

ハリケーンハービーによる記録的豪雨が低平地の氾濫に与えた影響

The study on the flood form in a flat land

北海道大学工学部環境社会工学科
 北海道大学大学院工学研究院
 北海道大学大学院工学研究院
 北海道大学大学院工学研究院
 北海道大学大学院工学研究院

○学生員 沖津宝(Takara Okitsu)
 正会員 久加朋子(Tomoko Kyuka)
 フェロー 清水康行(Yasuyuki Shimizu)
 正会員 石田義明(Yoshiaki Ishida)
 正会員 今日出人(Hidetoto Kon)

1. 背景

2017年8月25日、アメリカ合衆国南部のテキサス州沿岸部にハリケーン「ハービー」が上陸し、その後数日間に渡って同地域周辺に停滞した。これにより、テキサス州沿岸部の広範囲において記録的な豪雨が発生し、大規模な浸水被害をもたらした。図-1 にテキサス州沿岸部に位置するヒューストンにおける浸水被害の様子を示す。本災害による被害額は1250億ドルと推定されており、これは2005年8月に発生したハリケーン「カトリナ」による被害額と同額で既往最大値であったことから、被害がいかに甚大なものであったかがわかる。

図-2 に「ハービー」の進路図を示す。8月25日、「ハービー」は上から二番目に強いカテゴリー4のハリケーンとしてテキサス州に上陸した。上陸して北上した後、8月26日から27日にかけてゆっくりとUターンし、再び海上に向かって移動した。この際、ヒューストン上空付近にあった前線により大雨が発生し、ヒューストン南西部に位置するブラズス川など数多くの河川や湖沼で大規模な洪水被害をもたらした。ハリケーンの中心は、8月28日に一度南東110キロの海上沖合に移動した後、8月30日に再び上陸したが、次第に弱まり9月2日に消滅した。

本災害で降り始めからの積算降水量の最大値は、8月25日から9月1日までの8日間にヒューストン東部沿岸に位置するNederland観測所で記録した1539mmであり²⁾、同観測所における年平均降水量1321mmを超えるものであった。また、アメリカ合衆国において豪雨災害による積算降水量の既往最大値は、Kanalohuluhulu観測所で1950年に観測した1321mmであったが²⁾、「ハービー」による積算降水量はこれを上回り、既往最大を記録した。図-3 に、テキサス州沿岸部のヒューストン周辺における本災害の積算降水量および降水範囲を示す。

図-3において、橙色や赤色で示す積算降水量が1000mmを超える豪雨が発生した地域は、およそ100km×200km四方の広範囲に及んでいることがわかる。アメリカ合衆国において、これほど広範囲に大規模な豪雨被害が発生したことは1880年代の降雨量観測開始以来、史上初めてのことであった。

近年、局地的な大雨等のゲリラ豪雨により、降雨そのものによる氾濫や浸水被害が世界的に確認されている。こうした背景から、新たにリアルタイム降雨情報システムを用いた氾濫数値計算の開発が各地で進められているものの、実用化に向けた検証報告は未だ比較的小さい²⁾。



図-1 テキサス州沿岸部の洪水、2017/8/30 撮影
 (Harris County Sheriff's Office より提供、
<https://www.harriscountysos.org/>)

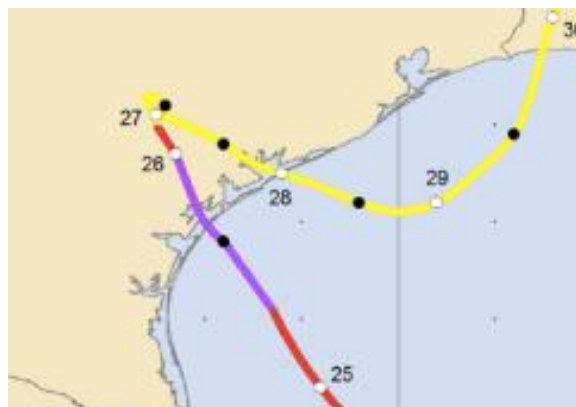


図-2 「ハービー」の進路図

(NOAA より転載、図中の数字は日付を表す、
https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL092017_Harvey.pdf)

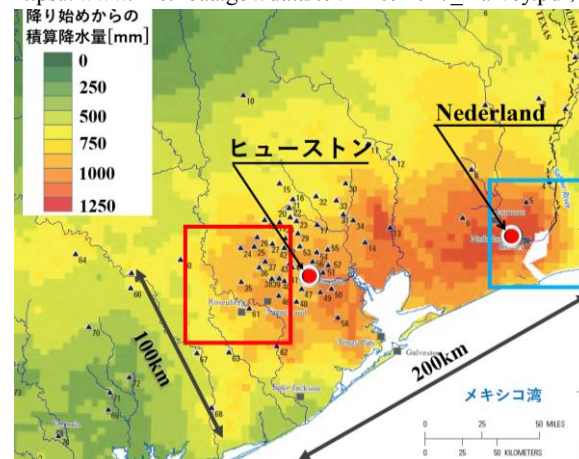


図-3 ハービーによる降水量・範囲 (USGS より転載・一部加筆)

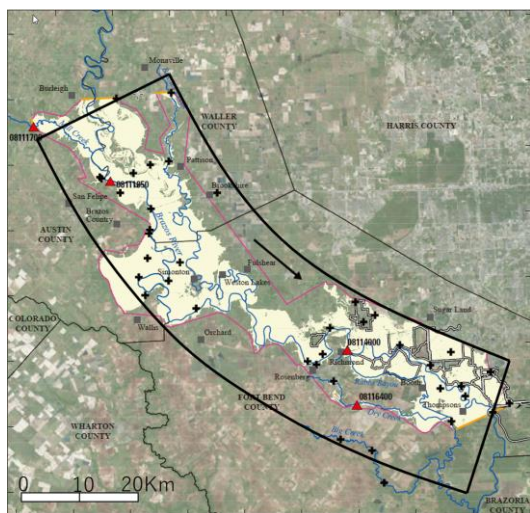


図-4 ブラズス川氾濫域
(USGS³⁾より転載・加筆)

白色領域：実際の氾濫域，黒枠：計算領域

本災害では氾濫地点周辺に積算降水量が 1000mm を超えるような豪雨が広範囲に渡って発生した。氾濫地点付近は極めて勾配の緩やかな低平地であり、今回、降雨そのものが氾濫を引き起こした原因となった可能性が指摘されている。そこで本研究では、降雨を考慮した数値計算により本氾濫を再現し、氾濫地点付近の低平地において降水の考慮が氾濫予測に与える影響を検証した。

2. 数值解析

本災害に氾濫地点周辺の降水量が与えた影響を考察することを目的に、平面二次元固定床の数値計算を行い、痕跡水位から推定された実際の浸水範囲との比較を行った。計算モデルは iRIC ソフトウェアに搭載されている非定常 2 次元流れの解析モデル Nays2D Flood (<http://i-ric.org/ja/>) を用いた。計算対象は、図-3 における赤枠内のヒューストン近郊を流れるブラズス川上流部と、図-3 における青枠内の最大積算降水量を記録した Nederland のサビン川下流部の二河川とした。ブラズス川の勾配は 1/5000、サビン川の勾配は 1/9000 である。

図-4 は図-3 における赤枠部分を拡大したものであり、白色領域はブラズス川における実際の浸水範囲を示している。また、図-5 は図-3 における青枠部分を拡大したものである。図-5 の白色領域はサビン川における実際の浸水域を示している。なお、サビン川全体では「ハービー」による降水量は、年間降水量（約 1140mm）を上回っている³⁾。

降雨の影響を比較検討するため、各計算領域内における降雨を考慮したケースと考慮しないケースについて計4 ケースを行った。計算に用いた地形データは、SRTM (NASA: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) から取得した30mメッシュのものを用了。計算格子の大きさは、全ケースで約 500m 四方の大きさとなるように分割した。図-6に各河川で使用した流量ハイドログラフを示す。流量は USGS (アメリカ地質調査所) が上流端付近で測定

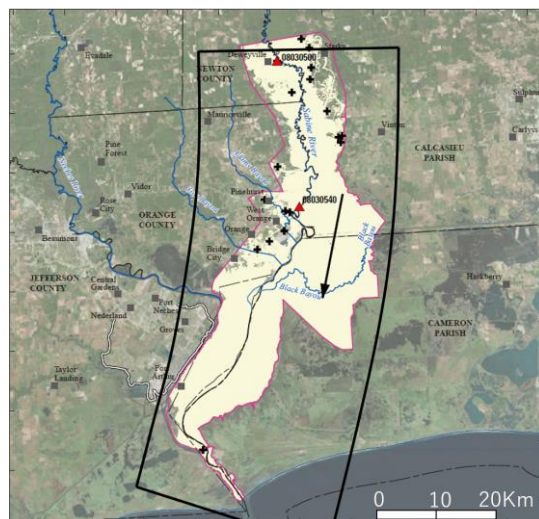


図-5 サビン川氾濫域
(USGS³⁾より転載・加筆)

白色領域：実際の氾濫域，黒枠：計算領域

したものを用いた。計算領域内での対象期間中の総降水量は、ブラズス川は 635 mm, サビン川は 1083 mmであった。図-6 に計算領域に与えた降水量を示す。ブラズス川は降水量に関するデータが不十分であったため、1時間ごとに 3.3mm の雨が降るような降水量を与え、総降雨量がおおよそ 635mm となるようにした。サビン川に関しては、ヒューストン市内の比較的近い観測所(No.1725)から降水量のデータを取得し⁶⁾、その降水量のデータを用いた。降水は計算領域全域に与えた。計算領域全体のマニングの粗度係数は 0.03 とした。

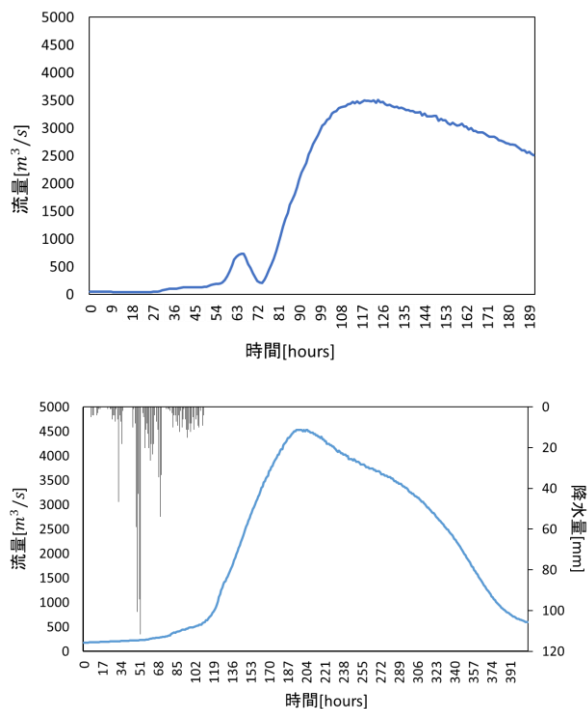


図-6 計算に用いたハイドログラフとハイエトグラフ
上) ブラズス川, 下) サビーン川 (USGS 提供:
https://waterdata.usgs.gov/nwis/uv?site_no=08111850)

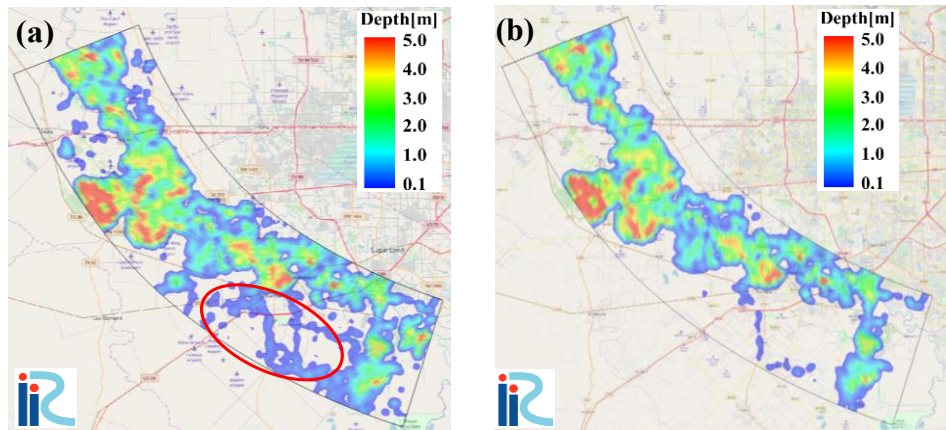


図-7 ブラゴス川における計算時の最大水深コンター図
a) 降雨を考慮したケース, b) 降雨を考慮しなかったケース

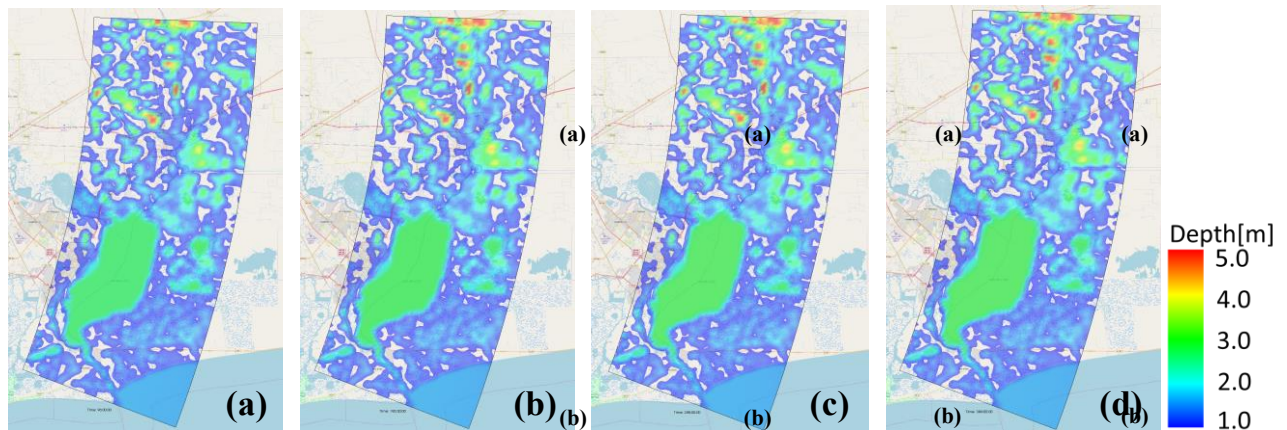


図-8 サビーン川における計算時の最大水深コンター図（降雨を考慮したケース）
a) 降雨 4 日後, b) 降雨 8 日後, c) 降雨 12 日後, d) 降雨 16 日後

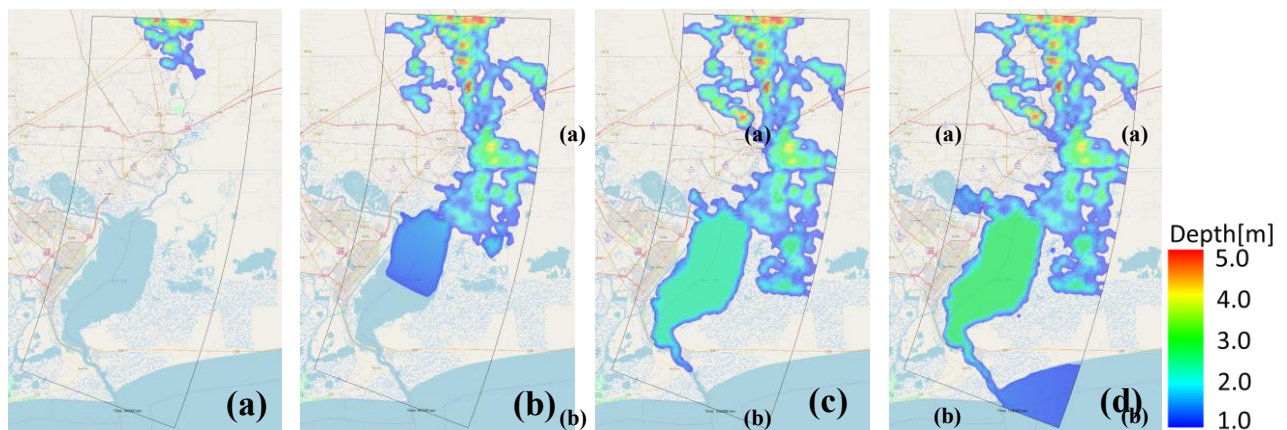


図-9 サビーン川における計算時の最大水深コンター図（降雨を考慮しなかったケース）
a) 降雨 4 日後, b) 降雨 8 日後, c) 降雨 12 日後, d) 降雨 16 日後

3. 計算結果・考察

(1) ブラゴス川上流の計算結果について

図-7 はブラゴス川における計算時の最大水深コンター図である。図-7(a)は計算領域における降雨を考慮したケースの結果であり、図-7(b)は同川の計算領域における降雨を考慮しなかったケースの結果である。

図-7(a)と図-4 比較すると、ある程度の浸水範囲を再現できていることが見て取れる。また、USGS のレポートによると、ブラゴス川周辺の痕跡水深は、0~2.6m で

あった³⁾。図-7(a)において、計算での水深が4mを超えている部分もあるが、そこは池がある場所であり、その他の氾濫している部分のほとんどが水深 2~3m になっているため、計算結果はある程度浸水を再現出来ていると判断した。

次に、図-7(a)と図-7(b)より、ブラゴス川の計算領域における降雨の考慮の有無を比較する。図-7(a)の赤丸部分のように、浸水範囲は降雨を考慮した場合の方が拡大したことが分かる。これは、この赤丸の部分には支

川の流路が存在しているためである。図-7(b)のようにブラズス川本川のみに出水時の流量を与えた検討では、本川から支川への影響は小さく、殆ど氾濫しないと予測される。しかし、図-7(a)のように長時間降雨を考慮した場合、支川にも流域からも水が集まるため、比較的規模の小さな支川や比高の低い場所では雨による氾濫危険性があったことが示された。ただし、ブラズス川では降雨を考慮した場合と降雨を考慮しない場合の浸水範囲の差異は、比較的顕著には表れなかった。これは、勾配など地形的な影響も考えられるが、その他、今回は降水量に関するデータが不十分であったため、一定値の降水量を与え続けた影響による可能性も考えられる。

(2) サビン川下流の計算結果について

図-8 はサビン川の計算領域における降雨を考慮したケース、図-9 は降雨を考慮しなかったケースの計算時の最大水深コンター図である。各々のケースの(a)から(d)の図は、計算期間が 17 日間ある中で、それぞれの4日後、8日後、12日後、16日後時点での最大水深コンター図を示している。なお、図-8 および図-9 の湖および海の領域は、本計算では計算初期の河床位が水面を表すため、今回の降雨に伴いどの程度の流量が流れ込んだかを比較する水深値となっている。

図-8(d)の降雨を考慮したケースと図-5 の比較より、こちらもある程度の浸水範囲を再現出来ていることが見られる。USGS のレポートによると、この氾濫した範囲での痕跡水深は 0~2.0m であった³⁾。ブラズス川上流の結果と同じように、図-8(d)において水深が 3m 以上になっている部分には池があるため、それ以外の範囲での氾濫はある程度再現できていると言える。

まず、サビン川の降雨波形と流量(図-6)および計算での氾濫領域(図-8)とを比較する。図-6によると、サビン川での降雨量は 53 時間(2.2 日)経過時にピークを迎えることに對し、流量は 198 時間(8.25 日)後にピークを迎えている。これに對し、図-8 に示す計算での氾濫結果を確認すると、図-8(a)より、計算開始から 4 日後の時点ではまだ流量のピークを迎えていないにもかかわらずサビン川下流では計算範囲内の殆どの地域で既に氾濫していることが分かる。また、図-8(a)から図-8(d)までを比較すると、降雨に続いて約 2 日後に川の流量がピークに達するため、計算範囲内の川に近い領域では時間をかけてゆっくりと水位上昇し、浸水期間が数日以上に亘ったことが分かる。

次に、図-8 および図-9 より、サビン川流域のような低平地(勾配: 1/9000)における氾濫予測に降雨の考慮の有無が与える結果を比較する。上述のとおり、図-8(a)では降雨開始から 4 日後の時点で計算範囲内の大部分にて氾濫しているのに対し、図-9(a)では流入部分でしか氾濫が起こっていないことが分かる。これは、サビン川流域のような低平地では降雨ピークと流量ピークに数日以上遅れが生じること、さらに計算範囲内においても洪水の流下が比較的ゆっくり生じるためである、このことから、サビン川下流では降雨による

影響が市街地の氾濫予測の有無に非常に大きいことが分かる。

(3) ブラズス川上流とサビン川下流の比較

図-7 と図-8 を比較すると、サビン川下流における降雨の有無による浸水範囲の違いは、ブラズス川の計算結果よりも非常に広がっていることが分かる。これは、対象期間の降水量がブラズス川上流は 635mm であるが、サビン川下流は 1083 mmであったため、降水量に大きな差があったことが原因の一つだと考えられる。さらに、ブラズス川上流の勾配が 1/5000 に対してサビン川下流の勾配が 1/9000 であり、より低平地であるサビン川下流の方が、長期間降雨に対する氾濫危険度が高く、かつ降雨ピークと流量ピークのずれが大きいため降雨ピーク時の氾濫の後、川の流量増加による更なる氾濫水位の増加が生じることが分かった。

4. 結論

本研究で得られた主な結論を示す

1. 本計算では、ハリケーンハービーによるブラズス川およびサビン川の氾濫領域をある程度再現することができた。
2. 降雨を考慮した氾濫計算を行った結果、ブラズス川の事例では降水による氾濫領域への影響が小さかったものの、サビン川では降水による影響が比較的大きく現れた。
3. サビン川では、降水のピークと流量ピークが 150 時間ほどずれていた。低平地であるサビン川流域は、降雨ピーク時に氾濫した後、ゆっくりと川の流量が増加したため、比較的長時間にわたって水位上昇が続いたことが示された。今後、実際の現地データと更なる整合性を確認する必要がある。
4. 今回の洪水のように広域に大量の降雨があった場合は、氾濫域への降雨の影響は無視できないということが分かった。

5. 謝辞

本研究では、USGS の Dr.Jon Nelson から貴重なデータの提供を受けた。ここに謝意を示す。

6. 参考文献

- 1) Eric S.Blake and David A. Zelinsky : Hurricane Harvey, National Hurricane Center Tropical Cyclone Report, 2017
- 2) 佐山・岩見:降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用, 土木技術資料, Vol. 56, pp.18-21, 2014
- 3) Kara M. Watson, Glenn R. Harwell, David S. Wallace, Toby L. Welborn, Victoria G. Stengel, Jeremy S. McDowell : Characterization of peak streamflows and flood inundation of selected areas in southeastern Texas and southwestern Louisiana from the August and September 2017 flood resulting from Hurricane Harvey, Scientific Investigations Report, 2018