

三陸沿岸都市の復興計画の提案（平成 23 年 8 月 10 日版）

研究名称：京都大学防災研究所 特別緊急共同研究

課題番号：23-03

研究課題：地震・津波・火災に対する生活の安全性と産業の持続性を考慮した三陸沿岸都市の復興計画の提案

研究期間：平成 23 年 6 月 27 日～平成 24 年 3 月 31 日

研究組織：

研究代表 室崎 益輝（関西学院大学・教授）

共同研究者 長谷見雄二（早稲田大学創造理工学部・教授）

田中哮義（京都大学防災研究所・教授）

寶 馨（京都大学防災研究所・教授）

安田成夫（京都大学防災研究所・教授）

多々納裕一（京都大学防災研究所・教授）

鈴木進吾（京都大学防災研究所・助教）

樋本圭佑（京都大学防災研究所・助教）

小林健一郎（京都大学学際融合教育研究推進センター・特定准教授）

研究協力者 三木重人（竹中工務店設計本部・プロポーザル統括リーダー）

竹市尚広（竹中工務店設計本部・課長代理）

1. 研究の目的

東日本大震災において大被害を受けた三陸地域は大津波の常襲地帯であり、従来から津波対策には相当力を入れてきた地域であるが、それにも拘わらず今回の地震に伴う津波では未曾有の被害を出す結果となった。今回の津波災害に関しては

(1) 想定を超えた規模や威力の津波が堤防を越し、あるいは破壊して侵入した。

(2) 津波により平地部分に立地している住宅、水産業を主とする業務施設が壊滅的被害を受けた。建築物の全壊、半壊はそれぞれ 10 万棟を超している。（総務省消防庁、7/7 現在）

(3) 住民の避難が遅れ、16,000 人に近い死者と 7,000 人を超す行方不明者が発生したが、特に高齢者の割合が高いと言われる。（総務省消防庁、7/7 現在）

(4) 漁船を初め水産業に必須の船舶の損失は 18,000 隻もの膨大な数に上ったと言われている。

(5) 石油タンクの破壊による油の大量漏出、浸水域の集積した家屋や収納物による瓦礫、車両などが大火災を起こし、津波に耐えた家屋や産業施設を多く焼損した。

(6) 避難所に指定されていた校舎などで延焼を受けた事例（大槌、石巻など）や延焼の危険に曝された事例が多く確認されている。

他の災害でも同様であるが、今回の津波による被災は人命のみならず、生活、産業基盤にも及んでいる。人命が大切なことは言うまでもないが、産業は人が生計を営む基盤であり、産業なくしては生活は成り立たない。三陸の地域社会は世界有数の漁場が存在することにより、度々の津波被害にも拘わらず、存続してきたと言える。この地域で将来とも津波の脅威が去ることは無い中で、如何に被害を軽減し生活・産業を持続的に営んで行くかが大きな課題である。

本研究は、今回のような大津波に対しても、人命だけは確実に護り、また産業の根幹は被害を軽微に留めて、被災後の地域の速やかな再生を可能にするような復旧・復興計画を提案し、そのための技術・政策的課題を明らかにすることが目的である。

2. 本研究での検討項目

本研究での、被災地域の復興計画策定に向けた具体的な検討項目は以下の通りである。

(1) 湾や土地の地勢に応じて有効な防潮堤・堤防の計画

既存の防潮堤は今回の大津波による被害を防げなかったとはいえ、過去の規模の津波に対しては有効に機能し、また今回でも被害を軽減した可能性もある。今回の堤防被害の原因を分析し、個々の地域の地勢に応じて有効な堤防の配置、形状、構造を提案する。

(2) 人的被害抑止計画

(2. 1) 居住地域と業務地域を分離する土地利用計画

今回の津波で人命損失が大きかった原因の1つには低地部分に職住が混在していたことが挙げられる。低地部分には水産業関連の様々な施設の立地は避けられないが、住宅の立地は必須ではない。これらの施設の性格と津波に対するリスクを考慮した土地利用計画を提案する。

(2. 2) 高台等における住宅地造成

居住地域は、乳幼児、高齢者、病弱者などの避難弱者を含む多様な性格の住民が、就寝を含む様々な様態で暮らす地域であり、津波襲来時には避難による安全確保が徹底し難い。今回多くの死者や行方不明者を出した地域には、堤防を過信していたため避難が遅れた地域もあるといわれているが、家族や家財を見捨てて素早く避難しにくいのも人情であり、このため犠牲になったケースも少なくないと推察される。また住居という生活基盤を失うことの困難も深刻である。居住地域は近くの丘陵地を削った高台に造成することを基本とする。また削土の量によっては低地部に盛土して低地部にも宅地を造成出来る。

(2. 3) 低地部就業地域の避難のための高架道路建設

港湾に近接した低地部には水産業関係の施設・設備の多くが立地すると考えられ、伴って多数の就業者が見込まれる。これらの就業者が様々な作業中に津波が襲来した場合、安全な高台まで避難する余裕が無い可能性も考えられる。またリアス式の三陸海岸は国立公園にも指定されている我が国有数の景勝地でもある。今回の災害から被災地が落ち着きを取り戻し、再び多くの観光客が訪れるようになれば、その津波避難対策についての考慮も必要である。

国土交通省などでは津波常襲地域に対して津波避難ビルが構想され、その研究も進められている。しかし、今回の津波被害状況に鑑みると、津波避難ビルは周囲が水没して救出を待たなくて避難が出来ないこと、また周囲に流れ寄った油や様々な瓦礫の火災に曝される危険があることなどから、避難施設として不確実性が高い。

一方、三陸地域には海岸線に沿って国道45号線が走っており、この殆どの部分は津波が及ばない高さにある。従って、国道45号の低地部を走る部分を高架道路とし、これから必要に応じて支線を低地部に延ばし、これに上る避難階段を適切配置する方が優れている。道路なら十分な避難者収容力があり、火災など不測の事態が起こっても高台方向に避難が出来る。また物流の円滑化に利することが出来るので通常時も無駄にはならない。この高架道路の適切配置、高さ、津波に対する強度など必要事項を研究する。

(3) 産業施設・設備の被害軽減計画

(3. 1) 船舶の被害軽減のための浮き棧橋の設置

今回の津波で膨大な船舶が失われたことも水産業に深刻な打撃を与えた。これは、船舶が津波水位の上昇による浮力によって係留を離れ、市街地や河川に漂流してしまったためである。しかし、固定岸壁に沿って浮き棧橋を設け、これに船舶を係留するようしておけば、水位の上下とともに、船舶と棧橋が同時に上下するため係留を離れることはなく、船舶を湾内に留めることが出来ると考えられる。また、河川への遡上漂流を防止するためには河口付近にも浮き棧橋を設置すると良い。浮き棧橋は下に取り付けたフロート部分しか津波からの力を受けないので、それ自体の漂流防止は容易と考えられる。因みに、浮き棧橋は幾分規模の大きなものを造作し、この上に魚網（1億円規模の高価なものもあるようである）など漁業用具などを収める倉庫を設置しても良い。

(3. 2) 石油タンクおよび石油の漂流防止

今回の津波に関連しては三陸沿岸の浸水地域で多くの大規模火災が発生した。これには津波により破壊された家屋からの大量の瓦礫、車両および石油の漂流が関係している。このうち家屋からの瓦礫については、住宅地の高台移転などにより発生量を減少させる必要がある。火災の発生に関与した着火原因については未解明であり、また解明されたとしても実際的な防止手段があるか否かは現段階では分からない。しかし、石油タンクや石油の漂流は、市街地、産業施設、船舶の焼損や津波避難場所

の火災危険に大きく関与しているので、これらの漂流を防止する方法について考える必要がある。

(3. 3) 水産加工施設などの被害軽減

冷凍倉庫や水産物加工施設を完全に護ることは難しい可能性があるので、可能なものは高台移転、それ以外のものについては一定規模の堤防を建造してリスクを減らす計画を基本とする。その堤防の一部分は、上記の高架道路の下部に併設することも可能である。その堤防と港の間の津波から護られない部分には、魚市場など、失われても比較的再建が容易なものとする。場合によっては高架道路の下部をその用途に当てることも出来よう。

3. 復興計画の前提

ここでの検討は、今回被災した三陸沿岸地域を始めとする被災地の中で特定の地域を対象としたものではなく、多くの地域の復興計画に共通する防災面からの課題について検討しようとするものである。しかし、検討の範囲を防災面に限定したとしても、復興計画の立案や事業推進の方法が検討内容に多少とも関わってくることは避けられない。そこで、今回の検討においては下記のような条件が満たされることを前提とする。

- 当該地域の津波災害の特質と地域特性を踏まえた計画であること
- 当該地域自体が主体的に考え決定した計画であること
- 国や県により復興のために必要な支援が適切に行われること

これらの前提をおいた理由について簡単に説明すると下記の通りである。

(1) 当該地域の津波災害の特質と地域特性を踏まえた計画であること

一般に世界各地の住居や集落・都市の形態は、他の地域の者の目には如何に異様に映ったとしても、その地域の気象、災害、産業などの条件に適応したものである。トルコのカップドキアの地下都市、ヨーロッパや中国の城塞都市、日本の城下町、北欧の核シェルターなどは戦争という人為的災害に備えた形であるし、沖縄の伝統的住宅や砺波平野の屋敷林は強風に、また白川郷の住居は豪雪や強風に備えたものである。更にロンドンの町並みはロンドン大火からの復興の中で、日本の防火地域や外壁モルタル塗りの住居は市街地大火防止対策として生まれた都市・建築の形であり、輪中の水屋は木曾三川による水害に備えた集落の形である。

しかし、近代化の中で建物や都市は地域特有の風土や災害の特質が忘れ去られて一様化し、伴って建築物や都市が先ずシェルターであることも殆ど意識されなくなって来た。三陸の地域における高台居住や防潮堤は、確かにこの地域の津波に対する備えを具現したものと言えるが、住居・建築物は他の地域のものと特に変わった特徴はない。この地域においては津波が内陸部では想像もつかないほど深刻な脅威であることを考えれば、都市や建築物の形態も内陸部の常識に捉われず、津波の危険により効果的に対応できる形が求められよう。

(2) 当該地域自体が主体的に考え決定した計画であること

三陸地域に齎される恵みや災いを含めて、この地域の特性を最も良く知るものは当該地域の住民であり、この地域を今後どうして行きたいかという願いも地域住民のものである。

関東大震災でも被災地域に踏みとどまって生活や事業を再建した者もいる一方で、東京郊外などに移転した者も少なくない。今回も同様なことは必ず起こるであろう。同一地域に住み続けたい者、高台に造成した土地に居を移したい者、独自に移転先を探して移り住む者、高齢などの理由でこの災害を機会に住居の再建を諦め子供の家や施設に隠居する者など様々考えられる。地域の企業についても同様である。更に土地や家屋の所有者が死亡してしまったケースも少なくないであろう。地域の復興計画ではこのような複雑な状況进行处理しなければならず、それは地域住民の中での話し合いと合意形成によってしか可能ではない。それは大きな妥協を伴う苦しい決断になると思われるが、その合意が迅速に行われ、マスタープランが作成されなければ復興計画が動き出さない。

関東大震災からの復興区画整理について、当時の東京市長永田秀次郎は東京市民に対して「市民諸君に告ぐ」と題した我が国の災害史に残る有名な演説を行い、「この事業を市民自体の自覚と諒解により立派にやりとげることが、我々市民の当然の責任であり、後世子孫に対する我々の当然の義務であり、また世界各国から我々に寄せられた甚大なる厚誼に応えることである」と訴えた。この演説は甚大な災害からの復興にとって何が要となるかを正確に言い表しており、今回の災害に対しても真実性を失わない。住民自体の地域に対する強い愛着と地域の将来への義務感なくして、今回のような未曾有の災害からの復興は可能とはならない。

(3) 国や県により復興のために必要な支援が適切に行われること

災害からの復興は被災者自らの復興に向けた頑張りが根幹になければならないとしても、国や県などによる的確な支援が不可欠であることは言うまでもない。我国では災害時における国による救済は律令時代にも既に行われており、既に長い歴史と経験がある。日本は自然災害の多い国と言うこともあって、共同して救済し復興を支援するための制度がかなり整備されてきており、これが他国と比較したときの日本における災害後復旧・復興の迅速さに大いに寄与していると思われる。今回の東日本大震災においても、必要な場合には新たに修正などを加えるにしても、これらの制度・システムを最大限動員して速やかに復興事業を進めることが肝要である。これらは多岐に亘るが、下記のような事項は公共の役割として特に重要と思われる。

●港湾岸壁、防潮堤、道路、上下水道など防災・生活・産業インフラの復旧・復興

被災地にある防災・生活・産業などのためのインフラで、もともと国や地方庁の所掌によるものは、被災地の復興プランとの調整を取った上、速やかに復旧事業を開始すべきである。この際、防災性の向上が必要と認められる施設については、単なる復旧ではなく、防災性能をレベルアップして復興すること、あるいは防災上必要と認められる施設を新設することも含めて考える。

このような事業を速やかに開始することは、地域の生活・産業の速やかな復興に必要であると同時に、復興までの間に地元の産業や住民に仕事の需要や雇用を供給する上でも重要である。

●被災地域から住居を移転する居住者の土地の買い上げ

この災害を契機に、より安全な高台へ移転する住宅や産業施設はかなりあると考えられる。それらの人々が移転する先が新たに造成された土地であるにせよ、既存の適当な宅地であるにせよ、新たに土地を購入しなければならない。被災地域の宅地を買い上げれば、移転する住民や企業はそれを高台移転の原資として利用できる。買い上げた土地は換地によって国等が防災・生活・産業インフラを整備する場合の土地資源となる。

●高台での宅地造成および低地部宅地の防災改修への国庫補助・融資

全ての住宅や産業施設が高台移転をすれば、低地部におけるインフラ復旧・復興は必要ないことになるが、勿論全てが高台移転を出来る訳ではない。港湾から離れては機能出来ない施設もあり、高台移転のために適切な土地の取得が困難な地域もあるであろう。また、利用し易い広大な平地を有効に使用しないで放棄してしまうことも実際問題として難しいことも多いと思われる。従って、盛り土、防潮堤その他の防災インフラの拡充により低地部の防災改修によって安全レベルを向上させた上、住宅や施設を再建することが考えられる。高台への宅地造成と低地部宅地の防災改修は自治体、あるいは復興事業組合(?)など、同一主体により一体的に行われることが考えられるが、これら一連の事業に対し国庫補助、融資を行う。なお、このようにして新たに高台に造成された土地は事業主体が適正価格で販売するが、低地に改修された土地は被災前の敷地面積を超える部分のみを有償とするのが良いと思われる。将来の地域活性化のためには、土地の売買が常に適正価格で行われ、新規参入者にも門戸を開いていることが重要と思われるからである。

●被災地域に残る企業・住民への融資

被災地域に残る企業・住民は基本的に土地を購入する必要はないが、住宅や事業所の再建のための資金が必要になる。このための融資は通常時なら地元の金融機関などが行っている訳であるが、今回のような大規模な災害後に一気に発生した膨大な資金需要に応えることは困難と思われる。適切な公的機関を通じた融資を、その手法と基準を定めた上、円滑に実施する必要があると思われる。

●地元の金融機関が被災地域の企業、住民に対して保有する債権の買い取り

地元の企業は事業所、生産設備、船舶、養殖場など多くの施設に膨大な被害を蒙っており、復興のためには長期に亘って再建資金が供給されなければならない。しかし、地元の金融機関もまた被災企業である。地元産業への被害のため収入が大幅に減っているばかりか、地元の企業や個人に行っている融資が多く回収不能になっていると思われ、再建に向けた融資が行える経営環境に無い可能性がある。関東大震災の時に行われたように、日銀等が地元の金融機関が保有する債権を、金融機関の求めに応じて、積極的に引き受けるべきではなかろうか。かかる未曾有の災害においては、融資の責任を金融機関に負わせるのは酷である。金融機関を身軽にして融資環境を改善し復興を促進することが、結局は国全体としての負担を速やかに軽減することに繋がるとと思われる。

4. 復興計画において防災対策上検討すべき課題

復興計画において検討されるべき防災対策上の課題としては以下のようなものが挙げられる。防災対策と言えば人命、生活は言うまでもなく重要課題であり、焦点が当たることが多いが、人の生活と産業は一体不可分のものであるため、産業の被害軽減対策も重視した。

4. 1 湾や土地の地勢に応じて有効な防潮堤・堤防の計画

三陸沿岸の各地域に設けられていた防潮堤は今回の大津波による被害を防げなかったとはいえ、被害を軽減に有効であることは変わらない。復興計画における防潮堤の再建には、今回の津波に対する防潮堤の問題点とともに果たした効果についても正当に評価し、個々の地域の地勢に応じて有効な防潮堤の配置、形状、構造を明らかにする必要がある。そのためには

- (1) 将来起こりうるプレート型地震による外海上での津波の波高の想定
- (2) 湾口の幅、湾の水深、湾の形状を考慮した防潮堤設置位置での津波高さや流速の評価
- (3) 防潮堤にかかる津波荷重の評価
- (4) 河川への遡上や低地への遊水による津波荷重の低減と防潮堤の配置・形状の計画
- (5) 津波が防潮堤を越流した場合の浸水深と流速の評価

が課題となる。

課題(1)には津波被害リスクの許容の問題が関係する。もし今回の津波が本当に1,000年に1度のものであるなら、直接・間接に膨大なコストを要する備えをするより、未曾有の災害であったとして諦めるか、あるいは最低限命だけ助かれば良い対策とする方が利益が大きい可能性もある。この問題には地元の判断も関わるが、その意思決定のための資料の提供は有用であろう。

課題(2)、(3)については、既往の知見があると思われるが、補足的検討が必要かも知れない。津波荷重の大きさの評価は防潮堤の建設コストにも関わることになる。湾に侵入した津波の流れを正面から受ける部分と流れの側方に当たる部分では防潮堤が受ける荷重にかなりの差があると思われる。防潮堤にかかる津波荷重のより詳細な評価が出来れば、例えば防潮堤の正面部分は側方部分に比較して厚くするなど、合理的な設計に繋げることが出来る。

課題(4)については、津波を河川に遡上させることにより生ずる被害リスク、低地を遊水地として使用形態を制限することによる損失などとのバランスも考える必要がある。

課題(5)は防潮堤で護られた部分の被害リスクに関係する。仮に防潮堤を津波が超すことがあっても、その水深や流速は防潮堤により低減され、それだけ防潮堤で護られた部分にある建築物等の被害は軽減される。防潮堤の高さなどと浸水深と流速の関係が明確に示されることは防潮堤の計画に際して有用である。

4. 2 人的被害抑止計画

津波から地域住民の人命を護るためには、基本方針として地域の土地利用を居住地域と業務地域に分離し、居住地域は高台あるいは盛り土して標高を高くした土地に造成し、低地部は港湾と縁の切れない業務用途地域とするのが良いと考えられる。居住地域は住人の特性も居住状況も多様なため、津波について考えられる様々なシナリオに対して確実な安全確保を図ることが難しいためである。一方、業務地域は基本的に健常者が昼間だけ、あるいは夜間であっても起床状態で、存在する地域であるため、安全確保対策が立て易いからである。低地部には、観光客等の訪問者も考えられる。その特性は業務地域での就業者と大きくは違わないが、地理に不案内である点については留意しておかねばならない。

4. 2. 1 高台等における住宅地造成

今回の震災では、土地の標高によって被害の程度に天地の差があることは明らかである。従って、地域の住宅が高台に移転できるのなら、居住地域の津波に対する安全に関しての問題は殆どないと言える。しかし、宅地を全面的に高台移転することが、全ての地域で物理的、コスト的に可能かどうかは定かでない。また、今回の被災地域には、浸水はしたけれども家屋を修復して住む方が移転するよりも経済的負担が少ないと思われる地域もかなりあり、どの範囲を移転対象地域にするか判断の難しい部分もある。従って、高台移転を理想としながらも、低地にも居住地域が残ることも想定した検討が必要となる。この場合には、高台移転のように100%に近い安全は得られないが、被害程度の軽減対策として

(1)住宅を RC などの堅固な構造の共同住宅などにする
あるいは

(2)盛土と陸上防潮堤を組み合わせる居住地域を保護する
ことに加えて、

(3)高台への避難経路を確保する
ことが考えられよう。

課題(1)の方法は既に国土交通省などで検討が進んでいる津波避難ビルと同様であり、住民全体が上階に避難して助かるための建物高さ、津波により破壊されないための構造強度などの検討が必要である。この場合は、低層階の住戸は内装や収納物の損傷を覚悟しなければならないが、建物全体が失われることに比較すると被害は軽いと言えよう。上層階の住戸は下層階のあるお陰で被災を免れることになるので、被災時のための共同積立金などを考えておく方が良いであろう。

課題 (2) について検討すべき内容は 4.1 と同様であるが、防潮堤が陸上に作られることの効果および盛土で地盤を高くすることによる効果の検討が加わることになる。仮に陸上防潮堤を越す津波があったとしても、防潮堤によって津波の威力は弱められ、また越流した津波の流れの破壊力も盛土により地盤面が高くなった分だけ低減される筈である。

課題 (3) の避難経路は、住民の特性の多様さを考えると斜路が望ましいであろうが、避難時間、避難経路としての認識のさせ方、避難誘導方法などについての検討が必要であろう。

4. 2. 2 低地部業務地域等の避難のための高架道路建設

津波からの避難のための時間的余裕がどれだけあるかは今回の例からだけでは分からない。津波は‘引き’が先行する場合もあれば、いきなり‘押し’から来る場合もあり、また明治三陸津波(1896)のように、強い揺れを伴わないものもある。

今回の津波では高台やビルの屋上などから撮影された映像の多くからは、津波の危険が至近まで迫っているにも拘わらず、それを認識していない車両や歩行者が非常に多くあることが観察される。高い所からは、湾の津波が膨れ上がっている様子や防潮堤を越えて侵入している様子がつぶさに見て取れても、低地にいる者は建物などに視界を遮られて直ぐ隣まで来ていることにも気付かないのである。また、最初は危険とも思わず暫く津波の凄さを見物しているうちに予想外に危険が迫ってきて慌てて逃げ出し辛うじて難を逃れた者も多く見られる。仮に次回の津波の襲来が 50 年後としても、津波の怖さを鮮明に記憶する者は数少なくなっており、将来の津波における避難の状況も今回と大差は無い可能性がある。

津波危険地域では今後も注意喚起や避難訓練が続けられると思うが、それだけでは十分とは言い難い。港湾に近接した低地部に立地する水産業などの業務地域での就業者や観光客などが、沖合に津波の波頭が見えてからでも、素早く高い場所に避難できるような条件を整える必要がある。このためには、低地部における国道 45 号線の高架化あるいは高架の支線道路の建設が最も優れていると考えられる。

この津波避難高架道路についての検討課題としては、起こりうる津波の想定は 4.1 と共通として、次のようなものがある。

(1)高架道路設置位置での津波高さや流速の評価

(2)高架道路にかかる津波荷重の評価

(3)津波荷重に耐えるために合理的な高架道路の形式・設計

(4)避難と通常時の利用に適した設計

課題(1)は防潮堤に関する 4.1 の課題(2)と同様に湾の形状などの条件も関係するが、陸上に建設されることの効果も関係すると思われる。

課題(2)は課題(1)の結果を受けて高架道路にかかる津波荷重の値を検討するものである。高架道路は津波の届かない位置まで次第に昇ってゆくの、地盤面の標高が高い位置ほど荷重は緩和される。なお、高架道路は臨海部の業務地域の避難を目的としているので、多くは防潮堤で護られない条件が想定されるが、場合によっては陸上防潮堤の内側になるかも知れない。このときは防潮堤による津波荷重の緩和効果を評価できることが求められよう。

高架道路の形式としては盛土型と橋梁型とが代表的である。橋梁型の高架道路では、特に橋桁部および橋脚部についての津波荷重の評価が重要である。今回の津波では橋梁型の高架道路の橋桁が落下した例が幾つかある。高架道路では耐震設計は当然なされるので、これは津波による荷重は地震荷重

より大きかったことを意味すると思われる。橋桁を津波で落下しないように橋脚に頑丈に固定することは可能であろうが、この場合の橋脚は橋桁に掛かる荷重も負担しなければならないことに留意が必要である。

課題(3)においては、盛土型と橋梁型の高架道路の長短について留意を要する。盛土型は陸上防潮堤を兼ねることが出来るが、高くするほど多くの面積が必要となり、また両側の地域を分断するので通常時の不便が大きい。橋梁型は高さが大きくなっても土地面積は変わらないが、高いほど当然建設コストは増加する。また地盤の状態によっては基礎杭を深く打ち込む必要が生ずる可能性がある。どちらが有利かは地域毎の条件によるので両方の場合を考えておく必要がある。

課題(4)では津波襲来時の避難と日常時の交通の便が調和するような設計が考えられなければならない。車両のためのランプは避難路としても使えるが、避難のときの方向が海から離れる方向、標高の高い方向に向かうようとするのが望ましい。またランプ以外にも高架道路に上るための避難階段を適宜設け、また道路は歩車分離を図るなどして通常時に歩行者が上っても危険の無い状態にしておく必要があると思われる。

4. 3 産業施設・設備の被害軽減計画

今回の津波では産業施設の被災も深刻であった。これには水産業に関連した産業が多く、港湾に隣接して立地していたことも原因したであろう。地域の復興のためには産業への被害軽減策も避けては通れない課題である。

4. 3. 1 船舶の被害軽減のための浮き栈橋の設置

船舶の漂流防止のための検討課題としては下記のようなものが挙げられる。

- (1)浮き栈橋の形式の選定と設計
- (2)浮き栈橋の材料の選定
- (3)フロート材料と形式の選定
- (4)浮き栈橋の漂流止め構造に掛かる荷重の評価

課題(1)は、浮き栈橋を常時水面上に浮かべておく形式にするか、あるいは常時は一定位置、たとえば岸壁の高さ、に固定しておいて、異常な潮位の上昇があったときのみ浮き上がる形式とするかの選択の問題、および浮き栈橋の幅の決定である。

いずれの形式にしても船舶の漂流防止の機能上は同じであるが、維持管理上の容易さと船からの荷揚げの時の便利さが関係する。浮き栈橋の幅は、1m程度でも良いような感じがするが、漂流防止のための構造強度との関連も幾分あると思われる。なお、栈橋上に漁具の倉庫など設置する場合は当然それなりの広さが必要となり、また河川への船舶の漂流防止のために設置する場合は、通常時の便宜も考えて自転車道となるくらいの幅とすることも可かも知れない。

課題(2)も主として維持管理の便宜の問題であるが、小型漁船などのための栈橋では床板は木材が良いのではないと思われる。勿論腐食した場合は取り替えることが前提であるが、それほど頻繁に必要ではないと考えられる。構造材は強度の点で防錆ペイントを施した鋼材が先ず思い浮かぶが、他の方法も可能かもしれない。

課題(3)のフロート材料については、もし床板に木材を選べば、それ自体水より軽いので全く沈み込むことはないが、津波からの抗力を減らすためには水面上に浮き上がらせる方が良い。タイヤのチューブでも良さそうなものであるが、材料の劣化等による空気漏れを常時チェックするのも大変かも知れない。しかし、漁業では浮きは多く使われているので、適切な材料には事欠かないであろう。

仮に床材として5 cm厚の木材が使われたとすれば、その下面全部に3 cm厚程度のフロートをつければ栈橋を浮かすことが出来る勘定になる。水深が小さいときの津波抗力は小さいので、それでも構わないが、フロートの製作上はより厚いものを作って必要な数取り付ける分離タイプになるであろう。どんな形でも水面下に漬かっている部分の体積は同一である。

課題(4)に関して、上記課題(4)のフロート形式による津波からの抗力の違いについての検討は一応行っておくことが望ましいが、浮き栈橋に掛かる荷重の大半は津波によって栈橋に押し付けられる、あるいは引かれる、船舶自体からの荷重が支配的となると考えられる。浮き栈橋の漂流止め構造の強度を決めるためには、この荷重についての検討が必要となる。特に大型船舶を係留する栈橋の場合は、通常時の風を船舶が受けることによる荷重だけでも小さくない可能性があるため、漂流止めに加えて栈橋自体の必要構造強度についての検討も必要となる。

4. 3. 2 石油タンクおよび石油の漂流防止

今回の津波では石油タンクの破損と石油の流出が、市街地、産業施設、船舶の焼損や津波避難場所の火災危険に大きく関与している。これらの防止策に関しては次のような課題について検討する必要があると思われる。

- (1)石油タンクの配置計画
- (2)石油タンクの漂流防止
- (3)石油の漏出防止
- (4)石油の漂流防止

課題(1)に関して、今回最も多くの大規模火災が発生した気仙沼地区では、破壊された22基の石油タンクの大半が気仙沼埠頭の突端に立地していたと考えられる。ここは、いかにも湾内に侵入した津波の直撃を受けそうな位置であった。気仙沼に限らず一般に、石油タンクを津波の及ばない高台に設けることが出来れば理想的だが、少なくとも津波に直撃されない位置に立地させるか、他に適当な立地が得られないなら津波の流れの力を緩和するために前面に防潮堤を設けることを検討する必要があると思われる。

課題(2)に関しては、石油タンクは設置方法からして浸水深が大きい場合にも浮き上がらないように地盤に固定することは困難なようである。また仮に固定したとしても、津波からの大きな外力により破壊する危険は無くならない。従って、浮き上がった後も漂流しないように、タンクの周囲に漂流防止柵を設けることを検討すべきと思われる。もし、この柵の代わりにタンクの周囲に漂流止めフレームを設置し、津波が引いた後はタンクが元の位置に戻れるように出来ればより望ましい。このような柵であれば、漂流止めであれば、入っている石油が多いほどタンクの水面下の深さは大きく、従って津波から受ける力が大きいので、これに抗する強度が必要である。

課題(3)としては、タンクからの石油の漏出防止方法がある。石油タンクは周囲の給油パイプシステムと連結されている。仮に石油タンクが破損しなくても、浮き上がりによりパイプとの連結部分が破損する、あるいは津波によりパイプシステムの部分が破損すれば石油が漏出する。従って、先ず石油タンクの浮き上がりを想定した自動遮断弁を検討すべきであろう。また、パイプシステム自体の保護のためには地中化なども検討すべきではないかと思われる。

課題(4)は、課題(3)の石油漏出防止が失敗した場合の対策である。これは、遮断弁が旨く機能しなかった場合、および石油タンク自体が破損した場合に起こりうる。石油タンクが浮き上がっているときは周囲から水圧が掛かっているため、破損部分からの石油の漏出は一旦津波が引いて石油タンクが地面上に降りて来たときの方が著しいと思われる。通常漏出に対してはタンクの周囲に防油堤が設けられており石油の周囲への流出が防がれることになっているが、津波の場合には防油堤が海水で満杯になっているため流出防止が出来ないと思われる。また津波の2波、3波が押し寄せれば、再度水位が上がり、石油の漂流範囲を拡大することになる。この対策として、通常防油堤の上に水位の変化と共に上下する浮き防油シートの設置を検討すべきであろう。石油は水より軽いので常に水面付近にあるが、水面の上下でのシートの寸法は漏出量の想定に応じて決める必要がある。

4. 3. 3 水産加工業施設などの被害軽減

冷凍倉庫や水産物加工施設は高台移転可能なら津波に関しては問題がなくなるが、全てが可能かどうかは分からない。今回被災した地域にあった施設は、当然そこに立地する必然性やメリットがあったと思われる。もし港湾に近接して立地することが必要なら、被災リスクを低減する対策が必要となるが、一定規模の盛土と堤防の建造はその1つである。しかし、それに加えて可能な被害軽減対策を検討する必要があるであろう。産業施設の被害は、その構造物のみならず、機械・設備、事業継続性なども含まれると考えなければならない。

- (1)津波による建物被害の軽減
- (2)建物の漂流防止
- (3)設備・機器の被害軽減
- (4)産業インフラの復旧

課題(1)については、施設が津波により失われても再建に比較的费用がかからない種類のものなら、敢えてコストをかけて強固なものにするより、津波が来た場合には放棄する方が合理的と考えられる場合もある。しかし、外壁や屋根は破損したとしても、建物の骨組みが確り残っていれば修復することによって再利用が出来る。この場合は、外壁や屋根は風雨や地震には十分耐えられるが、津波に対

しては過度に抵抗しない方が骨組みへの負担が小さいので、このような構造について検討する価値があると思われる。

課題(2)は、津波に流された建物が衝突されることで他の建物が破損する事例も多く見られたことによる。漂流した建物は、木造家屋に最も多く見られたことは言うまでもないが、RCの建物でも流されたり転倒したりしたものが一部見られた。鉄骨造では、外壁が容易に破損するためか、破壊はしても漂流までしたものは少なかった感じはしたが詳細は把握していない。いずれにしても、破壊はしても敷地内に止まり津波に流されて漂流しないことは2次被害防止のために必要であろう。

課題(3)はかなり困難な問題であるが、産業施設の多くでは機械・設備が失われてしまと、建物だけが残っても事業再開は不可能なので何らかの解決手段を検討する必要がある。業種毎に事情は異なると思われるので、普遍的な対策とはなり得ないかも知れないが、5. のフロートシステムが検討に値する業種もあると思われる。

課題(4)は事業継続性のための各種インフラ、特に電気、上下水道の復旧の問題である。いずれの産業施設にとっても、これらは必須条件であるが、今回の津波では夥しい数の電柱・送電網が破壊された。上下水道の状況は分からないが、電気、上下水道を合わせて共同溝として地中化すれば、被害も少なく、復旧も早いのではないだろうか。この際検討に値すると思われる。

4. 3. 4 造船業などの被害軽減

大きな被害を受けた気仙沼の造船業組合のHPによると、いずれの造船会社も気仙沼湾の右岸に沿って立地し、従業員は3、40人以下の中小企業である。このような小さい企業によって、多くの美しい船舶が建造されてきたことはある種感動的である。

船舶の建造は気仙沼湾に接した陸上の船台の上で行われていたことから、津波によって壊滅的被害を受けたのは必然であった。今回被災した企業が、仮にこの地を放棄して他に移転したとしても、瀬戸内海や東京湾など比較的津波の恐れのない小さい地域に移らない限り、津波によるリスクは付き纏ってくると思われる。津波による被災リスクを減らすのであれば、出来るだけ高い場所に船台を置き、建造のための施設を移転することが考えられる。

高台で建造した船舶を進水させるためには、インクラインを使って船台に乗せた船舶を海まで降ろせば良いように思える。ただし、高台から降ろすためにはインクラインは長くなるので、中小の企業毎に設備するのは負担が大きすぎると思われる。この部分は企業組合の共同利用とし、インクラインの上部にターンテーブルを設けて、各社の船台で建造された船舶をここ迄運んだのち向きを転じてインクライン進水路へ載せることは出来ないであろうか？

なお、改造・修理の場合は、新造の場合と違い、船舶は浮かぶことが出来る状態にあるのかも知れない。すると高台まで持ち上げる以外にも方法が考えられるかも知れない。しかし、新造は高台で、改造・修理は現状のように湾に近接した低地で行うようにすると、クレーンなど設備が2重に必要になり設備費用の負担が大きくなる可能性がある。

高台移転の他には、建造サイトの規模が合えばメガフロートとする方法も考えられよう。これは普段は陸上に設置され、津波のときのみ浮上するシステムで良い。いずれにしても、造船業の作業工程を詳細に分析すれば、津波被害軽減の方策が見出せるように思われる。

5. 被害軽減のためのフロートシステムの利用の可能性

東日本大震災では津波の猛威をまざまざと見せ付けられた。木造家屋はバラバラに破壊され、鉄骨造は外壁が剥がされて骨組みだけがボロを纏ったような姿になり、RCは、一部を除いて姿を留めたが内部は酷い破損を蒙った。

しかし、この凄まじい津波に唯一耐えたものがある。それは船舶である。船舶は、あるいは漂流して陸に上がり、あるいは火災によって焼け爛れ、大きな損失を蒙ったが、それにも拘わらず船体自体に重大な損傷を受けた形跡があるものは殆ど無い。これは、波の上に浮かんでいることが津波の猛威をそらす最も有効な手段であることを教えてくれる。もし、船舶が係留を離れて漂流することがなければ、殆ど無傷のまま残ったであろう。

津波の力は水深の大きい所ほど大きいので、地上にへばり着いている建築物には巨大な負荷が掛かってしまうが、水面上の船舶へかかる荷重は小さいのである。これは船舶の分野では常識であろう。一方、建築技術は保守性の強い技術である。建物などを水面上に浮き上がらせることで津波被害を軽減させると云うことは、今までの我が国の建築技術の常識になかったので、考えても見なかったので

ある。しかし、建物を水に浮かせるフロートシステムについては、様々なプロジェクトが出るようになってきている。建築と船舶の分野における技術を統合することにより、津波のみならず、高潮や洪水からの被災を緩和する新たな技術が生まれる可能性があると思われる。

5. 1 建物被害軽減のためのフロートシステム利用

今回のような凄まじい高さの津波の際には、水の底にいて被害を免れる建物は考えがたい。しかし、今回の津波によって多くの建物が流されて行く映像は、水のもたらす巨大な浮力について再認識させたとも言えよう。この巨大な浮力に対し無理やり抵抗するのではなく、旨く利用することで津波からの難を軽減する方法としてフロートシステムの導入は十分検討に値する。

日本では、フロートを持つ建物の実施例が少ないので真剣に受け止めるに値しない奇異なものと思われるかも知れない。しかし、今では常識となっている RC の住宅が日本で導入されたのは関東大震災からの復興において東京で建設された同潤会アパートが最初であり、全国各地に広まったのは戦災復興における不燃公営住宅が最初である。これらも導入当初は我が国の住宅の常識に無い、全く奇異なものであったに違いないが、都市火災という当時の最大の脅威に対抗する手段として導入され、普及し、そして建設のための技術・仕様も開発されていった。三陸沿岸地域を始め、太平洋沿岸地域では最大の脅威は津波なのであるから、それに対応する建物の形があって悪くないと考えられる。

(1) フロート構造物の既往例

改めて調べて見ると、日本では、洪水や高潮に備えて舟を用意していた地域は昔から結構多くあったようである。輪中地域では「舟つなぎ柿」と言う言葉も残っている。柿の木に舟を係留して漂流を防止したのである。現在では、未だ日本では見られないが、水の上に浮かべる建築物の事例は世界各地に多く存在する。一部は親水的環境を好む人用であるが、洪水から家屋を守る目的のものも多い。

一方、日本ではメガフロートと呼ばれる浮体構造で飛行場などを建設しようと言う議論も時々出ていることは周知の通りである。現在のところはこれ程巨大なものはないが、100m規模のものなら幾つか実績がある。建設費は意外と安く、10 から 13 万円/m²、一説には量産効果が出ればこの半分位で建設可能とされる。仮に 10 万円/m² とすれば、100m×100m で 10 億円なので、この上に建設する生産設備の価格に比較して法外に高いとも思えない。この費用なら、もっと巨大なメガフロートを建設し、それを業務地域などとする考え方も無くはない。

しかし、巨大なメガフロートを沿岸部に建造する場合、波高が高くなるので構造的な問題が生じないか、漂流防止のための係留が容易に出来るか、維持管理のコストが高くなるか等の心配が残っている。また、一般に建築物は時とともに変化する需要に応じて建設、建替え、除却されるものなので、建築物の建てられる地域はこれに対して柔軟に対応出来なければならない。

(2) フロートシステムの必要サイズ

これらの問題は、現在の陸地を生かし、建物毎あるいは建物の敷地毎にフロートシステムを導入し、かつ常時水上に浮かんでいるのではなく、津波による異常な水位上昇が生じた場合だけ浮き上がるシステムにしておけば全て解決する。しかも、メガフロートは標準で深さ 3m のようであるが、上に載る建物の条件によってはフロートの深さはもっと小さくて済み、また建物構造と一体で造ればよいので、より安価になると考えられる。

例として、フロートと建物の建築面積が同じ場合を考えると

$$\text{フロートの必要深さ(m)} = \text{建物重量(t)/m}^2$$

となるが、木造および鉄骨造住宅では、床面積あたり 0.25t/m² であるから総 2 階建てでも 0.5t/m²、つまり深さ 50cm 程度のフロートを床下に設置すれば良いことになる。従って、少し余裕を見込んで、床下に梁成 60cm 程度の木製あるいは鉄骨トラスを組んで、これを幾分厚めの合板で覆っておけば足りる程度と思われる。

加工場など住宅以外の建物では、設置される機械の重量によるが、1 階建て鉄骨造で床を 20cm の RC 床とすると、床の重量は 0.5t/m² を越さないであろう。機械や収納材料・製品を加えても、作業スペースは必要なので、多くの場合、平均的には 1t/m² 程度、つまり必要フロート深さは 1m 程度あれば足りるのではないだろうか。

港湾のある地域には、多くの冷凍・冷蔵倉庫が存在することが多い。これらの冷凍・冷蔵倉庫の建物形式は、RC あり鉄骨造ありで多様な様である。建物構成についての知見は持たないが、用途から創造するに冷凍・冷蔵機械室、電気室などと冷凍・冷蔵保管庫および搬入部分からなっていると想像される。このうち冷凍・冷蔵機械室、電気室などの部分は、殆どの場合地下室に配置されると考えら

れる。すると地下室は外部への開口を持たない閉鎖空間であるから、これ自体を大きなフロートとすることが考えられる。但し、地下室の床や壁は、通常は下方や横方向からの荷重を想定した構造になっていないので、水圧に耐える構造方法の検討が必要である。また、この水圧の大きさは水深に比例するので、建物の荷重が小さいほど有利なことは勿論である。

(3) 漂流止め

(3-1) 漂流止めのタイプ

漂流止めのシステムとしては種々のものが考えられる。例えば

- (1)建物の周囲に水位上昇時に建物を滑らせるためのガイド柱または構造フレームを設ける
- (2)建物の柱を鉄骨口柱などの中空柱とし、地面に定着した心棒を通しておく
- (3)地中に中空の筒を埋め込んでおき、これに建物の底から心棒を通しておく

方法(1)は建物とは別に構造物を設けることになるが、建物の重量が大きいなどの理由で、特に堅固な漂流止めが要求される場合には、それに応じた設計が出来る。

方法(2)は鉄骨造の建物のときのみ可能であるが、建物の構造部材を利用できる便利がある。心棒を通す柱の本数は、津波荷重だけでなく地震の横荷重も考慮して決めることになる。

方法(3)は木造も含め、全ての構造形式に利用できる。地中に埋め込む筒の深さは、心棒を車のラジオアンテナのような伸縮棒タイプにしておけば短く出来る。これは(2)についても同様である。

(3-2) 漂流止め構造の必要強度

言うまでも無く建物の荷重は水圧が支えてくれるので、漂流止めはフロートが津波の流れから受ける横荷重に耐える強度があれば足りる。上記(2)において触れたように、建物が軽量であるほどフロートの水面下の深さは小さいので、漂流止めの強度は小さくて済む。津波によって生ずる流速の想定と、それからフロートが受ける横荷重の推定を行う必要がある。

(4) フロートシステムの設置空間

フロートは常識的に言って建物の1階の床下に設けることになるであろう。フロートが水圧に耐えるためには、1階の床を支える構造を利用するのが合理的である。ただし、その構造は1階の床を支えるだけではなく、建物全体の重量が支えられる強度を確保しておく必要がある。

フロートは建物床下に設けたピット、あるいは地下室内、に設置し、津波の際には建物の上部が津波に曝される以前に水がそのピット、あるいは地下室、にスムーズに流れ込むようにしておく。水がスムーズに流れ込むようにする方法は色々考えられるが、

- (1)地域に共同溝を設けておき、それとピットつないでおく
- (2)建物周囲に側溝を設け、その水深が一定以上になったらピットに水が溢れるようにしておく
- (3)1階の床を地面より少し上げておき、その隙間からピットあるいは地下室に水が入るようにしておく

なお、フロートの耐久性および維持管理のために、ピットあるいは地下室のいずれの場合も普段は水の入らない乾式の状態を保ち、また水が入った場合の排水について考えた計画としておく。

5.2 フロートシステムのその他の利用可能性

フロートシステムは建物以外にも、例えば下記の例のように、津波からの被害軽減のために利用できる可能性があると思われる。

(1) 陸上防潮堤の防水門

陸上に防潮堤を設けた場合、その両側の地区の行き来が遮断されるのは通常時の不便が大きい。これは不便を忍べば、斜路をつけて防潮堤を乗り越えれば良いとも言えるが、斜路の長さは片側で高さの20倍前後は必要になるであろう。また別に、津波の浸水深が防潮堤の高さを越えた場合には、津波が引いた後浸水を速やかに排水する必要がある。これらを考慮すると、やはり防潮堤には適宜何箇所かの防水門を設けることになるであろう。

この防水門は、日常時は開いていても、津波の時には確実に閉まる必要があるは言うまでもない。これは普段から担当者を決めていて閉鎖する方式も考えられる訳であるが、津波の襲来は夜間かも知れず、閉鎖に手間取ってれば津波に巻き込まれる危険もあるので、津波が来た時には自動的に閉鎖する方式が望ましいと考えられる。

その1つの方法として、防水門の下にピットを設けてフロートを設置しておき、津波の水が浸入して水位が上がることで水門が競り上がる方式が考えられる。この方法では、津波が引いて水位が下がれば自然に水門が開くので、もし防潮堤に浸水があった時は水門から排水される。設置するフロート

は津波の水位に伴う水圧に耐える必要があるので強度は必要だが、水位が上昇するほど扉を枠に強く押し付けてくれるので水密性が高まる。

この他にも、扉を観音開きとし、水圧を利用して閉鎖機構を動かすなど色々な方式が考えられる可能性があり、検討に値する。

(2) 津波避難高架道路の橋桁

今回の津波で、橋梁型高架道路の橋桁が津波に曝され落橋した例では、津波の流れによる横荷重と浮力が作用したことが原因と推定されているが、詳細な分析は未だ行われていない。

津波避難高架道路を建設する場合、津波の浸水深より高い高架にすれば問題ないわけであるが、高架道路は高くするほど建設費が増すこと、および普段の交通のためにも高い位置まで登らなければならない不便さがあるので、想定する浸水深についてある程度妥協が求められる可能性が考えられる。津波避難高架道路は避難を確保するだけのものとするなら、一旦ある程度の高さ迄上った後、高い方に逃げられれば足りる訳で、避難の後は津波で破壊されても構わないのであるが、破壊を防止出来れば望ましいことは言うまでもない。橋桁の重量が幾らになるかはスパン長などにも依るのかも知れないが、橋床下の梁の懐を利用したフロートで浮き上がらせて破壊を防ぐ方法には可能性があると推測される。

6. 復旧・復興に関する検討課題とスケジュール

被災地域の復旧・復興に向けた課題は多いが、全てが直ちに出来る訳ではない。今回のような津波が次回何時来るかは分からないが、一応 10 年を将来の津波にも備えた復旧復興の目処と考えれば、当面は技術的検討を行う時間的余裕が生まれる。上で挙げたフロートシステムもその例である。

最も緊急性のあるのは有効な防災対策が盛り込まれた復興マスタープランの作成である。この段階では津波防災対策などの細部に、今後の技術的な検討などに期待する部分があっても良いが、10 年後には確かに安心して生活し、事業が営める町が完成するという希望がなければ復興は進まない。

そのマスタープランでは、土地の利用計画が最重要課題であろう。宅地も勿論であるが、防潮堤や津波避難高架道路の建設用地もこの段階で決めて確り確保しておく必要がある。

次に必要なのは、生活および産業インフラの復旧・復興である。生活は住宅さえあれば良いというものではない。仕事が無ければ生活は成り立たないのは明らかである。迅速な生活および産業インフラの復旧・復興は、その後の地域の復興を早めるばかりでなく、復興需要を喚起して産業が復興するまでの間の収入を供給することにもなる。

津波防災対策事業については、当面の間は必要な研究、技術開発、設計に当てる事が出来る。この間地域は津波防災的には裸の状態であるが、土地が確保されているので、焦らないで確りした検討を踏まえて事業を開始するのが良い。その事業は、生活および産業インフラの復旧・復興のための需要が収束に向く段階から一部を開始して、10 年を目処に完成するように順次進めて行けば良いと考えられる。ここで挙げた課題に関しては、既に建設分野、船舶分野などで多くの関連技術の蓄積がある。必要なのは、それらを各分野からの知見を持ち寄って統合することだけである。

繰り返しになるが、10 年先には安全な地域の完成が約束されることが、住民や産業への融資環境も良くし、地域復興のために極めて重要な条件となる。

	緊急に実施	1～2年以内	2～4年	5～10年
復興マスタープランの作成	○			
土地利用計画の確定	○			
宅地造成		○		
港湾復旧		○		
産業インフラの復旧		○		
住宅の建設		○		
防潮堤の復旧・建設		技術的検討・設計	○	
陸上防潮堤の建設		技術的検討・設計		○
津波避難高架道路の建設		技術的検討・設計		○
浮き栈橋の建設		技術的検討・設計		○
産業施設の復旧・復興		可能なものから順次復旧・復興		