

# 発生土および廃棄物の地盤工学的処理と有効利用

## 6. 産業廃棄物の地盤工学的有効利用 (その3)

福島 浩一 (ふくしま こういち)  
東亜合成(株)製品研究所第4研究グループ

長坂 勇二 (ながさか ゆうじ)  
(株)ジオジャイロ 常務取締役

中野 安浩 (なかの やすひろ)  
(株)鴻池組大阪支店土木営業部企画課

笠井 淳史 (かさい あつし)  
小野田ケミコ(株)技術研究所

- 6.1 はじめに
- 6.2 鉄鋼スラッグの有効利用
- 6.3 製紙スラッジ焼却灰 (PS 灰) の有効利用  
(以上 5 月号掲載)
- 6.4 石炭灰の有効利用
- 6.5 一般廃棄物焼却灰の処理と有効利用  
(以上 6 月号掲載)
- 6.6 下水汚泥焼却灰の有効利用

我が国の下水道普及率は50%を越え、2000年までに70%を目標に下水道事業が推進され、下水汚泥の量も年々増大する傾向にある。一般には、この汚泥は減容化されてから、陸上・海面埋立などの方法により処分されている。しかし、処分地の確保が困難になるなど処理・処分費用が高騰しているため、循環利用が要求されている。ここでは、毎年大量発生している下水汚泥焼却灰の新しい利用状況と問題点に関してまとめてみた。

### 6.6.1 下水汚泥焼却灰の分類

一般に下水汚泥焼却灰は、焼却の前段の脱水プロセスで添加する凝集剤の種類により、消石灰および塩化第二鉄を添加する石灰系焼却灰と有機高分子系凝集剤を添加

昭和58年	真空ろ過機 37.7	加圧ろ過機 19.4	遠心分離機 21.5	ベルトプレス 19.8	スクリーン ユー プレス その他
59年	36.3	19.7	20.6	22.4	
60年	33.4	21.0	20.1	24.4	
61年	30.2	20.1	20.5	27.2	
62年	28.8	19.8	20.3	29.5	
63年	26.4	19.0	20.0	32.7	
平成元年	24.6	18.2	20.7	35.0	
2年	22.8	18.5	18.6	38.6	
3年	21.0	18.3	18.5	40.9	
4年	18.6	18.1	18.6	42.9	

図-6.14 汚泥脱水機種別設置台数比率の推移<sup>1)</sup>

する高分子系焼却灰に大別される。図-6.14に、全国の処理場に設置している脱水機の比率を示す<sup>1)</sup>。真空ろ過機および加圧ろ過機には、消石灰および塩化第二鉄を添加し、遠心分離機およびベルトプレスには、有機系高分子凝集剤を添加する。脱水汚泥の発生量が少ないなどの利点があるため、遠心分離機およびベルトプレスの比率が増大する傾向にある。

表-6.10 処理方式別の焼却灰の性状<sup>2)</sup>

排 除 方 式 機 考 考	公 共 ・ 分 流 機 考 考	公 共 ・ 分 流 機 考 考	分 流 機 考 考	分 流 機 考 考	合 流 機 考 考	合 流 機 考 考	分 流 機 考 考	分 流 機 考 考
機 考 考	機 考 考	機 考 考	機 考 考	機 考 考	機 考 考	機 考 考	機 考 考	機 考 考
S (%)	1.65	2.86	0.15	0.64	0.69	0.06	1.01	0.11
Cl (%)	0.08	1.62	0.01	0.09	0.20	0.02	0.27	0.05
CaO (%)	51.5	41.48	4.15	3.32	36.1	3.71	38.4	8.10
SiO <sub>2</sub> (%)	9.25	13.25	44.6	49.6	22.4	46.6	15.2	40.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	10.7	4.54	19.0	12.2	6.96	18.7	7.17	17.5
FeO (%)	6.62	6.48	12.1	6.68	11.7	12.0	16.8	7.05
MgO (%)	1.74	3.56	1.87	0.79	1.70	2.13	5.31	2.78
K <sub>2</sub> O (%)	0.26	2.05	1.54	2.45	0.93	2.06	0.46	2.46
Na <sub>2</sub> O (%)	0.48	0.35	1.29	8.92	0.52	0.80	0.41	1.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	6.20	9.17	9.5	7.8	5.0	9.8	7.5	12.4
Cr (mg/kg)	217	7 800	128	173	285	2 615	136	174
Cd (mg/kg)	16.3	2.0	5.8	12.2	8.1	3.1	751	9.9
Pb (mg/kg)	118	83	235	336	92	533	99	347
CN (mg/kg)	8.3	8.1	3.7	0.41	<0.01	0.70	0.31	0.51
As (mg/kg)	12.3	<3	32	12.2	<3	17.1	5.0	18.4
Zn (mg/kg)	2 034	680	2 986	2 648	202	90	1 251	3 777
T-Hg (mg/kg)	0.14	<0.01	0.02	0.01	0.11	0.71	<0.01	0.28
Mn (mg/kg)	976	1 100	6 694	555	1 477	2 424	693	592
Cu (mg/kg)	610	79	299	784	791	1 076	490	1 021

表—6.11 有効利用方式の比較（文献3）に修正加筆）

有効利用の方式	供給汚泥の性状	製品中の汚泥含有率	製品量 (全体計画規模)	製造技術の確立	採用した 主な自治体	採用時の注意事項など
汚泥堆肥	脱水ケーキ	60%	35 t/日	実用プラント多数普及	愛知県 春日井市 東京都	①汚泥中の有害物資（現況汚泥は問題なし） ②需要量の把握（本調査での需要は少ない） ③流通経路の確立 ④下水道のPRに有効
セメント	脱水ケーキ	5%	1040 t/日	実用化初期	奈良県	①セメント製造業者の協力が必要
乾燥汚泥肥料	脱水ケーキ	95%	54 t/日	実用段階稼働中	横浜市	①汚泥堆肥と同じ ②肥料としてはカリウムの含有が少ない ③下水道のPRに有効
固形燃料	脱水ケーキ	95%	55 t/日	実用段階	東京都 福知山市	①灰の最終処分が残る ②利用先の確保（発熱量が約17 MJ=低品位の石炭程度—場内発電用ボイラーの燃料として使用）
園芸用土壌	焼却灰	100%	10 t/日	実用段階稼働中	横浜市	①汚泥堆肥と同じ ②植物によっては不適なものもある ③下水道のPRに有効
土質改良材	焼却灰	100%	10 t/日	実用段階稼働中	名古屋市 横浜市	①高分子系の汚泥は石灰の添加が必要 ②掘削土に10%~20%程度混合させる ③採用した地域の地盤が砂礫質であったため、土質改良の対象には不向きであった
路盤材・路床材	焼却灰	100%	10 t/日	実用段階	札幌市 川崎市	①焼却灰そのままの使用は試験施工が必要。不適な地盤もある ②品質管理の確立、③現況は処理場内の施工が多い
軽量骨材	焼却灰	95%	11 t/日	実用段階	東京都 京都市 名古屋市	①製造過程でかなりのエネルギーが必要 ②製品の均一化 ③添加剤が必要なものもある ④平成3年現在稼働中はない
舗装用ブロック	焼却灰	50%	21 t/日 $t=6\text{ cm}$ 150 m	実用段階	名古屋市	①製造メーカーの協力が必要 ②灰の混入率をあげて自家製造もできる ③利用先の確保 ④下水道のPRに有効
厚陶管	焼却灰	5%	208 t/日 $\phi 200$ 5500本	実用段階	名古屋市	①製造メーカーの協力が必要 ②利用先が少ない ③汚泥の混入率が少ないので大量処分できない ④下水道のPRに有効
汚泥レンガ	焼却灰	100%	10 t/日 $t=6\text{ cm}$ 75 m <sup>2</sup>	実用プラント多数稼働	東京都	①利用先の確保 ②製品の均一性の確保 ③下水道のPRに有効
汚泥タイル	焼却灰	5%	104 t/日	実用段階	札幌市 京都市	①製造メーカーの協力が必要 ②汚泥の混入率が少ないので大量処分できない ③下水道のPRに有効
路盤材・路床材 (地盤改良)	熔融スラグ	100%	10 t/日	実用段階	東京都 川崎市 大阪市	①品質管理（粒度調整、スクリーニング）

### 6.6.2 下水汚泥焼却灰の性質

表—6.10に処理方式別の焼却灰の性状を示す<sup>2)</sup>。石灰系焼却灰は、CaOを質量比で20~50%程度含んでいるのに対し、高分子系焼却灰はSiO<sub>2</sub>およびAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を60~70%含み、CaOは数%程度である。また、工場排水が流入する処理場ではクロムやシアンなどの有害物質が多くなる。

### 6.6.3 下水汚泥焼却灰の利用

表—6.11は、岐阜県が(株)下水道新技術推進機構と共同で、脱水汚泥、焼却灰および熔融スラグの有効利用方式について、現在実施されている方式ならびに実験・試作段階の方式を調査した結果である<sup>3)</sup>。これにより、方法の選定にあたっては、汚泥中の有害物質の挙動に注意し、消費の可能性の高い商品を製造し、流通経路や利用先を確立する必要があることがわかる。

#### (1) 石灰系焼却灰の有効利用

石灰系焼却灰は、CaOを質量比で20~50%程度含んでいるため、吸水発熱反応やポゾラン反応などにより土

質改良効果を発揮する。

名古屋市は、建設省土木研究所と共同で、石灰系焼却灰の土質改良材としての利用方法を調査し、マニュアル(案)をまとめ<sup>4)</sup>、埋戻し材として施工試験を行い、石灰系焼却灰が埋戻し材として十分利用できることを示した<sup>5)</sup>。さらに、図—6.15の定置式の改良土製造プラントより製造した焼却灰改良土と生石灰改良土と山砂の3種を埋戻し材として一般生活道路において実証試験施工を行い、以下のことを明らかにした<sup>6)</sup>。

- ① 焼却灰改良土は、山砂より締固めやすい。
- ② 焼却灰改良土は、初期強度が山砂および生石灰改良土と同等である。
- ③ 山砂は、圧縮沈下が長時間（6か月以上）継続し発生量が大きいものに対して、焼却灰改良土は1~2か月までに支持力が増し安定化して、沈下の発生を抑制する。
- ④ 焼却灰改良土は、生石灰ほど結合力が鋭敏でないため強度が過大にならず、再掘削性、再利用性の面

でも実用的な材料である。

名古屋市は、これらの結果に基づき、平成8年度より改良土の製造プラントに実機を建設し、焼却灰の利用を図ることを計画している。

(2) 高分子焼却灰の有効利用

高分子焼却灰は、 $SiO_2$  および  $Al_2O_3$  を60~70%含み、 $CaO$  は数%程度であることから、粘土に近い組成となり自硬性がほとんどない。このため、土壌改良材の助剤としての検討、園芸用培土としての利用、窯業原料の一部としての利用が進められてきた。さらに、熔融して路盤材・路床材およびコンクリート骨材に利用することが検討されている<sup>7)</sup>。

i) 土壌改良材の添加剤としての検討：高分子系焼却灰は、自硬性がほとんどないことから、生石灰もしくは石灰系焼却灰の添加剤として利用が検討されている<sup>8),9)</sup>。また、固化材スラリーに添加することで、流動化処理土にして地盤間隙部への充填材としての利用<sup>10)</sup>やシールド用中込め材としての利用<sup>11)</sup>が検討されている。

ii) 園芸用培土としての利用<sup>12)</sup>：横浜市では、高分子系焼却灰と汚泥を混練造粒後、焼成することにより、多孔質で保水性のある園芸用培土を製造する技術の実用化研究を、(財)下水道新技術推進機構と共同で行っている。図—6.16は、この製造プロセスのフローである。

iii) 窯業用原料としての利用：高分子系焼却灰は、粘土に近い組成であることから、粘土代替材料として窯業製品が製造されている。なかでも、焼却灰を加圧成型しさらに焼成したインターロッキングブロックや、混練焼成したれんが、あるいは造粒焼成した軽量骨材が各自治体によって製造されるようになっている。

iv) セメント原料としての利用：セメント工場が近隣にある処理場では、セメントの原料の代替として用いられている例も少なくない。さらに、焼却炉が建設できない立地条件の処理場の脱水汚泥をセメントの原料とする技術も開発された<sup>13)</sup>。この技術により生成される粉末は、一般焼却灰とともにエコセメントの原料となる。

6.7 廃タイヤの有効利用

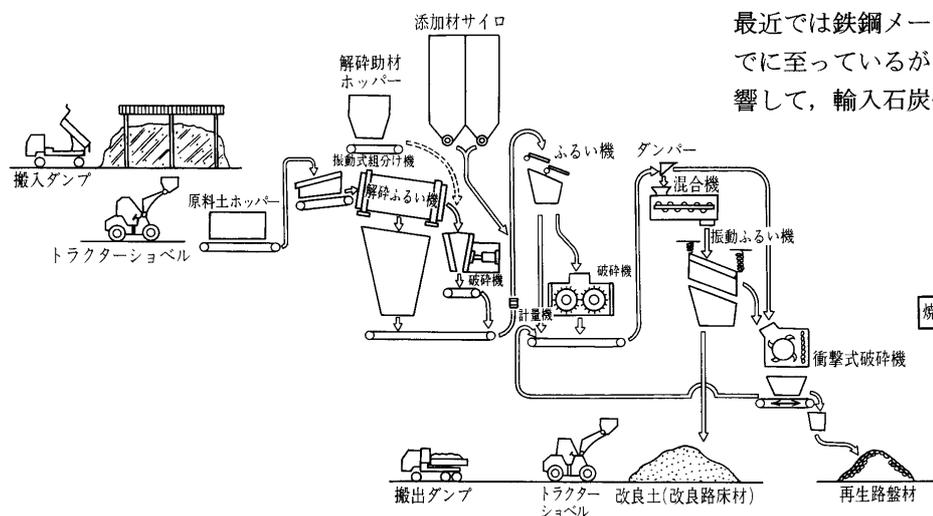
6.7.1 廃タイヤの現状

我が国における自動車の廃タイヤ発生量は、年間約1億本にも及んでおり、今後増加傾向にある。また、1991年3月に廃棄物処理法が改正されて粗大ごみである自動車用廃タイヤはタイヤメーカーが適正に処理しなければならなくなった。現在の廃タイヤの主な回収ルートは、その大部分がタイヤ専門店やその他のサブディーラー等において新品の販売時にユーザーからの依頼により引き取られ、許可を持った専門の回収業者によって集められる。こうして回収業者のもとに収集された廃タイヤは、再生ゴムメーカー向けのものは中間加工され、輸出用および再生タイヤとして利用できるものは、原形のままいずれもそれぞれの専門業者へ売渡される。このように再利用されるものを取り除いた残りは、熱利用先(セメント工場ほか)などで利用される。

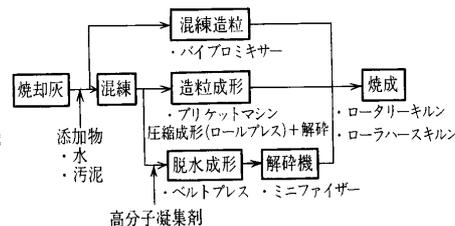
このようなルートで回収された廃タイヤが有効利用される方法は、大きく三つに分けられる。現在までに実用化されている利用方法は、次のとおりである。

- ① 原形利用 (原形またはそれに近い状態)
  - ◎更正タイヤ, ◎輸出用タイヤ, ○タイヤ魚礁,
  - 護岸用タイヤマット
- ② 加工利用 (物理的加工または化学的処理)
  - ◎再生ゴム, ○粉末ゴム, ○軌道緩衝材
- ③ 熱利用
  - ◎乾留用 (油, ガス, 炭化物)
  - ◎直燃用 (原形またはチップ)

ただし○印は◎印に比べて量的には少ない。①, ②のリサイクルシステムは、当初大きな期待を持って迎えられたが、経済的情勢の変化と共に、バージン製品に比べコスト面および品質面で競争力が低下してきており、新たな用途開発と生産効率の飛躍的な向上によるコストダウンがない限り、先行き、リサイクル品の需要拡大は望めないと考えられる。③の熱利用については、タイヤの持つ石炭を上回る高カロリー (31 MJ/kg) に着目し、熱量多消費型のセメント、製紙、非鉄金属精錬のほか、最近では鉄鋼メーカーがコークス炉での利用を始めるまでに至っているが、世界的な石油の供給過剰、円高が影響して、輸入石炭価格の低落、スチールコード化の進展



図—6.15 改良土製造プラント (名古屋市の例)



図—6.16 焼成園芸用培土の製造プロセスのフロー<sup>12)</sup>

## 講座

による廃タイヤの処理コストが増加するなど、廃タイヤの代替燃料としての競争力が低下し、需給のバランスが大きく崩れつつあるのが現状である。なお、廃タイヤの再利用状況は、多少古いが昭和62年に行われた調査によると、図-6.17のとおりである。

## 6.7.2 新用途開発の必要性

廃タイヤの発生量の見通しは、今後自動車保有台数が年率5%の増加で今世紀中にも7000万台に達することから、これにリンクして廃タイヤの発生量も年間100万tに達するものと考えられているが、既存の有効利用方法の範囲内では、このように増大していく発生量を吸収するに足りる利用量の拡大を図るのは極めて困難である。もし、利用量の規模が現状のまま推移したとき、巷に廃タイヤが散乱するという環境問題が近い将来再び表面化する恐れがある。

## (1) 熱利用の限界

熱利用分野では、排ガス総量規制が強化されていくなかで、小型ボイラーを含め公害防除施設の完備が要求されるなど設備投資面の制約が大きいため、熱を必要とする事業にあっても石油を熱源とする場合に比較して、廃タイヤはコスト面で必ずしも有利性を発揮できないであろう。廃タイヤのもつ熱量だけに着目して、廃タイヤの代替燃料としての使用規模の拡大に期待をかけるのは誤りであろう。

## (2) ゴムの用途拡大の可能性

以上のように考えると今後ますます増大していく廃タイヤの発生量を吸収していくには、熱利用以外の分野での「再利用分野」を改めて重視し、この分野をさらに開拓し、掘り下げていくことが必要となる。

新しい再利用では、原形利用の例として廃タイヤを道路の法枠工資材として、建設省宮崎工事事務所の協力で製品化している。これは、図-6.18に示すように、廃タイヤの空気部分にコンクリートを充填、従来のコンクリートブロックの代替資材として使用するものである。フランスでは1987年に、写真-6.1に示すように廃タイヤを結び付け、高さ2~7m、長さ600mのPneusol（プノソル）の壁が構築され、適用性が検討された。その後、500件にのぼる構築物への適応例より、本材料は、耐震動性、耐沈下性、防凍性に優れることから、不安定な法面への盛土としても有効であることが報告されている<sup>14)</sup>。

また、新しい再利用例として、「粉末ゴム」一特に乗用車の廃タイヤを原料とするもの一が利用分野のうちで最も将来性に富むものとして注目してよいと思われる。

廃タイヤを原料とする粉末ゴムの利用の歴史は比較的浅く、その生産量は年間27千t程度の小規模と推計されるが、新幹線軌道敷きバラストマットに加工され大量に使用された実績があり、全天候型テニスコートやゴルフ場歩経路向けでは、まだまだ潜在的需要があると見込まれる。また、今後の開発を期待される用途として、アスファルト合材と混合した道路舗装材、運動場土壌改良材、競馬場ダートコース路盤材、防振用建築材料等粉末ゴム固有の特徴を生かした利用方法が考えられる。

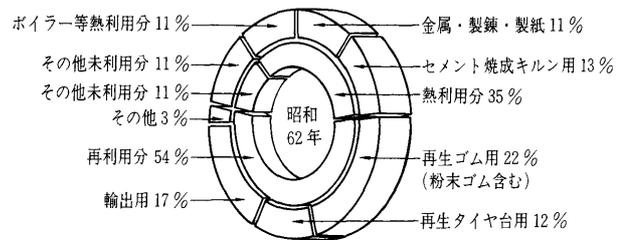


図-6.17 廃タイヤの再生利用状況 (昭和62年)

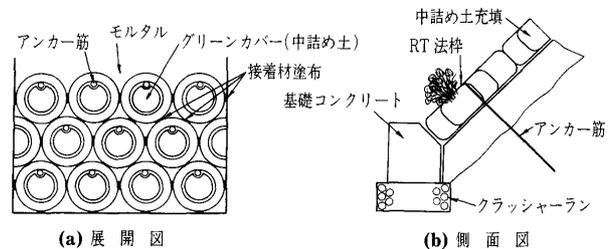


図-6.18 廃タイヤの法枠施工例

また、北海道などの寒冷地では、道路舗装の下層路盤や水路の裏込め材に、40mm程度の廃タイヤチップを試験的に利用している例が報告されている<sup>15)</sup>。これは、ゴムの性質の一つでもある熱伝導率が、砂利や土に比べて1/15~1/20程度と小さいという性質に注目し、凍上対策としての利用を目指したものである。廃タイヤチップの用排水路の裏込め材としての適用性を検討するために、基礎的性質に関する室内試験を行った結果、透水係数は約 $10^{-3}$  m/sとなり、その圧縮特性は、130 kN/m<sup>2</sup>までの繰返し応力ではほぼ一定のひずみ率(20%)となった。また、この材料は長期間の有害物質の溶出もなく、断熱性も高いので、用排水路の裏込め材として十分活用できるとしている<sup>16)</sup>。

道路舗装材への粉末ゴム利用としては、1970年以來スウェーデンやアメリカで粉末ゴム入りアスファルト舗装が施工され、自動車の制動停止距離が25%ほど短縮されるなど凍結する条件下でのすべり抵抗の改善やタイヤ騒音の低下等の効果が出されたとの報告があり、我が国においても北海道で舗装用アスファルト混合物に混入することで寒冷地において種々の優れた特性を有することが報告されている<sup>17)</sup>。例えば、アスファルト混合物に対して3%のゴムチップを添加することにより、すりへり量が $1.120 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup> から $1.021 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup> に、すべり抵抗は71から81にそれぞれ改善されている<sup>18)</sup>。また、積雪寒冷地でのアスファルト舗装の氷結剝離性が期待できる<sup>19)</sup>。



写真-6.1 構築中のPneusol（プノソル）の壁

## (3) 再利用の今後の問題点

粉末ゴムの再利用用途は、今後増えていく傾向にあると考えられるが、次のような問題点も含んでいるため今後検討していく必要がある。

- ① 粉末ゴムを道路舗装材、土壌改良材等に利用した場合、経年劣化とともに粉末ゴムの飛散、降雨などによる流出等の2次公害の問題。
- ② 廃タイヤの種類によっては、ゴムから溶脱する化学物質がある可能性もあり、これらによる環境汚染の問題。

## 6.8 廃プラスチックの有効利用

## 6.8.1 廃プラスチックの現状

廃プラスチックは、安定性の高い材質とされ、生のままでの安定型処分が可とされている。一方、焼却処理に際しては、高カロリー・高温燃焼となるものが多いため炉の損傷を招くこともあり、分別されることが多い。図-6.19に、古い調査資料ではあるが生産量、廃棄量のマテリアルフローを示す。現状でも大きな変化は起こっていないが、種類、物性が多岐にわたること、再資源化コストがバージン製品コストに比べ相対的に高いことなどから、再利用率は60万t(10%強)と低い。一方、廃棄埋立処分は、安定型の埋立とされるが、①そのまま埋立、②熔融・減容化埋立、③高圧プレスによる減容化・梱包埋立、などが行われており、処理量は450万tとほとんどがこの処分方法である。

## 6.8.2 再資源化への検討

現状での再資源化は、分類後の再生利用が主体である。そのほか、分解による化学原料化、専用炉による燃焼・熱利用、ガス化または油化による燃料化などでエネルギー回収を図ることが推進されており、今後これが主流となるものと思われる。建設土木資材としての再生(加工)利用としては、多種にわたるが多くのものは再生加工費がかさみ、商品価値が高いとは言い難い。その中で、最近になって実用化された新しい利用に土と発泡廃プラスチック材とを混合した軽量混合地盤材料工法がある。以下では、この工法および圧縮固化による有効利用について

を説明する。

## (1) 地盤材料としての有効利用(軽量混合地盤材料工法)

廃プラスチックのうち、クッション材、保冷容器等に多用される各種発泡材料は、質量に比して容積が大きく、一般に寿命も短いため大量に廃棄される。発泡スチロール(EPS)の廃棄量は、年間数百万 $m^3$ にも達するのではないかとされている。これを土木材料として高度利用することを目的とした、発泡材料混合軽量土と発泡材料混合処理土がある。いずれも発泡材料からなる粒子(径10mm程度以下)を発生(残)土等に混合して軽量化を図り、所要の安定な強度を得るために数~20%程度以下の固化材料を添加した土質材料である。

発泡材料混合軽量土は、普通土型の混合土であり、重機によるまき出し・転圧施工が可能な材料である。一般に固化材添加量は数%以下、一軸圧縮強さ $q_u$ で100 $kN/m^2$ 程度で用いられる<sup>20),21)</sup>。

発泡材料混合処理土は、スラリー状の高含水泥土(浚渫泥土など)またはスラリー化した粘性土に発泡材料粒子を混合し、さらに10~20%の固化材料を添加した混合処理土である。ポンプ圧送により水中にも打設が可能で、流動性のある、締固めを必要としない混合土である。

いずれも発泡材料と固化材の混合量を調節することによって密度と強度を自由に選択設定でき、従来の土とほぼ同様の試験方法によって品質を把握できる材料であることに特徴がある。

これらの改良土を、その軽量性を生かし、軟弱地盤上の盛土、埋戻し、護岸、橋梁アバット背後の盛土等に用いることにより、圧密沈下の低減、すべり破壊安全率の向上、土圧力の低減による構造軽減、地盤変位の防止等の効果が期待される<sup>22),23)</sup>。廃棄物発泡材料のこれら工法への効果的活用を図るには、収集および保管までを生産側・消費側の責任で、破砕および混合を利用側(建設会社等)の責任で行うなどの、責任分担と費用分担ならびに混合土の利用促進が図られなければならない。そのためには、好ましい社会経済システムの構築が望まれる<sup>24)</sup>。

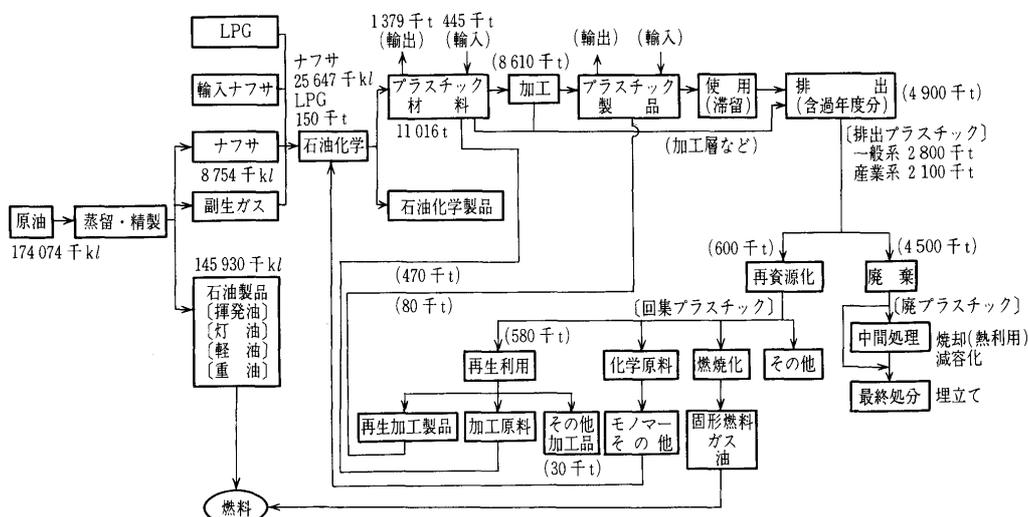


図-6.19 廃プラスチック資源化のマテリアルフロー(昭和63年)

## 講座

## (2) 圧縮固化による有効利用

廃プラスチックに限らないが、廃棄物を高圧プレス(15~20 MN/m<sup>2</sup>)後、梱包、さらにはアスファルトまたはコンクリートによってコーティング・シールされたブロック(1.0~3.0 m<sup>3</sup>/個)として有効利用することが行われている。粗大ごみ、廃プラスチックでは、特に減容率が高く(1/8~1/20)、効果的である。固化ブロック内容物は、コンクリートによるコーティング・シールとすれば有害物でも溶脱することなく、遮断型処理・処分とすることも可能であるが、ブロック体の土木材料等への有効利用には十分な注意が必要である。ブロック単位重量は約12~14 kN/m<sup>3</sup>である。図-6.20に、廃棄物の圧縮固化のフローチャートを示す。ブロックの用途は、積上げによる法面の保護被覆材、小規模擁壁等であり、人工漁礁ブロックとしての利用実験例もある。ブロック製造時に用途に合致した被覆コンクリートの配筋等による補強を行うことが必要な場合もある。また、これらを利用する場合、利用場所と量については明確にしておき、所在管理が必要である。

## 6.8.3 廃プラスチック利用の問題点

プラスチックには、多様な着色顔料が含まれたり、メッキが行われている場合がある。難燃剤の添加もある。また、廃プラスチックには各種の随伴物があるのが普通である。これらの中には、有害物質が含まれることもあり、状態によっては環境に拡散することが考えられる。とりわけ、着色顔料は数%に及ぶものもある。最近は少なくなっているが、難燃剤としてアンチモンを含む化合物が使われている場合、その有害性が指摘されている。土との混合あるいはコンクリート・コーティングによる有効利用では、安定な形状を保つ限りにおいて安全な処理と考えられるが、この場合でも「所在の明示」が万一の場合を考えると重要である。

## 参考文献

- 1) 日本下水道協会：平成4年度版 下水道統計要覧，p. 64, 1994.
- 2) 平岡正勝・福井経一・木村淳弘・清水 治：下水溶融スラグの建設資材への適用(1)，環境技術，Vol. 23, No. 9, p. 25, 1994.
- 3) ㈲下水道新技術推進機構：1993年度下水道新技術研究年報，3/4巻，p. 61, 1994.
- 4) 建設省土木研究所：下水汚泥焼却灰の土質改良材としての利用マニュアル(案)，土木研究所資料，第2908号，1990.
- 5) 松川匡利・鎌田 修：石灰系焼却灰の土質改良効果及び実用化に関する研究，下水道協会論文集，Vol. 30, No. 357, p. 74, 1993.
- 6) 松川匡利・鎌田 修・長野健示：石灰系焼却灰改良土の埋戻し実証工事における力学的特性に関する研究，下水道協会論文集，Vol. 30, No. 357, p. 85, 1993.
- 7) 平岡正勝・福井経一・木村淳弘・清水 治：下水溶融スラグの建設資材への適用(2)，環境技術，Vol. 23, No. 10, p. 44, 1994.
- 8) 友実武則・奥山一典・藤原身江子：高分子系汚泥焼却灰を用いた土質改良材について，第31回下水道研究発表会講演集，pp. 888~890, 1994.

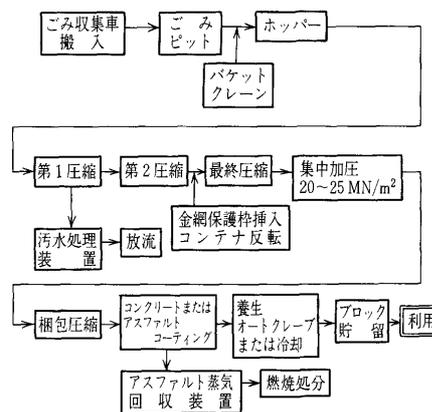


図-6.20 圧縮固化による有効利用 (処理能力150~450 t/24時間)

- 9) 長野健示・三羽宏明・佐野勝実：高分子系焼却灰を用いた土質改良用添加剤としての利用について(その2)，第31回下水道研究発表会講演集，pp. 885~887, 1994.
- 10) 高橋直樹・今泉繁良・横山幸満・柴田靖平：下水汚泥焼却灰流動化処理土の特性，第1回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp. 201~202, 1994.
- 11) 中村 誠・清水 潔：下水道汚泥焼却灰のシールド二次覆工用中込材への利用について，第31回下水道研究発表会講演集，pp. 891~893, 1994.
- 12) ㈲下水道新技術推進機構：1993年度下水道新技術研究年報，3/4巻，p. 35, 1994.
- 13) ㈲下水道新技術推進機構：1993年度下水道新技術研究年報，1/4巻，p. 21, 1994.
- 14) J. P. Gourc, Y. Matichard: Two decades of geosynthetic-reinforced retaining structures in France, Recent Case Histories of Permanent Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, pp. 96~98, 1994.
- 15) 久保 宏：古タイヤの凍上対策裏込め材への適用に関する研究，第30回土質工学研究発表会，pp. 1133~1134, 1995.
- 16) 久保 宏：農業土木学会誌，第63巻，第5号，pp. 467~470, 1995.
- 17) 佐野正典・玉井元治・山下邦都樹：粉体廃棄タイヤのアスファルト混合物への有効利用，公害と対策，Vol. 20, p. 7, 1984.
- 18) 中岡 勇・福島浩一・川村 修・矢野俊男：廃タイヤゴムの造粒によるアスファルトの改良について，第50回土木学会年次学術講演会，第5部，pp. 600~601, 1995.
- 19) 谷口豊明・稲葉行則：粒状ゴム混入アスファルト舗装の水結剝離性に関する室内実験，第50回土木学会年次学術講演会，第5部，pp. 602~603, 1995.
- 20) 西田 登・長坂勇二・山田純男：発泡スチロール片混合軽量盛土(埋戻し)材の材料特性，第23回土質工学研究発表会講演集，pp. 2345~2346, 1988.
- 21) 加藤俊昭・大野陸男・長坂勇二：廃棄発泡スチロール破片を用いた軽量盛土の施工，第26回土質工学研究発表会講演集，pp. 49~50, 1991.
- 22) 香川明人・梶谷 衛・長坂勇二・永妻真治：軽量安定処理土を用いた盛土工事における原位試験例，土木学会第47回年次学術講演会概要集，pp. 994~995, 1992.
- 23) 永妻真治・西田 登・長坂勇二：発泡スチロール片を混合した軽量安定処理土の特性と施工例，「地盤災害防止における新材料・新工法の適用」に関するシンポジウム発表論文集，pp. 157~158, 西日本工業大学地盤工学研究所，1990.
- 24) 長坂勇二：建設残土と廃棄発泡スチロールの有効利用，第7回環境工学連合講演会講演論文集，pp. 101~107, 日本学術会議環境工学研究連絡委員会，1992.