

建設汚泥改良土の土質性状を考慮した有効利用方法について

豊田工業高等専門学校 専攻科 幸田匡史 戸田操里
豊田工業高等専門学校 正会員 小林睦
太平産業株式会社 正会員 中村宏彰 水野英明

1. はじめに

近年の社会情勢を受け、建設副産物の再資源化率の向上が急務となっている。コンクリート塊やアスファルト塊については以前より再資源化率向上への試みがなされ、100%に程近い再資源化率を達成している¹⁾(図1-1)。これに対して、建設発生土の一部で泥状やアルカリ性を呈し、産業廃棄物と分類される建設汚泥(図1-2)については、縮減分を加味しても再資源化率が70%台で今後も向上の余地がまだあるといえ、最終処分場の受け入れ不足も懸念され再資源化率向上の必要性が高まっている²⁾。このような社会背景を受け、現在に至るまで再資源化技術が数々開発され、企業努力がされてきたにも関わらず、抜本的な方策は見出せていない³⁾。行政と一体に取り組みながらも再資源化への大きな前進がない要因として、固化処理に伴う高アルカリや廃棄物処理法な適正な運用にあたっての誤解があるとの報告もある⁴⁾。また、建設発生土並に土質改良するためのコストが高いことや、プラントでの一定品質の改良土の安定供給への問題、建設発生土同等品質に改良しても、産業廃棄物を元にした改良品で固化による強アルカリ性を呈するため積極利用があまり図られないことや、建設現場内において発生した土は基本的に現場内処理されるため、外部からあえて調達することは稀であること等が考えられ、良質な土の確保が難しくなる中で代替資源として再資源化することが必要であると考えられる。

そこで本研究においては建設汚泥の再資源化率を向上させるための知見を得ることを目的として、さまざまな箇所より搬入され改良された改良土の土質性状を明らかにし、改良土の付加価値を見出すため一連の土質試験を実施した。また、今回対象のプラントにおいては建設汚泥に生石灰を加え造粒固化処理を行っているが、経験的比率に基づき石灰量を決定しており、汚泥の特性により石灰量を調整しておらず削減の余地があると考えられる。石灰の混入率に着目し、混入量の変化による影響について検証を行う。

2. 試料について

本研究において用いた建設汚泥改良土は豊田市内のプラントにて造粒固化処理を経たものを用いた。このプラントにおいては、搬入された建設汚泥を汚泥の状態に関係なく一律に経験的に30m³あたり1t(重量比3%程度)の生石灰を加え造粒固化処理を行った後、3日ほど放置養生を行い改良している。また、改良に伴い第二種建設発生土基準であるコーン指数800KN/m²以上を満足している。図2に建設汚泥改良土の写真を示す。

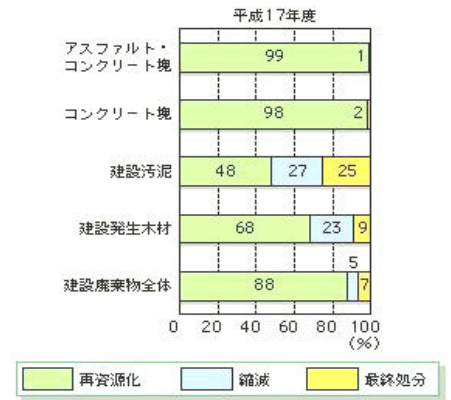


図 1-1 各種再資源化率



図 1-2 建設汚泥



図 2 建設汚泥改良土

表 2-1 土について

試料番号	採取日時	使用工法	初期含水比 (%)	土粒子密度 (g/cm ³)	透水係数 (cm/s)
A	2007/8/22	オールケーシング	33.0	2.65	4.5×10^{-6}
B-1	2007/10/31	リバース杭、SMW	27.1	2.58	1.5×10^{-5}
B-2	2007/10/31	リバース杭、SMW	28.4	2.60	/
C	2008/01/22	シールド、アースドリル	26.5	2.59	

本研究では、平成19年8月、10月、平成20年1月の計3回にわたり採取を行った。土の性質として表2-1に試料番号、日時、汚泥発生時の使用工法、初期含水比、土粒子密度、透水係数を示す。試料番号A、B-1、Cについては建設汚泥改良土を、B-2についてはプラントに搬入され、未改良の建設汚泥である。本研究においては、絶対乾燥状態まで乾燥させた後の2mmふるい通過分を用いて、変水位透水試験、粒度試験、締め固め試験、一面せん断試験、一軸圧縮試験を実施した。

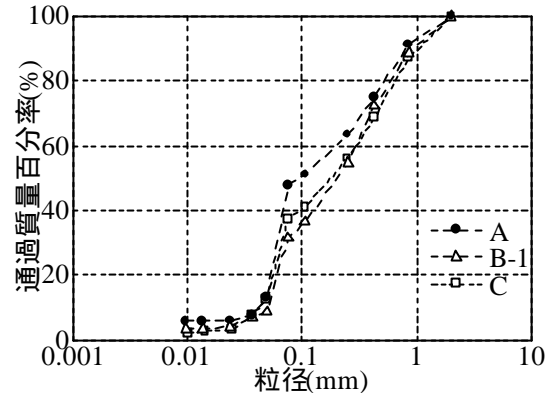


図 3-1 粒径加積曲線

3. 改良土試験結果

3.1 粒度特性

図3-1に粒積加積曲線を示す。3ケース共に地盤工学的に細粒分質砂(SF)に分類される。ここで、搬入された汚泥には、現場にて分級処理されるものもあれば、そのまま粘土分まで含まれる場合もあるが、造粒固化処理によって細粒分が団粒化したために、粒径加積曲線に大きな差が見られなかったものと考えられる。

3.2 透水特性

表2-1に変水位透水試験にて3ケースにより得られた値を示す。これより、砂質土であるにも関わらず、透水性は悪いことが指摘できる。したがって、裏込め等への利用に際しては、施工性が悪くなることが懸念される。しかしながら、これを保水性という側面で評価することは可能であることが窺える。

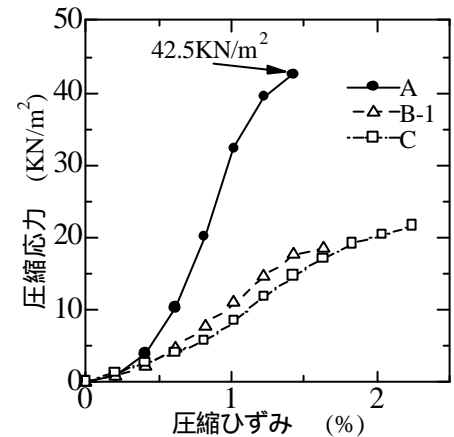


図 3-2 応力-ひずみ曲線

3.3 一軸圧縮強度特性

一軸圧縮試験より得た応力-ひずみ曲線を図3-2に示す。3ケース共にピーク応力への到達が早く、低ひずみ領域で脆性的に崩壊した。これは、石灰混入による固化処理の効果であると考えられる。また、試料Aにおいては、他の2ケースの約2倍程度の一軸圧縮強度を示している。

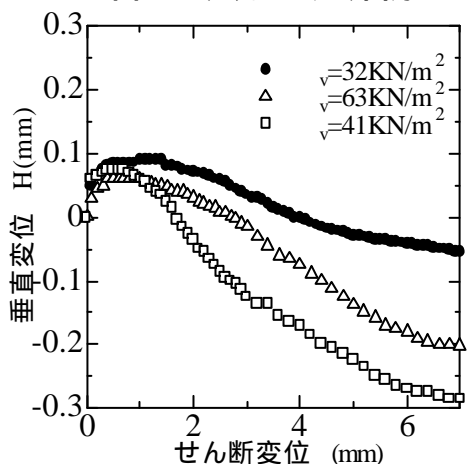


図3-3 Aの垂直変位-せん断変位の関係

3.4 せん断特性

最適含水比にて最大乾燥密度に締め固めた供試体を用いて一面せん断試験を実施したところ、図3-3のような垂直変位～せん断変位の関係を得た。また、図3-4にはせん断応力-せん断変位の関係を示す。

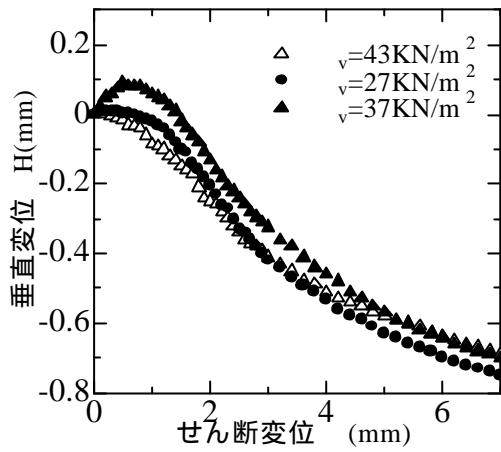


図 3-3 B-1 の垂直変位-せん断応力の関係

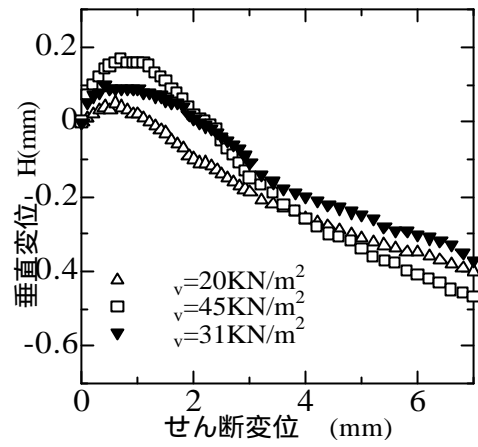


図3-3 Cの垂直変位-せん断応力の関係

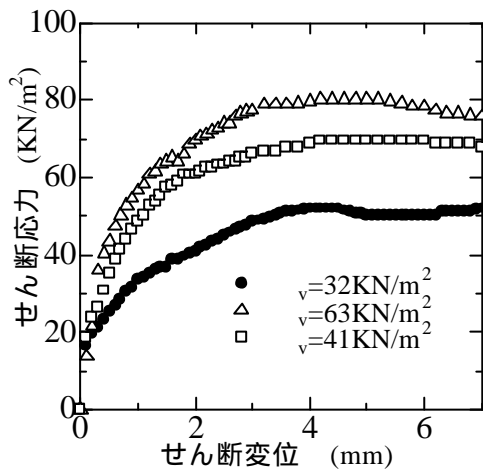


図3-4 Aのせん断応力-せん断変位の関係

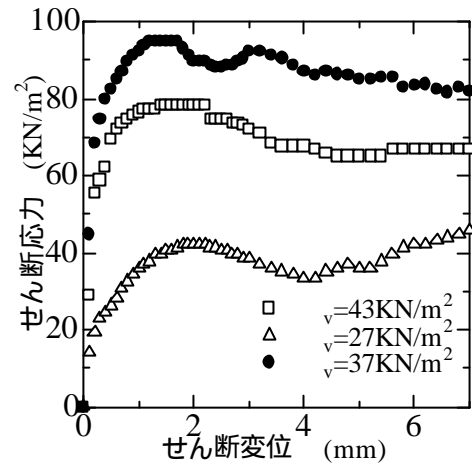


図 3-4 B-1 のせん断応力-せん断変位の関係

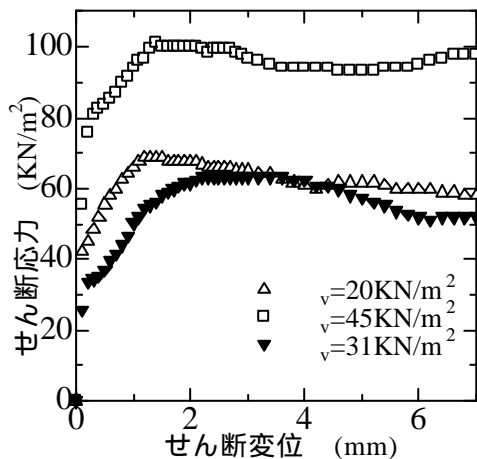


図3-4 Cのせん断応力-せん断変位の関係

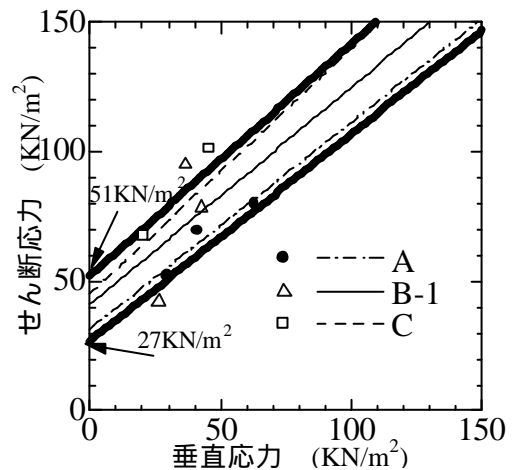


図 3-5 せん断応力-垂直応力の関係

これらより、せん断に伴って正のダイレイタンスー特性を示していることが指摘でき、一軸圧縮試験で見られたような脆性的な材料特性とは異なってきた。また、せん断応力-せん断変位の関係より、拘束効果を確認することができ、砂質土の強度特性を示していると考えられる。これらのことから、この材料の強度特性は、固化処理による粘着力と団粒化により形成された、あるいは元々の土粒子による摩擦角であるといえる。粒度特性が似ていることから、強度・変形特性に大きな違いが見られないが、図3-5に示すせん断応力-垂直応力の関係より、3ケースで若干強度定数が異なってきた。図中には、3ケース全てを含むような破壊基準を太線で示している。これより、内部摩擦角は同程度の値を示したが、粘着力 c については範囲の上限と下限において約2倍の差があることを示している。

3.5 締固め特性

図3-6に締固め曲線を示す。これより、最大乾燥密度 d_{max} は $1.38 \sim 1.45 \text{ g/cm}^3$ 、最適含水比 w_{opt} は $19 \sim 23\%$ を示した。この図においても、一面せん断試験と同様に全てのケースを網羅するような締固め曲線を太線で示した。これより、含水比が低い領域では締固め特性は同一であるとはいえないものの、最大乾燥密度 d_{max} 、最適含水比 w_{opt} は同程度であるということができ、施工時に必要な情報の領域で品質レベルをある程度定めることができると考えられる。

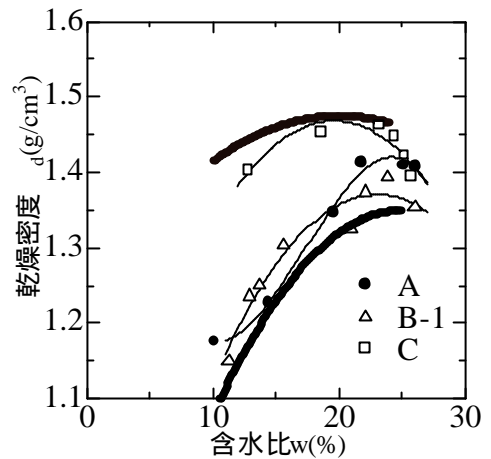


図 3-6 締固め曲線

4. 路盤材としての強度特性

改良土の基本的な土質特性はある程度の範囲で評価できることが明らかになった。そこで、改良土の適用範囲を検討するにあたって、まずは路盤・路床への利用に関する検討を行った。改良土(石灰混入率約3%)における修正CBR試験の結果⁵⁾を表4-1に示す。ここでは、37.5mm通過

表 4-1 修正 CBR

	修正CBR(%)	乾燥密度(g/cm^3)
締固め度95%	45.0	1.71
締固め度90%	29.0	1.62

試料を用いているために、本研究において得られた乾燥密度とは異なる。表4-1より、締固め度90%における修正CBRは29%、締固め度95%における修正CBRは45%を示している。通常、砂利の修正CBRは20~60%程度であるが、改良土は砂の比率が比較的多く、粒度を大まかであるが調整した状態で、砂利単体の修正CBRと同程度であることから粒度が均一でない材料としては性能が高いと考えられる。さらに、透水性が悪いことから、降雨等による雨水の浸透が遅く、飽和度の上昇による強度低下が生じにくいということと、間隙水の移動量が少ないことから保水性を有していることを考慮すると、保水性路盤としての適用性は十分にあるといえよう。

5. 建設汚泥について

5.1 建設汚泥の性質

これまでに述べたとおり、現在の改良土の製造プラントにおける改良方法には、汚泥の初期状態を考慮した上で生石灰を混入するという過程が存在しない。中間処理場では、改良土はコーン指数 800 KN/m^2 以上を満足させた上で出荷しており、プラントに搬入される汚泥の量と効率を考えて、一定量の石灰を汚泥に混入しているが、例えば、屋外のプラントでは雨天時と晴天時では汚泥自体の強度が変わってくるために、改良に必要な量が異なるといってもよい。本研究においては、このことに改良費削減の余地があると考えて、石灰(固化材)混入量の削減の可能性を探るために、一軸圧縮試験およびコーン指数試験を実施した。

まず、プラントで採取した試料において、自然含水比が28%であるにも拘らずスラリー状であったために液性・塑性限界試験を実施した。その結果、液性限界26.0%よりNPとなり、塑性限界は18.3%であることが分かった。これより、土質材料として利用する場合は、含水比のコントロールが材料特性に大きく影響を及ぼすと考えられる。そこで、含水比を塑性限界から液性限界の間に設定してA-a法により締め固めた土塊を成形した供試体を用いて、生石灰混入率(重量比)を0%、0.5%、1.5%と変化させて一軸圧縮試験とコーン指数試験を行い、生石灰混入率の変化による影響を検討した。

5.2 建設汚泥試験結果

5.2.1 一軸圧縮特性

まず、石灰混入率0%の建設汚泥を用いて一軸圧縮試験より得た応力-ひずみ曲線を図5-2-1に示す。これより、締固め時の含水比がわずか0.04%変化したところで一軸圧縮強度14.3KN/m²から9.4KN/m²へ約3分の1も低下していることが分かる。また、含水比が19%から20%を超えると半分の強度しか示さないことが確認できる。これらのことは、未改良のままでは施工時含水比により強度が異なってくることから、施工管理が煩雑になる怖れがあることを示唆している。

石灰混入率1.5%における一軸圧縮試験結果を図5-2-2に示す。これより、低い領域では改良によって一軸圧縮強度が倍程度に増大していることが指摘できる。一方で、このような領域では低ひずみで破壊に至っていることから、改良土と同様の強度特性が見られる。このことから、プラントでの石灰混入率（3%程度）の半分であっても、固化処理による強度増加を確認することができた。

次に、石灰混入率を0.5%に設定し、一軸圧縮試験を行った結果を図5-2-3に示す。図5-2-2の石灰混入率0%と比較すると含水比が同程度であっても、石灰混入率0.5%においての一軸圧縮強度は14.9KN/m²となり、混入率0%と0.5%での大きな違いはないといえる。

5.2.2 コーン指数試験

石灰混入率を0%、0.5%と変化させ、一軸圧縮試験と同様にA-a法にて締固めた供試体を用いて、コーン貫入試験を実施した。図5-2-4にコーン指数と含水比の関係を示す。ここで、石灰混入率1.5%のケースは締固め時の含水比が23%であっても、コーン指数が800KN/m²をクリアしたために図には記載していない。ところが、図中の2ケース共に含水比が23%を超えると、コーン指数が200 KN/m²以下になり、このままでは再利用できないことを示した。しかしながら、これらの結果からは石灰固化処理を施さなくても、建設汚泥の含水比を低下させればプラントの出荷基準を満たしていることを表している。このように、取り扱う時点での含水比が異なれば、出荷時の基準であるコーン指数も大きく異なってくるために、石灰処理時の投入量を安全側に見積もっている現状を裏付けた。また、石灰混入率が0.5%程度では一軸圧縮試験と同様に未改良汚泥との大きな違いが見られない。さらに、汚泥改良の現状を考慮すると、石灰混入率が1.5~3%であれば出

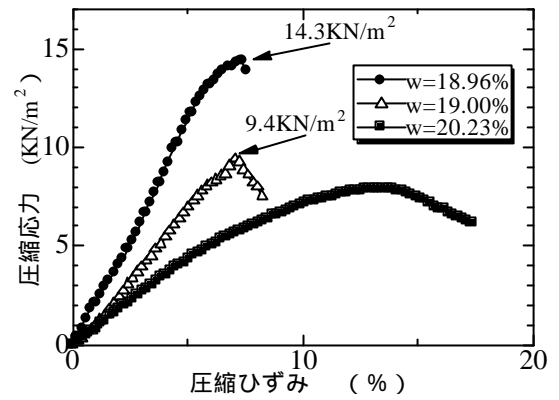


図 5-2-1 応力-ひずみ曲線 (石灰混入率 0%)

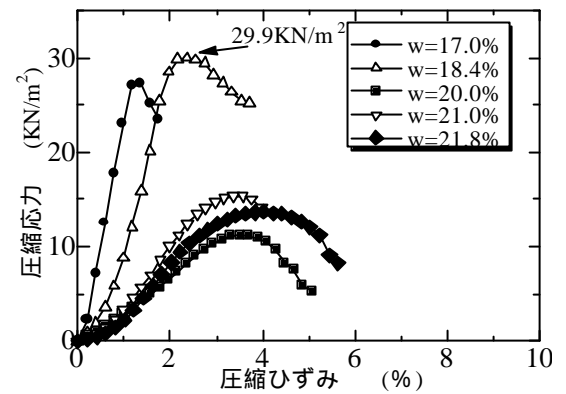


図 5-2-2 応力-ひずみ曲線 (石灰混入率 1.5%)

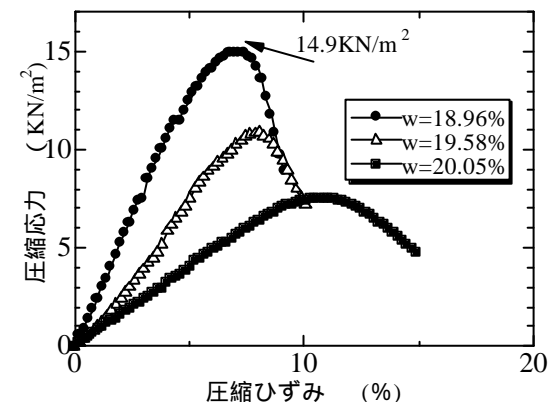


図5-2-3 応力-ひずみ曲線 (石灰混入率0.5%)

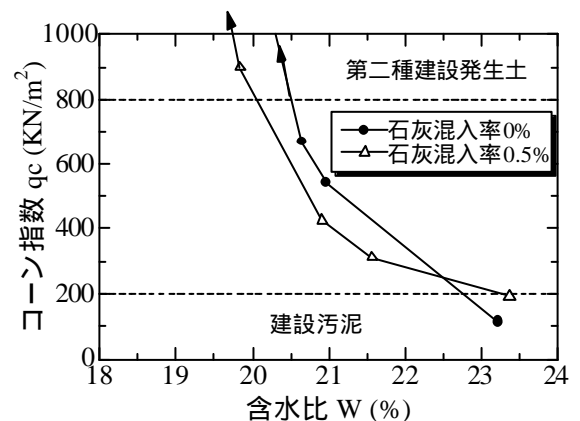


図 5-2-4 含水比とコーン指数の関係

荷時の基準として定めたコーン指数を得ることができるといえる。

ここで、出荷基準を満たすためには材料の含水比が支配的であることから、石灰を混入せずに含水比を低下させただけの供試体を用いて、浸水による飽和度の変化とコーン指数の関係を調べた。その結果、CBR試験で定義された浸水時間を経過した供試体の飽和度は94.8%であり、雨水が浸透しにくいことが確認できた。これに起因して、コーン指数が800KN/m²を下回ることはなかった。これらのことは、取扱い時の含水状態を考慮することによって、固化処理のための石灰混入量を削減できる可能性を示唆している。

6 まとめ

本研究においては、建設汚泥改良土、及び建設汚泥の力学特性について一連の土質試験を行った。その結果、以下のような結論を得た。

- ・ 対象とした建設汚泥は、県内の広範囲に渡る幾多の現場から搬入され、各試験において挙動にばらつきが見られるものの、粒度試験の際、沈降分析において石灰が団粒化し、実際の粒径より大きく現れ細粒分が少なく、粒度分布が類似していることに起因し、力学特性に一連の傾向を把握でき、品質の範囲を定めることが出来た。
- ・ 現状の石灰混入率を半分にしても、第二種建設発生土基準を十分満たし、石灰量を抑制しても強度が保持できていることが確認できた。
- ・ 石灰混入の有無に関わらず含水比の僅かな変動により土質特性が大きく変化することから、石灰混入量と共に含水比のコントロールが品質管理において重要であることが分かった。これは、中間処理における効率化の可能性を示唆している。

<参考文献>

- 1) 国土交通省:国土交通白書2007,平成18年度年次報告,p219,2007
- 2) 島田啓三:土砂・建設汚泥に関する一考察(<小特集>地盤工学とリサイクル:リサイクルを取り巻く状況),土と基礎,Vol.51,No.5,pp25-27,2003
- 3) 小橋 秀俊,大下 武志,菊池 喜昭,森 啓年:建設・産業副産物の地盤工学的有効利用 : 6. 発生土(建設発生土,建設汚泥),土と基礎,Vol.53, No.6,pp. 59-66,2005
- 4) 嘉門雅史:建設副産物リサイクルの現状と課題 2)建設発生土と建設の再資源化を促進するための問題点と今後の展望,CE 建設業界,Vol.54, No.3, p28-32,200
- 5) 太平産業株式会社 社内データ に加筆