

1964 年新潟地震津波にみる港湾域での複合災害の実態と今後の課題

岩渕洋子¹・今村文彦²・越村俊一³

エネルギー施設, 物流拠点として高度利用されている我が国の港湾の津波被災が社会に与える影響は甚大である。しかし, 船舶・漂流物の衝突による危険物流出や大規模延焼火災といった, 津波の氾濫に伴って複合・連鎖的に発生する被害の実態は十分解明されておらず, 対策が急務であるにも関わらず被災シナリオさえも明らかになっていない。1964 年新潟地震津波では, 地震動による液状化や地盤沈下および津波遡上の複合による大規模延焼火災といった被害も報告されており, 本研究では, 港湾の複合津波災害の被災シナリオ作成のために, この被災事例に着目し文献調査および数値計算の双方から複合災害の実態を整理するとともに, 対策の課題をまとめる。

1. はじめに

現在の津波解析技術は, 津波発生時の初期水位分布が既知であれば, 誤差 10% 以内で予測が可能といわれている。このような解析結果は, 防潮堤などの海岸防護施設を設計する上での想定外力として利用されている。しかし, 低頻度災害といわれる津波は, 過去の資料も少なく, 実際には想定以上の高さの津波が発生し, 被害が拡大する場合も多い。特に, エネルギー集積地としての臨海都市部では, 単なる津波の浸水による被害に加え, 船舶などの漂流物や可燃物の漏洩等により複合・連鎖的に発生する被害が懸念されている。例えば, 1964 年に発生したアラスカ地震津波と新潟地震津波では, タンクから漏洩した石油が大規模延焼火災を引き起こし, 津波被災地は壊滅状態となった。港湾は地域の経済, 物流の拠点であるため, 被害を最小限にとどめることが求められているが, 複合的被害の拡大メカニズムの解明が遅れているのが現状である。

本稿では, 1964 年新潟地震津波の被災事例に着目し, 津波の侵入と複合災害の発生と拡大について考察をおこなう。そのために, 過去の津波観測データを再検討し, 津波の発生機構を解析する。その上で, 津波の遡上などの外力の推定を行う。最後に, 1964 年新潟地震津波における複合災害の発生機構について考察をおこない, 現状の港湾における対策の課題をまとめる。

2. 地震・津波の発生機構

1964 年 6 月 16 日午後 1 時 02 分, 新潟県粟島南西方 (N38.21°, E139.11°, 深さ 40 km) を震源としてマグニチュード 7.5 の地震が発生し, 山形および新潟の両県

の西部一帯で震度 5 以上が観測された。日本海岸に沿って走る内側地震帯に起こる大地震であり, 震央が海岸線近くの海中であるため, 地震による被害が大きいことが特徴である。津波の高さは, 北は男鹿半島, 西は能登半島付近まで 1~2 m, 佐渡の両津湾, 船川港, 七尾湾などで 2~3 m 観測された。周期は, 近地津波としてはかなり長いのが特徴的で, 20 分程度のものと 40~50 分程度のものが重畳していた。(梶浦, 1965)

3. 津波の再現計算

津波による複合災害を議論するために, まず, 遡上域での流れの再現性を高める。比較的確度の高い潮位を指標として断層パラメータを決定し, 次に, 浸水域の整合性について検証する。

(1) 断層モデルと津波伝播計算

断層モデルは Aki(1966a, 1966b) に倣い, 断層幅 W についてのみ 40 km に修正して表-1 の断層パラメータを同定した。これは, 地震前後の海深測量によると波源域(海域)の地盤変動は隆起のみで沈降はみられなかったため(佐藤・茂木, 1968), この隆起域に整合するよう波源の位置を仮定したことによる。波源域から被災地に至る計算領域を図-1, 図-2 に示す 5 つの領域に区分し接続することにより, 一括して解析を行う。各領域のグリッド構成および計算条件を表-2 に示す。断層運動による海底地盤変動の計算は, Mansinha and Smylie(1971)の方法で行なった。鉛直方向の地盤変動, すなわち津波の初期波源域を図-1 に示す。津波の浸水域推定については, 非線形長波理論を適用した。ただし, 現在の地形データでは, 新潟地震後 40 年余経過しており, その間の港湾改修や波浪の影響を無視できないため, 図-2 で示す領域については当時の標高を用いた。特に, 阿賀野川の河口から約 2 km 上流までの河床については, 地震前の正確な標高データ(建設省北陸地方建設局, 1964)を用いた。

(2) 潮位の整合性

油流出災害の舞台となった新潟市の津波最高水位は,

1 学生会員 修(工) 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
2 正 会 員 工博 東北大学教授 大学院工学研究科附属災害制御研究センター
3 正 会 員 博(工) 東北大学助教授 大学院工学研究科附属災害制御研究センター

海岸部で T.P.+3.0 m 前後であった。一方港内では、低地盤地区への浸水のため、+1.3~2.4 m であった。被災地に最も近い検潮記録として、阿賀野川河口から 1.84 km に位置する松ヶ崎水位観測所を用い、船川についても比較をおこなった。図-3 に示す通り、松ヶ崎および船川では、発震後 5 時間以内の結果の整合性が概ね良好であり、松ヶ崎では、河道の復元によって Aida (1969) の計算結果よりも一致度が高まった。ただし、

表-1 1964 新潟地震津波の断層パラメータ

D	θ	δ	λ	L	W	U
10	200	70	90	100	40	4

D: 深さ (km), θ : 走向 ($^{\circ}$), δ : 断層面の傾斜角 ($^{\circ}$), λ : 滑り角 ($^{\circ}$), L: 断層長さおよび断層幅 (km), U: 食い違い量 (m).

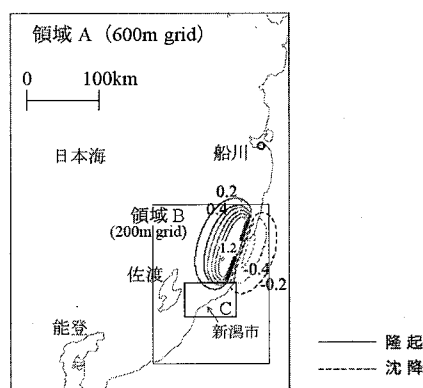


図-1 波源域と領域区分 (A, B, C)

表-2 津波伝播計算の条件

計算領域	A	B	C	D	E
グリッド幅(m)	600	200	100	50	25
支配方程式	非線形長波理論				
差分スキーム	Staggered Leap-frog 法				
計算時間および 時間ステップ	5 時間@ 0.25 秒				
領域境界	透過	水位および流量の接続			
海岸線	遡上				

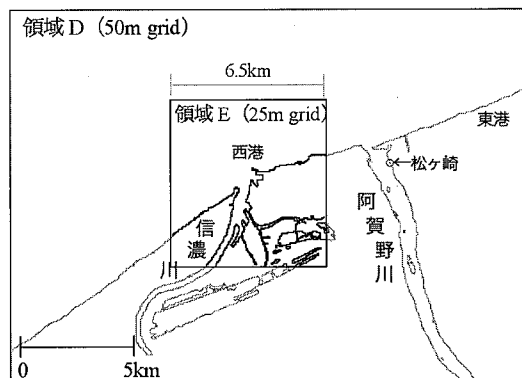


図-2 新潟沿岸の領域区分 (D, E)

松ヶ崎での最大波（第 3 波）は、計算値が過小評価となっている。

(3) 浸水域の整合性

図-4 および図-5 に当時の津波浸水域と港内への津波氾濫の流況を併せて表示する。新潟市の浸水域は 56,000,000m² に及んだ。信濃川河口の浸水状況については、解析による浸水域は、図-6 に示すように、破線領域内に限っては、図-4 の観測結果とよく一致している。また、山ノ下地区に南北から津波が侵入した点については再現できた。ただし今回は、新潟地震で特に顕著であった液状化による地盤沈下および噴砂・噴水の影響を考慮しなかったため、破線領域以外では、浸水域が過小評価されてしまった。また、堤防の破壊を考慮していないことも影響があるとみられる。次に、阿賀野川下流での浸水域は、観測結果では浸水域が図-5 の斜線領域であり、津波は右岸の河口砂州を遡上した。一方、左岸の新潟空港では、津波は堤防の沈下によって滑走路北端から侵入したことがわかっている。ただし、浸水の要因としては、地震直後の液状化による噴水による浸水深は数 10 cm に及んでいる。一方、今回の計算結果では、図-7 に示すように浸水域がほとんど現れなかった。阿賀野川下流での津波遡上については、地盤沈下の影響を考慮しなければ、再現できないことがわかった。

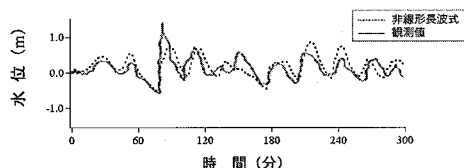


図-3(a) 松ヶ崎 (図-2 の D 領域)

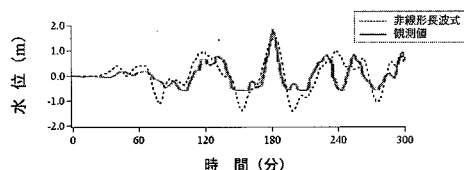


図-3(b) 船川 (図-1 の A 領域)

図-3 潮位の比較

4. 新潟地震津波に見られる複合災害の実態

前節で得られた津波解析結果と文献調査の結果から、新潟港内の津波遡上の流況と重油流出・木材散乱状況、地盤災害、施設・建物被害とを関連づけて、複合被害の実態を整理する。災害は、もともとそこに被害が起こりうる背景となる素因と、誘因としての外力が生じたことによって起こると考え、表-3 に、1964 年新潟地震津波の複合災害の素因と誘因を整理する。複合災害は、複数の要因が連鎖的に発生して被害が拡大する。

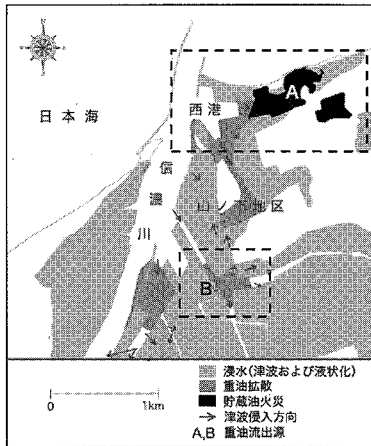


図-4 浸水域 (文献調査)

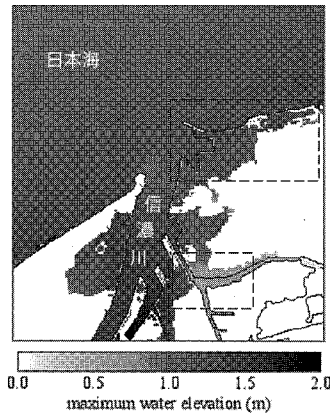


図-6 浸水域 (計算結果)

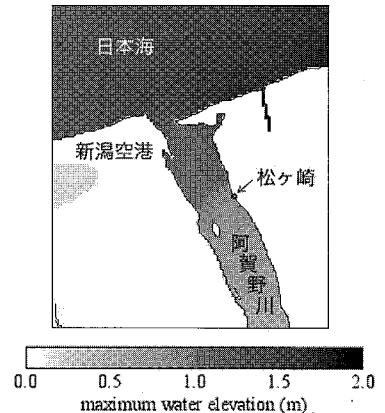


図-7 阿賀野川の浸水域 (計算結果)

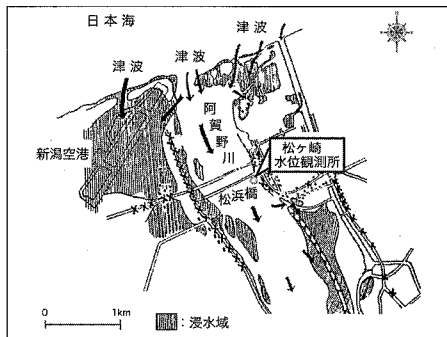


図-5 阿賀野川下流の浸水域 (気象庁調査)

表-3 1964年新潟地震津波の複合災害の素因と誘因

項目		
素因		- 河川・水路 - 軟弱な河床地帯 - 海抜ゼロメートル地帯
	自然的誘因	地震、津波 - 砂地盤の動的特性が顕著 (液状化)
誘因	人為的誘因	護岸の耐震・耐津波性能不足 石油タンク・配管の耐震・耐津波性能不足 防油堤の耐震・耐津波性能不足 木材の係留、火災の発生

(1) 津波と地盤災害の複合

新潟市周辺の地盤は砂質土であり、河床地域においては流動化による被害が卓越した。旧河床、破堤箇所などの部分で特にその被害が著しく、被害の原因は盛土自体よりも軟弱な基礎砂層の流動化にあった。河川堤防などの土構造物は、亀裂、陥没、のり面のすべりなどの被害を受けた (土木学会新潟震災調査委員会, 1966)。信濃川の護岸は、当時地震発生と共にほとんど崩壊しており、破堤箇所は河口部沿岸の低地帯への侵入ルートとなった。津波の侵入によって倉庫群は完全に水没し、さらに背後

の低地面に侵入して溜水した。一方数値計算では、3節の通り、地盤災害の影響を十分に考慮していないため、浸水域や流況を過小評価する傾向がわかった。

(2) 津波と係留木材による複合災害

津波は、信濃川に合流する栗ノ木川、新栗ノ木川などの小河川へ遡上して、製紙会社の貯木場を襲った。津波が押し上げた木材は万代島、東港線一帯、臨港周辺、信濃川兩岸に散乱し、水上、陸上ともに交通不能となり港湾機能を低下させた。表-4に、地震発生当時の貯木量とそれらの散乱状況を被災地区別に整理した。また、こ

表-4 「流木対策協議会」対象区域内の水中貯木量と散乱数内訳

	地震前貯木量 (100%)	確認材	未確認材 (流出, 混乱, 流失)	貯木量 に対する 未確認材
港内	29,470石	4,551石	24,919石	85(%)
焼島湯	94,013石	33,269石	60,744石	65(%)
栗ノ木川 (万国橋下流)	1,901石	0	1,901石	100(%)
新栗ノ木川 (両新橋下流)	11,545石	7,830石	3,715石	32(%)

新潟地震流木対策協議会(1965)より

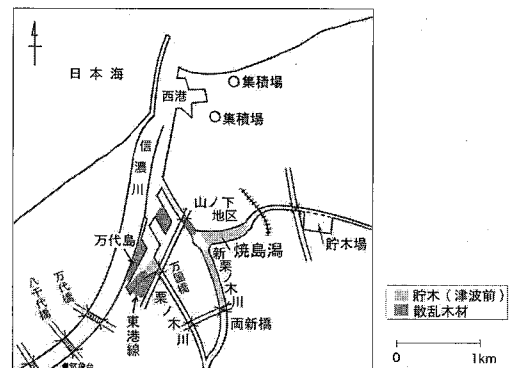


図-8 散乱木材の分布 (図-4、図-6と同じエリア)

れに併せて図-8に主な散乱箇所を図示した。焼島潟では地震前貯木量の65%, 信濃川の港内では85%が未確認材に分類されている。解析においては、図-6の浸水域と比較してみると木材の被害が甚大であった万代島への浸水が再現されていない。焼島潟での水位上昇と山ノ下地区への遡上は再現できている。

(3) 津波と漏洩重油の複合災害

まず、①重油の拡がり領域を明らかにすること、②津波と油流出拡散の関係を明らかにすることを目的に、油が流れ込んだことが明記されている写真と油痕跡記録を収集した。当時の津波浸水域図を基に、港内への津波氾濫の流況と併せて、地震動により損傷したタンクから流出した重油の流出源と重油の拡がりとの関係を図-4に平面的に示した。流出源AとBから漏洩した重油は、石油コンビナート施設内のみならず、海上や河川へも流出し、さらに、図-9のように低平地の市街地にも流入したことがわかった。3節で示される数値解析において、津波による浸水域が図-4の重油の流出域とも重なっていることから、A地区での火災拡大とB地区での重油流出拡散に、津波遡上が関与したことが裏付けられた。

重油の漏洩拡散を阻止する一次防止策として、防油堤を設置することが危政令などで義務づけられている。そのため、地震動によって、タンクやパイプ類から重油が漏洩した場合でも、多くの場合は防油堤の堤内まで流出は阻止されることになっている。しかし、新潟地震においては、ブロック積の防油堤については例外なく破損し、コンクリート製でも亀裂による破損・配管貫通部の破損があった。さらに、防油堤を越す浸水もあり、津波に対しても十分に機能しなかったといえる。



図-9 住居地区に流れ込んだ重油

a) 昭和石油の油火災発生

流出源Aでは、地震5時間後の小規模火災が大規模油火災へと発展した。津波の来襲状況と重油流出の関連を調査した結果、火災発生3時間前に出火地点周辺において津波が氾濫し、流出した重油の拡散面積を拡大させたことが確認できた(岩渕ら, 2005)。図-10に流出源Aでの数値計算上での水位変化と油による複合災害との関連を整理した。来襲した十数波の津波の内、数波は数値計算上でも流出源Aに到達して増水していることが確認できた。油拡散の主因として、津波が敷地内各所

で重油を運搬していたことが推定できた。図-11は、14時に流出源A付近を撮影したものに、最終的な浸水域を重ねて示した。図-12は18時半頃に撮影されたもので、津波と油の複合によって発生した火災(第2火災)の黒煙が出現している。

さらに、津波が去った後も、火災と誘爆によって刻々と流出源の数が増加し、津波による浸水域上を、引火した重油が拡散することにより被害が拡大するという連鎖・複合災害のシナリオが明らかとなった。このように重油被害は、「津波による移流・拡散」と「石油タンクの誘爆による流出」とに区分される。特に後者は、低平

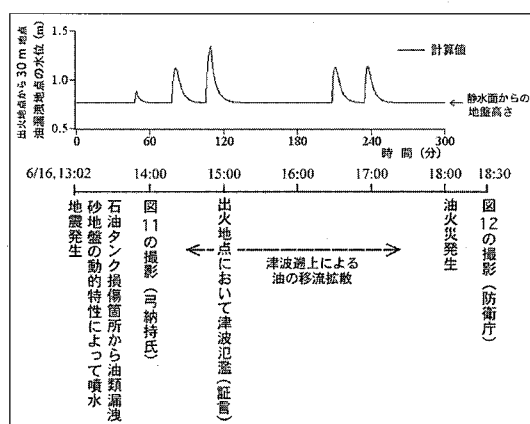


図-10 流出源A付近の津波陸上遡上と油拡散の推定時刻



図-11 最大波高をもつ第3波来襲の1時間前(昭和39年6月16日14:00頃 撮影:弓納持氏)



図-12 第2火災発生直後(昭和39年6月16日18:30頃 撮影:防衛庁)

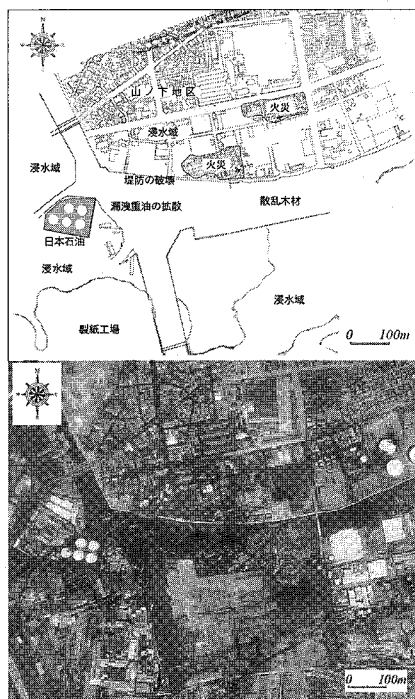


図-13 地震発生22時間後の流出源Bから焼島潟への重油流出と材木散乱状況 (提供: 国際航業)

地での津波浸水が長時間排水されなかった条件と重なり、市街地への延焼火災が助長されたことが明らかになった。

b) 日本石油の油流出

流出源Bにおいては、航空写真(図-13)によって、地震後22時間の重油流出状況を確認した。防油堤内への滞留状況(防護策内に確保できた重油)、河川遡上による油の拡がり状況(防油堤でも軽減できなかった超過量がもたらした被害)が確認できた。3日後、5日後と10日後にも同様に撮影されている。漏洩後の長期間にわたって油が回収されず焼島潟の水面上を浮遊していたことが確認できた。

5. 津波による漂流物

津波漂流物としては、木材、可燃物、船舶や車両以外に、1983日本海中部地震津波では、離岸堤付近の4tブロックが散乱し、2003十勝沖地震津波では、埠頭用地から空コンテナが漂流した。今後、港湾やその背後地域での津波対策を立案していく上で、津波と漂流物による複合災害という観点で、近年の港湾の利用形態を十分に把握することが重要である。

6. ま と め

本稿では、沿岸域で起こりうる複合災害に着目し、その駆動力となる氾濫流と流される漂流物の状況を重ね合わせ

て考察をおこなった。得られた結論を以下に列挙する。

[1]当時の津波観測記録および浸水域との整合性をみながら、断層パラメータを同定した。

[2]津波の来襲状況と重油流出の関連を調査した結果、津波が氾濫し、流出した重油の拡散面積を拡大させたことが確認できた。その主因として、来襲した十数波の津波が敷地内各所で重油を運搬していたことが推定できた。

[3]今回は、新潟地震で特に顕著であった液状化による地盤沈下および噴砂・噴水の影響を考慮しなかったため、浸水域が過小評価されてしまった。港湾域での複合災害を推定するためには、液状化による地盤沈下等の影響も含めた津波浸水の評価、さらに津波によって流される重油・材木など漂流物の動的解析が必要である。

今後は、岩渕ら(2006)の漏洩油の拡散を含んだ2層流の数値実験を今回の結果に取り入れ、油類の流出・拡散を動的に考慮した被害推定法を開発する。さらに、津波との複合による被害拡大、港湾機能低下を軽減することを目的として、港湾全体での耐津波性能を評価する技術基盤を築く。

謝辞: この研究の一部は、科研費基盤(A), No. 18201033の補助を受けた。また、本研究は、大林都市研究振興財団による助成によって行なわれた。アイ・エヌ・ユー 藤井裕之氏には、解析に必要な標高データを作成していただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 岩渕洋子・今村文彦(2005): 津波来襲による原油流出・拡散問題の整理と解析手法の検討, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 301-305.
- 岩渕洋子・越村俊一・今村文彦(2006): 津波の陸上遡上域における油・水輸送問題の数値実験, 海岸工学論文集, 第53巻, (印刷中)
- 梶浦欣二郎(1965): 新潟地震に伴った津波, 新潟地震防災研究総合報告, pp. 76-81.
- 建設省北陸地方建設局新潟工事事務所(1964): 新潟地震による河川堤防被害(阿賀野川)について, pp. 29.
- 佐藤一彦・茂木昭夫(1965): 新潟地震による粟島付近海底の地殻変動, 新潟地震防災研究総合報告, pp. 94-98.
- 土木学会新潟震災調査委員会(1966): 昭和39年新潟地震震害調査報告, 904p.
- 新潟地震流木対策協議会(1965): 新潟県流木対策協議会, 28p.
- Aida, I. (1969): Numerical Experiments for the Tsunami Propagation - the 1964 Niigata Tsunami and the 1968 Tokachi-oki Tsunami, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.47, pp. 673-700.
- Aki, K. (1966a): Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Part 1. A statistical analysis, Bull. Earthq. Res. Inst., 44, pp. 23-72.
- Aki, K. (1966b): Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum, Bull. Earthq. Res. Inst., 44, pp. 73-88.
- Mansinha, L. and D.E. Smylie (1971): The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am. 61, pp. 1433-1440.