

台風経路の違いによる高潮浸水被害への影響

エンジニアリング本部 防災・環境解析部 水圏解析グループ

菊野 拓人

宮野 実佳

1. はじめに

近年、日本における自然災害の激化に伴い、海岸・河川施設等社会基盤への被害、人命へのリスクは非常に大きなものとなっている。2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震は、想定外の地震規模であり、津波による浸水被害は甚大なものとなった。また最近では頻発する集中豪雨による河川氾濫など、これまでには考えられない規模の災害が発生している。

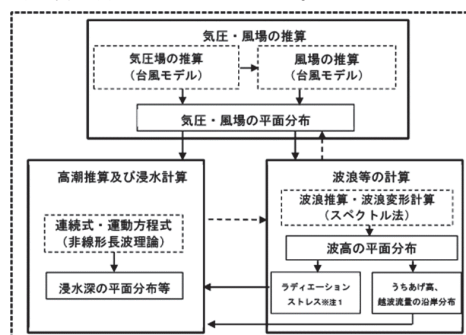
このような状況を背景として、津波防災に関しては「津波防災地域づくりに関する法律」(平成23年施行)に基づく「津波浸水想定の設定の手引き」、また河川氾濫に関しては改定水防法(平成27年施行)に基づく「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」が公表されており、大規模な水害による浸水範囲の把握や対策方法の立案などに対し、手引きに基づく数値シミュレーション技術が役立てられている。

また、台風の大型化にともなう高潮被害も懸念されており、改定水防法に基づいて「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver.1.0」(以下、手引き)が公表され、各都道府県による高潮浸水想定区域図の作成が制度化された。

そこで本稿では手引きに示される手法に則った高潮モデルを開発することを目的とし、その高潮モデルを用いて、台風経路の違いによる高潮浸水被害への影響について確認を行った。

2. 高潮浸水シミュレーションの流れ

手引きに示される高潮浸水計算の基本的な手順を図1に示す。まず始めに高潮浸水計算の入力条件となる台風の気圧、風場の平面分布を、台風モデル(Myersの式など)を用いて算出する必要がある。また、波浪推算・波浪変形計算(スペクトル法)から求められるラディエーションストレスを用い、高潮浸水計算においてウェーブセットアップ(沿岸域で波浪が砕波する際に生じる潮位上昇)を考慮したモデルを構築する。これらの要素を非線形長波理論に則った高潮浸水シミュレーションモデルに組み込み、浸水深等を算出することとなっている。



※注1：ラディエーションストレス：潮位偏差の計算、ウェーブセットアップを考慮する際に必要となる。

※注2：点線矢印は、結合モデルなど相互作用が考慮できる場合に限る。

(「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver.1.0」より抜粋)

図1 台風による高潮浸水シミュレーションの流れ

3. 高潮モデルの概要

高潮発生の大要因は「吸い上げ」(気圧低下に伴い海面が上昇する現象)および「吹き寄せ」(台風による強風が湾奥に海水を吹き寄せることで海面が

上昇する現象)と言われている。本稿ではこれらの現象による影響を確認するため、台風モデルから求められる気圧、風場のみを外力条件とする高潮モデルの構築を行った。なお、波浪場も考慮した高潮モデルはそのモデル化が複雑であり、本報告までに十分な検討時間が得られなかったため、今後の課題とし本稿では考慮しないものとした。

3.1 台風モデル

高潮浸水シミュレーションの外力条件となる気圧および風場の平面分布は台風モデルを用いて算出する必要がある。手引きによると台風モデルは気圧場に関しては Myers の式を、風場に関しては傾度風の式を基本とすることが示されており、本稿でも同手法を適用した。また、Myers の式の入力条件となる台風位置(経路)および中心気圧などの台風情報は気象庁が公表している各台風のベストトラックデータを用いた。なお、ベストトラックデータは台風によって収録時間間隔が異なるデータもあるため、1 時間毎の台風位置、気圧、風場に補間するようにした。

【気圧場の推算モデル】

$$P(r) = P_c + \Delta P \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \cdots (\text{Myers の式})$$

【風場の推算モデル】

$$U_1(r) = -\frac{rf}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf}{2}\right)^2 + \frac{\Delta P r_0}{\rho_a r}} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \cdots (\text{傾度風の式})$$

$$U_2(r) = -\frac{U_1(r)}{U_1(r_0)} V_T$$

$$V_1 = C_1 U_1(r), V_2 = C_2 U_2(r)$$

$$U_{10} = V_1 \cos(\beta - 60^\circ) + V_2 \cos(90^\circ - \beta + \theta)$$

r	: 台風中心からの距離	ρ_a	: 空気密度
$P(r)$: 地点における気圧	V_T	: 台風移動速度
P_c	: 台風中心気圧	U_1	: 傾度風速
ΔP	: 台風中心示度	U_2	: 台風移動に伴う風速
r_0	: 台風半径	C_1, C_2	: 変換係数
f	: コリオリ係数	U_{10}	: 海面上 10m の風速

3.2 高潮浸水モデル

高潮浸水モデルは非線形形長波理論式に気圧低下による吸い上げ、水面に働く風摩擦の効果等の項を組み入れた式を用いる。基礎方程式を以下に示す。なお、本稿では気圧、風場のみを外力条件とするため、運動方程式の右辺第 6 項のラディエーションストレス項は無視する設定としている。

【連続式】

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

【運動方程式】

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) &= fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho_w} (\tau_{sx} - \tau_{bx}) + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) &= -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w} (\tau_{sy} - \tau_{by}) + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

η	: 水位	S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}	: ラディエーションストレス
M, N	: 流量フラックス	g	: 重力加速度
D	: 全水深	A_h	: 水平渦動粘性係数
P	: 大気圧	ρ_w	: 海水密度
τ_{sx}, τ_{sy}	: 海面せん断応力	f	: コリオリ係数
τ_{bx}, τ_{by}	: 底面せん断応力		

4. 高潮浸水シミュレーション

4.1 計算条件

前章までを踏まえて、高潮浸水シミュレーションモデルを構築し、大阪市を対象とする高潮浸水シミュレーションを実施した。

計算領域は図2に示す範囲とし、地形条件は H24 に南海トラフの巨大地震モデル検討会(内閣府)で公表された地形データを用いた。計算メッシュ幅は領域全体を含む範囲を最大 2430m メッシュとし、順次メッシュ幅を細分化し大阪市が含まれる範囲を最小 30m とした。構造物条件も同公表データを用いた。なお、高潮による浸水計算は 30mメッシュ領域のみに適用するものとした。

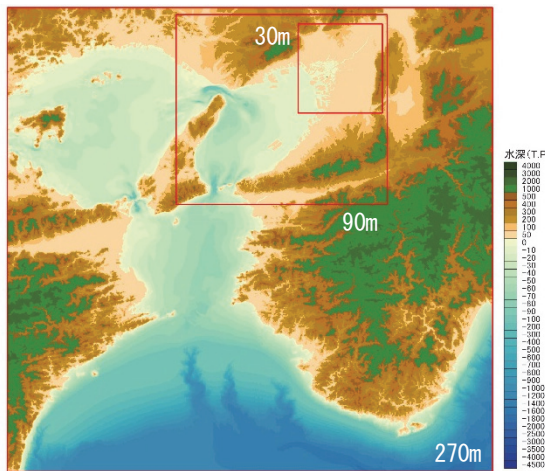
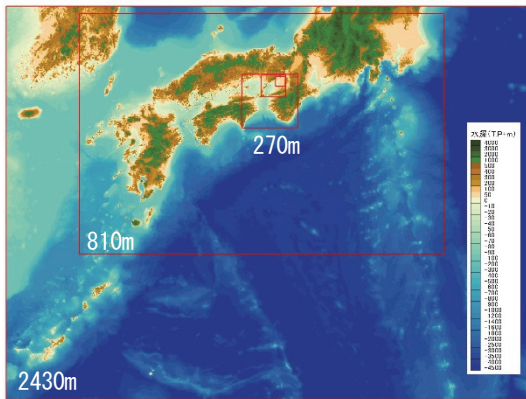


図2 地形分布図（上：広域、下：詳細域）

4.2 検証計算

構築した高潮浸水シミュレーションモデルの妥当性を確認するために、実績台風による再現検証計算を行った。対象とした台風は2004年16号台風とし、検潮所(大阪地点)における観測値および計算値の潮位偏差を比較することで再現確認を行った。計算期間は2004年8月30日午前3時時点から8月31日午後0時までとした。対象台風の経路図を図3に示し、潮位偏差比較結果を図4に示す。これを見ると、台風の勢力が近畿地方にも及ぶと考えられる8/30の午後6時から8/31の午前0時にかけて潮位

偏差が上昇する傾向を観測値、計算値共に確認できる。特にピーク時の偏差量は観測値が1.25m、計算値は1.23mとなり、再現性は良好と考えられる。

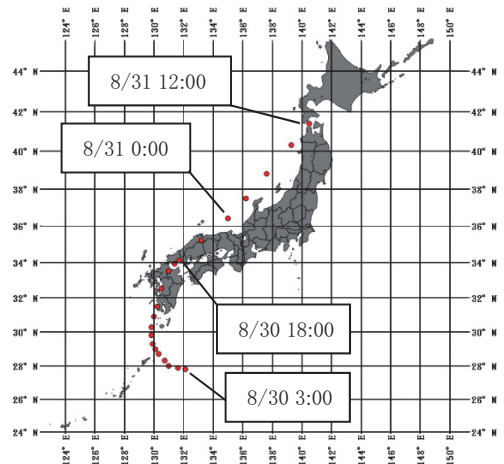


図3 2004年16号台風経路図

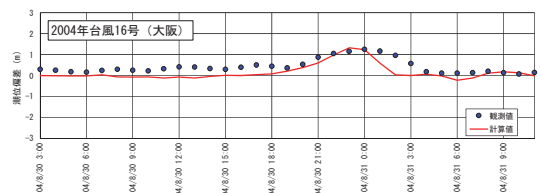


図4 潮位偏差比較結果
(大阪：2004年16号台風)

4.3 浸水予測計算

手引きでは想定台風の規模について中心気圧は室戸台風クラス、最大旋衡風速半径、移動速度は伊勢湾台風クラスを基本とすることが示されている。また進入角度の異なる複数の台風について、それぞれの経路を平行移動させた想定台風経路による検討を行うことも示されている。本稿では大阪湾を対象とする高潮シミュレーションを行うため、台風経路は第2室戸台風および伊勢湾台風ルートの2パターンを基本ルートとし、それぞれのルートに対し、東西方

向に 10km、50km 平行移動した経路を想定ルートとした(図5参照)。計算期間については、第 2 室戸台風経路は概ね北緯 24°、東経 128.5° を台風初期位置とし、そこから大阪湾を通過し同湾への風の影響が充分小さくなると考えられる 29 時間後までを計算期間とした。伊勢湾台風ルートは北緯 24°、東経 136° の位置を台風初期位置とし、第 2 室戸台風経路と同様に大阪湾の風の影響が充分小さくなると考えられる 29 時間を計算期間とした。図 5 の各プロットは 1 時間毎の台風位置を表している。初期潮位は大阪港の朔望平均満潮位(H.W.L)である T.P.+0.83m とした。また、台風の規模を表す気圧、最大旋衡風速半径等は表 2 に示す値を計算期間中一定で与えた。

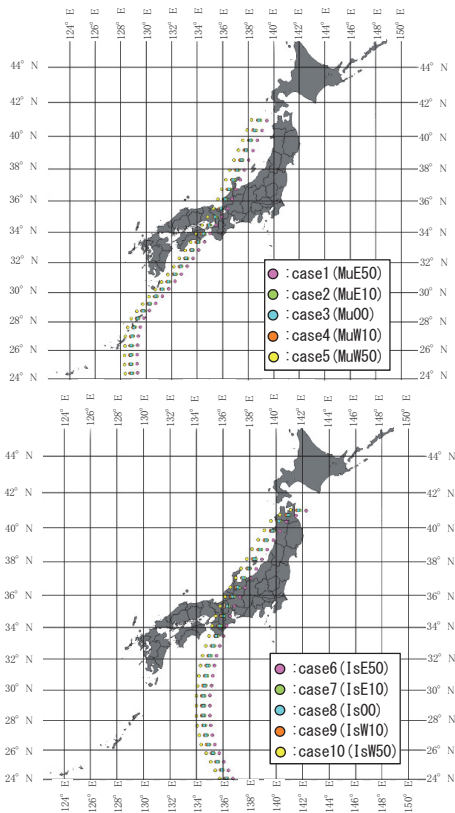


図 5 台風経路図

(上：第 2 室戸台風経路、下：伊勢湾台風経路)

表 1 検討ケース一覧

ケース		内容
1	MuE50	第 2 室戸台風ルートから東に 50km 移動
2	MuE10	第 2 室戸台風ルートから東に 10km 移動
3	Mu00	第 2 室戸台風ルート
4	MuW10	第 2 室戸台風ルートから西に 10km 移動
5	MuW50	第 2 室戸台風ルートから西に 50km 移動
6	IsE50	伊勢湾台風ルートから東に 50km 移動
7	IsE10	伊勢湾台風ルートから東に 10km 移動
8	Is00	伊勢湾台風ルート
9	IsW10	伊勢湾台風ルートから西に 10km 移動
10	IsW50	伊勢湾台風ルートから西に 50km 移動

表 2 台風諸元

項目	設定値	備考
中心気圧	910hPa	室戸台風クラス
最大旋衡風速半径	75km	伊勢湾台風クラス
台風の移動速度	73km/h	伊勢湾台風クラス

5. 結果

図 6 に第 2 室戸台風経路の風ベクトルおよび潮位偏差分布図を示す。これを見ると、台風は 18 時間後に大阪湾に来襲し、それに伴い潮位偏差も大きくなるが、浸水の影響は大阪湾を通過後に大きくなるものと考えられる。

また表 2 および表 3 に第 2 室戸台風経路、伊勢湾台風経路それぞれの浸水面積を示した。これを見ると両想定台風ともに経路を西側 50km に移動させた場合の浸水面積が最も大きくなる結果となった。台風経路を西に移動させたことで、台風中心より東側の北向きの風が大阪湾上に位置するようになり、湾内の南から北方向への吹き寄せが高まると考えられる。さらに台風が北上し大阪湾上において東向きの風が卓越することで大阪湾奥への吹き寄せが高まり、高潮偏差が大きくなると考えられる。図 7 および図 8 に各想定台風の経路を東側 50km に移動した場合、元の経路、西側に 50km 移動した場合の最大浸水分布図をそれぞれ示した。

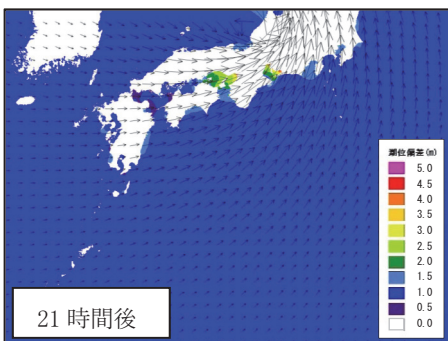
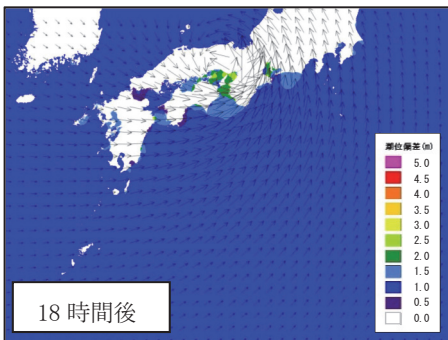
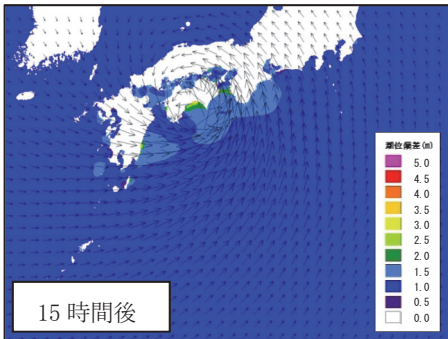
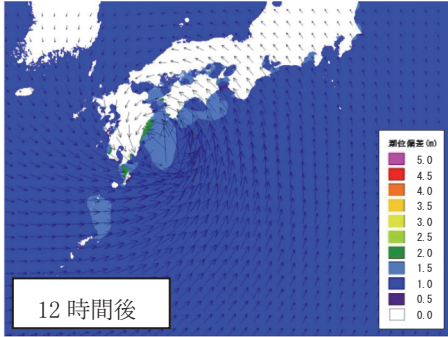


図 6 想定台風（第 2 室戸台風ルート）の風と潮位偏差分布

表 2 浸水面積（第 2 室戸台風経路）

ケース		浸水面積
		km ²
1	MuE50	96.7
2	MuE10	174.0
3	Mu00	187.9
4	MuW10	204.2
5	MuW50	253.1

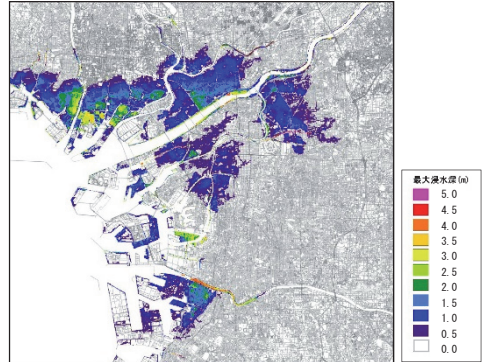


図 7-1 最大浸水深（ケース 1：MuE50）

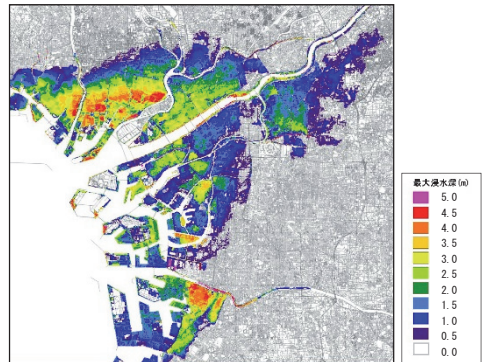


図 7-2 最大浸水深（ケース 3：Mu00）

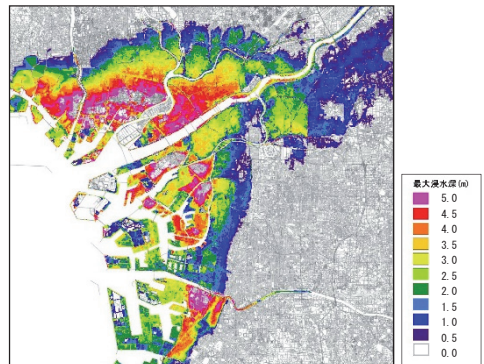


図 7-3 最大浸水深（ケース 5：MuW50）

表 3 浸水面積（伊勢湾台風経路）

ケース		浸水面積 km ²
6	IsE50	17.8
7	IsE10	31.9
8	Is00	35.1
9	IsW10	43.0
10	IsW50	86.8

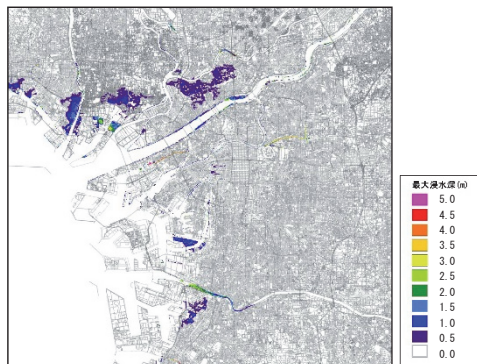


図 8-1 最大浸水深（ケース 6：IsE50）

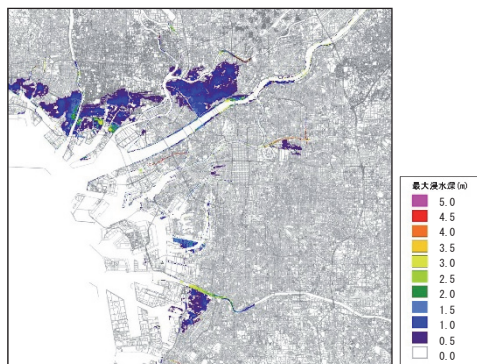


図 8-2 最大浸水深（ケース 8：Is00）

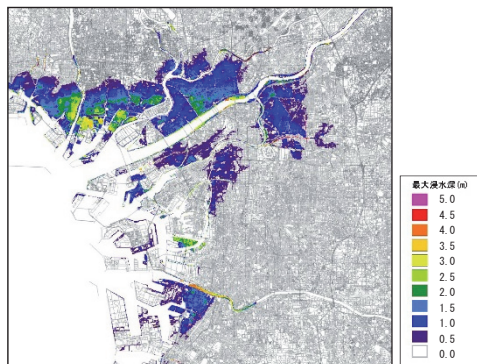


図 8-3 最大浸水深（ケース 10：IsW50）

6. まとめ

「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver1.0」に基づく高潮浸水シミュレーションモデルを構築し、台風経路の違いにより高潮浸水被害の影響が変わることを確認できた。特に大阪湾は想定台風経路を西側に移動することで、吹き寄せの効果が大きくなり、浸水範囲が広がることが考えられる。本稿では経路によって浸水影響範囲に違いが現れることまでを確認したが、実務では高潮浸水被害が最大になる台風経路を選定し、より詳細な検討を行う必要がある。

今後の課題として、手引きに示されている波浪推算によるラディエーションストレスを高潮浸水シミュレーションモデルに組み込むことが挙げられる。また北陸、東北、北海道については台風が温帯低気圧に変わった後の高潮が懸念される。手引きには低気圧の高潮浸水モデルも示されており、これに対応したモデル構築が必要と考えられる。

また、台風来襲時には大雨により河川洪水も懸念されるため、河川氾濫および高潮浸水を複合的に解析できるモデルを構築することで、最悪のシナリオでの検討が可能になると思われる。

<参考文献>

- 1) 「高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver1.0」（平成 27 年 7 月、農林水産省 農村振興局 整備部 防災課 他）
- 2) 「2004 年に発生した台風の特徴と高潮の予測・再現計算」（平成 17 年 9 月、港湾空港技術研究所資料、独立行政法人 港湾空港技術研究所）
- 3) 「ベストトラックデータ」（気象庁）
<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html>