美层的贮水系数（coefficient of storage 或 storativity）及导水系数（transmissivity），但其结果一直无法被岩土专业顾问接受。最后由实际降水作业结果反馈分析证实岩土专业顾问所虑甚是，其原因在抽水机之能量不足，水位泄降太小，加上景美层水位受到潮汐影响，其起伏幅度甚至大于抽水试验之泄降，所以所得结果并不正确。

为免深开挖影响邻近结构物之安全，台北地铁的地下连续墙设计是以侧向变位为控制，而不是以壁体的抗弯强度为控制，所以地下连续墙的厚度较过去惯用的地下连续墙的厚度多上20至30公分。结果证明成效甚佳，连续墙的侧向位移只有过去同开挖深度所引起的连续墙侧向位移的三分之一，连续墙后方地表沉陷因此也只有过去的三分之一，邻房因连续墙位移而受损的情形极少。当然这成效并不止是连续墙厚度的关系，而是与支撑系统的整体劲度有关。由于是以侧向位移为控制，所以土体的强度并未完全发挥，土压力接近静止土压（at-rest pressure），而且所有支撑一律施加预力，大大地提升了支撑系统的劲度。如众所周知，地下工程的成败与施工的质量管控密切相关，地铁工地的现场严格监督，禁止超挖、及时支撑也是关键。岩土专业顾问驻地工程师每天巡视工地，协助地铁局监造人员维持施工质量，功不可没。

在台北盆地之东区，土质实在过于软弱，如不加改良，许多站体的开挖将会导致邻近建筑物的损害。虽然土质改良在台湾已经有不算短的历史，但因为缺乏专业人员的督导，技术水准始终无法提升。在过去，土质改良的验证试验大都马虎从事，取样率（core recovery）及RQD偏低。岩土专业顾问要求取样率必须达到95%，RQD必须达到75%，否则必须补灌。起初业者认为要求过高，难以接受，但在岩土专业顾问坚持之下，终能达成。土质改良的成效甚为显着，在有土质改良的站区，地下连续墙的侧向位移相当地

小，只有原先未改良情况下的三分之一。虽然土质改良所费不赀，但因为邻近建筑物安全无虑，免去许多无谓纷争，使工程能顺利推动，仍是值得。

5. 盾构隧道之安全管理

由于在许多地区，地铁隧道自民房下方经过或贴近民房，所以隧道上方地表沉陷受到高度重视。在地铁工程开始之初期，盾构隧道之设计及施工并无规范可循，只能借重国外规范，虽然不久即发现各国之规范并不一致，而且并不适合台北的地质及本地的施工环境，但在无可奈何的状况下，只好姑且用之。不幸的是，在80年代以前，台北市区的盾构隧道屈指可数。由于缺乏经验以及施工机具的选择不当，这些隧道上方的地表沉陷都相当地大。岩土专业顾问一方面严格要求设计者及施工者提高设计及施工水平，一方面不断进行反馈分析，及时吸取现地经验以改进，在一、二年内即已能掌握隧道上方地表沉陷机制，目前更可以很有把握地将地表沉降减少到1公分左右。这与过去动辄10数公分沉降，不可同日而语。

台北盆地的冲积层中存有流木，有些流木直径达2公尺，长逾5公尺，而且材质甚为坚实，可能影响地下工程的施工，不容忽视。所以在订定盾构规范时要求盾构要有切除流木之能力。当然如果流木实在太小时，是无计可施的。在中和线隧道掘进时也确实发生因流木而致盾构无法推进，必须在其前方施作竖井以排除障碍的情事。同时，台北盆地的冲积层中亦有沼气存在，如果沼气浓度达到临界浓度时会有气爆的危险，所以岩土专业顾问要求在潜盾机上以及隧道中加装有害气体侦测器以及增加通风量以因应，所以沼气并未造成任何灾害。

如前所述，由于景美砾石层的贮水丰沛，透水度极高，对地下工程造成极大威胁。虽然岩土专业顾问一再提醒设计者及施工者注意其风险，但仍未能完全避免灾变的发生。台北地铁最严重的一次灾变发生在盾构到达板桥线通风竖井A，在破除连续时产生涌水现象，地表造成一个4,000立方公尺的地穴，地下水夹杂泥沙涌入竖井，在上行隧道的盾构因此报废。其后以冰冻工法封住洞口，清除淤泥时在构盾下方发现一条塑料管。这条塑料管可能是早年用来抽取地下水作为灌溉或养鱼之用。推测事件发生的原因这条水管被盾构切断，形成一条水路，直通20公尺下方的景美层。由于景美层的贮水量实在太小时，无法堵住，在抢救十几个小时后情况失控，宣告弃守，人员撤至地面。上行隧道有39环受损，必须置换。复旧工作花了两年功夫，所费不赀，工期亦因此展延。岩土专业顾问全程参与复旧工作，将复旧过程完整地记录，并发表论文数篇，作为日后参考。

6. 邻近建筑物之安全管理

地下工程进行中，除了工程本体（深开挖及隧道）的安全外，邻近建筑物的安全同样必须重视。在设计时，细部设计顾问即应评估施工可能会产生的地盘变位，以及这些地盘变位可能对邻近建筑物之影响。地盘变位的评估困难度较小，无论是邻近深开挖的地表沉陷或者是盾构隧道上方的沉陷，都有相当可靠的经验公式可以应用。评估地盘变位对邻近建筑物的影响都是相当不易，因为必先知道这些建筑物的结构以及结构的现况，而这些结构都被装潢所包裹，即使有裂痕也无法查觉。一般只能就墙面或梁、柱

上能看得到的裂痕判断结构是否有立即危险，并将这些裂痕做成纪录，以为日后比之基础。其它只能自建筑物的结构型式（砖造、木造、混凝土、或混合式）、建造年代以及基础型式（独立基脚、筏基、桩基）来判断结构是否安全。而各类型结构所能容忍的地盘变位又因其所使用材料的质量以及施工水平而有十分大的差异。对有安全顾虑的建筑物，细部设计顾问会规划保护方案并在预算中编列适当的金额作为建筑物保护费用。岩土专业顾问在审查细部设计顾问的建筑物保护计划时即对其安全评估以及预算编列的合理性作专业判断，在安全与经济之间寻求平衡。岩土专业顾问对地铁所有各标所采的建筑物保护方案的可行性及效益不断地进行系统性的检讨，并由现场观察结果不断地进行反馈分析，以及分析结果做成报告。这些报告对后期的建筑物安全管理助益非浅。

岩土专业顾问的职责除了保护邻近建筑物外，也保护地铁结构不受邻近开挖之影响。在板桥线曾发生地铁隧道在完成因邻近开挖而受损之情事。所以当地铁附近有深开挖进行时，必须在地铁结构体四周加强监测。「大众捷运法」规定，地铁附近的建筑活动如有影响地铁结构体安全或对地铁结构体有造成过大位移之虑时，必须事先获得地铁工程局之同意。如果是营运中的地铁结构，则必须获得地铁公司之同意。板桥线之所以会发生隧道受损的情事，即是因监测资料未能及时分析的结果。虽然邻近开挖工地也的确装有为数不少的监测仪器，但监测资料并未及时提供给地铁工程局，直到隧道环片出现裂痕，在地铁工程局要求之下，邻近工程的施工单位才将监测资料提供给地铁工程局，但为时已晚，损害已无可挽回。所以日后如有类似情形，除了要求负责邻近工程施工的厂商加强监测外，地铁工程局应会同检测，并应定期召开协调会，确实掌握邻近工程的进度以及评估未来可能面临的风险。这对营运中的地铁结构体尤为重要，因为万一受损，极难修复，而且可能会影响营运，其损失并非金钱可弥补。

7. 反馈分析

前事不忘，后事之师。岩土专业顾问在总部设有信息中心，贮存地铁工程所有监测资料。这些资料弥足珍贵，除了是施工安全的保障外，也是所有反馈分析的基础。藉由系统性反馈分析，不但地铁的设计及施工技术水准得以提升，其经验足供所有地下工程借镜。近十年来，岩土专业顾问项目同仁所著或参与著作之学术论文超过百篇，对后续工程的进行颇多助益。近三年来，新庄线及芦洲线地铁工程如火如荼展开，其困难度不亚于前面数条路线，但灾变绝少发生，可见过去的经验已经有效地被运用。

8. 结语

在土木工程界，虽然施工资料浩瀚如海，也不乏失败的经验可资借镜，但因为欠缺系统性整理，目前尚无法发展出一套完整的风险分析与管理模式，但风险管理的理念已引起学术界之注意，假以时日，必可发展出一套决策支持系统以为辅助。岩土工程是经验科学，岩土工程师之执业方式与医生之执业方式甚为相似，疑难杂症有赖经验丰富之医师望、闻、问、切以判断，所以医生的临床经验最为重要，而复杂的地质问题也有赖资深工程师，望（观察）、闻（感受）、问（讨论）、切（监测）以判断，所以岩土工程师的现场经验不容或缺。由于土质软弱，在城市地下空间的开发往往有极大的风险，而岩土工程师对工程本体以及邻近结构物的安全肩负重任，不能掉以轻心。但百密难免一

「城市地下空间开发与地下工程施工技术高层论坛」
2004年6月26~28日，北京

疏，若有岩土专业顾问为业主把关，形成第二道防线，许多意外应可避免。以地铁工程灾变动辄损失数千万元，影响工期长达数月之久，造成交通瘫痪，社会成本难以估计，岩土专业顾问之参与实有必要。

9. 志谢

亚新工程顾问公司有幸在台北地铁工程局尚在筹备阶段即受聘为岩土专业顾问，其后陆续参与所有各线之设计与施工，服务期间承地铁工程局长官在工作上给予便利，各细部设计顾问及承包商协助及提供资料，无任感激。对岩土专业顾问项目同仁的辛劳，笔者亦藉此机会深致谢忱。

参考文献

- 亚新工程顾问公司（1987）「大台北盆地地层大地工程性质研究报告」，台北市政府工务局卫工处/荣民工程事业管理处委托办理，计划编号 85043
- 李咸亨（1996）「台北市工程地质分区」，地工技术，第 54 期第 25~34 页
- 莫若楫（2004）「台北地铁地下工程的邻房保护体系」，城市地下空间开发与地下工程施工技术高层论坛，6 月，北京
- 莫若楫、秦中天、刘泉枝、胡邵敏（1989）「台北市土层工程性质之相关性分析」，中国工程学刊，第十二卷，第三期
- Woo, S. M. and Moh, Z. C. (1990) Geotechnical characteristics of soils in the Taipei Basin, Proceedings, 10th Southeast Asian Geotechnical Conference, v2., pp.51~65, Taipei



图1 台北地铁路网

(复制自台北市捷运工程局网站)

图2 倾度管侧向位移受埋设深度之影响

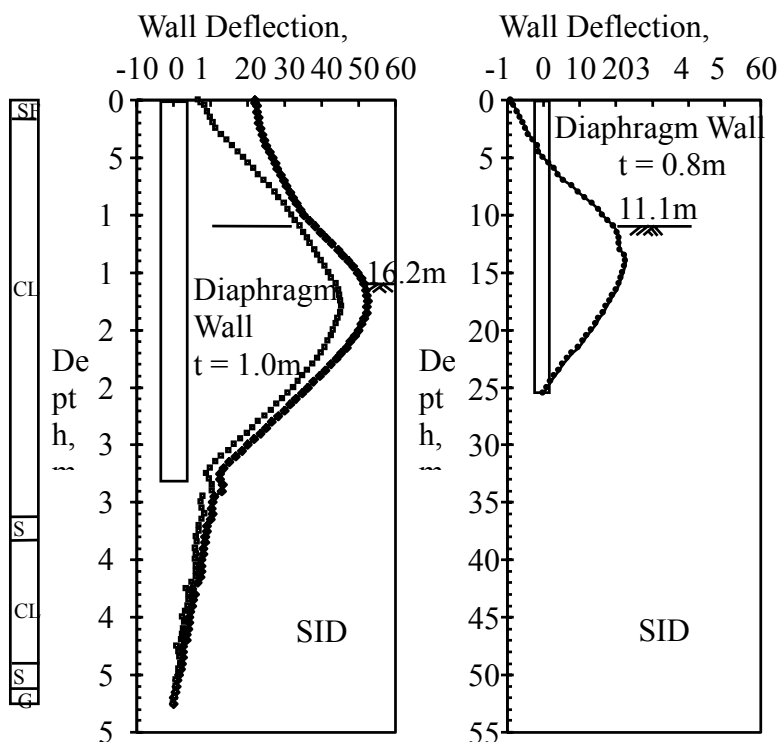


图3 台北捷运初期路网及北盆地地层分区图

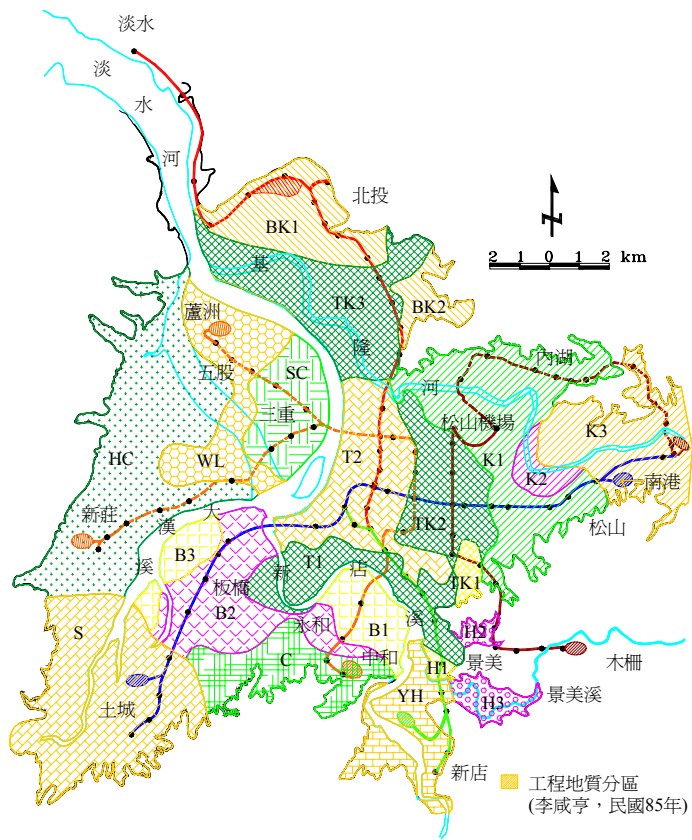


图4 台北盆地地层剖析

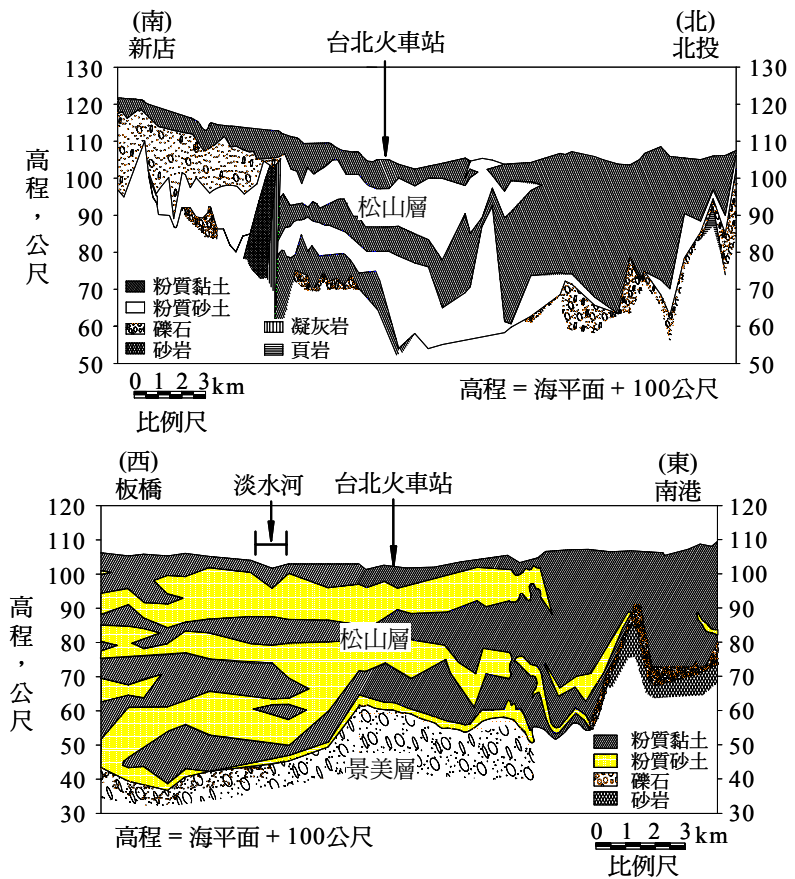


图5 台北盆地地下水历年水位变化

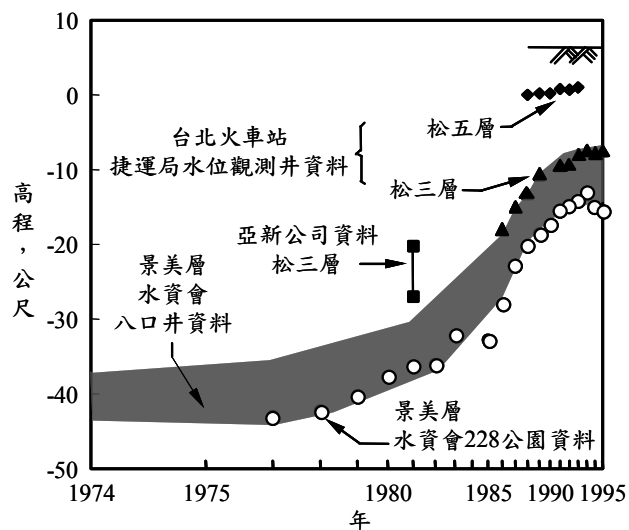


图6 水压锥试验受水压计饱和度

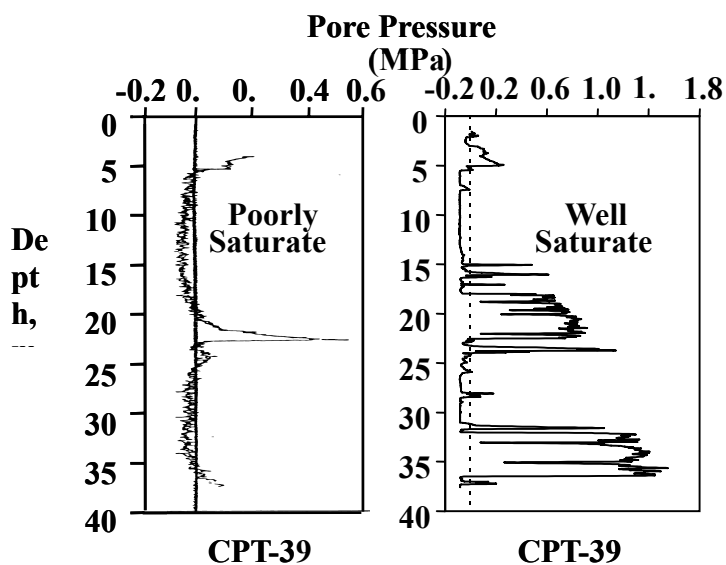


图7 中和线通风竖井封底以抵抗地下水水压

