

平成30年台風第21号による高潮浸水深の調査とシミュレーション Field Survey and Simulation of Storm Surge due to Typhoon Jebi 2018

久松 力人*, **・金 洙列***・多部田 茂*

Rikito HISAMATSU, Sooyoul KIM and Shigeru TABETA

要旨: 平成 30 年台風第 21 号は、記録的な高潮を伴い、大阪湾沿岸では広い範囲で高潮による浸水被害がみられた。本報では神戸市・芦屋市・西宮市・尼崎市の一部における高潮浸水深の測定結果、および高潮・波浪結合モデル SuWAT により計算された、神戸市周辺の時系列潮位偏差・高潮浸水深分布・最大有義波高分布を示す。モデルは、神戸験潮所で観測された時系列潮位偏差の増減傾向を概ね再現した。また浸水高は、測定と計算ともに浸水した場所では概ね再現でき、浸水高と地盤高が近い場所では、測定と計算の一方のみが浸水する結果となった。

キーワード: 高潮, 浸水深, 平成 30 年台風第 21 号, SuWAT, 神戸市

1. はじめに

平成 30 年台風第 21 号は、2018 年 9 月 4 日 12 時頃に非常に強い勢力を保ったまま徳島県に上陸後、神戸に再上陸して近畿地方を縦断、日本海を北上した。台風に伴う高潮により、大阪湾の大阪・神戸の 2 つの験潮所では、過去最高の潮位を観測した。大阪の最大潮位は標高 329 cm、最大潮位偏差は 277 cm であり、神戸の最大潮位は標高 233 cm、最大潮位偏差は 181 cm を記録した¹⁾。

2015 年関東東北豪雨を契機に、内閣府は防災基本計画を修正し、水災リスクの水害保険への移転を推進している²⁾。水害発生後に迅速に損害を査定し保険金が支払われることは、被災者の生活再建にとって極めて重要である。建物等の被害は浸水深から推定でき、そのため災害発生後の浸水深分布の把握が求められる。

本報では、まず平成 30 年台風第 21 号による神戸市・芦屋市・西宮市・尼崎市の一部の高潮浸水深を測定する。次に高潮・波浪結合モデル (SuWAT) により潮位偏差・浸水深を計算し、それぞれを観測値と

比較し検証する。また、今次災害では芦屋市の南芦屋浜でも越波・打上げによる浸水被害が発生し、その他の場所でも越波・打上げにより浸水被害が拡大した可能性があることが指摘されている³⁾。そのため最後に、高潮・波浪結合モデルにより推定された有義波高を用いて、越波・打上げによる浸水被害について定性的に考察する。

2. 研究方法

2.1 高潮浸水深の測定方法

調査対象域は、主に神戸市・芦屋市・西宮市の海岸沿いとその周辺地域とした。現地調査は 2018 年 9 月 10 日および 11 日の 2 日間にわたり実施した。調査では浸水した高さをヒアリングおよび痕跡により確認し、その地点を地図上に記録すると共に、その地点での地盤面からの浸水深が最大となったと推定される浸水痕等までの高さを 43 点記録した。

2.2 高潮数値計算方法

潮位偏差・浸水深・波高の計算には、Kim ら⁴⁾の

* 正会員 東京大学大学院 新領域創成科学研究科, ** 正会員 MS&AD インターリスク総研株式会社 総合企画部, *** 非会員 鳥取大学大学院 工学研究科

高潮・波浪結合モデル(SuWAT)を用いた。本モデルは高潮・波浪の相互作用を考慮した双方向結合モデルであり、すなわち wave set-up を考慮することが可能である。台風諸元はデジタル台風を参照し、計算時の天文潮位は神戸で最高潮位を示した時間の天文潮位である標高 0.52 m を一定値として与えた。計算領域は図 1 のように、3 つのドメインに分けてモデル化した。一番外側のドメイン (D1) では、グリッドサイズが $2,430 \times 2,430$ m となっており、九州地方から東海地方を含む海域をモデル化している。次に 2 番目のドメイン (D2) は、 270×270 m の解像度で大阪湾全域を含む海域をモデル化する。最後に 1 番内側のドメイン (D3) は、神戸市沿岸を覆う範囲を 90×90 m グリッドでモデル化する。図 1 に各ドメ

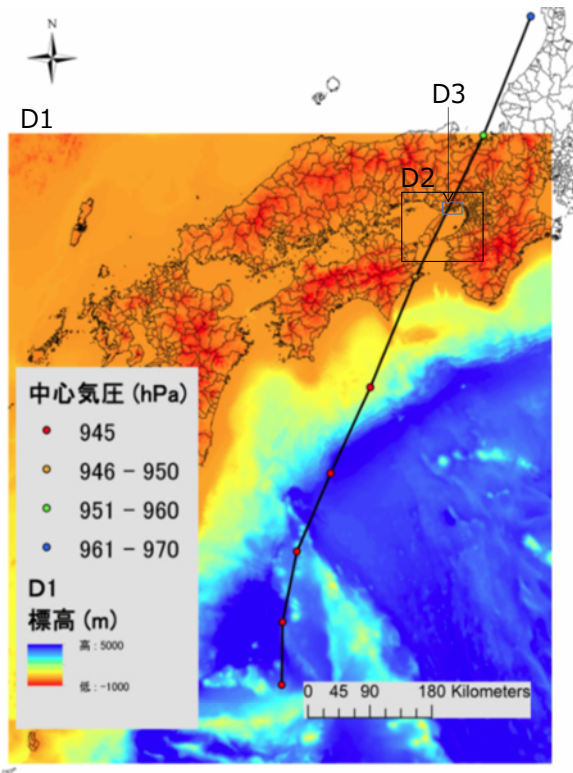


図 1 計算領域

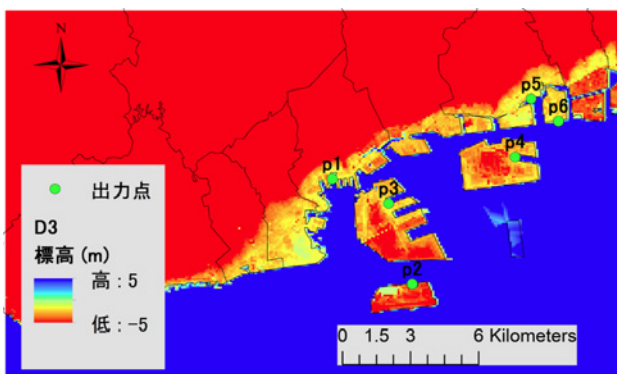


図 2 D3 の計算領域と地形および結果出力点

インの領域・地形・計算に用いた台風経路を示す。

全てのドメインの地形は内閣府のメッシュデータ⁵⁾から構築した。D3 は氾濫解析を行うため、粗度係数を同じく内閣府のデータから 90 m メッシュで構築した。また D3 の陸域は国土地理院の 5 m メッシュの数値標高モデル⁶⁾により、内閣府の陸上データを補正した。図 2 に D3 の計算領域と地形および計算結果の出力点を示す。なお、図 1, 2 の標高は鉛直方向下向きを正とする。

2.3 高潮数値計算の検証方法

SuWAT により計算された時系列の潮位偏差は、気象庁 HP⁷⁾によりリアルタイムで公表される神戸観潮所における観測値を目視で 1 時間毎の値を読み取り、比較した。また、潮位偏差のピーク値およびその時刻は、気象庁⁸⁾を用いた。

高潮浸水深の検証では、平常潮位を基準とした浸水深高に換算し、測定値と計算値とを比較する。この理由は、計算では 90 m メッシュで地形をモデル化しており、測定地点の実際の地盤面高さと必ずしも一致していないためである。そのため、観測および計算による浸水深を標高換算した後に、神戸観潮所の天文潮位を減じて浸水深に変換した。測定浸水深の標高換算では、測定値に国土地理院の 5 m メッシュの数値標高モデル⁶⁾の地盤面の高さを加えた。計算浸水深の標高換算では、計算値に 90 m メッシュでモデル化した地盤面の高さを加えた。天文潮位は、前述したように、標高 52 cm とした。検証には、神戸市内のデータのみを使用した。

3. 研究結果と考察

3.1 測定した高潮浸水深分布

測定した浸水深を cm 単位で記述したものを図 3 に示す。青丸がヒアリングによる結果、赤丸がメデ

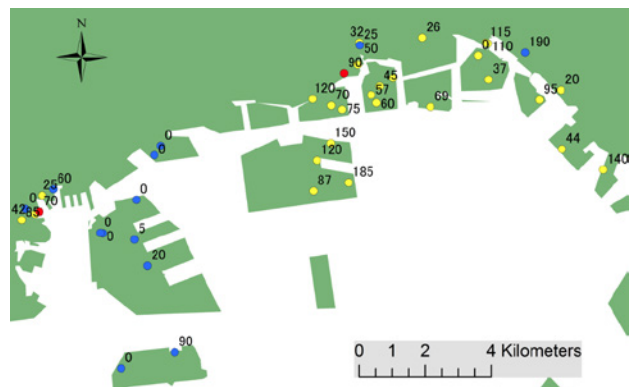


図 3 測定した浸水深分布 (cm 単位)

ィア等による動画等の情報から推定した結果、黄色の丸が痕跡を測定した結果である。特に六甲アイランドの東側では、コンテナや車両被害が顕著であったが、高潮浸水深も総じて高い結果となった。また、魚崎浜・深江駅周辺・深江浜といった東灘区では浸水深を多く測定することができ、広い範囲で浸水していたことを確認した。また、芦屋市・西宮市および尼崎市の一部についても浸水深を測定することができた。図3で0 cmと記載の点は、ヒアリング調査で浸水が無かったことを確認した結果である。

3.2 潮位偏差の計算結果と考察

SuWATにより計算された神戸験潮所(図2のp1地点)における時系列潮位偏差と観測値を比較した結果を図4に示す。潮位偏差の立ち上がり、ピークを迎えた後の潮位偏差が減少していく様子が概ね再現されている。また潮位偏差のピークを迎える時刻は、観測では9月4日の14時9分であるが、計算では14時20分となった。観測では、潮位偏差がピークとなる直前に一度潮位偏差が減少しており、計算でもそのピーク直前の潮位偏差の減少と、ピークとなる時刻の潮位偏差は再現できた。しかし、計算ではピーク時刻後も潮位偏差が上昇し続け、観測とのピーク時刻に11分の乖離が生じた。今後、このピーク時刻の乖離について原因を究明する必要がある。最大潮位偏差は、観測値が181 cmであるのに対し、計算では202 cmと、若干過大に評価した。計算された最大潮位偏差分布を図5に、図2中のp1からp6における時系列潮位偏差を図6に示す。この結果から、西側にあるp1~3のグループと、東側にあるp4~6のグループとを比較すると東側のp4~6の方が大きく、東側にいくにつれて最大潮位偏差が大きくなる傾向となった。また時系列潮位偏差からは、各地点で潮位偏差がピークになる時間に大きな差が無いことが分かった。六甲アイランド(p3)では神戸験潮所より最大潮位偏差が約50 cm大きく、東灘区(p4, 5, 6)ではさらに大きくなること示された。

六甲アイランド周辺の最大潮位偏差を図5から読み取ると、島の西部よりも東部で最大30 cm程度大きくなる。図2に示したように、島の海沿いは相対的に低い標高の地盤となっており、また低い地盤は島の西側よりも東側のほうがやや広大である。そのため、島の東部で特に被害が目立った理由として、東側の潮位偏差が大きくなったこと、および島の東側で低い標高の土地が広がっていることが原因であ

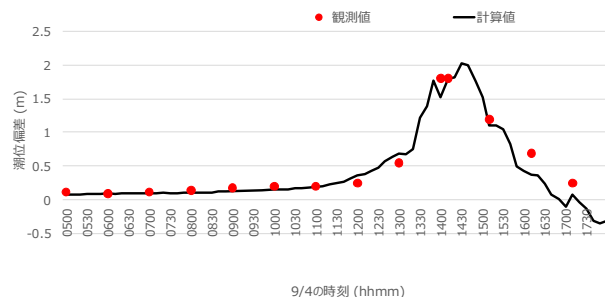


図4 神戸験潮所における時系列潮位偏差検証結果

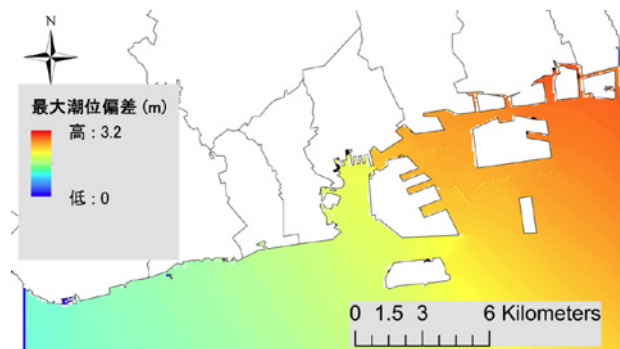


図5 最大潮位偏差分布の計算結果

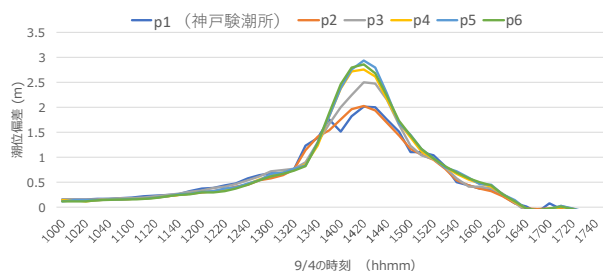


図6 地点毎の時系列潮位偏差の計算結果

ることが示唆される。同様に、東灘区では潮位偏差がさらに大きく、また低い標高の土地が要因となり、深江駅周辺や深江浜などで高潮による浸水被害が発生したものと考えられる。

3.3 浸水深の計算結果と考察

高潮浸水深分布の計算結果を図7に示す。図7中に測定による浸水ありと浸水なしの点を示す。高潮の浸水痕は、神戸市の東部で多数発見された。これは当該地点における高潮浸水被害が拡大していたことが示唆され、この傾向は計算結果でも示された。浸水高の測定値と計算値との比較を図8に示す。測定位置の不確実性を考慮し、記録した測定位置の周辺9メッシュから、測定値に最も近い計算値あるいは浸水しないメッシュの地盤高を比較対象とした。

測定と計算ともに浸水ありの点に関して、計算値は概ね測定値を再現した。測定と計算の一方のみが浸水した結果では、一方の地盤高がもう一方の浸水高とほぼ同じ高さのため、浸水しない結果になったと考えられる。しかし、測定のみが浸水した結果において、特に浸水高が大きい場合に、測定値が計算値を上回る点が存在する。これは後述の波浪起因の浸水および堤防・防潮堤がモデルでは考慮されていないことにより計算が過小評価となった可能性がある。

3.4 波高の計算結果と考察

今次災害は高波による打上げおよび越波により浸水災害が拡大したことが指摘されているため、SuWATで計算された最大有義波高の平面分布を図9に示す。神戸市沿岸には、神戸空港・ポートアイランド・六甲アイランドといった人工島が存在しており、これらが波を遮り、人工島の背後および人工島間における波高を減衰させる結果となった。一方で、芦屋市沿岸の波浪は減衰しないまま来襲しており、神戸市と比べると、相対的に高い波高の波が来襲していた可能性がある。さらに、潮位の上昇と同時に生じた越波・打上げは浸水被害を拡大させた可能性が考えられる。金ら⁸⁾は、越波・打上げ、越流の遷移過程を考慮した高潮・浸水モデルの開発を進めている。今後、詳細に越波・打上げについて議論し、前述のようなモデルを活用した解析により、3.3節に示したモデルの課題も解決され、浸水深分布の再現性がより向上することが期待される。

4. おわりに

本報では、台風第21号による高潮浸水深の調査結果およびシミュレーション結果を示した。高潮による浸水痕は特に神戸市東灘区で多くみられ、当該地域で浸水被害が拡大したことが示唆される。測定と計算ともに浸水ありの点に関して、計算値は概ね測定値を再現できたが、浸水高と地盤高が近い点では、測定と計算の一方のみが浸水した結果となった。越波・打上げを考慮した浸水解析により再現性が高まると考えられる。

謝辞

高潮浸水深の調査には、MS&AD インターリスク総研株式会社総合企画部リスク計量評価グループにご協力いただいたことを付記し、謝意を表します。

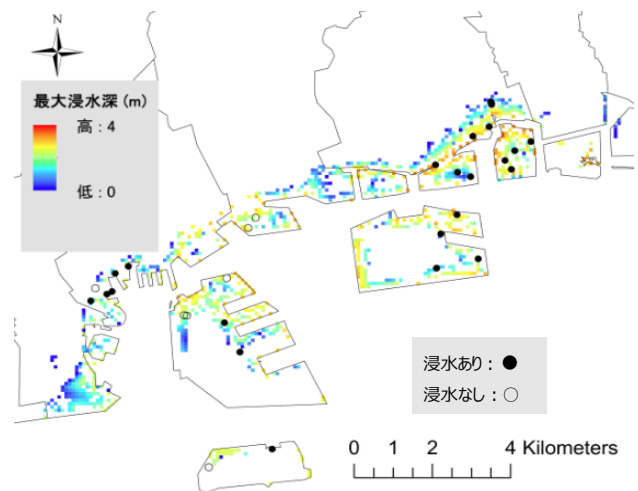


図7 浸水深の計算結果と現地調査による浸水有無

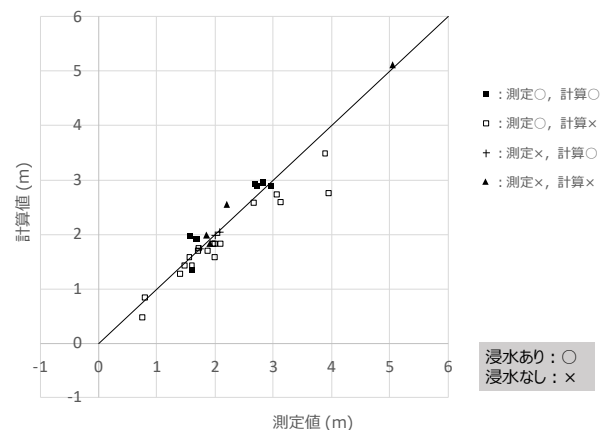


図8 浸水高の測定値と計算値との比較

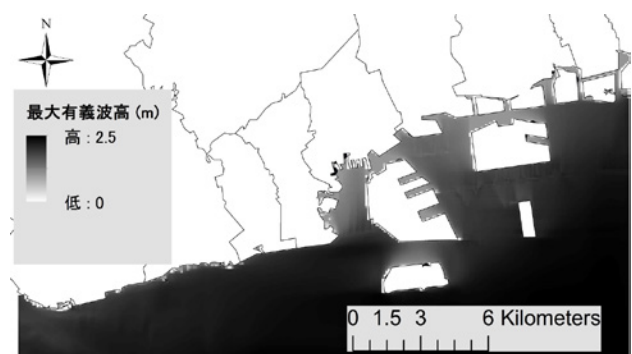


図9 最大有義波高分布の計算結果

付録

図3における、測定した浸水深およびその位置を表1に示す。

引用・参考文献

- 1) 気象庁: 台風第21号による暴風・高潮等, p. 18, 2018
- 2) 内閣府: 防災基本計画,

<http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html>, 2017 (最終閲覧日: 2018/2/8)

- 3) 土木学会関西支部 HP: 平成 30 年台風 21 号による高潮災害調査速報会, <http://www.jsce-kansai.net/?p=2506>, (最終閲覧日: 2018/12/10)
- 4) S.Y. Kim, T. Yasuda, H. Mase: Numerical Analysis of Effects of Tidal Variations on Storm Surges and Waves, Applied Ocean Research, Vol. 30, No. 4, 311-322, 2008
- 5) 内閣府: 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会, 計算入力データ, 2012
- 6) 国土地理院: 基盤地図情報(数値標高モデル), <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (最終閲覧日: 2018/9/10)
- 7) 気象庁 HP: 潮位観測情報, <https://www.jma.go.jp/jp/choi/>, (最終閲覧日: 2018/9/4)
- 8) 金洙列, 間瀬肇, 川崎浩司, 由比政年, 水谷英朗, 平石哲也: 打上げ・越波・越流の推移過程を導入した高波・高潮相互作用モデル, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 74, No. 2, I_547-I_552, 2018

表 1 測定した浸水深とその位置

No.	緯度 (度)	経度 (度)	浸水深 (cm)	備考	No.	緯度 (度)	経度 (度)	浸水深 (cm)	備考
1	34.6829	135.1864	25	測定	23	34.7200	135.3309	0	測定
2	34.6965	135.2819	150	測定	24	34.7134	135.3343	37	測定
3	34.6919	135.2773	120	測定	25	34.7077	135.3511	95	測定
4	34.6857	135.2877	185	測定	26	34.7104	135.3581	20	測定
5	34.6835	135.2760	87	測定	27	34.6943	135.3583	44	測定
6	34.7086	135.2760	120	測定	28	34.6885	135.3718	140	測定
7	34.7056	135.2858	75	測定	29	34.6846	135.1901	60	ヒアリング
8	34.7068	135.2822	70	測定	30	34.6399	135.2297	90	ヒアリング
9	34.7178	135.2911	110	測定	31	34.6356	135.2120	0	ヒアリング
10	34.7234	135.2918	50	測定	32	34.6635	135.2210	20	ヒアリング
11	34.7238	135.2917	32	測定	33	34.6707	135.2168	5	ヒアリング
12	34.7141	135.3027	43	測定	34	34.6815	135.2175	0	ヒアリング
13	34.7074	135.2971	60	測定	35	34.6725	135.2063	0	ヒアリング
14	34.7095	135.2954	57	測定	36	34.6726	135.2055	0	ヒアリング
15	34.7119	135.2982	45	測定	37	34.6937	135.2236	0	ヒアリング
16	34.6779	135.1840	70	測定	38	34.6962	135.2257	0	ヒアリング
17	34.6763	135.1795	42	測定	39	34.7232	135.2918	25	ヒアリング
18	34.6763	135.1795	85	測定	40	34.6793	135.1808	0	ヒアリング
19	34.7250	135.3125	26	測定	41	34.7207	135.3464	190	ヒアリング
20	34.7061	135.3150	69	測定	42	34.6785	135.1855	70	メディア等から推定
21	34.7233	135.3341	110	測定	43	34.7155	135.2865	90	メディア等から推定
22	34.7234	135.3334	115	測定					

著者紹介

久松 カ人（正会員）

東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻（千葉県柏市柏の葉 5-1-5），MS&AD インターリスク総研株式会社（東京都千代田区神田淡路町 2-105），平成 22 年 3 月東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻修士課程修了，同年 4 月パシフィックコンサルタンツ株式会社に入社，平成 24 年 10 月株式会社インターリスク総研（現 MS&AD インターリスク総研株式会社）に入社，現在同社総合企画部上席研究員，平成 29 年 4 月東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻入学，現在同大学博士課程在学，環境学修士，日本沿岸域学会他 4 学会会員。

E-mail: 6865396467@edu.k.u-tokyo.ac.jp

金 洙列（非会員）

鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻（鳥取県鳥取市湖山町南 4-101），平成 19 年 3 月京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻博士課程修了，同年 4 月京都大学大学院工学研究科，平成 20 年鳥取大学大学院工学研究科勤務，現在同大学助教，博士（工学），土木学会他 3 学会会員。

多部田 茂（正会員）

東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻（千葉県柏市柏の葉 5-1-5），平成 6 年 3 月東京大学大学院工学系研究科船舶海洋工学専攻博士課程修了，同年 4 月横浜国立大学工学部，平成 11 年東京大学大学院新領域創成科学研究科勤務，現在同大学教授，博士（工学），日本沿岸域学会他 5 学会会員。

Field Survey and Simulation of Storm Surge due to Typhoon Jebi 2018

Rikito HISAMATSU, Sooyoul KIM and Shigeru TABETA

ABSTRACT : Typhoon JEBI in 2018 accompanied with the intensified central pressure of approximately 955 hPa generated flooding damage due to historical record-breaking storm surges observed in the wide coastal area of Osaka Bay. This report demonstrates field survey results of storm surge inundation depths along the west coast of Osaka Bay. In addition, the authors presents calculated results of time series of storm surge heights, spatial distributions of maximum inundation depths and maximum significant wave heights around the coast of Kobe city using a coupled model of surge and wave, SuWAT. As a result, the change tendency of time series of storm surge height at Kobe tidal station could be estimated. In addition, the inundation level can be approximately reproduced in the area where the measurement and calculation were both inundated. On the other hand, in the area where the inundation level and the ground level were close, only one of the measurement and calculation was inundated.

KEYWORDS : *Storm surge, Inundation depth, Typhoon Jebi, SuWAT, Kobe*