

液状化しやすい地質特性の解明

—利根川下流域を対象とした産総研でのとりくみの紹介—

水野清秀¹⁾

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震によって、関東平野東部の利根川下流域では、広く液状化の被害が発生しました。この地域では、特にかつての旧河道や湖沼の一部を埋め立てたところに多くの被害がみられます(国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会, 2011; 小荒井ほか, 2011; 千葉県環境研究センター, 2011; 長谷川ほか, 2012など)。

液状化が生じやすい条件として、①ゆる詰め(ゆるみ)の砂層があること、②地下水位が浅いこと、③強い揺れ(地震動)があること、などが指摘されています(たとえば、國生, 2009; 風岡, 2012)。産業技術総合研究所(以下、産総研)では、平成23年度第三次補正予算を用いて、利根川下流域において、液状化が生じた地点、あるいは液状化が生じなかった地点を構成している地層の特性がどのようなものであるのかを明らかにするために、さまざまな地質調査を行いました。この調査は、また、地層の液状化-流動化被害調査に対して長年の実績を持つ千葉県環境研究センターの方々との共同研究として実施しました。これまでの調査結果の概略は、水野ほか(2013)にまとめられています。本稿では、この報告書に記載したことを中心として、調査結果の概要を述べます。

なお、本稿の内容は、産総研内の分担した研究者と千葉県環境研究センターの風岡 修博士をはじめとする多くの方々、さらに福岡大学の石原与四郎博士らとの共同の成果です。また、調査の実施にあたって、地元自治体の茨城県潮来市、稲敷市、千葉県香取市、^{こうざき}神崎町からは全面的なご協力をいただくと共に、地震被害資料や既存ボーリング資料のご提供をいただきました。本稿作成にあたり、産総研の石原武志博士には、図の作成をお願いしました。これらの方々に深く感謝申し上げます。

2. 調査の内容

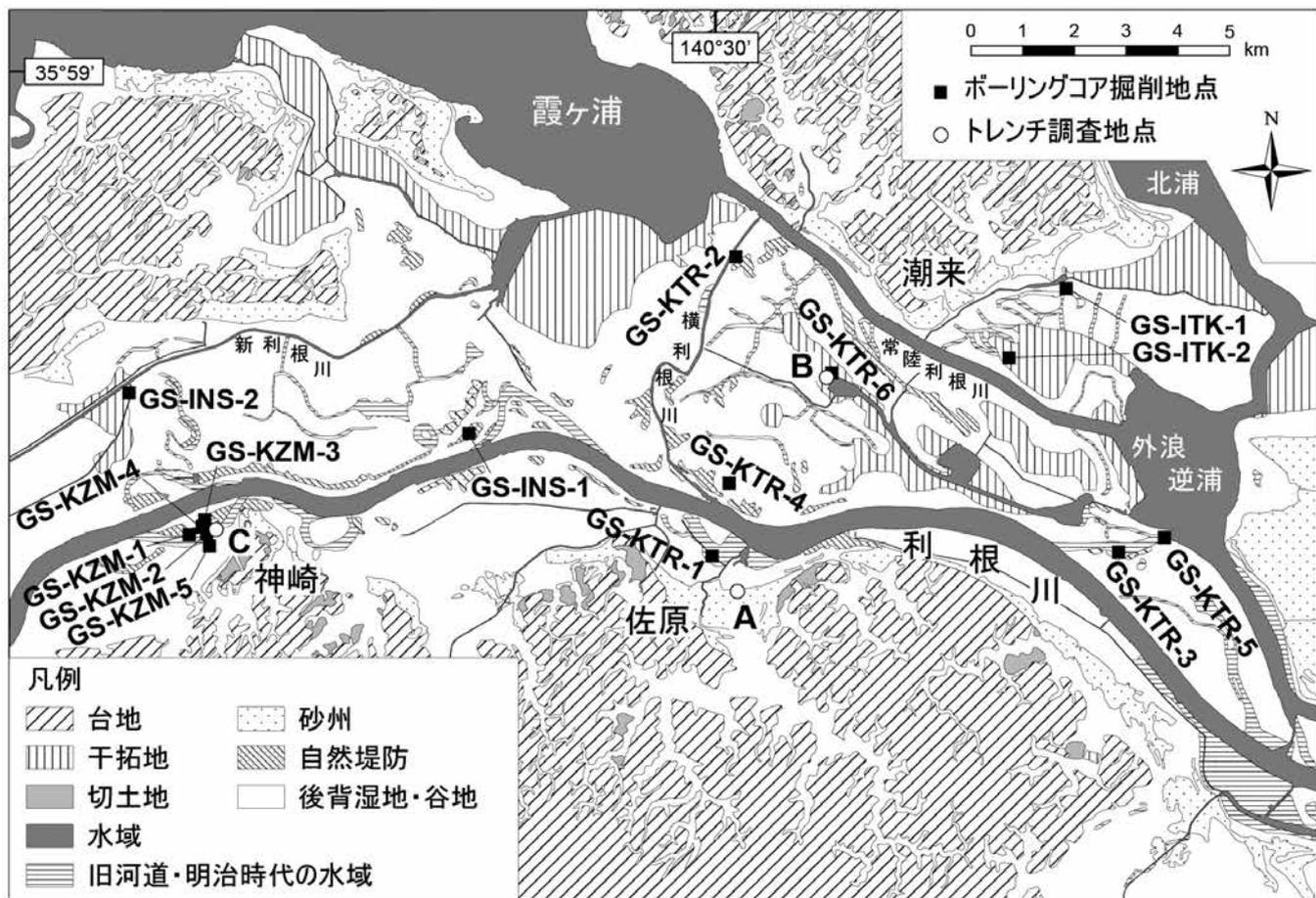
調査範囲は、神崎町、稲敷市から潮来市、香取市にかけての利根川下流域、常陸利根川流域の低地です(第1図)。この範囲内の15地点で、沖積層を対象にした深度10~60mのオールコアボーリング調査を実施し、あわせて標準貫入試験、速度検層・電気検層なども行いました。採取したコアに対しては、層相記載、粒度分析、コアの軟X線・CT撮影、剥ぎ取り標本の作成、年代測定、花粉・珪藻・火山灰分析などを行い、液状化-流動化跡の検出やその形成年代、堆積物の年代や特性などについて調べました。また、2011年東北地方太平洋沖地震に伴い、地表に噴砂が生じた2地点と噴砂が認められなかった1地点に対して、トレンチ掘削調査を実施し、噴砂の供給源、堆積・流動構造などを観察しました。一方、収集した既存ボーリング資料約3,000点の解析を行い、液状化しやすい地域の地質特性を三次元的に検討しました。また、地下水位・水質についても調査を行いました。

3. ボーリング調査結果

ボーリングコアの解析からは、2011年東北地方太平洋沖地震時に噴砂がみられた地点のいくつかでは、比較的浅い深度の砂層中に、噴砂脈とみられるものや液状化-流動化によるとみられるラミナなどの初生的な堆積構造の消失などが観察されました。それらの地層は、*N*値が概ね20以下で、年代測定などの結果でおよそ1,000年前以降の歴史時代に堆積した砂層(深度は概ね10m以内)と、人工的に埋め立てた砂層です。自然の堆積層中にみられる液状化跡の形成年代については、まだ正確に求められていません。その理由は、噴砂脈が地表まで達するとは限らず、途中で止まったり消失することがあること、また液状化が当時の地表下のどの深さにまで及ぶのかということが十分にわかっていないためです。今年度の補足調査では、調査範囲をより上流側に移して、液状化した砂層の堆積年代の下限、液状化層がみられる深度の下限について検討している

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：液状化層、利根川下流域、ボーリング調査、トレンチ調査、2011年東北地方太平洋沖地震



第1図 調査地域の地形分類とボーリング・トレンチ調査地点 (水野ほか, 2013を一部修正)。

ところですが、なお、このように液状化跡を検出できるのは、コアを乱さずに採取できたからであり、不擾乱のコア採取を行わない標準貫入試験を主体とする従来の調査法では、このような見方はできません。

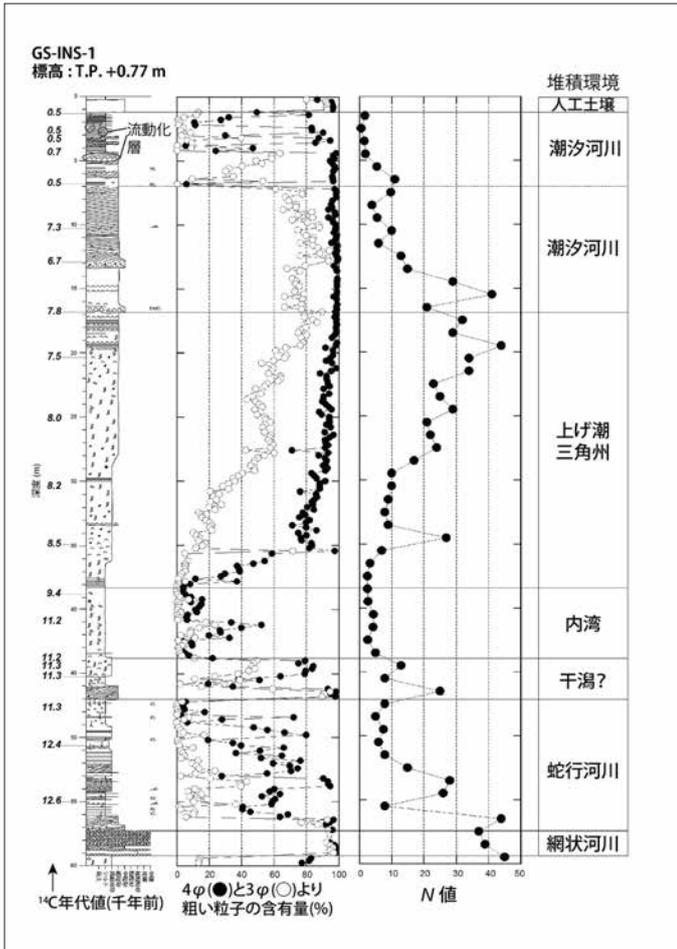
既存のボーリング資料の解析結果によると、現在の利根川に沿った地域と霞ヶ浦の南に位置する横利根川沿いの地域に、深度10 m程度までの範囲で比較的広く砂層主体の地層が分布しています。この範囲には2011年の地震で液状化被害が多く発生していますが、埋め立て層だけではなく、自然地盤の液状化も生じた可能性が高いと考えられます。たとえば、2011年の地震による噴砂がみられた稲敷市内のボーリングコア(第2図)では、地表下1.2 mほどが埋め立てた砂層ですが、その下位の自然堆積した砂層中に、砂脈や流動化した構造がみられます。

上述のボーリングコアでは、さらに深いところにも沖積層の砂主体層はみられますが、液状化跡とみられるものはほとんど観察されていません。その堆積年代は概ね4,000年前以前の値を示しています。また、これらの地層には一般に生痕や貝化石を含むことが多く、N値は20以上を示

すことが多いのですが、泥混じりのところでは20未満の値を示すこともあります(第2図)。明治時代の地形図で湖沼として表現されているところを埋め立てたボーリングの資料では、埋め立てた人工地層より下位には、一般にN値が5未満で、4,000年前より新しい時代の泥層が堆積していますが、それらには液状化跡はみられません。

4. トレンチ調査結果

トレンチ調査のうち2ヶ所(第1図のB, C)は、かつての河道あるいは湖沼だったところを昭和30年代および40年代に浚渫土砂で埋め立てた地点で、2011年東北地方太平洋沖地震時に噴砂が生じています。地下水位が高いために、掘削地点の周囲を矢板で囲い、その中をウェルポイント工法によって地下水位を下げた後、掘削を行いました(第3図)。また、主な壁面には樹脂を塗って表面の剥ぎ取り標本を作製し、後ほど液状化による流動構造などを詳しく観察できるように保存をしました(第4図)。この剥ぎ取り標本の一つは現在産総研の地質標本館に展示



第2図 ボーリングコアの柱状図と分析値の一例（水野ほか，2013を一部修正）。

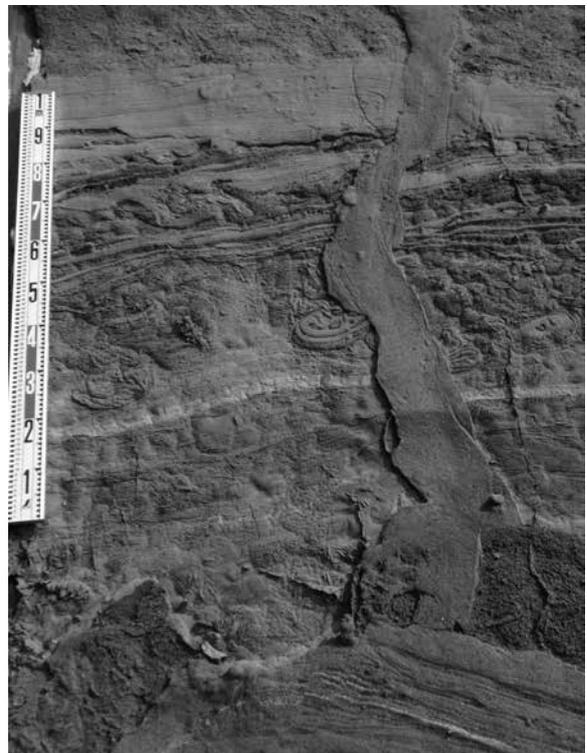
されていて、観察することができます。

浚渫砂層には、部分的に液状化しているところとしていないところがみられ、液状化が進んだ部分は堆積構造が不明瞭になっていました（第5図）。また噴砂脈にはその砂層中から発生しているのがみられ、周囲の泥質層の一部を巻き込んでいたり、地表まで達しているものには、その後表層を構成している碎石が砂脈内に落ち込んでいたりするものが観察されました（第6図）。また、液状化した砂層が上位の泥質層を突き破れずに、泥質層の下底面で側方にシート状に広がっているものもみられました（第7図）。このような液状化-流動化の構造については、現在さらに詳しく記載をしているところです。

もうひとつのトレンチ調査は、沖積低地からわずかな高まりをなす砂州上（第1図のA）で行いました。砂州上には香取や潮来などの昔からの集落が発達していて、またこの面上にいくつかの古墳が分布しています。2011年の地震時には、液状化被害はほとんど報告されていません。トレンチの深さは1.2 mほどで、下底付近に地下水水面があります。砂州を構成する地層は細礫混じりの淘汰の良い砂層



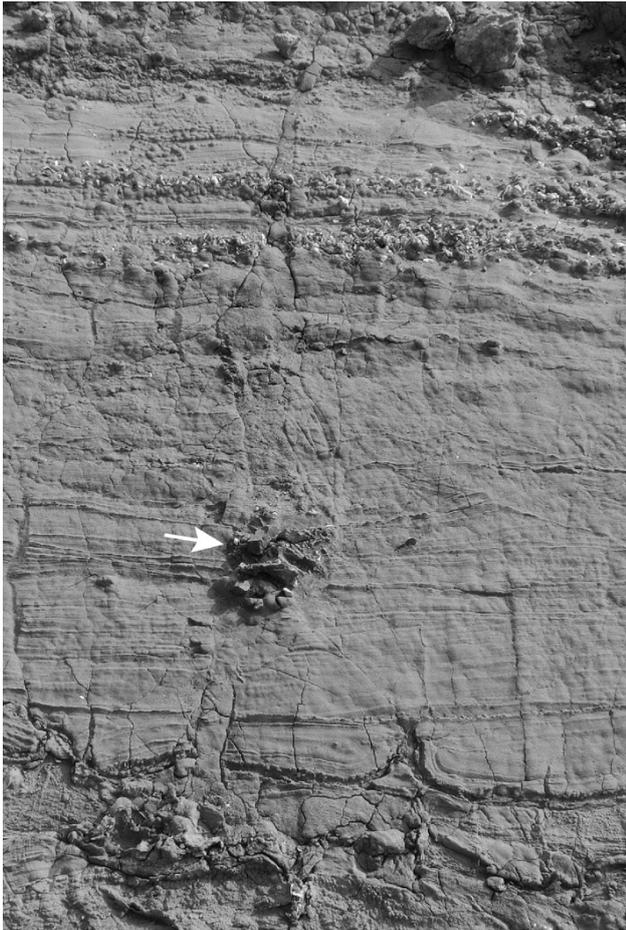
第3図 周囲を矢板で囲ったトレンチの全景（第1図のB地点）。



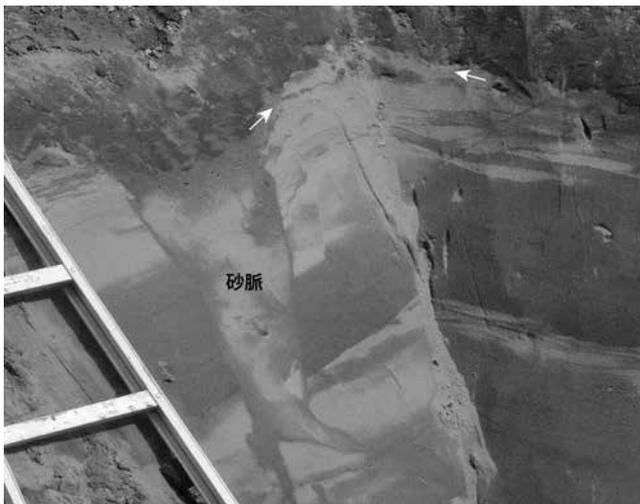
第4図 砂脈を含む地層の剥ぎ取り標本の例。



第5図 浚渫砂層の一部が液状化して堆積構造が消失している部分（矢印の2ヶ所）を示す剥ぎ取り標本。



第6図 砂脈中に地表から落ち込んだ砕石礫（矢印）がみられる剥ぎ取り標本。砕石の大きさは約5 cm.



第7図 泥質層の下底面でシート状に広がっている砂脈（矢印の位置）。

で、トレンチ内では液状化跡はみられず、地下水面付近では固結度は低いのですが、上部では鉄分が沈着して固くなっていました。さらに上位には、厚さ50 cmほどの土壌層が覆っていました。地下水位がやや深いことと、上部の固くしまった地層の存在が地表付近に液状化被害が生じなかった理由の一つと思われますが、さらに検討を進めています。

文 献

千葉県環境研究センター（2011）平成23（2011）年東北地方太平洋沖地震における千葉県内の液状化—流動化被害（第2報）．千葉県環境研究センター 調査研究報告，G-8，2-1-2-57.

長谷川信介・前田宜浩・河合伸一・内藤昌平・岩城麻子・はお憲生・森川信之・東 宏樹・先名重樹（2012）2011年東北地方太平洋沖地震による利根川流域の液状化被害．防災科学技術研究所主要災害調査，no. 48，121-134.

風岡 修（2012）地震時の液状化—流動化現象および地波現象とその実態．地質調査総合センター研究資料集，no. 552，12-29.

小荒井 衛・中埜貴元・乙井康成・宇根 寛・川本利一・醍醐恵二（2011）東日本大震災における液状化被害と時系列地理空間情報の利活用．国土地理院時報，no. 122，127-141.

国土交通省関東地方整備局・公益法人地盤工学会（2011）東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書．65p.

國生剛治（2009）液状化現象—巨大地震を読み解くキーワード—．鹿島出版会，東京，308p.

水野清秀・風岡 修・田辺 晋・宮地良典・石原与四郎・安原正也・小松原純子・中島善人・小松原 琢・石原武志・稲村明彦・吉田 剛・香川 淳・森崎正昭・野崎真司・菅野美穂子・古野邦雄・酒井 豊・木村満男・古賀千裕（2013）地形および地質学的手法による液状化調査．地質分野研究企画室（編），巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究中間報告，地質調査総合センター速報，no. 63，179-205.

MIZUNO Kiyohide (2013) Geological properties of the liquefied layers in the downstream of the Tone River investigated by GSJ, AIST.

（受付：2013年10月10日）