

PCセグメントの施工報告

CONSTRUCTION REPORT ON PRESTRESSED PRECAST CONCRETE SEGMENTAL LINING METHOD

齊藤進¹⁾・金子正士²⁾・相良拓³⁾・杉本雅人⁴⁾・近藤二郎⁵⁾

SusumuSAITOU,MasashiKANEKO,TakuSAGARA,MsatoSUGIMOTO,JirouKONDOU

In recent years, new concepts of tunnel lining methods are suggested by the domestic contractors and the manufacturers in order to reduce the construction cost by simplifying the lining joints, the secondary lining omission e.g.. The authors have developed the Prestressed Precast Concrete Segmental Lining for shield tunnels featured by the prestress introduction to the radial and circumferential lining direction. This paper reports the summary, the technical feature, the construction procedure, and the site monitoring results to develop the feasibility of PPCSL application to the construction market.

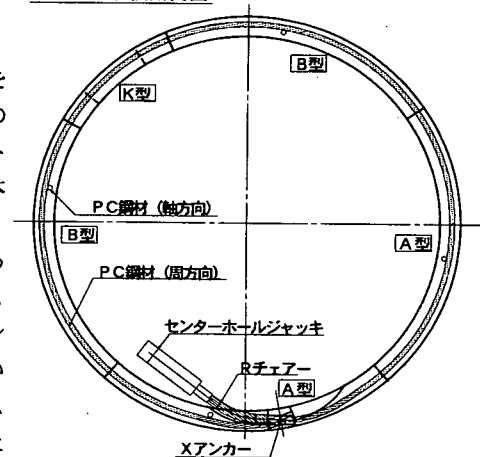
Key Words: shield-lining, concrete segmental lining, prestress

1. まえがき

シールドトンネル用のコンクリートセグメントは、トンネル坑内を運搬し、内側から組み立てるため、細かく分割する必要がある。このため、セグメント同士を結合するための継手金物およびボルトナットのコストは、材料費の5割以上を占めることもある。また、継手は、本体部に比べて、剛性、強度とも低く、構造上の弱点になる。

PC構造のセグメントは、プレストレスによりリングを一体化するため、継手金物を省略できるうえ、真円性、止水性、耐力に優れる他、内圧トンネルに対応できるなどの優れた特性がある。一方、近年のシールド工事においては、長距離化とともに、急速施工が求められている。PPCセグメントは、アンボンドPC鋼より線を用いた緊張システムを用いることにより、経済性、品質だけでなく、施工性に優れたシールドトンネル用セグメントを目指したものである。

セグメント横断面図



定着部A型セグメント平面図

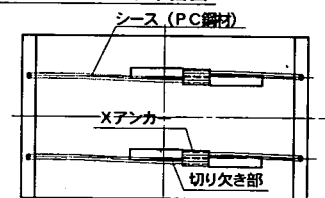


図-1 PPCセグメント概要図

2. PPCセグメントの概要

(1) 工法の概要

PPCセグメントは、コンクリート製のセグメントを1リング組み立てた後、セグメントにあらかじめ埋め込まれたシースの中にPC鋼より線挿入して緊張・定着することによってポストテンションPC構造の覆工リングを形成する。PC鋼より線には、摩擦ロスの少ないアンボンドPC鋼より線を使用するため、1周あたり1カ所の緊張でも十分なプレストレスが導入できる。また、定着体として、緊張側と定着側が一体となった铸铁製一体型定着体(Xアンカー)を、セグメントに埋め込んで

- 1) 大阪府 東部流域下水道事務所
- 2) 正会員 住友建設(株) 土木本部 技術部
- 3) 東亜建設工業(株) 土木本部 技術開発部
- 4) 正会員 日本国土開発(株) 施工本部 土木部
- 5) 正会員 住建コンクリート工業(株) 技術部

使用することにより、セグメントの配筋が簡素化できるうえ、緊張作業性が向上する。セグメントの組立は、シールドジャッキにより既設セグメントに押しつけて固定する方式とし、リング間、セグメント間ともボルト継手などは用いない。図-1にPPCセグメントの概要図を、写真-1にXアンカーを、写真-2に定着部セグメントをそれぞれ示す。

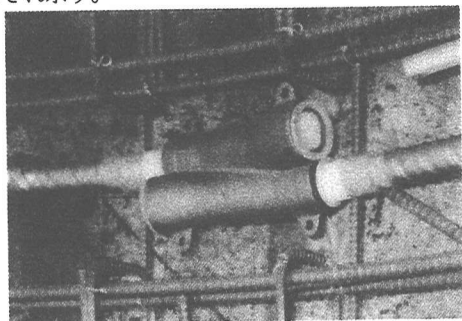


写真-1 Xアンカー

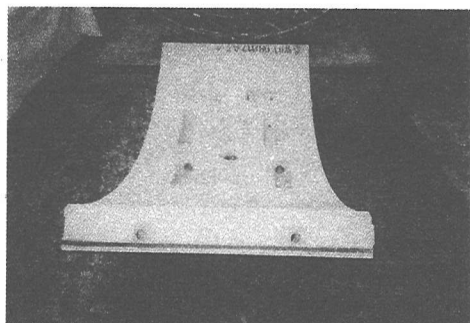


写真-2 定着部セグメント

(2) PPCセグメントの特長

以下に、PPCセグメントの特長を挙げる。

a) 経済性

セグメントは、プレストレスを導入することにより一体化されるため、継手金物類を省略できる。また、RC構造と比べて、同じ曲げ性能を得るための鉄筋量は、大幅に低減できる。さらに、中～大口径セグメントの場合、セグメント桁高の縮小も可能となる。以上により、セグメントの製作コストを低減できる。また、後述するように、二次覆工の省略に適しているため、トンネル外径の縮小による、全体的なコストダウンが可能となる。

b) 品質

プレストレスを導入することにより、コンクリートのひび割れを制御できる。また、セグメント間の目開きは極めて小さくなるため、組立時のリング変形が少なく、真円性、止水性に優れたセグメントとなる。また、アンボンド構造の特徴として、大きな荷重が作用しても、継手は破壊しにくく、粘り強く復元性の高い挙動を示す。特に縦断方向については、このようなフレキシビリティの確保は耐震性の向上に寄与すると考えられる。

c) 施工性

セグメントの組立は、完全なボルトレスとなり、シールドジャッキで固定するだけで済むため、施工性のよいものとなる。また、自動組立にも対応しやすい。周方向の緊張作業は、1周あたり1ヶ所で緊張するため、施工性がよく、施工サイクルへの影響は少ない。

d) 内面平滑型セグメント

セグメント内面の凹凸が少なく、金物類が表面に出ないうえ、止水性が高く、プレストレスによりひび割れを抑えられるため、二次覆工を省略する場合に適している。

e) 内水圧対抗型セグメント

高い内水圧が作用するトンネルの場合には、プレストレスを導入することによって、コンクリートを全圧縮に保てるため、安定性と止水性が保たれる。

3. 実施工結果

(1) 工事概要

PPCセグメントは、各種性能確認試験や施工性確認試験を実施した後、大阪府発注の下水道工事のL=50m区間に初めて採用された。表-1に工事概要をまとめる。

(2) 土質概要

シールドの土かぶり厚は11～12mで、シールド掘削位置の土質は全面洪積層となるが、上半部にDs層Dc層が複雑な互層をなし、下半部は、Dg層となる。Ds層は、N値6～8と緩く、バインダ分14%、均等係数は10以上で、粒

度分布は良好と言える。Dc層は、N値5～10、 $q_u=2\text{kgf/cm}^2$ 、単位重量 $1.6\sim 2.1\text{kgf/cm}^3$ 、Dg層は、N値40～60、最大れき径50mm程度、バインダ分10%程度である。P P Cセグメント区間の土質縦断面を図-2に示す。

(3)線形

P P Cセグメント区間の内、前半25mは直線部、後半25mはR=200mの曲線区間となっている。曲線区間では、テーパ量30mmの両テーパの異形セグメントと標準セグメントを1:1で組み立てた。縦断勾配は0.8%で、上り方向への掘進となった。P P Cセグメント区間の平面図を図-3に示す。

表-1 工事概要

・ 工事名称	： 寝屋川流域下水道恩智川東幹線（第4工区） 下水管渠築造工事
・ 発注者	： 大阪府 東部流域下水道事務所
・ 施工場所	： 大阪府八尾市郡川一丁目～垣内一丁目
・ 工期	： 平成9年12月18日～平成12年3月15日
・ 工事内容	： 仕上内径φ2,200mm、掘削外径φ3,080mm 土圧式シールド、管渠延長L=1,012.8m（初期掘進区間L=50mにP P Cセグメントを採用）

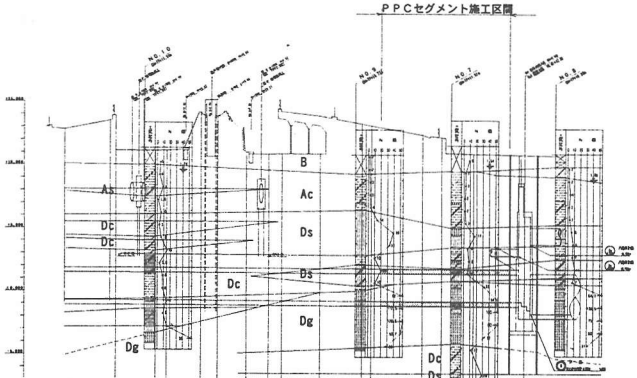


図-2 土質縦断面図

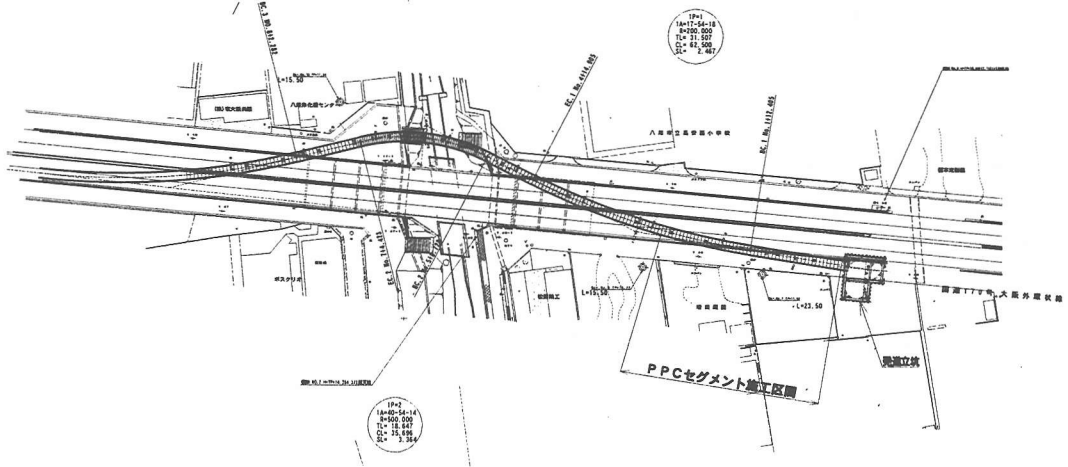


図-3 発進部平面図

(4) P P Cセグメント

今回施工したP P Cセグメントの主な仕様を表-2に示す。また、写真-3に仮置状況を示す。

表-2 P P Cセグメントの主な仕様

形 状	外径：2,950mm、桁高150mm、幅1.0m
分 割	5分割
緊張材	アンボンドP C鋼より線（1T12.7mm） 周方向2本／リング、軸方向4本
コンクリート	F'ck=50N/mm ²
セグメント継手	フラット面の突き合わせ
リング継手	継手中央にぼぞ（凹凸）をつけた

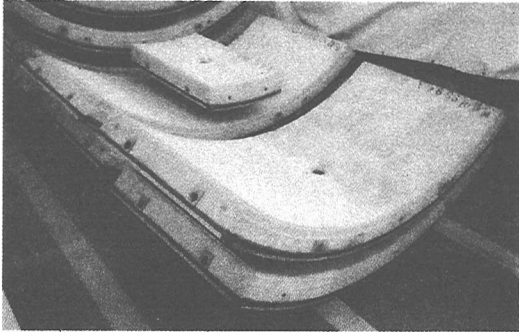


写真-3 P P Cセグメント仮置

(5) シールド機

表-3 に今回使用したシールド機の仕様をまとめる。また、写真-4 にシールド機全景を、写真-5 にセグメント仮保持機構を示す。P P Cセグメントを使用する場合、ボルトレスでの組立となるため、シールドテール部の上部にセグメント仮保持機構（押し上げジャッキ）を2ヶ所装備している。その他の機構は、従来のR Cセグメント用のシールド機と同様となる。

表-3 シールド機の主な仕様

シールド方式	土圧式
外径、機長	φ3,080mm、L5,000mm
総推進力	800tf
カッタ支持	センターシャフト式
スクリーコンベア	軸付き（φ470mm）

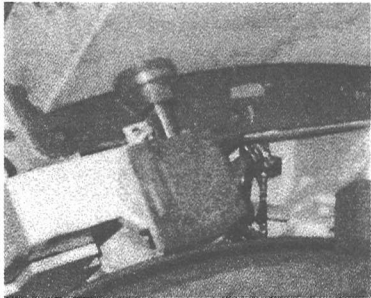


写真-5 セグメント仮保持機構

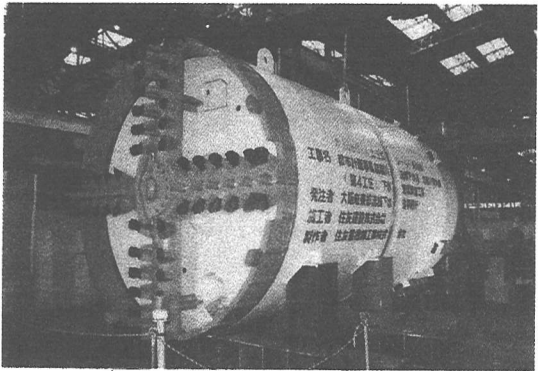


写真-4 土圧式シールド機全景

(6) 施工結果

a) P P Cセグメント組立施工性

P P Cセグメントの組立は、シールドジャッキにより、順次既設セグメントに押しつけながら組み上げるため、押しつけ時点の精度確保が重要となる。当初、Aセグメントが傾いて固定され、以後のセグメントが組づらい傾向があったが、シールドジャッキの載荷位置をゴムパッキンで調整することにより改善され、以後は順調に組み立てられた。既設セグメントとの位置合わせは、軸方向シース位置に設けたマークを合わせることで容易にセットできた。Bセグメントの組立は、エレクタで旋回後、リング間の段差を微調整して、シールドジャッキにより固定した。セグメント仮保持ジャッキは、シールドジャッキで固定後に、十分な安全性を確保するため、補助的に使用した。Kセグメントの挿入は、当初、Bセグメントとの余裕が不足し、挿入しづらい傾向があったが、Bセグメントをセットする際に、リング間ほどの余裕分（4mm）外側にセットすることにより、挿入施工性は改善された。写真-6 にBセグメント組立状況を、写真-7 にKセグメントの組立状況をそれぞれ示す。

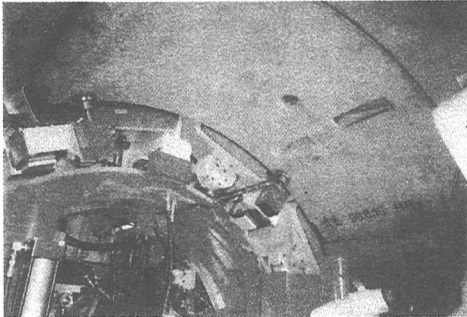


写真-6 Bセグメント組立

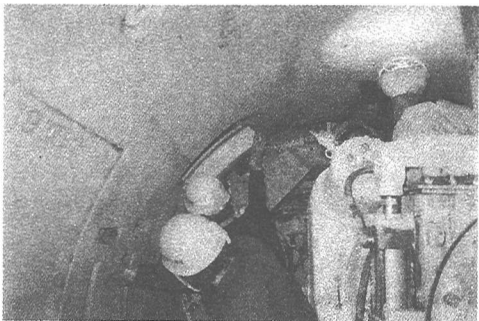


写真-7 Kセグメント組立

b) アンボンドP C鋼より線の挿入、緊張、定着作業

アンボンドP C鋼より線の挿入作業は、作業員1～2名で人力により押し込んだ。挿入抵抗の低減には、先端キャップの改良（寸法の縮小と形状の鋭角化）が最も有効で、改善後は、作業員1名で1本あたり30秒程度で容易に

行えた。アンボンドP C鋼より線の緊張定着作業は、まったくトラブルがなく、作業員2名で効率よく行えた。当初、緊張位置が真下の場合、残土や水の影響が懸念されたが、バキューム設備が常時使用可能なため、緊張箇所は、良好な状態を保てた。また、軸方向天端位置の緊張作業は、油圧ポンプのセットや、P C鋼材の切断作業が多少苦渋作業となった。今後、中～大口径の場合、緊張機器の軽量化と足場の確保が重要となる。写真-8にアンボンドP C鋼より線の挿入状況を、写真-9に周方向緊張状況を、写真-10に緊張、定着完了状況をそれぞれ示す。

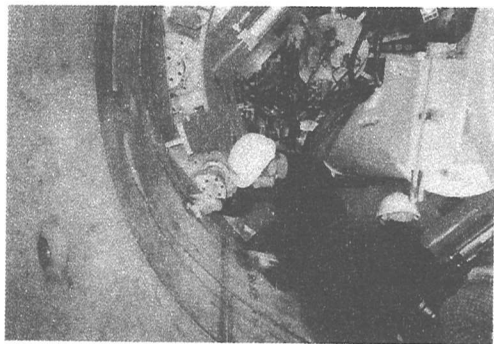


写真-8 アンボンドP C鋼より線の挿入状況

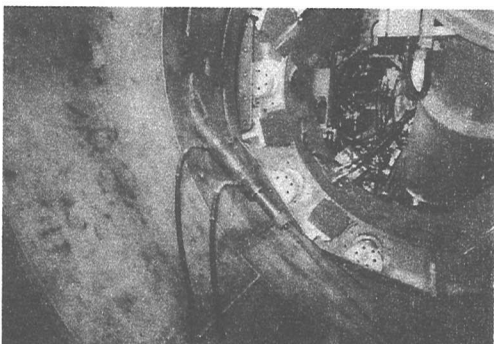


写真-9 周方向緊張状況

表-4 P P Cセグメント組立サイクルタイム

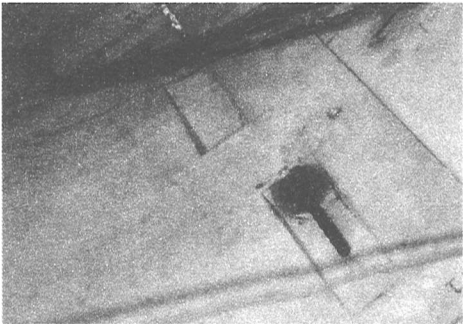


写真-10 定着完了状況

①セグメント組立：	
・ A、Bセグメント	4分×4ピース＝16分
・ シールドジャッキ盛り替え	3分×1回 ＝ 3分
・ K型セグメント挿入	6分×1ピース＝ 6分 （計25分）
②P C鋼より線挿入：	
・ 挿入準備	1分
・ 円周方向	1分×2本 ＝ 2分
・ 軸方向	0.5分×2本 ＝ 1分 （計 4分）
③緊張、定着作業：	
・ 円周方向	2.5分×2ヶ所＝ 5分
・ 軸方向	2分×2ヶ所 ＝ 4分 （計 9分）
	計 38分

c) P P Cセグメント組立サイクル時間

平均的なセグメント組立サイクル時間を、表-4に示す。今回は初期掘進部で採用したため、セグメント搬入、残土搬出方法が本掘進とは異なっており、今後まだ向上が予想される。

d) 現場計測結果

①計測概要

周方向ならびに軸方向のプレストレスを、コンクリートひずみゲージとロードセルにより計測した。計測は全 50 リングのうち、No25-27 および No44-46 のリングに対して、摩擦、セットロス（くさび定着に伴う緊張力の微小な減少量）、シールドジャッキおよび既設セグメントの拘束等の影響を確認するための、緊張作業中ならびに直後の計測、さらに外力の作用、P C鋼材のリラクセーション、コンクリートのクリープおよび収縮等の影響を確認するための、経時的な計測を行った。また、完成時の内空寸法を測定した。

②計測結果

・円周方向プレストレス

プレストレス導入時のコンクリート表面ひずみ分布を、図-4 に示す。プレストレス導入時の表面ひずみはバラツキがあるものの、プレストレス導入に伴う圧縮ひずみの増加（計算値：約 23μ）傾向が認められた。

次に、図-5 にリング No44 におけるP C鋼材の緊張力の経時変化、ならびにセットロスの発生量を示す。定着時のセットロスの発生量は、計算値（固定端=0kN、緊張端=39.2kN）とほぼ同等であることが確認された。また、

緊張力の経時的な減少は施工後 2 日で 4.5% 発生し、その後の減少量は少なく 143 日を経過した段階で 5% となっている。なお、緊張力の計測は今後も継続的にを行い、その経時変化を確認する予定である。

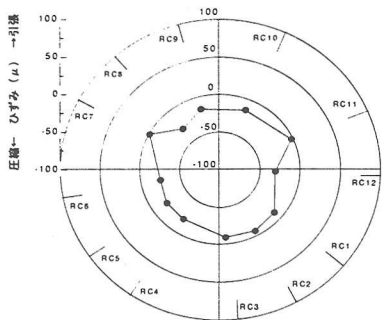


図-4 コンクリート表面ひずみ分布（円周方向）

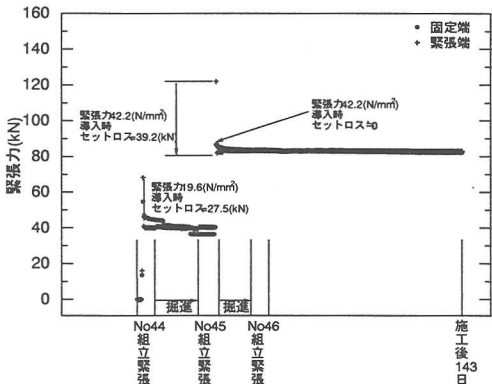


図-5 緊張力の経時変化およびセッロス

・軸方向プレストレス

軸方向緊張力の減少量は、施工後 2 日で 6% 発生し、その後 143 日を経過した段階で 8% となっていることが確認された。こちらも円周方向と同様、緊張力の計測を継続し、その経時変化を確認する予定である。

・トンネル内空の真円度

PPCセグメントにより組み立てられたリングの、真円度を、実施工において計測し、組立精度を確認した。表-5 より、PPCセグメントの内空出来形寸法は、鉛直方向がマイナス側、水平方向がプラス側の傾向が見られるが、変位量は最大値で 3mm と小さく、同じ工事の他区間で施工した、RCセグメント、鋼製セグメントに比べて、高い精度が得られた。写真-11 に坑内全景を示す。

表-5 内空計測結果

計測位置	内空寸法誤差の平均値(mm)					
	鉛直方向			水平方向		
	直線部	曲線部	全 線	直線部	曲線部	全 線
PPCセグメント	-1.48 (1.56)	-0.88 (1.20)	-1.18 (1.38)	1.76 (1.76)	1.36 (1.36)	1.56 (1.56)
RCセグメント	-2.60 (3.56)	—	-2.60 (3.56)	0.60 (2.48)	—	0.60 (2.48)
鋼製セグメント	-2.94 (6.00)	-6.33 (6.60)	-3.98 (6.18)	0.56 (5.03)	3.33 (4.27)	1.41 (4.80)

() : 絶対値の平均値

4. あとがき

PPCセグメントは、プレストレスを利用する点で、自重の影響が大きい中～大口径トンネル、内圧を受けるトンネルや二次覆工を省略するトンネルに適性がより高く、今後の適用が期待される。また、実施工を通して、さらに施工の合理化を図りたい。本技術は、住友建設（株）、東亜建設工業（株）、日本国土開発（株）、住建コンクリート工業（株）が共同で開発したものである。

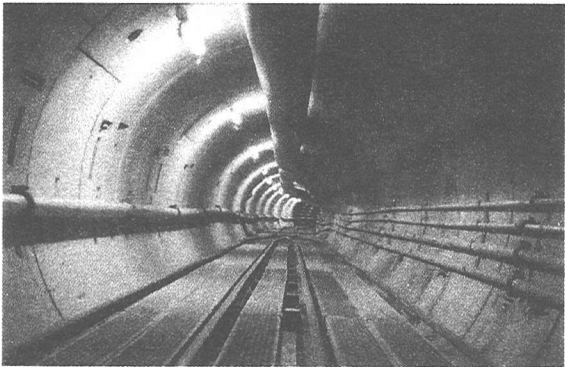


写真-11 坑内全景

【参考文献】

1) 西川・山口・安田・杉本・近藤：PPCセグメントの設計手法と基本性能について，土木学会トンネル工学研究論文・報告集第7巻，pp285-290，1997年11月。