

ベトナム中部・クアダイ海岸における侵食域の拡大について*

東北大学工学部 長谷川 卓行
 東北大学大学院工学研究科 Dinh Van DUY
 東北大学大学院工学研究科 田中 仁
 Thuylol University NguyenTrung Viet

1. はじめに

ベトナム中部に位置する Thu Bon (ツーボン) 川河口部左岸の Cua Dai (クアダイ) 海岸においては近年深刻な海岸侵食が確認され、ここ 10 年の間に 160m もの海岸線の後退が見られている。それと共に同国屈指のリゾートビーチであるクアダイ海岸は、近年ホテル前面の海水浴場が失われるなど、周辺のビーチリゾートを中心とする観光産業に大きなダメージが発生している。一方で、河口右岸には全く侵食が見られない。田中ら (2016) はこのような侵食特性の左右岸での非対称性を河口前面テラスの非対称性によるものだと指摘している。また、クアダイ河口周辺の汀線は海岸に突出した典型的なデルタ地形を有している。そこで、デルタ形状に関するワンラインモデルでのモデル定数が求められた (Duy ら, 2016)。本研究では、Landsat から得られた衛星写真と比較して、ワンラインモデルによるクアダイ海岸の侵食域拡大の再現を試みる。

2. 研究対象地域

クアダイ海岸の位置を図-1 に示す。クアダイ海岸はベトナム Quang Nam (クアンナム) 省の Hoi An (ホイアン) 市に位置し、ツーボン川が流入する海域に位置している。ツーボン川の幹川流路延長は約 204km であり、河口から約 33km で連結されているヴェーザー川も合わせた流域面積は 10,350km² である。河口から約 30km 地点のザオトゥイにおける年平均流量は 327m³/s である。

本研究の対象地域は、特に海岸線の後退が顕著であるクアダイ海岸河口から左岸方向へ 7500m までの区間である。

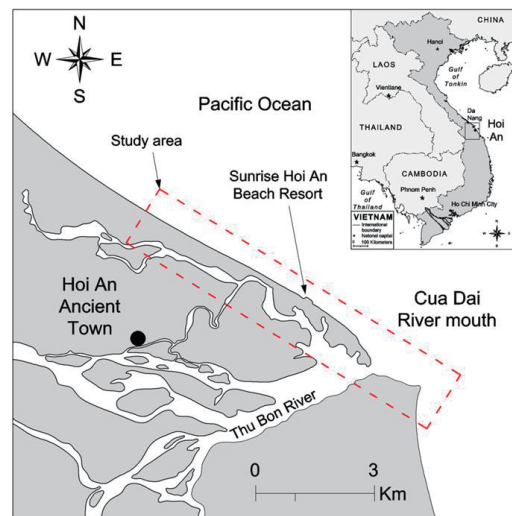


図-1 研究対象地域

* Expansion of erosion area on Cua Dai Beach, Central Vietnam, by Takuyuki Hasegawa, Dinh Van Duy, Hitoshi Tanaka and Nguyen Trung Viet

3. 研究方法

図-2 のような平面座標系(x, y)における河口デルタの発達過程を論じる。汀線 y を予測するためのモデルである以下に示される式(1)のワンラインモデルの解析解 (Larson et al., 1987) を用いる。

$$y(x, t) = \frac{q_0}{D} \sqrt{\frac{t}{\pi \varepsilon}} e^{-x^2/(4\varepsilon t)} - \frac{q_0 |x|}{D 2\varepsilon} \operatorname{erfc} \left[\frac{|x|}{2\sqrt{\varepsilon t}} \right] \quad (1)$$

ここで、 y :汀線位置、 x :河口部に原点を有する水平座標、 t :デルタ形成期間、 q_0 :単位時間当たりの河口からの排出土砂量、 $D = D_C + D_B$ (D_C :移動限界水深、 D_B :バーム高さ)、 ε :拡散係数、 erfc :余誤差関数である。ところで1990年7月のLandsat画像とワンラインモデルの比較から最も誤差が少ないとき $\varepsilon t = 2.3 \times 10^7 \text{ m}^2$ が満たされるとわかっている(Duyら, 2016)。

さてここで、図-3に示すように q_0 が経時変化を示すものと仮定する。すなわち、 $t = t_1$ において供給土砂量 q_0 について Rq_0 の低減があるとすれば、基礎式が線形であることから解は式(2)となること分かる。

$$y(x, t) = \frac{q_0}{D} \sqrt{\frac{t}{\pi \varepsilon}} e^{-x^2/4\varepsilon t} - \frac{q_0 |x|}{D 2\varepsilon} \operatorname{erfc} \frac{|x|}{2\sqrt{\varepsilon t}} - R \left(\frac{q_0}{D} \sqrt{\frac{t-t_1}{\pi \varepsilon}} e^{-x^2/4\varepsilon(t-t_1)} - \frac{q_0 |x|}{D 2\varepsilon} \operatorname{erfc} \frac{|x|}{2\sqrt{\varepsilon(t-t_1)}} \right) \quad (2)$$

拡散係数 ε やツーボン川からの左岸への供給土砂量は明らかになっておらず、 ε と R の値を変え1990年以降の汀線変化における実測値と理論値の比較を行う。

実測データとしてはLandsatから得られる汀線資料を用いた。幾何補正を行った後に、画像処理により水際線を抽出した。

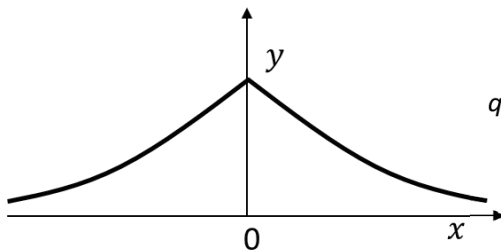


図-2 座標の定義

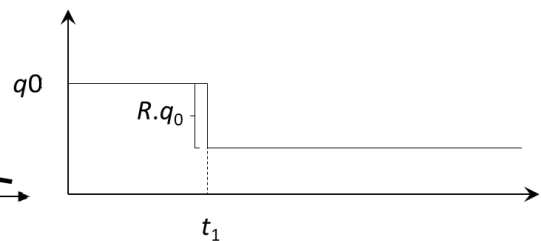


図-3 q_0 の変化

4. ワンラインモデルの解析解と実測値の比較

2010年、2005年と1990年の汀線変化における実測値と理論値の結果を以下に示す。なお、2015年との比較も行ったが紙面の都合上結果は記載しない。

図において x 軸は河口からの距離を示す。 y 軸は1990年の実測値との汀線変化を表す。 $\varepsilon = 140 \text{ m}^2/\text{s}$, $180 \text{ m}^2/\text{s}$, $210 \text{ m}^2/\text{s}$, のそれぞれにおいて $R = 0, 2, 0, 4, 0, 6, 0, 8, 0, 1, 0$ の値を代入し、それらを実測値と比較した。

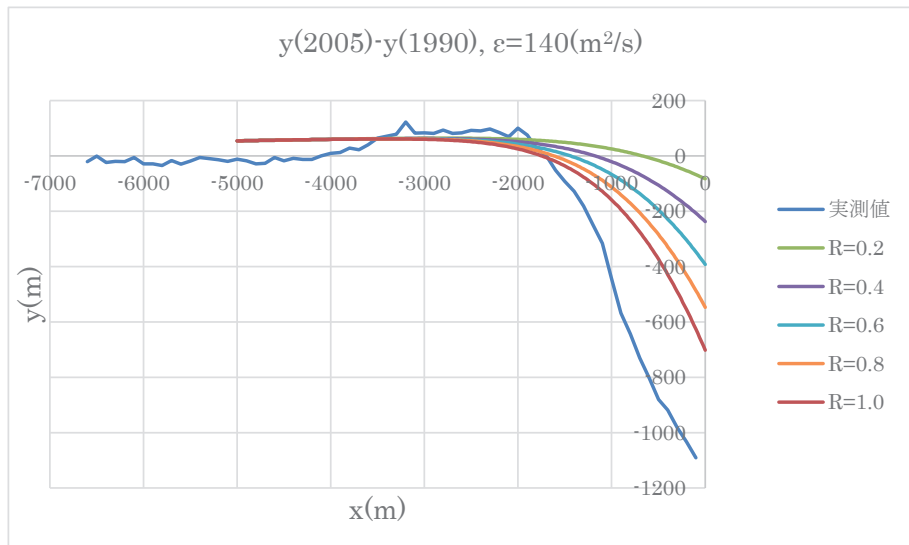


図-4 2005年と1990年の汀線変化の理論値と実測値の比較 ($\epsilon = 140m^2/s$)

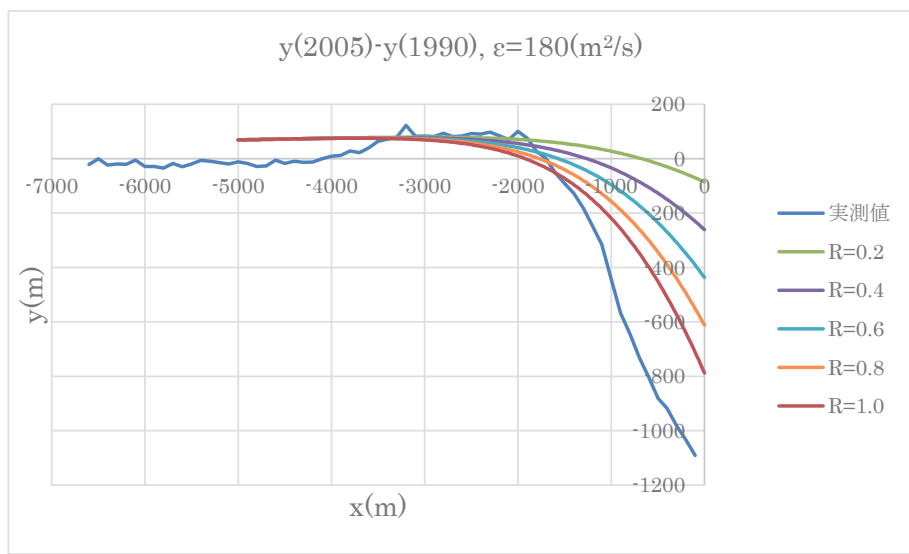


図-5 2005年と1990年の汀線変化の理論値と実測値の比較 ($\epsilon = 180m^2/s$)

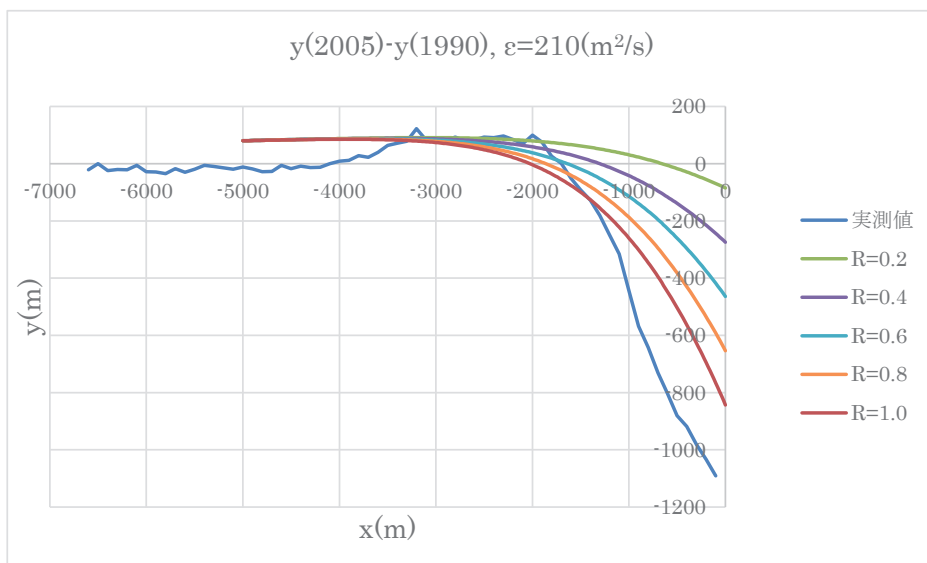


図-6 2005年と1990年の汀線変化の理論値と実測値の比較 ($\varepsilon=210\text{m}^2/\text{s}$)

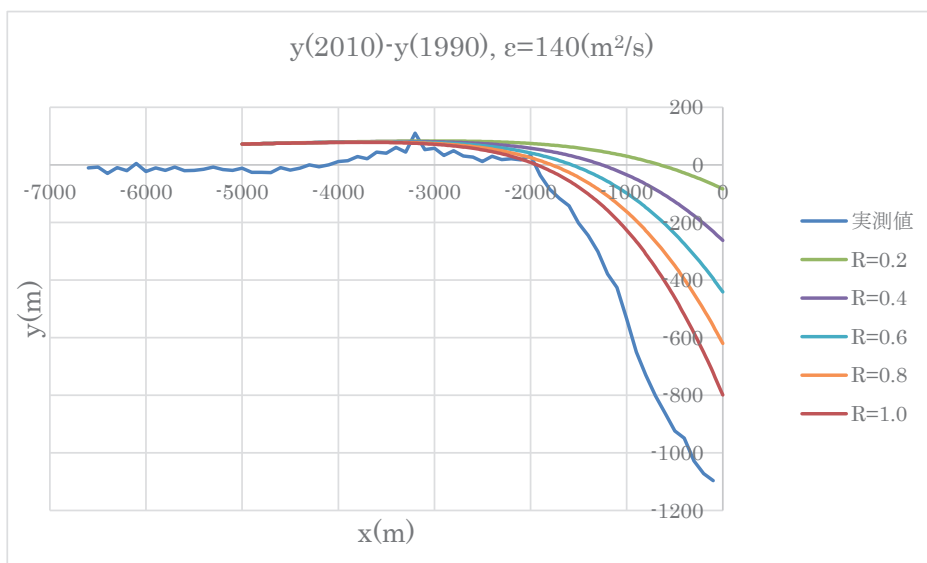


図-7 2010年と1990年の汀線変化の理論値と実測値の比較 ($\varepsilon=140\text{m}^2/\text{s}$)

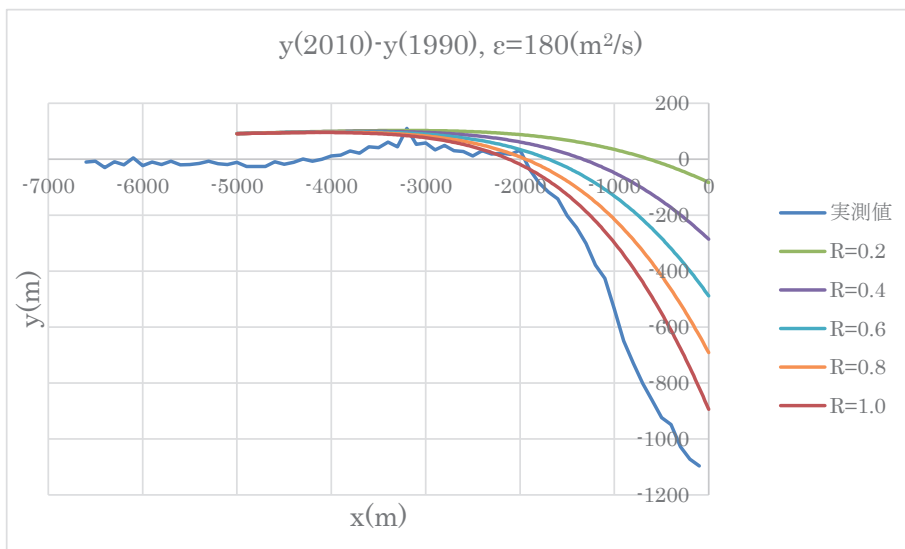


図-8 2010年と1990年の汀線変化の理論値と実測値の比較 ($\epsilon = 180\text{m}^2/\text{s}$)

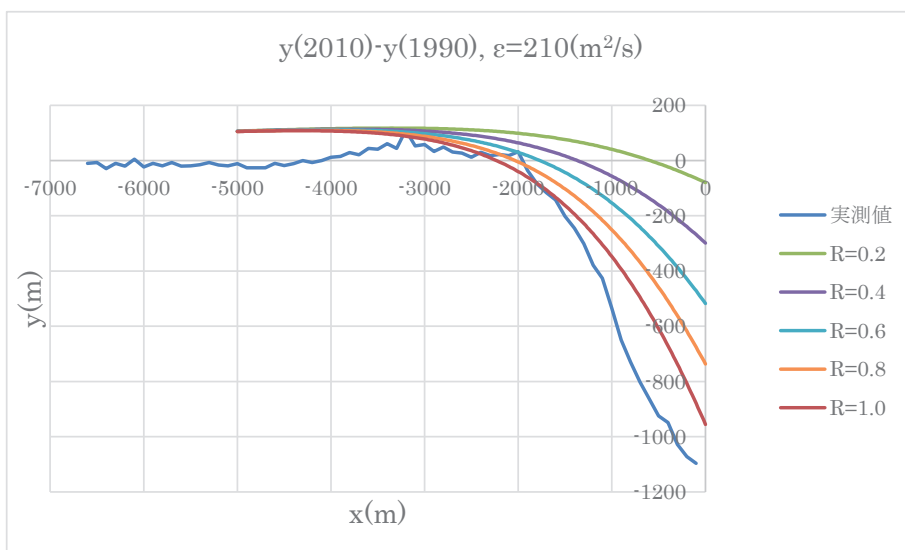


図-9 2010年と1990年の汀線変化の理論値と実測値の比較 ($\epsilon = 210\text{m}^2/\text{s}$)

これらの結果からわかるように、河口付近では理論値と比較して実測値のほうがより侵食が激しいことが分かる。これは河口付近に砂嘴が形成されるなど複雑な海岸形態をもつからである。一方で図-6, 図-8, 図-9 からわかるように $x=-1500\text{m}$ から $x=-3000\text{m}$ の範囲では比較的海岸線を近似することができているとわかる。ワンラインモデルの解析解を用いることで、海岸線の実現が可能であるとわかる。また、 R の値が大きくなるほど、つまり供給土砂量が少ないほど実測値に近づくことがわかる。

5. おわりに

本研究ではワンラインモデルの解析解を用いた実測値と理論値の比較を行った。今後、護岸などの存在を加味した解析を行う必要がある。

参考文献

- Dinh Van Duy, 田中 仁, 三戸部佑太, Vo Cong Hoang, Nguyen Trung Viet: ベトナム・クアダイ海岸における河口デルタ形成と近年の侵食機構に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_1657-I_1662, 2016.
- 田中 仁, Vo Cong Hoang, Nguyen Trung Viet, Dinh Van Duy: ベトナム中部クアダイ海岸に形成された河口テラスと大規模海岸侵食との関連, 土木学会論文集(水工学), Vol.72, No4, pp.I_361-I_366, 2016.
- Larson, M., Hanson, H. and Kraus, N. C.: Analytical solutions of the one-line model of shoreline change, Technical Report CERC-87-15, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1987.