

大型袋詰め工の現地施工試験

THE FIELD EXPERIMENTS OF THE LARGE-SIZED SAND BAGS

土橋和敬¹・高垣勝彦²・黄檗敏弘³・諏訪義雄⁴・

野口賢二⁴・渡辺国広⁴・関口陽高⁴

Kazunori TSUCHIHASHI, Katsuhiko TAKAGAKI, Toshihiro KIWADA, Yoshio SUWA,
Kenji NOGUCHI, Kunihiro WATANABE, Yoko SEKIGUCHI

¹前田工織株式会社 水環境保全推進部 (〒919-0422 福井県坂井市春江町沖布目38-3)

²前田工織株式会社 開発技術部 (〒919-0422 福井県坂井市春江町沖布目38-3)

³前田工織株式会社 品質管理部施工G (〒919-0422 福井県坂井市春江町沖布目38-3)

⁴正会員 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)

The conventional shore protection facilities have been constructed using stones or a concrete block to resist wave force. However there are the problems of shortage of suitable resources and poor productivities on gravel building stones. For this, the sand bags consisting of geo-textile to be noted for its aspects of filled with the local outbreak soil labor saving on construction, and flexible characteristics to the transformation.

In this study, field experiments for constructing shore protection facilities using sand bags were carried out on Japanese coast, and three construction methods were tested. The merits - demerits and coastal condition that each method was applicable were discussed.

Key Words : coastal protection institution, Wave force, Geo-textile, large-sized bag filling mechanic, sand pump, Abrasion-resistant, restriction belt

1. はじめに

従来の海岸保全施設は、波力等に抵抗するために、石材やコンクリートブロック等の剛な材料で施工されているが、工費が高く、工期が長くなるなどの生産性の課題や砂利・石材等の資源枯渇の問題がある。これに対し、ジオテキスタイル等で構成される袋材に土砂等を詰める工（以下、袋詰め工）は、現地発生土の利用、施工の省力化、変形への追従性、砂利・石材等の資源の枯渇への対応の面から注目されており、海岸保全施設への適用の期待が高まっている。一方、海外ではすでに多くの事例が報告されているが¹⁾、我が国では海岸で本格的に袋詰め工を施工した事例がない。また、施工方法についてもサンドポンプやホッパーを用いた方法で施工されているが、その評価は行われていない。

本研究では、袋詰め工の様々な施工方法を確認するとともに、施工性向上のための工夫についても検討することを目的とし、現地施工試験を実施した。施工試験は、ホッパーを用いた方法、バックホウを用いて直接袋内に投入する方法、サンドポンプを用いた方法の3通りを試行した。本論文は、各施工方

法の概要および評価（利点、欠点）についてとりまとめるものである。

2. 施工試験の実施

(1) 施工試験の概要

施工試験は、図-1 に示すとおり福井港、西湘海岸、浜住海岸の3か所で実施した。

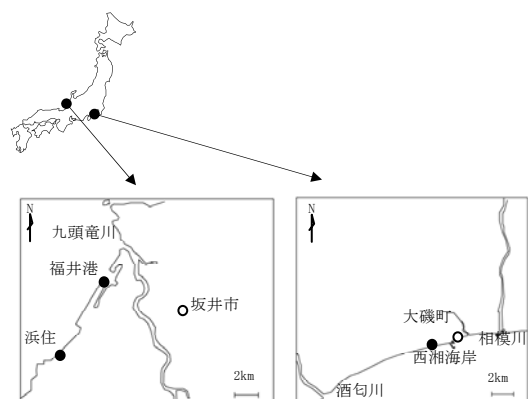


図-1 位置図

福井港では、俵型の袋体に土砂を中詰めする方法として、袋体に水と土砂を同時に送り、水のみを排出することで土砂を詰められるかを確認した。西湘海岸では、大型袋詰め施工可否を確認するとともに、海岸における波浪および摩耗に対する耐久性について確認した²⁾。そのため、施工後もすぐには撤去せず、4 カ月にわたって袋体の定期観測を行った。浜住海岸では、サンドポンプによる中詰めを実際の海岸でも可能かを確認した。

(2) 福井港における施工試験

福井港（福井県福井市）では、袋体は、ポリエステル製で180kN/mの強さを有する、直径1.0m、長さ3.0mの俵型と幅8m、高さ1.5m、長さ4.0mのマット型のものを製作した。施工は写真-1に示すとおり、幅1.0m、深さ0.7mのホッパーに、2時の水中ポンプにより送水し、0.2m³のバックホウでホッパー内に土砂を供給し、水が流下する力で袋内に土砂を詰めた。



写真-1 ホッパーを用いた粗砂の中詰め方法



写真-2 袋体吊下げの様子

ホッパーを用いた場合、約2.0mの高さから自然流下により袋材に土砂と水を供給するため、写真-2に示すように、製作する袋体をあらかじめ仮設材に吊下げ、目標とする袋形状を保った状態で中詰めした。なお、中詰め材は、粗砂を使用した。

施工試験の結果、写真-3に示すように目標とする袋形状を満足することができ、約9割の充填率を確保することができた。日当り施工量は約70m³であったものの、袋吊下げ用の仮設材組立てや袋の吊下げが必要となり、今回用いた袋寸法であれば、単管や

簡単な架台ですむが、袋寸法が大きくなると、さらに仮設材が必要となるとともに、袋の吊下げにも時間が必要となる。



写真-3 袋詰め工

(3) 西湘海岸における施工試験

西湘海岸（神奈川県中郡大磯町）では、現地で検討されている漂砂制御施設の構造を模倣することが条件とされたため、幅8.0m、高さ1.5m、長さ15.0m(180m³)のマット型を製作した。写真-4に示すように、袋材は、福井港における施工試験の方法と同様に、あらかじめ仮設材に吊下げ、0.7m³のバックホウで、袋に設けた1.5m×1.5m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同時に、水締めを行うことで袋内の充填率を高めた。



写真-4 バックホウにより直接投入する方法

西湘海岸では、袋体製作後、数カ月現地に存置させる計画であったため、袋体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パイルを有し、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。また、事前に実施した水理模型実験³⁾では、袋詰め工全体が潮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-5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。



写真-5 ベルト連結構造

中詰めは、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、福井港における施工試験よりも袋寸法が大きくなったことから、写真-6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-6 作業全景

写真-7は完成時の様子である。袋の吊下げに0.5日、中詰め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90m³であったといえる。



写真-7 完成時

(4) 浜住海岸における施工試験

浜住海岸（福井県福井市）では、高さ1.0m、延長4.0mの俵型のものを製作した。中詰めは、6吋11kwのサンドポンプを用いた。これまでの施工試験では、仮設材を用いて袋体を吊下げた状態で中詰めしたが、浜住海岸では、基礎地盤に袋体を広げた状態で中詰めした。現地は直径1mm程度の粗砂で、50mm内外の玉石等がわずかに混入する程度であった。

当初は汀線際から直接、海水と砂を中詰めることを試みたが、施工試験時の波浪が高く、一定の状態で砂と海水を吸引することができなかったことや土砂採取位置と袋体設置位置の高低差が大きく、サンドポンプ能力（全揚程）が十分でなかったため、送水管（サクションホース）の詰まり等が生じ、中詰めすることができなかった。

そこで、写真-8に示すとおり、10m³の水槽を用いて、海水を水槽内にくみ上げ、バックホウで水槽内に土砂を投入し、サンドポンプを水槽内に設置し中詰めを行った。



写真-8 中詰め作業状況

その結果、写真-9に示すとおり、目標とする袋形状を満足することができた。日当り施工量は、約40m³であった。これまでの2例の方法に比べて、仮設材を必要としないため、比較的容易な施工法といえるが、サンドポンプの能力に左右されるため、中詰め土砂、波浪条件に配慮が必要である。



写真-9 完成時

3. 各施工方法の比較評価

これまでに実施した各施工法を比較評価する。比較は、表-1に示すように施工性、経済性、適応性について行った。適応性については、「底質」は中詰め土砂の適応性、「波浪」は高波浪時や満潮時に水位がある場合の適応性、「地形」は基礎地盤の状況に対する適応性に着目して評価した。

(1) 施工性

施工性は、ホッパーによる方法やバックホウで直接投入する方法は、中詰め作業の日当り施工量は多いが、中詰めの工程に至るまでに、仮設構造物を構築する必要があること、目標とする袋形状となるよう袋体を吊下げる必要があることから、サンドポンプによる方法と比べ施工性で劣る。特に、袋体の規模が大きくなると、大がかりな仮設構造物が必要となる。なお、表中の日当り施工量は中詰め作業のみの施工量を表す。

(2) 経済性

経済性は、施工試験の実績をもとに算出した。表中の m^3 当りの施工費用は、西湘海岸での施工試験規模(180m^3)で算出したものであり、仮設構造物にかかる費用も加えている。西湘海岸での費用は、仮設構造物が65万円、中詰め工が44万円であった。ホッパーによる方法は、西湘海岸での仮設構造物と同等の費用がかかるものとして計上した。サンドポンプによる方法は、仮設構造物が不要なため、ホッパーによる方法やバックホウにより直接投入する方法に比べ、およそ半分の費用となり、経済性で有利である。

(3) 適応性

a) 底質（土砂）

サンドポンプによる方法は、土砂が砂の場合のみに適する。サンドポンプの能力にもよるが、粒径の

大きな玉石などが多く混入した底質の場所には適さない。これに対して、ホッパーを用いる方法やバックホウで直接投入する方法は、底質に限定されず、適応範囲は広い。

b) 波浪（水位）

ホッパーを用いる方法やバックホウで直接投入する方法は、仮設構造物を構築する必要があり、高波浪時や満潮時など設置場所に水位がある状態では施工できない。サンドポンプによる方法は、海外の事例からも、水中での中詰め作業が可能である。したがって、工事を行う上で安全上問題のない波高であれば施工は可能である。ただし、サンドポンプの選定においては十分な検討が必要である。

c) 地形

ホッパーによる方法やバックホウにより直接投入する方法は、仮設構造物が必要となるため、構築に際してはある程度基礎をならす必要がある。高低差が大きな地形などには適さない。これに対し、サンドポンプによる方法は、ポンプ能力について十分な検討は必要ではあるが、袋体を広げることができれば、他所の不陸地形でも施工は可能である。

各工法とも一長一短はあるが、総合的にはサンドポンプによる方法が優れているといえる。

一方で、改良点は多いが、底質（中詰め土砂）や波浪条件、地形に応じて施工方法を選択することで、ある程度の範囲で施工が可能であるといえる。

4. 西湘海岸における試験体の変状

西湘海岸では2010年11月20日から2011年4月5日まで設置したが、その間1週間に1回定期観測を実施した。観測は、袋体の変形、袋体の移動、シーートの損傷（摩耗、穴空き、火傷など）に着目して実施した。

表-1 各方法の比較

	ホッパーによる方法	バック法により直接投入する方法	サンドポンプによる方法
施工場所	福井港	西湘海岸	浜住海岸
施工性	$70\text{m}^3/\text{日}^{*1}$ 仮設構造物が必要 袋体が大きくなると、仮設構造物も大がかりとなる。 仮設構造物設置に、5日程度必要 ^{*2} 。	$90\text{m}^3/\text{日}^{*1}$ 仮設構造物が必要 袋体が大きくなると、仮設構造物も大がかりとなる。 仮設構造物設置に、5日程度必要 ^{*2} 。	$40\text{m}^3/\text{日}^{*1}$
経済性 ^{*3}	$6,000\text{円}/\text{m}^3$	$6,000\text{円}/\text{m}^3$	$2,800\text{円}/\text{m}^3$
適応性	底質（土砂）	ほぼ全ての底質で可	レキの割合が高い底質は不可
	波浪（水位）	高波浪・満潮時は不可	水中での施工も可能
	地形（基礎）	仮設材を構築するため、ある程度ならかな地形が適する。	不陸地形でも適応可能
*1 中詰め作業のみで計上。			
*2 西湘海岸での実績。			
*3 西湘海岸の施工規模(180m^3)で算出。仮設構造物費用も含む。			

具体的には、毎回決まったアングルからの撮影、摩耗状況を把握するため、新品の袋材を並べて撮影、全景が把握できる位置に監視カメラを設置して撮影するなどした。

(1) 袋体の変形

高波浪時に中詰めの土砂が移動し、袋体が変形していることがわかった。図-2は、設置期間中の神奈川県平塚沖における波高、潮位をまとめたものである。12月3日前後と2月20日前後に4mを越える波高が観測されている。また、12月22日から1月3日頃まで1.5m～2.0m程度の波高の高い日が連続している。

図-3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、波を直接面を受けたため変形が大きかったものと推測される。また、施工試験で使用した袋体は、底のシートと天端のシートをベルトで連結する構造であったため、袋体の中央部において変形は小さかったものと考えられる。

写真-10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-11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-10 12月28日の状況



写真-11 1月5日の状況

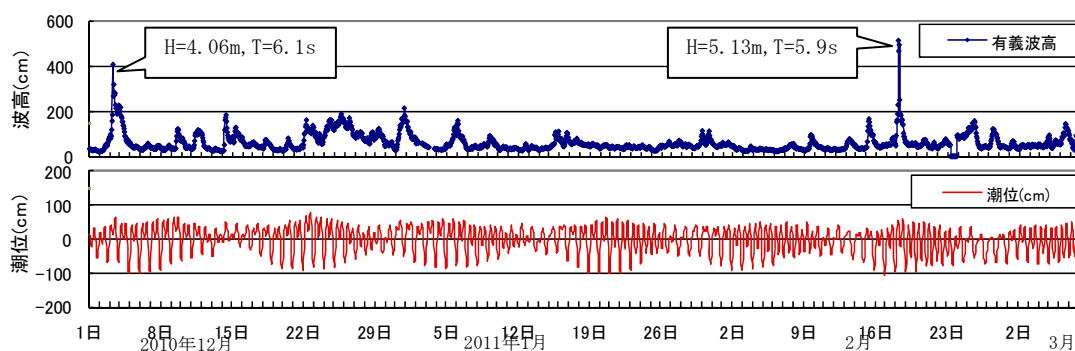


図-2 平塚沖における波高・潮位

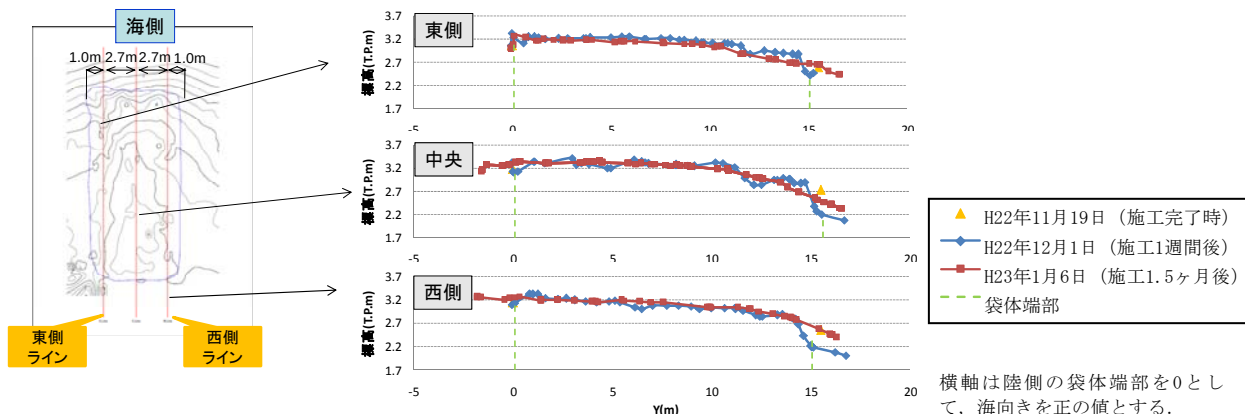


図-3 袋体の変形状況

横軸は陸側の袋体端部を0として、海向きを正の値とする。

(2) 袋体の移動

西湘海岸での施工試験に先立ち、波浪に対して安定となる袋体の形状や寸法を決定するため、水理模型実験³⁾を実施した。模型は、1/40のスケールで実際に袋体を設置する西湘海岸を再現した。海象条件について、潮位は計画潮位とし、波高は過去15年間の最大波浪 ($H_{1/3}=6.6\text{m}$, $T_{1/3}=14.2\text{sec}$)、汀線斜め 25° 入射を想定して実施した。

実験の結果、最大波高時に海側の袋体端部が僅かに上下したものの、大きな移動や損傷がなく、計画した袋体の寸法で安定することを確認した。

実際に、西湘海岸においても袋体の移動は見られなかった。なお、設置期間中の最大波高は5.13m、周期は5.9sであった。

(3) 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-12に示す耐摩耗性シートが有するモノフィラメントのPILE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-13に示すようにPILE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る。



写真-12 PILEシートの拡大写真



写真-13 現地におけるシートの状況

5. まとめ

上記一連の施工試験の結果、海岸の底質や波浪条件、地形に応じた施工方法を用いることで、ある程度の範囲で袋詰め工の施工は可能であると考えられる。

ホッパーを用いる方法や直接バックホウで土砂を投入する方法は、中詰め工程前に、袋体を仮吊りする必要があるため、波浪（水位）が高い範囲では不利である。今後は、施工性を向上させるため、大がかりな仮設備がなくても袋体为目标とする形状に保つ方法を検討する必要がある。また、サンドポンプによる施工は、底質（土砂）が細い範囲で有利であるが、課題として、海底から直接土砂を採取できる能力をもったポンプが必要であることがわかった。一方で、これまでの施工試験は、水位がない状態での施工試験しか行っておらず、海岸保全施設としての適応範囲を広げる意味でも水中での施工を試みる必要がある。

謝辞： 今回の施工試験を行うにあたり、国土交通省河川局海岸室、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所、相模出張所、神奈川県平塚土木事務所、財団法人土木研究センター、福井県の協力を得た。また、大磯町漁業協同組合、二宮町漁業協同組合をはじめとする海岸利用者の方々にも試験に対するご理解とご協力を得た。なお、本研究の西湘海岸における試験施工は、国土技術政策総合研究所によって公募された共同研究「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。ここに併せて深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) Pilarczyk, K.. W.(2000): Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering, A.A.BALKEMA, 913p.
- 2) 渡辺国広, 諏訪義雄, 野口賢二, 関口陽高: 砂袋で海岸を守る～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.
- 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)