

第7章 応用地質

(八戸昭一)

埼玉県南東部は関東平野のほぼ中央部に位置し、都心に隣接することから、古くから数多くのベッドタウンが形成されてきた。また、戦後の復興と高度経済成長に伴う地下水開発により、過剰揚水を主な要因とした広域的な地盤沈下の被害を最も大きく受けた地域でもある。現在では、地下水位は概ね回復傾向を保っており、沈下が改善傾向であるものの、過去には渇水により広域的な地盤沈下が発生した事例も見受けられた。ここでは、地盤沈下と地下水、地震と液状化、自然由来の地下水汚染、そして自然エネルギーの一つとして近年注目されてきた地中熱エネルギーを取り上げる。

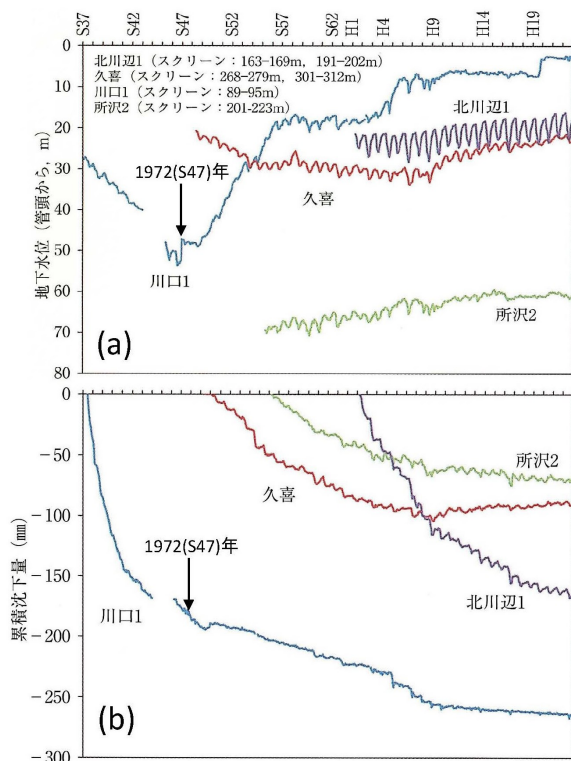
7.1 広域的な地盤沈下と地下水揚水規制

本地域における地盤沈下は、昭和20年代後半に埼玉県南部を中心に注目され始め、昭和30年代の前半には荒川低地（川口市周辺）と中川低地（三郷市、草加市周辺）において沈下量の増大が目立つこととなった。川口市では昭和36（1961）年以前から地下水位低

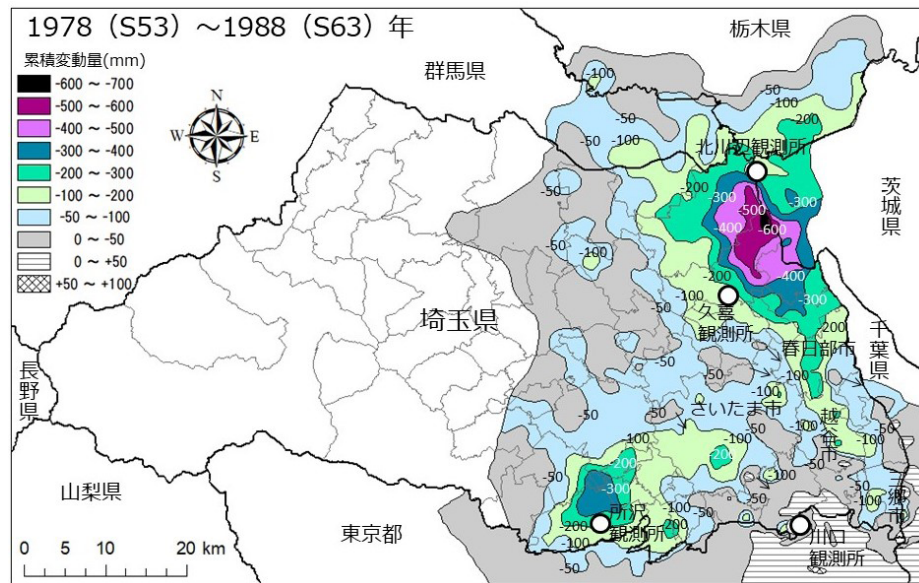
下と共に著しい地盤沈下が発生していたが、昭和47（1972）年頃を境に水位が劇的に回復し、沈下速度も改善し始めている（第7.1図）。この水位回復は後述する揚水規制が効果的に作用した結果といえる。埼玉県南部地域以外では、昭和40年代に新座市や所沢市などの県西部の武蔵野台地、さらに昭和50年代に旧鷲宮町や旧栗橋町（両者とも現久喜市）において地盤沈下が顕在化する。昭和53（1978）～63（1988）年の10年間の沈下地域の中心は旧栗橋町（現久喜市）に位置しており、この10年間の累積沈下量は600 mmを超えている（第7.2図）。また、この期間における他地域の状況をみると、所沢市（300 mm超）やさいたま市（200 mm超）、そして久喜市～三郷市へと続く中川低地（100～200 mm超）において顕著な地盤沈下が認められる。一方、昭和63（1988）年～平成20（2008）年までの20年間については、所沢市、さいたま市そして中川低地など沈下集中域は概ね不変だが、沈下傾向は年々に緩やかとなっている（第7.3図、第7.4図）。

埼玉県内における地下水採取規制は、「工業用水法」、「建築物用地下水の採取の規制に関する法律（以下「ビル用水法」）」及び「埼玉県生活環境保全条例（旧埼玉県公害防止条例を含む）」や「さいたま市生活環境の保全に関する条例」などに基づいて実施されている。「工業用水法」による県内の地域指定は昭和38（1963）年に戸田市ほか5市が対象となった。その後、昭和46（1971）年に揚水井戸の設置許可基準を強化し、ポンプ吐出口の断面積が21 cm²以下、ストレーナー位置が650 m（JR東北本線西側の地域のみ550 m）以深とした。「ビル用水法」による地域指定は昭和47（1972）年に川口市ほか6市が対象となり、許可の基準は吐出口の断面積が21 cm²以下、ストレーナー位置が650 m以深と定められた。「旧埼玉県公害防止条例」による地下水採取規制は、三郷市ほか18市町を対象に昭和46（1971）年に揚水施設の届出制、同47（1972）年に許可制が開始された。これにより指定地域における揚水施設の新設には、許可や届出が必要となった。旧県条例は平成14（2002）年に「埼玉県生活環境保全条例」として全部改正され、第7.5図に示される第一種指定地域には許可・届出基準、第二種指定地域には届出基準を設定した。また、さいたま市は平成21（2009）年から「さいたま市生活環境の保全に関する条例」により市内全域に許可・届出制による規制が行われている。

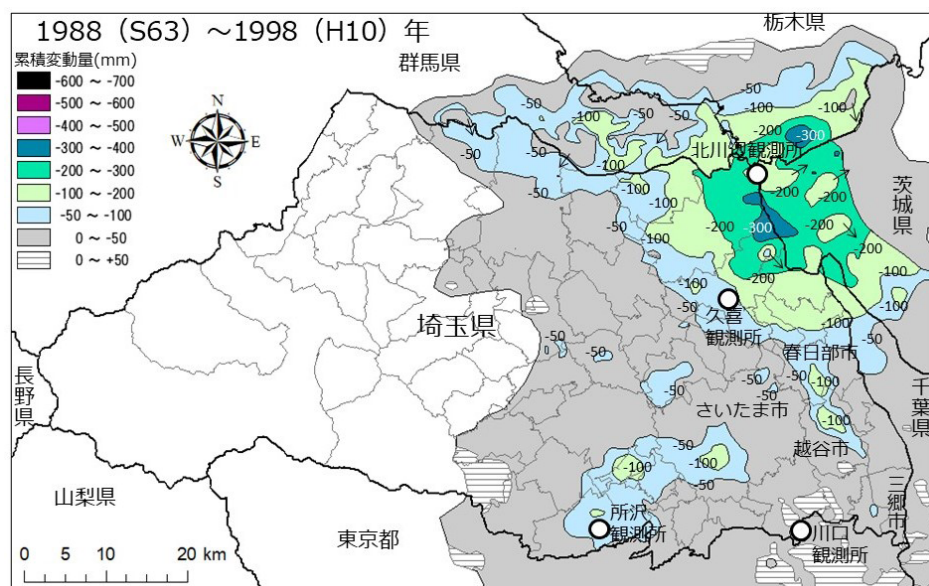
一方、法・条例の整備と併せて、国交省が中心となり平成3（1991）年に「関東平野北部地盤沈下防止



第7.1図 埼玉県の代表的な地盤沈下・地下水位観測井における (a) 地下水位と (b) 累積地盤沈下量の変化 (八戸ほか、2014)。



第 7.2 図 昭和 53 ～昭和 63 年の累積地盤沈下量分布。
関東地区地盤沈下調査測量協議会（1996a）をもとに作成。



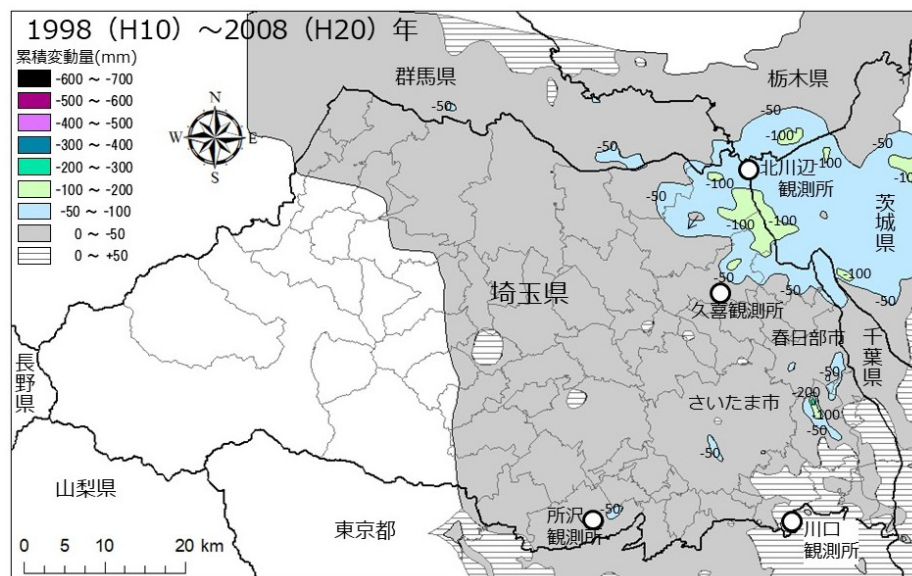
第 7.3 図 昭和 63 ～平成 10 年の累積地盤沈下量分布。
関東地区地盤沈下調査測量協議会（2000）をもとに作成。

等対策要綱」が制定された。要綱では、関東平野北部を保全地域と観測地域に区分し、保全地域では地下水採取に係る目標量を設定し、地下水採取の規制・代替水源の確保・水使用の合理化を進め、そして観測地域では地盤沈下や地下水位の観測を積極的に実施している。第 7.6 図は各県の観測地域と保全地域における地下水採取量の推移を示したものである。保全地域における全採取量の約 65%は埼玉県が占めるのに対して、観測地域はその約 55%を栃木県が占めるのが特徴といえる。要綱制定以前の昭和 60（1985）年における保全地域の年間全採取量は 7.3 億トンであったが、平成 24

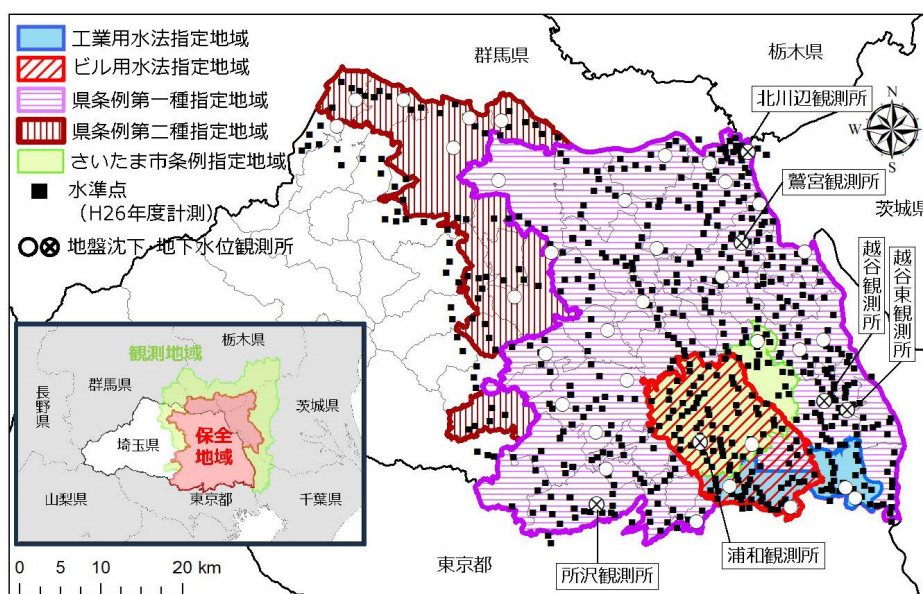
（2012）年には 67%減の 4.9 億トンとなり現在の採取目標量の 4.8 億トンに迫っている。観測地域の採取量合計値は平成 8（1996）年頃まで横ばいだったが、それ以降急激に減少し始めた（第 7.6 図 b）。この地下水採取量の減少には、特に農業用と工業用の減少による影響が大きい。

7.2 地盤沈下対策の効果と課題

本地域における広域的な地盤沈下は、産業や人口が集中する埼玉県南東部の荒川低地や中川低地から始ま



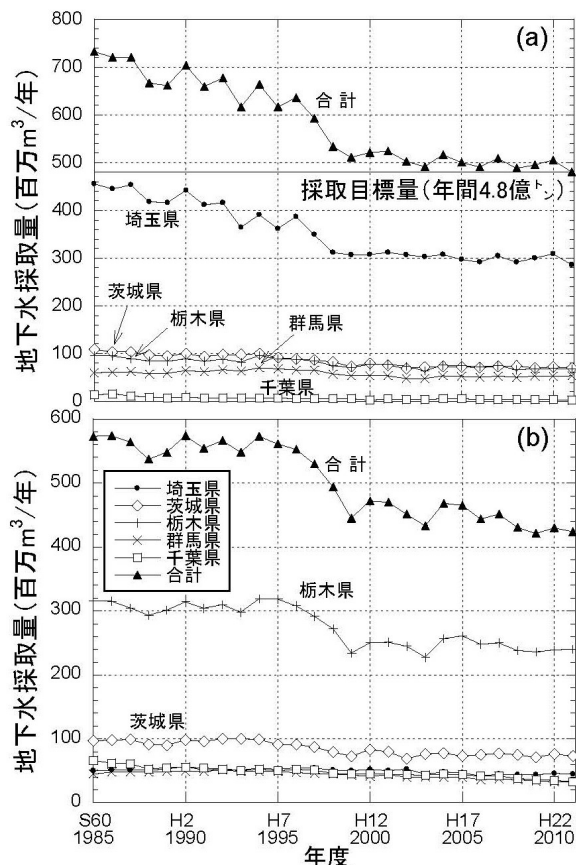
第 7.4 図 平成 10 ～平成 20 年の累積地盤沈下量分布。
関東地区地盤沈下調査測量協議会（2011）をもとに作成。



第 7.5 図 埼玉県の法条例指定地域と水準点・観測所。
左下挿入図は要綱による保全地域と観測地域。

り、その後、武蔵野台地や大宮台地、そして埼玉県北東部の加須低地へと広がった。地表で観測される地盤沈下量は、昭和 49（1974）年に所沢市において年間 272 mm を記録したのが最大であり、その後昭和 52（1977）年に初めて最大地点の年間沈下量が 100 mm を下回り、平成 7（1995）年以降は年間沈下量が 40 mm 以上の水準点はゼロとなった。一方、IPCC 第 6 次評価報告（IPCC, 2021）では地球温暖化に伴う極端気象の発生が予見されており、首都圏においても今後は無降水日の増加や積雪量の減少に起因する渇水リスクが

高まることが指摘されている。渇水時に河川水の取水制限が実施された場合、地下水揚水量は増大し、その結果、地盤沈下が進行することがある。埼玉県は北東部を中心に過去に渇水の度に地盤沈下の拡大を経験している。第 7.7 図は首都圏において大規模な取水制限がなされた平成 8（1996）年の地盤沈下量分布、第 7.8 図は平常年にあたる平成 7（1995）年の地盤沈下量分布を示したものである。平成 8（1996）年は、冬季に 76 日間（最大取水制限率 10%）、夏期に 41 日間（最大取水制限率 30%）の取水制限が実施された。両年に



第 7.6 図 関東平野北部地盤沈下防止等対策要綱の対象地域における地下水採取量の推移。
(a) 保全地域，(b) 観測地域。
国土交通省水資源部（2014）をもとに作成。

おける年間沈下量が 10 mm を超える範囲を比べると渇水年には地盤沈下の範囲が拡大することがわかる。なお、全国的な渇水に見舞われた平成 6（1994）年や昭和 53（1978）年には、現在の関東平野北部地盤沈下防止等対策要綱の保全地域のほぼ全域が年間 10 mm 以上沈下しており、渇水年には大幅に地盤沈下が進行している。したがって、将来極端気象に起因する大規模渇水が発生した場合、同様なレベルの地盤沈下が再発する懸念もある。

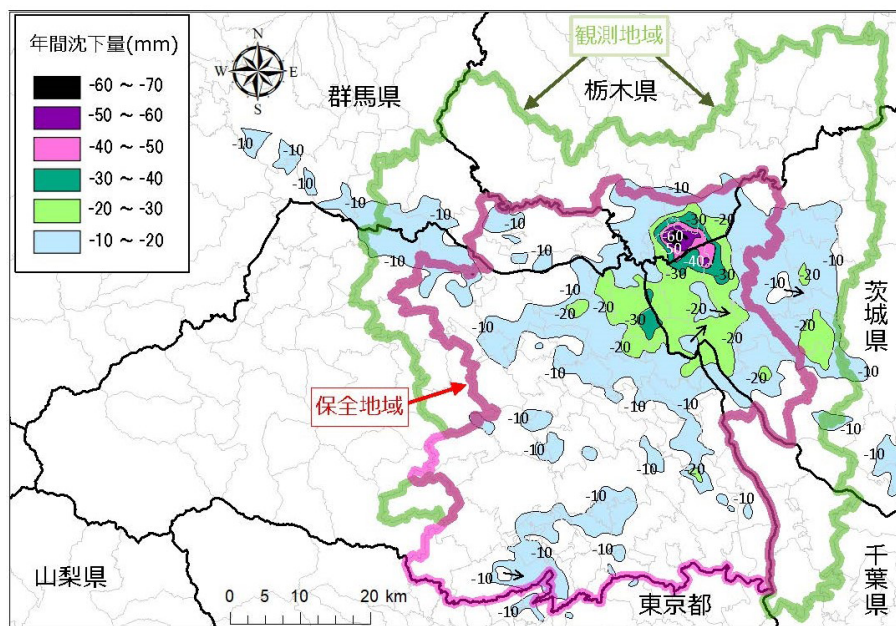
7.3 都市河川周辺の地盤沈下

大宮台地は、もともと蛇行原～三角州の環境下の堆積物が離水・段丘化したものといえる。台地の内部には、樹枝状に入組んだ無数の谷底低地が特徴的であるが、谷底低地の谷底幅が 100 m 程度であってもその地下には軟弱な腐植土やシルトが 5 m 以上の厚さで堆積している場合があり、局所的に発生する地盤沈下の要因になりうる。さいたま市内を流れる鴻沼川は、昭和 28（1953）年から農業排水路として整備されたが流域の都市化に伴い徐々に都市下水路に変化していった。

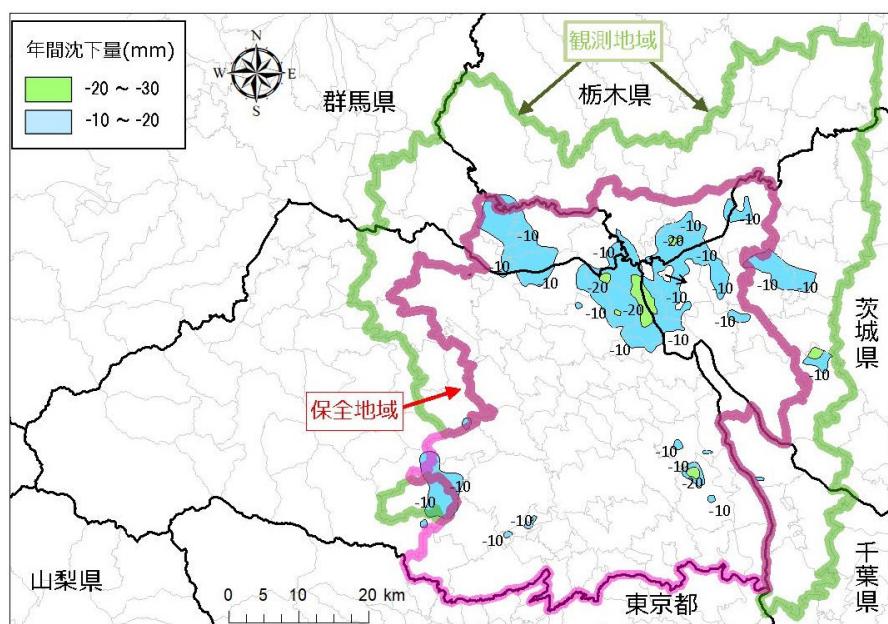
河川本流の上を高架構造の JR 埼京線が建設されたことにより、沿線の駅周辺を中心として市街地化が進行した。都市化による影響で地中へ浸透する雨水の量が少なくなり、降った雨のほとんどが鴻沼川へ流れ込むことから、集中的な降雨が発生すると、流域内では内水氾濫が頻繁に発生し、例えば、平成 10（1998）年 9 月の台風 5 号襲来時には、3,775 戸の浸水被害が発生した。このため、下流部の旧浦和市や旧与野市内では、平成 10（1998）年度から河川激甚災害対策特別緊急事業を、また、上流部の旧大宮市内では、平成 11（1999）年度から床上浸水対策特別緊急事業の採択を受け、改修を進めた。このうち、旧大宮市内では、沿川に家屋が密集しており、限られた期間での河川の拡幅が困難なため、現況河道の下にトンネルを掘削して河道とし、洪水を下流部へと導く地下河川方式を採用するとともに、下流部に新たに桜木調節地を整備し、流域の治水安全度の向上を図った（埼玉県県土整備部、2004）。一方、平成 14（2002）年頃に一連の河川改修工事で河床を掘削した際に、周辺住宅地において最大約 15 cm の地盤沈下が河川沿いに約 2 km にわたって起こった。これは、河床を掘り下げたことによって周辺の地下水位が低下し、軟弱な地層が収縮したためと考えられており、家屋約 800 棟に被害が生じることとなった（日経コンストラクション、1999）。

7.4 海成堆積物の掘削に伴う環境リスク

海成環境で堆積した地層は、各種の建設工事により掘削し、酸化環境下に放置することで、黄鉄鉱の酸化分解に伴う酸性化と有害重金属類の溶出リスクが上昇する。本地域では、縄文海進時には大宮台地を取り囲むように海域が広がり、台地の南部を中心に開析谷内部にも海水が浸入したことから、地下には海成堆積物が分布しており、建設工事等により大量の掘削土が発生する場合には、処理対策の低コスト化が必要となる。石山ほか（2022）は、埼玉県内の 3 地域（中川低地、荒川低地、大宮台地南部の谷底低地）において堆積物試料を掘削採取し、様々な条件で風化試験を実施した。その結果、黄鉄鉱の酸化分解は土壌 pH、土壌温度、酸素との接触などの影響を顕著に受け、土壌 pH は中性付近で、土壌温度は 30 ～ 40℃ で迅速に進むことが分かった。また、県内の海成堆積物を用いて風化試験を実施したところ、黄鉄鉱の酸化分解が始まるまでの時間には地域特性があることも判明した。さらに、黄鉄鉱の酸化に関与する微生物種や黄鉄鉱の酸化機構についても明らかにした。自然由来の土壌汚染は全国各地で顕在化する傾向にあり、現在では大きな環境問題として取り上げられている。なかでも海成堆積物に起因する自然由来の土壌汚染では、発生する処理土量が膨大になるため環境保全と建設コスト低減の両立が求められている。



第 7.7 図 平成 8 年（渇水年）の地盤沈下量分布。
関東地区地盤沈下調査測量協議会（1997）をもとに作成。

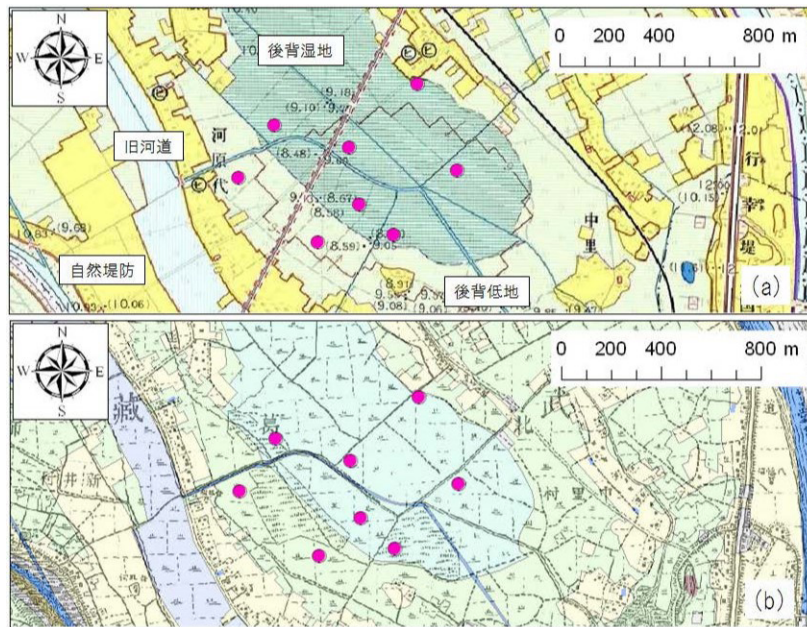


第 7.8 図 平成 7 年（平常年）の地盤沈下量分布。
関東地区地盤沈下調査測量協議会（1996b）をもとに作成。

7.5 地震災害と液状化（東北地方太平洋沖地震の例）

平成 23（2011）年 3 月 11 日に太平洋三陸沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震では東日本一帯に甚大な被害を発生させたが、埼玉県内では東部から北部にわたる 27 市町（県全体の約 4 割）で震度 5 弱、20 市町（同約 3 割）で同 5 強、1 町で同 6 弱を記録した。

幸いにしてこの地震による県内の被害は隣接する都県と比べて少なく、住宅被害は全壊が 24 棟、半壊が 199 棟、そして人的被害は死者が 1 名、負傷者が 104 名であった（埼玉県危機管理防災部，2023）。一方、県内の数地域では液状化が発生し、久喜市（10 世帯全壊）や加須市の 2 地区（計 5 世帯全壊）の事例では被災者生活再建支援法が適用され、被災住宅の復旧支援がなされ



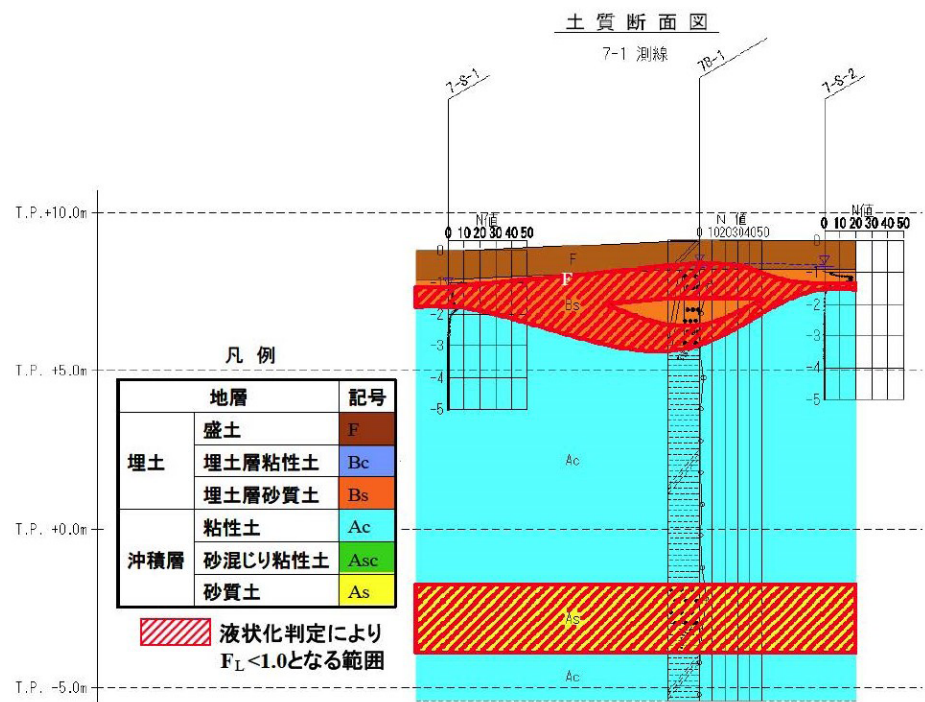
第 7.9 図 久喜市において東北地方太平洋沖地震による液状化が発生した地点 (赤●印) の
(a) 土地条件図「鴻巣」及び
(b) 旧版地形図「栗橋」上での位置
(八戸ほか, 2014)

ている。久喜市の一部地域において発生した液状化現象では、ライフラインや約 130 棟の一般住宅に大小様々な被害が発生した。液状化が発生した地域は元来後背湿地を水田として利用していた土地であることから、水持ちが良く地下水面は元々高かったことが予想された (第 7.9 図)。液状化発生直後、久喜市では被害が集中した地域を対象として緊急にボーリング調査等を行ない、さらに採取した試料の室内土質試験結果も併せて液状化判定を実施した。その結果、この地域では地下水面は深度 1 m 程度に位置し、地表面から 1~4 m (T. P. +4 ~ +8 m) の深度に平面的かつ連続的に分布するほとんどの砂質埋土層、そして 10~13 m (T. P. -1 ~ -4 m) の深度に部分的に分布する砂質土層 (完新統) において液状化抵抗率 (F_L) が 1 以下を示し、これらの地層において液状化が発生した可能性が高いことが示された (久喜市, 2011 ; 第 7.10 図)。

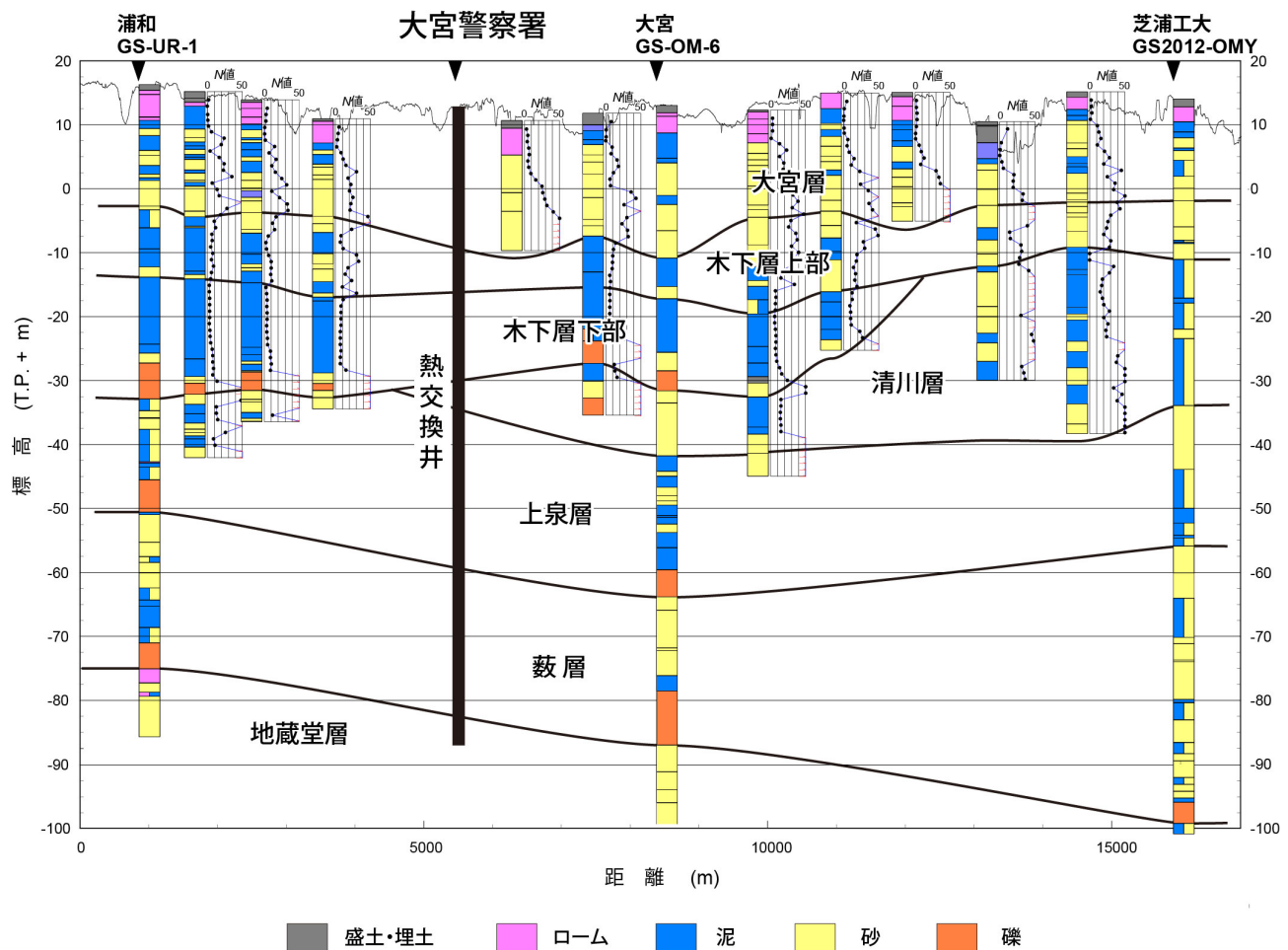
7.6 地中熱利用ヒートポンプシステムの利用

埼玉県では、地中熱利用システムの普及拡大を図っており、近年、地中熱利用システムの導入事例が増加している。しかしながら、同技術は、初期コストの大半を占める掘削費用が導入のネックとなるなど課題は多い。そこで、県独自の取組として、次世代住宅産業プロジェクト (埼玉県) において高効率地中熱ヒート

ポンプシステムの開発を進めたほか、「企業等における省エネ・再エネ活用設備導入補助金」や地中熱利用の基礎データである「地中熱ポテンシャルマップ」の公開などを通じて地中熱利用システムの導入を後押しする取り組みを進めてきた。埼玉県内では、これまで、東部地域振興ふれあい拠点施設「ふれあいキューブ」(春日部市) や西部地域振興ふれあい拠点施設「ウェスタ川越」(川越市) などの県有施設を中心に、地中熱利用ヒートポンプシステムを導入する事例が増えてきた。平成 29 (2017) 年 11 月には、大宮警察署を新庁舎に立て替える際に地中熱システムが導入された。新庁舎は、さいたま新都心駅東側の産業道路沿いに建設された (さいたま市大宮区北袋町一丁目 197 番地 7)。地中熱システムは、7 階建ての庁舎棟 (延べ床面積 1 万 2,140 m^2) の全体空調の熱源の 1 つとして利用され、水冷式ヒートポンプが使用されている。地中との熱交換には、深さ 100 m のボアホールを 14 本設置した。一般に熱伝導率 (見かけ熱伝導率) は透水性が良好な礫層や砂礫層で大きいのが、これらの熱交換井の下部 (標高 -55 m ~ -75 m) は、礫層や上泉層の砂礫層に到達するように設定された (第 7.11 図)。地中熱システムを庁舎全体の空調システム (900 kW) のベースとして使用することで電力消費量や温室効果ガスの削減を目指しており、既存システムに比べ、約 30% の温室効果ガス削減等が可能となった。



第 7.10 図 想定地質断面と液状化判定により $F_L < 1.0$ となる地層の位置
(久喜市, 2011).



第 7.11 図 大宮警察署の地中熱システムの熱交換井を含む地質断面図。