

ドライ状水中盛土構築工法の開発

Development of Aqua Stable Soil Method

佐藤工業㈱○弘中 義昭*

佐藤工業㈱ 宇野洋志城*

佐藤工業㈱ 山本 松生*

By Yoshiaki HIRONAKA, Yoshiki UNO, and Matsuo YAMAMOTO

従来の埋立て工法では、砂撒き船等により土砂を水中に投入した後に地盤改良を行って造成地盤を構築するのが一般的であった。しかし、このような埋立て工法の場合には土砂を水中に投入する際に生じる水質汚濁や埋立て後の地盤改良に伴う工期の長期化等が問題となっていた。そこで筆者らは、山砂に固化材（セメント）、増粘剤および少量の水を混入したドライ状の盛土材を水中に投入して地盤を構築する新しい水中盛土構築工法の開発を行った。本工法は、盛土材に増粘剤を添加することにより投入時の水質汚濁を抑制できるとともに、固化材を混入することにより投入後所定の期間で強度を有する地盤が造成できるという特徴を有している。開発にあたっては配合選定試験、施工性実験を行い、水中に投入する際に発生する汚濁の状態、固化後の盛土材の力学的特性および施工性（打設方法）について検証を行った。

[キーワード] 埋立て工事、盛土材料、環境保全、品質管理、

1. はじめに

近年、海中人工島やウォーターフロント開発における造成地盤の構築が数多く計画されている。従来の埋立て工法では、砂撒き船等により土砂を水中に投入した後に、サンドコンパクション等の地盤改良を行って造成地盤とするのが一般的である。しかし、このような埋立て工法の場合には土砂を水中に投入する際に水質汚濁が発生し、埋立て後の地盤改良に伴う工期の長期化は避けられない。そのため、環境保全と工期の短縮を目指して従来の埋立て工法を改善することを目的とした技術開発が行われている。

そこで筆者らは、あらかじめ陸上（海上）のプラントで固化材と増粘剤等を混合して製造したドライ状の水中盛土材料を、締切り等を行わずに直接投入して造成地盤を構築することを想定した新しい水中盛土工法（ASソイル工法）を開発した^{1)~4)}。

2. ドライ状水中盛土構築工法の概念

本工法は、山砂と水中分離防止のための増粘剤、固化材としてのセメント、さらに汚濁拡散防止のための消泡剤を少量の水で事前混合した水中盛土材料を用いた工法である。

- ・水中盛土材料はドライ状であること
 - ・水中に投入する際に汚濁が発生しないこと
 - ・所要の強度と密度の造成地盤がつくれること
- という特徴を有しており、本工法に適用することにより、

- ・ダンプトラックやベルトコンベアによる運搬
- ・底開きバージ等による大量投入
- ・地盤改良の省略による工期の短縮

等が実現可能となる。また、水中盛土材料の用途は陸上の地下水位の高い部分での埋戻し・置換等にも適していると考えられ、さらに液状化防止対策としての効果も期待できるものである。

本報告は、従来にないドライ状の盛土材料を用い

* 中央技術研究所土木研究部 0462-41-2171

た新しい水中盛土構築工法の開発における、配合選定試験、施工性実験の結果をまとめたものである。

3. 実験概要

本工法の開発にあたっては、まず実験室内により要求性能を満足させる配合を選定するための配合選定試験を行い、その後、大型水槽を用いた実規模レベルでの施工性と品質を確認するための施工性実験を行った。

4. 配合選定試験

(1) 使用材料および基本配合

a) 使用材料には、一般的に使用されている埋戻し材料として山砂（千葉県鶴岡産）、実施工の環境条件から耐海水性に優れた固化材として高炉セメントB種、水中分離抵抗性を付与するメチルセルローズ系増粘剤、水質汚濁を拡散させる気泡を排除するポリエーテル系の消泡剤を選定し、練り混ぜ水は配合No. 1には水道水、配合No. 2には水道水と人工海水を使用した。使用材料の一覧を表-1に示す。

b) 基本配合を表-2に示す。

(2) 実験方法

a) 練り混ぜ方法

- ①ミキサー：ホバート型ミキサー
(140rpm、容量4.7l)
- ②投入順序：山砂、固化材、増粘剤、消泡剤を一括投入して空練りを行った後、練り混ぜ水を加えて本練りを行った。
- ③練り混ぜ時間：空練り1分間、本練り3分間とした。

b) 供試体作成方法

- ①使用器具：直径5cm×高さ10cmの円柱モールドとランマー（重量1kg）を用いた。
- ②作成手順：図-1、2に示すように試料を2層に分けて投入し、締固めのある場合とない場合の供試体を作成した。締固めのある場合の供試体は、ランマーで各層8回の突固めを行って作成した。

表-1 使用材料の一覧

使用材料	備考
山砂(S)	千葉県鶴岡産(比重 2.69)
セメント(C)	高炉B種(比重 3.05)
増粘剤(M)	メチルセルローズ系
消泡剤(D)	ポリエーテル系
練り混ぜ水(W)	水道水、人工海水

表-2 基本配合

No.	単 位 量 kg/m ³				
	S	C	M	D	W
1	1230	120 ~ 180	0~5	0.3	100 ~ 250
2	1350	150	3	0.3	100 ~ 250

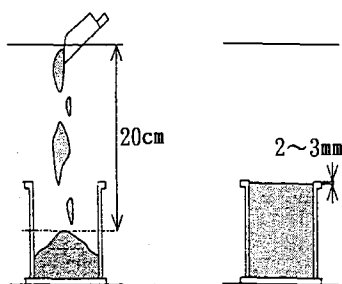


図-1 供試体作成方法（締固めなし）

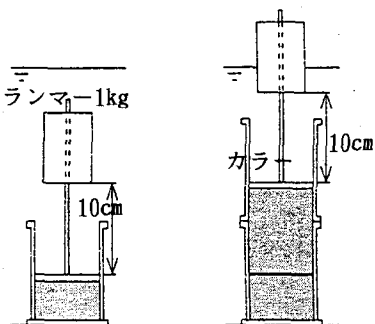


図-2 供試体作成方法（締固めあり）

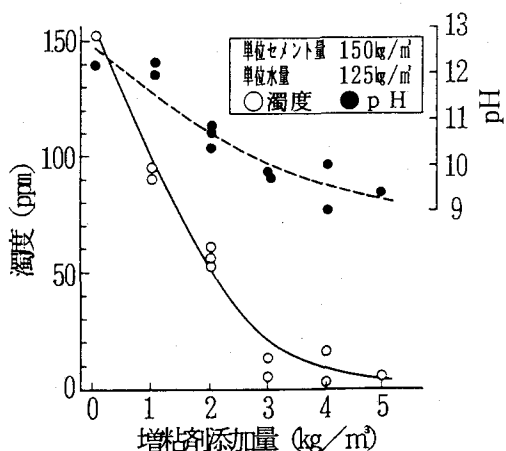


図-3 増粘剤の添加量と濁度・pH

③養生方法：作成後 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の養生槽内で試験材令まで水中養生を行った。

c) 評価項目

①水中分離抵抗性：増粘剤は盛土材料中に含まれるセメントと山砂の微粒分の水中分離を防止するものである。その効果は投入後の水を弱アルカリ性に保ち、さらに懸濁物質を少なくすることで確認できるので、水中分離抵抗性は pH と濁度で評価することとした。

②力学的特性：造成地盤として適切な力学的特性を有していることを確認するために、代表的な特性値である一軸圧縮強度と三軸圧縮強度で評価した。また、透水性を確認するために透水試験を行った。

d) 測定項目および手順

①濁度：練り上がった試料 2ℓ をアクリル水槽（直径30cm×高さ1m）に高さ1m から直接投入し、投入5分後に水槽中央部分で高さ50cmの位置から採取した水の濁度を測定した。

② pH：濁度の測定用に採取した水の pH を測定した。

③一軸圧縮強度：土の一軸圧縮試験（土質工学会基準 JSF T 511）に準拠して測定した。

④三軸圧縮強度：土の三軸圧縮試験は UU

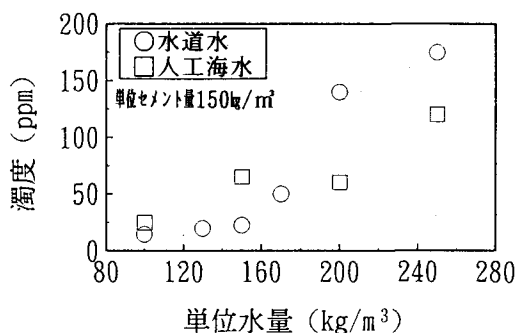


図-4 濁度と練り混ぜ水の関係

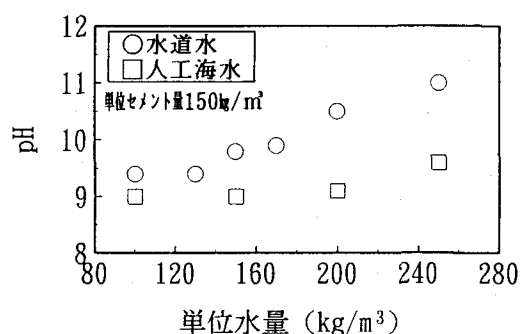


図-5 pHと練り混ぜ水の関係

試験（非圧密非排水試験・土質工学会基準 JSF T 521）と C U 試験（圧密非排水試験・土質工学会基準 JSF T 522）に準拠して、圧密時間は24時間、側圧は0.5, 1.0, 2.0 kgf/cm²として測定した。

⑤透水係数：土の透水試験（土質工学会基準 JSF T 311 変水位法）に準拠して測定した。

(3) 実験結果

a) 濁度

増粘剤は汚濁を減少し、水中分離抵抗性を改善する上で非常に有効である。配合 No. 1 の場合には添加量が 3 kg/m^3 程度までは添加量に比例して濁度は減少しており、添加量 3 kg/m^3 以上で汚濁は認められなかった（図-3 参照）。また、配合 No. 2 で練り混ぜ水として水道水と人工海水を用いた場合を比較すると、両者とも単位水量の増加にしたがって濁度は増大する傾向にあり、水道水を用いた

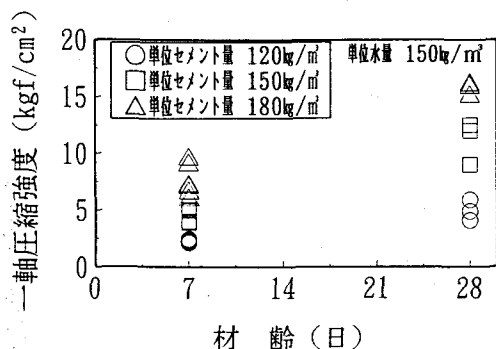


図-6 一軸圧縮強度と材齢の関係

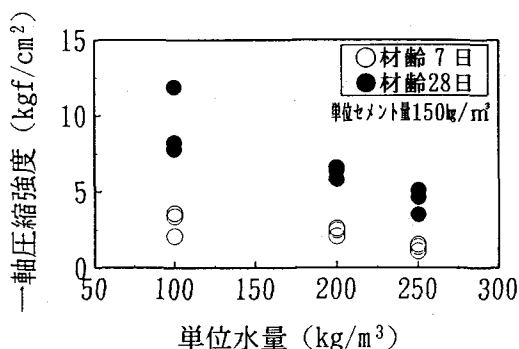


図-8 一軸圧縮強度と単位水量の関係

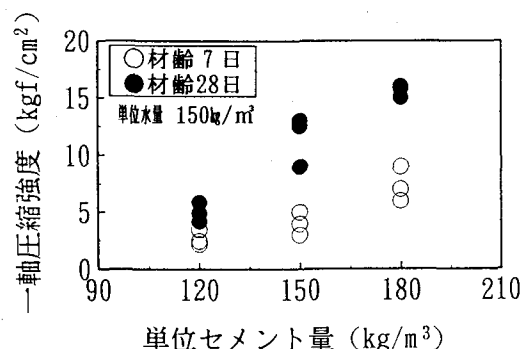


図-7 一軸圧縮強度と単位セメント量の関係

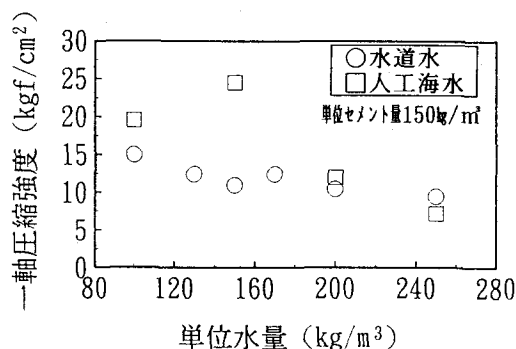


図-9 一軸圧縮強度と練り混ぜ水の関係

場合の方が人工海水を用いた場合よりもその傾向は大きくなっている（図-4 参照）。

b) pH

濁度と同様に添加量の増加に比例して pH は低下しており、添加量 3 kg/m³ 以上ではその低下傾向が緩やかになっている（図-3 参照）。また、配合 No. 2 で練り混ぜ水として水道水と人工海水を用いた場合を比較すると、水道水を用いた場合は単位水量の増加にしたがって pH は上昇する傾向にあるが、人工海水を用いた場合はその傾向が非常に小さくなっており、練り混ぜ水として人工海水を用いることによって pH の上昇を抑制する効果が認められる（図-5 参照）。

c) 一軸圧縮強度

材齢 7 日から材齢 28 日までの一軸圧縮強度の増進は大きく、2～3 倍程度の伸びが認められる（図-6 参照）。単位セメント量の増加と単位水量の減少は一軸圧縮強度を増大さ

せる結果となった（図-7、8 参照）。ちなみに単位セメント量、単位水量ともに 150 kg/m³ の場合の一軸圧縮強度は材齢 28 日で 9～13 kgf/cm² 程度であり、一軸圧縮強度や単位体積重量（1.90～1.98 t/m³）の点からも、洪積地盤ないしは軟岩程度に相当する物性が得られた。また、配合 No. 2 で練り混ぜ水として水道水と人工海水を用いた場合を比較すると、単位水量の変動により強度発現の傾向に差が認められる（図-9 参照）。

d) 三軸圧縮強度（UU 試験、CU 試験）

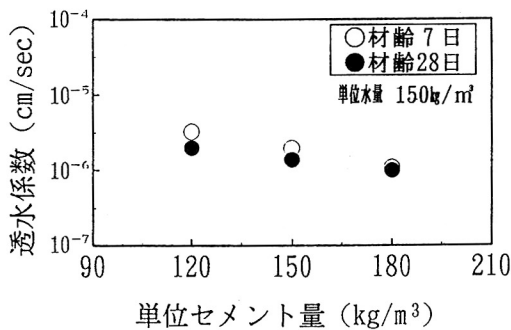
三軸圧縮試験の結果を表-3 に示す。単位セメント量が増加するにつれて、せん断強度（粘着力、内部摩擦角）は増大している。単位セメント量、単位水量ともに 150 kg/m³ の場合には粘着力は 1.0～2.5 kgf/cm² 程度、内部摩擦角は 20～45° 程度が得られた。

e) 透水係数

透水係数は単位セメント量が増加するにつ

表－3 三軸圧縮試験結果

単位 セメント量 (kg/m ³)	試験 条件	材齢 7 日		材齢 28 日	
		粘着力 (kgf/cm ²)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kgf/cm ²)	内部摩擦角 (°)
120	UU	0.51	33.2	1.90	23.9
	CU	0.79	38.0	—	—
150	UU	1.63	22.1	2.55	36.9
	CU	1.19	37.4	1.96	46.8
180	UU	1.53	36.2	3.04	47.0
	CU	1.74	41.0	—	—



図－10 透水係数と単位セメント量の関係

れて小さくなる傾向が認められる（図－10参照）。配合No. 1 の場合には $1.0 \sim 3.5 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ のオーダーであり、難透水性の地盤に相当している。また、配合No. 2 で練り混ぜ水として水道水と人工海水を用いた場合を比較すると、単位水量の変動による透水係数には一定の傾向が認められない。

以上の配合選定試験の結果、以後の施工性実験には表－4 に示す実験配合を基本とし、盛土材料の種類や粒度に合わせて単位水量や増粘剤を調整することとした。

5. 施工性実験

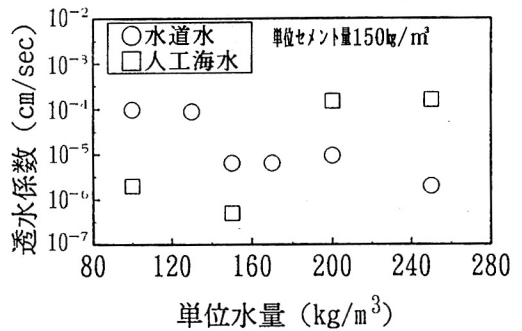
(1) 使用材料および実験配合

使用材料は配合選定試験と同じとし、実験配合は表－4 に示す（練り混ぜ水は水道水）。

(2) 実験方法

a) 練混ぜ方法

① ミキサー：連続ミキサー（容量 0.995m³）



図－11 透水係数と練り混ぜ水の関係

表－4 実験配合

単位 量 kg/m ³				
S	C	M	D	W
1350	150	3	0.3	150



写真－1 縦型水槽および打設設備

②投入順序：あらかじめセメント、増粘剤、消泡剤を試験プラントで事前に混合し、ミキサー内にて山砂と練り混ぜ水を混練する事前混合方式と、全ての材料を計量装置から同時にミキサー内に投入して混練する同時混合方式の2通りについて、ミキサー性能のための予備実験を行った。その結果から、施工性実験には同時混合方式を採用した。

③練混ぜ時間：滞留時間は60秒間とした。

b) 打設方法

縦型水槽および打設設備を写真－1 に示す。

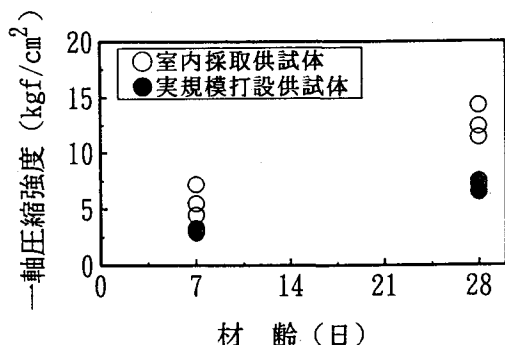


図-12 施工性実験における一軸圧縮強度試験結果

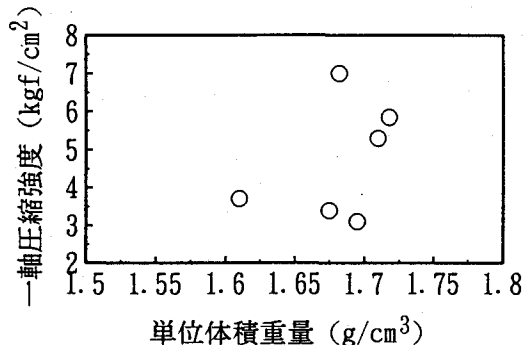


図-13 実施工における一軸圧縮強度試験結果

全高が15mの縦型水槽（下部：直系5m×高さ3m、上部：直系2m×高さ12m）を使用して、ベルトコンベアにより運搬、打設を行い、実規模大レベルの落下高さと打設数量を再現した。

(3) 実験結果

- a) 今回の縦型水槽を用いた施工性実験の結果、実規模打設により採取した供試体の場合には単位体積重量で1.92~1.94t/m³程度、一軸圧縮強度で材齢7日には2.9~3.3kgf/cm²程度、材齢28日には6.5~7.5kgf/cm²程度が得られ、室内作成供試体の場合には単位体積重量で1.93~1.98t/m³程度、一軸圧縮強度で材齢7日には4.4~6.9kgf/cm²程度、材齢28日には11.4~14.3kgf/cm²程度が得られた。材齢7日から材齢28日までの強度増進は2.0~2.5倍程度になり、配合選定試験と変わらない結果が得られた（図-12参照）。
- b) 室内作成供試体と実規模打設から採取した供試体の比較では、室内作成：実規模打設で評価すると、単位体積重量で1:0.99、一軸圧縮強度で1:0.55の関係が認められた。
- c) 実規模打設から採取した供試体の変動係数は、単位体積重量で1.0%、一軸圧縮強度で10.0%程度であった。

6. おわりに

本実験の結果から、あらかじめ固化材と増粘剤を混入したドライ状水中盛土材料を用いた水中盛土構

築工法の有効性が確認された。この結果をもとに本工法をケーソン撤去後の埋戻し工事に適用し、所定の品質の地盤（一軸圧縮強度：3kgf/cm²以上）を構築することができた（図-13参照）。

水中盛土構築工法（ASソイル工法）は、製造から運搬・打設までの施工方法、施工管理が容易であるだけでなく、施工後に地盤改良の必要がないため工期の短縮、工費の低減を実現することができる。また、この特徴は水中での盛土構築に限らず、陸上での地中埋設物の撤去に伴う埋戻しやそれにとまう地盤改良などの広い用途に適用することができる。

参考文献

- 1) 山本松生、弘中義昭、木村定雄ほか：水中盛土材料の実験的研究（その1）、土木学会第43回年次学術講演会、pp.126~127、1988年10月
- 2) 滝沢正実、弘中義昭、平山国弘ほか：水中盛土材料の実験的研究（その2）、土木学会第43回年次学術講演会、pp.128~129、1988年10月
- 3) 小堀就久、平山国弘、山本松生ほか：水中盛土材料の実験的研究（その3）、土木学会第43回年次学術講演会、pp.130~131、1988年10月
- 4) 長谷川修、山本松生、弘中義昭ほか：水中盛土材料の実験的研究（その4）、土木学会第44回年次学術講演会、pp.730~731、1988年10月