

シールド発進立坑用地の 省面積化システムに関する 共同研究

1. 研究目的

密集した市街地でのシールド工事において、発進立坑用地の確保が困難になってきており、また確保できたとしても面積が小さかったり、形状が様々であったり従来の標準的な設備配置が困難なケースが増えてきている。本研究ではこういった状況に鑑み、シールド発進立坑用地の必要面積を小さくし（省面積化）、様々な用地形状に対応できるシステムを開発することを目的としている。本システムは、主要な4つの要素技術と多数の関連技術で構成され、現場の状況や目的に応じて、これらの技術を組み合わせ、省面積化を図るシステム技術である。従来の省面積化技術が、ただ単に設備配置を重層化したり、無理に詰めて配置するのに対し、本システムは、安全性、施工性を損なうことなくシールド発進立坑用地の必要面積を縮小し、用地の確保と周辺環境の向上を可能にする画期的技術である。

本研究は、システム技術の開発を進めるとともに、普及のための技術資料の作成を行う。

2. 研究体制と経緯

本研究は、平成5年度より(財)下水道新技術推進機構と戸田建設株式会社との共同研究で開始された。

平成5、6年度は、省面積化の技術的可能性を探る基礎研究を行った。その結果、泥水式シールドでは、リアルタイム切羽安定管理システムを研究提案

し、泥土圧式シールドでは土砂ピットの縮小を検討し、混練り機としてパドルミキサー方式を選定した。両方式共通設備として、セグメントストックシステム、2階建て防音ハウスについて提案した。また、狭隘用地における立坑施工法についても検討している。これらの研究成果としてケーススタディーにおいて、泥水式シールドで従来比1/3、泥土圧式で1/2に発進立坑用地の必要面積を縮小できることを確認した。

平成7、8年度は、実施施工に向けて、「リアルタイム切羽安定管理システム」と「濃縮サイクロン」の要素技術の開発研究を行った。そして、実際の工事現場における施工性を研究するため、神奈川県大磯町汚水幹線の泥水式シールド工事において、前記2つの要素技術を採用し、約50%の省面積化が図られ、実施工での安定した性能を確認した。

3. 研究内容

平成9年度は、要素技術の1つである「濃縮サイクロン」について更に様々な土質に対する性能確認のための要素実験を行った他、スパイラルリフトコンベアの土砂搬送能力の性能確認試験を行った。

また千葉県柏市大堀川右岸第8号雨水幹線の泥水式シールドの現場において「リアルタイム切羽安定管理システム」と「濃縮サイクロン」、そして「スラリー連続改質システム」の3つの要素技術を採用し、実施工における課題と改善策について研究した。

3.1 要素実験

3.1.1 濃縮サイクロン

(1) 濃縮サイクロンの概要

従来のフィルタープレスに替わる二次処理設備で、小型で処理能力が大きく、ほぼ同じ能力 (SS処理量3.8t/h) で比較すると約1/4の設置面積である。処理後の泥水がスラリー状であるためベルトコンベアなどの搬送設備の必要が無く、ストックも自由な位置に配置でき、空きスペースを有効に利用できる。

(2) 実験概要

本要素実験では、施工中のシールド工事現場の余剰泥水槽から採取した、上総層固結シルト、東京層下部粘性土、有楽町層中間粘性土の3種類の泥水で、処理設備の検討の際に物質収支計算の根拠となる濃縮サイクロンの基本性能 (処理量、濃縮泥水量、戻り泥水量及び回収固形物量と粒度構成) を確認し、サイクロン下部のアベックスバルブ (図-1参照) の絞り径と濃縮泥水の性状の関係について実験した。

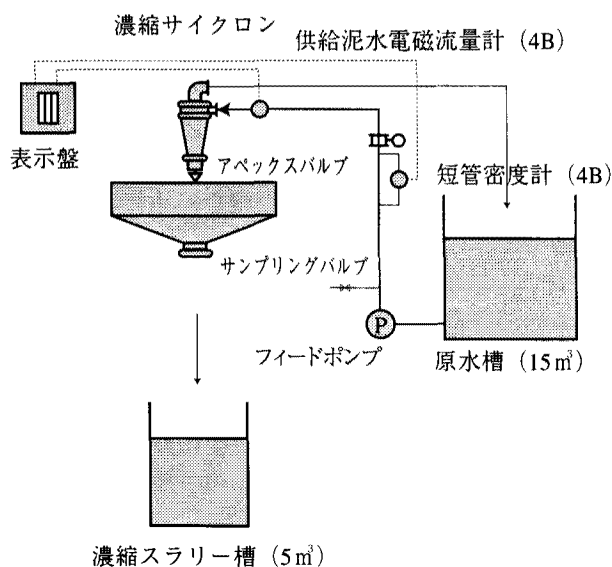


図-1 実験設備概要図

(3) 実験結果

供給泥水の比重と各土質におけるアベックスバルブの絞り径と濃縮泥水比重の実験結果を図-2に示す。

濃縮泥水の比重は供給泥水の比重約1.2に対してほとんどが1.5以上となっており、スラリー連続改質システムに必要な比重1.5がほぼ確保されることが確認された。また、

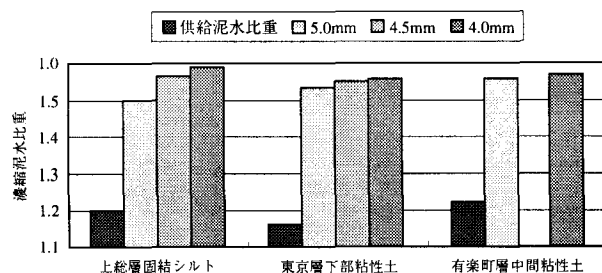


図-2 アベックスバルブ絞り径別濃縮泥水比重測定結果

濃縮度 = 濃縮泥水比重 / 供給泥水比重
と定義すると、濃縮度の範囲は1.2 ~ 1.35となっている。

一方、濃縮泥水の流量は、供給泥水の流量の3 ~ 6%を確保しており、アベックスバルブの絞り径が小さくなるほど濃縮効果が大きくなっている反面、濃縮泥水の流量が小さくなっていることが確認された。

以下に上総層固結シルトの泥水での、濃縮サイクロンによる粒径加積曲線の変化を示す。(図-3)

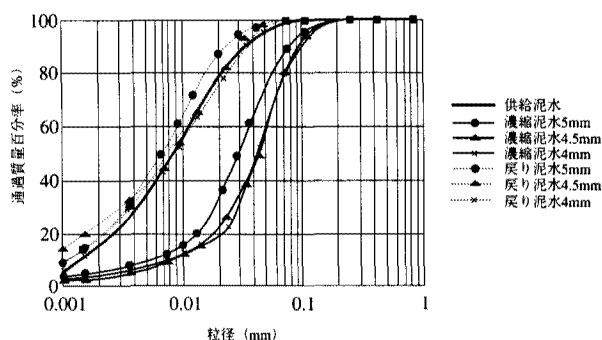


図-3 粒径加積曲線の変化 (上総層固結シルト)

濃縮泥水の粒度分布は、供給泥水の分布と比較して右に移動している。これは濃縮サイクロンによって比較的大きい土粒子が、濃縮側に分級されていることを示し、戻り泥水はその逆を示している。アベックスバルブの絞り径が小さくなると濃縮泥水の粒度分布は、より右側に移動するが、東京層下部粘性土については明確には現れなかった。

3.1.2 スパイラルリフトコンベア

(1) スパイラルリフトコンベアの概要

従来泥水処理設備においては、一次処理設備の振動篩や二次処理設備のフィルタープレスで処理された処理土は、構内輸送にベルトコンベアや垂直コンベア、バケットエレベーターを使用していた。これらは機械構造上の制約から、

- ・大きな設置面積が必要。
- ・配置の自由度が低い。
- ・乗り継ぎの空間スペースが必要である。
- ・保守管理の点検歩廊等が必要。

などの問題から、処理設備の省面積化の障害となっていた。

これに対してスパイラルリフトコンベア（シャフトレス）は、以下のようなメリットがある。

- ・単体ユニットではφ500程度の空間で設置可能。
- ・連結が容易で配置が自由。
- ・重量が軽い。
- ・垂直又は傾斜搬送が可能。
- ・密閉構造での土砂の散乱がない。

日本国内では長尺のスパイラルリフトコンベア（シャフトレス）の製造技術がないため、輸入機械を採用した。本研究では、実験機（φ350mm）の水平型と垂直型を連結し、4種類の土砂（固結シルト、山砂、しゃ断砂、山砂+川砂利）を使用し、搬送性能の確認試験を行った。

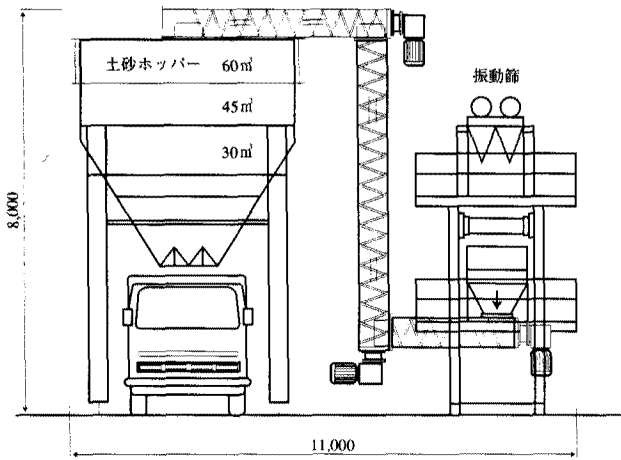


図-4 スパイラルリフトコンベアの概要図

(2) 実験結果

水平スパイラルリフトコンベアの理論上の搬送量 V (m³/h) は、

$$V = 60 \phi \cdot S \cdot N \cdot \pi \cdot D^2 / 4$$

ここで、

- D : ネジ羽根の外径 (=315mm)
- S : ネジのピッチ (=330mm)
- ϕ : 断面効率 (=100% (仮))
- N : ネジ軸の回転数 (21rpm)

として、

$$V = 32.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

カタログ仕様は、 $V = 20 \text{ m}^3/\text{h}$ としているので、断面効率 ϕ は0.62となる。

実際に計測された搬送量は、理論搬送量 $V = 32.4 \text{ m}^3/\text{h}$ に対して、

固結シルト $26.80 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.83)

山砂 $23.57 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.73)

しゃ断砂 $25.97 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.80)

山砂+川砂利 $27.50 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.85)

となっており、設計計画上は実用値として、カタログ仕様の断面効率 $\phi = 0.62$ はほぼ妥当な数値であることが確認できた。

3.2 実証施工の内容と結果

千葉県柏市大堀川右岸第8号雨水幹線工事（8-1工区）の工事概要は以下のとおり、

掘進工法：泥水式ボックスシールド工法

シールド外径：□4520×3920

掘進延長：537.7m

土被り 3.28m～6.78m

掘進部分の土質は、前半がN値13～50の上総層群の砂層、後半はN値1～9のシルト層、直上に既設雨水管があり慎重な施工が要求された。また、立坑用地は都市計画道路上の中央部、周辺は住宅地であることから周辺環境の悪化を極力抑えるために省面積化が必要であった。

3.2.1 リアルタイム切羽安定管理システム

リアルタイム切羽安定管理システムは、切羽の泥水管理を従来の比重を主体とするものから、泥水の粘性を連続粘度計で計測し、高分子系増粘剤、吸水性樹脂目詰剤を添加させることで特に砂層の切羽の安定管理をするシステムである。

本工事は、掘進開始から約320mまで洪積世上総層群の砂層であり、初期泥水中の粘性土分が1次処理機で砂とともに処理され、安定した泥水の比重や粘性を確保するため、作泥槽とCMC溶解槽を設置して作泥し、泥水中の粘土分を補う必要があった。本システムの採用によって地上の泥水処理設備から作泥槽、CMC溶解槽を無くし、本システムの設備はシールド内の後方台車上に設置された。(写真-1) その結果、大幅な省面積化が図れたとともに、砂層における掘進で、切羽の安定に対して本システムの有効性が確認された。

従来現場では、泥水の粘度管理をファンネルビスコメーターでFV値を測定することで管理してきたが、本システムの連続粘性計では、CP値（センチポアズ）で出力されるため、サンプリングで相關関

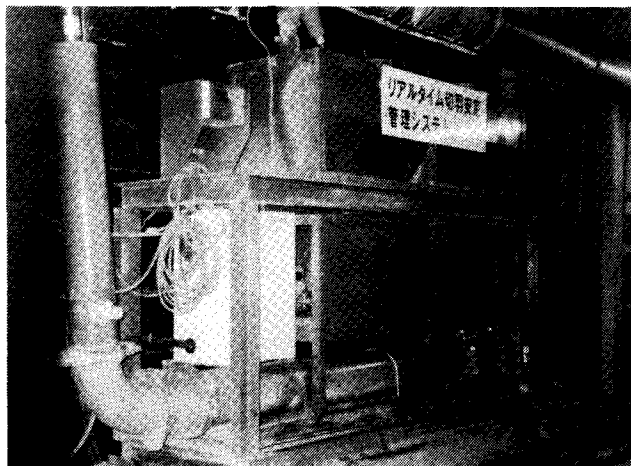


写真-1 リアルタイム切羽安定管理システム後方台車搭載状況

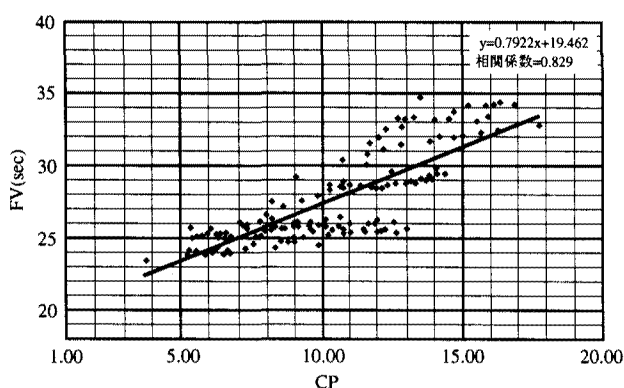


図-5 CPとFVの相関関係

係について調べた結果、回帰式で、 $FV = 0.7922CP + 19.462$ 相関係数0.892という結果になった。(図-5)

本システムでは、中央管理室で粘性の監視を行い、増粘剤注入ポンプをインバーター制御し、薬剤添加量を調節することで、送泥水の粘性を所定の管理基準値に制御可能であることを確認した。No.295リング掘進中に「リアルタイム切羽安定システム」によって増粘剤を添加したときの泥水の粘性の変化を図に示す。(図-6)

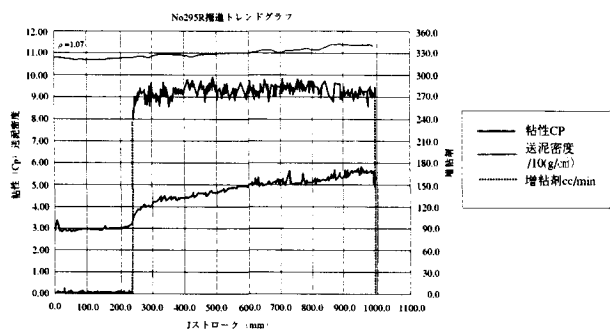


図-6 No.295 増粘剤添加量と泥水の粘性の変化

図-6では、送泥水1 m³に対して増粘剤約100ccを添加し、添加直後に約1 Cp粘性が上昇したことがわかる。(送泥流量2.7 m³/min)

また、ジャッキストローク400mm付近から密度と粘性が徐々に増加しているのは、地山の土粒子が泥水中に溶解込み、流体輸送系を一巡したためである。

3.2.2 濃縮サイクロン

本実証施工の一例では、供給泥水(比重1.24)に対して6%の流量比を確保するため、アベックスバルブの絞り径を6mmに設定し、濃縮サイクロンで処理した結果、濃縮スラリー(比重1.64 含水比約85%)でSS処理量2.96t/hとなっている。

また、掘進中に地盤改良の薬液注入のホモゲルのかげらが泥水中に混入し、濃縮サイクロンのアベックスバルブを閉塞させることがあった。この改善策として小型振動篩を前処理として設置した。

コストダウンとしては、高価なγ線密度計、電磁流量計に代わって、エアークロージングと差圧密度計を用いたスラリー性状測定機を開発し採用した。

なお、この濃縮スラリーは搬出される直前に次に説明するスラリー連続改質システムで改質される。



写真-2 濃縮サイクロン現場設置状況

3.2.3 スラリー連続改質システム

濃縮サイクロンにより処理された濃縮スラリーを普通ダンプトラックで直積み搬出できるように改質するシステムである。ポンプにより圧送された濃縮スラリーはスタティックミキサー(6エレメント)に送られ、直前に添加された高分子系改質剤(アニ

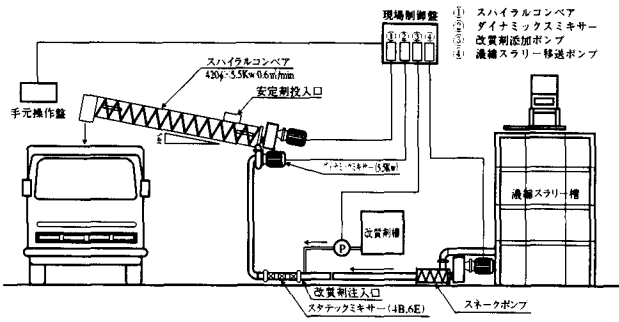


図-7 スラリー連続改質システム概要図

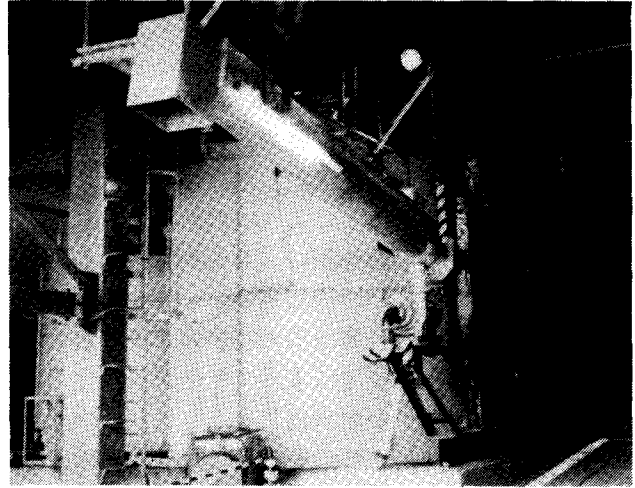


写真-3 スラリー連続改質システム現場設置状況

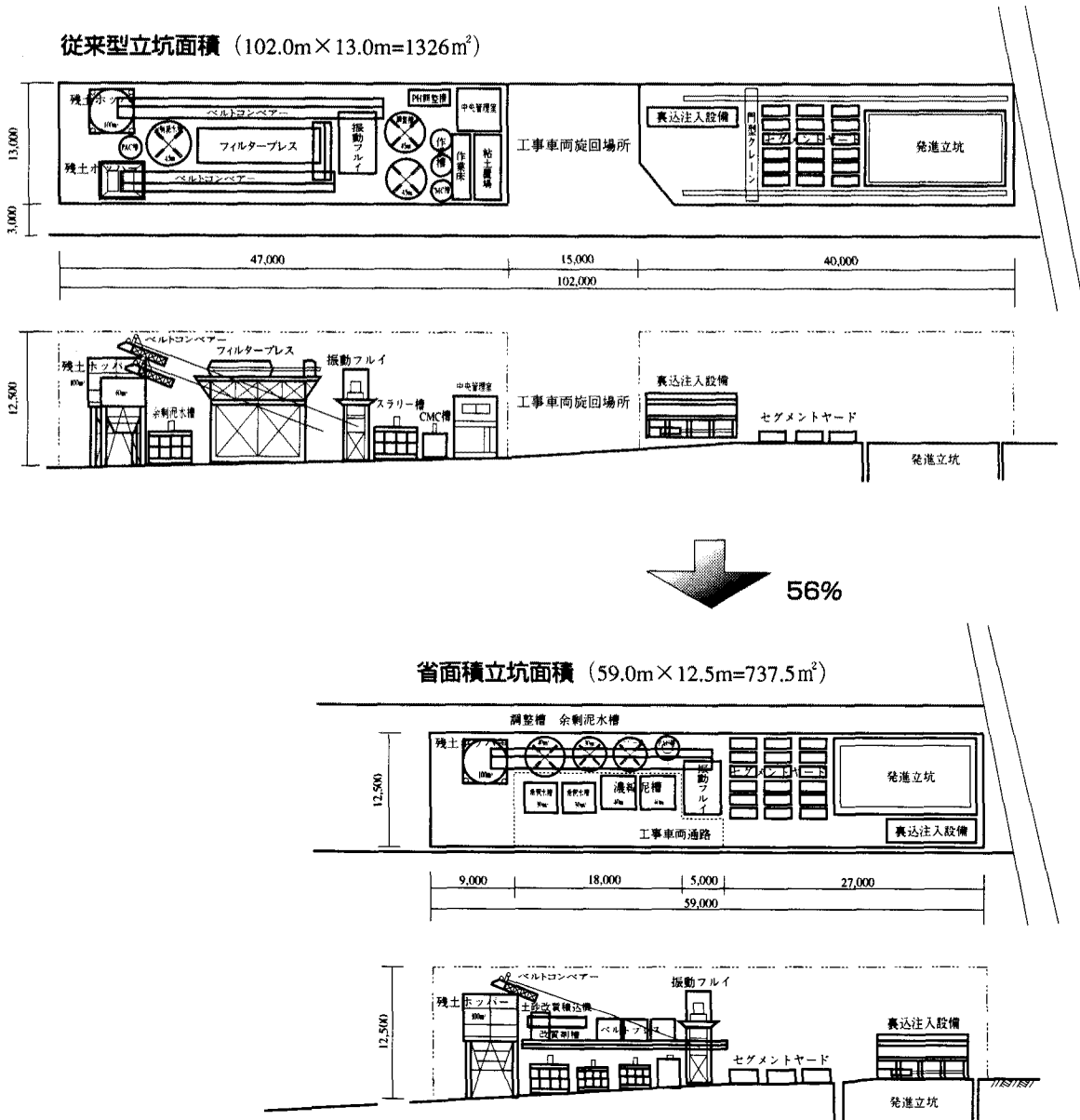


図-8 従来型と省面積型の発進立坑用地の面積比較

オン系)が、スラリー中に均等に分散される。スラリーは物質粘度が大きいため、分散はスタティックミキサーの攪拌作用の内の分割、反転作用によるものである。スラリー中に改質剤が分散された後、ダイナミックミキサー(伏流型渦巻きポンプ)によりせん断力を付加することにより改質が促進される。

ここで改質とは凝結作用によりスラリー中の微細粒子(シルト、粘度)の表面電位が中和され粒子同士が結合し易くなり、高分子の官能基による水素結合等による架橋吸着作用によって粒子が粗大化されることを言う。粒子が粗大化するとスラリー中の自由水の大部分が補足され、その結果土砂は流動性を失い、団粒状態となり、見かけ上の含水比が低下したようになる。

改質された処理土は、スパイラルリフトコンベアで更に改質養生を受けながら搬送され、普通ダンプトラックに直接積み込まれる。全ての工程はオンライン上で行われるため、設備の設置面積は極めて小さい。改質剤の添加量は最終安定強度を地山程度を目標とし、濃縮スラリーの比重1.5~1.6に対して2~3 kg/m³である。

しかし、この改質土も法律上は産業廃棄物であるため、地山の土をできるだけ多く一次処理で残土として回収して二次処理土を減らすことや、改質土の有効利用が環境保全や搬出・処理コスト縮減の観点からも必要になる。これらの課題を解決する新しい関連技術については現在研究開発中である。

3.2.4 発進立坑用地の省面積化

以上の要素技術を使用することで、発進立坑用地の面積は、当初計画の1326m²から737.5m²と約56%の省面積化が図られ、近隣生活道路の幅員を確保するなど周辺環境の悪化は極力抑えられた。(図-8)

4. 今後の予定

現在さらに「セグメントストックシステム」や他の関連技術についても開発中であり、さらに多くの土質に対する現場での施工性、安全性を確認し、データを蓄積するべく実証施工を行っている。これらの結果を踏まえて、平成12年を目途に技術マニュアル(設計・積算)を作成する予定である。

●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	前田 正博
研究第二部主任研究員	佐伯 守久
研究第二部研究員	森岡 真一
研究第二部研究員	小林 卓矢