

小口径管渠更新工法（NOLLTECH ノルテック）の開発

Development of Newly Originated Replacing Method (NOLLTECH)

渡辺 徹*
Toru Watanabe

佐藤 粂次**
Kumeji Sato

桑原 康***
Yasushi Kuwahara

大西 徳治****
Noriharu Onishi

要 約

小口径管渠更新工法(NOLLTECH ノルテック)は、地下埋設物のうち老朽化、あるいは市街地の用途形態の変化等による能力の不足してしまった管渠を、非開削工法により破碎回収し、同位置に新設管の布設替えができる工法である。

本報文は、「NOLLTECH」の工法概要ならびに切削刃の形状、材質の開発にあたっての要素実験、さらに施工性、掘進能力および精度等の種々のデータの収集を行った実証実験の概要とその結果を報告するものである。

特に実証実験から、 $\phi=500$ mmの鉄筋コンクリート管を $\phi=812.8$ mmの鋼管に更新する場合では、掘進速度が50~70 mm/min以上を確保できたこと、また切削刃および先導ガイドに優れた施工性能が確認でき、実用性に対して十分な能力を持っていることを検証することができた。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工法の概要
- §3. 要素実験
- §4. 実証実験
- §5. 掘進機能力の検討
- §6. おわりに

§1. はじめに

今日、公共下水道事業をはじめとして、地下空間を利用したライフラインの進展は、ここ十数年めざましいも

のがある。しかし、新たに既設管の老朽化、市街地の著しい用途形態の変化による管渠能力の不足等の問題が発生してきている。

これらの対処方法の一つとしては、開削工法により既設管を撤去し、新設管を布設する方法がある。しかしながら今日では、社会的な制約から開削工法は不可能なことが多い。他方、推進工法による新設管の布設が考えられるが、この場合には、地下空間の過密化により新設スペースの確保難があげられる。

このような問題に着目し、研究開発を行った本工法(NOLLTECH ノルテック)は、非開削工法により既設管を破碎回収し同位置に新設管の布設替えが可能で、なおかつその管径は既設管径以上を確保できる工法である。

以下、開発条件、工法の概要、要素実験、実施工への検証を目的とした実証実験およびその結果を報告する。

*技術研究所土木技術課副課長
**機材部機械課副課長
***平塚製作所係長
****土木設計部設計課

§ 2. 工法の概要

本工法は、圧縮空気を利用した特殊エアハンマを原動力とする自走式推進装置および管渠破碎装置を備えた掘進機により、掘進機スキンプレーットの地山貫入（掘削）と既設管を破碎し取り込みながら推進し、また新設管は元押し装置により、掘進機の推進速度に合わせた推進により布設する。

2-1 工法のシステム

工法のシステムを Fig. 1 に、掘進機全体を Fig. 2 および Photo 1 に示す。本機は実証実験用に製作したマシンである。特に本機の開発にあたって、掘削土砂および既設管の破碎ガラによる掘進機内での閉塞を避けるために、既存技術を応用したコンパクトな管渠破碎装置ならびに切削刃の開発（詳細は要素実験参照）とその取付位置を検討し、掘削断面積以上を確保できるようにした。

主な装置の説明を以下に示す。

- ・自走式推進装置…特殊エアハンマで本体の推進を行う。
- ・先導ガイド……………既設管の線形に合わせて推進する



Fig.1 工法のシステム

ことができる。

- ・管渠破碎装置……特殊エアハンマで切削刃を前後振動させる。
- ・切削刃……………前後振動により鉄筋を切断し、コンクリートを破碎する。
- ・土砂の搬出……………自走式搬出装置により搬出する。
(実証実験においては人力搬出を基本とした)

2-2 施工順序

本工法は既設管と更新後の本管との管底高を同じにすることもできるように、鞘管方式を主流にしている。施工順序を Fig. 3 に示す。

2-3 工法の特長

本工法の特長を以下に示す。

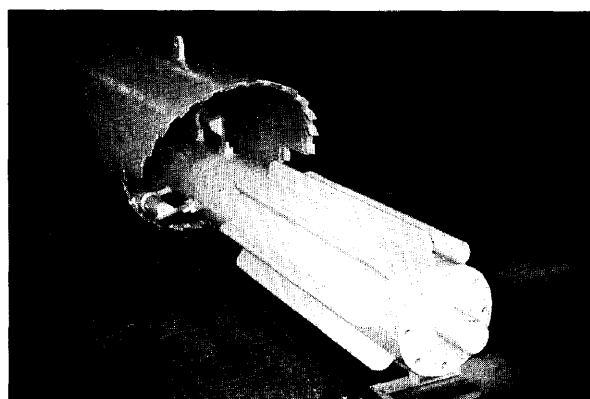


Photo 1 掘進機

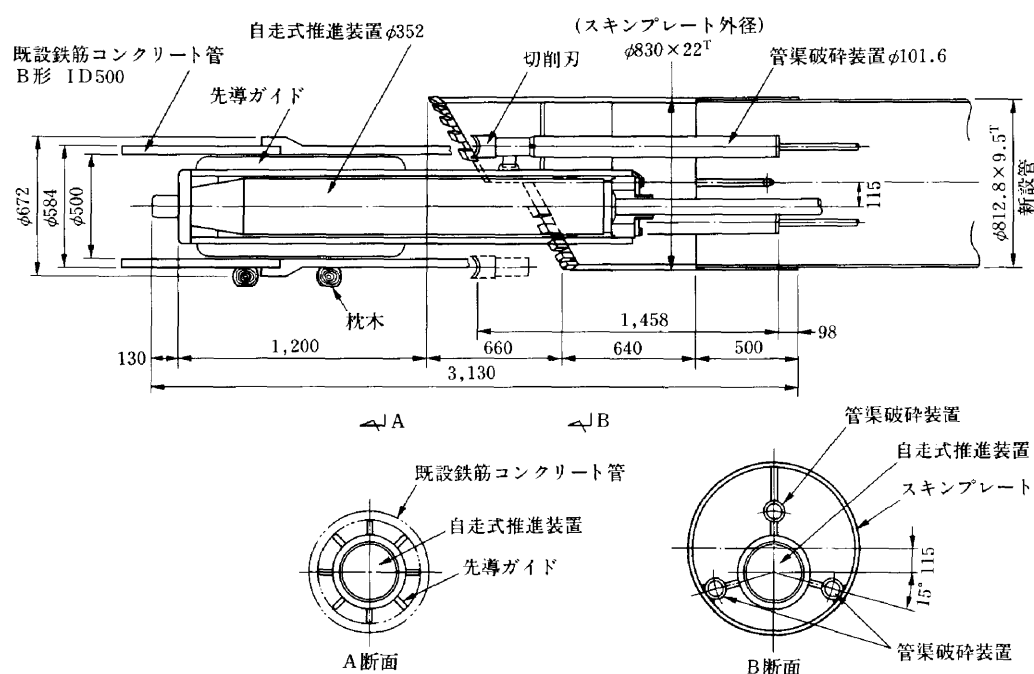


Fig.2 掘進機全体図

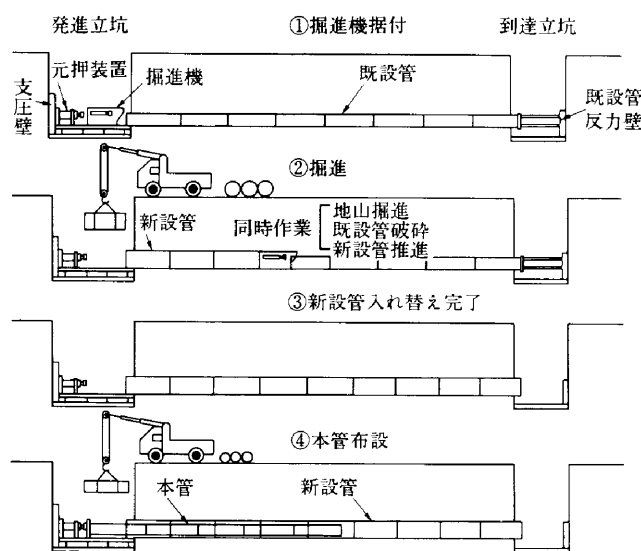


Fig.3 施工順序(鞘管方式の場合)

- ①非開削工法である。
- ②鉄筋コンクリート管の布設替えができる。
- ③既設管を破碎回収すると同時に、元押し装置により新設管を推進する。
- ④管径は既設管以上の確保ができる。
- ⑤既設管、新設管の形状は、円形以外でも施工可能である。
- ⑥掘進機は自走式であり、掘進抵抗がほぼ一定であることから長距離施工が可能である。
- ⑦掘進機の構造はシンプルであり、取扱いが容易である。
- ⑧鞘管方法の場合は、本管と既設管の管底高を合わせる事ができる。
- ⑨先導ガイドにより蛇行の心配がない。

§3. 要素実験

NOLLTECHの開発にあたっての最も重要となった項目は、鉄筋コンクリート管の破碎および既設管の枕木基礎の切断方法である。そこで切削（断）刃の開発要素実験を行った。

3-1 鉄筋コンクリート管切削刃の開発実験

更新の対象となる既設管は、陶管、エタニット管、鉄筋コンクリート管等がある。その内コンクリートの破碎と鉄筋の切断を同時に行うことで、最も条件の厳しい鉄筋コンクリート管を開発の対象管渠とした。

そこで、以下の切削方式の検討を行った。

- ①固定刃…掘進機に固定し、掘進機の推力によりコンクリートの破碎と鉄筋の切断を行う方式。

- ②動刃……刃を作動させる装置を設置し、コンクリートの破碎と鉄筋の切断を行う方式で、以下の方式の検討を行った。

- a. エアニッパ方式
- b. 回転カッタ方式
- c. 小型特殊エアハンマ方式

以上の方式の内、固定刃および動刃におけるエアニッパ方式と回転カッタ方式は、鉄筋コンクリート管の破碎能力さらには取付スペースの点で満足されなかった。そこで最も可能性の高い小型特殊エアハンマ方式を選定し、切削刃の取付方法、材質および形状についての開発実験を行った。

その結果、最適な材質（特殊鋼の特殊焼入れ）と形状を確認することができた。

未切断鉄筋もなく破碎されている状況を Photo 2 に示す。また切断形状の変化するカラー部も問題なく破碎されている状況を Photo 3 に示す。



Photo 2 鉄筋コンクリート管破碎状況

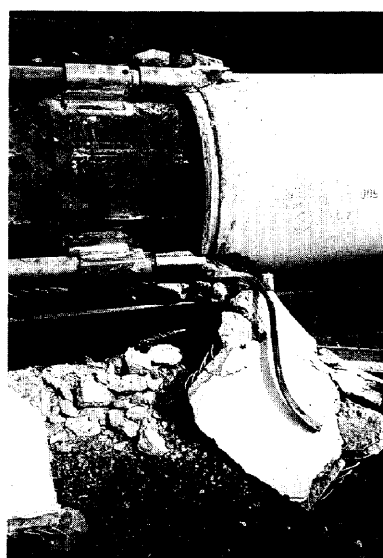


Photo 3 鉄筋コンクリート管カラー部破碎状況

3-2 既設管の枕木基礎の切断実験

掘進機に切断刃を設置し、枕木基礎（松材タイコオトシ140mm×115mm）の切断実験を行った。その結果、枕木の両端を固定した場合における切断時間は約40分、また固定なしの場合は枕木が横移動し切断不可能となり実施への適応は難しいことが判明した。従って、掘進機は前出 Fig. 2 に示すように、枕木基礎を切断することとはせず、その上を掘進することとした。実験状況を Photo 4 に示す。

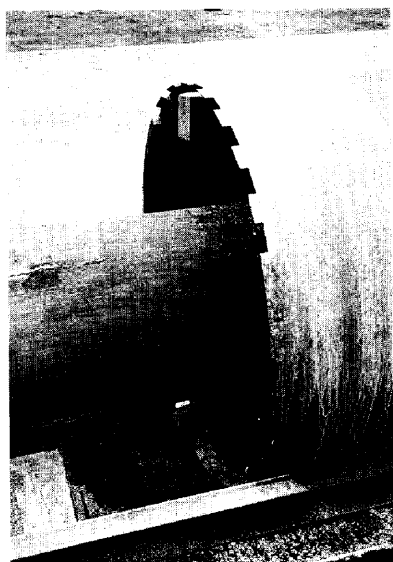


Photo 4 枕木基礎切断実験状況

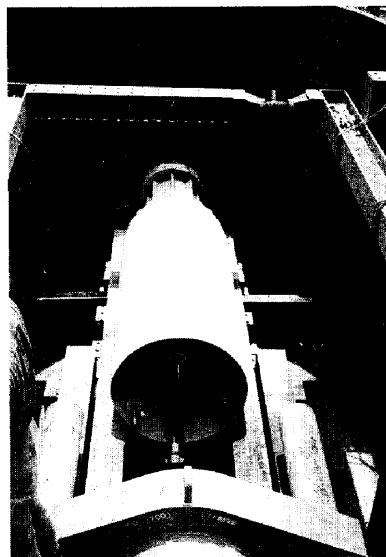


Photo 5 掘進機セット状況

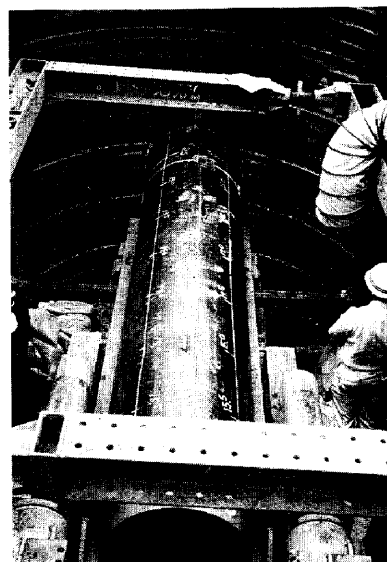


Photo 6 新設管推進状況

§ 4. 実証実験

実証実験は技術研究所南町田実験場において、データの収集と解析から実施工および各装置の能力の適応性を確認する目的で行った。実験規模は、既設管としての内径 $\phi=500$ mm の B 型鉄筋コンクリート管を、立坑区間の延長 $L=23.0$ m にわたり外径 $\phi=812.8$ ($t=9.5$ mm) の鋼管に更新した。

発進立坑に掘進機をセットした状況、新設管の推進状況および新設管内掘進状況をそれぞれ Photo 5 から Photo 7 に示す。

4-1 立坑

発進立坑サイズは、元押装置、支圧壁等の発進設備、新設管 1 本あたりのサイズ ($l=3.0$ m) および余裕長から、また到達立坑は、掘進機の引揚げ可能な大きさとした。

- ・発進立坑：6,297×3,000 mm（小判形ライナープレート）
- ・到達立坑： $\phi 3,000$ mm（円形ライナープレート）

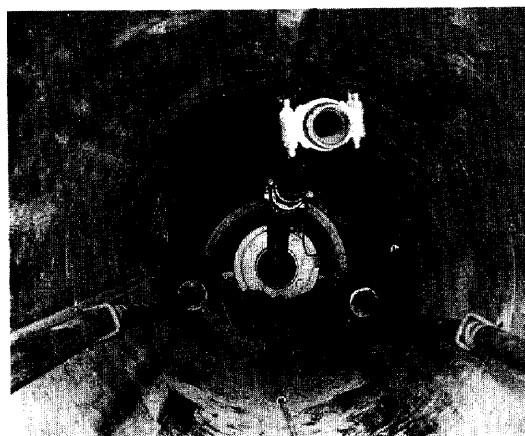


Photo 7 新設管内状況

4-2 鉄筋コンクリート管（既設管）の布設

既設管として、内径 $\phi=500\text{mm}$ の B 型鉄筋コンクリート管 ($l=2,430\text{mm}$) を 10 本、開削工法により布設した。管基礎は、枕木基礎およびコンクリート基礎の区間を半分ずつ設けた。鉄筋コンクリート管の布設を Fig. 4 に、鉄筋コンクリート管の配筋を Fig. 5 に示す。

鉄筋コンクリート管布設後の埋戻しは、山砂を 30cm ほどの撒きだし厚でランマーにより転圧した。

山砂の粒経加積曲線を Fig. 6 に、また埋戻し転圧後の土質試験結果を Table 1 に示す。

4-3 新設管

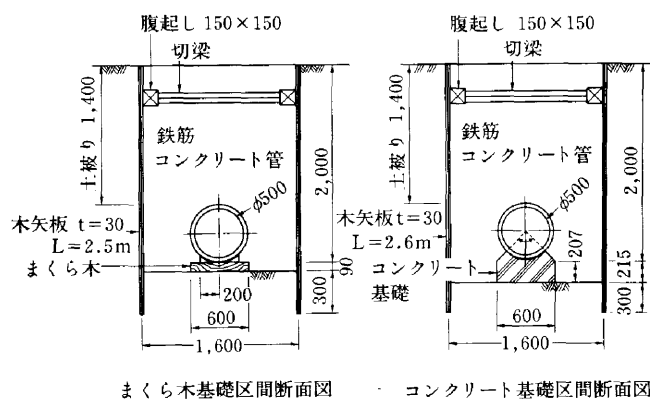
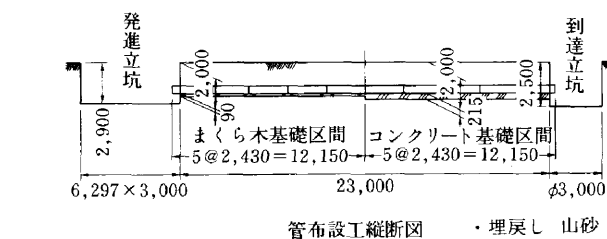


Fig.4 鉄筋コンクリート管の布設

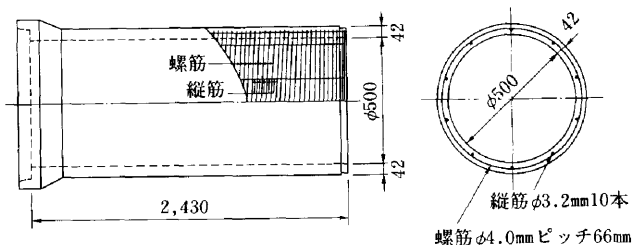
新設管は鋼管を用い、その継手箇所は開先溶接継手とした。

鋼管のサイズ、材質を以下に示す。

- ・外径 $\phi=812.8\text{mm}$
- ・厚さ $t=9.5\text{mm}$

Table 1 埋戻し転圧後の土質試験結果

土粒子の密度	2.584
自然含水化	19.7 %
粒度試験	
砂分	86 %
細粒分 (75 μm 以下)	14 %
密度試験	
湿潤密度	1.482 gf/cm^3
乾燥密度	1.236 gf/cm^3
三軸 UU 試験	
粘着力 c	0.056 kgf/m^2
内部摩擦角 ϕ	38.0°



- ・寸法: $\phi 500\text{mm} \times 2.43\text{m}$ B形1種
- ・外圧強さ: ひび割れ $2,600\text{kgf}/\text{m}$,
破壊 $3,900\text{kgf}/\text{m}$
- ・鉄筋仕様: らせん筋 $\phi 4\text{mm} \times 66\text{mm}$ ピッチ
縦筋 $\phi 3.2\text{mm} \times 10\text{本}$

Fig.5 鉄筋コンクリート管の配筋図

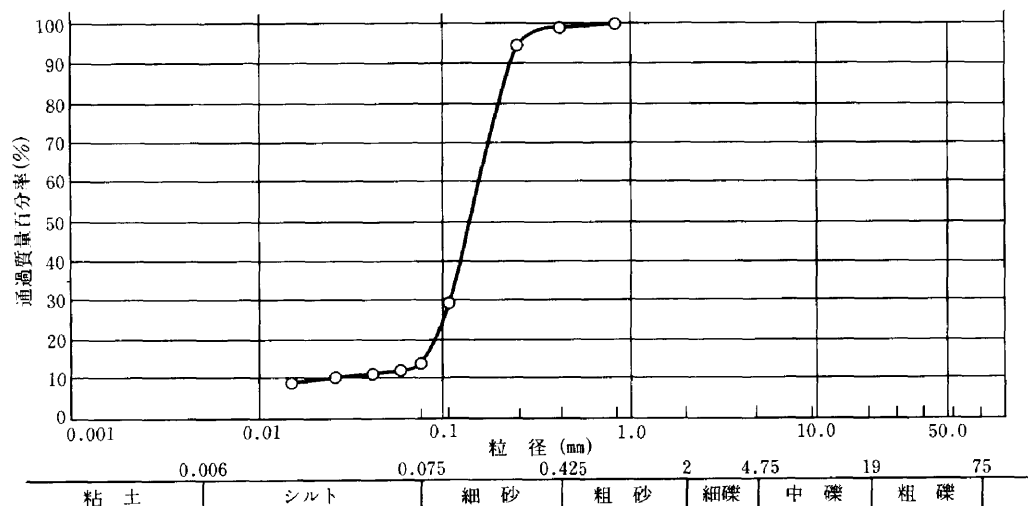


Fig.6 粒経加積曲線

- ・長さ $l=3,000\text{ mm}$ （1本当たり）
- ・材質 JISG 3444（STK 400）（一般構造用炭素鋼鋼管）

4-4 設備

掘進機の掘進状況は、小口径推進工法の中の一方式である衝撃式掘進機における鋼管掘進工法に類似している。当方式の打撃力と適用管径との関係は、ほぼ判明されており、自走式推進装置の動力源である特殊エアハンマの設備能力を検討する際の参考とした。

元押しジャッキ設備は、下水道協会式における算定式から求めた。ただし、掘進機は自走することから刃先抵抗を無視することにし、管の周辺摩擦による抵抗力、管の自重による抵抗力および粘着力による抵抗力の総和に安全率を1.5として所要推力を200 tf(1,961.3 kN)を求めた。なお、支圧壁は無筋コンクリートでそのサイズは、推進力とランキンの受働土圧式による手法から求めた。主要設備を Table 2 に示す。

Table 2 主要設備

名 称	諸 元	台数
掘 進 機	$\phi 830\text{ mm} \times 3130\text{ mm}$ 重量約2tf	1
元 押 し 装 置	100tf $\times$ 3000mmst $\times$ 2本	1
発 電 気	45 kVA	1
コ ン プ レ ッ サ ー	自走式推進装置用 100 PS 11.0 m ³ /min	1
コ ン プ レ ッ サ ー	破碎装置用 50 PS 5.0 m ³ /min	1
エンジンウエルダー	270 A	1
換 気 フ ァ ン	$\phi 300\text{ mm}$	1

4-5 測定項目

測定項目を以下に示す。

- ・掘進速度：データから技術・積算資料作成にあたっての基礎資料にする。
- ・元押し圧力：元押し装置設備の妥当性を確認する。
- ・エア圧力：エア設備の妥当性を確認する。
- ・エアバルブ開閉率：エアハンマ打撃回数との関係を把握する。
- ・自走式推進装置（特殊エアハンマ）の打撃回数
：掘進量と打撃回数から特殊エアハンマの設備能力を把握する。
- ・地表面変状測定：掘進管理特性を把握する。
- ・刃先の変状：目視による刃先の変状から耐久性を推定する。

4-6 実験結果

平均掘進速度は以下の結果が得られた。

- ・鉄筋コンクリート管カラー部
=50mm/min
- ・鉄筋コンクリート管一般部（カラー部以外）
=70mm/min

カラー部は、鉄筋コンクリートの厚さが2倍となりそれに伴い管渠破碎装置の仕事量も増え、速度が遅くなるものと考えられる。その他の測定項目を含めた結果を Table 3 に示す。本表は最大掘進速度が得られた位置で、発進立坑から20m付近のデータである。そのうち、速度が91mm/min、67mm/minおよび93mm/minの個所はカラー部あるいは管基礎部の影響と思われる。また到達後の刃先の状況は、発進前と比較してほとんど変わらなかった。

§ 5 . 掘進機能力の検討

ここでは、掘進中における掘進機のエネルギー的つり合いを求め、そこから自走式推進装置の特殊エアハンマの打撃回数と掘進速度との関係を、実証実験結果を踏まえて検討する。

5-1 掘進時のエネルギー的つり合い

掘進時のエネルギー的つり合いの検討は、標準貫入試験における動的貫入量とロッドに伝えられたエネルギーの間に、

（ロッドに伝えられたエネルギー）

$$= (\text{貫入抵抗}) \times (\text{貫入長})$$

が成立する。¹⁾を適用した。ここでいうロッドに伝えられたエネルギーとは、自走式推進機用特殊エアハンマの打撃力であり、貫入抵抗は土と掘進機および鉄筋コンクリート管と先導ガイド、さらに管渠破碎装置切削刃の抵抗であり、貫入長は、特殊エアハンマ打撃1回当たりの掘進長に対応させた。

(1)掘進機に働く抵抗力

①算定にあたっての条件

- ・埋戻し土（Table 1 参照）

内部摩擦角 $\phi=38^\circ$

粘着力 $c=0.056\text{ kgf/m}^2$
(0.549 N/m²)

密度 $\gamma_t=1.482\text{ gf/cm}^3$
(14.5N/cm³)

- ・土被り $t=1.1\text{ m}$

- ・土と掘進機の摩擦係数

$$\mu' = \tan(\phi/2) = 0.34$$

- ・鉛直荷重 $q = \gamma_t \times t = 1,630\text{ kgf/m}^2$

Table 3 実験結果

地盤変位測定 (mm)		通過後 5mm の沈下	
		20m	到達立坑
		新設管 (φ=12.8mm)	
		鉄筋コンクリート管 (φ=500mm, l=2,430mm)	
		コンクリート基礎	
推進速度 (mm/min)	250		
	200		
	150		
	100	91	112 110 121 117
	50		67 93
元 押 圧 力 (ton)		44	44
エ ア 圧 力 (kg/cm ²)	自走式推進装置	6.7	6.7
	管渠破碎装置	6.7	6.7
エアバルブ開閉率	自走式推進装置	30°/90°	45°/90°
	管渠破碎装置	全開	全開
自走式推進装置 (回/min)		240	250

$$= (16,000\text{N/m}^2)$$

・掘進機外形 $B_c = 0.83\text{m}$

・掘進機延長 (平均)

$$L = (1,800 + 1,140) / 2$$

$$= 1.47\text{m}$$

・掘進機の自重 $W = 2,000\text{kgf} / 1.47\text{m}$

$$= 1,360.544\text{kgf/m}$$

$$(13,300\text{N/m})$$

・平均 N 値 (ダンハムの式 $\phi = (12N)^{-2} + 20$ から)

$$N = 27$$

②抵抗

a. 掘進機先端抵抗 ($= F_0$)

$$F_0 = 1.32 \cdot \pi \cdot B_c \cdot N$$

$$= 92,932\text{kgf} (911\text{kN})$$

b. 掘進機の周面摩擦による抵抗 ($= F_1$)

$$F_1 = \pi \cdot B_c \cdot q \cdot \mu' \cdot L$$

$$= 2,124\text{kgf} (20.8\text{kN})$$

c. 掘進機の自重による抵抗 ($= F_2$)

$$F_2 = \mu' \cdot W \cdot L$$

$$= 680\text{kgf} (6.67\text{kN})$$

d. 粘着力による抵抗 ($= F_3$)

$$F_3 = \pi \cdot B_c \cdot C \cdot L$$

$$= 0.215\text{kgf} (0.0020\text{kN})$$

e. 先導ガイドと既設管との抵抗 ($= F_4$)

シールド推進時におけるセグメントとスキンプレートとの摩擦抵抗に同じと考える。

$$F_4 = \mu_2 \cdot G_2$$

$$= 300\text{kgf} (294\text{N})$$

ここに μ_2 = 鋼とコンクリートとの摩擦係数

$$= 0.3$$

G_2 = 先導ガイドの重量

$$= 1,000\text{kgf}$$

f. 切削刃の鉄筋コンクリート管破碎抵抗 ($= F_5$)

(2) 自走式推進装置用特殊エアハンマのエネルギー

特殊エアハンマの仕様は Table 4 から空気消費量 $10.0\text{m}^3/\text{min}$ で、打撃回数 $250\text{回}/\text{min}$ の時の打撃力は $1,100\text{Nm} = 112.169\text{kgf} \cdot \text{m}$ である。

次に掘進時のエネルギーを算定するにあたり、Table 3 に示す掘進立坑から 20m 付近のデータを使用する。

・平均掘進速度

$$(112 + 110 + 121) / 3$$

$$= 114.333\text{mm}/\text{min}$$

・打撃回数 $240\text{回}/\text{min}$

・打撃1回当たりの掘進距離 (s)

Table 4 特殊エアハンマの仕様

		自走式推進装置用 75-E	管渠破碎装置用 260-G
寸法	直径(mm)	75	260
	長さ(mm)	1,400	2,500
重量(kg)		32	800
打撃回数(回/min)		400	250
打撃力(N・m)		35	1,100
空気消費量(m³/min)		1.0	10.0
操作圧力(kg/cm²)		6~7	6~7

$$114.333 \text{ mm/min} \div 240 \text{ 回/min}$$

$$= 0.000476 \text{ m/回}$$

- ・打撃力 (E) と打撃回数との関係は、衝突エネルギー $F = 1/2 (mv^2)$ と同様に打撃回数 (速度) の2乗に比例するものとする。

$$E = 112.169 \text{ kgf} \cdot \text{m} \times 240^2 / 250^2$$

$$= 103.375 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$(1.014 \text{ N} \cdot \text{m})$$

(3) 切削刃に働く抵抗力

切削刃に働く抵抗力は、掘進時のエネルギー的つり合いから求める。

自走式特殊エアハンマのエネルギー (E)

= 土による抵抗力 ($F_0 + F_1 + F_2 + F_3$) $\times$ 掘進長 (s)

+ 先導管抵抗力 (F_4) $\times$ 掘進長 (s)

+ 切削刃抵抗力 (F_5) $\times$ 掘進長 (s)

$\therefore$ 切削刃抵抗力 (F_5)

$$= 103.375 / 0.000476$$

$$= (95,736.215 + 300)$$

$$= 121,138.155 \text{ kgf}$$

(掘進中の最も大きな抵抗となる)

5-2 掘進速度と打撃回数との関係

掘進速度と自走式推進装置特殊エアハンマの打撃回数との関係式を、掘進中のエネルギー的つり合いから求めると、

- ・打撃回数 n (回/min)

- ・掘進速度 v (m/min)

- ・打撃1回当たりの掘進距離 $d = v/n$ (m/回)

- ・自走式推進装置のエネルギー

$$P = 112.169 \times (n^2/250^2) \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

- ・土による抵抗エネルギー

$$R = (F_0 + F_1 + F_2 + F_3) d \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

- ・先導管抵抗エネルギー

$$M = F_4 \cdot d \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

- ・切削刃抵抗エネルギー

$$F = F_5 \cdot d \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

つり合い式

$$P = R + M + F$$

$$112.169 \times (n^2/250^2)$$

$$= (95,736.215 + 300 + 121,138.656) \times d$$

$$= 217,174.871 \times (v/n)$$

$$\therefore v = 8.264 \times 10^{-9} \times n^3 \times 100 \text{ (cm/min)}$$

上式から求めた掘進速度 (v) と打撃回数 (n) の関係および実測値を Fig. 7 に示す。Fig. 7 によると計算値と実測値はよく一致している。

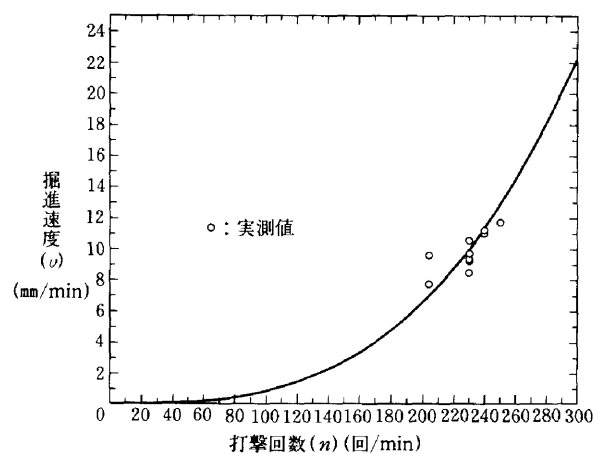


Fig.7 掘進速度と打撃回数の関係

§6. おわりに

NOLLTECH は、工法の検討そして要素実験さらに実証実験を行い、実用性に対しては十分な能力を持っていることが確認できた。本工法における既設管渠の対象径は、小口径推進工法の範囲と考えているが、自走式推進装置および管渠破碎装置のサイズの制約から概ね内径 $\phi = 350 \text{ mm}$ 以上となる。また実証実験では既設管 (鉄筋コンクリート管) 径を内径 $\phi = 500 \text{ mm}$ から外径 $\phi = 812.8 \text{ mm}$ の管 (鋼管) 径に更新したが、その他の管径の組み合わせによる更新も可能である。

今後、実工事のなかから、より効率的な掘進機への改造、そして工法の全体についての経済性への追求をして行く考えである。なお、本開発にあたっては当社を含めて、(株) 大阪防水建設社およびライフライン工業 (株) との共同研究として行った。

参考文献

- 1) 土と基礎, 22-3, March, 1974.