

道路工事における掘削残土のリサイクルに関する研究 RECYCLING OF EXCAVATED SURPLUS SOIL FROM ROAD CONSTRUCTION

二宮敏明*・本多淳裕**・山田 優***・福永 勲****
By Toshiaki NINOMIYA, Atsuhiko HONDA, Masaru YAMADA and Isao FUKUNAGA

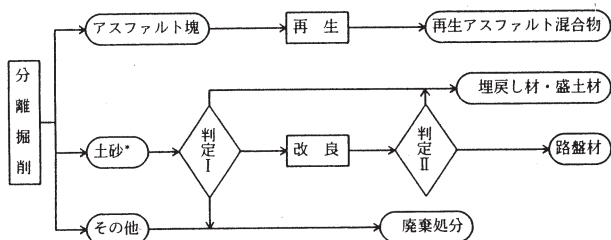
1. まえがき

大都市の道路では、路面の傷みが速く、たびたび補修工事が必要であり、また上下水道、ガス管などの埋設物関係の工事も多い。そのたびに、広域の道路表層を掘削し、大量の土砂を排出している。それらの多くは、含水比、粒度などの性状が不適当であったり、アスファルトやコンクリートくずを含むために廃棄物扱いになり、そのままでは埋戻し材として使用できない。そこで、従来、これらを掘削残土として埋立地へ運び、処分してきた。しかし、処分地の容量には限りがある。また、埋立地の拡大や山や河川からの土砂の採取は自然を改変することになり、環境への影響も心配される。それゆえ、掘削残土を再生して、できるだけ再利用することが必要である。掘削残土を少量の改良材の添加による経済的な方法で再生し、路盤に使用できるようにすれば、再利用が促進され、処分量が大きく減少すると考えられる。

本文は、道路工事で発生する掘削残土（以下、単に残土という。）のリサイクルの基本フロー、土質改良材、現場で残土を選別するための簡易判定法、土質改良効果の機構、さらに、大阪市における土質改良プラントの建設と運営、改良土の力学的特性、環境への影響について検討した結果をまとめたものである。^{1)~5)}

2. リサイクルの基本フローの設定

道路工事からの掘削物のリサイクルの基本フローを、図1のように設定した。すなわち、道路工事の掘削時に、舗装のアスファルト塊と土砂をできるだけ分離掘削する。



判定I：そのまま再利用可能か、改良可能かの判定
判定II：路盤材として再利用可能かの判定

*コンクリート塊とアスファルト塊を含むことがある。

図1 道路工事における掘削物のリサイクルの基本フロー

* 大阪市助役, ** 大阪市立大学教授 工学部土木工学科,
*** 同 助教授 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138),
**** 大阪市立環境科学研究所 環境工学課研究主任

しかし、分離掘削できない場合は、土砂にアスファルト塊が含まれる。また、コンクリートが存在する場合には、土砂にコンクリート塊が含まれる。ここで対象とした残土は、このような土砂である。分離掘削したアスファルト塊は、再生アスファルト混合物として再生し、舗装の表層または基層に用いる。土砂すなわち残土は、そのまま再利用可能か、改良可能かの判定の後、そのまま埋戻し材または盛土材に再利用する土砂、土質改良して路盤材あるいは埋戻し材または盛土材に再利用する土砂、および廃棄処分する土砂に分ける。なお、土質改良の際、土砂に含まれるコンクリート塊やアスファルト塊などの大塊は破碎し、土砂に混合する。

3. 土質改良材の検討

3. 1. 土質改良材の種類

土質改良法の検討のために、大阪市内の道路工事で発生する掘削残土の性状を調査した。その結果、採取した残土数(443個)の約60%が75 μ m以下の細粒分の含有率が25%以下の土であり、含水比は最適含水比よりも湿潤側であることが分かった。土質改良材には、石灰、セメント、アスファルトなどがあるが、アスファルトは含水比の高い土には適さないので、検討の対象からはずし、また、土質改良用の石灰としては消石灰と生石灰とがあるが、含水比の高い土には生石灰の方が適していると考え、生石灰とセメントとを検討対象とした。

3. 2. 改良効果の比較実験

大阪市内の道路工事現場27箇所所採取した修正CBR 20%以下の残土(表1参照)に、生石灰またはセメントを重量比で1または2%添加して、改良前後のCBRの変化を調べた。その結果を図2に示す。なお、生石灰には粉末の工業用生石灰、またセメントには普通ポルトランドセメントを用いた。図中に示す回帰線の比較から、この程度の少ない添加量では、セメントよりも生石灰の方

表1 改良効果の検討実験に用いた残土の性状

採取現場数	項目	自然含水比 (%)	4.75mmふるい 残留率 (%)	75 μ mふるい 通過率 (%)	塑性指数 (%)	3層67回突固め時	
						乾燥密度 (t/m ³)	水浸 CBR (%)
27	平均値	20.1	11.9	32.1	7.1	1.68	11.1
	標準偏差	8.9	8.8	18.3	8.7	0.20	18.6

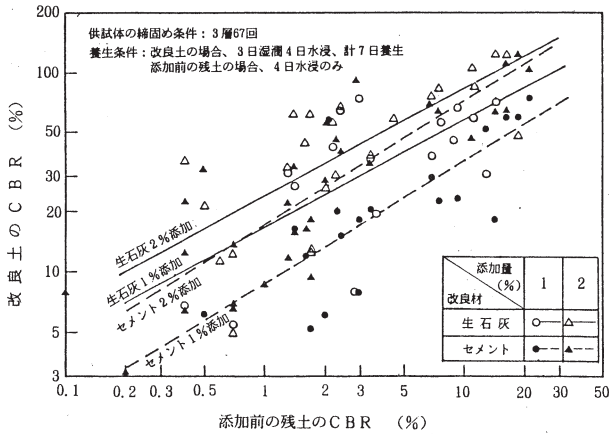


図2 生石灰またはセメントを1または2%添加した改良土のCBRと添加前の残土のCBRとの関係

が平均的にみて改良効果が高いこと、CBRが2%以上の土であれば、生石灰を1または2%添加することによって、CBRがほぼ20%以上になるように改良できることが分かった。

つぎに、改良土を道路に用いたとき、自動車の走行による繰返し荷重により、改良効果が低下することがあると考え、図3に示すような水浸走行試験による比較実験を行った。すなわち、長さ30cm、幅15cm、深さ13cmのモールドに、改良土をその体積当たりの突固めエネルギーがCBRモールドで3層67回の場合と同じになるように、4.5kgfランマーで3層177回突固めて供試体を作製し、CBR試験と同様、20℃で3日湿潤後4日水浸の計7日養生した後、上面に板を介して試験輪を走行させることにより、繰返し荷重を与えた。試験輪の接地荷重は70kgfで、載荷板下面での最大荷重強度は0.58kgf/cm²、試験輪の移動速度は35往復/分とした。CBRの貫入試験は走行試験前と10⁴回走行後に異なる載荷板の下面中央で行った。走行試験前後のCBRの比と走行試験前のCBRと改良前の残土のCBR（15cmモールドに3層67回突固めて求めたCBR）の比との関係を図4に示す。改良前後のCBRの比が小さい場合は、走行試験により改良土試料は締固められて、CBRはむしろ増加するが、改良前後の

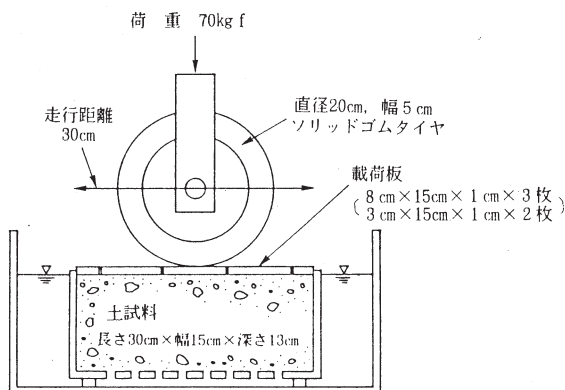


図3 水浸走行試験装置

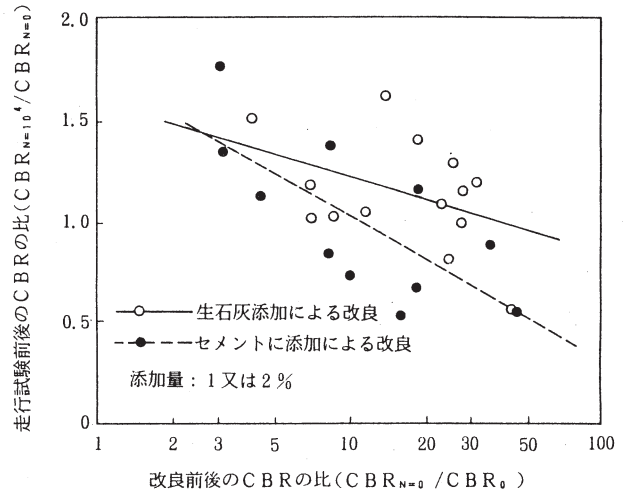


図4 水浸走行試験前後のCBRの比と改良前後のCBRの比との関係

CBR₀ : 改良前の残土のCBR
 CBR_{N=0} : 走行試験前の改良土のCBR
 CBR_{N=10⁴} : 10⁴回走行後の改良土のCBR

CBR比が大きい場合には、走行試験により乱されて、CBRは減少する。しかし、生石灰による改良土は、セメントによる改良土に比べてCBRの減少、すなわち改良効果の低下が少ないという結果となった。

また、生石灰を用いて改良後、野外に山積みして静置しておいた場合と、月1回それをショベルローダで攪拌した場合のそれぞれについて、修正CBRおよびJIS A 1210の2.5法での最大乾燥密度の経時変化を1年間追跡調査したところ、図5に示す結果を得た。これによると、改良後そのまま放置しておいても、急激な品質低下は認められなかった。

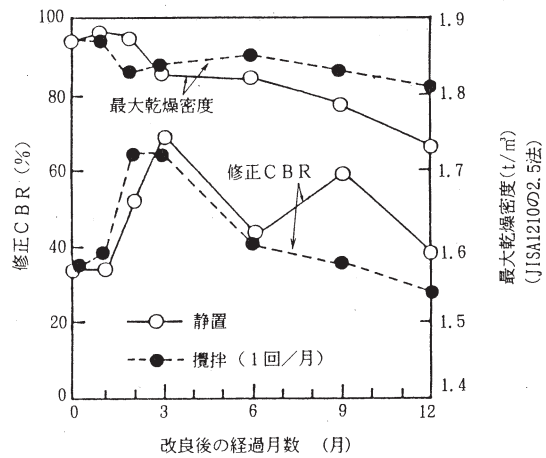


図5 改良土の保存期間と修正CBRおよび最大乾燥密度との関係

以上のような実験の結果、粘土分が多く、高含水比の極端に不良な残土を除けば、大部分の残土は、生石灰を

重量比で1~2%添加するだけで、大幅なCBRの増加を期待できることが明らかになり、耐久性、改良土の保存の観点からみて、大阪市内の道路工事で発生する掘削残土の改良材としては、生石灰が適していると判断した。

4. 残土の特性と現場簡易判定法²⁾

4. 1. 従来の土性判定方法と目視評価点

既述のように、道路工事で発生する掘削残土の多くは、1~2%の生石灰を添加すれば道路用材料として再利用できる土である。中には、そのまま再利用できる土も存在する。路盤材として再利用するためには、室内で路盤材としての各種試験を行って、その適否を判定する必要があるが、そのまま盛土材または埋戻材として再利用できるかどうかについては、掘削現場で判断することが望ましい。また、土質改良プラントに運んで改良できる土かどうか、掘削現場で判定されねばならない。すなわち、発生土を図6に示すようなフローで判定し、再利用または処分することになる。

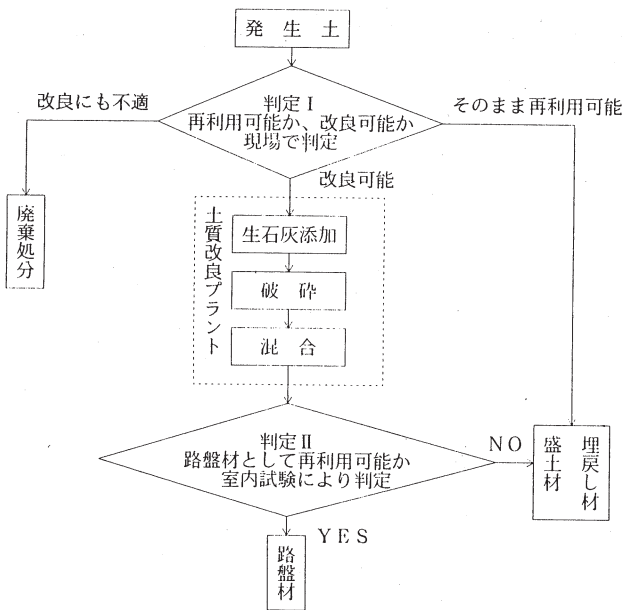


図6 残土リサイクルのフロー

図中の再利用可能か、改良可能かの現場での判定Iは、従来、目視によって行われている。これを表2に示すように、1~10の点数で表すことにした。

表2 目視判定による評価

評価点	評価点の意味
1~3	土質改良プラントの材料として適さないので、廃棄処分が望ましい。
4~7	土質改良プラントで改良すれば、路盤材あるいは盛土材、埋戻し材として再利用可能。
8~10	改良しなくても、そのまま盛土材、埋戻し材として再利用可能。

目視判定は主観的なものであるが、現在、残土を再利用した現場において特に支障は生じておらず、おおむね妥当なものと考えられる。しかし、そのまま再利用できる残土であっても、プラントへ運ばれることが多いのが現状である。それゆえ、現場で利用できる客観的な土性評価法が必要である。

4. 2. 目視評価点と室内土質試験結果との関係

大阪市の道路工事から発生した51種の残土を任意に採取して、採取現場での目視判定と道路工事で一般に行われる各種土質試験を実験室で行い、目視評価点と室内試験で求めた土質特性値との関係を考察した。その結果、目視評価点と高い相関を示す特性値は、含水比、それと最適含水比との差、CBR、2.36mmふるい通過率、75μmふるい通過率であることが分かった。このことから、目視評価点は含水状態、ひいてはH⁺、OH⁻、Na⁺、K⁺などの遊離イオンの活性度に大きく関係し、これを現場で簡易に測定することによって推定できると考えた。

4. 3. 簡易判定法の開発

そこで、図7に示すような電極を開発した。電極を土試料の表面に突き刺して電気伝導度を測定する。51種の残土すべてについて電気伝導度を測定し、この値と目視評価点、および目視評価点との相関が高かった室内土質試験による特性値との関係を考察した。

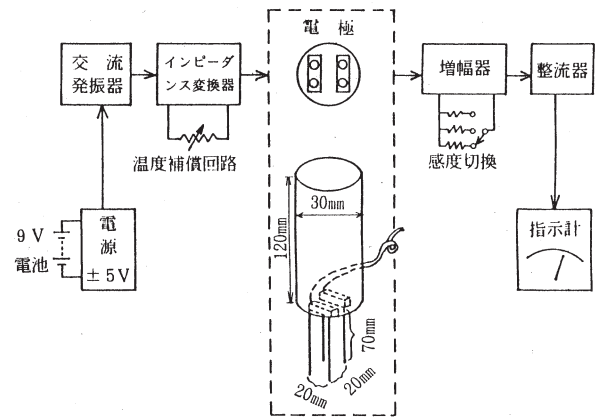


図7 土の電気伝導度測定器の概要

測定した電気伝導度と目視評価点との関係は、図8のとおりであった。また、含水比、それと最適含水比との差、CBRとも高い相関を示した。

図の回帰直線を式で表すと次のようになる。

$$Y = 18.1 - 5.0 \log X \quad (1)$$

ここに、Yは目視評価点、Xは電気伝導度(μS/cm)である。この結果を、現場ですぐ読み取れる電気伝導度測定器の目盛に合わせて記入すれば、現場における簡易判定法として使用できる。

従来、経験と勘に頼っていた現場での残土の評価を、電気伝導度を測定して、この式に代入することにより、

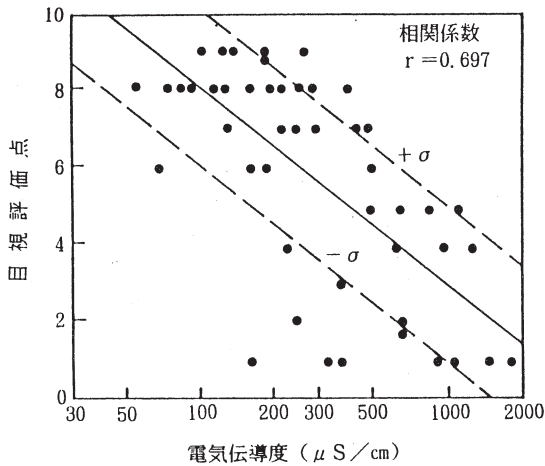


図8 目視評価点と電気伝導度との関係

客観的に見えることになる。すなわち、電気伝導度の約 $100\mu\text{S}/\text{cm}$ がそのままでも再利用可能を意味する目視評価点の8に相当し、約 $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ が改良に適さない程度に不良を意味する目視評価点の最高値3に相当する。

5. 生石灰添加による残土の土質改良効果の機構³⁾

通常、石灰安定処理の対象となるのは、粘土分が多くて含水比の高い軟弱土が多く、石灰の添加量は5~6%あるいはそれ以上となる。道路工事における掘削残土には、もともと粘性土は少なく、また極端に軟弱な不良土は廃棄処分される。わずかに混入される軟弱不良土も土質改良プラントで他の土と一緒に混合されるため、その影響は少なくなり、生石灰の添加量1~2%で、CBRが大幅に増加することは前記のとおりである。

わずかに1~2%の生石灰添加によって支持力が增大する反応機構を考察するために、現場から採取した残土試料と実験室で作製した土試料を用いて、生石灰添加前後のイオン交換容量、全置換塩基および塩基飽和度と含水量を測定して、親水性と保水性の変化を調べるとともに、X線解析を行って生石灰を添加した場合のポズラン反応による結晶性物質生成の可能性を探った。

まず、生石灰添加前後のイオン交換容量、全置換塩基および塩基飽和度の測定から、生石灰を1%添加すると、イオン交換容量の変化よりもはるかに大きく全置換塩基および塩基飽和度が增大するという結果を得た。これは、生石灰を添加することにより、親水性の高い Na^+ 、 K^+ が Ca^{2+} と交換されて減少し、同時に陽イオンの結合していない塩基も減少して、親水性が減退したためと考えられる。また、含水量は、1%の生石灰の添加により増大する傾向が認められた。これらは保水性の上昇を意味し、生石灰添加による土質改良効果の一つと考えられる。

つぎに、溶出試験の結果、1%という少量の生石灰添加によっても、Al、Siなどが溶出してくることが確認された。また、生石灰添加前後のX線回折像を比較した結果、生石灰添加によって、セメント水和物の場合と似

た多数の微小ピークの生成することが認められた。これらは、ポズラン反応が生起している可能性を示すものである。

このように、従来の石灰による土質改良では、主に粘土分の多い高含水比の土を対象とし、5~10%程度の石灰の添加を必要としているが、本研究で対象としている残土は低含水比であるため、1%程度の生石灰添加で土質改良効果を示すことになる。

粘土分の多い土の含水比を50%とし、それに5%の石灰を添加したとすると、土に含まれている水分に対して10%の生石灰添加ということになる。一方、残土の場合は、含水比は8~15%であり、それに1%の生石灰を添加するから、水分に対しては約7~13%となる。すなわち、水分中の生石灰の濃度は同程度ということになり、生石灰の添加によって、ほぼ同じ程度のアルカリに土粒子がさらされ、AlやSiが溶出し、これらが石灰と反応して各種の結晶性物質を生成して土粒子を結合させる可能性は同じであるといえる。

6. 大阪市における土質改良プラントの建設と運営¹⁾

6. 1. 土質改良プラントの構造

(1) 処理能力

大阪市建設局の道路工事で埋戻し土として購入している山土と、路盤材として購入している粒度調整スラグの年間使用量の合計が約10万 m^3 であったことから、これをプラントの年間必要処理量とし、プラントの時間当たり処理能力を次のように決定した。

すなわち、日曜、祭日や雨天日にはプラントを操業しないとすると、年間の操業日数は243日となり、また1日当たりの操業時間を8時間、稼働率を0.8、改良土のかさ密度を $1.65\text{t}/\text{m}^3$ とすれば、時間当たり必要処理量は、 $100000\text{m}^3 \times 1.65\text{t}/\text{m}^3 \div (8\text{h} \times 0.8 \times 243) \approx 106\text{t}/\text{h}$ となることから、100t/hをプラントの処理能力とした。

(2) プラントシステムのフロー

土質改良プラントシステムの仕様については、処理能力を上記のとおり100t/hとするほか、受入れ残土として、掘削現場の選別の限界と諸機械の能力から、一部コンクリート塊やアスファルト塊を含むことを許容したが、それらの最大寸法を350mmとした。そして、プラントから出荷する改良土の最大粒径を、路盤材料としてもっともよく採用されている25mmとした。また、土質改良材とその添加量は、既述した検討結果に従って、生石灰1~2%とした。

プラントシステムは、生石灰の添加、コンクリート塊やアスファルト塊の破碎、それらの破碎物と土砂そして生石灰との混合、25mm以下に粒度調整するためのふるい分けのための機械を中心として構成され、そのフローは図9のようになった。

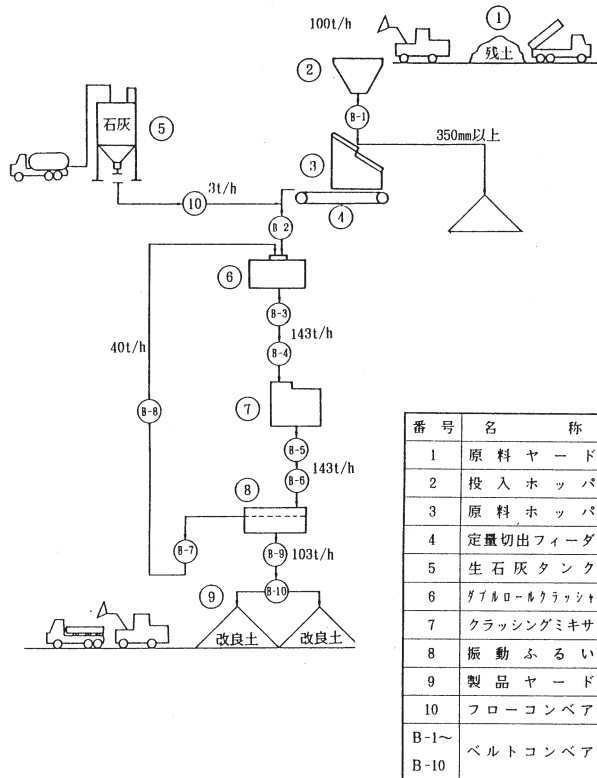


図9 土質改良プラントシステムのフロー

各工程は、次のとおりである。

① 残土の搬入

各工事現場よりダンプトラックでプラントに搬入した残土を、まず原料ヤードに降ろす。

② ホッパへの投入

野積み状態の残土を、トラクターショベルで投入ホッパに投入する。

③ 大塊の除去

ホッパに投入した残土を、B-1ベルトコンベアで原料ホッパに運び、ここで350mm以上のコンクリートなどの大塊をグリズリ（間隔175mm）で除去する。除去した大塊は、粗破碎して残土に再混入する。投入ホッパと原料ホッパの2つのホッパを設けるのは、トラクターショベルで投入することによる土の断続的な流れを、原料ホッパで定量的に切り出すためである。

④ 定量切出し

原料ホッパから原料を定量切出しフィーダにより、B-2ベルトコンベア上に出す。このベルトコンベアにより、ダブルロールクラッシャーに運ぶ。

⑤ 生石灰添加と金属除去

B-2ベルトコンベア上で、生石灰を添加する。このベルトコンベアに、金属検知器を設置しておき、金属を検知した場合に、B-2ベルトコンベアが自動的に停止し、人力で除去するようにした。

⑥ 粗破碎および一次混合

ダブルロールクラッシャーで粗破碎と同時に一次混合を

行う。ここで破碎した後、B-3、B-4ベルトコンベアでクラッシングミキサに運ぶ。

⑦ 細破碎および二次混合

クラッシングミキサで細破碎と同時に二次混合を行う。この機械を選定したことにより、独立した混合機が不要となった。クラッシングミキサで破碎混合した後、B-5、B-6ベルトコンベアで振動ふるいに運ぶ。

⑧ ふるい分け

振動ふるいで、25mm以下を改良土として製品ヤードに送る。25mm以上の塊は、B-7、B-8ベルトコンベアでダブルロールクラッシャーにフィードバックさせる。

⑨ 改良土の搬出

改良土をB-9、B-10ベルトコンベアで製品ヤードに送って野積みしておき、トラクターショベルでダンプトラックに積み込んで搬出する。

(3) プラントヤードのレイアウト

プラントヤードのレイアウトに当たっては、次の点に留意することとした。

① 残土をプラントに搬入した車が、道路工事の工程から、必ずしも改良土を積んで帰るとは限らないので、可能な限り原料ヤードと製品ヤードを広くとる。

② プラントへ残土を搬入または改良土を搬出する車は、大型車が大半であるので、できるだけ道路幅員を広くとり、一方通行とする。

③ プラントの振動、騒音が隣接地へできるだけ及ばないようにする。

④ 環境保全上、プラントの高さを極力低く抑え、敷地境界に3mの鉄鋼板製塀を設置して、プラントを囲う。

⑤ プラントの維持管理や修繕がしやすいようにする。

⑥ プラントの運転管理上、搬出入車の積載量を計量できるようにする。

⑦ 土砂が場外に流出しないように排水設備を完備する。

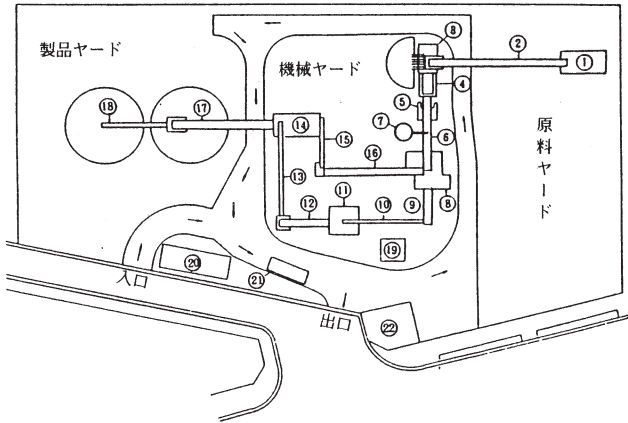
⑧ ダンプトラックのタイヤに付着した土砂を場外に持ち出さないように設備を施す。

以上の諸点に留意して、図10に示すようにプラントのレイアウトが決定された。入口から入った車は、まず計量し、その後、原料ヤードに残土を降ろす。つぎに、製品ヤードで改良土を積み、再び計量した後、プラントから出ていくことになる。

全体の敷地は約8000㎡で、そのうち原料ヤードと製品ヤードにそれぞれ約1800㎡、機械ヤードに約1800㎡、事務室および道路その他に約2600㎡を充てた。これにより、原料ヤードと製品ヤードとに、それぞれ約3000㎡ずつの残土と改良土を堆積することができる。

排水計画では、泥だめ柵を多くとり、土砂の場外流出を防ぐとともに、ダンプトラックに付着した土砂を場外に持ち出さないよう、泥落としプールを設けた。

そのほか、環境と安全面から、プラントの建設計画に



番号	名称	12	B-5 ベルトコンベア
1	投入ホッパ	13	B-6 ベルトコンベア
2	B-1 ベルトコンベア	14	振動ふるい
3	原料ホッパ	15	B-7 ベルトコンベア
4	定量出しフィーダ	16	B-8 ベルトコンベア
5	ピッキングフロア	17	B-9 ベルトコンベア
6	B-2 ベルトコンベア	18	B-10 ベルトコンベア
7	生石灰タンク	19	操作室
8	ダブルロールクラッシュ	20	事務所
9	B-3 ベルトコンベア	21	トラックスケール
10	B-4 ベルトコンベア	22	受電設備
11	クラッシングミキサ		

図10 土質改良プラントヤード内の配置平面図

当たって、機械類からの騒音、振動、粉じん、生石灰の取り扱い、操業者の労働安全などについても検討した。

6. 2. 土質改良プラントによる残土リサイクルの実施

(1) プラントの建設

大阪市の土質改良プラントは、昭和56年10月から主要機械の製作に取りかかり、翌57年12月、大阪市住之江区に竣工した。その後、数か月の試運転を経て、昭和58年度から本格的に稼働し、現在に至っている。なお、総事業費は別途確保されていた用地を除き、およそ3億9千万円必要であった。

(2) プラントの操業

操業時間は、日曜、祭日を除く平日の午前8時30分から午後5時15分までである。操業のための人員は、全体で約12人であり、それをA、Bの2班に分けている。A班4人は、総括と外部との連絡の業務で、①土の受払いおよび計量、②プラント全般の総括、③受払い量の集計、④改良土の品質管理、⑤搬入残土の点検、⑥建設局工務所との連絡などであり、B班8人は、プラントヤード内の運転管理を主業務とし、①プラントの運転、②プラントの点検補修、③残土の投入、④改良土の積み込み、⑤残土内の異物除去、⑥車両の誘導、⑦改良土の品質管理試験実務などである。

(3) 残土の受入れ条件と改良土の品質管理

搬入残土の受入れ条件は、次のように規定している。

- ① 15cm角以下のアスファルト塊、コンクリート塊の混

入を許すが、それ以上は破碎して搬入すること。

- ② 著しく含水比の高い残土でないこと。
- ③ 鉄筋コンクリート塊を含まないこと。
- ④ 金属片、ごみ、木片などを含まないこと。

改良土の品質管理はプラント内の土質試験室で常時実施している。表3は、管理試験結果の一例である。品質管理基準を修正CBR30%以上としたが、修正CBR試験は結果が出るまでに時間を要する。そこで、改良土の最適含水比と自然含水比の差と非水浸CBRから修正CBRを予測できるので、非水浸CBRも試験している。

表3 改良土の管理試験結果の例

試験項目	(試験数)	平均	標準偏差
含水比 (%)	(226)	8.2	1.51
2.36mmふるい通過率 (%)	(226)	53.4	5.97
75μmふるい通過率 (%)	(226)	13.5	3.51
非水浸CBR (%)	(226)	97.4	22.6
最適含水比 (%)	(87)	8.6	0.84
最大乾燥密度 (t/m ³)	(87)	2.01	0.03
修正CBR (%)	(87)	84.0	20.8
土粒子の比重	(86)	2.63	0.03

(4) 残土リサイクルの実施実績と採算性

事業が開始された昭和58年度以降、建設局発生残土量の2~3割に相当する8~15万tが毎年改良されている。

図11は、土質改良単価と年間リサイクル実施量との関係を示す。図中のY、K、G曲線は、建設省が調査した他のプラントでの改良単価と年間リサイクル実施量との関係を示す。おおむね、5万m³以上の場合には、大阪市土質改良プラントの方が経済的に優れているといえる。これは、石灰添加量が1%と少量であることと、プラントのフローが簡素化されたことによるものと考えられる。また、例えば舗装厚60cm、1000m²の舗装工事の実施を想定した場合、1m²当たりの工事費は、従来方式で9000円

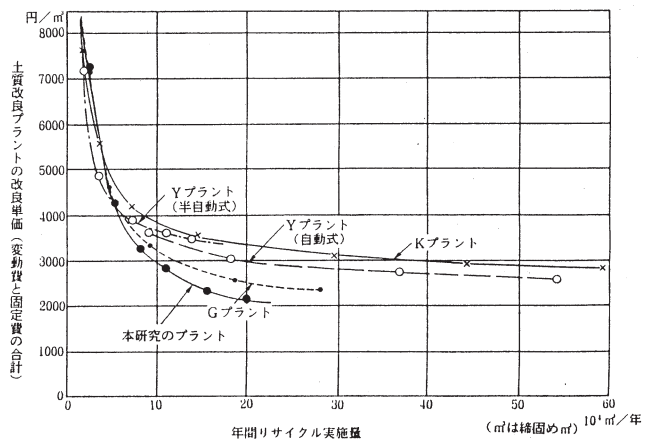


図11 土質改良単価と年間リサイクル実施量との関係

に対し、リサイクル実施後は6000円となり、約3割の節減をはかることができる。

7. 改良土の力学的特性⁴⁾

7. 1. 改良土の性質

(1) 改良直後の性質

25mmを通過した原料土および改良土の土質性状を表4に、またそれぞれの粒径分布の変動の範囲を、アスファルト舗装要綱で規定する粒度調整碎石の粒径分布の範囲と比較して、図12に示す。表4より、原料土であるプラントに搬入されてくる残土の含水比は、最適含水比よりも高いが、改良後の含水比は、生石灰の添加効果により、原料土の含水比よりも低くなることはもちろん、改良土の最適含水比よりも低くなる。それゆえ、現場での散水などによる含水比調整がしやすい。

表4 原料土と改良土の性質

(昭和59年度調査)						
項目	含水比 (%)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (t/m ³)	塑性指数 (%)	修正CBR (%)	一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)
原料土 (試料数)	(200)	(38)	(38)	(38)	(38)	—
原料土 平均値	10.0	8.5	2.06	NP	61.7	—
原料土 標準偏差	2.4	1.3	0.05	—	18.0	—
改良土 (試料数)	(200)	(38)	(38)	(38)	(38)	(38)
改良土 平均値	8.3	9.7	2.00	NP	83.7	1.8
改良土 標準偏差	2.2	1.0	0.04	—	20.0	0.6

*アスファルト舗装要綱の石灰安定処理に対する試験方法を適用した(材令10日)。

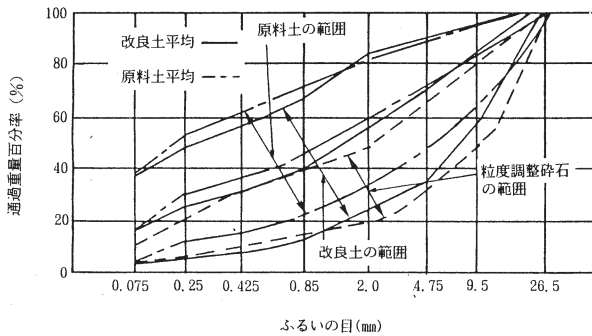


図12 原料土と改良土の粒径分布の変動範囲

また、図13のCBRと含水比の関係を調べた実験例が示すように、改良後乾燥させておいて、乾燥側から湿潤側へ含水比を調整する場合と、散水して含水比を高くしておいて、湿潤側から乾燥側へ含水比を調整する場合とでは、原因は明らかになっていないが、乾燥側からの含水比調整の方が締固め後のCBRが大きいことが分かった。したがって、改良土の改良直後の含水比が最適含水比よりも高い傾向にあることは、好都合といえる。

改良土の粒度は改良過程で石、アスファルト塊、コンクリート塊なども破碎混合されるため、原料土に比べて粗粒分の割合が大きく、粗くなっている。しかし、粒度調整碎石と比べれば、改良土は細粒分が多く、アスファ

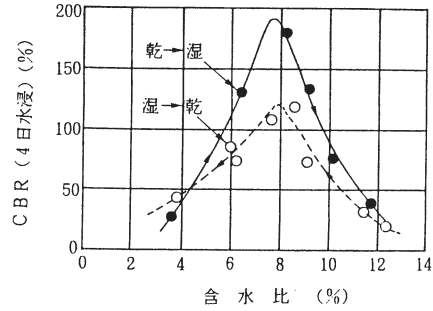


図13 含水比の調整方法とCBR

ルト舗装要綱に定める粒度調整碎石の粒度範囲から外れるものが多い。425μmふるい通過分の塑性指数は、原料土の大部分がNPを示すので、改良土も当然NPである。また、改良することにより修正CBRは20~50%増加し、表4に示すように、平均値は83.7%であり、同要綱で規定している上層路盤用粒度調整碎石の修正CBR80%以上を満足している。ただし、ばらつきは大きく、標準偏差は20%である。一軸圧縮強さは、同要綱で規定する石灰安定処理の一軸圧縮強さ10kgf/cm²と比べて、1.8kgf/cm²と低い値を示すことが分かった。このように、改良土の一軸圧縮強さは、同要綱で規定する10日養生では非常に低い値であるが、後述するように長期的にはかなりの値まで増加する。これは改良土の特徴と考えられる。

(2) ストック期間中の性質の変化

掘削土のリサイクル実施の効率化のために、改良土をストックしておくことが多い、当プラントでは、野積みしているが、その期間中の改良土の性状変化について調査した。

まず、野積み状態のまま静置した場合と月1回ショベルローダで攪拌した場合について、一年間にわたってCBR試験等を行った。その結果、どちらの場合においても、固化や取扱い上の問題点はなかった。性質の変化については、既に図5に示したとおり、両者の違いはない。

また、野積みされた改良土は、降雨と晴天による湿潤化と乾燥の繰返しを受ける。この影響についても実験で検討した。その結果、表面は天候の影響を受け、含水比の変化が著しいが、内部では、天候の影響をほとんど受けないことが分かった。

次に、含水比が著しく変わる場合のCBRの変化の調査結果では、乾湿を繰り返すことによりCBRは低下した。しかし、その低下は最初の数回程度で、以降は6割程度のCBRで一定となった。

このようなことから、改良後は可能な限り早く出荷することが望ましいが、改良土の平均的な力学的性状は、天候の変化による乾湿の影響をあまり受けないといえる。

7. 2. 改良土路盤の性質

(1) 施工性

大阪市内の実道路の工事で、上層路盤あるいは下層路盤に改良土を用いて試験施工を行った。その結果、締固め度はすべて95%以上になり、改良土を路盤材に使用した場合の施工性は非常に良好であることが確認できた。このときのまき出し厚さは、15~20cmで、施工直後における上層路盤上の支持力は、表5に示すとおりであった。

表5 改良土路盤の試験施工での調査結果

試験舗装場所	交通区分	設計CBR (%)	必要厚T ₁ (cm)	K ₃₀ 値 (kgf/cm ²)	舗装構造 (cm)
1	L	12	10	25	5, 10
2	C	12	23	31	5, 5, 15, 20
3	L	12	10	27	5, 10
4	L	8	11	28.5	5, 15
5	C	12	23	28	5, 10, 20
6	C	20以上	20	29	5, 14, 23

締固めが難しいとされる埋設工事現場で、埋戻しあるいは路盤のために改良を用いて施工性を検討する実験も行ったが、従来用いている購入材料よりも良好という結果を得た。

(2) 支持力の経時変化

改良土路盤は通常の安定処理路盤に比べて初期の支持力は低いが、自動車交通による締固め作用や、生石灰による固結作用による経時的な支持力増加が期待される。

図14は、改良土のCBR試験供試体を、20℃で非水浸、水浸、乾湿の繰返し3条件で養生したときの、1年間のCBRの変化を調べた結果である。養生条件により多少異なるものの、いずれもCBRは増加し、1年で約2倍程度の値となった。

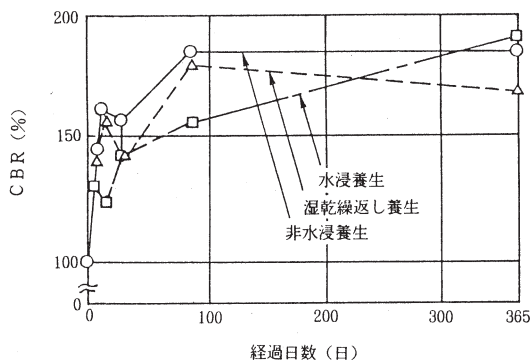


図14 締固め後のCBRの変化

この支持力の経時増加は供用路線での調査でも確認されている。たとえば、舗設後2~3年経過後のK₃₀値の平均値は上層路盤上で134kgf/cm²、下層路盤上で50kgf/cm²、また、採取した不攪乱試料の一軸圧縮強さは10kgf/cm²以

上、平均値18kgf/cm²で、施工直後の10倍近くに上昇したという結果を得ている。

(3) 供用性からみた総合評価

改良土路盤の供用性を検討するために、施工直後の支持力だけでなく、路面性状の長期の追跡調査も行った。その結果、改良土は舗装要綱の粒度調整碎石の規格には粒度の点で、石灰安定処理の規格には一軸圧縮強さの点で適合しないが、長期の供用性からみれば、粒度調整碎石より上位にあり、石灰安定処理と同程度であると考えられる。

8. 残土リサイクルに伴う環境への影響

大阪市の土質改良プラントの騒音、振動および粉じんを調査した結果、騒音は当初の予想よりも大きく、特に振動ふるいによる発生が著しいが、騒音源を建屋などで囲うことにより、規制基準は満足することが分かった。また、振動および粉じんについては、敷地境界で規制基準を満足しており、問題はなかった。したがって、同種のプラントを建設する場合には、騒音について特に注意を払うべきであろう。

なお、改良土からの金属溶出についても調査したが特に問題はなかった。⁵⁾

9. 結論

道路工事の掘削残土の多くは、土質改良プラントで、少量の生石灰とともに破碎、混合することによって道路材料として再利用することが可能である。少なくとも、大阪市では成功しているといえる。

10. 謝辞

本研究を進めるに当たって、ご指導、ご助言をいただいた大阪市立大学名誉教授 三瀬貞先生ならびに大阪市立環境科学研究所環境工学課長 井上善介先生、また調査、実験にご協力いただいた大阪市建設局、(財)大阪市土木技術協会の関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 二宮敏明ら:道路工事における掘削残土リサイクルの計画と実施, 土木学会論文集, No. 397/VI-9, pp. 177~185, 1988.
- 2) 二宮敏明ら:道路工事における掘削残土の特性と簡易判定法の開発, 土と基礎, Vol. 37, No. 4, pp. 53~58, 1989.
- 3) 二宮敏明ら:石灰処理による掘削残土の土質改良反応機構, 土と基礎, Vol. 37, No. 7, pp. 65~70, 1989.
- 4) 二宮敏明ら:残土リサイクルプラントによる改良土の路盤への利用, 舗装, Vol. 23, No. 10, pp. 18~21, 1988.
- 5) 二宮敏明ら:石灰添加による掘削残土土質改良の金属溶出への影響, 環境技術, Vol. 17, No. 5, pp. 39~45, 1988.