

## 技術資料

# 地形・地質から見た地震災害

# Part I

### 1978年宮城県沖地震~1995年兵庫県南部地震



基礎地盤コンサルタンツ株式会社

執筆:		
森本	嚴	(営業本部 地震防災室)
協力:		
米岡	威	(営業本部 営業戦略室)
山本	裕司	(技術本部 地盤・岩盤解析室)
齋藤	晶子	(営業本部 業務管理室)

刊行にあたって

今年は津波によって多くの命が失われた東日本大震災から 10 年目を迎えました。この地震 だけではなく、毎年のように過去の多くの地震の慰霊祭が行われています。

我が国は世界有数の地震国であり、これまで多くの被害を受けてきました。我が国の国土は ユーラシア大陸の東縁に位置し、大陸プレートである北米プレートおよびユーラシアプレート に太平洋プレートとフィリピン海プレートという二つの海洋プレートが潜り込むという地域 に立地しているため、大きな地震が常に発生してきました。また、国土を構成する地盤はモン スーン気候による多くの降雨のため、風化が早く脆いと言われています。このような自然条件 に加えて、人口の大都市集中により、本来は避けられてきた危険な地形や地盤にも多くの人々 が居住する時代になってきており、地震をはじめとする自然災害に対するリスクが高まってき ていると言えます。

弊社では、最初の都市型災害と言われている 1978 年宮城県沖地震において、初めて現地の 被害調査に基づいて調査報告書をまとめ、内外に公表しました。この調査は地盤のコンサルタ ント会社として、地盤や土構造物等に関して有用な情報をいち早く関係者の皆様にお届けする こと目的として行われたものです。それ以降、大きな被害地震について、同様な調査を行い、 報告書を公開して参りました。

これまで作成した調査報告書は、国内 23 地震、国外 5 地震に上っており、印刷物として配 布する傍ら、ホームページにも掲載し、情報を迅速に広く伝えることに努めてきました。

最初の被害調査から今年で 43 年になります。これまで作成してきた調査報告書は速報性を 重視し、地盤・土構造物等の被害を現地で撮影した写真を中心に速報という形で提供してきま した。

今回、発刊いたしました社内技術資料は、特に被害の大きかった地震を対象として、これま での調査速報を基本として、速報段階では分からなかった被害原因やその後の復旧に関する 情報を簡潔にまとめたものです。複数の地震を取り上げることによって、地震被害の共通性や 多様性が明らかになることも期待しております。

本書は 1978 年宮城県沖地震から 1995 年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)までの 8 つ の地震を取り扱っています。1 つの地震について平均 25 ページ程度でまとめておりますので、 細かい情報までは取り上げておりませんが、どのような地震であったのかが大まかに把握でき るように留意しました。

執筆にあたり、関連する多くの研究成果や情報を引用させて頂きました。ここに関係各位に 厚く御礼を申し上げます。

2021年7月

代表取締役社長 柳浦 良行

#### 1978年宮城県沖地震



**鉄筋コンクリート建物のせん断破壊(仙台市苫竹)** 1階の柱が曲げとせん断によって破壊し、軸 力を支えきれなくなり崩壊に至った。



**丘陵を切盛りした宅地造成地の崩壊(仙台市緑ヶ丘)** 丘陵の谷間の盛土造成地盤が強度不足 により崩壊し、多数の住宅が被害を受けた。

#### 1983年日本海中部地震



**矢板式岸壁のはらみ出しとエプロンの沈下(秋田港大浜地区岸壁)** 背後地盤の液状化により 土圧が増加し、前面矢板が変形・折損した。矢板のはらみ出しに伴って背後地盤が沈下・陥没した。



橋梁取り付け道路盛土の崩壊(八郎潟五明 光) 盛土の基礎地盤が液状化して、沈下すると ともに水平方向に広がったため、土塊がバラバラ になった。

#### 1984 年長野県西部地震



**木曽御岳山南側斜面の大崩壊** 標高 2,100m 付近の小規模な崩壊に足元をすくわれるような形で標高 2,550m を源頭部とする上部の地層が崩壊した。約 3,400 万 m<sup>3</sup>の土塊が流下し、麓の王滝川を埋塞した。



崩壊土砂の埋塞により湛水した王滝川 堆積 土砂が大量であったため、原形復旧はできず、「自 然湖」という名前の天然ダム湖が残されている。

#### 1987年千葉県東方沖の地震



**東京湾岸の埋立地で見られたシルト質土の噴砂(千葉市美浜区高洲二中グラウンド)** 湾岸の埋立地では、液状化しやすいとされている砂質土より粒径が小さいシルトの噴砂が認められた。



道路の波打ち(県道飯岡-一宮線 東浪見) 海岸線に平行に走る道路が約 1km にわたって不同 沈下(波打ち)と水平移動が見られた。この付近は砂鉄の埋め戻し土による緩い地盤が散在している。

#### 1993年釧路沖地震



**盛土の崩壊による住宅の滑落(釧路市緑ヶ岡)** 丘陵地端部の谷間を火山灰土で盛土して造成 された斜面が崩壊し、住宅が一緒に滑り落ちた。



**下水道マンホールの浮き上がり(釧路町桂** 木) 泥炭地盤に設置した下水道マンホールが約 1.5m 浮き上がった。このような大きな浮き上がりの 原因は、埋め戻し土の液状化により発生した過剰 間隙水圧の消散が泥炭層によって阻害されたた めと言われている。

#### 1993年北海道南西沖地震



**奥尻港背後斜面の崩壊(奥尻町奥尻地区)** 奥尻港背後の観音山(標高 135m)の斜面が崩壊した。このため麓にあった宿泊施設が倒壊埋没し、29 人が犠牲となった。



**河川堤防の縦断亀裂(後志利別川)** 日本海に注ぐ後志利別川の河口付近で地盤の液状化により 堤防に亀裂等の被害が発生した。

#### 1994年北海道東方沖地震



中標津空港近隣道路に生じた陥没 この陥没は道路を横断しているボックスカルバートが約 80cm 開口したために生じた。



根釧台地を走る道路盛土の崩壊(国道272号 標津町茶志骨) 根釧台地は東西方向の谷が多 く走っており、そこを横断する道路盛土に亀裂や崩壊などの被害が生じた。

#### 1995年兵庫県南部地震



**倒壊したピルツ高架橋(阪神高速道路3号神戸線)**桁と橋脚が剛結されたピルツ形式の高架橋の橋脚がせん断破壊により倒壊した。原因としては帯鉄筋が不足して靭性が乏しかったこと、定着が不 十分であったことが挙げられている。



ポートアイランド北側護岸の流動・崩壊(-4m 護岸) 剛性の比較的小さな護岸は下部および背後地盤の液状化によって、前面に流動するように崩壊した。

目	次

	頁
1. 本書の内容・構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
2 宜城県沖地電	
2.1       地震および被害の概要	5
2.2         宮城県および仙台周辺の地形・地質         ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
2.3 地震被害 ······	12
3. 日本海中部地震	
3.1 地震および被害の概要 ······	21
3.2 青森·秋田地域の地形·地質 ······	25
3.3 地震被害の特徴 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	33
3.4 地震被害 ************************************	39
4. 長野県西部地震	
4.1         地震および被害の概要	55
4.2 木曽御岳南麓の地形・地質 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	57
4.3 地震被害 •••••••••••••••	62
4.4 復旧 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	70
5 千葉県東方沖の地震	
5.1 地震および被害の概要 ······	75
5.2 南関東地域の地形・地質 ·····	77
5.3 地震被害 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	82
6. 创攻油地震	
<ul> <li>0. 動路件地展</li> <li>6. 1. 地電お上び被害の概要</li> </ul>	91
<ul> <li>6 2 釧路地方の地形・地質</li> </ul>	97
6.3 地震被害 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	104
<ol> <li>1. 批選おたび対案の概要</li> </ol>	110
<ol> <li>1 地長わよい彼吉の執安</li> <li>7 9 道南地古の地形・地質</li> </ol>	119
7.2 追用地方的地方地員       7.3 批畫·津波被害	120
	101
8. 北海道東方冲地震	1.40
8.1 地震およい 彼害の 概要 ···································	149
8.2 退東地方の地形・地貨 8.2 地震加生	153
<ul> <li>8.3 地長</li></ul>	107
0.4 则跖骨地质C北海道术力行地质的比较	100
9. 兵庫県南部地震	. – .
9.1 地震および被害の概要 ······	173
9.2 阪仲· () () () 1000 () 100	181
9.3 地展倣音 0.4 氏庫圓歯鉱地雲凹際の亦化	187
2.4 六座亦用即地辰以阵"2.1	203
10. まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	209
謝辞 ••••••••	212

#### 1. 本書の内容・構成

#### (1)背 景

1978年6月に発生した宮城県沖地震において初めて地震災害の現地調査を行った。それに基づいて調査速報を作成し、関係者に配布したのが、現在まで続いている当社の地震被害調査シリーズのスタートであった。印刷物として発行した報告書は表1.1に示す28地震(国内23、海外5)で、このほかに印刷は行わなかったが、ホームページに掲載した報告書も数点ある。

宮城県沖地震から43年経ち、印刷物としては平均して1年半に1回の割合で発行してきた ことになる。

	地震名	発生年	м	最大震度		地震名	発生年	м	最大震度
	宮城県沖地震	1978	7.4	5		十勝沖地震	2003	8.0	6弱
	浦河沖地震	1982	7.1	6		新潟県中越地震	2004	6.8	7
	日本海中部地震	1983	7.7	5		福岡県西方沖地震	2005	7.0	6弱
	長野県西部地震	1984	6.8	6		能登半島地震	2007	6.9	6強
	千葉県東方沖の地震	1987	6.7	5	国内	新潟県中越沖地震	2007	6.8	6強
	釧路沖地震	1993	7.5	6		岩手·宮城内陸地震	2008	7.2	6強
	能登半島沖地震	1993	6.6	5		東北地方太平洋沖地震	2011	9.0	7
四四	北海道南西沖地震	1993	7.8	6		熊本地震	2016	7.3	7
	北海道東方沖地震	1994	8.2	6		北海道胆振東部地震	2018	6.7	7
	兵庫県南部地震	1995	7.3	7		ロマ・プリータ地震	1989	6.9	-
	鳥取県西部地震	2000	7.3	6強		ルソン地震	1990	7.8	-
	芸予地震	2001	6.7	6弱	海外	ノースリッジ地震	1994	6.7	-
	宮城県沖の地震	2003	7.1	6弱		トルコ・コジャエリ地震	1999	7.4	-
	宮城県北部の地震	2003	6.4	6強		台湾·集集地震	1999	7.6	-

表 1.1 印刷物として発行された地震調査報告書

地震調査報告書は、できるだけ早く地震被害の情報を関係者に伝えることを目的としていた ため、現地で撮影した写真の説明を主体とし、被害の原因となる地形・地盤条件等の情報を加 えた内容となっており、この形は現在も変わっていない。速報性という観点から、被害の原因 に関する調査研究の成果や復旧・復興については含まれていない。

多くの調査報告書の発行を重ねる中で、世の中にインパクトを与えてきた複数の被害地震を 対象として、速報の中では取り入れられなかった被害原因やその後の復旧・復興に関する情報 を加えることで、一つの地震を災害の発生から復旧・復興までの広い視点で捉えることができ るのではないかと考えるようになってきた。

また、調査報告書のスタイルも基本的な内容は変わらないが、毎回、分かりやすさに工夫を 凝らしてきているため、現在の報告書は初期のものとはかなり見た目は異なる。同じスタイル で複数の地震被害をまとめるというのも大きな意義があると考えられた。

#### (2)目 的

これまで作成してきた調査報告書の中から、被害が甚大で、地盤災害が顕著であった地震を まとめてダイジェスト版を作成することとした。その目的は以下のとおりとする。

- ① 読者の多くが経験していない古い地震について、その被害実態を紹介し、認識を新たにする。
- ② 複数の被害地震を記述することによって、地震や被害の共通性、多様性を理解する。
- ③ 速報段階の被害の記述に加えて、その後の調査研究で明らかになった被害原因や復旧・復興の状況についても触れることで、地震をより多面的・総合的に理解する。

#### (3)ダイジェスト版の概要

#### (i)取り上げた地震

表 1.1 に示した既往の調査報告書のうち、被害規模が大きく、世間に与えたインパクトの大 きいもので、地盤災害や土構造物の被害が顕著な地震を選定した。その結果、ダイジェスト版 の第一弾として、表 1.2 に示す 1978 年宮城県沖地震から 1995 年兵庫県南部地震までの 8 地震 を取り上げた。このうち、兵庫県南部地震は神戸という大都市圏に稀に見る被害を及ぼした内 陸直下地震であったが、当社では震災対応業務に追われて、被害写真集を出したのみで調査報 告書は作成していなかった。26 年遅れの調査報告書ということにもなる。

各地震の記述は簡潔にすることで、大部の報告書になることを避けることを意図したが。結果としては、液状化被害が顕著であった 1983 年日本海中部地震、津波被害が顕著であった 1993 年北海道南西沖地震および都市型の被害が顕著であった 1995 年兵庫県南部地震が 30 ページ 以上となり、全体としては 200 ページ強のボリュームとなった。

No.	地震名	発生年	М	最大震度	記述した章	ページ数
1	宮城県沖地震	1978	7.4	5	2章	16
2	日本海中部地震	1983	7.7	5	3章	34
3	長野県西部地震	1984	6.8	6	4章	20
4	千葉県東方沖の地震	1987	6.7	5	5章	16
5	釧路沖地震	1993	7.5	6	6章	28
6	北海道南西沖地震	1993	7.8	6	7章	30
7	北海道東方沖地震	1994	8.2	6	8章	24
8	兵庫県南部地震	1995	7.3	7	9章	36
合計						204

表 1.2 取り上げた地震

(ii)内容と構成

1978年宮城県沖地震から1995年兵庫県南部地震までの8つの地震について、各1章ずつ被害、復旧等について記述した。

2章以降の個別の地震の内容と構成は以下の①~③のとおりである。

① 地震および被害の概要(各章の1節)

まず「概要」として、地震の諸元と被害の特徴を一覧表の形で記述した。

- ・地震および地震動については発生年月日、位置、マグニチュード、津波の有無等の基本情報、最大震度、最大加速度について記述した。発生時刻、震源位置、マグニチュードの情報は気象庁の地震月報 2)によった。
- ・「地震の形態」の欄は、図 1.1~図 1.2 に示すように、プレートのどの位置で地震が発生したかによって、「プレート間地震」、「プレート内地震」、「陸域の浅い地震」(いわゆる内陸地震)等の地震タイプを記述した。
- ・被害については、人的被害数や家屋被害数に加えて、当該地震で見られた被害の特徴について箇条書きで記述した。
- 次に「地震動」として地震および地震動に関する基本的な情報について記述した。
- ・震源域の大きさや地震のメカニズムおよび震度分布について記述した。
- ・地震で得られた代表的な強震記録について紹介した。強震記録については、一般的な地震動の指標である最大加速度の大きさを把握するため、地盤上で100gal以上の最大加速度を記録した観測地点を一覧表としてまとめた。最大加速度値は防災科学技術研究所の「強震速報」を基本とした。
- ・加速度が大きな地震記録の代表的な加速度波形と応答スペクトル(周期特性)および必要
   に応じて観測地点の地盤条件を掲載し、その特徴について述べた。
- ② 地形・地質(各章の2節)
  - ・被害の大きな要因となる被害地域の地形及び地質の特徴について記述した。地震によっては、被害と地形・地質の関係について触れた。
- ③ 構造物の被害および復旧(各章の 3~4節)
  - ・地盤、構造物の特徴的な被害について記述した。被害および復旧に関する写真は地震直後の現地調査およびその後のフォロー調査で撮影した写真を用いた。
  - ・可能な範囲で被害原因について記述した。
  - ・復旧に関する情報があれば、簡単に紹介した。

各章の最後に、地震や被害に関する話題や知識を簡単にトピックの形でまとめた。図1.3は 1978年宮城県沖地震のトピックである。また、各章の最後に引用・参考文献として、文中で引 用または参考にした文献リストを示した。

記述の中で紹介されている多くの数値や写真の地名、被害原因等については、既往文献等を 基にして正確を期したつもりであるが、何らかの不正確な箇所があった場合には、その責任は すべて筆者にある。



- 図 1.1 日本周辺のプレート構造 1)
- 図 1.2 プレートと内陸で起こる地震の形態 1)

●●● 動物の異常行動

力武他のアンケート調査に<sup>8)</sup>によれば、1978年宮城県沖地震で動物の行動に異常を認めなかっ たという回答が 341 件に対して異常行動が認められたという回答が 68 例(約 20%)でした。異常 行動が報告された地域は伊豆半島から青森県津軽地方まで及んでいますが、震央に近い場所が多

く、また震度の大きい地域ほど多いといわれています。異常行動が報告される 動物は鳥類が多く、鳴く、騒ぐという行動が観察されています(何故かキジが 鳴くのが多い)。異常行動が見られた時間は地震の0.3日前という例が最も多 く、もう一つのピークは地震の2~3分前というのがありますが、データ数が 少ないので信頼度は低いということです。

図 1.3 トピックの一例(1978年宮城県沖地震)

#### 【第1章の引用·参考文献】

- 1) 気象庁:地震発生のしくみ、気象庁 HP、https://data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about\_eq.html
- 2) 気象庁:各種データ・資料>地震月報(カタログ編)>震源データ、

http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo.html

#### 2. 宮城県沖地震

#### 2.1 地震および被害の概要

#### 2.1.1 概 要

地震名	1978年宮城県沖地震		発生年月日	1978年6月12日	17時14分		
マグニチュード	7.4	震央の位置	38°09'N、142°10'E 金華山の東方沖 約60km				
地震の形態	プレート境界地震						
深さ	40km	地震動	最大震度	5(推定6) 仙台、	石巻、新庄、福島		
津波	大船渡で37cm	地展到	最大加速度	294gal(開北橋)	、288gal(塩釜)		
人的被害	死者28人、負傷者	約1万人	家屋被害	全壊 1,183棟、半	华壊 5,574棟		
被害の特徴	<ul> <li>・台地・丘陵の谷部を盛土して造成した住宅地の被害が顕著であった。</li> <li>・国道346号線の北上川に架かる錦桜橋が落橋し、JR東北本線の江合川橋梁の無筋の橋脚が水平 にずれるという被害が発生した。</li> <li>・石油タンク5基の破損による重油の流出やガスホルダーの転倒・炎上が発生した。</li> <li>・鉄筋コンクリート造の建築物の被害が仙台市東部の軟弱地盤地帯で多発した。また、ブロック 塀や石塀などの倒壊によって通行人の死傷事故が多発した。</li> <li>・電気・ガス・水道・電話・交通などのライフラインの損害によって生活支障が生じた。</li> </ul>						

#### 2.1.2 地震動

#### (1) 地震の概要

宮城県沖地震は1978年6月12日に宮城県金華山沖の深さ40km で発生した M7.4 の地震である。生じた断層の大きさは、図2.1.1に示すように、幅約80km、長さ約30km で、断層のくい違い 量の平均値は1.7mとされている。この地震は東西圧縮による低角逆断層型の地震であり、海洋の 太平洋プレートと大陸の北米プレートの境界で発生したものである。

地震により、震源に近い岩手・宮城・福島県の太平洋側と山形県の一部では震度 5 の強震に見舞われた(図 2.1.2)。



図 2.1.1 断層面の水平面への投影 <sup>9)</sup>



図 2.1.2 震度分布図<sup>10)</sup>

#### (2)最大加速度 · 地震波形

この地震において各地で得られた地震記録のうち、地盤上で観測されたもので最大加速度が 100galを超えるものは表 2.1.1 に示す 6 地点である。これによると、開北橋橋軸直交成分が最大で 294gal (文献 11 では 287gal) である。当時は地震計の配置もまばらであったことを考えると、か なり大きな加速度が観測されたといえる。

親測地占	都道府倡古	設置提所	震央距離	最大加速度(gal)		
武从小飞来	印度仍采印	2011	(km)	NS	EW	UD
開北橋付近	石巻市	GL	80	200	294	113
塩釜工事事務所構内	塩釜市	GL	100	266	288	166
大船渡津波防波堤	大船渡市	GL	100	126	170	61
宮古港工事事務所	宮古市	GL	158	150	113	47
四十四田ダム	岩手県	GL	195	60	149	_
真崎大橋	岩手県	GL	164	104	75	30

表 2.1.1 最大加速度一覧表(100gal 以上)(文献 12 より抜粋)

水平成分の最大加速度が大きい順に並べている。

開北橋、真崎大橋のNSは橋軸方向、EWは橋軸直交方向である。

大船渡津波防波堤のNSはN41ºE、EWはE41ºSである。

図 2.1.3 に最大加速度を記録した開北橋の加速度波形を示す。主要動(50gal 以上の地震動)の継 続時間は 13 秒程度で、それほど長いものではない。強震計は、S 波速度が 1,300m/s の中生代三畳 系の砂岩~シルト岩(表面の 2~3m は風化しているため、Vs はこれよりやや小さい)の堅硬な地 盤上に設置されている。



#### (3)振動特性

図 2.1.4 に開北橋の水平 2 成分の加速度応答スペクトル比に過去の強震記録を統計的に解析した 結果から得られた平均加速度応答スペクトル比を重ね書きしたものを示す。縦軸は応答加速度を最 大加速度で除した加速度応答スペクトル比で ある。平均応答スペクトルは、開北橋の地盤条 件や地震規模に相当する地盤種別が1種、マグ ニチュードが 6.8~7.5、震央距離が 20~60km の範囲のものを示している。

水平成分のピーク周期は0.15秒前後で短く、 地震動の卓越周期は観測地点の地盤特性を反 映していると考えられる。

#### 2.2 宮城県および仙台周辺の地形・地質

#### 2.2.1 宮城県の地形·地質

図 2.2.1 に宮城県の地質概略図を示す。宮 城県の北部は、東部の北上山地、中央部の北 上川とその支流によって形成された平野部、 西部の奥羽山脈に連なる山地に分けられる。

宮城県の中央部は、東部の名取川、七北田 川によって形成された平野部と西部の奥羽山



図 2.1.4 加速度応答スペクトル比(開北橋)<sup>11)</sup>

脈に連なる山地からなる。宮城県の南部は、東部の阿武隈山地、中部の阿武隈川とその支流によっ て形成された平野部、西部の奥羽山脈に連なる山地からなる。

この地震で被害の大きかった宮城県中央部についてもう少し詳しく記すと、奥羽山脈を形成する 西側の山地とこれに連なる北部の丘陵地帯および段丘並びに沖積平野からなっている。仙台市付近 では、先第三系の花崗閃緑岩の基盤上に名取層群と呼ばれる火山性の堆積物があり、その上部に新 第三紀中新統の安山岩・玄武岩等が堆積する。中新統中位の凝灰岩・砂岩類は仙台市北部・泉市か ら大郷町、松島、塩釜にかけての丘陵地に広く分布している。これらは比較的固結度の低い軟岩で はあるが、良好な基礎地盤となっている。

仙台市南西部では、これらの地層の上位に仙台層群として知られる新第三紀鮮新統の凝灰岩類が 広く分布する。これらの凝灰岩類は段丘地形をなし、市街地の基盤となっている。図 2.2.2 に一例 を示すように段丘と沖積平野は長町-利府構造線を境界としており、土質条件は著しく異なってい る。地質構造の違いによって地震動の大きさが異なっていると推定される。

一方、平野部は、宮城県の中~南部にかけて七北田川、名取川、阿武隈川によって形成された仙 台平野が広がっている。平野部の大部分は基盤岩上に洪積世の砂礫堆積物があり、その上位に沖積 世のゆるい砂礫・粘性土が堆積する。



図 2.2.1 宮城県の地質図<sup>1)</sup>

#### 2.2.2 仙台周辺の地盤

仙台市付近の地盤は前述したように仙台層群と呼ばれる新第三紀鮮新統の凝灰岩類および第四系

の堆積物よりなっている。これらの 凝灰岩を主体とする地層が第四紀に なって下刻されて幾つかの段丘面を 形成し、円礫を多く含む段丘堆積物 が堆積し、更にその上には、丘陵地 では火山灰層が、平野部では沖積堆 積物が堆積する形となっている。図 2.2.3 に示すように、段丘は、上か ら青葉山、台の原、上町、中町、下 町段丘という5つの面に分けられて いる。最下段の下町段丘は完新世に 入ってから形成されたものと言われ ている。

これらの段丘地形は、長町-利府 構造線を境にしてなくなり、基盤が 急激に落ち込んで沖積平野となる(前述 図 2.2.2 参照)

仙台市の旧市街地はほとんどこれらの 段丘上に立地しており、比較的地盤条件 は良い。仙台市中心部では、表土の下に 厚さ4~8mの礫層があり、その下位に凝 灰岩、泥岩、浮石質凝灰岩などの仙台層 群が基盤として分布する。礫層のN値は 20~50で、凝灰岩は礫層の境界面での風 化が進んだ部分でN値20~40、その他 の新鮮な部分ではN値50以上であり、 よく締まっている地層である。

図 2.2.4 は、ボーリングデータに基づ いた仙台平野の基盤までの深度の分布図 である。これによると、基盤までの深さ は最大約 80m に達し、現河川の河口付近 で最も深い溺れ谷を形成している。基盤 は主として凝灰岩あるいは浮石質凝灰岩 からなり、その上部には砂礫からなる N 値 30~50 の洪積層が堆積する。洪積層 上面までの最大の深さは約 30m である。



図 2.2.3 仙台の段丘地形<sup>3)</sup>

- 中町段丘

下町段丘



図 2.2.4 仙台平野の基盤深度分布図 4)

#### 2.2.3 宅地被害と地盤条件

仙台市の地形・地質は、太平洋に面した沖積平野とその内側の段丘平坦面および丘陵・山地から なっている。図 2.2.5 に示すように次の4種に区分できる。

①第一種地盤:海抜 50~100mの丘陵地で、亜炭層を伴う泥岩、砂岩および凝灰岩が分布する。 北部の北根、黒松、旭ヶ丘、高松および鶴ケ谷地域、南部では緑ヶ丘および長町地域の住宅団地 が位置する。

- ②第二種地盤:青葉山・八木山の高位扇状地、広瀬川・名取川が平野に出るところの低位扇状地 および旧市内の大部分を占める河岸段丘礫層地域である。
- ③第三種地盤:沖積層に属する砂層、砂混じり粘土層およびシルト層で、東南部の郡山、南小 泉、六郷、七郷などの農商工業地域が位置する。

④第四種地盤:沖積層に属する腐植土、泥土やこれに類する土質で、第三種地盤内に点在する。

被害の著しかった緑ヶ丘、北根、荒巻および鶴ケ谷地域は、いずれも丘陵性山地に属し、標高 25~100m、傾斜は14~30度の範囲にある。緑ヶ丘地区は第三紀鮮新世の大年寺層、八木山層

(泥岩・砂岩および凝灰岩)上に第 四紀洪積世の青葉山層(ロームおよ び礫)が覆う比較的安定した地盤で ある。丘陵の南東端は長町-利府構 造線でしきられ、この地域の西方に は二ツ沢逆断層が存在し、ほかの地 域より盛り上がった地塊を示す。

北根、荒巻、鶴ケ谷地区は南部に 含化石泥岩で代表される瀧口層があ り、その北部に亜炭層を挟む凝灰質 砂岩の亀岡層、七北田層によって構 成されている。

白石市寿山団地は白石川およびその支流によって開析された東西方向にのびる丘陵に位置し、標高は80~100mくらいのゆるい地形をなしている。この丘陵地は主として新第



図 2.2.5 仙台市内の地盤種別と宅地の被害分布 4)

三系中新統の白石層と呼ばれる浮石質火砕流凝灰岩からなる。

一方、宅地造成地は、緑ヶ丘一丁目および三・四丁目においては 1957~1958 年および 1961~ 1962 年に、北根一念坊および荒巻源新田では 1963 年および 1966 年、さらに白石市寿山団地では 1972~1975 年にかけて造成された。

被害が発生した宅地地盤は例外なく盛土がなされており、特に急傾斜地(14~34 度)の沢を埋め立てた盛土の厚さは 10~25m にも達し、かつ地震後の盛土内の N 値は共通して 0~5 という極めて軟弱な地盤を形成していた。

#### 2.3 地震被害

#### 2.3.1 斜面災害

#### (1)仙台市緑ヶ丘団地

同団地は仙台市南郊の丘陵地に 1957~1962 年にかけて造成された。被害地は傾斜 26~30°の丘陵地の谷間に盛土し、雛壇状に造成した住宅地である。地震で 227 棟の住宅が被害を受け、被害率は 13.3%であった。特に緑ヶ丘一丁目では、解体 9 棟を含む合計 17 戸が集団移転を余儀なくされた (写真 2.3.1~2.3.3)。図 2.3.1 に示す緑ヶ丘一丁目の A ブロックでは、斜面上部で幅 10~ 30cm の亀裂が数条発生した。このため擁壁のはらみ出し・亀裂の発生、地盤沈下、地割れの発生により 6 棟の家屋が被害を受け、これらの被害家屋を含む合計 11 軒が集団移転した。このブロックは図 2.3.2 に示すように、V 字谷に厚さ 5~15m の盛土をしているが、盛土の N 値は 0~10 (大部分が 5 以下)と軟弱である。基盤は N 値 50 程度の砂岩であるが、上部の風化帯はやや緩く、N 値が 7~8 の部分もある。

斜面下部の B ブロックでは幅 10~20cm、長さ 50~80m の亀裂が数条発生した。住宅 6 軒が末 端部の玉石積擁壁の崩壊に伴い倒壊寸前となり、他の家屋への二次災害防止のため解体撤去され た。家屋が撤去された地区は、現在、緑地となっている。同ブロックは厚さ 5~10m の N 値 0~5 という軟弱な盛土で造成されていた。



図 2.3.1 緑ヶ丘一丁目の旧地形と住宅被害 4)



図 2.3.2 緑ヶ丘一丁目の地質断面図(側線位置は図 2.3.1 参照)<sup>4)</sup>



**写真 2.3.1 造成盛土のすべりによる宅地、家屋の被害**(仙台市緑ヶ丘一丁目) 谷間を埋め立てた盛土が崩壊したため、土 圧によって擁壁が押され、下手の家屋が変形した。



写真 2.3.2 丘陵造成地の被害(仙台市緑ヶ丘一丁 目) 地盤の亀裂や地割れ等に雨水が浸透し て不安定化が増大すること防ぐためビニールシ ートがかけられている。



写真 2.3.3 住宅地法面の整形(仙台市緑ヶ丘一丁 目) 被害を受けた家屋は撤去され、壊れた地 盤が整地されている。

#### 【復旧対策】

A ブロックでは、地震後のボーリング孔を利用した傾斜観測結果から、G.L-3.5m 以浅の盛土と G.L-18.5m の砂岩層上部(N値が 7~8と緩く、地下水位と同じレベル)の動きが顕著であること が判明したため、抑止工として、変状と直交した方向に φ 318.5 mmの鋼管杭(間隔 1.5m の千鳥配 置)を深さ 11.0~27.5m まで施工した。B ブロックでも末端部に長さ 10m(間隔 2m の千鳥配 置)の鋼管杭を施工した。

#### (2)白石市寿山団地

白石市寿山団地は丘陵地を切盛りした造成地で1975年に完成した。地震で幅250m、長さ450mの楕円状の面積1.6万m<sup>2</sup>の区域で大規模な地すべりが発生し、約8万m<sup>3</sup>の土砂が流出した(図2.3.3および写真2.3.4)。この災害で1名が流出土砂に巻き込まれて死亡したが、崩壊した区域の宅地はまだ分譲されておらず、惨事を免れた。

崩壊した区域は東西方向にのびる尾根(比高約 45m)の南斜面(平均勾配 18°)にある小さな谷 を埋め立てて造成されたところであるが、この谷間には直径 30m のため池が存在し、傾斜 10~ 15°の背後斜面から2本の沢に沿って流れる水を貯留していた。このため池は旱魃の際も水が枯れ ることはなかったということから、雨水の集水池であるとともに湧水源であったと考えられる。こ のように盛土が水に浸かったような状況が、単なる斜面崩壊にとどまらず、流動性のある大きな地 すべりを起こした原因と考えられる。

盛土の厚さはこのため池付近が最も厚く、最大25mに達していた。盛土の硬さは、盛土全体の 2/3 が N 値 10 以下の軟弱な様相を呈していた。崩壊した斜面は地震後、法尻に集水井による安定 化対策が実施されているが、宅地の分譲は行われず、公園となっている。2011年東日本大震災で は、斜面の法肩から中段にかけて変状が発生した(写真2.3.5)。斜面の下部は集水井の効果からか 目立った変状は起こっていない(写真2.3.6)。なお、1978年宮城県沖地震の同地における推定最

大加速度は 526 gal<sup>4)</sup>、2011 年東日本大震災で は近隣の K-NET 白石で 421gal(二成分合成最 大水平加速度)<sup>6)</sup>とされている。



写真 2.3.4 丘陵造成斜面の崩壊(白石市寿山) 左上 方の緩やかな盛土斜面が崩壊して右方向に流 動したが、まだ家屋はなかった。



 滑落崖 2. 滑落地塊 3. 崩れた滑落地塊 4. 二 次滑落害 5. 凹地 6. 土石流堆積物 7. 洗掘 8. 冠 頭部の曳裂 9. 埋土部分 10. 埋土限界線 11. もとの 丘陵地形 12. 切りとり部分 (東北大 理 中山氏による)

図 2.3.3 谷の埋土の崩壊模式図(白石市寿山)<sup>4)</sup>



写真 2.3.5 2011 年東日本大震災で見られた同じ斜 面上部の変状(白石市寿山) 宮城県沖地震 以後、公園として整備されていた被害斜面は東 日本大震災でも変状したが、被害は上部に限定 されていた。



写真 2.3.6 宮城県沖地震以後に法尻に設置された 集水井(白石市寿山) 東日本大震災ではこの 対策工の効果からか、斜面下部では変状は見ら れなかった。

#### (3)その他の斜面被害



写真 2.3.7 柱状節理の発達する急崖斜面の崩壊(白 石市材木岩)



写真 2.3.8 土砂崩壊で埋まった道路(仙台市太白区二 ツ沢)

#### 2.3.2 建物および付属設備の被害

#### (1)鉄筋コンクリート建物の被害

写真 2.3.9 および写真 2.3.10 は、3 階建ての鉄筋コンクリート(RC)造の建物であったが、1 階の柱がせん断破壊および圧壊し、2 階部分が着地する形で崩壊した。写真 2.3.11~2.3.12 はそれ ぞれの建物の柱・外壁の圧壊の様子である。1 階の壁量が少なく、柱量も少ない上、帯筋の間隔も 粗かったため、柱頭と柱脚が曲げとせん断で破壊し、軸力を支えきれなくなって崩壊に至ってい る。このほか、写真 2.3.13 に示すように、非構造壁のせん断破壊も目立った。玄関周りの非構造 壁が破壊し、玄関ドアの開閉不能などの被害がかなり出た。

写真 2.3.7 は白石市における柱状節理の発達した急崖の崩壊の様子である。写真 2.3.8 は仙台市

太白区の道路脇の斜面が崩壊し、その土砂が道路を埋積した様子である。



写真 2.3.10 3 階建て RC 造建物の崩壊(仙台市苫竹)

写真 2.3.9 3 階建て RC 造建物の崩壊(仙台市苫竹) 大きな地震動によって1 階の柱・壁が圧壊した。



**写真 2.3.11 1 階柱の圧壊** 柱がせん断破壊し、上部の荷重を支えきれず圧壊した。

#### (2)ブロック塀などの倒壊

写真 2.3.14~2.3.15 に示すように、ブロック塀、石塀、門 柱、墓石などが多数倒壊し、その下敷きで 18 人の死者が出 た。仙台市内のブロック塀の被害調査 つによれば、ブロック 塀の平均倒壊率は 6.35% (=184/2,897)で、一般的には地盤 の悪い沖積低地で倒壊率が高く、谷底低地では低い。倒れた ブロック塀は鉄筋を入れず、単にブロックを積み重ねただけ のものが目立った。



写真 2.3.12 壁および柱のせん断破壊



写真 2.3.13 非構造壁のせん断破壊



**写真 2.3.14 ブロック塀の倒壊** ブロック塀や石塀の下 敷きになり 18 人が犠牲となった。



写真 2.3.15 石塀の倒壊

#### 2.3.3 橋梁の被害

#### (1)国鉄東北本線江合川橋梁

この橋梁は井筒基礎で、橋脚の躯体は無筋コンクリートであった。コンクリートの打継部で橋軸 直角方向に約 300 mm滑動した(写真 2.3.16)。まず応急復旧として、H 鋼構造によるステージング を組み立て、橋桁を仮受けさせた。ステージング基礎は H 鋼杭(400H、*l*=14m)を打ち込み支持 力を確保した。次に本復旧としては、無筋コンクリート造の躯体および井筒を取り壊し、フーチン グ下端から 2m を薬液注入した上で鋼管杭(φ400 mm、*l*=13.75m)を 24 本打設し、躯体(中空 RC 造)を新設した。現在の橋脚の様子を写真 2.3.17 に示す。



写真 2.3.16 東北本線江合川橋梁の橋脚横ずれ 無筋コンクリート橋脚の打継部で約 300 mm のずれが生じた。



**写真 2.3.17 現在の江合川橋梁の橋脚の状況** (2016 年撮影) 現在は杭基礎の RC 造橋脚となっ ている。

#### (2) 錦桜橋(国道 346 号北上川)

錦桜橋は1956年に架設された橋長575.7mの非合成桁1連、下路単純トラス5連、ゲルバー桁 9連よりなる宮城県管理の道路橋で、この地震で唯一落橋した橋である。ゲルバー径間の左岸側よ り2番目の径間吊桁がこの地震で落下した(写真2.3.18)。

この橋は1962年宮城県北部地震と1978年2月の宮城県沖地震で被災している。2月の地震で

は支承部に大きな被害を受けた。ゲルバー区間の 桁は線支承で支持されていたが、その支承はサイ ドブロックに破壊され、橋台の沓座にも大きな亀 裂が生じており、橋軸方向の支えがない状態で今 回の地震を受けたものである。このため、橋軸方 向への大きな変位が全体として生じ、吊径間の径 間が拡がり落下したものと思われる。



#### 2.3.4 河川堤防の被害

宮城県には、国管理の一級河川として、北上

写真 2.3.18 北上川に架かる錦桜橋の桁の落下

川、鳴瀬川、名取川、阿武隈川の4水系233川があり、県が管理する二級河川は七北田川水系、 大川水系など28水系65川がある。地震による河川関係の被害は482箇所で宮城県下全域に及ん でいるが、特に仙台周辺より北部、国道4号より東側の地域の沖積平野部に集中している。

一級河川では、北上川、鳴瀬川、名取川、阿武隈川などの主に軟弱地盤地帯に築造された河川堤防が亀裂、沈下、法面のはらみ・崩れなどの被害を受けた。写真 2.3.19~2.3.20 に鳴瀬川左岸の河口付近の堤防天端の縦断亀裂の状況を示す。



写真 2.3.19 鳴瀬川左岸河口付近の堤防の縦断 亀裂



写真 2.3.20 堤防天端の縦断亀裂(同左)

#### 2.3.5 港湾・漁港の被害

港湾施設の被害は、宮城県の石巻港、塩釜港を中心に海岸沿いに約 100km の範囲にわたって生 じた。塩釜港仙台港区では、エプロンの破損が主で、岸壁、物揚場、防波堤などの本体の破壊はな かった。エプロンは、コンクリート舗装版の沈下、亀裂、目地の開きなどの被害を受けている(写 真 2.3.21)。砂地盤において控え工として矢板を用いている矢板岸壁の前傾被害が顕著であった。

漁港施設では、宮城県閖上漁港、塩釜漁港を中心として、岸壁・物揚場・護岸の前傾、滑動、すべりの発生などの被害を受けた。名取川河口に位置する閖上漁港では、係留施設および護岸等のほ とんどの施設で被害が生じた。被害の形態は、壁体の前傾・はらみ出し、エプロンの沈下・亀裂な どである。写真 2.3.22 に被害一例として、閖上漁港における岸壁のはらみ出しを示す。



**写真 2.3.21 鋼矢板岸壁のエプロン沈下と亀裂**(仙 台港公共埠頭)



**写真 2.3.22 漁港の上部工の前傾・はらみ出し** (閖上漁港)

#### 2.3.6 エネルギー施設の被害

地震によって仙台港臨海部の製油所の屋外貯蔵タンク3基(容量2.37~3.15万kl)の底部付近 が破損し、重油等合計約6.8万klが構内に流出し、一部は港内に流出した。タンクの側板とアニ ュラ板との溶接部が破断し、屋根および側板上部に座屈が発生している。この他、12基のタンク でスロッシングにより、タンク側板と浮き屋根とのシール部から油が屋根上に漏出した。また、タ ンク1基の屋根部に変形が発生した(写真2.3.23)。この周辺では、概ね300galの水平加速度、 150gal 前後の鉛直加速度を受けたものと推定される。

仙台市ガス局原町工場の有水式ガスホルダー(容量 1.7 万 m<sup>3</sup>)が倒壊・炎上した(写真 2.3.24)。このガスホルダーは地震動により上部支柱が倒壊するとともに、水槽の側板が 2 箇所で 裂けて水が流出し、このためホルダー内のガスが漏れて発火した。倒壊の原因は上部支柱と下部支 柱との接合ボルトが腐蝕していたためとされる。



写真 2.3.23 オイルタンクの損壊



写真 2.3.24 有水式ガスホルダーの倒壊・炎上

#### 2.3.7 地盤の液状化

地盤の液状化は、北上川、名取川、阿武隈川などの大河川の下流域および河口部に多く見られ た。すなわち、石巻港、矢本町大曲浜、名取川河口付近、閖上大橋、閖上漁港、阿武隈川橋梁付 近、亘理町荒浜・鳥の海などで噴砂が確認されている。特に石巻港および閖上漁港では港湾構造物 に被害が発生した。また荒浜・鳥の海では、保養センターのプール、グラウンド、護岸堤、道路などに著しい変状が生じている(写真 2.3.25~2.3.26)。液状化した砂は均等な粒径の細砂~中砂であった。



写真 2.3.25 浄化槽の浮き上がり(亘理町荒浜)



写真 2.3.26 グラウンドの噴砂と地割れ(亘理町荒浜)

#### 【第2章の引用・参考文献】

- 1) 佐竹他:1978 年宮城県沖地震による被害の総合的調査研究、1979.
- 2) 奥津春生:大仙台圏の地盤・地下水、1973.
- 3) 地学団体研究会仙台支部編:新版仙台の地学、1975.
- 4) 土木学会東北支部:1978 年宮城県沖地震調査報告書、1980.
- 5) 基礎地盤コンサルタンツ㈱:1978年6月12日 宮城県沖地震による仙台地方の被害状況 速報、1978.
- 6) 東日本大震災合同調查報告書編集員会:東日本大震災合同調查報告書 共通編3 地盤災害、2013.
- 7) 望月・宮野・四戸・田代:仙台市におけるブロック塀の調査報告、総合都市研究 第11号、1980.
- 8) 力武·鈴木:宮城県沖地震と動物先行現象、地震予知連絡会報 第21巻、1979.
- 9) 土田他 8 名:1978 年宮城県沖地震港湾被害報告、港湾技研資料 No.325、1979.
- 10) 浜口:1978 年宮城県地震による被害の総合的調査研究-1.1 地震の概要、昭和53 年度文部省科学研究費 自然災害特別研究(I) 302041、1979.
- 11)岩崎・川島:1978年宮城沖地震災害調査報告-第1編 地震及び地震動、土木研究所報告 第159号、1978. 12)科学技術庁防災科学技術研究所:強震速報 No.15、1978.

#### ●●● 動物の異常行動

カ武他のアンケート調査<sup>8)</sup>によれば、1978 年宮城県沖地震で動物の行動に異常を認めなかったという 回答が 341 件に対して異常行動が認められたという回答が 68 件(約 20%)でした。異常行動が報告さ れた地域は伊豆半島から青森県津軽地方まで及んでいますが、震央に近い場所が多く、 また震度の大きい地域ほど多いといわれています。異常行動が報告される動物は鳥類が

多く、鳴く、騒ぐという行動が観察されています(何故かキジが鳴くのが多い)。異常 行動が見られた時間は地震の0.3日前という例が最も多く、もう一つのピークは地震の 2~3分前というのがありますが、データ数が少ないので信頼度は低いということです。



#### 3. 日本海中部地震

#### 3.1 地震および被害の概要

#### 3.1.1 概 要

地震名	1983年日本海中部地震		発生年月日	1983年5月26日 12時00分			
マグニチュード	7.7	震央の位置	40°21.4'N、	139°4.6'E 秋田県能代市西方沖約80km			
地震の形態	日本海東縁部の変動帯で発生したプレート境界地震						
深さ	14km	地画動	最大震度	5:秋田市、むつ市、深浦町			
津波	峰浜村で14m以上	地展到	最大加速度	399gal(七峰橋)、278gal(津軽大橋)			
人的被害	死者104人、負傷者	旬63人	家屋被害	全壊 934棟、半壊 2115棟			
被害の特徴	<ul> <li>・地震に伴って津波が発生し、秋田県沿岸には地震後7分で第一波が到達した。津波の最大遡</li> <li>上高はTP.14m以上である。この津波で100人が死亡した。</li> <li>・青森・秋田両県の日本海沿岸地域で地盤の液状化が多発し、港湾・鉄道・道路・河川・八郎</li> <li>潟干拓堤防など、多くの構造物が被害を受けた。</li> <li>・液状化の被害が多発した能代市では、地震前後の空中写真の比較分析から、地盤が3~5m程</li> <li>度移動していることが判明した。これを地盤流動(あるいは側方流動)という。</li> <li>・多くの溜池で崩壊、亀裂・沈下などの被害が発生し、このうち10箇所で決壊した。</li> </ul>						

#### 3.1.2 地震動

#### (1) 地震の概要

日本海中部地震は 1983 年 5 月 26 日に秋田県沖の日本海、深さ 14km で発生した M7.7 の地震で ある。震源が海域で浅かったため津波が発生し、多くの犠牲者が出た。地震が発生した場所は日本 海東縁変動帯と呼ばれ、図 3.1.1 に示すように北米(オホーツク)プレートとユーラシア(アムー ル)プレートの収束境界ではないか言われている。このプレート境界では、新潟地震(1964 年)や 北海道南西沖地震(1993 年)が発生している。

図 3.1.2 に示す余震分布から、地震の破壊 域は総延長約 100km の逆くの字型の領域と 推定されている。日本海中部地震は、東北日 本の内陸部~日本海東縁部に見られる典型 的な逆断層タイプの地震で、ほぼ東西方向 の圧縮力を反映している。余震域はやや東 側に傾斜しており、ユーラシアプレートの 東北日本島弧(北米プレート)下への沈み込 みを表すと解釈することもできる。

この地震はマルチプルショック(多重震 源地震)であり、その主な破壊は、震源域の 南部で発生したサブイベント1と、そのほ



図 3.1.1 日本周辺のプレート(文献 15 に加筆)

ぼ 21~23 秒後に北部で発生したサブイベント 2 よりなる。なお、破壊はサブイベント 1 の発生 3 秒前に始まっており、本震の震源位置は、この破壊開始点を示している。



右側の図は南北断面図,左側の図は、余震域を $A \sim F \circ 6$ 領域に分け、各領域の長辺を含む鉛直断面に震源をプロットしたものである.

#### 図 3.1.2 本震・余震の震源分布 5)

図 3.1.3 には震度分布図を示す。最大震度 5 を記録したのは日本海に面した青森、秋田 両県で、被害もこの地域で大きかった。

#### (2)強震記録

日本海中部地震は日本海を震源とする地震 であり、陸域から 100km 近く離れていたが、 地震のマグニチュードが 7.7 と大きかったた め、北海道から青森・秋田両県の日本海沿岸 地域で大きな地震動が観測された。この地震 において各地で得られた最大加速度のうち、 地盤上で観測されたもので最大値が 100gal を超えるものを表 3.1.1 に示す。これによる と、北海道の渡島半島に位置する七峰橋の橋



図 3.1.3 震度分布図 (気象庁 1984)<sup>17)</sup>
軸直角成分が最大で 399gal である。この他、岩木川に架かる津軽大橋で 278gal、秋田港で 235gal の最大加速度が記録されている。

<b>制制</b> 地占	都道府県市	設置場所	震央距離 (km)	最大加速度(gal )			出曲悉号
				NS	EW	UD	
七峰橋付近	北海道上磯郡	GL	166	395	399	178	5
津軽大橋	五所川原市	GL	131	278	238	205	5
秋田港	秋田市	GL	124	219	235	54	5
青森港	青森市	GL	156	122	168	-	5
八郎潟	秋田県南秋田郡	GL	109	144	166	131	5
上鳥崎橋付近	北海道茅部郡	GL	236	126	122	49	5
国鉄姉沼高架橋付近	青森県上北郡	GL	207	119	110	63	16

表 3.1.1 最大加速度一覧表 (100gal 以上) (文献 5,16 より抜粋)

\*上鳥崎橋、七峰橋、津軽大橋のNSは橋軸方向、EWは橋軸直角方向である。

\*八郎潟のNSは堤軸方向、EWは堤軸直角方向である。

\*出典5の最大加速度は計器補正値である。

表 3.1.1 のうち、大きな加速度を記録した七峰橋と秋田港の加速度波形、加速度応答スペクトル、 観測地点の地盤条件とその特徴を簡単に示す。

図 3.1.4 に最大加速度を記録した七峰橋(北海道渡島支庁上磯郡知内町湯ノ里)の加速度波形を 示す。地震動の継続時間は40秒程度であり、マグニチュードの大きさを反映してやや長い。図 3.1.5 には加速度応答スペクトルを示す。水平成分の卓越周期は0.3~0.4秒でやや短周期であり、それよ り長い周期では加速度応答は急激に小さくなる。建築物等の構造物に破壊的なダメージを与える周 期は1秒前後と言われているので、この地点の地震動の最大加速度は大きいが、家屋等の構造物に は大きな影響を与えるものではなかったと考えられる。同観測地点の地盤条件は明らかにされてい ないが、この周辺では砂岩およびシルト質岩の互層が見られることから、岩盤までの土被りはそれ ほど厚くない堅硬な地盤と考えられる。



図 3.1.4 加速度波形(七峰橋)<sup>5)</sup>

図 3.1.6~3.1.7 に秋田港の加速度波形と加速度応答 スペクトルを示す。加速度スペクトルのピーク周期は NS成分で 0.2~0.3 秒と 1 秒付近、EW 成分で 0.3 秒に 大きなピークがあり、1 秒付近に小さなピークがある。 観測地点の地盤条件は図 3.1.8 に示すように G.L-5m 付 近までは N 値 10 前後の緩い砂であるが、それ以深は締 まった砂が堆積している。また、強震計の設置された地 盤付近では噴砂や構造物の沈下等の液状化による変状 は認められていない。地盤条件から軟弱な表層部で励起 される周期は 0.1~0.2 秒の短周期であり、1 秒付近のや や長周期のピークはより深い地盤構造か、地震そのもの のメカニズムに関係しているのかもしれない。



図 3.1.5 加速度応答スペクトル(七峰橋)5)



図 3.1.7 加速度応答スペクトル(秋田港)5)



# 3.2 青森・秋田地域の地形・地質

### 3.2.1 地形・地質の概要

日本海中部地震では、震源域が北は北 海道渡島半島南端沖から南は秋田県男鹿 半島沖にまで広がっているため、青森・ 秋田両県の日本海沿岸部が大きな被害を 受けた。

この地域は東北日本弧帯に属し、特に 新第三紀後半から第四紀にかけて地層の 著しい褶曲、断層を伴った一連の地殻変 動の影響を強く受けている。この地域の 基盤岩類は先第三系の堆積岩および花崗 岩により構成されるが、基盤岩類の露出 地域は少なく、大部分は新第三系とそれ 以降の第四系、新期火山噴出物で覆われ ている。

#### (1)青森地域の地形

青森地域の地形は、図 3.2.1 に示すよう に、大別して先第三系・第三系山地、山 麓の台地・段丘、日本海沿岸段丘性砂 丘、津軽平野を中心とした沖積低地に区 分される。

先第三系・第三系山地は津軽半島およ

#### 図 3.2.1 青森地域の地形区分図 <sup>1)</sup>

び西津軽郡の海岸地域の大部分を占める。津軽半島山地は、半島の骨格をなす小山脈で、標高 400 ~700mの南北方向の連山からなる。西津軽郡の海岸地域の山地は、秋田県側の出羽丘陵から続く 山地と鳥海火山帯に属する岩木山からなり、前者は白神山地と青森・秋田県境の分水嶺となってい る大鰐山地に分かれ、いずれも先第三系花崗岩類、第三系花崗岩類、第三系火山砕屑岩類から構成 されている。

段丘・台地は、岩木川周辺の河岸段丘、深浦から鯵ヶ沢にかけての海岸段丘、および山麓のロー ム台地が発達している。

砂丘は、日本海沿岸の鰺ヶ沢から七里長浜を経て十三湖までの約 30km の区間で屏風山砂丘と 呼ばれる砂丘が発達する。

その他の特徴的な地形としては、古津軽海が残した海跡湖である岩木川下流の十三湖、標高15 ~200mの盆地に分布し、凝灰岩中の断層により生じたとされる十二湖などがある。

#### (2)青森地域の地質

青森地域は、津軽半島北部から北北西-南南東に連なる第一の隆起帯と西海岸の大戸瀬、深浦付

近から北北西-南南東に連なる第二の隆起帯とが雁行状に配列し、その間に十三湖から弘前にかけ て沖積低地が広がっている。表 3.2.1 に青森地域の地質層序を示す。

地質系統		西津軽郡地域	弘前盆地縁辺部	津軽半島地域	代表的岩相
	完新統	沖積	砂・礫・泥		
		段	丘 堆 積	物	礫・砂
第	更	岩木火山	山噴出物		安山岩熔岩・火山砕屑物
四	新			2	
系	结			川倉層 20m 岡町層	礫・砂・泥
	R7L			立山層 100m	軟弱砂岩・シルト岩・凝灰岩
		鳴沢層 150m	東目屋層 200m	味噌ケ沢層 200m	細粒砂岩・軽石凝灰岩
鮮新統 中新統	鮮新	舞戸層 400m	大秋層 300 ~400m	不動の滝層 400m	砂質シルト岩 砂岩
	統	赤石層 400~1,200m 十二湖層	松木平層 200 ~300m	小 源八森層 泊 400~500m	黒色頁岩
	中	大童子層 500m	大和沢層 50 ~300m	層 1,500m 馬の神山層 200~250m	硬質頁岩・安山岩火山角礫岩 を挟む
	新	田野沢層 100~150m	砂子瀬層 300m	長根層 400m	凝灰質砂岩・凝灰岩・安山岩・ 玄武岩・流紋岩を挟む
	統	大戸瀬層 600m	藤倉川層 600 ~800m	冬部層 300m	酸性緑色凝灰岩・流紋岩・玄 武岩を挟む
		笹内川層 700m+	尻高沢層 500 m+	権現崎層 500m+	中性変質安山岩・火砕岩

表 3.2.1 青森地域の地質層序表<sup>2)</sup>

新第三系の分布は隆起帯の分布に対応して津軽半島と西津軽郡の海岸地域が主で、津軽半島では 上部の泥質岩を中心とする海成層、西津軽郡の海岸地域では下部の火山岩および火山砕屑岩類が広 く分布している。

新第三系最下層は初期中新世の地質で、深浦東南部の笹内川層、弘前南西部の尻高沢層、津軽半 島北部の権現崎層などがほぼ共通した岩相を示す。これらは変質安山岩と火砕岩からなり、一般に 堅硬緻密で先第三系花崗岩とともに安定地盤を構成している。

新第三紀から第四紀更新世にかけては、青灰色の砂質シルト岩、凝灰質砂岩からなる鳴沢層およ び軽石凝灰岩、凝灰質シルト岩、細粒砂岩からなる東目屋層、味噌ヶ沢層が堆積している。これら の地層が堆積した更新世初期は、中期中新世に海進が最大に達して以来徐々に浅海化し、大部分の 地域が陸化した時期にあたる。津軽半島では味噌ヶ沢層が堆積後、軽石凝灰岩からなる立山層が堆 積し、さらにその上位に低固結の砂岩・シルト岩からなる川倉層、岡町層が堆積している。

#### (3)秋田地域の地形

秋田地域は東北日本弧の北西部に位置し、東から奥羽脊梁山脈、西麓の内陸盆地列、南北性の西 部山地・丘陵地、日本海沿岸の海岸平野、男鹿半島山地の順に配列している。このうち被害の大き かった秋田県北西部地域の地形は、図 3.2.2 に示すように第三系山地、米代川流域の台地・段丘、 日本海沿岸砂丘、沖積低地に区分できる。

第三系山地は、脊梁山脈に平行する西部山地と男鹿半島の寒風山山地に区分される。西部山地は 一般に中山性山地の地形を呈するが、北部は青森・秋田両県にまたがる壮年期の地形を呈する白神 山地に連なる。秋田市北東部には下部新第三系

堆積岩からなる大平山山地、本山山地、アス ピ・トロイデ型火山の寒風山火山が位置する。 男鹿半島は北東方向への傾動地形を示し、目 潟、戸賀湾はマール(爆裂火口)地形として有 名である。

台地・段丘は、米代川流域に良く発達してお り、数段の明瞭な段丘面が認められる。これら の段丘は中位段丘を主とし、大部分がローム段 丘で、各段丘面は東に高く、西に低い傾斜を示 す。

砂丘は海岸線に沿って分布し、八森から男鹿 半島北部にかけて発達する秋田北部砂丘、男鹿 半島南部の脇本から雄物川河口にかけて発達す る秋田南部砂丘に分かれる。これらの砂丘はほ とんど全部被覆砂丘であり、大半が松林に覆わ れ、防砂林となっている。砂丘の厚さは約 5m、最大 30m と考えられる。

#### (4)秋田地域の地質

秋田地域は第三系隆起帯と低平丘陵地が南北 方向の帯状構造を形成している。奥羽山脈から 西部山地にかけては先第三系および新第三系下 部のいわゆるグリーンタフ(緑色凝灰岩)が分



図 3.2.2 秋田地域の地形区分図 1)

布し、低地に近づくにつれて泥岩を主体とする新期の堆積岩類が広く分布する。雄物川流域の低地 およびローム台地・段丘上には第四系が堆積している。表 3.2.2 に秋田地域の地質層序を示す。

先第三系基盤岩類は大平山山地、白神山地に分布する花崗岩類が主で、古生層堆積岩の分布は非 常に限られている。花崗岩類は花崗閃緑岩、花崗岩が主で、男鹿半島にはアダメロ岩が分布する。

新第三系は南北性の褶曲軸をもった多くの背斜・向斜が平行する複雑な褶曲構造を示し、有力な 石油母層を構成している。新第三系最下層は、男鹿半島では粗面安山岩、流紋岩、凝灰岩からなり、 大平山付近では変質安山岩と緑色凝灰岩からなる。これらの地層は植物化石を産する陸成層で、そ れぞれ門前層、萩形層と呼ばれている。

新第三紀鮮新世末期~第四紀更新世にかけて、海退期の浅海域で砂岩、シルト岩を中心とする脇 本層、佐々岡層が堆積した。更新世の鮪川層、中沢層は、半固結の砂岩を主体とする地層で、笹岡 層以下の地層を不整合に覆う。安田層は鮪川層を不整合に覆う砂岩、凝灰岩よりなる地層で、安田 海岸付近に分布する。

中期~後期更新世に堆積した潟西層は砂および礫からなり、旧八郎潟周辺と男鹿半島北海岸に良 く発達し、潟西段丘と呼ばれる段丘を形成している。段丘面の標高は、寒風山山麓で65m、八郎 潟西岸の野石付近で10m程度であり、厚さは50~155mとされている。潟西層の下部は海成層、 上部は陸水成層からなり、完新世(縄文)海進に先立つ最終間氷期の最大海進時における海成-河 成堆積物と考えられる。

完新世には、寒風山火山が噴火し、この噴出物である軽石粘土、両輝石安山岩が潟西層を不整合 に覆っている。



表 3.2.2 秋田地域の地質層序表<sup>2)</sup>

#### 3.2.2 第四系地盤

この地震で大きな地盤災害が生じたのは日本海沿岸の砂丘地帯から沖積低地にかけての第四系地 盤の分布地域であった。第四系の大きな地質構造は、新第三系の地質構造を形成した地殻変動の最 近の動きを反映しており、表層の微地形は、海水準変動による侵食や谷の埋積により形成されたも のである。

#### (1)津軽沖積平野

津軽沖積平野は図 3.2.1 に示したように、北東部を新第三系の丘陵・山地、南部を岩木山の北麓 丘陵、西部を砂丘帯に囲まれた沖積低地である。低地の中央を流れる岩木川は、八甲田火山、十和 田火山などを源とし、河口部の十三湖を経て日本海に注ぐ一級河川である。津軽平野の東西縁辺部 には標高 20~40mの山田野段丘がある。表 3.2.3 には津軽平野の更新統および完新統の層序を示 す。

山田野段丘を形成する山田野層は、 層厚 25~40m で、灰色~褐色の中粒 砂からなる。全体にかなり凝灰質で、 西方では岩木山火山灰が上位に不整合 で載る。津軽平野を日本海から分離す る屏風山丘陵の大部分は山田野層によ って構成されていることから、津軽平 野下の沖積層が外洋に面した浅海性堆 積物ではなく、深い入江か三角州性の 堆積物であることを示している。



高根段丘礫層、五所川原段丘砂礫層はいずれも砂・礫からなり、それぞれ海水準下 10~15m、 40m 以深の埋没谷を埋めた堆積物である。

十三湖層は海水準下 50m 以深におよぶ古岩木川の埋没谷を埋めた沖積層で、軟弱なシルト・砂からなり、表層は自然堤防、後背湿地などの微地形に応じた層相を示す。

このように、津軽沖積平野は下部更新統を含む新第三系の向斜構造を形成した地殻変動を受けつ つ、海水準低下期の山田野層の堆積、古岩木川による平野部の下刻、谷底の形成、三角州の発達と 沖積層の谷底埋積により形成されたものである。

#### (2)秋田沖積平野

秋田沖積平野は、秋田県の日本海沿岸に発達する能代平野、八郎潟干拓地、秋田平野などの低平 地の総称である。これらの低平地は、津軽沖積平野に比べて、立地上の条件から土地利用度が高 く、能代市・秋田市に代表される集落・施設が多くあり、日本海中部地震では主として地盤の液状 化に起因する震害が多く発生した。

秋田沖積平野は津軽沖積平野と同じく、中期中新世以降の地殻変動で生じた新第三系・下部第四 系を潟西層が潟西段丘として覆い、さらに約 1.8 万年前に始まった縄文海進までに形成された谷地 形を海水準の上昇に応じて沖積層が埋めたものである。図 3.2.3 に示した現在の微地形は、男鹿半 島の北東方向の傾動運動や風成砂の堆積などによって形成されたと考えられる。

能代平野は、図 3.2.4 に示すように高度 20~60m の中位 II 段丘、潟西段丘を米代川が東西に開 析してできた幅広い河谷に沿った谷底沖積平野である。沖積面は比高に応じて高い方から F-I、 F-II、F-IIの3つの地形面に区分される。F-I面は標高8~9m で、毛馬内段丘と呼ばれる。 この面の最上部は、十和田湖火山起源の毛馬内浮石火山灰層からなるが、主体は約6,000年前の縄 文海進時の堆積物とされている。F-II面は標高4~6mの起伏の著しい面で、F-I面を切って分 布する。この面はF-I面のように平坦ではなく、自然堤防、旧河道、ポイントバー(蛇行州)な どの古地形がよく保存されており、大きな起伏を示す(図 3.2.5)。F-II面は標高4m以下で、現 在の米代川に沿う面である。このように、能代平野は蛇行する米代川の流路に応じて、河道の内側 には砂礫からなるポイントバー、背後には砂やシルトを主体とする後背湿地、河道に沿って粗粒物 質が堆積した自然堤防などが順次形成され、複合して現在の地形をなしているため、非常に複雑な 層相を呈する。



図 3.2.5 能代平野の微地形区分図 3)

図 3.2.6 は図 3.2.4 に示した測線位置での能代市の地質断面図である。これによると、沖積層は F-I主体で、層厚はA-A'断面の海岸付近で96m、C-C'断面の中川原付近で69mとされている。 米代川沿岸および砂丘の内陸側低地には砂質土を主体とするF-I、F-IIが堆積し、日本海中部 地震では液状化被害が多発した。



図 3.2.6 能代平野の地質断面図<sup>3)</sup>

八郎潟とその周辺の沖積平野面は非常に平坦であるが、沖積層の下底、すなわち下位の潟西層の侵 食面は図 3.2.7 に示すようにかなり起伏に富んでいる。八郎潟周辺の沖積層は、最上部以外は内湾 成層であることから、外洋とわずかに連絡した内湾性の堆積物と考えられる。この付近での沖積層 の厚さは最大 55m とかなり厚く、堆積と同時に沈降運動が継続していると考えられる。

秋田平野は、雄物川下流域から八郎潟に続く南北に伸びた沖積低地で、その西側は海岸に沿って 発達する3条の縦列砂丘、東側は丘陵地に挟まれている。秋田平野も能代平野と同じく、地理的 に海岸部に位置しながら、沖積層中に海成層を欠いており、いわゆる海岸平野の性格は薄い。平野 の下には、秋田港北部で日本海に通じる埋没谷が確認され、「先雄物川谷」と命名されている。こ れらの谷を埋めて堆積した沖積層の厚さは、秋田港付近で約50m、秋田市街地で40m 内外であ り、雄物川、太平川、旭川などによって運搬された土砂から構成されている。層相は、地表から深 度10~20m 程度までは、腐植物を混入した軟質の粘土~粘土質シルトが主体で、これより下部層 は砂~粘土質シルトよりなっている。



図 3.2.7 潟西層侵食面等深線図 4)

# 3.3 地震被害の特徴

#### 3.3.1 液状化地点·土質の特徴

日本海中部地震は100名に及ぶ津波による人的被害を別にすれば、地盤の液状化で甚大な被害 を生じた地震である。図3.3.1に同地震による概略の液状化発生地点を示す。震源に近い平野部 は、秋田平野から八郎潟、能代平野と、青森県西部の津軽平野に液状化が集中している。この原因

は、震央距離が80~130kmと近 かったことと、地盤が液状化しや すい粒径の揃った緩い砂から構成 されていることである。液状化し やすい砂が堆積した地盤という意 味では、1964年新潟地震におけ る新潟市と同じである。

液状化は、主として、①沖積砂 層、②砂丘間低地あるいは軟弱な 沖積地盤上の盛土、③砂丘の縁辺 部斜面、④人工(埋立)地盤、で 発生している。

図 3.3.2 は被害の著しかった代 表的な液状化地点の土質柱状図で ある。(a)、(b)は N 値の低い沖積 砂層、(c)、(d)は盛土あるいは敷 砂、(e)は砂丘縁辺部である。こ の他、青森駅や秋田港などの埋立 地盤での液状化事例もある。

液状化地盤の砂は、細粒分が少ない粒径の揃った(均等係数の小さい)ものが多い。図 3.3.3 は液状化層(液状化地点において FL <1の地層)の粒度分布を示したものである。平均粒径 D<sub>50</sub> が



図 3.3.1 日本海中部地震による液状化地点の分布 5)

0.065~1.05 mmの範囲に分布しているが、特に 0.2~0.3 mm程度の細砂~中砂が多い。また、細粒分 含有率 FC(粒径が 75µ以下の土粒子の割合)は 30%以下が大部分である。図 3.3.4 は地盤中の乱 さない試料による粒度分布で、D<sub>50</sub>は 0.3~0.5 mm、FC は 20%以下である。また、図 3.3.5 は噴砂 の粒度分布で、前述図 3.3.3 の砂層データと比べて粒度範囲が狭く、FC がかなり少ない均等な砂 である。液状化によって砂が地表に噴出する過程で分級(粒径による分離)が起こり、噴砂の中心 部は比較的粗粒なもの、周辺部になるほど細粒なものが堆積する。噴砂は一般的に噴出孔の近傍で 採取することが多いため、実際の粒度組成よりも細粒分が少なくなる傾向がある。



### 3.3.2 構造物の被害と地盤条件

図 3.3.5 噴砂の粒度分布<sup>5)</sup>

図 3.3.6 は土木構造物の被害分布と地盤条件を示したものである。被害は砂丘、沖積平野及び人 工地盤等の平地に集中しているが、山地でも見られる。山地の被害の多くは、自然斜面、切取斜面 の崩壊あるいは落石による被害であるが、地すべりや山腹崩壊、砂防関係の構造物被害等も報告さ れている。 写真 3.3.1 は山間地における道路被 害の一例で、谷部を横断する盛土の崩壊の状況 である。

沖積平野における地盤災害は、有機質成分を 多く含んだ含水比の高い軟弱粘性土に起因する ものと、緩い砂質土の液状化に起因するものに 分けられる。津軽平野や秋田平野には、広範囲 にわたって有機質土(泥炭、ピート)層が存在 することが知られており、特に岩木川、米代 川、雄物川などの流域では、河川堤防の堤体の 沈下、亀裂、すべり、変形などのほか、護岸の すべり、亀裂、変形などの被害が発生してい る。また、道路盛土や鉄道盛土などの沈下、変 形、亀裂、崩壊などの変状によって、舗装や側 溝、カルバートなどに被害が発生している。こ れらの被害は、河川の後背地に発達する圧縮性 の高い有機質に富んだ軟弱地盤が地震動により 急激に変形したために生じたものである。この ような軟弱地盤では、農業用施設、水利施設た とえば農道、農業用水路などに変形・沈下が発 生したほか、田圃、畑地の亀裂、陥没あるいは 冠水などの被害が発生している。

砂丘縁辺部の液状化被害は、日本海中部地震 における一つの特徴である。砂丘と沖積低地の 境界部において、砂丘砂が液状化して、不同沈 下、亀裂、流動などの地盤被害が発生している

(写真 3.3.2~3.3.3)。このような被害は、車力村 富萢(津軽平野)、能代市浜浅内(能代平野)、若 美町野石、宮沢、玉の池、五明光(八郎潟西縁地 域)などで発生している。車力村富萢では、液状 化による斜面のすべりによって、斜面上の建物や 畑地、田圃等に著しい被害が生じた。

濱田らっによれば、能代市街地では、数メート ルに及ぶ液状化に伴う地盤の流動が発生し、流動 量の大きな箇所では各種ライフラインの主要被害 が起こっていることが分かった。



図 3.3.6 土木構造物の被害分布と地盤条件 (文献 5 を加筆・編集)



写真 3.3.1 山間地の道路盛土の崩壊(青森県道 今 別-蟹田線 小国峠付近)

液状化による被害は、自然地盤にとどまらず、人工地盤でも多かった。盛土材料として粒径の揃 った砂丘砂が使われる場合も多く、特に湖沼や砂丘間低地あるいは沖積低地を砂丘砂で埋め立てて 造成を行った箇所で液状化被害が多く発生している。このような人工(盛土)地盤の液状化被害事 例としては、車力村の牛潟、富萢、能代市の青葉町、河戸川、浅内、若美町の五明光、男鹿市の脇 本、秋田市の新屋元町、新屋松美町などがあげられる。

能代市の市街地は砂丘間低地と沖積低地に立地しており、砂丘砂で盛土した造成地も多い。広範 囲の液状化により、噴砂や噴泥に伴う著しい地盤の不同沈下や変形により、道路、家屋および基礎 の破損・変形、浸水、ブロック塀の倒壊・沈下、上下水道・ガス等のライフラインの埋設管の破 損、ガソリンタンクや浄化槽の浮き上がり、電柱の沈下・傾斜など種々の被害が発生した。

砂丘砂を使用しない人工地盤においても液状化被害が見られた。八郎潟の干拓堤防は湖底に分布 する砂を浚渫して築造したもので、敷砂の液状化により堤体が沈下・破壊・変形などの被害を受 け、アスファルトフェーシングに無数の亀裂が発生した。また、旧雄物川河口を埋め立てて造成し た秋田港では、埋立土の液状化により岸壁など多くの港湾構造物に被害が発生した。



写真 3.3.2 緩斜面の液状化に伴う地すべりによる 段差(車力村富萢)



写真 3.3.3 地盤の流動により食い違った畦道 (同左)

谷・長谷川<sup>6</sup>は、日本海中部地震に加えて、男鹿地震(1939)や新潟地震(1964)等の既往地 震におけるため池の被害を分析し、次のような傾向があることを指摘している。

- ① のり面のすべりは、上流側で発生するものが多く、下流側の2倍程度になっている。
- ② 男鹿地震や新潟地震の調査から、決壊のほとんどは地震後数時間または1日以上経って発生しているが、日本海中部地震では傾向が異なり、短時間(直後~1時間)に決壊しているものが多く、1日後に決壊したのは1例のみである。この原因としては、発災後の適切な応急処置によりパイピング等による二次被害が少なかったことが考えられる。
- ③ 被害が発生したため池は、山地と平地の境界部にあるものが多く、地質的には洪積層上のもの が多い。また、堤体の土質としては砂質土が多く、平均粒径や塑性指数は液状化する可能性の範 囲にあるものが多い。
- ④ ため池の堤高が 20~30m 以下のものについては、堤高が高いほど被害率が概ね高い傾向にある。これは、一般に堤高が高いほど、地震動の増幅が大きいためと考えられる。ただし、決壊などの大きな被害は 10m 以下のものが圧倒的に多い。
- ⑤ 築造年代では、過去10年以内の堤体の被害率が大きい。日本海中部地震および鉄道盛土の被害事例から、過去3年以内に築造された土構造物の被害率がとくに高いことが指摘できる。古いため池の被害が少ないのは、自然圧密による強度増加の発現をうかがわせる。

### 3.3.4 津波被害

#### (1)津波の遡上高

日本海中部地震では、地震の震源が海域で深さが14kmと浅かったため、津波が発生した。日本海における津波の記録は太平洋側に比べて少ないが、今回の津波を含めて27個の津波が確認されており、このうち東北地方沿岸では13個の津波が発生している。図3.3.7に、これまで日本海

で発生した津波の波源域を示す。今回の津波は、 1741年の渡島大島付近に波源をもつ津波、1341年 に発生したといわれる津波に次いで史上三番目の大 きさであった。津波モデルから推定される震源域で の海底の鉛直変位は、断層の東半分で沈降、西半分 で隆起し、最大変位量は4m程度とされている。

図 3.3.8 に示す津波伝播図は、津波の伝搬時間の 分布を示したもので、最北の北海道の稚内には 119 分、南西端の対馬厳原には 202 分で到達してい る。震源に近い秋田県深浦には地震の 7 分後に津 波の第1波が到達しており、引き波であった。

図 3.3.9 には日本海沿岸での平均的な津波遡上高の分布を示す。この図の横軸は津波の最大遡上高が記録された能代の北の峰浜を原点としている。峰浜村では T.P+14.2m の津波痕跡が確認されている。



図 3.3.7 日本海で発生した津波の推定波源域 分布(羽鳥・片山に補足)<sup>5</sup>



図 3.3.8 津波伝播図 13)

### (2) 津波による被害

この津波により 100 人が犠牲となった。死者数はこの地震における全死者数(104 人)の 96% に相当する。能代港工事現場では 97 人が海中に転落し、34 人が死亡した。また、男鹿市加茂海岸 では遠足に来ていた児童 13 人が死亡した。

津波による港湾の被害は、北海道の奥尻港、松前港、青森県深浦港、秋田県能代港等において臨 港地区が浸水した。開口部や狭窄部では、船舶や海上物件、施設等に被害が生じた(写真 3.3.4~ 3.3.6)。その主要なものは秋田港における木材流出と能代港外港地区埋立護岸の被害である。

能代港の護岸は建設中であり、被害が生じた前面護岸は背後地盤の埋め立てが未施工で、防波堤のような状態にあった。図 3.3.10 は被災直前の前面護岸のいくつかの断面で、被害を受けたのは 裏込め栗石が施工されていない断面Ⅲ、Ⅳであり、背後の施工が進んでいた断面 I、Ⅱ は被害を受けなかった。また、断面Ⅲは消波工があっても滑動している。

また、漁港関連施設の被害は、北海道と青森、秋田、島根の3県の60箇所に及び、消波ブロックの流失・散乱・沈下、護岸の倒壊・沈下、防波堤等の滑動・転倒・沈下、泊地・航路の埋塞、岸 壁等の倒壊・流失等であった。津波による漁船の被害は2,612隻に及び、北海道637隻、青森県 853隻、秋田県625隻、島根県368隻が多数を占める。単一漁港の1地区として最も被害隻数が 多かったのは青森県小泊漁港小泊地区であり、150隻が被災した。



写真 3.3.4 津波により転覆した漁船(深浦港)



写真 3.3.6 転落した車両の引き上げ(小泊港)



写真 3.3.5 岸壁に打ち上げられた漁船(同左)



図 3.3.10 建設中の前面護岸の断面(能代港)5)

3.4 地震被害

#### 3.4.1 秋田港

秋田港は旧雄物川河口に位置する重要港湾であるが、地震で26 バース中21 バースが被災し、 その多くで地盤の液状化が確認されている。また、臨港道路や野積場に亀裂・陥没などの被害が発 生し、荷役設備や上屋も使用不能になるものもあった。写真3.4.1 は、秋田港で最も被害の大きか った大浜地区-10m2号岸壁の被害状況である。同岸壁は図3.4.1 に示すように、矢板式岸壁(控 え杭)である。岸壁法線が最大1.8m はらみ出し、鋼矢板は-6m 付近で大きく湾曲し、折損してい る箇所も見られた。また控え杭は-7m 付近で大きく「く」の字に曲がっていた。このため背後のエ プロンは大きく沈下・陥没し、沈下量は最大で1.5m に達している。

復旧にあたっては、被災した前面鋼矢板を撤去し、1m 背後に新たに鋼矢板を打設し、控え杭も 敷地の関係から既存控え杭の前面に設置せざるを得なかったことから、前面矢板との距離が短くな ったため組杭とした。矢板背面は裏込め石を投入し、裏埋砂部分は「振動棒締固め(バイブロロッ ド)工法」で地盤改良した。





写真 3.4.1 前面鋼矢板のはらみ出しによるエプロ ンの沈下(秋田港大浜地区-10m2号岸壁) 陥没(大浜地区-10m2 号岸壁)

図 3.4.1 標準断面および被災断面図(大浜地区-10m2号岸壁)<sup>5)</sup>

外港地区-13m 岸壁(ケーソン式)は、最大 1.7m はらみ出すとともに、エプロン部が 1.0~ 1.5m ほど沈下した(写真 3.4.2~3.4.3)。岸壁背後の上屋は杭基礎であったが、地震後の測量で は、岸壁と上屋の距離に大きな変化がなかったことから、地盤の液状化によって、上屋背後からケ ーソンマウンドの下部へ至る大きなすべりが発生したのではないかと言われている(図 3.4.2)。

上屋の基礎杭(PC杭)にも傾斜や亀裂が認められ、上屋の床面は写真 3.4.4 に示すように地中 梁の中間で円形に陥没していた。また、エプロン上に設置されていたアンローダーの基礎が蛇行・ 沈下し、アンローダーの移動が不可能になった(写真 3.4.5)。復旧は地震前と同様のケーソン構造 とし、背後の埋立地盤は液状化防止を目的として、「振動棒締固め工法」で地盤改良した。

本港地区-4m物揚場(控え杭式鋼矢板岸壁)では、岸壁法線のはらみ出しはあまり見られなかっ たが、一部が大きく陥没した。水深は建設当初は-4.5mだったが、-10m航路の影響でかなり深く なっていた。控え杭は大きく海側に傾いており、傾斜角は最大12°に達した。タイロッドは破断し ていなかったが、控え工の腹起こしから外れている箇所があった。エプロンは、目地境界で大きな 段差が生じており、南埠頭寄りでは水没していた(写真 3.4.6)。復旧は鋼矢板構造とし、矢板背後の埋立地盤は液状化防止対策として「振動棒締固め工法」により地盤改良を行った。ただし、矢板の直背後は振動の影響の配慮から、砕石ドレーンを施工した。

被害地区の土質は、図 3.4.3 及び図 3.4.4 に示す ように、地表から 10m 前後が N 値 10 以下の埋立 土層であり、土質も粒径が揃った細粒分の少ない 砂である。



図 3.4.2 外港地区-13m 岸壁と背後地盤のすべりの概念図 5)



**写真 3.4.2 岸壁背後エプロンの沈下**(秋田港外港地 区-13m 岸壁)



**写真 3.4.3 岸壁背後上屋前面エプロンの沈下** (秋田港外港地区-13m 岸壁)



**写真 3.4.4 岸壁背後上屋床スラブの陥没**(秋田港 外港地区)



写真 3.4.5 エプロン沈下とアンローダー軌道の屈曲 (秋田港外港地区-13m 岸壁)



**写真 3.4.6 岸壁背後エプロンの陥没**(秋田港本港地 区下浜-4m物揚場)



図 3.4.3 秋田港外港地区-13m 岸壁の土質柱状図と粒度分布<sup>8)</sup>





図 3.4.4 秋田港大浜地区-10m2号岸壁の土質柱状図と粒度分布<sup>8)</sup>

# 3.4.2 八郎潟干拓堤防

### (1)八郎潟の概要

八郎潟は総面積 22,000ha、水深は最大 4.7m、平均 3m 程度の琵琶湖に次ぐ我が国第 2 位の半か ん湖(海水と淡水が混じる湖)であった。干拓事業(1957~1976年)に伴い、中央部に 15,640haの中央干拓地が、周辺部に 1,563haの周辺干拓地が完成している。中央干拓地をとりま く調整池、東部承水路、西部承水路があり、周囲には堤防が築かれている。これらの堤防は、図 3.4.5 に示すように、それぞれ正面堤防(延長 9.3km)、東部承水路堤防(延長 19.9km)、西部承 水路堤防(延長 22.0km)と呼ばれている。堤防の高さは、正面堤防は調整池の波のはい上がりを 考慮して計画高が最も高く、+2.8~+4.2m、東部承水路堤防が+3.1~+4.2m、西部承水路堤防が +1.85m となっている。

八郎潟には八郎潟堆積物といわれる 軟弱な粘性土が厚く堆積し、中央部の 厚さは 50m にも達している(図 3.4.6 ~3.4.7参照)。このような軟弱地盤上 に築堤するに当たって、軟弱層の上部 を砂で置き換えて、その上に堤防を建 設した。特に中央干拓地正面堤防は、 FD6~FD9付近で軟弱層が厚いため、 堤体構造の安定化を図るため、軟弱層 を最大 12m まで砂で置き換え、広い小 段を有する緩傾斜の堤防形状で、他の 地区に比べて大型の堤防となってい る。

使われた材料は全て八郎潟の湖底に 堆積する砂で、ポンプで浚渫した後、 運搬船で築堤位置に運搬・投入した。 建設に使われた砂の総量は2,500万m<sup>3</sup> 以上で、東京ドーム20個分に相当す る。また、堤防の法面は、冬季の強い 風による波浪と風食に対処するため、 アスファルトを主とする被覆がなされ ている。



図 3.4.5 日本海中部地震による八郎潟中央干拓堤防の被災図 5)



図 3.4.6 八郎潟軟弱層等深線図 5)



図 3.4.7 八郎潟地質断面図(図 3.4.6 の A-A'断面)<sup>5)</sup>

# (2)八郎潟中央干拓堤防および排水機場の被害

八郎潟干拓地の被害は図 3.4.5 に示したように、堤体天端の破壊・沈下が大きいもの(Ⅲ)、堤 体の形状を保ちつつ変形・沈下したもの(Ⅳ)、ほとんど被害のないものの 3 つの被災形態に区分 され、また、天端の沈下量は、1m以上のもの(A)、0.1~1mのもの(B)および 0.1m以下のも の(C)の3つに区分されている。天端沈下量が 0.1m以上の沈下が生じた堤防は全体の約 65%を 占め、被害が発生した堤防のうち、沈下量が 0.1~1m のものが約 80%を占めている。

写真 3.4.7 は、正面堤防 FD6+900 付近で発生した変状であり、堤防法面に円弧状の滑落崖が生 じている。図 3.4.8 に示すように、法面の下の押さえ盛土の部分に噴砂と法面のはらみ出しが見ら れた。これより、押さえ盛土部の液状化によって、堤体のせん断抵抗力が減少し、法面がすべった と考えられる。写真 3.4.8 は東部承水路堤防における天端の沈下の状況である。また、写真 3.4.9 は西部承水路を跨ぐ五明光橋(WC13+550)の取付盛土の被害状況である。道路盛土が全体的に 大きく沈下し、水平方向にも広がったため、大きな亀裂や陥没が生じた。図 3.4.9 には、液状化層 を粘性流体と仮定した残留変形解析の事例を示す。亀裂や陥没等の不連続な変形の再現は難しい が、盛土全体の沈下量などは大体表現できているようである。

写真 3.4.10~3.4.11 は北部排水機場の被害状況である。同排水機場では、屋外変電所の地盤が大



図 3.4.8 正面堤防 FD900 付近の変状 <sup>5)</sup>



写真 3.4.8 干拓堤防の崩壊(八郎潟東部承水路堤防)



**写真 3.4.7 堤体の法面に現れた円弧状のすべり** (八郎潟正面堤防 FD900 付近)



**写真 3.4.9 橋梁取付盛土の崩壊**(八郎 潟五明光)



図 3.4.9 五明光橋取付盛土の変形解析例

きく変状した。写真 3.4.11 に示すように、変電所の傍の排水機場建屋の擁壁の一部が回転してせ り出したために、地盤が沈下・変形したと考えられる。



写真 3.4.10 屋外変電所の地盤沈下(八郎潟北部 排水機場)

### (3)既往地震の被害

八郎潟干拓事業が始まって以来、堤防に何らかの 被害をもたらした地震は計6回を数えている(図 3.4.10に示す地震と三陸沖地震(1960))。これらの 地震のうち1964年に発生した青森県西方沖地震、 新潟地震ならびに男鹿半島沖地震では、西部承水路 堤防を中心として被害が生じており、1968年の十勝 沖地震では、正面堤防を中心とした八郎潟東南部に 著しい被害があった。これらの地震では、液状化に よる噴砂が観察されていることから、復旧に当たっ ては、液状化の防止のために押さえ盛土の施工、堤 体ドレーンによる浸潤線の低下が基本的な考え方と して採用されている。

一方、過去の地震でほとんど被害を受けなかった 東部承水路堤防が全域にわたって被害を受けている



写真 3.4.11 変電所擁壁のはらみ出し(同左)



図 3.4.10 既往地震による八郎潟中央干拓堤防の 被害箇所<sup>5)</sup> こと、青森県西方沖地震の復旧工法として押さえ盛土工法が施工された西部承水路堤防では、十勝 沖地震では被害がなかったが、日本海中部地震では、最大1m程度の沈下を生じている。

#### (4)八郎潟堤防の復旧

大きな被害を受けた八郎潟干拓堤防の復旧方針は次のとおりである。

- 原形復旧を原則とする。ただし、堤体中央部および道路部を除き、川裏側の現地形については 若干の法面整形を行う。
- ② 川表側に押さえ盛土を施工する。また、堤体が小型で、かつ被害の大きかった正面堤防の西側 区間および西部承水路堤防の北部区間については、川裏側にも押さえ盛土を行い、敷幅を拡大す る。押さえ盛土表面には、降雨浸透および高水位時の堤体内への浸透を防止するために、アスフ ァルトフェーシングを施工する。
- ③ 正面堤防、東部承水路堤防、西部、南部、東部の各干拓堤防では、押さえ盛土前面に液状化防 止を目的とした止水矢板を施工する。矢板は粘性土層あるいは締まった砂層に貫入する。
- ④ 矢板および鋼製止水壁の前面には洗掘防止を目的として捨石を施工する。
- ⑤ 中央干拓堤防については、堤体内の浸潤面を低下させるために、裏法尻にドレーンを設ける。

### 3.4.3 車力村富萢地区

富萢地区は青森県西津軽郡車力村大字富萢地内(現在、つがる市富萢町)にあり、東西方向に伸びる標高 5m 程度の砂丘端部の南斜面が地すべりを起こした。この砂丘は、長さ約 500m、幅が

60~70m 程度で、人家が密集 していた。図 3.4.11 に示すよ うに、砂丘の中心部を通る道 路を中心として、多数の亀裂 や段差が発生し、家屋の全壊 5 戸、半壊 30 戸の被害が生じ た。同地点の地盤は、緩い砂 がレンズ状に堆積しており、 その厚さは最大 12m である。 砂層の上部 6~8m までは N 値 10 以下で、地下水位は GL-3~-5m 程度であった。砂層の 下には腐植土があり、その下 部は締まった砂が堆積する。



図 3.4.11 車力村富萢地区の被害状況 5)

写真 3.4.12~3.4.15 は富萢地区の被害を示しており、前述の写真 3.3.2 も含めて地すべりによる 道路の破壊や庭・畑地等の変状(段差)など甚大な地盤被害が発生している。写真 3.4.16~3.4.17 は富萢地区の砂丘間低地で見られた巨大噴砂である。この噴砂孔は直径が約 7m あり、噴砂の範囲 は直径 24m にも及んでいる。噴砂孔の壁の観察によると、表層に硬いロームおよびシルト混じり 中砂の層が堆積している。この硬い地層が蓋となって、下部の緩い砂層で生じた過剰間隙水圧が蓄 積し、その圧力に耐えられずに硬い地層が破壊して、地下水とともに土砂が一気に噴出したものと 推定される。写真 3.4.18 も同様な巨大噴砂であるが、噴砂孔の断面に蓋となった地層が観察され る。写真 3.4.19 は、富萢地区のやや南側の牛潟地区で見られた防火水槽の浮き上がりである。



**写真 3.4.12 砂丘斜面のすべりによる道路の変状** (車力村富萢)



写真 3.4.13 塀の傾斜と地割れ(同左)



写真 3.4.14 塀の傾斜(車力村富萢)



**写真 3.4.15 斜面のすべりにより庭に生じた段差** (同左)



写真 3.4.16 直径 7m の巨大噴砂孔と飛び散った 砂(車力村富萢)



写真 3.4.17 噴砂孔の近景(同左)



写真 3.4.18 直径 5m に及ぶ巨大噴砂孔(車力村富萢)



写真 3.4.19 防火水槽の浮き上がり(車力村牛潟)

#### 3.4.4 青森市臨海埋立地の被害

#### (1)国鉄青森駅構内

青森駅の構内は埋立地で、海側には青函連絡船用の第1~第3岸壁がある(図3.4.12)。第1岸 壁は旧海岸線に造成されており、第2岸壁(1924年完成)と第3岸壁(1944年完成)は海中に 突出した埋立岸壁であるが、地震被害は第1岸壁では発生せず、新しい埋立地である第2、第3岸 壁に集中した。

1968年十勝沖地震でも、同様に第2、第3岸壁に被害が発生している。図3.4.13には第3岸壁 先端部の土質柱状図を示す。埋立土層は10mくらいの深さまでであり、N値が10弱の細〜中砂 からなる。地下水位はGL-1〜-3m(干満によって変化)である。

地震被害は、写真 3.4.20~3.4.24 に示すように、噴砂や路盤の沈下・亀裂、照明用鉄塔の傾斜、ホームや停車場工作物の沈下・傾斜、地下タンクや汚水槽の浮き上がり等で、いずれも液状化が原因と考えられる。

傾斜した照明用鉄塔は、作り直すに当たって、杭基礎の先端深度を GL-11.5m から液状化しない GL-28m 付近まで延長した。



図 3.4.12 青森駅構内の被害状況 5)

### 図 3.4.13 土質柱状図 (第 3 岸壁付近)<sup>5)</sup>



写真 3.4.20 照明塔の傾斜(国鉄青森駅構内)



**写真 3.4.22 継電器室の傾斜、線路沿いの噴砂** (国鉄青森駅構内)



写真 3.4.21 照明塔の近景(同左)



写真 3.4.23 汚水槽の傾斜 (国鉄青森駅構内)



写真 3.4.24 プラットホームの変状 (国鉄青森駅構内)

# (2)貯油施設

国鉄青森駅に隣接する青森港沖館地区には幾つかの石油貯蔵施設があった。写真 3.4.25~3.4.29 には、それらの貯蔵施設の被害状況を示す。写真 3.4.25 はタンクの RC リング基礎の亀裂である。 また、図 3.4.26 はタンクを固定するアンカーボルトの引き抜けで、引き抜け量は約 30cm であ る。写真 3.4.27 は、小型タンクの沈下・傾斜の状況である。写真 3.4.28 はタンク防液堤の亀裂の 状況である。これら貯蔵施設では、写真 3.4.29 に示すような噴砂が各所で見られたことから、地 盤の液状化に伴う被害と考えられる。



写真 3.4.25 タンクリング基礎の亀裂(青森市沖館)



写真 3.4.26 アンカーボルトの引き抜け(青森市沖館)



写真 3.4.27 小型タンク(手前)の傾斜(青森市沖館)



写真 3.4.29 構内で見られた噴砂(青森市沖館)



写真 3.4.28 防液堤の損傷(青森市沖館)

### 3.4.5 建築物

#### (1) 浪岡町立病院

浪岡町立病院(現青森市立浪岡病院)は、1970年に完成した高層棟が地下1階、地上5階、低 層棟が平屋(一部2階)のRC構造物で、両者は構造的に一体である。同病院敷地内の土質柱状図 を図 3.4.14に示す。地盤性状は、地表から3~8mまでは表土、シルト層(N値1~3)、その下に 厚さ3~6mの砂礫層(N値20~50以上)、その下部に厚さ3~6mの火山灰層(N値50以上)、

固結シルト層(N値20~50以上)が続いている。基礎は独立杭基礎(高層部 φ350mm、長さ6m、低層部 φ300mm、長さ10m)となっている。

被害は、3~5階で隅柱を除い て大部分の柱・壁がせん断破壊し て、モルタル仕上げおよび被りが 剥落し、一部の柱では主筋が座屈 した。3~5階の床に亀裂が生 じ、屋上パラペットの面外へのは らみ、煙突の傾斜が見られたほ か、高層棟と低層棟の接続面で境



図 3.4.14 浪岡町立病院の敷地内の土質柱状図 9)

界に沿って床に亀裂が生じた。また、3~5階のはめ殺しの窓ガラスはほとんど破損した。写真 3.4.30~3.4.31に被害状況を示す。

浪岡町立病院の建物が大きな被害を受けた原因として、①壁が少なく、長柱、短柱が混在していたこと、②建物重量に対する柱や壁の断面積の割合が特に3階を中心に小さいこと、③柱のせん断補強が十分でないこと、④打設されたコンクリートの強度や剛性が小さいこと、⑤浪岡町の中でも病院周辺での地震入力が、他に比べて大きいと思われること、⑥低層部の存在が高層部の応答を大きくしたこと、等が指摘されている <sup>9</sup>。

同病院は、その後、詳細な検討を経て、補修・補強が行われ、1984 年 8 月に復旧が完了した。 写真 3.4.32~3.4.33 は 2015 年時点の病院の全景及び近景である。



写真 3.4.30 大破した浪岡町立病院



写真 3.4.31 被災個所の近景(同左)



写真 3.4.32 現在の病院(2015 年撮影)



写真 3.4.33 近景(同左)

# (2)県立男鹿工業高校

秋田県立男鹿工業高校の敷地は砂丘間の湿地である沼を埋立て造成されたものである。被害状況 を写真 3.4.34~3.4.37 に示す。校舎の周囲やグラウンド、建物床の割れ目から噴砂が生じてお り、全面的に液状化が起こったことがわかる。鉄骨造1階建ての工作室の床が最大 30~40cm ほ どの不等沈下を起こし、このため間仕切壁が破損した(写真 3.4.36)。



写真 3.4.34 構内における噴砂(男鹿工業高校)



写真 3.4.35 床の亀裂から噴出した砂(同左)



**写真 3.4.36 土間の沈下による間仕切壁の損傷** (男鹿工業高校)



写真 3.4.37 構内の噴砂(同左)

# 3.4.6 その他の構造物

### (1) 道路盛土の沈下(昭和バイパス)

写真 3.4.38 は南秋田郡昭和町の国道 7 号昭和バイパスの路面の沈下の状況である。同バイパス の基礎地盤は、高有機質土を主体とした軟弱地盤で、道路建設に当たって地盤強化としてサンドコ ンパクションパイル(SCP)工法、生石灰パイル工法、緩速載荷工法、押さえ盛土工法が施工さ れ、構造物周辺は砂置換工法が用いられている(図 3.4.15 参照)。被害箇所は道路の基礎地盤を管 渠(水路)が横断しており、有機質土からなる管渠の下部層は砂で置換されていた。地震によって 置換砂が液状化し、支持力が低下すると共に、置換砂の一部が外に流れ出した(写真 3.4.39)。こ のため、横断水路が沈下し、その上部の路面が沈下したものと考えられる。復旧対策としては、水 路構造物を一旦撤去し、砂を砕石に置き換えてタンーパーでよく締固めた後、構造物を再度設置 し、盛土部の復旧を行った。



写真 3.4.38 道路横断管渠の置換砂の液状化により沈下した路面(国道 7 号昭和バイパス)



写真 3.4.39 埋設されていた管渠の置換砂の液状 化で噴出した砂 (同左)



図 3.4.15 路面沈下地点の土質縦断図(国道 7 号昭和バイパス)5)

# (2)地下構造物の浮き上がり(能代市)

写真 3.4.40 は、能代市南部で見られたガソリン スタンドの地下タンクの浮き上がりである。地盤 の液状化のため、地下タンクがコンクリートスラ ブを押し上げて浮上した。この浮上によってタン クの付属配管が折損したが、タンク本体の損傷は なかった。

#### (3)ため池の被害

ため池の被害は秋田・青森両県他で238箇所に 及んでいる。被災個所数が多いのは青森県鯵ヶ沢



写真 3.4.40 ガソリンスタンド地下タンクの浮き上がり (能代市河戸川)

町 34 箇所で、次いで秋田県男鹿市 21 箇所、秋田県琴丘町 15 箇所、秋田県能代市 13 箇所、青森 県木造町 12 箇所等である。大部分は、クラック、小規模な法面すべり等の比較的軽微な被害であ ったが、なかでも被害の大きかったため池は 16 箇所に及ぶ(秋田県 11 箇所、青森県 5 箇所)。

被害が大きいため池とは、①天端沈下量が 1m 以上、②堤体の一部(斜樋、底樋を含む)が決 壊・流出し、貯水ができなくなったもの等であ る。

写真 3.4.41 はため池の被害の一例である(能代 市一の沢堤)。一の沢堤は米代川河口より約 7km 南側の台地面に開けた低地部に位置する堤高 5.5m、堤長 161m のため池である。下流側に下池 (二の沢)をもつ重ねため池である。地震時のた め池の水位は堤体天端最低部より約 1m 下であっ た。地震発生後、30 分以内に堤体中央部を中心と



写真 3.4.41 ため池の決壊(能代市一の沢堤)

して大きく沈下し、後に沈下した部分から越流が始まり決壊に至った模様である。

復旧断面を図 3.4.16 に示す。zone I には左岸地山の表層から採取された粘性土を、zone II には 旧堤体及び左岸地山からの礫混じり砂を用いた。なお、地盤が相当軟弱なため、上下流の法尻には ゴムシートを敷いた上に礫混じり砂を押さえ盛土として施工した。



図 3.4.16 「一の沢」堤体の復旧計画<sup>10)</sup>

# 【第3章の引用・参考文献】

- 1) 土質工学会東北支部:1983年日本海中部地震被害調查報告書、1986.
- 2) 北村他:地盤地質と災害、1983年日本海中部地震による総合的調査研究(研究代表者 乗富一雄)、 pp.136~170、1984.
- 3) 能代市:昭和 58年(1983年)5月 26日 日本海中部地震 能代市の災害記録、1984.
- 4) 狩野:秋田県北部沿岸地帯の第四系、秋田大学地研報、No.36、pp.1~81、1964.
- 5) 土木学会:1983年日本海中部地震 震害調查報告書、1986.
- 6)谷・長谷川:日本海中部地震を中心とした溜池の地震被害、農業土木学会誌 第55巻 第10号、 pp.939~947、1987.
- Hamada, M., Yasuda, S., Isoyama, R. and Emoto, K.: Study on Liquefaction Induced Permanent Ground Displacements, Association for The Development of Earthquake Prediction, 1986.
- 8) 土田他:1983 年日本海中部地震港湾被害報告、港湾技研資料 No.511、1985.
- 9) 日本建築学会:1982 年浦河沖地震·1983 年日本海中部地震 災害調査報告、1984.
- 10) 谷・安中・川口・釜田:1983 年日本海中部地震によるため池の被害調査報告、農業土木試験場技報 第169 号 (CE-4)1985.
- 11) 基礎地盤コンサルタンツ㈱:1983年5月26日 日本海中部地震による被害状況 速報、1983.
- 12) 国土地理院:第199回地震予知連絡会 記者レクチャー資料、2013.5.30
- 13) 羽鳥:1983年日本海中部地震津波の概要および波源域、地震研究所彙報、Vol.58、pp.723~734、1983.
- 14) Hasegawa, A., Umino, N., and Takagi, A.: Seismicity in the northeastern Japan arc and seismicity patterns before large earthquakes, Earthq. Pred. Res., in press, 1985.
- 15) 気象庁:知識・解説―地震発生の仕組み、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about\_eq.html
- 16) 科学技術庁国立防災科学技術センター: 1983 年 5 月 26 日 日本海中部地震、強震速報 No.23、1983.
- 17) 宇佐美:新編 日本被害地震総覧、東京大学出版会、1996.

# ●●なぜ砂丘はできるのか?

砂は岩石が風化し、河川によって海へ運ばれていくうちに細かく砕け磨かれてできます。海に流れで た砂は、海から陸へ風や波浪に運搬され、吹き上げられた砂が地上の障害物によって風速が弱められる と砂粒が失速して堆積し砂丘ができます。

冬に強い北西の季節風が吹きつける日本海側は砂丘形成の条件に恵まれて おり、このため、日本の海岸砂丘の多くは日本海側に存在します。

日本海中部地震の被害地域にも秋田砂丘、能代砂丘、屏風山砂丘(津軽半 島の日本海沿岸部)などがあります。一般に砂丘列が卓越風(北西風)の向 きに対して垂直の横列砂丘が多いですが、屏風山砂丘だけは卓越風に対して 平行な縦列砂丘となっています。



# 4. 長野県西部地震

### 4.1 地震および被害の概要

# 4.1.1 概 要

地震名	長野県西部地震		発生年月日	1984年9月14日 8時48分		
マグニチュード	6.8 震央の位置		35°49.3'N、137°33.6'E 長野県王滝村付近			
地震の形態	陸域の浅い地震					
深さ	2km	地霊動	最大震度	4 甲府、飯田、舞鶴、諏訪 (震央で推定6)		
津波	なし	地展到	最大加速度	-		
人的被害	死者・行れ	方不明29人、負傷者10人	家屋被害	全壊 13棟、半壊 86棟		
被害の特徴	・木曽御岳山の南側斜面で「御岳くずれ」と呼ばれる大規模な斜面崩壊が発生し、2つの谷を 削りながら流下した土砂は約10km下流の王滝川に達して河道を埋没し、天然のダムを形成し た。流下した土砂に飲み込まれ、谷筋にあった濁川温泉の宿泊客など15人が死亡した。 ・王滝村松越地区では幅130m、長さ180mにわたって大規模な斜面崩壊が発生した。この崩 壊で森林組合作業所や生コン工場が巻き込まれ、死者・行方不明者14人を出した。 ・山岳地帯での地震のため、斜面崩壊・落石および斜面崩壊による道路切断・閉塞、路面の 亀裂などの被害が発生した。					

### 4.1.2 地震動

### (1) 地震の概要

長野県西部地震は、1984年9月14日朝に 木曽御岳山(標高3,067m)の南側の王滝村 の深さ2kmで発生した内陸型地震で、地震の マグニチュードは6.8であった。図4.1.1に9 月14日~10月20日に発生した地震の震央 分布を示す。余震の分布は幅約3km、長さ 12~13kmの範囲にある。最大の余震は9月 15日のマグニチュード6.2の地震であった。

この地震は2つの破壊が連続して起きたマ ルチプルショックで、初期破壊(M5.9)の発 生の約1.5秒後に、西南西に約3.7km離れた 位置で主破壊が生じたものと推定されてい る。本震の発震機構は東北東-西南西走向で ほぼ鉛直面に沿った右横ずれである。なお、 この地震では断層は地表に現れていない。図



図 4.1.1 余震分布(文献 7 に加筆)

4.1.2 に震度分布を示す。最大震度は4(IV、中震)とされているが、震央に最も近い気象官署の 飯田でも震央距離が40km程もあり、震源近傍の地震動の大きさを表しているとはいいがたい。

### (2)最大加速度

長野県西部地震の震源は御岳山の南麓という辺鄙な場 所であったため、周辺には約4km 離れた牧尾ダム(王 滝川)以外には強震観測地点がなかった。利水と発電を 目的とした多目的ダムである牧尾ダムの堤体には11個 の地震計が設置されていたが、地震記録はいずれも振り 切れており、正確な加速度値を読み取ることは不可能で あった。牧尾ダム管理事務所の推定によると、ダム堤頂 部において堤体と直交する方向の水平最大加速度は 300galを超えたと言われている<sup>2)</sup>。

強震速報<sup>12)</sup>によれば、地盤上の観測点で最大加速度 が 100galを超えるものはなく、最大加速度は震央距離 123kmの東海道新幹線清水変電所(清水市)における 55gal(EW成分)であった。

図 4.1.3 は余震域の中心からの距離を横軸にとって最 大加速度をプロットしたものである。この図で、×印は ダムサイトの岩盤上または岩盤中、●印は地盤中または 建物の地下階、○印は普通の地盤上のデータで ある。これより、岩盤における最大加速度が震 源からの距離が近い割には低いレベルにあるこ と、地中または建物地下階の加速度が小さいこ

震源付近の強震記録が得られていないため、 村松他<sup>1)</sup>は、Haskell モデル<sup>11)</sup>を用いて、余震 記録から本震の震源域における地震動を推定 する試みを行っている。村松他は、余震記録 のうち 10月3日のM5.3の余震記録から高 山および飯田における本震地震動を合成し、 震源パラメータの最適値を決定した。しか し、本震地震動の合成に際しては、M5.3の余 震はあまりに観測点に近く、震源決定の誤差が 結果に大きく響くため、本震の震源に近く、か つメカニズムも本震に最もよく似た9月17日 のM4.3の記録(図4.1.4)を用いた。図4.1.5 に合成した本震地震動の速度波形を微分して加 速度に変換した波形を示す。これによると、推 定最大加速度は約2,000galとなった。



図 4.1.2 震度分布図 (気象庁による)<sup>8)</sup>







図 4.1.4 本震地震動の合成に用いた主破壊域付近 の余震の速度波形<sup>1)</sup>



図 4.1.5 推定された本震地震動の加速度波形 <sup>1)</sup>

### 4.2 木曽御岳南麓の地形・地質

### 4.2.1 地形の概要

図 4.2.1 に木曽御岳山の水 系図を示す。最も新しい継子 岳を除いて、南麓の山体には 放射状に河川が深く刻まれて いる。濁川の支流である伝上 川や赤沢(地獄谷)をはじ め、王滝川最上流部の本谷、 東麓の白川、湯川、西麓の濁 河(にごりご)川などでは、 山体中腹で深さ 200~300m を超える険しい峡谷が形成さ れており、河床は基盤岩にま で達していることが多い。

これらの河川の源流部は山 頂直下にまで達し、傾斜 30 度を超える山頂直下の斜面 は、裾部を洗掘され不安定な 状態にある。実際、このよう な場所には大規模な崩壊跡が 見られる。



図 4.2.1 御岳山周辺の水系<sup>10)</sup> 図中の丸囲い数字は地震による主な崩壊地を示す。

図 4.2.2 には御岳山周辺の接峰面図 を示す。接峰面図とは谷の影響を除い た地形面図で、浸食によって谷が刻ま れる前の原地形に近い面を表すと考え られている。これらによると、坂下と 下呂を結ぶ阿寺断層を境に、それ以南 の二ツ森山地には、標高 800~900m の三河準平原が広がり、その上には標 高 1,100~1,200m の残丘状の平坦山 峰が点在する。阿寺断層以北の阿寺山 地には、標高 1,500~1,600m の阿寺 面が広がり、これより高所には標高 1,800~1,900m の残丘状の平坦山峰が 点在する。

御岳山の東方の黒沢と木曽福島の間 には、標高1,150m(南部)~1,400m (北部)の地蔵嶺面が広がり、阿寺面 よりは一段低い地形面を形成してい



図 4.2.2 御岳山周辺の接峰面図<sup>1)</sup>

る。御岳山東北方向の地蔵嶺面分布域の北側には、標高 1,700~1,800mの平坦面が広がり、この 上に標高約 2,000mの残丘が点在する。以上の点からみて、御岳山は地蔵嶺面の延長上に乗ってい ることが明らかである。

#### 4.2.2 地質の概要

#### (1)基盤岩類

御岳山の基盤は、主に美濃帯に属する中生界の堆積岩類と濃飛流紋岩類よりなる。前者は御岳山 の東側に、後者は西側に分布し、両者の境界は氷ヶ瀬の西方から濁川温泉の北方を通り、剣ヶ峰の 東方を経て法仙峰東方に至る北北西-南南東方向の断層である。

美濃帯の地層は、主に頁岩、砂岩、チャートなどで構成されているが、泥質岩が優勢である。地 層の走向はほぼ北東-南西で、北西側に高角度で傾斜しており、泥質岩には層理面にほぼ平行な剥 離性が強く発達している。西縁は断層に沿って 2~3km の幅で地層が著しく破砕されており、濃 飛岩体東縁破砕帯と呼ばれている。地層の年代はジュラ紀後期と考えられる。

濃飛流紋岩は、主に白亜紀後期の火山噴出物(火山灰、軽石、熔岩など)から構成されている が、少量の湖成層も挟んでいる。火山灰は溶結していることが多く、全体に堅く固結している。北 東側に 20 度前後緩く傾斜し、層厚は 2,000m を超える。濃飛流紋岩の下位には美濃帯の中生層が 存在すると考えられている。

### (2)第四系
御岳山南麓に分布する第四系は、図 4.2.3 に示すように、下位より上野玄武岩、鈴ヶ沢累層、樽 沢累層、王滝累層に区分される。以下に各層の特徴について述べる。



図 4.2.3 御岳山南麓の地質図(文献1を編集)

# [上野玄武岩]

上野玄武岩は、かんらん石玄武岩熔岩と同質の凝灰角礫岩層よりなり、層厚は100~200mであ る。同玄武岩は、主に王滝川より南の標高1,500~1,600mの阿寺面に分布し、御岳火山噴出物と の直接の関係は認められない。しかし、御岳火山の初期噴出物に対比される地蔵峠火山岩類が、阿 寺面よりも100~200m低い地蔵嶺面に分布すること、上野玄武岩は模式地の岐阜県坂下町上野に おいて逆帯磁を示すこと、恵那盆地において土岐砂礫層上部に挟まれていることなどから、下部更 新統に属すると考えられる。

## [鈴ヶ沢累層]

御岳山南麓の鈴ヶ沢中股沢を模式地とする鈴ヶ沢累層は、基盤岩類を不整合に覆って分布し、一 般に後述する樽沢累層よりも分布基底高度が高い。鈴ヶ沢累層は、亜円礫層と泥流堆積物よりな り、角閃石複輝石安山岩、かんらん石複輝石安山岩、玄武岩および降下スコリア層などを挟在す る。本累層は、一般に水平方向への岩相の変化が大きく、御岳山北東方向に向かって層厚が増し、 200mを超える。本累層の主体となる礫層および泥流堆積物は、御岳山より北東方向に起源を有す る。この累層は一般に水平に近い構造を持ち、前述の阿寺面が浸食された 100~200m 低い平坦面 上に堆積したものであり、その後の御岳火山噴出物に覆われないところでは、地蔵嶺面を形成している。

この累層の堆積時期については、まだ不明な点が多いが、地蔵峠火山岩類が正帯磁を示すこと、 下黒沢に分布する本累層中の植物化石と花粉化石がメタセコイア植物群を含まないことなどから、 中部更新統とするのが妥当である。しかし、御岳山西方の秋神付近では、逆帯磁を示す安山岩熔岩 も確認されており、下部更新統まで遡る可能性もある。

### [樽沢累層]

御岳山南東麓の樽沢上流部を模式地とする樽沢累層は、鈴ヶ沢累層を不整合で覆うが、ほとんどの地域では基盤岩類を直接不整合で覆っている。基底高度は、南東麓で1,050~1,300m、南麓の 鈴ヶ沢で1,400~1,600m、南西麓で1,250~1,450mであり、鈴ヶ沢累層のそれよりも低い。本累 層は一般に山体側から山麓に向かって10度前後傾斜する。

樽沢累層は、御岳山山体の主要部を構成しており、層厚約800mの熔岩、凝灰角礫岩層、火山 泥流堆積物、降下火山砕屑物、砂礫層、湖成層などからなり、南麓では下位より、樽沢層、三浦 層、小切谷熔岩層、倉越原熔岩層、上小谷層、三笠山熔岩類、滝越熔岩層に区分される。

#### [王滝累層]

御岳山南麓においては、王滝川、濁川、伝上川沿いなどに模式的に分布する王滝累層は、熔岩、 集塊岩層、凝灰角礫岩層、砂礫層、湖成堆積物および降下火山砕屑物よりなる。本累層は、一般に 樽沢累層が浸食された深い谷地形を埋めたり、急斜面を覆い傾いて堆積しており、山体部では傾斜 が 30 度を超えるところも稀ではない。

同累層は後述する小坂田ローム層と波田ローム層と同時期の堆積物であるが、特に風成の降下火 山砕屑物に対して独自の地層名を与えたものである。何故ならば、降下火山砕屑物は御岳山の山麓 だけではなく、松本盆地や伊那谷にも分布し、風成堆積物として独立した地層を形成しているから である。

#### (3)後期更新世の火山灰層

御岳山南麓から東麓に分布する火山灰層は、下位より小坂田ローム層、波田ローム層に区分される。

### [小坂田ローム層]

御岳山麓における小坂田ローム層は、南東麓から東麓で最も厚く、御岳高原では 10m を超える (図 4.2.4)。同ローム層の特徴は、全体が黄褐色で、12 層の軽石層を挟在する。小坂田ローム層 と波田ローム層の境界は御岳山麓では不明瞭である。

### [波田ローム層]

波田ローム層は、全体に赤褐色で、スコリアを含むことが特徴である。御岳山麓における波田ロ ーム層は、東麓において最も厚く、15~20mに達する(図 4.2.4)。

長野県西部地震における大規模な斜面崩壊は、伝上川上流部の御岳南斜面、松越、滝越、御岳高 原、鞍越高原で発生した。これらの崩壊はいずれも上部更新統の王滝累層または小坂田ローム層中 で発生しており、御岳山の地質と深く関わっている。



図 4.2.4 御岳山麓における崩壊地および火山灰層柱状図(文献 1 を編集)

## 4.3 地震被害

### 4.3.1 御岳山南側斜面の大崩壊

震源の北側に位置する御岳山の南側斜面が大規模な崩壊を起こした(写真 4.3.1~4.3.4)。「御岳 崩れ」と呼ばれるこの大規模崩壊の跡は、標高 2,180mの木曽御岳登山口(王滝口)からの遠景 (写真 4.3.5)でも明瞭に見て取ることができる。崩壊の概略図を図 4.3.1に示す。崩壊の頭部は 標高 2,550m 付近の平均斜度 25~30°の尾根で、伝上川河床の標高 1,900m までの比高 650m の範 囲が崩壊し、岩屑なだれとなって伝上川を流下した。崩壊の規模は、延長 1,480m、崩壊の最大幅 は 480m、最大深さ 160m(平均深さ 80m)で、崩壊土量の規模は約 3,400 万 m<sup>3</sup>と推定される。

崩壊土砂は主に伝上川、濁沢川の沢を削りながら、短時間のうちに王滝川本川に流下し、平均流 下速度は約 80km/h と推定されている。



写真 4.3.1 御岳山南斜面の崩壊源頭部



写真 4.3.2 崩壊土砂によって削り取られた伝上川の 河谷



写真 4.3.3 伝上川中間部付近より上流側の状況



写真 4.3.4 伝上川中間部付近より下流側の状況

崩壊地の基盤は、中~大亜角礫よりなる砂礫層 主体の木曽谷層で、この地層が浸食された谷地形 を千本松軽石層、S-Oスコリア層が覆い、さらに 伝上川溶岩類、奥の院溶岩類などの火山噴出物が 埋めて尾根を形成したものである。崩壊によっ て、これらの地層が削り取られ、木曽谷層の古地 形が現れた形となった。

新しく崩壊した地形は大きく2つの部分に分け られる。最初は標高2,100m付近で小規模な崩壊 が発生し、足元をすくわれる形で上部の土塊が崩 壊したとされている。図4.3.2の崩壊断面図に示



**写真 4.3.5 現在でも生々しく残る崩壊源頭部**(田ノ原 駐車場より、2015 年撮影)

(第一次崩壊 I)が起こった地 層と引き続いて起きた大規模崩 壊(第二次崩壊 II)の地層の面 積比は1:4で、斜面上部にあ る第二次崩壊物の面積がはるか に大きい。最初に小規模崩壊が 起こった地層は従来から湧水な ど水が豊富な地層(写真 4.3.6 参照)であったようで、地震前 の降雨(5日前には 119 mmの降 雨があった)で間隙水圧が高ま っているところに地震の衝撃を 受けて崩壊が発生したのではな いかと言われている。

すように、最初に小規模崩壊



第一次崩壊の崩落物はすべて伝上川溶岩類であり、引き続き起こった第二次崩壊の堆積物は千本 松軽石層である。これらの地層はいずれも以前の旧谷地形に堆積したものである。第一次崩壊によ って、足元をすくわれた形で上部の千本松軽石層を中心とする地層がすべり崩壊を起こした。

写真 4.3.7 は濁沢と王滝川の 合流点付近の状況で、谷を流 下してきた崩壊土砂が流路を 阻害する形で出ていた尾根を 乗り越えて、斜面が丸裸にな った状況である。写真 4.3.8 は 崩壊土砂中に発生した「流れ 山」で約 5m の高さがある。



図 4.3.2 御岳崩れ崩壊地の地質断面(文献 2 を編集)

岩屑なだれは、崩壊した岩・土砂が空気を巻き込んで流下するもので、主に土砂が水と混合して 流下する土石流とはメカニズムが異なる。「流れ山」ができるのは岩屑なだれの特徴とされてお り、このような「流れ山」の存在からも、「御岳崩れ」の主要な崩壊が岩屑なだれによるものであ ることを示している。ただし、流下するにつれて、土砂は河川水と入り混じり、土石流的な性状と なっていったと考えられる。

崩壊した土砂は伝上川・濁川の河谷を削りながら泥流となって流下して王滝川に流れ込み、氷ヶ 瀬地区までの河道を約4kmにわたって20~40mの厚さで埋塞した(図4.3.3参照)。このため、 閉塞した王滝川上流が写真4.3.9に示すように堪水し、天然ダム湖(最大水深22m、堪水量365 万m<sup>3</sup>)が生じた。天然ダムの背後の河川水は堆積土砂に流路を作って排水し、水位を下げたが、

土砂の堆積量が莫大であることから、地震前の河川形状に復旧 することは不可能であった。現在では天然ダム湖(自然湖と呼 ばれている)は観光資源として利用されている(写真 4.3.10)。

崩壊土砂が流出した王滝川合流部から約 1km 下流の餓鬼ヶ咽 狭窄部(図 4.3.3 の第 1 狭窄部)には、河床から 36m の高さに 水管橋が架けられていたが、流出してきた土砂により押し流さ れた(写真 4.3.11)。土砂は導水管があった位置の 2~3m 下ま で達している。したがって、この地点は約 30m の厚さの土砂で 覆われたことになる。現在は写真 4.3.12 に示すように新しい水 管橋が架けられている。現在の水管橋の下には、地震当時の水 管橋の基部が残されている(写真 4.3.13)。



写真 4.3.6 削られた崩壊面より流 れ出る湧水(伝上川上流)



写真 4.3.7 崩壊土砂が尾根斜面を削って乗り越えた 跡(濁沢の王滝川合流部)



写真 4.3.8 崩壊土砂によってできた流れ山(王滝村柳 ヶ瀬)



図 4.3.3 王滝川の土砂堆積状況<sup>1)</sup>



写真 4.3.9 崩壊土砂による河道閉塞によって堪水し た王滝川



写真 4.3.10 河道閉塞によってできた天然ダム湖は現 在も自然湖という名前で残っている(2015 年撮影)



写真 4.3.11 王滝川を流れてきた土砂により押し流さ れた水管橋の跡(餓鬼ヶ咽狭窄部)



**写真 4.3.12 王滝川を横断する現在の水管橋** (2017 年撮影)

巨大崩壊とは、崩壊土量が 0.1 億~10 億 m<sup>3</sup>のものを言う が、「御岳崩れ」は 3,400 万 m<sup>3</sup>で、この範疇に入る。この土量 は王滝川下流の牧尾ダムの有効貯水容量(6,800 万 m<sup>3</sup>)の半分 に相当する膨大なものである。

表 4.3.1 に世界の大規模な崩壊事例を示す。これは、日本、 台湾、南北アメリカ、ヨーロッパで発生したものを地区ごとに 崩壊土量の大きい順に並べたものである。この地震による崩壊 の規模は十分大きなものであるが、先史時代も含めると、これ よりも3桁程度も大きい巨大崩壊が発生していることが分か る。同表によると、有史時代の発生数26件のうち日本での発生 件数は9件であり、全体の3割程度を占めている。さらに、国 内での9件のうち3件は長野県内で発生しており、「御岳崩れ」 は国内の崩壊の第7位にランクされる。



写真 4.3.13 現在の水管橋の下に地震 当時の水路構造物の残骸が残され ている(黄色破線の丸印、2017 年撮影)

		崩陸書				移動量(km)		
発生場所			発生年	<sup>朋級重</sup> x10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup> 崩壊の主要因 流動形態		流動形態	最大移動	最大移動
				×10 III			高低差	距離
	磐梯山	福島	1888	150	火山活動(水蒸気爆発)	岩石すべり → 岩屑流	1.2	11.0
	眉山	長崎	1792	48	諸説(地震?、火山?)	岩石すべり → 岩屑流	0.7	6.0
	大月川	長野	888 ?	35	不 明	岩石すべり → 岩屑流	1.4	12.5
	立山鳶	富山	1858	41~27	地震(M6.8)、震央距離30km	岩石すべり → 岩屑・泥流	1.7	13.0
日本	稗田山	長野	1911	15	不明(豪雨?)	岩石すべり → 岩屑流	1.0	7.0
	大谷	静岡	1702	12	不 明(地震?、豪雨?)	岩石すべり → 土石流	1.5	10.0
	御岳	長野	1984	3.4	地震(M6.8)、震央距離10km	岩石すべり → 土石流	1.6	10.0
	加奈木	高知	1746 ?	3	不 明	岩石すべり → 土石流	0.83	3.5
	帰雲	岐阜	1586	1	地震(M8.1)、震央距離25km	岩石すべり → 岩屑流	0.9	3.0
	草嶺	台湾	1942	20	豪雨	光石すべり	0.7	3.2
	草嶺	台湾	1941	15	地震(強震)		0.7	5.2
	St.Helens	米国	1980	280	火山性地震(M5.1)	岩石すべり → 岩屑流	2.6	28.0
	Mayunmarca	ペルー	1974	100	不 明	岩石すべり → 岩屑流	1.9	8.3
	Huascará n	ペルー	1970	5~10	地震(M7.7)、震央距離130km	岩石すべり → 岩屑流	3.85	15.6
	Норе	カナダ	1965	4.7	不 明(地震 M3.2 ?)	岩石すべり	1.2	3.0
	L.G.Ventre	米国	1925	4	豪雨、融雪、地震(M3.5)	岩石すべり → 土石流	0.64	2.8
	Frank	カナダ	1903	3.7	不 明(炭坑掘削?)	岩石すべり → 岩屑流	0.87	4.0
	Madison	米国	1959	2	地震(M7.1)、震央距離25km	岩石すべり → 岩屑流	0.4	1.6
从国	Huascará n	ペルー	1962	1.6	不 明	岩石落下	3.85	1.5
712	L.Tahoma	米国	1963	1.1	不 明(水蒸気爆発?)	岩石すべり → 岩屑流	1.9	6.9
	Sherman	米国	1964	1	地震(M8.4)	岩崩れ(すべり) → 岩屑流	0.6	5.0
	Granier	フランス	1248	50	不 明	岩石すべり → 岩屑流	1.6	6.0
	Vaiont	イタリア	1963	26	ダム水位昇降、地下水位	岩石すべり	0.43	2.0
	Rossberg	スイス	1806	4	諸説(豪雨?、地下水?)	岩石すべり → 岩屑流	0.55	2.0
	TJelle	スカンジナビア	1756	1.5	地すべり?、豪雨	岩石すべり		
	Elm	スイス	1881	1.3	雨?	岩石すべり → 岩屑流	0.61	2.0
	Saidmarreh	イラン		2000	?	岩石すべり → 岩屑流	1.3	2.0
	Flims	スイス	先史時代	1200	?	岩石すべり → 岩屑流	2.0	16.1
	Blackhawk	米国		30	?	岩石すべり → 岩屑流	1.2	8.0

表 4.3.1 世界の巨大崩壊

信州大学自然災害研究会:昭和59年長野県西部地震による災害、1985

## 4.3.2 松越地区の斜面崩壊

王滝村市街地の東側の大又川と松草川の合流点付近の段丘斜面がおおよそ幅 130m、長さ 180m、厚さ 30m にわたり崩壊した(図 4.3.4、写真 4.3.14~4.3.15)。崩壊土量は約 29 万 m<sup>3</sup> と 言われている。同地の地盤は中生代の基盤岩の上に更新世の滝越湖成層(木曽谷層)、風成火山灰 層、千本松軽石層、スコリア層などが堆積している。すなわち、これらの土砂は中部更新統堆積後 の侵食期に形成された谷地形を埋積した更新統の段丘堆積物である(写真 4.3.16 参照)。

地震によって、これらの旧谷地形に 堆積した段丘堆積物が一挙に崩壊し、 大又川に流入した。大又川を流下した 土砂は、そのまま対岸にあった生コン プラントを破壊し、その残骸を河床か ら 50m 上の段丘に押し上げた(写真 4.3.17)。大又川を流下した土砂は下流 に架かっていた新大又橋を押し流し た。また、崩壊源頭部を横断していた 県道 256 号(御岳王滝黒沢線)が約 50m にわたって削り取られた(写真 4.3.18)。この崩壊により13名が犠牲 になった。

崩壊地点は谷地形で、基盤岩を覆う 風化の進んだ火山灰や軽石層は後背山 地からの地下水が流入・帯水しやすい 条件であり、また、地震前に降雨が続 いて、飽和度が高い状態にあったと推定される。



図 4.3.4 松越地区崩壊平面図(文献 3 を修正)



**写真 4.3.14 松越地区崩壊の全景(1)。**左手の段丘斜面が崩壊し、土砂が中央の大又川に流れ出し、対岸の斜面を削り 取りながら流下した。



**写真 4.3.15 松越地区崩壊の全景(2)。**中央奥の段丘斜面が崩壊し、大又川に流れ出した。崩壊土砂は大又川沿 いの斜面を削り取りながら流下した。



写真 4.3.16 松越地区崩壊源頭部の近景。旧谷地形に二次火山灰が堆積した様子が分かる。



写真 4.3.17 崩壊土砂のために破壊され持ち上げら れた生コンプラント



写真 4.3.18 崩壊源頭部と崩壊に巻き込まれて寸断 した県道 256 号

# 4.3.3 その他の被害

この地震の震源は山岳地帯であったため、山地・丘陵地特有の被害が見られた。写真 4.3.19~ 4.3.20 は落石と岩石を含む土砂の崩壊による道路の閉塞である。写真 4.3.21~4.3.22 は擁壁の被 害であり、それぞれ、ブロック積擁壁、丸石積擁壁の被害である。写真 4.3.23 は家屋の瓦屋根の 変形の状況である。



写真 4.3.19 道路脇斜面からの落石



写真 4.3.20 斜面崩壊による道路の閉塞



写真 4.3.21 ブロック積擁壁の崩壊



写真 4.3.22 丸石積擁壁の崩壊



写真 4.3.23 瓦屋根の変形

### 4.4 復旧

流出土砂の安定化のため、長野県は、王滝川災害復旧工、東地区周辺災害復旧工、砂防ダム9基 の施工、王滝川滝越地区等3箇所の地すべり復旧工事を行った。王滝村は農業施設として、水路、 農道、頭首工、溜池の復旧を実施した。また、王滝営林署では、御岳山大崩壊に伴う岩屑・土砂流 等によって伝上川、濁川が大きく浸食されたため、治山ダム139基の施工、山腹工259.47ha、森林 整備42.38ha等を実施した。

## 4.4.1 濁沢川·王滝川

「御岳崩れ」によって発生した土砂は伝上川、濁川の河谷を削りながら流下し、柳ヶ瀬で王滝川 に合流した後も更に流下し続け、約4km下流の氷ヶ瀬地区で止まった。崩壊土量3,600万m<sup>3</sup>

(3,400 万 m<sup>3</sup>という数字もある)のうち、2,100 万 m<sup>3</sup>は王滝川に堆積し、残りの 1,500 万 m<sup>3</sup>が 上流の濁沢川に堆積したことになる。堆積物の厚さは 20~40m に及ぶ。

まず、天然ダム湖の堪水位上昇の抑止と堆積土砂の流出防止を目的として以下に示すような応急 対策が実施された。実施区間を図 4.4.1 に示す。

- ① 土砂流出を最小限に食い止めるため、氷ヶ瀬の狭窄部を利用して5トンのコンクリート異形 ブロックを使用して床止工を設置した。
- ② 天然ダム湖の堪水位上昇を抑えるため、河道 850m を開削するとともに、排水ポンプを設置 して排水を行った。
- ③ 埋塞した氷ヶ瀬トンネルを工事用道路として利用するために、埋塞土砂の除去とトンネルア ーチ部の補強を行うとともに、河川の流水がトンネル内に流入するのを防止するため河道掘削 を 200m にわたって実施した。
- ④ 氷ヶ瀬トンネル下流の営林署宿舎付近では、滝越地区への迂回連絡橋の設置を考慮し、旧河 道を想定した河道掘削を 848m にわたって実施した。



図 4.4.1 王滝川の応急復旧実施図 4)

本復旧については、王滝川の氷ヶ瀬~柳ヶ瀬間(延長 4,250m)の河道は流出土砂の規模があま りにも大きく、原形(地震前の状態)に復旧することが困難であることから、埋塞土砂の再流出防 止を基本方針としている。復旧に際して以下の5工区に分け流路を計画している。 【1工区(延長940m)】:工事区間のうち最下流の氷ヶ瀬狭窄部~大鹿渕狭窄部までの区間で、川 幅は45~56m、河床勾配1/50とする。床止工は8トン異形ブロックとし、応急対策で施工した床 止工が河床洗掘により流出したこと、地盤が軟弱で支持力に乏しいことを考慮して、異形ブロック の下に金網併用の洗掘防止マットを敷設する。また、護岸は河床の変形に柔軟に対応できる連結ブ ロック工法を採用した。河床材料に細粒分が多く含まれ、しかも比重が軽いことから、連結ブロッ クの下に吸出し防止材のマットを敷設する。

【2工区(延長1,424m)】: 氷ヶ瀬狭窄部〜餓鬼ヶ咽狭窄部までの区間で、河幅70m、河床勾配 1/50とする。4基の床止工(落差2~3m)を設置し、護岸工は左岸側の林道を守る目的で片護岸 方式とする。

【3工区(延長1,521m)】: 餓鬼ヶ咽~濁沢合流点までの区間で、高さ10mの貯砂ダムを計画する。ダムタイプは基礎地盤の支持力が小さいことから鋼製枠タイプとする。

【4工区(延長950m)】: 餓鬼ヶ瀬狭窄部上流~天然ダム湖に至る区間で、河幅は45m、河床勾配は1/300とする。護岸工は連結ブロック(300kg/m<sup>2</sup>)とする。

【濁沢工区(延長 575m)】: 埋塞した濁沢下流~王滝川本川の合流部までの区間で、王滝川本川と できるだけ滑らかに合流するように、左岸山沿いから本川合流部に向けて流路工を設ける。そのた め右岸側のみに3基の導流堤を設け、3~8トンの異形ブロックを張立て導流する(写真 4.4.1)。 河床勾配は、今後とも土砂流下が予想されることから、現況河床勾配より緩くすると土砂堆積の恐 れがあるため、現況河床勾配 1/30.5 を計画勾配とする。

濁沢下流部は幅 100m、高さ 60m にわたって裸地化されて保水能力が著しく低下し、土砂流に よって約 30m の厚さで不安定な土砂が堆積している。この対策として、高さ 10m と 14m の 2 基 の砂防ダムが計画された。

下流部の第1砂防ダムは基礎地盤が軟弱であることと、現地の生コンクリートの生産工場が流出 したため、村外より搬入する必要があるが、運搬路が未整備のため時間的に無理があるため、鋼製 ダム(高さ10m)を計画した。本堰堤の施工は重量5~8トンの異形ブロックを3,000個積み重ね た(写真4.4.2)。また、上流部の第2ダムは、王滝川合流部の1.4km上流に計画され、第1ダム より規模を大きくし、より堅固な構造物とすることにより、上流からの土砂流に対処することとし た。結果として、高さ14mの重力式コンクリートダムとした。



写真 4.4.1 濁沢川下流の導流堤(2015 年撮影)



写真 4.4.2 濁川下流の濁沢第1砂防ダム(2015年撮影)

## 4.4.2 松越地区

松越地区の崩壊は、源頭部がほぼ垂直に切断された形で滑落しており、また、すべり面には地下 水が湧出し、この崩壊面にある不安定土塊の滑落が予想され、下段の県道が危険にさらされている ため、法面の安定を図る必要がある。

復旧に際して以下の工法が検討された。

- ① 盛土工法:崩壊地に盛立てを行い、道路を原形に近い形で復旧して法面の安定を図る。
- ② 橋梁工法:崩壊地を安定勾配で切り取り、崩壊部に橋梁を施工する。
- ③ 迂回工法:崩壊地を避けて、新ルートに道路の建設を行い、崩壊地は安定勾配に切り取る。
- ④ 切土工法:崩壊面の切り取りにより法面の安定化を図る。線形は山側に寄るが、盛り立て 量は少なくて安定性がよい。

上記の工法について、経済性、施工性と完成後の安定性を検討した結果、切土工法が優れている と判断された。図 4.4.2 に復旧平面図を示す。

崩壊源頭部の直上を横切る県道の上部の山側法面は、1割勾配で直高7m毎に小段を設け、4段の切取面とした。法面には鉄筋コンクリート法枠工を採用し、最上段は種子土による植生、下3段はコンクリート吹付とした(写真4.4.3)。この工法によるすべり安定性を検討した結果、安全率が計画値(1.15)に満たなかったため、アースアンカー工(PC鋼棒D32@3000、*l*=16~19m、安定長7.0m、204本)を採用した。

道路下段は、崩壊部斜面に集水暗渠を埋設して押え盛土を実施し、切取部は勾配1割8分、小 段幅1.5mの法を4段設けて直高28mで切り下げることにした。法面処理は現場打法枠工で押さ え、間詰は種子土嚢による植生を図った。法尻は片法枠で押さえ、法枠1段目上段に排水ボーリ ングを実施した。

一方、流出土砂によって埋没した新大又橋は、応急仮設橋梁(幅 6m、長さ 40m の鋼製組立て 式、写真 4.4.4)の施工により早期開通を図り、地震 1ヵ月後の 10月 14日に開通した。写真 4.4.5 は、その後、仮橋のやや上流に新設された橋梁(幅 7.0m、長さ 30.8m)である。写真 4.4.6

は地震で犠牲となった 29 名の霊を弔うために新大又橋の左 岸に設けられた慰霊碑である。



**写真 4.4.3 復旧された県道上部斜面の法枠工** (2015 年撮影)



写真 4.4.4 大又川に仮設された橋梁



写真 4.4.5 復旧された県道より見る御岳湖と新大又橋



**写真 4.4.6 復旧された県道付近に建つ慰霊碑**(新大 又橋左岸)



図 4.4.2 松越地区復旧工事の概要(文献 4 より抜粋)

# 【第4章の引用・参考文献】

- 1) 飯田汲事他:1984 年長野県西部地震の地震および災害の総合調査、自然災害特別研究突発災害研究成果、文 部省科学研究費、1985.
- 2) 信州大学自然災害研究会: 昭和 59 年長野県西部地震による災害、1985.
- 3) 石原・吉田・中角・許: 被災地の土質強度とすべり安定解析、第20回土質工学研究発表会 特別セッション、 1985.
- 4)長野県木曽建設事務所:震災-長野県西部地震災害復旧の記録、1986.
- 5)長野県土木部砂防課・長野県木曽建設事務所:「長野県西部地震災害 砂防・地すべり 激特事業(長野県王滝 地区)、1988.
- 6) 基礎地盤コンサルタンツ㈱: 1984 年 9 月 14 日 長野県西部地震による被害状況、 1984.
- 7) 気象庁:昭和 59年(1984年)長野県西部地震調査報告、気象庁技術報告 第107号、1986.
- 8) 宇佐美:新編 日本被害地震総覧[増補改訂版 416-1995]、東京大学出版会、1996.
- 9) 国井・荏本: 1984 年長野県西部地震における墓石調査による最大加速度分布の推定、総合都市研究 第23号、 1984.
- 10)田村:昭和 59 年長野県西部地震の震央域のダムの挙動、地震工学研究発表会概要、18 巻、p.461~464、1985.
- 11)Haskell,N.:Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults., BSSA 54 p.1811~1842, 1964.
- 12)科学技術庁国立防災科学技術センター:1984年9月14日 長野県西部地震、強震速報 No.28、1984.

## ●●●山中で砲声? 実は地震の発生音

地震発生の翌日に王滝村の市街地から震源とされる山中に入っていくと、砲声のようなドーンという 音が間欠的に聞こえてきます。自衛隊が近くで演習でも行っているのかと思いましたが、更に震源に近 づいていくと、ドーンという音に地震の揺れがついてくるようになりました。これは地震が発生する際

の音なのだと気がつきました。筆者はドーンという音の直後に地面がグラ グラと揺れたと記憶しているのですが、音の伝播速度は 0.34km/s、地震 動の伝播速度は 3~4km/s 程度であり、どうみても音が先に到達する訳は ないのですが、記憶の中では何故か音が先なのです。地震音と地震動の前 後関係については、いまだに解けない謎です。

## ● ● <br /> ● 御岳山は信仰の山

御岳山は標高 3,067m の複式成層火山です。この山は以前は死火山と認識されていましたが、1979 年 10月 28日に突如噴火し、噴煙を約 1,000m の高さまで噴き上げました。それ以前の噴火は約 5,200 年

前とされています。この噴火を契機として我が国の火山の分類(活火山、休火山、死火山の定義)が見直され、現在は活火山のみが使われています。この5 年後に長野県西部地震が発生しました。

御岳山は山岳信仰の山です。昔は75日または100日間の厳しい精進潔斎を 行った者だけに年1回の登拝が許されていました。参道には、自然石に「霊神」 の名を刻印した霊神碑が多数立ち並んでいます。



## 5. 千葉県東方沖の地震

## 5.1 地震および被害の概要

## 5.1.1 概 要

地震名	(千葉県東方沖の地震)※1		発生年月日	1987年12月17日 11時08分				
マグニチュード	6.7	震央の位置	35°22.3'N、140°29.8'E 千葉県九十九里浜沖合 約5km					
地震の形態	フィリピン海プレートの内部で発生したプレート内地震							
深さ	58km	世空動	最大震度	5 (推定6弱) 千葉・銚子・勝浦				
津波	なし	心反到	最大加速度	384gal(木更津市役所)				
人的被害	死者2人、	負傷者161人	家屋被害	全壊 16棟、半壊 102棟				
被害の特徴	<ul> <li>・震源に近い九十九里低地、利根川流域、谷あいの造成地および震源からやや離れた東京湾 岸の臨海埋立地等で液状化が発生した。臨海埋立地の噴砂は、シルトに分類される細粒分が 多く混じった土質が多かった。</li> <li>・斜面崩壊が台地際(下総台地と九十九里低地の境界)で多く発生した。</li> <li>・石灯篭、ブロック塀の倒壊により死者が出た。ブロック塀の倒壊は千葉県で約1,900箇所に 及んだ。建物の一部損壊が63,000棟と多数発生しているが、多くは屋根瓦の落下等の被害で ある。</li> <li>・九十九里浜の海岸に沿う道路で約400mにわたって鉛直方向の波打ち現象が見られた。</li> </ul>							

※1 気象庁による固有名詞はつけられていない。

#### 5.1.2 地震動

#### (1) 地震の概要

千葉県東方沖の地震は 1987 年 12 月 17 日に千葉県九十九里浜の沖合約 5km の深さ 58km で発 生した M6.7 の地震である。震源付近は大陸の北米プレートに南からフィリピン海プレート、東か ら太平洋プレートが潜り込んでいる複雑なテクトニクス環境にあり、この地震は 2 層目のフィリピ ン海プレート内で発生した。断層のメカニズムは逆断層成分を含む右横ずれである。

図 5.1.1 に地震発生から 1988 年 1 月 31 日までの本震及び余震分布を示す。余震の分布範囲より、この地震の破壊領域は南北 30km×東西 20km 程度と推定される。図 5.1.2 には震度分布を示す。最大震度は千葉、銚子、勝浦で震度 5 となっているが、望月他<sup>14)</sup>のアンケート調査結果によると、東金市、長南町で推定震度 5.6 (現在の気象庁震度で 6 弱)となったことが報告されている。

### (2) 強震記録

表 5.1.1 に地盤上で 100gal 以上の加速度が観測された地点と最大加速度の一覧表を示す。加速度 の最大値は震央から 52km 離れた木更津市役所における NS 成分の 384gal である。図 5.1.3 および 図 5.1.4 には強震記録の一例として千葉港で記録された加速度波形と加速度応答スペクトル比を示 す。この観測地点の土質<sup>15)</sup>は、GL-17.5m 以深が洪積層で、地盤の一次固有周期は 0.46 秒である。 この地震動の継続時間は 10~15 秒程度と短く、加速度応答スペクトルの卓越周期は 0.2~0.3 秒程 度と短周期成分が卓越している。





図 5.1.2 震度分布図 13)

組制地占	<b></b>	記罢相正	震央距離	最大加速度(gal)		
能积止尽	即但府県口	<b>改</b> 恒场的	(km)	NS	EW	UD
木更津市役所	木更津市	GL	52	384	357	110
東大生産技術研究所	千葉市	GL	45	361	246	113
勝浦地殻活動観測施設	勝浦市	GL	27	210	189	132
小見川大橋付近	小見川町	GL	57	175	185	40
千葉港工事事務所構内	千葉市	GL	44	171	169	60
日本合成ゴム千葉工場	市原市	GL	43	153	105	36
観音崎公園構内	横須賀市	GL	67	103	135	21
千葉県水質保全研究所 地盤環境研究室	千葉市	GL	48	135	130	78
山下埠頭第7バース	横浜市	GL	75	62	130	34
天津跨線橋付近	天津小湊町	GL	37	95	125	60
烏山幹線(ネット寄り)	東京都世田谷区	GL	85	120	80	30
東京都土木技術研究所	東京都港区	GL	74	120	45	96
鹿島港工事事務所	茨城県鹿嶋市	GL	67	111	81	32
江東観測点	東京都江東区	GL	71	94	111	26
東京港品川ふ頭	東京都品川区	GL	72	109	88	19
中川水管橋	東京都足立区	GL		109	88	87
14号地その 3 地区 ポンプ所	東京都江東区	GL	68	105	80	48
ブリジストン横浜工場	横浜市	GL	86	105	96	38
下総地殻活動観測施設	沼南町	GL	65	86	101	76
中川水管橋	東京都葛飾区	GL		100	70	_
銚子地殻活動観測施設	銚子市	GL	52	100	69	88

表 5.1.1	最大加速度一	<b>暫表</b> (100gal	以上)(文献	17 より抜粋
12 0.1.1	取八加座皮	見1(100gai	めエバス畝	、11 より1及1千/



図 5.1.4 千葉港の加速度応答スペクトル比<sup>16)</sup>

### 5.2 南関東地域の地形・地質

千葉県東方沖の地震では、震央に近い千葉県中~南部を中心とする地域で大きな被害を受けた。 また、東京湾岸の埋立地を中心とする広い範囲で地盤の液状化が発生した。地震の被害は構造物が 立地する地点の地形や地質条件に大きな影響を受けるとされている。ここでは、地震の被害を述べ る前に、被害地域の地形・地

質条件について説明する。

千葉県中~南部の地形は、 図 5.2.1 および図 5.2.2 に示 すように南側の上総丘陵と 北側の下総台地に大別され、 海岸や河川沿いに低地が広 がる。

# (1)上総丘陵

上総丘陵は、鋸山・清澄山 を結ぶ稜線から北に緩やか に低下する丘陵からなり、全 体としては 200~300m の高



図 5.2.1 南関東地域の地形区分と名称(堀口編集 一部抜粋)<sup>1)</sup>

度がよく揃った山並みが連なる。同丘陵は第三紀から第四紀にかけて堆積した非火山性堆積物から なり、主に砂岩や泥岩およびその互層の岩相を示す。砂岩は固結度が低く、丘陵斜面は硬軟の地層 の互層による差別侵食の影響を受けたケスタ状の地形を示し、起伏に富んでいる。

上総丘陵を構成する地層は、第三系として最も古い嶺岡層群、保田層群、葉山層群が丘陵南部に 隆起帯を作り、この北側に中期中新世~前期鮮新世の三浦層群や後期鮮新世~更新世の上総層群が 北に傾斜しながら重なっている。



図 5.2.2 千葉県地質図 2)

# (2)下総台地

下総台地は、図 5.2.3 に示すように、上総丘陵の北側に広大な段丘面を作り、下末吉面と小原台 面に相当する地形面からなる。上総丘陵に臨む南縁部や九十九里浜側が高く、内陸側である北西部 が低い。これは第四紀を通じて継続した関東造盆地運動の影響と考えられている。

下総台地を構成する地層は、中部更新統の下総層群で、北部ほど関東ローム層に覆われている。 また、下総層群の厚さは関東平野中央部に向かって厚くなる。 下総層群は、氷河性海面変動と密接に関連した堆積サイクルと堆積相をもち、下位から上位へ地 蔵堂層、藪層、上泉層、清川層、横田層、木下層、姉崎層の7累層に層序区分され、厚さは約350m に及ぶ。1サイクルの堆積相は1回の海進・海退に対応し、下部から上部へ、海進初期の汽水→淡 水的環境で堆積した砂礫層や泥層(泥炭を挟む)→海面上昇期の上部浅海に棲息する貝化石群集を 含む細・中粒砂層→最高海面期の下部浅海に棲息する貝化石群集を含む粗粒砂層→海面低下期の細・ 中粒砂層および潮間帯に棲息する貝化石群集を含む粗粒砂層へと変化する。台地の表面は、厚さ5m 前後の風化火山灰層からなる関東ローム層で覆われており、その下には比較的固結した砂層、常総 粘土と呼ばれる粘土層が存在する。崩壊の多かった東金市付近の斜面は、これらのローム層によっ て構成されている。



①下総台地西部隆起带、②柏一佐倉沈降带、③下総台地東武隆起带、④栗山川沈降带、⑤飯岡隆起带

#### 図 5.2.3 下総台地の地形面区分と活構造 3)

#### (3)低地

千葉県東方沖の地震の影響を受けた低地としては、前述図 5.2.1 に示したように、太平洋に面した九十九里低地(平野)、東京湾沿いの東京湾岸低地や利根川下流低地、養老川・小櫃川下流低地などの河川沿いの低地があり、更新世末期から完新世の堆積物(いわゆる沖積層)で構成されている。

### [九十九里低地]

海岸線延長約 60km の九十九里浜は、房総半島東部の飯岡から茂原にかけて北東から南西に伸び る幅約 10km の海岸低地である。九十九里低地は、南西から北東に弓型に伸び、数列の砂堤列と堤 間湿地が海岸線に並行して形成されている(図 5.2.4)。砂堤堆積物は中〜細粒砂からなり、一部砂 丘砂が砂堤堆積物の上に載っている。堤間湿地堆積物は粘性土を含む砂からなり、内陸寄りのとこ ろでは泥炭を挟在している。



図 5.2.4 九十九里浜低地の地形分類図<sup>3)</sup>(森脇 1979)

### [利根川下流低地]

図 5.2.5 に示す利根川中~下流域は、もともと鬼怒川や小貝川の川筋であったが、江戸時代の利 根川の東遷により、銚子で太平洋に注ぐようになった。低地一帯は歴史時代に「香取海」と呼ばれ

た海湾で、縄文海進の際 には古鬼怒湾(奥鬼怒湾 ともいう)の大きな入江 が広がっていた。下総台 地北部の印旛沼や手賀 沼、茨城県側の霞ヶ浦や 北浦などの湖沼は、かっ ての古鬼怒湾の名残を 留める海跡湖である。

下総台地北縁に沿う 笹川・小見川から佐原市 街地にかけての地帯で は、砂州・砂堆が台地の



図 5.2.5 利根川下流部低地の地形分類と沖積基底地形 3)

湾入部や比較的大きな谷の入口に認められる。これより上流側では自然堤防の微高地が、現在の利 根川流路や小貝川筋とその下流に続く旧河道沿いによく発達する。

利根川の沖積層は堆積構造や埋没地形が東京低地とよく似ている。鹿島低地南部には沖積層基底 が-60mを超える埋没谷があり、霞ヶ浦南端で-50m、上流の我孫子や守谷付近で-30m、野田市北部 で-10m となる。この埋没谷を埋める堆積物は基底礫層を伴う小見川層で、その上位を藤代層が覆 う。この2つの堆積層は、それぞれ東京低地の七号地層と有楽町層に該当する。

## [東京湾低地]

東京湾は水面面積 1,200km<sup>2</sup>、平均水深 15m の内湾で、幅 7km、最大水深 90m の浦賀水道で太 平洋と結ばれている。東京湾低地は、小糸川、小櫃川、養老川、江戸川などの河口では三角州が広 がり、人工的に埋め立てられた京葉工業地帯がある。

東京湾の埋め立ては古くは江戸時代から始められたが、高度成長期(1960年~1975年)を中心 として埋め立てが進み、1980年代初めまでに約2.2万haの海水面が埋め立てられた(図5.2.6)。 海岸部の造成地は水深の浅い波食台状の平坦面を利用して埋め立てられており、1960年以降に造 成されたところが多い。

臨海地域の沖積層は七号地層と有楽町層からなり、埋没谷では厚く分布する。この埋没谷は現在の河川につながる谷地形を示し、深度-30~ エ戸川 -40m付近に基底をつくる。埋没谷の周辺地

4000円分近に基度をうくる。建良谷の周辺地 域は波食台状の平坦面を形成しており、諸 河川の三角州前置層が堆積している。

### (4) 地盤災害と地形・地質の関係

千葉県東方沖の地震で確認された地盤災 害と地形・地質の関係には以下のような特 徴がある。

低地では地盤の液状化による噴砂が認められた地域として、東京湾岸低地の埋立地、九十九里低地などが挙げられる。この他、震央から離れた三浦半島東側の三浦海岸でも噴砂が確認された。

② 上総丘陵や下総台地では、急崖、急傾斜地の崩壊が発生し、崖崩れ、落石による被害が顕著であった。

③ 層理、節理、断層などの割れ目が風化、 浸食した砂泥互層の崖や表層の関東ローム 層が著しく風化した斜面で多くの被害が発 生した。



図 5.2.6 東京湾における埋立地の分布<sup>3)</sup> 丸囲い数字は人工海浜

#### 5.3 地震被害

#### 5.3.1 液状化の発生と構造物の被害

### (1)液状化の発生箇所と粒度分布

千葉県東方沖の地震では、図 5.3.1 に示す地点で液状化の発生が確認された。震央からの最遠地 点は約 75km 離れた三浦半島である。液状化の発生地域は、①九十九里低地、②東京湾岸の臨海埋 立地、③利根川下流域、④内陸の造成地に大別することができる(前述図 5.2.1 参照)。

#### ① 九十九里低地

九十九里低地では、液状化をはじめとする地盤災害に起因する木造家屋や道路の被害が多数認め られた。震央に最も近い一宮町では、全壊家屋 2 棟、半壊家屋 14 棟を出したが、これらはすべて 地盤の液状化、地割れ、沈下などによるものである。また、上総丘陵や下総台地の崖下に位置する 地域では、多数の家屋被害が出ているが、いずれも水田を盛土造成したところである。

同地域における噴砂の粒度分布を図 5.3.2 に示す。平均粒径が 0.1~0.2 mm程度の粒径の揃った細砂であり、細粒分(粒径 0.075 mm以下)はほとんどない。同地域は砂鉄の採取地域であったところもあり、写真 5.3.1 に示すように、鉄分の混じった黒色の噴砂が見られた。

#### 東京湾岸の臨海埋立地

千葉市から木更津市までの東京湾東部沿岸の各地と浦安市・東京都江東区の一部で液状化が確認 された。これらの地点の大部分は昭和40年代に造成された海岸の埋立地である。浦安市では、造成 された埋立地で断続的に激しい噴砂・噴水が見られ、道路および塀、門柱、ポーチなどの小亀裂や 軽微な沈下が比較的多数見られた。浦安市の住宅地は2011年東北地方太平洋沖地震(東日本大震災) でも液状化が発生している。再液状化が起こったと言えよう。

千葉市、市原市、袖ヶ浦町では、臨海埋立地のコンビナート地帯や学校、公園などの敷地に噴砂 が多数発生したが、構造物への影響は小さかったようである。このほか、市原市、袖ヶ浦町、木更 津市のやや内陸部(下総台地崖下)に位置する住宅地などで噴砂が見られた。

東京湾岸における臨海埋立地は海底の浚渫土を用いた埋立地が多いが、山砂や産廃による埋立地 もある。これらの地域で見られた噴砂の粒度分布は図 5.3.3 および写真 5.3.2 に示すように、細粒分 の多い砂およびシルトであった。シルト質土は、それまで液状化し難いとされていたが、細粒であ っても、粘りの少ない(粘土分含有率が少ない、あるいは塑性指数が小さい)ものであれば、液状 化することが明らかにされた。図 5.3.5 に東京湾岸の臨海埋立地とそれ以外の地域の粒度分布を比 較した結果を示す。臨海埋立地の噴砂は、他の地域の粒径の揃った細~中砂と明らかに異なり、シ ルト分を主体とした細粒土質であるが、粘土分含有率(粒径 0.005 mm以下の土粒子の含有率)が小 さく粘りが少ないことも分かる。細粒分の多い土質の液状化は、2000 年鳥取県西部地震や 2011 年 東北地方太平洋沖地震でも見られているが、いずれも埋立地盤である。

### ③ 利根川下流域

この地域では、下総町(現在、成田市)より下流の利根川沿岸の各地に直径1~3mにも及ぶ大噴 砂孔が極めて多数見られた。噴砂孔の見られた地区は、いずれも明治末期から大正年間にかけての 利根川の河川改修によって生じた旧河道地帯である。締切り後、数10年間沼地であったが、昭和30 年前後に一斉に利根川の浚渫砂で埋め立てられた。

同地域における噴砂は、九十九里低地と同様に、平均粒径が 0.1~0.2 mm程度の粒径の揃った細砂 で、細粒分含有率は 10%以下である。

④ 内陸の造成地

以上の3地域のほか、いままで比較的事例の少なかった台地・丘陵間の谷底平野で液状化が認め られている。液状化地点の大部分は平野部に近い幅の広い谷部であるが、中にはかなり谷の奥に入 った地点もある。また、少数であるが、台地を造成した場所でも液状化が生じている。この場合、 台地とはいっても縁辺部であるため、切土した台地崖からの湧水により地下水位が高く、整地のた めに部分的に盛土された箇所で液状化が発生したと考えられる。

噴砂の粒度分布は、図5.3.4に示すように、九十九里低地や利根川流域と同様に粒径の揃った砂質 土であるが、細粒分含有率はやや大きい。写真5.3.3に噴砂の事例を示す。



図 5.3.1 千葉県東方沖の地震による液状化発生地点 5)



図 5.3.2 九十九里低地の噴砂の粒度分布 5)



写真 5.3.1 九十九里低地における噴砂−砂鉄が含まれ ているため、色がやや黒い。なお、手前から伸び る黒い線は電柱の影である。



図 5.3.5 臨海埋立地とそれ以外の地域の噴砂の粒度分布 6)



写真 5.3.2 東京湾臨海埋立地の噴砂(千葉市美浜 区高洲第二中グラウンド)



**写真 5.3.3 内陸造成地の噴砂**(長南中グラウンド)))

# (2)液状化による道路被害

震央に近い長生郡一宮町東浪見の海岸から約 400m 入った海岸に平行に走る県道 30 号(飯岡-一宮線)に延長約 400m にわたって変状が発生した(写真 5.3.4)。変状は、鉛直方向の波打ちおよ び海側への水平移動で、波打ちの波長は 15~16m、波高は約 8cm であった<sup>6)</sup>。また、水平方向にも 移動が生じ、写真 5.3.5 に示すように側溝と道路間に開口が生じた。同地域は昔は砂鉄の産地であ り、かなり緩い埋め戻し砂質土層が存在する可能性がある。

この近傍では、U字溝の水路が一部突出した箇所があった(写真 5.3.6~5.3.7)。この変状は、浮

き上がったというより、両側から押されて上方に押し上げられたように見える。水路際のブロック 塀も変形しており、側溝脇には噴砂が見られた。これらの道路や水路の被災原因は詳らかではない が、液状化による地盤の移動によるものと考えられる。



写真 5.3.4 道路の波打ち現象(一宮町東浪見)



写真 5.3.6 U字溝水路の突出(一宮町東浪見)



写真 5.3.5 水平移動による側溝と道路間の開口(同左)



写真 5.3.7 U字溝水路の突出の近景(同左)

### (3)液状化による内陸造成地の被害

房総半島の内陸中央部に位置する長南町の長南中学校で校内道路盛土のすべり破壊が発生した。 町内で最も高所(標高約46m)に位置する同校の敷地は、以前、谷合の田んぼであったが、1958~ 1960年にかけて周辺の砂岩からなる山を切り取って最大7mの厚さで盛土造成されている。図5.3.6 に示すように、崩壊した盛土の法尻部の地盤が約1m盛り上がるとともに、法肩にある校内道路が 陥没した(写真5.3.8~5.3.9)。このような被災形状から、盛土に円弧状のすべり破壊が生じたと考 えられる。法尻部および法肩背後のグラウンドで噴砂が見られた。

前述の図 5.3.4 はグラウンドの噴砂の粒度分布であるが、平均粒径が 0.15 mm、細粒分含有率が 15 ~35%の細砂であった。液状化によりグラウンド全体が 15cm 程度沈下したようで、校舎の建物と 地盤との間に段差が生じていた。

その後、行われた地盤調査 <sup>¬</sup>によれば、地下水位は盛土法尻で G.L-0.3m と浅いが、グラウンド では GL-4.5m とやや深い。また、内部摩擦角は 18.5°、液状化強度比は 0.15 といずれも小さかっ た。したがって、被災原因は、液状化によるせん断強度の低下によって盛土にすべり破壊が生じた と推定される。



図 5.3.6 校内道路の変状(長南中)<sup>5)</sup> 校内道路のり尻が隆起し、路肩が沈下・陥没した。



写真 5.3.8 校内道路の法尻部の地盤隆起(長南中)



写真 5.3.9 校内道路の法肩部の沈下・陥没(同左)

### 5.3.2 斜面崩壊

斜面崩壊は、山武郡松尾町、成東町、東金市の九十九里低地の西側の下総台地縁辺部と長生郡長 南町の丘陵地帯に集中しており、両郡併せて 300 箇所以上で崖崩れが発生した。崩壊の形態は亀裂 が著しく多く、崩壊土量が 10m<sup>3</sup>未満のものが全体の 36.6%、100m<sup>3</sup>未満のものが 74.4%を占めて おり、全体的に小規模な崩壊が多かった<sup>8)</sup>。

下総台地を構成する地層は中部更新統の下総層群で、台地の表面は厚さ 5m 前後の風化火山灰からなる関東ローム層に覆われている。その下には比較的固結した砂層、常総粘土と呼ばれる粘土層が存在する。また、台地の南部では上総丘陵を構成する上総層が出現する。

この地震における斜面崩壊は、地震前には降雨がなく自然乾燥状態において発生しているため、 崩壊した土砂は、流出することがなく、斜面の末端部に崖錐状に堆積するに留まった。このため、 家屋の被害は17件(全壊1、半壊1、一部損壊15)で、人的被害はなかった。

写真 5.3.10 は切土斜面の小規模崩壊で、表層部が崩れたものである。写真 5.3.11 は上総層の泥質 砂岩のトップリング崩壊で、表層土や上部の岩塊がまだ崩壊せずに残っている。写真 5.3.12 は成東 町真行寺の斜面崩壊で、民家の裏山が幅約 20m にわたって崩れた。土砂は民家まで達しなかった が、斜面に生えていた竹が家の戸を突き破って侵入した。崖のすぐ傍の小屋が崩れてきた木のため に倒壊した(写真 5.3.13)。



写真 5.3.10 切土斜面の小規模崩壊(長南町小沢)



**写真 5.3.11 上総層(泥質砂岩)のトップリング崩壊** (東金市台方)



**写真 5.3.12 崖崩れ**(成東町真行寺)



写真 5.3.13 崖崩れによる小屋の倒壊(同左)

### 5.3.3 その他の被害

写真 5.3.14 は九十九里町の作田川で見られた河川護岸のブロックの崩壊事例である。ブロックの 下の土砂が吸出し等による移動によって空洞化し、地震動を受けて陥没したと考えられる。写真 5.3.15 は水路の破壊状況である。軸方向の圧縮と地盤の土圧により側壁が破壊したと考えられる。

住宅の被害は、震源に近い海岸部よりも内陸部の長南町が多かった。被害の形態では、屋根瓦の 損壊が最も多く千葉県内で約 6.3 万棟に達している(写真 5.3.16)。また、写真 5.3.17 に示すよう な家屋の全半壊が千葉県内で 118 棟発生した。ブロック塀の被害は、千葉県内では 10 市 29 町 2 村、2,792箇所で発生し、コンクリートブロック塀は全体の約57%、石塀は約39%であった<sup>8)</sup>(写 真5.3.18~5.3.19)。震央から約80km離れた神奈川県横須賀市で鉄道高架橋の被害が発生した。こ の高架橋は写真5.3.20に示すように、丘陵の谷間を横断する形で架けられたもので、被害は橋桁の 移動(約5cm)とコンクリート橋脚のせん断亀裂(写真5.3.21)である。高架橋の両側は切盛で住 宅地が造成されており、地盤の沈下や道路の亀裂などが見られた。



写真 5.3.14 河川護岸の崩壊(九十九里町片貝 作田川)



写真 5.3.15 水路の崩壊(一宮町黒潮橋取付部)



写真 5.3.16 屋根瓦の被害



写真 5.3.18 ブロック塀の傾斜



写真 5.3.17 被害を受けて解体された家屋-中央の柱 が折れている(長南町報恩寺)



写真 5.3.19 石塀の倒壊



**写真 5.3.20 谷を渡る被害を受けた鉄道高架橋**(神奈 川県久里浜)



**写真 5.3.21 鉄道高架橋の橋脚に発生したせん断亀裂** (同左)

## 【第5章の引用・参考文献】

- 1)日本の「関東地方」編集委員会編:日本の地質3関東地方、共立出版、1986.
- 2) 近藤精造編:千葉の自然をたずねて、日曜の地学19、築地書館、1992.
- 3) 貝塚・小池・遠藤・山崎・鈴木編: 関東・伊豆小笠原、日本の地形 4、東京大学出版会、2000.
- 4)日本地質学会:日本地方地質誌 3-関東地方、朝倉書店、2008.
- 5) 安田・陶野・森本:千葉県東方沖の地震の調査報告、地質と調査、'88 第1号、1988.
- 6) 古藤田・若松・間瀬:1987 年千葉県東方沖の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、pp.959-962.
- 7)石原・吉田・安田・森本:千葉県東方沖地震による造成地の被害、第 23 回土質工学研究発表会、pp.889~890、 1988.
- 8)千葉県:昭和62年(1987年)千葉県東方沖地震-災害記録-、1989.
- 9) 遠藤・中村:東京都区部の深部地盤構造とシルト層の土質特性、土木学会論文集、No.652/Ⅲ-51、pp.185~194、 2000.6
- 10) 鈴木・竹本・松下・林: 苫東コールセンター(株) 貯炭場地盤改良工事の設計,施工について、電力土 No.198、 pp.27~39、1985.
- 11) 基礎地盤コンサルタンツ㈱:1987 年千葉県東方沖の地震による被害状況 速報、1987.
- 12)気象庁:3-1 千葉県東方沖の地震活動(1987年12月)、地震予知連絡会会報 第40巻、1988.
- 13) 宇佐美:新編 日本被害地震総覧 [増補改訂版 416-1995]、東京大学出版会、1996.
- 14)望月他:1987年12月17日千葉県東方沖地震調査 震度分布と被害の概要-、総合都市研究第35号、 1988.
- 15)一井他:港湾地域観測地点資料(その6)。港湾技研資料 N.939、1999.
- 16) 井合・浦上・武藤・菊地:1987 年 1 月千葉県東方沖地震による千葉港周辺地域の液状化等について、港湾技研資料 No.616、1988.
- 17)防災科学技術研究所:1987年12月17日 千葉県東方沖地震、強震速報 No.37、1988.

#### ●●● シルトも液状化?

千葉県東方沖の地震はマグニチュードが 6.7 と中規模で、被害もさほど大きなものではありませんでし たが、地盤の液状化に関して、従来言われていた砂だけではなく、より細粒のシルトが液状化したという

新しい事実が発見されました。ただし、液状化した シルトは埋立土であったというところが重要なポイ ントです。図-1は千葉県東方沖の地震において東京 湾岸埋立地で採取された噴砂の粒度分布です。平均 粒径がシルトの範囲(0.005~0.075 mm)にあり、 粒径が極めて揃っていることが特徴です。また、粘 土分(0.005 mm以下)をほとんど含有していませ ん。一方、東京湾周辺の低地には自然に堆積した有 楽町層という沖積シルト層があります。この土質 は、これまで液状化事例が報告されていません。 図-2 は有楽町層および下部の七号層のシルトの 粒度分布です。この地層は軟弱なシルトを中心と した土質で、粘土からシルトまで広い範囲の土粒 子を含有しています。細粒分含有率(0.075 mm) 以下の土粒子の割合)は70~100%で、粘土分 も多くは20%以上含まれています。

図-1と図-2の粒度分布にどのような違いがあ





0.1

(mm)

1

10

0.01

るのでしょうか。一目でわかる違いは、海岸埋立地の噴砂は、シルト成分がほとんど占め、粒径が揃って いるのに対して、有楽町層下部のシルトは、シルトから粘土までの広い範囲の粒径の土粒子を含有してい ることです。すなわち、前者は粘土分がほとんど無く、後者は粘土分がかなり多く含まれているというこ とです。地盤の液状化は、地震動の繰返し荷重の作用によって砂質土の粒子がバラバラになって強度が減 少・消失する現象ですが、粘土分は電気的結合による粘りがあるので、繰返し荷重を受けても土粒子がバ ラバラになりません。したがって、粘土分がある程度含まれている土質は液状化しにくいと言えます。

0.001

それでは、何故、自然堆積のシルトには粘土 分が多く含まれているのに、臨海埋立地の土質 には粘土分が含まれていないのでしょうか。臨 海埋立地の材料は、航路浚渫によって採取され た海底の土質の場合が多いのです。浚渫された 海底の土は、水と混合してスラリー状にし、ポ ンプで埋立予定地に送られて吐出されます。そ の場合、図-3に一例を示すように、ポンプの 吐出口の近くでは、重い砂分が溜まり、遠くで は軽い粘土分が溜まる傾向があります。このよ うにして、粒子の分離(分級といいう)が起こ ります。このような過程でシルト分と粘土分が



分離した土質が地震で液状化したと考えられます。このような粒径の揃ったシルトの液状化は 2000 年鳥 取県西部地震や2011年東北地方太平洋沖地震の際の埋立地でも見られました。

# 6. 釧路沖地震

# 6.1 地震および被害の概要

# 6.1.1 概 要

地震名	1993年釧路沖地震		発生年月日	1993年1月15日 20時06分				
マグニチュード	7.5	震央の位置	42°55.2'N、144°21.2'E 釧路市南方沖 約15km					
地震の形態	プレート内地震。太平洋プレートの二重深発面の下側のプレート内で発生。							
深さ	101km	世空動	最大震度	6 : 釧路市、5 : 浦河・帯広・広尾・八戸				
津波	なし		最大加速度	919gal(釧路地方気象台)、469gal(釧路港)				
人的被害	死者2人、負傷者967人 家屋被害 全壊 53棟、半壊255棟							
被害の特徴	・釧路港等の港湾地区では、液状化により多くの埠頭にはらみ出しや段差の被害が生じた。 ・泥炭地を造成した地区で下水道マンホールが複数浮き上がり、その最大突出量は1.5mに達 した。 ・沢部を横断する道路盛土で沈下や崩壊被害が頻発した。また、沼沢に面した宅地造成地の 法面が大きく変状・崩壊し、盛土上の住宅が多数被害を受けた。 ・釧路市東部の丘陵地のうち谷部を火山灰土で盛土した住宅地の法面がすべり崩壊し、住宅 が滑落した。 ・釧路市東部丘陵地の緑ヶ岡、武佐地区では、斜面部で地盤の亀裂が多く見られ、このため 上下水道、ガスなどの地中埋設管が被害を受け、完全復旧まで約3週間を要した。							

## 6.1.2 地震動

### (1) 地震の概要

釧路沖地震は、1993年1月15日夜に釧路市南方沖約15kmの太平洋の深さ101kmで発生したM7.5 の地震である。北海道東部は図6.1.1に示すように、太平洋沖合の千島海溝で東南東から太平洋プレ ートが潜り込むという構造となっており、これまで多くの大地震が発生してきた。この地震は潜り 込んだ太平洋プレート内の二重深発面の下側の面で起きた地震である。これはプレートの潜り込み に伴う曲げ変形を解消するような力により水平断層運動が起きたことを示していると考えられる。



図 6.1.1 北海道東部における太平洋プレートの潜り込み(M2以上、1976年7月~1996年6月、北海道大学データによる) (文献 15を編集) 図 6.1.2 には余震の分布図を示す。釧路市沖合に本震を含む余震の発生域があり、これとは別に 東側の厚岸沖合にも余震の集中域が見られる。厚岸沖合の余震は釧路市沖合の地震に誘発されて起 きたと考えられている。余震の深度分布図より震源が西側に向かって深くなっていることが分かる。



図 6.1.2 釧路沖地震の本震、余震の平面分布と東西方向(F-F'測線)の深度分布(3月19日9時まで)®

図 6.1.3 は釧路沖地震による各地の震度分布で ある。震源に近い釧路市周辺が震度 6 になったの をはじめ、震度 1 以上の有感範囲は伊豆半島の西 側までの広い範囲に及んでいる。このように広い 範囲で揺れを感じたのは、地震のマグニチュード が 7.5 と比較的大きかったことに加え、震源が 101km と深かったことが影響をしていると考え られる。

### (2) 強震記録

有感範囲が広かったことから、北海道から東北 地方北部の太平洋岸で大きな地震動が観測され た。表6.1.1に地盤上で最大加速度100gal以上の地 震動が観測された観測地点の一覧表を示す。同表 は文献17に基づいて整理したものである。最大加 速度が100galを超えた地点は31箇所に及び、その 最大は釧路地方気象台(気象庁)のEW成分で 919galである。同地点では建築研究所の観測も行 われており、EW成分(正確には北を基準として 63°東方向)が711galを記録している。釧路地方 気象台は当時、釧路川の東側の丘陵上にあり、加 速度が大きくなったのは、マグニチュードが大き



図 6.1.3 震度分布<sup>16)</sup>

粗測地占	郑道府周市	設置場所	震央距離	最大加速度(gal)		
<b>新水水</b>	即但初来中		(km)	NS	EW	UD
釧路地方気象台(気象庁)	釧路市	GL	14	815	919	465
釧路地方気象台(建研)	釧路市	GL	14	711	637	363
釧路港湾建設事務所	釧路市	GL	16	469	344	382
大津堤防(十勝川)	北海道中川郡	GL	63	310	430	170
十勝港南埠頭	北海道広尾郡	GL	108	386	320	297
音別駅	北海道白糠郡	GL	37	364	389	95
厚岸観測点(電中研)	北海道厚岸郡	GL	44	379	386	206
温根沼大橋付近	根室市	GL	101	370	360	130
大楽毛橋付近	釧路市	GL	20	360	354	139
豊頃駅	北海道中川郡	GL	69	347	351	80
広尾橋付近	北海道広尾郡	GL	108	310	500	150
釧路川堤防	釧路市	GL	23	300	320	260
千代田大橋付近	北海道中川郡	GL	81	244	248	103
浦河測候所	北海道浦河郡	GL	152	224	265	65
乙供駅	青森県上北郡	GL	349	206	181	56
根室測候所	根室市	GL	112	196	216	86
苫小牧駅構内	苫小牧市	GL	229	191	186	_
東室蘭駅構内	室蘭市	GL	281	177	170	_
浦河港湾建設事務所構内	北海道浦河郡	GL	154	172	129	49
斜里大橋	北海道斜里郡	GL	118	165	120	40
花咲港現場詰所	根室市	GL	110	147	162	92
占冠駅	北海道勇払郡	GL	162	104	157	-
根室観測点(電中研)	根室市	GL	109	154	127	103
沙流川堤防	北海道沙流郡	GL	197	150	140	40
鵡川堤防	北海道勇払郡	GL	201	120	140	50
室蘭港建設事務所	室蘭市	GL	290	109	139	52
八戸測候所	八戸市	GL	351	129	113	38
八戸工業大学建築工学棟	八戸市	GL- 1 m	352	124	51	61
苫小牧測候所	苫小牧市	GL	230	110	118	53
千歳駅構内	千歳市	GL	223	108	92	_
浦河駅	北海道浦河郡	GL	153	103	96	39

表 6.1.1 最大加速度一覧表 (100gal 以上) (文献 17 より抜粋)

水平成分の最大加速度が大きい順に並べている。

橋梁および河川堤防場合にはNSを軸方向(LG)、EWを軸直交方向(TR)と読み替える。

釧路地方気象台(建研)はNSがN153°E、EWがN063°Eと読み替える。

図 6.1.4 および図 6.1.5 に最大加速度を記録した釧路地方気象台(気象庁)の加速度波形および速 度応答スペクトル(いずれも水平成分)を示す。主要動の継続時間はおよそ 40~50 秒で、大きな 加速度振幅の波形が繰返し現れている。速度応答スペクトルのピーク周期は 0.4~0.5 秒にあり、特 に最大加速度を記録した EW 成分のピーク応答速度は h=5%減衰で 300cm/s に達している。



図 6.1.5 釧路地方気象台(気象庁)の速度応答スペクトル 8)

図 6.1.6 には震源に近い大楽毛大橋の加速度波形(水平成分)を示す。同地点は釧路市西部の国道 38 号大楽毛大橋近傍の地盤上にあり、橋軸方向で 456gal(数値化計器補正後の SMAC 型強震記録で未補 正の表 6.1.1 とは数値が異なる)の最大加速度を記録している。

図 6.1.7 は震源に近く大きな加速度を記録した 5 つ地点の水平 2 成分の平均加速度応答スペクト ル倍率を比較したものである。全体的に見ると、加速度応答倍率の最大値は 3~4 倍であり、そのと きの固有周期は 0.1~0.2 秒の範囲内にある。しかし、それ以上の固有周期では、0.5 秒付近から地 点によって応答が異なる。特に 1 秒を超える範囲では、大津築堤、大楽毛大橋・千代田大橋・温根 沼大橋、および広尾橋の 3 種類のグループに分類できるようである。


図 6.1.6 大楽毛大橋の加速度波形(水平成分)<sup>8)</sup>

次に釧路港における強震観測結果につ いて述べる。釧路港では、地表と基盤(GL-77m)の2深度で観測が行われている。図 6.1.8~6.1.9 に地表および基盤における 加速度波形を示す。図 6.1.10 は観測地点 の土質柱状図である。

図中の加速度波形の最大値は、計器補正 後の値であるため、前述表 6.1.1 と若干異 なる。最大加速度が記録された地表の NS 成分では、約 30 秒以降に周期 1 秒程度の 特徴的な波形が観測されている。基盤にお ける波形には、このような特徴が見られな いことから、強震時における地盤の非線形 応答特性が反映されていると考えられる。

図 6.1.11 は地表および基盤における加 速度応答スペクトル倍率である。減衰定数 h=5%のスペクトルを見ると、地表 NS に 周期1秒程度のピークが見られており、波 形の特徴と対応する。基盤では NS、EW ともに 0.2 秒付近にピークが見られ、比較 的類似した形状を呈している。



図 6.1.7 水平 2 成分の平均加速度応答スペクトル倍率 (震央近 傍の5 地点)<sup>8)</sup>



図 6.1.10 釧路港の強震観測地点の地盤条件 <sup>8)</sup>



図 6.1.11 釧路港の加速度応答スペクトル倍率(文献 18 に加筆)

#### 6.2 釧路地方の地形·地質

釧路沖地震では、北海道の道東地方に被害が集中し、中でも震源に近い釧路市とその周辺地域で 様々な被害が発生した。被害は地盤の過大な変形や破壊が原因と思われるいわゆる地盤災害が多か った。このため、まず被害の誘因となった地形・地質の特徴を説明する。

#### 6.2.1 地形

# (1) 釧路低地と周辺の地形

図 6.2.1 に釧路地方の地形の概略図を示す。低 地のうち最大のものは当地域の中央に発達する 面積約 3 万 ha の釧路低地である。釧路低地は、 西を白糠丘陵、東を根釧台地の南西部、北を阿寒 カルデラおよび屈斜路カルデラの山麓の一部を なす鶴居丘陵に囲まれている。

釧路低地に流入する主要な河川は、それぞれ阿 寒カルデラ、屈斜路カルデラに発し、鶴居丘陵内 に流域を広げた阿寒川と釧路川である。

白糠丘陵を縁取る海岸段丘は、釧路低地の内陸 へ大きく湾入するように分布するとともに、釧路 湿原に向かって傾き下がっている。一方、東側の



図 6.2.1 釧路周辺地域の概略地形 <sup>1)</sup>

根釧台地は、基本的には 2~3 段の海成段丘面からなる。この海成段丘面群は、根室半島から連続 し、しかも釧路低地東縁に向かって徐々に高まる。この段丘は古くから釧路段丘、根室段丘と呼ば れてきた。釧路低地の東縁に沿って内陸へ湾入する最低位の海成段丘が釧路段丘であり、その高度 はおよそ海抜 40m である。

釧路低地の北の境界となるのは鶴居丘陵と呼ばれる標高 80~250m 程度の丘陵地帯である。この 丘陵は主として阿寒カルデラの発達に伴う火砕流堆積物が厚く分布し、6 段の段丘地形に分類され ている。さらに屈斜路カルデラの形成に関わる火砕流も加わっている。

この他、各河川沿いには谷底低地、河口部には三角州性低地が見られる。さらに釧路低地の南の 外縁部には沿岸砂州が発達し、一部は砂丘状を呈している。

### (2) 釧路湿原と周辺の微地形

釧路低地は東西約 15km、南北約 35km の掌状の形をした沖積低地で、海岸部に発達する砂丘群 によって閉塞され、内陸側には顕著な泥炭地が発達している(図 6.2.2)。

海岸の砂丘列は幅約 1.5km で、最大 10 列に及ぶ。その高度は海抜 7~8m 程度(最大 11m)で ある。国立公園である釧路湿原は、この砂丘列の背後に形成されている。広大な湿原東縁部を蛇行 しながら流下する釧路川は、右岸側からは久著呂川、雪裡川、幌呂川、仁々志別川などの多くの支 流を集めるが、低地東部には大きな支流はなく、釧路段丘を刻む谷底平野の末端部にシラルトロ沼、 塘路湖、達古武沼などの湖沼が存在する。

釧路川は砂丘列の最東端部 と東側の釧路段丘との間を流 れて外洋に注いでいたが、砂 丘列による閉塞のため、内陸 で洪水が頻発し、河口部では 釧路港への土砂流入が激しか った。このような問題を解消 するため、釧路川を分流し、砂 丘を横断する新釧路川がつく られた。釧路低地南西部から 流下し、旧釧路川に合流して いた阿寒川についても同様 に、砂丘列を横断して直接外 洋に導く工事が行われた。

釧路低地の大部分を構成す る湿原の地盤高は、南東部で2 ~3m、南西部で6~7m、低地 北端部で10m以上となってい て、全体として西および北が 高く、南東部が低い。最も地盤



図 6.2.2 釧路湿原の水系網<sup>2)</sup>(釧路市史編纂事務局, 1988 に加筆)

高が低い部分は、旧釧路川および雪裡川の最下流部にあたり、河川沿いに海抜 2m 以下の土地が細 長く連続する。これに対して、低地西部の阿寒川および仁々志別川沿いの地域は地盤高がやや高く、 扇状地性三角州と推定されている。海岸砂丘背後の仁々志別川の流路は、新流路が開削される以前 の阿寒川本流の流路であり、河道沿いに自然堤防状の微高地が連続する。自然堤防は低地北部の久 著呂川沿いでも顕著である。

釧路低地の泥炭地はほとんどが低位泥炭で、その面積は22,200ha(総面積の98%)に及ぶ。泥炭 地は河川沿いの河成堆積物によっていくつかに分かれているが、幌呂川および幌呂川合流点から下 流の雪裡川右岸に広がる泥炭地は連続していて、天塩のサロベツ泥炭地とともに、わが国で最も広 い泥炭地の一つとされている。

#### (3)釧路低地の地形変遷

図 6.2.3 に釧路低地の地形の変遷過程を示す。沖積層に埋積された古釧路川および古阿寒川の埋 没谷は、最終氷期の低海水準期に形成された河谷であり、埋積谷底砂礫層は当時の谷底に堆積した 河成の礫質堆積物と考えられる。最終氷期末から完新世にかけての海水準上昇に伴って下部砂層や 下部泥層が堆積したが、泥炭層は海面上昇の過程における一時的な海面上昇速度の鈍化や海退によ って形成された可能性が高い。

完新世中期には、海棲貝化石を算出する多くの貝塚の分布や泥炭層の下位に海棲の貝化石帯が存 在することから、釧路低地でも海水域が拡大し、低地の東半分に大きく湾入したことが推定される。 別保川河口付近に見られる自然貝層では、比較的深い海に生息するホタテやアカガイからヒメシラ トリを主とする層準を経て、アサリ、オオノガイ、カキなどの浅海に生息する貝への変化が見られ、

内水域の水深が次第に 浅くなったことを示し ている。

現在の海岸線付近に は砂州が発達し、その成 長に伴って内陸側が次 第に閉塞され、内湾が縮 小して低地が拡大して いった。その結果、河川 沿いの自然堤防が発す するとともに、広い地域 に泥炭地が形成されて きたま側に分布する塘路 湖や達古武沼などは、こ のような過程で海跡湖 である。



図 6.2.3 釧路低地の地形変化<sup>2)</sup>(釧路市史編纂事務局, 1988)

#### 6.2.2 表層地質

釧路低地南部の沖積層基底には、東部に古釧路川埋没谷、西部に古阿寒川埋没谷という2筋の顕 著な埋没谷地形が認められる。古釧路川埋没谷は、ほぼ新釧路川の流路に対応する位置にあり、谷 底高度は新釧路川で-80mに達する。一方、古阿寒川埋没谷は、現在の海岸線より海側で古釧路川の 谷と合流する。谷底高度は現在の海岸線付近で-70m である。

図 6.2.4 に釧路地域の各地形の代表的土質柱状図を示す(位置は図 6.2.1 参照)。また、図 6.2.5 には釧路市街地における東西方向の概略地層断面図を示す。

谷地形を埋積する沖積層は、基底をなす下部砂礫層とそれを覆う中部泥層、上部細礫層、最上部 層に区分されている。下部砂礫層は凝灰質シルト〜粘土、泥炭の薄層を挟む砂礫層で、10〜15mの 厚さを持ち、釧路沖の-90m 面まで伸びている。下部砂礫層中に見られる泥炭層は、5m 程度の厚さ をもつところもあるが、多くは 1m 以下で、深さ 42〜50m を上限として現れる。

中部泥層は臨海地域では厚さ 10 数 m~30m に及ぶ泥質の堆積物であるが、内陸部では 50m に も達する。全体に貝化石を多く混入するとともに、レンズ状に砂層を挟む。中部泥層は、内陸部で は最上部層によって直接覆われ、現在の海岸線付近では層厚 10 数 m に及ぶ礫混じりの砂層・上部 細礫層へ移り変わる。この細礫層は縄文海進に伴って形成された砂州を構成すると考えられ、内陸 側に急激に薄くなる。

最上部層は縄文海進極相期以降の堆積物で、内陸部では泥炭層や氾濫原を構成する泥・砂礫など からなり、海岸部では砂丘地の砂層からなる。泥炭地では厚さ1~3m 程度の泥ないし砂を覆って厚 さ5m 以下の泥炭が堆積しており、泥炭層の上部や砂丘表面の腐植土層には樽前や駒ケ岳の火山灰 層が見られる。

泥炭層は主として湿生植物の遺体が低温多湿の条件で多年にわたり分解が不十分のまま自然に堆積してできた地層である。その工学的特性は地域によって異なるが、湿潤密度が0.86~1.31g/cm<sup>3</sup>、 土粒子密度が1.30~2.33 g/cm<sup>3</sup>、含水比が170~970%、非排水せん断強度が4~20kN/m<sup>2</sup>と極めて 軟弱である。郊外の低地の住宅造成地は、泥炭の上に1~2mの砂質土を盛土したもので、一般家屋 は直接基礎で建設されている。

台地・段丘は、岩盤(古第三紀の浦幌層群)を基盤として、この上に火山灰質で半固結の洪積層 がのっている。洪積層は、下位が砂・砂礫・粘性土・泥炭等の各地層からなる「釧路層群」、中位が 主に火山灰質の砂層からなる「大楽毛層」、上位は火山灰層からなる「屈斜路軽石流堆積物」の3層 から構成されている。台地部では最上層の屈斜路軽石流堆積物の被害が顕著であった。地盤被害が 集中した緑ヶ岡・武佐両地区は地表から14m 程度まで屈斜路軽石流堆積物の火山灰で覆われ、土質 は火山灰混じり砂(砂分約50%、平均粒径0.08~0.09 mm)でN値は15~30前後である。

図 6.2.6 には釧路周辺地域の表層地質を示す。これより、釧路市は旧釧路川を境界として西側が 低地、東側が丘陵であることがわかる。低地には釧路市街地の中心部が位置しており、また北部の 郊外には愛国ニュータウンなどの新しい住宅地が広がっている。一方の台地は標高 40m 程度の「釧 路段丘面」と標高 70~140m の「根室段丘面」の2段の段丘面からなる。これらの台地は低地と急 崖で接している。台地は全体的には平坦であるが、表面に浅い谷があり、谷を切盛りして新しい住 宅地が形成されている。

地盤災害は丘陵地と低地の両方で発生している。丘陵地では、釧路市緑ヶ岡や標茶町の住宅造成

地で見られたように、火山灰土で造成した斜面が崩壊し、家屋に大きな被害が発生した。緑ヶ岡 6 丁目の住宅の被害は、台地斜面を火山灰土で盛土して造成した盛土斜面が崩壊したため、住宅も一 緒にすべり落ちたものである。

また、各種ライフラインが重大な被害を受けた。丘陵地におけるライフラインの被害箇所は台地 と台地を刻む谷底低地の境界付近に多かった。また、道路や鉄道では盛土の崩壊や切盛境界におけ る亀裂・段差が多く発生した。

一方、低地においては、港湾施設のある臨海埋立地で液状化によって岸壁を中心とする施設が大きな被害を受けた。また、釧路市北部や釧路町では軟弱な湿地(泥炭地)を盛土造成して形成された地域でライフラインの被害が多く発生した。中でも釧路町においては歩道上に埋設された下水道マンホールが最大 1.5m も突出して注目された。低地の地盤のうち、砂丘地は表層の砂丘砂と下位の密で細粒の砂礫層が最も深いところで約 20m まで続いている。この地盤は釧路沖地震および 1952 年十勝沖地震の際にも被害は軽微で、相対的に安定した地盤といえる。



図 6.2.4 釧路周辺地域の代表的土質柱状図<sup>5)</sup>(位置は図 6.2.1 参照)







図 6.2.6 釧路市の表層地質<sup>3)</sup>

#### 6.2.3 地形・地質と地震被害の関係

ここでは、これまで述べてきた地形・地質条件と地震被害の関係について概説する。

図 6.2.7~6.2.9 は、それぞれ釧路市街地における概略微地形分類と道路(市道)、住宅造成地、ラ イフライン(上下水道)の被害の分布を重ねたものである。釧路市街地の地形は、大まかにいうと、 旧釧路川の東側が釧路段丘となっており、西側の海岸部は砂丘・砂州、その背後は仁々志別川の氾 濫原と湿地(泥炭地)となっている。また港湾施設は臨海埋立地に位置する。

図 6.2.7 の市道の被害では、東部の釧路段丘の被害が目立つ。特に段丘と低地の境界部で被害が 多くなっている。段丘と低地の境界付近は盛土が多く、地震によって盛土が崩壊あるいは変状した ため、道路の被害も多くなったと考えられる。また、西部の低地の被害は、軟弱な低湿地の上に盛 土をして造成された地点の被害が顕著であり、主に地盤の沈下などの影響であると思われる。

図 6.2.8 の住宅造成地の被害は、東部の釧路段丘内の低地境界部に集中している。市道と同様に 境界部の盛土の崩壊や変状によるものと思われる。西部では被害が見られないが、低湿地の土質が 主に粘性土であるため、液状化は起こりにくく、大きな地盤変状が生じなかったためと考えられる。

図 6.2.9 の上下水道管では、旧釧路川を挟んで東部の釧路段丘と西部の低地の両方に被害が見られる。東部の段丘では水道管の被害が顕著であるが、これは段丘と低地の境界部における盛土の崩壊・変状が原因と考えられる。一方、西部の低湿地では、上水道、下水道ともに被害が認められる。 この原因は原地盤が軟弱であることによる地盤の不同沈下であると考えられる。また、旧釧路川沿いの低地では液状化も発生していることから、その要因も被害に影響していると考えられる。



図 6.2.7 釧路市の微地形と市道の被害分布 1)



図 6.2.8 釧路市の微地形と住宅造成地の被害分布 1)



図 6.2.9 釧路市の微地形と上下水道の被害分布 1)

## 6.3 地震被害

#### 6.3.1 住宅造成地

## (1)釧路市緑ヶ岡6丁目

図 6.2.1 に示したように釧路市街地の東部は丘陵・台地からなり、台地の北部に位置する緑ヶ岡 地区は東隣の武佐地区と南北方向に走る大きな谷で隔てられている。被害のあった緑ヶ岡 6 丁目は 台地斜面を含む地域で、高さ 11m の斜面(勾配は 1:1.5 程度)が幅 90m にわたって崩壊し、1 戸の 家屋が崩壊土とともに滑り落ちた。崩壊土は崖下の家屋にぶつかり、全壊や大破等の被害を引き起 こした(写真 6.3.1~6.3.5)。

崩壊地点は図 6.3.1 に示すように、台地斜面の枝谷部を盛土造成した住宅地であった。崩壊土砂 は粘着性が乏しい火山灰質砂で、N 値は 0~2 程度と非常にゆるい状態にあった。同地点における すべり面は図 6.3.2 に示すように想定され、盛土の一部がすべり、上部の家屋が一緒に滑り落ちた ものである。この斜面安定解析の試算では、水平震度が 0.12 程度よりも大きくなると、安全率が許 容値以下となり、斜面は不安定化すると推定されている<sup>4</sup>。

この他、近隣地区では、台地端部の斜面が移動・変形したために生じたと考えられる家屋や擁壁 の変形が多く見られた。写真6.3.6はその一例で、背後斜面の移動によって擁壁が変形・破壊したも のである。写真6.3.7~6.3.8は2003年時点の被災箇所の復旧状況である。崩壊箇所の盛土は原地形 どおりには盛り直されず、崩壊斜面は整形され、新たに擁壁が構築されている。



写真 6.3.1 盛土斜面の崩壊が起きた緑ヶ岡 6 丁目地区



写真 6.3.2 下から見た崩壊斜面



写真 6.3.3 崩壊土とともに滑り落ちた家屋



写真 6.3.4 崩壊土によって全壊した斜面下方の家屋



写真 6.3.5 崩壊土によって大破した斜面下方の家屋



**写真 6.3.6 台地斜面端部の擁壁の破壊** 背後の宅地 はひな壇造成されていると推定される。



図 6.3.1 緑ヶ岡 6 丁目の崩壊箇所の切盛境界と被害家屋 1)



図 6.3.2 緑ヶ岡 6 丁目の崩壊箇所盛土断面と想定円 弧すべり面<sup>4)</sup>



**写真 6.3.7 復旧された緑ヶ岡 6 丁目の状況** (2003 年 斜面下方から撮影)



**写真 6.3.8 同左。擁壁が設置されている**(2003 年斜面上 から撮影)

# (2) 釧路市武佐 4 丁目

緑ヶ岡の東部に位置する武佐地区のほぼ中央の低地には釧路炭田の選炭工場沈殿池があり、それ を取り囲む台地上に住宅地が造成されている。沈殿池東側に面する幼稚園前の道路(幅 3m)が大き く崩壊し、埋設されていた上下水道管、ガス管などが被害を受けた(写真 6.3.9~6.3.10、図 6.3.3)。 背後の幼稚園は杭基礎であったため、盛土崩壊の直接の影響は受けなかった。図 6.3.4 は崩壊地点 付近の旧地形であるが、これより同地点は小規模な谷を埋めて造成されたところであることが分か る。写真 6.3.11 は復旧後の状況である(2015 年 9 月現在)。



**写真 6.3.9 沈殿池に面した道路盛土の崩壊**(武佐 4 丁目)



写真 6.3.10 法尻部より見た崩壊箇所(同左)



図 6.3.4 崩壊発生地点付近の旧地形(武佐4丁目)<sup>7)</sup>



図 6.3.3 盛土崩壊の模式断面図<sup>7)</sup>



**写真 6.3.11 復旧された道路と背後の幼稚園**(2015 年撮影)

#### (3)標茶町茅沼地区

釧路市の北々東約 27kmの標茶町茅沼地区において切盛造成された別荘地の盛土部が大規模に崩壊し、住宅が大きな被害を受けた。図 6.3.5 に示すように、釧路湿原のシラルトロエトロ川が流れる幅約 500m の沢に面した標高 10~20m の丘陵斜面を造成して別荘地が作られた。この別荘地は 1982 年~1985 年にかけて作られており、北側の丘陵斜面を切り崩し、前面の南側の湿地上に盛土 することによって造成された。

図 6.3.6 は、切盛の状況と被害受けた住宅の位置 を示したもので、最大盛土厚はおよそ 10m である。 これより盛土上に作られた住宅が被害を受けたこ とが分かる。盛土は平均粒径 0.1~0.5 mm程度の火 山灰性のシルト質砂あるいは砂質シルトで、N 値 は10回程度である。また盛土下の湿地帯は厚さ5m 以内の泥炭性の軟弱層がある。

安定解析の試算結果 <sup>1)</sup>によれば、断面によって異 なるが、水平震度が 0.2~0.3 ですべり安全率が 1 を下回っており、同地の最大加速度が 300gal 程度 と予想されることから、安定解析結果と被害は概 ね整合している。



図 6.3.5 **茅沼別荘地の位置**(国土地理院 電子国土 Web に加筆)

同別荘地は、地震で盛土部にある9棟の家屋が全半壊した。写真6.3.12~6.3.13は盛土法尻部よ りみた盛土斜面の崩壊状況と家屋被害である。盛土が湿地帯に流れ出すような形で大きく崩壊して いる。写真6.3.14~6.3.17は地盤の変状による家屋の傾斜、基礎の被害である。大規模な地盤破壊 が発生し、家屋は大きく傾斜しているが、家屋の外壁には顕著な亀裂等が生じていないように見え る。この理由としては、北海道は冬季の地盤の凍上を考慮して基礎が本州よりも高く、頑丈である ことが挙げられよう。地震後の調査では積雪のためもあり、噴砂・噴水は観察できなかったが、有 効応力解析 <sup>1)</sup>では、液状化するという結果になっている。盛土の崩壊は盛土部の液状化の影響も大 きく受けていると考えられる。



図 6.3.6 茅沼別荘地の切盛境界と被害家屋位置 1)



**写真 6.3.12 盛土斜面の崩壊と家屋の被害**(西側法尻 部より見る)



写真 6.3.13 盛土斜面の崩壊状況(東側法尻部より見る)



写真 6.3.14 盛土地盤の亀裂・陥没と家屋の傾斜



写真 6.3.15 盛土の崩壊に伴う家屋の倒壊



写真 6.3.16 住宅基礎の鉄筋の抜け出し



写真 6.3.17 崩壊開始地点付近の道路の段差

# 6.3.2 道路·橋梁

### (1)国道44号厚岸町糸魚沢

釧路と根室を結ぶ国道44号の厚岸町糸魚沢地区で、道路盛土が約70mにわたって崩壊し、崩壊土 砂は道路端から40m離れた小河川まで達した(写真6.3.18~6.3.19および図6.3.7)。被害が発生した 箇所は南側が泥炭地になっており、1967年に泥炭地盤上に盛土して作られた旧道の山側に切盛り造 成するという改良工事が行われている。山側の斜面には2条の沢が入り、浸透水を集めやすい地形で あった。

地震によって盛土部が深さ3mにわたって崩壊し、図6.3.7に示したように、崩壊土が到達した外 形に沿って旧道が押し流されたような形になっている。付近の土質は、図6.3.8に示すように、谷側 の厚さ2mの泥炭の下位には5mの厚さの粘性土が分布し、その下は礫混じり砂からなる崖錐堆積物 である。泥炭地の地下水位が数10cmであるのに対して、図6.3.8に示した盛土部(B-1地点)の地下 水位は盛土中にあり、N値も0~6程度と小さい。崩壊後、元の法尻と思われる箇所から湧水が認め られたことからも、地震前に盛土内に地下水位があったと推定され、これが盛土崩壊の原因となっ た可能性が高い。



**写真 6.3.18 国道 44 号糸魚沢の被害状況**(根室方向 より見る)



**写真 6.3.19 国道 44 号糸魚沢の被害状況**(釧路方向 より見る)





図 6.3.7 国道 44 号糸魚沢の斜面崩壊位置と崩壊状況 6)



図 6.3.8 被災箇所における地層断面図(国道 44 号厚岸町糸魚沢)<sup>8)</sup>

# (2)国道 38 号白糠町 馬主来

滝川と釧路を結ぶ国道38号の白糠町馬主来では沢を横断する盛土の谷側が崩壊し、増設されていた登坂車線部が幅45mにわたって崩壊した(写真6.3.20~6.3.21)。盛土の厚さは山側が10m、谷側が15m程度で、地山が傾斜している。図6.3.9に示すように、崩壊の深さは約4mと推定され、崩壊土は法肩より約65mの地点にまで達した。崩壊箇所は沢に盛土されていたため、盛土内には排水工が設置されていたが、崩壊土の多くが泥濘化していたことから、排水が必ずしも十分ではなかった可能性がある。また、写真6.3.22に示すように、道路盛土に埋設されたマンホールと管路が流出し、光ファイバーケーブルが切断された。道路の崩壊は交通の障害だけではなく、このようなライフラインへの影響もあるという事例である。



**写真 6.3.20 盛土崩壊による登坂車線の崩壊**(国道 38 号白糠町馬主来)



写真 6.3.21 谷側の法尻より見た崩壊部分(同左)



写真 6.3.22 盛土崩壊によって寸断された通信ケーブル管 (同上)



図 6.3.9 道路盛土の崩壊断面と原地盤の土質(国道 38 号白糠町馬主来)<sup>1)</sup> 側の法尻より見た崩壊部分

# (3)国道 391 号釧路町鳥通

釧路と網走を結ぶ国道 391 号釧路町鳥通では、前後を切土に挟まれた沢部に腹付け盛土した箇所 が幅約 37m にわたり崩壊した(写真 6.3.23)。崩壊した土砂は沢をおよそ 100m 流下した。崩壊箇 所は沢の始まりの部分で、道路は山側を少し整形し、谷側に盛土したもので、法尻から路面までの 高さはおよそ 10m である。写真 6.3.24 および図 6.3.10 に示すように、路面直下の崩壊面はほぼ鉛 直に立っており、上部は細粒分の少ない砂で下部は砂質土と粘性土の互層である。路面での地下水 位は 3.5m と比較的高く、この沢には地山からの地下水が集まっていたと推定される。したがって、 崩壊面の下部は飽和していたと推定され、これが崩壊原因の一つであると考えられる。



写真 6.3.23 道路盛土の崩壊(国道 391 号釧路町鳥通)



写真 6.3.24 崩壊面近景(同左)



図 6.3.10 腹付け盛土道路の崩壊断面図(国道 391 号釧路町鳥通)<sup>1)</sup>

# (4)国道 240 号松之恵橋

釧路湿原の西側を通って釧路と網走を結ぶ国道 240 号の阿寒町(現在、釧路市阿寒町)にある阿 寒川に架かる松之恵橋は橋長 157m の5径間単純 PC 桁橋で 1962 年に完成した。橋台は RC 逆 T 式、橋脚は φ 2.5m の円形断面の張出し式であり、基礎はいずれもケーソン基礎である。基礎地盤は 砂礫、凝灰岩、砂層からなる比較的 N 値の大きい良好な地盤である。

地震で4基の橋脚全てで主筋段落し部に集中的にひび割れが生じ、最も被害が著しい P3 橋脚で は、被りコンクリートが剥落し、鉄筋が露出した(写真 6.3.25~6.3.27)。主鉄筋は破断には至らな かったが、面外方向にはらみ出していた。被災原因としては、設計水平震度(=0.2)以上の地震慣 性力が作用したこと、地震時保有水平耐力が不足していたこと、特に橋脚の段落し部で最も厳しく なることが挙げられている<sup>9</sup>。

復旧工法としては、橋脚の直径を 2.5m から 3.5m に増加し、現状の鉄筋、コンクリートを無視し て円環断面として検討を行い、せん断破壊先行型である現断面を曲げ破壊先行型とした。

写真 6.3.28 は 2015 年 11 月現在の松之恵橋であり、復旧当時の構造ではなく、橋脚が 2 本(拡幅工事か)となり、さらに耐震補強工事によって両橋脚が鋼板で連結されている。





**写真 6.3.25 橋脚のコンクリート剥落**(松之恵橋 P3 橋脚)



写真 6.3.27 橋脚コンクリートの 亀裂(松之恵橋 P2 橋脚)

**写真 6.3.26 剥落部の近景**(同左)。主鉄筋がやや はらみ出している。



写真 6.3.28 現在の松之恵橋の橋脚(2015 年撮影)

# 6.3.3 港湾

釧路沖地震では、北海道東部太平洋沿岸の釧路港、霧多布港、十勝港、根室港、浦河港で被害が 発生したが、釧路港に被害が集中している。釧路港は新釧路川を挟んで東港区と西港区に分かれて おり、東港区の方が西港区よりも古くから開発が行われている。釧路沖地震では東工区の被害が大 きく、中でも漁業埠頭の被害が顕著であった。

#### (1)東港区漁業埠頭

釧路港の東港区にある漁業埠頭は 1980 年に完成した。最も被害の大きかった南側岸壁(-7.5m) は図 6.3.11 に示すように控え組杭式の鋼矢板岸壁である。地盤は-9m 程度まで緩い埋立砂で、その 下は場所によって 0~6m 程度の置換砂がある。

地震によって前面の鋼矢板が大きく変形し、水深-3~-4mの位置で折損した。控え組杭の抵抗に より前面矢板天端のはらみ出し量は最大 50cm 程度に留まったが、エプロンは大きく沈下し、沈下 量は最大 100cm に及んだ<sup>1)</sup> (写真 6.3.29~6.3.32)。被害原因はエプロンで噴砂が確認されている ことから、岸壁背後の埋立砂が液状化して、前面矢板に大きな土圧が作用したためと考えられてい る。



図 6.3.11 漁業埠頭南側-7.5m 岸壁の標準断面および土質状況と地震時の変状<sup>1)</sup>



**写真 6.3.29 岸壁エプロンの沈下による上屋との段差** (釧路港東港区漁業埠頭南側岸壁)



写真 6.3.30 控え工の部分は沈下せず、前面のエプ ロンが沈下した(同左)



写真 6.3.31 沈下によって生じた段差からの噴砂



写真 6.3.32 岸壁に直交するエプロンの亀裂

漁業埠頭南側岸壁の復旧は、図 6.3.12 に示すように、現岸壁法線より 20m 前出ししてケーソン 構造で新設した。その理由は、前面矢板は亀裂・湾曲が見られ、再利用は不可能であること、控え 工(組杭式)はほとんど変形していないが、岸壁背後の上屋の基礎杭(長さ17m)周辺地盤の岸壁 側への変形をこの控え工で支えている状態で、新しい岸壁の控え工として利用することは困難であ ることである。ケーソン背後の裏込材には、ケーソンへの土圧の軽減と液状化対策として割石を使 用した。また、被災部分はグラベルドレーンによる地盤改良を行っている。



図 6.3.12 漁業埠頭南側岸壁の復旧断面図(文献1を編集)

### (2) 西港区第1埠頭地区西側岸壁

1975年に完成した第1埠頭西側岸壁(-9.0m)は重力式(ケー ソン)岸壁であり、東京-釧路間のフェリー用岸壁として運用さ れていた。地震によって、岸壁が20~75cm前面にはらみ出し、 上部工が20~35cm沈下した。エプロンでは幅5~10cmの亀裂 が発生し、地盤の沈下により10~35cmの段差が生じた。また、 岸壁の前面への移動によって、フェリーターミナル建屋と乗船 用通路との間が約40cm開口した(写真6.3.33)。

同岸壁は復旧に当たって液状化対策を行っている。液状化対 策工法としては、グラベルドレーン工法および深層混合処理工 法が採用された。



写真 6.3.33 フェリーターミナル建屋と 乗船用通路の開口

#### 6.3.4 下水道

釧路市の東隣の釧路町では下水道マンホールの集中的な突出(浮き上がり)が見られた。旧釧路 川右岸にある釧路町桂木・木場両地区(国道44号沿い)では、図6.3.13に示すように多数の下水道 マンホールが浮き上がった。最大突出量を示したマンホールは、ショッピングセンター(桂木1丁目)

傍のもので、約150cmである (写真6.3.34)。同地点は泥 炭地の上に盛土して工業団 地・住宅地として利用されて いる所であり、土質は図 6.3.14に示すように、上部か ら2m程度の厚さの礫混じり 細砂~中砂の盛土(N値0~ 11、平均3)、その下に厚さ1 ~2mの泥炭層(図中紫色) が存在し、その下部はN値10 以下の沖積シルト質細砂層 となる。マンホールの底部は GL.-4m付近にあり、井桁基 礎が採用されていた。



図 6.3.13 下水道マンホールの突出量分布 (釧路町木場・桂木地区)(文献 14 を編集)

このような大きな突出を生じた原因を究明するため、同年 10 月に開削調査が釧路町と建設省土 木研究所によって行われた<sup>12)</sup>。その結果、以下のことが判明した。

①マンホールの両側の管渠は同様に浮き上がっており、マンホー ルよりも管渠の方が浮き上がっていた箇所もあった。

②浮き上がったマンホール底部は空洞にならず、砂が入り込んでおり、その砂は沖積のシルト質砂よりは埋戻し土に近いもので

③マンホール底部の井桁基礎は大きくは浮き上がっていなか った。

液状化の強度は、マンホールの埋戻し土では 0.14~0.28 (平均 0.20) と小さかったが、原地盤の沖積砂質土は 0.3 前後と比較的 大きく、あまり液状化しやすい土とは言えない。

これより、埋戻し土が液状化したのは明らかであり、沖積砂質 土層では液状化しなかったのではないかと考えられる。

この地区で集中的にマンホールが浮き上がった原因として、図 6.3.15 に示すように同地区付近に沖積層が非常に厚い埋没谷が あり、地盤が軟弱であったことが挙げられている。



写真 6.3.34 最も突出した下水道マンホール (釧路町桂木1丁目)

あった。



図 6.3.14 釧路町桂木付近の下水道管渠沿いの土層断面図<sup>12)</sup>

── 下水道マンホール突出箇所

# 6.3.5 その他の被害

釧路港東港区海運地区において石油基地の貯蔵タ ンクの側板が座屈して亀裂が発生し、アスファルト 971トンが流出し、道路および海上に広がった(写真 6.3.35)。

図 6.3.15 **釧路町桂木付近の沖積層厚分布**(岡崎<sup>13)</sup> に加筆)

写真6.3.36は釧路港西港区第3埠頭西側-12m岸壁背後の地盤から生じた噴砂の様子である。同岸 壁はケーソン式の重力式岸壁であり、その背後のエプロンは幅20mほどSCP(サンド・コンパクシ ョン・パイル)およびGD(グラベルドレーン)で地盤改良されており、ほとんど変状は生じなかっ たが、その背後の未改良部分では大規模な噴砂が生じた。



**写真 6.3.35 タンクより流出したアスファルト**(東港区海 運地区)



**写真 6.3.36 液状化対策箇所の背後で見られた大規模** な噴砂(西港区第3埠頭-12m岸壁)

写真 6.3.37 は、釧路市消防本部庁舎の望楼(高さ 40.4m、図 6.3.16 参照)の被害状況である。望 楼の最頂部の見張り台の柱脚がすべて曲げ破断し、屋根スラブおよび SRC の大梁とともに南側に 落下した。このため、直下の2階消防長室を直撃し、局部的に大破した。しかし、それ以外には顕 著な被害の形跡は見られなかった。



写真 6.3.37 釧路市消防本部庁舎の望 楼の落下



図 6.3.16 南側立面図(同左)<sup>8)</sup>

#### 6.3.6 噴砂の粒度分布

釧路沖地震では、釧路港をはじめとする臨海埋立地のほかに、火山灰土で盛土された地点の液状 化被害が顕著であった。図 6.3.17(a)に釧路港西港区で採取された噴砂(22 試料)の粒度分布を示 す。同図(b)には、標茶町茅沼等、盛土に液状化被害が発生した火山灰質土(6 試料)の噴砂の粒度 分布を示す。釧路港の噴砂は平均粒径が 0.1 mm前後の微細砂が主体のものと 0.3 mm前後の中砂が主 体の土質に分かれるようである。東港区漁業埠頭の噴砂は微細砂に属する。また、液状化が生じた 浦河港や花咲港の噴砂は 0.1~0.2 mm程度の粒径の揃ったきれいな砂である。

一方、火山灰質土は、場所によって粒径が大きく異なり、均等係数も小さくはないのが特徴であ る。これまで火山灰質土は液状化しないか、しにくいと考えられてきた。今回の地震では、二次的 に堆積したか盛土材として用いられた火山灰質土が液状化したことが判明した。



図 6.3.17 港湾埋立砂と火山灰質土の噴砂の粒度分布(文献 8 より抜粋)

# 【第6章の引用・参考文献】

- 1) 土質工学会: 1993 年釧路沖地震•能登半島沖地震 災害調査報告書, 1994.
- 2)小疇・野上・小野・平川編:北海道-日本の地形2、東京大学出版会、2003.
- 3) 北海道建築士会釧路支部: 釧路の地盤、 1982.
- 4) 柳沢・菅野・村山:1993 年釧路沖地震による地盤災害、文部省科学研究費突発災害調査研究成果、1993 年釧路沖地震による被害の調査研究、pp.75~85、1993.
- 5)北海道開発局:開発土木研究所土質基礎研究質地盤データベースより
- 6) 井口隆:1993 年釧路沖地震によって生じた地盤災害とその特徴、防災科学技術研究所研究報告 第 59 号、 pp.31~56、1993.
- 7)山下・斉藤・稲・小西:1993 年釧路沖地震における住宅地及びライフラインの被害、土と基礎、Vol.41、 No.6、pp.21~26、1993.
- 8) 土木学会: 1993 年釧路沖地震震害調查報告、1994.
- 9)池田·内田·谷本:一般国道 240 号松之恵橋釧路沖地震災害復旧工事概要、第 37 回(平成 5 年度)北海 道開発局技術研究発表会、1993.
- 10)北海道開発局釧路開発建設部:釧路沖地震 港湾災害復旧工事誌、1995.
- 11)上田他:1993年釧路沖地震港湾施設被害報告、港湾技研資料 No.766、1993.
- 12)建設省土木研究所:釧路沖地震により浮上した下水道マンホールの調査、土木研究所資料、第3275号、 1994.
- 13) 岡崎由夫他:5万分の1地質図幅説明書"大楽毛"、北海道開発庁、1966.
- 14) 基礎地盤コンサルタンツ㈱:平成5年(1993年) 釧路沖地震 調査報告書(社内技術資料)、1993.
- 15)総理府地震調査研究推進本部編:日本の地震活動-被害地震から見た地域別の特徴-(追補版)、1999.
- 16) 宇佐美:新編 日本被害地震総覧[増補改訂版 416-1995]、1996.
- 17)科学技術庁防災科学技術研究所:強震観測事業推進連絡会議:1993年1月15日 平成5年(1993 年)釧路沖地震、強震速報 No.41、1993.
- 18) 松永・桜井・森田・井合:1993 年釧路沖地震の港湾地域における強震記録、港湾技研資料 No.777、1994.

# ●●●真冬の地震

釧路沖地震は1月15日午後8時6分頃に発生しました。筆者が経験した唯一の真冬の地震です。当日の釧路の最低気温は-11.7℃で、翌日は午後から雪になりました。このため調査時には一面雪野原で、港で は寒風が吹きつけ非常に寒い思いをしました。このような状況であったので、地盤の地表部分は40~

60cm 程度凍結しており、災害復旧のための地盤の掘削に当たってはブレーカ ーが必要とされるような硬さであったということです。文献 1)によると、地 震時の状態と同等の温度で凍結させて一軸圧縮試験を行った結果、圧縮強度は 6.6~7.4MN/m<sup>2</sup>、引張強度は 0.1~0.2MN/m<sup>2</sup> という値でした。凍結の影響 は、変形が抑制されるという面と、一度破壊すると塊状となっているため、 かえって亀裂を大きくさせたという相反する両面が考えられるようです。



# 7. 北海道南西沖地震

# 7.1 地震および被害の概要

# 7.1.1 概 要

地震名	1993年北海道南西沖地震		発生年月日	1993年7月12日 22時17分					
マグニチュード	7.8	震央の位置	42°46.9'N、3	2°46.9'N、139°10.8'E 北海道奥尻島北方沖					
地震の形態	日本海東縁変動帯にある奥尻海嶺直下で発生した地震								
深さ	35km	地電動	最大震度	6:奥尻島(推定)、5: 深浦、小樽、寿都、江差					
津波	藻内で31.7m	地展到	最大加速度	496gal(黒松内駅EW)					
人的被害	死者・行方不明 230人 負傷者 323人		家屋被害	全壊 601棟、半壊 408棟					
被害の特徴	<ul> <li>・震源に近い奥尻島では死者・行方不明が198人(当時の奥尻島人口の約4%)に及んだ。大部分が津波による犠牲者である。</li> <li>・奥尻港の背後斜面の崩壊によりホテルが倒壊・埋没し、29人が犠牲になった。</li> <li>・奥尻島では計9件の火災が発生した。青苗地区では発生した2件の火災が合流し、約11時間燃え続ける大火となり、計189棟の建物が焼失した。</li> <li>・地震動の加速度はそれほど大きくなかったが、比較的継続時間の長いやや長周期の地震動であったため、被害範囲が約170kmに及んでいる。</li> <li>・地盤の液状化により道路・鉄道・河川・住宅等の各種構造物が被害を受けた。特に函館港や後志利別川流域などで被害が顕著であった。函館港臨海部の埋立地ではシルト層が液状化し、杭基礎のサイロが約2°傾くという被害があった。また、駒ケ岳南麓の森町赤井川地区では礫質の火山堆積物が液状化し、住宅や道路に被害を与えた。</li> <li>・斜面崩壊は震源に近い奥尻島で多く発生したが、渡島半島の日本海側でも幾つか発生している。国道229号第2自糸トンネルでは、岩盤斜面の大規模崩落によってトンネル坑口巻出し部が破損した。</li> </ul>								

### 7.1.2 地震動

#### (1) 地震の概要

北海道南西沖地震は、前述の釧路沖地震の約半年後の1993年7月12日夜に奥尻島北方沖の深さ 35km で発生した M7.8 の地震である。この地震で津波が発生し、地震発生から数分後に奥尻島を 襲い、同島中心に多くの犠牲者が出た。

図 7.1.1 に本震及び余震の分布図を示す。10 月末までに気象官署で 189 回の有感地震を観測し、約 4,000 個以上の地震が記録されている。余震域は東西約 50km、南北約 150km であり、8 月 8 日 には M6.5 の最大余震が余震域の南東端からやや離れた地点で発生した。

この地震は 1983 年日本海中部地震と同様に北米プレートとユーラシアプレートの境界である日 本海東縁部で発生しており、断層のタイプは逆断層である。図 7.1.2 に示す「波形はぎとり法」に よるサブイベント群の時空間分布では、破壊の開始点(震源位置)で大きなサブイベント①が発生 し、それより南側で約 20 秒後に②、30 秒後③の破壊が発生した。破壊は北から南へ進行し、全体 の破壊継続時間は40秒程度であった。

図 7.1.3 に震度分布を示す。最大震度は 5 であるが、震源に近い奥尻島は震度 6 と推定されている。有感地震の範囲は北海道西半部と東北地方北部に及んでいる。



1993年7月12日~10月31日 M≧4 深さ≦60km

図 7.1.1 北海道南西沖地震の本震と余震分布(文献 12 より抜粋)



図 7.1.2 遠地 P 波から求めた震源時間関数 (文献 13 より抜粋)

# (2)強震記録

表 7.1.1 に地盤上で最大加速度 100gal 以上の地 震動が観測された地点の一覧表を示す。北海道南 西部および青森県津軽半島の 20 箇所で 100gal 以 上の地震動が記録されており、その最大は震央距 離が 75km で渡島半島の付け根にあたる位置にあ る黒松内駅で、EW 成分が 496gal を記録している。



図 7.1.3 震度分布図<sup>14)</sup>

細測地方	都道府県市	設置場所	震央距離	最大加速度(gal)		
観測地点			(km)	NS	EW	UD
黒松内駅	北海道寿都郡	GL	75	403	496	92
長万部駅	北海道山越郡	GL	86	191	287	75
七峰橋付近	北海道上磯郡	GL	161	191	225	90
上鳥崎橋付近	北海道茅部郡	GL	135	170	220	80
室蘭港湾建設事務所構内	室蘭市	GL	153	218	214	100
寿都測候所	北海道寿都郡	GL	85	216	202	51
八雲駅	北海道山越郡	GL	94	208	214	67
函館開発建設部	函館市	GL	169	170	206	95
森駅	北海道茅部郡	GL	123	167	183	63
木古内駅	北海道上磯郡	GL	151	174	180	93
白鳥大橋	室蘭市	GL-3m	152	160	155	87
磯谷橋付近	北海道磯谷郡	GL	96	150	150	60
大川平駅	青森県東津軽郡	GL	204	138	125	41
七飯駅	北海道亀田郡	GL	147	136	122	62
函館港湾建設事務所構内	函館市	GL	169	111	131	71
伊達火力発電所	伊達市	GL	139	128	106	53
新浜厚真橋	北海道勇払郡	GL	217	125	105	45
蟹田駅	青森県東津軽郡	GL	221	120	74	34
函館港湾建設事務所構内	函館市	GL	169	118	115	62
津軽大橋付近	青森県北津軽郡	GL	223	100	85	70

表 7.1.1 最大加速度一覧表 (100gal 以上) (文献 15 より抜粋)

水平成分の最大加速度が大きい順に並べている。

橋梁の場合にはNSを軸方向(LG)、EWを軸直交方向(TR)と読み替える。

図 7.1.4 に最大加速度 216gal (NS 成分)を記録した寿都測候所の加速度波形と速度応答スペクトルを示す。加速度波形には初動から 10 秒後と 30 秒後に大きな振幅の波形が見られ、多重震源を示唆していると考えられる。速度応答スペクトルの水平成分は全体的に平坦な形状を示すが、0.2 秒付近と 0.9 秒に小さなピークが存在する。

図 7.1.5 および図 7.1.6 は最大加速度 218gal を記録した室蘭港の加速度波形と加速度応答スペクトルである。水平動の加速度応答スペクトルは 0.2~0.5 秒付近にピークが見られるが、それ以上の周期帯では応答が急激に小さくなる。図 7.1.7 に示すように、室蘭港では GL-15m までは N 値 10 ~40 程度の砂質土を主体とした地層が続き、それ以深は N 値 50 以上の凝灰岩からなる基盤で、全体的には堅硬な地盤である。地震動の周期特性はこのような地盤震動特性を反映したものと考えられる。

図 7.1.8 および図 7.1.9 には、最大加速度 496gal(EW 成分)を記録した黒松内駅の加速度波形 と速度応答スペクトルを示す。黒松内駅では大きな地震動の継続時間が 60 秒程度あり、3 つの大き な振幅が見られる。速度応答スペクトルでは 0.4 秒付近にピークが見られる。







固有周期 (sec)











図 7.1.9 黒松内駅の速度応答スペクトル 4)

# 7.2 道南地方の地形・地質

# 7.2.1 概要

道南地方は、渡島地方(松前半島、亀田半島を含む渡島半島の東半部)と桧山地方(渡島半島西 半部、奥尻島)に分けられる。渡島・桧山地方は、北海道南部を占める渡島半島の大部分を占めて おり、その地形は石狩低地帯以東の北海道本島よりは、むしろ東北地方に類似した性格をもつと言 われている。

渡島半島は、北海道南西部を2つに分ける黒松内低地帯より南に「く」の字型に日本海に突き出 た南北約 160km、東西約 100km の半島である (図 7.2.1)。この半島には、高度が数 100 から 1,500m ほどの狩場山地、渡島山地、上磯山地、松前山地などがあり、最高峰は狩場山(1,520m)である。

これらの山地は、中・古生代の地層とそれを貫く白亜紀花崗岩類を核とし、新第三紀堆積岩類に 覆われている。第四紀火山の狩場山、濁川カルデラ、駒ヶ岳、恵山なども北西-南東方向に並び、 それらの山地の間を縁取るように低地や台地が広がっている(図 7.2.2)。

地質的に見ると、この地域は新第三紀初期以降に活発な火山活動が続いたところで、いわゆるグ

リーンタフ地域である。このため全域 にわたり広く火山噴出物が分布して いる。

低地は後志利別川、長万部川、遊楽 部川、厚沢部川、天の川、知内川など の河川流域と河口に見られるにすぎ ない(図7.2.3)。沖積層は主として低 地に分布しており、土質は、礫、砂、 粘土、泥炭などからなる。

奥尻島は渡島半島沖合の奥尻海嶺 が海上に突出した最大標高 584.5m の島で、10 を超える海成段丘で特徴 づけられる。島の地質は、下部白亜系 の花崗閃緑岩を基盤として、それらを 覆う新第三紀の火山岩類と堆積岩類



図 7.2.1 渡島半島の概略地形区分 2)

がのる。さらにその上には第四紀の海岸段丘堆積物、河岸段丘堆積物、砂丘堆積物、火山灰層が堆 積している。



図 7.2.2 渡島半島の概略地形図<sup>1)</sup>



図 7.2.3 渡島半島の沖積層の分布と土質 1)

# 7.2.2 渡島半島の地形・地質

#### (1) 渡島半島の地形

### (i)山地·丘陵地

東西にのびる狩場山地の周辺の谷が深く急峻であるのに対して、西半分の狩場山周辺には中期更 新世(75~25万年前)に噴出した熔岩が広く分布し、標高1,000m以上の山頂部は熔岩台地状の比 較的平坦な地形を示す。狩場山地の南側には奥行きのある盆状の瀬棚平野が広がり、中期更新世以 降の海成・河成段丘群が分布している。これらと同時期に生まれた段丘群は、図7.2.4 に示すよう に、内浦湾(噴火湾)沿岸において黒松内低地帯から八雲台地を通り、森付近まで連続的に分布す る。さらに南には、新第三紀の堆積岩類と火山岩類からなる渡島山地が北西-南東に約80kmにわ たって連なり、渡島半島の脊梁部となっている。渡島山地の南に位置する上磯山地は、函館湾に突 き出すように分布する。この山地も渡島山地と同様に厚い新第三紀〜第四紀の海成の堆積岩類から なり、ほぼ南北方向の褶曲・断層によって変形を受けている。上磯山地は海岸部に向けて徐々に高 度を下げていき、函館湾沿いには海成段丘群が分布している。

上磯山地より南西に突き出た松前半島は、南北にのびる松前山地とその周辺の台地よりなる。松前山地は標高 1,000m 級の山地(最高点は大千軒岳の 1,072m)で、4 つの地形形成帯(第 I帯: 725m以上、第 II帯: 425~725m、第 III帯: 125~425m、第 IV帯: 125m以下)が見られる(図 7.2.5)。

渡島山地の西麓の乙部から瀬棚まで続く海岸部は、山脚が直接海に接した状態の急崖をなしてい るが、相沼や熊石の市街地付近にわずかに海成段丘が認められる。





図 7.2.5 松前半島西部の地形投影断面図<sup>2)</sup> (大森, 1972)

図 7.2.4 噴火湾南岸・八雲付近の段丘分布図<sup>2)</sup> (宮内原図)

渡島半島の南東端には亀田山地が分布し、その北に渡島駒ヶ岳(標高 1,131m)が位置する (図 7.2.6)。駒ケ岳は馬蹄形凹地を持つ成層火 山で、火山全体は最近数百年間に繰返し噴出し た軽石放出物によって覆われている。同火山 は、かっては富士山型の成層火山で標高も



図 7.2.6 駒ヶ岳火山を南上空より見る<sup>2)</sup>(守屋原図)

1,700m ほどあったが、1640年に大規模な山体崩壊を起こし、それに続く噴火で山頂が2つの現在の地形となった。この際、崩落物質は東に流下して噴火湾に突入して津波災害を引き起こし、約700名が犠牲になった。南麓にある大沼公園では無数の小島をつくる「流れ山」地形が存在する。

#### (ii)低地

渡島半島東岸の長万部市街地から八雲町(遊楽部川河口)に至る内浦湾沿いの低地は概ね平坦で、 海岸段丘、扇状地、沖積平野、湿原、砂丘などが発達する。海岸平野の幅は1km 前後である。砂丘 は海岸線と並行しており、規模の違いはあるが3~4列認められ、比高はほぼ2~4m である。扇状 地は八雲町を流れる砂蘭部川(遊楽部川の支流)下流に広がるものが付近では最も規模が大きい。

函館市、七飯町、上磯町(現在、北斗市)、大野町(現在、北斗市)が立地する函館平野は、西を 上磯山地、東を亀田山地に囲まれた三角形の平野で、函館湾に面している(図 7.2.7)。東南端には 平野主部と砂州でつながった陸繋島である函館山(標高 334m)がある。函館平野の主体は沖積平 野で、海岸線付近は浜堤や砂丘列が分布するが、函館港を中心とした臨海部には埋立地が分布する。

函館市は、函館市街地の大部分を含む海岸地域から亀田半島の背稜部までを含み、非常に変化に 富んだ地形となっている。この地域の地形は、台地状地域、砂丘地域および典型的な沖積低地に区 分される。砂丘は明治初期には東西約 3km、南北 0.5km、高さ約 36m の規模であったが、その後、 埋立てその他の土木工事に使用され、地震発生時には一部が残っているだけであった。函館市の大 半は、沖積の海浜砂を主とする堆積物の上に立地している。これは、函館山と本土をつないでいる 砂州で、臨海部では 10m 内外の層厚であるが、その下には最大 70m に達する粘性土層が発達して

いる。図 7.2.8 には函館平野の 代表的な土質柱状図を示す。

渡島半島西半部の瀬棚町か ら江差町にかけての日本海沿 岸地域は、山地及び台地が優勢 で、低地は主要河川にみられる 程度である。その中でも後志利 別川、厚沢部川、天の川流域に 発達する沖積平野は比較的広 い。この地域の海岸沿いを通る 国道 229 号では、その山側は急 崖をなしている区間が多い。



図 7.2.7 函館平野の地形分類図(活断層を含む)<sup>2)</sup>(太田ほか, 1994)



図 7.2.8 函館平野の沖積層の柱状図と14C 年代<sup>2)</sup>(位置は図 7.2.7 参照、太田ほか, 1994)

### (2)渡島半島の地質(第四系)

北海道の第四系は、火山岩、火山砕屑物と非火山性の堆積物よりなり、北海道全域に広く分布する。

北海道西部の第四系は、黒松内低地帯を挟んで西部 地域と東部地域に区分される。この地震の被害地域で ある西部地域と黒松内低地帯の下~中部更新統(258 万年前~12.6万年前)は、鮮新統を広く覆い、新第三 系の堆積盆周辺に分布する。同地域には下部更新統の 瀬棚層が広く分布する。

渡島半島中部から西部に該当する西部地域は、奥尻 島、日本海に面する江差周辺地域、瀬棚-今金地域、 内陸部の上八雲地域、美利河-中里地域に第四系の地 盤が分布する。

黒松内低地帯は、日本海沿岸の寿都から南の長万部 ~森を経て函館平野まで連続する低地帯である。第四 系は主に函館平野、国縫-森地域、黒松内地域に分布 する(図 7.2.9)

函館市、七飯町、上磯町(現、北斗市)、大野町(現、 北斗市)にわたる函館平野には、図 7.2.10に示すよ うに第四系が広く分布する。函館平野西部の丘陵地に は、鮮新~下部更新統の富川層、中部更新統の文月層、 中~上部更新統の段丘堆積物、上部更新統~完新統の 扇状地堆積物が分布する。函館平野東部には、中~上



図 7.2.9 北海道西部の下部更新統(瀬棚層および 相当層)の分布と地形区分<sup>3)</sup>(岡 原図)

部更新統の段丘堆積物、銭亀沢火山灰層、上部更新統~完新統の扇状地堆積物が分布する。平野中 央部の低地には、完新統の氾濫原堆積物、海岸には海浜堆積物が分布する。

富川層は、上磯町と富川海岸から大野町市街地西方にかけての函館平野西部の丘陵地に分布する。 富川海岸では塊状の細~中粒砂層、大野川流域では主に礫混じり砂層からなり、上部に亜炭を伴う シルト層を挟む。層厚は400m以上である。文月層は大野町の大野川流域から西方丘陵地に分布す る。主に未固結の礫層、粘土層からなり、亜炭、火山灰層などを挟む陸成層である。富川層を不整 合に覆う。層厚は約150mである。段丘堆積物は函館平野周辺部の大野町周辺地域、函館市~七飯

町周辺地域、函館山山麓の段丘 に分布する。扇状地堆積物は函 館市北部~七飯町の函館平野東 縁部に分布し、大川や鳴川に沿 って扇状地斜面をつくる。新旧2 段に区分され、いずれも安山岩 礫と火山灰混じり粘土で構成さ れる。函館平野中央部の低地に、 完新統の海浜(砂州)堆積物、氾 濫原堆積物、泥炭層が分布する。 最大層厚は40m程度である。



図 7.2.10 函館平野周辺の第四系の地質図<sup>3)</sup>(瀬川, 1974;今川ほか, 1980;秦ほか, 1984に基づき編図)

### 7.2.3 奥尻島の地形・地質

### (1)奥尻島の地形

奥尻島は、北北東-南南西に長軸(約12km)を持つ扁平な形状であり、東西の幅は約5kmで、 周囲約60km、面積約143km<sup>2</sup>の島である。奥尻島は渡島半島の西側沖合に分布する奥尻海嶺の一 部(奥尻海脚)が海面上に隆起した島である(図7.2.11)。

この島は標高 584.5m の神威山を最高点として、その周辺から海岸線までに発達した第四紀後期 の海成段丘群によって特徴づけられる(図 7.2.12)。高度 500m 以下に 10 を超える海成段丘(高位 のものから H<sub>1</sub>~H<sub>6</sub>、M<sub>1</sub>~M<sub>3</sub>、L 面)が認められ、ほとんどが波打ち際で平坦化作用を受けてでき た浅海底が離水して生まれた侵食段丘である。

奥尻島の誕生は更新世前中期に遡り、以後継続的な隆起運動によって面積を拡大してきたもので ある。同じ時代の段丘の高度は決して同じではなく、北西部で最も高く南東へ低くなる傾動隆起が 見られる。この傾きは古い段丘ほど大きくなり、第四紀後期において同じような速度で地殻変動が 進行してきたためである。島の平均的な隆起速度は最大で1000年に1m程度と見積もられている。

1993 年北海道南西沖地震では大津波が発生し、北西から奥尻島を回折するように海岸部を襲った。特に島の西岸には波高の大きな津波が押し寄せたことが記録され、津波の最大到達高度は約 30mにも及んだと推定されている。島内の主な集落や施設のほとんどは最も標高が低いL面上に立 地していたため、この津波の直撃によって甚大な被害を受けた。



図 7.2.11 日本海側海域の海底地形(文献 2 に加筆。 海上保安庁水路部海図 No.6311 を簡略化)

図 7.2.12 奥尻島の海成段丘群<sup>2)</sup>(宮内ほか, 1994)

2km

#### (2)奥尻島の地質

奥尻島の地質は、中・古生代の堆積岩類や前期白亜紀の花崗岩を基盤として、新第三系の地層が 堆積し、その上に第四紀の地層が堆積している。図 7.2.13 に奥尻島の地質図を示す。

奥尻島における第四系の地層としては、海岸段丘堆積物、河岸段丘堆積物、砂丘堆積物、火山灰 層がある。

海岸段丘は 10 段の洪積段丘地形面と沖積段丘地形面が認められる。段丘面は奥尻島の東側およ び南側に分布する (図 7.2.14)。これらの段丘は主に第三系の青苗川層群を不整合に覆う。

神威山 I 段丘、神威山 II 段丘、青苗川段丘の各堆積物は侵食段丘のため、堆積物はわずかで、主 に礫層・砂層からなる。層厚は 1m 以下である。フケ歌沢段丘堆積物は、主に火山灰質砂のマトリ ックスと安山岩などの角礫からなる。層厚は 3m 以上である。松江 I 段丘堆積物は、亜円礫〜亜角 礫層からなる。安山岩角礫の多くはくさり礫で、層厚は平均約 1m である。南部で約 7m あるが、 北に向かって薄くなり、島の北部では、0.5~1m である。赤石段丘堆積物は、下部は粘土・砂・粘 土とシルトの互層で、上部は安山岩のくさり礫を含む砂礫層からなる。層厚は南部の青苗川右岸で 約 4m であり、北に向かって薄くなり、北部の稲穂岬付近には存在しない。米岡段丘堆積物は南部 では亜円礫を含む砂と礫の互層からなり、層厚は 5~9m である。東部の明石岬や北部の勘太浜付近 では主に安山岩の礫層からなり、層厚は 1~3m である。寺屋敷段丘堆積物は主に礫層・砂層からな り、層厚は 4~5m である。赤石岬付近に分布する赤石岬段丘堆積物は主に礫層からなり、層厚は 1.5~6.5m である。青苗岬付近にのみ分布する青苗岬段丘堆積物は旧汀線高度が 4m で、縄文時代 の海進時に形成された沖積段丘である。堆積物は泥炭層・砂層からなり極めて薄い。赤石岬段丘の 高度は、南部で 120~140m、東海岸で 100~160m、南方および北方に向かって低くなる。

河岸段丘堆積物は礫層・砂層からなり、青苗川、釣懸川流域で見られる。層厚は1~3mである。 砂丘堆積物では、初松前~青苗の海岸には、淘汰のよい砂からなる2列の砂丘が断続的に分布する。 段丘の腐植土層中に灰白色、細粒の渡島大島起源の火山灰層が3層認められる。



図 7.2.13 奥尻島の地質図<sup>3)</sup>(秦ほか, 1982を簡略化)



図 7.2.14 奥尻島の段丘面分布<sup>3)</sup>(秦ほか, 1982を簡略化)
# 7.3 地震·津波被害

### 7.3.1 道路・鉄道の被害

### (1)長万部町知来-蕨岱間の国道5号および函館本線の盛土

北海道の重要幹線の一つである函館と札幌を結ぶ国道5号の長万部町知来-蕨岱間では、丘陵と 谷部の境界に盛土された道路および鉄道(函館本線)の盛土が崩壊・変状した。道路盛土は長さ約 100mにわたって崩壊し、最大2m以上の段差が生じた(写真7.3.1~7.3.2)。崩壊は道路盛土の山 側の路肩付近を滑落崖として、谷部へ向かって原形を保ちながら滑るような形となっている。崩壊 地点付近の土質断面は図7.3.1に示すように、山側には洪積世の亜炭を挟在した礫混じり粘土が分 布し、谷側には沖積世の泥炭混じり粘土、粘土、泥炭が堆積している。谷側の泥炭は非常に軟弱で、 崩壊はこの泥炭層と下位の粘土層付近で発生したと推定されている。



写真 7.3.1 長万部町知来における国道 5 号の盛土 崩壊(函館側より見る)



写真 7.3.2 同左(小樽側より見る)



図 7.3.1 国道 5号(長万部町知来)の盛土崩壊地点の土質断面図(文献 4 を編集)

一方、道路のすぐ谷側を走る JR 函館本線二股・蕨岱間 124K100M 付近の盛土が約 360m にわた って崩壊し、軌道部が最大 1.2m 陥没、約 2.2m 移動した(写真 7.3.3)。このためレールが宙吊りに なった。同地点の盛土は両側の地盤高が約 1m 異なる斜面となっており(図 7.3.2)、盛土直下の地 盤は軟弱な粘性土層で、地盤の低い側には腐植土層が存在している。この地形の傾斜と低い方に軟 弱な腐植土層が存在する影響で、盛土が地形の低い方向に沈下・移動したと考えられる。



写真 7.3.3 JR 函館本線 二股·蕨岱間の盛土の変状



図 7.3.2 JR 函館本線 二股・蕨岱間 124K100M 付近の 盛土の変形状況 (代表断面 124K120~130M)<sup>4)</sup>

## (2)長万部町付近の国道と周辺地域

国道5号長万部町中の沢~豊津間では道路の波打ち現象が見られ、その振幅は最大1m程度にも 及んだ(写真7.3.4)。付近には液状化に伴う噴砂が見られた(写真7.3.5)。噴砂の色は赤褐色を呈 しているが、これは酸化した鉄分が多く混じっているためである。長万部から国縫・八雲・森を経 て鹿部に至る海岸線沿いの平野部は、日本有数の砂鉄鉱床地域として古くから知られ、多量の砂鉄 が採掘されてきたが、1976年以降はすべての鉱山が休廃止となり現在に至っている。砂鉄の選鉱過 程で出た大量の砂は採掘地点あるいはその周辺に埋め戻されたと考えられるので、これらの砂鉄採 掘地域はある意味では埋立地盤といえるのかもしれない。道路の波打ち現象が砂鉄の採掘と何らか の関係があるのかどうか不明であるが、1987年千葉県東方沖の地震でも砂鉄の採掘地域で道路の 波打ち現象が見られているのは興味深い。



写真 7.3.4 道路の波打ち(国道5号 中ノ沢ー豊津)



写真 7.3.5 国道周辺で見られた酸化鉄を含む噴砂

長万部町中ノ沢の中ノ沢小学校(2010年閉校)は国道5号と函館本線に挟まれた低地にあり、グ ラウンドに多数の地割れと大規模な噴砂が生じた(写真7.3.6)。噴砂は砂鉄を含むため黒い。

グラウンドよりも 1m 程度高い敷地にある杭基礎の校舎および体育館周辺の地盤が最大 70cm 程 度沈下し、基礎の抜け上がりが生じた(写真 7.3.7)。また、グラウンドの端の水路の護岸(高さ 1 ~2m)が地盤の水平移動により押されて大きく変形し、水路を横断していた管路が破損した(写真 7.3.8)。この地盤の水平移動は、液状化した砂が開口部(水路)に向かって移動することによって生 じたもので、海岸や河川の護岸背後地盤で見られるパターンの地盤流動と考えられる。

同校の敷地は砂鉄の採掘跡地で、裸地や農地を深さ数mまで掘削して、選鉱後に埋め戻された。 図7.3.3に同校の土質断面図を示すが、4m程度まで非常に緩い砂が堆積しており、これが埋め戻し 砂であると思われる。

このような大きな液状化被害が生じた原因は、非常に緩い砂が地表付近に分布していたこと、地下水位が浅かったことが挙げられるが、その他に、埋め戻し砂の土粒子密度は砂鉄が混入しているために、一般の砂に比べて大きい(砂鉄が混入した砂:3.0g/cm<sup>3</sup>前後、一般の砂:2.7 g/cm<sup>3</sup>前後) ことが何らかの影響を及ぼしているかもしれない。



**写真 7.3.6 グラウンドの大規模噴砂**(中ノ沢小) 砂鉄を含むため色が黒い。



写真 7.3.7 地盤沈下による体育館の基礎抜け上がり



写真 7.3.8 地盤の水平移動によるグラウンド 端の水路護岸の崩壊と横断管路 の破損



図 7.3.3 中ノ沢小学校の土質断面図(文献4に加筆)

# (3)国道 229 号第2白糸トンネル

国道 229 号は小樽市と江差町を結ぶ延長 306km の一般国道で、そのルートは主として日本海沿 岸部を通る。島牧村の白糸岬付近の第 2 白糸トンネル(幅員 8m、総延長 741m)直上の岩盤が崩落 した。これによりトンネル巻出し部のうち 8 スパン 46m が被害を受けた。このうち 1 スパンは大 きく崩壊してトンネル内に崩壊土砂が流入し、通行不能となった。その前後のスパンでは、巻出工 クラウン部に亀裂が多数発生した。

被害地点は勾配約80度の急峻な安山岩の溶岩、火山角礫岩および凝灰岩からなる岩盤斜面が海岸 まで迫るところである。崩壊は高いところが海抜200m付近で、海抜約100m付近の2箇所と合わせて 3箇所で発生した。崩壊土量は約2,500m<sup>3</sup>と推定される。写真7.3.9~7.3.10は被害箇所の全景と南側 坑口の状況で、写真7.3.11はトンネル巻出し部に流入した崩壊土砂の様子である。

同トンネルは地震から4年後の1997年8月25日に降雨の影響で、トンネル上の岩盤が高さ70m から幅約30m、厚さ約10mにわたって崩落し、直下のトンネルの巻出し部を直撃した。1999年に は山側をトンネルで迂回する新ルートが開通し、第2白糸トンネルに至る旧道は廃止された。



写真 7.3.9 岩塊直撃によるトンネル巻出し部の崩壊(国道 229 号第2 白糸トンネル)



写真 7.3.10 土砂流入のため交通遮断された第 2 白 糸トンネル南側坑口と落石



写真 7.3.11 巻出し部崩壊箇所から流入した土砂

### 7.3.2 函館港および周辺施設の被害

函館港は写真 7.3.12 に示すように、南側の弁天地区から北の有川埠頭まで、湾岸を浚渫埋立てし て造成されている。1910年以降には青函連絡船発着埠頭(若松埠頭)と有川埠頭が建設され、1951 年~1973年には中央埠頭と北埠頭が完成した。この間、1968年には十勝沖地震が発生し、中央埠 頭、北埠頭が被害を受け、復旧工事が行われた。1971年~1973年には船舶の大型化に対処すべく、

万代埠頭が建設され た。1973年からは貨物 量の増大に伴う貨物 岸壁の不足を補うた めに、豊川埠頭の建設 に着手し、1981年まで に-5m 岸壁340mを整 備し、さらに1988年 ~1991年には190m 延長し、計530mの-5m 岸壁および背後の 港湾施設用地が完成 した。



若松埠頭は、青函連 絡船の発着埠頭であ

**写真 7.3.12 1991 年当時の函館港の全景**(文献 7 に加筆)

ったが、青函トンネルの開通に伴って 1988 年に連絡船が廃止されてから、函館市により親水公園 として整備され、連絡船「摩周丸」が一般に展示・公開されている。同埠頭はケーソンを利用した 重力式岸壁で、護岸下部の原地盤は置換砂を用いて地盤改良されている。護岸背後はボードウォー クが設けられており、「摩周丸」は、護岸と護岸沖合に設置されたドルフィンに挟まれる形で係留さ れている。若松地区の地盤は、GL-37m 程度までは締まった火山灰層と玉石等の砂礫層が堆積して いるが、その上部は N 値 0~2 程度の軟弱な粘性土層が海底面まで 30m 以上にわたって堆積してお り、原地盤は軟弱地盤といえる。

図 7.3.4 には若松埠頭岸壁の被災断面図を示す。写真 7.3.13~7.3.14 は若松埠頭南側の被害状況 で、岸壁背後地盤が法線に並行に陥没している。岸壁のはらみ出しによって陥没したものと推定さ れる。写真 7.3.15~7.3.16 は連絡船乗降口の架構の変形(黄色の破線)と乗降口架構と背後地盤の 段差である。これらの状況から岸壁は水平・鉛直両方向に残留変位が生じたことが分かる。ケーソ ン構造の岸壁の変状は延長 160.3m にわたって発生したが、ニューマチックケーソンで作られた岸 壁先端部は無被害であった。岸壁法線は最大 120cm はらみ出しており、岸壁天端の沈下量は最大 54cm であった。岸壁のはらみ出しによって係留されている「摩周丸」が沖合に押し出され、このた めドルフィンも 51cm 沖合に変位した。岸壁の変状によって、コンクリート柱の傾斜やボードウォ ークの沈下、目開き等の被害が発生した(写真 7.3.17~7.3.18)。この岸壁は 1968 年十勝沖地震で も被災しており、その時の被災延長は 100m で、最大はらみ出し量は 60cm、最大沈下量は 100cm であった。先端部のニューマチックケーソン構造の部分は今回と同様、被害がなかった。



図 7.3.4 若松埠頭岸壁(-6m)の被災断面図(左側はドルフィン)4)



**写真 7.3.13 舗装アスファルトの移動・陥没** (若松埠頭南側:内海側)



写真 7.3.14 埋設管の復旧(同左)



写真 7.3.15 連絡船乗降設備の鋼材の座屈



写真 7.3.16 岸壁背後の段差と空隙



写真 7.3.17 旧青函連絡船乗船部コンクリート柱の傾斜



写真 7.3.18 ボードウォークの沈下・目開き。背後は旧 青函連絡船「摩周丸」の船体

北埠頭の背後の浅野町に 5,000t と 2,500t の 2 基のセメントサイロ(高さ 26m)が立地していた が、このうち 2,500t サイロが 30~90cm 沈下し、約 1/20(約 3 度)の傾斜が生じた。5,000t サイ ロは同じ方向に約 1/200 傾斜したが、沈下は認められなかった。この結果、両サイロ頂部の水平相 対変位は約 130cm に達したが、サイロ本体は無被害であった(写真 7.3.19)。

敷地内ではいたるところで噴砂が見られ、地震後 3~5日間、地下水の噴出が続いたといわれる。 このサイロの基礎は 2,500t サイロが PC 杭、5,000t サイロが PHC 杭で、長さはいずれも 22m で あった。地震後の掘削調査および孔内カメラによる観察で、2,500t サイロの基礎杭の頭部および中 間部が破損(せん断破壊、曲げ破壊)していることが判明した。

敷地の地盤状況は、最上部が N 値 0~7 の軟弱な浚渫埋立土層、その下部には N 値 3~7 のシル ト質砂層が堆積している。埋立土および沖積土の粒度分布は、平均粒径が 0.03~0.04 mm程度の粒径 の揃ったシルトである。液状化しやすいといわれている砂質土ではなく、シルトが液状化したとい うのがこの地震の一つの特徴である。復旧は、2,500t サイロを取り壊し、新たに鋼管杭基礎の 3,500t サイロを新設した。写真 7.3.20 は 2016 年現在のサイロの状況である。



**写真 7.3.19 サイロの傾斜。**2 基のサイロの傾斜によって 頂部の鋼製通路が 1m 以上離れた。



**写真 7.3.20 現在のセメントサイロ。**右が新設された 3,500t サイロ(2016 年撮影)

### 7.3.3 後志利別川の被害

河川施設では、北海道南西部の1級河川(尻別川、後志利別川)2水系11河川、2級河川(主太 川、大野川、厚沢部川等)7水系14河川で被害が発生した<sup>5)</sup>。 ここでは特に被害が大きかった後志利別川について示す。後志利別川は長万部岳に源を発し、山間急流部を南に流れ、瀬棚町(現在、せたな町)で日本海に注いでいる流域面積 720km<sup>2</sup>、幹線流路 延長 80km に及ぶ河川で、その流域は今金町、北檜山町(現在、せたな町)、瀬棚町にまたがってい る(図 7.3.5)。

後志利別川の地震による被害は 18 箇所、延長 6,580m に及ぶが、被害が 大きかったのは河口からほぼ 10km の区間であり、旧河道での被害が顕著 であった。

堤防天端の変状は縦断亀裂・陥没が 主体であるが、中には横断亀裂が見ら れる箇所もあった(写真 7.3.21~ 7.3.24)。横断亀裂は堤体を横断して 構造物が埋設されている場合に多く 見られる被害パターンである。また、



図 7.3.5 後志利別川水系と被害発生地点(文献 5 を編集)

堤防天端だけではなく、法面にも亀裂が発生している事例もある(写真 7.3.25)。被害地点付近の地 盤は堤体の下に As1~As3 の 3 層の沖積砂質土層が存在するが、このうち上部の As1 層と As2 層(層 厚は合わせて 5~7m 程度)は一般的に N 値が 15 以下と小さい。最下部の As3 層の強さは場所によ って異なるが、比較的締まっている場合には、堤体の変状が少ないようである。沖積砂質土の平均 粒径は 0.01~2.0 mmと広い範囲に分布するが、主として砂の粒径範囲(0.075~2.0 mm)に分布する ことが多く、液状化しやすい土といえる。また、地下水位は堤内・外ともに GL-1~-2m と浅い。

このような N 値や粒径、地下水位の条件から、この地震で堤体の下の沖積砂質土が液状化し、堤体に様々な変状が発生したと考えられる。地盤の液状化は堤体直下以外にも、高水敷や堤内側の法尻にある水田(写真 7.3.26)にも生じている。写真 7.3.27に示すように、液状化した地盤が河川方向に流動したことによる引張亀裂が認められる。また、写真 7.3.28 は堤体法尻付近の排水枡が液状化によって浮上し、埋設管が抜け出した様子である。



写真 7.3.21 堤防天端の縦断・横断亀裂



写真 7.3.22 堤防天端の縦断亀裂と陥没



写真 7.3.23 堤防天端法肩の縦断亀裂



写真 7.3.24 堤防天端の横断亀裂と段差



写真 7.3.25 堤体法面の亀裂



写真 7.3.26 堤内地の亀裂と噴砂



写真 7.3.27 河川への地盤移動を示す亀裂



写真 7.3.28 排水枡の浮上による埋設管の抜け出し

# 7.3.4 奥尻島の被害と復旧

#### (1) 津波の概要

地震の震央に最も近い奥尻島では、津波と斜面崩壊により死者・行方不明 198 名という大きな犠牲者を出した。同島の犠牲者数は、地震全体の約 86%に当たる。

津波の最大打ち上げ高は、図 7.3.6 に示すように、奥尻島西岸の藻内北方の 31.7m である。ここ

は延長 250m 程度の小湾で地形的 な影響がかなり大きい。

津波高が 10m を超えた海岸線
 の延長は島の南岸と西岸で約
 13km に及んだ。特に西岸の藻内
 の北から 群来 岬の東にかけての
 7km は打ち上げ高が 15m を超えている。

津波は地震発生後、震源に近い 西岸の藻内や神威脇に4分、島の 南端の青苗には4~5分で到達し た。青苗地区は、最初西からの津 波に襲われ、ついで回折してきた 東からの津波に襲われた。青苗南 端の砂州上には高さ4.5mの防潮 堤があったが、これを大きく超え る津波に対しては全く効果がな かった。

# (2) 津波による被害

この津波による奥尻島の家屋 被害は全壊 426 棟である。青苗地 区では、353 世帯 1,015 人が住ん でいたが、309 棟が全壊し、107 人が犠牲になるという大きな被 害を受けた。特に最南端の青苗 5 区(写真 7.3.29)では、住民 214 人のうち 72 人の死者・行方不明 が出て、その割合は 33.6%に達し

た。なお、1983年日本海中部地震でも奥尻島は西 海岸を中心に最大 5m の津波に襲われ、2 人が犠 牲になっている。

津波が襲来した直後、青苗地区では火災が発生 し、折からの 10m を超える北東の風に煽られて 南西方向に燃え広がり、最初の出火から約 11 時 間後に 5ha、189 戸を焼いて鎮火した。写真 7.3.30 には津波と火災によってほとんど壊滅した青苗 地区の被災状況(地震4日後)を示す。写真 7.3.31



図 7.3.6 奥尻島の津波打ち上げ高(文献 5 を編集)



写真 7.3.29 青苗岬灯台付近より見た最南端の状況 (青苗5区)

は奥尻港のフェリーターミナル建屋で、1 階部分が津波のために柱と壁を残すのみでガラス窓やド ア等は流出している。写真7.3.32は、港内に流出した車輌のクレーンによる撤去作業の様子である。 写真7.3.33は護岸隅角部の崩壊状況で、このような被害は各所で見られた。津波だけではなく、地 震動の影響もあるのかもしれない。写真7.3.34は擁壁(落石防護工)の転倒で、津波の引波で転倒 したのではないかと推定される。写真7.3.35は津波が高かった奥尻島西海岸の様子で、津波で運ば れた海草類が電線に付着している。写真7.3.36は津波で陸地に運ばれた漁船である。





写真 7.3.30 津波及び火災による被災状況(奥尻島青苗地区)



**写真 7.3.31 奥尻港フェリーターミナルの建物**。1 階部 分は津波によって戸やガラス窓が全てなく なっている。



**写真 7.3.32 津波にさらわれた車輌の引き上げ作業** (奥尻港内)



写真 7.3.33 津波によって破壊されたと思われる岸壁 の隅角部(奥尻港)



写真 7.3.35 津波によって運ばれた海草類が電線に 付着している(奥尻島西海岸)



写真 7.3.34 津波によって倒壊した擁壁



写真 7.3.36 津波によって陸地に運ばれた漁船(奥尻港)

#### (3) 地震動による被害

# (i)奥尻港背後の斜面崩壊

奥尻港のフェリー乗り場の背後の観音山(標高 135 m)の斜面が、高さ 130m、最大幅 200m に わたって崩壊した(写真 7.3.37)。崩壊土量はおよそ 32 万 m<sup>3</sup> といわれている。このため、斜面の

直下にあった木造 2 階建てのホテル「洋々荘」が崩 壊土に直撃され、29人が犠牲となった。

崩壊した斜面は、標高140mの海岸段丘をのせた 東西に伸びる細長い尾根の先端部で、平均傾斜が 40°の急斜面となっている。斜面はおよそ200~ 600万年前の時代の「仏沢層」と呼ばれる地層で、 火山円礫岩と砂岩・凝灰岩互層からなる(図7.3.7)。 地層面は南西方向に5~10°と緩く傾斜している。

滑落崖は幅 130m で東に開いたコの字型の形状 で、比高は最大 50m に達する。滑落崖の傾斜は 70° 内外で、中央から右岸にかけて顕著な擦痕が認め



写真 7.3.37 奥尻港背後斜面の崩壊

られる。斜面崩壊による堆積物は、斜面上に残った崩壊土と下流に流れ出した堆積物(図7.3.7の①

および②) がある。斜面上に残った崩 壊堆積物の厚さは20m前後であり、 また、下流に流れ出した堆積物は幅 約200m、長さ90m、厚さ10m前後に 広がっている。この堆積物は最大数 mに達する岩塊を含む岩屑からなっ ている。この崩壊堆積物は、水の関与 による岩塊全体の流動化はほとんど 起こっていなかったと思われ、回転 や流動を伴わない大規模剥落・滑動 的な崩壊、いわゆる"岩すべり"であっ



たと考えられる<sup>4)</sup>。写真7.3.38~7.3.39は地震前後の 崩壊斜面の空中写真である。この斜面崩壊による崩 壊土が崖下にあった防護柵を押し倒して2基の灯油 タンクに衝突した。このため1基のタンク本体に亀 裂が入り、油が流出するという被害があった。タン クは高さ11.25m、容量は800klの鋼製円筒固定屋根 式で、地震当時、約半分の400klが貯蔵されていた。 被害を受けた南側のタンクは、ほぼタンク頂部まで 土砂に覆われ、タンク本体は「くの字」に変形する と共に、捻じられるような形になった(写真7.3.40)。 このような変形によって側板に亀裂が入り、灯油が全 て防油堤内に流れ出し、その一部は港内に流出した。





図 7.3.8 奥尻港背後斜面の崩壊平面図<sup>9)</sup>





写真 7.3.40 崩土による貯油タンクの変形

**写真 7.3.38 奥尻港背後に建つホテル「洋々荘」** (地震前) 国土地理院撮影 1988 年



写真 7.3.39 奥尻港背後の斜面崩壊によって 「洋々荘」がのみ込まれた(地震後)<sup>4)</sup>

### (ii) 青苗岬灯台の被害

奥尻島青苗地区の段丘上にある青苗岬灯台の灯塔が地上から約1mの位置で倒壊した(写真 7.3.41~7.3.42)。折損部分ではフック付きの丸鋼鉄筋(φ20mm)が露出していた。この灯台はRC 造の建築物で、平屋と高さ15mの灯塔からなっている。現在の写真(写真7.3.43)を見ると、灯塔 は建屋とは独立した構造に変更されている。なお、青苗岬灯台は奥尻島の重要な沿岸標識であるこ とから、従来の本灯台と同規模の仮設灯台を設置し、船舶の航行の安全を図った(写真7.3.44)。



写真 7.3.41 青苗岬灯台の倒壊



写真 7.3.42 灯塔の破断部分(同左)



写真 7.3.43 現在の青苗岬灯台 (2005 年撮影)

(iii) 千畳坂覆道の被害



写真 7.3.44 地震直後の仮設灯台

主要道道奥尻島線で千畳坂覆道と呼ばれるスノーシェルターが倒壊した(写真 7.3.45~7.3.47)。 この覆道は完成直後であったが、道路はまだ供用されていなかった。覆道の全長 230m のうち中央 部の 140m で被害が発生し、そのうちの 80m では下部工の転倒によって上部のシェルターが完全 に倒壊した。覆道の上部工は2枚のプレキャスト製覆工が天井部分で連結される構造で、下部工は 鋼管杭基礎に支持された RC 製の逆 T 型の台座に上部のシェルターが固定される形式となってい る。被害原因は、下部工の縦壁部分が地震の水平力を受けて外側に転倒したため、上部のプレキャ スト製覆工が倒壊したものとされている。写真 7.3.48 は復旧後の覆道の様子である。



写真 7.3.45 倒壊したプレキャスト製覆工



写真 7.3.46 倒壊した覆工の内部。上部工の基礎が 外側に転倒している。



写真 7.3.47 上部工を取り除いた後の下部工の倒壊の状況。



写真 7.3.48 復旧なった覆道(2005年撮影)

## (4)奥尻島の復旧

全ての家屋が津波で流出した最南端の青苗5区では全住民の移転が行われた。跡地は全体を公園 化(徳洋記念緑地公園)し、奥尻島津波館、犠牲者慰霊碑等がつくられた(写真7.3.49~ 7.3.50)。また、その他の青苗地区については、高台移転と現地再建が分かれ、高台移転について

は95区画、現地再建に関しては防潮堤の背後に一 定高さの盛土(最大6m)を行い、その上に180区 画を造成した。青苗漁港には、漁業従事者が3分 以内に避難できるように、「望海橋」と呼ばれる 高さ6.6mの人工地盤が建設された(写真7.3.51~ 7.3.52)。防潮堤は全島で延長14kmにわたって建 設され、その最大高さは青苗地区で11.7mにも及 ぶ。写真7.3.53は、「望海橋」から望む青苗海岸北 部の防潮堤である。



**写真 7.3.49 青苗地区の全景。**最南端の低地は公園と なっている(国土地理院 2017.7.5 撮影)。



写真 7.3.50 青苗地区と青苗漁港の遠望 (2005 年撮影)



写真 7.3.51 青苗漁港に設けられた緊急避難用人工 地盤「望海橋」



写真 7.3.52 人工地盤「望海橋」の上部の様子。約 2,300 人が収容できる



**写真 7.3.53 青苗地区北側の防潮堤**(「望海橋」より望む)

奥尻島最南端の徳洋記念緑地公園には、地震の慰霊碑「時空翔」(写真 7.3.54)や奥尻島津波館(写 真 7.3.55)が設置されている。「時空翔」は南西方向を向いており、地震発生の 7 月 12 日には中央 の窪みに夕日が沈む光景が見られるという。



写真 7.3.54 北海道南西沖地震慰霊碑「時空翔」



写真 7.3.55 奥尻島津波館

# 7.3.5 火山堆積物の液状化被害

活火山である駒ケ岳(1,131m)の南西麓にある森町赤井川地区では、地盤の液状化によって、49棟の建物被害が発生した。同地区は一般に液状化が発生しやすいとされている低地ではなく、標高

160m 前後の高原である。同地区の地質は図 7.3.9 に示すように、1640 年に駒ヶ岳が噴火した際の 火砕流、クルミ坂岩屑なだれ堆積物などからなっている。液状化した土質はこのうちクルミ坂岩屑 なだれ堆積物と考えられ、従来から液状化しやすいとされている沖積砂質土や埋立土とは異なる土 質である。

写真7.3.56には被害の一例として液状化によって地盤沈下した民宿と噴砂の状況を示す。図 7.3.10には岩屑なだれ堆積物と地震の際の噴出土の粒度分布を示す。岩屑なだれ堆積物は平均粒径

が10mmを超える礫 質土で、細粒分もほ とんどなく、一見、 液状化しそうもな い粒度であるが、噴 出しているのは 弾 ひレトに分類 さいの た岩屑なだれ堆積 物の状況を示すが、 直径が数10cmの大 きな礫が多数見ら れる。

このような状況 から、岩屑なだれ堆



図 7.3.9 森町赤井川付近の地質図(文献 11より抜粋)

積物は大きな粒径の礫がマトリックスの砂・シルトの中に浮いているような状態で堆積しており、 液状化により微砂~シルトが噴出してきたものと推定される。図7.3.11に示す土質柱状図でも深度-5~-8m付近に存在する礫層のN値は10数回しかなく、礫が互いに噛み合って強度を発揮していると は言いがたい。



写真 7.3.56 液状化により不同沈下した宿泊施設と噴 砂 建物の不同沈下のため壁にヒビが入った (森町赤井川))



(文献 10 を編集)



写真 7.3.57 液状化地点で掘り出された岩屑なだれ 堆積物



図 7.3.11 液状化地点の N 値分布<sup>10)</sup>

# 【第7章の引用・参考文献】

- 1) 基礎地盤コンサルタンツ(㈱: 平成5年(1993年) 北海道南西沖地震 調査報告書(社内技術資料)、1993.
- 2)小疇・野上・小野・平川編:日本の地形2-北海道、東京大学出版会、2003.
- 3)日本の地質『北海道地方』編集員会編:日本の地質1-北海道地方、共立出版㈱、1990.
- 4) 地盤工学会:1993 年北海道南西沖地震 災害調查報告書、1997.
- 5) 土木学会:1993 年北海道南西沖地震 震害調査報告、震害調査シリーズ3、1997.
- 6) 稲富他: 1993 年北海道南西沖地震による港湾施設被害報告、港湾技研資料 No. 791、1994.
- 7) 北海道開発局 函館開発建設部 函館港湾建設事務所: 函館港、1993 年当時のパンフレット
- 8) 廣井脩: 1993 年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達-巨大津波と避難行動-、東京 大学社会情報研究所 災害と情報研究会、1994.
- 9) 雨宮和夫:奥尻町奥尻港地すべり、北海道の地すべり '99、pp.186~190、1999.
- 10) Kokusho,T et.al: CASE STUDY OF ROCK DEBRIS AVALANCHE GRAVEL LIQUEFIED DURING 1993 HOKKAIDO -NANSEI-OKI EARTHQUAKE, SOILS and FOUNDATIONS Vol.35, No.3, pp.83~95, 1995.
- 11) 勝井義雄他:北海道駒ケ岳火山地質図、地質調査所、1989.
- 12) 札幌管区気象台: 平成5年(1993年) 北海道南西沖地震(7月12日 M7.8)、地震予知連絡会報 第51卷、1994.
- 13) 東大地震研究所:1993年北海道南西沖地震の震源過程、地震予知連絡会報 第51巻、1994.
- 14) 宇佐美:新編 日本被害地震総覧[増補改訂版 416-1995]、東京大学出版会、1996.
- 15)科学技術庁防災科学技術研究所:強震速報 No.43、強震観測事業推進会議、1993.
- 16)気象庁:各種データ・資料-強震波形(平成5年(1993年)北海道南西沖地震)、
- https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/hokkai\_nansei/index.html
- 17) 松永・桜井・森田・井合: 1993 年北海道南西沖地震の港湾地域における強震記録、港湾技研資料 No778、1994.

# ▶●● 復旧斜面に慰霊の壁画

北海道南西沖地震では奥尻島で津波による多数の死者・行方不明に加え、奥尻港の背後斜面が崩れてホ テル「洋々荘」が埋没し、29人が犠牲になりました。崩壊斜面の復旧にあた

って、斜面の中腹に犠牲者の追悼と奥尻島の復興の祈りを込めて、奥尻島の 住民によって描かれた「サムーン」(サン+ムーン))という縦横 40m 以上 の巨大壁画が設置されました(右写真)。

しかし、老朽化が進み、絵の一部が麓に落下するという事故も起こったため、2009 年 10 月に撤去されました。壁画を撤去した跡地にはドウダンツツ ジが壁画のモチーフとなった月と太陽の形に植樹されました。



# 8. 北海道東方沖地震

# 8.1 地震および被害の概要

# 8.1.1 概 要

地震名	1994年北海道東方沖地震		発生年月日	1994年10月4日 22時22分					
マグニチュード	8.2	震央の位置	43°22.5'N、3						
地震の形態	太平洋プレートで起きたプレート内地震								
深さ	28km	地震動	最大震度	6 釧路、厚岸					
津波	花咲港で1.73m	地展到	最大加速度	847gal(厚岸駅)、487gal(十勝川堤防東稲穂)					
人的被害	死者・行方不明 (北方領土て 負傷者 4	なし ご11人) 136人	家屋被害	全壊39棟、半壊 382棟					
被害の特徴	<ul> <li>・地震で津波が発生し、最大津浪高は根室(花咲港)で1.73m(験潮所記録)であったが被害は小さかった。しかし、北方領土の色丹島南部では15.8mの遡上高を記録している。</li> <li>・国内の死者・行方不明はゼロであったが、北方領土の択捉、色丹両島で津波や建物の倒壊等で11人が死亡した。</li> <li>・1993年釧路沖地震で大きな被害を被った釧路市の被害はそれほど大きくはなく、東部の火山灰を主体とする根釧原野を通る道路盛土の被害が顕著であった。</li> <li>・港湾・漁港では、釧路港、根室港などで被害が発生したが、総じて被害は軽微であった。</li> <li>また、液状化対策を施した施設は無被害であり、対策の効果が実証された。</li> <li>・オホーツク海に面する標津町では下水道マンホールの浮き上がり、管路埋設地盤の陥没等の被害が発生し、噴砂も見られた。同地域は泥炭が主体の軟弱地盤であった。</li> <li>・中標津町では台地斜面を切盛りして造成された宅地が崩壊し、その上の家屋が引きずられるようにして変形・全壊した。</li> <li>・釧路池地震で被害があった標茶町茎辺の即荘地では、再び成本のすべり崩壊が発生した</li> </ul>								

# 8.1.2 地震動

# (1) 地震の概要

北海道東方沖地震は1994年10月4日夜に 発生した根室半島東方沖約170km、深さ 28kmを震源とするM8.2の巨大地震である。 震源が海域で浅かったことから、津波が発生 したが、本土では幸い大きな被害は生じなか った。また、10月9日に最大余震であるM7.0 の地震が発生している。

図8.1.1には本震及び余震の分布を示す。 東西約150km、南北約100kmの余震域が確 認されている。地震の発震機構は東南東-西北西方向に圧力軸を持つタイプで、太平



図 8.1.1 本震·余震分布(文献 27 より抜粋)

洋プレートそのものが破壊するプレート内地震であっ た。図8.1.2に震度分布図を示す。この地震で釧路市と厚 岸町で震度6を観測している。マグニチュードが8を超え る大地震であったため、震度5は道東の釧路・根室・網走 地方、震度4は道東から道央および東北地方北部太平洋沿 岸地域に及んでいる。震度1以上の有感地域は中部地方に まで及んでいる。

# (2)強震記録

表 8.1.1~8.1.2 に地盤上で最大加速度 100gal 以上の地 震動が記録された観測地点の一覧表を示す。最大加速度 が 100gal を超えた地点は 32 箇所に及び、その最大値は 震央距離 233km の厚岸駅で、NS 成分が 847gal となって いる。

1993 年釧路沖地震で 919gal (EW 成分)という最大加 速度を記録した釧路地方気象台 (気象庁)では、北海道東 方沖地震でも 473gal (EW 成分)を記録している。

北海道東方沖地震は M8.2 という巨大地震であったた め、揺れを感じる範囲が非常に広かった。最大加速度にお いても、広い範囲で大きな加速度が記録されている。同表 に示した最遠観測地点は、宮城県大郷町の吉田川堤防付 近(震央距離 780km)で、最大加速度 140gal (EW 成分) が記録されている。



図 8.1.2 震度分布図 30)

粗测地占	都道府県市	設置場所	震央距離	最大加速度(gal)			山中平口
範別にとれ			(km)	NS	EW	UD	山兴留方
厚岸駅	厚岸町	GL	233	847	526	63	26
十勝川堤防(東稲穂)	浦幌町	GL	337	487	223	167	3
釧路地方気象台(気象庁)	釧路市	GL	269	455	473	193	26
十勝川堤防(統内)	豊頃町	GL	350	365	453	124	3
釧路地方気象台(建研)	釧路市	GL	269	314	392	189	26
花咲港現場詰所	根室市	GL	168	380	346	256	26
根室測候所	根室市	GL	168	369	330	183	26
広尾橋付近	広尾町	GL	375	360	260	30	26
温根沼大橋	根室市	GL	178	316	353	378	3
十勝川堤防(礼作別)	豊頃町	GL	347	276	301	166	3
斜里大橋付近	斜里町	GL	251	300	240	-	26
根室(NMR)	根室市	GL	168	289	294	172	26

表 8.1.1 最大加速度一覧表 その1 (100gal 以上) (文献 3、26 より抜粋)

<b>毎週世史</b>	都道府県市	設置場所	震央距離	最大加速度(gal)			山田来日
観測也点			(km)	NS	EW	UD	山央留ち
釧路港湾建設事務所構内	釧路市	GL	271	197	269	112	26
十勝川堤防(幌岡)	豊頃町	GL	342	264	207	155	3
千代田大橋	幕別町	GL	352	206	232	77	3
厚岸大橋付近	厚岸町	GL	231	215	225	-	26
十勝川堤防(牛首別)	豊頃町	GL	349	214	197	142	3
+勝川堤防(トイトッキ)	浦幌町	GL	339	184	191	104	3
厚岸(AKS)	厚岸町	GL	230	166	189	90	26
十勝川堤防(旅来)	豊頃町	GL	341	149	182	96	3
乙供駅	青森県東北町	GL	606	130	172	49	26
音別駅	音別町	GL	308	145	169	45	26
十勝港南埠頭	広尾町	GL	374	142	163	105	26
大楽毛橋	釧路市	GL	281	156	108	102	3
浦河測候所	浦河町	GL	421	115	144	39	26
十勝大橋	帯広市	GL	367	122	141	95	3
吉田川堤防付近	宮城県大郷町	GL	780	100	140	90	25
大津築堤	北海道中川郡	GL	338	138	136	85	3
北上保線区	岩手県北上市	GL	711	90	115	32	26
苫小牧測候所	苫小牧市	GL	505	103	81	30	26

表 8.1.2 最大加速度一覧表 その2(100gal 以上)(文献 3、26より抜粋)

水平成分の最大加速度が大きい順に並べている。

橋梁の場合にはNSを軸方向(LG)、EWを軸直交方向(TR)と読み替える。

出典番号は章末の引用・参考文献リストを参照。

図 8.1.3 に最大加速度を記録した JR 厚岸駅の加速度波形と速度応答スペクトルを示す。継続時間は 40 秒程度である。速度応答スペクトルでは 0.25~0.3 秒付近に応答のピークがある。

図 8.1.4~8.1.5 は釧路地方気象台(気象庁)の北海道東方沖地震および釧路沖地震の加速度波形 と速度応答スペクトルである。加速度波形では北海道東方沖地震の方が継続時間が長いことが分か

1000 る。速度応答スペクトルでは、両地震とも0.3~0.5秒付 NS 近にピークを有するが、速度応答は釧路沖地震の方が大 FW きい。 100 1060.5 gal 1100 速度応络 (kine) 0 10 1100 EW Max. 674.3 gal 0 1 0.1 10 100 1 周波数(Hz)

図 8.1.3 厚岸駅の加速度波形(水平成分)および速度応答スペクトル(文献 3 より抜粋)



図 8.1.4 釧路地方気象台(気象庁)の加速度波形の比較<sup>1、24)</sup>



図 8.1.5 釧路地方気象台(気象庁)の速度応答スペクトルの比較<sup>28、29)</sup>

北海道東部では、1993年1月に釧路沖地震(M7.5)、1994年10月に北海道東方沖地震(M8.2)という大きな地震が続けて発生した。 1400 \_\_\_\_\_

釧路沖地震は釧路市沖合約15kmの深さ110kmで 発生し、一方、北海道東方沖地震は根室半島沖合約 170kmの深さ28kmで発生した。

両地震による主な被害は、釧路沖地震では死者2 名、負傷者967名、建物の全壊53棟、半壊255棟 であるのに対して、北海道東方沖地震では死者0名 (ただし北方領土で11名)、負傷者436名、建物の 全壊39棟、半壊382で、比較的似たような規模の

このように震源位置も地震のマグニチュードも異 なる両地震であるが、最大加速度という面からみる とどのような違いがあるのであろうか。図 8.1.6 は 両地震で同じ観測地点で記録された加速度の水平 成分をプロットしたものである。ここでいう水平成 分は水平 2 成分をベクトル合成したものである。こ れより、最大加速度としては釧路沖地震の方が北海 道東方沖地震よりも大きい地点が多いことが分か る。この理由は、北海道東方沖地震の震源が日本本 土よりも 200km 近く離れていることにあるのでは ないかと思われる。



図 8.1.6 北海道東方沖地震と釧路沖地震の水平最大 加速度の比較(文献3に基づいて作成)

#### 8.2 道東地方の地形・地質

被害が生じている。

#### 8.2.1 概要

道東地方の地形は、東部火山地域、根釧台地、白糠丘陵、十勝平野の4地形に区分される(図 8.2.1、十勝平野は同図の西に外れている)。東部火山地域は、知床火山群、屈斜路・阿寒火山群 よりなる千島火山帯の延長部と考えられる火山群で、摩周湖、屈斜路湖などのカルデラ湖を有す る。周辺には更新世から完新世の火山砕屑流堆積物および降下火山噴出物からなる広い火山山麓地 が広がり、その下部は新第三系からなる基盤で構成される。

根釧台地は、東部火山地域の南側に位置する広大な台地で、標高は東部及び北部の火山地域に向 かって高くなる(標高10~200m)。台地の地質は海岸部では白亜紀の泥岩を基盤とするが、北部 に向かって更新世の粘土・砂・礫・火山灰が厚く堆積し、最上部は摩周系統の降下軽石流および火 山灰層で覆われている。一方、釧路市の背後に広がる釧路低地では、釧路川流域に釧路湿原が発達 し、各河川沿いおよび河口部付近に谷底平野、三角州などが分布する。

白糠丘陵は、釧路地域と十勝地域の境にある標高200~400mの晩壮年ないし老年期の準平原化 された小起伏の丘陵で、中心部は古第三系、低地は新第三系の泥岩・砂岩・礫岩・石炭層を基盤と している。

+勝平野は広大な面積をもつ平野で、+勝構造盆地と呼ばれる。西は日高山脈、北は石狩山地、 東は白糠丘陵と三方を山地・丘陵地に取り囲まれ、南は海に開けた平野で、中~後期更新世に形成 された段丘面、扇状地堆積面が平野部の全域にわたって分布する。地質的には鮮新世~更新世の堆 積物が厚く堆積し、第四系は+勝川流域と南の海岸地帯に分布する。

図8.2.2には道東地方の概略地質図を示す。



図 8.2.1 道東地方の地形区分(文献 5 を加筆修正)



図 8.2.2 道東地方の概略地質図(文献 7 より抜粋)

#### 8.2.2 主要被害地域の地形・地質と被害の特徴

北海道東方沖地震において被害の大きかった根室地域は、南は太平洋、東は根室海峡に面する主 として第四系の地層からなる洪積台地で、地形は標津、野付、風蓮の根室海峡沿岸低地帯と中標 津、別海、根室周辺で代表される根釧台地に大別される。

根室海峡沿岸低地帯は、根釧台地を開析し流下する標津川、西別川などの主要河川沿いの狭小な 谷底平野と河口付近の低湿な三角州性低地よりなる。また、主要河川の上流部は知床半島の延長方 向にほぼ直角に流下するが、中流部で大きく方向を変え、東ないし北東方向に向かい根室海峡に注 ぐ。この海峡沿いには、分岐砂嘴である野付半島に囲まれた野付湾や海跡湖である風蓮湖周辺部に 三角州性低地が発達する。地質は、河川上流部~中流部では礫・砂・粘土からなる氾濫原堆積物が 厚く堆積し、河川の下流部には泥炭層を伴った泥炭性軟弱地盤帯を形成する。また野付湾や風連湖 の海岸地域には砂丘が認められる。

一方、根釧台地は、風蓮湖を境に地形・地質が大きく異なる。南部は根室半島地区で代表される 標高40m以下の平坦な段丘性台地が発達する。地質は根室層群の泥岩・砂岩を基盤とし、これを覆 って砂・礫からなる更新世段丘堆積物が分布し、最上部には火山灰層を載せている。北部は標高 40~80mの平坦部と標高90m以上の波伏地形を呈する部分からなり、これらは釧路地域に連なる

台地となっている。地質は、更新世の 火山灰軽石からなる戸春別層および 砂・礫からなる茶志骨層が台地の骨格 をなし、最上部には摩周系統の新期火 山灰層が全域に比較的厚く分布してい る(表8.2.1)。このように根室地域に おいては台地の地質は一般的に良好で あるが、台地を開析する大小の沢や小 規模な湾には軟弱地盤が形成されてい る。

被害が多かった別海町、中標津町、 標津町の地形は、火山灰性の台地から なり、これを開析して標津川、当幌

表 8.2.1 根釧台地の第四系地質層序表 <sup>7)</sup>

							-		
地時	質代	中	根 ī	釧	原	北	野 <sup>音</sup>	R	広域火山灰と年代
ティーディー		沖         摩周降下           積         火砕堆積物		沖積層	摩唐火配	引降 存堆利	下 責物		
		河岸	段丘堆	<sub>隹積物</sub>	茶	志	骨	層	
更	後	茶内火山灰層			茶内テフラ層			,層	Set. 1(22.000 + P. P. )
	期	中	西別	~ 一 層	中初	春別·	テラ	フ層 	ない ないの ないの ないの ないの ないの ないの ないの な
新		屈斜	路火砖	P流堆利	物		Kpfl	- IV	町田はか(1985) Kpfl-Ⅳ(0.11~0.13 Ma) 阪口・奥村(1986英)
	中	根	釧	層	戸	春	別	層	
世	期	別頖	<b></b> {辺牛	川層					
	前期		連 湖	 」 層		K	pfl-	IV :	屈斜路火 <u>砕流堆積物Ⅳ</u>   (宮田ほか1988)

川、春別川、床丹川とそれらの支川が西から東に流れる。これらの河川沿いの低地には、粘土・ 砂・砂礫からなる氾濫原堆積物が分布し、表層には湿地性の堆積物である軟弱な泥炭層が堆積する ところが多い。

このような河川及び沢部を横断して走る道路は、火山灰の台地上を通過する区間と沢地形を盛土 あるいは橋梁で横断する区間とに分けられる。道路の被害箇所は、図8.2.3~8.2.4に示すように、 ほとんど沢部横断区間に集中している。沢部の盛土に被害が集中した原因は、盛土や基礎地盤の強 度が小さいことや沢部に水が集まりやすいことの他に、切土と盛土という地形の変換点のために、 局所的に地震動が増幅された可能性もある。なお沢部と平行して走る道路は、ほとんどが台地部を 通っているため、被害は少ない。その他、図8.2.5に示すように、片切・片盛地点や基盤が傾斜し ている地点に被害が多く見られた。



図 8.2.3 根釧台地の地形と道路被害地点分布 緑色が谷部、その他が台地部である(文献 14 に加筆)



図 8.2.4 沢部を横断する道路の模式図

【片切片盛地点】

【基盤傾斜地点】

集水地形になることも多い





図 8.2.5 被害の多い地形

8.3 地震被害

## 8.3.1 被害の概要

# (1)被害地域

この地震で大きな被害を受けた 道東地方は前年の1993年釧路沖地 震でも大きな被害を受けた。震央 が北海道の東方沖であったため、 釧路沖地震で被害の大きかった釧 路地方よりも東方の根室地方の方 が被害が大きかった(図8.3.1)。



# (2)地震動

図 8.3.1 北海道東方沖地震で被害が大きかった自治体 <sup>1)</sup>

マグニチュード8.2という巨大地 震であったが、震央が本土からや

や離れていた(根室から約170km)ため、釧路で474gal(EW方向)、震源に近い根室では378gal (NS方向)と、極端に大きなものではなかった。また、震央から337km離れた十勝川堤防(東稲 穂)では、487galという大きな最大加速度を記録しており、地震動が局所的な地盤の特性に大き く依存していることが分かる。

#### (3)津波

この地震で津波が発生し、地震発生5分後 に北海道太平洋沿岸に津波警報が発令され た。道内では最大の津波高を記録したのが 根室花咲港の173cm(験潮所記録)で、太 平洋沿岸において浸水被害や漁船の横転な どの被害が報告されている(図8.3.2)。

被害そのものは震源に近い北方四島で大 きく、地震動による被害を合わせて死者・ 行方不明11名の犠牲者を出している。

### (4) 近年の北海道周辺の被害地震との比較

表8.3.1は、1993年に北海道沿岸域で発生 した「釧路沖地震」及び「北海道南西沖地 震」と今回の「北海道東方沖地震」の被害 を比較したものである。今回の地震は人的 被害について北方4島を除いて死者・行方不 明はなく、被害額については釧路沖地震と



図 8.3.2 津波高の分布<sup>2)</sup>

同程度である。この地震の特徴としては、震源が陸地から離れていたこと、地震動が大きかった根 室地方には大きな都市がないこと、主な産業が農漁業であるため産業施設が少なかったこと等があ げられる。そのため都市型災害と言われている電気・ガス・水道等のライフラインの被害はあまり 顕著ではなかった。しかし、釧路沖地震ほどではなかったが、下水道マンホールの突出、管路上の 地盤の沈下・陥没などの下水道の被害が目立った。

被害が震源から300km以上も離れた十勝・網走支庁までの広範囲に及んでいるため、相対的に 道路や港湾・漁港などの被害が目立った。道路では、釧路沖地震のように主要国道が大きな被害を 受けることはなかったが、道道や市町村道等の地方道の被害が目立った。港湾・漁港では、釧路東 港の漁業埠頭が釧路沖地震に続いて被害を受けたのをはじめ、釧路・根室支庁管内の港湾・漁港が 大きな被害を受けたが、釧路沖地震後に液状化対策を行った施設については大きな被害はなく、対 策の有効性が確認された。

地震	長名	釧路沖地震	北海道南西沖地震	北海道東方沖地震
発生	年月	1993年1月	1993年7月	1994年10月
地震	規模	7.5	7.8	8.2
被害総額		550億円	1323億円	573億円
人的被害	死者・行方不明	2人	230人	0人
	負傷者	967人	323人	436人
住空被宝	全半壊	308棟	1009棟	421棟
	一部損壊	5313棟	5490棟	7154棟
土木被害	箇所数	1993箇所	1179箇所	2035箇所
	被害額	214億円	523億円	273億円

表 8.3.1 過去の地震の被害規模の比較

#### 8.3.2 構造物別の被害

#### (1)建築物·宅地

全道で全壊39棟、半壊382棟、一部破損7,154棟、床上・床下浸水189棟の住家被害が発生した。 個別の被害では、1993年にオープンしたばかりの根室市文化会館で大ホール天井の一部が20×30m にわたって落下したほか、多目的ホールのスプリンクラータンクに亀裂が入り、水浸しとなる被害 が発生した。中標津町では32年前に建設されたRC3階建ての公民館で主柱の破損、外壁落下、内 壁破損、天井の落下などの被害が発生し、地震から約1ヶ月経過した後も建物の傾斜が増している ため取り壊され、翌年、総合文化会館として新設された。同じく中標津町では標津川右岸の台地斜 面上の住宅5戸が傾斜・変形する被害があり、このうち3戸が取り壊された(図8.3.3、写真8.3.1~ 8.3.2)。被害地点には2018年現在も家は建てられていない(写真8.3.3)。

1993年釧路沖地震で大きな被害が発生した標茶町茅沼の別荘地では今回の地震でも盛土が崩壊 したが、被害を受けた家の大部分が撤去された状態であったため壊滅的な被害は免れた。釧路沖地 震で崩壊した盛土については、新たに火山灰系の土砂を運び敷き均した程度で、しっかりした転圧 は行われていなかったようである。写真8.3.4~8.3.5は造成し直した盛土に生じた亀裂と法尻の噴 砂の状況である。釧路市貝塚の急斜面上にある住宅では家屋が5~6度傾き、壁には無数の亀裂が 入った。この住宅は釧路沖地震の際にも同様の被害(全壊に相当)を受けている。



写真 8.3.1 地形境界部の被害家屋(中標津町)



写真 8.3.2 地形境界部を横切る道路の横断亀裂(同左)



図 8.3.3 地形境界部の被害家屋位置(中標津町)<sup>1)</sup>



**写真 8.3.3 住宅が再建されていない地形境界部** (左図 B の位置、2018 年撮影)



**写真 8.3.4 釧路沖地震後に再造成された盛土の 亀裂**(標茶町茅沼)



写真 8.3.5 盛土法尻で見られた噴砂(同左)

### (2)港湾

釧路港、根室港、霧多布港など、釧路、根室、十勝管内の7箇所の港湾が被害を受けた。特に釧路沖地震で大きな被害を受けて復旧された釧路東港の漁業埠頭では、岸壁背後地盤が再び被災した (写真8.3.6)。同埠頭は釧路沖地震の復旧に際して、亀裂が入った前面矢板を復旧断面として利 用することが困難だったため、20m前出ししてケーソン岸壁を新設し、既設矢板背後の一部では液 状化対策としてグラベルドレーンが施工されていた(図8.3.4)。地震による沈下・陥没は、特に 対策が行われなかった釧路沖地震と同じ箇所で発生した。一方、釧路沖地震で被害を受けた釧路西 港第一埠頭フェリーターミナルや第二埠頭では、復旧に際して液状化対策が行われ、今回の地震で は、エプロン沈下などの被害は発生しなかった(写真8.3.7)。

震源に近い花咲港や霧多布港では、地盤の液状化により岸壁のはらみ出し、エプロンの沈下・陥 没などの大きな被害を受けた。花咲港では54基の防潮堤ゲートのうち、ゲートがレールからはず れたり、レール自体が折れたりして4基が閉まらなくなるという被害が発生した。



写真 8.3.6 釧路東港漁業埠頭南側岸壁エプロンの沈下



**写真 8.3.7 無被害の釧路西港第二埠頭南側岸壁** 釧路沖地震で被害を受け液状化対策が行われた。



図 8.3.4 釧路東港漁業埠頭南側岸壁の復旧断面 (釧路沖地震後)<sup>21)</sup>

### (3)道路·橋梁

地震発生直後に札樽・道央自動車道全線と国道6路線10区間、道道29路線30区間が不通となった。国道272号線は10月9日、標茶町雷別-共和間が片側通行で開通し、国道全線が開通した。一 方、道道は別海町で被害が多発し、全面通行止めは9路線9区間に及んだ。

被害を受けた道路施設としては、盛土、橋梁、擁壁、斜面等があげられる。今回の地震による道 路盛土の被害パターンを分類すると、図8.3.5に示す3パターンになる。

I型・・・すべり破壊・亀裂によって道路盛土の大半が崩壊したもの Ⅱ型・・・法面のはらみ出し・破壊により、法肩付近に段差・亀裂が生じたもの Ⅲ型・・・構造物背面盛土の沈下によって、構造物との間に段差が発生したもの その他・・・横断方向の亀裂・段差、波打ち等



図 8.3.5 道路盛土の被害パターン<sup>1)</sup>

I型被害の写真および断面を写真8.3.8~8.3.9および図8.3.6~8.3.7に示す。これらのパターンの 被害は、西は釧路管内鶴居村から東は別海町までの広い範囲で見られた。このパターンの盛土は、 高さが5m以上の比較的高いものが多く、法面には大きなはらみ出しが確認されること、盛土材は 周辺一体に広く分布する火山灰質の砂質土であることなどが特徴である。また、地形・地盤上の特 徴としては、切土区間から盛土区間に変化する地点に被害が多いことや、盛土箇所の地盤が湿地性 の軟弱地盤を構成していることなどが挙げられる。



写真 8.3.8 中標津町広栄橋付近の町道盛土の崩壊



図 8.3.6 被災断面(同左)<sup>17)</sup>



写真 8.3.9 標津町茶志骨パイロット2号幹線道路盛 土の崩壊



図 8.3.7 被災断面(同左)<sup>18)</sup>

Ⅱ型被害の一例を写真8.3.10に示す。この被害 形態は盛土の法肩部が大きく沈下し、段差が生じ たものであり、釧路~根室~中標津の広い範囲で 見られた。段差が1.5mを超えるⅠ型被害に近い ものも見られた。この被害は盛土高が5m以下の 比較的低い盛土に多く見られた。盛土材および地 形上の特徴はⅠ型被害と同じである。

Ⅲ型被害は橋台裏の盛土のはらみ出し・沈下に 伴う段差である。この被害も根釧台地を通る道路 で多く見られた。写真8.3.11に典型的な橋台背面 盛土の段差被害を示す。

橋梁の被害は、支承の破損、橋台・橋脚の亀 裂、高欄の変形、護岸擁壁の亀裂などが確認され ている。羅臼川の支川に架かる橋長351mの翔雲 橋(写真8.3.12)では、知床側の橋台の山側沓座 が破損した(写真8.3.13)。その他、隣接する橋 脚の沓座の一部にも亀裂が入った。写真8.3.14は 別海町の西別川に架かる橋長約30mの2径間の宝 栄橋(町道)の橋脚下部に生じた亀裂の状況であ る。この橋脚は円形断面で、橋脚に大きな被害が 生じた静内橋(1982年浦河沖地震)や松之恵橋



写真 8.3.10 国道 272 号の路肩崩壊(標津町茶志骨)



写真 8.3.11 報徳橋の橋台裏段差(中標津町々道)

(1993年釧路沖地震)と同様の円形断面の橋脚であった。

写真8.3.15~8.3.17は中標津空港近傍の道路で見られた道路を横断するボックスカルバートの開 口とそれによる道路の陥没の状況である。カルバートは施工継手部で約80cm開口したが、本体に は被害が見当たらなかった。このカルバートは1~1.5mの厚さの置換砂を介してN値15回程度の地 層に支持されていた。



写真 8.3.12 翔雲橋の全景 (国道 334 号)



写真 8.3.13 破壊した沓座(同左)



写真 8.3.14 宝栄橋の橋脚下部の亀裂(別海町)



写真 8.3.15 開口したボックスカルバート上の道路の 陥没(中標津空港付近)



写真 8.3.16 陥没箇所から見えるボックスカルバート の開口部(中標津空港付近)



写真 8.3.17 ボックスカルバート内から見た開口部(同左)

#### (4)下水道

公共下水道は211件の被害が報告されている<sup>25)</sup>。根室・釧路管内に被害が集中しているが、中で も標津町、中標津町の被害が甚大であった。一方、1993年釧路沖地震で大きな被害を受けた釧路 市や釧路町でも下水道施設の被害があったが、釧路沖地震よりも被害程度は軽かった。

被害は泥炭地等の軟弱地盤や液状化した緩い砂地盤で多く発生したが、泥炭地盤の被害原因は埋 戻し土の液状化ではないかと言われている。

中標津町では、管渠の被害が32区間、マンホールの被害が48箇所で発生した。釧路市では、管 渠被害が104区間、マンホール被害が446箇所で、釧路沖地震で最大1.5mに及ぶマンホールの浮き 上がりなど各所で大きな被害が発生した釧路町では、今回の地震で釧路沖地震と同一地区で最大 20cm程度のマンホールの突出が見られたものの、機能が停止するような被害ではなかった。

中標津町では下水道マンホールの浮き上がりや路面沈下が報告されているが、マンホールの浮き 上がり量は数cm~20cm程度のものが多かった。写真8.3.18は55cm突出したマンホールである。

一方、オホーツク海に面した標津町では、下水道マンホールの浮き上がりと管路埋設地盤の沈下・陥没が多く見られた(写真8.3.19)。図8.3.8の地層断面図に示すように、標津町市街地は海岸寄りの地区では砂州と考えられる締まった砂および礫が浅い深度で出現するが、やや内陸になると 泥炭が2~3mの厚さで分布する軟弱地盤となっている。



写真 8.3.18 下水道マンホールの浮き上がり(中標津 町丸山小学校北側)



写真 8.3.19 下水道マンホールの浮き上がりと路面 の陥没(標津町)



図 8.3.8 標津町市街内陸部における地層断面図<sup>18)</sup> (後述図 8.3.10 の A-A' 側線)

図8.3.9および図8.3.10は標津町にお ける下水道マンホールの浮き上がりパ ターンの分布を示したものである。海 岸部では地盤が締まっているため、浮 き上がりも路面の沈下も見られない(C タイプ)。一方、内陸部では管渠の基 礎地盤が砂質土であるAタイプと泥炭~ 有機質シルトであるBタイプに分類され る。Aタイプでは浮き上がり量は0~ 10cmと小さく、路面の沈下量も0~ 5cm程度と小さいが、BタイプはAタイ プに比べて浮き上がり量、路面沈下量 ともに大きいという特徴がある。



図 8.3.9 標津町の下水道の地盤タイプと被害



図 8.3.10 標津町における下水道マンホールの浮き上がりタイプと分布<sup>1)</sup>

#### 8.3.3 津波および北方領土の被害

97cmの津波高を記録した釧路市では、津波が旧釧路川(現在は釧路川と呼ばれている)の護岸 を超えて末広地区や大川町地域に浸水し、ビルや住宅など11棟が床下浸水の被害を受けた。

根室市花咲港では最大津波高さが173cmで、第1波から第6波までの津波を記録したが、写真 8.3.20に示すように、防潮堤(海面+4m)のゲートのレールが変形し、一部閉まらなくなったた め、住宅地に浸水し、6棟が床上浸水、1棟が床下浸水の被害を受けた。

震源に近い歯舞、色丹、国後、択捉の北方四島 では、地震動及び津波により大きな被害が出た。 学校と病院4、幼稚園3を含む住宅171戸が完全に 破壊し、419家族、約1,500人が被災した。地震に よる死者は合計11人で、択捉島では3階建ての軍 の病院が倒壊して8人が死亡し、色丹島でも3人が 犠牲になった。色丹島では、島全体が約50cm沈下 した他、斜古丹湾にある10基の燃料タンクの大半 が壊れ、重油やディーゼル燃料約1,500トンが流 出した。斜古丹湾の北東部では、幅約20m、深さ 約15m、長さ約50mにわたって地割れが発生した 他、穴澗のロシア人墓地など、各地で地すべりが



写真 8.3.20 地盤変状によってレールが屈曲した防 潮堤のゲート(根室花咲港)

起きている。また住宅、ディーゼル発電所を含む軍関係の施設の85%が被災した。色丹島の太平洋 側を襲った津波の遡上高は、最大15.8mで平均では7m近い。国後島では島内の産業の60%が被害 を受け、全家屋の6割に当たる194戸が居住不能となった。同島の太平洋側の津波高は平均約4mだ ったが、島の北東部にあり、多くの民家が崩壊した古釜布(ユージノクリーリスク)の北部では約 10mの津波に襲われた。

#### 8.4 釧路沖地震と北海道東方沖地震の比較

1993年釧路沖地震(M7.5)、1994年北海道東方沖地震(M8.2)とM8前後の大地震が2年の間に 立て続けに釧路・根室地方を襲った。この2つの地震によって道東地方は大きな被害を受けたが、 震源地・地震規模などが異なるため、両者の被害の比較はそう単純ではない。実際、北海道東方沖 地震の際に釧路地方気象台で観測された最大加速度は475galで、釧路沖地震の922galに比べて半 分程度であった。しかし同じ構造物に対して短い期間に大きな地震動が作用するような事例は滅多 にあることではないので、釧路沖地震で大きな被害が発生した幾つかの構造物について両地震によ る被害の相違点または類似点を比較してみる。

#### 8.4.1 道路

釧路沖地震では、国道44号厚岸町糸魚沢(写真8.4.1(a))をはじめ、国道38号白糠町馬主来、国 道272号標茶町東阿歴内(写真8.4.2(a))、国道391号釧路町鳥通など、国道が大規模に崩壊した地 点が多かった。特に糸魚沢、東阿歴内は盛土が原形をとどめないほどに大きく流動する様に崩壊し た(図8.4.1および図8.4.3)。北海道開発局を中心とした調査により被害の共通点が以下のように 明らかにされている。

 被害を受けた地形は、片切片盛土(糸魚沢、東阿歴内)、沢地の盛土(馬主来)、沢地の腹付 盛土(鳥通)と異なるが、盛土形状はいずれも左右非対称であった。

② 地下水が集まりやすく湧水が確認されるなど、盛土・地山部は地下水で飽和されていた。

③ 盛土材はゆるい火山灰質で粘着性に乏しく、過剰間隙水圧が容易に上昇し易い材料であった。

今回の被害地点をみると、この地方一帯に分布する火山灰質土が盛土材として利用されていたこ となどが釧路沖地震との共通点といえる。盛土地点の基礎地盤に湿地性の軟弱層が分布する点でも 同様であるが、今回の地震は盛土材が大きく流動するような被害形態は少なく、むしろ縦方向へ深 い亀裂が入り、道路が崩壊する傾向が多いようである。

上に挙げた釧路沖地震の国道の大規模崩壊地点においては、今回の地震では被害はほとんどなか った(写真8.4.1(b)および写真8.4.2(b))。その理由として考えられるのは、前述したように釧路地 方は、一般的に釧路沖地震よりも加速度が小さかった点と、釧路沖地震の復旧に際して盛土の締固 めや排水工の設置などで安定性を高めた点が挙げられる(図8.4.2および図8.4.4)。反面、釧路沖 地震で被害を受けた箇所が、今回も被害を受けた事例が少なくないことも事実である。このことか ら、地震規模や震源位置が少々異なっていても、被害を受ける脆弱地点はある程度決まっているの ではないかと思われる。したがって、いつも被害が生じるような地点については、災害復旧に際し ては、原形復旧だけでなく、将来の地震に対して被害を防止・軽減できるような対策が必要と思わ れる。
(a)釧路沖地震

(b)北海道東方沖地震





写真 8.4.1 国道 44 号 厚岸町糸魚沢における被害地点の比較



図 8.4.1 国道 44 号 厚岸町糸魚沢地区の被害地点における崩壊形状と地層断面図 (釧路沖地震)<sup>21)</sup>



図 8.4.2 国道 44 号 厚岸町糸魚沢地区における被害地点の復旧断面図 (釧路沖地震)<sup>21)</sup>

(a)釧路沖地震



(b)北海道東方沖地震



写真 8.4.2 国道 272 号 標茶町東阿歴内における被害地点の比較



図 8.4.3 国道 272 号標茶町東阿歴内地区の被害地点における崩壊形状と地層断面図(釧路沖地震)<sup>21)</sup>



図 8.4.4 国道 272 号 標茶町東阿歴内地区における被害地点の復旧断面図(釧路沖地震)<sup>21)</sup>

### 8.4.2 港湾

釧路沖地震では、地盤の液状化によって釧路港の港湾施設が大きな被害を受け、その被害額は約 119億円にのぼった。東港区漁業埠頭、西港区第一埠頭、第二埠頭などでは、岸壁のはらみ出し、 エプロン部の亀裂・段差・陥没と背後地盤の沈下・亀裂等の被害があった。なかでも矢板式岸壁の 東港区漁業埠頭南側岸壁では、前面矢板が一部切損するなどの大きな被害が生じた。一方、サンド コンパクションパイル (SCP)工法やグラベルドレーン (GD)工法などで液状化対策が実施されて いた幾つかの岸壁では、ほとんど被害がなかった。このような釧路沖地震の被害(無被害も含めて) から今回の地震被害を振返ってみると、次の特徴があることが分かる。

① 釧路沖地震で被災した施設の中には再液状化による被害が生じた施設があった。

② 釧路沖地震の復旧工事で実施された液状化対策の効果が確認された。

①の代表的事例として東港区漁業埠頭南側岸壁の被害があげられる。新設されたケーソン岸壁自体は全く損傷がなく、原形復旧された背後地盤のみが液状化により被害を受けたものである。旧岸壁背後の上屋前の沈下に伴う段差は約45cmで、釧路沖地震の際の70cmに比較すると小さい(写真 8.4.3)。

沈下量の差異の原因として、以下の2点が考えられる。

- 釧路港における地震動が小さかったため沈下量も小さくなった。今回の地震における釧路港の 地震動の最大加速度は269ga1であり、釧路沖地震の際の469ga1に比べて小さい。
- ② 今回の地震ではケーソンに前傾や沈下などの被害が見られず、背後地盤の沈下は、過剰間隙水 圧の地表への消散に伴う圧密によるものだけと推定されるのに対して、釧路沖地震では、矢板が 切損して岸壁が相当前面にはらみ出したため、圧密だけではなく、地盤の水平方向の移動に伴う 沈下が加わっていると考えられる。

#### (a) 釧路沖地震

(b) 北海道東方沖地震



写真 8.4.3 釧路東港区漁業埠頭南側岸壁背後エプロンの段差の比較

原形復旧された西港区第一埠頭のフェリーターミナル駐車場においても5cm程度の沈下が発生した。釧路沖地震で、20cm前後の沈下と数多くの亀裂が発生したのに比べると、今回の地震では被害程度はかなり小さかったものの、再び液状化が発生したものと思われる(写真8.4.4)。この沈下量の差異は地震動の大きさの違いによるものと考えられる。

一方、釧路沖地震で被災した西港区第一埠頭フェリーターミナルおよび西港第二埠頭アンローダ 一軌道部の背後地盤(沈下量約50cm)は、復旧工事の際に液状化対策が実施されたため、確認で きる被害はなかった。フェリーターミナルとアンローダー軌道のベルトコンベア基礎部は固結工 法、背後地盤はグラベルドレーン工法が施工され、今回の地震において、対策効果が立証されたと いえる(写真8.4.5)。

釧路沖地震の前に液状化対策が実施され、同地震で対策効果が実証された東港区中央埠頭、西港 区第三埠頭については、今回の地震でも被害はなく、2度の大地震に対して対策効果が確認された と言えよう。



(a) 釧路沖地震

(b) 北海道東方沖地震



写真 8.4.4 釧路西港第一埠頭フェリーターミナル駐車場における沈下量の比較

#### (a) 釧路沖地震







写真 8.4.5 釧路西港第二埠頭南側岸壁における沈下量の比較

#### 8.4.3 下水道

釧路沖地震では、旧釧路川右岸地区において下水管渠やマンホールに大きな被害が生じた。釧路 町木場・桂木では、マンホールの浮き上がり被害が発生し、特にニチイ(現在イオン)前における マンホールが最大1.5mも浮き上がり、大きな話題となった。今回の地震でも昨年と同じ地点のマ ンホールの突出が確認されたが、変位量は昨年の地震に比べて小さく、5~20cm程度であった。

写真8.4.6は釧路町木場地区における釧路沖地震(突出量1.18m)と北海道東方沖地震の下水道マンホール突出量を比較したものである。北海道東方沖地震による突出はマンホールが浮き上がったわけではなく、周囲の地盤沈下によって相対的に突出したように見える。

当該地区の下水道は、釧路沖地震の後、原形復旧されたということであるが、今回の地震であま り突出しなかったのは、地震動が小さかったことが主たる原因ではないかと考えられるが、地震の 発生時期の違い(地下水位、表層の凍結等)や埋戻し土の締固め条件などの要因も加わっているの かもしれない。また、釧路沖地震の時には冬季で路面に積雪があったため確認はできなかったが、 今回は管路埋設ルート上の地盤が沈下しているのが各所で見られた。一方、下水道の被害が大きか った標津町では、釧路沖地震で災害復旧工事を行った場所が今回もまた被害を受けた。

(b) 北海道東方沖地震

(a) 釧路沖地震



写真 8.4.6 釧路町木場における下水道マンホールの突出量の比較

## 8.4.4 宅地

釧路沖地震では、旧釧路川左岸の丘陵地である釧路市緑ヶ岡をはじめとして、各所で崖崩れが発生したが、中でも緑ヶ岡6丁目では丘陵地端部の盛土斜面が崩壊し、家屋が滑り落ちて全壊するという被害があった(写真8.4.7(a))。崩壊した宅地は盛り直されず、崩壊斜面は整形され、新たに擁壁が設置された。北海道東方沖地震では全く擁壁に被害はなかった(写真8.4.7(b))。

## (a)釧路沖地震



(b) 北海道東方沖地震



写真 8.4.7 釧路市緑ヶ岡 6 丁目の斜面の比較

釧路市から約27km北方の標茶町茅沼の別荘地では、釧路沖地震の際に盛土が崩壊して9棟の家 が全半壊するという被害があった(写真8.4.8(a))。地震後に盛土は整形し直されたが、今回の地 震でまた盛土の滑りが発生した(写真8.4.8(b))。被害を受けた家屋の多くは撤去されていたた め、被害の程度は釧路沖地震ほどではなかったが、釧路沖地震では被害がなかった地点にも新たに 被害が発生した。今回は震源から遠かったにも関わらず被害が発生したのは、盛土の締固め不足と 法尻部の液状化によるものと推定される。釧路沖地震では積雪のため分からなかったが、今回は法 尻に噴砂があるのが確認できた。

### (a) 釧路沖地震



(b) 北海道東方沖地震



写真 8.4.8 標茶町茅沼別荘地における盛土被害の比較

## 【第8章の引用・参考文献】

1) 基礎地盤コンサルタンツ㈱:平成6年(1994年) 北海道東方沖地震 調査報告書、1994.

2) 気象庁: 災害時地震·津波速報-平成6年(1994年)北海道東方沖地震-、1994.

- 3) 地盤工学会 北海道東方沖地震調查委員会:1994年北海道東方沖地震 災害調查報告書、1998.
- 4) 札幌管区気象台:北海道の地震活動、地震津波防災資料(1)、1985.
- 5) 加藤: 北海道の地質、土と基礎、Vol.37、No.9、1989.
- 6)日本の地質『北海道地方』編集委員会編:北海道地方、日本の地質1、共立出版(株)、1969.
- 7)日本の地質『北海道地方』編集委員会編:北海道地方、日本の地質1、協和出版㈱、1969.
- 8)地質調査所:5万分の1図幅鶴居地域の地質、1975.
- 9) 北海道開発庁:5万分の1図幅尾幌、1965.
- 10) 北海道開発庁:5万分の1図幅中標津、1967.
- 11)北海道開発庁:5万分の1図幅根室北部、1959.
- 12) 釧路市:平成5年(1993年) 釧路沖地震記録書、1993.
- 13) 北海道災害対策連絡本部:平成6年(1994年)北海道東方沖地震に係る被害状況報告(平成6年11月25日現 在)、1894.
- 14) 北海道地下資源調查所:北海道水理地質図第11号一根室、1976.
- 15) 中標津町:シルバースポーツセンターパンフレット
- 16) 中標津町:シルバースポーツセンター建設敷地地質調査委託業務報告書、1989.
- 17) 中標津町: 地盤および下水道資料
- 18)標津町:地盤資料
- 19) 北海道開発局釧路開発建設部:釧路港、1984.
- 20) 北海道開発局釧路開発建設部:みなと
- 21) 土質工学会:1993年釧路沖地震·能登半島沖地震災害調查報告書、1994.
- 22)上田他10名:1993年釧路沖地震港湾施設被害報告,港湾技研資料、No.766、1993.
- 23) 北海道開発局釧路開発建設部: 烈震をたどる一釧路沖地震記録誌(5.1.15道路編)、1994.
- 24) 基礎地盤コンサルタンツ(株):平成5年(1993年)釧路沖地震調査報告書、1993.
- 25) 北海道災害対策連絡本部:平成6年(1994年) 北海道東方沖地震に係る被害状況報告、1995. 2.28
- 26)科学技術庁防災科学技術研究所:1994年10月4日 平成6年(1994年) 北海道東方沖地震、強震速報 No.44、 1994.
- 27) 札幌管区気象台:平成6年(1994年) 北海道東方沖地震(10月4日、M8.1)、地震予知連絡会会報 第3巻、1995.
- 28)気象庁:各種データ・資料-強震波形(平成5年(1994年)北海道東方沖地震)、
- http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/hokkai\_tohooki/wave/GA04D5A2.png 29)気象庁:各種データ・資料-強震波形(平成5年(1993年)釧路沖地震)、
- http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/kusirooki/wave/F115D5A1.png
- 30) 宇佐美:新編 日本被害地震総覧[増補改訂版416-1995]、東京大学出版会、1996.

## ●●● 北方四島

北方四島は歯舞群島、色丹島、国後島、択捉島からなります。四島の総面積は 5,003km<sup>2</sup>で福岡県とほ ぼ同じ面積があり、択捉島が最大の島です。標津町から直線距離で 24km 離れ たところにある国後島は、長さ 123km、面積 1,490km<sup>2</sup>の島で、北方には同 島の最高峰である活火山の<sup>繁繁</sup>岳(1,822m)が聳えており、1812 年~1981 年の間に 6 回の噴火を起しています。

戦前(1945 年)は 7,300 余人の住民がおり、昆布・サケマス・蟹等の漁獲のほか、牧畜や金属、硫黄の採掘が行われていたということです。

## 9. 兵庫県南部地震

# 9.1 地震および被害の概要

## 9.1.1 概 要

地震名	平成7年(1995年)兵庫県南部 地震(阪神・淡路大震災)		発生年月日	1995年1月17日 5時46分			
マグニチュード	7.3 震央の位置		34°35.9'N、135°02.1'E 明石海峡				
地震の形態	陸域の浅い地震						
深さ	16km	地雷乱	最大震度	7 神戸、芦屋市、宝塚市、西宮市、淡路島の一部			
津波	淡路島 約30cm	地展到	最大加速度	891gal(神戸海洋気象台三成分合成)			
人的被害	死者・行方不明 (うち災害関連列 負傷者 4	6,437人 E:919人) 43,792人	家屋被害	全壊 104,906棟、半壊 144,274棟、一部破損 390,506棟 火災 発生:293件 全焼:7,036棟			
被害の特徴と その後の対応	<ul> <li>(うち災害関連死:919人) 負傷者 43,792人</li> <li>家屋被害 290,506棟 火災 発生:293件 全焼:7,036棟</li> <li>・神戸市近傍で発生した直下型地震である。この地震は六甲・淡路島断層帯の活動によって生 じたとされている。淡路島西側(野島断層)では断層が地表に現れたが、神戸市内では断層に 確認されていない。</li> <li>・神戸市では「震災の帯」と呼ばれる震度7の帯が東西方向に現れ、各種構造物の被害は震災 の帯の地域に集中した。地震発生当初、神戸・洲本の震度6が最大とされていたが、その後め 気象庁の現地調査によって神戸市その他の地区で震度7と認定された。震度7は1949年に福井 地震の被害を受けて制定されて以来、初めて観測されたものである。</li> <li>・西宮市仁川では大規模な崩壊性地すべり(約10万m<sup>3</sup>)が発生し、13棟が倒壊し、34人が報 性となった。</li> <li>・阪神高速道路3号神戸線の高架橋が約635mにわたって橋脚が倒壊するなどの大きな被害か 生じた。大きな被害を受けた橋梁は比較的古い基準で設計されたものが多かった。</li> <li>・神戸市営地下鉄の大開駅(RC造の函型断面)では、支柱(中柱)の圧壊および上床版の陥 没により上部の道路が大きく陥没した。</li> <li>・神戸市の臨海埋立地を中心として、埋立土(マサ土-風化花崗岩)が広範囲に液状化し、そ れまで液状化しにくいとされていた礫質土の液状化が問題となった。この液状化によって、声 壁等の港湾施設が大きく移動・沈下・陥没するなどの被害を受けた。</li> <li>その後の対応</li> <li>・地震の翌年、震度階の改定が行われ、震度5,6をそれぞれ弱と強の2段階に分け、震度7についても計測震度を用いて速報化することになった。</li> <li>・これまで耐震設計で想定されていなかった大きな地震動に見舞われ、種々の構造物に大きれ 被害が生じたことから、各種構造物の耐震設計法が改定され、2段階の地震動(レベルレ1、 2)と要求性能に応じた設計に移行することになった。</li> <li>・発災直後、被害の状況が分からず、政府の対応が遅れたことから、被害把握の迅速化が急が れ、全国を網羅する強震観測網等が整備されることになった。</li> </ul>						

9.1.2 地震動

#### (1) 地震の概要

兵庫県南部地震は1995年1月17日早朝に明石海峡の深さ16km で発生した M7.3の地震である。被害の大きさに鑑みて「阪神・淡路大震災」という名称がつけられた。

図 9.1.1 は、本震発生から約 1 ヶ月間に発生したマグニチュード 2 以上の地震の震央を示したものである。この図から、余震は本震の震央から北東と南西の方向に一本の帯状の領域(余 震域)に沿って発生しており、全体の破壊域は長さ約 45km、幅約 20km である。地震のメカ ニズムは、走向が東北東-西南西で、傾斜角がほぼ鉛直の右横ずれタイプであった。断層破壊は 図 9.1.2 に示すように、明石海峡直下で始まり、淡路島側と神戸市側に伝播した。神戸方向に はやや深いところを約 30km 進み、淡路島方向には浅いところを約 20km 進んで止まったよう に見える。相対的にすべり量が大きいところ(アスペリティ)が、震源近傍(断層 B)、野島 断層(断層 A)、神戸市街直下(断層 C)に見られる。

兵庫県南部地震を引き起こした震源断層は、淡路島側の野島断層と神戸市側の六甲断層系であり、野島断層には、最大右横ずれ 2.1m、東側隆起 1.2m の地表地震断層が現れた。



図 9.1.2 Sekiguchi et al.(1998)による強震動記録から求めた震源過程<sup>14)</sup>

図 9.1.3 は兵庫県南部地震の震度分布である。有感地域は九州から関東までの広い範囲に及 んでいる。最大震度は、当初、神戸および洲本で震度6とされていた。地震当時の震度7の定 義が「家屋の倒壊が30%以上に及び、山崩れ、地割れ、断層などが生じる」となっており、現 地調査に基づいて判定されるものであった。現地調査の結果、震度7に達している地域が神戸 市須磨区から西宮市・宝塚市にかけて東西に帯状に分布(いわゆる震災の帯)しており、淡路 島の北部にも震度7の地域が存在していることが判明した(図 9.1.4)。

震災の帯ができた原因については、 種々の研究が行われてきた。これについ て結論が得られているのかどうか分か らないが、一般的には、破壊方向と地震 波の伝播方向が一致する場合に振幅が 大きくなる「指向性効果」と大阪湾の地 質構造の影響による「盆地端部効果」が 挙げられる場合が多い。「盆地端部効果」 は次にように説明されている。

神戸市は市街地の北側に六甲山地が あり、南側の大阪湾は大阪層群に代表さ れる土砂が厚く堆積する盆状構造とな っている(後述図 9.2.2 参照)。六甲山 地と堆積盆地の境界は、複数の断層で 区切られているため、基盤構造が急激 に変化している(後述図 9.2.4 参照)。 このため、六甲山地を通過してきた地 震波と堆積層を通過してきた地震波 がちょうど「震災の帯」付近で重なり 合って大きな地震動が生じたという ものである。

図 9.1.5 は「震災の帯」付近の三次 元構造モデルを用いたシミュレーシ ョン結果を示したもので、震災の帯に 該当する位置3で断層直交方向の振幅 が大きくなっていることが分かる。

N

Depth (km) No 1-



図 9.1.4 現地調査による震度 7 の分布 31)



図 9.1.5 基盤急変部の三次元シミュレーション解析(文献 33 を編集)

## (2)地震記録

兵庫県南部地震は大都市近傍の内陸直下型地震であったため、多くの地震記録が得られた。 表 9.1.1~9.1.2 に地盤上の記録で、最大加速度が 100gal 以上の観測点をまとめた。最大加速 度は神戸海洋気象台の 818gal (NS 成分)である。

相测地上	都道府県市	設置場所	震央距離	最大加速度(gal)			山中来日
観測地点			(km)	NS	EW	UD	出典番号
神戸海洋気象台	神戸市	GL	16	818	617	332	35
大阪ガス葺合供給所	神戸市中央区	GL	19	802	687	-	33
関電総合技研	尼崎市	GL	41	299	648	205	33
鷹取駅	神戸市	GL	14	635	553	175	35
宝塚駅	宝塚市	GL	39	595	530	377	35
関電新神戸変電所	神戸市	GL	25	511	584	496	33
ポートアイランド鉛直アレー	神戸市	GL	18	341	284	556	10
新神戸駅(新幹線)	神戸市	GL	21	530	267	344	35
神戸港工事事務所構内	神戸市	GL	21	502	205	283	35
尼崎工場構内	尼崎市	GL	39	321	472	311	35
西明石駅(新幹線)	明石市	GL	8	397	381	319	35
東神戸大橋	神戸市	GL-1.5m	27	282	326	396	36
関電尼崎第三発電所	尼崎市	GL	34	227	354	373	33
尼崎高架橋付近	尼崎市	GL	41	294	265	324	35
大阪ガス千里供給所	吹田市	GL	50	185	300	-	33
加古川大堰付近	加古川市	GL	24	144	211	264	35
加古川駅	加古川市	GL	23	165	262	98	35
淀川堤防(大淀)	大阪市	GL	46	199	224	244	35
新米原変電所(新幹線)	滋賀県米原町	GL	142	227	135	25	35
新大阪変電所(新幹線)	吹田市	GL	50	218	217	56	35
淀川堤防(枚方)	枚方市	GL	64	217	193	71	35
新大阪駅	大阪市	GL	48	200	213	155	35
大和川堤防	八尾市	GL	54	155	190	58	35
大阪事-S	大阪市	GL	37	178	125	103	24
篠山口駅	兵庫県丹南町	GL	53	139	177	39	35
園部駅	京都府園部町	GL	71	102	163	47	35
和歌山港工事事務所構内	和歌山市	GL	44	157	109	67	35
彦根地方気象台	彦根市	GL	133	137	147	39	35
東岸和田駅	岸和田市	GL	40	110	144	49	35
和歌山駅	和歌山市	GL	45	143	84	33	35
淀川大堰付近	大阪市	GL	49	138	119	101	35
御坊駅	御坊市	GL	79	111	132	26	35
四日市石炭M	四日市市	GL	146	129	93	_	24
紀ノ川堤防	和歌山市	GL	44	129	105	65	35

表 9.1.1 最大加速度一覧表その1(100gal以上)(文献 10,24、33,35 より抜粋)

粗测地上	都道府県市	記案担応	震央距離	最大加速度(gal)			ᆹᇥᆓᇢ
能加利托		<b></b>	(km)	NS	EW	UD	山兴留与
姫路駅(新幹線)	姫路市	GL	37	82	125	48	35
五個荘変電所(新幹線)	滋賀県五個荘村	GL	125	124	119	44	35
関西空港(鉄道)	大阪府	GL	26	117	112	55	35
奈良駅	奈良市	GL	76	112	104	36	35
吉野川堤防(徳島)	徳島市	GL	70	110	110	26	35
福知山駅	福知山市	GL	78	72	107	21	35
天ヶ瀬ダム	宇治市	GL	82	107	56	28	35
新関ケ原変電所(新幹線)	岐阜県関ケ原町	GL	159	106	72	29	35
豊岡駅	豊岡市	GL	106	103	90	27	35
紀ノ川大橋付近	和歌山市	GL	45	99	100	27	35

表 9.1.2 最大加速度一覧表その2(100gal 以上)(10,24、33,35より抜粋)

三成分の加速度が大きい順に並べている。

水平成分のNS方向、EW方向はずれている観測地点もある。

出典番号は章末の引用・参考文献リストを参照。

図 9.1.6~9.1.7 は最大加速度を記録した神戸海洋気象台(1999 年移転、2013 年より神戸地 方気象台と改称)の加速度波形並びに速度応答スペクトルである。同気象台は洪積地盤の小高 い丘の上にあり、地形の影響がかなり大きかった可能性がある。図 9.1.8 に神戸海洋気象台の 土質柱状図を示す。表層 7m 程度までは緩い砂質土層で、以深は礫と粘性土の互層が続く。

地震波の継続時間は 15 秒程度で極めて短い。波形の中に 3 波程度の大きな振幅のパルスが

見られる。速度応答スペクトル では、水平動が 0.8~0.9 秒にピ ークを持ち、応答速度は 200cm/sを超えている。

図 9.1.9~9.1.10 はポートア イランドにおけるアレー観測地 点で記録された加速度波形と加 速度応答スペクトルである。同 地点では地表と GL-16m、GL-32m、GL-83m に地震計が設置 されている。

地震計設置地点の土質は図 9.1.11 に示すように、地表から GL-18m までは緩い埋立土層 で、その下に沖積粘性土層 (Ma13)、洪積層が堆積してい る。加速度波形の特徴は、GL-83mでは比較的周期の短い波が



図 9.1.6 神戸海洋気象台の加速度波形(文献 34 のデータより作成)

卓越しているが、埋立土層及び地表では周期が長くなっていることである。また、地表の水平 加速度が小さくなっているが、これは地盤の非線形挙動の影響が表れていると考えられる。加 速度応答スペクトルにおいても、深い深度の地震波は 0.3 秒程度の波が卓越しているが、地表 面では1秒程度の周期の長い成分が卓越している。 No.1 No.3





図 9.1.7 神戸海洋気象台の速度応答スペクトル 34)

図 9.1.8 神戸海洋気象台の土質柱状図<sup>33)</sup>



図 9.1.9 ポートアイランド鉛直アレーの加速度波形 10)



図 9.1.10 ポートアイランド鉛直アレーの加速度応答スペクトル<sup>10)</sup>



図 9.1.11 ポートアイランド鉛直アレー観測地点の土質柱状図<sup>10)</sup>

図 9.1.12 は兵庫県南部地震とそれ以降の主要な既往被害地震の応答スペクトルを比較した ものである。この図はトリパタイトグラフと言って、基本は速度応答スペクトルであるが、 45°傾いた加速度軸と変位軸を加えることによって、加速度応答と変位応答も把握できるも のである。

兵庫県南部地震の各観測点の応答(太線)のピークは1秒前後にあり、この周期の波が倒 壊が続出した木造家屋に致命的な被害を与えたとされている。この周期帯の波は構造物の被害 に大きな影響を及ぼすことからキラーパルスと呼ばれている。

このような1秒前後のピークをもつ地震動は、兵庫県南部地震以降でも、2004年新潟県中 越地震、2016年熊本地震、2018年北海道胆振東部地震でも見られている。



図 9.1.12 既往被害地震の応答スペクトルの比較

## 9.2 阪神・淡路地域の地形・地質

#### 9.2.1 阪神地域の地形·地質

近畿地方は、南部の紀伊山地を中心とした山岳地帯、北西部の丹波高地に代表される高原地 帯、京阪神地域を含む近畿中部から北東部にかけての大阪盆地、琵琶湖を含む近江盆地などの 低地の三つに大きく区分される。

この地域は東から太平洋プレート、南 東からフィリピン海プレートに押されて いるため、複雑な地下構造を呈してお り、多くの断層がある(図9.2.1)。図 9.2.2は六甲山地から大阪湾、大阪泉南 地区に至る南北方向の模式断面図を示し たもので、六甲山地の南側では五助、芦 屋、甲陽断層などの断層により急激に変 化していることがわかる。大阪湾では基 盤が盆状構造となり、その上に大阪層群 などの地層が最大1,000m以上の厚さで 堆積している。



図 9.2.1 神戸・阪神地区周辺の主な活断層<sup>1)</sup>



図 9.2.2 六甲山地から大阪湾・大阪泉南地域の模式断面図 <sup>1)</sup>

図9.2.3は大阪盆地周辺の地質図で、表9.2.1はこの地方の被覆層の区分を示したものであ る。大阪盆地の基盤の大部分は花崗岩で、基盤岩を覆って大阪層群が分布する。大阪層群は上 部、中部、下部の3つに分けられ、大阪層群の上部には、段丘を構成する上部洪積層や沖積低 地を構成する沖積層が分布する。

神戸、阪神地域の地形と地質はよく対応しており、花崗岩類などの基盤岩が露出している 地域には六甲山地があり、大阪層群・神戸層群などの第三紀や第四紀の地層が分布していると ころには丘陵地、阪神-神戸間に広がる細長い洪積扇状地、これを開析して広がる沖積扇状 地、河川沿いの氾濫平野、臨海部の海岸平野、更には臨海部の埋立地や人工島がある。



図 9.2.3 神戸地域の地質図(文献 2 に加筆修正)

図 9.2.4 は反射法地震 探査などによる神戸市東 灘区付近の南北方向の地 下構造摸式断面図であ る。これよると、六甲山 地の山裾では基盤岩の深 度に大きな段差があるこ とが明らかになってお り、この段差によって地 震波が反射し、震度7の 帯に集中したとも言われ ている。

大阪盆地を構成する大 阪層群は M<sub>a</sub>0~M<sub>a</sub>10 と 呼ばれる海成粘土と河成 の砂と礫の互層となって

#### 表 9.2.1 大阪盆地周辺の被覆層の区分とその特徴 3)

地	地質時代		絶 対 年 代 (万年)	地質区分		地質の特徴				
	完業	听世 後	1	沖積層		軟弱な粘性上層,緩い砂・砂礫層から成り,沖積低地, 微高地(砂堆,砂州,自然堤防など),扇状地などを形 成する.その他,大阪湾岸を取り囲むように人工の埋立 地が形成されている.				
第	軍	期	(2) — — 13 —	上部洪積	層	海成の粘土・砂層と淡水性の砂礫・砂・粘土層が交互に 現われる。 砂・砂礫層は通常構造物支持層となる。				
四	新	中期	(20) —	上部 亜層群	-	海成の粘土・砂層と淡水性の砂礫・砂・粘土層が交互に 現われる。山地に近い地域では全体的に砂礫層が優勢と なる一方で,現在の堆積盆地より外側(内陸地域)にま で広く分布している。				
紀	世	前	(60) - 70 - (100)	中部 亜層群	- 天 - 阪	海成の粘土・砂層と淡水成の砂礫・砂・粘土層が交互に 現われる。 現在、山地となっている基盤の小起伏面上にまで海成粘 土層が分布している。				
新第三紀	鮮希	期	(120) —	下部 亜層群	一眉	淡水成の砂礫・砂・粘土の互層から成り,海成層は見ら れない、粘性土は一般に固く締まり軟岩状を呈する. 現在、山地となっている基盤の小起伏面上にも,わずか ながら残存している.				

大阪層群堆積以前は、基盤岩類が長期にわたって浸食され、小起伏面を形成していた。

おり、厚さは1~3kmである。下部の粘性土は圧密が終了しており、軟岩状態である。

上部の粘性土は含水比が大きく、比較的柔らかである。大阪層群の上部には、主に河成の 砂質土からなる上部洪積層が広く堆積し、その間に Mall と Mal2の二つの粘土層が含まれ る。洪積粘土層は構造物の支持地盤として十分な強度を持っているが、圧密は完了していな い。大阪湾岸では深層ボーリングに基づいて図 9.2.5 に示す地質断面図が描かれている。

表層地盤は、縄文海進(約1万~5,500年前の縄文時代前期にあった海進で約6,000年前を ピークとして海面が現在より約5m上昇していた)の際に最も海岸線が奥まで入り込んでいた Ma13と呼ばれる沖積粘性土層と武庫川をはじめとする幾つかの河川による河床堆積物との互 層構造であり、海岸線より陸側では河床堆積物で構成されている。神戸~芦屋間の河川は急勾 配で、礫、玉石なども多く含まれる地盤となっている。





図 9.2.4 東灘区付近の南北方向地下構造模式図(文献4に加筆)

図 9.2.5 大阪湾岸の地層断面図 5)

### 9.2.2 淡路島の地形・地質

淡路島は北部、中部、南部の3つの地域に区分できる。北部は花崗岩で構成される山地 (最大標高560m)が北東-南西方向にのび、山地の北西縁には野島断層、南東縁には楠本・東 浦・野田尾などの活断層があり、断層崖の前縁には丘陵と段丘群が分布している(図9.2.6)。 中部には花崗岩からなる先山(標高 448m)があり、この東縁で先山断層・ ないが 安乎 断層によって区切られている。こ れを取り囲むように丘陵が発達する。

南部では中央構造線に沿って幅約 7kmで東西にのびる諭鶴羽山地が発達 し、南は紀伊水道を臨んでいる。

兵庫県南部地震で野島断層が活動 し、右横ずれ方向に最大 2.1m、鉛直方 向に最大 1.2m の地表変位が生じた。北 淡町(現淡路市)では断層が家屋の直 近を通過した場所を北淡震災記念公園 として整備し、断層をトレンチ掘削し た野島断層保存館がある(写真 9.2.1~ 9.2.2)。



図 9.2.6 淡路島北・中部の地形と活断層 6)



写真 9.2.1 断層が通過して大きく変形した家屋 の塀



写真 9.2.2 変位した断層の断面(野島断層保存館)

#### 9.2.3 神戸市の臨海埋立地

図 9.2.7 に神戸港の変遷図を示す。神戸港は 1867 年の開港以来、小規模ながら埋立てが実施されてきた。大規模な埋立工事は 1953 年からであり、経済成長に伴い、第1期事業として臨海工業地帯の造成に着手し、1970 年までに水深 10m 程度の神戸港西海面に 543ha の造成を完了した。その後、国際港湾都市としての拡充整備、都市機能の充実を図るために第2期事業として 1966 年から水深 12~15m の神戸港沖にポートアイランド、1972 年からは六甲アイランドの埋立てを開始した。ポートアイランドは 15 年の歳月をかけて 443ha の人工島を造成し、六甲アイランドは 1990 年に 580ha の造成を完了した。さらにポートアイランド 2 期工事として 390ha の造成工事を 1986 年より開始し、2010 年に完成している。



図 9.2.7 神戸港の埋立地および人工島の変遷 ")

1953年の大規模埋立工事以降の埋立事業に用いられた土砂の大半は、神戸市北西の丘陵地 である須磨ニュータウン開発地から搬出されたものである。ここで留意しておかなければなら ないのは、埋立てに使用した土砂源が埋立地毎に異なっていることである。古い埋立地ならび にポートアイランド(1期)の埋立てには風化花崗岩(マサ土)を使用しているが、その後に 施工した六甲アイランドでは風化花崗岩は施工初期の埋立てのみで、大半は神戸層群の砂岩、 泥岩、凝灰岩であり、大阪層群の土砂も使用されている。ポートアイランド(2期)での埋立 土砂源の大半が神戸層群であり、風化花崗岩は表層部の一部のみに使用されている。図 9.2.8 にポートアイランド(1期)と六甲アイランドの埋立土の粒度分布を示す。両方とも礫分(2 m以上)が多いことは共通しているが、ポートアイランドは細粒分(0.075 mm未満)が比較的 少ないが、六甲アイランドは細粒分が多い土砂である。

ポートアイランドおよび六甲アイラン ドの岸壁は、図 9.2.9 に示すように大半 がケーソン岸壁であり、ケーソン下部の 軟弱粘性土層は全面掘削して良質の土砂 に置換している。ただし、ポートアイラ ンド(2期)では、床堀置換工法に代え て高置換率のサンドコンパクションパイ ル工法を採用した箇所もある。後述する ように、地震では、この置換砂が液状化 してケーソンが大きく移動し、背後が陥 没するという被害を受けた。



図 9.2.8 ポートアイランドおよび六甲アイランドの埋立土の 粒度分布<sup>8)</sup>



図 9.2.9 ポートアイランドおよび六甲アイランドの岸壁標準断面図 10)

図9.2.10はポートアイランドならびに六甲アイランドを含む臨海部の地層断面図である。 KP-15~-30m付近に堆積する粘性土は旧海底面をなす軟弱な沖積粘性土層であり、その堆積 層厚は場所によって多少異なってはいるが、おおむね10~20mである。沖積粘性土の下部の 地層は砂質土と粘性土の薄層互層であり、さらに深部のKP-40~-70mからは、層厚の厚い洪 積粘土層(Ma12相当層)が平面的に連続して分布している。ポートアイランドと六甲アイラン

ドの地盤で、地層構成が大きく異なる 点は、この洪積粘土層の深さであり、 前者がKP-50~-60m付近から分布する のに対して、後者ではKP-65~-70mと 深くなっている。南北方向の地層構成 に関しては、断面Dならびに断面Eに 示されるように両埋立地ともに、北か ら南方向へ沖に向かって深くなってい る傾向がある。



図 9.2.10(a) 神戸港の地層断面図側線<sup>9)</sup>



図 9.2.10(b) 神戸港の地層断面図<sup>9)</sup>

### 9.3 地震被害

本節では、地震後、社内で実施した現地調査の際に撮影した写真を基に被害の状況を記述す る。この地震では甚大な被害のため、当初は交通機能がほとんど麻痺し、神戸市への交通手段 は船によるものであった。このため、現地調査をできた構造物は湾岸部に限定され、その数は 被害全体からすると僅かにすぎないが、被害の特徴は示すことができると思われる。

#### 9.3.1 建築物

震度7という大きな地震動に見舞われた神戸市内では甚大な被害が生じたが、建物も例外で はない。写真9.3.1~9.3.2は、神戸市庁舎2号館(8階建て)の被害である。水道局などが入っ ていた6階部分が層崩壊し、その上部が約1.5m北側にずれた。このため、5階と8階で隣接する 1号館と結んでいた渡り廊下のうち8階部分が落下した(写真9.3.3)。

同建物は地階から5階までが鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造、6階から8階までが鉄筋コンク リート(RC)造である。構造の変わる6階の主筋量は5階の1/4となっており、耐力や剛性が急減 したために、この階に損傷が集中したと考えられる。

この建物は市民サービスの早急な回復の観点から、5階以上を撤去し、4階までを耐震面を 配慮した改修を行った後、5階を増築した。写真9.3.4は2017年現在の市庁舎2号館である。



写真 9.3.1 6 階が層崩壊した神戸市庁舎 2 号館



写真 9.3.2 7、8 階部分が北側に約 1.5m 移動 した(同左)



**写真 9.3.3 落下した 8 階の渡り廊下**。5 階の渡り廊 下は変形しながらも残っている



**写真 9.3.4 現在の神戸市庁舎 2 号館** (2017 年撮影)

写真9.3.5~9.3.6は、同様に中間層崩壊による建築物の被害であり、写真9.3.7は層崩壊した 階の上部が傾斜した状況である。写真9.3.7は壁の一部が崩壊した被害の状況である。写真 9.3.8はポートアイランドにおける高層住宅の壁面に生じたせん断亀裂の状況である。

淡路島では野島断層が家屋のすぐ横を通過した。写真9.3.9~9.3.10に示すように、地盤の 変位によって塀には大きなずれが生じたが、建物本体にはそれほど大きな被害はなかった。



写真 9.3.5 中間層崩壊が生じた格子型 SRC 造 建物(神戸三宮)



写真 9.3.7 壁が崩壊した阪急駅舎(神戸三宮)



写真 9.3.9 断層が直近を通過したが、構造的に は被害が見られなかった建物(淡路市 小倉)



写真 9.3.6 中間層崩壊によって上部が傾斜した建物



**写真 9.3.8 壁にせん断亀裂が発生した高層住宅** (ポートアイランド)



写真 9.3.10 塀は断層によって大きく変位したが、 建物は一見無被害に見える(同左)

## 9.3.2 道路·鉄道

#### (1)神戸高速道路3号神戸線(ピルツ区間)

神戸高速道路3号神戸線の深江本町の西側では延長635mにわたって18径間の高架橋が倒壊 した(写真9.3.11~9.3.13)。17本の橋脚が概ね中間部でせん断破壊し、上部構造は山側に倒 壊した。同高架橋は、支間中央部にゲルバー吊桁を、支間端部には橋脚と剛結された受桁(ピ ルツ形式)を有する2ヒンジPCゲルバー桁橋である。同橋の竣工は1969年で、水平震度0.2、 鉛直震度0.1で耐震設計が行われている。橋脚はφ3.1~3.3mの単柱円形断面で、躯体の高さ は9.9m(神戸側)~12.3m(大阪側)である。基礎構造は場所打ちコンクリート杭(φ1m、長さ10 ~15m)であり、地盤は砂または砂礫地盤(Ⅱ種地盤)である。

被災メカニズムは、図9.3.1に示すように、最初に基部および主鉄筋の段落し部において主 鉄筋が曲げモーメントにより降伏し、更に曲げひび割れの進展と共に、段落し部の斜めひび割 れに移行した。その後、斜めひび割れが大きく進展し、コンクリートのせん断破壊と共に橋脚 自体も倒壊していったものと推定される<sup>20)</sup>。その後の調査研究で、帯鉄筋の絶対量が不足して いたために靭性が小さかったこと、帯鉄筋の定着が不十分であったことが指摘されている。

倒壊したピルツ区間は上部構造と橋脚が一体なったものであるが、復旧設計では上部構造 と下部構造を分離した構造とし、地震力の低減を図るために免震支承が採用された。また、橋 軸直角方向の幅を拡げた小判形RC橋脚が採用された(図9.3.2)。一方、基礎構造物について は、ボアホールカメラによる調査、杭頭の目視調査および載荷試験などにより健全度を確認し た結果、損傷は軽微であり、再利用が可能であると判断された。

写真9.3.14に深江本町付近における現在(2015年)の橋脚を示す。



写真9.3.11 阪神高速道路3号神戸線の倒壊(神戸市東灘区深江)



写真 9.3.12 東側の倒壊開始地点(深江本町)



写真 9.3.13 取り壊しが始められた倒壊箇所



図 9.3.1 推定される橋脚の被災メカニズム<sup>20)</sup>



図 9.3.2 神戸高速道路神戸線(ピルツ区間)の新旧高架橋断面の比較<sup>21)</sup>



**写真 9.3.14 現在の神戸高速道路神戸線の復旧区間** (深江本町、2015 年撮影)

## (2) 神戸高速道路5号湾岸線西宮港大橋

写真9.3.15は神戸高速道路5号湾岸線(延長57.7km)における西宮港大橋取付部のアプローチ 橋の落橋の状況である。本橋梁は、甲子園浜と西宮浜を結ぶ西宮港大橋に隣接した幅員 27.34m、支間長52mのアプローチ橋で、地震の2年前の1993年に竣工した新しい橋である。 水平震度0.3で耐震設計が行われている。甲子園浜では液状化に伴う噴砂が見られ(写真 9.3.16)、局部的には泥が吹き出ていた(写真9.3.17)。この泥は以前の海底のヘドロが地震動に よって搾り出されてきたものではないかと考えられる。

図9.3.3に西宮港大橋およびアプローチ橋の概要と周辺の地盤条件を示す。これによると、 西宮港大橋を挟んで神戸側(西宮浜)では3径間連続橋が、一方、大阪側(甲子園浜)では落橋した アプローチ橋を含めて単純橋2連があり、それに3径間連続橋が続く構造となっている。

下部構造は鋼製ラーメン橋脚であり、基礎はケーソン基礎である。地盤条件は表層が層厚 12mの埋立土で、支持層は深さ25mの洪積砂礫層(Dg1)である。

被害は、単純鋼箱桁橋一連が護岸背後の橋脚上の固定支承から落下したものである。甲子園 浜では前述したように液状化が発生し、護岸付近では航路側への1~2mに達する地盤の流動が 生じていた。解析から本橋と護岸背後の橋脚との最大相対変位は107cmと推定されており、こ れに地盤流動の影響が橋の振動に複合的に加わって落橋を招いたと推定されている<sup>20)</sup>。

この桁橋は6個のタイバー方式桁間連結装置(幅230mm、厚さ30mm)で本橋と結ばれていた が、桁間連結装置は壊れず、これを取り付けている桁周辺の腹板が破断し、落橋に至った。



写真 9.3.15 西宮港大橋アプローチ桁の落下



写真 9.3.17 甲子園浜中心部で見られた噴泥



写真 9.3.16 甲子園浜西側の亀裂と噴砂



(b) 地盤条件

図 9.3.3 西宮港大橋およびアプローチ橋の概要と周辺の地盤条件<sup>20)</sup>

### (3) ハーバーハイウェイ

ハーバーハイウェイはポートアイランドから新港突堤、摩耶埠頭を経て六甲アイランドに至 る全長10.5kmの4車線高架式幹線道路である(図9.3.4)。写真9.3.18は神戸大橋北側のポート ターミナルにつながるランプ部の1径間の落橋状況である。地震後の計測では、支間が桁かか り長さ(=600mm)以上広がった結果となっていた。岸壁のはらみ出しによって径間が広がっ たためと考えられる。



図 9.3.4 ハーバーハイウェイ路線図 20)



写真 9.3.18 ポートターミナルランプ部の落橋

#### (4)JR山陽新幹線高架橋

JR山陽新幹線の高架橋および橋梁は、尼崎市で2箇所、伊丹市1箇所、西宮市4箇所、神戸市 1箇所の計8箇所、総延長533mにわたって落橋した。写真9.3.19~9.3.20は西宮市の阪水高架 橋と甲東園高架橋の被害状況である。阪水高架橋は高さ12mの中間梁を有する3径間2層式ラ ーメン高架橋(杭基礎)で、上梁又は中間梁の直下で柱にせん断ひび割れが発生し、コンクリ ートが剥落、自重の影響によって橋軸直角方向北側に崩壊した。図9.3.5~9.3.6には阪水高架 橋、甲東園高架橋の落橋状況を示す。



写真 9.3.19 JR 山陽新幹線阪水高架橋(西宮市甲東園付近)



写真 9.3.20 JR 山陽新幹線甲東園高架橋(西宮市甲東園付近)



図 9.3.5 阪水高架橋の落橋状況 22)





## (5)JR東海道線六甲道駅

JR東海道線の住吉~灘間の高架区間2.2kmは六甲道駅部のラーメン高架橋が崩壊するなど 大きな被害が生じた(写真9.3.21~9.3.22)。同区間の高架橋は4線区間で、上り2線下り2線 がそれぞれ独立した2線2柱式のビームスラブ式ラーメン構造である(設計水平震度0.2)。山 側(上り線)、海側(下り線)ともラーメン高架橋の柱部分にせん断ひび割れが発生し、それに伴 う鉄筋の変形が見られる。図9.3.7に六甲道駅部高架橋の被災状況を示す。



写真 9.3.21 JR 六甲道駅の被害



写真 9.3.22 鉄道高架桁の落下(JR 六甲道~住吉間)



図 9.3.7 六甲道駅部高架橋(上り線側)の被災状況略図<sup>20)</sup>

#### (6)神戸新交通六甲アイランド線

神戸新交通六甲アイランド線はJR住吉駅と六甲アイランドを結ぶ営業区間4.5kmの全線高 架の新交通システムで、1990年に営業を開始した。写真9.3.23は南魚崎-アイランド北口間 の六甲アイランド側における高架橋桁の落下の被害状況である。最も護岸に近い橋脚が移動・ 傾斜したため、単純桁が落橋し、両端の橋脚が損傷した(図9.3.8)。





図 9.3.8 高架橋桁の落下と橋脚の損傷<sup>20)</sup>

写真 9.3.23 六甲アイランド線の桁の落下

9.3.4 港湾

港湾・漁港・空港等では、阪神・淡路地域の24の港、24の漁港、2空港で被害が発生した が、最も被害の大きかった神戸港の被害について紹介する。

図9.3.9に示す神戸港はほとんどの施設で被害を受けた。ただし、摩耶埠頭の耐震強化岸壁3 バースは、被害が軽微で地震後もその機能を十分発揮することができた。



図 9.3.9 神戸港平面図 23)

(1)ポートアイランド

ポートアイランド1期の港湾施設は昭和40年代から50年代にかけて整備され、重力式(ケー ソン式)岸壁が多いのが特徴である。ポートアイランドは、図9.3.10に示すように、地震によ って液状化し、港湾地区を中心とした地域が噴砂に覆われた。また、ポートアイランドの南側 に造成中であったポートアイランド2期でも図9.3.11に示すように噴砂が見られた。

岸壁・護岸は、図9.3.12に示すように、全体に海側に変位しており、東西方向に法線を持つ 岸壁が南北方向に法線を持つ護岸よりも大きな変位を示している。また、沈下量は1~2m程度 となっている。



図 9.3.10 ポートアイランド 1 期における噴砂分布 10)



図 9.3.11 ポートアイランド 2 期における噴砂分布 10)



図 9.3.12 ポートアイランドにおける岸壁の水平変位量並びに沈下量の分布<sup>10)</sup>

写真9.3.24はポートアイランド西側のコンテ ナ埠頭PC5岸壁(-12m)の被害である。同岸壁 は図9.3.13に示すように、ケーソン岸壁で、設 計震度0.1で設計され、ケーソンの基礎地盤は砂 で置換されている。地震により岸壁は2.3mはら み出し、天端は1.4m沈下した。このためケーソ ン背後地盤が1.7m陥没した。

復旧に際しては、ポートアイランド西側のコ ンテナ埠頭の機能はポートアイランド2期およ び六甲アイランドに移され、跡地は都市再生特 別措置法に基づき2002年に「都市整備緊急再生 地域」に指定され、研究・文教地区を中心とし た地区に変貌している(写真9.3.25)



図 9.3.13 ポートアイランド コンテナ埠頭(PC5)岸壁 の構造と変形<sup>24)</sup>



写真 9.3.24 ポートアイランド コンテナ(PC5)埠頭 岸壁(-12m)背後の陥没



写真 9.3.25 現在のポートアイランド西地区 (2015 年撮影、南側を見る)

写真9.3.26は、地震当時、造成中であったポートアイランド2期の東側に位置するK-CAT (神戸シティエアターミナル)物揚場(-8m)の被災の状況である。K-CATはポートアイラン ドと関西国際空港をジェットフォイルで結ぶ港であった(2002年休止)。この物揚場は延長 320mのうち195mがスリットケーソンからなる(図9.3.14)。法線移動量は1.19~1.43m、沈

## 下量は0.99~1.30mである。



写真 9.3.26 ポートアイランド2期 K-CAT 護岸の崩壊

写真9.3.27はポートアイランド北側の-4m物 揚場その1(西)における護岸のはらみ出しの状況 である。法線が最大5.9m変位し、沈下量は最 大2.2mとなっている。写真9.3.24に示したよう な水深の深い大規模な岸壁はケーソンが前に移 動して背後が陥没するような被災形状を呈する が、写真9.3.27の物揚場のような小規模な岸壁 は、岸壁が前に移動すると共に傾斜し、背後地 盤はそれに追随して流れるような変状を示す。

写真9.3.28はポートアイランド最南端のポー トアイランド2期との境界部における大規模な



図 9.3.14 ポートアイランド2期 K-CAT 護岸(-8m) の被害状況断面図<sup>23)</sup>



**写真 9.3.27 ポートアイランド北側護岸の崩壊** (-4m 物揚場その1西)

噴砂の様子である。写真の左側に見える壁は旧護岸の防潮堤で、その向こう側がポートアイラ ンド2期となっている。ポートアイランド1期の南側の護岸構造は図9.3.13に示すようなケーソ ンであり、下部の地盤は砂で置換されている。また、ケーソン背後には裏込め石が入ってい る。同地点では、砂と共に礫も噴出していたが、これはケーソンの裏込め石の一部ではないか と考えられている。



写真 9.3.28 ポートアイランド南側護岸背後の噴砂

図 9.3.15 ポートアイランド南側護岸の構造 25)

## (2)六甲アイランド

ポートアイランドの東隣の六甲アイ ランドの港湾施設でも、ポートアイラ ンドと同様の被害が見られた。図 9.3.16に示すように六甲アイランドの 噴砂分布地域は北側に偏っている。こ れは北側の埋立土がポートアイランド と同じマサ土であったことによる。岸 壁・護岸法線の水平変位量および沈下 量の分布は、図9.3.17に示すように、 水平変位量は南側岸壁が最大で5.22m に達しており、沈下量も同様に南側の 岸壁が最大2.2mと大きい。



図 9.3.16 六甲アイランドにおける噴砂分布 10)



図 9.3.17 六甲アイランドにおける岸壁の水平変位量並びに沈下量の分布<sup>10)</sup>

写真9.3.29~9.3.30は南側岸壁(-14m)の被害状況である。ケーソンが大きく前面にはらみ出し、背後の地盤が陥没している。このような大きなケーソンの変位のため、上部のクレーンの部材が座屈している。南側の岸壁(RC-7)の標準断面図と被災状況断面図を図9.3.18に示す。



写真 9.3.29 六甲アイランド南側岸壁(-14m)背後の陥没



写真 9.3.30 六甲アイランド南側岸壁(-14m)背後 の陥没とクレーン部材の座屈



図 9.3.18 六甲アイランド南側岸壁(RC-7-14m)の標準断面図と被災状況<sup>23)</sup>

## (3)中突堤地区

写真9.3.31は中突堤のメリケンパーク護岸先端(南側)の被害状況である。この護岸の構造 および被災状況は図9.3.19に示すとおりで、護岸ブロックが最大2.1m前面にはらみ出し、 0.79m沈下した。このため、護岸はほぼ崩壊状態となった。写真9.3.32は中突堤西側の-5.5m 岸壁の被災状況である。同岸壁は図9.3.20に示すように重力式(ケーソン)で、はらみ出し 3.3m、沈下0.6m、傾斜5°(いずれも最大値)であった。



写真 9.3.31 メリケンパーク南側護岸の崩壊





写真 9.3.32 中突堤地区岸壁(-5.5m)の被害





図 9.3.20 中突堤地区岸壁(-5.5m)の被災状況<sup>23)</sup>

## (5)液状化にともなう地盤の沈下

写真9.3.33はポートライナー橋脚周辺の地盤 沈下の状況である。あたかも高架橋脚が抜け上 がったかのように見える。このように、埋立地 では地盤の液状化のため、各所で大きな沈下が 発生した。マサ土で埋め立てられたポートアイ ランド1期の平均沈下量が31.3cmで最も大き く、次いでポートアイランド2期が19.3cmであ る。一方、六甲アイランドのうちマサ土が使わ れている北部の平均沈下量が21.0cmであるのに 対して、中南部では9.6cmと半分以下である。



写真 9.3.33 ポートアイランドにおける地盤沈下 (ポートライナー橋脚周辺地盤)

ポートアイランド、六甲アイランドの内陸部(商業・住宅地区)を中心として地盤改良が行われていた。地盤改良は、主として軟弱粘性土層の圧密沈下の促進を主たる目的としたサンドドレーンであり、液状化の防止を目的としたものではなかった。図9.3.21はポートアイランド

の地盤改良地区と噴砂の分布を 重ねたものである。これによると 地盤改良地区では液状化(噴砂) はほとんど起こっていない。目的 が異なる地盤改良であるにも関 わらず、液状化の防止に効果を発 揮した理由は、地盤改良工事の施 工時に発生する振動によって埋 立土層(マサ土)がある程度締固 まったのではないかといわれて いる。

図 9.3.22 は埋立土層厚と沈下 量の関係を示したものである が、両者の相関は認められな い。上部の一定の深さの地層 が沈下に影響しているためで はないかと思われる。図中に は地盤改良の有無・工法の種 別が示されているが、これに ついても沈下量との明確な相 関は認められない。地盤の圧 縮率(体積ひずみ)は1%前後 のものが多いようである。



図 9.3.21 地盤改良範囲と噴砂の分布 (ポートアイランド)<sup>10)</sup>





9.3.5 河川

淀川左岸の酉島地区は図9.3.23および図9.3.24に示すように、堤防が約3m沈下し、ほぼ無 堤状態となった。写真9.3.34は被害の大きかった淀川左岸(酉島付近)の被害状況で、写真 9.3.35は淀川右岸の淀川公園に生じた噴砂の状況である。また、写真9.3.36は地震後に緊急復 旧を行っている状況である。写真9.3.37は2018年現在の同じ場所における堤防の状況であ る。





図 9.3.23 被災前後の堤防断面形状(酉島左岸 1.6km)<sup>15)</sup>



写真 9.3.34 淀川左岸の堤防崩壊(西島付近)





写真 9.3.35 淀川右岸の噴砂(淀川公園)



写真 9.3.36 淀川左岸の堤防の応急復旧(西島付近)



**写真 9.3.37 現在の淀川左岸堤防**(酉島付近) (2018 年撮影)

酉島付近の地盤は図9.3.25に示すように、堤防下に8~10mの緩い砂質土が分布している。この地層が地震で液状化して堤体基礎地盤の支持力が失われ、堤防両法尻方向に水平移動したた

め、堤体の大きな沈下が生じたと推定される。

この堤防の復旧は、まず浸水による二次災害を防止するため、図9.3.26に示すように、土堤 部分の高さを確保するための盛土が行われた。さらに、堤外側に堤防と同じ機能を持つ二重鋼 矢板の仮締切堤防を延長2kmにわたって設置した。

本復旧工事は仮締切が完成した後に開始され、図9.3.27に示すような断面で復旧された。従 来の特殊堤の高さを確保し、川表5割、川裏2割という傾斜が緩く、大きな断面が採用され た。堤防直下の基礎地盤には、液状化を防止するため、深層混合処理工法による地盤改良が実 施された。







図 9.3.26 淀川左岸酉島地区の緊急復旧断面<sup>27)</sup>



図 9.3.27 淀川左岸酉島地区の本復旧断面 27)
# 9.4 兵庫県南部地震以降の変化

兵庫県南部地震は私たちの社会に大きな衝撃を与えた。大きな地震が起こらないと半ば信じ られてきた近畿地方の大都市直下で起こった内陸地震、神戸市内に生じた震度7の「震災の 帯」、6,000名を超える死者や各種構造物の致命的な破壊、総額約10兆円に及ぶ経済的な被害 など、地震によって失われた都市機能を回復するのに多大な時間と費用を要することとなっ た。また、被害の実態が判明するのに時間がかかり、対策・対応が後手々々となったことも大 きな批判を呼んだ。

兵庫県南部地震の章を閉じるに当たって、大きなインパクトを与えたこの地震が契機となってもたらされた科学的成果について幾つか述べておきたい。

## 9.4.1 耐震基準等に関する提言と耐震基準類の改定

土木学会では、土木構造物の甚大な被害と多大な犠牲者の発生を受けて、1995年3月に 「耐震基準等基本問題検討会議」を設置し、耐震基準の見直し等、耐震設計の今後の方向性に ついての基本方針の検討を進め、その成果を「土木構造物の耐震基準等に関する提言」(第一 次提言)として1995年5月23日に公表した。本提言の要旨は次のとおりである。

- 1) 構造物の耐震性能はレベル1、およびレベル2の二段階の地震動強さを想定して照査す べきであること。
- 2) これらの地震動を受けたときの構造物の挙動は、その構造物の重要度\*を考慮して決める こと。\*\*重要度:①人命、②避難、救済、救急活動、③生活機能と経済活動、④復旧に与える影響
- 3) 震害の状況に照らして現行の耐震基準を見直すべきであること。
- 4) 既存構造物の必要な研究開発を早急に推進すること。
- 5) 基準の見直しに必要な研究開発を促進すること。

第一次提言に引き続き、地震から約1年後の1996年1月10日に「土木構造物の耐震基準 等に関する第二次提言」を公表した。「第二次提言」では、「第一次提言」で示された土木構造 物の耐震性能強化のための諸方策をより詳細に示すとともに、さらに広い視点からの地震防災 性を向上するための基本方針を新たに加えており、土木学会が学術的見地から望ましいと考え る事項をとりまとめている。「第二次提言」の要旨は次のとおりである。

- 土木構造物の耐震性能の照査にあたり、強い地震動であるレベル2地震動については、活 断層を同定し、活断層から発生する地震動を予測することを基本とする。
- 2) レベル2地震動を受けた場合、構造物が損傷をすることを前提として、その程度に立ち入って耐震性能を照査する。このための合理的な耐震設計法を確立しなければならない。
- 3)一次および二次の2段階の耐震診断を行って、補強を必要とする構造物を選び、適切な優 先順位に基づいて補強を行う。なお、目標とする耐震性能は新設構造物と同等とする。
- 4) 土木構造物の耐震性能の強化と併せて、計画等の面から総合的な地震防災性の向上を図る とともに、地震災害アセスメント制度の導入や、都市地域の計画基準の見直し等を検討すべ きである。

また、地震発生から5年後の2000年6月には「土木構造物の耐震設計法等に関する第3次 提言」が発表されている。これは、「第一次提言」および「第二次提言」における提言を発展 させるとともに、それらを可能な限り具体化したものであり、1999年の時点での技術的な到 達点と考えてよいものである。

これらの提言は種々の構造物の耐震設計法の改訂の基本となるとともに、1995年7月に全面修正された国の防災基本計画の中にも盛り込まれた。

1995年2月には「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様(復旧仕様)」が関係機関に通知され、道路橋の復旧に用いられてきた。復旧仕様では、兵庫県南部地 震による被災の教訓を踏まえ、各構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体として地震に耐える構造をめざし、震度法による設計に加えて地震時保有水平耐力を照査することとされた。1996年には、この復旧仕様やその後の調査研究の成果をもとに、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」が改訂されたのをはじめとして、主要構造物の耐震設計基準が次々と改訂された。

耐震設計基準の改訂の一例として、道路橋示方書における液状化判定法について紹介する。 兵庫県南部地震では、神戸市のポートアイランドや六甲アイランドの人工島や臨海埋立地を中 心として、大規模な液状化が発生した。液状化した土質は、埋立材料として使われたマサ土 で、それまで液状化しにくいとされていた礫質土あるいは礫混じり砂質土であった。

従来の基準では、液状化判定を行う必要がある土層として、平均粒径  $D_{50}$  が 0.02 mm  $\sim$  2.0 mmの飽和砂質土とされていた。液状化した土質の例としてポートアイランド(1期)の粒度分 布を図 9.4.1 に示す。平均粒径  $D_{50}$  が 2.0 mmを超すものも多く、液状化判定の対象外となるケースも出ていることが分かる。

礫質土が液状化し難いとされていたのは、礫は透水性が高いため、地震動によって地盤中に 過剰間隙水圧が発生しても、すぐに消散して液状化には至らないだろうという考え方に基づ く。既往の地震でもこのような礫質土の液状化が見られなかったことも事実である。

しかし、礫質土の高い透水性を確保するためには、間隙水圧の消散を妨げる細粒土が少ない ことが条件となる。しかし、図 9.4.1 で分かるように、ポートアイランドの埋立土は細粒分

(粒径が 0.075 mm以下)が 10~ 30%程度と多く、これが過剰間 隙水圧の速やかな消散を妨げ、 液状化に至った原因である。

このため、1996 年 12 月に改 訂された道路橋示方書の耐震設 計編は、液状化判定を行う礫質 土として、「平均粒径 D<sub>50</sub>が 10 皿以下で、かつ 10%粒径 D<sub>10</sub>が



図 9.4.1 ポートアイランド(1 期)における埋立土の粒径分布(文献 10 に加筆)

1 mm以下である土層」と規定している。従来の平均粒径 D50 が 2 mm以下という規定から、平均 粒径の上限が大幅に引き上げられたが、2 項目で細粒分の影響を 10%粒径が 1 mm以下という規 定で補い、粒径が大きく、かつ細粒分も多いという土質を新たに液状化の判定対象として組み 入れている。

表 9.4.1 に兵庫県南部地震前後における「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」の液状化 判定法を比較した結果を示す。

改定時期	平成2年(1990年)2月*1	平成8年(1996年)12月*2		
液状化の	・地下水位面が現地盤面から10m以内にあ	以下の3つの条件すべてに該当する原則として沖		
判定を行う	る沖積層で、かつ現地盤面から20m以内の	積層の飽和砂質土層は地震時に橋に影響を与え		
必要がある	範囲における平均粒径 D50 が 0.02 mm以上	る液状化を生じる可能性があるため、液状化の判		
土層	2.0 mm以下である飽和砂質土層は地震時に	定を行わなければならない。		
	液状化の可能性があるため、液状化判定を	1)地下水位が現地盤面から10m以内にあり、か		
	行わなければならない。	つ現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和		
		土層		
		2) 細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、または		
		35%を超えても塑性指数 I <sub>P</sub> が15以下の土層		
		3) 平均粒径 D50 が 10 mm以下で、かつ 10%粒径		
		D10が1mm以下である土層		
液状化の	$F_L = R/L$	$F_L = R/L$		
判定	$R = R_1 + R_2 + R_3$	$R = c_W R_L$		
	$L = r_d \cdot k_i \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_n}$	$L = r_a k_{hc} \sigma_v / \sigma'_v \cdot$		
	$R = 0.0000 \sqrt{N}$	(タイプIの地震動の場合)		
	$\frac{1}{\sigma'_v+0.7}$	$c_W = 1.0$		
	$R = \begin{bmatrix} 0.19 & (0.02 \text{ mm} \le D_{10} \le 0.05 \text{ mm}) \\ 0.205 \log & (0.25/D) & (0.05 \text{ mm} \le D) \le 0.65 \text{ mm} \end{bmatrix}$	(94) 100 地层现00 % 7 ) (1.0 ( $R_r \leq 0.1$ )		
	$ \begin{array}{c} \begin{array}{c} & & \\$	$c_W = \left\{ 3.3 R_L + 0.67  (0.1 < R_L \le 0.4) \right\}$		
	$[0.0  (0\% \le FC \le 40\%)]$	2.0 $(0.4 < R_L)$		
	$\kappa_{a} = 0.004 \ FC - 0.16  (40\% < FC \le 100\%)$	$R_{L} = \begin{cases} 0.0882\sqrt{N_{a}/1.7} & (N_{a} < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_{a}/1.7}$		
	$F_L$ :液状化に対する抵抗率	$(0.0882\sqrt{N_a}/1.7 + 1.6 \times 10^{-5} \cdot (N_a - 14)^{4.5} (14 \le N_a))$		
	R:動的せん断強度比	ここで, < 200万十の退会へ		
	L:地震時せん断応力比 c	$N = c_1 \cdot N + c_2$		
	$R_L$ :繰返し三軸強度比で、 $7.5.2$ の規定により求める	$N_1 = 1.7 \cdot N/(\sigma'_e + 0.7)$		
	ra:地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数	$\begin{bmatrix} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \end{bmatrix}$		
	k <sub>ke</sub> :地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度で、	$c_1 = \left\{ (FC + 40)/50 \ (10\% \le FC < 60\%) \right\}$		
	N:標準貫入試験から得られるN値 N·右効ト載日1kef/mg2相当に推進したN/使	$FC/20-1  (60\% \le FC) \qquad J$		
	N <sub>a</sub> : 粒度の影響を考慮した補正 N 値	$c_2 = \begin{cases} 0 & (0 \% \le FC < 10\%) \\ (FC = 10) & (10 \% < FC) \end{cases}$		
	$c_{1c_2}$ : 細粒分含有率による $N$ 値の補正係数	((rc-10)/13 (10 % ≥rc) )		
	FC:細粒分含有率(%)(粒径75µm以下の土粒子	$N_{\rm e} = \{1 - 0.36 \log_{10} (D_{\rm es}/2)\} N_{\rm e}$		
	$ $			
	D <sub>80</sub> :平均粒径 (mm)			
	D <sub>10</sub> :10% 粒径 (mm)			

表 9.4.1 兵庫県南部地震前後の道路橋示方書の液状化判定法の比較

\*1 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、1990.2

\*2 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、1996.12

# 9.4.2 震度階級の変更と地震観測体制の充実

兵庫県南部地震では神戸市他で震度7が観測されたが、気象庁による正式な発表がなされ たのは地震後、半月以上経過した2月7日であった。これは震度7が家屋倒壊率3割以上と いう定義があったため、他の震度と異なり、地震後の現地調査によって決めることになってい たためである。震度6までは整備されてきた震度計に基づく計測震度として速報体制ができ あがっていたが、震度7の発表の遅れは、地震情報の迅速化を求める批判を呼んだ。

このため、1996年には、震度7についても計測震度に基づくものに変更され、すべての震 度で震度計に基づく計測震度による判定とすることによって、震度の速報体制が確立された。

一方、従来の震度階級(0~7)では、同じ 震度でも大きな違いがあることが指摘されて いた。これに対応して、震度5および震度6 を「弱」と「強」に細分化することによっ て、従来の8段階から10段階の震度階級に改 訂された。表9.4.2に現在用いられている計 測震度と震度階級の関係を示す。計測震度は 三成分の加速度記録から算定されるものであ る。

表 9.4.2 計測震度と震度階級

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度	
0	0.5未満	5弱	4.5以上5.0未満	
1	0.5以上1.5未満	5強	5.0以上5.5未満	
2	1.5以上2.5未満	6弱	5.5以上6.0未満	
3	2.5以上3.5未満	6強	6.0以上6.5未満	
4	3.5以上4.5未満	7	6.5以上	

また、震度の基となる地震動を観測する震度計・地震計の観測体制の充実も図られ、2018 年現在、観測地点数は4,374 地点(気象庁 671、地方公共団体 2,914、防災科学技術研究所 789)に上る(図 9.4.2)。観測地点数を単純に日本の国土面積で除すと、約 9.3km 四方に 1

箇所の地震計が設置されていることにな る。

防災科学技術研究所では、兵庫県南部地震 を契機として、全国の陸域において高感度 地震観測網(Hi-net)、全国強震観測網(K-NET)、基盤強震観測網(KiK-net)、広帯域 地震観測網(F-net)を整備してきた。ま た、海域においては、2011年東北地方太平 洋沖地震(東日本大震災)を受け、海域を 震源とする地震や津波の早期検知・情報伝 達などを目的として、日本海溝海底地震津 波観測網(S-net)が北海道沖から房総半島 沖までの海底に整備された。加えて2016年 には、紀伊半島沖から室戸岬沖にかけて整 備された地震・津波観測監視システム

(DONET) が海洋研究開発機構より防災科 学技術研究所に移管された。また、16の火





図 9.4.2 全国の震度観測点 (2018 年現在)<sup>29)</sup>

山において基盤的火山観測網(V-net)の整備を行い、火山活動の観測も行っている。全国の

陸域から海域までを網羅する「陸海統合地震津波火山観測網」(「MOWLAS」 Monitoring of Waves on Land and Seafloor) は 2017 年 11 月より運用が開始されている。

# 9.4.3 実物大実験体制の充実

兵庫県南部地震では、建物、橋、道路、港湾など多くの構造物が被害を受け、耐震設計法が 見直されるに至った。その中で、発生頻度が低いものの強烈な地震動が予測される地震に対す る設計には、変形しても倒壊しにくいねばり強い構造物が必要とされている。しかし、従来の 震度法による耐震設計では、構造物の部材は弾性範囲に留まるように強度や形状を決めること となっており、弾性範囲を超えて塑性域に入るような挙動は想定されていなかった。ねばり強 い構造物を作るためには、塑性域での変形性能(すなわち破壊挙動)を明らかにする必要があ る。それまで行われてきた部材単位の実験では、構造物全体の挙動を再現できないため、実物 大の構造物モデルに対して、観測地震動(三次元)を入力して実験を実施できるような大型震 動台実験装置が必要とされたが、我が国には当時、そのような挙動を再現できるような大型震 動台が存在していなかった。兵庫県南部地震を契機として、2000年に実大三次元震動破壊実 験施設(E-ディフェンス)が兵庫県三木市において建設に着手され、2005年4月より運用 が開始されている。この施設は 20m×15m の振動台の上に最大重量 1,200 トンまでの試験体 を搭載することができ、最大変位は、水平方向±100cm、鉛直方向±50cm、最大速度は、水平 方向±200cm/s、鉛直方向±70cm/sの加振を行う能力を有する世界最大級の震動台実験施設で ある(図 9.4.3)。運用開始以来、建築物や橋梁、護岸、堤防等の建築・土木構造物の実大震動 台実験が実施され、大きな成果をあげている。



図 9.4.3 Eーディフェンスの概要<sup>30)</sup>

# 【第9章の引用・参考文献】

- 1) 阪神地域活断層調查会: 阪神·淡路地域活断層調查報告書、pp.255、1996.
- 2)産業総合研究所地質調査総合センター:20万分の1日本シームレス地質図、
- https://gbank.gsj.jp/seamless/2d3d/
- 3) 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会編著:新編大阪地盤図、コロナ社、pp.285、1987.
- 4) 地盤工学会: 阪神·淡路大震災調査報告 共通編 2編-地盤·地質、1998.
- 5) 土質工学会関西支部:海底地盤-大阪湾を例にして-、1995.
- 6)太田・成瀬・田中・岡田編:日本の地形6 近畿・中国・四国、東京大学出版会、2004.
- 7) 明渡: 六甲アイランドの役割、基礎工 Vol.20、No.5、pp.2~8、1992.
- Yasuda,S., Ishihara,K. and Harada,K.:Effect of soil improvement on ground subsidence due to liquefaction, special issue of soils and foundations, pp.99~107, 1996.
- 9) 末廣:神戸港における洪積粘性土(Ma<sub>12</sub>)の地質学的及び土質工学的特性に関する基礎的研究、 神戸大学自然科学研究科博士論文、pp.31~32、1988.
- 10)神戸市開発局:兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査(ポートアイランド、六甲アイランド)報告書、 1995.
- 11) 消防庁: 阪神·淡路大震災について(確定報)、2006.
- 12)消防庁:阪神·淡路大震災の記録 1、1996.
- 13)日本建築学会:1995年兵庫県南部地震災害調査速報、1995.
- 14)日本建築学会:阪神·淡路大震災調査報告 共通編-1 総集編、2000.
- 15) 土木学会: 阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害 第6章 河川・砂防関係施設、1997.
- 16) 土木学会: 阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧、1997.
- 17) Shibata, T., Oka, F. and Ozawa, Y.: Characteristics of ground deformation due to liquefaction, special issue of soils and foundations, pp.65~79, 1996.
- 18) 佐藤: 砂防設備の被害、兵庫県南部地震に伴う土砂災害に関する緊急報告会資料、砂防学会、pp.25~26、 1995.
- 19) 消防庁危険物規制課: 阪神・淡路大震災に係る屋外タンク貯蔵所の被害状況現地調査結果報告書、1995.
- 20) 土木学会: 阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害-第1章 橋梁、1996.
- 21) 土木学会: 阪神·淡路大震災調査報告 土木構造物の応急復旧, 補修, 補強-第1章 橋梁、1999.
- 22)池田:山陽新幹線高架橋,橋りょうの復旧工事、コンクリート工学、vol.34、No.2、1996.
- 23) 土木学会: 阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害 第5章 港湾・海岸構造物、1997.
- 24)港湾施設被害検討委員会編:兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察、港湾技研資料 No.813、1995.
- 25) Towhata,I., Ghanlandaradeh,A., Sundarraj,K.,P.and Vargas-Monge,W.:Dyanamic failures of subsoils observed in waterfront areas, special issue of soils and foundations, pp.149~1160, 1996.
- 26) 土木学会: 阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害-第3章 土構造物、1998.
- 27) 土木学会: 阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の応急復旧, 補修, 補強-第3章 地盤・土構造物・基 礎構造物、1998.
- 28)気象庁:震度の活用と震度階級の変遷等に関する参考資料、2009.
- 29)気象庁:震度観測点(全国)、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/intens-st/index.html
- 30)防災科学技術研究所:パンフレット
- 31)気象庁:「阪神・淡路大震災から20年特設サイト」、
- https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995\_01\_17\_hyogonanbu/data.html
- 32) 宇佐美:新編 日本被害地震総覧[増補改訂版 416-1995]、東京大学出版会、1996.
- 33)日本地震学会·土木学会:阪神·淡路大震災調査報告 共通編-2 総集編 1編 地震·地震動、1998.
- 34) 気象庁: 強震波形(平成7年(1995年) 兵庫県南部地震)、
- https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/hyogo\_nanbu/index.htm
- 35)科学技術庁 防災科学技術研究所:1995年1月17日 平成7年(1995年)兵庫県南部地震、 強震速報 No.46、1995.
- 36) 阪神高速道路公団・(財) 阪神高速道路管理技術センター: 埋立地盤の橋梁基礎構造物に関する震災調査 研究-兵庫県南部地震による阪神高速5号湾岸線の被災記録-、1996.

# 10. まとめ

本書では、これまで調査を行った地震のダイジェスト版の第一弾として、1978年から 1995年までの 18 年間に発生した地震の中から、被害が顕著であった 8 地震を対象に地震および地震動、地形・地質、被害について、その特徴を記述してきた。ここでは、筆者の感想も交えて地盤災害を中心として各地震の被害の特徴をまとめてみたい。

#### (1)1978年宮城県沖地震(M7.4)

宮城県沖地震は仙台市とその周辺地域に大きな被害をもたらした。仙台市とその近郊では電気・ ガス・水道・電話などのライフラインが停止し、なかでも都市ガスは全面復旧まで約1ヶ月を要し た。また、住宅地でブロック塀・石塀の倒壊が頻発し、その下敷きとなって18名の犠牲者が出た。 ブロック内の鉄筋不足が原因とされている。このような被害は住民の生活に大きな影響を与え、当 時の人口 50 万以上の都市が初めて経験した都市型災害とされている。

仙台市近郊では、丘陵を造成した住宅地の盛土が崩壊し、住宅が全壊した。この原因として谷埋 盛土の強度不足と排水機能の低下による地下水位の上昇が挙げられた。これを受けて都市近郊で多 く存在する大規模盛土の危険性が指摘され、2006年の宅地造成等規制法の改正につながった。

#### (2)1983年日本海中部地震(M7.7)

日本海中部地震は、太平洋側に比べて地震の発生頻度が少ない日本海で発生した地震である。震 源が海底で逆断層により地盤が鉛直方向に変位したため津波が発生し、100名の方が犠牲になった。

地盤災害の特徴は、秋田・青森両県の日本海沿岸地域で液状化が広範囲に発生し、種々の構造物 に被害を与えたことである。日本海沿岸部は冬季の北西の季節風の影響で海岸線に沿って砂丘列が 形成されている。砂丘本体は比較的締まっており、地下水位も低いが、砂丘間の低地は砂丘から崩 れてきた砂が緩く堆積しているため、その箇所で集中的に液状化が発生した。

この地震では、直径が 5~7m という巨大な噴砂孔が出現した。その原因としては表層のやや硬い 粘性土層の存在があった。この粘性土層の下の緩い砂質土層で液状化が発生し、地表に消散しよう とした高圧の地下水が、この地層に阻まれて圧力がさらに増大することになった。最終的に、粘性 土層が地下水の圧力に負けて破壊し、水と砂が一挙に地表に噴出し、このような巨大な孔ができた とされている。目撃者談では、10m も水が噴き上げたそうである。

## (3)1984 年長野県西部地震(M6.8)

長野県西部地震は、内陸部の木曽御岳山(標高 3,067m)の南麓で起こった直下型地震である。この地震により御岳山の南斜面が大崩壊した。崩壊土量が約 3,400 万 m<sup>3</sup>の巨大な斜面崩壊であった。 土砂は麓の王滝川に流れ込み、約 4km にわたって 20~40m の厚さで堆積した。崩壊のパターンは、 崩壊した岩石・土砂が空気を巻き込んで流下するもので、水と混合して流下する土石流とは異なる。

この地震は、崩落土砂の下位に分布する風化火山灰(粘性土)が地震時の繰返しせん断で大幅な 強度低下を引き起こす動的強度の低下が示唆された事例でもあった。

余談であるが、この時の現地調査で、震源に向かって歩いてゆくと、砲声のようなドーンという 音と共に地面がグラグラと揺れ、これが地震の破壊音かと初めて認識した。40年に及ぶ地震調査の 中で、地震発生時の音を聞いたのは後にも先にもこれが唯一である。

# (4)1987年千葉県東方沖の地震(M6.7)

千葉県東方沖の地震は、千葉県の沖合で発生した中規模地震で、被害そのものはそれほど大きい ものではなかったが、千葉県、東京都、神奈川県にかけての広い地域で液状化が発生した。その特 徴は東京湾岸の埋立地で発生した液状化であろう。湾岸地域では、従来、液状化しにくいとされて いた細粒のシルト質土が噴砂として観察された。それまでは比較的粒径の揃った 0.2~0.3 mm前後の 砂が液状化しやすいとされてきたが、より細粒のシルトも液状化する場合があることが認識される ことになった。その後に発生した 2000 年鳥取県西部地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震でも湾岸 の埋立地でシルトが液状化したことが知られている。臨海部の埋立土のシルトが液状化しやすい理 由は、浚渫・撒き出しの過程で、土粒子の分級が起こり、液状化に抵抗力を持つ粘土分が失われた シルトができるからと考えられている。

#### (5)1993 年釧路沖地震(M7.5)

釧路沖地震は、釧路市沖合の深さ 110km で起こった地震である。この地震は逆断層タイプであったが、津波が起こらなかったのは震源が深かったせいであろう。ただし、震源が深かったために広い範囲まで大きな地震動が伝搬した。

この地震による被害は地域の地形・地盤特性をよく反映している。釧路市街地は、東部の丘陵と 西部の低地に大別される。丘陵地内には谷が刻まれ、表面は火山灰土で覆われている。釧路市緑ヶ 丘 6 丁目では丘陵端部の谷間を盛土して造成した住宅地が崩壊し、一緒に住宅も滑り落ちるという 被害があった。宅地盛土の大規模な被害は釧路市から約 27km 離れた標茶町茅沼の別荘地でも見ら れた。同地は背後の丘陵を切土して前面の湿地帯に盛土して住宅地が造成されている。地震で湿地 に面した盛土が崩壊し、家屋が沈下・傾斜した。この被害事例は、強度の小さい火山灰土を腹付け のような形で盛土して十分な締固めを行わなかったことに加えて、盛土下の湿地地盤の強度が小さ かったことに原因があると考えられる。

一方、釧路市西部の低地は原地盤の軟弱な泥炭地に盛土をして造成している場合が多い。釧路市 の東側に隣接する釧路町桂木地区では、下水道のマンホールが最大1.5mも突出して注目を集めた。 この付近は約2mの深さに厚さ1~2mの泥炭層が水平に分布している。マンホールの浮き上がりは埋 戻し土が液状化したためとされているが、浮き上がり量が非常に大きくなった原因は、埋戻し土で 発生した過剰間隙水圧が、この泥炭層のために地表への消散が妨げられ、高い間隙水圧の状態が継 続したためと考えられている。地盤の液状化が単に土質だけではなく、周辺の地盤条件が浮き上が りなどの被害に大きく影響することを示した事例と言えよう。

#### (6)1993年北海道南西沖地震(M7.8)

北海道南西沖地震は、釧路沖地震の約半年後に日本海で起きた巨大地震であり、発生した津波に よって奥尻島では多数の方が犠牲になった。この地震は 1983 年日本海中部地震と同様に北米プレ ートとユーラシアプレートとの境界の日本海東縁部で起きた地震である。

奥尻島のフェリー発着場の背後斜面が崩れて麓にあった宿泊施設が埋まり、29 名が犠牲となった。2001年土砂災害防止法が施行され、危険斜面に対する対策が整備されたが、最近の熊本地震や 北海道胆振東部地震の斜面崩壊の例でみられるように、地震による斜面崩壊の予測は難しい。この 方面の研究が一層必要であろう。 また、北海道本土の低地では、液状化の被害が目立った。特に、日本海に注ぐ後志利別川では、 河口付近の堤防がかなり大きな被害を受けた。堤防の被害は沈下や亀裂が主で、堤体が大きく崩壊 するような事例はなかった。堤防天端に現れた亀裂は主に縦断亀裂で、横断亀裂も堤防内部に樋管 等の構造物が横断している箇所で生じていた。後志利別川の地盤を構成する土砂は、川によって運 ばれてきた砂質土で、緩い状態で堆積していた。典型的な砂の液状化被害と言える。

駒ヶ岳南麓の高原にある森町赤井川地区では、駒ヶ岳の噴出物である粒径の大きい礫質土(岩屑 なだれ堆積物)が液状化し、細かいシルトが噴出した。土粒子の粒径は大きいが、お互いかみ合っ ていない状態の礫質土が液状化し、礫の間のシルトが噴出したものである。この事例は礫質土の液 状化の可能性が示唆されるものであった。1995年の兵庫県南部地震でも礫質土の液状化が起こっ ている。函館港周辺でも、岸壁のはらみ出しやサイロの傾斜等の液状化被害が見られた。サイロは 杭基礎であったが、地震動と液状化で杭頭部が損傷し、サイロ本体が傾斜した。

#### (7)北海道東方沖地震(M8.2)

北海道東方沖地震は、北海道根室半島沖 170km を震源とする巨大地震で津波も発生した。地震の規模は大きかったが、震源が本土から離れていたため、全体的な被害はそれほど大きくはなく、 釧路地震に比べても被害は少なかった。ただし、震源に近い北方領土は、地震動・津波で死者 11 名 をはじめとする大きな被害が出ている。

この地震で特徴的な地盤被害は、根釧台地における道路被害である。根釧台地には主に東西方向 に複数の谷が発達しており、根室と中標津方面を結ぶ道路はこれらの複数の谷を横断することにな る。谷部の横断は、橋梁あるいは盛土となっており、その箇所で被害が生じた。顕著な被害は橋台 裏の地盤沈下であった。橋梁への取り付け部は一般に盛土となっているが、この盛土が沈下して橋 台との段差ができた。道路盛土の沈下は単に鉛直方向の圧縮だけではなく、水平方向に広がること による沈下も加わっている。この地震による橋台裏沈下は 1m 近いものもあり、他の地震に比べて 大きかったという印象である。台地の谷間は泥炭等の軟弱層が堆積しているために、弱く沈下しや すいことが、大きな沈下につながったのではないかと考えられる。また、低地部の道路盛土の被害 も他の地震に比べて大きかった印象がある。基礎地盤が泥炭等の軟弱地盤で構成されていることが 主な原因と考えられる。

## (8)1995年兵庫県南部地震(M7.3)

兵庫県南部地震は、当時建設中であった明石海峡大橋の直下を震源とする直下型地震である。断 層の破壊は神戸側と淡路島側の両方に進み、淡路島西岸では地表に地震断層が現れた。被害は神戸 側と淡路島側の両方で生じたが、人口が多く、社会資本の集積も大きい神戸側で甚大な被害が生じ た。特に被害の大きかった神戸市内の幅 1km、長さ 20km にわたる範囲は「震災の帯」と呼ばれた。

なぜ、「震災の帯」が生じたかについては、その後、種々の研究が行われた。必ずしも結論が出た というわけではないようであるが、現在の知見としては、断層の破壊と地震動の伝播が同じ方向に 進むことによる増幅効果とともに、神戸市の地層が北側の六甲山地と南側の大阪湾の堆積盆地の境 界部で基盤が急激に変化しているため、六甲山地を伝播してきた地震波と大阪湾の堆積層を伝播し てきた地震波が重なることによる増幅効果が指摘されている。

この地震で多くの構造物に被害が生じた。倒壊した建築物は 10 万棟を超えるが、その多くは木

造家屋であった。このような規模の建築物に致命的な破壊を生じさせる地震の周期が1秒前後であ り、今回の地震にはこの周期成分が大きかったことが挙げられている。この周期帯の地震動はキラ ーパルスと呼ばれている。

神戸市は北側が六甲山地で制約されているため、臨海部を埋立造成して新たな土地が作られてき た。沖合には、ポートアイランドと六甲アイランドという大きな人工島が立地し、臨海部には多数 の埋立地が存在する。この地震では、これらの人工島および臨海埋立地で液状化が広範囲に発生し た。港湾地区に大きな被害があったポートアイランドでは、マサ土(花崗岩が風化した土砂)が使 われており、それに比べて被害が軽微であった六甲アイランドでは、北部の1/4 程度がマサ土、そ の他は大阪層群の土砂が使われている。マサ土は礫分が多い砂質土であり、大阪層群も礫分は多い が、粘土を含む細粒分がマサ土よりも多い。簡単に言うと、マサ土は砂っぽい土砂であり、大阪層 群は粘土っぽい土砂といえる。

礫質土は、それまでは液状化し難い土質と言われていた。地震動によって過剰間隙水圧が発生しても、礫の間隙を通して速やかに消散し、液状化には至らないと考えられていたためである。しかし、マサ土は礫分も多いが、細粒分(0.075 mm以下の細かい土粒子成分)も多いため、過剰間隙水圧が速やかに消散できないということが分かった。この地震まで、礫質土は液状化の判定を行う必要はないとされていたが、大規模な液状化被害を受けて、礫径が大きくとも、間隙水圧の消散を妨げる細粒分の割合が一定以上ある土質は液状化検討の対象とするように設計基準が改訂された。

# 謝辞

本書を作成するにあたり多くの方々のご協力があった。以下に記して感謝の意を表します。

まず、このような企画に賛同いただき、長期間暖かく見守っていただいた大橋正営業本部長にお 礼を申し上げます。また、何度も原稿に目を通していただき適切なご指摘をいただいた営業本部の 米岡威室長と技術本部の山本裕司室長には一方ならぬご苦労をおかけしました。感謝申し上げます。

地震直後の調査とは別に、地震後の復旧・復興の状況を調べるために、複数回にわたり地震の被 災地を訪れた。その際に同道いただいた関係者の名前および現役職を列挙し、感謝の意を表します。

1978年宮城県沖地震:中島啓部長(退職、当時東北支社)

1983年日本海中部地震:米岡威室長

1984年長野県西部地震:前田崇行主任(当時中部支社、現東北支社山形支店)

1993年釧路沖地震:花本康夫室長(本社、北海道支社駐在)、大橋正知係長(北海道支社)

1993年北海道南西沖地震:栃尾健部長(当時地震防災室、現九州支社)、花本康夫室長

1994年北海道東方沖地震:花本康夫室長、大橋正知係長

1995年兵庫県南部地震:十河和人部長、深井晴夫部長(関西支社)

最初の地震調査は1978年宮城県沖地震であった。1975年に安田進先生(現東京電機大学プロジェクト研究教授)が入社され、地盤耐震領域が盛り上がりをみせていた頃である。1987年長野県西部地震までは同僚として、その後大学に移られてからも、現地調査にご一緒いただいてご指導を賜った。地震調査を40年以上も続けてこられたのも、安田先生をはじめとする多くの方々の熱意と努力の賜物であったことを最後に記し、謝意に代えたい。

# 営業所一覧表

営 業 所		所 在 地	TEL	FAX
本 社	〒136-8577	東京都江東区亀戸1-5-7 (錦糸町プライムタワー12F)	03-6861-8800	03-6861-8894
技術本部	〒136-8577	東京都江東区亀戸1-5-7(錦糸町プライムタワー12F)	03-6861-8870	03-6861-8896
G I S 事業部	<b>〒</b> 581-0033		072-920-1332	072-920-1331
設 計 本 部 インフラ保全センター	〒136-8577 〒136-8577	果 京都 江 果 区 電 戸 1−5−7 (錦 糸 町 ノ フイム タワー 12F) 市 古 都 江 市 区 魚 両 1−5−7 ( 線 ム 町 プライ / タワー 12F)	03-6861-8865	03-6861-8896
環境事業部	〒136-8577	東京都江東区亀戸1-5-7 (錦糸町プライムタワー12F)	03-6861-8843	03-6861-8894
関東試験室	〒263-0001	千葉市稲毛区長沼原町51	043-298-5231	043-250-5129
関西試験室	〒581-0033	八尾市志紀町南2丁目125-2	072-920-1330	072-920-1331
甲国試験室 <b>北海道士社</b>	$\pm 0.03 - 0.135$	ム島市安佐南区長来4-13-25 14	082-238-7227	082-238-7949
<b>心神道义社</b> 苫小牧事務所	$\pm 059 - 1304$	れ続け日日日に第小1年2-7-1 (3・20ル) 苫小牧市北栄町1-22-66(日Gビル)	0144-57-5956	0144-57-5960
函館事務所	〒041-0806	函館市美原4-23-28	0138-84-5917	0138-84-5918
道東事務所	〒085-0805		0154-92-3636	0154-92-3637
東北支社	$\mp 983 - 0842$	仙台市宮城野区五輪2-9-23 山形吉ちかわた51 16 1		
青森事務所	〒990-2481 〒030-0803	山かりのかれるクロート(0-1) 青森市安方2-17-19(アソルティ青森)	017-722-5861	017-722-5876
盛岡事務所	〒020-0866	盛岡市本宮1-5-23	019-636-0920	019-636-0930
秋田事務所	〒011-0904	秋田市寺内蛭根1-13-13	018-864-4770	018-865-4259
福島事務所 <b>開 古 古 社</b>	$\mp 960 - 8043$	福島市中町4-20みんゆうビル/01 東京初江東区東県2-22-6 (東現町4XISビル)	024-525-8232	024-525-8263
<b>戌                                    </b>	$\mp 310 - 0022$	<b>東京御江東区東陽3-22-0(東陽町ANISEル)</b> 水百市梅香2-2-45(朝日ビル)	029-227-3423	03-5032-0645 029-227-3422
北関東支店	〒331-0811	さいたま市北区吉野町1-399-20 (桜田ビル)	048-653-7291	048-653-7293
千葉支店	〒263-0001	千葉市稲毛区長沼原町51	043-298-5230	043-250-4542
横浜支店	〒231-0033	横浜市中区長者町5-85(三共横浜ビル5F)	045-260-6751	045-260-6752
枥 不 争 務 所	$\pm 323 - 0025$ $\pm 374 - 0041$	小山市城山町2-2-3 館林市宮十百町1133-45	0285-20-3123	0285-20-3124
大田事務所	$\mp 145 - 0064$	出来前留 <u>工</u> 家间1133 43 大田区上池台1-6-8	03-5754-5866	03-5754-5867
川崎事務所	〒212-0012	川崎市幸区中幸町3-16-4-1004	044-542-2235	044-542-2236
藤沢事務所	〒252-0807	藤沢市下土棚468 (ベルーガ湘南310)	0466-77-5171	0466-51-2059
山梨事務所 트 禹 東 좌 所	$\pm 409 - 0115$ $\pm 200 - 0026$	上野原市松留293-3(スカイホーク上野原207) 松太市村共町南1-10-21	0262-41-2014	0262-41-2452
北陸支店	<b>〒950-0925</b>	私本市村井町南1-13-21 新潟市中央区弁天橋通1-2-34 (尾山ビル)	025-257-1888	025-257-1880
上越事務所	〒943-0895	上越市御殿山町19-48	025-527-2461	025-527-2460
中。部 支 社	<b>〒451-0044</b>		052-589-1051	052-589-1275
静尚支店	$\pm 422 - 8062$ $\pm 0.21 - 8054$	静尚帀駿河区相川1-/-15 今週末亜今週5-272	054-284-2010	054-284-2091
並 八 争 伤 所 岐 阜 事 務 所	$\mp 500 - 8463$	並於11日並入3-273 岐阜市加納新本町2-27	058-276-7012	058-276-7015
東濃事務所	〒509-6113	瑞浪市和合町2-23	0572-66-6080	0572-66-6081
三重事務所	〒514-0042	津市新町1-5-22	059-291-6850	059-291-6852
富山事務所	〒930-1301 ■564-0051	富山市馬瀬口1 哈田吉豊津町19-22	0/6-483-8/10	0/6-483-8/08
兵庫支店	$\mp 651 - 0088$	��田川豆津町12-32 神戸市中央区小野柄通3-2-22(富十火災神戸ビル)	078-855-2577	078-855-2578
福 井 事 務 所	〒918-8231	福井市問屋町1-10 (ユニックスビル3F)	0776-28-1020	0776-28-1021
滋賀事務所	〒520-0037		077-526-0755	077-526-3507
尽 都 争 務 所 本 百 事	T607-8085 T636-0822	京都市山科区竹鼻室ノ則町46-4(オフィスセソン3FB) 生駒那三郷町立野南2-10-17	0745-582-8348	0745-595-4122
和歌山事務所	〒640-8303	王嗣和二卿尚立王]用之 10 17 和歌山市鳴神551	073-472-8919	073-472-8929
中国支社	〒731-0135	広島市安佐南区長東4-13-25	082-238-7227	082-238-7949
岡山支店	〒700-0975	岡山市北区今3-19-10 山口古北部市地区9-11(1)-10-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20-20	086-244-8161	086-244-6165
山山文店 安国事務所	$\pm 754-0014$ $\pm 742-0337$	山口巾小郡局砂町8-11(秋本ビル207) 学国市功河町5261	083-9/3-201/	083-9/3-202/
鳥取事務所	$\mp 680 - 0945$	启国市场场前3207 鳥取市湖山町南2-516-10	0857-28-8503	0857-28-8503
島根事務所	〒693-0005	島根県出雲市天神町886-2 アルポルト南天神 2階	0853-24-7160	0853-24-7161
山陽小野田事務所	〒756-0862		0836-89-0087	0836-89-0088
<b>四国文店</b> 高知事務所	<b>T /91-8015</b>	松山巾中央1-11-20 高知市高価21-17(ルミエール高価1F211)	089-927-5808	089-927-5812
香川事務所	〒761-0303	高松市六条町799-5	087-815-4605	087-815-4633
徳島事務所	〒770-0813	徳島市中常三島町3-8-1 (CITYビル2F)	088-657-0550	088-657-0505
れ 州 支 社	〒814-0022		092-831-2511	092-822-2393
長 嗬 文 占 能 本 支 店	$\pm 850 - 0034$ $\pm 861 - 2106$	長崎巾樺島町0-15(人信ビル) 能太市車区車野1-1-12	095-821-7150	095-821-7180
北九州事務所	〒800-0017	北九州市門司区永黒1-4-43	093-391-2906	093-391-2914
対 馬 事 務 所	〒817-1201	対馬市豊玉町仁位1669	0920-58-2021	0920-58-2021
大分事務所	〒870-0033	大分市千代町1-2-35(鈴木Ⅱビル)	097-538-9033	097-538-9035
12 頁 争 務 所 室 崎 重 務 所	〒840-0851 〒880-0856	16月田大佑2-3-11 宮崎市日7出町142-3(タイコービル)	0952-25-0261	0952-25-0262 0985-25-3024
□ ¬□ <u></u>	〒890-0007	正示::::::::::::::::::::::::::::::::::::	099-808-2671	099-808-2673
沖縄事務所	〒900-0014	那覇市松尾2-5-32-601	098-860-9113	098-860-9114
海外事業本部	<b>〒136-8577</b>	東京都江東区亀戸1-5-7 (錦糸町プライムタワー12F)	03-6861-8885	03-6861-8897
ンフカホール支社	Singanore 34033	ig Road #UZ-UU i an Jin Chwee Ind.Bidg. In	00-07473233~6	00-0/4/44
クアラルンプール支社	No.3 Jalan Kenar	17/D, Bandar Puchong Jaya, 47100 Puchong,	60-3-80761377	60-3-80761376
(現地法人)	Selangor Darul Eh	isan Malaysia	04 4 0000 100	
ハノイ連 絡 事 務 所	7tn Fioor A Chan Buil	aing, 1vo.24 Linn Lang Street, Cong VI Ward, Ba Dinh Dist Hanoi, Vietnam	84-4-3232-1034	84-4-3232-1641

# Kisejiban