

# 土 木 研 究 所 資 料

## 地盤・盛土への廃棄物利用技術の開発

昭和62年 5 月

建設省土木研究所  
機械施工部土質研究室  
機械研究室  
施工研究室

Copyright © (1987) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 土木研究所資料

## 地盤・盛土への廃棄物利用技術の開発

機械施工部 土質研究室 室 長 久楽 勝行  
主任研究員 三木 博史  
工藤浩一郎  
機械研究室 室 長 長 健次  
研究員 多田 和弘  
豊田 実  
施工研究室 室 長 嶋津 晃臣  
主任研究員 見波 潔  
研究員 塚田 幸広  
岩瀬 真二  
下坪 賢一

**要 旨** 本報告は、総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発」で得られた成果のうち、廃棄物の地盤・盛土への利用に関する部分をまとめたものであり、「残土処理システムの開発」、「改良土を用いた埋戻し技術」、「高含水比粘性土の土質改良用混合装置」、「石炭灰・下水汚泥焼却灰の深層混合処理への利用技術」、「高有機質土の適正処理技術」、「下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性」の研究成果が収録されている。

**キーワード：**地盤，盛土，廃棄物，残土，石炭灰，下水汚泥焼却灰，埋戻し，土質改良，有機質土，混合装置，深層混合処理，

## ま え が き

近年、廃棄物の発生量は増大化の傾向にあり、その種類も多岐にわたっている。従来、これらは臨海部の埋立て地等に処分されてきたが、最近では埋立て地も少なくなる傾向にあり、さらには環境汚染の防止等の理由から大都市周辺部においては廃棄物の処分地を確保することが困難になってきている。このような状況の下で、廃棄物を適切に処理して建設事業に有効に利用することができれば、処分地確保の問題に寄与できるほか、省資源の観点からも有意義と考えられる。

現在、我が国では多種多様の廃棄物が発生しているが、本報告書では、量的に多く、しかも有効利用が将来的に強く望まれている廃棄物として次のものを研究対象に取り上げている。

- 建設工事から排出される残土（高含水比粘性土、高有機質土を含む）
- 下水処理場から排出される下水汚泥焼却灰
- 石炭火力発電所から排出される石炭灰

本研究は、建設事業の中でも特に大量の材料を扱う「地盤・盛土」に対して、これらの廃棄物を有効に利用するための技術開発を行ったものである。残土については、総合的かつ合理的な再利用を行うためのシステム開発を行うとともに、改良土を用いた埋戻し技術の開発、高含水比粘性土の土質改良用混合装置の開発、高有機質土の適正処理技術の開発を行った。また、石炭灰・下水汚泥焼却灰については、地盤の深層混合処理への利用技術を開発した。さらに、下水汚泥焼却灰については盛土材、埋戻し材、土質改良用添加材への利用について検討した。本報告書は、これらの研究成果をとりまとめたものである。

なお、本報告書は昭和56年度から昭和60年度にかけて実施した建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発」の研究成果のうち、「地盤・盛土への利用技術」についてまとめたものである。本研究を遂行するにあたっては、（財）国土開発技術研究センターに設置された「建設事業への廃棄物利用技術の開発委員会」（委員長：福岡正巳東京理科大学教授）、およびその下部組織として設置された「地盤・盛土分科会」（分科会長：久野悟郎中央大学教授）の御指導と御協力を得た。ここに記して関係各位に深く感謝する次第である。

# 目 次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1. 建設事業への廃棄物利用技術の開発について .....   | 1  |
| 1.1 研究開発の目的 .....               | 1  |
| 1.2 研究課題体系と内容 .....             | 1  |
| 1.3 廃棄物の種類と処分の現状 .....          | 3  |
| 2. 残土処理システムの開発 .....            | 13 |
| 2.1 はじめに .....                  | 13 |
| 2.1.1 研究の背景と目的 .....            | 13 |
| 2.1.2 研究内容 .....                | 13 |
| 2.2 残土処理の現状と問題点 .....           | 14 |
| 2.2.1 残土発生の現状 .....             | 14 |
| 2.2.2 残土処分の現状 .....             | 16 |
| 2.2.3 残土処理をとりまく問題点 .....        | 19 |
| 2.3 残土処理システムの概念 .....           | 23 |
| 2.3.1 残土処理、土砂調達の特徴 .....        | 23 |
| 2.3.2 残土処理方策と残土処理システム .....     | 23 |
| 2.3.3 残土処理体系 .....              | 25 |
| 2.3.4 残土処理システムの全体像 .....        | 25 |
| 2.4 残土処理計画の立案手法 .....           | 28 |
| 2.4.1 残土処理計画モデル .....           | 28 |
| 2.4.2 道路占用工事における残土処理計画 .....    | 31 |
| 2.4.3 一般工事における残土処理計画 .....      | 42 |
| 2.5 情報処理システムの構想 .....           | 47 |
| 2.5.1 残土情報データベースシステム .....      | 47 |
| 2.5.2 処分地情報システム .....           | 47 |
| 2.5.3 運搬管理システム .....            | 48 |
| 2.6 まとめと今後の課題 .....             | 49 |
| 3. 改良土を用いた埋戻し技術の開発 .....        | 50 |
| 3.1 研究目的 .....                  | 50 |
| 3.2 研究内容 .....                  | 50 |
| 3.3 研究成果 .....                  | 50 |
| 3.3.1 改良土の繰返し載荷試験結果 .....       | 50 |
| 3.3.2 改良土を埋戻しに用いた現場試験施工結果 ..... | 55 |
| 3.3.3 改良土を用いた埋戻しの手引き .....      | 61 |

|       |                                  |     |
|-------|----------------------------------|-----|
| 3.4   | まとめ                              | 85  |
| 4.    | 高含水比粘性土の土質改良用混合装置の開発             | 86  |
| 4.1   | 研究目的                             | 86  |
| 4.2   | 研究内容                             | 86  |
| 4.3   | ラインミキサ模型第1号機に関する試験検討             | 87  |
| 4.4   | ラインミキサ模型第2号機に関する試験検討             | 95  |
| 4.5   | 研究結果                             | 103 |
| 4.5.1 | ラインミキサ方式による土質改良用混合装置             | 103 |
| 4.5.2 | 適用条件                             | 103 |
| 4.5.3 | 本技術の特長と土質改良効果                    | 105 |
| 4.5.4 | 実用化への構想                          | 106 |
| 4.6   | まとめ                              | 107 |
| 5.    | 石炭灰・下水汚泥焼却灰等の深層混合処理への利用技術の開発     | 108 |
| 5.1   | 研究目的                             | 108 |
| 5.2   | 研究内容                             | 108 |
| 5.3   | 研究成果                             | 108 |
| 5.3.1 | 石炭灰, 下水汚泥焼却灰等の物性および力学的特性         | 108 |
| 5.3.2 | 「締固めを伴わない改良土」の力学的特性              | 111 |
| 5.3.3 | 「締固めを伴う改良土」の力学的特性                | 114 |
| 5.3.4 | 石炭灰, 下水汚泥焼却灰を用いた現地試験施工           | 117 |
| 5.4   | まとめ                              | 127 |
| 6.    | 高有機質土の適正処理技術の開発                  | 129 |
| 6.1   | 研究目的                             | 129 |
| 6.2   | 研究内容                             | 129 |
| 6.3   | 研究成果                             | 130 |
| 6.3.1 | 土中の有機物が土質改良効果に及ぼす影響              | 130 |
| 6.3.2 | フォール・コーン試験を用いた土質改良効果の簡易判定法       | 130 |
| 6.3.3 | 土の含水比とフミン酸含有量に着目した簡易土質判別分類手法     | 133 |
| 6.3.4 | 吸光光度法を用いたフミン酸含有量の簡易判定法           | 135 |
| 6.3.5 | 土質改良添加材の効果判定のための標準試験法            | 135 |
| 6.3.6 | 下水汚泥焼却灰, 石炭灰, 排脱石膏等を利用した土質改良用添加材 | 143 |
| 6.4   | まとめ                              | 143 |
| 7.    | 下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性               | 146 |
| 7.1   | 研究目的                             | 146 |

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 7.2   | 研究内容                   | 146 |
| 7.3   | 研究成果                   | 148 |
| 7.3.1 | 下水汚泥焼却灰の基本的性質          | 148 |
| 7.3.2 | 試験施工                   | 150 |
| 7.4   | まとめ                    | 160 |
| 8.    | まとめと今後の課題　－　再生材ごとの利用法－ | 166 |
| 8.1   | 残　土                    | 166 |
| 8.2   | 石炭灰                    | 171 |
| 8.3   | 下水汚泥再生材                | 175 |

## 1. 建設事業への廃棄物利用技術の開発について

### 1.1 研究開発の目的

近年、経済の成長に伴い、廃棄物の発生は量的に増大すると共に、質的にも複雑化してきている。建設事業においても同様であり、建設事業に伴う土砂、コンクリート廃材、アスファルトコンクリート廃材や、下水処理場からの汚泥等、毎年大量の廃棄物が発生している。これらは従来、主として海面埋立、又は宅地造成等に処分されてきたが、最近では、埋立計画の減少や、環境汚染の防止等から、とくに大都市周辺においては適当な地域に処分地を得ることが年々困難となってきた。またエネルギー転換に伴い、昭和70年代以降において大量に発生することが予想される石炭灰の処理等も今後の大きな課題となることが考えられる。このような状況を考慮すると、土砂および建設廃材、下水汚泥、石炭灰等の廃棄物を適当に処理することにより、建設事業に有効に利用することができれば処分地の確保の問題と合わせ、省資源の観点からも大変有意義なことであると考えられる。

本研究では、上記のような事情をふまえ、資材を大量に使う建設事業において、廃棄物の有効利用をはかるための処理・加工技術の開発と、それによって生産される再生材の利用技術の開発ならびに使用基準に関する研究を実施した。

### 1.2 研究課題体系と内容

廃棄物利用技術の開発に関するプロジェクトの研究計画全体の流れ図を示すと、図-1.1のとおりである。基本的には図-1.1に示したように廃棄物の利用可能性に関する研究、廃棄物の再利用技術の開発、再生材などの使用基準に関する研究の3段階に分けて、研究開発を行った。

#### (1) 廃棄物の建設事業への利用可能性に関する研究

この研究は、56年度と57年度の2カ年にわたって実施したものである。建設工事に伴って発生する残土、泥土、舗装廃材、コンクリート廃材、建築廃材、下水汚泥、石炭灰などの各種の廃棄物について、その性状や発生量などを把握するための実態調査を行うとともに、それぞれの廃棄物について工学的特性に関する諸試験を行い、再利用に当たっての問題点の把握と利用技術の可能性について検討した。

#### (2) 廃棄物の再利用技術の開発

利用可能性の高い廃棄物について、その処理方法および加工技術を検討するとともに、再生材の利用技術について検討を加えた。この研究は58年度と59年度の2カ年にわたって実施した。

地盤・盛土への再利用技術の開発では、残土処理システム、改良土を用いた埋戻し技術、高含水比粘性土を改良するための土質改良用混合装置、石炭灰・下水汚泥焼却灰等の深層混合処理への利用技術、高有機質土の適正処理技術の開発、および下水汚泥焼却灰の地盤、盛土への適用性に関する研究を実施した。

路盤・舗装への再利用技術の開発では、下水汚泥焼却灰や石炭灰の舗装への利用技術の開発、下水汚泥熔融スラグの歩道ブロック等への利用技術の開発、路上再生路盤工法への適用性などに関する研究を行った。

土木構造物への再利用技術の開発では、再生骨材および汚泥スラグ骨材を用いたコンクリートの利用技術の開発、ならびに石炭灰を用いたコンクリートの適用性に関する研究を実施した。

建築物への再利用技術においては、解体古材の再生木材や木質系ボード用原料としての利用技術、移動式チップ製造装置、建築物からの再生骨材を用いたコンクリートの利用技術、石炭灰のコンクリート用材料としての利用技術、ニッケルスラグの細骨材としての利用技術などに関する研究開発を行った。

### (3) 再生材等の使用基準に関する研究

上記の(1)、(2)での検討の成果を踏まえて、最終年度の60年度に、各種廃棄物の再生材の主なものについて、品質判定手法、設計・施工法に関するマニュアルや使用基準等を作成して実用化をはかった。あわせて、廃棄物ごとに利用法を整理して各種利用法の優劣を比較検討するとともに、利用上の留意点を取りまとめた。

上記の調査・研究を実施するに当たって、対象となる廃棄物には各種のものがあつた、また使用目的も多岐にわたっていることから、それらを総合し調整しながら全体として有効で、かつ合理的な廃棄物の再利用計画をたてることが必要である。そこで、本プロジェクト全体会議（福岡正巳委員長）を組織して全体の調整をはかりながら、各廃棄物の再利用技術を取りまとめた。具体的な研究開発は、使用目的を重点にして4分科会を設置して実施した。すなわち、地盤・盛土分科会（久野悟郎分科会長）、路盤・舗装分科会（松野三朗分科会長）、土木構造物分科会（柳田 力分科会長）、建築物分科会（西忠雄分科会長）の4分科会で具体的な調査・研究を行い、全体会議にはかることにした。図-1.2は、これらの組織概要図を示したものである。

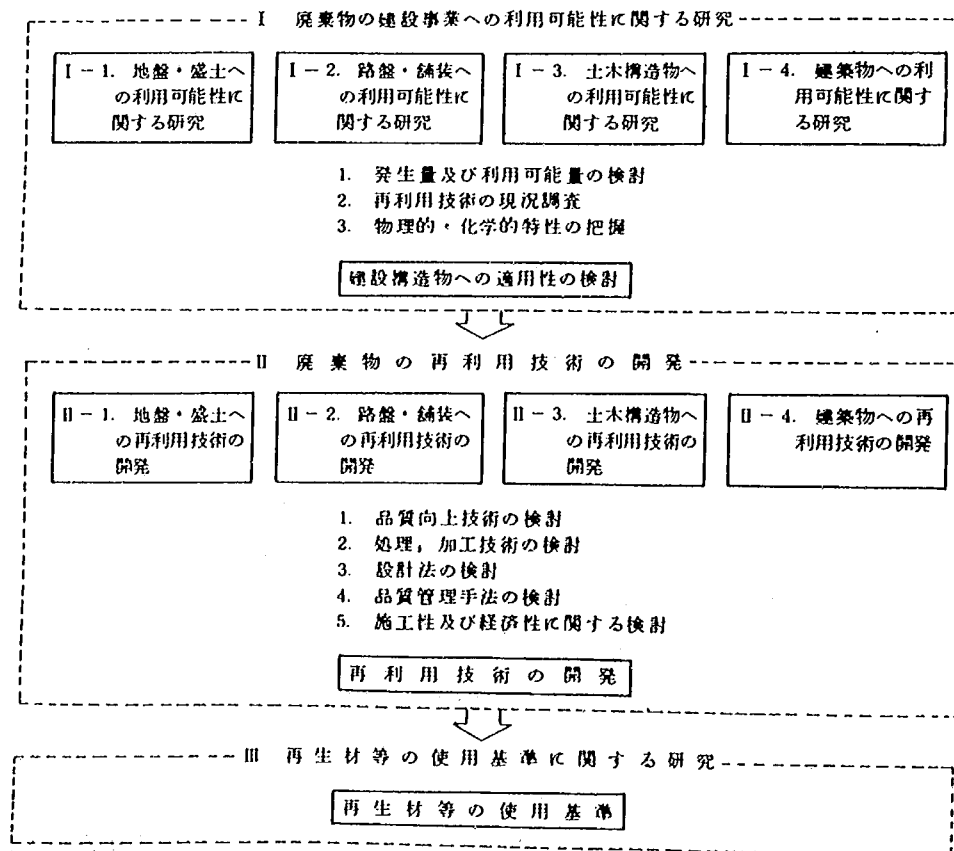
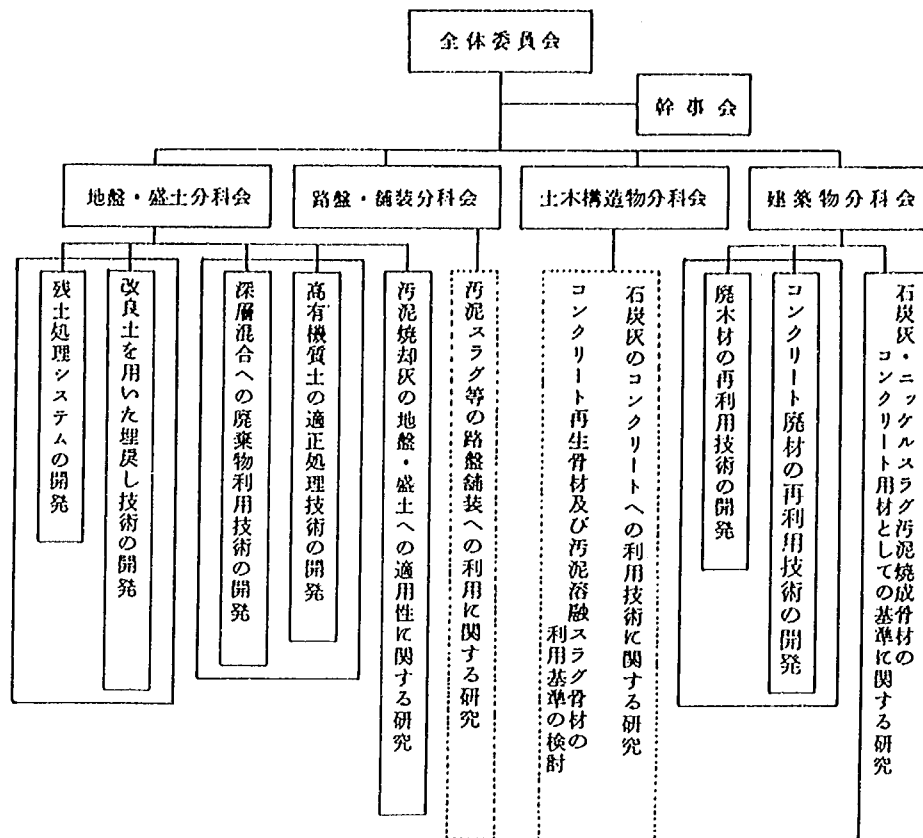


図-1.1 研究開発のフロー



図－1.2 組織概要図

### 1.3 廃棄物の種類と処分の現状

本研究では、残土および処分に困っている廃棄物の中から、建設事業への再利用がある程度可能と思われる以下の廃棄物を選定し、第一次調査として発生および処分の現状を概略調査した。

- |                  |              |
|------------------|--------------|
| (1) 残土           | (8) 鉍さい      |
| └─ 残土            | └─ 高炉スラグ     |
| └─ 浚渫汚泥          | └─ 転炉スラグ     |
|                  | └─ ニッケルスラグ   |
| (2) アスコン廃材       | (9) 赤 泥      |
| (3) コンクリート廃材     | (10) 石 膏     |
| (4) 建築廃棄物        | (11) 鋳物廃砂    |
| (5) 下水汚泥         | (12) 鉄 屑     |
| (6) 掘削泥土（ベントナイト） | (13) もみがら    |
| (7) 石炭灰          | (14) 廃プラスチック |

その結果を以下に示す。また、これらの結果を一覧表の形にとりまとめたものが表－1.21である。

#### (1) 残土

##### ① 残土

1都3県の残土発生量は、昭和50年で約4,200万 $\text{m}^3$ となっており（表－1.1），最近の動向を東京50km圏の主要公共工事で見たとのが表－1.2である。調査の対象及び最近の都心部での公共工事と建

築工事の状況を勘案すると、最近の1都3県の残土の発生量は、ほぼ昭和50年時点の水準であろうと思われる。

表－1.1 1都3県の残土発生量（昭和50年）

| (千 $\text{m}^3$ ) |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|
| 公共土木工事            | 民間土木工事 | 建築工事   | 合計     |
| 21,600            | 9,500  | 11,300 | 42,400 |

表－1.2 東京都50km圏主要公共工事残土発生量

| (千 $\text{m}^3$ ) |        |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| 56年度              | 57年度   | 58年度   | 59年度   | 60年度   |
| 15,600            | 18,000 | 14,300 | 15,100 | 12,700 |

残土処分を59年度の関東地域の主要公共工事に見たのが表－1.3である。流用処分が約17%となっており、内陸で処分されているのが38%となっている。

表－1.3 東京都50km圏主要公共工事の残土の処分地（59年度）

| (%)   |        |       |     |     |       |
|-------|--------|-------|-----|-----|-------|
| 海面埋立地 | 他の工事現場 | 内陸処分地 | その他 | 無解答 | 計     |
| 32.1  | 16.7   | 38.2  | 9.7 | 3.2 | 100.0 |

## ② 浚渫汚泥

浚渫汚泥は、表－1.4に示すように建設省の直轄及び補助の河川浄化事業から年間90万 $\text{m}^3$ ～100万 $\text{m}^3$ 発生しており、その他、海域浄化対策事業、港湾・海岸環境整備事業からも発生している。

表－1.4 直轄及び補助河川浄化事業の浚渫汚泥発生量

| (千 $\text{m}^3$ ) |          |
|-------------------|----------|
| 59年度              | 60年度(予定) |
| 918               | 969      |

処分は、河川からの浚渫汚泥は築堤や高水敷整備の盛土材や臨海埋立地に、また港湾や海域からのものは臨海埋立地に主として処分されているが、臨海埋立地の容量に限度があるため、捨場の確保が困難になりつつある。

## (2) アスコン廃材

アスコン廃材の発生源は主として道路の維持修繕工事、道路占用工事であり、アスファルト舗装廃材、路盤廃材を中心に表－1.5に示すように年間1,100万 $\text{m}^3$ 発生している。

表－1.5 アスコン廃材発生量（57年度）

| (千 $\text{m}^3$ ) |       |             |        |
|-------------------|-------|-------------|--------|
| アスファルト舗装廃材        | 路盤廃材  | コンクリート舗装廃材等 | 合計     |
| 4,070             | 6,270 | 870         | 11,220 |

処分については59年に日本道路協会より「舗装廃材再生利用技術指針(案)」が出され、大都市を中心に専用プラントで再生して利用する方法が進む一方、路上で既設舗装をそのまま再生する工法も進んでいる。しかし、再利用率は、まだ僅かであり、発生量の大部分は産業廃棄物として埋立処分されている。

表－1.6 再生材の所用実績(57年度)

| (千t)              |       |
|-------------------|-------|
| 再生加熱<br>アスファルト混合物 | 再生路盤材 |
| 540               | 380   |

表－1.7 路上再生工法施工面積

| (千㎡)     |       |          |       |
|----------|-------|----------|-------|
| 路上表層再生工法 |       | 路上再生路盤工法 |       |
| 57年度     | 58年度  | 57年度     | 58年度  |
| 651      | 1,891 | 2,023    | 2,291 |

### (3) コンクリート廃材

コンクリート廃材は50年度に1都3県で約280万㎡発生しているが、現在の発生量の詳細は定かではない。しかし、現在の生コンの生産量が年間1億㎡以上である点から考えると、将来は、発生量が増大するものと予測される。

処分については、中部地建の直轄事業からの発生量の70%が廃棄され、残りが再利用されているとの報告があり、他の地方でも傾向的には大差ないものと思われる。再利用の用途は路体盛土、護岸根固め等である。

### (4) 建築廃棄物

建築廃材は、コンクリートや木材、鉄筋、鉄骨等種類が多く、また、建築物の除去に伴って多量発生している。処分も廃棄物の種類によって異なり、鉄材等のように再利用のルートが確立しているも

表－1.8 下水汚泥の発生と処分

|              |             | (千㎡)  |      |      |      |       |
|--------------|-------------|-------|------|------|------|-------|
|              |             | 陸上埋立  | 海面埋立 | 有効利用 | 海洋還元 | 計     |
|              | 脱 水 ケ ー キ   | 952   | 714  | 278  | 8    | 1,952 |
| 55<br>年<br>度 | 焼 却 灰       | 103   | 100  | 29   | 1    | 233   |
|              | 乾 燥 汚 泥     | 7     | —    | 9    | —    | 16    |
|              | 消 化 濃 縮 汚 泥 | 2     | —    | 13   | 167  | 182   |
|              | 計           | 1,064 | 814  | 329  | 176  | 2,383 |
|              |             |       |      |      |      |       |
| 58<br>年<br>度 | 脱 水 ケ ー キ   | 1,241 | 127  | 246  | 44   | 1,658 |
|              | 焼 却 灰       | 229   | 75   | 30   | 0    | 334   |
|              | 乾 燥 汚 泥     | 10    | 0    | 30   | 0    | 40    |
|              | 消 化 濃 縮 汚 泥 | 2     | 0    | 4    | 168  | 174   |
|              | 計           | 1,482 | 202  | 310  | 212  | 2,206 |

注) 乾燥汚泥は堆肥化汚泥を含む 資料「日本の下水道」

の、木材のように焼却処分されるもの等様々である。

#### (5) 下水汚泥

下水汚泥は、表-1.8に示すように年間約2,200万 $\text{m}^3$ 発生しており、下水道普及に伴って今後は発生量が増大すると予測される。処分は農地や緑地で肥料として利用されているものもあるが、大部分は埋立処分されている。

#### (6) 掘削泥土

泥水工法の増加により掘削泥水の発生量は都市土木工事を中心に増加している。処分は一部工事泥水として転用される場合もあるが、バキューム車、コンテナ車による直接廃棄や固形化処理して埋立地へ廃棄するのが一般的である。

#### (7) 石炭灰

石炭灰は、石炭消費量の減少とともに減少を続けてきたが、エネルギー転換政策による石炭火力発電所の増強および一般産業用ボイラーの石炭転換により今後は増加を続けるものと想定される。

表-1.9 石炭灰発生量

(万t)

| 年 度  | 5 7 年度 | 6 5 年度 | 7 0 年度 |
|------|--------|--------|--------|
| 電力業界 | 3 1 6  | 4 6 2  | 6 0 8  |
| 一般産業 | 6 9    | 1 2 0  | 1 6 5  |
| 合 計  | 3 8 5  | 5 8 2  | 7 7 3  |

資料「(社)シーシーエス振興協会、資源エネルギー庁」

表-1.10 電力業界石炭灰処理実績

(万t)

| 年度      | 5 6   | 5 7   | 5 8   | 5 9   |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 陸 上 埋 立 | 1 2 6 | 1 6 7 | 1 6 3 | 1 7 2 |
| 海 面 埋 立 | 4 9   | 4 9   | 6 2   | 5 0   |
| 有 効 利 用 | 8 8   | 1 0 0 | 1 3 4 | 1 6 0 |
| 合 計     | 2 5 3 | 3 1 6 | 3 5 9 | 3 8 2 |

通産省資源 エネルギー庁公益事業部資料による

石炭灰の処分は表-1.10に示すように、灰捨て地への投棄や海面埋立地への処分が主であるが、最近ではセメント原料やセメントの混和材として有効利用される量も増加している。

#### (8) 鉱さい

##### ① 高炉スラグ

高炉スラグは鉄鋼生産量1t当たり約300kgの割合で発生するが、昭和30年以降、表-1.11に示すように道路の路盤材、セメント原料、コンクリート骨材等として広く利用されており、処分上の問題はほとんどない。

表-1.11 高炉スラグの発生量と利用量

(千t)

|       | 5 6 年度 | 5 7 年度 | 5 8 年度 | 5 9 年度 |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 発 生 量 | 24,802 | 22,684 | 22,944 | 24,795 |
| 利 用 量 | 26,418 | 24,111 | 22,520 | 23,771 |

資料：「鉄鋼スラグ統計年報」鉄鋼スラグ協会

##### ② 転炉スラグ

転炉スラグは鉄鋼生産量1t当たり約130kgの割合で発生するが、最近では発生量が減少している。処分の面では転炉スラグ中に金属鉄の混入量が多いため、製鉄原料として回収利用される外は盛土材等として処分されている。

表－ 1.12 転炉スラグ発生量  
(千t)

| 5 6 年度 | 5 7 年度 | 5 8 年度 | 5 9 年度 |
|--------|--------|--------|--------|
| 10,714 | 9,817  | 9,735  | 9,738  |

資料：「鉄鋼スラグ統計年報」

表－ 1.13 転炉スラグ処分の状況(59年度)  
(千t)

|          | 外 部     | 自 社     | 計       |
|----------|---------|---------|---------|
| 再 利 用    | 1 2 4   | 1,6 5 4 | 1,7 7 8 |
| 道 路 用    | 4 8 2   | 1 5 3   | 6 3 5   |
| 地盤改良・土木用 | 1,3 4 7 | 1,8 3 0 | 3,1 7 7 |
| セメント材    | 8 0 1   | 1       | 8 0 2   |
| 肥料・土壌改良材 | 1 8 9   | 0       | 1 8 9   |
| そ の 他    | 8 3 3   | 1,8 4 3 | 2,6 7 6 |
| 合 計      | 3,7 7 6 | 5,4 8 1 | 9,2 5 7 |

### ③ ニッケルスラグ

発生量は昭和55年度で約 240 万tであり、その後若干増加しながら推移していると推測される。処分の方法は、表－ 1.14に示す。

表－ 1.14 ニッケルスラグ処分状況(55年度)  
(%)

| 製鉄原料  | 路 盤 材 | 埋立・堆積 | そ の 他 | 合 計     |
|-------|-------|-------|-------|---------|
| 3 1.4 | 1 0.2 | 4 4.8 | 1 3.6 | 1 0 0.0 |

### (9) 赤泥

赤泥の発生量は、アルミ精錬業の不振により減少しており、今後も減少を続けるものと推定される。

表－ 1.15 赤泥搬出量(推定値)

| (千t)    |       |
|---------|-------|
| 5 5 年   | 5 9 年 |
| 1,1 9 9 | 7 2 9 |

### (10) 石膏

石膏の発生量は、この数年表－ 1.16に示すようにはば横ばいの状態で推移しており、今後は排煙脱硫石膏が増加するため増加するものと思われる。石膏はセメント原料、石膏ボード、石膏プラスタといった建設資材を中心に有効利用の方途が確立され処分されるものはない。

表－ 1.16 石膏発生量（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  100%換算）

| (千t)  |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 55 年度 | 56 年度 | 57 年度 | 58 年度 |
| 5,887 | 5,491 | 5,568 | 5,771 |

通産省肥料課資料による

#### (11) 鋳物廃砂

鋳物廃砂は生型，シェル型を中心に年間約 140 万 $\text{m}^3$ 発生しているが，土砂の鋳物砂として再生利用が進み発生量は減じてきている。この減少傾向は今後も進むものと予想される。

廃砂は，セメント原料等として 1 部有効利用されているが，大部分は廃棄されている。

表－ 1.17 鋳物廃砂発生量

| (千 $\text{m}^3$ ) |       |
|-------------------|-------|
| 53 年              | 57 年  |
| 1,700             | 1,441 |

資料：「鋳物廃砂に関する実態調査報告書」

#### (12) 鉄屑

鉄屑は年間 4,000 万 t 発生しており，今後は既存の企業設備の老朽化等により発生量が増大する見込みである。鉄屑はほぼ全量，製鋼材料として再利用されており，処分上の問題はない。

表－ 1.18 鉄屑発生量

| (千t)   |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 55 年度  | 56 年度  | 57 年度  | 58 年度  | 59 年度  | 65 年度  |
| 42,112 | 41,276 | 38,982 | 39,839 | 42,710 | 48,600 |

資料：「鉄屑関係統計表」

#### (13) 糶がら

糶がらの発生量は糶の量の約 2 割であり，年間約 240 ～ 250 万 t である。処分に関しては発生量の約 30% が焼却され残りは農業関係に再利用されており，処分上の問題はない。

表－ 1.19 糶がらの発生量

| (千t)  |       |
|-------|-------|
| 57 年  | 58 年  |
| 2,381 | 2,508 |

#### (14) 廃プラスチック

廃プラスチックの発生源は家庭と産業関係に大別され，家庭からは約 6 割，産業関係から約 4 割発生している。発生量は今後も現状なみないし，やや増加で推移すると予測されている。

処分は産業系の内の良質なものの約 60 万 t が製品原料，再生加工品として再利用されているが，他は焼却ないし埋立処分である。なお，焼却の際の高温による炉のいたみは，技術の進歩により解決され

る方向にある。

表－1.20 廃プラスチック発生量

(千t)

|       |         |
|-------|---------|
| 家 庭 系 | 約 2,080 |
| 産 業 系 | 約 1,500 |
| 計     | 約 3,580 |

「プラスチック処理促進協会資料」等

本研究では、この調査結果をふまえ、下記のような条件を勘案して本研究で重点的に検討する廃棄物を選定することにした。

- (i) 公共工事から発生する廃棄物を最優先させる。
- (ii) 公共工事以外から発生する廃棄物の中でも、(iii)の条件を満足し、かつ建設事業での有効利用が可能と想定されるものはできるだけ取り入れる。
- (iii) (i)(ii)ともに次の条件を満足することが望ましい。
  - 1) 将来も多量の発生が予想されるもの。
  - 2) 発生場所が特定の企業や地域に限定されていないもの。
  - 3) 有効利用の方策が現在のところ十分に確立されておらず、今後その処分が困難となることが予想されるもの。

選定した廃棄物は残土、アスコン廃材、コンクリート廃材、建築廃材、下水汚泥、石炭灰、ニッケルスラグである。

さらに以下には、これらの廃棄物のうち、残土、石炭灰、下水汚泥焼却灰などの材料を対象として地盤・盛土への利用方法を検討した研究内容および成果についてとりまとめている。本報告書に収録した研究課題は次の6課題である。

- (1) 残土処理システムの開発
- (2) 改良土を用いた埋戻し技術の開発
- (3) 高含水比粘性土の土質改良用混合装置の開発
- (4) 石炭灰・下水汚泥焼却灰等の深層混合処理への利用技術の開発
- (5) 高有機質土の適正処理技術の開発
- (6) 下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性



表-1. 21 主な廃棄物の処分の現状と再利用の可能性について

|                         | 残 土                                                                                                                                                                                            | アスコン廃材                                                                                                                                                                                                         | コンクリート廃材                                                                                                                                                      | 浚 渫 汚 泥                                                                                                                                                                 | 掘 削 泥 土                                                                                                                                                           | 建築廃材（コンクリート）                                                                                                                                                              | 建築廃材（廃木材）                                                                                                                                                                              | 下 水 汚 泥                                                                                                                                                                             |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 発 生 量                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>50年 4,240万㎡（1都3県）</li> <li>60年 6,000万㎡（1都3県）</li> </ul>                                                                                                 | 現状 1000万t～2000万t/年（全国）<br>60年 現状の1.4倍                                                                                                                                                                          | 49-52年 108千㎡（建設省直轄工事）<br>50年 2,800千㎡（1都3県の全工事）<br>将来 30,000～70,000千㎡（全国）                                                                                      | 55年 969千㎡（建設省所管事業）<br>56年 942千㎡（建設省所管事業）                                                                                                                                | 泥水工法が増加するので、今後増大する。                                                                                                                                               | 現状 400～500万㎡/年<br>将来 増加する。                                                                                                                                                | 年々多量の木造住宅の除去が、今後も続く。                                                                                                                                                                   | 55年 238万㎡<br>将来 下水道の普及率向上とともに増加。                                                                                                                                                    |
| 処 分 の 現 状               | <ul style="list-style-type: none"> <li>臨海埋立地 1,400万㎡</li> <li>他の工事現場への再利用 840万㎡</li> <li>内陸廃棄処分 2,000万㎡</li> </ul>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>路盤材として164千㎡（53年）再生加熱アスコンとして230千t（54年）として利用。</li> <li>他は廃棄処分。</li> </ul>                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>路体盛土 護岸根固めとして再利用 30%</li> <li>廃 棄 70%</li> </ul>                                                                       | 大部分が臨海埋立地での処分。<br>59年 918千㎡（ “ ）<br>60年 969千㎡（ “ ）                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>バキューム車、コンテナ車等による直接廃棄。</li> <li>固定化処理したものは埋立地等での廃棄。</li> </ul>                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>25cm以下程度に小割して投棄。</li> </ul>                                                                                                        | ほとんど焼却処分、埋立処分。                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>陸上埋立 4割強</li> <li>海面埋立 4割弱</li> <li>有効利用 1割強</li> <li>海洋還元 1割弱</li> </ul>                                                                    |
| 処 分 上 の 問 題 点           | <ul style="list-style-type: none"> <li>発生量が膨大なため処分地不足。</li> <li>遊水地域、市街化調整区域、農用地で多量に処分。</li> <li>不法投棄、住民苦情、交通混雑。</li> <li>処分距離、処分費用の増大。</li> </ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>クラッシングが容易でない。</li> </ul>                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>処分地不足。</li> <li>処分距離の増大。</li> <li>交通騒音。</li> </ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>臨海埋立地の減少による処分場所不足。</li> </ul>                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>泥水をそのまま廃棄できる場所の不足、遠隔化。</li> <li>脱水固化するための処理費が高い。処分能力が低い。</li> </ul>                                                        | 特になし。                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>焼却場の容量不足。</li> <li>埋立処分の場合には安定地盤とならない。</li> </ul>                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>海面埋立地・陸上処分地の将来との確保が困難。</li> <li>焼却の際に脱水ケーキ1㎡当り60～100ℓの重油を消費。</li> <li>下水汚泥物質特に重金属類が有効利用の阻害要因。</li> </ul>                                     |
| 有 効 利 用 の 可 能 性 と 問 題 点 | <ul style="list-style-type: none"> <li>残土発生量とほぼ同量の山砂が工事現場に搬入されているのでこれを残土代替できれば良い。</li> <li>用途別利用可能土質基準、施工基準の作成と見直し。</li> <li>土質改良方法の開発と改良ヤード、改良車等の設置。</li> <li>土砂の発生・利用に関する情報の整理提供。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>再生路盤材、再生加熱アスファルト混合物として既に一部利用。</li> <li>アスコン廃材の収集システムの確立。</li> <li>焼却熱を利用したプラントの試作。</li> <li>アスファルトの老化の評価。</li> <li>再生路盤材として利用する時の安定処理材の配合設計法。</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>破砕後の大きさによってコンクリート用骨材、2次製品等への利用の可能性有。</li> <li>バラツキのない経済的破砕機の開発。</li> <li>収縮・クリープ歪が大きくなるという欠点がある。</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>農地の茶上げ、セメント混合処理による盛土材料、焼却による人工骨材等が考えられる。</li> <li>重金属類への拒否反応、混合処理技術の未確立、コスト高。</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>脱水固化して埋立材、盛土材としての利用。</li> <li>泥水の性状に応じた処理方法の確立と低コスト化。</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート用骨材としての利用。</li> <li>原コンクリートの異なった時の破砕方法の研究。</li> <li>破砕場所、ストック場所、流通機構の整備。</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>チップ紙、紙パルプ原料。</li> <li>仮設材。</li> <li>構造用木材、化粧用木材の再利用。</li> <li>焼却して熱源とする。</li> <li>再利用の流通機構の整備。</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>埋立用材、道路用材、レンガ等建設資材としての利用技術が開発されている。</li> <li>焼却の時の消費エネルギーの低減、加工コストの低減。</li> <li>脱水ケーキの利用は圧密低下、浸出水、強度に問題有。</li> <li>焼却灰の利用は溶出の問題有。</li> </ul> |
|                         | 赤 泥                                                                                                                                                                                            | 石 炭 灰                                                                                                                                                                                                          | 高 炉 ス ラ グ                                                                                                                                                     | 転 炉 ス ラ グ                                                                                                                                                               | ニッケルスラグ                                                                                                                                                           | 石 膏                                                                                                                                                                       | 鋳 物 砂                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                     |
| 発 生 量                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>48年 乾燥重量 1,342千t</li> <li>55年 1,199千t</li> <li>59年 729千t</li> <li>将来 アルミ製錬業の構造不況化による減少。</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>54年 1,256千t</li> <li>57年 3,850千t</li> <li>65年 5,820千t</li> <li>70年 7,730千t</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>56年 24,800千t</li> <li>57年 22,680千t</li> <li>58年 22,940千t</li> <li>59年 24,800千t</li> <li>将来 現状とほぼ同じ。</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>54年 1,200万t</li> <li>56年 10,710千t</li> <li>57年 9,820千t</li> <li>58年 9,740千t</li> <li>59年 9,740千t</li> <li>将来 現状とほぼ同じ。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>50年 2,006千t</li> <li>55年 2,436千t</li> <li>将来 若干の伸にとどまる。</li> </ul>                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>54年 6,310千t</li> <li>55年 5,887千t</li> <li>56年 5,491千t</li> <li>57年 5,568千t</li> <li>58年 5,771千t</li> <li>将来 現状とあまり変化なし。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>53年 1,700千t</li> <li>57年 1,441千t</li> <li>将来 減少する。</li> </ul>                                                                                   |                                                                                                                                                                                     |
| 処 分 の 現 状               | <ul style="list-style-type: none"> <li>中和処理後海洋投棄 5割弱</li> <li>海面埋立地での処分 5割弱</li> <li>沈澱池での処分 1割</li> </ul>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>セメント混和剤、炭鉱廃坑埋戻し材として有効利用 20%</li> <li>廃棄又は埋立処分 80%</li> </ul>                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>路盤材として有効利用 42%</li> <li>セメント原料として有効利用 22%</li> <li>骨材として有効利用 9%</li> <li>肥料その他として有効利用 12%</li> <li>自家使用 15%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>製鉄所構内での埋立処分等自家使用 60%</li> <li>金属鉄回収のための再利用 18%</li> <li>鉄道道路用セメント用等 22%</li> </ul>                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>製鉄原料 31.4%</li> <li>肥料原料 6.7%</li> <li>骨材・建材 6.7%</li> <li>路 盤 材 10.2%</li> <li>埋立・堆積 44.8%</li> <li>そ の 他 0.2%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>セメント材料 44%</li> <li>石膏ボード 36%</li> <li>石膏プラスタ 7%</li> <li>輪 出 7%</li> <li>その他有効利用 6%</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>有効利用 275千t</li> <li>廃棄処分 1,425千t</li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>処分場所は発生場所付近の内陸埋立処分。</li> </ul>                                                                                                               |
| 処 分 上 の 問 題 点           | <ul style="list-style-type: none"> <li>海洋汚染防止法の改定による投入海域の遠隔化。</li> <li>中和処理の義務付。</li> <li>発生場所付近での処分地確保の困難。</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>将来発生量が増大した時の処分地不足。</li> </ul>                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>有効利用がほぼ軌道にのり処分上の問題は少ない。</li> </ul>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>処分上特に問題はない。</li> <li>ただ有効利用面が遅れている。</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>埋立用に用いるには問題ない廃棄物である。</li> </ul>                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>有効利用の方途が確立され、商品として流通しているので問題なし。</li> </ul>                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>処分地の減少、処分単価増大。</li> <li>有害物質等化学的な面での問題なし。</li> </ul>                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |
| 有 効 利 用 の 可 能 性 と 問 題 点 | <ul style="list-style-type: none"> <li>建設資材、製鉄原料、各種無機原料等への利用方法が検討されている。</li> <li>多数の有効成分を少量づつ含むが、それを分離抽出することは経済的に問題。</li> </ul>                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート、道路用材としての利用、特に細粒フライアッシュはフライアッシュセメント、コンクリート混和材としてJIS認定済。</li> <li>粗粒灰には凍上性がある。</li> <li>フライアッシュは加水して排出されるが有効利用面での適正含水比が不明確。</li> <li>粗粒灰のコンクリートへの利用可能性。</li> </ul> |                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>アスコン合材の骨材として期待される。</li> <li>ふけ現象があり、ふけ現象の試験法、安定化の研究が必要。</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート骨材としての試験は行われている。</li> <li>MgOの含有率が高いので、長期的試験が必要。</li> </ul>                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>供給過剰となることが予想される。</li> <li>既存用途の消費量の拡大と新用途の開発。</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋳物砂としての再生利用が進行中であり、今後これが有効利用の中心となる。</li> <li>再生利用が進むと再生段階で生ずる微砂の処理が問題となる。</li> <li>廃砂中にSiO<sub>2</sub>が多いので、けい酸カルシウム水和物の生成、利用が考えられる。</li> </ul> |                                                                                                                                                                                     |

## 2. 残土処理システムの開発

### 2.1 はじめに

#### 2.1.1 研究の背景と目的

建設工事に伴って発生する残土は膨大な量にのぼっている。ここでいう残土とは、法律上は廃棄物ではないが、当該工事で不要となり、場外搬出される土を指す。従来、残土は処分地に捨土されることが多かったが、近年になって様々な社会的条件から処分地の確保が困難になってきており、その結果、処分地の遠隔化に伴う残土処分費の高騰をも招いており、残土処理は建設工事遂行上の大きな問題となっている。

このような問題に対処するためには、個々の工事の残土発生量を抑制するという方策の他に、発生した残土を他の工事での地盤・盛土材料として有効利用することによって残土処分量を減らすことが必要である。また、残土の有効利用は土砂利用型の工事での山砂等の購入量を減少させることにもつながり、資源保護や環境保全の観点からも残土の有効利用が強く望まれている。

これまで残土問題はそれほど深刻ではなかったため、個々の建設工事のレベルで解決できる問題として扱われていた。しかしながら、今日のように残土問題が社会的にも大きな問題となり、上述したように「残土の有効利用の促進」が一層望まれるようになると、個々の建設工事のレベルでの問題としてとらえるだけでは解決がむずかしく、複数の工事を管理・調整するレベルでの問題としてとらえる必要がある。すなわち、地域内の多くの土工事を対象にして体系的に土をコントロールすることが必要となる。

このような背景のもとで、本研究は合理的かつ体系的に残土処理を行うためのシステムを提示するとともに、システムの主要な構成要素である残土処理計画の立案手法を開発することを目的とするものである。

#### 2.1.2 研究内容

本研究は昭和57年度から昭和60年度までの4ケ年にわたって実施した。

57年度は、残土の発生と処理の実態を調査し、現状の処理システムの問題点を抽出するとともに、残土を効率的に再利用するためのシステムの基本構想を明らかにした。

58年度は前年度の成果を踏まえ、合理的な残土処理計画を立案するための基本的な考え方を明らかにした。さらに、線形計画法を利用した計画モデルを構築し、その電算プログラムを開発した。

59年度は残土処理計画モデルの適用に関する事例研究を行った。まず、道路占用工事における残土処理に不可欠な土質改良プラントの施設計画の問題を取り上げ、プラント導入効果の簡易判定図の作成と残土処理計画モデルによるプラントの規模・配置の検討手法を提示した。また、道路占用工事以外の工事（一般工事とよぶ）を対象とした残土処理計画の立案手法を検討し、モデルの適用を試みた。

最終年度の60年度には、それまでの検討内容を踏まえて残土処理計画の立案手順を明確にするとともに、残土処理システムの全体像をとりまとめた。

## 2.2 残土処理の現状と問題点

### 2.2.1 残土発生の現状

本節で用いるデータは、南関東地域の「土量調査リスト」データである。このデータは昭和54年度設置された「建設発生土処理計画検討会」（建設省関東地建、茨城県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、横浜市、川崎市、住宅・都市整備公団、日本道路公団、首都高速道路公団）が残土の流用促進のために調査しているものである。

土量調査リストは、上記検討会構成機関が概ね東京50 km 圏（昭和55、56年度は東京40 km 圏）内で施工する工事のうち、原則的に搬出入土量が1,000 m<sup>3</sup> を超える工事を対象としている。従って、関東圏の残土量の全体量を把握したデータではなく、サンプル調査であること、また、流用促進のための土量データであることに注意する必要がある。

#### (1) 経年特性

昭和55年度以降の土量調査リストにおける搬出入工事件数、土量を表-2.1に示す。なお、昭和57年度以降、調査対象範囲はそれまでの東京40 km 圏から東京50 km 圏に拡大した。

表-2.1 「土量調査リスト」による南関東圏の年度別搬出入土量

| 年 度 | 搬 入   |                      | 搬 出   |                      | 備 考           |
|-----|-------|----------------------|-------|----------------------|---------------|
|     | 工事件数  | 土量(千m <sup>3</sup> ) | 工事件数  | 土量(千m <sup>3</sup> ) |               |
| 55  | 251   | 6,370                | 554   | 9,086                | 東京            |
| 56  | 1,031 | 9,999                | 1,750 | 15,593               | 40 km 圏       |
| 57  | 1,052 | 9,907                | 2,036 | 15,031               | 東京<br>50 km 圏 |
| 58  | 1,043 | 9,624                | 1,942 | 14,267               |               |
| 59  | 836   | 6,703                | 1,702 | 12,597               |               |
| 60  | 890   | 7,292                | 1,726 | 12,676               |               |

資料：建設発生土処理計画検討会（昭和55～60年度版）「土量調査リスト」

57年度以降の傾向をみると、57、58、59年度と僅かながら、工事件数、土量とも減少傾向にあったが、60年度は前年度より微増している。最近1～2年は、搬入土量700万m<sup>3</sup>前後、搬出土量1,260万m<sup>3</sup>程度となっている。

#### (2) 工種特性

搬出土量を工種別にみると（図-2.1参照）<sup>\*</sup>、上工下水道関係工事が最も多く、全体の1/3以上を占めている。次いで、河川、道路、土地造成・区画整理・公園、その他工事の順である。これを工事件数でみると、上工下水道関係工事が全体の5割以上を占めている。これらの傾向は経年的にみても、57年度以降継続している。

一方、搬入土について土量でみると（図-2.2参照）、土地造成・区画整理・公園工事が約1/3を占め、以下、上工下水道関係工事、河川工事、道路工事、その他工事の順となっている。工事件数でみると、上工下水道関係工事が全工事数の7割近くに達している。

工種別にみる限り、搬出入土量・工事件数に対する上工下水道関係工事のウェートがかなり大きいことがうかがえる。

\*）上水道、工業用水道、下水道。

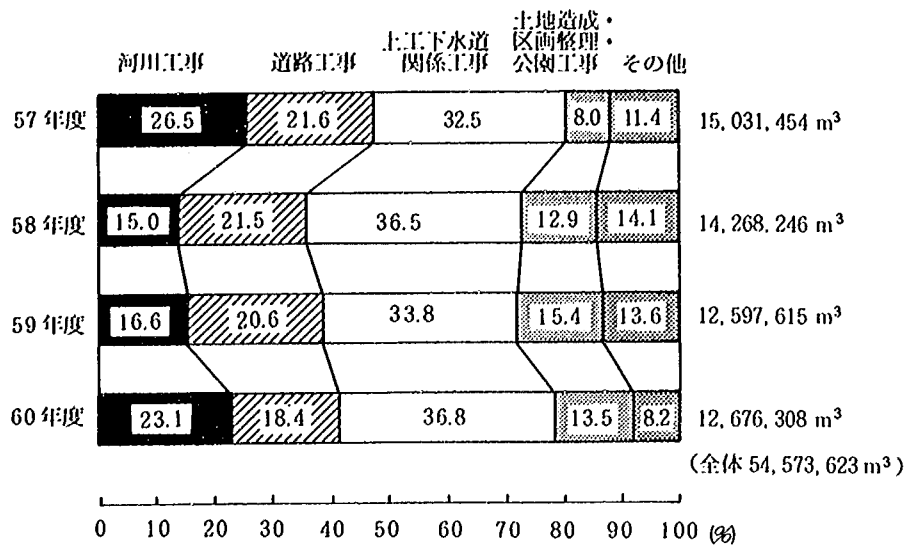


図-2.1 「土量調査リスト」による南関東工種別土量構成図  
— 搬出工事 —

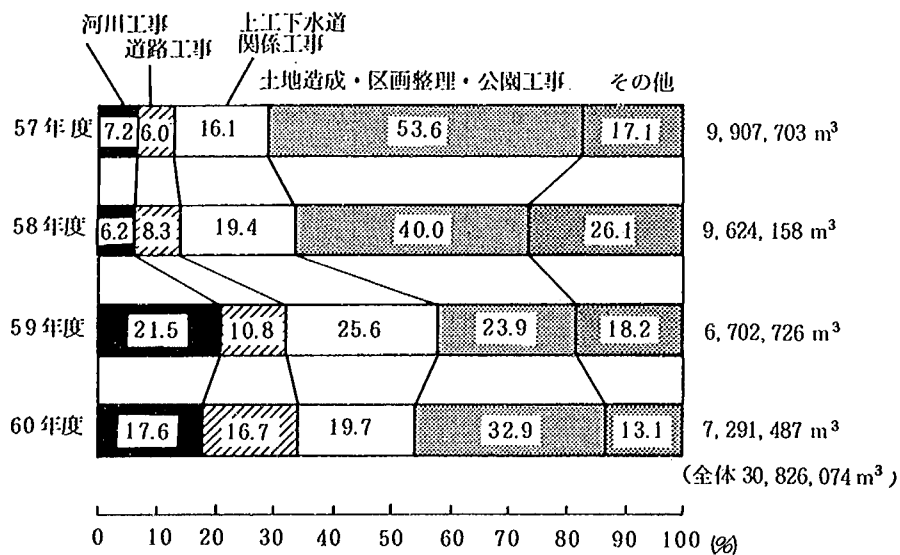


図-2.2 「土量調査リスト」による南関東圏工種別土量構成図  
— 搬入工事 —

表-2.2 南関東圏における搬出土質

(55～60年度土量調査リスト)

| 土質          | 砂質土    | ローム    | シルト    | 粘性土    | レキ混り土 | その他   | 計      |
|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 土量<br>(千m³) | 14,369 | 14,268 | 15,234 | 13,080 | 8,240 | 7,631 | 72,822 |
| 構成比<br>(%)  | 19.7   | 19.6   | 20.9   | 18.0   | 11.3  | 10.5  | 100.0  |

注：河川工事を除く。

### (3) 土質特性

河川工事を除く搬出土量を土質別にみたものが、表-2.2である。これによれば、砂質土、ローム、シルト、粘性土の比率は、それぞれ20%前後となっている。

一方、搬入希望土質を用途別に調べた表-2.3をみると、山砂を希望するのは、管廻り(19%)、裏込め(79%)、路床(78%)、地盤改良用(66%)である。路体用では、山砂の他にも砂質土やシルトも用いられる。また、土地造成用としては、砂質土、ローム、粘土が用いられており、土質の自由度は高い。

表-2.3 「土量調査リスト」による南関東圏用途別搬入希望土質別土量

— 56~60年度総計 —

単位：千 $m^3$   
( )内は構成比%

| 用途<br>希望土質       | 路 床               | 路 体             | 裏 込               | 管 廻               | 土質改良              | 土地造成              | 築堤盛土              | そ の 他             | 合 計                |
|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 山 砂              | 1,878<br>( 77.6 ) | 335<br>( 38.6 ) | 1,052<br>( 78.7 ) | 3,202<br>( 91.1 ) | 2,269<br>( 65.7 ) | 632<br>( 8.6 )    | 212<br>( 11.1 )   | 5,080<br>( 50.3 ) | 14,660<br>( 47.3 ) |
| 砂 質 土<br>で も よ い | 235<br>( 9.7 )    | 306<br>( 35.3 ) | 201<br>( 15.0 )   | 299<br>( 8.5 )    | 832<br>( 24.1 )   | 3,147<br>( 42.5 ) | 1,136<br>( 59.3 ) | 3,550<br>( 35.1 ) | 9,706<br>( 31.3 )  |
| ロ ー ム<br>で も よ い | 83<br>( 3.4 )     | 42<br>( 4.9 )   | 78<br>( 5.8 )     | 4<br>( 0.1 )      | 235<br>( 6.8 )    | 2,931<br>( 39.6 ) | 176<br>( 9.2 )    | 997<br>( 9.9 )    | 4,546<br>( 14.7 )  |
| シ ル ト<br>で も よ い | 6<br>( 0.3 )      | 140<br>( 16.1 ) | 0<br>( 0 )        | 2<br>( 0 )        | 111<br>( 3.2 )    | 11<br>( 0.1 )     | 5<br>( 0.2 )      | 169<br>( 1.7 )    | 444<br>( 1.4 )     |
| 粘 土<br>で も よ い   | 0<br>( 0 )        | 0<br>( 0 )      | 0<br>( 0 )        | 0<br>( 0 )        | 0<br>( 0 )        | 641<br>( 8.7 )    | 374<br>( 19.5 )   | 65<br>( 0.6 )     | 1,080<br>( 3.5 )   |
| そ の 他            | 217<br>( 9.0 )    | 44<br>( 5.0 )   | 6<br>( 0.5 )      | 8<br>( 0.2 )      | 6<br>( 0.2 )      | 34<br>( 0.5 )     | 12<br>( 0.6 )     | 240<br>( 2.4 )    | 567<br>( 1.8 )     |
| 合 計              | 2,419<br>(100.0)  | 867<br>(100.0)  | 1,337<br>(100.0)  | 3,515<br>(100.0)  | 3,453<br>(100.0)  | 7,396<br>(100.0)  | 1,915<br>(100.0)  | 10,101<br>(100.0) | 31,003<br>(100.0)  |

(リスト調査時点で土砂の調達先が未定の工事を対象)

### 2.2.2 残土処分の現状

#### (1) 臨海埋立処分 — 羽田沖廃棄物処理場について —

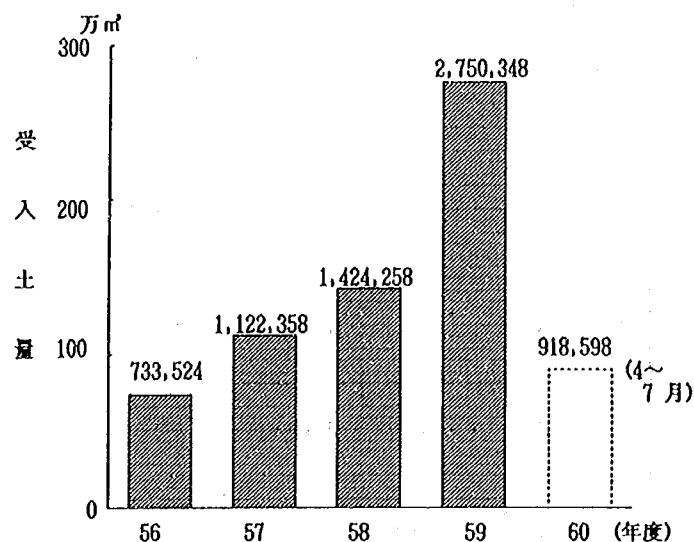


図-2.3 羽田沖処理場残土受入量

(財) 東京港サービス公社資料による)

羽田沖廃棄物処理場は、羽田空港沖合移転・拡張計画に合わせて東京都（財）東京港サービス公社が進めている、残土による臨海埋立土地造成事業である。埋立は56年度より始まっており、第1期が60年度、2期が62年度、3期が65年度の完成を予定している。このうち、第1期内の残土処理量は図-2.3のようになっており、56～59年度で約600万 $\text{m}^3$ を受入れている。

#### ① 地域別受入量

羽田沖処理場で受入れている残土を発生地区別にみたのが図-2.4である。

受入開始当初の56年度をみると、練馬、板橋、北、足立、荒川、葛飾区などの遠隔地からは土を受入れていないが、最近では、ほぼ全区から残土が搬入されている。なお、残土搬入量が多い地区は、臨海部の大田、品川、港、中央、江東区である。

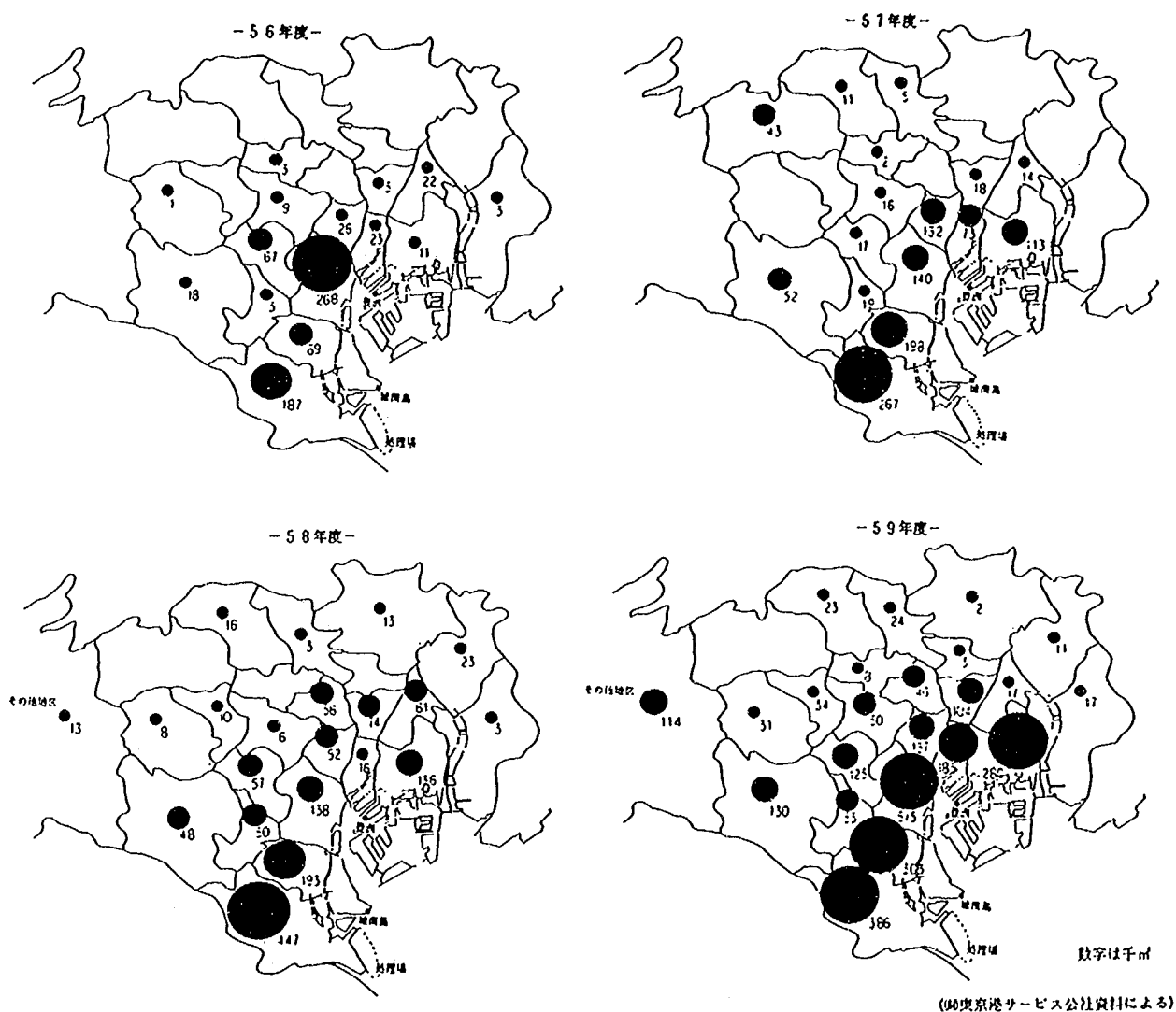


図-2.4 羽田沖処理場発生地区別受入量

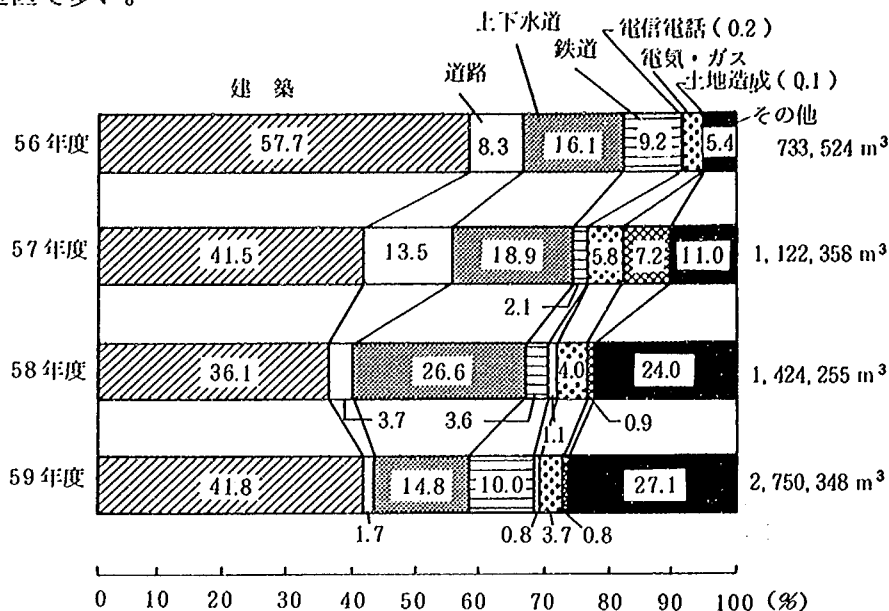
#### ② 工種別受入量

工種別受入量を調べた図-2.5をみると、建築工事の残土量が最も多く、全体の約4割を占め、次いで上下水道の残土が約2割を占めている。また、最近では、解体工事からのコンクリート塊等「その他」が全体の2割以上を占めている。

建築工事からの受入量の占める割合が高いのは、最近、都心部での事務所ビル建築が盛んであり、

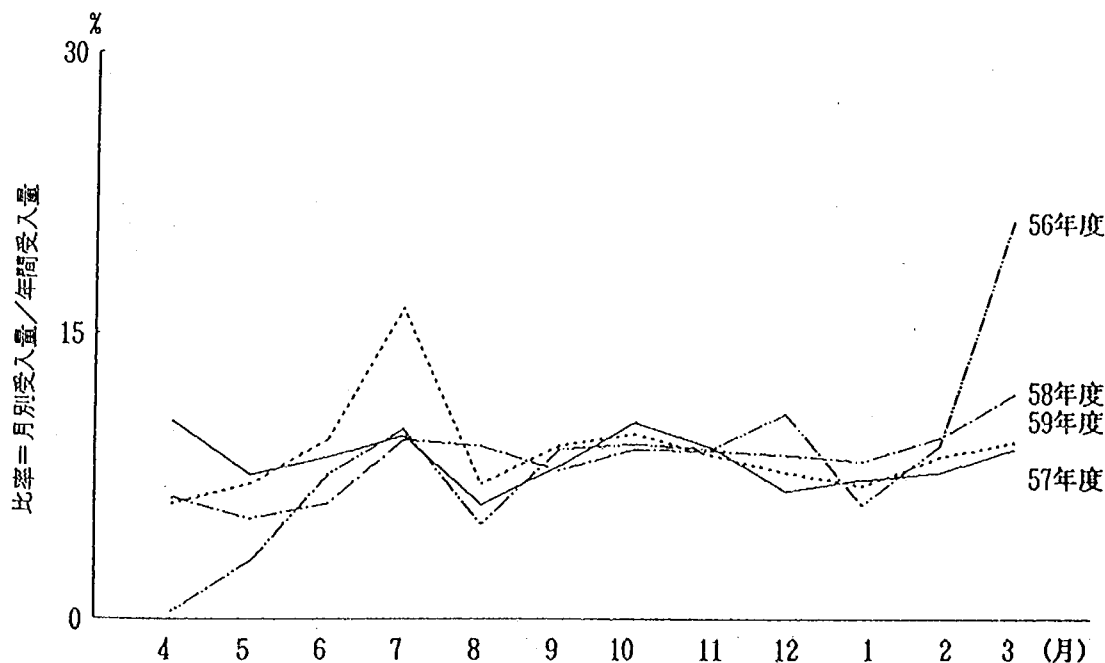
羽田沖処理場に近い港区（58年東京都建築統計年報による事務所新築床面積は区部全体の約 1/3 ），中央区（同 12.3% ），千代田区（同 12.1% ）で事務所ビル建築が多いことによるものと考えられる。

一方，都区内の下水道工事からの残土量は，足立，葛飾，江東区（57年土量調査リストデータによると，3区で都区内全体の68% ）といった東部地域や，世田谷，大田区（同データ，2区で約17% ）といった周辺区で多い。



図一 2.5 羽田沖処理現場発生事業別受入量の構成図

（財）東京港サービス公社資料による）



図一 2.6 羽田沖処理現場残土受入土量率

（財）東京港サービス公社資料による）

### ③ 月別受入量

月別の受入量を整理したのが図－2.1.6である。図によると56年度を除いて、年度初（4～5月）、と夏休み（8月）、正月（1月）が谷、7月、10月、年度末が山となっているのが大きな特徴である。

### (2) 内陸処分

#### ① 経年的推移

建設発生土処理計画検討会の「土量調査リスト」に収録された工事について、残土処分の実態を調査した結果をまとめたのが表－2.4である。これによると、リスト収録工事については内陸処分が最も多く、発生土量の約4割を占めている。海面埋立地は約1/3、流用（他工事現場）は2割弱となっている。

表－2.4 「土量調査リスト」に収録された工事の残土処分状況

( )内%

| 年度 | 海面埋立地         |                      | 内陸処分地         |                      | 他工事現場         |                      | 不明・その他        |                      | 合 計              |                      |
|----|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|------------------|----------------------|
|    | 件 数           | 土量(千m <sup>3</sup> ) | 件 数           | 土量(千m <sup>3</sup> ) | 件 数           | 土量(千m <sup>3</sup> ) | 件 数           | 土量(千m <sup>3</sup> ) | 件 数              | 土量(千m <sup>3</sup> ) |
| 56 | 128<br>(16.0) | 1,968<br>(21.3)      | 456<br>(57.1) | 4,518<br>(48.9)      | 75<br>(9.4)   | 1,725<br>(18.7)      | 140<br>(17.5) | 1,024<br>(11.1)      | 799<br>(100.0)   | 9,235<br>(100.0)     |
| 57 | 570<br>(28.8) | 3,074<br>(26.2)      | 887<br>(44.8) | 4,954<br>(42.2)      | 176<br>(8.9)  | 1,828<br>(15.6)      | 349<br>(17.5) | 1,893<br>(16.0)      | 1,982<br>(100.0) | 11,749<br>(100.0)    |
| 58 | 506<br>(28.0) | 3,406<br>(26.1)      | 840<br>(46.5) | 5,164<br>(39.5)      | 187<br>(10.3) | 2,730<br>(20.9)      | 274<br>(15.2) | 1,762<br>(13.5)      | 1,807<br>(100.0) | 13,062<br>(100.0)    |
| 59 | 464<br>(25.8) | 3,764<br>(32.1)      | 810<br>(45.1) | 4,482<br>(38.2)      | 223<br>(12.4) | 1,955<br>(16.7)      | 299<br>(16.7) | 1,517<br>(13.0)      | 1,796<br>(100.0) | 11,718<br>(100.0)    |

注：土量調査リストのフォロー調査結果による。

### ② 地域分布

上記調査において内陸処分地の地域分布をまとめたものを図－2.7に示す。

土量調査リストのデータでみる限り、内陸処分量は東京都郡部、埼玉東南部～中部、千葉東葛地域、神奈川中央部で多いことがわかる。また、経年的にみると、東京、川崎、横浜地区での処分量が減少傾向にあるのに対し、埼玉、千葉県域では処分量の多い地域が広がる傾向にある。

### 2.2.3 残土処理をとりまく問題点

#### (1) 地域住民との摩擦の顕在化

残土処分地の確保が困難になるにつれて、居住地周辺での処分行為の多発や不適切な処分行為の増加を招いている。その結果、処分行為をめぐる住民との間に深刻な摩擦が生じ始めている。

地域住民から各自治体に対して出される建設残土処分に起因する苦情には下記のものがある。

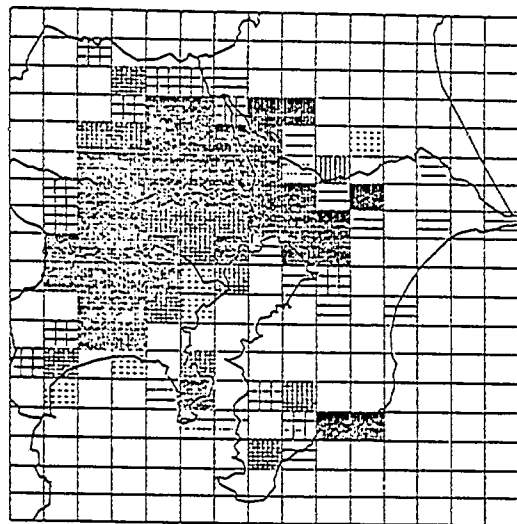
- ・砂ぼこり被害   ・農業用水の閉塞   ・雨水排水の悪化   ・場内での作業騒音
- ・道路の汚れ    ・道路等の破損    ・交通の危険       ・不法投棄

残土処分適地の不足に従ってこれら苦情はますます増大するものと予想されるが、建設残土の長期的・安定的処分条件を創り出すためには、これらの問題への適切な対処が重要である。

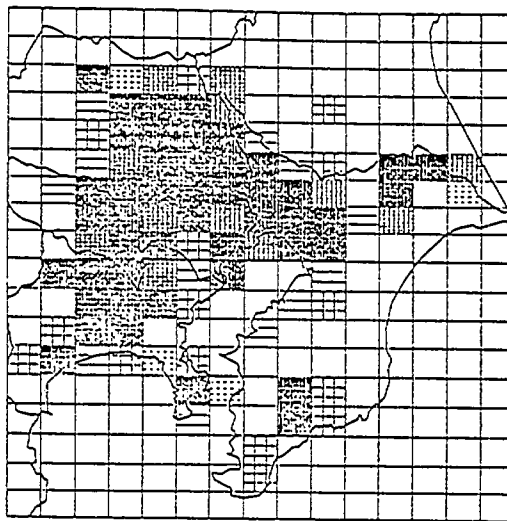
#### (2) 遊水機能の減少

建設省及び地方自治体では、洪水の防止のため、河川の流下能力を高める努力をする一方、堤内地での土地利用の急激な変化が直接河川の負荷とならぬよう、堤内地と一体化して洪水防止に努めるべく総合治水事業を実施している。その具体的な狙いが、流出率の増加の防止と湛水量の減少の防止で

- 57年度 -



- 58年度 -



- 59年度 -

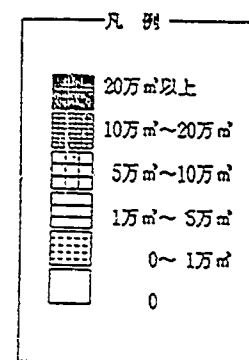
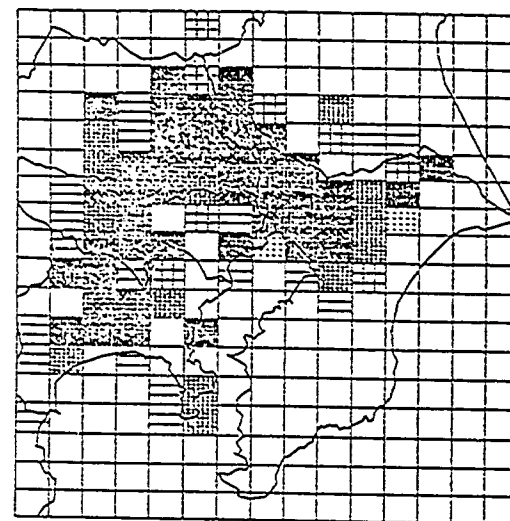


図-2.7 「土量調査リスト」追跡調査による内陸処分量分布図

ある。

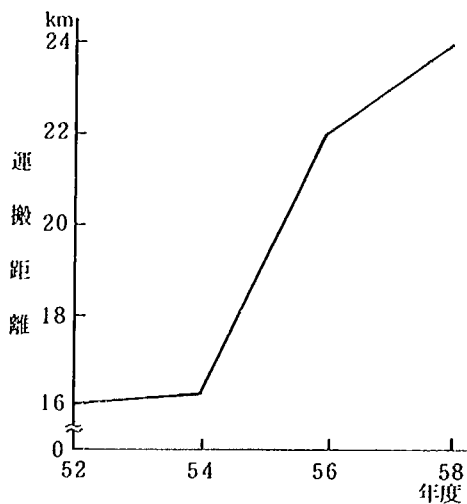
残土の内陸処分は、周辺の宅地や道路面に比較して低い空地で実施されるため、盛土により湛水量の減少をきたすことがある。また、盛土後に土地利用の変更を伴えば、流出率の増大をもたらす恐れがある。このように内陸での残土処分は治水の面で大きな影響を及ぼす可能性があり、特に、総合治水対象河川の遊水区域での残土処分は治水面への影響が大きい。

### (3) 残土処分費、運搬距離の増大

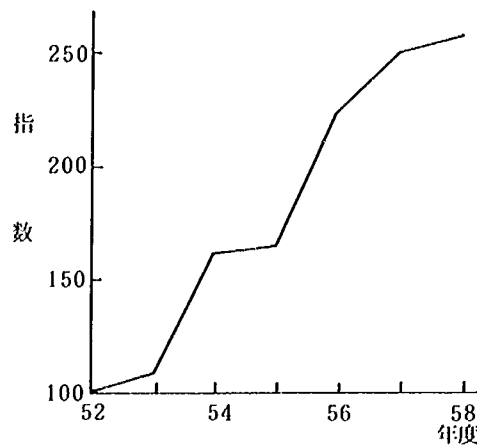
大都市周辺地域での都市化の拡大は、処分適地である空地の減少と遠隔化をもたらしている。図－2.8 は東京区部における残土の平均運搬距離の推移を示したもので運搬距離は年々長くなり、58年時点では24 kmにも達している。

処分地の不足は、運搬距離、運賃の増大とともに、処分地利用料の高騰をも招いており、東京区部での残土処分費は、図－2.9 に示すように5年間で2倍以上にもなっている。

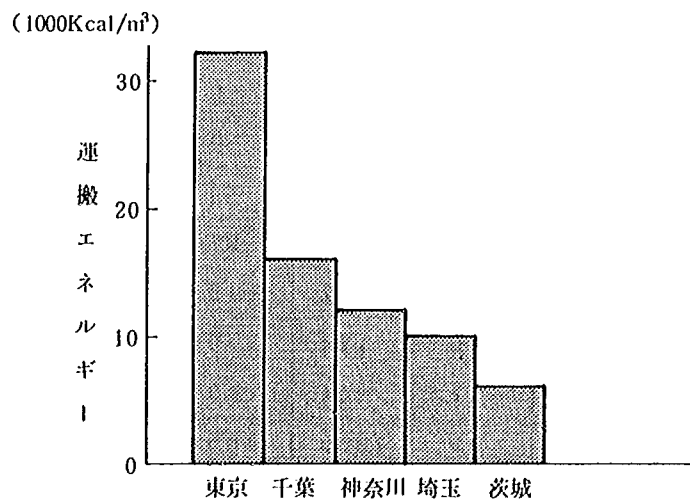
このような運賃、処分費の増大は、建設工事費増大の大きな要因の一つとなっている。



図－2.8 運搬距離の推移



図－2.9 残土処分費の推移  
(「南関東の残土」による)



図－2.10 残土運搬エネルギー  
(「南関東の残土」による)

#### (4) 残土処分エネルギー

運搬距離の増大は運賃の上昇とともに、運搬エネルギーをも増大させている。

関東地建の試算によると、昭和55年度東京50 km 圏内での建設工事の残土運搬のエネルギーはガソリン換算で約10万kℓとなっており、原材料生産エネルギー等を含む工事施工全エネルギーの30%を占めている。

図-2.10は残土運搬エネルギーを県別に試算したものであるが、現在エネルギー消費量が小さい地域であっても処分地の遠隔化にともなって将来的にはエネルギー消費量が増大するものと予想される。

#### (5) 砂資源の保全

我が国では年間1.5億m<sup>3</sup>以上の砂、砂利等を採取している。採取された砂・砂利のおよそ2/3はコンクリート用に用いられており、残りの約1/3がいわゆる地盤・盛土工事に用いられている。しかしながら、陸砂は採取適地である旧河川敷の工場用地等としての開発に伴い、適地が減少し始めており、山砂についても環境保全や防災の面からも資源の保全の必要性が叫ばれている。このため、砂資源の確保は今後ますます困難になると予想される。

建設工事では、大量の残土を発生する一方で、表-2.4に示すように、盛土、埋戻し用として大量の採取土を搬入している。そこで、盛土、埋戻し用土砂として残土を再利用すれば、砂資源の保全および、環境保全にも資することになる。

表-2.4 東京40km圏の採取土砂の使用量

(千m<sup>3</sup>/年)

| 地 域<br>用 途                 |            | 東京区部   | 東京近郊<br>地 域 | 横 浜 市 | 川 崎 市 | 神 奈 川<br>近郊地域 | 埼玉近郊<br>地 域 | 千葉近郊<br>地 域 | 合 計    |
|----------------------------|------------|--------|-------------|-------|-------|---------------|-------------|-------------|--------|
| 道<br>路<br>工<br>事           | 路 床 用      | 1,192  | 5           | 148   | 59    | 144           | 918         | 439         | 2,905  |
|                            | 路 体 用      | 8,848  | 45          | 183   | 13    | 53            | 187         | 718         | 10,047 |
|                            | 管 ま わ り 用  | 838    | 38          | 171   | 8     | 17            | 492         | 421         | 1,985  |
|                            | 軟弱地盤処理用    | 82     | 7           | 0     | 0     | 23            | 10          | 1,117       | 1,239  |
|                            | 小 計        | 10,960 | 95          | 502   | 80    | 237           | 1,607       | 2,695       | 16,176 |
| 土<br>地<br>造<br>成<br>工<br>事 | 建造物敷地用土地造成 | 0      | 0           | 0     | 0     | 0             | 2,321       | 967         | 3,288  |
|                            | その他の土地造成   | 103    | 0           | 71    | 0     | 294           | 370         | 592         | 1,430  |
|                            | 小 計        | 103    | 0           | 71    | 0     | 294           | 2,691       | 1,559       | 4,718  |
| そ<br>の<br>他<br>の<br>工<br>事 | 築堤・盛土用     | 310    | 2           | 965   | 0     | 25            | 220         | 563         | 2,085  |
|                            | 構造物等の埋戻し用  | 615    | 20          | 163   | 97    | 179           | 93          | 77          | 1,244  |
|                            | 管 ま わ り 用  | 302    | 0           | 7     | 19    | 48            | 75          | 132         | 583    |
|                            | 地 盤 改 良 用  | 5,859  | 10          | 174   | 0     | 382           | 39          | 1,462       | 7,926  |
|                            | その他の用途     | 460    | 17          | 44    | 49    | 15            | 127         | 1,990       | 2,702  |
|                            | 小 計        | 7,546  | 49          | 1,353 | 165   | 649           | 554         | 4,224       | 14,540 |
| 合 計                        |            | 18,609 | 144         | 1,926 | 245   | 1,180         | 4,852       | 8,478       | 35,434 |

注：土砂量はほぐし土量表示である。地山換算では総量は28,347千m<sup>3</sup>となる。

資料：建設省関東地方建設局「建設工事の廃棄物処理に関する調査報告書」昭和53年3月

## 2.3 残土処理システムの概念

### 2.3.1 残土処理，土砂調達の特徴

望ましい残土処理のあり方を検討する前提として土砂の処分・調達の特徴を整理しておく。2.1.2において残土処理の現状を見たが，その中から残土処分のあり方を検討する際に留意すべきものとして以下の事柄があげられる。

- ① 残土を発生する一方で，建設工事では多量の土砂を埋戻し材，盛土材等として利用している。

東京50km圏の主要公共工事では年間1千2百万 $\text{m}^3$ の残土を発生させる一方で，1千万 $\text{m}^3$ 程度の土砂を搬入し，利用している。

- ② 残土発生量が，利用土砂量を上回る。

建設現場では多量の土砂を場外から搬入し，利用しているが，関東地方，近畿地方，名古屋市等いずれの地域でも残土量が利用土砂量を上回っている。

- ③ 残土は専用の処分地がなく，一度利用した土地は二度と処分地として利用できない。

残土は特定の処分地がなく，土地利用が高度化される際に低地の嵩上げ材料として処分され，その後宅地等に転ずる。そのため一度利用された土地は二度と処分地として利用されず，また，産業廃棄物や一般廃棄物のように焼却処分といった減量化手段を持たない。

- ④ 道路占用工事からの残土量が地域の残土量の3分の1ないし4分の1を占める。

地域の残土の発生量の4分の1ないし3分の1は道路占用工事からのものである。道路占用工事はまた，多量の山砂で埋戻しを行っており，東京50km圏ではその量は年間約5百万 $\text{m}^3$ に達する。

- ⑤ 特定大規模工事の搬入土量，残土砂量が地域の残土量，搬入土砂量に占める割合が大きい。

地域の残土量，搬入土砂量を見ると，特に搬入土砂量では1工事で数万 $\text{m}^3$ ～数十万 $\text{m}^3$ といった土砂を移動させる少数の大型工事の占める割合が大きい。

- ⑥ 残土の土質は様々であり，また，利用用途も様々である。

発生する残土は粒度，含水比等の質は様々であり，また，土砂の利用用途も盛土用や埋設管の埋戻し用，軟弱地盤の処理用，築堤用等様々であり，利用可能な土質も異なる。

- ⑦ 地域により残土問題の様相が異なっている。

地形や地質，土地利用の進展具合により，地域の残土問題にかなり違いがある。残土発生型の工事が多いか否か，また，残土の再利用用途が限定されるような土質（たとえば粘性土）が多いか否か，などによって，その地域の残土対策は異なったものになってこよう。

- ⑧ 残土処分，土砂調達は社会的に様々な悪影響を及ぼしている。

処分地不足による運搬距離の遠隔化や不法投棄，遊水区域や農用地への処分による土地利用の混乱と災害危険等の増大，山砂調達に伴う環境破壊，土運搬に伴うダンプ公害など土砂の調達，処分が原因で様々な問題が生じている。

### 2.3.2 残土処理方策と残土処理システム

残土処理の方策を列挙すると表－2.5に示すようなものがある。これらはいずれも重要な方策である。

このうち，本研究では再利用の推進を中心においた残土処理システムについて研究を行った。すな

わち、残土の再利用を推進するためには、従来からの個々の工事単位での問題解決方法では不十分であり、対象地域内の複数の工事を対象に体系的な残土処理を行うことが重要と考え、そのための計画手法について検討した。

本研究で扱う残土処理システムは、残土の合理的な再利用を目指すものであるが、他の方策（発生量の抑制、処分量増大策、適正処分）と無関係のものではなく、むしろこれら諸方策の上に立脚したものと考えている。すなわち、各種方策の実施を前提とし、これらを効率的に組合せていくことが残土処理のシステム化の主たる目的となる。

表－2.5 残土処理方策の内容

| 基本方策    | 処 理 方 策                                          | 具体的処理方法の例                                                                                                                        | 実現性と課題                                             | 本研究での対応                                     |
|---------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 発生量の抑制  | (a) 土砂発生型工事の抑制<br>(b) 場外への搬出の抑制                  | ① 残土大量発生工事の事前チェック<br>① 切り盛りバランスの徹底<br>② カット量の削減<br>③ 工法の改善<br>④ 道路占用工事の発生土埋戻し土                                                   | －<br>} 実施中<br>・土質基準                                |                                             |
| 再利用の推進  | (a) 流用の促進<br>(b) 改良土による再利用                       | ① 情報交換システム<br>② ストックヤード<br>③ 大規模流用工事に対する流用調整<br>④ 中小規模流用工事に対する流用調整<br>① 道路占用工事での改良土埋戻し                                           | ・情報交換の方法<br>・施設の設置<br><br>・改良土の基準と改良土利用の経費性        | ・残土処理計画手法                                   |
| 処分量増大策  | (a) 土砂利用型工事の推進<br>(b) 土砂利用型工事の創設<br>(c) 土砂利用量の拡大 | ① 防災拠点等への残土利用<br>② 水田の畑地転換時の残土利用<br>③ 湖沼、水路、運河低湿地の開発<br>① スーパー堤防<br>② ゼロメートル地帯の盤上げ<br>③ 残土マウンテン<br>① 盛土型造成工事での高盛土<br>② 水田地帯での高盛土 | ・一部実施<br>－<br>－<br>実施予定<br>－<br>・一部実施<br>・試行中<br>－ | 直接研究対象ではないが、これら事業の効率的実施には“残土処理システム”が不可欠である。 |
| 適 正 処 分 | (a) 指定処分の徹底<br>(b) 処分不適区域の作成                     |                                                                                                                                  | } 一部実施中                                            | 研究対象外                                       |

（「新藤範義：建設残土処理対策の課題、土木学会関東支部講習会「建設廃棄物に関する問題」（昭和60年3月5日～6日）テキスト」に加筆）

残土対策は、問題の性格からみて公的機関が中心となって実施すべきものと考えられる。公的機関が残土対策を実施するにあたっては、方策の経済的成立の可否のみでなく、省資源、省エネルギー、防災、環境保全等といった、より広範な課題に対する方策実施効果の評価が重要である。特に大都市周辺地域では、既に物理的に処分地がなくなっており、このような地域では方策の経済的基準は、

より優先度の低い評価基準となろう。すなわち、残土対策を推進するに際しては、単に経済的評価基準だけでなく、種々多様な面への効果を考慮して具体的方策が実施されることが望まれる。

### 2.3.3 残土処理体系

残土処理の具体的方策を検討するためには、道路占用工事対策、大規模工事対策、一般工事対策、余剰土対策の4つに分けると考え易い。それぞれの対策における留意点を以下に示す。

#### ① 道路占用工事対策

道路占用工事というなれば残土の発生源と処分地としての機能を同一工事で持っているものであり、同一工事内での再利用の可能性を持つが、利用可能土砂の土質についてはかなり厳しい条件があるため、再利用に際して土質改良が伴う。また、同一企業が一定地域で多数の工事を実施しており、同一企業の工事単位での再利用も考えられる状況である。この種の工事については、まず当該工事内での掘削土の再利用を徹底するのが第一の課題である。

#### ② 大規模工事対策

大規模工事は地域全体の残土量に与える影響の大きさ、搬入土量に占める割合の大きさ、工事件数の少なさを考えると個別対応も考えられる。また、この種の工事は一般に工期が長く、加えて搬入型のもは土質条件のゆるやかな造成工事が多く、土砂の処分地の性格の強い工事である。ストックヤード等の補助施設の整備が進まない段階ではこの種の工事を核とした再利用が实际的であり、その面でも大規模工事に対する対応が重要となる。

#### ③ 一般工事対策

一般工事は、個々の残土を発生させるだけ、あるいは土砂を搬入するだけの工事であり、工期も短かく、ストックヤード等の補助施設がなければ、この種の工事間での再利用は容易でないという特徴を持つ。また、工事の数が多いため個々の工事に対する指導も難しい。この種の工事については、情報の提供による再利用の促進が課題である。

#### ④ 余剰土対策

残土の再利用を強力に推進したとしても残土量が搬入土量を上回るため、また、残土の中には再利用が難しい土質の土が混るため、処分しなければならない残土が残る。この余剰土に対する適切な処置がもう1つの課題である。土地利用の混乱を防止し、残された処分候補地を長持ちさせるための方策が必要となる。

前述の4つの対策を体系的に示したのが、図-2.11である。これらの残土処理方策を効率的に実施するためには、

- ・ストックヤード、土質改良プラント等の補助施設の設置とその技術的問題
- ・埋戻し基準等の用途利用可能土質基準や流用マニュアル等仕様書類の整備
- ・情報の収集および処理システムの確立

といった課題を個別に解決するのは勿論であるが、これらを相互に有機的に結びつけることが重要である。

### 2.3.4 残土処理システムの全体像

建設工事から排出される残土の処理方法には、

- a) 埋戻し土や盛土材料としてそのまま再利用する(以下、流用とよぶ)。
- b) 残土に何らかの改良を施して再利用する。

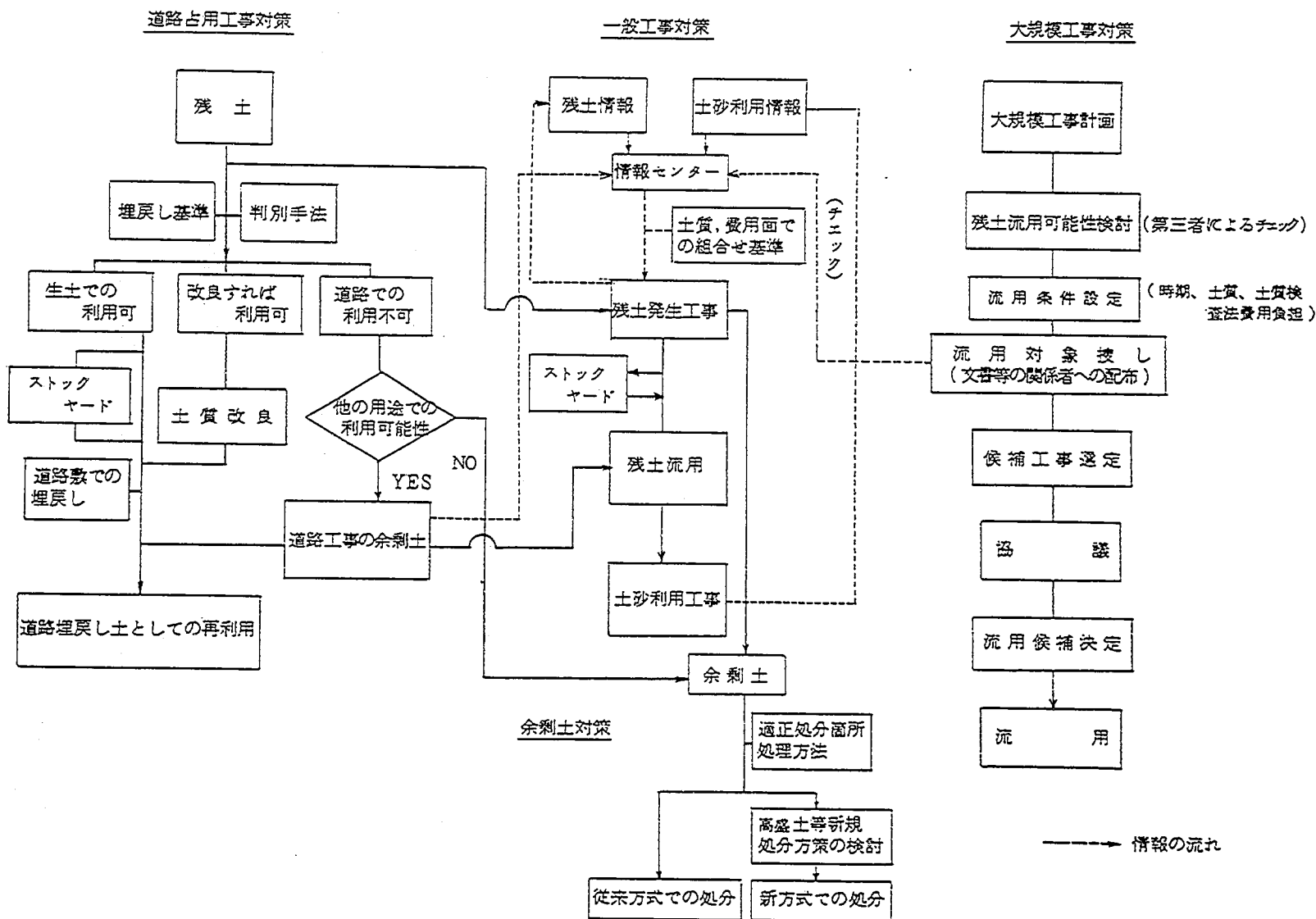


図-2.11 残土の処理体系

c) 処分地へ運ぶ。

の3つがある。本研究で検討した残土処理システムは、このような残土処理を対象地域内で体系的に行うことを目指すものであり、そのためには下記の技術が必要となる。

- ① 残土を適正に有効利用するための土質改良技術および施設
- ② 残土の流用あるいは土質改良を伴う有効利用、限られた処分地の活用などを考慮に入れた合理的な残土処理計画を立案するための計画技術
- ③ 数多い残土情報を扱うための情報処理技術

残土処理システムはこれらの技術を有機的に結びつけ、残土の利用および処分を合理的かつシステムティックに行う体系をいう。システムの構成図を図-2.12に示す。

システムを構成する各技術のいずれが欠けてもシステムの効果を十分に発揮することができない。

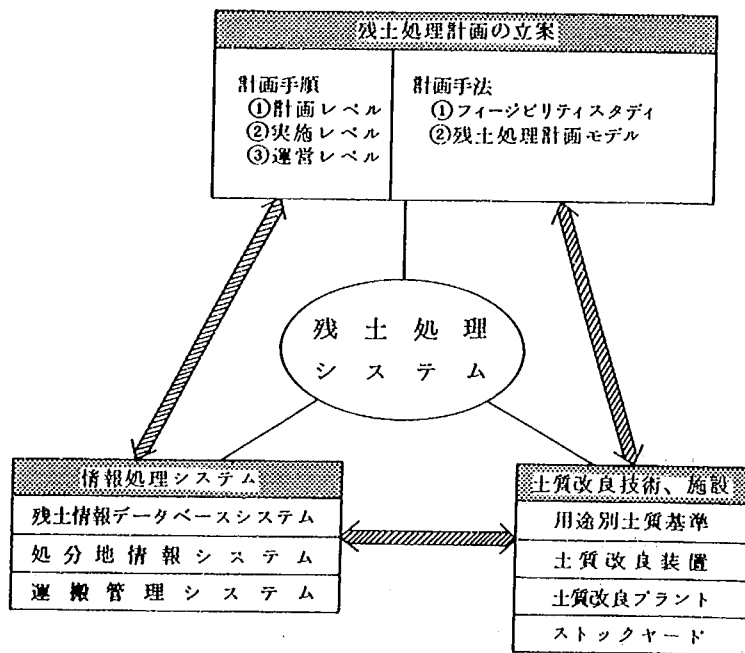


図-2.12 残土処理システムの構成

#### (1) 土質改良技術、施設

残土の有効利用においては、その利用用途によって土質改良が必要となる。従来の土質改良技術に加えて、高含水比粘性土や高有機質土など特殊な条件をもつ土の改良技術も必要となろう。また、改良土を地盤・盛土材料として使用する場合の用途別土質基準が整備されていることも残土処理システムの運用上必要である。これらの問題については本研究でも取上げられており、3章、4章、6章、8章にその成果が述べられている。

また、残土処理システムの運用にあたっては土質改良プラントやストックヤードなどの施設を適切な規模・配置で設けることも必要である。

#### (2) 残土処理計画の立案

残土処理計画の立案は、その目的に応じていろいろなレベルが想定される。ここでは、計画の種類を3つのレベルに分けて考えることにした。

- ① 計画レベル……地域特性に応じた残土処理の基本方針を決定する。また、土質改良プラント等の施設を計画する場合のフィージビリティを明らかにする。

- ② 実施レベル……土質改良プラント、ストックヤードの適切な規模、配置を明らかにする。
- ③ 運営レベル……残土を排出する工事、土質改良プラント等の施設、処分地などに関する情報に基づいて実際の土砂移動計画を作成する。

本プロジェクトでは残土処理計画の立案手法について検討を行った。その成果を 2.4 に述べる。

### (3) 情報処理システム

残土処理を効率的に行うためには、工事や処分地、運搬に関する情報を大量かつ効率的に処理する必要がある。そのためには、次のような情報処理関連のシステムを備える必要があると考えられる。

#### ① 工事情報データベースシステム

残土を排出あるいは受入れる工事に関し、土量、工事時期、土質などのデータを集積、更新し、上述した残土処理計画の立案に必要なデータを提供する。これには土質改良プラントの稼働状況に関するデータなども含まれる。

#### ② 処分地情報システム

臨海埋立地や内陸処分地に関し、処分可能容量、処分の条件等の情報を集積、更新し、上述した残土処理計画の立案に必要なデータを提供する。

#### ③ 運搬管理システム

運搬経路、道路交通情報、運搬車両に関する情報などを収集しておき、日々の土砂移動計画の結果を受けて最適な運搬方法を出力する。

## 2.4 残土処理計画の立案手法

### 2.4.1 残土処理計画モデル

#### (1) モデルの考え方

残土処理計画モデルは、計画対象地域における、ある目的に最も適合した土砂移動を決定するモデルであり、残土を発生する複数の工事（以下、搬出工事とよぶ）から土砂を利用する複数の工事（以下、搬入工事とよぶ）への残土の効率的な配分問題として考えることができる。その際に前提となるのは、計画対象となる工事の残土関連の情報があらかじめ明らかになっていることである。一部の地域では残土に関する情報を収集して工事担当者に提供するシステムを有しており、再利用の促進が図られている。しかしながら残土を再利用するかどうかは個々の担当者の判断にまかされており、このような方法ではシステムティックな残土利用を行って再利用量の増大を図るという目標に対しては必ずしも十分とはいえない。本研究では、残土に関する情報に基づいて合理的な残土処理計画を立案することが重要と考え、この問題に対して線形計画法の適用を試みた。

残土処理計画のモデル化にあたって考慮した事項は次のとおりである。

- (a) 計画対象となる搬出・搬入工事や関連施設に関して表- 2.6 に示す情報を与件と考える。
- (b) 残土の再利用条件を整理すると、
  - ① 各工事の土量条件を満足すること
  - ② 残土の搬出時期と搬入工事側での使用時期が合致すること
  - ③ 再利用される残土の土質が搬入工事側の土質条件を満足することである。

表－2.6 残土処理計画モデルへの入力情報

| 対 象      | 入 力 情 報 の 内 容                       |
|----------|-------------------------------------|
| 搬出工事     | ・工事場所 ・残土量 ・土質<br>・発生時期             |
| 搬入工事     | ・工事場所 ・土量 ・土質（用途）<br>・搬入時期          |
| 土質改良プラント | ・設置場所 ・改良能力 ・改良費用<br>・プラント内のストック可能量 |
| ストックヤード  | ・場所 ・ストック費用<br>・ストック可能量             |
| 捨土処分     | ・処分地の場所 ・規模（容量）<br>・土質の制約 ・処分単価     |
| 土砂購入     | ・土取場の場所 ・規模（容量）<br>・土質 ・購入単価        |
| 運 搬      | ・運搬単価 ・サイクルタイム                      |

(c) 残土の再利用形態として、

- ① 搬出工事から搬入工事への直接の流用
- ② 土質改良プラントを介して土質条件の調整を行った上での再利用
- ③ ストックヤードを介して搬出入時期の調整を行った上での再利用  
を考える。

(d) 計画対象期間をT期に分割して時間項を考慮する。

(e) 土質に関しては“土質レベル”という概念で示す。土質レベルの考え方については後述する。

(f) 残土処理計画の最適性の評価基準として、本研究では個々の工事単位での処理費用で評価するのではなく、対象地域全体に関する総合的な指標を設定することにした。評価指標としては、例えば次のようなものが考えられる。

評価基準①：総費用【（土砂運搬費）＋（土質改良費）＋（土砂購入費）＋（捨土処分費）＋（ストック費）】の最小化

評価基準②：総輸送量【（運搬土量）×（運搬距離）の総和】の最小化

評価基準③：土質改良プラントの収益【（改良土量）×｛（改良土の売価）－（土質改良費）｝】の最大化

評価基準④：残土の再利用量の最大化

評価基準⑤：土砂運搬距離の均衡化（特定の工事間の運搬距離が長くないよう、最長運搬距離が最も短い解を最適解とする）

残土処理計画の最適性の評価基準としていずれの指標を設定すべきかは高位の意志決定の問題であり、残土問題に対する社会的なコンセンサスが形成される中で決定されるべきものと考えられる。ただし、後述する事例研究では総費用の最小化を評価基準として設定した。

上述の考え方に基づき、線形計画手法を利用して残土処理計画モデルの定式化を行うと、次のようになる。

$$A x \leq b \quad (\text{制約条件})$$

$$x \geq 0 \quad (\text{制約条件})$$

$$\min Z = c x \quad (\text{評価基準})$$

ここに、 $x$  ; 変数ベクトル,  $A$  ; 係数行列,  $b$  ; 定数ベクトル,  $c$  ; 係数ベクトル, である。

モデルの決定変数は図-2.13 に示すとおりで、これらの変数は全て土量を表している。また、制約条件は、搬出・搬入工事、ストックヤード、土質改良プラント、捨土処分地、土砂購入地における土量条件である。

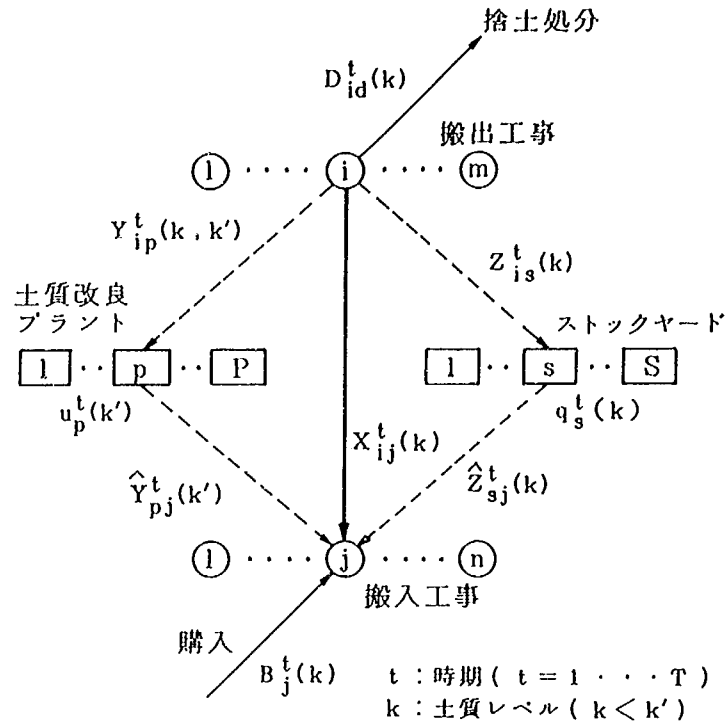


図-2.13 残土処理計画モデルの変数

なお、本モデルの電算プログラムは建設省土木研究所施工研究室が所有している。

### (2) モデルの適用

本研究では2.3 に述べたように、残土処理の対象工事を道路占用工事とそれ以外の工事(一般工事とよぶ)の2種類に分けて考えている。本研究で開発した残土処理計画モデルは対象工事ごとに計画レベルに応じた適用が可能である。表-2.7 にモデルの適用可能な計画レベルを示す。

### (3) 残土処理計画モデルにおける土質レベル

残土処理計画モデルにおいて土質をどのように考慮するかは重要な問題である。本研究では“土質レベル”という概念を導入することによって対処することとした。ここでいうレベルの高い土質とは搬入工事側での用途の広い土質を指し、一般には砂粒土、レキ粒土が想定される。一方、レベルの低い土質とは用途の狭い土質を指し、含水比の高い粘性土などがこれに相当する。

土の再利用条件を土質レベルの観点からみると、

$$[\text{搬出土砂の土質レベル}] \geq [\text{搬入土砂の土質レベル}]$$

が必要条件となる。

モデルの中に土質改良プラントを含めて考える場合、土質改良プラントは土に石灰やセメントなどの改良材を混合することによって土質レベルを高める機能を持つものとする。すなわち、

表－2.7 残土処理計画モデルが適用可能な計画レベル

| 対 象         | 計 画 レ ベ ル             | 検 討 項 目                                              | 出 力 情 報                                                   | 人 力 情 報 の 精 度                                      |
|-------------|-----------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 道路占用<br>工 事 | 土質改良プラントの<br>配置計画（概略） | ・土質改良プラント導入<br>による経済的効果<br>・プラントの配置、規模、<br>対象範囲の概略検討 | ・プラントの配置、規模別の<br>土砂処分調達費<br>・残土再利用量、捨土処分量、<br>土砂購入量、輸送量など | ・残土発生量、埋戻し土量はゾーン<br>単位で入力<br>・プラント建設が可能なゾーン        |
|             | 土質改良プラントの<br>配置計画（詳細） | ・プラントの配置、規模<br>の検討                                   | 同 上                                                       | ・ゾーン別、時期別の残土発生量、<br>埋戻し土量<br>・プラント建設候補地            |
|             | 土砂移動計画<br>（プラント建設後）   | ・工事、プラント、処分<br>地、購入地の間の土砂<br>移動                      | ・具体的な土砂移動先<br>・プラントの稼働計画                                  | ・工事単位の残土発生量、埋戻し土量<br>・工事場所、工事時期の詳細情報<br>・プラントの処理能力 |
| 一般工事        | 概略計画                  | ・比較的広い地域を対象<br>にした長期的（１年程<br>度）な残土処理計画               | ・具体的な土砂移動先<br>・土砂処分調達費、残土再利<br>用量、捨土処分量など                 | ・ゾーン別、時期別の搬出土量、搬入土量<br>・大規模工事の概略施工計画               |
|             | 詳細計画                  | ・比較的狭い地域を対象<br>にした短期的な残土処<br>理計画                     | 同 上                                                       | ・工事単位の残土発生量、埋戻し土量<br>・工事場所、工事時期の詳細情報               |

〔搬出土砂の土質レベル〕＜〔搬入土砂の土質レベル〕

の場合に、土質改良によって

〔搬出土砂の土質レベル〕＝〔搬入土砂の土質レベル〕

とすることによって再利用が可能になるものとする。このとき、レベルの低い土を扱うほど改良材の混合率が高くなるので改良コストは高くなる。

土質レベルをどのようにして設定するかは難しい問題であるが、残土処理問題を本研究のようにシステムとして取扱おうとする場合には、適切な判断のもとでレベル設定を行なわざるを得ない。

表－2.8 は本総プロにおいて検討した用途別・土質別の土の利用法である。この表を利用すれば、用途に応じて表－2.9 のように土質レベルを設定することができる。

表－2.9 土質レベルの設定例

| 表 2.8 中 の 記 号              |       | 土質レベル |
|----------------------------|-------|-------|
| ◎：そのまま使用可能なもの              |       |       |
| ○：施工管理に注意すればそのままでも使用が可能なもの |       | k＝3   |
| △：土質改良を行えば使用可能なもの          | 改良費 小 | k＝2   |
|                            | 改良費 大 | k＝1   |
| ×：土質改良を行っても使用が不適なもの        |       | k＝0   |

## 2.4.2 道路占用工事における残土処理計画

### (1) 道路占用工事における残土処理問題

ここで取り上げる道路占用工事は、地表面下数m程度までを掘削し（オープンカット）、各種の埋設管（上下水道、ガス、電力、電話など）を設置した後に土を埋戻す工事である。従来、この種の工事では「掘削土は場外搬出物として処分し、必要な埋戻し土は山砂等の購入土を充てる」という、いわゆる土砂置換工法が多く採用されている。しかし、近年になって都市部では適切な処分地を確保することが難しくなりつつあり、一方では良質な埋戻し材の枯渇や土取場の遠隔化が進んでおり、その結果として土砂置換工法は経済性の面で必ずしも最適な工法とはいえなくなっている。そこで、掘削

表-2.8 残土の種類別利用法

| 残 土 の 分 類 |                            |                    | 用 途             |         |      |       |      |      |      | 摘 要                                                                                                           |                        |                                                    |                                 |
|-----------|----------------------------|--------------------|-----------------|---------|------|-------|------|------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|
| 土 質 区 分   |                            | 土質改良のための<br>一般的な目安 | サンドマット<br>ドレーン材 | 埋 戻 し 材 |      | 盛 土 材 |      |      |      |                                                                                                               |                        |                                                    |                                 |
| 大分類       | 小 分 類                      |                    |                 | 埋 設 管   | 構造物等 | 道 路   | 堤 防  | 土地造成 |      |                                                                                                               |                        |                                                    |                                 |
|           |                            |                    |                 |         |      | 路 床   | 路 体  |      |      |                                                                                                               |                        |                                                    |                                 |
| 砂         | 細粒分が少ないもの<br>(15%程度以下)     | 良 質 土              | ◎               | ◎       | ◎    | ◎     | ◎    | ○    | ◎    | 注1) 完成後の沈下等の制約がそれほど厳しくない場合はそのまま使用してよいが、厳しい場合は土質改良を必要とする。<br>注2) へどろの場合、土質改良を行うことにより、捨土先である埋立地等での施工性が大幅に改善される。 |                        |                                                    |                                 |
| 砂質土       | 細粒分が比較的多いもの<br>(15~25%程度)  |                    | ○               | ○       | ◎    | ○     | ◎    | ○    | ◎    |                                                                                                               | 「6. 高含水質土の適正処理技術の開発」参照 |                                                    |                                 |
|           | 細粒分が多いもの<br>(25~50%程度)     |                    | X               | △       | ○    | ○     | ◎    | ◎    | ○    |                                                                                                               |                        | 「6. 高含水質土の適正処理技術の開発」および「4. 高含水比粘性土の土質改良用混合装置の開発」参照 |                                 |
| 粘性土       | 含水比が低いもの<br>(40%程度以下)      |                    | X               | △       | △    | △     | ○注1) | ○注1) | ○注1) |                                                                                                               |                        |                                                    | 注3) 何らかの処置 よりこれらを除去したものは、別除換計する |
|           | 含水比がかなり高いもの<br>(40~80%程度)  |                    | X               | △       | △    | △     | △    | △    | △    |                                                                                                               |                        |                                                    |                                 |
|           | 含水比が高い火山灰質粘性土(ローム)         | 要 改 良 土            | X               | △       | ○    | △     | ○    | ○    | ○    |                                                                                                               |                        |                                                    |                                 |
| へどろ・その他   | 含水比が非常に高い浚渫汚泥等             |                    | X               | X       | X    | X     | X    | X    | X注2) |                                                                                                               |                        |                                                    |                                 |
|           | ベントナイト、木片、ごみ、がら等を混入する土 注3) | 不良土                | X               | X       | X    | X     | X    | X    | X    |                                                                                                               |                        |                                                    |                                 |

「3. 改良土を用いた埋戻し技術の開発」参照

<記号の説明>

◎：そのまま使用が可能なもの

○：施工管理に注意すればそのままでも使用が可能なもの

△：土質改良を行えば使用可能なもの

X：土質改良を行っても使用が不適なもの

////：本誌プロでハード面の検討を行っているもの

土を埋戻し土として再利用すれば、残土発生量の低減、山砂資源の保護、土砂運搬距離の短縮などを図ることが可能となり、道路占用工事にかかわる土砂処分調達費の節減が期待される。

本研究で特に道路占用工事のみを対象にした理由は以下のとおりである。

- ① 道路占用工事から排出される残土量は、土木工事全体での残土発生総量の相当部分を占めている。
- ② 道路占用工事では掘削と埋戻しが行われるため、土質条件や経済性の条件が満足されれば、他工種との土のやりとりがなくともかなりの量の有効利用が可能である。

現在、道路占用工事における埋戻し材料は建設省、日本道路公団、各地方自治体の道路管理者によって規定されており、「砂または同等品以上」あるいは「砂・切込砂利・良質土等」といった表現が多い。これらの規定では砂ばかりでなく掘削土のうちの良質土の使用を認めているものの、良質土の規定が明確でない事例が多い。ところが、我が国の都市部の地盤では掘削土の多くは埋戻し土として利用可能な良質土ではないため、現状では上述のような土砂置換工法が主体となっている。したがって、掘削土を埋戻しに用いる場合には土質改良（セメント、石灰等を添加、混合する）が必要となることが多い。このようなことから、本研究では道路占用工事における残土処理計画を土質改良施設の計画としてとらえることとした。すなわち、対象地域内で発生する掘削土を有効利用することを目的として、土質改良プラントの適正な規模、配置などを検討する問題を考えることにした。

## (2) 残土処理計画立案の基本方針

### a) 評価尺度

本研究では、掘削土を土質改良し、埋戻し土として再利用する場合の計画代替案を関連費用の総和【（土質改良費）＋（土砂運搬費）＋（山砂購入費）＋（捨土処分費）】で評価することにした。以下ではこれを土砂処分調達費とよぶ。

### b) 計画プロセス

本研究では残土処理計画を次の2つの段階に分けて考えることにした。まず第1段階では、ある地域内の道路占用工事を対象としてマクロ的な土量予測を行い、埋戻し土として改良土を用いるために土質改良プラントを設けることが経済的に有利か否かを概略的に判定する。次に第2段階では、掘削土量や埋戻し土量に関する詳細な将来予測値に基づいて土質改良プラントの適正な規模、配置の検討を行う。

図-2.14は残土処理計画のプロセスを示したものであり、それぞれの計画段階において土砂処分調達費を比較検討するのに必要な入力情報を整理している。

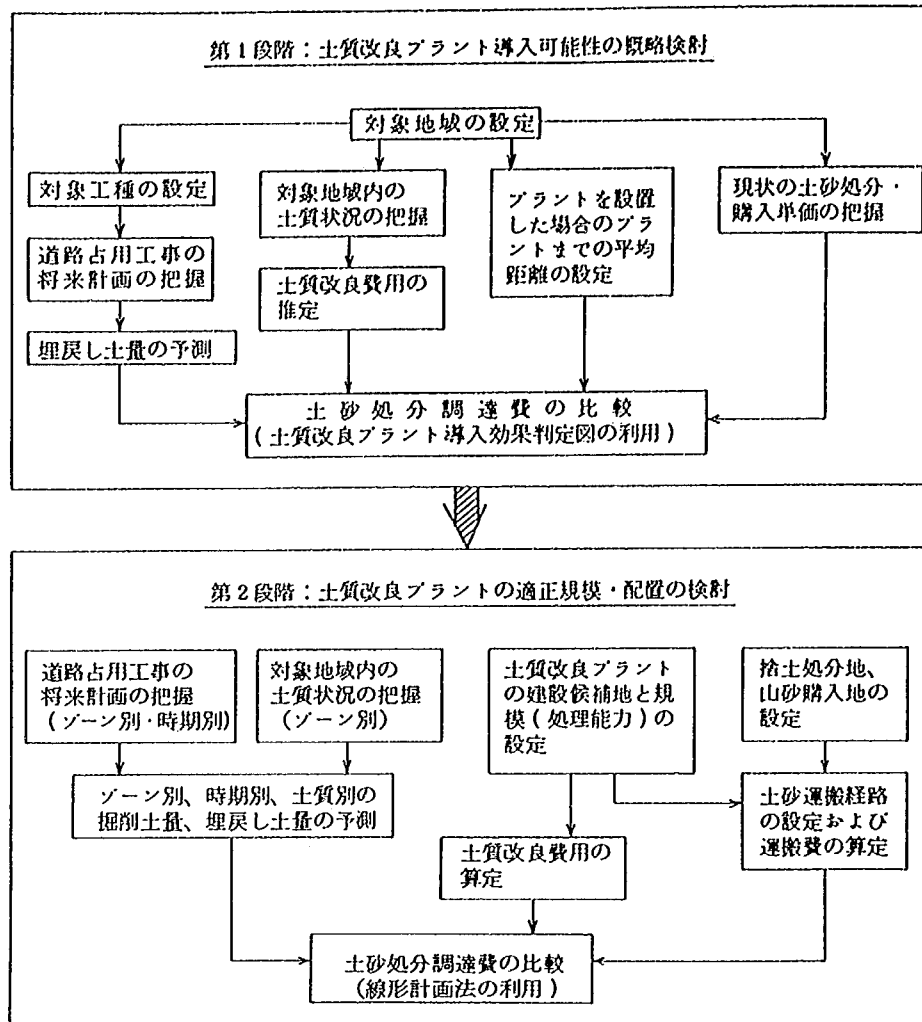
### c) 掘削土の再利用条件

掘削土を埋戻し土として再利用できる条件は次の2条件である。

- ① 埋戻し土に必要な土質工学的性質（強度、圧縮性など）を有すること。
- ② 「掘削－運搬－土質改良－運搬－埋戻し」の工程が個々の道路占用工事の工程と合致していること。

これらの条件に関して本研究では以下のような取扱いをしている。

条件①について：土質改良しなくてもそのまま埋戻し土として利用可能な土（良質な砂）や、埋戻し土として利用可能となるように土質改良することが不可能または経済的に明らかに不利な土（たとえば高含水比粘性土）についてはあらかじめ検討対象から除外し、土質改良することによって利用可能となる土（含水比が高くない粘性土、ロームなど）のみのデータを用いる。



図－2.14 残土処理計画のプロセス

条件②について：本研究のような施設計画のレベルでは多くの工事を包括的に扱うのが实际的であり，工事単位での条件までは考慮する必要がないと判断した。そして，掘削土量や埋戻し土量についてゾーン単位で時期変動を考慮することにした（計画プロセスの第2段階）

### (3) 土質改良プラント導入可能性の概略検討

本検討は，ある地域の道路占用工事を対象としたときに，掘削土を土質改良して埋戻し土として用いるために土質改良プラントを設けることが経済的に有利か否かを判定するもので，本研究ではそのための判定図を作成することにした。これによって，現状の土砂処分・購入単価（円 /  $\text{m}^3$ ），対象地域内の埋戻し土量（ $\text{m}^3$  / 年），プラントを設置した場合に想定されるプラントまでの平均距離（km）のデータを用いて図上で経済的効果の判定を行うことができる。

#### a) 土質改良プラント導入効果判定図の作成

ある地域に土質改良プラントを設けた場合に経済的効果が見込まれるためには，次の不等式が成立つ必要がある。

$$(\text{プラントを設けた場合の土砂処分調達費}) \leq (\text{従来工法での土砂処分調達費}) \cdots \cdots (1)$$

これを記号で表すと以下ようになる。

$$V \leq P \text{ のとき}$$

$$V \cdot \{Cu(d) + Cp\} + K \leq V \cdot (Cin + Cout) \dots\dots\dots(2)$$

$V > P$  のとき

$$P \cdot \{Cu(d') + Cp\} + K \leq P \cdot (Cin + Cout) \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 $V$ ：埋戻し土量 ( $m^3$  / 年)

$P$ ：プラントの処理能力 ( $m^3$  / 年)

$Cin$ ：山砂購入単価 (円 /  $m^3$ )

$Cout$ ：捨土処分単価 (円 /  $m^3$ ) (運搬費と処分費の和)

$Cp$ ：土質改良単価 (円 /  $m^3$ ) (固定費を除く)

$K$ ：プラントの固定費 (円 / 年) (償却費，地代，諸経費など)

$Cu(d)$ ：片道運搬距離が  $d$  のときの往復運搬単価 (円 /  $m^3$ )

$d$ ：対象地域内の各地点からのプラントまでの平均距離 (km)

である。なお、 $V > P$  の場合にはプラントに近い工事の掘削土が  $P$  だけ改良されるものとし、土量比と面積比の関係を仮定することによってプラントまでの平均運搬距離  $d'$  を次式で求めることにした。

$$(d' / d)^2 = P / V \dots\dots\dots(4)$$

費用係数のうち  $Cp$  と  $K$  はプラントの規模によって異なる。ここでは、プラントの処理能力  $P$  ( $m^3$  / 年) をパラメータとして土質改良単価  $Cp + K / P$  (円 /  $m^3$ ) を試算した結果を図-2.15 に示す。図から、大量処理によるコスト低減がかなり期待できることがわかる。なお、試算条件による結果の差異は、

- ① 想定する土質によってセメント等の改良材の添加量がかなり異なること、

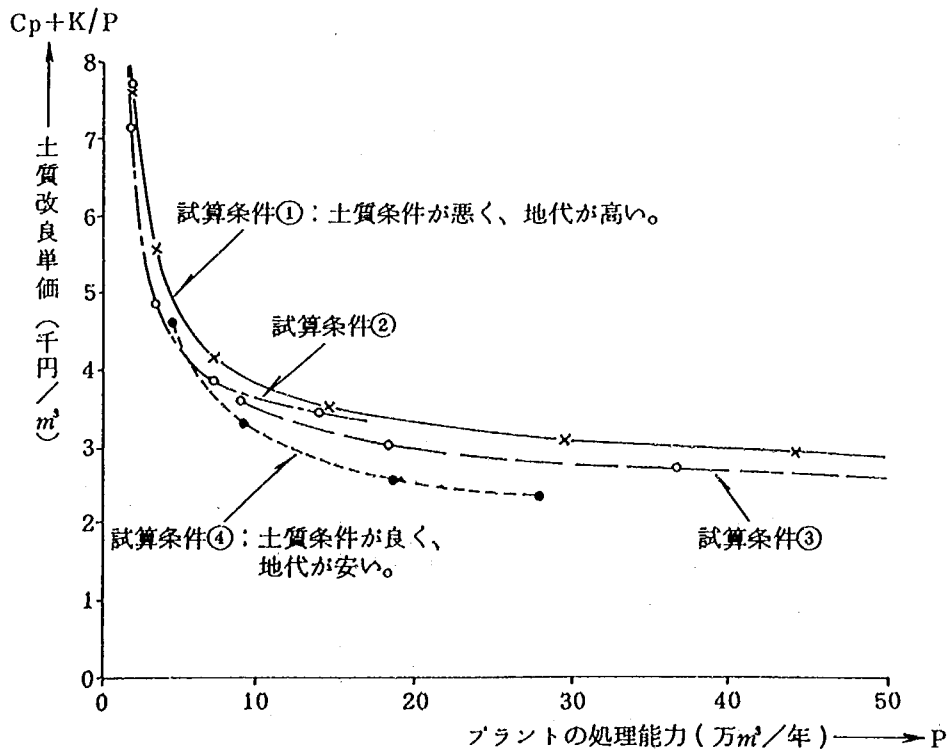


図-2.15 プラントの処理能力別の土質改良単価

② 固定費に占める地代の比率が高く、その評価方法が改良単価に与える影響が大きいこと、が原因となっている。そこで、以下に示すプラント導入効果判定図では $C_p$ および $K$ の値に幅を持たせるものとし、上限値、下限値にそれぞれ試算条件①④の結果を用いることにした。

図－2.16は $P(=7.4, 14.8, 29.6 \text{ 万m}^3/\text{年})$ および $d(=5, 15 \text{ km})$ をパラメータとして作成したプラント導入効果判定図である。図はプラント導入による経済的効果の有無の境界線を表しており、境界線より上方では式(2)(3)が成立つことを示している。なお、境界線が帯状になっているのは、上述したように $C_p$ と $K$ に上限値と下限値(表－2.10に示す)を設定して計算したためである。

図－2.16から次のことがいえる。

- ① 境界線は右下がりとなっており、埋戻し土量が多いほどプラント導入による経済的効果がある可能性が高くなる。また、埋戻し土量が $10 \text{ 万m}^3/\text{年}$ 程度以下では現状の土砂処分・購入単価がよほど高くない限りは導入効果が得られる可能性が少ない。
- ② 現状の土砂処分・購入単価が $4,000 \text{ 円/m}^3$ 程度以下であれば、埋戻し土量が多くてもプラント導入による経済的効果が得られる可能性は少ない。
- ③ プラントまでの平均距離が長くなるほど境界線は上方にシフトする。すなわち、等しい埋戻し土量であっても対象地域が広く、工事密度が低い場合にはプラント導入による経済的効果が得にくくなる。
- ④ 埋戻し土量が多くなると大規模なプラントを設定するほうが経済的効果が得られる可能性が大きくなる。

表－2.10 費用係数 $C_p$ 、 $K$ の設定値

| プラントの処理能力 $P$ ( $\text{万m}^3/\text{年}$ ) |                               | 7.4    | 14.8   | 29.6   |
|------------------------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| 上限値                                      | 改良単価 $C_p$ ( $\text{円/m}^3$ ) | 1,810  | 1,810  | 1,810  |
|                                          | 固定費 $K$ ( $\text{万円/年}$ )     | 19,100 | 28,700 | 47,500 |
| 下限値                                      | 改良単価 $C_p$ ( $\text{円/m}^3$ ) | 1,640  | 1,640  | 1,640  |
|                                          | 固定費 $K$ ( $\text{万円/年}$ )     | 14,900 | 17,000 | 21,000 |

#### b) 判定図の適用例

A、B、Cの3都市を対象にして、道路占用工事の将来計画に基づく年間埋戻し土量の推定および土砂処分・購入単価の調査を行った。その結果を表－2.11に示す。このデータを図－2.16にプロットすることによって、各都市で土質改良プラントを導入することが経済的に有利か否かの検討を行ってみる。

表－2.11 プラント導入効果判定のためのデータ

| 対象地域<br>(都市名) | 道路占用<br>工事の種類 | 埋戻し土量<br>$V$ ( $\text{万m}^3/\text{年}$ ) | プラントまでの<br>平均距離 $d$ ( $\text{km}$ ) | 土砂処分・購入単価( $\text{円/m}^3$ ) |           |
|---------------|---------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------|
|               |               |                                         |                                     | $C_{in}$                    | $C_{out}$ |
| A市            | 上下水道          | 75                                      | 15~17                               | 2,400                       | 2,800     |
| B市            | 上下水道          | 32                                      | 13~15                               | 2,300                       | 2,100     |
| C市            | ガス            | 20                                      | 13~15                               | 2,500                       | 3,000     |

A市の場合：境界線上にプロットされている。この結果から導入効果の有無を断定することはでき

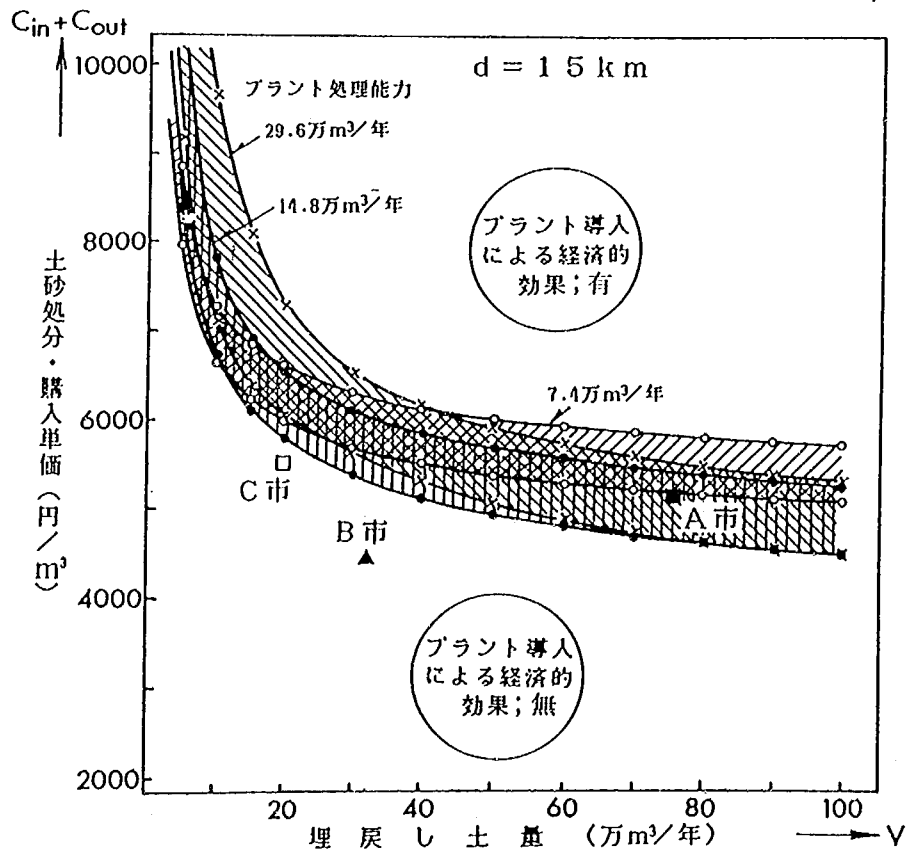
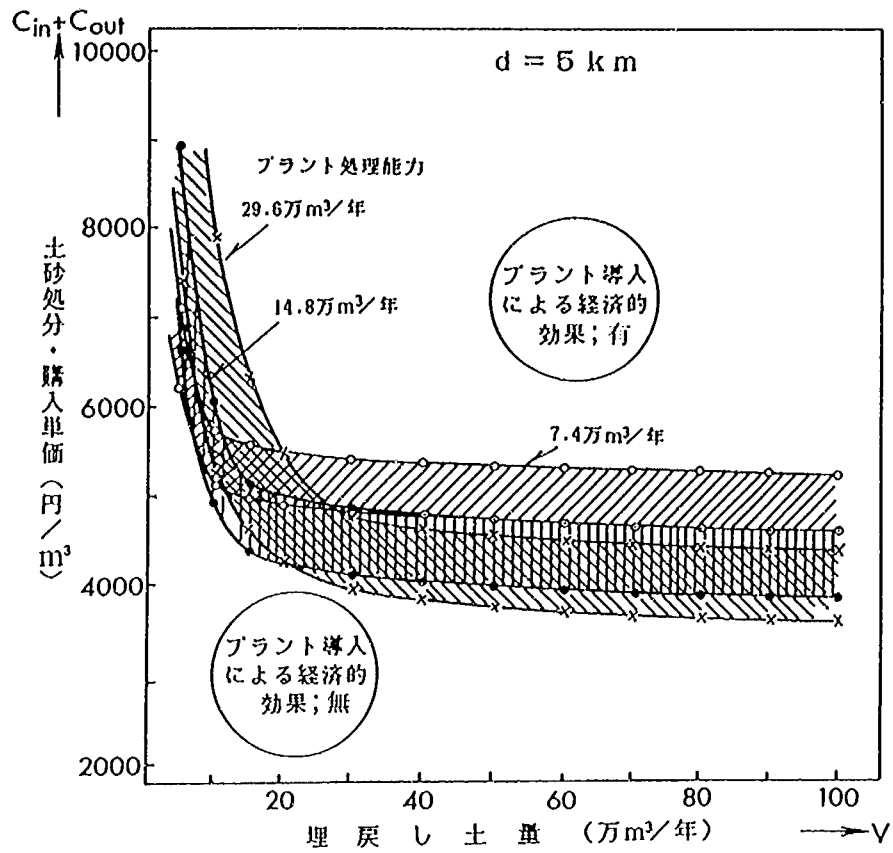


図-2.16 プラント導入効果判定図

ないが、さらに詳細な調査・検討（本研究でいう第2段階）へと進む価値があると考えられる。

B市の場合：境界線の下側にプロットされている。これは、捨土処分地や山砂購入地が比較的近くに存在しており、土砂処分・購入単価が安いためである。したがって、将来的に捨土処分地や山砂購入地が安定しているようであれば、土質改良プラントの導入は不経済になる可能性がある。

C市の場合：境界線の下側にプロットされている。しかし、この都市では土砂処分・購入単価が比較的高いため、本事例のようにガス工事だけを対象にするのではなく、上下水道などの他工種をも対象に含めて検討すればプラントの導入効果が生じる可能性がある。

#### c) 埋戻し工事量が少ない地域でのプラント導入効果

土質改良を行う埋戻し工事の対象地域を市町村単位で考えることにした場合、大多数の市町村では年間の埋戻し土量が1～2万 $\text{m}^3$ と少なく、図－2.16を見る限りにおいては一つの自治体単独で土質改良プラントを導入しても経済的効果が得られる可能性は少ない。しかしながら、面積の小さい市町村であれば複数の市町村が協力して一つの土質改良プラントを導入することによって経済的効果が得られる可能性がある。この検討は、上述と同様の方法によって行うことができる。

本研究で行った試算によると、年間の処理能力が4.6万 $\text{m}^3$ という小規模なプラントを想定する場合、プラントから2～4kmの範囲内に4.6万 $\text{m}^3$ の埋戻しを行う工事があれば経済的効果があるとみなせる。したがって、このような条件を満足するような複数の市町村が協力することによって、小規模プラントであってもその効果は十分発揮できるものと思われる。

#### (4) 土質改良プラントの適正規模・配置の検討

本検討は、図－2.14に示した計画プロセスの第2段階に相当するもので、対象地域内の工事量（すなわち、掘削土量、埋戻し土量）の予測に基づいて土質改良プラントの規模・配置について検討するものである。本稿では土量予測の方法については触れず、予測値に基づいた検討の方法と若干のケーススタディについて述べる。

##### a) 検討方法

##### ① 土量に関するデータ

(3)では対象地域内の土量をマクロ的にとらえていたが、本検討でのもう少し詳細なデータに基づく必要がある。これは、プラントの規模・配置の決定には道路占用工事の地理的分布や時期的分布が重要な要因になると考えられるためである。その際、工事場所や工事時期の情報を工事単位で扱うと膨大なデータ量になることが予想され、また、工事に関する情報の精度だけを高くしても全体の精度と必ずしも整合しない。このようなことから、工事の地理的分布についてはゾーン単位で、また工事時期については一ヶ月あるいは四半期といった程度の精度で扱うのが現実的な対処方法であると考えられる。

##### ② 代替案の作成

プラントの規模・配置が計画上の操作変数となるが、あらゆる可能性の全てについて検討することになると自由度が大き過ぎ実際に検討が不可能となる。そこで、プラントの位置については何らかの外的条件（土地の取得可能性、土砂運搬道路の状況など）によって建設候補地が既にある程度絞られていることを前提として検討するのが妥当と考える。

### ③ 土砂処分調達費の算出

本研究では、(1)に述べたように土砂処分調達費を代替案の評価尺度とすることを基本方針としている。プラントの規模・配置に関する代替案を設定したとき、その条件のもとで最も効率的な土の再利用、処理が行われるものと仮定すると、土砂処分調達費の最小化を目的関数とする線形計画モデルを適用することによって各代替案の土砂処分調達費を算出することができる。

#### b) ケーススタディ

ケーススタディの対象として面積約 430 km<sup>2</sup> の A 市を取上げた。(3)で検討したように、A 市では、上下水道工事だけを対象にしてもプラントの導入効果が得られる可能性がある。そこで、以下では上下水道工事の他にガス、電話、電力、共同溝工事を含めて検討を行うことにした。対象地域を14のゾーンに分け、年間の掘削土量と埋戻し土量を予測した結果を図-2.17に示す。図からわかるように、対象地域の周辺部で工事の多いことが予測されている。また、これまでの実績から道路占用工事は年度の後半に工事量が増加することが知られているため、ここでは計画対象期間(1年)を3ヶ月単位に分割し、四半期ごとの土量を予測して以下の計算に用いることにした。A 市では残土を捨土処分する場合は指定処分とすることが多く、この事例においても図に示す3箇所の捨土処分地を設定した。なお、山砂購入地については特定しなかった。

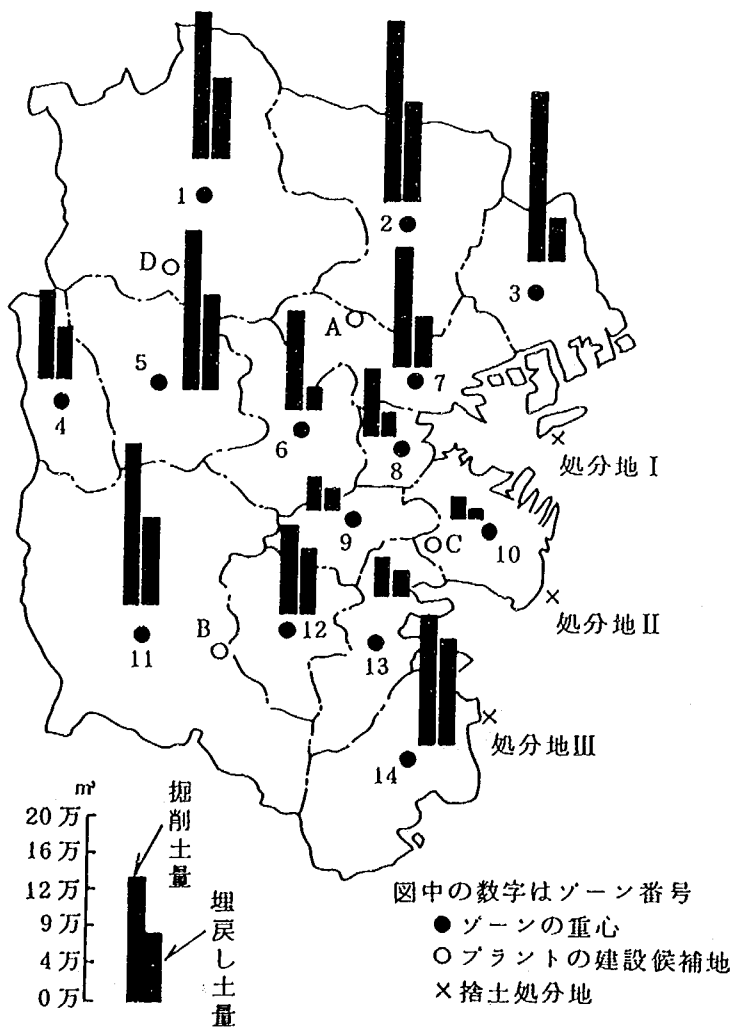


図-2.17 A市における掘削土量、埋戻し土量の分布

土砂処分調達費の最小化を目的関数とする線形計画モデルを適用する際の変数は次のとおりである。

$X_{ip}(t)$  : 時期  $t$  にゾーン  $i$  からプラント  $p$  へ運搬する掘削土量 ( $m^3$ )

$Y_{pi}(t)$  : 時期  $t$  にプラント  $p$  からゾーン  $i$  へ運搬する埋戻し土量 ( $m^3$ )

$Z_{ij}(t)$  : 時期  $t$  にゾーン  $i$  から捨土処分地  $j$  へ運搬する捨土量 ( $m^3$ )

( $t = 1 \cdots 4$ ,  $i = 1 \cdots 14$ ,  $j = 1 \cdots 3$ ,  $p = 1 \cdots 4$ )

制約条件は、各ゾーンでの土量条件および各プラントの処理能力である。なお、運搬距離の算出にあたっては各ゾーンの重心点を用いることにした。

プラントの建設候補地として図-2.17中に示すA～Dを設定し、プラントを1基設ける場合にはA地点、2基設ける場合にはA地点とB地点、4基設ける場合にはA～D地点を想定することにした。また、プラント1基当りの処理能力として7.4, 14.8, 29.6, 37.0 (万 $m^3$ /年)の4通りを設定した。

以上の条件のもとで試算結果を図-2.18に示す。図の横軸は対象地域内でのプラントの処理能力の合計を示している、図から次のようなことがわかる。

- ① プラントの処理能力が増えるにつれて土砂処分調達費は減少し、土質改良プラントが無い場合に比べるとかなりの経済的効果を期待できる。
  - ② 処理能力が大き過ぎるとプラントの施設費が高くなり、土砂処分調達費の低減にはつながらない恐れがある。
  - ③ 処理能力の合計を等しく設定したとき、プラントを1基とする場合と2または4基に分散させる場合とでは大きな差は認められない。これは大規模プラントを1基設ける場合には土質改良費のスケールメリットを期待することができるが、プラントと工事現場間の運搬費はかえって増えるためである。一方、分散型の配置にすると土砂運搬費をかなり低減させることができる。
- 以上に示したような検討を経ることによって土質改良プラントの適正規模・配置に関する有益な情

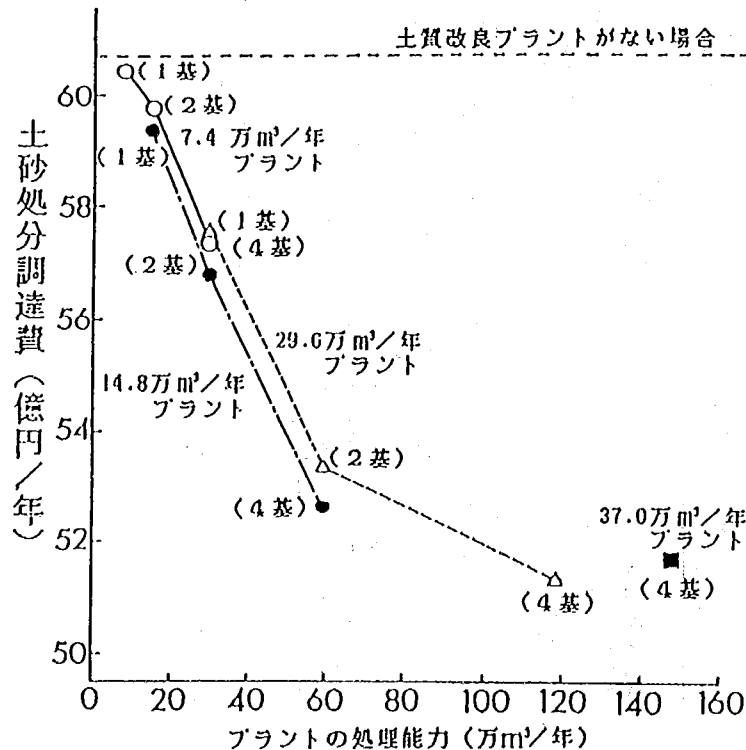
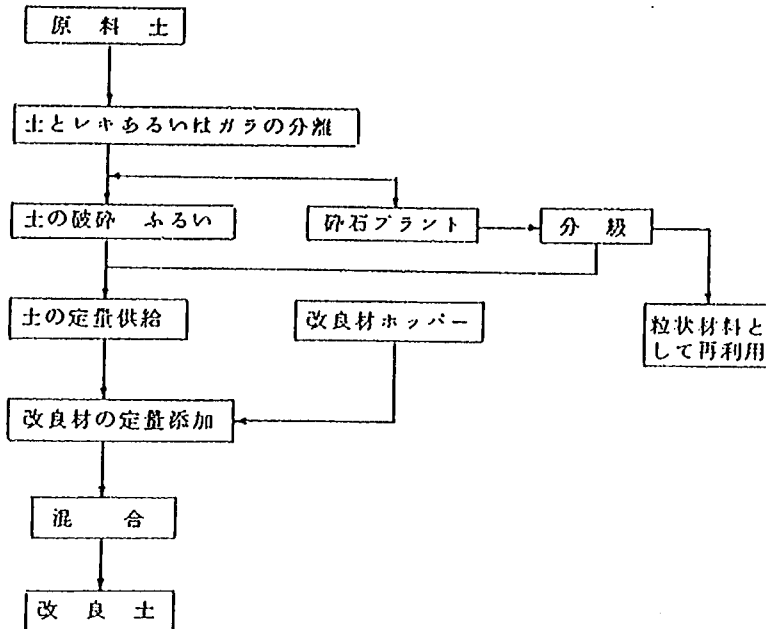


図-2.18 プラントの処理能力別の土砂処分調達費

報を得ることができる。

#### (5) 土質改良プラントの計画・設計上の留意点

土質改良プラントは、技術的に実績のあるソイルプラントの応用と考えることができる。基本的には土に石灰等の改良材を添加混合する技術であり、特に高度な技術を必要とするものではないが、残土の性格上レキや不良土が含まれる場合も多いことから破碎、分級等の前処理や混合設備に特別な配慮がなされることがある。土質改良プラントの一般的処理フローを図－2.19に示す。



図－2.19 土質改良プラントの一般的処理フロー

土質改良プラントを計画・設計する際には以下の点に留意する必要がある。

##### a) 発生土の特性

広範囲かつ深度が多岐にわたる建設現場から発生する残土は、土質、含水比、混入するレキやガラの種類とその混入率など、その特性は一般に大きく変動する。したがって設計に当たっては、対象地域から発生する土の特性を地盤図や過去の実績から十分に把握しておく必要がある。

発生土が高含水比粘性土でかつ付着性の強い土の場合、シュート、ホッパー、ミキサー等に土が付着し、作業性を著しく低下させる。したがって、プラント投入前に生石灰等で事前処理を行うとか、土と機械の接触面積を小さくしたり、接触時間の短縮を図る等の対策が必要となる。また市街地から発生する残土はガラを始めとして金属片、プラスチック片を含むことも多いことから、分級あるいは除去装置の設置が必要になる。

##### b) 改良土の用途

発生土の特性により、その用途は異なる。また用途次第ではプラントの仕様も変化する。例えば用途として埋戻し材料を想定した場合でも、土の特性や改良の方法次第では下層路盤材料として活用する場合もある。またレキやアスファルトあるいはコンクリート塊を多量に含む場合には、破碎、分級設備を併設して再生骨材や路盤材をも生産し得る設備とすることも考慮すべきである。

##### c) 生産能力およびストックヤードの規模

プラントの生産能力を算定するにあたっては、残土発生量と改良土の需要を時系列で把握し、それ

に応じた能力を持つ施設を設定する必要がある。通常年間需要のピーク量を推定してプラントを設計する。これまでの経験からピーク量は年間受注量  $S$  ( $\text{m}^3/\text{年}$ ) の月平均の 1.5 倍程度である。また月当たりの平均稼働日数を 20 日、1 日の標準稼働時間を 7 時間とすれば、時間当たりの生産能力  $Q_{\text{max}}$  ( $\text{m}^3/\text{時}$ ) は

$$Q_{\text{max}} = 1.5 \cdot S / 12 \cdot 20 \cdot 7 = 8.9 \cdot 10^{-4} S \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。

一方、土砂のストック能力を単に年間需要量から算出することは危険である。公共工事は一般に季節変動が大きく、その内容も質、量ともに大きく変化するのが常である。従って対象とすべき地域、工事、事業主体等の特性を十分に把握したうえで、決定されるべきである。広面積のヤード確保が望ましいことはいうまでもないが、用地費は改良コストに大きく反映することから、残土搬入と改良土搬出の時間差をも考慮して必要最小限に止めることが望ましい。参考のために、現在稼働しているプラントが保有しているストックヤードは表 2.12 に示す通りである。

表 2.12 土質改良プラントにおけるストックヤードの面積

|       | 年間処理量  | 原料ヤード             | 製品ヤード             | 合 計               |
|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Oプラント | 20 万トン | 5000 $\text{m}^2$ | 3000 $\text{m}^2$ | 8000 $\text{m}^2$ |
| Tプラント | 21 万トン | 1000 $\text{m}^2$ | 6000 $\text{m}^2$ | 7000 $\text{m}^2$ |
| Yプラント | 3 万トン  | 500 $\text{m}^2$  | 1000 $\text{m}^2$ | 1500 $\text{m}^2$ |

#### d) 改良材の選択と貯蔵設備

土質改良に用いられる改良材は、一般に石灰系とセメント系である。石灰系は、消石灰および生石灰であり、前者は砂質土またはシルトで比較的含水比の低い土に用いられ、後者は高含水比の粘性土に用いられる。一方セメント系では高炉セメント、ポルトランドセメントの他に土壌固化用の特殊セメントがある。これらの改良材の安定処理効果は対象土の土質によって異なることから、最低 2 種以上の貯蔵設備が必要となる。多様な残土を対象とする場合には 3 種以上の貯蔵設備を考慮する場合もある。

貯蔵設備容量もまた年間需要のピーク量によって決定されるが、改良材が連日供給されるとして、通常日平均処理土量の 5～7 %が必要となる。なお設計にあたっては貯蔵設備だけでなく改良材の受入れ、およびその供給過程で粉塵発生のないよう留意する必要がある。

#### e) 立地条件

工場立地法、建築基準法等の法規に準拠した上で、

- ① 残土の需給現場に近いこと
- ② 大型車の進入が可能なこと
- ③ 周辺地域に環境問題が生じないこと

などの条件を考慮して立地を検討する必要がある。

### 2.4.3 一般工事における残土処理計画

2.4.2 では道路占用工事における残土処理計画の立案手法について述べた。すなわち、道路占用工事では改良土を埋戻し土として利用することによってかなりの残土処理が可能であることから、土質改良プラントの施設計画として問題をとらえ、その計画手法を示した。

本節では、道路占用工事以外の一般工事を主たる対象にした残土処理計画の立案手法について述べる。ここでいう一般工事とは、掘削土を埋戻し土として再利用できずに場外搬出する工事、あるいは建設資材としての土を外部から購入する工事である。これらの工事を対象にする場合には、土質改良をとまなわない“流用”による再利用が中心となる。ここでは、(1)で述べた残土処理計画モデルを用いて、流用を中心とした残土処理計画を立案する方法について述べる。

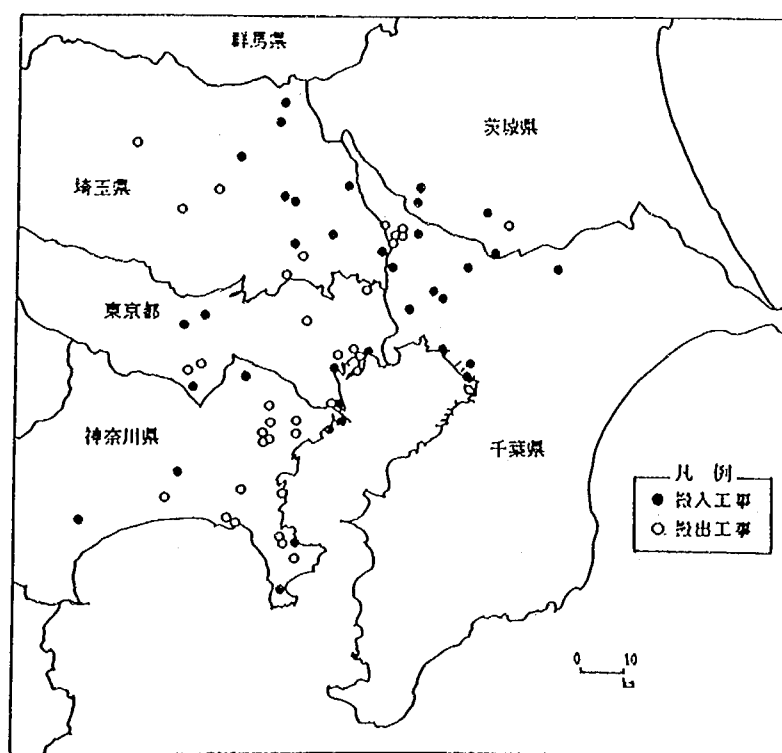
残土処理計画における計画対象期間は計画立案者が任意に設定できるが、現実的な工事情報の収集頻度や情報の確からしさを考えると、月単位での工事情報に基づいて1年間程度の期間の計画を作成するのが妥当と思われる。一方、計画対象地域の広さは、計画主体がどの地域の残土処理計画を立案したいかによって決定される。したがって、複数の県にまたがる広さを対象とすることも考えられるが、一つの土木事務所の管轄地域程度を計画対象にすることも考えられる。

ここでは、“残土処理計画モデル”を用いた一般工事の流用計画の事例として南関東地域、埼玉県域データを用いた事例を示す。

#### (1) 南関東地域を対象にしたケース

##### ① 試算条件

本事例は南関東地域の土量調査リストデータにおける大規模工事（土量が上位のものから搬入工事36件、搬出工事37件を抽出したもので、1件当たりの土量は10万 $\text{m}^3$ 以上となっている）を対象としたものである。土量調査リストが東京50km圏内の工事を収録している関係上、本事例の工事間距離の最大は100kmにも及び、かなり広域的な流用調整を検討する事例に該当する。工事分布概略図を図－2.20に示す。



図－2.20 南関東地域大規模工事概略分布図

— 「昭和56年度土量調査リスト」より —

## ② 試算結果と考察

図-2.21に示すように、流用時の運搬距離の上限が10kmのケースで搬出土量に対する流用率が21.5%、同20kmで56.2%、同30kmで68.7%、同50kmで81%（現状費用のケース）となっている。大規模工事どおしを対象に、例えば20km範囲内で流用調整を行うと搬出土量の5割以上が流用できる可能性があることを示しており、一般工事の流用計画作成において、大規模工事間流用調整がかなり重要であるといえる。

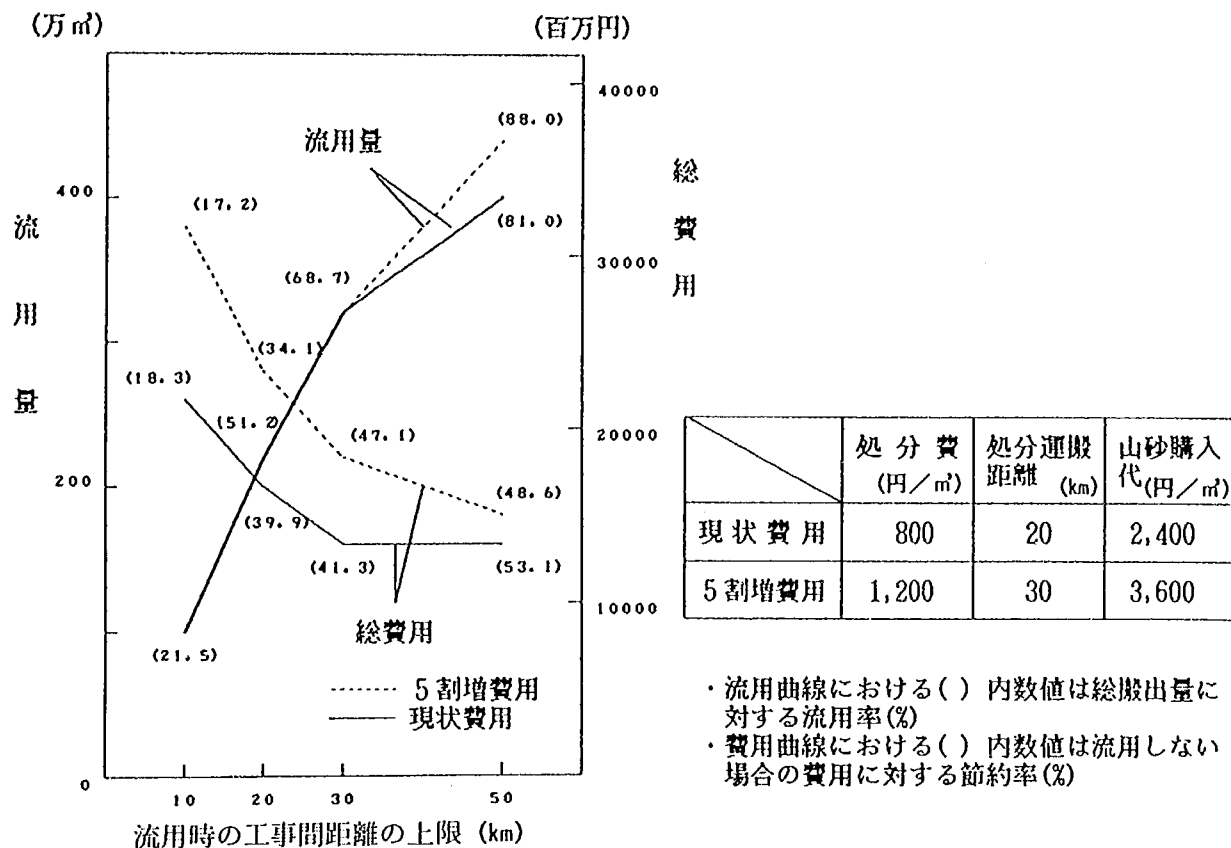


図-2.21 南関東地域大規模工事事例計算結果

## (2) 県域レベルを対象にしたケース

ここでは県レベルの広さをもつ地域を対象に残土処理計画モデルを適用した例を示す。計算に用いたデータは、埼玉県における土量調査リストである。県レベルの広がりを持つ地域ではかなりの件数の工事情報が収集されており、当然のことながら、工事規模（土工量）にはかなりのばらつきがみられる。対象としている地域内のすべての工事に対してモデルを適用することは、理論上では可能であっても、計算時間の面で必ずしも实际的とはいえない。そこで、図-2.22に示すように、3つのステップに分けて大規模工事から順次残土処理計画を作成していくのが現実的な方法と考えられる。

以下、3つのケースについてモデルを適用した結果を示す。なお、この適用事例は残土の流用調整を主体としており、土質改良プラントは考慮に入っていない。

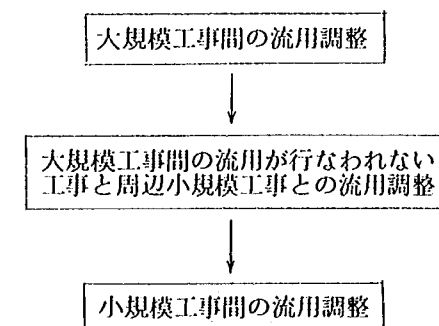


図-2.22 残土処理計画の立案手順

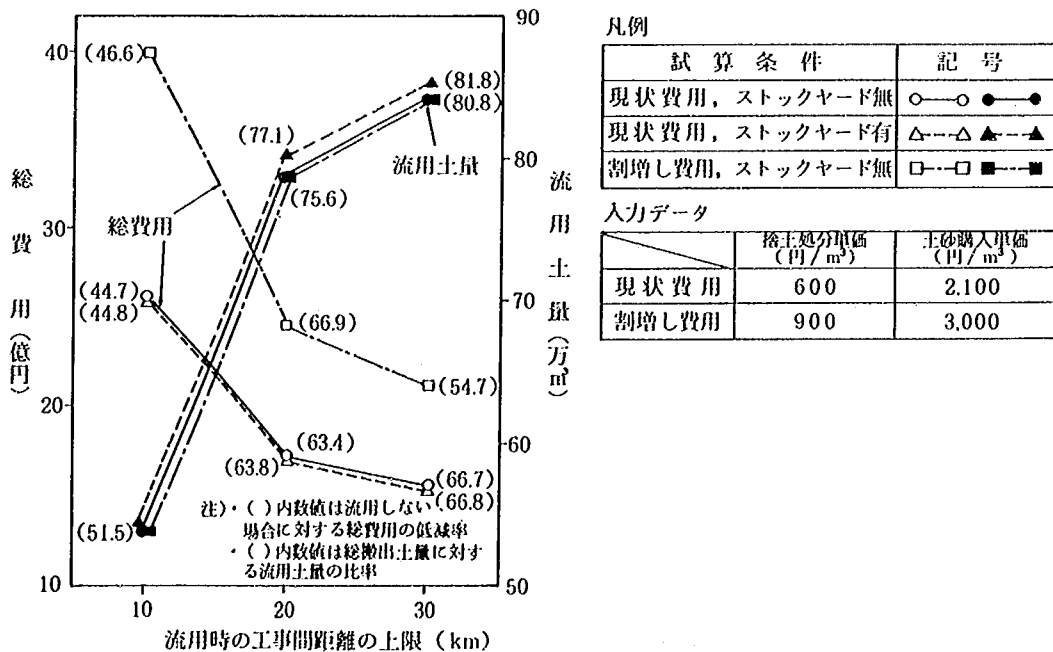
### ① 大規模工事を対象にしたケース

土量調査リストの中から搬入出土量が2万 $\text{m}^3$ 以上の工事（搬出工事19件，総搬出土量104万 $\text{m}^3$ ，搬入工事20件，総搬入土量114万 $\text{m}^3$ ）を抽出して試算を行なった。このときの工事間の最大距離は約60 kmである。試算は，対象地域のほぼ中央にストックヤード（最大ストック期間3カ月）がある場合とない場合について行なった。また，費用に関するデータについては現在の標準的な値のほかに，捨土処分費と山砂購入費を高く見積もった場合についても計算を行なった。

図－2.23は試算結果を示したもので，残土を流用する場合の工事間距離の最大値をパラメータとしたときの流用土量および総費用を示している。この図をみると，流用時運搬距離10 kmで搬出土量の52%，20 kmで76%流用可能となることがわかる。埼玉県域で実際の流用実態をみても運搬距離が10 kmを超えるケースも数多くあることから，試算条件の運搬距離10 kmの条件は实际的である。さらに流用時に双方が運賃を負担することにすれば，運搬距離20 kmの条件も現実性があり，この時の流用率76%，費用節約率63%を考えれば，そのような流用の実現可能性は高い。

この図から，流用の対象となる工事の範囲を広くするほど多くの土量の流用が可能となり，これに伴って総費用がかなり低減されることがわかる。総搬出土量に対する流用土量の比率，あるいは流用を認めない場合に対する総費用の低減率をみてわかるように，大規模工事間の流用による費用効果は非常に大きく，その重要性がうかがえる。

なお，このケースではいずれの工事も土工期が長いためにストックヤードによる搬出・搬入時期の調整はほとんど必要ないといえる。



図－2.23 大規模工事へのモデルの適用結果

### ② 大規模搬入工事を核に周辺の小規模工事を対象にしたケース

搬入土量70,000 $\text{m}^3$ の土地造成工事を核として周辺20 km圏内の小規模工事（搬入土量1,000～10,000 $\text{m}^3$ の工事33件，搬出土量1,000～3,000 $\text{m}^3$ の工事41件）を選び，本モデルの適用を試みた。試算は，残土を流用する場合の工事間距離の上限（10 km，20 km）およびストックヤードの有無をパラメータとした。

試算結果を図-2.24に示す。①のケースと同様、流用の対象となる工事の範囲を広くするほど多くの土量の流用が可能となり、これに伴って総費用がかなり低減されることがわかる。また、一般に大規模工事は土工期が長いため、搬出・搬入時期の調整のためのストックヤードを設けることの効果は少ない。

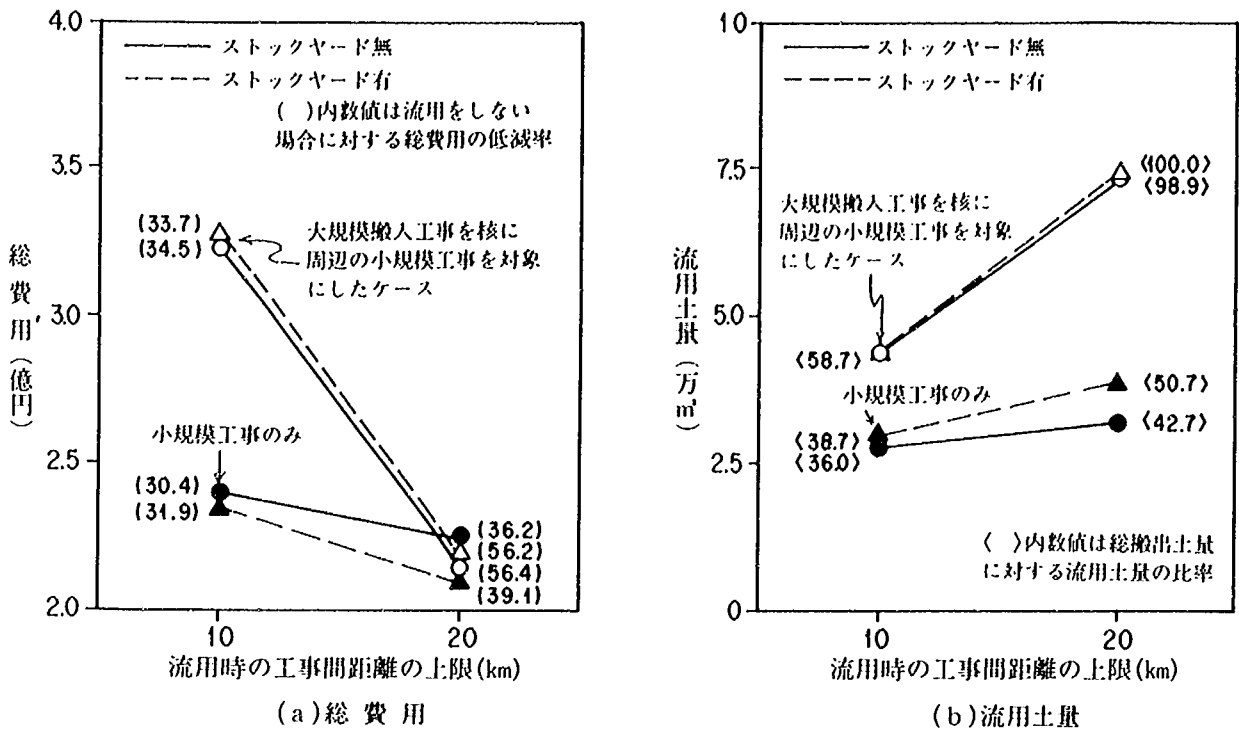


図-2.24 残土処理計画モデルの適用結果

### ③ 小規模工事を対象にしたケース

②で用いたデータの中から大規模搬入工事を除いたケースに対して本モデルを適用した結果を図-2.1.24に示す。一般に小規模工事は土工期が短いため搬出・搬入時期の条件が適合する工事の組合せが少なく、残土を流用する場合の工事間距離の上限を大きくしても流用土量はあまり増加しないことがわかる。ただし、搬出・搬入時期の調整のためのストックヤードを設けると流用土量をかなり増やすことができることがわかる。

### (3) 事例計算のまとめ

一般工事を対象とした流用計画の作成事例として、

- ① 大規模工事どおしを対象とする場合。
- ② 大規模工事を核にその周辺小規模工事を対象とする場合。
- ③ 小規模工事どおしを対象とする場合。

の3ケースについて試算した。試算結果をみると、いずれのケースにおいても、流用計画の有効性が示されている。

道路占用工事と異なり、一般工事の場合は残土を再利用(流用)するためには、その相手となる工事が必要である。したがって、再利用を実行するためには、工事担当者間の利害も含んだ種々の問題を解決する必要がある。このためにも、県土木事務所管内程度の地域を対象に土木事務所が主導的立場のもとに、流用計画を作成し、工事間の調整を行うことが望ましい。

なお、大規模工事を計画対象に含む場合にはストックヤード設置効果が比較的小さいことが計算結果からもわかる。この理由として、大規模工事は一般に土工期が長いため、ストックヤードによる時期調整を行わなくても流用が可能となることが多いためである。いいかえれば、小規模工事を扱う場合にはそれぞれの土工期が短いため、ストックヤードによって時期調整を行えば、より多くの流用を可能にすることができる。

## 2.5 情報処理システムの構想

### 2.5.1 残土情報データベースシステム

残土を排出あるいは受入れる工事に関し、土量、工事時期、土質などのデータを集積、更新し、残土処理計画の立案に必要なデータを提供するためのシステムである。

残土情報については、既に関東地建、近畿地建において公共工事を対象に数年間にわたり、情報収集と提供の試行が実施されている。ここでは、それらの事例をふまえ、将来の発展性等を含めた課題について述べる。

#### (1) 情報収集組織と方法

残土情報の収集は、残土対策協議会等の組織を通じて行っているのが現状である。この方法は、時間がかかる反面、特別な機器等を必要としないため費用が少なく、確実に収集できる利点がある。しかし、将来的に情報収集の頻度を多くしようとする場合、現行の方法では事務量が増大し、負担が大きくなることが予想される。これを軽減する方法としては、ファクシミリやオンライン通信が考えられる。

#### (2) 情報内容

収集する工事情報の内容としては、現行調票の内容でほぼ十分であると考えられるが、情報の精緻さからいえば、次の点が改善点である。

- ・土工期の日単位表示
- ・土質区分の再考
- ・メッシュコードの統一（8ケタ標準地域メッシュ）

#### (3) 収集頻度と情報精度

現行の収集頻度は年1回である。頻度をさらに多くすることの意義は、情報量を増やすのと同時に、前回収集した情報の精度を向上させることにある。情報を利用する工事担当者に対し、より精度の高い情報を提供することは、情報の利用価値を高め、引いては流用促進をもたらすものと考えられる。

いずれにせよ、収集頻度を増し、情報の精度を高めることは、工事情報提供システムにとって非常に重要な点である。

### 2.5.2 処分地情報システム

将来的な残土処理システムを想定すれば、土質改良プラント、ストックヤードが設置され、また、情報処理システムが完成し、残土が効率よく再利用される状況になるであろう。しかし、ある地域を想定した場合、必ずしも搬出土量に見合う搬入土量があるとは限らず、将来的にみても、“処分”量がゼロになるとは考えにくい。そこで、臨海埋立地や内陸処分地に関し、処分可能容量、処分の条件等の情報を集積、更新し、上述した残土処理計画の立案に必要なデータを提供するシステムが必要である。

想定される処分地としては次のものがある。

① 臨海埋立地

② 内陸処分地 { 公共機関が新規に確保する処分地  
民間残土受入地（小規模宅造地、農地）

これらのうち、臨海埋立地については情報収集については特に大きな問題はないと思われるが、内陸処分地については、情報収集のための体制を確立することが望まれる。たとえば小規模な宅地造成地に残土を受入れさせようとするためには、住宅建築の際に出される建築確認申請の段階で残土受入の可否を調査するような方法も考えられる。また、農地に関しては、農地以外への地目変更（農地転用）に際しての許可申請の段階で残土受入の可否に関する情報を得ることが考えられる。いずれにせよ、関係方面との協力体制が必要であることはいうまでもない。

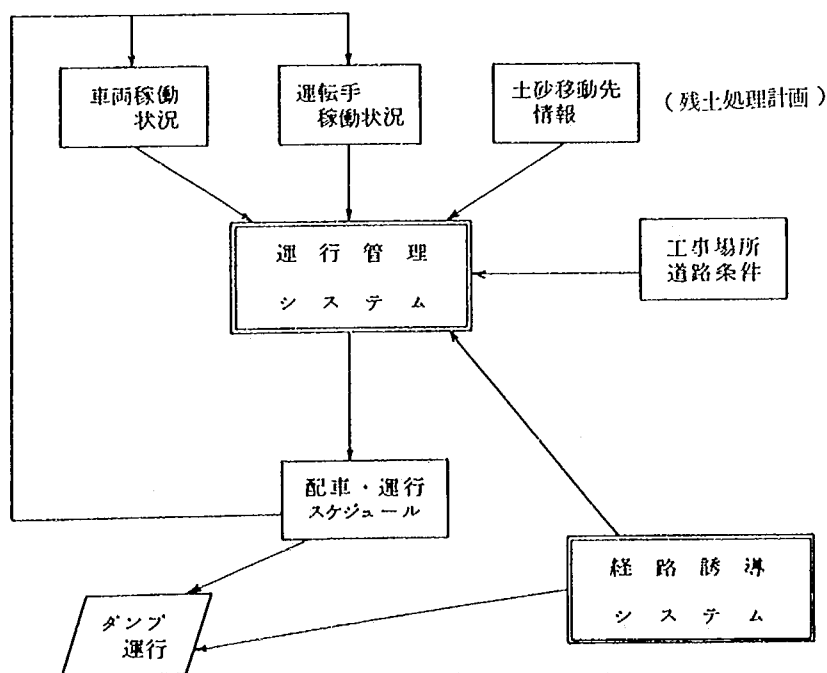
### 2.5.3 運搬管理システム

運搬経路、道路交通情報、運搬車両に関する情報などを収集しておき、日々の土砂移動計画の結果を受けて最適な運搬方法を出力するもので、その主たる目的は、

- ・空車運行の減少
- ・最適経路による運行ロスの減少

である。

運搬管理システムを構築するための前提条件は、①残土処理計画に基づいて土砂の移動先が明らかになっていること、②土砂運搬に関連する諸情報が一元的に収集されていること、である。図－2.25に運搬管理システムにおける情報の流れを示す。



図－2.25 運搬管理システムにおける情報の流れ

## 2.6 まとめと今後の課題

本研究では、残土処理を合理的に行うためのシステムについて検討するとともに、残土処理計画のプロセスと手法を明らかにした。特に、本研究で開発した残土処理計画モデルについては、道路占用工事における土質改良プラントの施設計画や一般工事の残土処理計画に対して適用可能なことを示した。また、事例研究を通して、残土処理の合理化、体系化は経済性の面で大きな効果のあることを示した。

本研究の成果を広く実用に供するためには、さらに以下に示す課題について検討する必要がある。

### ① 残土処理システムの普及にあたっての課題

- ・残土の流用あるいは改良土の利用に関する認識を広め、積極的な残土利用を推進すること。
- ・残土情報の収集および残土処理計画の立案を行う専門機関を設けること。

建設省では「建設残土に関する当面の措置方針」（昭和56年2月）において「建設残土利用情報センター（仮称）」の設置を提唱している。この情報センターにおいて、諸情報の一元的管理と、残土処理計画の立案とを合わせて行くと、残土処理の中心的機能をセンターが果たすことになり、システムがより有効に機能するものと考えられる。

### ② 計画技術上の課題

- ・計画立案のための入力情報の精度や土質レベルの考え方をより明確にすること。
- ・残土の有効利用の効果を経済的側面だけでなく、環境保全の効果等を含めて評価できる手法を開発し、高い視点からの計画、作成を行えるようにすること。

### 3. 改良土を用いた埋戻し技術の開発

#### 3.1 研究目的

各種埋設管や地中構造物の埋戻しには良質の砂を用いるというのが、埋戻しに対する従来からの標準的な考え方であるが、最近では掘削に伴って大量に発生する残土の処分地の確保が困難になりつつあるため、掘削した現場発生土を土質改良して埋戻し材として再利用しようという試みがなされ始めている。

本研究では、こうした背景をうけて、掘削発生土にセメントや石灰などの土質改良用添加材を添加混合して土性を改善し、良質の砂のかわりに各種埋設管や地中構造物の埋戻し材として利用する技術を開発することを目的とする。このため、改良土の要求品質、埋戻しの施工方法や施工管理方法などについて、現場での試験施工と長期的な挙動の把握にもとづく慎重な検討が必要である。特に本研究では、交通量の多い国道クラスの道路下の埋戻しを対象としたので、長期的な交通荷重の繰返しに対する耐久性に主眼をおいて検討を加えることにした。

#### 3.2 研究内容

昭和57年度に、C B R 試験を改良した室内繰返し載荷試験(10万回載荷)を行い、改良土はC B R 値が比較的小さい場合には、比較的初期の載荷で変形が生じたり、繰返し回数の増加とともに徐々に変形が進行する傾向にあるが、改良土のC B R 値を高めると、そのような傾向が著しく小さくなることを明らかにした。

昭和58年度は、土質改良土を用いた埋戻し箇所の長期的な挙動を検討するために、現場における試験施工とその追跡調査に着手した。4つの試験箇所で、改良土を用いた試験区間と従来どおり良質の砂を用いた試験区間を設けて埋戻し部の沈下量、路面の平坦性、ひび割れ率、たわみ量などの長期的な挙動の追跡を開始した。また、埋戻し材の要求品質についての考え方を整理しておく目的で、各地方公共団体における現行の埋戻し基準を収集して整理するとともに、管を埋設し、保護する立場からみた埋戻し材の要求品質について関係機関へのヒアリングを行って中間的なとりまとめを行った。

59年度は、58年度に施工した試験箇所の追跡調査を継続して実施するとともに、新たな試験箇所を1箇所設けて試験施工を行い、その追跡調査を開始した、また、「改良土を用いた埋戻しの手引」の作成に着手した。

60年度は、上記5箇所の試験箇所で追跡調査を継続するとともに、「改良土を用いた埋戻しの手引」を作成した。

#### 3.3 研究成果

##### 3.3.1 改良土の繰返し載荷試験結果

##### (1) 概要

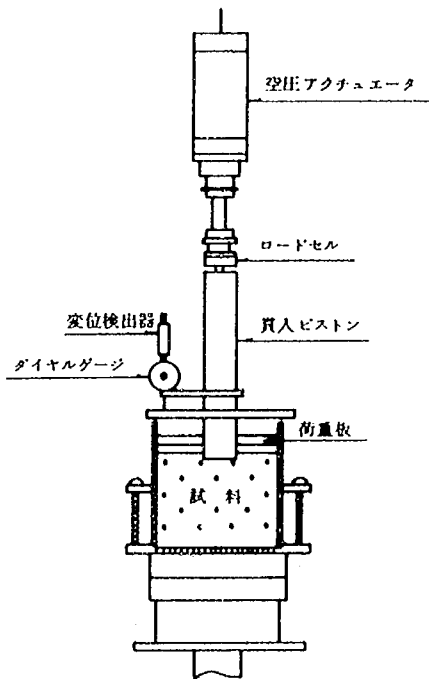
埋戻しに用いた改良土が長期的な交通荷重の繰返しに対してどのような変形挙動を示すのか、またその変形挙動を左右する主要な因子は何かという点を明らかにする目的で、土質、土質改良用添加材の種類と添加量を種々に変えた改良土の供試体について、C B R 試験を応用した繰返し載荷試験を行

った。

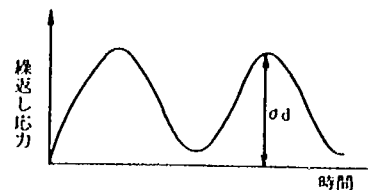
その結果、繰返し荷重を受ける改良土の変形挙動が改良土のC B Rの値と密接な関係にあることが明らかになった。

## (2) 実 験 方 法

埋戻しに用いた改良土の繰返し荷重に対する変形挙動をできるだけ現実に近い条件の下で検討するため、図－3.1に示すような装置を用いて繰返し荷重試験を行った。この試験は、通常のC B R試験用のモールドに試料を詰め、径5 cmの貫入ピストンを介して動的な繰返し荷重を加える試験である。繰返し荷重は、図－3.2に示すような片振れの正弦波形を用い、長期的な荷重の繰返しに対する挙動を調べるため、周波数1 Hzで10万回の荷重を行った。繰返し荷重 $\sigma_d$ の値としては、実際に想定される交通荷重のレベル、もしくはそれより大きい値をとって0.5, 1.0, 2.0, 3.0 kgf/cm<sup>2</sup>の4種類とした。



図－3.1 繰返し荷重試験装置



図－3.2 荷重パターン

実験ケースは、次の5ケースである。

- ① 締固め度90%に突固めた良質の砂
- ② セメントで処理した砂質土
- ③ 消石灰で処理した砂質土
- ④ セメントで処理した粘性土
- ⑤ 消石灰で処理した粘性土

ここで、②～⑤における改良材の添加率は、あらかじめ予備実験によって求めた添加率と改良土のC B Rの関係をもとに、改良土のC B Rが3%, 5%, 7%程度の3種類の値となるよう決定した。このときの改良材の添加率は、砂質土でセメント2～3%, 消石灰2～4%であった。また、表－3.1に、実験に用いた試料の基本的性質を示す。

表- 3.1 実験に用いた試料の基本的性質

| 項目<br>試料 | 粒度組成(%) |      |      | 自然含水比              | 液性限界               | 塑性限界               | 塑性指数           |
|----------|---------|------|------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|
|          | 砂       | シルト  | 粘土   | W <sub>n</sub> (%) | W <sub>L</sub> (%) | W <sub>P</sub> (%) | I <sub>p</sub> |
| ①良質の砂    | 89.0    | 5.0  | 6.0  | 13.7               | -                  | -                  | -              |
| ②粘性土     | 7.0     | 44.0 | 49.0 | 76.0               | 66.0               | 29.5               | 36.5           |
| ③砂質土     | 45.0    | 34.0 | 21.0 | 30.4               | -                  | -                  | -              |

上記の実験ケース①の供試体を作成するときには最適含水比状態 ( $w=14.0\%$ ) で 4.5 kg ランマーを用いて 3 層 17 回の突固めを行い、締固め度が 90% 程度になるようにした。また、②、③、④の供試体の作製にあたっては、自然含水比状態の試料に所定の添加率で改良材を加えてソイルミキサーで 10 分間混合したのち、①の場合と同様、4.5 kg ランマーで 3 層 17 回の突固めを行った。ただし、②と④においては、セメント混合後、一晩放置してから突固めを行った。一方、⑤の供試体については、消石灰を加えた直後は軟弱で突固めが行えなかったため、モールド内への充填は振動を加えて行った。このようにして作製した供試体の乾燥密度は、砂質土で  $1.38 \sim 1.45 \text{ g/cm}^3$ 、粘性土で  $0.88 \sim 0.94 \text{ g/cm}^3$  となった。

また、突固め後、①では、4 日間水浸後、また②～⑤では、6 日間空中養生後、4 日間水浸してから試験を行った。

繰返し載荷試験とあわせて、これと同じ条件で作製した供試体を用いて、通常の CBR 試験を実施した。

### (3) 実験結果

図- 3.3 に、締固め度 90% に突固めた良質の砂 (CBR 値が 13~15%) に対して行った繰返し載荷試験の結果を示す。これをみると、よく締固めた良質の砂では、繰返し荷重の大きさにかかわらず、繰返し回数が比較的少ない初期の段階で変形が進み、それ以降の繰返しの載荷では変形がそれほど増大しないことが認められた。

次に、各種の改良土における繰返し載荷試験の結果を図- 3.4(a)~図- 3.7(a)に示す。これをみると、セメントや消石灰で改良した砂質土では、良質の砂の場合と同様に、比較的初期の繰返し載荷によって変形が進み、それ以降の載荷では変形の増大はさほど大きいものになっていない。ただし、CBR 値が小さいものについては、繰返し荷重の大きさによっては、繰返し初期の段階での変形が良質の砂に比べて大きくなる場合がある。次に、セメントおよび消石灰で処理した粘性土では、CBR 値が小さい場合には、荷重の繰返しとともに徐々に変形が進行して大きくなる傾向にある。一方、セメントや消石灰の添加量を多くして CBR 値を高めると、繰返し載荷に対する変形の増大割合が著しく小さくなり、土質改良の効果が認められるようになる。

以上述べた今回の試験結果から、土質改良した掘削残土を埋戻しに利用する場合に問題があるのは、良質の砂と比較して、繰返し載荷の比較的初期における変形の大きいもの、および繰返しの載荷回数とともに変形が進行して大きくなるものであると考えられる。このような傾向のものは、セメントや消石灰で改良した砂質土及び粘性土ともに、CBR 値の小さいものに認められる。そこで、改良土の CBR 値に着目して、10 万回載荷したときの貫入量との関係を示したものが、図- 3.4(b)~図- 3.7(b)である。さらに、それらの図をまとめて図示したものが、図- 3.8 である。図- 3.8 には、

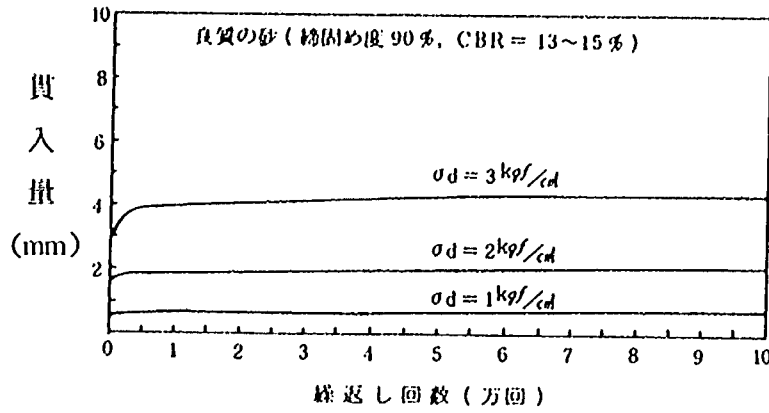


図-3.3 繰返し載荷試験結果 (良質の砂の場合)

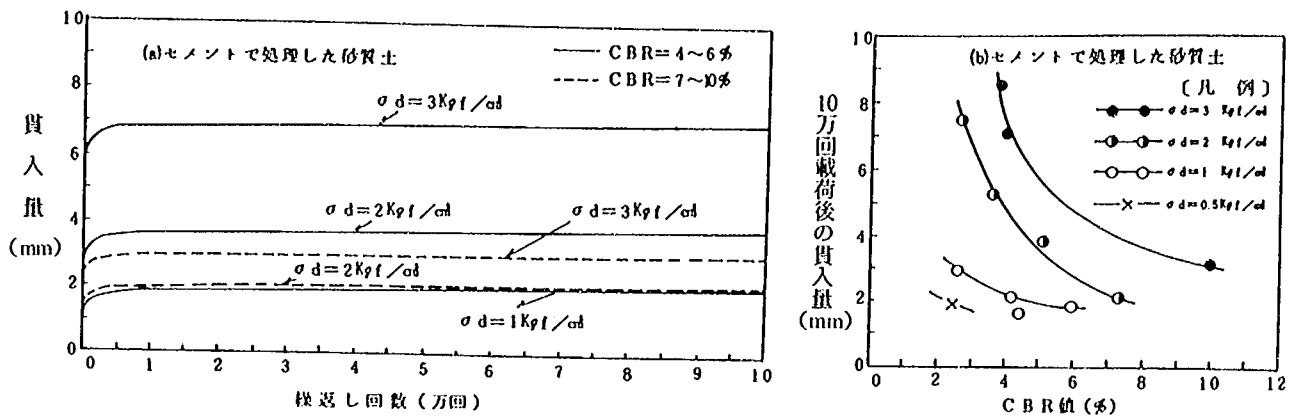


図-3.4 繰返し載荷試験結果 (セメントで処理した砂質土)

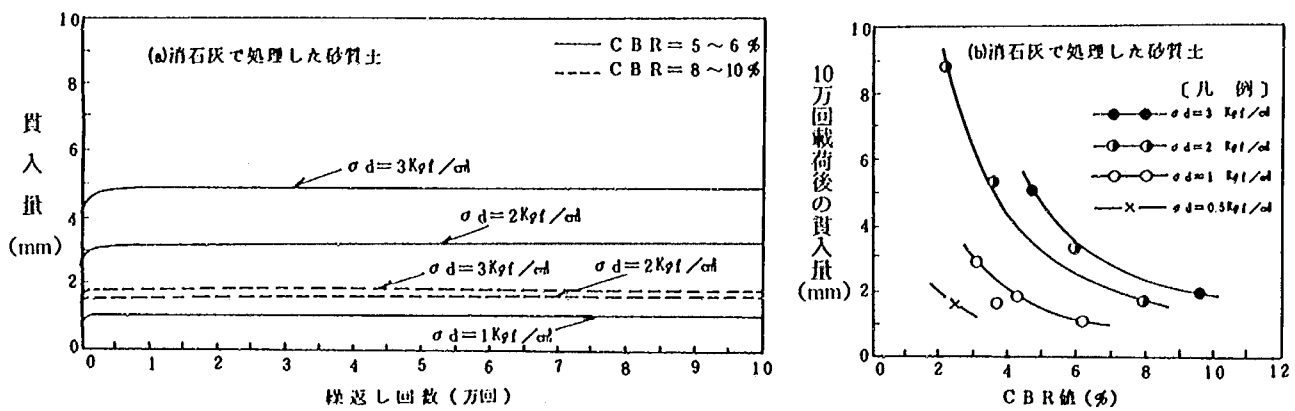


図-3.5 繰返し載荷試験結果 (消石灰で処理した砂質土)

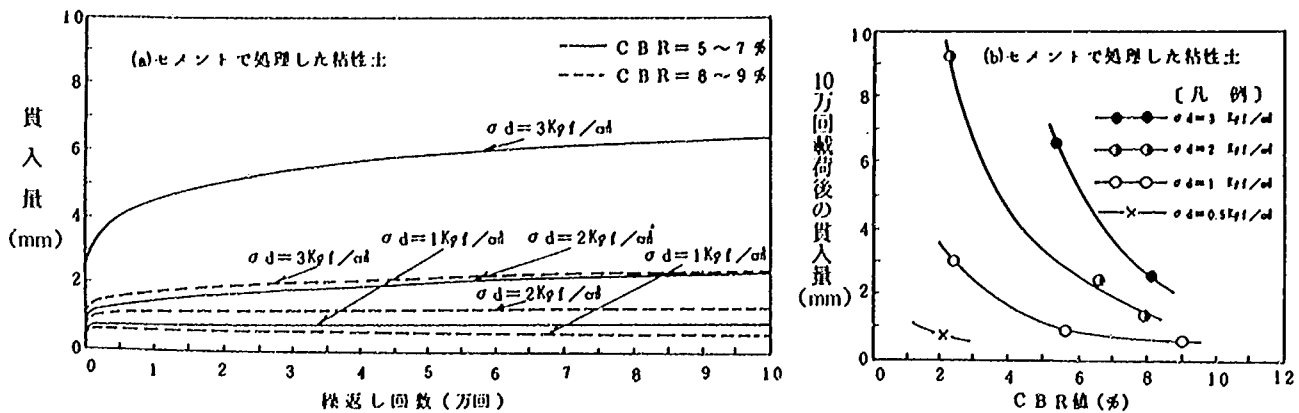


図-3.6 繰返し载荷試験結果 (セメントで処理した粘性土)

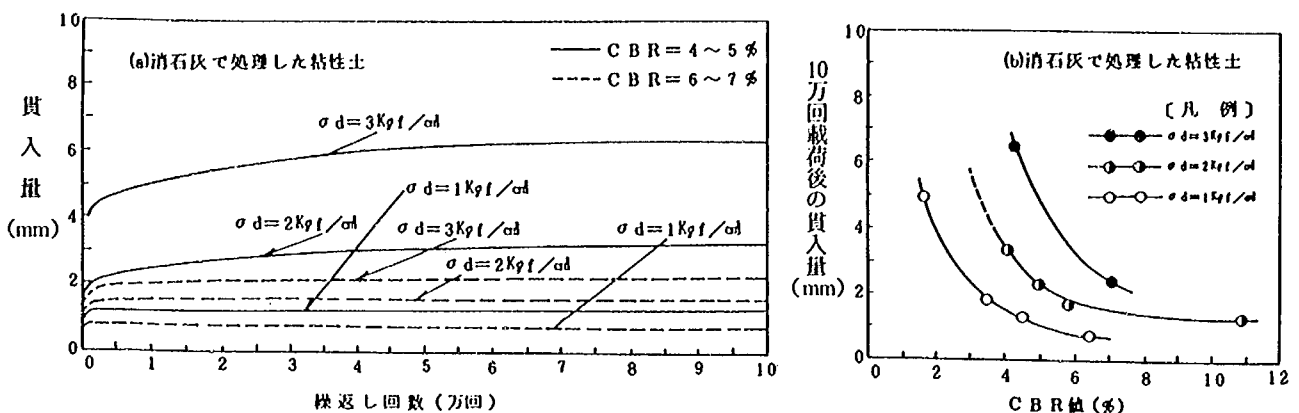


図-3.7 繰返し载荷試験結果 (消石灰で処理した粘性土)

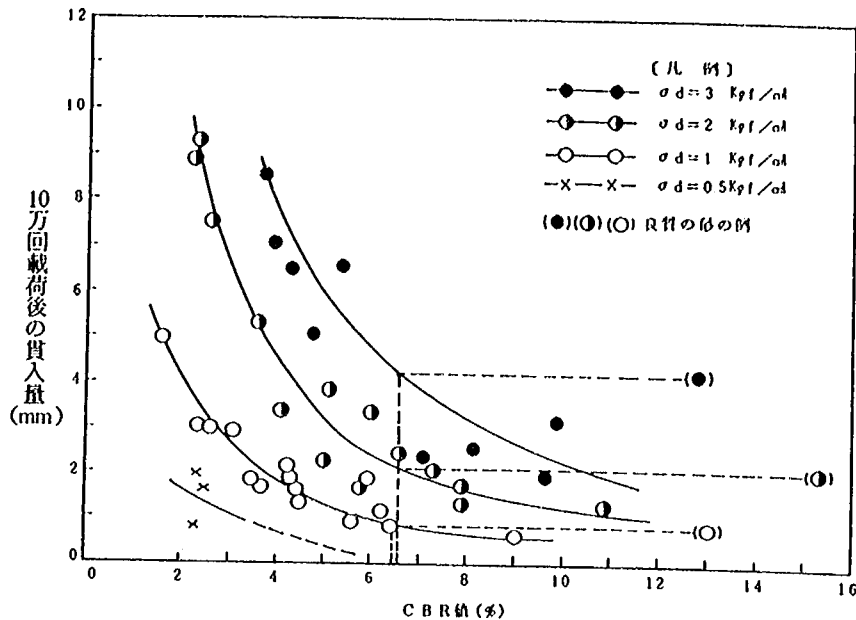
良質の砂について10万回繰り返し荷したときの貫入量を (●), (○), (○) 印で示した。図-3.8の結果から、CBR値が大きくなるにしたがい、10万回の繰返し繰り返し荷を加えたときの変形量が著しく小さくなることからわかる。ここで、土質改良によってCBR値をどの程度まで高めると、埋戻し土として利用できるかということが問題となる。そこで、今回の試験では、良質の砂に10万回繰り返し荷したときの貫入量を1つの目安にとり、図-3.8の破線に示すように各貫入量に対するCBR値を求めると、CBR値は6~7%程度になる。

一方、実際の埋戻し土に伝わる繰返し荷重の大きさの目安としては、20 tonトラックの後輪荷重 (8 ton) が分散角 $45^\circ$ で地中に伝播すると仮定したときの地中の鉛直土圧を考えると、 $0.5 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 程度になる。そこで、交通荷重の影響として、 $1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の繰返し荷重を想定すると、図-3.8から、改良土のCBRが6%程度以上になれば、10万回の繰返し繰り返し荷に対しても変形量がかなり小さくなることからよみとれる。

従って、今後、改良土を埋戻しに用いる場合には、CBR値を6%以上に高めることが1つの指標として考えられる。

#### (4) 繰返し繰り返し荷試験のまとめ

改良土を埋戻しに用いた場合、長期的な交通荷重の繰返しに対してどのような変形挙動を示すのかを室内の要素試験により検討した結果、次のような知見が得られた。



図－3.8 改良土のC B Rと10万回載荷後の貫入量の関係

① 改良土のC B R値が比較的小さい場合には、比較初期の繰返し載荷に対して変形が大きくなったり、繰返し回数の増加とともに変形が進行して増大する傾向にある。

しかし、改良土のC B R値を高めると、そのような傾向が著しく小さくなる。

② 長期的な繰返し荷重に対する改良土の変形を締固め度90%に突固めた良質の砂の場合と同程度かそれ以下におさえることを1つの目安とすると、改良土のC B Rは6%程度以上にしておくことが望ましいといえる。

ただし、この結果は室内の土質試験によって得られたものであるもので、実際への適用にあたっては、土質改良用添加材の混合方法や施工管理手法などの検討も含めて、現場における試験施工とその追跡調査によってその裏付けとなるデータを蓄積しておくことが必要である。

### 3.3.2 改良土を埋戻しに用いた現場試験施工結果

#### (1) 概要

改良土を埋戻しに用いた場合の長期的な挙動を良質な砂を用いた場合と比較して検討するため、実際の道路に改良土で埋戻しを行った区間と良質の砂で埋戻しを行った区間を設け、その長期的な挙動を追跡した。なお、追跡調査に先立ち、試験施工に用いた改良土と良質の砂の材料試験ならびに試験施工時の施工管理試験を実施した。

#### (2) 調査項目

試験区間の地盤条件（土質、地下水位、支持力など）をあらかじめボーリングまたは試験掘りにより調査するとともに、試験に用いた改良土と良質の砂の材料試験として、比重試験、粒度試験、含水量試験、締固め試験および変状土C B R試験（修正C B R）を実施した。また、施工管理試験として、現場密度試験、土研式貫入試験および現場C B R試験を行った。追跡調査の調査項目は、①埋戻し部の層別沈下量、②路面の平坦性試験による路面の凹凸、③横断形状試験による路面の横断凹凸、④路面観察によるひび割れ率、⑤ベンケルマンビームによる路面のたわみ量、および⑥交通量である。

### (3) 試験箇所

試験箇所は、表－3.2に示す5カ所である。

表－3.2 試験箇所一覧

| No | 工事場所       | 占用道路                         | 管の種類と諸元                | 掘削断面                | 改良土の性質        |
|----|------------|------------------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| A  | 茨城県石岡市     | 国道355号線                      | 電話線ケーブル径10cm<br>(3条3段) | 幅 深さ<br>0.75m×1.55m | 関東ローム<br>+消石灰 |
| B  | 茨城県真壁郡関城町  | 国道294号線                      | 電話線ケーブル径10cm<br>(2条2段) | 0.70m×1.45m         | 関東ローム<br>+消石灰 |
| C  | 大阪市南河内郡狭山町 | 大阪府道                         | ガス管 径20cm<br>(鋳鉄管)     | 0.75m×1.5m          | 砂質土+<br>生石灰   |
| D  | 堺市小阪       | 大阪府道                         | ガス管 径15cm<br>(鋳鉄管)     | 0.75m×1.5m          | 砂質土+<br>生石灰   |
| E  | 横浜市鶴見区末広町  | 東京舗材リサイクル<br>リンク株式会社<br>進入道路 | PLP鋼管<br>(口径200mm)     | 0.80m×1.5m          | 砂質土+<br>生石灰   |

### (4) 試験施工に用いた改良土の品質と強度

今回の現場試験施工で用いた改良土の品質と強度についてまとめると、表－3.3のようになる。これをみると、サイトC、D、Eで用いた砂質土系の土質改良土は、74 $\mu$ 以下の細粒分含有率が15%程度以下で日本統一土質分類でいえば砂(S)の粒度をもち、締固め度95%における修正CBRが40%を超える値を示す良質の材料で、下層路盤にも利用できる品質を有している。

表－3.3 現場試験施工で用いた改良土の品質と強度

| サイト | 改良土の種類 | 材料試験結果           |                       |              |              | 施工管理試験結果     |                     |
|-----|--------|------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
|     |        | －74 $\mu$<br>(%) | W <sub>n</sub><br>(%) | 修正CBR<br>(%) | 設計CBR<br>(%) | 現場CBR<br>(%) | 土研式貫入試験<br>(回/10cm) |
| A   | 粘性土系   | 4.2              | 35.9                  | 35.0         | 37.3         | 9.0<br>6.1   | 2.1<br>1.8          |
| B   |        | 4.6              | 46.3                  | 20.0         | 20.6         | 6.9<br>6.6   | 1.2<br>1.1          |
| C   | 砂質土系   | 1.4              | 10.9                  | 86.0         | 103.3        | 12.6<br>9.8  | 4.6<br>2.8          |
| D   |        | 1.6              | 11.4                  | 69.0         | 78.0         | 8.2<br>10.1  | 1.6<br>1.8          |
| E   |        | 4.5              | 7.7                   | 46.0         | 63.7         | 5.5          | 4.6                 |

注1) 修正CBRは、締固め度が95%のときの値を示す。

注2) 設計CBRは、3層67回の突固め後、6日間室内で養生したのち4日間水浸して求めた値である。

注3) 現場CBRは、埋戻しの施工直後に測定した値である。

このような良質の砂質土系の改良土を、通常行われるように、まき出し厚20～30cmで、60～80kg ランマーを用いて2往復程度の締固めを行うと、埋戻し部の強度は、表－3.3に示すように、現場CBRで6～12％程度、土研式貫入試験値の深度方向の平均で15～45回/10cm程度となった。

一方、サイトA、Bで用いた粘性土系の改良土は、粒度と自然含水比からみると、細粒分の多い砂質土(SF)程度までに品質が改良されており、締固め度95％における修正CBRも20％を超える良好な値を示している。これを上述のような通常の方法で締固めると、埋戻し部の強度は、現場CBRで6～9％程度、土研式貫入試験値の深度方向の平均で10～20回/10cm程度となった。

#### (5) 追跡調査結果

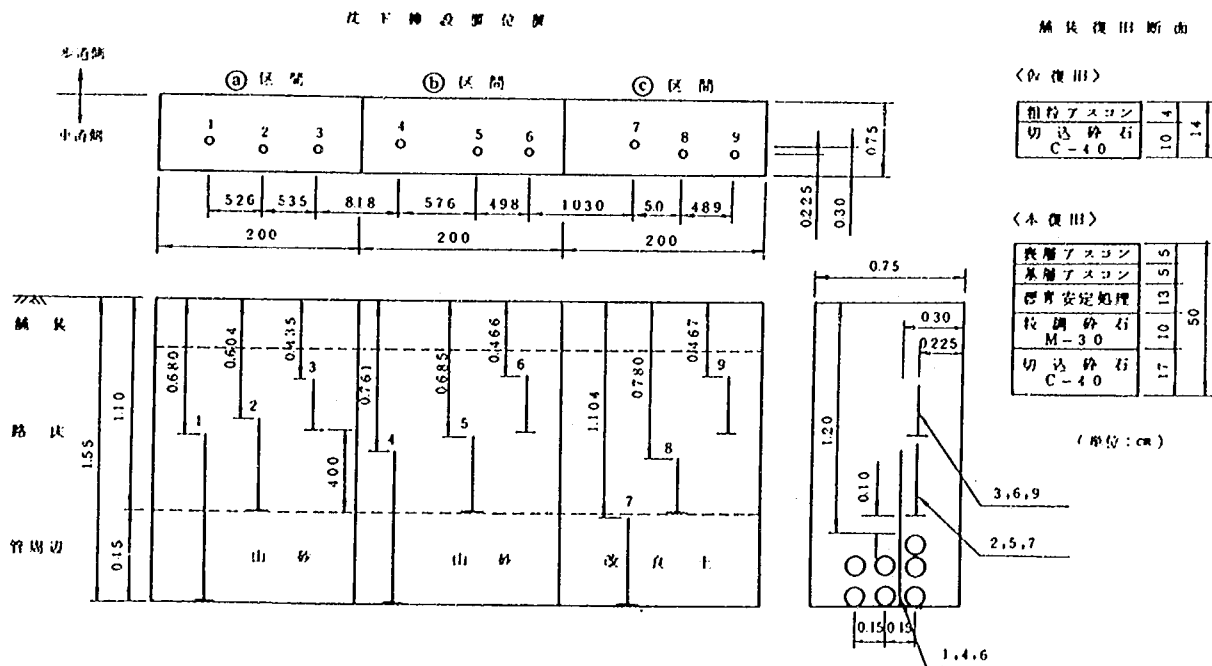
上記の各サイトのうち、代表的な挙動を示していると考えられるサイトAとサイトCの結果の概要を以下に示す。

##### <サイトA>

サイトAにおける埋戻し条件と沈下棒設置および舗装復旧断面を表－3.4と図－3.9に示す。また、図－3.10～図－3.12は、サイトAにおいて、仮復旧直後から、舗装表面、路床中間部、管上部、管底部の各点の沈下量を水準測量により測定した結果を示したものである。なお、交通量

表－3.4 各試験区間の埋戻し条件(サイトA)

| 区 間       | ①区間 | ②区間 | ③区間 | 備 考   |
|-----------|-----|-----|-----|-------|
| 埋戻し部分     |     |     |     |       |
| 路 床 部     | 山 砂 | 改良土 | 改良土 | 各区間は  |
| 管 路 周 辺 部 | 山 砂 | 山 砂 | 改良土 | 延長20m |



図－3.9 沈下棒設置位置および舗装復旧断面(サイトA)

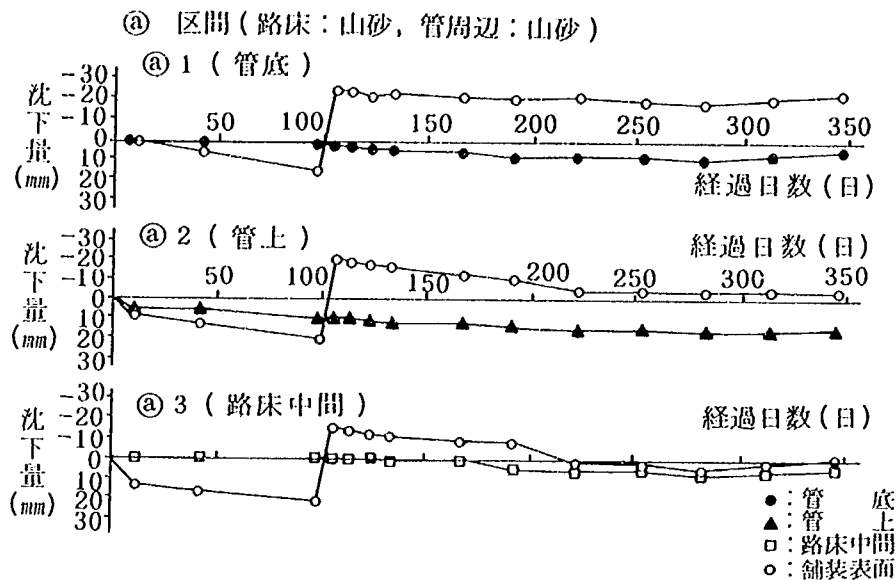
は、大型車混入率が約20%のC交通に区分される。

サイトAでは、試験施工ののち交通を開放してから約350日の期間のデータが得られている。この期間中、約100日目に本復旧を行っている。

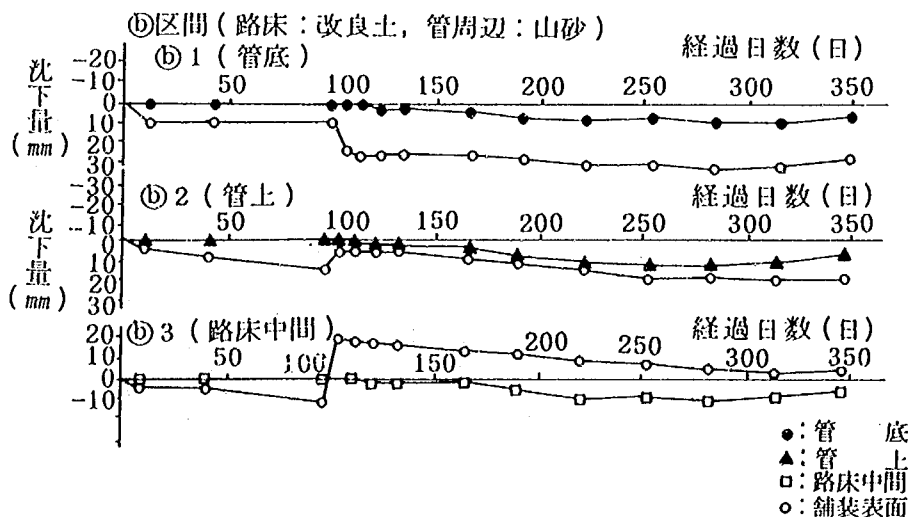
約100日の仮復旧期間においては、山砂で埋戻しを行った区間（山砂区間）と改良土で埋戻しを行った区間（改良土区間）で20mm程度、また管回りを山砂でその上部を改良土で埋戻しした区間（山砂+改良土区間）で10mm程度の沈下が生じているが、これらの沈下のほとんどが管周辺部と路盤部で生じていることが判明した。ただし、（山砂+改良土）の区間では管周辺部の沈下が比較的小さい。

本復旧後は、山砂区間で20mm弱、改良土区間で10～15mm、（山砂+改良土）の区間で10～20mmの沈下が主として路盤部で生じており、いずれの区間においても沈下が漸増する傾向にある。

以上のようにサイトAでは、いずれの工区においても碎石を用いた路盤部の沈下が大きな比率を



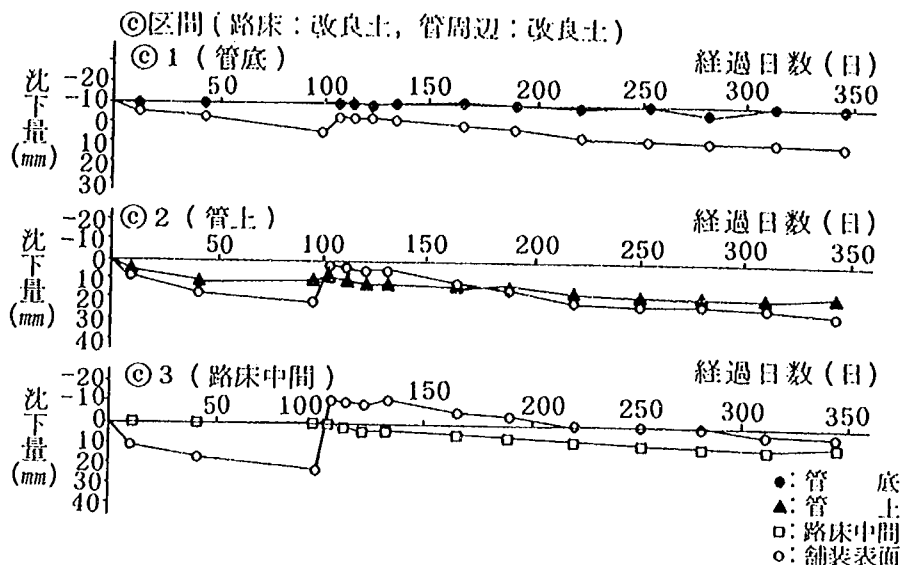
図－3.10 ①区間の沈下量測定結果（サイトA）



図－3.11 ②区間の沈下量測定結果（サイトA）

占めており、埋戻し部では締固めがやや困難な管周辺部を除いて沈下がほとんど生じていない。

なお、路面の縦断凹凸、横断凹凸、たわみ量などについては、山砂区間と改良土区間とで特に有意な差は認められなかった。



図－ 3.12 ㊟区間の沈下量測定結果（サイト A）

#### < サイト C >

サイト C における各試験区間の埋戻し方法を図－ 3.13 に示す。沈下板は舗装表面から 50 cm, 80 cm, 110 cm の各深度に設置してある。本復旧時には、表面から深さ 10 cm まで剥離し、不陸を修正したのち 15 cm の厚さで基層を舗設した。さらに、交通開放から約 1 週間後に 5 cm の厚さで表層を舗設した。なお、交通量は、大型車混入率が約 10% の B 交通に相当する。

サイト C における埋戻し部の沈下量の経時変化を図－ 3.14 ～図－ 3.16 に示す。

サイト C では、約 240 日（うち 45 日程度が仮復旧期間）の記録が得られている。全沈下量についてみると、山砂区間で 30～40 mm, 改良土区間で 20 mm,（山砂＋改良土）の区間で 15～20 mm 程度の沈下が生じており、改良土を用いた方が山砂より良好な結果を示している。

沈下量の層別の内訳については、いずれの区間においても 1.1 m 以深の管周辺部と 50 cm 以浅の路盤部に沈下が集中しており、サイト A と同様の結果となっている。なお、沈下の発生時期をみると、管周辺部の沈下のほとんどは交通開放から 30～90 日程度までの間に生じるが、路盤部の沈下は交通開放から約 240 日を経過した現在でも漸増する傾向にある。

なお、路面の平坦性試験結果をみると、いずれの区間においても、本復旧直前にはかなり平坦性が低下するが、本復旧時に平坦性が改善されその後はあまり低下しないことがわかる。また、路面の横断凹凸の測定結果から、山砂を用いた㊟区間で、本復旧までの沈下が比較的大きいことが指摘できる。また、たわみ量試験結果は、各区間でそれほど有為な差が認められなかった。

#### (6) 追跡調査結果のまとめ

改良土を埋戻しに用いた現場試験施工とその追跡調査の結果から、改良土の埋戻しへの適用性に関して、次のようなことが明らかになった。

① 砂質系の改良土を埋戻しに用いた場合には、良質の砂を用いた場合と同様、路床に相当する

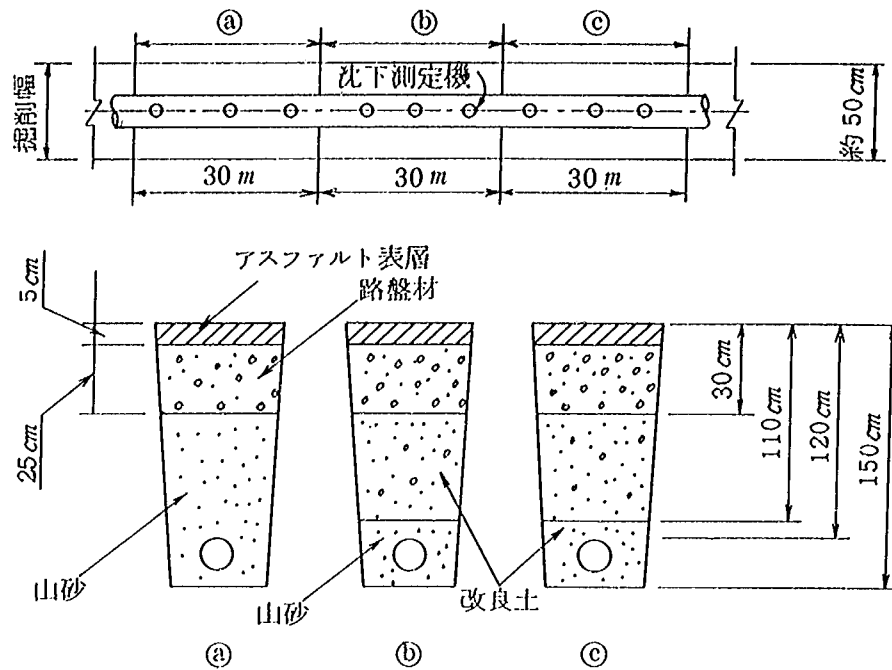


図- 3.13 埋戻し方法 (サイト C)

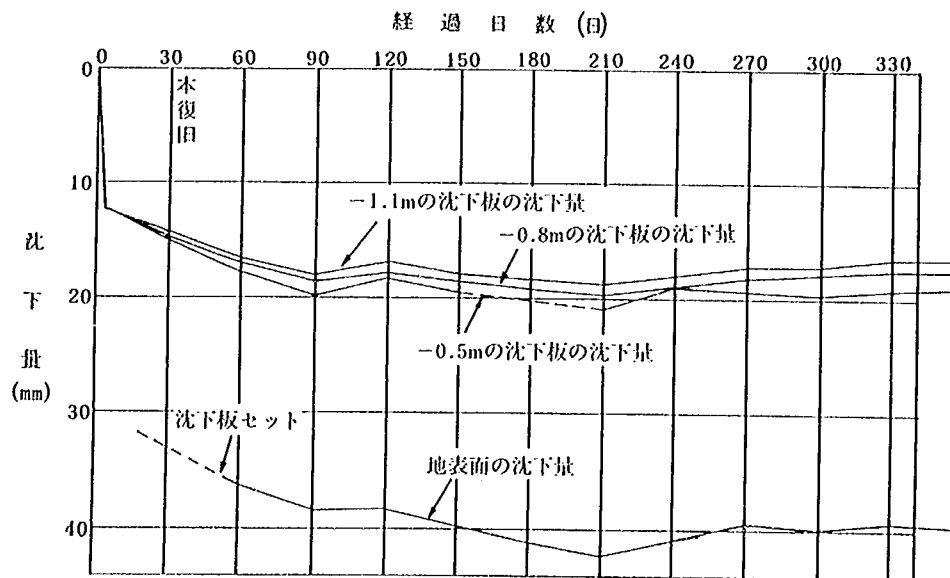


図- 3.14 ①- 2 区間の沈下量測定結果 (サイト C)

埋戻し部ではほとんど沈下を生じていない。交通開放後の沈下は、20～30mmとそれほど大きくないが、これらは主として管周辺部と碎石を用いた路盤部で生じているようである。また管周辺部に良質の砂を用いた場合と改良土を用いた場合とを比較しても、有意な差はほとんど認められない。従って、砂質土系の改良土は、良質の砂のかわりとして、十分埋戻しに使えるようである。

② 粘性土系の改良土を埋戻しに用いた場合も、砂質土系の改良土を用いた場合とほぼ同様の結

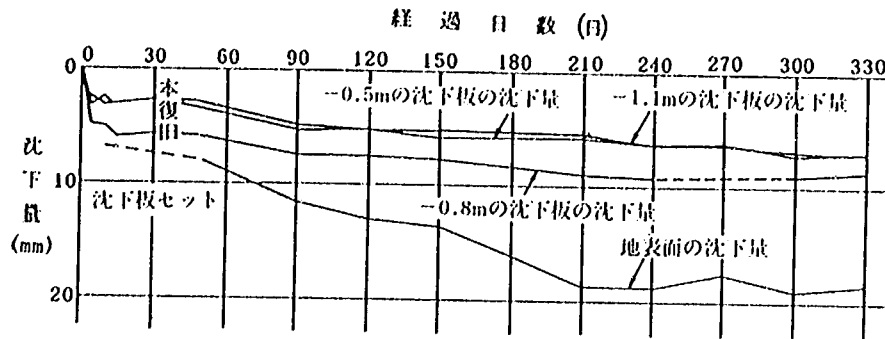


図-3.15 ㉔-2区間の沈下量測定結果 (サイトC)

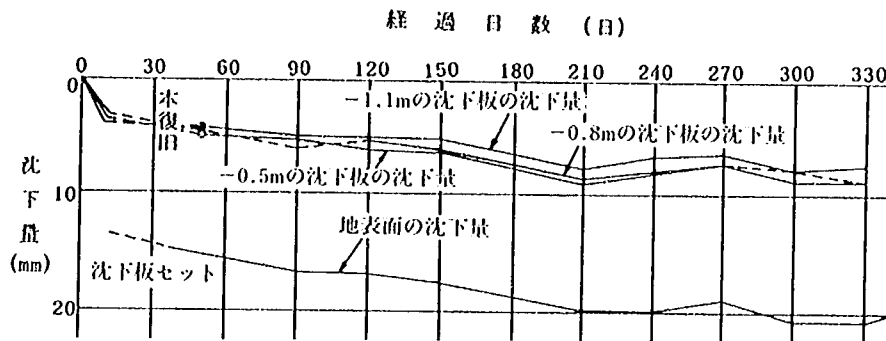


図-3.16 ㉔-2区間の沈下量測定結果 (サイトC)

果が得られており、埋戻しへの適用性は高いと考えられる。ただし、交通荷重の大きなところで、しかも改良強度が不十分な場合には、比較的大きな残留沈下を生じるおそれがあるので、改良強度の設定および締固めの管理に十分な注意が必要である。

- ③ 埋戻しに粘性土のような圧縮性の大きな材料を用いると、交通開放後に著しい沈下を生じる。しかし、交通荷重の影響を特に受ける埋戻しの上部を圧縮性の小さな改良土で置き換えると、埋戻しの下部が粘性土であっても、短期的には沈下の発生をおさえることができる。ただし、長期的には沈下が漸増して行く可能性があるため、さらに観測を継続してこの点を確認する必要がある。

以上のように、改良土を埋戻しに用いる場合、所定の品質を満足する改良土を用いて通常の施工を行っておれば、長期的な挙動からみても、良質の砂と比べて遜色のない結果の得られることが明らかになった。そして、埋戻しに適用が可能な改良土の品質と強度の目安としては、今回の現場試験施工で用いた材料の特性をまとめた表-3.2を参考にするのが望ましいといえる。

### 3.3.3 改良土を用いた埋戻しの手引き

今回作成した改良土を用いた埋戻しの手引きの目次構成は、次のとおりである。

|      |                     |
|------|---------------------|
| 1.   | 総則                  |
| 1-1  | 目的                  |
| 1-2  | 適用                  |
| 2.   | 発生土の土性判定の目安         |
| 2-1  | 発生土の土性判定の目安         |
| 3.   | 土質改良添加材の選定および添加量    |
| 3-1  | 土質改良用添加材の選定と添加量     |
| 4.   | 改良土の製造              |
| 4-1  | 製造                  |
| 4-2  | 製造時の品質管理            |
| 4-3  | 仮置き                 |
| 4-4  | 運搬                  |
| 5.   | 施工方法                |
| 5-1  | 埋戻し                 |
| 5-2  | 「管周辺部」の埋戻し          |
| 5-3  | 「埋戻し部」の埋戻し          |
| 5-4  | 土留め材の撤去             |
| 6.   | 施工管理                |
| 付録-1 | 改良土を埋戻しに用いた現場試験施工結果 |
| 付録-2 | 改良土の繰返し載荷試験にもとづく考察  |
| 付録-3 | 施工実績                |
|      | 引用文献                |
|      | 参考文献                |

以下、付録を除く本文の部分について全文の掲載を行う。

改良土を用いた埋戻しの手引  
( 本 文 )

## 1. 総 則

### 1-1 目 的

本手引きは、道路下に各種埋設管を設置するときの埋戻し材料として、発生土に土質改良用添加材を加えて性状を改善した改良土を用いるときの技術的な標準を示したものである。

#### 【解 説】

(1) 本手引きは、発生土にセメントや石灰などの土質改良用添加材を加えて性状を改善した改良土を埋戻しに用いるときの考え方と留意点を示したものである。内容としては、下記の4つの項目について記述している。

- ① 発生土の土性判定
- ② 土質改良用添加材の選定および添加量
- ③ 改良土の製造法
- ④ 埋戻しの施工方法および施工管理方法

(2) 改良土の埋戻し材料としての適用性については、本手引きの付録に示した現場試験施工のデータや大阪府、横浜市、名古屋市等の地域におけるこれまでの施工実績が示すように、従来のとおり良質の砂で埋戻しをしたものと比較して、沈下や路面性状などの面で障害となるものはなく、良好な結果が得られている。従って改良土は、所定の品質を満足するものであれば埋戻し材料として十分利用できると考えてよい。ただし、地下水位の高い箇所では十分締固めが困難と思われる箇所や軟弱な路床で不同沈下が予想される箇所などでは、改良土を使用するにあたって慎重な配慮が必要である。

(3) 改良土を埋戻しに用いる場合の要求品質や目標強度としては、路床や原地盤と同等もしくはそれ以上の地耐力が得られるものであることが望ましいといえるが、現地の土質や地盤条件は場所によって異なるし、埋戻しの深度によっても交通荷重の影響を受ける度合いが異なる。従って、改良土の品質や強度を画一的に定めて埋戻しを行うのではなく、本手引きの付録に示した現場試験施工や過去の実績等を参考にしながら、現地の土質、地盤条件、埋設管の種類や設置深度、交通量等に応じて改良土の要求品質や目標強度を設定するのがよいといえる。

なお、この際、改良土の強度が高くなりすぎて再掘削が困難になることのないよう十分に注意しておく必要がある。

また、施工管理においても、R1法を利用した密度測定や層厚管理材の活用などの新しい管理技術を積極的に取り入れて、従来以上に確実な埋戻しが行われるよう一層の工夫を図っていくことが望まれる。

### 1-2 適 用

本手引きで示した技術的な標準は、路床面以深の埋戻し部に適用する。

## 【解 説】

(1) 路床面以深の埋戻し部は、位置によって次の3つの部分に大別できる（図1.1参照）。

- ① 路床面から約1 mの深さまでの路床に相当する部分
- ② 路床より下で埋設管の上端までの部分
- ③ 管回りの部分

管の埋設深度が比較的浅いものでは、②の部分がなく①と③の部分のみから構成される場合がある。

本手引きでは、上記の①、②、③すべての埋戻し部を適用範囲に含んでいる。

(2) 本手引きを実際に適用するにあたって問題となる埋戻し部の目標強度や管理基準値については、本手引きでは一例を示すにとどめ、画一的な値は特に示していないので、付録に示した試験施工結果や既往の施工実績などを参考にした上で、現場の諸条件にみあった値を設定するものとする。

(3) 埋戻し土として改良土を用いた場合においても、従来どおり良質の砂を用いた場合と同様、埋戻しを完了してから舗装の本復旧を行うまでの間に適当な仮復旧期間を設けるのが通常である。

(4) 本手引きは現時点における技術の標準を示したものである。従って、本手引きを実際に適用するにあたっては、現場の諸条件やその時点での技術開発状況等を十分に考慮し、弾力的な運用をはかることが望ましい。

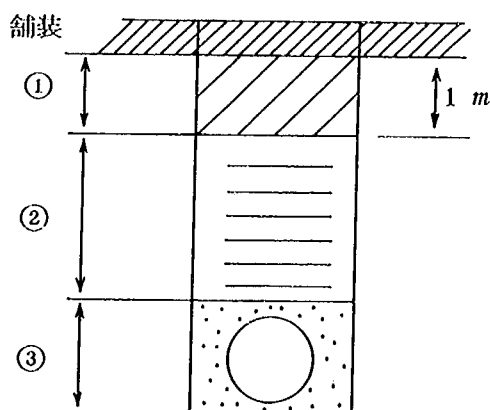


図 1.1 埋戻し部の区分

## 2. 発生土の土性判定

### 2-1 発生土の土性判定の目安

発生土の土性判定は次の目安によって行う。

#### (1) 良質土の目安

土質改良を行わなくとも、そのまま埋戻しに使用可能なものを良質土と呼ぶ。最大粒径が50 mm以下、細粒分（74  $\mu$  以下）が25 %以下のものがおおむねこれに該当する。ただし、細粒分が25 %以下の場合でも、含水比が最適含水比をかなり上回るなどの理由で十分な締固めが期待できないと予想される場合は、要改良土として取扱うことが望ましい。

## (2) 不良土の目安

土質改良を行っても埋戻しに使用できないものを不良土とする。

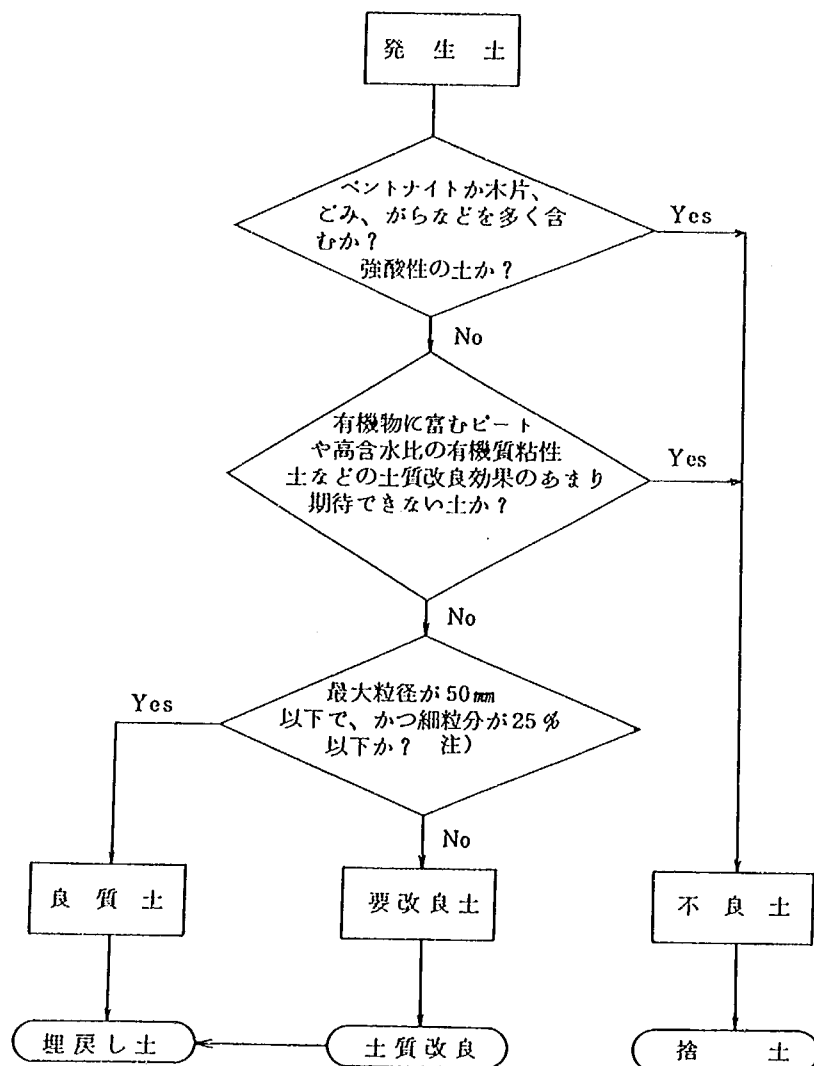
この中には、土質改良効果のあまり期待できない土（PEATや有機質粘性土など）、酸性の強い土やベントナイト、木片、ごみ、がらなどの異物を混入する土が含まれる。

## (3) 要改良土の目安

土質改良を行えば埋戻しに使用できる土を要改良土と呼ぶ。この中には、上記の良質土と不良土を除くほとんどすべての土が含まれることになるが、代表的なものとしては細粒分を25%以上含む砂質土、含水比が80%程度以下の粘性土、120%程度以下のロームなどがある。

### 【解 説】

上に述べた発生土の土性判定の考え方をフローで記すと図2.1のようになる。



注) ただし、細粒分が25%以下の場合でも、含水比が最適含水比をかなり上回るなどの理由で十分な締固めが期待できないと予想される場合は、要改良土として取扱うことが望ましい。

図2.1 発生土の土性判定の流れ

### 3. 土質改良用添加材の選定および添加量

#### 3-1 土質改良用添加材の選定と添加量

土質改良用添加材の種類と添加量は、現場に応じた改良土の要求品質を満足するよう、室内配合試験を行って決定する。

#### 【解説】

土質改良用添加材の種類としては、主に石灰系やセメント系の土質改良用添加材が使用されているが、所定の要求品質を満足すれば、下水汚泥焼却灰や石炭灰などを使用することも可能である。

土質に応じて、土質改良用添加材の種類と添加量を決定するときの目安としては、図3.1に示すような発生土の含水比と改良土の室内CBRの関係が参考になる。

図3.1は、関東、関西および名古屋で実施されたこれまでの工事実績をもとに作成したものである。土質、含水比、土質改良用添加材の種類、室内土質試験の試験条件、改良土の製造方法などによって室内CBRが異なるが、おおよその傾向として、発生土の含水比が高くなるほど改良土の室内CBRが低くなり、所要添加量も多くなるという共通した特徴が認められる。

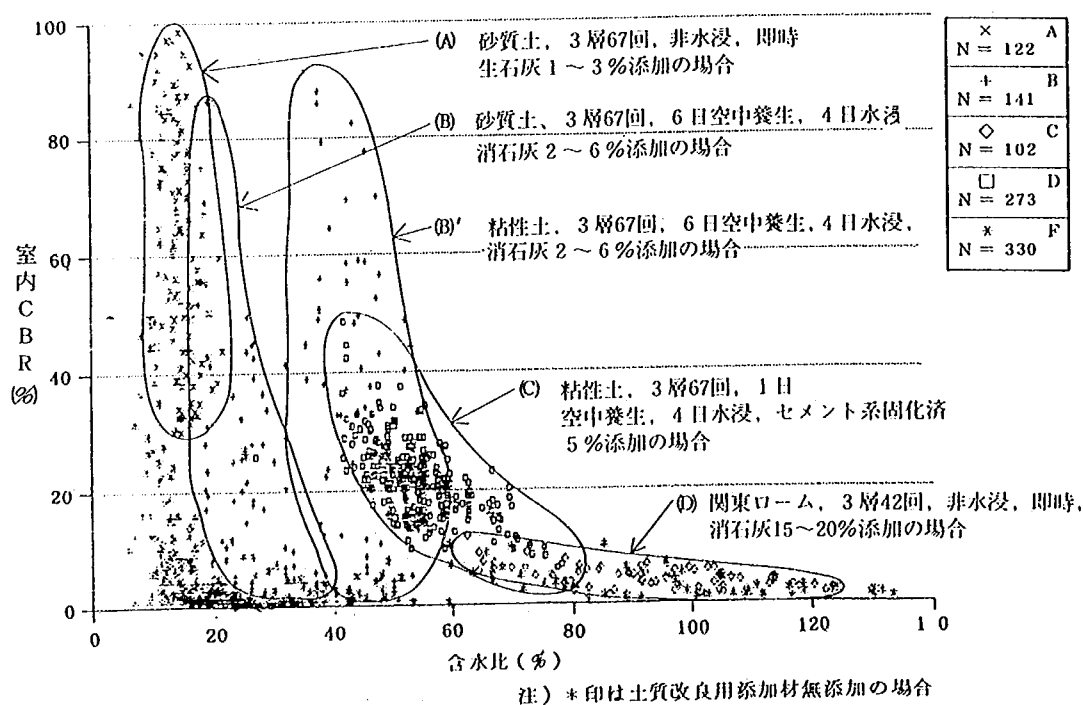


図3.1 発生土の含水比と土質改良土のCBRの関係

また、図3.1から判断すると、発生土はその特徴によっておおむね次の4種類に区分できる。

- ① 含水比が30%以下の砂質土
- ② 含水比が30～50%の粘性土
- ③ 含水比が50～80%の高含水比粘性土

#### ④ 含水比が80%をこえるローム

そこで、以下には、この区分に従って各々の土質における土質改良用添加材の種類と添加量の目安を示す。

##### ① 含水比が30%以下の砂質土

含水比が30%以下の砂質土には、湿潤重量比で1～3%の生石灰を添加すると効果がある。この程度の土質改良を行えば室内のCBR（3層67回非水浸、即時）の値はほとんどの場合20%以上になる。

##### ② 含水比が30～50%の粘性土

含水比が30～50%の粘性土には、石灰系、セメント系いずれの土質改良用添加材も適用できる。消石灰を用いる場合には湿潤重量比で3～9%の添加量が必要で、これにより室内CBR（3層67回、6日空中養生、4日水浸）の値を10%以上とすることが可能である。

##### ③ 含水比が50～80%の粘性土

含水比が50～80%の粘性土になると、セメント系もしくは石灰系とセメント系を混合した土質改良用添加材の使用事例が多い。混合の事例として横浜市では、粘性土に生石灰を2割程度混合した特殊セメントを湿潤重量比で5%程度混合し、室内CBR（3層67回、4日水浸、1日空中養生）が10%以上の改良土を製造している（図3.1の(C)を参照）。

#### ④ 含水比が80%をこえるローム

ロームには、アロフェンという特殊な粘土鉱物が含まれているので、セメント系の土質改良用添加材は適さない。石灰を単独で用いるか、石灰に石膏を2割程度混合したものがロームには適している。

図3.1の(D)の例では、改良土の室内CBR（3層42回、非水浸即時）5%以上を目標にして、これを満足するため湿潤重量比で15%以上の消石灰を添加している。この場合でいねいな締固めを行えば、現場CBRは、3～4%以上の強度が期待できる（表3.1参照）。

なお、これまでの施工実績によると、現場CBRと室内CBRの間におおむね下記のような関係があることが知られている。従って、現場CBRの目標値が設定されれば、それと対応する室内CBRのおおよその目標値が求められるので、これをもとに改良土の品質管理を行うことも可能である。

$$(\text{現場CBR}) = (\text{室内CBR}) \times \alpha \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$ の目安としては表3.1を参考にする。

表3.1  $\alpha$ の目安

| 土 質   | $\alpha$ の目安 | 室内CBRの試験条件                 |
|-------|--------------|----------------------------|
| 砂 質 土 | 0.3          | 3層67回、非水浸、即時               |
| 粘 性 土 | 0.7          | 3層67回、6日空中養生、4日水浸          |
| 関東ローム | 0.6          | 3層42回、非水浸、即時 <sup>注)</sup> |

注：関東ロームの場合、3層67回の突固めを行うと過転圧現象を生じるため、3層42回のデータを使用した。

ここで、表3.1に示した $\alpha$ の値は、表中に示した室内CBRの試験条件の下で得られた経験的な値であるので、この点に注意して表3.1を適用しなければならない。また、 $\alpha$ の値は現場における締固めの良否に左右される。表3.1の $\alpha$ の値は、まき出し厚20～30cmで、60～80kgランマーにより2往復

程度の入念な締固めを行ったときに得られた値であることにも留意しておく必要がある。

上に述べた土質改良用添加材の種類と添加量の目安に従っておれば、再掘削が困難になるほど硬化が進行することは少ないと考えられるが、とくに粘性土や関東ロームを石灰系の土質改良用添加材で改良する場合には、予想以上に硬化が進んで再掘削が困難になった事例も報告されているので注意が必要である。また、最大粒径が50mm以上の礫や碎石が含まれると、埋設管に損傷を与える危険性が高くなったり、締固めなどの作業にも支障をきたすので、埋戻し材はこれらを含まないものとする。

4. 改良土の製造

4-1 製 造

改良土の製造にあたっては、工事場所、発生土質、発生土量等を考慮して最適の改良方法を決めることが必要である。

【解 説】

改良土の製造にあたっては、既往の実績や経済性などを考慮に入れて、工事場所、発生土質、発生土量などに応じた最適な改良土の製造方式ならびに設備を決定することが大切である。改良土の製造方式には、移動式プラント車によるものと定置式プラントによるものがある。現時点におけるそれぞれの方式によるプラントの一般的な特徴を述べると、表4.1のようになる。

なお、改良土の製造設備や製造方式を決める際には、次の事項に留意する必要がある。

- ① 土質改良用添加材と土との混合が均一に行えること。
- ② 改良しようとする土の性質が変化した場合には、添加材の増減を容易に行うことにより対応できること。
- ③ 改良しようとする土に含まれるゴミ、木片、有機物等を除去し、ガレキ（アスファルト塊、コンクリート塊）を除去もしくは破砕できる設備を有していること。
- ④ 安定した製造能力を継続できること。
- ⑤ 騒音、粉じん等の公害対策が十分に図られていること。
- ⑥ 作業上の安全対策が図られていること。

表 4.1 土質改良プラントの種類とその特徴

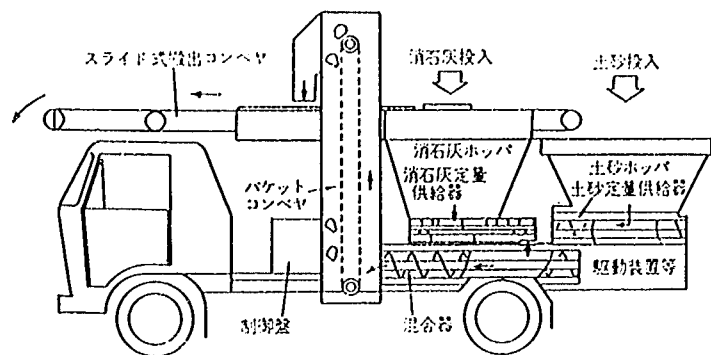
| プラントの種類<br>項 目 | 移 動 式    |             | 定 置 式    |             |
|----------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                | バ ッ チ 式  | 連 続 式       | バ ッ チ 式  | 連 続 式       |
| 処 理 能 力        | 小        | 小           | 小 ～ 中    | 小 ～ 大       |
| 年間取扱い土量        | 小        | 小           | 小 ～ 中    | 小 ～ 大       |
| 対象残土の土質        | 粘 性 土    | 砂 質 土       | 粘 性 土    | 砂質土・粘性土     |
| 対象残土の含水比       | 中 ～ 大    | 小           | 中 ～ 大    | 小 ～ 中       |
| 改 良 材          | セメント系が中心 | 石灰系(消石灰)が中心 | セメント系が中心 | 石灰系(生石灰)が中心 |
| 設 備 費 用        | 小        | 小           | 小 ～ 中    | 中 ～ 大       |

# 【参 考】 改良土の製造方式の例

現在行われている改良土の製造方式のいくつかの例を下記に示す。

## 1) 移動式プラント車による方式

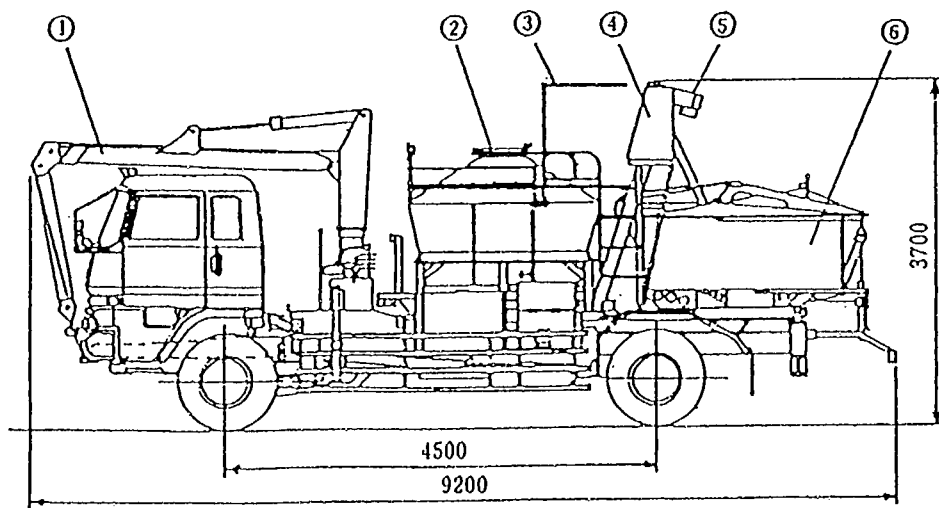
消石灰と土とを攪拌，混合する装置を具備した現場混合プラント車に土を搬入して現場で土質改良を行う方式である。現場混合プラント車としては，連続式とバッチ式とがある。連続式の例を図4.1に，またバッチ式の例を図4.2に示す。



| 項 目       | 諸 元                    |
|-----------|------------------------|
| 全 長       | 7,240 mm               |
| 全 幅       | 2,170 mm               |
| 全 高       | 3,710 mm               |
| トラックシャーシ  | 4t車(普通)                |
| 処 理 能 力   | 0~20 m <sup>3</sup> /h |
| 土砂ホッパー容量  | 1.0m <sup>3</sup> /h   |
| 消石灰ホッパー容量 | 1.4 m <sup>3</sup> /h  |

プラント車の仕様

図4.1 移動式プラント車（連続式）



- ① クレーン
- ② ホッパー
- ③ 操作席
- ④ 操作盤
- ⑤ スクリーンコンベヤ
- ⑥ 混合機

バッチ式土質改良車（能力 15m<sup>3</sup>/Hr）

図4.2 移動式プラント車（バッチ式）

## 2) 定置式プラントによる方式

定置式プラント方式は建設残土をプラントを有する工場へ運搬し処理するので，現地混合に比べると経費は高くなるが，工場管理により均一な品質のよい改良土が得られる利点がある。定置式プラント方式には，連続式とバッチ式とがある。

図4.3～図4.5に連続式のプラントのフローシートを示す。図4.3のプラントでは改良土とともに

再生路盤材が製造されている。また、図4.4のプラントでは、その一部がアスファルト合材の再生プラントと兼用となっている。なお、図4.4のフローでスーパーサンダーが省かれたプラントもあり、主に再生路盤材が製造されている。図4.5も連続式のプラントの一例である。

これらの連続式プラントでは、土質改良用添加材としていずれも生石灰が用いられている。

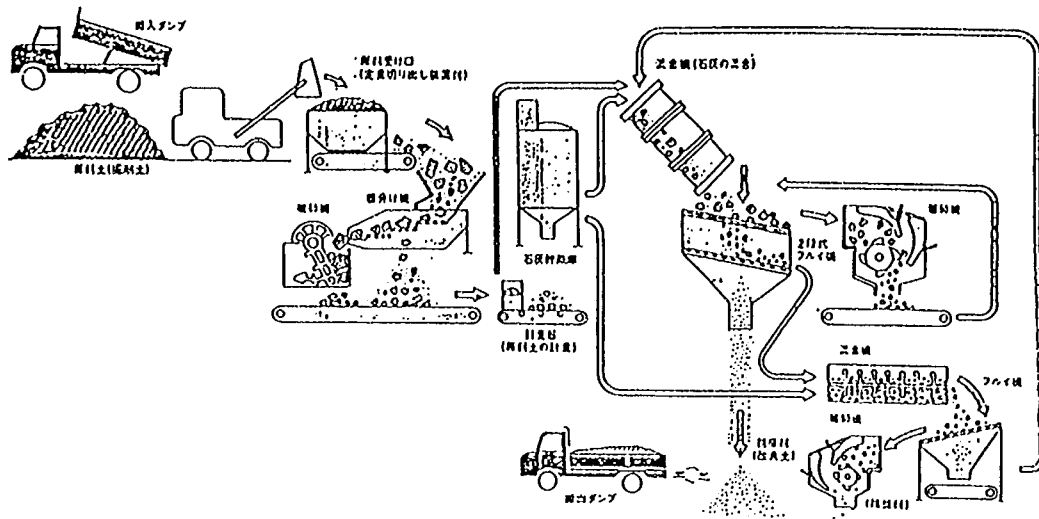


図4.3 定置式プラント（連続式，再生アスコン用再生骨材の製造も可能）

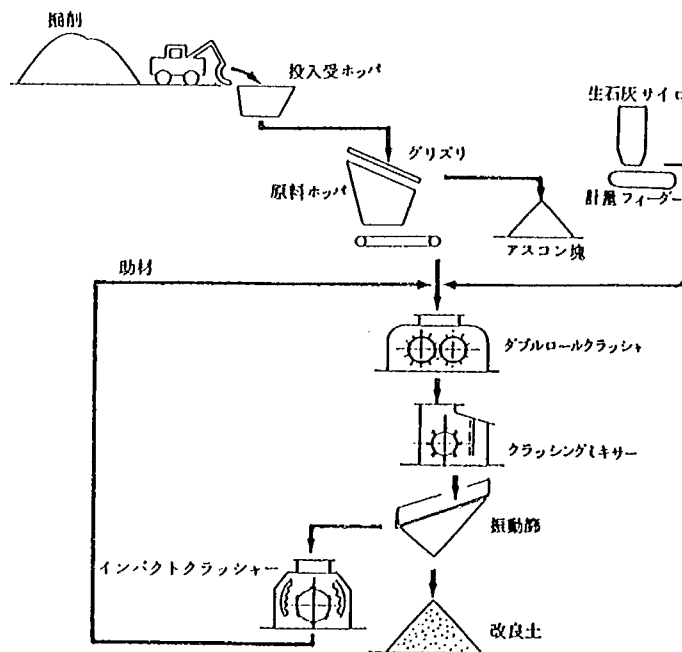


図4.4 定置式プラント（連続式，再生アスコン用再生骨材の製造も可能）

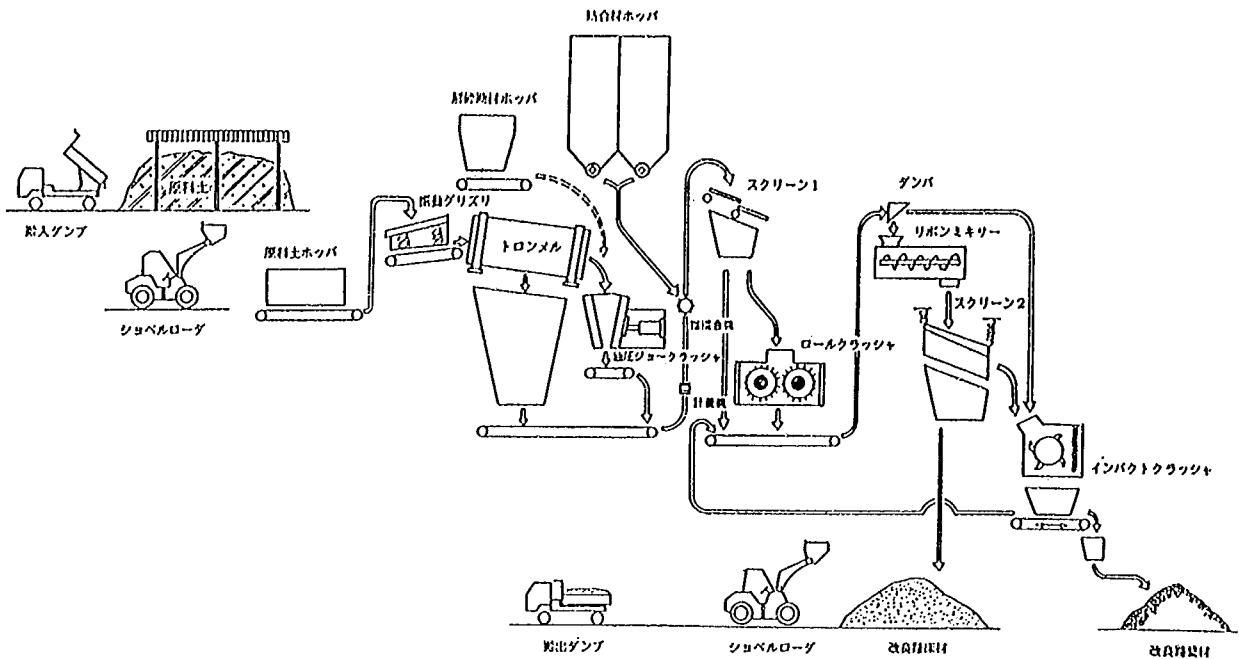


図 4.5 定置式プラント（連続式，再生アスコン用再生骨材の製造も可能）

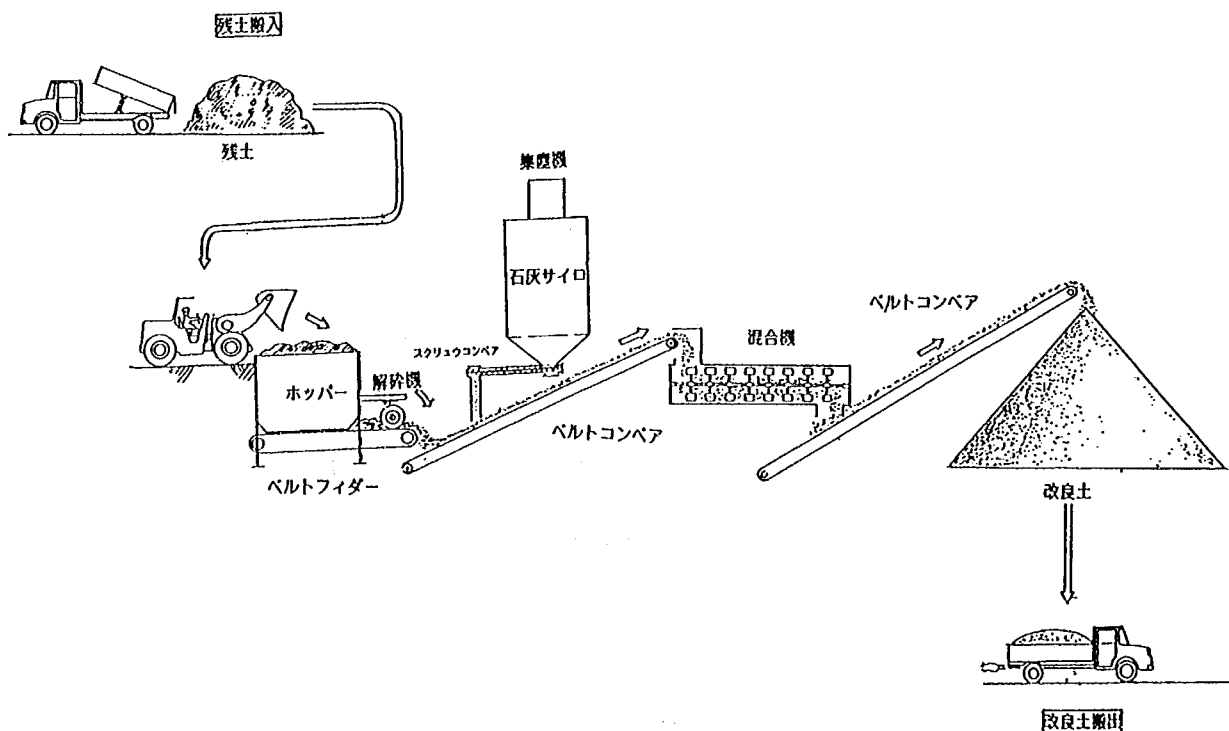


図 4.5 定置式プラント（連続式）

また，定置式プラントでバッチ式の例を図 4.6 に示す。このプラントでは横浜市の下水工事の残土処理を行っており，土質改良用添加材としてはポルトランドセメントが主に用いられており，補足的に生石灰が使用されている。



## 【参 考】

簡易な試験法としては下記のようなものがある。

### (1) 簡易な試験法

一定のエネルギーでモールド内の試料を締固めたときの圧縮量（沈下量），またはモールド内の締固めた土に貫入ピストンを打撃貫入したときの打撃回数からC B R値を推定しようとする方法である。

#### ① 器 具

表 4.2 および図 4.7 のとおり，径 6 cm，高さ 12 cm のモールド，径 5 cm，重さ 2.5 kg のランマーを用いる。

| 項 目   |           | 諸 元                 |
|-------|-----------|---------------------|
| 沈下量試験 | 試料の最大粒径   | 10 mm               |
|       | 締 固 め 回 数 | 10 回                |
|       | ランマー 径    | 50 mm               |
|       | ランマー 質量   | 2.5 kg              |
|       | ランマー落下高   | 300 mm              |
|       | モールド寸法    | 60φ-170 h mm        |
| 貫入試験  | 貫入ピストン径   | 8 mm                |
|       | 貫 入 深 さ   | 7.5 mm              |
|       | 質 量       | 0.125 kg            |
|       | おもりの落下高   | 300 mm              |
|       | モールド寸法    | 60φ-120 h mm        |
|       | 締 固 め 条 件 | 2.5 kg ランマー 3 層 5 回 |

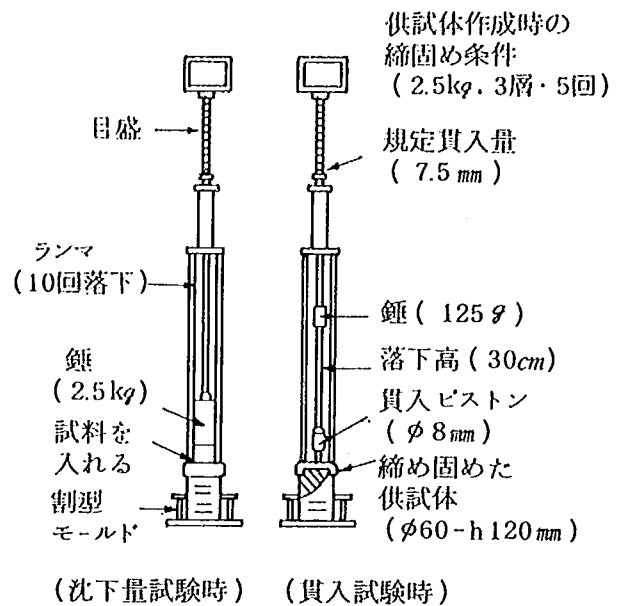


図 4.7 土性判定試験器の概要

## ② 装置手順と判定

### (a) 沈下量試験

- ① 突固めランマーに 2.5 kg のおもりを，そしてモールドにカラーを取り付ける。
- ② モールド内に試料を静かに入れ，モールド上部の余分の土を削り取る。
- ③ モールド上にランマーを装着し，3 秒に 1 回の割合で試料を 10 回突き固める。
- ④ モールド上面からモールド内の試料上面までの距離を測り，その長さを沈下量とする。

### (b) 貫入試験

- ① カラーをモールドに取り付け，試料を入れ，1 層ごと 5 回，3 層にして合計 15 回突き固める。
- ② カラーをモールドから取りはずし，モールド上部の余分の土をストレートエッジにより削り取る。
- ③ モールドを反転し底面に貫入試験用おもりおよび貫入ピストンを取り付ける。
- ④ ランマーわくを片手でおさえ，2 秒に 1 回の割合でおもりを落下させる。
- ⑤ 貫入ピストンを 7.5 mm 貫入させた時の打撃回数を測定する。

⑥ 図 4.8 (a), (b)の簡易土性判定曲線により、室内C B Rおよび石灰の所要添加量を推定する。

なお、上記沈下試験および貫入試験のうち判定は精度的にみて貫入試験のほうが良いとみなされている。

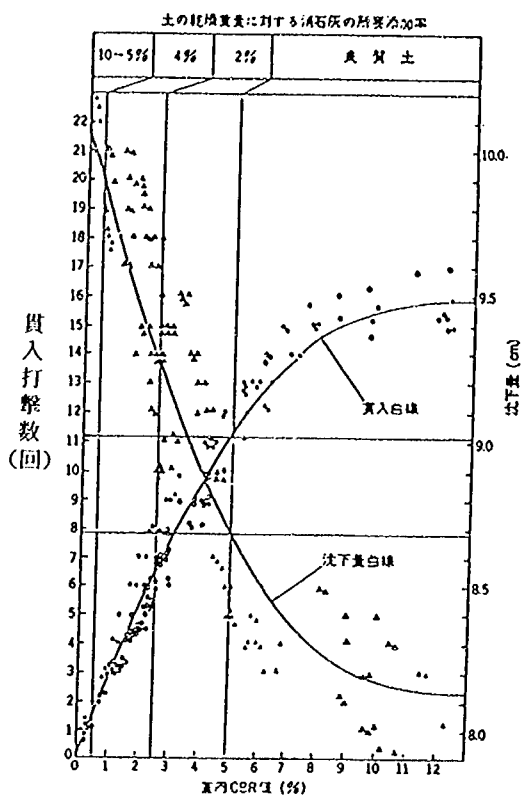


図 4.8 - (a) 土性判定曲線 (砂質土)

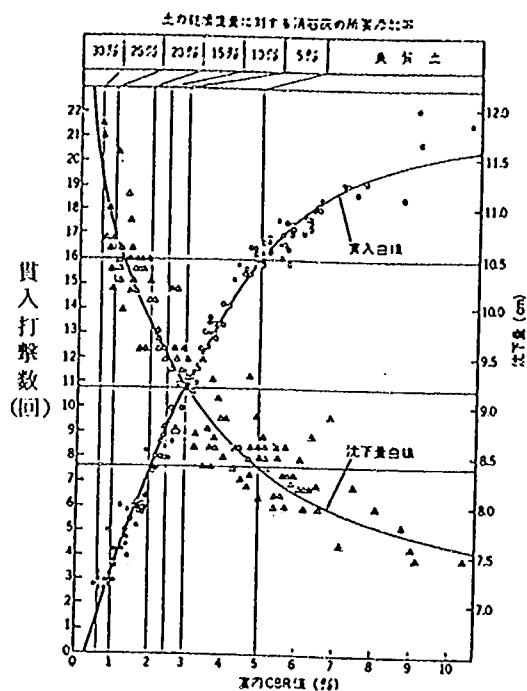


図 4.8 - (b) 土性判定曲線 (粘性土)

## (2) 促進C B R方法

図 4.9 から、C B R の測定は土の種類、含水比によって差異はあるものの、温度を高めることによって、大幅に短縮でき、現行10日間を要する養生期間が40℃では5日間以内60℃では約1日間で測定可能となる。

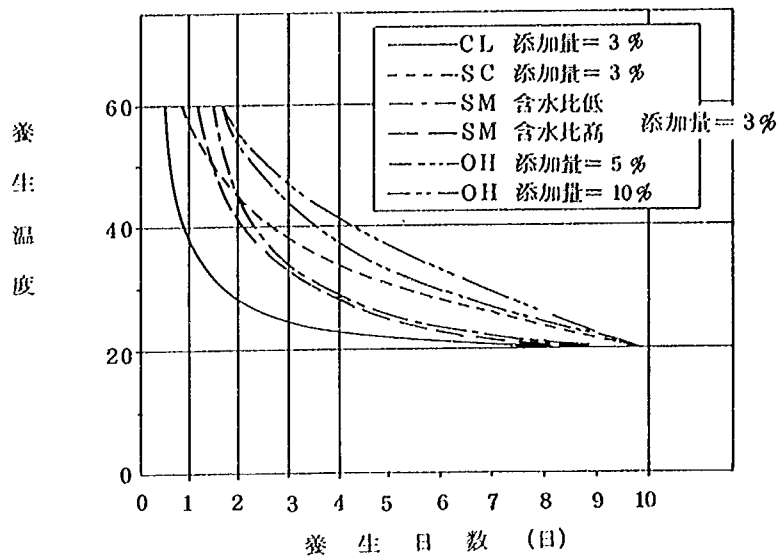


図 4.9 20℃, 10日標準養生 C B R に到達する養生温度と養生日数の関係

#### 4-3 仮 置 き

改良土をプラントまたは現場周辺のストックヤードで仮置きする場合には、改良土の改良効果の持続性および改良土が周辺に与える影響について留意しなければならない。

#### 【解 説】

改良土をストックヤードに仮置きする場合には、次の事項を考慮して改良土の品質の低下や周辺への影響を少なくすることが大切である。

- ① セメント系改良材を使用した場合には、改良効果が経時的に減少する傾向にあるので、なるべくストック期間を短くする。
- ② 降雨による含水比の増加、日光による含水比の低下を防止するために、屋根、シート等で覆っておくことが望ましい。
- ③ 風による粉じんの飛散対策を考える。
- ④ 大量に改良土を仮置きする場合には、ストックヤードからの降雨時の排水の pH が異常に高くないように注意する。

#### 【参 考】

改良土をストックヤードで仮置きした場合の改良土の経時変化の例を以下に示す。

##### (1) 石灰系改良土

図 4.10(a), (b) に砂質系石灰改良土を長期にわたってヤードにストックした場合の品質の経時変化の測定結果を示す。

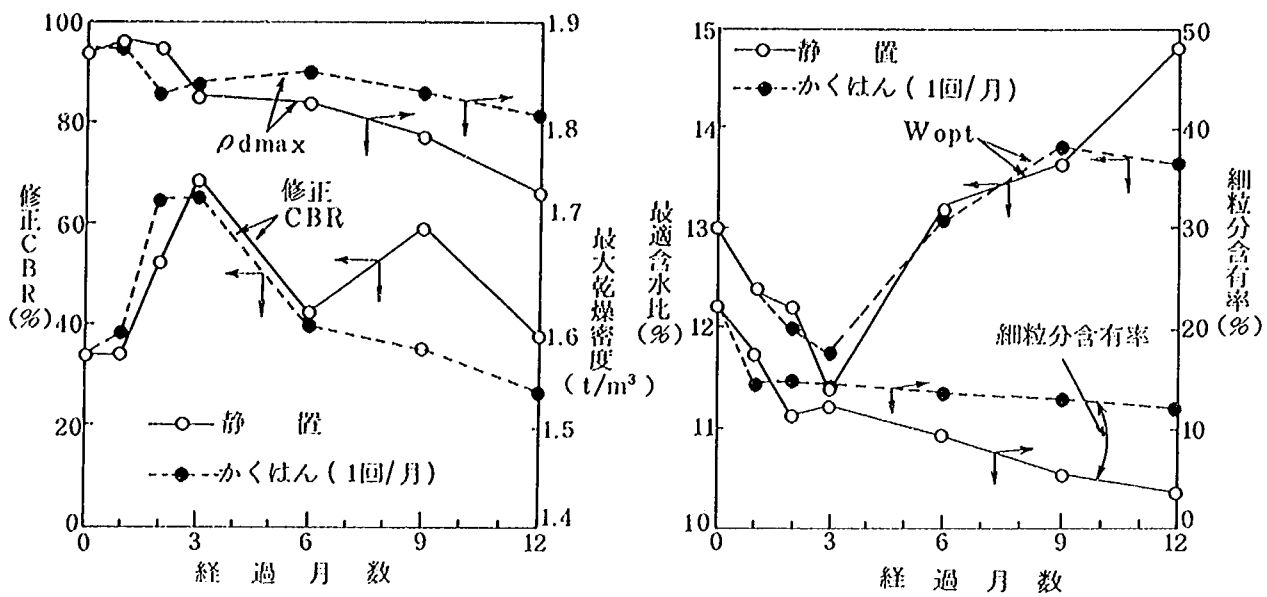


図 4.10(a) 修正 C B R , 最大乾燥密度の変化 図 4.10(b) 最適含水比, 細粒分含有率の経時変化

また, 図 4.11(a), (b)には, 砂質系および粘性土系の石灰改良土をヤードに放置した場合の強度変化の測定結果を示す。

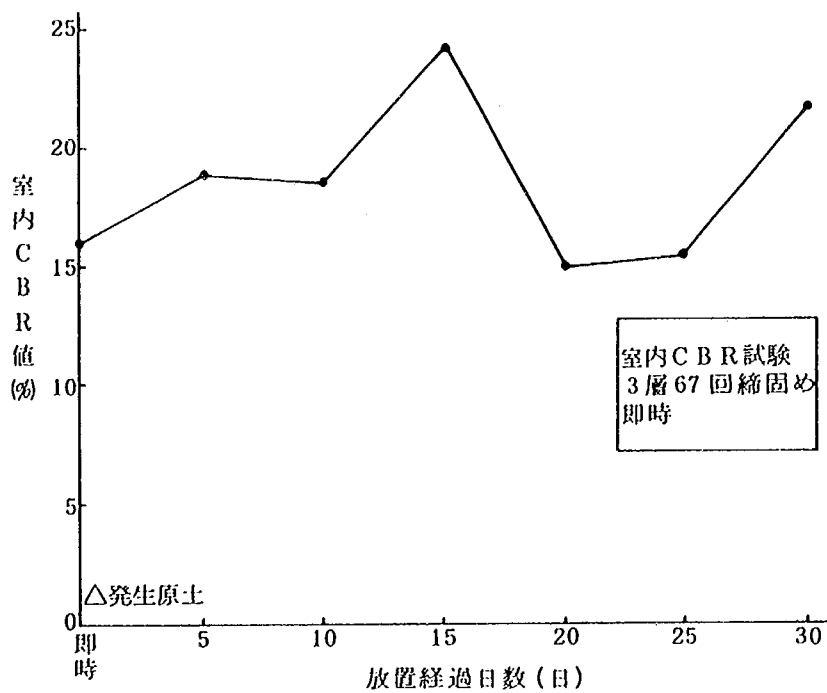


図 4.11(a) 砂質系改良土の強度変化

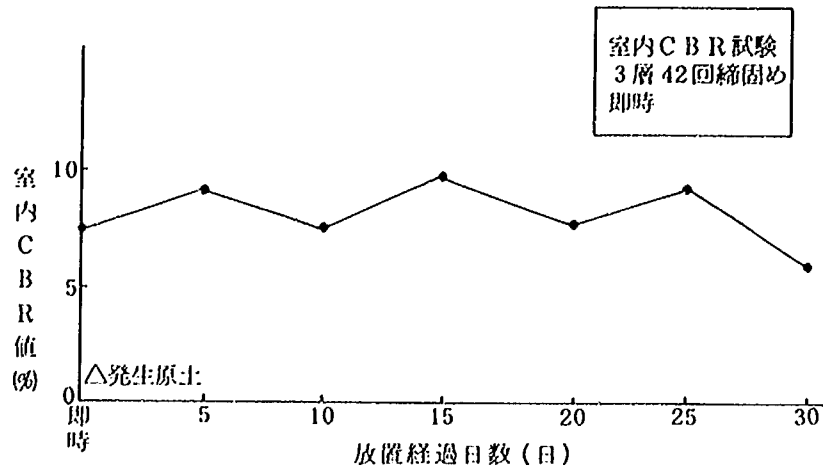


図 4.11(b) 粘性系改良土の強度変化

これら実験結果より判断すれば、石灰系改良土の場合には改良後の品質の低下傾向は小さく、かなり長期間のストックが可能といえる。

## (2) セメント系改良土

図 4.12 にセメント系改良材を用いた改良土をヤードに放置した場合の強度変化の測定結果を示す。

この図よりわかるように、セメント系の改良土の場合には、石灰系改良土と違って改良直後から品質が低下する傾向にあるので長期にわたってストックすることには無理があり、なるべく早期に使用することが必要である。

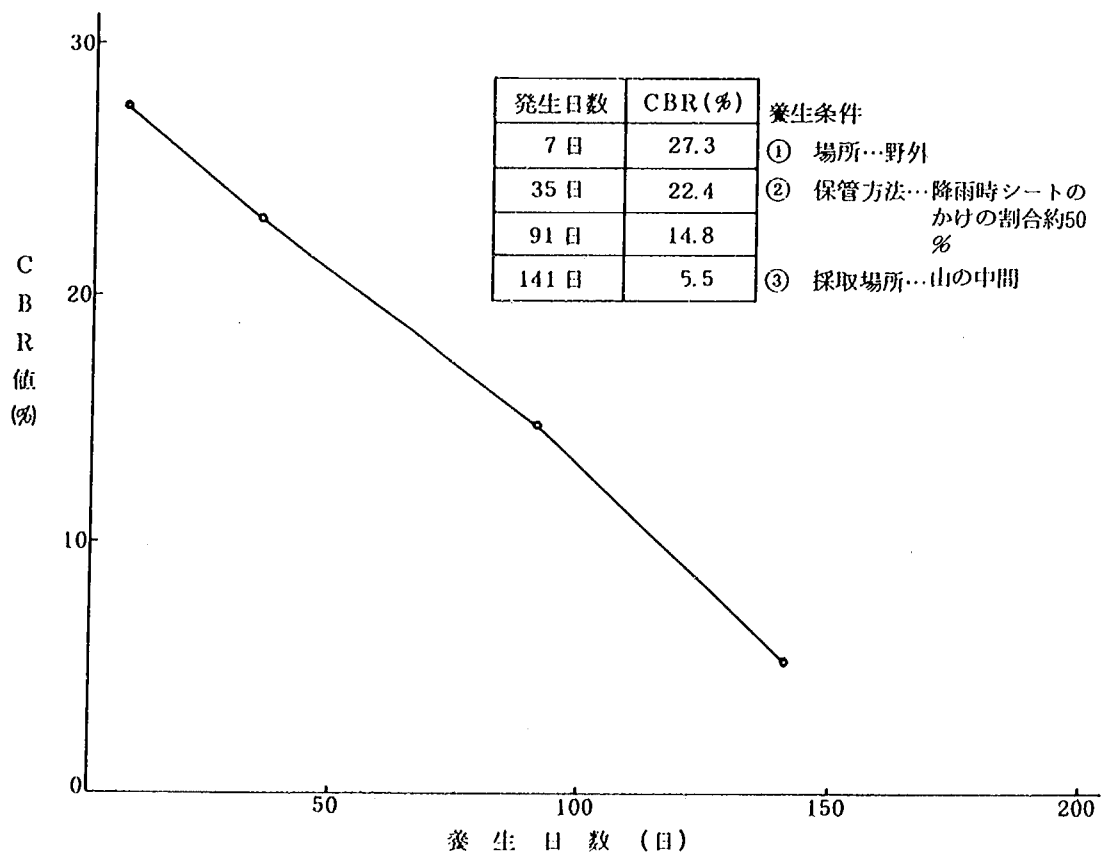


図 4.12 粘性土系改良土の強度変化

改良土を運搬する場合には、周囲に悪影響を与えないように留意しなければならない。

【解 説】

改良土を運搬する場合には、次の事項に留意することが大切である。

- ① 土砂の落ちこぼれ対策
- ② 粉じん対策
- ③ 土砂よごれタイヤによる一般道路のよごれ対策
- ④ 土砂運搬車両が製造設備周辺へ集中することによる交通公害対応と運搬路線の選定

## 5. 施工方法

### 5-1 埋 戻 し

埋戻しは、「管周辺部」の埋戻しと、その上部の「埋戻し部」の埋戻しに区分されるが、いずれも道路機能を掘削前と同様に回復させるため、十分な締固めが必要である。

【解 説】

埋戻しにあたっては、次の点に留意して施工する。

- (1) 「管周辺部」と「埋戻し部」は、管上10～15cmで区分する。
- (2) 管周辺部の埋戻しは、基本的には周辺部の土と同程度の力学的特性を持つ状態に仕上げることを望ましい。
- (3) 「管周辺部」は特に管の安全性を確保するため、管周辺部を均等に締固めて地盤反力を増大させ、管に発生する垂直応力、曲げ応力を減少させることが重要である。

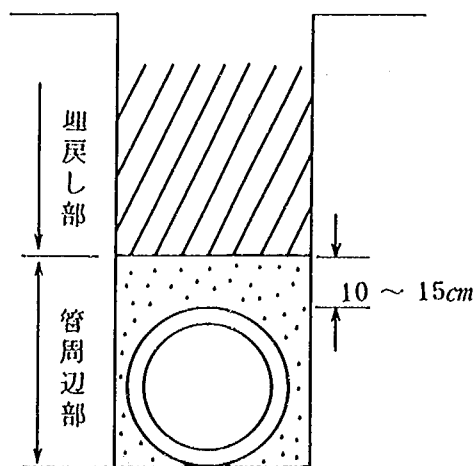


図 5.1 埋戻しの区分

## 5-2 「管周辺部」の埋戻し

「管周辺部」の埋戻しは、埋戻し材料を管底、管側部並びに管と管の間に十分廻り込ませ、適切な締固め工具を用いて締固める。

### 【解 説】

「管周辺部」の埋戻しにあたっては、次の点に留意して施工する。

- (1) 埋戻し材料は、管の移動や偏圧を生じさせないように、丁寧に投入する。
- (2) 太径管の管底部には、埋戻し材料が廻り込みにくく、締固め不足が生じやすいため、管下に埋戻し材料を盛り付け、足づき又は突き棒で突固める。
- (3) 管側部の埋戻しの撤き出し厚は最大30cmとする。各層毎に埋戻し材料を均等に敷均らし、管側部の左右に不均衡を生じさせないように入念に締固める。
- (4) 埋設管が小口径の群管の場合は特に材料が廻り込みにくいので、管と管の間2段階程度毎に埋戻し材料を充填し、突き棒等で突固める。管と管の間隔が5cm程度の場合、埋戻し材料の粒径10mm以下とするのが望ましい。管と管の間の締固めには突き棒又は図5.3に示すような電動式振動締固め機を用いるとよい。
- (5) 埋設管が硬質ビニル管、ポリエチレン管等の場合は、管に傷を付けないため、出来るだけ礫径の小さい埋戻し材料を用いる。
- (6) 生石灰のように発熱作用を伴う添加剤によって改良した埋戻し材料は、管の保護膜等を損傷させる恐れがあるため一定期間養生した後使用する。

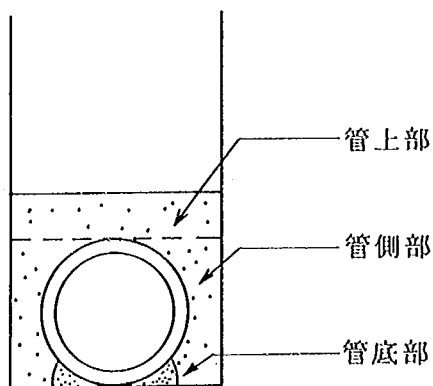


図 5.2 管周辺部の埋戻し

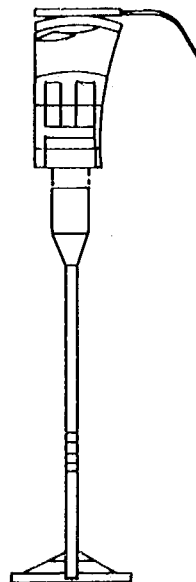


図 5.3 電動式振動締固め機

### 5-3 「埋戻し部」の埋戻し

「埋戻し部」の埋戻しは、各層ごとのまき出し厚を20～30cm（ただし30cmを超えない）とし、均等に敷均した後タンピングランマー、振動コンパクターを用いてよく締固める。

#### 【解 説】

「埋戻し部」の埋戻しにあたっては次の点に留意して施工する。

- (1) 埋戻し材料は入力又は機械力により管に影響を与えないように注意しながら投入する。
- (2) 管上30cmまではできるだけ振動コンパクターや木だこを使用する。タンピングランマーを使用する場合は衝撃力の小さい軽量のものを使用する。
- (3) 掘削溝内に地下埋設物が露出している場合は埋戻し後、損傷を生じないように事前に十分点検するとともに適切な防護工を施す。
- (4) 埋戻し後の残土は直ちに搬出処理し、汚れた路面は清掃する。
- (5) 水締めは行わない。

### 5-4 土留材の撤去

埋戻しがある程度進み、周辺地盤の崩壊の恐れがなくなったら、切梁・腹起こしを撤去し矢板を鉛直に引抜く。矢板の引抜き跡は突き棒等を用い十分に充填する。

#### 【解 説】

矢板が引抜けられない場合、あるいは、引抜きが他に悪影響を及ぼす恐れがある場合は、道路管理者と協議のうえ適当な位置で矢板を切断し埋殺しする。ただし、木矢板は埋殺しとしない。

## 6. 施 工 管 理

改良土の埋戻しに際しては、締固めの程度、支持力等に関して施工管理を行ない、所要の性能が得られていることを確認しなければならない。

#### 【解 説】

- (1) 改良土の埋戻しは、5章で述べた方法によって各層ごとに入念に施工されることが大切である。施工管理は、そのような施工が行われているかどうかを確認するためのもので、各層の締固めの程度あるいは支持力によって評価することが一般に行われている。
- (2) 埋戻しの施工管理の方法は、埋戻し部の施工条件や土質、締固めの方法などを考慮して、現地の条件に応じて決める。とくに、改良土を用いて埋戻す場合は、表層部を締固めるだけで十分な支持力などが得られることもあるので、全層にわたって所定の品質の埋戻しが行われているかど

うかが確認できるものがよい。

- (3) 各層の締固め程度を調べる方法としては、現場密度試験、すなわち砂置換法、突き砂置換法、コアカッター法などがある。また、最近では低線源でしかも土質ごとの校正曲線を必要としない、簡便で迅速な測定が可能な R I による測定器が開発されているので、R I による密度管理法を活用する方法もある。
- (4) 支持力の評価方法には、現場 C B R 試験、平板載荷試験、土研式貫入試験等の試験方法があるが、これらのうち土研式貫入試験は、埋戻し内部の締固めの程度まで判定でき、簡便な試験方法である。
- (5) 埋戻し部の一定区間ごとに、適当な長さのジオテキスタイルを各層ごとに敷設して、改良土の締固めが十分に実施されているかどうかを確認することも考えられる。

#### 【参 考】

土研式貫入試験による10cm当りの打撃回数（以下、「土研式貫入試験値」と称す）の決定方法の一例は次のとおりである。

- a) 施工箇所の道路に、土研式貫入試験値について規定がある場合には、その規定に従うこと。
- b) 埋戻し部の目標強度が現場 C B R 値で与えられている場合には、図 6.1 に示す関係等から土研式貫入試験値を定めるものとする。

土研式貫入試験値の数値の求め方の一例を示すと、次のとおりである。

図 6.1 に示すように土研式貫入試験値と現場 C B R 値の相関関係から、安全側をとった曲線 A を用い、例えば、現場 C B R 値として 4 % 必要な場合、曲線 A から所要の土研式貫入試験値 = 10 回と求める。

また、埋戻し部の目標強度が平板載荷試験値（K 値）で与えられている場合には、実際に平板載荷試験を行うか、または、以下に示す方法により K 値を決定する。

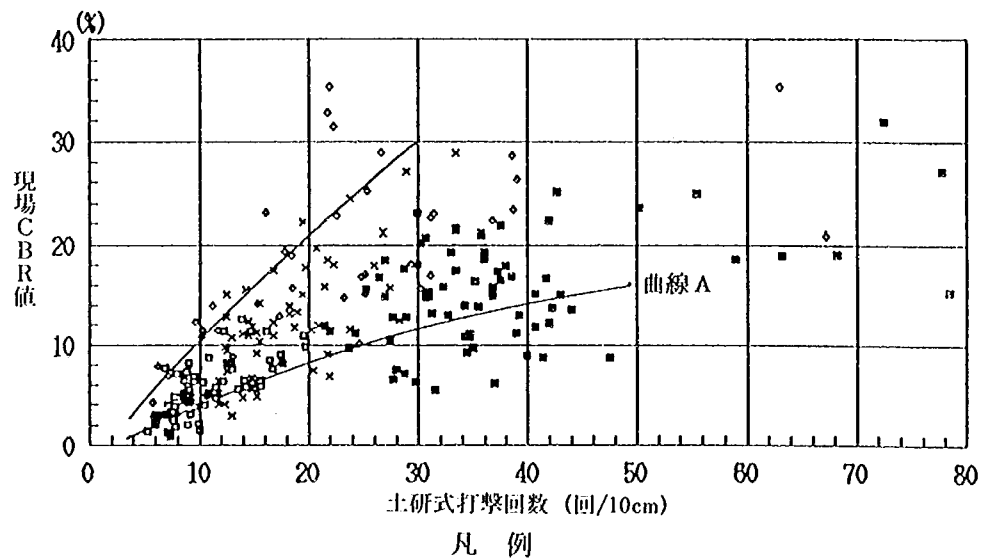
- a) 土研式貫入試験値を得ることができる場合には、図 6.2 に示す関係等から K 値を定めるものとする。
- b) 現場 C B R 値を得ることができる場合には、図 6.3 に示す関係から K 値を定めるものとする。

次に、出来型と品質に関する施工管理の方法の一例を下記に示す。この例では、支持力の試験方法として、土研式貫入試験を用いている。

# 施工管理方法の一例

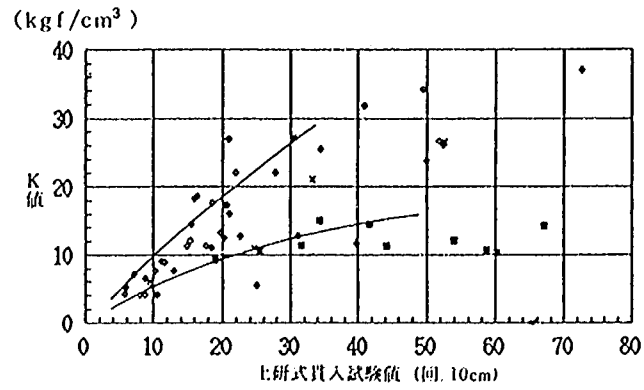
| 項目  | 目的                   | 着眼点    | 試験方法    | 標準的な管理値                     | 頻度                              |
|-----|----------------------|--------|---------|-----------------------------|---------------------------------|
| 出来型 | 設計どおりに仕上がっていることを確認する | 仕上がり寸法 | 寸法測定    | +2.5 cm以内で規定の高さに仕上がっていること   | 20 m <sup>2</sup> 毎に1回程度を標準とする。 |
|     |                      | 不陸     | 目視      | 表面に極端な不陸のないこと               | 常時                              |
| 品質  | 十分に締固まっていることを確認する    | 支持力    | 土研式貫入試験 | 施工直後において、所要の支持力が得られる回数であること | 200 m <sup>2</sup> 毎に1回程度を標準とする |

注：標準的な管理値および頻度は、工事の種類、規模等を勘案して適正な値に決めること。



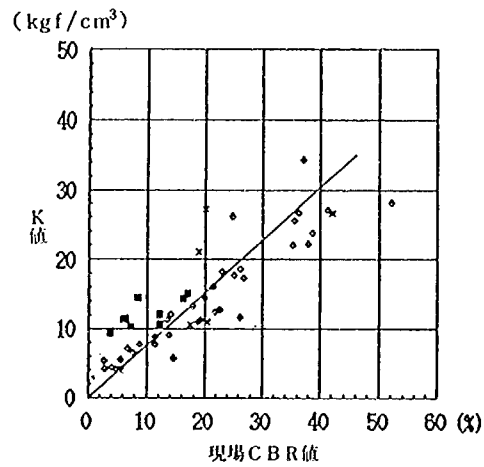
| 記号 | 土質          | 土質改良用添加材 | 改良方式   |
|----|-------------|----------|--------|
| □  | 関東ロームおよび砂質土 | 消石灰      | 車載プラント |
| ■  | 粘性土と砂質土の混合  | 生石灰      | 中央プラント |
| ×  | 主として砂質土     | 生石灰      | 中央プラント |
| ◇  | 粘性土および砂質土   | 消石灰      | 車載プラント |

図6.1 土研式貫入試験値と現場CBR値の関係



- 凡例
- 粘性土と砂質土の混合で消石灰を用いた場合
  - × 主として砂質土で生石灰を用いた場合
  - ◆ 粘性土と砂質土の混合で、消石灰を用いた場合

図 6. 2 土研式貫入試験値と K 値の関係



- 凡例
- 粘性土と砂質土の混合で消石灰を用いた場合
  - × 主として砂質土で生石灰を用いた場合
  - ◆ 粘性土と砂質土の混合で、消石灰を用いた場合

図 6. 3 現場 C B R 値と K 値の関係

### 3.4 ま と め

現場試験施工や室内試験の結果により、改良土は所定の品質を満足するものであれば埋戻し材として十分使える可能性のあることが明らかになったので、「改良土を用いた埋戻しの手引き」を作成して、改良土を埋戻しに適用するときの方法や留意点を取りまとめた。ただし、埋戻しに用いる改良土の品質基準や施工管理基準については、現地の土質、地質条件、埋設管の種類や設置深度、交通量等を考慮して定める必要があるが、まだ明確な設定方法を示すには至らなかったため、今後さらに現場での実績を踏まえた一層の調査研究が望まれる。また、長期間経過後の再掘削性の問題についてもまだ十分な解明がなされていないので、追跡調査の必要があると思われる。

## 4. 高含水比粘性土の土質改良用混合装置の開発

### 4.1 研究目的

本研究は、含水比 150 ～ 400 % 程度の浚渫汚泥（へどろ）、掘削泥土など、そのままでは搬出・投棄することが不可能であり、最近その処分先の確保が困難になりつつある高含水比粘性土を再利用可能となる性状まで、現場サイドで土質改良するための装置の開発を図ることを目的とした。混合機構は、ラインミキサによる粉体添加材混合方式とし、処理能力としては 20 ～ 50 m<sup>3</sup>/hr（処理前体積）に設定した。

### 4.2 研究内容

#### 4.2.1 研究の経緯

本研究は、昭和58年度から60年度まで3ヶ年計画で実施した。なお、57年度は研究開発の実施に先立ち資料収集を行うと共に基本構想を検討した。

58年度はラインミキサ模型1号機の製作ならびに作動確認を行い、59年度にラインミキサ模型1号機による土質改良実験を行った。その結果をもとに60年度はラインミキサ模型の改良（2号機）ならびに土質改良実験を行い、本装置が十分に実用性を持つことを確認した。

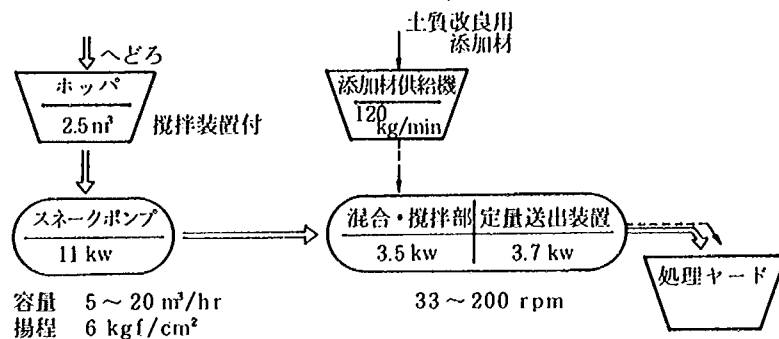
#### 4.2.2 開発の構想

昭和57年度に開発に先立ち、高含水比粘性土を大量に発生するへどろ浚渫工事を対象として予備検討を行った結果、浚渫工事より発生する泥土は含水比が 100 ～ 400 % 程度であることが把握された。これらのうち含水比 150 % 程度以下のものは既存のベルコン輸送、大型ソイルミキサ混合による改良技術の適用が可能であるため、本研究では含水比 150 ～ 400 % 程度のへどろの改良を対象とすることとし、所要処理量は、浚渫船（ニューマポンプ式）の能力等から判断して、20 ～ 50 m<sup>3</sup>/hr に設定した。

改良の方式は、排泥後の固化、乾燥の迅速化をはかるため、へどろに排泥管路中で土質改良用添加材を添加・混合する方式を採用することとした。添加方式は、へどろに余分の水を添加しなくてすむこと、添加材の効果を十分に発揮できることなどの理由からエアにより土質改良用添加材を粉体のまま管路中に吹き込み、ラインミキサで混合する技術を検討することとした。

#### 4.2.3 模型機の製作および改造

昭和58年度、上記方針に基づきラインミキサ模型1号機（処理能力16～20 m<sup>3</sup>/hr）を製作した。模型機には、実験のためのへどろの安定供給をはかるため、大型のへどろ供給用ホップを取り付けた。



図－4.1 ラインミキサ模型機の原理

模型機の原理は、図－4.1に示す通りである。

さらに昭和60年度には、前年度の実験結果に基づいて、次項で説明するラインミキサ模型2号機を製作し、ラインミキサ方式による高含水比粘性土の土質改良用混合装置を開発した。

#### 4.2.4 土質改良実験

昭和59年度にラインミキサ模型1号機を用いて、さらに昭和60年度に2号機を用いて土質改良実験を実施した。

改良の対象土は、霞ヶ浦へどろとし、含水比を所定値（150～400％）に調整して供給した。土質改良用添加材としては普通ポルトランドセメントを採用し、へどろに対する湿潤重量比で5～50％を添加・混合するようにした。

実験は、所定の配合条件でラインミキサ模型機により混合試験（1条件当り約2 m<sup>3</sup>のへどろを供給）を行い、改良土は20℃恒温室内で密封養生した。試験後2日、7日、14日、28日経過した時点で、含水比（1条件につき5検体）、フォールコーン貫入量（1条件につき20点）、一軸圧縮強さ（1条件につき2検体）を計測した。さらに上記と同一配合でソイルミキサを用いて室内配合試験（締固めを伴わない安定処理土の試験方法(案)に基づく）を実施し、ラインミキサ模型機による改良効果と比較することにより、改良効果の評価に資することとした。

また一部の条件については野外ヤードに放置し、天日乾燥状態下における改良土の経時的変化も調査した。

### 4.3 ラインミキサ模型1号機に関する試験検討

#### 4.3.1 ラインミキサ模型1号機の概要

##### (1) 設計方針

一般に土の改良においてはソイルミキサで改良対象土と添加材を混合する方法、あるいは原位置で添加材を散布しスタビライザ等で混合する方法が採用されることが多い。しかし、本研究で対象とするような超高含水比の泥土の改良に関しては、ハンドリングあるいはトラフィカビリティの問題から上述の方法を採用することは不可能である。

そこで、本研究においてはパイプでの輸送中（浚渫における排泥管あるいは泥水工事における泥水処理プラントを想定）に、吸水性の大きな添加材を粉体のまま投入、混合攪拌する方式を検討することとした。

##### (2) 1号機の主要な仕様

昭和58年度に製作したラインミキサ模型1号機の主要諸元を表－4.1に模型機の全体図を図4.2に示す。このうちラインミキサ内の添加材吹出翼、混合翼の形状の詳細は図－4.3に示す通りである。また、定量送り出し装置は、ミキサ内での安定した流れを確保するためにスクリーコンベヤを吐出部に装着したものであり、リボンスクリュータイプ（Aタイプ）とカットフライトスクリータイプ（Bタイプ）の2種類を製作した。

#### 4.3.2 土質改良実験の計画

##### (1) 概要

実験は、模型機のへどろ定量送り出し装置の作動確認ならびに軸回転数、添加材供給機等の運転条件の最適範囲を見い出すことを目的とした“実験1”と、供試へどろの性状、土質改良用添加材と改

表-4.1 ラインミキサ模型1号機主要諸元

| 項 目         | 諸 元                             | 備 考                    |
|-------------|---------------------------------|------------------------|
| へどろ圧送ポンプ    | スネークポンプ18m <sup>3</sup> /hr Max | 屋 外 型                  |
| 上記駆動モータ     | 11kw                            |                        |
| ホ ッ パ       | φ 2,640, 2.5 m <sup>3</sup>     |                        |
| ホ ッ パ 攪 拌 機 | ~20 rpm 無段変速                    | 屋 外 型                  |
| 上記駆動モータ     | 5.5 kw                          |                        |
| ラインミキサ部     | φ 300 × 730 mm                  |                        |
| ラインミキサ攪拌翼   | ~200 rpm 無段変速                   | 吹込用2対, 攪拌用1対, インバータ付   |
| 上記駆動モータ     | 3.7 kw                          | 屋 外 型                  |
| 定量送り出し装置    | φ 300 × 600 mm                  | リボンスクリュー, カットフライトスクリュー |

良効果の把握を目的とした“実験2”に分けて実施し、さらに、実験2と同一配合条件でソイルミキサにより混合、改良し、模型機の改良効果の評価に資することを目的とした“室内配合試験”を実施することとした。

すなわち、実験1により模型機の最適な運転条件を把握し、実験2および室内配合試験の結果を比較することにより、模型機の性能（室内試験結果と比較した改良効果）を把握することを目的とするわけである。

### (2) 実験条件

上記目的に基づき、“実験1”および“実験2”の実験条件を表-4.2～4.3に示す通り設定した。なお、供試材料は霞ヶ浦土浦沖で採取されたへどろを所定の含水比に調整して供することとし、土質改良用添加材としては普通ポルトランドセメントおよびへどろ改良用特殊セメントを採用した。

模型機により添加材と混合されたへどろは、試験直後にモールドへ充填し20℃恒温室で密封養生することとしたが、“実験2”の実験条件のうち、No.3, 4, 5については、改良後のへどろを野外ヤードにそれぞれ貯留し、自然条件下における改良（天日乾燥）状況も把握することとした。

改良土の土質試験としては、全条件について改良前、材令2日、材令7日の時点での含水比（各5検体ずつ）を測定し、さらに材令2日と7日については、フォールコーン貫入量（各条件5検体ずつ、1検体当たり4点計測）を測定することとした。なお“実験2”のうち条件No.3, 4, 5については改良前、材令2日、7日、14日、28日時点で、試験直後採取し恒温室で密封養生した供試体とヤード内で天日乾燥させた供試体の両者について、含水比、フォールコーン貫入量、一軸圧縮強さを測定した。フォールコーン質量は実験1では100 g、実験2では60 g、先端角60°のものを用了。“室内配合試験”では、“実験2”と同一の配合条件でへどろの含水比を調整、セメントを添加し、“締固めを伴わない安定処理土の試験方法(案)”（土質工学会）に基づきホバート型ソイルミキサーで充分混合した後、20℃恒温室で密封養生し、“実験2”と同様の土質試験を実施し、混合装置模型による改良結果と比較することにより、模型実験機の性能評価の検討に資することとした。

### (3) 実験場所

上記の実験は、土木研究所内の建設機械野外実験場で実施することとし、模型機等のレイアウトは図-4.4に示す通りとした。実験場の写真を写真4.1に示す。

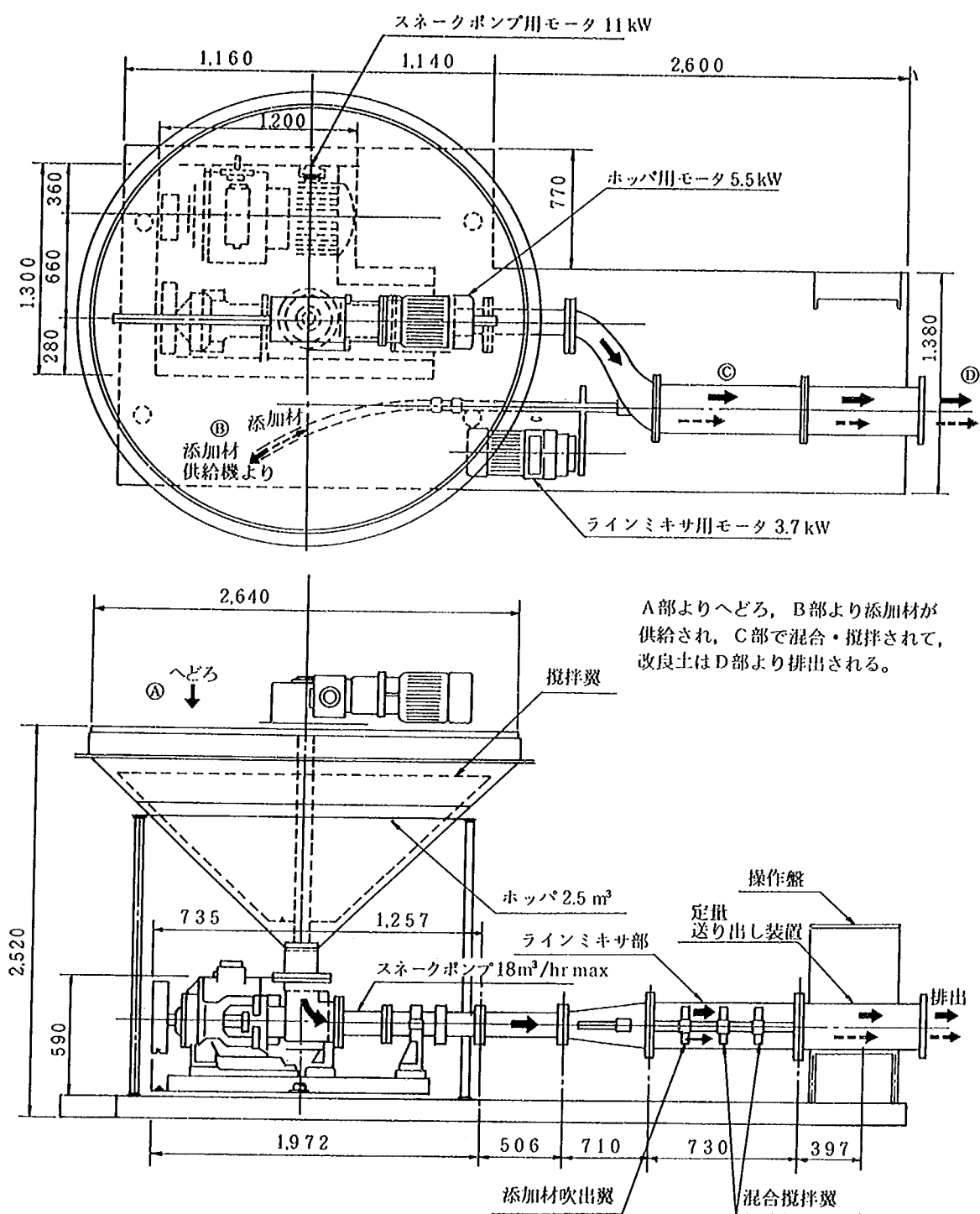
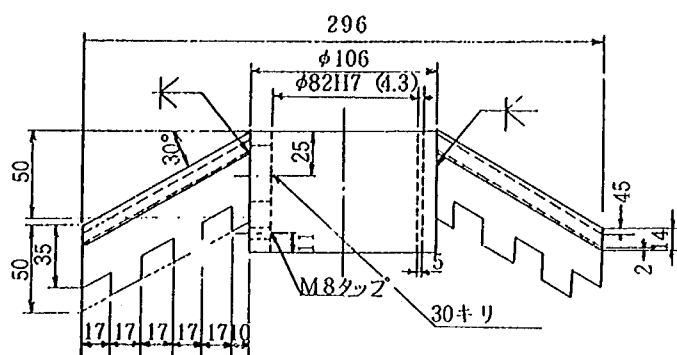


図-4.2 ラインミキサ模型1号機 (58年度製作)



Technical drawing of a four-armed rotating cross-shaped part. The top view shows a central circular hub with four tapered arms. Dimensions include a total width of 296, a central hole of diameter 106, and a hole in the arm of diameter 82H7 (4.3). The side view shows the arm's profile with a 5mm thickness and an M8 tapping hole.

- 90 -

表－4.2 実験1における実験計画条件一覧

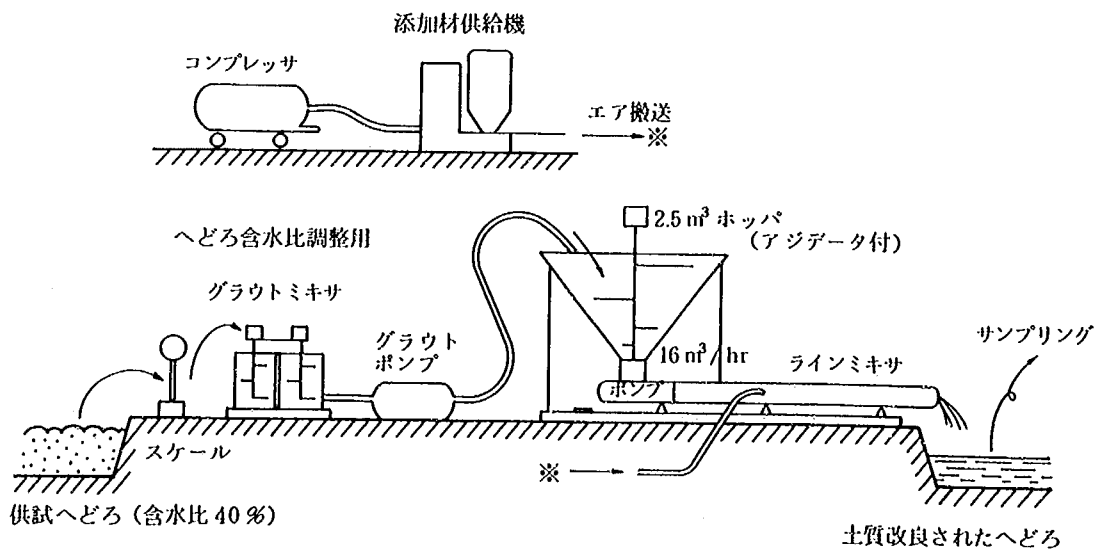
| へどろ定量送り出し装置  |       | A    |    |    | B  |    |    |
|--------------|-------|------|----|----|----|----|----|
| 攪拌軸回転数 (rpm) |       | 60   | 75 | 90 | 60 | 75 | 90 |
| へどろ含水比       | 160 % | No 1 | 2  | 3  | 10 | 11 | 12 |
|              | 200 % | 4    | 5  | 6  | 13 | 14 | 15 |
|              | 300 % | 7    | 8  | 9  | 16 | 17 | 18 |

※土質改良用添加材の添加量は、各条件とも湿潤重量比で10%とする。

表－4.3 実験2における実験計画条件一覧

| 添加量<br>(湿潤重量比) |       | 土質改良用添加材     |      |      |      |        |      |
|----------------|-------|--------------|------|------|------|--------|------|
|                |       | 普通ポルトランドセメント |      |      |      | 特殊セメント |      |
|                |       | 5 %          | 10 % | 20 % | 30 % | 5 %    | 10 % |
| へどろ<br>含水比     | 160 % | No 1         | 2    |      |      | 8      | 9    |
|                | 200 % | 3            | 4    | 5    |      |        |      |
|                | 300 % |              |      | 6    | 7    |        |      |

※模型機の運転条件は“実験1”で最適と判断されたものとする。



図－4.4 土質改良実験の概要図

#### 4.3.3 実験結果

##### (1) 最適な運転条件の把握

実験1ではスクリュウの違いおよび攪拌軸の回転数の違いによる改良効果を把握することを目的としているため、表－4.4～4.5に示すように、これら運転条件別にデータをグループ分けし、それぞれのグループ毎に含水比の平均値とCV値およびフォールコン貫入量（コーン質量100g、コーン先端角60°）の平均値とCV値の平均値を求めた。なお、CV値とは{(標準偏差)÷(平均値)}×

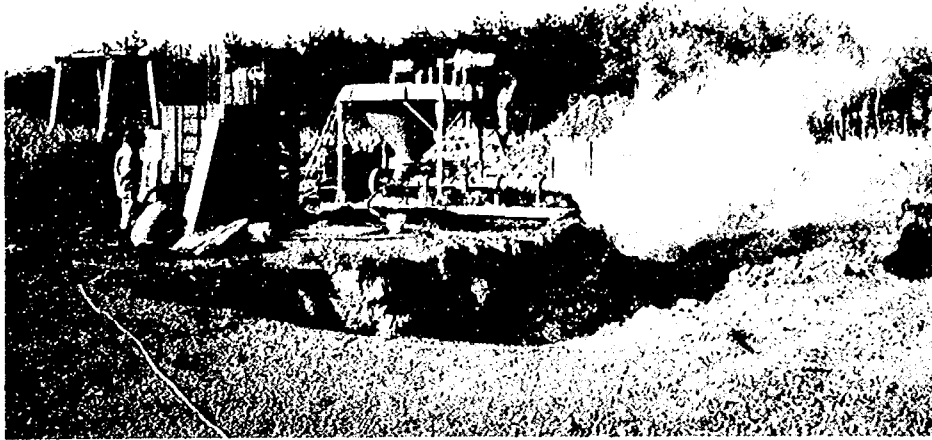


写真-4.1 1号機による土質改良実験

100 %で示されるものであり、改良土の性質の均質性を比較する尺度の1つであると考えられる。

この結果から、運転条件の違いに起因する改良の良否の傾向は明確とはならなかったが、実験時におけるへどろの流れの安定性、セメント微粉の飛散状況等の目視の結果から実験2ではスクリーBタイプ、攪拌軸回転数60 rpmを採用することに決定した。

表-4.4 運転条件別にみた含水比の変化(実験1)

| 運転条件    | 材 令    |       | 改 良 前 | 2 日   |           | 7 日   |           |
|---------|--------|-------|-------|-------|-----------|-------|-----------|
|         | 項 目    |       |       | 平 均 値 | 改良前に対する割合 | 平 均 値 | 改良前に対する割合 |
| 攪拌軸の回転数 | 60 rpm | 平 均 値 | 282   | 198   | 70 %      | 188   | 67 %      |
|         |        | C V   | 0.59  | 4.62  |           | 5.59  |           |
|         | 90 rpm | 平 均 値 | 301   | 217   | 72 %      | 198   | 66 %      |
|         |        | C V   | 0.46  | 3.71  |           | 4.51  |           |
| スクリーの種類 | A      | 平 均 値 | 295   | 211   | 72 %      | 205   | 69 %      |
|         |        | C V   | 0.67  | 4.12  |           | 4.80  |           |
|         | B      | 平 均 値 | 287   | 187   | 65 %      | 182   | 63 %      |
|         |        | C V   | 0.41  | 4.28  |           | 5.34  |           |

## (2) 改良土の経時的変化

ラインミキサ模型1号機の土質改良効果の一例として、“実験2”の条件3,4,5における改良土の含水比、フォールコーン貫入量(コーン質量60 g, コーン先端角60°)、一軸圧縮強さの経時的変化を図-4.5～4.7に示す。図中には同一配合条件における“室内配合試験”結果も示してあるが、一般的に模型機による改良効果は、ソイルミキサによる改良効果に比らべやや劣っていると考えられる。

表－4.5 運転条件別にみたフォールコン貫入量の変化（実験1）

| 運転条件     | 材 令<br>項 目 | 2 日   | 7 日   |              |
|----------|------------|-------|-------|--------------|
|          |            |       | 平 均 値 | 材令 2 日に対する割合 |
| 撚拌軸の回転数  | 60 r p m   | 平 均 値 | 6.23  | 4.89         |
|          |            | C V   | 21.17 | 22.58        |
|          | 90 r p m   | 平 均 値 | 4.46  | 3.66         |
|          |            | C V   | 15.27 | 27.8         |
| スクリュウの種類 | A          | 平 均 値 | 5.26  | 4.23         |
|          |            | C V   | 20.20 | 20.85        |
|          | B          | 平 均 値 | 5.71  | 4.41         |
|          |            | C V   | 17.07 | 28.40        |

### (3) 土質改良効果の評価

同一配合条件におけるラインミキサによる改良土とソイルミキサ（室内配合試験）による改良土の土質試験結果（材令28日）を各実験条件を通して対比した結果を図－4.8に示す。含水比については両者とも同様の値を示しているが、フォールコン貫入量は、ラインミキサによる改良土の方が5～10割程度大きく、一軸圧縮強さでは、3～6割程度低い値を示した。このことはある一定の体積当り（含水比測定のための供試体の体積）には、ほぼ所定量に等しい量の土質改良用添加材が混入されているため水和反応で減少する水分量は等しくなり、含水比も両者ともほぼ等しくなるが、均一に混合されていないため、その強度の弱いところに支配され一軸圧縮強さはラインミキサによるものの方が低くなったものと考えられる。

ここで混合の均一性を定量的に検討する一つの手法として、材令7日時点での含水比とフォールコン貫入量に関して、そのCV値（＝（標準偏差／平均値）×100％）の全条件の平均値を、模型機による改良土とソイルミキサによるものについて別々に求めた。

この結果を表－4.6に示す。この結果によれば、含水比のバラツキの大きさは、ラインミキサによる改良土ではその平均値の6.7％、ソイルミキサによる改良土では1.2％であること。フォールコン貫入量のバラツキの大きさはラインミキサによる改良土ではその平均値の31.9％、ソイルミキサによる改良土では17.1％程度であることがわかった。従って混合の均一性に関してさらにラインミキサ1号機には改良の余地が残っていると考えられる。

### (4) 室内養生とヤードの養生の差異

今回の実験では、密封恒温室養生の場合と野外養生の場合の含水比変化、強度発現の差異を確認する計画としたが、図－4.5～4.7の実線（——）と一点鎖線（— · — · —）に示されるように両者間に大きな差異は認められなかった。

#### 4.3.4 1号機に関する試験検討のまとめ

ラインミキサ模型1号機に関する試験により、“高含水比粘性土を管路搬送中に粉体の土質改良用添加材をエアで吹き込み混合することにより改良する”装置に関して次の事項が明らかになった。

① 土質改良用添加材の混入については、エア中に浮遊する若干の微粉を除き、完全に改良土中

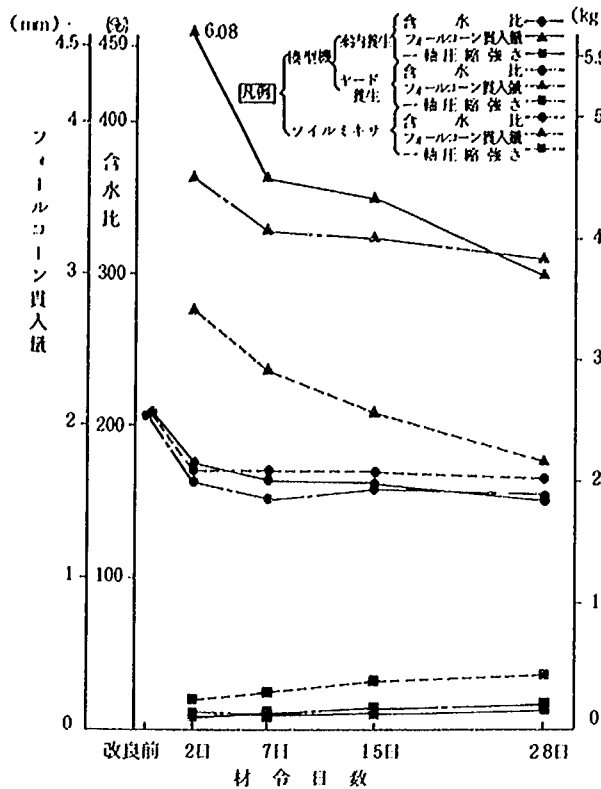


図-4.5 土質試験結果 (実験2の条件3  
セメント50%, 含水比200%)

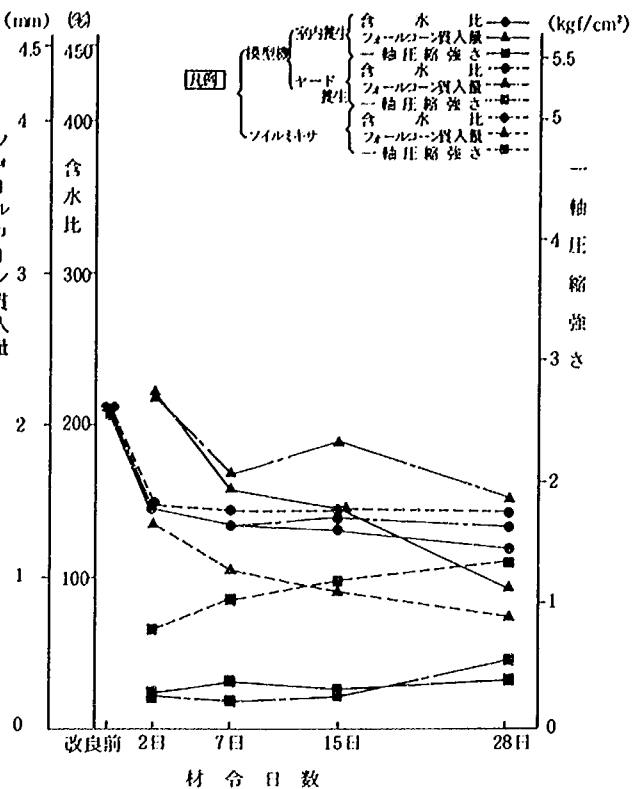


図-4.6 土質試験結果 (実験2の条件4  
セメント10%, 含水比200%)

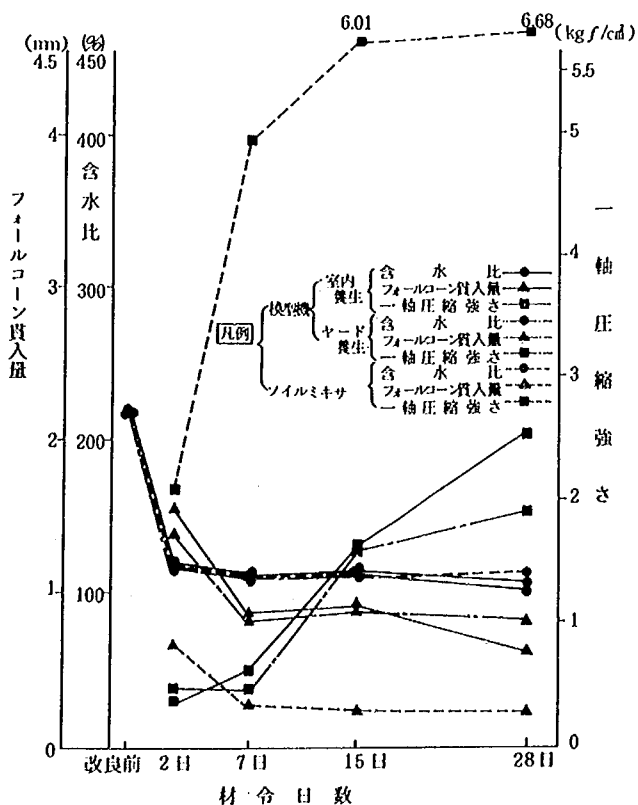


図-4.7 土質試験結果 (実験2の条件5  
セメント20%, 含水比200%)

表-4.6 CV値の違い (材令7日)

|                  | 含水比<br>のCV値<br>(%) | フォールコーン<br>貫入量のCV値<br>(%) |
|------------------|--------------------|---------------------------|
| 模型機による改良土        | 6.7                | 31.9                      |
| ソイルミキサによる<br>改良土 | 1.2                | 17.1                      |

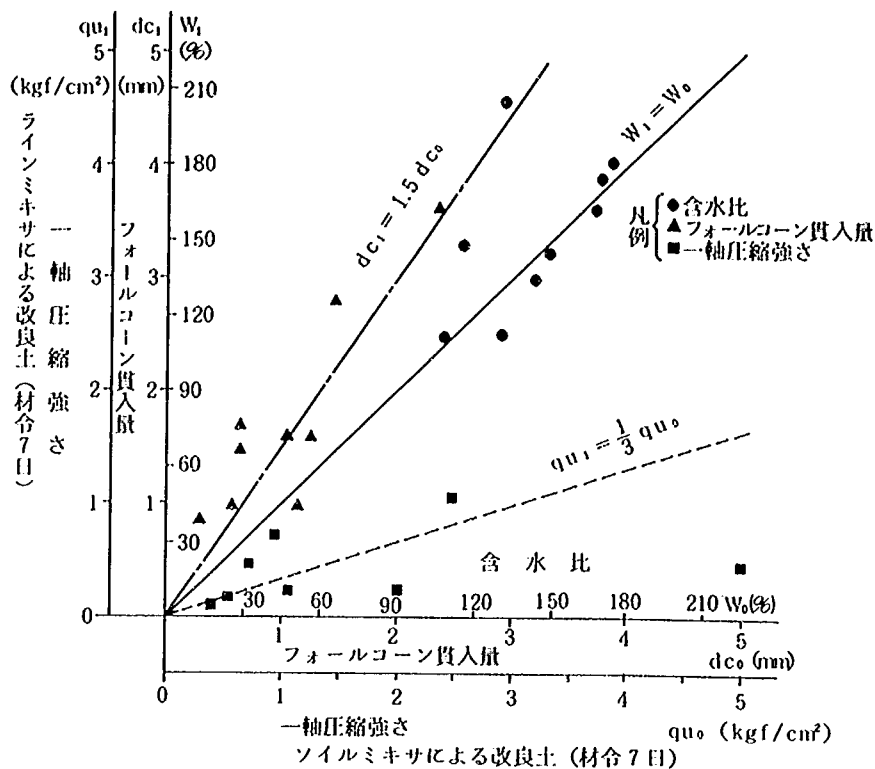


図-4.8 ラインミキサ1号機とソイルミキサによる土質改良効果の比較

に混入されている。

- ② 強度発現については、一軸圧縮強さで見た場合、同一配合の室内配合試験結果の  $1/3 \sim 2/3$  の強度を達成している。
- ③ 混合部をさらに改良し、さらに一様な混合が達成できるようにすることにより、上記の強度発現を向上させることができるものと考えられる。

上記の結論を踏まえ、次年度は混合部の攪拌翼等の形状をさらに検討し改良を加えると共に、攪拌翼と定量送り出し部を別動力としさらに効率的な混合攪拌が行なえるよう模型機の改造を図り、土質改良実験を実施する計画とした。

#### 4.4 ラインミキサ模型2号機に関する試験検討

##### 4.4.1 ラインミキサ模型2号機の概要

###### (1) 設計方針

昭和60年度は、前年度実施した土質改良実験結果に基づき、次に示す方針に従って、昭和58年度に製作した模型機のうちのラインミキサ部を新たに設計製作した。

- ① ラインミキサ部がへどろと土質改良用添加材で十分充満するように管路断面積とミキサ部断面積の変化を小さくすると共に、定量送り出し装置にも勾配をつける。
- ② へどろの性状、処理量に応じた攪拌軸回転数、定量送り出しコンベア速度がそれぞれ独立して設定できるよう両者の動力を別駆動とする。
- ③ 攪拌翼、定量送り出しコンベアの形状をさらに改良する。なお、定量送り出しコンベアについ

てはカットフライトスクリー式（A型）とコンベアスクリー式（B型）の2種類を製作し実験に供することとした。

④ 実験終了後の維持管理の便を考えた構造とする。

（2） 2号機の主要な仕様

前項に示す方針に従って設計，製作したラインミキサ模型2号機の全体図を図－4.9に，混合翼等の詳細図を図－4.10に示す。装置の全体と中心となるラインミキサの内部をそれぞれ写真－4.2，写真－4.3に示す。

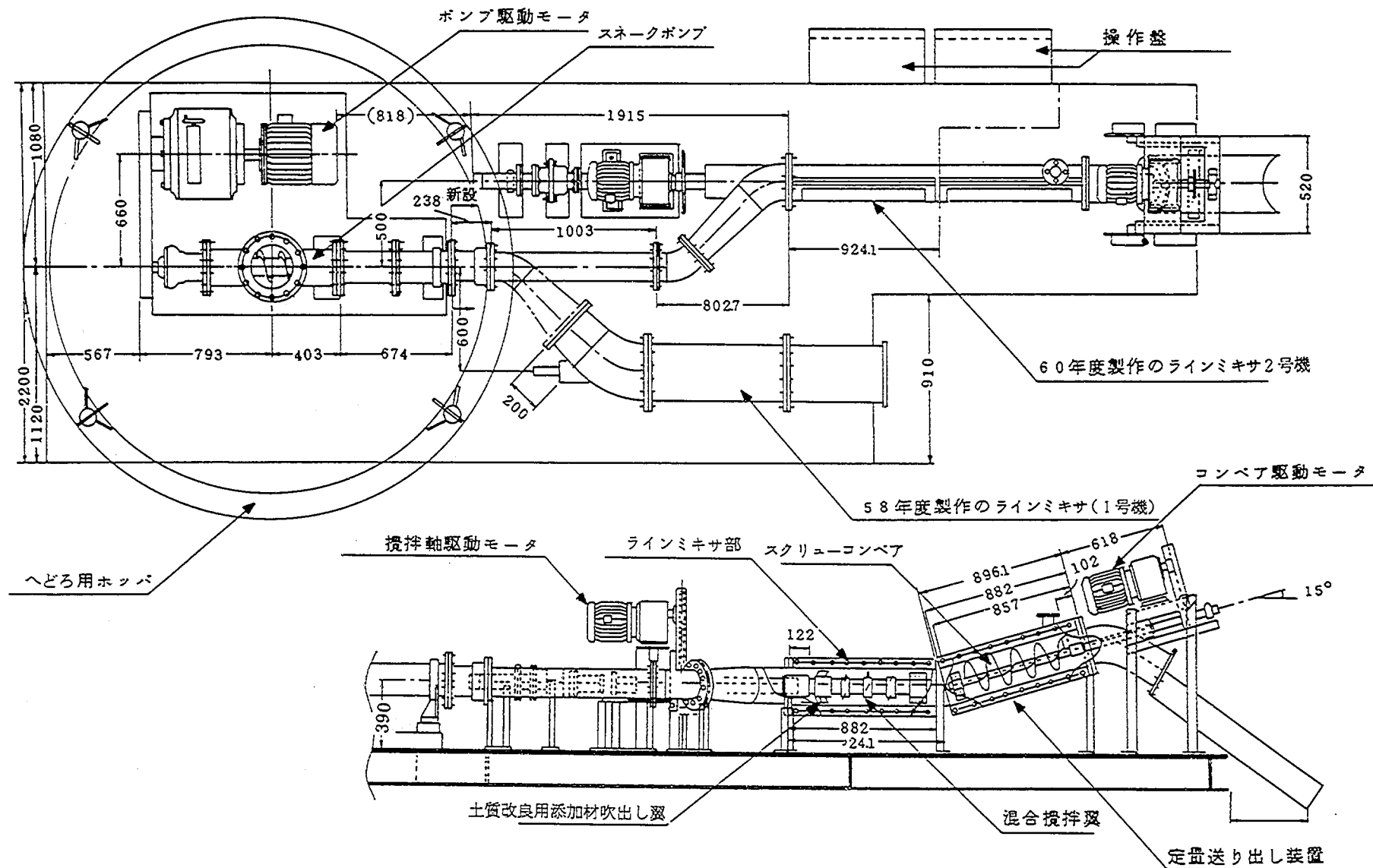
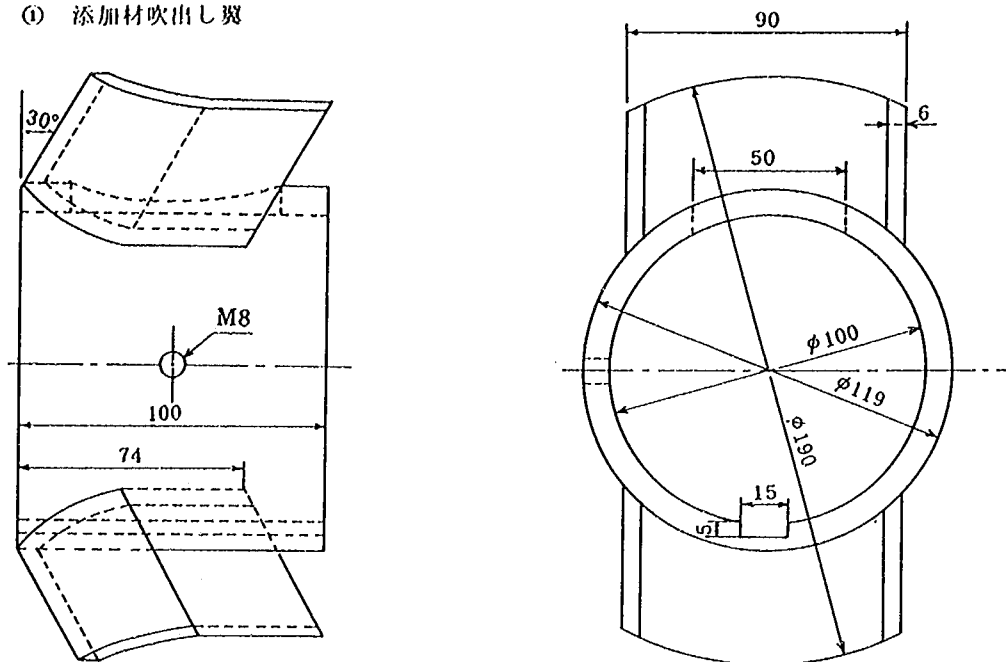


図-4.9 ラインミキサ模型2号機（上：全体平面図，下：ラインミキサ部正面図）

① 添加材吹き出し翼



② 混合攪拌翼

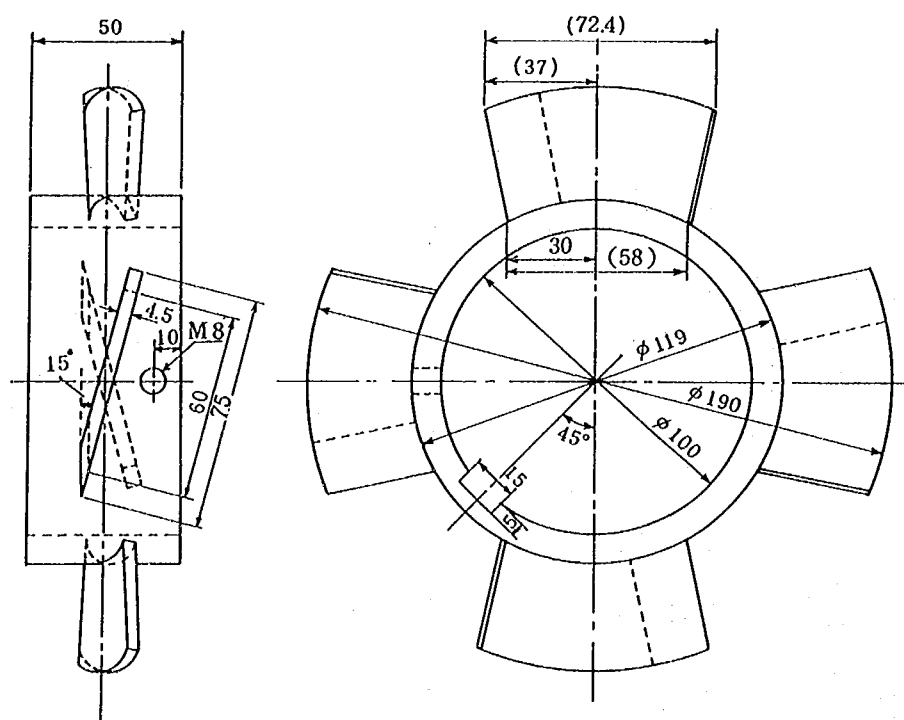
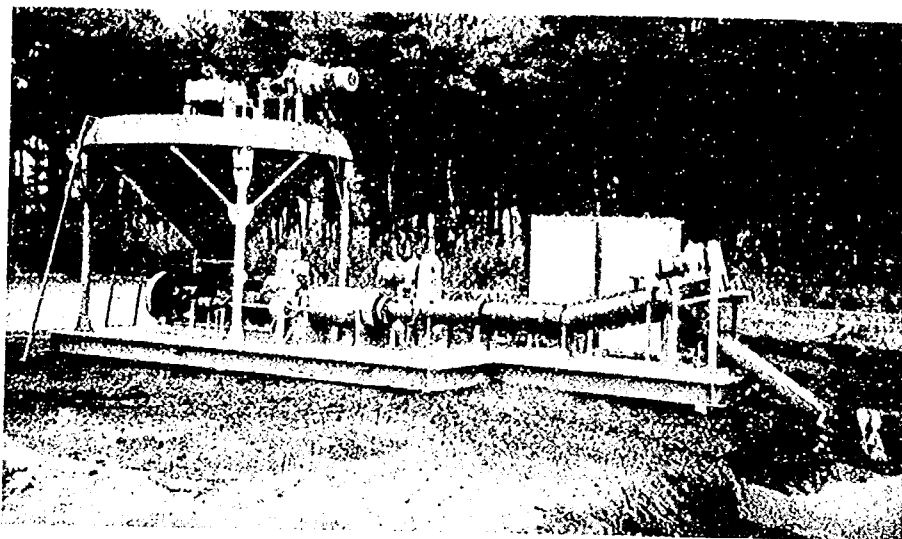
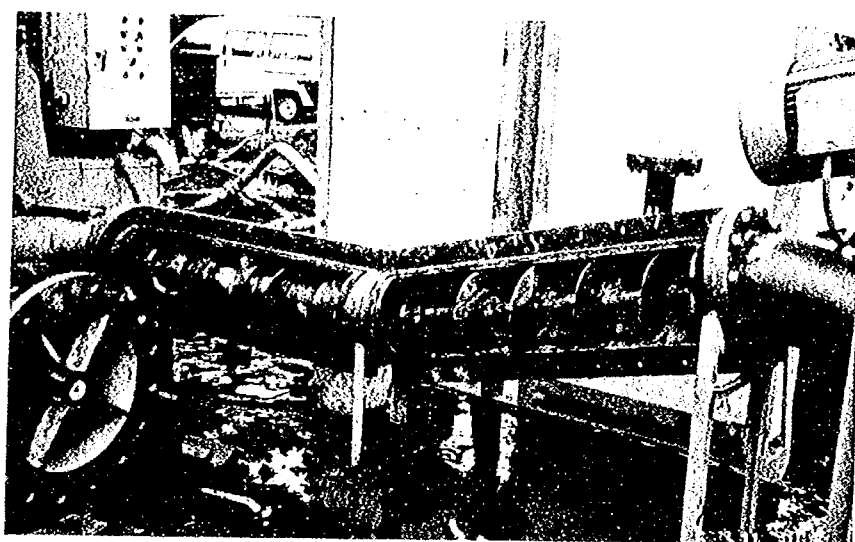


図-4.10 ラインミキサ部混合翼形状



写真－4.2 ラインミキサ模型2号機（60年度製作）



写真－4.3 ラインミキサの内部

#### 4.4.2 土質改良実験の計画

##### (1) 概 要

実験は、1号機に関する土質改良実験と全く同様に模型機のラインミキサ部およびへどろ定量送り出し装置の作動確認ならびに攪拌軸回転数、スクリュウ軸回転数等の最適範囲を見い出すことを目的とした“実験1”と、供試へどろの性状、土質改良用添加材と改良効果の把握を目的とした“実験2”に分けて実施し、さらに、実験2と同一配合のへどろをソイルミキサにより混合、改良し、模型機の改良効果と対比させることを目的とした“室内配合試験”を実施することとした。

##### (2) 実験条件

上記目的に基づき、“実験1”および“実験2”の実験条件を表－4.7～4.8に示す通り設定した。なお、供試材料は霞ヶ浦土浦沖で採取されたへどろを所定の含水比に調整して供することとし、土質改良用添加材としては普通ポルトランドセメントおよび下水汚泥焼却灰を採用した。

模型機により添加材と混合されたへどろは、試験直後にモールドへ充填し20℃恒温室で密封養生す

ることとしたが，“実験2”の実験条件のうち，No.11，12，13については，改良後のへどろを野外ヤードにそれぞれ貯留し，自然条件下における改良（天日乾燥）状況も把握することとした。

改良土の土質試験としては，全条件について改良前，材令2日，7日，14日，28日時点で，密封養生した供試体とヤード内で天日乾燥させた供試体の両者について，含水比，フォールコン貫入量，（コーン質量60g，コーン先端角60°），一軸圧縮強さを，1号機で行った土質改良実験と同一の要領で計測した。

“室内配合実験”は，“実験2”と同一の配合条件に基づき1号機で行った土質改良実験と同一の要領で実施し，模型機の性能評価に資することとした。

表－4.7 実験1における実験計画条件一覧

| へどろ定量送り出し装置 |    | A   |    | B   |    |
|-------------|----|-----|----|-----|----|
| 攪拌軸回転数（rpm） |    | 180 | 90 | 180 | 90 |
| スクリー軸       | 60 | 1   | 3  | 5   | 7  |
| 回転数（rpm）    | 30 | 2   | 4  | 6   | 8  |

※添加材の添加量は，各条件とも15％とする。（湿潤重量比）

※へどろ含水比は，200％とする。

※A：カットフライトスクリー式，B：コンバーススクリー式

実験の状況を写真－4.4に，混合されて排出されたへどろの状態を写真－4.5に，2日後の改良状態を写真－4.6に示す。

表－4.8 実験2における実験計画条件一覧

| 土質改良用添加材       |      | 普通ポルトランドセメント |     |     |     |     | 下水汚泥焼却灰 |     |
|----------------|------|--------------|-----|-----|-----|-----|---------|-----|
| 添加量<br>（湿潤重量比） |      | 5％           | 10％ | 20％ | 30％ | 50％ | 30％     | 50％ |
| 含水比            | 160％ | 9            | 10  | —   | —   | —   | —       | —   |
|                | 200％ | 11           | 12  | 13  | —   | —   | 17      | 18  |
|                | 400％ | —            | —   | 14  | 15  | 16  | 19      | 20  |

※定量送り出し装置，攪拌軸回転数，スクリー軸回転数に関しては，実験1で最適と判断された条件とする。



写真－4.4 2号機による土質改良実験



写真－4.5 ラインミキサ2号機によるへどろの改良



写真－4.6 改良後のへどろ（条件12, 2日後）

#### 4.4.3 実験結果

##### (1) 最適な運転条件の把握

実験1の結果より模型機の最適な運転条件を見い出すため、前年度と同様に模型機の運転条件別に、土質試験結果の平均値とCV値の材令による変化を調べた（表－4.9～4.10参照）。

その結果、含水比の変化と運転条件の違いの間には明確な関係は認められなかったが、フォールコン貫入量については次の点が認められた。まず、攪拌軸の回転数は大きい方が改良土の強度のパラツキの大きさを示すCV値が小さくなっており、より一様な混合が行なわれている。次にコンベアの種類については密閉度合の大きなB型の方がフォールコン貫入量が小さく強度発現の度合いが大きいという結果となった。

従って、実験2では攪拌軸回転数を180 rpm、スクリュウはB型とし、スクリュウ軸回転数は実験1においてへどろの流れが安定してセメント微粉の飛散がほとんど無かった30 rpmに設定することとした。

表- 4.9 運転条件別にみた含水比の変化 (実験 1)

(%)

| 運転条件     |                     |       | 材 令 | 改良前 | 2 日 | 7 日  | 14 日 | 28 日 |
|----------|---------------------|-------|-----|-----|-----|------|------|------|
|          |                     |       |     | 平均値 | 平均値 | 平均値  | 平均値  | 平均値  |
| 攪拌軸回転数   | 90 rpm              | 平 均 値 |     | 200 | 124 | 119  | 117  | 114  |
|          |                     | C V 値 |     | 1.7 | 2.8 | 4.3  | 2.9  | 3.3  |
|          | 180 rpm             | 平 均 値 |     | 198 | 129 | 122  | 121  | 120  |
|          |                     | C V 値 |     | 1.2 | 2.5 | 2.3  | 3.5  | 2.6  |
| スクリー軸回転数 | 30 rpm              | 平 均 値 |     | 198 | 128 | 122  | 120  | 119  |
|          |                     | C V 値 |     | 1.2 | 3.0 | 13.4 | 3.2  | 3.1  |
|          | 60 rpm              | 平 均 値 |     | 201 | 124 | 116  | 116  | 114  |
|          |                     | C V 値 |     | 1.9 | 2.0 | 3.1  | 3.2  | 2.7  |
| スクリーの種類  | A<br>(カッター<br>フライト) | 平 均 値 |     | 199 | 134 | 126  | 125  | 125  |
|          |                     | C V 値 |     | 1.1 | 3.2 | 2.6  | 3.3  | 2.9  |
|          | B<br>(コンベア)         | 平 均 値 |     | 199 | 123 | 117  | 116  | 113  |
|          |                     | C V 値 |     | 1.6 | 2.4 | 3.6  | 3.1  | 3.0  |

表- 4.10 運転条件別にみたフォールコン貫入量の変化 (実験 1)

(mm)

| 運転条件     |                     |       | 材 令 | 2 日  | 7 日  | 14 日 | 28 日 |
|----------|---------------------|-------|-----|------|------|------|------|
|          |                     |       |     | 平均値  | 平均値  | 平均値  | 平均値  |
| 攪拌軸回転数   | 90 rpm              | 平 均 値 |     | 1.03 | 0.52 | 0.64 | 0.29 |
|          |                     | C V 値 |     | 10.9 | 15.2 | 28.3 | 26.5 |
|          | 180 rpm             | 平 均 値 |     | 1.10 | 0.65 | 0.52 | 0.38 |
|          |                     | C V 値 |     | 10.5 | 9.4  | 10.2 | 15.2 |
| スクリー軸回転数 | 30 rpm              | 平 均 値 |     | 1.13 | 0.61 | 0.62 | 0.36 |
|          |                     | C V 値 |     | 9.3  | 13.4 | 22.5 | 22.7 |
|          | 60 rpm              | 平 均 値 |     | 0.93 | 0.53 | 0.50 | 0.29 |
|          |                     | C V 値 |     | 13.5 | 10.2 | 12.7 | 17.1 |
| スクリーの種類  | A<br>(カッター<br>フライト) | 平 均 値 |     | 1.35 | 0.78 | 0.71 | 0.50 |
|          |                     | C V 値 |     | 8.8  | 13.7 | 18.6 | 25.0 |
|          | B<br>(コンベア)         | 平 均 値 |     | 0.91 | 0.49 | 0.51 | 0.26 |
|          |                     | C V 値 |     | 11.6 | 11.7 | 19.5 | 18.7 |

## (2) 改良土の経時的変化

ラインミキサ模型 2 号機の土質改良効果の一例として“実験 2”の条件 11, 12, 13 における改良土

の含水比、フォールコーン貫入量、一軸圧縮強さの変化を、図－4.11～4.13に示す。図中には、同一配合条件におけるソイルミキサによる“室内配合試験”結果も示してある。

### (3) 土質改良効果の評価

同一配合条件におけるラインミキサによる改良土とソイルミキサ（室内配合試験）による改良土の土質試験結果（材令28日）を各実験条件を通して対比した結果を図－4.14に示す。

含水比については、1号機による実験結果と同じく両者とも同様の値を示しているが、フォールコーン貫入量は、ラインミキサによる改良土の方が5割程度大きく、一軸圧縮強さでは、2割程度低い値となっている。この値は、前年度実施した1号機による実験結果より大幅に改善されており、一般の地盤改良における現場実績値と室内配合試験結果の差異と比較してもかなり良好な数値となっており、2号機は実用機として使用可能な性能を有していると判断される。

つぎに、模型機による改良が均質に行なわれたか否かを評価する方法として、材令28日時点での含水比とフォールコーン貫入量の測定値に対して、そのCV値（＝（標準偏差 / 平均値）× 100 %）の全条件の平均値をラインミキサによる改良土とソイルミキサによるものについて別々に求めた。その計算結果を表－4.11に示す。計算結果より含水比のバラツキの大きさはラインミキサによる改良土ではその平均値の2.5 %、ソイルミキサによる改良土では1.8 %であること。フォールコーン貫入量のバラツキの大きさはラインミキサによる改良土ではその平均値の14.2 %、ソイルミキサによる改良土では16.9 %であることがわかった。ラインミキサに関するバラツキの大きさは前年度の試験結果より大きく改善され、ソイルミキサにより充分混合されたものとほぼ同程度の値となったことが確認された。

### (4) 室内養生とヤード養生の差異

恒温室密封養生の場合と野外養生の場合の改良土の強度変化の差異は、図－4.11～4.13中の実線（—）で示される変化と一点鎖線（- - -）で示される変化を比較することにより把握されるが、前年度の試験結果と同様両者間に大差は見られなかった。従って、気象条件にもよると思われるが、現場のヤード等での養生による場合の強度発現の予測を、室内養生による試験結果を基に行なっても大差は無いものと考えられる。

#### 4.4.4 2号機に関する試験検討のまとめ

ラインミキサ1号機に関する試験検討結果に基づき、ラインミキサ2号機を製作し、へどろを用いた土質改良実験を実施した。その結果2号機は十分実用的な性能を有していることが確認された。

## 4.5 研究結果

### 4.5.1 ラインミキサ方式による土質改良用混合装置

本研究で開発されたラインミキサ方式による土質改良用混合装置を写真－4.3～4.4に示す。本装置は、排泥管等の排出部に設置することを念頭に置いており、中央部の内管を通じてエア－搬送で（圧力1～3 kgf / cm<sup>2</sup>）添加材が管路中に噴射・混合され、右側のスクリーコンベアにより排出することによって土質改良を行う機構になっている。

### 4.5.2 適用条件

土質改良の対象は、管路輸送の可能な性状（含水比120～150 %以上）の高含水比粘性土、例えば浚渫汚泥、ベントナイト汚水などであり、土質改良用添加材としてはセメント系、石灰系などの粉体

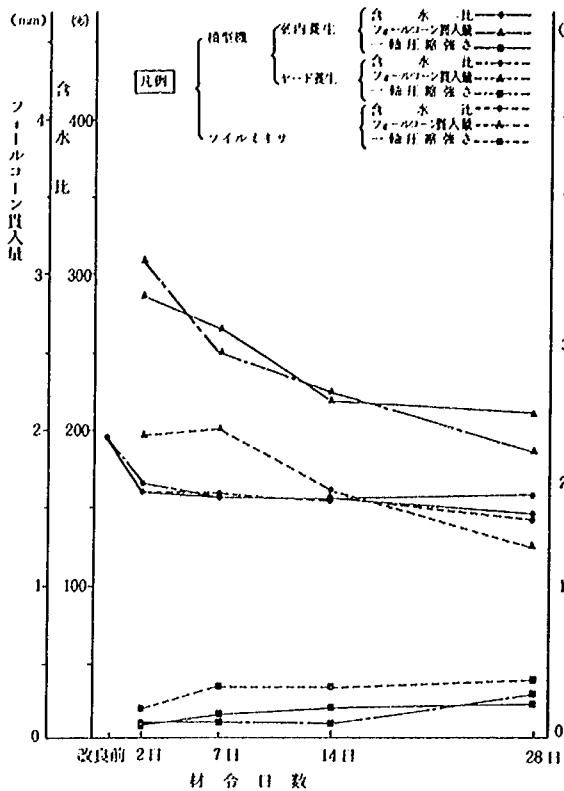


図-4.11 土質試験結果 (条件11:セメント5%, 含水比200%)

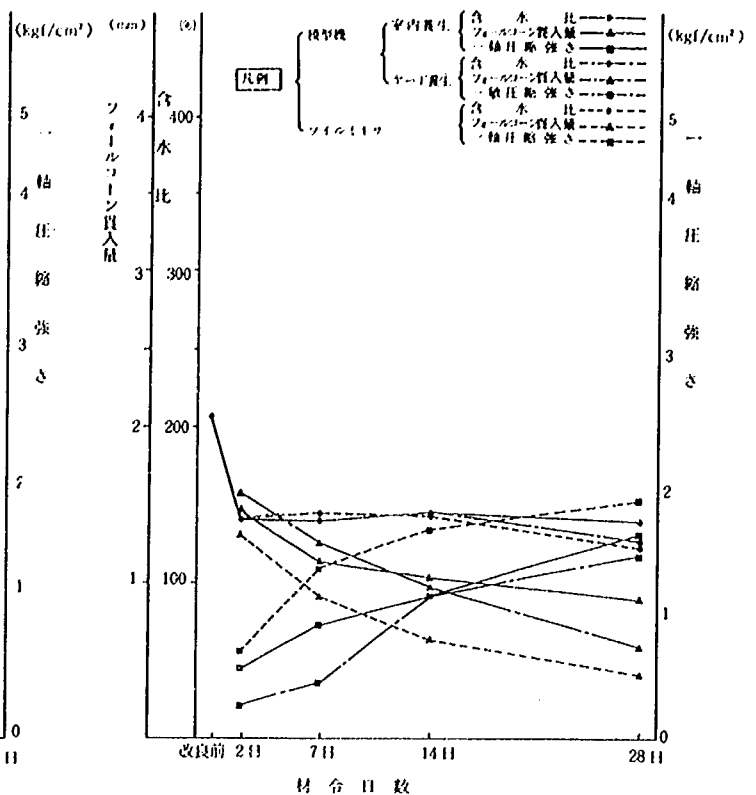


図-4.12 土質試験結果 (条件12:セメント10%, 含水比200%)

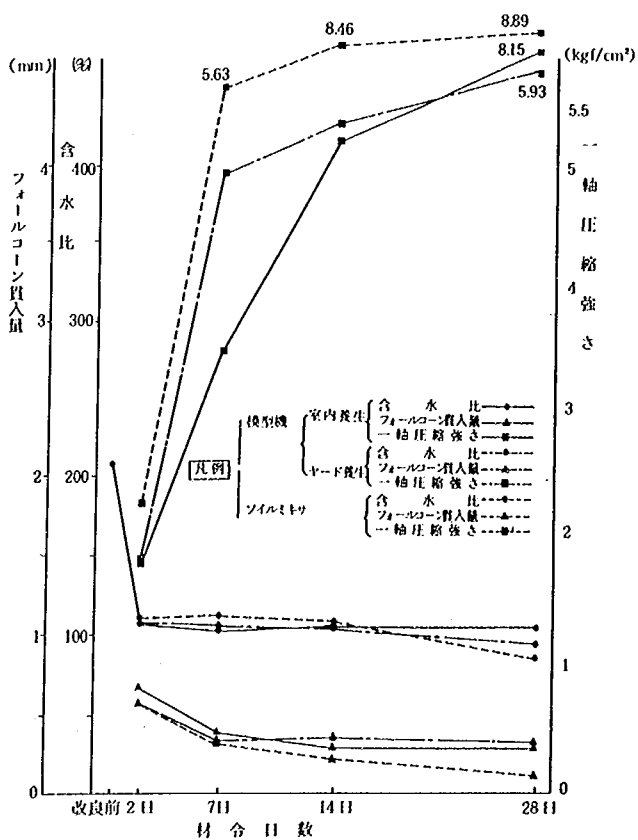
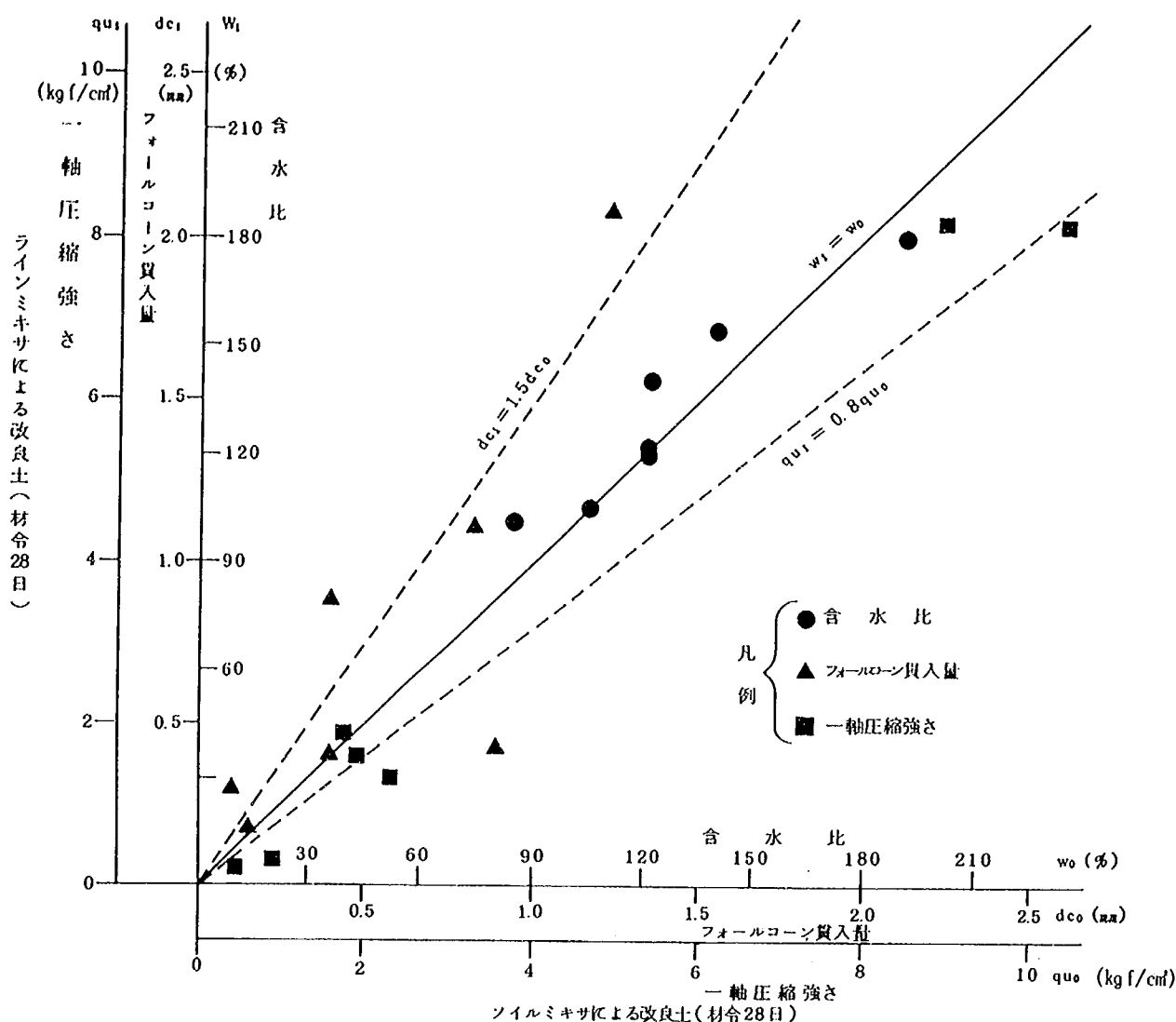


図-4.13 土質試験結果 (条件13:セメント20%, 含水比200%)

表-4.11 CV値の違い (材令28日)

|              | 含水比<br>のCV値<br>(%) | フォールコーン<br>貫入量のCV値<br>(%) |
|--------------|--------------------|---------------------------|
| 模型機による改良土    | 2.5                | 14.2                      |
| ソイルミキサによる改良土 | 1.8                | 16.9                      |



図一 4.14 ラインミキサ 2 号機とソイルミキサの改良効果の比較

添加材を用いる。さらに、フライアッシュ、下水汚泥焼却灰等も増量材として用いることができる。これらの最大添加可能量は、対象土の含水比等により異なるが、湿潤重量比で30～35%程度である。なお土質改良用添加材の選定については「6. 高有機質土の適正処理技術の開発」の研究成果等を参照されたい。

#### 4.5.3 本技術の特長と土質改良効果

本調査研究により開発されたラインミキサ方式による高含水比粘性土の土質改良技術は次に示す特長を有している。

- ㉑ ヘどろ等の排泥前に添加材を添加して、改良を行なうため、処理ヤード内での処理期間が大幅に短縮される。
- ㉒ 添加材をスラリー化することなく粉体のまま添加するため、改良対象土にさらに余分の水を加える必要がなく、添加材の改良効果を充分生かすことができる。
- ㉓ 高含水状態のまま混合、攪拌を行なうため均質な改良が可能である。

本技術を浚渫汚泥の処理に利用する場合の、他の在来処理技術との得失比較を表－4.12に示す。

なお、実用化に当たっての留意点として土質改良用添加材の選定、配合割合を室内配合試験に基づいて決定する場合は、実機による強度発現が室内配合試験の結果の約80%前後であることを前提として計画するのがよいと考えられる。高含水比粘性土の搬出・投棄は困難であり、例えば、本実験に用いたへどろも改良を行わずヤード放置した場合は1ヶ月経過しても一軸圧縮試験は不可能なままであり、フォールコンーン貫入量が辛うじて計測できたのみであった。それに比べ、本機による改良を行った場合、配合条件にもよるが改良後早期のうちに（約1週間～2週間）重機械の走行可否の目安となる一軸圧縮強さ0.5 kgf/cm<sup>2</sup>を達成しており、改良に要する期間が非常に短縮化される効果が期待できる。

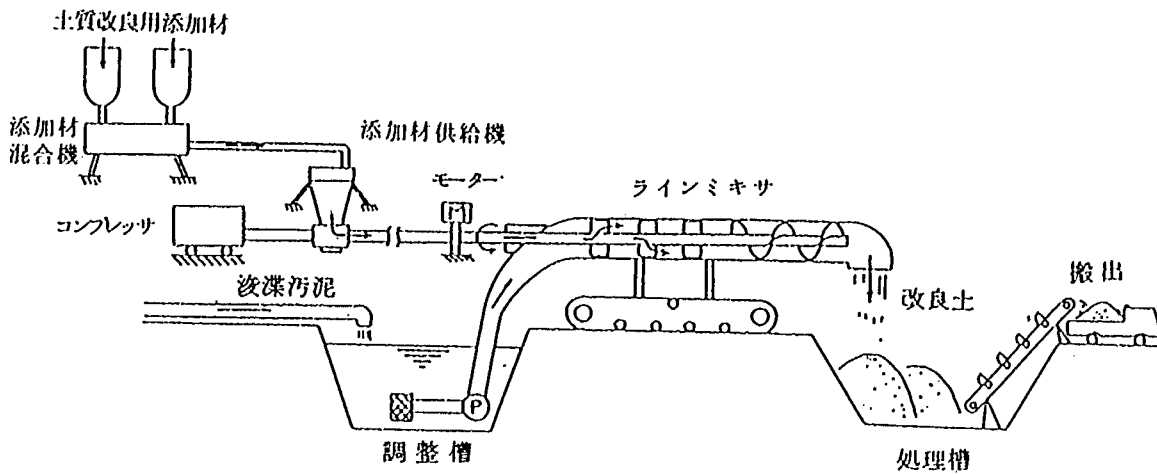
表－4.12 既存のへどろ処理工法との特失比較

| 主 な 処 理 方 法 |  | 処理に必要な時間        | 改 良 効 果                                                                                                | 適 用 条 件                                                                                                         |
|-------------|--|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |  | 半 年<br>～<br>1 年 | <ul style="list-style-type: none"> <li>土質改良を実施しないため強度不足等により処分ができないこともある。</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>十分なヤード用地の確保</li> <li>長い処理期間の容認</li> <li>処分土に強度が要求されないこと。</li> </ul>      |
| 事後改良        |  | 半 年<br>～<br>1 年 | <ul style="list-style-type: none"> <li>現地混合であり、一様な混合が困難である。</li> <li>石灰等による吸水を目的とした改良が主である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>十分なヤード用地の確保。</li> <li>長い処理期間の容認</li> <li>処理土にある程度の強度が要求される場合。</li> </ul> |
|             |  | 半 年<br>～<br>1 年 | <ul style="list-style-type: none"> <li>含水比の低下した土との混合であるため、混合性が悪く、効率も悪い。</li> </ul>                     | 同 上                                                                                                             |
| 事前改良        |  | 1ヶ月<br>～<br>3ヶ月 | <ul style="list-style-type: none"> <li>添加材をスラリー化するため、含水比が高くなる。</li> <li>事前に水和反応が進み、改良効果が低い</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>ヤードの広さ、処理期間に制約がある場合</li> <li>処理土にある程度の強度が要求される場合。</li> </ul>             |
|             |  | 1週間<br>～<br>1ヶ月 | <ul style="list-style-type: none"> <li>一様な混合、大きな強度発現が期待される。</li> <li>処理に要する期間が短い。</li> </ul>           | 同 上                                                                                                             |

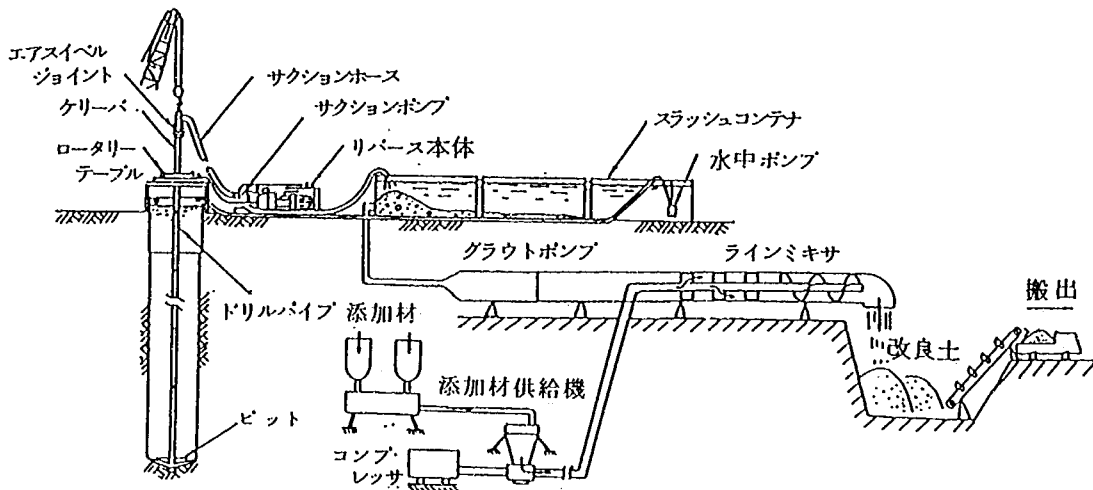
#### 4.5.4 実用化への構想

本調査研究で製作したラインミキサ模型機の処理能力は16～20 m<sup>3</sup>/hrであり、実用機に必要な能力と同程度の能力を備えているため、実用機としてのスケールアップの問題は特に検討の必要がないと考えられる。従って今後の課題としては実用機としてのシステム設計の問題が残されている。実用機への構想としては、浚渫汚泥の処理への適用、基礎工事に伴うベントナイト泥水等の処理への適用な

どが考えられる。これら実用システムの構想例を図－4.15～4.16に示す。



図－4.15 浚渫汚泥の処理への利用



図－4.16 ベントナイト泥水等の処理への利用

## 4.6 ま と め

本研究では、へどろ等の高含水比粘性土を管路輸送中に土質改良用添加材を粉体のまま添加，混合することにより，迅速に土質改良することを目的としたラインミキサ方式による土質改良用混合装置を開発し，その改良効果を確認した。

本装置で改良された改良土は，改良後1～2週間で一軸圧縮強さ  $0.5 \text{ kgf/cm}^2$  を達成するなど強度はある程度確保されているが，含水比はかなり高い値を示している。今後は，この含水比をさらに効率的に低下させる方法の検討が，課題として残されている。また，本ラインミキサによる試験施工の実施も望まれるところである。

## 5. 石炭灰・下水汚泥焼却灰等の深層混合処理への利用技術の開発

### 5.1 研究目的

本研究は、各種廃棄物を処理した再生材のうち、土質改良用添加材として利用可能性が高いと考えられる石炭灰、下水汚泥焼却灰、コンクリート粉を深層混合処理へ利用するための技術開発を目的にしている。さらに、廃棄物を処理した再生材を高含水比粘性土や有機質土などへ攪拌・混合した場合の改良効果（強度発現、含水比の低下）、ならびに深層混合処理へ利用する際の留意点も合わせて明らかにすることになっている。

### 5.2 研究内容

本研究では、石炭灰・下水汚泥焼却灰等の深層混合処理における土質改良用添加材としての適用性を検討するため、以下に示すように室内配合試験および現地試験施工を行った。

#### 5.2.1 室内配合試験による検討

石炭灰、下水汚泥焼却灰、コンクリート粉を対象に、これらの材料の土質改良用添加材としての利用可能性を調査するために、粘性土（含水比60%程度）およびピート（含水比700%程度）を試料土として室内配合試験を実施した。本配合試験においては、主に深層混合処理への適用性に着目して、「締固めを伴わない」状態で各種再生材を攪拌・混合した場合の物理的特性（含水比、コンジステンシー）、および改良土の力学的特性の経時変化を調査した。

なお、石炭灰、下水汚泥焼却灰などの材料を大量に有効利用する場合、盛土体や表層混合処理における改良材としての適用も十分考えられることから、石炭灰、下水汚泥焼却灰およびコンクリート粉単体の強度特性、透水性の経時変化を室内試験により調べるとともに、石灰系焼却灰を粘性土へ「混合・締固めた」場合の改良土の力学的特性についても補足的に検討した。

#### 5.2.2 現地試験施工による検討

室内配合試験により得られた石炭灰、石灰系焼却灰による改良土の強度特性に関する結果を踏まえて、粉体噴射攪拌工法による石炭灰、石灰系焼却灰を用いた試験施工を3箇所の現場において実施した。試験施工においては、原地盤での改良効果の確認および室内配合試験結果との効果の比較を行うとともに、実用化に際しての問題点を検討した。石炭灰については、粘性土地盤（自然含水比70%程度）1箇所を実施し、石灰系焼却灰については、粘性土地盤（自然含水比60%程度）、ピート地盤（自然含水比600%～700%）の2箇所を実施した。

### 5.3 研究成果

#### 5.3.1 石炭灰、下水汚泥焼却灰等の物性および力学的特性

##### (1) 研究に用いた廃棄物単体の種類と物性

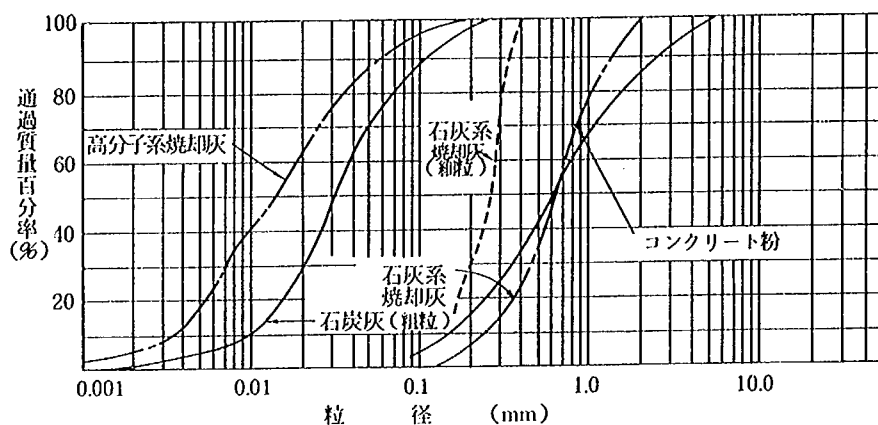
本試験に用いた廃棄物の種類および化学成分については、表－5.1に示す。この表に示すとおり、本研究では石炭灰、下水汚泥焼却灰およびコンクリート粉を用い、下水汚泥焼却灰に関しては、石灰系焼却灰、高分子系焼却灰の2種類である。

また、粒度分布を図－5.1に示す。石炭灰および高分子系焼却灰では、砂分はそれぞれ19%と7

表－5.1 室内試験に用いた廃棄物の種類と物性

| 試料名     | 比 重  | 強 熱<br>減 量<br>(%) | 含水率<br>(%) | 無機成分含有量 (%) |                  |                                |      |                                |                 |
|---------|------|-------------------|------------|-------------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-----------------|
|         |      |                   |            | CaO         | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> |
| 石 炭 灰   | 2.15 | 5.6               | 0.4        | 5.02        | 52.83            | 21.92                          | 0.86 | 6.18                           | 0.65            |
| 石灰系焼却灰  | 2.86 | 2.2               | 0.2        | 34.50       | 21.70            | 13.90                          | 1.57 | 15.10                          | 3.78            |
| 高分子系焼却灰 | —    | —                 | 0.52       | 9.77        | 40.58            | 16.25                          | 1.93 | 10.19                          | 0.99            |
| コンクリート粉 | —    | —                 | 3.82       | 7.97        | 73.06            | 7.27                           | 0.76 | 2.68                           | 0.22            |

注) —：測定値なし



図－5.1 試験に用いた廃棄物の粒度分布

%であり、細粒分が多く、その内でもシルト分が卓越している。また、コンクリート粉の場合はほぼ粗粒土の範囲に分布している。

## (2) 廃棄物単体の強度発現

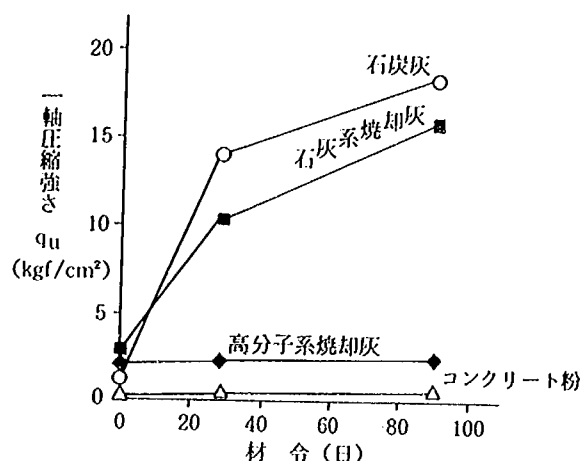
### i) 一軸圧縮強さと材令の関係（一軸圧縮試験の結果）

図－5.2には、各種廃棄物を最適含水比 ( $w_{opt}$ ) 状態で最大乾燥密度 ( $\rho_{dmax}$ ) になるように締固めて作製した供試体の一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) の経時変化を示したものである。この図より、材令に伴い一軸圧縮強さが顕著に増加している廃棄物とほとんど強度増加が認められない廃棄物とに分けることができる。前者は石炭灰および石灰系焼却灰であり、後者は高分子系焼却灰、コンクリート粉である。まず、同図において、最適含水比で締固めた石炭灰については、締固め直後で一軸圧縮強さ  $q_u$  が約  $1.1 \text{ kgf/cm}^2$  であり、その後養生日数の経過に伴い顕著に  $q_u$  が増加している。例えば、28日強度では約  $14 \text{ kgf/cm}^2$ 、90日強度では約  $18 \text{ kgf/cm}^2$  程度の値が得られている。すなわち本試験結果から判断すると、石炭灰自体は、これまで多くの石炭灰に関する研究においても報告されているように適度な加湿状態では十分な自硬性を有し、さらに材令に伴い強度が長期的に伸びて行くことが確認された。しかしながら、三軸圧縮試験結果においても述べるように、石炭灰の自硬性による強度増加の程度は石炭灰の密度（締固めの程度）に大きく左右されるという結果を得ている。

次に、下水汚泥焼却灰のうち、石灰系焼却灰においては、石炭灰と同様に顕著な一軸圧縮強さの材令に伴う増加が認められるのに対して、高分子系焼却灰においては、ほとんど一軸圧縮強さの増加が

認められない。この結果は、一般に石灰系焼却灰は、灰中のCaO含有量が多いため適度な湿分の条件では顕著な自硬性（長期的な強度増加）を有するが、高分子系焼却灰は、経時的な強度増加はないという性質と符合する。

さらに、コンクリート粉は、高分子系焼却灰と同様に材令に伴う一軸圧縮強さの増加はほとんど認められない。

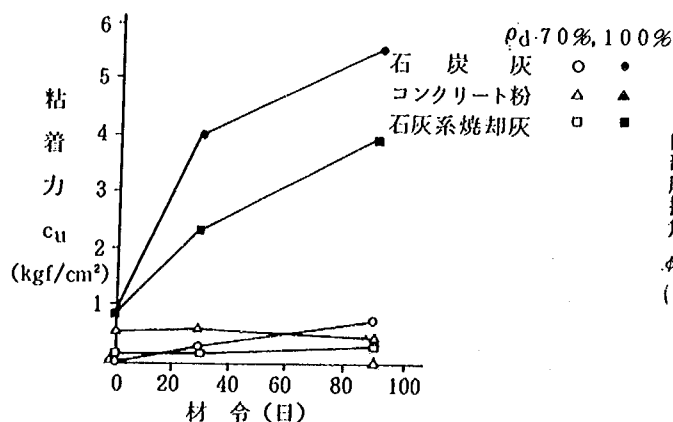


図－ 5. 2 廃棄物単体の材令と  $q_u$  の関係  
( $w_{opt}$ ,  $\rho_{dmax}$  で締固めた状態)

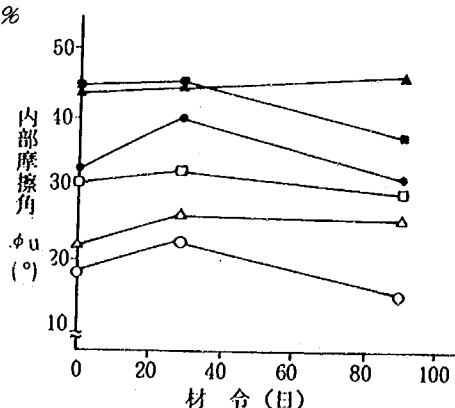
## ii) $c_u$ , $\phi_u$ の経時変化（三軸圧縮試験の結果）

図－ 5. 3 には、三軸圧縮試験における各廃棄物の粘着力 ( $c_u$ ) の経時変化を示している。この図から、締固め度 100 % で締固めた石炭灰、石灰系焼却灰の場合は、材令に伴い  $c_u$  が大きく増加していることがわかる。しかしながら、その他の条件のものはあまり変化が認められない。この関係は、先に述べた図－ 5. 2 の一軸圧縮強さと材令の関係と同様の傾向である。

一方、図－ 5. 4 には、三軸圧縮試験における各廃棄物の  $\phi_u$  の経時変化を示す。この図より、各廃棄物とも締固め度によって  $\phi_u$  の値が大きく異なるが、 $c_u$  の傾向と違い材令に伴う増加はあまり認められない。



図－ 5. 3 材令と  $c_u$  の関係  
(廃棄物単体)



図－ 5. 4 材令と  $\phi_u$  の関係  
(廃棄物単体)

以上の石炭灰、下水汚泥焼却灰等単体の自硬性に関する室内試験の結果から、特に石炭灰や石灰系焼却灰等については、顕著な自硬性が見出され土質改良用添加材として利用可能性が高いことが認め

られた。そこで、以下に述べるような粘性土およびピートに対する室内配合試験を実施した。

### 5.3.2 「締固めを伴わない改良土」の力学的特性（室内配合試験の結果）

#### (1) 試験方法

本試験に用いた廃棄物は、先に表－5.1に示した石炭灰、石灰系焼却灰およびコンクリート粉である。また、配合試験に用いた試料土は、表－5.2に示す含水比60%程度の粘性土および含水比600%～700%程度のピートである。

なお、配合試験における供試体は、廃棄物またはセメントなどの混合率を変えて、「締固めを伴わない安定処理土の試験方法」(土質工学会基準案)に準拠して作製した。

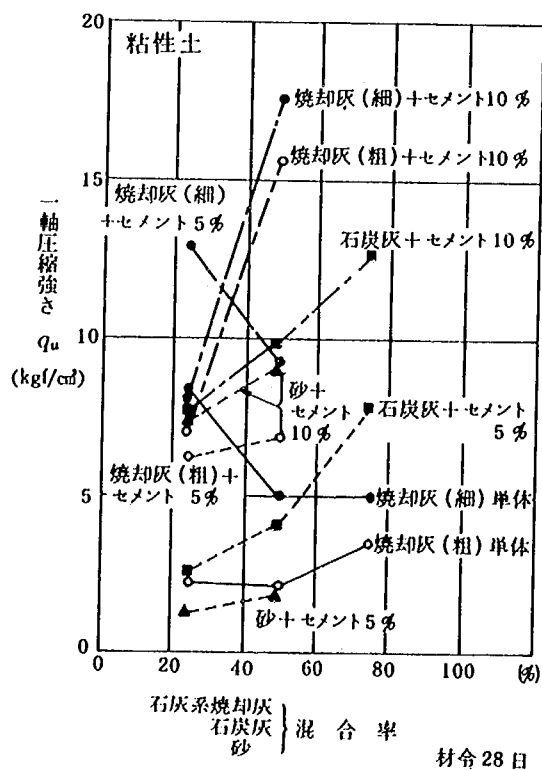
#### (2) 試験結果

##### i) 廃棄物の混合率と一軸圧縮強さの関係

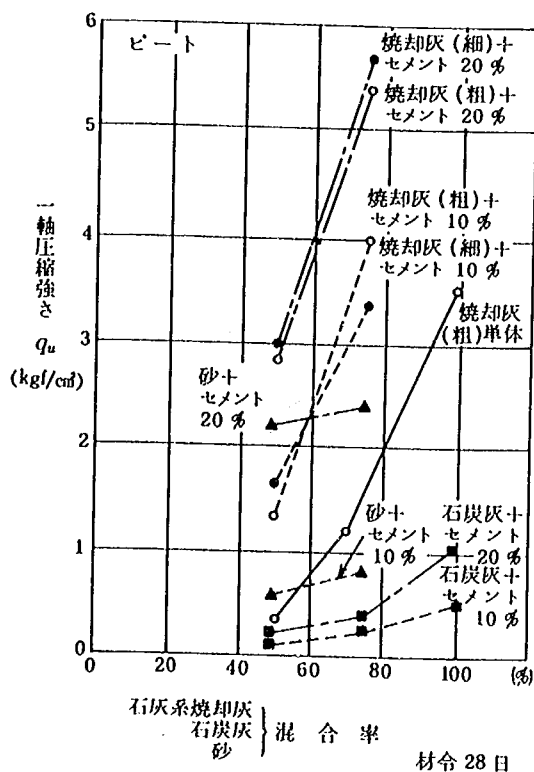
図－5.5および図－5.6には、粘性土（含水比60%）およびピート（含水比600%）に対して行った室内配合試験結果から、石炭灰および石灰系焼却灰の混合率と「締固めを伴わない改良土」の材令28日の一軸圧縮強さの関係を示す。まず、図－5.5より粘性土に対しては、「石灰系焼却灰単

表－5.2 室内配合試験に用いた試料土の種類と物性

| 項目<br>試料名 | 比重<br>Gs | $\gamma_t$<br>(gf/cm <sup>3</sup> ) | 含水比w<br>(%) | 液性限界<br>WL(%) | 塑性限界<br>Wp(%) | 強熱減量<br>(%) | pH  |
|-----------|----------|-------------------------------------|-------------|---------------|---------------|-------------|-----|
| 粘性土       | 2.66     | 1.64                                | 60.0        | 57.5          | 30.8          | 4.5         | 5.9 |
| ピート       | 1.72     | 1.05                                | 600～700     | 596.3         | 229.6         | 71.6        | 6.7 |



図－5.5 石炭灰および石灰系焼却灰の混合率と  $q_u$  の関係（粘性土、締固めを伴わない改良土）



図－5.6 石炭灰および石灰系焼却灰の混合率と  $q_u$  の関係（ピート、締固めを伴わない改良土）

体」の条件を除いて、ピートと同様に下水汚泥焼却灰の混合率が増加するに伴い、 $q_u$ の値が増加していることが認められる。また、「石炭灰+セメント」の配合条件においても、石炭灰の混合率が増加するに伴い改良土の強度の増加が認められ、その強度発現は、「砂+セメント」の配合条件より大きくなっている。「石灰系焼却灰単体」の条件に着目すると、ピートの場合と異なり混合率が25%以上になると $q_u$ が減少する傾向が認められる。これは、石灰系焼却灰中に含有されているCaO成分による吸水作用のため、改良土の含水比の低下割合が大きく、混合直後に土の塑性限界以下の含水比となったためと考えられる。すなわち、下水汚泥焼却灰の混合率が増加するに伴い、土の含水比が低下するばかりではなく土自体の粘着力も低下し、砂質土の力学的特性に近づいていくものと考えられる。

また、図-5.6よりピートに対しては、セメントの混合率が一定の条件で石灰系焼却灰の混合率を増加させることによる $q_u$ の増加が顕著に表れており、特に石灰系焼却灰単体で混合した場合でも混合率の増加に伴う $q_u$ の増加が認められる。さらに、「石灰系焼却灰+セメント」の配合では、セメント混合率が増加するに伴い $q_u$ の値が増加しており、その増加割合はセメントの混合率とほぼ比例関係にあることがうかがえる。しかしながら、石炭灰をピートに混合した場合では、石灰系焼却灰と比較して石炭灰の混合率を増加させてもあまり強度が増加せず、また、セメントを10%、20%添加しても顕著な強度発現は得られないようである。

一方、図-5.7には、コンクリート粉とセメントを組み合わせる粘性土およびピートに混合した場合の材令と一軸圧縮強さの関係を示す。この図より、ピートに「コンクリート粉+セメント」の条件で混合した場合では、材令に伴う強度発現はあまり認められないが、粘性土の場合では長期的な強度増加が認められる。しかしながら、同図に併記したように両改良土とも「砂+セメント」の配合における強度発現に似た傾向があることから、この強度発現はセメントによるものであると考えられる。すなわち、この結果から判断すると、コンクリート粉は自硬性をあまり期待できず、砂と同様に増量材として利用方法を検討するのが妥当であると考えられる。

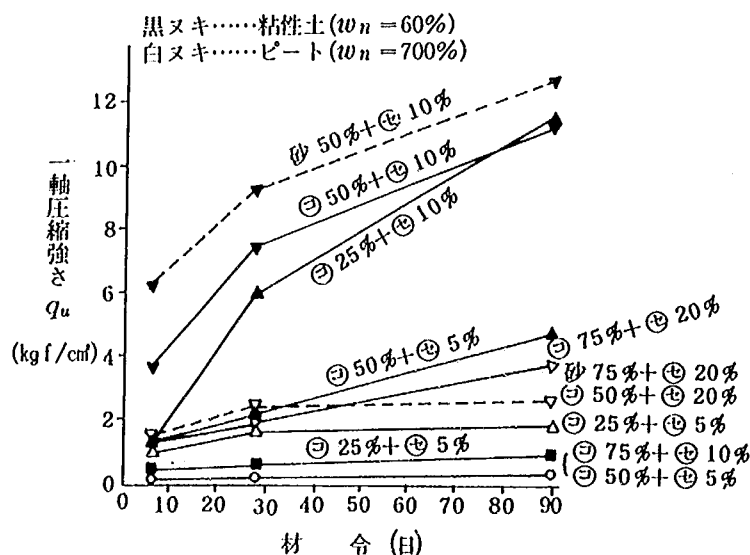


図-5.7 コンクリート粉とセメントによる改良土の材令と $q_u$ の関係  
(コ：コンクリート，セ：セメント)

## ii) 下水汚泥焼却灰による改良土の三軸圧縮試験結果

### ① 石灰系焼却灰の混合率とせん断強さの関係

三軸圧縮試験における焼却灰混合率と最大せん断強さの関係を図 - 5.8 に示す。この図より、先に述べた石灰系焼却灰混合率およびセメントを添加することによる強度への影響を確認できるとともに、さらに、この図から、石灰系焼却灰による改良土の最大せん断強さは焼却灰混合率にほぼ比例して増加することがわかる。例えば、「石灰系焼却灰単体」、拘束圧力  $2.0 \text{ kgf/cm}^2$  の試験条件では石灰系焼却灰混合率30%、50%、75%に対して  $1.7 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $2.4 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $3.3 \text{ kgf/cm}^2$  とほぼ比例関係にあり、石灰系焼却灰混合率30%と75%の最大せん断強さを比較すると約2倍となっている。

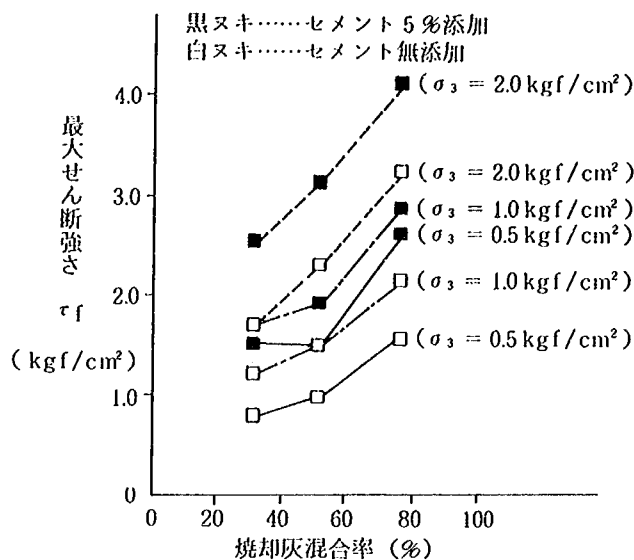


図 - 5.8: 焼却灰混合率と  $\tau_f$  の関係 (材令7日)(粘性土, 石灰系焼却灰, 締固めを伴わない改良土)

### ② 石灰系焼却灰の混合率と $c_u$ , $\phi_u$ の関係

図 - 5.9 には、石灰系焼却灰混合率と  $c_u$  と  $\phi_u$  の関係を示す。この図より、まず粘着力  $c_u$  に関しては、「石灰系焼却灰単体」の場合  $0.4 \text{ kgf/cm}^2$  から  $0.6 \text{ kgf/cm}^2$  の範囲にあり、石灰系焼却灰混合率

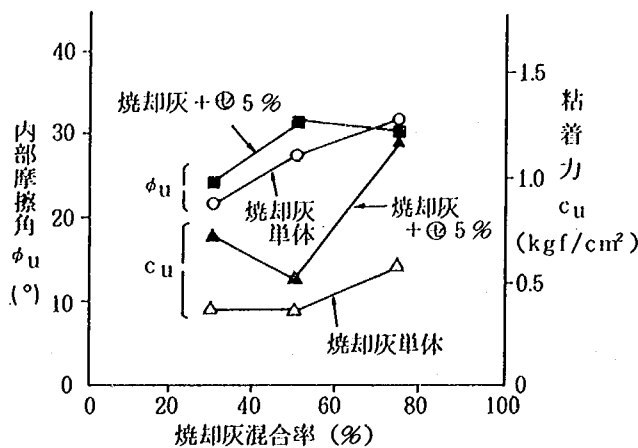


図 - 5.9 焼却灰混合率と  $c_u$  ,  $\phi_u$  の関係 (材令7日)(粘性土, 石灰系焼却灰, 締固めを伴わない改良土)

の増加に伴い  $c_u$  の値が増加する傾向が認められる。一方「焼却灰+セメント」の配合に関しては、 $c_u$  の値が 0.7 kgf/cm<sup>2</sup> から 1.2 kgf/cm<sup>2</sup> の範囲にあり、石灰系焼却灰混合率50%において最小となっている。次に、 $\phi_u$  に関しては、「石灰系焼却灰単体」の場合23°から34°の範囲にあり石灰系焼却灰混合率の増大に伴い  $\phi_u$  が増加する傾向にある。また、「石灰系焼却灰+セメント」を混合した処理土の  $\phi_u$  は24°から33°とほぼ「石灰系焼却灰単体」の場合と同じ範囲にある。すなわち、「石灰系焼却灰単体」の配合条件の場合は、混合率の増加に伴い、 $c_u$ 、 $\phi_u$  の値が徐々に増加する傾向にあるが、セメントを添加すると必ずしも単調に増加せず、本試験結果においては、焼却灰混合率50%付近で極値が得られている。

### iii) 石炭灰、石灰系焼却灰を添加した改良土の含水比の変化

図 - 5. 10 には、石灰系焼却灰を単体でピートおよび粘性土に混合した場合の混合前、混合直後、7日、28日、90日における含水比の変化を示す。また、図 - 5. 11 には、石炭灰および石灰系焼却灰をセメントと組み合わせて混合した場合の含水比の経時変化を示す。

これらの図より、各配合とも添加材混合直後において含水比の低下割合が大きく、例えばピートの場合、含水比約700%から各添加材の混合率に応じて60%～120%程度まで大きく低下している。一方、材令に伴う含水比の変化割合は、ピート、粘性土とも混合直後の含水比の低下と比べてわずかであるが、材令に伴い含水比が徐々に低下していることが認められる。このような材令に伴う含水比の低下は、材令と  $q_u$  の関係と比較的良好な対応があることが認められ、含水比の低下は、改良土の強度発現に大きく結びついているものと考えられる。例えば、図 - 5. 10 に示す石炭灰、石灰系焼却灰単体を添加混合した配合条件における含水比の低下の様子に着目すると、ピートの場合は材令に伴う含水比の低下がほとんど認められず、一方、粘性土の場合には材令に伴う含水比の低下が認められている。

## 5. 3. 3 「締固めを伴う改良土」の力学的特性

### (1) 試験方法

本試験における配合条件は表 - 5. 3 に示すとおりであり、「石灰系焼却灰単体」および「石灰系焼却灰+セメント」の2種の組合せである。また、本試験に用いた試料土は、「締固めを伴わない改良土」の試験に用いた粘性土である。

次に、本試験における供試体は、基本的には「締固めによる安定処理土の一軸圧縮試験方法(案)」(土質工学会基準)のうちプランジャー法に準拠して作製した。また、本試験では供試体の密度(締固め程度)が上部と下部とで同程度となるように、改良土を3層に分けて各層毎に所定の落下回数で締固めた。なお、本供試体作製時の締固め条件は、ランマー重量 2.5 kg、落下高さ30cmの条件で落下回数を12, 25, 50回と変化させて作製した。

表 - 5. 3 配合条件(締固めを伴う試験)

| 添 加 材           | 石 灰 系 焼 却 灰    | セ メ ン ト |
|-----------------|----------------|---------|
| 石 灰 系 焼 却 灰 単 体 | 50%, 75%, 100% | —       |
| 石灰系焼却灰+セメント     | 50%, 75%, 100% | 5%      |

### (2) 試験結果

#### i) 石灰系焼却灰の混合率と一軸圧縮強さの関係

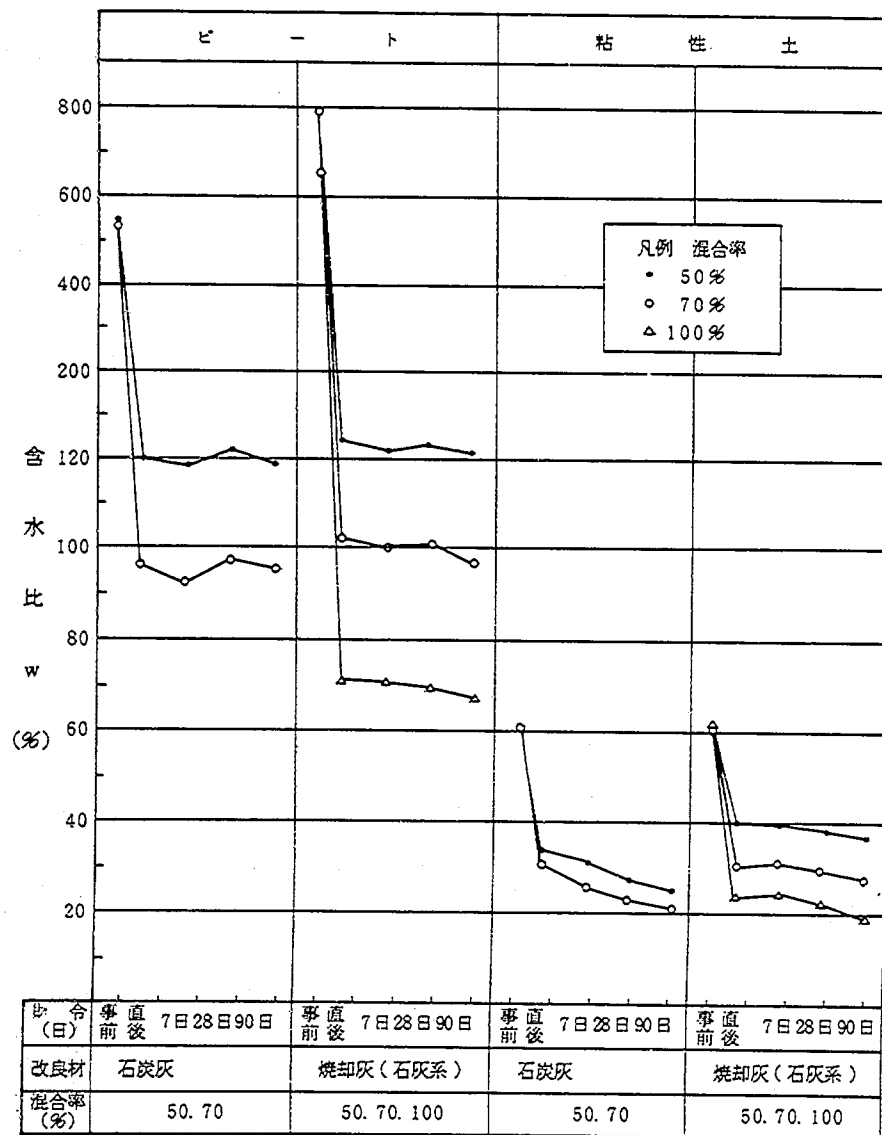


図-5.10 石炭灰、石炭系焼却灰単体を混合した改良土の含水比の経時変化

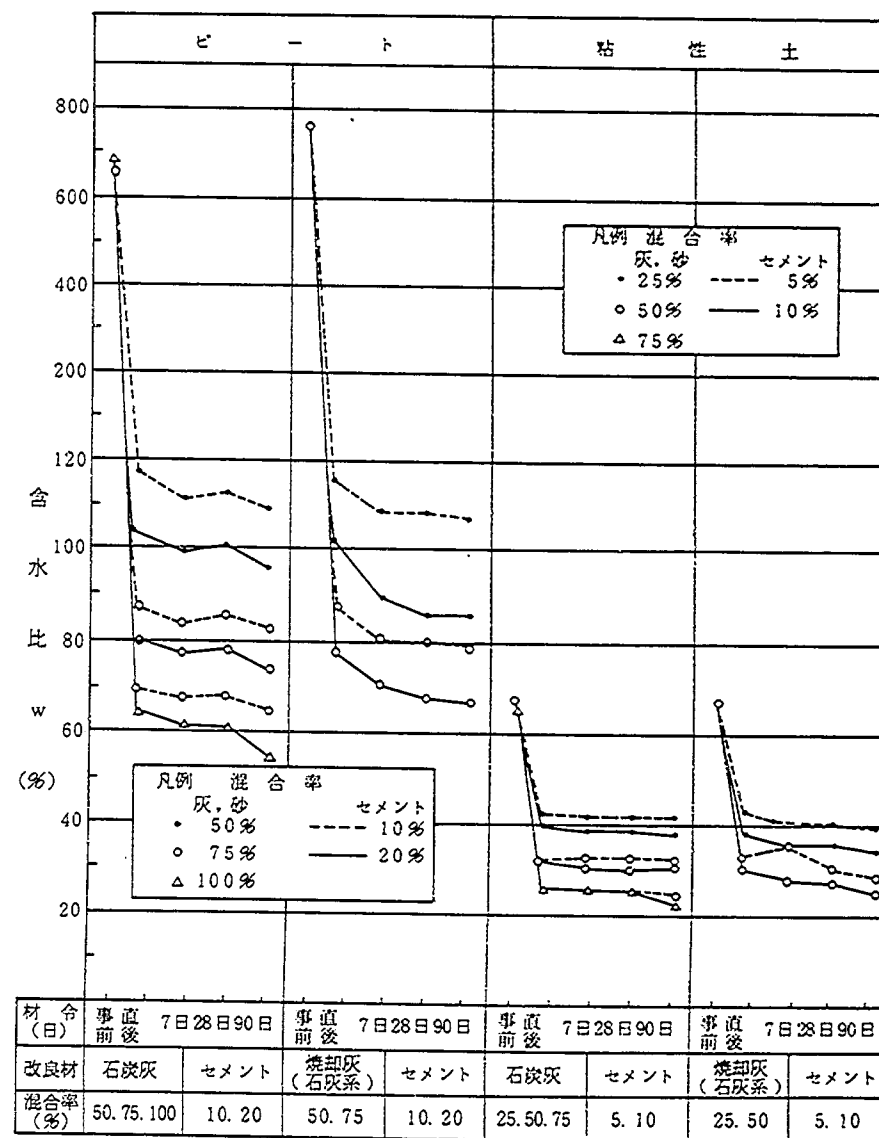


図-5.11 石炭灰、石灰系焼却灰をセメントと組合せて混合した改良土の含水比の経時変化

図-5.12は、添加材として「石灰系焼却灰単体」を粘性土に混合し、3種の締固め条件（12回/3層、25回/3層、50回/3層）で締固めた場合の石灰系焼却灰混合率と一軸圧縮強さの関係を示したものである。この図より、締固めの程度によって改良土の一軸圧縮強さが異なるが、各締固め条件とも石灰系焼却灰混合率50%、75%ではあまり変化がなく、100%において一軸圧縮強さが急激に低下していることがわかる。これは、石灰系焼却灰の混合率が増加すると土の含水比が低下するばかりではなく土自体の粘着力も低下するためと考えられ、この結果は、先に述べた「締固めを伴わない改良土」の一軸圧縮試験結果と同様の傾向である。

また、この図において焼却灰混合率75%付近に一軸圧縮強さのピークが認められ、全体に上に凸型を呈している。さらに、締固め度合で比較してみると各焼却灰混合率とも締固め回数が多いほど一軸圧縮強さが大きくなっており、焼却灰混合率75%、締固め回数50回/3層の条件での材令28日における一軸圧縮強さは約26kgf/cm<sup>2</sup>の値が得られている。また、焼却灰混合率75%において12回/3層と50回/3層との一軸圧縮強さを比較すると約2倍の強度増加となっている。すなわち本試験結果から判断すると、「石灰系焼却灰単体」の配合条件であっても締固めることによって改良土の強度をかなり高めることが可能であると考えられる。

一方、同図において、「石灰系焼却灰+セメント5%」を混合した場合は、上記に示した「石灰系焼却灰単体」の場合と異なり、焼却灰混合率75%付近で最小となり、全体として凹型を呈している。また、「石灰系焼却灰単体」の配合条件では焼却灰混合率100%において急激な一軸圧縮強さの低下が見られたが、この条件ではその傾向は認められない。この両者の結果の相違は、セメントの添加によって粒子相互の固結化が進み、強度低下が阻止されたことに起因するものと考えられる。

## ii) 締固め度合が改良土の強度に及ぼす影響

### ① 締固め度合と乾燥密度の関係

石灰系焼却灰を混合・締固めた場合の焼却灰混合率と乾燥密度の関係を図-5.13に示す。この図より、焼却灰混合率が増加するに伴い乾燥密度が低下しており、また、締固め回数に対応して乾燥密度が増加していることがわかる。これは、締固め試験による石灰系焼却灰の最大

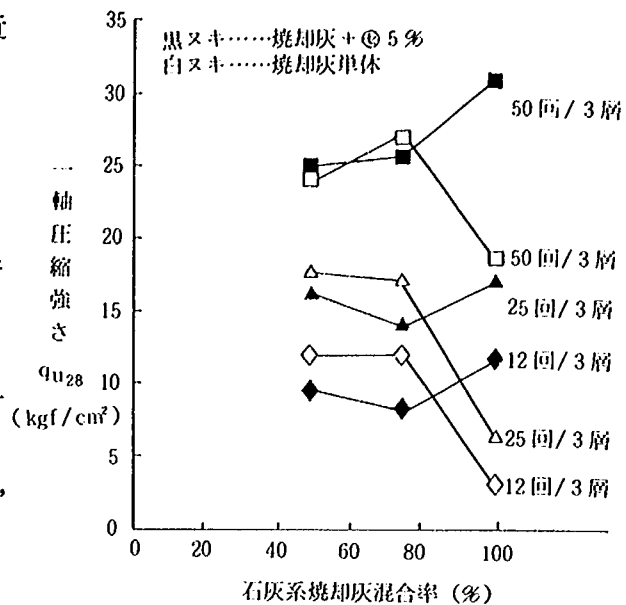


図-5.12 焼却灰混合率と一軸圧縮強さの関係（締固めを伴う改良土）

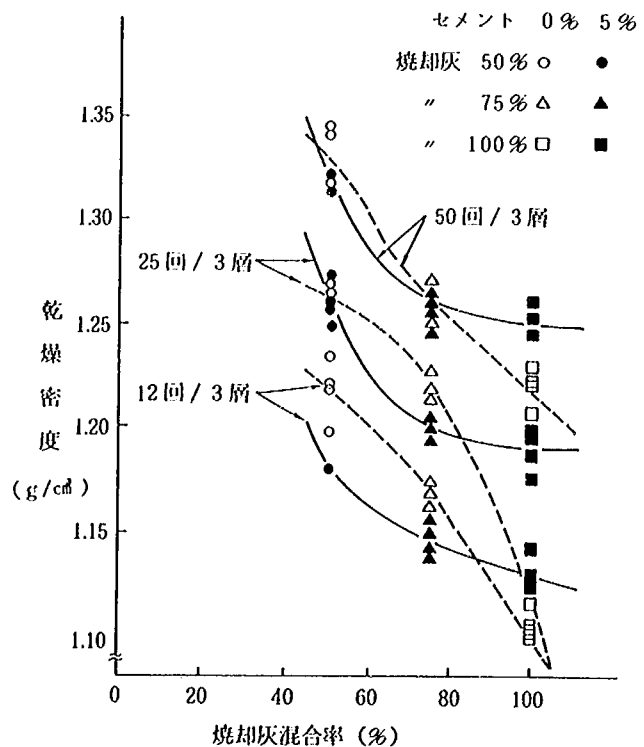


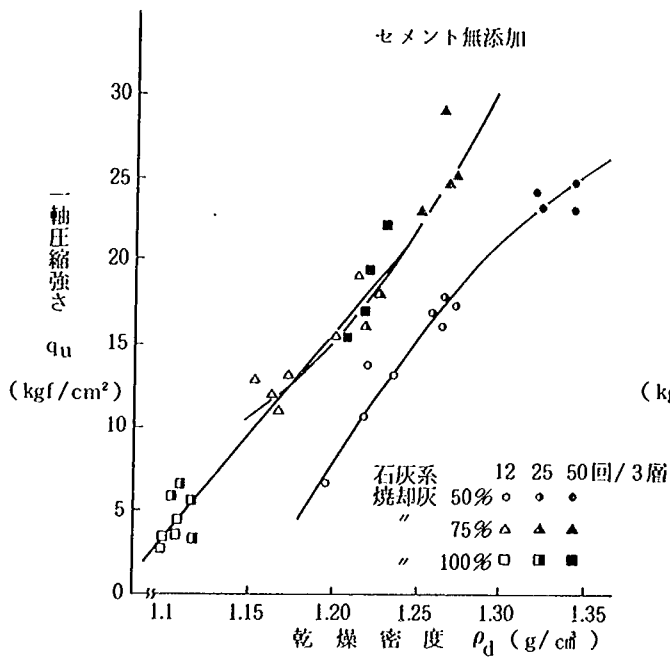
図-5.13 焼却灰混合率と乾燥密度(ρ<sub>d</sub>)の関係（締固めを伴う改良土）

乾燥密度( $\rho_{dmax}$ )が1.025 g/cm<sup>3</sup>と小さいため、石灰系焼却灰の混合率を増加するに伴い乾燥密度が低下するものと考えられる。例えば石灰系焼却灰単体で粘性土の湿潤重量に対して100%混合した場合の乾燥密度は、締固め程度によって異なるが約1.1 g/cm<sup>3</sup>～1.22 g/cm<sup>3</sup>程度低下している。

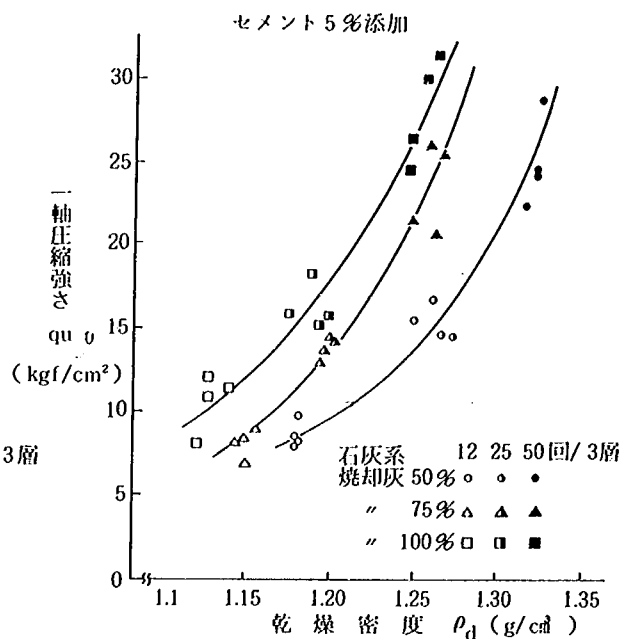
② 締固め度合と一軸圧縮強さの関係

図－5.14、図－5.15には、各々「石灰系焼却灰単体」と「石灰系焼却灰+セメント」の配合条件における改良土の乾燥密度と一軸圧縮強さの関係を示す。これらの図より、まず「石灰系焼却灰単体」の配合条件における改良土は、乾燥密度に比例して一軸圧縮強さが増加している。また、この関係において焼却灰混合率75%と100%の差異は明確ではないが焼却灰混合率50%と比較すると同じ乾燥密度に対して混合率75%と100%の方が約10kgf/cm<sup>2</sup>程度一軸圧縮強さが大きくなっている。

一方、「石灰系焼却灰+セメント」の配合条件における改良土の場合も同様に乾燥密度の増大に伴い一軸圧縮強さが増加しているが、「石灰系焼却灰単体」と異なり、焼却灰混合率が50、75、100%と増加していくに従って一軸圧縮強さが増加していることが明確に認められる。



図－5.14 乾燥密度 ( $\rho_d$ ) と  $q_u$  の関係  
(セメント無添加, 締固めを伴う改良土)



図－5.15 乾燥密度 ( $\rho_d$ ) と  $q_u$  の関係  
(セメント5%添加, 締固めを伴う改良土)

以上の結果から、締固めることによって石灰系焼却灰の混合した改良土の強度を高めることが可能であるとともに、セメント添加の有無によらず締固め回数と改良土の一軸圧縮強さの間には、ほぼ比例関係にあることがわかる。

5.3.4 石炭灰、下水汚泥焼却灰を用いた現地試験施工

(1) 試験施工の概要

室内配合試験により石炭灰、石灰系焼却灰は、土質改良用添加材として適用性が高いことが認められた。そこで、石炭灰、石灰系焼却灰を用いた現地試験を3箇所の現場において実施した。このうち、石炭灰については、粘性土地盤(自然含水比70%程度)1箇所で実施し、石灰系焼却灰については、粘性土地盤(自然含水比60%程度)、PEAT地盤(自然含水比600%～700%程度)の2箇所で実

施した。なお、各試験施工の概要を表－5.4.に示す。

#### 1) 廃棄物の種類

各試験施工で用いた石炭灰、石灰系焼却灰の性状を表－5.4にまとめて示す。また、図－5.16には、それらの粒度分布を示す。以下には、各廃棄物の性状の概要を述べる。

① 石炭灰、排脱石膏………石炭灰は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ が主成分であり、固化に寄与すると考えられるCaO成分は4.2%と少ない。一方、石膏はCaO成分が29.6%と比較的多く含有している。粒度については、74  $\mu\text{m}$ 以下の細粒である。

② 石灰系焼却灰………石灰系焼却灰は、CaO成分が34.5%～35.5%と最も含有率が高く、次いで $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の順になっている。CaO、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 成分は、下水処理過程に混入する添加剤によるものである。

#### ② 施工方法

各試験施工では、深層混合処理工法として粉体噴射攪拌工法を用い、石炭灰、下水汚泥焼却灰およびセメントなどの土質改良用添加材を粉粒体のまま土中へ供給し、攪拌混合することにより改良柱体を造成した。

粉体噴射攪拌工法を本研究の試験施工に用いた主な理由として次の項目があげられる。

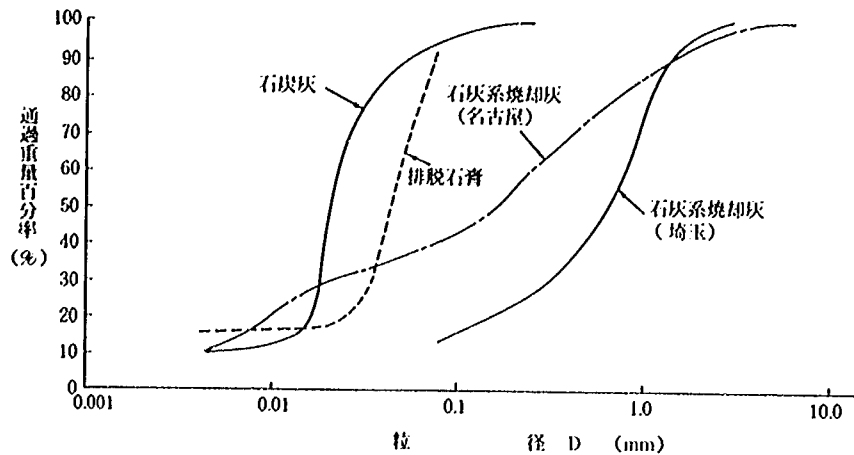
表－5.4 現場試験施工の概要

|                             |                         | 石炭灰の利用                   | 下水汚泥焼却灰の利用             |                        |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| 試験施工場所                      |                         | 横浜市金沢下水処理場敷地             | 名古屋市大江ポンプ場敷地           | 埼玉県与野市                 |
| 添加材の種類                      |                         | 石炭灰、排脱石膏<br>普通ポルトランドセメント | 石灰系焼却灰<br>普通ポルトランドセメント | 石灰系焼却灰<br>普通ポルトランドセメント |
| 石炭灰、<br>石灰系焼却灰の成分含有率<br>(%) | CaO                     | 4.20                     | 35.5                   | 34.5                   |
|                             | $\text{SiO}_2$          | 50.5                     | 26.0                   | 21.7                   |
|                             | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 24.2                     | 7.65                   | 13.9                   |
|                             | MgO                     | 1.84                     | 2.14                   | 1.57                   |
|                             | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 4.70                     | 17.4                   | 15.1                   |
|                             | $\text{SO}_3$           | 0.50                     | 2.90                   | 3.78                   |
| 改良対象土層                      |                         | 含水比52～75%<br>のシルト層       | 含水比57～77%<br>の粘性土層     | 含水比 500%<br>程度のビート層    |

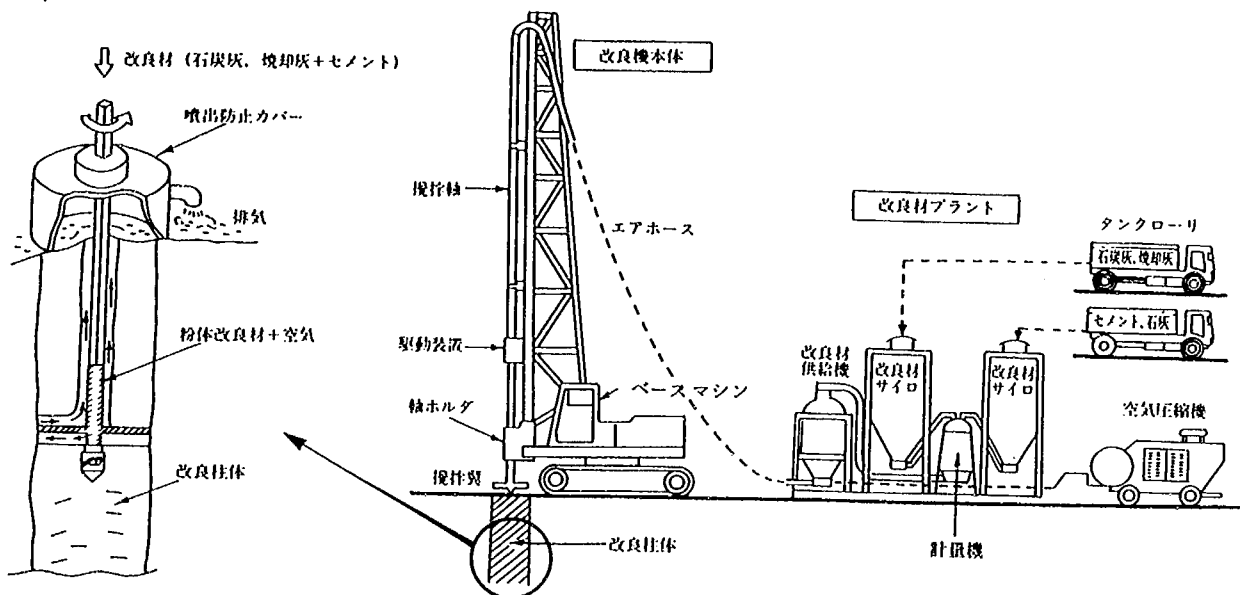
① 本工法では、土質改良用添加材を粉粒体のままで使用できるので、地盤内に余分な水を加えることなく軟弱地盤の改良が可能である。そのため、石炭灰、下水汚泥焼却灰のような材料をスラリー化する必要がなく処理プラントから搬出された乾燥状態のままで地中に供給することが可能である。

② 本工法では、土質改良用添加材のサイロから土中の噴射にいたるまで一連のクローズドシステムとなっているため、石炭灰や下水汚泥焼却灰などの粉塵発生が少ない。

③ 図－5.17に示すように、2種以上の異なった材料を組み合わせることで土質改良用添加材として用いる場合、サイロを設けることにより、各々の添加材の品質を維持できるとともに、供給割合も



図－ 5. 16 現場試験施工に用いた廃棄物の粒度分布



図－ 5. 17 現場試験施工の概要

コントロールできる。

図－ 5. 17には、本試験施工における施工機械の構成例および改良原理を示す。

## (2) 試験施工の結果

### i) 石炭灰を用いた粘性土地盤改良試験施工例

#### ① 試験施工の概要

本試験施工は、石炭灰の深層混合処理における土質改良用添加材として適用性を検討するために、粉体噴射搅拌工法による粘性土地盤改良を実施し、改良効果を調査したものである。本試験施工は、横浜市の協力を得て電源開発㈱が実施したものである。

#### ② 対象地盤の概要

試験施工箇所の地盤状態は、上部から盛土、細砂、シルト層が7 mまでつづき、以下15 mまで砂質シルトあるいは、貝殻混じり細砂となっている。本試験施工の改良範囲としては、シルト層上下の細

砂を含む深度 3～9 m の土層である。また、改良対象範囲の現地盤の主な性状は、比重 2.7、含水比 52～75%、粒度はいずれも 2.0 mm 以下 ( $D_{50} = 0.002 \text{ mm}$ ) の細かいものである。乾燥密度は全体にみて  $1 \text{ t/m}^3$  であり、一軸圧縮強さは  $0.2 \sim 0.5 \text{ kgf/cm}^2$  の範囲である。

### ③ 室内配合試験結果

図－5.18 には、石炭灰を用いた土質改良用添加材の混合率と一軸圧縮強さとの関係を示す。この図より各配合とも混合率の増加に伴い一軸圧縮強さがほぼ比例的に増大していることがわかる。例えば「石炭灰：石膏：セメント＝10：1：10」の配合条件における改良土の 28 日強度に着目すると、混合率 12% において  $q_{u28} = 25 \text{ kgf/cm}^2$  であるのに対して混合率 24% では  $q_{u28} = 64 \text{ kgf/cm}^2$  と約 2.5 倍の強度が得られている。また、セメントの混合率が小さい「石炭灰：石膏：セメント＝10：1：1」の配合条件でも、混合率 12% において  $q_{u28} = 8.1 \text{ kgf/cm}^2$  と 6 倍程度の強度増加が認められている。

以上の結果から本試験施工で対象としている粘性土に対しては、石炭灰を用いた土質改良用添加材の混合率を増加させることによって強度増加を図ることが可能であると言える。

また、図－5.19 には「石炭灰＋石膏＋セメント」、「石炭灰＋石膏」の各配合条件（混合率 12%、18%、24%）における改良土の一軸圧縮強さの経時変化を示す。この図より「石炭灰＋石膏」の配合条件を除いて各配合とも材令 7 日でかなりの強度発現が認められ、またセメント配合比率が大きくかつ材料の混合率が大きい配合ほど長期的な強度増加が顕著である。特に、最も強度発現の著しい「石炭灰：石膏：セメント＝10：1：10」（混合率 24%）の配合条件に着目すると材令 7 日の時点で  $q_{u7} = 39 \text{ kgf/cm}^2$  とかなり高い強度が得られており、さらに材令 60 日の時点では  $q_{u60} = 68 \text{ kgf/cm}^2$  と 7 日強度の約 1.7 倍となっている。

以上の結果から、セメントを添加しない配合条件では強度発現性に問題を有しているものの、他の配合条件では、土質改良用添加材として良好な結果が得られている。

### ④ 試験施工の結果

試験施工 28 日後に各試験施工改良柱体から採取したコアサンプルを用いて、改良深度方向の含水比、および一軸圧縮強さの分布を測定した。測定結果を図－5.20 に事前土質調査結果と対比して示す。図より含水比に関しては各ケースとも大幅に低下しており、改良前の含水比が 60～75% 程度であるのに対し、40% 前後の値となっている。この含水比低下の様子は、ほぼ室内配合試験と対応している。各改良柱体の深度方向の一軸圧縮強さの分布に関しては、図より、「石炭灰＋石膏＋セメント」の配合条件では、一軸圧縮強さ  $10 \text{ kgf/cm}^2$  以上の改良強度が得られており、また、セメント混合率が増すことによって改良強度が増大することが確認された。しかしながら、「石炭灰＋石膏」の配合条件ではほとんど改良強度の発現は認められていない。すなわち、この試験施工の結果から石炭灰の添加だけでは粘性土地盤の改良は難しく、セメント・石灰など添加材との組合せが必要であると言える。

#### ii) 石灰系焼却灰を用いた粘性土地盤改良試験施工例

##### ① 試験施工の概要

本試験施工は、石灰系焼却灰を深層混合処理の土質改良用添加材として粘性土に混合した場合の改良効果を把握するものである。本試験施工は、名古屋市が実施したものである。

##### ② 試験施工場所の地盤性状

本試験施工場所の地盤性状は、上部の埋土層と下部の沖積粘性土層より構成されている。上部埋土は、さらに土層 1～2 m の礫混じり砂質土層と層厚 2～3 m のシルト、礫、腐植物、汚泥ケーキなど

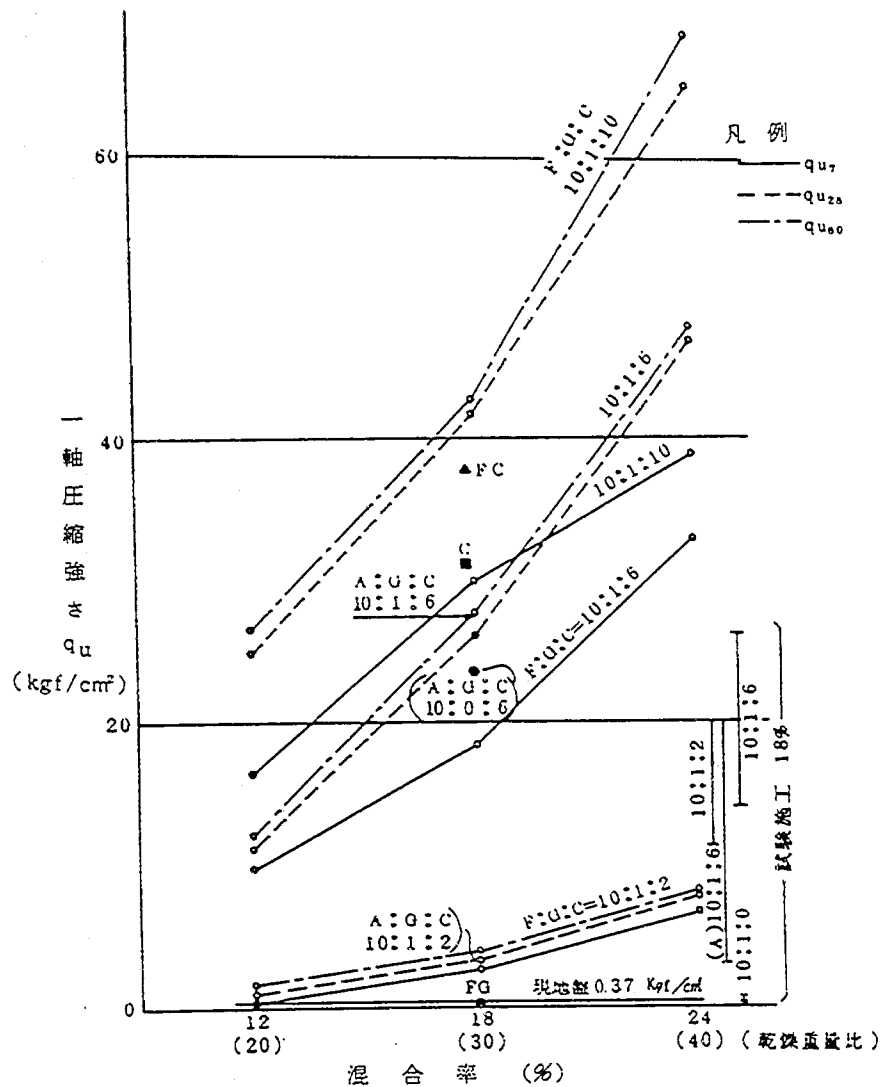


図- 5.18 混合率と一軸圧縮強さの関係

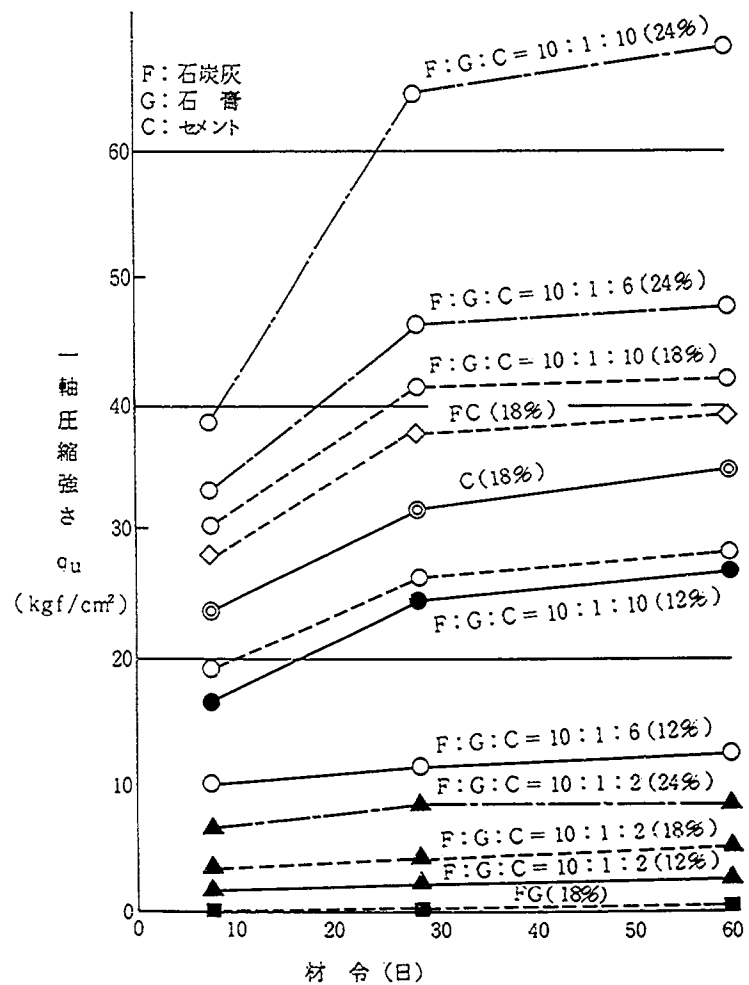
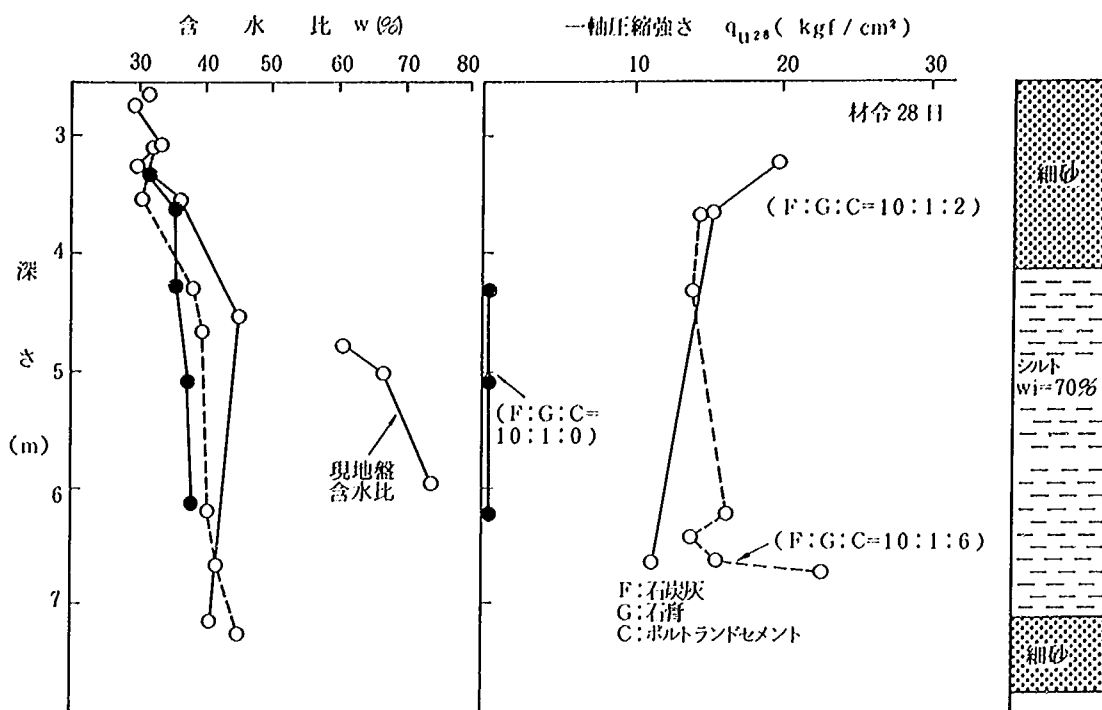


図- 5.19 材令と一軸圧縮強さの関係 (配合試験結果)



図－5.20 石炭灰による粘性土地盤改良結果（電源開発㈱，横浜市）

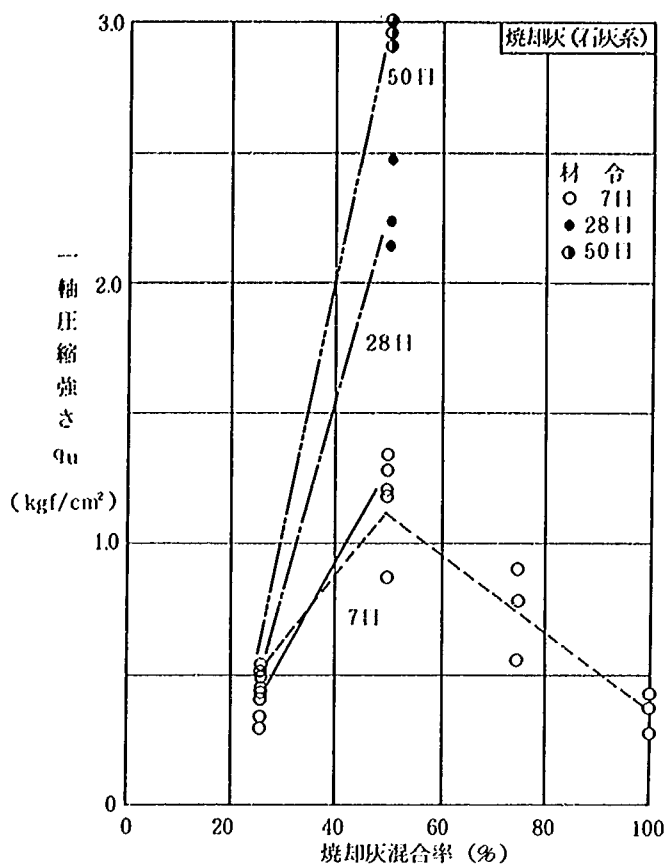
の混在した不均一な砂質土層に分けられる。これらの埋土層は粗粒分（ $74\mu\text{m}$ 以上の粒子）が60%近い土質であり，含水比 $w_n = 27 \sim 49\%$ ， $N$ 値＝3～4の緩い状態となっている。また，下部の沖積粘性土層は全体的に見殻片を含むシルト層で，各所にシーム状細砂層をはさんでいる。この粘土層は自然含水比 $w_n = 57 \sim 77\%$ ，液性限界 $w_L = 44 \sim 60\%$ と含水比が液性限界を上回っており， $q_u = 0.4 \sim 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ ， $N$ 値＝0の軟弱な土質となっている。

### ③ 室内配合試験結果

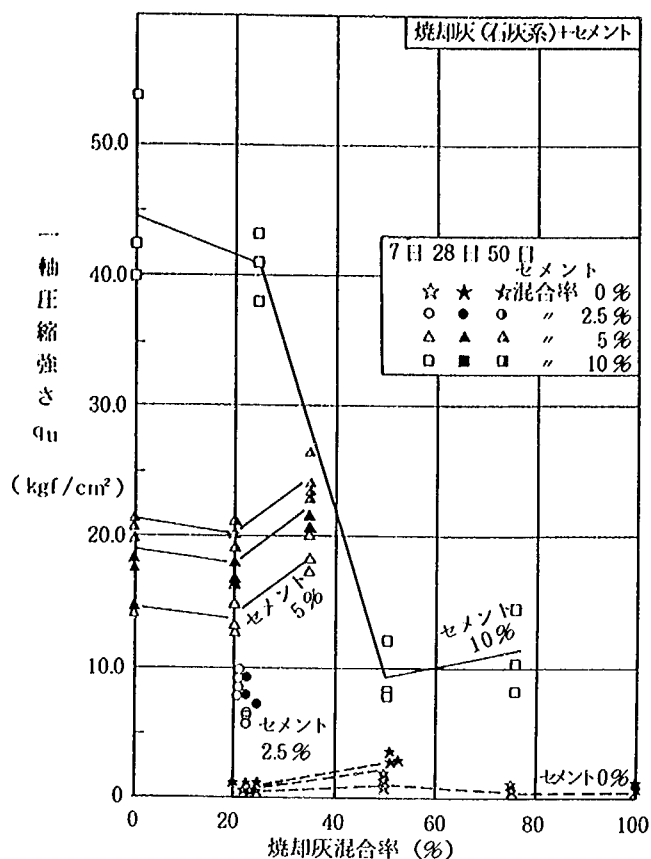
図－5.21，5.22には，土質改良用添加材（石灰系焼却灰，セメント）と一軸圧縮強さの関係を示す。図－5.21より，「石灰系焼却灰単体」の配合条件の場合，混合率50%までは混合率の増加に伴い $q_u$ の増加が認められる。しかし，混合率が75%，100%と増加すると逆に $q_u$ が減少している。また，「石灰系焼却灰＋セメント」の配合においても，図－5.22から判断すると焼却灰混合率が50%以上の場合において， $q_u$ が大きく低下している。この原因としては含水比 $w_n = 60\%$ 程度の粘性土に対し，石灰系焼却灰やセメントなどの土質改良用添加材の混合率が50%を超えると改良土の含水比は塑性限界を下回ることになり，このように，大量の乾燥粉体を一時に混入することにより，セメント固結反応に使用される水分が不足することになるとともに，改良土の結合力（水の表面張力などによる）が低下することによるものと考えられる。

### ④ 試験施工の結果

図－5.23には，各改良柱体から28日後採取した供試体による一軸圧縮強さ $q_u$ の深度分布を示す。「石灰系焼却灰単体」の場合，混合率で25%，50%の順に，また，セメント5%を添加した場合，石灰系焼却灰混合率20%，35%の順に $q_u$ は増加しており，室内配合結果と同じ傾向が認められる。しかし，「石灰系焼却灰22.5%＋セメント2.5%」配合の場合のみ，他ケースに比べ著しく低い強度となっている。次に，セメント5%添加の配合条件では強度の発現は大きく，「石灰系焼却灰単体」



図－ 5. 21 焼却灰混合率と  $q_u$  の関係  
(焼却灰単体)



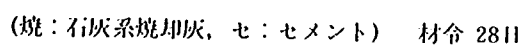
図－ 5. 22 焼却灰混合率と  $q_u$  の関係  
(セメント+焼却灰)

の配合条件の場合と比較すると約 3 倍の強度となっている。一般的な深層混合処理の施工においては、攪拌精度の面で現場改良強度が室内配合強度に比べ低下する傾向にある。しかし、改良材混合率が大きく、対象土の体積に比べ、添加混合する改良材の体積が大きい場合、本試験施工のような傾向がよくみられる。その原因としては、現場施工において、投入された改良材の体積分だけ地盤土が改良対象範囲外へ押出され、結果的に、改良土の混合率が所定より大きくなることなどが考えられる。

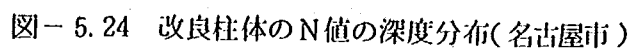
次に、図－ 5. 24 には、各ケースの改良柱体に対する標準貫入試験結果を示す。図より、一軸圧縮強さの分布と同様に「石灰系焼却灰35%+セメント5%」の効果が顕著であるほか、「焼却灰単体」の配合条件の場合も十分な改良効果が認められる。なお、写真－ 5. 1 には、改良柱体の造成状況を示す。



写真－ 5. 1 石灰系焼却灰による粘性土地盤改良状況（名古屋市）



(焼：石灰系焼却灰，セ：セメント)



### iii) 石灰系焼却灰を用いたピート地盤改良試験施工例

#### ① 試験施工の概要

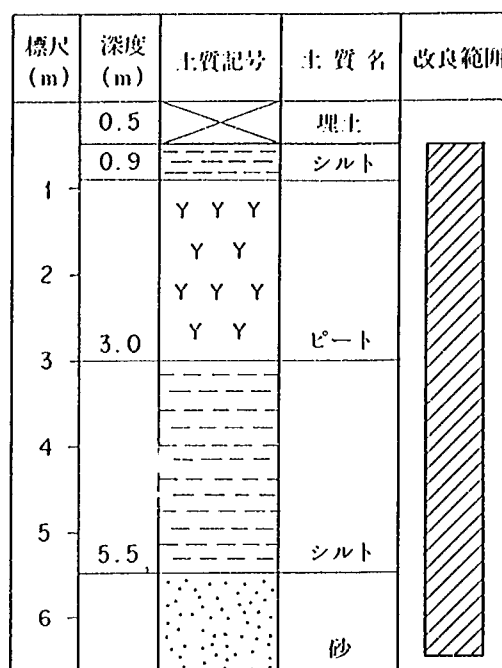
本試験施工は、石灰系焼却灰の深層混合処理への適用性を検討するため粉体噴射攪拌工法を用いたピート地盤の現場実験施工を実施し、石灰系焼却灰の深層混合処理における土質改良用添加材としての適用性を検討するものである。

#### ② 対象地盤

試験施工における対象地盤は、埼玉県与野市に分布するピート層およびシルト層である。地盤の柱状図を図－5.25に、ピート層の性質を表－5.5に示す。表－5.5に示すとおり上層のピート層は自然含水比 $w_i = 500\%$ と高含水比であり、また植物繊維分を多く含んだ状態である。なお、改良範囲は図－5.25に示すGL－0.5m～GL－6.5mの6mとした。

#### ③ 室内配合試験結果

石灰系焼却灰を用いたピートの室内配合試験結果を図－5.26に示す。図－5.26に示すとおり、石灰系焼却灰添加率の増加とともに改良土の一軸圧縮強さが大きくなっている。さらにセメントを添加することにより一軸圧縮強さは大きくなることがわかる。また、「石灰系焼却灰単体」の配合条件においても混合率70%以上では一軸圧縮強さは $1 \text{ kgf/cm}^2$ 以上発現しており、低強度を目的とした改良では土質改良用添加材として用いても十分な改良効果を得られるものと考えられる。



図－5.25 柱状図

表－5.5 ピート層の性質

| 粒 度 (%) |      |      |      | 比 重<br>Gs | 含 水 比<br>w <sub>i</sub> (%) | 湿潤密度<br>$\rho_t$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 強熱減量<br>L <sub>ig</sub><br>(%) |
|---------|------|------|------|-----------|-----------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| レキ分     | 砂 分  | シルト分 | 粘土分  |           |                             |                                          |                                |
| 3.7     | 30.3 | 43.0 | 23.0 | 1.722     | 500                         | 1.1                                      | 71.6                           |

粒度において砂分以上は植物繊維である。

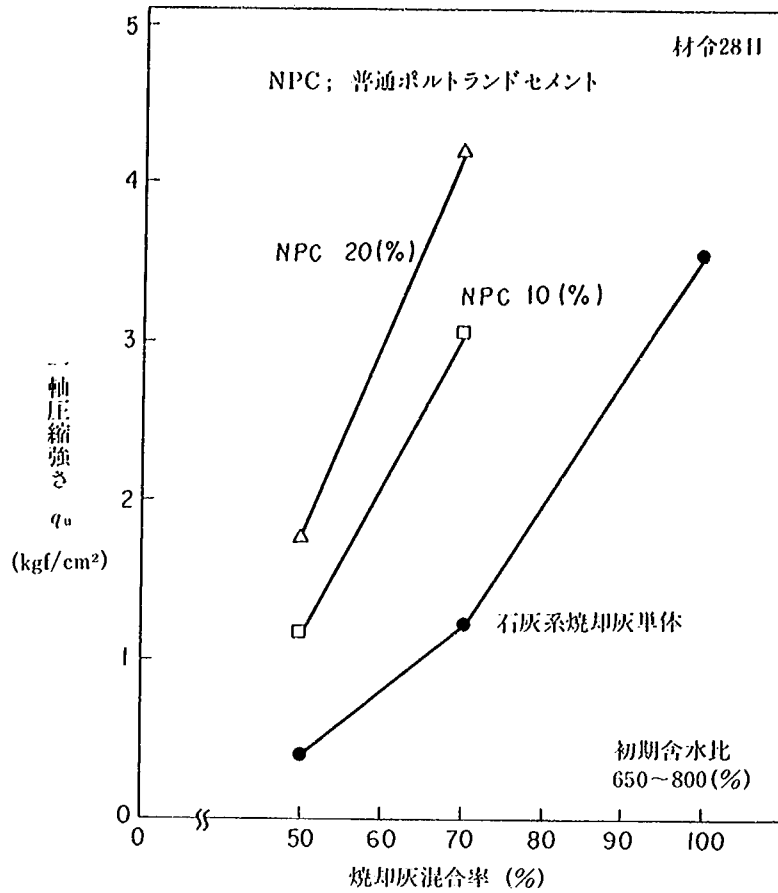


図- 5. 26 室内配合試験結果

#### ④ 試験施工の結果

図- 5.27には、改良施工後 28 日後のオランダ式二重管コーン貫入試験の結果を示す。図より原位置地では  $q_c$  の値が  $3 \text{ kgf/cm}^2$  程度であるのに対して、「石灰系焼却灰単体  $600 \text{ kg/m}^3$ 」の配合条件では  $q_c$  が約  $10 \text{ kgf/cm}^2$  以上と現地盤土の 3 倍程度の強度を発見しており、「石灰系焼却灰単体」の配合条件であっても比較的良好な改良効果が得られていることが確認された。さらに、セメントを添加した配合条件においては、現地盤の 10~20 倍の強度が得られている。

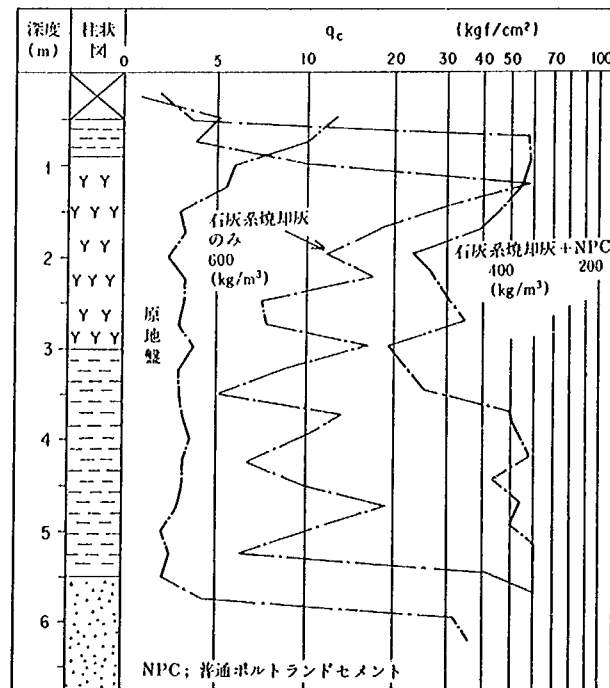
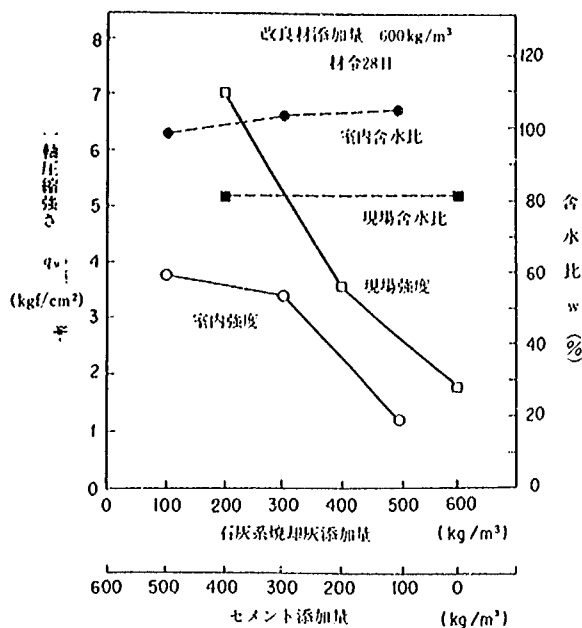


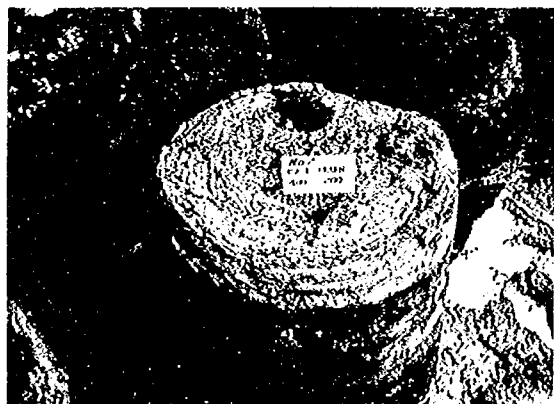
図- 5. 27 二重管コーン貫入試験結果  
(与野市)

次に、図－5.28 には、石灰系焼却灰添加量（またはセメント添加量）と一軸圧縮強さ、含水比の関係を現場試験施工と室内配合試験の28日材令において比較して示す。図より、改良材添加量が一定である場合、石灰系焼却灰添加量の増大とともに一軸圧縮強さが減少しており、含水比が高いピート地盤においては土質改良効果は主にセメントによる割合が高いことがうかがえる。しかし、「石灰系焼却灰単体」であっても含水比81%と大幅に減少し、さらに一軸圧縮強さが2 kgf/cm<sup>2</sup>程度発現している。この試験施工から、石灰系焼却灰はピート地盤の深層混合処理における土質改良用添加材としても適用性が高いことが確認された。

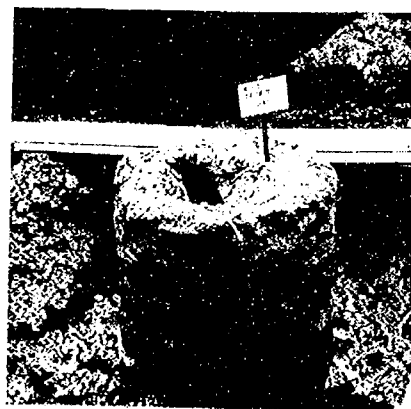
改良柱体造後32日後に掘り出した「石灰系焼却灰200 kg/m<sup>3</sup> +セメント400 kg/m<sup>3</sup>」および「石灰系焼却灰単体600 kg/m<sup>3</sup>」の条件における改良柱体の状況を写真－5.2 および写真－5.3 に示す。各条件とも比較的良好な改良柱体が造成されており、特に、焼却灰単体を混合・攪拌した配合条件においても良好な固結形状で自立していた。



図－5.28 添加量と一軸圧縮強さ、含水比の関係（与野市）



写真－5.2 「石灰系焼却灰+セメント」によるピート地盤改良状況



写真－5.3 「石灰系焼却灰単体」によるピート地盤改良状況

## 5.4 ま と め

ここでは、石炭灰、下水汚泥焼却灰およびコンクリート粉などの土質改良用添加材として利用可能性が高い廃棄物に関して高含水比粘性土およびピートを対象とした室内配合試験、現地試験施工の結果から深層混合処理への適用性について述べてきた。本研究の結果明らかとなった事柄を列挙すると、次のとおりである。

- ① 石炭灰および石灰系焼却灰は、適度な湿分状態で締固めた場合、自硬性による強度発現が著しく、また、材令に伴い強度が増加することが確認された。また、この強度発現は、締固めの程度に大きく依存していることも明らかとなった。しかしながら、高分子系焼却灰、コンクリート粉に関しては、ほとんど強度増加が認められなかった。
- ② 石炭灰、石灰系焼却灰を単体の状態で粘性土またはPEATに「締固めを伴わない」状態で添加・混合した場合、含水比の低下やコンシステンシーの改善などの効果が得られるとともに、強度も十分増加することが確認された。また、セメントや石灰などの硬化材と組合せて添加・混合することによりさらに高い強度を発現させることが明らかとなった。特に、石灰系焼却灰は、PEATのように含水比の高い土の改良に対しても十分適用可能である。
- ③ 石炭灰および石灰系焼却灰を添加・混合した改良土を締固めることにより、強度が増加することが判明し、表層混合処理などの締固めが可能な改良に際しては、十分な強度発現が期待できる。
- ④ 石炭灰または石灰系焼却灰を用いた粉体噴射攪拌工法による現地試験施工の結果、比較的十分な改良効果が得られ、低強度改良を目的とした場合では、深層混合処理における土質改良用添加材として十分利用可能であることが確認できた。しかしながら、石炭灰の場合、現段階ではセメントなどとの組合せが必要である。

以上のように石炭灰、石灰系焼却灰は、深層混合処理における土質改良用添加材として十分適用可能であることが明らかとなったが、石炭灰、下水汚泥焼却灰等の品質のばらつき、固結の原理、耐久性などに関するデータの蓄積はこれからのことである。また、これらの廃棄物の供給体制の整備、品質基準などは、有効利用を図っていく上で重要な課題である。

## 6. 高有機質土の適正処理技術の開発

### 6.1 研究目的

最近、河川や湖沼あるいは港湾などに堆積しているへどろに代表されるような含水比が非常に高く、しかも有機物に富んだ不良土を処分しなければならないケースが増えてきており、こうした不良土にセメント等の土質改良用添加材を混合して土性の改善をはかることが多くなってきている。

その場合、一般に不良土は土質改良を行う際の阻害要因となる大量の水や腐植等を含んでいるため、土質改良用添加材の種類によっては土質改良効果がほとんど期待できなかったり、土質改良効果の高い土質改良用添加材を用いる場合でも、かなりの量の土質改良用添加材を加えなければ改良後の強度がそれほど高くないケースが多い。

本研究では、このような処理上の問題点を有する不良土（高有機質土）の適正処理技術を開発することを目的とする。

### 6.2 研究内容

57年度に、土中の有機物が土質改良効果に及ぼす影響に関する検討と、高有機質土の土質改良効果の簡易判定法に関する予備的実験を行った。その結果、消石灰を用いて土質改良を行う場合には、フミン酸の含有量が土質改良効果を左右する極めて重要な因子の1つになることが明らかになった。一方、普通ポルトランドセメントを用いて土質改良を行う場合には、フミン酸の種類によって土質改良効果を阻害する程度が異なるという結果が得られた。また、フォール・コーン試験を用いることにより、土質改良効果の判定が非常に迅速に、しかも精度よく行える見通しを得た。

58年度は、高有機質土の改良効果の簡易判定法の検討を57年度に引き続いて実施するとともに、普通ポルトランドセメントや消石灰に排脱石膏を加えた土質改良用添加材や、下水汚泥焼却灰に生石灰と排脱石膏を加えた土質改良用添加材を用いて高有機質土の処理に及ぼす土質改良用添加材の化学組成の影響に関する検討を行った。後者の検討では、既往の研究により有機物を含むへどろに対して土質改良用添加材中のCaOとSO<sub>3</sub>の量と土質改良効果の相関が高く、CaOを60%程度、SO<sub>3</sub>を12～13%程度含む土質改良用添加材の改良効果が優れていることが明らかにされているので、普通ポルトランドセメントや消石灰にSO<sub>3</sub>成分を多く含む排脱石膏を加えたり、石灰系の下水汚泥焼却灰に生石灰と排脱石膏を加えることによってこのような化学組成をもつ土質改良用添加材を人工的に作製し、これらの改良効果を検討するための一連の土質改良実験を行なった。

59年度は、フォール・コーン試験を用いた土質改良効果の簡易判定法の適用範囲を改良後の強度が高い場合にまで広げることが目的として、従来型のフォール・コーン試験装置に押し込み荷重が加えられるような機能を加えてその適用性を検討した。その結果、改良後の強度が一軸圧縮強さで2 kgf/cm<sup>2</sup>をこえるようになると、従来型のフォール・コーン試験ではコーンがあまり貫入なくなり、一軸圧縮強さとの相関性が低下するが、このような場合でも、自重落下のあと一定速度で押し込み荷重を加えて5 mm貫入時の押し込み荷重を求めれば、一軸圧縮強さとかなり良い相関の得られることが判明した。また、土質改良効果に及ぼす影響が特に大きいと考えられる自然含水比とフミン酸含有量に着目した簡易土質判別分類手法を検討するため、自然含水比とフミン酸含有量が種々に異なる35試料を対

象に、各種土質改良用添加材を用いた土質改良一斉試験を行った。

60年度は、土質改良用添加材の効果判定のための標準試験法の検討と、吸光光度法を用いたフミン酸含有量の簡易推定法の検討を行った。その結果、前者について一つの試案を提出するとともに、後者においては、フミン酸含有量の概略的な推定に吸光光度法がある程度利用できることを明らかにした。

## 6.3 研究成果

### 6.3.1 土中の有機物が土質改良効果に及ぼす影響

土中の有機物の一種であるフミン酸が土質改良効果に重要な影響を及ぼしているのではないかと考え、フミン酸含有量と土質改良効果の関係について室内実験による検討を行った。すなわち、実際の各種粘性土からフミン酸を抽出し、これを種々の割合でカオリン粘土に加えた人工試料（含水比61%）に対して、消石灰と普通ポルトランドセメントによる土質改良実験を行った。ここで、消石灰と普通ポルトランドセメントの添加量は、カオリン粘土の乾燥重量に対して5%とし、土質改良効果の判定は、7日養生後の一軸圧縮強さで行った。

その結果、消石灰を用いて土質改良を行う場合には、図-6.1(a)に示すように、フミン酸の種類にかかわらず、フミン酸含有量の増加とともに改良土の一軸圧縮強さが著しく低下することが認められ、フミン酸の含有量が土質改良効果を左右する極めて重要な因子の1つになることが明らかになった。

一方、普通ポルトランドセメントを用いて土質改良を行う場合には、図-6.1(b)に示すように、フミン酸の種類によって土質改良効果を阻害する程度が異なるという結果が得られた。

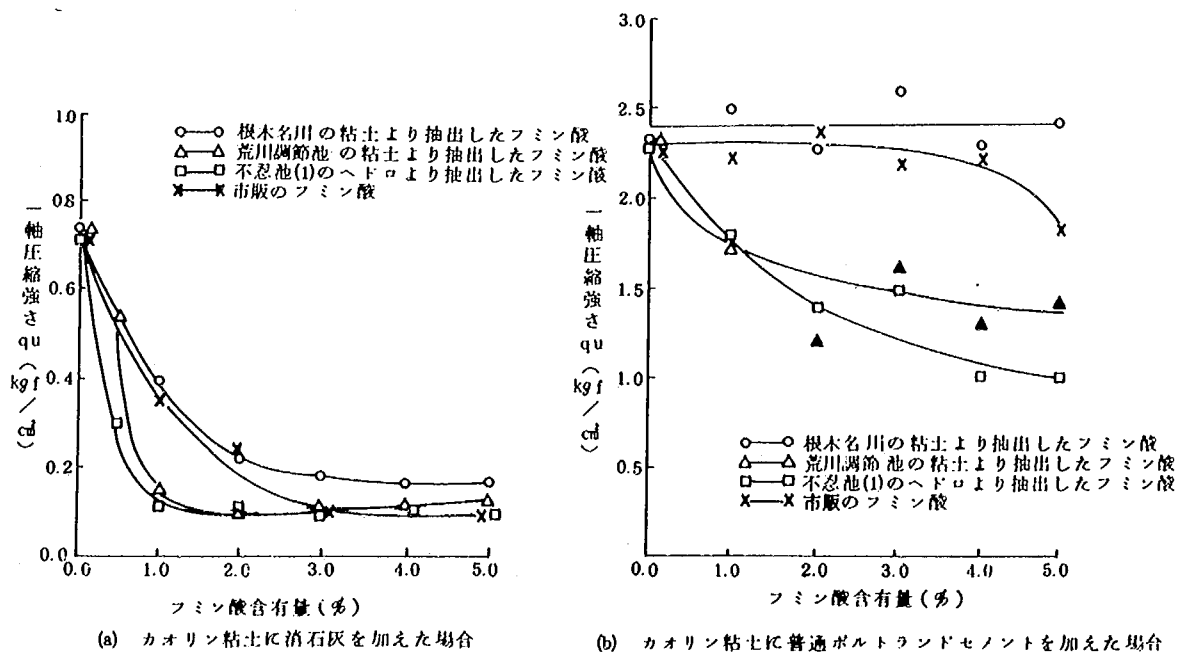


図-6.1 フミン酸含有量と改良土の一軸圧縮強さの関係

### 6.3.2 フォール・コーン試験を用いた土質改良効果の簡易判定法

土質改良効果を予測するために従来は、実験室で配合された処理土の一軸圧縮試験を行いその強さ

quによって比較，評価する方法が一般的に用いられている。しかし，この方法には次のような欠点がある。

- ① 改良後の強さがかなり小さいことがありうる高有機質土に対しては，一軸圧縮試験の供試体の準備が困難な場合が多い。
- ② 一般に強度のばらつきが多いので，数多くの供試体を準備する必要があるが，一軸圧縮試験の場合は作製に手間がかかるし，試料の必要量も相対的に多い。
- ③ 数多くの試験条件をこなすためには，試験に要する時間がより短く，操作，データ解析がより容易な試験方法の方がよい。

以上のような短所を補う方法として，液性限界状態に近い土の性状を判定すべく用いられているフォール・コーン試験装置（図－6.2参照）の利用を試みた。

まずフォール・コーン試験の試験方法について述べる。フォール・コーン試験装置は図－6.2に示すような構造をもつ。先端部の貫入コーンは先端角度60度の円すい形で，真チュウ製のものである。この貫入コーンと摺動棒を合わせた落下部の質量は60 gとなっている。供試体を詰める容器の大きさには特別の規定はないが，筒内らの研究によれば，フォール・コーン試験を土の液性限界の判定に用いる場合の試料容器の寸法は直径6 cm，深さ3 cm程度が適当であるとしている。そこで今回の実験では，これに近い寸法をもつ市販のステンレス製の容器（直径が上部で6.8 cm，下部で4.6 cm，深さが3.4 cmのもの）を用いた。この容器の中に土質改良用添加材と混合した直後の土を詰め，表面を平滑にならしたあと所定の養生を行って供試体とする。

試験手順は次のとおりである。

- ① 供試体を試料台に乗せ，貫入コーンの先端が試料の表面に接触する位置にセットする。
- ② ダイヤルゲージで摺動棒上端の初期高さを読む。
- ③ ダイヤルゲージのスピンドルを固定したあと，解放押しボタンによって落下部を解放し，貫入コーンを自重で試料中に貫入させる。
- ④ この状態で5秒間放置したあと，解放押しボタンを離すことによって落下部を固定する。
- ⑤ ダイヤルゲージのスピンドルを静かに下げて摺動棒の上端にセットし，その時のダイヤルゲージの読みと初期値との差からコーン貫入量  $d_c$  を1/100 mmの精度で測定する。

以上の操作を6箇所で行う。ただし，試料が軟らかくてコーン貫入量が5 mmを超える場合には，測定箇所を中央にずらして測定回数を3箇所とする。なお，測定後には試料の含水比の測定を行う。

以上述べたフォール・コーン試験は改良後の強度がそれほど高くない場合に偉力を発揮する試験である。改良後の強度が一軸圧縮強さで2 kgf/cm<sup>2</sup>程度以上になると，図－6.3に示したように，コーン貫入量と一軸圧縮強さの相関性が低下し，コーン貫入量から一軸圧縮強さを推定することが困難になる。

そこで，この点を補い，フォール・コーン試験の適用範囲を改良後の強度が高い場合にまで広げることを目的として，従来のフォール・コーン試験装置を一部改良し，コーンの自重による貫入量が一軸圧縮強さで2 kgf/cm<sup>2</sup>以上にはば対応する0.5 mm以下となる場合に，その状態から1 mm/minの貫入速度で押込み荷重を加えられる機能を追加した。そして，押込み荷重を加えて貫入量が5 mmに達したときの荷重を読みとると，この値が一軸圧縮強さとかなり良い相関をもつことが判明した。

改良型の装置は，従来型のフォール・コーン試験装置を一軸圧縮試験用の載荷装置に取り付けたも

ので、自重によってコーンを貫入させたのち、1 mm/min の貫入速度で押込み荷重を加えられるようにしたものである。

試験手順は次のとおりである。

- ① 従来型のフォール・コーン試験の試験手順に従って、自重によるコーン貫入量を求める。
- ② コーン貫入量が 0.5 mm 以下であれば、試料台を上昇させ、摺動棒の上端が上部圧縮板に接触するように調整したのち、力計の応力測定用ダイヤルゲージと歪測定用ダイヤルゲージの零調整を行う。
- ③ コーン貫入量測定用ダイヤルゲージのスピンドルを固定したあと、解放押しボタンによって落下部を解放した状態で押込み荷重の載荷装置のスイッチを入れる。
- ④ 1 mm/min の貫入速度で押込み荷重を加え、一定の押込み量ごとに押込み荷重を測定する。測定は、押込み量が 5 mm に達するまで行う。

以上の操作を一供試体あたり 2 箇所で行う。

フォール・コーン試験の土質改良効果の判定への適用性を検討した結果、次のような知見が得られた。

- ① フォール・コーン試験により得られたコーン貫入量  $d_c$  (mm) と一軸圧縮強さ  $q_u$  (kgf/cm<sup>2</sup>) の間には図-6.3 に示すようなかなり良い相関があり、その関係は次式ではほぼ近似できる。

$$\log q_u = -1.20 \cdot \log d_c - 0.053 \quad \dots\dots\dots (1)$$

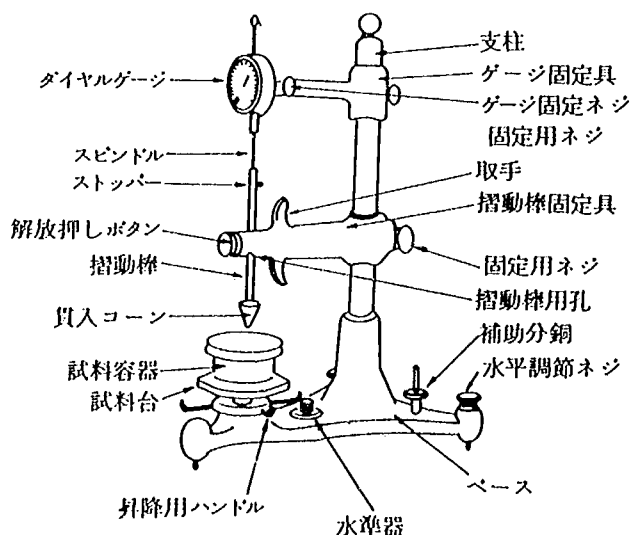


図-6.2 フォール・コーン試験装置

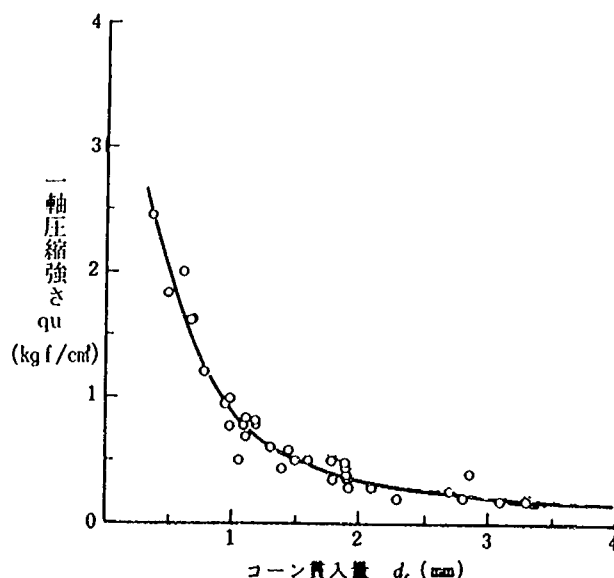


図-6.3 フォール・コーン試験によるコーン貫入量と一軸圧縮強さの関係

- ② フォール・コーン試験は、一軸圧縮試験との相関が高いうえ、試験に要する試料の量や供試体作製の手間および試験や結果の整理に要する時間が一軸圧縮試験に比べるとかなり少なくてすむ。また、一軸圧縮試験の実施が困難な低強度の改良土についても土質改良効果の判定を行うことができる。したがって、フォール・コーン試験は改良後の強度が比較的低いことの多い高含水比で、しかも有機物に富む粘性土の土質改良効果の判定に適しており、条件を変えた数多くの試験を行

う必要がある場合に特に大きな偉力を発揮する。

- ③ 改良後の強度が一軸圧縮強さで  $2 \text{ kgf/cm}^2$  を超えるようになると、自重落下ではコーンがあまり貫入しなくなるので一軸圧縮強さとの相関性が低下するが、このような場合でも、自重落下のあと一定速度で押込み荷重を加えて  $5 \text{ mm}$  貫入時の押込み荷重を求めれば、図 - 6.4 に示すような関係を用いて一軸圧縮強さをかなりの精度で推定することができる。

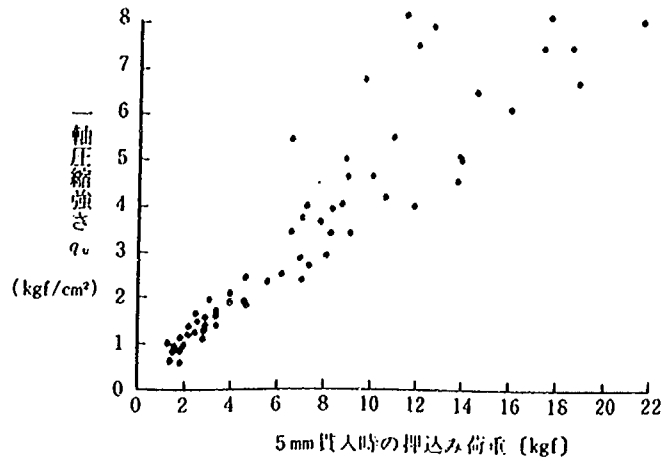


図 - 6.4 改良型フォール・コーン試験装置による  
押込み荷重と一軸圧縮強さの関係

- ④ 以上のことから、フォール・コーン試験装置を一部改良してコーンの自重落下のあと押込み荷重が加えられるような機能を持たせることにより、改良後の強度が低いものからかなり高いものまで含む非常に広範囲の改良土の土質改良効果の判定が簡便に行えることが判明した。

### 6.3.3 土の含水比とフミン酸含有量に着目した簡易土質判別分類手法

有機物を含む高含水比粘性土の土質改良効果は種々の因子の影響を受けるが、過去に行った実験の結果から判断すると、土中のフミン酸含有量と自然含水比の2つの因子の影響が特に重要であるといえる。そこで、この2つの因子に着目した高含水比粘性土の土質改良効果判定手法を新たに提案することにした。このため、表 - 6.1 に示すようなフミン酸含有量と自然含水比が種々に異なる35試料を対象に、各種土質改良用添加材による土質改良一斉試験を行った。

実験に用いた試料の自然含水比とフミン酸含有量は、図 - 6.5 のとおりである。

土質改良用添加材としては下記のものを用い、添加量は各ケースとも  $80 \text{ kg/m}^3$  とした。

- 普通ポルトランドセメント (NPC とする)
- 消石灰

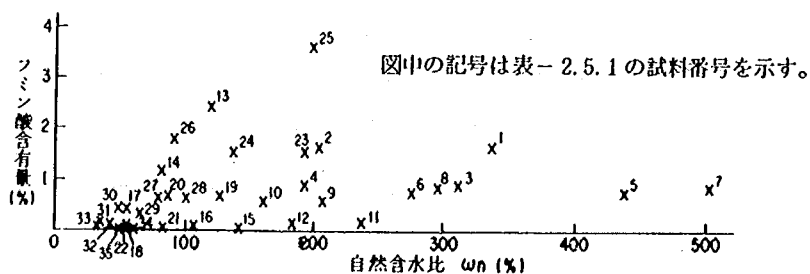


図 - 6.5 実験に用いた試料の自然含水比とフミン酸含有量

表 6.1 実験に用いた試料の性質

| 試料名 | 項目          | 粒土組成(%) |      |      | コンシステンシー(%) |      |       | 日本統一土質分類 | 比重Gs  | 自然含水比Wn(%) | pH(KC/L) | 有機物含有量(%) | フミン酸含有量(%) |
|-----|-------------|---------|------|------|-------------|------|-------|----------|-------|------------|----------|-----------|------------|
|     |             | 砂分      | シルト分 | 粘土分  | WL          | Wp   | Ip    |          |       |            |          |           |            |
| 1   | 不忍池(1)のヘドロ① | 14.0    | 69.0 | 17.0 | 163.0       | 65.0 | 98.0  | OH       | 2.374 | 336.0      | 7.1      | 20.6      | 1.62       |
| 2   | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 204.1      | “        | “         | “          |
| 3   | 不忍池(2)のヘドロ① | 16.0    | 58.0 | 26.0 | 173.0       | 82.0 | 91.0  | OH       | 2.431 | 312.2      | 6.2      | 15.3      | 0.89       |
| 4   | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 192.8      | “        | “         | “          |
| 5   | 不忍池(3)のヘドロ① | 4.0     | 72.0 | 24.0 | 202.0       | 83.0 | 119.0 | OH       | 2.425 | 438.1      | 7.3      | 16.6      | 0.74       |
| 6   | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 276.3      | “        | “         | “          |
| 7   | 霞ヶ浦(1)のヘドロ① | 4.0     | 56.0 | 40.0 | 228.0       | 79.0 | 149.0 | OH       | 2.404 | 502.5      | 6.5      | 10.1      | 0.83       |
| 8   | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 296.2      | “        | “         | “          |
| 9   | 霞ヶ浦(2)のヘドロ① | 5.0     | 66.0 | 29.0 | 120.0       | 52.8 | 67.2  | OH       | 2.598 | 208.0      | 5.1      | 5.5       | 0.57       |
| 10  | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 160.3      | “        | “         | “          |
| 11  | 有明海のヘドロ ①   | 0.5     | 71.5 | 28.0 | 181.0       | 56.9 | 124.1 | CH       | 2.600 | 238.8      | 7.3      | 5.7       | 0.15       |
| 12  | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 184.4      | “        | “         | “          |
| 13  | 松 江 の 粘 土   | 0.0     | 61.0 | 39.0 | 121.0       | 40.0 | 81.0  | CH       | 2.451 | 119.5      | 4.8      | 10.4      | 2.41       |
| 14  | 根本名川の粘土     | 17.0    | 42.0 | 41.0 | 108.0       | 47.0 | 61.0  | C'H      | 2.545 | 81.6       | 5.5      | 7.8       | 1.17       |
| 15  | 羽 田 沖 の 粘 土 | 0.0     | 56.0 | 44.0 | 130.0       | 52.0 | 78.0  | CH       | 2.608 | 140.9      | 8.1      | 9.7       | 0.04       |
| 16  | 東 京 湾 の 粘 土 | 13.0    | 63.0 | 24.0 | 94.0        | 39.0 | 55.0  | CH       | 2.713 | 107.1      | 8.0      | 4.8       | 0.07       |
| 17  | 大 洲 の 粘 土   | 9.0     | 55.0 | 35.0 | 66.0        | 30.0 | 36.0  | CH       | 2.714 | 55.8       | 5.9      | 4.3       | 0.41       |
| 18  | 横 浜 の 粘 土   | 28.0    | 36.0 | 36.0 | 70.0        | 29.0 | 41.0  | CH       | 2.619 | 55.1       | 9.0      | 8.2       | 0.07       |
| 19  | 掛保川の粘土①     | 25.0    | 48.0 | 27.0 | 83.0        | 33.0 | 50.0  | CH       | 2.555 | 126.4      | 7.7      | 5.7       | 0.66       |
| 20  | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 86.1       | “        | “         | “          |
| 21  | 多摩川の粘土      | 23.0    | 62.0 | 15.0 | 51.0        | 27.0 | 24.0  | CH       | 2.663 | 83.2       | 7.5      | 3.8       | 0.05       |
| 22  | 鶴見川の粘土      | 23.0    | 46.0 | 21.0 | 52.0        | 27.0 | 25.0  | CH       | 2.658 | 54.6       | 7.6      | 3.0       | 0.05       |
| 23  | 寺泊の粘土①      | 21.0    | 39.0 | 39.0 | 226.0       | 81.0 | 145.0 | OH       | 2.385 | 192.7      | 5.9      | 16.4      | 1.54       |
| 24  | “ ②         | “       | “    | “    | “           | “    | “     | “        | “     | 136.4      | “        | “         | “          |
| 25  | 白 根 の 粘 土   | 0.0     | 26.0 | 74.0 | 241.0       | 80.0 | 161.0 | OH       | 2.370 | 198.0      | 5.2      | 19.7      | 3.57       |
| 26  | 金 塚 の 粘 土   | 5.0     | 66.0 | 29.0 | 100.0       | 50.0 | 50.0  | C'H      | 2.551 | 90.9       | 5.0      | 8.7       | 1.80       |
| 27  | 燕 の 粘 土     | 7.0     | 60.0 | 33.0 | 83.0        | 38.0 | 45.0  | C'H      | 2.651 | 79.4       | 6.1      | 4.9       | 0.63       |
| 28  | 福島湾の粘土      | 0.0     | 33.0 | 67.0 | 99.0        | 50.0 | 49.0  | C'H      | 2.583 | 101.1      | 6.6      | 4.5       | 0.64       |
| 29  | 吉 田 の 粘 土   | 2.0     | 34.0 | 63.0 | 89.0        | 36.0 | 53.0  | CH       | 2.662 | 65.0       | 6.5      | 3.6       | 0.32       |
| 30  | 小ヶ谷の粘土      | 14.0    | 54.0 | 32.0 | 62.0        | 39.0 | 23.0  | C'H      | 2.615 | 49.7       | 5.3      | 3.4       | 0.43       |
| 31  | 旧岩船港の粘土     | 11.0    | 57.0 | 32.0 | 46.0        | 25.0 | 21.0  | CL       | 2.696 | 35.0       | 4.5      | 2.2       | 0.16       |
| 32  | 新 井 の 粘 土   | 18.0    | 41.0 | 41.0 | 61.0        | 30.0 | 31.0  | CH       | 2.626 | 43.9       | 5.5      | 3.1       | 0.12       |
| 33  | 新潟流通センターの粘土 | 46.0    | 34.0 | 20.0 | 51.0        | 24.0 | 27.0  | CH       | 2.680 | 32.6       | 5.2      | 2.0       | 0.10       |
| 34  | 米 山 の 粘 土   | 6.0     | 29.0 | 65.0 | 131.0       | 40.0 | 91.0  | CH       | 2.768 | 60.3       | 4.8      | 1.2       | 0.0        |
| 35  | 栃 尾 の 粘 土   | 3.0     | 52.0 | 45.0 | 84.0        | 36.0 | 48.0  | CH       | 2.722 | 49.7       | 5.5      | 0.5       | 0.0        |

c) 生石灰

d) NPCに乾燥重量比で1割の石膏を加えたもの(NPC+石膏とする)

e) 消石灰に乾燥重量比で2割の石膏を加えたもの(消石灰+石膏とする)

供試体の養生日数は各ケースとも1日、3日、7日、28日とし、土質改良効果の判定はフォール・コーン試験によって行った。

図-6.6～図-6.10に土質改良用添加材の種類別の実験結果を示す。図において、各プロットの右肩の数値が各試料のコーン貫入量を示している。

また、実線で示したラインは、一軸圧縮強さがほぼ $0.5 \text{ kgf/cm}^2$ に相当するコーン貫入量 $1.5 \text{ mm}$ のラインである。このラインによって、土質改良効果が期待できる領域と期待できない領域におおむね区分できる。これらの図から、土質改良用添加材の種類別には次のような特徴があることが明らかになった。

- ① NPCは、自然含水比が200%程度以下ではフミン酸含有量にかかわらず、また自然含水比が200%程度以上ではフミン酸含有量が1%程度以下の試料に対して土質改良効果が期待できる。
- ② 消石灰と生石灰の土質改良効果が期待できるのは、自然水比が300%程度以下で、しかもフミン酸をほとんど含まない試料に対してである。
- ③ NPCや消石灰に石膏を加えると、各々単独のものより強度の発現が大きくなり、土質改良効果の期待できる領域が広がる。

以上の結果から、改良後の強度が一軸圧縮強さで $0.5 \text{ kgf/cm}^2$ に相当するコーン貫入量 $1.5 \text{ mm}$ の境界線をもとに、自然含水比とフミン酸含有量に着目した土質区分として図-6.11が提案できる。図-6.11に示した各ゾーンは、今回の実験結果から判断すると、各種の土質改良添加材に対して表-6.2に示すような適用性をもっと考えられる。

#### 6.3.4 吸光光度法を用いたフミン酸含有量の簡易推定法

本研究では、前述の6.3.3で述べたようにフミン酸含有量と自然含水比に着目した土質改良効果判定法を提案した。これらの一連の研究の中では、フミン酸含有量の測定方法として、図-6.12に示すように、アルカリ溶液中での土の放置と酸による中和を繰り返す手順の土中からフミン酸を抽出してその乾燥重量を測定する方法を用いているが、この試験はやや複雑な手間を要するため、フミン酸含有量を知るうえで、より簡便な方法が望まれる。そこで、水質分析等に用いられている吸光光度法によるフミン酸含有量の簡易推定の可能性を検討した。

実験に用いた試料は、表-6.3に示すような25試料である。これらの試料について、従来どおりの方法でフミン酸含有量を求めるとともに、吸光光度法により、吸光度を調べて、両者の相関を求めた。

その結果、図-6.13に示すように、フミン酸含有量と吸光度の間に関わりがかなり良い相関があり、土質改良効果に影響を与えるフミン酸含有量の概略的な推定に吸光光度法がある程度利用できることが明らかになった。

#### 6.3.5 土質改良用添加材の効果判定のための標準試験法

市販されている数多くの土質改良用添加材の中から、対象土に適したものを選定しようとする場合、個々の土質改良用添加材がどのような特性をもち、各種の土質に対してどの程度の効果をもつかということがあらかじめわかっていると非常に便利である。そこで、各種の土質改良用添加材の特性なら

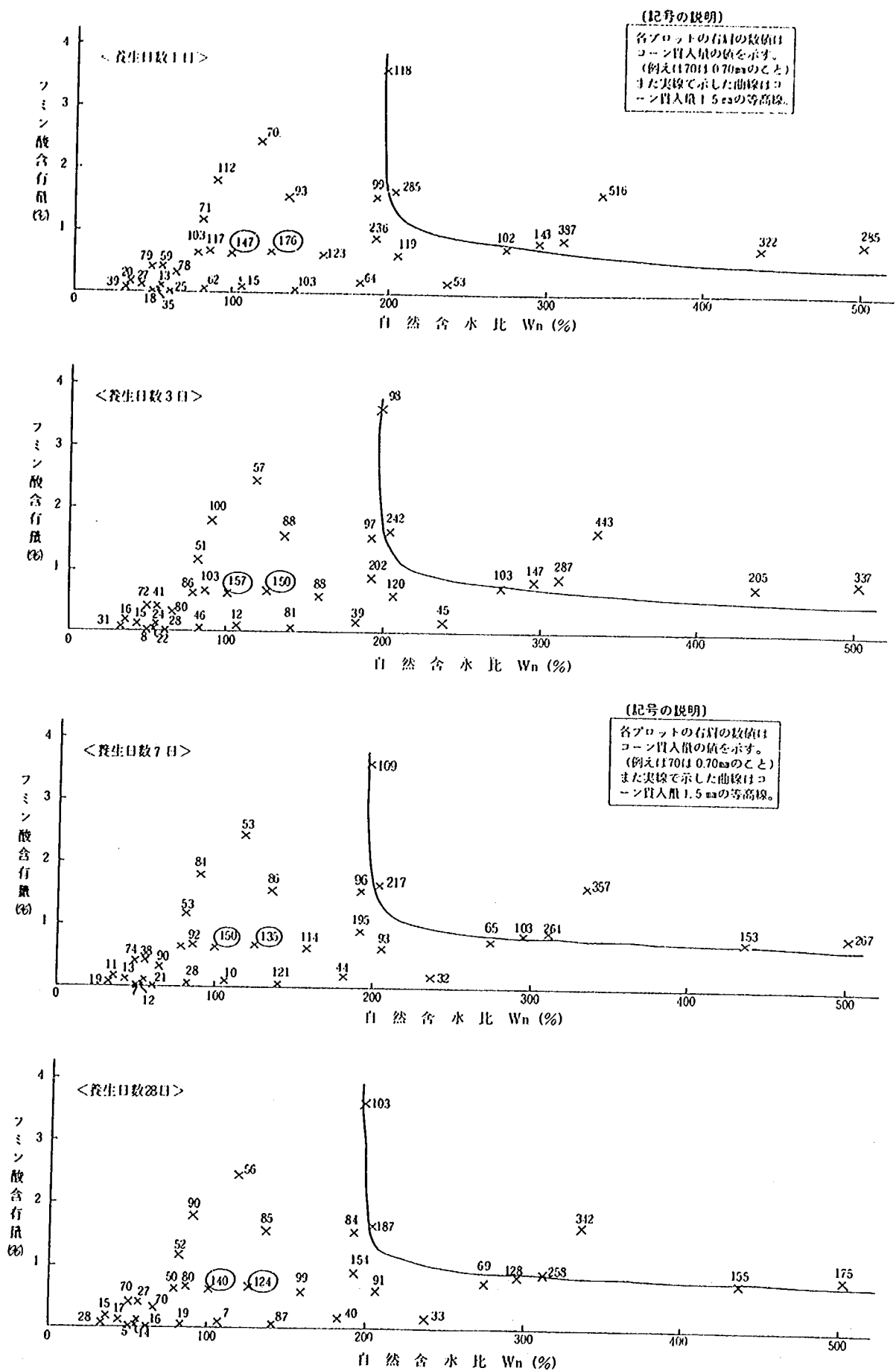


図-6.6 フォール・コーン試験結果 (NPCの場合)

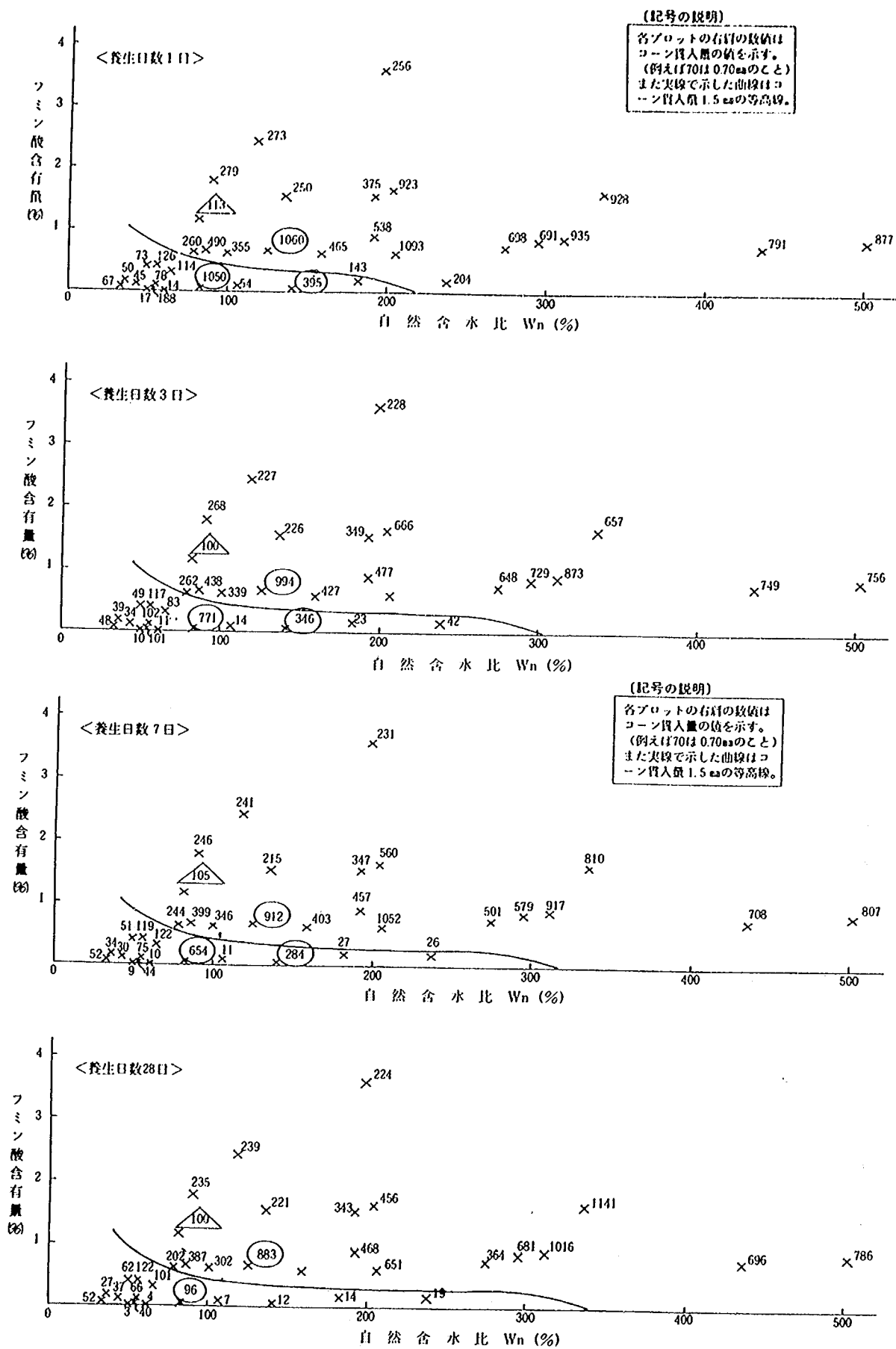


図-6.7 フォール・コーン試験結果(消石灰の場合)

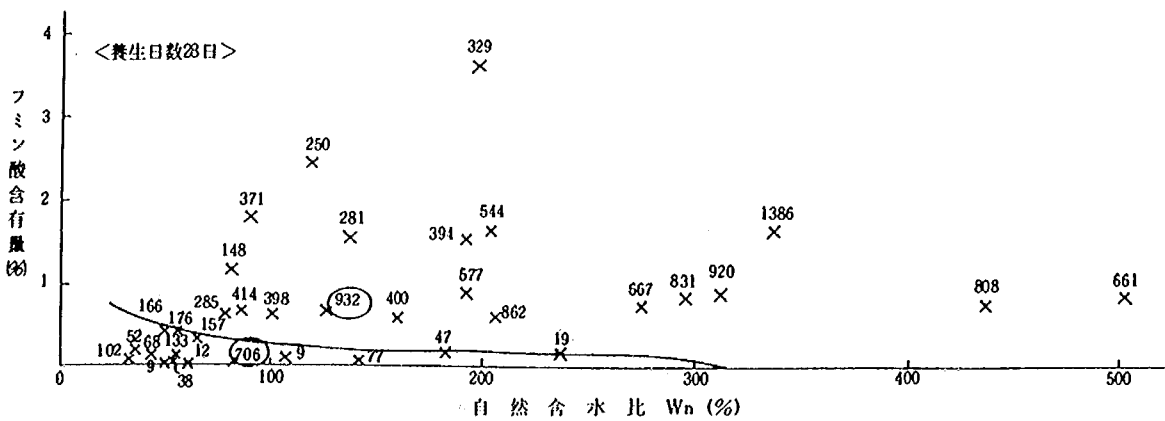
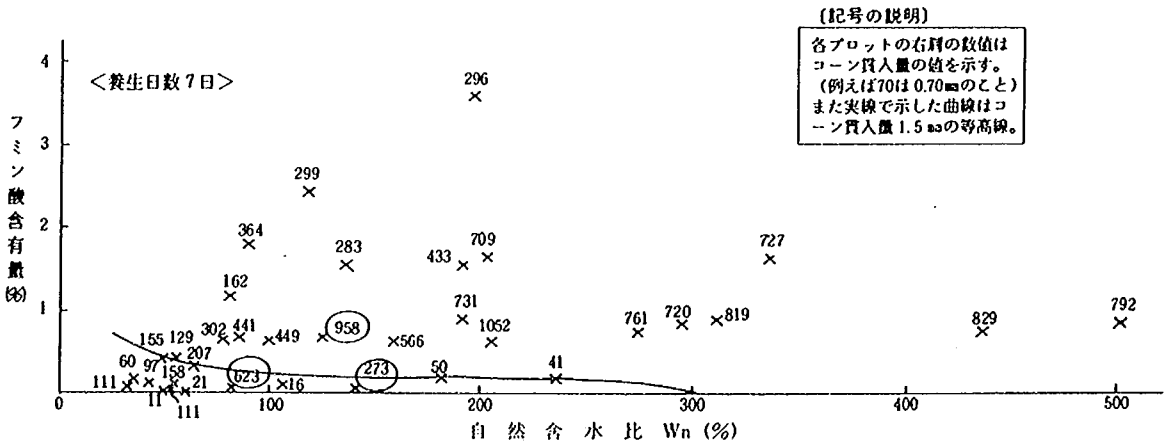
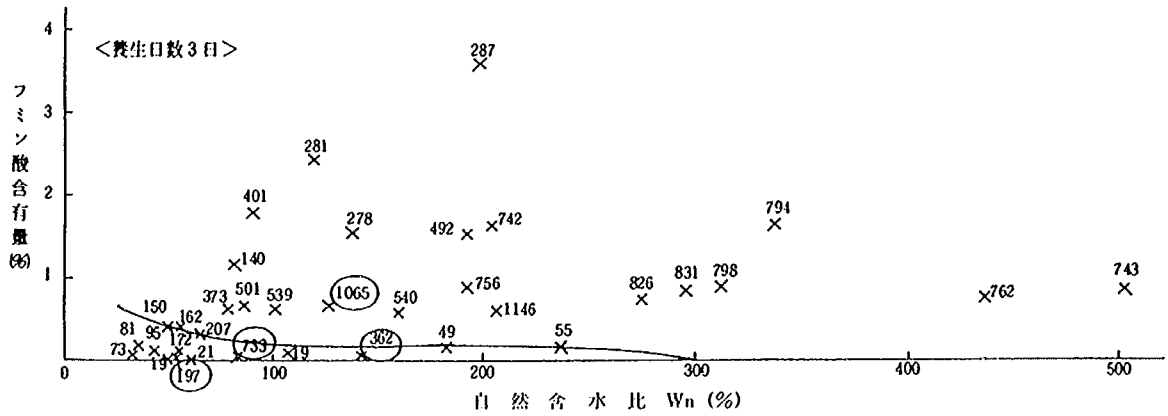
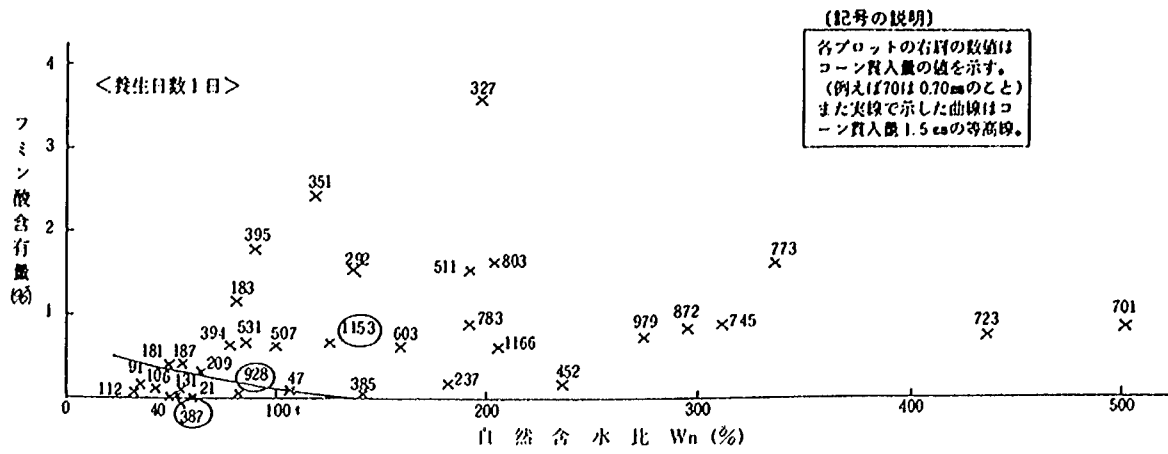


図-6.8 フォール・コーン試験結果 (生石灰の場合)

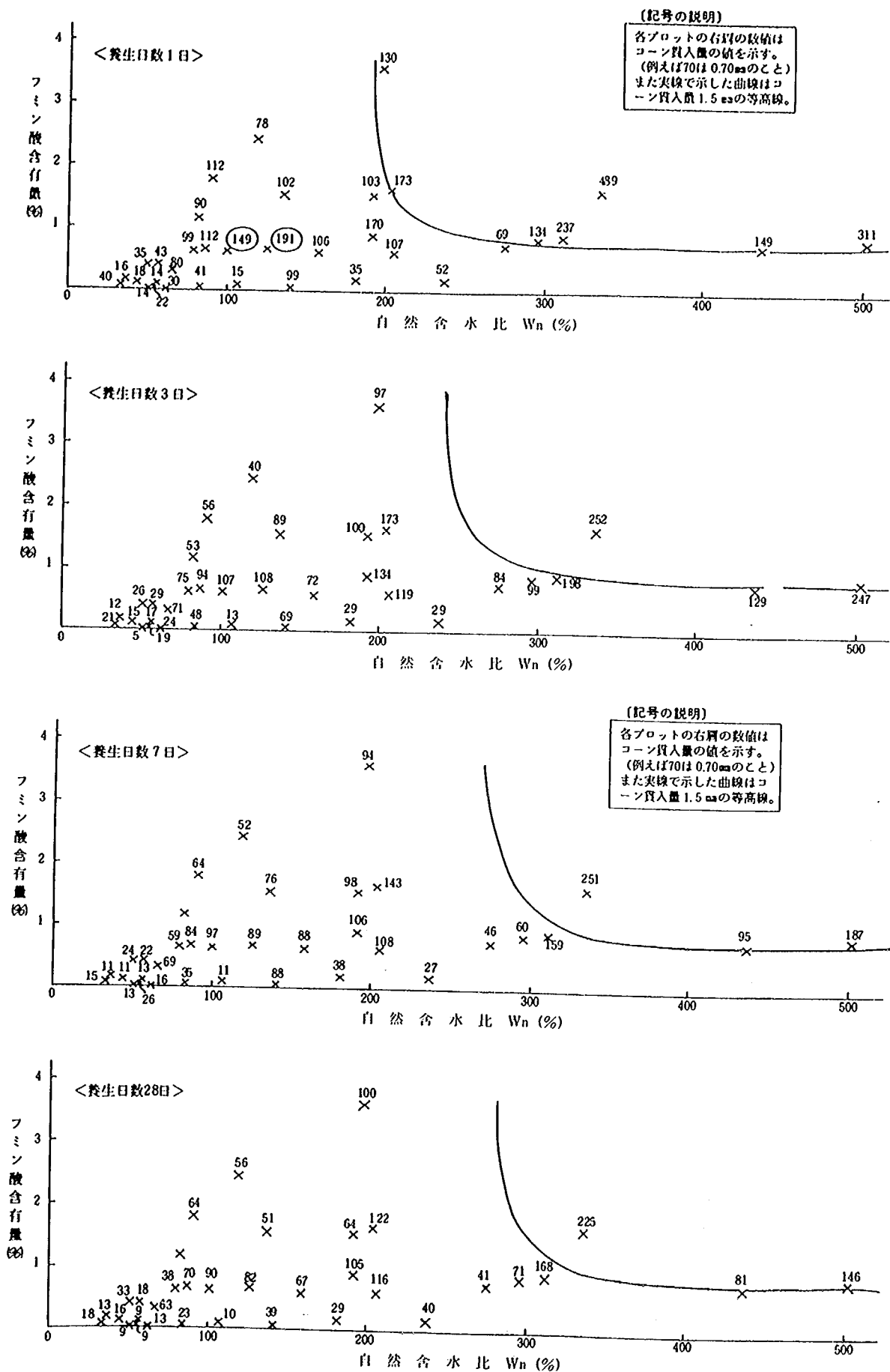


図-6.9 フォール・コーン試験結果(NPC+石膏(9:1)の場合)

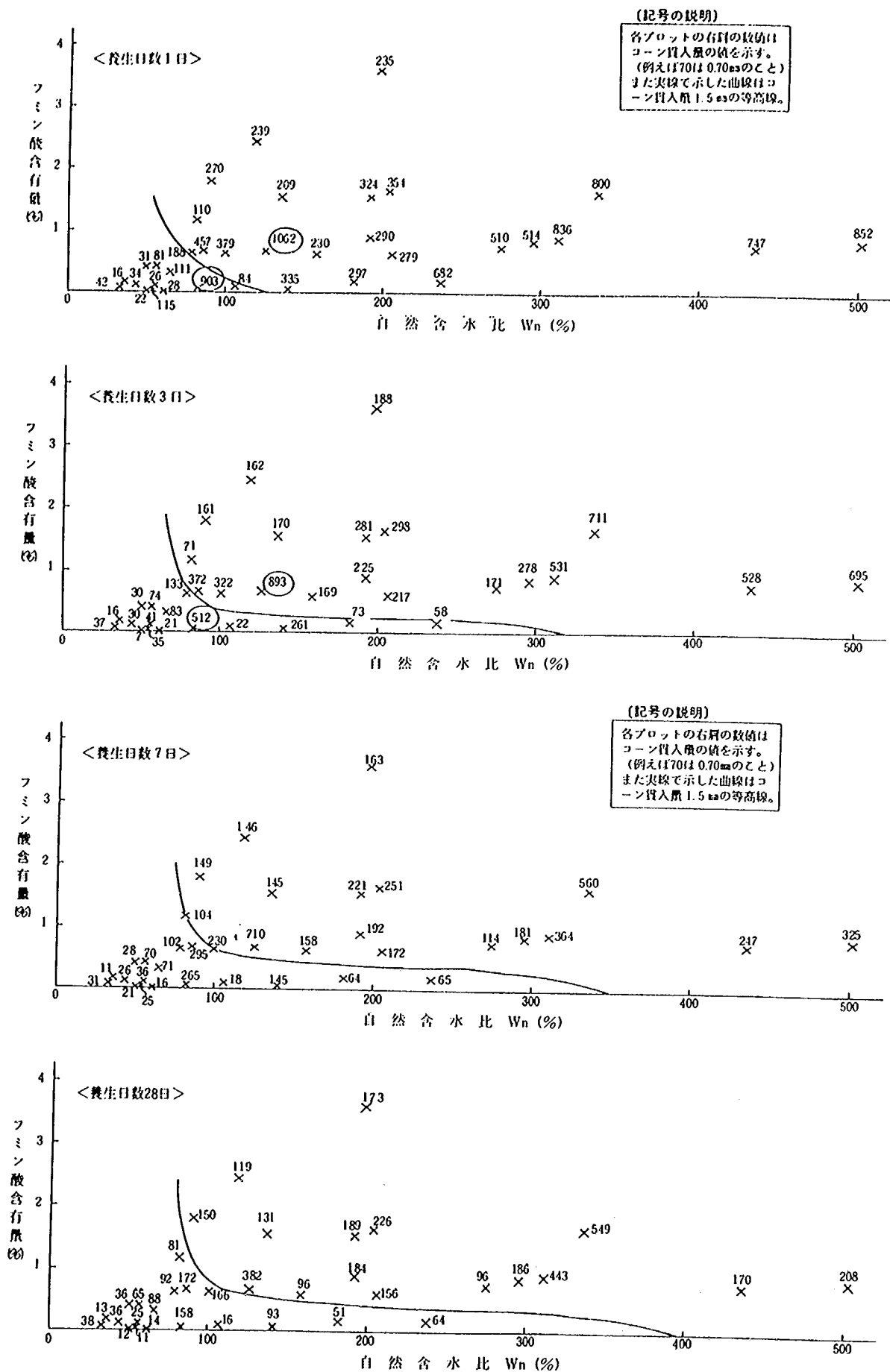


図-6.10 フォール・コーン試験結果 (消石灰+石膏 (8:2) の場合)

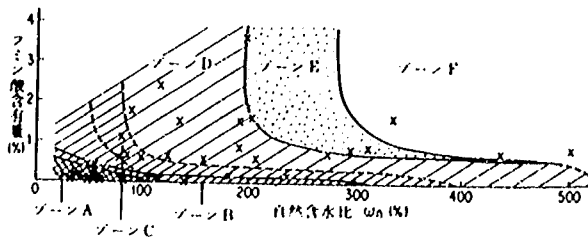


図-6.11 自然含水比とフミン酸含有量による土質区分

表-6.2 土質区分に応じた土質改良用添加材の適否

| 土質区分 | 土質改良用添加材の適否 |     |        |     |        |
|------|-------------|-----|--------|-----|--------|
|      | 消石灰         | 生石灰 | 消石灰+石膏 | NPC | NPC+石膏 |
| ゾーンA | ◎           | ◎   | ◎      | ◎   | ◎      |
| ゾーンB | ○           | ○   | ◎      | ◎   | ◎      |
| ゾーンC | ×           | ○   | ○      | ◎   | ◎      |
| ゾーンD | ×           | ×   | ×      | ◎   | ◎      |
| ゾーンE | ×           | ×   | ×      | ×   | ○      |
| ゾーンF | ×           | ×   | ×      | ×   | ×      |

<記号の説明>

- ◎ … 短期的にみても強度の発現がよいもの。
- … 短期的な強度の発現はそれほどよくないが、長期的には強度が発現するもの。
- ×

表-6.3 吸光度とフミン酸含有量一覧

| 試料名         | 吸光度<br>(A) | フミン酸<br>含有量<br>(%) |
|-------------|------------|--------------------|
| 1 不忍池 ①     | 0.743      | 1.62               |
| 2 " ②       | 0.705      | 0.89               |
| 3 " ③       | 0.636      | 0.74               |
| 4 霞ヶ浦       | 0.785      | 0.83               |
| 5 松江        | 1.374      | 2.41               |
| 6 根本名川      | 1.209      | 1.17               |
| 7 羽田沖       | 0.239      | 0.04               |
| 8 東京湾       | 0.173      | 0.07               |
| 9 大州        | 0.525      | 0.41               |
| 10 横浜       | 0.201      | 0.07               |
| 11 多摩川      | 0.153      | 0.05               |
| 12 鶴見川      | 0.035      | 0.05               |
| 13 寺泊       | 1.394      | 1.54               |
| 14 白根       | 2.810      | 3.57               |
| 15 金塚       | 1.051      | 1.80               |
| 16 燕        | 0.740      | 0.63               |
| 17 福島潟      | 0.630      | 0.64               |
| 18 吉田       | 0.396      | 0.32               |
| 19 小ヶ谷      | 0.641      | 0.43               |
| 20 旧岩船港     | 0.183      | 0.16               |
| 21 新井       | 0.310      | 0.12               |
| 22 新潟流通センター | 0.093      | 0.10               |
| 23 米山       | 0.036      | 0.0                |
| 24 栃尾       | 0.006      | 0.0                |

※ フミン酸含有量は重量比による方法で求めた値

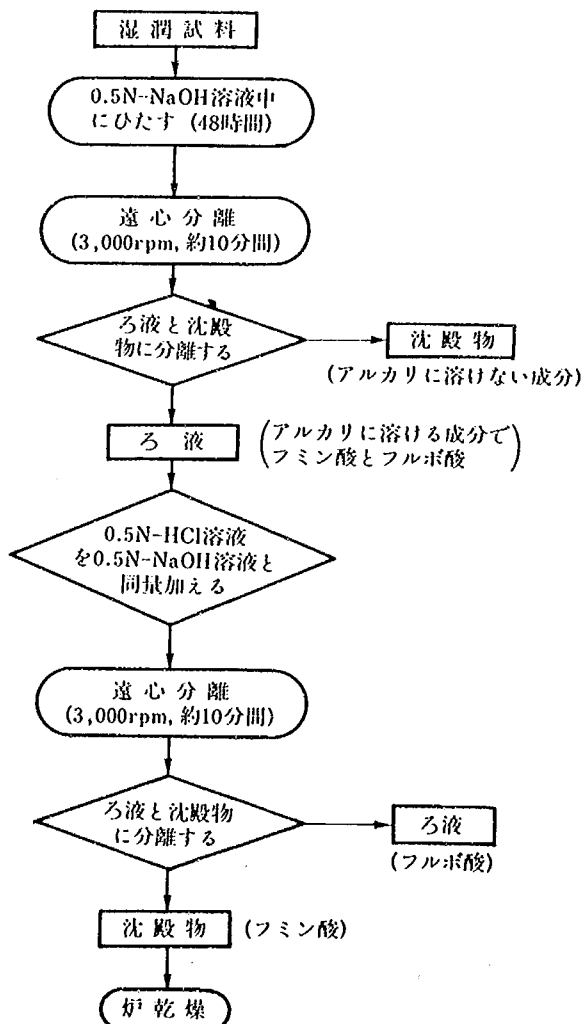


図-6.12 土中のフミン酸の抽出方法

表-6.4 土質改良用添加材の分類と適用土質

| タイプ | 養生日数3日におけるコーン貫入<br>1.5 mmの等高線の位置 | 特 徴                        | 適 用 土 質 |      |      |      |      |      |
|-----|----------------------------------|----------------------------|---------|------|------|------|------|------|
|     |                                  |                            | ゾーンA    | ゾーンB | ゾーンC | ゾーンD | ゾーンE | ゾーンF |
| I   | 付図-1のAラインを横切るか、<br>Aラインより左にくるもの。 | 石灰に近い性質をもつ                 | ◎       | ○    | ○    | ×    | ×    | ×    |
| II  | 付図-1のBラインを横切るもの。                 | 石灰とセメントの中間的<br>な性質をもつ      | ◎       | ◎    | ○    | ○    | ×    | ×    |
| III | 付図-1のCラインを横切るか、<br>これに近いもの。      | 普通ポルトランドセメン<br>トに近い性質をもつ   | ◎       | ◎    | ◎    | ◎    | ×    | ×    |
| IV  | 付図-1のCラインよりはるかに<br>右にくるもの。       | 普通ポルトランドセメン<br>トより改良効果が大い。 | ◎       | ◎    | ◎    | ◎    | ○    | ○    |

◎ …短期的にみても強度の発現がよいもの。

○ …短期的な強度の発現はそれほどよくないが、長期的には強度が発現するもの。

× …長期的にみてもそれほど強度の発現がよくないもの。

表-6.5 含水比に応じたベント  
ナイトとカオリンの混  
合割合

| 含水比(%)      | 100     | 250 | 350 |
|-------------|---------|-----|-----|
| ベントナイト：カオリン | 1.5：8.5 | 6：4 | 9：1 |

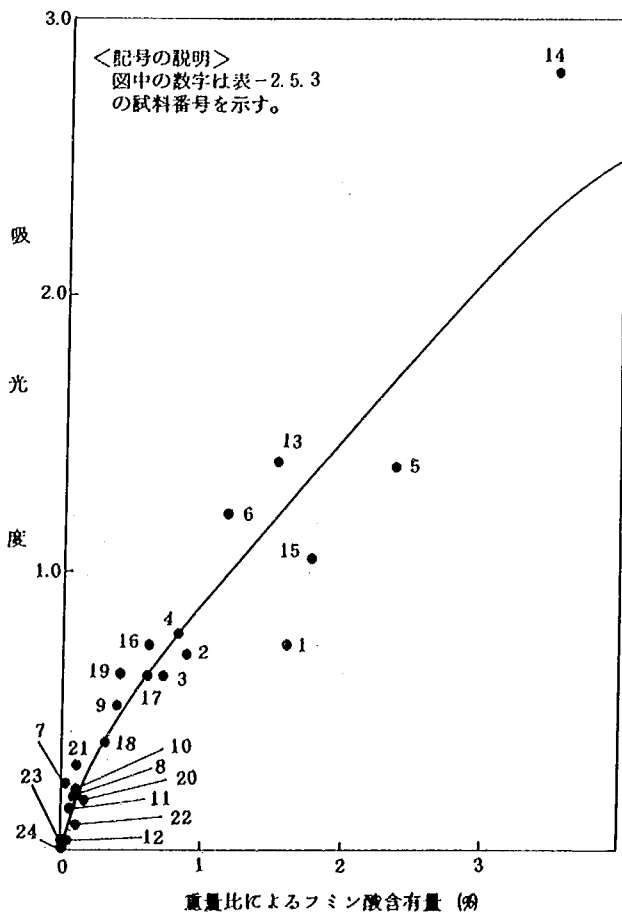
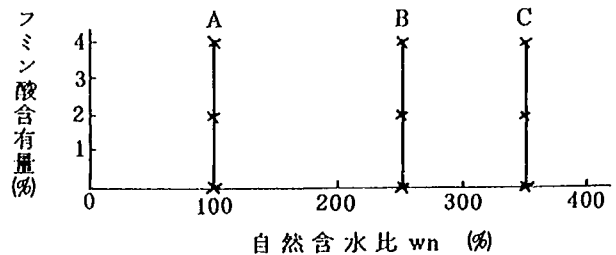
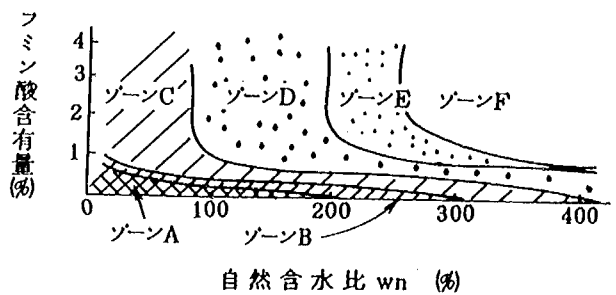


図-6.13 吸光度とフミン酸含有量の関係



付図-1 ラインA, B, Cの説明



付図-2 自然含水比とフミン酸  
含有量による土質区分

びに効果を判定するための標準試験法の検討を行った。

ベントナイト、カオリン、市販のフミン酸を用いて作製した人工試料に対して、各種の土質改良用添加材の効果を調べる土質改良実験を行った結果、土質改良用添加材は表－6.4に示すような4つのタイプに分類できる可能性のあることが明らかになった。

そして、土質改良用添加材の分類のための標準試験法としては、次の方法が提案できる。

#### (1) 使用材料

- i) ベントナイト……………クニゲルV 1
- ii) カオリン……………NNタイプ
- iii) フミン酸……………ニトロフミン酸( $\text{CH}-\text{O}_2(\text{S})$ ) から再度フミン酸を抽出したもの

#### (2) 標準試料の作製

ベントナイト、カオリン、フミン酸の混合割合を変えて表－6.4の付図－1に示すような9ケースの標準試料を作成する。このとき、ベントナイトカオリンの混合割合は、含水比に応じて表－6.5のとおりとする。

#### (3) 試験方法

試験は、次の手順にしたがって行う。

- a) 判定した土質改良用添加材の添加量は $80\text{kg}/\text{m}^3$ とする。
- b) 養生は、密閉した状態で3日間行う。
- c) 改良強度の判定は、フォール・コーン試験によって行う。

### 6.3.6 下水汚泥焼却灰、石炭灰、排脱石膏等を利用した土質改良用添加材

フミン酸を多く含む土に対してどのような土質改良用添加材が効果的かを検討するための1つの試みとして、図－6.14に示すような各種の土質改良用添加材を用いて6.3.1で述べた方法と同様の土質改良実験を行った。

その結果を図－6.15に示す。これより、NPCと消石灰の各々に適量の石膏を加えたり、下水汚泥焼却灰に生石灰と石膏を加えて化学組成を調整することによって、土中のフミン酸がある程度含まれていても比較的高い土質改良効果の得られることが明らかになった。

## 6.4 ま と め

河川や湖沼あるいは港湾などに堆積しているへどろに代表されるような不良土（高有機質土）の処理技術の開発の一環として、土中のフミン酸が土質改良効果に及ぼす影響を明らかにするとともに、土の自然含水比とフミン酸含有量に着目した簡易土質判別分類手法ならびにその土質区分にもとづく土質改良用添加材の効果判定法を提案した。また、フォール・コーン試験を用いた土質改良効果の簡易判定法、吸光光度法を用いたフミン酸含有量の簡易測定法を新たに開発するとともに、土質改良用添加材の効果判定のための標準試験法についても提案を試みた。

ただし、土の自然含水比とフミン酸含有量に着目した簡易土質判別分類手法の適用性については、現場における実績等をふまえて今後さらに検討を加えていく必要があると考えられる。また、土中のフミン酸含有量の簡易測定法ならびに土質改良用添加材の効果判定のための標準試験法についても、より一層合理的な手法の開発が望まれる。

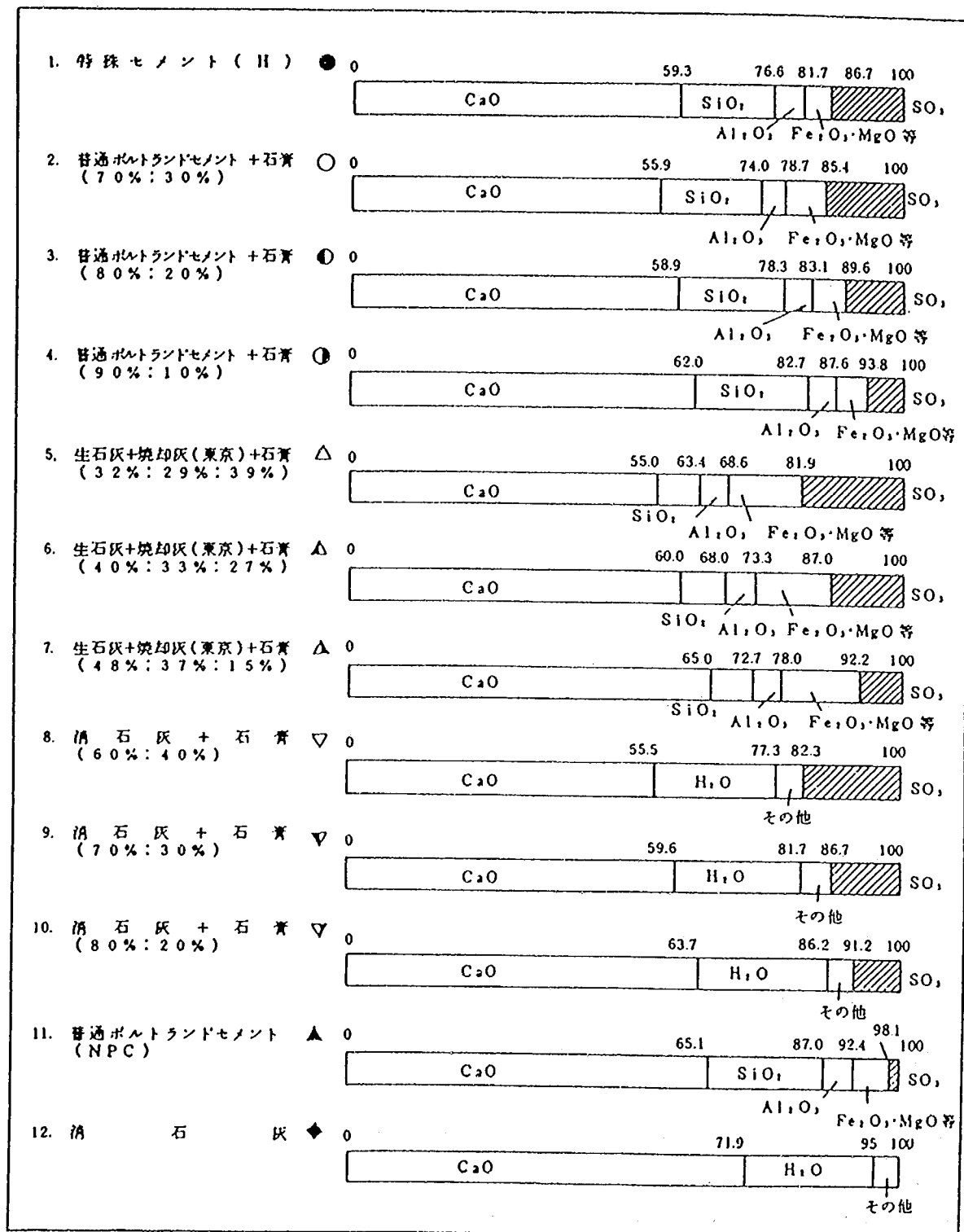


図-6.14 実験に使用した土質改良用添加材の種類と化学組成

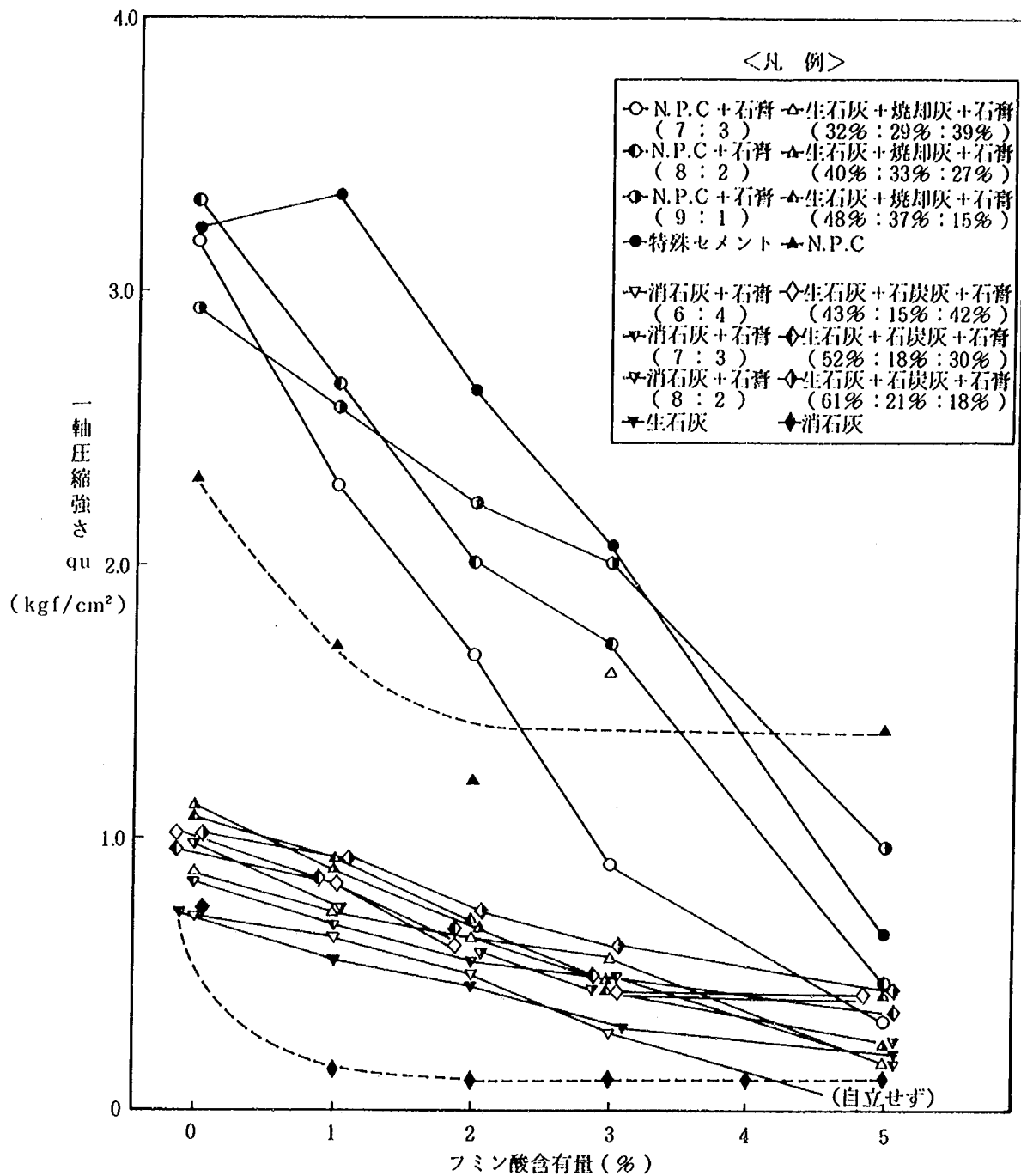


図-6.15 一軸圧縮試験結果

〔 フミン酸を添加したカオリン粘土  
改良材添加量 = 5%  
養生期間 = 7日 〕

## 7. 下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性

### 7.1 研究目的

本研究は、下水汚泥焼却灰を対象に、盛土材及び埋戻し材、土質改良用添加材への利用可能性を検討することを目的に実施したものである。

下水汚泥焼却灰は、脱水ケーキを約800℃前後で焼却処理した残滓であり、ケイ素(Si)、カルシウム(Ca)、鉄(Fe)、アルミニウム(Al)の酸化物などからなる。下水汚泥焼却灰は脱水時に用いる調質材により、石灰系と高分子系に大きく分類される。前者は調質材として主に消石灰、塩化第二鉄を、後者は高分子凝集剤を用いたものである。

### 7.2 研究内容

本研究は、昭和57年度から昭和60年度までの4ケ年にわたって下記のとおり実施した。

- (1) 昭和57年度において、下水汚泥焼却灰を土工材料として利用する際に必要となる基本的性質(物理的、化学的、力学的な性質)を既存資料より整理し、取りまとめた。石灰系焼却灰は、生石灰の水硬作用による強度効果が期待できることから、盛土や埋戻し材、土質改良用添加材としての利用可能性が高いことが明らかとなった。

また、下水汚泥焼却灰を使用したときの安全性を確認するため、溶出試験を合わせて行った。その結果、総ての項目において「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令」(総令5号)で定める判定基準を下回ることが確められた。

- (2) 昭和58～60年度においては、上記の結果を受け、下水汚泥焼却灰を盛土材及び埋戻し材、土質改良用添加材として用いた試験施工及びその追跡調査を3箇所で行い、その強度、施工性及び安全性を確認した。

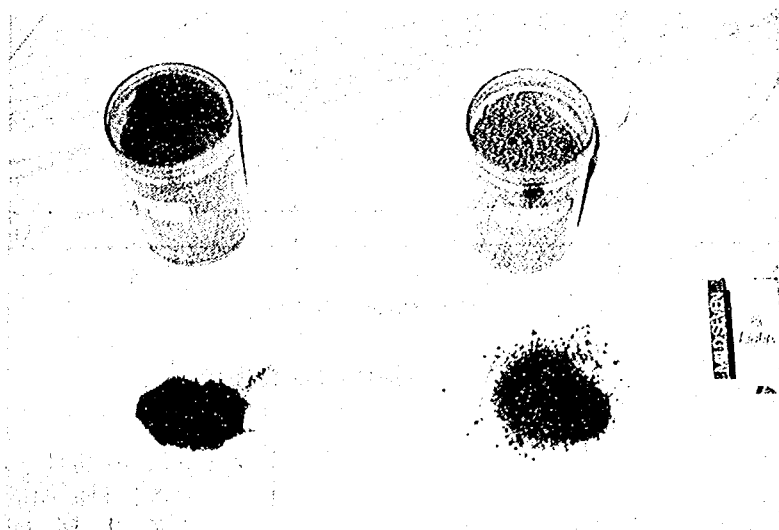


図-7.1 下水汚泥焼却灰

表-7.1 下水汚泥焼却灰の化学的成分及び物理的性状一覧

| No | 種 類      | pH<br>試 験 | 強熱減量<br>Li<br>(%) | 酸化<br>第二鉄分<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 酸化<br>第一鉄分<br>FeO | 酸化<br>けい素<br>SiO <sub>2</sub> | 酸化<br>アルミ<br>ニウム<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 生石灰<br>CaO | 酸化<br>マグネ<br>シウム<br>MgO | マンガン<br>MnO | 酸化<br>チタン<br>TiO <sub>2</sub> | りん酸<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 含水比<br>We(%) | 比 重<br>Gs | 粒 度 分 析 |      |          |      |      |      | 三角座<br>標によ<br>る分類 |
|----|----------|-----------|-------------------|----------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------|---------|------|----------|------|------|------|-------------------|
|    |          |           |                   |                                              |                   |                               |                                                    |            |                         |             |                               |                                      |              |           | 礫分      | 砂分   | シルト<br>分 | 粘土分  | P74  | Uc   |                   |
| ①  | 石灰系      |           |                   |                                              |                   |                               |                                                    |            |                         |             |                               |                                      | —            | 3.050     | 14      | 74   | (10)     | (2)  | 12.0 | —    | 砂                 |
| ②  | "        |           |                   |                                              |                   |                               |                                                    |            |                         |             |                               |                                      | (加水)         | 2.764     | 66      | 29.5 | (4.5)    | (0)  | 4.5  | 10.2 | 砂                 |
| ③  | "        |           |                   |                                              |                   |                               |                                                    |            |                         |             |                               |                                      | —            | 2.816     | 0       | 2.5  | 75.5     | 22   | 97.5 | 41.0 | シルト質<br>粘土<br>ローム |
| ④  | "        |           |                   | 12.2                                         |                   | 31.9                          | 9.3                                                | 32.9       | 0.1                     |             |                               | 4.9                                  | (水30%<br>添加) | 3.000     | 63      | 29   | (7)      | (1)  | 8.0  | 15.6 | 砂                 |
| ⑤  | "        |           | 0.9               | 15.50                                        |                   | 30.06                         | 11.06                                              | 29.96      | 0.45                    |             |                               |                                      | —            | 2.958     | 7       | 63   | (2.5)    | (5)  | 32.0 | —    | 砂質<br>ローム         |
| ⑥  | "        |           | 9.27              |                                              | 17.48             | 24.05                         | 9.64                                               | 24.98      |                         | 0.09        | 0                             | 6.00                                 | —            | 2.756     | 0       | 7    | 80.5     | 12.5 | 93.4 | 2.1  | シルト質<br>ローム       |
| ⑦  | "        |           | 9.72              |                                              | 12.56             | 27.88                         | 5.12                                               | 28.65      |                         | 0.33        | 0                             | 2.9                                  | —            | 2.860     | 0       | 16.5 | 80.5     | 3    | 83.5 | 4.7  | シルト質<br>ローム       |
| ⑧  | "        |           |                   |                                              |                   |                               |                                                    |            |                         |             |                               |                                      | —            | 2.882     | 0       | 16.5 | 81.5     | 2    | 83.8 | 6.7  | シルト質<br>ローム       |
| ⑨  | "        |           |                   | 9.6                                          |                   | 30.2                          | 17.5                                               | 30.0       | 2.6                     |             |                               |                                      | —            | 2.970     | 5       | 71.0 | (18)     | (6)  | 25.0 | —    | 砂質<br>ローム         |
| ⑩  | "        | 12.46     | 6.9               |                                              | 11.44             | 32.94                         | 11.23                                              | 15.19      | 8.94                    | 0.14        | 0.64                          | 4.34                                 | 0.3          | 3.725     | 1       | 40   | 46       | 13   | 57.0 | —    | ローム               |
| ⑪  | "        | 11.19     | 2.3               |                                              | 11.00             | 14.31                         | 8.89                                               | 29.39      | 5.54                    | 0.15        | 0.66                          | 5.48                                 | 37.1         | 3.219     | 0       | 96   | (5)      | (0)  | 4.0  | 3.3  | 砂                 |
| ⑫  | "        | 10.59     | 6.4               |                                              | 8.88              | 24.74                         | 10.01                                              | 27.86      | 5.67                    | 0.40        | 0.58                          | 6.16                                 | 0.4          | 3.080     | 0       | 7.5  | 79.5     | 13   | 93.0 | 3.3  | シルト質<br>ローム       |
| ⑬  | 高分子<br>系 | 7.61      | 5.6               |                                              |                   |                               |                                                    |            |                         |             |                               |                                      | 0.4          | 2.517     | 0       | 83   | (9)      | (8)  | 12.0 | 37.0 | 砂                 |
| ⑭  | "        | 8.71      | 1.2               |                                              | 6.79              | 50.24                         | 12.12                                              | 4.48       | 12.96                   | 0.05        | 0.65                          | 5.81                                 | 6.7          | 2.739     | 0       | 24   | 65       | 11   | 76.0 | 11.2 | シルト質<br>ローム       |
| ⑮  | "        |           | 1.10              | 15.54                                        |                   | 41.07                         | 18.83                                              | 4.52       | 2.13                    |             | 0.68                          | 12.48                                |              |           |         |      |          |      |      |      |                   |
| ⑯  | "        |           | 2.67              | 11.75                                        | 2.09              | 39.55                         | 16.41                                              | 8.36       | 2.46                    |             |                               | 10.10                                |              |           |         |      |          |      |      |      |                   |

( ): 推定値 P74: 74μフルイ通過率 Uc=Deo/D10

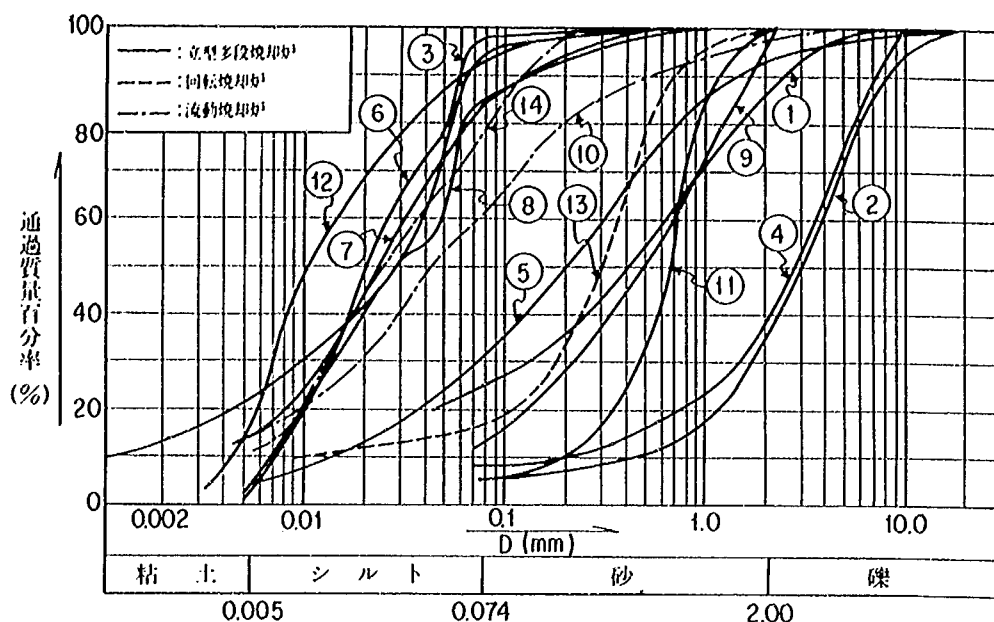


図-7.2 下水污泥焼却灰の粒度測定例

## 7.3 研究成果

### 7.3.1 下水污泥焼却灰の基本的性質

石灰系焼却灰12種類、高分子系焼却灰4種類、計16種類の下水污泥焼却灰の物理的、化学的、力学的性能を既存資料より整理した。

焼却灰の化学成分及び物理的性状を表-7.1に示す。脱水時の調質材の影響を受けて、石灰系焼却灰では石灰の含有量が20～30%となっているのに対して、高分子系では数%となっている。

下水污泥焼却灰の粒度の測定例を図-7.2に示す。焼却灰は礫分を主体とするものから、砂、シルトを主体とするものまで変化に富んだものである。粒度組成がばらつく原因としては、焼却方式の違い及び焼却後の加水又は保存による団粒化が考えられる。

強度面では、石灰が多量に含まれる石灰系焼却灰においては、石灰の作用により締固め後相当の強度増加が期待できる。図-7.3は一軸圧縮強さ測定例を示したものである。石灰系焼却灰であれば、締固め後の自硬性による相当の強度が期待できる。強度増加が一様でないのは、石灰の含有量の違いの他、加水の時期及びその量などが影響していると考えられる。

下水污泥焼却灰の真比重は、表-7.1に示すように2.5以上となっているが、締固め後の乾燥密度は1 g/cm<sup>3</sup>程度(図-7.4)と通常の土と比べると軽量である。このことから、軟弱地盤上の高盛土や橋台、擁壁などの裏込材料としても有利である。

また、石灰系焼却灰に含まれている生石灰の効果を考慮すれば、土質改良用添加材としての利用も可能である。

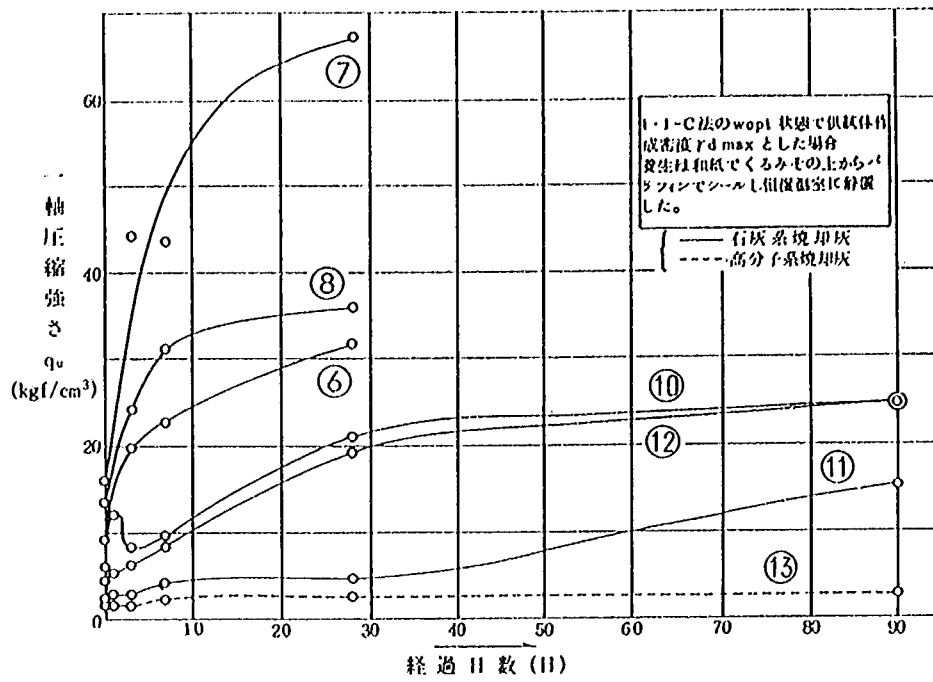


図-7.3 下水汚泥焼却灰の一軸圧縮強さ

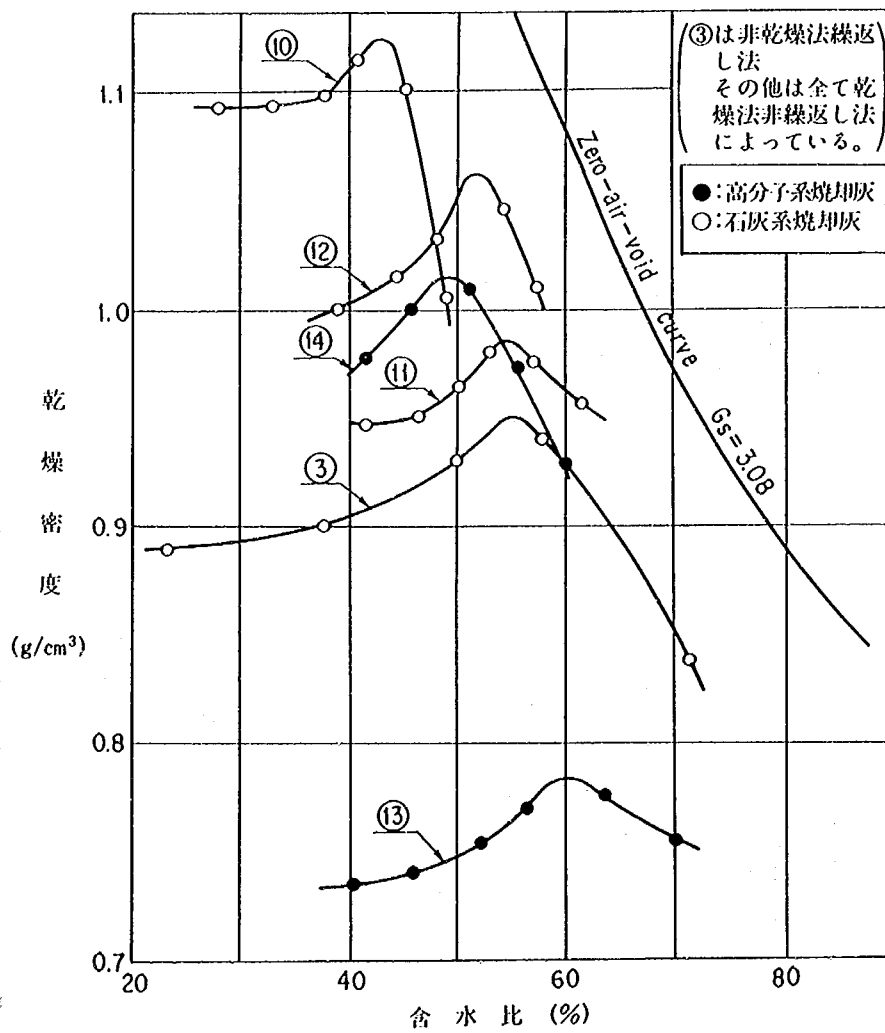


図-7.4 焼却灰の締固め曲線図

### (1) 試験施工の内容

表-7.2 試験施工の概要

- 150 -

表- 7. 3 埋戻し(II)に用いた材料一覧

| No. | 工区名  | 名 称           | 埋 戻 し 材 料                                                                                                                               | 備 考                    |
|-----|------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1   | a 工区 | 下水汚泥<br>焼却灰工区 | 北二灰 (石灰系)                                                                                                                               | 横浜市北部第二下水処理場           |
| 2   | b 工区 | "             | 金沢灰 (高分子系)                                                                                                                              | 横浜市金沢区焼却施設             |
| 3   | c 工区 | "             | 上部50cm：北二灰，下部50cm：金沢灰                                                                                                                   |                        |
| 4   | d 工区 | "             | 北二灰：金沢灰=50%：50%                                                                                                                         | (プラント混合)               |
| 5   | e 工区 | 山 砂 工 区       | 良質土 (山砂)                                                                                                                                | 横浜市金沢区釜利谷              |
| ※ 1 |      |               |                                                                                                                                         |                        |
| 6   | f 工区 | 改良土工区         | 掘削残土+土質改良用添加材<br>生石灰：10kgf/m <sup>3</sup><br>特殊セメント：50kgf/m <sup>3</sup>                                                                | 不良質残土：横浜市内発生<br>特殊セメント |
| ※ 2 |      |               |                                                                                                                                         |                        |
| 7   | g 工区 | 改良土工区         | 掘削残土 (1 m <sup>3</sup> ) + 北二灰 (0.2m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )<br>+ 補助改良材 (30kgf/m <sup>3</sup> )<br>生石灰，北二灰，廃脱石膏<br>4.5 : 2.5 : 3 | 廃脱石膏：火力発電所             |
| ※ 2 |      |               |                                                                                                                                         |                        |
| 8   | h 工区 | 改良土工区         | 掘削残土 (1 m <sup>3</sup> ) + 金沢灰 (0.3m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )<br>+ 補助改良材 (50kgf/m <sup>3</sup> )<br>生石灰，金沢灰，廃脱石膏<br>5 : 2 : 3     |                        |
| 9   | i 工区 | 発生土工区         | 普通土砂 (現地発生土)                                                                                                                            |                        |

※ 1 横浜市内で一般に使用されている改良土

※ 2 配合割合の決定は，建設省土木研究所でおこなった。

$\text{CaO} : \left( \frac{\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}} \right) \text{等} : \text{SO}_3 = 59 : 28 : 13$

盛土，埋戻し(II)においては，重金属の溶出の有無を調査するため，浸透水を採取するための集水ますを設けた。さらに，埋戻し(II)では，埋戻し部の沈下量を測定するため，床付け面，管天場より10 cm上，埋戻し土部の中間にスクリー式の沈下計を設置した。

盛土は，施工後2年経過した時点で，P S地震探査を実施したのち，ブルドーザーで撤去した。

施工時の転圧方法等を表- 7. 2中に示す。

## (2) 試験施工材料

盛土，埋戻し(I)に用いた石灰系焼却灰及び埋戻し(II)に用いた材料の性状試験結果を表- 7. 4に示す。

盛土，埋戻し(I)に用いた下水汚泥焼却灰はストーカ炉において焼却されたもので砂分(74  $\mu\text{m}$  ~ 2 mm)，礫分の占める割合が約9割を占めている。一方，埋戻し(II)に用いたものは，流動炉によるもので礫分(2 mm以上)を含まず，細粒である。特に，高分子系焼却灰は砂分が20%以下と少なく，大部分がシルト分(74  $\mu\text{m}$ )以下の粒子径となっている。なお，生石灰含有量は，カルシウム分を測定し生石灰に換算したものである。

表-7.4 試験施工に使用した材料性状

| 区 分<br>項 目                   |                                  | 盛土、埋戻し(Ⅰ)                         | 埋 戻 し (Ⅱ)                                      |                            |       |       |               |               |       |       |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|---------------|---------------|-------|-------|
|                              |                                  | 焼 却 灰<br>(石 灰 系)                  | a                                              | b                          | d     | e     | f             | g             | h     | i     |
|                              |                                  | 焼却灰<br>(石灰系)                      | 焼却灰<br>(高分子系)                                  | 焼却灰<br>混合<br>(石灰系<br>高分子系) | 山 砂   | 改良土   | 改良土<br>(含焼却灰) | 改良土<br>(含焼却灰) | 発生土   |       |
| pH試験                         |                                  | -----                             | 12.6                                           | 8.6                        | ----- | ----- | -----         | -----         | ----- |       |
| 強熱減量 (%)                     |                                  | -----                             | 17.0                                           | 2.0                        | ----- | ----- | -----         | -----         | ----- |       |
| 含水比 (%)                      |                                  | 55.3                              | 48.5                                           | 35.3                       | 38.7  | 18.3  | 36.7          | 33.2          | 24.8  | 12.3  |
| 土粒子の比重                       |                                  | 2.981                             | 2.859                                          | 2.685                      | 2.760 | 2.748 | 2.786         | 2.819         | 2.818 | 2.763 |
| 粒 度                          | 2 mm以上                           | 39.9                              | 0                                              | 0                          | 0     | 1.8   | 31.8          | 30.0          | 41.2  | 39.4  |
|                              | 74 $\mu$ m ~ 2 mm                | 48.8                              | 52.6                                           | 14.3                       | 20.3  | 60.7  | 36.0          | 38.1          | 37.0  | 49.6  |
|                              | 74 $\mu$ m以下                     | 11.3                              | 47.4                                           | 85.7                       | 79.7  | 37.5  | 32.2          | 31.9          | 21.8  | 11.0  |
|                              | 土質分類                             |                                   | S F                                            | F                          | F     | S F   | S F           | S F           | S F   | S - F |
|                              | 土質名                              | 砂                                 | 砂質土                                            | 細粒土                        | 細粒土   | 砂質土   | 砂質土           | 砂質土           | 砂質土   | 細粒混り砂 |
| 塑性指数                         |                                  | N P                               | N P                                            | N P                        | N P   | N P   | N P           | N P           | N P   | N P   |
| 突 固 め                        | OMC                              | 52.0                              | 59.4                                           | 44.3                       | 41.2  | 18.1  | 28.5          | 28.6          | 22.9  | 12.9  |
|                              | $\gamma_d$ max g/cm <sup>3</sup> | 1.052                             | 0.976                                          | 1.070                      | 1.125 | 1.759 | 1.476         | 1.462         | 1.561 | 1.946 |
| 修正 C B R                     |                                  | 64.0                              | 89.0                                           | 13.6                       | 25.5  | 44.4  | 10.2*         | 29.3          | 64.0  | 75.3  |
| 材料形式<br>加水時期<br>石灰含有量(CaO換算) |                                  | ストーカ <sup>i</sup><br>加水後保管<br>35% | 流 動 材 <sup>i</sup><br>施工日に加水<br>石灰系29%、高分子系10% |                            |       |       |               |               |       |       |

## (3) 試験施工結果

これら試験施工の結果から、下記に示すような知見が得られた。

## i) 強度面の評価

盛土体の土研貫入試験結果及び現場 C B R 試験結果を図-7.5, 7.6に、埋戻しI)の平板載荷試験結果及び路面のたわみ量を図-7.7, 表-7.5に埋戻しII)の施工管理試験結果及び沈下量を表-7.6, 7.7に示す。

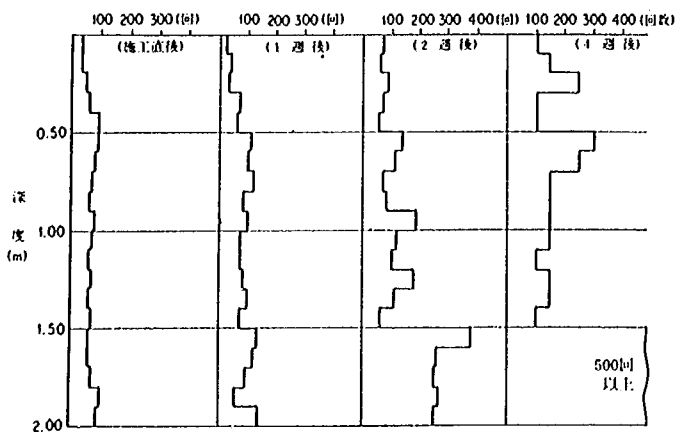
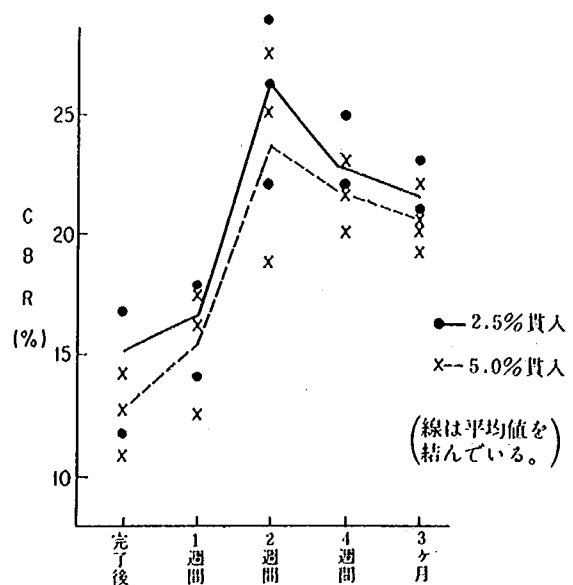
図-7.5 経時的な土研式貫入試験の深度  
- 打撃回数の変化

図-7.6 現場 C B R の経時変化 (盛土)

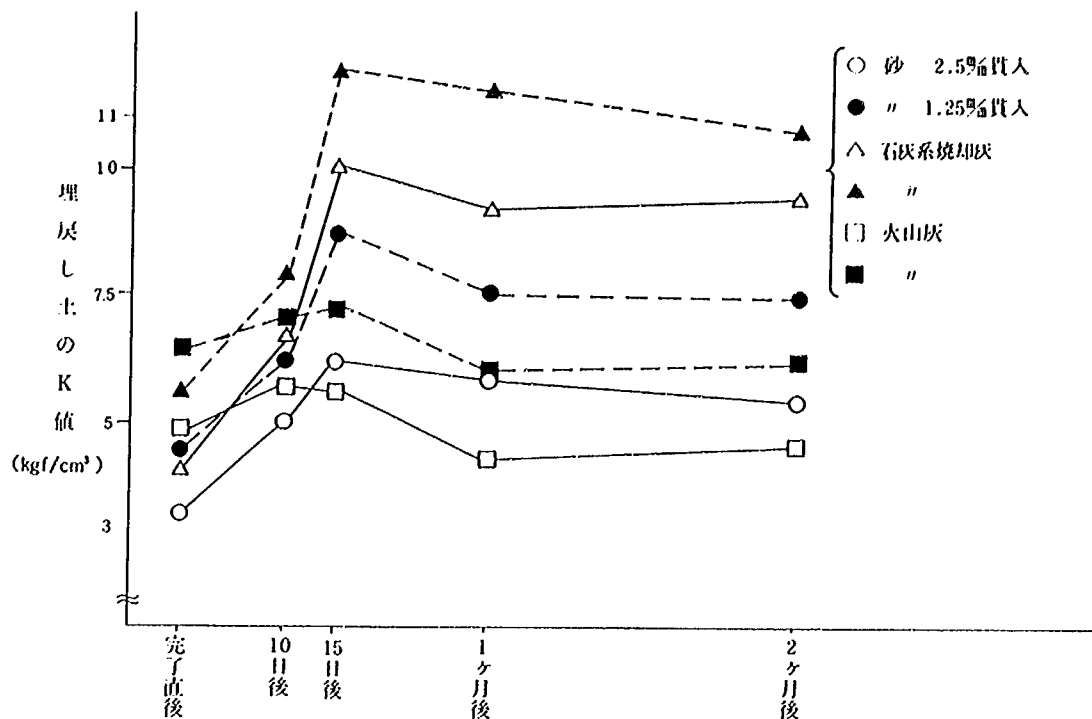


図-7.7 K値(平板載荷試験)の経時変化(埋戻しI)

図-7.5, 7.6, 7.7に示すように石灰系焼却灰は, 含まれる石灰の作用により施工後数週間にわたり強度が増加することが確認された。また, 盛土の試験施工において以下の知見が得られた。

① P S 地震探査で測定した盛土の動物的性値は, 概略以下のとおりである。

P波の速度  $V_p = 1070 \sim 1180 \text{ m/s}$  (テストピースの  $V_p = 1036 \sim 1523 \text{ m/s}$ )

S波の速度  $V_s = 530 \sim 620 \text{ m/s}$

ポアソン比  $\nu_d = 0.298 \sim 0.335$

動的剛性率  $G_d = 4160 \sim 5490 \text{ kg/cm}^2$

動的ヤング率  $E_d = 11120 \sim 14250 \text{ kg/cm}^2$

これらの値から, 盛土は洪積世の砂礫~新第三紀の泥質岩程度に相当し, マスとして見た場合は一般的土質の内でも, かなり良好な物性を有すると考えられる。

② ブルドーザー(重量 17.1 ton, 排土板付)を用いた搬去工事において, 一走行当りの排土厚さは 5~10 cm 程度で, 掘削というよりも, 削り取るような施工状況が多く, 約 300 m³の盛土全体の撤去に 3 時間半を要した。

また, 埋戻しにおいては, 次の知見が得られた。

① 埋戻しIの試験施工における施工直後から 2 ヶ月後までの路面のたわみ量の追跡調査によると, 下水汚泥(石灰系)焼却灰工区は, 山砂工区とはほぼ同様な変化をしていること(表-7.5)。

② 同試験施工における平板載荷試験の  $K_{30}$  値は, 山砂工区を上回ること(図-7.7)。

③ 埋戻しIIの試験施工における現場 C B R, 平板載荷試験及び沈下量等が石灰系焼却灰工区(a 工区)は, 山砂工区(e 工区)と遜色ないこと(表-7.6, 7.7)が確認できた。

これらのことから, 石灰系焼却灰は, 盛土材, 埋戻し材としての十分な強度を有することが確認できた。

表-7.5 路面のたわみ量（ベンゲルマンビーム）の終時的変化（埋戻しⅡ）

| 工 区           | 測 線   | 弾性たわみ量 d (最大, 平均) 1/100mm |       |       |       |        |       |         |      |
|---------------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|------|
|               |       | 直 後                       |       | 5 日 後 |       | 10 日 後 |       | 2 ヶ 月 後 |      |
| 砂 工区          | No. 1 | 188                       | 155.5 | 152   | 142.5 | 174    | 149   | 77      | 69   |
|               | " 2   | 198                       | 171   | 172   | 158.8 | 156    | 144   | 85      | 75   |
|               | " 3   | 166                       | 131.5 | 144   | 134   | 148    | 135   | 81      | 69   |
|               | 平 均   | 184                       | 152.7 | 156   | 145.1 | 159.3  | 142.7 | 81      | 71   |
| 石灰系<br>焼却灰 工区 | No. 1 | 144                       | 124.5 | 154   | 132   | 146    | 132.5 | 67      | 53   |
|               | " 2   | 162                       | 128   | 148   | 131   | 142    | 124.5 | 64      | 55.8 |
|               | " 3   | 310                       | 200   | 172   | 152   | 172    | 143.5 | 87      | 62.5 |
|               | 平 均   | 205.3                     | 150.8 | 158   | 138.3 | 153.3  | 133.5 | 72.7    | 57.1 |
| 火山灰 工区        | No. 1 | 224                       | 166.8 | 188   | 151.6 | 164    | 139.6 | 94      | 59   |
|               | " 2   | 188                       | 122.8 | 176   | 136.4 | 118    | 131   | 94      | 71.6 |
|               | " 3   | 165                       | 130.8 | 148   | 129.2 | 140    | 124.4 | 74      | 59.8 |
|               | 平 均   | 192.3                     | 140.1 | 170.7 | 139.1 | 140.7  | 131.7 | 87.3    | 63.5 |

(注) 測線は、工区毎に等間融、埋設管に対し横断的に設定した。

表-7.6 埋戻しⅡにおける施工管理試験結果

| 工 区                                                   |                      | a     | b    | c               | d     | e     | f     | g    | h    | i    |
|-------------------------------------------------------|----------------------|-------|------|-----------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 試験項目                                                  |                      |       |      |                 |       |       |       |      |      |      |
| 現 場 密 度 試 験<br>(締 固 め 度 %)                            |                      | 101.8 | 78.1 | * 103.2<br>80.8 | 79.1  | 87.7  | 93.9  | 89.8 | 93.1 | 91.1 |
| 土研式貫入<br>試 験                                          | 貫 入 度<br>Pd          | 0.03  | 0.46 | 0.05            | 0.1   | 0.019 | 0.03  | 0.28 | 0.16 | 0.26 |
|                                                       | 10 cm 貫 入<br>打 撃 回 数 | 333.8 | 21.8 | 192.3           | 103.0 | 537.6 | 329.4 | 35.1 | 61.5 | 38.8 |
| 現 場 C B R (%)                                         |                      | 91.8  | 6.7  | 238.6           | 3.2   | 8.7   | 4.8   | 8.5  | 12.0 | 11.3 |
| 平 板 載 荷 試 験<br>K <sub>30</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) |                      | 91.0  | 6.0  | 57.6            | 8.4   | 11.6  | 12.6  | 9.4  | 8.0  | 10.2 |

\*上段 石灰系  
下段 高分子系

下水汚泥焼却灰を一部添加した改良土（g工区，h工区）は，生石灰やセメントを用いた改良土（f工区）及び山砂（e工区）とほぼ同様な物理特性であることが確認できた（表7.6，7.7）。

一方，埋戻しⅡの試験施工によると，高分子系焼却灰（b工区，c工区の下部）は，締固め度約80%と十分な締固めが出来なかった（表-7.6）。また，これらの工区では，沈下量は大きいものとなった（表-7.7）。これは次で述べるように，転圧が十分にできなかったことに起因すると考えられる。

表-7.7 沈下量測定結果(埋戻しⅡ)

単位: mm

| 工 区 名                         |   | 沈下計深さ | 施工後3ヶ月   | 交 通 開 放 後 |         |         |         |
|-------------------------------|---|-------|----------|-----------|---------|---------|---------|
|                               |   |       |          | 1ヶ月       | 3ヶ月     | 6ヶ月     | 1 年     |
| 石 灰 系                         | a | ①     | -9.3     | -9.3      | -9.6    | -14.9   | -14.6   |
|                               |   | ②     | -7.7     | -5.0      | -5.3    | -9.6    | -11.6   |
|                               |   | ③     | -8.3     | -5.0      | -5.3    | -9.6    | -10.9   |
| 高 分 子 系                       | b | ①     | -27.3    | -20.0     | -19.0   | -23.0   | -25.7   |
|                               |   | ②     | -148.0   | -139.3    | -146.6  | -153.6  | -160.1  |
|                               |   | ③     | -247.3   | -248.0    | -248.7  | -254.4  | -264.7  |
| 上 部 石 灰 系<br>下部高分子系           | c | ①     | -20.3    | -5.5      | -4.3    | -7.0    | -6.7    |
|                               |   | ②     | -12.7    | -12.7     | -11.7   | -15.0   | -17.0   |
|                               |   | ③     | -33.3    | -28.6     | -27.6   | -32.6   | -34.9   |
| 石 灰 系 50%<br>+ 高 分 子 系<br>50% | d | ①     | -11.3    | -13.0     | -21.7   | -25.0   | -30.0   |
|                               |   | ②     | -14.0    | -15.3     | -26.0   | -31.0   | -37.0   |
|                               |   | ③     | -20.0    | -22.0     | -36.3   | -45.3   | -55.3   |
| 山 砂                           | e | ①     | -28.3    | -30.0     | -31.7   | -33.4   | -34.1   |
|                               |   | ②     | -6.0     | -7.3      | -10.6   | -13.3   | -15.3   |
|                               |   | ③     | -13.3    | -15.3     | -19.6   | -21.3   | -25.0   |
| 改 良 土                         | f | ①     | -1.7     | -3.0      | -5.0    | -8.0    | -8.7    |
|                               |   | ②     | 1.7      | -0.6      | -4.9    | -7.6    | -7.9    |
|                               |   | ③     | -6.7     | -8.7      | -12.7   | -15.4   | -15.7   |
| " (含石灰系)                      | g | ①     | -1.0     | -1.3      | -0.6    | -0.3    | -3.0    |
|                               |   | ②     | -2.0     | -2.3      | -3.0    | -6.7    | -11.4   |
|                               |   | ③     | -2.3     | -3.0      | -4.7    | -11.0   | -16.3   |
| " (含高分子系)                     | h | ①     | -1.7     | -1.7      | -2.0    | -1.0    | -2.7    |
|                               |   | ②     | -0.3     | -1.0      | -1.7    | -2.1    | -6.1    |
|                               |   | ③     | -1.0     | -0.3      | -1.3    | -5.3    | -10.6   |
| 発 生 土                         | i | ①     | -1.3     | -0.6      | -1.6    | 0.7     | 0.7     |
|                               |   | ②     | -0.3     | 0.0       | -1.7    | -5.0    | -8.7    |
|                               |   | ③     | -1.3     | -1.0      | -3.7    | -6.0    | -10.0   |
| 測 定 日                         |   |       | 59.12/18 | 60.2/15   | 60.4/17 | 60.7/19 | 61.1/18 |

(注) 沈下計の位置は下記に示す。

- (1) 床付け面
- (2) 管天場より40cm上り
- (3) 埋土の中間

## ii) 施工性に対する評価

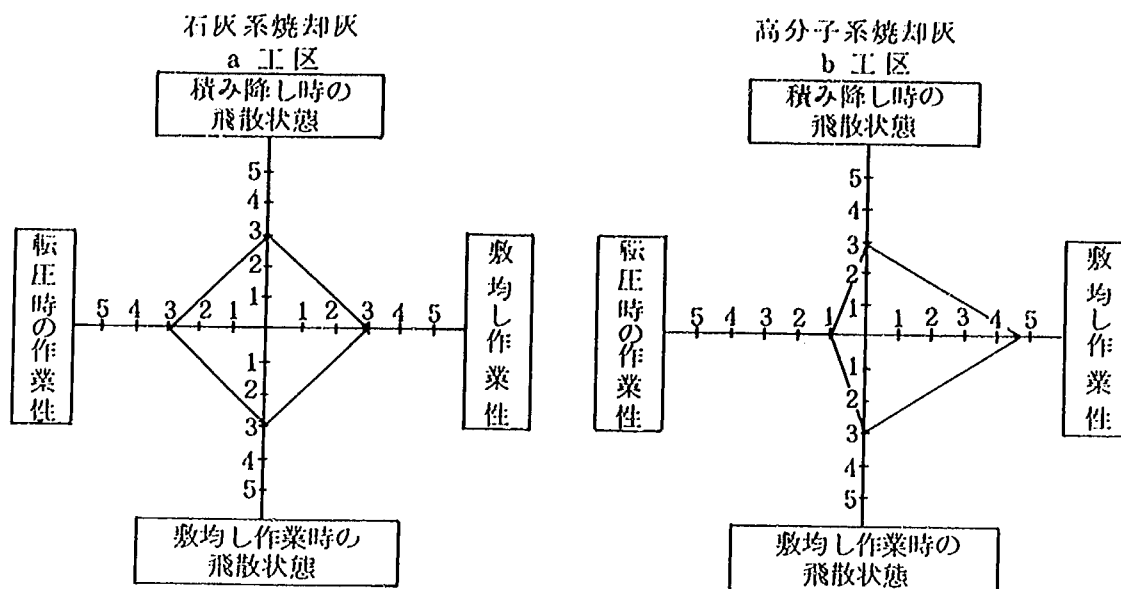
微粒を多く含む下水汚泥焼却灰は、運搬または施工時に飛散することが考えられたが、試験施工の結果から運搬に先だって加水すれば、飛散を防止できることが明らかとなった。

埋戻しⅡの試験施工においては、作業員にアンケートを実施し、積降し時の飛散状態、敷均し作業性、敷均し作業時の飛散状態、転圧時の作業性について、山砂を最良の5点とする5段階での評価を行った。その結果を表-7.8、図-7.8に示す。

石灰系焼却灰、及び下水汚泥焼却灰を一部含む改良土はほぼ同等で、すべての項目で“良い”という評価であった。高分子系焼却灰の場合は、ランマーによる締固めが困難で、転圧が不十分となる傾向が認められた。ランマーによる石灰系及び高分子系焼却灰工区の転圧状況を図-7.9に示す。

表-7.8 作業性アンケート結果-記述式-(埋戻しⅢ)

| 工 区 | 項 目                      | 敷 均 し 時              | 転 圧 時                                                          | 仕上り表面状態                                         | 最適含水比(%) | 自然含水比(%) | 備 考                                                                       |
|-----|--------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|----------|---------------------------------------------------------------------------|
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 締固め度(%)  |          |                                                                           |
| a   | 石 灰 系<br>焼 却 灰           | ・加水調節必要<br>・敷均し易い    | ・転圧機械に付着する<br>・転圧し始めは、ランマーが<br>もぐるが、2、3回通過す<br>れば問題ない          | ・かなり締固まったよう<br>に見える<br>・おさまりが良い                 | 59.4%    | 48.5%    | ・出荷時の含水比は35%程度が上限<br>で、現場での加水調整を要する。<br>・ダンプ積載後2時間以上経過する<br>と固粒化して降ろしづらい。 |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 101.8%   |          |                                                                           |
| b   | 高 分 子 系<br>焼 却 灰         | ・加水調節必要<br>・敷均し易い    | ・ランマーでは、もぐってし<br>まい転圧不可、付着有<br>・プレートでも、材料がわきへ<br>逃げるだけで転圧ができない | ・足で踏むと足跡が付く<br>・おさまりが悪い                         | 44.3%    | 35.3%    | ・出荷時の含水比は35%程度が上限<br>で、現場での加水調整を要する。<br>・加水してもなかなか転圧できる状<br>態にならない。       |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 78.1%    |          |                                                                           |
| d   | 石灰系焼却灰、<br>高分子系焼却灰<br>混合 | ・b工区と同じ              | ・b工区と同じ                                                        | ・b工区と同じ                                         | 41.2%    | 38.7%    | ・前もって、加水調節をして最適含<br>水比に近い状態にしたが、まだな<br>お、転圧しづらく、b工区とほぼ<br>同じようであった。       |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 79.1%    |          |                                                                           |
| e   | 山 砂                      | ・敷均し易い               | ・転圧機械へは付着しない<br>・転圧し易い                                         | ・良好                                             | 18.1%    | 18.3%    | ・標準工区                                                                     |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 87.7%    |          |                                                                           |
| f   | 改 良 土                    | ・一般土と変らない<br>・特に問題なし | ・転圧機械へは付着しない                                                   | ・良好                                             | 28.5%    | 36.7%    |                                                                           |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 93.9%    |          |                                                                           |
| g   | "                        | "                    | ・転圧機械へは付着しない<br>・一般土より良い                                       | ・一般土より良い                                        | 28.6%    | 33.2%    |                                                                           |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 89.8%    |          |                                                                           |
| h   | "                        | "                    | ・転圧機械への付着はないが<br>材料が多少わきへ逃げる                                   | ・見た目には、含水比が<br>足りないように感じる<br>・表面にややクラックが<br>生じる | 22.9%    | 24.8%    |                                                                           |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 93.1%    |          |                                                                           |
| i   | 発 生 土                    | "                    | ・転圧機械へは付着しない                                                   | ・良好                                             | 12.9%    | 12.3%    | ・砂質土                                                                      |
|     |                          |                      |                                                                |                                                 | 91.1%    |          |                                                                           |



下水汚泥焼却灰を添加した改良土（焼却灰を含む）

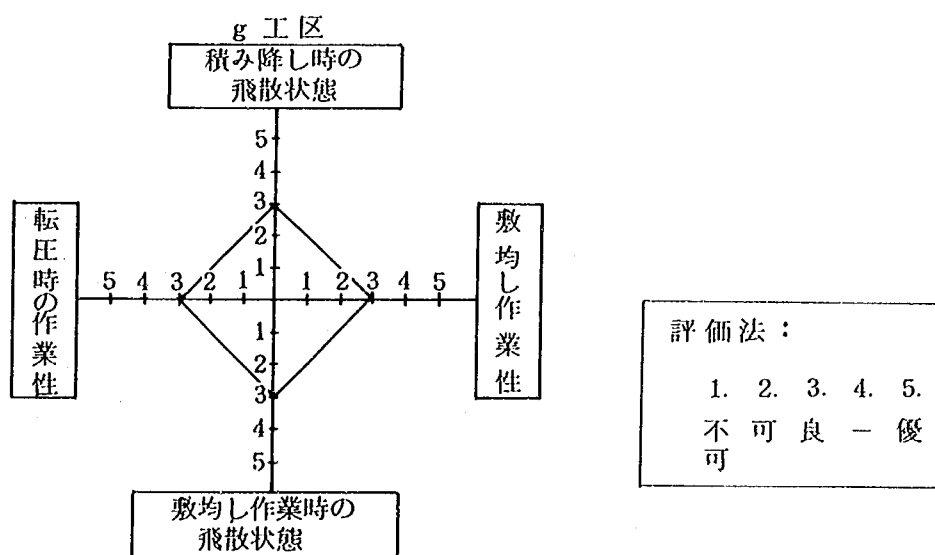
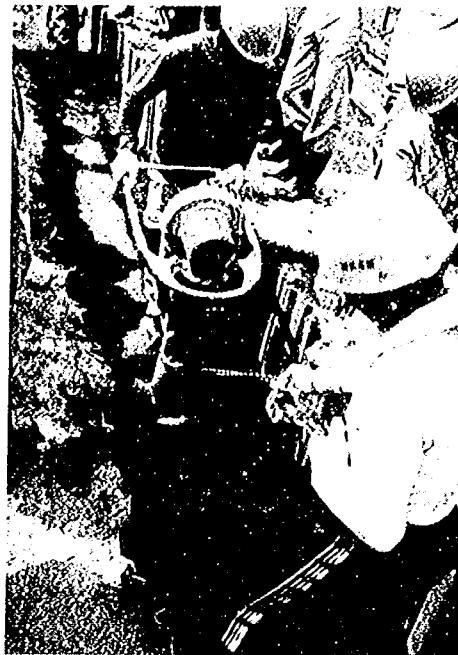
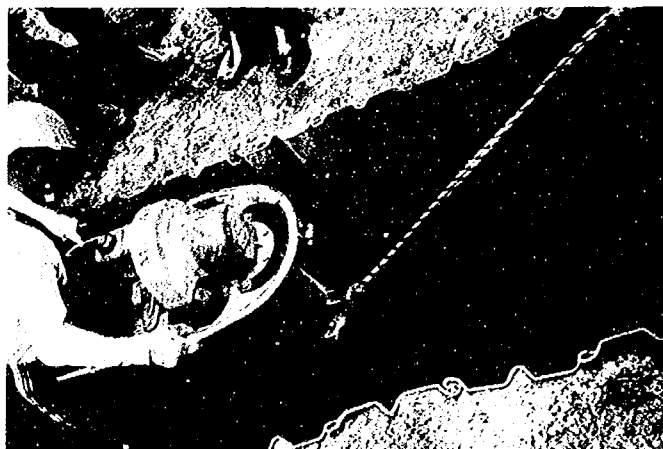


図- 7. 8 作業性アンケート結果（埋戻しⅢ）



石灰系焼却灰（a工区）



高分子系焼却灰（b工区）

図－7.9 ランマーによる転圧作業状況（埋戻しⅢ）

### Ⅲ）安全性に対する評価

盛土及び埋戻しⅡの試験施工においては、盛土内及び埋戻し部分の中に採水ますを設け、浸透水を捕集し、その水質の測定を実施した。盛土の試験施工での4試料及び埋戻しⅢの試験施工の2試料についての分析結果では、すべての項目において「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令」で定める基準値以下であった。表－7.9，7.10に、盛土及び埋戻しⅢにおける水質測定例を示す。

表-7.9 浸透水水質分析結果(盛土)

(施工:58年11月)

(単位:mg/ℓ)

| 分析項目   | 58.12.19 | 59.4.12 | 59.7.16 | 59.11.14 <sup>*1</sup> | 59.11.28 <sup>*2</sup> | 定量限界値(ND値) |
|--------|----------|---------|---------|------------------------|------------------------|------------|
| pH     | -----    | 13.4    | 12.3    | 9.8                    | 13.3                   | -----      |
| アルキル水銀 | ND       | -----   | -----   | -----                  | ND                     | 0.0005     |
| 総水銀    | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.0005     |
| カドミウム  | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.03       |
| 鉛      | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.3        |
| 有機リン   | ND       | -----   | -----   | -----                  | ND                     | 0.05       |
| 六価クロム  | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.05       |
| ひ素     | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.02       |
| シアン    | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.05       |
| PCB    | ND       | -----   | -----   | -----                  | ND                     | 0.0005     |
| 銅      | 0.02     | 0.21    | 0.13    | 0.07                   | 0.34                   | -----      |
| 亜鉛     | ND       | 0.03    | 0.04    | 0.07                   | 0.02                   | 0.02       |
| ニッケル   | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.1        |
| 総クロム   | ND       | ND      | ND      | ND                     | ND                     | 0.1        |
| マンガン   | 0.18     | 0.02    | ND      | ND                     | ND                     | 0.02       |
| 鉄      | 0.2      | 0.1     | 0.3     | 0.4                    | 0.1                    | 0.1        |

\*1 注水前

\*2 注水後(盛土中央部に穴を設け、そこから注水を行い、浸出水を集水した。)

表-7.10 浸透水水質試験結果(埋戻しⅢ)

昭和60年9月10日

(mg/ℓ)

| 項目    | 試料名<br>工区名 | No. 1<br>a | No. 2<br>b  | No. 3<br>f | No. 4<br>g | No. 5<br>h | No. 6<br>i | 基準値          |       |
|-------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|-------|
|       |            | 石灰系<br>焼却灰 | 高分子系<br>焼却灰 | 改良土        | 改良土        | 改良土        | 発生土        | 溶出試験         | 排出基準  |
| 全シアン  |            | ND         | ND          | ND         | ND         | ND         | ND         | 1.0(1.0)     | 1.0   |
| 六価クロム |            | ND         | ND          | ND         | ND         | ND         | ND         | 0.5(1.5)     | 0.5   |
| 水銀    |            | ND         | ND          | ND         | ND         | ND         | ND         | 0.005(0.005) | 0.005 |
| ひ素    |            | ND         | ND          | 0.004      | ND         | 0.012      | 0.013      | 0.5(1.5)     | 0.5   |
| 鉛     |            | ND         | ND          | ND         | ND         | ND         | ND         | 1.0(3.0)     | 1.0   |
| カドミウム |            | ND         | ND          | ND         | ND         | ND         | ND         | 0.1(0.3)     | 0.1   |
| pH    |            | 10.9       | 9.5         | 7.7        | 8.9        | 9.6        | 7.8        | —            | —     |

ND:不検出

溶出基準……………金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令（昭和48年）

（ ）外 海洋投入における基準

（ ）内 埋立処分における基準

排出基準……………一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令（昭和52年）

## 7.4 ま と め

下水汚泥焼却灰を用いた試験施工及びその追跡調査によって、下水汚泥焼却灰の利用に関して、以下のことが明らかとなった。

- ① 石灰系焼却灰は、盛土築造後に十分な強度のものが得られ、それ以降も数週間にわたり強度が増加していくので盛土材として十分使用できる。
- ② 同様に埋戻し材として使用する場合も、大きな強度を発現する。しかし、埋戻し材に要求される再掘削の容易さからみると、単体で使用する、あまりにも高くなりすぎるおそれもあるので、埋戻し材として単体で使用するのは好ましくない。むしろ、土質改良用添加材として土と混合して使用の方が望ましい。
- ③ 下水汚泥焼却灰を生石灰および排脱石膏と組み合わせて用いると、比較的高い改良効果が得られることが明らかとなった（「6. 高有機質土の適正処理技術の開発」参照）。
- ④ 高分子系焼却灰は自硬性がほとんどなく、強度および施工の両面から単体では盛土材、埋戻し材としての使用は好ましくない。

下水汚泥焼却灰の有効利用とくに、土質改良用添加材としての利用を促進するためには、下水汚泥焼却灰に含まれる石灰の種類及びその量と施工後の強度との関係を明らかにする必要がある。さらに、石灰は水や二酸化炭素との反応によって変化するので、貯蔵方法についても検討する必要がある。

## 参考資料

### 1. 下水汚泥焼却灰の転圧方法の検討

本文中の表－7.2に、盛土及び埋戻し(Ⅱ)における転圧方法を示した。これらの値は本試験施工に先立って予備試験を行い決定したものである。以下、これら予備試験の概要を述べる。

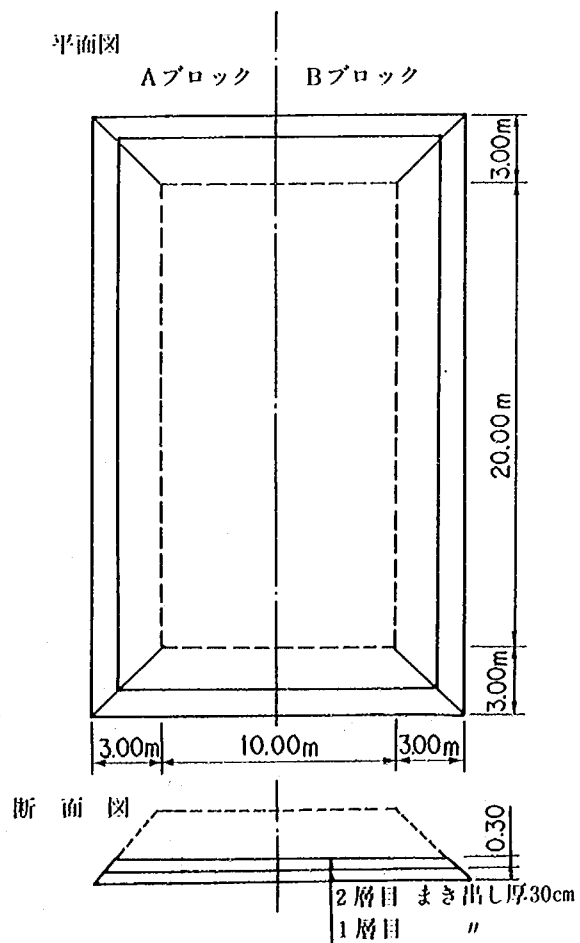
#### (1) 「盛土」における予備試験

転圧試験は図(参)－1.1に示すように幅10m、長さ20mのヤードを設定し、片側5mをAブロックとし、自然含水状態(搬入時の含水比)で、もう一方のBブロックは含水比が5%程度高くなるように加水して転圧を行ったものである(図(参)－1.1)。

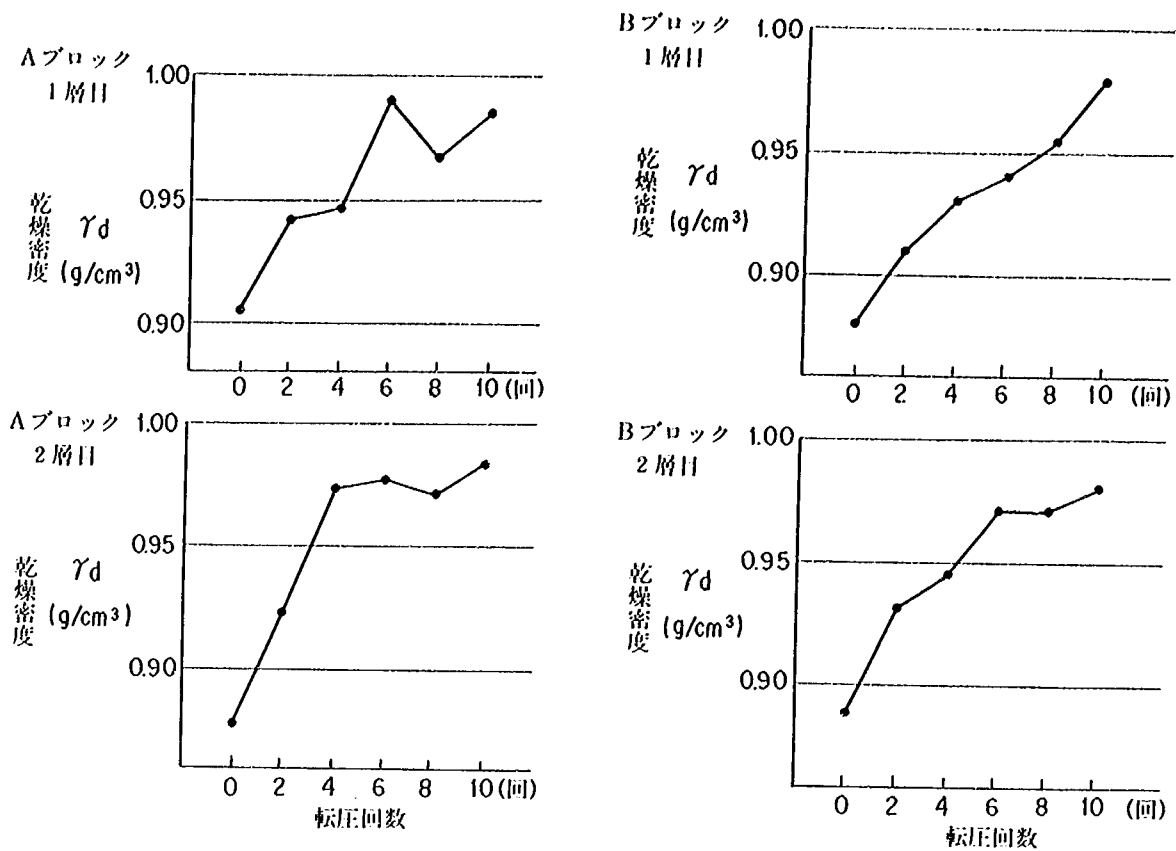
施工はまき出しをブルドーザー(重量11.7t)にて30cmとし、転圧はタイヤローラー(最大重量15.5t)で行った。

転圧回数と乾燥密度の関係を図(参)－1.2に示す。

搬入時の含水比で締固めたAブロックでは、転圧回数が6回を超えても密度に大きな変化はなかった。また、乾燥密度 $\gamma_d = 0.950 \text{ g/cm}^3$ は、締固め度90%以上(表7.4中の盛土の頃 $\gamma_d = 1.052 \text{ g/cm}^3$ に対して)となっている。このことから、転圧条件(まき出し厚30cm、転圧回数6回以上)を設定した。含水比が5%高いBブロックでも、ほぼ同様の密度が確保されており、5%程度の加水(少量の雨天時)でも施工可能である。



図(参)－1.1 施工平面及び断面(盛土)



図(参) - 1.2 転圧回数と乾燥密度の関係

(2) 「埋戻し(III)」における予備試験

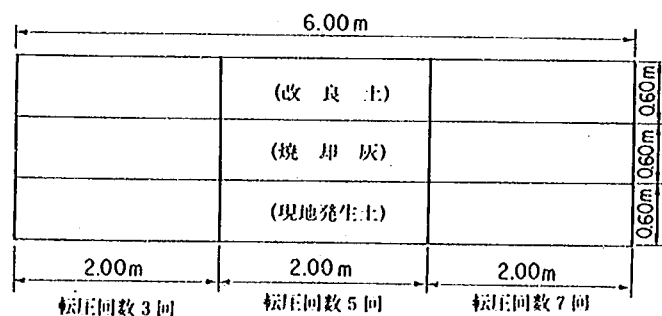
転圧試験は、図(参) - 1.3に示すような幅0.6 m、長さ2 mを1ブロックとするヤードを設定し、3種の材料及び転圧回数3条件で実施した。

使用材料

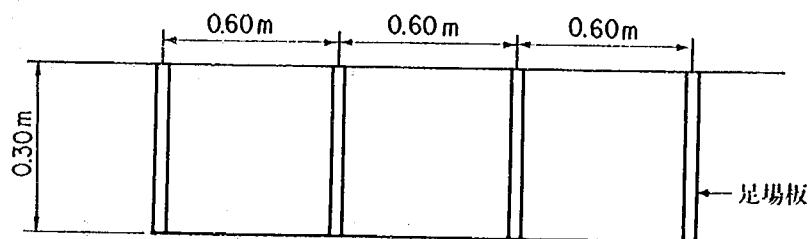
焼却灰：石灰系焼却灰（加湿灰）

改良土：残土+改良用添加材

普通土砂：現地発生土



(平面図)



(断面図)

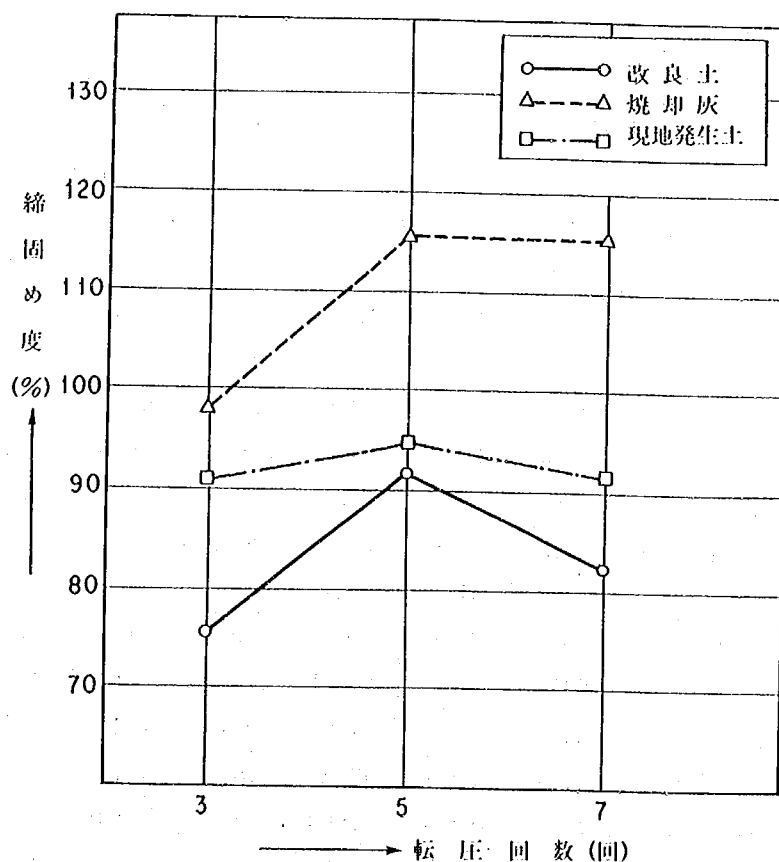
図(参) - 1.3 施工平面及び断面（埋戻し(III)）

転圧機械はランマー（圧力  $1.62 \text{ kgf/cm}^2$ ，打撃数  $550 \sim 650 \text{ c. p. m}$ ）を用いた。

転圧回数と締固め度の関係を，表(参)－1.1，図(参)－1.4に示す。3材料とも転圧回数5回を超えても密度は増加していない。

表(参)－1.1 現場密度試験結果（呼戻しⅢ）

| No. | 材料の種類  | 転圧回数 | 含水比 (%) | 湿潤密度 $\gamma_t (\text{g/cm}^3)$ | 乾燥密度 $\gamma_d (\text{g/cm}^3)$ | 最大乾燥密度 $(\text{g/cm}^3)$ | 締固め度 (%) |
|-----|--------|------|---------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------|
| 1   | 改良土    | 3回   | 38.0    | 1.713                           | 1.241                           | 1.644                    | 75.5     |
| 2   |        | 5回   | 36.7    | 2.056                           | 1.504                           |                          | 91.5     |
| 3   |        | 7回   | 37.7    | 1.867                           | 1.356                           |                          | 82.5     |
| 4   | 石灰系焼却灰 | 3回   | 47.5    | 1.242                           | 0.842                           | 0.859                    | 98.0     |
| 5   |        | 5回   | 43.5    | 1.425                           | 0.993                           |                          | 115.6    |
| 6   |        | 7回   | 41.5    | 1.401                           | 0.990                           |                          | 115.3    |
| 7   | 現地発生土  | 3回   | 15.8    | 1.922                           | 1.659                           | 1.825                    | 90.9     |
| 8   |        | 5回   | 17.7    | 2.030                           | 1.725                           |                          | 94.5     |
| 9   |        | 7回   | 18.0    | 1.973                           | 1.672                           |                          | 91.6     |



図(参)－1.4 転圧回数と締固め度の関係（埋戻しⅢ）

また、敷均された埋戻し材は転圧によって締固められ、その体積、つまり一層当りの厚さは減少する。仕上り後の厚さに対するこの減少幅の比を、表(参)－1.2中の転圧減少比欄に示す。同表に、仕上り厚30 cmとしたときの敷均し厚(計算値)を示す。

以上のことより、本施工における転圧条件を次のように定めた。

敷均し厚 40～42 cm (仕上り厚30 cm)

転圧回数 6回以上

表(参)－1.2 転圧5回の場合(一層仕上り厚30 cmとする)

| 埋戻し材種類 | 転圧減少比(%) | 余盛厚 (cm) | 敷均し厚 (cm) |
|--------|----------|----------|-----------|
| 一般改良土  | 38.2     | 11.5     | 41.5      |
| 北 二 灰  | 35.9     | 10.8     | 40.8      |
| 現地発生土  | 32.0     | 9.6      | 39.6      |

## 2. 下水汚泥焼却灰の性状変動

埋戻し(Ⅲ)に用いた焼却灰を採取した焼却炉から排出される焼却灰を対象に、採取日の違いによる物理性状の変動を表(参)－2.1に示す。この表のうち9月6日採取分が、本文中の埋戻し(Ⅲ)に用いられた。pH、土粒子の比重は、石灰系、高分子系のそれぞれでは大差はない。

しかし、粒度については石灰系焼却灰に変化が見られ、粗粒子分(74 $\mu$ m～2 mm)細粒分(74 $\mu$ m以下)それぞれの含有率の差は27%となっている。一方、高分子系焼却灰では、その差が6%と粒度

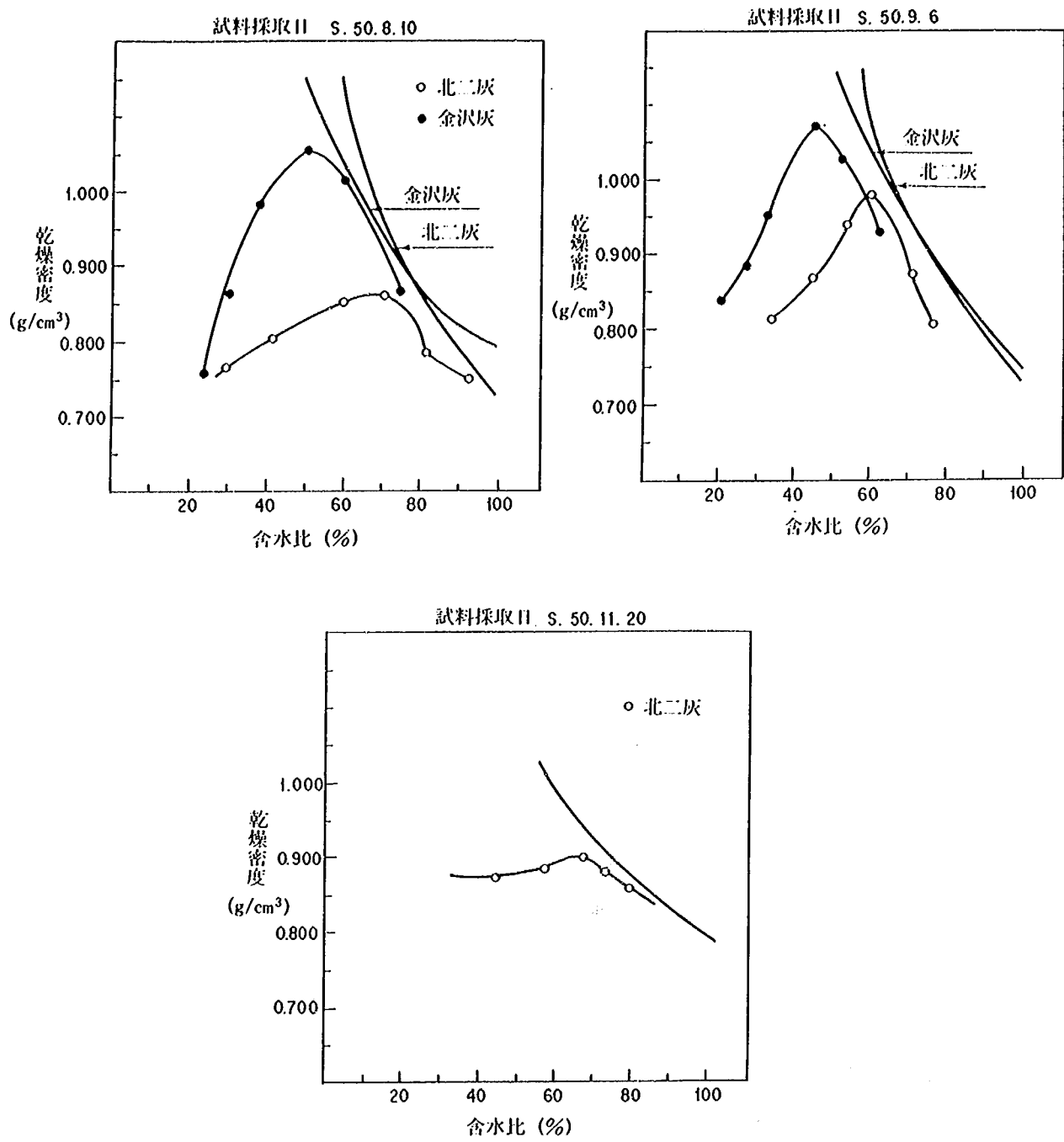
表(参)－2.1 下水汚泥焼却灰性状変動

(昭和59年)

| 項 目              |                                        | 灰名称 | 石 灰 系 焼 却 灰 |       |       | 高 分 子 系 焼 却 灰 |       |       |
|------------------|----------------------------------------|-----|-------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                  |                                        | 採取日 | 8/10        | 9/6   | 11/29 | 8/10          | 9/6   | 11/29 |
| pH試験             |                                        |     | 12.4        | 12.6  | 12.4  | 8.7           | 8.6   | 8.2   |
| 強熱減量 (%)         |                                        |     | 14.2        | 17.0  | 17.0  | 4.9           | 2.0   | 2.0   |
| 含水比 (%)          |                                        | ※1  | 29.2        | 48.6  | 52.0  | 23.1          | 35.3  | 36.2  |
| 土粒子の比重           |                                        |     | 2.856       | 2.859 | 2.842 | 0.682         | 2.685 | 2.640 |
| 土<br>の<br>粒<br>度 | 2 mm以上 (%)                             |     | 0           | 0     | 0     | 0             | 0     | 0     |
|                  | 74μ～2 mm (%)                           |     | 45.8        | 52.6  | 25.4  | 20.4          | 14.3  | 14.5  |
|                  | 74μ以下 (%)                              |     | 54.2        | 47.4  | 74.6  | 79.7          | 85.7  | 85.5  |
|                  | 土質分類                                   |     | F           | S F   | F     | F             | F     | F     |
|                  | 土質名                                    |     | 細粒土         | 砂質土   | 細粒土   | 細粒土           | 細粒土   | 細粒土   |
| 塑 性 指 数          |                                        |     | N P         | N P   | N P   | N P           | N P   | N P   |
| 突<br>固<br>め      | OMC (%)                                |     | 70.1        | 59.4  | 68.0  | 48.5          | 44.3  | —     |
|                  | γ <sub>d</sub> max(g/cm <sup>2</sup> ) |     | 0.859       | 0.976 | 0.902 | 1.055         | 1.070 | —     |

※1 含水比は、焼却処理施設内で防塵のため加水できるように設備されており、任意に含水比は調整が可能である。

は安定している。



図(参)-2.1 締固め特性の変化

## 8. まとめと今後の課題 ―再生材ごとの利用法―

### 8.1 残 土

#### 8.1.1 残土処理システムの構築

本研究で取り上げた残土とは、「建設工事にともなって発生する土砂で、施工現場から外へ排出されるもの」をいう。残土の発生量は莫大な量にのぼっているにもかかわらず、その有効利用は十分に行われているとはいえず、総合的な残土処理システムの構築が望まれている。

残土の再利用を総合的かつ合理的に行うためには、いわゆるハードな土質改良技術のほかに、流用をも含めた合理的な残土処理計画を立案するための計画技術、および数多い工事情報を扱うための情報処理技術が必要である。これらの技術を有機的に結びつけたものを残土処理システムとよんでいる。すなわち、残土処理のシステム化にあたっては、

- ① 流用および土質改良による再利用を含む合理的な残土処理計画の立案手法の確立
- ② 残土処理計画の作成に必要な情報の処理システムの確立
- ③ 土質別利用基準の整備および土質改良による再利用技術の確立

が必要である。

##### (1) 残土処理計画の立案手法

残土処理計画の立案にあたっては、次の3レベルに分けて検討することが考えられる。

- ① 計画レベル……… 地域特性に応じた残土処理の基本方針を決定する。また、土質改良プラント等の施設を計画する場合のフィージビリティを明らかにする。
- ② 実施レベル……… 土質改良プラント、ストックヤードの適切な規模、配置を明らかにする。
- ③ 運営レベル……… 残土を排出する工事、土質改良プラント等の施設、処分地などに関する情報に基づいて実際の土砂移動計画を作成する。計画対象期間を1年間程度とするものや、詳細な工事計画に基づいた日単位の土砂移動計画などが考えられる。

上記①に関し、本研究では残土処理の基本的な考え方を整理するとともに、フィージビリティスタディの手法を提示し、これを用いて土地改良プラント導入の可能性の簡易判定図を作成した。簡易判定図によって、対象地域の広さ、改良土量、現状の土砂処分調達単価の3条件をもとにして、土質改良プラント導入の経済的効果の得失を概略的に判定することが可能である。

また、上記②、③のレベルに対しては、本研究で開発した残土処理計画モデルを適用することができる。本モデルは、総費用の最小化などの客観的な評価基準のもとで、最適な残土処理計画を出力するものである。

##### (2) 情報処理システム

残土に関する情報の量は非常に多く、しかも日々更新されていくべき性質のものであるため、これに対処しうる情報処理システムが必要である。残土処理システムを支援するのに必要な情報処理システムは、次のとおりである。

### ① 残土情報データベースシステム

残土を排出あるいは受入れる工事に関し、土量や工事時期、土質などのデータを集積・更新し、上述した残土処理計画の立案に必要なデータを提供する。また、土質改良プラントの稼働状況に関するデータなどもこれに含まれる。

### ② 処分地情報システム

臨海埋立地や内陸処分地に関し、処分可能容量や処分の条件などの情報を集積・更新し、上述した残土処理計画の立案に必要なデータを提供する。

### ③ 運搬管理システム

運搬経路や道路交通情報、運搬車両に関する情報などを収集しておき、前述 (1) ③における日々の土砂移動計画の結果を受けて、最適な運搬方法を出力する。

建設省では「建設残土に関する当面の措置方針」（昭和56年2月）において「建設残土利用情報センター（仮称）」の設置を提唱している。この情報センターにおいて、(2) に述べた諸情報の一元的管理と、(1) の残土処理計画の立案とを合わせて行くと、残土処理の中心的機能をセンターが果たすことになり、システムがより有効に機能するものと考えられる。

## 8.1.2 土質別にみた利用の現状と土質改良による利用用途の拡大

表－8.1 は、残土を砂、砂質土、粘性土およびヘドロの4種類に大別し、その各々の利用法をとりまとめたものである。この表に沿って、各々の土質の従来からの使われ方と本プロジェクトで新たに開発した使い方を述べると、次のとおりである。

### (1) 砂

掘削した発生土が細粒分の少ない良質の砂の場合には、最近良質の材料の入手が困難になりつつあるサンドマットやドレーン材、あるいは埋設管や構造物等の埋戻し材として積極的に流用をはかることができる。道路や土地造成用の盛土材料としてもそのまま十分使用できるが、遮水性の要求される堤防等の材料としても、安定性や漏れ等の検討のうえで使用することもできる。

### (2) 砂質土

砂質土は、細粒分を比較的多く（15～50％）含むので、締固めると透水性がかなり低くなる。したがって、サンドマットやドレーン材としてはあまり好ましくない。しかし、盛土材としては、堤防の場合も含めて、ほとんどの用途に使用可能である。ただし、細粒分を多く含み、施工含水比が高いものでは、施工時にトラフィカビリティを確保することが困難となり、また、締固めが不足すると完成後の変形が無視できない場合があるので注意が必要である。逆に細粒分が少ないものを築堤に用いる場合には、所要の遮水性を確保するために、よく締固めることが大切である。

一方、埋戻し材としての適用性をみると、構造物等の埋戻しには砂質土がそのまま十分使用できる。しかし、主として道路下に埋設される各種埋設管の埋戻しには、従来の基準によると、主として良質の砂もしくはそれと同等以上の材料を用いることになっており、砂質土はほとんど使えないのが現状であった。

そこで本プロジェクトでは、この点を改善することをねらいとして、砂質土に生石灰等の土質改良用添加材を添加・混合して品質を改良することにより、埋戻し材として利用することを検討した。その結果、細粒分が25％以下の砂質土の場合にはそのまま、また細粒分が25～50％の砂質土では、生

石灰等を添加・混合して土質改良を行うことにより、各種埋設管の埋戻し材として十分使用できることを明らかにした（「3.改良土を用いた埋戻し技術の開発」参照）。

### （3）粘性土

粘性土のうち含水比の低いもの（含水比が40％程度以下のもの）は、締固め管理に注意すればそのまま道路、堤防、土地造成等の盛土に使用できる。ただし、完成後の構造物にかなり高度な品質を期待する場合には、土質改良を行うことが望ましい。

一方、含水比の高い粘性土を使用する場合は、土質改良を必要とすることが多い。ただし、関東ロームなどのように、圧密促進用の水平排水層を適当な間隔で設置するなどの工夫を行えば、そのまま路体等の盛土材に使用できるケースもある。

本プロジェクトでは、埋設管の設置に伴って大量に発生する粘性土やローム系の掘削発生土にねらいをしばり、これらを土質改良して再び埋設管の埋戻し材として有効利用する技術について検討を行った。その結果、粘性土にセメントや石灰を添加・混合し、所定の品質にまで土性を改善すれば、埋設管の埋戻し材として粘性土が使用できることを明らかにした（「3.改良土を用いた埋戻し技術の開発」参照）。ただし、交通荷重の大きいところで、しかも改良強度が不十分な場合には、比較的大きな残留沈下を生じるおそれもあるので、改良強度の設定および締固め管理には十分な注意が必要である。

### （4）へどろ

へどろは含水比が非常に高く、その性状が劣悪なため、処分に際してそのまま搬出や運搬が困難である。また、処分先での施工性が悪いなどの問題点も有している。このため、へどろに土質改良用添加材を添加・混合し、その性状を改善することが通常よく行われる。本プロジェクトでは、湖沼や河川から浚渫したへどろに、ラインミキサ方式で粉体のままの土質改良用添加材を添加・混合して土性の改善をはかる技術の検討を行ったところ、均質性の高い改良土を効率よく製造する装置が開発できた（4.高含水比粘性土の土質改良用混合装置の開発」参照）。また、へどろを土質改良するときに問題となる土質改良用添加材の選定や土質改良効果の予測を合理的に行うため、土質改良効果の阻害要因となる土中のフミン酸と自然含水比に着目した簡易判別分類手法の提案を行った（「6.高有機質土の適正処理技術の開発」参照）。さらに、フォール・コーン試験を用いた土質改良効果の簡易判定法の開発を行った（「6.高有機質土の適正処理技術の開発」参照）。その結果、土質に応じた土質改良用添加材の選定や所要添加量の決定などの配合設計が合理的かつ迅速に行える見通しが得られた。

次に、下水汚泥焼却灰や排脱石膏などの廃材を利用した土質改良用添加材の検討を行った。石灰系の下水汚泥焼却灰と生石灰および排脱石膏を所定の比率で混合したり、普通ポルトランドセメントに適量の排脱石膏を加えることによって、へどろや有機粘性土に対して、かなり優れた効果をもつ土質改良用添加材が製造できることを明らかにした（「6.高有機質土の適正処理技術の開発」および「7.下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性」参照）。

#### 8.1.3 残土の利用にあたっての技術的課題

残土の再利用に関するソフト面での課題としては、本プロジェクトで開発した残土処理計画モデルに入力する時々刻々の情報を収集・管理するための体制づくり、ならびに、環境保全や土地利用などの側面も考慮した残土処理計画の立案手法の検討がさらに望まれる。

ハード面では、土質改良土の埋戻し材としての適用性に関して、試験施工や実績を踏まえた検討をさらに継続して実施していく必要がある。特に、長期間経過後の再掘削の問題や、土質改良土の品質基準や埋戻しの管理基準の合理的な設定方法に関する検討が望まれる。

土質改良用混合装置については、実機による施工実績を備蓄するとともに、そうした実績を踏まえて、適用土質や全体システム等についてさらに検討を加えるとともに、他の試験機との性能の比較も合わせて行っていく必要がある。

高有機質土の処理では、本プロジェクトで提案した土の自然含水比とフミン酸含有量に着目した簡易土質判別分類手法の適用性について、現場における実績等を踏まえてさらに検討を加えていく必要がある。また、土中のフミン酸含有量の簡易測定法ならびに土質改良用添加材の効果判定のための標準試験法についても、現場の条件に即応できる適用性と精度の向上が望まれる。

さらに、下水汚泥焼却灰や排脱石膏等の土質改良用添加材としての利用法についても、実際への適用をはかるために、材料の製造、管理、混合等の面でさらに工夫・検討を加えていく必要がある。

表-8.1 残土の種類別利用方法

| 残 土 の 分 類 |                            |                    | 用 途    |         |      |       |      |      |      | 摘 要                                                      |
|-----------|----------------------------|--------------------|--------|---------|------|-------|------|------|------|----------------------------------------------------------|
| 土 質 区 分   |                            | 土質改良のための<br>一般的な目安 | サンドマット | 埋 戻 し 材 |      | 盛 土 材 |      |      |      |                                                          |
| 大分類       | 小 分 類                      |                    | ドレーン材  | 埋 設 管   | 構造物等 | 道 路   |      | 堤 防  | 土地造成 |                                                          |
|           |                            |                    |        |         |      | 路 床   | 路 体  |      |      |                                                          |
| 砂         | 細粒分が少ないもの<br>(15%程度以下)     | 良 質 土              | ◎      | ◎       | ◎    | ◎     | ◎    | ○    | ◎    | 注1) 完成後の沈下等の制約がそれほど厳しくない場合はそのまま使用してよいが、厳しい場合は土質改良を必要とする。 |
| 砂質土       | 細粒分が比較的多いもの<br>(15~25%程度)  |                    | ○      | ○       | ◎    | ○     | ◎    | ○    | ◎    |                                                          |
|           | 細粒分が多いもの<br>(25~50%程度)     |                    | X      | △       | ○    | ○     | ◎    | ◎    | ○    |                                                          |
| 粘性土       | 含水比が低いもの<br>(40%程度以下)      |                    | X      | △       | △    | △     | ○注1) | ○注1) | ○注1) | 「6. 高有機質土の適正処理技術の開発」参照                                   |
|           | 含水比がかなり高いもの<br>(40~80%程度)  |                    | X      | △       | △    | △     | △    | △    | △    |                                                          |
|           | 含水比が高い火山灰質粘性土(ローム)         | 要 改 良 土            | X      | △       | ○    | △     | ○    | ○    | ○    |                                                          |
| へどろ・その他   | 含水比が非常に高い浚渫汚泥等             |                    | X      | X       | X    | X     | X    | X    | X注2) | !!「6. 高有機質土の適正処理技術の開発」および「4. 高含水比粘性土の土質改良用混合装置の開発」参照     |
|           | ベントナイト、木片、ごみ、がら等を混入する土 注3) | 不良土                | X      | X       | X    | X     | X    | X    | X    |                                                          |

「3. 改良土を用いた埋戻し技術の開発」参照

<記号の説明>

- ◎ : そのままで使用が可能なもの
- : 施工管理に注意すればそのままでも使用が可能なもの
- △ : 土質改良を行えば使用可能なもの
- X : 土質改良を行っても使用が不適なもの
- //// : 本誌プロでハード面の検討を行っているもの

## 8.2 石 炭 灰

### 8.2.1 石炭灰の有効利用方法

石炭灰の有効利用技術に関する調査・研究は、イギリス、アメリカ等の諸外国で以前より多くの分野において進められており、これまで数多くの技術が実用化されている。一方我が国においても、先に述べた背景から近年電力各社が中心となって精力的に石炭灰の有効利用技術の拡大をはかっている。

表－8.2 は、実用化の可能性の高い石炭灰の有効利用技術を各分野別に取りまとめたものである。

表－8.2 石炭灰利用の可能性

| 分 野     | 利 用 技 術     | 利 用 技 術 の 概 要                                                         |
|---------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
| セメント分野  | セメント製造用原料   | セメント原料のうち粘土の一部代替えとして使用                                                |
|         | セメント混和材     | 普通ポルトランドセメントへの混合率5%以下、フライアッシュセメントへの混合率30%以下で使用                        |
|         | 生コンクリート用混和材 | マスコンクリート、水理構造物への混合率20%～30%で使用                                         |
| 土 木 分 野 | アスファルトフィラー  | 道路表層舗装材の石灰石粉の一部代替えとして使用                                               |
|         | 舗 装 材       | セメント・コンクリート舗装のセメントへの混和材、アスファルト・コンクリート舗装の砂の一部代替えとして使用                  |
|         | 路 盤 材       | セメント安定処理路盤の砂、砂利の代替え、石灰安定処理路盤の石灰の補完材として使用                              |
|         | 路 床 材       | 寒冷地での凍上抑御層、軟弱地盤での道路用土砂の代替えとして使用                                       |
|         | 埋 戻 し 材     | 掘削跡、配管埋戻し工事に土砂と混合して使用                                                 |
|         | 充 填 材       | 炭鉱等の採掘後の保全のため、坑内充填材として使用                                              |
|         | 地 盤 安 定 材   | ドレーン材または締固め杭用の砂の代替え材料として使用。また、土質改良用添加材としてフライアッシュ単体またはセメント・石灰と組み合わせて使用 |
|         | 盛土・埋立造成     | 海面埋立、陸上の低湿地等における盛土・埋立材として使用                                           |
|         | 骨 材         | コンクリートおよびコンクリート製品の細骨材の代用、軽量コンクリートの骨材として使用                             |
|         | 人 工 軽 量 骨 材 | 膨張性けつ岩の代替えとして造粒・焼成して使用                                                |
| 建 築 分 野 | コンクリート混和材   | 流動化コンクリート用混和材料（微粉分調整等）として使用                                           |
|         | レンガ等の原料     | 原料の粘土の一部代替えとして使用（普通レンガ、陶管等）                                           |
|         | 耐 熱 材       | セノスフェア（中空灰）等の特性を利用して防音、断熱材料として使用                                      |
| その他の分野  | 肥 料         | ケイ酸カリ肥料として使用                                                          |
|         | 人 工 魚 礁     | フライアッシュに樹脂、砂利または排脱石骨、セメント等と混合成型して海底に沈設                                |

以下に、本研究の成果ならびに既往の研究などから、各種石炭灰ごとに地盤・盛土を中心に石炭灰の適用性および有効利用方法について述べる。なお、舗装・路盤、コンクリート等への適用性については表-8.3を参照されたい。

ここでは石炭灰をフライアッシュとクリンカアッシュとに大別し、シンダーアッシュはフライアッシュのなかに取り入れて記述する。

#### (1) フライアッシュ

##### i) 土質改良用添加材

フライアッシュ等の細粒の石炭灰は、数%のカルシウム成分( $\text{CaO}$ )と多くのシリカ成分( $\text{SiO}_2$ )アルミナ成分( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )を含有するため、水の存在下ではポズラン反応による自硬性があることが認められている。そこで、フライアッシュ等の細粒の石炭灰を軟弱地盤へ添加・混合して、土のコンシステンシーの改善や固化処理を目的とした場合の土質改良効果および利用方法について検討を加えた。以下に、フライアッシュ等の細粒の石炭灰の土質改良用添加材としての適用性を示す。

高含水比粘性土やへどろなどを対象とした表層混合処理、または深層混合処理における土質改良では、添加・混合した改良土の締固めを行うことができないので、その場合は大部分、土質改良用添加材の固化作用にその改良効果を期待することになる。室内試験の結果によると、含水比が100%程度以下の粘性土に対しては、フライアッシュ単独の添加の場合でも、比較的良好な改良効果(コンシステンシーの改善、強度増加)が得られている。しかし、フライアッシュの品質のばらつきを考慮すると、セメントまたは石灰等を組み合わせて添加した方が無難である。次に、ピート、または高含水比の粘性土を対象とした場合には、乾燥したフライアッシュ単体の添加に伴う吸水作用などにより、土の含水比の低下あるいはコンシステンシーの改善が期待できる。しかし、フライアッシュの自硬性による強度の発現は、ほとんど期待できない。したがって、比較的高い強度を発現させるためには、セメント・石灰などの固化材を大量に添加する必要がある。

路床土の土質改良のように「締固めを伴う改良」の場合には、フライアッシュ等の細粒の石炭灰を単独で土と混合し転圧することにより、石炭灰の自硬性による強度増加を期待することができる。早期に土質改良効果を期待する場合は、セメントまたは石灰を組み合わせて用いるとよい。いずれにしても、事前に配合試験によりフライアッシュの適用、配合を検討することが重要である。また、これまでの適用事例が少ないことから、今後の施工例の蓄積ならびに改良効果の把握が必要である。

##### ii) 盛土材

フライアッシュ等の細粒の石炭灰は、砂等の材料に比べて軽量であることから、ピート質地盤など圧縮性の高い軟弱地盤における軽量盛土材としての適用性が高い。また、最適含水比付近で締固められた石炭灰は、潜在的自硬性による強度の発現が顕著であり、経時的に強度が増加することが認められている。さらに、少量のセメント、石灰または石膏を添加し締固めることにより、かなり高い強度のものが得られる。

しかしながら、フライアッシュやシンダーアッシュは、含水状態、締固めの程度によってその強度特性が大きく変化するため、締固め管理を入念に行う必要がある。また、フライアッシュは透水性が低く、飽和した場合は泥状となることがあるので、雨水等の盛土内への浸透を極力避けるために盛土底面、および盛土内の排水対策を検討するとともに、地下水の浸透にも留意する必要がある。

さらに、フライアッシュやシンダーアッシュ等の細粒の石炭灰は飛散しやすい材料であるため、施

工時には散水、覆土、またはセメント等の添加などによる表面固化などの対策を検討することが必要である。

いずれにしても、我が国では、石炭灰の盛土への適用事例は少なく、今後は事例を積み重ね、データの整備をはかるとともに適用にあたっての基準等を整備していく必要がある。

## (2) クリンカアッシュ

### i) 地盤安定材

クリンカアッシュは、フライアッシュ等の細粒の石炭灰と異なり、自硬性がないが、地盤安定増量材として使用することが可能である。例えば、一般にピート、泥炭質土のように含水比が高い地盤においては、大量のセメントまたは石灰を添加・混合しても所定の強度を得にくく、この場合増量材として砂を用いることがあり、クリンカアッシュはこの砂の代替え材料として考えることができる。

一方、粒径が大きいクリンカアッシュの場合は、せん断強さおよび透水性とも砂と同等以上のものが期待できることからサンドコンパクションパイル工法、バーチカルドレーン工法などの地盤改良工法における砂の代替え材料として十分使用可能である。しかしながら、締固め等によるクリンカアッシュの粉末化の影響などは、実施工において確認することが必要である。

### ii) 盛土・透水材料

クリンカアッシュは、そのままの形態で道路盛土等の盛土材として利用可能である。さらに粗いクリンカアッシュは、砂と同等以上の透水性が確保されることから、盛土内の排水材およびサンドマット等の透水性材料として利用可能である。

しかし、実際に使用した事例が少ないことから、施工上の問題点の抽出や長期的な観測データの蓄積ならびにクリンカアッシュの供給量の検討などが今後必要である。

## 8.2.2 石炭灰の技術的課題

石炭灰は、これまで述べてきたように多くの分野において利用可能であり、また、各利用用途に関する石炭灰の諸特性の研究ならびに適用事例も徐々に増えてきている。

しかし、実際の適用にあたって、石炭灰の品質管理方法や供給体制など明確にされていない課題が積み残されているのも事実である。そこで、今後検討すべき主な課題を述べると、次のようになる。

表－8.3 石炭灰の適用性

| 用 途<br>石炭灰の<br>種 類 |    | 地 盤 ・ 盛 土 |            |      |                   | 舗 装 ・ 路 盤         |              |              | コンクリートおよび<br>コンクリート製 品 |     |     |
|--------------------|----|-----------|------------|------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|------------------------|-----|-----|
|                    |    | 砂 の 代 替   |            |      | 土 質<br>改良用<br>添加材 | As 混合物<br>フ ィ ラ ー | 上 層<br>路 盤 材 | 下 層<br>路 盤 材 | セメント<br>の代替え           | 細骨材 | 粗骨材 |
|                    |    | 盛土材       | 透水性<br>材 料 | 締固め杭 |                   |                   |              |              |                        |     |     |
| クリンカ               | 粗粒 | ○         | ○          | ○    | △                 | ×                 | △            | ○            | ×                      | ×   | △   |
| アッシュ               | 細粒 | ○         | △          | △    | △                 | ×                 | △            | ○            | ×                      | △   | ×   |
| フ ラ イ              | 粗粒 | ○         | ×          | ×    | ○                 | ○                 | ×            | △            | ×                      | △   | ×   |
| アッシュ               | 細粒 | △         | ×          | ×    | ○                 | ○                 | ×            | △            | △                      | △   | ×   |

凡例； ○適用可能 △条件付きで適用可能 ×適用不可能

総プロで検討した項目

#### (1) 石炭灰のデータの蓄積と品質基準の整備

本研究の成果ならびに既往の研究などから、石炭灰の基本的諸特性が明確にされつつあるが、盛土等へ適用する場合の石炭灰の耐久性（侵食、凍結融解など）や石炭灰の固結原理、灰種による諸特性の変化など、未解明な点が多く残されている。

一方、今後海外炭の使用が増加していく見通しから、石炭灰の低品質化が進むことも考えられる。

以上の点から、石炭灰に関するデータおよび実用事例の蓄積から諸特性を明確にするとともに、現行の各種基準や仕方書との対応から、石炭灰の品質基準および評価方法の整備をはかる必要がある。

#### (2) 石炭灰の供給体制の整備

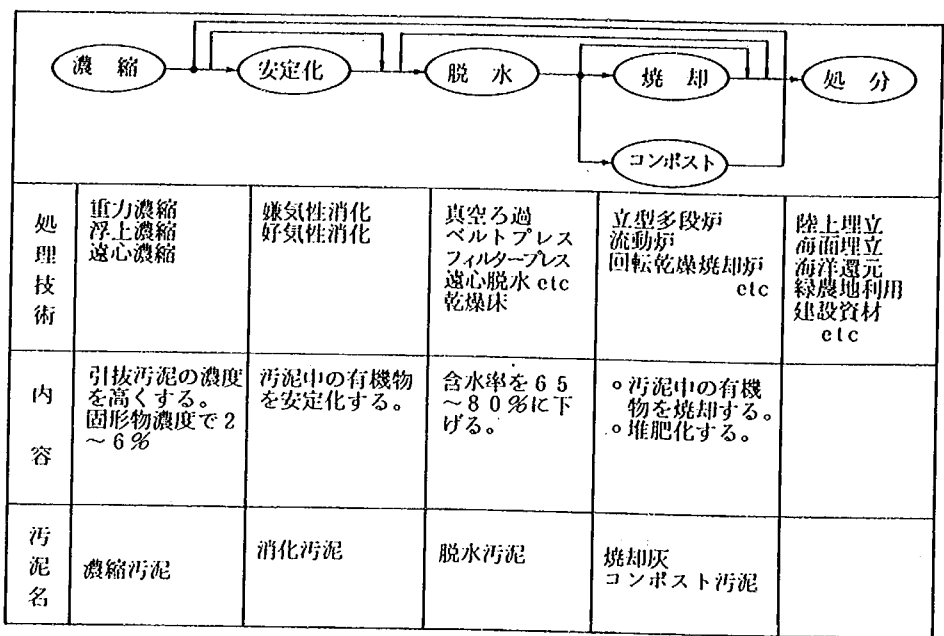
現在、石炭灰は、数箇所の石炭火力発電所から供給されており、また流通システムも未整備のままである。このため当面は、経済性の検討から発電所に近接した箇所での利用に限られてくることが考えられる。しかしながら、地盤・盛土・路盤などの土工への利用拡大をはかるためには、アッシュセンター等の流通機構の整備が今後望まれる。

### 8.3 下水汚泥再生材

#### 8.3.1 下水汚泥の発生、処分の現状と動向

##### (1) 下水汚泥の発生、処分の現状

下水汚泥とは家庭生活や事業活動によって発生した汚泥を下水処理場で浄化する際に、汚水から分離される固形物である。これは、流入下水そのものに含まれていた固形物、及び処理によって増殖した生物等からなっており、図－8.1に示すように汚泥処理工程を経て最終処分されている。処理段階によって下水汚泥の形態は、生汚泥（濃縮汚泥）、消化汚泥、脱水汚泥（脱水ケーキ）、下水汚泥焼却灰、コンポスト汚泥、汚泥スラグ等に分けられる。



図－8.1 汚泥処理プロセスの概要

わが国の下水道整備水準は、昭和60年度末で4,333万人の下水を処理し、総人口に対する普及率は約36%である。この結果下水汚泥として発生する固形物は約100万tにのぼっている。この発生した汚泥は、様々な処理を経て処分されている。

汚泥形態別に見ると、脱水ケーキが最終処分量の7割を占めている。しかし脱水ケーキを焼却するとその量（重量及び容積）は6分の1～10分の1に減少することから、焼却灰として処分される下水汚泥は脱水ケーキ換算でみると、発生汚泥の約半分である。処分方法では陸上及び海面埋め立てが76%と処分方法の中心となっている。有効利用は全処分量の16%であり、さらに有効利用量に占める建設資材の割合は小さく9%である。

##### (2) 下水汚泥の発生、処分の動向

下水道の普及率の向上、汚濁負荷の増大や処分水質の向上などによって、今後も下水汚泥発生量は増大し続けると考えられる。下水道整備の将来目標は21世紀初頭における下水道普及率を約90%としていることから、その時点で下水汚泥の発生量も現状の3倍以上になると考えられる。

一方、埋立適地の減少や自然環境保護に対する関心の高まりなどから、埋立処分はますます困難になると考えられる。このような背景から、下水汚泥再生材を有効利用することへの期待は大きい。

下水汚泥の有効利用分野としては、①下水汚泥に含まれる有機物に着目した緑地・農地への土壌改良材及び肥料としての利用と、②下水汚泥に含まれる無機物に着目した建設資材への利用とに大きく分類される。

前者の汚泥形態は、脱水ケーキ、コンポストが中心となっている。また、後者としては、現在焼却灰がほとんどであり、わずかであるが人工軽量骨材が利用されている。

今後は、この研究の成果を受けて、建設資材利用が増加することが期待される。

### (3) 下水汚泥焼却灰

下水汚泥焼却灰は、下水汚泥を焼却処理した残滓であり、主成分はケイ素 (Si)、カルシウム (Ca)、鉄 (Fe)、アルミニウム (Al) の4元素の酸化物で、焼却灰の70～80%を占めている。

下水汚泥焼却灰の組成は①下水の水質、②使用する汚泥調質材の種類や量によって変化する。特に、土質改良用添加材として使用する場合に重要となる石灰成分は、脱水工程で用いる調質材によって左右される。調質材とは、脱水機に汚泥を投入する前に汚泥の脱水性を高めるために用いる薬品で無機系と有機系とに分けられる。前者としては、硫酸第一鉄と過酸化水素等も用いられるが塩化第二鉄と消石灰を併用する例が多い。後者としては、各種有機高分子凝集剤が用いられている。

調質材として塩化第二鉄と消石灰を併用した脱水ケーキの焼却灰（以下、石灰系焼却灰という）の石灰成分（CaOとして）は重量比で20～30%となっている。これに対して有機高分子系凝集剤をもちいた場合の焼却灰（以下、高分子系焼却灰という）では、これが3～8%である。焼却灰の真比重は2.5～3.1であるが、みかけ比重は1前後であり、かつ粒度はシルトから細砂に分布するので、加湿しないで運搬や使用するときには飛散に対する配慮が必要である。

## 8.3.2 下水汚泥再生材の有効利用方法

本研究で検討対象とした下水汚泥再生材は、①下水汚泥焼却灰、②下水汚泥スラグ、③人工軽量材である。それらの利用用途ごとの評価を、表－8.4に示す。なお、表－8.4は限られた期間及び材料において検討されたものであり、今後の技術開発により見直されるべきものもある。

下水汚泥再生材を使用する場合、そのなかに含まれる重金属の挙動について懸念されることがある。そこで、本研究では、浸出水の水質について調査を行っており、その結果水質は「金属等を含む産業廃棄物に係わる判定基準を定める総理府令」の基準値以下のものとなっている。

下水汚泥焼却灰については、①盛土材、②土質改良用添加材、③埋戻し材、④路盤材、⑤アスファルトフィラーとしての利用について検討した。

### ① 盛土材

石灰系焼却灰は、盛土築造直後に十分な強度が得られ、それ以降も数週間にわたり、強度が増加していくので、強度の面からみると、盛土材として十分利用できる。ただし、石灰系焼却灰でも特に粒度が細かいものについては、施工含水比の調整に注意しないと、転圧がしにくく、また粉じん等の問題が生じやすい。粒子が微細な高分子系焼却灰は、水で流されたり、風で飛ばされやすく、しかも自硬性もほとんどないことから、強度及び施工の両面から、盛土材としての利用は好ましくない（「7. 下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性」参照）。

## ② 土質改良用添加材

石灰系焼却灰は、土との優れた反応性を有しているため、単独あるいは他の成分と組み合わせて用いることにより、土質改良用添加材として十分に使用することが可能である。石灰系焼却灰を単独で用いる場合は、軟弱粘性土等に混合することを前提とするが、一般に改良後の強度はそれほど高くないので、使用は低強度改良を目的としたものに限られる。本研究では、粘性土、ピート質地盤の深層混合処理に適用して、期待した成果をあげている（「5.石炭灰・下水汚泥焼却灰等の深層混合

表－8.4 下水汚泥再生材の利用法

|         |       | 地盤・盛土                                                       |       |     | 路盤・舗装                         |       |       |       |     | 土木構造物・建築                     |                                  |                                                                                                                         |
|---------|-------|-------------------------------------------------------------|-------|-----|-------------------------------|-------|-------|-------|-----|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |       | 盛土                                                          | 土質改良材 | 埋戻し | 粒状材                           | 安定処理  | ファイバー | 混合物利用 | その他 | 背コンクリート                      | 背コンクリート                          |                                                                                                                         |
| 下水汚泥焼却灰 | 石灰系   | ○                                                           | △☆1   | △☆2 | △☆3                           |       | △☆4   |       |     | △☆5                          |                                  | ☆1 比較的低強度への改良に利用可<br>☆2 強度発現が大きすぎる点が難<br>☆3 下層路盤、歩道、自転車道路路盤への利用<br>☆4 アスファルト量の増加<br>☆5 細骨材としての混合使用<br>高強度を要しない二次製品等への利用 |
|         | 高分子系  | ×                                                           | ×     | ×   |                               |       |       |       |     | △☆5                          |                                  |                                                                                                                         |
|         | 空冷    |                                                             |       |     | △※1                           | (○)   |       | ×     |     | △※3                          |                                  |                                                                                                                         |
|         | 水砕    |                                                             |       |     | (△※2)                         | (△※2) |       | ×     |     | △※3                          |                                  |                                                                                                                         |
|         | 結晶粗骨材 |                                                             |       |     |                               |       |       |       |     | ○                            |                                  |                                                                                                                         |
|         | 結晶細骨材 |                                                             |       |     |                               |       |       |       |     | ○                            |                                  | ※1 下層路盤、軽交通道路路盤への利用<br>※2 下層路盤への利用<br>※3 低強度コンクリートへの利用                                                                  |
|         | 結晶成形材 |                                                             |       |     |                               |       |       |       | ○   |                              |                                  |                                                                                                                         |
| 人工軽量骨材  |       |                                                             |       |     |                               |       |       |       |     |                              | ○                                |                                                                                                                         |
| 摘 要     |       | ① 下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性に関する研究<br>② 石灰系、下水汚泥焼却灰の深層混合処理への利用技術の開発 |       |     | 下水汚泥焼却灰等を利用した舗装の設計・施工マニュアル（案） |       |       |       |     | 汚泥スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針（案） | 軽量コンクリートに用いる汚泥焼却灰骨材（人工軽量骨材）の品質管理 |                                                                                                                         |

凡例 ○……当該項目に利用される材料と同等に使用できるもの  
 △……条件付で使用できるもの  
 ×……使用できない  
 (ト……室内実験による評価であり、今後施工実験必要  
 ……本総プロでハード面の検討対象としたもの

処理への利用技術の開発」参照。)

セメントや石灰等の他の成分と組み合わせて用いる場合は、その配合によっては一般の土質改良用添加材と比べて遜色のない土質改良効果が得られるので、高強度改良を目的とした使い方が可能である。本研究の成果では、下水汚泥焼却灰と生石灰及び排脱石膏をCaO成分が60％程度、SO<sub>3</sub>成分が12～13％程度となるように配合するとへどろ等の処理にあたって、特殊セメントなみの土質改良効果が期待できる（「6. 高有機質土の適正処理技術の開発」参照）。

## ③ 埋戻し材

石灰系焼却灰を埋戻し材として使用する場合は、上記①の盛土材の場合と同様、埋戻し後に大きな強度が発現する。しかし、埋戻し材に要求される再掘削の容易さという観点からすると、単体で使用するとあまりにも強度が高くなりすぎるおそれもあるので、埋戻し材として単体で使用するのは好ましくない。むしろ、土質改良用添加材として土と混ぜて使用することが望ましい。高分子系焼却灰は、盛土材の場合と同様の理由で、埋戻し材としての使用は好ましくない。

### 8.3.3 下水汚泥再生材の利用にあたっての技術的課題

下水汚泥を建設資材として利用していくにあたって、今後以下に述べるような技術的な検討が必要であると考えられる。

#### (1) 下水汚泥再生資材の品質管理技術の確立

下水汚泥再生材を建設資材として供給する場合には、その品質をコントロールしなければならない。このためには、①現状での品質の変動を把握し、②要求される品質にコントロールする技術を確立する必要がある。（「7. 下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性 7.4 まとめ」参照）。

#### (2) 施工例の積重ね

本研究では、試験施工を多数実施しているが、利用条件及び材料の品質等を考えると、施工例はまだ不足している。このため、施工を積重ね下水汚泥再生資材の有用性を一層明らかにする必要がある。

地盤・盛土への廃棄物  
利用技術の開発

ISSN 0386-5878  
土木研究所資料第2505号  
昭和62年5月(1987)

要 旨 本報告は、総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発」で得られた成果のうち、廃棄物の地盤・盛土への利用に関する部分をまとめたものであり、「残土処理システムの開発」、「改良土を用いた埋戻し技術」、「高含水比粘性土の土質改良用混合装置」、「石炭灰・下水汚泥焼却灰の深層混合処理への利用技術」、「高有機質土の適正処理技術」、「下水汚泥焼却灰の地盤・盛土への適用性」の研究成果が収録されている。

キーワード：地盤、盛土、廃棄物、残土、石炭灰、下水汚泥焼却灰、埋戻し、土質改良、有機質土、混合装置、深層混合処理、

郵便はがき

いは40  
円切  
下手を

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

機械施工部土質研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

No. \_\_\_\_\_

No. \_\_\_\_\_

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2505号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印