大磯海岸における砂詰試験体周辺の前浜地形変化の観測

Field Observation of Foreshore Changes around Sand Bags on Oiso Coast

丸山将吾¹・磯貝朋之²・元永 秀³・宇多高明⁴・酒井和也⁵・石川仁憲⁶

Shogo MARUYAMA, Tomoyuki ISOGAI, Hide MOTONAGA, Takaaki UDA
Kazuya SAKAI and Toshinori ISHIKAWA

Three sand bags were experimentally installed on the Oiso coast in December 2010 to investigate the effect of short groins for controlling gravel movement on the foreshore. The foreshore changes around these sand bags were measured using a portable laser scanner. During the observation, storm waves with a significant wave height of 4.1 m occurred and significant beach changes were observed around sand bags. Sand bags were effective for depositing gravel around the sand bags.

1. はじめに

細砂から構成された砂浜の変形と異なり、礫浜では礫と砂の分級的移動を伴う特有な海浜変形が見られる。西湘海岸では、2007年の台風9号時の高波浪により著しい侵食が起きたが、その後の調査データの分析によれば、高波浪時に前浜～後浜から主として中砂成分が沖へと運ばれ水深4m～8m付近に堆積したが、その後の通常波浪の作用で中砂は再び海浜へと運ばれ、礫と混合した浜が形成された(元永ら, 2010)。同様に、下山ら(2010)は西湘海岸の大磯地先において前浜～後浜における礫の堆積状況調査を行い、有義波高2m程度の波浪が作用した場合、礫浜に中砂成分が沖合から運び込まれたことを明らかにした。このように礫浜では波浪の強弱に応じた岸沖漂砂が砂礫の選択的移動を引き起こしているが、同時に沿岸漂砂による地形変化も重なって起こる。このような条件下で浜漂砂を制御し、前浜を安定化させる手法を開発するために、神奈川県の大磯海岸では岩盤型施設を模した砂詰試験体3基を2010年12月1日に設置し、試験体周辺の前浜地形変化の観測を行った。観測では、前浜上に設置された試験体の変状を調べるとともに、試験体が沿岸漂砂や岸沖漂砂に与える影響を調べた。

2. 観測方法

試験体は、図-1に示すように大磯港の西4kmに位置す

1		国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所 海岸課長
2		国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所 海岸課建設監督官
3		国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所 所長
4	正会員	工博 (財)土木研究センター常務理事なごさ総合 研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋 建築工学科
5	正会員	修(工) (財)土木研究センターなごさ総合研究室
6	正会員	工修 (財)土木研究センターなごさ総合研究室

る沿岸方向に500mの試験区域に設置された。図-2は試験体A, B, Cの全体状況を示す。試験体Aは汀線側に1列(中央がやや凹むため写真では2列に見える)、Bは3列、Cは4列の試験体が伸びる。いずれの試験体も、背後の護岸と試験体間を打ち上がった海水が通過する際の侵食を防止するために、陸側にはトンバックを設置してある。試験体の長さは12～15m、幅は8～12m、高さは1.5mである。試験体はその先端位置をT.P.1.8mにそろえ、勾配は前浜勾配1/20と同一とするとともに、地盤面からの突出高を試験体A, B, Cの順に0.5, 0.8, 1.2mと変えた。すなわち西側から東側へと試験体の高さが高められている。また試験体は沿岸方向に約80m間隔で並べた。

現地調査は、試験体施工時における地形改変が大潮時の波浪により均された後に実施した。試験体周辺の前浜地形変化を調べるためにカラーサンドを用いたトレーサー調

図-1 調査地域

図-2 試験体A, B, Cの写真

査, 地形測量および礫分布調査を実施し, その後試験体間に養浜工 (600m³) を行った後の地形変化を地形測量と礫分布調査により追跡した. カラーサンドは購入材を用いて造り, 現地の底質粒度を考慮して大礫 (50mm), 中礫 (10mm), 小礫 (3mm), 中砂 (0.6mm) の4種類 (1種類0.75m³) を作成し, 混合後投入した. カラーサンドの投入は, 試験体に対し西向きまたは東向き沿岸漂砂いずれの条件でも特性把握が可能となるよう, 投入位置は試験体Aの西側20mと, 試験体Cの東側20mの汀線際の2箇所とし, 1箇所当り3.0m³投入した. カラーサンドは2010年12月13日に投入し, 投入6時間後, 1, 3, 7, 14, 30日後にサンプリングを行った. サンプルの採取位置は, 試験体および投入場所付近は10m間隔, 以降20, 40, 80mと投入箇所から離れるにしたがい間隔を広げた. また, 汀線を基準として沖側5m, 岸側20mの区域において5m間隔で採取し, 現地で確認されたトレーサの分布状況により, 範囲と間隔を調整して採取した. サンプルは1地点あたり2kg程度を採取し, 大礫 (50mm) の分析には全質量を用い, 中礫以下は500g程度抽出して分析に用いた.

地形測量と礫の分布調査は, 事前測量 (2010年12月10日) の後, カラーサンドの投入時期と合せて3, 7, 14, 30日後と, その後試験体間に養浜を行った後, 2011年2月4日と3月2日に実施した. 地形測量は, 陸上部を調査対象とし, 試験体の天端高の違いによる影響を詳細に捉えるため, 事前測量と14, 30日後および養浜後の3月2日に可搬型レーザースキャナーにより面的測量を実施した. これら以外に, 沿岸方向20m間隔を基本として試験体付近において10m間隔で汀線測量を行った. 礫分布調査は, 陸上部に集積する礫の分布状況を目視およびRTK測量により平面的に記録した. 観測期間中の波浪条件については, 平塚波浪観測所における観測結果をもとに調べた. なお, 図-1に示すように座標軸を定め, 護岸先端位置を基点とし, 海岸線の法線方向 (N168° E) にY軸を, またY軸と直角方向にX軸を定めた. X軸の原点は試験体Bの中心位置に置いた.

3. 観測期間中の波浪条件

平塚波浪観測所における観測期間中の有義波高 $H_{1/3}$, 有義波周期 $T_{1/3}$, 波向 θ を図-3に示す. 施工完了 (2010年12月1日) 後, 12月3日に低気圧に伴う波浪が来襲した. この期間の有義波の最大値は $H_{1/3}=4.1\text{m}$, $T_{1/3}=6.1\text{s}$ であり, 波向は, 海岸線の法線方向 (N168° E) に対して15.6°西側からの入射であった. 同観測所において, 有義波高が4mを超える波は, 1988~2010年の23年間に23回来襲していることから, 年1回程度の出現確率の波であった. また観測期間中 $H_{1/3}=2.0\text{m}$ を超える波は18時間作用し, 試験体施

工で生じていた地形改変が均された. さらに試験体に直接波が作用する波高1.8m以上の波は5回来襲した. 一方, 12月13日~31日の平均波向は17.7°であり, 東向きの漂砂が発生する条件であった.

4. 観測結果

(1) 広域の前浜地形変化と礫の堆積状況

レーザーによる面的測量を実施した2010年12月10日, 12月27日, 2011年1月13日の観測データをもとに, 地盤変化量を算出した. 図-4には結果を示す. なお, 各図では比較期間の最終時期の地形も併せて示す. まず, 2010年12月10日~12月27日の地盤変化量 (図-4(a)) では, X=-250~-150m区間のT.P.1m~2mで地盤高の上昇が認められ, とくに試験体Cの東側での堆積が顕著であった. また試験体周辺では, 試験体A, B, Cの西側で堆積, 東側で侵食が起きており, しかも堆積量が西端の試験体Aの西側で大きい一方, 試験体の東側直近での侵食量は東側ほど大きい. これらより, この期間には東向きの沿岸漂砂が生じ, これが試験体により部分的に阻止されるこ

図-3 調査期間中の波浪 (平塚波浪観測所)

図-4 地盤変化量の平面分布

とにより前浜地形変化が起きたことが分かる。

2010年12月27日～2011年1月13日の地盤変化量(図-4(b))では、一転して大部分の区域で侵食が起きた。観測期間中の12月31日には $H_{1/3}=2.1\text{m}$ 、 $T_{1/3}=9.3\text{s}$ の高波浪が来襲したことにより、砂礫が沖向きに移動しT.P.1mと2m付近で地盤高が低下したことが分かる。また、試験体の東側、西側で著しい侵食が起きているのに対し、試験体周辺ではいずれも堆積が起きており、高波浪時に試験体が前浜の侵食を抑制するのみでなく、堆積を促進したことも見て取れる。

観測全期間の変化として2010年12月10日～2011年1月13日の地盤変化量(図-4(c))では、直近の2010年12月31日に襲来した波浪の作用の影響が強く出ているため、ほぼ全域で前浜付近の地盤高が低下しているが、試験体近傍では地盤高の上昇が見られる。

図-5は観測期間中の礫分布を示す。いずれの時期も汀線に沿って礫が分布するが、12月16日と12月20日には試験体Aより東側区域において、沿岸方向に平均18m間隔のカスの発達が見られる。12月16日には、岸側に礫がうち上がり、陸側に向けて分布範囲が広がった。12月20日では、12月16日と比較してほぼ変化がない。この期間では有義波高0.8mを超える波がなく、礫が移動しなかったためである。しかし1月13日では、12月31日の高波浪により礫が試験体先端位置より沖側へと移動した。

(2) 前浜の詳細平面地形変化

図-4に示すように、各試験体周辺に矩形状の詳細調査区域を設け、この範囲内の地形変化について調べた。2010年12月10日～12月27日の試験体A、B、C周辺の地盤高変化を図-6に示す。これによると、試験体Aの西側では、試験体の西側先端部を中心に最大0.44mの地盤高の上昇が起きた。このとき堆積域は試験体Aの前面を通して東側へと細長く伸びている。これと対照的に、試験体Aの東側隣接部では侵食傾向にある。試験体Bの周辺

では、試験体Aと同様西側隣接部には堆積域が形成される一方、試験体の東側では侵食傾向にあるが、侵食量が增大している。またこの結果として試験体Bの先端部を通して細長く東向きに伸びた堆積域の堆積量が減少するとともに堆積域の幅も狭まっている。試験体Cでも西側では堆積が起ころ一方、東側隣接部では広い範囲で侵食が起きた。また、試験体Cでは試験体の変形に伴う縦縞模様が見える。以上のように西側から東側へと設置された試験体A、B、Cではいずれも試験体の西側で堆積が起これるとともに、侵食は東側に位置する試験体の東側直近ほど著しくなるという結果が得られた。これより12月10日～12月27日には東向きの沿岸漂砂が卓越したことが分かる。

図-7は、2010年12月27日～2011年1月13日の試験体A、B、C周辺の地盤高変化を示す。この間の地形変化では、試験体Aの東側で幅広い堆積域が形成されたが、試験体A自身の変形に伴う沈下量も最大40cm、平均で22cm起きた。試験体Bでも東側で堆積が起きた。試験体Bでは3本の縦縞模様が形成されており、全体に約7.5cmの沈下が起きている。試験体Cでも試験体の東側に広い堆積域が形成される一方、西側直近では侵食されていることから、この間東寄りの波の作用が起きたことが分かる。

全観測期間中の12月10日～2011年1月13日の試験体A、B、C周辺の地盤高変化を図-8に示す。全観測期間中では、試験体から離れた場所ではいずれも顕著な侵食が起きている。これに対して試験体周辺ではいずれも堆積傾向にあるが、とくに堆積が著しいのは試験体BとAであり、試験体Cでは堆積は顕著ではない。2010年12月10日～2011年1月13日までの試験体の平均沈下量は試験体A、B、Cの順に23cm、13cm、22cmであった。

図-6、7、8に示すように、試験体の西側と東側直近の堆積・侵食の顕著な範囲を包含する15m×15m区域を設定し、この区域の平均地盤高の変化量を求めた。試験体A、B、Cの西側と東側に分けて地盤高の変化量を求めた結果を図-9に示す。2010年12月10日～12月27日では、試験体の西側で地盤高が上昇したが、その際西側の試験体Aの西側隣接部が最も地盤高の上昇量が大きかった。一方、地盤高の低下量は西端にある試験体Aは試験体B、Cより小さかった。2010年12月27日～2011年1月13日では、試験体の西側での地盤高が低下する一方、東側では地盤高の上昇が起き、東西でシーソーのような前浜地形変化が起きたことがわかった。

(3) 縦断形変化

試験体A西側10mでは、図-10(a)のように12月10日に勾配1/20ではほぼ直線状の縦断形であったが、12月27日までに東向きの漂砂が試験体Aにより阻止された結果、試験体の先端を中心に堆積が起きた。1月13日までは

図-5 礫の分布状況

図-6 試験体周辺の地盤変化 (2010年12月10～12月27日)

図-7 試験体周辺の地盤変化 (2010年12月27～2011年1月13日)

図8 試験体周辺の地盤変化 (2010年12月10～2011年1月13日)

図-9 試験体東側および西側の地盤変化量の变化

図-10 試験体A中心より東西10m位置の断面変化

図-11 試験体B中心より東西10m位置の断面変化

図-12 試験体C中心より東西10m位置の断面変化

西向きの漂砂が発生したが、試験体の先端より沖側では地盤高の低下量が岸側と比べて大きかった。試験体A東側10mでは(図-10 (b))、陸側からT.P.2mまでの区域では変動が小さく、試験体の先端より沖で変動が大きい。試験体B西側10mでは、図-11 (a) のように12月27日までに東向きの漂砂を試験体Bが阻止したことにより、試験体Aと同様に堆積が起きた。その後、1月13日までに西向きの漂砂が発生したが、試験体Aの西側測線よりも地盤の低下量は小さい。試験体B東側10m(図-11 (b))では、試験体Bの中央部で地盤高の低下が見られる。図-12には、試験体C周辺の縦断形変化を示す。試験体西10mでは(図-12 (a))、試験体先端よりやや陸側で堆積が起きたのに対し、東側では試験体中央より陸側で地盤が低下し、侵食域は堆積域より海側にあった。

(4) カラーサンドの追跡結果

カラーサンドは4種類の土砂を用いた行ったが、顕著な特徴は大礫の場合に見られた。図-13は、試験体Aの西

20mに投入した大礫の移動状況を示す。なお図中の○印は観測地点を示す。投入3日後には投入礫は西側に約80m移動した後、前浜に大量に堆積した。7日後でも堆

積位置はほぼ同じ位置に留まっているが、2週間後には試験体周辺での堆積が目立つ。同様にして図-14は、試験体Cの東側20mに投入した大礫の移動状況を示す。図-13の場合と同様、投入3日では直ちに西向きに移動し、試験体間に大量に堆積しており、12月16日までに西向きの沿岸漂砂が生じたことが明らかである。その後2週間でもかなり多くの大礫が試験体間に堆積していることから試験体は大礫を留める効果があると考えられる。

5. まとめ

神奈川県の大磯海岸において、岩盤型施設を模した砂詰試験体3基を2010年12月1日に設置し、周辺の前浜地形変化を観測した結果、次の点が明らかになった。

①施工完了後、12月3日に低気圧に伴う波浪が来襲し、最

大有義波高 $H_{1/3}=4.1\text{m}$ ($T_{1/3}=6.1\text{s}$) が作用した。この波は年1回程度の出現確率の波であり、海岸線への法線方向 ($N168^\circ E$) に対し 15.6° 西側からの入射であった。その後12月13日～31日の波向の平均は 17.7° であり、東向きの漂砂が発生する条件であった。

②2010年12月27日～1月13日には大部分の区域で侵食が起きたが、12月31日には $H_{1/3}=2.1\text{m}$ ($T_{1/3}=9.3\text{s}$) の波浪が来襲し、これにより砂礫が沖向きに移動したことが分かった。しかし試験体周辺ではいずれも堆積が起きており、高波浪時に試験体が前浜の侵食を抑制し、堆積を促進したことが分かった。

③2010年12月10日～12月27日には、①の波向条件と対応し、試験体A, B, Cとも試験体の西側で堆積が起これるとともに、東側に位置する試験体の東側直近ほど侵食は著しかった。これより12月10日～12月27日には東向きの沿岸漂砂が卓越したことが分かった。

④2010年12月27日～1月13日では、試験体Aの東側で幅広い堆積域が形成されたが、試験体A自身の變形に伴う沈下量も最大40cm、平均で22cm起きた。試験体Bでも東側で堆積が起きたが、全体に約7.5cmの沈下があった。試験体Cでも試験体の東側に広い堆積域が形成される一方、西側直近では侵食されたことから、この間東寄りの波の作用が起きたことが分かった。

⑤2010年12月10日～2011年1月13日には、試験体周辺ではいずれも堆積傾向にあったが、とくに堆積が著しいのは試験体BとAであり、試験体Cでは堆積は顕著ではない。この期間での試験体の平均沈下量は試験体A, B, Cの順に23cm, 13cm, 22cmであった。

⑥4種類の土砂を用いたカラーサンド調査では、顕著な特徴は大礫の場合に見られた。試験体Aの西20mに投入した大礫は、投入3日後には投入礫は西側に約80m移動した後前浜に大量に堆積した。7日後でも堆積位置はほぼ同じ位置に留まり、2週間後でも試験体周辺での堆積が目立った。試験体Cの東側20mに投入した大礫も投入3日では直ちに西向きに移動し、試験体間に大量に堆積しており、12月16日までに西向きの沿岸漂砂が生じた。その後2週間でもかなり多くの大礫が試験体間に堆積したことから試験体は大礫を留める効果があることが分かった。

参考文献

- 下山陽平・小林昭男・宇多高明・石川仁憲・遠藤将利 (2010)：
 西湘海岸の大磯地先における礫の堆積状況調査，海岸工学論文集，第57巻，pp.546-550。
 元永 秀・丸山将吾・磯貝朋之・宇多高明・宮原志帆・芹沢真澄・石川仁憲 (2010)：高波浪時における中砂成分の選択的流出に起因する海浜変形の再現，海岸工学論文集，第57巻，pp.581-585。

図-13 カラーサンドの分布状況 (大礫50mm、西側投入)

図-14 カラーサンドの分布状況 (大礫50mm、東側投入)