

GPU による浸水解析高速化の基礎検討

大成建設（株）技術センター 正会員 ○永野 雄一

大成建設（株）技術センター フェロー会員 伊藤 一教

1. 研究背景

近年ゲリラ豪雨と呼ばれる局地的大雨によって、都市土木及び建築の施工現場においても浸水リスクが高まっている。しかし、局地的大雨は積乱雲が数十分程度の短い時間に急激に発達することによって起きるため、現在は高々30 分前からの予報しか出来ないとされている。そのため、本予報を元に行う浸水解析は数分程度のリアルタイムで行わなければ、リードタイムが不十分となり解析結果を避難や対策に活用することができない。浸水解析の GPU による高速化に関する研究は 10 年以上行われている^{1),2)}。しかし、それらの既往研究から、施工現場とその周辺領域を対象として解析を行う際の必要十分な GPU の性能について知見を得ることは難しい。

2. 研究目的

研究目的を以下の 2 点とする。

1. 浅水方程式を異なる GPU で解析して、GPU の公称の性能差と解析速度の関係を検証すること
2. 単精度と倍精度の計算精度を比較して、単精度計算のみに特化した安価な GPU の有用性を検証すること

3. 研究方法

3. 1. 解析領域

解析領域は図 1 に示すように 1000m×1000m の矩形領域とした。初期水位を図 1 のように中央の 333m×333m の領域では 0.5m、それ以外の区域では 0.2m として (G.L. 0.0m)、ダムブレイクによる流れを解いた。境界条件はすべり無し壁とした。実際の浸水ではあり得ない水位分布であるが、ベンチマーキング目的であるためより不安定が生じやすいと考えられるダムブレイクの状況を採用した。

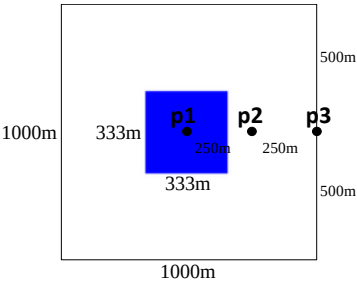


図 1 解析領域

3. 2. 基礎方程式

基礎方程式として浅水方程式を用いた。式 1 に連続式を、式 2 に運動方程式を示す。離散化手法として有限差分法を採用し、水位と流量フラックスをタイムステップごとに交互に解くリープフロッグ法を用いた。

連続式：
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots \text{式1}$$

運動方程式：
$$\begin{cases} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{\frac{1}{3}}} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{\frac{1}{3}}} \end{cases} \quad \dots \text{式2}$$

t: 時間(s), h: 水深(m), M: x 方向の流量フラックス(m²/s), N: y 方向の流量フラックス(m²/s), u: x 方向の流速(m/s), v: y 方向の流速(m/s), H: 水位(m), n: 粗度係数(-), g: 重力加速度(m/s²)

3. 3. GPU の概要

本研究において用いた GPU の性能を表 1 に示す。高価格帯の GPU である Tesla K80 と低価格帯の Quadro RTX6000 を用いた。両者ともほぼ等しい cuda コア数とメモリを備えているが、ブーストクロックは RTX6000 が K80 の 2 倍ほどであり、それによって FP32（単精度）性能が大きく上回っている。一方、RTX6000 では FP64（倍精度）が大きく制限されており、K80 は高く保たれている。

表 1 GPU の性能

	NVIDIA Tesla K80	NVIDIA Quadro RTX6000
cuda コア数	4992	4608
メモリ (GB)	24	24
ブーストクロック (MHz)	875	1770
FP64 (TFLOPS)	2.91	0.51
FP32 (TFLOPS)	8.74	16.3

4. 研究結果

まず GPU で計算を行って得た水位分布の変化を図 2 に示す。図 2 の水位分布の変化は K80 による計算結果であり、中央から流れ出した水が約 200s に端に到達して、約 400s にほぼ中央に跳ね返ってくる様子が分かる。

キーワード 局地的大雨, 浸水解析, GPGPU, 単精度, 倍精度

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 (株) 大成建設 技術センター TEL 045-814-7234

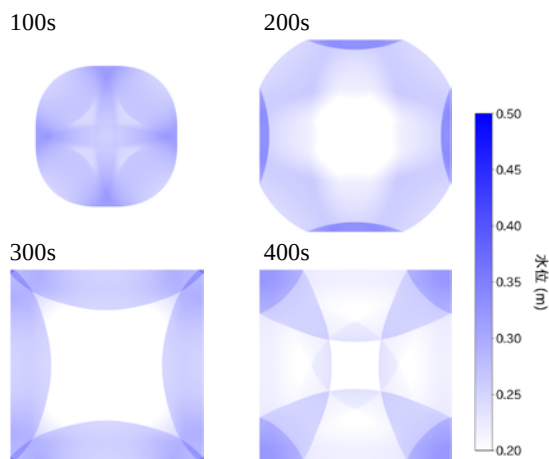


図2 水位分布の変化

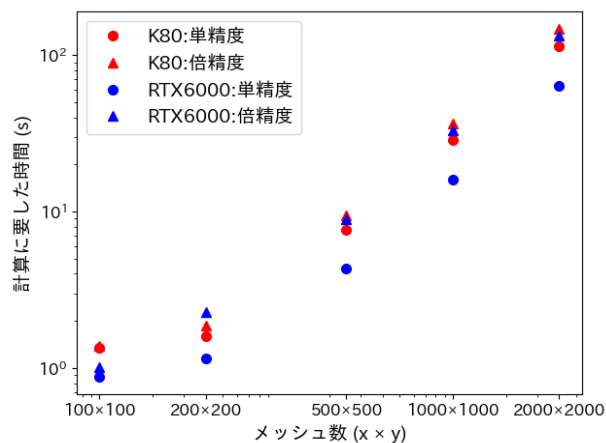


図3 両 GPU の計算速度の比較

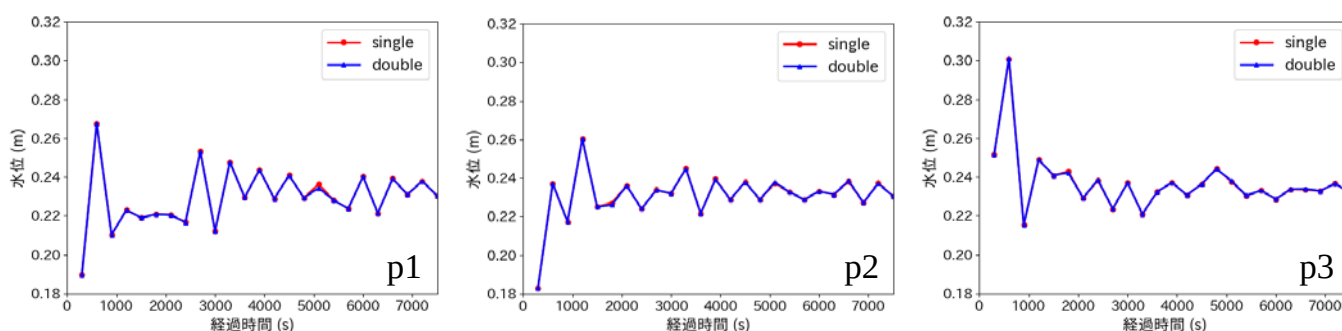


図4 K80 による単精度計算と倍精度計算の精度比較

次に両 GPU の計算速度の比較を図 3 に示す．横軸をメッシュ数，縦軸を計算に要した時間とした．K80 は倍精度と単精度の計算速度に大きな差はないが，RTX6000 では 2000×2000 メッシュの場合に倍精度計算は単精度計算に比べて 0.5 倍となっている．しかし，RTX の倍精度の計算速度は K80 の倍精度の計算速度とほぼ等しく，本研究で扱った解析領域では低価格帯の RTX6000 で十分高速に計算できることが分かった．

図 4 に K80 による単精度計算と倍精度計算の精度比較を示す．精度比較は図 1 に示す p1, p2, p3 の 3 点で行った．計算は 7500 秒行ったが，計算期間を通して単精度も倍精度も両者ほぼ等しい解析結果となっていることが分かる．全期間及び全地点を通して倍精度と単精度の誤差が最も大きくなったのは p1 の 5100 秒においてであり，0.868% (0.00203m) の誤差となった．

5. まとめ

単純な計算領域においてダムブレイクによる水の流れを浅水方程式に基づいて GPU で計算することで，計算速度及び計算精度について基礎的な検討を行った．GPU は CPU に比べて 100 倍程度高速であるとされている²⁾が，倍精度計算性能が高い GPU は基本的に高価である．しかし，本計算においては単精度でも十分精度を保つことが出来ることが分かった．リアルタイム浸水予測の場合は 2 時間程度の計算時間が予想されるが，本研究によって単精度での誤差は 0.9% 程度であることが示唆された．

施工現場では常にコスト面での最適化が求められる．リアルタイム浸水予測が単精度で十分なことが分かれば，より安価な GPU で安く予測システムを構築することが可能である．今後，管渠を追加した場合の計算速度及び計算精度についても検討を進めていく．

参考文献

- 1) 越村ら，2010 土木学会論文集 B2 (海岸工学)，vol.66(1)，pp.191-195
- 2) Park et. al., 2019 water, vol.11, 1447