

海岸を遡上する波の打上高評価方法の問題点と改良

水圏防災工学研究室 山之内 基記
指導教員 細山田 得三

1. はじめに

日本の砂浜は海岸侵食によって長年にわたり縮小傾向にあり社会問題となっている。砂浜は波浪を減衰させる重要な役割を果たしており、浸食によって消失することは、国土を失うだけでなく、背後地にある住宅街等への浸水被害拡大につながるため、維持管理は重要である。海岸で波が汀線を越えて陸上を遡上する際の汀線からの鉛直高さを打上高という。背後地の安全性を確保するために必要な浜幅は、打上高を用いて検討する。よって打上高を定量的に評価する方法が求められる。現在は、中村ら¹⁾によって提案された改良仮想勾配法を用いて打上高を評価する方法が一般的である。しかし、玉田ら²⁾は規則波を対象とした中村らの打上高算定曲線は、不規則波の $R_{50\%}$ (打上高を入射波高の50%の波数で平均した値)に相当するとして、過小評価する危険性を指摘している。また、改良仮想勾配を用いた算定式がいくつか提案されているが、何れも提体を対象とした算定式であり、砂浜の打上高評価に適用できるかは不明である。さらに、どの点を代表打上高とするかに関しても、評価方法が複数あり、定められていない。

本研究では、2014年12月の爆弾低気圧によって浸食被害が生じた高さを打上高と定義し、砂浜上の波の打上高を推定する数値計算手法として、研究と実務分野で多くの事例があるCADMAS-SURF/2Dを用いて算出する。その後、既往研究で提案された打上高算定式の計算結果と比較し、砂浜の打上高予測に適用可能か検証する。さらに、適用範囲の拡大や精度向上を図るため、新たな砂浜の打上高評価方法を検討することを目的とする。

2. 対象事例

2014年12月16日から17日に発生した爆弾低気圧によって、新潟西海岸は大規模な海岸侵食が発生した。発生した爆弾低気圧は大型台風匹敵する規模であり、潜堤沖側では17日18時に有義波高が極大となり、 $H_{1/3}=6.73\text{m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=11.8\text{s}$ (図1)の高波浪が発生した。潜堤沖で観測された有義波高は潜堤の波浪低減作用により減少し、潜堤通過後は $H_{1/3}=3.65\text{m}$ と観測された。図2に新潟西港における実測潮位の経時変化を示す。実測潮位は最大で60cm程度であるが、この値は新潟西港内の計測値であり、潜堤背後の砂浜では潜堤背後の水位上昇や吹き寄せ等による水位上昇が加わり、概ねC.D.L.+1.2m程度まで達していたと考えられる。この時化では、波高だけでなく、潮位が非常に高くなっ

たことが特徴として挙げられ、これにより大規模な浸食が発生したと考えられる。この時化によって形成された浜崖法先の地盤高はC.D.L.+3.0m程度、法肩の地盤高がC.D.L.+4.0m程度であり、高さ70~80cm程度の浜崖が形成された。断面地形は空間的にばらつきがあるため、爆弾低気圧前後の空間平均断面から、後浜地形の変化点を算出した結果、打上高は概ねC.D.L.+3.5m程度と推測された。

3. CADMAS-SURF/2D

NS方程式に自由表面での碎波変形までも考慮できるVOF法を付加したCADMAS-SURF/2Dだが、打上高計算においては、格子の幅の違いや格子の縦横比、DONORパラメータ値の設定で計算結果が大幅に変わることが指摘されている。そこで本研究では、2014年12月の爆弾低気圧によって大規模な浸食被害が発生し、浜崖が形成された地点を代表打上高とし、再現計算を行うことで適切な解析条件について定めた。CADMAS-SURF/2Dでは、規則波と不規則波を造波することが可能であり、既往研究では打上高算出にどちらも採用されている。そこで、それぞれの最適条件を定めるために、規則波は45ケース、不規則波は10ケースで表1に示す条件で計算を実施した。ここで、規則波を用いた場合でも、引き波と遡上波が干渉することで打上高は一定にな

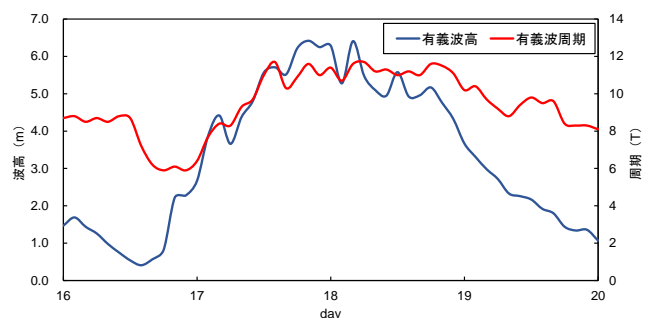


図1 新潟沖波浪の経時変化図

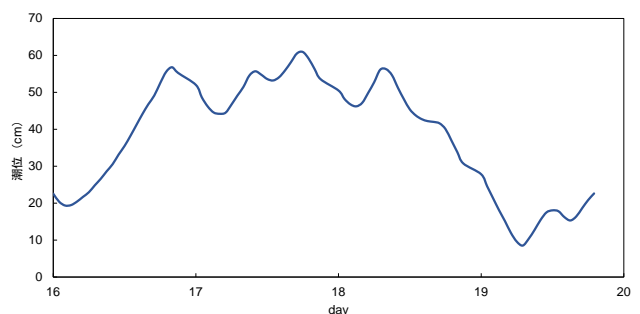


図2 新潟西港の潮位の経時変化図

らないため、遡上した波の上位 1/3 を平均した値を打上高として採用した。また、不規則波を用いた場合は、再現性の高さから、入射波数を基準とする 1/10 最大打上高 $R_{1/10}$ を採用した。

4. 打上高算定式

複合断面の打上高の算出には Saville により、地形と護岸の形状を砕波点の位置と打上点で代表させる仮想勾配法が提案された。これを中村らが中間地形を考慮して修正したのが改良仮想勾配法(図 3)である。打上高を簡便に求めることが可能だが、規則波を対象としていることから、波の不規則性が考慮されておらず、現地との適用性が問題視されている。波の不規則性を考慮した打上高算定式は水理実験を基に間瀬ら⁴⁾や玉田らによって提案されたが、海底勾配は 1/10~1/30 のケースで検証されていることから、1/30 より緩勾配の地形断面での適用性は検証されていない。1/30 より緩やかな海底勾配に適用可能な算定式は加藤ら⁵⁾によって検証が行われ、改良仮想勾配法(1/100)が提案された。この式は CADMAS-SURF/2D の規則波を用いた計算結果から算定されたため、不規則波を考慮されておらず、現地との適用性は低い可能性がある。さらに、改良仮想勾配を算

出するうえで、必要となる h_b の算定方法も定まっていない。改良仮想勾配法を提案した中村らは、合田(1970)の規則波の砕波指標を用いて算定するとしているが、不規則波を考慮する場合は玉田らによって提案された不規則波の砕波水深算定図、または合田(1975)の不規則波の砕波指標を用いることが提案されている。地形条件によって砕波水深ではなく、移動限界水深を使用することもあり、改良仮想勾配をどのように定めるかについて明確な基準がない。また、既往研究で提案された打上高算定式はすべて堤体を対象とした打上高であり、砂浜上の打上高に適用可能か検証する必要がある。

5. CADMAS-SURF/2Dと打上高算定式の比較

再現計算で定めた条件を用いて、表 2 の計算ケースで打上高の計算を行った。規則波と不規則波でそれぞれ 45 ケースずつの計算を実施した結果、規則波を用いたケースでは、汀線近傍で水位上昇が観測されたことから、適切な評価ではなかったと考えられる。したがって、水位上昇を抑えられた不規則波の計算結果を適切な値として、改良仮想勾配法や改良仮想勾配を用いた算定式と比較を行った。

中村らの改良仮想勾配法と加藤らの改良仮想勾配法(1/100)は波形勾配によって式が変わるため、波形勾配ごとに整理した。ここで、CADMAS-SURF/2D の計算結果は合田(1975)と玉田らの砕波水深算定図を用いて、改良仮想勾配を算出したが、値はほぼ同じであった。なお、グラフの横軸は Surf Similarity Parameter を用いた。図 4~図 12 より、Surf Similarity Parameter が大きくなると R/H_0 も増大しており、間瀬ら、玉田らの結果と一致した。しかし、CADMAS-SURF/2D の計算結果は概ね加藤らの改良仮想勾配法(1/100)と間瀬らの算定式の間分布する結果となった。加藤らが提案した改良仮想勾配法(1/100)は CADMAS-SURF/2D の規則波を用いた遡上計算の結果から算定しているため、過大評価する傾向にあり、さらに適用範囲は海底勾配 1/30 より緩や

表 1 CADMAS-SURF/2D の計算条件

項目	設定値
入射波高	3.65m
入射波周期	11.8s
水深+ (潮位+水位上昇)	10.6+1.2m
時間刻み	Auto
密度	1.0D+3
分子動粘性係数	1.0D-6
重力加速度	9.8D0
連立一次方程式 の解法	M-ILUBCGSTAB 法
最大反復回数	700
収束判定値 (絶対誤差)	1.0D-15
収束判定値 (相対誤差)	1.0-D12

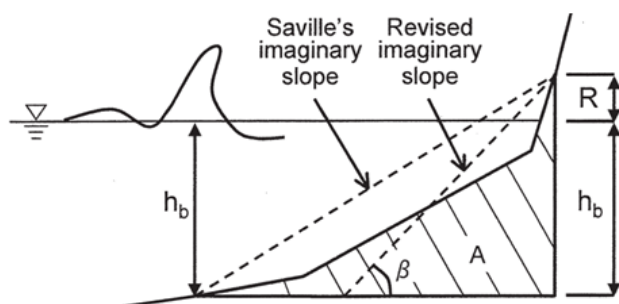


図 3 改良仮想勾配法の模式図

表 2 CADMAS-SURF/2D の最適な条件

	dx(m)	dy(m)	DONOR 値
規則波	0.5	0.2	0.5
不規則波	0.5	0.2	0.2

表 3 計算ケース

項目	設定値
入射波高	4.0m, 5.0m, 6.0m
入射波周期	10s, 12s, 14s
水深	15.0m
外浜勾配	1/10, 1/20, 1/30, 1/40, 1/50
前浜勾配	1/20

かな場合に限られる。また、中村らの改良仮想勾配法は他の算定方法と比較し、一番過小評価しているため危険であることが確認された。間瀬ら、玉田らの算定式も一致しているケースは少なく、砂浜上の打上高をより高い精度で算定できる式の提案が求められる結果となった。そこで、図 13 に示すように CADMAS-SURF/2D の計算結果から、砂浜上の打上高を精度良く評価できる式 1-1 を提案した。

$$R_{1/10}/H_0 = 0.29 \ln(\tan \beta / \sqrt{H_0/L_0} + 1.05) \quad (1-1)$$

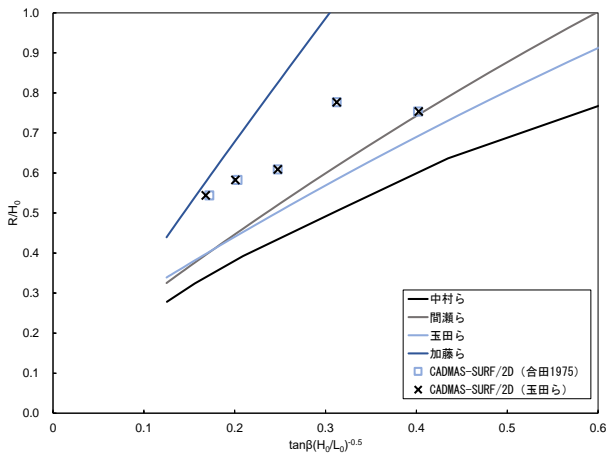


図 4 H=4.0m, T=10s の比較

6. 結論

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

(1) CADMAS-SURF/2Dの計算では、計算負荷を軽減するために、規則波を用いるが効果的であるが、緩勾配になるほど汀線近傍で水位上昇が発生し、打上高を過大評価する傾向にあった。したがって、砂浜の遡上計算を行う場合は不規則波を用いるべきだと結論付けた。また、再現計算の結果から格子幅は $dx=0.50m$, $dz=0.20m$, DONORスキーム値は0.2が最適であるという結論に至った。

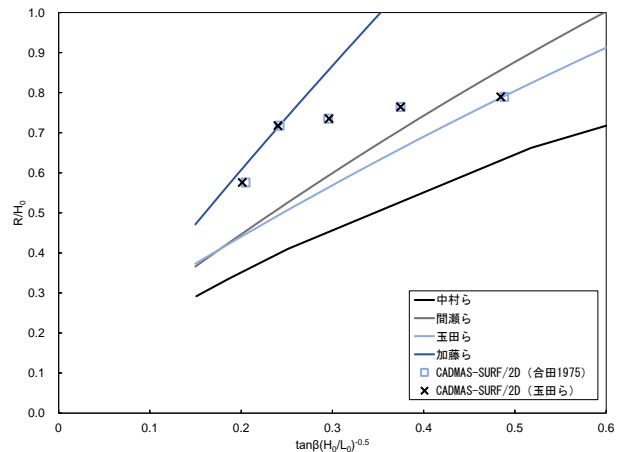


図 7 H=4.0m, T=12s の比較

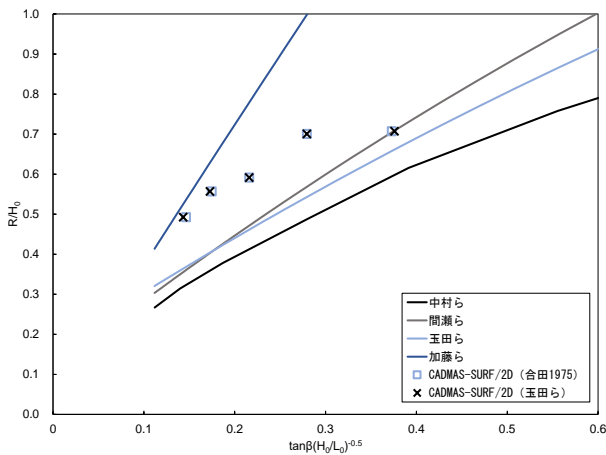


図 5 H=5.0m, T=10s の比較

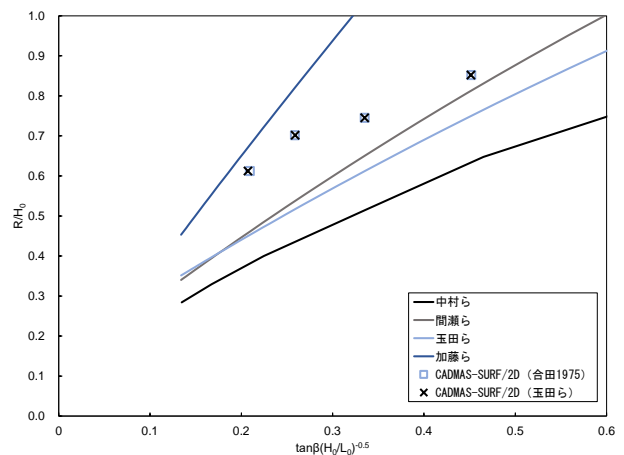


図 8 H=5.0m, T=12s の比較

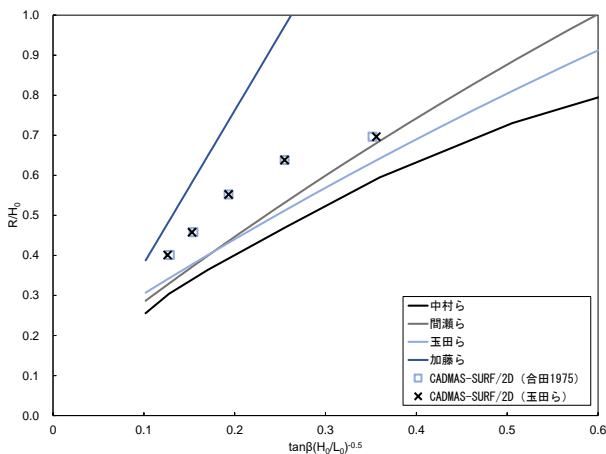


図 6 H=6.0m, T=10s の比較

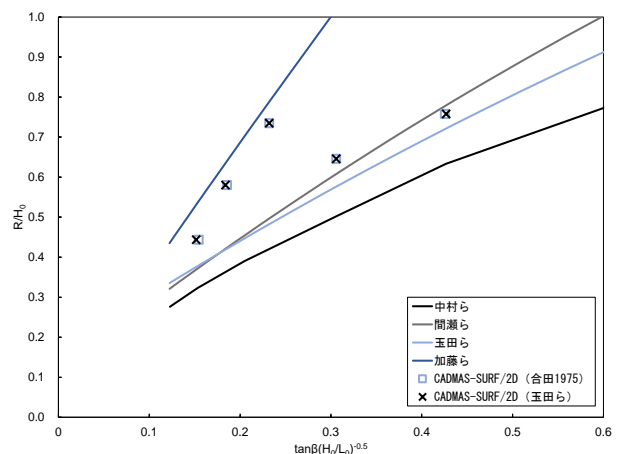


図 9 H=6.0m, T=12s の比較

(2) 改良仮想勾配を算出するための h_b は、打上高に大きく影響を及ぼさないため、各条件の碎波水深算定図を使用すべきである。しかし、移動限界水深は粒径によって h_b が大幅に変動し、打上高にも影響を及ぼすことから、使用は避けるべきだと考えられる。また、打上高算定式は提体を対象としているが、波形勾配や海底勾配の条件によっては、砂浜上の打上高も精度良く求めることが可能である。

(3) 新たな打上高算定式として式1-1を提案した。適用範囲は海底勾配1/10~1/50、波形勾配0.013~0.038である。

本研究ではCADMAS-SURF/2Dの解析条件を定めるための対象事例を1ケースしか用意することが出来なかった。そのため、他の事例を用意し、解析条件と提案した算定式の妥当性について検討するべきだと考えられる。

7. 参考文献

- 1) 中村充・佐々木康雄・山田譲二：複合断面における波の打ち上げに関する研究,海岸工学講演会論文集,第19巻,pp.309-312,1972.
- 2) 玉田崇・間瀬肇・安田誠宏：複合断面に対する波の不規則性を考慮した打上げ高算定法に関する研究,土木学会論文集B2(海岸工学),第65巻,pp.936-940,2009.
- 3) 間瀬肇・所良晃・目見田哲・桜井秀忠・今林敏明：汀線近傍の一樣勾配斜面への不規則波の打上げ高,土木学会論文集B,第62巻,No.1,pp.163-168,2006.
- 4) 加藤史訓・笹岡信吾・諏訪義雄・山本浩之 松藤絵理子・上原謙太郎・富田雄一郎：現地観測によるうちあげ高算定方法の検証,土木学会論文集B2(海岸工学),第66巻,No.1,pp.711-715,2010

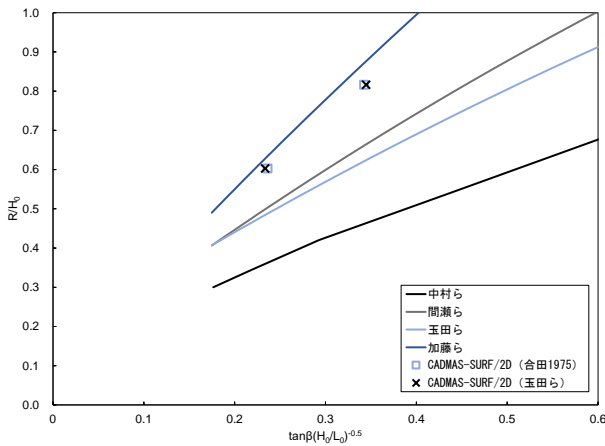


図 10 H=4.0m, T=14s の比較

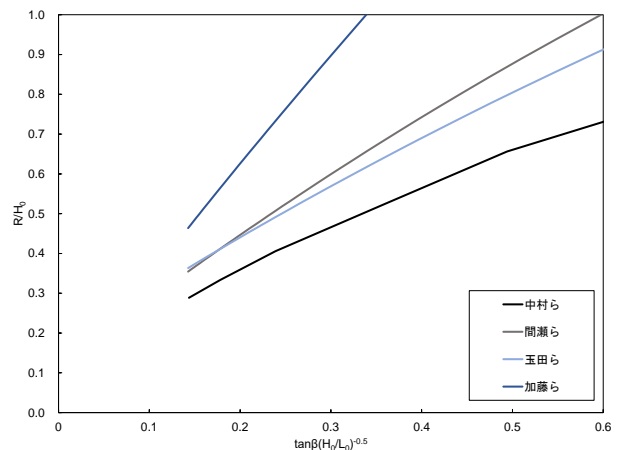


図 12 H=6.0m, T=14s の比較

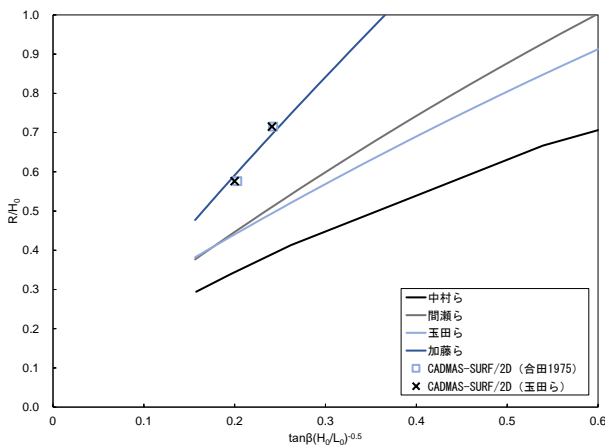


図 11 H=5.0m, T=14s の比較

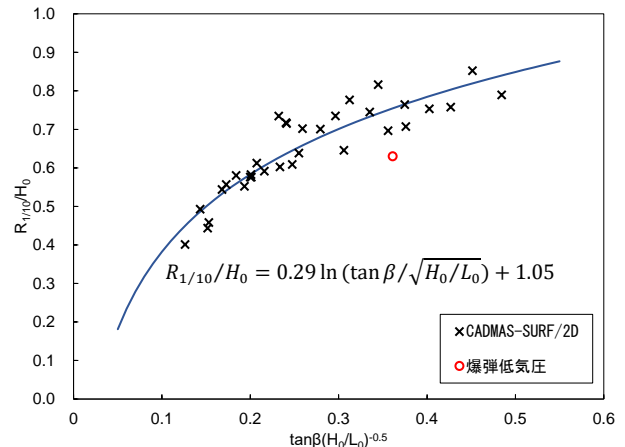


図 13 砂浜の打上高算定式