

# 地下鉄工事における処理土てん充工法(セメント混合) による側部埋戻しの施工例

An execution example of backfilling by using cement-mixed excavated site-soil

|         |         |         |            |         |         |         |             |
|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|-------------|
| いの<br>井 | うえ<br>上 | ゆき<br>征 | お<br>夫*    | すぎ<br>杉 | はら<br>原 | かず<br>和 | ひこ<br>彦**   |
| かわ<br>川 | さき<br>崎 | ひろ<br>宏 | あき<br>明*** | こう<br>河 | ち<br>内  | まさ<br>正 | かつ<br>克**** |

## 1. 現地発生土および埋戻し土の現状

大阪市で施工中の地下鉄工事の大部分は沖積層が対象となっている。そのため、現地発生土の大半は極めて軟弱な粘性土が多いが、とりわけ当市東部から東大阪市にかけて鋭敏性の高い軟弱粘性土(布施粘土層)が堆積している。これらの軟弱粘性土は掘削時にあらかじめ石灰等による安定処理を行う必要があるなどの施工上の問題のほかに、再利用率が極めて低いため、土捨て場の確保と環境保全、ダンプ運搬時の交通公害等の社会的諸問題をも惹起している。一方、埋戻し土は大半の工事で良質土を購入しているが、都市土木の通例として都市ガス、上下水道、通信線等の地下埋設物が多く、かつく体と土留め壁との間隔が狭いため、十分な作業空間が確保できず、これらの埋戻し、水締め転圧作業に難渋するという問題をかかえているのが現状である。

## 2. 処理工法開発の経過

### 2.1 開発の目的および工法の基本方針

前述のような事実を背景に、①現地発生土の軟弱粘性土を埋戻しに再利用し、前記社会的諸問題の解決をはかる、②再利用土の埋戻しに際し、狭小な作業空間でも安全かつ信頼性の高い埋戻しができること、の2項目を目的に開発することとした。また、工法の基本方針としては、①埋戻し時の転圧作業をなくし、かつ狭小空間にも十分てん充ができるよう水、添加材を加えてスラリー化し、シュートで流し込み、その後自硬作用により強度を発揮させる方式とする、②現地発生土はしばしば塊状となっているのでそれを十分粉碎、混練りできる装置とし、かつそれを市販機の中から採用する、③処理された埋戻し土(以下処理土という)は収縮、強度等に経時劣化の少ない品質とすること、の3項目を掲げて開発にあたった。

### 2.2 添加材、混練り機械の検討

添加材については公害、経済性、取扱いの容易性、処理効果等の諸条件をもとに、各種材料を調査、予備室内実験も行った結果、セメントを添加することとした。また、混

練り機械については既述のように、市販機種を利用することとし、ミキサー、ポンプ、掘削土工機械等広範囲にわたって調査した結果、へどろ処理用の移動式混練りミキサー(以下混練りミキサーという)が最適との結論に達し、若干の改良を行ったうえで同機を採用することとした。

### 2.3 予備試験

#### (1) 配合実験

想定される現地発生土の粒度組成を、A:粘土、シルト分90%前後、B:同70%前後、C:同50%前後の3種類とし、人為的に類似試料を作成、各々に対しセメントを90, 120, 150 kg/m<sup>3</sup>の割合で添加、スランプが20前後になるよう水量を補正し、配合実験を行った。測定は配合前に発生土の粒度分布、自然含水比を、スラリー化直後にスランプおよび体積変化を、また7日、28日目に一軸、圧密、CBR各試験を行った。

#### (2) 実験結果の概要

前述の要領で実験を行ったが、その結果を概述する。

i) 体積変化: 硬質塩ビ製の円筒型わくにスラリーを流し込み、空中養生しながら体積の経時変化を測定した。その結果、各試料とも、若干のばらつきはあったが、供試体の高さに対して、最大1.5%程度の体積減少のあることが分かった。ただし、この変化も24時間以内にほぼ終了することが判明したので、体積の減少が累積され、上部、または側部へ影響を与えるという施工上の懸念は不必要と判断した。

ii) 硬化に伴うき裂: 強度試験用の型わくにスラリーを流し込み空中養生した場合には、ピース内の水分が蒸発して表面に小さき裂が生じもろくなる現象がみられたが、実際の状況に合わせた環境では表面のごく一部に発生したにとどまった。これは地中で常に湿潤状態にあること、表乾面積比が小さいこと等の理由によるものと考えられる。

iii) 圧密特性: 処理土はいわゆる過圧密洪積粘土の性状に近く、したがって圧縮指数( $C_c$ )も沖積粘土( $C_c \approx 0.8$ )に比べてかなり大きな値( $C_c \approx 1.5$ )を示すことが分かった。また、圧密係数( $c_v$ )も洪積層ないしは大阪層群によく似た性状を示した。

iv) 設計CBR: 発生土の粒度組成によってもCBR値は変化する。通常は $CBR \geq 5$ であれば路床土として使用できるが、表-1の試料No. A-90, B-90, C-90におい

\*大阪市交通局高速鉄道建設本部計画部計画課 第二設計係長

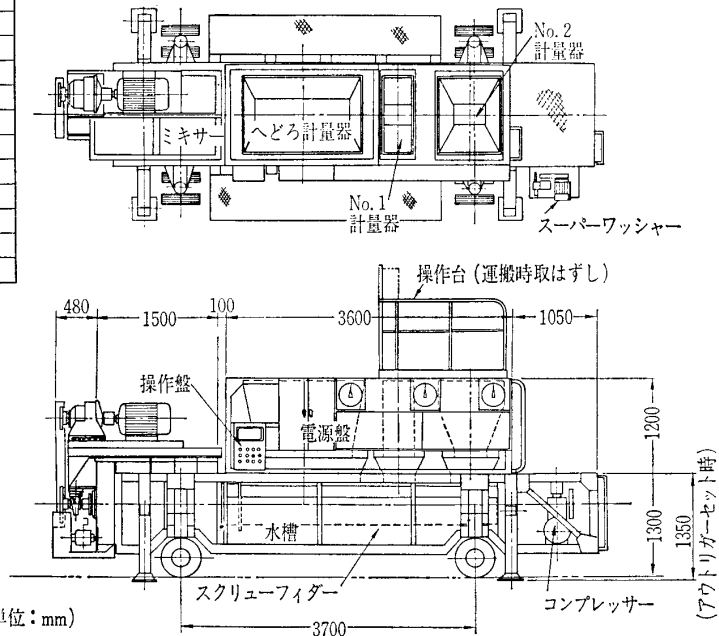
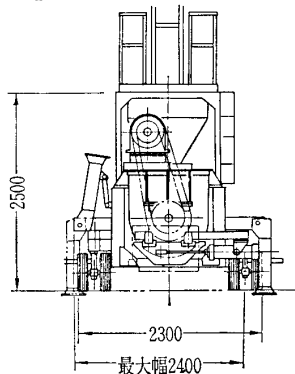
\*\*大阪市交通局高速鉄道建設本部計画部改良課 改良係

\*\*\*フジタ工業株式会社土木部計画課 課長

\*\*\*\*フジタ工業株式会社土木工部チーフエンジニア

## 概 略 仕 様

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| 混練り能力      | 3～5 m <sup>3</sup> /H    |
| ミキサー       | 混練り容量 0.44m <sup>3</sup> |
| 動力         | 22kw, 6P (支給品)           |
| 回転数        | 42rpm                    |
| 払出し方法      | エアシリンダー(150φ×450st)      |
| スクリューフィーダー | 羽根径 0.485m               |
| ピッチ        | 0.64m                    |
| 回転数        | 42rpm                    |
| コンプレッサー    | BU-7T(日立) 2.2kw          |
| 洗浄ポンプ      | スーパーワッシャー 1.5kw          |
| 洗浄用水槽      | 1.4M <sup>3</sup>        |
|            |                          |
| 計量器        | 設定方法 設定棒指示複合式            |
| 払出し方法      | エアシリンダー                  |
| へどろ        | 800kg/2kg                |
| No.1       | 150kg/0.5kg              |
| No.2       | 300kg/1kg                |
| 総重量        | 6,500kg                  |



図—1 混練りミキサー設計図および仕様

て各々 CBR=5, 18, 21% となり, 十分実用に供し得ると判断した。

これらの測定結果を表—1, 図—2～4 に記す。

## (3) 混練り試験とその結果

現地発生土は砂質土だけとは限らない。砂質土の場合は

一般に混練りは容易であるが粘土分が多くなるに従い, また, 添加水量が少なくなるに従ってスラリー化が困難になる。そのため, 粒度分布, 添加水量等の条件を変化させ混練りミキサーでの混練り状況を観察した。その結果, 条件により多少の差はあるものの, 当初直径 20～30 cm の塊状

表—1 配合実験結果一覧表

| 試料<br>No. | 配合上下<br>配合比率<br>1m <sup>3</sup> 当たり (kg/m <sup>3</sup> ) |              |               | セメント<br>水 比<br>C/W<br>(%) | スランプ<br>(cm) | 練上がり<br>密 度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ブリージ<br>ング<br>(%)<br>24 h | 一軸圧縮強度<br>qu (kgf/cm <sup>2</sup> ) |             | ソイルの粒度分布 |            | 備 考 |
|-----------|----------------------------------------------------------|--------------|---------------|---------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|----------|------------|-----|
|           | ソ イ ル<br>(Si)                                            | セメント<br>(C)  | 水<br>(W)      |                           |              |                                     |                           | 材 令<br>7 日                          | 材 令<br>28 日 | 砂 分      | 粘土シル<br>ト分 |     |
| A—90      | 49.0<br>680.8                                            | 6.5<br>90.3  | 44.5<br>618.9 | 14.6                      | 19.5         | 1390                                | 1.5                       | 3.14                                | 5.56        | 4 %      | 96%        |     |
| A—120     | 50.1<br>679.3                                            | 8.6<br>117.2 | 41.3<br>560   | 20.9                      | 20.5         | 1357                                | 〃                         | 4.05                                | 7.42        |          |            |     |
| A—150     | 48.9<br>664.6                                            | 10.8<br>147  | 40.3<br>548.3 | 26.8                      | 20           | 1360                                | 〃                         | 5.51                                | 11.10       |          |            |     |
| B—90      | 53.2<br>848.3                                            | 6.0<br>95.3  | 40.8<br>650.3 | 14.7                      | 23.5         | 1592                                | 〃                         | 3.59                                | 6.66        | 33.5     | 66.5       |     |
| B—120     | 55.8<br>907.1                                            | 7.4<br>120.6 | 36.8<br>597.9 | 20.2                      | 26           | 1605                                | 〃                         | 4.20                                | 8.28        |          |            |     |
| B—150     | 58.7<br>982.7                                            | 9.3<br>156.3 | 32<br>536     | 29.2                      | 20.9         | 1675                                | 〃                         | 6.20                                | 12.25       |          |            |     |
| C—90      | 65.2<br>1135.0                                           | 5.4<br>92.4  | 29.4<br>501.1 | 18.4                      | 18.1         | 1707                                | 〃                         | 4.62                                | 7.76        | 52.5     | 47.5       |     |
| C—120     | 64.1<br>1109.7                                           | 7.0<br>121.8 | 28.9<br>500.5 | 24.3                      | 25           | 1732                                | 〃                         | 4.53                                | 9.25        |          |            |     |
| C—150     | 65.1<br>1143.8                                           | 8.7<br>152.5 | 26.2<br>459.7 | 33.2                      | 22           | 1756                                | 〃                         | 7.85                                | 14.96       |          |            |     |

試料 No. 中の A, B, C は粒度組成を, 90, 120, 150 は m<sup>3</sup> 当たりセメント使用量を示す。

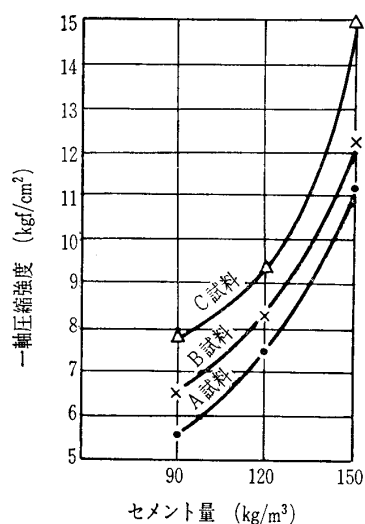


図-2 試料別セメント量～軸圧縮強度( $\sigma_{28}$ )の関係

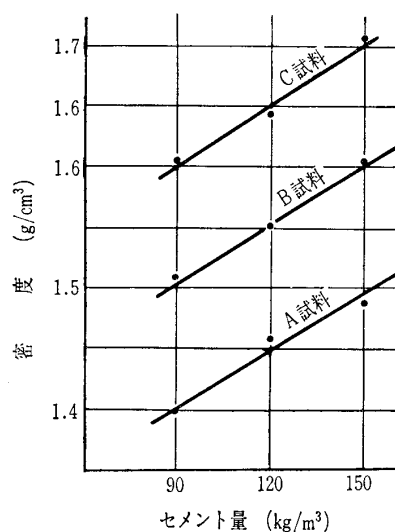


図-3 固結後の密度と添加量の関係

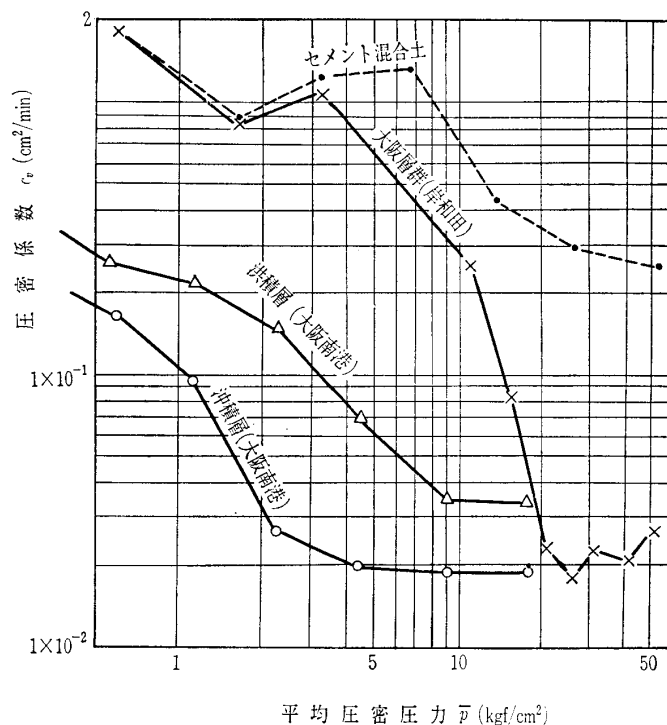


図-4 処理土の  $\bar{p} \sim c_v$  関係図

土も混練り時間1～4分程度でほとんどスラリー化され、実用に供し得ることが確認された。

### 3. 埋戻し工事への応用

#### 3.1 工事の概要

予備試験の結果をもとに、前述の布施粘土層の堆積地域でもある仮称「高速電気軌道第5号線北巽停留場工事（第一工区）」において、PIP土留め壁と地下構築体とのすき間（0.6～3.0m）を延長約230m（総土量約3700m³）にわたり処理土で埋戻した。埋戻し期間は昭和53年9月～

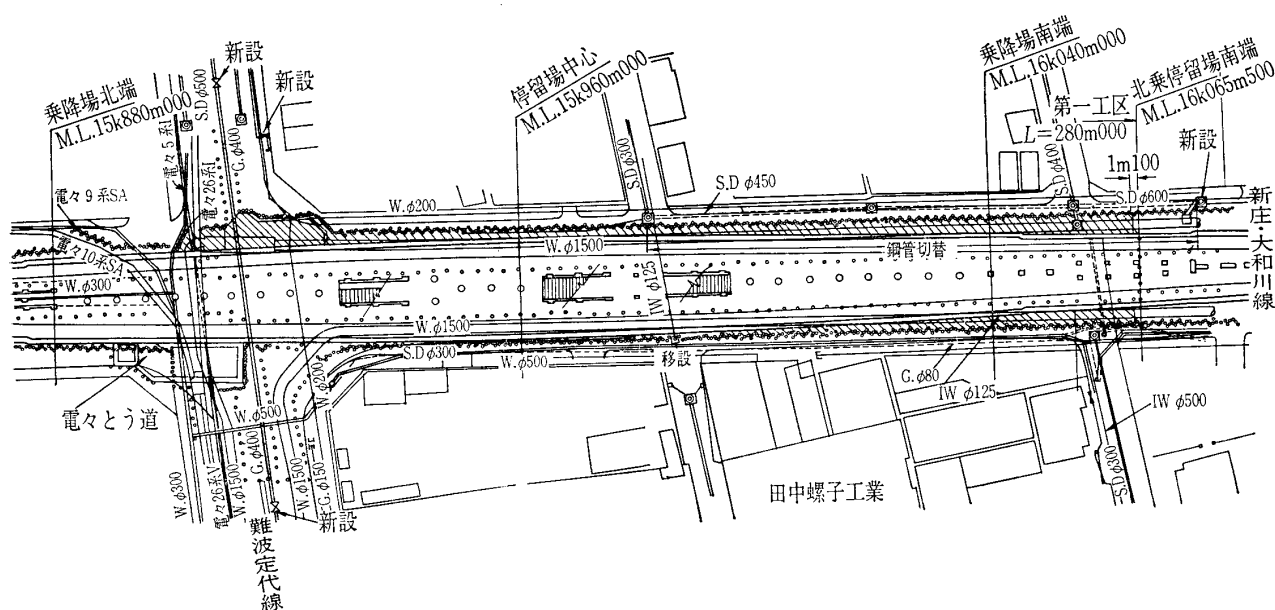


図-5 処理土による埋戻し平面位置図（////部分）

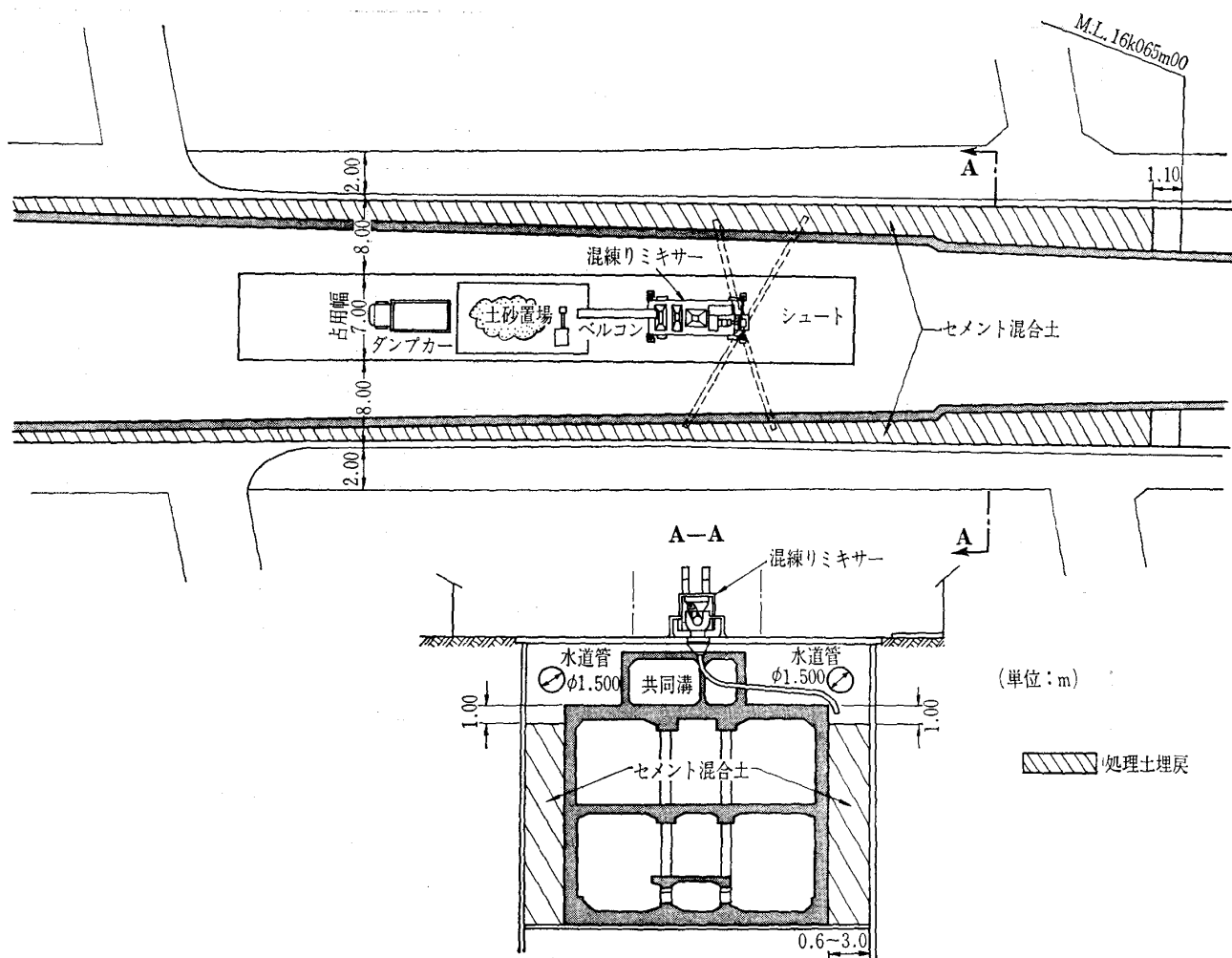


図-6 施工機械配置図

昭和54年6月までであったが、実稼働日数はその内のおおよそ150日間であった。施工は車道幅員23.0mの内7.0mを占用し、その内側で図-6に記したような機械配置を行った。すなわち、仮置き土砂ピット内の現地発生土はバックホウでベルトコンベヤーを通して混練りミキサー内の土砂計量ホッパーに投入される。所定土量になるとベルトコンベヤーのスイッチが切れ、同時にホッパーが開きスクリーフィーダーによりミキサー部に送りこまれる。一方セメントミルクも計量機により定量的にミキサー部まで送りこまれ、両者がミキシングされ処理土となるもので、最大40 m<sup>3</sup>/dの混練り能力を有している。標準配合はでき上がりスラリー1 m<sup>3</sup>当たり現地発生土1508 kg、水302 kg、セメント90 kg、目標強度は $\sigma_{28}=5.0$  kgf/cm<sup>2</sup>とした。また、品質管理としては、発生土の粒度試験(200 m<sup>3</sup>/回)、混合直後の試験としてはスランプ測定(2回/d)、一軸圧縮試験(200 m<sup>3</sup>/回、 $\sigma_7$ 、 $\sigma_{28}$ )、固結後の試験としては標準貫入試験(山砂埋戻しと比較)、沈下測定、一軸圧縮試験(約2年後)、透水試験等を行った。

### 3.2 施工結果

施工結果を要約すると次のとおりである。

- i) 一軸圧縮強度： $\sigma_{28}=5.0$  kgf/cm<sup>2</sup>をほぼ上回ってお

り目的を十分達することができた。

- ii) 標準貫入試験：当工区内で比較のため、礫混じり砂の水締め埋戻し部分も設けた。水締め部は約80日後に、処理土部は約50日後に標準貫入試験を各々行ったが前者は $N=3\sim4$ 、後者は14~16であった。

- iii) 透水係数および防水効果：粘土、シルト分が約90%を占める粒度組成の発生土を対象に透水試験を行った。その結果、自然状態では $k_{15}=3.5\times10^{-5}$  cm/sであったものが処理後は $k_{15}=4.3\times10^{-7}$  cm/sとなった。また、埋戻し時のスラリーを採取し、高分子系防水剤混入モルタルをポリマー～セメント比12%で混入し、JIS A 1404で試験し

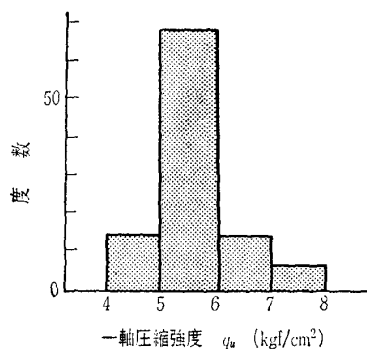
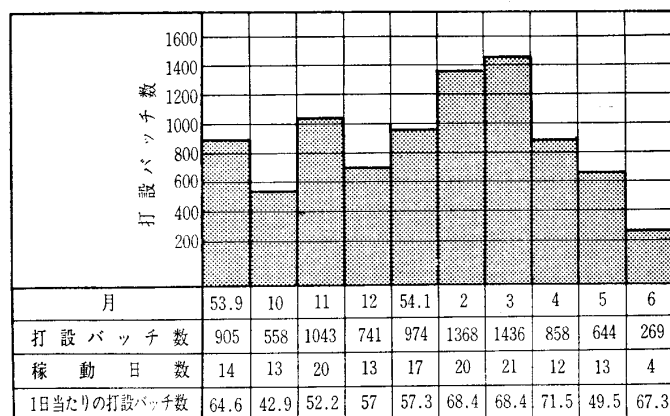


図-7 処理土の一軸圧縮強度度数分布図

表—2 防水試験結果一覧表

| 防 水 方 法       | 吸 水 量 (g) | 透 水 量 (g) |
|---------------|-----------|-----------|
| モルタル防水        | 1.8以下     | 4以下       |
| セメント混合土 (砂質土) | 56.5      | 123       |
| 〃 (粘性土)       | 53        | 125       |



図—8 処理土施工実績

た結果、防水効果としては期待できないことが分かったが、一方、前記透水試験において、透水係数が約 1/100 低下したことから、漏水は通常の埋戻しに比べて少なくなると思われる。表—2 に防水試験結果を記す。

iv) 混練り状況：塊状の粘土をペースト状にする機能は非常に優れていた。その成功の因は混練りミキサーのタインの形状(リボンタイプピッチ約 650 mm)、内壁とタインの間隔(約 10 mm)、回転数(約 45 rpm)等にあると思う。

v) 施工能力：当初計画では 40 m<sup>3</sup>/d であったが、混練り機の小故障、木くず、ガラの混入によるホースのつまり等のため、25 m<sup>3</sup>/d 程度にとどまった。

vi) 経済性：試算によると 1 日当たり 100m<sup>3</sup> の山土埋戻し単価を 1.00 とした場合、処理土量が 25 m<sup>3</sup>/d では 2.27, 50 m<sup>3</sup>/d では 1.39, 100 m<sup>3</sup>/d では 1.00 となる。ちなみに

貧配合コンクリートでの埋戻しを行う場合には 4.7 となり、今後工法の改善に努めれば処理土による埋戻しでも十分採算はとれると考えられる。

vii) 経時変化：処理土による埋戻し後、現在に至るまで定期的に沈下測定を行っているが沈下は全く認められない。また、埋戻し後約 2 年経過した昭和 56 年 5 月に別途工事のために処理土を掘削した際、不かく乱処理土を採取し、一軸圧縮試験を行った。その結果によれば砂分を比較的多く含んだ試料で  $q_u = 10 \sim 12 \text{ kgf/cm}^2$ 、粘土分が優位にある試料で  $q_u = 6 \sim 7 \text{ kgf/cm}^2$  であった。また、試料採取時の現場観察でも特別の異状は認められなかった。

#### 4. おわりに

処理土の施工順序を考えると現地発生土は工事前半で生じ、処理土埋戻しは後半で施工される。単一の工事現場を対象とすれば、その間、仮置きが必要となってくる。しかし都市土木工事、なかんずく地下鉄工事ではそのための仮置き場所を確保することは通常は極めて困難である。これを解決するには近接工区または他工事と調整のうえ、発生土を直接搬入、処理する方法が有効であろう。

このような施工上の制約事項はあるものの、現地発生土を埋戻しに再利用することは、今や社会的ニーズであり、また、我々の夢でもある。一方狭い地下部分での埋戻しをいかに安全かつ確実に施工するかは工事担当者共通の課題でもあった。しかし、今回の一連の実験、工事をとおして両者の目的をほぼ達成できる目途がついたと我々は考える。とはいえ、完成された工法とするためにはまだ多くの問題点を抱えていることも事実である。例えば「より優れた混練り機、添加材の改良、開発」、「改良土性質の把握」等努力の余地は多く残されている。今後もこれら諸問題の解決に積極的に取り組んでゆきたい。

(原稿受理 1981.8.3)

### 第 4 回 水—岩石相互作用国際集会の会期変更のお知らせ

本誌 9 月号 (Vol. 29, No. 9) の 17 ページに掲載しました標記集会の会期が下記のように変更になりましたのでお知らせいたします。

#### 記

旧  
会 議：昭和 58 年 7 月 25 日～30 日  
野外巡検：7 月 31 日～8 月 4 日

新  
昭和 58 年 8 月 29 日 (月)～9 月 3 日 (土)  
9 月 4 日 (日)～ 8 日 (木)

問合せ先：岡山大学温泉研究所内 酒井 均 電話 08584—3—1211