

解説

引いて失敗、割ってみました (牽引から拡張破碎に変えて開発に成功 - EXP-工法)

大福 紀雄

大林道路(株)



1. 概要

下水道管路の維持管理費用は、補修の必要な延長が増加すれば、それなりに増加するとしても、大幅な予算増は期待できず、そうこうしている間も下水道管の劣化は待ってはくれない。補修の必要な管路延長が急激に増加し、これら大量の劣化した管路は必要に応じてすべて補修や改築することが望ましいが、使える予算は限られており、これからは実施する順番や実施の優先順位を判断しなければならない。

すでに下水道管渠は、総延長40万kmになっており、平均すると1年6,000kmが建設されたことになり、50年を超えた下水道は20,000km以上で、毎年6,000kmづつ増加していく。製品規格や施工管理基準なども未整備のころ設置した管路は損傷などで補修が通常より必要で、敷設替えが必要となる場合も多い。

静的改築推進工法であるEXP-工法はこのような状況から2003年開発に取り掛かったもので、開削以外に適当な補修工法が見当たらない大変形の管渠改築を目指した。最初は、既設管内にくさ

び状の破碎機を牽引し管を入替える工法でスタートしたが、破碎能力不足のため、目指す径と延長に適用できなかった。そこで、破碎機の種類を静的牽引方式から、静的拡張破碎方式へと変更して開発を進め、現在に至っている。当初計画した所定の成果があげられなかった方式を改良し、所期の目的を達した『EXP-工法』開発の経緯をまとめた。

2. 開発の経緯

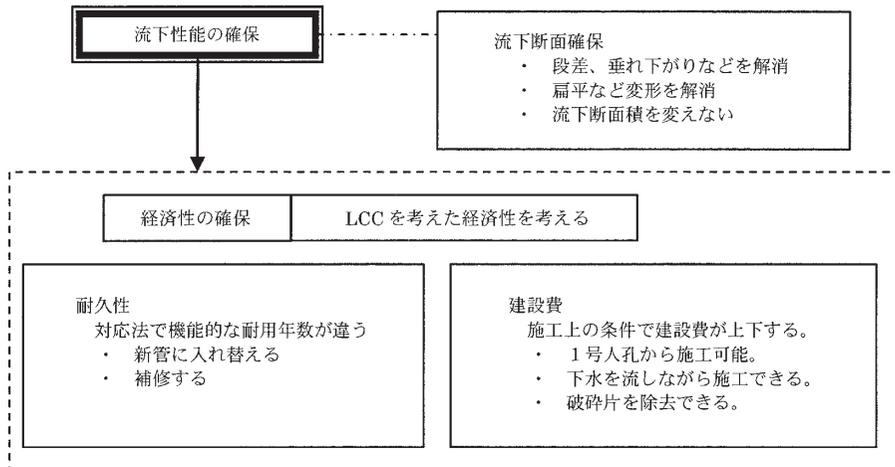
劣化し損傷を受けた既設管を現在の位置に場所を変えずに新管に入れ替えるには、開削して既設管を撤去し、新しく新管を設置する工法があるが、都市部等では開削にはさまざまな制約があり、非開削工法が求められることが多い。既設管と同じ場所に同径以上の新管を設置するには、既設管を除去しなければならない。大規模に土留めをして行う開削工法以外に既設管を除去する方法は、一般の推進工法と同じ鞘管方式で大きく既設管をカバーするようにして引き抜くか、あるいは回転などで切削する方法がある。

一方、劣化した排水管を修復する工法として、劣化排水管の内面に樹脂をライニングし、あるいは既成の帯状シートをらせん状に巻きつける管更生工法がある。これらの工法では、既設管はそのまま残して、実質的には新旧共同で耐力を確保する。新たに新管を設置するより低コストで施工が可能であり、非開削であること、人孔から施工可能で立坑の設置が必要ないこと、など多くの利点があり、現状では非開削の場合にはほとんどこの工法で補修が行われている。ただし、この工法は、薄いとはいえ管内面に樹脂を巻きつけるため管内径が確実に減少する。また、現地で硬化させることから、品質の確保にはさらに厳正な管理が求められること、段差や扁平化した管ではそのままライニングし有効断面の減少は避けられない、などの難点があるが、他に有効な補修工法がないために多くの場合採用されている。

3. 開発の条件

静的牽引による改築推進工法は、このような状況で開発に取り掛かった。開発の基本的な考え方は、図－1に示すように、流下性能の維持あるいは向上とLCC（ライフサイクルコスト）を考えた経済的な補修方法の開発である。具体的条件は、表－1に示すように、開発の目標として、①工場製造の既製管を使用する。②径は200～600mmが可能。③既設管径と同じか大きくできる（小さくならない）。④既設人孔から施工できる。⑤継手部段差や管のたるみ、扁平化した管も施工可能。⑥既設管の中を通水しながら施工可能であること。以上の6項目を具体的な目標としてスタートしたが、この中で、①、②、③は、改築後の新管の流下性能と耐久性を意識したものであり、④、⑤、⑥は、施工工事期間と施工費を意識した条件である。

下水管路の設置目的が下水を流下させることで



図－1 工法開発の基本的考え方

表－1 開発で考慮した具体的事項

	流下性能の維持、向上	施工期間の短縮、施工費
開発条件	①工場製造の新管を使用する ②径は200～600mmの施工可 ③新管径は、既設管径以上	④既設人孔から施工可能で立坑不要 ⑤既設管の継手部段差、管のたるみ、扁平化した管も施工できる ⑥施工中も通水しながら施工可能

あり、改築した後の管路が第1に満足すべき条件は、流下性能の確保である。採用する劣化管渠の補修工法は、劣化や損傷の程度にあわせて、所定の流下性能を確保した上で、補修後の管路の真の耐久性を含めた経済性で比較選定をしなければならない。施工費を含めた経済性を前提に、さまざまな条件を総合的に考え、その上で許容できる範囲に入る適切な工法を選定する。これらの条件のなかで、管路本来の設置理由である流下性能は、第一の必要条件となる。

さまざまな劣化状況にある既設管を敷設替える改築推進工法は、開発の目標に設定する条件によって、施工費や機械の製作費が上昇し、経済的に不可能であり、そのような条件を満足する工法の開発は現実的ではない。EXP-工法は、いくつか考えた条件から、第一の原則は、流下性能を下げない、すなわち管径を小さくしないことを大前提にして開発することにした。

4. 静的牽引方式による改築推進工法の開発

既設人孔からの施工、特に、内径が200mmや250mmの小口径の場合、1号人孔から施工可能であること、および下水を流しながらの施工が可能であるかどうかは、PR効果は大きい。このため1号人孔（内径90cm）から施工できる工法の開発を目指した。劣化した既設管の中に、先端が細く、後端が新設管外形よりやや太くなったくさび状の装置を引き込めれば、既設管は比較的簡単に破碎し押し広げることが可能で、後方から新管を挿入することで新管に入替えることができる。写真-1は、この方式の装置で、内径250mm用の場合、先導体の全長が1.5m程度になる。このままでは、既設人孔に入らないが、装置自体が鋼鉄の塊を削ったもので、約50cmの長さに分割し、ボルトで組み立てることが可能で、人孔の中で組立て、解体が可能になっている。また、装置の中心部には径60mmの孔が開けてあり、その中にホースを通すことで汚水を通水しながら改築作業が可能になっている。

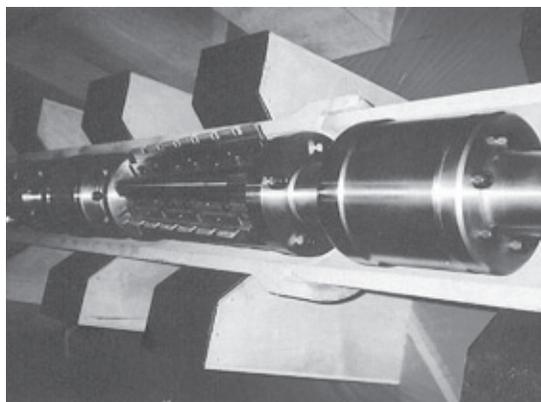


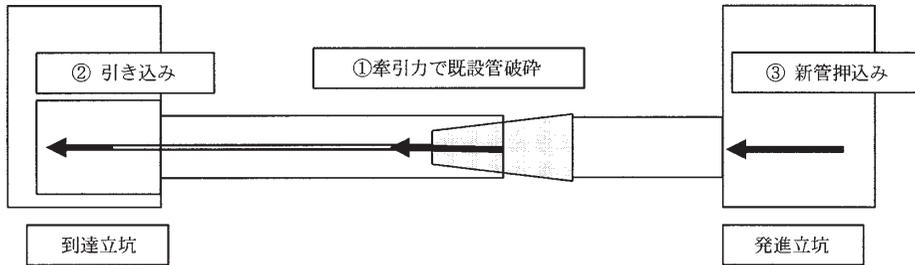
写真-1 静的牽引方式の破碎機先導体

5. 推進力で既設管を破碎

静的破碎機先導体は、先導体先端に取り付けた鋼棒を到達側立坑に設置したジャッキで牽引し、くさび状になった先導体が既設管の中を推進することで既設管を破碎する。到達立坑側に設置したジャッキは、破碎機を引き込み、同時に既設管の中に食い込んで、内側から破碎する。この牽引力は、鋼棒によって破碎機に伝わり、ジャッキによる牽引力の反力は、到達側立坑（人孔）壁面にとらせる。発進側立坑に設置したジャッキは、新設管を押し込むために使用される。

既設管内径が200mmあるいは250mmの場合は、発進立坑も到達立坑も1号人孔になり、設置可能なジャッキは、内径90cmの円形に収まる構造である。人孔内での作業性と壁面の強度を考えれば、牽引ジャッキの能力は100kNが限度であった。破碎機は、長さ50cm程度に分割するので、作業性はともかく設置、解体は可能であった。図-2は、同システムの使用ジャッキの模式図である。

発進側のジャッキも破碎機の推進に使用可能であるが、その場合、新設管が押込み力に耐えなければならない。1号人孔内に設置可能な長さ50cm程度の推進管はなく、開削用セラミック管を使用したのが、大きな押込み力を新設管に掛けることはできなかった。



図一2 静的牽引破碎で使用するジャッキ②、③

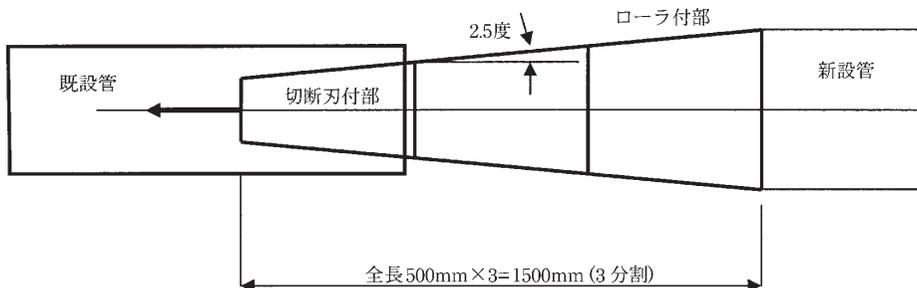
6. 牽引破碎に必要な推進力

静的牽引破碎システムでは、既設管の破碎と周辺地盤の押し広げ（新設管を挿入するためには最小でも直径で100mm、拡張する必要がある）、および、破碎機の引き込みを到達側立坑に設置したジャッキで行う。これらに必要な推進力は、既設管の管材と周辺地盤の土質、管径と破碎機の構造、すなわちくさび形状の角度によって変ってくる。

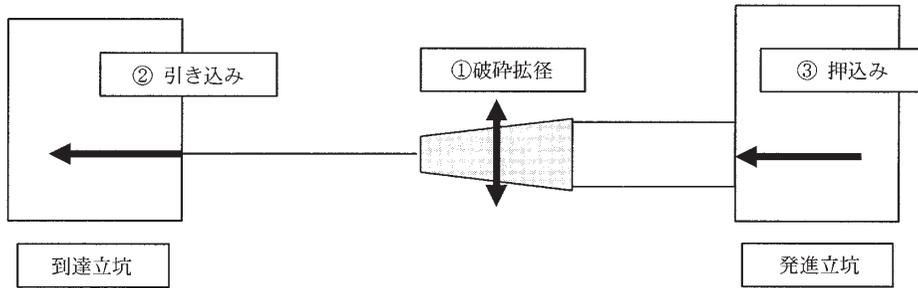
管材や管径、土質が一定とすれば、破碎機の角度は小さくする（尖らせる）と必要な推進力は小さく、角度を大きくすると必要な推進力も大きくなる。破碎機先端径と後端径は、既設管内径と新設管外径で決まるので、必要な推進力を小さくするためには、破碎機全長を長くすることになる。くさびの角度をいくらにするかが大きな問題であるが、この時点では同種の例を参考に片側で平均2.5度、両側で5度に設定した。図一3は、EC-ミニ先導体の既設管破碎機構である。

7. 試験施工

静的牽引破碎方式において、内径200mmと250mm用の先導体を製作し、1スパン約10mの入替え用の模擬管を2スパン設置し試験施工を行った。開削工法で約2m深さに設置した模擬管路を改築することを試みたが、破碎機が8m進んだ時点で牽引不能になった。やむを得ず、発進側の押込みジャッキを使用し推進させようと試みたが、新設管が破損し推進できなくなった。この時使用した新設管は、セラミック管を長さ50cmに切断し、継手は通常のはめこみ式で、管外周はウレタン材で防護養生していた。牽引用ジャッキを設置した到達側の1号人孔の壁面もクラックが見られ、これ以上の荷重は掛けられない。径が大きくなれば人孔も大きくなり、引き込み用ジャッキも大型を使用可能にはなるが、わずか長さ10m、内径250mmで、牽引不可能になるのでは、これ以上この方式で開発を進めることは難しいと判断した。



図一3 静的牽引破碎の既設管破碎機構



図－4 EXP-工法で使用するジャッキ①、②、③

使用したセラミック管は、推進用ではなく開削工法用であったことも原因のひとつであり、推進工法用塩ビ管を使用していればスパン長10m程度は施工可能であったかも知れない。

8. 拡径破碎システム (EXP-工法) の採用

当初の開発目標は、工場で製造したφ200～600mmの新管に入替え、既設管より内径を小さくしないことを前提に、既設人孔から施工、通水しながら施工という条件で、開発を進めたが、静的牽引破碎システムでは以下の問題があることがわかった。

- ①到達側の引き込みジャッキで、推進と既設管押し広げを行えるのは、せいぜい径で300mmまで、長さ15m程度である。
- ②設置する新設管は、必ず推進工法用でなければならない。適当な推進工法用の新管を調達できない。

適用できる径は、600mm、長さは60m程度は可能にする必要があり、この条件で開発するために引き込み用ジャッキとは別に、既設管の拡径破碎を行うジャッキを本体に搭載する方式とすることで進めた。したがって、破碎機本体がやや大きくなり、人孔からの発進、回収が難しくなり、通水しながらの施工も小口径では難しくなった。

9. EXP-工法の破碎機構

図－4に、EXP-工法の既設管破碎と推進の機

構を示す。静的牽引方式との違いは、先導体本体内に破碎拡径用のジャッキを搭載していることで、②の引込み用ジャッキは①の破碎拡径用ジャッキで既設管を破碎し、周辺地盤を押し広げ、既設管と周辺地盤の抵抗をなくした後で先導体を牽引する。③の押し込み用ジャッキは、先導体が推進した後、新設管を押し込んでいく。

10. EXP-システムの破碎推進力

【既設管破碎】

EXP-工法で使用する先導体(エクспанディット)には1台の油圧ジャッキを搭載しており、後端部を固定端にして先導体の中央部が拡大縮小する。ジャッキは管延長方向に伸縮し、シリンダ先端と本体外殻のシェルを棒状の部材で接続し、シリンダが伸びた状態で外殻シェルは拡径し、シリンダが収まった状態で外殻シェルは縮小する。

エクспанディットは推進時には縮小し、既設管の破碎していない部分まで引き込まれ、推進が完了してついで破碎機を作動させ破碎する。

図－5にエクспанディットが既設管を破碎する模式図を示す。

破碎に際し必要な力は、①既設管を内側から押し広げて破碎する力と、②周辺地盤を必要な径まで押し広げる力である。

【既設管を押し広げて破碎する力】

1サイクルの推進長さは、破碎機のサイズ、既設管の種類と径、により変るが一般に5cmから15cm程度である。破碎能力の検証では、抵抗が

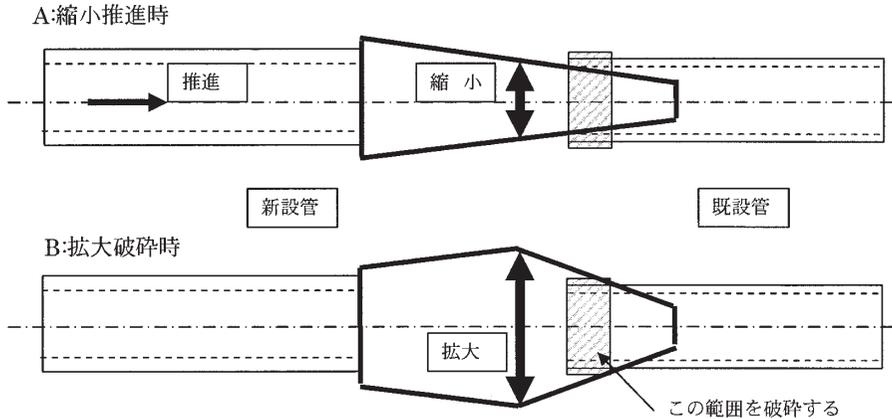


図-5 エクспанディットの管破碎方法（模式図）

大きければ①サイクルの推進長さを小さくすればよいので、ここでは10cmとする。

既設管がヒューム管φ300の場合、破碎に必要な力（1サイクルあたり） P_1 は、

$$\begin{aligned} P_1 &= t \times w \times \sigma b \\ &= 0.03 \times 0.1 \times 300 \times 104 \\ &= 9000\text{N} = 9.0\text{kN} \end{aligned}$$

ここで、 t ：管厚（m）φ300ヒューム管 $t = 30\text{mm}$
 w ：1サイクル推進長さ（m）0.1m/サイクル
 σb ：コンクリート管の引張強度 300N/cm^2 （3.0MPa）

引張破壊荷重を外圧管の破壊荷重とすれば、10cmあたり

$$P_1'' = (51.1\text{kN/m}) / 10 = 5.1\text{kN}$$

となって9.0kNの1/1.8程度になる。

【エクспанディットの拡張能力】

砂地盤で、 $E = 2800\text{N}$ として、 $N = 5$ とすれば

$$\begin{aligned} E &= 14000\text{kN/m}^2 \\ \nu &= 0.3 \text{ として} \end{aligned}$$

空洞内面圧力は、

$$P_0 = 14000 / 1.3 \times 1 \times 0.05 = 910\text{kN/m}^2$$

10cmずつ推進するので、

呼び径300の場合、必要な1サイクル圧力は

$$P_2 = 910 \times 0.3 \times \pi \times 0.1 = 85.7\text{kN}$$

【地盤を押し出す力と管を破碎する力の和】

図-6にエクспанディットと既設管の関係を

示す。エクспанディットは、外形が推進方向に対し片側7度の角度をもっており、既設管の端部とは1箇所接する。既設管がヒューム管の場合、破碎によって既設管は管厚程度ずつ破碎していくが、既設管が塩ビ管の場合はある程度の幅で一気に破碎される。このためここでは、破碎幅 $w = 0.1\text{m}$ とすると、

ジャッキが推進方向直角方向に必要な力は、

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 \\ &= 9.0 + 85.7 \\ &= 94.7\text{kN} \end{aligned}$$

ジャッキのシリンダ方向と、管押し広げ材の方向は30度～45度程度の変化をする。（図-7参照）45度とすれば、必要なジャッキ能力は、

$$P_j = P / \cos 45^\circ = 134\text{kN}$$

EXP-300型エクспанディットの拡張能力は、

$$P_m = 544\text{kN} > P_j \text{ となる。}$$

EXP-工法は、90cmの人孔から施工するのは非常に困難が伴う。また、新管として押し込む推進管もそれなりの長さに切断し、短尺に製造しなければならないため、管自体の調達もやや困難である。以上のことから、原則として内径1.5～2.0mの立坑を築造して行うこととしたが、人孔からの発進、回収の要望は高いため、φ200とφ250に関しては全長を短くしたEXP-機を製作し人孔からの施工を可能にしている。下水を流し

ながらの施工と破碎残片の除去は破碎機の機構がそうっており、今更機械の改造を行えないので、この条件はあきらめることになった。

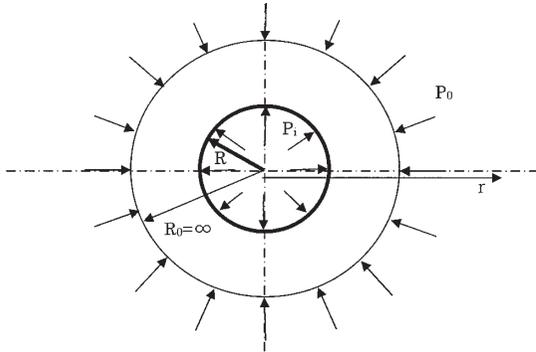


図-6 空洞拡張による地盤の抵抗の考え方

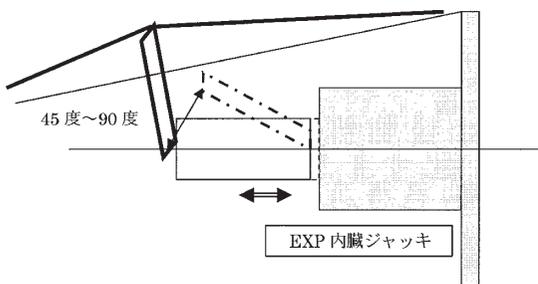


図-7 エクスパンディットの破碎機構

11. 新設管

新管はコンクリート管、塩ビ管、セラミック管、レジンコンクリート管など推進工法用管であればどれも使用可能である。ただし立坑をできるだけ小さくするため、使用する新管の長さは1m（半管）を標準としており、特殊サイズとなる推進用管の入手が可能かの条件がつき、これより長い2m管（標準サイズ）などを使用する場合は立坑を大きくしなければならない。当初新管の中心に据えようとしたセラミック管は、国内で推進用セラミック管の製造が行われなくなっているた

め、中心とすることはあきらめざるを得ない。しかしながら、英国やドイツでは大量に製造され、径1200mmまでは一般的に使用されており、輸入によることにすれば入手は確実にできるが、下水道協会認定品の問題と、需要に合わせて短期間で納品できるようにするには輸入、在庫、販売、運搬などの問題が大きいので中心と考えるのは困難である。

12. エクスパンディットの適用

開発工法は、2006年3月下水道新技術推進機構の新技術審査証明を受けたが、その場合の適用範囲は、既設管呼び径200～600になっている。エクスパンディットは、既設下水道管の呼び径にあわせた破碎機が必要で、破碎機本体と押し込み用のジャッキ装置、牽引装置の組み合わせになっている。機械のラインナップは表-2のようにになっている。表に示すように機械サイズ番号に対して、1サイズで複数の既設管に対応可能であるが、後端径は固定値であるので新管はあまりサイズの違うものは使いにくい。このようなことを検討して、既設管内径、新管外径から使用するエクスパンディットを決めている。写真-2はEXP-250、写真-3は、新管に塩ビ管を使用する場合のφ250用であるEXP-250V、写真-4は、EXP-600Rの試験破碎の状況、図-5は、EXP-500である。

表-2 EXP-システム

	破碎機型式	既設管呼び径
E-1	EXP-200V	200V
	EXP-250V	200V、250V
E-2	EXP-200	200C、300V
	EXP-250	250C、350V
	EXP-300	300C、400V
E-3	EXP-350	350C、450V
	EXP-400	400C、450R
	EXP-450	450C、500R
E-4	EXP-500	500C、600R
	EXP-600	600C、700R

C：ヒューム管、V：塩ビ管、R：レジン管

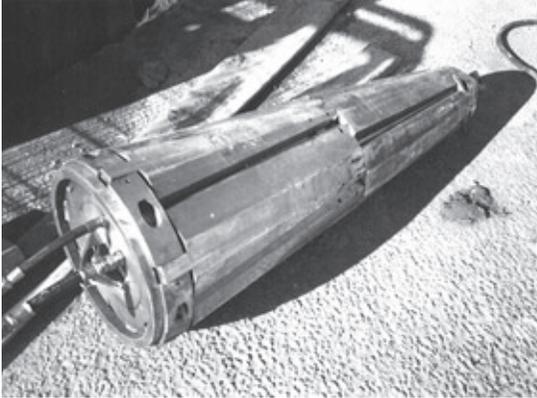


写真-2 エクスパンディットEXP-250

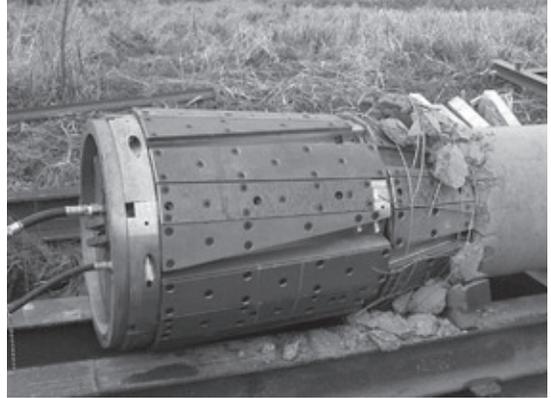


写真-4 EXP-600Rによる管破碎試験施工

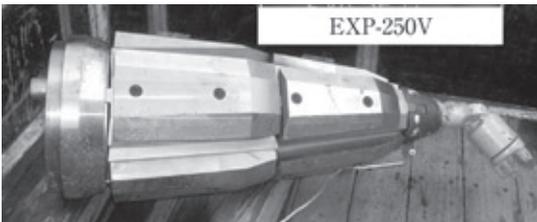


写真-3 1号人孔から施工可能なEXP-250V



写真-5 ヒューム管φ500用のEXP-500

13. まとめ

EXP-工法の開発は、2003年からはじめ、まだ6年強であるので記憶されている方も多いと思うが、当初「エコセラミック管入替工法」という名称でスタートしている。この工法は、新管にセラミック管を使用する。セラミック管はコンクリート管のように劣化することが一切ないので、耐久性は5倍、10倍になる。セラミック管は汚泥焼却灰を混入して焼成するので下水の環境に大いに貢献する、ということを声高に謳っていた。ところが、汚泥焼却灰を混入したセラミック管の製造が困難で、開削工法用管では使用が難しいことがわかったため、セラミック管にこだわっては工法の開発や普及自体が進まないことになった。このた

め、新管は推進管であればなんでもよいことにする。コンクリート管、塩ビ管、レジン管、もちろんセラミック管もOKであることにした。

この時開発した静的牽引破碎機は新工法でも牽引のみによるパイプ破碎機として、呼び径200と250に限って存在し使用可能である。

下水道管の劣化は、管の内面が少し劣化する程度のものから、管路の線形が大きく変わってしまうものまでさまざまである。管の内面が劣化する程度であれば、早めの対策として内面に樹脂をライニングする更生工法が最適なりニューアル工法である。施工費の点でも人孔からの施工が可能であること、施工に伴う廃棄物が一切でないこと、多数の工法が競争していることなどの理由で、開削とよい勝負をできるものになっている。

静的改築推進工法の開発は、牽引方式から拡径破碎方式に移行したがその間の経緯をまとめてみた。今から考えれば、当初から拡径破碎方式にしておけばよかったことになるが、静的牽引方式の施工限界を把握したことで拡径破碎方式に移行できたものと考えている。

エコセラミック管入替工法から始まって約6年で、下水道新技術推進機構の技術審査証明を得てすでに3年経過した。この先は、技術的には、関連する技術の整備がいくらか必要であり、主要な施工機械であるエクспанディットを効果的に整備していかなければならない。

【参考文献】

- 1) 平井、張、佐藤「エコTMS・管入替工法」基礎工、2005年8月号、pp.48-53、総合土木研究所
- 2) 平井、張、佐藤「エクспанディットによる管入替工法の開発」第16回非開削技術研究報告会報告書、pp.91-98、2005年11月JSTT
- 3) 平井、張、佐藤「エクспанディットによる排水管リニューアル」建設機械2006年1月号pp.41-46

執筆者紹介

大林路道路(株)管路部

〒131-8540 東京都墨田区堤通1-19-9

Tel : 03-3618-6530 Fax : 03-3618-6641