

定点カメラ画像の判読と幾何補正法による養浜効果の定量的測定

Evaluation of Effect of Beach Nourishment Using Imageries Produced from Photographs Taken from Fixed Point by Geometric Transformation

宇多高明¹・石川仁憲²・三波俊郎³・湖内真帆³・進藤 豊⁴・和田昌明⁵

Takaaki UDA, Toshinori ISHIKAWA, Toshiro SAN-NAMI, Maho KONAI
Yutaka SHINDOU and Masaaki WADA

On the Chigasaki coast, beach nourishment using coarse material has been carried out since 2004 to recover the sandy beach. To investigate the daily changes of the nourished beach, photographs have been taken from a fixed point. The 51 photographs taken at 1 s intervals were selected under the conditions that the tide level is within M.S.L.±0.1 m, the significant wave height is less than 0.5 m, and the photograph was taken between 8 and 12 am. The weighted average of these photographs was obtained to clearly determine the shoreline position. The imageries were produced from these photographs by the geometric transformation method. The change in shoreline position after the beach nourishment was monitored using the imageries.

1. まえがき

茅ヶ崎中海岸では、相模川からの供給土砂の激減と漁港整備等によって汀線が最大50m後退し、湘南海岸の中でも侵食が著しい(宇多ら, 2006)。このため2006年には試験養浜が、2007年より本格養浜が開始され、これまでに93,697m³の土砂投入が行われた。今後も2016年までに30万m³の養浜が計画されている。養浜は毎年1月～3月に行われ、礫($d>2\text{mm}$)を多く含む養浜材を用いているのが特徴であり、特に2008年、2009年の養浜材の礫の含有率はそれぞれ57%、45%であり、大量の礫が投入された。また養浜材の投入は海岸線に沿って走る遊歩道と汀線の間にダンプトラックで運搬した養浜材を山積みする盛土方式で行われている。茅ヶ崎中海岸の養浜は、高波浪時でも汀線付近に礫が留まることにより、海岸保全に効果的なことは既に明らかになっている(石川ら, 2008)が、日々変化する波浪条件のもとでの盛土養浜による海岸保全効果は明らかでない。本研究では、茅ヶ崎中海岸に設置されている定点カメラの画像解析を行うことで、短期的な地形変化もふまえた盛土養浜による海岸保全効果を定量的に明らかにする。

2. 解析方法

茅ヶ崎中海岸では海岸背後の防災無線用の鋼管に定点カメラが装着されており、2007年1月30日から6時～18時の毎正時50秒の画像データが記録されている。撮影範囲は図-1に示すように海岸西側の茅ヶ崎漁港方向を望み、漁港東側のサザンビーチとの境界にある6号水路と、海岸中央部にある1, 2号突堤および養浜区域が含まれる。本研究では、①撮影時の潮位が平均潮位に近く、②波の打ち上がりによる精度の低下を避けるため入射波高が低く、③太陽光が順光となる条件を満足するため撮影時刻が午前中、という3条件を満たす連続画像(1秒間隔で50秒間: 51枚)をほぼ1ヶ月間隔で抽出した。具体的には潮位がM.S.L.±0.1m以内、平塚観測塔における有義波高が0.5m以下、撮影時刻が8～12時とした。次に51枚の画像群を加算平均した画像を作成した。これにより汀線付近の碎波による白濁域が平均化され、汀線位置がより明瞭に識別可能となる(Lippmann・Holman, 1989; 鈴木ら, 2002)。この画像を用いて2号突堤から6号水路付近の海浜状況の変化を調べた。さらに中海岸の汀線位置を定量的に計測するため、平均化画像を幾何補正することにより垂直写真に変換し、それより汀線変化を調べた。

1	正会員	工博	(財)土木研究センター常務理事 なぎさ総合研究室長兼日本大学客員教授 理工学部海洋建築工学科
2	正会員	工修	(財)土木研究センターなぎさ総合研究室 海岸研究室(有)
3			神奈川県藤沢土木事務所 なぎさ河川砂防部
4			なぎさ港湾課長
5			神奈川県藤沢土木事務所 なぎさ河川砂防部 なぎさ港湾課

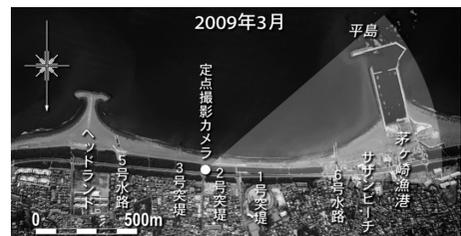


図-1 定点カメラの設置位置と撮影範囲

3. 平均化画像の判読

平塚波浪観測塔での観測データをもとに、解析期間中の有義波高と周期の変化を図-2に示す。図には各年の養浜期間と養浜量も示す。解析期間中には2007年9月6日に西湘バイパスの崩壊など主に相模湾西部沿岸に甚大な被害をもたらした台風9号 ($H_{1/3}=6.1\text{m}$, $T_{1/3}=10.1\text{s}$) が来襲している。この台風9号は高波浪の作用時間が観測史上最長であったことが特徴である (宇多ら, 2009)。また2009年10月8日には相模湾東部沿岸で侵食や波浪・高潮被害をもたらした台風18号 ($H_{1/3}=6.5\text{m}$, $T_{1/3}=10.4\text{s}$) が来襲している。一方、台風9号来襲後から台風18号来襲前までの期間は比較的静穏な状況が続き、とくに2008年6月～11月の半年間は2m以上の波高は来襲していない。このような条件下において生じた汀線位置や海浜状況の経時変化について、平均画像のうち養浜時や静穏時、高波浪時の状況を抽出し、以下に考察する。画像手前が東側、奥が西側となる。また各画像には、汀線変化比較のために2007年5月12日の汀線を実線で示す。

(1) 2007年養浜直後と台風9号来襲前後

(2007年5月12日, 9月4日, 9月11日: 図-3(a)(b)(c))

2007年5月12日は、白濁した碎波帯の状況から2号突堤の両側では相対的に緩勾配の海浜であるが、1号突堤の東側隣接部の護岸前面では急深であったことが分かる。また2号突堤の東側の傾斜護岸の一部は異形ブロックが砂に埋っていた。その後、台風来襲前の9月4日までは異形ブロックは砂に埋ったままで、汀線位置もほとんど変化せず海浜状況に大きな違いは見られない。

9月11日の台風9号来襲後は汀線付近では大きな変化がないが、後浜で地形変化が生じた。侵食により2号突堤の基部の○印で示す部分では異形ブロックが露出した。併せて現地では盛土部分から土砂が削られ沖に流出したことが確認されている (石川ら, 2008)。このように後浜や盛土養浜の土砂が侵食されたにもかかわらず汀線位置はほとんど変化していない。

(2) 静穏な波浪条件下

(2008年6月10日, 11月6日, 12月16日: 図-4(a)(b)(c))

図-2に示したように、2008年1月から3月にかけての31,655 m^3 の養浜後、5月末までには高波浪が数回来襲したが、6月10日から12月16日までは比較的静穏な状況であった。このことからこの期間の汀線位置や盛土養浜部に大きな変化は見られない。ほぼ1m以下の静穏な波浪条件では、既に高波浪によって削られた盛土養浜ののり先を波が洗うことがないことがわかる。一方、11月6日では礫がカスプ状に集積した。このカスプ状の礫の堆積域は12月16日では見られないが、2号突堤のブロックの露出状況がほとんど変化していないことから、表層を細

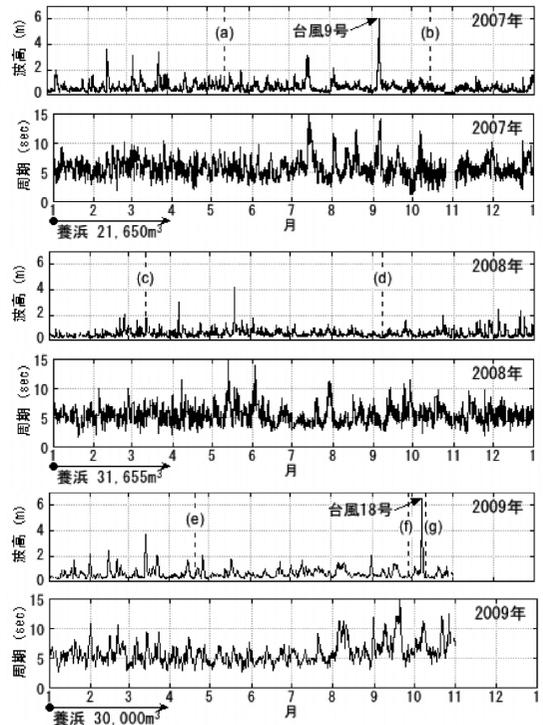


図-2 平塚観測塔における波浪観測結果
(2007年1月～2009年10月)

砂・中砂が覆ったと推定できる。

(3) 2009年養浜時

(2009年1月28日, 4月19日: 図-5(a)(b))

2008年と同様に盛土養浜は1号突堤と6号水路間から行われ、4月19日には1号突堤を越えて東側まで養浜区域が広がった。2008年に比べて養浜期間中に2m以上の高波浪が数回来襲していることから、養浜期間中も盛土養浜から土砂が供給されたと考えられ、その結果全域にわたって汀線が大きく前進した。また4月19日ではこれまでは顕著に見られなかったカスプ状の礫の堆積域が確認できる。

(4) 台風18号来襲前

(2009年7月31日, 8月16日, 9月27日: 図-6(a)(b)(c))

2009年7月31日まで礫が堆積してできたカスプの分布に変化が見られるものの、海岸状況に大きな変化は見られない。一方、2009年8月16日では、全域にわたって大量の礫がうち上がり前浜を覆っている。これは図-2に示したように、波高が小さく、周期が長い波浪が長時間連続して作用 (8月5日～11日, $H_{1/3} \approx 1.0\text{m}$, $T_{1/3} \approx 10\text{s}$) したことによる。その後9月27日では広い範囲で砂が礫を覆っている。8月16日から9月27日の間も同様に波高が小さく、周期が長い波浪が長時間作用 (9月17日～20日, $H_{1/3} \approx 1.0\text{m}$, $T_{1/3} \approx 10\text{s}$) したことがこの原因と考えられる。



図-3 2007年の養浜直後と台風9号来襲前後の状況



図-4 静穏な波浪条件下での状況



図-5 2009年の養浜時の状況



図-6 台風18号来襲前の状況



図-6 台風18号来襲前の状況



図-7 台風18号来襲後の状況

(5) 台風18号来襲後 (2009年10月11日：図-7)

2009年10月8日の台風18号来襲後の10月11日では、前浜で再び礫が露出し、さらに9月27日に見られた2号突堤の東側に堆積していた礫が削り取られ、1層目の異形ブロックが露出した。また1号突堤から2号突堤へと続く異形ブロックの最上段が露出し、盛土養浜部は海側が大きく削れ、異形ブロックが露出した。2007年の台風9号来襲後の図-3(c)と比べて後浜背後の堆砂垣や自転車道背後の堆砂垣が陸側に倒れていることから、台風9

号よりも波の遡上が著しかったことが分かる。一方、汀線は後退することなく、むしろ来襲前に比べて前進したようにみえる。台風9号来襲時でも同様な状況であったことから、盛土養浜は高波浪時において土砂供給源となり、海岸保全効果を発揮したと考えられる。

4. 平均化画像の幾何補正による定量的解析

平均画像は、高さ10mの防災無線用の鋼管に取り付けられたカメラによる俯瞰画像のため、このままでは定量

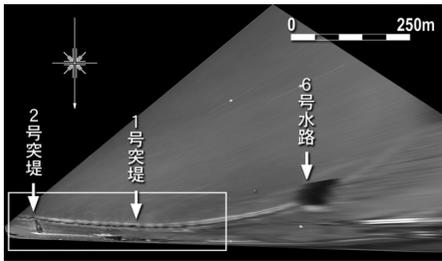


図-8 画像の座標変換結果と解析区域

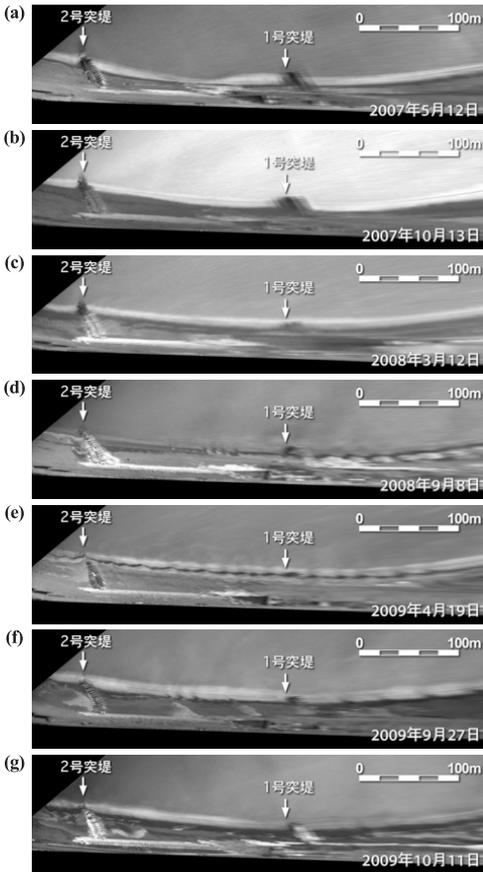


図-9 幾何補正後の定点カメラ画像

測定には向かない。そこで、茅ヶ崎漁港防波堤や突堤の先端など、平面位置を特定可能な同一水平面上の8地点を画像上に定め、これらを標定点として俯瞰画像を水平面上に投影する座標変換（射影変換）を行った。これにより標定点と同一平面上にある汀線付近の画像は垂直画像に補正され、この画像から汀線位置を直接計測可能となる。画像の座標変換結果の一例を図-8に示す。この画像では6号水路付近より西側は遠方かつ俯角が小さいため、上記の幾何補正を施した際の位置精度が低いので、図-8に示す矩形領域の拡大画像を解析対象とした。

解析では、平均化画像の中から、養浜時や静穏時、高

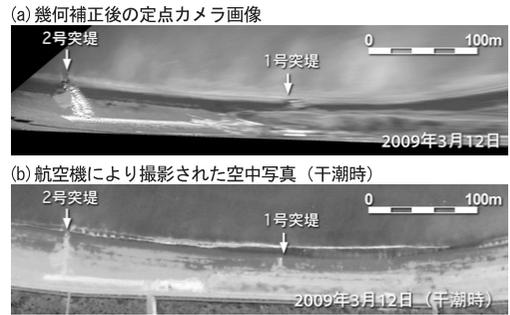


図-10 幾何補正後の定点カメラ画像と空中写真の比較

波浪時などを考慮して7時期の画像を選定した。図-9に7時期の幾何補正後の画像を示す。また図-9(a)~(g)に対応して、図-2には選定した画像の撮影時期を示す。図-9(a)は2007年の養浜後の画像(2007年5月12日)であり、この時期には、1、2号突堤の先端は静穏時の碎波点、もしくはその沖にある。図-9(b)は台風9号来襲後の海岸状況(2007年10月13日)を示す。3でも述べたが5月12日の画像と比較すると、高波浪の作用により2号突堤の付け根付近では砂が削り取られてコンクリートブロックが露出したが、汀線には変化が見られない。図-9(c)は2008年の養浜時の状況(2008年3月12日)で、養浜により汀線が大きく前進したことが1号突堤の埋砂状況から見て取れる。図-9(d)は静穏な波浪条件下における海岸の状況(2008年9月8日)で、1号突堤の西側でカスピの形成が著しい。図-9(e)は2009年の養浜直後の状況(2009年4月19日)で、図-9(a)と比べると2号突堤は砂浜にほぼ隠れたことから養浜によって砂浜が広がったことが分かる。また沿岸方向に連続して小規模なビーチカスピが多数形成されているのが見てとれる。図-9(f)は台風18号来襲前の状況(2009年9月27日)を示す。1号突堤はほぼ砂に埋まったままである。またカスピ状に集積した礫は沿岸方向に60~90m間隔で分布していることが分かる。そして図-9(g)は台風18号来襲後の状況(2009年10月11日)である。

図-10には2009年3月12日の幾何補正後の定点カメラ画像と同日の干潮時に撮影された通常の航空機により撮影された空中写真の比較を示す。撮影時の潮位が異なるので単純な比較はできないが、両者とも突堤とドライビーチの位置関係は同程度であり、幾何補正後の画像は海岸の状況を面的にとらえる精度を有しているといえる。そこで、幾何補正により変換された垂直画像から汀線位置を読み取り、解析期間中の汀線変化量を算出して定量的な相対評価を行った。図-11は2007年3月16日の汀線形状を基準とした2008年と2009年の養浜後の汀線変化量を示す。図-11(a)より2008年では、最初に土砂投入が行われた1号突堤西側の区域(X=280~420m)は、養

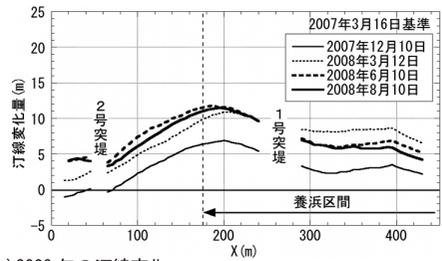
浜直後の2008年3月12日では汀線が+8mと大きく前進し、その後、時間の経過とともに後退し8月10日では汀線前進量が+6m程度となった。一方、土砂投入が1ヶ月程度遅い1号突堤東側の区域では3月12日に比べて8月10日の汀線前進量は大きく、結果として1号突堤を節として汀線が時計回りに回転したように見える。このようにして汀線は最終的に全域にわたってほぼ平行に前進している。図-11 (b) に示す2009年では、2008年で見られた特徴と異なり養浜直後の4月19日は、前進量に差はあるものの主に養浜区域前面で一様に汀線が前進している。その後、時間経過とともに後退し、最終的に2009年10月までの最大汀線前進量は10m、平均汀線前進量は7mとなった。また、養浜直後の一時的な汀線前進を除く短期的な汀線変動は5m以下である。

2号突堤から西に400m区間を対象に海浜面積の変化量を算出したのが図-12である。海浜面積は養浜を行うごとに増加し2009年10月時点の増加量は2,500m²となった。またどの年も養浜直後に増加量が大きい。図-3～図-7で見られたように盛土方式の養浜は、施工直後はそののり先が波によって洗われ急激に削られるが、その後は高波浪が来襲しない限りほとんど変化していない。図-12にはこのような特徴が表れているといえる。

5. まとめ

- ① 茅ヶ崎中海岸での養浜では、養浜直後は主に養浜区域の汀線が前進したが、最終的に汀線は全域にわたってほぼ平行に前進した。2009年10月までの最大汀線前進量は10m、平均汀線前進量は7m、短期的な汀線変動は5m以下であった。
- ② 2009年の8月～9月では、波高が低く周期が長い波浪 ($H_{1/3} \approx 1.0\text{m}$, $T_{1/3} \approx 10\text{s}$) が長時間連続して作用した結果、全域にわたって大量の礫がうち上がり前浜を覆った。さらに同様な条件が続くと広い範囲で砂が礫を覆った。一般に、波高が低く周期が長い場合は堆積傾向となるが、このような事象が礫と砂の土砂動態の違いも含めて実際に現地を確認された。
- ③ 2009年の台風18号来襲時には、堆砂垣が倒壊するなどの被害が生じたが、盛土養浜が削れて海岸に養浜材が供給されたことで汀線の維持が図られた。台風9号来襲時でも同様な状況であったことから、盛土養浜は高波浪時において土砂供給源となり、海岸保全効果を発揮することが明らかである。
- ④ 以上のように度重なる高波浪の来襲があっても、礫を多く含む養浜により茅ヶ崎中海岸の汀線は着実に前進し、養浜の海岸保全効果が定量的に明らかになった。一方、盛土養浜は、養浜直後や高波浪時には波によって盛土部が削られ養浜材が海岸に供給されるものの、

(a) 2008年の汀線変化



(b) 2009年の汀線変化

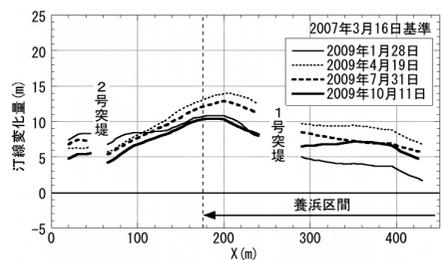


図-11 幾何補正後の画像より読み取った汀線変化

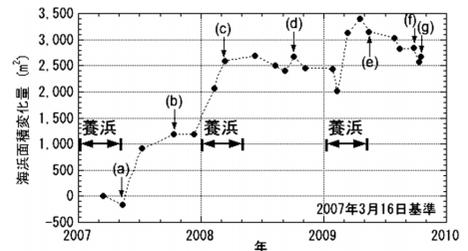


図-12 海浜面積の変化量 (2号突堤から西に400m区間)

高波浪が来襲しない限り盛土部が崩れることがないため、必要養浜量が海岸へ供給されない。この点を考慮すると、毎年の計画養浜量を適切に海岸に供給するための養浜方法の検討が今後の課題である。

参考文献

石川仁憲・宇多高明・青島元次・吉岡 敦・三波俊郎 (2008)：海岸保全とサーフィン利用の観点から見た台風9号による湘南海岸への影響，海洋開発論文集，第24巻，pp. 441-446。
 宇多高明・木下幸夫・山野 巧・吉岡 敦・三波俊郎・沓岐信二・石川仁憲 (2006)：長期深淺測量データに基づく湘南海岸の海浜変形の実態分析，海岸工学論文集，pp. 651-655。
 宇多高明・青島元次・鮫島 強・吉岡 敦・古池 鋼・石川仁憲・宮原志帆 (2009)：台風0709号の高波浪による茅ヶ崎中海岸の急激な侵食の再現，海岸工学論文集，第56巻，pp. 556-560。
 鈴木高二朗・高橋重雄・山縣延文・堀田 治・栗山善昭・Stefan Aarninkhof・Gerban Ruessink・Irv Elshoff (2002)：ARGUSビデオ解析による宮崎住吉海岸の長期地形観測，海岸工学論文集，第49巻，pp. 571-575。
 Lippmann, T. C. and R. A. Holman (1989): Quantification of Sand Bar Morphology: A Video Technique Based on Wave Dissipation, JGR, Vol. 94, pp. 995-1011.