

2011年東北地方太平洋沖地震時に液状化－流動化現象がみられた地域における オールコアボーリングによる地層の比較

風岡 修

1 はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下「太平洋沖地震」という。）とその余震の際、東京湾岸北部、利根川沿いの下流低地、九十九里平野北部の埋立部分において、気象庁震度階5強を超える揺れのあった場所を中心に、百～数百mの規模で、斑状に液状化－流動化に伴う地盤の沈下が発生した¹⁾。これらの埋立地はいずれもサンドポンプ工法によって埋め立てられた場所である。環境研究センターでは、特に沈下が大きかった場所を中心に、そのメカニズム解明のためにオールコアボーリングを実施している。ここでは、図1に示した12箇所の調査地点での、液状化－流動化がみられた人工地層の特徴について比較検討を行った結果を示す。特に、砂層については風化雲母や軽石が多く含まれると液状化しやすくなる²⁾³⁾ことから、構成粒子の組成をカラーインデックス⁴⁾との比較で定性的に求めた結果も示す。

以下の地層の記述において、地層内の含有物の量について以下のように表現している。「含む」は全体の5%未満、「混じり」は全体の5～20%、「質」は全体の20～50%である。

2 東京湾岸埋立地北部での調査結果の概要

2・1 浦安市千鳥

この場所では、0.6m程度の沈下がみられた⁵⁾。人工地層の厚さは10.44mである。このうち深度3.1m

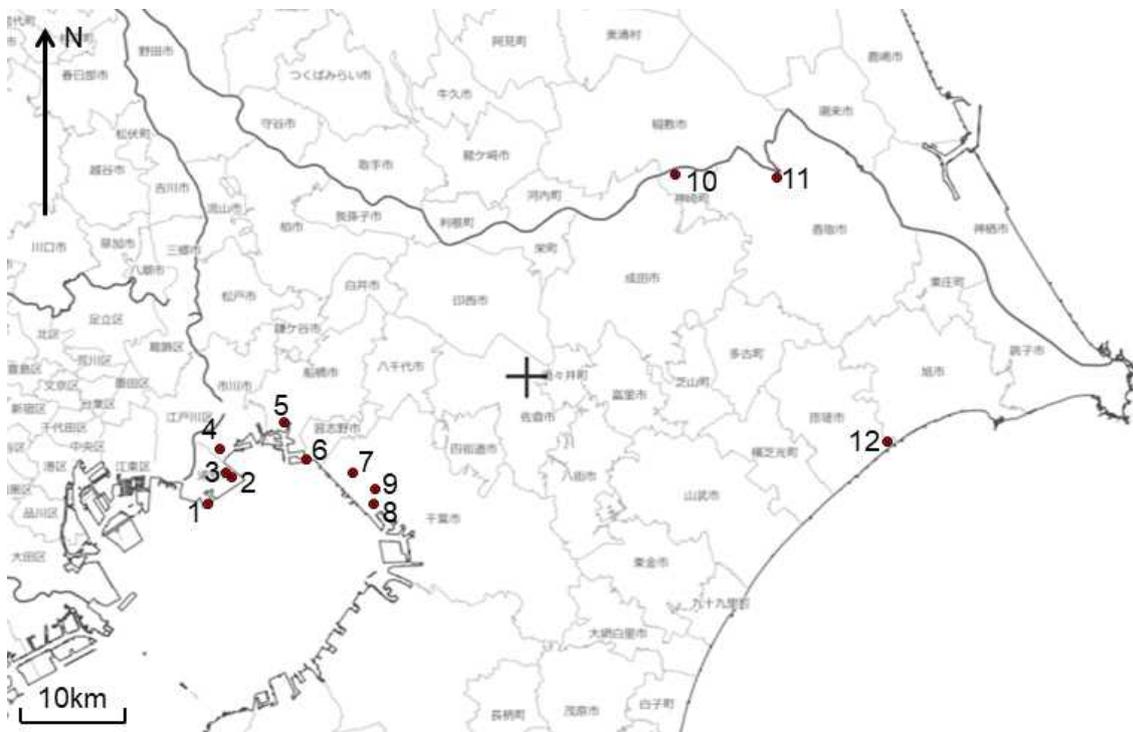


図1 調査地の位置図. 1から12は調査箇所. 1:浦安市千鳥, 2:浦安市日の出, 3:浦安市入船, 4:市川市行徳, 5:船橋市日の出, 6:習志野市茜浜, 7:千葉市美浜区浜田川緑地, 8:千葉市美浜区高浜, 9:千葉市美浜区稲毛海岸, 10:神崎町向野, 11:香取市佐原口, 12:匝瑳市吉崎浜

を境に、上位は礫質な泥混じりの砂層を主体とした盛土アソシエーション、下位は非常にゆるい～ゆるい砂層や泥礫を含む貝殻密集層および非常にやわらかな泥層から構成される埋立アソシエーションである。10.44m 以深は沖積層である⁶⁾。液状化～流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。埋立アソシエーションは深度 8m を境に、砂層を主体とした上部バンドルと、砂層を挟むシルト層を主体とする下部バンドルから構成される。前報⁶⁾ではこの上部バンドルを上部埋立アソシエーション、下部バンドルを下部埋立アソシエーションとしていた。

上部バンドルは、極細粒砂～細粒砂層、貝殻片密集層、シルト礫と貝殻片の密集層およびシルト層から構成され、液状化ないし流動化が確認されたのは砂層の一部である。砂層の中で液状化がみられなかったものは厚さ 5cm 以下のものである。全体の厚さ 5.14m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 2.60m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 2.50m である。

下部バンドルは、泥層と極細粒砂～細粒砂層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは挟まれているすべての砂層である。全体の厚さ 2.20m のうち、液状化ないし流動化がみられた砂層の厚さを足し合わせると 0.64m であり、流動化が確認された砂層はみられなかった。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 2.50m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、上部バンドルが風化雲母は 1.5～3%、軽石は 0%、貝殻片は 1～7.5% であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>石英≧雲母・角閃石・単斜輝石である。下部バンドルが風化雲母は 0.66～3%、軽石は 0%、貝殻片は 0% であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>石英・雲母・角閃石・単斜輝石である。円磨度は上部バンドル、下部バンドルとも Krumben の区分⁷⁾の 0.2～0.4 と角張っている。

2・2 浦安市日の出

この場所では、約 0.1～0.4m の沈下がみられた⁸⁾。ここでは沈下が大きかった地点のボーリング地点について述べる。人工地層の厚さは 4.57m である。人工地層の下位は沖積層である⁸⁾。人工地層は深度 1.13m を境に、上位は礫質な泥質砂層を主体とした盛土アソシエーション、下位は非常にゆるい～ゆるい砂層、貝殻密集層および非常にやわらかい泥層から構成され、砂層には貝殻片や泥礫を含むことがある埋立アソシエーションである。液状化～流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。埋立アソシエーションは下位より泥層主体の泥バンドル、砂層主体の上部砂バンドルから構成される。

上部砂バンドルは、厚さ 2.62m である。細粒砂～中粒砂層、泥礫や貝殻片を含む～混じる砂層、泥層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒砂～中粒砂層と泥礫・貝殻片を含む～混じる砂層である。沈下が大きかった部分では、全体の厚さ 2.62m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 1.69m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 1.30m である。

泥バンドルは、厚さが 0.82m であり、貝殻片を含む泥層から構成される。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 1.30m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は 1.5～2%、軽石は 0～5%、貝殻片は 2～10% であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>雲母・石英・角閃石≧単斜輝石でまれに直方輝石が含まれる。円磨度は Krumben の区分⁷⁾の 0.2～0.4 と角張っている。

2・3 浦安市入船

この場所では、0.14m の沈下がみられた⁹⁾。人工地層の厚さは 4.49m である。人工地層の下位は沖積層である¹⁰⁾。人工地層は深度 0.70m を境に、上位は砂混じりシルト層からなる盛土アソシエーション、下位

は非常にゆるい～ゆるい砂層とやわらかい泥層から構成される埋立アソシエーションである。液状化～流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ 3.79m で、貝殻片がまれに混じる細粒砂～中粒砂層とシルト層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒砂～中粒砂層である。全体の厚さ 3.79m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 1.93m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 1.65m である。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 1.65m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は 2～3%、軽石は 1～7%、貝殻片は 0～5% であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>雲母>石英・角閃石≧単斜輝石である。円磨度は Krumben の区分 7 の 0.2～0.4 と角張っている。

2・4 市川市行徳

この場所では、多量の噴砂がみられた¹¹⁾。人工地層の厚さは 5.37m である。人工地層の下位は沖積層である¹¹⁾。人工地層は深度 0.95m を境に、上位は泥質中粒砂層を主体とする盛土アソシエーション、下位は非常にゆるい～ゆるい砂層とやわらかい泥層から構成される埋立アソシエーションである。液状化～流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ 4.42m で、極細粒砂～中粒砂層とシルト層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは極細粒砂～中粒砂層である。全体の厚さ 4.42m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 1.05m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 0.32m である。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 0.32m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は 0.3～1%、軽石は 0.5～7.5%、貝殻片は 0～5% であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>雲母・石英・角閃石・単斜輝石>>直方輝石である。円磨度は Krumben の区分 7 の 0.2～0.4 と角張っている。

2・5 船橋市日の出

この場所では、多量の噴砂がみられ校舎に損傷がみられた¹¹⁾。人工地層の厚さは 3.48m である。人工地層の下位は沖積層である¹¹⁾。人工地層は深度 0.54m を境に、上位はシルト礫質泥質砂層を主体とする盛土アソシエーション、下位は非常にゆるい～ゆるい砂層とやわらかい泥層から構成される埋立アソシエーションである。液状化～流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ 2.84m で、細粒砂～粗粒砂層とシルト層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒砂～粗粒砂層である。全体の厚さ 2.84m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 1.84m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 1.70m である。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 1.70m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は 0～0.66%、軽石は 0%、貝殻片は 0～15% であり、全体の組成は概ね岩片≧長石>>石英>雲母>角閃石>単斜輝石である。円磨度は Krumben の区分 7 の 0.2～0.4 と角張っている。

2・6 習志野市茜浜

この場所では、0.8～1m の地表の変形がみられた¹²⁾。人工地層の厚さは 8.17m である。人工地層の下位

は沖積層である。人工地層は深度 0.92m を境に、上位は泥礫岩質の泥質砂層からなる盛土アソシエーション、下位は砂層や泥礫混じりの貝殻片密集層および泥層から構成される埋立アソシエーションである。液状化―流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ 7.25m で、非常にゆるい～ゆるい細粒砂～中粒砂層、泥礫混じりの貝殻片密集層およびやわらかい泥層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒砂～中粒砂層である。全体の厚さ 7.25m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 3.25m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 2.70m である。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 2.70m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は 0.33～3%、軽石は 0～20%、貝殻片は 0～7.5% であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>石英>雲母・角閃石≧単斜輝石である。円磨度は Krumben の区分 7) の 0.2～0.4 と角張っている。

2・7 千葉市美浜区浜田川緑地

この場所では、0.1m 程度の沈下がみられた¹³⁾。人工地層の厚さは 4.88m である。人工地層の下位は沖積層である。人工地層は深度 2.50m を境に、上位は礫質の泥質砂層からなる盛土アソシエーション、下位は砂層と泥層から構成される埋立アソシエーションである。液状化―流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ 2.33m で、貝殻片がまれに混じる非常にゆるい～ゆるい細粒砂～中粒砂層とやわらかいシルト層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒砂～中粒砂層である。全体の厚さ 2.33m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 1.29m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 0.75m である。下部の泥層中に挟まれる細粒砂層は貝殻片質な厚さ 3～10cm のものと、貝殻片混じり (10～15%) の厚さ 10cm のものがあり、液状化はみられない。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 0.75m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は 0.33%、軽石は 0%、貝殻片は 0～30% であり、全体の組成は概ね岩片・長石>>石英>雲母>角閃石>>単斜輝石である。円磨度は Krumben の区分 7) の 0.2～0.4 と角張っている。

2・8 千葉市美浜区高浜

この場所では、0.4m 程度の沈下がみられた¹⁴⁾。人工地層の厚さは 22.84m である。人工地層の下位は沖積層である¹⁵⁾。人工地層は深度 0.83m を境に、上位はシルト礫混じり泥質砂層からなる盛土アソシエーション、下位は非常にゆるい～ゆるい砂層、貝殻片密集層およびやわらかい泥層から構成される埋立アソシエーションである。液状化―流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ 22.01m で、貝殻片が混じることがある非常にゆるい～ゆるい細粒砂～中粒砂層とやわらかいシルト層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒砂～中粒砂層である。貝殻片密集層は液状化はみられない。また、貝殻片密集層が砂層中に数 cm おきに挟まれる部分では液状化がみられない。貝殻片の含有量が 20%未滿の貝殻片混じり砂層では液状化ないし流動化がみられる。全体の厚さ 22.01m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると 13.68m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると 9.03m である。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると 1.23m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は0.66～2%、軽石は0%、貝殻片は0～20%であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>石英>雲母>角閃石であるが、下半部では単斜輝石がわずかに含まれる。円磨度は Krumben の区分 7 の 0.2～0.4 と角張っている。

2・9 千葉市美浜区稲毛海岸

この場所は、0.2m 程度の沈下がみられた場所である¹⁴⁾。人工地層の厚さは4.20m である。人工地層の下位は沖積層である¹⁶⁾。人工地層は深度1.00m を境に、上位は泥礫混じりの泥質砂層からなる盛土アソシエーション、下位は砂層、貝殻片密集層および泥層から構成される埋立アソシエーションである。液状化一流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ3.20m で、ゆるい～ゆるい極細粒砂～中粒砂層、貝殻片密集層およびやわらかい泥層から構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒砂～中粒砂層である。全体の厚さ3.2m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると1.35m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると0.75m である。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると0.75m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は1～3%、軽石は0%、貝殻片は0～5%であり、全体の組成は概ね岩片>長石>>石英≧雲母>角閃石である。円磨度は Krumben の区分 7 の 0.2～0.4 と角張っている。

2・10 神崎町向野

この場所では、0.3m 程度の沈下がみられた¹⁾。人工地層の厚さは4.43m である。人工地層の下位は沖積層である。沖積層の中でも最上部の深度10.49m までの厚さ6.06m は、明治後期に利根川の河道を直線化したために、三日月湖となった部分に堆積した地層である¹⁷⁾。人工地層は深度0.40m を境に、上位は土壌化した細粒砂層からなる盛土アソシエーション、下位は砂層から構成される埋立アソシエーションである。また、三日月湖に堆積した地層は砂層、土壌化した泥質砂層および泥層から構成される。液状化一流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの砂層の一部と三日月湖に堆積した砂層の一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ4.03m で、腐植物や軽石をまれに含む非常にゆるい～ゆるい細粒～中粒砂層、細礫混じり粗粒砂層およびやわらかいシルト層構成され、液状化ないし流動化がみられたのは細粒～中粒砂層である。全体の厚さ4.03m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると2.88m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると2.50m である。

三日月湖に堆積した地層は、厚さ5.32m でゆるい～中位の硬さの細粒～中粒砂層、極粗粒砂層およびやわらかい泥層から構成される。液状化ないし流動化がみられたのは細粒～中粒砂層である。全体の厚さ5.32m のうち、液状化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると4.09m であり、流動化が確認された砂層を足し合わせると1.90m である。

埋立アソシエーションと三日月湖に堆積した地層中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると2.50m である。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は1～2%、軽石は0～5%、貝殻片は0%であり、全体の組成は概ね岩片>長石>石英>雲母>角閃石>単斜輝石である。円磨度は Krumben の区分 7 の 0.3～0.5 とやや円磨されている。

三日月湖に堆積した地層のうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は1～2%、軽石は0%、貝殻片は0%であり、全体の組成は概ね岩片>長石>石英>雲母・角閃石・単斜輝石>直方輝石である。円磨度は Krumben の区分 7 の 0.3～0.5 とやや円磨されている。

2・11 香取市佐原口

この場所は、0.5m程度の沈下がみられた十間川の脇である¹⁾。人工地層の厚さは4.38mである。人工地層の下位は沖積層である。沖積層の中でも最上部の深度9.70mまでの厚さ5.32mは、明治後期に利根川の河道を直線化したために、三日月湖となった部分に堆積した地層である¹⁷⁾。人工地層は深度1.10mを境に、上位は泥礫混じり泥質砂層からなる盛土アソシエーション、下位は砂層から構成される埋立アソシエーションである。また、三日月湖に堆積した地層は砂層、シルト礫質細粒砂層および泥層から構成される。液化―流動化がみられたのは、埋立アソシエーションの砂層の一部と三日月湖に堆積した砂層の一部である。

埋立アソシエーションは、厚さ3.28mで、腐植物の薄層を挟む非常にゆるい～ゆるい極細粒～細粒砂層から構成され、液化ないし流動化がみられたのはこの砂層の一部である。全体の厚さ3.28mのうち、液化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると2.68mであり、流動化が確認された砂層を足し合わせると1.75mである。

三日月湖に堆積した地層は、厚さ5.32mで、非常にゆるい～ゆるい細粒砂層、シルト礫質細粒砂層およびやわらかい泥層から構成される。液化ないし流動化がみられたのはこの砂層の一部である。全体の厚さ5.32mのうち、液化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると0.76mであり、流動化が確認された砂層を足し合わせると0.45mである。

埋立アソシエーションと三日月湖に堆積した地層中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると1.75mである。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は1%、軽石は1～2%、貝殻片は0%であり、全体の組成は概ね岩片>長石>石英>雲母>角閃石>単斜輝石である。円磨度はKrumbenの区分⁷⁾の0.3～0.5とやや円磨されている。

三日月湖に堆積した地層のうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は0.33%、軽石は0%、貝殻片は0%であり、全体の組成は概ね岩片>長石>石英>雲母>角閃石・単斜輝石である。円磨度はKrumbenの区分⁷⁾の0.3～0.5とやや円磨されている。

2・12 匝瑳市吉崎浜

この場所は、0.25m程度の沈下がみられた場所である¹⁾。人工地層の厚さは2.11mである。人工地層の下位は沖積層である¹⁸⁾。人工地層は全体が埋立アソシエーションの砂層で、この一部で液化―流動化がみられた。

埋立アソシエーションは、厚さ2.11mで、非常にゆるい～ゆるい中粒砂層とやわらかい薄い泥層から構成され、液化ないし流動化がみられたのは深度0.69m以深の砂層全体である。全体の厚さ2.11mのうち、液化ないし流動化が確認された砂層の厚さを足し合わせると1.38mであり、流動化が確認された砂層を足し合わせると0.68mである。

埋立アソシエーション中の流動化が確認された砂層のうち、その上位に厚い泥層が無く、地表へ噴出できる砂層の厚さを足し合わせると0.68mである。

埋立アソシエーションのうち砂層の構成粒子の組成は、風化雲母は1～3%、軽石は0%、貝殻片は0%であり、全体の組成は概ね岩片>長石>石英>雲母である。円磨度はKrumbenの区分⁷⁾の0.5～0.6とやや円磨されている。

3 各調査地の液化―流動化がみられた地層の比較

各調査地を比較すると、以下のようにまとめられる。

共通点としては以下のことがまとめられる。

- ①砂層では著しい液状化―流動化がみられる。しかし、泥層や貝殻片密集層では液状化はみられない。
- ②砂層に風化雲母や軽石が混入する場合は、風化雲母で2.5%、軽石で10%混入すると液状化強度が低下すること²⁾³⁾が実験で確かめられている。今回の調査箇所においては、液状化ないし流動化した部分や非液状化部分での混入量の違いを検討してみたが、非液状化部分にも風化雲母が3%程度混入する場合もあるなど、風化雲母や軽石の混入量の違いが液状化に強く影響が表れた部分はみられなかった。さらなる実験や調査により、砂層中の異質粒子の混入の影響を検討できるようになるものと思われる。
- ③砂層が液状化し、さらに流動化した時に、その上位に泥層などの難透水層が無いなど、地表に流出できる地質構成の場合は、沈下を伴う噴砂が生じる。
- ④砂層が液状化しても、その上位に厚い泥層があると、泥層を突き破って液状化した砂層が噴出することはできず、沈下の被害は軽微である。
- ⑤サンドポンプ工法による埋立地では、液状化に引き続く流動化が発生した砂層が厚いほど沈下量が大きくなる傾向がみられる。特に流動化した砂層の上位に厚い泥層が無い場合はこの傾向は強くなるようである。さらなる調査により、沈下の被害予測が構築できるようになるものと思われる。

地域による違いとしては以下のことがまとめられる。

- ①利根川低地や九十九里平野では挟まれる泥層がごく薄いため、噴砂がみられた範囲での沈下量の違いは少ない。東京湾岸埋立地では、挟まれる泥層の厚さが場所により大きく異なるため、噴砂がみられた範囲において沈下量が異なる傾向がみられる。
- ②利根川低地では、人工地層の他、明治末期以降に自然に堆積した砂層においても液状化ないし流動化が確認された。これは、利根川下流低地では揺れが強かったことと関係している可能性がある。
- ③砂粒の構成粒子は、東京湾岸埋立地では概ね岩片>長石>>石英>雲母>角閃石と共通するが、北部ではこれらに加えて斜方輝石がわずかに含まれる。利根川低地では岩片>長石>石英>雲母>角閃石>単斜輝石であり、東京湾岸埋立地に比べて石英が多い。九十九里平野でも岩片>長石>石英>雲母と石英が多い。東京湾岸埋立地では岩片と長石が主体で石英が少ない。
- ④砂粒の円磨度は、東京湾岸埋立地では0.2~0.4とやや角張っている。利根川低地では0.3~0.5とやや円磨されている。九十九里平野では0.5~0.6と円磨されている。以上のように、東京湾岸埋立地では角張った粒子が多い。

引用文献

- 1) 千葉県環境研究センター：平成23（2011）年東北地方太平洋沖地震によ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報告，G-8, 2-1~2-69（2011）.
- 2) 風岡修・楠田隆・古野邦雄・楡井久・山内靖喜・矢野孝雄：砂層中の混入物が液状化強度に与える影響―2000年鳥取県西部地震の液状化―流動化調査から―. 第12回環境地質学シンポジウム論文集，日本地質学会環境地質研究委員会，253-258（2002）.
- 3) 風岡修・楠田隆・香村一夫・楡井久：軽石質火山灰の混入が砂層の液状化強度に与える影響. 第9回環境地質学シンポジウム論文集，日本地質学会環境地質研究委員会，63-68（1999）.
- 4) 田中憲一・片田正人：カラーインデックス. 地質調査所月報，工業技術院地質調査所，17巻，P.300（1966）.
- 5) 千葉県環境研究センター：平成23（2011）年東北地方太平洋沖地震による千葉県内の液状化―流動化被害（第4報）. 千葉県環境研究センター報告，G-8, 4-1~4-69（2011）.

- 6) 風岡 修・香川 淳・潮崎翔一・荻津 達・吉田 剛：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象がみられた東京湾岸埋立地における液状化－流動化層準：浦安市千鳥での調査結果. 千葉県環境研究センター平成 30 年度年報, 3P (2019)
- 7) Krumben, W.C. : Measurement and peologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentology and petrology*, vol.11, 64-72 (1941).
- 8) 風岡 修・潮崎翔一・香川 淳・荻津 達・吉田 剛：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象がみられた東京湾岸埋立地における液状化－流動化層準：浦安市日の出での調査結果. 千葉県環境研究センター平成 30 年度年報, 3P (2019)
- 9) 千葉県環境研究センター：平成 23 (2011) 年東北地方太平洋沖地震による千葉県内の液状化－流動化被害 (第 3 報). 千葉県環境研究センター報告, G-8, 3-1～3-25 (2011).
- 10) 風岡 修・香川 淳・荻津 達・吉田 剛：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象がみられた東京湾岸埋立地における液状化－流動化層準：浦安市入船での調査結果. 千葉県環境研究センター平成 30 年度年報, 3P (2019)
- 11) 風岡修・宇澤政晃・檜山知代・荻津 達・八武崎寿史・香川 淳・吉田 剛・加藤晶子・本田恵理：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象 がみられた 東京湾北部埋立地における液状化－流動化現象解明調査結果 船橋市日の出町・市川市行徳：その 2 人工地層の地層構成と液状化－流動化部分. 千葉県環境研究センター平成 28 年度年報, 3P (2018).
- 12) 風岡修・小島隆宏・伊藤直人・香川 淳・荻津 達・吉田 剛：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象がみられた東京湾岸埋立地における液状化－流動化層準：習志野市臨海埋立地での調査結果. 千葉県環境研究センター令和 2 年度年報, 6P (投稿中).
- 13) 風岡 修・潮崎翔一・八武崎寿史・香川 淳・荻津 達・吉田 剛・加藤晶子：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象と沖積層の層序の影響：東京湾岸埋立地北部の千葉市浜田川緑地での調査から. 第 27 回環境地質学シンポジウム論文集, 社会地質学会, 131-134 (2017).
- 14) 千葉県環境研究センター：平成 23 (2011) 年東北地方太平洋沖地震による千葉県内の液状化－流動化被害 (第 5 報). 千葉県環境研究センター報告, G-8, 5-1～4-69 (2011).
- 15) 風岡 修・潮崎翔一・香川 淳：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象がみられた東京湾岸埋立地における液状化－流動化層準：千葉市美浜区高浜での調査結果. 千葉県環境研究センター平成 29 年度年報, 3P (2019).
- 16) 風岡 修・佐藤光男・堀井義久・荻津 達・酒井 豊・香川 淳・古野邦雄・楠田 隆・吉田 剛：東京湾岸埋立地の人工地層中における 2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化部分と非液状化－流動化部分－オールコアの剥ぎ取り面と X 線 CT 画像から－. 第 25 回環境地質学シンポジウム論文集, 社会地質学会, 11-14 (2015).
- 17) 風岡 修・水野清秀・吉田 剛・宮地良典・森崎正昭・田辺 晋・香川 淳・小松原純子・古野邦雄・小松原 琢：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, 社会地質学会, 131-134 (2013).
- 18) 風岡 修・潮崎翔一・香川 淳・荻津 達・吉田 剛：2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化－流動化現象がみられた九十九里平野北東部における地質構造：吉崎浜でのオールコアボーリング調査結果. 千葉県環境研究センター平成 29 年度年報, 3P (2019).