

境界適合格子系を用いた津波の数値計算

日本工営株式会社 正会員 千田健一

1 はじめに

通常、津波の数値計算は直線格子系で行われる。沿岸での計算精度を高めるため、外洋では粗い格子間隔で計算し、沿岸では、細かい計算格子で計算する。そのとき、格子間隔の異なる数種の地形データを作成し、それをつなぎあわせる必要があるが、その作業は煩雑である。境界適合格子系により、高精度の計算結果を得たい地点に計算格子を集中させれば、計算労力と計算メモリの節約でき、従来、大型のコンピュータを必要とした津波解析がパソコンで可能となる。本研究は、直線格子系と、境界適合格子系の数値計算の精度検証を行い、北海道南西沖地震津波を対象に境界適合格子系による計算例を示すものである。

2 計算精度の検証

直線格子系および自由座標系で津波遡上計算を行い、精度の比較を行う。

(1) 計算式

直線格子系計算は後藤・小川の式¹⁾で行う。自由座標系の計算はこれを表1のように書き換えて行う。

(2) 検討条件

図1に示す一次元水路²⁾で、計算精度の比較を行った。格子間隔は、直線格子系（等格子間隔）では20m一定である。境界適合格子系（不等格子間隔）では波源位置から汀線にかけて200mから20mに短縮している。

(3) 計算結果

計算結果例を図2に示す。図中の…線及び○○印は、各々直線格子系（等格子間隔）及び境界適合格子系（不等格子間隔）の計算結果である。両者の波形は、よく一致した。海底勾配を1/10から1/100、周期を5min～30minに変化させた20ケースについて、不等格子間隔と等格子間隔の場合で津波遡上解析を行った。計算結果を表2に示す。津波最高・最低水位はほぼ一致した。

表1 計算式

連続の式	$\frac{dZ}{dt} = \frac{1}{J} \left(y_{\eta} \frac{\partial M}{\partial \xi} - y_{\xi} \frac{\partial M}{\partial \eta} \right) + \frac{1}{J} \left(x_{\xi} \frac{\partial N}{\partial \eta} - x_{\eta} \frac{\partial N}{\partial \xi} \right)$
運動の式	$\begin{aligned} \frac{dM}{dt} = & \frac{1}{J} \left(y_{\eta} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{M^2}{D} \right) - y_{\xi} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{M^2}{D} \right) \right) + \frac{1}{J} \left(x_{\xi} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{MN}{D} \right) - x_{\eta} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{MN}{D} \right) \right) \\ & + gD \frac{1}{J} \left(y_{\eta} \frac{\partial Z}{\partial \xi} - y_{\xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \end{aligned}$
	$\frac{dN}{dt} = \frac{1}{J} \left(y_{\eta} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{MN}{D} \right) - y_{\xi} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{MN}{D} \right) \right) + \frac{1}{J} \left(x_{\xi} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{N^2}{D} \right) - x_{\eta} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{N^2}{D} \right) \right) \\ + gD \frac{1}{J} \left(x_{\xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} - x_{\eta} \frac{\partial Z}{\partial \xi} \right) + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$
	$J = x_{\xi} y_{\eta} - x_{\eta} y_{\xi}$
ここに、	x, y : 直線座標, ξ, η : 曲線座標, Z : 水位, M, N : x, y 方向フラックス, n : マンニングの粗度係数, g : 重力加速度, D : 水深

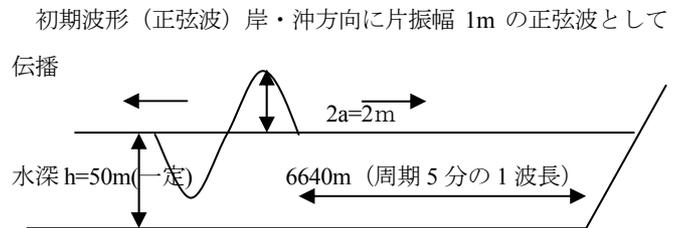


図1 初期波形と対象地形

表2 等・不等計算格子の最大水位上昇量・下降量の比較
単位 [m]

海底勾配	格子間隔	周期									
		5min		8min		10min		20min		30min	
		上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降	上昇	下降
1/10	等	2.50	-2.15	2.06	-2.06	2.05	-2.04	2.01	-2.00	2.01	2.00
	不等	2.59	-2.12	2.10	-2.08	2.04	-2.06	2.02	-2.02	2.00	-1.99
1/30	等	3.61	-3.64	3.14	-2.62	2.80	-2.35	2.12	-2.10	2.06	-2.05
	不等	3.60	-3.88	3.24	-2.74	2.93	-2.38	2.15	-2.17	2.06	-2.07
1/50	等	4.09	-4.80	3.74	-3.87	3.41	-3.36	2.57	-2.28	2.18	-2.13
	不等	4.00	-4.00	3.78	-3.93	3.58	-3.59	2.68	-2.29	2.27	-2.13
1/100	等	4.13	-4.15	4.23	-5.57	4.19	-5.06	3.38	-3.47	2.82	-2.51
	不等	4.01	-2.04	4.31	*	4.29	*	3.54	-2.31	2.97	-2.09

*引き波時ドライバットにて発散

キーワード 津波、津波数値計算、境界適合格子系、北海道南西沖地震津波

連絡先 日本工営 札幌支店 〒060-0005 札幌市中央区北5条西6丁目2番地（札幌センタービル）

技術部 TEL 011-205-5521 FAX 252-0343 E-mail a4424@n-koei.co.jp

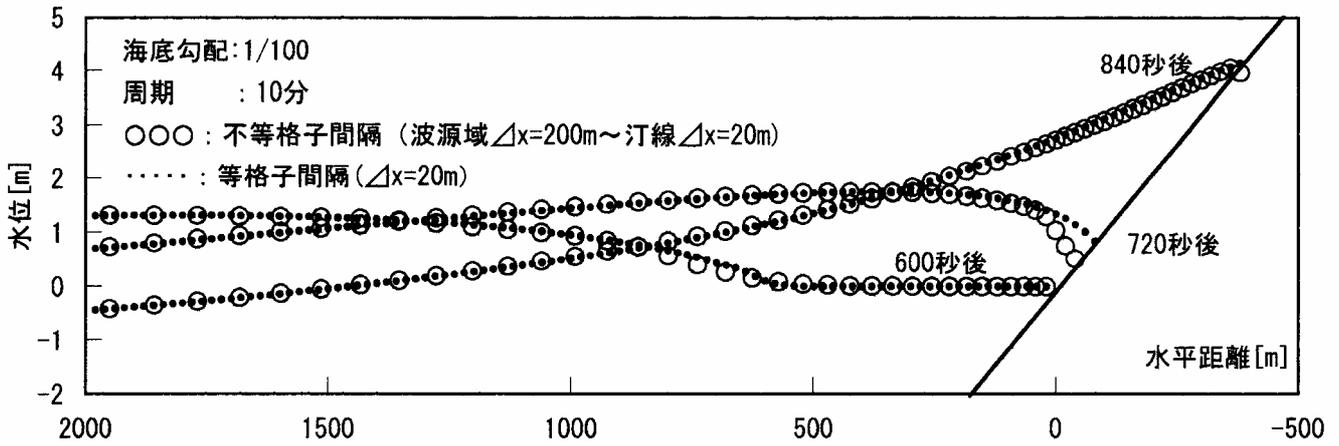


図2 計算波形比較（等格子間隔および不等格子間隔）

3 北海道南西沖地震津波の再現計算

北海道南西部 A 地区沿岸を対象に自由座標系による津波遡上計算を行った。計算位置図を図3に示す。

(1) 計算条件

式は表1に示すものを用いる。マンニングの粗度係数は0.015としている。図3に計算格子点配置を示す。格子間隔は沖側で最大200mであるが、岬や河口等で地形の複雑なA地区付近で最小格子間隔が約20mとなるよう格子を集中している。初期波形は北海道南西沖地震検討委員会（北海道）の検討結果を基に水深50m地点で周期8分、波高6mの正弦波としている。

(2) 計算結果

北海道南西沖地震津波以後、東北大学³⁾、建設省、気象庁、北海道開発局などにより津波遡上痕跡調査がなされている。調査の基準標高は東北大学がTP。その他の機関は踏査時海面である。同津波痕跡記録と境界適合格子系による津波最高水位分布を図4に示す。両者はよく一致している。

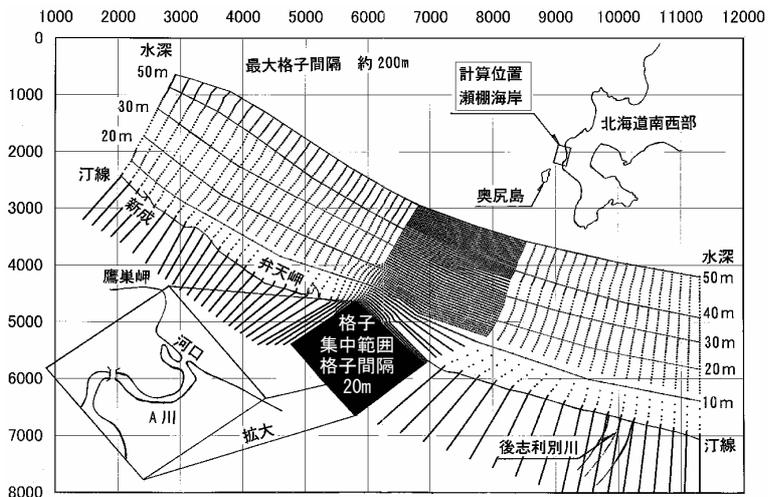


図3 計算位置及び計算格子点配置 軸単位[m]

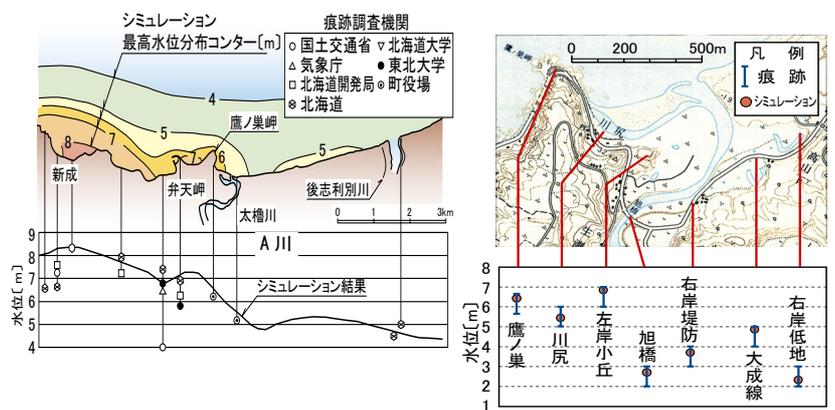


図4 計算最高水位と遡上痕跡

4 まとめ

直線格子系に比べ、計算メモリと領域接続労力の点で有利な境界適合格子系を用いた津波数値計算について検討した。得られた結論を以下に記す。

- (1) 不等格子間隔であっても汀線付近に格子を集中すれば等格子間隔と同精度の計算結果が得られる。
- (2) 境界適合格子系を用いた北海道南西沖地震津波の計算結果は沿岸の津波痕跡とほぼ一致した。

参考文献 1) 後藤智明・小川由信 1983. Leap-frog法を用いた津波の数値計算 p2.
 2) 原子力発電所の津波評価技術 2002.2 土木学会 p2-113.
 3) 津波工学研究報告 第11号 1994.3 東北大学災害制御研究センター p58.