

都市防災非常用井戸の調査・施工事例

黒田和男¹・村山弘樹²・○奥野日出³

¹地下水技術協会・²ジオ・フロント・³アスカソイルコーナー

1. はじめに

近年懸念される大地震や火山噴火時に水道、電力施設の機能を失ったときの水の供給手段として、著者らは、東京都内近辺で学校、老人ホームなどの敷地で深井戸の調査施工を行った。震災直後には、火災消火活動に水の供給が必要であるが、ここではその後には生じる飲料水などの生活用水としての水確保が重要となってくるため、井戸施工は飲料水、生活用水の確保を目的とした。一方、水源となる帯水層は地形・地質要因に支配され、地域の地下水涵養や貯水量状態によって必要揚水量が必ずしも満たされることはなく、また過剰揚水による地下水の枯渇や地盤沈下なども十分配慮して水源選定や揚水を行わなくてはならない。本稿では、施工対象の井戸で帯水層の地質と揚水時の適切な設計揚水量を明らかにして、帯水層の状態について影響圏や厚さの広がりなどを考察した。

2. 深井戸の調査施工結果

2.1 事例の概要

災害時緊急水源としての地下水の利用は、細野¹⁾が都内での消防活動を関東大震災、新潟地震などの被災資料に基づいて詳しく施設機能の内容と必要水量に対して水利配置と消火栓、井戸の依存率などを述べている。ここには消火目的以外に飲料水利用を兼ねて1人1日3リットルとして利用されると、貯水槽1500m³型(人口50万人日分)では、平成19年には東京都都部に69基配備されている。市区町村などの施策としては、地域内に所存する私有の井戸を適切な保全を図り、非常用井戸の指定が周辺の自治体にみられるようになってきた。

本稿では、都内周辺8箇所で行った非常用深井戸施工の概要を表-1に示す。ここに飲料水としては1つの井戸が過剰揚水を避ける設計揚水量が日15~30m³で人口5千~1万人分が確保され、大半の井戸では除鉄以外の水質基準はみだされていたが、湾岸付近では若干の塩水化がみられた。

表-1 非常用井戸の概要

井戸No.	井戸名	井戸長 l(m)	井戸内径 φ(mm)	採水区間 GL-(m)	施工年月	施工場所
①	消防庁管轄	20	150	10.8~15.8	2013年11月	品川区
②	老人ホーム	53	100	43~52	2014年6月	江戸川区
③	Y公園	50	100	41~49	2013年12月	墨田区
④	K小学校	35	150	27~35	2012年8月	ふじみ野市
⑤	M小学校	35	150	20~35	2012年10月	ふじみ野市
⑥	民家	17	100	11~14	2013年12月	世田谷区
⑦	クリーニング店	40	150	23~40	2013年10月	稲城市
⑧	M中学校	40	100	20.9~40	2014年12月	練馬区

2.2 帯水層の地質

今回対象の深井戸での帯水層は、図-1地形図に示す地下GL-17~53m以内の地層で、第四紀更新世の上総層群砂層(井戸No.⑦)、下総層群砂礫層(No.⑧)、埋没立川礫層(No.③)、武蔵野礫層(No.①、④、⑤、⑥)及び七号地層砂層(No.②)である。これらの帯水層は、有限の広がりをもち、地下水は有限の範囲からくると考えられる²⁾。ここに台地下の武蔵野礫層は関東ローム層下の段丘礫層、低地下の埋没立川礫層や七号地層では有楽町層下であり、帯水層は被圧地下水として賦存している。また東京都近辺、東西方向の地質断面は図-2に代表される³⁾。ここに多数の既設深井戸は図-2の東京礫層(主にGL-50m以深)より採水され、昭和40年代半ば以降の揚水規制で被圧水頭は上昇し続けている⁴⁾。ただし、本稿での都内井戸は東京礫層よりも浅層部で以下にその水理地質の概要を示す。

Kazuo Kuroda¹, Hiroki Murayama², Hizuru Okuno³ (¹The Japan Ground Water Technology Association, ²Geo front Co.,Ltd. ³Co.,Ltd. Asuka Soil Corner)

KEY WORDS: Well for emergency use, Seismic hazard, Pumping groundwater control, Geologic feature

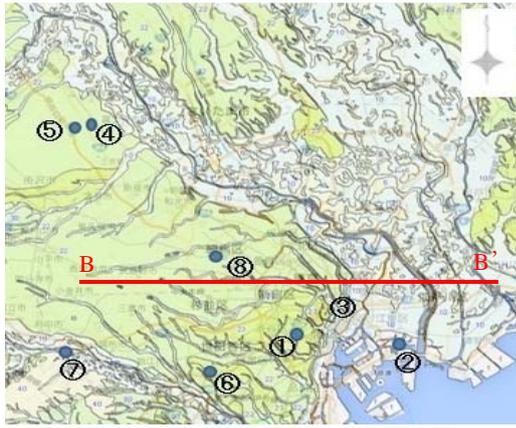


図-1 東京都周辺地形図と対象井戸位置

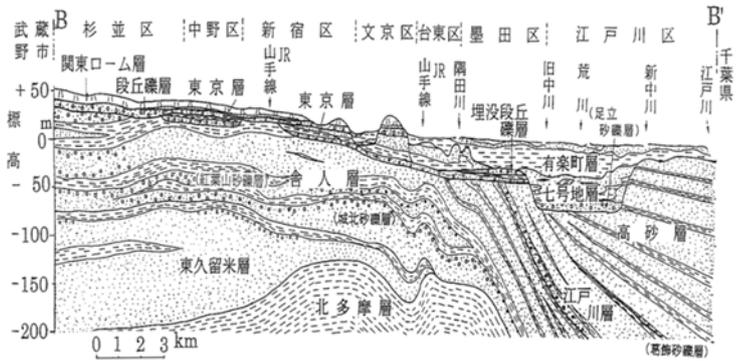


図-2 東京都の東西地質断面

2.2.1 武蔵野礫層の水利地質概要

武蔵野礫層は、東京都西部の立川市周辺から東部の練馬区約40kmに関東ローム下に分布する開析谷の扇状地性砂礫層が主であり、水流形成、地形浸食発達に重要な役割を果たしている。礫層の厚さはボーリング調査から5,6m~10数mであるが、開析の進み具合によって砂礫、玉石が占める割合が様々であり、粘土層、風化礫層を伴い、水流形成は一様ではない。筆者らは東大和市周辺の空堀川堤防約2km間での礫層を20箇所のボーリング調査で追跡したところ、粘土分の少ない深度と非常に多い深度に違いがみられた。ここに現場透水試験より前者の透水係数は概ね $k=10^{-3} \sim 10^{-2}$ (cm/s)、後者では $k=10^{-5} \sim 10^{-4}$ (cm/s)であった。したがって、当礫層での帯水層は円滑な必要揚水量が確保できる位置や1つの井戸の影響圏も有限の範囲と考えられる。

2.2.2 埋没立川礫層、七号地層の水利地質概要

これらの地層は東京湾岸周辺の低地下に埋没立川礫層はGL-30~40m、七号地層砂層はGL-30~60m以深に東京谷の沖積層有楽町層下に主に分布している。これらの地質分布は多くの資料に示されているように局所的な分布と理解でき、帯水層は有限の広がりとなっている。また一般に七号地層上部の有楽町層砂層を対象とした地下水開発はほとんど無く、地盤沈下や塩水化などの質に問題があると考えられている。

2.2.3 下総層群の水利地質概要

下総層群の各累層は1回の海進一海退によって形成された陸成層と海成層のセットが基本とされ、東京都では先に示した武蔵野礫層下に分布し、この1サイクルの基底が東京礫層である。都内での同層群の層厚は最大約40mである。同層群では武蔵野礫層の地下水涵養域と比べて広域と考えられ、砂や礫層では多くの水量が期待できる。

2.2.4 上総層群の水利地質概要

図-2に示される向斜構造の本層群は、北多摩層、東久留米層、舎人層、江戸川層に相当し、北多摩層では硬い粘土層が占めて不透水層となり、他層では砂礫層での高い透水性を示す。今回井戸位置の稲城層は都心より約十数km南西に離れた多摩川付近にあり、地層は北西から南東方向に流れ下る砂・礫層を堆積させた海退を暗示させている⁵⁾。井戸施工時にはGL-20m以浅に貝殻混じり中砂を厚さ10m捉えた。ここでは都心付近の上総層群より比較的浅部で地下水涵養の豊富な帯水層が分布すると考えられる。

3. 深井戸調査解析

各井戸の段階揚水試験結果からもとめた水利特性を表-2にまとめた。また各井戸の取水構造は全て単層スクリーンである。ここに各スクリーンの開孔率 δ は、材質の塩ビパイプや巻線ステンレスにより $\delta=5 \sim 30$ (%)の範囲であり、よって揚水時の井戸損失に影響がある⁶⁾。これと井戸掘削位置での固有の帯水層の広がりから、表-2には各段階揚水試験時の測定値から透水量補正係数 μ を示した。ここに μ は複数の帯水層の透水係数 k (cm/s) や帯水層厚 h (m) がスクリーン長 L (m) より大なる場合に補正するものである⁶⁾。図-3.1には比湧出量 ΔQ (m³) と段階揚水量 Q (m³) の測定例を示す。ここに限界揚水量 Q_L (m³/d) は下式(1)に基づき⁶⁾、設計揚水量 Q_A (m³/d) は Q_L より安全側にやや低減した。

$$S_w = B_e Q + C_e Q^2 \quad (1)$$

ここに、 $S_1 = B_e Q$ 、 $S_2 = C_e Q^2$ に置き換えると、

B_e : 線形井戸損失係数 (d/m^2)

C_e : 非線形井戸損失係数 (d^2/m^5)

である。

すなわち、線形項は $B_e = \ln(R/r_w)/2\pi\mu kh$ の式で、 R : 影響圏半径 (m)、 r_w : 井戸半径 (m)、 k : 透水係数 (m/d)、 h : 下記スクリーン長 L が挟まる不透水層間の帯水層厚 (m)、 μ : 透水量補正係数である。ここに R は土質を配慮した定常説に基づく一定値である⁶⁾。

また、非線形項は $C_e = 0.2 \cdot B_e^2 / (\delta \cdot L)$ とする式で与えられ、 δ : スクリーン開口率、 L : スクリーン長 (m) である。

表-2 井戸水理特性の諸定数

井戸 No.	帯水層の地質	透水係数 k (cm/s)	限界揚水量 Q_L (m^3/d)	設計揚水量 Q_d (m^3/d)	初期水位 GL-(m)	影響圏半径 R (m)	透水量補正係数 μ
①	武蔵野礫層	2×10^{-2}	23	20	7.56	500	2.2
②	砂 (七号地層)	7.9×10^{-3}	34	30	2.08	500	3.5
③	埋没立川礫層	8.5×10^{-3}	25	20	8.05	500	1.8
④	武蔵野礫層	7.2×10^{-3}	20	-	7.00	250	2.0
⑤	武蔵野礫層	1.2×10^{-2}	30	25	11.35	500	0.9
⑥	武蔵野礫層	1×10^{-2}	28	25	6.45	1000	6.0
⑦	砂 (上総層群)	3.31×10^{-2}	200	150	7.96	200	0.4
⑧	砂礫 (下総層群)	9.91×10^{-4}	20	15	9.3	500	1.7

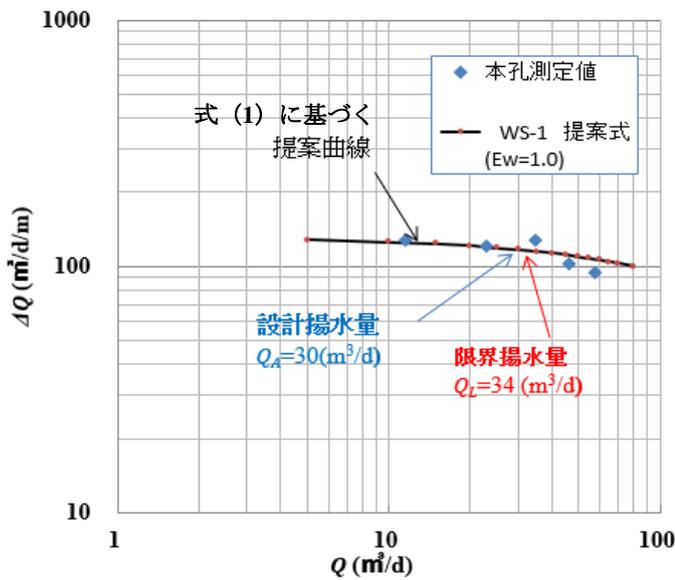


図-3.1 比湧出量 ΔQ ($m^3/d/m$) と段階揚水量 Q (m^3/d) の関係

注) 井戸 No.②, 図中の井戸効率 E_w は新設のため 1.0

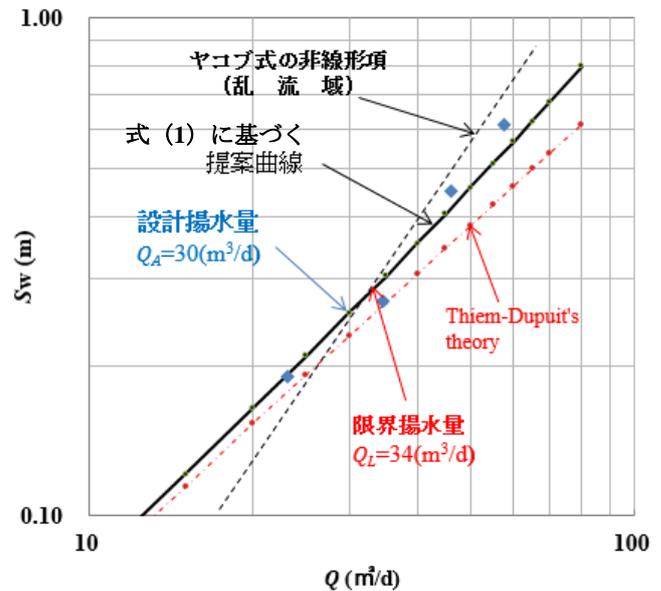


図-3.2 段階揚水量 Q (m^3/d) と水位低下量 S_w (m) の関係

図-3.1 より段階揚水試験で一般に整理される段階揚水量 Q (m^3) と水位低下量 S_w (m) 関係を図-3.2 に示す。図-3.2 のヤコブ法の層流域と乱流域を表す 2 直線として例えば任意に 2 直線を引くのではなく、Thiem-Dupuit の理論曲線に測定値が乗るところからにしても、2 直線が交差する限界揚水量は複数求められ、これらには $5(m^3/d)$ 前後の差が出るように思われる。

4. 帯水層の厚さと広がり の考察

先に記述したように黒田²⁾ は「帯水層は、有限の広がりを持ち、地下水は有限の範囲からくる。」と述べている。以下には奥野⁶⁾ が示す透水量補正係数 μ から、井戸施工位置より帯水層の広がりもしくは狭まりを影響圏半径 R (m) と

合わせて表す。ここに、 $\mu=1$ は帯水層が平行、 $\mu>1$ は帯水層が広がる、 $\mu<1$ は帯水層が狭まることに相当する。 μ と R の検証は限界揚水量 Q_L に一致する値とならねばならない。

図-4.1より $\mu=3.5$ 、 $R=500$ (m)のとき ΔQ の測定値近傍(提案曲線上の Q_L)に水位低下量 ΔSw が一致する。一方、帯水層の狭まる井戸No.⑦で $\mu=0.4$ 、 $R=200$ (m)の検証例を図-4.2に示す。これらの図より、 μ 、 R が異なれば ΔSw の実測値が整合しない。つまり、提案式と一致する適正な Q_L がもとまると共に最終的な R と μ もとまる。

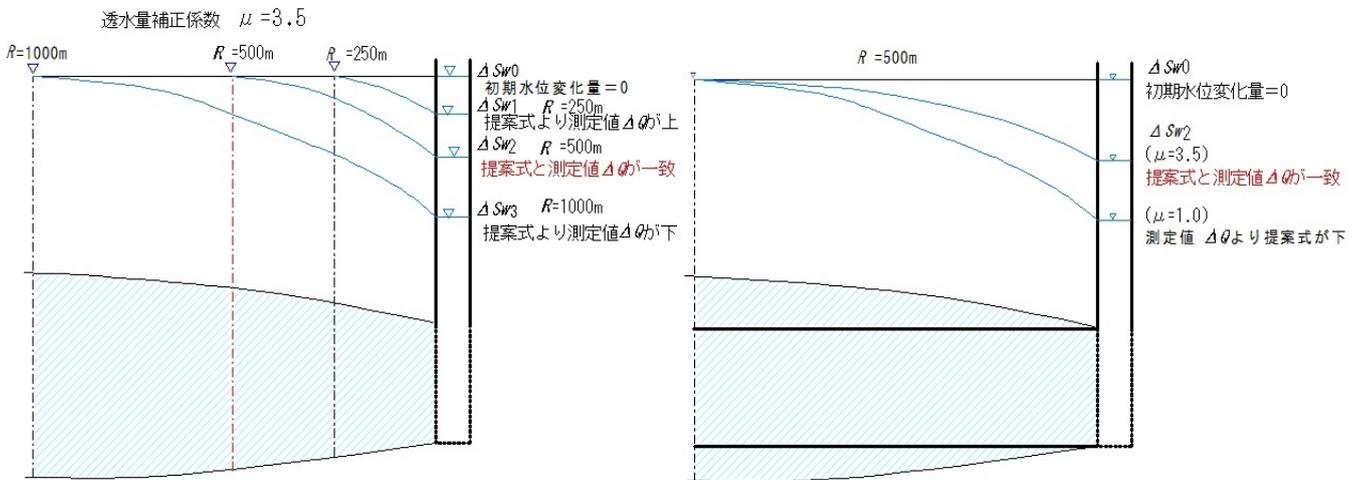


図-4.1 帯水層が広がる井戸事例 (No. ②)

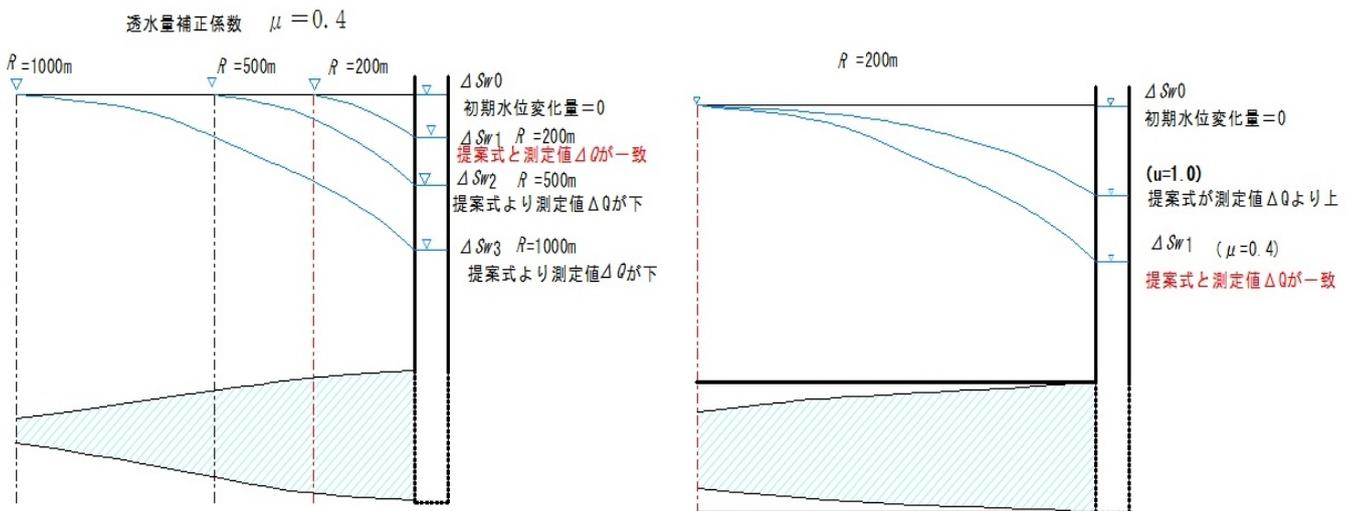


図-4.2 帯水層が狭まる井戸事例 (No. ⑦)

5. おわりに

今後非常用井戸を施工する際、都市部では敷地の制限や揚水規制があるため、容易に進められない。近年電気探査で水源位置が選定されてきたが、測線展開が困難なことから既往ボーリング結果や地質資料にもとづいて帯水層深度や掘進長を想定して進め、また個々の井戸での枯渇や周辺の地盤沈下などが生じないように、帯水層の影響圏による地下水供給や広がり状態を評価しておくことが必要と考える。

- 参考文献
- 1) 細野義純：災害時緊急水源としての地下水の利用，地下水技術，第50巻第3号，P17～24，2008。
 - 2) 黒田和男：昭和2年 納富重雄著 水のうち潜行水再び地表へ(「地下水のことは掘ってみなければわからない」一考)，地下水技術，第55巻第4号，P19～22，2013。
 - 3) 遠藤 毅・中山俊夫：日本の地盤連載③⑩ 東京都の地盤，地質と調査，第1号，P37，2000。
 - 4) 菊地隆男：多摩丘陵一上総層群とその堆積環境一，アーバンポタ，No. 23，P40～43，1984。
 - 5) 東京都環境局：平成23年都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)，P3～9，2013。
 - 6) 奥野日出・小山修平：地域地下水管理に関する揚水モデルと井戸損失式の提案，地盤工学ジャーナル(論文)，VOL. 6，No. 1，P27～37，2011。