

号井的水位变动带，取  $\mu = 0.063$  是合理而可靠的。

对137井的水位变动带，取  $\mu = 0.063$ ， $H_c = 1.20\text{m}$ ， $\theta_s = 0.43$ ， $\theta_m = 0.367$ ，按 (16) 式可求得毛管水带内不同水位埋深 ( $h_a$ ) 处的给水度  $\mu$  ( $h$ )，见表1。这样，便可据已知的  $\mu$  和水位变幅 ( $\Delta H$ ) 求出任意时段的潜水变化量。

表1 毛管水带内不同深度处的给水度

$h_a$ (m)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
$\mu$ (h)	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.041
$h_a$ (m)	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20
$\mu$ (h)	0.044	0.046	0.049	0.052	0.055	0.057	0.060	0.063

潜水开采量 ( $W_p$ ) 主要用于生活用水，用手压井提取潜水，开采量随时间变化不大，可视为均匀开采，达里巴村有 3400 人，开采影响面积约  $1.5\text{km}^2$ ，人均用水量按  $50\text{l}/\text{人}\cdot\text{d}$  计，

$$W_p = \frac{50 \times 3400\text{l}/\text{d}}{1.5 \times 10^6\text{m}^2} = 0.1133\text{mm}/\text{d}$$

潜水向下越流量 ( $W_1$ ) 的确定较难，但根据本区已有抽水试验所求得的  $K'/b'$  值 (为  $4.7 \times 10^{-6}\text{d}^{-1}$ ) 和潜水与承压水的水头差 ( $\Delta H_1 = 440\text{mm}$ ，年内变化很小)，可求得  $W_1 = 0.0207\text{mm}/\text{d}$ 。

潜水蒸发量 ( $\varepsilon$ ) 可根据潜水蒸发经验公式确定。考虑井在屯中，住房与路面 (约占土地面积的  $1/3$ ) 影响潜水蒸发，故采用  $\varepsilon = 2E_{s01} (1 - h / H_{\text{max}}) / 3$  来计算潜水蒸发量。

在  $\mu$  ( $h$ )、 $W_1$ 、 $W_p$ 、 $\varepsilon$  已确定的情况下，可根据时段水量均衡方程依次求得  $\alpha P$ 、 $\beta W_1$ 、 $W_{11}$ 、及  $W_{1a}$ ，进而可求得  $\alpha$ 、 $\beta$  等参数。在具体计算时，还应考虑有关补给或排泄速度的变化特点，对有关量项进行合理的分

解。本文利用137号井1985年4月至1990年12月的历时资料，充分考虑降水、蒸发和地下水位升降之间的关系，共选取了139个均衡时段，其中多数均衡时段为5~20d，部分为20~31d。有关计算结果见表2。

表2 前郭灌区第二灌区137号观测井地下水均衡估算结果汇总表

年份	时段数	P	$E_{20}$	$\Delta H$	$\Delta G$	$G_1$	$\alpha P$	$\beta W_i$	$W_{11}$	$G_0$	$\epsilon$	$W_p$	$W_i$	$W_{1d}$	$\alpha$	$\beta$	C
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
1985	23	554.4	1406.7	620.0	39.4	245.9	55.2	157.8	36.7	203.7	138.5	31.2	5.8	28.2	0.100	0.169	0.098
1986	19	440.8	1461.1	-80.0	-5.0	235.2	48.5	119.6	67.1	240.3	147.0	41.2	7.6	44.5	0.110	0.128	0.101
1987	18	539.1	1494.1	60.0	8.0	268.1	74.7	136.8	57.6	260.1	153.5	43.3	7.6	55.8	0.139	0.146	0.103
1988	24	461.3	1461.4	70.0	4.4	273.4	62.2	160.0	51.1	269.0	182.1	42.9	7.6	36.4	0.135	0.171	0.125
1989	25	315.0	1539.7	-280.0	-11.3	250.8	40.2	125.8	84.8	262.1	174.7	41.2	7.6	38.6	0.128	0.135	0.113
1990	30	592.7	1414.8	300.0	16.6	303.0	73.5	144.9	84.5	286.4	197.6	41.2	7.6	40.0	0.124	0.155	0.140
AVG	(139)	483.9	1463.0	115.0	8.7	262.7	59.1	140.8	63.6	253.6	165.6	40.2	7.3	40.6	0.122	0.151	0.113
MAX		592.7	1539.7	620.0	39.4	303.0	74.7	160.0	84.8	286.4	197.6	43.3	7.6	55.8	0.139	0.171	0.140
MIN		315.0	1406.7	-280.0	-11.3	235.2	40.2	119.6	36.7	203.7	138.5	31.2	5.8	28.2	0.100	0.128	0.098

注：1985年有关数据为4~12月的，不含1~3月

#### 4.4 均衡估算结果分析

从1985年4月至1990年12月近6年的时段水量均衡结果来看，潜水平年补给量( $G_1$ )为235.2~303.0mm，年均为262.7mm，其中降水入渗补给量( $\alpha P$ )为40.2~74.7mm，年均为59.1mm；灌溉渗漏补给量( $\beta W_i$ )为119.6~160.0mm，年均为140.8mm；侧向流入补给量( $W_{11}$ )为36.7~84.8mm，年均为63.6mm。潜水排泄量( $G_0$ )为203.7~268.4mm，年均为253.6mm，其中潜水蒸发量( $\epsilon$ )为138.5~197.6mm，年均为165.6mm；开采量( $W_p$ )为31.2~

43.3mm, 年均为40.2mm; 向下越流量( $W_{1i}$ )为5.8~7.6mm, 年均为7.3mm; 侧向流出量( $W_{1a}$ )为28.2~55.8mm, 年均为40.6mm。潜水主要补给量为灌溉水渗入补给量, 占53.6%, 主要排泄量为潜水蒸发量, 占65.3%。潜水侧向径流净补给量(以 $W_{1i}$ 与 $W_{1a}$ 之差计)年均为23.0mm, 远小于灌溉入渗补给量及降水入渗补给量。由此可见, 本区潜水运动以垂向水量交替为主。

从参数来看, 年降水入渗补给系数( $\alpha$ )为0.100~0.139, 年均为0.122; 时段降水入渗补给系数( $\alpha$ )为0.042~0.281, 共求得参数值56个; 按灌溉定额(935mm/a)计, 年田间灌溉渗漏补给系数为0.128~0.171, 年均为0.151; 与 $E_{20}$ 观测值相比, 潜水蒸发量占0.098~0.136, 年均为0.113。

从补排速度来看, 灌溉水入渗补给速度一般为0.5~2.0mm/d, 最大为3.2mm/d; 侧向流入补给速度一般为0.1~1.4mm/d, 最大为2.0mm/d; 侧向流出排泄速度一般为0.1~0.7mm, 最大为0.9mm/d。

#### 4.5 潜水利用与环境改善

由上述估算结果可知, 本区毛管水上升高度为 $H_c=1.20m$ , 潜水蒸发极限埋深 $H_{max}=3.18m$ 。当潜水位埋深小于1.20m时, 土壤便产生沼泽化现象; 当水位埋深小于3.18m时, 特别是水位埋深小于2.0m时, 潜水蒸发浓缩作用强烈, 土壤便产生盐碱化现象。因此, 要防止土壤盐渍化, 改善生态环境, 就必须设法降低地下水位, 使潜水蒸发浓缩作用显著减弱。如果能将潜水水位埋深控制在3.0m左右, 那么就会基本达到防止土壤盐渍化、改善生态环境的目的。降低地下水水位的方法, 一是深挖排水沟排泄地下水, 二是合理地开采潜水进行农田灌溉, 人为地加强潜水的垂向循环, 但应加强排水措施。

## 5 结 语

本文提出了灌区潜水时段水量均衡方程, 指出了均衡项和参数的有关

确定方法，并用实例说明了其应用的可行性。

由于潜水时段水量均衡方程涉及项目及参数较多，本文在这方面也只是进行了初步探讨，因而不妥之处在所难免，敬请有关专家批评指正。

### 参考文献

1、吉林省水利水电勘测设计院，吉林省前郭灌区第二灌区改善配套工程水文地质勘察报告，1993.5

2、水利电力部38-1-1课题组，华北地区地表水与地下水相互转化关系研究，1987.11

3、Jacob Bear, 1979, 地下水水力学，许涓铭译，地质出版社，1985

4、C. Ф. 阿维里扬诺夫著，1959，防治灌溉土地盐渍化的水平排水设施（计算），姜博礼译，中国互业出版社，1963.9

5、萧长来、梁秀娟，降水入渗补给系数的影响因素及其计算方法的探讨，吉林省青年地质工作者论文集，长春地质学院学报，1991.10

# 前郭灌区第二灌区 灌溉水质标准与评价方法探讨

萧长来

吉林省水利厅前郭灌区开发办公室  
吉林省水利水电勘测设计院

**提 要** 本文通过对国内外有关灌溉水质标准分析、研究,结合前郭灌区(特别是第二灌区)特定的地理、地质、生态和水土环境,提出了相应的灌溉水质标准和有关评价方法,为经济而合理地评价灌溉水质提供了科学依据。

**关键词** 前郭灌区第二灌区 灌溉水质标准 水质评价方法 模糊综合评判法

**Abstract** Through the analysis and study of the internal and external irrigation water quality standards and based on the special geographical, geological, ecological and water-soil environments of Qian'guo Irrigation District, especially the Second Qian'guo Irrigation District, the corresponding irrigation water quality standard and the relevant evaluation methods are presented in this paper. So the scientific basises are provided for the economical and rational evaluation of irrigation water quality.

**Key Words** The Second Qian'guo Irrigaiton District  
Irrigation water quality standard Water quality evaluation method  
Comprehensive fuzzy evaluation method

## 1、引言

前郭灌区位于吉林省松原市前郭尔罗斯蒙古族自治县境内，地处第二松花江左岸与嫩江右岸的汇合部位，是中国大型灌区之一。该灌区东临第二松花江，北依嫩江，南为台地，西为岗地，现有耕面积5.8万 $\text{hm}^2$  ( $1\text{hm}^2=1\times 10^4\text{m}^2$ )，另有低洼易涝地、盐碱地及荒地5.8万 $\text{hm}^2$ ，水面4万 $\text{hm}^2$ 。区内地势平坦，灌溉水源主要为第二松花江江水（由第一、第二总引干输水灌溉），局部用井水、泉水灌溉。灌区建成40年来，已取得了明显的经济效益和环境效益。

该灌区以引松互程和七门吐泄干为界分为三个灌区，其中第二灌区位于引松互程以北、七门吐泄干以东，其东北以第二松花江为界。在1992~1993年进行的“吉林省前郭灌区第二灌区改善配套互程”现场调查互作中，发现前郭第二灌区西北部因地势低洼、水位浅埋、排水不畅，出现了明显的次生盐渍化现象，生态环境也有所恶化。局部采用井水灌溉的地方也很快出现盐碱化现象。由于灌溉水特别是地下水（潜水）是区内最活跃的环境影响因素之一，因而有必要对各种水源进行灌溉水质评价，以防止不良环境现象的发生。而进行灌溉水质评价，首先是确定灌溉水质标准，其次是选用恰当的评价方法。本文在这方面做一初步尝试，以求同行斧正。

## 2、灌溉水质标准

### 2.1 国内外灌溉水质标准概况

#### (1) 联合国灌溉水质标准<sup>[1]</sup>

有6项水质指标，即钠（单位 $(\text{me}/1)\%$ ）、氯、硫酸根、电导率（EC）、总盐量（TDS）、硼等，水质标准为三级。

#### (2) 英国灌溉水质标准

准指标》<sup>[2]</sup>中，考虑了氯化物、钠、硼、钙、硝酸盐、氟化物等常量元素，砷、镉、铬、铜、钼、镍、硒、锌、铅等微量元素和除莠剂等微量有机污染物。

### (3) 联邦德国灌溉水质标准<sup>[2]</sup>

该标准给出了户外栽培和温室栽培条件下28项水质指标的最大值和近似值，这28项指标分为四类，即A. 化学元素，包括Al、As、Be、Pb、Cd、Cr<sup>6+</sup>、B、Fe、F、Co、Cu、Li、Mg、Mo、Na、Ni、Hg、Se、Zn等19种元素，其中Na为必测元素；B. 盐类，包括总盐量、氯化物、硫酸盐、磷酸盐等4项指标；C. 微生物特性，包括总大肠杆菌、粪便大肠杆菌数2个指标；D. 其它，包括PH值、悬浮物和电导率等3项指标。此外，联邦德国还制定了《种植作物对盐敏感有关的质量标准》，选取总盐量、电导率、钠、氯化物、硫酸盐、磷酸盐等6项指标，并将植物对盐的敏感度分为三个级别。

### (4) 原苏联灌溉水质标准<sup>[3]</sup>

按总溶解盐类(TDS)划分灌溉水质标准，并提出灌溉系数法评价灌溉水质，主要反映盐类对作物和土壤的影响。

### (5) 美国灌溉水质标准<sup>[3]</sup>

美国Wilcox等人早在1959年就提出用电导率和钠百分数(单位(me/l)%)的关系对灌溉水质进行分类，共分为五级；美国农业部(USDA)则提出由钠吸附比

$$(\text{SAR} = \frac{r\text{Na}}{\sqrt{(r\text{Ca} + r\text{Mg}) / 2}}), \text{ 离子含量单位me/l}$$

与电导率(EC)间的关系确定灌溉水质标准；美国盐度实验(USSL)提出了按总溶解盐类(TDS)和电导率(EC)划分的灌溉水质分类系统，共分为四类。由此可见，美国很重视灌溉水中的含盐量和钠含量。

### (6) 日本灌溉水质标准<sup>[1]</sup>

日本《农业用水水质标准(草案)》中规定了19项指标的标准值，这些指标有灼烧残渣、化学需氧量、五日生化需氧量、溶解氧、氯、硫酸根、

钠、合成洗涤剂、全氮、酚、铜、锌、镍、铅、铬、锰、砷、全盐量和油。

### (7) 中国灌溉水质标准

1972年9月，中国在“城市污水灌溉农田经验交流座谈会”上制定了《城市污水灌溉农田水质标准（参考指标）》<sup>[1]</sup>，规定了15项指标的允许值，这些指标有PH值、水温、悬浮物，含盐量、氯化物、总固体、油脂类、硫化物、挥发性酚、氰化物、砷、铅、总铬、汞、镉。

1979年3月，中国颁发了《农田灌溉水质标准》（试行）（GT24-79），规定了18项指标的标准值。1985年4月25日经修改又颁发了《农田灌溉水质标准》（GB5084-85）<sup>[2]</sup>，其中包括22项指标，即水温，PH值、全盐量、氯化物、硫化物、汞、镉、砷、六价铬、铅、铜、锌、硒及其化合物、氰化物、氰化物、石油类、挥发性酚、苯、三氯乙醛、丙烯醛、硼、大肠菌群。

## 2.2 灌溉水质指标的选择

灌溉水质直接影响到粮食作物的质量和产量，同时也明显影响着灌区的生态环境，特别是水土环境，因此灌溉水质标准的确定十分重要。然而，影响灌溉水质的基本因素很多，诸如①灌溉方式（喷灌、漫灌、井灌、湿润灌溉等），②作物类型（水果、蔬菜、谷物、玉米、小麦、水稻等），③土壤类型（砂壤土、壤土、粘土、黄土等），④气候特征（湿润、半湿润、半干旱、干旱等），⑤水土中元素背景值，⑥排水条件（排水通畅、排水滞缓等），因而灌溉水质的确定是十分困难的。

根据前郭灌区多年来已有的地表水（江水、渠水、泡水）、地下水（潜水、承压水）、泉水水质化验资料，一些指标如水温、PH值、硫化物、汞、镉、砷、六价铬、铅、铜、锌、硒及其化合物、氰化物、石油类、挥发性酚、苯等一般均不超过中国《农田灌溉水质标准》（GB5084-85）中



相应指标的标准值(局部污染除处)。另外,上述指标的化验费用大,且一些指标因含量小而不测准。根据前郭灌区几十年来的灌溉实践和经验,并通过调查访问和对比分析,发现对生态环境和水土环境起主要影响作用的并非上述指标,而是水中的含盐量及有关盐类,这从灌区上游排水条件好的地方土壤脱盐明显和灌区下游排水条件差的地方土壤盐渍化现象普遍可以得到证实。结合国内外灌溉水质标准,这里选用全盐量(TDS)、电导率(EC)、钠(Na)、氯(Cl)、硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ )、氟化物( $\text{F}^-$ )和灌溉系数(Ka)等7项指标作为本文灌溉水质指标。

### 2.3 灌溉水质标准的确定

灌溉水质标准,国外有采用三级的、四级的,也有采用五级的。本文采用五级水质标准,各指标标准值的确定分述如下:

#### (1) 全盐量(TDS)

全盐量是灌溉水质标准中最主要的指标,盐浓度过量,对植物和土壤均产生有害的影响。中国北京农业大学实验用含盐1500mg/l的水进行灌溉,土壤出现轻度盐化;对蕃茄、甘兰和瓜果类蔬菜用大于1000mg/l含盐水灌溉,减产10%,土壤开始积盐<sup>[2]</sup>。前郭灌区牙木吐村南用含盐355~416mg/l的井水种稻2年,在田边已出现轻度盐碱化现象。全盐量有关标准,中国2000mg/l,日本500mg/l,联合国2100mg/l,美国3000mg/l;本文所定五级标准为200、500、1000、1500、2000mg/l。

#### (2) 电导率(EC)

电导率由于易测而被作为重要的水质指标。联合国、美国、英国分别将其分为三级、四级和五级标准<sup>[2][3]</sup>。本文所定五级标准为250、750、1250、2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

#### (3) 钠(Na)

钠在农灌水中的最大问题是钠离子在土壤中的累积,进而对土壤的结

构和渗透性产生潜在的负作用。泥质土和粘土类土壤对钠的危害最灵敏，而石灰质土壤几乎没有危险<sup>[2]</sup>。钠的危害程度可用毫克当量百分数（即 $(me/l)\%$ ）表示，也可用钠吸附比表示。联合国、美国、英国将钠含量分别分为三级、四级和五级；本文五级标准为20、35、50、65、85 $(me/l)\%$ 。

#### (4) 氯（以 $Cl^-$ 计）

氯化物的危害有两方面，一是使土壤溶液渗透压增高，阻碍植物对水分和养分的吸收，二是引起土壤盐渍化。外国实验表明，当灌溉水中 $Cl^-$ 含量达142~355 $mg/l$ 时出现危害<sup>[2]</sup>。有关 $Cl^-$ 的标准：美国142~355 $mg/l$ ，联合国46.5~381.5 $mg/l$ ，日本250 $mg/l$ ，WHO（欧洲）350 $mg/l$ ，中国200 $mg/l$ 。本文五级标准为100、150、200、250、350 $mg/l$ 。

#### (5) 硫酸盐（以 $SO_4^{2-}$ 计）

水中硫酸盐的味阈值介于300~400 $mg/l$ <sup>[2]</sup>。有关标准：联邦德国350 $mg/l$ ，日本20PPm，美国250~2200 $mg/l$ 。本文五级标准分100、150、200、250、350 $mg/l$ 。

#### (6) 氟化物（以 $F^-$ 计）

水中氟含量较高时不但对作物有危害，而且还在作物中积累，造成进一步的危害<sup>[2]</sup>。有关标准：美国1.0 $mg/l$ ，联邦德国1.0 $mg/l$ ，中国2.0~4.0 $mg/l$ 。本文标准为0.5、1.0、1.5、2.0、3.0 $mg/l$ 。

#### (7) 灌溉系数(Ka)

灌溉系数是原苏联科学家提出来的，它在一定程度上反映了盐分组合对土壤及作物的影响。本文五级标准为18、14、10、6、1.2。其计算方法<sup>[1]</sup>如下：

a. 当 $rNa < rCl^-$ （单位 $mg/l$ ）时

$$K_a = \frac{288}{5rCl^-}$$

b. 当  $rCl^- < rNa^+ < rCl^- + rSO_4^{2-}$  时

$$K_a = \frac{288}{rNa^+ + rCl^-}$$

c. 当  $rNa^+ > rCl^- + rSO_4^{2-}$  时

$$K_a = \frac{288}{10rNa^+ - 5rCl^- - 9rSO_4^{2-}}$$

本文所定五级灌溉水质标准详见表1。其中Ⅰ级水为极佳的水，完全适宜灌溉，很少会出现盐碱化现象；Ⅱ级水为好水，适宜灌溉，有时会出现盐碱化现象，要注意排水问题；Ⅲ级水为中等水，基本适宜灌溉，可引起土壤盐碱化现象，应加强排水措施；Ⅳ级水为较差的水，易引起土壤盐碱化，在土壤透水性强和排水条件好时尚可用于灌溉；Ⅴ级水为极差的水，一般不适宜灌溉。

表1 灌溉水质标准

指 标 级 别	全盐量	电导率	钠	氯	硫酸盐	氟化物	灌溉系数
	TDS	EC	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Ka
	mg/l	μs/cm	(me/l)%	mg/l	mg/l	mg/l	--
I	200	250	20	100	100	0.5	18
II	500	750	35	150	150	1.0	14
III	1000	1250	50	200	200	1.5	10
IV	1500	1750	65	250	250	2.0	6
V	2000	2250	80	350	350	3.0	1.2
平均	1040	1250	50	210	210	1.6	9.84

### 3、评价方法

水质评价方法比较多，以往常用的方法有综合指数法，包括简单叠加法、算术均数、加权平均、平方和的平方根、均方根（Nemerow法）、几何均数、双指数法、混合加权等方法<sup>[4]</sup>。目前，中国有关专业人员常采用模糊综合评判法，并且有的还采用了灰色系数法、模糊优选法<sup>[5]</sup>和隶属度法。由于模糊综合评判法的评价结果较综合指数法更为理想，更加符合实际<sup>[6][7][8]</sup>，因而目前应用较为广泛。本文着重引入模糊综合评判法。

模糊综合评判法的基本步骤是，首先根据水质化验结果，确定某一水样的指标浓度矩阵 $C = (C_i)_{1 \times n}$ （ $n$ 为指标数目，本文 $n=7$ ）；然后根据水质标准 $S = (S_{ij})_{n \times m}$ （ $m$ 为水质标准级别数目，本文 $m=5$ ）确定指标权重矩阵 $W = (W_i)_{1 \times n}$ 和指标隶属度矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ ；再根据不同的合成方式确定模糊综合评判模型（评判函数） $D = (d_j)_{1 \times m}$ ，最后按最大隶属度原则划

分水质级别。

### 3.1 指标权重的计算

$$W_i = \frac{(C_i/S_{i,n})}{\sum_{i=1}^n (C_i/S_{i,n})}$$

$$S_{i,n} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{i,j}$$

通常采用线性隶属函数计算指标隶属度，对越小越优型指标，计算方法如下：

(1) 当  $C_i \leq S_{i,1}$  (I级水质标准) 时，

$$r_{i,1} = 1, \quad r_{i,k} = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n; \quad k=2, 3, 4, 5);$$

(2) 当  $S_{i,k-1} \leq C_i \leq S_{i,k}$  (k级水质标准) 时，

$$r_{i,k-1} = \frac{S_{i,k} - C_i}{S_{i,k} - S_{i,k-1}}$$

$$r_{i,k} = \frac{C_i - S_{i,k-1}}{S_{i,k} - S_{i,k-1}}$$

$$r_{i,1} = 0 \quad (k=1, 2, 3, 4, 5; \quad 1 \text{ 为 } 1-5 \text{ 间的自然数, 且 } 1 \neq k, \quad 1 \neq k-1);$$

(3) 当  $C_i \geq S_{i,5}$  时，

$$r_{i,5} = 1, \quad r_{i,k} = 0 \quad (k=1, 2, 3, 4)$$

对越大越优型指标(如Ka)，其隶属度的计算与上述略有差异，因较简单，此略。

### 3.2 模糊综合评判模型

$$D = W_0 R = (d_j)_{1 \times m} = (d_j')_{1 \times m}$$

$$D_j' = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$$

其中  $d_j$  的确定有以下几种方法。

(1)  $M(\cdot, +)$  法<sup>[9]</sup>, 用于确定模型  $D_1 = (d_{j1})_{1 \times m}$ ,

即

$$d_{j1} = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot r_{ij}) ;$$

(2)  $M(\wedge, \vee)$  法<sup>[6]</sup>, 用于确定模型  $D_2 = (d_{j2})_{1 \times m}$ ,

即

$$d_{j2} = (w_1 \wedge r_{1j}) \vee (w_2 \wedge r_{2j}) \vee \dots \vee (w_n \wedge r_{nj}),$$

其中  $\wedge$ 、 $\vee$  分别为取小、取大运算符;

(3)  $M(\cdot, \vee)$  法<sup>[7]</sup>, 用于确定模型  $D_4 = (d_{j4})_{1 \times m}$ ,

即

$$d_{j4} = (w_1 \cdot r_{1j}) \vee (w_2 \cdot r_{2j}) \vee \dots \vee (w_n \cdot r_{nj});$$

(4)  $M(\wedge, +)$  法<sup>[4]</sup>, 用于确定  $D_5 = (d_{j5})_{1 \times m}$ ,

即

$$d_{j5} = \sum_{i=1}^n (w_i \wedge r_{ij}) ;$$

(5) 二级模糊综合评判模型<sup>[4]</sup>, 用于确定  $D_6 = (d_{6j})_{1 \times m}$ ,

其中

$$d_{6j} = \frac{1}{3} \sum_{K=1}^3 (d_{jk}) ;$$

且

$$d_{j3} = (w_1 \cdot r_{1j}) \wedge (w_2 \cdot r_{2j}) \wedge \dots \wedge (w_n \cdot r_{nj})$$

## 4、应用实例

本文利用上述所确定的灌溉水质标准和模糊综合评判方法中的  $M(\cdot,$

+ )法和 $M(\cdot, V)$ 法,对前郭灌区第二灌区1993年4月中旬所取的47组水样(其中井水为41组,均为潜水;地表水为6组)进行了灌溉水质评价,有关评价结果见表2、表3和表4。

#### 4.1 评价结果简述

由表2可见,41组潜水水样中有23组隶属于I级水,占56%,其最大隶属度 $M(\cdot, +)$ 法为0.506~0.982,平均为0.756;  $M(\cdot, V)$ 法为0.476~0.983,平均为0.796,即这23组水样水质均以较大的隶属度隶属于I级水。由表3可见,有10组水样的水质隶属于II级水,占24%,其最大隶属度 $M(\cdot, +)$ 法为0.374~0.717,平均为0.569;  $M(\cdot, +)$ 法为0.382~0.886,平均为0.574;有8组水样的水质隶属于III级水,占20%,其最大隶属度 $M(\cdot, +)$ 法为0.411~0.665,平均为0.514;  $M(\cdot, V)$ 法为0.386~0.577,平均为0.450。

表2 前郭灌区第二灌区灌溉水质评价结果

水样 编号	TDS mg/l	水化学 类型	隶 属 度										水质 级别
			M(·,+) 法					M(·,V) 法					
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
6	922.5	H-C	0.796	0.037	0.167	0.000	0.000	0.867	0.022	0.111	0.000	0.000	I
10-2	793.7	H-C	0.516	0.317	0.167	0.000	0.000	0.592	0.211	0.197	0.000	0.000	I
13	366.5	H-CN	0.671	0.287	0.042	0.000	0.000	0.810	0.152	0.038	0.000	0.000	I
19	699.1	H-CM	0.519	0.316	0.165	0.000	0.000	0.637	0.185	0.178	0.000	0.000	I
24	524.6	H-CM	0.712	0.196	0.092	0.000	0.000	0.825	0.114	0.061	0.000	0.000	I
29	1028.1	H-C	0.841	0.018	0.134	0.007	0.000	0.820	0.023	0.147	0.009	0.000	I
31-1	210.8	H-CM	0.982	0.018	0.000	0.000	0.000	0.983	0.017	0.000	0.000	0.000	I
38	580.3	HCl-C	0.704	0.178	0.118	0.000	0.000	0.710	0.141	0.149	0.000	0.000	I
40-1	466.2	H-CM	0.860	0.140	0.000	0.000	0.000	0.897	0.103	0.000	0.000	0.000	I
42	492.8	HCl-CM	0.727	0.273	0.000	0.000	0.000	0.847	0.153	0.000	0.000	0.000	I
47	299.2	H-CN	0.844	0.153	0.003	0.000	0.000	0.922	0.074	0.004	0.000	0.000	I
48	281.4	H-CM	0.933	0.064	0.003	0.000	0.000	0.956	0.040	0.004	0.000	0.000	I
49	320.3	H-NC	0.758	0.186	0.006	0.000	0.000	0.762	0.160	0.078	0.000	0.000	I
50	718.6	CH-C	0.506	0.338	0.156	0.000	0.000	0.476	0.352	0.172	0.000	0.000	I
51	354.6	H-CM	0.949	0.043	0.008	0.000	0.000	0.974	0.017	0.008	0.000	0.000	I
54	370.9	H-CM	0.898	0.088	0.014	0.000	0.000	0.915	0.065	0.020	0.000	0.000	I
57	193.3	H-N	0.776	0.038	0.186	0.000	0.000	0.751	0.035	0.214	0.000	0.000	I
61	273.7	H-C	0.938	0.057	0.005	0.000	0.000	0.963	0.031	0.006	0.000	0.000	I
67	451.6	H-CN	0.632	0.282	0.086	0.000	0.000	0.707	0.225	0.068	0.000	0.000	I
68-1	385.8	HCl-N	0.865	0.084	0.051	0.000	0.000	0.866	0.062	0.072	0.000	0.000	I
70	419.2	H-NC	0.580	0.158	0.262	0.000	0.000	0.553	0.111	0.336	0.000	0.000	I
74	783.0	HCl-CN	0.552	0.267	0.181	0.000	0.000	0.650	0.174	0.176	0.000	0.000	I
75	452.2	HCl-C	0.816	0.115	0.069	0.000	0.000	0.820	0.088	0.092	0.000	0.000	I
AVG	495.1		0.756	0.160	0.084	0.000	0.000	0.796	0.111	0.093	0.000	0.000	
MAX	1028.1		0.982	0.338	0.262	0.007	0.000	0.983	0.352	0.336	0.000	0.000	
MIN	193.3		0.506	0.018	0.000	0.000	0.000	0.476	0.017	0.000	0.000	0.000	



表3 前郭灌区第二灌区灌溉水质评价结果

水样 编号	TDS mg/l	水化学 类型	隶属度										水质 级别
			M(·,+) 法					M(·,∨) 法					
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
1	558.7	H-NC	0.238	0.675	0.087	0.000	0.000	0.169	0.675	0.156	0.000	0.000	II
2	842.6	HCl-CM	0.166	0.473	0.361	0.000	0.000	0.150	0.472	0.378	0.000	0.000	II
5-1	960.7	HCl-CN	0.181	0.444	0.325	0.050	0.000	0.121	0.494	0.296	0.089	0.000	II
12	580.2	H-NC	0.082	0.374	0.254	0.290	0.000	0.091	0.382	0.303	0.224	0.000	II
15-2	601.4	H-CN	0.154	0.717	0.129	0.000	0.000	0.120	0.886	0.194	0.000	0.000	II
22-2	1067.8	H-CM	0.119	0.539	0.310	0.032	0.000	0.150	0.468	0.330	0.052	0.000	II
28	589.9	H-CN	0.229	0.608	0.163	0.000	0.000	0.303	0.547	0.150	0.000	0.000	II
30	679.0	H-CM	0.112	0.694	0.194	0.000	0.000	0.086	0.653	0.261	0.000	0.000	II
43	706.1	HCl-CN	0.214	0.599	0.187	0.000	0.000	0.205	0.542	0.253	0.000	0.000	II
76	628.4	HCl-CN	0.180	0.565	0.255	0.000	0.000	0.139	0.625	0.236	0.000	0.000	II
AVG	721.5		0.168	0.569	0.227	0.037	0.000	0.153	0.574	0.256	0.037	0.000	
MAX	1067.8		0.238	0.717	0.361	0.290	0.000	0.303	0.886	0.378	0.224	0.000	
MIN	558.7		0.082	0.374	0.087	0.000	0.000	0.086	0.382	0.150	0.000	0.000	
17	1051.5	H-CN	0.157	0.220	0.456	0.167	0.000	0.127	0.282	0.391	0.200	0.000	III
20	619.8	H-NC	0.064	0.242	0.656	0.038	0.000	0.071	0.261	0.577	0.091	0.000	III
25-2	1350.6	H-CM	0.073	0.178	0.411	0.338	0.000	0.075	0.171	0.386	0.368	0.000	III
34	809.5	H-NC	0.083	0.289	0.448	0.180	0.000	0.088	0.227	0.421	0.264	0.000	III
35	987.6	H-NC	0.099	0.073	0.665	0.156	0.000	0.161	0.087	0.461	0.271	0.018	III
36	842.6	HCl-NC	0.283	0.167	0.550	0.000	0.000	0.319	0.153	0.528	0.000	0.000	III
37	1039.2	H-CN	0.193	0.341	0.430	0.036	0.000	0.172	0.386	0.395	0.047	0.000	III
63-1	957.7	CH-CN	0.162	0.310	0.498	0.029	0.000	0.142	0.348	0.439	0.071	0.000	III
AVG	957.3		0.139	0.228	0.514	0.118	0.001	0.144	0.239	0.450	0.164	0.002	
MAX	1350.6		0.283	0.341	0.665	0.338	0.007	0.319	0.386	0.577	0.368	0.018	
MIN	619.8		0.064	0.073	0.411	0.000	0.000	0.071	0.087	0.386	0.000	0.000	

表4 前郭灌区第二灌区灌溉水质评价结果

水样 编号	TDS mg/l	水化学 类型	隶属度										水质 级别
			M(·,+)法					M(·,V)法					
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
SW1	152.4	H-C	0.992	0.008	0.000	0.000	0.000	0.995	0.005	0.000	0.000	0.000	I
SW2	484.4	II-C	0.809	0.191	0.000	0.000	0.000	0.884	0.116	0.000	0.000	0.000	I
SW3	450.4	H-NC	0.559	0.225	0.216	0.000	0.000	0.607	0.132	0.261	0.000	0.000	I
SW5	273.7	II-NC	0.646	0.067	0.116	0.171	0.000	0.572	0.066	0.142	0.220	0.000	I
SW6	281.1	II-NC	0.656	0.221	0.123	0.000	0.000	0.712	0.127	0.161	0.000	0.000	I
AVG	328.4		0.732	0.142	0.091	0.034	0.000	0.754	0.089	0.113	0.044	0.000	
MAX	484.4		0.992	0.225	0.216	0.171	0.000	0.995	0.132	0.261	0.220	0.000	
MIN	152.4		0.559	0.008	0.000	0.000	0.000	0.572	0.005	0.000	0.000	0.000	
SW4	1232.8	ICI-N	0.006	0.100	0.259	0.336	0.299	0.010	0.167	0.173	0.205	0.445	IVor V

注：1~75 为潜水水样编号，SW1~SW6为地表水水样编号

由表4可见，6组地表水水样中有5组隶属于I级水，其最大隶属度 M(·,+)法为0.559~0.992，平均为0.732；M(·,V)法为0.572~0.995，平均0.754；有1组水样水质隶属于IV级水或V级水，由于M(·,V)法侧重于体现较大值的影响<sup>[8]</sup>，而M(·,+)法则体现各指标值的综合影响，因而M(·,+)法的评价结果比M(·,V)法更加符合实际，也更为合理而可靠，所以该组水样(SW4)水质隶属于IV级水为宜。

#### 4.2 合理性分析

从潜水实际分布情况来看，I级水主要分布于不受大面积灌溉影响的毛都站镇及其以北、以东地段，以及灌区上游地势较高的村屯中；II级水主要分布于灌区上游地势较平坦的村屯中及灌溉影响的边缘；III级水主要分布于灌区中、下游受灌溉影响明显且地势低洼地区。由此可见，水质综合评价结果与潜水的形成条件和赋存环境相符合，结果令人满意。

从地表水来看，以新站址江水水质最好，其对I级水的隶属度接近于

1.0, 而以封闭性的奔不来泡水质最差, 评价结果亦与实际情况相符合, 说明水质标准与评价方法有一定的适用性。

## 5、结论

(1) 本文所提出的灌溉水质标准无论对前郭灌区第二灌区内的潜水还是区内外的地表水均具有一定的适用性;

(2) 本文所引入的灌溉水质评价方法——模糊综合评判法是较为理想的方法, 就 $M(\cdot, +)$ 法和 $M(\cdot, V)$ 法而言, 以 $M(\cdot, +)$ 法的评价结果更为理想。

(3) 区内潜水水质除与特定的地形、地貌及赋存环境有关外, 还明显受其形成条件的影响, 特别是灌溉与排水条件的影响。在排水条件差且受灌溉影响的地段, 潜水水质明显变差。评价结果与实际情况十分符合。

本文是一篇探讨性的论文, 所提出的灌溉水质标准还有待今后进一步研究、完善。因时间、水平所限, 文中定有不妥之处, 望诸位专家指正。

## 参 考 文 献

- 1、地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队主编，水文地质手册，地质出版社，1985.8。
- 2、夏青、张旭辉主编，水质标准手册，中国环境科学出版社，1990.10。
- 3、R. H. Brown等编，地下水研究，赵耿忠、叶寿征等译，学术书刊出版社，1989.10。
- 4、林年丰著，医学环境水文地球化学，吉林科技出版社，1991。
- 5、萧长来，模糊优选理论与模型在水质优选中的应用，东北内蒙古地区青年地质工作者科学研究论文集，吉林大学出版社，1993.6。
- 6、王克山，模糊数学方法在地下水水质污染综合评价中的尝试，水文地质与工程地质，1984年1期。
- 7、朱玉仙，模糊数学方法在地下水水质污染评价中的应用，水文地质与工程地质，1986年2期。
- 8、萧长来，二级模糊综合评判法在地下水水质污染评价中的应用，东北地区水资源学术讨论会论文，1987.12。
- 9、熊道锐，用模糊数学方法综合评价污染地下水体，环境水文地质，1985年3期。

## 前郭灌漑区第二灌漑区

1. 不圧地下水均衡の初歩的研究
2. 灌漑水質基準と評価方法の研究

蕭長来

# 前郭灌漑区第二灌漑区における 不圧地下水均衡に関する初歩的研究

蕭 長 来

吉林省水利庁前郭灌漑区開発辦公室

吉林省水利水田勘測設計院

(中国・長春・130021)

## 概 要

本文は質量不変の法則に基づいて灌漑区の不圧地下水の水収支式を確立し、均衡項とパラメータの確定方法を出し、灌漑区の地下水資源の評価と利用、地下水排水と動態予測、土壌改良、生態環境改善に科学的な根拠を与えるものである。

キーワード：前郭灌漑区第二灌漑区、不圧地下水、水収支式、均衡項、均衡パラメータ、生態環境

## 1. 序 文

前郭灌漑区は吉林省松原市前郭県の第二松花江左岸と嫩江右岸の合流点に位置する中国の大型灌漑区の一つである。引松導水路（総幹線排水路とも称する）と七門吐排水路を境として三つの灌漑区に分かれている。その内第二灌漑区は引松導水路以北、七門吐排水路以東に位置し、東北は第二松花江を境としている。区内の地形は平坦で広く、土、水資源が豊富である。現在の第二灌漑区の開発水田面積は6,180haで、全灌漑区の水田面積の約40%を占めており、計画水田開発総面積は18,765haである。

第二灌漑区西北部の既存の水利施設は不備で、排水措置も不適切であり、それに加えて地形が平坦で土壌の透水性が小さく、地下水位が高いため達里巴郷一帯は広い面積の二次塩類化現象が起きており、生態環境が悪化されつつある。区内の間隙不圧地下水は土壌形成の主な影響要素であり、灌漑区の生態環境の中で最も活発な要素の一つである。そのため地区内の地下水動態の変化規律及びその主要な影響要素を明かにし、不圧地下水均衡の研究を行うことは灌漑区の地下水研究と生態環境改善にとって重要な意義を持つ。

## 2. 灌漑区の地質と水文地質条件<sup>(1)</sup>

### 2.1 灌漑区の地質条件

前郭灌漑区第二灌漑区は河谷沖積平原に位置し、地貌は一級台地、沼沢地と河川敷である。縦に全灌漑区を見ると地表岩性は主に全新統(Q<sub>4</sub>)沖積と沼沢堆積の壤土、粘土で、一般的に厚さは1~3mで、地勢が高い所では1m以下で、地勢の低い窪地では局部的に3~6mに達する。その下は全新統(Q<sub>4</sub>)沖積砂層で、中砂、粗砂を含む礫が主で、上部が細かく下部が粗く、厚さは10~25mで、間隙不圧水帯水層を構成している。更にその下は中更新統(Q<sub>2</sub>)湖積泥質壤土がシルト質砂壤土或いは細砂層を夾んでおり、厚さは20~34mで、加圧層(透水性が弱い)を形成している。更に下は下更新統(Q<sub>1</sub>)氷水堆積の灰白色砂及び砂礫があり、一般には厚さ5~15mで、北部では15m以上あり、地域性の間隙被圧水層を構成している。その下は岩盤で主に白亜系下統(K<sub>1</sub>)巨厚層泥岩、シルト質泥岩で、北部は上第三系(N)厚層泥岩で基盤を形成している。本地区の間隙不圧水帯水層と間隙被圧水層の間に一定の水力関係があり、比較的弱い越流地下水系統を構成している。

### 2.2 灌漑区の水文地質条件

地区内の地下水類型は主に軟弱岩類間隙水で、不圧水と被圧水に分けることができ、地下水類型による区内の水文地質条件は以下のようなものである。

不圧水は全新統(Q<sub>4</sub>)沖積砂層中にあり、帯水層の厚さは10~23mである。水平方向では、河川方向及び河床から遠い方向に沿って帯水層の粒子は粗いものから細かいものへと変化し、厚さは薄くなる。垂直方向では粒子は上部が細かく下部が粗く、明確な周期性がある。単位深さ当たり(S=1m)の単位湧出量は一般に100~300m<sup>3</sup>/日、水位の深さは1~3mで、局部的に地勢の高い所は3m以上で、年水位の変化の幅は0.5~2.0mである。水理化学類型は主にHCO<sub>3</sub>-NaCa、CaNa、MgCa、Na型とHCO<sub>3</sub>Cl-CaNa、NaCa、CaMg、Na型であり、鉱化度(総イオン含有量)は一般に0.3~1.0g/l、局部的には1.0g/l以上の所があり、pHは7.18~8.22である。

被圧水は下更新統(Q<sub>1</sub>)砂及び砂礫層の中にあり、帯水層は5~15mで、北部は15m以上あり、帯水層の深さは40~60mである。南東から北西にむけて帯水層の厚さは厚くなり、豊水性は強くなり、単位湧出量は南東部の100~300m<sup>3</sup>/日から北西部では300~700m<sup>3</sup>/日に増大する。被圧水頭は一般に不圧水位よりも0.2~1.5m低く、年間の水頭の変化幅は0.5~1.5mで、揚水の影響を受けるときは1.5~2.5mに達する。流出方向に沿って水理化学類型はHCO<sub>3</sub>-CaNa型からHCO<sub>3</sub>-NaCa型へと変化し、鉱化度は多くが0.5~0.8g/l、pHは7.0~7.4である。

### 3. 水収支式

#### 3.1 水収支式の確立

質量不変の法則による灌漑区の地下水系統（本文では不圧水系統を指す）の時間 $\Delta t$ 内の水収支式は：

$$\Delta G = G_i - G_o \quad (1)$$

となる。即ち均衡継続時間 $\Delta t$ 内の地下水（不圧水）系統の水量変化量 $\Delta G$ はその継続時間内の地下水涵養量（流入量） $G_i$ と排出量（流出量） $G_o$ の差に等しくなる。 $\Delta G > 0$ の時にプラス状態となり、不圧水位の上昇が現れる。 $\Delta G < 0$ の時はマイナス状態となり、不圧水位が下降する。 $\Delta G = 0$ の時 $G_i = G_o$ となり、涵養水と排出量が等しくなり、継続時間の始めと終わりの水位が等しくなる。

不圧水涵養量（ $G_i$ ）は降水の浸透涵養量（ $Q_{p,r}$ ）、水路浸透涵養量（ $Q_c$ ）、田面浸透涵養量（ $Q_f$ ）、井戸灌漑還元涵養量（ $Q_w$ ）、側向流入涵養量（ $Q_{i,r}$ ）を含んでいる。

即ち：

$$G_i = Q_{p,r} + Q_c + Q_f + Q_w + Q_{i,r} \quad (2)$$

$$Q_i = Q_c + Q_f \quad (3)$$

式中の $Q_i$ は灌漑浸透涵養量である。

不圧水排出量（ $G_o$ ）は不圧水蒸発量（ $Q_e$ ）、揚水量（ $Q_p$ ）、側向流出量（ $Q_{i,d}$ ）、下方浸透量（ $Q_i$ ）、排水路排出地下水量（ $Q_{c,d}$ ）を含む。

即ち：

$$G_o = Q_e + Q_p + Q_{i,d} + Q_i + Q_{c,d} \quad (4)$$

そのため灌漑区の不圧水系統の水収支式は：

$$\Delta G = Q_{p,r} + Q_i + Q_f + Q_w + Q_{i,r} - (Q_e + Q_p + Q_{i,d} + Q_i + Q_{c,d}) \quad (5)$$

となる。

#### 3.2 均衡項の確定

(1) 不圧水量変化量は以下の式で確定する。

$$\Delta G = \mu F \Delta H \quad (6)$$

式中の $\mu$ ：飽差率（排水率）

$\Delta H$ ：継続時間（ $\Delta t$ ）内の不圧水水位変動幅

$F$ ：均衡区面積



(2)降水浸透涵養量 $Q_{pr}$ は水収支式から求めるか或いは以下の係数法で確定する。

$$Q_{pr} = \alpha \cdot P \cdot F \quad (7)$$

式中の $\alpha$ ：降水浸透涵養係数

P：継続時間降水量、前述と同様

(3)水路浸透涵養量( $Q_e$ )は取水水路水量均衡方程式或いは関係水力学法、経験公式法で確定する。

(4)田面浸透涵養量( $Q_r$ )は不圧水量均衡方程式或いは係数法で確定する。

係数法とは：

$$Q_r = \beta \cdot W_i \cdot F \quad (8)$$

式中の $\beta$ ：田面浸透涵養係数

$W_i$ ：継続時間内の灌漑水量（単位は高さで表示する）

(5)井戸灌漑還元涵養量( $Q_w$ )は係数法で確定する。また水収支式によって求めることができる。

(6)地下水側向流入涵養量( $Q_{li}$ )はダルシーの公式で計算することができる。

即ち：

$$Q_{li} = W_{li} \cdot F = K \cdot I \cdot H \cdot L \cdot \Delta t \cdot \sin \theta \quad (9)$$

式中の $W_{li}$ ：側向流入涵養均衡区の平均高

K：不圧水帯水層浸透係数

I：不圧水水力勾配

H：帯水層の厚さ

L：均衡区上流の過水断面の幅

$\theta$ ：不圧水流向と過水断面間の角度

(7)不圧水蒸発量( $Q_e$ )は係数法或いは不圧水蒸発経験公式法で確定することができる。

即ち：

$$Q_e = \varepsilon \cdot F = C \cdot E_{e01} \cdot F \quad (10)$$

$$\text{或いは } \varepsilon = \varepsilon_0 (1 - h/H_{max})^n \quad (11)$$

$$E_{e01} = CcE_{20} \quad (12)$$

式中の $\varepsilon$ ：不圧水蒸発水層の厚さ

C：不圧水蒸発係数

$E_{e01}$ 、 $E_{20}$ ：それぞれ $\Phi_{e01}$ 、 $\Phi_{20}$ 蒸発皿の蒸発量

$n$  : 指数、その変化範囲は  $1 \leq n < 3$ 、本文では  $n = 1$  とする

$h$  : 不圧水水位の深さ

$H_{max}$  : 不圧水蒸発極限埋深、通常  $1 \leq H_{max} \leq 4$

$\varepsilon_0$  : 水面蒸発量 (水層の厚さ)、通常  $\varepsilon_0 = E_{60.1}$

$C_e$  :  $E_{20}$  から  $E_{60.1}$  の換算係数を求める

(8)揚水量 ( $Q_p$ ) または地下水実質採水量というが、実質調査、統計により確定する。地区内の不圧水は主に住民の生活用水として使用され、揚水量は大きくない。そのため典型的な農家の用水量に基づき一人当たりの平均用水定額 ( $q$ ) を確定する。

即ち:

$$Q_p = W_p \cdot F = n \cdot q \cdot \Delta t \cdot F \quad (13)$$

式中の  $W_p$  : 継続時間内の不圧水揚水量 (高さで表示)

$n$  : 単位面積内の人口

$q$  : 一人平均用水定額

$\Delta t$  : 均衡連続時間内の日数

(9)不圧水下方浸透量 ( $Q_i$ )

$$Q_i = W_i \cdot F = (K'/b') \Delta H_i \cdot \Delta t \cdot F \quad (14)$$

式中の  $W_i$  : 継続時間 ( $\Delta t$ ) 内の不圧水下方浸透の水層の厚さ

$K'/b'$  : 越流パラメータ、その内  $K'$  は難透水層の浸透係数、 $b'$  は難透水層の厚さ

$\Delta H_i$  : 均衡継続時間内の不圧水水位と下層被圧地下水水頭の差、前述と同様。

(10)不圧水側向流出量 ( $Q_{i,d}$ ) はダルシーの公式により確定する。その平均高さは:

$$W_{i,d} = Q_{i,d} / F$$

である。

(11)排水路の排出地下水浸透 ( $Q_{c,d}$ ) は水力学法或いは実測法により分析確定する。その平均高は:

$$W_{c,d} = Q_{c,d} / F$$

である。

上述からもわかるように面積を  $F$  とした均衡区内で水量 (単位mm) を高さで表示する時、不圧水の水収支式は:

$$\mu \Delta H = \alpha P + W_c + \beta W_i + W_w + W_{l,i} - (\varepsilon + W_p + W_i + W_{i,d} + W_{c,d}) \quad (15)$$

となる。

### 3.3 均衡パラメータの確定

#### 3.3.1 飽差率（排水率）

飽差率（ $\mu$ ）は三水転化関係の研究と地下水研究中の一つのキーポイント的パラメータであり、それはその他の関係計算パラメータと地下水均衡研究の信用性と精度に直接或いは間接的な影響をもつ。現在までのところ国内外の飽差率の概念は一致していない。50年代に人々はソ連の学者が提唱したした“飽差率は水によって飽和された土体が、流出の方式で自由重力水の最大体積とその土体の体積との比を指す”<sup>[2]</sup>という定義を援用しており、伝統飽差率或いは重力飽差率とも言う。近年来人々は“飽差率とは地下水位が一定単位低下した時に地下水から地表面に延びる単位面積の土柱中から排出される水量、或いは地下水位が単位水頭分低下した時全非飽和帯が完全に放出できる水の厚さをさす。”<sup>[3]</sup>と定義している。

飽差率の影響要素は主に地層岩性、地層構造、岩土水理性質と水位の深さ等である。その確定方法は比較的多く、具体的には大きく以下に分けられる。(1)室内試験法（器皿法、加圧法、飽和差法、ライシメータ法を含む）、(2)揚水試験法（ロート法、現場揚水法、非定常状態揚水試験のポルトン法、ニューマン法、公式法を含む）、(3)動態資料推定法（不圧水蒸発経験公式法、貯水容積法、減水曲線法、カマンスキー法を含む）、(4)水量均衡法（一回降雨法、ライシメータ法、坑測定法、土壌水分特性曲線法、包気帯瞬時含水量断面法を含む）、(5)その他方法（指示剤法、間隙率法、泉水水量総合法、自由間隙率法、経験公式法、比較法等を含む）。

地下水無流出（或いは流出が非常に少ない）且つ垂直運動を主とする地区に対しては不圧水蒸発経験公式(11)を採用して飽差率を算出する。具体的な計算では(1)図解法、即ち  $\Delta H / \varepsilon_0 \sim h$  相関関係から、データ曲線が横軸（ $h$ ）との交点を  $H_{max}$  とし、縦軸  $\Delta H / \varepsilon_0$  との交点を  $1/\mu$  とする。(2)解析法、即ち連立方程式から  $\mu$  と  $H_{max}$  を求める。(3)相関分析法  $h$  と  $\lg(\Delta H / \varepsilon_0)$  の相関関係から  $\mu$  を算出する。(4)試算法、等を採用することができる。

関係研究では不圧水の水位の深さ（ $h$ ）が毛管水最大上昇高度  $H_c$  よりも小さい時、土層の飽差率は水位の深さにより変化し、水位の深さの増大に伴って増えることが明らかになっている。ソ連の学者が以下の公式<sup>[4]</sup>を提唱してその際の飽差率  $\mu(h)$  を確定している。

$$\mu(h) = \theta_s \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{ha}{H_c} \left[ 1 - \left( \frac{\theta_m}{\theta_s} \right)^2 \right]} \right) \quad (16)$$

$$\theta_s = n - P_0 \quad (17)$$

式中の  $\theta$  : 飽和含水率 (体積含水率、以下同様)

ha : 水位の深さ、h1からh2に変化したときの平均値

ll : 毛管水最大上昇高度

$\theta_m$  : 最大保水容量

n : 間隙率

P<sub>0</sub> : 土体飽和時の封入空気率間隙率、砂及び砂礫石に対し、P<sub>0</sub>=0、粘性土に対してP=0~5%。

ソ連の学者JI・A・ピエキンスキーが提唱した浸透係数 (K) を用いて求めた飽差率の経験公式<sup>[4]</sup>は即ち :

$$\mu = 0.1177 \sqrt{K} \quad (18)$$

均衡パラメータ中では飽差率の確定が最も重要となり、合理的な方法で正確に  $\mu$  値を確定しなければならない。

### 3.3.2 降水浸透涵養係数<sup>[5]</sup>

降水浸透涵養係数 ( $\alpha$ ) または降雨浸透或いは浸透涵養係数という。これは降水が涵養地下水に浸透した部分の水量 (Pg) と相応する降水量 (P) の比を指す。即ち  $\alpha = Pg/P$  であり、無次元パラメータとなる。それは降水が地下水に向かう転化率を反映し、三水 (降水、地表水、地下水更には土壌水) 転化関係研究と地下水研究の一つの重要なパラメータであり、一般には二次降水浸透涵養係数と継続時間 (例えば旬、月、季節、年等) 降水浸透涵養係数に分けることができ、更に点パラメータ、面パラメータに分けることができる。その影響要素には地形地貌、植生、降水 (降水量、降水強度、降水時間)、包気帯特性、地下水位の深さ、不圧水蒸発散及び人類の活動がある。その内包気帯岩性 (主に飽差率と浸透係数上に反映する)、地下水位の深さと降水量は主要な影響要素となり、前者は非時変要素とされ、後二者は時変要素とされ、そのため任意の特定研究区から言えば、 $\alpha$  は非常数であり複雑に多変するが、一定の変化規律がある。

降水浸透涵養係数 ( $\alpha$ ) の計算方法は多く、主に以下の方法がある。(1) 動態資料算出法 [ $\alpha = \mu \Delta ll / P$ ]、(2) 短期動態資料算出法 [ $\alpha = \mu (h - h\mu + V_h \cdot \Delta t) / P$ ]、(3) 降雨量累積影響値法 [ $\alpha = \mu \Delta ll / (P_i + P_a)$ ]、(4) ライシメータ法、(5) 水位変動法、(6) 一回降雨量分析法、(7) 多要素分析法、(8) 基流分割法、(9) 同位元素法、(10) 地中蒸発浸透計法 (11) 水収支法、(12) 泉流量総合法、(13) 比較法である。

### 3.3.3 灌漑浸透涵養係数

水路浸透涵養係数 ( $\beta_c$ )、田面灌漑浸透涵養係数 ( $\beta_f$ )、井戸灌漑還元浸透涵養係数 ( $\beta_w$ ) を含み、同一研究区に対しては一般的に  $\beta_w = \beta_f$  とされており、また水収支法を採用して確定する。 $\beta_c$  は水路水収支法及び関係水力学法を用いて確定する。

### 3.3.4 その他パラメータ

(1) 不圧水蒸発係数 ( $C$ ) は不圧水蒸発量 ( $\varepsilon$ ) と水面蒸発量の比を指し、無次元パラメータとなり、岩性と水位の深さの差異による。動態資料分析法 (例えば不圧水蒸発経験公式を利用する等)、水収支法を用いて確定し、条件がある場合には地中蒸発浸透計を利用して実測することができる。

(2) 越流パラメータ ( $B = K' / b'$ ) は揚水試験法或いは関係方法を用いて確定し、ボーリングのサンプリングにより弱透水層の  $K'$  値を測定することができ、またボーリングによって確認した粘性土層の厚さ  $b'$  により確定することができる。

(3) 浸透係数 ( $K$ ) は異なる野外揚水試験方法で確定することができ、野外で採取した岩石のサンプリングを室内で試験して測定する事もできる。

(4) エネルギー勾配 ( $I$ ) は地下水 (不圧水) 等の等水位線図上で決める。

(5) 毛管水最大上昇高度 ( $H_c$ ) は野外実測或いはサンプリング室内試験で測定する。

(6) 不圧水蒸発極限深度 ( $H_{max}$ ) は不圧水蒸発経験公式(11)を利用して算出する。または水収支試験場実測資料によっても確定することができる。

(7) その他のパラメータは一般的に関係資料により分析、確定する。

## 4. 応用実例

本文は達里巴郷一帯を研究区 (面積を  $F$  とする) として選出している。地区内は地形が平坦で、大面積の水田や草地、塩類化の土地がある。現地調査により局部的に (例えば達里巴屯北) 二次塩類化が顕著で、生態環境への悪化を来しつつあることがわかった。

#### 4.1 研究区域の水文地質特性

地質図、既設井戸調査、ボーリング、井戸打設等の関係資料によれば、区域内の地表岩性は壤土、粘土を主としており、厚さは2.5~5.7mで、その下は中砂層で、厚さは約13~16mで、不圧水含水層を構成している。更に下には泥質壤土が厚さ約26mにわたって難透水層を構成している。達里巴屯付近の浅井戸揚水試験資料によれば、深さ $S=2.6$ mの時、単位湧出量は $q=23.8\text{ m}^3/\text{hr}=571.2\text{ m}^3/\text{日}$ で、不圧水の豊水性は比較的良い。達里巴屯の中で第137号の長期観測井戸（深さ15m）の資料によれば、不圧水位は地表下0.77~2.99m、年平均水位は1.82~2.12mの間で、低水位は3~4月、高水位は7月下旬~9月上旬で、年間水位変動幅は1.07~2.05m、不圧水動態類型は降下浸透-灌漑浸透-蒸発型である。1985年4月と1986年5月に137号井戸に対して行った水質化学試験の資料によれば、水中の主要なイオンは $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ で、水化学類型は $\text{HCO}_3^-$ -CaNa型、鉱化度は約 $0.45\text{ g/l}$ 、pHは7.2~8.0である。1992年7月及び1993年4月に付近の民間井戸に対して行ったサンプリングの分析資料によれば、水化学類型は $\text{HCO}_3^-$ -CaNa、NaCa型で、鉱化度は $0.46\sim 0.58\text{ g/l}$ 、pH7.12~7.78である。水質資料の分析によれば不圧水中の $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{F}^-$ の含有量は年々増加し、鉱化度は増大し、水質も徐々に悪化している。

#### 4.2 水収支式の簡素化

達里巴郷達里巴屯一帯では、不圧地下水が受ける用水、排水の影響は非常に小さく、ほとんど計算にいれず、また井戸灌漑もないため深度（単位mm）表示の場合は水収支式は次式の通りである。

$$\mu \Delta H = \alpha P + \beta W_i + W_{i,i} - (\varepsilon + W_p + W_i + W_{i,d}) \quad (19)$$

(1)凍上層が存在する期間（11月中下旬から翌年5月中旬前後）には $\alpha P$ 、 $\beta W_i$ は無いため、(19)の式は変化する。

$$\mu \Delta H = W_{i,i} - (W_p + W_i + W_{i,d}) \quad (20)$$

もしその間に水位が上昇した場合は $W_{i,d}=0$ とされる。

即ち：

$$\mu \Delta H = W_{i,i} - (W_p + W_i) \quad (21a)$$

もしその間に水位が下降した場合は $W_{i,i}=0$ とされる。

即ち：

$$\mu \Delta H = - (W_p + W_i + W_{i,d}) \quad (20b)$$

(2)無凍上層期間の非灌漑期には(19)の式は変化する。

$$\mu \Delta H = \alpha P + W_{i1} - (\varepsilon + W_p + W_i + W_{id}) \quad (21)$$

もしその間に降水がなく水位が上昇した場合は  $\alpha P = W_{id} = 0$  となり、上述の式は

$$\mu \Delta H = W_{i1} - (\varepsilon + W_p + W_i) \quad (21a)$$

となる。その間に降水がなく水位の下降が比較的早い場合は  $W_{i1} = \alpha P = 0$  とされ、式(21)は

$$\mu \Delta H = -(\varepsilon + W_p + W_i) \quad (21b)$$

となる。

(3)無凍結土層の灌漑期間(5月中旬から9月上旬)には灌漑面積の大きさ、地下水位の垂直上昇の早さ、地下水(不圧水)の垂直運動が占める比率を考慮し、 $W_{id} = 0$  とされ、部分的な継続時間は  $W_{i1}$  があり、式(19)は

$$\mu \Delta H = \alpha P + \beta W_i + W_{i1} - (\varepsilon + W_p + W_i) \quad (22)$$

となる。もしその間に降水がなくで  $W_{i1}$  が無い場合は

$$\mu \Delta H = \beta W_i - (\varepsilon + W_p + W_i) \quad (22a)$$

となる。

上述から、合理的に均衡継続時間を選択できれば、水収支式から通常確定しがたい均衡項を算出することができ、それにより相応する均衡パラメータを算出することができる。

#### 4.3 均衡パラメータと均衡項の計算

公式(19)~(22a)中にはすべて  $\mu \Delta H$ 、 $W_p$  と  $W_i$  項が含まれるため、先ずこの三項を確定する必要があり、それより更に一步進んでその他の均衡項と関係パラメータを求めることができる。飽差率( $\mu$ )の確定が最も重要であることが明確となる。

達里巴屯南の第9311孔の資料によれば、初期水位は3.00m、安定水位2.40mである。1.90~2.20mの深さで採取した原状土のサンプリング試験から以下のことがわかる。岩性は重シルト質壤土で、砂質土(粒径0.05~2.0mm)が12.3%を占め、シルト質土(0.005~0.05mm)が61.1%、粘質土(<0.05mm)が26.6%を占める。間隙率  $n = 43.8\%$ 、自然含水率  $\theta = 39.0\%$ 、乾燥容量  $P_a = 1.53$ 、垂直浸透係数  $K_v = 0.0174 \text{ m/日}$ 、毛管水上昇高度  $H_c = 1.18 \text{ m}$  である。既にわかっている  $K_v$  により式(18)にあてはめて算出すると  $\mu = 0.066$  となる。土壌サンプリングは一般的に下部測定試験により、深さ2.15m前後で、 $h_a = 1.18 - (2.40 - 2.15) = 0.93$  であり、また  $H_c = 1.18 \text{ m}$ 、 $\mu(h) = 0.048$ 、 $\theta_s = n = 0.438$  であり、即ち式(16)から  $\theta_m = 0.376$  が求められ、故に  $\mu = \theta_s - \theta_m = 0.062$  となる。また灌漑区内の15ヶ所の原状土壌サンプリング測定試験の結果(粘土4ヶ所、シルト質粘土4ヶ所、重シルト質壤土7ヶ所)、平均自由間隙率は  $\mu_f = 0.063$  である。137号井戸の部分的継続時間不圧水蒸

発資料によれば、図解法より  $\mu = 0.063$ 、 $H_{max} = 3.18\text{m}$  が求められる。調査により137号井戸と9311孔の地層岩性は基本的に一致しており、地表壤土層の厚さが若干薄いため（約3.0m）、137号井戸の水位変動帯に対しては  $\mu = 0.063$  を取るのが合理的且つ根拠あるものといえる。

137号井戸の水位変動帯に対して  $\mu = 0.063$ 、 $H_c = 1.20$ 、 $\theta_s = 0.43$ 、 $\theta_m = 0.367$  を取ると、式(16)から毛管水帯内の異なる水位の深さ (ha) の飽差率  $\mu (h)$  は表1に示す通りである。この様に既にわかっていると  $\mu$  と水位変動幅 ( $\Delta H$ ) により任意の継続時間の不圧水変化量が算出される。

表1 毛管水帯内の異なる深さでの飽差率

ha (m)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
$\mu (h)$	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.041
ha (m)	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20
$\mu (h)$	0.044	0.046	0.049	0.052	0.055	0.057	0.060	0.063

不圧水揚水量 ( $W_p$ ) は主に生活用水として使用され、手押し式の圧力ポンプ井戸で不圧水で取水し、揚水量は時間変化が大きくなければ均等に揚水できると見られ、達里巴村には3,400人の人口があり、井戸影響面積は約1.5km<sup>2</sup>で、一人当たりの平均用水量は50ℓ/人で、1日当たりの計算は以下である。

$$W_p = \frac{50 \times 3,400 \text{ ℓ} / \text{日}}{1.5 \times 10^6 \text{ m}^2} = 0.1133 \text{ mm} / \text{日}$$

不圧水下向浸透量 ( $W_i$ ) の確定は比較的難しいが、本地区に既にある揚水試験所が求めた  $K'/b'$  値 ( $4.7 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$ ) と不圧水と被圧水の水頭差 ( $\Delta H_i = 440\text{mm}$ 、年内変化は小さい) により  $W_i = 0.0207 \text{ mm} / \text{日}$  が求められる。

不圧水蒸発量 ( $\varepsilon$ ) は不圧水蒸発経験公式により確定することができる。井戸が屯の中で住居と路面 (土地面積の約1/3を占める) が不圧水蒸発に影響することを考慮し、故に  $\varepsilon = 2E_{pot} (1 - h/H_{max}) / 3$  から不圧水蒸発量を計算する。

$\mu (h)$ 、 $W_i$ 、 $W_p$ 、 $\varepsilon$  が既に確定しているという状況の下に、継続水量均衡方程式により  $\alpha P$ 、 $\beta W_i$ 、 $W_{ii}$ 、及び  $W_{id}$  を求め、更に  $\alpha$ 、 $\beta$  等のパラメータを求めることができる。具体的な計算の時には関係涵養或いは排出速度の変化の特徴を考慮し、関係量項に対して合理的な分解を行う。本文では137号井戸の1985年4月から1990年12月の資料を利用して、降水、



蒸発、地下水位昇降の間の関係を充分考慮し、合計139の均衡継続時間を選択し、その内多数が均衡継続時間は5~20日で、部分的には20~31日である。関係計算結果を表2に示す。

表2 前郭地区第二灌漑区137号観測井戸の地下水均衡概算結果総合表

年份	时段数	P	E <sub>20</sub>	ΔH	ΔG	G <sub>i</sub>	αP	βW <sub>i</sub>	W <sub>ii</sub>	G <sub>o</sub>	ε	W <sub>p</sub>	W <sub>i</sub>	W <sub>id</sub>	α	β	C
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
1985	23	554.4	1405.7	620.0	39.4	245.9	55.2	157.8	36.7	203.7	138.5	31.2	5.8	28.2	0.100	0.169	0.098
1986	19	440.8	1461.1	-80.0	-5.0	235.2	48.5	119.6	67.1	240.3	147.0	41.2	7.6	44.5	0.110	0.128	0.101
1987	18	639.1	1494.1	60.0	8.0	268.1	74.7	136.8	57.6	260.1	153.5	43.3	7.6	55.8	0.139	0.146	0.103
1988	24	461.3	1461.4	70.0	4.4	273.4	62.2	160.0	51.1	269.0	182.1	42.9	7.6	36.4	0.135	0.171	0.125
1989	25	315.0	1539.7	-280.0	-11.3	250.8	40.2	125.8	84.8	262.1	174.7	41.2	7.6	38.6	0.128	0.135	0.113
1990	30	592.7	1414.8	300.0	16.6	303.0	73.5	144.9	84.5	286.4	197.6	41.2	7.6	40.0	0.124	0.155	0.140
AVG	(139)	483.9	1463.0	115.0	8.7	262.7	59.1	140.8	63.6	253.6	165.6	40.2	7.3	40.6	0.122	0.151	0.113
MAX		592.7	1539.7	620.0	39.4	303.0	74.7	160.0	84.8	286.4	197.6	43.3	7.6	55.8	0.139	0.171	0.140
MIN		315.0	1406.7	-280.0	-11.3	235.2	40.2	119.6	36.7	203.7	138.5	31.2	5.8	28.2	0.100	0.128	0.098

注：1985年の関係データは4~12月のもので、1~3月は含まない。

#### 4.4 均衡概算結果分析

1985年4月から1990年12月の6年の水収支結果から見ると、不圧水の年涵養量（G<sub>i</sub>）は235.2~303.0mmで、年平均では262.7mmとなり、その内降水浸透涵養量（αP）は40.2~74.7mm、年平均59.1mmである。灌漑浸透涵養量（βW<sub>i</sub>）は119.6~160.0mmで、年平均では140.8mm、側向流入涵養量（W<sub>ii</sub>）は36.7~84.8mmで、年平均は63.6mmである。不圧水排出量（G<sub>o</sub>）は203.7~268.4mm、年平均253.6mmであり、その内不圧水蒸発量（ε）は138.5~197.6mm、年平均は165.6mmである。揚水量（W<sub>p</sub>）は31.2~43.3mm、年平均は40.2mm、下向浸透量（W<sub>i</sub>）は28.2~55.8mm、年平均40.6mmである。不圧水の主要涵養量は灌漑水浸透涵養量が53.6%を占め、主な排出量は不圧水蒸発量で65.3%を占めている。不圧水側向流出純涵養量（W<sub>i</sub>とW<sub>id</sub>の差で計算する）は年平均23.0mmで、灌漑浸透涵養量及び降水浸透涵養量よりはるかに小さい。これにより本地区の不圧水運動は垂直方向水量が主となっていることがわかる。

パラメータから見ると年降水浸透涵養係数（α）は0.100~0.139、年平均では0.122となる。継続時間降水浸透涵養係数（α）は0.042~0.281で、求められるパラメータは56であ

る。灌漑定額（935mm/a）により計算すると、年間田面灌漑浸透涵養係数は0.128～0.171、年平均0.151となる。E<sub>20</sub>観測値と比較すると不圧水蒸発量は0.098～0.136を占め、年平均では0.113となる。

涵養排水速度から見ると、灌漑水浸透涵養速度は一般に0.5～2.0mm/日、最大3.2mm/日、側向流出排出速度は一般に0.1～0.7mm、最大0.9mm/日である。

#### 4.5 不圧水の利用と環境改善

上述の概算結果から、本地区の毛管上昇高度は $H_c = 1.20\text{m}$ 、不圧水蒸発極限深は $H_{max} = 3.18\text{m}$ であることがわかる。不圧水地下水位が地表下1.20m以下の時は土壤が沼沢化現象を起こし、水位が地表下3.18m以下の時、特に地表下2.0m以下の時は不圧水蒸発濃縮作用が強くなり、土壤は塩アルカリ化現象が現れる。そのため土壤の塩類化を防止し、生態環境を改善するためには地下水位を低下させる措置を考慮し不圧水の蒸発濃縮作用を顕著に軽減させる必要がある。もし不圧水位が地表下3.0m前後に抑えられれば基本的には土壤の塩類化防止、生態環境の改善という目的を達することができる。地下水位を低下させる方法は、第一に排水路を深く掘り、地下水を排水させる、第二に合理的に不圧水を揚水して農地灌漑を行い、人為的に不圧水の垂直方向循環を強めることであるが、排水措置も強化する必要がある。

### 5. 結 論

本文では灌漑区の不圧水水収支式を提示し、均衡項とパラメータの関係確定方法を示して、実例を用いてその応用の可能性を説明している。

不圧水の水収支式に関する項目とパラメータは比較的多く、本文ではこの面について初歩的な検討を行ったに過ぎない。そのため不適當な点があることは免れえず、関係各位のご指導を乞うものである。

参考文献

1. 吉林省水利水電勘测設計院 吉林省前郭地区第二灌溉区施設整備計画水文地質調査報告 1993.5
2. 水利電力部38-1-1課題班 華北地区の地表水と地下水の相互転化関係研究 1987.11
3. Jacob Bear 1979、地下水水力学 許涓銘訳 地質出版社 1985
4. C. Ф. Аメリヤノフ 1959 灌溉土壤塩類化防止の水平排水施設(計算) 類博礼訳 中国工業出版社 1963.9
5. 長来、梁秀娟 降下浸透涵養係数の影響要素とその計算方法の研究 吉林省青年地質工作者論文集 長春地質学院学報 1991.10

# 前郭灌漑区第二灌漑区灌漑水質基準と 評価方法の研究

蕭 長 来

吉林省水利庁前郭灌漑区開発 公室  
吉林省水利水電勘測設計院

## 概 要

本文は国内外の関係灌漑水質基準についての分析、研究を通して前郭灌漑区（特に第二灌漑区）の特定の地理、地質、生態、水土環境とを組み合わせ、相応する灌漑水質基準と関係評価方法を提示し、経済的、合理的な灌漑水質評価の為に科学的根拠を提示するものである。

キーワード：前郭灌漑区第二灌漑区、灌漑水質基準、水質評価方法、ファジー総合評価法

## 1. 序 文

前郭灌漑区は吉林省松原市前郭爾羅斯蒙古族自治県内に位置し、第二松花江左岸と嫩江右岸の合流点にある中国の大型灌漑区の一つである。当灌漑区の東は第二松花江に、北は嫩江に隣接し、南部は台地、西部は丘陵地であり、現在の耕地面積は5.8万haで、そのほかに低湿地、塩アルカリ地及び荒地が5.8万haあり、水面面積は4万haである。地区内は地勢が平坦で、灌漑取水源は主に第二松花江の水（第一、第二幹線用水路を経由して灌漑）に頼り、局部的に井戸水、泉水で灌漑を行っている。灌漑区建設以来40年間で既に顕著な経済効果と環境効果を得ている。

当灌漑区は引松導水路と七門吐排水路を境に三つの灌漑区に分かれており、その内第二灌漑区は引松導水路以北、七門吐以東に位置し、その東北は第二松花江を境とする。1992年～1993年にかけて行われた“吉林省前郭地区第二灌漑区施設整備計画調査”の現地調査の中で前郭地区第二灌漑区西北部は地勢が低く湿地で、地下水位が浅く排水不良であり、明かな二次塩類化現象が起り、生態環境もいくらか悪化していることがわかった。局部的に井戸を使用して灌漑を行っている地区でも急速に塩アルカリ化現象が現れている。灌漑水特に地下水（不圧水）は地区内で最も活発な環境影響要素の一つであり、そのため各種の水源に対して灌漑水質評価を行い、不良環境現象の発生を防止する必要がある。また灌漑水質評価を行って、先ず灌漑水質基準を確定し、次に適切な評価方法を選択する。本

文はこの面において初歩的な検討を行うものであり、関係各位のご指導を仰ぎたい。

## 2. 灌漑水質基準

### 2.1 国内外灌漑水質基準の概況

#### (1) 国連の灌漑水質基準<sup>[1]</sup>

6項目に関して水質基準がある。即ち、ナトリウム（単位(me/l)%)、塩素、硫酸基、電気伝導度（EC）、総溶存物質量（TDS）、ホウ素等で、水質基準は三級に分かれる。

#### (2) イギリスの灌漑水質基準<sup>[2]</sup>

塩化物、ナトリウム、ホウ素、カルシウム、硝酸塩、フッ素化合物等の常量元素とヒ素、カドミウム、クロム、銅、モリブデン、ニッケル、セレン、鉛等の微量元素、除莠剤等の微量有機汚染物を考慮する。

#### (3) ドイツの灌漑水質基準<sup>[2]</sup>

この基準は屋外栽培と温室栽培の条件下で28項目の水質指標の最大値と近似値をだすもので、この28項目の指標は4つに分類される。即ち、(1)Al、As、Be、Pb、Cd、Cr<sup>6+</sup>、B、Fe、F、Co、Cu、Li、Mg、Mo、Na、Ni、Hg、Se、Zn等の19種の元素を含む化学元素、その内Naは必須測定元素、(2)総溶存物質量、塩化物、硫酸塩、磷酸塩等4項目を含む塩類指標、(3)その他、pH値、浮遊物、電気伝導度等3項目の指標である。そのほかドイツは《作物の塩に対する敏感度に関する質量基準》を定めており、総溶存物質量、電気伝導度、ナトリウム、塩化物、硫酸塩、磷酸塩等6項目の指標を選び出し、植物の塩に対する敏感度を3級に分けている。

#### (4) 旧ソ連の灌漑水質基準<sup>[3]</sup>

総溶存物質量（TDS）により灌漑水質基準を分け、灌漑係数法評価灌漑水質を提示し、主に塩類の作物と土壌に対する影響を反映している。

#### (5) アメリカの灌漑水質基準<sup>[3]</sup>

アメリカではWilcox等が1959年に電気伝導度とナトリウムの吸着比の関係を用いて灌漑水質に対して分類を行っており、5級に分けている。アメリカ農業局（USDA）が提示しているナトリウム吸附比は

$$(SAR = \frac{rNa}{\sqrt{(rCa+rMg)/2}}), \text{イオン含量単位はme/l}$$

電気伝導度（EC）との間の関係が灌漑水質基準を確定する。アメリカの塩度実験（USSL）では総溶存物質量（TDS）と電気伝導度（EC）により区分した灌漑水質分類系統を提示し、計4つに分類している。そこからアメリカは灌漑水中に含まれる塩量とナトリウム含有量を重視していることがわかる。

#### (6) 日本の灌漑水質基準<sup>[1]</sup>

日本の《農業用水水質基準（案）》の中では19項目の指標の基準値を規定している。これらの指標の中には強熱残留物、化学的酸素要求量（COD）、生物化学的酸素要求量（BOD）、溶存酸素（DO）、塩素、硫酸基（イオン）、ナトリウム、合成洗剤、全窒素、フェノール、銅、亜鉛、ニッケル、鉛、クロム、マンガ、ヒ素、総溶存物質量、油がある。

#### (7) 中国の灌漑水質基準

1972年9月中国は“都市汚水灌漑農地経験交流座談会”で《都市汚水灌漑農地水質基準（参考指標）》<sup>[1]</sup>を制定し、15項目の指標の許容値を規定した。これら指標はpH値、水温、浮遊物、含塩量、塩化物、総固体、油脂類、硫化物、揮発性フェノール、シアン化合物、ヒ素、鉛、全クロム、水銀、カドミウムである。

1979年3月、中国は《農地灌漑水質基準》（試行）（GT24-79）を公布し、18項目の指標の基準値を規定した。1985年4月25日修改後《農地灌漑水質基準》（GB5084-85）<sup>[2]</sup>を再度公布し、その中には22項目の指標を含んでいる。即ち水温、pH値、総溶存物質量、塩化物、硫化物、水銀、カドミウム、ヒ素、六価クロム、鉛、銅、亜鉛、セレン及びその化合物、フッ素化合物、シアン化合物、石油類、揮発性フェノール、ベンゼン、アルデヒド、クロラール、アクロレイン、ホウ素、大腸菌群である。

## 2.2 灌漑水質指標の選択

灌漑水質は直接食糧作物の質量と生産量に影響すると同時に、顕著に灌漑区の生態環境、特に水土環境に影響するため、灌漑水質基準の確定は極めて重要である。しかしながら灌漑水質に影響する基本要素は非常に多く例えば①灌漑方式（スプリンクラー灌漑、湛水灌漑、井戸灌漑、湿潤灌漑等）、②作物類型（果実、蔬菜、穀物、トウモロコシ、小麦、水稻等）、③土壌類型（砂壤土、壤土、粘土、黄土等）、④気候特徴（湿潤、半湿潤、半乾燥、乾燥等）、⑤水土中の元素背景値、⑥排水条件（排水良好、排水滞水等）等があり、そのため灌漑水質の確定は極めて難しい。

前郭灌漑区の多年にわたる地表水（河川水、水路水、溜水）、地下水（不圧水、被圧水）、泉水水質化学実験資料によれば、水温、pH値、硫化物、水銀、カドミウム、セレン、六価クロム、鉛、銅、亜鉛、セレン及びその化合物、シアン化合物、石油類、揮発性フェノール、ベンゼン等の指標は中国の《農地灌漑水質基準》（GB5084-85）中の相応する指標の基準値を超えていない（局所的な汚染地域を除く）。そのほか上述の指標の化学実験費用が大きく、またいくつかの指標は含有量が少ないため測定が難しい。前郭灌漑区の十数年来の灌漑実践と経験により現地調査、対比分析を行った結果、生態環境と水土環境に影響を及ぼす作用は上述指標ではなく、水中の含塩量及び関連塩類であることがわかり、これは灌漑区上流の排水条件が良い地方の土壌の脱塩がはっきりしていることと灌漑区下流の排水条件が劣っている地方の土壌塩類化現象が普遍的に起こっていることから証明実証された。国内外の灌漑区水質基準と組み合わせ、総溶存物質質量（TDS）、電気伝導度（EC）、ナトリウム（Na）、塩素（Cl）、硫酸塩（ $SO_4^{2-}$ ）、フッ素化合物（ $F^-$ ）と灌漑係数（Ka）等の7項目の指標を本文の灌漑水質指標とする。

## 2.3 灌漑水質基準の確定

灌漑水質基準は国外では三級、四級を採用している所もあるが五級を採用しているところもある。本文では五級の水質基準を採用し、各指標の基準値の確定は以下のようなものである。

### (1) 総溶存物質質量（TDS）

総溶存物質質量は灌漑水質基準の中で最も主要な指標であり、塩濃度が多すぎると植物、土壌に対して有害な影響を与える。中国北京農業大学の実験では含塩量 $1,500\text{mg}/\ell$ の水で灌漑を行うと土壌に軽塩化が現れた。トマト、キャベツ、果実類蔬菜に対して $1,000\text{mg}/\ell$ 以上の含塩水で灌漑を行ったところ、10%減産となり、土壌は塩類の堆積を開始した。<sup>[2]</sup> 前郭灌漑区牙木吐村南で含塩量 $355\sim 416\text{mg}/\ell$ の井戸水で2年間水

稲栽培したところ、水田の周囲に軽度の塩アルカリ化現象が現れた。総溶存物質質量関係基準は中国は2,000mg/ℓ、日本500mg/ℓ、国連2,100mg/ℓ、アメリカ3,000mg/ℓであり、本文で定める五級基準は200、500、1,000、1,500、2,000mg/ℓである。

## (2)電気伝導度 (EC)

電気伝導度は測定しやすくまた重要な水質指標とされている。国連、アメリカ、イギリスはそれぞれ三級、四級、五級基準に分かれている<sup>[2][3]</sup>。本文で定める五級基準は250、750、1,250、1,750、2,250 $\mu$ S/cmである。

## (3)ナトリウム (Na)

ナトリウムが農地灌漑中で最大の問題となるのはナトリウムイオンが土壤中に累積することで、土壤の構造と浸透性に対して潜在的にマイナス作用を生み出す。泥質土と粘土類土壤はナトリウムの危害に対して最も敏感であり、石灰質土壤はほとんど危険がない<sup>[2]</sup>。ナトリウムの危害程度はmg当量のパーセンテージで表示し (me/ℓ)、ナトリウム吸着比でも表示することができる。国連、アメリカ、イギリスはナトリウム含有量をそれぞれ三級、四級、五級に分けている。本文での五級基準は20、35、50、65、85 (me/ℓ) である。

## (4)塩素 (Cl<sup>-</sup>)

塩化物の危害は二面ある。一面は土壤の溶液浸透圧を高め、植物の水分、養分吸収を阻害することであり、もう一面は土壤の塩類化を引き起こすことである。外国の実験では灌漑水中のCl<sup>-</sup>含量は142~355mg/ℓに達した時危害が現れることが明らかにされている<sup>[2]</sup>。Cl<sup>-</sup>に関する基準はアメリカ142~355mg/ℓ、国連46.5~381.5mg/ℓ、日本250mg/ℓ、WHO (ヨーロッパ) 350mg/ℓ、中国200mg/ℓである。本文での五級基準は100、150、200、250、350mg/ℓである。

## (5)硫酸塩 (SO<sup>2-</sup>)

水中の硫酸塩の味を感じられる値は300~400mg/ℓ<sup>[2]</sup>である。関係基準は、ドイツ350mg/ℓ、日本20 $\mu$ m、アメリカ250~2,200mg/ℓである。本文での五級基準は100、150、200、250、350mg/ℓである。



## (6) フッ素化合物 (F<sup>-</sup>)

水中のフッ素含有量が比較的高いときは作物に危害を与えるだけでなく、作物中に堆積し更に大きな危害を及ぼす<sup>[2]</sup>。関係基準はアメリカ1.0mg/ℓ、ドイツ1.0mg/ℓ、中国2.0~4.0mg/ℓである。本文での基準は0.5、1.0、1.5、2.0、3.0mg/ℓである。

## (7) 灌漑係数 (Ka)

灌漑係数は旧ソ連の科学者が提唱したもので、一定程度での塩分構造が土壌及び作物に対する影響を反映する。本文での五級基準は18、14、10、6、1.2である。その計算方法<sup>[1]</sup>は以下である。

- a.  $rNa < rCl^-$  (単位mg/ℓ) の時 :

$$Ka = \frac{288}{5rCl^-}$$

- b.  $rCl^- < rNa^+ < rCl^- + rSO_4^{2-}$  の時 :

$$Ka = \frac{288}{rNa^+ + rCl^-}$$

- c.  $rNa^+ > rCl^- + rSO_4^{2-}$  の時 :

$$Ka = \frac{288}{10rNa^+ - 5rCl^- - 9rSO_4^{2-}}$$

本文での五級灌漑水質基準の詳細は表Iを参照。その内I級水は極めて良質な水で、灌漑には最適であり、塩アルカリ化現象はほとんど発生しない。II級水は比較的良好な水で灌漑に適しているが塩アルカリ化現象が発生するときがあり、排水に注意を要する。III級水は中等の水で、基本的には灌漑に適すが、土壌の塩アルカリ化現象を引き起こす可能性があり、排水措置を強化する必要がある。IV級水は比較的劣った水で、土壌の塩アルカリ化を引き起こし易く、土壌の透水性が強い場合或いは排水条件が良い場合は灌漑を行うことができる。V級水は極めて不良な水で、一般には灌漑に適していない。

表1 灌漑水質基準

級別	指標	全塩量	電導率	鈉	氯	硫酸塩	氟化物	灌漑係数
		TDS	EC	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Ka
		mg/l	μs/cm	(me/l)%	mg/l	mg/l	mg/l	-
I		200	250	20	100	100	0.5	18
II		500	750	35	150	150	1.0	14
III		1000	1250	50	200	200	1.5	10
IV		1500	1750	65	250	250	2.0	6
V		2000	2250	80	350	350	3.0	1.2
平均		1040	1250	50	210	210	1.6	9.84

### 3. 評価方法

水質評価方法は比較的多く、常用される方法には総合指数法があり、簡易累加法、算術平均、加重平均、平方和と平方根、均方根（Nemerow法）、幾何平均、双指数法、混合加重等の方法を含む<sup>[4]</sup>。現在中国の関係専門家が常用しているのはファジー総合評価法であり、また灰色係数法、ファジー優先法<sup>[5]</sup>、従属度法を採用する場合もある。ファジー総合評価法の評価結果は総合指数法よりも理想的であり、加えて実際<sup>[6][7][8]</sup>に合致するため現在では応用が比較的広い。本文ではファジー総合評価法を用いている。

ファジー総合評価法の基本的な歩みは、まず水質化学実験結果から、あるサンプリングの指標濃度法則を $C = (C_i)_{1 \times n}$ （ $n$ は指標数目とし、本文では $n=7$ とする）と確定し、その後水質基準 $S = (S_{ij})_{n \times m}$ （ $m$ は水質基準級別数目とし、本文では $m=5$ とする）により指標マトリックス $W = (W_i)_{1 \times n}$ と指標従属度法則 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ を確定する。更に異なる合成方式によりファジー総合評価モデル（評価関数） $D = (d_j)_{1 \times m}$ を確定し、最後に最大従属度原則により水質を級別する。

#### 3.1 指標加重計算

$$W_i = \frac{(C_i / S_{ia})}{\sum_{i=1}^n (C_i / S_{ia})}$$

$$S_{i,k} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{i,j}$$

通常線形従属関数を採用して指標従属度を計算し、小さいほど優良な型の指標に対しての計算方法は以下である。

(1)  $C_i \leq S_{i,1}$  (I級水質基準) 時、

$$r_{i,1} = 1, \quad r_{i,k} = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n; k=2, 3, 4, 5);$$

(2)  $S_{i,k-1} \leq C_i \leq S_{i,k}$  (k級水質基準) 時、

$$r_{i,k-1} = \frac{S_{i,k} - C_i}{S_{i,k} - S_{i,k-1}}$$

$$r_{i,k} = \frac{C_i - S_{i,k-1}}{S_{i,k} - S_{i,k-1}}$$

$$r_{i,1} = 0 \quad (k=1, 2, 3, 4, 5; 1 \text{ は } 1 \sim 5 \text{ の自然数、また } 1 \neq k, 1 \neq k-1)$$

(3)  $C_i \geq S_{i,5}$  の時、

$$r_{i,5} = 1, \quad r_{i,k} = 0 \quad (k=1, 2, 3, 4)$$

大きければ大きいほど優良型の指標 (例えば  $K_a$ ) に対してはその従属度の計算と上述の若干の差は比較的簡単であるため省略する。

### 3.2 ファジー総合評価モデル

$$D = W \circ R = (d_j)_{1 \times m} = (d_j')_{1 \times m}$$

$$D_j' = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$$

その内  $d_j$  の確定には以下のいくつかの方法がある。

(1) M ( , + ) 法<sup>[9]</sup> はモデル  $D_1 = (d_{j1})_{1 \times m}$  の確定に用いる。

即ち:

$$d_{j1} = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot r_{ij});$$

(2)M(∧, ∨)法<sup>[6]</sup>はモデルD<sub>2</sub> = (d<sub>j2</sub>)<sub>1×m</sub>の確定に用いる。

即ち：

$$d_{j2} = (W_1 \wedge r_{1j}) \vee (W_2 \wedge r_{2j}) \vee \dots \vee (W_n \wedge r_{nj})$$

その内∧、∨はそれぞれ小さいもの、大きいものを取った演算符である。

(3)M(・, ∨)法<sup>[7]</sup>はモデルD<sub>4</sub> = (d<sub>j4</sub>)<sub>1×m</sub>の確定に用いる。

即ち：

$$d_{j4} = (W_1 \cdot r_{1j}) \vee (W_2 \cdot r_{2j}) \vee \dots \vee (W_n \wedge r_{nj})$$

(4)M(∧, +)法<sup>[4]</sup>はD<sub>5</sub> = (d<sub>j5</sub>)<sub>1×m</sub>の確定に用いる。

即ち：

$$d_{j5} = \sum_{i=1}^n (W_i \wedge r_{ij})$$

(5)二級ファジー総合評価モデル<sup>[4]</sup>は確定D<sub>5</sub> = (d<sub>nj</sub>)<sub>1×m</sub>を用いる。

その内

$$d_{j5} = \frac{1}{3} \sum_{K=1}^3 (d_{jk})$$

また  $d_{j3} = (W_1 \cdot r_{1j}) \wedge (W_2 \cdot r_{2j}) \wedge \dots \wedge (W_n \cdot r_{nj})$

#### 4. 応用事例

本文では上述で確定した灌漑水質基準とファジー総合評価方法の中のM(・, +)法とM(・, ∨)法を利用し、前郭灌漑区第二灌漑区の1993年4月中旬に取った47の水のサンプリング(その内井戸水41組(全て不圧水)、地表水6組)について灌漑水質評価を行った。関係評価結果は表2、表3、表4を参照。

##### 4.1 評価結果

表2から41組の不圧水のサンプリングの中で23組がI級水に属し56%を占め、その最大従属度M(・, +)法は0.506~0.982で平均0.756である。M(・, ∨)法は0.476~0.983で、平均0.796であり、即ちこの23組のサンプリング水質は全て比較的大きな従属度で、I級水に属す。表3から10組のサンプリングの水質がII級水に属し24%を占めることがわかる。その内最大従属度はM(・, +)法で0.374~0.717で、平均0.569である。M(・, +)法では

0.382~0.886で、平均0.574である。8組のサンプリングの水質はⅢ級水に属し20%を占める。その内最大の従属度はM(・,+)法で0.411~0.665で、平均0.514である。M(・,V)法では0.386~0.577で、平均0.450である。

表2 前郭灌漑区第二灌漑区灌漑水質評価結果

水样 编号	TDS mg/l	水化学 类型	隶属度										水质 级别
			M(・,+)法					M(・,V)法					
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
6	922.5	H-C	0.796	0.037	0.167	0.000	0.000	0.867	0.022	0.111	0.000	0.000	I
10-2	793.7	H-C	0.516	0.317	0.167	0.000	0.000	0.592	0.211	0.197	0.000	0.000	I
13	366.5	H-CN	0.671	0.287	0.042	0.000	0.000	0.810	0.152	0.038	0.000	0.000	I
19	699.1	H-CM	0.519	0.316	0.165	0.000	0.000	0.637	0.185	0.178	0.000	0.000	I
24	524.6	H-CM	0.712	0.196	0.092	0.000	0.000	0.825	0.114	0.061	0.000	0.000	I
29	1028.1	H-C	0.841	0.018	0.134	0.007	0.000	0.820	0.023	0.147	0.009	0.000	I
31-1	210.8	H-CM	0.982	0.018	0.000	0.000	0.000	0.983	0.017	0.000	0.000	0.000	I
38	580.3	HCl-C	0.704	0.178	0.118	0.000	0.000	0.710	0.141	0.149	0.000	0.000	I
40-1	466.2	H-CM	0.860	0.140	0.000	0.000	0.000	0.897	0.103	0.000	0.000	0.000	I
42	492.8	HCl-CM	0.727	0.273	0.000	0.000	0.000	0.847	0.153	0.000	0.000	0.000	I
47	299.2	H-CN	0.844	0.153	0.003	0.000	0.000	0.922	0.074	0.004	0.000	0.000	I
48	281.4	H-CM	0.933	0.064	0.003	0.000	0.000	0.956	0.040	0.004	0.000	0.000	I
49	320.3	H-NC	0.758	0.186	0.006	0.000	0.000	0.782	0.160	0.078	0.000	0.000	I
50	718.6	HCl-C	0.506	0.338	0.156	0.000	0.000	0.476	0.352	0.172	0.000	0.000	I
51	354.6	H-CN	0.949	0.043	0.008	0.000	0.000	0.974	0.017	0.008	0.000	0.000	I
54	370.9	H-CN	0.898	0.088	0.014	0.000	0.000	0.915	0.065	0.020	0.000	0.000	I
57	193.3	H-N	0.776	0.038	0.186	0.000	0.000	0.751	0.035	0.214	0.000	0.000	I
61	273.7	H-C	0.938	0.057	0.005	0.000	0.000	0.963	0.031	0.006	0.000	0.000	I
67	451.6	H-CN	0.632	0.282	0.086	0.000	0.000	0.707	0.225	0.068	0.000	0.000	I
68-1	385.8	HCl-N	0.865	0.084	0.051	0.000	0.000	0.866	0.062	0.072	0.000	0.000	I
70	419.2	H-NC	0.580	0.158	0.262	0.000	0.000	0.553	0.111	0.336	0.000	0.000	I
74	783.0	HCl-CN	0.552	0.267	0.181	0.000	0.000	0.650	0.174	0.176	0.000	0.000	I
75	452.2	HCl-C	0.816	0.115	0.069	0.000	0.000	0.820	0.088	0.092	0.000	0.000	I
AVG	495.1		0.756	0.160	0.084	0.000	0.000	0.796	0.111	0.093	0.000	0.000	
MAX	1028.1		0.982	0.338	0.262	0.007	0.000	0.983	0.352	0.336	0.000	0.000	
MIN	193.3		0.506	0.018	0.000	0.000	0.000	0.476	0.017	0.000	0.000	0.000	

表 3 前郭灌溉区第二灌溉区灌溉水质评价结果

水样 编号	TDS ng/l	水化学 类型	隶属度										水质 级别
			M(·,+)法					M(·,√)法					
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
1	558.7	H-NC	0.238	0.675	0.087	0.000	0.000	0.169	0.675	0.156	0.000	0.000	II
2	842.6	HCl-CN	0.166	0.473	0.361	0.000	0.000	0.150	0.472	0.378	0.000	0.000	II
5-1	960.7	HCl-CN	0.181	0.444	0.325	0.050	0.000	0.121	0.494	0.296	0.089	0.000	II
12	580.2	H-NC	0.092	0.374	0.254	0.290	0.000	0.091	0.382	0.303	0.224	0.000	II
15-2	601.4	H-CN	0.154	0.717	0.129	0.000	0.000	0.120	0.886	0.194	0.000	0.000	II
22-2	1067.8	H-CN	0.119	0.539	0.310	0.032	0.000	0.150	0.468	0.330	0.052	0.000	II
28	589.9	H-CN	0.229	0.608	0.163	0.000	0.000	0.303	0.647	0.150	0.000	0.000	II
30	679.0	H-CN	0.112	0.694	0.194	0.000	0.000	0.086	0.653	0.261	0.000	0.000	II
43	706.1	HCl-CN	0.214	0.599	0.187	0.000	0.000	0.205	0.542	0.253	0.000	0.000	II
76	628.4	HCl-CN	0.180	0.565	0.255	0.000	0.000	0.139	0.625	0.236	0.000	0.000	II
AVG	721.5		0.168	0.569	0.227	0.037	0.000	0.153	0.574	0.256	0.037	0.000	
MAX	1067.8		0.238	0.717	0.361	0.290	0.000	0.303	0.886	0.378	0.224	0.000	
MIN	558.7		0.092	0.374	0.087	0.000	0.000	0.086	0.382	0.150	0.000	0.000	
17	1051.5	H-CN	0.157	0.220	0.456	0.167	0.000	0.127	0.282	0.391	0.200	0.000	III
20	619.8	H-NC	0.064	0.242	0.656	0.038	0.000	0.071	0.261	0.577	0.091	0.000	III
25-2	1350.6	H-CN	0.073	0.178	0.411	0.338	0.000	0.075	0.171	0.386	0.368	0.000	III
34	809.5	H-NC	0.083	0.289	0.448	0.180	0.000	0.088	0.227	0.421	0.264	0.000	III
35	987.6	H-NC	0.099	0.073	0.665	0.156	0.000	0.161	0.087	0.461	0.271	0.018	III
36	842.6	HCl-NC	0.283	0.167	0.550	0.000	0.000	0.319	0.153	0.528	0.000	0.000	III
37	1039.2	H-CN	0.193	0.341	0.430	0.036	0.000	0.172	0.386	0.395	0.047	0.000	III
63-1	957.7	CH-CN	0.162	0.310	0.498	0.029	0.000	0.142	0.348	0.439	0.071	0.000	III
AVG	957.3		0.139	0.228	0.514	0.118	0.001	0.144	0.239	0.450	0.164	0.002	
MAX	1350.6		0.283	0.341	0.665	0.338	0.007	0.319	0.386	0.577	0.368	0.018	
MIN	619.8		0.064	0.073	0.411	0.000	0.000	0.071	0.087	0.386	0.000	0.000	

表4 前郭灌漑区第二灌漑区灌漑水質評価結果

水样 编号	TDS ng/l	水化学 类型	従属度										水质 级别
			M(・,+)法					M(・,∇)法					
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
SW1	152.4	H-C	0.992	0.008	0.000	0.000	0.000	0.995	0.005	0.000	0.000	0.000	I
SW2	484.4	H-C	0.809	0.191	0.000	0.000	0.000	0.884	0.116	0.000	0.000	0.000	I
SW3	450.4	H-NC	0.559	0.225	0.216	0.000	0.000	0.607	0.132	0.261	0.000	0.000	I
SW5	273.7	H-NC	0.646	0.067	0.116	0.171	0.000	0.572	0.066	0.142	0.220	0.000	I
SW6	281.1	H-NC	0.656	0.221	0.123	0.000	0.000	0.712	0.127	0.161	0.000	0.000	I
AVG	328.4		0.732	0.142	0.091	0.034	0.000	0.754	0.089	0.113	0.044	0.000	
MAX	484.4		0.992	0.225	0.216	0.171	0.000	0.995	0.132	0.261	0.220	0.000	
MIN	152.4		0.559	0.008	0.000	0.000	0.000	0.572	0.005	0.000	0.000	0.000	
SW4	1232.8	HCl-N	0.006	0.100	0.259	0.336	0.299	0.010	0.167	0.173	0.205	0.445	IVor V

注：1～75は不圧水のサンプリング番号、SW1～SW6は地表水のサンプリング番号

表4から6組の地表水のサンプリングのうち5組がI級水に属し、その内最大従属度はM(・,+)法での0.559～0.992で、平均0.732である。M(・,∇)法では0.572～0.995で、平均0.754である。1組のサンプリング水質がIV級或いはV級水に属すものがあり、M(・,∇)法は比較的大きい値の影響<sup>18)</sup>を現しており、M(・,+)法は各指標の総合的な影響を現している。M(・,+)法の評価結果はM(・,∇)法よりも実際の状況に合致し、また合理性もあるのでその組のサンプリング(SW4)水質はIV級水に属すのが適している。

#### 4.2 合理性分析

不圧水の実際の分布状況からみると、I級水は主に大面積灌漑の影響を受けない毛都站とその以北、以東及び灌漑区上流の地勢の高い村落に分布している。II級水は主に灌漑区上流の地勢の平坦な村落及び灌漑が及ぶ所に分布している。III級水は主に灌漑区中、下流の灌漑の影響を受ける地勢の低い低湿地地区に分布している。これから水質の総合評価結果は不圧水の形成条件と賦存環境と合致しており、結果として満足のものであることがわかる。

地表水から見ると、新揚水機場予定地の河川の水質は最も良く、それはI級水の従属度に対して1.0に近いが、滞留水の水質は劣っており、評価結果は実際状況と合致し、水質基準と評価方法には一定の適用性があると言える。

## 5. 結 論

- (1)本文が提示した灌漑水質は前郭灌漑区第二灌漑区内の不圧水に対してだけでなく、内外の地表水にも一定の適用性がある。
- (2)本文で引用した灌漑水質評価方法－ファジー総合評価法は比較的理想的な方法で、M( , +)とM( , V)法にとってみるとM( , +)法の評価結果が更に理想的である。
- (3)灌漑区内の不圧水の水質は特定の地形、地貌及び賦存環境と関係がある他、明らかにその形成条件の影響を受け、特に灌漑と排水条件の影響を受ける。排水条件が劣り灌漑の影響を受ける所では不圧水の水質は明らかに劣る。評価結果と実際の状況とは十分に合致する。

本文は検討性の論文であり、本文で提示した灌漑水質基準は今後更に研究が進み、更に整ったものになることが期待される。時間、レベルに限りがあり、文中に妥当でない部分があると思われる。専門家各位のご指導を仰ぎたい。



参考文献

1. 地質鉱産部水文地質工程地質技術方法研究班主編 水文地質冊子 地質出版社  
1985. 8
2. 夏青、張旭輝主編 水質基準冊子 中国環境科学出版社 1990. 10
3. R. H. Brown等編 地下水研究 趙耿忠、葉寿征等訳 学術書刊出版社 1989. 10
4. 林年豊著 医学環境水文地球科学 吉林科技出版社 1991
5. 蕭長来 ファジー優先理論とモデルの水質優先における応用 東北内蒙古地区青年  
地質工作者科学研究論文集 吉林大学出版社 1993. 6
6. 王克山 ファジー数学方法の地下水水質汚染総合評価における試み 水文地質と工程  
地質 1984年1期
7. 朱玉仙 ファジー数学方法の地下水水質汚染評価における応用 水文地質と工程地質  
1986年2期
8. 蕭長来 二級ファジー総合評価法の地下水水質汚染評価における応用 東北地区水  
質源学術討論会論文 1987. 12
9. 熊道鏗 ファジー数学方法を用いた総合評価汚染地下水体 環境水文地質 1985年  
3期

# 日本の灌漑設計基準

村岡 宏

# 目 次

第1	日本の設計基準の概要と沿革	1
1.	日本の農林水産省における今日の設計基準体系	1
2.	今日までの設計基準整備体系	3
2-1.	1965年以前の設計基準	
2-2.	1965年から1975年までの設計基準	
2-3.	1975年以降の設計基準	
第2	日本の灌漑に関する設計基準	7
1.	計画基準「農業用水（水田）」	7
2.	設計基準「水路工」	10
第3	日本における設計基準整備上の課題	12
(添付図表)	1. 今日の日本の計画設計基準・指針の体系	
	2. 計画基準の制改定経緯	
	3. 設計基準の制改定経緯	
	4. 計画基準「農業用水（水田）」の記述構成	
	5. 水田の計画用水量の構成	
	6. 設計基準「水路工」の記述構成	

# 第1 日本 の 設計基準 の 概要 と 沿革

## 1. 日本 の 農林水産省 に おける 今日 の 設計基準 体系

日本 の 農林水産省 では、農業基盤 の 整備 に 係る 事業 ( 土地改良事業 ) の 適切 で 円滑 な 実施 に 資する ため に、設計基準 ( 正しく は 土地改良事業計画設計基準 という ) を その 中心 と して、次 の よう な 体系 で 各種 の 基準書 ・ 技術書 を 整備 して います。

### ① 設計基準 ・ 計画基準 ( 土地改良事業計画設計基準 )

主要 な 事業種別 や 施設 の 種類 ごと に、事業計画 の 樹立 や 施設 の 設計 に 当たり、遵守 すべき 事項 と その 解釈、運用 方法 の ほか、関連 する 事項 など を 定めた もの で、この うち、事業計画 樹立 に 関する 事項 について 事業種 ごと に 定めた もの を 「計画基準」、施設設計 に 関する 事項 について 構造物 の 種類 ごと に 定めた もの を 「設計基準」と 一般 に 呼んで います。  
( 以下、本報 では 断り の ない 限り、この 両者 を 合わせて 「設計基準」と 呼ぶ こと に します。 )

設計基準 は、遵守 すべき 基本 的な 事項 を 条文化 した 基準本文 ( 枠 で 囲まれた 部分、農林水産事務次官 通達 ) と、その 解釈 や 運用 の 具体 的な 解説 等 を 行っ ている 基準 の 運用文 ( 枠外 の 部分、構造改善局長 通達 ) と で 構成 されて います。

### ② 設計指針 ・ 計画指針 ( 土地改良事業計画設計指針 )

内容 的に 上 の ① の 設計基準 と する に は 実績 が 少な かった り、技術 的な 熟度 が 一定 の レベル に 達 して いない もの について、将来 実績 の 蓄積 や 技術 の 醸成 を 見極めた 上 で 順次 設計基準 に 移行 ( 格上げ ) させる こと を 前提 に、当面 の 計画設計 の 参考 と して、現場 の 技術者 に 示す もの です。

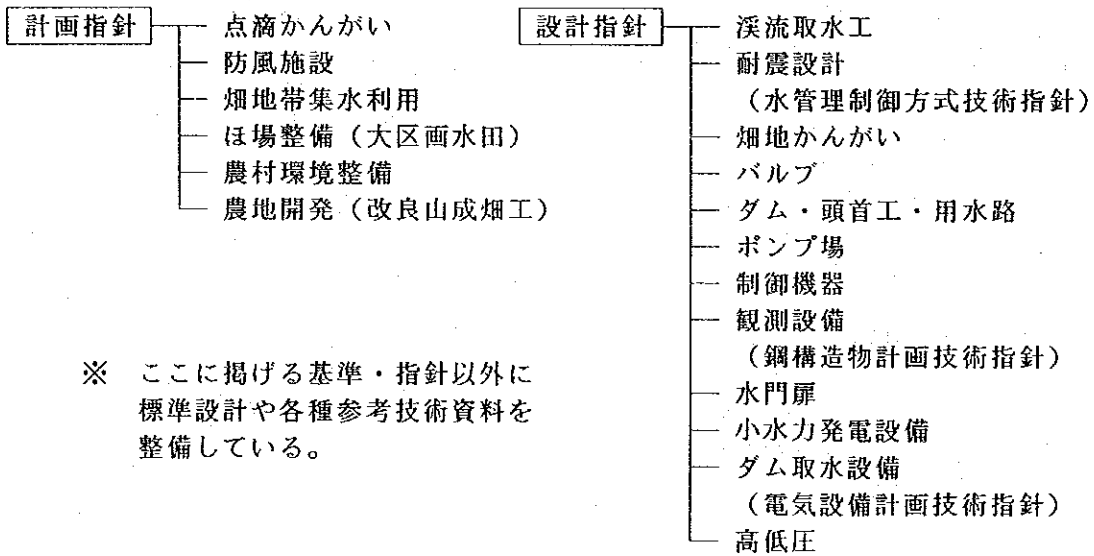
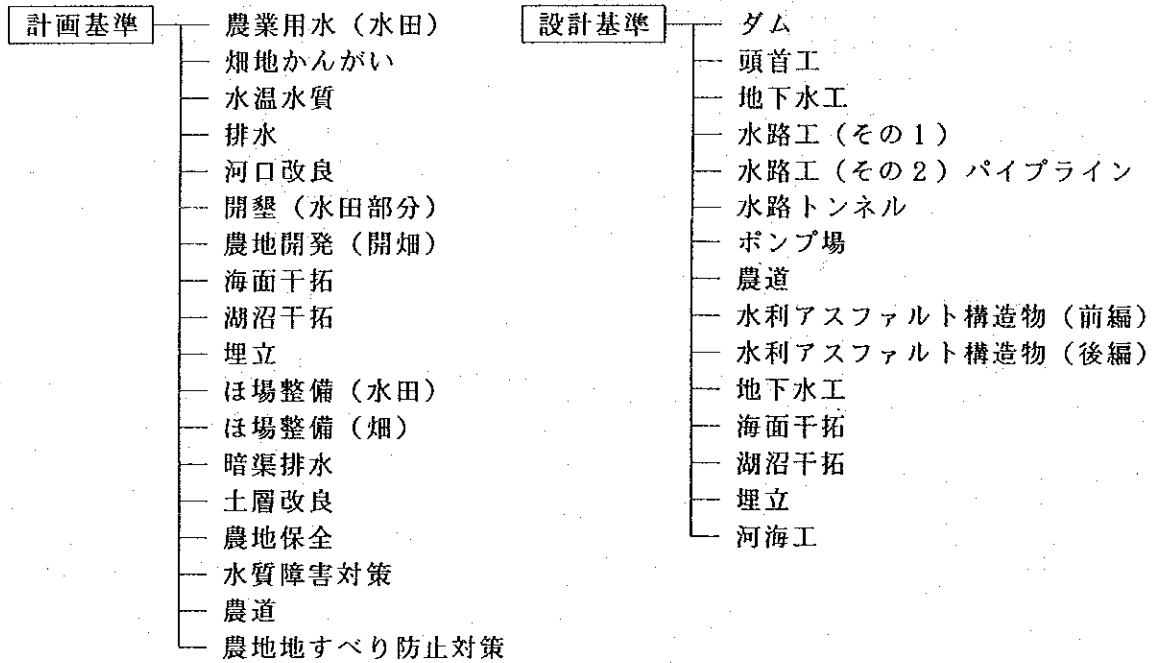
### ③ その他

上 の 設計基準、設計指針 の ほか に、標準設計 ( 設計作業 の 合理化、省力化 を 主たる 目的 と して、一般 に 用い られる こと の 多い 施設 ・ 構造物 について、標準 的な 現場条件 を 想定 した 上 で、この 場合 の 設計諸元 等 を 明らかに した もの ) や、参考技術資料 ( マニュアル など ) を 作成 し、計画設計 に 当たっ て 参考 と なる 事例 や、データ と して 取りま とめて、適宜 技術者 に 提供 して います。

現時点 において 整備 されて いる 設計基準、設計指針 を 次表 に 一覧 で 示し て おき ます。

< 図表 - 1 今日 の 設計基準 等 の 体系 >

図表-1 今日の日本の計画設計基準・指針の体系



※ ここに掲げる基準・指針以外に標準設計や各種参考技術資料を整備している。

## 2. 今日までの設計基準整備の経緯

### 2-1. 1965年以前の設計基準

日本における設計基準の草分けは、アメリカ合衆国によってもたらされました。

1949年頃、第二次世界大戦後の日本を占領統治していた連合軍総司令部（GHQ）に派遣されていたアメリカ合衆国農務省の専門家が、当時の日本の農業土木事業を視察後、日本政府（農林省）に対して、アメリカ開拓局での設計部門の重視、各工種のエキスパートの存在、彼らの俸給の高さなどを示唆すると同時に、事業の計画・設計・施工の手順を適切に踏まなければならないこと、事業実施のハンドブック（基準）の整備が喫緊の課題であることなどの勧告を行いました。

これらの示唆や勧告を契機として、1949年6月、日本の農林省農地局設計課に、はじめて設計基準係が設置されるとともに、当時の学識経験者や担当専門技術者からなる基準作成委員会が組織され、設計基準づくりの体制が発足しました。

当時の計画設計基準の執筆・編集は、

- ① 大学卒業者程度の能力を有する技術者を対象として記述すること。
- ② 教科書的な記述は極力避け、現場技術者の実務必携となるよう計画、設計及び施工の順序、方法を具体的に詳細に説明し、理論に偏することなく、設計例及び実施例を多く取り入れ、計画、設計、施工に直ちに役立つように実用的ならしめること。

等を基本方針としながら、当時のアメリカ開拓局（U. S. Bureau of Reclamation）の基準を参考にし、それまでの我が国の施工実績等を加味して作業が進められました。

この精力的な検討の成果が、1952年から1956年にかけて第一期の計画設計基準群として制定されたのです。

これらの一連の計画設計基準の発刊は、それまで事業現場によってそれぞれ個別に行われていた計画や設計の考え方を、一貫した体系のもとに整理し、当時、過去の施工実績や先人の経験の伝習、一部の専門書や海外の文献など限定された範囲でしか技術者にもたらされることのなかった計画・設計・施工の実務に関する情報（抛り所・マニュアル）を広く提供することによって、精粗まちまちで、必ずしも適切であったとはいえない当時の計画・設計・施工の水準を大きく引上げることに多大な貢献を果たしました。

### 2-2. 1965年から1975年までの設計基準

この時期には、当初に制定された基準群のうち主要なものの第一次改定が行われました。

この時期に改定された各設計基準の特徴の一つには、設計基準が農林水産省農地局の局長通達としてその行政的な位置付けを明確にしたことがあります。

それまでの設計基準（前述した1955以前に発刊されたもの）は、農林省農地局で取りまとめた後に、単なる手引書の形で現場の技術者に提供されてきていたのに対し、この時期以後の設計基準は、正式な行政文書として通達されるようになりました。

この時期の設計基準のもう一つの特徴は、基本的・重要で遵守すべき事項を枠で囲み、詳しい解説や具体的な運用方法などを枠の外に記述するという現在の基準書のスタイルが初めて採用されたことです。

このことによって、それまでの設計基準が、むしろ参考書・手引書としての色彩が濃く、設計上守らなければならない基本的事項の提示が必ずしも明確でなかったのに対して、このような二段階の記述構成にすることによって、より鮮明になりました。

### 2-3. 1975年以降の設計基準

この年代の設計基準の大きな変化は、それまで農地局長通達としていた設計基準のうち、枠で囲まれた基本的な部分（基準本文）が、上位の農林水産事務次官から通達されるようになったことです。

これ以降、設計基準が行政通達の中でも最も権威の高い農林水産事務次官通達としての規範性と、それを補完する解説文による実用性とを兼ね備え、事業の計画や施設の設計施工の教科書として、また、事業実施に係る他省庁との協議や対外的な説明の拠り所として利用されながら今日に至っています。

このように、日本の設計基準は1950年頃から今日まで、上記のような変遷をたどりながら、また、内容的にはその間の土地改良事業制度の動向や土木科学技術の進歩に追随して順次制改定を重ね、その時代時代の技術者の要請に応じて、計画・設計の規範や拠り所を示す一方で、計画設計技術の実務必携書として、日本の土地改良事業の適切かつ円滑な執行に多大な貢献を果たしてきました。

また、このような設計基準群を補完する意味で、関連する参考資料を整理し、適切かつ合理的な事業の執行を支援するために、設計指針、標準設計やその他の技術資料など各種の技術書や基準書的なものをこれまでに順次整備し、先に述べた今日の設計基準体系を形成しているのです。

<図表-2 計画設計基準の制改定経緯（設計基準）>

<図表-3 計画設計基準の制改定経緯（計画基準）>

(図表-2) 計画基準の制改定経緯

( ) は制定年月日

1964年以前	1965～1974年	1975～1984年	1985年～
灌漑 (1954. 12. 1)		畑地灌漑 (1982. 8. 10)	農業用水 (水田) (1993. 5. 28)
	水温水質 (1967. 11. 20)		
排水 (1954. 12. 1)	河口改良 (1967. 11. 20)	排水 (1978. 9. 12)	
開墾 (1956. 12. 1)		農地開発 (開畑) (1977. 1. 18)	
海面干拓 (1952. 12. 1)			
湖沼干拓 (1956. 12. 1)			
埋立 (1956. 12. 1)			
区画整理 (1955. 12. 1)		ほ場整備 (水田) (1977. 1. 18)	
		ほ場整備 (畑) (1978. 9. 12)	
暗渠排水 (1955. 12. 1)		暗渠排水 (1984. 1. 12)	
客土 (1955. 12. 1)		土層改良 (1984. 1. 12)	
床締め (1956. 12. 1)		水質障害対策 (1980. 8. 15)	
土壌侵食防止 (1956. 12. 1)		農地保全 (1979. 7. 7)	
	地すべり防止事業 (1967. 11. 20)		農地地すべり防止対策 (1989. 7. 24)
		農道 (1981. 7. 20)	



(図表-3) 設計基準の制改定経緯

( ) は制定年月日

1964年以前	1965～1974年	1975～1984年	1985年～
土堰堤 (1953. 2. 1)	フィルダム (1966. 6. 30)	ダム (1981. 4. 1)	
コンクリートダム (1952. 12. 1)	コンクリートダム (1965. 10. 30)		
頭首工 (1952. 10. 31)	頭首工 (1967. 10. 26)	頭首工 (1978. 10. 2)	
水路工 (1953. 2. 1)	水路工(その1) (1970. 11. 7)		水路工(その1) (1986. 5. 30)
	水路工(その2)ハイライ (1973. 3. 1)	水路工(その2)ハイライ (1977. 10. 1)	水路工(その2)ハイライ (1988. 3. 1)
		水路工(その3) トソル (1975. 8. 20)	水路トンネル (1992. 3. 21)
		ポンプ場 (1982. 12. 27)	
道路 (1955. 12. 1)	農道(その1) 舗装 (1973. 3. 1)	農道(その1) 舗装 (1977. 10. 1)	農道 (1989. 4. 20)
	水利アスファルト工(舗) (1967. 2. 23)		
	水利アスファルト工(舗) (1970. 6. 12)		
地下水工 (1953. 2. 11)			
海面干拓 (1952. 12. 1)	海面干拓 (1966. 3. 30)		
湖沼干拓 (1956. 12. 1)			
埋立て (1956. 12. 1)			
河海工 (1956. 12. 1)			

## 第2 日本の灌漑に関する設計基準

本節では、先に述べた日本の設計基準体系のうち、灌漑事業に関連するもの主要なものを紹介します。

### 1. 計画基準「農業用水（水田）」

この基準は、水田の灌漑用水を確保するために実施する事業の計画を作成する際の、基本的な考え方を示したもので、日本の土地改良事業計画の根幹をなす基準といえます。

この基準で定められている主な内容は、灌漑計画の基本的な考え方、計画作成手順、計画で定めるべき項目、計画の標準的な手法・諸元、計画作成上の留意事項などで、その記述構成は次表のようになっています。

〈図表－4 計画基準「農業用水（水田）」の記述構成〉

これらのうち、「3.3.4 用水計画」では、計画地区における用水の確保量（計画用水量）を決定する過程に関する事項を規定しており、この基準の最も重要な部分であるといえます。

計画用水量の構成は図表－4のように表されますが、その中心部分を占めるのが「ほ場単位用水量」です。この水量から、ほ場に降る「有効雨量」を差し引いて「純用水量」（ほ場地点で確保すべき用水量）が算定されます。計画用水量は、この純用水量をほ場地点まで確実に送排水するために加味される「施設管理用水量」や、地区内での利用可能量を考慮して決定されることになります。

〈図表－5 計画用水量の構成〉

ほ場単位用水量は、ほ場における蒸発散浸透量（蒸発散量と浸透量の和で「減水深」と呼ばれることが多い）と栽培管理用水量から構成されます。

計画の蒸発散浸透量は、試験圃場での実測または、類似地区のデータを基に、地区の条件変化を加味して設定しますが、これらの資料が得られない場合には、様々な規定要因を加味した上で推定によって定めることもできます。

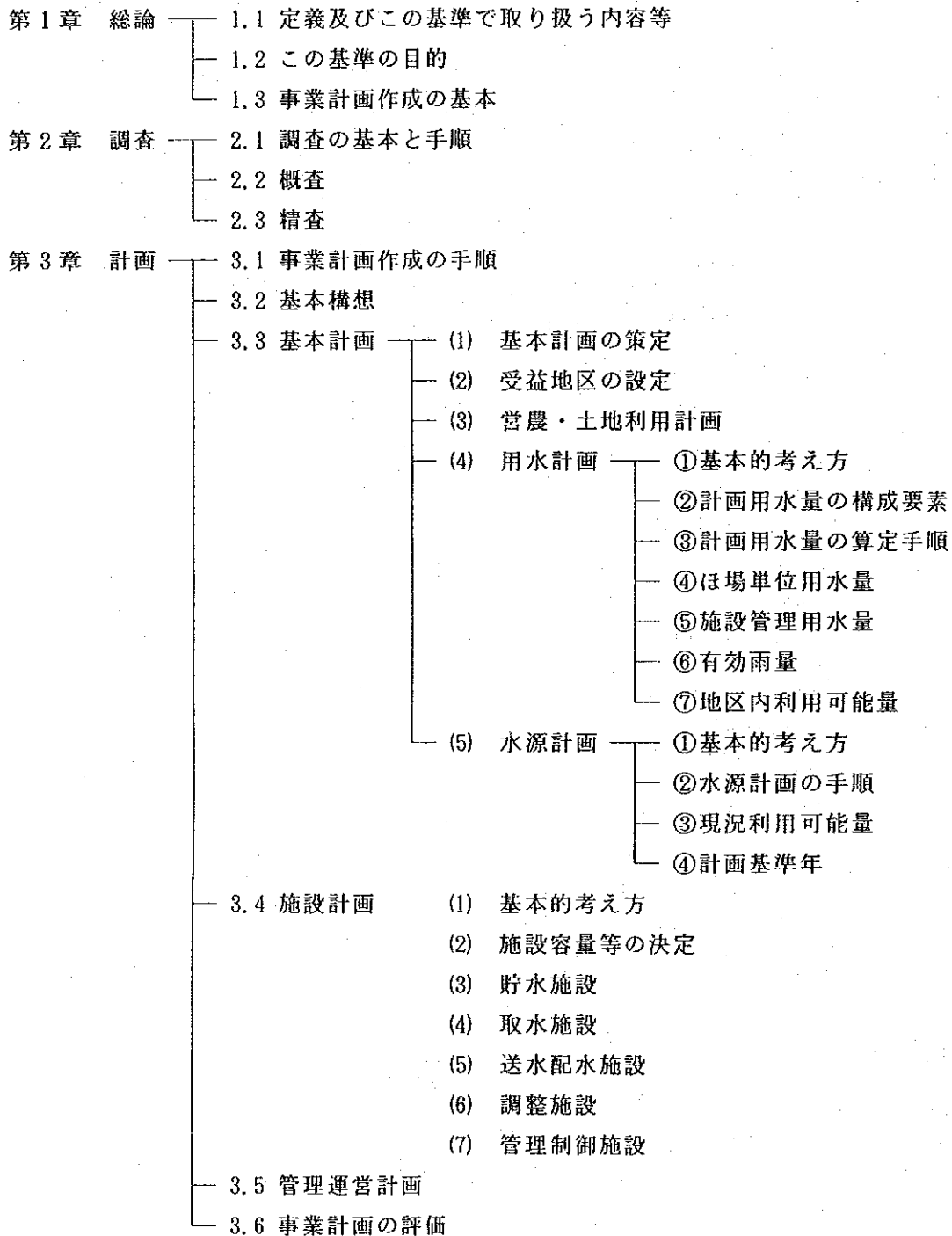
栽培管理用水とは、ほ場での様々な栽培技術上の水管理を実現するための用水で、栽培管理上必要な湛水深の調整や温度調節のための掛け流しなどの水管理を行うための必要水を指しています。

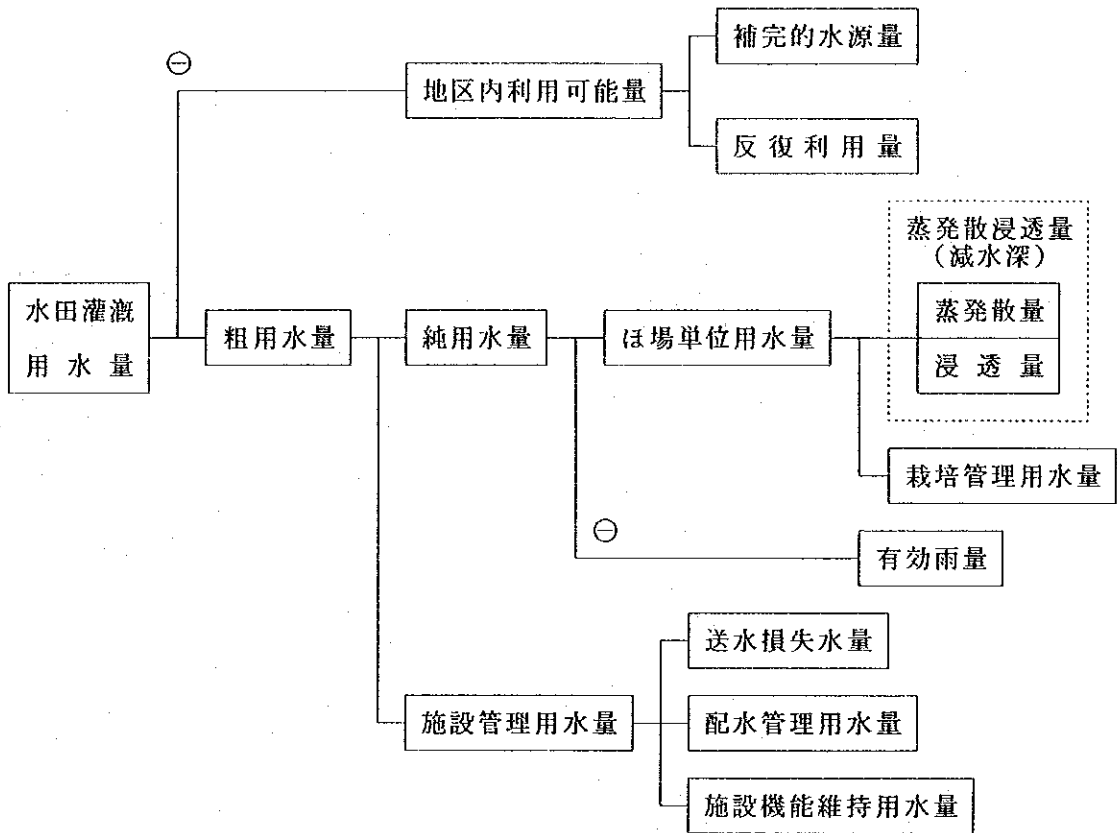
ほ場単位用水量は、以上のような構成要素による区分とは別に、時間的経過の観点から、

「初期用水量」と「普通期用水量」とに区分されます。初期用水とは、苗代や代かきなど灌漑の初期に使用する用水で、それ以降、田植え後から刈取り前の落水までの生育期に使用する用水が普通期用水と呼んでいます。

用水計画においては、これらの観点から栽培期間を1～4期に区分して各期別には場単位用水量を算定することが一般的です。

図表4 - 計画基準「農業用水（水田）」の記述構成





注) ⊖…負となる量の構成要素

図表-5 水田の計画用水量の構成

## 2. 設計基準「水路工」

この基準は、農業用水路の施設設計に関して遵守すべき一般的事項を定めたもので、水路建設工事の実施設計において適用されます。

農業用水路に関する設計基準には、①開水路について定めたもの、②パイプラインについて定めたもの、③水路トンネルについて定めたもの、の3種類が制定されていますが、ここでは、①の開水路について定めた設計基準について紹介します。

この基準で定められている主な内容は、水路設計の基本的な考え方、設計の手順、一般的な設計手法・諸元、設計上の留意事項などで、その記述構成は次表のようになっています。

### 〈図表－6 設計基準「水路工」の記述構成〉

この設計基準の中心部分は、水路の水理設計及び構造設計について、それぞれ一般的な手法・諸元を定めた部分であるといえます。

水理設計の項では、水路の断面寸法を平均流速公式を用いて算定される設計流量を基礎として求めることを規定し、平均流速公式には、Manning 式を適用することとしています。

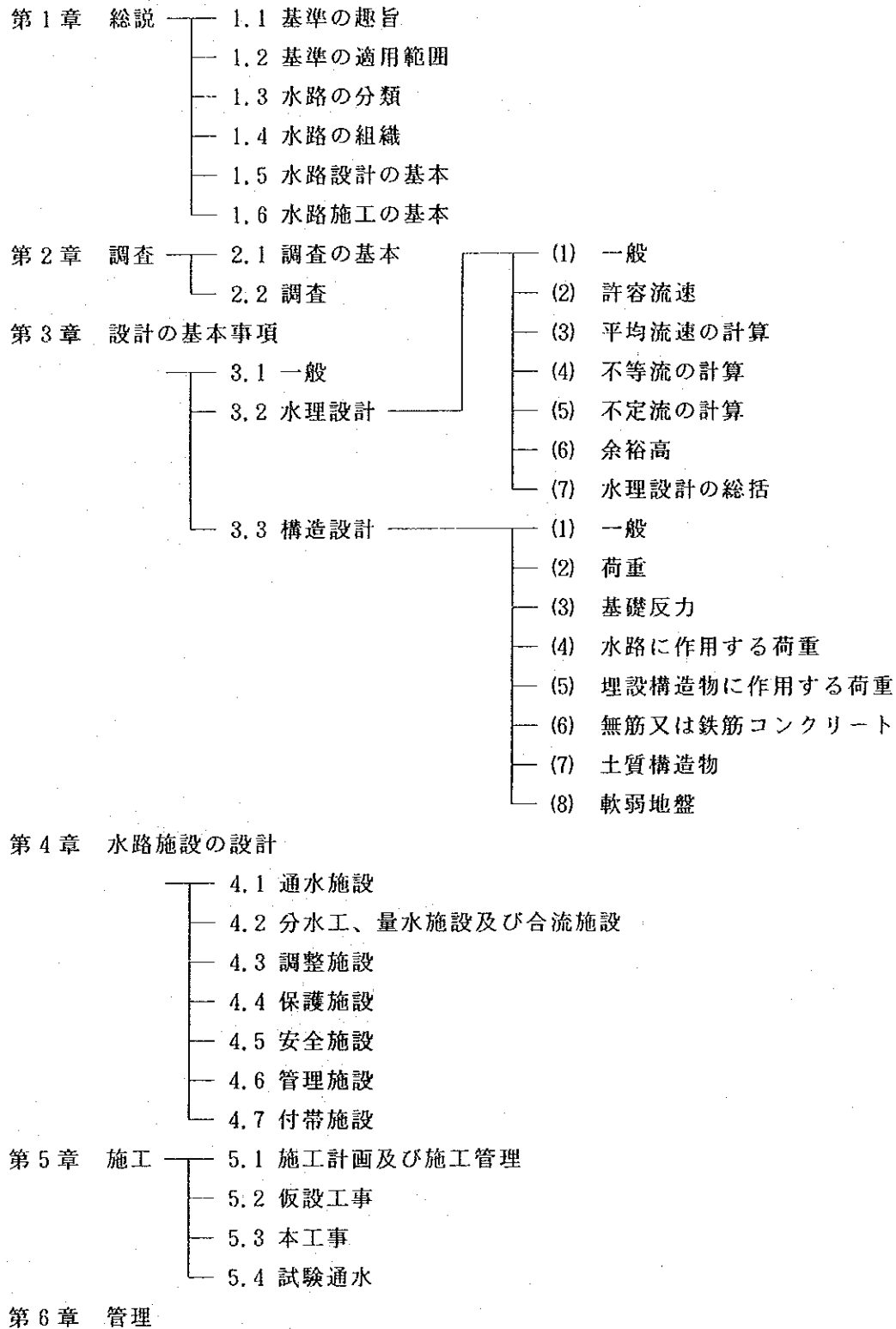
Manning 式の精度は、水路の粗度係数の選定が適切であるかどうかにかかっているといっても過言ではありません。この設計基準では、コンクリート水路から自然の土水路まで、国内外の研究の成果や設計事例の集積などによって得られた標準的な数値を例示して、設計の参考に供しています。

構造設計の項では、水路構造物に作用する外力の一般的な算定手法と諸元、及びこれに基づく水路構造物の安定性の照査手法について規定しています。

この基準においては、構造設計を「許容応力度法」（材料の持つ強度に安全率を加味した許容応力度に対して、作用する応力がこの許容応力度以下であることを検証して構造物の安全性を確認する方法）を採用しています。

これに対して、最近では、構造物の極限状態（破壊やひび割れなど）の発生に対する安全性を緻密に評価する「限界状態設計法」が技術的に確立されてきていますが、この設計基準においては、日本の農業用水路が比較的小規模な構造物である場合が多く、それぞれの設計法を用いた設計結果を比較したときに、両者の差が比較的小さい場合が多いことに加え、限界状態設計法は計算が複雑で、技術者に対する習得普及の期間がなお必要であると考えられるため、現時点でこれを直ちに採用することは時期尚早であると判断しているためです。

図表 - 6 設計基準「水路工」の記述構成



### 第3 日本における設計基準整備上の課題

冒頭（第1）で述べたように、日本の設計基準はこれまでその時代時代の技術者の要請に応えながら、その体裁や内容の充実を図り、事業の進展に貢献してきましたが、設計基準の整備を進めていく上での普遍的な課題は「設計基準における規範性と弾力性の両立確保」にあるといえます。

現場の技術者（設計基準の利用者）は、ある一面において、緻密できめ細かな設計基準を要求します。つぶさな事柄まで網羅的に細かく定めた設計基準があると、現場の技術者は、複雑な判断や思考をその都度加えなくても、一から十までその設計基準に書いてあることに従っていれば、計画や設計の作業を効率的に（楽に）進めることができるからです。

その一方で、細かい事柄まで設計基準で一律に規定せずに、現場の技術者の判断や自由な裁量に任せてほしいという要求も、ある一面で設計基準の利用者は持っています。そうすることによって、事業を行う地域独特の条件や現場の実情を加味した柔軟な発想や、創意工夫を計画や設計の内容に発揮させることができるからです。

国が行う公共事業を適切に行っていくためには、複数の事業地区間の横並びや、事業の均質性、公平性を適切に確保することが必要です。しかし、一定の許容される範囲の中で、できるだけ現地の技術者の判断を取り入れた柔軟な計画設計を誘導することによって、よりよい計画設計の成果が得られると考えています。

国土が狭く、地形や気象条件が多岐多様な中で、さまざまな形態の農業経営が行われている日本の場合、現地の諸条件を的確に反映した柔軟な考え方を計画設計に発揮させることが、特に重要であると思われるからです。

このように、ある程度の規範性を確保した上で、現地での柔軟な発想や創意工夫を積極的に誘導するような設計基準を作っていくことが、技術者の新たな試みへの意欲の鼓舞、ひいては幅広い技術の蓄積や発展につながるに違いないと私たちは考えています。

# 日本的灌溉设计基准

村冈 宏



## 目 录

第1 日本的设计基准的概要及其沿革 .....	1
1. 目前日本农林水产省的设计基准体系 .....	1
2. 设计基准整备的经过 .....	3
2-1 1965年以前的设计基准 .....	3
2-2 1965年到1975年的设计基准 .....	4
2-3 1975年以后的设计基准 .....	4
第2 日本的灌溉设计基准 .....	7
1. 计划基准（农业用水“水田”） .....	7
2. 设计基准（水渠工程） .....	10
第3 日本的设计基准整备上的课题 .....	12
(附表) 1. 目前日本的计划设计基准及其方针体系 .....	2
2. 计划基准的制改定过程 .....	5
3. 设计基准的制改定过程 .....	6
4. 计划基准（农业用水“水田”）的记述结构 .....	8
5. 水田的计划用水量的构成 .....	9
6 设计基准（水道工程）的记述结构 .....	11

# 第1 日本的设计基准概要及其沿革

## 1. 目前日本农林水产省的设计基准体系

日本农林水产省为有助于妥当、圆滑地实施土地改良事业，以设计基准（确切地说应该是土地改良事业计划设计基准）为中心，正在进行着按以下体系的各种基准书、技术书的整備工作。

### ① 设计基准、计划基准（土地改良事业计划设计基准）

对于每一项主要的事业种别和设施的种类，都要建立相应的事业计划和设施设计，制定出所应遵守的事项及其解释和运用方法之外，还要制定出有关的关连事项。其中，建立事业计划时，对于制定事业计划中的每一种事业所需依据的事项一般称为“计划基准”，在设施设计时，在设施设计时，确定每一种设备及建筑物所需依据的项目一般称为“设计基准”。

（以下，在本文没有予先说明的情况下，暂且将二者合在一起称之为“设计基准”）

设计基准由条文化的所应遵守事项的基准正文（用框围起来的部分，农林水产事务次官通告）和对标准正文进行解释及运用的具体说明的标准应用文（框外部分，构造改善局长通告）构成。

### ② 设计方针、计划方针（土地改良事业计划设计方针）

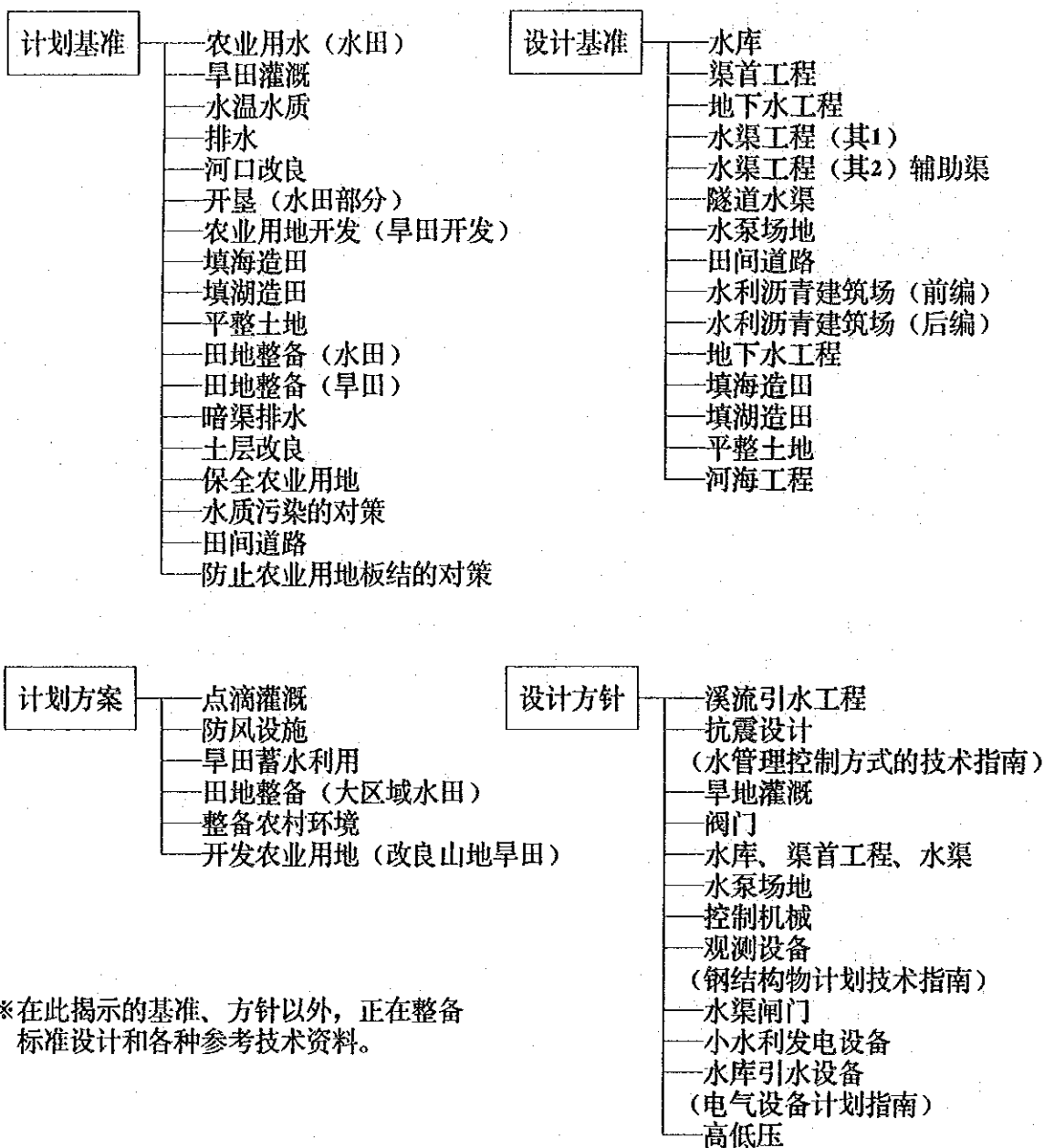
内容上与上述①的设计基准相比，实绩上少了许多，但在技术的熟练程度没有达到一定水平的情况下，需要在研究清楚将来实绩的积蓄和技术形成的基础上，逐渐使之向设计标准转移（升格），目前的计划设计可以作为参考，提示给现场的技术人员。

### ③ 其他

除上述设计基准、设计方针之外，还包括象标准设计（以设计作业的合理化、省力化为目的，对标准的现场条件进行假设的基上，以明了这种情况下的设计项目）。技术参考资料（手册）的编制，以及对计划设计有参考价值的事例等的整理，做为数据提供给适应的技术人员。

现阶段整備出来的设计基准、设计方针以一览表的形式展示如下。（图表一）

图表-1 目前日本的计划设计基准及其方针体系



※在此揭示的基准、方针以外，正在整备标准设计和各种参考技术资料。

## 2. 设计标准整备的经过

### 2-1 1965年以前的设计基准

在日本，设计基准的创始是从美利坚合众国引进并开始的。

1949年左右，第二次世界大战后，占领并统治日本的联合国军队总司令部（GHQ）派遣美利坚合众国农务省的专家，对当时日本的农业土木事业视察后，就美国开拓局的设计部门对此事的重视程度，对各工种所配有专家以及应给予他们工资的高低等情况向日本政府（农林省）提出暗示。同时，就必须适当地有步骤地着手事业的计划、设计、施工以及整备事业基准为首要迫切的课题等事宜进行了劝告。

以此暗示和劝告为契机，1949年6月，在日本农林省农地局设计科内，开始设置了设计标准系。同时，选拔有丰富学识经验及专业技术人员组织建立了基准编写委员会。于是，编制设计基准的体制开始设立。

当时的计划设计基准的执笔、编辑是把如下①②条件作为基本方针，参考了美国开拓局（U.S. Bureau of Reclamation）的基准，并回顾了我国的施工实绩来进行工作的。

- ① 用拥有大学毕业或相当于大学水平的技术人员从事记录工作。
- ② 极力回避象教科书那样的记述，为成为现场技术人员的实务必备资料，对计划、设计以及施工的顺序、方法进行具体详细的说明，不偏重理论、列举了许多设计实例及实施实例，以期实现对计划、设计、施工起到直接的作用。

这一投入大量精力的讨论成果，以1952年到1956年第一期的计划基准群的形式被制定下来。

这一系列的计划设计基准的发行，综合了那一时期之前的事现场中各别的分散的计划或设计的思考方法，成为具有一贯性的体系，传习着当时及过去施工实绩或前人的经验，当然，基于只能给技术人员带来一部分专出书籍或海外文献等有限范围内的有关计划、设计、施工等情报（根据、手册），且粗细有别，很难说一定是很合适的，但是，对当时的计划、设计、施工的水平的大幅度提高的确做了很大贡献。

## 2-2 1965年到1975年的设计基准

在这一时期，对最初制定的基准群中的主要部分进行了第一次改定工作。

这一时期，在改定后的各设计基准中明显的特点之一就是，把设计基准作为农林水产省农地局的局长通告明确在行政位置之上。

在此之前的设计基准（前述1955年以前发行的）只是农林省农地局进行综合整理，以入门书的形式提供给现场的技术人员。这一时期之后的设计基准便都以正式的行政文件通告传达下去的。

这一时期的设计基准的另一个特点是将所应遵守的基本的、重要的事项用框围上，详细说明或具体的运用方法等在框外表述，这种作法在现在的基准书的格式中第一次被采用。

因此，经过这两个阶段表述的比较，可以明显地看出，在此之前的设计基准，与其说是设计基准，勿宁说更具有浓厚的参考书、入门书的色彩，设计上所必须遵守的事项也未明确提出，更加成为二者鲜明的对照。

## 2-3 1975年以后的设计基准

这一年代设计基准的大的变化是将在此之前仅作为农地局长通告的设计基准中的用框围上的部分（基准正文），由第一农林水产事务次官进行通告。

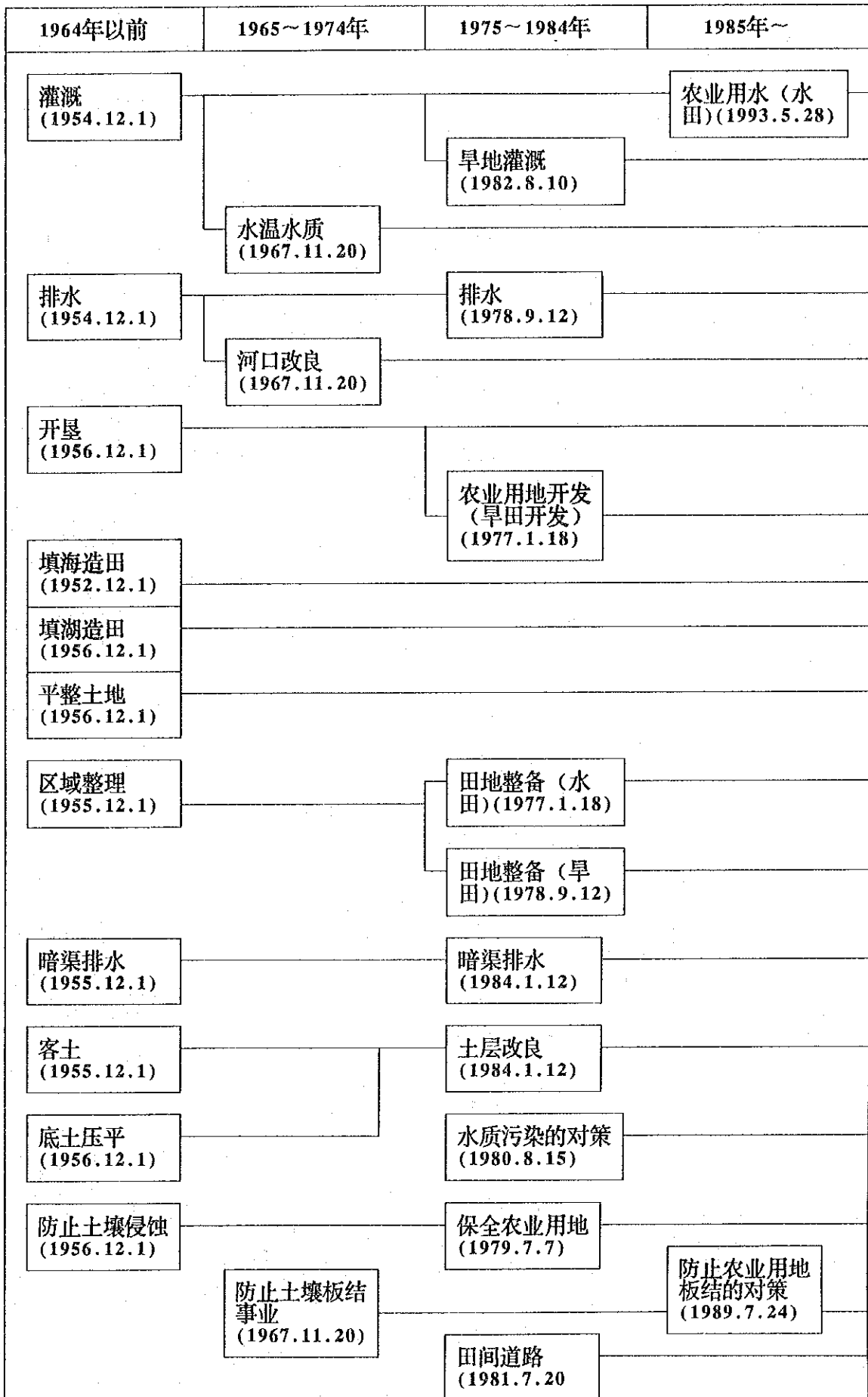
在那以后至今，设计基准在行政通告中作为最具有权威性的农林水产事务次官通告，加上完备的说明，使之兼备了规范性和实用性的特点。从而成为事业计划和设施计划、施工的教科书，同时，也被作为实施事业时与其他省厅间协商或对外说明的依据。

就这样，日本的设计基准从1950年左右到现在，好容易经过了上述的变迁。另外，在内容上，追随那一期土地改良事业制度的动向和土木科学技术的进步，顺次反复进行了制改定，并对应那一时代的技术人员的要求，进一步显示了计划、设计的规范或依据，作为计划设计技术实务的必备书籍，对日本的土地改良事业的妥当，并且圆滑地执行做出了很大的贡献。

因此，从这样补充完备的设计基准群的角度来说，为了整理相关的参考资料，支援适当而且合理的事业的执行，对设计方针、标准设计以及其他各种技术书、基准书等就如此顺次进行整备，从而形成现今的设计基准体系。〈图表—2、图表—3〉

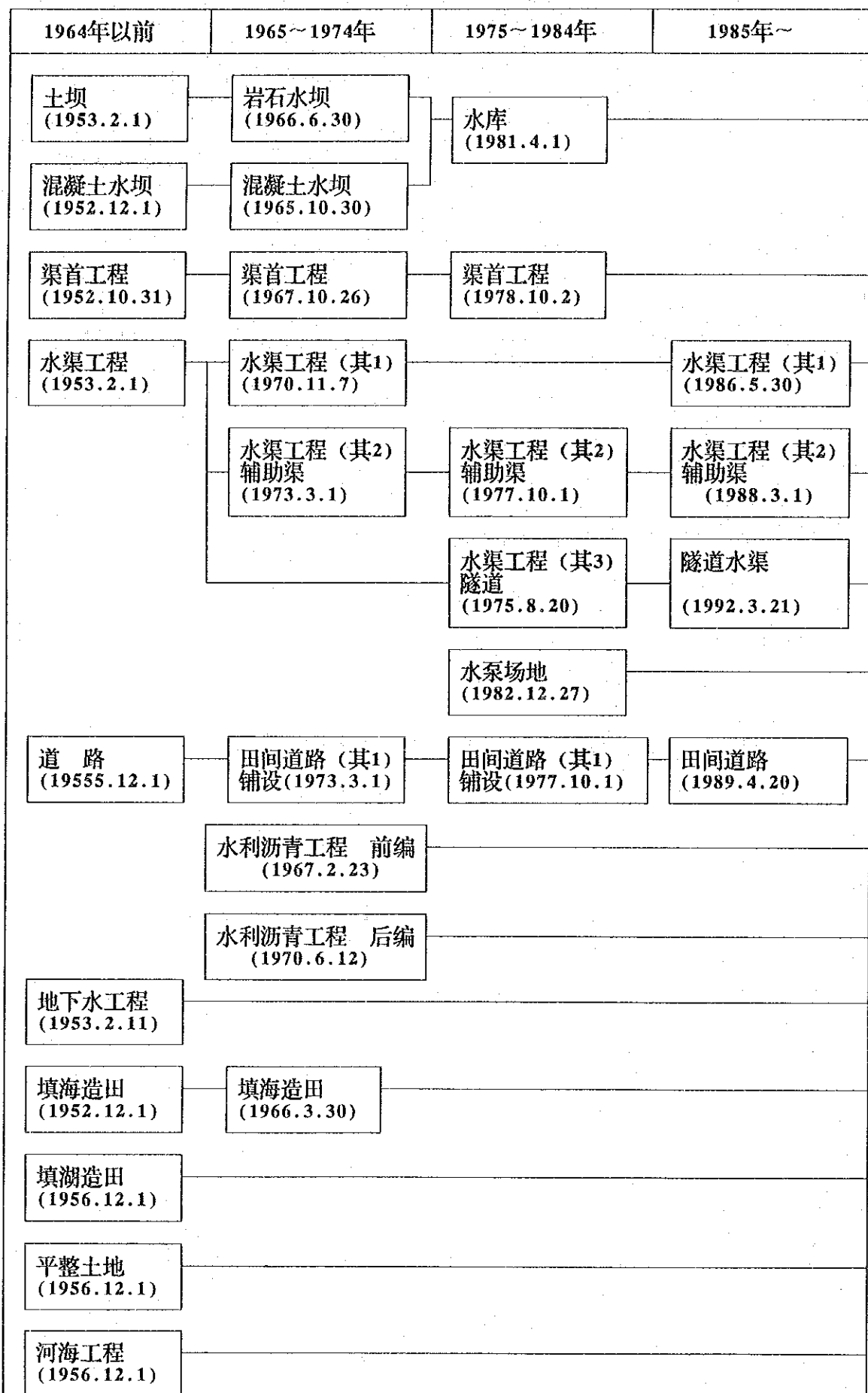
(图表-2) 计划基准的制改定经过

( ) 是制定年月日



(图表-3) 设计基准的制改定经过

( ) 是制定年月日



## 第2 日本的灌溉设计基准

在这一节主要介绍一下前面叙述过的日本的设计基准体系中与灌溉事业关连的主要事宜。

### 1. 计划基准（农业用水“水田”）

这一基准在编制确保水田灌溉用水的实施的事业计划时，就其基本想法的表现，可以把日本的土地改良事业计划的根本说成是基准。

以这一基准来制定的主要内容，诸如灌溉计划的基本思路、编制计划的程序、按计划应设定的项目、计划的标准手法、诸项、编制计划的注意事项等々，用图表说明如下。（图表—4）

在这里，“3.3.4 用水计划”是在决定确保计划地区用水量过程中规定的事项，可以说是这一基准中最重要的部分。

计划用水量如图表—4所表示的那样，占中心部分的是“单位田地用水量”。从这个用水量中减去降到田间的“有效降雨量”就可算出“纯用水量”（应确保的田地用水量）。那么计划用水量便是由这个纯用水量确实排送到田地指定地点所需的“设施管理用水量”和区域内可利用量来决定的。（图表—5）

单位田地用水量由田地蒸发和浸透量（蒸发量和浸透量之和常被称为“减水深”）以及栽培管理用水量构成。

计划的蒸发量和浸透量可以在实验田中进行实际测量。或者基于类似地区的数据，加上地区条件变化因素进行设定。对于得不到这些数据的情况，也可以在考虑各种各样规定因素的基础上，根据推测来设定。

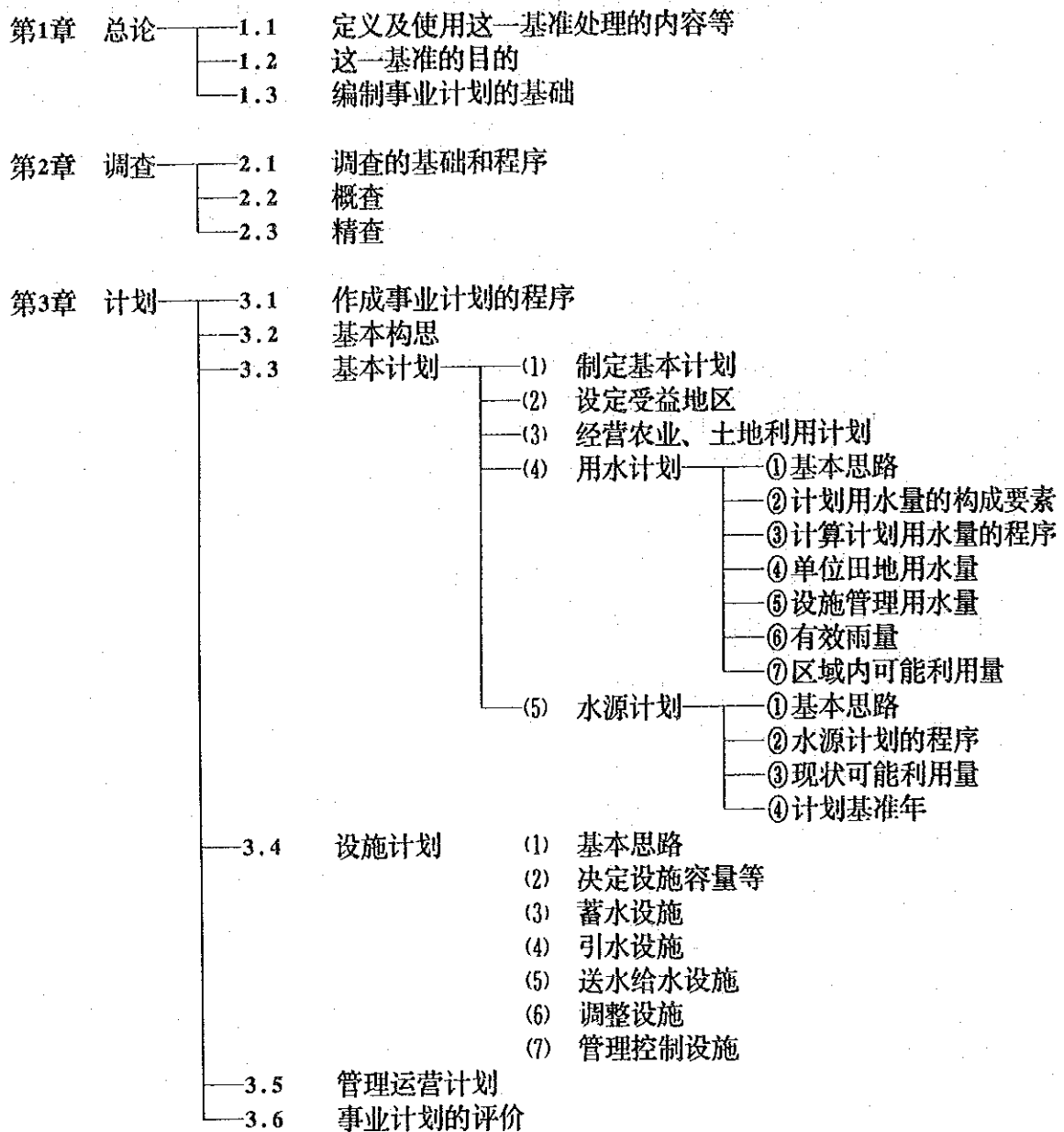
所谓栽培管用水是指为实现田间各种各样栽培技术所需水量进行管理时需要的水，亦即为了在栽培管理上必要的对灌满水水深的调整用水和调节温度用水等方面进行管理所必要的水。

单位田地用水量与上述用水不同，其构成因素也不一样，这一用水量是以时间的经过这一视点出发，被分为“初期用水量”和“普通期用水量”。所谓初期用水量是指耙地和秧苗育苗等灌溉的初期用水。在那以后，从插秧到收割前撒水这一生长期所使用的水称为普通期用水。

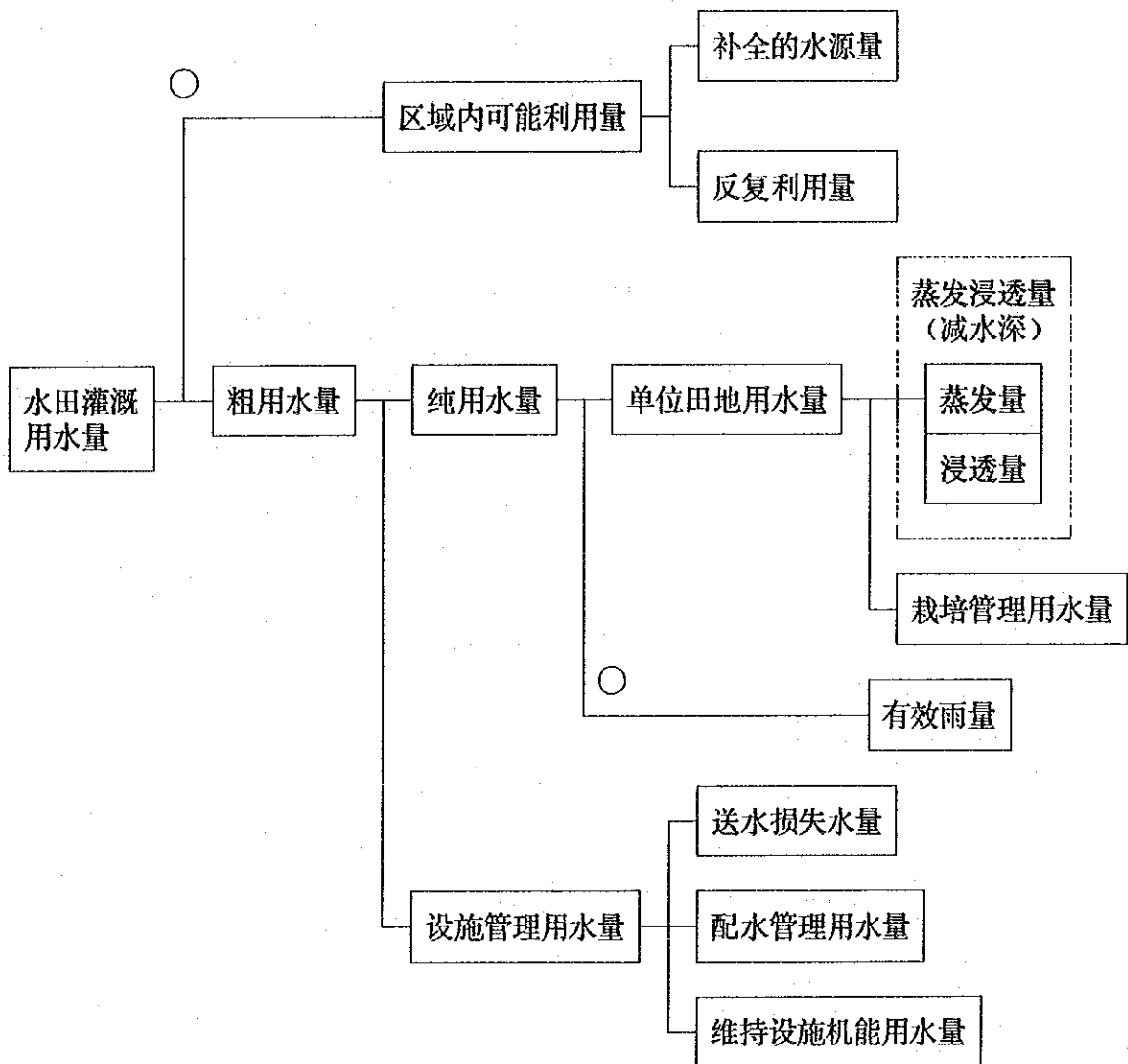
在用水计划上，一般都是从这一观点出发，把栽期划分成1~4个时期，再对各时期的单位田地用水进行计算。



图表—4 计划基准（农业用水“水田”）的记述结构



图表—5 水田计划用水量的构成



注) : ○……构成减少量的要素

## 2. 设计基准（水渠工程）

这一基准制定了关于农用水渠的设施设计所应遵守的一般事项，所以，适用于水渠建设工程的实施设计。

关于农业用水渠的设计基准包含有①明渠、②辅助渠、③暗渠（隧道水渠）等3种类型的水渠。在这里，就①明渠的设计基准作以介绍。

以这一基准制定出的主要内容有水渠设计的基本思路、设计的程序、一般的设计手法、诸项要素、设计上的注意事项等，其记述结构如下表。（图表—6）

这一设计基准可以说是以关于水渠的水理设计及其构造设计为中心，制定了各种各样的一般手法、各项要素，这一部分构成该基准的中心内容。

水理设计的项目中，主要规定了将水渠的横断面的尺寸引入平均流速公式之中，并以此作为计算设计流量的基础。并要求平均流速公式适用于Manning公式。

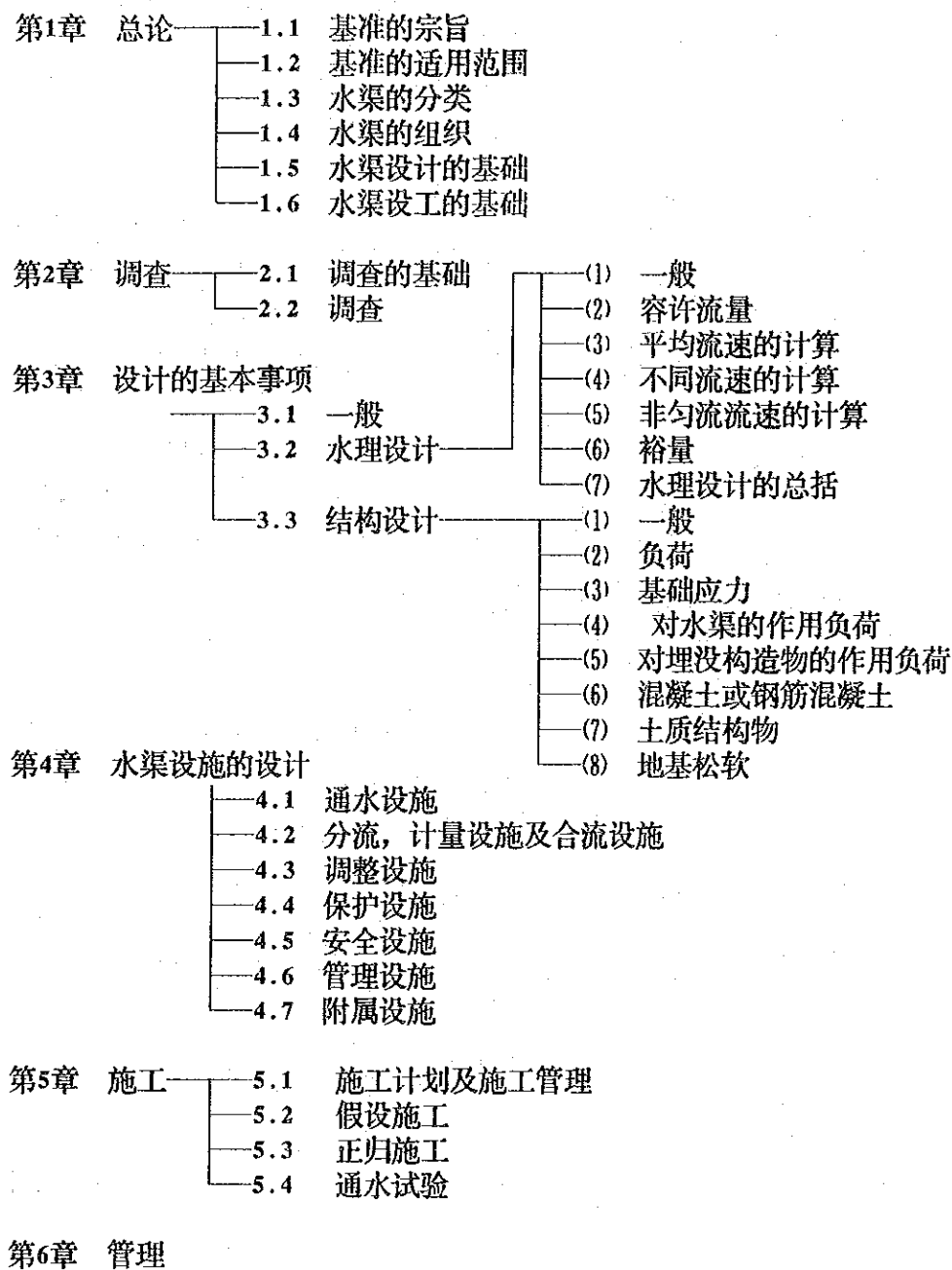
Manning公式的精确度是否恰好适用于选定水渠的粗度系数，可以说还有待于探求。这一设计基准中，从混凝土水渠到土水渠，列举了基于众多国内外的研究成果和设计实例中得到的标准数值，供设计时参考。

构造设计的项目中规定了作用在水渠构造物上的外力的一般计算方法和各种因素，并因此对水渠构造物的安全性的查照方法作了有关规定。

在这一基准中列入了设计结构“容许应力法则”。（根据材料具有的强度，考虑到它的安全系数，可得出一个允许最大应力，检验证明作用应力小于允许最大应力，从而确认构造物安全性的方法）

对此，最近真对出现构造物的极限状态（破坏或裂痕等），确立了对其安全性进行严密审查的技术“临界状态设计法”。可是，根据这个设计基准，日本的农业用水渠普遍属于小规模的结构物，与利用各种各样设计法设计的结果相比较时，两者之差别普遍都比较小。而且，由于临界状态设计法的计算非常复杂，对于技术人员来说，需要一段时间才能得以掌握和普及。因此，现在就直接采用这种临界状态设计法可以说有些为时过早。

图表—6 设计基准（水渠工程）的记述结构



### 第3 日本的设计基准整備上的课题

正如开始(第1)所述那样,日本的设计基准从诞生至今,一边对应以往各时代技术人员的要求,一边谋求在体裁和内容上的充实,以期对事业的发展做出贡献。可是,在整備设计基准的进程中普遍存在着如何“确保在设计基准中规范性和灵活性并存”这样一个课题。

现场的技术人员(设计基准的使用者)在某些方面上,要求设计基准要详细致密。这样有了直到细小事情都进行规定的设计基准,现场的技术人员就不必要自己进行复杂的思考和判断,只要从一到十逐项按着设计基准写的内容进行,就可以有效(轻松)地推进计划或设计工作。

另一方面,现场的技术人员又要求设计基准不要事无具细地加以规定,要求给现场技术人员一个自己判断或自主选择的机会。这样,对在具有独特地区条件下进行工作的技术人员来讲,可以根据地区的特殊条件或现场的实际情况,充分发挥其灵活性和独创性来圆满完成计划和设计的内容。

为使国家实行的公共事业稳妥地得以进行,有必要对多数事业地区并列出来,以确保其事业的均质性、公正性。可是,在一定允许的范围内,也要考虑尽量诱导当地的技术人员将自己的判断加到灵活的计划设计中去,以期实现计划设计取得更好的成果。

日本国土狭小,地形和气候条件纷繁复杂,对在这里从事多种形态的农业经营来说,能够将当地的各项条件切实反映出来的灵活思想发挥到计划设计中去,我认为是非常重要的。

因此,我们认为,在确保某种程度的规范性的基础上,编制出可以引导当地技术人员发挥其灵活的构想和独创的见解,这样的设计基准,以鼓舞技术人员勇于新的尝试,从而一定能广泛地蓄积技术力量并使之不断得以发展。

# 前郭第二灌区盐渍土特性 与种植水稻的关系

李 梁    艾 军    姜 虹



# 前郭第二灌区盐渍土特性与种植水稻的关系

李 梁 艾 军 姜 虹  
吉林省水利厅前郭灌区开发办公室  
吉林省水利水电勘测设计院  
(中国·长春·130021)

**提 要** 本文在详尽阐述了前郭第二灌区盐渍性土壤的形态特征、理化性质及分布状况基础上,进而说明不同程度盐渍性土壤对水稻生长发育的影响,以及种植水稻对盐渍性土壤的改良作用,为灌区改善配套提供科学依据。

**关键词** 盐渍性 土壤复区 耐盐能力

从一九九二年九月至九三年五月,我们在前郭第二灌区对盐渍性土壤的形态特征及地表景观进行了调查,并对其理化性质进行了测定分析,初步查清了该区盐渍性土壤的各种基本性状及分布状况,并对盐渍性土壤可溶盐含量与种植水稻作物的关系进行初步评价,为灌区的改善配套提供了依据。

## 一、灌区概况

前郭第二灌区位于我国东北四大灌区之一的前郭灌区中部,面积41000公顷,占前郭灌区总面积的35.3%,地处第二松花江下游左岸,系第二松花江冲积平原,地势较平坦,地面高程在131~141米左右,高差10米左右。成土母质系近代河流淤积物,上部为壤质——粘壤质,厚度不等,其下多见砂层。地下水埋深1.5米左右,矿化度0.6~1.0克/升。

区内气候具显著的大陆性特点,四季分明。年平均降水量425~450毫米,降水量的70%左右集中于夏季的6~8月间,年平均自由水面蒸发量为



1206毫米，是降水量的3倍左右，干燥度1.18。

灌区大部分土地已垦为农田，中部和东部多为水田，西北部多为旱田，原始植被很少。在一些土壤含盐量较高地段，可见盐性草原类型植物与湿草原类型植物混合分布，主要植物有：羊草、碱草、虎尾草、芦苇、蒿类、三棱草、碱蓬等，局部地方尚可见到不生草的光板地，或仅生低矮稀疏的碱蓬等。

## 二、盐渍性土壤分布与特征

本区盐渍性土壤主要分布于灌区东部和南部，即第二引水干渠与引松干渠两侧的地势较低平的冲积平原。

盐渍性土壤多与非盐渍性土壤呈交错分布于同一区域。为显示土壤的不同盐渍程度，视不同程度盐渍性土壤与非盐渍性土壤在区内所占面积比例，我们划分了土壤复区（如下表1）。

表1 盐渍性土壤复区划分标准

土壤类型 复区类型	复区中各类型土壤比例			复区面积 (km <sup>2</sup> )
	非盐渍性土壤 (%)	轻盐渍性土壤用中盐渍性土壤 (%)	重盐渍性土壤和盐土 (%)	
轻盐渍性土壤复区	40-45	55	3-5	214.23
中盐渍性土壤复区	30-40	50	5-20	27.35

灌区盐渍性土壤复区以轻度盐渍性土壤复区面积较大，现多利用为旱田耕地或灌溉水田，农作物生长良好；中度盐渍性土壤复区面积较少，主要分布于灌区西部的第二引水干渠与引松干渠之间，区内芦苇和荒地面积较大（详见附图《前郭第二灌区土壤盐渍程度图》）。

本区盐渍性土壤多为轻、中度盐渍性土壤，所以剖面特征与主导成土过程作用下形成的土壤剖面形态特征相似，唯土全中可溶盐含量较高，轻度盐渍性土壤表层30厘米土层含盐量为0.07~0.15%，中度盐渍性土壤表层30厘米土层含盐量为0.15~0.30%。土壤随含盐量的增加，碱性增强，土壤物理性状变差，土壤结构愈渐不明显，土体通透性降低，地表植被变差，对农作物生长发育的影响程度增强，土壤腐殖质含量降低。本区盐土（表层30厘米土层含盐量大于0.50%）面积很小，呈斑块状分布，地表多呈白色或灰白色，植被极稀疏或无植被，呈光板状，一般无明显发生层次，土壤呈分散状态，其理化性状极为恶劣。

盐渍性土壤的利用方式不同，其土体各层间含盐规律也不同。荒草地和旱田土壤表层含盐量高，表层向下，土壤含盐量递减（如下表2），而在种稻水田土壤中，由于灌溉淋洗作用，土壤表层含盐量稍低（如下表3）。

表2 荒草地及旱田土壤土体含盐规律

剖面深度 (cm)	0-11	11-30	30-68	68-150
土壤含盐量 (%)	0.32	0.12	0.083	0.067

表3 水田土壤土体含盐规律

剖面深度 (cm)	0-15	15-25	25-40	40-90	90-150
土壤含盐量 (%)	0.125	0.153	0.148	0.170	0.103

灌区盐渍性土壤可溶盐离子类型多属苏打型 ( $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) > 4$ )，氯化物苏打型 (苏打  $> \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ )、硫酸盐苏打型 (苏打  $> \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ) 较少，纯苏打型盐渍性土壤占盐渍性土壤的80%左右。土壤的苏打含量随土壤含盐量的增高而增高，较度至重度盐渍性土壤中，氯化物苏打型、硫酸盐苏打型和纯苏打型并存，而盐土基本为纯苏打型。

这类以苏打为主的盐渍性土壤的另一明显特点是土壤多含有较多量的代换性钠，形成不同程度的碱化，其碱化程度有随土壤含盐量增高而增高的趋势。

### 三、盐渍性土壤与种植水稻的关系

明确水稻耐盐能力，对开发利用灌区盐渍性土壤具有重要意义。据五十年代在该灌区进行的水稻耐盐能力试验结果表明：水稻幼苗期耐盐能力最弱，如该生育期0-25厘米土层含盐量超过0.30%时，水稻生长受到抑制，根部发育不良，地上部分发黄，受害严重时，根部发黑，茎叶枯烂而导致死亡，满足水稻正常生长的土壤含盐量应在0.20%以下（见下表4）

表4 水稻各生育期耐盐能力

生育阶段	生育表现	0-25厘米土层含盐量 (%)
幼苗期	良好	0.19
	受抑制	0.32
分蘖期	良好	0.25
	受抑制	0.38
孕穗期	良好	0.30
	受抑制	0.42
抽穗、开花期	良好	0.38
	受抑制	0.50
成熟期	良好	0.38
	受抑制	0.49

在盐渍性土壤上开发水田，进行水稻种植，对土体含盐量有较明显的淋洗作用。从五十年代在该灌区进行的种稻洗盐试验看，经四年种稻后，水稻根系密集的0~30厘米土层中，含盐量由种稻前的0.28%降至0.14%。从我们此次调查情况看，水田土壤表层含盐量普遍较低（如前附表3），也印证了种植水稻的洗盐作用。所以，注意灌水和换水，建立必要的排水系统，实行种稻可明显降低盐渍性土壤耕层含盐量，达到改良土壤的效果。

## 参 考 文 献

- 1、地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队主编，水文地质手册，地质出版社，1985.8。
- 2、夏青、张旭辉主编，水质标准手册，中国环境科学出版社，1990.10。
- 3、R. H. Brown等编，地下水研究，赵耿忠、叶寿征等译，学术书刊出版社，1989.10。
- 4、林年丰著，医学环境水文地球化学，吉林科技出版社，1991。
- 5、萧长来，模糊优选理论与模型在水质优选中的应用，东北内蒙古地区青年地质工作者科学研究论文集，吉林大学出版社，1993.6。
- 6、王克山，模糊数学方法在地下水水质污染综合评价中的尝试，水文地质与工程地质，1984年1期。
- 7、朱玉仙，模糊数学方法在地下水水质污染评价中的应用，水文地质与工程地质，1986年2期。
- 8、萧长来，二级模糊综合评判法在地下水水质污染评价中的应用，东北地区水资源学术讨论会论文，1987.12。
- 9、熊道锐，用模糊数学方法综合评价污染地下水体，环境水文地质，1985年3期。

1.0, 而以封闭性的奔不来泡水质最差, 评价结果亦与实际情况相符合, 说明水质标准与评价方法有一定的适用性。

## 5、结论

(1) 本文所提出的灌溉水质标准无论对前郭灌区第二灌区内的潜水还是区内外的地表水均具有一定的适用性;

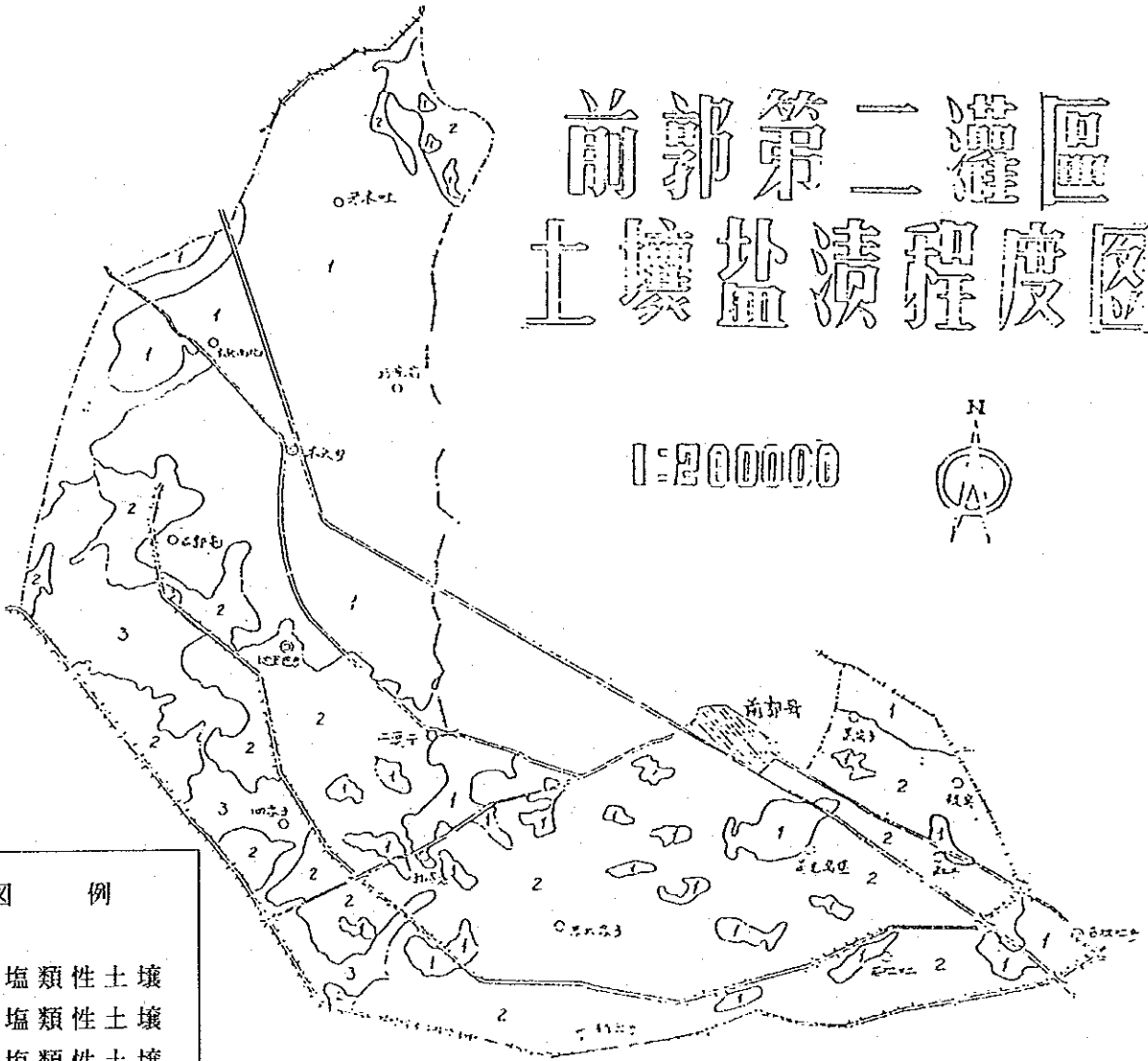
(2) 本文所引入的灌溉水质评价方法——模糊综合评判法是较为理想的方法, 就 $M(\cdot, +)$ 法和 $M(\cdot, V)$ 法而言, 以 $M(\cdot, +)$ 法的评价结果更为理想。

(3) 区内潜水水质除与特定的地形、地貌及赋存环境有关外, 还明显受其形成条件的影响, 特别是灌溉与排水条件的影响。在排水条件差且受灌溉影响的地段, 潜水水质明显变差。评价结果与实际情况十分符合。

本文是一篇探讨性的论文, 所提出的灌溉水质标准还有待今后进一步研究、完善。因时间、水平所限, 文中定有不妥之处, 望诸位专家指正。

# 前郭第二灌區 土壤鹽漬程度圖

1:200000



### 圖 例

- 1 非鹽類性土壤
- 2 輕鹽類性土壤
- 3 中鹽類性土壤

前郭地区第二灌漑区の塩類土の特性と  
水稲栽培との関係

李 梁 艾 軍 姜 虹



# 前郭地区第二灌漑区の塩類土の特性と 水稻栽培との関係

李梁 艾軍 姜虹

吉林省水利庁前郭灌漑区開発辦公室

吉林省水利水電勘測設計院

(中国・長春・130021)

## 概 要

本文は前郭地区第二灌漑区塩類性土壤の形態特徴、物理性及び分布状況の詳細な記述の基礎の下に、程度の異なる塩類性土壤が水稻の生育に及ぼす影響及び水稻栽培の塩類性土壤に対する改良作用を説明し、灌漑区施設整備に科学的根拠を提供するものである。

キーワード：塩類土 土壤重複区域 耐塩能力

1992年9月から1993年5月に我々は前郭地区第二灌漑区において塩類性土壤の形態特徴及び地表景観に対して調査を行い、その物理性について測定分析を行い、当地の塩類性土壤の各種基本性状及び分布状況について基本的な究明を行った。また塩類性土壤に対する可溶塩含量と水稻栽培の関係について基本的な評価を行い、灌漑区の施設整備のための根拠を提供する。

## 一、灌漑区の概況

前郭灌漑区第二灌漑区はわが国の東北四大灌漑区の一つである前郭灌漑区の中部に位置し、面積は41,000haで前郭灌漑区の総面積の35.3%を占めている。当地は第二松花江下流左岸に位置し、第二松花江沖積平原であり、地勢は平坦で標高は131~141mで、高低差はわずか10m前後である。母質系近代河川沖積物から成り、上部は壤質-粘壤質で厚さは異なり、その下には砂層が多く見られる。地下水の深さは1.5m前後で、鈹物含有量は0.6~1.0g/lである。

灌漑区内の気候は顕著な大陸性の特徴を持ち四季ははっきりしている。年平均降水量は425~450mmで、降水量の70%は夏季の6~8月に集中しており、年平均の自由水面蒸発量は1,206mmで、降水量の3倍前後であり、乾燥度は1.18である。

灌漑区の大部分の土地は既に農地になっており、中部と東部の多くは水田、西北部は多

くが畑であり原始植生は少ない。一部の土壌含塩量が比較的高い地区では塩性草原類型植物と湿草原類型植物が混合して分布しているのがわかり、主な植物には羊草、アルカリ草、虎尾草、アシ、ヨモギ類、ウキヤガラ、アルカリヤナギヨモギ等が見られ、局部的には草の生えていない所や或いは背の低いアルカリヤナギヨモギ等が疎らに生えているのが見られる。

## 二、塩類性土壌の分布と特徴

本地区の塩類性土壌は主に灌漑区東部と南部、即ち第二幹線水路と引松導水路両側の地勢の比較的低い沖積平原に分布している。

塩類性土壌の多くは非塩類性土壌と交錯して同一地域に分布している。土壌の塩類程度を示すために、異なる程度の塩類性土壌と非塩類性土壌が地域内に占める面積比率をから土壌重複区を区分した。(表1)

表1 塩類性土壌重複区の区分基準

土壌類型 重複区類型	重複区中の各類型土壌比率			重複区面積 (km <sup>2</sup> )
	非塩類性土壌 (%)	軽塩類性土壌 と中塩類性土 壌 (%)	重塩類性土壌 と塩土 (%)	
軽塩類性土壌重複区	40-50	55	3-5	214.23
中塩類性土壌重複区	30-40	50	5-20	27.35

灌漑区の塩類性土壌重複区は軽塩類性土壌重複区の面積が比較的大きく、現在その多くが畑或いは水田として利用されており農作物の生育は良好である。中塩類性土壌重複区面積は比較的小なく、主に灌漑区西部の第二幹線水路と引松導水路の間に分布しており、アシと荒地の面積が比較的大きい。(詳細は付録図《前郭灌漑区第二灌漑区土壌塩類程度図》参照)

本地区の塩類性土壌の多くは軽・中度の塩類性土壌であるため、断面特徴は主導成土過程の作用の下で形成される土壌断面形態特徴は類似しており、可溶塩含量は比較的高く、軽塩類性土壌の表層30mmの土層含塩量は0.07~0.15%、中塩類性土壌の表層30mmの土層含塩量は0.15~0.30%である。土壌は含塩量の増加、アルカリ性の増強、土壌物理性の差に伴って、土壌構造は徐々に不明確となり、土壌の透水性は低下し、地表の植生は劣り、農作物の生育に対する影響の程度が増し、土壌の腐植質含有量は低下する。当地区の塩土(表層30mmの土層の含塩量が0.50%以上)の面積は小さく斑状に分布し、地表の多くは白色或いは灰白色を呈しており、植生は極めて疎らであるか或いは無植生であり、光板状を

呈しており、一般的に層ははっきりしておらず、土壌は分散状態にあり、その物理性状態は極めて劣悪である。

塩類性土壌の利用方式は異なり、その土体各層間の含塩規律も異なる。荒草地と畑の土壌表層含塩量は高く、表層は下に向けて土壌含塩量が遞減し（表2）、水田土壌では灌漑のリーチング作用のため土壌の表層含塩量はやや低い。（表3）

表2 荒草地及び畑土壌土体含塩規律

断面深度 (cm)	0-11	11-30	30-68	68-150
土壌含塩量 (%)	0.32	0.12	0.083	0.067

表3 水田土壌土体含塩規律

断面深度 (cm)	0-15	15-25	25-40	40-90	90-150
土壌含塩量 (%)	0.1215	0.153	0.148	0.170	0.103

灌漑区の塩類性土壌の可溶塩イオン類型は多くがソーダ型 ( $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) > 4$ ) に属し、塩化物ソーダ型 (ソーダ  $> \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ )、硫酸塩ソーダ型 (ソーダ  $> \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ) は比較的少なく、純ソーダ型塩類性土壌は塩類性土壌の約80%を占めている。土壌のソーダ含有量は土壌含塩量の増加に伴って増え、軽度から重度の塩類性土壌中には塩化物ソーダ型、硫酸塩ソーダ型と純ソーダ型が並存し、塩土の基本は純ソーダ型である。

この種のソーダを主とする塩類性土壌のもう一つの明かな特徴は土壌に比較的多量の置換性ナトリウムを含んでいることで、程度の異なるアルカリ化を形成しており、そのアルカリ化の程度は土壌含塩量の増加に伴い増える傾向にある。

### 三、塩類性土壌と水稲栽培の関係

水稲の耐塩能力を明らかにすることは灌漑区の塩類性土壌の開発利用に対して重要な意義を持つ。50年代に当灌漑区で行われた水稲耐塩能力試験の結果、幼苗期の耐塩能力が最も弱く、もしその生育期に0~25mmの土層の含塩量が0.30%を超えた場合、水稲の生育は抑制され、根部は発育不良で地上部は黄色になり、被害が著しい場合は根部が黒くなり、茎葉は枯れ致死状態を招くので、水稲の正常な生育に必要な土壌含塩量は0.20%以下であることが明らかになっている。（表4）

表4 水稲の各生育期の耐塩能力

生育段階	生育状態	0~25mmの土層含塩量(%)
幼苗期	良 好	0.19
	抑制される	0.32
分けつ期	良 好	0.25
	抑制される	0.38
穂ばらみ期	良 好	0.30
	抑制される	0.42
出穂、開花期	良 好	0.38
	抑制される	0.50
登熟期	良 好	0.38
	抑制される	0.49

塩類性土壌を水田開発して水稲栽培を行うことは土壌の含塩量に対し明かなリーチング作用がある。50年代から当灌漑区で行われている水稲のリーチング試験を見てみると、開田4年後の根が密集している0~30mmの土層中において含塩量は水稲栽培開始前の0.28%から0.14%に低下している。この度の我々の調査状況から見ると水田土壌の表層の含塩量は比較的低く（表3）、水稲栽培のリーチング作用が証明される。そのため灌水と換水に注意し、必要な排水系統を確立して塩類性土壌の耕作層の含塩量を低下させ、土壌改良の効果を達成する必要がある。

# 前郭第二灌區 土壤鹽漬程度圖

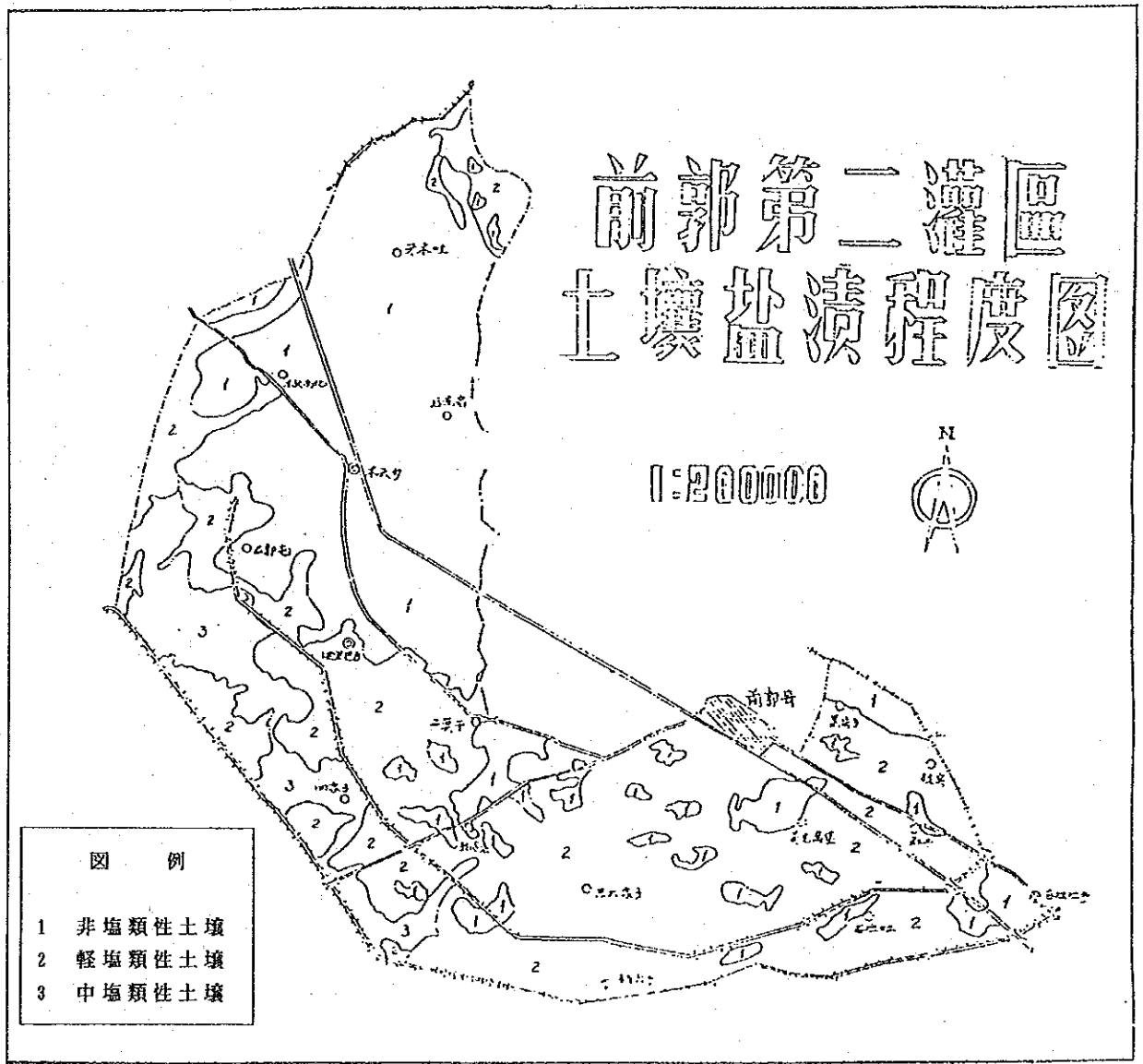


圖 例

1 非鹽類性土壤  
2 輕鹽類性土壤  
3 中鹽類性土壤

