

建設汚泥を原料とする焼成ドレン材の 現場打設試験

小林 正宏¹・本間 毅²・炭田 光輝³・徳永 豊⁴・塚田 幸広⁵・落合 良隆⁶

¹正会員 株式会社熊谷組 土木本部 (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1)

²正会員 大豊建設株式会社 機材・機電部 (〒300-2337 茨城県筑波郡伊奈町谷井田2184)

³正会員 株式会社大林組 技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640)

⁴正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

⁵建設省東北地方建設局 酒田工事事務所 (〒998-0011 山形県酒田市上安町一丁目2-1)

⁶建設省関東地方建設局 長野国道工事事務所 (〒380-0902 長野県長野市鶴賀字中堰145)

掘削工事などから排出される建設汚泥は、他の建設廃棄物に比してリサイクル率が著しく低いため、再資源化技術の開発が強く求められている。なかでも焼成処理は、軽量骨材、ドレン材など製品化可能なリサイクル技術として注目されている。そこで筆者らは、建設汚泥を粗粒状で焼成処理した焼成ドレン材を開発し、砕石ドレン材としての適用性について検討した。本論文では、焼成ドレン材の目詰まり試験、現場打設試験について述べ、焼成ドレン材が砕石ドレン材の代替材料として適用できることを示している。

Key Words : construction waste, recycle, calcinated drain material, gravel drain method

1. はじめに

建設汚泥は、掘削工事に伴い排出されるもののうち、含水比が高く粒子が微細な泥状のものであり、建設廃棄物全体の約1割に相当する量(平成7年度で1,000万t)が毎年排出されている。建設汚泥のリサイクル率は、減量化も含めてわずか14%と建設廃棄物のなかでも建設混合廃棄物に次いで低く¹⁾、残りは産業廃棄物として中間処理施設を経て海洋投棄または管理型処分場に持ち込まれている。

しかし、建設汚泥はもともと自然の土であり、そのほとんどが無害である。従って、脱水処理、化学的安定処理、スラリー化安定処理、乾燥処理、焼成処理などの方法により適性に処理すれば、建設汚泥をリサイクルすることができる。なかでも焼成処理は、整形時の形状を保持したまま粘土粒子同士を強固に結合させるため、軽量、多孔質、高強度など高付加価値材料の製造に有効な技術である。

そこで筆者らは、焼成処理により建設汚泥を地盤の液状化防止に用いる砕石ドレン材として再利用する技術の開発に着手した。はじめに、建設汚泥から粗粒状の焼成物を製造するための焼成条件・材料特性・品質に関する実験的検討を重ねた。その結果、

焼成物の基本物性ならびに最適焼成条件を明らかにした。また、水中浸漬試験および原料・焼成条件が類似の縄文土器との物性比較より、焼成物は水中でほとんど溶出しないうこと、その強度や形状も長期的に安定していることを確認した^{2), 3)}。

続いて、従来の砕石ドレン材(単粒度6, 7号砕石)と同程度の粒径2~15mmの焼成物「焼成ドレン材」を試作し、その標準的な製造方法⁴⁾を確立するとともに、砕石ドレン材としての適性を実験的に検討した。さらに、製造コストの試算や採算性評価など焼成ドレン材の事業化に関するフィージビリティスタディを実施し、砕石ドレン材の需要が最も多い東京湾岸地域での事業化の可能性を明らかにした⁴⁾。加えて、砕石ドレン材以外の用途に関する要素実験を行い、道路材、軽量骨材、緑化資材など幅広い用途に適用できることを明らかにした⁵⁾。

本論文では、建設汚泥を砕石ドレン材に利用することを意図して開発した焼成ドレン材について、その製造方法と基本物性を簡単に紹介する。次に、焼成ドレン材の目詰まり防止特性、実地盤への施工性の検証を目的として実施した目詰まり試験および現場打設試験についてまとめ、砕石ドレン材への適用性を検討している。

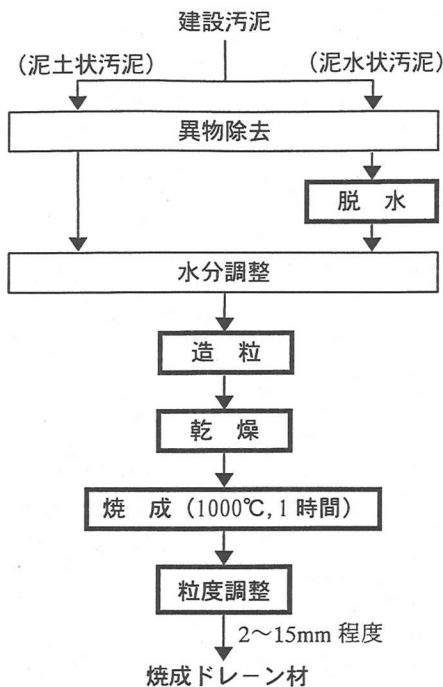


図-1 焼成ドレーン材の標準的な製造手順⁴⁾

2. 焼成ドレーン材

焼成ドレーン材は、図-1に標準的な製造手順⁴⁾を示すように、建設汚泥を粗粒状に造粒した後、1000℃・1時間を標準として焼成処理した焼成物のうち、従来の碎石ドレーン材（単粒度6, 7号碎石）の大きさに相当する粒径2~15mmのものである。

表-1に焼成ドレーン材の基本物性を、写真-1に焼成ドレーン材を示す。焼成ドレーン材の特徴としては、おおむね球状を呈したものが多く、絶乾比重が1.3~1.6、吸水率が20%程度と碎石に比べ軽量かつ多孔質であることが挙げられる。また、焼成ドレーン材の圧壊強度（粒あたり50N以上）は、碎石には及ばないものの軟岩程度の強度を有しており、透水係数（ $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{m/s}$ ）は同粒径の単粒度碎石と同等である。

3. 目詰まり試験

碎石ドレーン材として利用するためには、焼成ドレーン材は「高透水性」と同時に、これと相反する「目詰まり防止特性」も兼ね備えていなければならない。

表-1 焼成ドレーン材の基本物性

圧壊強度 (JIS Z 8841)	[N/piece]	50 以上
粒 径 (JIS A 1204)	[mm]	2~15
表乾比重 (JIS A 1110)	[-]	1.6~2.0
絶乾比重 (JIS A 1110)	[-]	1.3~1.6
吸水率 (JIS A 1110)	[%]	20 前後
破碎率 (JIS Z 109)	[%]	5.0 程度
スレーキング率 (JIS Z 110)	[%]	1.0 以下
透水係数 ⁴⁾ (JIS A 1218)	[m/s]	$10^{-3} \sim 10^{-2}$

注⁴⁾：透水試験用供試体は自由落下により作製

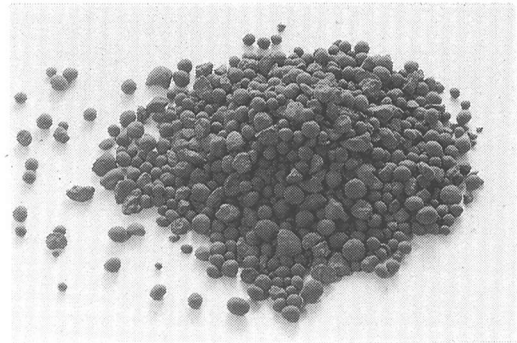


写真-1 焼成ドレーン材

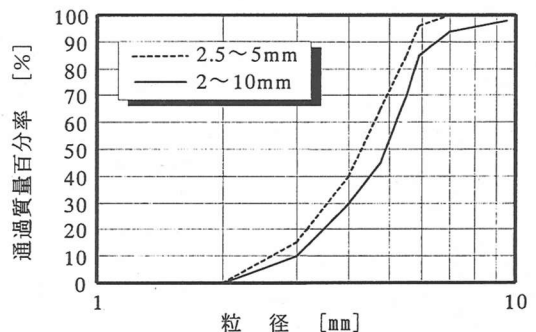


図-2 目詰まり試験に用いた焼成ドレーン材の粒径加積曲線

そこで筆者らは、焼成ドレーン材の目詰まり防止特性の検証を目的として、従来材料の単粒度碎石に対し伊藤⁶⁾が実施している短期目詰まり試験を実施し、単粒度碎石の試験結果との比較検討を試みた。

(1) 使用材料

焼成ドレーン材は、現場打設試験用として静岡県焼成処理業者に委託製造させたものを、目標粒径2~10mm、2.5~5mmに粒度調整した2種類（均等係数1.8）を使用した。図-2に、2種類の焼成ドレーン材の粒径加積曲線を示す。このうち、粒径2~10mmの

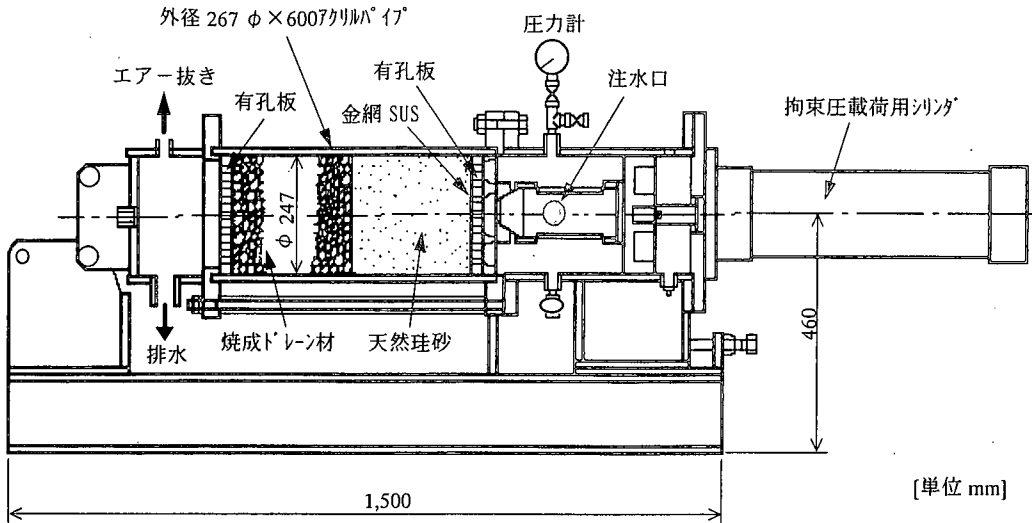


図-3 目詰まり試験装置⁶⁾

表-2 天然珪砂の粒径

天然珪砂	50%粒径 D _{S50} [mm]	85%粒径 D _{S85} [mm]
4号	1.05	1.60
5号	0.52	0.76
6号	0.28	0.38
7号	0.14	0.21
8号	0.08	0.13

焼成ドレーン材は、単粒度の6号および7号碎石の粒径範囲に、粒径2.5～5mmのものは単粒度7号碎石の粒径範囲に相当する。

一方、地山砂には「液状化の可能性あり」とされている粒径範囲⁶⁾を持つ市販の天然珪砂4～8号を用いた。表-2に天然珪砂の50%、85%粒径を示す。

(2) 試験装置

図-3に目詰まり試験装置⁶⁾を示す。本装置は、通常の碎石ドレーン工事の前に実施される目詰まり試験に使用されているものであり、内径247mmの亚克力パイプ内の試料（ドレーン材と地山砂）に通水させてドレーン材の目詰まり挙動を調べる装置である。有効拘束圧は拘束圧載荷用シリンダにより有孔板を介して供試体に載荷され、水は外部のポンプより定圧供給される。

(3) 試験方法

目詰まり試験は、伊藤ら⁶⁾が実施した方法に準拠した。まず、亚克力円筒を鉛直にして内部を水で満たした後、焼成ドレーン材を3層に分割して投入

し、1層毎に突き棒により20回づつ突き固めて焼成ドレーン層を作製した。続いて、その上から天然珪砂を自然落下により充填し、上面を平らにした後、載荷板を載せて0.2MPaの拘束圧を加え、通水しながら試料の飽和度を高めた。次に、亚克力パイプを水平に戻した後、0.2MPaの拘束圧を保持したまま水圧0.04MPaで通水し、通水30秒後に亚克力パイプ外部からの目視観察による目詰まり判定を行った。

目詰まりの判定は、伊藤ら⁶⁾が実施した単粒度碎石に対する目詰まり試験の判定方法に準拠した。すなわち、

- ①天然珪砂が焼成ドレーン層内に完全に入り込まない状態を「目詰まりなし」、
- ②天然珪砂が焼成ドレーン層の一部分に入り込み、そこで安定している状態を「フィルターゾーンの形成」、
- ③天然珪砂が焼成ドレーン層内部まで浸透する状態を「目詰まりあり」と判定した。

ここで、フィルターゾーンとは、地山砂より粒度が大きいドレーン杭のなかに粒度の小さい地山砂が入り込み、そこに複合した粒度分布をもつ新たな層を形成し、浸透水の浸透を維持するとともに、これ以上の地山砂土粒子の流動を防ぐ機能を持つようになった領域を示している。

試験はまず、粒径2～10mmの焼成ドレーン材に対し、粒径の大きいものから天然珪砂4、5、6、7、8号の順に実施した。次に、粒径2.5～5mmの焼成ドレーン材に対し、天然珪砂5、6、7号の順で実施し、粒径2～10mmの試験から結果が明らかな天然珪砂4、8号は省略した。

表-3 目詰まり試験結果

天然珪砂	焼成ドレーン材	
	粒径 2.5~5mm ($D_{F15}=3.0\text{mm}$)	粒径 2~10mm ($D_{F15}=3.2\text{mm}$)
4号	—	◎
5号	◎	◎
6号	◎	×
7号	×	×
8号	—	×

凡例 ◎目詰まりなし
○フィルターゾーンの形成
×目詰まり
—未実施

(4) 試験結果と考察

表-3に焼成ドレーン材の目詰まり試験結果を示す。粒径2~10mmの焼成ドレーン材は、天然珪砂4、5号のケースでは目詰まりしなかったが、6、7、8号では目詰りした。一方、粒径の小さい2.5~5mmのものは、天然珪砂5、6号は目詰まりしなかったが、7号では目詰まりした。なお、全てのケースにおいて、フィルターゾーンの形成は認められなかった。

ここで、焼成ドレーン材の目詰まり防止特性について、単粒度砕石との比較による考察を試みる。

伊藤ら⁹⁾は、粒径の異なる数種類の単粒度砕石に対する目詰まり試験を実施した結果、フィルターゾーンを形成する程度の地山砂の浸透は許容するとし、この時のパイピング比（単粒度砕石の15%粒径 D_{F15} / 天然珪砂の85%粒径 D_{S85} ）

$$D_{F15} / D_{S85} < 9.2$$

を目詰まり防止基準値としている。

次に、焼成ドレーン材の目詰まり防止基準値は、今回の目詰まり試験ではパイピング比の算出基準となるフィルターゾーンを形成したケースが見られないことから、次のように推定した。表-3の天然珪砂6号のケースに着目すると、粒径2.5~5mmの焼成ドレーン材では目詰まりしなかったのに対し、これより粒径の大きい2~10mmのものでは目詰まりしていることがわかる。このことより、天然珪砂6号によりフィルターゾーンが形成される焼成ドレーン材の粒径が、試験に用いた2種類の粒径範囲の間に存在することは容易に推測できる。従って、天然珪砂6号 ($D_{S85}=0.38$) のケースにおける2種類の焼成ドレーン材のパイピング比、

$$D_{F15} / D_{S85} < 7.9 \sim 8.4$$

を焼成ドレーン材の目詰まり防止基準値と推定した。

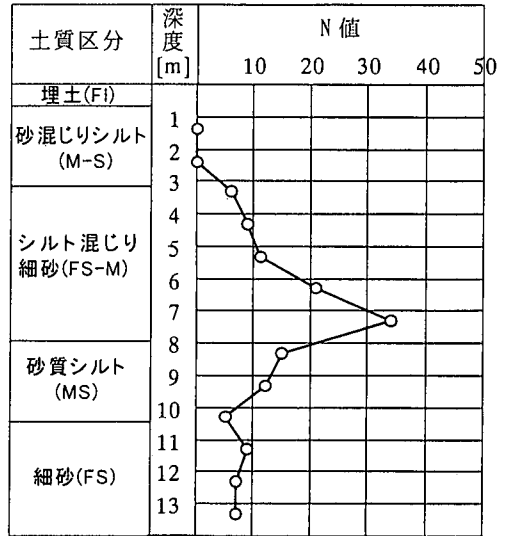


図-4 打設箇所の地盤性状

表-4 委託製造した焼成ドレーン材の性状

粒径範囲 [mm]	10 以下
圧壊強度 (JIS Z 8841) [N/piece]	117.7
表乾比重 (JIS A 1110) [-]	1.90
絶乾比重 (JIS A 1110) [-]	1.58
吸水率 (JIS A 1110) [%]	20.7
透水係数 ^{*)} (JIS A 1218) [m/s]	3.6×10^{-3}

注^{*)}: 供試体は自由落下により作製

ここに推定した基準値は、単粒度砕石のそれと同程度であることがわかる。

以上の結果、焼成ドレーン材は、「高透水性」に加え「目詰まり防止特性」についても従来の砕石ドレーン材（単粒度砕石）とほぼ同等の性能を有していることがわかった。このことより、現場で使用する際の焼成ドレーン材の粒度選定には、従来材料の粒度選定方法をそのまま適用すれば良いことがわかった。

4. 現場打設試験

(1) 打設箇所の地盤性状

現場打設試験は、東京湾岸地域沿岸の締固め砕石ドレーン工事現場の敷地内で実施した。

打設箇所の地層は、図-4に地盤性状を示すように、表層から埋土、沖積層で構成されており、沖積層は層厚3~5mの粘性土層が上位に、下位には砂質土層がGL-14m付近まで堆積している。

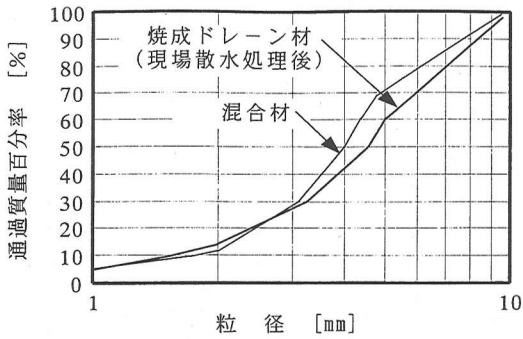
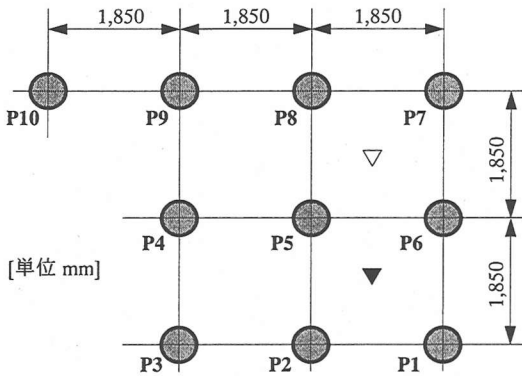


図-5 現場打設試験に用いた材料の粒径加積曲線



P1～P10：試験杭（φ 500×L 13,200）

▽：標準貫入試験位置（打設前）

▼：標準貫入試験位置（打設後）

使用材料：

P1～P9 焼成ドレーン材

P10 混合材

（焼成ドレーン材：単粒度7号碎石=体積比1:1）

図-6 試験杭，標準貫入試験の配置平面図

(2) 使用材料

焼成ドレーン材は，目標粒径2～10mmのものを静岡県焼成処理業者に委託製造させたものである。表-4に委託製造した焼成ドレーン材の性状を示す。なお，製造時の粒度調整が不十分であったことから，納入時の焼成ドレーン材には砂分（0.075～2mm）が多量に含まれていた。このため，現場では散水を実施して微粒分をできるだけ排除するよう努めた。

現場打設試験に用いた材料は，委託製造させた焼成ドレーン材，および本工事で使用された単粒度7号碎石との混合材（体積比1:1で混合）の2種類である。なお，混合材を用いた理由は，ドレーン材料を大量に使用する大規模工事などでは従来材料との併用も考えられるためである。図-5に，焼成ドレーン材と混合材の粒径加積曲線を示す。

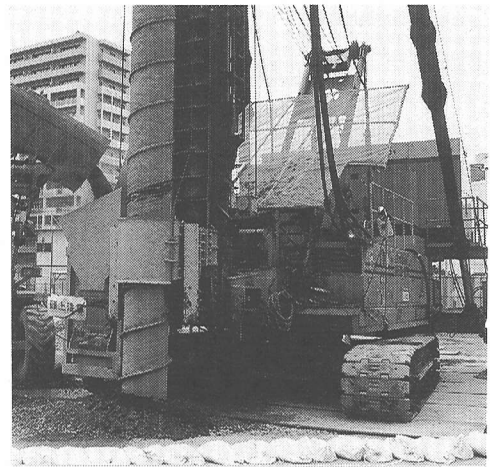


写真-2 打設機械

表-5 試験杭打設時の運転条件

突き固め回数 [回/分]	60～75
引抜き速度 [m/分]	1.5～2.5
突棒のストローク [mm]	300

(3) 試験方法

図-6に，試験杭および標準貫入試験の配置平面図を示す。試験杭は，本工事と同じ杭直径500mm，杭長13.2mとし，これを1.85m間隔で試験杭P1～P10の順に打設した。

打設機械には，当現場で採用されている締固め砕石ドレーン工法⁷⁾の専用機を用いた。この専用機は，ケーシングオーガ（内径500mm）内に配置されたコーン型突棒（直径150mm，先端角度60度）により材料を突き固めながらドレーン杭を施工する機械である。写真-2に打設機械の全景を示す。

試験杭の打設は，本工事と同じ手順で以下のように実施した。まず，専用機のケーシングオーガ先端を杭位置にセットした後，上部のホッパーから焼成ドレーン材（または混合材）を0.6m³程度投入した。次に，ケーシングオーガを回転させてGL-5mまで削孔した。続いて，1.8m³程度の焼成ドレーン材（または混合材）と0.8m³の水をケーシングオーガ内に投入し，GL-13.2mまで削孔した。ここで，水を投入した理由は，上部のホッパーからケーシングオーガ内に投入された材料が，落下途中でアーチングするのを防ぐためである。なお，水の投入量（0.8m³）は，事前に実施した予備打設結果から決定した。削孔完了後，時折ケーシング内に材料を補給しながらケーシングオーガを引抜くと同時に，オーガ内の突棒で突き固めながら試験杭を打設した。打設時の運転条件は，表-5に示すように，突き固め回数60～75

表-6 試験杭の品質

試験杭 (長さ 13,200mm)		打設量 [m ³]	平均杭径 [mm]	
No.	使用材料		深度 1~5m	深度 5~13.2m
P1	焼成ドレン材	3.045	529	535
P2	"	3.077	539	525
P3	"	3.109	548	532
P4	"	2.997	529	525
P5	"	2.965	494	516
P6	"	2.901	515	508
P7	"	3.206	543	532
P8	"	2.693	484	483
P9	"	3.142	534	535
P10	焼成ドレン材+単粒度7号碎石 (体積比 1:1)	2.885	489	527

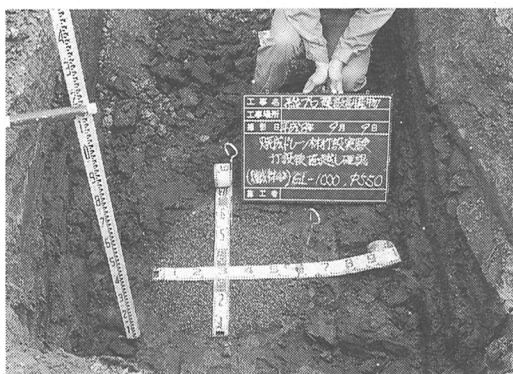


写真-3 試験杭 (P9, GL-1m, 杭径550mm) の状況

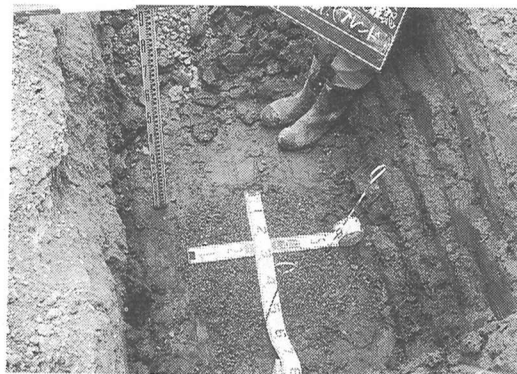


写真-4 試験杭 (P10, GL-1m, 杭径550mm) の状況

回/分, 引抜き速度1.5~2.5m/分, 突棒のストローク300mmと本工事と同じ条件とした。

打設中, GL-5mおよびGL-1mに達したところで運転を一旦停止し, ケーシングオーガ内に溜まっている焼成ドレン材 (または混合材) の残量, これまでの投入量, 打設長を測定した。打設後は, 図-6の配置平面図に示した位置にて標準貫入試験を実施した。さらに, 打設10日後には, 試験杭P9 (焼成ドレン材のみ), P10 (混合材) において油圧ショベルによる掘り起こし調査 (深さ1.5m程度まで) を実施し, 50cm掘り起こす毎に杭の状況を目視観察した。また, 1m掘り起こした地点で試験杭内から打設後の材料を採取し, 打設前の材料とともに粒度試験および室内透水試験に供した。

(4) 試験結果

a) 施工性

単粒度7号碎石による本工事と同じ杭寸法, 打設機械, 運転条件の下で試験杭を打設した。その結果,

焼成ドレン材および混合材がケーシングオーガ内でアーチングを起こすなどのトラブルもなく打設は順調に完了した。また, 杭1本当たりの打設時間は, 削孔開始から打設完了まで30分程度と本工事と同じ速さで打設できることを確認した。これらのことより, 焼成ドレン材の施工性は, 従来材料と同等であることがわかった。

b) ドレン杭の品質

表-6に, 試験杭当たりの打設量と平均杭径を示す。ここで, 打設量とは材料の総投入量から打設終了時にケーシングオーガ内に溜まっていた材料の残量を差し引いた値を示しており, 平均杭径とは打設時 (GL-5m, GL-1m地点) に測定したケーシングオーガ内の材料の残量, 投入量, 打設長から計算した杭径を示している。表より, 平均杭径は杭によって多少異なるものの, いずれの試験杭も深さ方向のバラツキが少なく, 設計値の杭径500mmをほぼ確保していることがわかる。

一方, 試験杭P9, P10で実施した掘り起こし調査

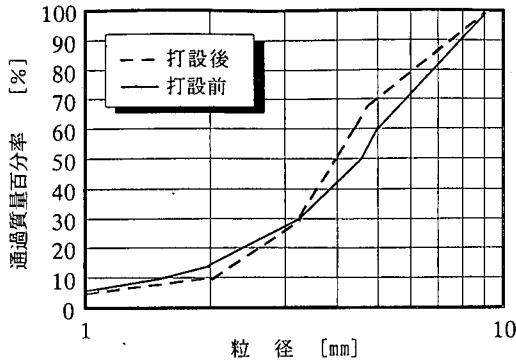


図-7 打設前後の粒径加積曲線（焼成ドレーン材）

表-7 打設前後の透水試験結果

	透水係数 [m/s]	
	打設前	打設後
焼成ドレーン材	3.6×10^{-3}	4.8×10^{-3}
ブレンド材	4.7×10^{-3}	4.2×10^{-3}

注：透水試験用供試体は自由落下により作製

の結果、掘り起こし50cm毎に実測した杭径はすべて550mm以上であり、目視観察では試験杭内に破碎している焼成ドレーン材はほとんど見られなかった。1m掘り起こした地点での試験杭P9, P10の状況を写真-3, 写真-4にそれぞれ示す。

図-7に打設前および掘り起こし時に試験杭内から採取した打設後の焼成ドレーン材の粒径加積曲線を、表-7に打設前後の焼成ドレーン材および混合材の透水試験結果を示す。図-7より、打設前後の焼成ドレーン材の粒度分布はほとんど変化していないことがわかる。なお、混合材の粒度分布に対しても同様の結果を得ている。一方、ドレーン材および混合材の透水係数についても、表-7より打設前後でほとんど変化していないことが確認できる。

以上の結果より、試験杭は計画杭径500mmを満足していること、杭内では材料の破碎もほとんどなく排水性が十分確保されていることがわかった。従って、締め固め砕石ドレーン工法により打設された焼成ドレーン材および単粒度砕石との混合材による杭は、ドレーン杭として十分な品質を有していることがわかった。

c) 周辺地盤への影響

図-8に、打設前後における周辺地盤（杭からの距離1.3m）のN値を示す。図より、ドレーン杭を打設したGL-13.2m以浅の打設前後のN値は、ほぼ同様に分布していることがわかる。このことより、焼成ドレーン材および混合材によるドレーン杭は周辺地盤を乱すことなく形成されていることがわかった。

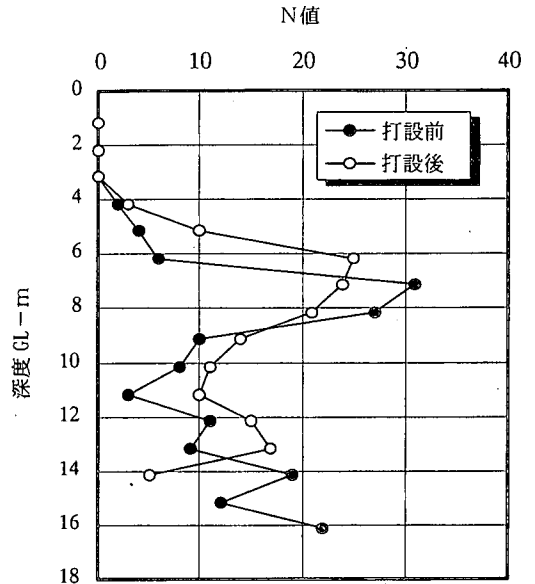


図-8 打設前後における周辺地盤のN値（杭からの距離1.3m）

5. まとめ

焼成処理により建設汚泥を砕石ドレーン材として再利用することを目的として、従来の砕石ドレーン材（単粒度6, 7号砕石）とほぼ同じ粒径の焼成ドレーン材を開発した。焼成ドレーン材の目詰まり防止特性、実地盤への施工性の検証を目的とした目詰まり試験および締め固め砕石ドレーン工法による現場打設試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- (1) 目詰まり試験結果より、パイピング比による焼成ドレーン材の目詰まり防止基準値は、 $D_{F15}/D_{S85} < 7.9 \sim 8.4$ と推定され、従来の砕石ドレーン材（単粒度砕石）とほぼ同等であることがわかった。
- (2) 焼成ドレーン材の透水性・目詰まり防止特性は単粒度砕石と同等であることから、従来材料の粒度選定方法がそのまま焼成ドレーン材にも適用できることがわかった。
- (3) 現場打設試験結果より、本工事と同じ手順、運転条件下で焼成ドレーン材による杭が施工できること、その杭はドレーン杭として十分な品質を有していることがわかった。また、単粒度砕石との混合材についても、同様の知見を得た。
- (4) 上記(1)～(3)の知見より、焼成ドレーン材は砕石ドレーン材の代替材料として利用できることがわかった。

以上、建設汚泥を焼成処理した後、単粒度砕石と

同等の大きさに粒度調整した焼成物「焼成ドレーン材」が砕石ドレーン材として利用できることを実験的に検証した。

今後は、砕石ドレーン材のみならず、高強度・軽量性・多孔質など焼成物特有の特徴を活かした高付加価値材料の開発を目指したい。

最後に、本研究は建設省総合プロジェクト「建設副産物の高度処理技術」（建設汚泥の高度処理・有効利用技術）のうち、ドレーン材グループ（建設省土木研究所、(財)先端建設技術センター、(株)大林組、(株)熊谷組、五洋建設(株)、大豊建設(株)で構成）の研究成果の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 建設副産物リサイクル広報推進会議編：建設業界の新技术・新施策の活用とリサイクルの取り組み、(財)先端建設技術センター、1996.
- 2) 川地 武、小川伸吉、磯 陽夫：建設泥土を原料とする焼成物の試作、第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.71-73、1994.
- 3) 徳永 豊、炭田光輝、宇野定雄、本間毅一、塚田幸

- 広、小川伸吉：建設汚泥を原料とする焼成物の焼成条件と物理的安定性、土木学会論文集、No.629/VII-12、pp.37-45、1999.
- 4) 小林正宏、佐藤祐司、徳永 豊、本間毅一、塚田幸広、小川伸吉：建設汚泥を原料とする焼成物の焼成ドレーン材の標準的な製造仕様と事業性評価、土木学会論文集、No.629/VII-12、pp.135-142、1999.
- 5) 徳永 豊、佐藤祐司、落合良隆、杉山雅彦：建設汚泥の焼成による有効利用（その9）-焼成物のドレーン材以外の用途の検討-、土木学会第52回学術年次講演会講演論文集、第VII部門、pp.476-477、1997.
- 6) 伊藤克彦、大北康治、松澤 宏：砕石ドレーンにおける目詰まり防止に関する研究、土木学会論文集、No.439/III-17、pp.53-62、1991.
- 7) 伊藤克彦、大石 博：液状化対策としての締固め砕石ドレーン工法、土木学会誌、Vol.79、No.4、pp.14-17、1994.

(1999. 11.12 受付)

FIELD PILING TEST USING THE CALCINATED DRAIN MATERIAL FROM CONSTRUCTION WASTE

Masahiro KOBAYASHI, Kiichi HONMA, Mitsuteru SUMIDA, Yutaka TOKUNAGA, Yukihiro TSUKADA and Yoshitaka OCHIAI

In attempt to increase the usage of recycled construction waste materials, the calcinated gravel drain material(CGDM), which construction waste is calcinated a coarse-grained conditions, has been developed. In this paper, it is confirmed that the CGDM can be recycled as a gravel drain material on the bases of the clogging and field piling test result.