

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

8. 地下水障害(地盤沈下)



枯渴した湧水(喜多方カンパク清水)

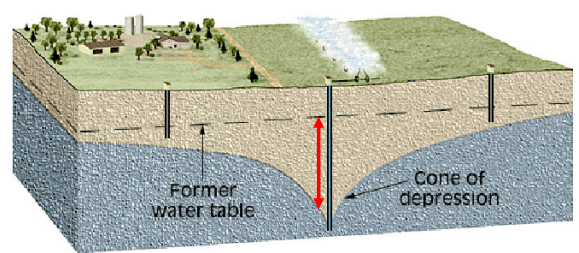
地下水障害とは何か？

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

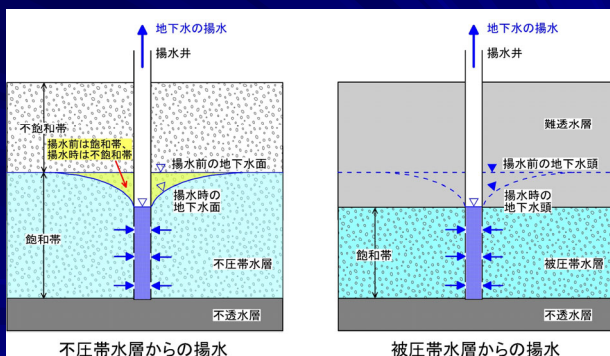
水位降下量(Drawdown)



水位降下量 = (静水位) - (動水位)

Static water level Dynamic water level

不圧帯水層と被圧帯水層からの揚水

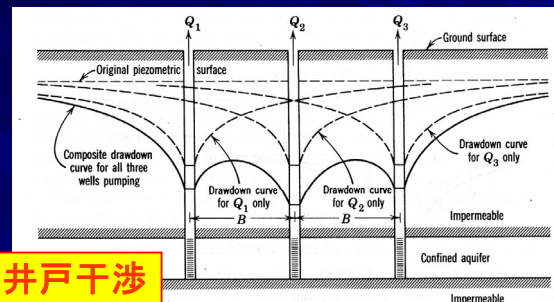


不圧帯水層からの揚水

被圧帯水層からの揚水

(柴崎原図, 2023)

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 2nd 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、団地の入口に16cmの落差
(「日本の平野」平凡社より)

最近の抜け上がり状況

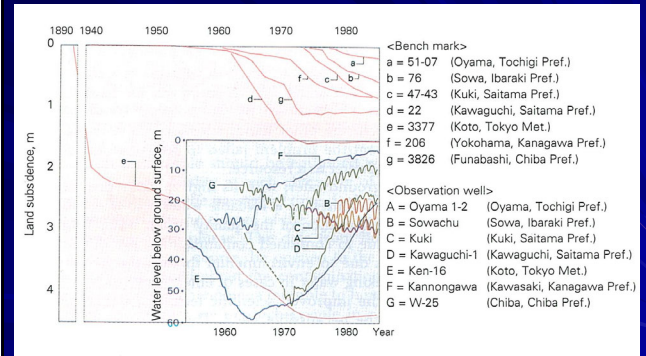


2019年の埼玉県春日部市の武里団地

(2019年7月 柴崎撮影)

19

関東平野における地盤沈下の歴史



(「Environmental Management of Groundwater Basins」

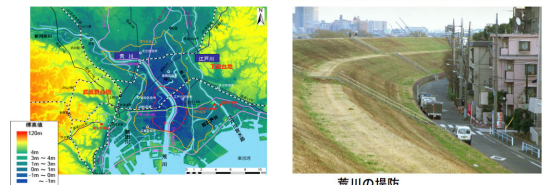
東海大学出版会より)

東京のゼロメートル(0m)地帯

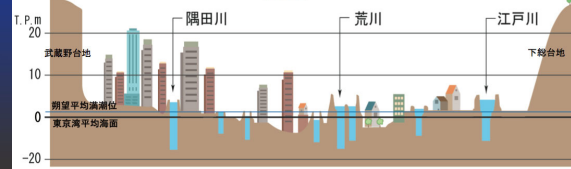


東京のゼロメートル地帯の状況

首都圏に広がるゼロメートル地帯



断面図 荒川の堤防 (東京都板橋区舟渡二丁目) 河口から約25km



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



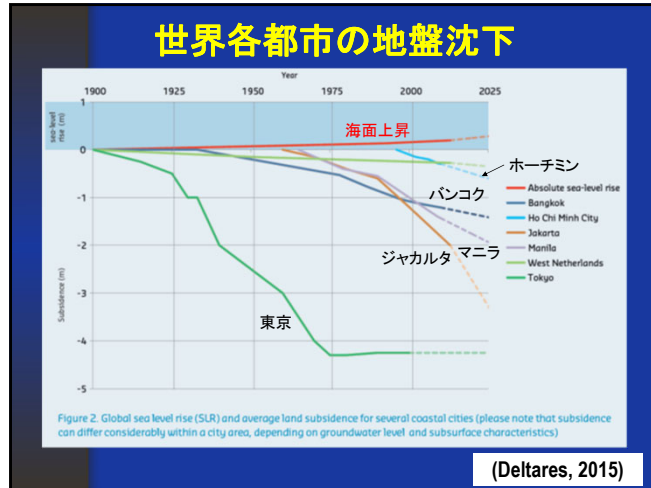
- ← 堤防の高さ
- ← 過去最高水位 (1917年の台風による高潮)
- ← 1918年当時の地表面
- ← 満潮時海面
- ← 平均海面
- ← 干潮時海面

日本各地の地盤沈下の推移

(環境省, 2025)

累積沈下量 (cm)

1892 明治25 35 45 55 65 75 85 95 105 115 125 135 145 155 165 175 185 195 205 215 225 235 245 255 265 275 285 295 305 315 325 335 345 355 365 375 385 395 405 415 425 435 445 455 465 475 485 495 505 515 525 535 545 555 565 575 585 595 605 615 625 635 645 655 665 675 685 695 705 715 725 735 745 755 765 775 785 795 805 815 825 835 845 855 865 875 885 895 905 915 925 935 945 955 965 975 985 995 1005 1015 1025 1035 1045 1055 1065 1075 1085 1095 1105 1115 1125 1135 1145 1155 1165 1175 1185 1195 1205 1215 1225 1235 1245 1255 1265 1275 1285 1295 1305 1315 1325 1335 1345 1355 1365 1375 1385 1395 1405 1415 1425 1435 1445 1455 1465 1475 1485 1495 1505 1515 1525 1535 1545 1555 1565 1575 1585 1595 1605 1615 1625 1635 1645 1655 1665 1675 1685 1695 1705 1715 1725 1735 1745 1755 1765 1775 1785 1795 1805 1815 1825 1835 1845 1855 1865 1875 1885 1895 1905 1915 1925 1935 1945 1955 1965 1975 1985 1995 2005 2015 2025 2035 2045 2055 2065 2075 2085 2095 2105 2115 2125 2135 2145 2155 2165 2175 2185 2195 2205 2215 2225 2235 2245 2255 2265 2275 2285 2295 2305 2315 2325 2335 2345 2355 2365 2375 2385 2395 2405 2415 2425 2435 2445 2455 2465 2475 2485 2495 2505 2515 2525 2535 2545 2555 2565 2575 2585 2595 2605 2615 2625 2635 2645 2655 2665 2675 2685 2695 2705 2715 2725 2735 2745 2755 2765 2775 2785 2795 2805 2815 2825 2835 2845 2855 2865 2875 2885 2895 2905 2915 2925 2935 2945 2955 2965 2975 2985 2995 3005 3015 3025 3035 3045 3055 3065 3075 3085 3095 3105 3115 3125 3135 3145 3155 3165 3175 3185 3195 3205 3215 3225 3235 3245 3255 3265 3275 3285 3295 3305 3315 3325 3335 3345 3355 3365 3375 3385 3395 3405 3415 3425 3435 3445 3455 3465 3475 3485 3495 3505 3515 3525 3535 3545 3555 3565 3575 3585 3595 3605 3615 3625 3635 3645 3655 3665 3675 3685 3695 3705 3715 3725 3735 3745 3755 3765 3775 3785 3795 3805 3815 3825 3835 3845 3855 3865 3875 3885 3895 3905 3915 3925 3935 3945 3955 3965 3975 3985 3995 4005 4015 4025 4035 4045 4055 4065 4075 4085 4095 4105 4115 4125 4135 4145 4155 4165 4175 4185 4195 4205 4215 4225 4235 4245 4255 4265 4275 4285 4295 4305 4315 4325 4335 4345 4355 4365 4375 4385 4395 4405 4415 4425 4435 4445 4455 4465 4475 4485 4495 4505 4515 4525 4535 4545 4555 4565 4575 4585 4595 4605 4615 4625 4635 4645 4655 4665 4675 4685 4695 4705 4715 4725 4735 4745 4755 4765 4775 4785 4795 4805 4815 4825 4835 4845 4855 4865 4875 4885 4895 4905 4915 4925 4935 4945 4955 4965 4975 4985 4995 5005 5015 5025 5035 5045 5055 5065 5075 5085 5095 5105 5115 5125 5135 5145 5155 5165 5175 5185 5195 5205 5215 5225 5235 5245 5255 5265 5275 5285 5295 5305 5315 5325 5335 5345 5355 5365 5375 5385 5395 5405 5415 5425 5435 5445 5455 5465 5475 5485 5495 5505 5515 5525 5535 5545 5555 5565 5575 5585 5595 5605 5615 5625 5635 5645 5655 5665 5675 5685 5695 5705 5715 5725 5735 5745 5755 5765 5775 5785 5795 5805 5815 5825 5835 5845 5855 5865 5875 5885 5895 5905 5915 5925 5935 5945 5955 5965 5975 5985 5995 6005 6015 6025 6035 6045 6055 6065 6075 6085 6095 6105 6115 6125 6135 6145 6155 6165 6175 6185 6195 6205 6215 6225 6235 6245 6255 6265 6275 6285 6295 6305 6315 6325 6335 6345 6355 6365 6375 6385 6395 6405 6415 6425 6435 6445 6455 6465 6475 6485 6495 6505 6515 6525 6535 6545 6555 6565 6575 6585 6595 6605 6615 6625 6635 6645 6655 6665 6675 6685 6695 6705 6715 6725 6735 6745 6755 6765 6775 6785 6795 6805 6815 6825 6835 6845 6855 6865 6875 6885 6895 6905 6915 6925 6935 6945 6955 6965 6975 6985 6995 7005 7015 7025 7035 7045 7055 7065 7075 7085 7095 7105 7115 7125 7135 7145 7155 7165 7175 7185 7195 7205 7215 7225 7235 7245 7255 7265 7275 7285 7295 7305 7315 7325 7335 7345 7355 7365 7375 7385 7395 7405 7415 7425 7435 7445 7455 7465 7475 7485 7495 7505 7515 7525 7535 7545 7555 7565 7575 7585 7595 7605 7615 7625 7635 7645 7655 7665 7675 7685 7695 7705 7715 7725 7735 7745 7755 7765 7775 7785 7795 7805 7815 7825 7835



世界最大の地盤沈下

San Joaquin Valley
southwest of
Mendota, California

1925～1977年で 9 m

(USGS, 2016)

日本の地盤沈下地域

(注) 現在から約200万年前に相当する年代に堆積した地層は、年代が新しいため一般に固結しておらず軟弱な地層である。

(環境省, 2025)

● 地盤沈下が認められた地域
● 現在から約200万年前に相当する年代に堆積した地層の分布する地域

0 200 (km)

図8 全国の地盤沈下地域

2023年度の地盤沈下

(2) 令和5年度の全国の地盤沈下の状況

● 令和5年度に地盤沈下の測定のための観測が実施された地域（30地域）
○ 上記以外で、これまでに地盤沈下が観測された地域（48地域）
※ 図中の数値は、令和5年度までの観測の最大値と最小値の差を、毎年観測して測量を実施していない一部の地域は、前回の測量実施年度から令和5年度までの観測下で最も平均した数値として示している。
※ 静岡県の一部地域は測量実施前による地盤沈下量値としている。

図1 令和5年度の全国の地盤沈下の状況（cm/年）※

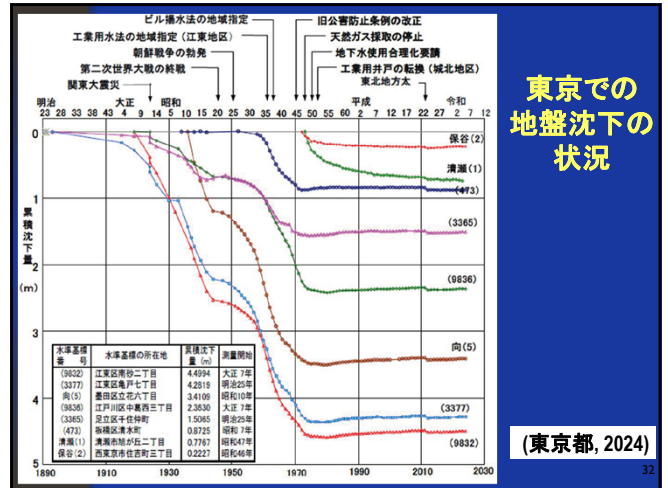
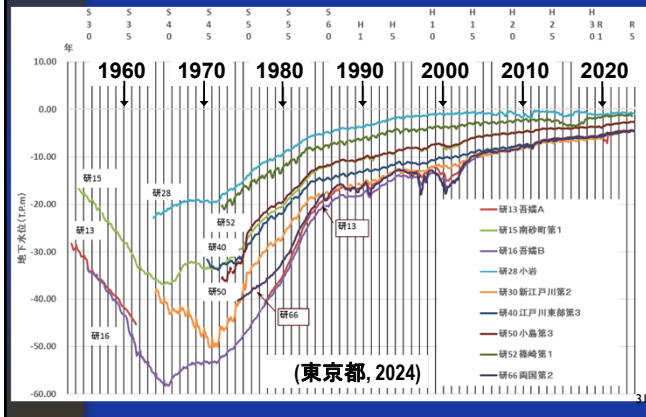
29

過去5年間の地盤沈下

(環境省, 2025)

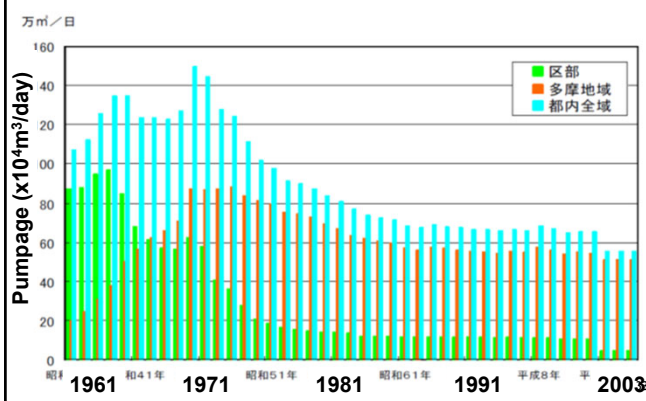
● 過去5年間（令和元年度～令和6年度）に地盤沈下測定のための測量が1回以上実施された地域（39地域）
 ● 上記以外で、これまでに地盤沈下が観測された地域（25地域）

東京での地下水位の状況

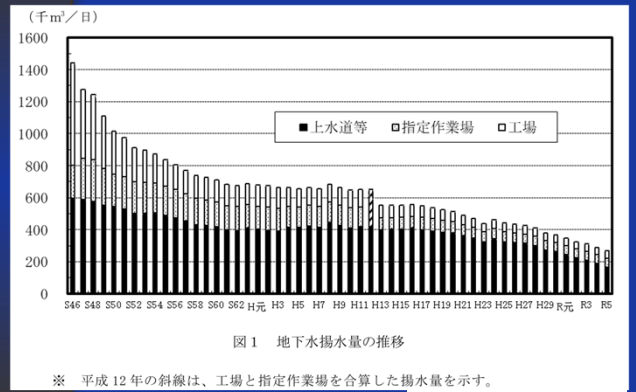


東京での
地盤沈下の
状況

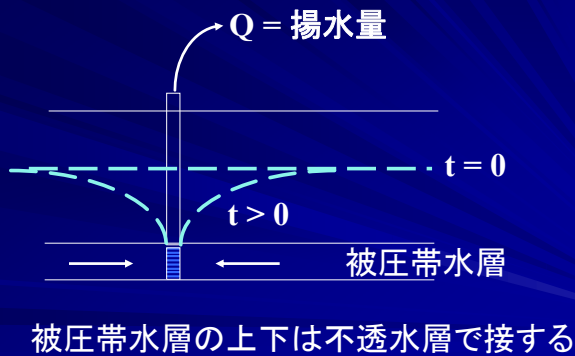
東京での地下水揚水量の変遷(1)



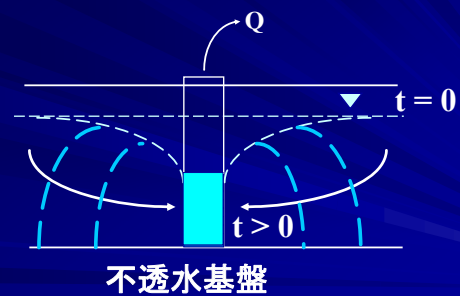
東京での地下水揚水量の変遷(2)



被圧地下水の揚水

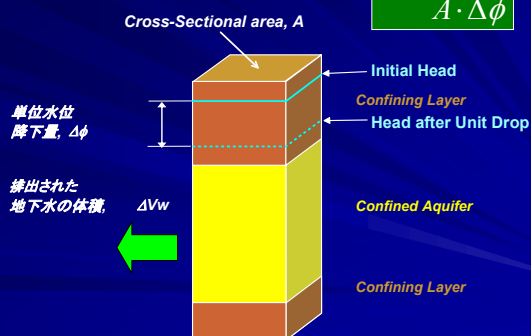


不圧地下水の揚水



被圧帯水層の貯留係数, S

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



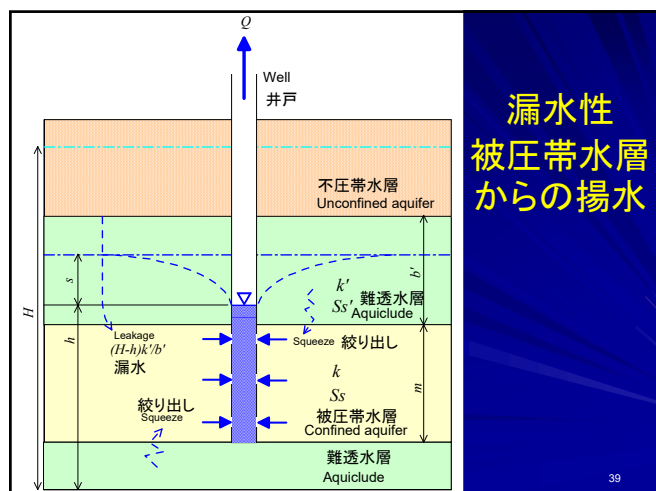
なぜ、地盤沈下は発生するのか？

簡単にいうと、

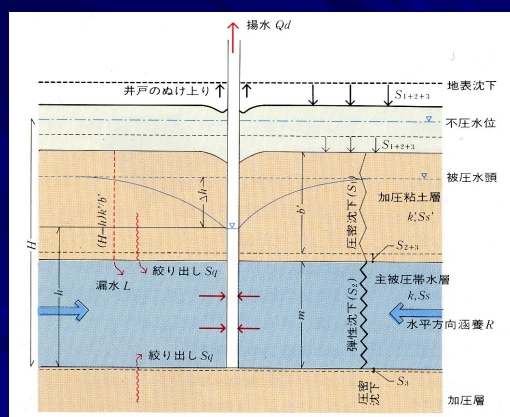
地下水位低下による軟弱粘土層の収縮

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。



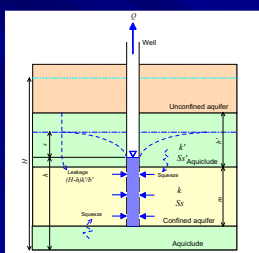
地下水揚水と地盤沈下の発生



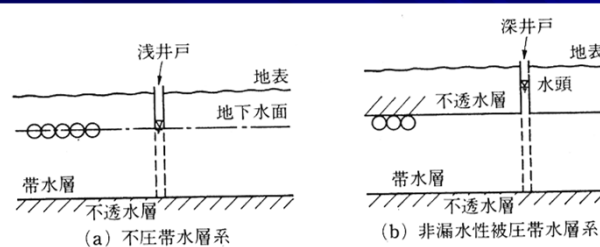
漏水(Leakage)とは？

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

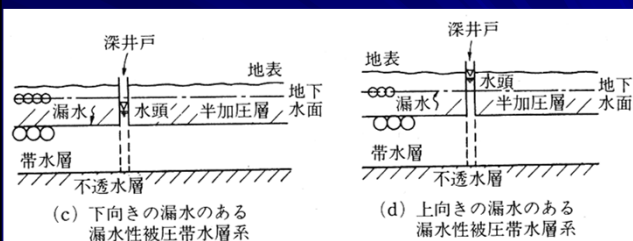
上下の帯水層内の水位(水頭)に差がある場合に生じる



帯水層系の基本的構図(1)



帯水層系の基本的構図(2)



漏水速度と漏水係数

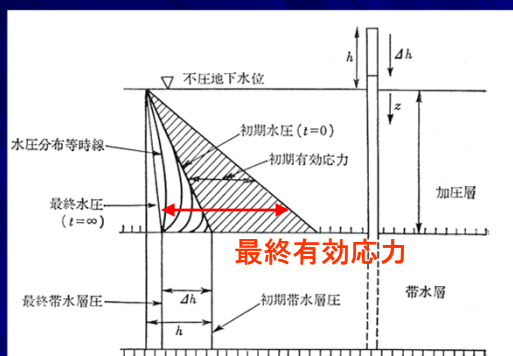
帯水層の上位に半加圧層がある場合、ダルシーの法則より、漏水速度は、

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

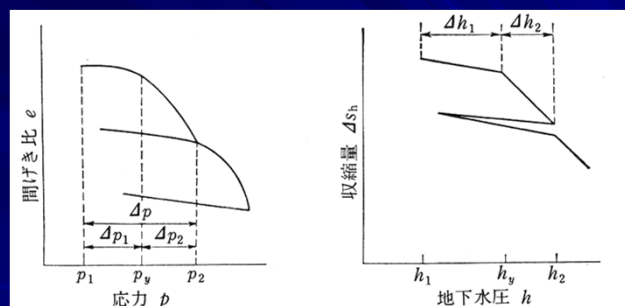
Qc : 漏水量、 Ac : 関係面積、 k' : 半加圧層の透水係数、 b' : 半加圧層の層厚、 H : 不圧地下水位の高さ、 h : 被圧地下水頭の高さ

k'/b' : 漏水係数(半加圧層固有の値)

絞り出し現象とは？

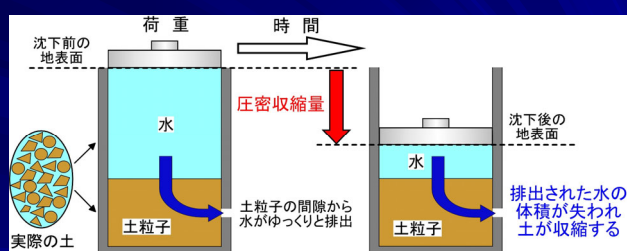


圧密と地層の収縮



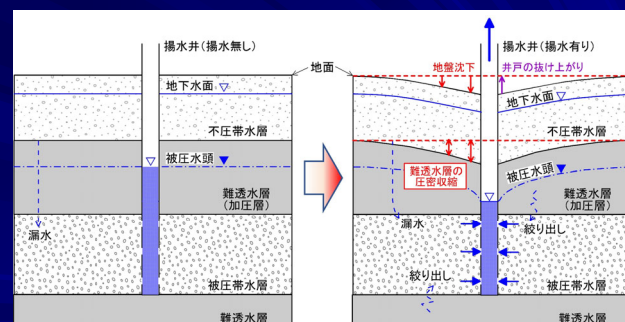
間隙比 = 間隙の容積 / 土粒子の体積

圧密収縮の説明



(柴崎原図, 2023)

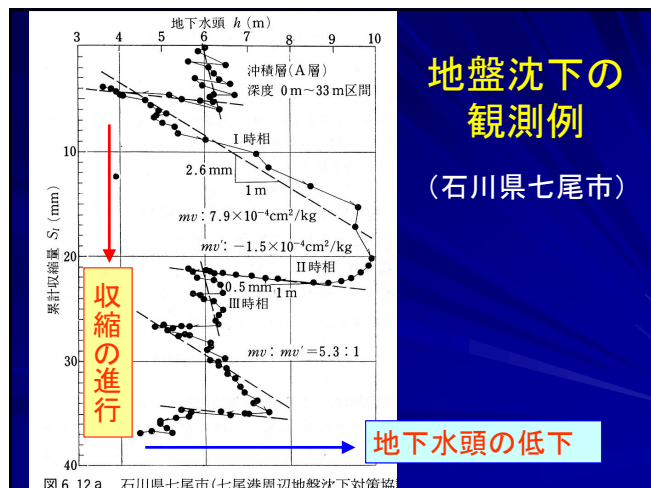
地盤沈下の発生メカニズム



(柴崎原図, 2023)



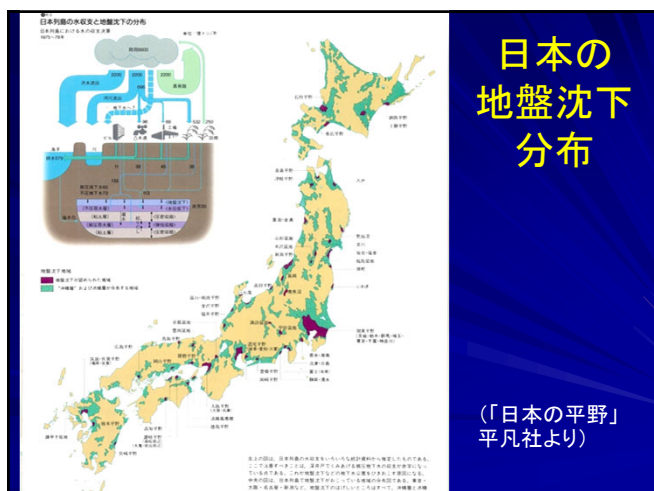
地下水・地盤沈下観測井の構造



地盤沈下の観測例

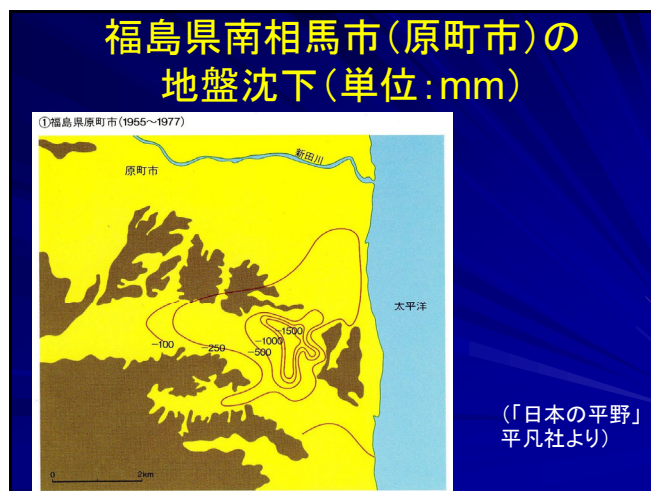
(石川県七尾市)

図 6.12 a 石川県七尾市(七尾港周辺地盤沈下対策協



日本の地盤沈下分布

(「日本の平野」平凡社より)



福島県南相馬市(原町市)の地盤沈下(単位:mm)

(「日本の平野」平凡社より)

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

建物への被害(濃尾平野)



(「濃尾平野の地盤沈下と地下水」名古屋大学出版会より)

水路への被害(濃尾平野)



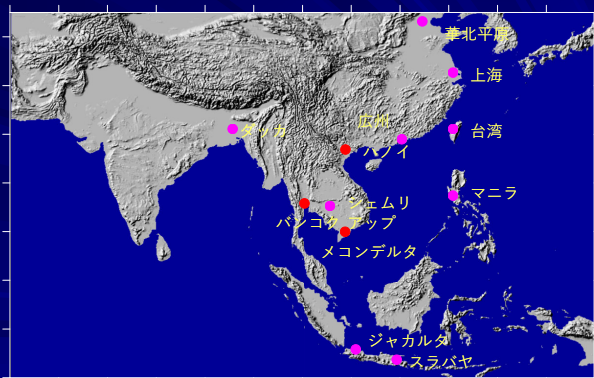
(「濃尾平野の地盤沈下と地下水」名古屋大学出版会より)

地盤沈下による川の水面の上昇



石川県七尾市の例 (「日本の平野」平凡社より)

アジア各地での地盤沈下



57

2021年3月3日のYAHOOニュース記事

YAHOO! ニュース 10でちょっと便利に 新刊取寄 ログイン ペイペイジャンボで金額戻ってくるチャンス

キーワードを入力

トップ 洋報 ライブ 個人 オリジナル みんなの意見 ランキング

主要 国内 国際 経済 エンタメ スポーツ IT 科学 ライフ 地域

世界中で進む地盤沈下は、「世界人口の5分の1」に影響する：研究結果

3/3(水) 12:20 配信 23

WIRED

米国のカリフォルニア州では、20世紀に経済が飛躍的な発展を遂げた。ところが、逆に地盤は沈下が加速している。農業が著しく成長したサンホアキン・ヴァレーでは、過酷な干ばつに襲われたことで地中の帯水層から水が過剰に汲み出され、おかげで帯水層がつぶれてしまったのだ。まるで空っぽになった巨大なペットボトルが、つぶれるかのようにである。

インドネシアの首都ジャカルタでは、年間約25cmもの地盤沈下が起きている。

気候変動で「ヒートアイランド現象」が深刻化し、都市部の暑さが加速する

地下水揚水量の多い国Top15 (2010年)

	Country	Population 2010 (in thousands)	Groundwater extraction			
			Estimated groundwater extraction 2010 (km³/yr)	Breakdown by sector		
				Groundwater extraction for irrigation (%)	Groundwater extraction for domestic use (%)	Groundwater extraction for industry (%)
インド	India	1224614	251.00	89	9	2
中国	China	1341335	111.95	54	20	26
米国	United States	310384	111.70	71	23	6
パキスタン	Pakistan	173593	64.82	94	6	0
イラン	Iran	73974	63.40	87	11	2
バングラデシュ	Bangladesh	148692	30.21	86	13	1
メキシコ	Mexico	113423	29.45	72	22	6
サウジアラビア	Saudi Arabia	27448	24.24	92	5	3
インドネシア	Indonesia	239871	14.93	2	93	5
トルコ	Turkey	72752	13.22	60	32	8
ロシア	Russia	142985	11.62	3	79	18
シリア	Syria	20411	11.29	90	5	5
日本	Japan	126536	10.94	23	29	48
タイ	Thailand	69122	10.74	14	60	26
イタリア	Italy	60551	10.40	67	23	10

(Margat and van der Gun, 2013)

YAHOOのニュース記事のもとになった『Science』2021年1月の記事 (Herrera et al., 2021)

INSIGHTS

POLICY FORUM

GEOSCIENCE

Mapping the global threat of land subsidence

Nineteen percent of the global population may face a high probability of subsidence

by Gerardo Herrera-García, Pablo Ezquerro, Roberto Tomás, Marta Déjar-Pizarro, Juan López-Vinielles, Mauro Rossi, Rosa M. Matos, Dora Carrón-Freyre, John Lambert, Pietro Teatini, Enrique Cabral-Cano, Gilles Erkens, Devin Calloway, Wei Chia Hung, Najeebullah Kakar, Michelle Sneed, Luigi Tosi, Hanmei Wang, Shujun Ye

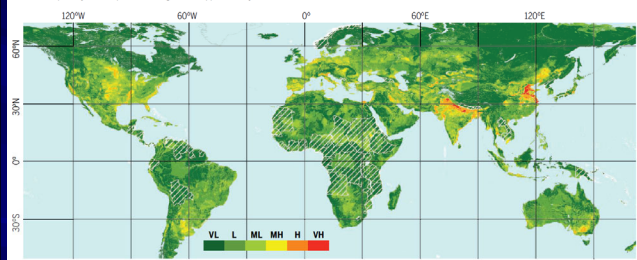
ess susceptible to flooding. In coastal zones, the combined effects of absolute sea-level rise and land subsidence contribute to relative sea-level rise (4). The contribution from

地盤沈下の世界的脅威のマッピング
世界人口の19%が、高い沈下の可能性に直面

地盤沈下のポテンシャルマップ(全世界)

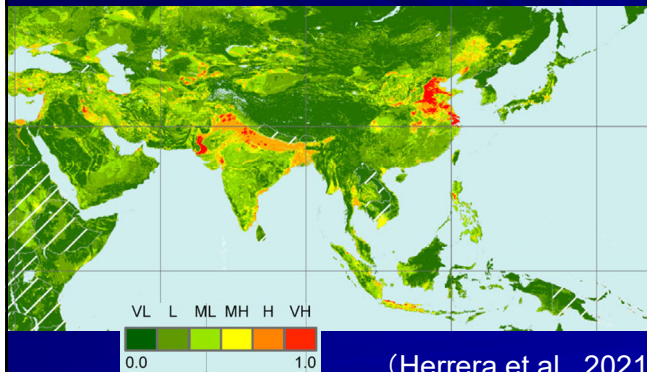
Potential global subsidence

The color scale indicates the probability intervals classified from very low (VL) to very high (VH), for every 30 arcsec resolution pixel (1 km by 1 km at the Equator). The white hatched polygons indicate countries where groundwater data is unavailable, and the potential subsidence only includes information on the susceptibility. See maps of other regions in supplementary materials.



(Herrera et al., 2021)

地盤沈下のポテンシャルマップ (2040年, アジア)



(Herrera et al., 2021)

参考文献

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