

沖積粘性土における自然含水比の深度分布図と 堆積環境変化との関係

安井 賢*

1. はじめに

日本各地の平野では開発に伴う多くのボーリング調査により、平野地下の沖積層の地盤構成や土質工学的性質が明らかにされてきた。これらの中で、土の諸特性の変化を工学的立場から「材料」としてとらえるだけでなく、理学的な知見を加味して「歴史的」に土の形成過程をとらえる検討も実施されてきた。特に、海進・海退に代表される堆積環境変化に対し、単なる値の「ばらつき」とみられた土の諸特性が「必然的」に変化したと評価する多くの検討事例が紹介された（た

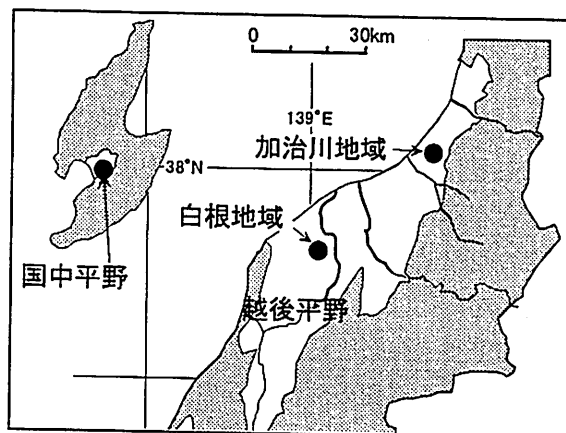


図-1 調査地域位置図

例えば、堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関する研究委員会，1995など）。このような検討は、「工学」と「理学」の接点を模索するうえで重要な研究テーマであり、多くの資料の蓄積による普遍化が課題となっている。

新潟県下の沖積層に関しても、多くのボーリング資料や土質試験結果が蓄積されているが、このような検討はまだほとんど実施されていない。筆者は新潟県下の沖積粘性土が厚く堆積している地域で、堆積環境変化と土質工学的性質の比較という観点から研究を進めてきた。今回は3地域（図-1）で実施した珪藻化石や有孔虫化石の分析から復元された堆積環境と、自然含水比や粘土分含有率の深度分布との関係について検討し、その理学的（地史的）意味について述べる。なお、珪藻は1/100mmから1/10mm程度の大きさをもつ珪質の殻を有する単細胞の植物で、やや湿った陸地から淡水、汽水さらには海水まで様々な環境に適応している。したがって、珪藻分析は地層が堆積した時の環境を復元するうえで最も確実に有効な方法となっている。

2. 他の平野での研究例

土質工学的性質を理学的に解釈しようとする研究の端緒は、清水（1972）による東京湾地区での検討である。彼は有楽町層における土質定数の深度分布図の地質学的な解釈を試み、有楽町層の粘土分含有率、自然含水比、液性限界、間隙比の深度分布図が、層の中央部で極大値を持つ弓形の形状をしめし、この形状が海生珪藻種の割合と一致することを明

*新潟基礎工学研究所

らかにした。そして、土質定数が最大値をしめす深度が、縄文海進によって最も海が拡大した時期に相当するとし、その深度が一つの鍵層として地質学的にも有効な指標となる可能性を指摘した。

大阪平野や大阪湾海底ではこれらの研究が最も進んでいる。沖積粘性土 (Ma13) では、コンシステンシー特性の変化とナンノ化石 (10ミクロン以下の石灰質ナンノプランクトン、海域にしか生息しない) や海生珪藻の割合には相関性が認められているほか、深度分布の形状や諸特性の値の相違から地域性も明らかとなっている。すなわち、層中央部でコンシステンシーの諸特性が最大値を持つ弓形の「大阪型」のほか、別形状を呈する「神戸型」、「泉南型」の区分がなされている (中世古ほか, 1987)。また、コンシステンシー特性は粘土分含有率に規制されており、その地域差は淀川などの河川や大阪湾の潮流の影響による粒度の相違によるものと解釈されている (諏訪ほか, 1991)。さらに、「洪積層」(大阪層群、空港島層群) においても、ナンノ化石の産出頻度と土質定数には相関が認められており、関西国際空港海底地盤における地層対比に大きな役割を果たしている (中世古編, 1984)。

一方、日本海側の沖積平野の結果をみると、自然含水比や間隙比が最大となる深度は最も海が拡大した時期と一致していない。松江平野では内湾から淡水湖に変化した時期に最も自然含水比が大きくなっている (亀井ほか, 1997) ほか、石川県河北潟でも海水の流入がほとんどない淡水湖の時代の堆積物で、自然含水比や間隙比が最も大きくなっている (鮎野ほか, 1990)。

3. 試験・分析方法

3 地域のボーリングコアの粘性土について、10cm間隔で2 cm単位に切断した試料を用いて、試験・分析を実施した。自然含水比の測定および珪藻分析は原則として全試料について実施した。白根地域では試料の残部8 cm区間を水洗し有孔虫分析を実施した。また、粒度分析は10~30cm間隔で実施した。粒度分析 (細粒分の分析) は試料の量が少ないため光透過式遠心沈降法とし、セイシン企業製「ミクロン・フォート・サイザー」によって実施した。ミクロン・フォート・サイザーは液中の粒子濃度を光透過による濁度変化として検出するもので、ある粒度以下の測定は時間短縮のため遠心沈降法を併用している。試験機のセルに封入する試料は次のようにして作成した。乾燥試料1 gを300ccの水に攪拌し、ヘキサメタリン酸ナトリウムを加え超音波洗浄器で15分間十分に分散させ、適当な濃度に希釈した。なお、数試料についてボイコス比重計法と光透過式遠心沈降法で分析したところ、光透過式遠心沈降法による累積加積曲線が10~20%程度粗粒側にシフトした結果が得られた。この点については試料の量や試験方法の相違も含めて、今後解決すべき課題とした。ただ、全試料について光透過式遠心沈降法で実施しているため、粘土分含有率の深度方向の変化については、十分な妥当性があるものと考えている。

4. 試験・分析結果

4-1 白根地域

試験・分析は白根市根岸におけるボーリングコア（S9-4孔）で実施した。標高-25~-48mに均質な粘土が分布する。鴨井ほか（2002）によれば、今から約8,000年前に新潟市南部に砂堆が形成され、海水準の上昇とともに砂堆が成長し、内陸部の白根地域には内湾～潟成の粘土層が厚く堆積したとされる。安井ほか（2001）によって粘土層中の珪藻や有孔虫の分析と堆積環境の復元が実施され、標高-26~-33mが潟湖の汽水域（高塩分濃度）、-33~-47mが内湾の海水域と推定された。また、白根地域が内湾から潟湖へと変化したのは、約7,200年前とされた。

粘土層の自然含水比は標高-48mから増減を繰り返しながら次第に増加し、深度分布図は標高-30mで最大値をしめすような弓形の形状を呈す。粘土分含有率（5 μ m未満）はややばらつくものの、ほぼ自然含水比の分布と調和的な変化をしめす（図-2）。

自然含水比が最大値をしめす深度は、海水の影響が強い内湾の時期（-33~-47m）とは一致せず、潟湖（ラグーン）が形成された後の時期に相当している。また、最大値をしめす深度は、最も内陸まで粘土層が分布する層準（約6,800年前、安井ほか、2001）と一致することから、その時期は水域（汽水域）が最も内陸まで分布した時期、すなわち縄文海進の最大海面期に相当する。なお、標高-38m付近で粘土分含有率や自然含水比が急激に増加する深度が存在し、この時期に何らかの環境変化が生じた可能性が高い。しかし、この深度には薄い連続性の良い極細粒砂が介在しているものの、珪藻や有孔虫群集の大きな変化はなく、この深度における環境変化の実態については不明である。

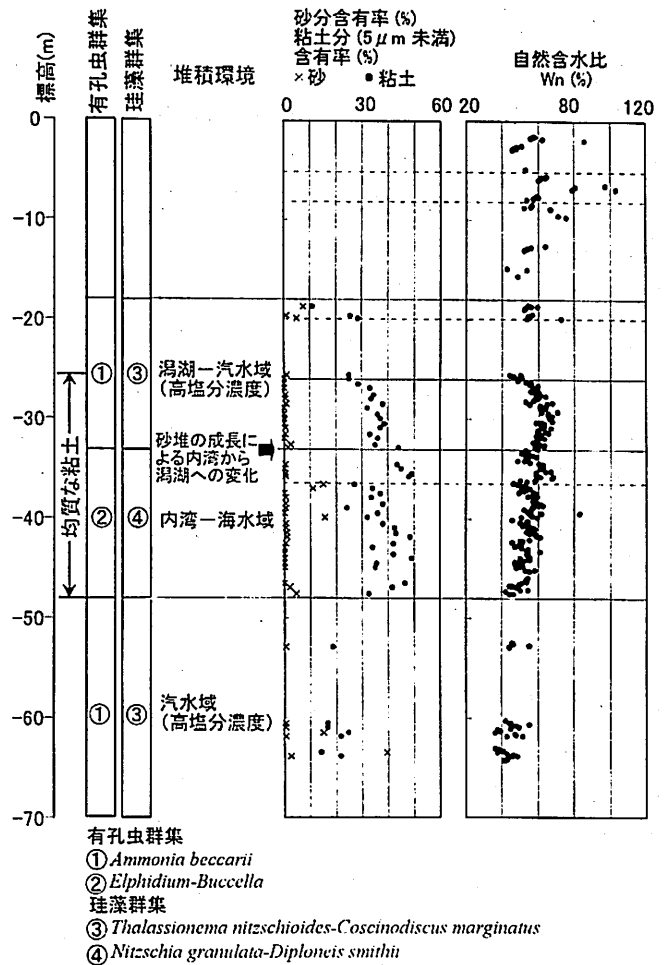


図-2 白根地域における粘土分含有率、自然含水比の深度分布と堆積環境の関係

4-2 加治川地域

試験・分析は加治川村俵橋におけるボーリングコア（S10-2孔）で実施した。標高-5~-11mに均質なシルト、-11~-23mに均質な粘土が分布する。当地域では、完新世の初期に胎内川扇状地と加治川扇状地間の低地が存在し、今から約8,000年前に海岸部に砂州が成長して閉鎖的な汽水湖沼が形成され、厚い粘土層やシルト層が堆積した（安井ほか, 2002）。当地域の粘性土層中には珪藻化石が多量に含まれている。ただ、構成粒子のほとんどが珪藻からなる珪藻土ではない。Yasui and Kobayashi (2001) によって珪藻分析が実施され、堆積環境は標高-7~-11mが淡水湖沼、-11~-23mが汽水湖沼（低塩分濃度）、-23~-30mが淡水の影響も認められる海水域と推定されている。

自然含水比は標高-30mから増加し、-17m付近で最大値となり上位に次第に減少する。また、値の増加は連続的ではなく、いくつかの深度で不連続的となるのが特徴である。粘土分含有率は、ほぼ自然含水比の分布と調和的な変化をしめす（図-3）。

加治川地域においても、自然含水比が最大値をしめす時期は、最も海水の影響が強い時期とは一致せず、海岸に砂州が形成され内陸が汽水湖沼（ラグーン）となった時期に相当している。また、最大値をしめす-17m付近の粘土層は、風化すると黄色のジャロサイトや石膏の結晶が顕著に出現し、この層準は当地域に広く追跡され、一部地域では沖積層の基盤にアバットしている（安井ほか, 2002）。

したがって、自然含水比が最大値をしめす深度は、最も粘土層の分布が拡大した時期、すなわち低塩分濃度の汽水域が最も拡大した時期（=縄文海進の最大海面期、約6,000~7,000年前と推定される）と一致する。

また、自然含水比や粘土分含有率が急に増加する深度が3深度（標高-8m、-17m、-19m）存在し、これらの深度で海生浮遊性珪藻（*Skeletonema costatum*、*Thalassiosira excentrica*）や汽水生浮遊性珪藻（*Thalassiosira lacustris*）が急増することが注目される。これは、汽水湖沼や淡水湖沼中に表層海水が流入し水域が拡大したという地史的なできごとが、粘土分含有率と自然含水比の増加につながったものと考えられる。

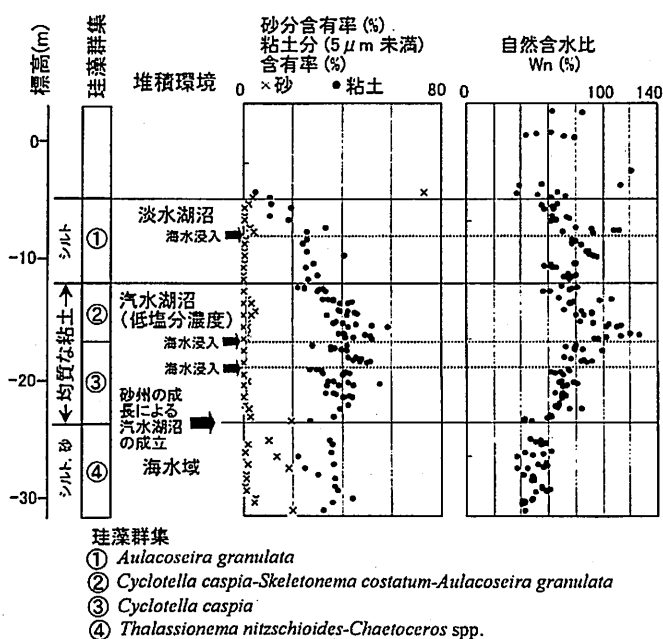


図-3 塩津潟地域における粘土分含有率、自然含水比の深度分布と堆積環境の関係

4-3 国中平野地域

試験・分析は金井町中興におけるボーリングコア (KN10-2孔) で実施した。標高-2.5~-12.5mに均質な粘土が分布する。佐渡国中平野では海進とともに広い湾が形成され、その後八幡砂丘の母体となった砂堆が成長し内部が閉鎖的な潟湖となった地史がしめされている (松永・太田, 2001)。安井 (2001) によって珪藻分析が実施され、堆積環境は標高-2.5~-7.5mが汽水域 (高塩分濃度)、-7.5~-18mが内湾の海水、-18~-20mが汽水域 (高塩分濃度) と推定されている。-2.5~-7.5mに分布する汽水成粘土が八幡砂丘の成長によって閉じられた潟湖の堆積物と考えられる。

自然含水比は標高-15mから増加し、-7.5m付近で最大値となると同時に、-7.5mでは急に値が増加する。粘土分含有率は、大局的には自然含水比の分布と調和的であるが、他の2地域と比較するとそれほど明瞭でない (図-4)。

国中平野においては自然含水比が最大値をしめす深度は、海水域から潟湖の汽水域に変化する時期と一致する。なお、国中平野においては粘土層の分布状況や形成年代についてまだ十分検討されていないので、潟湖の形成時代や水域の広がりとの関係については今後の検討課題である。

5. 検討

自然含水比と粘土分含有率には明瞭な相関関係が認められることは広く知られている (清水, 1972など) が、今回の検討によっても、大局的に自然含水比は粘土分含有率によって規制されていることが明らかとなった。したがって、深度分布図において大局的に認められる自然含水比のピークは、最も細粒分が堆積しやすい環境を意味するものと考えられる。また、白根地域における土質定数の深度分布図では、液性限界や間隙比も自然含水比と同様の深度分布パターンをしめし (安井ほか, 1998:新潟県地質図改定委員会, 2000)、液性限界や間隙比も基本的には粘土分含有率に規制されていると見られる。

次に、太平洋側の東京低地や大阪平野では自然含水比のピークが珪藻などの海生種の

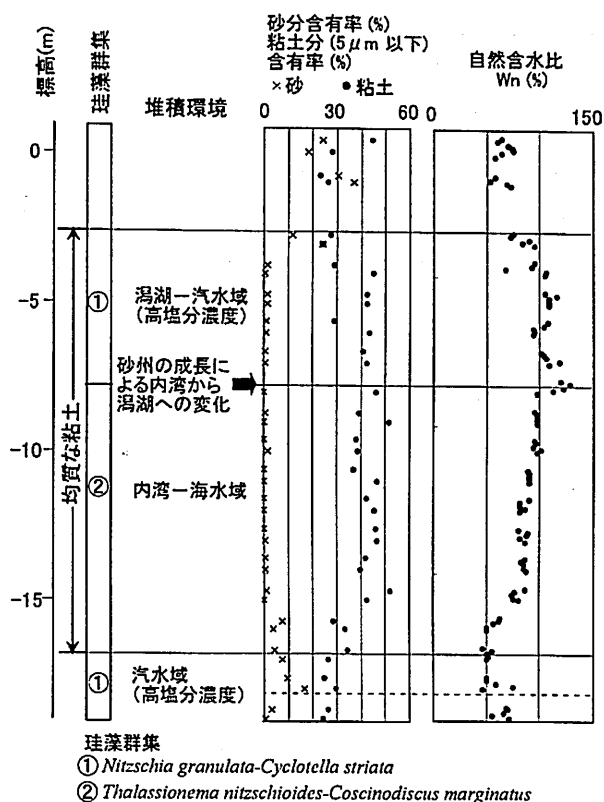


図-4 国中平野地域における粘土分含有率、自然含水比の深度分布と堆積環境の関係

ピークとほぼ一致し、これが縄文海進の最大海面期に相当する。白根地域や加治川地域では、両地域における自然含水比のピークが最も汽水域が拡大した時期に相当しており、自然含水比のピークが最大海面期にほぼ相当することは太平洋側の平野と共通している。したがって、新潟県下の沖積平野においても、簡単に実施できる自然含水比の連続測定によって、最大海面期という時間軸を追跡できる可能性があるといえよう。ただ、太平洋側の平野と異なり、自然含水比のピークは、海成層中ではなく汽水成層中に認められる。これは、太平洋側の平野では、縄文海進の進行に伴い内湾の拡大と縮小（内湾システム）という比較的単純な水理条件変化が生じたのに対し、日本海側の越後平野では、海水準の上昇とともに砂堆・砂州と潟湖（バリエー-潟湖システム）が形成されたため水理条件はやや複雑で、閉鎖的な安定した潟湖が形成された後に、より細粒な堆積物が堆積したためであろう。なお、国中平野では自然含水比のピークは砂州が成長して内陸部が潟湖になった時期に一致している。国中平野では言及できる資料に乏しいが、自然含水比のピークが最大海面期にほぼ相当すると仮定すると、内陸側が潟湖となった時期が白根地域や加治川地域に比較して遅れた、言い換えると、八幡砂丘の前身となる砂州の完成が越後平野の砂州完成時期より遅れた可能性がある。また、松江平野や河北潟の結果は、このような観点から再検討されることが望ましい。

一方、加治川地域では多量の浮遊性珪藻の存在によって、より細かい自然含水比の変化（増加）が、海水の浸入による水域の拡大という堆積環境の変化によって生じたことが明らかとなった。したがって、自然含水比の急増、急減は堆積環境の変化を表現している可能性が高い。ただ、白根地域の標高-38m付近で粘土分含有率や自然含水比が急増するものの、珪藻や有孔虫群集の大きな変化はない。この原因の一つは、環境変化に敏感に応答する浮遊性珪藻の殻数が加治川地域に比較して極めて少なく、環境解析の分解能が低いことが考えられる。

最近、柏崎平野（中村ほか、2002）、岩船潟、鎧潟においても海成～汽水成粘土が発見されている。これらの地域での資料を増やし、自然含水比のピークが最大海面期を含めた地史的变化の指標として利用できるかどうかさらに検討していきたい。

引用文献

- 亀井健史・徳岡隆夫・三瓶良和・石原廣和（1997）松江平野の完新世堆積物の堆積環境と地盤工学的性質。応用地質，38，280-295。
- 鴨井幸彦・安井 賢・小林巖雄（2001）越後平野中央部における沖積層層序の再検討。地球科学，56，123-138。
- 粕野義夫・小島和夫・中川耕二・宮田隆志（1990）石川県河北潟の形成史と変貌-地史的変遷と地盤特性，ならびに干拓後の残存水域の環境。地質学論集，36，35-45。
- 松永敬子・太田陽子（2001）沖積層の層相と珪藻分析からみた佐渡島国中平野の完新世後期の地形発達史。第四紀研究，40，355-371。

- 中村清朗・木村卓司・石郷岡浩司・安井 賢・鴨井幸彦・小林巖雄 (2002) 新潟県柏崎平野の沖積海成層の地質と土質特性. 地盤工学会発表集, 印刷中.
- 中世古幸次郎編 (1984) 関西国際空港地盤地質調査. 災害科学研究報告.
- 中世古幸次郎ほか (1987) 大阪湾海底地盤の地質特性と土質工学的性質について. 土質工学会関西支部, 海底地盤に関するシンポジウム, 21-48.
- 新潟県地質図改定委員会 (2000) 新潟県地質図 (2000年版) および同説明書.
- 清水恵助 (1972) “沖積層”の土質工学的性質-とくに東京湾地区を例として-. 地質学論集, 7, 251-266.
- 諏訪靖二・岩崎好規・山本浩司・松山紀香 (1991) 沖積地盤の特性について. 日本地質学会関西支部編「地球環境と応用地質」, 167-184.
- 堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関する研究委員会 (1995) 「堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関するシンポジウム」発表論文集, 198p., 土質工学会.
- 安井 賢 (2001) 新潟県下における沖積粘性土層の地質学および土質工学的研究. 新潟大学学位論文, 129p.
- 安井 賢・鴨井幸彦・大谷政敬・関谷一義・今野和則・小林巖雄 (1998) 越後平野“沖積層”の層序・堆積環境と粘性土層の工学的性質. 地盤工学会「理学・工学情報が臨海平野の地盤解釈に果たす役割に関するシンポジウム」発表論文集, 93-98.
- 安井 賢・小林巖雄・鴨井幸彦・渡辺其久男・石井久夫 (2001) 越後平野中央部, 白根地域における完新世の環境変遷. 第四紀研究, 40, 121-136.
- 安井 賢・鴨井幸彦・小林巖雄・卜部厚志・渡辺秀男・見方 功 (2002) 越後平野北部の沖積低地における汽水湖沼の成立過程とその変遷. 第四紀研究, 印刷中.
- Yasui, S. and Kobayashi, I. (2001) Pleistocene-Holocene diatom floras of the Shitsu-gata Lagoon in the Echigo Plain, central Japan. *Sci. Rep. Niigata Univ., Ser. E(Geol.)*, 16, 47-81.