

袋詰め軽量モルタル材を用いた水中盛土地盤の 物理・力学特性および水域環境への影響の評価

柳 澤 太 一 高 橋 浩
佐 藤 文 則 小 川 朗 二^{*1}

要 旨

軟弱な海底地盤上の埋立てを行う場合、盛土荷重による基礎地盤の不同沈下や側方変位が問題となる。その対策の一つに盛土材料を軽量化し、基礎地盤への荷重を軽減する方法がある。著者らは、既報 Vol.38で発泡スチロールビーズ (EPS) を混入した軽量モルタルを用いた2つの水中軽量盛土工法の適用性について研究し、礫状モルタル工法では、地震時の変形や沈下が懸念されるため盛土地盤そのものを締固める必要があること、また、工費、工期を低減するために考案した締固めを不要とする袋詰め投入工法では、袋形状、袋詰め材の材令等を調整し、盛土地盤の密度増加を図れば、締固めが不要になることを報告した。

本報は、袋詰め投入工法を適用した盛土地盤の密度特性、力学特性および水域環境への影響を評価検討するために実施した屋外実物大実験および室内大型三軸試験、濁度・pH実験の結果から、袋詰め投入工法の適用性に関して得られた知見を報告するものである。

キーワード 袋詰め投入工法／袋詰め材／EPS／実物大実験／間隙比／内部摩擦角／濁度／pH

目 次

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1. はじめに | 4. 水域環境への影響 |
| 2. 盛土地盤の密度特性に関する検討 | 5. まとめ |
| 3. 盛土地盤の力学特性に関する検討 | |

EVALUATING CHARACTER OF PHYSICAL-DYNAMICS AND INFLUENCE OF WATERS ABOUT UNDERWATER EMBANKMENT USED PACKAGE OF LIGHT-WEIGHT MORTAR

Taichi YANAGISAWA Hiroshi TAKAHASHI
Fuminori SATO Roji OGAWA

Synopsis:

In case of developed land on a poor sea-bottom, there are some problems of land subsidence and side-displacement to foundation-ground influenced by load of embankment.

As method of underwater embankment, we suggest two kind of the methods. First one used light-weight mortar gravel with Expanded-Poly-Styrol needed compaction. But, second one used this mortar packing into plastic bag is not.

To examine the application of mortar packing method, we carried out several tests used full-scale or small-scale materials to evaluate character of density and physical-dynamics of embankment and influence to waters. As a result, we have several acquaintances.

* 1 関東支店 神流川作業所

1. はじめに

軟弱な海底地盤上に埋立て工法による大規模な土地造成を行う場合、盛土荷重による基礎地盤の不同沈下や側方変位が大きな問題となる。また、既設構造物に隣接して建設する場合には、連れ込み沈下の問題も生じてくる。この問題の対策の一つに盛土材料を軽量化し、基礎地盤への荷重を軽減する方法がある。従来、軽量盛土工法¹⁾は陸上での軟弱地盤に対する荷重軽減対策や抗土圧構造物に対する土圧軽減対策に用いられてきたが、最近では水中盛土への適用²⁾も検討されている。

筆者らは当初、発砲スチロールビーズ(EPS)を混入した軽量モルタルを硬化後に礫状に破碎し、盛土材(礫状モルタル材)として用いる水中盛土工法^{3)~5)}(礫状モルタル工法)の開発を進めてきた。検討の結果、本工法で構築した水中盛土は基礎地盤の沈下に追随する特徴(変形追随性)を有するが、盛土の間隙比が大きく、軽量化に伴う拘束圧の低下により、地震時に初期層厚の10%を越える即時沈下が発生することが確認された。また、盛土を締固め等により密実化させることで、沈下を大きく低減できることもわかった。

次に、工費、工期を低減するため、変形追随性は保持しながら、締固め等の工程を付加することなしに水中投入後の盛土の間隙比を小さくし、地震時の安定性の向上を図る工法として、軽量モルタルを袋詰めにして用いる袋詰め投入工法^{5)~6)}を提案した。室内での模型水中投入実験からは、硬化していない状態で袋詰め材を投入することで密度増加を図ることができること、すなわち、密度の面からは投入後の締固めが不要であることを確認した。

そこで、本報では、袋詰め投入工法の適用性を把握するため、実規模の袋詰め材による水中投入実験と小型の袋詰め材を用いた大型三軸試験を行い、水中盛土地盤の密度および力学特性を把握することとした。さらに、水中投入後の水域環境に与える影響を確認するため、濁度およびpHについて他工法との比較実験を行うこととした。

2. 盛土地盤の密度特性に関する検討

室内模型水中投入実験⁵⁾で得られた袋詰め材(軽量モルタルを袋詰めにした盛土材)の材齢と水中盛土の密度との関係が実際の水中盛土でも成立するかを確認するため実物大の袋詰め材を用いた屋外水中投入実験を実施した。以下にその結果を示す。

2.1 実験の方法

(1) 軽量モルタルの配合と袋詰め材の寸法

EPSを混入した軽量モルタルの配合を表-1に示す。ここでは、礫状モルタル材を用いた実験結果⁵⁾を踏まえ、比重を $G_s=1.5$ とした。

実験に用いた袋詰め材は縦 600mm、横 400mm のポリ

エチレン製の袋に軽量モルタルを 20,000cc 詰めて作製した。袋の開口部は手動式のインパルスシール機を用いて熱圧着したが、このシール機の制約から軽量モルタルの充填率(袋の容量に対する軽量モルタルの容量の比率)は 70%とした。

表-1 EPSを混入した軽量モルタルの配合
(比重 $G_s=1.5$)

使用材料	単位量 (kg/m ³)
水	250
セメント	291
フライアッシュ	291
細骨材	672
発砲スチロールビーズ (EPS)	4.95

(2) 水中盛土地盤の作製方法と実験ケース

図-1に実験装置の概要を示す。幅 2150mm、長さ 2150mm、深さ 1800mm の鋼製水槽に水を張り、袋詰め材をベルトコンベアーで運搬し、直接水中投入する方法で水中盛土地盤を作製した。

表-2に実験ケースを示す。実験は袋詰め材の材齢(軽量モルタルの練り上がりから袋詰め材の投入までに時間)を変えた3ケースについて行い、材齢と盛土地盤の密度の関係を調べた。ここで、材齢は室内模型水中投入実験⁵⁾と同じとした。

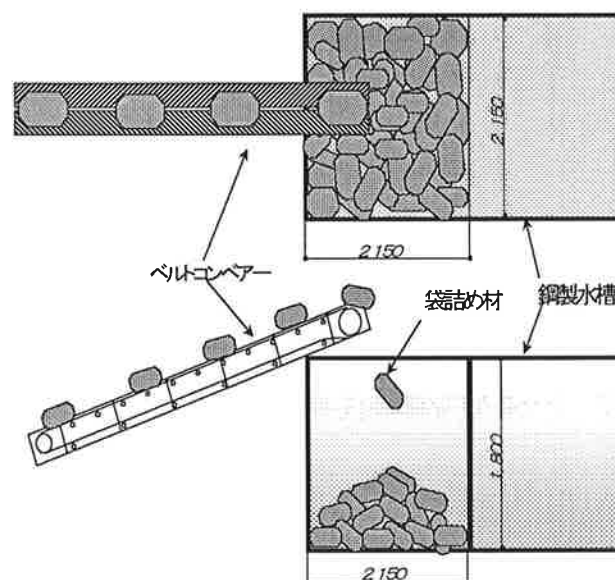


図-1 実験装置の概要

表-2 実験ケース

実験ケース	袋詰め材の材齢
1	練り上がり直後の投入
2	練り上がり3時間後投入
3	硬化後投入

2.2 実験結果

袋詰め材約 150 体を水槽内に均等に投入の後、盛土高さを計測し、その高さから盛土の乾燥密度 ρ_d と間隙比 e を求めた。

表-3 に表-2 のケースについて求めた盛土の ρ_d と e を示す。盛土の ρ_d はケース 3, 2, 1 の順に大きくなり、練り上がりから投入までの時間が短いほど密実な盛土に仕上がっている。しかし、ケース 1 では室内模型水中投入実験での ρ_d (0.94gf/cm^3) よりかなり大きな値を示している。

図-2 に間隙比と袋詰め材の材齢の関係を室内模型水中投入実験と比較して示した。ケース 2 およびケース 3 の e は室内実験と良い対応を示しているが、ケース 1 では室内実験に比べて e がかなり小さいことがわかる。これは本実験での袋詰め材の充填率 (70%) が室内実験 (ほぼ 100%) に比べて小さかったこと、即ち、フレッシュな状態での袋詰め材の変形性能が優れていたことが原因と考えられる。

そこで、充填率が間隙比に与える影響を簡単なモデルを仮定して以下の手順で求めた (図-3 参照)。

- ① 充填率 100% の袋詰め材を球体とし、球体がきれいに積み重ねられたとしてそのときの間隙比を求める。
- ② $e = 0$ の状態を球体と同じ表面積を持つ直方体が隙間なく積み重ねられたとしてそのときの充填率を球体の体積に対する直方体の体積の比率として求める。
- ③ 上記の 2 点間を直線で補間する。

結果を図-4 に示す。これによると e は充填率によって大きく変化し、充填率 55% で $e = 0$ となることがわかる。また、図中に併記した実験値とも整合がとれている。

表-3 盛土の乾燥密度と間隙比

実験ケース	乾燥密度 ρ_d (gf/cm^3)	間隙比 e
1	1.27	0.15
2	0.89	0.63
3	0.77	0.90

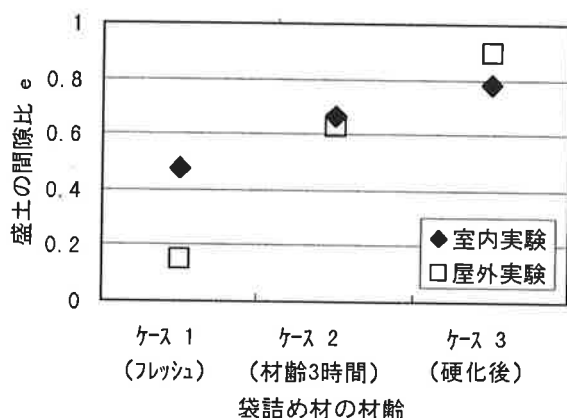
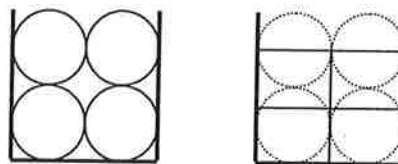


図-2 盛土の間隙比と袋詰め材の材齢の関係



(a) 充填率 100% の状態 (b) 間隙比 0 の状態

図-3 間隙比と充填率の関係の計算モデル

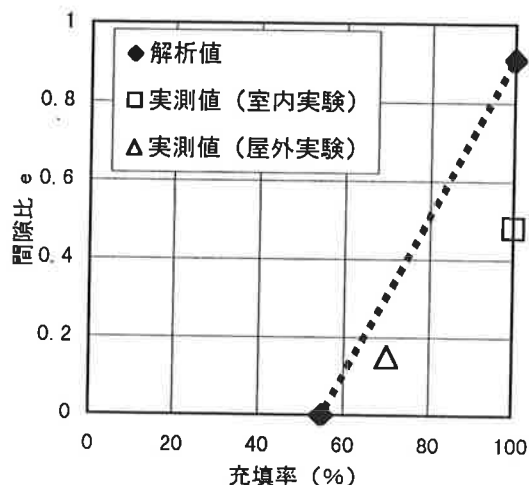


図-4 袋詰め材の充填率と盛土の間隙比の関係

以上より、袋詰め材を練り上がり直後に投入したときの室内実験との密度の違いは袋詰め材の充填率で説明ができ、実物大の袋詰め材を用いた屋外実験で得られた盛土の密度と袋詰め材の材齢との関係は室内実験のそれと概ね一致することが確かめられた。

3. 盛土地盤の力学特性に関する検討

本章では水中軽量盛土の力学特性を評価するために実施した小型の袋詰め材を用いた大型三軸試験と実物大の袋詰め材を用いた簡易内部摩擦角測定試験の結果について述べる。

3.1 大型三軸試験

(1) 実験方法

実験は小型の袋詰め材を用いて行い、水深 20m 程度の海域における埋立て盛土を想定して圧密過程の拘束圧を 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 kgf/cm^2 の 4 水準として実施した。

袋詰め材は縦 140mm、横 80mm のポリエチレン製の袋に比重 $G_s = 1.5$ の軽量モルタル (配合: 表-1) を 150cc 詰め (充填率 70%), 作製した。また、袋詰め材は設計上安全側となる硬化後のものを用いた。

(2) 水中投入後の密度状態

試験に先立ち、供試体の乾燥密度 ρ_d と間隙比 e を求めた。4 供試体で多少ばらつきを見せたが、 ρ_d の平均が 0.6gf/cm^3 、 e 平均が 1.35 と求められた。これは前章の結

果に比べると多少密度の小さな状態となっている。

(3) 強度特性

大型三軸試験の結果を図-5 に示す。図よりモールの応力円の包絡線は直線とはならず、拘束圧の増加とともに傾きが小さくなる傾向が見られる。このような特性は破碎性の岩石材料などに見られる特徴⁹⁾であり、袋詰め材も拘束圧の増加とともに材料破碎が生じている可能性がある。

図-6 に内部摩擦角 ϕ と拘束圧 σ_v' の関係にまとめ直した図を示す。図には礫状モルタル材（軽量モルタルを硬化後に砕いて礫状にした軽量盛土材）の結果⁵⁾も示した。 σ_v' が 0.8kgf/cm^2 以下では一般的な礫材と同等の ϕ を袋詰め材は持っているが、 σ_v' の増加とともに ϕ が単調に減少する。 σ_v' が $0.8 \sim 1.75\text{kgf/cm}^2$ では礫状モルタル材に比べて袋詰め材の ϕ の低下の割合が大きく、 ϕ の低下が材料の破碎によるものとすれば、袋詰め材では礫状モルタル材よりも破碎が大きく進行した可能性がある。

そこで、材料の破碎率と拘束圧の関係を調べ、図-7 に礫状モルタルの場合と比較して示した。ここで、礫状モルタルの破碎率は試験前後に実施した粒度試験結果からマーサルの BM 法によって求め、袋詰め材についてはその総数に対する割れた個数の比率として算定した。これを見ると、袋詰め材は拘束圧の増加とともに破碎率が単調に増加しており、図-6 の ϕ が拘束圧の増加につれて低下する傾向と調和している。また、破碎率の定義が異なるため直接比較はできないが、拘束圧が 0.5kgf/cm^2 と 1.0kgf/cm^2 の間で破碎率が上昇する礫状モルタル材との傾向の違いも見取れる。

今回用いた袋詰め材は座布団のように薄っぺらな形状をしていたため、母材（軽量モルタル）の 28 日強度が 100kgf/cm^2 であるにも拘わらず、割れやすくなったと考えられる。室内模型水中投入実験⁵⁾からは袋の縦横比が 1～2 の範囲では袋詰め材の形状が密度特性に与える影響は小さいことが示されたが、今回の試験結果からは力学的には割れにくい形状、即ち、なるべくずんぐりした形状とすることが望ましいことが明らかになった。

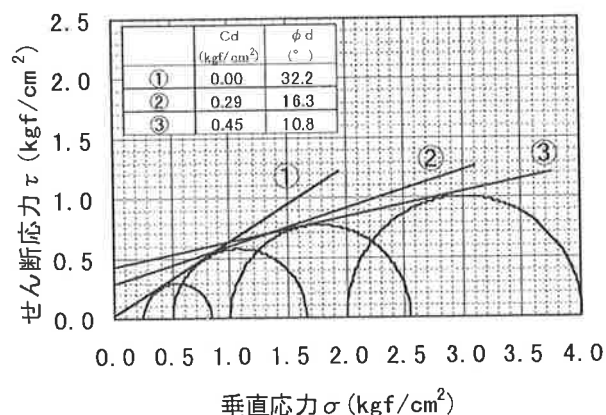


図-5 袋詰め材の強度特性

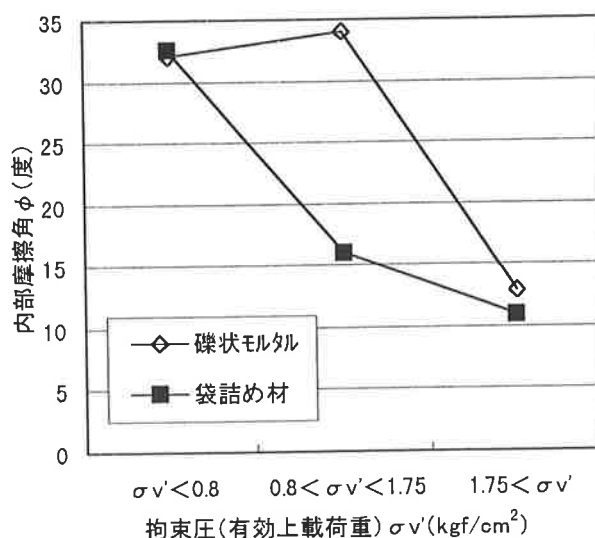


図-6 拘束圧と内部摩擦角との関係

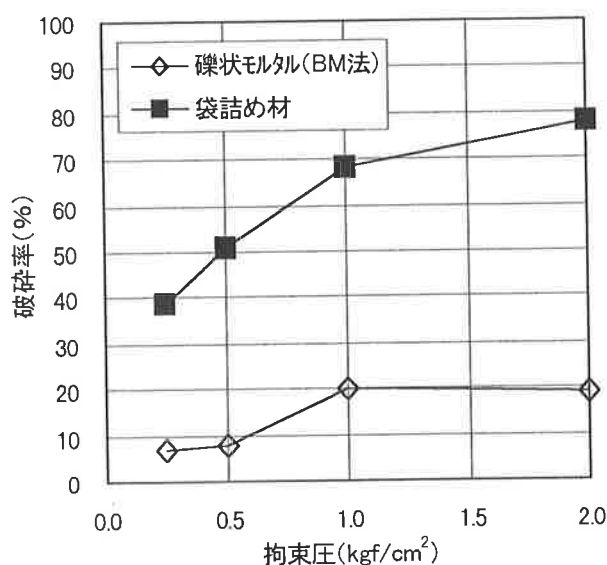


図-7 拘束圧と破碎率の関係

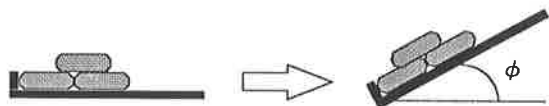
3.2 簡易内部摩擦角測定試験

前項の大型三軸試験では硬化後の袋詰め材に関する強度特性を検討したが、ここでは袋詰め材の材齢が盛土地盤の強度に与える影響を簡易試験で検討した。以下にその方法と結果を示す。

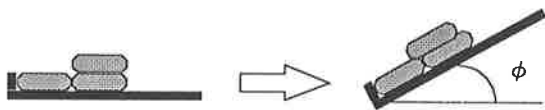
(1) 試験方法

試験は前章 2. の屋外水中投入実験と同じ実物大の袋詰め材を用いて実施した。図-8 に示すように盤上に袋詰め材を重ね積みし、袋詰め材が硬化した後、盤を傾斜させ、上に載せた袋詰め材が滑り出す角度 ϕ をもって内部摩擦角とした。

試験は表-4 に示す材齢の異なる 3 ケースを考え、また、袋詰め材の重ね方は袋詰め材同士のかみ合いの影響を考えた場合（図-8、タイプ A）、およびかみ合いのない場合（図-8、タイプ B）の 2 通りを設定した。



タイプ A) 下の段の袋と袋の間に重ね積みした場合
(かみ合いあり)



タイプ B) 下の段の袋の真上に重ね積みした場合
(かみ合いなし)

図-8 簡易内部摩擦角測定試験の概要

表-4 試験ケース

試験ケース	袋詰め材の材齢
1	練り上がり直後（フレッシュ）
2	練り上がり3時間後
3	硬化後

(2) 試験結果

試験結果を表-5に、また、表-5の結果を図化した結果を図-9に示した。まず、袋詰め材のかみ合わせを考えたタイプAの結果を見ると、袋詰め材の材齢が若いほど内部摩擦角 ϕ が大きくなっている。硬化後の袋詰め材を用いたケース3の ϕ は前項の大型三軸試験結果（低拘束圧の場合：32度）より幾分小さな値を示しているが、およそその値はとらえていると言える。また、練り上がり直後に積み重ねたケース1では ϕ は50度と大きな値を示し、袋詰め材のかみ合いの効果が大きいことがわかる。材齢3時間のケース2ではケース3に対する ϕ の増加はそれほど見られない。しかし、実際の中盛土地盤では袋詰め材はもっと複雑に堆積し、投入時の袋詰め材にかかる上載圧も大きいと考えられることから、ケース2の状態の盛土の強度もここでの結果より大きくなるものと考えられる。

また、かみ合いのないタイプBはタイプAに比べ、どのケースの ϕ も小さく、その差がかみ合わせの効果として確認できる。

今回の試験では非常に簡単なかみ合わせを考えたが、硬化していない状態の袋詰め材を用いれば、盛土の内部摩擦角が大きくなること、即ち地盤の強度が大きくなることを確認できた。しかし、袋詰め材の材齢から盛土の強度を推定できるまでには至っていない。従って、この関係を定量的に評価することが今後の課題として残されている。

表-5 試験結果一覧

試験ケース	内部摩擦角（度）	
	タイプA	タイプB
1	50	26
2	27	18
3	25	19

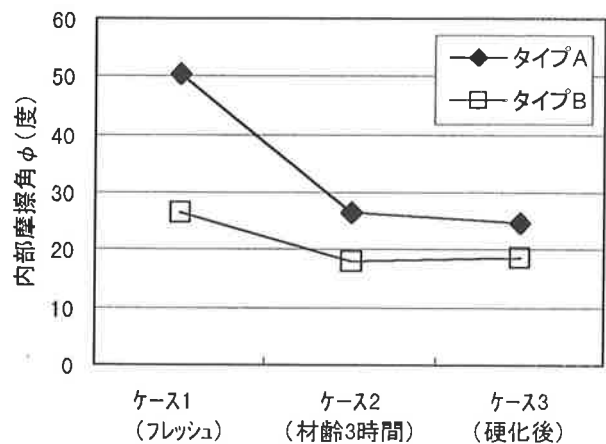


図-9 袋詰め材の材齢と盛土の内部摩擦角の関係

4. 水域環境への影響

水中施工に当たっては、水中打設時の浮上したEPSの処理方法、水質汚濁やpH対策等の環境対策が必要となる。

本章では、袋詰め投入工法による盛土構築が水域環境へ与える影響を把握するため、実物大の水中投入実験において、袋詰め材の水中投入前後の破損状況やEPSの水面上への浮上の有無を調査した。また、軽量盛土材料として袋詰め材、礫状モルタル材、スラリー状材料を水中投入して、濁度およびpHの経時変化を測定し、水域に与える影響を比較、検討した。

4.1 袋詰め材の破損状況の調査

実物大水中投入実験に使用した袋詰め材（袋形状；縦600mm×横400mm（ポリエチレン性）、容量；約20,000cc、モルタルの比重 $G_s=1.5$ ）は、袋に軽量モルタルを所定量入れた後、手動のインパルスシール機を使用して、袋の開口部を熱圧着によりシール（シール位置は袋の開口端より約10cm内側の箇所）して作製した。

表-6のケース1およびケース2において、袋詰め材の破損状況を調査したものを表-7に示す。なお、水中投入前に破損したものについては水中投入していない。

表-6 実験ケース

実験ケース	袋詰め材の材齢
1	練り上がり直後投入
2	練り上がり3時間後投入

表-7 袋詰め材の破損状況

実験ケース	作製数 (体)	水中投入前 破損 (体)	水中投入 (体)	水中投入後 破損 (体)
ケース1	148	9	139	1
ケース2	154	3	151	0

(1) 水中投入前の破損

水中投入前の破損状況は以下のとおりである。

ケース1：シール部の破損：8体

ベルトコンベアーに接触して破損：1体

ケース2：シール部の破損：1体

運搬時の破損：2体

破損原因と改善方法を検討すると以下ようになった。

①シール部の破損

シール部の破損については、シールする部分にモルタルが付着していると、完全なシールをすることができないため破損しやすくなることがわかった。これは、袋に軽量モルタルを投入する際に、シール部にモルタルが付着することがないように、材料投入管を袋の内部まで挿入することによって、改善可能である。また、シールの圧着時間が適切でないと完全なシールをすることができないため破損しやすくなることがわかった。これは、適切な圧着時間を把握することで改善可能である。本実験においては、ケース1でシールの不具合の発生が多かったので、ケース2ではシールの圧着時間の再調整を行った。その結果、シール部の破損が大幅に低減され、大きな改善効果がみられた。

②ベルトコンベアーに接触して破損

水中投入するために使用したベルトコンベアーの金属部分に接触し、破損したものがあつたが、これはベルトコンベアーの幅を拡張することによって改善可能である。

③運搬時の破損

袋詰め材を運搬する際に振動などが加えられると、袋の中に入っている空気が一箇所に集まり、その部分が破損しやすくなる。これを、改善するためには、袋詰めの際に混入する空気を脱気装置等により、取り除く必要がある。

(2) 水中投入後の破損

水中投入後の盛土形成時に破損した袋詰め材は290体中1体で水面に100cc程度のEPSの浮上が確認された。破損原因はシール部の破損であり、水中投入前のシールが不十分だったと思われる。また、水中投入時の衝撃によって破損したものはなかった。

以上のことから、袋詰め材の破損は、水中投入時の衝撃によるものはほとんどなく、作製時の不具合が原因となることがわかった。今後は、施工時に用いる自動梱包装置の圧着能力や脱気能力等の製造能力を確認し、合理的な袋詰め材作製方法、設備について検討していく必要がある。

4.2 濁度、pHの実験的検討

(1) 実験方法

実験は、水の流入、流出がない閉鎖海域を考慮して、容量70リットルのポリバケツ内に50リットルの水を張り、その中に6kgの軽量盛土材料を投入して行った。投入後、EPSの水面への浮上を確認し、濁度、pHの経時変化を測定し、他工法との比較を行った。

実験ケースは、表-8に示す3種類の工法を想定したケースとした。各盛土材料の配合は表-9に示すとおりである。

なお、袋詰め材は、形状縦140mm×横80mmのポリエチレン性の袋に軽量モルタルを充填して作製し、袋が破損した場合の安全側を考慮し、材料硬化後、袋を除去したものを用いた。礫状モルタル材は、材料硬化後、粒径を40mm～60mmに調整したものを用いた。スラリー材は、浚渫土を混合した軽量土を用いた。

表-8 実験ケース

工法名	略称	投入方法
袋詰め投入工法	袋詰め	材料硬化後、水面上部より自由落下させる。 ただし、袋を除去して使用。
礫状モルタル工法	礫状	材料硬化後、水面上部より自由落下させる。
スラリー工法	スラリー	材料練り混ぜ直後、水中にトミーを模擬したパイプを用い、材料投入する。材料の自由落下はさせない。

表-9 配合

実験ケース	比重 Gs	単位量 (kg/m ³)					
		高炉セメント B種	フライ アッシュ	水	細骨材	浚渫土	EPS
袋詰め、礫状	1.5	313	313	250	618	—	4.32
スラリー	1.2	100	—	—	—	1071	3.15

(2) 濁度、pHの経時変化

図-10に濁度の経時変化を示した。また、写真-1に水中投入後1時間後の状況を示した。

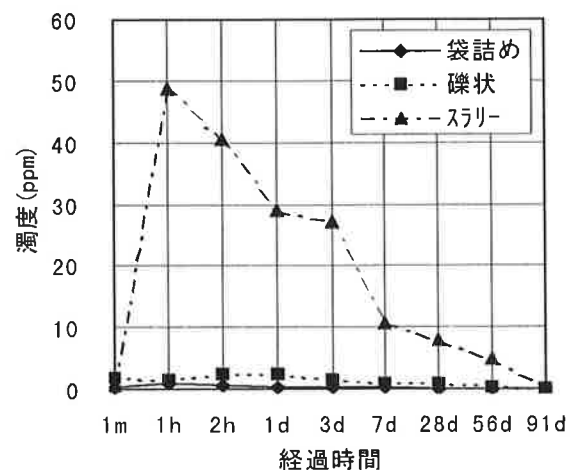


図-10 濁度の経時変化



写真-1 水面の状況（袋詰め投入工法）



写真-2 水面の状況（礫状モルタル工法）



写真-3 水面の状況（スラリー工法）

図-10 より、スラリー工法では、最高濁度が 50ppm に達し、写真を見てもわかるとおり、水質の汚濁が顕著であった。袋詰め投入工法、礫状モルタル工法では、最高濁度は、袋詰め投入工法で 0.9ppm、礫状モルタル工法で 2.5ppm でありスラリー工法に比べるとかなり小さく、汚濁はほとんどみられなかった。また、礫状モルタル工法およびスラリー工法については、EPS の水面への浮上がみられたが、袋詰め投入工法については浮上がみられなかった。

図-11 に pH の経時変化を示した。

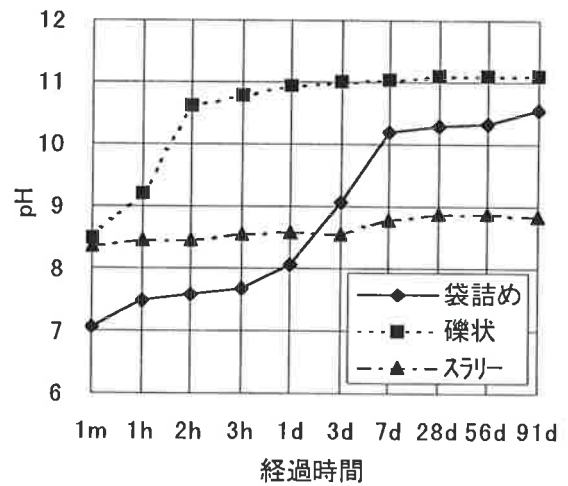


図-11 pH の経時変化

図-11 より、礫状モルタル工法では水中投入 1 日後にはほぼ最高 pH に達し、その値は他のものに比べて高かったが、海水の移動に関しては閉鎖構造とならず、海水の流入等を考慮すると長期間 pH は高いまま推移するとは考えにくい。スラリー工法では、pH は投入直後から顕著な増加をみせず、最高 pH 値は他のものに比べて小さかった。これは、配合中のセメント量が一番小さいため、盛土材料中のアルカリ量が他の材料に比べると少ないことに起因すると考えられる。袋詰め投入工法では、投入直後の pH は一番小さく、中性域にあったが、その後徐々に増加し、水中投入 7 日後にはほぼ最高 pH に達した。本実験では安全側を考慮し、袋を全て除去して試験を行っているが、袋の破損が無ければアルカリの溶出はなく pH の上昇はない。また、実物大水中投入実験では、水中投入時の衝撃により、破損した袋詰め材は少ないという結果が得られており、このことを考慮すると pH の上昇は軽微であると考えられる。

各工法別の水域環境への影響をまとめると以下のようになる。

①袋詰め投入工法は、盛土母材が袋で覆われており、施工や使用による海域への汚染はないと基本的には考えられる。水中投入時に袋が破損した場合、EPS の浮上、pH の上昇等が考えられるが、実物大の投入実験結果から水中投入時に多くの袋詰め材が破損することは考えにくく、礫状モルタル工法、スラリー工法に比べると水域環境に与える影響は軽微だと考えられる。つまり、本工法における水域への影響は、袋の破損に依存されるため、合理的な袋詰め材製造方法の検討が今後の課題となる。

②礫状モルタル工法は、濁度に関しては問題がないが、施工時の EPS の浮上対策として、EPS の回収設備を設置する必要があると考えられる。また、水域の pH に関しては、盛土に間隙があり、通水性を有するため海水の移動に関して閉鎖構造とならないため、pH の上昇は

軽微だと考えられる。

- ③スラリー工法は、濁度の上昇が懸念されるため、汚濁防止ネット等の設備を設ける必要がある。また、施工時のEPSの浮上対策として、EPSの回収設備を設置する必要があると考えられる。また、盛土構造に通水性がないため、海水の移動が制限されるために周辺海域へのpH上昇対策を立てる必要があると考えられる。

5. まとめ

今回の実験を通して、袋詰め投入工法の適用性に関して得られた知見は以下の通りである。

- 1)実物大の袋詰め材を用いた屋外水中投入実験で得られた盛土の密度と袋詰め材の材齢との関係は室内模型水中投入実験のそれと概ね一致することが確認された。また、袋詰め材を練り上がり直後に投入する場合には、軽量モルタルの充填率（袋の容量に対する軽量モルタルの容量に対する比率）を考える必要があることが判明した。
- 2)硬化後の袋詰め材を用いた水中盛土地盤の内部摩擦角は大型三軸試験の結果から一般の礫材と同等の値を持つこと、および簡易試験から硬化していない状態で投入すれば地盤の内部摩擦角はさらに大きくなることが確かめられた。しかし、袋詰め材の材齢との関係については大型三軸試験による詳細な検討がまだ残されている。
- 3)袋の縦横比が1~2の範囲では、袋詰め材の形状が盛土の密度に与える影響は小さいが、力学的には割れにくい形状、即ち、なるべくずんぐりした形状とする必要があることがわかった。
- 4)袋詰め投入工法は、施工や使用によって生じる水域への汚染は軽微であり、海水の移動に関して閉鎖構造とならないため、環境の保全に寄与することがわかった。つまり、水中投入前および水中投入時の袋体の破損を少なくすれば、水域への環境対策として、水質汚濁防止対策、EPS回収対策、pH上昇対策を講じる必要がないため、今後の課題としては合理的な袋詰め材製造方法を検討することが挙げられる。

参考文献

- 1)三木博史：軽量盛土工法の種類と特徴，『基礎工』，Vol.22，No.10，pp2-7，1994年10月。
- 2)例えば，松井創，湯川雅之，掛橋隆晴，塩坂健，森晴夫：発砲ビーズ混合処理土の水中打設実験，第29回土質工学研究発表会講演集，pp.2385-2386，1994年6月。
- 3)高橋浩，清水英樹，石黒健，白澤眞：水中軽量盛土の地震時沈下に関する振動大実験，第32回土質工学工学研究発表会講演集，pp.1023-1024，1997年7月。
- 4)柳澤太一，佐藤文則，香山康晴，出頭圭三：礫状モルタルによる水中軽量盛土工法の概要と軽量盛土材の基本物性，土木学会第52回年次学術講演会講演概要集，第VI部門，pp.358-359，1997年9月。
- 5)柳澤太一，佐藤文則，高橋浩，清水英樹，石黒健：軽量モルタルを用いた水中軽量盛土工法の開発と適用に関する研究，前田技術研究所報，Vol.38，pp.91-98，1997年10月。
- 6)松井幹雄，井上淳一，吉田隆治：個別要素法による袋詰め材水中盛土の振動解析，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，第III部門，pp.514-515，1998年10月。
- 7)吉田隆治，佐藤文則，高橋浩，柳澤太一，：袋詰め軽量モルタル材を用いた水中軽量盛土の地震時挙動に関する振動大実験，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，第VI部門，pp.522-523，1998年10月。
- 8)高橋浩，吉田隆治，佐藤文則，柳澤太一，小川朗二：袋詰め軽量モルタル材を用いた水中軽量盛土の密度特性に関する水中投入実験，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，第VI部門，pp.524-525，1998年10月。
- 9)土質工学会：粗粒材料の現場締固め，pp.11-53，1990年12月。