

2003年9月26日に発生した平成15年

十勝沖地震による地震被害調査および地震・地震動の概要（速報）

佐藤浩一（北海道大学）

大島俊之（北見工業大学）

## 1. はじめに

2003年9月26日午前4時50分頃、北海道十勝沖を震源とする気象庁マグニチュード  $M_j=8.0$  の地震が発生して、北海道および東北地方の広域的地域で大きな震度が計測された。地震被害は十勝支庁を中心に、釧路支庁および胆振日高支庁管内に及ぶ広域的広がりとなっている。今回の地震被害の特徴として、長時間に渡る津波の影響、地震動の長周期成分によるタンクのスロッシングの影響、長大橋の動的応答への影響など、新しい知見が得られるものと思われる。

土木学会では地震工学委員会（委員長：後藤洋三・（独）防災科学研究所地震防災フロンティア研究センター・川崎ラボラトリー所長）ではただちに被害調査団派遣に関する検討に入り、土木学会災害緊急対応部門と協議のうえ、十勝沖地震被害に関する調査団派遣を決定した。調査は、（社）地盤工学会の災害連絡会議のメンバーと合同で、実施した。ここでは、現在までに明らかとなっている地震・地震動の概要と主なる被害状況および現在まで得られている解析結果の一部を速報として報告する。

また、解析結果とその解釈には調査団の統一の見解となっていない団員個人の解釈と見解が含まれている場合があることを予めご了承ください。

今回の2003（平成15）年10月4日から5日にかけての緊急合同調査は公募による応募者を含めて32名の参加者により実施された。調査期間中、現地の国土交通省北海道開発局帯広開発建設部および開発土木研究所の関係各位には現場における特別の通行許可、会議室の準備、現場における説明など大変お世話になりました。また北海道帯広土木現業所、豊頃町および（株）ズコーシャの関係者の方々にも関係書類の準備および現場での対応など多くのご協力をいただきました。

さらに本報告を取りまとめるにあたり、調査団の中から関係する専門分野について報告の原稿を執筆いただいております。

## 2. 調査団の構成

土木学会および地盤工学会との合同調査団の構成は表 1 に示す通りである。

表 1 土木学会（地震工学委員会）・地盤工学会調査団

職区分名		氏名	勤務先名称
団長		佐藤 浩一	北海道大学大学院
副団長		小長井 一男	東京大学生産技術研究所
		三浦 清一	北海道大学大学院
幹事長		大島 俊之	北見工業大学
幹事		宮島 昌克	金沢大学
		橋本 隆雄	(株)千代田コンサルタント
地震・地震動		片岡 俊一	弘前大学
		小長井 一男	東京大学生産技術研究所
		石川 裕	清水建設(株)
		本田 利器	京都大学防災研究所
地震災害		三浦 清一	北海道大学大学院
		安田 進	東京電機大学
		規矩 大義	関東学院大学
		山下 聡	北見工業大学
津波		今村 文彦	東北大学
		藤間 功司	防衛大学校
		高橋 智幸	秋田大学
		谷岡 勇市郎	北海道大学
土木構造物の被害	橋梁、道路	佐藤 浩一	北海道大学大学院工学研究科
		大島 俊之	北見工業大学
		林川 俊郎	北海道大学
		池田 憲二	(独)北海道開発土木研究所
		今野 久志	(独)北海道開発土木研究所
		渡辺 一悟	(独)北海道開発土木研究所
		幸佐 賢二	九州工業大学
	河川	西本 聡	(独)北海道開発土木研究所
	港湾・空港	菅野 高弘	(独)港湾空港技術研究所
		丸本	東京リサーチ
		田地 陽一	清水建設(株)技術研究所
	鉄道	ＪＲ北海道	
	宅地	橋本 隆雄	(株)千代田コンサルタント
ライフライン施設	電力(電柱)	大友 敬三	(財)電力中央研究所我孫子研究所
	ガス	北海道ガス	
	上水道	宮島 昌克	金沢大学
	上水道、ガソリンタンク	安田 進	東京電機大学
	通信	川崎 清	NTTインフラネット株式会社北海道支店
産業施設：タンク		後藤 洋三	(独)防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター
緊急対応		今村 文彦	東北大学
		高橋 智幸	秋田大学
		谷岡 勇市郎	北海道大学

### ３．調査目的および調査対象

今回の地震による社会基盤施設を中心とした構造物の被害状況の把握とその原因解明および関連事項の調査・分析を実施して、今後の地震防災・減災対策の技術進展ならびに学術上の知見に資することを目的とする。

本調査報告は

- |                |                            |
|----------------|----------------------------|
| ( １ ) 地震および地震動 | 小長井一男 ( 片岡、石川、本田 )         |
| ( ２ ) 地盤被害     | 三浦清一 ( 安田、規矩、山下 )          |
| ( ３ ) 津波       | 藤間功司 ( 今村、高橋、谷岡 )          |
| ( ４ ) 道路，橋梁被害  | 大島俊之 ( 佐藤、林川、池田、今野、渡辺、幸佐 ) |
| ( ５ ) 河川       | 西本 聡                       |
| ( ６ ) 港湾，空港被害  | 菅野高弘 ( 丸本、田地 )             |
| ( ７ ) 鉄道被害     | 小西康人 ( JR 北海道 )            |
| ( ８ ) ライフライン   | 安田 進 ( 宮島 )                |
| ( ９ ) タンク被害    | 後藤洋三                       |

のように 9 項目の内容から構成されている。

氏名欄は調査団の中から依頼した報告書の執筆責任者と ( ) 内の氏名は執筆協力者を示している。

# 地震および地震動

石川 裕<sup>1</sup>・小長井 一男<sup>2</sup>・片岡 俊一<sup>3</sup>・本田 利器<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 清水建設技術研究所 主席研究員(〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

E-mail: yutaka.ishikawa@shimz.co.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 東京大学教授 生産技術研究所(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail: konagai@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 博(工) 弘前大学地球環境学科(〒036-8560 弘前市文京町3)

E-mail: kataoka@cc.hirosaki-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 京都大学助手 防災研究所(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

E-mail: honda@catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp

2003年9月26日午前4時50分頃、北海道釧路沖を震源(深さ42km)とするマグニチュード $M_J$  8.0の地震が発生した。「平成15年(2003年)十勝沖地震」と命名されたこの地震は太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した逆断層型の地震で、1952年十勝沖地震( $M_J$  8.2)の震源とほぼ同じところで発生したものである。この地震は継続時間が長かったことが全体的に共通する特徴であるが、各観測地点での応答スペクトルの個別の特徴が際立っており、被害分布とその様相を検討するうえで重要な情報を与えている。なおより詳細な地域分布を推定する一手段として、電柱基部の開口の大きさと分布の調査についてもその概要を報告する。

**Key Words :** strong ground motions, aftershocks, attenuation, utility poles

## 1. はじめに

今回の地震の震源は、1952年十勝沖地震( $M_J$  8.2)の震源とほぼ重なり、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した $M_J$  8.0の逆断層型地震である。政府の地震調査委員会が2003年3月に公表した長期評価では、 $M8$ クラスの十勝沖の地震について、2003年1月から10年以内の発生確率が10~20%、30年以内の発生確率が60%程度とされていた<sup>1)</sup>。

気象庁発表による本震での最大震度は6弱である<sup>2)</sup>。さらに、同日午前6時8分頃に発生した余震(現時点までの最大余震: $M_J$  7.1)でも最大震度6弱を観測した。本震では津波も発生し、北海道から東北地方にかけての主として太平洋沿岸で津波が観測された。GPS観測によれば、今回の地震に伴い、北海道の広い範囲で地殻変動が観測されており、えりも町の電子基準点では東南東方向へ約87cm移動したことが報告されている<sup>3)</sup>。

余震域の広がりなどから断層の大きさは100~150km四方に及んだものと推定されている。また、震源インバージョンによれば、断層の破壊は南東から北西方向に広がり、破壊開始点の北西部(襟裳岬の東側)で大きなすべり(最大6~7m)が生じたこ

とが示されている<sup>4)~6)</sup>。

## 2. 地震動の特徴

気象庁発表による震度分布を図1に示す。揺れが強かった地域は十勝支庁を中心に、釧路支庁、日高支庁などの広い範囲に及んでいる。

今回の地震では気象庁<sup>2)</sup>のみならず、防災科学技術研究所(K-NET, KiK-netなど)<sup>4)</sup>をはじめとして多くの機関で多数の観測記録が得られ公表されている<sup>6)~9)</sup>。このうちK-NET, KiK-netの記録より換算した震度分布を図2に示す。公表されている観測記録の中には震度階で6強相当と見られるものもある。K-NET 広尾、池田、大樹、苫小牧の加速度波形と加速度応答スペクトルを図3、図4に示す。地震規模が大きかったために地震動の継続時間が比較的に長いのが共通する特徴である。応答スペクトルの形は地点ごとに個性的である。周期0.3秒に強いピークが見られる広尾を除いて周期1~2秒まで大きな応答を有するスペクトルが多い。また、苫小牧では5秒以上の周期に大きな応答があり、このような地震動の特性がタンクのスロッシングに影響した可能性がある(注: 苫小牧の地震動については10)に詳しい)。

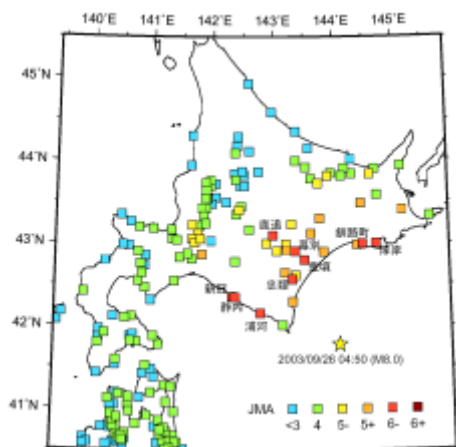


図1 気象庁発表による震度分布

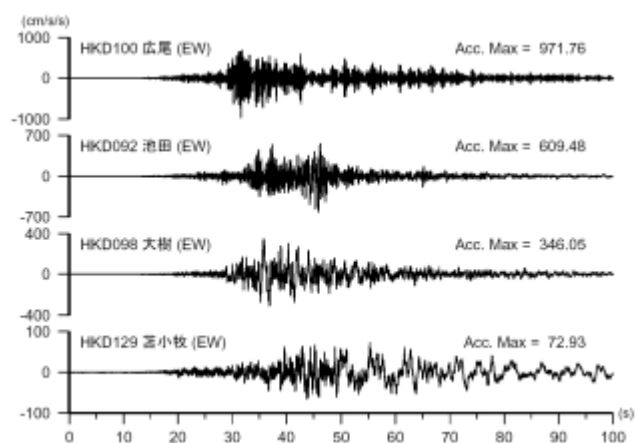


図3 K-NETで観測された加速度波形

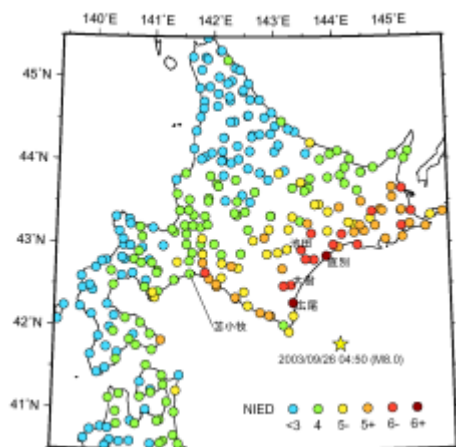


図2 K-NET・KiK-net記録より  
換算した震度分布

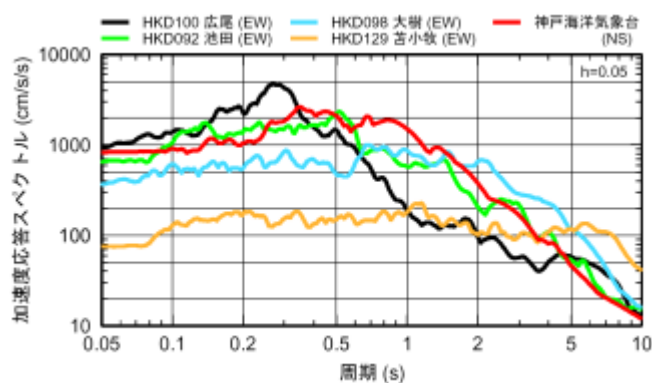


図4 K-NETで観測された加速度応答スペクトル

なお、K-NET の記録の中で最も強い地震動が得られた K-NET 直別では地震計の小屋の傾斜が見られたが、その後の調査により、液状化によると思われる地震計基礎の浮上が報告されている<sup>4)</sup>。

上記最大余震 (M7.1) の際には、本震よりも大きな地震動指標が得られた地点が複数あった。例えば、浦河では K-NET 観測記録の最大加速度・最大速度は本震のそれを上回り、気象台における計測震度も最大余震の方が大きかった。また、青森県では震度 5 が災害対策本部設置の目安であるが、本震では観測されず、最大余震の際にむつ市で観測されたため、設置となった。さらに、防災科研の K-NET、KiK-net の最大加速度分布<sup>4)</sup>を見ると、北海道の亀田半島から青森県太平洋沿岸地域で最大余震の方が大きくなっている地点があることが分かる。

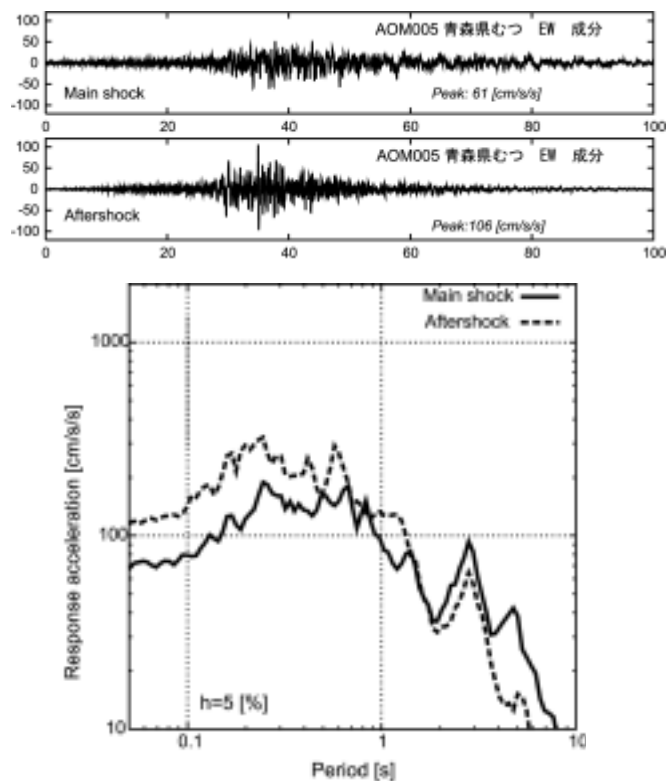


図5 2次元加速度応答スペクトル  
(むつ市、減衰定数 5%)

そこで、むつ市における K-NET の記録（EW 成分）と水平動 2 成分から算出した 2 次元加速度応答スペクトル（減衰定数 5 %）を図 5 に示す．波形からは、全体的に余震の方が振幅が大きいこと、継続時間は本震の方が長いことが分かる．また、加速度応答スペクトルからは、短周期領域では最大余震の方が大きいこと、長周期領域では本震の方が大きいこと、両者が入れ替わるのは 1 秒よりやや長い周期であること、などが分かる．

むつ市における記録の振幅は、それほど大きいものではないが、震源域が大きな M8 クラスの地震では余震の影響についても十分な配慮が必要であることが指摘できよう．

図 6 には K-NET と KiK-net で得られた最大加速度と最大速度の関係を示す（印）．地盤条件等がさまざまであるためばらつきが大きいですが、平均的には最大加速度と最大速度の比  $a/v$  は 1995 年兵庫県南部地震（ $M_J$  7.3：印）と同程度であり、2003 年 5 月 26 日の宮城県沖の地震（ $M_J$  7.1：印）のようなスラブ内地震と比較して小さい（＝相対的にやや長周期成分が卓越する）傾向が窺える．

K-NET、KiK-net で記録された最大加速度の距離減衰特性を図 7 に示す．全体的な傾向は、平均的には既往の距離減衰式<sup>11)</sup>と整合するようであるが、距離が 100km 以内でも大きくばらつく点が多く見られるのが特徴的である．

一方、本年3月には北日本の確率論的地震ハザードマップ：確率論的地震動予測地図の試作版（地域限定 - 北日本）が公表されていたが<sup>1)</sup>、今回強い揺れに見舞われた地域では今後30年以内に震度5弱あるいは震度6弱以上の揺れを受ける確率が相対的に高いことが指摘されていた．また、この50年間を振り返っても、十勝、釧路、日高地域は多くの被害地震に見舞われてきた（表1）．こうした地震経験と被害・無被害との関係についての検証も重要である．

表 1 震度 4 以上の回数

地点	震度 4	震度 5	震度 6
帯広	22	4	0
釧路	46	7	2
広尾	21	6	0
浦河	35	11	1
神戸	1	0	0
東京	36	2	0

（注）1951～2002年、神戸のみ1994年まで

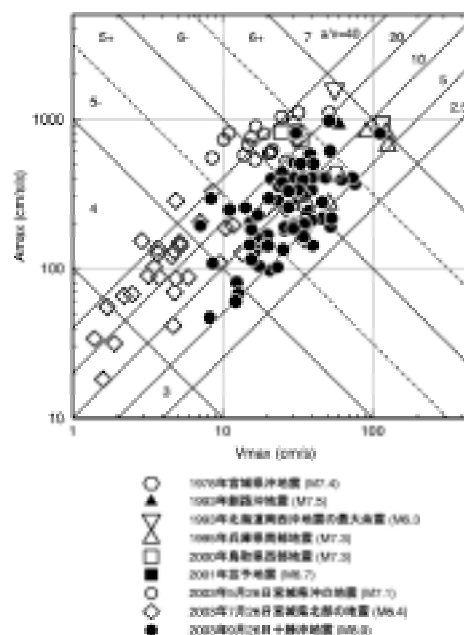


図6 最大加速度と最大速度の関係

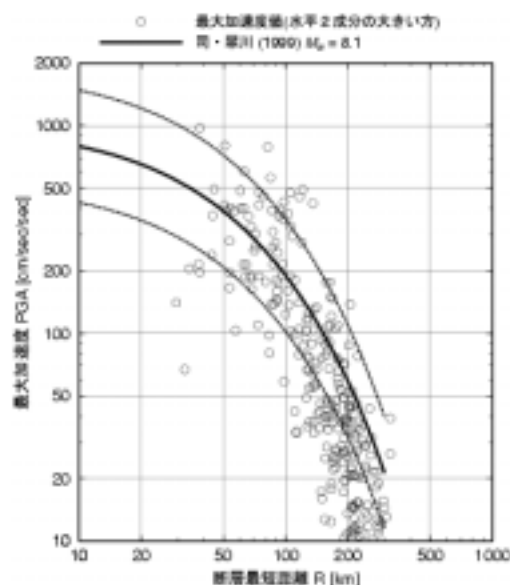


図7 最大加速度の距離減衰特性

### 3. 電柱基部の開口と地震動分布

わが国の3000以上もの強震観測点は世界的にも抜きん出て充実した地震情報を与えているが、いざ被害の詳細に立ち入ると、微地形や地質、旧地形の影響などで道一つ隔てて被害の様相が大きく変わり、この稠密な地震観測システムをもってしても被害分布の記述するには未だに“疎ら”である．小長井ら<sup>12), 13)</sup>は随所に存在する電柱基礎部に生じた楕円形の開口の大きさと方向を調べている．

十勝平野の南西部は日高山脈と豊頃丘陵に挟まれて、古期扇状地および段丘堆積物が広く広がってい

る．そしてこれらを大きく回りこむように十勝川が流下している．電柱の開口は，十勝川沿い沖積平野部，その東部の白糠丘陵そして南部の古期扇状地の丘陵地形内を流れる河川（浦幌川，歴舟川），海岸沿いの低地（直別など），そして丘陵縁辺部（忠類から大樹に至る3段の段丘および十勝港南部の台地など）で大きくなっている（図8）．全体的には南から東の方角に電柱が押されたケース，すなわち電柱の北から西側に開口が認められるものが多く，その傾向が特に顕著な帯広東部で全数27本の81%にあたる22本に達している（9月27日の調査時点）．忠類から3段の段丘を降りて歴舟川に沿って広がる大樹に至る地域では，段丘縁辺部，および沖積低地で開口が認められる．広尾南部の段丘縁辺部でも斜面がやや滑動して，家屋が傾いたところもある．人工的な盛土も一部にあるように見える．卓越した揺れの方角は十勝川沿いほど明確ではないが，南東および東向きに押された形跡を示すものが多い．一方帯広空港のある広大な台地上では電柱開口は調査した範囲で皆無に近い．

伊藤<sup>14)</sup>は，釧路，白糠，本別，浦幌，池田，帯広，中札内，大樹，広尾（以上，K-net 観測点），豊頃（KiK-net 観測点）の計10 観測点の記録を用いて，地震動の強さを表現する諸パラメータとPC電柱根元の開口との定量的な関係を検討している．そして支持する地盤がアスファルト舗装（P）か非舗装（S）かでSI値（kine）と開口D(cm)の間に以下の関係があるとしている．

$$SI = 25.7 + 62.10D; R = 0.590; \quad =20.893 \quad (\text{土})$$

$$SI = 9.25 + 124.7D; R = 0.705; \quad =18.015 \quad (\text{舗装})$$

電柱の形式およびこれを指示する地盤の状態は多様であって，今後さらに詳細なカテゴリー分類の必要がある．なお伊藤はこの結果を2003年7月26日宮城県北部地震（M5.5，6.2，5.3）でほぼ同形式の電柱にも適用し，計測震度計の指示値と，上式から推定されるSI値から換算した震度とは概ね一致することを示している．このような換算式による指標も地震動特性評価の基礎データとして活用していくことが可能であろう．

#### 4．おわりに

本稿では，平成15年十勝沖地震の地震および地震動について，簡単にまとめた．様々な機関の努力により多数の強震記録が得られており，貴重なデータが得られている．文中で指摘したような，地震動のばらつきの大きさや本震を上回る余震の地震動の特

性について，深い地下構造や地盤の非線形挙動等を考慮して検討するとともに，SI値や最大加速度・速

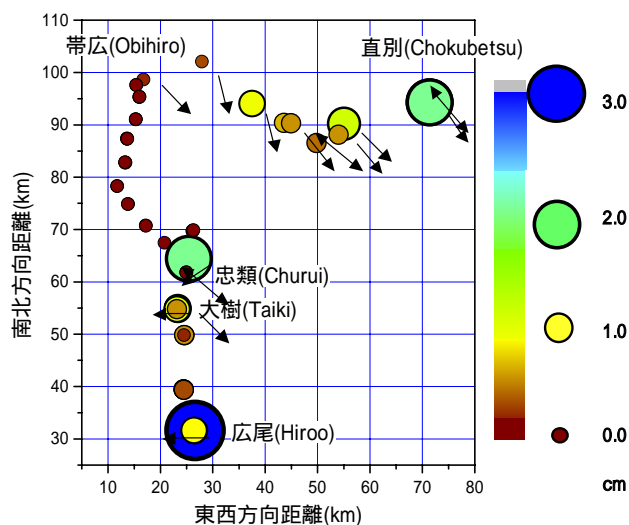


図8. 電柱基部の開口の大きさ（円の半径，および色）と主要な方向（2003年9月29日までの集計）

度比等の地震動指標と被害程度の相関性等について検討していくことが必要であろう．また，今回の地震観測地点のいくつかでは1993年釧路沖地震の際にも記録が得られており，本地震との比較により様々な検討が可能であろう（例えば8））．

#### 参考文献

- 1) 地震研究調査研究推進本部：  
<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 2) 気象庁：<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/seismo.html>
- 3) 国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/>
- 4) 防災科学技術研究所：<http://www.bosai.go.jp/>
- 5) 東京大学地震研究所：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html>
- 6) 建築研究所：<http://iisee.kenken.go.jp/>
- 7) 国土交通省防災情報提供センター：  
<http://www.bosaijoho.go.jp/index.html>
- 8) 港湾空港技術研究所：<http://www.pari.go.jp/>
- 9) 海洋科学技術センター[http://www.jamstec.go.jp/scdc/top\\_j.html](http://www.jamstec.go.jp/scdc/top_j.html)
- 10) 消防研究所：[http://www.fri.go.jp/bosai/tokachi\\_lpgm.html](http://www.fri.go.jp/bosai/tokachi_lpgm.html)
- 11) 司宏俊・翠川三郎（1999）：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，523，pp. 63-70.
- 12) 土木学会・地盤工学会合同十勝沖地震調査団：2003年9月26日に発生した十勝沖の地震被害調査速報，土木学会誌 12月号，2003.
- 13) 小長井一男：十勝沖地震現地調査メモ 2003年十勝沖地震調査団，土木学会災害速報，  
<http://www.jsce.or.jp/report/frameset.htm>
- 14) 伊藤寛倫：質の高い地震危険度評価のための地震被害電柱及

## STRONG GROUND MOTIONS

Yutaka ISHIKAWA, Kazuo KONAGAI, Shunichi KATAOKA and Riki HONDA

A M8.0 intense earthquake occurred off the coast of Tokachi at 4:50 local time, September 26, 2003. The earthquake with the focal depth of 42km was produced by the subduction of the Pacific Plate beneath Hokkaido island, and its thrust fault rupture plane is estimated close to that of the Off-Tokachi earthquake of 1952 (M8.2). The earthquake motions lasted long and exhibited some different features at different locations, which features must have had some relations with the variation of damage in this earthquake. Basic features of the seismic records at K-net stations as well as earthquake-created openings at soil-utility pole interfaces are discussed herein.





では、現在のところ、札幌市が最も震源から遠い地点であると推定しているが、この液状化発生は過去の事例と矛盾するものではないことを示している。

以下では、地域別あるいは被害種別ごとに地盤に係わる災害を略述する。

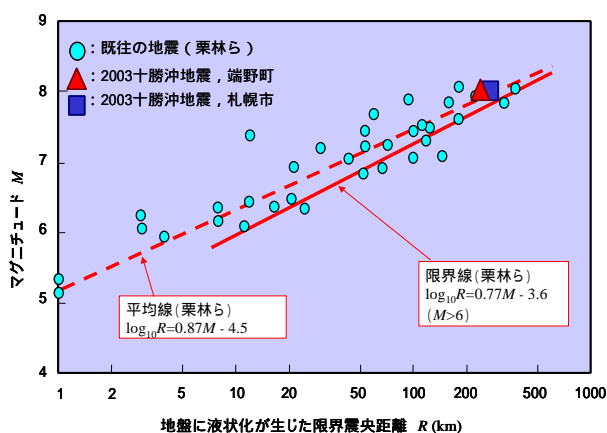


図-3 限界震央距離とマグニチュードの関係

#### 4. 十勝・日高・釧路域における地盤災害

##### (1) 河川関係の被災状況

震源に近い太平洋岸域、特に豊頃・浦幌地区において被害が甚大であるが、今回の地震は、十勝川水系の総延長26,540mの堤防に被害を与えている。図-4は泥炭層の上に構築された十勝川大津築堤の盛土崩壊状況を代表的に示している。これらの被災は、被災域・規模等で1993年釧路沖地震のそれを遙かに上回るものである。この理由として、今回の地震は釧路沖地震に比べて震源が浅く地震動が大きい、

地震動の継続時間が長いこと、などが挙げられている。なお河川堤防の破壊周辺地盤の盛り上がりが見られないものが多いことから、液状化に伴う盛土体内の崩壊が主因とみられる。

河川堤防の関係では、石狩川水系清真布川の堤防(泥炭層上に構築)においても、天端の亀裂や沈下が発生している。



図-4 十勝川 盛土崩壊状況 大津築堤

##### (2) 道路関係の被災状況

道路関係の被害としては、路面の陥没や沈下、橋梁被害、上部構造物の倒壊等、種々の地盤崩壊に起因する災害が発生した。図-5は豊頃駅前の下水道管理め戻し部の液状化による歩道の全面的破壊を示している。このほか道路盛土部を中心に被害が広がっている。この種の被害の多くは、特に沢地形や湿地上にある盛土区間で発生したが、被災箇所のいくつかでは、盛土法尻の周辺地盤に噴砂が確認された。

他に橋梁構造物関係では、十勝河口橋(R336)や千代田大橋(R242)において、支承の破壊による橋桁の横ずれや橋脚の損傷、橋台盛土背面の沈下に起因する被害が生じた。



図-5 豊頃駅前歩道の液状化 歩道北側  
(帯畜大 土谷教授 撮影)



図-6 国道336号線 黄金道路斜面の土砂崩落

##### (3) 斜面崩落災害

R336(広尾～襟裳岬)では、20数カ所で岩盤崩落あるいは落石が発生した。図-6はえりも町庶野～広尾町(通称黄金道路)で発生した斜面崩壊の状況を示している。図のほぼ第1覆道では、崩石土は覆道を乗り越え海岸に達するとともに、覆道出口付近で覆道明かり部から道路路面に崩石土が流入した。幸い人的被害は無かったものの、崩石量は約2,400m<sup>3</sup>に



達した。当該箇所は広尾町寄りで日高累層群(粘板岩および砂岩)、襟裳岬寄りで花崗岩類が主体の地質であった。なお当該地区では、地震発生から3日後(9月29日)に連続雨量69mmの降雨にみまわれたため、本地震およびその後の降雨によってこのような斜面崩壊が誘発されたものと予想される。



図-7 釧路港第4埠頭 段差発生

表-1 釧路港 最大加速度の比較 (国土交通省釧路開建 港湾建設事務所の強震観測記録より)

	平成5年釧路沖地震 (平成5年1月15日)		平成15年十勝沖地震 (平成15年9月26日)	
	地表(Gal)	基盤(Gal)	地表(Gal)	基盤(Gal)
東西方向	343	268	576	202
南北方向	450	203	347	154
上下方向	362	121	149	66
震 度	6		5強	

## 5. 港湾関係の被災状況

十勝港(広尾町)、苫小牧東港(苫小牧市)および白老港(白老町)、釧路港等の重要港湾において顕著な被災が見られた。地震発生時の各港湾の震度は十勝港や釧路港で震度5強、苫小牧東港で震度5弱、白老港で震度4とされ、各港湾でかなり強い振動を受けたと考えられる。液状化による周辺道路の亀裂や陥没といった現象が各箇所で見られた。いずれも、液状化現象が発生しやすい条件がそろっていたことを示唆している。

釧路港では、図-7で見られるように西港第4埠頭の港湾施設用地で最大80cmの沈下(段差)が生じ、また西港区道路を中心に広範な液状化がもたらされている。なお、この地点での強震観測記録(北海道

開発局釧路開発建設部釧路港港湾建設事務所)は、表-1に示すように、10年前の釧路沖地震に比べて地震規模は小さいものの、震動成分が東西方向へ卓越していることを示している。この点は誘発されたケーソン岸壁・裏込め材の変形挙動の解析において留意すべき事項であると考えられる。

また、背後地盤に沈下等が発生したのに対し、岸壁に大きな被害は発生しなかった。この一つの理由としては、1993年釧路沖地震の前後から、サンドコンパクションパイル工法やグラベルドレーン工法による地盤改良などにより、釧路港などで岸壁の液状化対策が進んできている事<sup>5)</sup>があげられよう。なお、河川堤防においても、釧路沖地震で被災した十勝川堤防をサンドコンパクションパイル工法で地盤改良して復旧した箇所が、今回の地震では被災しなかった事が報告されている<sup>6)</sup>。

## 6. 軟弱地盤上に盛土した所の被害

釧路から十勝川流域一帯の低地には泥炭地盤など軟弱地盤が広く広がっている。地下水位も浅い所が多い。このような地盤に1~2m程度の低い盛土をした所の被害が豊頃町でいくつか見られた。

豊頃町大津では図-8に示した家屋が約1°奥の方向に不同沈下した。ここは湿地に低い盛土をして造成された所である。敷地内では噴砂も見られ、家の奥にある納屋内(盛土端に位置する)では写真に平行に地割れが発生していた。この宅地で行った図中に示すスウェーデン式サウンディング結果から、1mの厚さの盛土の下部に原地盤の泥炭層や軟弱なシルト層が堆積していた。地下水位はG.L.-0.7mと浅く、盛土の下部30cmほどは地下水位以下になっていた。従って、この飽和した部分が液状化して家屋の沈下や盛土端のすべりを発生させたものと考えられる。



図-8 盛土上で不同沈下した家屋(豊頃町大津)

## 7. 火山灰地盤の液状化被害

### (1) 火山灰造成農地（北見）

北見市広郷と端野町協和では、屈斜路軽石流堆積物（噴出年代 12～13 万年前）で埋め立てられた農地において、斜面崩壊や液状化による大規模な地盤流動が生じている。この地区では、本震時の震度は 5 弱，最大加速度は 109.4gal(南北成分)，123.6gal(東西)，47.1gal(上下)を観測している。

図-9 に示した端野町協和の被災箇所(斜面傾斜 3°以下)では長さ約 190m，幅 35～62m にわたって最大 3.4m 陥没した。液状化した火山灰は陥没域端部の複数の噴出口から約 10,000m<sup>3</sup> 流出し，農地，道路，明渠に埋設しさらに小河川に流れ込んだ。この地点は丘陵地を刻む狭い谷底平野であり，水田として利用されていた谷底部を約 20 年前に周辺丘陵地から切土した火山灰を谷底部に盛土して畑地として造成した地盤である。なお，この地点付近では 1994 年の北海道東方沖地震でも液状化による地盤崩壊が確認されている。



図-9 液状化による火山灰造成農地の大規模崩壊



図-10 札幌市清田区の液状化と被災住宅

### (2) 火山灰造成住宅地（札幌市）

札幌市清田区においても支笏カルデラを噴出源とする火砕流堆積物（噴出年代3.0～3.4万年前）の液状

化による住宅地の被害が発生している。震源よりおよそ260km(震央距離)の地点である。

札幌市清田区における代表的な火山灰地盤の被害は図-10に示すように，三箇所である。図中の清田団地および美しが丘 は，沢部を火砕流堆積物で埋め立てたところであるが，液状化によって火山灰が地表面に噴出し，道路や家屋の沈下・傾斜をもたらした。なお，清田団地は1968年の十勝沖地震の際にも同種の液状化被害が生じていることが報告されている<sup>7)</sup>。また美しが丘 では，住宅の基礎となる盛土で最大約30cmの沈下が生じた。

## 8. おわりに

以上，十勝沖地震による地盤災害を現在までに得た調査結果を基に紹介した。上述のように社会基盤施設である道路・河川・港湾や住宅・農地等に係わる地盤災害を中心に精査したが，被害は広範にわたっており，今後詳細な調査や解析を行わなければ原因究明に至らない事項がある，独自の考察や解釈を与えた事例も少なくない，等，今回の地震による地盤被害とその機構の全容が正当に明らかにされているとはいえない点もあることが懸念される。

今回の地震はマグニチュードが8.0もあった割には全体に構造物の被害は少なかったと言われる。その中で，造成地盤では主に液状化に起因して種々の被害が発生した。ただし，地盤災害のメカニズムを明らかにするには地盤調査結果が分かっている必要はない。今後，被災原因とメカニズムの究明や被害軽減策に関する研究，また10年前の1993年釧路沖地震後になされた耐震対策工の効果検証などに関する検討をより一層推進させることの必要性を強く感じる。

## 参考文献

- 1) 国土地理院ホームページ：http://www.gsi.go.jp/
- 2) 三浦清一，八木一善：北海道火山性粗粒土の静的および動的力学挙動と粒子破碎，土木学会論文集，No.547/ - 36, pp.159-170, 1996.
- 3) 日本の特殊土：土質工学会，1974.
- 4) 栗林栄一，龍岡文夫，吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所彙報，No.30, 1974.
- 5) 土質工学会1993年地震災害調査委員会：釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告，1994.
- 6) 北海道開発土木研究所土質基礎研究室：平成15年度十勝沖地震現地調査報告（速報），2003.
- 7) 北郷繁，土岐祥介：地震による火山灰および砂地盤の沈下に関する土質工学的研究，1968年十勝沖地震調査報告，pp.463～494, 1968.



# 2003年十勝沖地震により発生した 津波の特性

藤間功司<sup>1</sup>・今村文彦<sup>2</sup>・高橋智幸<sup>3</sup>・谷岡勇市郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 防衛大学校助教授 システム工学群建設環境工学科 (〒239-8686 横須賀市走水1-10-20)

E-mail:fujima@nda.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 東北大学大学院教授 工学研究科災害制御研究センター (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻  
字青葉06)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 秋田大学助教授 工学資源学部土木環境工学科 (〒010-8502 秋田市手形学園町1-1)

<sup>4</sup>正会員 理博 北海道大学大学院助教授 理学研究科地球惑星科学専攻 (〒060-0810 札幌市北区北10条  
西8丁目)

津波は地震発生後約20分後に十勝、釧路、浦河などに到達した。この津波により、十勝港で港湾施設が浸水したのをはじめ、水産業等にも被害が発生した。最大の津波痕跡高は約4m程度で、飛び抜けて大きな痕跡高はない。しかし、津波継続時間は非常に長く、北海道太平洋沿岸岸東・中部では津波警報が約4時間続き、全面的に津波注意報が解除されたのは地震発生から13時間以上も経過した後であった。いくつかの港では、第1波到達から数時間後に最大波が現れた。また、津波が11kmも河川遡上するなど、いくつかの特徴を持った津波だった。

**Key Words :** tsunami, edge wave, river runup, tokachi-oki

## 1. 津波による被害の概要

9月26日04時50分に地震が発生した後、北海道から東北地方にかけての太平洋岸で津波が観測された。この津波により、十勝港や大津漁港で港湾施設や駐車していた車などが浸水し、釧路川で木材が流出したのをはじめ、水産業等にも被害が発生した。図-1から図-4に、例として被害の写真を示す。

図-1は十勝港の概略の浸水範囲を表している。沖合から大きな波が押し寄せたという感覚ではなく、海面がそのまま上昇してきた感じだということである。図-2は十勝港の津波痕跡例である。十勝港では津波の浸水による被害が出たほか、液状化による被害も大きかった。ただし、港湾機能を損なうほどではなかったようである。また、木材集積場が浸水地区の中にあつたが、木材の流出はなかった。浸水

深がそれほど大きくなく、木材が山積みされていたため、木材が浮き上がらなかったためと考えられる。



図-1 十勝港の浸水範囲



図-2 十勝港の津波痕跡の例



図-3 大津漁港の津波痕跡の例

図-3, 4 は大津漁港の津波痕跡の例である。大津漁港でも津波の浸水があり、浮き桟橋も被害を受けた。浮き桟橋は図-4 のような 4 本の支柱を支えにローラーで上下する仕組みになっているが、津波により浮き桟橋が水平方向に力を受け、ローラーが破損してしまった。また港の入り口で津波による渦が観測されている。

その他の港でも、根室の花咲港、浜中町の榊町港、釧路町の昆布森港、釧路港、厚内漁港などで津波が港の岸壁を越えたことが確認されている。

水産被害に関しては、京都大学防災研究所の原田や東京大学地震研究所の都司が調べている。宮古市宮古湾、閉伊川、山田町大沢、陸前高田市小友、大船渡市赤碕、唐桑町、気仙沼市大島などで魚網やカキ・ホタテの養殖筏が損傷を受けた。



図-4 大津漁港の津波痕跡の例(浮き桟橋)

## 2. 津波の到達時刻

気象庁が発表した津波第 1 波の到達時刻（第 1 波のピーク時刻ではない）と第 1 波の高さを表-1 に示す<sup>1), 2)</sup>。この表から、津波は地震発生後約 20 分後には厚岸、釧路、十勝港、浦河などに、1 時間後までに青森県から岩手県にかけての海岸に到達し、さらに福島県小名浜にも 85 分後に到達していることが分かる。また、概ね津波第 1 波は寄せから始まっている。

表-1 には津波の最大高さと最大高さになった時刻もあわせて示してある。地震発生時刻は満潮から干潮に向けて潮位が低下しつつある時間帯だった。そのため、第 1 波が最大水位だった所が多いが、浦河では 06 時 24 分（5 波目=1.3m）が最大水位だった。

また、潮位を差し引いた津波だけの高さに関しては、表-1 にも示したように、釧路で地震発生後 4 時間後の 09 時頃、苫小牧西港では地震発生から 7 時間以上経過した 12 時 30 分頃の波が最も大きかった。表には掲載していないが、大津漁港でも約 2 時間後の波が最大だったようである。アラスカやチリなどで発生して長距離を伝播してくる、いわゆる遠地津波の場合には、分散性の影響により最大波発生時刻が遅くなることが知られている。しかし、今回の津波は、近地津波であるにも関わらず地震発生から数時間も経過してから最大波が発生したことになる。これは、今回の津波の大きな特徴のひとつである。

表-1 検潮記録による津波第1波および最大波の時刻と高さ（気象庁による<sup>1)</sup>）

	第1波到達時刻	第1波の高さ	最大値出現時刻	最大値
根室市花咲	26日05時27分	(+) 0.90m	26日05時40分	0.90m
霧多布	26日05時23分	(+) 0.43m	26日08時25分	1.30m
厚岸	26日05時06分	(+) 0.17m	26日07時11分	1.14m
釧路	26日05時06分	(+) 1.02m	26日09時03分	1.18m
十勝港	26日05時06分	(+) 2.54m	26日05時24分	2.54m
浦河	26日05時07分	(+) 0.20m	26日06時24分	1.29m
苫小牧東港	26日05時45分	(+) 0.45m	26日09時06分	1.09m
苫小牧西港	26日05時49分	(+) 0.32m	26日12時31分	0.96m
室蘭	26日06時03分	(+) 0.25m	26日07時28分	0.26m
函館	26日06時05分	(+) 0.30m	26日08時18分	0.78m
むつ市関根浜	26日05時39分	(+) 0.35m	26日07時47分	0.48m
八戸	26日05時44分	(+) 0.63m	26日08時17分	0.99m
宮古	26日05時34分	(+) 0.57m	26日05時44分	0.57m
釜石	26日05時40分	(+) 0.42m	26日06時39分	0.42m
大船渡	26日05時44分	(+) 0.22m	26日05時49分	0.22m
牡鹿町鮎川	26日05時59分	(+) 0.16m	26日09時00分	0.27m
いわき市小名浜	26日06時15分	(+) 0.12m	26日08時23分	0.18m

### 3. 津波の痕跡高

地震発生後、各機関が現地に入り津波の高さなどを調べている。各機関が測定した痕跡高を谷岡がまとめた結果（速報値）を図-5に示す<sup>3), 4)</sup>。図から分かるように、北海道での津波痕跡高は1m-4m程度である。本州での痕跡高は尻屋崎周辺を除くと1m以下のものが多い。ただし、秋田大学の松富の調査によると、信頼性の低いものを含めると三陸でも2m程度の痕跡もあった。また、都司によると、久慈市玉の脇で1.3m、宮古市赤前で2.5mとの新聞報道があったようである。

通常、津波痕跡高を詳細に調べると、局所的な地形の影響を受け、周辺に比べて飛び抜けて大きな痕跡高が現れることが多いが、今回そのような傾向は少なかった。これは、十勝・日高地方の海底地形が比較的単調で、津波エネルギーが1箇所集中することがなかったためと思われる。

1952年の十勝沖地震では厚岸・霧多布付近で大きな痕跡高が得られている。1952年の十勝沖地震と今回の十勝沖地震では、震源位置に大きな違いがない。しかし、津波痕跡高分布が大きく異なることは、1952年と今回の地震で、動いた地震断層が必ずしも同じでないことを意味しているのかもしれない。

なお、東京大学地震研究所の阿部によると、地震マグニチュード（気象庁マグニチュード）8に対し、検潮記録から算出する津波マグニチュードも8である。したがって、統計的に見ると、M8クラスの地

震に対して平均的な規模の津波が発生しているといえる。

今回の地震の規模を考えれば、津波による被害は驚くほど少なかったと言ってよい。津波の高さが4m程度だったことが、今回の津波で比較的被害が少なかった主要因のひとつである。ただし、日本海中部地震のときに遠足に来ていた小学生が被害にあった男鹿半島の加茂青砂の痕跡高も3m-4m程度であり、4mの津波なら必ず被害が小さいというわけではない。地震発生が朝5時頃で、観光客がまだ出

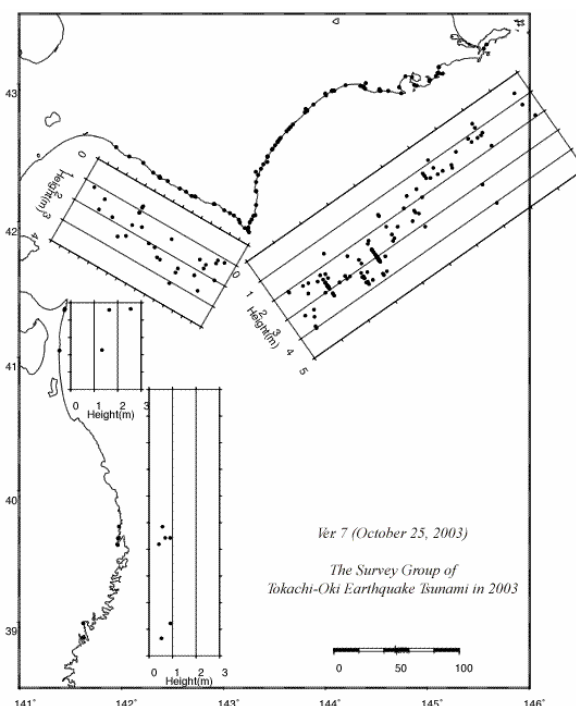


図-5 合同調査団による津波痕跡高（速報値）



歩いておらず、一方で多くの漁船がすでに出港していたか、または出港準備が整っていたという幸運に恵まれたこと、そして住民の避難率が高かったことも、今回の津波による被害が少なかった原因と思われる。住民の避難率が高かったことは、地震の揺れが強かったことや、地方自治体の広報活動や過去の地震・津波の経験・教訓が生きていたことによると思われる。

#### 4. 津波の継続時間

気象庁では、04時56分に、北海道太平洋沿岸東部および中部に「津波」の津波警報、北海道太平洋沿岸西部、青森県（日本海沿岸、太平洋沿岸）、岩手県、宮城県、福島県に「津波注意」の津波注意報を発表した。09時に北海太平洋沿岸東部および中部の津波警報が「津波注意」の注意報に切り替えられた。注意報が解除されたのは宮城県、福島県が15時、青森県、岩手県が16時30分で、最終的にすべての予報区で注意報が解除されたのは18時30分だった。すなわち、北海道では津波注意が13時間も続いたことになる。実際の津波は、小さなものも含めるとさらに長時間継続している。

また、第2節でも述べた通り、津波第1波が最大だった場所がある一方、第1波到達から数時間後に最大波が観測されたところもある。エッジ波（陸棚波）が発生し、多重反射を繰り返した結果だと考えられる。これは、人と防災未来センターの越村によ

るシミュレーション結果（<http://www.asahi-net.or.jp/~qu9s-ksmr/tokachi/>）からも裏付けられる。

海岸線付近で発生した地震によりエッジ波が形成されるメカニズムは藤間ら<sup>5)</sup>が理論的に検討している。越村のシミュレーション結果を見ると、襟裳岬の西側の海岸では藤間らの論文のCase 1（ゼロ次モードのエッジ波が海岸線沿いに進む）に類似した現象が起きており、襟裳岬の東側ではCase 2（海岸線で反射した波が屈折して再び海岸線に戻ってくる）に類似した現象が起きていたようである。

いずれにせよ、このような状況になると、地震発生後かなりの時間が経過した後も大きな津波が発生する可能性があり、長時間の警戒が必要になる。

#### 5. 津波の河川遡上

今回の津波では、北海道開発局や北海道開発土木研究所が河川遡上に関する多くのデータを収集している<sup>6),7)</sup>。北海道開発土木研究所の調査では、津波は十勝川を少なくとも約11km遡り、高水敷まで達していたと見られている<sup>6)</sup>。十勝川高水敷の痕跡高は標高1m～2m程度である。

図-6に、十勝川河口部に位置する大津観測所の水位記録を示す。水位記録は10分間隔なので、ピークを捕らえていない可能性があるが、地震発生時の河川水位が0.6m程度で、05時30分に1.75mの水位を記録しているから、少なくとも津波により1m程度の河川水位の上昇があったことになる。

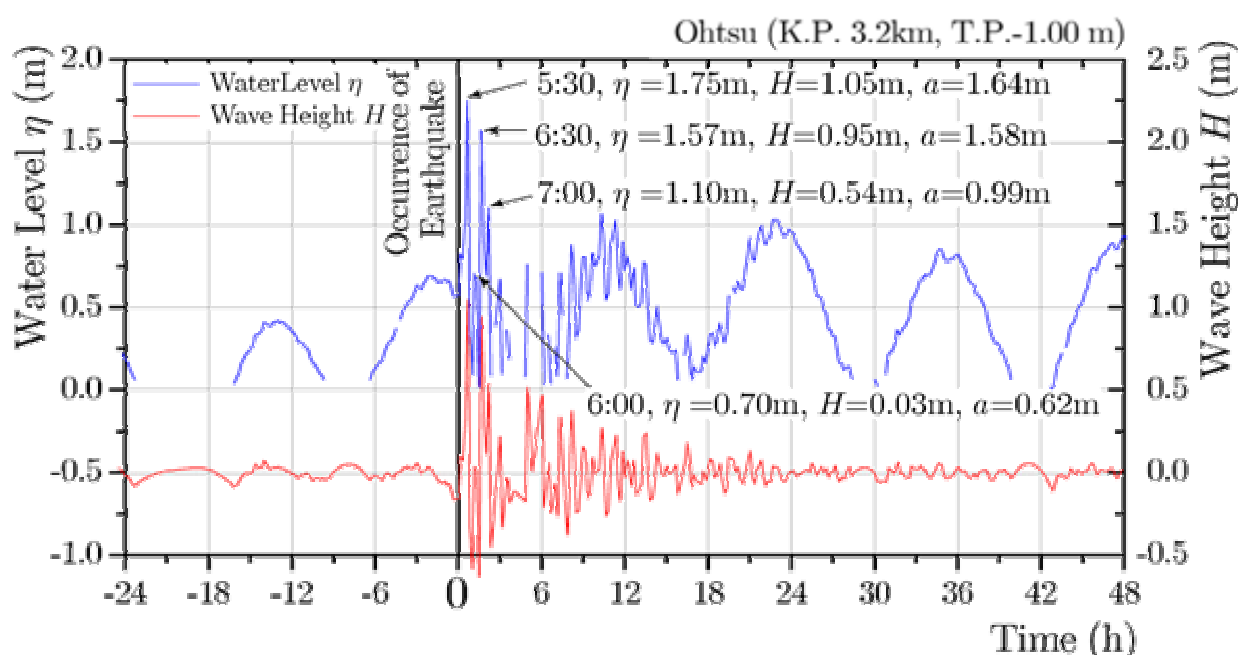


図-6 大津観測所の水位記録（安田<sup>6)</sup>による。10分間隔のデータであることに注意）



また、陸上自衛隊が波状段波となり十勝川を遡る津波の様子を撮影し、TV ニュースで公開していた。陸上自衛隊がビデオを撮影したのは 06 時 25 分である。津波が大津観測所からビデオの撮影場所である十勝川河口橋に達するのに 7,8 分かかるはずなので、ビデオに撮られた津波は、大津観測所での 06 時 15 分から 20 分にかけてのものに対応する。すなわち、河川水位が最低だった時間帯であり、ビデオに撮影されたのは、津波が波谷から水位上昇に転ずる様子だったと考えられる。

北海道開発土木研究所の調査によると、釧路川でも少なくとも 7km 地点までは津波が到達している。その他、沙流川、鵠川でも津波の河川遡上が観測されている。霧多布の新川では水門が閉められたため河川遡上は免れたが、水門でせき止められた津波が川からあふれ、周辺に浸水している。

従来の津波被害推定においても、津波が河川遡上し堤防を越えると浸水域が広がるという程度の認識はあった。しかし、今回の十勝沖地震では、地震の強い揺れによって十勝川の堤防が大きな被害を受けている。したがって津波が天端高を越えなくとも、破壊箇所まで津波が到達していたら、さらに大きな被害が発生していた可能性もある。今後この種の複合災害に対しても検討が必要だろう。

**謝辞：**本文をまとめるにあたり、土木学会地震工学委員会・海岸工学委員会「津波被害推定ならびに軽減技術研究小委員会」をはじめ、関係各機関の皆様から貴重なデータやご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 気象庁：地震概況，日本地震学会ニュースレター，Vol. 15, No. 4, pp.16-26, 2003.
- 2) 気象庁：[http://www.jma.go.jp/JMA\\_HP/jp/wave\\_j/](http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jp/wave_j/)
- 3) 秋田大学：  
<http://www.hel.ce.akita-u.ac.jp/tsunami/tokachi2003/>
- 4) Tanioka et al., Tsunami run-up heights of the 2003 Tokachi-oki earthquake, submitted to Earth Planet and Space.
- 5) 藤間功司，正村憲史，堂園良一，重村利幸，後藤智明：陸棚で発生した津波に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.621/II-47, pp.141-151, 1999.
- 6) 安田浩保：津波の河川遡上，平成15年（2003年）十勝沖地震被害調査報告，北海道開発土木研究所月報特集号，pp.15-22, 2003.
- 7) 北海道開発土木研究所：  
<http://river.ceri.go.jp/rprt/tokachi/tokachi01.htm/>

## CHARACTERISTICS OF TSUNAMI GENERATED BY 2003 TOKACHI-OKI EARTHQUAKE

Koji FUJIMA, Fumihiko IMAMURA, Tomoyuki TAKAHASHI and Yuichiro TANIOKA

The tsunami arrived Tokachi, Urakawa and Kushiro within 20 minutes after the earthquake, and inundated Tokachi and other some ports. The maximum tsunami trace height was about 4m. This height was not so large, although the tsunami continuance time was very long. The tsunami warning kept more than 13 hours. The maximum waveheight was observed several hours after the arrival time of the leading wave in some ports. Further, the tsunami run up some rivers in Hokkaido. The trace height in high-water channel was 1m-2m.

# 平成15年(2003年)十勝沖地震における道路・橋梁の被害

北見工業大学 フェロー 大島 俊之

## 1. はじめに

平成15年十勝沖地震における道路・橋梁に関する被害は十勝地方において多く発生した。本報告では、十勝川中流域の千代田大橋と下流域の十勝河口橋、および大きな地盤震動が観測された広尾町にある十勝港に近い歴舟橋の被害状況を報告する。

橋梁に関する被害としては、JR北海道の浦幌川橋梁(PC単純桁、昭和44年完成)の橋脚せん断破壊(土木学会誌12月号で報告、41ページ)、釧路開発建設部の尺別橋(昭和38年完成)の桁端衝突被害の他、軽微な被害として橋梁取り付け部の路面沈下が多く発生した。また国道336号(黄金道路)の落石崩壊についても報告する。(図1参照)



図1 十勝地方の道路路線図

## 2. 道路橋に関する被害

### (1) 十勝河口橋

十勝河口橋は平成4年度に建設完了した大津近郊の十勝川河口に架かるコンクリート橋であり、橋長928m、主橋梁は100m+165m+100mのデビダーク工法によるコンクリート3径間連続桁であり、側橋梁として右岸側の3@63.3m=189.9mの3径間連続コンクリート箱桁橋および左岸側の3@61.3m=183.9mの同じく3径間連続コンクリート箱桁橋がある。被害は側橋梁、特に左岸側の連続桁に集中し、橋台部で橋軸直角(上流)方向に最大67cm程度上流側に移動し(写真1)、支承部に大きな損傷が発生した。

また写真2は右岸側から左岸側を撮影したものであるが、写真左側の左岸側で橋梁地覆が上流側に折れ曲がっている状況が見られる。これは路面上の白線の折れ曲がりからも確認できた。現在は応急復旧工事として、上部工の安定化と余震対策としての落橋防止のための工事を終了して10月7日に開通させ、平成16年1月現在



写真1 浦幌側橋台上で上流方向へ桁が移動(67cm、十勝河口橋)



写真2 遠方左岸側の橋軸折れ曲り(十勝河口橋)

本格復旧の工事中である。本格復旧は水平移動した桁をスライドさせ、橋軸線を元に戻すとともに、支承の新設を行うことになっている。架橋地点近傍で得られた観測波形(大津港、直別)による最大加速度応答スペクトル( $gal$ )( $h=0.05$ )によれば平成14年度版道路橋示方書レベル2(タイプ)の基準を越える値が直別EW成分(固有周期0.35secおよび0.6secあたり)および大津港NS成分(0.4secあたり)に見られるとともに、固有周期1.6secあたりに大きなピークが見られる特徴がある。

### (2) 千代田大橋

千代田大橋は十勝川中流域に架かる橋梁で橋長706m、主橋梁は5連の単純鋼トラス(5@60.5m)また左岸側および右岸側にそれぞれ5連づつのポステンPC単純T桁橋(2\*5@39.3m)であり、主橋梁のトラス部は昭和29年、側橋梁のPC桁部は昭和41

年に建設されており、主橋梁部は橋歴50年以上、側橋梁部は37年を経過している。

被災直前まで耐震補強および架け替え工事の計画中であり、その作業中に被災したものであり、本格架け替えが早急に必要である。被害は主橋梁支承部（写真3）および側橋梁の橋脚に対して発生した。（写真4、5）橋脚被害は典型的な曲げ破壊であり、写真6に示すような鋼板接着補強により応急復旧を実施した。千代田大橋は現在新設橋の設計を実施している。



写真3 主径間トラス支承部の破壊



写真4 千代田大橋側径間部橋脚の被害（1）



写真5 千代田大橋側径間部橋脚の被害（2）



写真6 千代田大橋橋脚の鋼板接着補強

### （3）歴舟橋

歴舟橋は一般国道336号の広尾町（十勝港）近郊の橋梁で、橋長553.6m、連続15連の単純コンクリート桁橋（15@36.0m）であり、昭和47年に架設された。被害は支承部に集中している。広尾における観測波形による最大加速度応答スペクトル結果によればNSおよびEW成分とも0.3secあたりで3G近い値が得られている。（ $h=0.05$ ）被害状況を写真7に示すがアンカーボルトの抜けや支承台座の損傷が大きくなっている。緊急対応状況を写真8に示している。



写真7 歴舟橋 アンカーボルトの浮き上がり



写真8 歴舟橋 支承部の仮受け



これらの橋梁被害の背景としては被災した十勝海岸地方は図2に示すように十勝川水系の堆積層が厚い地層構成であり、軟弱層、液状化層が地震応答に及ぼす影響が大きかったものと推察される。

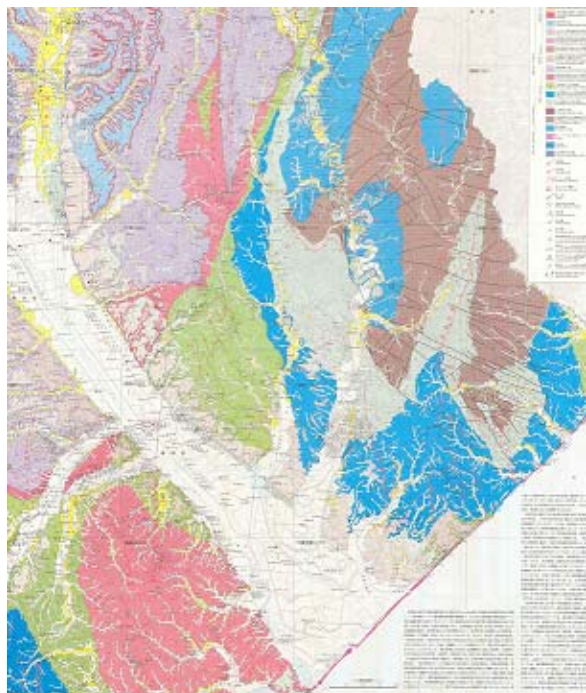


図2 十勝東部地方の地質分布図  
(中央部が十勝川流域)

### 3. 道路(落石)に関する被害

図1に示す国道336号(通称黄金道路)は広尾から襟裳岬にかけて太平洋岸に沿って断崖地帯を通過している生活道路である。通常、雨量120mmを限度として交通規制している、道路防災上の重要監視路線である。これまでの落石、土砂崩落データから、地震と降雨が連成した根拠は明確には見られていないが、地質が複雑で年代の古い地帯であることから、道路管理者は十分な通常防災点検を実施している。また、危険箇所は写真11に示すように覆道を設置している。



写真10 ほしば覆道上部の落石(大きさ2m)

覆道を設計する際の落石規模としては、砂岩、泥岩などの断崖の岩種を特定し、2m程度の岩体を想定しており、今回の崩落は想定範囲内であった。

写真11、写真12は国道336号の広尾・襟裳岬間のほしば覆道上部の落石、土砂崩落状況を示している。崩落範囲は覆道のポケット部分にほぼ入っており、覆道本体に影響は及んでいない。現在はポケット部の土砂を取り除いて余震に備えている。



写真11 ほしば覆道上部の崩落(1)



写真12 ほしば覆道上部の崩落(2)

**謝辞：**今回の平成15年10月4日から5日にかけての緊急合同調査は公募による応募者を含めて32名の参加者により実施された。調査初日（4日）早朝に帯広空港に全員集合、被害概要の全体説明の後、構造物、河川、港湾およびライフライン関係の4グループに班編成して調査を開始した。調査期間中、現地の国土交通省北海道開発局帯広開発建設部および開発土木研究所の関係各位には現場における特別の通行許可、会議室の準備、現場における説明など、大変お世話になりました。また北海道帯広土木現業所、豊頃町および（株）ズコーシャの関係者の方々にも関係書類の準備および現場での対応など多くのご協力をいただきました。これらの方々に調査団として深く感謝申し上げます。

# 河川の被害

北海道開発土木研究所 正会員 西本 聡

## 1. はじめに

2003 年十勝沖地震により、国が管理している河川では、図 - 1 に示すように十勝川、釧路川、標津川、網走川、石狩川の 5 水系 14 河川で被害が発生した。河川堤防の被害は、堤防天端の縦断方向の亀裂、沈下、のり面のすべりなどである。堤防のり面の基盤周辺に噴砂跡が確認された箇所もあった。本報告では、北海道開発土木研究所が行った地震直後の初動調査、土木学会現地合同調査、および北海道開発局の調査資料をもとに被害が集中した十勝川水系の河川堤防の被害について述べる。

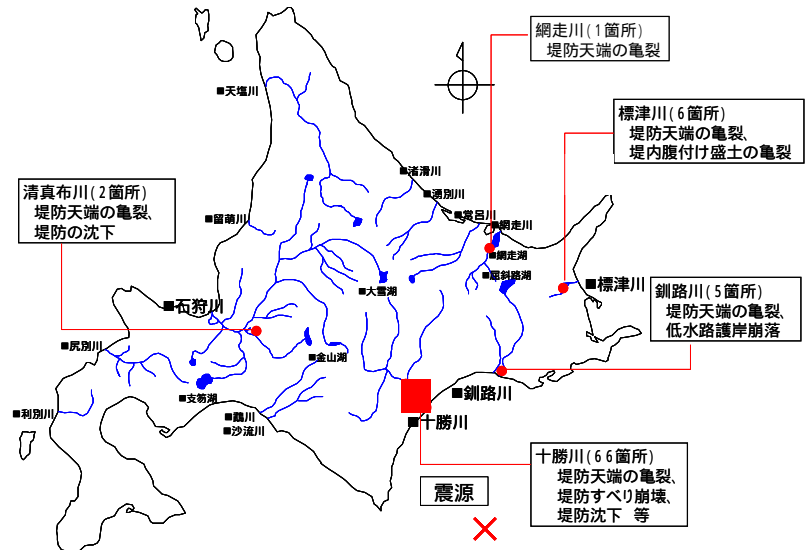


図 - 1 直轄河川の被災箇所図

## 2. 十勝川河川堤防の被災事例

### 2-1 十勝川右岸大津築堤 豊頃町大津

調査地点は、十勝川河口から 2.9～3.6km 上流部である。堤内側のり面に腹付けされた管理用道路が崩壊した(写真 - 1、2)。地震後のボーリング調査では、地表面から砂質土が 2m 程度の厚さで分布し、その下位には粘性土と砂質土の互層が分布している。基盤の砂質土およびその下層の粘性土の  $N$  値はいずれも 5 程度である。変状後の堤体内の水位はかなり高く、堤体中央部で地表面から約 4m 程度あがっている。地震前の地下水位は不明であるが、崩壊跡の亀裂に噴砂跡が確認されたこと、管理用道路の粒度組成は堤体本体と比較して細粒分が少ないこと、堤体本体には大きな変状はみられないことから、この区間の崩壊は、管理用道路の地下水位以下にある盛土の液状化に起因している可能性が高いと考えられる。



写真 - 1 十勝川右岸大津築堤 (提供：北海道開発局)  
崩壊した堤内側の管理用道路



写真 - 2 十勝川右岸大津築堤 (提供：北海道開発局)

キーワード 河川堤防、泥炭、砂質土、液状化

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3 (独)北海道開発土木研究所土質基礎研究室 TEL011-841-1709 FAX011841-7333



## 2 - 2 十勝川左岸ウツナイ築堤 浦幌町ウツナイ

調査地点は、十勝川河口から約 4.8km 上流部である。ここでは写真 - 3 に示すように堤防天端に横断方向の亀裂・段差が発生した。1968 年に樋門を設置しウツナイ川の河道を切り替えた箇所であり、亀裂の方向と旧河道の方向が一致している（写真 - 4）。また、堤内側のり面には馬蹄形状にすべりが発生した。崩土によって堤内排水がふさがれたが、周辺地盤の隆起はなかった。

地震後のボーリング調査によると、旧河道は砂質土と礫質土で埋め戻されている。地震後の地下水位はほぼ基盤面近くにある。調査時点では確認できなかったが、堤内側のり尻周辺に噴砂跡が確認されたとの報告があり、旧河道跡を埋め戻した砂質土の液状化が変状に関わっていると考えられる。



写真 - 3 十勝川左岸ウツナイ築堤（提供：北海道開発局）  
横断方向に発生した亀裂・段差



写真 - 4 十勝川左岸ウツナイ築堤（提供：北海道開発局）  
旧河道にそって亀裂が発生した様子が見える

## 2 - 3 牛首別川右岸 豊頃町

調査地点では、堤内側のり面が沈下し、側方にはらみだしていた（写真 - 5）。崩土の亀裂から土砂が噴出していた。周辺堤内地の排水は滞水しており地下水位は高いと推定された。この断面でのボーリング調査によると、図 - 2 に示すように厚さ 5m 程度の泥炭が地表面に分布しており、堤体中央部では 2m 程度に圧密されている。素地の泥炭のコーン指数は  $q_c = 500\text{kN/m}^2$  程度で、堤体下では  $q_c = 1500 \sim 200\text{kN/m}^2$  である。堤体下の泥炭の強度増加は、 $N$  値からも推測され、素地のほぼゼロから 4 ないし 5 に変化している。泥炭層の下位には厚さ約 2m の粘性土が分布し、その下位には砂質土が分布している。地震後の堤体部分の地下水位は、堤体中央部では基盤泥炭層から 3m 程度あがっている。噴砂と堤体土および泥炭層下位の砂質土の粒度組成は明らかでないが、この区間の変状は、1993 年釧路沖地震での堤防崩壊に至る機構として指摘されたように<sup>1) 2)</sup>、基盤泥炭の圧密沈下により地下水位以下に

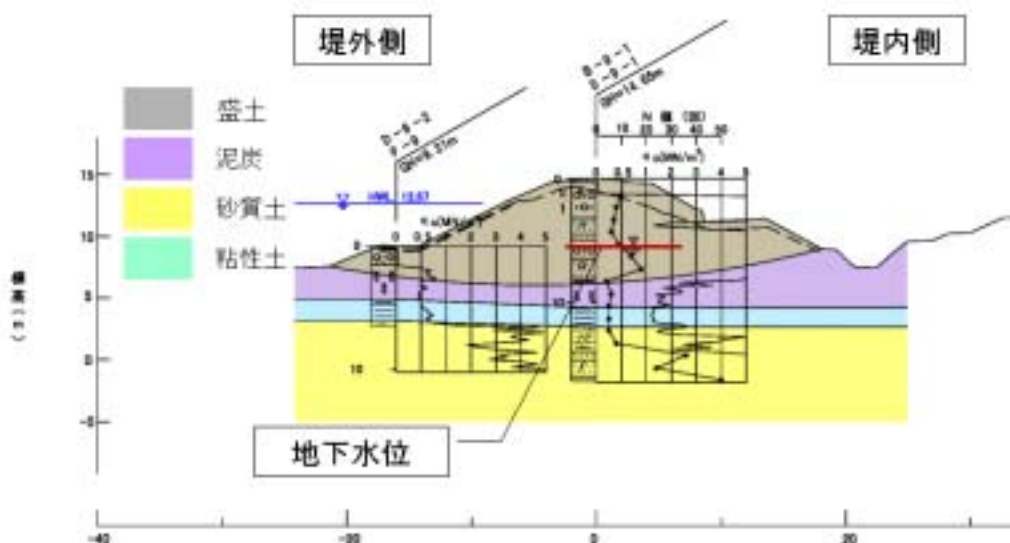


図 - 2 牛首別川右岸築堤における被災断面

没した堤体盛土の液状化が関わっている可能性が高い。

## 2 - 4 十勝川右岸統内築堤 幕別町統内

調査地点は、1993 年釧路沖地震により堤体盛土が 1,500m にわたり崩壊し、災害復旧工事を実施した箇所である<sup>3)</sup>。1993 年釧路沖地震の被災断面を図 - 3 に示す。釧路沖地震による変状の機構として、基盤泥炭層の圧密沈下により泥炭層へめり込み地下水位以下に没した堤体盛土が液状化して崩壊に至った可能性が指摘された<sup>1) 2)</sup>。統内築堤の被災区間の中でもとりわけ変状の著しく、堤防としての機能を維持できない状態となった 650m の区間は全面切り返しを必要とした。再盛土は急速施工を行うために、地盤の安定性を確保する基盤処理工法としてサンドコンパクションパイル工法が実施された(図 - 4)。あわせて堤体内の地下水位を低下させるためにドレーン工も実施された。部分切り返しが行われた箇所では、今回の地震により堤防天端に幅 10～20cm、深さ約 70cm の亀裂が縦断方向に延長 120m にわたり発生したが、サンドコンパクションパイルおよびドレーン工が実施された 650m の区間については、軽微な被害に収まっており(写真 - 6)、耐震性の向上効果がみられる。このことは、耐震対策の重要性を示している。

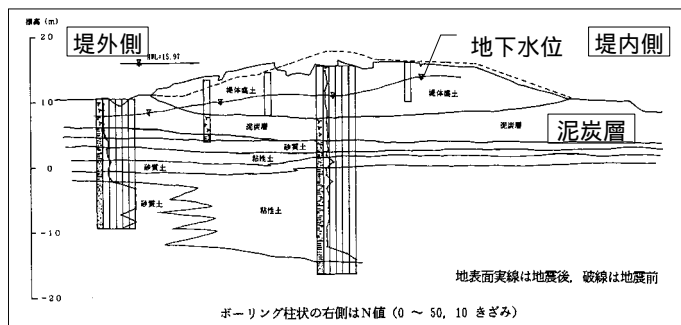


図 - 3 1993 年釧路沖地震による十勝川右岸統内築堤 KP32.70 における被災断面

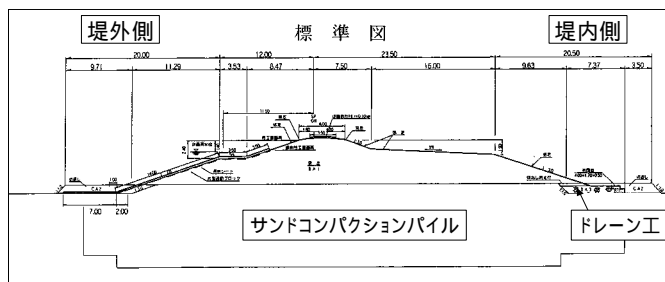


図 - 4 1993 年釧路沖地震による統内築堤の災害復旧工法  
(全面切り返し部)

## 3 . 1993 年釧路沖地震との比較

被害の程度は単純に比較できないが、今回の十勝川水系の被害状況は、被災域・被災延長で 1993 年釧路沖地震を上回っている(表 - 1)。釧路沖地震で被害があった大部分の箇所でも再度被害が発生した。また、釧路沖地震で被害がなかった箇所でも被害が発生している。この理由として、釧路沖地震と比べて今回の地震は、震源が浅く地震動が大きい、地震動の継続時間が長いことが挙げられる。また、釧路沖地震の発生



写真 - 5 牛首別川右岸築堤

堤内側のり面の崩壊 崩土の亀裂から土砂が噴出していた



写真 - 6 十勝川右岸統内築堤

釧路沖地震の災害復旧でサンドコンパクションパイルとドレーン工が実施された箇所は軽微な被害に収まっている



は、1 月の厳寒期であり、地表面が凍結していたため、のり面の変状が抑制された可能性も考えられる。詳細に関しては今後の調査を待たなければならない。

4 . ま と め

2003 年十勝沖地震による十勝川およびその支流河川での堤防の被害は、泥炭性軟弱地盤上や旧河道締め切り部におけるものが多い。現時点（12 月末）の情報から、河川堤防の変状の原因として、大きく以下の 2 点に要約できる。

砂質地盤において、基礎地盤が液状化したことによるもの

泥炭地盤において、その圧密沈下に伴い地下水位以下に没した堤体土の液状化に起因するもの

特に、 については、1993 年釧路沖地震の際にも、その現象が指摘されていたが、今回の地震において、あらためて注目される。この現象は、通常の沖積粘土と比較して圧縮性が極めて高い泥炭特有の性質に起因したものであり、泥炭地盤が地震動を増幅させたことや、もともとせん断力が小さいことなどが複雑に作用して大きな変状に至っているものと思われる。泥炭地盤上に築造されている河川堤防は相当の延長になると推測されることから、北海道における河川堤防の耐震性向上について、今後の検討が必要と考える。一連の堤防で変状が発生した箇所、発生しなかった箇所があることは、堤体盛土の地下水位、基盤の地質、たとえば泥炭の厚さ、泥炭層の下位の砂層の有無あるいはその厚さ、築堤履歴などの違いに起因していると考えられ、今後の詳細な検討が必要である。

最後に、本報告のとりまとめに際して、多大なご協力をいただいた国土交通省北海道開発局の関係各位にここに謝意を表します。

5 . 参 考 文 献

- 1 ) 北海道開発土木研究所：1993 年釧路沖地震被害調査報告、開発土木研究所報告第 100 号、1993 年 9 月
- 2 ) 土木学会：1993 年釧路沖地震震害調査報告、1994 年 12 月
- 3 ) 北海道開発局帯広開発建設部：平成 5 年（1993）釧路沖地震十勝川築堤災害復旧記録誌「大地が震え堤防がなくなった日」、1994 年 12 月

表 - 1 釧路沖地震と十勝沖地震の比較

		1993 年釧路沖	2003 年十勝沖
マグニチュード		7.8	8.0
震 源		N 42 ° 55 E 144 ° 21	N 41 ° 47 E 144 ° 05
深 さ(km)		101	42
大津水位観測所(*1)	位 置	N 42 ° 41 E 143 ° 38	
	震央距離(km)	63	106
	最大加速度(gal)	縦断方向 314 横断方向 468	NS 439 EW 528
堤防の被害(m)(*2)	十勝川	7,105	16,989
	利別川	183	1,530
	牛首別川	1,496	1,909
	礼文内川	-	250
	久保川	-	1,000
	下頃辺川	100	2,385
	浦幌十勝川	-	925
	礼作別川	-	1,285
	浦幌川	284	-
	計	9,168	26,273

(1\*) 1993 年釧路沖地震の観測点は大津築堤素地地盤で、最大加速度の方向は堤防縦断方向と横断方向である。

(2\*) 2003 年十勝沖地震の被害延長は確定値ではなく今後変わる可能性がある。

# 港湾の被害

菅野・田地・丸本

## 1．港湾地域強震観測網による強震記録および その特徴

### (1) フーリエスペクトル

各港で得られた記録のフーリエスペクトルを図-1に示す（フーリエスペクトルにはバンド幅0.05HzのParzen windowを作用させてある）。釧路港では周期1-2秒程度の成分が非常に強いことがわかる。釧路港の記録については後に1993年釧路沖地震の記録と詳しく比較する。釧路港以外の観測点については、比較のため、背後に釧路港のフーリエスペクトルを薄く示している。十勝港では周期1-2秒程度の成分が少なく、最大加速度は大きかったが、岸壁にとっては釧路港ほど厳しい揺れでなかったことが伺える。この原因については、地下構造の影響などが考えられる。浦河港の周期1-2秒の成分は十勝港よりは強い。石油貯蔵施設が被害を受けた苫小牧港では周期5秒以上の長周期成分が強かったことがわかる。函館港では周期4秒程度の成分が強かった。

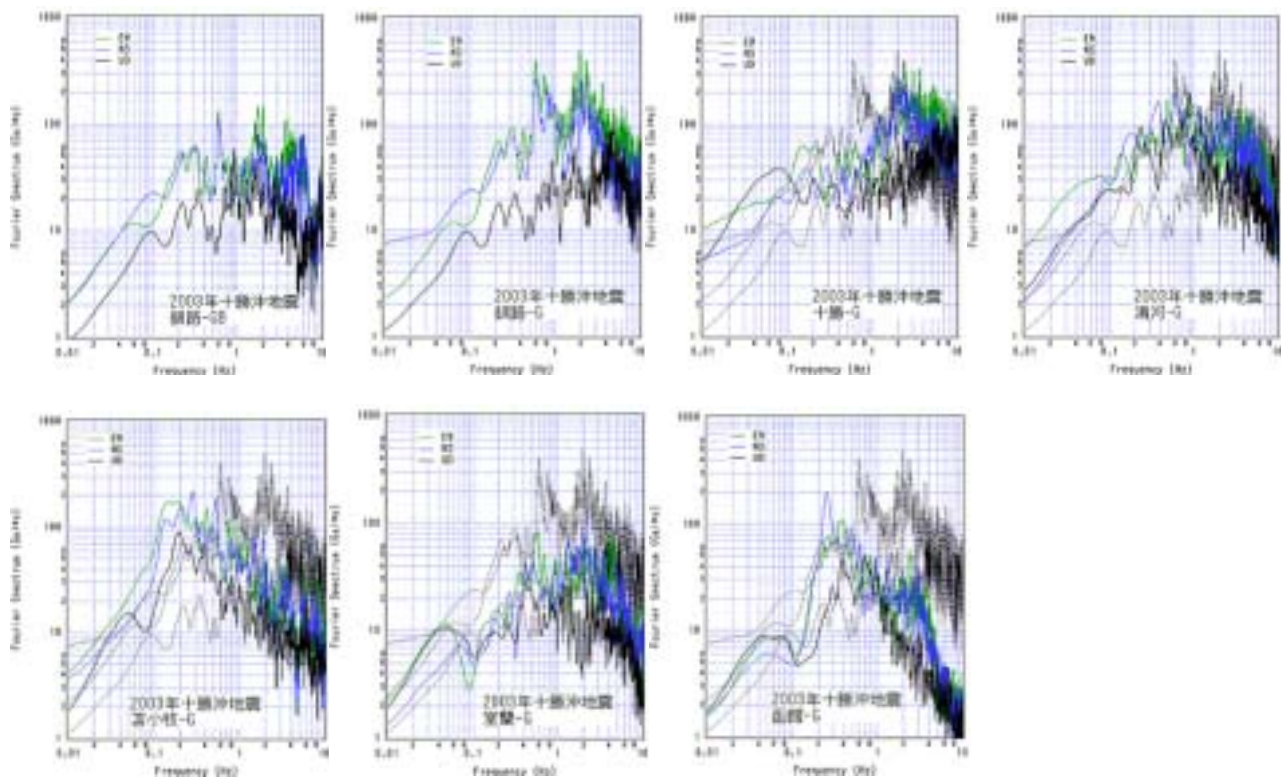


図-1 各港湾のフーリエスペクトル

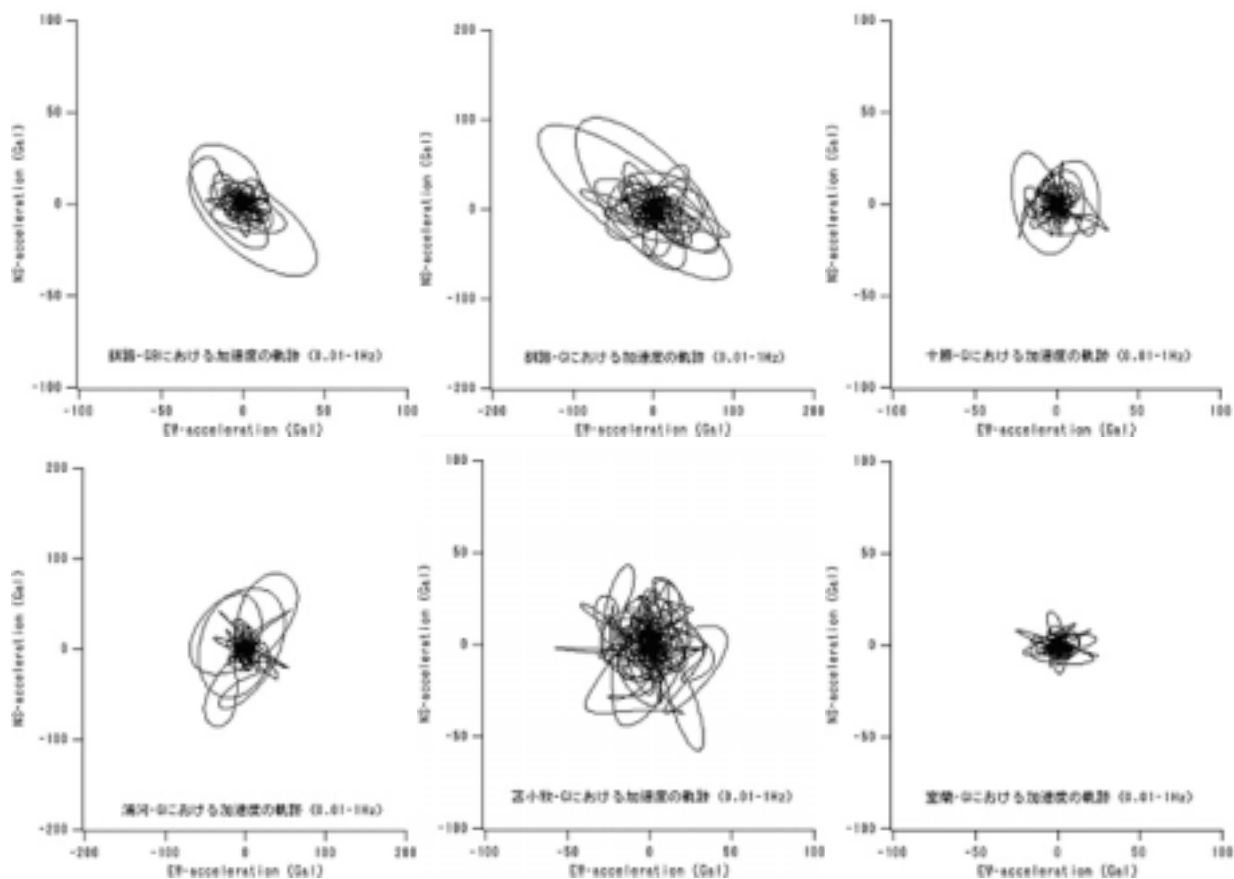


図-2 各港湾の加速度の軌跡(0.01-1Hz)

## (2) 軌跡

各港で得られた記録の水平面内の加速度の軌跡を図-2に示す．これは高周波まで含めて示すと不明瞭となるので，岸壁被害に特に結びつきやすいと考えられる1Hz以下の帯域を選択して，その軌跡を示す．今回の地震の場合，震源近傍でないこともあってか，港湾における地震動の方向性はさほど明瞭でない．

## (3) 1993年釧路沖地震との比較

釧路港では1993年釧路沖地震と今回の地震とともに振幅の大きな記録が得られているので，それらの比較を行う．

### a) 最大加速度の比較

下記の通り，1993年釧路沖地震と比較すると，地表の東西成分は今回の方が大きかったが，それ以外の成分は1993年釧路沖地震の方が大きかった．

表-1 2003年十勝沖地震と1993年釧路沖地震の釧路港における最大加速度の比較

補正最大加速度 (Gal)		東西	南北	上下
2003年十勝沖地震	地表	576	347	149
	地中	202	154	66
1993年釧路沖地震	地表	343	450	362
	地中	268	203	121

SMAC-B2相当最大加速度 (Gal)		東西	南北	上下
2003年十勝沖地震	地表	467	286	87
	地中	154	120	38
1993年釧路沖地震	地表	245	309	91
	地中	186	155	50

### b) スペクトル特性の比較

最大加速度の大きな地震動が岸壁被害に結びつくとは限らない．そこで，ここではフーリエスペクトルを計算し，1993年釧路沖地震の記録と比較してみた．その結果が図-3である（卓越成分を表示）．どちらの記録も周期1-2sのところに顕著なピークがある．つまり地震の震源の性質は異なる（プレートそのものが割れた地震とプレート境界地震）が釧路港でのスペクトルの形状は似ていたということになる．さて，周期1-2sのスペクトルのピークに着目すると，今回の記録の方が前回よりもピークが低かったと言える．つまり，最大加速度で見ると今回の記録の方が大きかったが，岸壁被害に結びつく帯域での地震動の強さは今回の方が少し小さかったのではないかと考えられる．

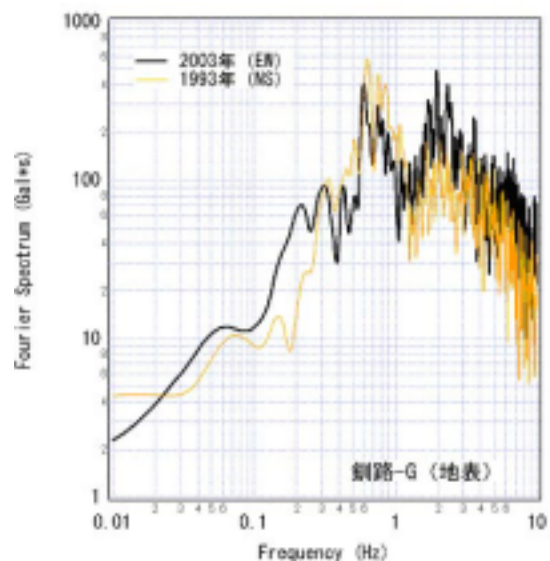


図-3 2003 年十勝沖地震と 1993 年釧路沖地震の釧路港におけるスペクトル

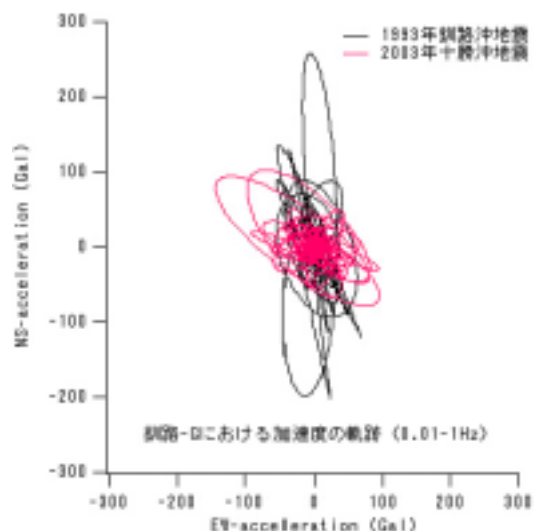


図-4 加速度の軌跡(0.01-1Hz)

### c) 加速度の軌跡の比較

次に加速度の軌跡を示す．これは高周波まで含めて示すと不明瞭となるので，岸壁被害に特に結びつきやすいと考えられる1Hz以下の帯域を選択して，その軌跡を示すと，図-4のようになる．1993年釧路沖地震の記録は南北方向に顕著な方向性が見られたが，今回は北西-南東方向にやや弱い方向性が見られる．この図から，南に面した岸壁は前回よりも弱い地震力を受けたが，東や西に面した岸壁は前回と同程度かやや強い地震力を受けたと考えられる．

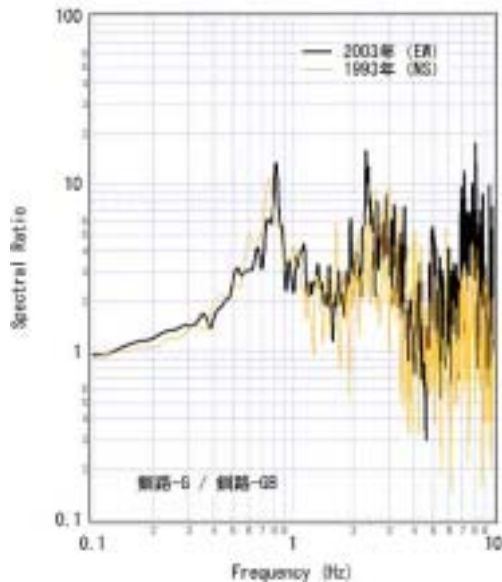


図-5 釧路港の地表と地中のスペクトル比

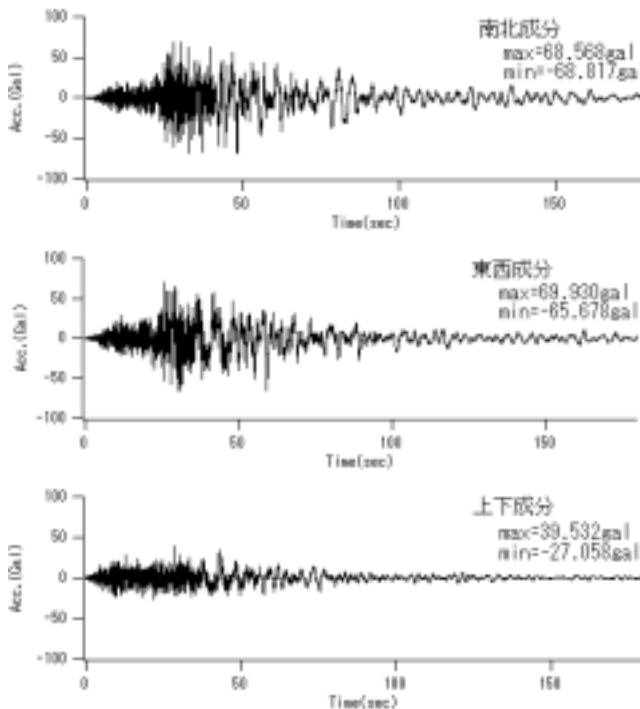


図-6 苫小牧港（地表）強震記録

#### d) 表層地盤の非線形挙動の比較

釧路港における地表の記録と地中の記録のスペクトル比をとることで、地盤の非線形挙動を調べてみた。その結果が図-5である（卓越成分を表示）。いずれの地震でも、スペクトル比のピークは線形時（約1Hz）より長周期側に移動しており、地盤は非線形挙動を示したと見ることができるが、詳しく見ると、今回の記録の方がピーク位置がやや高いことから、地盤の非線形挙動は、この観測点では、1993年ほど強くなかったと言える。

表-2 仮想タンクの解析条件および結果

半径 (m)		21.35
重力加速度 ( $m/s^2$ )		9.8
液面高さ (m)		18.15
<hr/>		
E08N(東西)	側壁波高 m	時刻 s
最高	3.02	47.87
最低	-3.13	58.64
<hr/>		
N08W(南北)	側壁波高 m	時刻 s
最高	2.25	80.2
最低	-2.35	83.27
<hr/>		
1次固有周期 $T_c(s)$		7.14
<hr/>		
次数	周波数 Hz	周期 s
1	0.14	7.14
2	0.25	4.02
3	0.32	3.17
4	0.37	2.71
5	0.42	2.41
6	0.46	2.18
7	0.50	2.02
8	0.53	1.88
9	0.57	1.77
10	0.60	1.68

## 2. 苫小牧港の長周期地震動とスロッシングの関係

### (1) 貯油タンクの地震時挙動の推定

港湾地域強震観測網によって得られた苫小牧港（地表）の強震記録（図-6）は、やや長周期成分が卓越するものであった。過去の地震において液体を貯蔵するタンク（石油、糖蜜等）の被災が発生しており、被災原因として長周期の地震動とスロッシング現象<sup>2)</sup>が挙げられている。

記録された長周期成分とスロッシング現象の関係を、神谷ら<sup>3)</sup>の用いた軸対称線形ポテンシャル理論により地震時応答を求めてみた。記録された地震波の速度応答スペクトル ( $h=0.5\%$ ) を図-7a に示す。図-7a において東西方向の応答スペクトルが 5 秒から 8 秒の範囲で卓越していることがわかる。参考のために 2001 年芸予地震の際に広島港で記録された速度応答スペクトルも示しているが、これは 1~2 秒の範囲が卓越している。苫小牧港では地下の地盤構造の影響で長周期成分が卓越するものと考えられる。

本解析においては、被災したタンクの詳細なデータが手元に無いことから、報道情報を元に直径 43m 程度のタンクに 18m 程度の深さの油が貯留されていた場合を想定した。1 次固有周期は 7 秒程度、2 次



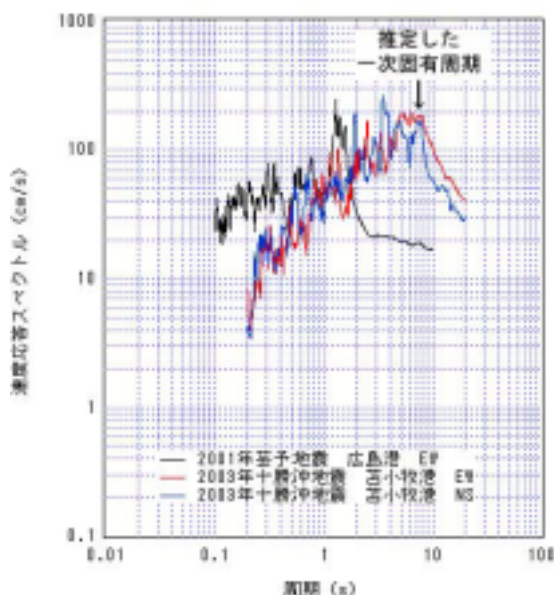


図-7a 苫小牧港速度応答スペクトル(h=0.5%)

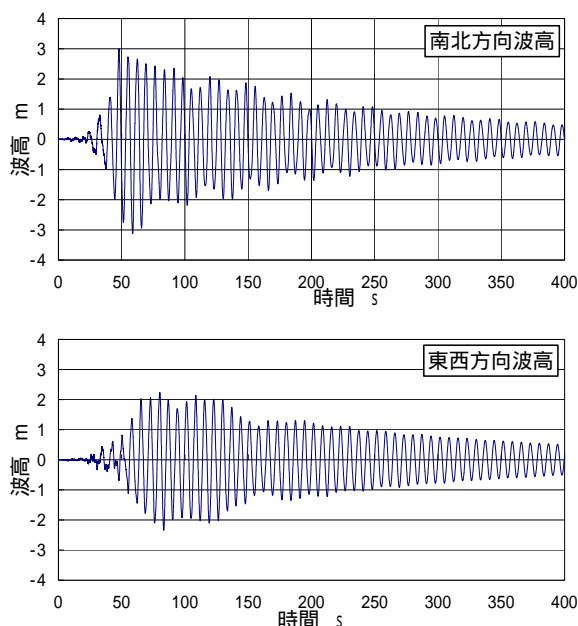


図-7b 仮想タンクのスロッシング波高時刻歴

が 4 秒程度，3 次が 3 秒程度となっており，図-7a と比較すると 1 次の固有周期が地震波の卓越周期と一致することがわかる．表-2 には最大波高も示しており，図-7b に示すように東西方向で 3m 程度（地震到達から 50～60 秒）となっている．南北方向の最大波高は 2m 強（80 秒付近）となる．地震動の卓越周期とスロッシングの固有周期が近かったことに加え，継続時間が 2 分以上と長かったために，スロッシングにより 3m 程度の波高となった可能性がある．

長周期の固有周期を有する構造物については，構造物基礎部分の地盤条件（表層から数 10 メートル程度）に加えて，深い地盤構造に起因する地震動の長周期成分も考慮に入れた検討が必要と考える．

ただし，本解析は，あくまでも苫小牧港で取得された継続時間が長く，長周期成分の卓越した記録を基に，仮想的なタンクの条件で解析を試みたものであり，実際に被災したタンクの地震時挙動とは異なる可能性がある．詳細な検討が必要である．特に大型タンクの場合には，浮き屋根を剛体としてモデル化出来ない場合も想定され 1 次のスロッシング固有周期に加えて，2 次以上の周期における構造物の挙動にも注目する必要があると思われる．

## (2) 苫小牧港における港湾活動への影響

苫小牧港は北海道を代表する流通港湾であり，工業港である．苫小牧港に立地する精油所のタンク火災により，本州とのフェリー航路や国際コンテナ港路が利用している苫小牧港西港地区で地震発生直後に入港禁止措置がとられ，フェリー等の遅延や他港へシフトするなどの影響があった．

9 月 26 日の火災では，RORO 船など最大 27 隻が沖合で待機し，フェリーが最長約 10 時間の入港遅れを生じた．その後，一旦鎮火した後，別のタンクから再出火した 28 日の火災では港長支持による全船退避，港長許可船舶以外入港禁止措置がとられ，30 日に解除された．この間タンカー，一般貨物船，フェリー，RORO 船等最大 47 隻が沖待ちを余儀なくされ，フェリー，RORO 船が苫小牧港東港区および室蘭港にそれぞれ 9 隻，8 隻シフトした．また苫小牧港西港区のフェリーを利用していた貨物トラックの大部分が苫小牧東港区および室蘭港の利用で，また，一部の貨物トラックは函館港および小樽港の利用で補われたと考えられる．

タンク火災の影響による損失額は公式には試算されていないが，相当額に登ると想定される．地震による直接被害以外にも臨港部に立地する石油類や化学物質等のタンクが被災し，タンク火災や流出事故を引き起こした場合，救援活動や災害復旧活動に支障を生じるだけでなく，地域経済への影響も大きい．ため，物流等のネットワークを確保するための広域的な対策計画の策定手法についての調査研究を進めることが必要であると考えられる．

### 3. 港湾施設の被害状況

#### (1) 釧路港での被害の概要

今回の地震では、北海道太平洋沿岸の港湾・漁港において被害が見られ、特に、釧路港において港湾施設の大きな被害が見られた。釧路港の被害調査は、地震発生翌日の9月27日に行った。このときにはすでに、測量調査・潜水土による岸壁の水中からの目視調査が開始されており、災害時協力協定に基づいて調査が行われていたようである。釧路港では東港区、西港区ともに液状化発生箇所があり、岸壁法線の孕出しも各所で見られたが、そのなかで被害が顕著で液状化の規模が大きかったのは西港区第四埠頭であった。したがってここでは、第四埠頭の被害を中心にその状況や構造等についてまとめる。

釧路港では、特に西港区を主として、これまでに岸壁背後の液状化対策を行ってきた箇所が多く存在する。これらは1993年釧路沖地震や1994年北海道東方沖地震による被災を契機に行われたものもあり、施工時期や工法は各岸壁によって異なる。しかしながら、液状化対策が行われた箇所では地震後における噴砂痕跡は見られておらず、液状化対策の効果が表れていたと考えられる。一方、一般に液状化対策のための地盤改良があまり行われない岸壁後方の港湾関連用地では、噴砂が見られた箇所が多くあった。古くに建設された埠頭では、既に釧路沖地震と北海道東方沖地震の二つの大きな地震を経験しており、その際にも液状化が発生したことが確認されているが、今回の三度目の地震においても再度液状化したことは非常に興味深い。過去の二回の地震による液状化においても、埋立地盤が十分に密な状態になっていなかったことが伺える結果である。

釧路港西港区の平面図を図-8に示す。西港区第四

埠頭は平成14年に完成した最も新しい埠頭であり、この埠頭だけが1993年釧路沖地震・1994年北海道東方沖地震を経験していない。図中における番号は各被災部の位置を示しており、その詳細は後述する。第四埠頭地域における、埠頭建設以前の海底現地盤についての土質柱状図を図-9に示す。釧路西港第四埠頭付近の現地盤は、表層付近がN値10～20程度の細砂層であり、その下にN値50程度の中砂～粗砂層が分布する。またさらにその下の-20m以深では、N値10～50程度の細砂層やN値5～10程度のシルト層が存在する。

#### (2) 釧路西港第四埠頭-14m岸壁

釧路西港第四埠頭-14m岸壁（図-8中の ）の断面図、被害写真を図-10および写真-1に示す。ケーソン直背後地盤は沈下し、施設全長にわたって段差（最大60cm程度）が発生した。またこのケーソン直背後の段差発生箇所では噴砂が残っていた箇所がいくつかあり、粒径が数センチメートルの石も含まれていたが、これらは水道管敷設時の埋戻砂であることが明らかとなっている。ケーソン背後の埋土はセメント系の固化処理土（母材は砂質系）であり、岸壁法線は最大で20cmほど海側に迫り出したが、法線の大きな乱れは見られなかった。この岸壁は将来クレーンを設置予定でありケーソン上にレール基礎が敷設されているが、クレーン設置予定のない箇所では高さ数十センチメートルの空洞がエプロン下部に発生していた。ケーソン背後地盤のアスファルト舗装ではクラックが生じ、岸壁法線から約40mの範囲にまで及んでいた。大きなクラックからはアスファルト舗装・路盤・路床・処理土が色の違いが明瞭に見て取られ、触診により強度差が明らかに区別できた。

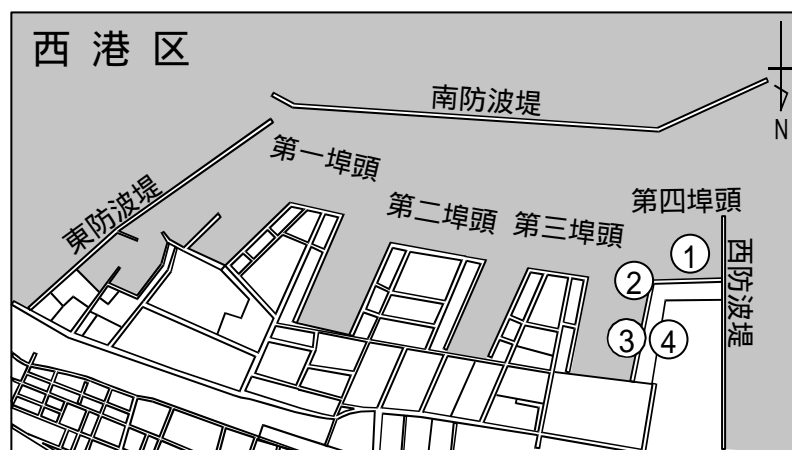


図-8 釧路港西港区平面図

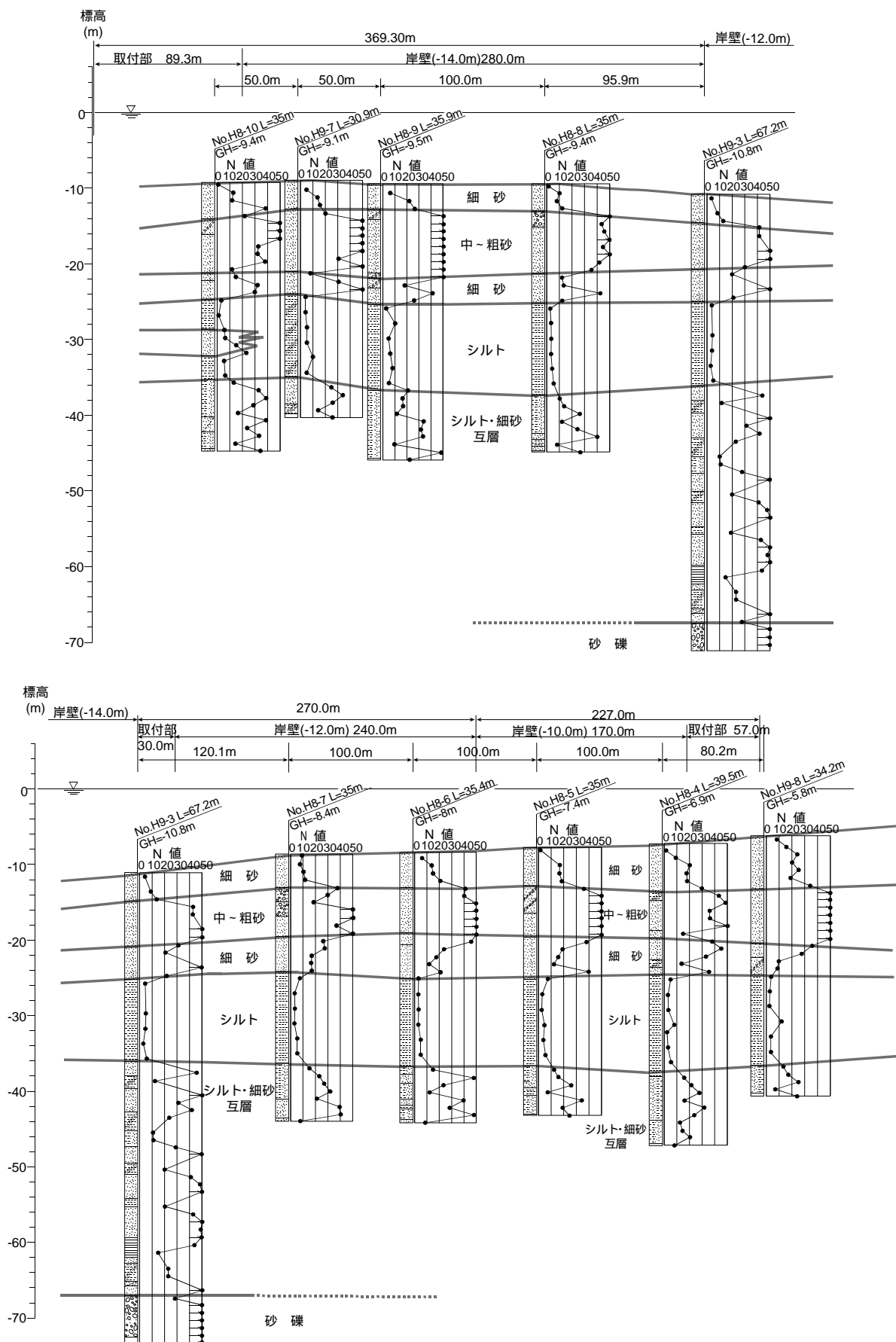


図-9 釧路港西港区土質柱状図



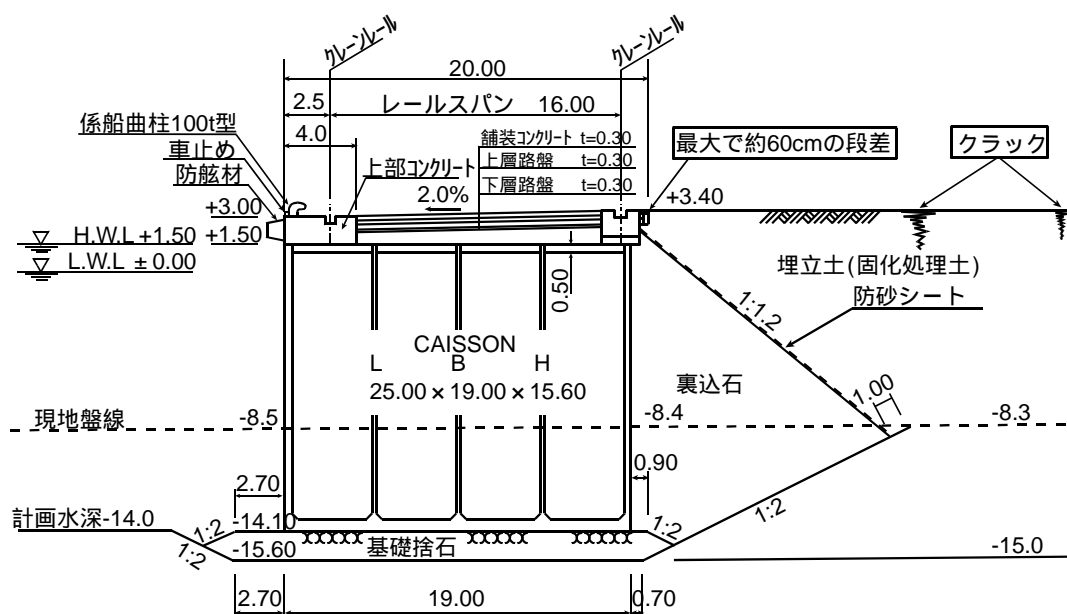


圖-10 釧路西港第四埠頭-14m 岸壁断面圖



写真-1 釧路西港第四埠頭-14m 被害状況

## 岸壁 (-12.0m) 標準部 標準断面図

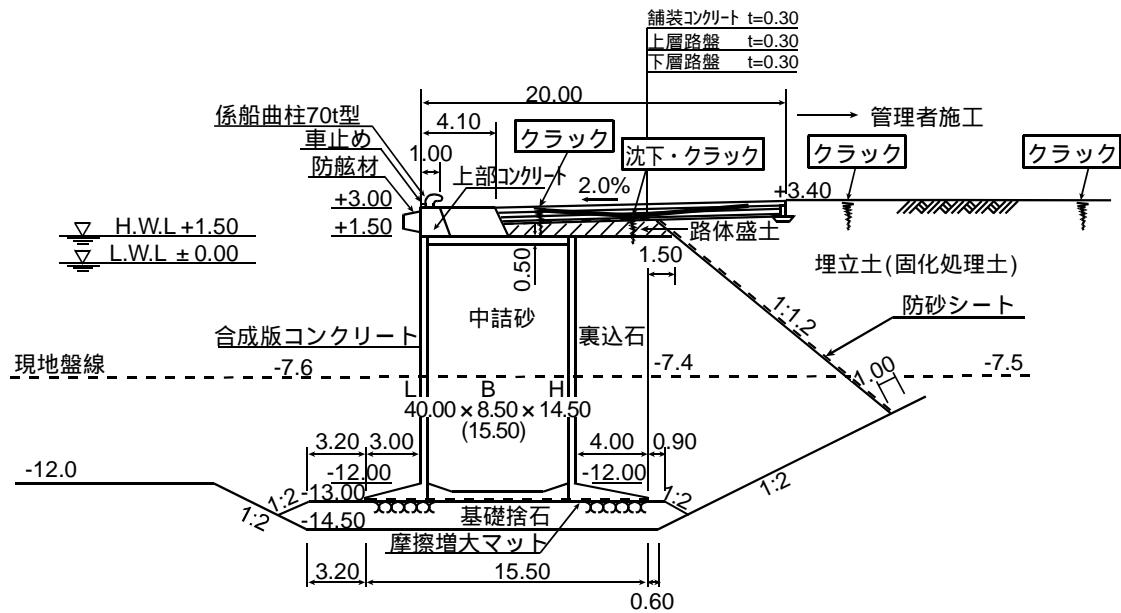


図-11 釧路西港第四埠頭-12m 岸壁断面図



写真-2 釧路西港第四埠頭-14m 岸壁被害状況

### (3) 釧路西港第四埠頭-12m岸壁

釧路西港第四埠頭-12m岸壁（図-8中の ）の断面図，被害状況を図-11および写真-2に示す．この岸壁は重力式であるが，壁体にはハイブリッドケーソンが用いられていた．壁体肩部に法線と平行にクラック（幅数センチ程度）が見られ，陸側フーチング付近の地表部にもクラック（数センチ）が見られた．また，岸壁法線から50mほど離れたところにまでクラックは及んでいた．この岸壁の埋土もセメント系の固化処理土（母材は砂質土，細粒分が多いものもあった）であり，法線は最大で10cmほど迫り出したが，法線の大きな乱れは見られなかった．背後のコンテナヤードではコンクリート舗装版と路盤の間に空洞が確認された箇所があった．しかし，ヤードのほとんどは健全であり，確認された空洞部をモルタ

ル等で埋めた後に，地震発生の翌々日には船が着岸してコンテナ荷役が行われていた．

### (4) 釧路西港第四埠頭-10m岸壁

釧路西港第四埠頭-10m岸壁（図-8中の ）の断面図，被害状況を図-12および写真-3に示す．第四埠頭では，この岸壁の被害が最も大きかった．岸壁法線の極端に大きな乱れは観察されなかったが，壁体は最大で40cm程度海側に迫り出していた．ケーソン背後のエプロン部は折損して沈下，陥没（7～80cm程度）し，コンクリート舗装のひび割れ幅は最大で30cm程度であった．この岸壁での埋土もセメント系の固化処理土である．岸壁付近に噴砂は見られず，液状化は発生していないと考えられる．

# 岸壁 (-10.0m) 標準部 標準断面図

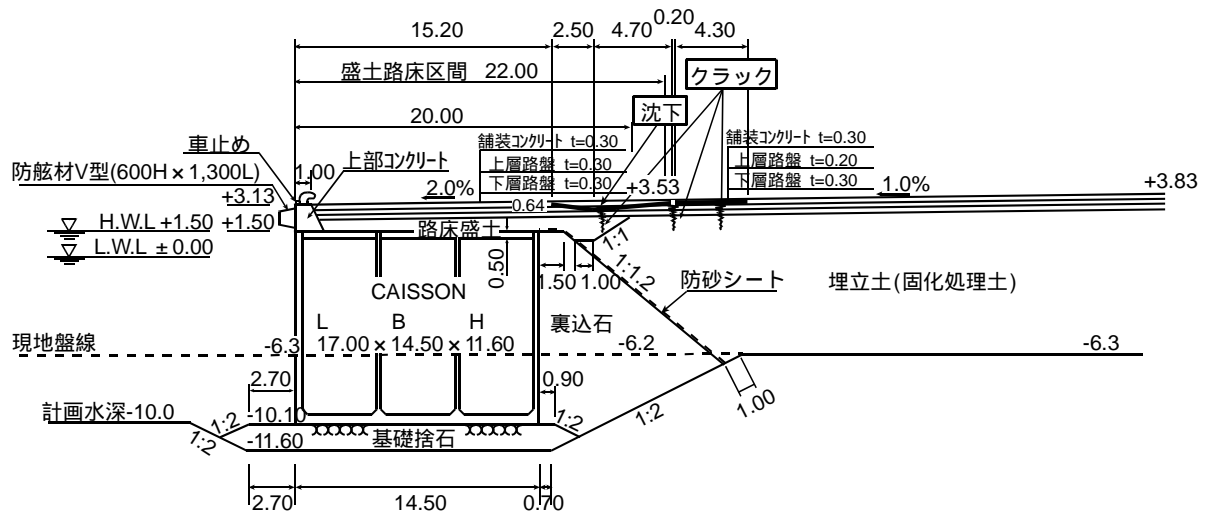


図-12 釧路西港第四埠頭-10m 岸壁



写真-3 釧路西港第四埠頭-10m 岸壁被害状況



写真-4 釧路西港第四埠頭 港湾埠頭用地（道路）における液状化の様子

#### (5) 釧路西港第四埠頭 港湾用地

第四埠頭では、写真-4に示されるように、埠頭中央部の港湾関連用地や道路（図-8中の ）のいたる所で大規模な噴砂痕跡が生じた。道路は鉛直・水平に波打った状態で残っており、液状化の程度が激しかったことがうかがえた。歩道部のマンホールのいくつかは数十センチ隆起しており、これに繋がる管路は多くの箇所では圧壊、断絶しており、砂が充満していたようである。

#### 謝辞

本報告の執筆に当たっては、(独)北海道開発土木研究所 環境水工部 港湾研究室 窪内篤室長・山本泰司副室長、国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部沿岸防災研究室 小田勝也室長、国土技術政

策総合研究所 沿岸海洋研究部 小澤敬二主任研究官、(独)港湾空港技術研究所 地盤・構造部 野津厚主任研究官・小濱英司主任研究官にお世話になりました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 菅野ら：平成15年（2003年）十勝沖地震による港湾施設等の被害報告，港空研資料，2004。
- 2) 座間：やや長周期の地震動，地震 第2輯，第46巻，pp.329-342，1993。
- 3) 神谷ら：東京湾岸地域におけるLNG地下式貯槽のスロッシング検討用地震動の評価，土木学会論文集，No.619 / I-47，pp.75-90，1999

# 鉄道被害

小西康人<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 北海道旅客鉄道株式会社 工務部工事課（〒060-8644 札幌市中央区北11条西15丁目1番1号）  
E-mail:y.konishi@jrhokkaido.co.jp

鉄道施設は、根室線・釧網線・日高線の283箇所、橋梁損傷、軌道変状、路盤陥没、駅舎の損傷など多くの施設が被災した。また直別駅構内では、札幌発釧路行き特急「まりも」の8両編成のうち1両が脱線し、乗客1名が怪我をする事象も発生した。（9月27日10:20脱線復旧）

利別川橋梁は最も被害が大きく、橋脚傾斜・橋脚躯体のひび割れ・シュー脱落などの被害を受けた。応急工事を完了後、運転を再開したが、その後も復旧工事を続けた。また橋梁近傍に地震計および地震検知表示機を設置し、40gal以上の地震を検知した場合、列車を25km/h以下の徐行運転とするシステムを構築して安全輸送を確保した。

**Key Words :** Bridge, Bending failure, Slant of pier, Open Caisson

## 1. 被害の概要

平成15年十勝沖地震により鉄道が被災した箇所はJR根室線、釧網線および日高線で、施設の被害は283箇所に及んだ。その内訳は、軌道（185箇所）、路盤（12箇所）、橋台背面の築堤の沈下（1箇所）、橋梁損傷（2箇所）、駅舎損傷（5箇所）、電気関係その他（78箇所）であり、復旧費の総額は約10億円に及んだ。

## 2. 主な被害例

### (1) 橋梁の被害例

橋梁では、図-1に示す利別川橋梁および浦幌川橋梁の2橋梁に被害が生じた。

#### a) 利別川橋梁

利別川橋梁は、根室線利別・池田間に架かる橋長415.68m、PC4主桁13連の橋梁である。橋脚は円形橋脚で、橋脚高さは低水敷で6m、高水敷で9.8mである。基礎は直径4.8mのオープンケーソン基礎で、ケーソン長は低水敷で11.0~13.0m、高水敷で13.0~16.0mである。本橋の支承構造は、

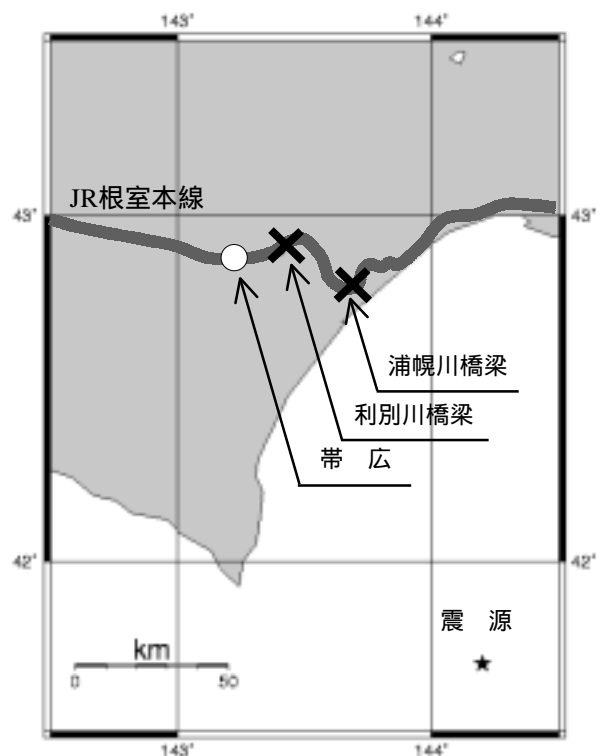


図-1 震源および被災橋梁の位置図





写真 - 1 利別川橋梁全景

可動側ロッカー支承，固定側線支承の鋼製支承構造である．

可動支承の損傷

可動支承の水平方向の移動量が過大となり，ロッカーが転倒，脱落して桁が桁座に落下した．

固定支承の損傷

固定支承にも大きな水平力が作用したため，桁端のコンクリートが破損し上シュアのアンカーボルトが変形した．また最下端の P C ケーブル定着部背面付近まで損傷が及んでいる箇所もあった．

桁の衝突に伴う桁端の破損

桁同士の衝突により，桁端部が破損した．

移動制限装置の破損

桁の横方向に大きな水平力が生じ，釧路沖地震後に設置した移動制限装置（コンクリート製ストッパー）が破損した．損傷は受けたものの，桁の横移動を抑止し，有効に機能した．

横桁のひび割れ

支承部の損傷に伴い，桁に過大なねじれが生じ，横桁にひび割れが発生した．

橋脚柱頭部のひび割れ

固定支承が大きな水平力を受け，桁座からひび割れが生じたものと推察される．

橋脚躯体の曲げ損傷

橋脚の躯体基部に曲げひび割れが発生，かぶりコンクリートの剥離，浮き，軸方向鉄筋の座屈が確認された．

橋脚の傾斜

橋脚が傾斜し軌道が湾曲した．特に 8 P，9 P 橋脚の傾斜は大きく，互いに反対方向へ 20/1000 ～ 26/1000 の傾斜が生じた．

b) 浦幌川橋梁

浦幌川は，根室線新吉野・浦幌間に架かる橋長 126.69m，P C 4 主桁 4 連の橋梁である．橋脚は高



写真 - 2 浦幌川橋梁全景

さ 12.0m の円形橋脚で基礎は長さ 12.0m の P C 杭である．被災した橋脚は低水敷に位置する 2 P 橋脚である．

損傷位置は，橋脚躯体の軸方向鉄筋の途中定着部で，曲げによる損傷を受け，かぶりコンクリートが剥落し，軸方向鉄筋が大きく変形した．

桁形式・桁長および支承構造は利別川と同じであるが，支承の損傷はなかった．桁本体は 2 連目 1 P 上の固定支承部にひび割れが発生した．

(2) 列車の脱線

直別駅構内にて，下り列車の 8 両編成中，釧路方から 2 両目の車両の 1 軸が進行方向左側に脱線した．

報告によれば，駅構内の分岐器をおよそ 50km/h で走行中，地震を感知して急制動をかけたが列車は約 100m 走行後に脱線，さらにその後 32m 走行して停止した．



写真 - 3 列車の脱線状況

### 3．復旧方法

#### (1)利別川橋梁

利別川橋梁は、釧路沖地震のときにも支承部に大きな被害を受けたが、今回の地震では、下部工も含め壊滅的な被害を受けた。復旧にあたっては、被害状況の目視確認の他に平面および高低測量、各橋脚傾斜の調査、衝撃振動試験等の詳細調査を実施し、復旧方法を決定した。

##### 支承のゴムシュー化

可動支承はロッカーシューを使用していたが、耐震性に優れたゴムシューとし、併せて後付けのサイドストッパーを設置した。上下のシューは撤去が困難なことから埋殺しとした。既設の移動制限装置は、ワイヤーソーにて撤去した。

固定支承は桁下面と桁座の間隔がゴムシューの厚さに対して不足することと、桁端の損傷部で荷重を支持することを避けるため、桁座を拡幅して既設シューの前面にてゴムシューで受替える方法をとった。ストッパーは新たに鋼角ストッパーを設け、桁間に埋め込んだ。(図-2)

##### 桁破損部、ひび割れの補修

桁の損傷はP C ケーブルに破断等の変状がないことから、補強鉄筋を配置して無収縮モルタルによる断面修復を行った。ひび割れについては樹脂等による注入を行った。

##### 橋脚柱頭部の補修

被害の大きかった3 P、5 P 橋脚については破壊形態が曲げ破壊であったものの、補修はじん性補強も兼ねて鋼板巻き立てを行った。

##### ケーソン基礎の補強

傾斜変状が大きかった8 P、9 P 橋脚については、基礎が損傷している可能性があった。そこで橋脚基部およびケーソン頂版の損傷状態を確認するととも

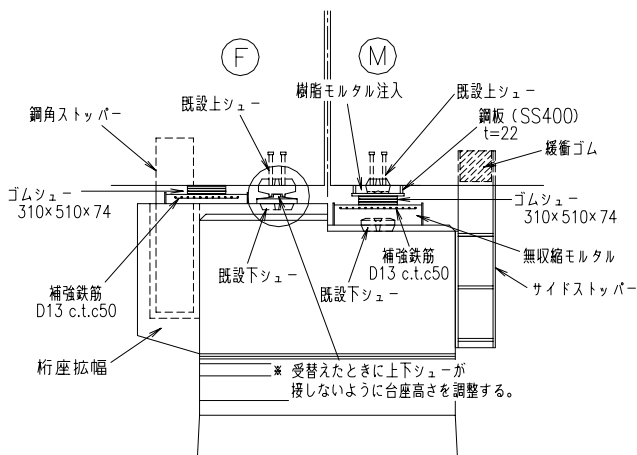


図-2 支承部のゴムシュー化

に、ケーソン本体をボアホールカメラにより調査した。その結果、橋脚躯体やケーソン本体にはひび割れ等の損傷は確認されず、周辺地盤を改良して基礎の安定を維持する復旧方法をとった。復旧は、鋼矢板によりケーソンを締切り、頂版周りにコンクリートを打設して有効抵抗土圧を確保した。また鋼矢板内部にセメントミルクを注入し地盤を改良した。

#### (2)浦幌川橋梁

浦幌川橋梁2 P 橋脚は、軸方向鉄筋の途中定着部が損傷したため、応急対策として損傷箇所のコンクリートを撤去後、帯鉄筋を配置し無収縮モルタルにて断面修復を行った。

その後、R C 巻き立てによる途中定着部の補強も行った。補強は、基部の最大耐力に対して途中定着部で損傷を受けないように、軸方向鉄筋と帯鉄筋を配置した。なお、基礎構造物への負担を増加させないよう基部の補強は避けることとしR C 巻き立て部の軸方向鉄筋はフーチングに定着しなかった。また、R C 巻き立ての厚さは12 cmとし、軸方向鉄筋および帯鉄筋を配筋後鋼製型枠を設置しコンクリートを打設した。なお、本橋脚では基部の損傷はなかった。

#### 謝 辞

復旧に際しては、(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部コンクリート構造、基礎・土構造の各位に多大な支援を頂いた。ここに記して厚く御礼申し上げます。



写真-4 浦幌川復旧完了

# 上水道の被害

宮島昌克

正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920-0942 金沢市小立野2-40-20)

## 1. 被害の概要

十勝、日高支庁を中心とする 6 市 23 町 1 村で約 16,000 戸が断水となった。断水の原因は、2 つの町で水の濁り発生に伴う供給停止、1 市で停電によるポンプトラブルによるものであったが、残りは水道管（導水管、送水管、配水管）の被害によるものである。ほとんどの市町村では地震発生の 9 月 26 日中に断水は解消したが、池田町、豊頃町および浦河町では断水解消に数日を要し、その間、自衛隊の給水車や消防車などによる応急給水がなされた。

豊頃町では配水池付近の送水管が破損するなど管路の被害が大きく、全戸約 1,500 世帯が断水となり、町内全域で断水が解消されたのは 10 月 3 日であった。浦河町でも送水管が破損し配水池が空になり、6,368 戸（全戸の 87%）で断水した。町内全戸に給水が再開されたのは 9 月 30 日であった。また、池田町では全戸約 3,000 世帯が断水となった。同町の水道は全量を十勝中部広域水道企業団から受水しており、その送水管の 1 カ所から漏水が発生し、供給を受けている 2 カ所の配水池が空になり断水を招いた。町内全域への給水を再開したのは 9 月 29 日であった。

十勝・日高支庁内の主な町と釧路市、釧路町の管路被害件数を管種ごとに集計した結果を表-1 に示す。ダクタイル管(DIP)の一般継手の被害は継手の抜け出しによるものであった(写真-1)。また、耐震性が考慮された継手は十勝・日高支庁内および釧路市で約 30km 布設されていたが被害はなかった。硬質塩化ビニル管(VP)の被害は、TS(接着)継手および RR(ゴム輪)継手の両方において、継手の抜け出しや破損(写真-2)および管体破損によるものであった。石綿セメント管(ACP)の被害は、継手の抜け出し(写真-3)や破損および管体破損によるものであった。また、被害件数は豊頃町、浦河町が他の市町村に比べて多く、被害率は豊頃町で 0.238 件/km、浦河町で 0.125 件/km であった。以下に、豊

表-1 主な事業体での管種別被害件数および被害形態

	被害件数					管路延長*2 (km)	被害率 (件/km)
	DIP (一般継手)	VP	ACP	その他*1	計		
池田町	3	2	4	0	9	169	0.053
豊頃町	21	23	5	9	58	244	0.238
浦幌町	0	3	0	1	4	241	0.017
浦河町	5	9	2	6	22	176	0.125
三石町	1	0	1	0	2	85	0.024
静内町	0	3	0	0	3	172	0.017
釧路市	3	0	0	5	8	844	0.009
釧路町	3	4	0	1	8	115	0.070
浜中町	0	3	0	1	4	113	0.035
被害形態	継手抜け	継手(RR,TS) 抜け、破損 管体破損	継手抜け 管体破損	-	-		

\*1 SGP、属具などの被害

\*2 「平成13年度 水道統計」(日本水道協会)、「平成12年度 全国簡易水道統計」(全国簡易水道協議会)および事業体の資料による



写真-1 75 DIPのT形継手の抜け



写真-2 75 VPのRR継手の破損

頃町と浦河町の被害状況を述べる。





写真-3 150 ACP の継手の抜け

## 2．豊頃町の被害状況

豊頃町では、本震の震度が 6 弱であった。表-1 に示したように、管路被害は全部で 58 件である。

図-1 に被害の多かった地域での被害箇所を示す。十勝川下流域の道道 911 号線に沿った管路で多くの被害が発生した。管路は道路下ではなく道路に沿った極めて軟弱な泥炭地に埋設されている。この地域の道道 911 号線は、切土、盛土の境界あたりで亀裂や段差および路側の崩壊などの大きな被害を受けていた。図-1 に示すように管路被害の多くは、11 月上旬に道路復旧工事が実施されている箇所が発生していた。この区間の下流域に大津地区があり、1 本の管路で結ばれていたことから、この区間の復旧の遅れが大津地区の断水の長期化に直接影響を及ぼした。

## 3．浦河町の被害状況

浦河町では余震で最大震度 6 弱を記録した。被害件数は表-1 に示したように全部で 22 件である。被害箇所を図-2 に示す。断水に大きな影響を与えた送水管 400、300 の被害は、軟弱な泥炭地や

道路の盛土部で発生した。図-2 には 1982 年浦河沖地震（浦河町の震度 6）での被害箇所も示されている<sup>1)</sup>。同地震では 69 件の被害が発生したのに対して、今回は 22 件と被害が少なく、特に市街地での被害が減少している。同町では図-3 に示すように 1982 年浦河沖地震を契機に、耐震性に劣る石綿セメント管(ACP)や鋳鉄管(CIP)を約 25 km ほど更新してきた（全管路延長の約 20%）。地震動の強さに若干の違いがあると思われるが、これらの耐震性向上に向けた管路更新の効果も被害件数が少なくなった理由の 1 つと考えられる。

## 4．まとめ

上水道被害の特徴をまとめると以下のようである。

- 1) 軟弱な泥炭地や盛土造成地などでの管路被害が多かった。
- 2) 耐震性が考慮された継手を有する管路には被害が生じなかった。
- 3) 耐震性に劣る石綿セメント管や鋳鉄管の布設替えを進めてきた効果として、過去の地震に比べて被害が少なかった事例がいくつか見られた。
- 4) 送水管の被害や枝状の管路における被害が、その下流域の断水を長引かせる原因となった。水張りしなくても被害箇所が発見できる方法の開発が望まれる。

## 参考文献

- 1) 黒地政美、長尾正三、沼田英男、仁木彬隆、岩本利行：1982 年浦河沖地震による水道管路被害調査、ダクタイト鉄管、第 33 号、pp.27-37、1982.10.

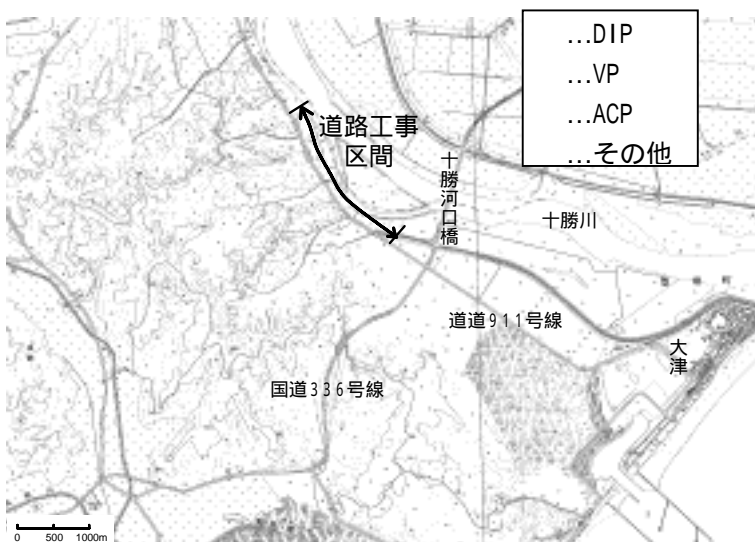
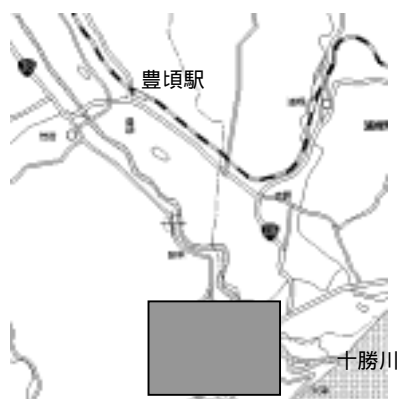
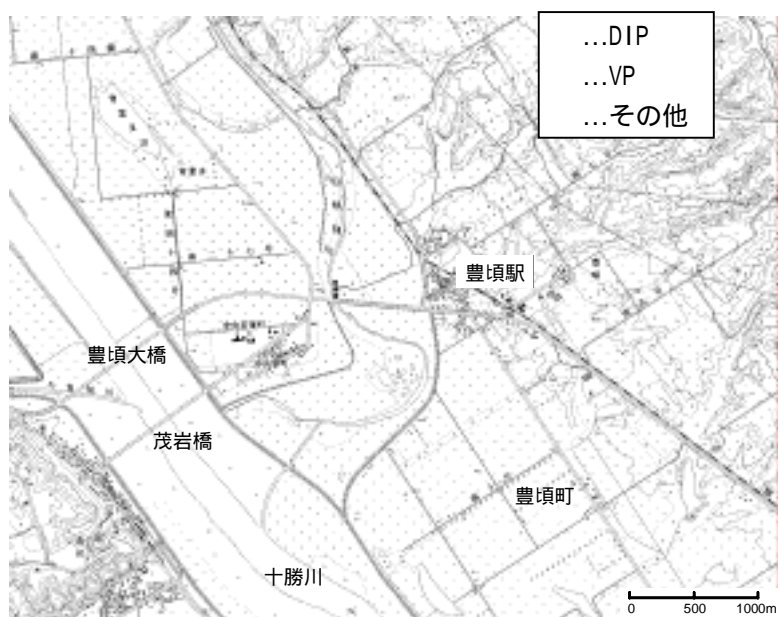


図-1 豊頃町の主な管路被害位置

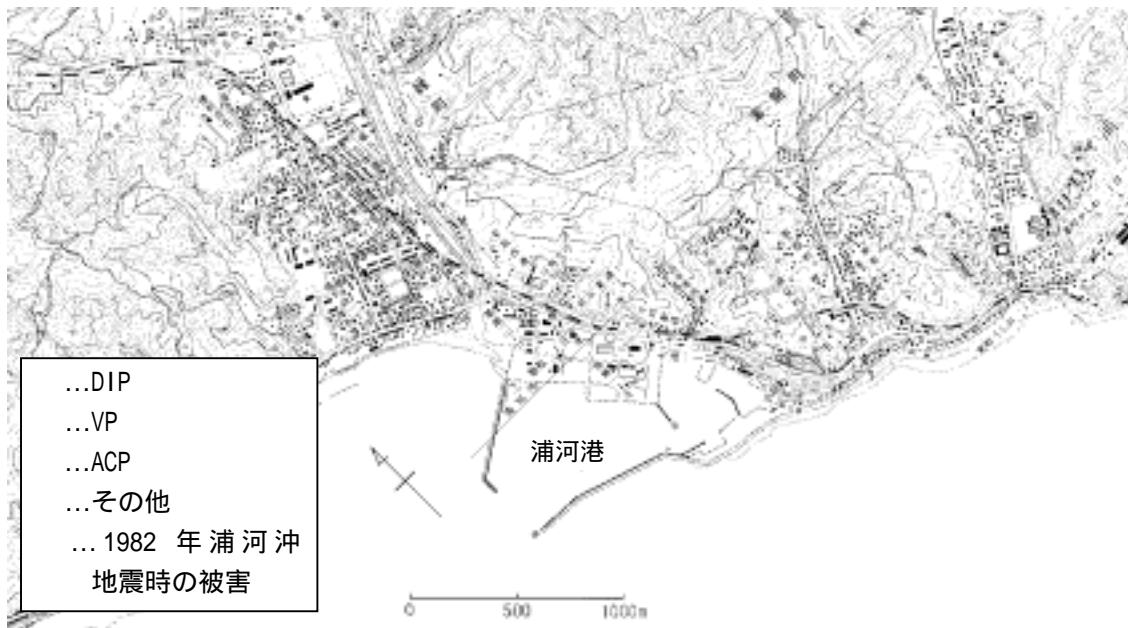


図-2 浦河町の主な管路被害位置と1982年浦河沖地震のときの被害発生位置

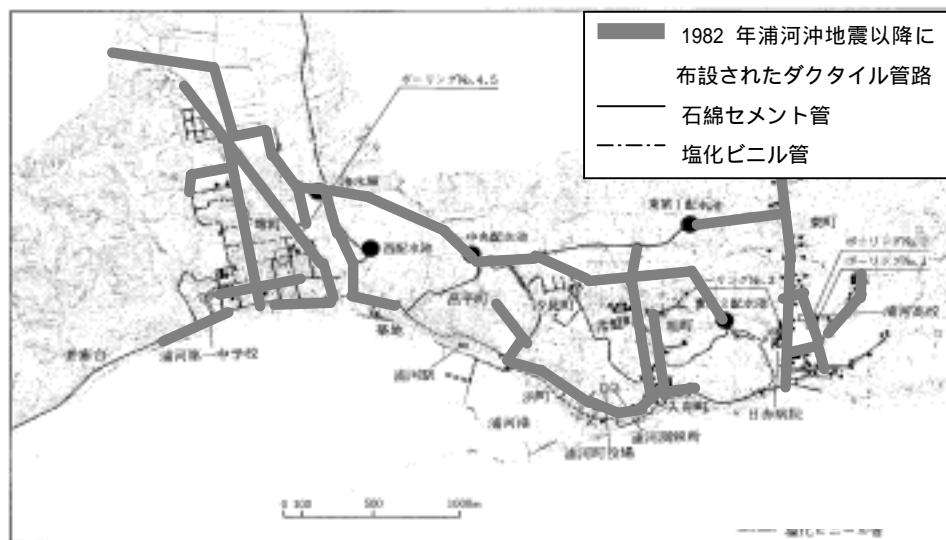


図-3 1982年浦河沖地震以降に布設されたダクトイル管路位置

# ライフラインの被害のうち下水道の被害

安田進<sup>1)</sup>・規矩大義<sup>2)</sup>

<sup>1</sup> 正会員 工博 東京電機大学理工学部建設環境工学科(〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂  
E-mail: yasuda@g.dendai.ac.jp)

<sup>2</sup> 正会員 工博 関東学院大学工学部土木工学科(〒2368501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1  
Email: kiku@kanto-gakuin.ac.jp)

2003 年十勝沖地震によるライフラインの被害のうち下水道関係の被害は、釧路町から鶴川町にかけて広い範囲で発生した。特に豊頃町、音別町、釧路町ではマンホールが大きく浮き上がるなど、大きな被害が発生した。被災量や地盤状況などはまだ調査がされている最中であるが、このようにマンホールが大きく浮き上がった一つの原因としては、埋め戻した砂が液状化したことが挙げられると考えられる。

**Key Word** : earthquake, site investigation, sewage facilities, liquefaction, sandy soil

## 1. まえがき

2003 年十勝沖地震では釧路町から鶴川町にかけて広い範囲で下水道施設が被害を受けた。特に、豊頃町や音別町、釧路町などでは最大 1.7m も多数のマンホールが浮き上がった。地表からは見えないものの、当然下水道管も浮き上がっていると考えられる。筆者達は地震後に現地を 2 回訪れ、また、11 月半ばに豊頃町役場、音別町役場、釧路町役場から被災状況に関する資料を見せていただいた。以下には 3 つの町から見ていただいた資料から作成した図をもとに、被災状況と現時点で考えられる原因を述べてみる。

## 2. 豊頃町

豊頃町では豊頃地区、茂岩地区、大津地区と広い範囲で下水道管が被害を受けた。図 1, 2 に豊頃駅前と大津地区において“人孔撤去・再設置”や“人孔嵩上げ”となったマンホールの位置を示す。また、それらのマンホールが設置されていた深さを数値で示す。さらに( ) 内に被災調査の写真に示されていた浮上がり量も示す。大津では下水浄化センター入口で 1.7m も浮き上がったが、その設置深度は 6.61 m と大変深かった、大津駅前では 0.5m 前後浮き上がったが設置深度は 3m 前後であった。このように、設置深度と浮上り量に関係があると思えるが、これだけの資料ではまだ断言できない。

## 3. 音別町

音別町での下水の応急復旧箇所を図 3 に示す。このうち川東地区の地盤調査結果を図 4 に示す。写真 1 に示すマンホールはこのうち右端に位置する。ここでは泥炭層や軟弱シルト層が厚く堆積している。



図 1 下水マンホールの被災箇所(豊頃町豊頃駅前，豊頃町から資料提供を受けてまとめたもの)

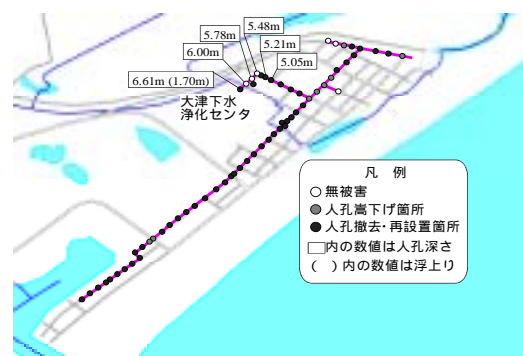


図 2 下水マンホールの被災箇所(豊頃町大津，豊頃町から資料提供を受けてまとめたもの)





図3 下水道の応急工事箇所(音別町, 音別町から資料提供を受けてまとめたもの)



写真1 浮き上がったマンホール(音別町)

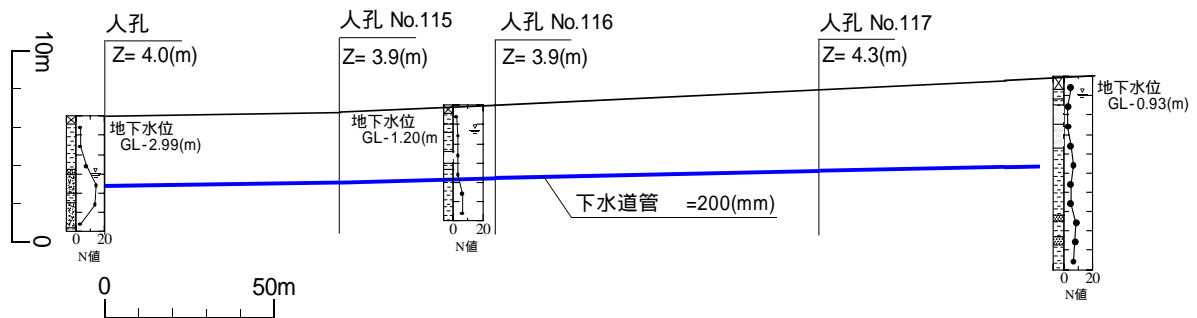


図4 音別町川東地区の断面図(音別町から資料提供を受けてまとめたもの)

マンホールの埋設深さは5m程度であるが、地表からこの深さまでや、さらにすぐ下部までに液状化するような土層は存在しない。従って、1993年釧路沖地震の際に釧路町で発生したマンホールの浮上りと同様に、埋戻し土が液状化してそのためにマンホールが浮き上がったのではないかと考えられる。

#### 4. 釧路町

釧路町では新東陽団地において図5に示す箇所で下水道が被災した。この団地は図6に示すように湿地に盛土して造成されている。盛土材はシルト質砂である。詳細はまだ分からないが、この盛土が液状化したか、または音別町と同様に埋め戻した土が液状化した、とかの原因でマンホールの浮上りが生じたのであろう。

なお、図5と6を比べてみると盛土厚が2.0~2.5m程度の区域で下水の被害が多いように感じられる。ただし、他の要因が関係している可能性もある。

#### 5. あとがき

地震発生後、被災した下水道の復旧が行われてきている。その際に被災量の詳しい状況や地盤状況に関して調査も行われてきている。これらに関しては今後資料を収集して、被害と地盤等の関係に関し、検討を続けていく予定である。

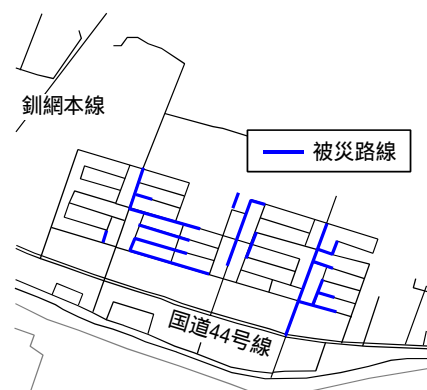


図5 釧路町新東陽団地における下水道の被災箇所(釧路町から資料提供を受けてまとめたもの)

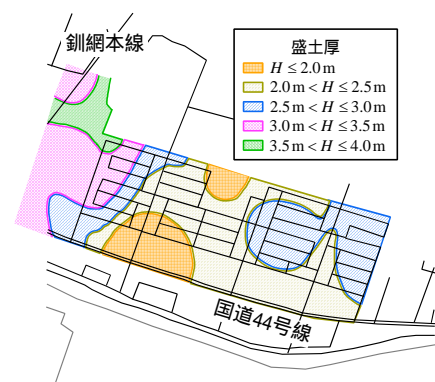


図6 釧路町新東陽団地における盛土厚さの分布(釧路町から資料提供を受けてまとめたもの)