

# 港湾における大規模津波災害への対応

港湾研究部長

鈴木 武

## 港湾における大規模津波災害への対応

港湾研究部長 鈴木 武

### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日 (金) 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震 (震源は北緯 38.1 度, 東経 142.9 度, 牡鹿半島の東南東 130 km 付近. マグニチュードは 9.0.) により生じた強い地震動と巨大な津波により東日本の各所で大きな被害が発生した. このとき東北地方太平洋岸の港湾は巨大な津波によって甚大な被害を受け, 全ての港湾が機能を停止し, 船舶が入出港できない状態になった. 東北地方太平洋岸に来襲した津波の最大波は, 気象庁の検潮所の観測記録では, 宮古で 8.5m 以上, 釜石で 4.2m 以上, 大船渡で 8.0m 以上, 石巻市鮎川で 8.6m 以上, 相馬で 9.3m 以上であり, 東北地方整備局と港湾空港技術研究所が沖合に設置している GPS 波浪計では, 宮古で 6.6m 以上, 釜石で 6.2m 以上, 気仙沼広田湾沖で 5.6m 以上であった. また, 港湾空港技術研究所と国土技術政策総合研究所が協力して実施した津波の痕跡高調査では, 津波の浸水高が岩手県で 6.6~16.4m, 宮城県で 5.6~18.4m, 福島県で 3.7~10.4m であり, 遡上高が岩手県で 7.3~26.3m, 宮城県で 7.3~19.7m, 福島県で 11.8~15.9m であった (図-1).

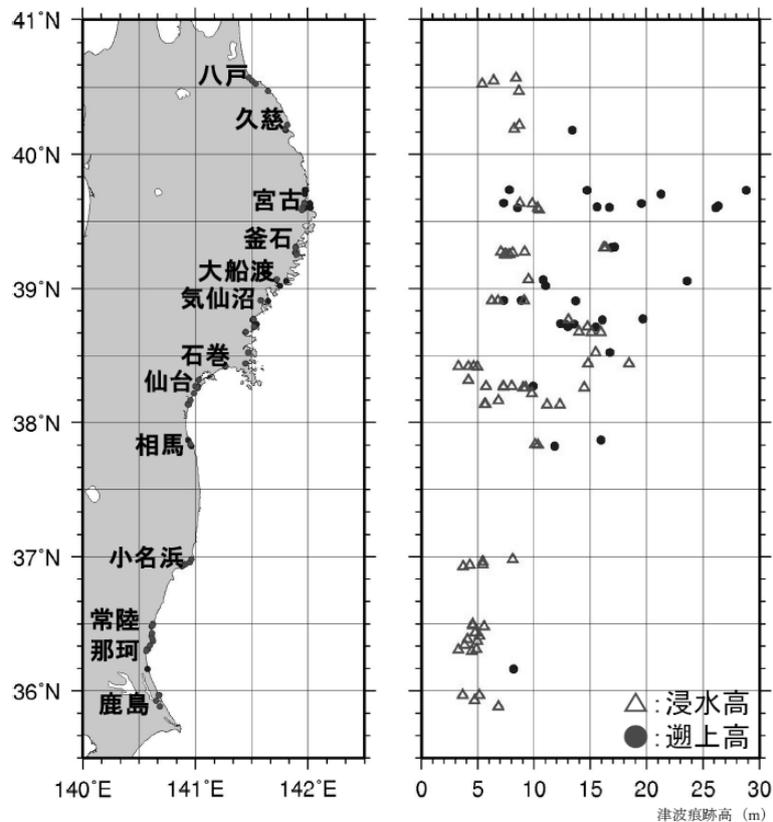


図-1 津波痕跡高の調査結果<sup>1)</sup>

## 2. 港湾の施設被害

東北地方太平洋沖地震による津波で岩手県，宮城県，福島県の港湾は壊滅的な被害を受けた。防波堤の倒壊による波浪からの遮蔽機能の低下，船舶の座礁や災害廃棄物等の浮遊・堆積による航路閉塞，岸壁の倒壊・傾斜・沈下による接岸障害，荷役機械の倒壊・損傷やエプロンの沈下・平坦性喪失による荷役困難，上屋・倉庫の破壊による保管困難，災害廃棄物による臨港道路の閉塞などによって港湾の機能がほぼ全面的に停止する事態となった。



写真-1 防波堤の倒壊（八戸港）<sup>2)</sup>



写真-2 港内の浮遊物（石巻港）<sup>2)</sup>



写真-3 岸壁の倒壊（相馬港）



写真-4 アンローダーの倒壊（相馬港）



写真-5 上屋の損傷（相馬港）



写真-6 災害廃棄物による臨港道路の閉塞（仙台塩釜港仙台港区）<sup>2)</sup>

### 3. 外航船の寄港にみる東日本大震災の影響

外航船の日本寄港への東日本大震災の影響を把握するため、LLI (Lloyd's List Intelligence) の寄港実績データと IHSF (IHS-Fairplay) の船舶諸元データを組み合わせて日本への寄港の状況を分析した。まず、船種毎に世界の主要な3地域（日本を除く東アジア、北米及び欧州）について、2011年1月から4月までの寄港回数の対前年同月比の変動（1月を1.00とする）について整理した。次に、日本の地区別寄港回数及び対前年同月比の推移を整理した<sup>3)</sup>。

#### 3. 1 フルコンテナ船の動静

フルコンテナ船の寄港回数は、日本、世界3地域ともに対前年同月比は4ヶ月通じて安定していた(図-2)。

日本の地区別寄港回数及び対前年同月比の推移をみると、被災2地区（東北太平洋側・関東太平洋側）で4月に0になっていたのに対し、日本海側2地区（東北日本海側・北陸）では伸びており、東北太平洋側・関東太平洋側の被災を受けて、フルコンテナ船が日本海側港湾への寄港を増加させたものと考えられる。

東日本全体で見ると、約1割増、西日本では約2割増で推移していた(表-1)。

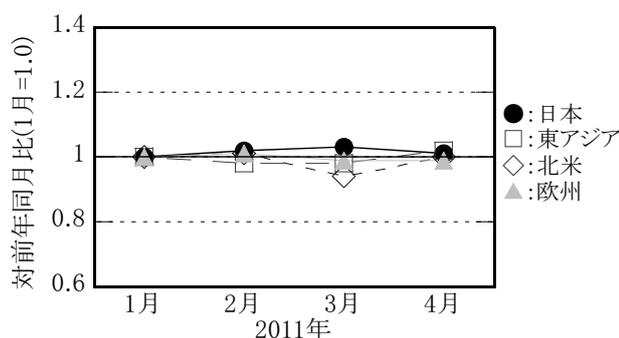


図-2 フルコンテナ船寄港回数の対前年同月比の変動

表-1 地区別フルコンテナ船寄港回数及び対前年同月比

| 地区     | 1月    |        | 2月    |        | 3月    |        | 4月    |        |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|        | 寄港回数  | 対前年同月比 | 寄港回数  | 対前年同月比 | 寄港回数  | 対前年同月比 | 寄港回数  | 対前年同月比 |
| 北海道    | 46    | 0.90   | 44    | 0.90   | 69    | 1.38   | 52    | 1.00   |
| 東北太平洋側 | 23    | 0.64   | 28    | 0.97   | 11    | 0.27   | 0     | 0.00   |
| 東北日本海側 | 5     | 0.23   | 4     | 0.17   | 21    | 0.84   | 34    | 8.50   |
| 関東太平洋側 | 5     | 1.67   | 10    | 2.00   | 5     | 0.83   | 0     | 0.00   |
| 東京湾内   | 941   | 1.14   | 869   | 1.13   | 1,006 | 1.11   | 958   | 1.09   |
| 北陸     | 109   | 0.99   | 114   | 1.00   | 157   | 1.31   | 147   | 1.24   |
| 東海     | 557   | 1.15   | 546   | 1.16   | 621   | 1.19   | 612   | 1.15   |
| 東日本計   | 1,686 | 1.10   | 1,615 | 1.11   | 1,890 | 1.13   | 1,803 | 1.10   |
| 西日本計   | 1,422 | 1.20   | 1,377 | 1.25   | 1,587 | 1.22   | 1,460 | 1.23   |

#### 3. 2 バルクキャリアの動静

バルクキャリアの寄港回数は、北米が2月に対前年同月比が上昇、欧州は低下していたが、日本は安定していた(図-3)。

日本の地区別寄港回数及び対前年同月比の推移をみると、東北太平洋側は1～2月から既に減少傾向であったため、3月の減少が地震・津波災害によるものであるか明確ではない。しかし、4月にはそれらよりも大きく減少しており災害による影響だと考えられる。これに対して、北海道と東北日本海側が3月以降大きく伸びていた。中でも増加が大きかったのは、苫小牧港の3～4月である(表-2)。

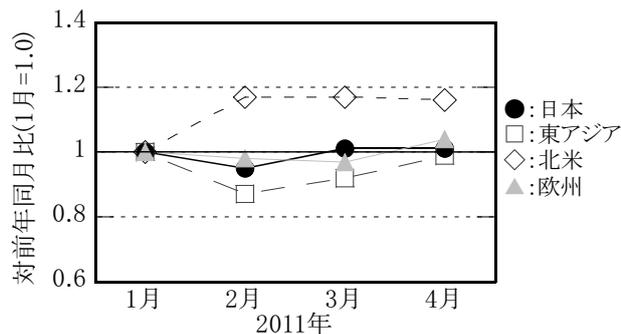


図-3 バルクキャリア寄港回数の対前年同月比の変動

表-2 地区別バルクキャリア寄港回数及び対前年同月比

| 地区     | 1月   |        | 2月   |        | 3月   |        | 4月   |        |
|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|        | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 |
| 北海道    | 35   | 1.03   | 30   | 0.91   | 61   | 1.45   | 45   | 1.45   |
| 東北太平洋側 | 20   | 0.63   | 13   | 0.42   | 11   | 0.38   | 3    | 0.13   |
| 東北日本海側 | 4    | 0.40   | 4    | 0.36   | 15   | 1.67   | 18   | 3.60   |
| 関東太平洋側 | 78   | 1.34   | 61   | 1.17   | 29   | 0.50   | 30   | 0.68   |
| 東京湾内   | 218  | 1.70   | 208  | 1.43   | 229  | 1.53   | 208  | 1.26   |
| 北陸     | 38   | 1.41   | 32   | 1.33   | 39   | 1.50   | 33   | 1.32   |
| 東海     | 188  | 1.74   | 157  | 1.31   | 187  | 1.58   | 175  | 1.37   |
| 東日本計   | 581  | 1.46   | 505  | 1.21   | 571  | 1.32   | 512  | 1.21   |
| 西日本計   | 630  | 1.25   | 633  | 1.33   | 715  | 1.38   | 665  | 1.48   |

### 3.3 タンカーの動静

タンカーの寄港回数は、日本は4月に対前年同月比の上昇がみられたが、震災前の2月にも大きく伸びており、ただちに震災の影響によるものとは言い難い状況であった。世界主要3地域では、東アジアと欧州が安定傾向、北米が減少傾向であった(図-4)。日本の地区別寄港回数及び対前年同月比の推移をみると、東北日本海側において、2010年1～4月及び2011年1～2月までは寄港が無かったのに対し、3月以降は5回の寄港があった(表-3)。東京湾内は1～2月よりも3～4月の対前年同月比が低下しており、千葉港の精油所の震被害による稼働停止の影響が出ていると考えられる。

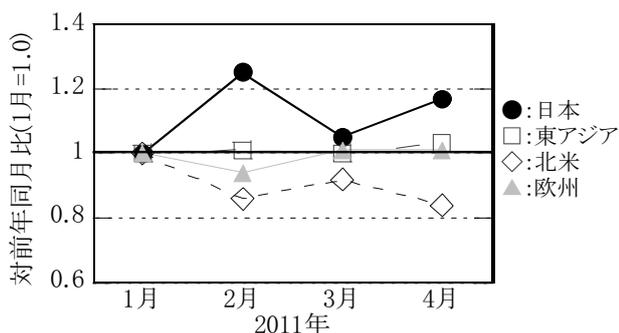


図-4 タンカー寄港回数の対前年同月比の変動

表-3 地区別タンカー寄港回数及び対前年同月比

| 地区     | 1月   |        | 2月   |        | 3月   |        | 4月   |        |
|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|        | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 |
| 北海道    | 10   | 1.25   | 7    | 0.88   | 9    | 0.69   | 7    | 1.00   |
| 東北太平洋側 | 5    | 1.67   | 7    | 1.75   | 3    | 0.60   | 0    | 0.00   |
| 東北日本海側 | 0    | 0.00   | 0    | -      | 5    | -      | 5    | -      |
| 関東太平洋側 | 15   | 1.07   | 8    | 1.60   | 6    | 0.86   | 6    | 0.75   |
| 東京湾内   | 104  | 1.25   | 94   | 1.38   | 83   | 1.15   | 75   | 1.27   |
| 北陸     | 1    | 0.50   | 5    | -      | 3    | 0.75   | 2    | 2.00   |
| 東海     | 19   | 1.06   | 28   | 1.17   | 23   | 1.00   | 18   | 1.13   |
| 東日本計   | 154  | 1.19   | 149  | 1.37   | 132  | 1.06   | 113  | 1.19   |
| 西日本計   | 113  | 0.99   | 118  | 1.37   | 120  | 1.28   | 122  | 1.39   |

### 3. 4 自動車専用船の動静

自動車専用船の寄港回数は、他の貨物船と傾向が異なり、日本は東日本大震災後の3月以降に対前年同月比が大きく低下している。これは、東北地方に多く立地する自動車部品メーカーの被災により、日本各地の自動車工場が操業停止し、完成自動車が減産したためと考えられる。さらに、日本だけでなく、世界3地域においても3月以降、寄港回数の対前年同月比に低下がみら

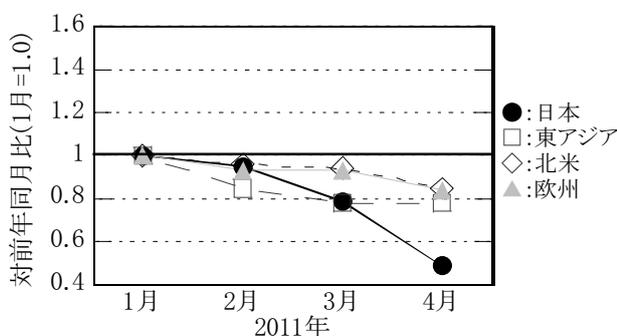


図-5 自動車専用船寄港回数の対前年同月比の変動

れる(図-5)。これは、より詳細な検討が必要ではあるが、日本が世界各地に完成自動車や自動車部品を輸出しているため、東日本大震災が世界の自動車専用船の動静に影響を与えた可能性がある。

表-4 地区別自動車専用船寄港回数及び対前年同月比

| 地区     | 1月   |        | 2月   |        | 3月   |        | 4月   |        |
|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|        | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 |
| 北海道    | 1    | 0.33   | 2    | 2.00   | 3    | 1.00   | 1    | 0.50   |
| 東北太平洋側 | 1    | -      | 1    | 1.00   | 4    | -      | 0    | 0.00   |
| 東北日本海側 | 0    | -      | 0    | -      | 1    | -      | 0    | -      |
| 関東太平洋側 | 24   | 1.85   | 25   | 2.08   | 9    | 0.30   | 1    | 0.07   |
| 東京湾内   | 187  | 1.60   | 181  | 1.23   | 204  | 1.21   | 123  | 0.79   |
| 北陸     | 3    | 1.50   | 8    | 4.00   | 13   | 3.25   | 14   | 2.33   |
| 東海     | 227  | 1.63   | 238  | 1.59   | 217  | 1.21   | 136  | 0.81   |
| 東日本計   | 443  | 1.62   | 455  | 1.45   | 451  | 1.17   | 275  | 0.79   |
| 西日本計   | 234  | 1.38   | 265  | 1.43   | 258  | 1.28   | 132  | 0.67   |

日本の地区別寄港回数及び対前年同月比の推移をみると、東日本での主要な寄港地である東京湾内と東海では4月に2割減少している。また西日本地区においても、4月に寄港回数が大きく減少している(表-4)。港では、横浜港、名古屋港及び三河港の寄港回数が4月に減少していた。伏木富山港は、主要港と比べて数は少ないものの増加傾向であったが、その傾向は2月からのものであり、震災による影響ではないと考えられる。

### 3. 5 クルーズ船の動静

クルーズ船の寄港回数は、日本は2～3月に低下し、さらに4月に非常に大きな低下がみられる。また、北米や欧州は横ばいであるが、東アジアも減少傾向である(図-6)。

日本の地区別寄港回数及び対前年同月比の推移をみると、東日本のクルーズ船寄港の中心である東京湾内が、4月に対前年同月比が低下している(表-5)。

クルーズ船の主要な寄港港湾の寄港回数をみると、那覇港は2011年4月の外国船のクルーズ船寄港は対前年同月で増加しているが、それ以外の3港は外国船のクルーズ船寄港が激減している。原発事故による放射能漏れに対して外国のクルーズ船会社が敏感に反応したためと考えられる<sup>4)</sup>(表-6)。

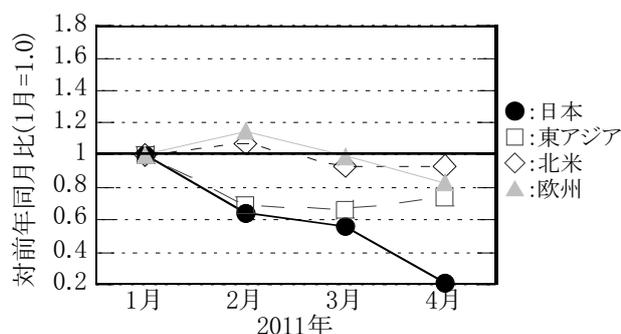


図-6 クルーズ船寄港回数の対前年同月比の変動

表-5 地区別クルーズ船寄港回数及び対前年同月比

| 地区     | 1月   |        | 2月   |        | 3月   |        | 4月   |        |
|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|        | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 | 寄港回数 | 対前年同月比 |
| 北海道    | 1    | -      | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      |
| 東北太平洋側 | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      |
| 東北日本海側 | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      |
| 関東太平洋側 | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      |
| 東京湾内   | 14   | 1.75   | 5    | 1.25   | 16   | 1.00   | 11   | 0.85   |
| 北陸     | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      | 0    | -      |
| 東海     | 2    | 2.00   | 0    | -      | 5    | -      | 0    | 0.00   |
| 東日本計   | 17   | 1.89   | 5    | 1.25   | 21   | 1.31   | 11   | 0.79   |
| 西日本計   | 15   | 2.50   | 10   | 1.43   | 38   | 1.15   | 12   | 0.32   |

表-6 船籍別クルーズ船寄港回数

| 地区   | 港湾 | 2010年4月 |      | 2011年4月 |      |
|------|----|---------|------|---------|------|
|      |    | 日本船籍    | 外国船籍 | 日本船籍    | 外国船籍 |
| 東京湾内 | 横浜 | 8       | 5    | 7       | 1    |
| 近畿   | 神戸 | 9       | 7    | 6       | 0    |
| 九州   | 博多 | 3       | 5    | 0       | 0    |
| 沖縄   | 那覇 | 0       | 3    | 0       | 4    |

## 4. 巨大津波に対する沿岸域災害対策の検討

沿岸域を襲う津波は、津波の原因となる地震想定の不確実性、確率評価に用いられる過去のデータの制約などから、計画されている防御レベルを上回る可能性がある。計画外力を上回る巨大な津波に対しては、護岸・堤防等のハード対策のみでは投資額が莫大となるため、沿岸域全体の防災力を高める総合的な対策が必要である。そのため、巨大津波に対して沿岸域全体の防災力を高めるためにどのような方法が考えられるのか、H18年度からH21年度にかけて調査研究を行った。その内容の幾つかを紹介する<sup>5)</sup>。

### 4. 1 水理モデルによる津波浸水予測

津波の被害予測は、2次元平面の長波モデルによる流体シミュレーションによる浸水域の予測結果をもとに評価が行われることが多い。そのときに一般的に使われる流体シミュレーションは、構造物や森林などによる津波に対する抵抗を表現するためマニングの粗度係数を与えて流体のエネルギーを減衰させる方法をとっているが、建物等の影響を十分表現できているとは言えず、局所的な水位や流速の変化を評価することができない。そのため津波を建物等で減殺する効果を評価することができる性能を持つ、長波理論による津波伝播計算と陸域の遡上計算を行うモデルを構築し、そのモデルを使って建物等による減災性能を調べる計算を行った。

モデルの改良は、行政目的に利用することに配慮し、従来からの2次元平面モデルに港湾構造物や建物等の3次元的な影響を取り込むことを目的として行った。

#### 4. 1. 1 対象地域

津波浸水計算を行うために、地域条件を設定する必要がある。そのためここでは、南海・東南海地震津波の来襲が想定されている徳島県阿南市に位置する橘港豊浜地区を検討の対象地域とした(図-7)。阿南市は、人口7.8万人(2005)、農業産出額90億円(2006)、製造品出荷額等3,713億円(2006)、商業販売額967億円(2006)であり、製造業と商業は徳島県の市町村の中で第2位である。

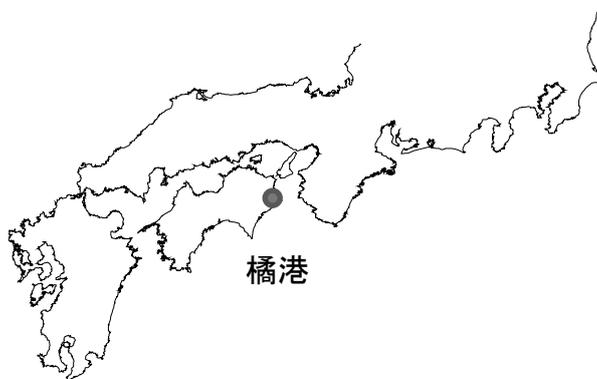


図-7 橘港の位置

#### 4. 1. 2 計算範囲

計算範囲は、外洋域の格子間隔を 1,350m と設定し、そこから遡上計算領域まで 1:2~1:5 の比率で格子接続を行った (表-7)。また、津波の遡上計算をする範囲は図-8 中の長方形の枠内とし、そこでの計算格子間隔を 2.5m とした。

表-7 津波予測シミュレーションの計算条件

| 領域     | A     | B    | C~D     | E      | F~G       |
|--------|-------|------|---------|--------|-----------|
| 範囲     | 外洋領域  | 波源領域 | 橘港周辺領域  | 接続補助領域 | 橘港        |
| 計算格子間隔 | 1350m | 450m | 150~50m | 25m    | 12.5~2.5m |

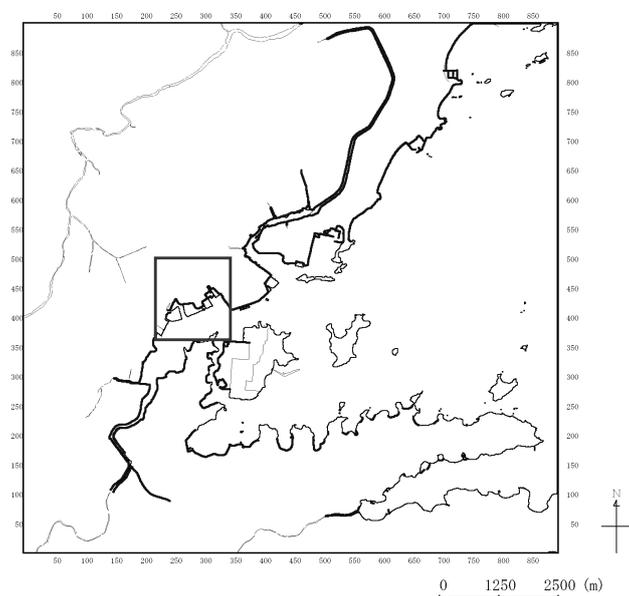


図-8 遡上計算の範囲

#### 4. 1. 3 地形データ

各格子中央位置の地盤高に格子単位で再現する家屋やビル等の建物の高さを加えたデータをシミュレーションで使用する地形データとした。データは住宅地図データから作成した。作成した遡上計算範囲の建物形状と高さを考慮した地盤高の3次元表示は図-9のとおりである。

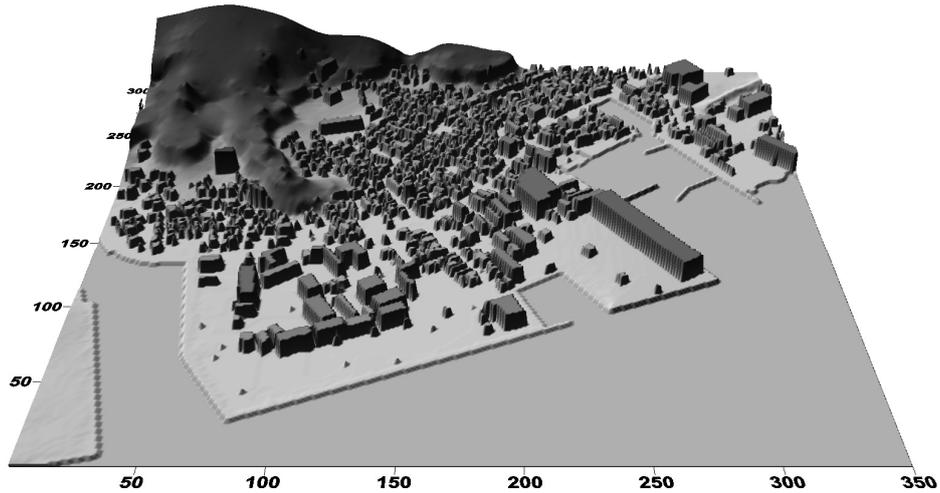


図-9 建物を考慮した地盤高

#### 4. 1. 4 流体運動モデル

流体運動モデルは、非線形長波理論による平面2次元の津波計算が可能なモデルとした。基礎方程式は以下のとおりである。

・連続の式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

・運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2a)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2b)$$

ここで、 $\eta$ は水位、 $M$ 、 $N$ は $x$ および $y$ 方向の流量フラックス、 $h$ は静水深、 $D$ は全水深、 $g$ は重力加速度、 $n$ はマンニングの粗度係数である。また、潮位は朔望平均満潮位とした。

#### 4. 1. 5 津波波源

津波波源は、内閣府中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」における想定東南海・南海地震（同時発生モデル）である。内閣府中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」で設定されている震源域は図-10のとおりである。

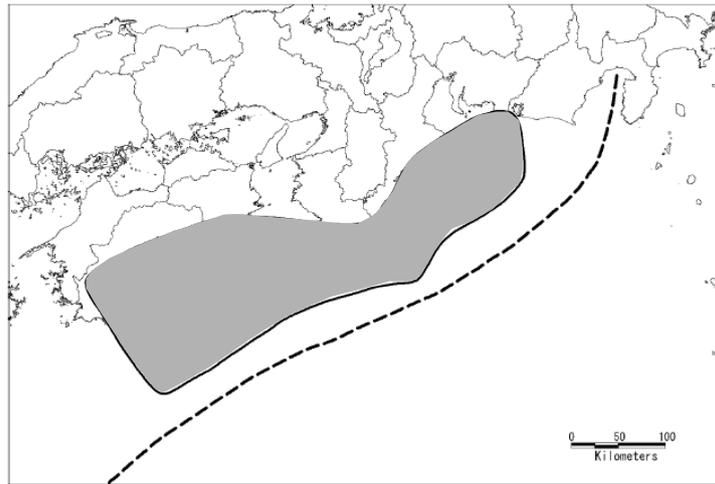


図-10 中央防災会議における想定東南海・南海地震の震源域

#### 4. 1. 6 シミュレーションの結果

建物による津波の減殺効果を把握するために、建物が津波によって直ちに全て破壊されて津波に対して全く抵抗力を発揮しない場合（Case0）と、すべての建物が津波に対する抵抗力を完全に維持し続ける場合（Case1）を想定した計算を行い、両者を比較した。どちらのケースも極端な条件設定ではあるが、建物による津波の減殺効果を端的に把握するために採用した。数値計算では、Case0 が建物がないという条件で、Case1 がすべての建物が存在し続けるという条件で計算を行った。

防潮堤がある状態で津波シミュレーションを行った結果求められた Case0 の最大水位の分布を図-11 に、Case1 の最大水位の分布を図-12 に示す。Case1 では、津波による浸水範囲が縮小するとともに、中央部から北東部にかけての市街地で最大水位が低下している。また、それら市街地では多くの部分で浸水深が 2～3m 低下している（図-13）。

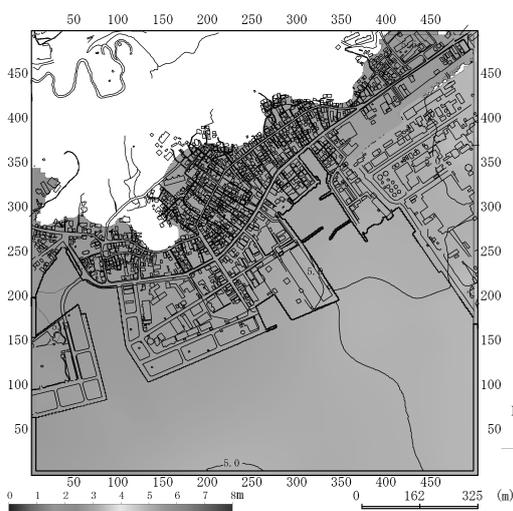


図-11 最大水位の分布 (Case0)

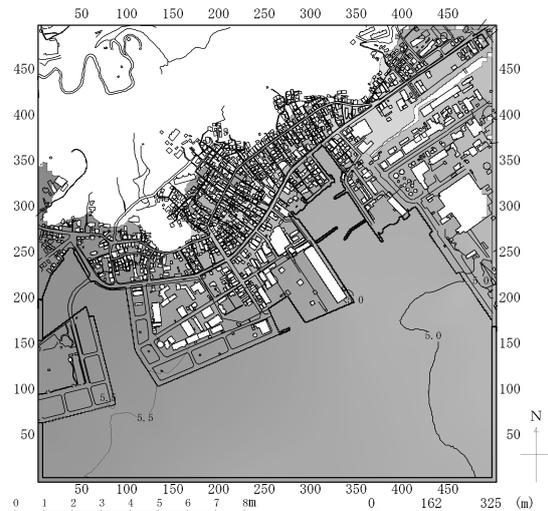


図-12 最大水位の分布 (Case1)

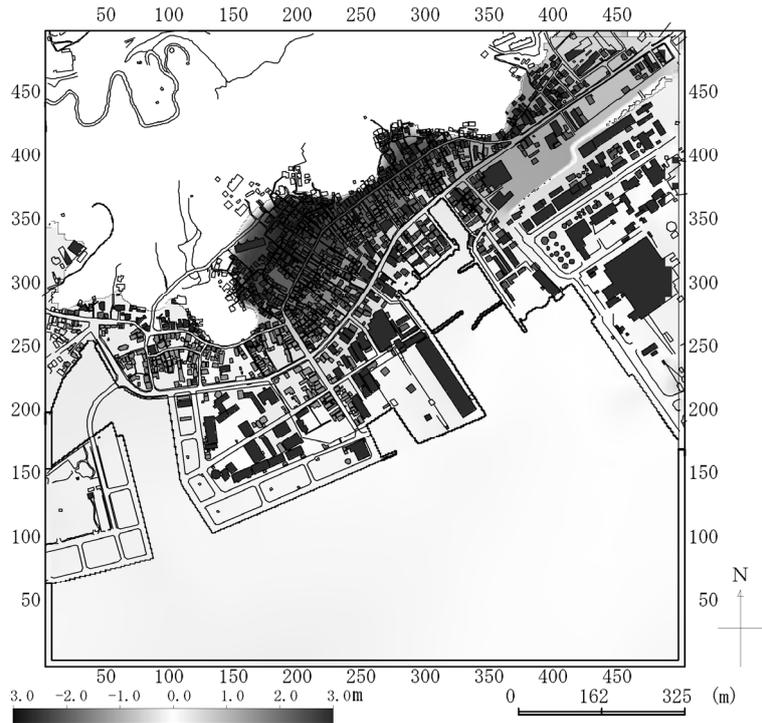


図-13 最大水位の差分 (Case1-Case0)

次に、津波シミュレーションを行った結果求められた Case0 の最大流速の分布を図-14 に、Case1 の最大流速の分布を図-15 に示す。これらは、建物による津波流速の低減を明瞭に把握することを目的に、防潮堤がない状態で計算を行ったものである。

Case1 では、市街地全体にわたって津波による流速が約 1.5m/s 以上低下している(図-16)。津波流速の低下は津波の流体エネルギーの低下を意味し、津波の破壊力が低減されていることを表している。

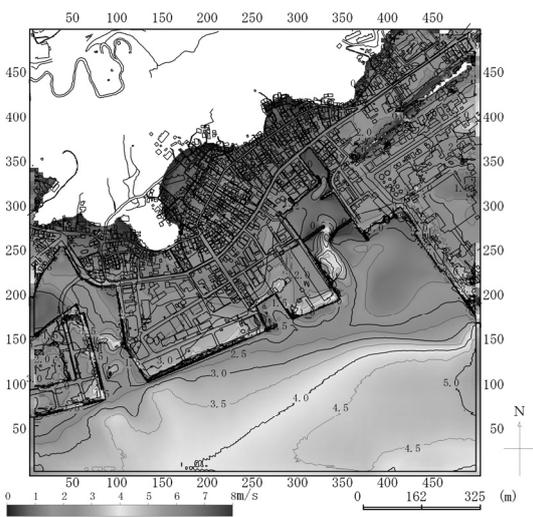


図-14 最大流速の分布 (Case0)

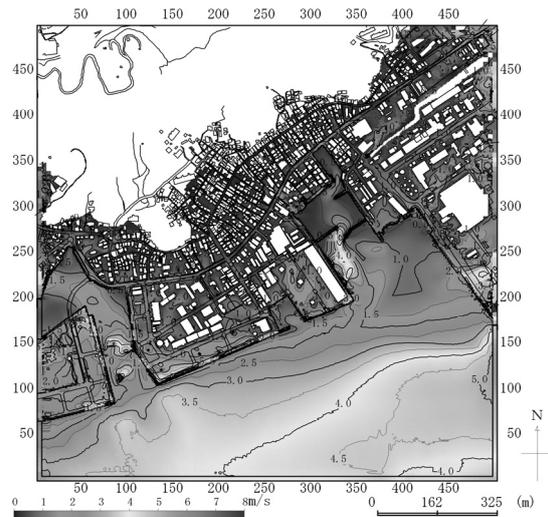


図-15 最大流速分布 (Case1)

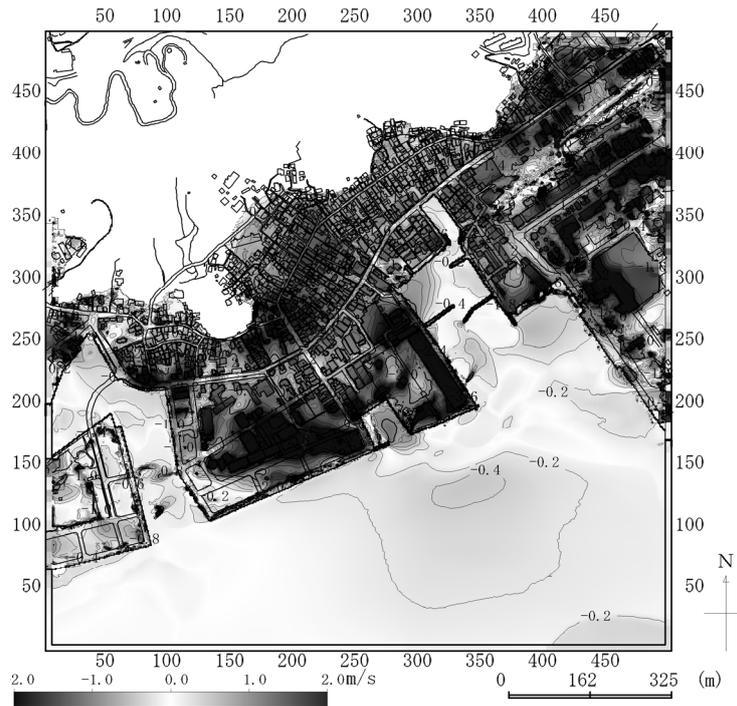


図-16 最大流速の差分 (Case1-Case0)

以上をまとめると、今回の検討条件程度に建物が密集して存在する場合、それらの建物がすべて津波に耐えるだけの強度を有していれば、それら建物の群集による効果によって津波による浸水範囲が減少するとともに浸水領域での浸水深が低下する。同時に、津波の流速が低下し、津波の破壊力が低減される。それらにより、建物を強固にすることは、津波被害の低減に一定の効果を持つと考えることができる。ただし、建物を強固にすることによる建物の背後地域での減災効果は、強固な建物が群集として津波に対して十分な遮蔽をもたらす場合に効果を発揮するものであるため、遮蔽延長が小さい少数の建物の堅牢化は、堅牢化する建物に対する津波被害の低減と避難場所の提供には有効であるが、建物の背後地域の津波被害の低減にはあまり多くを期待できない。また津波エネルギーの低減は、その効果を鮮明にするために防潮堤がないとして計算を行った結果であるため、防潮堤が存在する場合は建物が津波を低減する効果は小さくなる。それは同時に建物に作用する津波の流体力が小さくなることを意味し、津波に抵抗する建物に求められる構造・外壁等の強化が少なくてよいことを意味する。一方で、建物による津波低減効果を大きくとることを考える場合は、建物に求められる耐力の強化割合も相応に大きくなることになる。具体的な対策を検討する場合は、それらを総合して考える必要がある。

#### 4. 2 巨大津波に対する対策の経済効果

##### 4. 2. 1 巨大津波に対する対策の経済評価の課題

巨大津波による災害は、通常災害で想定されている人的被害や家屋・事業所等の資産被

害の他、通常の災害に対しては十分防護されている臨海部の都市インフラ（道路、鉄道、電力、ガス、通信、上下水道）においても脆弱部からの浸水等によってインフラ供給者・利用者に被害を生じさせる。

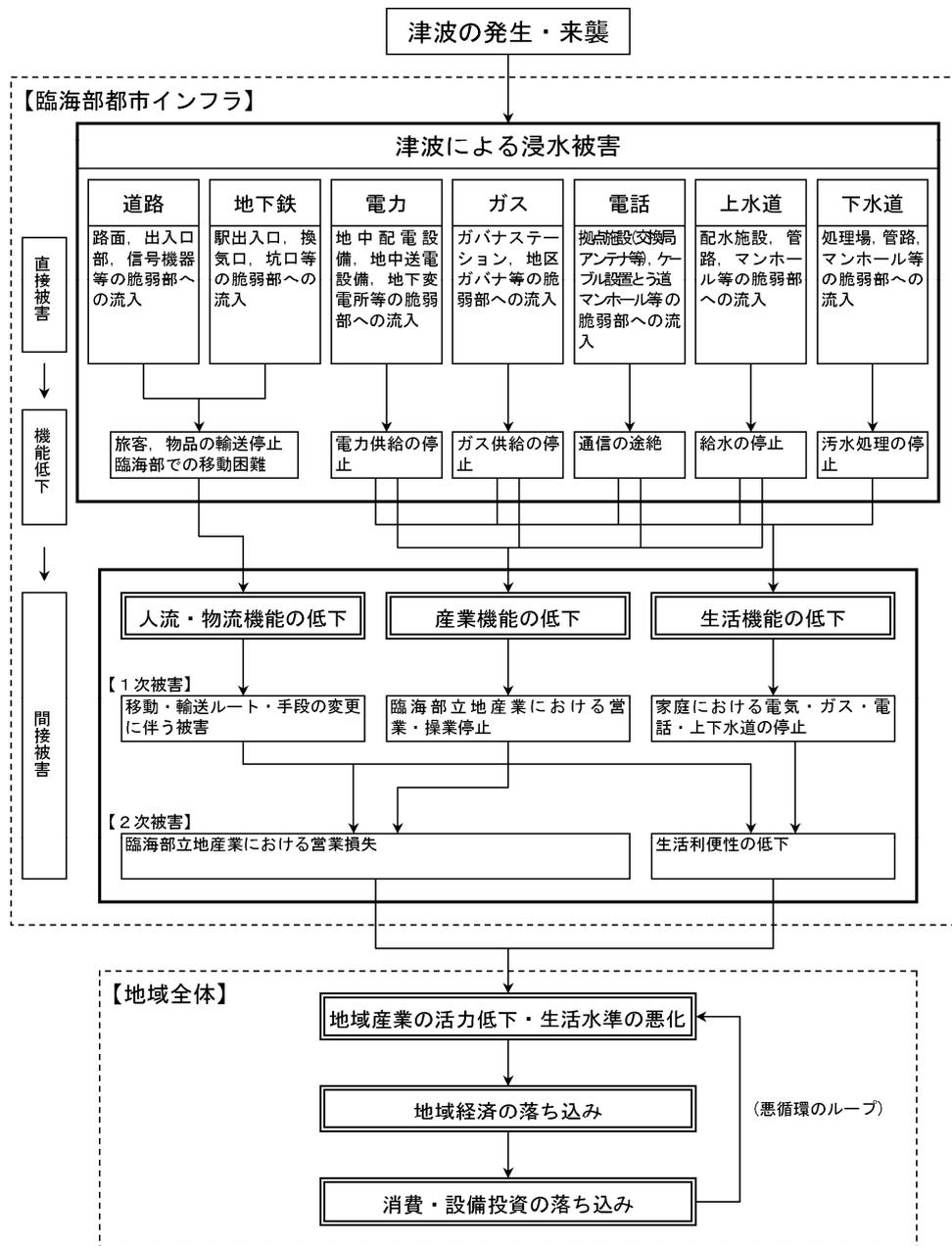


図-17 大規模津波災害のインパクトフロー

例えば、道路については、海水の流入、漂流物の流入によって脆弱部に直接被害が発生すると、インフラ供給者には道路を使える状態にするためのコスト増、利用制限による収入減少、道路交通に対する信頼性低下といった被害が発生する。一方、インフラ利用者には、道路への海水・漂流物の流入による自動車の水没などの直接被害が発生するとともに、

自動車・物品損傷に対するコスト増，通行止めの発生や高架道路の出入規制による迂回等のコストの発生，生産低下の発生，運送事業者の利用制限による収入減少，一般利用者の利便性低下といった被害が波及する．他の都市インフラについても同様に供給者及び利用者に被害が発生し，その影響は社会経済活動に波及する（図-17）．臨海部に人口，資産，経済活動が集積している日本では，巨大津波による大規模な被害，さらにはその波及によって深刻な被害を受けることが危惧される．

災害対策を実施するという事は，立案した計画を遂行し，計画の成果としての災害対策施設の整備や災害に強い都市構造を実現することである．しかしそれはあくまで手段であり，災害対策の真の目的は災害時における人・財産等の被害の低減である．被害の低減は「災害が発生した場合」という条件付の事象であり，災害対策の効果は災害が発生して初めて発現する確率事象だといえる．災害対策の効果は一般的に式(3)のように表され，災害の発生確率と時間の経過を加味した被害軽減額の期待値として表現される．

$$B = \sum_{t=0}^T \{(D_{wo} - D_w) \times P(t) / (1+i)^t\} \quad (3)$$

ここで， $B$ は防護便益， $t$ は供用開始からの年数， $T$ は計画供用年数， $D_{wo}$ は対策未実施時の被害額， $D_w$ は対策実施時の被害額， $P(t)$ は $t$ 年における対象災害の発生確率， $i$ は社会的割引率である．

巨大津波により想定される広範で甚大な被害を完全に防護（ $D_w=0$ ）する場合，莫大な投資が必要になることは容易に想起される．一方，現行の投資評価における投資限界は，得られる便益 $B$ 以下であることが求められている．仮に被害軽減額 $D_{wo}-D_w$ を100，災害発生確率 $P(t)$ を200年確率，社会的割引率を4%，供用期間 $T$ を50年とした場合，式(3)による防護便益 $B$ は7.6となり，被害軽減額の10分の1も投資できないことになる．同様に1000年確率の場合は被害軽減額の1.5%が投資限界となる．そのため， $D_{wo}-D_w$ がそう大きくない地域では十分な防災投資を行うことが出来ない．しかし，津波を防御する施設の延長に対して $D_{wo}-D_w$ が巨大であれば，被害軽減額に対する投資限界の割合が小さいとしても，かなりの防災投資が許容されることになる．

また，巨大津波は発生頻度が低く，来襲するまでの期間が長期となる可能性が高いため，未来に来襲する巨大津波に対して巨額の投資をした場合，巨大津波が来襲するまでの間，無駄な投資をしたという批判を受けることにもなりかねない．

#### 4. 2. 2 巨大津波に対する総合的な対策の効果

巨大津波に対する災害対策は，対策により整備する施設を「防災を主機能とするもの」と「それら以外の機能を主機能とするもの」に分ければ，表-8のように位置づけられる．そして，それら対策を総合的に講じた場合には図-18のイメージのようになる．

図-17で整理したように大規模な津波被害では，浸水域だけでなく広く地域全体に影響が波及する．また，表-8に示したように巨大津波に対する対策は，災害時の減災効果だけ

でなく、平常時の経済効果も併せ持つものとして考える必要がある。そのため、投資効果として評価すべき効果は、以下の(a)に示す浸水域における資産・人命被害の軽減に加え、(b)～(d)といった効果を含むよう空間的、時間的に拡張する必要がある。

表-8 巨大津波対策の分類

| 分類          | 説明                          | 具体例  |
|-------------|-----------------------------|--|
| 防災を主機能とする施設 | 平時も経済的効用有り（災害時は減災効果発揮）      | 防潮堤・防波堤等に賑わい空間の創出など平常時における多様な効用を付与   |
| その他の施設      | 巨大災害時には減災効果を発揮（平常時は経済的効用有り） | エネルギーの減殺，到達時間の遅延，防潮，避難場所確保などを目的とした岸壁，上屋・倉庫，建築物，森林・植林・植栽の第一線への立地，プロムナード・緑地，土地利用などの配置計画の工夫 |

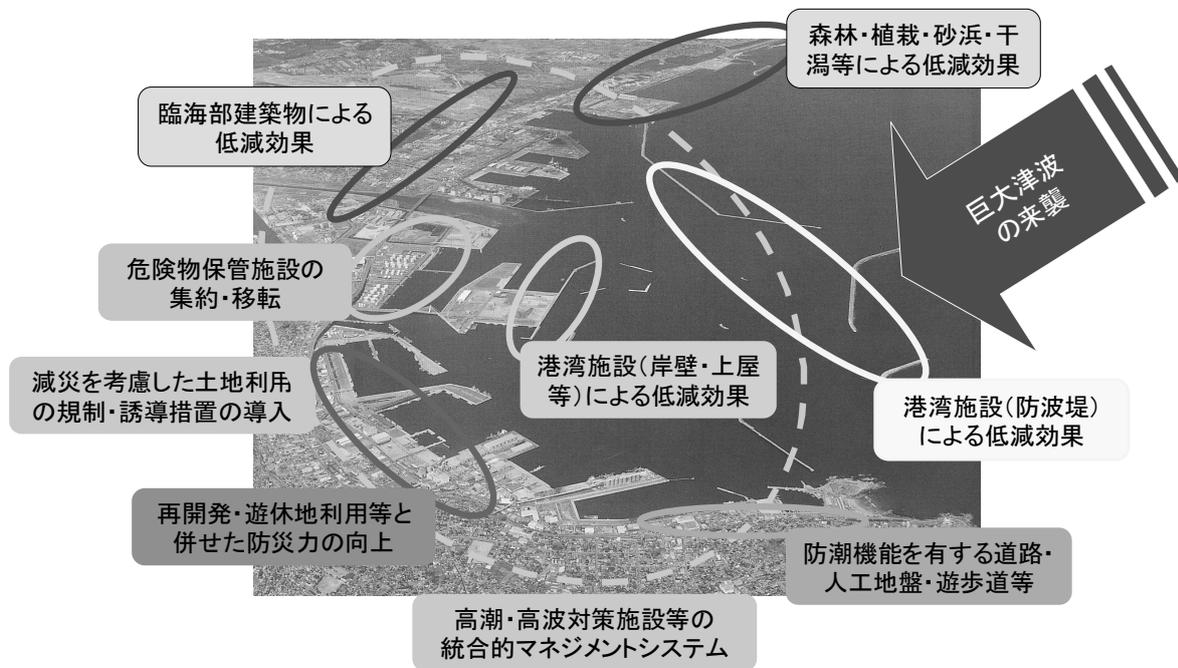


図-18 巨大津波に対する総合的な対策のイメージ

(a) 浸水域における資産・人命の被害軽減

浸水域における資産・人命の被害軽減とは、海岸堤防等によって浸水域を津波から防衛することによって資産、人的被害が軽減される効果である。これは災害時に発現する効果である。

(b) 港湾地域の被害軽減

港湾地域の被害軽減とは、港湾地域における浸水被害や流出・漂流被害等を軽減する効果である。

港湾地域の直接被害を軽減することにより港湾機能の低下とそこから波及する物流機能、人流機能、産業機能などの低下といった間接被害を軽減することが出来る。災害時における港湾機能の確保は、災害後の地域経済への悪影響の軽減にも効果がある。

(c) 都市インフラの被害軽減

都市インフラの被害軽減の災害時の効果は、都市インフラの浸水被害を軽減する効果である。都市インフラは経済活動の基盤である各種の都市機能を支えるものであり、これらの軽減は、災害後の地域経済への悪影響の軽減にも効果がある。

津波の減災機能を有する再開発・遊休地利用・賑わい空間創出などは、平常時も効果を持つ対策である。そのため、それらの対策実施により業務機会の拡大や交流機会の増大といった平常時の効果が発現し、来訪者の増加や地域経済の拡大が生じる。

(d) 防災投資による平常時の効果

防災投資により地域の災害リスクが低減する。このことにより、土地資産価値が上昇し、企業等の独自・個別対策費用・保険料が節約され、立地や産業活動が活性化し、地域経済への好影響が期待される。これらも防災投資による平常時の効果と言える。

これらの巨大津波対策による多様な効果は、図-19のようにまとめられる。これらの効果は災害時に発現するものと平常時に発現するものに大別される。こうした効果を考える際、大規模な津波災害は通常災害と比較して広い範囲に及ぶため、その対策の効果も通常災害よりも広い範囲で発生すると考えなければならない。

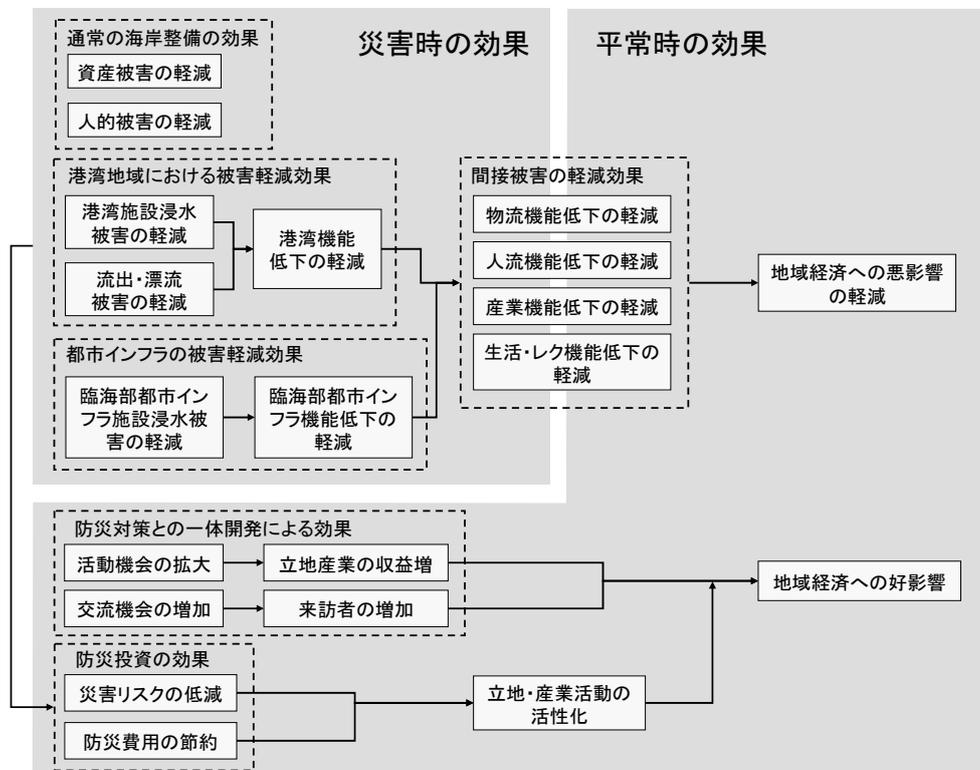


図-19 巨大津波対策の多様な効果

#### 4. 3 対策の基本的な考え方

巨大津波対策は、平成 23 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震津波による大災害が発生するまではあまり検討されていなかった。巨大津波は発生頻度が極めて低いため、公的な災害対策の検討の外におかれていたのではないかとと思われる。しかし東日本大震災の発生によって、その取組姿勢が大きく転換したかのように見える。非常に発生確率の低い津波であっても、一度それが発生すれば、津波が来襲する地域に壊滅的な被害をもたらす、地域の人々の生活や経済や財政に危機的な状況をもたらす。さらには国家の経済や財政等をも危機的な状態に陥れてしまうことを経験したからである。

地域に壊滅的な被害をもたらす巨大津波を完全に防ぎ止めるためには、津波の巨大な力に耐える構造物を切れ目なく海岸線に構築しなければならないが、そのような防御ラインを形成するためには巨額の資金が必要となる。そのうえ、巨大で頑強な防御ラインを形成したとしても、津波が来襲しない間は効果を発揮しないために、そのことに対する投資の有効性を実感することが難しい。

前述のような巨大津波に対する対策を進める際の問題点を克服していくためには、次の 2 つの考え方を併せた政策方針を持つことが必要である。第一に、非常に発生頻度の低い津波だとはいえ、大規模な被害をもたらす津波については、発生頻度が非常に低いという理由だけで対策を検討しないことをしない、ということである。言い換えれば、巨大な津波に対する「備えを怠っていた」という後悔をしないようにすることである。第二に、巨大な津波に備えるためだからといって、後に効果に見合った投資であったと納得することができないような過剰な投資をしないことである。つまり、「無駄な投資をしたと後悔しない」ようにすることである。これら二つの政策方針を併せたものを日本版の **No Regret Policy**（後悔しない政策）とし、巨大津波に対する対策を検討していく際の基底となる考え方とした。

また、巨大津波による大規模な沿岸域災害を防ぐための具体的な検討においては、**No Regret Policy** のもとで次の 3 点が重要であると整理された。第一に、様々な事物の外部経済効果を活用することである。ある主体の経済活動が市場を介さずに他の主体によい影響を及ぼすことを外部経済効果という。例えば、RC の建物や海岸林や盛土構造物が存在する場合、それらは構築や利用の意図とは関係なく、津波が来襲した場合には津波に対して一定の抵抗力を発揮する。そうした地域に存在する利用されていない抵抗力を生かした防災対策を考えていくことが一つの方向である。第二に、津波がもたらす悪影響を減殺することを考えることである。巨大な津波を完全に止めることには困難を伴うが、その津波の破壊力を削ぎ、浸水範囲を狭めることはある程度可能である。そうした津波を減殺する性能を高めておけば、被害の規模を低減すると同時に、人命救助、1 次避難、2 次避難、社会基盤の復旧そして生活と経済の再建のスピードを高めることができる。第三に、ソフト対策を強化することである。津波を減殺する性能を活用するという事は津波が陸域に侵入することを許容することであるため、必然的に警報、避難等のソフト対策を強化する必要性が高まる。

## 5. おわりに

平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震で発生した津波により東北地方および関東地方の太平洋岸の港湾が被害を受けた。中でも津波による被害が壊滅的ともいえるものであったのが東北地方の港湾である。被害発生の数日後に、国土技術政策総合研究所は港湾空港技術研究所に協力して現地港湾の被害調査を行った。その後には、被災した施設の復旧のための調査研究を進めるとともに、ダメージを受けた東日本の物流を再生していくために港湾の物流影響に関する調査研究を進めている。

本報では前半で、外航船の寄港データを収集し、分析し、そこから見えてくる東北地方太平洋沖地震津波で受けた物流の変化を定量的に把握した研究の成果を紹介した。さらに情報・データの収集を進め、分析を進め、物流に対する影響の実像に迫りたいと考えている。

後半では H18 年度から H21 年度にかけて調査研究を行った「低頻度メガリスク型の沿岸域災害に対する多様な効用を持つ対策の評価に関する研究」の成果のうち津波に関する成果の一部を紹介した。この研究は平成 16 年 12 月のインド洋大津波と平成 17 年 8 月のハリケーンカトリーナによる大規模な沿岸域災害の発生を受けて開始したものであるが、くしくも平成 23 年 3 月 11 日の直前に研究報告書の原稿案ができあがった。研究のねらいは、それまで対策をあまり検討していなかった巨大な津波や高潮に対して従来型の対策の枠組を超えてどのような対策が考えられるかについて可能性を探ることであり、その着眼点は東日本大震災の発生を受けた現在の状況下においても対策の検討に求められるものである。そしてそれは、各所でなされている津波対策の検討に基底を与えることになったのではないかと考える。この研究は巨大津波に対する対策を考える開始点を与えることはできたが、最終的な解を与えるには至っていない。そのため残された課題の解決に向けた取組が重要であり、そうした研究が積極的に進められることに期待する。

## 参考文献

- 1) 高橋重雄ら：2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報，港湾空港技術研究所資料，No.1231，2011.
- 2) 東北地方整備局撮影
- 3) 瀬間基広・安藤和也・赤倉康寛：東日本大震災による船舶動静及び対米国コンテナ流動への影響，国土技術政策総合研究所資料，No.649，2011.
- 4) 日本海事新聞社：災後クルーズ販売は今・・・，日本海事新聞，7 月 4 日，2011.
- 5) 国土技術政策総合研究所：低頻度メガリスク型の沿岸域災害に対する多様な効用を持つ対策の評価に関する研究，国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告，No.34，2011.