

粒度分布を考慮した養浜量の割増率の設定方法

加藤史訓・野口賢二

1. はじめに

海岸侵食対策として近年各地で行われている養浜の必要量の検討においては、現地砂に対する養浜砂の粒径を考慮する必要がある。たとえば、養浜による海岸侵食対策を検討する際には、現地砂と養浜砂の代表的な粒径を定めて、目標砂浜幅の確保に必要な養浜砂の体積を海浜変形予測計算により求める。しかし、このような計算により海岸侵食対策の計画を定めても、養浜砂の入手制約のため、計算で対象とした粒径の養浜砂を入手できるとは限らない。その場合、入手可能な養浜砂の粒径のもとで海浜変形予測計算を改めて実施する必要があるが、その計算の労力が大きい。

その代替措置として、米国陸軍工兵隊の設計マニュアル¹⁾に記載されているJames²⁾の方法を用いることが考えられる。この方法は、現地砂より小さい粒径の養浜砂が沖に流出する分を考慮して、必要な養浜量に対する割増率を現地砂と養浜砂の粒度分布から求めるものである。海浜変形予測計算において現地砂と養浜砂の粒径を同一としていた場合、その計算で得られる養浜量にJamesの方法で得られる割増率を掛けることで、養浜砂の粒径に対して必要な養浜量を得ることができる。しかし、わが国の海岸での養浜に対するJamesの方法の適用性は検証されていない。

本研究では、養浜が行われた新潟海岸金衛町工区第2工区及び静岡県浜松篠原海岸を対象に、深浅測量成果から海浜体積の増減率及び養浜の歩留まり率（養浜量に対する海浜体積の増加量の比）を求めた結果との比較によりJamesの方法の適用性を検証した³⁾。

2. Jamesの方法

Jamesの方法は、波による分級作用により安定的な粒度分布となり養浜箇所が安定するまで、現地砂の粒度分布に合わない養浜砂の成分が選択的

に取り除かれ沖に流出する仮定に基づき、現地砂と養浜砂の粒度分布から養浜量の割増率を求めるものである。この方法では、現地砂と養浜砂の粒径を対数正規分布と仮定し、両者の確率分布曲線を比較しつつ、現地砂の中央粒径から粒径の標準偏差を引いた値より粗い部分は残留するものとして、図-1のような算定図が求められている。米国陸軍工兵隊の設計マニュアル¹⁾では、以下の式で計算される指標をもとに、算定図から割増率を求めることになっている。

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_n} = \frac{\left[\frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6} \right]_b}{\left[\frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6} \right]_n} \dots (1)$$

$$\frac{\mu_b - \mu_n}{\sigma_n} = \frac{\left[\frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3} \right]_b - \left[\frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3} \right]_n}{\left[\frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6} \right]_n} \dots (2)$$

ここで、 σ は粒径の標準偏差、 μ は中央粒径（ ϕ スケール）、 ϕ は添え字の残留百分率の粒径（ $\phi = -\log_2 d$ 、 d は粒径(mm)）、添え字の**b**と**n**はそれぞれ養浜砂、現地砂である。図の縦軸となる式(1)の計算値が1以上であることは養浜砂の粒度分布が現地砂より広がっていることを、また、図の横軸となる式(2)の計算値が正であることは養浜砂の中央粒径が現地砂より小さいことを意味する。

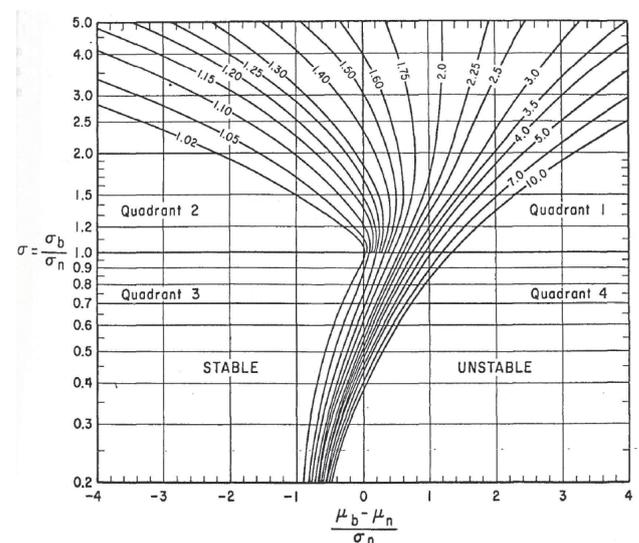


図-1 養浜量の割増率の算定図²⁾
(図中の実線上の数値が割増率)

図-1に示された養浜量の割増率の分布には、以下のような特徴が見られる。

- ・養浜砂の中央粒径が現地砂より小さいほど、割増率が大きくなる。
- ・現地砂と養浜砂の中央粒径が等しい場合、現地砂と養浜砂の σ が異なるほど割増率が大きくなるが、その変化は養浜砂の σ が現地砂より小さい場合の方が大きい。

Jamesの方法は、その前提としている現象をふまえると、沿岸方向の漂砂による海浜体積の変化を無視できる海岸での静的な養浜には適用できるが、沿岸漂砂の不均衡による侵食が生じている海岸での動的な養浜にはそのまま適用できないと考えられる。

3. 海浜体積の増減率及び養浜の歩留まり率の算定

3.1 新潟海岸金衛町工区

新潟海岸金衛町工区第2工区は、土砂の流出を抑制するため、両端をヘッドランド、沖側は人工リーフに囲まれた延長約1kmの区間である(図-2)。この工区では、2017年8月までに、二山型の人工リーフが5基設置された。2012~2018年度の総養浜量は約7.3万 m^3 である。なお、工区内の中央粒径は0.2~0.3mm程度である。

航空レーザーやナローマルチビームを用いた面的な測定の結果を用いて、図-3の紫枠内を対象に、2012年8月~2018年9月における海浜体積(沖側境界の水深より上部の海浜の体積)の増減率を求めたところ、2018年9月には1.25となった(図-4)。また、上記期間における養浜の歩留まり率は0.82であった。

3.2 静岡県浜松篠原海岸

静岡県浜松篠原海岸では、馬込川河口から西の延長約2.5km区間を対象とした(図-5)。浜松篠原海岸では、2003年の高波による侵食を受けて、離岸堤3基の設置と年間5万 m^3 の養浜を行うこととされた。各離岸堤は、対象区間の西寄りに2007年、2008年、2011年に設置された。また、養浜は2004年から2016年まで馬込川河口の西側(図-5の右側)200~500m区間で継続され、養浜量の合計は計画を上回る約94万 m^3 である。なお、現地砂の中央粒径は0.2~0.3mm程度であるが、汀線付近ではそれより大きくなることもある。

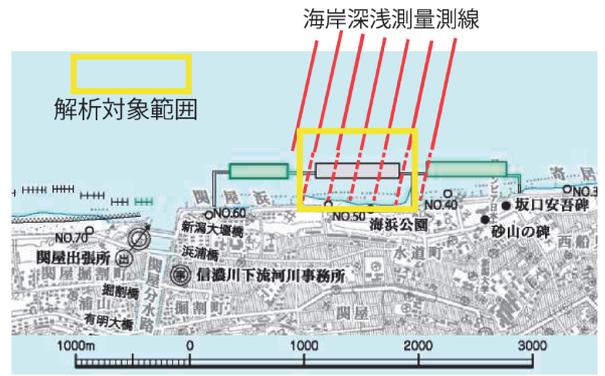


図-2 新潟海岸金衛町工区の解析対象範囲

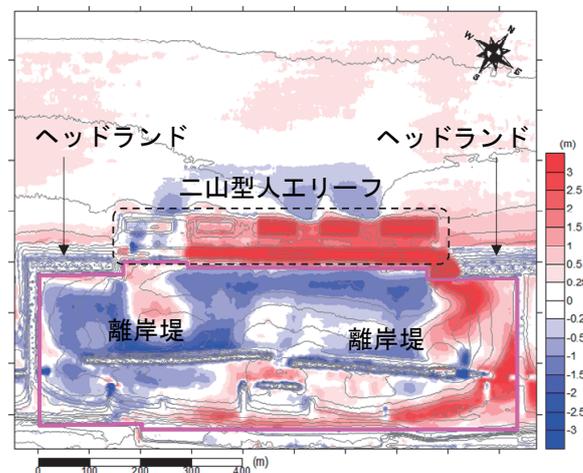


図-3 新潟海岸金衛町工区の解析対象範囲

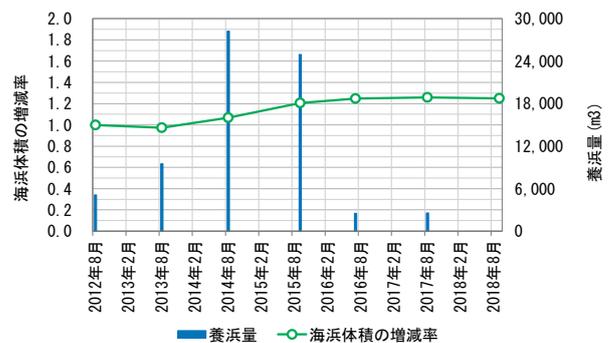


図-4 新潟海岸金衛町工区の花浜体積の増減率の時系列

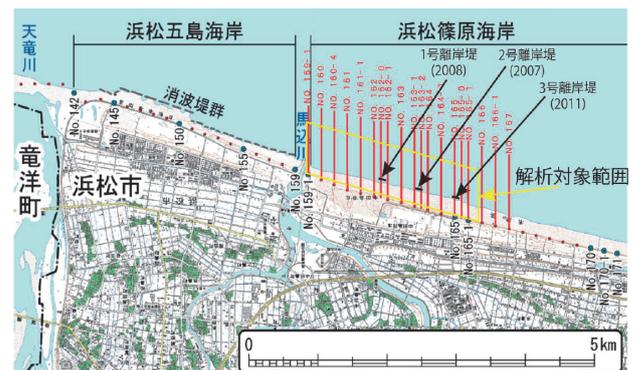


図-5 浜松篠原海岸の解析対象範囲

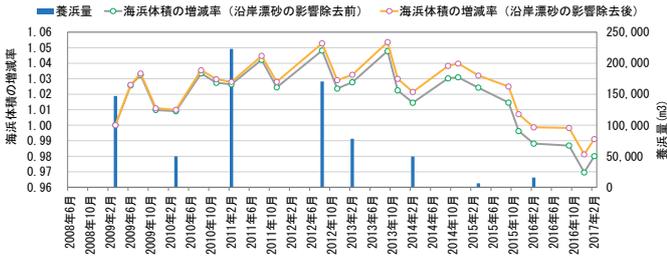


図-6 浜松篠原海岸の海浜体積の増減率と養浜量の時系列

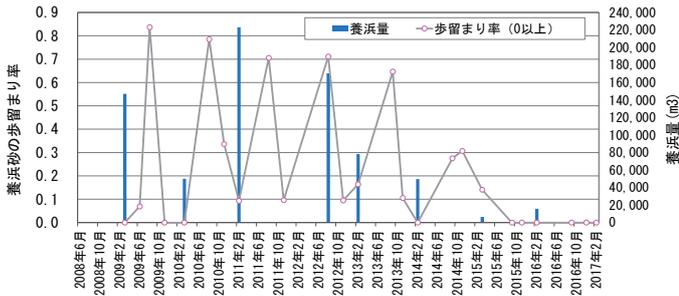


図-7 浜松篠原海岸の養浜の歩留まり率 (2008年6月起点)

浜松篠原海岸は、ヘッドランドと人工リーフで囲まれた金衛町工区とは異なり、沿岸漂砂による海浜体積の増減を無視することができない。そこで、沿岸漂砂による変化土量を差し引いた海浜体積の増減率を求めた。対象期間は、年3回程度の頻度で深淺測量が行われていた2008年6月～2017年2月である。沿岸漂砂による変化土量は、浜松篠原海岸を含む延長32kmの海岸（天竜川河口～浜名湖今切口の西約11km）を対象に求めた。具体的には、航空写真から読み取った1962年～2015年の汀線変化を再現できることを確認した汀線変化モデルに、天竜川河口沖に設置されている竜洋観測所の波浪観測値（1999～2018年）から求めたエネルギー平均波を、各測量期間の各波向の発生頻度を考慮して与えて求めた。

図-6は、2008年6月を起点とした海浜体積の増減率と各時期に行われた養浜量⁴⁾を示している。対象期間内の累計養浜量は約74万m³だが、その約90%は2014年2月までの養浜である。また、対象期間内では2009年10月や2011年9月、2012年6月及び9月に竜洋観測所で10m以上の波高が観測されたが、2008年6月を起点とした海浜体積の増減率は、沿岸漂砂による変化土量を差し引いても大きく変わらず、どの時点でも0.99～1.06の範囲に収まっていた。しかし、2013年9月以降、夏季を中心に、海浜体積の増減率が減少する傾向にある。

また、図-7のように、2008年6月を起点とした養浜の歩留まり率（沿岸漂砂による変化土量を差し引いた海浜体積の変化量を累計養浜量で除した値）の変化を求めた。養浜の量および時期は、遠州灘沿岸侵食対策検討委員会の資料⁴⁾をもとに与えた。養浜の歩留まり率は2013年まで夏季に比較的高い値になっているが、その夏季の値は年々低下し、特に2013年9月以降は急激に下がった。

4. 養浜量の割増率の検証

上記2海岸を対象に、Jamesの方法により養浜量の割増率を求め、3.で得られた養浜の歩留まり率の逆数と比較した。なお、養浜量の割増率の算定には、現地砂については汀線付近の粒度分布を用いた。

4.1 新潟海岸金衛町工区

新潟海岸金衛町工区における養浜量の割増率については、粒度分布が判明している2014年の養浜砂のデータを用いて求めた。この年の養浜には信濃川の掘削土砂が使われており、3つの試料の粒度分布が測定されている。また、養浜砂の投入先は区間西側と区間東側の2箇所であり、それぞれの現地砂の粒度分布が測定されている。そこで、これらを組み合わせた3つのパターンについて養浜砂の割増率を計算した。

図-8のように、新潟海岸金衛町工区の割増率については、区間西側の現地砂（ d_{50} : 0.30mm）に対する養浜砂1（ d_{50} : 0.30mm）は1.10、区間東

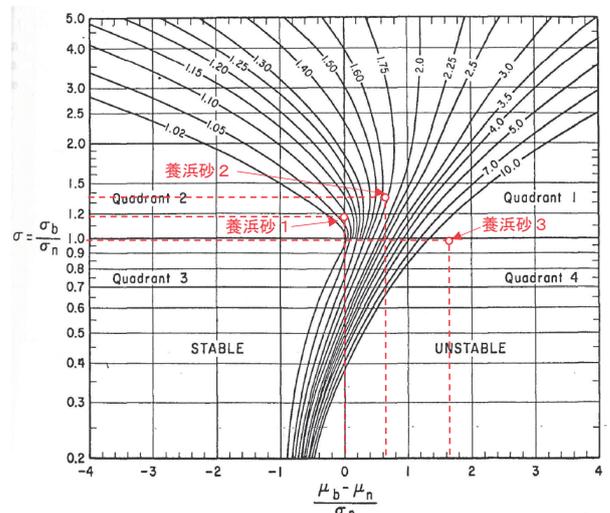


図-8 養浜量の割増率の算定結果 (新潟海岸金衛町工区)

側 (d_{50} : 0.35mm) に対する養浜砂 2 (d_{50} : 0.30mm) は1.75と算定されたが、区間東側に対する養浜砂3 (d_{50} : 0.18mm) に対しては不安定と評価された。3(1)で求めた養浜の歩留まり率の逆数は養浜砂1と養浜砂2の割増率の間に入っており、Jamesの方法で求められる養浜量の割増率は現地海岸での海浜体積の変化と概ね整合していた。

4.2 静岡県浜松篠原海岸

浜松篠原海岸における養浜量の割増率については、遠州灘沿岸侵食対策検討委員会の資料⁴⁾に示されている粒度分布を用いて求めた。養浜砂の粒度分布は2008年以前と2009年以降との間で大きく異なっていることから、それらの間となる粒度分布についても割増率を算定した。

図-9のように、浜松篠原海岸の割増率は、2008年以前の養浜砂 (d_{50} : 6.0mm) に対しては1.02 ~ 1.05、2009年以降の養浜砂 (d_{50} : 0.55mm) 及び上記2つを混合した養浜砂 (d_{50} : 0.85mm) に対しては1.10~1.15と算定された。一方、3.2で求めた養浜の歩留まり率の逆数は、2009年8月の1.2から2013年9月に1.5に増加し、その後著しく増大している。沿岸漂砂による変化土量が無視できる新潟海岸金衛町工区とは異なり、沿岸漂砂による変化土量が無視できない浜松篠原海岸では、Jamesの方法で求められる養浜量の割増率がやや過小となる可能性があると考えられる。

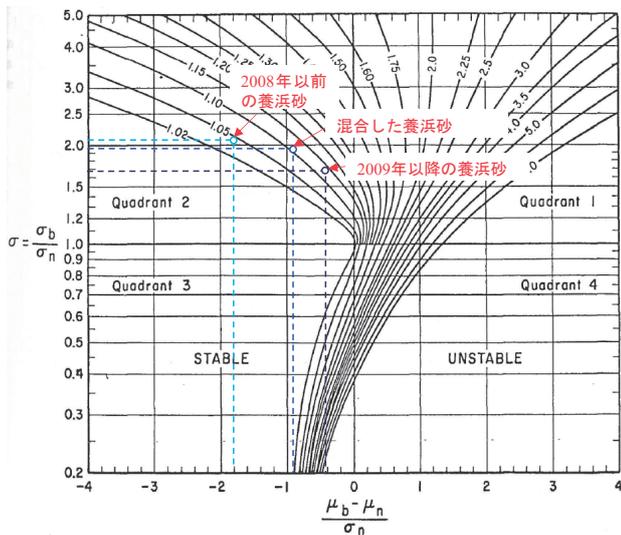


図-9 養浜量の割増率の算定結果 (浜松篠原海岸)

5. まとめ

以上の結果から、沿岸漂砂による土量変化が無視できると考えられる海岸ではJamesの方法を養浜量の設定に活用できることがわかった。養浜の実施にあたっては、中央粒径だけでなく粒度分布についても現地砂と比較して養浜砂を選定した上で、それらの粒度分布をもとにJamesの方法により必要な養浜量を求めることが必要である。

謝 辞

新潟海岸金衛町工区の深浅測量成果は北陸地方整備局信濃川下流河川事務所から、浜松篠原海岸の深浅測量成果は静岡県交通基盤部河川砂防局から提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) US Army Corps of Engineers: Coastal Engineering Manual, V-4 Beach Fill Design, <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/636F617374616C20656E67696E656572696E67206D616E75616C/>, 参照2021-04-20.
- 2) James, W. R.: Techniques in Evaluating Suitability of Borrow Material for Beach Nourishment, Technical Memorandum No.60, U. S. Army Corps of Engineers, 81p., 1975.
- 3) 加藤史訓・野口賢二・坂井良輔・片野明良: 粒度分布を考慮した養浜量の割増率に関する現地検証、土木学会論文集 B2、Vol.77、No.2、pp.I_577~I_582、2021.
- 4) 静岡県河川砂防局: 遠州灘沿岸侵食対策検討委員会資料、<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-320/measures/ensyunadakento.html>、参照2021-05-11.

加藤史訓



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部 海岸研究室長、博士 (工学)
Dr. KATO Fuminori

野口賢二



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室 主任研究官、博士 (工学)
Dr. NOGUCHI Kenji