

◆ 載 文 ◆

タイにおける軟弱地盤対策に関する研究協力

三木博史*

1. はじめに

土木研究所では日本、タイ、インドネシア、フランス、スウェーデンの5カ国間で、発展途上国でも使え、先進国でもコスト縮減につながるような低コスト地盤改良技術の開発をめざした国際共同研究を進めている。

このうち、本文では、この国際共同研究の核として位置付けられる第一ステージとしてのタイでの研究協力に焦点をしづり、その概要を紹介する。

2. プロジェクトの概要

2.1 目的と経緯

本プロジェクトは、JICA(国際協力事業団)の研究協力プロジェクトとして1996年1月から3年間取り組んだものである。

図-1と図-2に示すように、チャオプラヤ川の河口に位置するバンコク周辺では、外郭環状道路や都市間高速道路および新空港などの建設が急ピッチで進められている。それらの多くは、広大な軟弱地盤地帯に位置し、適切な地盤改良が不可欠となっている。また、既設道路においても2mにも及ぶ残留沈下に悩まされている箇所があり、改築・拡幅工事等において地盤改良を行うケースが出てきている。

そのなかで、本研究協力プロジェクトと関わりが深かったのは、1998年12月のアジア大会をめざして建設が進められたOBRR(Outer Bangkok Ring RoadのEastern Portion)、BCNH(Bangkok-Chonburi New Highway)および既設のBang Na Bang Pakong Highway(国道34号)である(図-2参照)。

これらの新設あるいは改築工事においては、長期的な残留沈下を軽減するため、タイでは初めてPVD工法(Prefabricated Vertical Drain工法の略で、既製品を用いたバーチカルドレーン工法をいう)と低コスト化を図った深層混合処理工法という2つの地盤改良工法が本格的に採用された。

本研究協力プロジェクトでは、これらの現場適

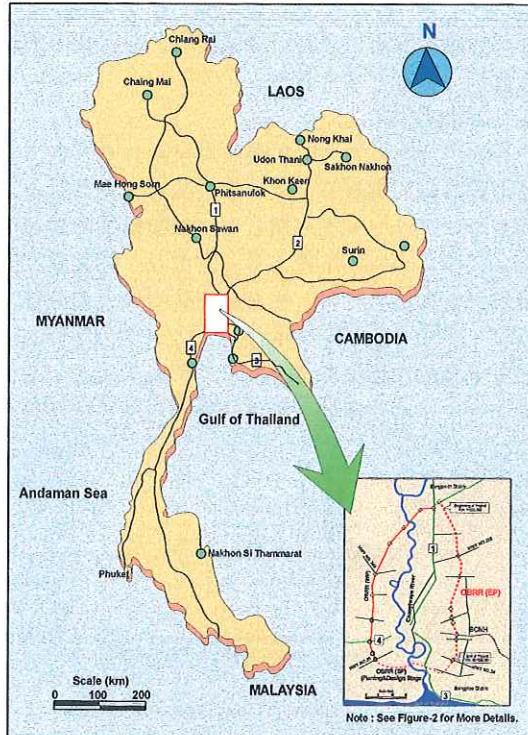


図-1 タイとバンコク周辺図

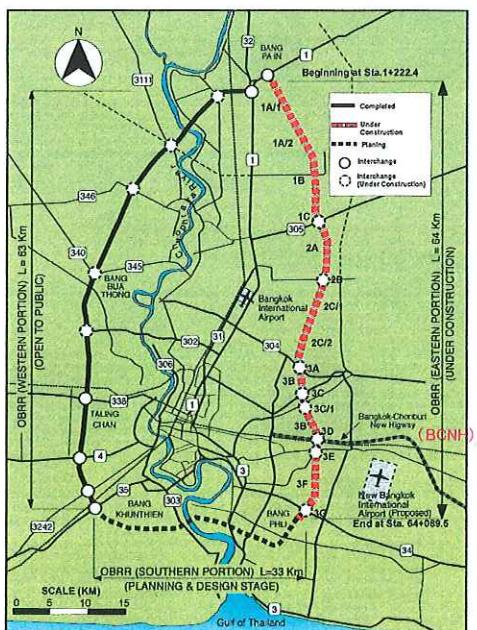


図-2 バンコク周辺のプロジェクトの概要図

用結果をフィードバックしつつ、調査・設計・施工法、品質管理手法、効果の検証、数値解析等の技術移転を図るとともに、タイの国情に適した地盤改良技術の提案を行うことを目的とした。

1998年11月には、第一ステージ3年間の集大成としてとりまとめた軟弱地盤対策ガイドライン、上記2つの工法マニュアルおよびプロジェクト報告、バンコク粘土のデータベース、解析レポートなどを用いて「第2回地盤改良セミナー」を開催した。

このセミナーには、タイのみならずインドネシア、マレーシア、ベトナム、ラオス、カンボジアといった周辺国からの招待者も含めて220名を超える参加者があり、高い関心のもとで最終成果の報告が行われた。

2.2 実施体制

タイ側は、運輸通信省道路局が1992年に設立した道路研究開発センターのDr.Teeracharti(ティーラチャ)をリーダーに、若手リサーチエンジニア5名および本局の地盤工学分野の総括デザイエンジニアであるDr.Yongyuth(ヨンユット)を中心にスタディチームを構成した。

一方の日本側は、筆者がリーダーを務め、二代にわたる長期専門家を日本道路公団の久保寛次、中谷了の両氏にお願いし、短期専門家チームとして土木研究センターの千田昌平氏、不動建設の野津光夫氏、基礎地盤コンサルタントの阪上最一、井上雅裕の両氏、日本工営の中橋貞雄氏に加わっていただいた。

また都市間高速道路の建設プロジェクトの施工管理を担当された日本工営の遠藤リーダー、増沢、鈴木の各氏ならびに片平エンジニアリングの木村リーダーには、日・タイの貴重な橋渡しを務めていただいた。

2.3 キーパーソン、チームワークおよびタイミング

本プロジェクトが当初設定した目標を期待以上に達成できたとすれば、それはタイ側に長年この分野に携わり、しかもアイデアを実行に移すことのできる全権を与えられたDr.TeerachartiとDr.Yongyuthという2人のキーパーソンがいたことがなによりも大きかった。

また日本側に、完全なボランティアワーク(奉仕活動)といってよい膨大な国内作業と長期間に

およぶ海外派遣を快く引き受けていた上記公団および民間各社の組織をあげての協力があったことが不可欠の要因であった。

そして、タイミングよくビッグプロジェクトが進行中で、そのなかで実際に解決すべき問題に直面し、タイ側で研究協力に対するニーズとモチベーションが高まっていたことや、実証データの入手が容易であったことが非常に幸いした。

このように、国際協力の成功の鍵をにぎる要因として、明確な達成目標の設定と戦略に加えて、キーパーソン、チームワークおよびタイミングの3つの重要性を痛感した。

3. バンコク粘土に対する PVD 工法の適用性

3.1 バンコク粘土の特性

図-3に、BCNHの代表地点における土層構成を示す。表層1~2mに雨期と乾期の繰り返しによるweathered crustと呼ばれる硬い粘土層が分布しているのが一般的な特徴である。その下に超軟弱な粘土層が10m程度の厚さで堆積しており、さらにその下にはやや含水比の低い軟弱粘土層が10m程度の厚さで続いている。

図-4~図-6は、今回実施したボーリング調査で明らかになったバンコク粘土の圧縮・膨張特性を日本の粘土との比較でとりまとめたものである。これをみると、バンコク粘土の圧縮・膨張特性は、日本の粘土と同様に、塑性指数PIと関係してい

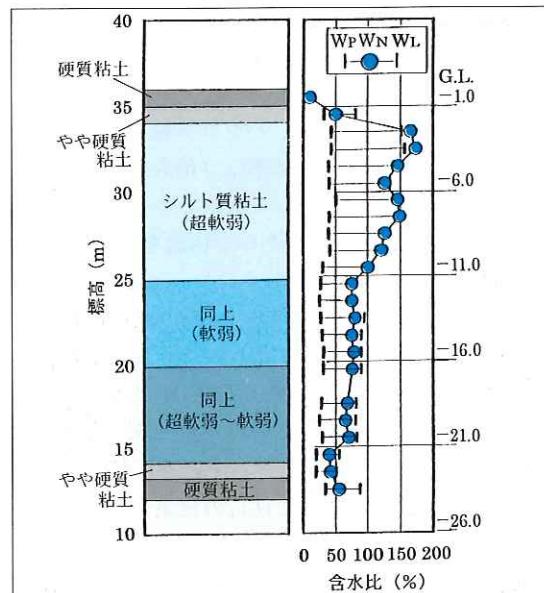


図-3 BANGKOK の代表地点における土層構成図

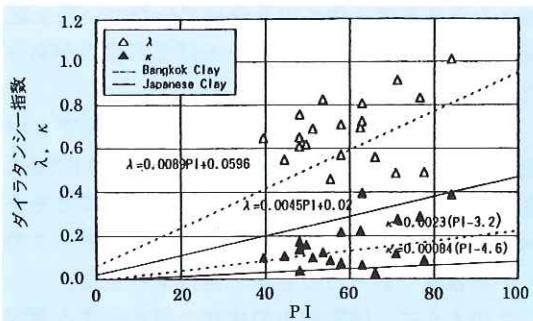
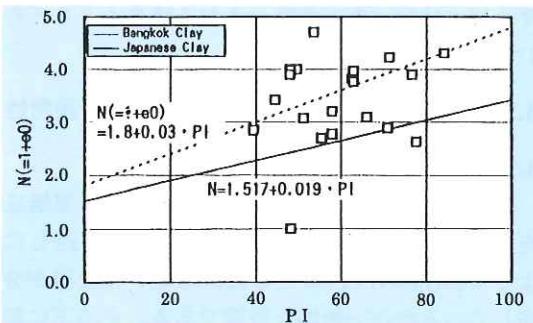
図-4 バンコク粘土の λ と κ 値

図-5 バンコク粘土の体積間隙比

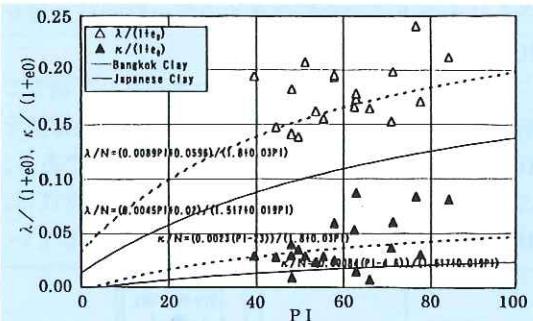


図-6 バンコク粘土の圧縮・膨張特性

ることがわかる。しかし、バンコク粘土は、日本の粘土より見かけの間隙比が約1.3倍大きいためはるかに軟弱で、ダイラタンシー指数で2~3倍、総合的な圧縮指数で1.5~2.5倍という特徴を有している。

3.2 PVD の効果

BCNH の図-3 の土層の箇所では、図-7 に示すようなゾーンに PVD が適用された。盛土高と沈下の時間的な推移は、図-8 のとおりである。また、この地点を対象に土の弾塑性モデルと PVD 要素からの圧密を考慮できる FEM 解析を実施した結果を図-9 に示す。これらの結果から、この地点では、PWD による過剰間隙水圧の消散と沈下の促進が認められるものの、軟弱層厚に比べて押さえ盛土の幅が狭いため、地盤の非排水せん断変

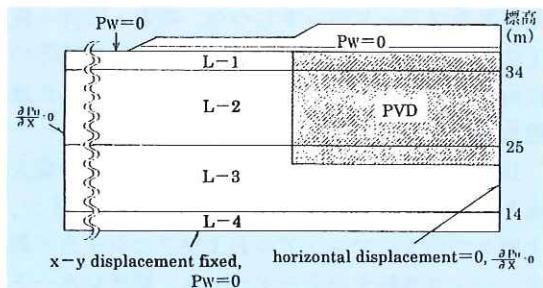


図-7 BCBH における PVD の解析モデル

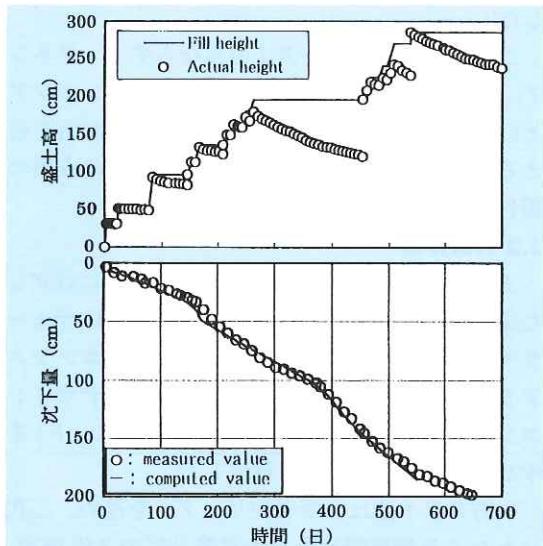


図-8 盛土高と沈下の時間的な推移

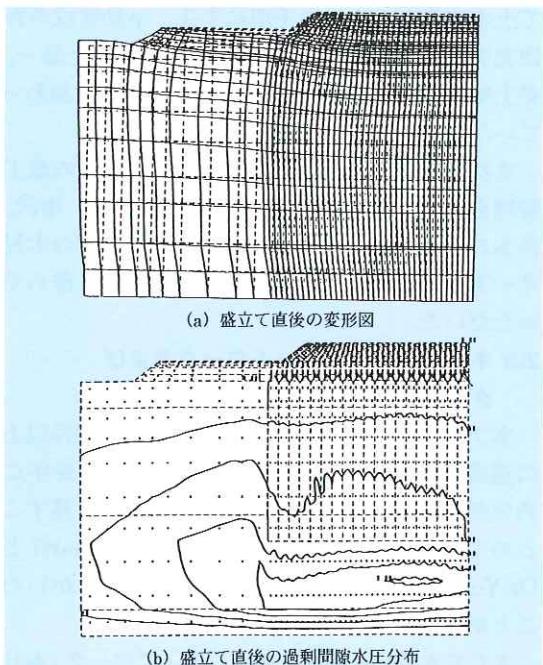


図-9 FEM 解析結果

形(側方流動)による沈下が卓越し、残留沈下の収束を遅らせていることがわかる。

このように、軟弱層が20m程度あり、しかも日本の粘土よりはるかに軟弱なバンコク粘土においては、盛土高が2.5m程度の低盛土であっても、地盤の降伏による非排水せん断変形が卓越する傾向にある。このため、見かけ上、PVDによる沈下促進の効果があまり発揮されていないような残留沈下の挙動を示すことが明らかになった。

3.3 PVD の適用性

一方、軟弱層がもう少し薄く、軟弱層のせん断強度も大きい箇所では、押さえ盛土の効果もあって地盤のせん断変形がの発生が小さく、PVDの効果がよく現れていることが確認されている。

したがって、バンコク粘土へのPVDの適用性を考えると、道路盛土のような帯状の盛土では、地盤の非排水せん断変形を極力抑えるよう留意することが重要であると思われる。このため、押さえ盛土の幅を十分にとったり、場合によっては適用地盤をある程度限定することも必要である。

以上のように、バンコク粘土は超軟弱なため、高さが2.5m程度の低盛土であっても、盛れば盛るほど沈下し、実質的な盛土厚は4.5mにも達する。バンコクでは盛土に用いる砂を100km以上離れた丘陵部から運んでおり、砂がかなり高価であることを考え合わせると、盛土量のかさむPVDは日本ほど他の工法に比べて経済的というわけではなく、条件によっては後述するような沈下を抑制する杭式のフローティング工法などが十分に代替案として成り立つケースも出てくる。

実際、タイにおいてはこの20年来、橋脚との取付盛土の箇所では、スウェーデンから導入したパイルースラブ工法(20cm四方の四角い既製コンクリート杭を2m間隔程度で地盤中に打設し、その頭部をコンクリートスラブで連結した上に盛土を行う工法)を採用してきている。こうした非常に高価な工法を採用せざるを得ないところに、バンコク粘土の取り扱いの難しさと杭式地盤改良への期待を読みとることができる。

4. 低成本地盤改良技術の提案

4.1 低改良率の深層混合処理工法

このプロジェクトの最大の意義の一つは、発展途上国でも十分に使える比較的経済的な低改良率

の深層混合処理工法の提案ができたことである。

タイにおいては、上記のパイルースラブ工法の代替として、橋脚との取付盛土の箇所や既設道路の拡幅工事などへの適用が期待されている。日本では改良率を50%以上とするブロック式改良が一般的に用いられているが、今回新たに適用を試みたのは、低改良率(面積率で約14%)の深層混合処理による杭式改良である。図-10に示す適用事例のように、直径60cmのコラムを1.5m間隔で打設する(写真-1参照)。

主目的は沈下抑制にあるが、基礎地盤のすべり破壊の防止効果も高い。

世界的にみてもこのような工法はまだあまり使われておらず、日本でもまだ実績は少ないが、最近になって表-1と図-11に示すようないくつかの適用例が出てきている。これらの結果から、次のようなことがいえる。

①高盛土の沈下対策として着底タイプの杭式改良を行った事例では、杭の頭部をとくに連結していないにもかかわらず、杭と杭間の未処理部との

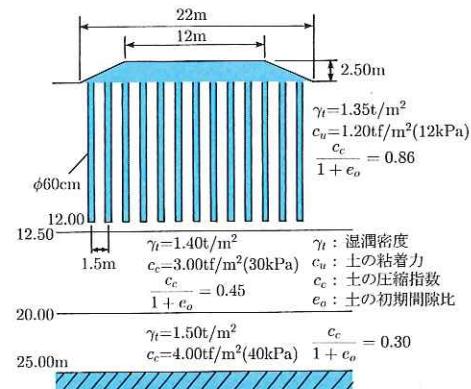


図-10 低改良率セメントコラムの適用例



写真-1 低改良率セメントコラムの施工状況

表-1 日本における低改良率深層混合処理工法の適用例

No.	場所	盛土高さ He(m)	打設間隔 $d \times d$ (m)	改良率 ap(%)	無処理での 沈下量 (推定)(cm)	観測最大 沈下量 (cm)	観測され た不同沈 下量(cm)	実測応力 分担化	備考
①	新潟西バイパス	8.0	2.3×2.3	14.8	270	23.2	0.8	7.3	DJM
②	403号	1.6~2.0	2.3×2.3	14.8	146	11.7	9.3	78	ジオテキスタイル ひずみは0.62%
③	日高自動車道	6.7		35.0 40 50			2.0 0.5 0.7	40 50 40	二軸 CDM

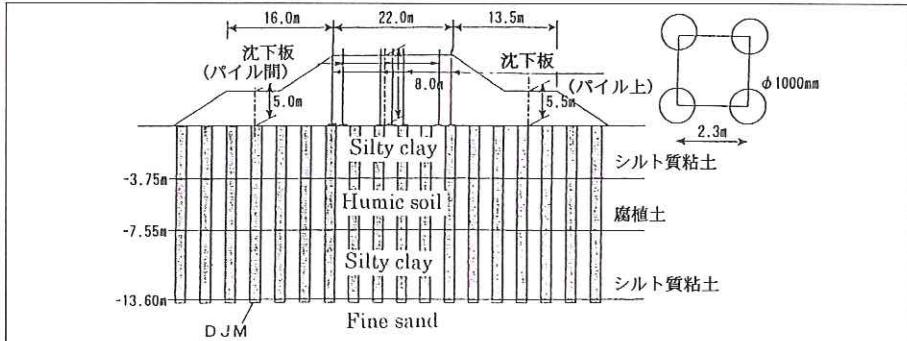


図-11 新潟西バイパスにおける代表断面図

不同沈下がごくわずかに抑えられている。これは、盛土内でのアーチ作用により、杭に応力が集中し、杭間にはごく小さな応力しか働かなかったためと考えられる。

②かなり軟弱な地盤で低盛土の沈下対策として杭式改良を適用した事例では、杭の頭部をジオテキスタイルで補強した効果が認められる。これは、低盛土では交通荷重の影響が大きく、杭間にもある程応力が伝わるため、何らかの表層補強が必要なことを示している。タイでも同様の現場適用と追跡調査を継続しており、日・タイ両国での動態観測結果から良好な検証データが得られたので、新しい考え方に基づく本工法の設計・施工マニュアルをとりまとめ、低コスト地盤改良技術の一つとして提案を行った。もちろんまだまだ技術の改良の余地は多いので、技術開発をさらに進めながら日本での普及も積極的に図っていきたいと考えている。

4.2 施工技術の改良

タイでは、5つの機種の深層混合処理機械が使われていたが、そのなかの一つ(写真-2参照)がとくに印象的であった。

その機種はイタリア製で、図-12に示した施工システムのように、ジェットグラウト方式とミキシングブレードの先に取り付けた反射カップの組み合わせにより、直径60cmのコラムを確実にかつスピーディに構築する。

1mあたりの施工速度は日本の2~3倍、1立米あたりの施工費は、日・タイの物価差を考慮しても1/5以下というのがおよその目安である。

施工速度はコストを大きく左右するので、施工技術の改良も設計法の改良とあわせてローコストテクノロジーの重要な一端を担っている。

このような技術が既に海外で開発

されていることは大きな驚きであったが、その背景の一つとして、直徑が60cmの比較的小口径のコラムを用いていることが有利な状況を生み出しているように思われる。

4.3 小口径コラム

深層混合処理による柱状改良において施工費を低く抑えるポイントは、確実な品質のコラムをいかに速く施工するかということに尽きる。

従来から日本で追求してきたのは、いかに効率よく改良面積をかせぐかという点である。そのため直徑が1mのコラムを2連で打設する方式や、大口径のジェットグラウト方式が開発され、現在の主流となっている。

この根底には、設計の基本的な考え方として、深層混合処理により強固な基礎構造物を



写真-2 ジェットグラウト方式による深層混合処理機械の例

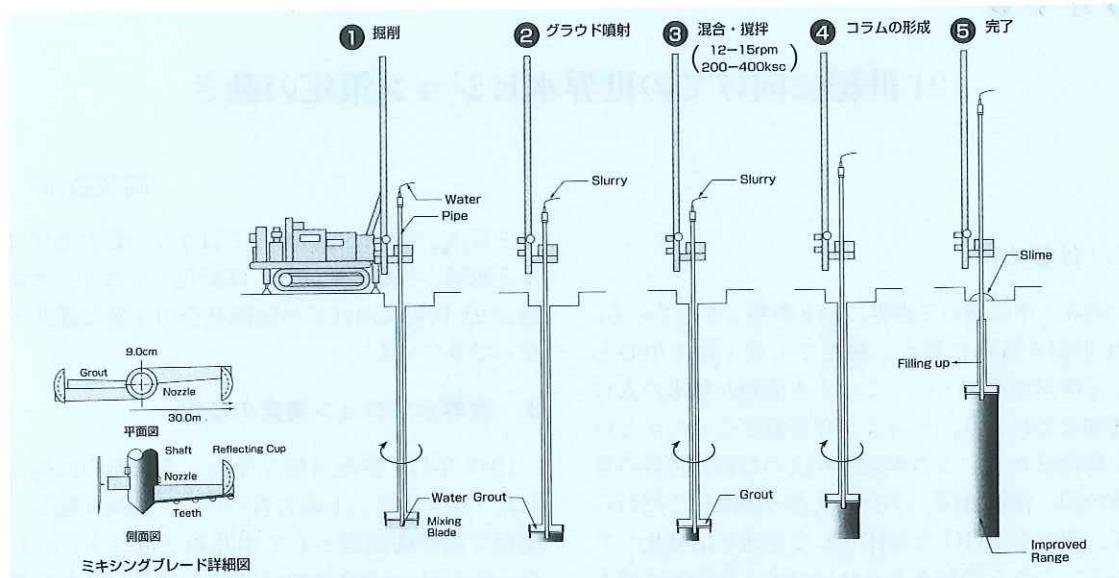


図-12 写真-2 の施工機械によるセメントコラム打設手順

構築するという発想がある。

ところが、新しく提案している低改良率の杭式改良では、構築された複合地盤を構造物としてよりむしろ柔構造の補強土地盤と考える。ここでは、改良面積をかせぐことより、いかに効率よく杭状のコラムを数多く打設するかが求められる。

この点では小口径のコラムのほうが圧倒的に有利である。施工機械もコンパクトですみ、しかも品質管理に大口径では不経済な載荷試験が適用できるというメリットも生まれる。

このような設計、施工、品質管理のすべての面での複合効果により、トータルコストを大幅に縮減できる可能性を小口径コラムによる低改良率の杭式改良方式に期待している。

4.4 今後の展望

上記のような低コスト地盤改良技術は、道路の沈下・安定対策のみならず、河川堤防を横断する樋門・樋管等の付帯施設の基礎への適用や、盛土と構造物との沈下すりつけ対策をはじめ、地震時の液状化対策にも応用が可能である。

従って、道路や河川の分野だけでなく、下水道や住宅関連分野あるいは地盤環境関連分野等でも大きな潜在ニーズがある。

今後は、上記のような工法の発想をさらにふくらませて、小口径コラムの代わりに既製杭を用いたり、杭と表層固化、あるいは杭とジオグリッドの組み合わせによるより一層経済的な地盤改良技術の開

発を国際共同研究のなかで進めていく予定である。

5. おわりに

もともとタイへの技術移転が主目的のプロジェクトから、低成本地盤改良技術という日本にとって有意義な成果を得ることができた。

2章で述べたスタディチームのメンバーと国内支援グループの皆様のご協力に心から感謝いたしますとともに、今回の貴重な機会を与えていただいた国際協力事業団、外務省、建設省の関係者の皆様に衷心から謝辞を申しあげます。

参考文献

- 1) DOH& JICA : Seminar Proceedings of the First Seminar on Ground Improvement in Highways, 1997.8
- 2) DOH& JICA : Seminar Proceedings of the Second Seminar on Ground Improvement in Highways, 1998.11
- 3) DOH& JICA : Manual for Design and Construction of PVD Method, 1999.1
- 4) DOH& JICA : Manual for Design and Construction of Cement Column Method, 1999.1

三木博史*



建設省土木研究所所材施工
部土質研究室長、工博
Dr.Hiroshi MIKI