

2016年度(H28年度)

## 地下水益管理学概論

福島大学 共生システム理工学類  
環境システムマネジメント専攻  
柴崎 直明

## 8. 地下水障害



枯渴した湧水(喜多方キャンプ清水)

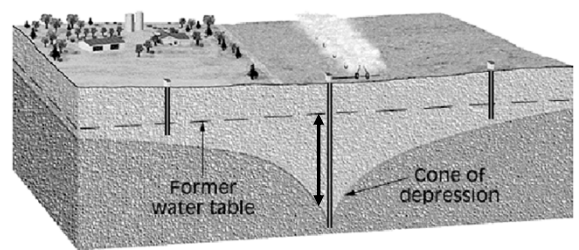
### 地下水障害とは何か？

地下水位の異常な変動に起因して発生する, 地下水利用や社会生活に不都合を及ぼす障害のこと

#### 地下水障害の例

地下水位の異常低下, 地盤沈下, 地下水の塩水化, 水質悪化など

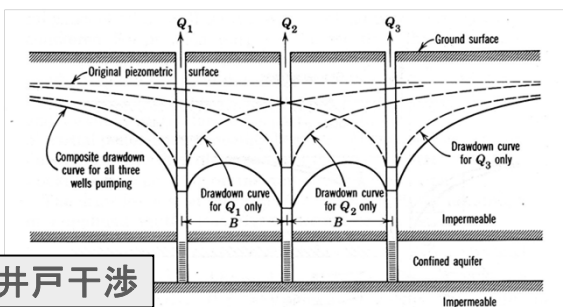
### 水位降下量(Drawdown)



$$\text{水位降下量} = (\text{静水位}) - (\text{動水位})$$

Static water level    Dynamic water level

### 複数の井戸からの揚水



井戸干渉

Fig. 4.27 Individual and composite drawdown curves for three wells in a line.

【Todd, D. K. (1980): "Groundwater Hydrology 2<sup>nd</sup> Ed."より】

### 地下水位変動の主な要因(1)

#### 人為的要因

- 大量揚水
- かんがい
- 土地利用の変化
- 地下構造物
- トンネルや地下掘削
- 河川改修, など

## 地下水位変動の主な要因(2)

### 自然的要因

- 降水
- 気圧
- 潮汐
- 地震
- 河川の水位, など

## 地下水位異常変動の要因

- ⇔地下水開発それ自体によるもの
- ⇔土木工事など他の原因によるもの
- ⇔干ばつによる地下水枯渇

## 地下水障害の分類

- ⇔地下水位の低下で直接起こる障害
- ⇔地下水位の低下が他の現象を誘発して生じる障害
- ⇔地下水位の上昇による障害
- ⇔地下水位の変化を伴わない障害

## 地下水位の低下で 直接生じる障害

- 自噴停止
- 井戸の枯渇, 揚水不能
- 揚水量の減少
- 井戸の相互干渉
- 湧水の枯渇, 湧出量の減少
- その他

## 地下水位の低下が他の現象を 誘発して生じる障害

- 地盤沈下
- 地下水塩水化
- 酸欠空気の発生
- 地下水水質の悪化
- 地下水酸性化による鉄管の腐食
- その他

## 地下水位の著しい 上昇で生じる障害

- 浮力による構造物の不安定化
- 塩類集積や塩害の促進
- 地盤液状化の促進
- 排水不良
- 作物の湿害
- その他

## 地下水位の変化を伴わない障害

- ⇄地下水汚染
- ⇄地層汚染
- ⇄その他

## 地盤沈下



東京都江東区の  
抜け上がった井戸  
(「日本の平野」平凡社より)

## 東京下町の地盤沈下の歴史



鉄管のしるしが、  
当時の地面  
(「日本の平野」平凡社より)

## ビルの基礎の抜け上がり(1)



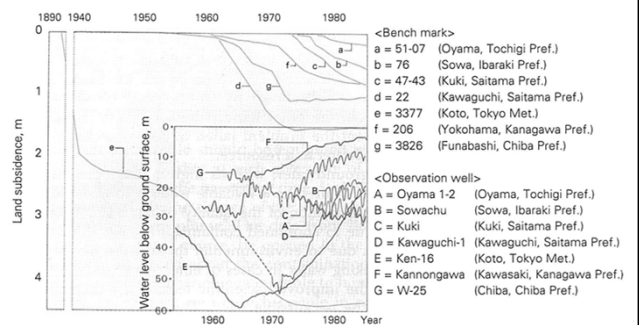
1階の床が、道路面より高くなっている  
(「日本の平野」平凡社より)

## ビルの基礎の抜け上がり(2)



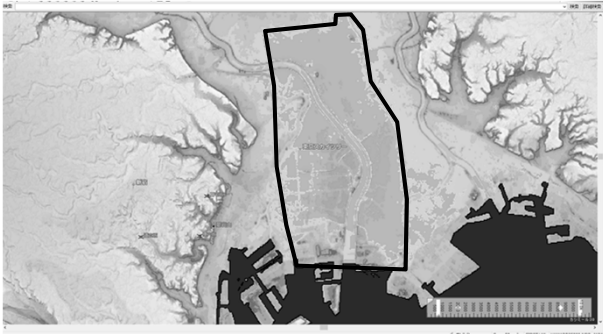
完成後1年で、団地の入り口に16cmの落差  
(「日本の平野」平凡社より)

## 関東平野における地盤沈下の歴史



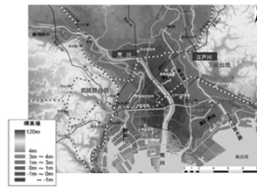
(「Environmental Management of Groundwater Basins」  
東海大学出版会より)

## 東京のゼロメートル(0m)地帯

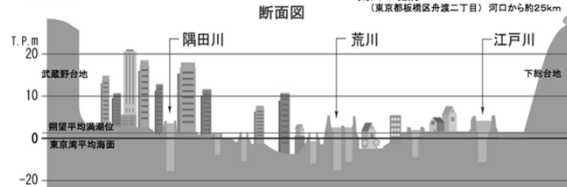


## 東京のゼロメートル地帯の状況

首都圏に広がるゼロメートル地帯



荒川の堤防  
(東京都板橋区舟渡二丁目) 河口から約2.5km



## ゼロメートル地帯の河川水位と地盤

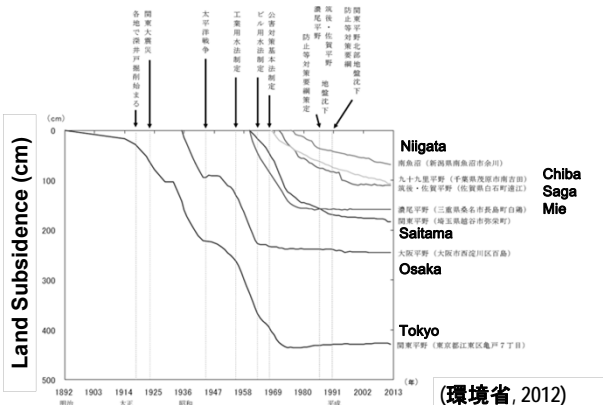


## 東京低地の地盤沈下の状況



- ← 堤防の高さ
- ← 過去最高水位 (1917年の台風による高潮)
- ← 1918年当時の地表面
- ← 満潮時海面
- ← 平均海面
- ← 干潮時海面

## 日本各地の地盤沈下の推移



(環境省, 2012)

## 日本の地盤沈下地域

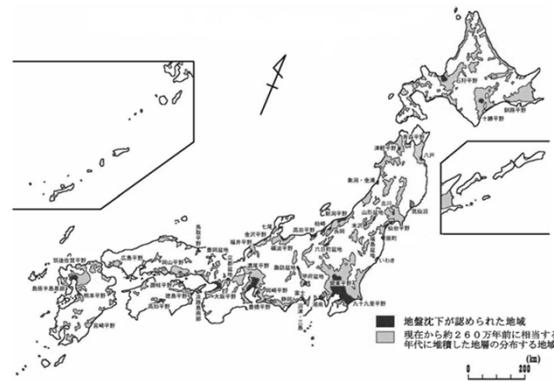


図16 全国の地盤沈下地域

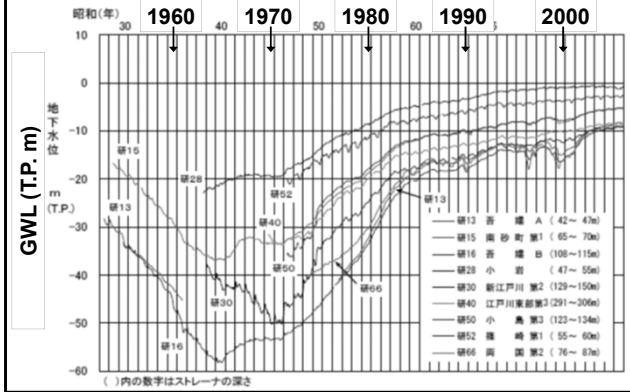
(環境省, 2013)

# 過去および現在の地盤沈下



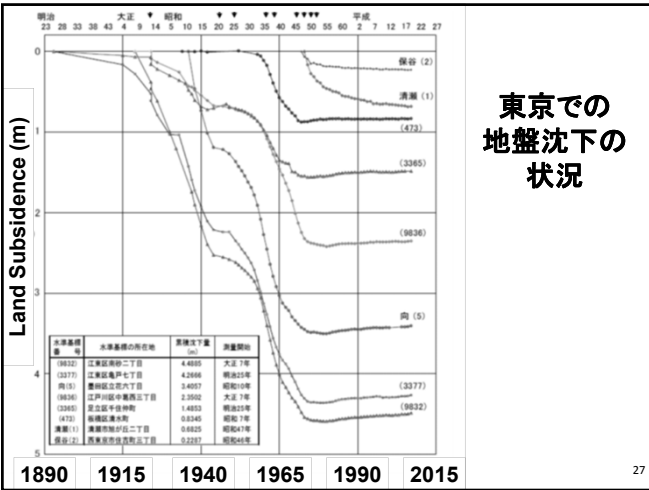
25

# 東京での地下水位の状況



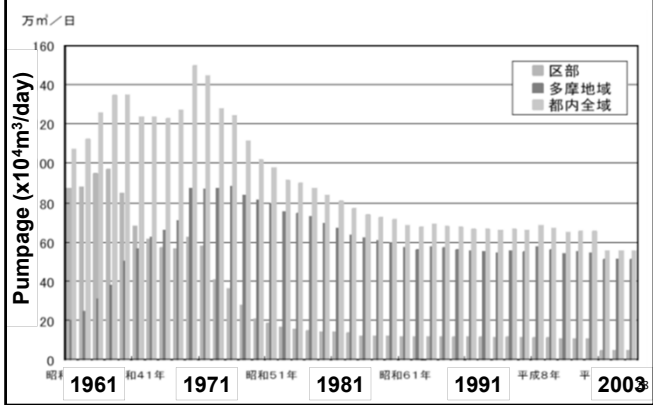
26

# 東京での地盤沈下の状況

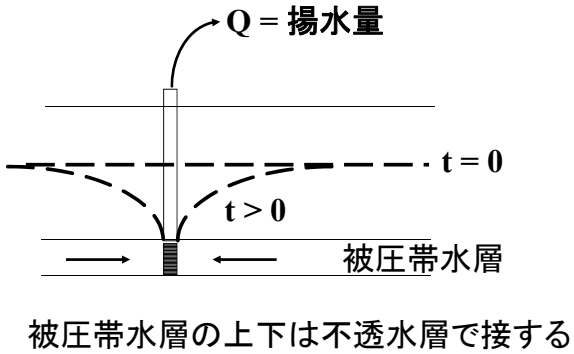


27

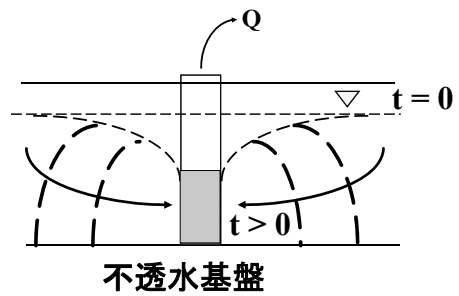
# 東京での地下水揚水量の変遷



# 被圧地下水の揚水

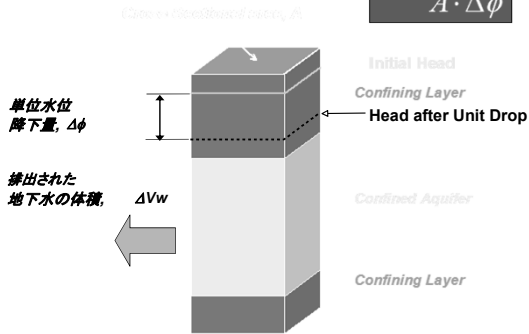


# 不圧地下水の揚水



## 被圧帯水層の貯留係数, $S$

$$S = \frac{\Delta V_w}{A \cdot \Delta \phi}$$



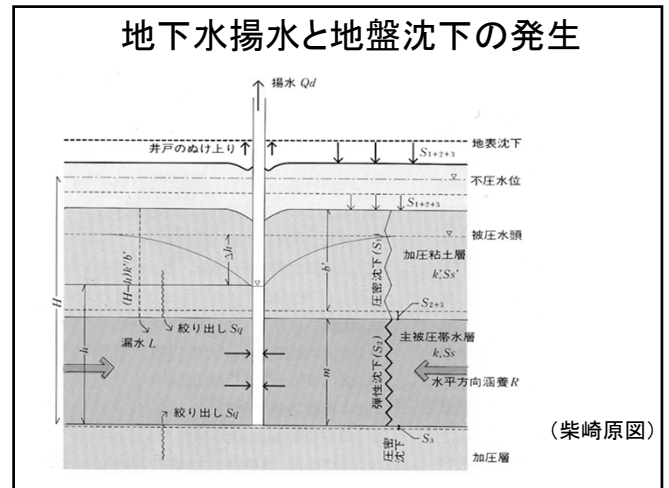
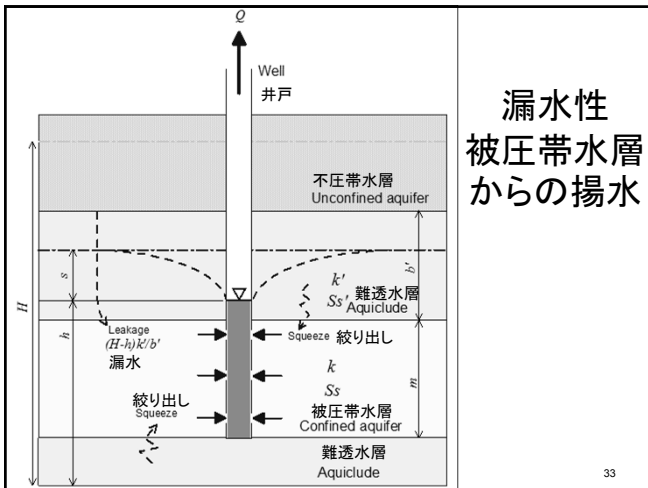
## なぜ、地盤沈下は発生するのか？

簡単にいうと、

地下水位低下による軟弱粘土層の収縮

やや詳しくいうと、

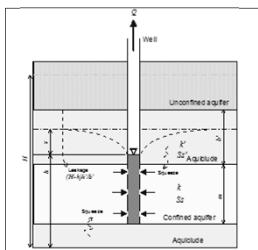
主被圧帯水層からの揚水により水頭低下が起こり、隣接する加圧層(粘土層)から間隙水の絞り出し現象が発生して、加圧層が圧密収縮する。



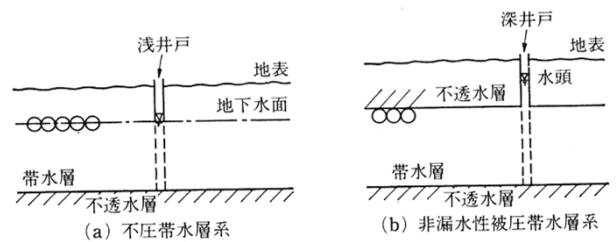
## 漏水(Leakage)とは？

地下水が、帯水層間にある難透水層を通して垂直方向に浸透する現象のこと

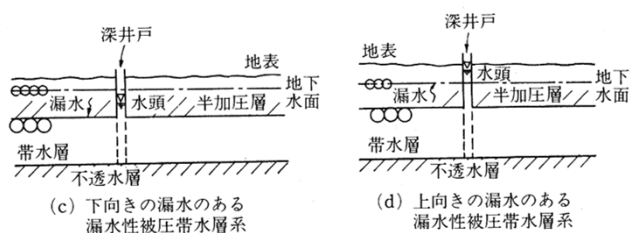
上下の帯水層内の水位(水頭)に差がある場合に生じる



## 帯水層系の基本的構図(1)



## 帯水層系の基本的構図(2)



(c) 下向きの漏水のある漏水性被圧帯水層系

(d) 上向きの漏水のある漏水性被圧帯水層系

## 漏水速度と漏水係数

帯水層の上位に半加圧層がある場合、ダルシーの法則より、漏水速度は、

$$\frac{Qc}{Ac} = \frac{k'}{b'}(H - h)$$

$Qc$ : 漏水量、 $Ac$ : 関係面積、 $k'$ : 半加圧層の透水係数、 $b'$ : 半加圧層の層厚、 $H$ : 不圧地下水水位の高さ、 $h$ : 被圧地下水頭の高さ

$k'/b'$ : 漏水係数(半加圧層固有の値)

## 絞り出し現象とは？

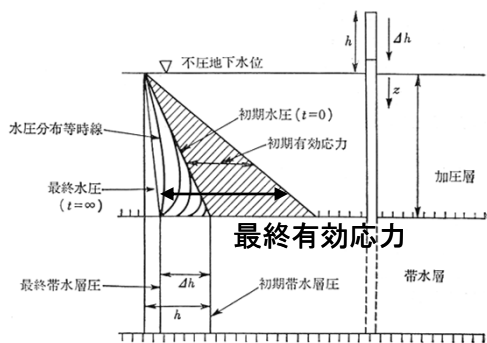
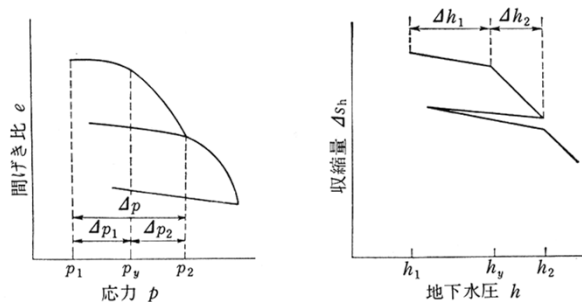


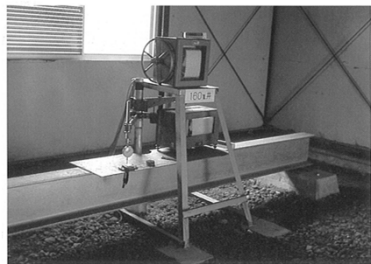
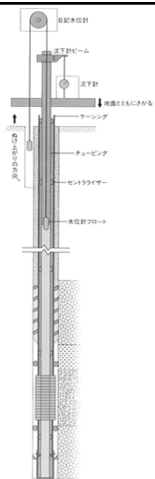
図 4.12 絞り出し現象の説明 (Domenico<sup>11)</sup> による)

## 圧密と地層の収縮



間隙比 = 間隙の容積 / 土粒子の体積

## 地下水・地盤沈下観測井の構造



## 地盤沈下の観測例

(石川県七尾市)

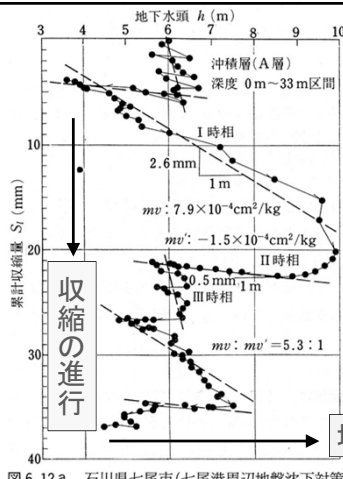
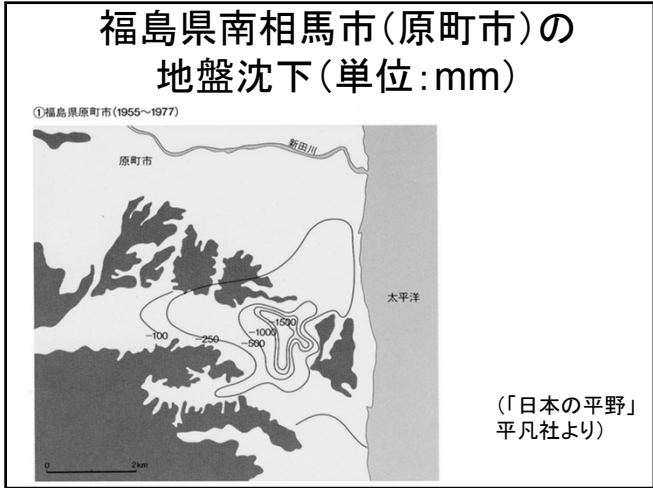
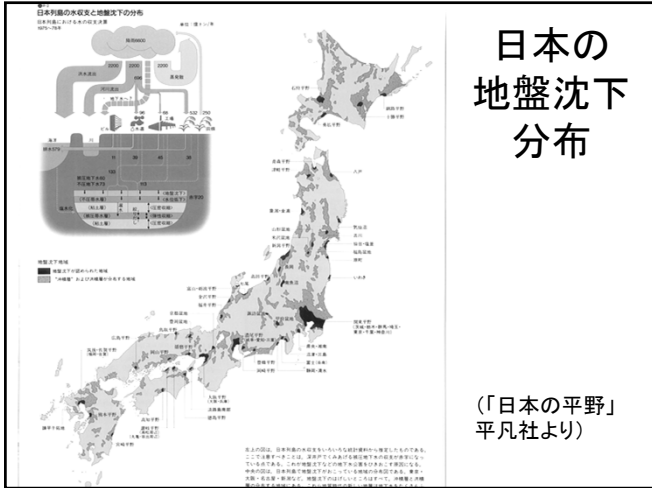


図 6.12 a 石川県七尾市(七尾港周辺地盤沈下対策協)

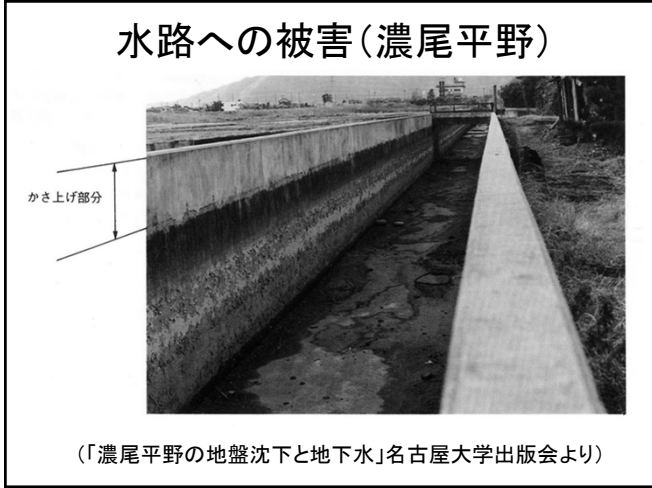


### 地盤沈下の被害

農業分野:  
 田畑の不等沈下、水路の破損・機能低下、揚排水機場の破損・機能低下など

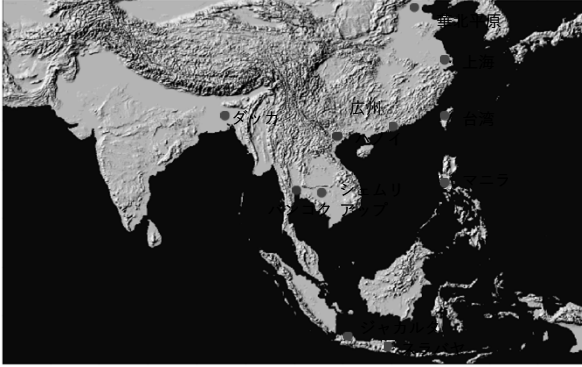
インフラ:  
 道路・鉄道・水道施設等の破損、建物の抜け上がりなど

防災分野:  
 高潮・洪水災害の拡大、構造物の不安定化など





## アジア各地での地盤沈下

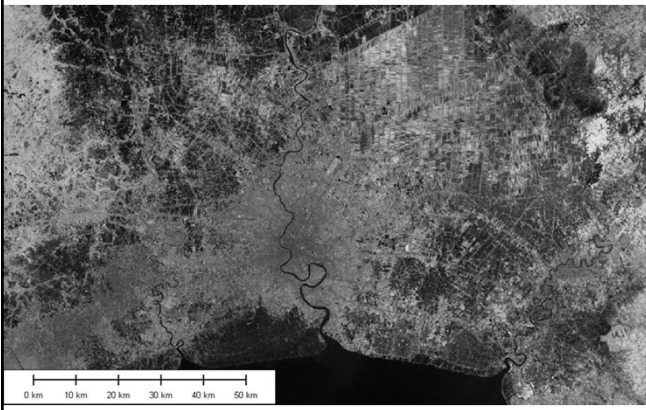


49

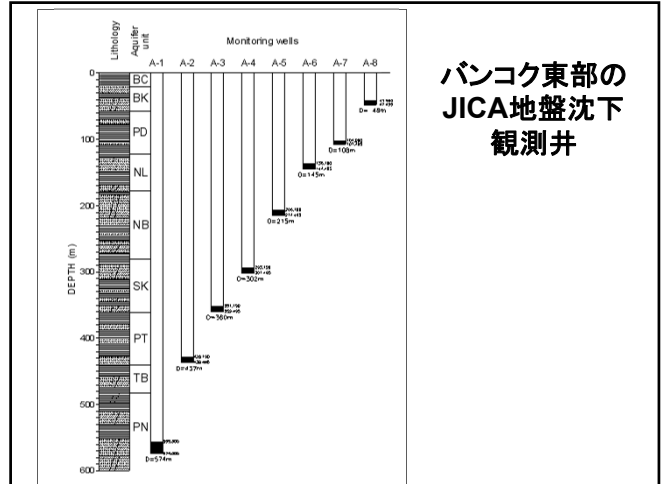
## バンコク市街地の風景



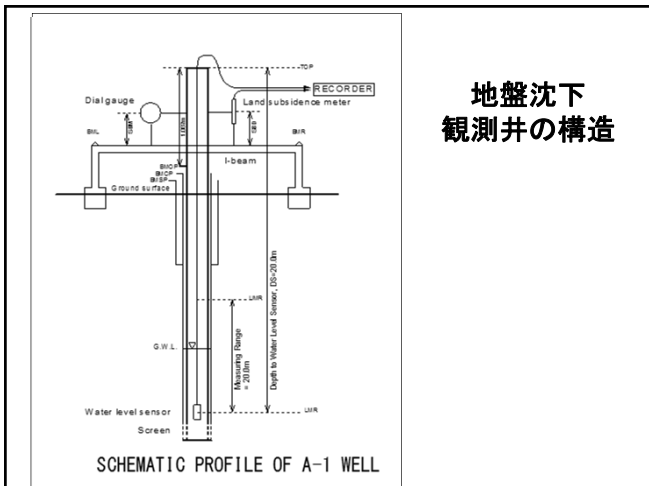
## バンコクの衛星画像



## バンコク東部の JICA地盤沈下 観測井

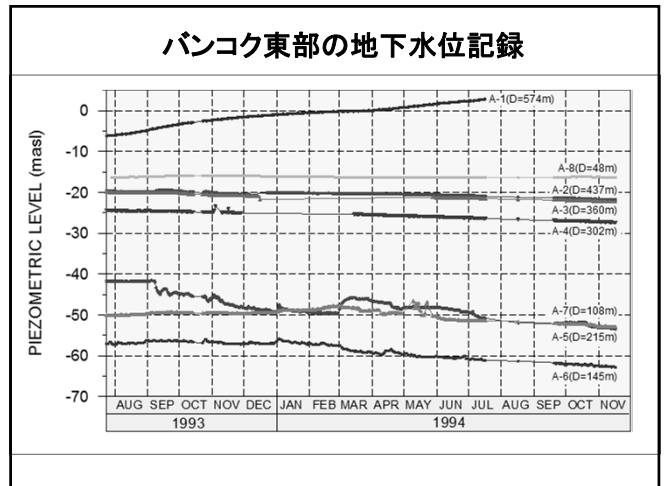


## 地盤沈下 観測井の構造

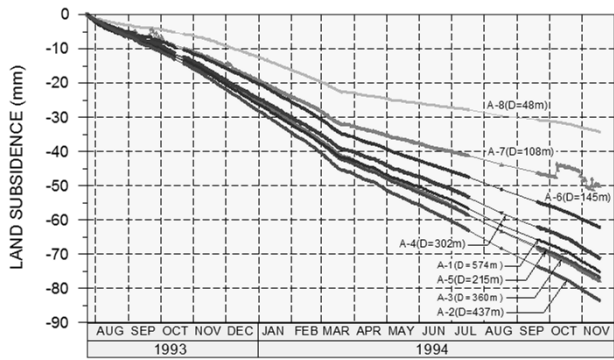


SCHEMATIC PROFILE OF A-1 WELL

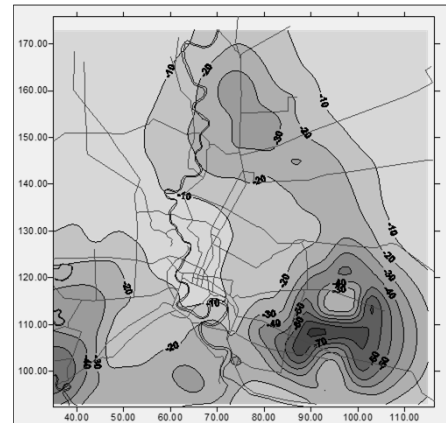
## バンコク東部の地下水水位記録



### バンコク東部の地盤沈下記録



### シミュレーションによる予測沈下量 (cm)



Scenario-1  
(1993-2017)

### 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