

□ 2003年9月26日十勝沖地震津波の発生と残された教訓

東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター 今村文彦  
秋田大学工学資源部土木環境工学科 高橋智幸

## はじめに

平成15年9月26日早朝(4時50分頃)、M=8.0の地震が十勝沖で発生し、北海道で震度6弱の揺れが観測された。気象庁によると、震源地は襟裳岬の東南東約80キロで、震源の深さは約42キロ、地震の規模を示すマグニチュード(M)は8.0と推定された。1952年の地震とほぼ同じ場所で発生したことになる。人的被害としては(平成15年ユ0月当時)、北海道で行方不明者2人(豊頃町の十勝川河口において、釣り人2名が行方不明)、負傷者732人(重傷56人・軽傷676人)、青森県:負傷者1人(重傷1人)、岩手県:負傷者1人(軽傷1人)を出した。

現地では、列車の脱線、製油所の火災、液状化、など、多くの被害が出た。中でも今回注目されたのは、沿岸部を襲った津波であった。どのような津波の特徴があり、また、津波情報、行政・住民の行動はどの様であったのか、現地で残された潜在的被害として何があったのか、紹介していきたい。

## 地震発生以前に指摘されていた危険性

東日本の太平洋側では「太平洋プレート」が「オホークプレート(あるいは北米プレート)」の下部に潜り込んでおり、日本海溝・千島海溝を形成している。今回の十勝沖地震は千島海溝に西部で発生しているが、ここは巨大地震の発生が以前から懸念されていた地域である。千島海溝付近では1952年に十勝沖で、1963年に択捉島沖で、1969年に色丹島沖で、1973年に根室沖で巨大地震が発生している。文部科学省の地震調査研究推進本部(2003)によると千島海溝付近での巨大地震の平均発生間隔は77.4年と推定されており、発生の危険性が最も高いのは十勝沖であった。その発生確率は今後10年以内で10%~20%、今後20年以内で40%程度、今後30年以内で60%程度と指摘されていた。このような地域で今回の地震が発生したことになる。なお、他地域での今後30年以内の発生確率は根室沖と色丹島沖が20%~30%、択捉島沖が40%程度であり、今回の十勝沖地震を考慮しても、千島海溝付近での巨大地震発生の危険性は依然として高い状態にある。

### 津波の来襲状況と沿岸分布

地震の震源域が沿岸部に近いこともあり、図-1 に示す釧路、花咲などの記録を見て分かるように、地震発生してから数分後には水位の上昇が見られ押し波が来襲している。あっという間の津波が来たことになる。住民からの証言より、津波の来襲状況としては大変ゆっくりしており、徐々に水位が上昇したようである。昭和 58 年日本海中部地震津波や、平成 5 年北海道南西沖地震津波の状況と異なる津波の姿である。

写真-1 には、N 且 K の遠隔操作カメラがとらえた十勝港での津波の来襲状況を示す。ゆっくりとした水位の上昇の後、水位が低下し始め、画面の右から左へ津波による流れが生じている。これからも比較的穏やかな津波の像が確認できた。

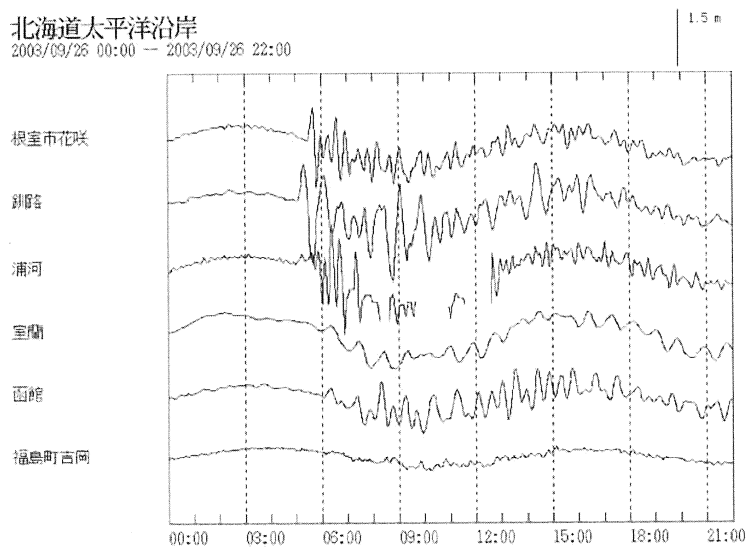
今回、沿岸部の港を中心に、検潮記録や波高計により津波が記録された。最近では、沿岸沖合での波浪観測ネットワーク(国交省港湾航空技術研究所ナウファス)が充実し、密度が高い観測データを広域に管理している。さらには、流速ベクトルも同時に観測しており、過去において津波の流速に関するデータが少ない中、入射・反射の状況や波力を知るのに役立つと期待される。



写真一 1 津波の来襲状況と避難する住民（9月26日 NHK 天気カメラより）

表一 1 1952年と2003年十勝沖地震津波の検潮所での最大全振幅の比較

検潮所	1952年地震津波 渡辺 (1998)	2003年地震津波 (気象庁の記録を判読)	比 率 (2003/1952)
釧 路	344cm	120cm	0.35
十 勝 港	355cm	250cm	0.70
室 蘭	39cm	78cm	2.00
函 館	55cm	129cm	2.34
八 戸	310cm	172cm	0.55
宮 古	98cm	111cm	1.13
鮎 川	83cm	50cm	0.60
小 名 浜	38cm	50cm	1.31
銚 子	25cm	22cm	0.88



図一 1 気象庁により観測された津波（北海道）

### 津波に関する現地調査結果

現地調査を行なって実際に来襲した津波の大きさを調べる必要がある。今回の津波では、北海道大学、秋田大学、東北大学、京都大学、東京大学、気象庁、産業技術総合研究所、国土技術政策総合研究所、海洋科学技術センター、人と防災未来センターなどの研究機関に加えて、アイ・エヌ・エーや日本工営などの民間企業が合同で調査を実施した。通常、国内外を問わず被災地で

は被害者救援が最優先されるべきであるため、学術調査は現地の救援活動の進捗状況を確認してから実施される。しかし、今回の津波では人的被害が少なかったこと(津波によると思われる行方不明者が2名)、日本では経済活動が活発なため津波の来襲を示す痕跡が急速に失われることを考慮して、被災当日の9月26日の午後には数グループが現地に入った。その後調査グループを増やし、最終的には10月15日まで断続的ではあるが調査を継続した。調査範囲は、北海道においては苫小牧から襟裳岬、納沙布岬を経て標津まで、東北地方においては青森県の太平洋側から岩手県、宮城県に至っている。

調査は主に目撃者への聞き取りや津波来襲の痕跡(写真-2、3)の測量などから来襲の状況や遡上高を調べた。現在までの結果を図-2に示す。北海道十勝沿岸や日高沿岸に4mにも達する津波の遡上高さが測定された。今回の津波の規模は1993年北海道南西沖地震津波などに比べると小さく、遡上高としては高潮や高波

浪と同程度の地域が多かった。したがって、痕跡だけでは信頼性が保証されないこともあり、複数の目撃証言による裏付けを重視して調査を行なった。このようにして得られた調査結果は9月27日からインターネットのホームページ(<http://www.hel.ce.akita-u.ac.jp/>)において公開を開始し、調査範囲の拡大およびデータの増加に合わせて順次更新を行なっていた。

通常、検潮記録における津波高さと同様に現地調査による遡上高さが異なる場合があるが、図-3に示したように、海域での津波の高さ(潮位から最高の水位までの高さ)と遡上高さは定義として異なり、遡上時での津波の勢いが大きいので、遡上高さの方が大きくなることが多い。また、検潮記録における津波高さには、機械的なフィルターがかかっている場合もあり、実際の高さより過小になることもある。今回の両者の比較を表-2に示す。あまり大きな違いは見られない。



写真—2 日高沿岸静内町での調査の様子  
(昆布が津波の痕跡に)

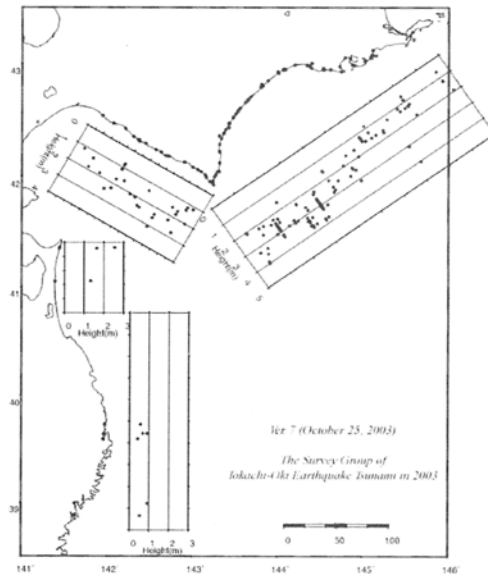


写真—3 大津港での津波痕跡(重油と思われる  
痕跡が壁に残っている)

## 調査による被害について

発生後の調査により、北海道から東北地方にかけて広範囲で強い揺れが観測され、最大約 4m の津波も発生した。各市町村によると、家具の下敷きになるなどして、9月30日の時点で、北海道内を中心に2人の行方不明者や591人の重軽傷者が出て、2万人以上が一時避難した。今回の地震はとりわけ、広域にわたる被害、津波の発生、道路・橋・港湾の液状化、オイルタンク火災などが大きな特徴としてあげられた。M8.0と地震エネルギーは大規模であったが、震源が海岸線から50km以上も沖合で深さも40kmと深かったために、家屋

の倒壊は少なく、津波によると思われる行方不明者2名を除けば直接的な死者は報告されなかった。地震を繰り返し経験していることや、雪国であることなどから家屋が頑丈に建てられていることも効果的だったと推測される。



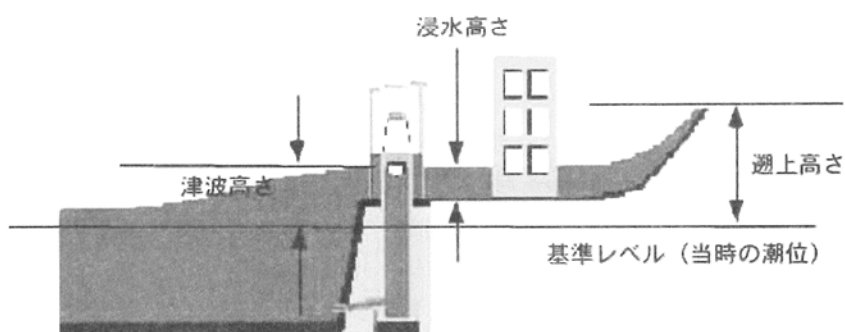
図一 2 現地調査により得られた津波委遡上高さ分布  
(大学合同調査班)

## 直線海岸での津波挙動

今回のもう1つの津波の特徴は、継続時間が大変長かったことであり、また、場所によって最大波高が遅れて出現したことである。図一1の釧路での記録を見てもわかる。波源から伝播する津波は比較的単純であり、通常は第一波が最も大きい。しかし、沿岸で観測された津波は、その第一波が大きいとは限らず、最大波の到達が大分遅れて現れることが多い。これは、津波が陸棚や海嶺、海溝斜面を伝播する境界波的(エッジ波)な振る舞いをするからである。津波が深海から浅海へまたさらに浅海から深海へ伝播する時、屈折現象によりサイクロイド形の進行経路をとって海岸線に到達し、反射の後に沖合い方向へと向きを変えるが、トラップ現象によりサイクロイド形の経路を再び描いて海岸へ戻るといった事を繰り返す。このような現象が、今回の十勝沿岸で発現したものと考えられる。

表—2 検潮記録における津波高さとの遡上高さの比較

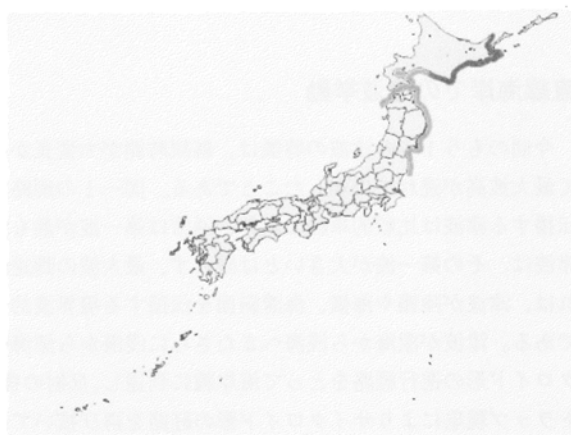
検潮所	2003年地震津波 高さ(m) (気象庁の記録)	周辺での遡上高さ(m) 大学共同調査結果
花 咲	0.9m	1.3m
釧 路	1.2m	1.5—1.9m
十 勝 港	2.5m	2.5—3.3m
浦 河	1.3m	1.4m



図—3 検潮記録での津波高さとの遡上高さの違い

#### 気象庁から出された情報

今回の地震は9月26日午前4時50分に発生し、北海道・十勝沖を震源とする強い地震があり、日高、十勝、釧路地方で震度6弱を観測した。地震発生から6分で、気象庁から津波情報が出され、北海道の太平洋側東部と中部に2mの津波警報が、北海道太平洋沿岸西部、東北の青森県の日本海と岩手、宮城、福島のパシフィック沿岸に津波注意(0.5m)が出された。2002年3月に石垣島での数値予報発表以来のものであり、広域に発表されたのは初めてである。図-4に予報区を示しているが、「北海道太平洋沿岸東部」と「北海道太平洋沿岸中



図—4 発表された津波情報 (オレンジが津波警報、黄色が津波注意報)

部」で津波警報、「北海道太平洋沿岸西部」、「青森県日本海沿岸」、「青森県太平洋沿岸」、「岩手県」、「宮城県」、「福島県」で津波注意報が発令されている。同時に震度情報も提供され始め、最大で震度6弱が観測された。

### 警報に対する対応(消防庁調査)

北海道における警報発表 21 市町村の行動は以下のとおりであり、このうち 7 市町村で避難勧告が未実施であった。さらに、6 市町村の地域防災計画については、判断の根拠となる規定がないか不明確であり、早急に改善すべきである。事前の対応規定の明確化と地域連携(対応の基準を統一化する)が必要である。住民の対応行動については、現在調査中であり、課題や教訓などをまとめていきたい。

表一 3 警報発表地域で避難勧告の実施状況

対象市町村21市町村 (津波予報区：北海道太平洋岸東部10、同西部11)

勧告等実施区分	市 町 村 数		構成比%
避難勧告実施市町村	14		67
自主避難実施市町村	小 計 7	6	29
注意喚起のみ		1	4

上記、自主避難勧告実施、注意喚起のみ 7 市町村の勧告実施規定の状況

避難勧告の実施に関する規定 「なし」	2
規定はあるが津波等に関し明確でない	4
規定が明確であるが対応なし	1

### 漁船の避難について

津波は、その名前の通りに、港湾、漁港(「津」)などの沿岸で波高が大きくなるために、港内での船舶は水位の上下変動や強い流れにより大きな被害を受けることになる。引き波で座礁し引き続き来襲する押し波で転覆、時には、陸上に打ち上げられる。今回も大津港などで被害が見られた。これを回避するには、津波の来襲前に、港外しかも水深の深い場所(目安は 200m)に移動することが必要である。しかし、避難のタイミングが遅れると、港外に移動する際に、最も流速の早くなる港口付近(写真一 4 参照)を通過することになり、危険な場所を通らなければならない。来襲時刻の把握と共に、港外へ出る所要時間を把握し、十分安全を確認してから行動が不可欠である。今回は、津波の規模は大きくなく、ゆっくりとした水位変動であったので、幸い大きな被害はなかったようであるが、漁船、船舶の避難、安全確保は大きな課題である。



写真一４ 釧路港での浸入する津波（湾口部からの浸入により渦が形成）  
海上保安庁撮影

#### 海域での被害

三陸沿岸へも津波は来襲し、各市町村の潮位観測システムや目視情報による最初の潮位変化は、田老町 60cm、久慈市小袖 50 センチ、野田港 50 センチ、普代村田名部五十センチ、岩泉町小本港 50 センチ、田野畑村島越五十センチ、山田町、船越 42 センチ、釜石港 40 センチ、陸前高田市只出三十センチ、大船渡港二十センチ、程度であった。陸前高田や宮古など沿岸四市町では、カキやホタテの養殖施設に被害が発生した。陸前高田市では広田湾奥の小友町周辺の養殖施設に被害が集中した。また、宮古市では宮古湾の牡蠣養殖施設 300 台を直撃、山田町大沢の浜川目では、特産の一粒カキ本格出荷を前にカキ、ホタテの養殖棚が次々に損壊した。このように、陸域での被害はほとんどなかったものの、海域での被害は養殖施設を中心に多大なものであった。

#### 秘められた災害(1) 流木・漁船による破壊

安政東海地震の起きた 8 時間後、安政南海地震が発生し、大阪でも震度 5 程度の強い揺れを経験していた。この地震の揺れの強さに慌てた市民の多くが堀に浮かぶ船での避難を試み、そのあと襲ってきた津波により多くの死者を出した。津波の高さは 6m 程度といわれ、一千五百石積み





写真-5 貯木場から流出した木材（秋田大高橋智幸助教授撮影）

の大船の碇がとれて船は漂流を始めた。津波は、安治川、木津川の河口から市街地へ浸入してきた。千石以上の大型船が、安治川へ 60 艘、木津川へ 200 艘が津波で運び上げられた。船舶の被害は古くからのものである。

このように、津波そのものだけでなく、漂流物が市街地に運び込まれ大きな被害を出すことはある。今回、釧路市における貯木場からも多数の木材が流出した。写真-5にあるように、河川の堤防がもう少し低ければ住宅街に浸入したことであろう。

## 秘められた災害(2) 漁港での油流出

写真-3は、大津港での津波痕跡の様子である。通常の水痕よりも黒ずんでいることが分かると思われる。これは、大量の油(重油)が流出し、停滞していたことを示している。さらに、写真-6は北海道南西沖地震津波の際の北海道奥尻島・青苗地区での様子である。津波は海水であるので、火災とは無縁でありむしろ消火するものと思われる。しかし、実際にはご覧のように、大規模火災が発生させる。沿岸部には、石油やガスなど火災物が貯蔵され、漁船も燃料を保管している。地震または津波により、その貯蔵庫が破壊されると大量に流出し、津波による流れはそれをさらに広域に移動・拡散させるのである。なんからの原因で引火し、大規模な火災が発生になる。過去、昭和三陸地震津波、新潟地震津波など数多くの事例が報告されている。今回、幸い火災が発生することがなかったが、漁港・港湾での対策が必要である。



写真—6 北海道南西沖地震津波による奥尻島での火災

#### 河川を遡上する津波

津波は深海から浅海を経由して沿岸域に達する。通常の高水面より津波の水位が上昇するとそれが押し波となって陸上または河川を遡上する。浅海域になるにつれ水深の低下により津波の伝播速度は遅くなり、水粒子速度に近づく。水粒子速度が伝播速度を超えると津波自体は砕波に至る。砕波後も津波はボア状段波となり伝播又は遡上を続ける。砕波前後では、波形勾配が急になるため、非線形分散効果により短周期成分が主峰の後方に形成されることが多い。やがて、陸上部または河川部での底面摩擦や構造物などにより津波のエネルギー減衰が生じて遡上が終わり、その後、逆に海域へ「戻り流れ」となって逆流する。陸上部での地形勾配がきつい時には、重力の斜面分力も加わり戻り流れは加速されて、大きな流速が生じて、海岸線などで侵食などが見られる。戻り流れにおいて流速が加速されると常流から射流になり、一段と水位が低下しせん断力を増加させる。

河口域や河川敷は周辺の陸地よりも地盤高が低いために、津波は容易に浸入する。今回、十勝川を遡上する津波の様子が陸上自衛隊により撮影され(写真—7)、実際に11kmも上流に遡上したことが報告されている。沿岸からかなり離れた場所でも津波が来襲する可能性を示しており、つり人や河川沿岸の住民への注意喚起が必要である。

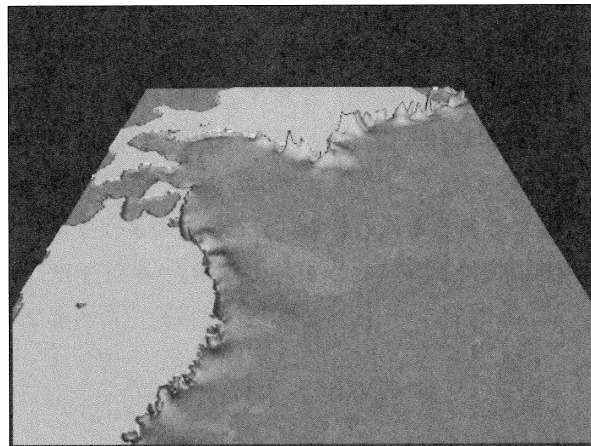
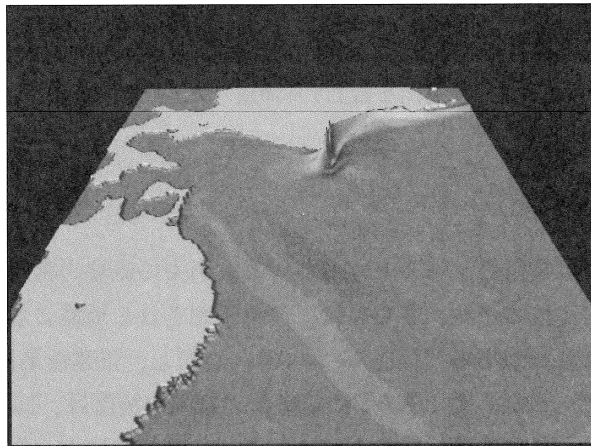
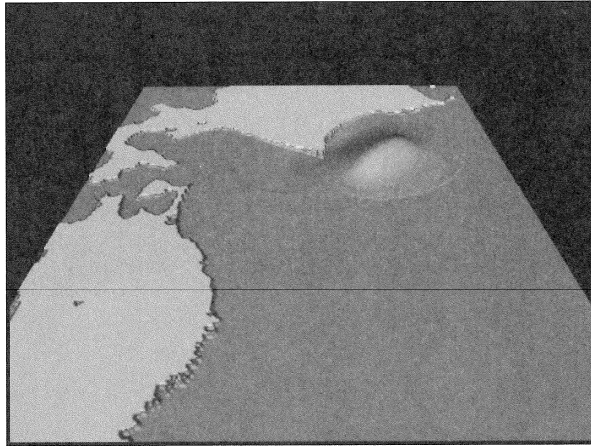


写真一七 十勝川を遡上する津波（陸上自衛隊撮影）

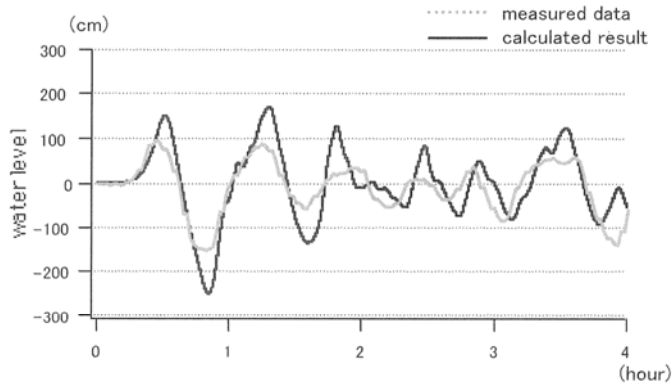
### 津波の数値解析

数値解析は今日非常に有用なツールとなっている。過去の津波の再現から、地震直後にリアルタイムで沿岸での津波の予測、さらには、将来予想される地震による津波の影響や被害の推定などが、可能となりつつある(豊田ら、2003)。ただし、正確な地震モデル(初期波形)や沿岸部での詳細なデータが必要であり、数値解析の結果の精度は、これらに依存している。

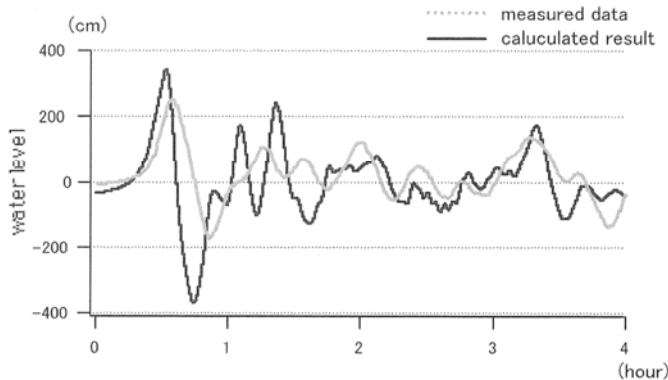
今回、地震発生直後から津波数値解析を実施し、12時間以内には、北海道・三陸での津波挙動の解析を終了していた。この結果は、現地調査の地点選定や測定のポイントを決めるのに役立った。図一五および図一六には、解析結果の一部として、空間波形と釧路港・十勝港での時系列波形(黒が計算値、赤が実測値)を示す、地震により多くの水面が上昇し、それが襟裳岬などを中心にした沿岸に押し寄せている様子が分かる。その後も、沿岸で津波は振動を続け、長い時間継続していた。これらの挙動は、各地での検潮記録とも良好な一致を示しており、信頼性の高い結果であると思われる。今後、このような解析技術をさらに向上し、短時間で信頼性の高い解析結果を出すことが可能となる。



図一5 十勝沖地震津波の数値解析結果の事例（上から、発生時、10分後、1時間後）  
アルファ水工コンサルタント解析可視化協力



図一 6 a 釧路港の時系列波形の比較



図一 6 b 十勝港の時系列波形の比較（太実線が計算値、細実線が実測値）

## おわりに

今回の十勝沖地震津波の特徴や被害の様子を紹介した。M8の地震・津波としては、幸い大きな被害を出さなかったと言える。耐震化、沿岸部での防災施設などの対策効果もあったと思われるが、大規模な災害に結びつく状況や今後の教訓も残された。沿岸地域において、可燃物や木材の管理の問題、津波被害の認識の低さや情報と避難体制などが特に挙げられる、今後、津波災害においては、東海から南海に至る地域や宮城県沖での発生の切迫性が指摘されている。ここでは、都市型津波被害のシナリオが最も重要となる。過去の被害状況・経験だけではなく、現在の沿岸設備・利用状況も踏まえて、将来の姿を考えなければならない。

これは大変に困難な作業である。ここでは、著者が想像できる範囲での項目を整理したい。

- 船舶・漁船の破壊
- 浮遊物(船舶、木材)による他構造物(防潮堤、橋)の破壊
- 不特定多数エリア・地下空間での避難困難

- 可燃物流出・拡大による広域火災・環境汚染
- 給電施設やビルの動力施設への浸水によるサービス停止
- 市街地での自動車による道路閉鎖、流出破壊
- 交通網の長期不通
- その他、津波来襲後の救急・救命活動も今後、改善出来る課題であると思っている。