

強震時の液状化－流動化現象と地質構造に関する研究 －神崎町向野での調査結果－

風岡 修 水野清秀¹⁾ 吉田 剛 田辺 晋¹⁾ 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

1) : 産業技術総合研究所

1 はじめに

神崎町向野では、1987年千葉県東方沖地震時には利根川の旧河道内を埋立てた部分において噴砂がみられた¹⁾。2011年東北地方太平洋沖地震時には、旧河道内だけでなく、この北に隣接した部分でも広く沈下を伴い噴砂が発生した²⁾³⁾。この状況を調べるため、産業技術総合研究所との共同研究によって、オールコアボーリングを主とした地質調査を行い、まずどの部分が液状化－流動化し噴砂や地表面の変形が起こったのかを検討することとした。地層コアの詳細な断面観察より明らかになってきた最終氷期以降の層序と液状化－流動化が発生した層準を以下に示す。

2 調査方法

1987年千葉県東方沖地震（以下「千葉沖地震」と略す。）時に千葉県地質環境研究室が行った石納トレンチ調査⁴⁾で明らかとなったように、地層の断面観察により、初生的堆積構造の乱れによってはじめてどこが液状化－流動化したのかが判断できる⁵⁾⁶⁾。このため、地層を乱さず連続的にそっくり採取することができるオールコアボーリングを選定し、地層採取時に乱さないよう工夫をして地層試料を採取し、コアの地層断面を観察した。また、同地点において各種地層の物性値を得るため、標準貫入試験とP-S検層、一部で動的コーン貫入試験も行った。

3 調査結果

ここでは、産業技術総合研究所との共同研究結果の一部⁷⁾を抜粋し、紹介する。なお、年代値については暦年校正を行った値で、1950年を基準としている。

神崎町向野では、千葉沖地震時には利根川の旧河道内（図1）の埋立て部分を中心に広く噴砂がみられたものの、沈下などの地表面の変形は少なかった¹⁾。東北沖地震時には、旧河道部分だけでなく、この北のか

つての荒れ地部分かつ旧堤外地部分（図1、2）においても、多量の噴砂があり30cmを超える沈下などの地表面の大きな変形が発生した²⁾³⁾。このことから、このサイトでは旧河道と現在の河道の間の噴砂がなかった部分（KZM-3）と噴砂がみられた部分（KZM-4、KZM-1）、旧河道内（KZM-2）、旧河道よりも南（KZM-5）の5地点でオールコアボーリングを行った（図4）。以下にコアの観察より明らかになってきた最終氷期以降の層序と液状化－流動化が発生した層準を示す。

(1) 調査地の層序

最終氷期以降の地層の厚さは60mを超え、自然地層である佐原層と人工地層から構成される（図5）。佐原層は、標高2～-59mに分布し、砂礫層を主とする下部層、生物擾乱の著しい泥層を中心とする中部層、砂層と粘土質シルト層を主とする上部層から構成される。ただし、基底は-59m以深である⁸⁾。

下部層は標高-55m以深にみられ、斜交ラミナが発達する中粒砂層ないし砂礫層より構成され、挟まれる泥層は淡水成であることから、河川成の地層と考えられる。年代値は13,830年前を示している。また、 $N > 35$ 、 P_v (P波速度)=1.65km/sec、 S_v (S波速度)=0.30km/secとややしまっている。

中部層は標高-8.5～-55mにみられ、汽水～淡水成の粘土質シルトを主とし、 $N=1\sim3$ 、 $P_v=1.2\sim1.4$ km/sec、 $S_v=0.15\sim0.17$ と軟らかい。このうち基底部の標高-41.5m以深は粗粒シルト～細粒砂層を頻繁に挟み、泥層は $N=5$ 程度、砂層は $N=10\sim20$ とやや硬く、 P_v 約1.2km/sec、 $S_v=0.20$ km/secとややしまっている。上半の標高-10.9～-35mはプレーザーラミナないしウェーバーラミナが発達する粗粒シルト層と粘土質シルト層の互層となり、上位に向かい粗粒シルト勝ちとなり $N=3\sim5$ と硬くなる。頂部の標高-8.5～-10.9mは生痕混じり極細粒砂層で、 $N=5\sim13$ とややゆるく、年代値は6,690～11,020年前であり堆積速度は非常に速い。

上部層は標高+2～-8.5mにみられ、層相の側方変化が著しい。斜交ラミナが発達し粗粒砂層を挟む細粒砂～中粒砂層（S相）、泥炭質な泥層と植物片を含む細粒砂層との互層（Al相）、ヤマトシジミをしばしば含む泥炭質な泥層（M相）から構成される。この中には古土壌が挟まれる。泥層は植物片を含み淡水成の特徴をなすこと、この泥層とAl相および流速の早い堆積物であるS相が側方関係にあることより、河川-氾濫原の堆積環境であったと推定され、M相は湖沼、Al相は氾濫原、S相は河道堆積物と考えられる。KZM-1では、古土壌の上にさらに厚さ2m程度の河川成の砂層が覆い、この上を厚さ1mの土壌化した泥層が覆う。なお、KZM-2は古土壌の上には人工地層が直接重なっている。弾性波速度は、 $Pv=1.5\text{km/sec}$ 、 $Sv=0.11\text{km/sec}$ と緩いことを示している。年代は260～1,730年前を示すが、本層のS相の中・下部では260と360年前の値がみられ、ほとんどは江戸時代以降の地層と考えられる。

人工地層は、KZM-2では地表から深度5.3mにあり、深度1.1m以深はサンドポンプによる埋立層である。中粒砂層を主とし斜交ラミナが発達する。1.1～1.2mは腐植物を多く含む土壌化している。深度0.55～1.1mは水田の耕作土壌層である有機質シルト層である。地表から0.55mは細粒砂層を主とした盛土層である。

(2) 液状化-流動化層準

オールコアボーリングの地層断面観察より、ラミナの変形・消失の程度をもとに液状化-流動化部分を検討した結果、対象となる層準は、人工地層の砂層と佐原層上部の砂層である。図5より、特に佐原層上部についてみると、液状化-流動化による噴砂等がみられた部分であるKZM-4～KZM-2には、S相が厚く発達している。また、この部分では初生的な堆積構造であるラミナが消失している部分が多数の層準にみられる。一方、噴砂がみられなかったKZM-3・KZM-5ではS相はみられず、M相・Al相がみられた。このことは、液状化-流動化現象は旧河道（last channel）内の埋立層のみに限らず、河道堆積物全体が液状化-流動化に関与しているといえる。この河道堆積物の分布範囲を仮にここでは、古河道（paleo-channel）内と呼ぶことにする。図2・5より、古河道の範囲は旧河道部分と、

旧河道の北側の堤外地に一致する。

液状化-流動化履歴がみられた佐原層上部のS相内の年代値は、この中・下部層準の植物片より260年前と360年前の値がえられた。260年前は1703年元禄地震の直前に当たり、この地震により河道堆積物が液状化-流動化した可能性が高い。なお、東北沖で噴出した砂は細粒砂～極細粒砂であり、KZM-4・KZM-1・KZM-2の佐原層上部の液状化-流動化が著しい層準が中粒砂を主体とし、人工地層は細粒砂を主体とすることから、東北沖地震時での液状化-流動化部分は人工地層の細粒砂が主体であったと推定される。一方、KZM-1においては、コア断面中に噴砂の砂脈は深度3mの砂層につながっており、ここから供給されたものである。KZM-4では、深度1m～8mに部分的に液状化-流動化部分があり、深度8.3mの植物片の年代が360年前を示しており、元禄地震時にも液状化-流動化が発生している可能性が高い。液状化-流動化の時相を検討するには、トレンチ調査のような大断面調査が必要であり、今後大深度トレンチや地層抜き取り調査なども検討する必要がある。

古河道の外側の氾濫原であるKZM-3では、Al相中にはフレーザー状ラミナがみられ厚さ2mのN=3の極緩い泥質分の少ない細粒～極細粒砂層が分布するが、初生的な堆積構造の乱れはみられない。貫入試験値と砂の粒度分布からの液状化判定では液状化しやすいと判定されるてしまうものである。このように、液状化-流動化の判定は、乱れの無いオールコアを採取しその地層断面の観察が必要不可欠である。

4 まとめと今後の方向

東北沖地震時に液状化-流動化の著しい現象がみられた利根川下流低地の埋立地を中心に、オールコアボーリングを行い、乱れの無いコアの断面観察より、液状化-流動化した地層とその層準および年代等を調べた。その結果、人工地層が主体に液状化-流動化が発生し噴砂を生じたものの、そこだけに限定されず、佐原層上部の河道堆積物の一部も液状化-流動化し噴砂を生じたといえる。一方、河道堆積物は元禄地震など過去にも液状化-流動化している可能性があり、液状化-流動化を起こしやすい条件を備えているところと

捉えられる。これらから、過去の液状化－流動化の履歴が将来の地震時の液状化－流動化予測となるといえる。また、過去に液状化－流動化の履歴がある地域においてその現象の時相を検討するには、トレンチ調査のような大断面調査が必要であり、今後大深度トレンチや地層抜き取り調査なども検討する必要がある。

引用文献：

- 1) Nirei et al, The 1987 East off Chiba Prefecture Earthquake and its Hazard, Mem. Geol. Soc. Japan, no.35, 31-46, (1991)。
- 2) 千葉県環境研究センター，千葉県環境研究センター調査研究報告，第G-8号，2-1～2-55，(2011)。
- 3) 古野邦雄ほか，第22回環境地質学シンポジウム論

文集，143-148，(2012)。

- 4) 風岡 修，液状化・流動化の地層断面. アーバンクボタ40号，5-13，(2003)。
- 5) Lowe, D.R, Sedimentology, vol.22, 157-201, (1975)。
- 6) 風岡 修ほか，液状化－流動化のメカニズムとその実態，日本地質学会第101年総会・討論会講演要旨, 125-126, (1994)。
- 7) 風岡修 ほか，利根川下流低地での液状化－流動化層準－2011年東北地方太平洋沖地震と過去の履歴－。第23回環境地質学シンポジウム論文集，23-28, (2013)。
- 8) 水野清秀ほか，地質調査総合センター速報, No.63, 179-205, (2013)。

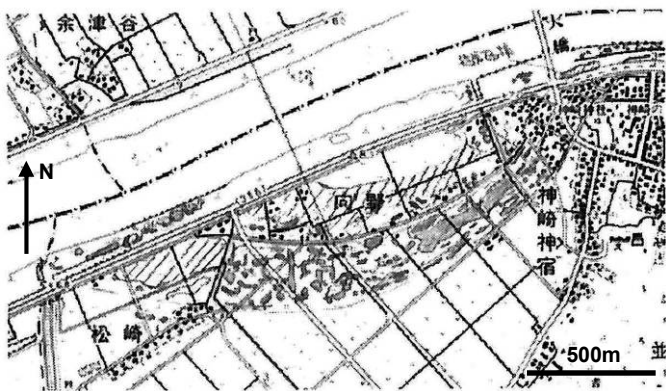


図1 神崎町向野付近の液状化－流動化現象の分布. 灰色は、旧河道内の噴砂の分布で、2011年と1987年の地震時に発生した. 斜線部分は、2011年の地震時にみられた範囲.

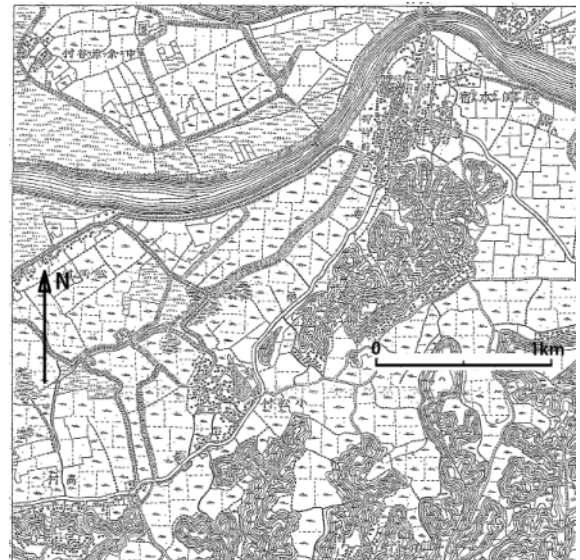


図2 1885年帝国陸軍陸地測量部発行の2万分の1迅速測図「神崎本宿」のうちの神崎町向野付近. 調査地は、利根川の旧河道及び周囲の氾濫原である. 液状化-流動化は、利根川の旧河道部分と堤外湿地部分である.

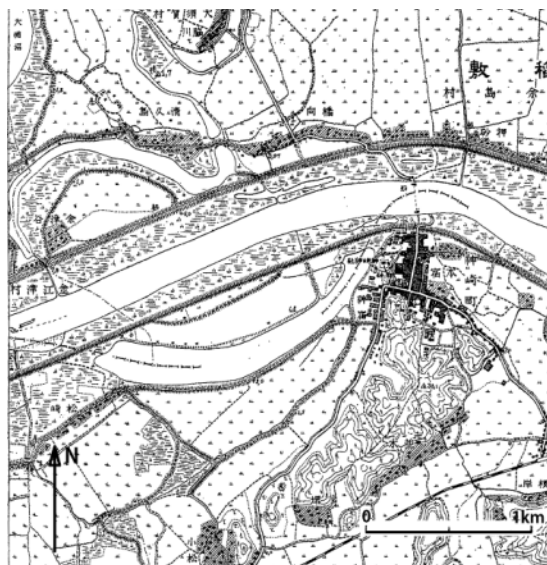


図3 帝国陸軍陸地測量部発行2万5千分の1地形図「佐原西部」のうちの神崎町向野付近. 利根川の河道は付け替えられ、旧河道部分は三日月湖となっている.

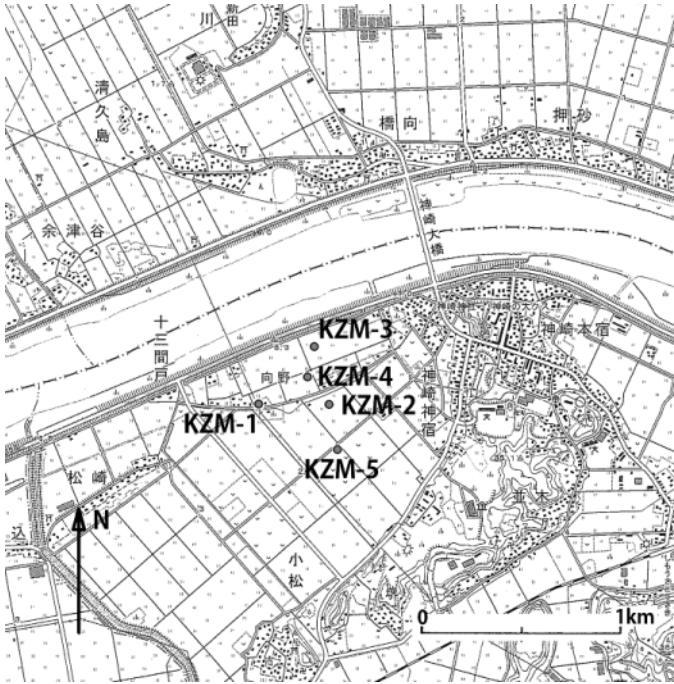


図4 国土地理院発行2万5千分の1地形図「佐原西部」のうちの神崎町向野付近. KZM-1~KZM-5は今回の調査で行ったオールコアボーリングの位置.

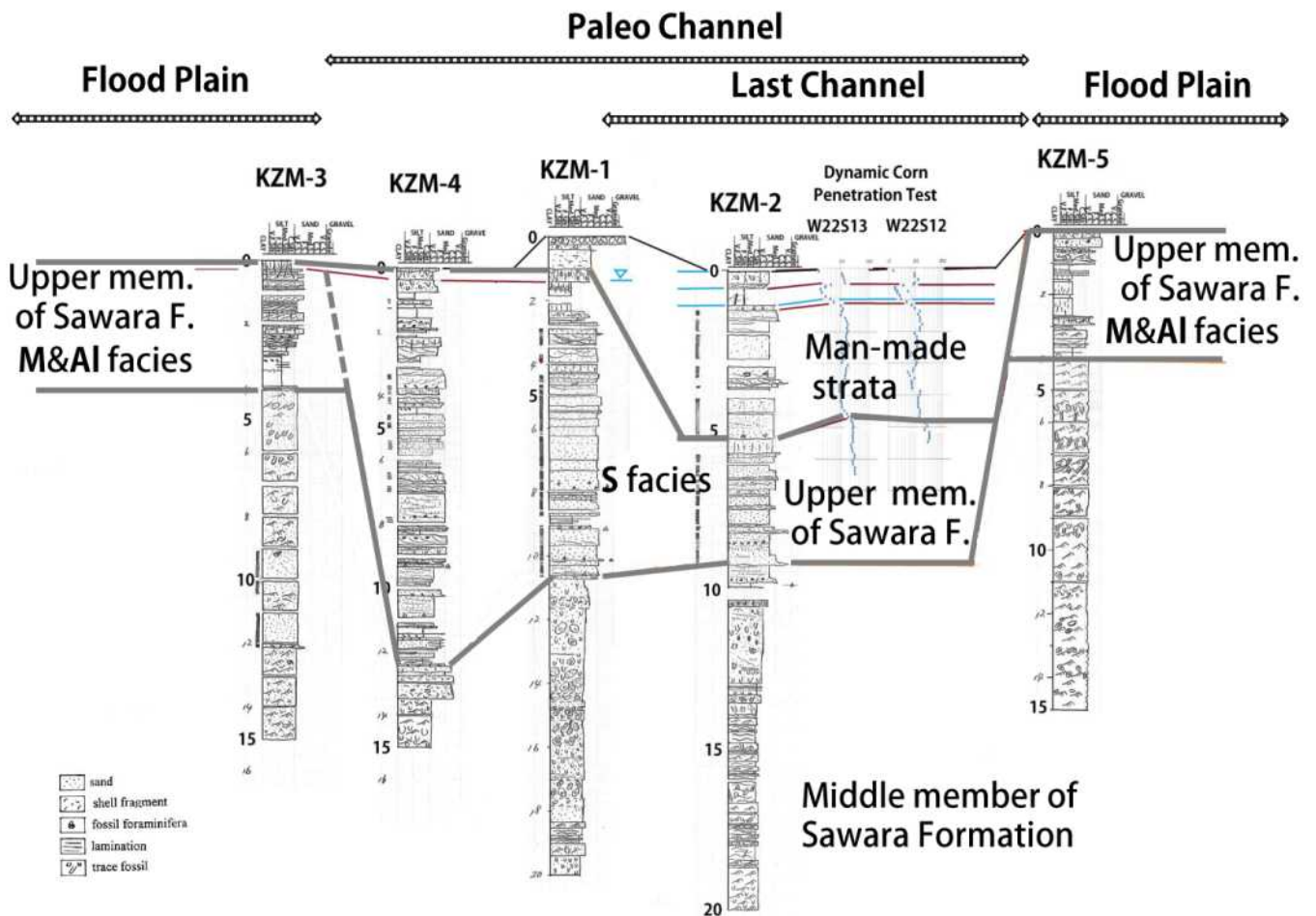


図5 オールコアボーリングを基に作成した調査地の地質断面図と、各調査地点における液状化-流動化部分. 液状化-流動化部分は調査地点の柱状図の左横の黒い太線の部分 (風岡ほか, 2013).