

## 第6章 応用地質及び環境地質

(風岡 修・吉田 剛・香川 淳・八武崎寿史・潮崎翔一・荻津 達)

関東堆積盆地の中でも第四紀層に当たる部分は、砂層や礫層の地層粒子間に統成作用による二次的な鉱物がほとんど成長していないことから透水性が確保されており、地下水の流動が比較的速く地下水を利用しやすいので関東地下水盆とも呼ばれている。

本地域では縄文時代より湧水が、平安時代からは手掘りの井戸による真水の地下水が、江戸時代末～明治時代初期からは上総地方で編み出された上総掘りによる掘り抜き井戸や近年のボーリングマシンによる深井戸による様々な種類の地下水が利用されている。

関東地下水盆における地下水水質とその利用は以下のとおりである。下総層群上部を中心とした地下水盆の上部には真水地下水が含まれ飲用・食品工場用・水道水源用・農業用・非常水源用として広く利用されている。下総層群下部及び上総層群最上部を中心とした地下水盆の中部にはフミン酸を含み茶色に着色された“ちゃ水”地下水が賦存し近年“黒湯”と呼ばれる温泉水として利用されている。また上総層群の大半を中心とした地下水盆の下部には天然ガスが溶け込んだ化石海水が賦存しこの化石海水から天然ガス・ヨウ素を取り出すことで利用されている(第6.1図; 榆井, 1978)。

関東地下水盆中の真水地下水の利用において、東京湾岸に広がる沖積低地では明治時代よりその過剰揚水に伴い1970年ごろをピークに地盤の沈下が起り、洪水や高潮などの被害に見舞わされてきた。このため都・県・政令市を中心に地下水位と地層収縮量のモニタリングや一級水準測量により地下水の過剰揚水による地盤の

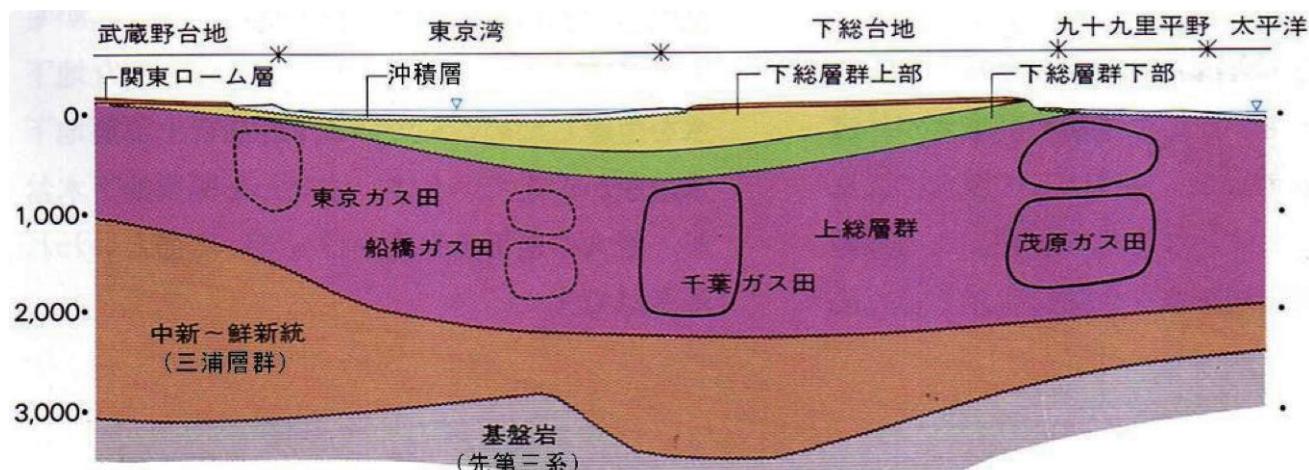
沈下を把握し、加えて地下水の揚水規制などの対策が進められ、地盤の沈下は一部を残して沈静化しつつある(南関東地方地盤沈下調査会, 1974; 関東地方知事会関東地方環境対策推進本部地盤沈下部会, 2010)。

1980年代に入ると、都市部を中心に民家井戸より地下水汚染がみつかるようになり(糸倉・大野, 1993), 本地域では市町村と県で地質汚染の機構解明とこれに沿った浄化を進め(上砂・佐藤, 1995), 完全浄化に至っている汚染サイトも出てきている(榆井, 2003; NPO日本地質汚染審査機構, 2003など)。

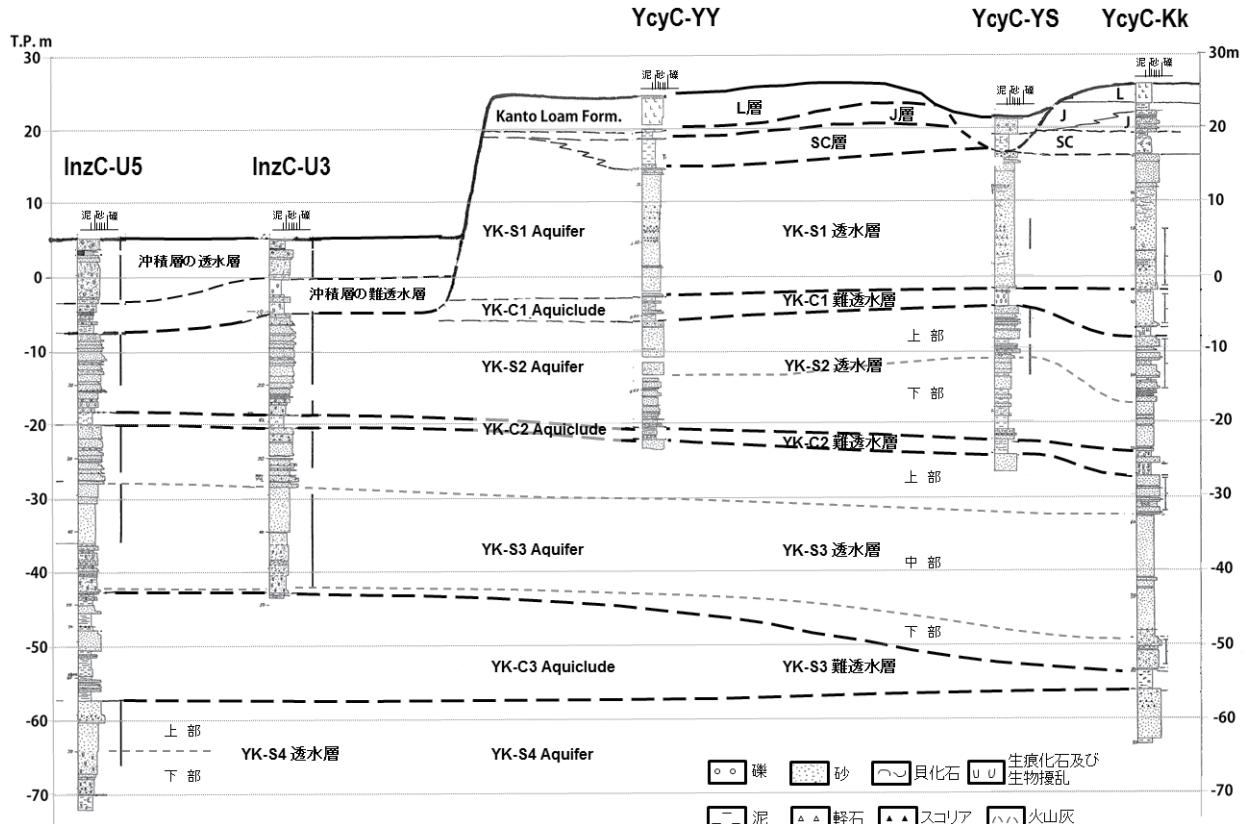
東京湾の千葉県側では、主に1960年代～1980年代に工場用地や宅地としてかつての干潟を中心に大規模な埋立地が作られた。1987年12月17日に発生した千葉県東方沖地震(M 6.8), 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)の際には、この埋立地において大規模な噴砂・噴水や局所的な沈下といった液状化～流動化現象(風岡, 2003; 風岡ほか, 1994)が繰り返し発生した。個々の液状化～流動化現象は埋立地において局所的に発生しているが、大局的にみると幅0.5km程度の北東ないし北西に延びる数本の帯内に集中し、それらの位置は概ね沖積層が厚い埋没谷直上に位置する傾向がみられる(風岡, 2011; 千葉県環境研究センター, 2011b)。

以上のような現象に関する応用地質学・環境地質学の視点での問題解決に向けた調査の中で、本地域の地質構造や地下水流动に關し新たな知見が得られた例を以下に紹介する。

まず新たに明らかになってきた本地域の詳細な浅層



第6.1図 関東地下水盆の地層構成(榆井, 1988)



第6.2図 各調査サイトの代表的な堆積柱状図と透水層区分（風岡ほか、2013を一部修正）。  
AI-C2層・AI-S層・AI-C1は沖積層の透水層区分。AI-C2層・AI-S層・AI-C1は  
沖積層のため、ここでは説明を省く。

部の水文地質構造を述べ、その後①地盤沈下対策から明らかになってきた地層の厚さが数百mオーダーの地下水流动、②地質汚染対策から明らかになってきた地層の厚さが数十mの累層オーダーから数mの部層オーダーの地下水流动、③東京湾岸埋立地における液状化一流動化現象から明らかになってきた規模の異なる地質構造の相互作用について述べる。

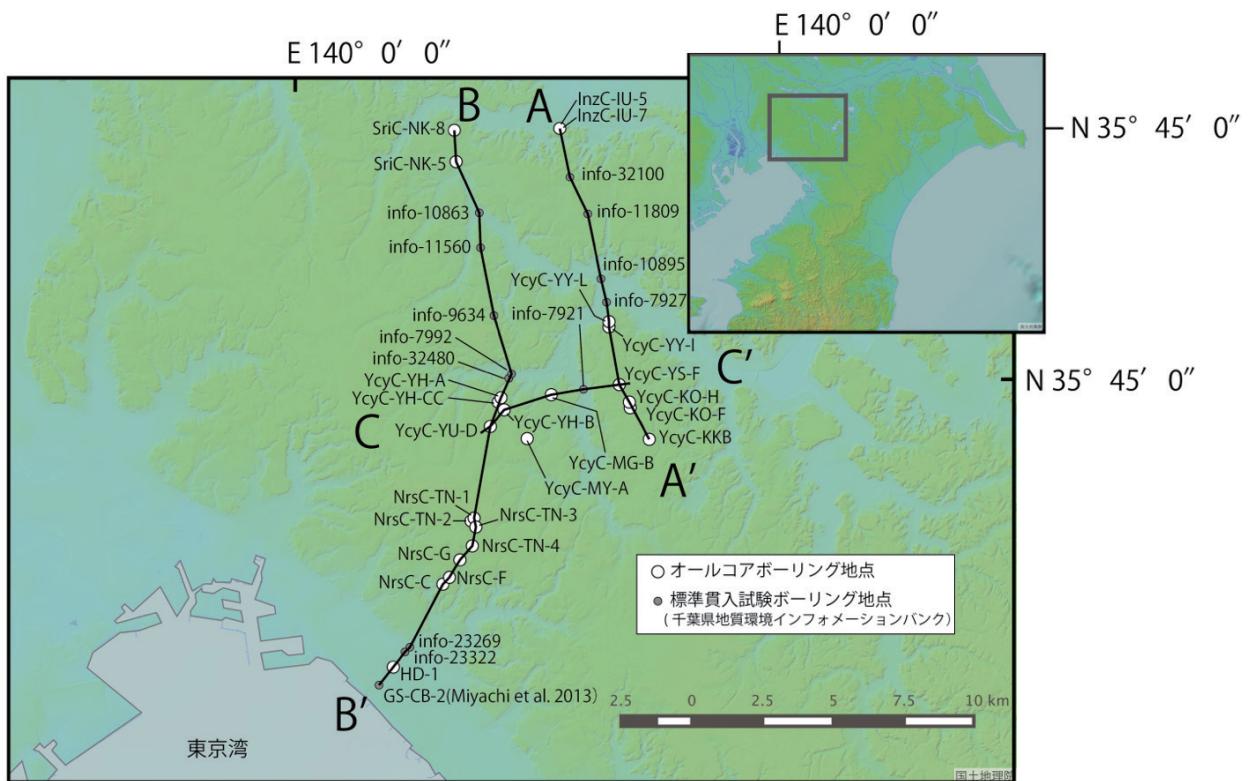
## 6. 1 下総層群中の透水層区分

下総層群の地質層序に関しては、古くから多くの研究（矢部、1906；三土、1934、1935；河井、1961；三梨、1974；菊地、1974；徳橋・遠藤、1984；下総台地研究グループ、1984；三谷豊・下総台地研究グループ、1997；中澤・中里、2007；中澤・田辺、2011など）があるが、本地域においてこれまで統一された透水層区分の視点の報告はほとんどなかったものの、千葉県企画部水政課・千葉県公害研究所地盤沈下研究室（1979）は、東葛地区的地盤沈下シミュレーションのため揚水井戸の電気検層や地質柱状図などのデータをまとめ、

透水性の高い礫層・砂層を主体とした下総層群の中に、側方への連続性が比較的良好な6層の泥層が挟まれることを見出した。その後、本地域における詳細な地質汚染の機構解明調査が行われ、この調査の過程で明らかになってきた累層～部層オーダーの透水層構造と、これら調査の過程で共通する火山灰鍵層の存在が明らかになってきた（風岡ほか、2013；吉田ほか、2017；高嶋ほか、2017）。印西市・八千代市では、標高-70 m以浅において宙水層を除くと、4透水層、3難透水層から構成されることが明らかとなった（第6.2図；風岡ほか、2013）。また、これらの透水層構造のうち浅層部のYK-C2難透水層以浅については、白井市・習志野市域を含めた広範囲の透水層の連続性が明らかになってきた（第6.3、6.4図；吉田ほか、2017）。以下に、各透水層・難透水層の特徴や累層区分との対比などについて述べる。

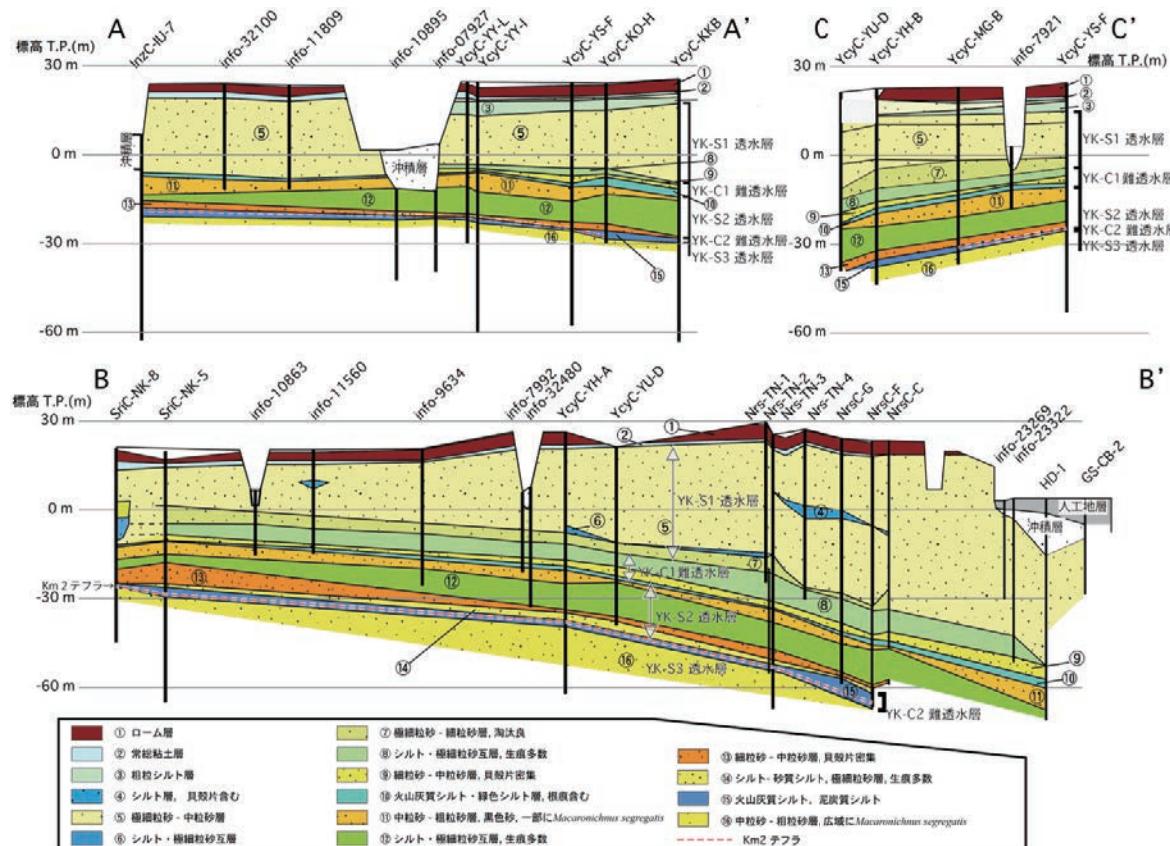
### YK-S4 透水層

透水層の側方への連続性 この深度に達するボーリングデータは少ないが、InzC-U サイト、YcyC-K サイト



第6.3図 断面位置図 (吉田ほか, 2017).

第6.2図のInzC-U3とInzC-U5の位置はこの図のInzC-IU-5とほぼ同じ位置. 同様にYcyC-YYの位置はこの図のYcyC-YY-I, YcyC-YSの位置はこの図のYcyC-YS-F, YcyC-KKの位置はこの図のYcyC-KKBとほぼ同じ位置である.



第6.4図 本調査地域中央付近の透水層断面図 (吉田ほか, 2017)

において観察でき、側方への連続性が良い。

**層厚** 13 m 以上である。

**層相と透水層としての特徴** 本透水層は、地下水によって飽和されており、礫混じり粗粒砂層、中粒砂層及び細粒砂層からなり、全体に上方粗粒化し、下部・上部に分かれる。

下部は弱く平行葉理がみられる細粒砂層を主体とし本透水層中では透水性が低悪く、透水層と難透水層との中間的な性質であるアキタード (aquitard) としての性質をもつ。下位に向かって泥壁をもつ生痕化石が多く含まれるようになり、透水性がさらに悪くなる。上部は、中粒～粗粒砂層からなり透水性が高い。

**地下水の利用状況** 水道用、工場用、農業用などに多く利用されている。

**累層との対比** 本地域の中澤ほか (2014)・納谷ほか (2017) の本地域内でのオールコアボーリングによる層相記載と火山灰鍵層より、地蔵堂層上部・中部にほぼ相当する。

#### YK-C3 難透水層

**層厚** 2.5 m ~ 15 m. 北部へ厚くなり、間に砂層を挟むようになる。

**難透水層の特徴と層相** 暗灰色～青灰色の泥層を主体とし、極細粒砂層や細粒砂層を挟むものの全体で難透水層としての特徴を有する。この泥層は植物片を含み、下部には有機質な泥層や泥炭層を挟む。最上部の一部に生痕化石がみられる。この難透水層を挟んで上下の透水層の水位差は約 3 m あり、止水性が高い。

本地域北部では、中部に厚さ 1.5 ~ 2.5 m 程度の細粒砂層～中粒砂層を、上部には厚さ 0.5 ~ 2.5 m の細粒砂層ないし中粒砂層を挟みそれぞれ局所的な透水層となっているが、本地域一体に広がりを持っているわけではない。これら砂層には共に斜交層理が発達し粗粒砂が葉理として挟まれ透水性が良く、この局所的な透水層の地下水は家庭用に利用されている。

**側方への連続性** この深度に達するボーリングデータは少ないが、側方への連続が良い。

**累層との対比** 本地域の中澤ほか (2014)・納谷ほか (2017) の藪層下部の泥層部分に相当する。

#### YK-S3 透水層

**側方への連続性** この深度に達するボーリングデータは少ないが、InzC-U サイト、YcyC-K サイトにおいて全層準を観察できる。また、本層の側方への連続性は良い。

**層厚** 23 m ~ 26 m.

**層相と透水層としての特徴** 本透水層は地下水で飽和されており、極細粒砂～中粒砂層を主体とし、上部・中部・下部からなり、全体に上方粗粒化する。

下部は泥質分が少ないものの貝化石を多く含み淘汰が悪いが細粒砂～中粒砂層を主体とする。泥壁を持つ

直径 2 ~ 3 cm 長さ数十 cm の生痕化石をしばしば含み、層厚は 5 ~ 7 m である。泥壁を持つ生痕化石が密集し透水性の低い層準もみられるが、透水性が高い貝殻密集層が挟まれ、全体として比較的透水性が高い。

中部は泥質分が少なく淘汰の良い極細粒砂層を主体とし、層厚は 8 ~ 16 m である。淘汰の良い粗粒シルト層ないし粗粒シルトよりも細粒な泥層をしばしば挟む場合があり、本層の中においては透水性が低く、アキタードとしての性質をもつ。

上部は泥質分が少なく淘汰が比較的良い中粒砂層を主体とし層厚は 3.5 ~ 8 m である。北部ほど層厚は厚く、粒径は粗くなり、しばしば細礫を葉理として挟み、本層の中においては最も透水性が高い。また、頂部は火山灰質で透水性が低くなる場合がある。中部との境目付近に厚さ数 cm の泥層を挟む場合がある。

**地下水の利用状況** 本透水層の上部を中心に家庭用や農業用に利用されている。また、下部の貝殻密集層準はしばしば家庭用に利用されることがある。

**累層との対比** 本地域の中澤ほか (2014)・納谷ほか (2017) の藪層中部・上部及び上泉層基底付近の砂礫層部分に相当する。

#### YK-C2 難透水層

**側方への連続性** 本層は薄いものの連続性は良い。

**層厚** 広い地域で厚さ 1.5 ~ 2.0 m であるが、一部で 0.5 m と薄い場所、4.5 m と厚い場所がある。

**層相と難透水層としての特徴** 泥層及び厚さ 0.5 ~ 1.5 m の風化し硬質化した赤褐色～紫灰色のガラス質火山灰層と火山灰質泥層から構成される。この火山灰層及び火山灰質泥層の上部には、直径 2 ~ 3 cm 長さ数十 cm のサンドパイプ状の生痕化石がしばしばみられ、生痕化石の中には直径 1 ~ 6 mm の白色軽石 (Km2) が詰まっていたり点在していたりするため止水性が悪いようにみえるが、この難透水層を挟んで上下の透水層の水位差は 2 ~ 5 m もあり止水性は非常に高い。水よりも粘性の低いトリクロロエチレンなどの有機塩素系化合物は難透水層中のわずかな隙間を通り抜けて下位の透水層まで通過しやすいが、この難透水層を透過している例は少ない。

**累層との対比** 本地域の中澤ほか (2014)・納谷ほか (2017) の上泉層下部の泥層部分に相当する。

#### YK-S2 透水層

**側方への連続性** 本層の側方への連続性は良い。

**層厚** 11 m ~ 23 m で、南部ほど厚くなる。

**層相と透水層としての特徴** 本透水層は地下水で飽和されており、極細粒砂～中粒砂層を主体とし、全体に上方粗粒化する。極細粒砂～細粒砂層主体の下部の上位に中粒砂層主体の上部が重なる。

下部は 3 ~ 11 m で南ほど厚く生痕化石や海生の貝化石がみられる。泥質分が少なく淘汰の良い極細粒砂層

及び細粒砂層を主体とし、しばしば淘汰の良い粗粒シルト層や粗粒シルトよりも細粒な泥層を挟み、本透水層の中では透水性が低くアクイタードの特徴を有する。しかし基底部の厚さ 0.5 ~ 1.5 m は貝殻や泥壁を持つ生痕化石を含み淘汰が悪いものの、一部に高い透水性を有する貝殻密集層準が挟まれる。上部は厚さ 7 ~ 13 m で南ほど厚く、中粒砂層を主体とし斜交葉理に沿ってしばしば粗粒砂や粗粒砂の粒径の軽石質火山灰粒子を含み透水性が高い。生痕化石や貝化石は見られないが植物片を含み、北部ほど粗粒砂層を頻繁に挟むようになる。InzC-U サイトでは細礫を斜交葉理としてしばしば含み、厚さ 5 m 程度の斜交層理も複数のコアの対比から明らかにされている（秋田ほか、2001）。

この粗粒な砂層部分は含水率が高くオールコアボーリングの際にコアの採取が困難な場合が多い。

**地下水の利用状況** 本透水層の上部を中心に主に家庭用や農業用に広く利用され、本地域では最も利用頻度が高い。また、基底部の貝殻密集層準はしばしば家庭用に利用されている。

**累層との対比** 本地域の中澤ほか（2014）・納谷ほか（2017）の上泉層中部・上部及び清川層基底部の砂層部分に相当する。

#### YK-C1 難透水層

**側方への連続性** 側方へよく連続するが、上部の生物擾乱の著しい泥層ないし泥勝ち砂泥互層は上位層により浸食され途切れることがある。

**層厚** 2.5 ~ 11 m。

**層相** 本難透水層は泥層を主体とし、中部に砂層を挟むもののその上下は厚い泥層であるため、全体として難透水性を示す。この難透水層を挟んでこの上下の透水層の水位差は 3 ~ 6 m と大きく止水性が高いことが多い。

下部は風化火山灰と緑灰色泥層や植物根を含む数枚の泥層と中粒～粗粒砂の粒径のスコリアを多く含む細粒砂～中粒砂層との互層からなり難透水性を示す。南部では生物擾乱が著しい泥層・火山灰質な泥層中に泥壁を持つ生痕の密集層や淘汰の良い極細粒砂層・貝殻片密集層を挟み厚くなる。緑灰色泥層の直上には白色のガラス質～軽石質粗粒火山灰層が重なることがある。

中部の砂層は側方への連続性が良く、その下部に非常に透水性の高い貝殻密集層を伴い、この地下水は家庭用に利用されることがある。

上部は生物擾乱の著しい泥層ないし泥勝ち砂泥互層を主体とし、全体に中粒砂～粗粒砂の粒径のスコリアが混じる。水よりも粘性の低いトリクロロエチレンなどの有機塩素化合物の液体は本難透水層を通り抜けて下位の透水層へ侵入していくことがしばしばみられる。このため本難透水層の中部の砂層中に汚染地下水の流动も確認されることがある。

**累層との対比** 本地域の納谷ほか（2017）の清川層下

部の上半部の泥層及び上部の下半部の泥質部に相当するものと推定される。

#### YK-S1 透水層

**層厚** 17 m ~ 60 m で、南部へ厚くなる。

**層相と透水層としての特徴** 本層上部に自由地下水面があり、これ以深は地下水で飽和されている。極細粒砂層・細粒砂層・中粒砂層の互層から構成され、大局的には上方粗粒化するものの、しばしば上方粗粒化が 2 サイクルみられることがある。すなわち、基底から層厚 10 m 程度は弱い平行葉理がみられる極細粒砂層・細粒砂層からなり、この上位には厚さ数 m の斜交葉理がみられる細粒砂～中粒砂層が重なる。さらにこの上位には厚さ数 m の弱い平行葉理の発達する極細粒砂～細粒砂層、この上位には厚さ数 m の斜交葉理がみられる細粒砂～中粒砂層が重なる。そして最上部には粗粒砂の粒径の軽石質火山灰をしばしば含み、砂鉄や重鉱物を含む低角の斜交葉理がみられる中粒砂層が重なる。これらの葉理に沿って水酸化鉄が地層粒子間の空隙を充填し透水性が低くなっている部分がしばしばみられる。弱い平行葉理の発達する極細粒砂～細粒砂層中には泥壁を持つ生痕化石を含むことがあり、基底の 0.5 ~ 1 m には貝殻を含み淘汰が悪い部分がしばしばみられる。

上方粗粒化サイクルの下部の極細粒砂～細粒砂層は透水性が低くアクイタードの性質を有する。斜交葉理が発達する細粒～中粒砂層中には米粒大の白斑状の生痕化石がみられることが多く透水性が高い。本層の地下水水面下にある極細粒砂～細粒砂層はしばしば緩く含水が多いため、オールコアボーリングの際にコアの採取が困難なことがある。

**側方への連続性** 本層の側方への連続性は良い。

**地下水の利用状況** 本透水層の上部に自由地下水面が位置する。本透水層の下部を中心に家庭用や農業用に利用されている。しかし、本層の下部から揚水する井戸は多く存在するが、不圧透水層であり透水性が高くないため揚水できる量は多くない。

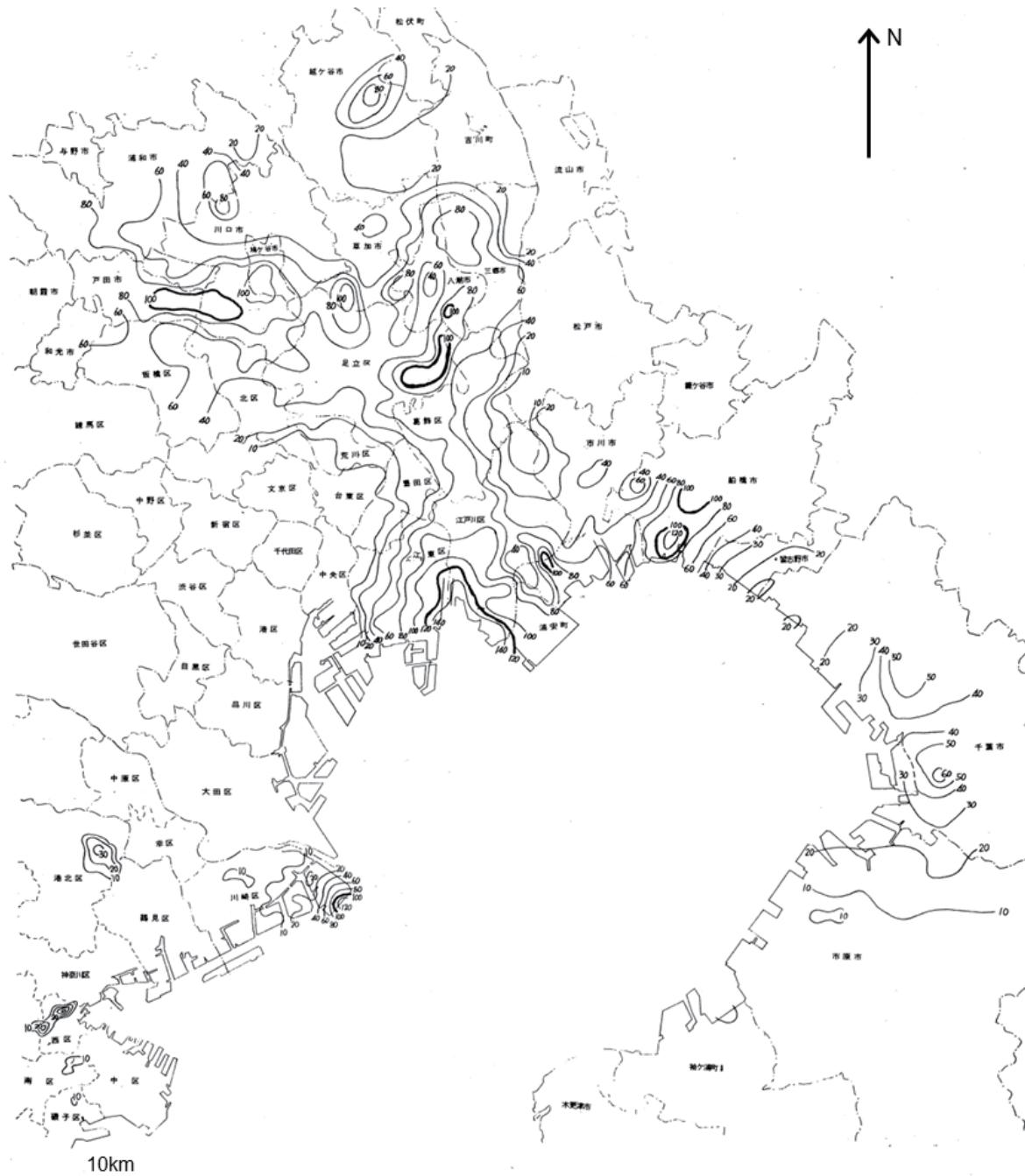
**累層との対比** 本地域の中澤ほか（2014）・納谷ほか（2017）の清川層上部及び横田層、木下層に相当すると推定される。特に本層の上半部の上方粗粒化サイクルはほぼ木下層に対比される。

#### SC 層

**側方への連続性** 本層は八千代市東部では側方への連続性は良いが、この北東ないし南東へ次第に砂質となり YK-S1 層へ側方変化する。

**層厚** 0 ~ 4 m。

**層相と難透水層としての特徴** 不飽和帯の中の難透水層で、極軟らかい粗粒シルト層及び粗粒シルトよりも細粒な泥層の互層から構成され、直径 0.5 cm 長さ 3 cm 程度のサンドパイプ状の生痕化石をしばしば含む。豪



第 6.5 図 昭和 38 年 2 月～昭和 48 年 1 月南関東全域の累積水準点変動量図  
(南関東地方地盤沈下調査会, 1974).

雨時には本層の上位に重なる L 層中に宙水が形成され (香川ほか, 1997), J 層及び本難透水層を透って下位の透水層へ地下水が供給されることが地下水位観測から明らかとなっている (山浜ほか, 2002). この際, 本難透水層中の生痕化石が水の通り道となっている可能性がある.

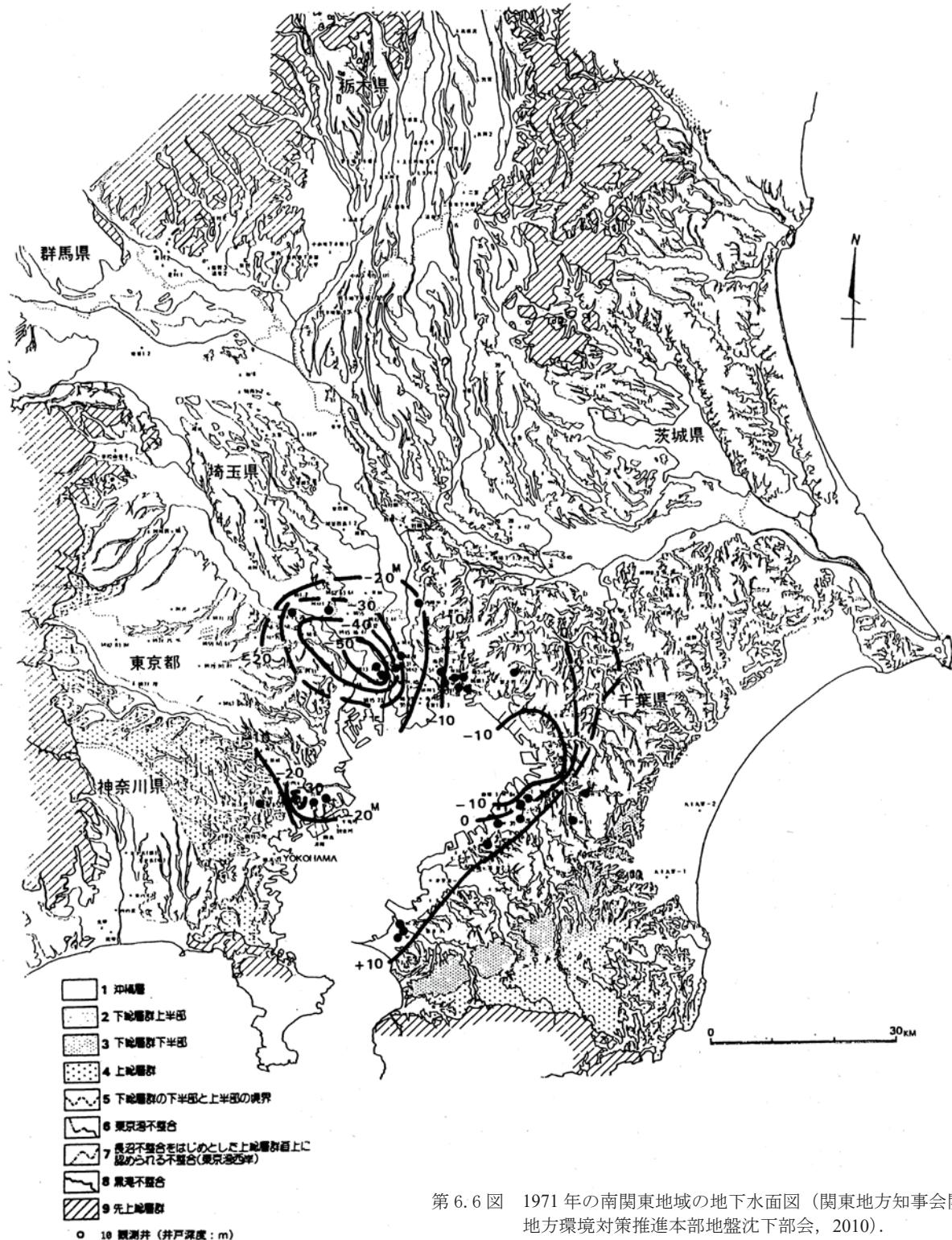
**累層との対比** 本地域の中澤ほか (2014)・納谷ほか (2017) の木下層最上部に相当する.

### J 層

**側方への連続性** 本層は側方へ良好に連続するが, 崖の近くでは地すべりにより不連続となることがある.

**層厚** 1～4 m.

**層相と難透水層としての特徴** 不飽和帶の中の難透水層で, 直径 0.5 mm 程度の植物の根の細孔 (菊地, 1981) やヨシなどの草本の茎の化石 (風岡ほか, 2015b) を多く含む火山灰質な泥層から構成される. まれに下部は透水性の高い火山灰質な細粒～粗粒砂層に変化することがある. 豪雨時には本層の上位に重なる L 層中に



第 6.6 図 1971 年の南関東地域の地下水水面図 (関東地方知事会関東地方環境対策推進本部地盤沈下部会, 2010).

宙水が形成され (香川ほか, 1997), 本難透水層中の植物の根や草本の茎の化石を透って下位層へ地下水が供給されていく (山浜ほか, 2002).

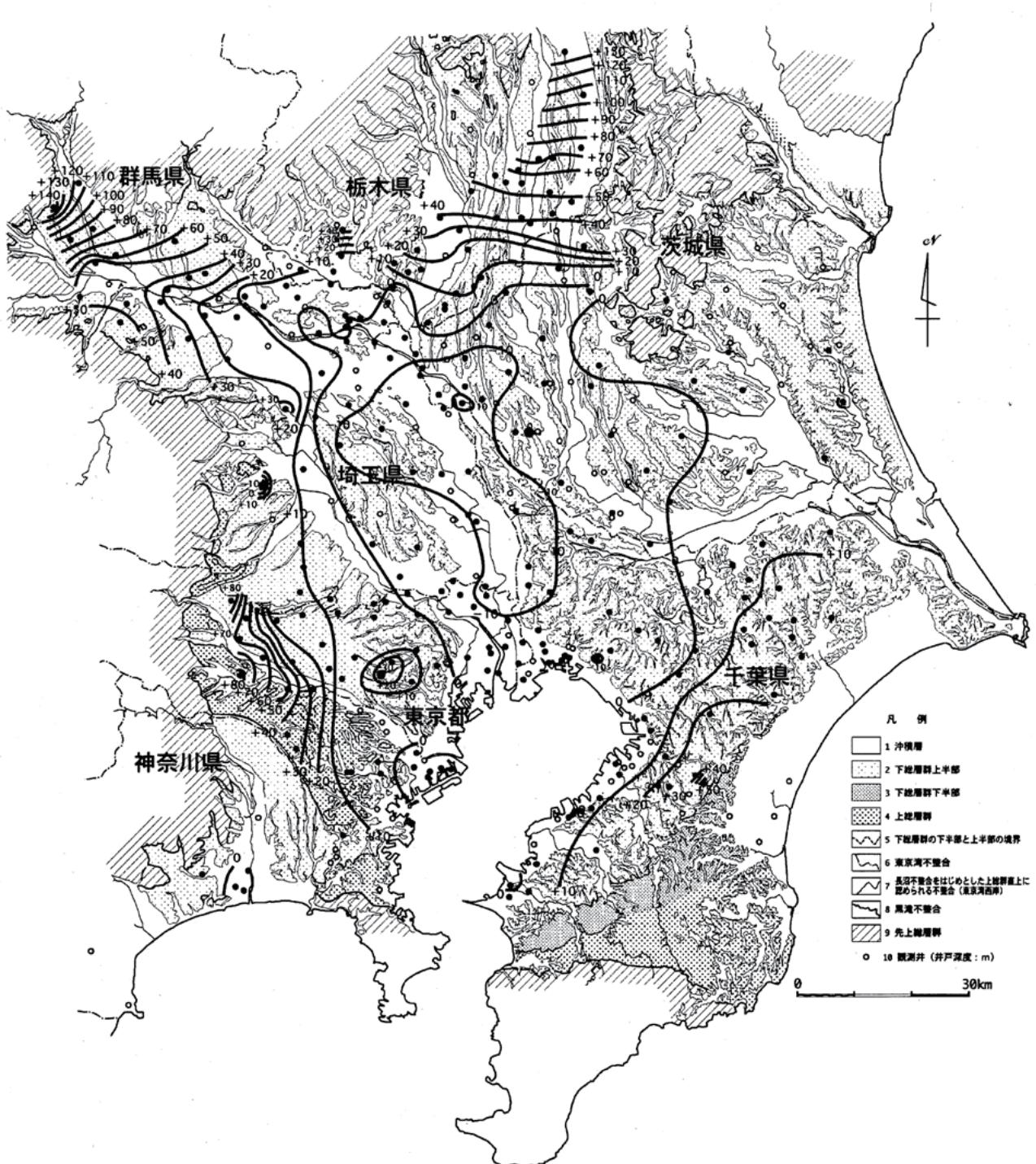
**累層との対比** 本地域の小玉ほか (1981)・納谷ほか (2017) の常総層, 中澤ほか (2014) の常総粘土層及び姉崎層に相当する.

## L 層

**側方への連続性** 本層は側方へ良好に連続する.

**層厚** 0 ~ 4 m.

**透水層の特徴と層相** 不飽和帯中の透水層で, 赤褐色の風化火山灰層から構成される. この火山灰層中には東北地方の火山灰土壤層に発達している根系状孔隙 (徳



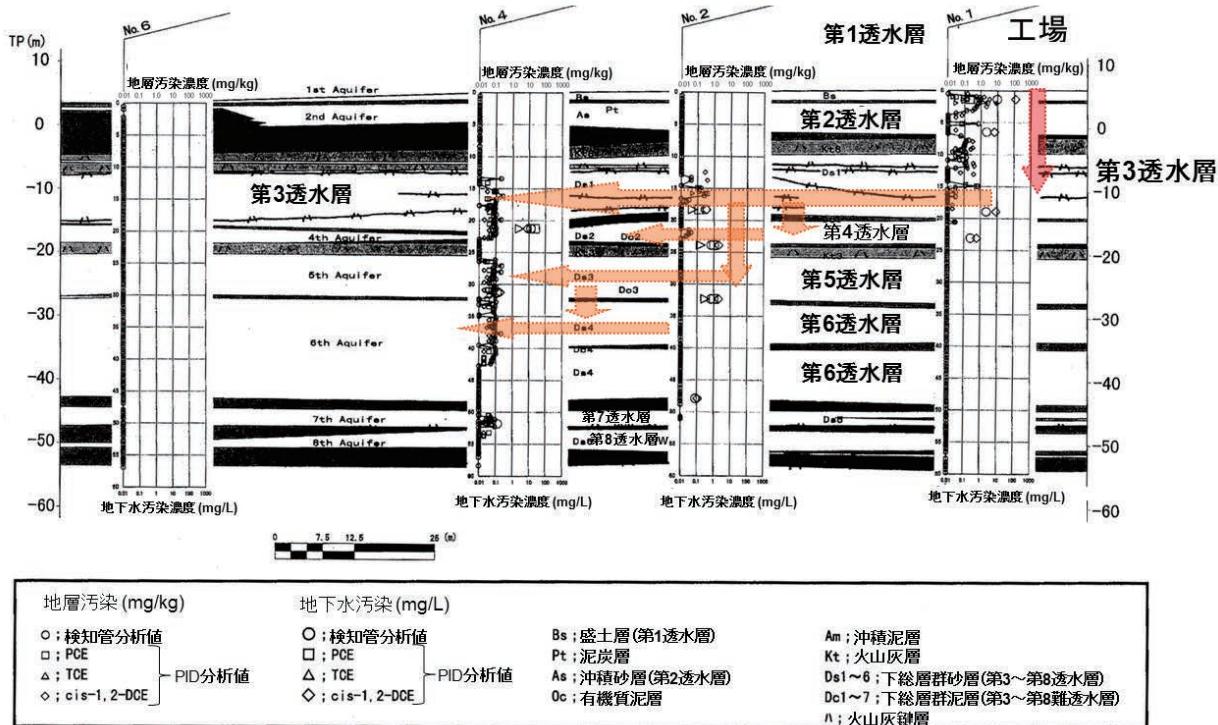
第6.7図 1980年の関東地下水盆の地下水水面図（関東地方知事会関東地方環境対策推進本部地盤沈下部会, 2010）。

永ほか, 1991) と同様な植物の根の跡や草本の茎の跡などが多数みられ (風岡ほか, 2015b), 透水性が高い。豪雨時には本層中に宙水が形成され, 下位の難透水層中の植物の根や草本の茎の化石を通じて下位層へ地下水が供給されていく (香川ほか, 1997)。

累層との対比 本地域の中澤ほか (2014)・納谷ほか (2017) の関東ローム層に相当する。

## 6. 2 層群オーダーの地下水の流动の把握

東京湾岸に広がる沖積低地の一部である江東区では明治時代より地下水の過剰揚水に伴う地盤の沈下が始まった (南関東地方地盤沈下調査会, 1974)。高度経済成長に伴い 1960 年代～1970 年代には深刻な公害が発生し, 典型七公害の一つの地盤沈下は本地域を含む南関東地域一帯に広がった (第 6.5 図)。このため, 関係



第 6.8 図 地下水汚染現場における透水層断面と地質汚染機構解明結果（秋田ほか, 2001 に加筆）.  
汚染物質はテトラクロロエチレンである。工場敷地内において本物質が地下へ浸透していった。  
この際、テトラクロロエチレンの原液は第2難透水層を通り抜け第3透水層に到達し、第3  
透水層の地下水の流れに乗って汚染が拡散していった。

© 日本地質学会

する自治体により一級水準点の設置と一級水準測量による地盤変動の把握や地盤沈下観測井・地下水位観測井の整備と地下水位・地層収縮の観測が行われるようになり、1970年に南関東地方地盤沈下調査会を発足させ、関東地下水盆の真水地下水の大局的な流動が把握できるようになった（第6.6図；南関東地方地盤沈下調査会, 1974）。

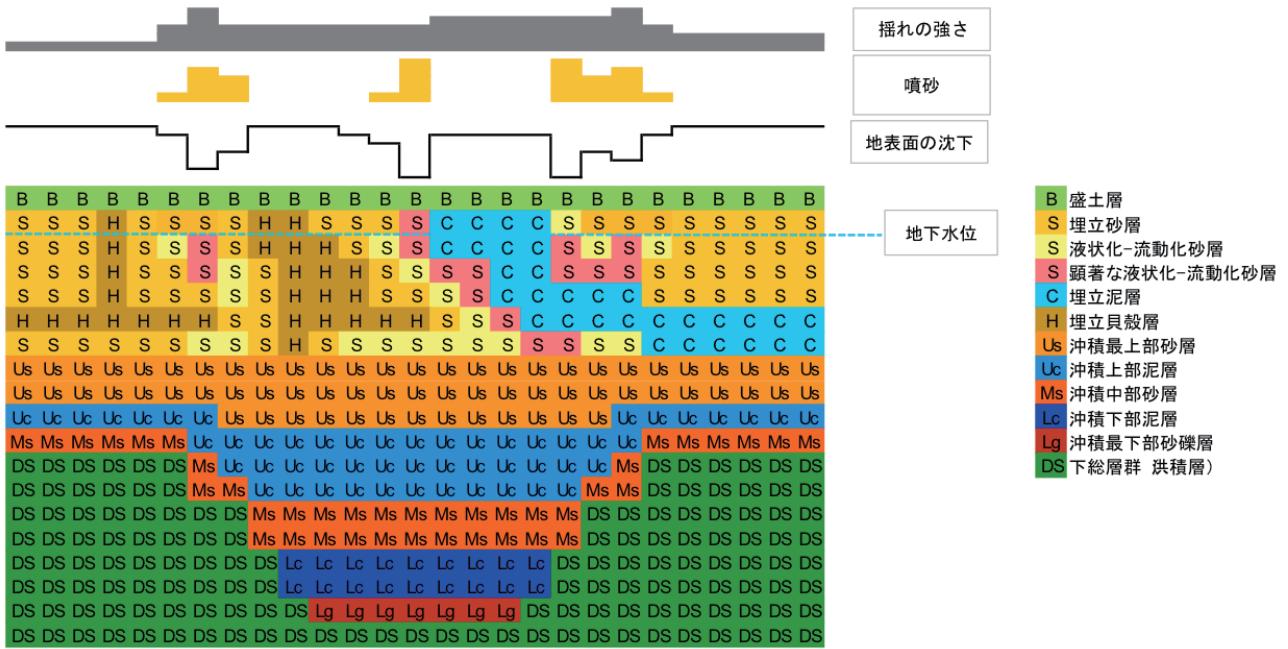
その後、地盤の沈下は北関東を含む関東地下水盆一帯に広がり、一級水準測量の方法の統一が図られ関東地方一帯の单年度の地盤変動等量線図（関東地区地盤沈下調査測量協議会, 2017など）や累積地盤変動量図（関東地区地盤沈下調査測量協議会, 2012など）により沈下状況が把握されるようになった。これと同時に、第四紀関東地下水盆全域の関係自治体による地下水位観測結果から、層群オーダーの地下水の流動状況が明らかとなり、大局的には地下水位の回復状況も認められている（第6.7図；関東地方知事会関東地方環境対策推進本部地盤沈下部会, 2010）。なお、この当時の地下水開発は累層からほぼ層群オーダーであることから、地盤沈下観測井や地下水位観測井も累層～層群オーダーのストレーナー仕上げとなっており、地下水位図は層群オーダーのものである。

### 6. 3 累層オーダー～部層オーダーの地下水の流動の把握

環境庁が1982年に国内の大都市の井戸について化学物質による地下水汚染の調査を行った結果、トリクロロエチレンについては浅井戸全体の2%及び深井戸全体の5%，テトラクロロエチレンについては浅井戸全体の4%及び深井戸全体の4%に水道水質基準を超える汚染が確認された（環境庁水環境部土壤環境課地下水・地盤環境室, 1984）。

本地域でも重金属や有機塩素系化合物による地下水の汚染が確認され、表層の地下空気汚染状況や、厚さ数mm～数十cmの単層ごとの地層汚染状況、透水層ごとの地下水質状況を調べ、これらを総合化して地質汚染機構解明を明らかにし、効果的な浄化対策が進められている（佐藤ほか, 1983；榆井ほか, 1994a；高嶋ほか, 2003；秋田ほか, 2001など）。

これら調査のうち下総台地を刻む谷津田における調査の中で、累層オーダー～部層オーダーの透水層構造が明らかとなった例を第6.8図に示す。ここでは、表層から第2難透水層までが沖積層で、第3透水層以深が下総層群である。表層より深度約80mまでの間に9透水層・8難透水層がみられ、汚染源の工場敷地内においてテトラクロロエチレンが地下へ浸透していき、ほぼ鉛直方向に第1・第2難透水層を浸透していき第3透水層まで汚染が侵入し（田中ほか, 2001），第



第6.9図 東京湾岸埋立地北部における沖積層と人工地層の地質構造と液状化－流動化部分の概念図（風岡ほか, 2017b）。

3透水層の地下水の流れに従って汚染が側方へ拡散していった。第1透水層や第2透水層では汚染物質の側方への拡散はあまりなく、地下水の流動速度が遅かったことが推定される。このように透水層ごとに地下水の流動速度や流動方向が異なることが多い（榆井ほか, 1994b；榆井ほか, 1995；村越ほか, 2008）。

#### 6.4 東京湾岸埋立地における規模の異なる地質体の地質構造の相互作用

東京湾岸の埋立地においては、1987年12月17日に発生した千葉県東方沖地震時に千葉市以南を中心に液状化現象に伴う多数の噴砂・噴水がみられた（古籠田・若松, 1988；楠田, 1988；佐々木, 1988；陶野・安田, 1988；千葉県地震対策推進委員会, 1989；Nirei *et al.*, 1990）。さらに、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震（Mw 9.0）時には、千葉市以北を中心に、数十cmの沈下を伴う大規模な噴砂・噴水といった液状化－流動化現象が再び発生した（千葉県環境研究センター, 2011a, b；国土交通省関東地方整備局・公益法人地盤工学会, 2011；千葉県防災危機管理部, 2013など）。この液状化－流動化現象の現地調査の結果、数cm～数十cmの沈下を伴う直径数十mの大きさの噴砂が斑状にみられ、これらは幅0.5km程度の北東ないし北西に延びる数本の帶内に集中する傾向にあり（千葉県環境研究センター, 2011a），この位置は概ね沖積層が厚い埋没谷上に重なることが明らかとなつた（第6.9図；風岡, 2011；千葉県環境研究センター, 2011b）。この現象は、関東大震災時の東京低地において建物被害が

埋没谷上に集中していた（復興局建築部, 1929）ことと同様と考えられる。

このような液状化－流動化に伴う被害の大きかった地点や隣接する被害の小さかった地点においてオールコアボーリング調査や地層断面調査が行われており、これらをまとめると、人工地層内では特に厚い泥層と接する砂層部分において著しい液状化－流動化が発生し（風岡ほか, 2000），地盤の沈下をともなっていること（風岡ほか, 2014），液状化－流動化部分は砂層の一部に限定され泥層や貝殻密集層では液状化－流動化の痕跡はみられないことが明らかとなっている（風岡ほか, 2012, 2013, 2014, 2015a；宇澤ほか, 2016, 2017）。

一方、第5章の東京湾岸地域の上記沖積層の記述から明らかになってきたように、沖積層が分布する埋没谷の中には、特に沖積層上部の軟らかな泥層が厚く分布し、この泥層が地震動增幅に影響を及ぼしていることが明らかとなってきた（風岡ほか, 2016, 2017b）。

以上のことを概念的にまとめたものが、第6.9図である。地震による液状化－流動化現象は、ほとんどは人工地層内で発生しており、中でも厚い泥層のバンドルと砂層のバンドルとの境界付近に起こりやすく、その広がりは数m～数十mの規模であるが、同様な条件を備える埋立地の中でも今回液状化－流動化が発生した場所の多くは、人工地層の下位に広がる沖積層上部の泥層が厚い幅数百mの中に概ね重なる（風岡ほか, 2017b）。すなわち、東京湾岸埋立地においてみられた液状化－流動化現象は、規模の異なる地質構造が複合した現象ととらえることができる。