

日本海中部地震による液状化現象と地形条件との関係

Geomorphological consideration on site conditions of liquefied sites during Nihonkai-Chubu earthquake

ことう だ きく おお* 若 まつ かず え江**

古 藤 田

喜 久 雄*

若 松

加 寿 江**

1. はじめに

日本海中部地震によって、秋田県および青森県西部を中心とする広範な地域に、地盤の液状化現象による様々な被害が発生した¹⁾。言うまでもなく、液状化が発生するのは地下水位が浅く緩い砂地盤であるが、これらの条件を満たす地盤は、地域の地形的特徴との間の因果関係によって形成されるものと考えられる。

そこで、筆者らは空中写真、現地踏査、地形図などによって、液状化発生地域の地形条件を明らかにするとともに、地形条件から推定される表層地質、地下水条件等と液状化発生との関係を調査した。

本報告では、液状化による被害が特に著しかった秋田市、能代市から八郎潟西岸に至る地域および青森県車力村付近をとりあげ、上記の調査結果の概要を報告する。

2. 秋 田 市

秋田市は、海岸沿いの長大な砂丘とその背後の低湿なデルタからなる秋田平野の中央部に位置している。市の南部を流れる雄物川は、デルタ内を大きく蛇行し各所に旧河道をつくりながら、秋田市新屋付近で人工的にショートカットした放水路によって日本海に注いでいる。

図-1は、秋田市の中でも液状化による被害が特に集中した雄物川河口付近の地形分類図に、液状化発生地点を重ねて示したものである。液状化は旧雄物川沿いの新しい埋立て地である秋田港付近と、砂丘とその背後の低地との境界付近で発生していることが分かる。

図-2は、後者の液状化地点の中でも、被害が最も著しかった秋田市新屋元町における微地形と、液状化地点との関係を示している。元町一帯は、図に示したように、昭和初期に雄物川放水路を開削した際の土砂によって、雄物川の旧河道を埋め立てた地域である。この旧河道は、元来は図に示したような河幅をもって流れていたことが空中写真から読みとれるが、埋立て以前の大正元年測図の1/25 000地形図を見ると、旧河道の大部分は湿地または水田化され、西側に細い水路を残すのみとなっている。今までにも旧河道での液状化は数多く報告されているが、噴砂が認められ

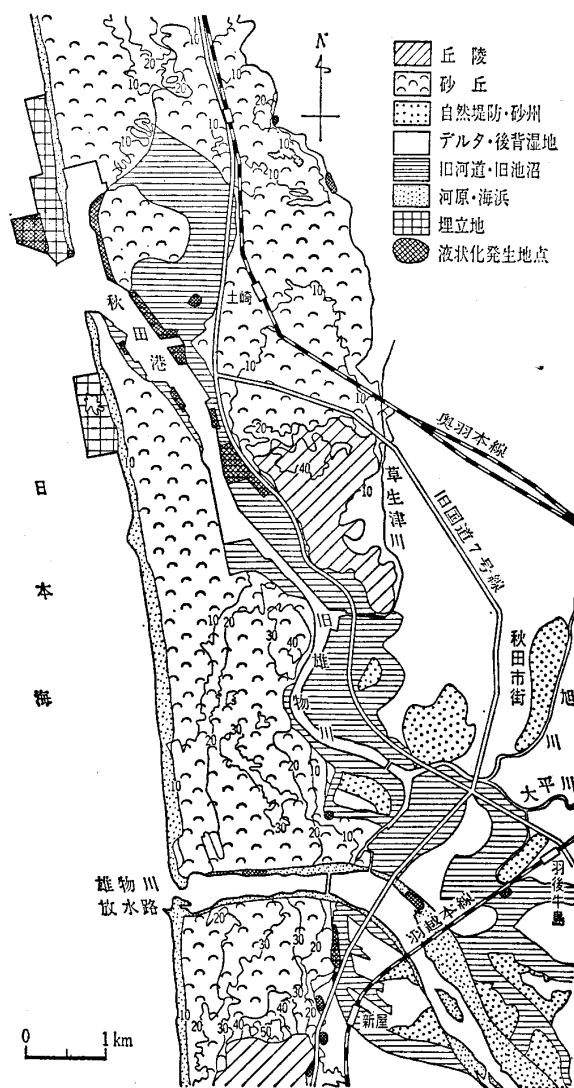


図-1 雄物川河口付近の地形分類図と液状化発生地点
(液状化発生地点は文献1, 2)による)

た所は、旧河道埋立地のうち砂丘際の東西約100m、南北約500mの地域に限定されていることが注目される。

図-3は、昭和55年測図の1/2 500都市計画図およびボーリング柱状図³⁾を基に描いた元町付近の東西方向推定断面図である。図に示したように、埋立て層厚は、旧河道部分で5.5m程度、旧河道の東側に隣接するデルタ部分では3~4mである。埋立て層は、両地域ともN値5程度以下の砂丘起源の緩い砂層が主体である。

一方、地下水位に注目すると、本来ならば旧地表面付近

*早稲田大学教授 理工学研究所

**早稲田大学理工学研究所 嘱託

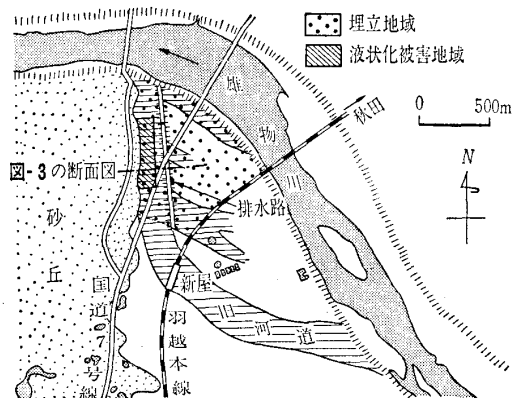


図-2 新屋元町付近の微地形と液状化分布

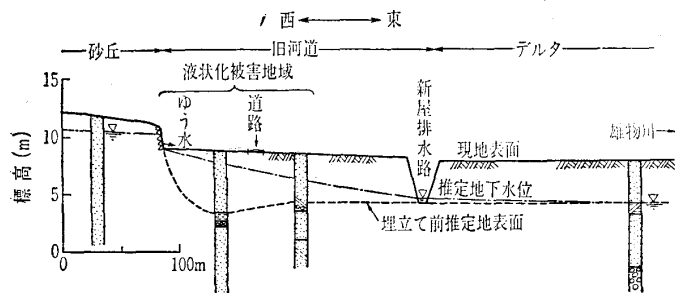


図-3 新屋元町付近東西方向推定断面図（位置は図-2参照）

にあるはずの水位が、地震後被害地域内で行われた2本のボーリング調査結果^{3),4)}によれば、現地表面下1.75mおよび1.0mとなっており、地下水位が上昇している。この原因としては、新屋地区が豊富な砂丘地下水を利用した醸造業の盛んな土地として古くから知られていたこと、また筆者らの現地調査の際にも被害地背後の砂丘崖から多量の湧水が認められたことなどから、西側の砂丘からの湧水による影響が考えられる。すなわち、図-3の推定地下水位線に示したように、砂丘から湧出した地下水は旧河道側に流れ込むが、東側に排水路があるため、これに向かって地下水位は低下する。また、東方のデルタ部分では排水路によって地下水の流れが遮断されるため、水位は埋立て前とほとんど変わらないものと思われる。更に、同じ砂丘際でも北側の雄物川放水路に近い部分では、砂丘地下水が放水路に放出されるため東側（旧河道側）への地下水の流量は少なく、したがって地下水位も南側に比べて低いものと思われる。

以上から推察すると、新屋元町付近では地下水位の高低が、被害の有無の分岐点になったものと思われる。なお、液状化被害地域における推定地下水位は、図-3に示したように最大2m程度であり、前記のボーリング調査による値とも良い対応を示している。

3. 能代市から八郎潟西岸に至る地域

能代市から八郎潟に至る地域も、図-4の地形分類図に示したように、秋田平野と同様、海岸部の砂丘とその背後の低地から成っている。この砂丘と低地との境界は、能代市河戸川以南の地域では比較的明りょうであり、その境界

線は1/25 000の地形図の10m等高線とほぼ一致している。これに対して、河戸川以北の地域では、砂丘から低地への移行は漸移的になっている。図-5は、この地域の5mごとの等高線をやや詳しく描いたものである。昭南町から三頭沼にかけて、10m等高線が東側へ大きく張り出しており、国道7号線に沿って東西方向のなだらかな緩斜面が形成されている様子がうかがえる。図-4の地形分類図では、空中写真判読等によって、地表部に砂丘砂が堆積しているのが認められた地域のうち、標高10m程度以上の部分を高位砂丘と区分し、これより低い標高5m程度以下の後背低地よりは一段高い地域を、低位砂丘と区分した。

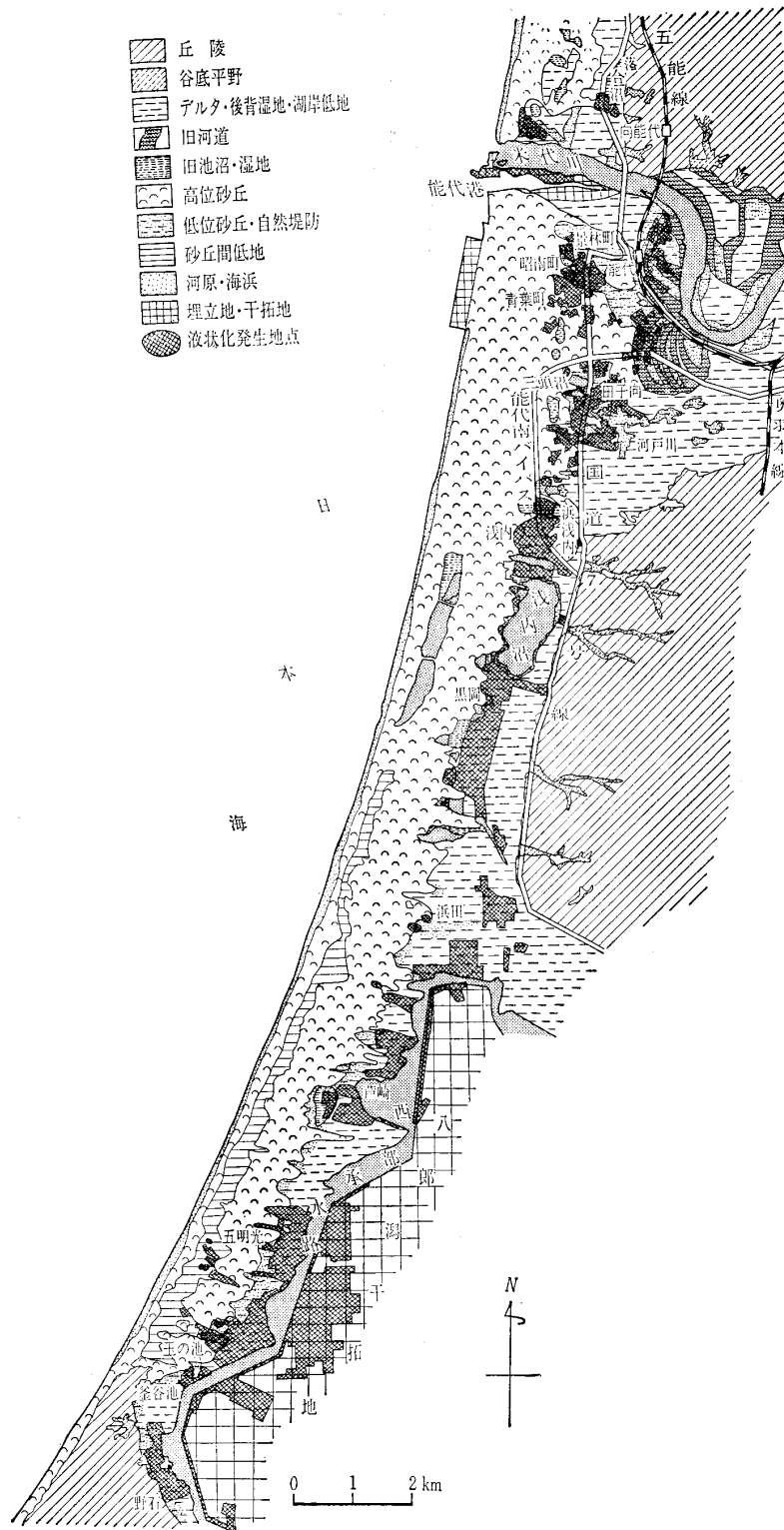
また、図-5には、この地域のボーリング調査結果⁵⁾による地下水位の分布を示した。水位は、砂丘の頂部で深く4m程度以上であるのに対し、高位砂丘の末端部や低位砂丘では1～3mと浅く、地形条件と良く対応していることが分かる。砂丘末端部で地下水位が浅いことは、浅内沼をはじめとして、大小多数の沼沢が点在することからもうかがい知ることができる。

この地域の液状化発生地点を、図-4の地形分類図に重ねて示した。この地域でも秋田市と同様、液状化が集中したのは、大局的には砂丘とその背後の低地との境界付近である。

能代市で家屋の被害が集中した景林町から昭南町、青葉町にかけての地域、また南方の河戸川地区は、高位砂丘の末端部や低位砂丘と区分したなだらかな斜面上に位置している。空中写真の判読に基づいて現地調査をした結果、この地域の表層の土質は、砂丘砂それも大部分が二次堆積や盛土による砂丘砂であると判断される。

また、昭和23年撮影の古い空中写真をみると、昭南町付近は池沼であり、その位置は現在の昭南町の北半部とほぼ一致していることが分かる。能代市役所の資料によれば、この沼地の埋立て造成完了年は昭和42年である。更に、上記の空中写真をみると、昭南町一帯から河戸川にかけての地域では、高位砂丘末端部から湧出した地下水が東方の低地に向かって流れ出しているのが認められる。特に、三頭沼や、昭南町および河戸川地区西方にかつて存在していた沼の東側では、沼から溢れ出した地下水の流路にあたる部分が侵食されて、旧河道状の凹地が形成されていることが分かる。この凹地を埋め立てたのが松美町、昭南町、花園町、通町の一部および田子向長崎団地などであるが、いずれの地区でも噴砂が認められた。中には多量の地下水の噴出により40cm程度浸水したところもあった¹⁾。

能代市南部の浅内以南から八郎潟西岸地区においても、多数の液状化による被害が見られた。このうち、民家や学校に被害があった集落部は、高位砂丘末端部や低位砂丘上に位置している。表層部の土質はいずれも砂丘砂であるが、周辺の地形条件から判断して沖積地盤上に堆積していると考えられること、また砂丘砂の供給源である海浜からは2



図—4 能代～八郎潟西岸地域の地形分類図と液状化発生日点
(液状化発生日点は文献1)および陶野郁雄氏の未発表資料による)

km 程度内陸にあることなどから、砂丘の中でも最も後の時代に形成された二次堆積的な砂丘であると推察される。

他方、浅内から八郎潟西岸にかけての砂丘背後の低地でも、水田中至る所に噴砂がみられた。一般に、砂丘とその後背低地との境界付近は、砂丘砂と沖積土が入り交じって、いわゆる指交的に堆積している所であり、この地域においても地表近くに緩い砂丘砂が分布しているものと思われる。

また、この地域の地盤条件に関連して特に注目すべきこととして、「ビニール水田」を利用していることがあげられる。これは砂地に稲作を行うために開発されたもので、保水のためにビニールを敷き、その上に客土した水田である。この地域における噴砂の大半はビニール水田で見られ、しかも砂がビニールを突き破って噴出している。このことから、文献6)でも指摘されているように、ビニール直下の砂層の間隙水圧の上昇にビニールが加担したことが、液状化を誘発した一因であると考えられる。

4. 青森県車力村付近

車力村およびその南に隣接する木造町は、津軽平野の西縁に連なる屏風山砂丘地帯とその東側の岩木川のデルタ上に位置している。砂丘地帯の地形は、図—6の地形分類図および図—7の東西方向模式断面図に示したように、標高30～40m程度の砂丘、20～25m程度の砂丘間低地、砂丘の基盤と考えられる15～20m程度の台地、およびこの台地が侵食されてできたと考えられる標高5～10m程度の沖積段丘に大別される。砂丘の稜線は、1/25 000の地形図の等高線からも明らかなように、砂丘地帯の西部および中央部では、おもに卓越風に平行な東西方向であるが、東部にいくに従い西側に開いた三日月形ないしU字形に移化している。この三日月形ないしU字形の砂丘は、風上側の砂丘砂が二次堆積した「吹きだまり砂丘」であると考えられている⁸⁾。砂丘間低地は、近年まで荒地および湿地であったが、屏風山開拓建設事業に伴って、地均しによる畑地化が進み、多数の湿地群も姿を消しつつある。東縁部の台地および沖積段丘の表層部は、二次堆積や盛土と考えられる砂丘砂で覆われている。台地・段丘上にも、これらの一般面からの比高が5 m程度の「吹きだまり砂丘」が見られる。

今回の地震による液状化発生日点¹⁾を、図—6の地形分類図上に重ねて示した。液状化に接するデルタに限られていることが分かる。

砂丘間低地は、多数の湿地、池沼がみられることから明らかなように、地下水位が極めて高い。一方、1978年改測の1/50 000地形図と1982年撮影の空中写真を比較すると、今回の地震で広く液状化した部分は、1978年以降に地均しを行った地域であることが分かる。このため、表層部

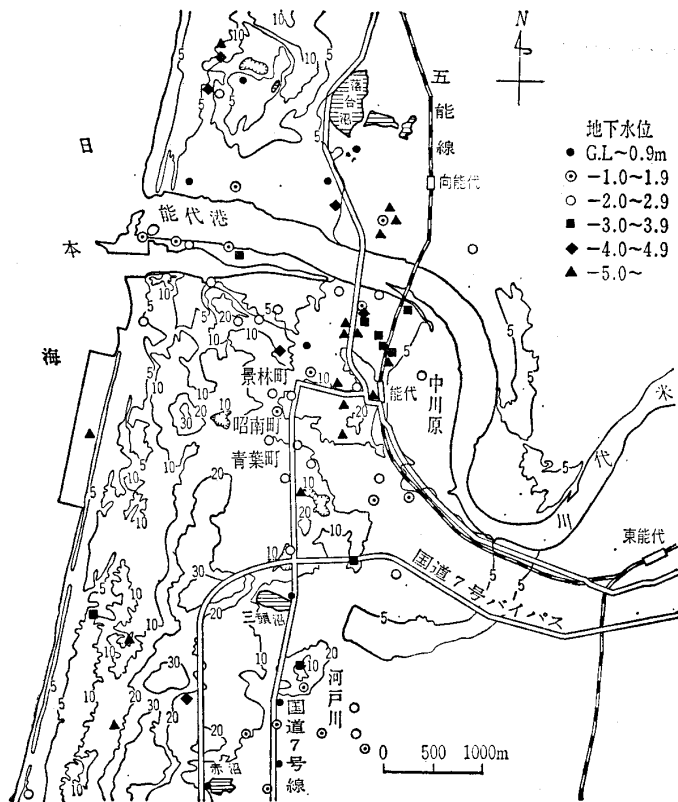


図-5 能代市付近の等高線図と地下水位分布
(等高線は昭和41年測量 1/5 000 国土基本図による)

の砂は、場所により非常に緩いことが推察される。なお、文献1)によれば、この地域の地下水位は0.5～1.0m、表層部の砂層のN値は10ないしそれ以下である。

沖積段丘においては、^{とみやち}富港、^{うしがた}牛潟、^{おたつ}下牛潟、^{おたつ}太田光および平滝の各部落で液状化による顕著な被害が発生している。これに対して、豊富、車力など台地上の部落では液状化は報告されていない。この地域のボーリング資料は多くはないが、空中写真で見える限りは表層部の砂丘砂の堆積状態に顕著な差は認められない。しかしながら、地盤高が前者では5～10mであるのに対し、後者では15～20m程度と高く、この差異が地下水位に反映したものであると思われる。なお、図-8(a)および(b)は、両地域の地質柱状図である。地表付近の土質はともにN値10未満の細砂であるのに対し、地下水位は、液状化が起こった沖積段丘上では0.5mであり、台地上では4m程度となっており、地形条件から推察されたとおり、両者の水位には大きな開きがあることが分かる。

砂丘地帯に接するデルタでは、砂丘際の盛土道路や水田、水田に若干の盛土を施して建てられたと思われる小学校に、噴砂や液状化による被害が報告されている¹⁾。この地域は砂丘と十三湖に注ぐ山田川に挟まれた狭長な地域であり、地表付近には緩い砂丘砂や河成砂が堆積していることが推察される。他方、地下水条件から液状化の分布をみると、液状化が発生したのは、砂丘崖や段丘崖に隣接する地域であり、しかも袴形池や牛潟池をはじめとする池沼の下手に

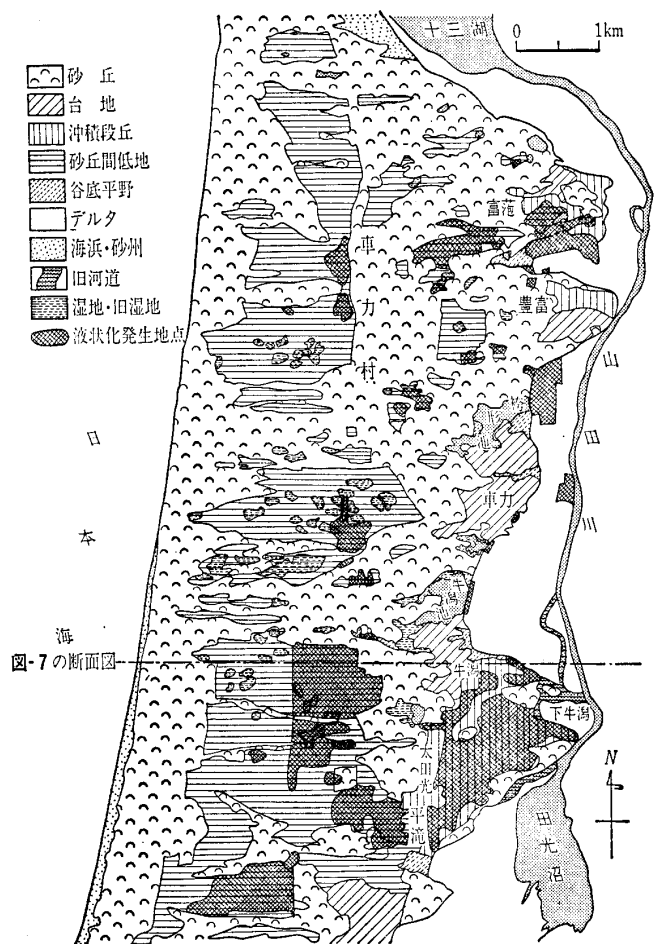


図-6 青森県車力村付近の地形分類図と液状化発生地点
(地形分類図は文献7)を一部加筆修正、液状化発生地点は文献1)による)

限定されていることが注目される。このことから、液状化は地表付近に砂層が分布する地域の中でも、地下水位の高い所を選んで生じたものと考えられる。

5. あとがき

今回の地震で液状化が集中した地点について、微地形なり、その土地の履歴なりを詳しくみると、砂丘、砂丘間低地、後背湿地、旧河道、旧池沼、埋立地、盛土地などと様々であるが、大局的には、砂丘の内陸側末端部周辺と砂丘間低地の2つに集約することができよう。これらはいずれも、青森県から新潟県にかけての日本海沿いに発達する砂丘地帯に共通してみられる特徴的な地形と言うことができる。

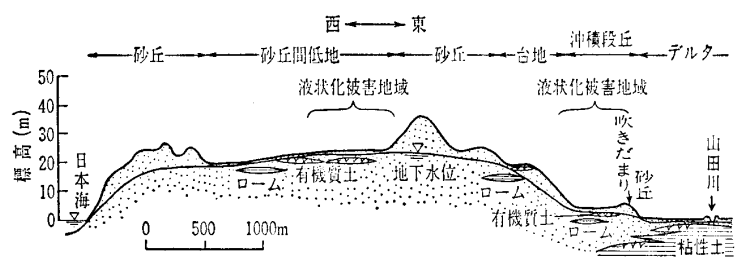
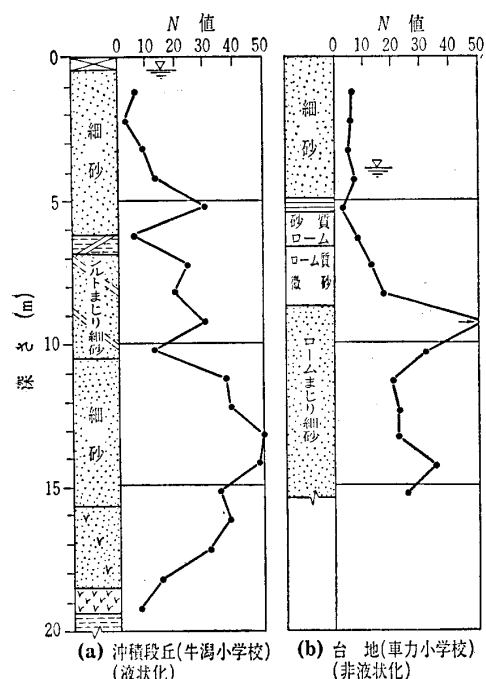


図-7 車力村牛潟地区の東西方向推定断面図(位置は図-6参照)

図-8 車力村の地質柱状図⁹⁾

これらの地形条件にあたる所では、日本海からの卓越風による飛砂や、砂丘斜面を滑落した崩積土など、ルーズで均一な砂丘砂が堆積している。そのうえ、大小多数の池沼や湿地が点在していることから分かるように、砂丘地下水のゆう水帯あたり地下水位は浅い。すなわち、液状化の発生には格好な条件が揃っているのである。更に、上記の地形条件にあたる所はいずれも緩傾斜地であり、地盤には潜在的にせん断力がかかっている。このため、液状化の発生が直ちに地割れや流動などの変状につながりやすく、したがって液状化による被害を増大させやすい条件であることも指摘できる。

ただし、もとより、個々の地点については、それぞれに微細な地形および地盤条件の相違や、地震動の条件との絡みもあり、上記の地形条件に該当する地域すべてにおいて、一様に液状化が発生したわけではない。しかしながら、筆

者らが今回調査した範囲では、秋田市新屋元町を好例として、砂丘地下水の湧出量が多く、したがって地下水位が高いと判断された所で、選択的に顕著な液状化が発生していたとすることができる。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、早稲田大学大矢雅彦教授、秋田大学狐崎長琅助教授、柴田豊吉助教授をはじめとする方々から種々のご教示をいただいた。国立公害研究所陶野郁雄氏からも貴重なご教示をいただいたうえ、未発表の液状化資料を使わせていただいた。秋田市役所、能代市役所からは貴重な資料を提供していただき、国立防災技術センター諸星敏一氏からは多数のボーリング資料をお貸しいただいた。秋田市役所佐々木昭一氏、秋田県庁池田広志氏、能代市在住武田正廣氏には、現地調査にご同行いただいたうえ貴重な資料、写真をいただいた。また、被災地の方々には災害復旧にお忙しい中、数々の情報をご提供いただいた。末筆ながら以上の方々に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 陶野郁雄・安田 進・社本康広：日本海中部地震における液状化現象とその被害状況，土と基礎，Vol. 31, No. 12, pp. 13~20, 1983.
- 2) 狐崎長琅：秋田市の地震被害の特徴，日本海中部地震とその災害，pp. 37~52, 国土問題研究会，新建築家技術者集団，地学団体研究会，日本科学者会議，1984.
- 3) 秋田市役所資料
- 4) 川島一彦・松本秀應・近藤益央：日本海中部地震による液状化地点の地盤特性，第19回土質工学研究発表会発表講演集，pp. 631~632, 1984.
- 5) 能代市役所資料
- 6) 白石建雄：1983年日本海中部地震による秋田県若美町北部の地盤現象，秋田大学教育学部研究紀要（自然科学），34, pp. 139~151, 1984.
- 7) 大矢雅彦・海津正倫・荒井さと子・渡辺 健：津軽平野水害地形分類図，縮尺5万分の1，1977.
- 8) 小貫義男・三位秀夫・島田昱郎・竹内貞子・石田琢二・斎藤常正：青森県津軽十三湖地域の沖積層，東北大学地質古生物学教室邦文報告，58, pp. 1~33, 1963.
- 9) 青森県車力村役場資料

（原稿受理 1984.6.14）