

# 2011年東北地方太平洋沖地震直後に関東平野で観測された地下水位低下のメカニズム —地殻変動が地下水位に及ぼした影響の評価—

東北地方太平洋沖地震 地下水位 地殻変動

港湾空港技術研究所 正会員 ○野津 厚  
復建調査設計 国際会員 中澤博志

**1. はじめに** 2011年東北地方太平洋沖地震の際、関東平野の少なからぬ地点で、地震直後に地下水位の低下が観測されている。この点に関して、石原他<sup>1)</sup>は、断層運動に伴う地殻変動が地下水位の低下をもたらしたと解釈している。本研究では、この解釈の妥当性を確認するため、国土地理院による電子基準点の変位を利用して地盤の体積ひずみを計算し、地殻変動が地下水位に及ぼした影響を定量的に検討する。

**2. 地下水位低下の観測事例** 東北地方太平洋沖地震前後の東京港埋立地盤での地下水位の挙動が森他<sup>2)</sup>により報告されている。それによると、潮位と連動した周期的な変動を除けば、測定できたすべての箇所、水位は数cmから100cm程度低下した。地震後の傾向を見ると、1日程度で地震前の水位に戻った箇所、1週間以上も低下傾向が続いた箇所など様々である。また、梅津・尾上<sup>3)</sup>は、下総台地西部の帯水層における地下水位の挙動を報告している。それによると、第一帯水層～第四帯水層における間隙水圧の変化はそれぞれ+8, -6, -3, -3.5kPaであり、最も浅い第一帯水層以外は間隙水圧が減少している。さらに、原田・板寺<sup>4)</sup>は、神奈川県西部の6箇所での地下水位観測結果について報告しており、大井、小田原、南足柄、二宮でそれぞれ25cm, 20cm, 40cm, 50cmの地下水位の低下が認められたとしている(湯本では150cmの上昇、真鶴では上昇と下降)。さらに石原他<sup>1)</sup>は都内全域において被圧地下水の多くは水位低下の傾向を示したことを報告している。このように、地震直後の関東平野では、地下水位が上昇した地点よりもむしろ低下した地点の方が多い。一般に地震直後に地下水位が上昇するメカニズムとしては、繰り返しせん断による過剰間隙水圧の上昇が考えられる。しかし、地下水位の低下はこうしたメカニズムでは説明が付かないため、そのメカニズムについて別途検討する必要がある。しかも、地下水位の低下が広域で生じていることから、広域に共通するようなメカニズムを考える必要がある。こうした点からも、断層運動に伴う地殻変動が地下水位の低下をもたらしたとする石原他<sup>1)</sup>の解釈は有力なものであると考えられる。

**3. 断層運動に伴う関東平野の地盤の体積ひずみ** 2011年東北地方太平洋沖地震の断層運動に伴い、関東平野の地盤には主に東西方向の伸張が発生している<sup>5)</sup>。ここでは、国土地理院による電子基準点の変位に基づいて、各地の地盤に生じた体積ひずみを推定する。図1の▲は関東平野における電子基準点の位置を示す。そこでの「日々の座標値(F3)」が国土地理院により公開されている<sup>6)</sup>。ここでは、3/12の座標から3/10の座標を差し引いたものを、東北地方太平洋沖地震に伴う電子基準点の変位とした。なお、この変位の中には、3/11 14:46の本震による変動だけでなく、余震による変動や地震直後の余効すべりによる変動も含まれている。しかし、本研究においては、本震による体積ひずみのオーダーを把握することに主眼があるため、本震による変動と余震等による変動の分離には踏み込まないこととした。また、3/11の座標を用いなかったのは、本震前と本震後の両方の影響が含まれているためである。次に、南北方向にX軸(南向き正)、東西方向にY軸(西向き正)をとり、電子基準点(112地点)を「節点」と見立てて、183の三角形要素からなる「メッシュ」を作成する(図1)。そして、各メッシュ内においては変位( $U_x$ ,  $U_y$ )を

$$U_x = aX + bY + c \quad (1)$$

$$U_y = dX + eY + f \quad (2)$$

のように(X, Y)の1次式で近似する。係数a~fは節点変位から求めることが出来る。最後に、各要素の体積ひずみを

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y = \partial U_x / \partial X + \partial U_y / \partial Y = a + e \quad (3)$$

で求める。ここで体積ひずみは伸張側を正としている。このようにして求めた各要素の体積ひずみを図1に色別で示す。断層運動に伴い、陸側プレートが東側に移動したことにより、震源断層に近い茨城県北東部においては特に大きい正の体積ひずみが発生していることがわかる。また、絶対値は南西に向かうにつれ小さくなるものの、関東地方のほぼ全域にわたり、正の体積ひずみが生じていることがわかる。その値は、東京港付近や下総台地西部では $3 \times 10^{-6}$ 程度である。

**4. 体積ひずみと地下水位低下の関係** 上記のようなオーダーの体積ひずみの中で、地下水位の低下がどの程度生じ得るか考察する。まず、最も単純なケースとして、正の体積ひずみに伴い、間隙が膨張し、間隙水が落ち込むことにより、地下水位が低下する場合を考える。しかし、定量的に検討してみると、この場合には、十分な地下水位の低下は生じないことがわかる。いま簡単のため間隙率を0.5とし、体積ひずみがすべて間隙の膨張によってまかなわれるとすると、間隙部分の体積ひずみは $6 \times 10^{-6}$ 程度となる。このオーダーの体積ひずみでは、仮に厚さ100mの帯水層があったとしても、間隙水の落ち込みによる地下水位の低下は0.6mm程度に留まり、実際に生じた最大100cm程度の地下水位低下

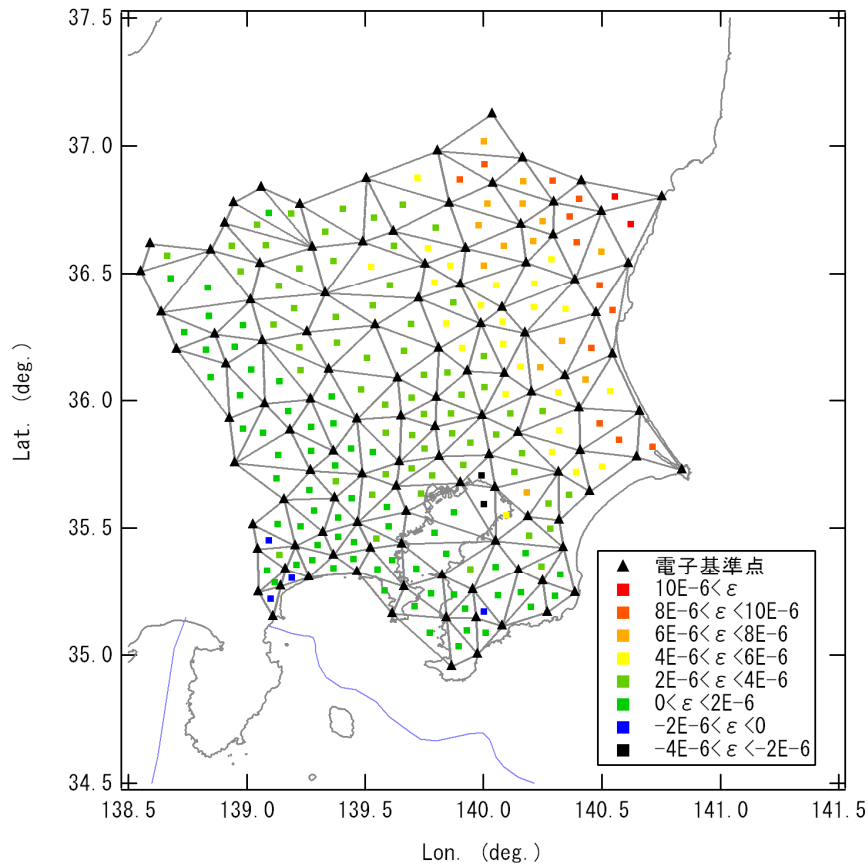


図1 国土地理院による電子基準点の変位に基づいて算定された各要素の体積ひずみ（伸張が正）

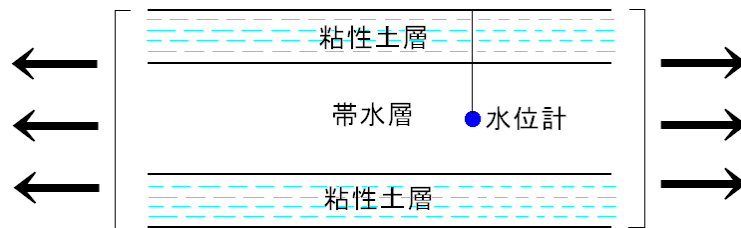


図2 非排水条件で伸張が生じる例

を説明できない。そこで、次に、何らかの原因で、非排水条件の下で伸張が生じる場合を考える。この場合の非排水条件としては、例えば、帯水層が粘性土層に挟まれている図2のようなケースが考えられる。上記と同様に間隙部分の体積ひずみを  $6 \times 10^{-6}$  程度と仮定し、水の体積弾性係数として  $2.2 \text{GPa}$  を仮定すると、最も効率的な場合（飽和度 100% で完全非排水の場合）には  $13 \text{kPa}$  程度の負圧が生じることになる。これを水位に換算すると  $130 \text{cm}$  程度となる。このメカニズムであれば、実際に生じた地下水位の低下をオーダー的に十分説明できることになる。

以上の検討から、断層運動に伴う地殻変動が地下水位の低下をもたらしたとする石原他<sup>1)</sup>の解釈は妥当なものであると考えられる。また、以上の考察から、何らかの原因で非排水条件が成立しやすい場合に地下水位の低下が生じやすいものと考えられる。このような観点から、現地の条件についてさらに詳しく検討する必要がある。さらに、上記のメカニズムは、繰り返しせん断による過剰間隙水圧の上昇とは逆の効果を有することから、上記のメカニズムによって関東地域の液状化が部分的に抑制されていた可能性（言い換えれば、仮に上記のメカニズムが働かなかった場合は、液状化がより深刻であった可能性）についても検討してみる必要がある。

**謝辞** 国土地理院による電子基準点の「日々の座標値 (F3)」を利用しました。心より御礼申し上げます。

**参考文献** 1)石原・他(2012), 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, pp.I\_595-I\_600. 2)森・他(2012), 第 47 回地盤工学研究発表会, 論文番号 740. 3)梅津・尾上(2012), 第 47 回地盤工学研究発表会, 論文番号 811. 4)原田・板寺(2012), 神奈川県温泉地学研究所観測だより, 第 62 号, pp.52-62. 5)国土地理院 (2011), <http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>. 6)国土地理院(2009), <http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi60002.html>.