

9811/10

033067

国外地面沉降 论文选译

上海市地质处 编选



地质出版社

国外地面沉降论文选译

上海市地质处 编选

地质出版社

国外地面沉降论文选译

上海市地质处 编选

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社 出版

地质印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1978年9月北京第一版·1978年9月北京第一次印刷

印数1—4,210册·定价1.10元

统一书号: 15038·新302

前 言

本书共选译了24篇论文，其中22篇选自1969年在日本东京召开的“地面沉降会议”论文集（Land Subsidence, Proceedings of the Tokyo Symposium）。《曼谷地区深井抽水与沉降》一文选自《第四届亚洲地区土力学与基础工程会议论文集》，《因抽汲地下水引起的地面沉降》原载于《地下水资源》一书。

书内着重介绍研究地面沉降的理论文章。主要内容是论述美国和日本的一些城市和地区地面沉降的现状、沉降原因、危害、量测方法、计算预测、模型试验及今后研究方向等，多数文章着重从理论方面阐述因抽水（个别是因开采石油）而使含水层和粘土层固结所造成的地面沉降。有的文章根据观测或试验资料进行推导计算，有的文章列举了限制开采地下水减少地面沉降的实例。因此，可供我国从事地面沉降勘察研究工作的同志，以及从事水文地质工程地质、给排水、土木工程、矿山开采、城市建设等有关工作的人员参考。

本书的原文是英语，一些日本作者的姓名是按英文音译的，未经查对原名。在本书的翻译过程中，曾得到浙江大学土木系土力学教研室、华东水利学院土力学教研组、上海市市政工程设计研究所、南京工学院土力学教研室、南京水利科学研究所等单位 and 部门的同志大力协助，在此表示衷心的感谢。

目 录

地面沉降的研究方向·····	[日本]宫部直巳 (1)
因抽汲地下水引起的地面沉降·····	[美国]W. C. 沃尔顿 (13)
关于含水层组压密的研究现状及需进一步研究的问题 ·····	[美国]J. F. 波伦 (19)
砂的压密是油田沉降的一个因素·····	[美国]J. E. 罗伯茨 (31)
承压含水层的粘弹性变形理论·····	[日本]福尾吉明 (41)
关于粘土应力与应变关系的理论性研究 ·····	[日本]畠昭治郎等 (62)
地面沉降的有限单元分析 ·····	[美国]R. S. 桑德赫 E. L. 威尔逊 (73)
地面沉降的模型试验·····	[日本]村山朔郎 (83)
沉降预测的分析方法·····	[美国]K. 奈尔 (103)
东京地面沉降研究的回顾·····	[日本]稻叶佳 阿部岩夫等 (111)
东京地面沉降与土层分层压密的研究 ·····	[日本]青木滋 宫部直巳 (123)
东京控制地下水的问题·····	[日本]相原茂等 (132)
以模拟地下水平衡为基础估算东京江东南三角洲的地面沉降 ·····	[日本]山本庄毅等 (143)
地面沉降估算实例 (东京江东南砂町) ···	[日本]福岗正三 (154)
大阪的地面沉降·····	[日本]村山朔郎 (159)
新潟地面沉降的研究·····	[日本]奥村辰郎 (187)
佐贺县白石平原的地面沉降·····	[日本]熊井久雄等 (203)
曼谷地区深井抽水与沉降 ·····	[泰国]E. W. 勃兰特 T. 帕维钦那 (216)
美国加利福尼亚州长滩市威明顿油田的沉降	

- [美国] M. N. 马友加 D. R. 艾伦 (228)
- 美国加利福尼亚州长滩市威明顿油田的压密与回弹力学
- [美国] D. R. 艾伦 M. N. 马友加 (239)
- 美国加利福尼亚州圣克拉拉流域的地面沉降与含水层组
- 的压密 [美国] J. F. 波伦 (256)
- 美国加利福尼亚州圣华金流域含水层组压密的现场量测
- [美国] B. Z. 洛夫格伦 (270)
- 美国加利福尼亚州中部分层标资料的分析
- [美国] F. S. 赖利 (286)
- 美国得克萨斯州休斯顿-加尔维斯顿地区的地面沉降
- [美国] R. K. 加布里斯奇 (297)

地面沉降的研究方向

[日本]宫部直巳

提 要

根据迄今所得各地有关地面沉降的研究成果,这个课题应从下列各方面作进一步研究:

- (1) 发展实验室内的模型和模拟试验研究;
- (2) 开展地面沉降地区各土层的化学和矿物分析;
- (3) 开展地面沉降地区及其周围各含水层的水文研究;
- (4) 开展深部土层压密的研究。

进一步研究的成果对受地面沉降灾害的地区采取有效的防止措施,将更有帮助。

—

众所周知的地面沉降现象,其原因可以说主要是由于工业区内过量开采地下水,造成地下水位不正常的降低的结果。由地面沉降而发生的地表的沉降和变形,使地上的公共财产受到严重的影响。为了防止因地面沉降而造成的各种灾害,以精密水准测量、各分层标的沉降记录仪、岩芯土样的试验研究以及有关各含水层组的水文研究所获得的观测成果为基础,已开展对地面沉降现象本质的重点研究及采取各种措施。

这些重点研究的目的是要寻找适当的方法以缩小地面沉降的危害。地面沉降的工作范围可用一简单的图解如图1所示,图中地下水的开采和自然补给的平衡关系,表示为对土层和含水层组的输入,然后以输出表示可能产生的地面沉降。十分自然地,我们的研究集中于解释含水层和土层在传递地下水压力不平衡时造成地面沉降的作用机理。

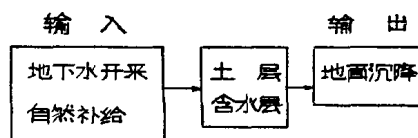


图 1 地面沉降工作范围示意图

二

在我们的主要研究方面的一个重要发现，就是在粘土层沉降速率和地下水压力之间存在着线性关系。由和达清夫和广野琢造研究所得公式如下：

$$u = k(p - p_0) \quad (1)$$

式中的 k 和 p_0 假定为常数。在求这关系中，把每五天的沉降量作为沉降速率，同时期的平均地下水位为 p ，这个关系是说明在地面沉降现象中应用太沙基固结理论的一个线索。

这里会引起一个问题，就是用超过五天的沉降量作为沉降速率时，是否可用同样关系。用东京龟户和新潟山之下分层标观测站所获得的资料，以五天、十天、十五天及三十天的分层标沉降记录仪的沉降记录和同期的地下水位高度试作相关图，结果见图 2 及图 3。

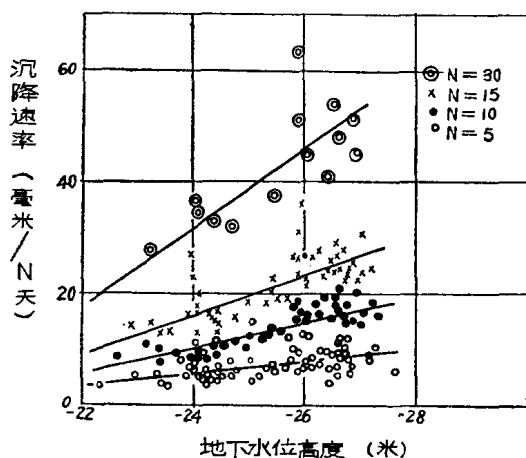


图 2 东京龟户观测站沉降速率地下水位高度相关图

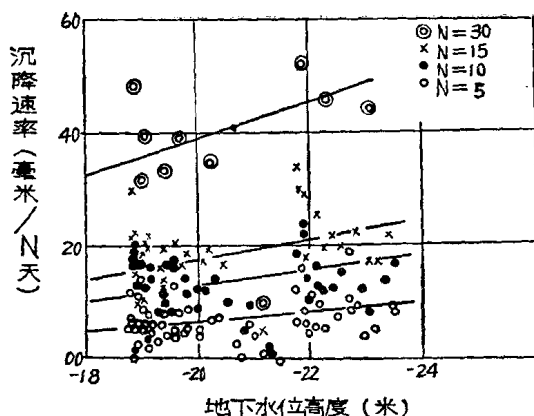


图 3 新潟山之下观测站沉降速率地下水位高度相关图

图 2 的直线分别表示五天、十天、十五天、三十天的沉降速率与同期地下水位高度的相关，这些线的斜率为 5:10:15:30，正好和相应的沉降速率的时间间隔相同。当然，这些关系用直线表示存在一定误差。相对的新潟山之下观测站所得的沉降资料，如图 3 所示，沉降速率和地下水位高度的关系直线的斜率比例为 5:8:10:19，点子的离散范围较大。这些事实说明在讨论沉降速率和地下水位高度的关系时，从东京龟户站所获得的沉降资料来看，可用三十天的沉降速率代替五天的速率，但对新潟山之下站的资料，就不能应用同样的方法了。

从山之下观测站的沉降资料、沉降速率和地下水位高度的关系来看，可推知其实际沉降是受几个含水层的地下水位高度变化而产生各种影响的总和。

三

如图 2 所示东京龟户观测站所观测到的沉降资料，其三十天的或月的沉降速率用上述方法来推演，有同样价值。因此将在该站所测得的月沉降率对应于该站的月平均地下水位高度，得如图 4 所示的成果。在图 4 中，公式中的常数 k 在地下水位特别低时不能建立相关，此时常数 k 值的下降说明地面沉降的机理较为复

杂。

在另一方面，过去认为显系地下水位降低造成的地面沉降，当地下水恢复到原有水位时，地面没有回升，亦即地面沉降被称作是不可逆的现象。联系到这个情况，就可想象到土层的压密是由于在土的结构组成中土颗粒经过重新排列的缘故。从这个概念出发，由于承压含水层压力的衰减，作用于土体的应力造成土颗粒的重新排列并在土体内产生应变。应力造成应变关系中的常数随着土颗粒重新排列的状态而变。

根据上述概念，即实际当地下水位已特别低而再进一步降低时，月沉降速率减少了，故而对不可逆的地面沉降问题找到了一个可能解决的方法。

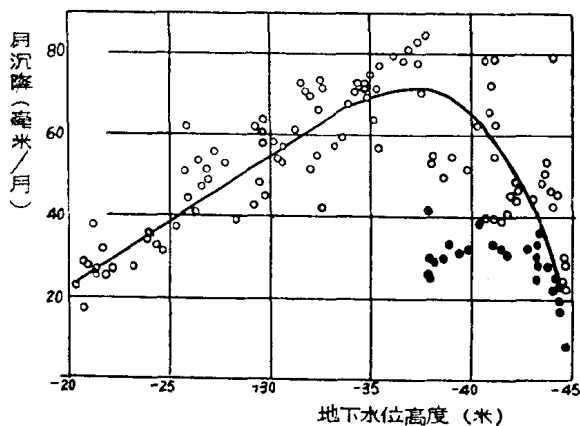


图 4 月沉降与地下水位下降的变化图

四

再就地面沉降的数量分析而言，需要考虑这样的事实，即由于地下水位降低而压密的土层，是由不同厚度的不同分量组成的。这是对东京及新潟的土层进行分层压密研究的成果。

东京的北部和东部的土层，由各种各样的土层构成，可以粗略地分成三层，即上层由冲积的松散粘土和粉土组成，中层为洪积的夹有薄层粘土的较细的砂，而下层为洪积的，通常包含粗砂

及砾砂的互层，其下则为第三纪较硬的岩层。

观测到的地面沉降主要是地下水位降低时冲积层和洪积层的压密。当然，位于洪积层下的第三系也有一些压密的征状，本文在以后再叙述。

在这种情况下就要求划分各冲积和洪积土层的沉降量。三木首先进行了这方面的研究，他假定观测到的地面沉降量 u 是三个土层分层压密的线性复合关系，各与其层厚成比例，亦即如下式所示：

$$u = c_1 h_1 + c_2 h_2 + c_3 h_3 \quad (2)$$

式中 h_1, h_2, h_3 为各组成土层的厚度， c_1, c_2, c_3 为各土层压密或沉降的特征系数。

本文作者和青木也作了同样的研究，在我们的研究中，把沉降速度（每年）假定为平均地下水位高度 p 和在此期间地下水位高度变化 Δp 的函数，亦即压密速率 u 为：

$$u = \sum a_i (p - p_0) + \sum b_i \Delta p \quad (3)$$

式中 a_i 和 b_i 为分配到第 i 土层的特征系数。

现举龟户站的压密记录的分析成果为例，该站记录压密的分层标管理设在64米深处，根据钻孔成果，该处的地层结构除表面2或3米厚的人工填土外，33.0米以上为冲积粘土，以下直到74.0米是洪积的砂土层。所观测到的地面沉降就是相应于第二层地下水压力下降时两个土层压密的总和。若假定地下水位用从第二层底部到水面的高度来表示，其水位高于第一、二层的交界线但低于地面，又若把地下水位降低作为时间的线性函数，即 $q = at$ ，则公式（3）可变换成：

$$u = k_1 a h'_1 + k_2 a h'_2 + k'_1 \Delta p h'_1 + k'_2 \Delta p h_2 \quad (4)$$

式中 h'_1, h'_2 为第一、二层的有效厚度， Δp 为某一时间内地下水压力的降低值。在龟户站，从地面到第一层底面的深度 $h_1 = 33.0$ 米，而第二层的厚度 $h_2 = 41.0$ 米，在1956至1967年这段时间中地下水位降低总量为19米。

上述分析成果表明，当地下水位急剧降低时，相应地所产生

的沉降量以粘性土层为主；但当地下水位低于第一层底面并降低缓慢而地面沉降仍继续的阶段，砂层的沉降是重要的。

五

由于第一次觉察到地面沉降是从重复精密水准测量的成果中得到的，这种测量方法就成为寻找地面沉降区域的分布最有用的方法。根据这些重复精密水准测量成果，得到东京、大阪、新潟的地面沉降分布形状的逐渐变化。这样就有可能研究由于工业活动增加，随之抽水增加而导致地面沉降的发展，以及采取一些措施控制地下水位下降以缓和地面沉降。

在研究地下水平衡方面尽管感到十分需要地下水开采量的资料，但很难收集可靠的数据。因此我们试以扩散理论为基础，研究地面沉降分布形状的逐渐变化以替代由于开采地下水而引起的地下水位高度缓慢变迁的研究。

就沉降范围的垂直位移而言，假定在该范围内任何点、任何时间的年沉降量都满足下述方程：

$$\frac{\partial U}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

式中 U 代表年沉降量， D 为类似于扩散系数的常数， x 和 y 为在该范围内以某点为原点相应的向东和向北的座标，从而得到 D 的分布一例见图 5，与图 6 相比较，从中可概略地显示出地下的构造，图 6 为该地区内洪积层表面的地形。因此我们可以想象到，在某处由于过量开采地下水而使水位降低的范围将逐渐扩展，虽然扩展很慢，但受到具有不同水文地质条件的地下土层结构的影响，同样对地面沉降亦是如此。

于是我们认为对于地面沉降，地下水平衡的水文学是一个重要的课题。

六

由图 1 可见，正的（天然水补给）和负的（地下水开采及渗

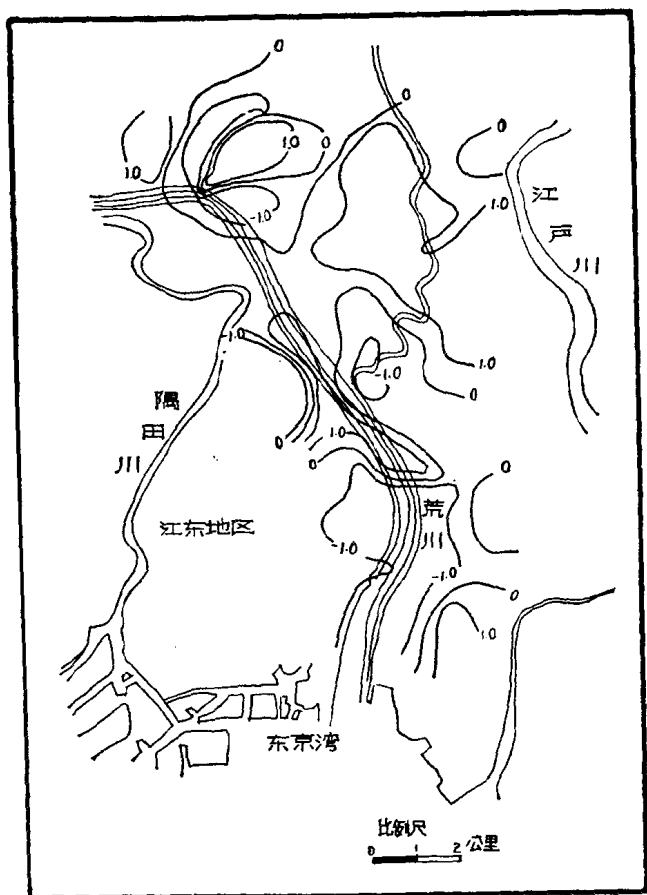


图 5 东京江东地区“D”的分布实例

流)输入通过土层和含水层转为输出(地面沉降)的平衡。现在这个模拟模型要在某些方面进行补充,即在该土层和含水层组上作一些直接的或间接的外加“扰动”。

由于这些外加扰动通过土层和含水层组从而修正地面沉降量,当它作用于地下水位降低的负的输出反应中可称地层是在这些扰动的反应下进行工作的。

分层标的沉降记录一般包括叠加着周期变化或类似周期变化的长期变化,这些变化可从25小时变化的平均值中划分出每小时

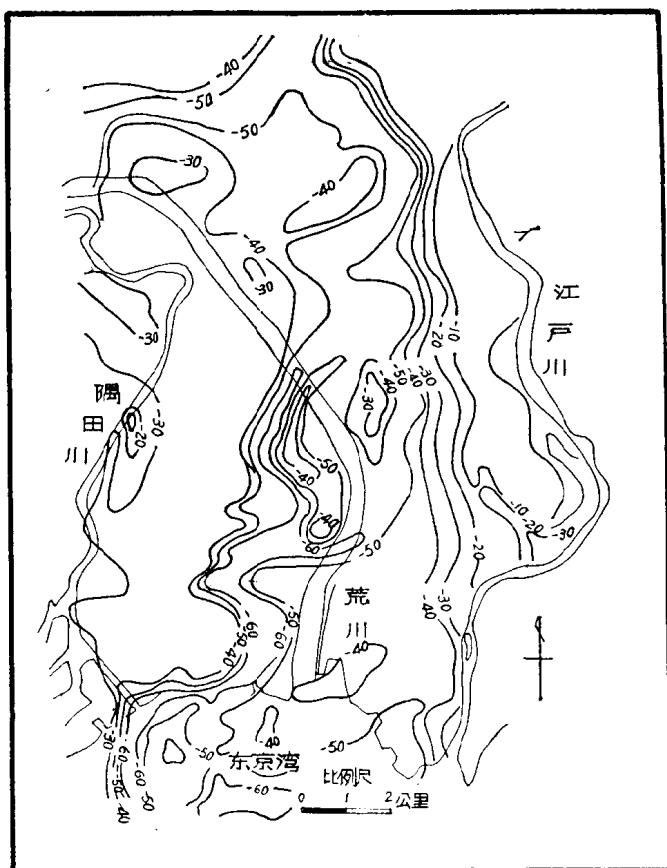


图 6 东京江东地区洪积层地形图(引自东京土木技术研究所出版的东京地质图)

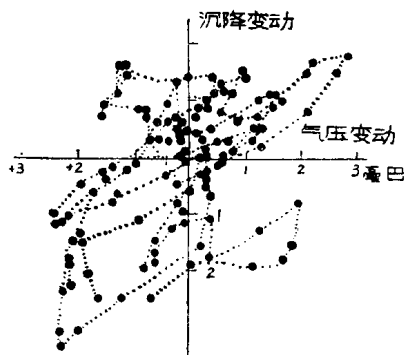


图 7 沉降与气压变动关系图

的偏值读数，这个程序使我们能够消除长期地面沉降这一项，而剩下的大部是每天的、半天的或别的周期的波动。

从目前分析成果所能得到周期波动中，昼夜变化最为明显。其特点是白天有明显的回弹，它与每天的气压恰巧同周期。此时，地面气压下降一毫巴 (mili-bar) 时膨胀约为 0.2×10^{-7} 毫米 (见图 7)。我们也注意到叠加在长期沉降上的较慢的地面变化，这种类似周期的缓慢变化看来似与旋风经过观测站时随之气压的波动有关。但此时地表变动与气压缓慢变化的周期不同。在这种情况下，地表运动与地下水位高度变化虽会受气压的缓慢变化的影响而有一定的时滞，但仍近于平行。由此可以推测，气压变化一方面直接影响，而另一方面通过地下水运动间接影响到地表的升降运动。

为描绘一个模型来具体说明上述现象，要提出说明详细的包括地下水位高度变化的外部“扰动”相应的土层的机理，必须在这一方面作进一步的研究。

在作者与稻叶合写的文章中已经讨论过的地面的急剧沉降或遇到相当强度的地震而产生的突然沉降，也是值得注意的。地面急剧沉降和地震强度关系的实例示如图 8。该图表示当地震较强时地面急剧沉降也较大的一般趋势。虽然本文在这个课题上不作详细讨论，但我们认为这是由于土层的流变性质所引起的。也须注意这种急剧的地面沉降可能与上述的地下水位周期变化的某些方面有关。

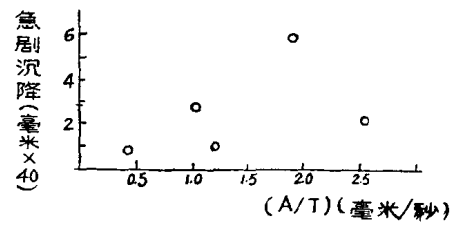


图 8 地震强度 (用相应的速度表示) 和伴随而起的急剧沉降的关系图

七

第三纪沉积的土层有一些沉降的现象是值得注意的。

关于上述现象，在许多记录沉降的分层标中，其中至少有二只显系埋设在第三纪土层中。一个在十田桥观测站，该标埋深290米，在1967年中沉降了45.9毫米，另一个在新江户观测站，该标埋深450米，同期沉降量为24.9毫米，虽然这些沉降量仅为邻近水准点同期沉降量的一部分，但是每年几厘米的沉降量是略而不计的。

可是这些土层或岩层位于深约数百米处，解释这种几乎是硬土的压密是非常困难的，要发展新的设备才能克服这个障碍。

八

考虑到迄今为止所有的研究成果，除常规的测量和观测外，有必要对下述方向进行进一步的研究：

(1) 由村山朔郎所做的模型试验要在各种条件下进行推广，在进行这些试验时应特别注意到温度条件，因为在了解这些试验研究成果和应用到实际情况时，必须考虑热力学条件。由于模型试验和模拟试验的结果可提供解释地面沉降现象所要求的基本概念，因而推荐使用。

(2) 由于土颗粒的化学-物理性质在很大程度上取决于土的组成并且它是构成土体微结构的重要因素，因此，有必要在沉降范围内进行土的化学和矿物分析。我们的意见是，土体微结构的变化或重新排列将是压密的主要起源。因此这些分析的成果将是彻底了解地面沉降现象，特别是其不可逆特性的一个方法。

(3) 在沉降地区内的各含水层的现状及其变化的水文研究应更详细且其范围要扩展到沉降区以外。在这一研究方面的主要困难是难以获得可靠的地下水开采量资料，以及由于通过不均匀含水层的地下水的迁移性变动而造成地下水位高度长期变化的研究。要顽强地致力于实地观测及模拟研究以克服这些困难。

(4) 开展深层硬土及岩石的物理性质的研究。曾经一度认为地面沉降是由于低地的松散土体压密的结果,但正如上述,我们获得一些资料表明深层硬土或第三纪构造的硬土正在压密。在开采地下天然气或其他资源(包括开采地下水)的硬土地区,这种沉降特别值得注意。因而有必要象在沉降区上层松散土所做的那样,开展硬土的物理和化学性质的研究。以及把这些深部土层的实际运动(沉降),从上覆土层的压密中区别出来。

上述各方面科研的发展,不仅可能促进科学发展,而且还可能对解决地面沉降问题开辟一个途径,即在防止地面沉降发展而产生的危害的措施规划中可以预测未来的地面沉降量。

最后,作者对东京土木技术研究所的同事们在本报告的准备中的友善合作致以衷心的感谢。

讨 论

在回答宫部直已建议在地面沉降方面组织或设法继续国际的情报交流时,约翰逊(Arnold, A. Johnson)的插话。

约翰逊:宫部直已博士,我认为地面沉降显然是一个交叉学科的问题,这个问题在今后若干年全世界都会有。而且地面沉降问题还会更多更复杂。故必须靠各种学科的科技人员相互协作进行研究以求探讨机理,以及在国际和一个国家内相互交流其研究成果。

看来大部分地面沉降是水文学上的原因。故现在大都是水文学者在进行研究。这亦将使水文学者增进对地面沉降的兴趣。

一些东方的国际水文学科技组织可能有效地主持地面沉降研究的协作及国际上的交流。国际水文学学会(ISAH)就可成为这一种组织。在这方面的活动中,国际水文学学会可和对地面沉降亦有兴趣的其他有关学科的国际组织如国际土力学及基础工程学会(ISSMFE)进行合作。

第一步,我建议由国际水文学学会主持提出一研究课题表,以确定世界范围的地面沉降研究的重点及进程。亦可请国际土力