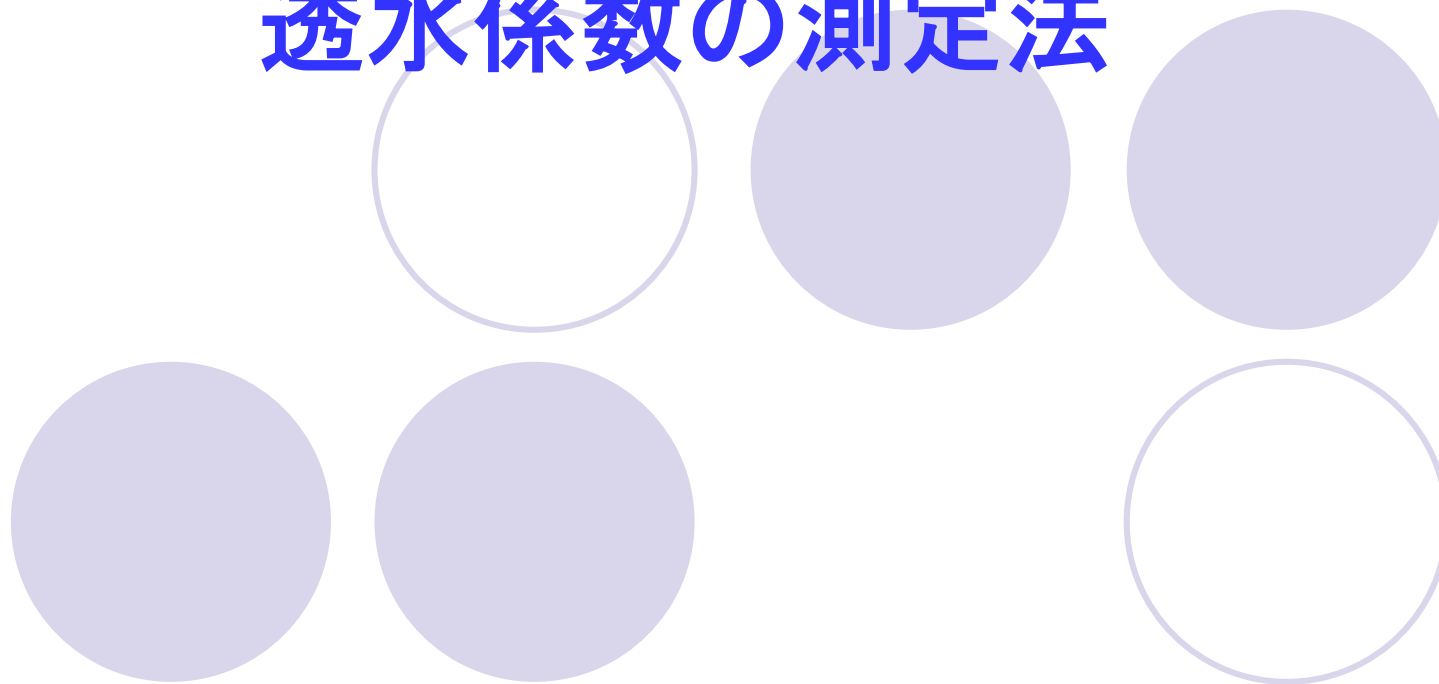
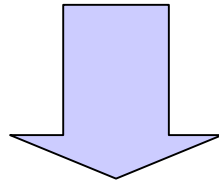


揚水試験による異方性地盤の 透水係数の測定法



背景

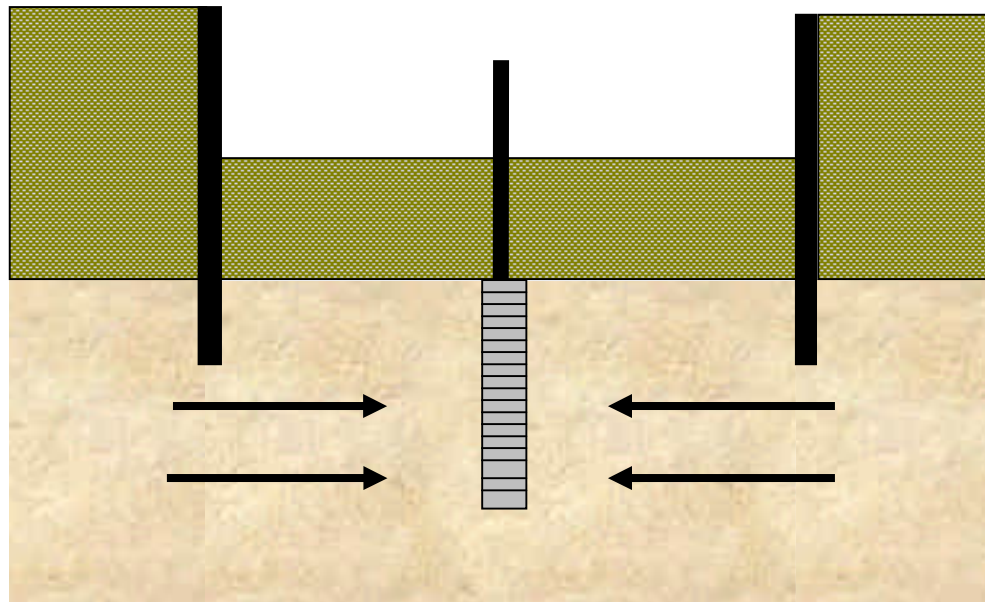
地下水位低下工法を実施する場合、揚水量を的確に予測することが工事の経済性の向上において重要である



揚水対象の帯水層の**透水係数**を正確に把握する必要がある

矢板よりもスクリーン位置が深い場合

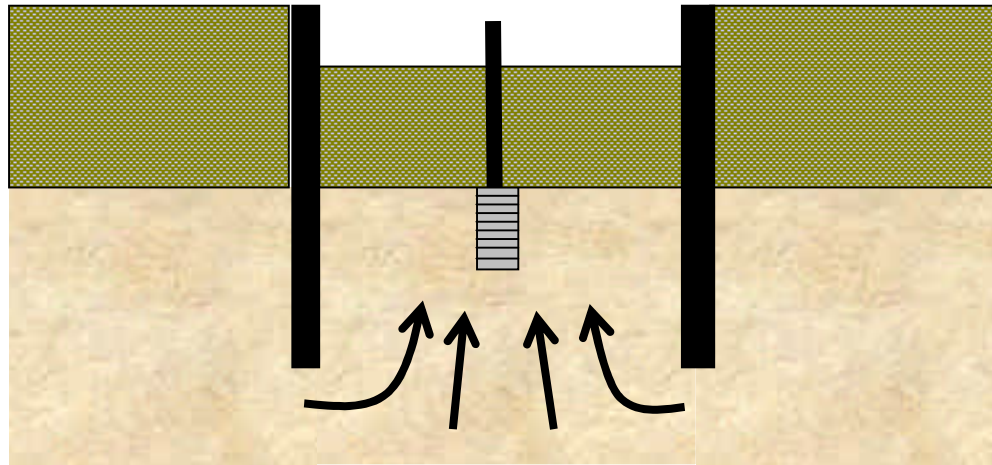
水平方向の流れが主



透水係数の算定には
Thiemの式が用いられる

矢板よりもスクリーン位置が浅い場合

鉛直方向の流れが主



一般に鉛直方向の透水係数は
水平方向に比べて小さい
鉛直方向の透水係数を
知る必要がある

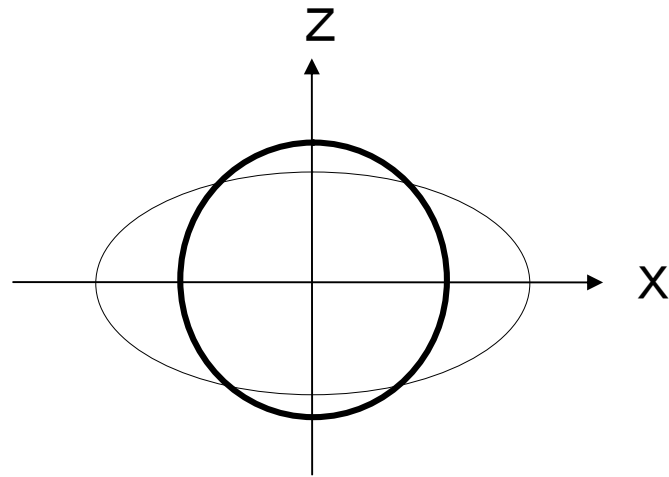
水平方向の透水係数を用いると計画揚水量が過大
となり経済効率が悪くなる



本研究の目的

異方性地盤における
鉛直方向の透水係数の測定方法
について検討する

異方性と等方性の関係



揚水量が同じ場合、
異方性地盤での等水頭線は
等方性地盤に比べてx方向に
伸び、z方向に縮む

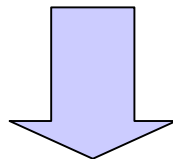
—— 等方性地盤における等水頭線

—— 異方性地盤における等水頭線

異方性と等方性の関係式

円筒座標系における
基礎方程式

$$\frac{\partial}{\partial x_p} \left(x_p K_{xp} \frac{\partial s_p}{\partial x_p} \right) + \frac{\partial}{\partial z_p} \left(x_p K_{zp} \frac{\partial s_p}{\partial z_p} \right) = 0$$
$$\frac{\partial}{\partial x_e} \left(x_e \frac{\partial s_e}{\partial x_e} \right) + \frac{\partial}{\partial z_e} \left(x_e \frac{\partial s_e}{\partial z_e} \right) = 0$$

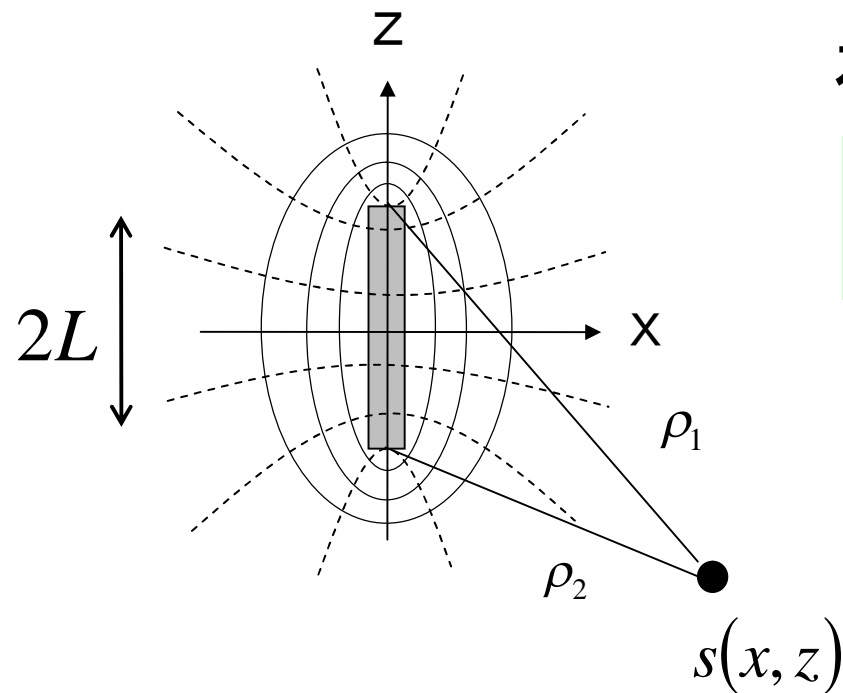


$\alpha = K_{zp} / K_{xp}$ を定義すると

透水係数と
座標値の関係式

$$K_e = \left(K_{xp}^2 K_{zp} \right)^{\frac{1}{3}} = K_{xp} \alpha^{\frac{1}{3}}$$
$$x_r = \frac{x_e}{x_p} = \alpha^{\frac{1}{6}}$$
$$z_r = \frac{z_e}{z_p} = \alpha^{-\frac{1}{3}} = x_r^{-2}$$

等方性無限地盤における揚水井周辺の水頭低下量分布



水頭低下量

$$s(x, z) = \frac{Q_w}{8\pi KL} \ln \frac{\rho_1 + \rho_2 + 2L}{\rho_1 + \rho_2 - 2L}$$

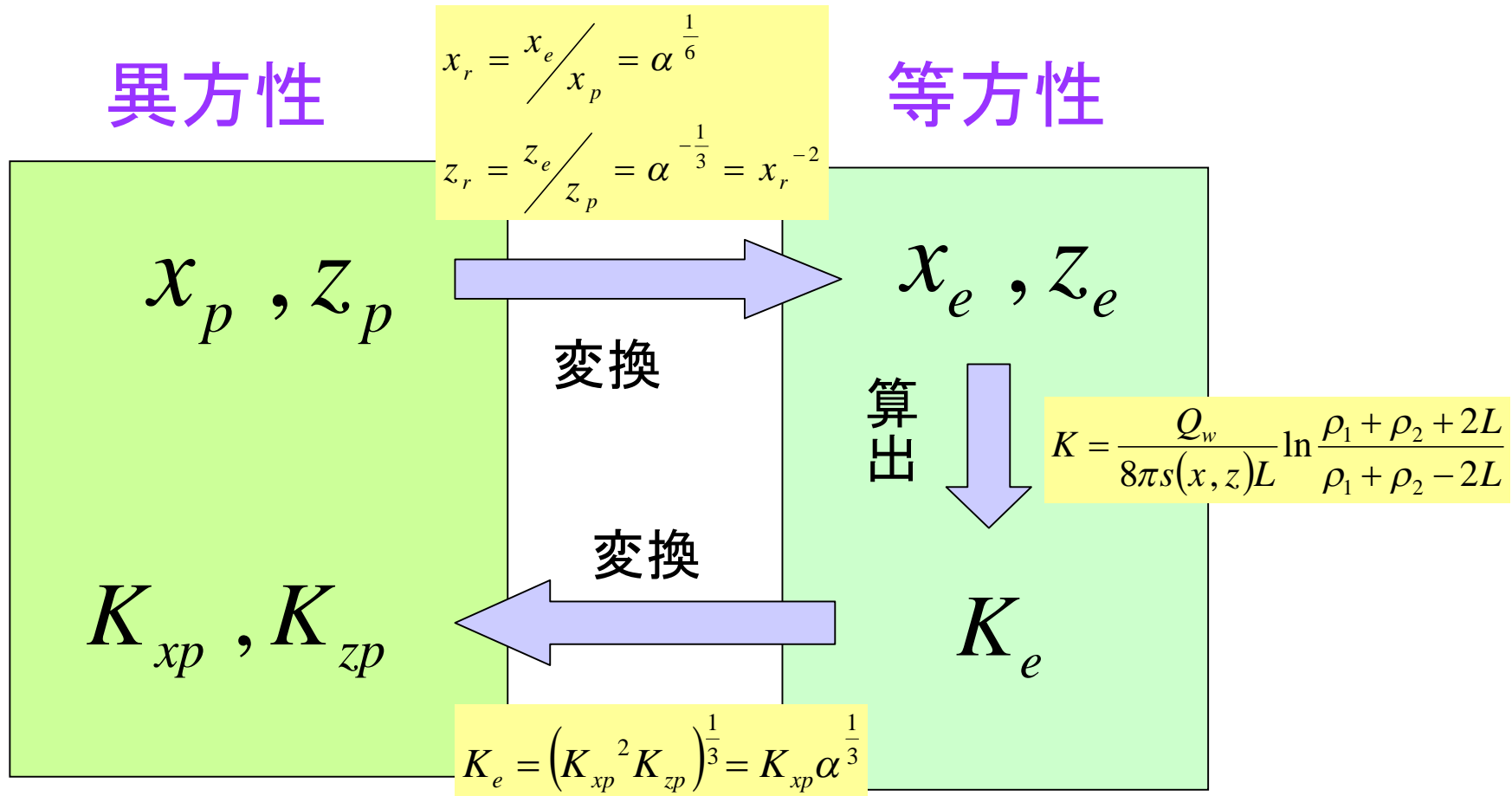
$$\rho_1 = \left\{ (z + L)^2 + x^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_2 = \left\{ (z - L)^2 + x^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

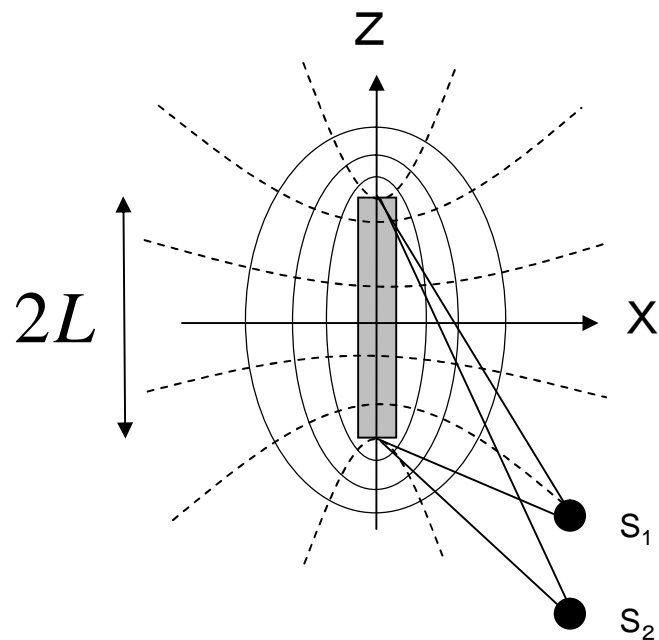
水頭低下量の式を変形すると

$$K = \frac{Q_w}{8\pi s(x, z)L} \ln \frac{\rho_1 + \rho_2 + 2L}{\rho_1 + \rho_2 - 2L}$$

手順



透水係数の同定方法



2地点の水頭低下量の比をとると
測点位置とスクリーン長のみの
関数となる

$$\frac{\ln \frac{\rho_{e21} + \rho_{e22} + 2L_e}{\rho_{e21} + \rho_{e22} - 2L_e}}{\ln \frac{\rho_{e11} + \rho_{e12} + 2L_e}{\rho_{e11} + \rho_{e12} - 2L_e}} = \frac{s_2}{s_1}$$

$$\rho_{e11} = \left\{ (z_{e1} + L_e)^2 + x_{e1}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad \rho_{e12} = \left\{ (z_{e1} - L_e)^2 + x_{e1}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

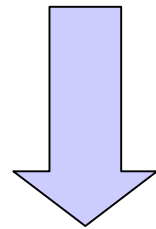
$$\rho_{e21} = \left\{ (z_{e2} + L_e)^2 + x_{e2}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad \rho_{e22} = \left\{ (z_{e2} - L_e)^2 + x_{e2}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$x_r = \frac{x_e}{x_p} = \alpha^{\frac{1}{6}}, \quad z_r = \frac{z_e}{z_p} = \alpha^{-\frac{1}{3}} = x_r^{-2}$$

等式が成り立つような (X_e, Z_e) を見つける

どちらか1点の水頭低下量とその座標(x_e, z_e)
を用いて等価透水係数 K_e が得られる

$$K_e = \frac{Q_w}{8\pi s L_e} \ln \frac{\rho_{e1} + \rho_{e2} + 2L_e}{\rho_{e1} + \rho_{e2} - 2L_e}$$

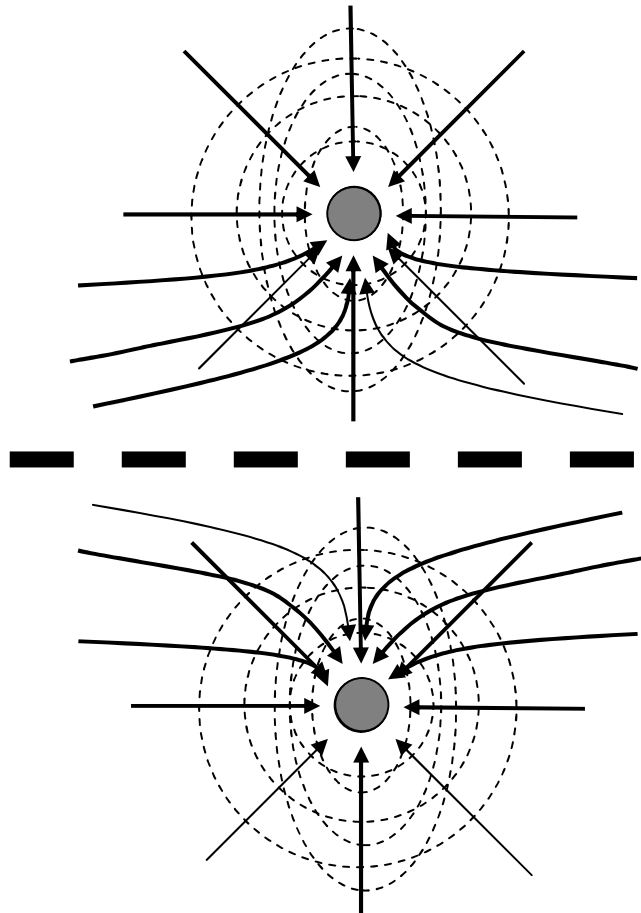
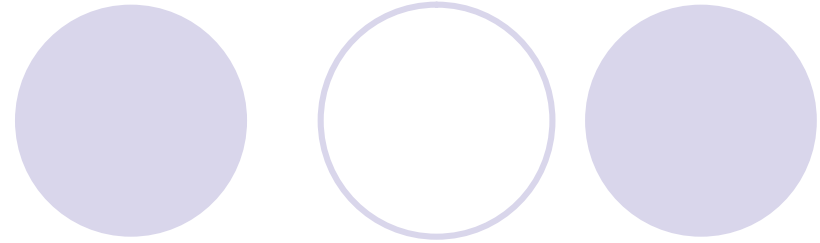


$$x_r = \frac{x_e}{x_p} = \alpha^{\frac{1}{6}}, \quad z_r = \frac{z_e}{z_p} = \alpha^{-\frac{1}{3}} = x_r^{-2}$$
$$K_e = \left(K_{xp}^2 K_{zp} \right)^{\frac{1}{3}} = K_{xp} \alpha^{\frac{1}{3}}$$

2方向の透水係数 K_{xp}, K_{zp} が得られる

しかし、これらの式は無限地盤での式であるので、鉛直方向の揚水範囲を限定する必要がある

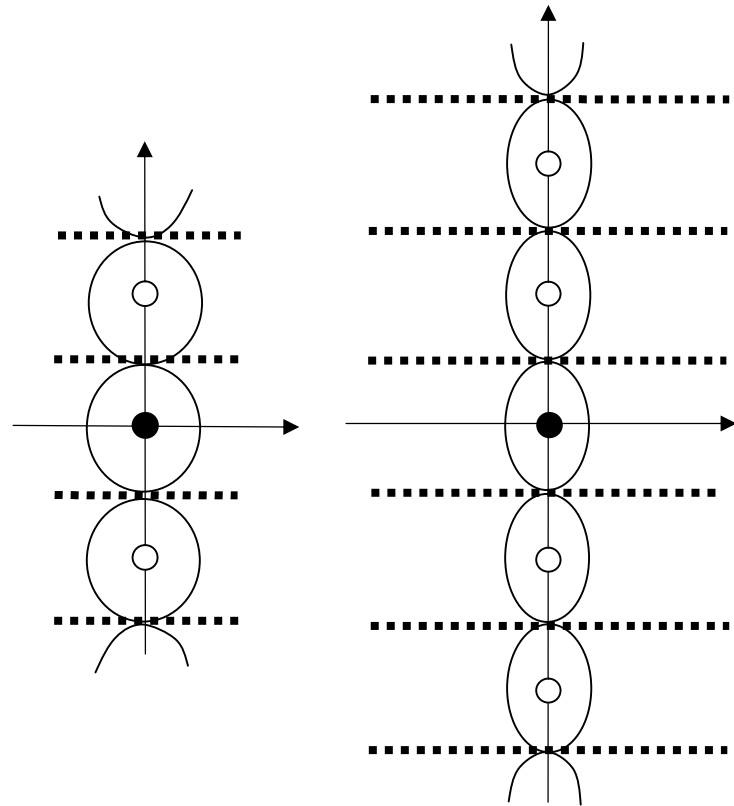
鏡像の原理



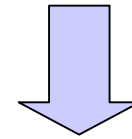
同じ揚水量の井戸が2つあると

井戸の干渉によって間に見掛けの不透水膜が生じ、これを応用すると、有限地盤を表現できる

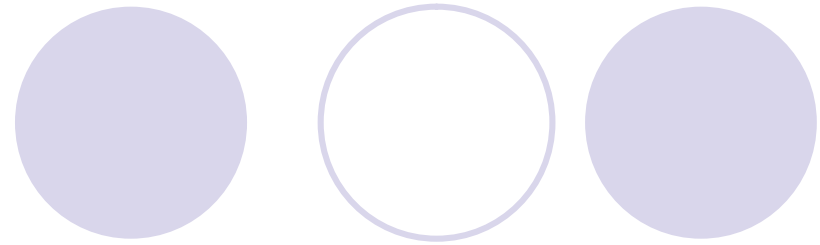
井戸の数



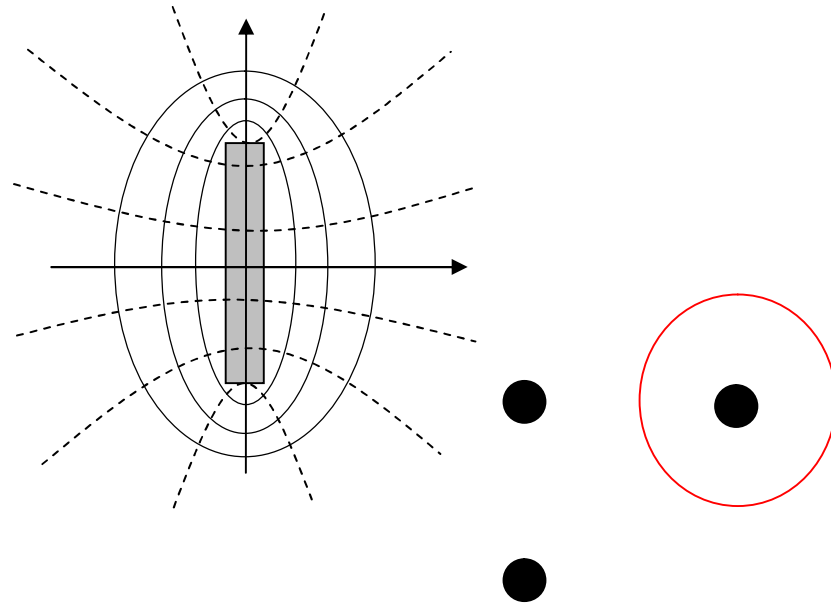
井戸の数が増えると井戸干渉により不透水膜が長くなり、水平方向の流れが卓越してくる



実際の水平方向流れを再現できる井戸の数を求める



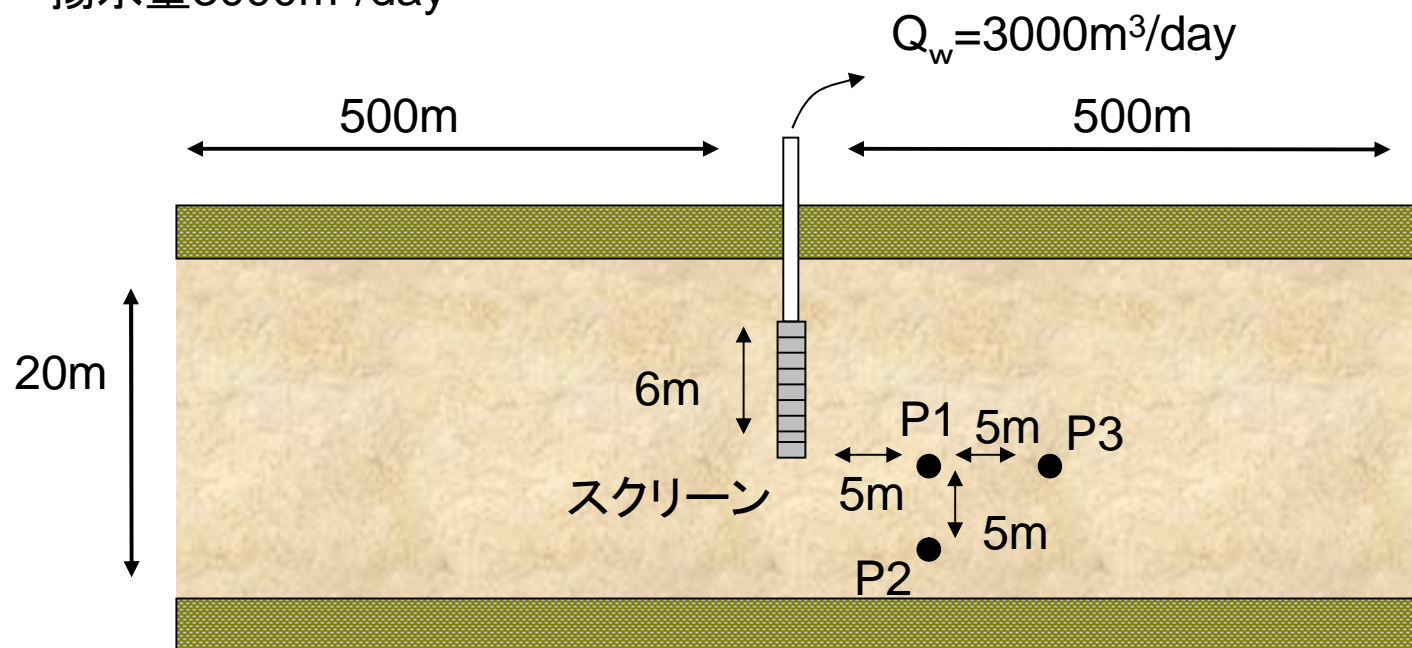
最適な井戸の個数を求める



揚水量の変化を水頭変化としてとらえることができる地点に測点を取り，水頭観測値をうまく再現できる時が水平方向の流れを再現できる時であり，最適な重ねあわせの井戸の個数である

解析条件

影響半径500m
500mの地点での水頭低下量0m
帯水層厚20m
スクリーン半径33cm 長さ 6m
揚水量 $3000\text{m}^3/\text{day}$



解析結果

	Kx誤差(%)	Kz誤差(%)
$Kz/Kx=1.0$	0.35	-0.93
$Kz/Kx=0.5$	-0.58	0.46
$Kz/Kx=0.2$	-0.23	2.31

Kx , Kz とともにごくわずかな誤差内で透水係数が再現できている

測定誤差を含む解析結果

P1での水頭低下量に+20cm，P2での水頭低下量に-20cm
の測定誤差を含める

	Kx誤差(%)	Kz誤差(%)
$Kz/Kx=1.0$	-5.79	-26.27
$Kz/Kx=0.5$	-4.86	-18.98
$Kz/Kx=0.2$	-3.47	-12.72

20cmの測定誤差を含んだ場合でも
2～3割程度の誤差内で透水係数が再現できる



まとめ

透水係数の異方性は、揚水井周辺の水頭低下量の分布から把握することができ、観測点は3点で足りる

スクリーンの長さは6m程度であれば、帯水層が20mと薄く、20cm程度の測定誤差を含んだ場合でも2～3割程度の誤差内で透水係数の再現ができる