

十勝沖地震・津波災害

河田恵昭

要 旨

十勝沖地震調査から得られた結果に基づき、同じプレート境界型地震である東海・東南海・南海地震災害への対応を考慮しながら、教訓をまとめた。まず、震度6弱とそれ以下の地域で、橋梁、道路、鉄道、水道被害が広範囲に発生した。これは、プレート境界型地震の揺れと液状化による被害の特徴とも言える。つぎに、震度5弱の苫小牧で石油タンクのスロッシングから火災が発生した。わが国には同種のタイプで地震時に脆弱なタンクが約8,500基存在し、この地震対策は緊急課題である。さらに、海岸地形によっては大きな津波が6時間程度継続し、また震源位置などによっては局所的に津波高さが大きくなる場所が存在することが見いだされた。そして、津波避難に関しては、津波警報下の自治体および住民の津波に関する知識が未熟で、対応は早急に改善する必要がある。最後に、漁業者、漁業組合の津波警報下での対応を整理し、周知徹底する必要があることを示した。

キーワード：2003年十勝沖地震、津波、津波対策、液状化、スロッシング現象、ライフライン、津波避難、避難勧告、漁業被害

1. 結 言

2003年9月26日午前4時50分にマグニチュード8.0の地震が発生した。震源は東経41度47分、東経144度05分で震源の深さ約42kmの十勝沖で、1962年の十勝沖地震の震源位置とほぼ同じであった。この地震は、1995年の阪神・淡路大震災以降、わが国で整備された強震計ネットワークが初めて捉えた大規模なプレート境界型地震であった。したがって、当然津波を伴う災害であった。この地震直後から、全国の災害研

究者のネットワークを活用した災害調査を計画し、実施した。著者は翌日に被災地に入り、津波を中心とした調査を実施したほか、北海道開発局や自治体の関係者のヒアリング等を行った。また、調査課題を整理し、研究室の教官と大学院生による現地調査も実施した。本報告はそれらの結果を取りまとめたものである。

Table 1 City and town with seismic intensity 6+ and 5+

震度6弱	幕別町	釧路町	新冠町	浦河町	静内町
	鹿追町	豊頃町	厚岸町	忠類村	
震度5強	釧路市	別海町	更別村	厚真町	本別町
	広尾町	足寄町	音別町	帯広市	弟子屈町

- 1) 橋梁:昭和30年代の古い橋梁から被害が多発しており、耐震補強の順位の高いものから被災した特



Photo 1 Damage of river bank due to liquefaction at the Tokachi river



Photo 2 Damage of road

徴がある。阪神・淡路大震災以降施工された落橋防止工のお陰で、大破しても桁の落下にまで至っておらず、暫定改修で通行可能となったもののがかなりの数を数える。

- 2) 道路：十勝川の河口を中心に軟弱地盤上の国道、道路被害が発生している。北海道の道路は冬季積雪を考慮して路肩を広く取ってあることが幸いして、全面通行止めに至る道路被害は少なかった。震度6弱でこのような被害が多発するということは、東海・東南海・南海地震災害では道路は広範囲に使用できなくなることを示しており、応急対応の遅れが懸念される。
- 3) 港湾・漁港：大規模な液状化が発生して使用不能になった施設はなかったが、象徴的な被害が釧路港第4埠頭で発生した。この埠頭は2002年10月に

竣工した液状化対策を実施した最新のものであったが、埠頭全体にわたる全面的な沈下（水深16mの埠頭では約60cmの沈下がエブロン背後で見られた）が起こったことである。釧路港は、1993年釧路沖地震、1994年北海道東方沖地震でも大きな液状化被害を被っているが、今回は古い埠頭に被害がなかった。これらの事実は液状化対策の困難さを示すものといえる。わが国では港湾施設の液状化対策は、対象となる施設が多く、余り進んでいないといえる。道路や鉄道などの陸路が寸断された場合、海路が重要であるが、そこに液状化被害が立ちはだかっているといえる。

- 4) 河川堤防：一級河川の十勝川（計画高水流量 $13,000\text{m}^3/\text{sec}$ ）の堤防を中心に大きな被害が出た。幸い出水期と重ならなかったために、氾濫災害は起こらなかったが、洪水と重なれば複合災害になるところであった。問題は、このような複断面の土砂製の河川堤防がわが国の1級河川を中心に全国に分布していることである。このような重量構造物の液状化対策は技術的に困難であるばかりか、高コストを要するので、大々的かつ積極的に進めることが困難なことである。東海・東南海・南海地震の震度が6弱以上の地域に同タイプの河川堤防が広く分布している。もし、強い揺れで液状化が起こり側方流動や不動沈下が起これば、河川水や津波が氾濫する危険性が大きくなるのが心配される。
- 5) 鉄道被害：今回も走行中の特急列車が脱線事故を

起こした。震度5強でこのような脱線事故を起こすのであれば、わが国の鉄道は安全な乗り物でなくなってしまう。とくに朝夕のラッシュ時における都市高速鉄道の過密ダイヤを考えると、やや長周期の地震動による鉄道被害への対策が必要なことがわかる。幸いなことに、戦後、ラッシュ時にプレート境界型地震の揺れに直撃された大都市は存在していない。そのために、地震時の鉄道の安全性は阪神・淡路大震災のような都市直下型地震の0.1から0.15秒程度の短周期地震波に対するデータ解析しかなく、大きな課題といえる。

Table 2 Human and property damage due to 2003 Tokachi-Oki earthquake

行方不明者	2名
重傷者	70名
軽傷者	779名
全壊	104棟
半壊	345棟
一部破損	1,560棟
水道断水	16,006戸
停電	371,340戸

河川堤防	80箇所縦断亀裂など
国道・橋梁	15路線96箇所損傷、路面陥没
港湾施設	8港約130施設に被害
漁港被害	3漁港16施設

3.2 石油タンク群のスロッシング問題

Figure 2は苫小牧の地震波の速度、加速度波形の3成分とその応答スペクトルを示したものである(東京大学地震研究所の古村助教授提供)。これから、地震の揺れが3分程度継続し、減衰していないことや、地震波のパワーが周期1秒から10秒の間でも、結構大きくなっていることである。すなわち、やや長周期の揺れが継続していることがわかる。これによって苫小牧にある出光興産北海道製油所の約100基ある石油タンクのうち、54基がスロッシング現象などで損傷し、その内2基で火災が発生した。これらのタンクは直径40m、高さ25mで、原油とナフサがそれぞれ32,000および26,000kl貯蔵されていた。タンクのスロッシング現象の1次固有周期は、タンクの直径と貯蔵液体の液面の高さの関数として比較的簡単に求めることができる。

このタンク火災は、これからの震災対策で大変大きな課題となった。石油タンクに関するわが国の現状はFig. 3にまとめて示した。

- ・ 容量500kl以上のタンクは全国に13,209基
- ・ 耐震診断を未受診、耐震補強未施工タンクは8,512基(64%)
- ・ 石油化学コンビナートの耐震性の不明なタンク
 - 千葉・市原 976基
 - 神奈川・川崎、横浜 835基
 - 三重・四日市 400基
 - 大阪・堺、泉北 478基
 - 岡山・水島 549基
 - 山口・徳山 577基

Fig. 3 List of oil tanks whose capacities are over 500kl

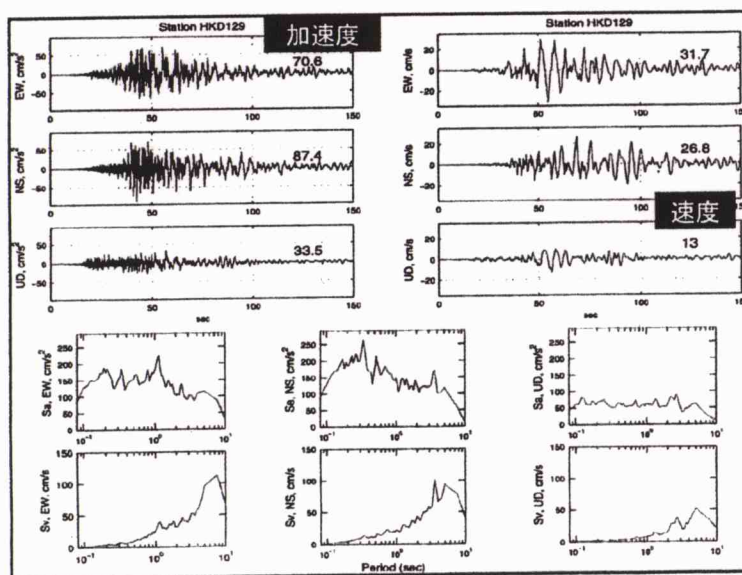


Fig. 2 Seismic wave records of velocity, acceleration and response spectrum at Tomakomai (courtesy by Prof. Furumura)

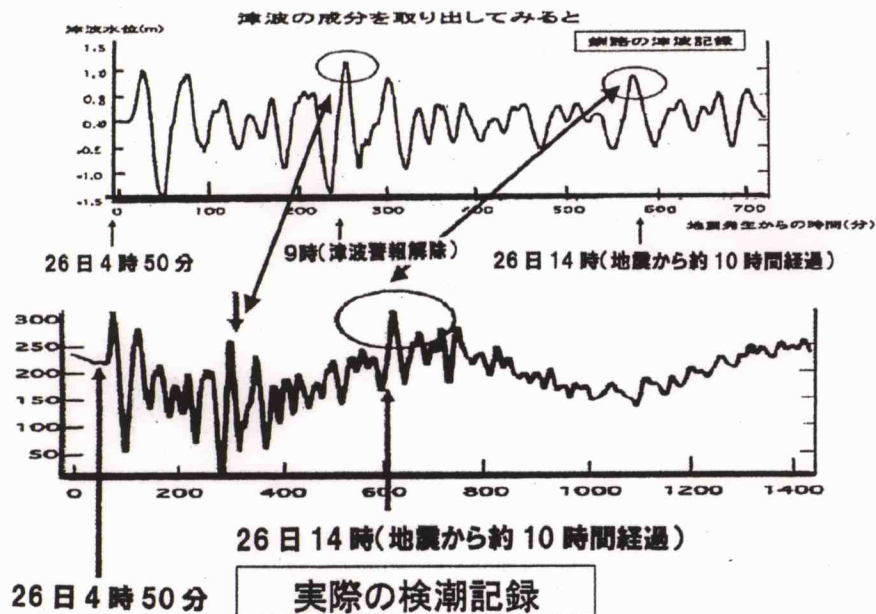


Fig. 4 Tidal observation data at Kushiro

これから、耐震診断が未受診、あるいは耐震補強未施工のタンクが約 8,500 基も存在し、プレート境界型地震による揺れが近い将来来襲する地域で、脆弱なタンク群が多数存在していることが分かる。しかも、これらの石油化学コンビナートは臨海部や埋立地に位置しており、液状化被害の発生も心配される。東海地震時の東京湾では、震度 5 強から 4 であるから、苫小牧とほぼ同じ条件である。今後、耐震補強はもとより液状化対策、スロッシング対策を早く進めなければならない。また、このタンク火災で、わが国の防災対策の欠点が露呈した。それは次のようである。

- 1) 消火剤が 1 タンク火災分しか備蓄していなかった: およそ 1,800 トンの消化剤が備蓄されていたが今回の火災で足りなくなって、世界に向けて発注した。この種の火災が日常的に少ないと消防力もそれに応じて低下する。しかし、大規模な地震時には消火できないことになってしまう。
- 2) 1999 年のトルコのマルマラ地震の教訓を学んでいない: この地震でヨーロッパ第 6 位のチュブラの製油所がやはりスロッシングが原因で出火し、10 基近いタンクが崩壊した。わが国の石油関係者はこの火災を参考にして対策を進めない

かったし、消防庁も特段の対災施策を展開したわけではない。

3.3 津波の長時間継続と異常津波高発生問題

気象庁はこれまで、発令した津波警報の解除には慎重であった。したがって、10 時間を過ぎても警報が解除されないことが起こり、関係者の不満が寄せられることがしばしばあった。そこで、今回は津波警報が午前 4 時 56 分に発令され、午前 10 時に解除された。しかし、Fig. 4 に示すような問題が起こった。これは釧路の潮位記録であり、上の波形は津波成分のみを取り出したものである。これから、午前 9 時以降に最大津波高が記録され、最高潮位は 14 時頃に発生していることがわかる。すなわち、警報解除が早すぎたことがわかる。この原因は、前述したようにエッジ波が形成されたことであるが、見落としている事実がある。それは太平洋沿岸では満潮と干潮が 1 日 2 回ずつあるという事実である。しかも、高い津波は地震後 6 時間程度継続するので、満潮と重なる確率が高いのである。通常、干満差は 1.5m 程度あるので、第一波が干潮のときに来襲しても、6 時間後には満潮と重なるのである。

つぎに、Fig. 5 は今回の震源位置で地震マグニチュードを 0.2 刻みずつ大きくした場合、沿岸各地で発生する最大津波高を示したものである。一般に、地震

Table 3 Set up time of disaster headquarters in every municipality

	津波警報状況	行政対応(災害対策本部設置)	避難勧告発令	1994年北海道東方沖地震津波の際の避難勧告発令	避難勧告発令	自主避難呼びかけ
4:50	発令	北海道、日高・十勝・釧路支庁、苫小牧市				大館町
4:55	津波警報発令(4:58)					
5:00		浜益町、白老町、厚岸町、釧路市、三石町、久留町、門別町、阿寒町、釧路市、釧路市、釧路市	三石町	大館町、厚岸町、白老町、釧路市		釧路市、釧路市
5:05	第1波(釧路5:06)	新設町(5:03)、浜中町、釧路市	新設町(5:03)、浜中町(5:06)、別所町	浜中町、釧路市		白老町、釧路市
	第1波(釧路5:07)					
5:10		厚岸町、白老町、釧路市、釧路市、厚岸町	門別町、久留町(5:08)、厚岸町(5:12)、厚岸町	門別町、釧路市		
5:15		釧路市、門別町、釧路市、厚岸町、釧路市、大館町	釧路市(5:17)	厚岸町		釧路市
5:20	最大波(釧路5:18)					
5:25	第1波(釧路5:20)	釧路市(5:24)	釧路市	釧路市、釧路市		
	第1波(花巻5:27)					
5:30		石狩市、大館町、釧路市	白老町(5:24)	釧路市、釧路市		釧路市
5:35						
5:40	最大波(花巻5:40)	釧路市、白老町				
5:45		釧路市				釧路市
5:50						
5:55						
6:00						
6:05			白老町(5:24)			
6:10						
6:15		釧路市				
6:20						
6:25	最大波(釧路5:24)					
	最大波(釧路5:24)					
6:30		釧路市	釧路市			釧路市
6:35						
6:40						
6:45						
6:50						
6:55						
7:00			釧路市			
					新設町(5:30)、釧路市(5:45)、久留町(5:45)	
8:00	津波警報解除			釧路市	門別町、釧路市、白老町	
8:05					釧路市、厚岸町、釧路市(5:06)	
8:10					三石町	
8:15						
8:20					釧路市	
8:25					釧路市	
					釧路市(19:30)、釧路市(17:00)	

人が抜けていたり、避難勧告対象の世帯数・人数が必ずしも正確ではない。したがって、およその数字として捉える必要があることを念頭において、全体で約16%という値となっている。なかでも、1952年の十勝沖地震津波で人的被害が発生した厚岸町の(床潭～末広)地区では100%だったことがわかっている。しかし、総じて避難率は低かったことから、住民は経験して痛い目に遭わないと他人事と思ってしまう傾向がここでも認められた。ここで、具体的に釧路市の対応(人口19万人中自主避難したのは183人)のどの点が間違っているかを示してみよう。

(1) 釧路市は北海道東方沖地震の後、「津波警報が発令されたら、自動的に避難勧告を発令する」と決めたが、これを守らなかった。今回はたまたま地震の震源域の位置、地震マグニチュード、震源の深さの関係が釧路市に幸運だっただけの話である。市の判断が正しかったというのは傲慢というべきである。あくまでも素人判断であることを肝に銘じなければならない。

(2) 今回の津波でも釧路市の臨海地域の一部で市街地の冠水被害が発生した。1994年北海道東方沖地震津波でも臨海地域で20cm程度の浸水が起こり、営業

中の地下のスナックなどに流入し、けが人や被害が発生した。これらの事実は、この程度の被害に納まって、幸運だったと判断すべきである。

(3) すでに、本論文で指摘したように、低頻度の津波災害では、私たちはあらゆるケースを経験したのではない。したがって、未経験の現象が起こることも、つまり経験したことのない現象も起こりえることを謙虚に考えるべきである。コンピュータのシミュレーション結果はその考え方が正しいことを教えている。

なお、1952年十勝沖地震津波で被災した厚岸町でも、前述した地区を除く津波避難勧告対象地域の9,600人中、わずか730人しか避難せず、避難率は7.6%に留まっている。どうも地震の揺れによる被害が小さいと津波も小さいという誤解が生じているようである。地震の揺れに比べて津波が大きいという津波地震の存在を知っておれば、このような判断はできなかったはずである。

これらの事実は、道東地方では行政も住民も津波に関する知識が貧弱であるにもかかわらず、根拠のない自分たちの判断を正しいと信じる傾向にあるといえる。このようなこともあって、2004年3月、気象庁と内閣

府、消防庁は、市町村長が出す避難勧告の発令基準について「津波警報と同時に勧告する」ように、各自治体に求めることを決めた。あらかじめ基準を明確にすることによって、首長の判断に時間がかからないようにする狙いがある。避難勧告を出すということは自動的に災害対策本部を設置することになるので、現場での対応がよりスピードアップされることになる。

Table 3 は市町村の災害対策本部の設置時間を区分したものであって、避難勧告発令時間と同様に、バラバラな時間帯になっていることが見出される。

3.5 漁業者、漁業組合の津波対応策

結論から言えば、これまでの地域防災計画は住民を対象としたもので、漁業者の被害軽減を取り扱ったものは皆無であるといえる。そこで広尾町・十勝漁港の例を示し、対応策を示してみよう。

まず、**Fig. 6** は地震当日の広尾町の対応をまとめたものである。ちなみにこの町の震度は5強、津波避難率は30%であった。今回の地震では、人的被害は軽傷6名で津波で漁港周辺が冠水したほか水産施設の浸水および揺れによる被害が挙げられる。地震発生時の広尾漁業組合の対応をまとめたものが、**Fig. 7** である。これからわかることは、漁船の大半は秋サケ漁のために出漁中であって、漁業組合に集まったのは数名の職員であった。漁船に対する指示は行っておらず、帰港は漁師の判断に任せたということであった。また、漁業組合の電話はマスメディアの取材に独占され、組合員の連絡には使えなかった。なお、携帯電話は地震後2時間程度で輻輳して使えなかったそうである。このほかの数力所の漁業組合のヒアリングから、津波警報下での漁業者への対応がほとんど議論されてこなかったことがわかった。そこで、今回の災害を教訓としてまとめたものが**Fig. 8** である。今回、津波来襲地域の漁港では大きな津波が来なかったことや、多くの漁船が出漁中ということもあって、漁師や漁船の被害は軽微であった。しかし、地震発生タイミングや地震マグニチュードによっては、最悪のケースも考えておかなければならない。当該漁港に被害をもたらす近地津波の波源域はほぼ既知であるから、津波第1波の到達

時間もわかっているはずである。その場合、大津波警報が発令されるような地域にある漁港では、地震時に漁師が漁港に集結し、漁船を沖出しするのに必要は十分な時間的余裕があるかどうかを事前に検討し、そのときどのような行動をとるべきかを検討し、実際にそれを実行しなければならない。今回の調査では、漁船の価格もまちまちであったが、ほとんどの漁船は保険に加入しており、90%程度の補償が可能である。問題は漁船が一定期間ないのに漁業に従事できず収入が閉ざされる点である。つまり、漁船がない期間、収入がないのである。休業補償をどのように充実させるかが、今後漁業者の人的被害を左右する要素であると考えられる。

- 4時50分 地震発生
- 4時56分 気象庁が津波警報発令
- 4時57分 避難勧告を発令
- 5時10分 防災対策本部を設置
- 5時17分 津波第1波、高さ1.32mが来襲
- 5時24分 最大2.73mの津波が来襲
- 9時00分 津波警報解除
- 18時31分 津波注意報解除

Fig. 6 Summary of disaster response observed at Hiroo Town Office

- 直後の管理部長の対応
家族の安否を確認し、家族を丘の上へ避難させた後、漁組へ
- 漁組での対応
漁組に集まったのは、数名の職員のみ。
(地震時に組合に集まるということは特に決まっていなかった)
管理部長……災害優先電話に対応
その他の人……漁港へ情報収集

Fig. 7 Example of disaster response observed at Hiroo Fishery Association

- 津波警報発令時の漁業組合の役割を決めておく。
- 家族から津波警報が出たことを出漁中の漁船に携帯電話で伝える(陸から10kmぐらいまで)。
- 出漁中の場合は陸から離れた深い海域(水深20m以上、できれば50m)に留まる。
- 少なくとも津波警報が解除されるまで岸や漁港に近づかない。最低6時間は海上で待機する。
- 漁業無線を活用する。
- 養殖いかだのロープの強度を点検する。

Fig. 8 Disaster lessons for fisher men

4. 結語

ここでは、十勝沖地震調査から得られた教訓を中心に、同じプレート境界型地震である東海・東南海・南海地震災害への対応を考慮しながら、まとめた。震源から沿岸部まで最短 100km 程度離れていたこと、震源の深さが 42km と深かったことや周期のやや長い地震波が卓越したので、平屋や2階建て住宅の被害は思いの外に少なかった。これは西日本の台風通過地域と違い、屋根そのものを重くする必要がないことも原因していると考えられる。得られた成果は、つぎのようにまとめられる。

- 1) 震度6弱とそれ以下の地域で、橋梁、道路、鉄道、水道被害が広範囲に発生した。このことは、プレート境界型地震の揺れと液状化による被害の特徴とも言え、阪神・淡路大震災のような内陸直下型地震の被害と異なることを理解する必要がある。
- 2) 震度5弱の苫小牧で石油タンクに貯蔵された原油やナフサのスロッシング現象から火災が発生した。わ

が国には同種のタイプで地震時に脆弱なタンクが約 8,500 基存在していることを指摘した。この地震対策は緊急課題である。

- 3) 海岸地形によっては大きな津波が6時間程度継続し、また震源位置などによっては局所的に津波高さが大きくなる場所が存在することが見いだされた。
- 4) 津波避難に関しては、津波がたまたま小さかったこともあって死者は発生しなかった。津波警報下の自治体および住民の津波に関する知識が未熟で、早急に改善する必要がある。
- 5) 漁業者、漁業組合の津波警報下での対応を整理し、周知徹底する必要がある。自助努力の内容を自らが積極的に知り、実行しなければならない。

最後に、今回の調査に協力頂いた北海道開発局、北海道庁、被災自治体の皆様に感謝するとともに、本プロジェクトの共同研究者に謝意を表します。

Tokachi-Oki Earthquake and Tsunami Disasters

Yoshiaki KAWATA

Synopsis

The objectives of this paper are to summarize the disaster lessons given by Tokachi-Oki earthquake and tsunami disasters in 26 September, 2003. They will contribute to reduce damage at the moment on coming Tokai, To-Nankai and Nankai earthquake disasters as the typical example of a plate boundary earthquake. Firstly, social infrastructures such as roads, bridges, railway, water supply were severely damaged by strong ground motion and liquefaction with the seismic intensity of 6 less. Secondly, oil tanks at Tomakomai had sloshing phenomena and fire. In Japan, we had about 8,500 same type oil tanks, therefore, retrofit are very urgent problems. Thirdly, tsunamis generated in the Pacific as near-field tsunamis will continue more than 6 hours with high damage potential and extremely high tsunami waves can be observed due to irregular bottom topography. Tsunami evacuation was not successful and disaster response by fisher men are still doubtful due to lack of adequate knowledge of tsunami characteristics.

Keyword: 2003 Tokachi-Oki earthquake, tsunamis, tsunami countermeasures, liquefaction, sloshing, lifeline, tsunami evacuation, evacuation recommendation, fishery damage