

# 1993年釧路沖地震における地盤および土構造物の被害

## Damage to Grounds and Earth Structures during the 1993 Kushiro-Oki Earthquake

三浦均也\*, 吉田 望\*\*  
Kinya MIURA\*, Nozomu YOSHIDA\*\*

This paper presents the outline of the damage to grounds and earth structures caused by the 1993 Kushiro-Oki earthquake with the emphasis on the damages to residential sites. First, the outline of the damages to road and railway embankments, river dikes, port and harbor facilities and underground facilities is introduced; liquefaction of reclaimed ground and slope failure of fill embankments are focused on. Some remedial measures against liquefaction to the grounds and earth structures are briefly explained. Finally, occurrence of two typical ground failures in the residential sites is mentioned: Midorigaoka district, residential area in Kushiro City and Kayanuma district, Shibeche-cho.

Various types of ground failure such as slope failure, ground settlement, ground cracks, sand boils, and lateral movements are observed in Midorigaoka district, and buildings and underground utility lines were damaged. The relationships within the ground deformation pattern, surface ground conditions, and landform change are examined. The slope failure of the housing lot which caused total and partial collapses of more than 10 wooden houses, are examined by stability analysis with slip circle method and nonlinear dynamic response analysis. The instability of the slopes and the feature of the damage is clearly explained by the analyses in which the possible liquefaction of the fill material is suggested.

*Keywords* : earthquake, ground failure, earth structure, slope failure, slope stability, liquefaction  
地震、地盤破壊、土構造物、法面崩壊、斜面の安定、液状化

### 1. はじめに

1993年1月15日に北海道釧路沖で発生したマグニチュード7.8の釧路沖地震では、1982年3月の浦河沖地震以来我が国では約11年ぶりに釧路で震度VIを記録するなど、道東地方を中心に様々な被害が発生した。被害の工学的な特徴の一つとして、地震時における加速度によるとみられる構造物（建築物、橋梁など）の被害が少ないことが挙げられる。これに対して地盤および土構造物の被害は多く、また多岐にわたっており、種々の構造物にも被害が及んでいる。ここでは、まず、「液状化」と「盛土崩壊」を中心に被害の特徴（概要）を示す。次に、住宅地において建築物被害を生じさせた地盤・土構造物の被害について、釧路市緑ヶ岡

地区と標茶町茅沼地区を取り上げ、解析結果も含めて詳しく説明する。

### 2. 地盤と土構造物の被害の特徴

地盤または土構造物の被害に起因する、種々の施設への被害の概要とその分布については、土質工学会1993年地震災害調査委員会が出版した報告書「釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書」第1編第3章<sup>1)</sup>に詳しくまとめられているので、これを参照していただきたい。ここでは、被害の形態とその原因に着目し、地盤および土構造物の液状化に起因する被害と盛土の変形や破壊に起因する被害についてその特徴を取りまとめる。

\*北海道大学工学部土木工学科 助教授 工博

Associate Professor, GeoMechanics Group, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr. of Eng.

\*\*佐藤工業中央技術研究所 主任研究員 工博

Research Head, Engineering Research Institute, Sato Kogyo Co, Ltd., Dr. of Eng.

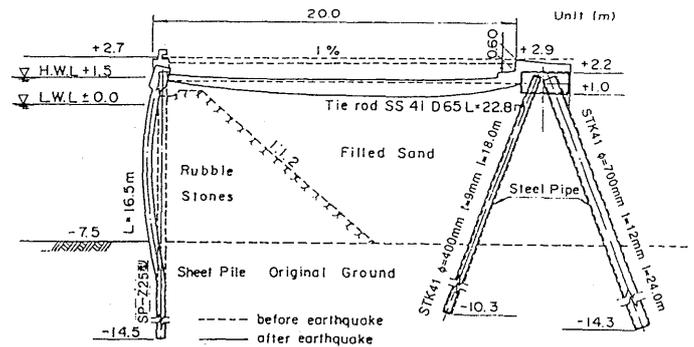
## 2.1. 地盤の液状化に起因する被害

道東を中心に青森県にまで及ぶ広い範囲で液状化現象が記録され、それに起因する被害が多く施設で発生した。中でも、釧路港を中心とする港湾施設の埋立地盤において被害は最大であった。多くの岸壁では液状化が発生したことによって、大規模な亀裂や段差が発生し多量の噴砂が確認されている。埋立地盤が液状化することによって側方圧力(土圧+水圧)が増加するので、多くの矢板式岸壁やケーソン式岸壁が海側へ迫り出し、沈下した。これによりエプロンの亀裂、沈下、陥没が発達し、港湾施設への被害が大きくなった<sup>1)2)</sup>。図-1(a, b)には一例として、釧路港漁業埠頭南端の矢板式岸壁で発生した被害の状況、およびその復旧計画を示している。エプロンは多量の噴砂を伴い最大1.0m沈下し、矢板が水中で破損するなどの修復不可能な構造的被害が発生した。この岸壁は被災後にケーソンを新設し、岸壁を前出することで復旧工事が行われた。北海道東方沖地震の際にはこの岸壁が再度強振動を受けたが、新設ケーソンには移動や沈下、回転などの損傷は無かった。北海道東方沖地震では矢板背面の液状化対策を施していない部分では釧路沖地震と同程度の液状化が発生し噴砂が見られたが、新設ケーソン部分ではケーソンと矢板間との間の裏込土が振動によって圧縮して地表面が沈下し亀裂、段差が発生した程度であった。

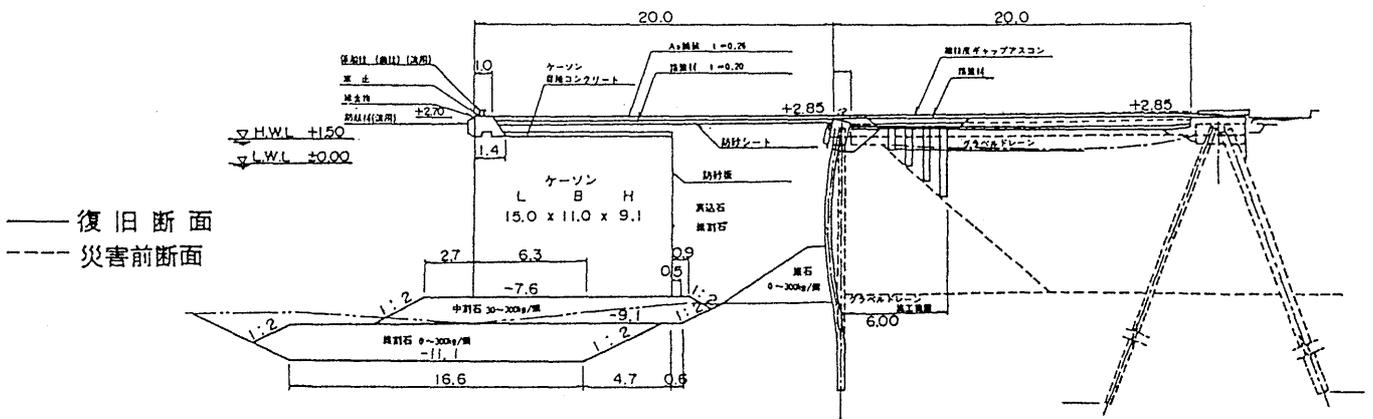
種々の港湾施設の設計に関しては以前から水平震度を考慮して安定性を検討している<sup>3)</sup>。また、釧路港では1986年十勝沖地震で被災して以来、港湾施設の液状化を防止するための対策工法が精力的に試みられてきており、釧路港東港中央埠頭岸壁、西港第1埠頭、西港第3埠頭では、サンドコンパクションパイル、グラベルドレーンなどの工法が併用して用いられている(図-

2参照)<sup>4)</sup>。港湾施設のみならず陸上の重要施設においても種々の液状化対策がとられるようになってきている<sup>5)</sup>。釧路沖、北海道東方沖両地震においては、釧路港における液状化対策の効果とその持続性が計らずも試されることになった。岸壁では、対策区間と無対策区間とでは被災率と被災の程度に明らかな差が認められており、その効果は実証された<sup>2)</sup>。

地盤の液状化によって地中埋設物が浮上するといった被害も音別町の浄化槽などで確認されている。住宅地においては盛土あるいは埋立地盤の液状化によってライフラインへの被害が発生しており、周辺の道路などにおいても路面の変状が見られた。1.3mにも及ぶマンホールの浮上により注目を集めた釧路町木場・桂木地区における下水道の被害は、復旧工事の際に行われた詳細な開削調査によって管渠も同程度浮上していることなどが明らかにされ、埋戻し土が液状化した可能性が高いことが分かっている。同地点では北海道東方沖地震においても最大30cm程度のマンホール浮上が確認され、埋戻し部分の地盤の変状も見られた。



(a) 被害状況



(b) 復旧計画

図-1 釧路港東港区漁業埠頭南端における矢板式岸壁<sup>1)</sup>

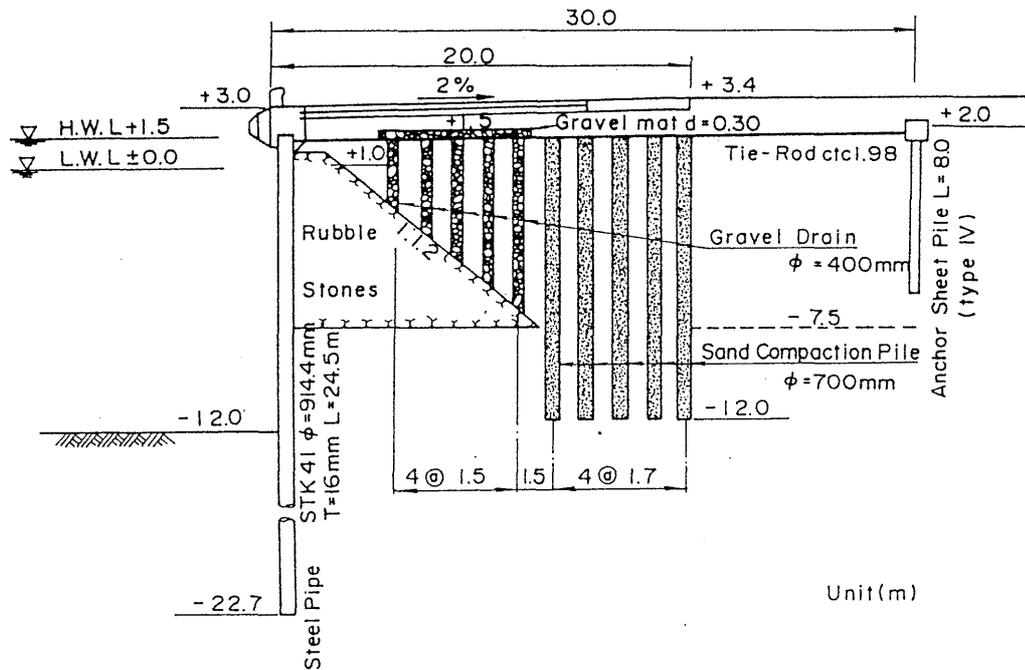


図-2 釧路港西港区第一埠頭南側岸壁における矢板式岸壁の液状化対策工法<sup>1)</sup>

## 2.2. 盛土の変形や破壊に起因する被害

釧路沖地震では、崩壊土砂により鉄道の軌道が埋まった被害を例外的として、自然斜面あるいは切土斜面の崩壊が原因とされる被害はほとんど見られなかった。しかし、盛土の過大な変形や、崩壊、あるいは盛土法面の崩壊に関連して多くの被害が発生している。釧路港などで液状化に起因する大きな被害を引き起こした埋立地盤を含めると、被害全体の9割以上が盛土や埋立地盤といったいわゆる人工的な地盤や土構造物の変形、破壊を原因としている。

盛土の変形や破壊は、道路、鉄道、河川堤防などの諸施設での大きな被害の直接原因となった他、住宅地においても盛土に関連した大きな被害が発生している。ライフラインの被害のうちNTT通信ケーブルやガス、上下水道に代表される地中埋設物（管渠）の被害も盛土の変形や破壊によるものが多い。盛土が大きく破壊、崩壊しないまでも、隣接する切土や橋などの構造物と変形量が異なることによって、亀裂や段差、陥没が道路や鉄道における多くの箇所が発生し、ライフライン等の地中埋設物の被害へと発展している箇所も多い。

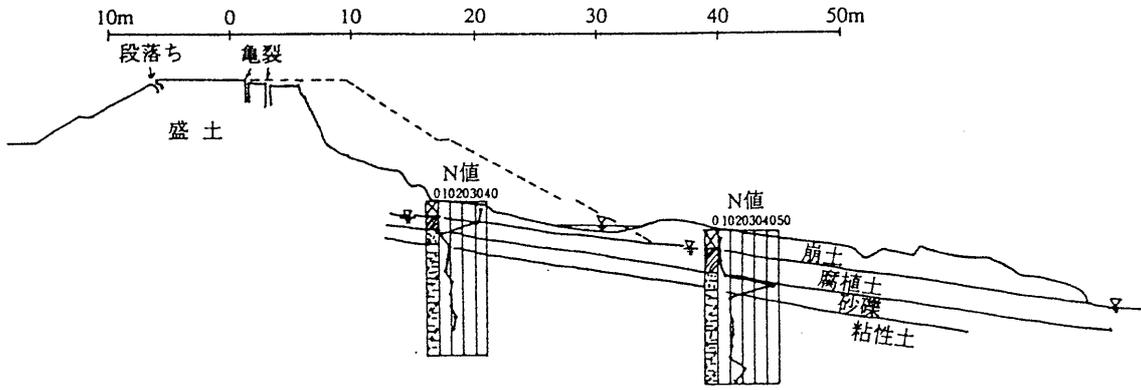
盛土に関連する各被災例を横断的に整理すると被災した盛土のパターンは以下の3つに分類できよう。

1. 傾斜地における盛土
2. 沢地形（集水地形）における盛土
3. 軟弱地盤（泥炭地盤など）における盛土

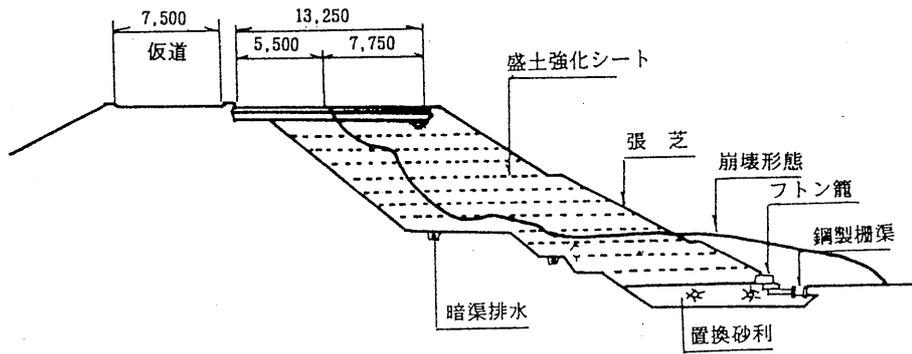
釧路市緑ヶ岡6丁目や材木町18番地、武佐4丁目

における被害は宅地造成に伴って傾斜地を埋めるように作られた盛土の崩壊が原因であり、旧斜面と盛土の接合面ですべりが発生した。

道路や鉄道で発生した大きな被害は沢地形に建設された盛土の崩壊によるものが大部分を占めていて、これらは傾斜地に建設された盛土（国道38号馬主来は旧盛土に腹付けされた盛土、国道44号糸魚沢は片切片盛の盛土）であると同時に、沢地形の集水作用により盛土内の地下水位が上昇していたことにより大規模な崩壊に発展した。図-3(a, b)には、国道38号馬主来における盛土崩壊時の様子と復旧計画を示している。これらの被災地点では盛土材料が泥濘化して流動化していることから、地下水を含むことによって盛土材の重量が増加したことに加えて、液状化初期の過程で見られる間隙水圧の上昇、有効応力の低下が盛土の地震時の安定性を極端に低下させたと考えられている。道路盛土の設計に際しては、盛土材料の種類によって標準的な盛土勾配が得られているが、常時の設計で法面の安定性を安全率が1.2を確保することとし、湧水の影響を受ける場合、基礎地盤が軟弱である場合などには特別に検討することになっている<sup>6,7)</sup>。図3(b)に示すような復旧計画では、法面勾配を緩くすることよりも、「補強材によって盛土の強度を増加させること」、「排水処理を行うことによって盛土内の地下水位を低下させること」に力点を置いている。北海道東方沖地震では数箇所で行われた同様な対策が効果を発揮し、周辺の

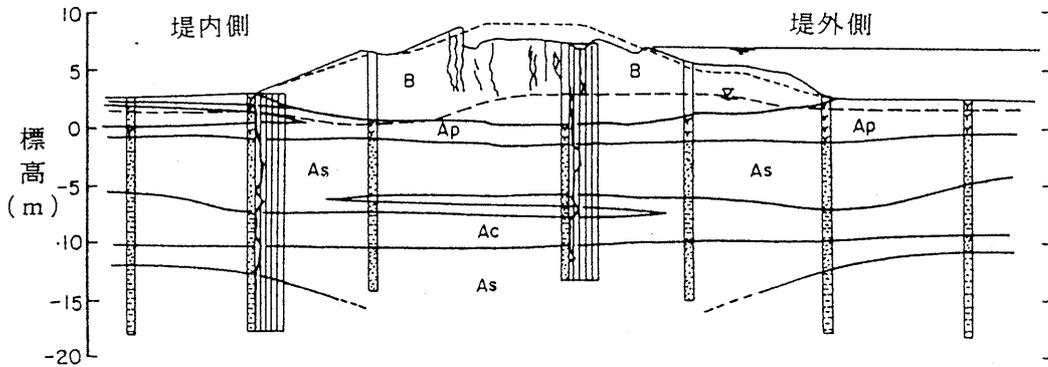


(a) 道路盛土の崩壊状況



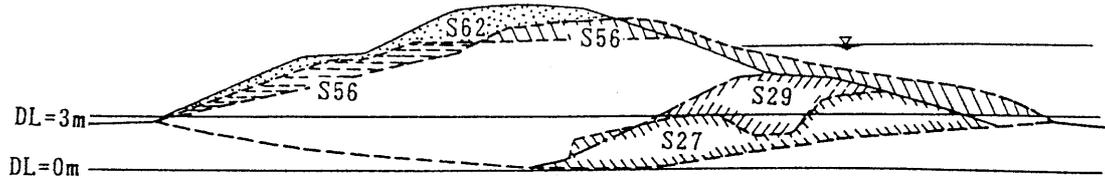
(b) 復旧計画

図-3 国道38号白糠町馬主来<sup>1)</sup>



凡例；堤体盛土 B 泥炭層  $\square Ap$  砂層  $\square As$  粘土・シルト層  $\square Ac$

(a) 被災断面 (KP9.85km)



(b) 堤防築造過程

図-4 釧路側遊水池左岸<sup>1)</sup>

盛土と比較しても亀裂の発生が少ないなどの高い安定性が確かめられた。

道路や鉄道では軟弱地盤上に造られた盛土の過大な変形や破壊によっても被害が発生している。これらの被災箇所では泥炭性軟弱地盤である地盤が大きく変形し、これによって盛土全体が側方流動と縦断方向の亀裂を伴い沈下、陥没している。鉄道においては築堤中央が箱状に大きく陥没する被災形態も報告されている。釧路川、十勝川などで河川堤防は縦横断方向の亀裂や陥没を伴う大きな被害を受けたが、復旧工事に伴って行われた開削調査では、泥炭性軟弱地盤中に埋没した盛土材料が液状化したことが明らかにされた(図-4(a, b)は釧路川左岸堤防の代表的な被災断面とその築造の過程を示している)<sup>1,2)</sup>。復旧に対しては基礎地盤の液状化対策が大幅に取り入れられ、基礎地盤の沖積砂層を対象にサンドコンパクションパイル工法を採用している<sup>1)</sup>。

後で説明する標茶町茅沼地区で崩壊した住宅地造成盛土は「集水地形において軟弱地盤上に建設された盛土」と考えて良いであろう。

### 3. 宅地造成地盤の被害とその特徴

地盤災害に伴う建築物の被害は造成地盤が多かった。ここでは、釧路市緑ヶ岡地区と標茶町茅沼地区における2つの住宅盛土について詳細に検討した結果を紹介する。

#### 3.1. 釧路市、緑ヶ岡地区<sup>8)</sup>

緑ヶ岡は、釧路市東部の住宅地域である。旧釧路川の東側では、河口部は大正時代には既に市街化されており、次第に東北方向に宅地が開発されていった。宅地化は1960年から1970年にかけて急速に進行し、ここで示す緑ヶ岡では1972年から1973年にかけて造成が行われている。造成は釧路段丘を整地掘削したり、開析谷に盛土したものである。なお、この地域は宅地造成工事規制区域に指定されている。

原地盤である釧路段丘の表層地質は、下から、釧路層群(粘土、砂礫、砂)、大楽毛層(砂)、屈斜路軽石堆積物(軽石質火山灰)で構成されている。また、開析谷には軟弱な粘土や泥炭が堆積している。

図-5にこの地域の詳細な地盤変状および家屋の被害を示す。アンケート調査によれば、この地域の震度は5.7である<sup>9)</sup>。この地域では、図-5に示した建築物の被害の他、上水道(本管2箇所、給水管9箇所)、下水道(8路線)、ガス(23箇所)など、ライフライン施設の地中埋設管の被害も生じている。また、下水ではマンホールの浮き上りやパイプの抜け出しなども発生している。これらの被害は、すべて地盤変状に伴って発生したものと考えられる。また、盛土上の家屋が

土砂とともに滑落する被害となった斜面崩壊もこの地域で発生している。

図-6にこの地区の断面を示す。斜面崩壊は台地から低地へと移る斜面上で生じている。また、液状化による噴砂は緩い斜面後部から中腹にかけて発生している。噴砂の粒度分析から、液状化したのは造成に使われた盛土材料(火山灰砂)であると考えられる。なお、低地で噴砂が少なかったが、これは凍上の影響であると考えられる。北海道東方沖地震でもこの地域では同様な地盤変状が見られ、その規模は釧路沖地震よりもやや小さめであるにもかかわらず、より多くの噴砂が発見されている。斜面の上方に噴砂が見られたのは液状化により斜面が下方に移動し、上方に亀裂が発生したためであると考えられる。図-5の亀裂の状況からもこのことが確認できる。

図-7は地震前後の航空写真から求めたこの地域の地盤改変の状況と被害を示している。斜面崩壊、亀裂、噴砂などの地盤変状に伴う住宅や埋設管渠への被害が盛土部分に集中していることが分かる。

ここで示した調査結果より、造成に用いられた火山灰砂の盛土が液状化したことがこの地域で発生した地盤変状の主要な原因であると言える。

#### 3.2. 茅沼地区造成盛土<sup>10,11)</sup>

##### 3.2.1. 盛土造成の状況

標茶町茅沼地区の宅地造成地は傾斜地を整形することによって造成したもので、シラルトロエトロ湖につながる湿地帯泥炭地盤上に長さ200mに及ぶ盛土を建設している。1期工事(1982年)では西側の一部に温泉を利用してレストランとホテルが建設され、2期工事(1985年)では大規模な造成が行われて温泉が利用できる住宅地となっている。1993年釧路沖地震ではこの造成地が初めて強震動を受けたことになる。図-8(a)は1期工事終了後の地形図、図-8(b)は2期工事の造成計画平面図に被災状況も合わせて示している。造成盛土が湿地帯に向かって崩壊し、湿地帯よりの住宅10数軒が斜面滑落を含む全壊・半壊の大きな被害を受け、ほとんどが継続使用不可能な状態になった。湿地帯側の道路では沈下が最大1m以上にも及んでおり、排水路、電線・電話線架空部分の被害も甚大で、上水と温泉を各戸に配水する管路も全面的に破壊された。造成は湿地帯に向かう地山斜面を切り崩し、残土を湿地帯に向かって盛土することによって用地を拡幅する、という方式で行われた。地震時に斜面崩壊を起こした部分は高さが10m程度の盛土である。盛土材料には地山を切り崩した際の発生土砂を当てており、この地域全体がそうであるように火山灰性のシルト質砂あるいは砂質シルトである。盛土の転圧は重機で行われ、ブルドーザーのキャタピラおよびショベルのアタッチメントに

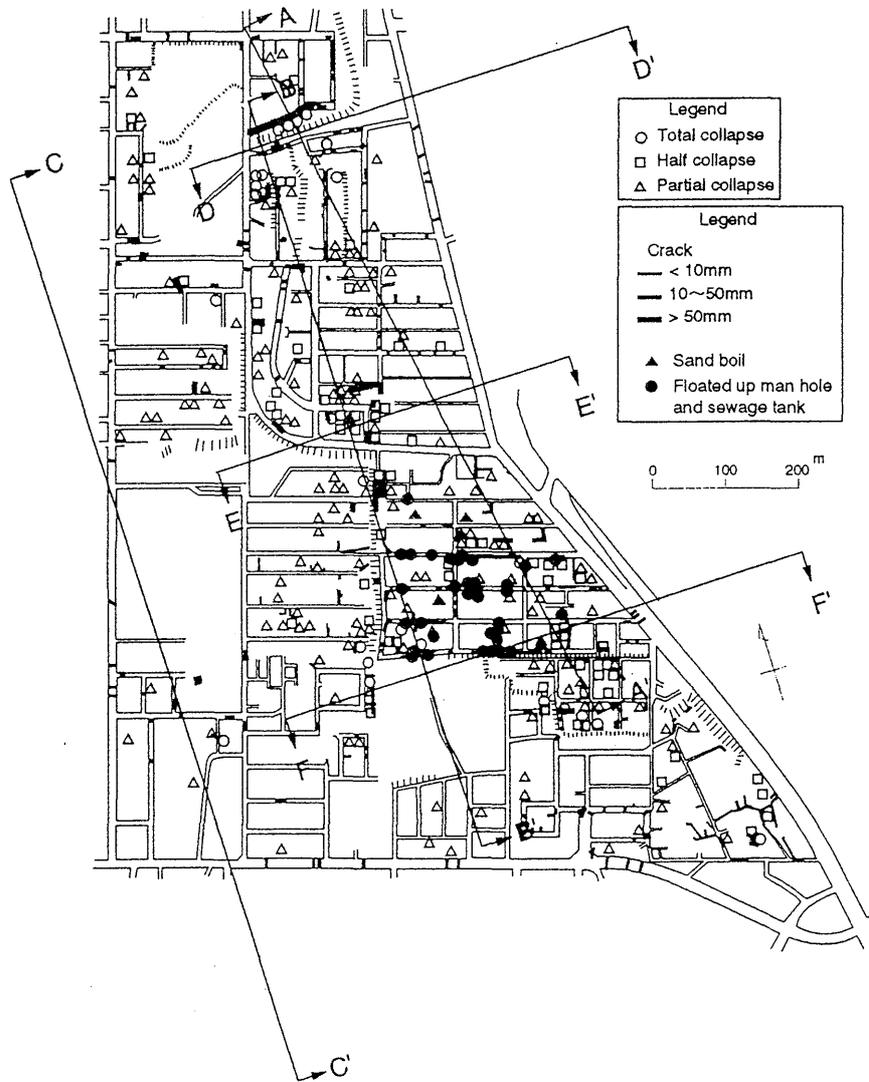


図-5 釧路市緑ヶ岡地区における住宅被害の状況

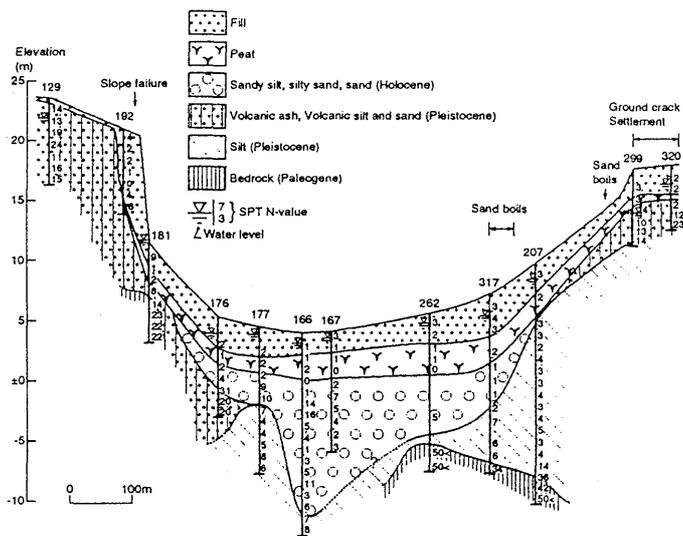


図-6 釧路市緑ヶ岡地区における地質断面

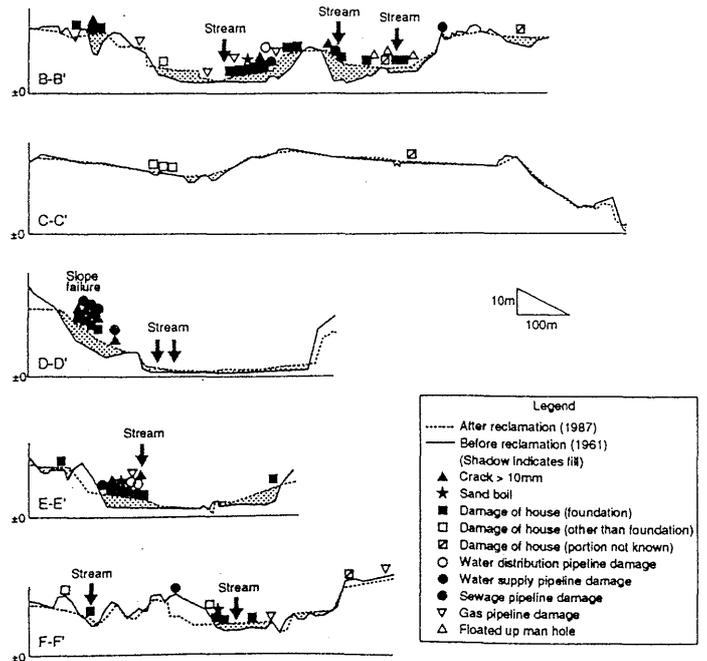
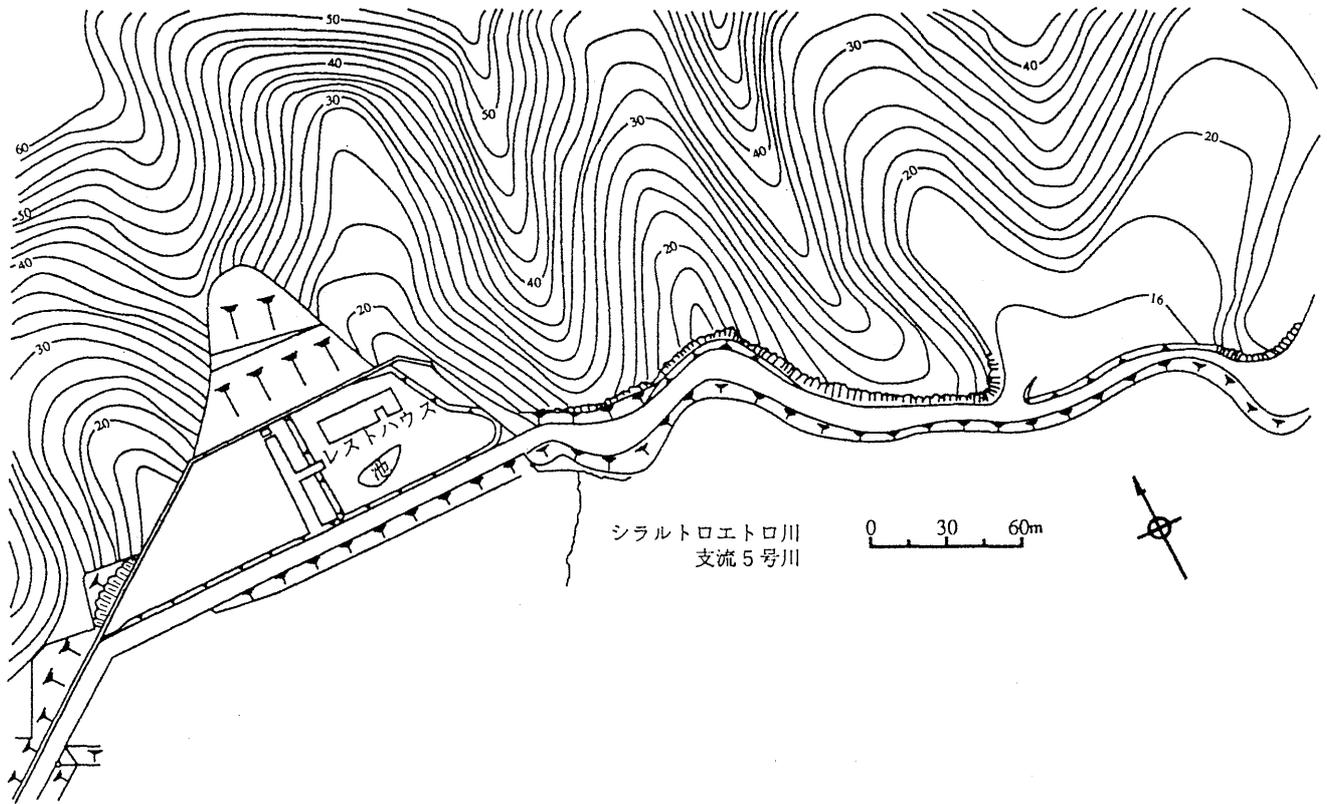
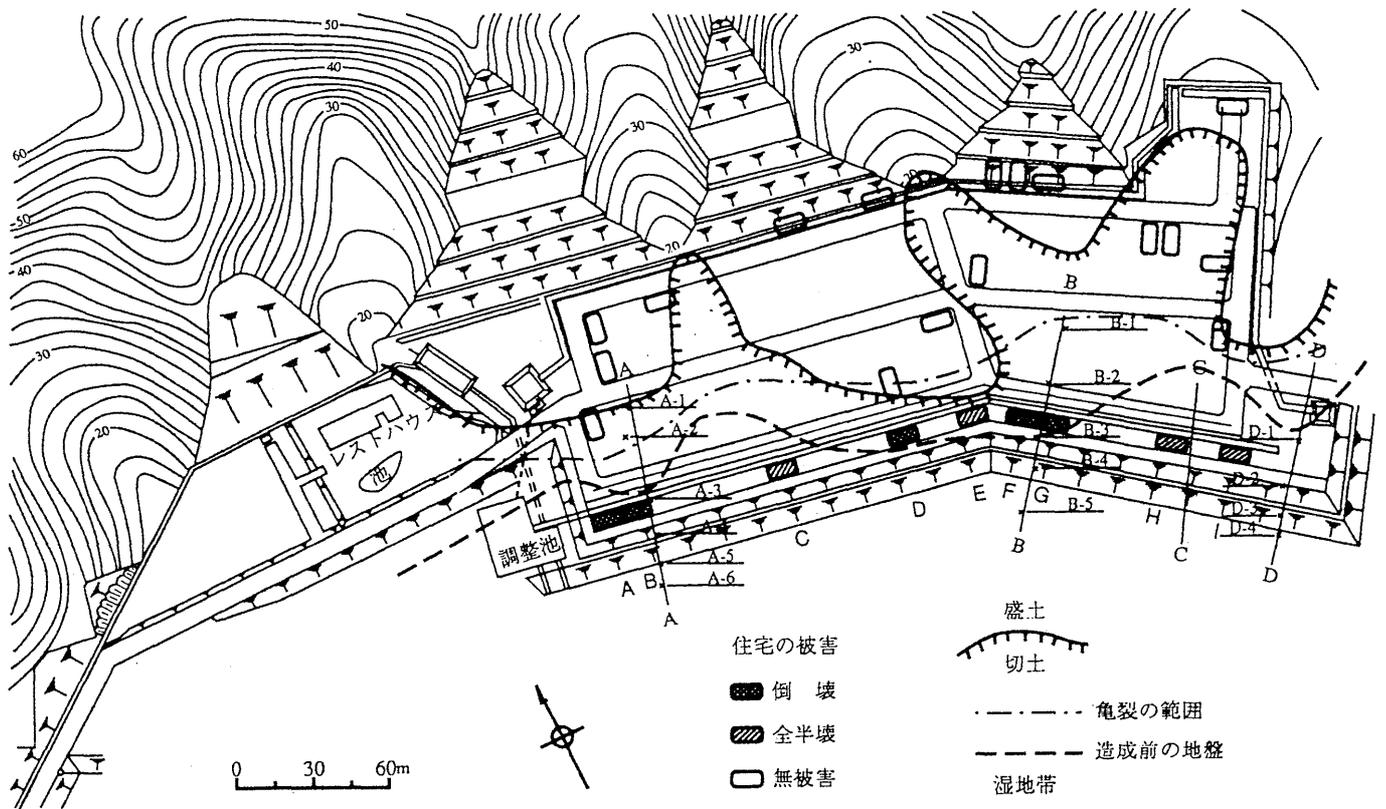


図-7 釧路市緑ヶ岡地区における宅地造成による地盤改変と被害の分布



(a) 第1期造成工事 (1982年)



(b) 第2期造成工事 (1985年) と被害の状況

図-8 標茶町茅沼地区における宅地造成盛土

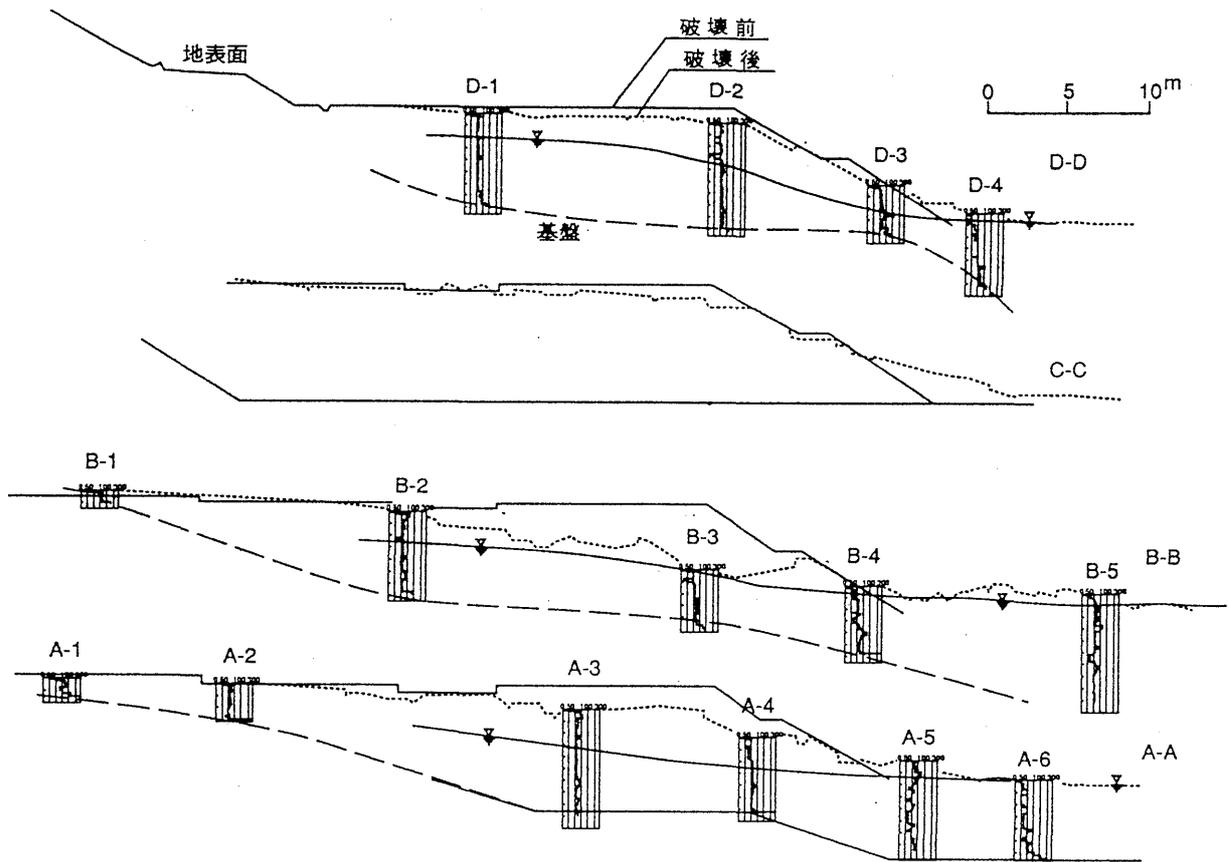


図-9 盛土部分の縦断面図と盛土の変形状況、地質調査結果

よるものである。巻き出し厚等についての管理は特に行われていないと思われる。盛土は4筋の沢を埋めるように建設されており、旧沢部の集水作用によって盛土内の水位はかなり高くなっていったと考えられる。法面崩壊後は水たまりが多く見られた。盛土内部における地下水対策または排水施設は特に設けられていない。

### 3.2.2. 現地調査の結果

図-8(b)には地表面の亀裂(2cm以上)の大まかな分布も示しており、亀裂の発生した範囲と盛土と切土の境界は比較的良い対照を示している。図は被害を受けた住宅地の分布も示しているが、湿地帯側盛土法肩部に造られた庭はほとんどが斜面を滑り落ちるようにして流失し、家屋も滑落しているものが見られた。

盛土断面の調査は図-8(b)に示す4断面について行った(B-B断面は被害が最大、D-D断面は被害が最小の箇所)。図-9は各断面の縦断形状と調査結果を示している。調査は縦断測量とスウェーデン式貫入試験からなっている。

斜面崩壊の形態は流動型が主体であるが、円弧滑り

を示唆する住宅の山側への傾斜および斜面先の灌木の山側への傾斜、転倒が見られる。崩壊盛土上で確認された水たまりと貫入試験後に回収したロッドの汚れ具合から推定した地下水位を図中に示している。

### 3.2.3. 盛土法面の安定性の解析による検討

当該の盛土については円形すべり面を設定する分割簡便法と有限要素法による液状化を評価できる動的有効応力解析を行っている。解析手法の詳細および原位置調査および室内試験から決定した土質定数等については別報<sup>10,11,12)</sup>を参照していただきたい。

すべり円法では震度法によって地震加速度を考慮する方法を採用し、水平震度 $k_h$ を0~0.3まで変化させて計算を行った。ちなみに、道路橋示方書<sup>13)</sup>よると設計水平震度としては $k_h$ は0.25が適当であると考えられる。地下水の排水処理の効果を推定するために、地下水が有る場合(Case-a)と無い場合(Case-b)の2通りについて解析を行っている。解析結果の一例として、断面と臨界円の位置を図-10(a-c)に示している。また、全ケースについて得られた安全率を表-4に整理している。図が示すように臨界円はすべて基盤に接しており、泥

炭層を通る底部破壊となっている。地下水が存在する場合には、安全率が(B-B)、(A-A)、(D-D)断面の順に大きくなり、(B-B)断面では水平震度  $k_h=0.2$ 程度で安全率が1.0を下回る。解析結果はおおむね現地における被害の程度と整合し、安全率の大小関係は図8-(b)に示した盛土の変形の程度に対応している。

図-11(a-c)には(B-B)断面における有限要素法のモデル、振動後の盛土の変形の様子および間隙水圧の上昇過程を示している。時刻約7秒で湿原側下端で液状化が始まり、14秒位になると地下水位以下の盛土材料はほとんどが液状化に至っている。この段階で盛土は図-11(b)に示すような大変形を伴って崩壊している。

解析結果について地下水排水の効果を見てみる。安定解析では盛土重量の軽減などによって安全率は0.1程度大きくなるが、地下水の排水処理による盛土の安定性は大きく改善されるとは言えない。一方、有効応力解析が示すように液状化による盛土材料の強度低下が盛土崩壊の主原因であるとする、地下水の排水処理を行うことによって液状化が押さえられれば、盛土のダメージは格段に小さくなると考えられる。

盛土は被災後、小段を設けるなどして法面を緩やかに、そして盛土の崩壊によって流下した土砂の一部を押さえ盛土として残して転圧するなどによって行われた。しかし、北海道東方沖地震においても盛土が大きな変形を起こし、家屋の被害を受けた。両地震での当該地点における地震動の大きさが明らかでないで直接比較するのは難しいが、法面崩壊の形態はほぼ同じであった。地盤の凍結と積雪のために確認することが出来なかった液状化の痕跡である噴砂を、北海道東方沖地震では盛土上部数箇所で見つけることができた。したがって、有効応力解析により示されたように盛土材料の液状化が大きな被害の主要な原因であると思われる。

#### 4. あとがき

1993年釧路沖地震において発生した地盤および土構造物の被害を住宅地における被害に焦点をあてて説明した。緑ヶ岡地区および茅沼地区ではともに大きな地盤変状によって住宅、ライフライン施設などが被害を受けた。両地点における宅地造成の履歴、地質条件などを検証し解析を行った結果、地盤条件と地盤変状、被害との間には密接な関係があることが明らかとなり、また、盛土内では地下水位が比較的高く、盛土材料の液状化がこのような地盤変状およびそれに関連する被害を引き起こした可能性が極めて高いことが分かった。

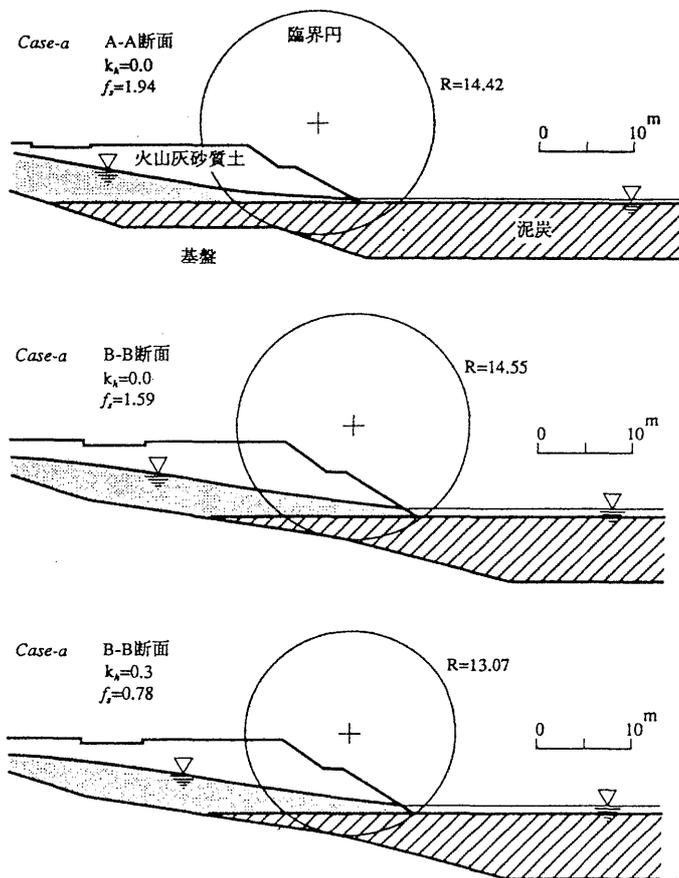
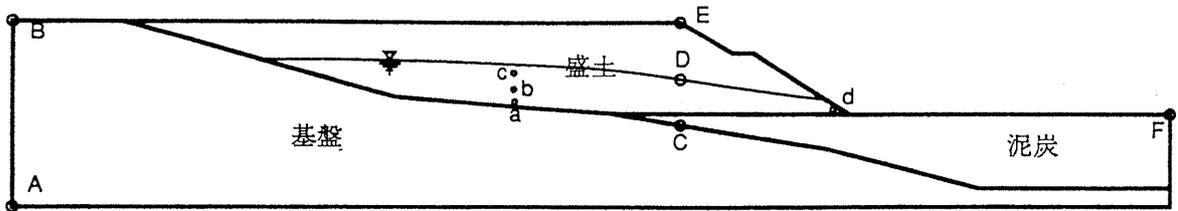


図-10 円弧すべり面法による法面安定解析の臨界円

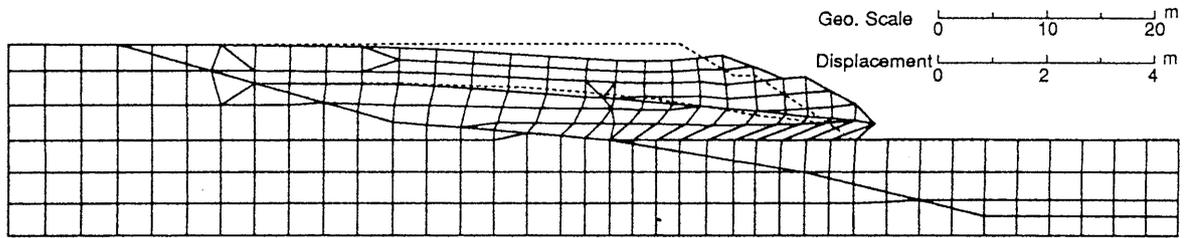
表-1 円弧すべり面法による法面安定解析結果

Case	断面	$k_h = 0.0$	$k_h = 0.1$	$k_h = 0.2$	$k_h = 0.3$
Case-a 地下水有り	A-A	1.94	1.47	1.16	0.93
	B-B	1.59	1.23	0.97	0.78
	D-D	2.29	1.83	1.51	1.27
Case-b 地下水無し	A-A	2.01	1.52	1.21	0.99
	B-B	1.70	1.32	1.05	0.86
	D-D	2.42	1.95	1.62	1.37

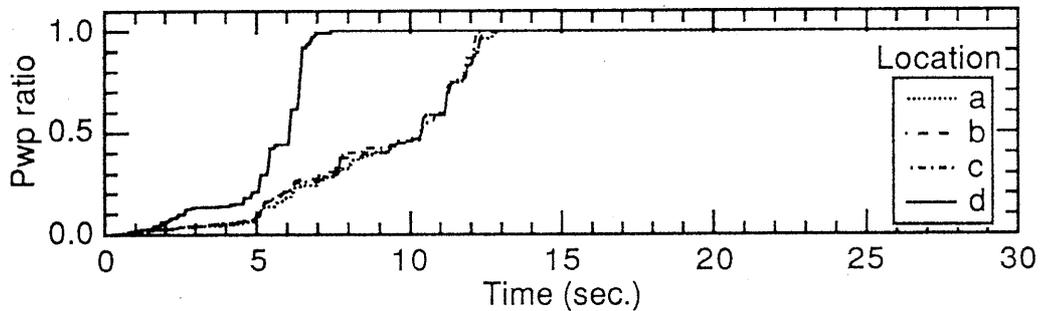
著者らは釧路沖地震地震発生後、土質工学会において組織された「1993年地震災害調査委員会」に参加し、他の委員とともに地震被害の土質工学的調査、整理および検討を行ってきた。その成果は「1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書」に集成されているが、ここではその成果の一部を地盤の変状、特に液状化と盛土の崩壊に焦点を絞ってまとめている。



(a) 解析モデル



(b) 解析終了時の盛土の変形状況



(c) 盛土内の間隙水圧上昇過程

図-11 有限要素法による動的シミュレーション

[参考文献]

- 1) 土質工学会(1994) :
- 2) 北海道開発土木研究所(1993) : 1993年釧路沖地震被害調査報告、開発土木研究所報告、第100号
- 3) 日本港湾協会(1989) : 港湾の施設の技術上の規準・同解説(改訂版)上・下巻
- 4) 沿岸開発技術研究センター(1993) : 埋立地の液状化対策ハンドブック
- 5) 土質工学会(1993) : 液状化対策の調査・設計から施工まで
- 6) 日本道路協会(1986) : 道路土工、のり面工・斜面安定工指針、pp.141-169.
- 7) 日本道路協会(1988) : 道路震災対策便覧、pp.80-93.
- 8) K. Wakamatsu and N. Yoshida(1994) : Proc., 5th US-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Counter-measures against Soil Liquefaction, Snowbird, Uta, Sept.29-Oct.1, 1994.
- 9) 佐藤俊明、翠川三郎、松岡昌志(1993) : 1993年釧路沖地震における釧路市内の地震動強さ その1、釧路市の地盤、被害分布および震度分布について、日本建築学会大会学術講演梗概集
- 10) 三浦均也、西村右敏、吉田望、鷺尾朝昭、高原利幸、前田健一(1994) : 1993年釧路沖地震における標茶地区宅地造成盛土の崩壊、土質工学会北海道支部第34回技術報告会、pp.38-47
- 11) 三浦均也、西村右敏、吉田望、鷺尾朝昭(1994) : 1993年釧路沖地震による宅地造成盛土被害の安定解析、第29回土質工学研究発表会、pp.983-986
- 12) Finn, W. D. L., Yogendrakumar, M., Yoshida, N. and Yoshida, H. (1986) : TARA-3: A program for nonlinear static and dynamic effective stress analysis, Soil Dynamics Group, University of British Columbia, Vancouver, Canada
- 13) 日本道路協会(1990) : 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、pp.135-141