

技術報文

西湘海岸におけるサンドバックの現地試験施工

前田工織(株) 土橋 和敬
 三井化学産業資(株) 弘中 淳市
 ナカダ産業(株) 梶原 幸治
 国土技術政策総合研究所 渡辺 国広

1. はじめに

我が国の海岸では、津波、高潮、波浪などから背後地を守るために、コンクリート製の海岸保全施設が全国的に整備されてきた。

しかし最近では、養浜の際の補助施設のように、移設・撤去の容易さが求められる場面も増えてきている。施設整備のコスト縮減や景観の向上に対する要求も高まってきており、これらに対応した工法としてサンドバックの実用化を目指すことになった。

サンドバックとは、大型の袋材で現地の砂礫を包んだもので、アメリカ、オーストラリアなど海岸では、「サンドバック」や「ジオチューブ」などの名称で既に利用されている¹⁾。国内でも琵琶湖における突堤の構築や石川県美川海岸における人工リーフの試験施工例²⁾があり、設計手法についての研究³⁾⁴⁾も実施されてきているが、広く実用化されるには至っていない。琵琶湖の突堤も美川海岸の人工リーフも施工中および供用中に損傷が発生したため、耐久性の向上が課題とされている。また、美川海岸の人工リーフは施工に高価な全開バージ船を使用する必要のあることから、施工方法の簡略化も課題となっている。

著者らは 2010 年に現地海岸においてサンドバックの施工・撤去方法および波浪に対する耐久性、摩耗に対する耐久性等を確認することを目的とした試験施工を実施する機会を得ることができたので、本稿ではまず試験施工全体の概要について紹介したうえで、各試験体の詳細について触れる。

2. 試験施工の概要

(1) 試験実施海岸

試験施工は、2010 年 11 月から 2011 年 4 月にかけて神奈川県大磯町国府新宿地先の海岸（図-1：以下、西湘海岸）で実施した。西湘海岸は相模湾奥のほぼ中央部に位置し、粒径 0.25～26.5mm の材料で構成される砂礫海岸である。特に 5～20mm の材料が大半を占めることから、サンドバックの施工に海外で実施されているようなポンプ施工をそのまま適用できる海岸ではない。また、太平洋からの長周期の波浪が直接入射する位置にあるため波浪条件は厳しく、2007 年には台風 9 号によって海岸が大きく侵食され、背後の西湘バイパスが被災している⁵⁾。



図-1 現地施工試験を実施した西湘海岸の位置

(2) 試験体の設計条件

今回の試験施工は、現地で検討中の漂砂制御施設の形状についての基礎データを得るために、その上部構造を模した試験体を設置・撤去が容易な袋詰め工で構築することが本来の目的であったため、各試験体の高さは 1.5m に統一しつつ、床堀の深さを変えることでそれぞれ異なる天端高さとした。実施にあたっては、少なくとも試験期間中の波浪によって沖に流出して漁業の障害

とならないことが求められたため、2007年の西湘バイパス被災時の波浪（波高 $H_{1/3}=6.1\text{m}$ 、周期 $T_0=14.2\text{s}$ ）および、過去15年間（1993年～2007年）の既往最大を想定した波浪（波高 $H_{1/3}=6.6\text{m}$ 、周期 $T_0=14.2\text{s}$ ）にも耐えられる形状および構造を1/40スケールの水理模型実験によって模索したうえで試験体を設計した⁶⁾。最終的に設置した試験体の平面形状・構造と配置は図-2に示す通りで、試験体Aは前田工織(株)、試験体Bは(株)三井化学産資、試験体Cはナカダ産業(株)が施工した。

西湘バイパス

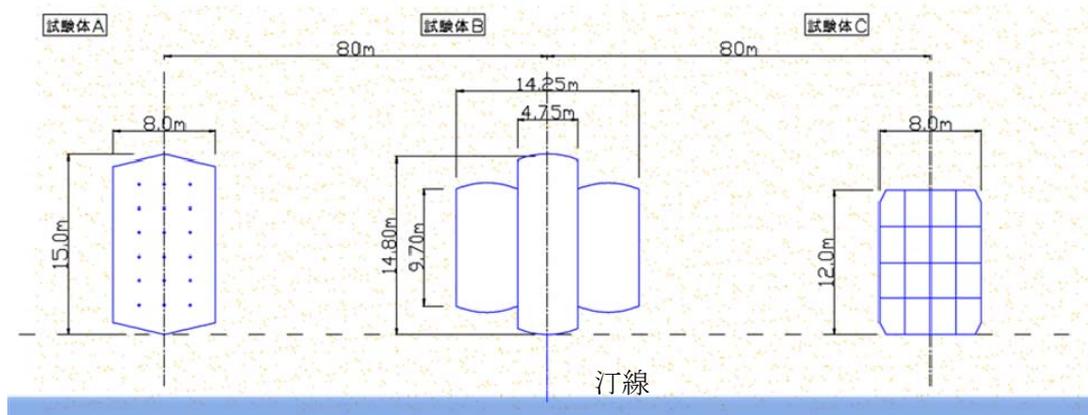


図-2 各試験体の平面形状と配置図

(3) 設置後の経過観察

全ての試験体の設置が完了した2010年11月30日から2011年4月5日かけて、1週間に1回の定期観察を実施した。定期観察では、毎回同じ位置からの写真撮影による試験体の変形や移動の有無の確認、未使用の見本袋材との比較および接写撮影による袋材の摩耗や破損の有無の確認をおこなった。また、あわせて試験体周辺の砂礫の堆積状況についても観察した。さらに全景を把握可能な位置に監視カメラを設置して10秒間隔で静止面の撮影もおこなった。

(4) 試験期間中の海象

試験期間中には2回にわたって顕著な高波浪が来襲した。12月3日に有義波高 $H_{1/3}=4.06\text{m}$ ($T_0=6.1\text{s}$)の波浪が観測された際には波が試験体の陸側端部まで遡上し、全ての試験体が瞬間的に海水に没した状態となった。2月20日にはさらに高い有義波高 $H_{1/3}=5.13\text{m}$ ($T_0=5.9\text{s}$)の波浪が来襲した。これらは西湘海岸における冬季の波浪としては稀な非常に厳しい条件であり、冬季の波浪に対する安定性を確認するのに十分なものであった。その他にも、12月下旬と3月中旬には連続して有義波高 $H_{1/3}=1.5\text{m}$ 以上が観測され、海岸における礫の堆積、消失を引き起こした。

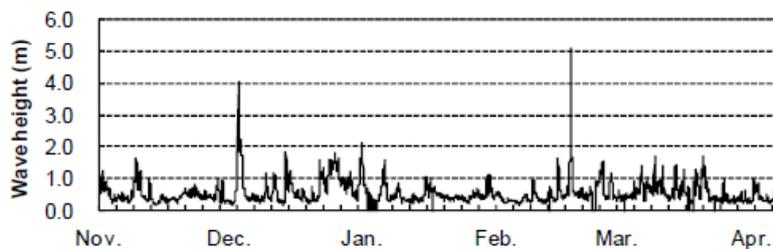


図-3 試験期間中に平塚観測所で観測された有義波高

3. 試験体Aの施工状況および設置後の経過⁷⁾

(1) 施工状況

試験体Aは、幅8.0m、高さ1.5m、長さ15.0m(180m³)のマット型とした。写真-1に示すよう

に、袋材は、あらかじめ仮設材に吊下げ、 0.7m^3 のバックホウで、袋に設けた $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ の投入口からバックホウで直接土砂を投入した。バックホウである程度投入した後、6 吋水中ポンプで土砂を押し流すとともに、水締めを行うことで袋内の充填率を高めた。

西湘海岸では、サンドパック施工後、数カ月現地に存置させる計画であったため、袋材は構造物としての形状を保持するための強度を有する内袋と、波浪等の摩耗から内袋を守る耐摩耗性シートからなる外袋の 2 重構造とした。耐摩耗性シートは、シート表面にモノフィラメントのピルを有し、砂やレキが波浪によって移動することで生じる袋体に与える衝撃を吸収することを期待している。また、事前に実施した水理模型実験⁶⁾では、サンドパック全体が遡上波によって没水したときに、天端のシートと中詰め材の間に空気がたまったまま抜けず、浮力が生じることで安定性が低下する現象が観測された。このため、中詰め土砂を拘束し、波浪に対しての安定性を向上させることと、高さ 1.5m の袋形状を保つために、**写真-2**のような底のシートと天端のシートをベルトで連結する構造とした。

中詰め材には、約 100mm の玉石が混じった現地の土砂を用いた。袋体は、可能なかぎり汀線際に設置するとともに、 1m 現況地盤を床掘りして設置した。仮設材は、**写真-3**に示すように鋼製山留め材 H-300 を用い、大型土のうにより基礎を構築したうえで仮設材を設置した。また、汀線際には波除として、袋詰め玉石工に土砂を中詰めしたものを設置し、施工中の潮位変動や波浪に対応した。

写真-4 は完成時の様子である。袋の吊下げに 0.5 日、中詰めに 1 日、外袋の処理に 0.5 日かかったことから、日当り施工量は約 90m^3 であったといえる。



写真-1 土砂の投入状況



写真-2 ベルト連結構造



写真-3 作業全景



写真-4 完成時

(2) 設置後の状況

a) 袋体の変形

試験期間中の高波浪時に中詰めの土砂が移動し、袋体の変形が発生した。

図-4 は、施工直後、1 週間後、1 ヶ月半後の袋体の高さを示したものである。図左の平面図は、

計測位置を示したものである。計測位置は、袋体の中央、そこから東西に 2.7m 離れた東側、西側に設定した。

図からもわかるように、いずれの計測位置でも、汀線側は高さが下がり、袋体の中央部ではわずかではあるが、起伏と沈降の両方が見られた。袋体の汀線側は、波を直接面で受けたため変形が大きかったものと推測された。袋体の中央部については、底のシートと天端のシートをベルトで連結する構造としたために、少ない変形で留まったものと考えられた。

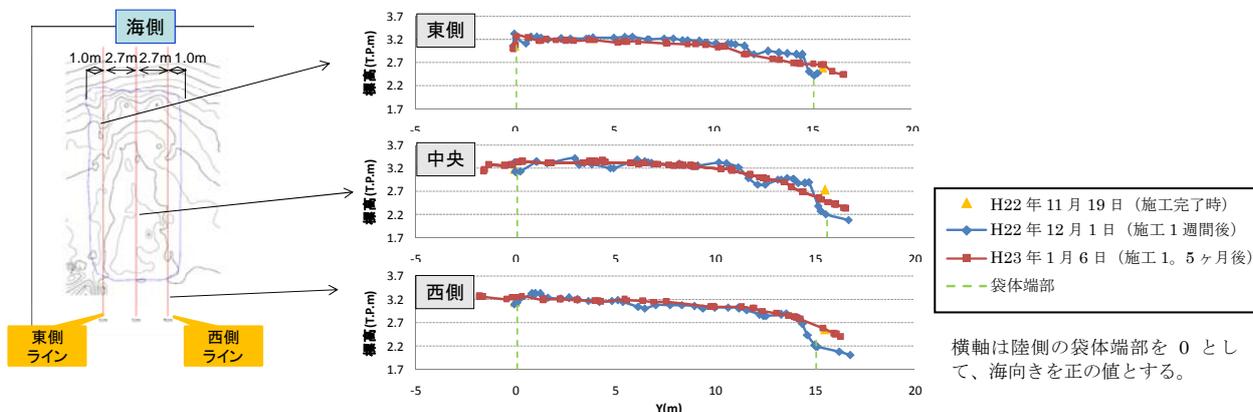


図-4 袋体の変形状況

写真-5 は、12月28日の状況である。12月21日が大潮で、12月22日～26日の間に波高 1.5m 以上の波浪を受けた。その結果、袋体の周囲にレキが集積し、全体に袋体は埋没したが、袋体に大きな変状は見られなかった。

写真-6 は、1月5日の状況である。12月31日～1月1日に波高 1.5m 以上の波浪を受け、1月4日が大潮であった。袋体に大きな変状は見られなかったが、周囲に砂が集積し、12月28日に比べ、さらに埋没した。

設置期間中、大潮や高波浪が繰替えし起こり、周囲の状況はその都度変化しているが、袋体自体に大きな変状は見られなかった。



写真-5 12月28日の状況



写真-6 1月5日の状況

b) シートの損傷

観測の結果、シートの損傷は見られなかった。これは、写真-7 に示す耐摩耗性シートが有するモノフィラメントのパイルが、砂やレキが波浪により移動することで生じる袋体への衝撃を吸収するとともに、写真-8 に示すようにパイルが砂を捉え、シートの表面に保護層ができたためと考えられた。



写真-7 パイルシートの拡大写真



写真-8 現地におけるシートの状況

3. 試験体Bの施工状況および設置後の経過⁸⁾

(1) 施工状況

試験体Bは、海外でサンドチューブとして用いられているものを3つ連結した構造とした(図-2)。施工方法は、水槽に中詰め材と水を混合して流動化させた状態でサンドポンプにて圧送充填する方法を採用したが、礫も混じった海浜材料のサンドポンプによる圧送充填は海岸でも実施例が見当たらないことから、事前に充填試験を実施した。その結果、6吋 11kW のサンドポンプでは揚水能力の不足によって中詰め材に含まれる礫分を圧送することが困難であること、サンドポンプの異物通過径である30mmよりも粒径が大きい大礫がポンプに詰まることによって更に揚水能力の低下を引き起こすことがわかった。そこでサンドポンプは6吋 22kWの強制攪拌型サンドポンプを選定し、中詰め材はサンドポンプの異物通過径60mmに対してスケルトンバケットによる振るいにて現地海岸の砂礫のうち30mm以上の礫を取り除いて使用することとした。

施工状況を写真-9～写真-14に示す。試験体は、汀線から砂礫が小高く堆積した箇所(バーム)まで岸沖方向に勾配1/20、現地盤より+0.7mの高さで設置する計画であった。そこで最初に現地盤より深さ-0.8m、勾配1/20で床掘りし、次に床掘り面に連結材と袋材を敷設後(写真-9)、真ん中の袋材から中詰め材の充填を実施した(写真-10、11)。袋材には1本あたり前後2箇所充填口を設けており、サクションホースを介してこの充填口から中詰め材が圧送充填され、充填と脱水を繰り返して袋体の高さを1.5mとした(写真-12)。充填後、充填口はポリエチレンロープで縛り、袋体の外周にも袋材を巻き付けて二重構造とした後(写真-13)、3体の袋体をジオグリッドで連結した(写真-14)。最後に袋体の周辺を現地盤高さまで埋め戻し、施工が完了した。

施工日数は、準備工としてスケルトンバケットによる中詰め材の粒度調整に2.5日と床掘りに0.5日の計3日、充填工としてサンドポンプによる中詰め材充填に1.5日と袋材と連結材の敷設、連結等に0.5日の計2日であった。今回、準備工として試験体の計画体積176m³に対して約200m³の粒度調整を2.5日かけて実施したため、この工程が全体の約半分を占めたが、砂海岸での適用であれば粒度調整を必要としないために更に短期間の施工が可能となる。今後は砂礫海岸での適用においても粒度調整を必要としない充填方法、またはポンプの選定等が課題と考えられた。



写真-9 袋材の敷設

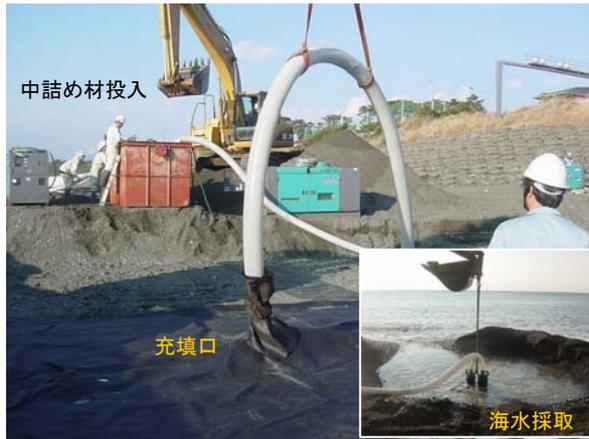


写真-10 中詰め材の充填と海水の採取状況



写真-11 中詰め材充填工の全景



写真-12 中詰め材の充填と脱水状況



写真-13 外側袋材の設置



写真-14 袋体の設置完了

(2) 設置後の状況

図-5 は 12 月 15 日、1 月 5 日、および撤去解体前の 3 月 22 日の状況である。試験体の周辺には砂礫が堆積する傾向にあり、1 月 5 日の段階では砂の堆積が顕著に現れた。その後、波浪によって試験体周辺の堆積は増減を繰り返した。これらの波浪に対して試験体自体の移動は確認されておらず、安定した構造体であったといえる。砂礫の衝突による劣化を想定して事前に実施した摩耗試験では、破断が生じる予兆として繊維表面に毛羽立ちが発生することが確認されていたが、現地の試験体ではそのような予兆も観察されなかった。砂礫の堆積の増減に伴って袋材への砂礫

の衝突位置が分散したこと、試験体先端部が曲線形状であったために砂礫の衝突角度が直角とならなかったこと、中詰め材の砂礫によって衝撃が大幅に吸収されたこと等により、現場における磨耗作用が磨耗試験よりも緩和されたものと考えられた。

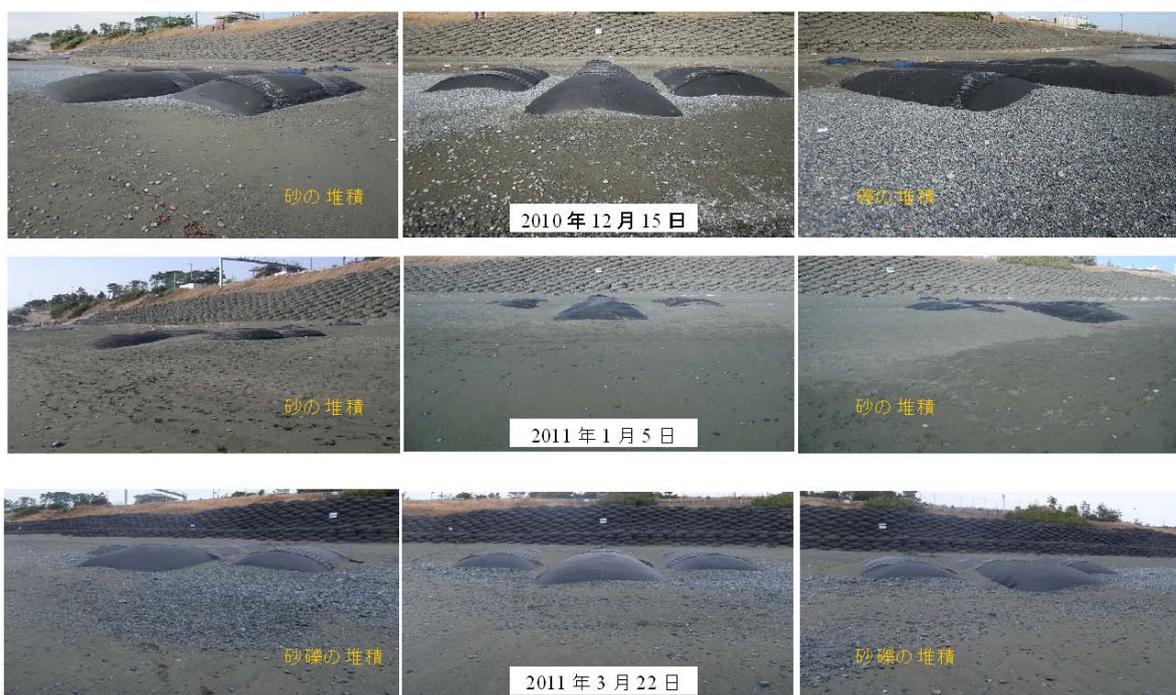


図-5 試験体および周辺地盤の経時変化状況

図-6 は試験体天端の高さ計測結果である。測定は 12 月 8 日、2 月 10 日、3 月 14 日の 3 回実施した。ここでは、試験体の 3 本それぞれの天端高を岸沖方向に計測し、横軸は中央の試験体の海側先端部からの距離で示している。なお、12 月 8 日と 2 月 10 日は各測線について岸側端と沖側端の 2 点のみの計測結果である。これより、12 月 8 日以降、試験体の各天端高さは大きく変化していないことがわかる。あわせて、各試験体は岸沖方向にほぼ均一の天端高さを維持している。ここで、試験体の設置床付け面は 1/20 の勾配で掘削したことから、この床付け面高さとして試験体天端高さの差分を試験体の充填高さと考え、充填高さは平均で 1.465m となる。施工は、出来形管理として試験体の充填高さが 1.5m となるまで中詰め材を充填したことから、施工完了の 11 月 30 日から高さ計測を行った 12 月 8 日までの間に平均 3.5cm の沈下が発生したこととなる。この沈下は、図-4 の波高データにおける 12 月 3 日の高波浪による試験体の水締めにより、中詰め材が更に締め固まったことによる圧縮沈下であると考えられた。サンドポンプによる中詰め材の圧送充填は、ポンプの揚水能力に起因する中詰め材の圧送による締め固めと、充填と脱水の繰り返しによる中詰め材の水締めによってかなりの締め固め密度を確保できる施工方法である。したがって、施工完了後の高さ変化も小さかったものと考えられた。

後述する試験体の解体撤去時に中詰め材の砂置換法による密度試験を実施したところ（写真-15）、中詰め材密度は $\gamma_d=1.86\text{g/cm}^3$ であった。密度試験の際に採取した中詰め材にて別途実施した土の締め固め試験(JIS A 1210)では、本中詰め材の最大乾燥密度は $\gamma_{dmax}=1.95\text{g/cm}^3$ であったことから、試験体の中詰め材は締め固め度 96%と非常に締め固まった状態であったといえる。試験体解体撤去時に側面の袋材をカットした際の中詰め材状況からも、袋体の端部にまで中詰め材が締め固まった状態で充填されていることがわかる（写真-16）。一方で、充填口の近傍では空洞部が発生している箇所が確認された。これは、充填終了間際に水だけを充填した結果、充填口近傍の中詰め材が部分的にへこんだ状態のままで充填口を閉じたことに起因するものと考えられた。

以上より、今後は施工時の出来形管理としては 10cm 程度の沈下代を考慮した充填高さに設定するとともに、充填口近傍に空洞が発生した場合にはその部分に中詰め材を別途補充するなどの施工上の工夫も必要であることがわかった。

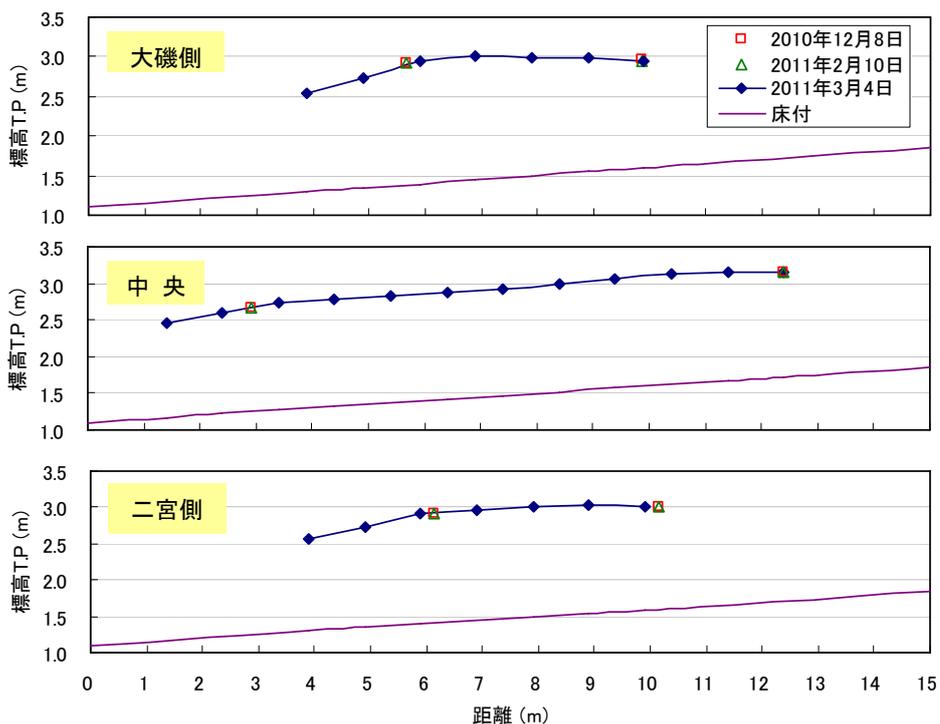


図-6 試験体の高さ計測結果



写真-15 密度試験状況

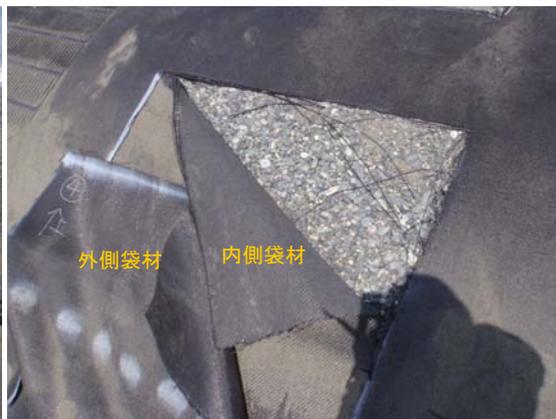


写真-16 中詰め材の充填状況

4. 試験体Cの施工状況および設置後の経過⁹⁾

(1) 試験施工に用いたサンドパックの特徴

試験施工に用いた試験体「分割型砂詰め袋対一セル型グラベルマット」は、セル型グラベルマットと砂詰め袋体の2種類である。

a) セル型グラベルマット

セル型グラベルマットは、ポリエステル繊維の10mm目のネットで構成されたセルに現地発生の際を充填し、相互に接続してマット構造としたもので、1体の大きさは幅×長さ×高さ=2×6×0.5mで重量約10トンとした(図-7)。

礫などの充填材を基本とすることから、均一な透水性が確保され、波による揚圧力を緩和することが出来、集中的な吸出しが発生しにくいという特徴を有する。

西湘海岸では、セル型グラベルマット8枚を平面状に配置し、相互にファスナーで接合を行った(写真-17)。

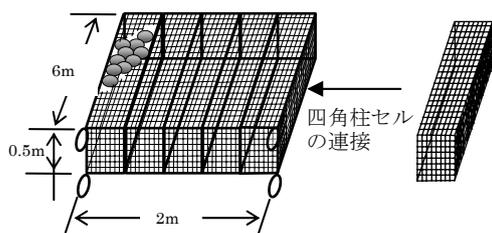


図-7 セル型グラベルマットの構造図

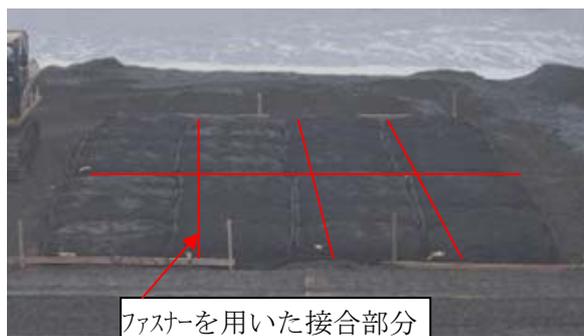


写真-17 設置直後の状況

b) 砂詰め袋体

次に配置する砂詰め袋体は、樹脂製のシートをセル型グラベルマットに使用したのと同じ 10mm 目のネットで覆ったもので、現地発生 の礫・砂を充填して箱型の袋体とし、幅×長さ×高さは 2×3×1m で重量約 10 トンとした(図-8)。

この砂詰め袋体をセル型グラベルマットの上に配置し、ファスナーを用いて上下左右に接合して 1 体の大型の袋体として用いた(図-9)。

樹脂製のシートを用いることで不透過とした袋体は、海岸の岩礁を模している。波や風によって運ばれる礫や砂を留めることにより海岸を保全することを目的としており、定期観察結果よりその効果について確認を行った。

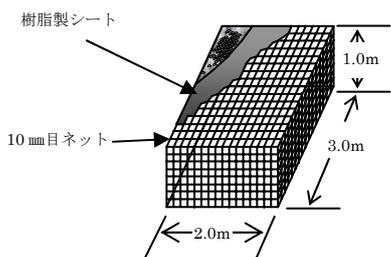


図-8 砂詰め袋体の構造

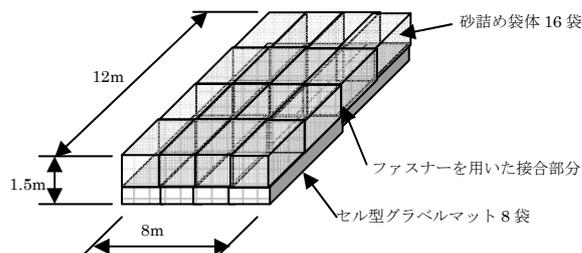


図-9 砂詰め袋体・グラベルマットの外観

(2) 施工状況

セル型グラベルマットの制作は 60 分/個×8 個=8h で完了し、砂詰め袋材の制作は 30 分/個×16 個=8h で完了した。2 パーティーで作業し、1 日で制作を終えた。

施工は、下段にセル型グラベルマットを、上段に砂詰め袋体を配置した。これらの上下左右をファスナーで接続して写真-18 に示す幅×長さ×高さ=8×12×1.5m、重量 240 トンの大型の砂詰め袋体とした。施工完了は 11 月 24 日であった。

実海岸で試験施工より、背後地で製作したものを設置して連結するため、潮が引いている間の短時間で波打ち際に施工可能であることが確認された。一方で、施工後に発生した次の 2 点の問題について処置を行った。

a) 袋間の隙間

施工時の転地により角部分が崩れて丸く変形し、袋間の隙間が発生したため、利用上の危険除



写真-18 試験体 C 完成直後の状態

去の目的で砂詰めした土のうで間詰めを行った。

原因として、社内の施工試験時には砂混じり礫材 0-40 mmを用いたが、実際の施工の礫・砂では砂分が多く転地時の変形が進んだと推定される。

b) 袋材の開口

施工 9 日後の 12 月 3 日に低気圧が接近し、有義波高 $H_{1/3}=4.1\text{m}$ 、 $T=6.1\text{s}$ 流向 WSW の高波浪が満潮と重なり、直接袋材に作用した。これにより袋材シートの間隙から水が浸透し、力が高まり、内袋の開口が発生した。縫製ピッチを密にし、コーティング材を注入する補修を行った。

この結果から、縫製ピッチと遮水処理が重要であることが判明した。

(3) 設置後の状況

12 月の第 1 週に低気圧の接近により、最大波高 $H_{1/3}=4.1\text{m}$ 、周期 6.1s、波向 WSW の波が満潮と重なって袋材に作用し、写真-19 に見られるように海側東端が沈下変形した。

以降、2011 年 1 月第 4 週までの袋体の状況観察結果を写真-19～写真-24 に示す。全体には砂・礫が堆積傾向にあったが、12 月第 1 週以降は大きな変形は観察されず、目立った損傷や傷などの外観の変化は確認されなかった。



写真-19 12月第1週の袋体の状況



写真-20 12月第2週の袋体の状況



写真-21 12月第3週の袋体の状況



写真-22 12月第4週の袋体の状況



写真-23 2011年1月第2週の袋体の状況



写真-24 2011年1月第4週の袋体の状況

5. 最後に

本項で紹介してきたように、現地海岸で試験施工をおこなったサンドパックの試験体は各共同研究社の特徴を活かした 3 者 3 様のものではあったが、いずれも今回の試験期間においては現地の波浪に耐えることができた。実用化にあたっては長期間設置したときの劣化や台風来襲時の安定性など検証せねばならない課題がまだ多く残されているが、それらについては本試験施工終了時に採取したサンドパック袋材の強度試験や別の実験によって引き続き研究中であるので、成果がまとまりしだい公表していく予定である。本試験施工の実施にあたっては各社とも事前に検討を積み重ねてきているが、紙面の都合上ここでは触れることができなかったため、詳細は各社による報告を参照されたい^{7,8,9,10)}。なお 2012 年からは宮崎海岸においても試験施工を実施しているので、また別の機会に報告させていただきたいと考えている¹¹⁾。

謝辞：本試験施工は、国土技術政策総合研究所との共同研究「海岸保全における砂袋詰め工の性能評価技術に関する研究」の一環として行われた。試験施工を行うにあたり、国土交通省河川局、関東地方整備局京浜河川事務所、相模原出張所、神奈川県平塚土木事務所、財団法人土木研究センター、大磯町漁業協同組合、二宮町漁業協同組合から多大なご理解とご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Pilarczyk、 K. W.: *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering*, Taylor & Francis, 2000.
- 2) 財団法人先端建設技術センター：平成 12 年度パック型工法検討報告書,2001。
- 3) 熊谷隆宏, 池野勝哉：袋詰め体を用いた干潟潜堤の設計手法に関する研究, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.946-950, 2007.
- 4) 平松遥奈, 佐藤慎司：サンドパック潜堤の安定性と海岸侵食緩和機能, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.656-660, 2010.
- 5) 宇多高明, 丸山将吾, 高野弘之, 芹沢真澄, 三波俊郎, 石川仁憲, 宮原志帆：T0709 号時の高波浪による西湘海岸の急変形の再現計算, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.656-660, 2010.
- 6) 渡辺国広, 諏訪義雄, 高田保彦, 土橋和敬, 弘中淳市, 梶原幸治, 野口賢二, 関口陽高：袋詰め工の現地試験施工に向けた水理模型実験,土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.67, No.2, I_1063-I_1068, 2011.
- 7) 土橋和敬, 高垣勝彦, 黄檗敏弘, 諏訪義雄, 野口賢二, 渡辺国広, 関口陽高：大型袋詰め工の現地施工試験, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.67, No.2, I_1069-I_1074, 2011.
- 8) 弘中淳市, 西村淳, 松本七保子, 諏訪義雄, 野口賢二, 渡辺国広, 関口陽高：海岸保全を目的としたチューブ型袋詰め工の現地試験施工, ジオシンセティック論文集, 第 27 巻, pp.151-156, 2011.
- 9) 梶原幸治, 石川雄介, 諏訪義雄, 野口賢二, 渡辺国広, 関口陽高：海岸保全を目的とした分割型袋体「砂詰め袋体・セル型グラベルマット」の施工, ジオシンセティック論文集, 第 27 巻, pp.157-163, 2011.
- 10) 渡辺国広, 諏訪義雄, 野口賢二, 関口陽高：砂袋で海岸をまもる～袋詰め工の実用化に向けた現地実験～, 土木技術資料, Vol.53, No.4, pp.38-41, 2011.
- 11) 国土交通省九州地方整備局宮崎河川国道事務所：宮崎海岸で「サンドパック」の現地見学会を開催！, 平成 24 年 2 月 29 日記者発表, 2011.
<http://www.qsr.mlit.go.jp/miyazaki/press/pdf/2012022901.pdf>