

解説

短尺推進管に思うこと ー立坑の小型化に伴う推進管の短尺化についてー

ひき ひろし
檜生 完

これからの推進管を考える会

1. はじめに

私事になるが、筆者は刃口推進の時代から推進工事に従事してきた。また、推進技術の開発に伴い新しい管材を提案し、開発してきた過去を持っている。いま過去を振り返ってみると、総じて技術開発には“加える”行為が卓越する場合が多いように思う。すなわち、あるニーズに対して付加的に性能を高めていく作業が“加える”行為である。管材でいえば例えば次のようになる。強度が足りないから→圧縮強度を大きくする・補強材をリッチにする、酸に弱いから→被覆する・樹脂系にする、外圧荷重や内圧荷重を高めたいから→合成構造にする・・・といった要領である。そしてオールマイティに近いスーパー管材が出来上がる。

わが国の推進技術が目覚ましい進歩を遂げてきたのに伴って、推進管材も多種多様の開発が行われてきたことはメーカーの努力の賜物といってよい。しかし一旦、高性能なものが現れると、従来のものが陳腐に思えることがあるように、推進管材も従来製品が、いかにも劣っているような先入観はないだろうか？たとえばヒューム管である。こ

れだけ一定の品質のものが全国均一に比較的安価で納期の制約を受けずに得られるものは稀有である。要するに何事も適材適所が肝要である。

さて筆者は技術者として、これからも推進技術が発展し、不可能を可能にしていく未来を夢見ている。環境に配慮した次世代技術のあり方を作り上げたいとも思っている。しかし他方、下水道工事に推進工法を採用することは、社会的にも経済的にもリーズナブルなものであり、環境に優しいことが本旨ではあるものの、あくまでも地中に下水道管としての機能を有する管路を構築することが大前提であるはずだ。その際、その手段となる一時的な施工段階の便宜のみを重視して、施工後、長期間にわたり発揮する機能を軽視してはならないと思う。そのためには取捨選択を本音で語る場が必要であるとの思いから「これからの推進管を考える会」を作った。今は、ごく少人数の集まりであるが、今後、情報交換や問題喚起が自由に出来る空間を作って行きたいと思っている。

2. 短尺推進管

推進管を含めヒューム管の有効長は小口径管を除き2.43mという不思議な長さになっている。これは管の運搬手段として貨車を用いていた時代に、貨車に収まる長さで決めたという話を聞いたことがあるが、実は8フィートというキリのいい数字でもある。わが国にヒューム管が導入された経緯から考えるとフィート単位の規格であったということだろう。また、ヒューム管の規格には半管という短尺管が規格されており、標準管2.43mに対して1.2mの有効長である。この半管は人孔間距離の調整用に用意したものであり、推進管においても、あくまで距離調節を目的としたものであった。

一方、推進工法の施工技術は目覚ましい進歩を遂げ、かつ現在進行形で技術革新が進んでいるが、大きく進歩した施工技術の中に曲線推進施工があげられる。この曲線推進では継手の目開き量を低減させ水密性能を確保する目的や、曲線通過時に推進管に作用する曲げを緩和する目的で、短尺管が使用される事例が年々増加している。

また近年では、本号の特集テーマである省面積化技術の一環として立坑を小型化するために必然的に短尺管が求められるケースも出てきた。省面積化立坑の発想は、大都市市街地での推進工事が増加している現状において、発進立坑用地の確保が困難になっていることから生まれたものである。基本的には立坑面積を小さくする→施工技

術、管材料の対応→周辺環境に優しい、というストーリーの上に確立されてきた。

短尺推進管は確かに小さい発進立坑には絶対条件となるし、急曲線推進にも有利である。しかし推進管というのは短ければ良いというものでもないはずである。たとえば面外荷重（外圧荷重を面内荷重としたとき、推進力が面外荷重となる）には不利に働く可能性もある。本稿では、有効長を短くすることによって、軸方向圧力に対し、管が受ける影響を感覚的に示すとともに、短尺管モデルによる軸方向圧力載荷実験の概要を説明し、最後に今後のあるべき姿を考えてみたい。

3. 管の長さは軸方向圧力に対してどのような影響を受けるのか？

推進力が推進管に及ぼす影響を感覚的に知るために、多少強引ではあるが、図1のようなモデルを考えてみる。即ち円周上の正対する30°の部分を支点とし、支点間150°の部分に等分布荷重を載荷する梁モデルとして計算する。近年、推進管では半管はもとより、1/3管（有効長約80cm）、1/4管（同じく約60cm）というもののまでの短尺化が進んでいるが、この計算では従来から規格化されている半管を想定した。

計算は中大口径管を対象に行ったが、最もスパン長の長くなる呼び径3000においても、せん断スパン比 $\approx 3.5 < 5.0$ であるため、ディープビームに分類されることから、通常、破壊モードはせん断圧縮破壊と考えられるので、曲げ引張応力度

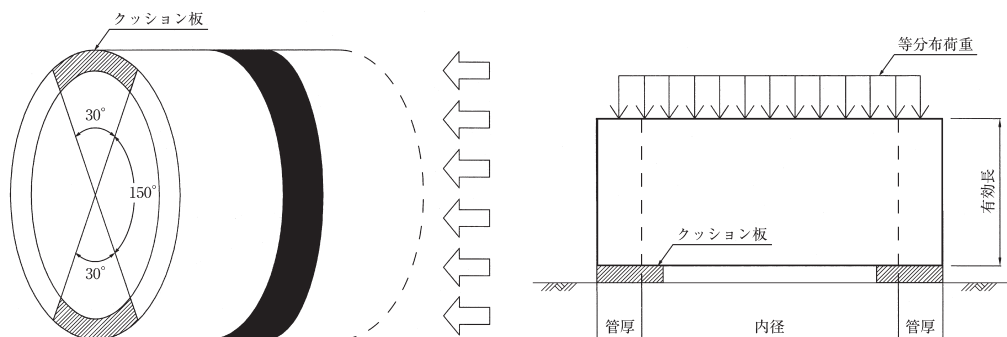
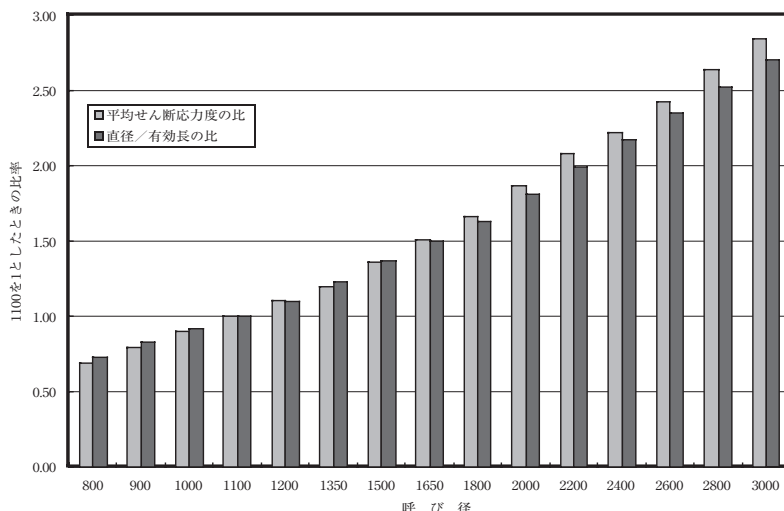


図1 短尺管のはりモデル

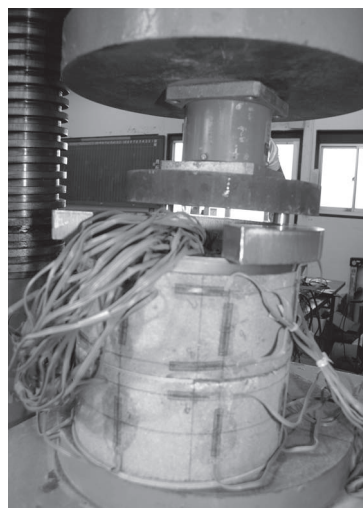


図ー2 平均せん断応力度の比

ではなく平均せん断応力度を計算した。

図ー2には、推進力から求めた平均せん断応力度（50N管の許容耐荷力を管厚×有効長×4で割る）の比率を示しているが、直径と有効長の比が、ほぼ1である呼び径1100での平均せん断応力度を1として、呼び径ごとの平均せん断応力度の比率を示している。図ー2において呼び径3000は呼び径1100の2.85倍となっている。また、同時に示した直径と有効長の比率を対比してみると、ほぼ平行して平均せん断応力度が大きくなることが理解できる。

計算結果は管の直径に対して有効長が短くなれば、せん断に対するリスクが大きくなることを示している（有効長が短くなるに従い曲げモードに移行しやすいことにも注意が必要）。

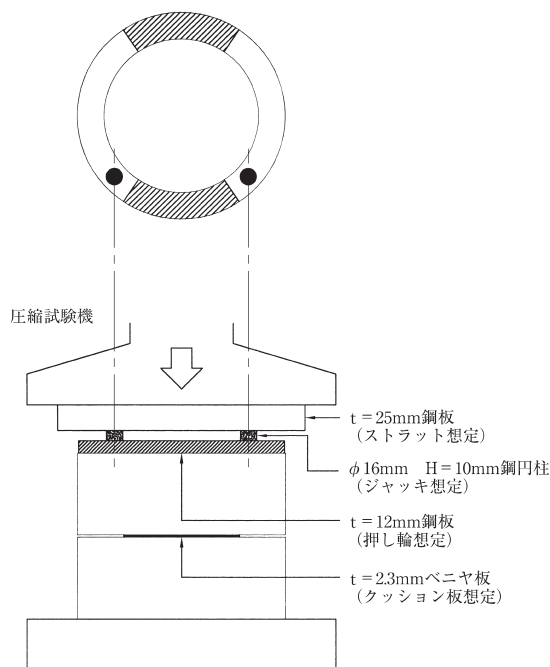


写真ー1 模型実験

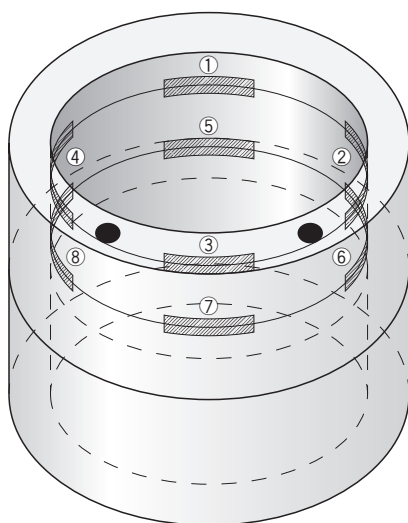
4. 模型実験

写真ー1は内径150mm管厚26mm有効長80mmのヒューム管を用いた模型実験である。また図ー3に、この実験の概要を示した。実際の施工現場で、このように極端な載荷状況になることは稀であるが、前項2.で示したモデルに近いケースを想定したものである。実験はアムスラー型圧縮試験機を用い、管の内外面に貼付したストレイ

ンゲージによりひずみを測定した。測定は弾性領域（ひずみ200 μ 程度までとした）において行い、その後、ひび割れが発生するまで載荷した。実験結果のうち上段の供試体の内面円周ひずみ（図ー4の①～④、⑤～⑧）のみ図ー5に示した。図ー5において正のひずみは引張を示し、負のひずみは圧縮を示している。ジャッキ側ひずみと継手側ひずみとを比較すると、ジャッキ側における①および③ゲージ（12時、6時位置）は引張であり、

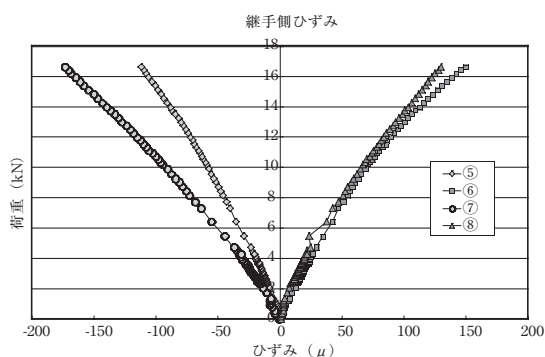
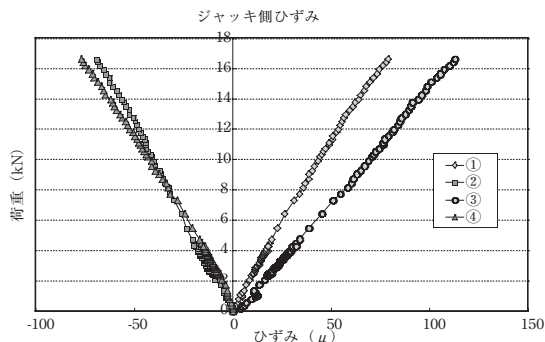


図－3 実験概要図



図－4 内面円周ひずみ測定位置

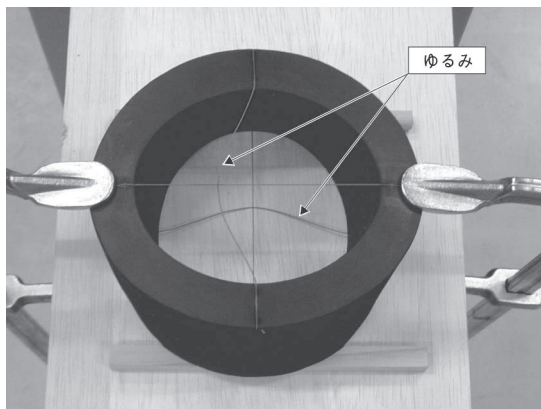
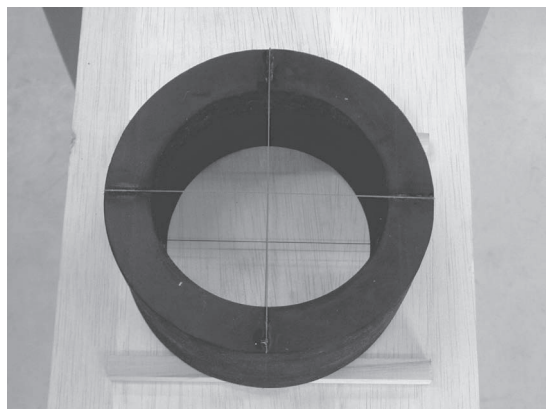
②および④ゲージ（3時、9時位置）は圧縮となっている。これに対して、継手側ひずみは12時、6時が圧縮で3時、9時が引張となっており全く対照的なひずみが発生している。解りやすく表現すると、ジャッキ側はヨコナガに管が変形している



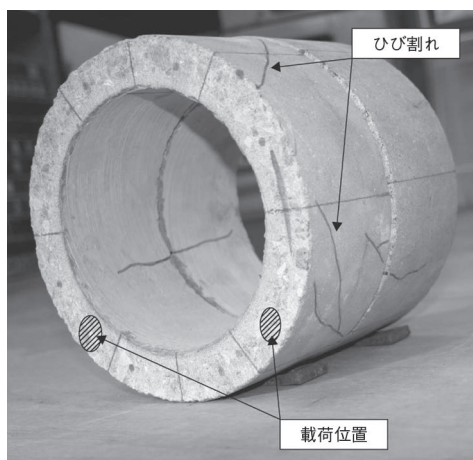
図－5 内面円周ひずみ

のに対して、継手側はタテナガに管が変形していることになる。つまり現場で言う推進力という面外荷重によって、面内にも変形が生じていることを示している。これを視覚的に示したのが写真－2である。写真－2は弾性体であるゴム製円筒に万力で荷重を加えることによりどのような変形が生じるかを示したものである。円筒の上下にあらかじめ張ってある糸で解るように、模型実験と同じように上下で対照的な変形を示している。

また、模型実験後のひび割れ状況を写真－3に示したが、ひび割れは実際の施工現場で発生するひび割れ位置に非常に似ており、模型実験で得られるひずみや変形のモードはある程度、実物をシミュレートできている可能性が高いと思われる。ちなみに、ひび割れ発生荷重は約20kNであったが、これは断面積で割ると約 1.4N/mm^2 となり、管と管の接触状況やジャッキ位置によっては許容軸方向耐荷力以下でも管にとって危険な状況となる可能性があることを示唆している。



写真一 二 ゴム製円筒の変形



写真一 三 ひび割れ状況

5. まとめ

何度も述べてきたように、わが国の推進技術における技術開発は目覚ましいものがある。おそらく世界一であると思う。技術開発によって管路の路線計画や工事の施工計画は非常に自由度を増したといえよう。しかし一方で、超長距離推進や急曲線推進工法や省面積化立坑がなかった時代にも推進工法により管路は建設されてきたことを考えると、「普通の推進工事で施工できるように計画を立案できないものか?」とも思うことがある。施工は直線推進や標準的な大きさの立坑のほうが易

しいのは間違いのないし、管路としての機能やライフサイクルを考えた場合も、直線に近い方が良いのではないと思う。推進管の継手水密性は優れているとは言え、目地の工数も減るし少ないほうがベターであろう。

技術開発というのはニーズがあって行われる行為である。しかし、高度な施工技術があるからといって、最初から特殊な施工条件を選ぶというのは結果的に高いハードルを飛ぶことになりはしないか?という気持ちも無いではない。

本稿ではパイプがリングに近づくにつれ起こり得る危険性について技術的な面から述べてきたが、筆者は短尺管を否定的に考えているわけではない。使用に際しては、リスクを認識して標準管以上に慎重な施工計画を立案する必要があることを強調したに過ぎない。それでもリスクが回避できないようであれば、より安全側になるよう特殊推進管を用いればよいと考えている。

冒頭に述べたように、完成した管路を基本に考えるべきであり、機能的にも維持管理上も、また経済的にも優れたものであることが優先である。その上で、どうしても急曲線推進や省面積立坑が必要であれば、新しい技術でチャレンジすべきであるし、技術開発を推し進めていけばよいと思う。問題喚起の一文として読んで頂ければ幸である。