

# **第5章 北海道南西沖地震の液状化現象**

(北海道立地下資源調査所の調査による)



## 第1 液状化災害の分布と概要

北海道南西沖地震による構造物被害のうち地盤災害に起因すると思われる被災例がかなり多く認められたが、中でも液状化現象による被災が長万部・北檜山の両町を中心に渡島・檜山および後志支庁管内のいたる所で認められた。液状化災害は過去の地震においてもしばしば認められた現象であるが、このように広範囲に地盤災害が発生して注目をあびたのは、1964年の新潟地震以降のことである。一方道内においては、大規模かつ広範囲に及んだことは1968年の十勝沖地震以来のことである。1993年1月に発生した釧路沖地震でも、釧路や浦河などで噴砂やマンホールの抜け上がり等の液状化による被害があったことがすでに報告されている。しかし、釧路沖地震での最も震央から遠い液状化地点は浦河港（約150km）で、北海道南西沖地震と比較すると地震の規模は同じであったにもかかわらず、それほど広範囲には及んでいない。

液状化とは、水で飽和した砂泥地盤が地震などの震動により急に泥水のような液体状態に変化する現象である（沿岸開発技術センター、1993）すなわち地盤が液状化するためには、水で飽和していること、粒形が揃っていること（直径0.1～2mm）、ゆるく締まっていること（N値10以下）などの条件が必要と考えられている（国土調査研究会、1992）。地盤が液状化すると噴砂・噴水が発生し、鉄筋コンクリートのビルなど重いものは沈下し、地中の埋設管などの中空の構造物は浮力により浮き上がることになる。また、地盤には沈下・亀裂・段差・すべりなどが起きたり、道路や河川堤防などの盛土では沈下・変形・すべりなどが発生したりする。一方、埋立地にある港湾などでは岸壁の裏込め砂が液状化し、岸壁のせり出し・傾斜・亀裂などが生じることもある。

この北海道南西沖地震による液状化災害の特色といくつかの液状化の事例について調査結果の概要を報告するものである。

### 1 液状化の分布と被害状況

北海道における液状化現象は、過去の地震においても報告されているように、沖積層分布地域および海岸埋立地域などを中心に発生している。一方、森町赤井川～七飯町大沼の駒ヶ岳山麓では火山性岩屑なだれ堆積物が液状化したことが確認されるなど、従来認められていなかった新しいタイプの液状化現象も発生し注目されている。

図5-1-1は道南地方の液状化災害の発生地点を示したものである。沖積層分布地域の中でも河川改修による旧河道および砂丘間低地で顕著に認められた。

すなわち、北檜山町・今金町を流れる利別川流域では、大規模な河川改修によって造成された農地や河川堤防に被害が集中した。被害状況は、水田では亀裂が入り噴砂が起きたり、凸凹ができるなどして、ほとんど収穫が望めない状態になった（図5-1-2）。また、畑でも同様の被害が発生し、特に水田から転作した畑では噴砂・噴水によって冠水した所もあった。さらに、堤防には大規模な亀裂が入ったり、不等沈下したため堤防上の道路が波打ったりした。このような旧河道が液状化したことによる被害は、尻別川流域の蘭越町御成、厚沢部川流域の江差町水堀（図5-1-3）、姫川河口の乙部町市街地（図5-1-4）などでも認められた。

一方、噴火湾沿岸域では海岸線に沿って平行に発達する砂丘間の低地で液状化が発生し、国道や建物等に被害がでた。この例としては長万部町管内の市街地・中の沢・国縫・豊津地区などがあげられる。この地域での液状化に伴う被害状況は亀裂、盛土の沈下、マンホールの抜け上がり、電柱の沈下などであり、長万部町市街地を中心にライフラインに大きな被害がでた。さらに、中の沢地区および豊津地区の国道5号線では道路が波打つ現象が認められた。噴砂堆積物として、国縫地区の国道では多数の灰白色の軽石が噴き上げられているのが認められた。この軽石は駒ヶ岳の噴出物と推定される。また、中の沢小学校の校庭では黒色の砂鉄が噴砂の中に認められ、地下1～4m付近に分布する砂鉄を含む地層が液状化したことを示している。このほか、長万部町栄原で泥炭地に充填された砂の液状化によりサイロの沈下・転倒した被害例がある。しかし、この地域に発達している湿原堆積物には、液状化はほとんど

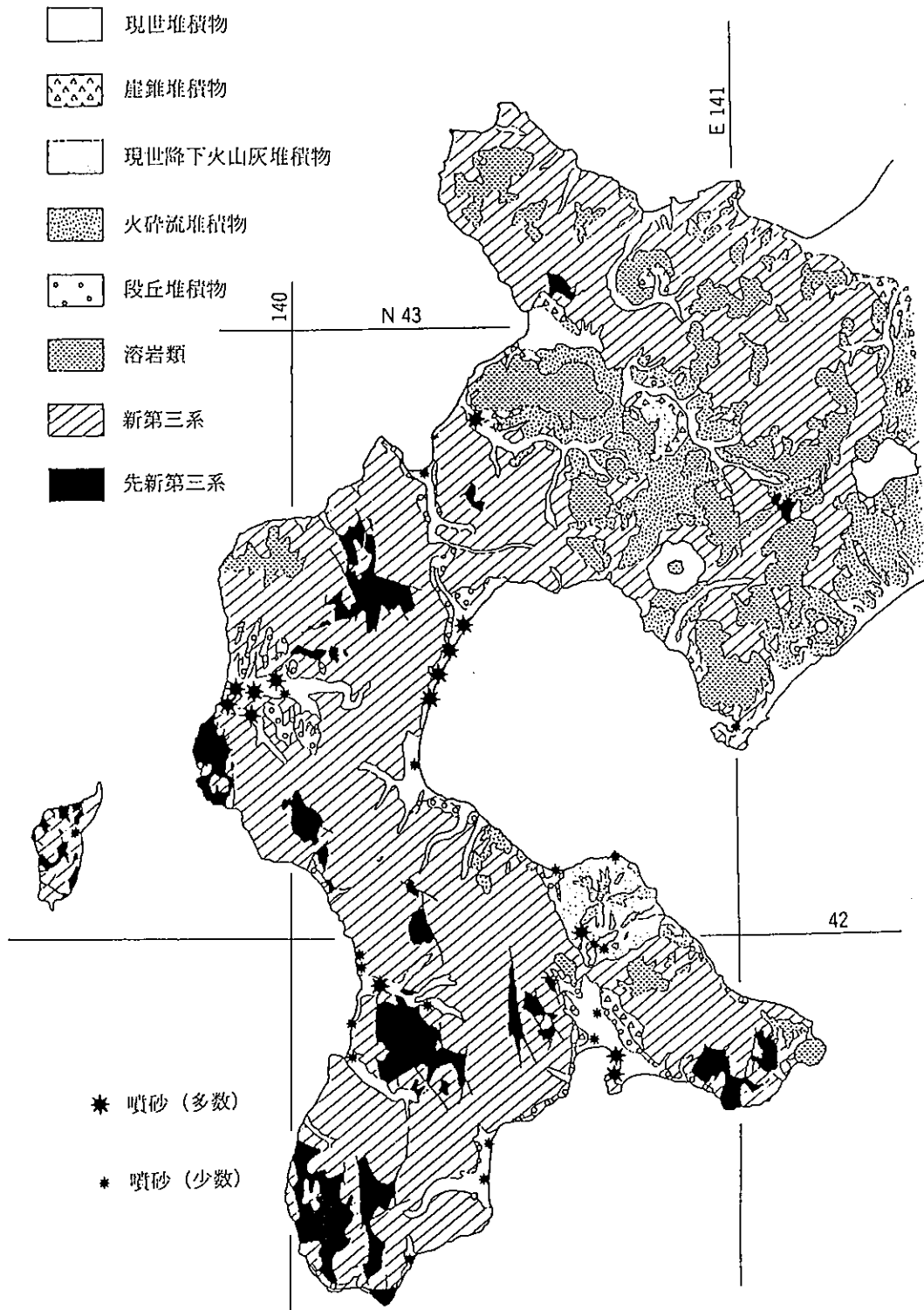


図 5.1.1 西南北海道の液状化分布図



図5-1-2 水田中の噴砂・亀裂（今金町）



図5-1-3 液状化によって生じた亀裂（江差町）



図5-1-4 液状化によって生じた噴砂・亀裂（乙部町）

発生していない。この原因として、深い排水路が切られたことによる地下水位の低下などが考えられる。

海岸の埋立地では、港湾で噴砂をとめない、岸壁のせり出し・傾斜、岸壁や道路の亀裂・陥没・段差などの被害があった。この例としては、大規模な液状化が発生した函館港（図5-1-5）をはじめとして、森港・室蘭港・江差港マリーナなどがある。特に函館港では、1968年十勝沖地震の際にも液状化が発生しており、再液状化により再び被害が発生した典型的な事例となっている。この他の港湾被害では、長万部港に見られたような漁船係留用のピットの沈下が知られている。

この地震では、従来知られていなかった岩屑なだれ堆積物が液状化したことが、駒ヶ岳南西麓の森町赤井川～七飯町大沼地域で確認された。この地域では、地盤の液状化によって国道5号線や建築物などが大きな被害を受けた。液状化した岩屑なだれ堆積物は、1640年駒ヶ岳の大噴火に伴い山体崩壊が起り発生したもので、クルミ板岩屑なだれ堆積物と呼ばれている。この堆積物は大きな岩塊を含む淘汰不良の堆積物で、多くの流れ山を形成している。

ここでの被害は地盤に亀裂・噴砂や不等沈下などが起こり（図5-1-6）、住宅などの建築物・水道管や農地などに大きな被害が発生した。さらに液状化の結果、流れ山に亀裂が生じたり、傾いたりするなどの変動も報告されている。森町赤井川地域においては、トレンチ調査を実施し、駒ヶ岳の降下軽石中に生じた割れ目に沿って、液状化した砂が上昇した痕跡を確認している。

以上の液状化災害は本震に伴って発生したものであるが、江差町水堀地域では8月8日に発生した最大余震（M6.5）の際にも水堀小・中学校の校庭などで、新たな噴砂が確認されている。道内では、余震による再液状化が確認されたのはこれが初めてである。

## 2 液状化発生の限界距離

震央から最も遠い液状化発生地点までの距離を知ることは、将来予想されている地震に伴って発生する液状化地点を予測する上できわめて重要である。

北海道南西沖地震では、道内での液状化発生地点の最大震央距離は函館港で、約170kmである。一方、青森県車力村下牛潟でも液状化が確認され、その地点の震央距離は230kmと報告されている。

地盤に液状化が発生する限界震央距離(R)と地震のマグニチュード(M)との関係について、

$$M = 0.237R^{0.45} + 4.5$$

の関係式を提案している。一方、

$$\log_{10} R = 0.77M - 3.6 \quad (M > 6)$$

の関係式を示している。

以上の関係を北海道南西沖地震についてみると、限界震央距離(約350kmと推定)と比較すると小さくなっている。一方、約250kmと推定され、比較的良く一致している。(図5-1-7)

北海道南西沖地震に関しては、この関係式の方がより妥当であったと推定される。

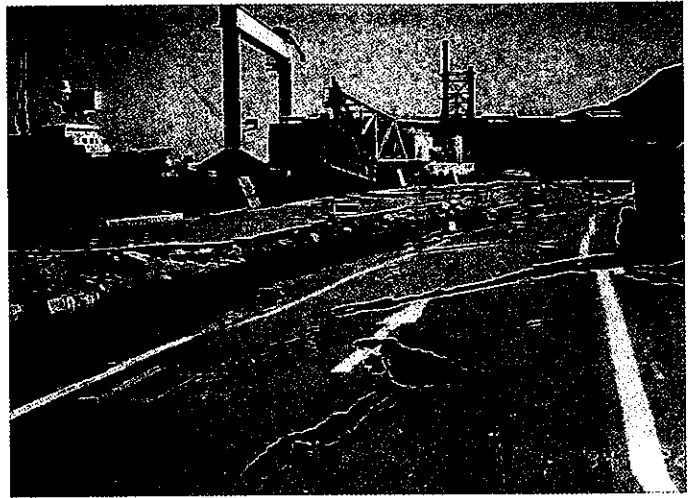


図5-1-5 函館港で認められた沈下・亀裂



図5-1-6 大沼湖岸で認められた沈下(七飯町)

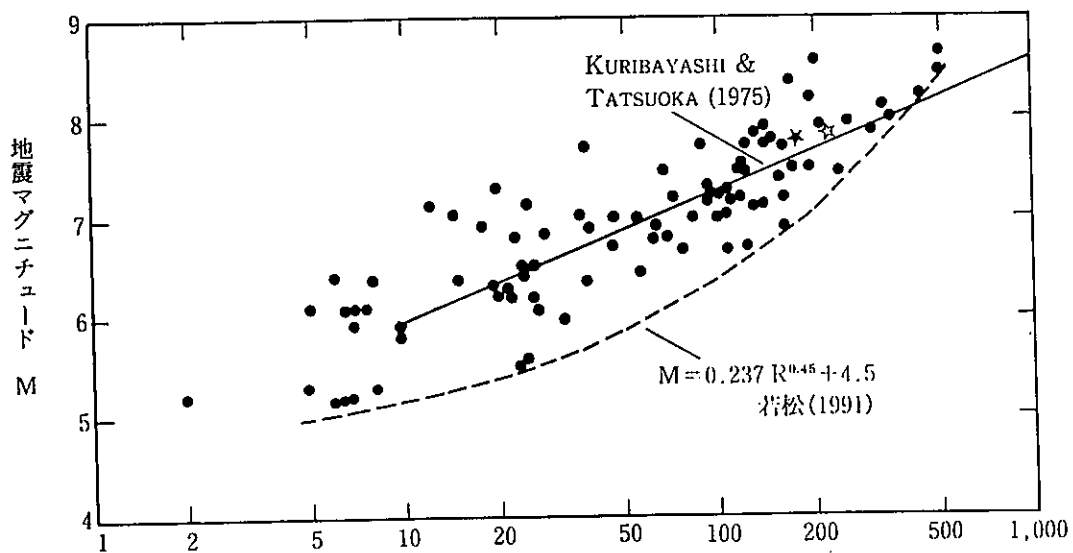


図5-1-7 限界震央距離(R)とマグニチュード(M)との関係

北海道南西沖地震による液状化地点 ★: 函館港 ☆: 青森県車力村

## 第2 長万部地域の液状化災害

### 1 液状化の分布と被害状況

長万部町は、長万部川の河口付近に発達した市街地を中心に、内浦（噴火）湾の海岸に沿い分布する砂丘列の背後に発達した沖積平野に位置している（図5-1-1）。したがって、市街地の建物、国道および鉄道などの構造物は湿原堆積物上の盛土や現河床の氾濫原などを基礎としていることが多くなっている。このような地質・地盤の構造が液状化による被害を大きくしたと推定される。さらに北海道南西沖地震の直後、液状化によるマンホールの抜け上がり等によって、地下に埋設された水道管やガス管などが切断されたため、ライフラインの復旧には上水道で1週間程度、公共ガス施設では2週間程度と比較的長時間を要している。実際、北海道南西沖地震の際には長万部町で観測された地表面加速度は298Galとなっており、比較的大きな加速度となっており、充分液状化する加速度であったことを示している。

### 2 地形・地質の概要

長万部町管内の地形は大きく山地・丘陵・段丘および低地などに分類される。山地および丘陵は海岸線にほぼ平行にNE～SW方向に、低地は海岸線に沿って細長く分布している。段丘は低地と丘陵の境界付近に分布する。同町管内の地質についてはすでに明らかになっている（図5-2-1）。

液状化現象はこれらの地形の中でも主に低地の部分で発生した。その低地を構成する地質はおもに氾濫原堆積物・砂丘堆積物および湿原堆積物などの第四紀完新世の堆積物からなっている。氾濫原堆積物は長万部川、紋別川、国縫川などの河川の流域に沿って広く分布している。また、砂丘堆積物は海岸線にほぼ平行に、3～4列発達する砂丘列を形成する堆積物で、周囲に比較して数m程度高くなっている。湿原堆積物はおもに長万部～静狩にかけての地帯では特に広く分布し、おもに低位・中位・高位泥炭からなる。さらに国縫付近では駒ヶ岳起源の降下堆積物が10cm程度堆積している。

なお、低地全体の幅は約1km程度であるが、主要河川および北側で広くなり、南の八雲町黒岩付近では急激に狭くなる。

段丘は山地・丘陵と低地の間に位置している。海岸段丘と河岸段丘とがあり、いずれも主に砂礫層からなる。山地や丘陵は先新第三系および新第三系からなっている。以上の山地、丘陵、段丘地形の所は液状化する可能性が低い地域とされており、今回の北海道南西沖地震でも液状化は認められていない。

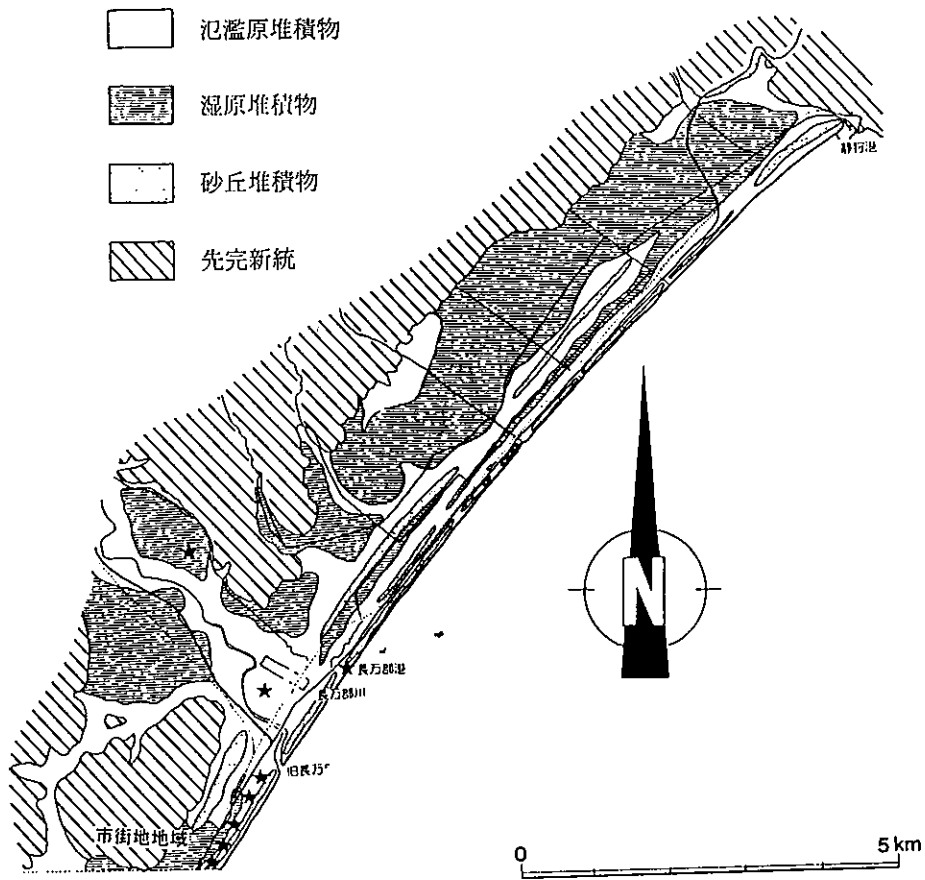


図5-2-1 長万部町管内北部の地質概略図および液状化分布概略図

★：液状化確認地点

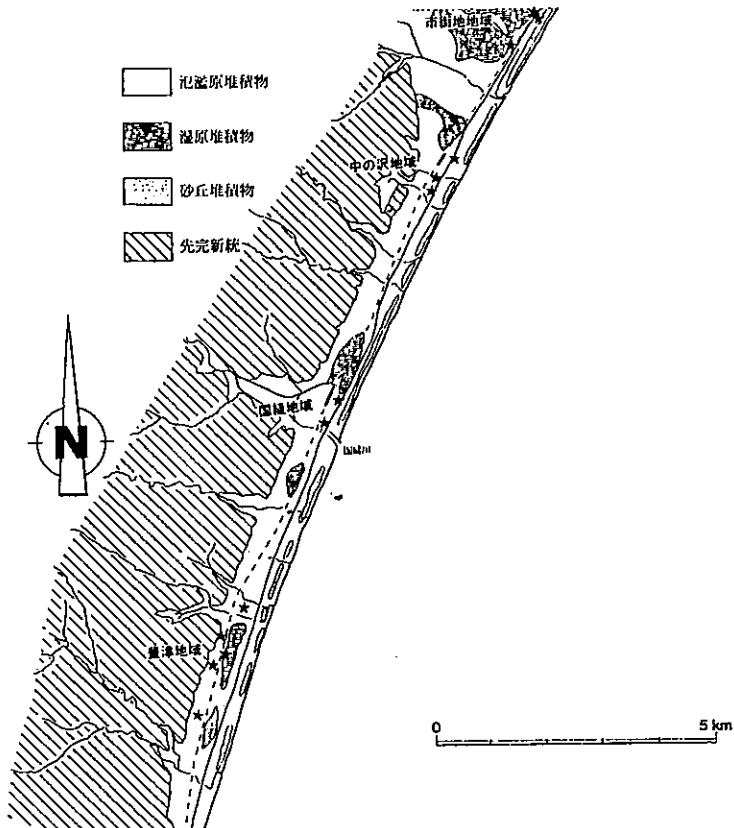


図5-2-2 長万部町管内南部の地質概略図および液状化分布概略図

★：液状化確認地点



### 3 液状化の概要

長万部町管内の液状化現象は、特に国道5号線に沿った地域で顕著に認められた。しかし、その発生は一様ではなく、長万部町市街地・中の沢・国縫・豊津などの各地域に局所的に被害が集中する傾向が見られた(図5-2-2)。

また、そのおもな発生箇所を地形的にみると、長万部町市街地および国縫地域では旧河道跡と推定される地域に集中し、中の沢地域や豊津地域では砂丘列の后背湿地帯の地域に集中している。

このほか、長万部川より北東側でも局所的に液状化が発生した。ここでは埋立地が液状化した例として、近年建設された長万部港で船の係留用ピットの一部分が最大27cm沈下しているのが認められた(図5-2-3)。さらにコンクリートの継目が開き、ここから噴砂の痕跡が認められた。

また、市街地のほぼ北側の柴原地区の湿地帯では、大型のサイロが1m程沈下し、45度程度傾斜・転倒しているのが確認された(図5-2-4)。ここでのヒアリング調査から地震発生直後に水が噴き出していたこと、傾斜・転倒したサイロの周囲に砂が吹き上げられていたこと、サイロを建設する際に湿地を約6m掘り込んで海岸の砂を充填して基礎にしたことから、この被害例は充填した砂が液状化したための被害と推定される。

しかし、長万部川より北東方の共立・静狩付近に分布する広い湿地帯ではほとんど液状化は認められなかった。これについては詳細は不明であるが、排水路によって地下水位が低下していたことなどが推定される。

以下に各地域の被害状況を示す。

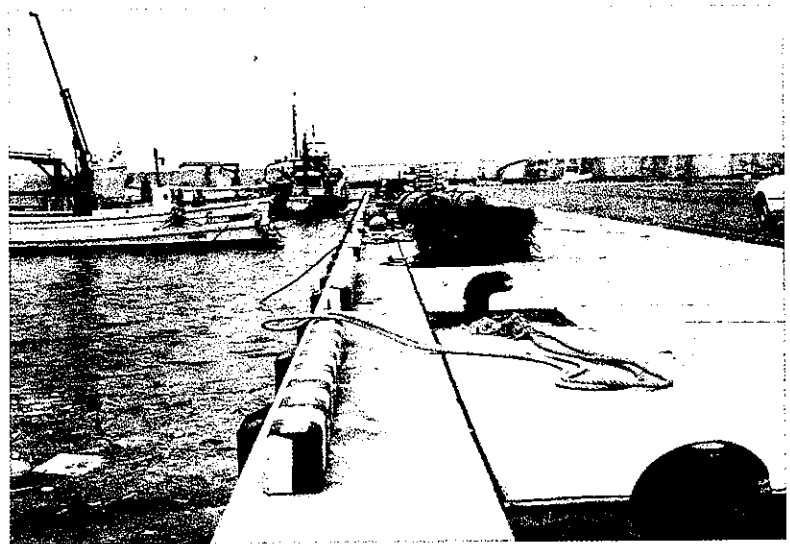


図5-2-3 長万部港で認められた沈下した漁船係留ピット

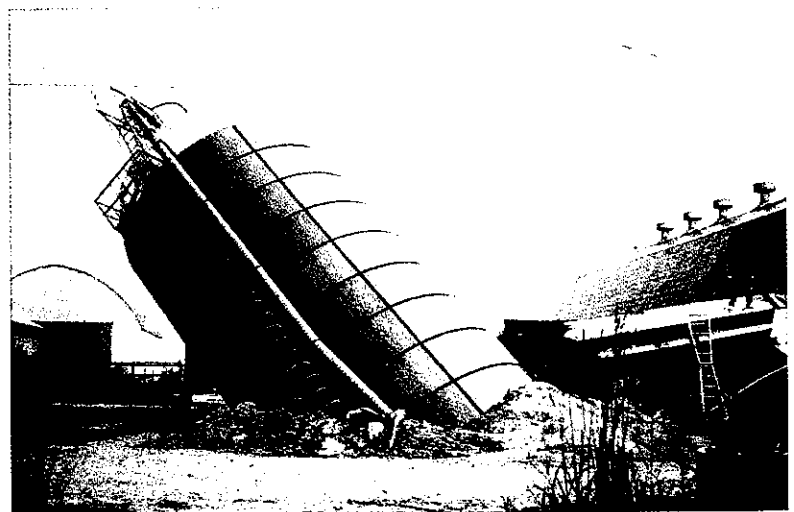


図5-2-4 液状化によって傾斜・転倒したサイロ(長万部町柴原)

(1) 長万部町市街地

長万部町の市街地は長万部川の河口に発達した沖積平野の上に形成されている。また海岸には砂丘列が分布し、その内側には後背湿地が発達する。

ここでは、図5-2-5に示されている役場付近の旧長万部川河口から海岸線に沿って、ほぼ直線的に約1.5kmにわたって液状化にともなう噴砂、電柱の沈下（図5-2-6）、マンホールの抜け上がりおよび亀裂（図5-2-7）などが認められた。その延長は、小河川を横断し海岸にまで達している。この地域は空中写真の判読および長万部町史などから、古くは長万部川の河道となったり、沼になったりした地域で

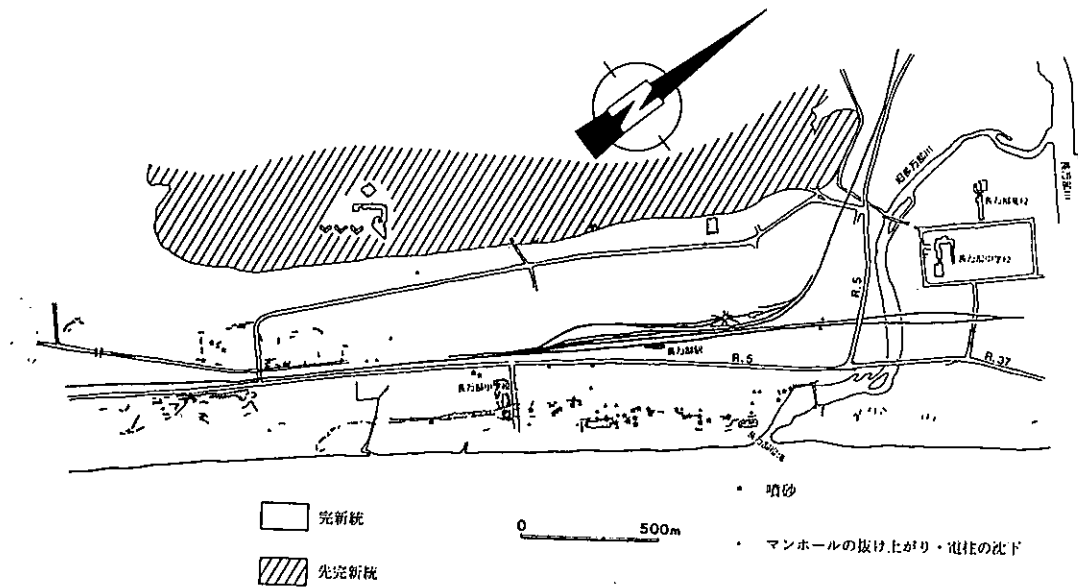


図5-2-5 長万部町市街地の液状化現象の分布図



図5-2-6 沈下した電柱（中央付近の電柱の夜光反射板がほとんど見えなくなっている、長万部役場付近）

あることが判明した。特に、明治43年頃には現在の長万部小学校の場所には、じゅんさい沼と小沼と呼ばれる沼があり、その後小学校建設の頃には湿地となっていたようである。また、この地域は並列した砂丘に挟まれた低地で、氾濫原堆積物とされている。

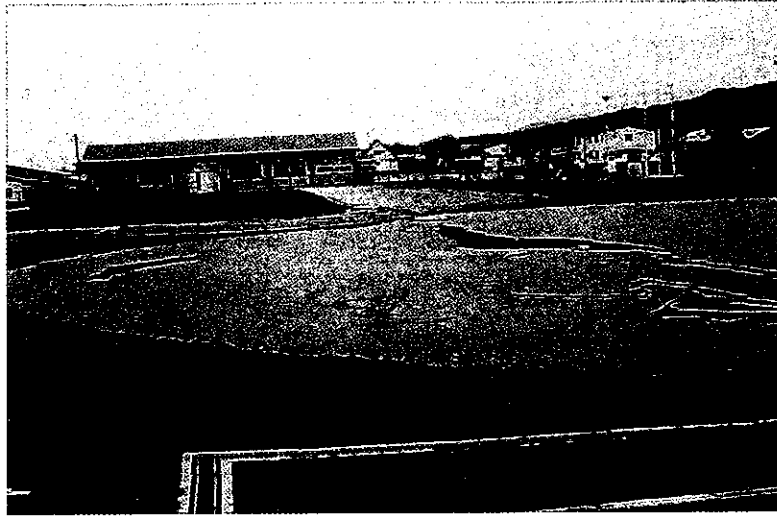


図5-2-7 液状化により発生した盛土の亀裂・沈下（長万部町立長万部小学校）

さらに、南側の大浜地区（図5-2-8）および国道を挟んだ新開地区（図5-2-9）を中心に噴砂および亀裂が多く発生した。この地区は長万部町史によると、安政の頃には明治の頃とは全く異なる位置に、じゅんさい沼と呼ばれる別の沼があったといわれている。

(2) 中の沢地域

この地域には、いたるところで液状化にともなう噴砂・亀裂・電柱や地盤の沈下などが多数認められた（図5-2-10）。特に、中の沢小学校では校庭に亀裂が生じ、そこから砂鉄混じりの砂が噴き出しているのが確認された（図5-2-11）。砂鉄は比重が大きいため、特徴的に噴砂口付近に濃集している。さ

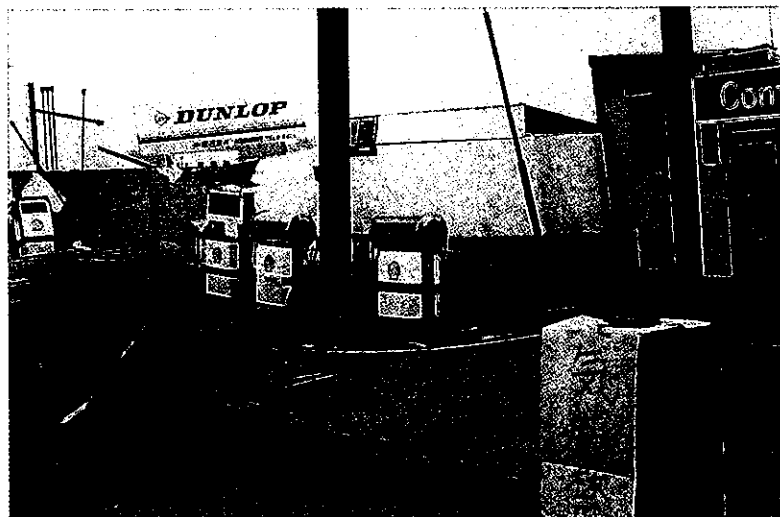


図5-2-8 使用不能となったガソリンスタンド

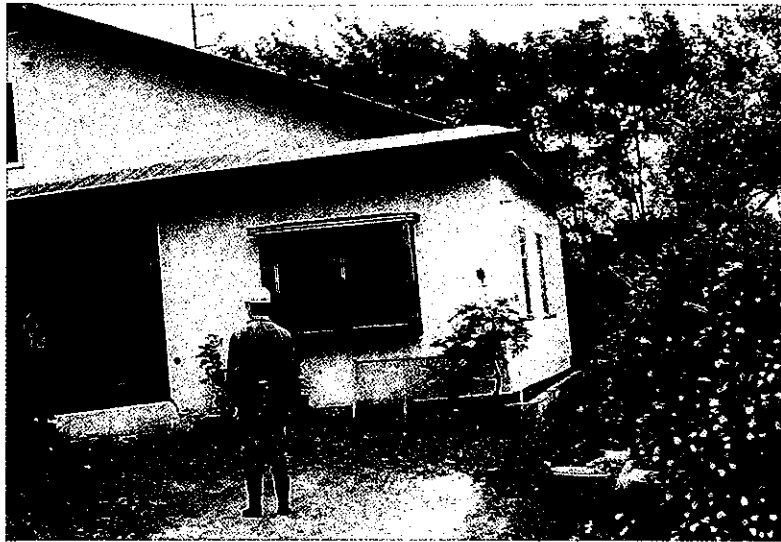


図5-2-9 液状化により土台からずれた住宅

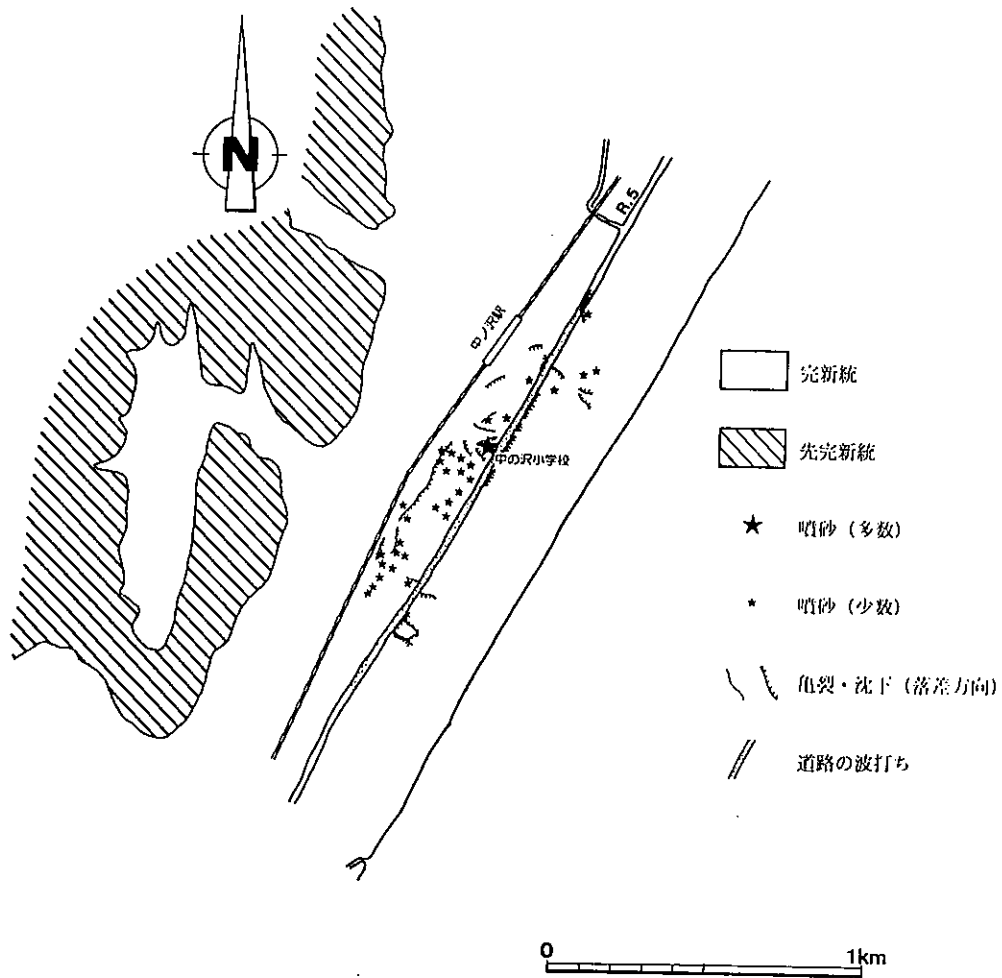


図5-2-10 中の沢地域の液状化現象の分布図

らに、新築（平成2年度完成）の校舎は盛土地盤が20cm以上沈下し、支持杭のみで支えられている状態であった。また、付近の牧草地にも亀裂（図5-2-12）や噴砂が多数確認された。中の沢市街地を中心に国道5号線では、道路が波打った様になる現象や盛土の沈下などが認められた（図5-2-13）。

ここは、海岸と丘陵にはさまれた湿地帯となっており、かつて砂鉄を採掘していた場所でもあり、砂鉄の採掘跡で液状化が発生したことを指摘している。しかし、すべての採掘跡が液状化したわけではないので、今後さらに資料の収集によって実態を明らかにする必要がある。

これに対し、海側にある砂丘上に建築されている住宅では、地震の時も棚から物が落ちなかったらしく、付近に噴砂などの液状化現象も認められなかった。

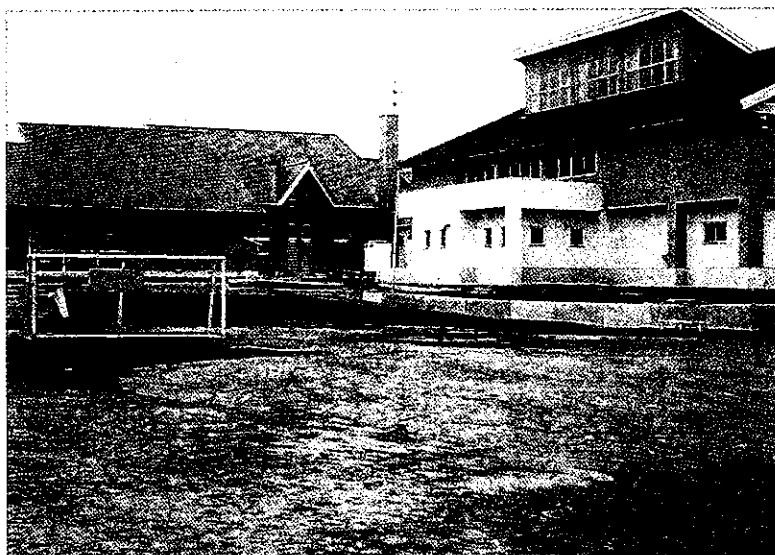


図5-2-11 噴砂に認められた砂鉄（噴砂口付近に濃集した黒い部分）と盛土の沈下（長万部町立中の沢小学校）

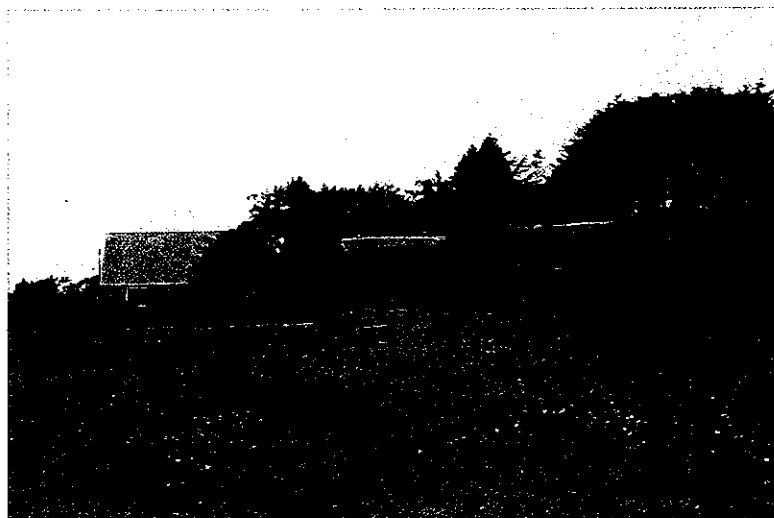


図5-2-12 亀裂・沈下した牧草地



図5-2-13 波打ったようになった国道5号線と路肩の崩壊（長万部町立中の沢小学校付近）

### (3) 国縫地域

この地域は国縫川の河口を中心に発達した沖積平野の上に建物や国道5号線などが作られている。また、海岸には砂丘列が発達し、国縫市街地の北東方向には後背湿地も認められる。

ここでは、ほぼ国道に沿って市街地を縦断するように、液状化にともなう噴砂や亀裂が確認された。亀裂は約300mほど連続し、海側が20cm程度沈下している（図5-2-14）。ここは、空中写真の判読から国縫川もしくは支流の旧河道跡と推定され、現地調査の結果では周囲より少し低い地帯となっていた。またヒアリング調査では、国縫駅の南側にある、普段は自噴していない井戸から水が噴き出したとのことであった。調査時（1993年7月22日）はGL-15cmとなっており、自噴は認められなかった。

国道で見られた噴砂の中に多数の灰白色の軽石が噴き上げられているのが認められた。軽石は比重が小さいため、最大で数mまで運ばれ、個々の噴砂の末端に集中している（図5-2-15）。この軽石は駒ヶ岳の噴出物と推定される。

### (4) 豊津地域

この地域では、液状化にともない畑や牧草地に多数の噴砂や亀裂が生じた（図5-2-16）。特に、JR函館本線の北豊津駅西側の畑ではいたる所で噴砂が確認された（図5-2-17）。ここでのヒアリング調査では、畑がしばらく水田のように水浸しになったということである。現地調査時（1993年7月21日）にもその痕跡が認められた。さらに噴砂によって畑の土塊が数m程度吹き飛ばされている現象が確認され（図5-2-18）、これは液状化によって大きな圧力が発生したためと推定される。

また、特に国道5号線では道路が波打ったようになる現象も顕著に認められたり（図5-2-19）、電柱が傾いたところも認められた。

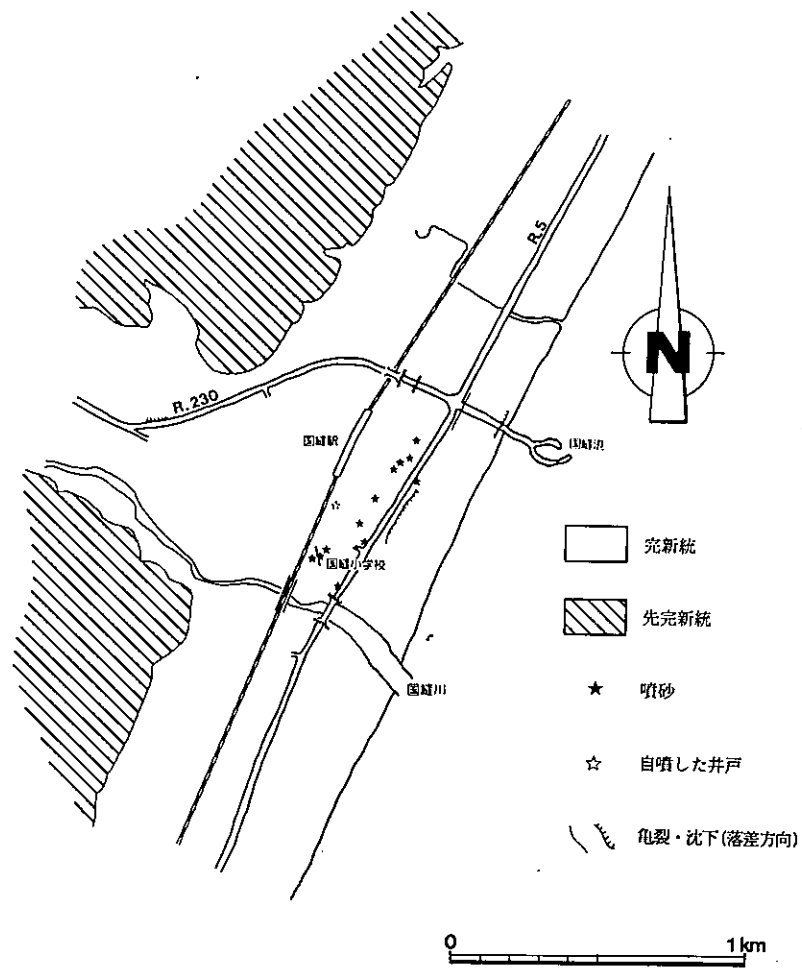


図5-2-14 国縫地域の液状化現象の分布図



図5-2-15 噴砂とともに噴き出した軽石（砂の中の白い部分）

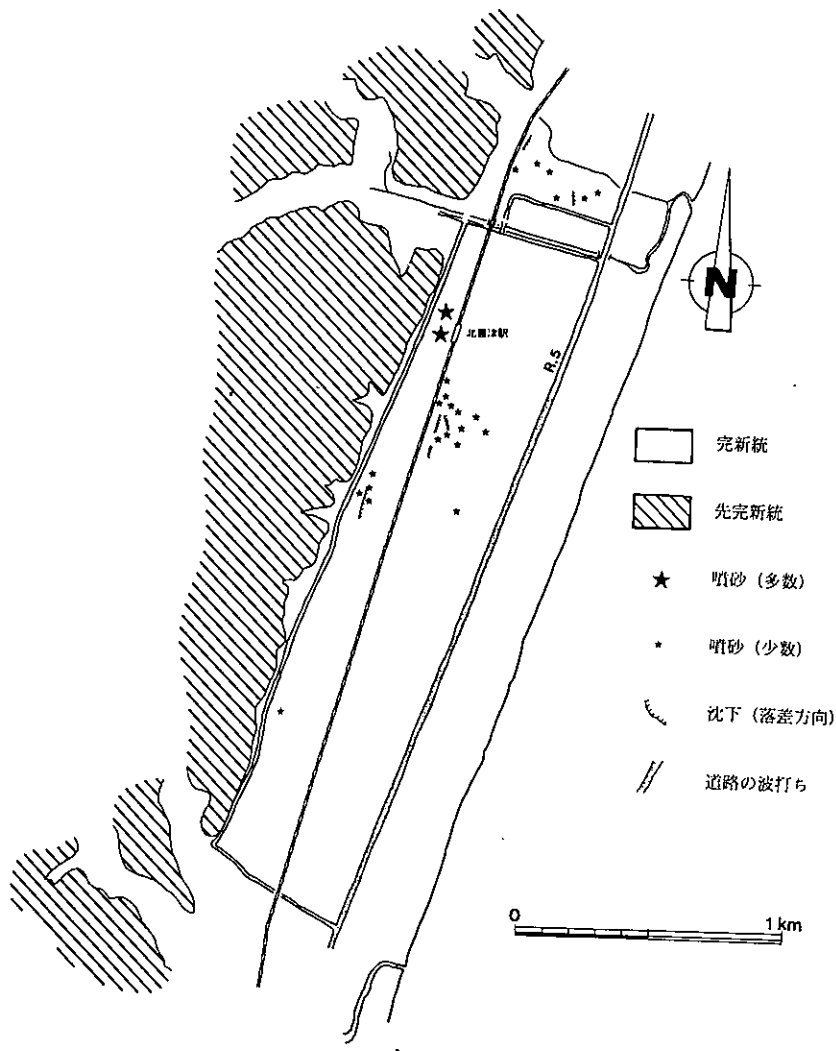


図5-2-16 豊津地域の液状化現象の分布図

#### 4 噴砂の粒度分布

長万部地域で発生した噴砂試料の粒度分布を図5-2-20に示した。

噴砂試料を採取した地点は、大原保育所園庭・国縫の国道5号線および栄原の転倒したサイロの充填砂の三カ所である。大原保育所園庭および栄原のサイロの充填砂は非常によく似た粒度分布となっており、いずれも均等係数は非常に小さくなっている。一方、国縫の国道5号線の噴砂は4mm以下の粒径では均等係数は小さくなっているものの、それ以上に粗い粒径のものも15%前後含まれていることを示している。これは50mm程度の駒ヶ岳火山の噴出物である軽石が噴砂の中に含まれていることによるものである。

日本港湾協会(1990)は、液状化の予測・判定方法として粒度とN値による方法を示している。この中には、液状化の可能性のある粒度の分布範囲は示されているが、各粒度の詳細な値は示されていない。





図5-2-17 畑の中に発生した亀裂・噴砂



図5-2-18 噴砂によって吹き飛ばされた畑の土壌（長万部町北豊津駅付近）



図5-2-19 波打ったようになった国道5号線（長万部町豊津衛生処理場付近）

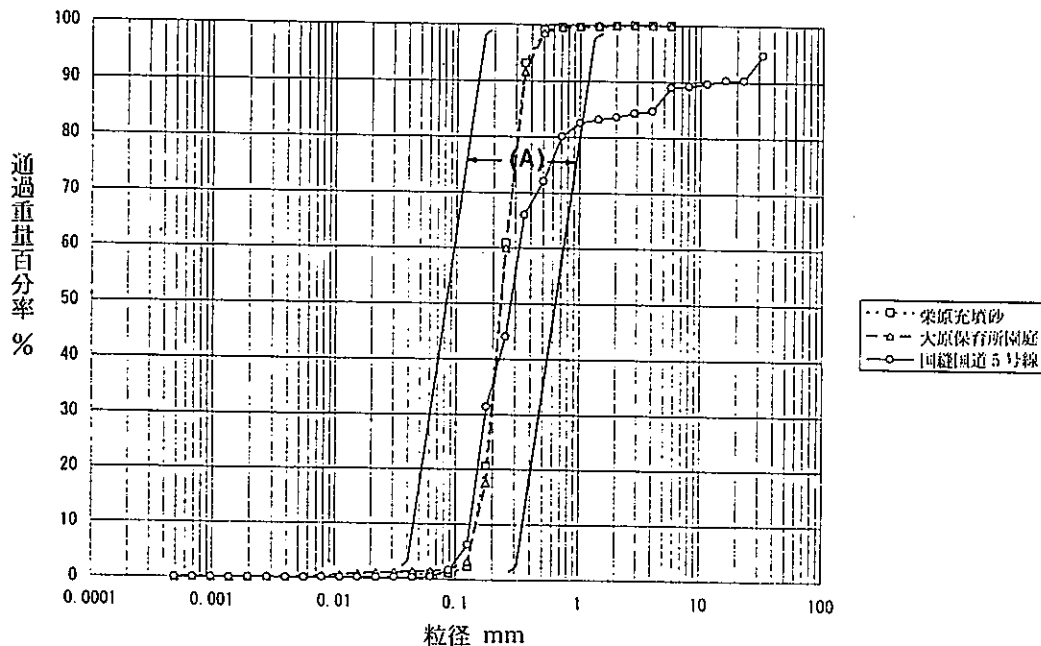


図5-2-20 長万部町管内の噴砂試料の粒度分布(A)は液状化範囲（日本港湾協会、1990）

このため図5-2-20には概略的に粒度分布の範囲(A)を書き入れてある。この調査による噴砂の粒度分布は、主要な粒径ではいずれも均等係数が小さく、日本港湾協力（1990）の均等係数の小さい砂に相当し、いずれも「特に液状化の可能性あり(A)」の範囲にプロットされることが判明した（図5-2-20参照）。

以上のことから、日本港湾協会（1990）の基準では、液状化した砂はいずれも特に液状化しやすい砂が大部分であったことが明らかになった。

### 第3 後志利別川下流域の液状化災害

#### 1 液状化の分布と被害状況

1993年7月12日に発生した北海道南西沖地震では、道南の渡島檜山地方を中心に各地に大きな被害を残した。多くの機関が、地震直後から被災地の現地調査を実施し、さまざまな被害状況について報告している。これらの被害のうち、主に低地では、地盤の液状化にともなう河川堤防や道路の被害が多数認められ、また、噴砂現象なども数多く確認されている。

地盤の液状化は古くから知られた現象である。1964年新潟地震の時から特に注目され、その後急速に、地盤の液状化に関する研究が進展した。工学分野では、さまざまな室内実験や野外観測から、地震時の地盤の液状化のメカニズムは基本的には解明され、液状化の予測判定も可能となってきており、液状化の対策工法の開発も進展してきている。また、地学分野でも、過去や最近の地震被害の記録や現地調査から、液状化の発生しやすい地形・地質条件などについて、かなり明確になってきている。しかし、現在でも重要な建造物の建設などの場合を除けば、地震にともなう液状化対策はほとんど考慮されていないので、今回の地震の際にも、各地で液状化が発生した。

われわれは、1993年7月尻別川と後志利別川の下流域を中心に現地調査を実施する機会を得た。これらの地域では、地盤の液状化にともなう河川堤防の被害や農地の亀裂・噴砂が多数確認されたが、本報告では、後志利別川下流域のうち、その左岸側の例をとりまとめた。

後志利別川流域は、概略的には、上流から下流に向かって、新第三紀中新世の八雲層、同紀鮮新世の黒松内層、第四紀更新世の瀬棚層が周辺の山稜に分布し、河川沿いには、砂礫・泥炭などからなる更新世の段丘堆積物と完新世の氾濫原堆積物が分布する。八雲層は比重の小さいシルト岩を主体としている。層理に沿って割れやすく、板状の岩屑を生産する。黒松内層は、下部の火砕岩部層、上部の砂岩・シルト岩部層に区分できる。砂岩・シルト岩部層は、八雲層同様、板状の節理が発達しているが、比重は八雲層よりさらに小さい。瀬棚層は下部更新統の砂岩を中心とする。固結度は低く、スコップで切って採取できる程度である。段丘堆積物と氾濫原堆積物は、中・下流部の黒松内層分布域までは、シルト岩などからなる礫を主体とする。それより下流では、山稜に瀬棚層が分布しはじめ、氾濫原堆積物の分布する低地が広がる。既存の地質調査ボーリング資料によれば、氾濫原堆積物は砂質層や泥質層からなるが、瀬棚層起源の砂が多く含まれるようである。また、低地では地下水面が地表面の直下にあたるため、地形・地質的に地震の際には地盤の液状化が生じやすいところといえる。実際、液状化にともなう被害は、この地域から河口までの低地で数多く発生した。

本報告では、まず、空中写真判読から過去の河道形態を求め、それと地震による地盤被害の関係を明らかにする。次に、蛇行洲堆積物の堆積面を横断する方向で実施した簡易貫入試験と改良検土杖による地表面下の状況の検討など、現地調査で得られた結果について報告する。

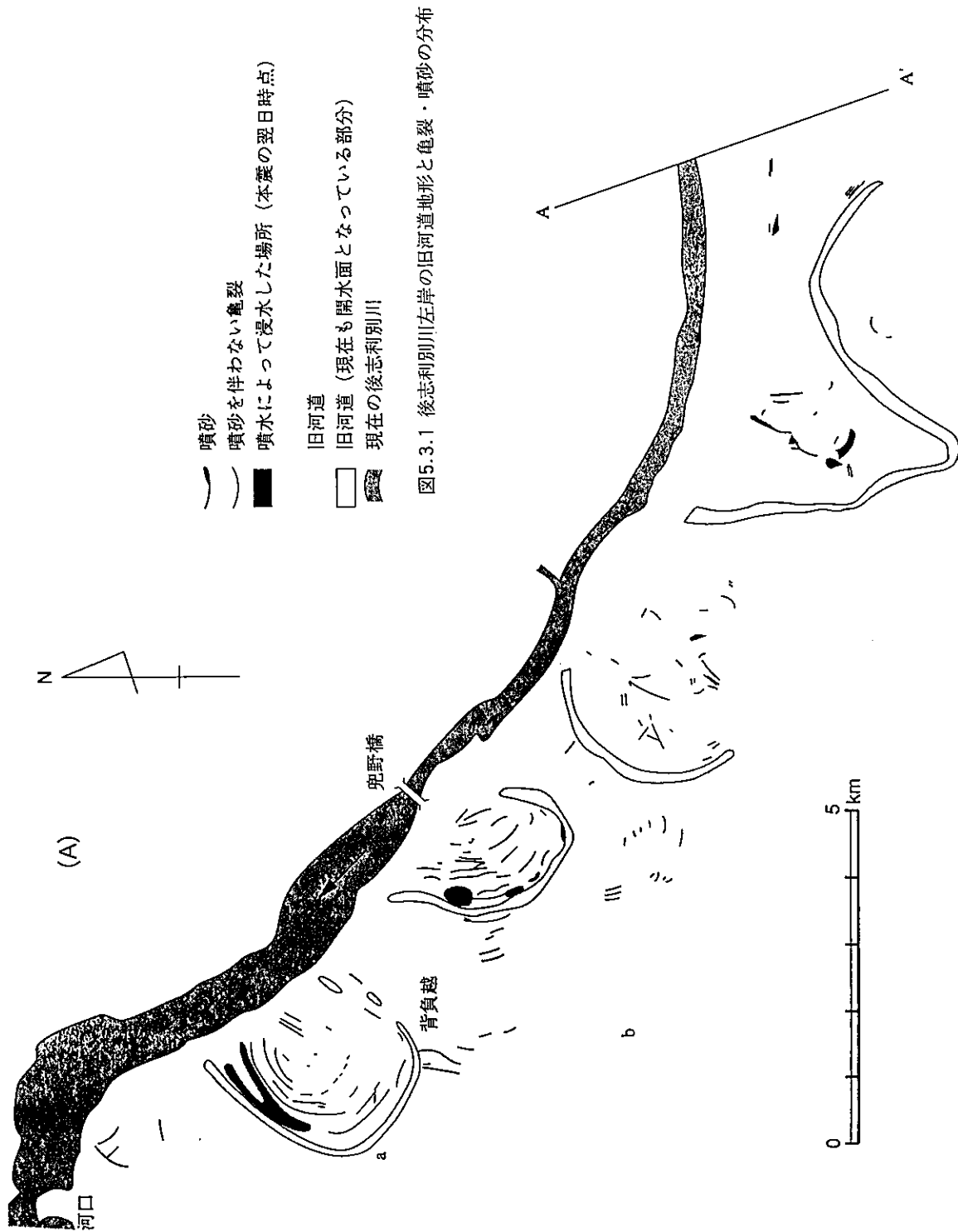
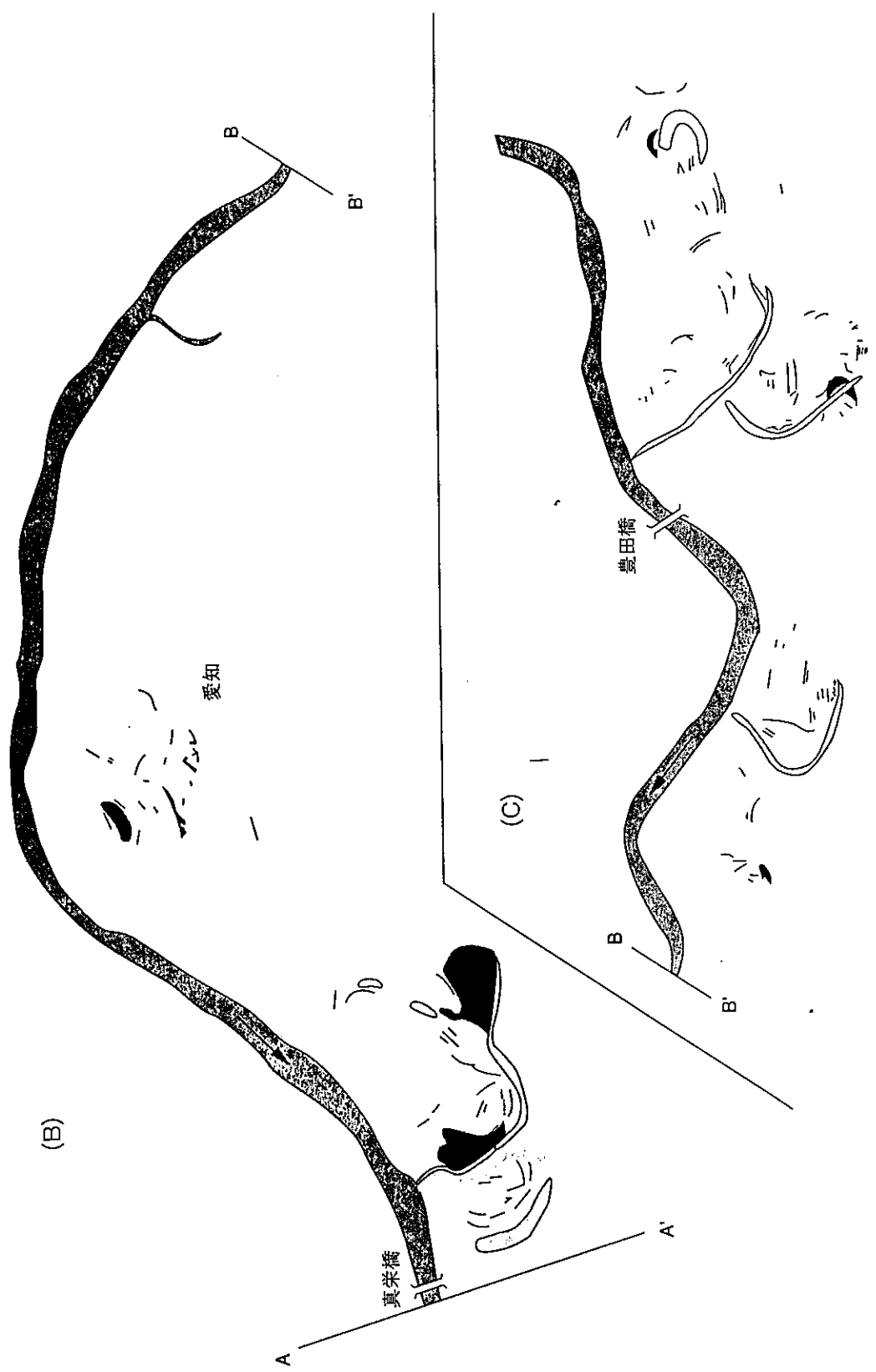


図5.3.1 後志利別川左岸の旧河道地形と亀裂・噴砂の分布



## 2 微地形および亀裂・噴砂の分布

後志利別川の下流には、旧河道地形が数多く分布している。1976年撮影の国土地理院1/10000空中写真を用いて後志利別川左岸の旧河道地形を判読した結果を、図5-3-1に示す。この中には、切り合いをしている旧河道地形も見られる。例えば図5-3-1(A)の旧河道aは、旧河道bを切っている。すなわち、aの旧河道はbの旧河道より新しく、川に近い旧河道の方が新しい蛇行帯のものであることがわかる。これらの旧河道地形のうち、三日月湖状に水がたまっている開水面は、主に1934年～1957年までの河川改修工事によって取り残された河道跡である。それ以外の旧河道地形は、その多くが、現在、水田地として利用されている。

本震翌日の7月13日に撮影した後志利別川左岸のななめ空中写真（シン技術コンサルタント撮影）を元に、液状化による亀裂・噴砂の分布を調べた。図5-3-2は、その中の1枚である。図5-3-1には、これらのななめ空中写真で確認できる亀裂・噴砂の分布を、旧河道の分布と共に示したものである。

図5-3-1によると、液状化による亀裂・噴砂は、そのほとんどが旧河道やその内側の蛇行洲に分布していることが読み取れる。従来から、旧河道は、地盤の固結度が低いことや地下水面が浅いために液状化の発生しやすい場所と言われてきた。蛇行洲に関しても、旧河道の外側（蛇行帯の外）に比べ、川からの比高が小さく、また、圧密のすすんでいない新しい蛇行洲堆積物からなるため、旧河道と同様に、液状化が起りやすいと考えられる。



図5-3-2 兜野地区に発生した噴砂のななめ空中写真（シン技術コンサルタント撮影）

さらに、図5-3-1(A)の旧河道bとaの周辺を比較してみるとわかるように、旧河道や蛇行洲でも、古いものより新しいものの方に、亀裂・噴砂が多く分布する。この理由も、新しい旧河道や蛇行洲の方が、より川からの比高が小さく、圧密がすすんでいないためと考えられる。10<sup>3</sup>~10<sup>8</sup>年オーダーの堆積年代の違いによる液状化の生じやすさについて議論している。本地域のように河口付近の沖積面に残る旧河道の形成年代は、古く見積っても数百年程度と推測される。したがって、10<sup>2</sup>年オーダーの堆積年代の違いでも液状化被害に差ができると考えられる。

蛇行河川の蛇行洲は、上流側から下流側へ移動しつつ形成され、その結果、蛇行洲堆積物は図5-3-3のように河道に沿うような構造になる。図5-3-1で示した亀裂・噴砂の分布は、この蛇行洲堆積物の構造ときわめて類似しており、蛇行洲の堆積構造に沿って亀裂・噴砂が発生したと推測される。これは、地下水水面で液状化が発生し、液状化層より上位の蛇行洲堆積物の構造的弱線部に沿って亀裂ができやすいためか、あるいは液状化した物質が堆積構造に沿って動きやすいためと考えられる。

液状化の被害について、もう少し広い目で見ると、その範囲は瀬棚層分布域から下流側に分布している。これは瀬棚層分布域より上流の沖積層が礫を中心に構成されているため、液状化が起り得ないのに対し、分布域から下流側では、液状化材料となり得る下部更新統瀬棚層起源の砂が地盤を構成しているためであろう。

次に、噴砂を伴わない亀裂の分布は、図5-3-1(B)の真栄橋東や図5-3-1(C)の豊田橋東などのように、蛇行帯の中でも比較的川からの比高が大きい場所や、地形の傾斜遷急線直上部に特に多く見られる。一方、噴水によって浸水した場所は、川からの比高がきわめて小さく、地下水水面が浅いと思われる場所である。

### 3 表層地質の状況

河口から1 kmほど上流の兜野地区背負越の旧河道およびその内側の蛇行洲は、後志利別川流域の中でも特に液状化による被害の激しい場所の1つで、やはり蛇行洲堆積物の堆積構造に沿うように亀裂・噴砂が発生した(図5-3-4)。我々は、この地区の地下構造を調べるため、本震の10日~12日後に現地調査を行った。

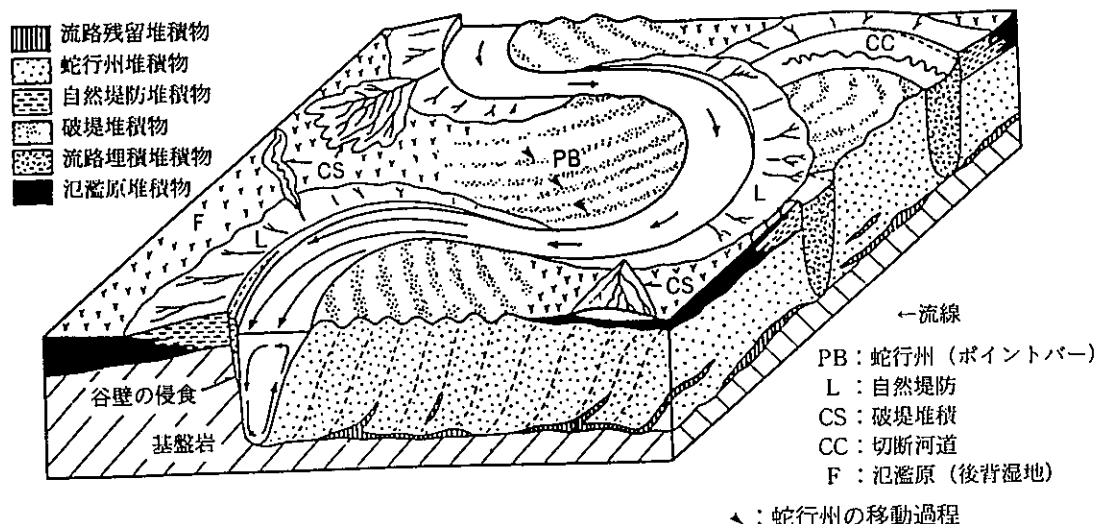


図5-3-3 蛇行洲堆積物の構造と堆積過程 (A,J.R.L. (1978) を加筆・修正)

調査方法は、検土杖を用いて地質柱状を確認し、簡易貫入試験機によりその強度を求めた。その際、検土杖の濡れ初める深さを地下水面の深さとした。検土杖・簡易貫入試験は、図5-3-4に示したとおり、蛇行洲堆積物を横断するような2本の測線A、Bで行った。測線Aに沿って行った試験の結果を図5-3-5aに、測線Bで行った結果を図5-3-5bに示す。これらの図の横軸は測線の蛇行洲外側端を基準とした距離、縦軸は地下水面を基準とした高度である。また、簡易貫入試験の結果はNc値（深さ10cm貫入させるのに要する打撃回数）で示した。

簡易貫入試験の結果、地表面下1～2m付近がNc値<5のきわめて軟弱な状態になっており、この部分が液状化したものと考えられる。この部分は、付近の堤防被害を調査した第1砂質土層にあたり、標準貫入試験の結果はNc値<6であると述べている。地表面下2～3mになると、Nc値はやや大きくなり、5～15程度になる。

測線Aの50.0m地点および測線Bの48.9m地点の開口亀裂において、亀裂中の地質を調べた。両地点とも粗粒な砂からなり、特に測線Bの方では、櫟まじりの部分もあった。Nc値は極めて低く、特に上部1mのほとんどはNc値<2であることから、液状化した物質が亀裂を埋めた状態であると考えられる。

測線A50.5m地点では、地下水面が他の場所より深い。この地点は、噴砂を伴わない亀裂のすぐ脇にあたる。噴砂という現象は、液状化によって間隙水圧が増加し、地下水が砂と共に地表まで上昇したものであるから、地下水面の深い地点では、亀裂ができたとしても、地下水は地表にまで達しないため、噴砂を伴わないものになる。前述したとおり、噴砂を伴わない亀裂が蛇行帯の中でも比較的川からの比高の大きい場所や地形の傾斜遷急線直上部に多く分布することも、これらの場所が、地下水面の深い場所であるためと考えられる。その反対に、背負越地区で最も地下水面の浅いと考えられる場所では、大量の水と砂が噴出し、少なくとも本震翌日まで浸水していた。

#### 4 噴砂の粒度特性

後志利別川流域に発生した噴砂は、大きなサイズの物質をしばしば含むことが特徴としてあげられる。このような物質の中には、長径20cm以上の扁平櫟、径30cmの泥炭塊、長さ90cmの木片なども見られた。そこで、噴砂の粒度特性を調べるために、後志利別川流域の5カ所（背負越3カ所、豊田、愛知）の噴砂と、液状化しなかった1カ所（背負越）の地盤堆積物を採取し、粒度分析を行った（表5-3-1）。これらの粒度分析の結果を図5-3-6に示し、日本港湾協会編（1990）の液状化する可能性のある地盤の粒度分布範囲と比較した。

噴砂が発生する際は、細かい粒子の方が容易に上昇するため、噴砂の粒径は液状化層のもともとの粒径よりも細粒になることが予想される。それにも関わらず、噴砂のうちいくつかは、液状化を起こす可能性のある地盤の粒度組成よりも粗いものであった（図5-3-6のサンプル3、4）。したがって、この地域の噴砂の粒径は、従来言われている粒度組成よりもかなり粗いものであるということが判明した。一方、液状化を起こさなかった地盤からのサンプル（6a、6b）は、液状化する可能性のある粒度組成よりも細かいものであった。

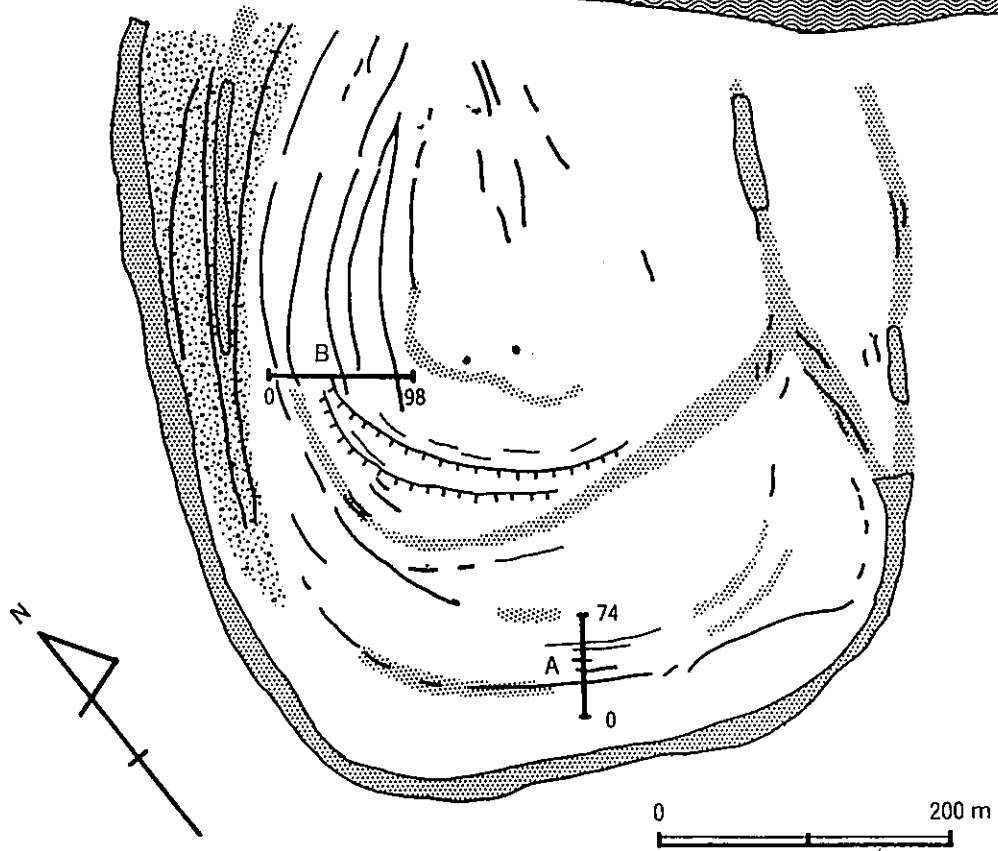
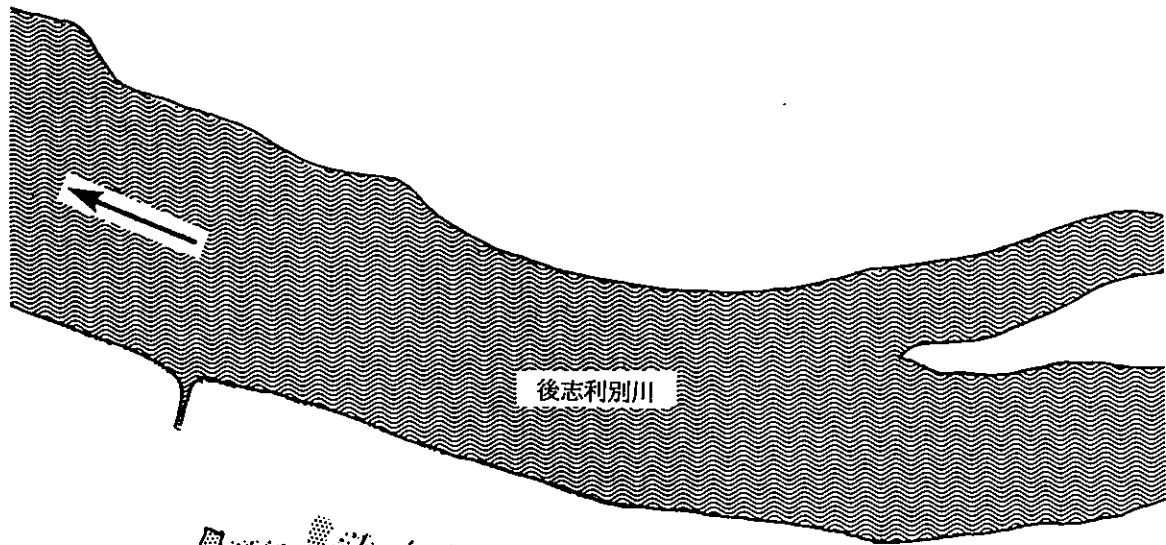
噴砂中の櫟はシルト岩起源のもので、見掛け比重は、乾燥状態で1.5～1.6、水を含んだ状態でも1.8～1.9と小さい値を示した。したがって、噴砂中の櫟は、泥炭塊や木片などと同様に、比重が小さいために浮力が大きく、水と共に地上に吹き上げられたものと考えられる。

前述したとおり、後志利別川上流域に分布する中新統の八雲層と鮮新統の黒松内層の比重はかなり異なっている。そこで、両層のシルト岩の見掛け比重を測定し、噴砂中の櫟との比較を行った。黒松内層のシルト岩は、乾燥状態で比重が1.1、水を含んだ状態で1.6とかなり小さい値を示すのに対し、八雲層のシルト岩は、それぞれ1.6と1.9で、噴砂中の櫟の比重と一致する。このことから、噴砂中に含まれる櫟の多くは八雲層起源であると推測される。



つぎに、噴砂堆積物の断面をみて、2層以上になっている4カ所（サンプル1、2、3、4）について、それぞれの層から採取し分析を行い、粒度の変化を調べた。その結果を図5-3-7に示す。4カ所の噴砂のうち3カ所は上部の方が細粒になっていた。

これは噴砂が沈降・堆積するときに、ふるいわけが起こるためと考えることもできる。しかし、背負越の測線B49m付近の噴砂堆積物（サンプル3）は、3層構造になっており、上層、下層には、かなり粗い粒径のものが卓越し、中層にはあまり粗粒なものが入らない。したがって、少なくともここでできた複数の層は、噴砂が沈降・堆積する際にふるいわけが起こったものではなく、粒度を変化させながら噴出したか、あるいは複数回の噴出があったものと考えられる。2層構造の噴砂の中にも、このように粒度を変化させたり、複数回噴出したようなものがあると考えられる。



- 噴砂
- 噴砂を伴わない亀裂
- ⋯ 噴水によって浸水した場所 (地震の翌日時点)
- ⋯ 旧河道
- ▨ 旧河道 (現在も開水面となっている部分)
- △— 遷急線
- 調査測線

調査測線の数字は図 5.5 の横軸 (m) に対応する

図 5.3.4 背負越の亀裂・噴砂分布と調査測線の位置

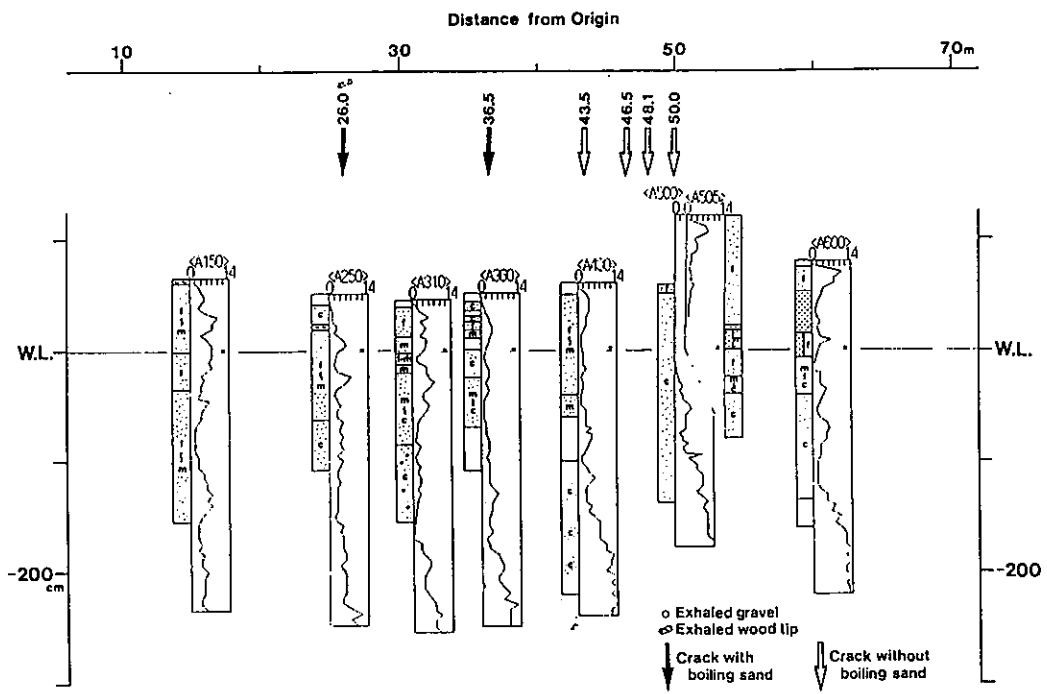


図5.3.5 背負越の表層地質とその強度(Nc 値)：測線 A

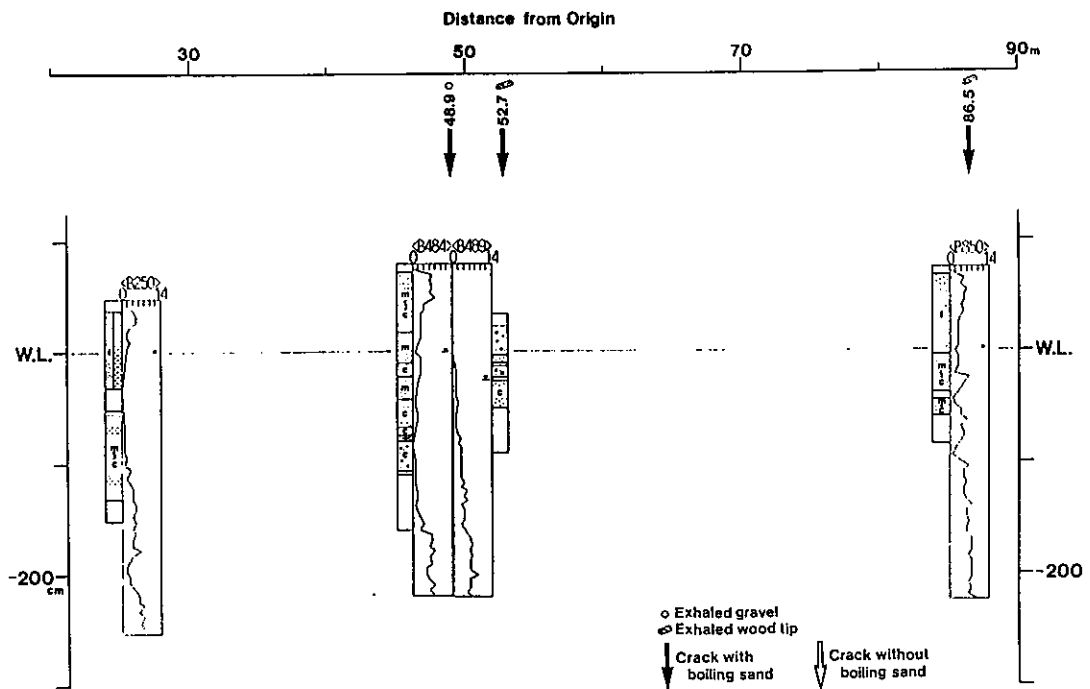


図5.3.5 背負越の表層地質とその強度(Nc 値)：測線 B

表5.3.1 粒度分析を行った試料

Table 5.1 Samples for analyses of grain size distribution.

		サンプリング地点	備考	平均粒径 ( $\phi$ )
1	背負越	測線 A 26 m 地点付近		0.88
1 a			下層, 層厚 12 cm	0.65
1 b			上層, 層厚 2 cm	2.29
2	背負越	測線 A 36 m 地点付近		1.12
2 a			下層, 層厚 15 cm	1.03
2 b			上層, 層厚 1 cm	2.48
3	背負越	測線 B 49 m 地点の 3 m 北	低層の水田地	0.20
3 a			下層, 層厚 10 cm	-0.03
3 b			中層, 層厚 13 cm	0.61
3 c			上層, 層厚 2 cm	-1.35
4	豊田	豊田橋の約 400 m 東		0.35
4 a			下層, 層厚 5 cm	-0.22
4 b			上層, 層厚 5 cm	0.92
5	愛知	真栄橋の約 1 km 東		1.62
6	背負越	測線 A 50 m 地点付近	亀裂の壁面	
6 a			下層, 層厚 23 cm	4.36
6 b			上層, 層厚 11 cm	4.45

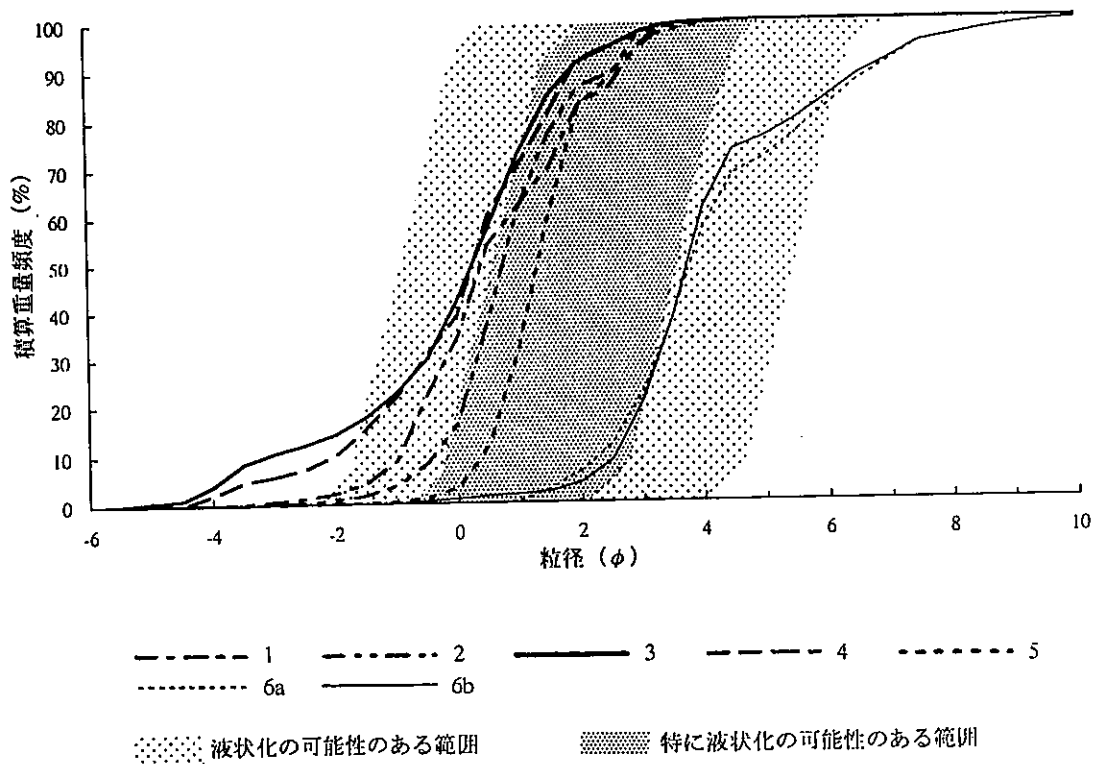


図5.3.6 噴砂の粒度組成および液状化しなかった地盤構成物の粒度組成

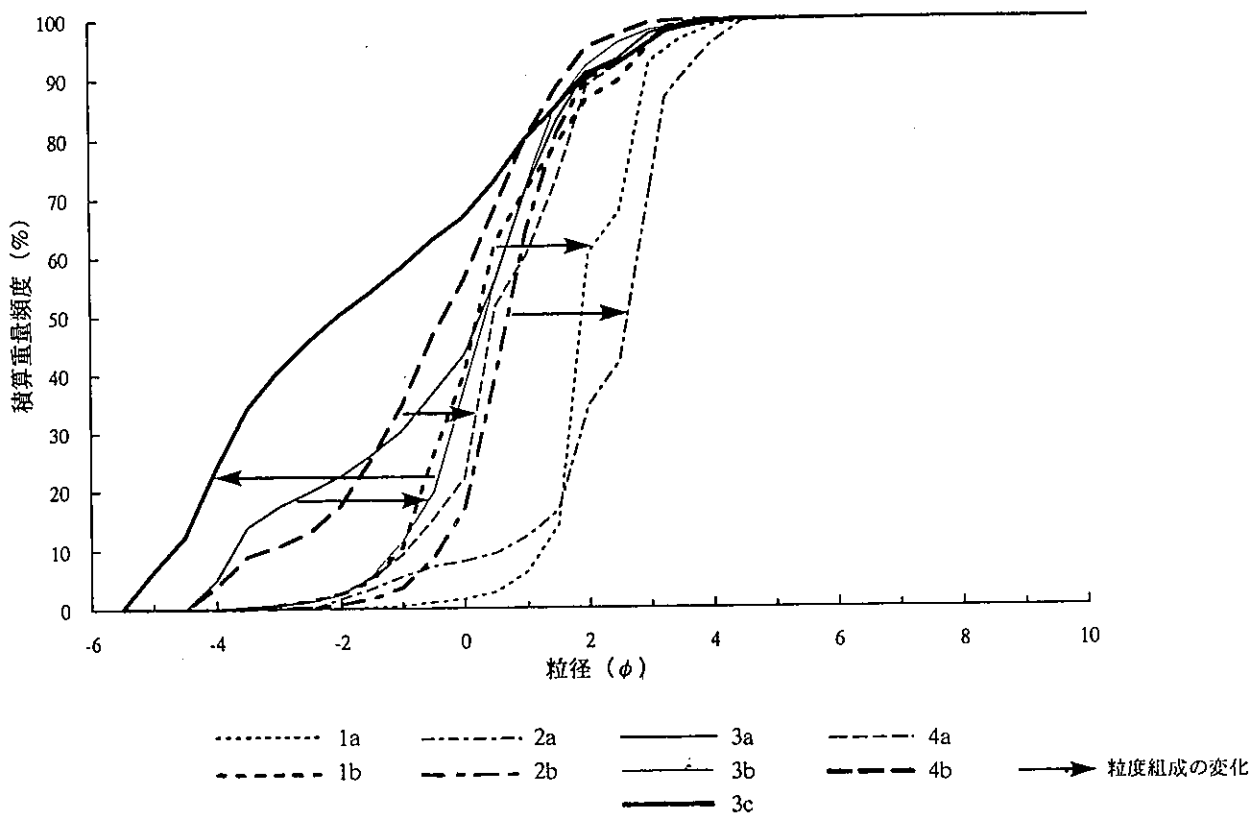


図5-3-7 2層以上になっている噴砂の粒度組成変化

### まとめ

北海道南西沖地震に伴って発生した液状化現象とその被害の特徴は以下のとおりである。

- (1) 液状化が発生した地域は、①現・旧河道、②砂丘間の後背低地、③港湾埋立地および、④火山山麓の岩屑なだれ堆積物分布地域である。これらの中で、岩屑なだれ堆積物が液状化したことは、従来知られていなかった新しいタイプの液状化の例として注目される。
- (2) 液状化による被害の状況は、過去の被害状況と類似している。反面、長万部町中の沢・豊津付近の国道5号線では道路が波打ったようになる現象が認められたり、森町赤井川付近では岩屑なだれによって形成された流れ山が傾いたり、亀裂が生ずるなどの比較的珍しい現象も認められた。
- (3) 江差町水堀地域では本震でも液状化したが、8月8日に発生した最大余震で再び液状化したことが確認されている。
- (4) 液状化による噴砂の中に、砂鉄（長万部町中の沢）や軽石（長万部町国縫）などが含まれているところもあり、比較的珍しい事例である。
- (5) 液状化による被害状況は、新潟地震や日本海中部地震など液状化が大規模に発生した従来の地震のそれと非常に類似している。
- (6) 液状化しやすい砂の粒度分布は、日本港湾協会（1990）による基準と一致し、粒径が0.4～1mmの範囲に揃っていることが多い。

最後に、北海道南西沖地震による液状化災害では、以上に述べたように従来から指摘されている地形・地質的条件が概ね妥当であることを示している。反面、従来認められなかった火山性岩屑なだれ堆積物も液状化したことが報告されるなど、新たな課題も提起している。また、この地震は北海道においては、過去最大の液状化被害をもたらした。なお、被害例などのより詳細な調査・検討を行うことにより、従来の方法や改良より正確な予測が可能となると考えられる。

