

2025年度(R07年度)

地下水盆管理学

福島大学 共生システム理工学類
地球環境コース
柴崎 直明

1

授業計画(3)

- (11) 地下水の計測と評価(揚水試験)
- (12) 地下水の計測と評価(水位・水質)
- (13) 地下水シミュレーション(基礎)
- (14) 地下水シミュレーション(実践)
- (15) 地下水盆の評価と管理(国内・海外)
- (16) 正規試験

2

11. 地下水の計測と評価 揚水試験



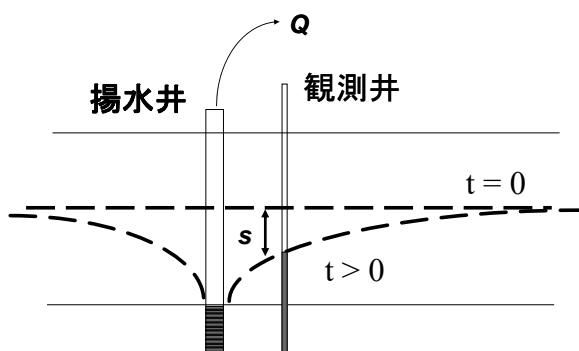
ベトナム北部地方での揚水試験風景

揚水試験の目的

- 1) 帯水層能力の把握
- 2) 地下水シミュレーションに必要な帯水層係数の取得
【透水量係数(透水係数), 貯留係数】
- 3) 井戸効率の把握

4

揚水試験の概念図



5

揚水試験の例(バングラデシュ)



6

揚水試験の例（カンボジア）



揚水試験の例（中国トルファン）



揚水試験の分類

- 1)予備揚水試験
- 2)段階揚水試験
- 3)連続揚水試験
- 4)回復試験

9

予備揚水試験

- 1)目的
ポンプ能力の確認
概略水位降下量の確認
- 2)実施方法
段階揚水試験の前に実施

10

段階揚水試験

1)目的

- 揚水量を段階的に変化させ、揚水量と水位降下量との関係を把握。比湧出量を計算し、井戸損失、帶水層損失、井戸効率を算出。

- 連続揚水試験の揚水量を決定

2)実施方法

- 揚水井で実施
- 最低3段階の揚水
- 各段階において、揚水量を一定に保つ

11

連続揚水試験

1)目的

- 帶水層係数の算出
【透水量係数(透水係数), 貯留係数】
- 帶水層種類の把握
【漏水性帶水層】

2)実施方法

- 揚水量を一定に保つ

12

回復試験

1)目的

- 帯水層係数の算出
【透水量係数(透水係数)】

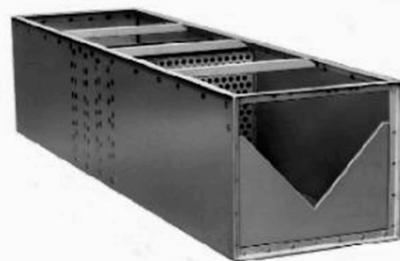
2)実施方法

連続揚水試験直後に実施
残留水位降下量を測定する

13

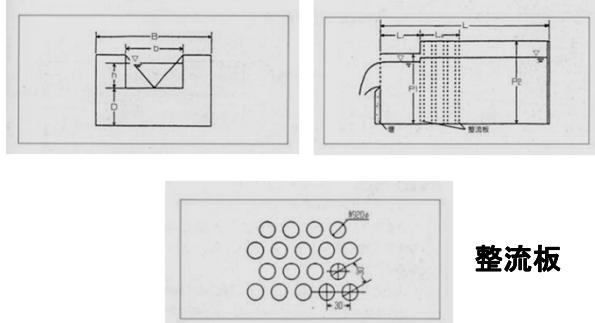
揚水量の測定

● 揚水試験で使用する三角堰



14

三角堰の構造



15

堰式流量計の規格と流量

形名	B(mm)	b	L	L1	L2	D	流量(l/s)
三角堰 60°	450	—	≥1500	≥690	≥570	120	0.33～433
三角堰 90°	600	—	≥2200	≥1000	≥800	120	1.67～25.0
	800	—	≥2900	≥1320	≥1060	300	1.67～48.3
四角堰	900	360	≥3690	≥1710	≥1440	200	4.17～91.7
	1200	480	≥4600	≥2410	≥1830	250	5.00～1500
全幅堰	600	—	≥2700	≥1350	≥1050	300	5.83～66.7
	900	—	≥4100	≥2050	≥1600	300	9.17～2000
	1200	—	≥5400	≥2700	≥2100	300	11.7～4000

16

三角堰流量の計算式

沼知・黒川・渕沢公式 (J I S 公式)

$$Q = CH^{5/2} \quad \dots \dots \dots$$

$$C = 1.354 + \frac{0.004}{H} + \left(0.14 + \frac{0.2}{\sqrt{H_d}} \right) \left(\frac{H}{B_t} - 0.09 \right)^2$$

適用範囲

$$0.5m \leq B_t \leq 1.2m, \quad 0.1m \leq H_d \leq 0.75m$$

$$0.07m \leq H \leq 0.26m \quad (\text{ただし}, \quad H \leq B_t/3)$$

17

三角堰流量計算の簡便式

$$Q = 0.00084 \cdot h_c^{5/2}$$

ただし Q : 流量 (m^3/min)
 h_c : 越流水深 (cm)

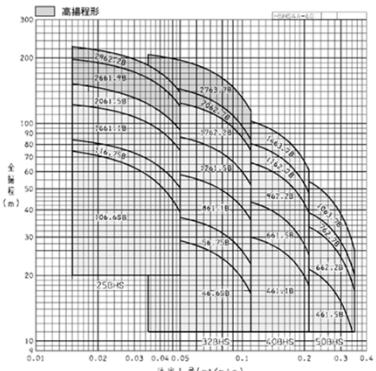
18

深井戸用水中モーターポンプ



19

流量と揚程の確認



20

揚水量を一定に保つために —重要事項—

- 1) 安定な電力供給
(とくに発電機使用の場合)
- 2) 揚水量を常に監視する
- 3) 揚水量を微調節できる装置を使用する

21

水位降下量の測定

所定の時間間隔で、少なくとも0.5 cm単位で測定



TYPE3-50A

段階揚水試験の水位測定時間間隔 (JICA調査)

- | | |
|----------|-------|
| 0～2分: | 1分間隔 |
| 2～20分: | 2分間隔 |
| 20～60分: | 5分間隔 |
| 60～180分: | 10分間隔 |

23

連続揚水試験の水位測定時間間隔 (JICA調査)

- | | |
|-------------|--------|
| 0～6分: | 1分間隔 |
| 6～10分: | 2分間隔 |
| 10～60分: | 5分間隔 |
| 60～120分: | 10分間隔 |
| 120～180分: | 20分間隔 |
| 180～360分: | 30分間隔 |
| 360～1440分: | 60分間隔 |
| 1440～2880分: | 120分間隔 |

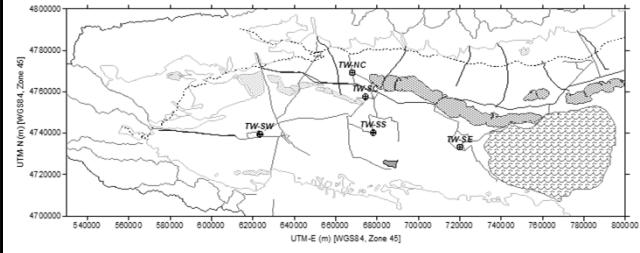
24

回復試験の水位測定時間間隔 (JICA調査)

- 0~2分: 1分間隔
- 2~20分: 2分間隔
- 20~40分: 5分間隔
- 40~120分: 10分間隔
- 120~480分: 30分間隔
- 480~1440分: 60分間隔

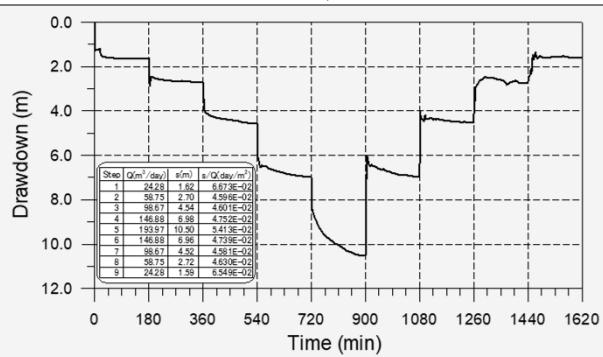
25

JICA観測井位置図(トルファン盆地)



26

段階揚水試験グラフ (TW-SE-1観測井)



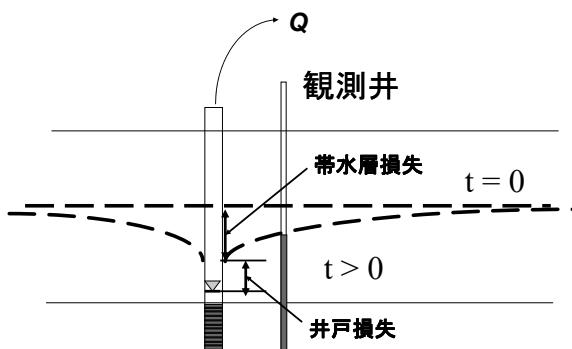
27

段階揚水試験の解析 (TW-SE-1観測井)

Step	$Q(\text{m}^3/\text{day})$	$s(\text{m})$	$Q/s(\text{m}^2/\text{day})$	$s/Q(\text{day}/\text{m}^2)$
1	24.28	1.62	14.99	6.673E-02
2	58.75	2.70	21.76	4.596E-02
3	98.67	4.54	21.73	4.601E-02
4	146.88	6.98	21.04	4.752E-02
5	193.97	10.50	18.47	5.413E-02
6	146.88	6.96	21.10	4.739E-02
7	98.67	4.52	21.83	4.581E-02
8	58.75	2.72	21.60	4.630E-02
9	24.28	1.59	15.27	6.549E-02

28

井戸損失(ロス)と帶水層損失(ロス)



29

井戸損失と帶水層損失の関係 (Jacob, 1947)

$$Sw = BQ + CQ^2$$

- Sw : 総水位降下量(m)
- B : 帯水層損失係数(day/m²)
- C : 井戸損失係数(day²/m⁵)
- Q : 揚水量(m³/day)

30

井戸損失と帯水層損失の解析(1)

$$Sw = BQ + CQ^2$$



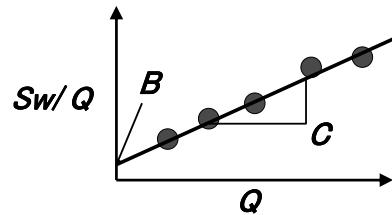
$$\frac{Sw}{Q} = B + CQ$$

31

井戸損失と帯水層損失の解析(2)

$$\frac{Sw}{Q} = B + CQ$$

$Sw/Q : 1/(比湧出量)$



32

井戸効率の解析(1)

$$\text{井戸効率} = \frac{(\text{総水位降下量}) - (\text{井戸損失降下量})}{(\text{総水位降下量})}$$

$$E_w = \frac{S_w - S_L}{S_w}$$

$$S_w = BQ + CQ^2$$

$$S_L = CQ^2$$

33

井戸効率の解析(2)

$$E_w = \frac{(BQ + CQ^2) - (CQ^2)}{BQ + CQ^2}$$

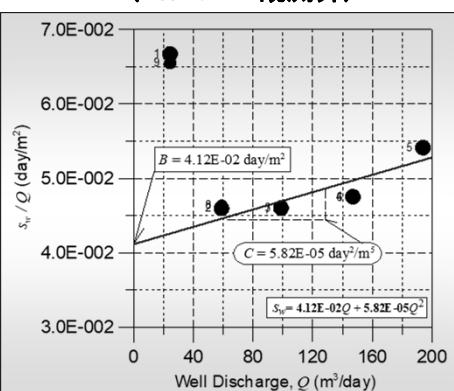


$$E_w = \frac{BQ}{S_w} = B \times Sc \times 100(\%)$$

$Sc : \text{比湧出量}$

34

井戸損失と帯水層損失の解析グラフ (TW-SE-1観測井)



35

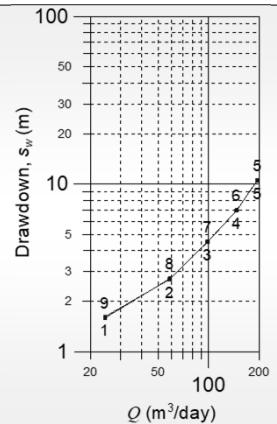
TW-SE-1観測井の井戸効率

Step-1	Step-2	Step-3	Step-4	Step-5	Step-6	Step-7	Step-8	Step-9
$Q_1(m^3/d)$	$Q_2(m^3/d)$	$Q_3(m^3/d)$	$Q_4(m^3/d)$	$Q_5(m^3/d)$	$Q_6(m^3/d)$	$Q_7(m^3/d)$	$Q_8(m^3/d)$	$Q_9(m^3/d)$
$s_1(m)$	$s_2(m)$	$s_3(m)$	$s_4(m)$	$s_5(m)$	$s_6(m)$	$s_7(m)$	$s_8(m)$	$s_9(m)$
24.28	58.75	98.67	146.88	193.97	146.88	98.67	58.75	24.28
1.62	2.70	4.54	6.98	10.50	6.96	4.52	2.72	1.59
15.0	21.8	21.7	21.0	18.5	21.1	21.8	21.6	15.3
61.75	89.85	89.54	86.70	76.11	86.95	89.94	88.99	62.91

Aquifer Loss Coefficient B (d/m^2)	Well Loss Coefficient C (d^2/m^5)	Average Well Efficiency (%)
4.12E-02	5.82E-05	81.39

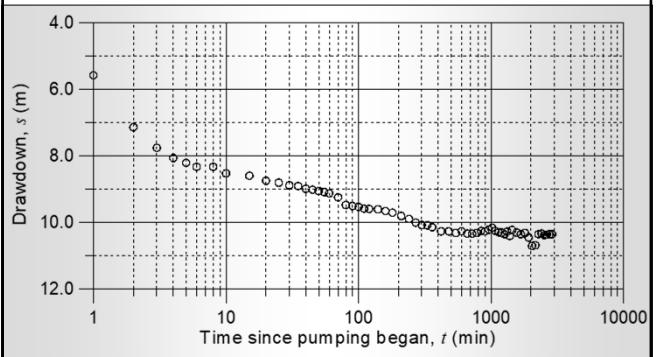
36

揚水量と水位降下量の関係



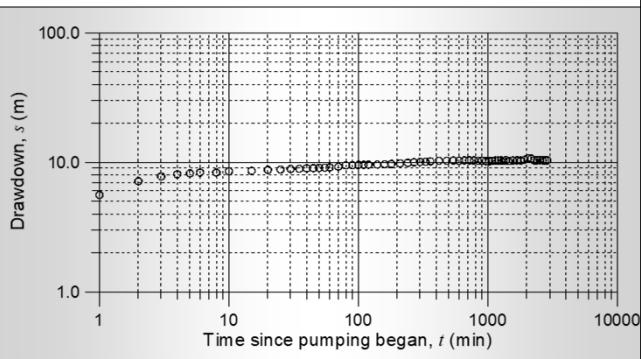
37

連続揚水試験の解析 (TW-SS-2観測井、片対数曲線図)



38

連続揚水試験の解析 (TW-SS-2観測井、両対数曲線図)



39

透水量係数(T)と貯留係数(S) 被圧地下水の非平衡式

$$s = (Q/4\pi T) W(u)$$

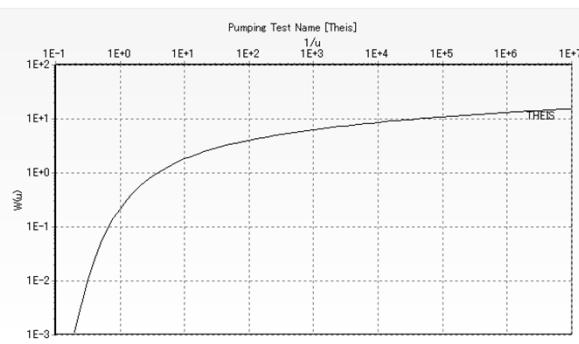
ここで、

$$W(u) = \int_u^\infty e^{-u}/u \, du$$

$$u = r^2 S/4Tt$$

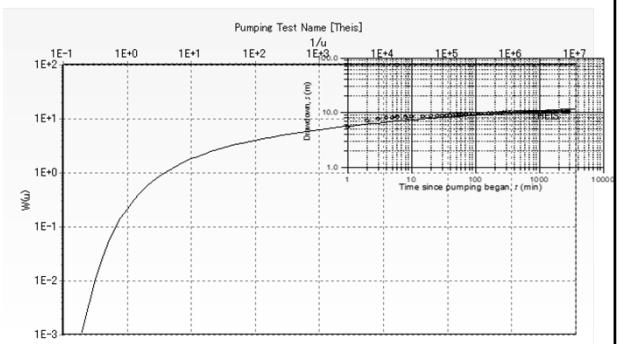
$W(u)$: 井戸関数, r : 井戸半径, t : 時間

連続揚水試験の解析 (タイスの標準曲線)



41

連続揚水試験の解析 (タイスの標準曲線法)



42

Cooper-Jacobの直線解析法(1)

井戸関数 $W(u)$:

$$W(u) = -0.577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

Cooper-Jacobの簡略式:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln u)$$

Cooper-Jacobの直線解析法(2)

水位降下量:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln \left(\frac{4Tt}{r^2 S} \right) - 0.5772 \right]$$



$$s = \left(\frac{2.30Q}{4\pi T} \right) \log \left(\frac{2.25Tt}{r^2 S} \right)$$

Cooper-Jacobの直線解析法(3)

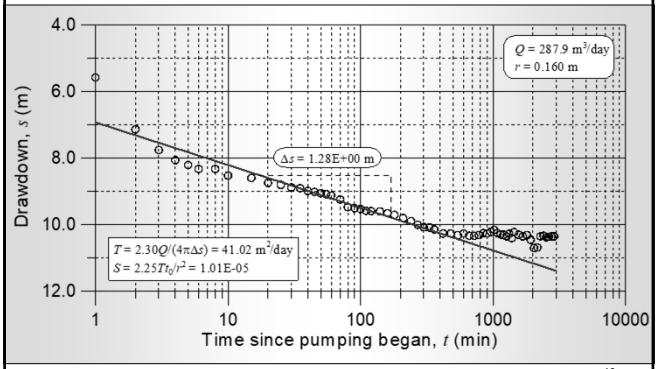
透水量係数:

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi \Delta s}$$

貯留係数:

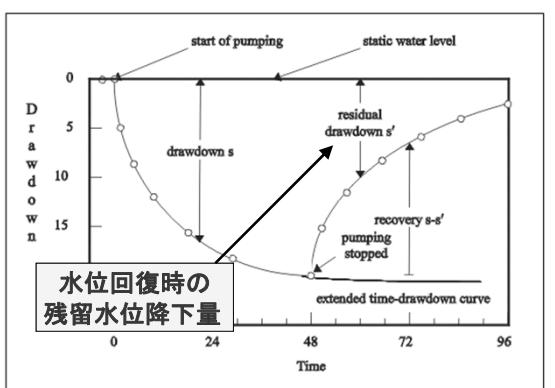
$$S = \frac{2.25T t_0}{r^2}$$

連続揚水試験の解析事例 (TW-SS-2観測井、直線解析法)



46

回復試験の解析



47

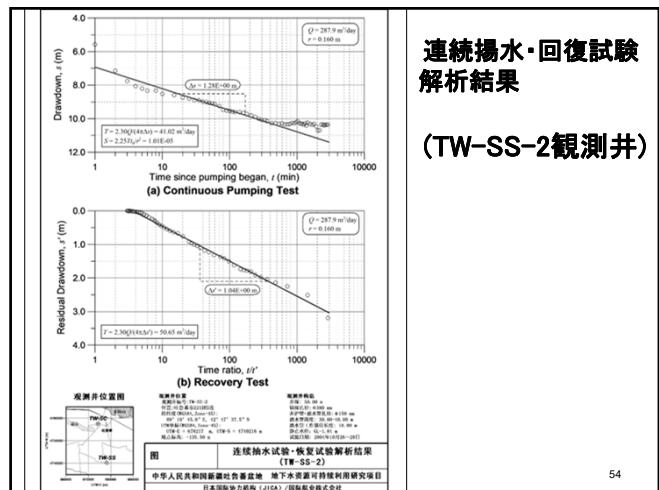
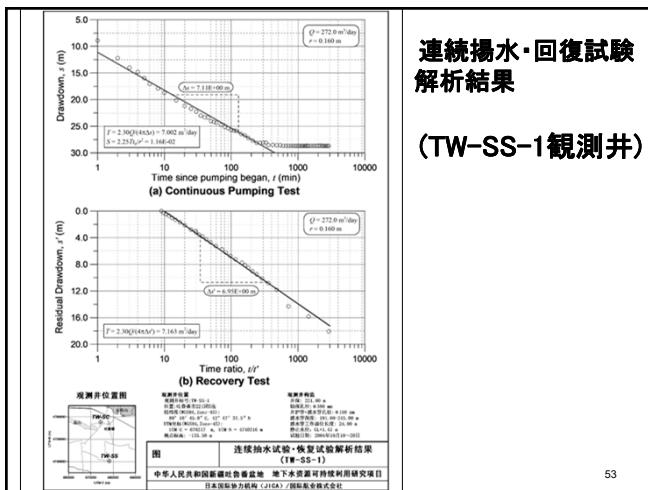
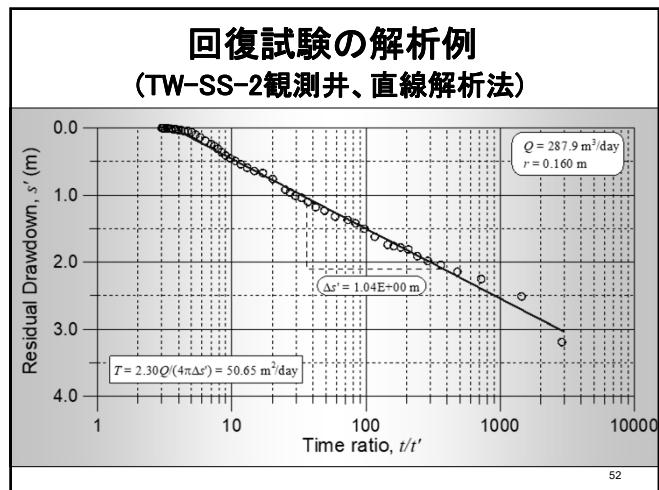
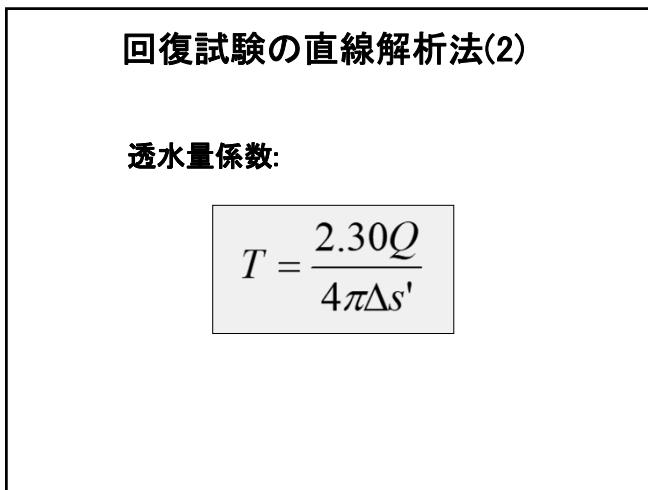
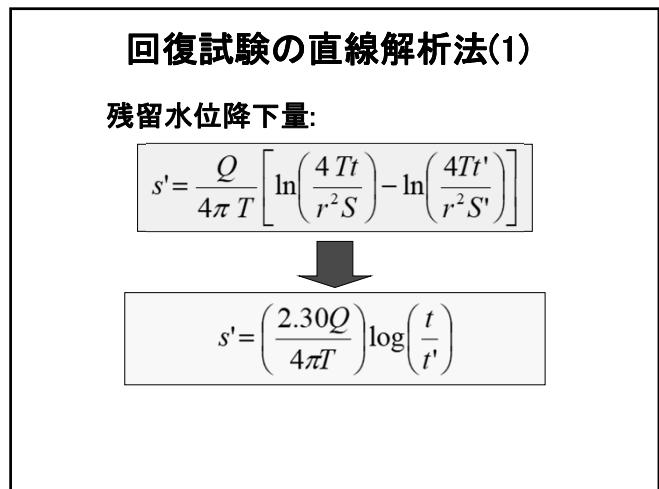
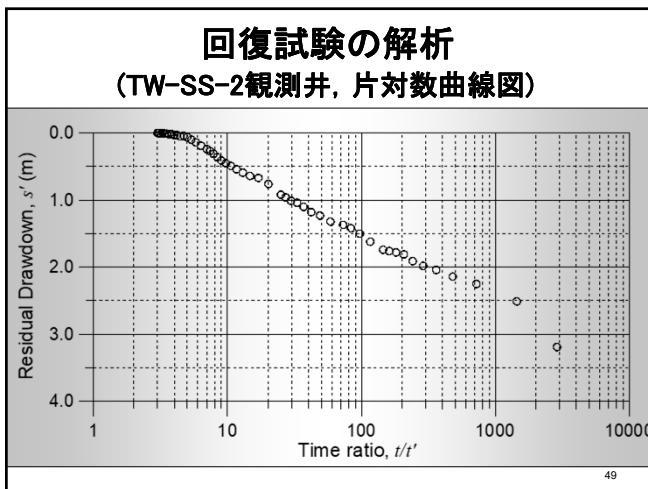
回復試験の解析

t : 揚水開始後の時間

t' : 揚水停止後の時間

t/t' : 時間比

48



参考文献

水収支研究グループ編
「地下水資源・環境論—その理論と実践—」
共立出版、1993年

Todd, D. K. : "Groundwater Hydrology 2nd Ed.", John Wiley & Sons, 1980年