微地形調査による表層地盤の液状化特性の評価

1987年千葉県東方沖地震による液状化被害地域の検討

GEOMORPHOLOGICAL EVALUATION OF THE SUBSURFACE GEOTECHNICAL
GROUND CONDITIONS AFFECTING THE OCCURRENCE OF LIQUEFACTION

Study on the liquefied area in the 1987 Chibaken Toho-Oki earthquake

若松加寿江*

Kazue WAKAMATSU

This paper presents a possible way to evaluate, by geomorphological survey, the subsurface geotechnical ground conditions which may affect occurrence of liquefaction in an earthquake. Several sites where liquefaction-induced damage had occurred in the 1987 Chibaken Toho-Oki earthquake were selected and their geomorphological settings were investigated. Then, a relationship between the geomorphological conditions and subsurface geotechnical ground conditions in these phenomena was examined, and how these conditions related to the occurrence of liquefaction was considered. Lastly, other liquefaction examples which looked similar to the 1987 earthquake in their geomorphological conditions were studied, and the usefulness of the technique to these areas was proved.

Keywords : 液状化, 微地形, 地盤, 地震, 震害, 事例

1. はじめに

近年の地震による木造家屋の被害原因は、振動的現象よりも地盤の液状化現象に伴う地盤の変形による場合が多いことが指摘されており¹⁾, 宅地地盤の液状化被害の可能性を予測することは地震防災上重要な課題である。そこで、より正確な被害予測を行うためには、まず過去の液状化による木造家屋の被害地域における地盤条件を詳細に調査することが必要と考えられる。

1964年新潟地震, 1978年宮城県沖地震, 1983年日本海中部地震および1987年千葉県東方沖地震などの際に液状化に起因して一般家屋が被害を受けた地域は、大部分が農村地帯や最近の宅地造成地である。このような場所では詳細な地盤調査がほとんど行われなため、既存のボーリング資料が極めて少なく、液状化による被害地点の地盤性状や、無被害地点のそれとの違いを逐一調査することは極めて困難である。たとえ、一部の地点についてボーリング等の詳細な地盤調査を行っても、調査地点に関する「点」の資料の平面的広がりや推定することはできない。

一方、地形と地層、土質など地盤条件との間には密接

な関係があることが知られている。特に、堆積時期が新しい沖積低地では、河川・海・風などの営力による堆積状況が微地形に明確に反映されていることが指摘されている^{2)~4)}。また、微地形調査は多大な作業や費用を必要とせずに任意の地域を面的に調査できる利点を有している¹¹⁾。このため、広い地域の地盤条件を大局的に把握し、限られた地点のボーリング調査結果を利用して、より詳細な面的地盤情報を得るには有効な方法といえる。

本研究では上記の観点から、過去に液状化が発生した地域の微地形調査を実施し、微地形的特性から液状化に関連する表層の地盤特性およびその平面的分布状態を評価することを試みた。検討対象地域としては、1987年の千葉県東方沖地震の際に液状化による家屋等の被害を生じた地域を取り上げ、液状化が発生した地点および発生しなかった地点の微地形的特性と土質工学的調査による地盤特性との対応を明らかにし、液状化発生の要因について考察した。さらに、筆者らがこれまでに調査してきた他の地震による液状化発生地域での同様な検討結果との対比を行い、千葉県東方沖地震の調査結果の他地域への適用性について検討した。

日本建築学会大会(昭和63年)にて一部発表。

* 早稲田大学理工学研究所 特別研究員・工修

Research Associate, Science and Engineering Research Laboratory,
Waseda Univ., M. Eng.

図-1 千葉県東方沖地震による液状化発生地点と液状化による建物被害地点

なお、液状化の発生要因としては地盤条件のほかに地震動の強さが挙げられる。特に、短周期成分の卓越した地震動では、地震動自体が微地形の影響を強く受けることも考えられる。微地形と液状化を発生せしめる地震動の強さとの関係については既に詳細な検討を行っており^{5), 6)}、また、微地形的特性が地震動に及ぼす影響については、それ自体大きな研究課題である。このことから、本論文では各地点での地震動強さ等については言及せず、地盤条件と液状化発生の関係に焦点を当て、検討を行うものとする。

2. 千葉県東方沖地震における液状化発生地点の分布と液状化による建物被害の概要

千葉県東方沖地震は1987年12月17日、午前11時8

分、千葉県東方沖の海底を震源として発生した。気象庁の発表によると、震央は北緯35°21′、東経140°29′、震源の深さは58 km、地震のマグニチュードは6.7であった。各地の震度は千葉・勝浦・銚子で震度Vの強震、館山・東京・横浜・水戸・熊谷・河口湖・柿岡で震度IVの中震である。被害は特に千葉県下に集中し、死者2人、負傷者144人、住家全壊16棟、半壊102棟、一部破損71212棟、崖崩れ434箇所、液状化発生277箇所と報告されている⁷⁾。

図-1に千葉県東方沖地震による液状化発生地点⁸⁾およびそれに付随する建物の被害地点^{8), 9)}を示す。

液状化発生地点は震源に近い九十九里平野をはじめとして東京湾沿岸平野、利根川下流平野および内陸部の台地丘陵地域と広範囲に分布している。また、この地域で

表一 千葉県東方沖地震による液状化発生地点および非液状化地点と微地形条件との関係

地 域	液状化発生地点	非液状化地点
東京湾沿岸平野	①海岸埋立地	デルタ
九十九里平野	②崖・急斜面下の後背湿地（盛土地） ③砂州砂丘地帯の埋戻し地 ④砂州背後の旧河道（埋立地）・堤間低地*	崖からはなれた盛土地 盛土のない後背湿地 自然堆積状態の砂州・砂丘
利根川下流平野	⑤旧河道・旧池沼（埋立地） ⑥湖沼干拓地（盛土地）	デルタ 盛土のない干拓地
台地・丘陵地域	⑦崖・急斜面下の谷底平野（盛土地）	崖からはなれた盛土地 盛土のない谷底平野

* 砂丘や砂州列間の低地

図一 市原市における液状化発生地点

B-1 埋立地（液状化） B-2 デルタ（非液状化）

図一 市原市におけるボーリング柱状図（位置は図一に示す）

図一 東金市における液状化発生地点

は液状化に基づく建物被害も多く発生している。被害を受けた建物は大部分が木造家屋であり、その被害状況は液状化に伴う不同沈下や地割れのために家屋内部に傾斜やゆがみを生じたり、基礎が破断したケースが多い。

3. 液状化発生地点と微地形区分との関係

図一には山地、丘陵、台地、沖積低地などの地形区分も併記したが、液状化発生地点は沖積低地の中でも限られたゾーンに集中している。この理由を明らかにするために、図一に示した地域を対象として航空写真、古い地形図、既存の地形分類図および現地踏査により微地形を調査した。その結果、液状化発生地点および非液状化地点は、表一に示すような微地形上の相違点があることが明らかとなった。

そこで、以下に、表一の各地域における液状化発生地点と非液状化地点の微地形的特性と地盤特性との関係について、詳細に検討する。

3.1 東京湾沿岸平野

東京湾沿岸平野は、江戸川、養老川、小櫃川の形成したデルタ地帯と臨海部に造成された埋立地で構成されている。埋立地は大部分が昭和30年代後半以降に造成されたもので、主に工場用地となっている。

千葉県東方沖地震の際の液状化発生地点は、表一の①に示したように埋立地に集中しており、特に千葉市から木更津市にかけては大部分の埋立地で発生した。これに対して、埋立地の背後に広がるデルタ地帯では、河川敷、旧河道を除いて液状化の痕跡は全く認められなかった。図一にその一例として市原市の養老川河口付近に

おける液状化発生地点を示す。埋立地とその背後のデルタ地帯とでは液状化の発生状況に画然とした差異が認められる。

図-3に埋立地(図-2 B-1)およびデルタ(同図 B-2)における代表的なボーリング柱状図を示す。埋立地では、地表から深さ4 mまではN値5以下の緩い細砂層(埋立層)である。埋立層以深は、厚さ約1 mのシルトを含んだ浅海堆積物、その下位はN値20~30のデルタ前置層^{注2)}(上部砂層)の細砂層で、B-2のデルタにおける層相とはほぼ同一である。なお、千葉県沿岸の埋立地は大部分浚渫により造られていることから、埋立層の細砂と上部砂層の細砂はほぼ同質と考えられる。

千葉県東方沖地震の場合、埋立地のみに噴砂が発生したこと、個々の噴砂の規模はあまり大きくなかったことを考え合わせると、N値の小さい埋立層のみが液状化

したと推定される。

3.2 九十九里平野

この平野では、海岸線と並行して数列の砂州・砂丘が形成されており、砂州・砂丘地帯の背後は軟弱な後背湿地となっている(図-1)。

図-4に、表-1の②に掲げた液状化の事例として、東金市台方地区における液状化発生地点を示す。同じ後背湿地でも、液状化は台地や丘陵の崖下の水田の盛土造成地に限定して発生しており、水田や、盛土地であっても台地や丘陵から離れたところでは全く発生していない。この地域では噴砂の量が比較的少なかったことから、液状化自体は比較的軽微であったと考えられる。しかし、液状化が発生した崖下の造成地では地震以前にも圧密沈下が進行していた地域が多く、圧密沈下と液状化による不同沈下とがあいまって、建物や家屋の被害を増大させた所も少なくなかった。

図-5に、台地崖下(図-4 B-1)と崖から少し離れた地点(同図 B-2)のボーリング柱状図を示す。B-1地点では、地表近くに圧密沈下の原因と考えられる腐植土層が約4 m堆積しているが、その以深の層相はB-2地点とほぼ同一である。微地形調査の結果、台地崖からの湧水によって近年まで地盤が湿地化していたために腐植土層が堆積し、B-1、B-2地点にみられるような層相の差異を生じたと考えられた。

この地区における液状化層は、地震の際に噴き出した砂の色や粒径などから腐植土層直下の細砂層と推定された。この場合、B-1地点では、腐植土層が存在するため表層地盤の透水性がB-2地点に比べ低く、このために細砂層の過剰間隙水圧の消散が妨げられ、液状化が促進されたものと推察される。

図-6に表-1の③の液状化の事例として、旭市・飯

図-5 東金市におけるボーリング柱状図(位置は図-4に示す)

図-6 旭市・飯岡町における液状化発生地点

図-7 旭市におけるボーリング柱状図(位置は図-6に示す)

岡町における液状化発生地点を示す。九十九里平野の砂州・砂丘地帯では、近年まで大規模な砂鉄の採掘が行われていた。調査の結果、この地区における液状化発生地点は砂鉄採掘跡地の埋戻し地盤に限定されていることが分かった。

図一七に砂鉄採掘跡地の埋戻し地盤（図一六 B-1）と自然堆積状態の砂州（同図 B-2）の代表的なボーリング柱状図を示す。両者とも土質構成は類似しているが、B-1 の表層には埋戻し土と考えられる極めて緩い細砂層が約 5 m 堆積している。このことから、この地区に

図一八 成東町における液状化発生地点

における液状化層は埋戻し砂と推定される。

図一八に、表一の④の代表例として成東町作田付近における液状化発生地点を示す。九十九里海岸では強い潮流や季節風によって海岸の砂が移動するため、海に注ぐ河川の河口が閉塞され、川は海岸沿いの砂州背後の低地に流れ込んでいた。近年防潮堤等が整備されてから砂州背後に流れ込まなくなり、旧河道は埋立て造成により宅地化されつつある。

調査の結果、この地区における液状化発生地点はこの旧河道の埋立地に集中していることが分かった。図一九に砂州背後の旧河道におけるボーリング柱状図を示す。ただし、柱状図は図一八の範囲から少し外れた八日市場市の旧河道における調査結果である。図一九を見ると、表層部約 5 m は N 値 5 前後と極めて緩く、図一七の B-1 とほぼ同じ土質構成となっている。また、地下水位も旧河道のため G.L. -1 m 前後と高い。このことから、液状化したのは埋立層と推定される。

図一九 砂州背後の旧河道におけるボーリング柱状図（八日市場市、位置は図一に示す）

* 黒丸の大小は噴砂の規模の大小を表わす

図一〇 神崎町・東村付近における液状化発生地点

以上、九十九里平野での液状化発生は、盛土・埋立て・埋め戻しによる地形改変、および台地崖湧水や旧河道に起因する浅い地下水位と密接な関係があることが分かった。

3.3 利根川下流平野

利根川下流平野は広大なデルタ地帯となっており、利根川沿岸には、明治末期から大正年間にかけて行われた河川改修工事によって生じた旧河道や、池沼の埋立地が多く分布している。また、霞ヶ浦南岸地域には新田開発を目的として造成された湖沼干拓地が広がっている。

この地域における液状化発生地点は、表一の⑤⑥に示すように旧河道・池沼の埋立地や湖沼干拓後の盛土造成地に集中している。

図一10 に表一の⑤の例として、千葉県神崎町付近の液状化発生地点の分布を示す。これらの地点では、直径1~2 mにも及ぶ大孔径の噴砂孔も多く認められた。中には、図一11に見られるように極めて高密度に噴砂を

図一11 神崎町向野における噴砂の分布 (文献10) による)

生じ、旧河道部が全面的に液状化したところもある。液状化が発生した地域は、大部分が水田であったため、液状化の規模が大きかった割には被害を受けた建物の総数は少なかった。しかし、旧河道上や旧池沼上に位置するほとんどの家屋は、不同沈下による顕著な被害を被った。

図一12 に、上記の地区におけるボーリング柱状図を示す。滑走斜面側 (運積土が堆積される側) のデルタ (図一10, 図一11 B-1) では、小規模な噴砂が所々に認められた。旧河道 (図一10, 図一11 B-2) では亀裂状の噴砂孔が多数見られ、多量の噴砂があった。これに対して、旧河道の攻撃斜面側 (川に侵食される側) のデルタ (図一10, 図一11 B-3) では外見は B-1, B-2 地点と全く同じ水田であるにもかかわらず、噴砂・地割れ、沈下などの変状は全く認められていない。

ボーリング柱状図をみると、上記の3地点に共通する地層は、G.L. -7~10 m 以深に見られる微細砂層である。この層には貝殻が混入していること、色調がこの層を境にして暗灰色から暗青灰色に変化することなどから判断して、この砂層は汽水成層^(注3)であり、これより上部の地層は河成層と考えられる。河成層の層相は、3地点で異なっている。B-1 地点では、G.L. -4~10 m にみられる河床砂層の上部はシルトと細砂の互層であり、かつての利根川が凸州を形成しながら河道を南下させていった様子がよくうかがえる。B-2 地点は、昭和35年に利根川の浚渫砂で埋立てられた旧河道である。埋立て数年後、浚渫砂と山砂 (G.L. -4 m までの粘土混じり砂) の置換が行われている。この埋立層の直下には B-1 地点と同様、河床細砂層が見られる。B-3 地点には、河床砂は全く堆積しておらず、典型的なデルタの層相を呈している。なお、地下水位は3地点とも G.L. -0.5 m

図一12 神崎町向野におけるボーリング柱状図 (位置は図一10, 図一11 に示す)

図-13 潮来町における液状化発生地点

付近にあり、有意な差は認められない。

ボーリング孔から採取した砂と地震の際に噴出した砂の粒度分布を比較した結果、液状化層は旧河床砂層 (B-1, B-2 地点の G.L. -10 m 以浅に見られる細砂層) および浚渫による埋立層 (B-2 地点の G.L. -4~6 m の細砂層) と推定された¹⁰⁾。さらに、粒度試験の結果、上記の B-1 および B-2 地点における旧河床砂層および浚渫による埋立層は、細粒分含有率が 10 % 以下と極めて液状化を生じやすい粒度特性であることが分かった¹⁰⁾。これに対して、B-1~B-3 地点に共通して見られる汽水成の微細砂層および B-3 地点のシルト混じり細砂層は、20~50 % の細粒分を含んでおり、前述の細砂層に比べて液状化が生じにくい粒度特性であった¹⁰⁾。以下に、各地点の層相と液状化状況との関係を考察する。

B-1 地点では地表に近い細砂層のみ噴き出し、G.L. -4 m 以深の砂は上部のシルト層が押さえとなって地表に噴き出しにくかったものと思われる。この付近での噴砂が小規模であったことがこのことを裏付けている。B-2 の旧河道では G.L. -4~10 m に存在する細砂層が液状化して地表に噴き出したと考えられる。この場合、表層部の埋戻し土が極めて緩かったため、比較的深部の砂まで噴出したと推察される。噴砂が多量で大規模であったことがこのことを裏付けている。これに対して、B-3 地点では B-1, B-2 地点で液状化したと考えられる河床砂層がないこと、G.L. -4 m 以深の砂層はいずれも細粒分含有率が比較的高く、河床砂層に比べて液状化を起こしにくい粒度特性であること、地表に変状が全く認められなかったことから、液状化は発生しなかったと推定される。

以上のように、上記の 3 地点は、いずれも地下水位が高く緩い砂地盤であるが、微地形に反映されている地盤の生成過程の違いにより、土質、粒度特性および土層構成状況に微妙な差異を生じ、これらが液状化の発生状況

図-14 潮来町におけるボーリング柱状図 (位置は図-13 に示す)

に相違をもたらしたと考えられる。

図-13 に、表-1 の⑥に掲げた干拓地帯における液状化発生地点を示す。この地域は昭和 20 年頃に外浪逆浦の一部を干拓して水田化し、その後昭和 46 年に一部の地域のみ外浪逆浦の浚渫砂で盛土造成して宅地化している。噴砂は図示したように干拓地には生じておらず、干拓後盛土した地区のみに発生している。そこで、図-14 に両地区の柱状図を対比して示す。

B-1 地点の盛土層以深では B-2 地点とほぼ同じ層相をしており、軟弱な湖底堆積物の下位に汽水成の砂層が堆積している。地下水位は、隣接する湖水面の影響を受けて、干拓地では地表面もしくは幾分被圧状態となっており、干拓後の盛土地では G.L. -1 m と盛土中にある。

この地区における液状化層は、干拓後の盛土地のみ噴砂を生じたこと、埋設管の被害が G.L. -2~3 m に集中し、G.L. -5~6 m に埋設されたものは無被害であったことなどから、盛土の中砂と推定された。

以上、利根川下流平野における液状化発生は、旧河道・旧池沼・旧湖沼に起因する浅い地下水位、緩い旧河床堆積物、および埋立て・盛土などの地形改変と密接な関係があることが明らかになった。

3.4 台地・丘陵地域

房総半島の台地や丘陵地域では、谷間の水田の盛土造成地に液状化による被害が発生した (表-1 ⑦)。盛土の厚さは 1 m 程度と軽微なものから 6 m にも及ぶもの

図一15 谷底平野の造成地におけるボーリング柱状図(長南町, 位置は図一1に示す)

表一2 千葉県東方沖地震による液状化被害地域の微地形条件と地盤特性との関係および他地域での液状化事例

微地形区分または特性	微地形条件に起因する地盤特性	他地域における液状化事例
海岸埋立地	緩い埋立砂、比較的浅い地下水位	東京・川崎・横浜臨港地区(1923年関東地震) 名古屋臨港地区(1944年南海地震)
崖・急斜面下の盛土地	緩い盛土砂、浅い地下水位	秋田市寺内蛭根ほか(1983年日本海中部地震) 男鹿市大倉(1983年日本海中部地震)
砂州砂丘地帯の埋戻し地	緩い埋戻し砂、浅い地下水位	三沢市太平洋沿岸(1968年十勝沖地震) 八戸市太平洋沿岸(1968年十勝沖地震)
砂州砂丘地帯の堤間低地	緩い風成砂、浅い地下水位	新潟市、酒田市(1964年新潟地震) 能代市、車力村(1983年日本海中部地震)
砂州砂丘背後の旧河道	緩い埋立砂・風成砂、浅い地下水位	酒田市赤川沿岸(1964年新潟地震) 荒川町乙大日川沿岸(1964年新潟地震)
旧河道・旧池沼	緩い埋立砂・河床砂、浅い地下水位	新潟市信濃川沿岸(1964年新潟地震) 秋田市旧雄物川沿岸(1983年日本海中部地震)
湖沼干拓地上の盛土地	緩い盛土砂、浅い地下水位	秋田県八郎潟干拓地(1983年日本海中部地震) 青森県十三湖干拓地(1983年日本海中部地震)

まで様々であるが、いずれも台地や丘陵の崖に接しているという点で共通している。これらの造成地では噴砂自体は比較的軽微であったが、液状化に起因する滑りが発生した所もあり、家屋等に大きな被害を生じている。

図一15に谷間の低地(谷底平野)の造成地におけるボーリング柱状図を示す。土質、N値からみて盛土以深の土層が液状化を起こすとは考えにくく、地下水位以下の盛土砂が液状化したものと推定される。この場合、本来ならば旧地表面付近にあるはずの地下水位が盛土層中に上昇したことが、盛土の液状化の直接の原因になっている。調査の結果、地下水位上昇の原因は台地崖からの湧水と推定された。このことは崖際の造成地のみに液状化が発生した事実とも符合する。

4. 本調査結果の他地域への適用性

以上に掲げた地域の微地形的特性と表層地盤の液状化発生に関連する地盤特性との関係は、表一2のようにまとめられる。これらの関係の他地域への適用性を検討するために、筆者がこれまでに行ってきた他の地震における液状化発生地点の微地形と地盤特性に関する調査結果^{11)~21)}との対応性を検討した。その結果、表一2の右端の欄に示す地域で同様な微地形および地盤条件に起因して、液状化による被害が発生していたことが明らかになった。したがって、表一2に示した微地形条件を有するところでは、他の地域においても千葉県東方沖地震と同程度以上の地震動を受ければ、同様な液状化被害が発生する可能性を有するものと考えられる。

5. 結論

千葉県東方沖地震による液状化に伴って木造家屋等に

被害を受けた地域の微地形調査を行い、微地形的特性と地盤特性の対応を検討し、液状化発生の要因について考察した結果、以下の結論を得た。

- (1) 表層地盤の液状化の発生に影響を与える地盤特性は微地形と密接な関係があり、それは微地形的特性から地盤の生成過程を考察することにより推定が可能である。
- (2) したがって、液状化発生地点と非液状化地点の違いは、微地形的特性の違いにより区別できる。千葉県東方沖地震の場合、液状化発生地点は、①東京湾沿岸埋立地、②台地・丘陵の崖際の後背湿地や谷底平野の盛土地、③砂州・砂丘地帯における埋戻し地、④砂州背後の旧河道の埋立地、堤間低地、⑤利根川沿岸における旧河道・池沼の埋立地、⑥湖沼干拓後の盛土地に集中していた。これに対して、デルタ、台地・丘陵の崖際以外の後背湿地・谷底平野、自然堆積状態の砂州・砂丘、干拓地では液状化の発生は認められなかった。
- (3) 上記(2)の①~⑥の条件に該当するところでは、他の地域でも既往の地震で液状化が発生していたことが明らかとなり、微地形調査が表層地盤の液状化被害の発生予測に有効な方法であることを確認した。

謝辞

本研究は、故古藤田喜久雄早大教授のご指導のもとに行ったものであり、謹んで先生のご冥福をお祈り申し上げます。また、風間 了早大教授には原稿を読んで頂き改善のための有益なご意見を頂いた。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 金井 清：木造家屋の震害に就いて、地震災害予測の研

- 究, 地震保険調査報告 No. 2, pp. 1~17, 1982
- 2) 式 正英: 浅層地質学と微地形学の応用, 建築雑誌, Vol. 77, No. 11, pp. 14~19, 1962 年 11 月
 - 3) 大矢雅彦編: 地形分類の手法と展開, 古今書院, 1983 年
 - 4) 池田俊雄: わかりやすい地盤地質学, 鹿島出版会, 1986 年
 - 5) Midorikawa, S. and Wakamatsu, K.: Intensity of Earthquake Ground Motion at Liquefied Sites, 土質工学会論文報告集, Vol. 28, No. 2, pp. 73~84, 1988 年 6 月
 - 6) Kojoda, K., Wakamatsu, K. and Midorikawa, S.: Seismic Microzoning on Soil Liquefaction Potential based on Geomorphological Land Classification. 土質工学会論文報告集, Vol. 28, No. 2, pp. 127~143, 1988 年 6 月
 - 7) 千葉県地震対策推進委員会: 昭和 62 年 (1987 年) 千葉県東方沖地震—災害記録一, 千葉県, 1989
 - 8) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 千葉県東方沖地震による液状化現象とその被害, 土と基礎, Vol. 36, No. 12, pp. 19~24, 1988 年 12 月
 - 9) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 千葉県東方沖地震の液状化による建物の被害, その 1. 液状化による建物の被害状況, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 983~984, 1988 年 10 月
 - 10) 古藤田喜久雄, 若松加寿江, 間瀬辰也: 1987 年千葉県東方沖地震による液状化現象, その 2. 粒度試験および地盤調査結果, 第 23 回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 959~962, 1988 年 6 月
 - 11) 那須信治, 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 液状化地点の地盤特性—東北日本海平野における液状化地点について—, 第 15 回自然災害総合シンポジウム講演要旨集, pp. 263~266, 1978 年 10 月
 - 12) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 関東大地震の液状化地図, 基礎工, Vol. 6, No. 11, pp. 77~90, 1978 年 11 月
 - 13) Wakamatsu, K.: Geomorphological Consideration on Soil Liquefaction caused by Earthquake: Asian Profile, 279~297, Vol. 8, No. 3, 1980. 6
 - 14) 大矢雅彦, 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 微地形分類による液状化予測図作成の試み (庄内平野を例として) その 1. 平野の微地形と過去の液状化発生地点との関係, 第 18 回自然災害総合シンポジウム講演要旨集, p. 202, 1981 年 10 月
 - 15) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 日本海中部地震による液状化現象と地形条件との関係, 土と基礎, Vol. 32, No. 9, pp. 59~63, 1984 年 9 月
 - 16) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 青森県西部および秋田県北西部地域の液状化履歴とその特徴, 第 21 回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 801~894, 1985 年 6 月
 - 17) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 東南海地震による静岡県中遠地域の液状化発生地点と地形・地盤条件との関係, 第 4 回自然災害科学会学術講演会要旨集, pp. 45~46, 1985 年 10 月
 - 18) 古藤田喜久雄, 若松加寿江, 渡辺一夫: 関東大地震による相模川下流地域の液状化発生地点と地形・地盤条件との関係, 第 21 回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 835~828, 1986 年 6 月
 - 19) 静岡県三島市・沼津市付近の液状化履歴地点と地形・地盤条件の関係, 第 5 回自然災害科学会学術講演会要旨集, pp. 27~28, 1986 年 10 月
 - 20) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 濃尾平野北西部大垣付近の液状化履歴地点と地形・地盤条件との関係, 第 22 回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 767~770, 1987 年 6 月
 - 21) 古藤田喜久雄, 若松加寿江, 久保純子: 福井地震による液状化発生地点の地形・地盤条件, 第 24 回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 891~894, 1989 年 6 月
- 注
- 1) 微地形調査に必要な航空写真は国土地理院によって日本全域が撮影され, 頒布されている。その他既存の地形分類図も, 国土地理院, 都道府県などより発行されている。
 - 2) 河川によって掃流された砂などの粗粒物質は海水などの静水に入ると, デルタ前縁の前置斜面に沿ってそれを付加するように堆積する。デルタ前置層とは, その繰り返しのデルタの海方への前進によって形成された堆積物を指し, 工学的には上部砂層と呼ばれることが多い。
 - 3) 汽水成堆積物: 海水と淡水の混じった入江や海岸の湖などの環境条件で堆積された地層
- (1990 年 6 月 4 日原稿受理, 1991 年 1 月 9 日採用決定)