

情報化施工による長距離推進工法

システムの概要と施工事例

倉知洋行¹・佐藤文雄¹・四本純一²・川合孝³

¹正会員 DK I システム研究会（〒160-0023 東京都新宿区西新宿六丁目16-6 大日本土木(株)内）

²DK I システム研究会（〒160-0023 東京都渋谷区渋谷三丁目29-20 (株)協和エクシオ内）

³DK I システム研究会（〒160-0023 東京都渋谷区恵比寿南二丁目12-1 (株)協和エクシオ内）

長距離曲線推進工法は推進抵抗が高くなるため、元押設備の増大や曲線部での局所的な応力集中への対策が必要である。しかし従来の推力検知方法は元押推力のみを対象とするものであり、推進管の管列方向の推力の状況や摩擦応力が增大している危険箇所を把握できない。そこで周辺摩擦力の低減を図り、低推力による長距離推進を可能とするDK I システムを開発した。

今回神奈川県藤沢市の雨水貯留管築造工事（φ3,000、延長783mで同口径では日本最大延長）でDK I システムを採用した。本工事は礫混じり砂層で比較的摩擦抵抗が上昇する土質ではあったが、システムの有効な活用により結果的に計画推力に比べて約2分の1の推力で到達することができた。

キーワード：推進工法, 推力低減工法, 情報化施工, センサ, 滑材注入

1. はじめに

推進工事はここ十年で推進距離や曲線への適応が飛躍的に改善され、シールド工法に匹敵する管路築造が可能となり、安価な施工ができるようになってきている。また長距離化・曲線化により、推進施工のための立坑数の低減、交通規制による渋滞の解消、工期の短縮によるコストの縮減が可能となった。しかし長距離曲線推進工法は推進抵抗が高くなるため、元押設備の増大や曲線部での局所的な応力集中への対策が必要である。従来では推進管の管列方向の推力の状況や摩擦応力が增大している危険箇所を把握できない。この摩擦応力の増大箇所をオペレータの経験や勘によって推測したり、過剰な注入を行って

いるのが現状である。

DK I システムは、推力の伝達状況に着目し推進管外周面の摩擦力の状況を把握することにより、推進管の動向や推進管断面内の応力分布状況を的確に把握するものである。また地山変化に即応した適切な滑材注入により滑材能力が最大限に発揮される。

本稿はDK I システムの概要と工事適用事例について報告するものである。

2. システムの特長

図-1 にシステム概念図を示す。DK I とは以下の頭文字を称したものである。

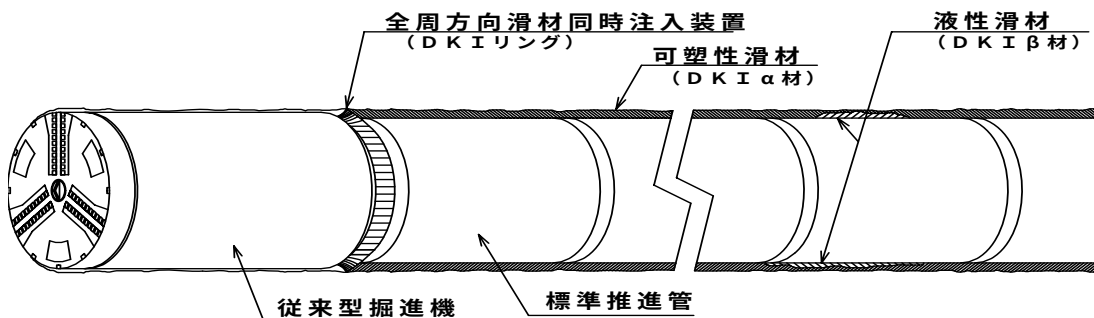


図-1 システム概念図

Direction maintained over very long distances
 : 超長距離推進
 Keeps jacking force low during bore progression
 : 低推力維持
 Information transferred through sensors
 : 情報化施工

(1)コスト削減

システムは特殊な掘進機や推進管を必要としないため、従来型の掘進機と推進管によって超長距離推進を可能とする。長距離化による立坑数の低減、推進施工能率の向上により工期が短縮できる。

(2)超長距離推進

システムによって摩擦抵抗力の低減と低推力の維持管理を行うことで、超長距離推進を可能とする。

(3)品質、環境

各種情報を集中管理することによって地表面への影響を防止することができ、品質・環境への対応を配慮している。

(4)適用範囲

DK Iシステムは、泥水式・土圧式推進工法の従来型推進工法にシステムを追加することで長距離推進を可能とする。

①適用掘進方法

泥水式推進工法・土圧式推進工法

②適用口径（呼び径）

φ800mm～φ3000mm（中大口径）

③適用土質

在来型掘進機を使用することができ、掘進機の性能に合わせた広範囲の土質が施工可能（一般的な例）

泥水式：軟弱土、滞水砂層、砂礫層、玉石層

土圧式：軟弱粘性、砂層、砂礫層、玉石層

④適用推進管

独自の特殊な推進管を必要とせず一般的な推進管を使用

⑤立坑形状

従来通りの寸法で施工可能

⑥曲線施工

曲線施工能力は掘進機の曲線施工能力と同様となる。DK Iシステムを付加することで掘進機の曲線能力は低下することはない。

3. システムの構成

DK Iシステムは滑材注入システムと推力検知システムで構成されている。

(1)滑材注入システム

掘進機の後部に設置したDK IリングからDK I α材を推進速度に合わせて推進管の外周に定量管理・圧力管理で自動注入を行う。その後、DK I α材が劣化、保水性の損失に伴いDK I β材を注入するものである（図-2 参照）。

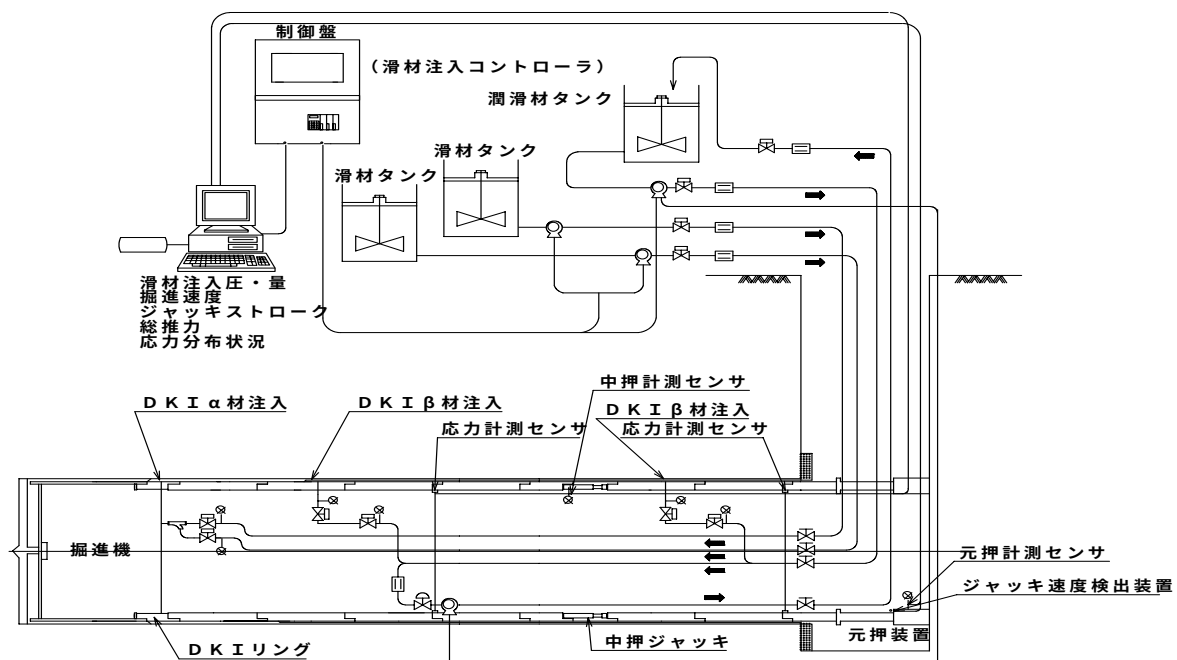


図-2 滑材注入システム概要図

a)DKIリング

長距離推進における推力低減には、滑材の特徴を十分に生かせるロスが少ない注入方法が要求される。滑材注入システムには、推進管外周部へのDKI α 材を均等に注入することができるDKIリングを組合わせて使用する。図-3にDKIリング詳細図を示す。DKIリングは掘進機と先頭推進管の間に配置する。

以下にDKIリングの特徴を示す。

- ①全周方向同時注入可能であり、注入位置が限定されない。

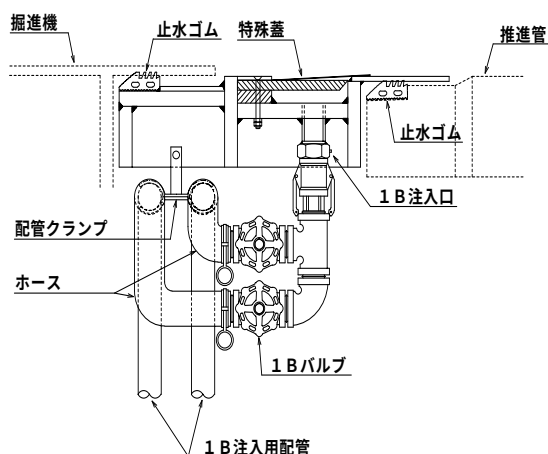


図-3 DKIリング詳細図

- ②特殊蓋により滑材の分散注入及び切羽側への流出防止、た土砂の目詰まり防止が可能である。
- ③DKIリングは推進管と同様な継手構造を保持することから、推進管同様容易に設置することができる。また掘進機後部に配置することから到達立坑にて掘進機の回収と同様、容易に撤去が可能である。
- ④注入口から注入された滑材はDKIリングの外周に形成されている溝に充填され、その後注入圧力により特殊蓋が開きDKI α 材が推進管の外周に均等に注入される。

b)DKI α 材

DKI α 材は二液タイプの可塑性滑材であり、30秒～60秒でゲルさせるため、地山への散逸が防止でき、地下水の希釈に強い滑材となっている。また推進管の外周に注入することで地山の緩みをおさえ、周囲摩擦抵抗増大を防止する。

c)DKI β 材

DKI β 材は、一液タイプの液性潤滑材で推力計測センサにより特定された周辺摩擦力が増大した範囲に補足注入を行う。

(2)推力検知システム

図-4にシステム概要図を示す。推進管の継手部に推力を検知する応力計測センサを設置し、これを管路縦断方向に一定の間隔で設置する。他に元押推進力を計測する元押計測センサを、中押設備を設置

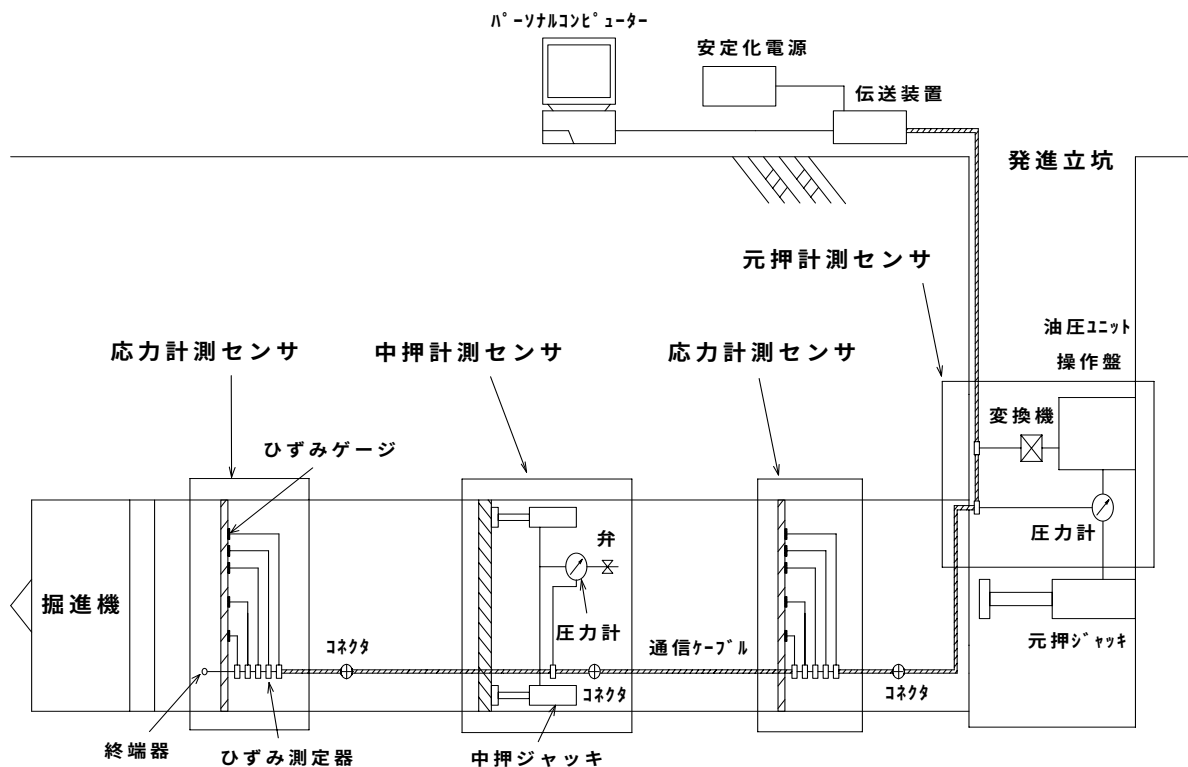


図-4 推力検知システム概要図

した場合には中押計測センサを使用する。推進中に各センサからの計測値を基に推力を算定し、常時これらの情報をパソコンで集約することによって各センサ間での周面摩擦抵抗力の増大範囲を特定することができる。

a) 圧力計測センサ

圧力計測センサは元押ジャッキと、中押工法を併用する場合に限り中押ジャッキに設置する。圧力計測センサは、中押ジャッキの油圧回路に油封入用の弁との油圧を計測する圧力計を設けたものである。中押管布設時に中押ジャッキを若干伸長した状態で設置し、封入用の弁を閉じた状態での封入回路内の圧力を計測することで作用推力を算出する。

b) 応力計測センサ

応力計測センサは、板状の計測体を応力緩衝材で挟み込んだ3層構造体を推進管の継手部に設置するものである。計測層材には複数のひずみゲージを配置し、そのひずみゲージ測定値より応力、さらに作用推力を算出する。

c) センサの設置間隔

圧力検知センサ及び応力計測センサの設置間隔は、土質、作用推力、路線形状等を考慮して設置する。特に応力計測センサの計測点（断面方向のひずみゲージ設置位置）については、曲線半径もしくは管継ぎ手部の目開き状況を把握することが重要である。

d) 滑材注入システムとの連繫

各計測センサを5箇所設置した場合、図-5に示す推力管理図が得られる。計測5の推力値が推力管理値より高く、計測1～4は管理値より下回っていることが分かる。この場合計測4から計測5付近でDKⅠα材の劣化による周面摩擦抵抗力が増大しているものと特定できる。よって計測4から計測5の区間にDKⅠβ材を補足注入することで周面摩擦力の低下を図り、管理値以下に維持し低推力での推進を実現することができる。

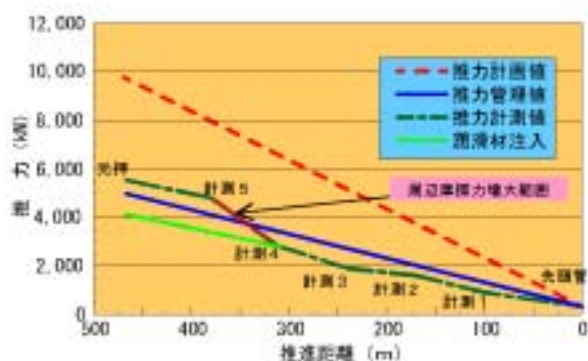


図-5 距離減衰図

4. DKIシステムの適用事例

(1) 工事概要

本工事は合流式下水道の諸問題の解決を図るため「雨水時越流水対策」及び「浸水対策」を目的とする「合流式下水道改善計画」に基づき、浄化センターの放流水質の改善と辻堂南部地区の浸水対策を図るため、貯留量5,300m³の雨水貯留管を整備するものである（図-6 参照）。

発注者：藤沢市役所

工事件名：国補第4工区辻堂南部貯留管(合流式改善)築造工事

施工場所：藤沢市辻堂西海岸二丁目及び辻堂六丁目地内

推進期間：平成15年 3月～平成15年 8月

推進方式：泥水式推進工法

呼び径：φ3000mm

推進距離：L=783.17m

土質：礫混じり砂層

土被り：7.2m～7.8m

地下水位：GL-6.0m

路線形状：曲線半径1000m一箇所



図-6 計画図

(2) 施工状況

写真1～4に施工写真を示す。

- ① 礫混じり砂層でバインド分を含まない崩壊性の強い地山だった
- ② 土被り 2D程度と浅く、一部埋設管の関係で埋め戻し部があり、泥水の散逸が予測された
- ③ 推進施工最大口径であり、かつ日本最大延長の施工であった
- ④ 推力伝達状況を把握することで滑材注入を掘進状況に併せて管理することができた



写真-1 防音ハウス



写真-2 DK I リング



写真-3 応力センサ



写真-4 管内状況

⑤地山の砂質が均一でないため、泥水管理と滑材の注入管理を重要視し低推力で無事に到達

(3)システム適用効果

図-7 に当工事の設計推力図、図-8 に路線形状及び計測断面設置位置図を示す。従来工法では中押工法が3段必要であるのに対し、DKIシステムでは中押工法なしで約40,000 kNで施工できる。実際の施工では安全性を考慮して中押管2段（中押センサ2箇所）、応力センサ4箇所を設置し、計6箇所と元押ジャッキの推力を把握して施工を行った。

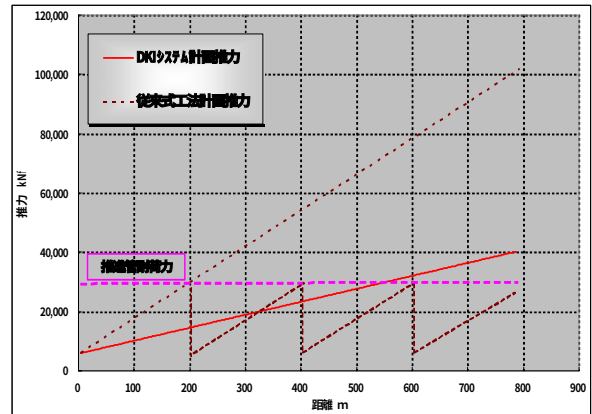


図-7 設計推力図

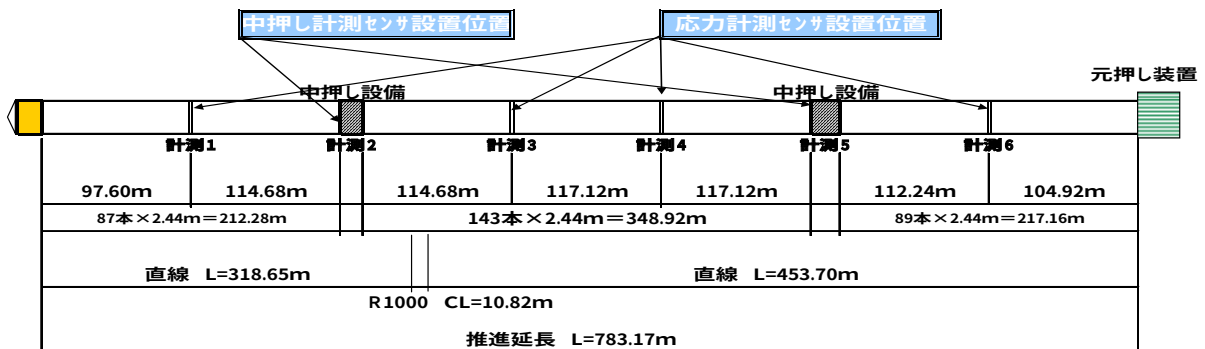


図-8 路線形状及び計測断面設置位置

図-9 に示す応力計測センサは、路線形状がほぼ直線路線であることを考慮して、計測点12点を均等に設置した。図-10 に元押推力及び計測断面の推力推移図、図-11 にNo269とNo280推進時の推力減衰図を示す。図よりNo269推進時では計測1 から計測2 の区間に高い摩擦抵抗力が作用していることが把握できた。そこでこの区間にDK I β材を注入したと

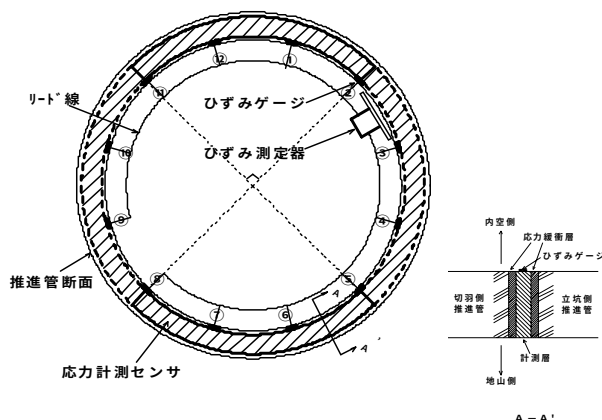


図-9 応力計測センサ

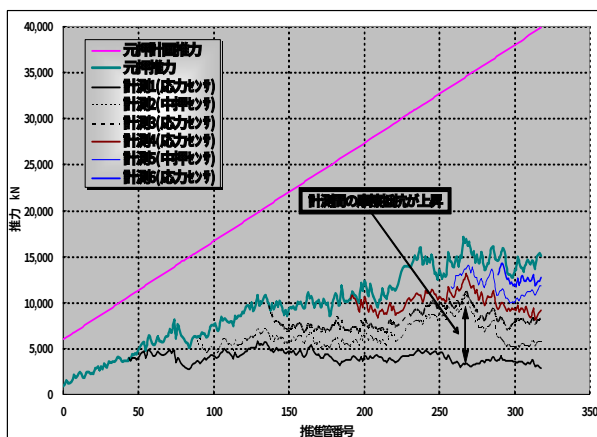


図-10 計測断面推力推移図

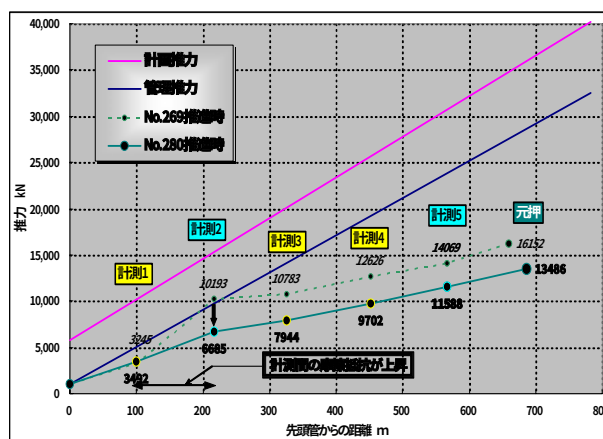


図-11 推力減衰図

ころNo280の時点、計測1 ～計測2 の区間の摩擦抵抗力が下がり、全体的に元押推力が16,152 k Nから13,486 k Nまで下げることができた。以上のようにDK I システムの併用により元押推力が計画に比べてほぼ2分の1で施工が完了した。

5. おわりに

DK I システムではこれまで推進施工の実績を重ねてきた。今までの経験と勘に頼った推進施工ではなく、推力伝達状況を把握し情報化施工を可能としたことで推進工事の可能性を大きく前進させたシステムと考えている。

今後も施工実績からのフィードバックを図りシステムの充実・改良を重ねより良いシステムになるよう努めてきたいと考えている。また適用分野の拡大、コストの削減を図り長距離推進の標準装備となりえるように努力していく所存である。