

津波防災計画策定における 数値計算利用の効果

北村 福太郎¹・鳴原 良典²・藤間 功司³

¹防衛省地方協力局

(〒162-8801 東京都新宿区市谷本村町5-1)

E-mail: kitamurafuk@mod.go.jp

²防衛大学校建設環境工学科助教 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

E-mail: shigi@nda.ac.jp

³防衛大学校建設環境工学科教授 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

E-mail: fujima@nda.ac.jp

南海地震の浸水危険地域に位置するT事業所を例とし、ハザードマップから得られる情報をもとに立案した津波防災対策と、数値計算を実施して立案した対策の比較を行った。ハザードマップからは、事業所地点での詳細な情報が必ずしも得られないため、津波を大きく、来襲時間を早く見積もってしまう。そのため、効果的な被害軽減対策を立てることができず、数値計算を行った場合に比べ、結果的に損害が大きくなる危険性がある。また、防災対策に大きな費用が発生する。数値計算を利用すると、事業所に来襲する津波の詳細な情報を知ることができるため、有効な対策を立案できると期待できる。防災対策や事業継続計画の立案に、数値計算を利用することは有効である。

Key Words : *Tsunami hazard mitigation, Business continuity planning, Tsunami numerical simulation, Inundation depth, Arrival time*

1. はじめに

海岸付近に事業所等が存在する場合には、津波防災計画、事業継続計画を策定し、被害を最小限に抑えるとともに、被害を受けた場合でも事業を継続する方策を練っておくことが重要である。新たな地震発生が懸念される東北地方太平洋沖地震の周辺地域や、以前から可能性が指摘されていた東海・東南海・南海地震の影響を受ける地域では、特に計画の策定が急務である。

津波による被害の予測・再現や津波警報等において、津波を評価するツールとして数値計算が広く用いられている。しかし、一事業者が津波防災計画や事業継続計画を策定する場合、ハザードマップを使用すれば安全側の対応をしたことになるという印象があることや、個別に津波数値計算をコンサルタント会社に依頼すると新たな費用が発生することから、数値計算を実施することに躊躇があると思われる。

しかし、数値計算の実施によって計画がより現実的になり、数値計算に要する費用以上の便益が期待できるなら、数値計算の実施を躊躇すべきではないだろう。そのため、数値計算を利用するとどのよう



図-1 T事業所の位置

な効果が期待できるかを検証しておく必要がある。ここでは、南海地震の浸水危険地域にあるT事業所(図-1)を例にとり、数値計算を行わずにハザードマップから簡易的に津波を評価した上での計画策定と、数値計算を実施して津波を評価した上での計画策定を行ってみた。両者を比較することにより、計

画策定において数値計算を利用することの効果を検証する。なお、T事業所は重機などを所有し、百人以上が勤務する大規模な事業所で、災害が発生した場合には所有する装備を利用して災害復旧活動に協力する意思を持っている。したがって、T事業所が事業を継続できるかどうかは、周辺地域にとっても重要である。

2. ハザードマップによる計画策定

(1) ハザードマップによる津波の評価

地元自治体（A市）が公表している想定南海地震津波のハザードマップ¹⁾の一部を図-2に示す。ここでは、ハザードマップから津波の想定を行い、T事業所に対して南海地震に対する津波防災計画を策定するものとする。A市及び近隣のK市のハザードマップから読み取れる情報を表-1に示す。

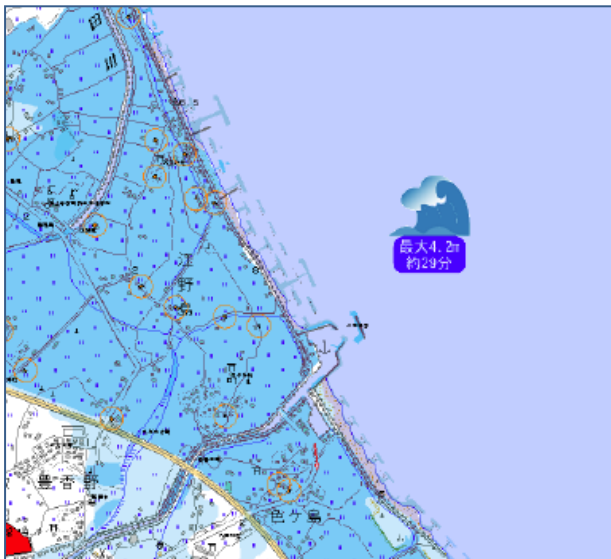


図-2 T事業所周辺のハザードマップ

表-1 ハザードマップから得られる情報

	A市津波ハザードマップ	K市津波ハザードマップ
T事業所の浸水深	1m～3m	—
近隣海岸での最高水位	4.2m (I海岸 A市側)	4.0m (W港) 3.5m (I海岸 K市側)
近隣海岸への津波到達時間	29分 (I海岸 A市側)	42分 (W港) 34分 (I海岸 K市側)

ここで、ハザードマップでは求めたい場所の浸水深が明確に示されず、ある程度の幅を持った数字として提示されている。このような場合、津波防災計画策定においては安全の確保を優先する必要があるため、危険側の浸水深を設定して対策を検討する必要がある。よって、この場合浸水深は3mとして検討を進める。津波到達時刻に関しても、T事業所で

の到達時刻が明示されていないため、近隣海岸への到達時刻から推定する必要がある。そこで、陸上での津波の進行速度を、

$$v = \beta \sqrt{gh} \quad (1)$$

と仮定する。ただし、 g は重力加速度、 h は浸水深である。松富ら(2005)²⁾によると β は0.7から2.0程度になるため、 $\beta=2$ 、 $h=3\text{m}$ とすると、進行速度は $v=11\text{m/s}$ となる。したがって、海岸線到達からT事業所（海岸から約500m）まで1分かからないで到達すると考えられる。したがって、I海岸（A市側）への到達とT事業への到達はほぼ同時刻と判断される。T事業所における、推定される津波の大きさ等を表-2に示す。

表-2 T事業所における津波詳細(ハザードマップ)

最大浸水深	3m
津波到達時間	地震発生から29分後
波の侵入方向	不明

(2) ハザードマップから判断される避難計画

T事業所への津波到達は地震発生から約30分後である。地震直後には従業員のけがの確認や、火災などを防ぐためにも被害確認を確実に実施することが必要であり、避難のための時間的余裕は少ない。したがって、津波による人的被害を出さないようにするため人員の避難を最優先に考えるべきであり、重機や物品等の搬出はできないと判断される。人員は津波に耐えうる鉄筋コンクリート造の建物へ避難することで被害を最小限にとどめることが可能である。

(3) ハザードマップから判断される被害予測

T事業所で予想される浸水深は3mである。首藤ら(1992)³⁾によりまとめられた津波の浸水深と建物倒壊の関係では、浸水深3mでは木造家屋は破壊するものの、RC造の建物は持ちこたえる。T事業所の構造物のほとんどがRC造なので、建物倒壊には至らないと考えられる。しかし、建物1F部分はほとんど浸水することになるため、電気・通信設備は壊滅状態になることが考えられる。また、下水管への津波浸入による下水処理機能低下及び停止が考えられる。さらに、発電施設が冠水することで停電が発生し、受水槽の配水ポンプ停止による給水機能停止も考えられる。なお、施設以外にも、重機や物品等も3m近くの浸水では使用が不能になることが考えられる。その結果、日常業務が不可能になるだけでなく、所有する重機等を利用しての災害復旧活動への協力なども難しくなると考えられる。これらの被害予測をまとめると表-3のようになる。

(4) ハザードマップから判断される津波対策

津波対策盛土として現在の地盤高（GL+2.0m）より3.0m高くする（GL+5.0mの盛土設置）ことでT事業所における津波の浸入を防ぐことができると考えられる。このGL+5.0mの盛土設置には概算でお

よそ23億円（盛土対策・液状化対策）の対策費用が必要である。ただし、本当にこの対策で津波の浸入を防ぐことができるかどうかは保証されない。

表-3 T事業所の被害予測（ハザードマップ）

項目		被害予測
施設	建物	倒壊なし
	電気設備	壊滅
	通信設備	壊滅
	水道	使用不能
	下水道	使用不能
装備等	重機	使用不能
	その他物品	使用不能
事業	日常業務	障害あり（電気・通信施設使用不能）
	災害復旧活動	障害あり（重機・物品等使用不能）

3. 数値計算による計画策定

(1) 数値計算による津波の評価

日本近海で発生する津波の計算では、非線形長

波理論が使われることが多い。岩瀬ら(2002)⁴⁾は、三陸や日本海中部での津波計算では近地津波でも分散項を考慮する必要があるが、宝永や南海地震津波では必要ないと結論付けている。したがって、ここでは以下の非線形長波理論を使用した。

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{gn^2}{D^{\frac{4}{3}}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\frac{gn^2}{D^{\frac{4}{3}}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3)$$

ただし、 η は水面変動、 (M, N) は (x, y) 方向への線流量を表す。 $D(=h+\eta)$ は全水深(h は静水深)、 g は重力加速度、 n はManningの粗度係数である。

計算方法には、空間的な計算点の配置にStaggered格子を使用し、時間差分にleap-frog法を使用して差分化する、津波計算の標準的な手法を用いた。また、格子は、深海域で大きな格子を、浅海域で小さな格子を使用し、two-wayのネスティングを行った。地形データに関しては、1次領域(1350m格子)から4次

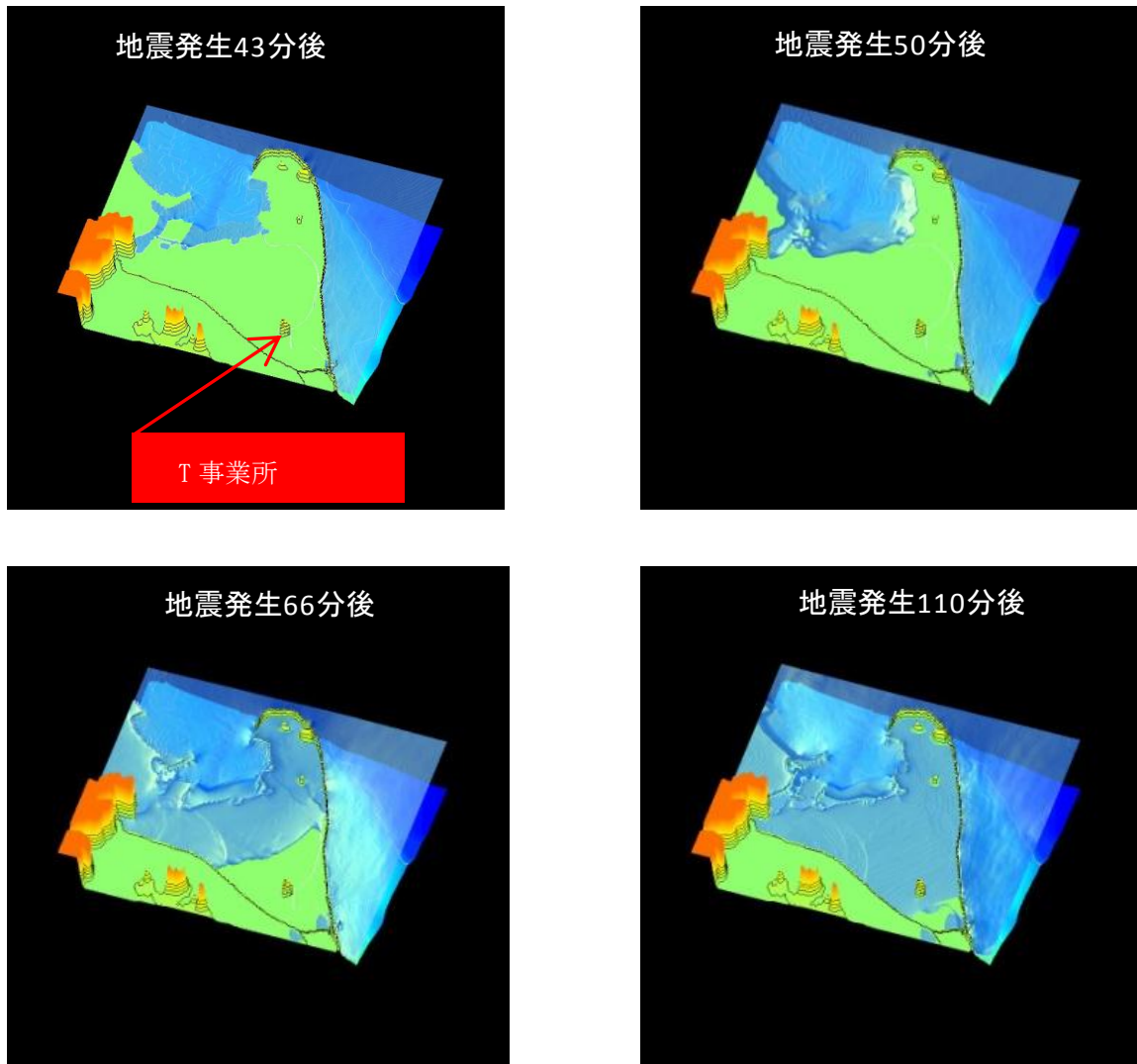


図-3 浸水状況

領域(50m格子)までは中央防災会議のデータを用いた。また、T事業所の建物配置を考慮した計算を行うため、現地調査やT事業所のCADデータなどをもとに10m格子の5次領域のデータを作成した。粗度係数の設定は高潮・津波ハザードマップマニュアル(内閣府等, 2004)⁵⁾を参考に土地利用状況を考慮して設定した。

波源は、中央防災会議の南海地震、南海・東南海地震の同時発生、南海・東南海・東海の同時発生などのケースを用いて試算したが、T事業所ではいずれも大きな違いがなく、僅かに南海地震の単独発生の場合の津波到達時間が速かったため、南海地震単独発生の波源モデルを使用した。

図-3に、津波の浸水状況を示す。図から、T事業所へ来襲する津波は、最も近いA市のI海岸の堤防を越流して来るわけではなく(若干、河口からの侵入はある)、ほとんど北側のK市から回り込んでくる事が分かった。津波は国道55号線の盛土まで到達し、国道55号線と堤防に挟まれた平野部全体が浸水する。

図-4に、K市W港付近とT事業所中央における浸水深と流速の時系列を示す。K市W港付近では津波が地震後40分程度で到達する(表-1と合致)が、T事業所中央に達するのは大体1時間40分後である。最大浸水深もK市W港付近での2mに対し、T事業所では1.5mである。つまり、浸水深は表-1の通り1-

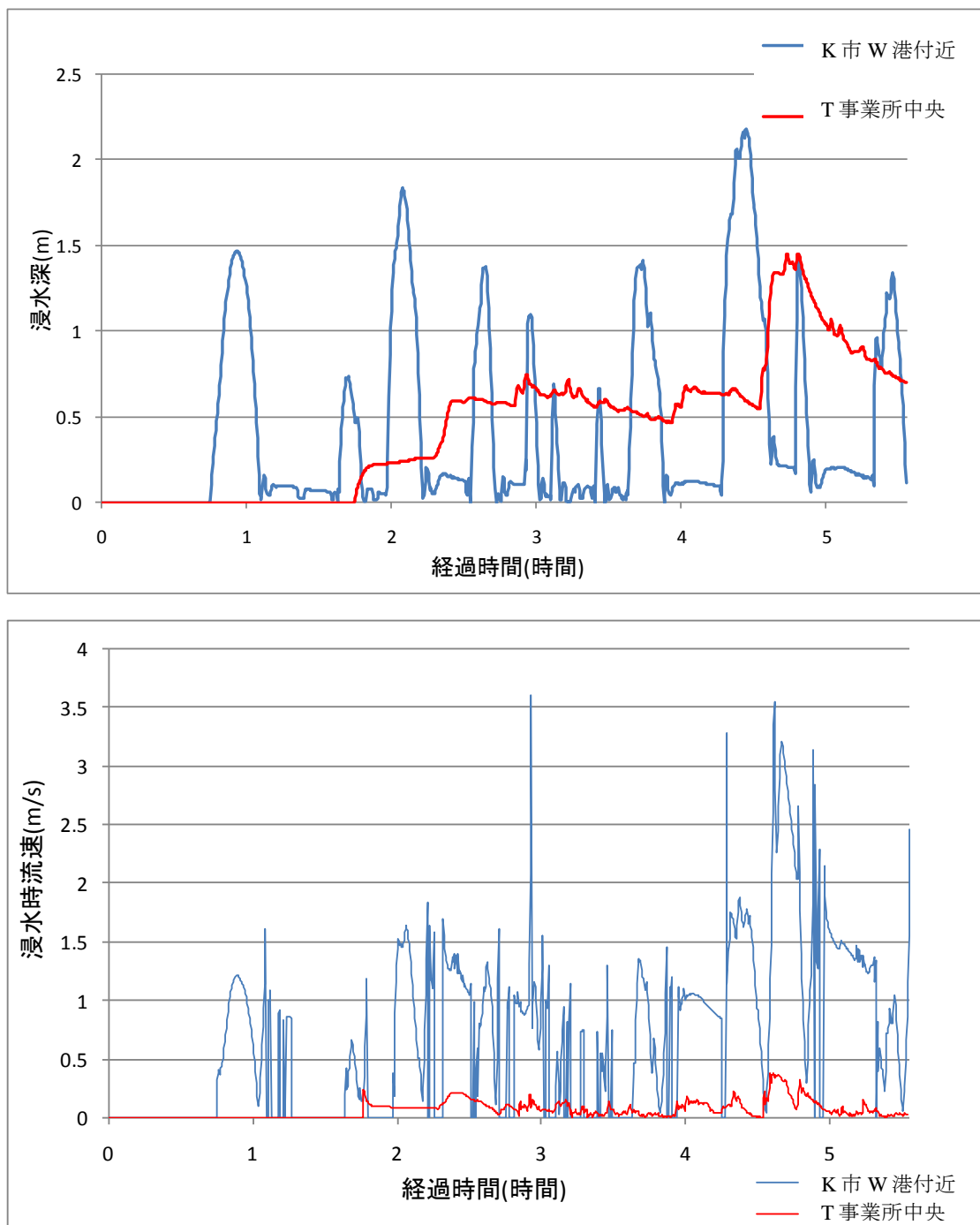


図-4 K市W港付近とT事業所中央における浸水深と流速の変化

3mの範囲であるが、その範囲の平均よりも小さい値であることが分かった。流速に関しても、K市W港付近では3m/s程度になることもあるが、T事業所内では0.5m/sにも達しない。このことから、ハザードマップから推定した津波よりも、破壊力が小さな津波であると解釈できる。表-4に、数値計算から得られる津波の詳細を示す。ただし、最大浸水深、最大流速は、T事業所内の最大値である。

表-4 T事業所における津波詳細(数値計算)

最大浸水深	1.6m (地震発生から280分後)
津波到達時間	地震発生から98分後
波の侵入方向	K市W港の方向から
最大流速	0.4m/s

(2) 数値計算から判断される避難計画

T事業所付近への津波到達は地震発生からおおよそ98分後と時間的に余裕がある。また、事業所に最も近い東側の海岸から浸入するのではなく、K市側(北西側)から陸地を遡上してくるので、K市の情報を収集することで、実際の津波の状況を早期に把握することができると考えられる。

重機等は津波浸水境界となる国道55線の西側へ脱出させることで被害を軽減でき、人員は建物内へ避難することで津波被害を少なくできる。

(3) 数値計算から判断される被害予測

T事業所中央にて約1.5m程度の浸水が発生するということが分かった。また、浸水時の最大流速が0.4m/s程度とあまり速くないことから、建物の破壊には至らないが、建物内の浸水および発電機の浸水による電気・通信施設の機能停止、下水管への津波浸入による下水処理機能低下及び停止が考えられる。また、停電の影響により、受水層の配水ポンプ停止による給水機能停止も考えられる。なお、海水の浸入により、持ち出しきれない物品等が使用不能になることが考えられる。装備品・通信施設が使用不能になることから、業務の継続には問題が発生するが、重機等の被害がないので、災害復旧活動への協力は可能である。表-5は被害予測の要約である。

(4) 数値計算から判断される津波対策

T事業所の浸水深は中央部で1.5m、最大でも1.6mである。そこで、図-5のように、グラウンドは現地盤(GL+2.0m)のまま、建物付近を1.5mまたは1.6mさらに嵩上げすることを検討する。この条件で数値計算を行ったところ、建物への浸水をゼロに抑えられることが分かった。

建物への浸水をゼロにできることから、表-6に示すように、ほとんど無被害にすることが可能である。なお、この予測では重機を盛土上へ避難させれば無被害になるが、周辺が浸水し、なかなか水が引かないことも考えられるため、念のため国道55号以西に避難させるべきかもしれない。この対策費用は概算でおおよそ20億円と見積もられる。

表-5 T事業所の被害予測(数値計算)

項目	被害予測	
施設	建物	倒壊なし
	電気設備	壊滅
	通信設備	壊滅
	水道	使用不能(地震による被害あり・公共サービス停止可能性)
	下水道	使用不能(地震による被害あり・公共サービス停止可能性)
装備等	重機	被害なし(浸水地区外へ避難)
	その他物品	一部使用不能
事業	日常業務	障害あり(電気・通信施設使用不能)
	災害復旧活動	障害なし

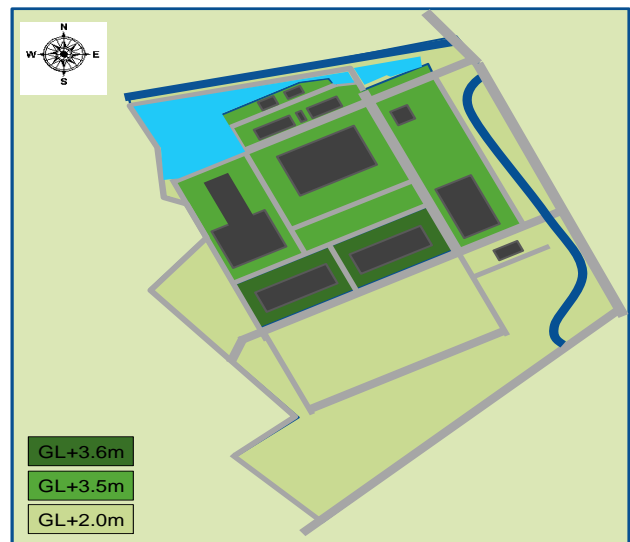


図-5 津波対策後の地盤高

表-6 対策後のT事業所の被害予測(数値計算)

項目	被害予測	
施設	建物	倒壊なし
	電気設備	被害なし
	通信設備	被害なし
	水道	被害なし(地震による被害あり・公共サービス停止可能性)
	下水道	被害なし(地震による被害あり・公共サービス停止可能性)
装備等	重機	被害なし(盛土上へ避難)
	その他物品	被害なし
事業	日常業務	障害なし
	災害復旧活動	障害なし

4. 両者の計画による被害の差

表-3と表-5は、それぞれの方法で想定した津波が来襲するという仮定の下での被害予測である。すなわち、異なる外力に対する被害予測であり、同じ条件下での比較ではない。さて、ハザードマップから防災計画を立てた方がより大きな津波に対応する計画になっているわけだから、同じ津波が来襲すると仮定すればハザードマップから防災計画を立てた方が被害が少なくなるようにも感じられる。ここでは、それを確かめよう。

ここでは簡単のため、数値計算で予測した通りに津波が来襲すると仮定する。つまり、数値計算をもとにした津波防災計画の下での被害は表-5の通りである。

次に、ハザードマップをもとに防災計画を立てていたときの予測を行う。このときは、防災計画に基づき、地震発生から30分で津波が来襲すると仮定して行動するから、人命の保護を優先させ、装備品の搬出をあきらめ、全員をRC造の建物の屋上などに避難させる。予想した時間に津波は到達しないが、ラジオなどで高知などに津波が来襲したという情報を受け取るはずなので、移動するという決断は簡単には下せない。最悪の場合、人的被害が出る可能性があるからである。そこで、建物に留まり、津波を監視しながら物品等をできるだけ高い場所に移すことになるだろう。その結果、表-3の「その他物品」の被害は軽減できるものの、その他は表-3と同じ結果になると考えられる。

したがって、両者の大きな差は、重機等の搬出ができるかどうかにある。被害金額で言うと、重機など搬出できない装備品の原価償却を考えた残存価額がその差であり、数値計算を用いた方が被害が小さくなる。これが数値計算にかかる費用より大きいかどうかは一概に言えないが、重機を無被害にでき災害復旧活動への協力が可能になることによる周辺地域に対する貢献を考慮すれば、便益は重機などの残存価額以上に大きいと考えるべきだろう。すなわち、ハザードマップから防災計画を立てた方がより安全な対応をするからといって、必ずしも被害が小さくなるわけではない。

5. おわりに

津波防災対策、事業継続計画を策定するにあたっての津波数値計算利用の効果を実証するため、A市にあるT事業所を例として、数値計算を実施せずハザードマップから津波防災対策を検討した場合と、数値計算を実施して対策を検討した場合の比較を行った。

ハザードマップから判断した場合には、必ずしも欲しい情報が得られないため、安全を確保するために厳しい条件を設定することになってしまう。今回の検討の場合、浸水深も大きく、来襲時間も速く評

価してしまうため、貴重な物品を置いて人員だけが避難せざるを得ない。その結果、放置された物品等は使用不能となり、事業所の電気・通信施設が被災するため、事業の継続が難しくなる。また対策を取ろうとすると3mの盛土が必要と判断され、これには23億円（概算）を要する。

数値計算を使用すると、T事業所へは北西のK市から回り込んで津波が来襲することから、1時間以上の時間の余裕を持てることが分かり、浸水深も1.5mと詳細に把握できる。したがって、装備を持ち出して被害を軽減する行動が可能である。また20億円（概算）で無被害とする対策が可能である。

したがって、本検討においては、数値計算を利用することによって、綿密な行動計画策定に必要な情報が入手でき、結果的に被害を軽減できることが分かった。また、無被害にするための対策費を比較すると、数値計算を実施した方が、結局安い経費で対策を実行できる。

以上の結果から、津波防災計画・事業継続計画に数値計算を使用すると費用以上の便益が得られる可能性があり、積極的に数値計算を活用すべきだと結論できる。

ただし、本検討はあくまでもひとつの想定結果であり、数値計算にかける費用以上の便益が常に得られることを保証するものではない。実際には、想定津波に過度に最適化した防災対策は望ましくなく、本論文で行った検討を多くの種類・規模の津波に対して行い、常に人的被害をゼロにしつつも被害金額をも低減できる対応を検討しておくことが望ましいと考えられる。本論文の趣旨は、ハザードマップから防災計画を立てておけば安全側の対応をするはずだから、ハザードマップから防災計画を立てておけばよい、という考えは必ずしも正しくなく、多くの準備をしておけば被害をより少なくできる可能性がある、ということである。

参考文献

- 1) A市：津波防災マップ、
<http://www.city.anan.tokushima.jp/bousai/anai/index.html>
- 2) 松富英夫，榊山勉，Sindhu Nugroho，都司嘉宣，谷岡勇一郎，西村裕一，鎌滝孝信，村上嘉謙，松山昌史，栗塚一範：Banda Acehと周辺における2004年インド洋津波と被害想定からみた課題，海岸工学論文集，Vol.52, pp. 1366-1370, 2005.
- 3) 首藤伸夫：津波強度と被害，津波工学研究報告，第9号，pp.101-139, 1992.
- 4) 岩瀬浩之，後藤智明，藤間功司，飯田邦彦：深海域における波数分散性が近地津波の伝播に及ぼす影響に関する考察，土木学会論文集，No.705/II-59，pp101-114, 2002.
- 5) 内閣府（防災担当），農林水産省農村振興局，農林水産省水産庁，国土交通省河川局，国土交通省港湾局：津波・高潮ハザードマップマニュアル，137p., 2004.

EFFECTS OF USING NUMERICAL SIMULATION FOR PLANNING OF TSUNAMI HAZARD MITIGATION

Fukutaro KITAMURA, Yoshinori SHIGIHARA and Koji FUJIMA

A plan of tsunami hazard mitigation is discussed for a business establishment in the predicted inundation area of Nankai earthquake tsunami, based on a public hazard map. That is compared with the one based on a numerical simulation. It is difficult to obtain the detailed inundation depth and arrival time from the public hazard map. Thus, effective countermeasure may not be conducted by the business establishment. It results the large damage of the business establishment. On the contrary, the detailed information is obtained by using numerical simulation. It is possible for the business establishment to make an effective plan for hazard reduction. Thus, use of numerical simulation is effective for planning of tsunami hazard mitigation and business continuity planning.