

# FMP工法設計マニュアル(案)

～産学官共同研究報告書～

平成17年3月

(財)福井県建設技術公社

## 発刊にあたって

(財)福井県建設技術公社は、建設事業に関する技術力の向上および普及啓発を行うとともに、建設事業の円滑かつ効率的な執行を図り、もって県民の福祉の向上に寄与することを目的とし、県の出捐により平成6年4月に設立されました。

設立以来、今年で11年目を迎えることとなりました。この間、研修業務、調査・設計マニュアルの作成、建設事業に関する受託業務などを行い、建設事業の円滑かつ効率的な執行を図るための発注者支援を行ってまいりました。

このうち産学官共同研究支援事業は、平成12年度より大学と民間企業および県の機関(雪対策・建設技術研究所等)が対等の立場で共通の課題に取り組み、技術研究開発を推進し、建設技術の高度化を図ることを目的として始まり、当公社はこの共同研究のコーディネートを  
行っております。

さて、福井県の平野部には軟弱地盤が広く存在し、とりわけ嶺南地域には高有機質土層が厚く堆積しており、従来工法による地盤改良が困難な状況にあります。

一方で、福井県には北陸電力(株)敦賀火力発電所があり、本県の消費電力量の大半をまかなっておりますが、同時に毎年約20万 t ものフライアッシュが産出されており、処理の必要があります。

そこで、環境に優しい循環型社会の構築を推進するため、当公社では無機質なフライアッシュを高有機質土の地盤改良材として用いた工法について、平成14年度から平成16年度までの3ヶ年にわたって研究に取り組み、本年度、マニュアル(報告書)作成の運びとなりました。

本書はその研究成果をまとめ、実務者向けにマニュアル化したものであり、高有機質土の軟弱地盤改良に活用いただければ幸いです。

最後に、この共同研究にご協力頂いた方々に対し、深く感謝申し上げます。

平成17年3月

(財)福井県建設技術公社  
理事長 笠松 泰夫

## まえがき

増加する石炭消費により生じるフライアッシュ(石炭灰)はセメント分野で有効利用されてきたが、公共事業の縮減や埋立て処分地の減少により処理が困難になってきている。フライアッシュの利用方法の一つとして、フライアッシュを主材料として現場打ち杭を造成するFMP(Fly-ash Mortar Pile)工法がある。FMP工法は、深層混合処理工法のようにフライアッシュと地盤を混合するのではなく、少量のセメントを加えたフライアッシュと水を練り混ぜたフライアッシュモルタルのみで軟弱地盤に現場打ち杭を造成する工法である。深層混合処理工法は高有機質土での利用に問題があるが、FMP工法は地盤との混合を行わないので、土質に関係なく信頼性の高い現場打ち杭を造成できる利点がある。

FMP工法の製造プラントや打設機械の開発はほぼ終了しているが、現場で実際に利用した場合に得られる杭の強度・剛性、設計方法などに不明確な部分があり、工法の普及の妨げになっていた。このため、(財)福井県建設技術公社がコーディネーターとなり、ナチュラルコンサルタント(株)、北陸電力(株)、東洋建設(株)、敦賀セメント(株)グループ、福井大学、福井県雪対策・建設技術研究所が参加した産学官の共同研究により、FMP工法に関する室内実験や現場実証試験を行って性能を検証するとともに、設計方法を確立することとした。本マニュアルは、この共同研究の成果をまとめて、FMP工法の設計方法を示したものである。

本マニュアルでは、FMP工法の設計方法を実務者に分かりやすく説明している。また、FMP工法の性能と信頼性を把握することにより、工法の有効な利用範囲・利用方法を明らかにしている。

第1章では、FMP工法の概要や、用語・記号について説明する。

第2章では、FMP工法の材料とフライアッシュ固化体の性質について詳述する。

第3章では、FMP工法を適用するための調査・試験を示す。

第4章では、FMP工法の設計方法と設計例を示す。

共同研究においては、産学官の参加者がそれぞれの立場で大きく貢献し、貴重な研究成果が得られた。産学官による共同研究の顕著な成功例の一つと考えられる。今後、多数の実際工事への適用を通じて、信頼性を一層高め、より広範な普及を図る必要がある。本マニュアルにより軟弱地盤改良工法の一つとしてFMP工法が広範に普及することで、フライアッシュの有効利用に大きく貢献することを期待したい。

平成 17年3月

福井大学工学部

建築建設工学科教授 荒井克彦

## 産学官共同研究支援事業

### 研究開発グループ

(平成14年度)

|       |  |
|-------|--|
| 寺崎 勉  | ナチュラルコンサルタント(株) 常務取締役  |
| 加藤 秀樹 | ナチュラルコンサルタント(株) 福井営業所長   |
| 片山 幸一 | 北陸電力(株)火力部火力資源リサイクルチーム 副課長<br>(現 北陸電力(株)福井支店営業部 主査プランナー)               |
| 小辻 敏伸 | 北陸電力(株)敦賀火力発電所 環境保安課<br>(現 財団法人 電力中央研究所 エネルギー技術研究所<br>燃料・燃焼工学領域 主任研究員) |
| 野村 浩二 | 東洋建設(株)北陸支店土木部 技術課長<br>(現 東洋建設(株)名古屋支店土木部 技術課長)                        |
| 長山 英樹 | 東洋建設(株)北陸支店土木部 技術課   |
| 宮繁 起苗 | 敦賀セメント(株) 事業推進室長   |
| 荒井 克彦 | 福井大学工学部 建築建設工学科教授  |
| 谷口 利重 | 福井県雪対策・建設技術研究所 総括研究員<br>(現 福井県土木管理課 技術管理室長)                            |
| 篠原 久雄 | 福井県雪対策・建設技術研究所 主任研究員<br>(現 福井県武生土木事務所 地域整備課主任)                         |
| 植村 明  | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課長<br>(現 福井県嶺南振興局敦賀土木事務所 次長)                          |
| 和田 秀一 | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課主任<br>(現 福井県土木管理課 主任)                                |
| 福岡 誠  | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課主任<br>(現 福井県都市整備課 主任)                                |
| 藤田 博行 | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課技師   |

(平成15年度)

|       |  |
|-------|--|
| 寺崎 勉  | ナチュラルコンサルタント(株) 常務取締役                                    |
| 加藤 秀樹 | ナチュラルコンサルタント(株) 福井営業所長                                   |
| 片山 幸一 | 北陸電力(株)火力部火力資源リサイクルチーム 副課長<br>(現 北陸電力(株)福井支店営業部 主査プランナー) |

|         |  |
|---------|--|
| 小 辻 敏 伸 | 北陸電力(株)敦賀火力発電所 業務課<br>(現 財団法人 電力中央研究所 エネルギー技術研究所<br>燃料・燃焼工学領域 主任研究員) |
| 野 村 浩 二 | 東洋建設(株)北陸支店土木部技術課 技術課長<br>(現 東洋建設(株)名古屋支店土木部 技術課長)                   |
| 長 山 英 樹 | 東洋建設(株)北陸支店土木部技術課  |
| 宮 繁 起 苗 | 敦賀セメント(株)事業推進室長  |
| 荒 井 克 彦 | 福井大学工学部 建築建設工学科教授  |
| 三田村 文 寛 | 福井県雪対策・建設技術研究所 主任研究員   |
| 植 村 明   | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課長<br>(現 福井県嶺南振興局敦賀土木事務所 次長)                        |
| 伊 藤 桂 一 | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課主任   |
| 榎 田 強   | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課企画主査   |
| 藤 田 博 行 | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課主査   |

(平成16年度)

|         |                        |
|---------|------------------------|
| 寺 崎 勉   | ナチュラルコンサルタント(株) 専務取締役  |
| 加 藤 秀 樹 | ナチュラルコンサルタント(株) 福井営業所長 |
| 坂 居 哲 夫 | 北陸電力(株)敦賀火力発電所 業務課長    |
| 黒 川 健 治 | 北陸電力(株)敦賀火力発電所 業務課副課長  |
| 饗 庭 茂 樹 | 東洋建設(株)北陸支店 技術部長       |
| 長 山 英 樹 | 東洋建設(株)北陸支店土木部         |
| 宮 繁 起 苗 | 敦賀セメント(株)取締役 事業企画室長    |
| 荒 井 克 彦 | 福井大学工学部 建築建設工学科教授      |
| 三田村 文 寛 | 福井県雪対策・建設技術研究所 主任研究員   |
| 免 博 彦   | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課長    |
| 伊 藤 桂 一 | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課主任   |
| 榎 田 強   | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課企画主査 |
| 藤 田 博 行 | 財団法人 福井県建設技術公社 業務課主査   |

# 目 次

- ・発刊にあたって
- ・まえがき
- ・産学官共同研究支援事業 研究開発グループ

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1. 総説                              | 1  |
| 1.1 概説                             | 1  |
| 1.2 設計マニュアル適用上の留意事項                | 2  |
| 1.3 工法概要                           | 3  |
| 1.3.1 工法の概要                        | 3  |
| 1.3.2 工法の位置づけ                      | 3  |
| 1.3.3 工法の特徴                        | 4  |
| 1.3.4 改良材と施工機械                     | 6  |
| 1.4 工法の用途                          | 8  |
| 1.5 用語、記号の説明、定義                    | 9  |
| 2. 材料とフライアッシュモルタル固化体の工学的性質         | 11 |
| 2.1 材料                             | 11 |
| 2.1.1 フライアッシュ                      | 11 |
| 2.1.2 固化材                          | 16 |
| 2.1.3 練混ぜ水                         | 17 |
| 2.2 フライアッシュモルタル固化体の工学的性質に影響を与える要因  | 18 |
| 2.3 フライアッシュモルタル固化体の工学的性質           | 20 |
| 2.3.1 試験方法                         | 20 |
| 2.3.2 物理的性質                        | 24 |
| 2.3.3 力学的性質                        | 25 |
| 2.3.4 流動的性質(加水率 $\alpha$ とフロー値の関係) | 26 |
| 2.3.5 現場と室内の強度比 $\lambda$          | 27 |
| 3. 調査                              | 28 |
| 3.1 調査概要                           | 28 |
| 3.2 土質調査                           | 29 |
| 3.3 室内配合試験                         | 31 |
| 3.4 重金属類溶出試験                       | 35 |
| 4. 設計                              | 37 |
| 4.1 概要                             | 37 |
| 4.2 改良用途と改良形式                      | 37 |
| 4.2.1 改良形式                         | 40 |
| 4.2.2 支持方式                         | 40 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 4.3 改良強度の設定 .....            | 42 |
| 4.4 設計 .....                 | 43 |
| 4.4.1 設計手順 .....             | 45 |
| 4.4.2 設計条件 .....             | 45 |
| 4.4.3 改良地盤の強度と諸元の仮定 .....    | 46 |
| 4.4.4 すべり安定の検討 .....         | 47 |
| 4.4.5 圧密沈下量の検討 .....         | 50 |
| 4.5 設計計算例 .....              | 52 |
| 4.5.1 すべり防止対策としての設計例 .....   | 52 |
| 4.5.2 盛土の沈下低減対策としての設計例 ..... | 55 |

・あしがき

<資料編>

1. 研究の経緯
2. FMP改良体の強度特性
3. FMP試験施工報告書

# 1. 総説

## 1.1 概説

本設計マニュアルは、FMP(Fly-ash Mortar Pile)工法の設計手法についてとりまとめたものである。

軟弱地盤対策工法の分類では固結工法に属し、杭体の造成は独自の施工法を用いているが、設計体系は深層混合処理工法に基づいている。

軟弱地盤対策は、対象地盤の性状、対策の目的、地盤上の構築物のマトリックスにおいて選択肢を提供すべく、様々な工法が開発され実用化されている。

その中で、対象地盤が高有機質土に代表される高含水比、高圧縮性の地盤では、経済性の低下や、地盤性状によってはこれまでの軟弱地盤対策工法では適用不能となる場合がある。

上記特殊地盤における固結工法の代表である深層混合処理工法適用上の問題点を以下に示す。

- ・ 有機物含有成分による強度低下に対して特殊な固化材を大量に用いる必要がある。
- ・ 地盤の空隙が多く、また、多量の固化材により攪拌効率が著しく低下する。
- ・ 多量の固化材スラリーを注入することになり、盛り上がり土が増大する。

これに対して、FMP工法では上記問題点を以下のとおり解決している。

- ・ 地盤の高圧縮性を利用し、地盤中に柱状の空隙を効率よく造成する。
- ・ 柱状空隙にフライアッシュモルタル(以降FAモルタル)を投入することで、地盤性状に影響を受けない固化材配合が可能になる。また、モルタルの混和材として火力発電所から発生する石炭灰を利用することで、リサイクル促進が図れる。
- ・ 盛り上がり土の問題が少ない。



## 1.2 設計マニュアル適用上の留意事項

後述「4. 設計」でも述べているとおり、設計体系は深層混合処理工法に準じているが、本工法の特性上、適用性が限定的であるため、設計手法も限定的に記述している。ただし、個々の項目については深層混合処理工法と何ら変わるものではない。それらの詳細情報については、すでに出版されている関連マニュアル類を参照されたい。以下に、主なマニュアル類を示す。

- ・ 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル 改訂版

平成16年3月 財団法人土木研究センター

- ・ FGC 深層混合処理工法技術マニュアル

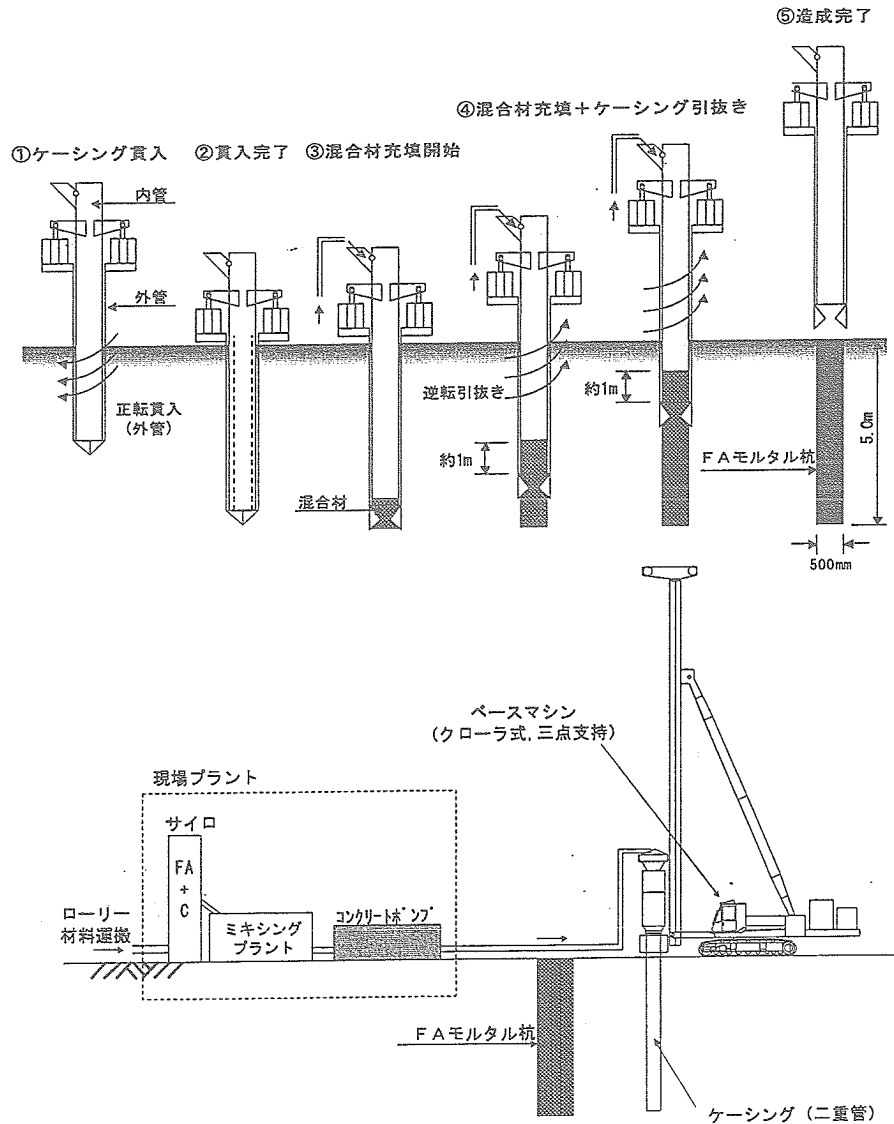
平成14年12月 財団法人沿岸開発技術研究センター

本マニュアルに示した設計指標としての標準値は、これまでの研究成果を反映したものであるが、本工法は途上のものであり、必ずしも十分な基礎データが蓄積されたわけではない。今後の基礎データのさらなる蓄積がすすみ、各個別ケースで試験等が実施され、有効なデータが得られたならば、本マニュアルの標準値にこだわる必要はない。なお、石炭灰の性状は炭種(産地)、燃焼状況等で変動することが知られており、注意を要する。

### 1.3 工法概要

#### 1.3.1 工法の概要

FMP工法は、石炭灰とセメント及び水を事前に混合した FA モルタルを、回転貫入する外管と上下動する内管を一体構造とした二重管ケーシングにより軟弱地盤中に充填し、場所打ち杭を造成する工法である。



#### 1.3.2 工法の位置づけ

軟弱地盤対策工法において工法を位置づける方法としては「改良の原理」と「改良の目的」及び「改良対象地盤の性質」の三つの分類方法が一般的である。通常、これら三つの分類方法を適宜組み合わせ表示されることが多い。

「改良対象地盤の性質」と「改良目的」からみた対策工法の分類と適用を表-1.1.1 に示す。

FMP工法は、表-1.1.1 に示したように固結工法の一つで、基本的には軟弱地盤に対して事前に混合攪拌した安定材を地盤に強制的に注入し、杭体を造成して短期間に地盤を強化する工法である。

また、この工法は適用地盤の範囲が広く、特に高有機質土等の高圧縮性土に対して、有効に作用する。

### 1.3.3 工法の特徴

FMP工法には次のような特徴がある。

#### ①高品質な杭体の造成

地盤の高圧縮性を利用し、地盤中に柱状の間隙を効率よく造成し、柱状間隙に事前に所定配合で均一に混合攪拌したFAモルタルを投入することで、地盤性状に影響を受けない固化材配合が可能になり、高品質の杭体の造成が可能である。

#### ②リサイクルの促進

モルタルの混和材として火力発電所から発生する石炭灰を利用することで、リサイクル促進が図れる。

#### ③特殊土地盤への対応

特殊土地盤は有機物含有成分を多く含み、地盤の空隙も多い。一般的なセメントを固化材とした場合は強度発現が悪いため、特殊な固化材を大量に用いる必要がある。その結果、攪拌効率が著しく低下するとともに、大量の固化材を注入することにより、盛り上がり土が増大する。一方、本工法では、事前混合による高強度の杭体を造成するため、大量の固化材が不要である。

#### ④所要強度が確保できる。

杭体強度は、FAモルタルの配合量を調整することで所要強度を確保でき、強固な杭体が造成できる。

#### ⑤変形(沈下)

杭体の強度と剛性が大きいため、杭体の変形(沈下)は小さい。

#### ⑥適用範囲が広い

広い範囲の施工条件での施工が可能であり、適用範囲が広い。

#### ⑦環境に与える影響が少ない

貫入はケーシングの回転により行うため、打撃、振動を伴うものがなく、低振動、低騒音工法であり、施工場所の周辺地域に与える影響が少ない。

また、杭体で施工するため、盛り上がり量も少ない。

表-1.1.1「改良対象地盤の性質」と「改良目的」からみた対策工法の分類と適用

| 工 法                 |                  | 改良対象地盤              |     |                   |     | 改良の目的                 |                  |            |                 |            |   |
|---------------------|------------------|---------------------|-----|-------------------|-----|-----------------------|------------------|------------|-----------------|------------|---|
|                     |                  | 粘性土                 | 砂質土 | 粘性土<br>砂質土<br>の互層 | 特殊土 | 沈下<br>対策<br>沈下量<br>低減 | 安定対策             |            |                 |            |   |
|                     |                  |                     |     |                   |     |                       | せん断<br>変形の<br>抑制 | 強度増<br>加促進 | 滑り抵<br>抗の<br>付与 | 液状化<br>の防止 |   |
| 表層処理工法              | 表層排水工            | ○                   |     |                   | ○   |                       | ○                | ○          | ○               |            |   |
|                     | サンドマット工          |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     | 敷設材工法            |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     | 深層混合処理工法         |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
| 置換工法                | 掘削置換工法           | ○                   |     | ○                 | ○   | ○                     | △                |            | △               |            |   |
|                     | 強制置換工法           |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
| 押え盛土工法              | 押え盛土工法           | ○                   |     | ○                 | ○   |                       | △                |            | △               |            |   |
|                     | 緩斜面工法            |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
| 軟弱粘性<br>土層の圧<br>密排水 | 緩速載荷工<br>法       | 漸増載荷工法              | ○   |                   | ○   | ○                     |                  | △          |                 |            |   |
|                     |                  | 段階載荷工法              |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     | 載荷重工法            | 盛土荷重載荷工法            | ○   | ○                 | ○   | △                     | ○                | ○          | △               | ○          | ○ |
|                     |                  | 大気圧載荷工法             |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     |                  | 地下水低下工法             |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     | パーチカルド<br>レーン工法  | サンドドレーン工法           | ○   |                   | ○   | △                     | ○                | △          | △               |            |   |
| ボード系ドレーン工法          |                  |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
| 緩い砂質<br>土層の締<br>固め  | サンドコンパ<br>クション工法 | サンドコンパクション<br>パイル工法 | ○   | ○                 | ○   | △                     | ○                | ○          |                 | ○          | ○ |
|                     |                  | 振動締め<br>工法          |     | ○                 |     |                       | ○                |            |                 | ○          | ○ |
|                     | 振動締め<br>工法       | 振動棒工法               |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
| 固結工法                | 深層混合処<br>理工法     | 深層混合処理工法            | ○   | ○                 | ○   | ○                     | ○                | ○          | ○               | ○          |   |
|                     |                  | 生石灰パイル工法            |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     |                  | 薬液注入工法              |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
| FMP工法               | FMP工法            | ○                   | ○   | ○                 | ○   | ○                     | ○                | ○          | ○               |            |   |
| 構造物による工法            | 矢板工法             | ○                   | ○   | ○                 | ○   | ○                     | ○                | ○          | ○               |            |   |
|                     | 打設杭工法            |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     | スラブ工法            |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |
|                     | カルバート工法          |                     |     |                   |     |                       |                  |            |                 |            |   |

○:ほとんど全ての場合に適用可能、△:一部適用可能、特殊土:高有機質土等の高圧縮性土

#### ⑧信頼性の高い施工管理と品質

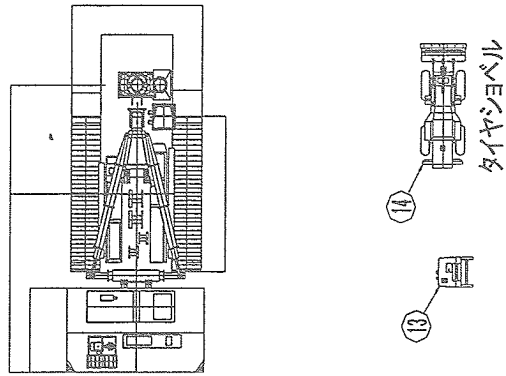
処理機本体と改良材プラントから施工状態を自動的にデータ収集し、確実な施工管理と信頼性の高い地盤改良が可能である。

#### 1.3.4 改良材と施工機械

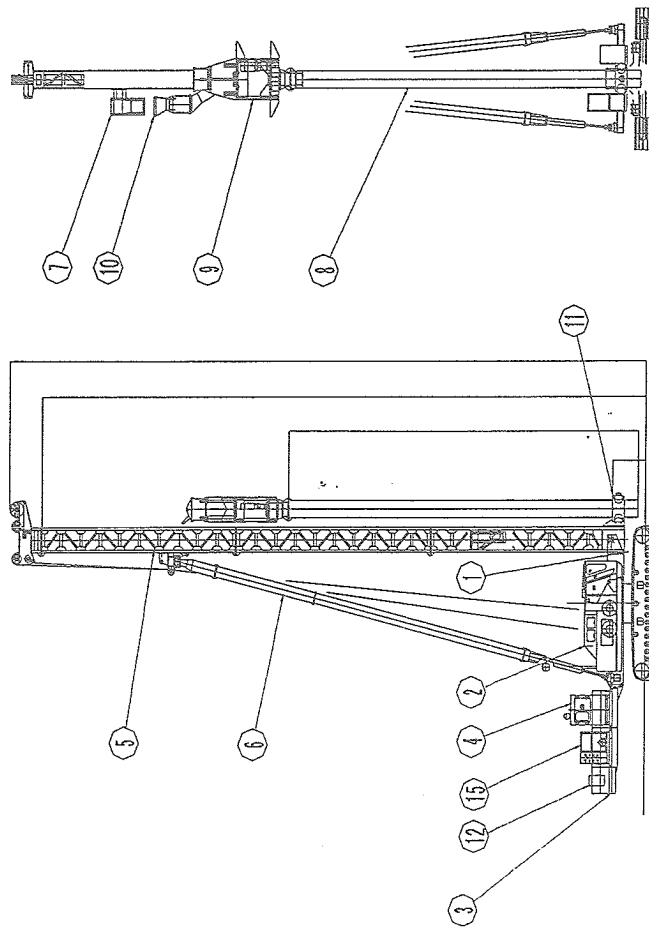
FMP工法で使用する材料は、フライアッシュ、セメント、練混ぜ水である。これらの材料をスラリー状に混練してFMP材として用いる。

施工機械は、打設機本体とFAモルタル供給機に分かれる。打設機本体部は、二重管ケーシング、モータ、ベースマシーン、トラクターショベル及び圧送ポンプ、アジテーターなどからなり、FAモルタル供給機部は、サイロ、ミキシングプラント、管理室などから構成される(図-1.3.1に打設機の姿図を示す)。

图-1.3.1 FMP 工法施工機姿図



13  
14  
タイヤジョベル



FMP 施工機使用表

| 番号 | 名称      | 規格・仕様                | 備考 |
|----|---------|----------------------|----|
| 15 | 油圧ユニット  | WA100                |    |
| 14 | タイヤジョベル | PDS-700S             |    |
| 13 | コブリアッパ  | 3.7m <sup>3</sup>    |    |
| 12 | クレーン    |                      |    |
| 11 | 下部駆止    |                      |    |
| 10 | クレーン    |                      |    |
| 9  | ホーミング   | D-200WP              |    |
| 8  | 回転クレーン  | φ812.8 × 18t × 18.0m |    |
| 7  | ハブ      | 0.7 m <sup>2</sup>   |    |
| 6  | ハブ      | φ508                 |    |
| 5  | 角型リフト   | 750 × 1200           |    |
| 4  | 昇降機     | 500kVA               |    |
| 3  | 後部取台    | 50t吊                 |    |
| 2  | 本体      | 700m/m               |    |
| 1  | クレーン    | 規格・仕様                |    |

## 1.4 工法の用途

FMP 工法は、主に盛土基礎及び盛土に伴う近接構造物への影響防止に用いられる。

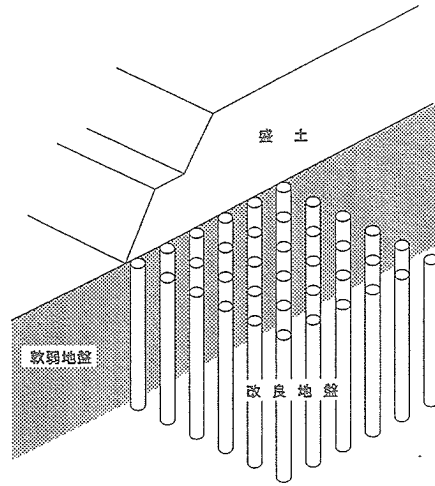


図-1.4.1 盛土基礎への適用例①<sup>1)</sup>

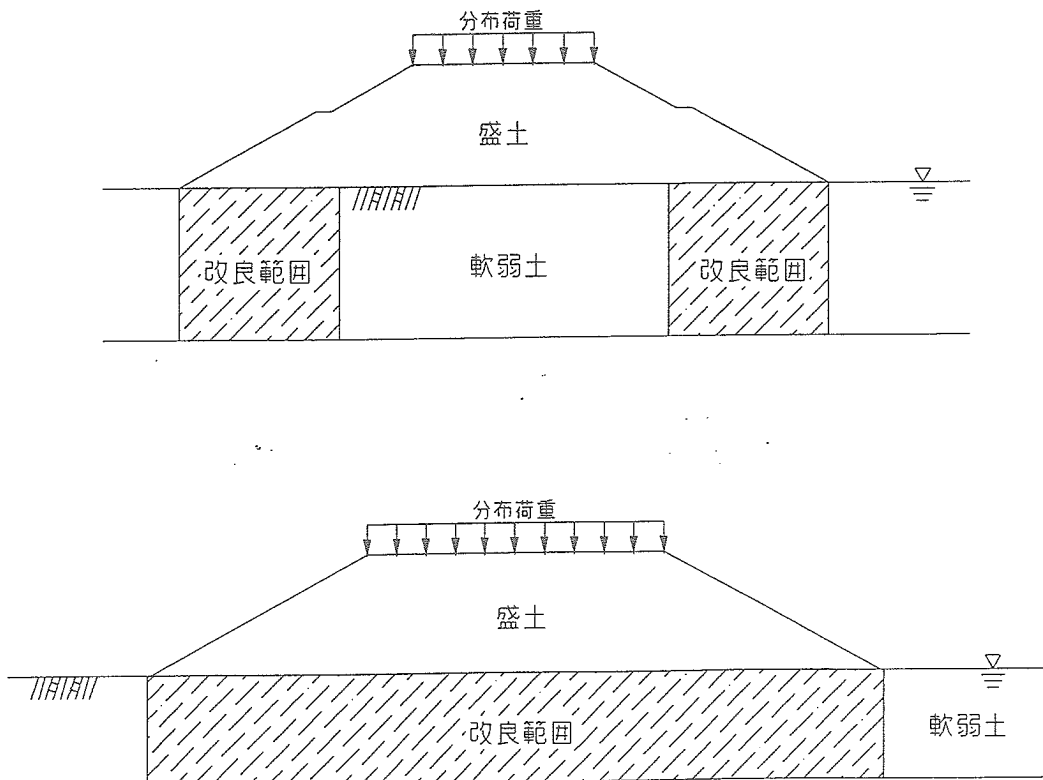


図-1.4.2 盛土基礎への適用例②

## 1.5 用語、記号の説明、定義

本マニュアルに用いる用語は次のとおりである。

|                     |   |
|---------------------|---|
| FMP 工法              | フライアッシュモルタルを用いて地盤内に場所打ち杭を造成する工法                     |
| フライアッシュモルタル         | 石炭灰とセメントと練り混ぜ水を混合してモルタル状にしたもの                       |
| FA                  | フライアッシュ   |
| 改良杭                 | 打設機1回の施工で形成される改良体                                   |
| 改良体                 | 打設機により地中に形成される一種の構造物                                |
| 未処理土                | 改良体に挟まれた軟弱土部分                                       |
| 改良地盤                | 改良体と未処理土を合わせた部分                                     |
| 周辺地盤                | 改良地盤の周辺の地盤  |
| 着底型                 | 軟弱地盤を支持層まで改良することにより、外力を支持層に伝達する改良型式で改良体が支持層に着底する型式  |
| 浮き型                 | 改良体を支持層に着底させず、改良体下部に軟弱地盤を残す改良型式で改良体が軟弱地盤中に浮いた形となる型式 |
| 打設機                 | 改良杭の造成に用いる機械  |
| フライアッシュ             | 火力発電所で発生する石炭灰                                       |
| $q_{uck}$           | 設計基準強度  |
| $q_u$               | 改良土の一軸圧縮強度  |
| $\overline{q_{ul}}$ | 室内配合試験における改良土の一軸圧縮強さの平均値                            |
| $q_{uf}$            | 原位置改良土の一軸圧縮強さの平均値                                   |
| $\lambda$           | 現場強度 $q_{uf}$ の平均値と室内配合強度 $q_{ul}$ の平均値の比           |
| $\ell$              | 改良体の改良長さ  |
| $A_p$               | 改良体1本の改良面積  |
| $d_1 \cdot d_2$     | 改良体の配置間隔  |
| $W$                 | 上載荷重 = $\gamma_E \times H_E$                        |
| $F_s$               | 安全率   |
| $\tau_E$            | 盛土のせん断強さ  |
| $\overline{\tau}$   | 改良後の平均せん断強さ   |
| $\tau_0$            | 原地盤のせん断強さ   |
| $l_1, l_2, l_3$     | 円弧の長さ   |
| $R$                 | 円弧の半径   |
| $r$                 | 起動半径  |
| $r \cdot W_E$       | 起動モーメント   |
| $c_p$               | 改良体のせん断強さ = $q_{uck}/2$                             |
| $A$                 | 改良体1本当たりの分担面積                                       |



|              |                                 |
|--------------|---------------------------------|
| $K$          | 改良体の破壊ひずみに対応する原地盤の破壊強度の低減率      |
| $c_0$        | 原地盤の粘着力= $q_{uc}/2$             |
| $q_{uo}$     | 原地盤の一軸圧縮強さ                      |
| $F_s$        | 滑動安全率                           |
| $F_R$        | 滑動抵抗力                           |
| $P_p$        | 受働土圧                            |
| $c_b$        | 着底層の粘着力                         |
| $P_{AU}$     | 改良地盤上の盛土が受ける受働土圧                |
| $P_{AL}$     | 改良地盤が受ける受働土圧                    |
| $\bar{\tau}$ | 改良後の平均せん断強さ                     |
| $\mu$        | 摩擦係数= $\tan \phi_b$ ; 砂地盤       |
| $\phi_b$     | 着底層の内部摩擦角                       |
| $B$          | 改良幅                             |
| $W_L$        | 改良地盤の重量                         |
| $W_U$        | 改良地盤に載る盛土重量                     |
| $S$          | 改良地盤の沈下量                        |
| $S_0$        | 無改良の場合の沈下量                      |
| $\beta'$     | 沈下低減係数                          |
| $a_p$        | 改良率= $A_p/A$ ; 平面的な改良杭の占める面積の割合 |
| $\sigma$     | = $\Delta P$ 増加応力               |
| $H_c$        | 改良層の厚さ                          |
| $n$          | 応力分担比                           |
| $\sigma_p$   | 改良体にかかる応力                       |
| $m_{vp}$     | 改良土の体積圧縮係数                      |
| $\sigma_c$   | 無改良体にかかる応力                      |
| $m_{v0}$     | 原地盤の体積圧縮係数                      |
| $\alpha$     | 加水率=練混ぜ水重量/フライアッシュの(乾燥)重量       |
| $S$          | セメント添加率=セメント重量/フライアッシュの(乾燥)重量   |
| $\rho_t$     | 湿潤密度                            |
| $w$          | 含水比                             |
| $C$          | セメントの重量                         |
| $W$          | 水の重量                            |
| $\alpha_w$   | 固化材添加量                          |

## 2. 材料とフライアッシュモルタル固化体の工学的性質

### 2.1 材料

FMP工法で使用する材料は、フライアッシュ、セメント、練混ぜ水である。これらの材料をスラリー状にしてFAモルタルとして用いる。

#### 2.1.1 フライアッシュ

図-2.1.1 にフライアッシュの生産過程を示す。

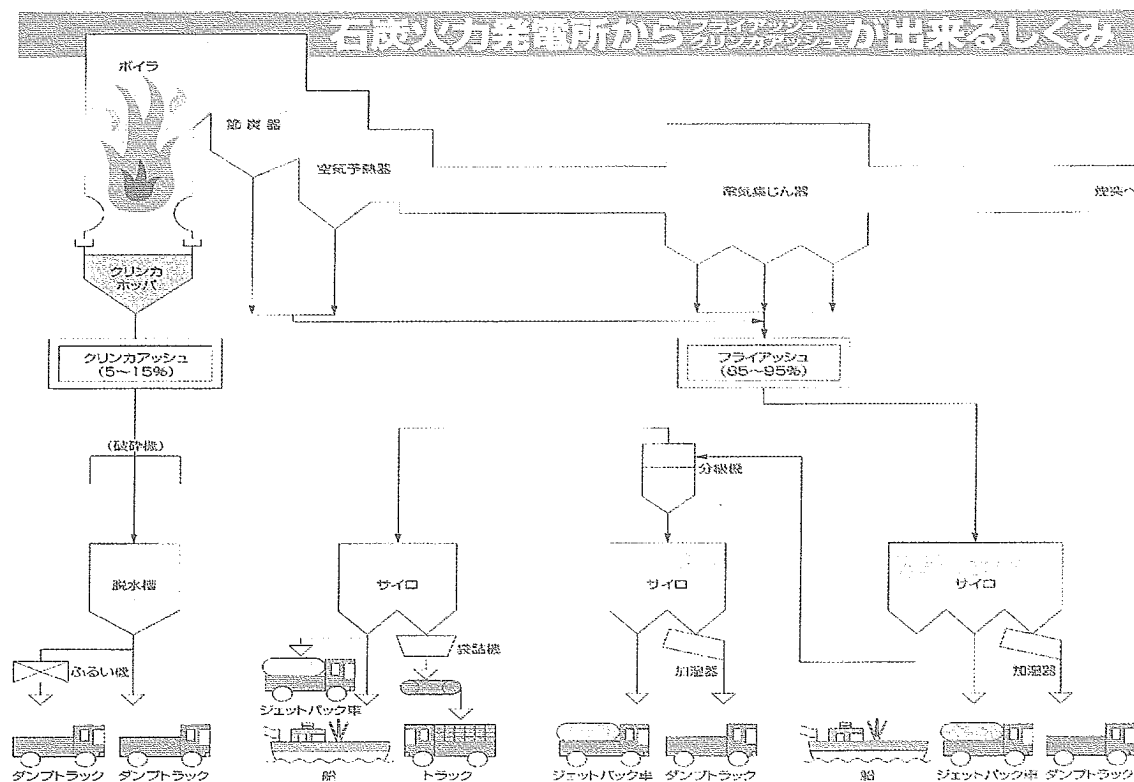


図-2.1.1 フライアッシュができるまでの生産過程(北陸電力株式会社カタログより引用)

#### (1)フライアッシュの供給<sup>2)</sup>

FMP工法の主要材はフライアッシュとセメントであるが、セメントについては流通体制が確立している。そのため、フライアッシュについて施工場所・数量・工期を設定して供給計画を立案し、計画に基づき現場への搬入方法・品質確認・安定供給等について検討する。

### 1)フライアッシュの供給検討フロー

図-2.1.2 に石炭火力発電所から現場搬入までの検討フローを示す。

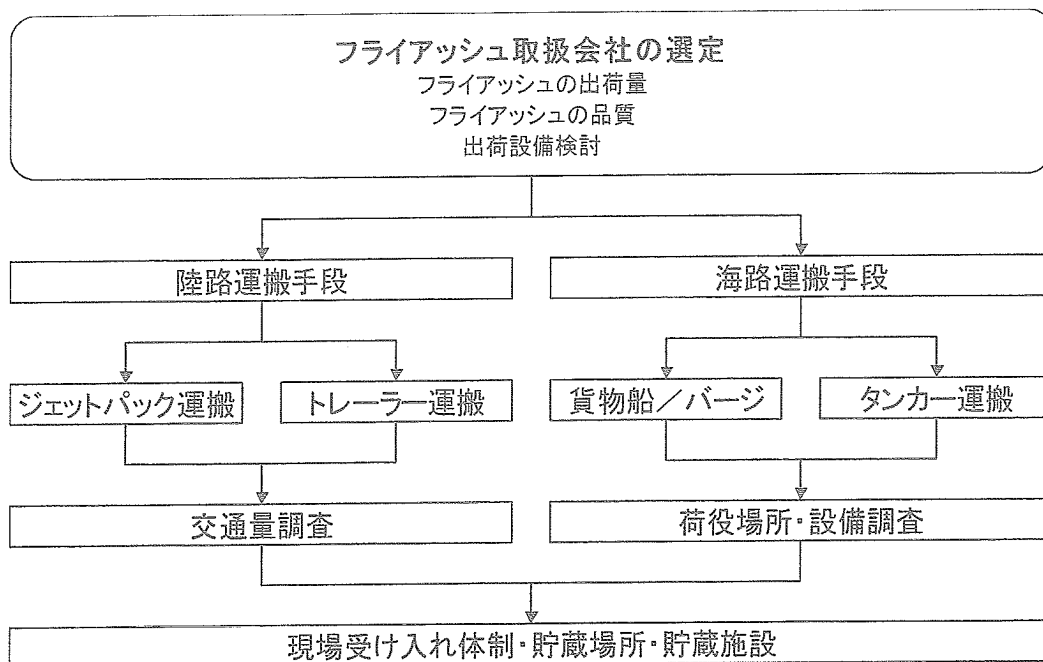


図-2.1.2 フライアッシュ供給検討フロー

### 2)フライアッシュの供給

フライアッシュの使用場所、時期、使用数量等施工条件を提示し、フライアッシュ取扱会社と打ち合わせ、供給ラインを検討する。

### 3)フライアッシュの輸送

フライアッシュの輸送は、専用船、ジェットパック車、袋詰めやコンテナパックをトラックで輸送する形態で行われている。大量輸送には海上輸送が適しており防湿型輸送船は300t～5,000t級が多い。陸送ではジェットパック車などが使用される場合が多い。

荷姿により輸送機材を選定しなければならないので陸上輸送と海上輸送の主要機材を以下に示す。その他、輸送に関して考慮しなければならない検討事項を次に示す。

#### ①バラ積フライアッシュ(乾灰):

- ・陸上輸送機材: ジェットパック車、セメントローリー車
- ・海上輸送機材: タンカー輸送、コンテナパック輸送

## ②袋詰めフライアッシュ:

- ・陸上輸送機材:平積みトレーラー、平積みトラック、ユニック車
- ・海上輸送機材:貨物船、平台船、ガット船

## ③コンテナ積フライアッシュ:

- ・陸上輸送機材:コンテナ運搬車、貨車
- ・海上輸送機材:コンテナ貨物船、平台船

## ④輸送経路の交通量調査(環境調査):

海上輸送や貨車輸送から施工現場へ横持ちする場合、また石炭火力発電所から直接ジェットパック車等で輸送する場合は、交通量調査をする必要がある。特に交通渋滞の頻繁な道路しかない場合、渋滞時間は避けるにしても排気ガスの絶対量が増えることになり、環境悪化の原因と指摘されないようにルート選択や輸送時間帯の設定を慎重に検討する。

## ⑤フライアッシュの状態:

フライアッシュの運搬方法として加湿した状態でダンプトラックで運搬する方法も考えられる。この場合ミキサーに投入する際にフライアッシュが団子状態になりやすく、そのためにセメント等の安定材との混合が不十分になり、スラリーの圧送性の悪化や強度のばらつき等の問題が生ずる場合がある。したがって、FMP工法ではフライアッシュの受け入れ状態は原則として乾燥した状態の灰(乾灰)とする。

## ⑥FCブレンド材の検討と課題:

FCブレンド材とは、セメントのサービスステーションや生コンプラントで、事前に設定した配合比でフライアッシュとセメントをブレンドした後、ジェットパック車やセメントローリー車により現場に搬入してサイロに備蓄されるものである。

ただし、現段階では、FCブレンド材の流通体制が整っていないことから、現場における強度発現が設計段階より異なった場合の対応や施工性の確保が困難などの課題があるため、安定材は現場配合とするのが望ましい。

## (2)フライアッシュの物理的性状<sup>3)</sup>

### 1)色と形状

フライアッシュは大部分が灰色であるが、灰中の未燃炭素が増えるにしたがって黒みを帯びてくる。また、鉄分が多いとわずかに赤みを帯びる。形状は球体が大半であるが、燃焼温度を下げると石炭灰の融点の関係から球体とならないものが増える傾向にある。

写真-2.1.1にフライアッシュの電子顕微鏡写真を示す。

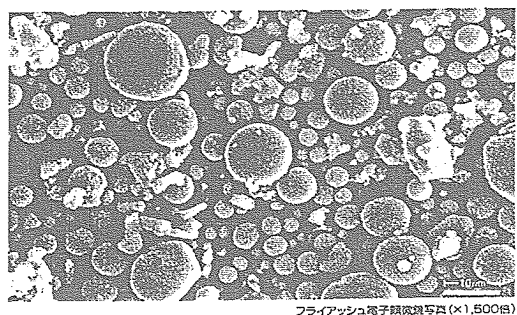


写真-2.1.1 フライアッシュの電子顕微鏡写真(×1,500倍)

## 2) 密度

フライアッシュの密度は、一般に $1.9\sim 2.3\text{g/cm}^3$ の範囲であり、かさ密度は $0.8\sim 1.0\text{ g/cm}^3$ である。

## 3) 粒度分布

図-2.1.3に敦賀火力発電所で産するフライアッシュの粒度分布の1例を示す。

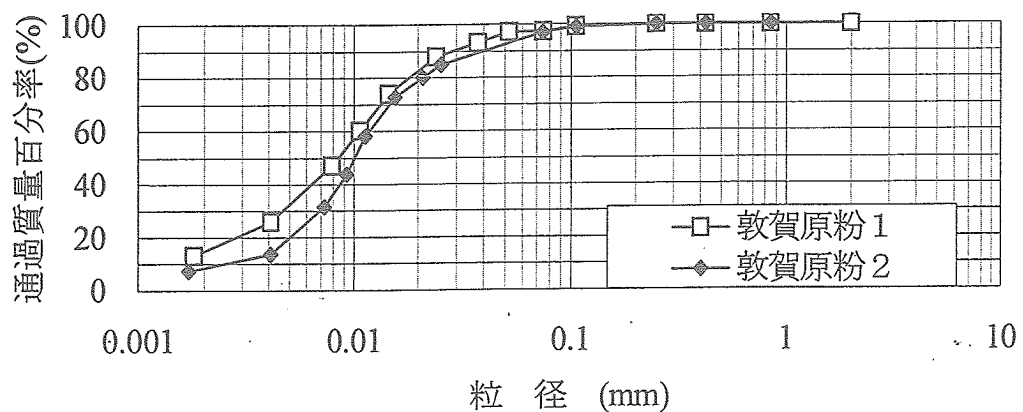


図-2.1.3 フライアッシュの粒度分布

## 4) その他の性状

フライアッシュとその他の性状については、石炭灰ハンドブック(環境技術協会日本フライアッシュ協会 平成12年5月)を参照されたい。

### (3)フライアッシュの化学的性状<sup>4)</sup>

#### 1) 鉱物組成

フライアッシュは各化学成分が単独で存在するものでなく、溶融によって化合物となって存在する。その結晶質鉱物の主なものはクォーツ( $\text{SiO}_2$ )、ムライト( $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ )、マグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )などである。また非結晶質のガラス分が多量に存在している。

#### 2) 化学成分組成

フライアッシュの化学成分組成は、炭種の違いにより多少の差異は認められるが、主な化学組成はシリカ( $\text{SiO}_2$ )、アルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )が全体の70～80%を占め、その他の成分は微量の $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ などの酸化物となっている。表-2.1.1に敦賀火力発電所産フライアッシュの化学組成の例を示す。このような化学成分のバラツキのあるフライアッシュを用いた場合、その種類・品質がFMPの強度に与える影響が懸念される。しかし、同様の工法であるFGC工法において産地や化学成分の異なるフライアッシュを用いても、一軸圧縮強さのバラツキは小さいことが確認されており、FMP工法についても影響は小さいと考えられる(資料編2-9-「2.2 フライアッシュの種類による影響」を参照)。

#### 3) 溶出特性

フライアッシュが環境中に搬出された場合の問題を考えるには、フライアッシュと土壌との組織の比較、フライアッシュからの各種成分の溶出性等を念頭におく必要がある。またフライアッシュ中には重金属等が含まれていることが知られており、溶出特性の調査、測定が必要となる。

表-2.1.1 敦賀火力発電所産フライアッシュの化学組成の例 単位(%)

| 項目 | 強熱減量 | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{SO}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{MnO}$ | $\text{TiO}_2$ |
|----|------|----------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| A炭 | 3.0  | 68.23          | 20.26                   | 0.42                  | 1.04                 | 0.08          | 4.00                    | 1.08         | 0.86         | 0.03         | 1.06           |
| B炭 | 4.8  | 53.72          | 22.07                   | 0.64                  | 1.13                 | 0.23          | 11.55                   | 3.23         | 1.22         | 0.10         | 0.85           |
| C炭 | 5.0  | 71.71          | 16.84                   | 0.41                  | 1.12                 | 0.07          | 3.14                    | 0.40         | 0.35         | 0.02         | 0.69           |
| D炭 | 2.0  | 70.52          | 18.52                   | 0.43                  | 0.76                 | 0.12          | 5.44                    | 0.95         | 0.51         | 0.04         | 0.86           |
| E炭 | 2.2  | 55.57          | 27.07                   | 0.57                  | 2.44                 | 0.08          | 8.31                    | 1.42         | 1.26         | 0.02         | 1.05           |

#### (4) FMP工法に使用出来るフライアッシュについて

北陸地方においては、フライアッシュは北陸電力(株)の3箇所の火力発電所で生産されているが、本設計マニュアルでは、北陸電力(株)敦賀火力発電所から発生するJISフライアッシュのみを対象に考えている。敦賀火力発電所では、現在炭種選定及び燃焼調整によりJISフライアッシュを生産するとともに、これをフライアッシュセメント用混合材やコンクリート混和材として出荷している。表-2.1.2 にJISフライアッシュの規格を示す。

表-2.1.2 JISフライアッシュの物性と化学成分

| 項 目                  |   | 種 類               | フライアッシュ | フライアッシュ | フライアッシュ | フライアッシュ |
|----------------------|---|-------------------|---------|---------|---------|---------|
|                      |   |                   | I 種     | II 種    | III 種   | IV 種    |
| 二酸化けい素               |   | %                 | 45.0以上  | 45.0以上  | 45.0以上  | 45.0以上  |
| 湿分                   |   | %                 | 1.0以下   | 1.0以下   | 1.0以下   | 1.0以下   |
| 強熱減量 <sup>(1)</sup>  |   |                   | 3.0以下   | 5.0以下   | 8.0以下   | 5.0以下   |
| 密度                   |   | g/cm <sup>3</sup> | 1.95以上  | 1.95以上  | 1.95以上  | 1.95以上  |
| 粉 末 度 <sup>(2)</sup> | 45 μmふるい残分<br>(網ふるい方法) <sup>(3)</sup> % |                   | 10以下    | 40以下    | 40以下    | 70以下    |
|                      | 比表面積<br>(ブレン方法) cm <sup>2</sup> /g      |                   | 5,000以上 | 2,500以上 | 2,500以上 | 1,500以上 |
| フロー値比                |   | %                 | 105以上   | 95以上    | 85以上    | 75以上    |
| 活性度指数 %              | 材齢28日                                   |                   | 90以上    | 80以上    | 80以上    | 60以上    |
|                      | 材齢91日                                   |                   | 100以上   | 90以上    | 90以上    | 70以上    |

注(1) 強熱減量に代えて、未燃炭素含有率の測定を JIS M 8819 又は JIS R 1603 に規定する方法で行い、その結果に対し強熱減量の規定値を適用してもよい。

注(2) 粉末度は、網ふるい方法又はブレン方法による。

注(3) 粉末度を網ふるい方法による場合は、ブレン方法による比表面積の試験結果を参考値として併記する。

#### 2.1.2 固化材

FMP工法に使用するセメントは、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を標準とする。

(1)セメントの物性

表-2.1.3 セメントの物性

| 種類           | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 粉末度                      |           |
|--------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
|              |                            | 比表面積(cm <sup>2</sup> /g) | 88μm残分(%) |
| 普通ポルトランドセメント | 3.16                       | 3,360                    | 0.6       |
| 高炉セメントB種     | 3.04                       | 4,030                    | 0.4       |

(2)セメントの化学組成

表-2.1.4 セメントの化学組成 単位(%)

| 項目           | Igloss | Insol | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | 計     |
|--------------|--------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|-------------------|------------------|-------|
| 普通ポルトランドセメント | 1.0    | 1.0   | 22.3             | 6.1                            | 2.8                            | 61.7 | 1.43 | 1.8             | 0.57              | 0.78             | 99.48 |
| 高炉セメントB種     | 1.0    | 0.2   | 25.9             | 8.5                            | 2.0                            | 54.5 | 3.70 | 2.0             | 0.24              | 0.39             | 98.43 |

Igloss : 強熱減量, Insol : 不溶残分

(3)JISセメントの品質規格(1999)

表-2.1.5 JISセメントの品質規格(JIS R 5210)

| セメントの種類      | 混合材質量(%)     | 化学成分(%) |       |          | 比表面積(cm <sup>2</sup> /g) | 凝結      |       | 圧縮強さ(N/mm <sup>2</sup> ) |        |        |
|--------------|--------------|---------|-------|----------|--------------------------|---------|-------|--------------------------|--------|--------|
|              |              | 強熱減量    | 三酸化硫黄 | 酸化マグネシウム |                          | 始発(min) | 終結(h) | 3日                       | 7日     | 28日    |
| 普通ポルトランドセメント | 5以下          | 3.0以下   | 3.0以下 | 5.0以下    | 2,500以上                  | 60以上    | 10以下  | 12.5以上                   | 22.5以上 | 42.5以上 |
| 高炉セメントB種     | 30以上<br>60以下 | 3.0以下   | 4.0以下 | 6.0以下    | 3,000以上                  | 60以上    | 10以下  | 6以上                      | 12以上   | 29以上   |

2.1.3 練混ぜ水

FMP工法に用いる練混ぜ水は、有害物質などが含まれていなければ特に限定しない。

深層混合処理工法(CDM)やFCG-DM工法では、海水と真水のいずれを用いても強度的な影響がないことが確認されている。



## 2.2 フライアッシュモルタル固化体の工学的性質に影響を与える要因

FMP工法(Fly-ash Mortar Pile method)は、フライアッシュとセメント及び水を事前に混合したFAモルタルを、二重管ケーシングにより軟弱地盤中に充填し、場所打ち杭を造成する工法であり、その固化体を形成する過程において改良効果(強度、均質性など)に影響を与える要因が種々存在する。

主要な要因を図-2.2.1 に示す。

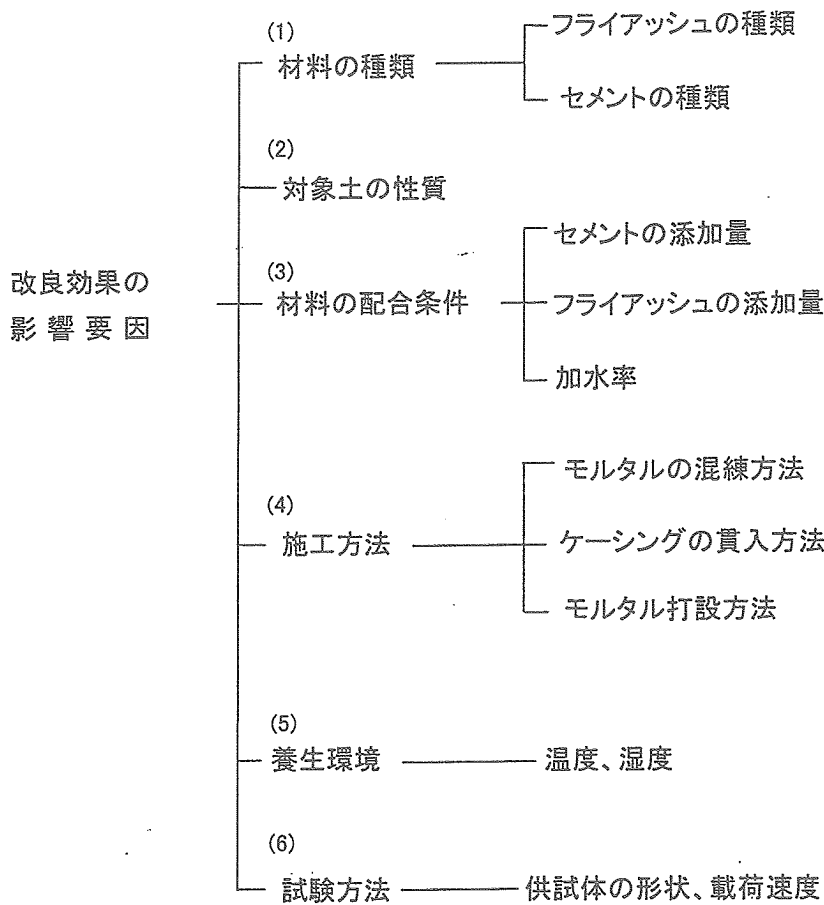


図-2.2.1 改良効果に影響を与える主要な要因

### (1) 材料の種類

セメント、フライアッシュ、練混ぜ水の種類及び特徴については前項の「2.1 材料」を参照されたい。これら材料の種類については、いずれも改良効果に著しい影響を与えるものではない。

### (2) 対象土の性質

FAモルタルを軟弱地盤と置換える方法で改良体を造成するFMP工法の特長として、その改良効果は、対象とする土の性状の違いによる影響を受け難い。

### (3) 材料の配合条件

フライアッシュ、セメント、及び練混ぜ水などの配合量は、固化体の強度を大きく左右することから、事前に室内配合試験を行い、配合条件を確認する必要がある。これについては、P32の「3.3 室内配合試験」で詳述する。FAモルタルの配合はフライアッシュの乾燥重量に対するセメントおよび練混ぜ水の重量百分率として、下記の用語を使って表すこととする。

- ・セメント添加率(S) : フライアッシュの乾燥重量に対して、混入セメント重量を百分率で表したもの。今回は、5～15%で行った。
- ・加水率( $\alpha$ ) : フライアッシュの乾燥重量に対して、練混ぜ水の重量を百分率で表したもの。今回は、40～55%で行った。
- ・フライアッシュ : FMP工法では、P13に示したとおり原則として乾燥灰を使用する。

### (4) 施工方法

前述のとおり、FAモルタルの練混ぜ水の配合量が、改良効果の影響要因となることから、モルタル混練時にプラントの洗い水が混入することや、材料の計量管理に注意が必要である。

また、ケーシング圧入及びモルタル打設作業時には、原地盤の土砂が固化体内に混入することによる改良効果の低下にも注意が必要である。

### (5) 養生環境

固化体は地中に造成され、周辺地盤に囲まれてほぼ断熱状態に近い状況で養生されるので、化学反応が促進される。改良ピッチが小さくなればなるほど温度上昇が大きく、原位置での初期強度が高くなる。

また、一般にコンクリート供試体において、水中養生の方が空中養生に比べ強度発現が遅くなるように、対象地盤の含水比が高く、水中養生の状況に近づけば、固化体の強度発現が遅くなる傾向がある。

なお、室内配合試験における供試体の養生方法は、P24に示す様に①空気中飽和養生と②不織布を境界条件とする水中養生の2ケースを作用している。これまでの試験結果では、一軸圧縮強さは①の方が②に比べて1～2割大きくなる傾向が見られる。

### (6) 試験方法

現場のFMPから採取したコア供試体で試験をする場合は、コアボーリング時や運搬時の振動によりクラックが入る可能性がある。このため、一軸圧縮強さが過小評価される可能性があるため、コア供試体( $\phi 67\sim 68\text{mm}$ ,  $h\div 2\phi$ )の取扱いには十分注意する必要がある。また、一軸圧縮試験の載荷速度は1%/minの圧縮ひずみが生じる割合を標準として、連続的に供試体を圧縮する。(JIS A 1216:1998による)

## 2.3 フライアッシュモルタル固化体の工学的性質

### 2.3.1 試験方法

フライアッシュモルタル固化体の工学的性質のうち、物理的性質として湿潤密度 $\rho_t$ 、含水比 $w$ 、力学的性質として一軸圧縮強さ $q_u$ を取りあげる。試験方法は、以下の基準にしたがって実施した。

- ・ 湿潤密度試験 …… JIS A 1225
- ・ 含水比試験 …… JIS A 1203
- ・ 一軸圧縮試験 …… JIS A 1216

なお、試験に用いる供試体は、現場FMPからコア採取したもの、室内配合試験で作成したもの(空气中飽和養生と不織布を境界条件とする水中養生がある)を用いており、各々の作成方法について以下に説明を加える。

#### (1) 現場コア供試体の作成方法

現場実証試験によって杭体を造成し、約20日間の現場養生後、ダブルコアボーリングによりコア供試体のサンプリングを行った。この後約10日間コア供試体を室内養生した後、物理試験および一軸圧縮試験を実施した。コア供試体の寸法は $\phi 67\sim 68\text{mm}$ 、高さは $2\phi$ を基本にコアカッターで切断し、切断面が欠損したものは石膏キャップを施した。表-2.3.1 に現場実証試験の使用材料を、表-2.3.2 に配合を示す。また、図-2.3.1 には現場実証試験FMP配置図を示す。

表-2.3.1 現場実証試験の使用材料

| 使用材料       |                     | 密度<br>( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 備考  |
|------------|---------------------|----------------------------------|-----|
| 項目         | 種別                  |                                  |     |
| セメント C     | 高炉セメントB種            | 3.04                             | —   |
| フライアッシュ FA | 敦賀火力発電所産<br>JIS灰II種 | 2.20                             | —   |
| 水 W        | 湖水                  | 1.00                             | 三方湖 |

今後、図中・表中では、セメントをC、フライアッシュをFA、水をWと略記する

表-2.3.2 現場実証試験の配合

| ケース    | セメント添加率S(%) | FMP 1m <sup>3</sup> 当り配合(kg) |      |     | 施工杭No.   |
|--------|-------------|------------------------------|------|-----|----------|
|        |             | フライアッシュ                      | セメント | 水   |          |
| 配合ケース① | 5.0         | 1,149                        | 57   | 460 | No.9     |
| 配合ケース② | 7.5         | 1,139                        | 85   | 456 | No.2,3,5 |
| 配合ケース③ | 10.0        | 1,128                        | 112  | 451 | No.6     |
| 配合ケース④ | 15.0        | 1,107                        | 167  | 443 | No.7     |

注1)各配合は室内試験結果をもとにセメント比重=3.0、フライアッシュ比重=2.2で算出。

注2)セメントは高炉セメントB種とする。

- ①施工径：φ500mm      ②施工本数：9本（予備試験含む）  
 ③施工延長：5.0m／本

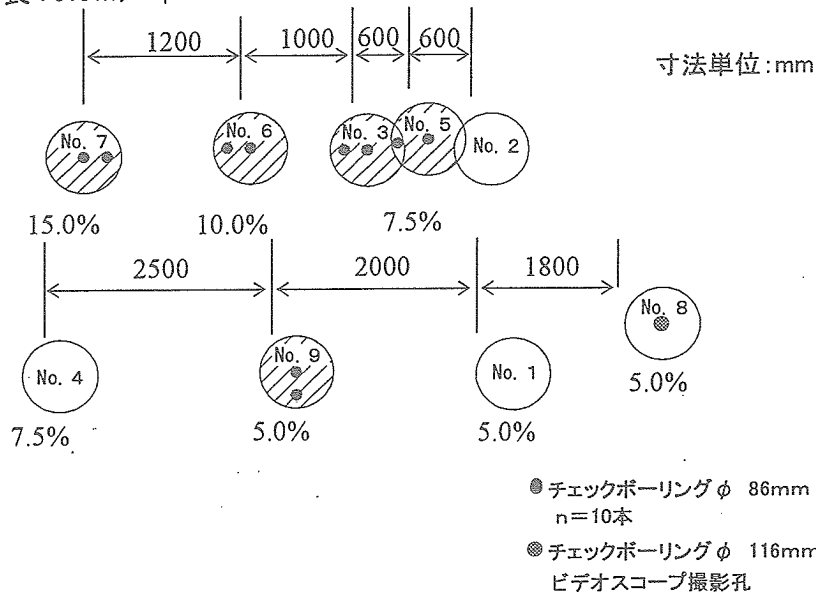


図-2.3.1 FMP試験施工配杭図

(2)室内配合試験供試体の作成方法

供試体の寸法はφ50mm、高さh=100mmで28日養生後に物理試験および一軸圧縮試験を実施した。なお、養生方法は、以下の2種類で行った。(次頁 図-2.3.2参照)

- ①空気中飽和養生  
 ②境界条件を不織布とする水中養生

室内配合試験の使用材料を表-2.3.3 に配合を表-2.3.4 ①②に示す。

表-2.3.3 室内試験の使用材料

| 使用材料       |                     | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 備考 |
|------------|---------------------|----------------------------|----|
| 項目         | 種別                  |                            |    |
| セメント C     | 高炉セメントB種            | 3.04                       | —  |
| フライアッシュ FA | 敦賀火力発電所産<br>JIS灰II種 | 2.20                       | —  |
| 水 W        | 水道水                 | 1.00                       | —  |

加水率 $\alpha$ は、空气中飽和養生の場合は室内配合試験①の加水率 $\alpha = 45 \sim 55\%$ 、不織布を境界条件とする水中養生の場合は室内配合試験②の加水率 $\alpha = 40 \sim 50\%$ としている。

表-2.3.4 室内試験の配合①:空气中飽和養生

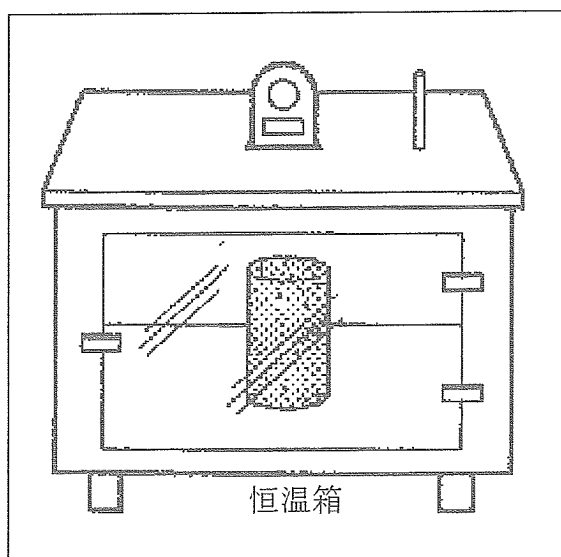
| セメント<br>添加率S<br>(%) | 加水率<br>$\alpha$<br>(%) | 水粉体比<br>W/(FA+C)<br>(%) | 水セメント比<br>W/C<br>(%) | 配合比     |      |    |
|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|---------|------|----|
|                     |                        |                         |                      | フライアッシュ | セメント | 水  |
| 5                   | 45                     | 43                      | 900                  | 100     | 5    | 45 |
|                     | 50                     | 48                      | 1000                 | 100     | 5    | 50 |
|                     | 55                     | 52                      | 1100                 | 100     | 5    | 55 |
| 7.5                 | 45                     | 42                      | 600                  | 100     | 7.5  | 45 |
|                     | 50                     | 47                      | 667                  | 100     | 7.5  | 50 |
|                     | 55                     | 51                      | 733                  | 100     | 7.5  | 55 |
| 10                  | 45                     | 41                      | 450                  | 100     | 10   | 45 |
|                     | 50                     | 45                      | 500                  | 100     | 10   | 50 |
|                     | 55                     | 50                      | 550                  | 100     | 10   | 55 |
| 15                  | 45                     | 39                      | 300                  | 100     | 15   | 45 |
|                     | 50                     | 43                      | 333                  | 100     | 15   | 50 |
|                     | 55                     | 48                      | 367                  | 100     | 15   | 55 |

表-2.3.4 室内試験の配合②: 不織布を境界条件とする水中養生

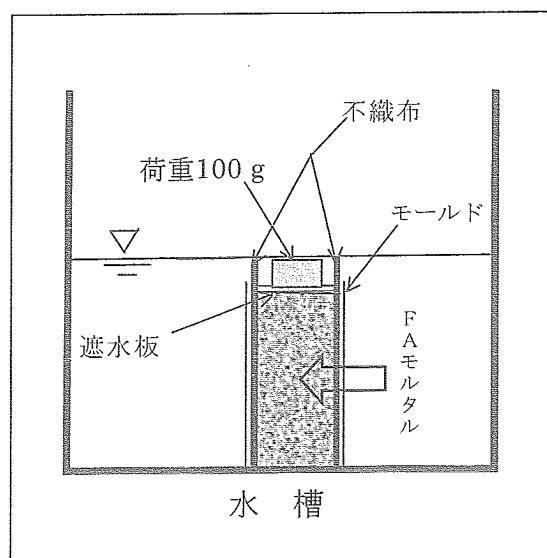
| セメント<br>添加率S<br>(%) | 加水率<br>$\alpha$<br>(%) | 水粉体比<br>W/(FA+C)<br>(%) | 水セメント比<br>W/C<br>(%) | 配合比     |      |    |
|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|---------|------|----|
|                     |                        |                         |                      | フライアッシュ | セメント | 水  |
| 5                   | 40                     | 38                      | 800                  | 100     | 5    | 40 |
|                     | 45                     | 43                      | 900                  | 100     | 5    | 45 |
|                     | 50                     | 48                      | 1000                 | 100     | 5    | 50 |
| 7.5                 | 40                     | 37                      | 533                  | 100     | 7.5  | 40 |
|                     | 45                     | 42                      | 600                  | 100     | 7.5  | 45 |
|                     | 50                     | 47                      | 667                  | 100     | 7.5  | 50 |
| 10                  | 40                     | 36                      | 400                  | 100     | 10   | 40 |
|                     | 45                     | 41                      | 450                  | 100     | 10   | 45 |
|                     | 50                     | 45                      | 500                  | 100     | 10   | 50 |
| 15                  | 40                     | 35                      | 267                  | 100     | 15   | 40 |
|                     | 45                     | 39                      | 300                  | 100     | 15   | 45 |
|                     | 50                     | 43                      | 333                  | 100     | 15   | 50 |

室内配合試験における試験用供試体の養生方法を図に示す。

①空気中飽和養生



②不織布を境界条件とする水中養生



温度 $20 \pm 3^\circ$ 、湿度100%で所定期間養生する。

供試体寸法  $\phi 50\text{mm}$   $h=100\text{mm}$

養生条件: 打設直後に水中養生開始

供試体寸法  $\phi 50\text{mm}$   $h=100\text{mm}$

図-2.3.2 室内配合試験の養生方法

## 2.3.2 物理的性質

### (1) 湿潤密度 $\rho_t$

現場コアの湿潤密度は1.52～1.69g/cm<sup>3</sup>の範囲で、平均値は1.60g/cm<sup>3</sup>を示している。

### (2) 含水比 $w$ と加水率 $\alpha$

1) FMPは、フライアッシュとセメントと水を一定の配合で練混ぜて、原地盤と置換えたものである。したがって、FAモルタル中の含水比は原地盤の含水比には関係なくほぼ均一である。実証試験で行ったFMPのコア供試体においても含水比は概ね40～50%で大きなバラツキはなかった。

2) FMP工法では、含水比  $w$  の他に加水率  $\alpha$  という指標を設けている。加水率とはフライアッシュの乾燥重量に対する練混ぜ水の重量パーセントである。含水比と加水率の関係は、セメント重量の40%に相当する水分が水和反応により結晶水となると考えた場合、下式で表される。

$$\alpha = 0.4S + (1 + 0.014S)w$$

$\alpha$  : 加水率 (%)

$w$  : コア供試体の含水比 (%)

$S$  : セメント添加率 (%)

### 2.3.3 力学的性質

#### 1) 一軸圧縮強さ $q_u$ と水セメント比 (W/C) の関係

FAモルタルの水セメント比(W/C)によって、改良体の一軸圧縮強さは大きく異なる。図-2.3.3 に示すように、水セメント比が大きくなるにしたがって、一軸圧縮強さは小さくなる傾向を示す。

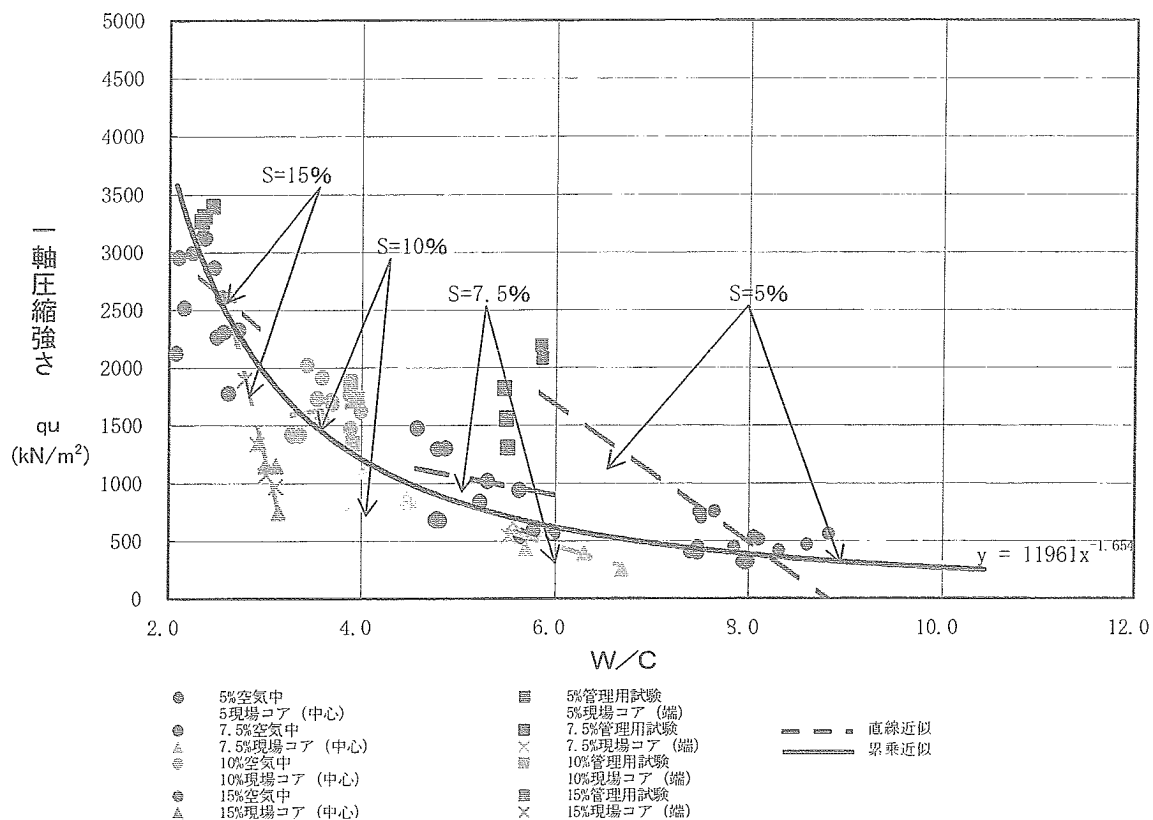


図-2.3.3 一軸圧縮強さ $q_u$ と水セメント比(W/C)の関係



## 2) 一軸圧縮強さ $q_{ul}$ と材令 $t$ の関係

図-2.3.4 に練混ぜ水として水道水を使用した室内配合供試体に対する材令 87 日までの一軸圧縮強さの変化を示す。なお、供試体の作成条件は $S=7.5\%$ 、 $\alpha=40\sim 50\%$ 、養生条件は不織布を境界条件とする水中養生である。図から材令とともに圧縮強さが増加し、概ね加水率 40%の一軸圧縮強さが、加水率 45%および 50%のそれより大きくなっていることが判る。

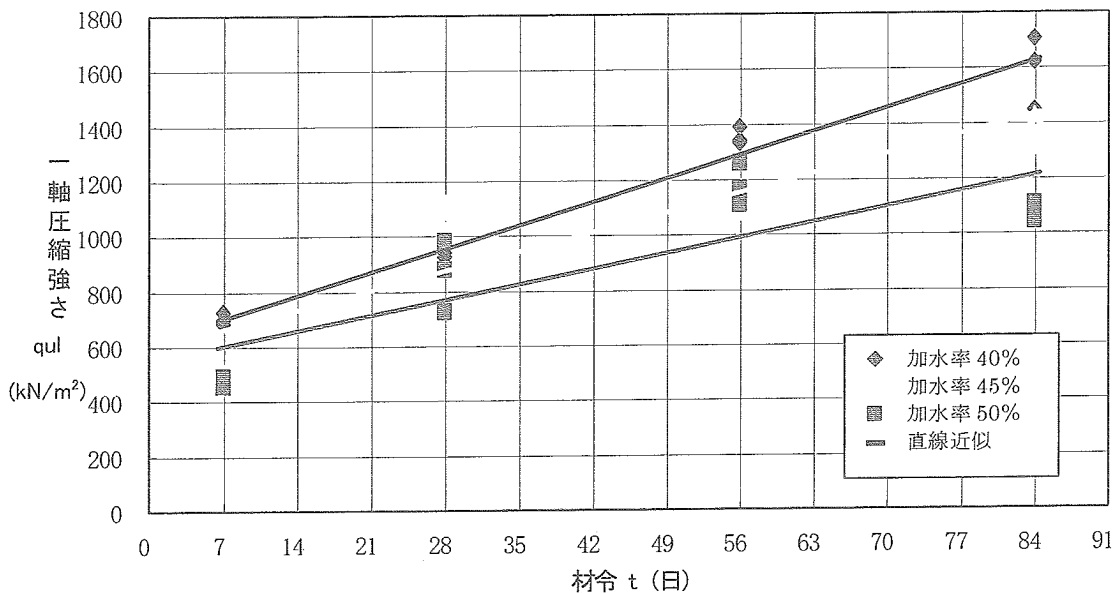


図-2.3.4 長期材令試験結果(セメント添加率 7.5%、水中養生:境界条件は不織布)

## 2.3.4 流動的性質(加水率 $\alpha$ とフロー値の関係)

図-2.3.5 に加水率 $\alpha$ とフロー値の関係を示す。FMP工法では加水率 40%~50%のFAモルタルを、トラクターショベル及び圧送ポンプを使ってケーシング内に投入する方式を採用している。圧送ポンプを用いる場合には、FAモルタルの流動性の確保が必要となり、フロー値は18~22cmが目標となる。このフロー値を得るための加水率は45%~50%となるが、先に述べたように、加水率によって強度が変化するので注意を要する。

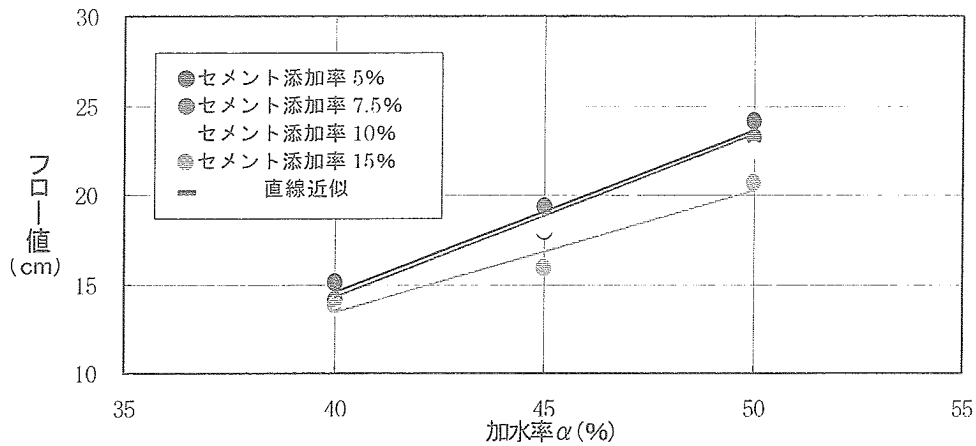


図-2.3.5 加水率  $\alpha$  とフロー値の関係

### 2.3.5 現場と室内の強度比 $\lambda$

図-2.3.6 に現場FMPの一軸圧縮強さの平均値  $\overline{q_{uf}}$  と室内配合試験による一軸圧縮強さの平均値  $\overline{q_{ul}}$  の関係を示す。この図は、現場で施工したFMPから採取した供試体の一軸圧縮強さと室内配合試験供試体の一軸圧縮強さを比較したものである。

この図によると  $\lambda = \text{現場強度} / \text{室内強度} = 1/2$  程度である。

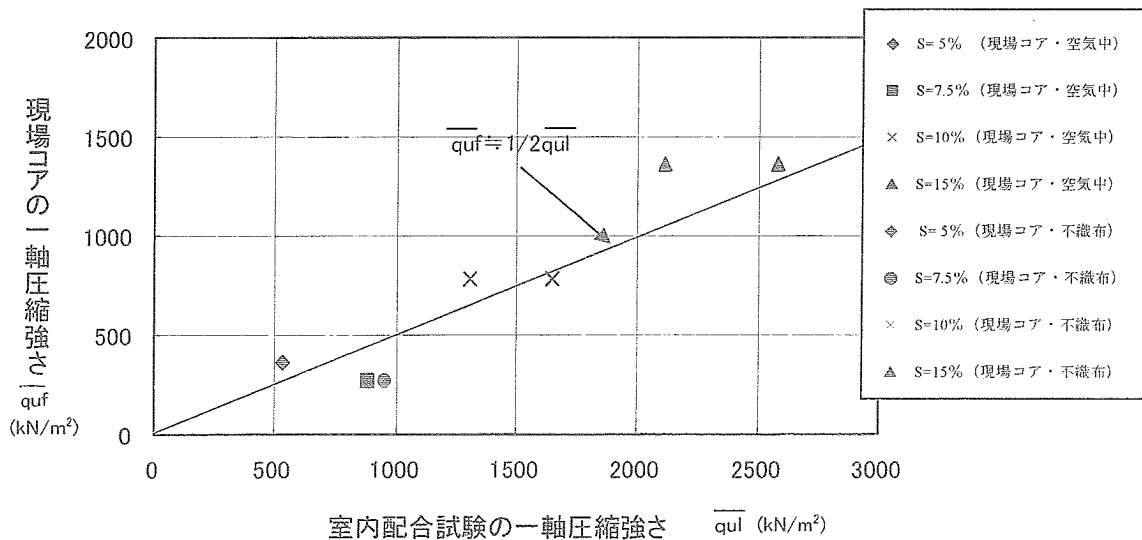


図-2.3.6 現場強度と室内強度の関係

※セメント添加率(5%, 7.5%, 10%, 15%)毎に、同じセメント添加率の現場コア一軸圧縮強さと室内供試体一軸圧縮強さとの関係をプロットしたグラフ。

室内供試体は養生条件の違いにより、「空気中飽和養生」と「不織布を境界条件とする水中養生」に分けた。

### 3. 調査

#### 3.1 調査概要

調査は、設計条件を決定するための土質調査、施工中の周辺環境調査、設計のための室内配合試験調査、施工後の改良体の品質や出来形の確認のための品質確認調査に大きく分けられる。

調査のフローを図-3.1.1 に示す。

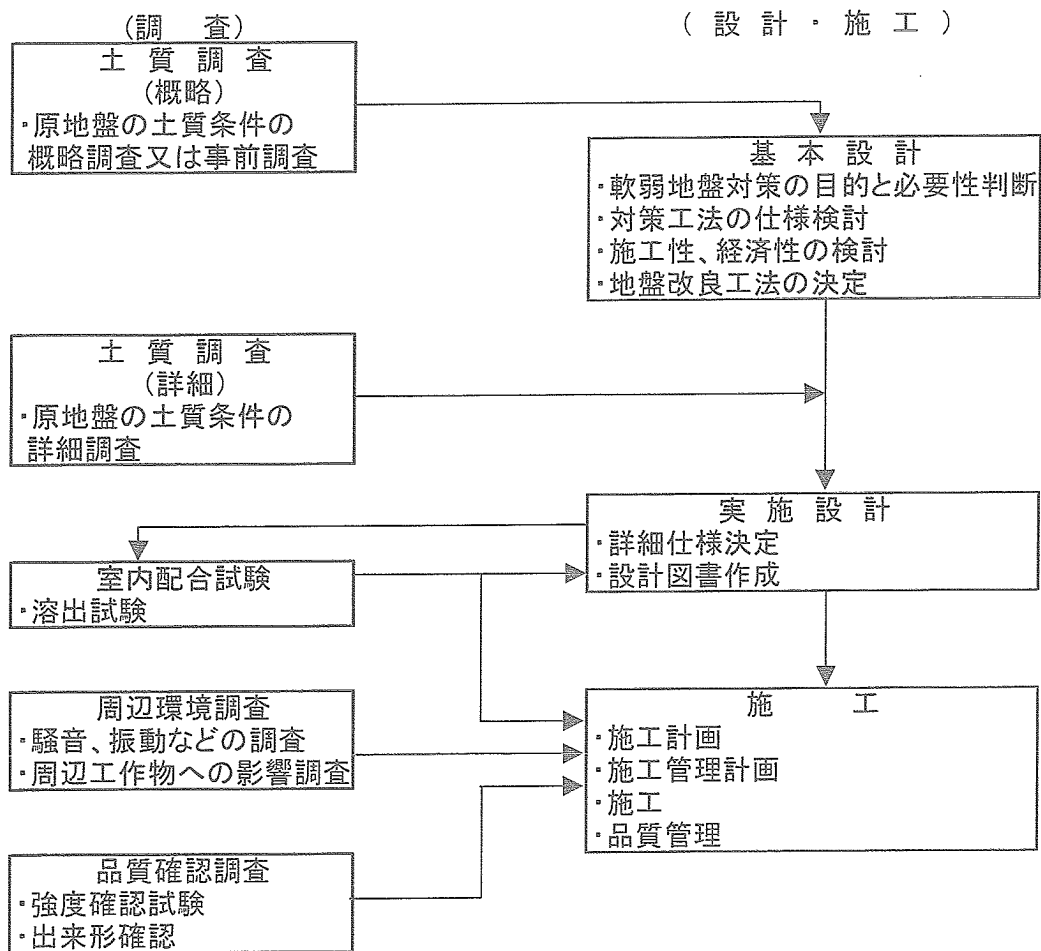


図-3.1.1 調査フロー

## 3.2 土質調査

### (1) 目的

土質調査は地盤改良工の設計・施工に必要な資料を得るために行うもので、構造物の種類、規模を十分考慮して実施する。

具体的な調査内容は、以下のとおりである。

- ① 原地盤の土質構成の把握(軟弱地盤層の厚さ、地層の連続性、起伏、地下水位)
- ② 原地盤の土質工学的特性の把握(物理的・力学的特性、必要に応じて化学特性)

なお、概略調査において実施設計のための十分な資料が得られない場合には、必要に応じて詳細調査を行う。

### (2) 土質調査位置

ボーリング調査等の土質調査の実施にあたり、あらかじめ既存資料の収集・整理を行い、既存資料を補完・拡充できるように調査位置を決定する。調査はできる限り本工事が実施される区域で実施することが望ましい。調査間隔は50～200m程度で、地層に起伏が見られる所では調査間隔を狭くするとともに、横断方向にも調査を行う。

調査深度は基盤層を確認するため、基盤層到達後2m程度実施することが望ましい。

### (3) 調査方法

#### 1) ボーリング調査

ボーリング調査は、以下の内容を把握するために実施する。

- ① 成層状況の把握
- ② 地下水の分布状況(地下水位、被圧水の有無)
- ③ 標準貫入試験(N値の把握)
- ④ 試料の採取による土の基本物性値の把握
- ⑤ 原位置試験の実施(間隙水圧の測定)

調査に際しては圧密排水層となる砂層、砂礫層の分布状況に十分注意する必要がある。

#### 2) サウンディング調査

サウンディング調査はボーリング調査を補完し、成層状況および地盤の強度を確認するために実施する。

地盤の強度は乱さない試料を採取のうえ、室内土質試験により求めることが一般的であるが、泥炭性の軟弱土については、整形時の乱れ、試験時の脱水などの問題がある。そのため、オランダ式二重管コーン貫入試験、電気式静的コーン貫入試験などのサウンディング試験により、原位置においてせん断強度を求めることで、前述の試験データの精度を向上させることができる。

### 3) 試料の採取

設計用の土質定数把握のための室内土質試験を行うために土質試料を採取する。試料の採取には土質、N値および試験目的により、最適なサンプラーを用いることが重要である。

### (4) 室内土質試験

表-3.2.1 にFMPの設計に必要な土質試験項目を示す。実施に際しては、事前の土質調査結果を十分考慮し、設計・施工に必要な試験項目を選定することが重要である。

CDM工法などは、原地盤と固化材を攪拌するため、高含水高有機質土などでは強度発現不足や不経済な仕様となる場合があり、地盤の化学的性質により大きな影響を受ける。

一方、FMP工法は、オールケーシング工法により場所打ち杭を確実に造成するため、強度などの改良効果が改良対象地盤の化学的性質の影響を受けることは少なく、高品質な杭体を軟弱地盤中に造成できる。これらのことから、FMP工法の適用理由を明確にするために、強熱減量試験や有機炭素含有量試験は必ず実施する。

表-3.2.1 室内土質試験項目

| 項目   |               | 試験方法       | 必要性 |
|------|---------------|------------|-----|
| 物理試験 | 土粒子の密度試験      | JIS A 1202 | ○   |
|      | 土の粒土試験        | JIS A 1204 | ○   |
|      | 土の含水比試験       | JIS A 1203 | ○   |
|      | 土の液性限界・塑性限界試験 | JIS A 1205 | ○   |
|      | 土の湿潤密度試験      | JIS A 1225 | ○   |
| 力学試験 | 土の一軸圧縮試験      | JIS A 1216 | ○   |
|      | 土の三軸圧縮試験(UU)  | JGS S 0521 | △   |
|      | 土の三軸圧縮試験(CU)  | JGS S 0522 | △   |
|      | 土の圧密試験        | JIS A 1217 | ○   |
| 化学試験 | 土のpH試験        | JGS S 0211 | ○   |
|      | 土の強熱減量試験      | JGS S 0221 | ○   |
|      | 土の有機炭素含有量試験   | JGS S 0231 | ○   |

○:必ず実施

△:必要に応じて実施

### 3.3 室内配合試験

供試体の作成方法は、地盤工学会基準「JGS 0821-2000:安定処理土の締め固めをしない供試体作成方法」に準拠して行う。

#### (1) 目的

改良効果に対し影響を与える要素として、

- ① 使用材の種類および量
- ② 養生条件

等が考えられ、その機構は複雑である。このため、施工に先立ち使用材の種類及び添加量を決定するための配合試験を行う。

#### (2) 試験手順

配合試験の手順を図-3.3.1 に示す。

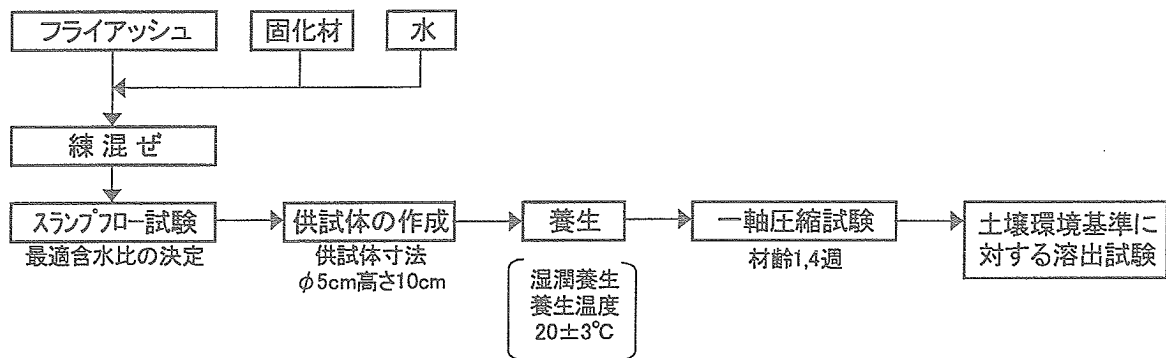


図-3.3.1 配合試験の手順

#### (3) 試験項目

表-3.3.1 に室内配合試験の一般的な項目を示す。

表-3.3.1 室内配合試験項目

| 項 目  |                | 試験方法       | 必要性 |
|------|----------------|------------|-----|
| 物理試験 | スランプフロー試験      | JSCE-F 503 | ○   |
| 力学試験 | 土の一軸圧縮試験       | JIS A 1216 | ○   |
| 化学試験 | 土壌環境基準に対する溶出試験 |            | ○   |

#### (4) 試験仕様

表-3.3.2 に室内配合試験の一般的な仕様を示す。

表-3.3.2 室内配合試験の一般的な仕様

|          | 項目      | 標準仕様   |
|----------|---------|--|
| 配合材料     | フライアッシュ | 供給予定灰  |
|          | 固化材の種類  | 普通ポルトランドセメント<br>高炉セメントB種                               |
|          | 練混ぜ水の種類 | 真水   |
| 配合条件     | 固化材添加量  | FA:固化材=1:0.05~1:0.15<br>50~200kg/FAモルタル1m <sup>3</sup> |
|          | 加水率     | 40~50%   |
| 材齢       |         | 7日、28日   |
| 供試体モールド数 |         | 各3+溶出試験用検体   |

#### 1) 固化材の種類

固化材としては、普通ポルトランドセメント又は高炉セメントを用いる。

#### 2) 練混ぜ水

練混ぜ水として、真水(水道水など)が用いられる。

#### 3) フライアッシュ

フライアッシュと固化材の重量比を、1:0.05~1:0.15程度とすることが多い。

#### 4) 加水率

FMPの加水率は、施工性および目標強度により決定されるが、一般的には40%~50%としている。

施工性については、スランプフロー試験などから、ポンプ圧送能力やFAモルタル製造プラントの能力により設定する。

強度については、加水率によりFMPの強度が変化することから、室内配合試験にて目標強度に応じた適切な加水率を決定する。

#### 5) 固化材の添加量

固化材の添加量の設定は、既存資料を参考に決定する。

通常、固化材の添加量は50~200kg/FAモルタル1m<sup>3</sup>程度とすることが多い。

#### 6) 供試体の作成

フライアッシュおよびセメントは、原則として現地で実際に使用するものを用いる。

練混ぜ水についても、品質に留意する。

供試体の作成方法は、地盤工学会基準「JGS 0821-2000:安定処理土の締め固めをしない供試体作成方法」に準拠して行う。

### 7) 養生

養生方法は以下の2方法のうち、どちらかを行うものとする。

- ・ 空气中飽和養生

モールドに充填させた試料を、水の出入りがないような湿潤状態で、かつ  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  の一定温度で力学試験までの間養生をする。

- ・ 不織布を境界条件とする水中養生

モールドの内側に  $t=1\text{mm}$  の不織布を貼ってから、モールド内にFAモルタルを打設した後、直ぐ水中養生を行う。水温は  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、FAモルタル上部には重しをする。

### 8) 力学試験

固化強度の確認は、一軸圧縮試験(JIS A1216)により行うが、必要に応じて曲げ、圧裂引張り試験も実施する。

### (5) 固化材添加量の決定

固化材の添加量は図-3.3.2 のフローにより決定されるが、原位置試験の結果により決定する場合もある。

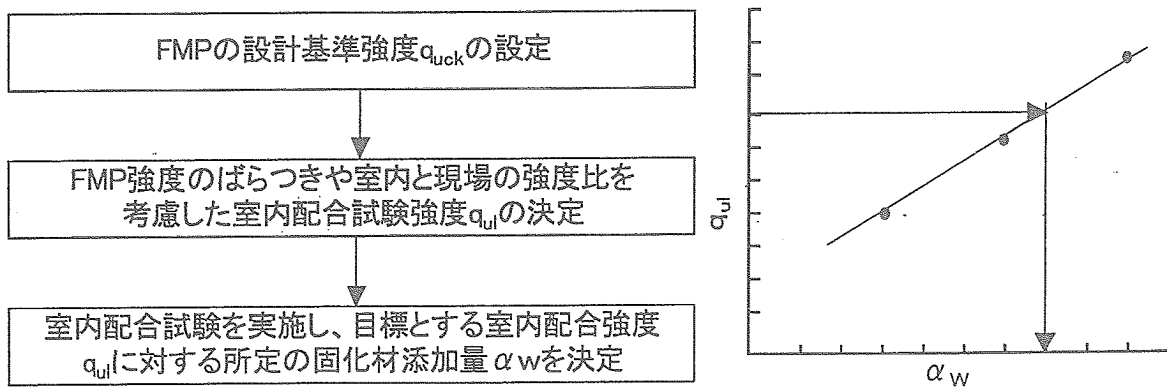


図-3.3.2 固化材の添加量決定フロー<sup>5)</sup>

なお、設計基準強度 $q_{uck}$ と室内配合強度 $\overline{q_{ul}}$ の関係を以下に示す。

$$q_{uck} = \gamma \cdot \overline{q_{uf}} = \gamma \cdot \lambda \cdot \overline{q_{ul}}$$

ここに、



$q_{uck}$  : 設計基準強度

$\overline{q_{ul}}$  : 室内配合試験における改良土の一軸圧縮強さの平均値

$\overline{q_{uf}}$  : 原位置改良土の一軸圧縮強さの平均値

$\gamma$  : 現場強度係数 ( $q_{uf}$  の確認試験で見られる、チェックボーリングコアサンプリング位置によるバラツキを考慮する係数)

$\lambda$  :  $\overline{q_{ul}}$  と  $\overline{q_{uf}}$  の比

上記各係数を現地において確認することが望まれる。一般的に用いられる各係数の目安値については、「4.3 改良強度の設定」を参照されたい。

### 3.4 重金属類溶出試験

FMP工法による地盤改良を行うにあたり、「土壌の汚染に関わる環境基準について」(環境庁告示第46号:以下土壌環境基準、表-3.4.1)を基本に、環境への影響を確認する必要がある。

平成12年3月に「セメントおよびセメント系固化材の地盤改良への使用および改良土の再利用に関する当面の措置について」が旧建設省および関係省庁から発表され、各省庁所管の建設工事でセメント系地盤改良を実施する場合は、必ず六価クロム溶出試験を実施し、土壌環境基準値を超える場合にはその対策を実施し、溶出量を土壌環境基準以下にすることが義務づけられている。FMP工法もセメント系固化工法と考えられることから、六価クロムの溶出試験について実施することとする。

さらに、表-3.4.1の各項目についても配合試験時に溶出試験を実施し、土壌環境基準値以下であることを確認する。

ただし、フライアッシュの成分分析結果より、当該物質が含まれていない(定量限界以下も含む)ことが明らかな場合は、その項目についての溶出試験は行わなくてもよい。

表-3.4.1 土壤汚染に関わる環境基準について

| 項目              | 環境上の条件   |
|-----------------|--|
| カドミウム           | 検液 1 リットルにつき 0.01mg 以下であり、かつ農用地においては米 1kg につき 1mg 未満であること。   |
| 全シアン            | 検液中に検出されないこと。  |
| 有機燐             | 検液中に検出されないこと。  |
| 鉛               | 検液 1 リットルにつき 0.10mg 以下であること。   |
| 六価クロム           | 検液 1 リットルにつき 0.05mg 以下であること。   |
| 砒素              | 検液 1 リットルにつき 0.01mg 以下でありかつ、農用地(田に限る。)においては、土壌 1 リットルにつき 15mg 未満であること。   |
| 総水銀             | 検液 1 リットルにつき 0.0005mg 以下であること。   |
| アルキル水銀          | 検液中に検出されないこと。  |
| PCB             | 検液中に検出されないこと。  |
| 銅               | 農用地(田に限る。)において、土壌 1kg につき 125mg 未満であること。   |
| ジクロロメタン         | 検液 1 リットルにつき 0.02mg 以下であること。   |
| 四塩化炭素           | 検液 1 リットルにつき 0.002mg 以下であること。  |
| 1,2-ジクロロメタン     | 検液 1 リットルにつき 0.004mg 以下であること。  |
| 1,1-ジクロロエチレン    | 検液 1 リットルにつき 0.02mg 以下であること。   |
| シス-1,2-ジクロロエチレン | 検液 1 リットルにつき 0.04mg 以下であること。   |
| 1,1,1-トリクロロエタン  | 検液 1 リットルにつき 1mg 以下であること。  |
| 1,1,2-トリクロロエタン  | 検液 1 リットルにつき 0.006mg 以下であること。  |
| トリクロロエチレン       | 検液 1 リットルにつき 0.03mg 以下であること。   |
| テトラクロロエチレン      | 検液 1 リットルにつき 0.01mg 以下であること。   |
| 1,3-ベクロロプロペン    | 検液 1 リットルにつき 0.02mg 以下であること。   |
| チラウマ            | 検液 1 リットルにつき 0.006mg 以下であること。  |
| シマジン            | 検液 1 リットルにつき 0.003mg 以下であること。  |
| チオペンガルブ         | 検液 1 リットルにつき 0.02mg 以下であること。   |
| ベンゼン            | 検液 1 リットルにつき 0.01mg 以下であること。   |
| セレン             | 検液 1 リットルにつき 0.01mg 以下であること。   |
| フッ素             | 検液 1 リットルにつき 0.8mg 以下であること。  |
| ホウ素             | 検液 1 リットルにつき 1.0mg 以下であること。  |
| 備考              | <p>環境上の条件のうち</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 検液中濃度に係わるものにあつては付表に定める方法により検液を作成し、これを用いて測定を行うものとする。</li> <li>2. カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀及びセレンに係わる環境上の条件のうち検液中濃度に係わる値にあつては、汚染土壌が地下水面から離れており、かつ、現状において当該地下水中のこれらの物質の濃度がそれぞれ地下水 1 リットルにつき 0.01mg、0.01mg、0.05mg、0.01mg、0.0005mg 及び 0.01mg を超えていない場合には、それぞれの検液 1 リットルにつき 0.03mg、0.03mg、0.15mg、0.03mg、0.0015mg、0.03mg とする。</li> <li>3. 「検液中に検出されないこと」とは、測定方法の欄に掲げる方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。</li> <li>4. 有機燐とは、パラチオン、メチルパラチオン、メチジメト及び EPN をいう。</li> </ol> |

## 4. 設計

### 4.1 概要

FMP工法による改良体は、杭式改良のみとなることから、平均的な地盤強度が発揮される複合地盤として設計する。

改良地盤は、改良体とのその間の原地盤からなり、それぞれの力学特性に応じて支持力を発揮し、荷重を負担する。支持力特性は、改良形式(改良体の配置と改良幅/改良長)と改良体の品質(強度とばらつき)の影響を大きく受けるので、設計に際しては、設計方法と改良形式、改良品質が合致するように配慮する。また、その境界近傍での対応策なども含め、全体的な経済性、施工性を考えて改良範囲を総合的に判断することが重要である。

本章においては、FMP工法の改良形式である「杭式改良」についての現状の設計法を述べる。

### 4.2 改良用途と改良形式

改良形式は、平面的な配置による改良形式と、良好な支持地盤への着底の有無による改良地盤の支持方式に分類される。

FMP工法では、接円およびラップ施工が困難なことから、杭式改良となる。一般的に杭式改良は、表-4.2.1に示すように、盛土などの安定対策として用いられることが多い。

設計にあたっては、以下の点に留意する。

(1)荷重の種類と大きさ、偏荷重の程度等の特徴を考えた改良仕様とする。

- ・盛土荷重、掘削荷重、構造物荷重(擁壁、橋台等)
- ・盛土高、掘削深さ
- ・地震時荷重、液状化、側方流動等

(2)本体構造物の重要度により設計条件を決定する。

- ・地震時の考慮の有無
- ・許容変位量の大きさ
- ・変状発生時の近接構造物への影響の大きさ

(3)地盤条件の特徴を把握する。

- ・対象軟弱層の土質、層厚、支持層(着底層)の深さと土質
- ・軟弱な層、中間硬質層、締まった砂層、礫層等の存在

(4)改良目的を正確に把握し、目的に合致した改良仕様であるか、また地盤改良によって新たな不具合が生じないかを確認する。

(5)改良目的が1つに限られることは少なく、多目的の効果を期待されたり、改良によって新たな不具合が発生することがあることも考慮して改良仕様を選定する。

(6)選定した改良仕様で想定される改良体の変形挙動をイメージする。

- ・水平力(土圧、すべり)に対する抵抗力の増大を図る場合、(改良幅/改良長)比が小さいと曲げ変形が卓越する可能性があるため、注意が必要である。
- ・鉛直力に対する抵抗力の増加(支持力増加、沈下低減・防止)を図る場合、高盛土、低改良率では不同沈下が発生する。
- ・地盤反力の増大を図る場合、改良体の連続性が悪いと効果が期待できない。
- ・改良部と無改良部の境界での不同沈下。

(7)施工時に周囲の環境や近接構造物に悪影響を及ぼす可能性を考慮する。

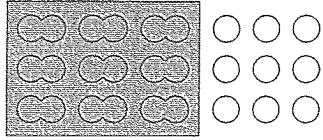
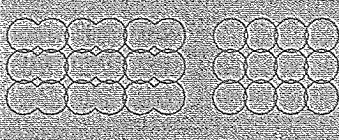
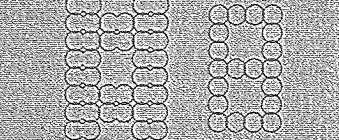
- ・水平方向変位による隣接地盤や近接構造物の変形
- ・地下水の流路阻害やアルカリ拡散

表-4.2.1 主な用途と改良形式の目安<sup>6)</sup>

| 対象構造物                              |         | 杭式 | ブロック式 |     |   |
|------------------------------------|---------|----|-------|-----|---|
| 構造物                                | 改良目的    |    | 接円式   | 格子式 |   |
| 盛土<br>小擁壁<br>石積み                   | すべり対策   | ◎  | ◎     | ◎   | △ |
|                                    | 沈下抑止・低減 | ◎  | △     | ◎   | △ |
|                                    | 側方変位抑止  | ○  | ◎     | ◎   | ◎ |
|                                    | 支持力確保   | ○  | ◎     | ◎   |   |
|                                    | 液状化対策   | —  | —     | ◎   | △ |
| 切土                                 | すべり対策   | ○  | ◎     | ◎   | △ |
|                                    | 側方変位抑止  | ○  | ◎     | ◎   | △ |
| 掘削<br>土留め                          | 主働土圧低減  | —  | ◎     | ◎   | ◎ |
|                                    | 横抵抗増加   | ○  | ◎     | ◎   | ◎ |
|                                    | ヒートンク防止 | ○  | ◎     | ◎   | ◎ |
|                                    | 盤膨れ防止   | —  | —     | ◎   | ◎ |
| 構造物<br>擁壁<br>ボックスカルバート<br>護岸<br>建築 | 沈下抑止・低減 | ○  | ◎     | ◎   | △ |
|                                    | 液状化対策   | —  | —     | ◎   | ◎ |
|                                    | 支持力確保   | ○  | ◎     | ◎   | ◎ |
|                                    | K値増加    | —  | ◎     | ◎   | ◎ |

■ 部分はFMP工法適用外

表-4.2.2 改良形式の主な特徴<sup>7)</sup>

|         | 杭式   | ブロック式   | 格子式  |
|---------|--|---|--|
| 基本仕様    |                     |    |         |
| 安定性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>盛土のすべり、安定、沈下など水平外力があまり大きくない場合に有効である。水平力に対する変形は大きい。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>改良体が一体として外力に抵抗するため、全体的にも内部的にも安定性が高く、水平力に対する変形は小さい。</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>全体の安定は、ブロック式に準じる。</li> </ul>                        |
| 経済性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>改良範囲に対し、改良容積が少ないため経済的であり、工期も少なく済む。</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>杭式の改良仕様と比べて、改良面積が大である。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>改良容積は、ブロック式と杭式の中間である。</li> </ul>                    |
| 施工性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>基本的には施工精度や高い均質性はあまり要求されないため、施工が容易である。</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>全体或いは一方向の改良体を相互にラップさせるため、施工制度が要求され工期が長くなる。</li> <li>施工時の周辺地盤の変状に留意することが必要である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>二方向の改良体を相互にラップさせるため、施工精度が要求され、かつ施工手順が複雑。</li> </ul> |
| 設計手法    | <ul style="list-style-type: none"> <li>複合地盤的設計手法を採用することが多い。</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>構造的設計手法を採用することが多い。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>構造的設計手法を採用することが多い。</li> </ul>                       |
| 代表的な適用例 | <ul style="list-style-type: none"> <li>盛土のすべり、安定、沈下対策等、改良範囲が広い場合や施工範囲の制約が少ない場合に適用する。</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>構造物基礎の支持力増加、沈下対策。</li> <li>限定された狭い範囲で大きな抵抗力、支持力を得る場合に適用する。</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>構造物基礎の支持力増加、沈下対策。</li> <li>液状化対策</li> </ul>         |



部分はFMP工法適用外

#### 4.2.1 改良形式

FMP工法で用いられる改良形式は、杭式改良である。

杭式改良は、改良体をおある間隔をおいて矩形又は千鳥状に複数打設して改良地盤を形成する改良形式である。一般に盛土などの比較的変形が許される場合に広く用いられる。

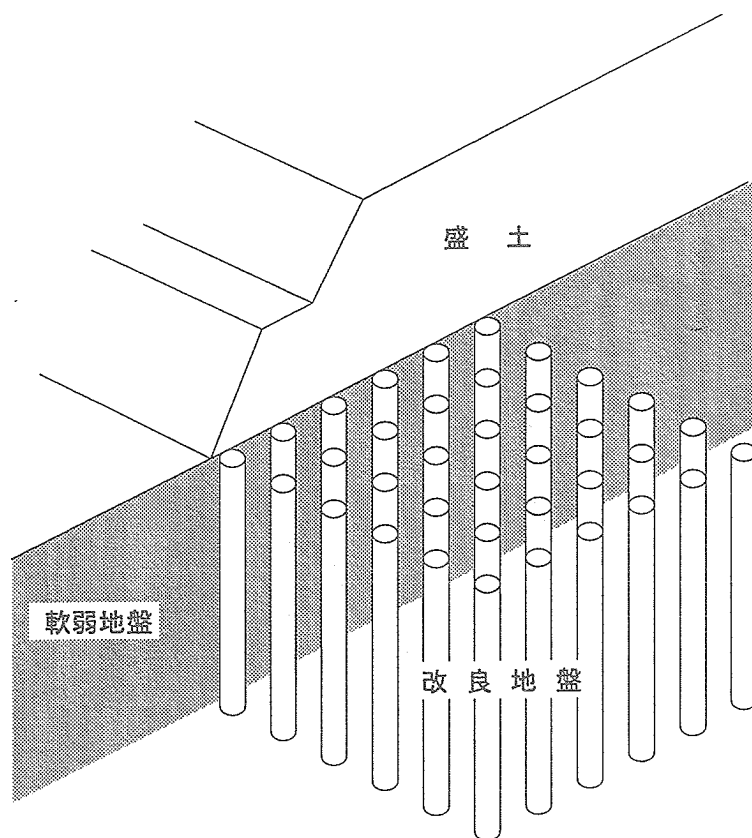


図-4.2.1 杭式改良地盤の形状<sup>8)</sup>

#### 4.2.2 支持方式

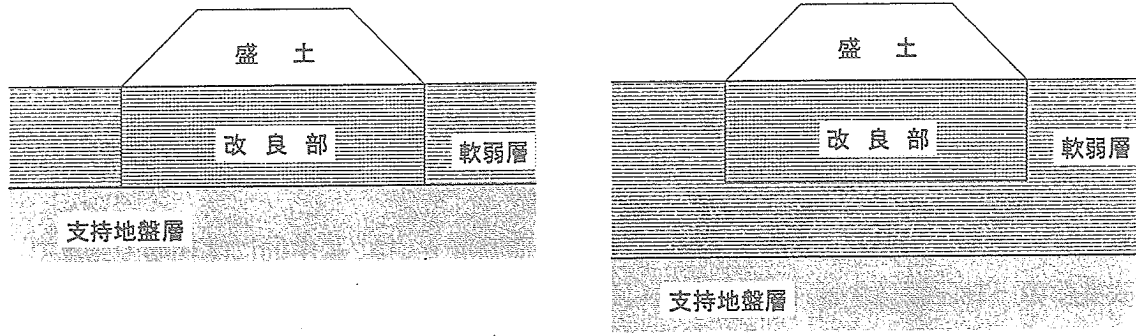
改良地盤の支持方式には図-4.2.2 に示す2種類がある。支持層が浅い場合には「着底型」が多く、支持層が深い場合には「浮き型」が採用されることもある。

##### (1)着底型

改良地盤下端を良質地盤に着底させる方式である。中間支持層の下に洪積粘土層などが存在する場合も中間支持層への着底型とする場合が多い。

(2)浮き型

改良地盤を支持地盤に着底させず、軟弱地盤の途中にとどめる方式である。この場合は改良部の圧密沈下検討に加えて、改良部下にある軟弱地盤の圧密沈下検討が必要である。



(a)着底型改良地盤

(b)浮き型改良地盤

図-4.2.2 改良地盤の支持方式<sup>9)</sup>



### 4.3 改良強度の設定

FMP工法における改良強度は、フライアッシュの性質、固化材の種類や配合、攪拌混合方法など、多くの要素に影響を受ける。そのため、設計基準強度は、工事で使用する材料を用いた室内配合試験結果を考慮して定める必要がある。

さらに、設計基準強度は、想定される荷重の大きさ、改良仕様などによって必要とされる強度が異なることに留意して定めなければならない。

#### ○杭式改良地盤の設計(複合地盤的設計手法)の場合

杭式改良における複合地盤の設計に用いる設計基準強度  $q_{uck}$  は、基本的には現場で発揮できる改良体の一軸圧縮強度  $q_{uf}$  であればよい。しかし、現場強度  $q_{uf}$  にはばらつきがあること、および現場強度と室内配合試験による一軸圧縮強度  $q_{ul}$  には違いがあることを考慮し、現場強度  $q_{uf}$  と室内配合試験強度  $q_{ul}$  の関係を式(4.3.1)で示す。

$$q_{uck} = \gamma \cdot \overline{q_{uf}} = \gamma \cdot \lambda \cdot \overline{q_{ul}} \quad (4.3.1)$$

ここに、

$q_{uck}$  : 設計基準強度

$\overline{q_{ul}}$  : 室内配合試験における改良土の一軸圧縮強度の平均値

$\overline{q_{uf}}$  : 原位置改良土の一軸圧縮強度の平均値

$\gamma$  : 現場強度係数

$\lambda$  : 現場強度  $q_{uf}$  の平均値と室内配合強度  $q_{ul}$  の平均値の比

FMP工法における基本データの蓄積は十分ではないが、現時点での施工データからは、 $\gamma \cdot \lambda = 1/2$  が適当と考えられる。また、 $\lambda$  の値を別途隣接の現場などから推測する場合もある。

## 4.4 設計

FMP工法で用いられる杭式改良は、盛土や擁壁などのすべり破壊の防止、沈下量の低減、支持力の増加、側方変位量の低減などを目的としたものである。

杭式改良の場合、改良体と無改良地盤との複合地盤とし、その平均的なせん断強度を有する地盤に各種構造物が直接設置される場合に、改良体に必要とされるせん断強さとその改良範囲を設計することを基本としている。

すなわち、複合地盤のせん断強さによる安定性(支持力、すべり)の確保を基本としており、杭式改良の改良体強度、改良形式(配置)、改良幅/改良長(B/D)等は対象となる荷重に対して、できるだけ複合地盤的な挙動と食い違いのないように決定することが重要である。改良仕様から複合地盤的な挙動とならないと想定される場合は、当然、構造的な検討を行う。

なお、沈下防止・抑制効果については、剛性の高いFMPに応力集中するというメカニズムにより発揮される。したがって、サーチャージを行わない限り残留沈下は発生する。

杭式改良の設計に際しての留意点を以下に示す。

### (1) 検討項目

軟弱地盤の安定に関する検討項目は、構造物の種類や規模と地盤の土質性状、そして要求される改良目的、施工法、工期などによっても異なってくる。表-4.4.1に軟弱地盤で課題となる主要な検討項目と関連する土質特性の関連を示した。

設計手順(後述図-4.4.1)のフローに従って全ての項目を検討する必要はなく、改良目的、構造物の種類や規模、重要度、周辺状況などによって適切な項目を選定して実施すればよい。

表-4.4.1 検討項目と関連する主な土質特性<sup>10)</sup>

|     | 設計課題                         | 関連する改良土の土質特性   |
|-----|------------------------------|--|
| 粘性土 | 支持力確保:ヒーピング防止、<br>側方流動防止を含む  | せん断強さ $\tau$ 、粘着力 $c$  |
|     | すべり対策、側方変位抑止<br>土圧低減*        | せん断強さ $\tau$ 、粘着力 $c$<br>せん断強さ $\tau$ 、粘着力 $c$                       |
|     | 壁、杭の横抵抗(受働土圧)の増加*<br>沈下抑止・低減 | 地盤反力係数 K 値、変形係数 $E_{50}$<br>圧縮特性 $p_c$ 、 $c_v$ 、 $m_v$ 、せん断強さ $\tau$ |
| 砂質土 | 液状化対策、側方流動*<br>パイピング         | せん断強さ $\tau$ 、粘着力 $c$<br>透水係数 $k$ 、粘着力 $c$                           |

※検討方法は道路橋示方書・同解説、道路土工指針、建築基礎構造設計指針等適切な図書による

## (2)本體工の設計検討(安定他)

原地盤条件で盛土、擁壁等の本體工に対するすべり安定、支持力他の検討を行う。盛土、擁壁等の支持地盤としての範囲や軟弱地盤層のすべりなどに対する不安定の程度を明確にして、改良諸元の設定値の参考とする。既に実施されている場合はその結果を利用する。

## (3)改良体

杭式改良の設計では、改良体は必ずしも均質なものではなく、改良強度や鉛直精度にばらつきを内在すること、改良体のピーク応力とひずみの関係は、無改良地盤のそれと差があること、改良体は曲げ引張り強度が小さいこと等に留意しなければならない。改良地盤の安定性について、無改良地盤と上記のような特性を持つ改良体のせん断強さ、および圧密特性( $c_v$ 、 $m_v$ 等)を用いて複合地盤として設計することを基本としている。

## (4)改良幅

改良体は、完全に均質とは言えないことから、改良地盤が全体として外力に抵抗する(できるだけ曲げ応力が発生しない)よう、改良幅 $B$ は改良長 $D$ に対して $B/D=0.5\sim 1.0$ 以上を目安とし、これより小さくならないようにする。

## (5)設計基準強度

改良目的、改良対象となる地盤などによって違いはあるが、すべりや軟弱粘性土の沈下低減を目的とする場合の設計基準強度  $q_{uck}$  は、 $250\sim 1,000\text{kN/m}^2$ を用いる。

## (6)改良体の強度(設計基準強度)

改良地盤の平均せん断強さ(後述式(4.4.4)参照)は、ほぼ改良体のせん断強さと改良率の積で表される。従って、平均せん断強さを等しくする時、改良体の強度を大きく取れば小さな改良率で良く、また、全せん断抵抗力は概ね(改良幅) $\cdot$ (改良強度) $\cdot$ (改良率)の積に比例するので、計算上所要のせん断抵抗力を得るためには(改良強度) $\cdot$ (改良率)を大きくとれば、改良幅を狭くすることができる。しかし、杭式改良の場合、複合地盤のせん断強さによる安定性の検討を基本としており、改良体強度を上記の値以上に大きくしたり、改良幅を狭くする場合は、改良体の変形量(変形解析)や均質性(品質のばらつき程度)等にも配慮して曲げ変形モードについてのチェックや、残留強度に対するチェックなど慎重に検討しなければならない。

## (7)改良率

試験施工結果によれば、FMPの杭間隔が  $2.5D$  以下となると、まだ固まらない隣接する既存杭に影響を与えることから、杭中心間隔を最低  $2.5D$  以上確保する。杭中心間隔が  $2.5D$  のときの改良率は約  $12.8\%$ となる。

なお、施工的配慮より隣接する既存杭への影響を確実になくすることができる場合は、FMPの杭間隔を  $2.5D$  以下とすることができる。

#### 4.4.1 設計手順

杭式改良地盤の設計は、次の手順を標準とする。ただし、改良目的に応じて以下の検討項目のうち省略されるものもある。

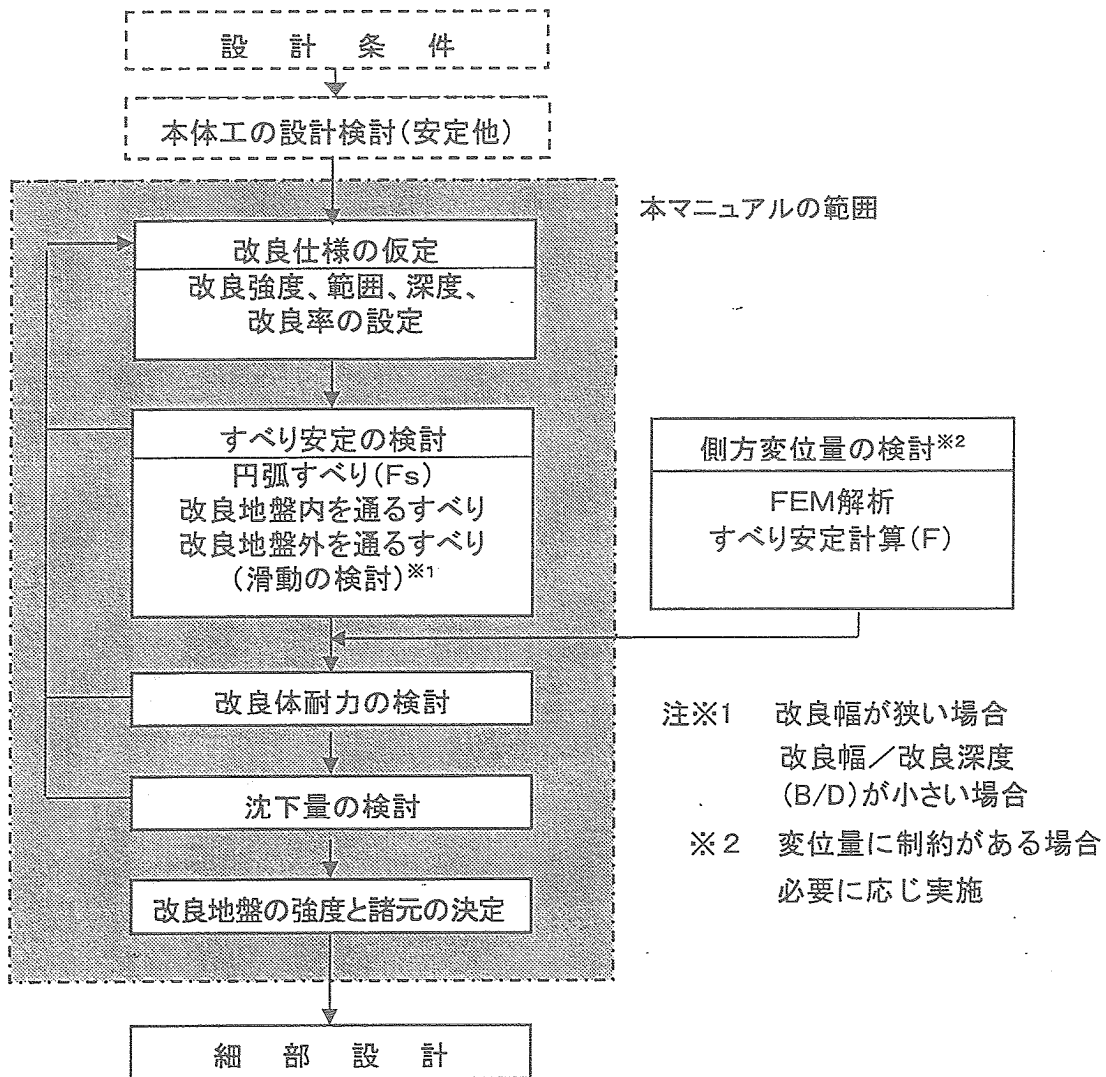


図-4.4.1 複合地盤の設計手法の流れ<sup>11)</sup>

#### 4.4.2 設計条件

設計条件は、①構造物の目的と機能、②重要度、③荷重条件、④施工条件(周辺状況も含む)、⑤土質条件などについて十分考慮するものとする。

設計に際しては、上記の観点から必要に応じて、⑥許容変形量ないしは目安とする変形量、⑦許容沈下量などの条件も設定し、地盤改良の目的に適合した改良仕様を決定することが必要である。

#### 4.4.3 改良地盤の強度と諸元の仮定

設計を始めるにあたっては、まず下記の改良諸元について仮定する。これらの諸元は施工実績も参考にして決定する。

①改良幅 ②改良深さ ③改良率 ④改良体の強度(設計基準強度)

改良率  $a_p$  は、改良対象面積に占める改良体の割合で表す。一般的には、改良体を矩形または千鳥状に配置する(図-4.4.2 参照)。

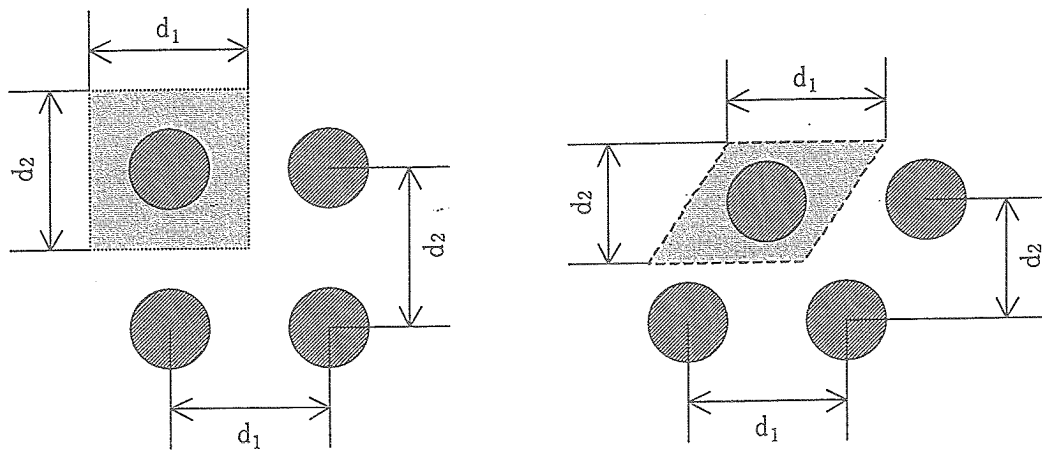


図-4.4.2 改良体の配置

$$a_p = \frac{A_p}{d_1 \cdot d_2} \times 100 \quad (4.4.1)$$

ここに、

$a_p$  :改良率(%)

$A_p$  :改良体1本の改良面積

$d_1 \cdot d_2$  :改良体の配置間隔

改良体の設計基準強度の仮定は、実績と改良体の圧縮応力の要求条件を参考にする。

設計基準強度は、上載荷重が改良体に集中したと仮定して、次式(4.4.2)により圧縮強度の安全率を1.0~1.2程度とする計算値を目安として、実績を加味して設定する。

$$q_{uck} = F_s \cdot W / a_p \quad (4.4.2)$$

ここに、

$q_{uck}$  :改良体の設計基準強度

$a_p$  :改良率(%)

$W$  :上載荷重 =  $\gamma_E \times H_E$

$F_s$  :安全率(割り増し)

改良体の強度は、現地盤強度よりも 10~100 倍程度大きく、盛土荷重などでは改良体の圧縮応力が問題となることは少ないが、改良率が小さい場合や盛土高さが大きい場合も想定し、基本検討として行う(図-4.4.3 参照)。

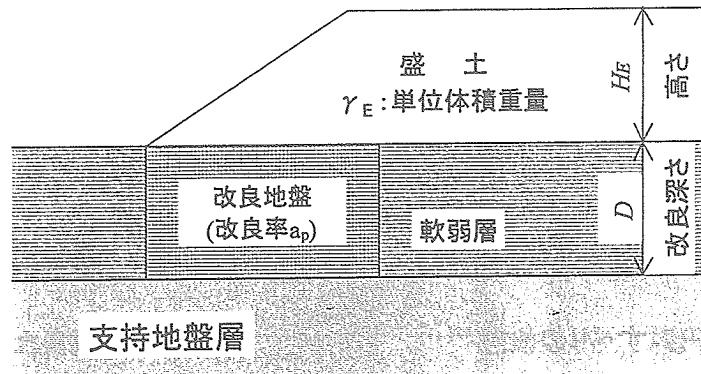


図-4.4.3 改良強度と盛土高さ

#### 4.4.4 すべり安定の検討

改良仕様の設計は、円弧すべりによる安定確保を原則とし、改良地盤内を通るすべりと改良地盤外を通るすべりについて安定性を検討する(図-4.4.4、図-4.4.5 参照)。円弧すべりによる安定計算は、次式にて行う。

$$F_s = \frac{R(l_1 \cdot \tau_E + l_2 \cdot \bar{\tau} + l_3 \cdot \tau_0)}{r \cdot W_E} \quad (4.4.3)$$

$$\bar{\tau} = c_p \cdot a_p + K \cdot c_0 (1 - a_p) \quad (4.4.4)$$

ここに、

- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| $F_s$ : すべり安全率                  | $q_{uck}$ : 改良体の設計基準強度           |
| $\tau_E$ : 盛土のせん断強さ             | $a_p$ : 改良率 = $A_p/A$            |
| $\bar{\tau}$ : 改良地盤の平均せん断強さ     | $A_p$ : 改良体の断面積                  |
| $\tau_0$ : 原地盤のせん断強さ            | $A$ : 改良体 1 本当たりの分担面積            |
| $l_1, l_2, l_3$ : 円弧の長さ         | $K$ : 改良体の破壊ひずみに対応する原地盤の破壊強度の低減率 |
| $R$ : 円弧の半径                     | $c_0$ : 原地盤の粘着力 = $q_{uo}/2$     |
| $r$ : 起動半径                      | $q_{uo}$ : 原地盤の一軸圧縮強さ            |
| $r \cdot W_E$ : 起動モーメント         |                                  |
| $c_p$ : 改良体のせん断強さ = $q_{uck}/2$ |                                  |

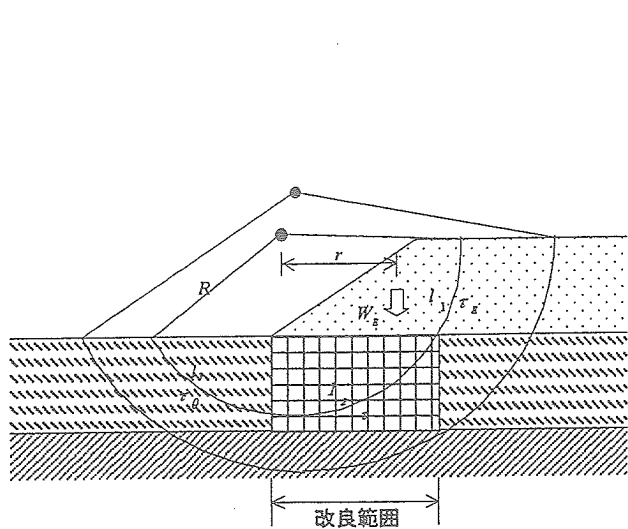


図-4.4.4 円弧すべりの検討<sup>12)</sup>

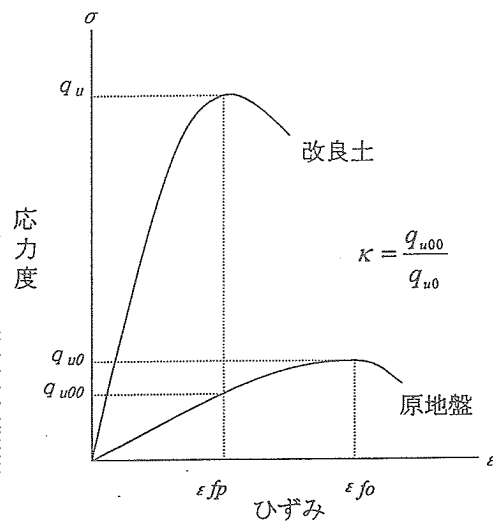


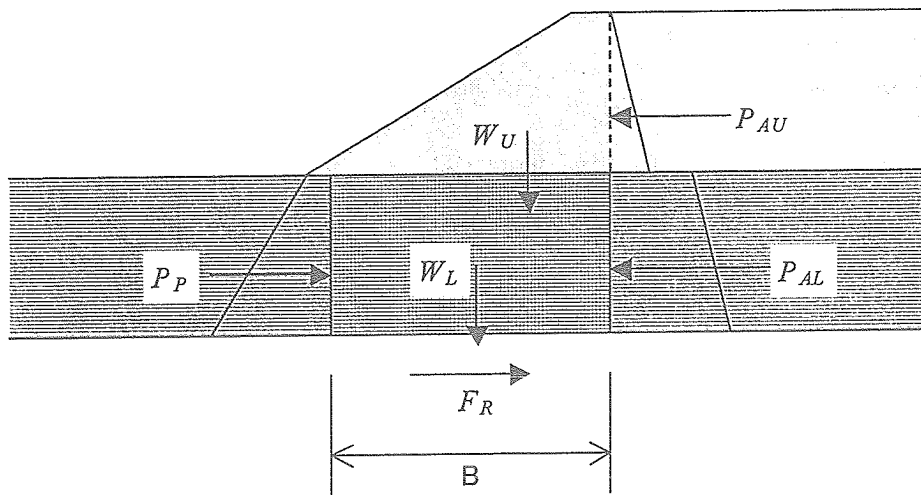
図-4.4.5 改良土と原地盤の  $\sigma \sim \varepsilon$  の関係; 低減率  $\kappa$ <sup>13)</sup>

改良幅Bが改良深さDに比べて小さく、偏荷重が作用するような場合、改良体に曲げ応力が発生し、杭式改良を前提とする円弧すべりによる破壊とは異なった破壊状態となる。このような破壊パターンとならないように、4.4章に設計に際しての留意点を示し改良率やB/Dに実績からの推奨値を設定した。しかし、設計条件によってはこれだけで解消することができない場合や、この推奨値を採用できない状況も考えられることから、改良幅が狭い場合などは「曲げ変形」や「滑動」の検討などでチェックし、構造的な改良方法の採用も考慮して改良仕様を決定することが望ましい。

- 1) 円弧すべり計算手法には様々な手法があるが、安全率に大きな差はないことから、準拠すべき基準に示される計算式を用いればよい。ここでは粘性土地盤として式(4.4.3)を示した。
- 2) 地震時の円弧すべりの計算は、特に必要とされている場合以外は省略して良い。ただし、重要な構造物では地震時の検討を行う。
- 3) ここでは、複合地盤的設計としてある程度の変位量は許容できるものと考え、安全率は1.2以上を目安とした。
- 4) 改良地盤の平均せん断強さは、式(4.4.4)で示されるが、無改良部の強度による第2項は、一般的には非常に小さいので無視することが多い。これを考慮する場合、低減率 $\kappa$ は改良体と原地盤の一軸圧縮試験結果などによることとなるが、従来の実績より1%~2%程度の軸ひずみに対応する原地盤強度としても良い。
- 5) 複合地盤的な改良仕様の場合、通常は、滑動のような変形・破壊パターンは発生しないが、①着底層が軟らかい、②改良地盤にかかる偏土圧が大きい、③改良深さに対して改良幅が小さく着底層への根入れができない、等の場合には、滑動や曲げ変形を検討して改良地盤の安定性を確認することが望ましい。

〈参考-4.4.1〉滑動に対する検討

滑動の検討は、盛土荷重などにより改良地盤がブロック的な挙動をする改良地盤モデルの場合、偏土圧が作用するとして、改良地盤前面、背面にかかる受働土圧、主働土圧を計算し、改良地盤底面に沿ったすべりについて、次式により安全率を計算する(参図-4.4.1 参照)。安全率  $F_s$  は、常時で 1.2 以上とする。地震時の検討での安全率は 1.0 以上とする。



参図-4.4.1 滑動の検討<sup>14)</sup>

$$F_s = \frac{F_R + P_p}{P_{AU} + P_{AL}}$$

(参 4.4.1)

ここに、

$F_s$  : 滑動安全率

$F_R$  : 滑動抵抗力

改良地盤の下層が砂地盤の場合  $= \min \left\{ \begin{array}{l} \mu(W_U + W_L) \\ B \cdot \bar{\tau} \end{array} \right.$

改良地盤の下層が粘土地盤の場合  $= \min \left\{ \begin{array}{l} B \cdot c_b \\ B \cdot \bar{\tau} \end{array} \right.$

$P_p$  : 受働土圧

$c_b$  : 着底層の粘着力

$P_{AU}$  : 改良地盤上の盛土が受ける主働土圧

$P_{AL}$  : 改良地盤が受ける主働土圧

$\bar{\tau}$  : 改良後の平均せん断強さ

$\mu$  : 摩擦係数 =  $\tan \phi_b$  ; 砂地盤

$\phi_b$  : 着底層の内部摩擦角

$B$  : 改良幅

$W_L$  : 改良地盤の重量

$W_U$  : 改良地盤に載る盛土重量



#### 4.4.5 圧密沈下量の検討

改良地盤の圧密沈下量の検討は、無処理部分の沈下量( $S_0$ )、および改良率( $a_p$ )と応力分担比( $n$ )に着目した式(4.4.5)がよく用いられる。

$$S = \beta' \cdot S_0$$

$$\beta' = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{(n-1)a_p + 1} \quad (4.4.5)$$

$$S_0 = m_{v0} \cdot H_c \cdot \sigma$$

ここに、

- |                              |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| $S$ : 改良地盤の沈下量               | $n$ : 応力分担比 = $\sigma_p / \sigma_c$ |
| $S_0$ : 無改良の場合の沈下量           | $\sigma_p$ : 改良体にかかる応力              |
| $\beta'$ : 沈下低減係数            | $m_{vp}$ : 改良土の体積圧縮係数               |
| $a_p$ : 改良率                  | $\sigma_c$ : 無改良体にかかる応力             |
| $\sigma$ : $= \Delta P$ 増加応力 | $m_{v0}$ : 原地盤の体積圧縮係数               |
| $H_c$ : 改良層の厚さ               |                                     |

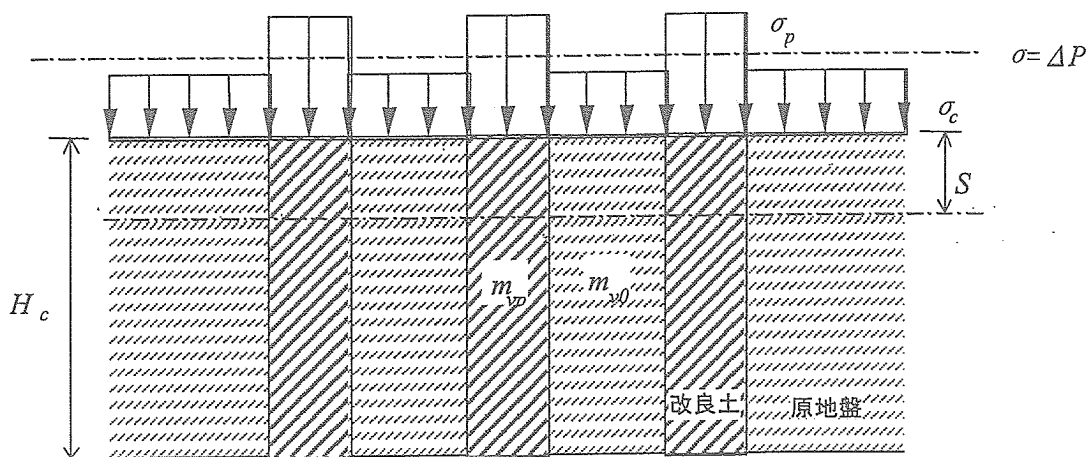


図-4.4.6 沈下量の検討<sup>15)</sup>

FMP自体の圧密沈下は、一般的には非常に小さい。しかし、FMP工法は基本的に低改良率であるため、圧密による残留沈下の検討を行う必要がある。なお、浮き型の場合だけでなく、着定式でも支持層以深に圧密層が存在する場合には圧密沈下に対する検討が必要である。

FMP工法のように改良率が小さく、盛土などの上載荷重による圧密沈下量を検討する場合、

応力分担比  $n$  はCDM工法などでは 10～20 の範囲で設定している。

CDM工法により、盛土基礎に杭式改良を適用したいくつかの工事例では、観測された改良後の最大沈下量は、式(4.4.5)で得られる計算値より小さい。FMP 工法においても、類似工事の実施例の観測データが存在し、式(4.4.5)で得られる計算値が実際の沈下量よりも過大に評価すると判断される場合は、適切な補正を行ってもよい。

## 4.5 設計計算例

### 4.5.1 すべり防止対策としての設計例

沖積粘性土層からなる軟弱地盤上での高さ8mの道路盛土の計画に対し、FMP工法を適用する設計計算事例を示す。

#### (1)設計条件

##### 1)検討断面

検討断面は図-4.5.1 に示す。

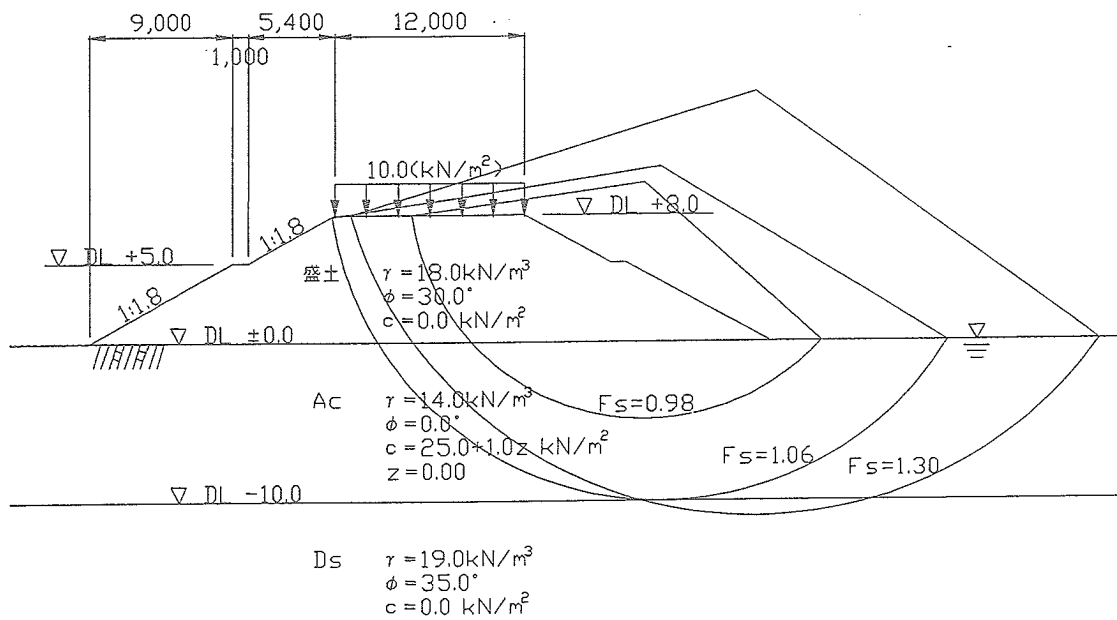


図-4.5.1 検討断面図

##### 2)目標安全率

①円弧すべりによる安全率  $F_s \geq 1.25$

(「道路土工 軟弱地盤対策工指針」昭和61年11月(社)日本道路協会 p.60 参照)

②改良体耐力の安全率  $F_s \geq 1.00$

## (2)設計手順

盛土のすべり防止を目的としたFMP工法の設計は、図-4.5.2 の手順で行うものとする。

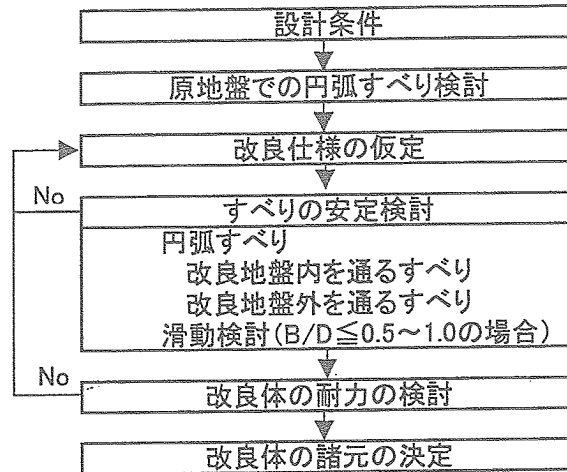


図-4.5.2 設計手順

## (3)原地盤での円弧すべりの検討

原地盤、つまり無処理地盤における安定検討結果を示す。

$$\text{最小安全率 } F_s = 0.98 < 1.25$$

## (4)改良仕様の仮定

原地盤での円弧すべりの検討結果より、 $D_s$  層を通る円弧は、目標安全率を満たしているため、FMP工法の改良は粘性土を対象とする。

### 1)改良柱体の諸元

FMPの設計基準強度は  $250 \sim 1,000 \text{ kN/m}^2$  で設定可能であり、改良率は 12.5% 以下の設定となる。これらを考慮し、次のように仮定した。

①改良体の設計基準強度  $q_{uck} = 1,000 \text{ kN/m}^2$

②改良径  $\phi = 0.5 \text{ m}$

③改良率  $a_p = 12.5\%$  ( $a_p = A_p / (d_1 \cdot d_2) \times 100 = 0.196 / (1.25 \times 1.25) \times 100 = 12.5\%$ )

④改良幅  $B = 10.5 \text{ m}$

2)改良地盤の平均せん断強さ $\bar{\tau}$

改良地盤の平均せん断強さ $\bar{\tau}$ は、改良柱体のせん断強さのみ考慮する。

$$\bar{\tau} = a_p \times (q_{uck}/2) = 0.125 \times (1000/2) = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

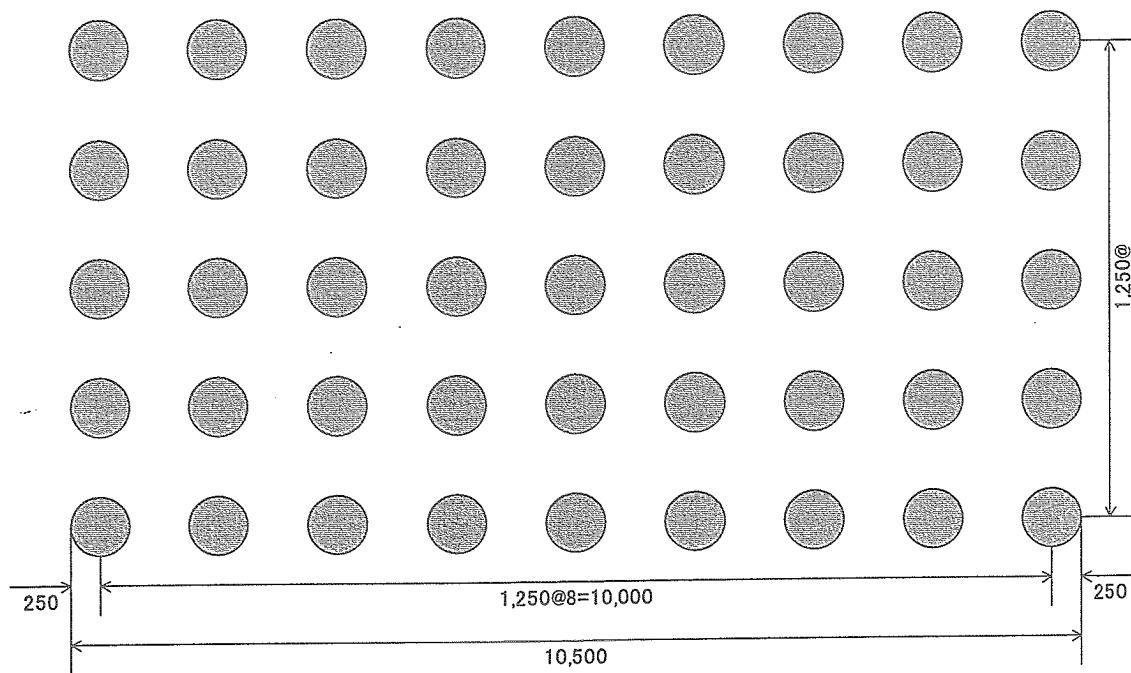


図-4.5.3 杭配置図

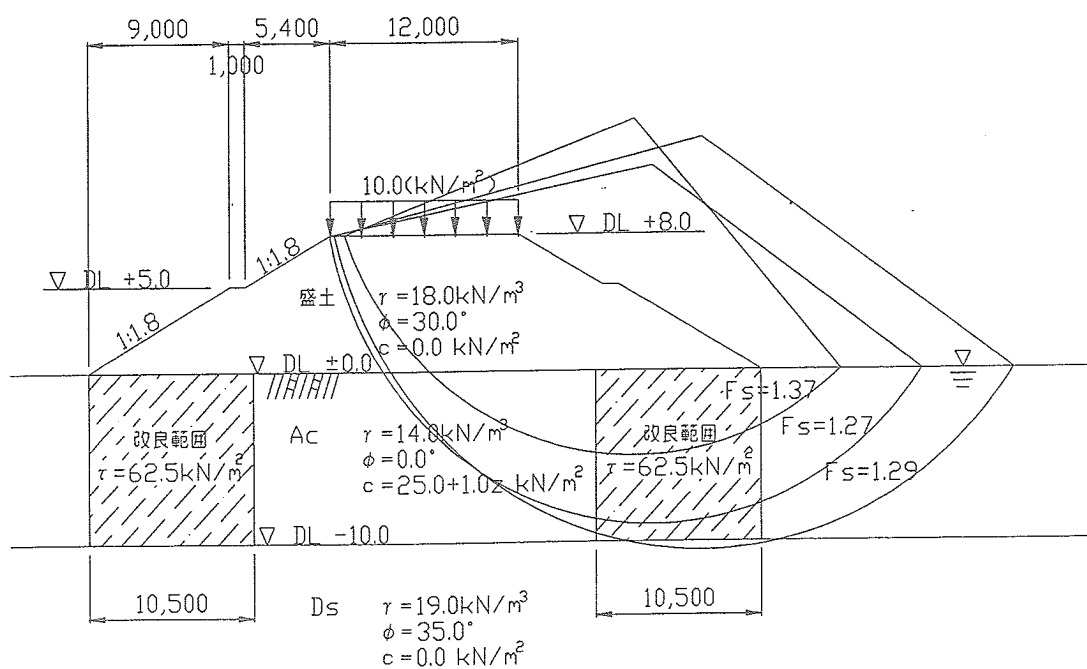


図-4.5.4 改良後の安定検討結果

#### (5)改良後の安定計算

改良幅  $B=10.5\text{m}$  のときの最小安全率(図-4.5.4 参照)

$$F_s = 1.27 \geq 1.25 \quad \underline{O.K.}$$

このとき、改良深度  $D=10.0\text{m}$  であるから、

$$B/D = 10.5/10.0 = 1.05 > (0.5 \sim 1.0) \quad \underline{O.K.}$$

$B/D=1.05$  と比較的大きいこと、支持層への着低改良が容易に可能と考え、滑動の検討は省略する。

#### (6)改良体の杭耐力検討

上載荷重が、改良柱体の頭部に作用するものと考え、改良柱体の耐力検討を行った。改良体直上の最大土被り厚  $H=5.3\text{m}$  とすると、

$$\begin{aligned} \sum W &= \gamma H + q = 18.0 \times 5.3 + 0.0 = 95.4 \text{ kN/m}^2 \\ F_s &= q_{uck} / (\sum W / a_p) = 1,000 / (95.4 / 0.125) = 1.31 > 1.00 \quad \underline{O.K.} \end{aligned}$$

#### (7)改良体の諸元の決定

以上の結果より、すべりおよび杭耐力ともに目標安全率を満足した。そのため、改良体の諸元は次の通りとする。

- ①改良体の設計基準強度  $q_{uck} = 1,000 \text{ kN/m}^2$
- ②改良径  $\phi = 0.5 \text{ m}$
- ③改良率  $a_p = 12.5\%$  ( $a_p = A_p / (d_1 \cdot d_2) \times 100 = 0.1963 / (1.25 \times 1.25) \times 100 = 12.5\%$ )
- ④改良幅  $B = 10.5 \text{ m}$

### 4.5.2 盛土の沈下低減対策としての設計例

高有機質土層からなる軟弱地盤上に高さ  $5\text{m}$  の盛土を実施し、片側2車線の主要地方道を構築する場合に、盛土の沈下低減対策としてFMP工法を適用する設計計算事例を示す。

#### (1)設計条件

##### 1)検討断面

検討断面図および土質定数を図-4.5.5 に示す。

##### 2)許容残留沈下量

許容残留沈下量

$$S_{R0} = 30 \text{ cm}$$

(「道路土工軟弱地盤対策工指針」昭和61年11月(社)日本道路協会 p.54 参照)

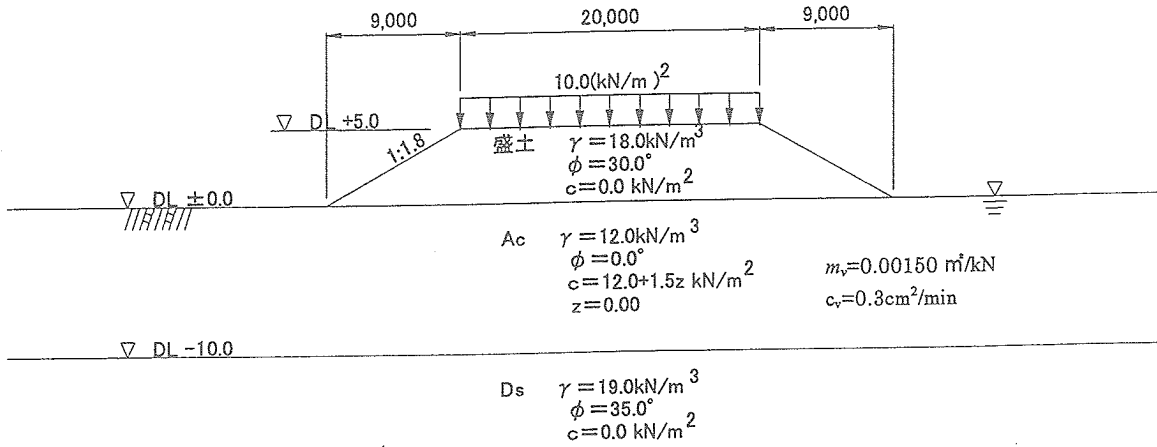


図-4.5.5 検討断面

3) 盛土法面の目標安全率

$$F_s \geq 1.25$$

(「道路土工 軟弱地盤対策工指針」昭和 61 年 11 月 (社)日本道路協会 p.60 参照)

4) 改良体の耐力検討の最小安全率

$$F_s \geq 1.00$$

(2) 設計手順

盛土沈下低減の設計は図-4.5.6 の手順で行う。

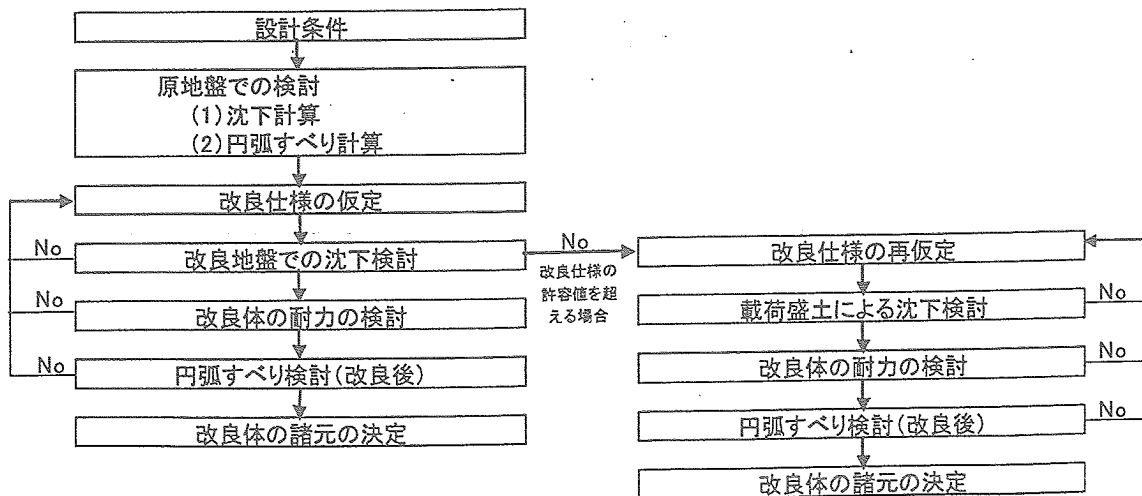


図-4.5.6 設計手順

### (3) 原地盤での検討

#### 1) 沈下量の計算

圧密試験結果をもとに沈下量計算は  $m_v$  法を用いて実施する。

$$\text{増加応力 } \Delta P = \gamma \cdot H + q = 18.0 \times 5.0 + 10.0 = 100.0 \text{ kN/m}^2$$

原地盤の体積圧縮係数

$$m_{v0} = 0.00150 \text{ m}^2/\text{kN} \quad (\text{圧密試験結果より})$$

沈下量

$$\begin{aligned} S_o &= m_{v0} \cdot \Delta P \cdot H \\ &= 0.00150 \times 100.0 \times 10.0 \\ &= 1.50 \text{ m} = 150 \text{ cm} > 30 \text{ cm} \quad \underline{N.G.} \end{aligned}$$

#### 2) 円弧すべりの計算

円弧すべりの解析により、盛土のり面の安定計算を行った。

$$F_s = 0.79 < 1.25 \quad \underline{N.G.}$$

### (4) 改良仕様の仮定

沈下対象が高有機質土層であっても、FMP工法を適用する場合には強度発現がしにくいといった問題を考える必要がない。そのため、改良体の仕様を以下のように仮定した。

①改良体の設計基準強度  $q_{uck} = 1,000 \text{ kN/m}^2$

②改良径  $\phi = 0.5 \text{ m}$

③改良深度  $H = 10.0 \text{ m}$

④改良率

改良体の圧縮応力の要求条件から必要改良率  $a_p$  を算出する。

$$\begin{aligned} q_{uck} &= F_s \cdot W / a_p \\ 1,000 &\geq 1.0 \times (18.0 \times 5.0 + 10.0) / a_p \\ \therefore \text{必要改良率 } a_p &\geq 10.0\% \end{aligned}$$

改良パターンを改良体の直径  $\phi = 0.5 \text{ m}$  として図-4.5.7 のように設定すると、改良率  $a_p = 12.5\%$  となり必要改良率以上となる。

$$\begin{aligned} a_p &= A_p / (d_1 \cdot d_2) \times 100 \\ &= 0.1963 / (1.25 \times 1.25) \times 100 = 12.5\% \geq 10.0\% \end{aligned}$$

$A_p$  : 改良体1本の改良面積

$d_1 \cdot d_2$  : 改良体1本の分担面積



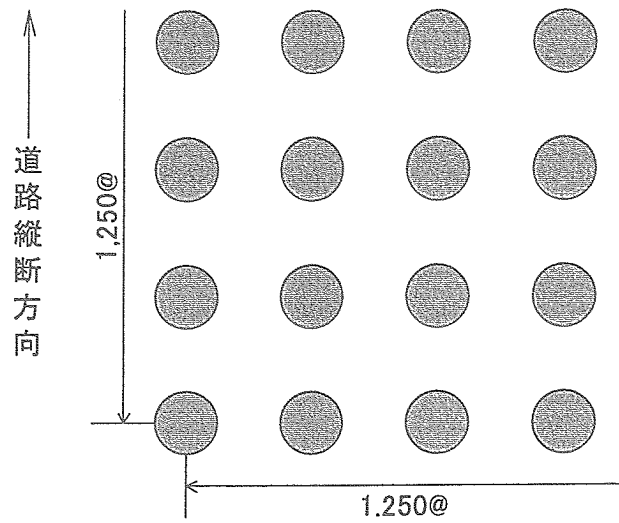


図-4.5.7 改良パターン説明図

#### ⑤改良範囲

境界などの関係から盛土底面全幅を改良範囲とする。改良間隔が 1.25m であるため、道路横断方向に 31 列打設する。このことから、改良幅  $B$  は次のようになる。

$$\text{打設列数 } n = (38.0 - 0.5) / 1.25 + 1 = 31 \rightarrow 31 \text{ 列}$$

$$\text{改良幅 } B = 1.25 \times (31 - 1) + 0.5 = 38.00\text{m}$$

#### (5)改良地盤の沈下検討

##### 1) 応力分担比 $n$ の仮定

応力分担比は、 $n=10 \sim 20$  に設定することが多い、実績の報告から設計値以上の値が確認されていることから、 $n=20$  とする。

(4.4.5 圧密沈下量の検討 参照)

##### 2) 改良後の沈下量計算

改良後の沈下量計算は以下のようになった。

$$\beta = 1 / (1 + (n - 1) \cdot a_p) = 1 / (1 + (20 - 1) \cdot 0.125) = 0.296$$

$$S = \beta \cdot S_p = 0.296 \times 150 = 44.4\text{cm} > 30\text{cm} \quad \underline{N.G.}$$

改良率 12.5% は FMP 工法での最高改良率であるが、許容沈下量を満たすには FMP の改良仕様の許容値 (改良率 12.5%) 以上が必要となる。よって、追加の沈下対策が必要となる。

(6)追加の沈下対策

標準のFMPの改良仕様では改良率が低いため、許容の沈下量とすることが困難である。そのため、載荷盛土により沈下促進させ、供用開始時の残留沈下量が許容残留沈下量以下となるようにする。

この場合の改良仕様を次のように仮定した。

- ①改良体の設計基準強度  $q_{uck}=1,000\text{kN/m}^2$
- ②改良径  $\phi=0.5\text{m}$
- ③改良深度  $H=10.0\text{m}$
- ④改良率

改良体の圧縮応力の要求条件から必要改良率  $a_p$  を算出する。載荷盛土高さを  $5.75\text{m}$  とする(後述)。

$$q_{uck} = F_s \cdot W / a_p$$

$$1,000 \geq 1.0 \times (18.0 \times 5.75 + 0.0) / a_p$$

$$\therefore \text{必要改良率 } a_p \geq 10.4\%$$

改良パターンを改良体の直径  $\phi=0.5\text{m}$  として図-4.5.8 のように設定すると、改良率  $a_p=12.5\%$  となり必要改良率以上となる。

$$a_p = A_p / (d_1 \cdot d_2) \times 100$$

$$= 0.1963 / (1.25 \times 1.25) \times 100 = 12.5\% \geq 10.4\%$$

$A_p$  : 改良体1本の改良面積

$d_1 \cdot d_2$  : 改良体1本の分担面積

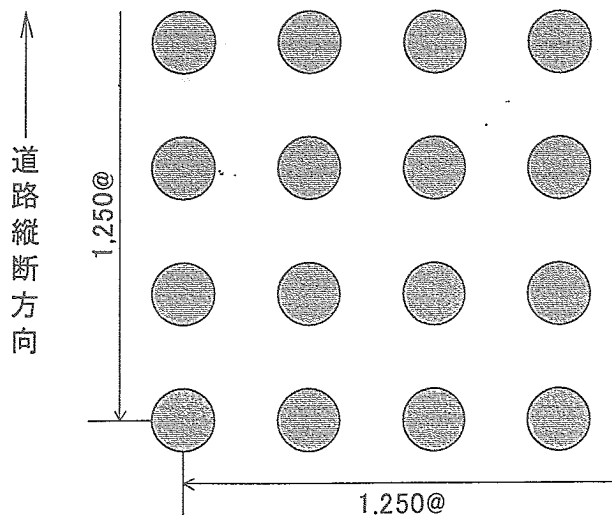


図-4.5.8 改良パターン説明図

⑤改良範囲

境界などの関係から盛土底面全幅を改良範囲とする。改良間隔が 1.25m であるため、道路横断方向に 31 列打設する。このことから、改良幅  $B$  は次のようになる。

$$\text{打設列数 } n = (38.0 - 0.5) / 1.25 + 1 = 31 \rightarrow 31 \text{ 列}$$

$$\text{改良幅 } B = 1.25 \times (31 - 1) + 0.5 = 38.0 \text{ m}$$

⑥載荷盛土高

載荷盛土は +5.75m まで行うこととする。

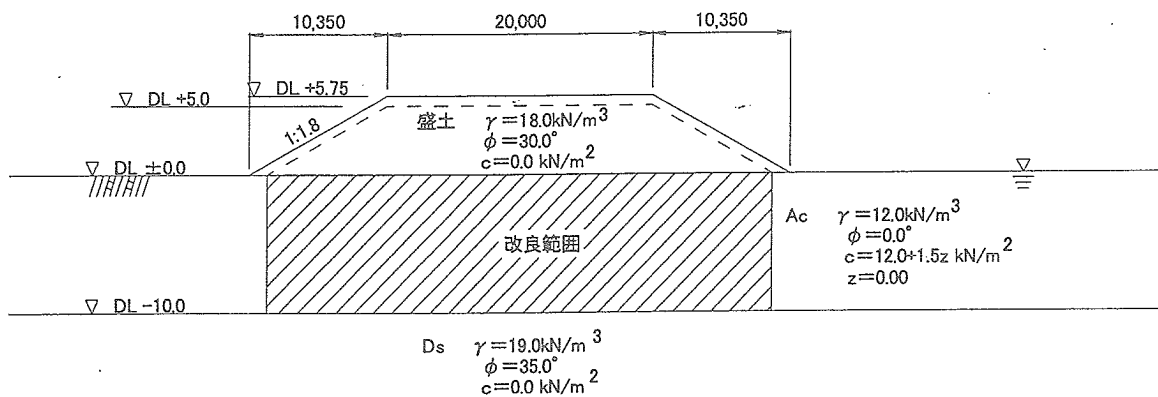


図-4.5.9 載荷盛土形状

(7)改良地盤の沈下検討(載荷盛土)

1)載荷盛土時沈下量の計算(改良前)

圧密試験結果をもとに載荷盛土時の沈下量計算は  $m_v$  法を用いて実施する。

$$\text{増加応力 } \Delta P = \gamma \cdot H + q = 18.0 \times 5.75 + 0.0 = 103.5 \text{ kN/m}^2$$

原地盤の体積圧縮係数および圧密係数

$$m_{v0} = 0.00150 \text{ m}^2/\text{kN} \quad (\text{圧密試験結果より})$$

$$C_{v0} = 0.3 \text{ cm}^2/\text{min} \quad (\text{圧密試験結果より})$$

沈下量

$$\begin{aligned} S_0 &= m_{v0} \cdot \Delta P \cdot H \\ &= 0.00150 \times 103.5 \times 10.0 \\ &= 1.55 \text{ m} = 155 \text{ cm} > 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

## 2) 応力分担比 $n$ の仮定

応力分担比は、 $n=10\sim 20$  に設定することが多い、実績の報告から設計値以上の値が確認されていることから、 $n=20$  とする。

(4.4.5 圧密沈下量の検討 参照)

## 3) 改良後の沈下量計算

改良後の沈下量計算は以下のようになった。

$$\beta = 1 / (1 + (n-1) \cdot a_p) = 1 / (1 + (20-1) \cdot 0.125) = 0.296$$

$$S = \beta \cdot S_0 = 0.296 \times 155 = 45.9 \text{ cm}$$

## 4) 残留沈下が 30cm となるまでの時間

残留沈下量が 30cm となるまでの、圧密沈下にかかる時間は以下のようになった。

$$\text{残留沈下量が 30cm となるときの圧密度 } U = (46 - 30) / 46 = 0.35$$

$$\text{圧密にかかる時間 } t_{35} = T_{35} \cdot H^2 / C_{v0} = 0.09 \times 1,000^2 / 0.3 = 300,000 \text{ min} = 209 \text{ 日}$$

## (8) 改良体の耐力検討

上載加重  $W$  は前述の  $\Delta P$  と沈下量分の荷重を加えた値とする。

$$W = \Delta P + \gamma' \times S = 103.5 + 8.0 \times 0.46 = 107.2 \text{ kN/m}^2$$

$$F_s = q_{uck} / (W / a_p) = 1,000 / (107.2 / 0.125) = 1.17 > 1.0 \quad \underline{O.K.}$$

## (9) 円弧すべりの検討(改良後)

### 1) 改良地盤の平均せん断強さ

改良地盤の平均せん断強度は、改良体のせん断強さのみ考慮する。

$$\bar{\tau} = a_p \times (q_{uck} / 2) = 0.125 \times (1,000 / 2) = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

### 2) 円弧すべり計算

載荷盛土時の円弧すべりの検討結果を図-4.5.10 に示した。

最小安全率  $F_s=1.99 > 1.25$

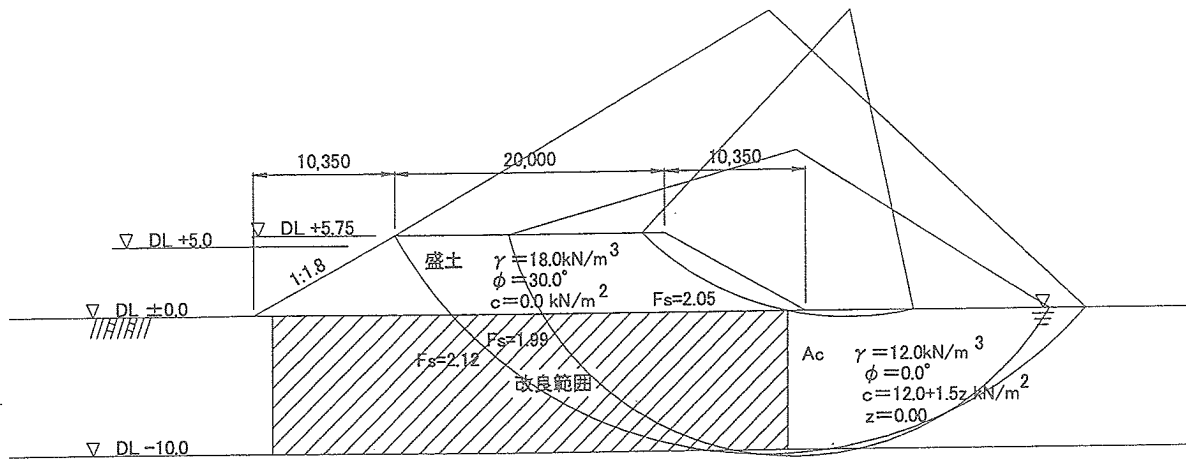


図-4.5.10 円弧すべりの検討結果(載荷盛土時)

また、載荷盛土を撤去し、供用開始時の円弧すべりの検討結果を図-4.5.11 に示した。

最小安全率  $F_s=2.04 > 1.25$

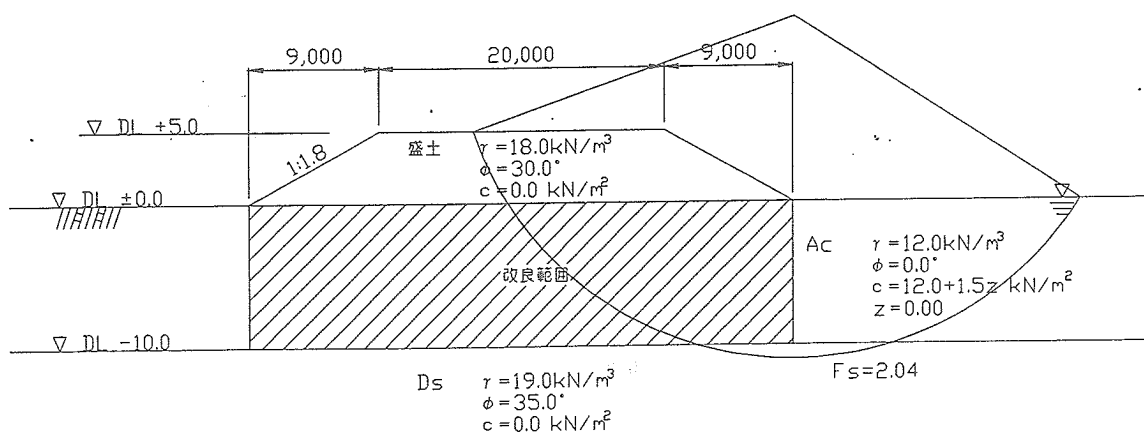


図-4.5.11 円弧すべりの検討結果(載荷盛土撤去後)

#### (10)改良体の諸元の決定

以上の結果から、すべりおよび沈下量、杭耐力ともに目標安全率を満足した。諸元は以下のようになる。

- ①改良体の設計基準強度  $q_{uck}=1,000\text{kN/m}^2$
- ②改良径  $\phi=0.5\text{m}$
- ③改良深度  $H=10.0\text{m}$
- ④改良率  $a_p=12.5\%$
- ⑤改良幅  $B=38.0\text{m}$

また、圧密沈下に要する載荷盛土高さや時間について表-4.5.1に示す。

表-4.5.1 圧密沈下に要する載荷盛土高さや時間

|                          | FMP改良<br>+載荷盛土 |
|--------------------------|----------------|
| 載荷盛土天端高(m)               | DL +5.75       |
| 載荷盛土撤去量(m)               | 0.56           |
| 残留沈下量 30cmとなるまでにかかる時間(日) | 209            |

#### (11)その他の方策

本検討ケースでは、FMPのみでの対策を行う場合には約55%以上の改良率が必要である。標準のFMPの改良率は最大12.5%であるが、施工順序の変更などにより55%以上の改良率が可能である。よって、FMPのみで沈下対策を行うことも可能である。

## 引用文献

- 1) 陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル、pp.69  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 2) FGC 深層混合処理工法技術マニュアル、pp.2-1~4  
:平成14年12月, (財)沿岸開発技術研究センター
- 3) FGC 深層混合処理工法技術マニュアル、pp.2-4  
:平成14年12月, (財)沿岸開発技術研究センター
- 4) FGC 深層混合処理工法技術マニュアル、pp.2-5  
:平成14年12月, (財)沿岸開発技術研究センター
- 5) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.61  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 6) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.68  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 7) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.69  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 8) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.69  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 9) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.72  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 10) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.76  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 11) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.79(加筆修正)  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 12) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.82  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 13) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.82  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 14) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.84  
:平成16年3月, (財)土木研究センター
- 15) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.86  
:平成16年3月, (財)土木研究センター

## 参考文献

- ・ 土質試験の方法と解説 :平成13年6月, (社)地盤工学会
- ・ 土質・コンクリート試験ハンドブック :平成11年1月, 建設技術教育研究所

- 土壌・地下水汚染に係わる調査・対策指針および運用基準  
:平成11年3月, (社)土壌環境センター
- 石炭灰ハンドブック:平成12年5月, 環境技術協会日本フライアッシュ協会
- 粉体噴射攪拌工法(DJM工法)・技術マニュアル  
:平成11年7月, DJM工法研究会技術委員会
- セメント系固化材による地盤改良マニュアル:平成6年8月, (社)セメント協会
- 地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例:平成10年3月, (社)地盤工学会
- 新版ボーリングポケットブック:平成9年12月, (社)全国地質業調査連合会



## あとがき

産学官共同研究支援事業により、既存の地盤改良工法である深層混合処理工法(CDM 等)では改良が困難であった高有機質土を対象に、地盤条件に左右されない高品質で安価な杭体を築造できる FMP 工法(Fly-ash Mortar Pile 工法)の設計手法を確立することができた。この工法が石炭灰の有効利用をさらに促進し、省資源の循環型経済社会の形成に役立つことを期待する。

なお、本研究に当り、三方町長 千田千代和氏、福井大学技術官 町原秀夫氏、三方町観光協会事務局長 今井加七氏、有限会社岡三屋代表取締役 岡勝之氏など多くの方々に多大なご助言とご協力をいただいた。ここに、記して深謝の意を表する。

平成 17 年 3 月

## 資料編

1. 研究の経緯
2. FMP改良体の強度特性
3. FMP試験施工報告書

## 資料編 1 研究の経緯

### 1.1 平成 14 年度

#### 「研究の内容」

FMP工法は、石炭火力発電所にて副産する石炭灰にセメント系固化材と水を添加することで品質の安定したFAモルタルを製造し、これを用いてオールケーシング工法による場所打ち杭を確実に造成するものである。したがって、地盤条件に左右されない高品質で安価な杭体を軟弱地盤中に打設できる。

本研究は、三方五湖周辺一帯に分布する有機質軟弱地盤を対象に現場実証試験を行い、FAモルタルの強度特性や適正配合、FMP工法の適用性などについて検討し、実用化に向けた設計マニュアルを作成するものである。

平成 14 年度は、現場実証試験と室内配合試験を実施し、以下の5項目について検討した。

- ① 室内配合試験によるFAモルタルの強度特性把握
- ② 現地実証試験によるFAモルタル杭の施工性と出来形の確認
- ③ 試験杭からのコア採取と強度試験データによる現場強度特性把握
- ④ FAモルタルの溶出特性把握
- ⑤ FAモルタルの最適配合検討

#### 「研究の成果」

現地実証試験により、FMP工法の施工性について検証し、出来形の確認を行った。また、打設したFMPからボーリングコア供試体を採取し、その強度特性を室内配合供試体のそれと比較した。

- ① FAモルタルの圧縮強さは、乾燥密度と加水率に大きく影響されることが確認された。一軸圧縮強さは、乾燥密度が大きいほど、また加水率が小さいほど大きくなる傾向が見られた。
- ② FMP工法の施工性が実用に値することが確認された。出来形については、形状・寸法は確保されていたものの、杭周縁部に一部粘土塊の取込みが見られ、施工方法の改善が必要であることが判った。
- ③ 現場FMPの圧縮強さは、室内配合圧縮強さと同程度のものが得られると予想していたが、実際には  $400 \sim 1000 \text{ kN/m}^2$  と、想定した値の半分弱となった。その原因は、加水率の違い(現場FMPの加水率の方が大きかった)にあることが判った。
- ④ 六価クロムの溶出はなかった。ただし、現場FMPから採取したコア供試体では、一部のものでセレンとフッ素が環境基準値を若干上回ることが判った。
- ⑤ FAモルタルの最適配合を決定するまでには至らなかった。

## 1.2 平成 15 年度

### 「研究の内容」

平成 14 年度に達成できなかったテーマにさらに 3 つのテーマを追加し、次の 6 項目をテーマとして研究を行った。

- ① 室内配合試験によるFAモルタルの強度特把握
- ② FAモルタルの最適配合検討
- ③ FAモルタルの溶出特性把握
- ④ FAモルタル杭打設の施工精度の向上
- ⑤ FMP工法の適用性検討
- ⑥ FMP工法の設計マニュアルの作成

### 「研究の成果」

前年度では、加水率の違いが圧縮強さに影響することを確認したが、平成 15 年度は養生条件の違いが圧縮強さに与える影響について検討を行うため、現場FMPの地中での養生条件に類似した『不織布を境界条件とする水中養生』による室内配合供試体を作成して、空气中飽和養生・現場コア供試体と圧縮強さの比較を行った。

- ① 境界条件を考慮した一軸圧縮試験を追加したことにより、現場コアと室内配合の強度比は約 1/2 であることが判った。
- ② 空气中飽和養生と水中養生(不織布を境界条件とする)で、それぞれに一軸圧縮強さと流動性に関する最適配合のあることが判った。最適配合は以下のとおりである。
  - ・空气中飽和養生  
フライアッシュ=85~95%、セメント=5~15%、水=50%
  - ・水中養生(不織布を境界条件とする)  
フライアッシュ=85~95%、セメント=5~15%、水=45%
- ③ 水中養生(不織布を境界条件とする)供試体の溶出試験では、一部のことでセレンが環境基準値を若干上回ることが判った。
- ④ FAモルタル杭打設の施工精度の向上については、理論上対処法を確立することができた。
- ⑤ ①~③の基本試験が年度一杯の期間を必要としたため、『FMP工法の適用性検討・FMP工法の設計マニュアルの作成』については、平成 16 年度に引き継ぐこととした。

### 1.3 平成 16 年度

#### 「研究内容」

平成 15 年度に達成できなかった次の 2 つのテーマについて研究を行い、3 ヶ年に渡った共同研究を完了した。

- ① FMP工法の適用性検討
- ② FMP工法の設計マニュアルの作成

#### 「研究の成果」

- ① FMP工法を基本的には地盤改良工法として位置づけ、複合地盤としてのせん断抵抗力についても考慮することとした。FMP工法による軟弱地盤の主な改良目的は、以下のとおりとする。

- ・沈下量の低減
- ・強度増加促進
- ・せん断変形の抑制
- ・滑り抵抗の付与

- ② 以下に示す同様な深層混合処理工法を参考として、FMP工法の設計マニュアルを作成した。

- ・陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル  
:(財)土木研究センター
- ・FGC 深層混合処理工法技術マニュアル(フライアッシュを用いた軟弱地盤改良工法)  
:(財)沿岸開発技術研究センター

設計マニュアルの目次は以下のとおりである。

### FMP工法設計要領 目次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. 総説                      | 1  |
| 2. 材料とフライアッシュモルタル固化体の工学的性質 | 11 |
| 3. 調査                      | 28 |
| 4. 設計                      | 37 |

#### <資料編>

- 1. 研究成果
- 2. FMP改良体の強度特性
- 3. FMP試験施工データ

## 資料編 2 FMP改良体の強度特性

### 2.1 FMP の工学的性質

この付属資料では、FMPの工学的性質の概要を述べる。

#### (1) 一軸圧縮強さ $q_u$ と破壊ひずみ $\varepsilon$ の関係

図-2.1(a)及び(b)に一軸圧縮強さと破壊ひずみの関係を示す。一般に一軸圧縮強さが小さくなるほど、破壊ひずみは大きくなることが知られており、以下に示す現場コア供試体と室内配合供試体の試験結果についても同じような傾向が確認される(一軸圧縮強さが $\text{kN/m}^2$ 以下では破壊ひずみが1.5~3.5%を示すものも見られる)。

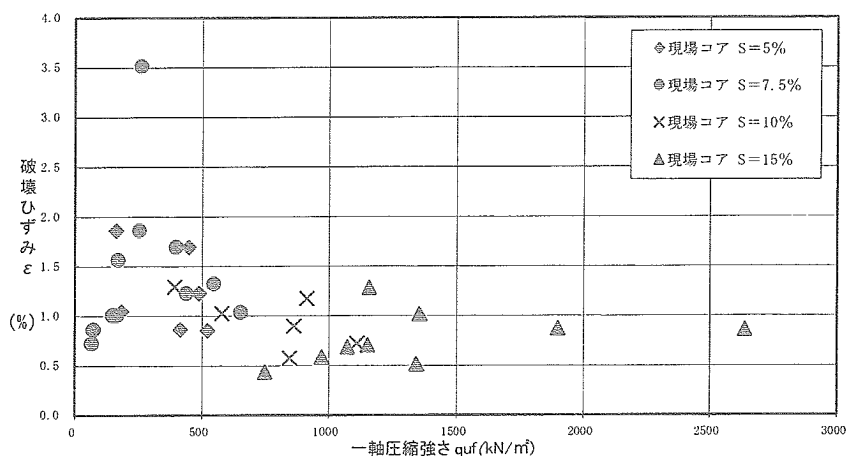


図-2.1(a) 一軸圧縮強さ $q_{uf}$ と破壊ひずみ $\varepsilon$ の関係(現場実証試験)

- ・ 図中凡例の現場コアは、本文中P21の現場コア供試体を示す。

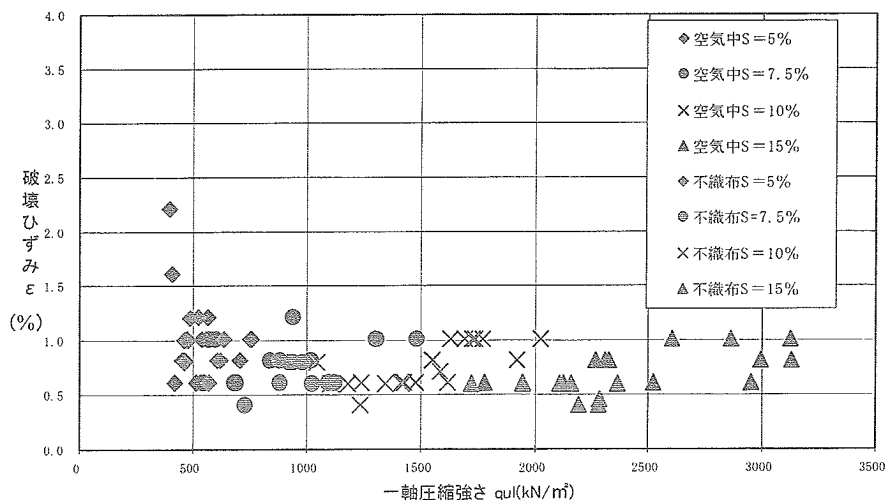


図-2.1(b) 一軸圧縮強さ $q_u$ と破壊ひずみ $\varepsilon$ の関係(室内試験)

- ・ 図中凡例の空気中は、本文中P23の室内配合供試体の空気中飽和養生分を示す。
- ・ 図中凡例の不織布は、本文中P24の室内配合供試体の水中養生(不織布を境界条件とする)分を示す。

## (2) 一軸圧縮強さ $q_{ul}$ と材令 $t$ の関係

図-2.2 に練混ぜ水として水道水を使用した室内配合供試体に対する材令 87 日までの一軸圧縮強さの変化を示す。なお、供試体の作成条件は $S=7.5\%$ 、 $\alpha=40\sim 50\%$ 、養生条件は不織布を境界条件とする水中養生である。図から材令とともに圧縮強さが増加し、概ね加水率 40%の一軸圧縮強さが、加水率 45%および 50%のそれより大きくなっていくことが判る。

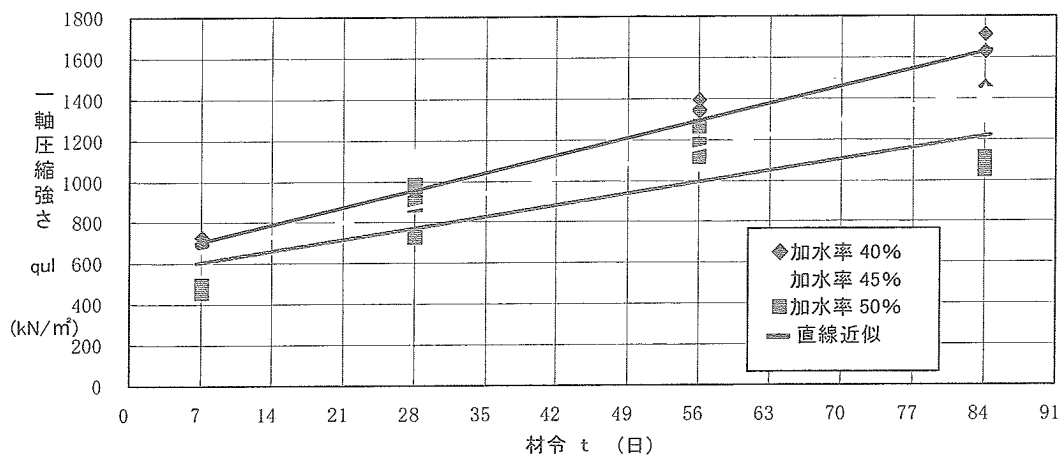


図-2.2 長期材令試験結果(セメント添加率 7.5%, 水中養生:境界条件は不織布)

## (3) 一軸圧縮強さ $q_u$ とセメント添加率 $S$ の関係

一軸圧縮強度とセメント添加率 $S$ の関係を整理すると図-1.3 となる。

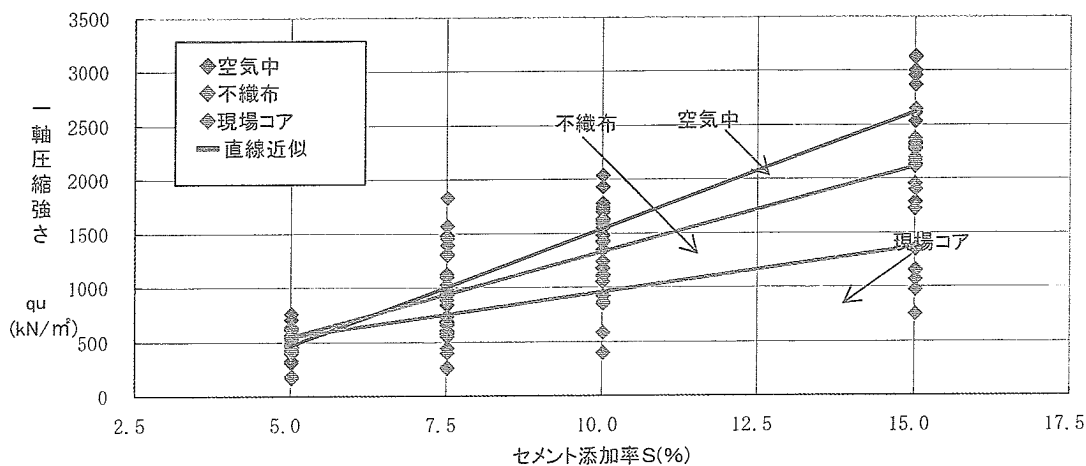


図-2.3 一軸圧縮強さとセメント添加率 $S$ の関係

- ・ 図中凡例の空気中は、本文中P23 の室内配合供試体の空気中飽和養生分を示す。
- ・ 図中凡例の不織布は、本文中P24 の室内配合供試体の水中養生(不織布を境界条件とする)分を示す。
- ・ 図中凡例の現場コアは、本文中P21 の現場コア供試体を示す。

現場コア、室内配合(空气中飽和養生・水中養生)の全ての供試体について、セメント添加率が $S = 5, 7.5, 10, 15\%$ が増加するにしたがって一軸圧縮強さは大きくなり、 $1,000\text{kN/m}^2$ 以上の高強度では均一な改良体の築造も可能である。また、養生条件ごとの比較では強度の大きい順に空气中飽和養生>水中養生(不織布を境界とする)>現場コアとなり、現場コアの圧縮強さは空气中飽和養生コアの約 $1/2$ となる。

(4)一軸圧縮強さ $q_u$ と加水率 $\alpha$ の関係

一軸圧縮強さと加水率 $\alpha$ の関係を整理すると図-2.4 となる。

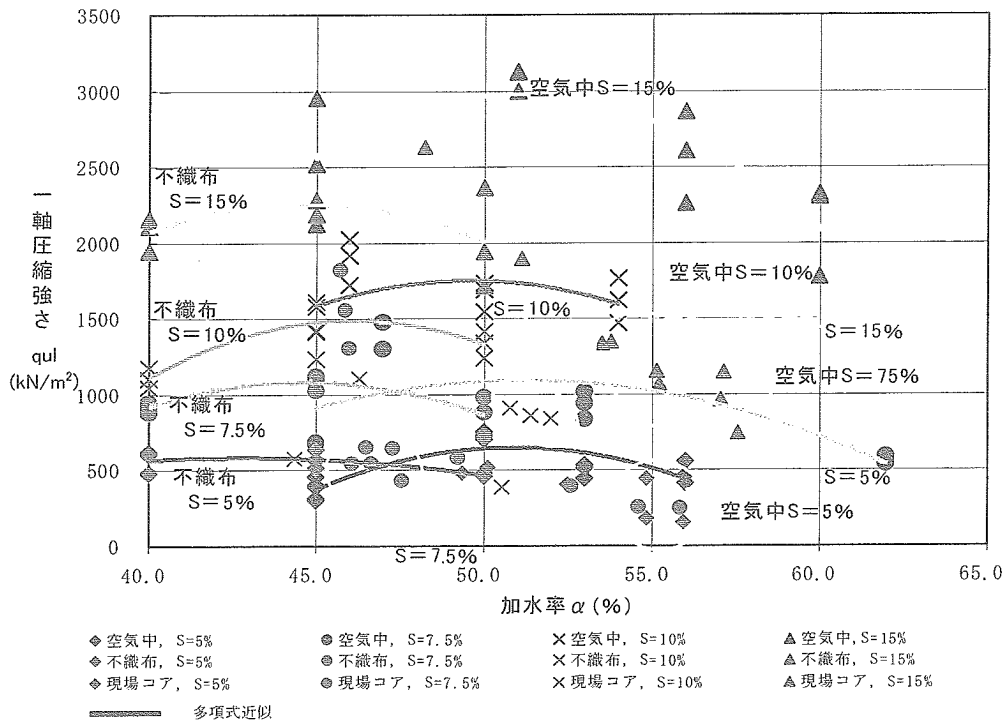


図-2.4 一軸圧縮強さ $q_u$ と加水率 $\alpha$ の関係

加水率の違いが強度特性に与える影響を確認するため、室内配合試験の中でセメント添加率ごと( $S = 5, 7.5, 10, 15\%$ )に加水率 $\alpha = 40, 45, 50, 55\%$ の4段階で配合試験を実施した。試験結果より、加水率が強度に与える影響は大きく、不織布を境界とした水中養生(P24 図-2.3.2②参照)では加水率 $45\%$ 付近で、空气中飽和養生(P24 図-2.3.2①参照)では $50\%$ 付近で最大値を示した。



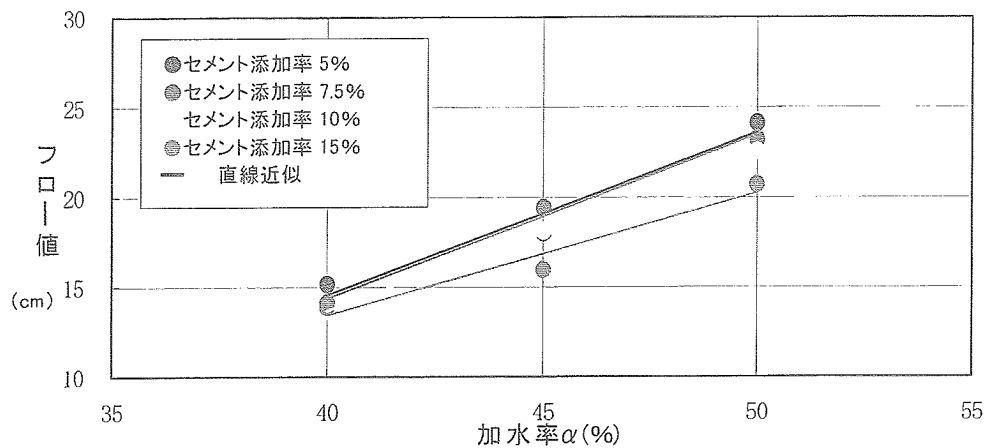


図-2.5 フロー値と加水率 $\alpha$ の関係

図-2.5 に加水率 $\alpha$ とフロー値の関係を示す。FMP工法では加水率40%~50%のFAモルタルを、トラクターショベル及び圧送ポンプを使ってケーシング内に投入する方式を採用している。圧送ポンプを用いる場合には、FAモルタルの流動性の確保が必要となり、フロー値は18~22cmが目標となる。このフロー値を得るための加水率は45%~50%となるが、先に述べたように加水率によって、強度が変化するので注意を要する。

表-2.1 フロー値一覧表

| セメント添加率 | 加水率 | フロー値(cm) |       |       |
|---------|-----|----------|-------|-------|
|         |     | 1回目      | 2回目   | 平均    |
| 5       | 40  | 15.51    | 14.85 | 15.18 |
|         | 45  | 17.23    | 18.86 | 18.05 |
|         | 50  | 23.77    | 24.59 | 24.18 |
| 7.5     | 40  | 14.39    | 13.92 | 14.16 |
|         | 45  | 19.28    | 19.53 | 19.41 |
|         | 50  | 23.28    | 23.24 | 23.26 |
| 10      | 40  | 14.00    | 13.41 | 13.71 |
|         | 45  | 18.43    | 17.79 | 18.11 |
|         | 50  | 22.86    | 22.21 | 22.54 |
| 15      | 40  | 14.29    | 13.52 | 13.91 |
|         | 45  | 16.00    | 15.93 | 15.97 |
|         | 50  | 20.89    | 20.50 | 20.70 |

(5) 一軸圧縮強さ $q_u$ と変形係数 $E_{50}$ の関係

図-2.6(a),(b) に一軸圧縮強さと変形係数の関係を示す。現場コアでは $E_{50} = 100 \sim 200q_u$ 、室内試験では $E_{50} = 80 \sim 250q_u$ を示す。各々の変形係数に相当する土質は下記のとおりである。(建築基礎構造設計指針 P146: 日本建築学会, 設計要領第2集 P6-13: 日本道路公団 参照)

$E_{50} = 50,000$  kN/m<sup>2</sup>・・・沖積砂質土層(N値 30 程度)

$E_{50} = 50,000 \sim 100,000$  kN/m<sup>2</sup>・・・洪積砂質土層(N値 30~50)

$E_{50} = 100,000 \sim 500,000$  kN/m<sup>2</sup>・・・強風化岩 (N値 50 以上)

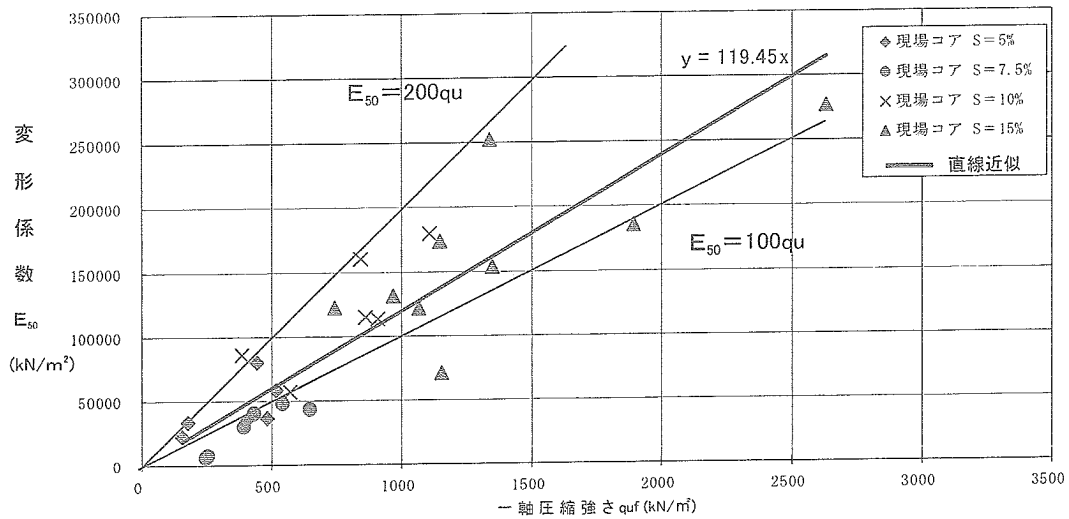


図-2.6(a) 一軸圧縮強さ $q_u$ と変形係数 $E_{50}$ の関係(現場実証試験)

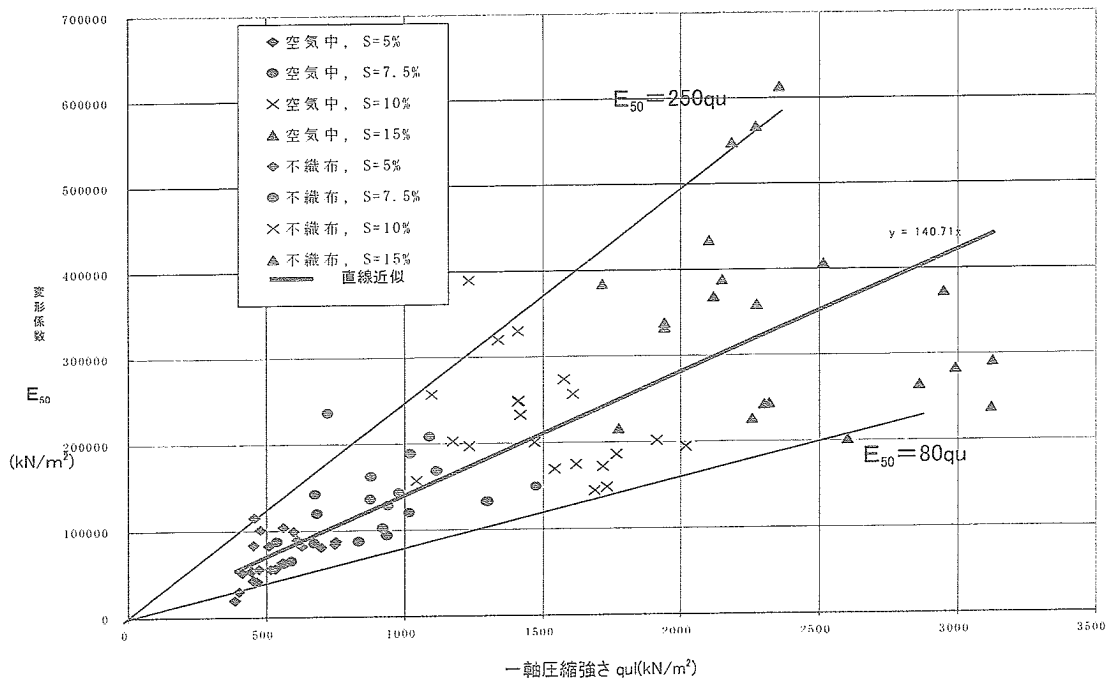


図-2.6(b) 一軸圧縮強さ $q_u$ と変形係数 $E_{50}$ の関係(室内試験)

(6) 一軸圧縮強さ $q_u$ と水セメント比: $W/C$ 、水粉体比: $W/(C+FA)$ の関係

一軸圧縮強さと水セメント比および一軸圧縮強さと水粉体比は、図-2.7(a),(b)に示すように、 $W/C$ 、 $W/(C+FA)$ が小さくなるにしたがって一軸圧縮強度が大きくなる傾向を示す。

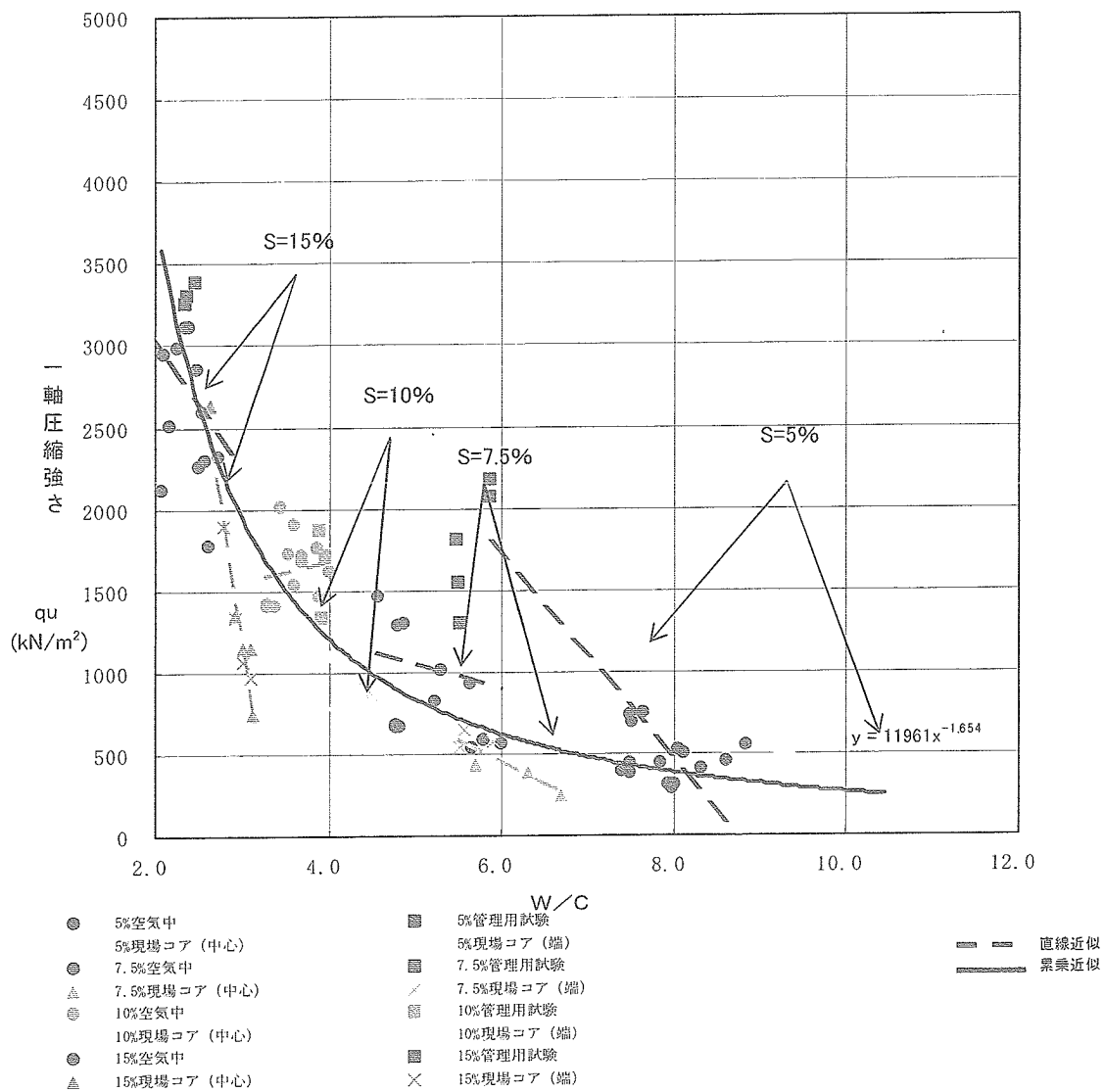


図-2.7(a) 一軸圧縮強さ $q_u$ と水セメント比( $W/C$ )の関係

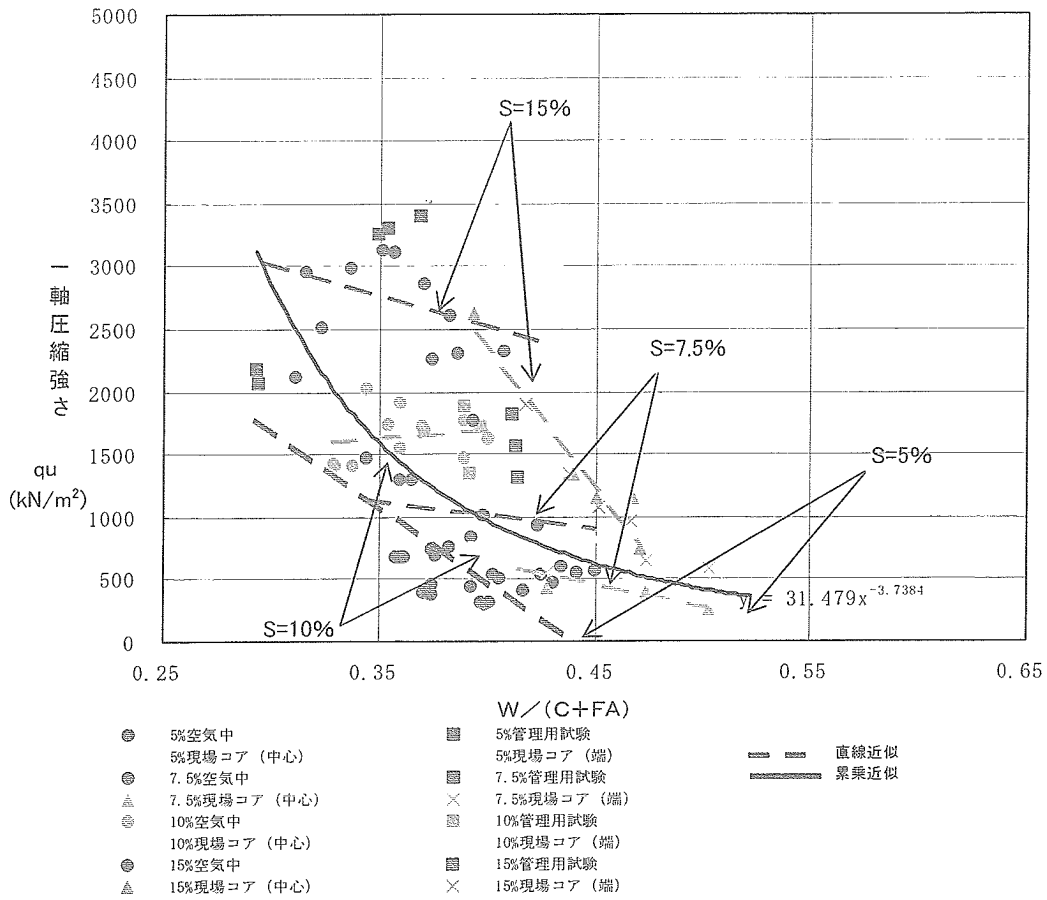


図-2.7(b) 一軸圧縮強さquと水粉体比(W/(C+FA))の関係

(7) 現場と室内の強度比  $\lambda$

図-2.8 に現場FMPの一軸圧縮強さの平均値  $\overline{q_{uf}}$  と室内配合試験供試体による一軸圧縮強さの平均値  $\overline{q_{ul}}$  の関係を示す。この図は、現場で施工したFMPから採取した供試体の一軸圧縮強さと室内配合試験供試体の一軸圧縮強さを比較したものである。

この図によると  $\lambda = \text{現場強度} / \text{室内強度} = 1/2$  程度である。

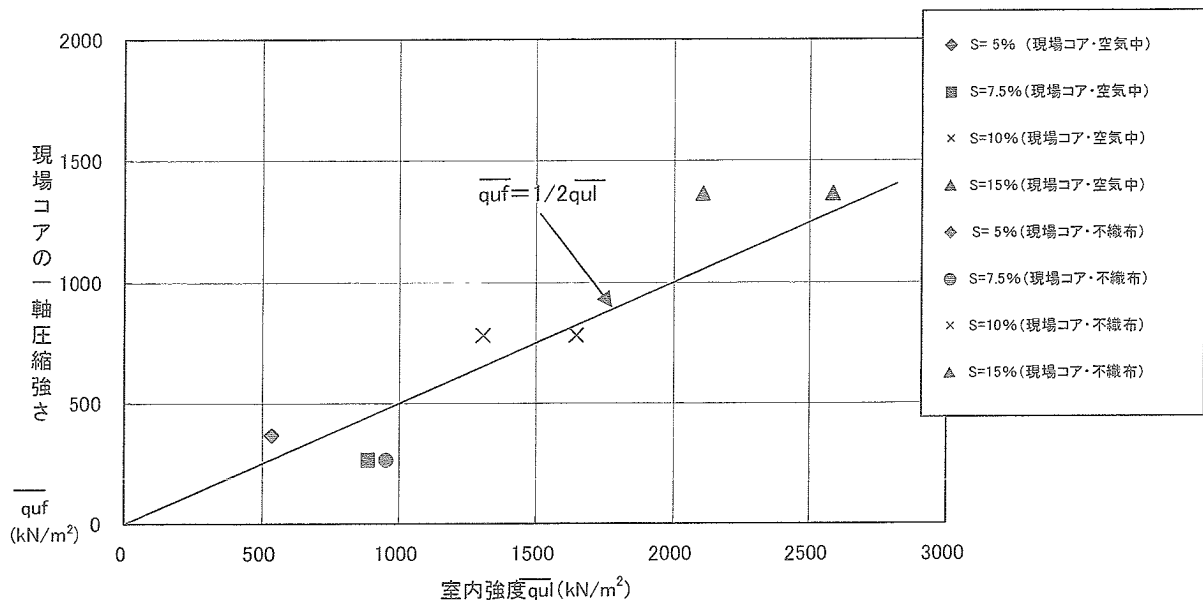


図-2.8 現場コア強度と室内配合強度の関係

※セメント添加率(5%, 7.5%, 10%, 15%)毎に、同じセメント添加率の現場コア一軸圧縮強さと室内供試体一軸圧縮強さとの関係をプロットしたグラフ。  
室内供試体は養生条件の違いにより、「空気中飽和養生」と「不織布を境界条件とする水中養生」に分けた。

## 2.2 フライアッシュの種類による影響

### 2.2.1 フライアッシュの化学成分組成

フライアッシュの化学成分組成は、炭種の違いにより多少の差異は、認められるが主な化学組成はシリカ( $\text{SiO}_2$ )、アルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )が全体の70~80%を占め、その他の成分は微量の $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、などの酸化物となっている。表2.1.1に海外炭と国内炭の化学組成の例を示す。このような化学成分のバラツキを有するフライアッシュを用いてFGC-DM工法を行っても、フライアッシュの種類・品質がFGC改良土の強度に与える影響は小さいことが室内試験によって確認されている。2.2.2に試験結果の詳細を示す。

表-2.1.1 海外炭と国内炭のフライアッシュの化学組成 単位(%)

| 項目   | Igloss | Insol | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{SO}_3$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | 計    |
|------|--------|-------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------|----------------------|------|
| 国内T1 | 5.5    | 78.5  | 53.3           | 22.3                    | 4.9                     | 4.6          | 2.12         | 0.7           | 0.26                  | 0.08                 | 93.8 |
| 国内T2 | 8.5    | 79.2  | 50.5           | 24.2                    | 4.7                     | 4.2          | 1.84         | 0.5           | 0.20                  | 0.05                 | 94.7 |
| 国内D  | 2.3    | 85.9  | 50.8           | 17.5                    | 18.7                    | 3.4          | 0.60         | 0.3           | 0.30                  | 0.79                 | 94.7 |
| 海外B  | 2.5    | 92.6  | 59.7           | 28.5                    | 1.9                     | 0.7          | 0.18         | 0.1           | 0.45                  | 0.24                 | 94.3 |
| 海外W  | 2.8    | 94.9  | 67.0           | 19.3                    | 2.4                     | 0.5          | 0.26         | 0.3           | 0.33                  | 0.96                 | 93.9 |

Igloss : 強熱減量, Insol : 不溶残分

引用:FGC 深層混合処理工法技術マニュアル、pp.2-5,6 H14. 12(財)沿岸開発技術研究センター

### 2.2.2 フライアッシュの種類による一軸圧縮強さ・流動性への影響

図-2.6.1 ~図-2.6.3 にフライアッシュの品質がFGC改良土に与える影響に関して、行った室内試験結果を示す。

図-2.6.1 よりフライアッシュの主成分であるシリカ( $\text{SiO}_2$ )、アルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、カルシウム( $\text{CaO}$ )の割合が産地によって変動しているのが判る。図-2.6.2 にこの7種類のフライアッシュについての同一配合による一軸圧縮試験結果を示す。この図より、産地や化学成分が異なるフライアッシュを用いても、各材令ともに一軸圧縮強さの変動係数は10%以下であり、FGC改良土の一軸圧縮強さに与える影響は小さいことが判る。

しかし、図-2.6.3 から判るように、フライアッシュの種類によって、Pポート流下時間が大きくなるものもあり、施工中の流動性が問題となる場合がある。これは、フライアッシュ粒子の形状等が関係していると思われる。その場合は水粉対比 W/FGC を調整し、現場での施工性(Pポート流下時間10秒程度)を確保するように調整する必要がある。

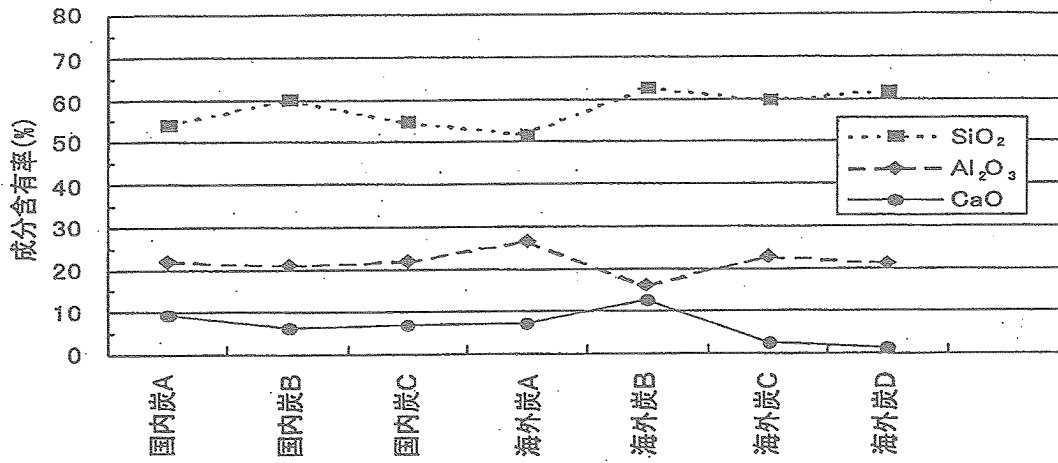


図-2.6.1 フライアッシュの代表成分含有量

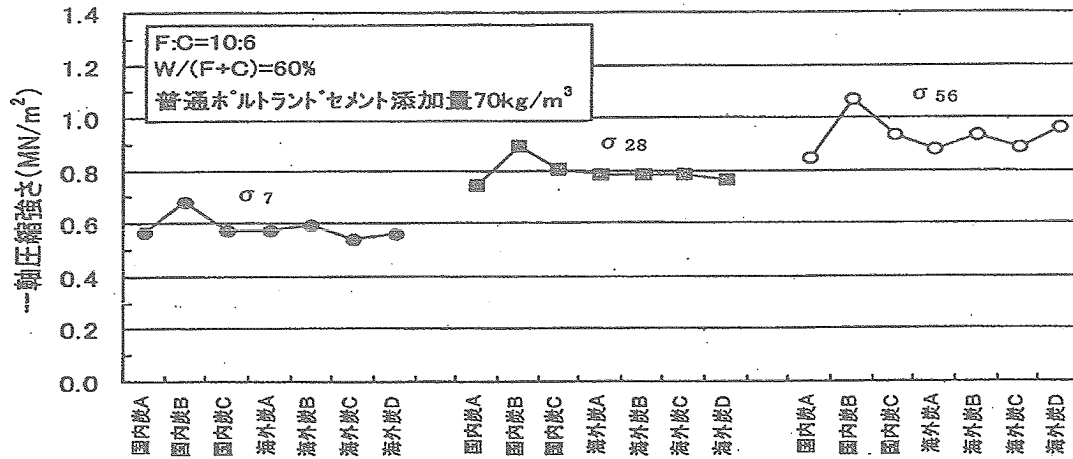


図-2.6.2 フライアッシュ別強度発現状況 (FGC 改良土)

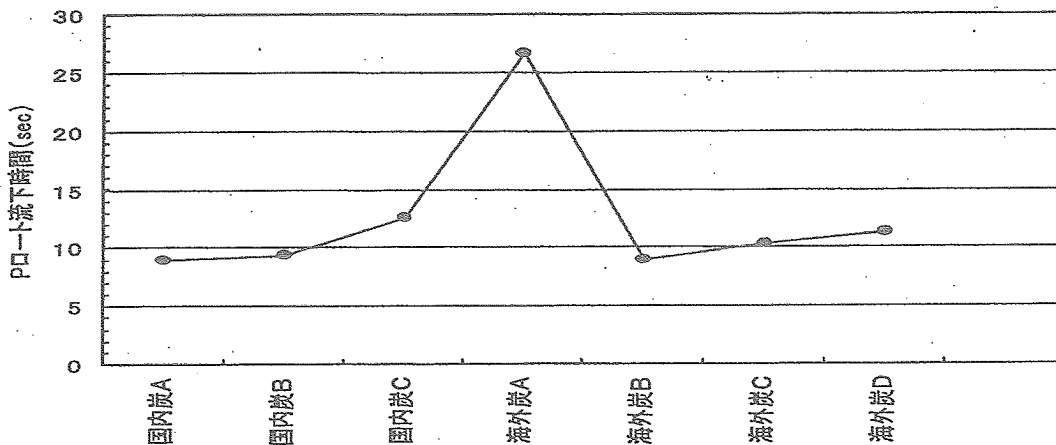


図-2.6.3 フライアッシュ別Pロート流下時間 (FGC スラリー)

引用: 東健一, 高島正治, 渡辺晃弘: 石炭灰を用いた深層混合処理工法のうち石炭灰の品質影響について, 土木学会第51回年次学術講演会、Ⅲ-B, pp.538~539, 1996.  
 引用: FGC 深層混合処理工法技術マニュアル, pp.2-33,34 H14. 12(財)沿岸開発技術研究センターより

# 一軸圧縮強度試験データ集

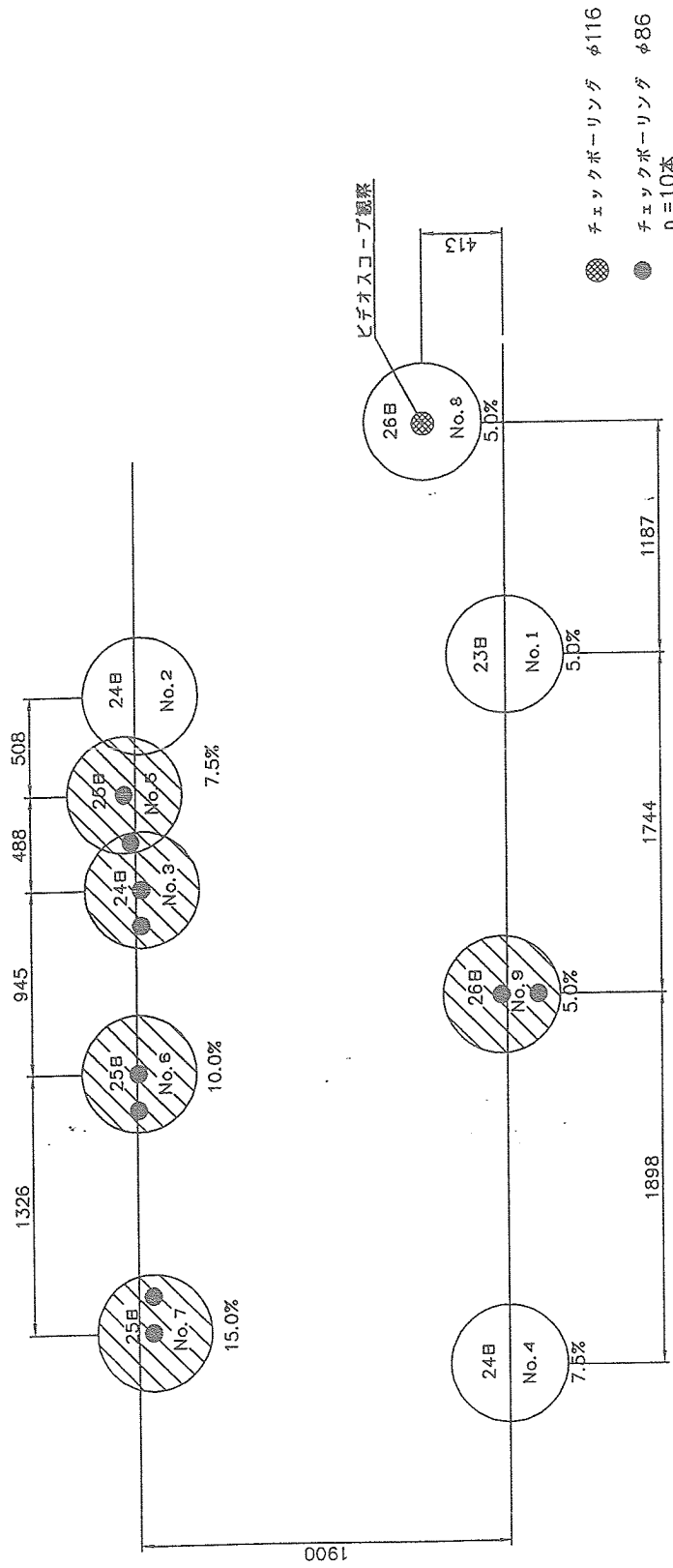


|                   |             | 一軸圧縮試験              |                       |          |               | 28日強度                   |                               |         |    |
|-------------------|-------------|---------------------|-----------------------|----------|---------------|-------------------------|-------------------------------|---------|----|
| 養生方法              | セメント<br>添加率 | 加水率                 | 杭No.                  | 供試体番号    | 圧縮強度          | 湿潤密度                    | 含水比                           | 乾燥密度    | 備考 |
|                   | S<br>%      |                     |                       |          | $\alpha$<br>% | qu<br>kN/m <sup>2</sup> | $\rho_t$<br>g/cm <sup>3</sup> | Wn<br>% |    |
| 現場コア（土中養生による実証試験） | 5.0         | 46~52 <sup>注)</sup> | NO.9                  | C-1(中心)  | 158.67        | 1.603                   | 52.19                         | 1.053   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(中心)  | 485.54        | 1.599                   | 45.95                         | 1.096   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(中心)  | 444.75        | 1.556                   | 48.86                         | 1.045   |    |
|                   |             |                     | NO.9                  | C-1(端)   | 520.59        | 1.586                   | 46.66                         | 1.081   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(端)   | 410.45        | 1.690                   | 48.85                         | 1.135   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(端)   | 180.30        | 1.551                   | 51.08                         | 1.027   |    |
|                   | 7.5         |                     | NO.3                  | C-1(中心)  | 162.13        | 1.518                   | 54.85                         | 0.980   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(中心)  | 167.09        | 1.590                   | 44.90                         | 1.097   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(中心)  | 70.98         | 1.571                   | 50.16                         | 1.046   |    |
|                   |             |                     | NO.3                  | C-1(端)   | 69.57         | 1.540                   | 53.66                         | 1.002   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(端)   | 146.90        | 1.526                   | 51.64                         | 1.006   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(端)   | 63.58         | 1.546                   | 50.81                         | 1.025   |    |
|                   |             |                     | NO.3,5 <sup>ラップ</sup> | C-1(ラップ) | 544.46        | 1.581                   | 41.97                         | 1.114   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(ラップ) | 650.29        | 1.600                   | 42.54                         | 1.122   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(ラップ) | 257.20        | 1.612                   | 49.16                         | 1.081   |    |
|                   | 10.0        |                     | NO.5                  | C-1(中心)  | 250.39        | 1.551                   | 50.26                         | 1.032   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(中心)  | 435.02        | 1.628                   | 42.78                         | 1.140   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(中心)  | 394.21        | 1.549                   | 47.34                         | 1.051   |    |
|                   |             |                     | NO.5                  | C-1(端)   | 582.79        | 1.571                   | 44.29                         | 1.089   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(端)   | 546.18        | 1.587                   | 41.43                         | 1.122   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(端)   | 655.19        | 1.613                   | 41.83                         | 1.137   |    |
|                   | 15.0        |                     | NO.6                  | C-1(中心)  | 861.41        | 1.620                   | 44.72                         | 1.119   |    |
|                   |             |                     |                       | C-2(中心)  | 1106.80       | 1.617                   | 40.27                         | 1.153   |    |
|                   |             |                     |                       | C-3(中心)  | 843.24        | 1.604                   | 45.27                         | 1.104   |    |
| NO.6              |             | C-1(端)              | 911.60                | 1.603    | 44.21         | 1.112                   |                               |         |    |
|                   |             | C-2(端)              | 575.83                | 1.705    | 38.57         | 1.230                   |                               |         |    |
|                   |             | C-3(端)              | 388.68                | 1.628    | 44.00         | 1.131                   |                               |         |    |
| NO.7              | C-1(中心)     | 1154.06             | 1.585                 | 45.08    | 1.093         |                         |                               |         |    |
|                   | C-2(中心)     | 2634.08             | 1.676                 | 39.38    | 1.202         |                         |                               |         |    |
|                   | C-3(中心)     | 1351.26             | 1.593                 | 43.97    | 1.106         |                         |                               |         |    |
|                   | C-4(中心)     | 745.75              | 1.559                 | 47.08    | 1.060         |                         |                               |         |    |
|                   | C-5(中心)     | 1149.13             | 1.539                 | 46.73    | 1.049         |                         |                               |         |    |
|                   | NO.7        | C-1(端)              | 969.85                | 1.561    | 46.65         | 1.064                   |                               |         |    |
|                   |             | C-2(端)              | 1339.91               | 1.612    | 43.74         | 1.121                   |                               |         |    |
|                   |             | C-3(端)              | 1069.02               | 1.580    | 45.13         | 1.089                   |                               |         |    |
| C-4(端)            |             | 1895.24             | 1.613                 | 41.76    | 1.138         |                         |                               |         |    |

注) 試験施工で使用したDEI-KONプラントの容量が小さかったため、混練時の誤差および洗いの混入などが原因し、計画との差(計画加水量40%→実施46~52%)が生じたものと推測。

杭No.は次頁の図を参照

ベースマシン



FMP実証試験杭配置図

一軸圧縮試験

28日強度

| 養生方法            | セメント<br>添加率 | 加水率 | 供試体番号   | 圧縮強度              | 湿潤密度              | 含水比   | 乾燥密度              | 備考 |
|-----------------|-------------|-----|---------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|----|
|                 | S           |     |         | qu                | $\rho_t$          | Wn    | $\rho_d$          |    |
|                 | %           | %   |         | kN/m <sup>2</sup> | g/cm <sup>3</sup> | %     | g/cm <sup>3</sup> |    |
| 不織布を境界とする水中養生試験 | 5.0         | 50  | 1       | 457.30            | 1.602             | 40.90 | 1.137             |    |
|                 |             |     | 2       | 480.40            | 1.615             | 40.90 | 1.146             |    |
|                 |             |     | 3       | 455.70            | 1.600             | 40.80 | 1.136             |    |
|                 |             | 45  | 1       | 517.20            | 1.630             | 36.70 | 1.192             |    |
|                 |             |     | 2       | 632.50            | 1.623             | 36.90 | 1.186             |    |
|                 |             |     | 3       | 563.20            | 1.618             | 36.80 | 1.183             |    |
|                 |             | 40  | 1       | 613.40            | 1.616             | 33.30 | 1.212             |    |
|                 |             |     | 2       | 602.60            | 1.616             | 33.60 | 1.210             |    |
|                 |             |     | 3       | 474.80            | 1.628             | 33.70 | 1.218             |    |
|                 | 7.5         | 50  | 1       | 879.10            | 1.616             | 37.30 | 1.177             |    |
|                 |             |     | 2       | 980.70            | 1.637             | 37.20 | 1.193             |    |
|                 |             |     | 3       | 724.40            | 1.646             | 37.70 | 1.195             |    |
|                 |             | 45  | 1       | 1021.40           | 1.644             | 34.70 | 1.220             |    |
|                 |             |     | 2       | 1092.20           | 1.638             | 34.50 | 1.218             |    |
|                 |             |     | 3       | 1117.40           | 1.653             | 34.20 | 1.232             |    |
|                 |             | 40  | 1       | 939.80            | 1.631             | 32.50 | 1.231             |    |
|                 |             |     | 2       | 922.70            | 1.637             | 32.70 | 1.234             |    |
|                 |             |     | 3       | 880.90            | 1.642             | 32.30 | 1.241             |    |
|                 | 10.0        | 50  | 1       | 1412.10           | 1.632             | 37.30 | 1.189             |    |
|                 |             |     | 2       | 1236.20           | 1.624             | 37.90 | 1.178             |    |
|                 |             |     | 3       | 1339.70           | 1.637             | 38.00 | 1.186             |    |
|                 |             | 45  | 1       | 1578.40           | 1.656             | 34.50 | 1.231             |    |
|                 |             |     | 2       | 1232.00           | 1.643             | 34.70 | 1.220             |    |
|                 |             |     | 3       | 1610.10           | 1.659             | 34.40 | 1.234             |    |
|                 |             | 40  | 1       | 1174.40           | 1.653             | 32.00 | 1.252             |    |
|                 |             |     | 2       | 1043.90           | 1.637             | 32.30 | 1.237             |    |
|                 |             |     | 3       | 1099.50           | 1.625             | 32.10 | 1.230             |    |
|                 | 15.0        | 50  | 1       | 1716.50           | 1.641             | 35.30 | 1.213             |    |
|                 |             |     | 2       | 2360.80           | 1.650             | 35.20 | 1.220             |    |
|                 |             |     | 3       | 1944.00           | 1.636             | 35.00 | 1.212             |    |
| 45              |             | 1   | 2188.80 | 1.653             | 32.60             | 1.247 |                   |    |
|                 |             | 2   | 2280.60 | 1.667             | 32.80             | 1.255 |                   |    |
|                 |             | 3   | 2278.30 | 1.652             | 32.20             | 1.250 |                   |    |
| 40              |             | 1   | 2155.00 | 1.646             | 30.30             | 1.263 |                   |    |
|                 |             | 2   | 2106.80 | 1.666             | 30.20             | 1.280 |                   |    |
|                 |             | 3   | 1943.80 | 1.645             | 30.40             | 1.262 |                   |    |

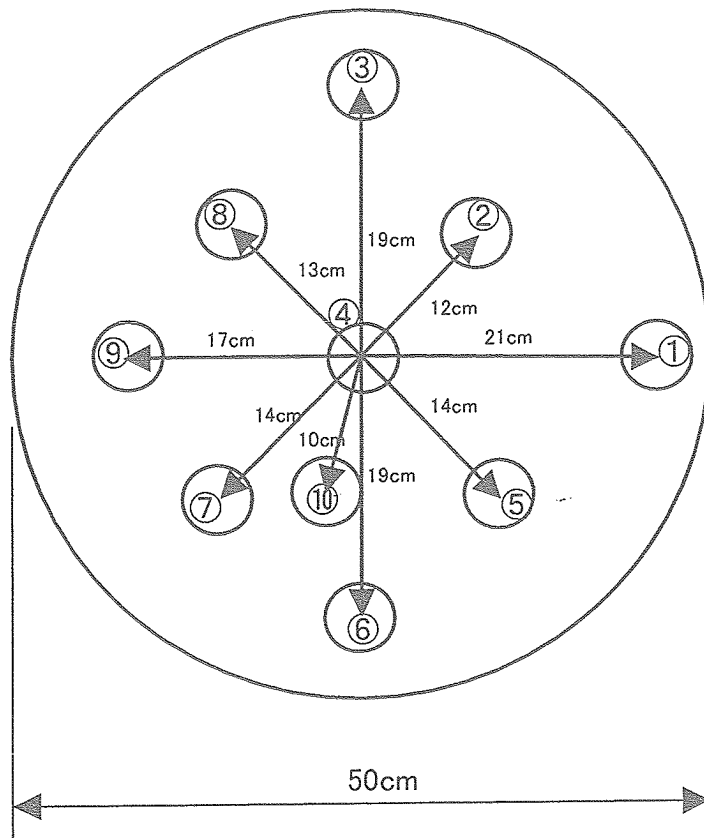
| 一軸圧縮試験              |             |                     |         | 28日強度                   |                               |         |                               |    |
|---------------------|-------------|---------------------|---------|-------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------------|----|
| 養生方法                | セメント<br>添加率 | 加水率                 | 供試体番号   | 圧縮強度                    | 湿潤密度                          | 含水比     | 乾燥密度                          | 備考 |
|                     | S<br>%      | $\alpha$<br>%       |         | qu<br>kN/m <sup>2</sup> | $\rho_t$<br>g/cm <sup>3</sup> | Wn<br>% | $\rho_d$<br>g/cm <sup>3</sup> |    |
| 品質管理試験<br>(空气中飽和養生) | 5.0         | 46~52 <sup>注)</sup> | 杭No.9-7 | 1927.46                 | 1.373                         | 16.83   | 1.175                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.9-8 | 2079.47                 | 1.520                         | 29.34   | 1.175                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.9-9 | 2187.90                 | 1.541                         | 29.27   | 1.192                         |    |
|                     | 7.5         |                     | 杭No.2-1 | 1278.22                 | 1.528                         | 40.44   | 1.088                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.2-2 | 1379.61                 | 1.522                         | 40.46   | 1.084                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.2-3 | 1290.37                 | 1.526                         | 39.21   | 1.096                         |    |
|                     | 10.0        |                     | 杭No.5-7 | 1308.58                 | 1.639                         | 41.35   | 1.160                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.5-8 | 1559.36                 | 1.590                         | 41.25   | 1.126                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.5-9 | 1822.42                 | 1.639                         | 41.12   | 1.161                         |    |
|                     | 15.0        |                     | 杭No.6-7 | 1877.58                 | 1.592                         | 38.93   | 1.146                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.6-8 | 1344.21                 | 1.556                         | 39.13   | 1.118                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.6-9 | 1727.26                 | 1.608                         | 39.59   | 1.152                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.7-7 | 3265.45                 | 1.550                         | 34.97   | 1.148                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.7-8 | 3309.93                 | 1.612                         | 35.40   | 1.191                         |    |
|                     |             |                     | 杭No.7-9 | 3396.20                 | 1.593                         | 36.82   | 1.164                         |    |

注) 試験施工で使用したDEI-KONプラントの容量が小さかったため、混練時の誤差および洗い水の混入などが原因し、計画との差(計画加水率40%→実施46~52%)が生じたものと推測。

|                     |             | 一軸圧縮試験     |         |               |                         | 28日強度                         |         |       |                               |
|---------------------|-------------|------------|---------|---------------|-------------------------|-------------------------------|---------|-------|-------------------------------|
| 養生方法                | セメント<br>添加率 | 加水率        | 供試体番号   | 圧縮強度          | 湿潤密度                    | 含水比                           | 乾燥密度    | 備考    |                               |
|                     | S<br>%      |            |         | $\alpha$<br>% | qu<br>kN/m <sup>2</sup> | $\rho_t$<br>g/cm <sup>3</sup> | Wn<br>% |       | $\rho_d$<br>g/cm <sup>3</sup> |
| 高加水率時の<br>空气中飽和養生試験 | 5.0         | 56         | 1       | 561.65        | 1.581                   | 44.15                         | 1.097   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 467.56        | 1.547                   | 43.04                         | 1.082   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 416.09        | 1.550                   | 41.61                         | 1.095   |       |                               |
|                     |             | 53         | 1       | 536.66        | 1.571                   | 40.29                         | 1.120   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 512.37        | 1.566                   | 40.57                         | 1.114   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 446.98        | 1.551                   | 39.28                         | 1.114   |       |                               |
|                     |             | 50         | 1       | 702.75        | 1.566                   | 37.57                         | 1.138   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 755.26        | 1.576                   | 38.26                         | 1.140   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 751.39        | 1.571                   | 37.45                         | 1.143   |       |                               |
|                     |             | 45         | 1       | 301.69        | 1.545                   | 39.87                         | 1.105   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 316.94        | 1.556                   | 39.70                         | 1.114   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 315.64        | 1.547                   | 40.04                         | 1.105   |       |                               |
|                     |             | 45<br>補足試験 | 1       | 456.40        | 1.617                   | 37.40                         | 1.177   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 387.60        | 1.589                   | 37.40                         | 1.156   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 401.80        | 1.597                   | 37.00                         | 1.166   |       |                               |
|                     |             | 7.5        | 62      | 1             | 593.49                  | 1.552                         | 43.38   | 1.082 |                               |
|                     |             |            |         | 2             | 566.87                  | 1.543                         | 44.91   | 1.065 |                               |
|                     |             |            |         | 3             | 540.95                  | 1.567                         | 42.45   | 1.100 |                               |
|                     |             |            | 53      | 1             | 939.76                  | 1.587                         | 42.30   | 1.115 |                               |
|                     |             |            |         | 2             | 836.81                  | 1.557                         | 39.21   | 1.118 |                               |
|                     |             |            |         | 3             | 1018.34                 | 1.588                         | 39.80   | 1.136 |                               |
|                     |             |            | 47      | 1             | 1302.50                 | 1.557                         | 36.54   | 1.140 |                               |
|                     |             |            |         | 2             | 1299.28                 | 1.573                         | 35.93   | 1.157 |                               |
|                     |             |            |         | 3             | 1477.61                 | 1.565                         | 34.34   | 1.165 |                               |
|                     | 45<br>補足試験  |            | 1       | 679.30        | 1.610                   | 35.80                         | 1.186   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 687.90        | 1.634                   | 35.90                         | 1.202   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 677.40        | 1.606                   | 36.10                         | 1.180   |       |                               |
|                     | 10.0        | 54         | 1       | 1472.22       | 1.575                   | 38.91                         | 1.134   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 1623.12       | 1.579                   | 40.00                         | 1.128   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 1768.04       | 1.599                   | 38.84                         | 1.152   |       |                               |
|                     |             | 50         | 1       | 1734.01       | 1.557                   | 35.43                         | 1.150   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 1688.65       | 1.556                   | 37.01                         | 1.136   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 1545.58       | 1.545                   | 35.92                         | 1.137   |       |                               |
|                     |             | 46         | 1       | 2024.20       | 1.566                   | 34.41                         | 1.165   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 1718.89       | 1.573                   | 36.91                         | 1.149   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 1917.56       | 1.572                   | 35.92                         | 1.157   |       |                               |
|                     |             | 45<br>補足試験 | 1       | 1414.30       | 1.608                   | 33.70                         | 1.203   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 1412.80       | 1.596                   | 32.90                         | 1.201   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 1422.30       | 1.597                   | 32.80                         | 1.203   |       |                               |
|                     | 15.0        | 60         | 1       | 2308.27       | 1.571                   | 38.59                         | 1.134   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 2324.84       | 1.598                   | 40.77                         | 1.135   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 1776.27       | 1.591                   | 39.30                         | 1.142   |       |                               |
|                     |             | 56         | 1       | 2264.84       | 1.584                   | 37.44                         | 1.153   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 2606.06       | 1.585                   | 38.22                         | 1.147   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 2863.38       | 1.606                   | 37.01                         | 1.172   |       |                               |
|                     |             | 51         | 1       | 3126.51       | 1.597                   | 35.15                         | 1.182   |       |                               |
|                     |             |            | 2       | 3122.07       | 1.595                   | 35.64                         | 1.176   |       |                               |
|                     |             |            | 3       | 2994.62       | 1.589                   | 33.65                         | 1.189   |       |                               |
| 45<br>補足試験          |             | 1          | 2518.60 | 1.648         | 32.30                   | 1.246                         |         |       |                               |
|                     |             | 2          | 2951.90 | 1.655         | 31.50                   | 1.259                         |         |       |                               |
|                     |             | 3          | 2124.30 | 1.655         | 31.10                   | 1.262                         |         |       |                               |

| 一軸圧縮試験          |                       |                      |       |                                 | 28日強度                                 |                |                                       |    |
|-----------------|-----------------------|----------------------|-------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----|
| 養生方法            | セメント<br>添加率<br>S<br>% | 加水率<br>$\alpha$<br>% | 供試体番号 | 圧縮強度<br>qu<br>kN/m <sup>2</sup> | 湿潤密度<br>$\rho_t$<br>g/cm <sup>3</sup> | 含水比<br>Wn<br>% | 乾燥密度<br>$\rho_d$<br>g/cm <sup>3</sup> | 備考 |
| 実寸試験<br>(粘土中養生) | 10.0                  | 45                   | ①-25  | 799.10                          | 1.619                                 | 35.90          | 1.191                                 |    |
|                 |                       |                      | ②-10  | 747.70                          | 1.632                                 | 34.50          | 1.213                                 |    |
|                 |                       |                      | ②-25  | 951.20                          | 1.618                                 | 35.40          | 1.195                                 |    |
|                 |                       |                      | ③-17  | 418.50                          | 1.605                                 | 36.30          | 1.178                                 |    |
|                 |                       |                      | ③-30  | 788.50                          | 1.609                                 | 36.00          | 1.183                                 |    |
|                 |                       |                      | ④-7   | 792.20                          | 1.626                                 | 34.40          | 1.210                                 |    |
|                 |                       |                      | ④-27  | 735.60                          | 1.555                                 | 35.70          | 1.146                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑤-10  | 1030.80                         | 1.632                                 | 34.10          | 1.217                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑤-19  | 1083.80                         | 1.615                                 | 35.20          | 1.195                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑤-30  | 797.90                          | 1.612                                 | 35.70          | 1.188                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑥-5   | 750.50                          | 1.616                                 | 35.70          | 1.191                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑥-30  | 729.50                          | 1.616                                 | 36.00          | 1.188                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑦-37  | 641.10                          | 1.612                                 | 34.40          | 1.199                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑧-7   | 921.50                          | 1.610                                 | 33.60          | 1.205                                 |    |
|                 |                       |                      | ⑧-35  | 693.20                          | 1.630                                 | 35.40          | 1.204                                 |    |
| ⑨-5             | 743.50                | 1.602                | 34.80 | 1.188                           |                                       |                |                                       |    |
| ⑩-6             | 935.30                | 1.596                | 33.80 | 1.193                           |                                       |                |                                       |    |
| ⑩-16            | 1004.60               | 1.606                | 34.90 | 1.191                           |                                       |                |                                       |    |

供試体番号①～⑩は次頁の図を参照



実寸試験コア採取位置 概略平面図

## 資料編 3 FMP試験施工報告書

### 1. 試験目的

本試験施工は、軟弱地盤の対策工法としてFMP工法の適用性を検討するため、試験施工を行い施工性や改良杭の品質を確認することを目的とする。主な着目点を以下に示す。

- ①現地実証試験によるFMPの出来形と施工性の確認
- ②FMPの強度特性と室内配合試験結果との関係
- ③FMP造成における技術的課題

石炭灰は、敦賀市に立地している北陸電力敦賀火力発電所から発生するものを利用した。また、試験対象とする地盤を有機質軟弱土と設定し、三方五湖周辺とした。



## 2. 試験施工位置

試験施工位置は、図-2.1 に示す福井県三方郡三方町生倉地先である。

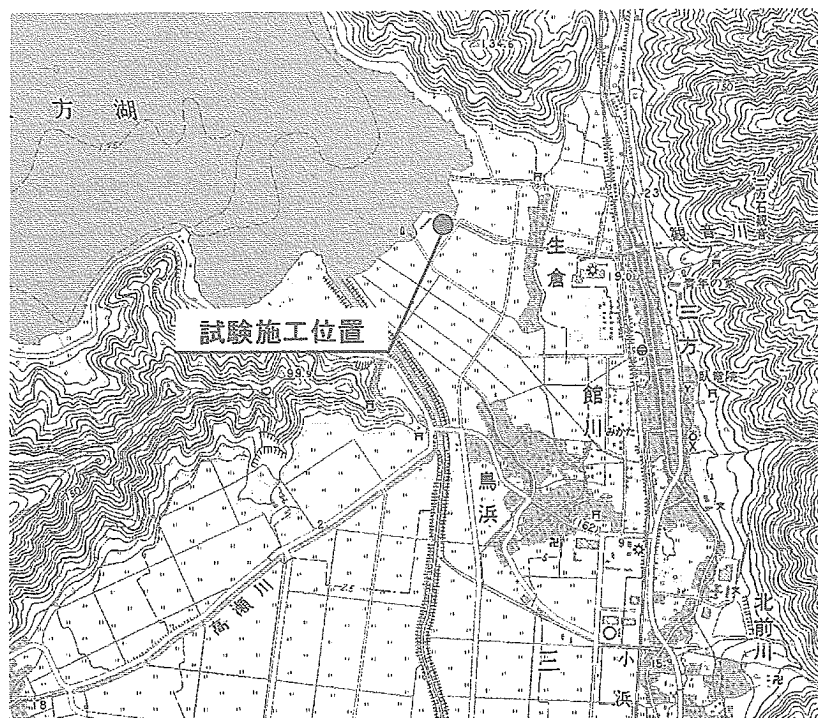


図-2.1 施工位置図(三方町生倉周辺)

試験施工の位置の詳細を図-2.2 に示す。

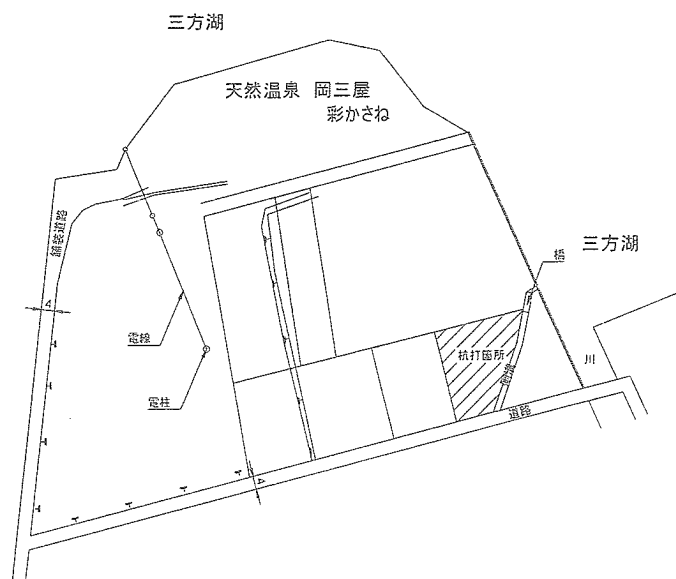


図-2.2 施工位置詳細図



## 4. 試験施工内容

### 4.1 試験施工使用機械

試験施工の使用機械の一覧を表-4.1 に示す。

表-4.1 試験施工使用機械一覧表

| 名 称       | 仕 様・規 格              | 数 量 | 備 考                   |
|-----------|----------------------|-----|-----------------------|
| FMP造成     |                      |     |                       |
| ベースマシン    | 40t 吊級、リーダー長 30m     | 1   | ドラムコントローラー付           |
| アースオーガー   | 45KW×2               | 1   |                       |
| 発電器       | 450KVA               | 1   |                       |
| FMPプラント   |                      |     |                       |
| DEI-KON   | 8m <sup>3</sup> /h 型 | 1   |                       |
| 発電器       | 90KVA                | 1   |                       |
| コンクリートポンプ | 40m <sup>3</sup> /h  | 1   |                       |
| サイロ       | 30t 型                | 1   | FA+C 混合材(セメント 5%ブレンド) |
| バックホウ     | 0.7m <sup>3</sup> 級  | 1   |                       |
| アジテーター車   | 4t 型                 | 1   |                       |
| ハイウォッシャー  | 3.7KW                | 1   |                       |
| 水槽        | 10m <sup>3</sup> 型   | 1   |                       |
|           |                      |     |                       |

## 4.2 試験施工平面配置図と杭形状

### 4.2.1 平面配置図

試験施工の平面配置図を図-4.1に示す。

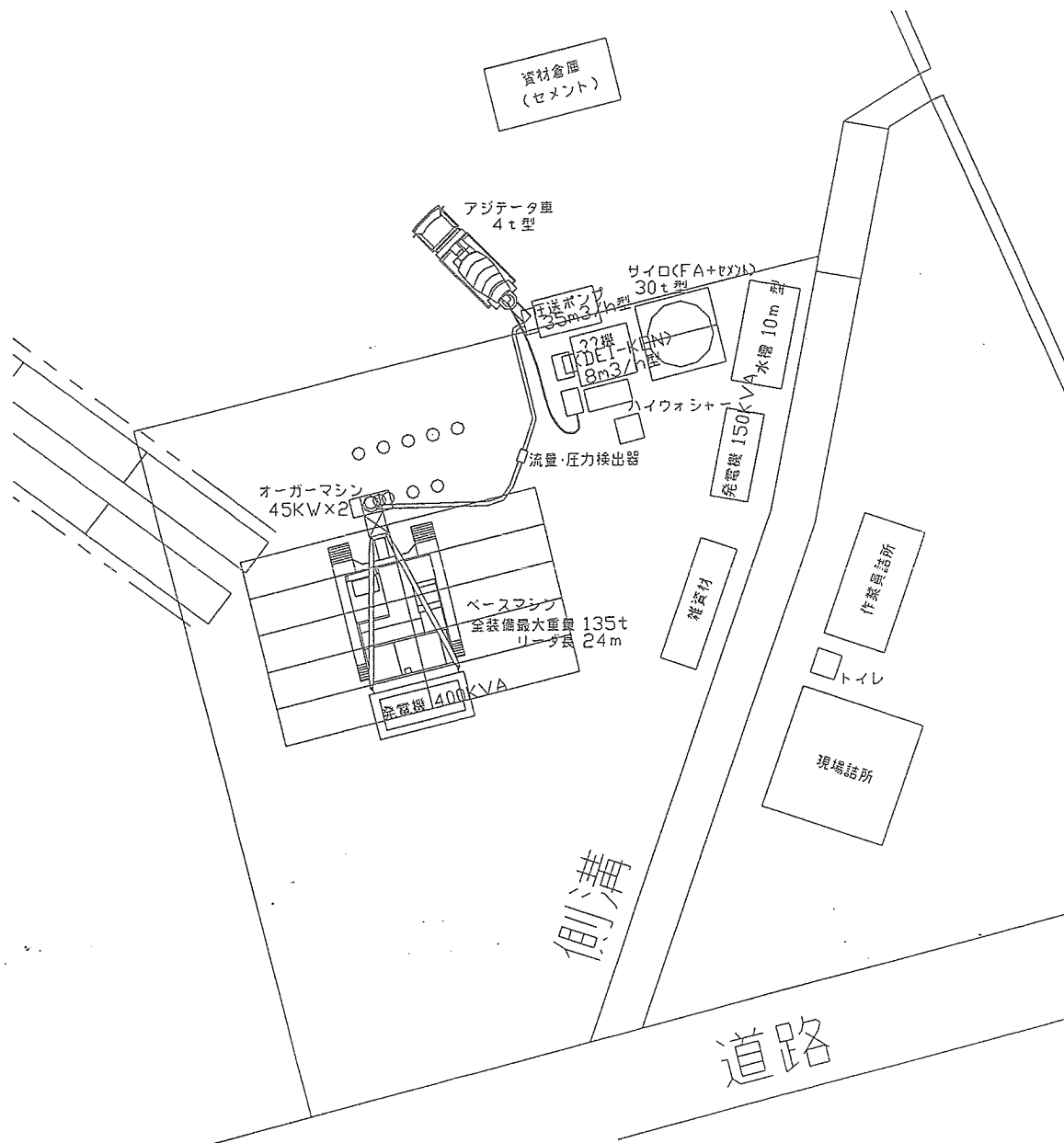


図-4.1 平面配置図

#### 4.2.2 施工形状および配杭

- (1) 施工径:  $\phi$  500mm
- (2) 施工本数: 9 本 (予備試験含む)
- (3) 施工延長: 5.0m/本
- (4) 配杭:

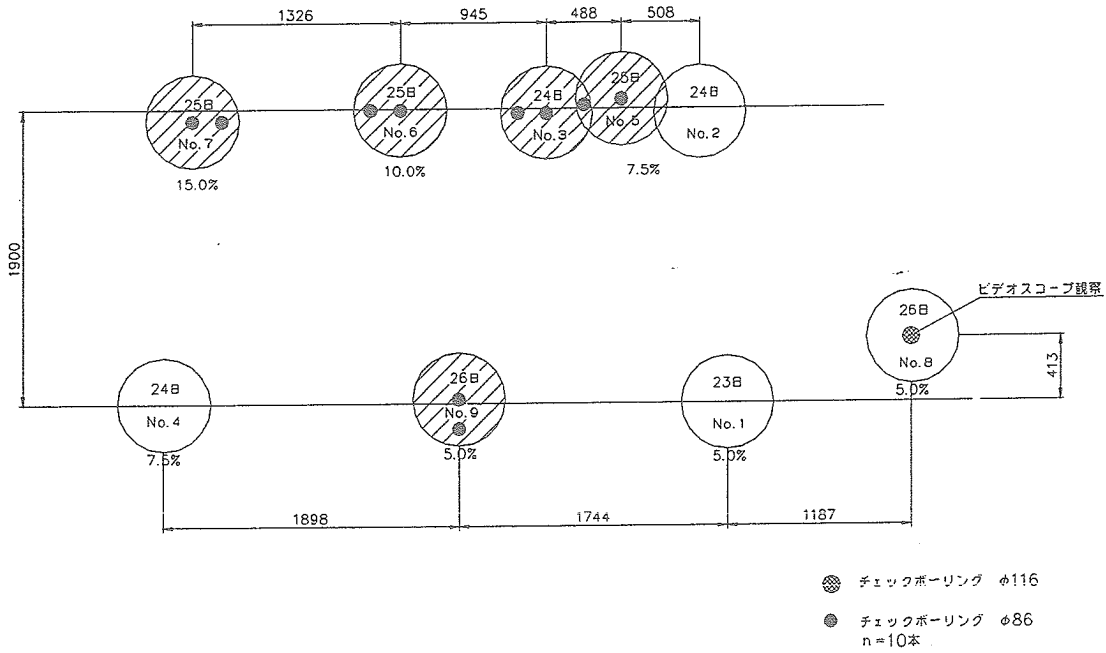


図-4.2 FMP試験施工配杭図(日は施工日)

- (5) 配合

表-4.2 杭 No.とセメント添加量

| ケース    | セメント(%) | 施工杭 No.    |
|--------|---------|------------|
| 配合ケース① | 5.0     | No.1,8,9   |
| 配合ケース② | 7.5     | No.2,3,4,5 |
| 配合ケース③ | 10.0    | No.6       |
| 配合ケース④ | 15.0    | No.7       |

### 4.3 試験施工概要

#### 4.3.1 FMP施工手順

FMP工法の施工手順を図-4.3 に示す。

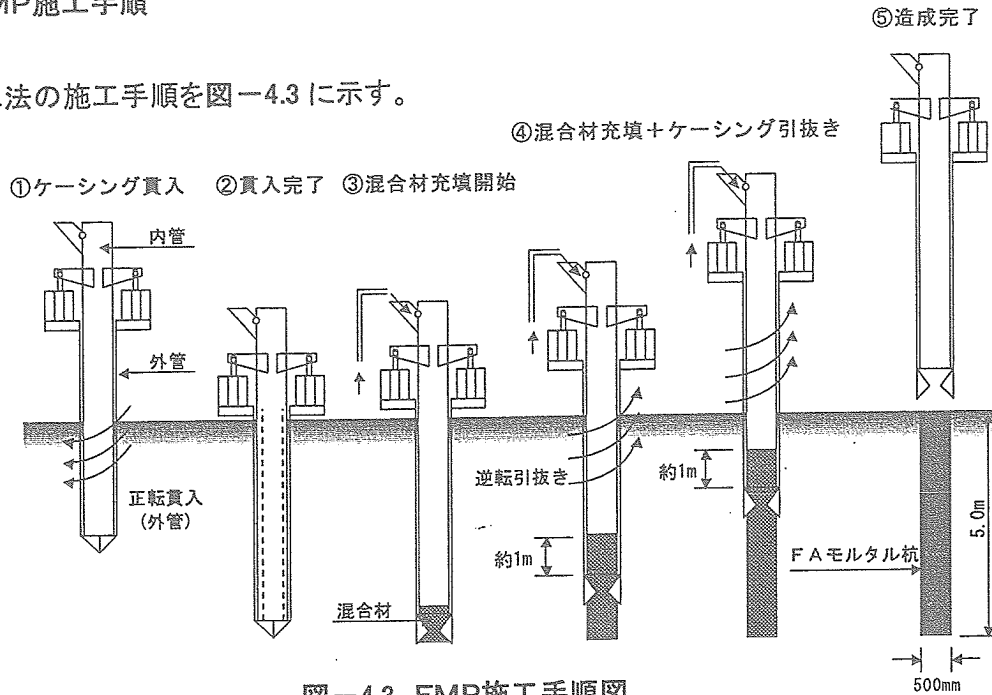


図-4.3 FMP施工手順図

#### 4.3.2 施工状況

FMP工法の施工状況を図-4.4 に示す。

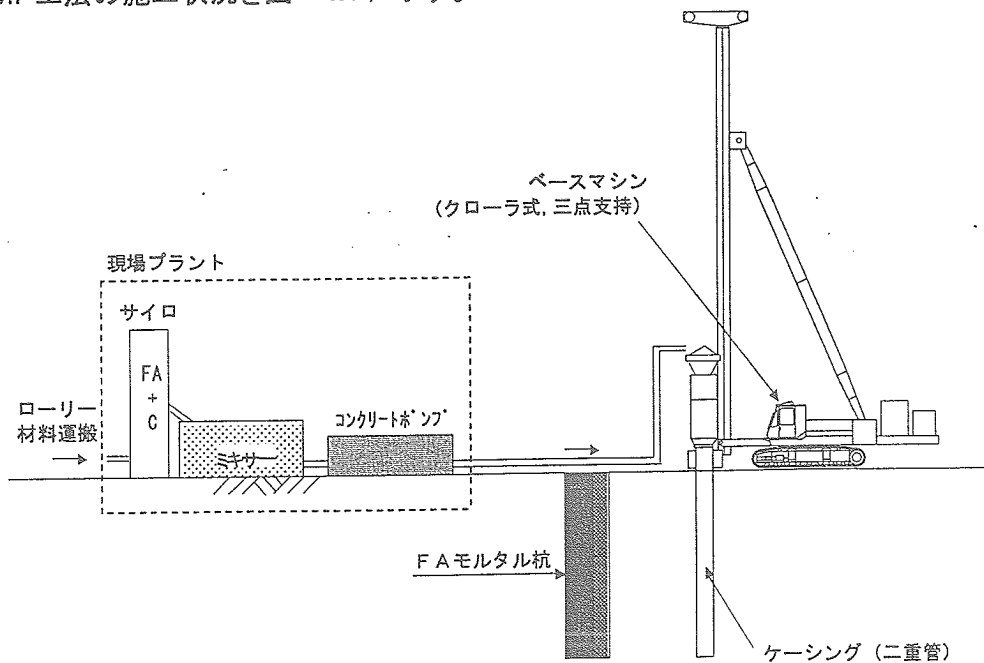


図-4.4 FMP施工状況図

#### 4.4 調査項目と概要

調査項目の一覧を表-4.3に示す。

表-4.3 調査項目一覧

| 名称             | 仕様             | 単位 | 数量 | 備考                              |
|----------------|----------------|----|----|---------------------------------|
| 室内配合試験         | スランプフロー試験      | 式  | 1  | 加水率3ケース                         |
|                | 一軸圧縮強度         | 式  | 1  | 12配合×1材齢                        |
| ボーリング調査        | φ66mm          | 式  | 1  |                                 |
| 品質管理試験(プラント採取) | スランプフロー試験他     | 式  | 1  |                                 |
| 材料試験(プラント採取)   | 一軸圧縮試験         | 式  | 1  | 3配合×3材齢+1配合1材齢                  |
| 施工性確認          | サイクルタイム他       | 式  | 1  |                                 |
| 騒音・振動測定        |                | 式  | 1  |                                 |
| チェックボーリング      | φ86mm,L=5.0m   | 本  | 10 | 中心5,ラップ部1,端部4                   |
|                | φ116mm,L=5.0m  | 本  | 1  | 中心1                             |
| 材料試験(採取コア)     | 一軸圧縮試験(φ86mm)  | 式  | 1  | 8本×3供試体<br>+1本×5供試体<br>+1本×4供試体 |
|                | 一軸圧縮試験(φ116mm) | 式  | 1  | 1本×3供試体                         |
| 出来型確認          |                | 式  | 1  |                                 |
|                |                |    |    |                                 |

##### 4.4.1 施工前

###### (1)室内配合試験

- ・配合試験に先立ち、FAモルタルの流動性を確認するため、加水率を変化させてのスランプフロー試験を実施した(資料編2-4参照:S=5・7.5・10・15%、 $\alpha=40、45、50\%$ )。
- ・スランプフロー試験により最適な加水率を決定し、この加水率で以降の試験を行った。
- ・セメント添加率を5%、7.5%、10%、15%のそれぞれに設定したFAモルタル供試体を作成し、一軸圧縮試験を実施した。
- ・一軸圧縮試験の実施材齢は、28日とした。
- ・一軸圧縮試験用の供試体本数は、計36本(=3供試体×1材齢×12配合)である。

###### (2)ボーリング調査

- ・FMP施工位置での地盤条件の把握のため、ボーリング調査を実施した。
- ・有機質シルトの層を確認するため、深度10.0mまで行った。

#### 4.4.2 施工時

##### (1)品質管理試験

- ・各配合ケース施工時に DEI-KON プラントから、FAモルタルを採取して管理用試験を実施した。
- ・管理用試験として、スランプフロー試験・湿潤密度試験をそれぞれ杭 1 本当り 2 回以上実施してデータ収集を行うとともに、室内配合試験と比較した。
- ・DEI-KON 制御室では運転時の配合記録を取った。

##### (2)材料試験(プラント採取)

- ・セメント添加率が 5%、7.5%、10%、15%のそれぞれのFMP施工時に、DEI-KON プラントにて一軸圧縮試験用の試料を採取し、供試体を作成した。
- ・材齢は 3 日、7 日および 28 日を対象とした。
- ・供試体本数は計 30 本(=3 供試体×3 材齢×3 配合+3 供試体×1 材齢×1 配合)とした。

##### (3)施工性確認

- ・一連の作業のサイクルタイムを記録した。
- ・各作業で問題や不都合がないか確認し、問題が発生した場合は原因を調査・把握した上で対策を講じた。

##### (4)騒音・振動測定

- ・FMP工法の施工によって生じる騒音および振動を測定した。

#### 4.4.3 施工後

##### (1)チェックボーリング

- ・FAモルタル杭の品質を確認するためにチェックボーリングを行った。
- ・チェックボーリングは 5m のFAモルタル杭全長に対してφ86mmを 10 本(=杭中心×5 本+ラップ部×1 本+杭端部×4 本)実施した。また、ビデオスコープにて杭の状態を確認するためφ116mmを 1 本(杭中心)実施した。

##### (2)材料試験(コア供試体)

- ・チェックボーリングで得たコアサンプリング供試体を用いて一軸圧縮強さ試験を実施した。
- ・一軸圧縮試験本数は、対象材齢 28 日について 33 本(=8 本×3 供試体+1 本×5 供試体+1 本×4 供試体)、対象材齢 74 日について 3 本、合計 36 本とした。



(3)出来形確認

- ・FAモルタル杭頭部の埋戻し部を撤去し、FAモルタル杭の形状が所定の形状を満たしているか確認した。また、杭上部にひび割れや劣化等が発生していないか確認した。

## 5. 試験施工の結果

### 5.1 ボーリング調査結果

#### (1)地形・地質概要

調査地は、三方五湖に隣接しており、著しく沈水した溺れ谷地形となっていた。

調査地の地質は、軟弱な粘性土を主体とし、その間に砂層を挟む構造であった。特に、当敷地のように谷の出口を閉塞された部分では湿地帯となり水はけが悪いことから、有機質土を主体とした軟弱層が厚く分布していた。

#### (2)ボーリング調査結果

当敷地は、図-5.1 に示すように沖積粘性土を主体とし、層厚 1.00m程度の砂質土や礫質土層を挟んでいた。

#### (3)FMPと土質の関係

FMPは杭長L=5.00m打設を予定しており、礫質土～粘性土まで、全ての土質条件での施工性と適応性を確認することが可能である。

また、地下水位が地表面付近(GL-1.05m)に分布していることから、周囲が高含水な状態でのFMPの強度発現についても確認可能である。

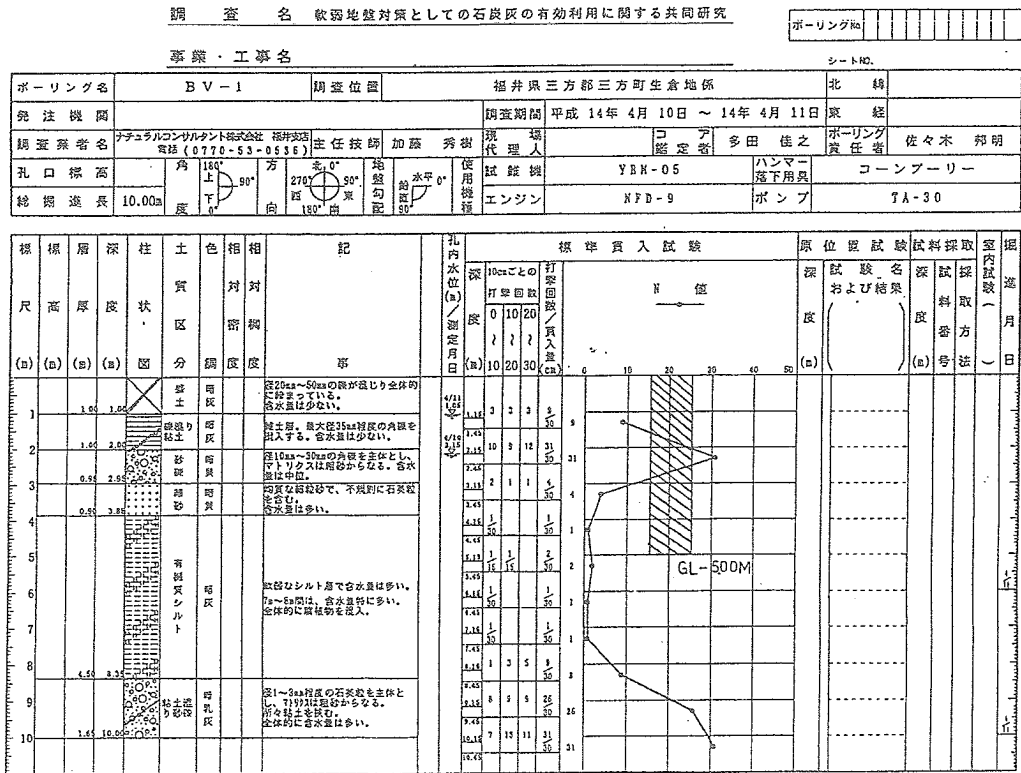


図-5.1 ボーリング柱状図

## 5.2 品質管理試験(プラント採取)

プラント(8m<sup>3</sup>/h 用)およびミキサー車から採取したFAモルタルのフロー試験の結果を表-5.1に示した。

調査計画でフロー値 140~150mm(加水率 40%)のFAモルタルを目標としたものの、No.1~No.7においてはフロー値 180~250mm(加水率 46~52%:「5.4 施工性確認」参照)とかなり大きい値となった。

表-5.1 スランプフロー試験(プラント採取)(cm)

| 杭 No. | S 添加率 | 日付    | フロー値(cm) |      |      |           |      |
|-------|-------|-------|----------|------|------|-----------|------|
|       |       |       | 1回目      | 長径   | 短径   | (長径+短径)/2 | フロー値 |
| No.1  | 5.0%  | 4月23日 | 1回目      | 25.2 | 25.0 | 25.1      | 25.1 |
|       |       |       |          | 25.4 | 24.7 | 25.1      |      |
|       |       |       | 2回目      | 25.0 | 24.7 | 24.9      | 25.0 |
|       |       |       |          | 25.3 | 25.0 | 25.2      |      |
| No.2  | 7.5%  | 4月24日 | 1回目      | 27.4 | 26.6 | 27.0      | 27.1 |
|       |       |       |          | 27.4 | 27.1 | 27.3      |      |
|       |       |       | 2回目      | 27.4 | 23.9 | 24.3      | 23.8 |
|       |       |       |          | 23.4 | 23.3 | 23.4      |      |
| No.3  | 7.5%  | 4月24日 | 1回目      | 21.4 | 21.1 | 21.3      | 21.9 |
|       |       |       |          | 22.6 | 22.6 | 22.6      |      |
|       |       |       | 2回目      | 22.0 | 21.8 | 21.9      | 21.6 |
|       |       |       |          | 21.5 | 21.2 | 21.4      |      |
| No.4  | 7.5%  | 4月24日 | 1回目      | 22.1 | 22.0 | 22.1      | 22.3 |
|       |       |       |          | 22.7 | 22.5 | 22.6      |      |
|       |       |       | 2回目      | 22.8 | 22.1 | 22.5      | 22.0 |
|       |       |       |          | 21.7 | 21.5 | 21.6      |      |
| No.5  | 7.5%  | 4月25日 | 1回目      | 21.3 | 21.1 | 21.2      | 19.8 |
|       |       |       |          | 18.6 | 18.2 | 18.4      |      |
|       |       |       | 2回目      | 18.8 | 18.5 | 18.7      | 20.0 |
|       |       |       |          | 21.5 | 21.0 | 21.3      |      |
| No.6  | 10.0% | 4月25日 | 1回目      | 18.3 | 17.7 | 18.0      | 18.1 |
|       |       |       |          | 18.3 | 18.2 | 18.3      |      |
|       |       |       | 2回目      | 18.5 | 18.4 | 18.5      | 18.5 |
|       |       |       |          | 18.6 | 18.4 | 18.5      |      |
| No.7  | 15.0% | 4月25日 | 1回目      | 17.5 | 17.5 | 17.6      | 18.1 |
|       |       |       |          | 18.7 | 18.7 | 18.7      |      |
|       |       |       | 2回目      | 18.5 | 18.2 | 18.4      | 18.2 |
|       |       |       |          | 18.3 | 17.8 | 18.1      |      |
| No.8  | 5.0%  | 4月26日 | 1回目      | 17.2 | 16.6 | 16.9      | 17.2 |
|       |       |       |          | 17.6 | 17.5 | 17.6      |      |
|       |       |       | 2回目      | 17.3 | 17.5 | 17.4      | 17.6 |
|       |       |       |          | 17.8 | 17.7 | 17.8      |      |
| No.9  | 5.0%  | 4月26日 | 1回目      | 18.3 | 17.8 | 18.1      | 18.2 |
|       |       |       |          | 18.4 | 18.2 | 18.3      |      |
|       |       |       | 2回目      | 18.1 | 18.2 | 18.2      | 18.3 |
|       |       |       |          | 18.5 | 18.2 | 18.4      |      |

※試験施工でを使用した DEI-KON プラントの容量が小さかったため、混練時の誤差および洗いの混入などが原因し、計画との差(計画加水率 40%→実施 46~52%)が生じたものと推測。

### 5.3 材料試験(プラント採取)

プラントより採取したFAモルタルを用いて実施した一軸圧縮試験の結果を表-5.2 および図-5.2 に示した。

表-5.2 一軸圧縮強さ(プラント採取)

| セメント<br>添加率 |                           |                           |          |                           |                           |          |                           |                           |          | 備考<br>杭No. |
|-------------|---------------------------|---------------------------|----------|---------------------------|---------------------------|----------|---------------------------|---------------------------|----------|------------|
|             | 圧縮強さ<br>kN/m <sup>2</sup> | 湿潤密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 含水比<br>% | 圧縮強さ<br>kN/m <sup>2</sup> | 湿潤密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 含水比<br>% | 圧縮強さ<br>kN/m <sup>2</sup> | 湿潤密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 含水比<br>% |            |
| 50%         | 586                       | 1.61                      | 38.1     | 1087                      | 1.61                      | 35.5     | 2065                      | 1.48                      | 25.1     | No.9       |
| 75%         | 363                       | 1.57                      | 41.4     | 646                       | 1.55                      | 41.3     | 1316                      | 1.53                      | 40.0     | No.2       |
|             |                           |                           |          |                           |                           |          | 1304                      | 1.62                      | 45.1     | No.3       |
|             |                           |                           |          |                           |                           |          | 1563                      | 1.62                      | 41.2     | No.5       |
| 100%        | 323                       | 1.64                      | 41.1     | 697                       | 1.59                      | 40.5     | 1650                      | 1.59                      | 39.2     | No.6       |
| 150%        | 404                       | 1.65                      | 38.7     | 1208                      | 1.64                      | 37.5     | 3324                      | 1.59                      | 35.7     | No.7       |

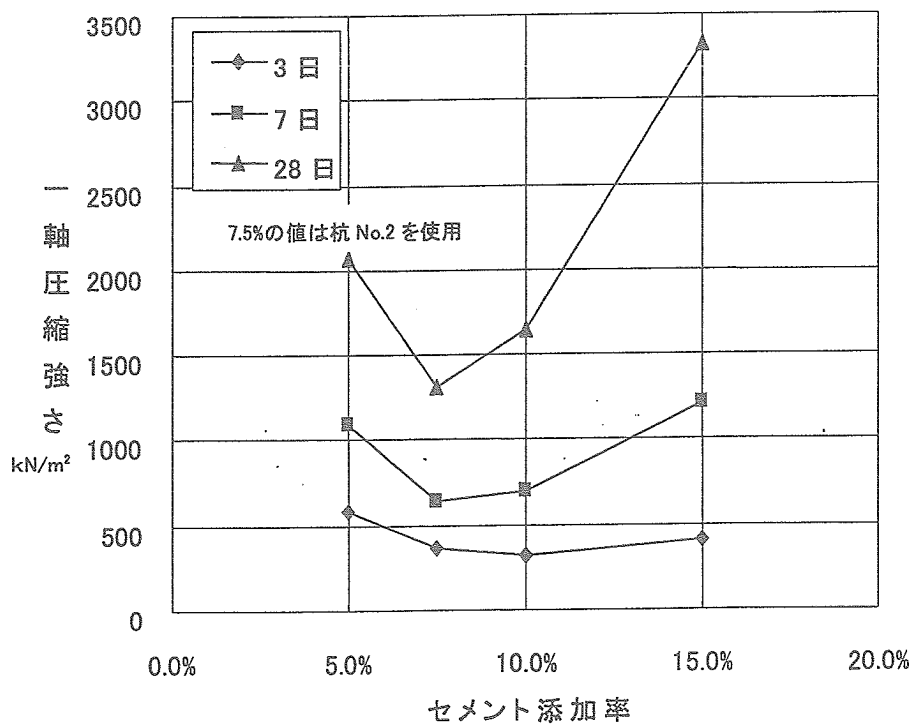


図-5.2 セメント添加率と強度の関係

## 5.4 施工性確認

### (1) 施工機械

ベースマシンは3点式杭打機(125t吊りタイプ)を使用した。混合プラントはDEI-KON8m<sup>3</sup>タイプを使用した。材料はセメントとフライアッシュを混合したもの(5%ブレンド材)を30tサイロに貯留し、計量してDEI-KONへ投入した。

FMP打設機械は、二重ケーシングの中にスラリー圧送管を取付け、先端部に蓋を設けて二重管の中に材料が入らない構造とした。

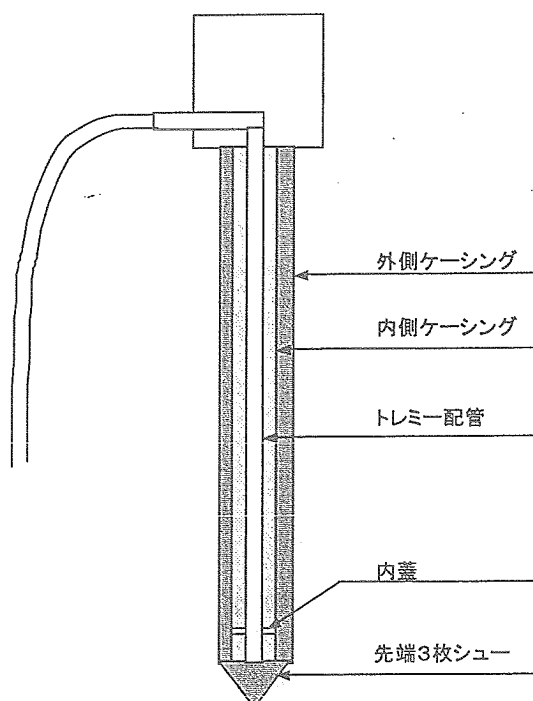


図-5.3 FMP施工機械概要図

### (2) FAモルタルの混練方法

当初FAモルタルは、DEI-KONプラントで連続的に混練する計画であったが、8m<sup>3</sup>タイプの能力不足のため、粉体と水がよく混ざらず、水だけが送り出され、プラント内に粉体と少量の水が混じった団子ができ、攪拌不能となった。

混練するために、連続練りは断念し、吐出口に蓋を設置し、1バッチ約0.15m<sup>3</sup>程度ごとに練り上げ、アジテータに貯留する方法を採用した。FMP1本分(12、13バッチ)が製造できたら、FMPを打設する方法とした。1本分の練り上がる時間は、約1.5~2時間程度であった。

計画加水率40%では、混練できないことから46~52%程度に加水率を増やし、練り上がる状況を確認しながら加水率を調整した。

### (3) 施工手順

試験施工での施工手順を以下に示す。

- ① 貫入前、トレミー管に水を圧送させた後、FA モルタルを圧送、改良機先端からモルタルが噴出した状態で一旦停止する。
- ② 改良機の外側ケーシングを正転で回転させながら、ケーシングを圧入する。外側ケーシングのスクリーは、先端から 2m 取り付けてあり、スクリーで掘削された土砂は、若干量地盤上に排出される。
- ③ ケーシング先端が GL-5.0m に達したら、ケーシングを 0.5m 引き上げ、内側ケーシング及びケーシング内に取り付けたトレミー配管を 0.5m 下げて、先端の 3 枚シユを開く。
- ④ ケーシングを一定速度で引き上げながら、モルタル打設する。コンクリートポンプで一定の圧力となるように調整しながら、モルタルを圧送させ、圧力が低下しないように管理した。引き上げる場合も外側ケーシングは正転で回転させることで、スクリー幅分の土砂を排土させるようにした。

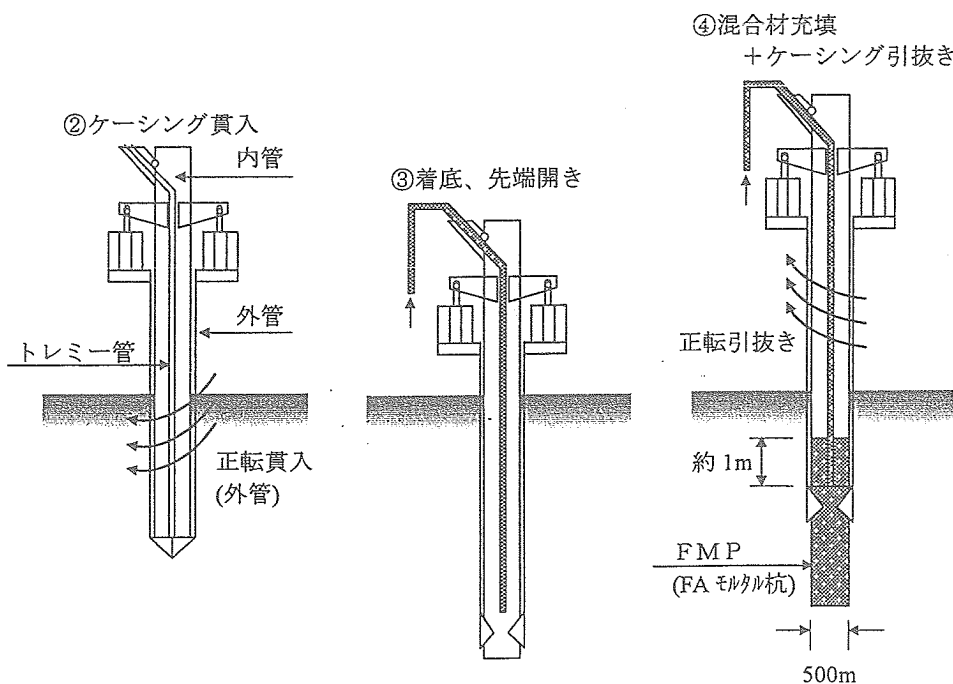


図-5.4. FMP工法の施工手順

(4) 施工サイクルタイム

FMP工法の施工サイクルタイムを表-5.3に示した。

施工サイクルタイムは約T=11min/本である。

表-5.3 FMP工法の施工サイクルタイム

| 杭番号    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5                  | 6                  | 7                  | 8     | 9     |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|
| 施工日    | 4月23日 | 4月24日 | 4月24日 | 4月24日 | 4月25日              | 4月25日              | 4月25日              | 4月26日 | 4月26日 |
| 配合     | 5.0%  | 7.5%  | 7.5%  | 7.5%  | 7.5%               | 10.0%              | 15.0%              | 5.0%  | 5.0%  |
| 杭長     | 2.0   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 5.0                | 5.0                | 5.0                | 5.0   | 5.0   |
| 移動     |       |       |       |       |                    |                    |                    |       |       |
| 水送り    |       |       |       |       | 3:46               |                    |                    |       |       |
| モルタル送り |       |       |       |       | 2:05               | 1:46               | 2:09               |       |       |
| 貫入     | 1:47  | 3:30  | 5:00  | 4:50  | 2:17               | 2:12               | 4:25               | 5:00  | 3:00  |
| 引き抜き   | 0:51  | 0:51  | 0:30  | 0:50  | 0:30               | 0:28               | 0:25               | 0:30  | 0:30  |
| 内管押出   | 0:50  | 0:51  | 0:20  | 0:20  | 0:26               | 0:15               | 0:16               | 1:00  | 1:00  |
| 造成     | 3:10  | 9:00  | 5:10  | 5:40  | 7:01               | 6:32               | 7:20               | 5:30  | 5:00  |
| 洗浄     |       |       |       |       | 8:00               |                    |                    |       |       |
| 盛り上がり土 |       |       |       |       | 40                 | 40                 |                    |       |       |
| 流量計    |       |       |       |       | 1.6 m <sup>3</sup> | 1.7 m <sup>3</sup> | 1.7 m <sup>3</sup> |       |       |
| 引き抜き速度 |       |       |       |       | 0.8~0.9            | 0.8~0.9            | 0.8~0.9            |       |       |

ホシログラフより

|         |  |       |       |       |       |      |       |       |      |
|---------|--|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 造成時間    |  | 13:36 | 11:00 | 11:40 | 10:14 | 9:27 | 12:26 | 12:00 | 9:30 |
| (貫入~造成) |  |       |       |       |       |      |       |       |      |

|      |       |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Ave, | 11:14 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|

## 5.5 騒音・振動測定

### (1)杭施工時の騒音測定結果

特定建設作業に伴って発生する騒音の規制値は、敷地境界線上で 85dB である。

今回の測定結果を表-5.4 に示した。騒音の測定は、音源から 10m、30m、50m で測定しており、最も近い 10m の地点でも  $P_{max}=74\text{dB}$  が最高値であった。

表-5.4 騒音測定結果表(dB(A))

|  | 現場プラント<br>攪拌機・発電機等 | FMP施工時 |     |    | 暗騒音 |
|--|--------------------|--------|-----|----|-----|
|  |                    | 1本目    | 2本目 | 平均 |     |
| 10m位置                                  | 71                 | 72     | 74  | 73 | 45  |
| 30m位置                                  | 62                 | 64     | 65  | 65 |     |
| 50m位置                                  | 55                 | 61     | 60  | 61 |     |
| 備考:90%上端値を採用した。<br>対象外(話し声など)の騒音は除外した。 |                    |        |     |    |     |

### (2)杭施工時の振動測定結果

特定建設作業に伴って発生する振動の規制値は、敷地境界線上で 75dB である。

今回の測定結果を表-5.5 に示した。振動の測定は、振源から 10m、30m、50m で測定しており、振源から最も近い 10m の地点でも  $P_{max}=47\text{dB}$  が最高値であった。

表-5.5 振動測定結果表(dB)

|  | 現場プラント<br>攪拌機・発電機等 | FMP施工時 |     |    | 暗騒音 |
|--|--------------------|--------|-----|----|-----|
|  |                    | 1本目    | 2本目 | 平均 |     |
| 10m位置                                  | 30                 | 47     | 43  | 45 | 25  |
| 30m位置                                  | 27                 | 40     | 34  | 38 |     |
| 50m位置                                  | 25                 | 35     | 30  | 33 |     |
| 備考:90%上端値を採用した。<br>対象外(話し声など)の騒音は除外した。 |                    |        |     |    |     |



## 5.6 チェックボーリング

施工後約3週間となる5月13日～5月20日(φ86)に実施した。その後ビデオスコープの観測孔として用いるため6月17日～6月19日(φ116)に実施した。各々についてボーリング結果を述べる。

図-5.5 に配杭とチェックボーリングの位置図を示す。

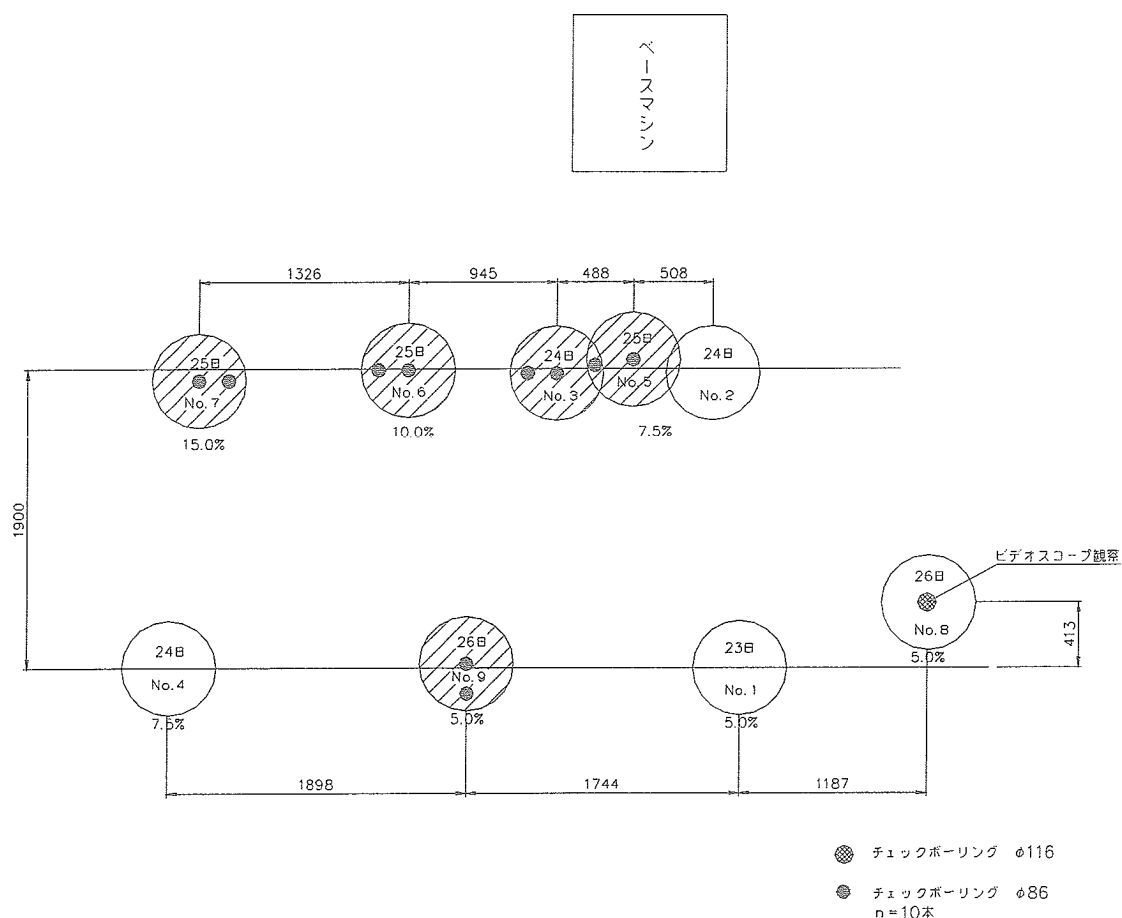


図-5.5 配杭とチェックボーリングの位置図

### (1)削孔径φ86mm

#### 1)セメント添加率5.0%(No.9)

改良長は $l=5.15\text{m}$ で、以深はFAモルタルと腐植物混りシルトの混合体である。上部1.0mで固結度は弱いだが、この以深は均質なモルタル杭であり、棒状～短柱状コアで採取された。

深度2.00m付近では粘性土を混入していた。



写真-5.1 チェックボーリングコアの写真(No.9 中心)



写真-5.2 チェックボーリングコアの写真(No.9 端部)

2)セメント添加率 7.5%(No.3,5)

No.3 は $\phi=5.50\text{m}$ の改良長を確保しており、概ね棒状コアで採取された。また、深度 2.5m 付近には粘性土が混入していた。

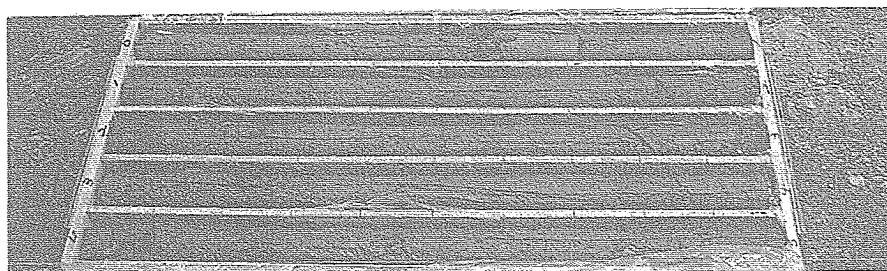


写真-5.3 チェックボーリングコアの写真(No.3 中心)

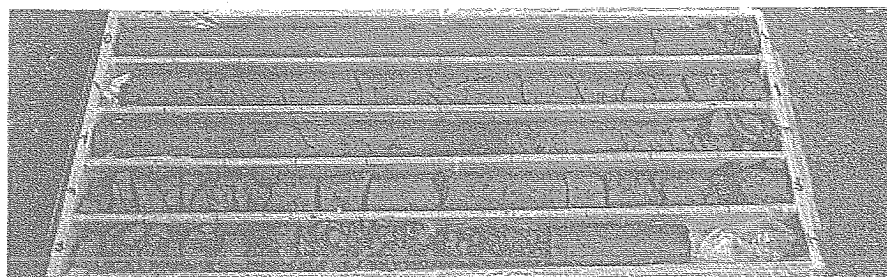


写真-5.4 チェックボーリングコアの写真(No.3 端部)

No.5 については、改良長 $l=4.50\text{m}$ でその下位はFAモルタルとの混合体となっていた。



写真-5.5 チェックボーリングコアの写真(No.5 中心)

No.3とNo.5のラップ部については杭上部(深度3.00m)まで粘土等の混入物が多く、圧縮強度的にも低い値を示していた。



写真-5.6 チェックボーリングコアの写真(No.3,5 ラップ部)

### 3)セメント添加率 10.0%(No.6)

改良長は $l=4.50\text{m}$ で、以深はFAモルタルと腐植物混リシルトの混合体であった。

杭上部 0.3m は固結度が低くクラックも多いが、以深は均質なモルタル杭で棒状～短柱状のコアで採取された。

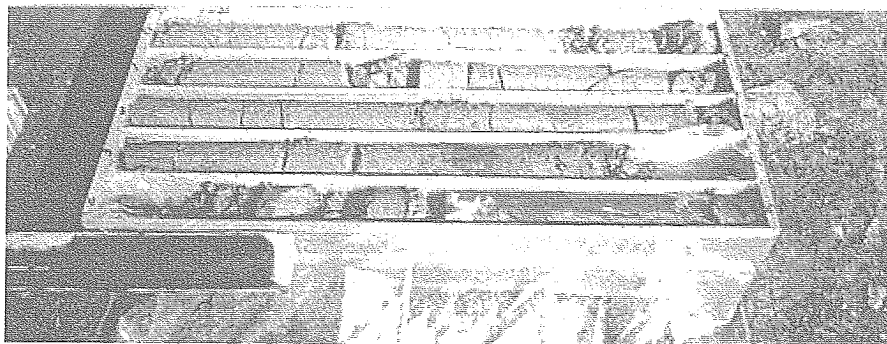


写真-5.7 チェックボーリングコアの写真(No.6 中心)

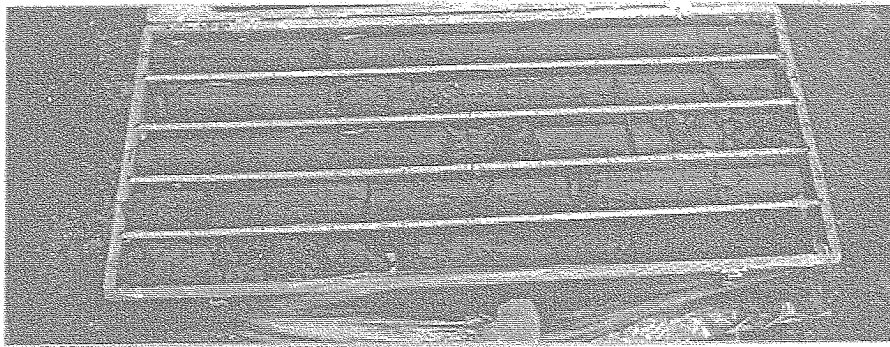


写真-5.8 チェックボーリングコアの写真(No.6 端部)

4)セメント添加率 15.0%(No.7)

改良長は $l=4.00\text{m}$ で、以深はFAモルタルと腐植物混りシルトの混合体であった。

杭上部 0.4m は固結度が低いものの、この以深は均質なモルタル杭で、概ね棒状～短柱状のコアで採取された。

ただし、深度 2.50m付近にはシルト分が混入していた。



写真-5.9 チェックボーリングコアの写真(No.7 中心)



写真-5.10 チェックボーリングコアの写真(No.7 端部)

(2)削孔径  $\phi 116\text{mm}$

セメント添加率 5.0%(No.8)

改良長は $l=4.20\text{m}$ で、この以深 0.50mはFAモルタルと腐植物混りシルトの混合体であった。

深度 0.4～1.0m間では固結度が弱く、清水掘進により流出した。深度 1.0m以深については均質なFAモルタル杭で、概ね短柱状で採取された。

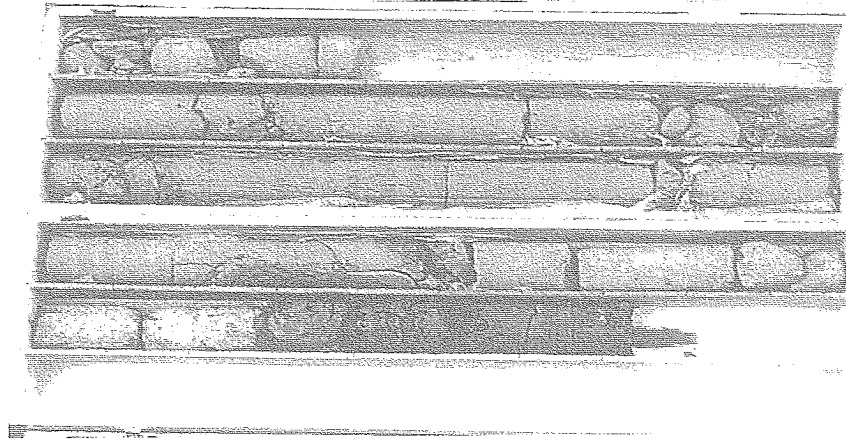


写真-5.11 チェックボーリングコアの写真(No.8 中心)

## 5.7 材料試験(採取コアによる一軸圧縮試験)

チェックボーリングで採取したコアにより一軸圧縮試験を実施した。採取位置は図-5.5 に示したチェックボーリングと同じである。

### (1)材令 28 日

表-5.6 一軸圧縮強さ(28日、採取コア)

| セメント<br>添加率 | 中心                        |                           |          | 端部                             |                           |          | 備考<br>杭No. |
|-------------|---------------------------|---------------------------|----------|--------------------------------|---------------------------|----------|------------|
|             | 圧縮強度<br>kN/m <sup>2</sup> | 湿潤密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 含水比<br>% | 圧縮強度<br>kN/m <sup>2</sup>      | 湿潤密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 含水比<br>% |            |
| 5.0%        | 363                       | 1.586                     | 49.0     | 370                            | 1.609                     | 48.9     | No.9       |
| 7.5%        | 133                       | 1.560                     | 50.0     | 93                             | 1.537                     | 52.0     | No.3       |
|             | 360                       | 1.576                     | 46.8     | ラップ部(No.3.5)<br>484      1.598 |                           | 44.6     | No.5       |
| 10.0%       | 937                       | 1.614                     | 43.4     | 625                            | 1.645                     | 42.3     | No.6       |
| 15.0%       | 1407                      | 1.590                     | 44.4     | 1319                           | 1.592                     | 44.320   | No.7       |

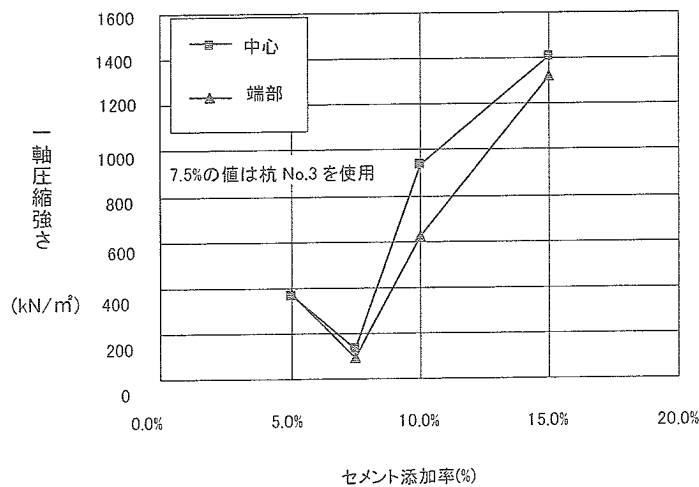


図-5.6 セメント添加率と一軸圧縮強さの関係(28日、採取コア)

### (2)材令 74 日

表-5.7 一軸圧縮強さ(74日、採取コア)

| セメント<br>添加率 | 中心                        |                           |          | 備考<br>杭No. |
|-------------|---------------------------|---------------------------|----------|------------|
|             | 圧縮強度<br>kN/m <sup>3</sup> | 湿潤密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 含水比<br>% |            |
| 5.0%        | 875                       | 1.423                     | 50.4     | No.8       |

## 5.8 出来型確認

### (1) 杭径および杭長

改良杭は、概ね $\phi 600\text{mm}$ の杭径を有していた。外側2~3cmは固結度が低く、クラックが多い部分も見られるが、この内側については固結度が高く、クラックは見られなかった。

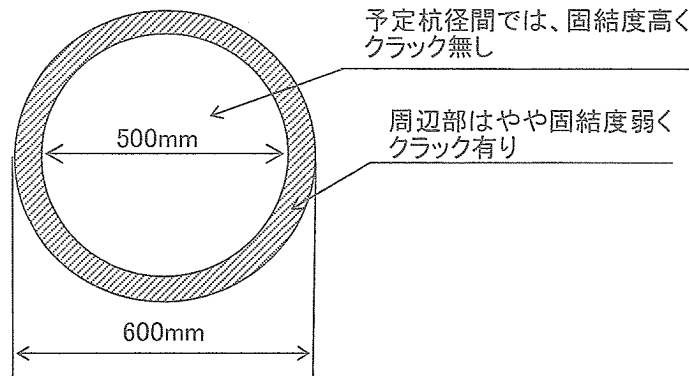


図-5.7 FMPの形状(杭径)

写真-5.12~17に杭頭部の様子を示す。

表-5.8にFMPの出来高測定結果について示した。

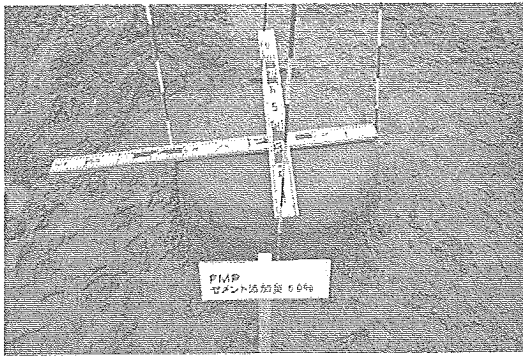
ただし、この出来高は杭上部の0.50mにて確認したものである。

鉛直方向については、チェックボーリングを杭端部で実施して確認したところ概ね、 $\phi 500$ の杭径を確認した。

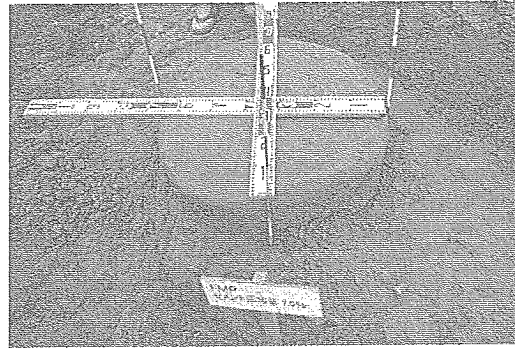
また、杭長さについては、先端(再深部)付近で原地盤と混合し、予定長の $L=5.00\text{m}$ に比べ、約1.00m短いものもあった。



写真-5.12 FMP試験施工杭の全景



写真—5.13 FMP試験施工杭  
(5.0%)



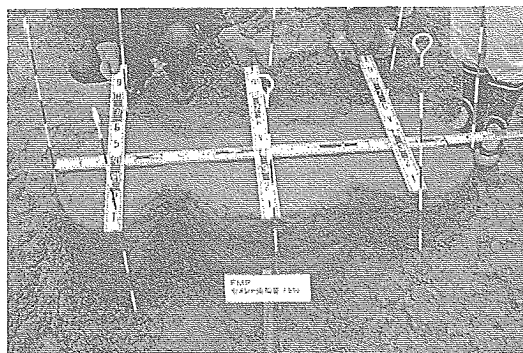
写真—5.14 FMP試験施工杭  
(7.5%)



写真—5.15 FMP試験施工杭  
(10.0%)



写真—5.16 FMP試験施工杭  
(15.0%)



写真—5.17 FMP試験施工杭(ラップ 7.5%)



表一5.8 杭形狀測定結果一覽

| 測定項目<br>規格值 | 直徑 a     |          |        | 直徑 a     |          |        | 直徑 a     |          |        | 略<br>圖 |
|-------------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|--------|
|             | 設計值<br>n | 突測值<br>n | 差<br>m | 設計值<br>n | 突測值<br>n | 差<br>m | 設計值<br>n | 突測值<br>n | 差<br>m |        |
| 測点又は區別      |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.2,3,5    | 1.200    | 1.600    | +400   | 0.500    | 0.670    | +170   | 5.000    | 0.670    | +170   |        |
| No.1        | 0.500    | 0.650    | +150   | 0.500    | 0.650    | +150   | 5.000    | 0.650    | +150   |        |
| No.4        | 0.500    | 0.630    | +130   | 0.500    | 0.670    | +170   | 5.000    | 0.670    | +170   |        |
| No.6        | 0.500    | 0.610    | +110   | 0.500    | 0.630    | +130   | 5.000    | 0.630    | +130   |        |
| No.7        | 0.500    | 0.640    | +140   | 0.500    | 0.650    | +150   | 5.000    | 0.650    | +150   |        |
| No.8        | 0.500    | 0.670    | +170   | 0.500    | 0.650    | +150   | 5.000    | 0.650    | +150   |        |
| No.9        | 0.500    | 0.660    | +160   | 0.500    | 0.650    | +150   | 5.000    | 0.650    | +150   |        |
|             |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
|             |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| 測定項目        | 直徑 a     |          |        | 直徑 a     |          |        | 直徑 a     |          |        |        |
| 規格值         |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| 測点又は區別      |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.2,3,5    |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.1        |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.4        |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.6        |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.7        |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.8        |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |
| No.9        |          |          |        |          |          |        |          |          |        |        |

(2)ビデオスコープによる杭内部観察

杭の中心に開けたボーリング孔内にビデオスコープを挿入して孔壁の観察を行った。

杭体内の壁面は亀裂もなく、滑らかな面を保っており、杭の強度の高さを推し量れる画像が得られた。

## 6. 考察およびまとめ

### 6.1 現地実証試験によるFMPの施工性と出来形の確認

#### (1)施工性の確認

実証試験の結果をもとに FMP 工法の施工性について下記の件について検討した。

##### ①掘削能力

当敷地の地盤は、粘性土～礫質土まで各種の地層で構成されているが、掘削はスムーズに行われ特に大きな支障は見られなかった。本来、軟弱地盤を対象とした工法であり、転石が存在しない限り問題ないと考えられる。

##### ②プラント

今回使用した DEI-KON プラントは能力が低かったことから、連続練りが困難であった。そのため、バッチ練りとしたが、このことでFAモルタルの品質にばらつきが生じた。

80m<sup>3</sup>/h 以上の DEI-KON プラントであれば、計画加水量(45%)で練り上げることが可能である。

##### ③コンクリートポンプ圧送能力

加水率 46～52%の FA モルタルの圧送はスムーズに行われた。当初の 45%としても施工は十分可能である。

##### ④騒音・振動調査

騒音の規制値は、85dB であるが、今回の測定では規制値を上回ることにはなかった。音源から最も近い 10mの地点でもPmax=81dB が最高値であった。

振動の規制値は、75dB であるが、今回の測定では規制値を上回ることにはなかった。振源から最も近い 10mの地点でもPmax=56.1dB が最高値であった。

以上のことから、騒音・振動は規制値以下であり問題はない。

#### (2)出来形

杭を頭出しして、出来形を確認したが、予定径は外側ケーシングの径であるφ500 であったが、スクリュウ外径であるφ600 の大きさをほぼ出来上がっていた。

ラップ部では、両端の杭を施工した後に中側の杭を施工しているため、中側の杭は出来高を満足していたが、両端の杭は中側の杭打設時の影響により変形していた。

以上のことから、単杭の施工は可能であるが、接円およびラップについてはFMP工法の特長上、困難であると考えられた。

## 6.2 FMPの強度特性と室内配合試験結果との関係

室内配合試験(水中養生:不織布を境界とする)、品質管理試験(プラント採取)、チェックボーリングの一軸圧縮試験結果を比較したものを図-6.1に示す。

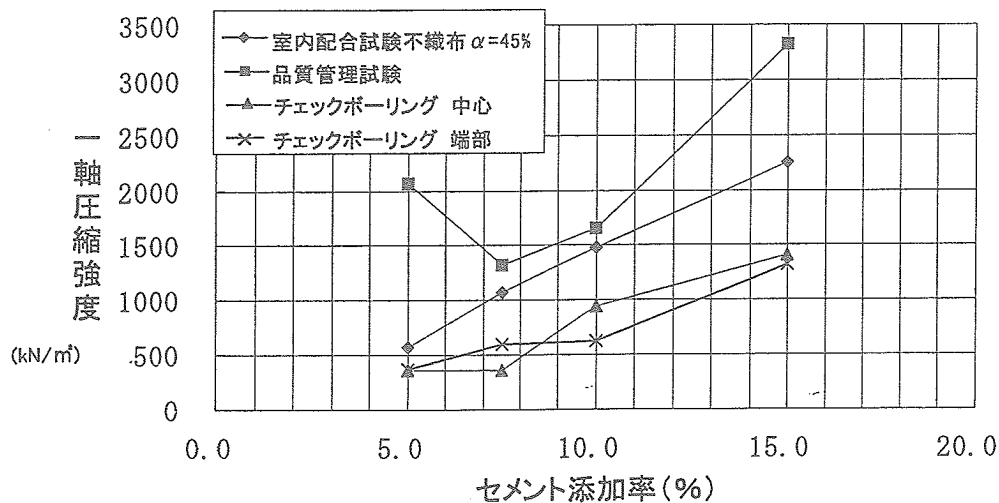


図-6.1 一軸圧縮試験の結果の比較(28日強度)

また、室内配合試験結果(水中養生:不織布を境界とする)を1.0とした場合の、各試験結果の比を図-6.2に示す。

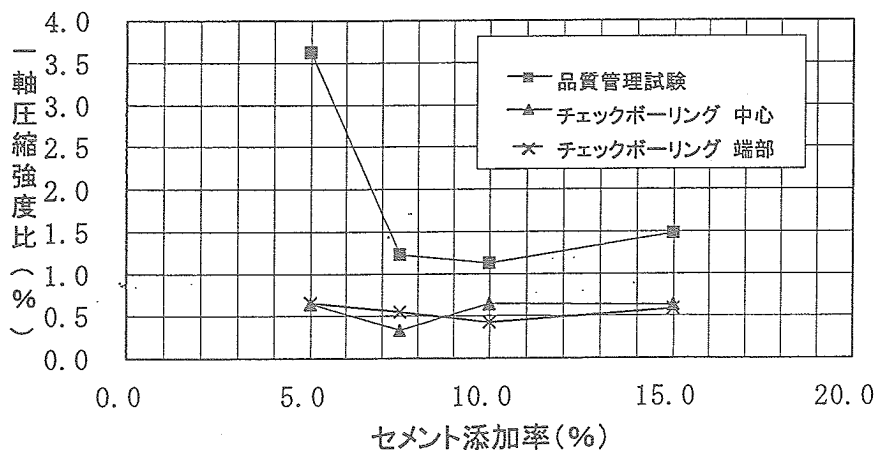


図-6.2 一軸圧縮試験の結果の比較(比率) 28日強度

以上の結果より、今回の試験では、室内強度と現場強度の比は、おおよそ0.5となった。

FMP工法の場合、原地盤の影響を受けないため、この比(現場強度/室内強度)が大きくなるものと推測されたが、今回は低めの値となった。この原因としては、室内配合試験での加水率と現場での加水率の違い、および土中養生での吸水と推測された。

## 6.3 FMP造成における技術的所見

### 6.3.1 試験施工において明らかとなった問題点とその原因及びその解決方策

試験施工の過程、結果において、いくつかの問題点が明らかになった。

それらについて、施工面、材料面、工法・機械面から原因及び解決方策を含めて整理し、次ページ表-6.1に一覧表にて示す。

内容的には、今後追加実験や試験施工において確認するとともに実施工を重ねながら改善すべきものと、当面は適用性を限定して運用していくものに分類することができる。

一覧表以下のページに、具体的対策案を示す。また、以下次項に現状での適用条件を示す。

### 6.3.2 FMPの現状での適用条件

ケーシングを強制的に貫入するため、地盤を横に押してしまう。したがって、接円やラップ施工は困難である。また、砂地盤や粘性土地盤では、地盤変形の影響が大きく現段階では適用が難しい。FMPが適用できる地盤は、圧縮係数が高く、透水係数が大きい有機質土が最も適している。

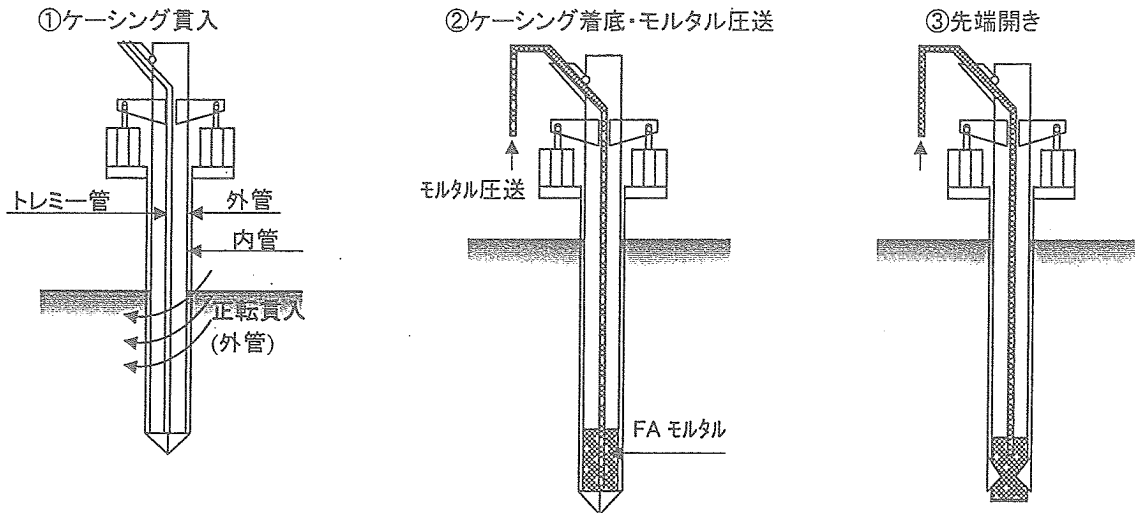
CDMと経済比較した場合でも、現段階ではセメント添加量が多く必要となる有機質土地盤のみ、FMP工法が優位となる。

表一6.1 問題点・原因・対策

| 問題点   | 原因   | 対策   |
|---|--|--|
| 先端部1m程度の部分で杭ができていない                                 | ケーシング先端を所定深度まで貫入した後、ケーシングを1m引き上げる課程において、空洞ができ、そこに水を引き込むと同時に土砂を巻き上げた状態となった。その中にモルタルを打設することから、土砂混じりになったと思われる。                  | 内管を押し出ししながら外管を引き上げる様にして、内管の先端位置を変えないで先端3枚シューを開く。開く前からモルタルのポンプ圧送を開始して、一時的であっても空洞を作らないようにする。→対策1   |
| 部分的に砂や粘土が混在している                                     | FMPが原地盤の土圧に抵抗できず、周りの土砂を混入した。   | 原地盤の土圧とFMPの対抗圧をつり合わせることににより解決可能。(添付資料参照) →対策2  |
| モルタルを打設する場合、圧送圧力をかけすぎると近接した固まらない杭からモルタルが噴出する現象が起きる。 | ケーシングの圧入により、近接する先行杭へ向かって”みずみち”が作られ、FAモルタルが漏れた。   | 固化していないFMPの付近での打設を行わないように、施工順序や杭配置の検討により対応可能。→対策3  |
| 含水比のばらつきが発生している(品質の不均一、強度の不均一)                      | 混練時におけるプラント計量管理の誤差の可能性があった。  | 混練プラントDEI-KONの80m <sup>3</sup> /h以上のタイプであれば計画加水量(40%)で練り上げることが可能性である。(今回の使用は8m <sup>3</sup> /hタイプ)   |
| ラップ杭の出来形が不完全である                                     | 地下水などの影響により、土中で変化する可能性があった。  | 水中養生による強度試験を実施中。(初期強度は低い長期材令での強度発現を確認。強度低下には影響ないと推測される)  |
| 近接施工による先行施工杭の変形など                                   | ラップ部には貫入時の土砂を巻き込むことになるため、接合がでなかつた。<br>排土が少なく、地盤を横に押しながら貫入することとなる。このため、砂質土層や粘性土層では、隣に造成した杭を變形させてしまった。                         | 利用目的にもよるが、工法的にラップ施工には適さない。<br>施工順序や配置の検討により対応可能。<br>また、ケーシングの羽根を排土式として、側方変位を押さええることも対応可能。→対策4  |
| 競合工法(CDM工法など)よりも1日当たりの施工本数が少なくなり、工期的にも工費的にも不利になる    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・単軸改良機(CDM 2軸以上)</li> <li>・φ500mmの改良径 (GDM φ1000mm以上)</li> <li>・施工機械設備費が高い</li> </ul> | 対象地盤を、他工法では改良杭の強度発現が困難で材料費が割高となる有機質土と限定する。さらに、<br>施工歩掛: 大口径(φ800mm)の施工機械の使用<br>施工本数: 高強度の杭による施工杭本数の低減(設計変更)<br>の対策を行うことにより、FMP工法の特徴(材料費が安い、強度の発現が土質に左右されない)が発揮され工期的・工費的に対抗できる可能性がある。 |

【対策1】

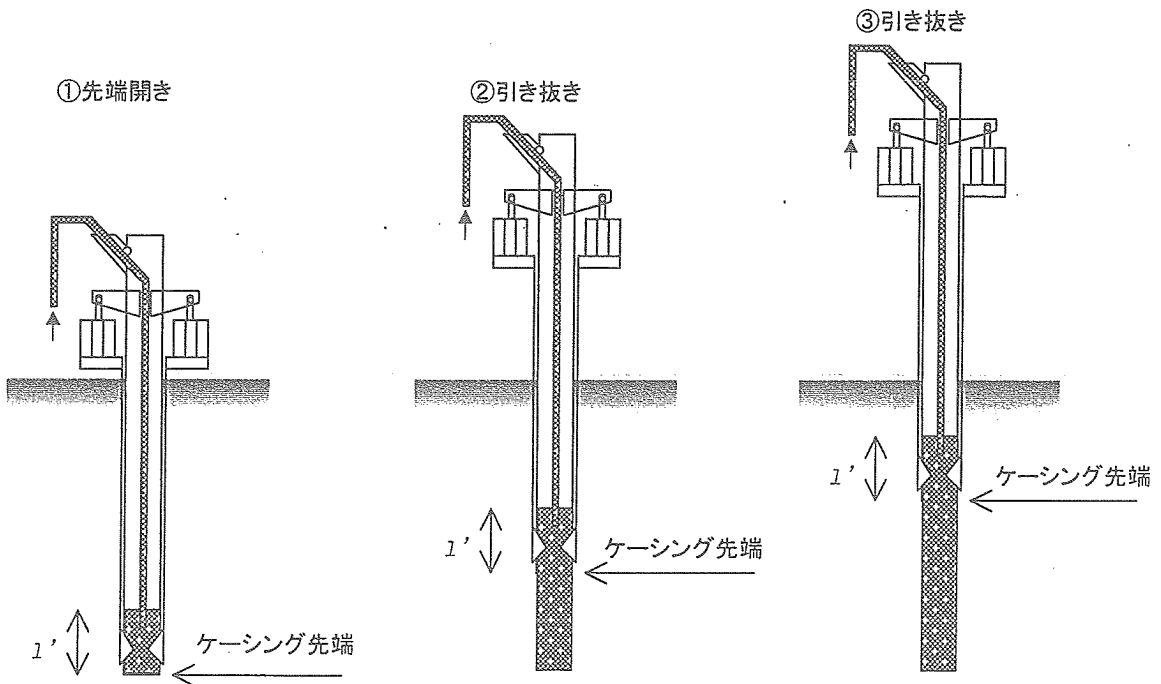
内管を押し出しながら外管を引き上げる様にして、内管の先端位置を変えないで先端3枚シューを開く。開く前からモルタルのポンプ圧送を開始して、一時的であっても空洞を作らないようにする。



・内管の動きが分かる検出器の設置により、空洞を作らないよう厳密に管理する。

【対策2】

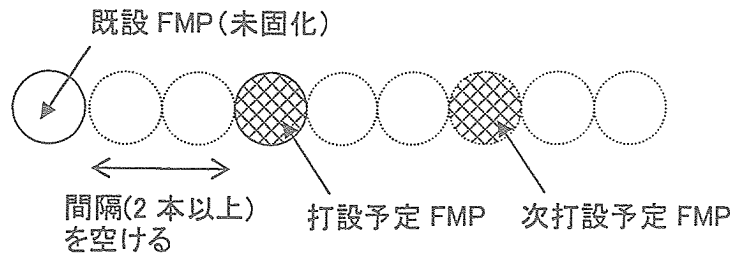
原地盤の土圧とFMPの対抗圧をつり合わせることで解決可能。



- ・原地盤の土圧に対抗する  $l'$  を確保しながらケーシングの引き抜きとポンプ圧送を行う。
- ・施工管理計機の改良により、適切なモルタル圧力管理を行う。

### 【対策3】

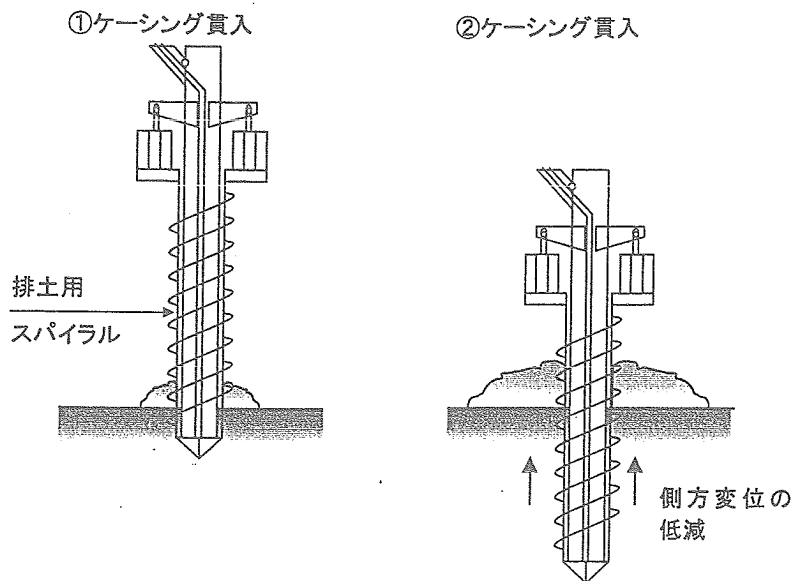
固化していない FMP の付近での打設を行わないように、施工順序や杭配置の検討により対応可能である。



また、【対策2】を併用することにより防ぐことも可能である。

### 【対策4】

施工順序や配置の検討により対応可能。また、ケーシングの羽根を排土式として、側方変位を押さえることでも対応可能。



- ・外管の外側に、排土用のスパイラルを設け、貫入しながら排土を行うようにする。
- ・既存の羽根を大きくすることで排土を少なくすることも可能。(現在 5cm→10cm へ)



FMP工法設計マニュアル(案)

～産学官共同研究報告書～

平成 17 年 3 月 発行

編 集 研究開発グループ

発 行 〒910-0005 福井市大手 2-9-10(電気ビル 1F)  
(財)福井県建設技術公社

連絡先 〒921-8141 石川県金沢市馬替 2 丁目 112 番地  
ナチュラルコンサルタント株式会社  
電話 076-246-1171

印 刷 〒915-0802 武生市北府 2-12-31  
(株)国府印刷社