

津波対策計画策定のための人的被害評価手法 ー横須賀市におけるケーススタディー

鳴原 良典¹

¹ 正会員 防衛大学校講師 システム工学群建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)
E-mail: shigi@nda.ac.jp

本研究では、津波対策計画策定のための人的被害評価手法を提案し、横須賀市を対象に適用した。相模トラフ沿いで発生する可能性のある M7～M8 後半クラスの複数の津波イベントに対する人的被害の期待値を算出し、同市の地域間で比較することによって潜在的な津波リスクを示した。その結果、行政の施設等が集中している東京湾内湾側よりも、東京湾外湾側（浦賀～久里浜～津久井）や相模湾側（長井～秋谷）の方が人的被害のリスクが高いことが示された。ただし、リスクが低い地域であっても「最大クラスの津波」が発生する場合は、大きな被害になる危険性がある。

Key Words: tsunami simulation, human loss, tsunami risk, Yokosuka city

1. 背景と目的

2011 年の東日本大震災により、東北地方は甚大な被害を受けたことは記憶に新しい。以降、我が国では想定外の地震や津波に対する不安が一層高まった。関東地方においても、大地震が発生する危険性が高いとされており、自治体毎に地震や津波のリスクを分析し、被害予測やハザードマップの作成を通じて、住民に危険性や避難経路等の周知を促す動きが盛んになっている。その中でも、横須賀市は東京湾の内湾・外湾および相模湾の 3 方向に面しているため、南関東地方でも特に津波のリスクが高いと考えられる。

神奈川県¹⁾によると、相模トラフ沿いの最大クラスの地震 (Mw8.7) により約 4 万 7 千人の死者 (参考値) を想定している。行政が津波対策計画を検討する上では津波による死者をゼロとすることを目指す努力をすべきではあるものの、この規模の被害に完全に対応することは非常に厳しいと考えざるを得ない。一方で、相模トラフ沿いで発生する可能性のある地震は M7～M8 後半クラスでその発生シナリオは多様である²⁾。当然次に来る地震・津波は不明ではあるものの、比較的発生頻度の高い M7 クラスのイベントの可能性が高いと予想できる。したがって、今後発生しうる様々な津波シナリオを考慮したリスク評価が必要であり、その特徴を把握することが津波被害軽減の対策を講じる上で重要である。

そこで本研究は、津波対策計画策定のための人的被害評価手法を提案し、ケーススタディとして横須賀市に適

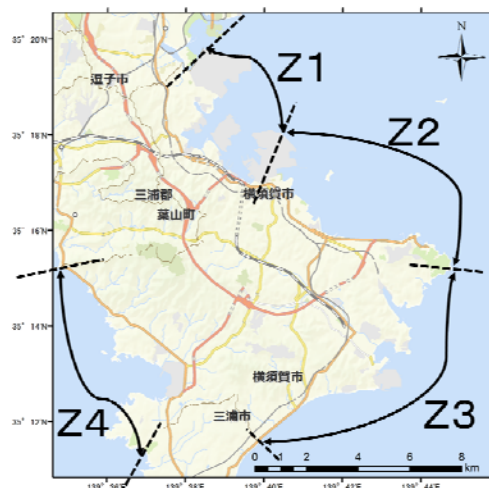


図-1 検討対象地域（横須賀市）

用した。相模トラフ沿いで発生する可能性のある複数の津波イベントに対して人的被害を評価し、同市の地域間で比較することによって潜在的な津波リスクを示す。

2. 検討方法

(1) 対象地域

本研究の対象地域である横須賀市は、地理的条件によって被害が大きく異なることが考えられる。そのため、横須賀市沿岸部を図-1に示すように 4 地域に区分した。

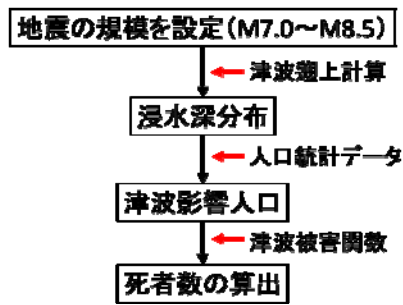


図-2 人的被害の算出手順

Z1（追浜～汐入）と Z2（新港町～観音崎）は東京湾の内湾側に面しており，Z1 は米軍・海上自衛隊基地や工業地帯・マンション等が立地し，Z2 は市の中心部で行政・商業・医療施設が集中している．Z3（浦賀～久里浜～津久井）は東京湾の外湾側に面し，沿岸部に住宅街が広がっている．Z4（長井～秋谷）は相模湾に面しており漁港や観光施設等が点在する．

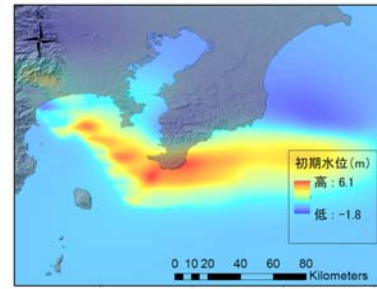
(2) 人的被害の算出方法

図-2 に人的被害を算出する手順をフローチャートで示す．まず，設定した地震の規模に応じて津波遡上計算を行い，横須賀市沿岸の最大浸水深分布を求める．次に，人口統計データと得られた最大浸水深分布を重ね合わせることで津波に曝される人数（津波影響人口）を算出し，浸水深と死亡率に関する津波被害関数を考慮することで津波による死者数を決定する．以下，各検討項目についてその詳細を示す．

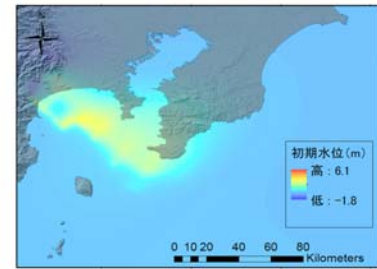
a) 津波遡上計算による浸水深分布の算出

津波遡上計算により横須賀市沿岸域の浸水深分布を求めた．支配方程式を非線形長波理論として Staggered Leap-frog 差分法により数値的に解いた．地形データは内閣府提供のものを使用し，波源域を含む沖合から空間格子サイズを 270m, 90m, 30m, 10m まで順次を小さくするようにネスティング接続を実施した．時間ステップは 0.1 秒，津波の再現時間は 3 時間とした．Manning の粗度係数は，内閣府から提供されたデータを用いており，土地利用状況等に応じて設定した．

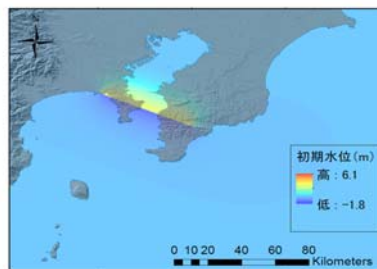
本研究で想定した震源モデルは南関東近傍を震源とし，「最大クラスの津波」として元禄型関東地震（M8.5），また「発生頻度の高い津波」として大正型関東地震（M8.0），三浦一鴨川断層地震（M7.5），東京湾内地震（M7.0），神縄・国府津一松田断層地震（M7.0）を対象とした．地殻変動量は Mansinha and Smylie の方法³⁾により求めた．各震源モデルにより得られる津波初期水位分布を図-3 に示す．なお，陸域の地殻変動量は沈降についてのみ初期条件に加えている．さらに，海岸堤防等の施設は地震により機能不全になると仮定し，地震発生時



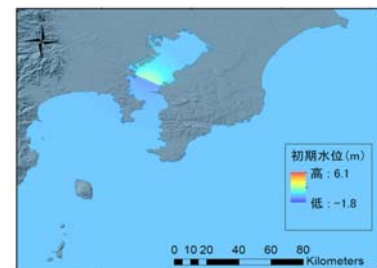
(a) 元禄型関東地震（M8.5）



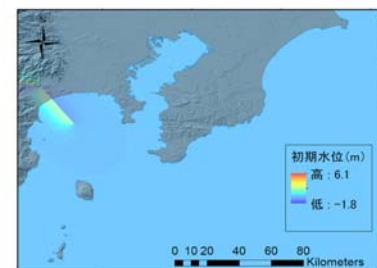
(b) 大正型関東地震（M8.0）



(c) 三浦一鴨川断層地震（M7.5）



(d) 東京湾内地震（M7.0）

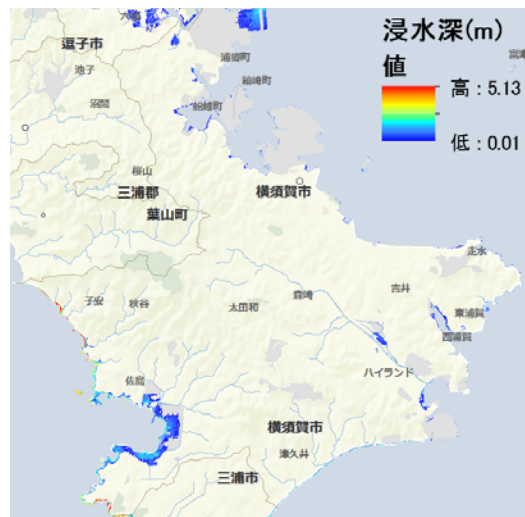


(e) 神縄・国府津一松田断層地震（M7.0）

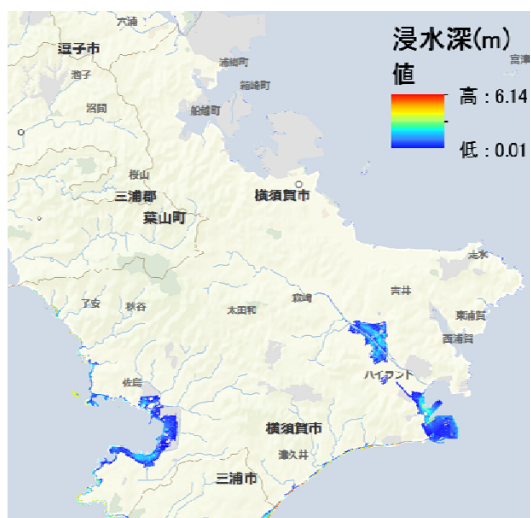
図-3 各地震による津波初期水位分布



(a) 元禄型関東地震 (M8.5)



(b) 大正型関東地震 (M8.0)



(c) 三浦一鴨川断層地震 (M7.5)

図-4 最大浸水深分布

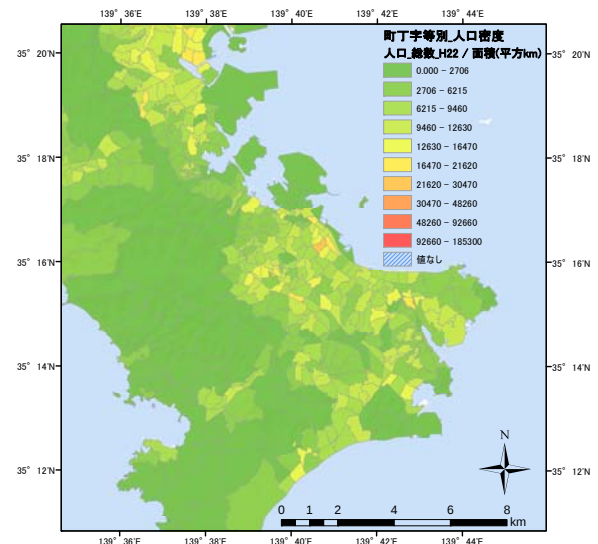


図-5 横須賀市の人口密度分布

の潮位は朔望平均満潮位 90cm に設定した。

得られた津波の最大浸水深分布 (M8.5, M8.0, M7.5) を図-4 に示す。地震の規模が小さくなるにしたがって浸水範囲、浸水深の大きさも小さくなることが確認できる。また、地震の発生位置によって浸水範囲の状況も異なっており、三浦一鴨川断層地震 (M7.5) は久里浜付近 (Z3) で、大正型関東地震 (M8.0) は横浜付近 (Z1) の浸水が顕著になっている。

b) 津波影響人口

津波による人的被害を数値化する方法として、津波影響人口を次式のように定義した。

$$\text{津波影響人口 (人)} = \text{浸水面積 (km}^2\text{)} \times \text{人口密度 (人/km}^2\text{)} \quad (1)$$

浸水面積は、前項の津波計算で得られた 10m 空間解像度の浸水深分布と平成 22 年度の国勢調査を基にした横須賀市の町丁別人口密度 (図-5) を重ね合わせることで求めた。具体的には、ArcGIS の「ゾーン統計」機能を用いて、各町丁を構成するポリゴンの範囲内にある浸水したグリッド (閾値 1cm) をカウントすることによって求めた。さらに、町丁毎に浸水深の平均値も計算した。

c) 津波による人的被害

得られた津波影響人口と平均浸水深について、内閣府による浸水深と死亡率の津波被害関数⁴⁾を適用することで津波による死者数を町丁毎に算出した。図-6 に津波被害関数の概形を示す。津波浸水深が 1m を超えると死亡率は 100%になる。なお、本研究において避難率はゼロと仮定した。

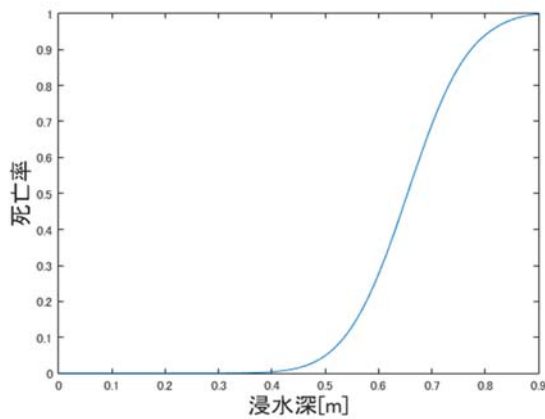


図-6 浸水深と死亡率に関する津波被害関数（内閣府⁴⁾）

(3) 津波による人的被害の期待値

前節で示した手法によって算出される死者数は1つの津波イベントに対するものであるが、本研究では、複数のシナリオを考慮した津波による人的被害の期待値 E を以下の式から評価する。

$$E = \frac{\int p(M)D(M)dM}{\int p(M)dM} \quad (2)$$

ここで、 $D(M)$ はあるマグニチュード M の津波で発生する死者数（同じマグニチュードのイベントが複数ある場合はその平均値）、また $p(M)$ は地震の発生頻度の密度関数である。藤間・樋渡⁵⁾は、防潮堤などの施設の供用期間（50年間）の地震の発生頻度として、グーテンベルク・リヒター則（GR 則）を基に以下の関数形を使用している。

$$p(M) = p_0 10^{-b(M-M_0)} \quad (3)$$

ここで、 $p_0=1$ 、 $M_0=8$ 、 $b=1$ とすると M8 以上の地震の発生回数を 0.43 回（再現期間 115 年）と設定したことになる。本研究で対象としている相模トラフ沿いの海溝型地震の再現期間は M7 クラスの地震では 23.8 年、大正関東地震では 200 年～400 年、元禄関東地震では 2,300 年程度とされているため²⁾、上記の条件に合致するようにパラメータを設定した（表-1）。

3. 解析結果

(1) 単独の津波イベントに対する人的被害

本節では、津波浸水深、浸水面積、津波影響人口、死者数を算出した結果を基に各項目について地域毎にまとめ、元禄型関東地震（以下、元禄型 M8.5）と大正型関東地震（以下、大正型 M8.0）についてそれらの特徴を比較する。

表-1 各地震の設定パラメータと再現期間

M	M0	p0	b値	再現期間（年）
7.0	8.0	0.45	1.00	26
7.5	8.0	0.45	1.00	81
8.0	8.0	0.45	1.48	379
8.5	8.0	0.45	1.48	2081

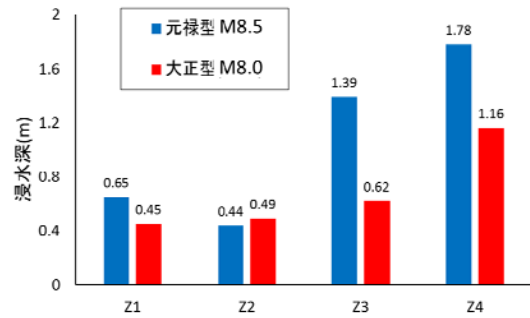


図-7 津波浸水深（各地域の平均値）

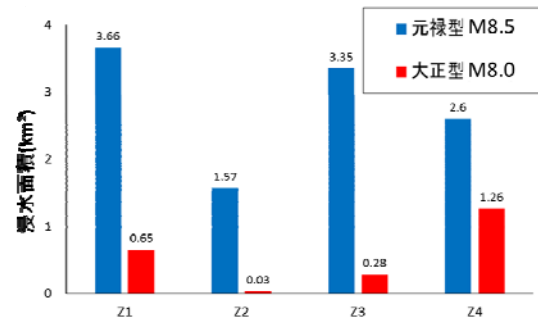


図-8 津波浸水面積

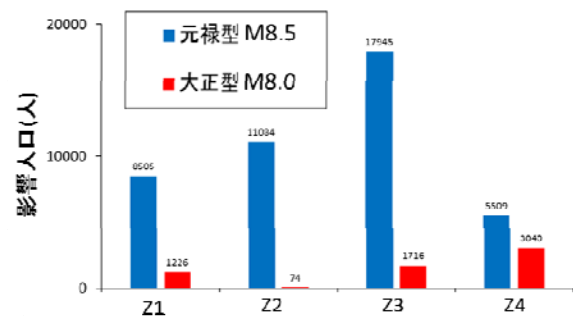


図-9 津波影響人口

図-7 に地域毎の津波浸水深の平均値を示す。全体的に元禄型 M8.5 は大正型 M8.0 よりも大きくなる傾向にあり、また地域別に比較すると Z1, Z2 よりも Z3, Z4 の方が大きい。Z3 と Z4 は東京湾の外湾側および相模湾側に面しており相模トラフから発生・来襲する津波の影響を直接受けやすく、さらに湾の形状が津波のエネルギーを集中させやすいことが要因として考えられる。次に、浸水面積（図-8）については元禄型 M8.5 が大正型 M8.0

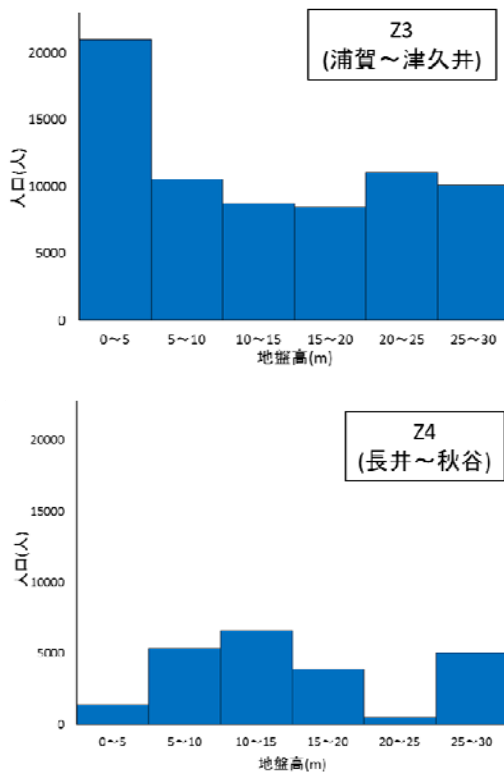


図-10 Z3, Z4における地盤高と人口の関係

を大きく上回り、特に低平地である Z1～Z3 は影響を受けやすい。上記の浸水面積と人口密度のデータから津波影響人口を算出した結果が図-9 である。この中では Z3 が津波の影響に最も曝されている地域であることが分かる。Z2 は人口密度が一番大きい地域であるものの、浸水範囲が狭いため相対的に影響が小さくなった。また、元禄型 M8.5 について Z3 と Z4 を比較すると、浸水深、浸水面積ともにそれほど差がないにもかかわらず津波影響人口としては大きな差が見られる。これは、両地域の人口自体に差があることや、図-10 に示すように、Z3 では地盤高 5m 未満の低平地に人口が集中していることが理由であると考えられる。

地域毎の死者数を算出した結果が図-11 である。横須賀市全体で大正型 M8.0 の場合 3,213 人、元禄型 M8.5 の場合 30,896 人となった。なお、平成 27 年の神奈川県想定¹⁾によると、大正型 M8.0 の場合 2,380 人、元禄型 M8.5 の場合 34,360 人（両方とも死傷者）であるため、本手法で算出された結果は概ね妥当であると判断できる。地域別に見ると、Z1～Z3 では「最大クラスの津波」の規模である元禄型 M8.5 が発生した場合、大正型 M8.0 に比べて被害が大幅に増加する可能性がある。特に、住宅地の多い Z3 では他の地域よりも突出して危険性が高い。一方で、Z4 では大正型 M8.0 でも 2,000 人程度の死者となる可能性があり、同地域では M7.4, M7.0 でも比較的高い津波が来襲するため、死者数が大きくなること

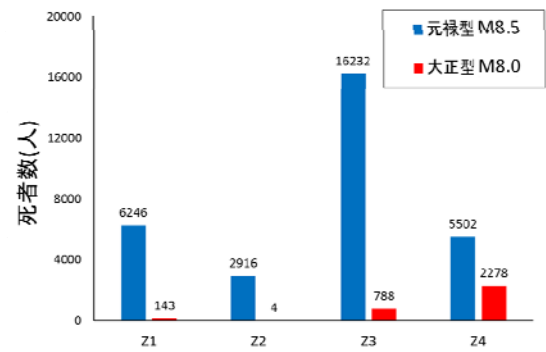


図-11 津波による死者数

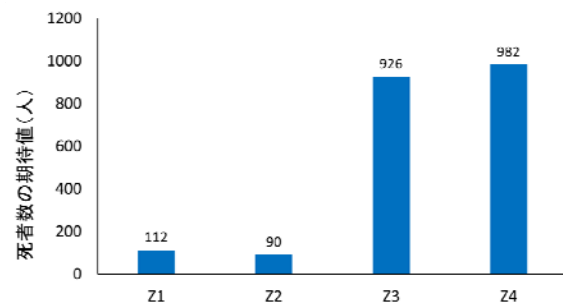


図-12 津波による死者数の期待値

が確認された。

(2) 人的被害の期待値から判断される津波リスク

対象とする全津波イベントから算出した死者数に対し、2.(3)で述べた方法を用いて各地域の死者数の期待値を求めた。結果を図-12 に示す。これは、M7 から M8 後半クラスの津波イベントが 1 度発生した際に見込まれる平均的な死者数を意味する（ただし、ここで示された値は設定条件によって左右されるため絶対的なものではなく、地域間の津波リスクを比較することを目的とした相対的なものであることに注意されたい）。これによると Z3, Z4 では Z1, Z2 に比べ約 10 倍となり、人的被害の津波リスクとしては、行政の施設等が集中している東京湾内湾側よりも、東京湾外湾側（浦賀～久里浜～津久井）や相模湾側（長井～秋谷）の方が高いといえる。

4. 結論

本研究は、津波対策計画策定のための人的被害評価手法を提案し、横須賀市を対象に適用した。複数の津波イベントに対する人的被害の期待値を算出し、地域間で比較することによって同市の潜在的な津波リスクを示すことができた。ただし、リスクが低い地域であっても「最大クラスの津波」が発生する場合は、被害が大幅に増加する危険性がある。人的被害の期待値の算出に際しては、

津波避難率や地震の発生率・発生パターン等が影響するため、適宜パラメータの感度分析が必要である等の課題が残るものの、地域間での津波リスクの差を明らかにするという目的を鑑みると、本研究の設定でもある程度の傾向は把握できていると考える。今後は経済損失も含めたリスク評価も必要ではあるが、本研究で示された結果が同市の津波対策を検討する上での一助となることを期待する。

謝辞：本研究でのデータ整理等において、当時防衛大学校建設環境工学科の学生であった寺岡駿輔君の協力にここで謝意を表す。

参考文献

- 1) 神奈川県：地震被害想定調査報告書，<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5151/p15579.html>，参照 2016-09-01
- 2) 地震調査研究推進本部：海溝型地震の長期評価，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf，参照 2016-09-01
- 3) Mansinha, L. and Smylie, D. E., The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No.5, pp.1433-1440, 1971.
- 4) 内閣府: 南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要，http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/2_2.pdf，参照 2016-09-01
- 5) 藤間功司，樋渡康子：津波防災施設の最適規模と残余リスクを明示する手法の提案，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69, No.4（地震工学論文集第 32 巻），I_345-I_357，2013.

A PROBABILISTIC ASSESSMENT OF HUMAN LOSSES DUE TO TSUNAMIS FOR THE TSUNAMI MITIGATION PLANNING

Yoshinori SHIGIHARA

This study proposed new probabilistic approach to assess human losses due to tsunamis and applied it to Yokosuka city. We conducted inundation simulation of tsunami occurring 7-8grater magnitude earthquakes in the Sagami Trough off the Kanto region. Obtained expected values of human loss indicated that the tsunami risk much differ from place to place, some residential area have high level risk of human loss. The area of low level risk, however, has also the potential of serious damage if "the worst case tsunami scenario" occurs.