

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

弘中淳市¹・西村淳²・松本七保子²

諏訪義雄³・野口賢二³・渡辺国広³・関口陽高³

海外では、海岸保全施設を整備するにあたって、ジオテキスタイル製袋材に現地の海岸砂を充填する工法（以下、袋詰め工）が用いられてきている。しかし、日本ではまだ実施工例が少なく、その性能や施工体系は確立されていない。著者らは2010年11月～2011年4月に神奈川県大磯町の西湘海岸において袋詰め工の現地試験施工を実施する機会を得ることができた。袋詰め工試験体は、漂砂制御を目的とした突堤型の構造を有している。施工は、現地の砂礫をサンドポンプにて圧送充填する方法で実施した。本報は、試験施工を通じて得られた袋詰め工の施工および撤去方法、現地の波浪に対する安定性、磨耗に対する耐久性等について報告する。

キーワード：ジオテキスタイル，袋詰め工，海岸保全施設

1. はじめに

海岸保全施設を整備するにあたって、海外ではジオテキスタイル製袋材に現地の海岸砂を充填する袋詰め工が用いられてきている¹⁾。本工法の特徴は、現地の海岸砂を中詰め材とする柔な構造体であることから設置地形に追従できること、特別な重機等を必要としない簡易な施工方法であること、従来のコンクリート製海岸保全施設のような養生期間を必要としないことによる工期短縮と工費低減などが挙げられる。しかし、日本では海外事例のような遠浅な砂海岸は少なく、波浪も大きいなど海外に比べて設置環境が厳しい。あわせて、強い波浪や粗い底質による製品の耐摩耗性、構造物としての安定性への不安から実施工例が少なく、その性能や施工体系は確立されていないのが現状である。

このような背景のもと、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」が2010年9月に立ち上がり、その一環として2010年11月～2011年4月に図-1に示す神奈川県大磯町の西湘海岸において袋詰め工の現地試験施工を実施する機会を得ることができた。本試験施工は、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、その上部構造を模倣した突堤型の袋詰め工試験体を設置・撤去することによって、施工方法および撤去方法、現地の波浪に対する安定性、磨耗に対する耐久性等を確認することを目的に実施した。本報では、試験施工を通じて得られた知見についてとりまとめる。

2. 試験体の仕様

試験施工を実施した神奈川県大磯町の西湘海岸は、海底の勾配が急で、高波による侵食が発生しやすい地形であり、2007年9月には台風9号の影響で大規模な海岸侵食が発生した場所である²⁾。そこで現地試験施工にあたっては、少なくとも設置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、現地の砂礫による磨耗で破損しない耐久性を有することを条件として試験体の仕様を決定した。

波浪に対する安定性については、西湘海岸における波浪外力に耐えられる袋詰め工の形状を把握するため、二次元造波水路にて水理模型実験を実施した³⁾。まず波浪によって沖に流出しない試験体形状を模索するために、実験縮尺1/30にて、設置期間（11

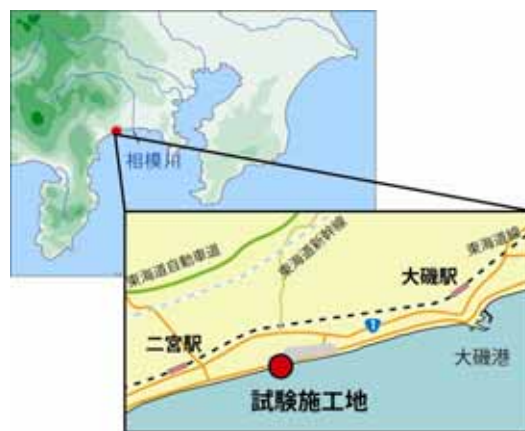


図-1 試験施工地の位置図

¹正会員，三井化学産資株式会社 環境資材開発部（〒346-0028 埼玉県久喜市河原井町9番地）

²正会員，三井化学産資株式会社 環境資材事業部（〒113-0034 東京都文京区湯島3-39-10）

³非会員，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（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

月～4月)の過去15年間の既往最大波浪を想定した不規則波 ($H_{1/3}=5.9\text{m}$, $T_0=10.2\text{s}$)で模型実験を実施した。さらに追加で、台風が襲来する夏季の波浪にも耐えられることを確認するため、実験縮尺1/40にて、2007年の西湘バイパス被災時の波浪 ($H_{1/3}=6.1\text{m}$, $T_0=14.2\text{s}$)および過去15年間の既往最大を想定した波浪 ($H_{1/3}=6.6\text{m}$, $T_0=14.2\text{s}$)で模型実験を実施した。その結果、西湘海岸における袋詰め工が設置期間中の波浪に耐えるためには、幅8m、長さ12m、高さ1.5m以上の一体構造とする必要があることがわかった³⁾。そこで試験体は、チューブ型の袋体を3本連結し、幅14m、長さ15m、高さ1.5mの大きさとした。

摩耗に対する安定性については、西湘海岸が礫も混じった砂礫海岸であるため、海外事例のような砂海岸に比べて厳しい磨耗環境にあることが考えられた。そこで袋詰め工の磨耗に対する耐久性を把握するために、現地の砂礫と試験体を使用する袋材とを用いたドラム型のコンクリート磨耗試験機による磨耗試験を実施した⁴⁾。試験は、コンクリートモールドの外周に現地の試験体で使用する袋材を巻き付けた状態で磨耗試験機に設置し、現地で採取した砂礫10kg(粒径0.25mm～26.5mm)と水70Lを入れて回転させることで砂礫の衝突を再現している。本試験機の回転数とコンクリートモールドの磨耗量の関係と、現地に設置されていたコンクリートブロックの設置年数と磨耗量の関係とを対応させることで試験機の促進条件を把握し、試験結果から現地における袋材の耐久性を推定した。本試験より、袋材は繊維表面が磨耗によって毛羽立ち、引張強度が低下し、最終的には繊維が破断することによって袋材に穴が開くことがわかった。そこで西湘海岸における袋詰め工が設置期間中の砂礫による磨耗に耐えるために、袋材を二重構造とすることとした。

以上の事前検討により、試験体は引張強度204.1kN/mのポリプロピレン製織布からなる幅4.8m、長さ15mのチューブ型袋材を1体、長さ10mの袋材を左右に各1体の計3体に現地砂礫を中詰め材として高さ1.5mまで充填し、摩耗に対する安定性を増すために袋体の外周に引張強度135.9kN/mのポリプロピレン製織布を巻き付け、波浪に対する安定性を増すためにジオグリッドにて3箇所3本の袋体を連結する仕様とした。既往の研究¹⁾では、チューブ型袋詰め工に要求される袋材の引張強度として式(1)が示されている。

$$[T_u]_c \text{ or } [T_u]_a \geq F_s ([T]_c \text{ or } [T]_a) \quad (1)$$

ここで、

- $[T_u]_c$: 周長方向の最大引張強度
- $[T_u]_a$: 軸方向の最大引張強度
- $[T]_c$: 周長方向に作用する引張力
- $[T]_a$: 軸方向に作用する引張力
- F_s : 安全率

なお安全率は、袋材のクリーブ、縫製部、その他耐久性を考慮して一般的には $F_s=4\sim5$ が用いられている。また、充填高さや袋材の側面に発生する最大張力の既往の関係図から、充填高さ1.5mの袋体の側面(周長方向)に発生する最大張力を算出すると $[T]_c=13\text{kN/m}$ である。これは、袋材の周長方向の最大引張強度: $[T_u]_c=204.1\text{kN/m}$ に対する安全率で表現すると $F_s=15$ となり、 $F_s=4\sim5$ と比べると十分安全側にある。

3. 試験体の施工

施工は、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。西湘海岸は礫も混じった砂礫海岸で、その粒度組成は5mm～20mmが大半を占めており、満潮線よりやや高い位置に形成される砂礫の堆積(バーム)の頂部では19mm以上の大礫が多く堆積している。このような砂礫材をサンドポンプにて圧送充填するにあたり、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った。また、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。施工は現地海岸から水中ポンプにて海水を水槽に汲み上げ、水槽内の海水量に対して約1/4の容量の中詰め材をバックホウで投入・混合し、サンドポンプにて圧送した。施工状況を図-2～図-7に示す。試験体は、汀線から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で床掘りした。次に床掘り面に連結材と袋材を敷設後(図-2)、真ん中の袋材から中詰め材の充填を実施した(図-3、4)。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(図-5)。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(図-6)、3体の袋体をジオグリッドで連結した(図-7)。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200 m³の粒度調整を2.5日かけて実施した。本工程が全体の約半分を占めたこととなる。



図-2 袋材の敷設

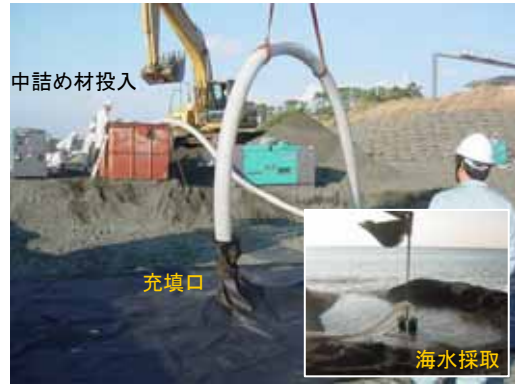


図-3 中詰め材の充填と海水の採取状況



図-4 中詰め材充填工の全景

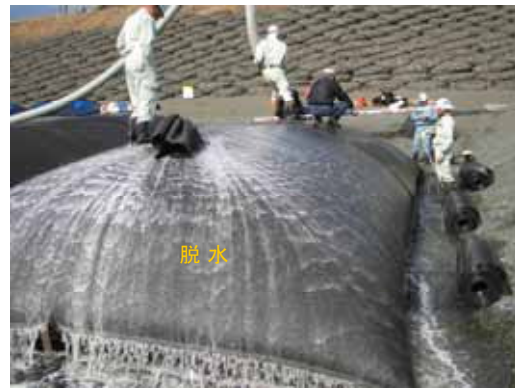


図-5 中詰め材の充填と脱水状況



図-6 外側袋材の設置



図-7 袋体の設置完了

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である。

4. 試験体の設置後状況

試験体は、2010年11月30日に設置を完了し、2011年4月5日に解体撤去した。その間の約4ヶ月間の試験体の設置後状況については、1週間に1回の定期観測を実施した。定期観測では、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、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について確認した。また、試験体周辺の砂礫の堆積状況についても、波高データとともに

に経時的に観察した。図-8は神奈川県平塚沖における2010年11月から2011年4月までの波高データである。12月3日に最大波高4.06m ($T_0=6.1s$)、2月20日に最大波高5.13m ($T_0=5.9s$)の大きな波高が観測されている。また、12月下旬と3月中旬には連続して波高1.5m以上が観測されている。図-9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おらず、安定した構造体であったといえる。また、袋材には摩耗試験で確認されたような繊維表面の毛羽立ちや破断は確認できなかった。その理由として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

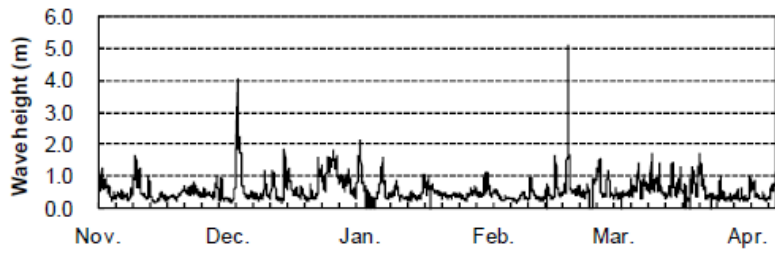


図-8 平塚沖における波高データ

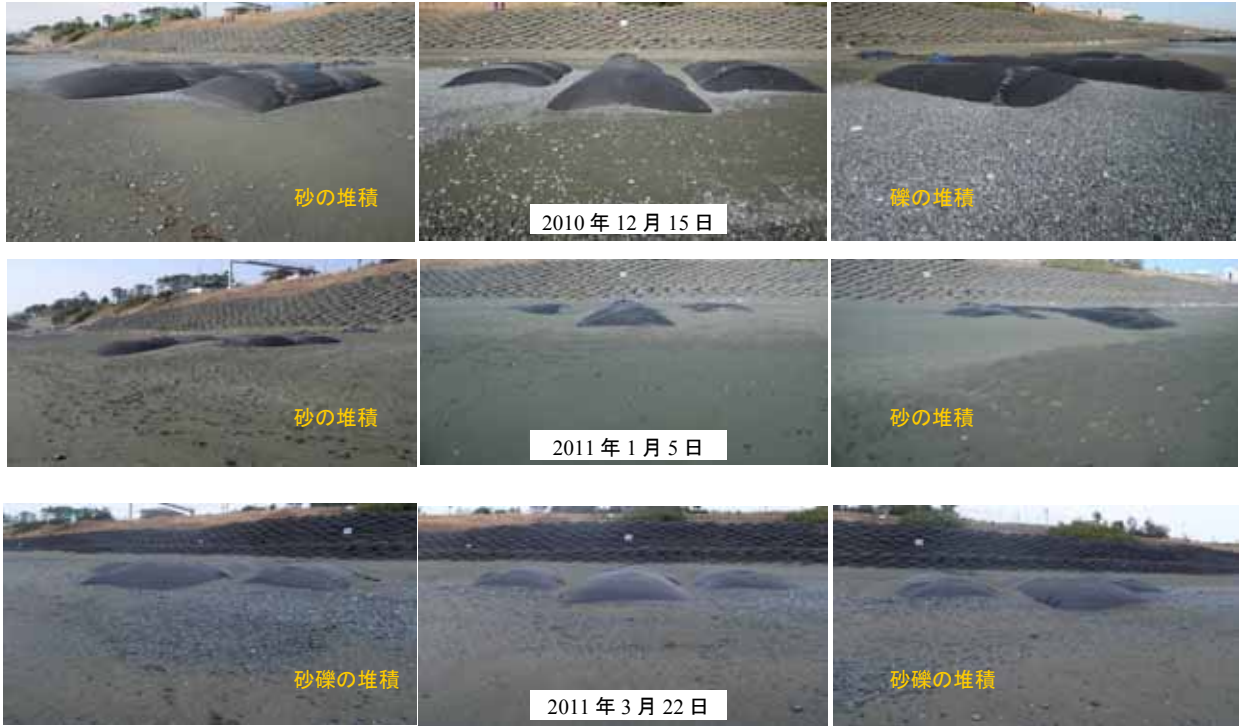


図-9 試験体および周辺地盤の経時変化状況

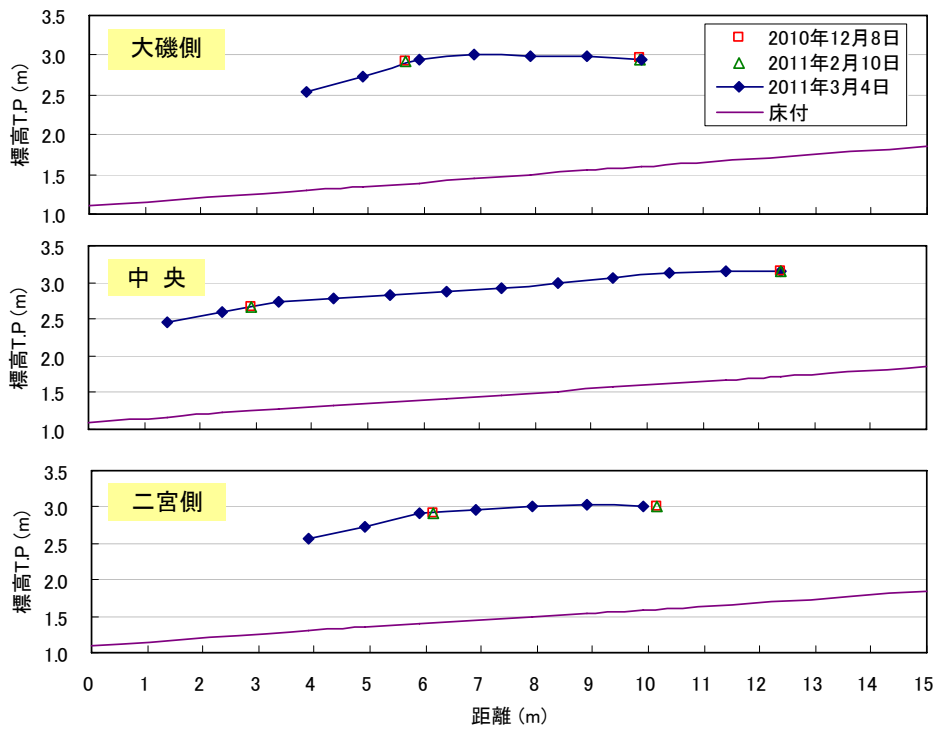


図-10 試験体の高さ計測結果



図-11 密度試験状況

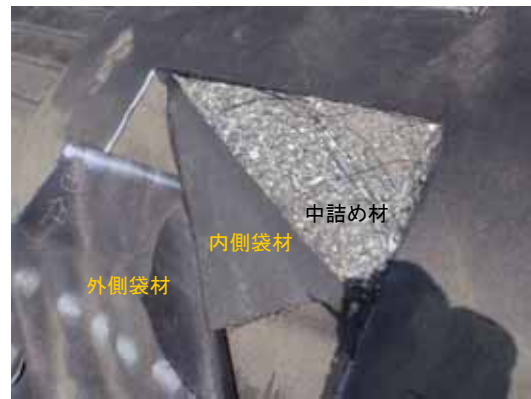


図-12 中詰め材の充填状況



図-13 中詰め材の撤去状況



図-14 袋材の撤去状況

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る。図-10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-8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る。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する。ここで、後述する試験体の解体撤去時に実施した中詰め材の砂置換法による密度試験では、中詰め材密度は $\gamma_d=1.86\text{g/cm}^3$ であった。その状況を図-11に示す。また、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。これより、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ことがわかる。また同様に、図-12は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である。これより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。一方、充填口の近傍では空洞部が発生している箇所があった。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充填口を閉じたことに起因するものである。

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。

5. 試験体の解体撤去

試験体の解体撤去においては、図-13に示すよう

にあらかじめ袋材にハサミで切り込みを入れ、バックホウにて中詰め材を取り出した。中詰め材を取り出し後、図-14に示すようにバックホウにて袋材を吊上げ、袋材に付着した砂を振るい落とししたうえで搬出した。施工時間は、試験体の解体撤去に3時間、袋材の片付けに1.7時間であった。従来のコンクリート製海岸保全施設に対し、設置や撤去が明らかに容易な工法であることがわかる。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ことから、袋詰め工の優位性を示すひとつの特徴であるといえる。

試験体の解体撤去にあたり、砂置換による中詰め材の密度試験、採取した中詰め材の締固め試験、試験体からサンプリングした袋材の引張り試験を実施した。中詰め材の密度については、上述の通り締固め度96%と非常に締固まった状態であることがわかった。袋材の引張強度については、波浪による磨耗が最も懸念される試験体の海側先端部においても外側の袋材が109kN/mで初期強度に対する強度保持率として80%以上、内側の袋材が171kN/mで強度保持率84%以上を有していることがわかった。外側においては磨耗による袋材繊維表面の毛羽立ちは確認できなかった。内側の袋材については、磨耗による強度低下というよりは、袋材繊維内への土粒子の混入に起因するものと推測される。内側袋材については引張強度が171kN/m以上であることから、上述と同様、袋材側面に発生する最大引張力13kN/mに対して安全率で表現すると $F_s=13.2$ となり、十分安全側にあることがわかる。

6. おわりに

本試験施工で得られた結論は以下の通りである。

- 現地海岸は粒度5mm～20mmが大半を占めた砂礫海岸であったが、スケルトンバケットにて30mm以上の礫を取り除くことにより6吋22kW

のサンドポンプにて圧送充填することが可能であった。

- 従来のコンクリート製海岸保全施設に対し、設置や撤去が明らかに容易な工法であることがわかった。
- 設置期間中、現地の波浪による袋体の移動や大きな変形、外側および内側の袋材の破損等は確認できなかった。

今後は、砂礫中詰め材の充填方法、袋材の耐久性向上等について検討する予定である。

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) C. R. Lawson.: Geotextile Containment for hydraulic and environmental engineering, *Geosynthetics Internationals*, Vol.15, No.6, pp. 384-427, 2008.
- 2) 元永秀：西湘海岸における現地試験，海岸，社団法人全国海岸協会，Vol.50，pp.38-41，2011.
- 3) 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.4，2011。（印刷中）
- 4) 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.

THE FIELD CONSTRUCTION TEST OF GEOTEXTILE TUBE

Junichi Hironaka, Jun Nishimura, Nahoko Matsumoto,
Yoshio Suwa, Kenji Noguchi, Kunihiro Watanabe and Yoko Sekiguchi

The geotextile tube for marine applications has been used around the reasons of construction performance with its simple execution. However, because this geotextile tube structures have not been constructed on the Japanese coast, this demand performance and construction system have not been established in Japan.

In this study, the geotextile tube was constructed on the Seisho coast, Kanagawa Pref. This structure was required to have the stability to wave attack and the resistance to abrasion caused by coastal sediments. Coastal sediments were filtered under 30mm, and filled into geotextile tube with seawater using a sand-pump. The objective of this paper is to evaluate the construction and removal method, the stability, and the durability of geotextile tube.