

2003年十勝沖地震の特徴と課題

大島 俊之¹, 三上修一², 宮森保紀²

Toshiyuki OSHIMA¹, Shuichi MIKAMI² and Yasunori MIYAMORI²

¹北見工業大学理事・副学長

²北見工業大学工学部土木開発工学科助教授

本稿は2003年9月26日に発生した十勝沖地震被害の特徴とその後の課題について述べている。関連する資料は土木学会誌¹⁾などに報告されており、本原稿はその報告に基づくとともに、タンクのスロッシングに関する内容はその後公表された報告²⁾を参考にとりまとめた。この地震ではこれまでの北海道東部で発生した釧路沖、東方沖地震などと比較して、北海道のほぼ全域に渡って大きな震度分布となったこと、十勝川を遡上する津波の映像が長時間に渡って観測されたこと、および出光石油苫小牧精油所のタンク2次災害の発生などを大きな特徴としている。

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、北海道十勝、釧路、胆振・日高地方を中心に河川、港湾、水道、及び道路・橋梁などの被害が発生し、また長時間に渡る津波が観測された。土木学会・地震工学委員会（委員長（当時）：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）では直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上、十勝沖地震被害に関する調査団を派遣した。

この地震ではこれまでの北海道東部で発生した釧路沖、東方沖地震などと比較して、北海道のほぼ全域に渡って大きな震度分布となったこと、十勝川を遡上する津波の映像が長時間に渡って観測されたこと、および出光石油苫小牧精油所のタンク2次災害の発生などを大きな特徴としている。

ここでは、この地震・地震動の特徴さらに被害の特徴と今後の課題について報告する。

2. 地震・地震動の特徴

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。

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。また、同時期に公表された「確率論的地震動予測地図の試作版（地域限定 - 北日表 1 土木学会（地震工学委員会）・地盤工学会調査団本）」では、今回強い揺れに見舞われた地域において今後30年以内に震度5弱あるいは震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が相対的に高いことが指摘されていた。

気象庁発表による震度分布を図1に示す。最大震度は6弱である。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のみならず、防災科学技術研究所（K-NET、KiK-netなど）や北海道開発局など多くの機関で多数の観測記録が得られている。このうちK-NET、KiK-netの記録に基づく震度分布を図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。記録された最大加速度、最大速度は平均的には既往の距離減衰式と整合するようであるが、距離が比較的近い範囲でばらつきが大きいのが特徴である。

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。

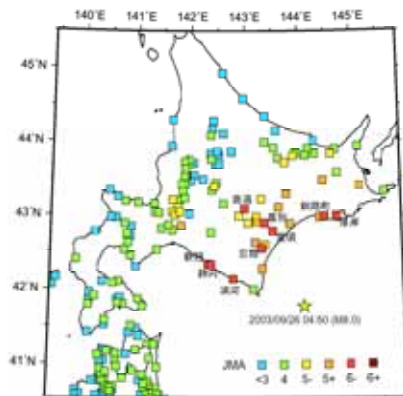


図1 気象庁発表による震度分布

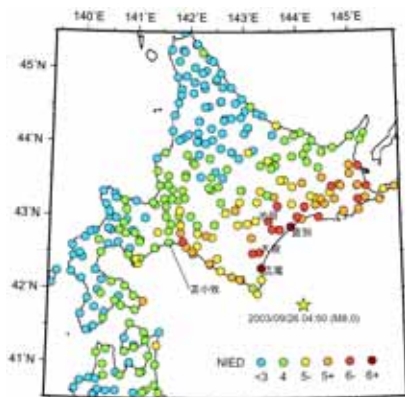


図2 K-NET・KiK-net 記録より換算した震度分布

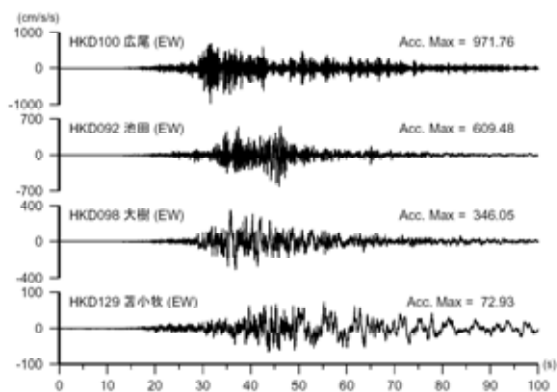


図3 K-NETで観測された加速度波形

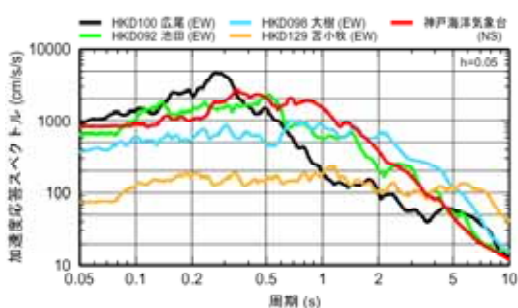


図4 K-NETで観測された加速度応答スペクトル

今後、表層地盤の非線形応答に加えて、深い地盤構造や盆地効果を含めた詳細な強震動シミュレーションによる検証が必要である。

なお、K-NET の記録の中で最も強い地震動が得られた直別では地震計の小屋の傾斜が報告されている。計器の状況の調査を踏まえた解釈が必要である。また、K-NET 浦河では同日午前 6 時 8 分頃に発生した余震 (M_j 7.1) による最大加速度・最大速度が本震でのそれを上回った。

今回の観測点のうちいくつかでは 1993 年釧路沖地震の際にも記録が得られている。地震動の特徴と被害の関係の比較分析などへの活用が期待される。

謝辞：防災科研の K-NET, KiK-net の記録を使用させていただきました。

3. 地形と地震動分布の推定

この地震は M8.0 で広域にわたり 5 強、6 弱の震度が記録されている。それだけに地形や地質の影響を受け、その震度分布は複雑であったものと推定される。震度分布を推し量るため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た。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（虫類から大樹に至る 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 5）。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）。虫類から 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。

以下に代表的な地点での状況を列記する。

広尾：

津波の被害の顕著な十勝港の南部の丘陵地（急傾斜地域）では、斜面がやや滑動して、傾いた家屋、そして家屋の背面に沿っての亀裂が認められた（図 6）。このあたりは急傾斜指定地域である。段丘下部の平地では開口した電柱は調査した範囲で見当たらない。

JR 根室線浦幌川橋梁：

4 径間単純支持
(1 スパン
30m)、4 主桁、
のコンクリート
橋梁である。河
川中央の最も高
い橋脚 (円形断
面、高さ 9.5m)
に橋軸直角 (上
下流) 方向にゆ
すられたと考え
られる左右対称
のせん断亀裂が
生じている。隣
接する水位観測
設備の鉄製ポー
ル根元に S45E の
角方で 5mm の開口が認められた。橋脚の破壊形態
と整合的である。



写真 1 浦幌川橋梁橋脚

直別：

特急まりも脱線の現場近くである。国道 38 号線沿いの電柱基部の開口楕円主軸は概ね南南東 = 北北西に向く (図 7)。線路に対しほぼ直角方向である。ここには防災科学技術研究所の K-net 観測点 (HKD086) がある。

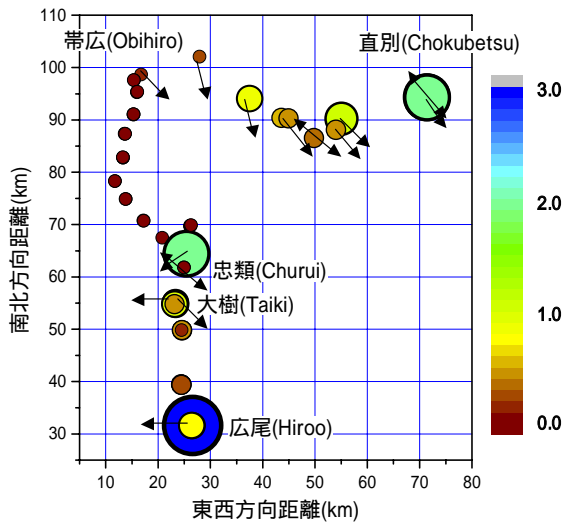


図 5 電柱基部の開口大きさ (円の半径、および大きさ) と主要な方向

4. 津波

津波は地震発生後約 20 分後には十勝，釧路，浦河などに到達し，北海道の太平洋岸から三陸海岸にかけて各地を襲った。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。写真 2 は大津漁港の例である。

北海道の痕跡高を谷岡教授 (北大) が取りまとめた結果 (速報値) を図 8 に示している。

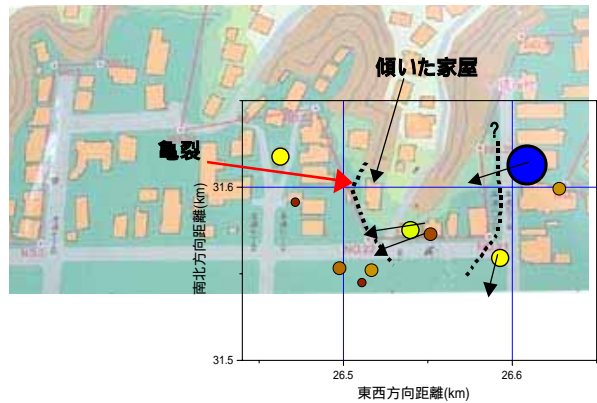


図 6 十勝港南背面の丘陵上の家屋と電柱の開口

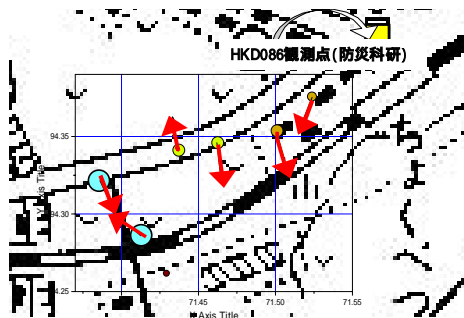


図 7 直別駅近くの電柱の動き



写真 2 大津漁港に残された津波痕跡

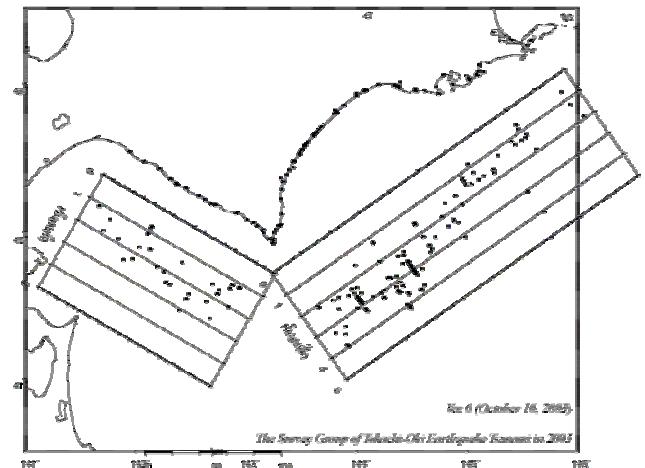


図 8 津波痕跡高 (速報値)

(詳細は <http://www.hel.ce.akita-u.ac.jp/tsunami/tokachi2003/>) 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 (検潮記録では 1m 程度) . 本州での痕跡高は 1m 以下のものが多い . 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が、飛び抜けて大きな痕跡高はない . 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 .

この津波の大きな特徴は継続時間の長さである . 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、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 . これは、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で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 . ³⁾

津波は十勝川を遡って 11km も上流まで伝わっている . 津波が波状段波となり十勝川を遡る様子が自衛隊により撮影され TV ニュースで放送されていたが、それが最大波だったとは限らない . さらに大きな波が遡上していた可能性もある . なお、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課題である .

こ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 . 地震発生が朝 5 時頃で、多くの漁船が出港していたこと、住民の避難率が高かったことが原因と思われる . 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 . しかし、問題がなかったわけではない . 例えば、津波警報が出ていながら避難勧告を出さなかった自治体があったが、それが原因で避難しなかった住民が多かったとするとやはり問題であろう . また、北海道太平洋沿岸東部・中部では最初津波警報が出ており、その後津波注意報に切り替わったため、それが「もうピークは過ぎた」と解釈されてしまった可能性がある . このような津波では地震発生から相当時間が経過してから最大の波が発生する可能性があり、また継続時間が長いということは、必ず満潮と重なる時間帯があるので、津波注意報に切り替わった後で最大水位に達する

可能性もあった . 注意報の伝え方を工夫する必要がある .

5 . 地盤および盛土・埋土関係した被害

地盤および盛土・埋土に関する被害は釧路から札幌まで広範囲にわたって発生した . そのうち特に十勝川下流域で被害が多く発生した . 原地盤の液状化や斜面崩壊といった自然堆積地盤の災害よりは、人工的に盛土や埋土をして構造物を建設した所の被害が主であった . 以下、5 つのタイプに分けて被害状況を報告する .

(1)地盤を掘削し埋め戻した所の被害

写真 3 に音別町の下水道マンホールが浮き上がった状況を示す . 音別町以外にも豊頃町、釧路町でこのように最大 1.5m 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 . このような被害は 1993 年釧路沖地震・北海道南西沖地震や 1994 年北海道東方沖地震でも釧路町などで発生した . 浮上りの原因はこれから調べられると思われるが、前の三つの地震の時の調査結果によると、下水道管を敷設するために泥炭地盤を掘削して埋め戻した砂が液状化したのが主原因であった . 今回も同様の原因であった可能性がある .



写真 3 音別町で浮き上がったマンホール



写真 4 札幌市清田区における住宅の不同沈下

過去の被災経験が生かされていない事になり、今後、対応が望まれる . なお、マンホールの浮上りは顕著ではなかったが、下水道管の埋戻し部の沈下は鶴川町や浦河町などでも発生した .

地盤を掘削して埋め戻した砂が液状化して被害をもたらした他の例として、豊頃町で二軒ほど住宅が不同沈下していた . これらの住宅では地盤が悪いので深く掘って埋め戻した方が良いと考えて、

3m 程度掘削し砂質土で埋め戻したとの事である。これが逆効果になったようである。

(2) 軟弱地盤上に低盛土した所の被害

軟弱地盤に 1~2m 程度の低盛土をした所の被害が豊頃町大津の宅地と豊頃町豊頃南町のガソリンスタンドでは発生した。前者では盛土の滑りと噴砂が発生し、その上の家屋が不同沈下した。後者では広い範囲の滑りが発生し、地下タンクの傾斜や地割れが発生した。これらは軟弱な地盤にめり込んだ盛土の下部が液状化したのではないかと推定される。

(3) 台地や丘陵地の造成地の被害

札幌市清田区の造成地では写真 4 に示すように住宅が数軒不同沈下した。家屋の周りに噴砂が発生しており、造成盛土の液状化に起因した被害ではないかと考えられる。この近くでは 1968 年の十勝沖地震の際に盛土部で同様の被害が発生した履歴がある。

北見市の東に位置する端野町協和では、2°前後といった緩やかな傾斜をもつ農地が大規模に流出した。ここは沢地形の水田を埋めて畑地にした所であり、噴砂も発生しているため、盛土した火山灰質砂質土が液状化して流動破壊したのではないかと考えられる。ただし、メカニズムに関しては今後の検討が必要である。

(4) 海岸の埋立地の被害

海岸の埋立地では苫小牧から根室にかけて多くの港湾などで液状化が発生した。釧路港でも噴砂が多く、多くの地点で見られた。ただし、背後地盤の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、地盤改良などにより岸壁の液状化対策が進んできている事が挙げられよう。

(5) 河川堤防

河川堤防は各地ですべりやクラックなどの被害を受けた。そのうち、十勝川河口の右岸 3.4km 付近では写真 5 に示すように、堤内地側へ大きくすべり破壊した。堤外地側法尻には噴砂が発生していたため、被害は液状化に起因している可能性がある。原因は現在検討されているが、原地盤自体が液状化したケースと、軟弱地盤に造られた堤体が圧密沈下しそこが液状化したケースの二通りが考えられよう。



写真 5 十勝川河口付近の堤防の被害

6. 道路橋の被害

橋梁に関する被害は十勝地方において多く発生した。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。

(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 80cm 程度上流側に移動し、支承部に大きな損傷が発生した。また写真 6 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、本格復旧の準備中である。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（g a l）（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。



写真 6 遠方左岸側の橋軸折曲り（十勝河口橋）

(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、昭和 29 年に建設されており、橋

歴50年以上を経過している。

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および側橋梁の橋脚に対して発生した。橋脚被害は典型的な曲げ破壊であり、写真7に示すような鋼板接着補強により応急復旧を実施した。



写真7 千代田大橋鋼板接着補強



写真8 歴舟橋 アンカーボルトの浮き上がり

(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8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。

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。

7.まとめ

この地震の調査は平成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。さらに報告書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お忙しい中報告書の原稿を執筆していただきました。これらの方々にも調査団として深く感謝申し上げます。

本稿の内容のうち、特に

- 2, 3章 小長井一男、石川裕
- 4章 藤間功司、谷岡勇市郎
- 5章 宮島昌克

については各先生の執筆された原稿を現在の時点で著者の責任において再構成して掲載させていただきました。あらためてお礼申し上げます。

最後に、苫小牧地区の屋外貯蔵タンク(石油タンク)のスロッシング(液面揺動)の影響と思われる事故により、タンク全面火災が長時間続き、「やや長周期の地震動」に対する課題が浮かび上がった。この件の調査は消防庁および警察の事情調査などのため調査団として被害直後のデータを入手できなく、詳細な検討は今後の課題として残っている。

参考文献

- 1) 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, Vol. 88, pp.39-44, 2003.12.
- 2) 坂井藤一：2003年十勝沖地震における浮屋根式タンクの被害について, J S S C, No. 52, pp. 20-25, 2004.4.
- 3) 佐竹健治、七山 太、山木滋：北海道太平洋岸の津波浸水履歴図, 月刊 地球, Vol. 37, No.3, pp. 229-232, 2005.