

箕面川横過部におけるパイプルーフ工法

神戸線復旧建設部 工 事 課 榎 元 清 治
大阪第二建設部 池田工事事務所 坂 井 康 人

要 約

パイプルーフ工法は、道路においては交通事情、鉄道においては鉄道運転に支障がない工法として、最近多用されている。本工事は、開削トンネルの河川横過部に採用している重要仮設物であり、設計・施工について特筆すべき多くの特徴を持っている。そのいくつかを以下に示した。

- ①河川横過部に採用された例は少ない。
- ②土被りが大きい。(最大約10m)
- ③パイプルーフ長が60m と長い。

現在、パイプルーフの推進が完了して、起点・終点に立坑より導坑掘削を開始したばかりであるが、上述した特徴を持つパイプルーフ工法の貴重な実績が得られており、今後の計画に役立つものと思われる。また、導坑下半掘削においても、自動計測による計測施工を行うので、貴重な資料が得られるものと確信する。

キーワード：パイプルーフ工法、河川横過部、土被り、掘削断面、パイプルーフ長、自動計測

まえがき

阪神高速道路大阪池田線（延伸部）7.4Kmのうち、大阪空港北端部は航空法により高さ制限を受けるためトンネル構造としている。当該箇所は図-1に示したように、箕面川・内川の2本の河川を横断するため、それぞれパイプルーフ工法・鉄樋工法を採用している。

本稿では、伊丹第1工区開削トンネル工事におけるパイプルーフ工法について概説する。パイプルーフ工法の選定理由は、河川管理上の制約と用地上の問題から、河川切り回し、あるいは半川締め切りが不可能であることがあげられる。現時点、当該工事は水平パイプルーフおよび鉛直パイプルーフの推進が完了し、立坑掘削に着手したばかりである。

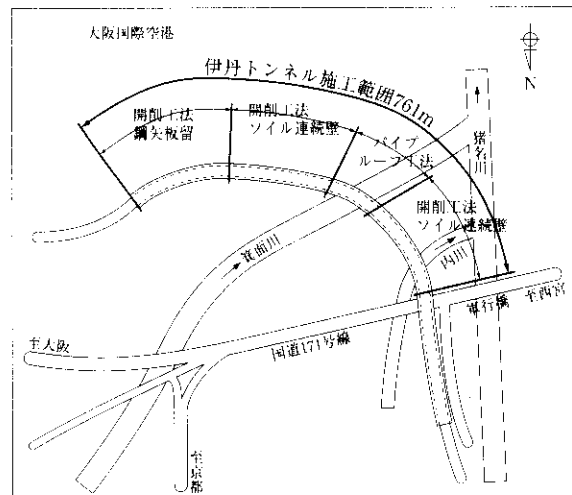


図-1 施工位置図

1 パイプルーフ工の概要

1-1 土質概要

パイプルーフ施工に先立ち発進・到達立坑部において土質調査を行った。その結果得られた土質

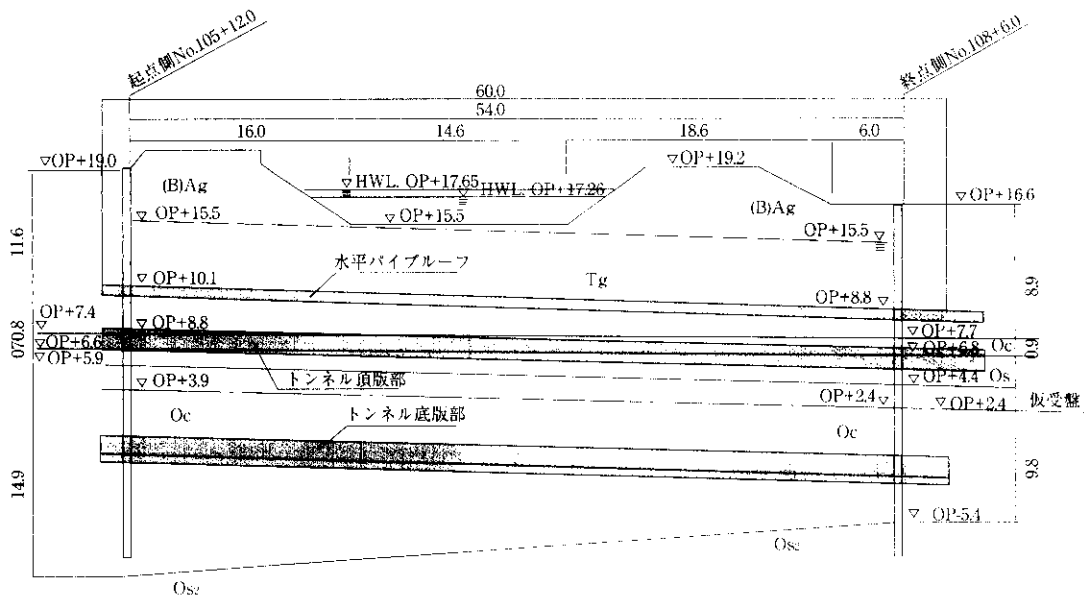


図-2 土質調査による土質想定図

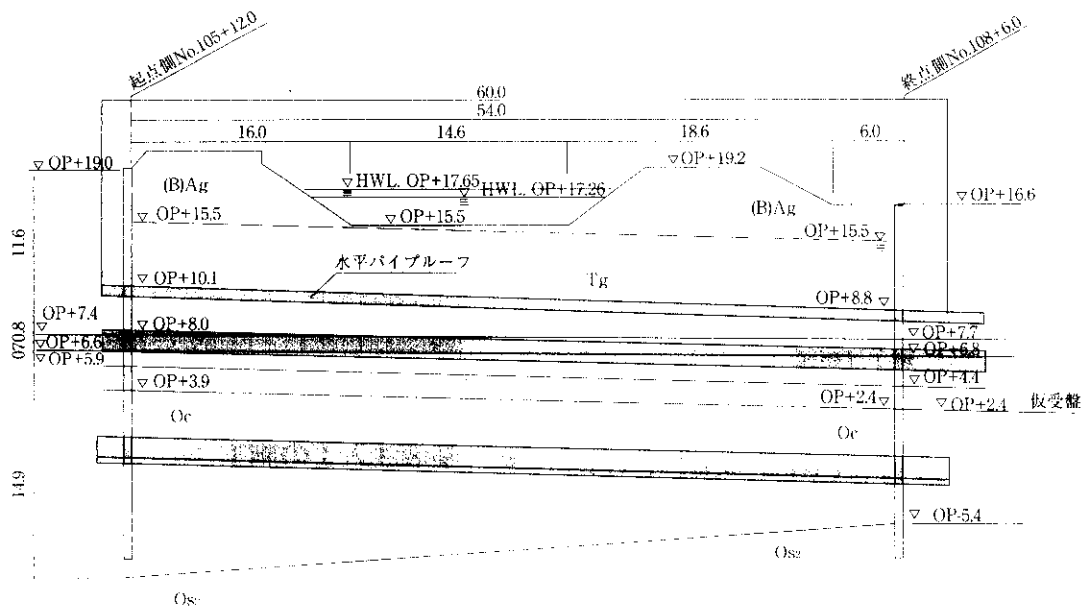


図-3 立坑掘削による土質想定図

想定図を図-2に示した。

当該箇所は、低位段丘堆積層 (Tg) が下位の大阪層群と傾斜不整合で接している。この低位段丘堆積層は、主に黄褐～暗褐あるいは暗灰色の色調を示し、 $\phi 2 \sim 5$ mmの垂角礫上の細礫が卓越するが、中～下層部は $\phi 100 \sim 150$ mm位の大礫級玉石を点在させている。また、所々に風化礫の混入も認められる。N層は11～62の間にあり、ややばらつきが認められるが、大半は30～50の間であり、密な相対密度を示した比較的良好に締まった砂礫層である。

地下水は箕面川の直下であることから、比較的高い。しかし、立坑掘削によりOs₁ (大阪層群第1砂質層) はボーリング位置でレンズ状に分布し、導坑掘削の仮受盤はOc₁ (大阪層群第1粘土層) であることが判明した。パイプルーフ工法の設計再検討は、支持地盤の違いにより行った。立坑掘削により想定される土層想定図を図-3に示した。

1-2 パイプルーフ工概要

パイプルーフ工の概要を図-4を示した。当工区において、水平部 $\phi 914.4 \times 12$ (SKY400) の鋼管を

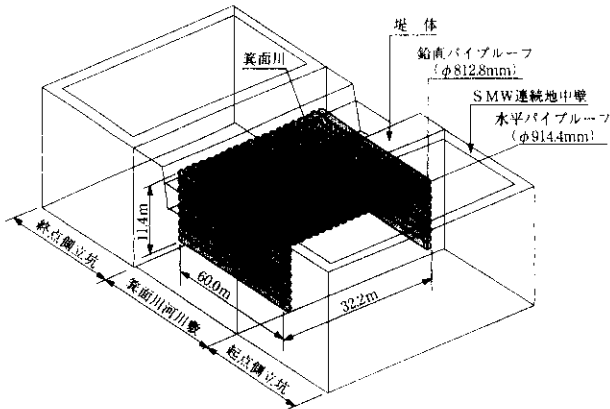


図-4 パイプルーフ概要図

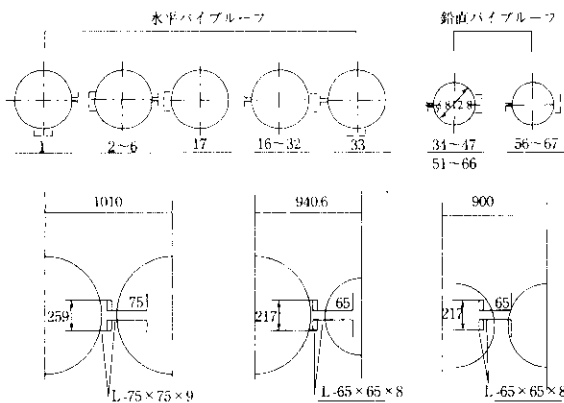


図-5 継手詳細図

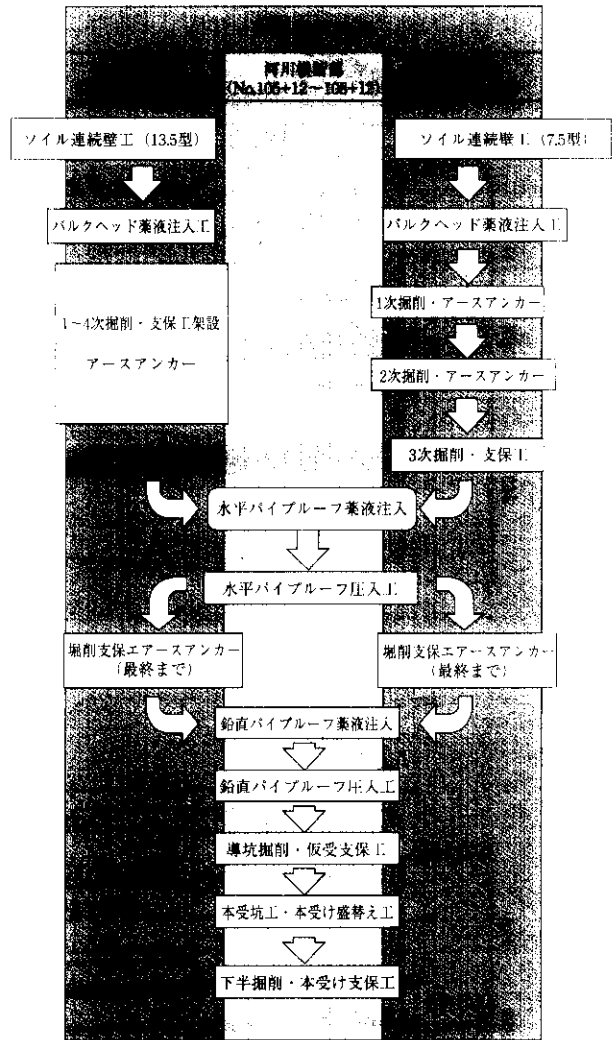


図-6 施工フロー図

33本、鉛直部でφ609×14 (SKY400) で鋼管を34本 (17×2) 使用した。大口徑・大断面のパイプルーフで箕面川下を横断する計画であったが、鉛直部は水平部の礫層部でのトラブルを鑑み、人力推進可能なφ812.8×12 (SKY400) に変更して施工した。

鋼管の延長は、水平部で60m、鉛直部で56mと長尺の施工となった。また、鋼管の継手は防水性を高めると共に継手の変形・離脱を防ぐため、図-5に示したL-L型継手を用いた。

1-3 パイプルーフ工施工フロー

パイプルーフ工の施工フローを図-6に示した。

2 薬液注入工の施工

2-1 薬液注入工の施工

パイプルーフの施工に先立ち、パイプルーフの周辺に薬液注入を施工し、以下の事態の防止策とする。

- ①パイプルーフ施工時の刃口および周面からの湧水
- ②パイプルーフ施工後の継手からの湧水
- ③坑内掘削時のパイプルーフ支承地盤の劣化
- ④パイプルーフ上部の土留めアンカー耐力の劣化

薬液注入は、止水効果が十分に期待でき、地下水に汚染・汚濁の影響を与えない2重管バブルパッカ

表-1 配合表

1次CB注入(1000リットル当)		2次SL注入(1000リットル当)	
セメント	300kg	SL珪酸ソーダ	250リットル
ベントナイト	62.5kg	SLリアクター	65リットル
水	869.5リットル	水	685リットル

一工法を採用した。注入材は、砂礫層への粗詰注入（1次注入）にはセメントペイント、疑似注入（2次注入）には水ガラス系の非アルカリシリカライザーを用いた。配合は表-1の通りである。

2-2 施工時の問題点

バルクヘッドは立坑掘削前に施工した。また、鉛直削孔であるため壁面に対する影響もなく問題なく施工できた。しかし、水平部・鉛直部の施工に際しては以下の問題点があり、計測しながらの施工となった。

- ①薬液注入により過剰な圧力が発生した場合の土留壁の変位の増加。
- ②水平削孔による地盤の緩みにより、上部アンカーの定着強度の低下。
- ③河川直下の施工のため、注入材の引き上げによる河川汚濁の恐れ。

上記により施工時においては、堤体の変状測定、壁面変状測定、アンカーの土圧測定を行った。

その結果、削孔時に若干の堤体の沈下および注入時に隆起が見られた。壁面変位も注入時に観測したが、注入セットを途中から減らし、注入順序を考慮する等の対応の結果、アンカーの土圧低減、および壁面のクラックも見られず、無事施工を完了することができた。

また、河川に対する監視は河川内に監視員を配置することで対応した。

2-3 薬液注入工の効果

水平・鉛直パイプルーフの推進工は完了している

が、河川直下の推進にもかかわらず、湧水の発生、地山の崩壊もなく薬液注入の効果は、十分果たしていた。

3 水平パイプルーフ工の施工

3-1 基準管の施工

パイプルーフ推進工は、管壁面の継手によって管の方向、高さが拘束されるため最初の基準管の精度が全体の施工精度に大きな影響を与える。基準管（水平部33本のうち中央の管）施工にあたっては方向修正付き先導管により、φ400オーガーを用いて施工を開始した。

土質柱状図、立坑掘削による予測された礫は最大150mmであったが、推進当初から大きな礫が確認された。この礫は、オーガーによって破碎し排土していたが、推進距離約8mにおいてオーガージョイントが破損したため推進不能となった。



写真-1 玉石の状況

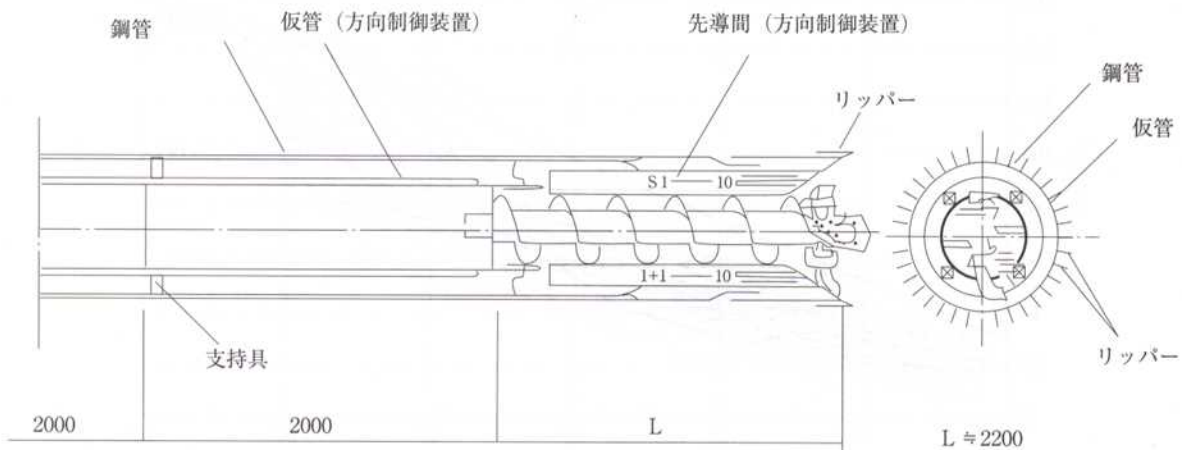


図-7 方向修正装置概要図

施工を再開するにあたっては、φ900用オーガーによる通常推進に切り替え取り込み可能な礫径を大きくした。方向および高さの管理は、鋼管とオーガーの都合で6m毎に計測し、方向修正が必要な場合は人力掘削で対応した。人力掘削において長辺400mmを越える礫も出現した。(写真-1)なお、方向修正装置を図-7に示した。

3-2 施工精度

パイプルーフ推進工は、土質が一様で障害物がない場合は、施工長に対して1/200~1/300であるが、本工事においては、1/300を目標とした。鋼管推進においては、管の高さ、ローリング

のデータを取り、このデータに基づきローリング量の調整、刃口部リッパの取付位置の調整、その数の増減により、精度の確保に努めた。

その精度は図-8に示した通りである。

なお、400mmを越える礫および管下端に位置する粘性土により12~13本目当たりで当初目標の-200mmをオーバーした。上記方法では、工法修正不能であるため、鉛直パイプルーフの施工性を考慮し、人力推進にて新たに基準管を2本施工した。

3-3 推進機械の能力

推進およびトルクの実績値は、図-9、図-10に示した通りである。(使用機種KE-2300、3300)

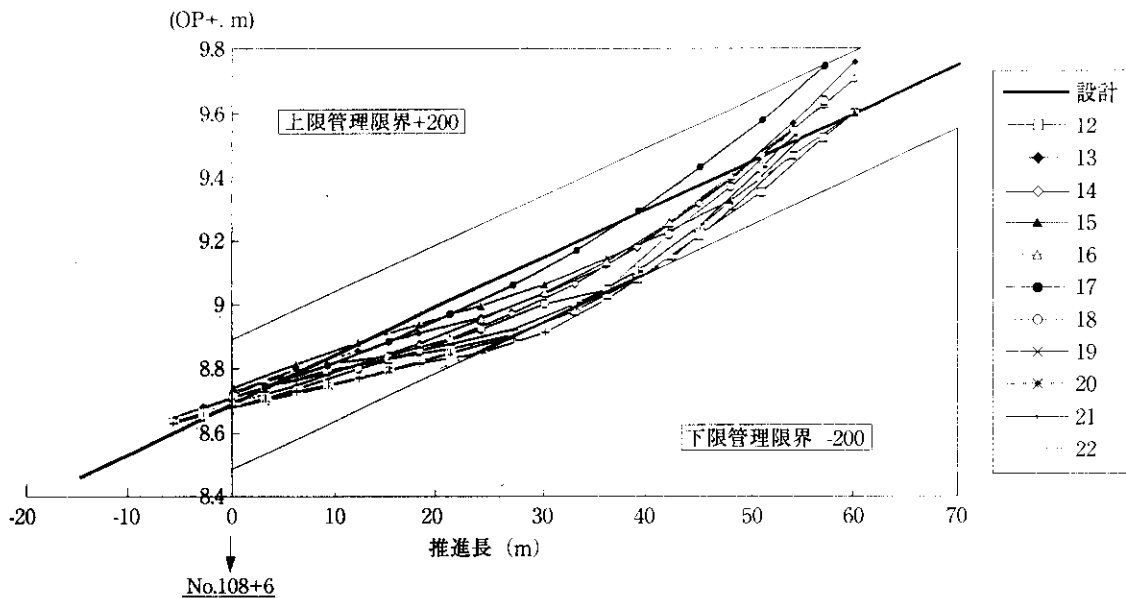


図-8 推進管理図

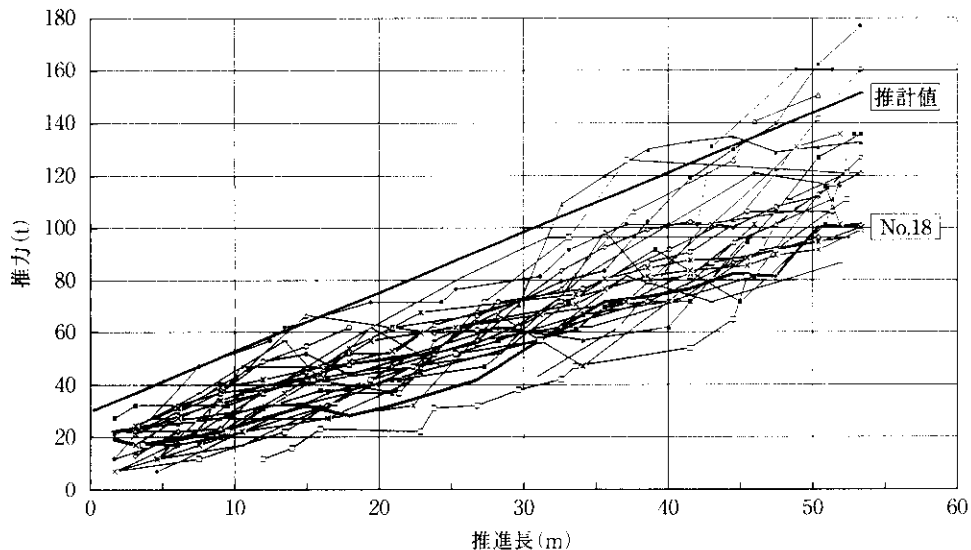


図-9 実績推力図 (水平パイプルーフ)

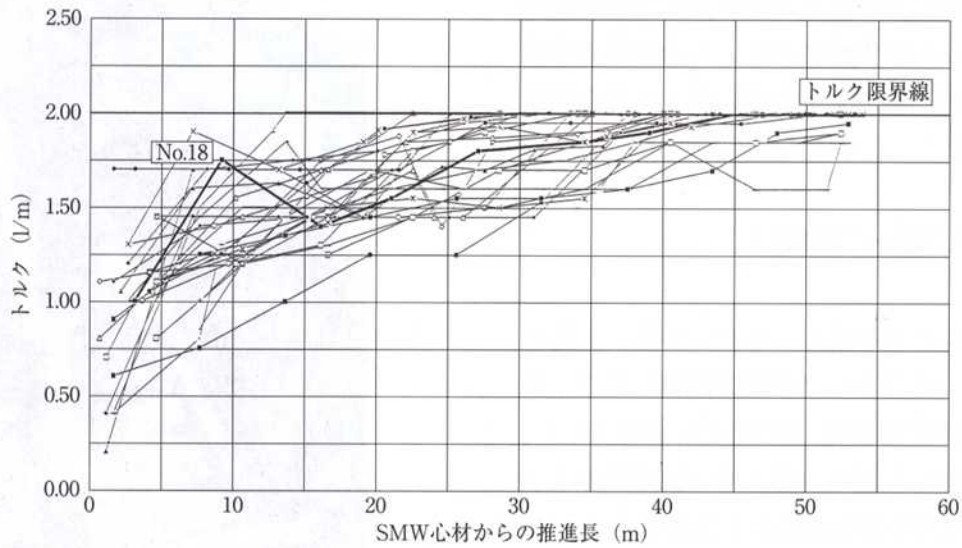


図-10 実績トルク値 (水平パイプルーフ)

図より、400mmを越える礫のため、トルクリミットが度々トップしたことが判る。また、10数回オーガージョイントが破損し、オーガを引き抜きジョイントを取り替え推進したり、人力にて進んだ。推力は上記条件のもと推進速度を抑えて推進したので、問題なく推進できた。水平パイプルーフ施工状況を写真-2に示した。

3-4 施工実績工程

水平パイプルーフ推進の施工実績工程を図-11に示した。当初予定されたのをはかるに越える巨



写真-2 水平パイプルーフ施工状況

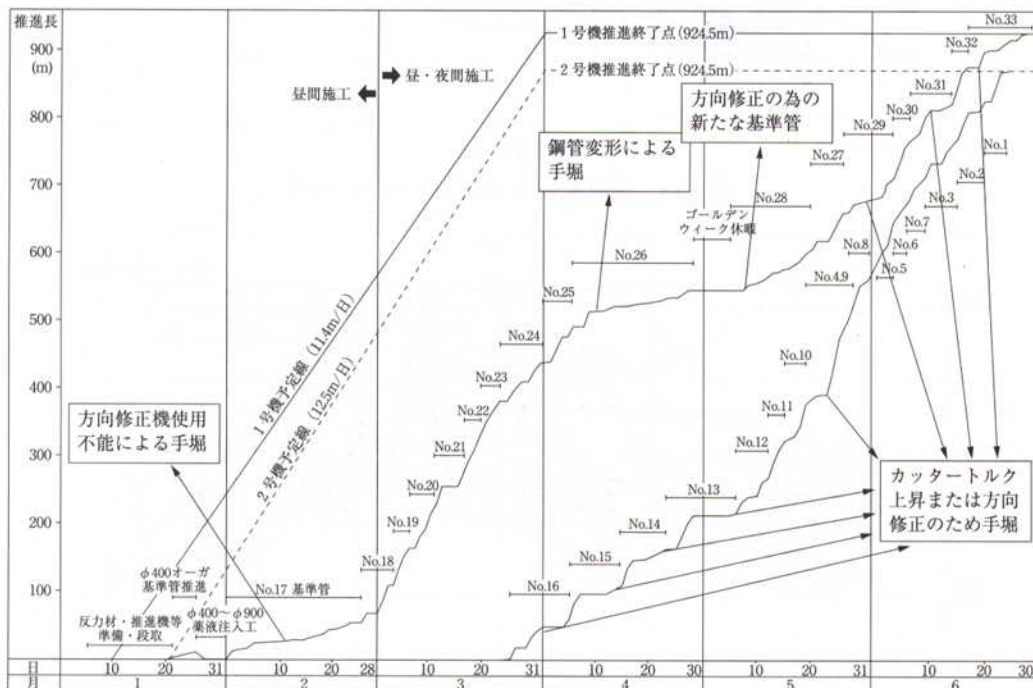


図-11 水平パイプルーフ施工実績工程表

大な砂礫の出現によるオーガージョイントの破損やトルクリミットの作動により、人力掘削を余儀なくされたため、施工完了までに約6ヶ月を費やす結果となった。

4 鉛直パイプルーフの施工

鉛直パイプルーフの施工にあたっては、上述のように、水平パイプルーフの施工実績により、人力推進可能な鋼管径φ812.8に変更して施工した。その結果、予定した通り上部3本の推進にあたっては礫により人力推進を余儀なくされた。

4-1 施工精度

水平パイプルーフと同様にローリング量の調整、その数の増減により、精度の確保に努めた。

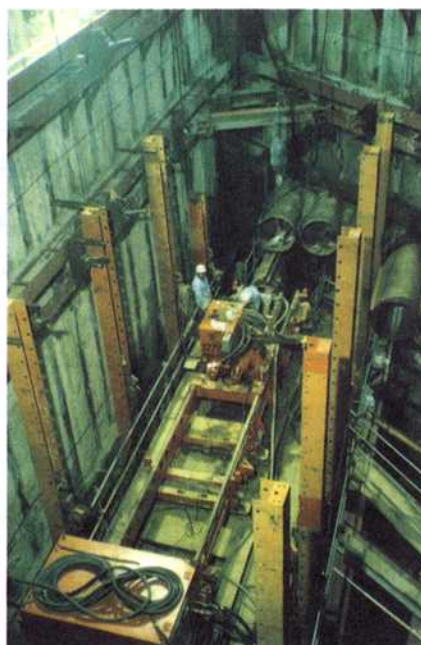


写真-3 鉛直パイプルーフ施工状況

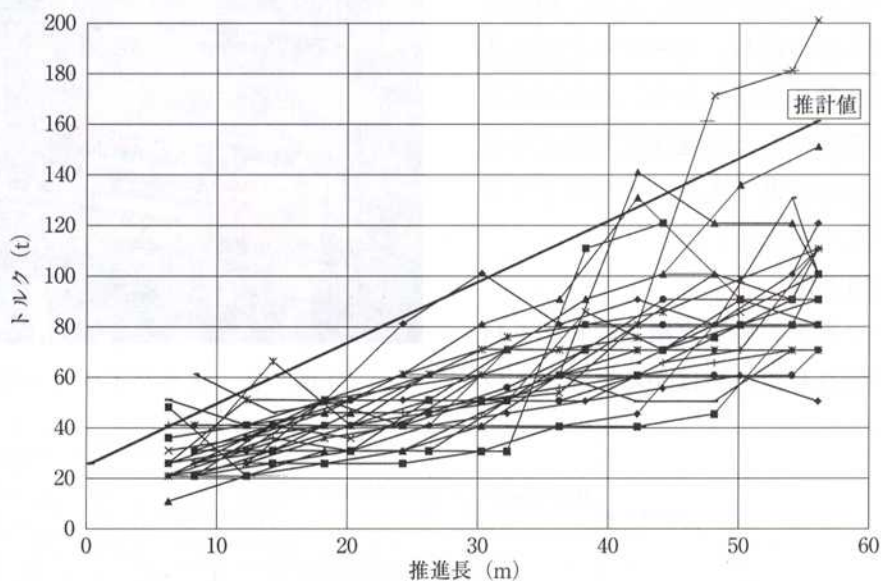


図-12 実績推力値 (鉛直パイプルーフ)

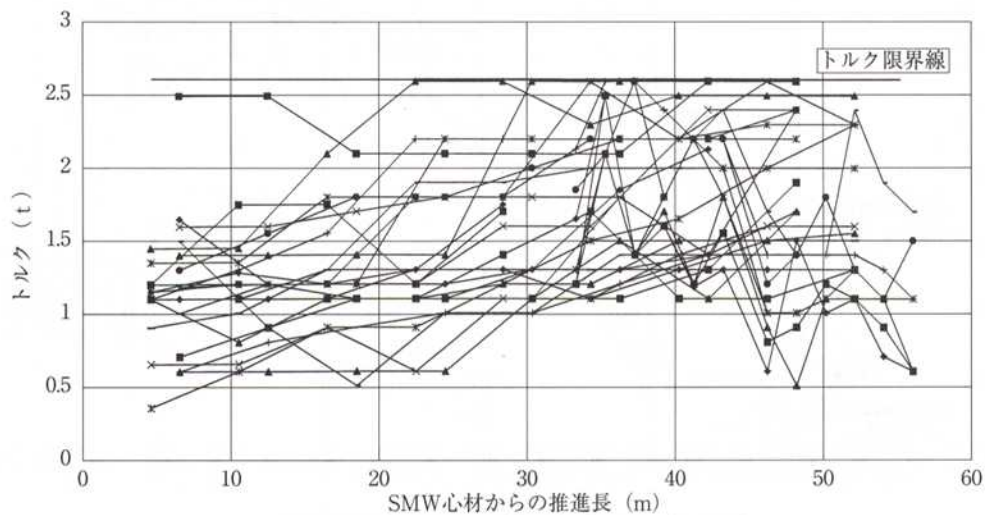


図-13 実績トルク値 (鉛直パイプルーフ)

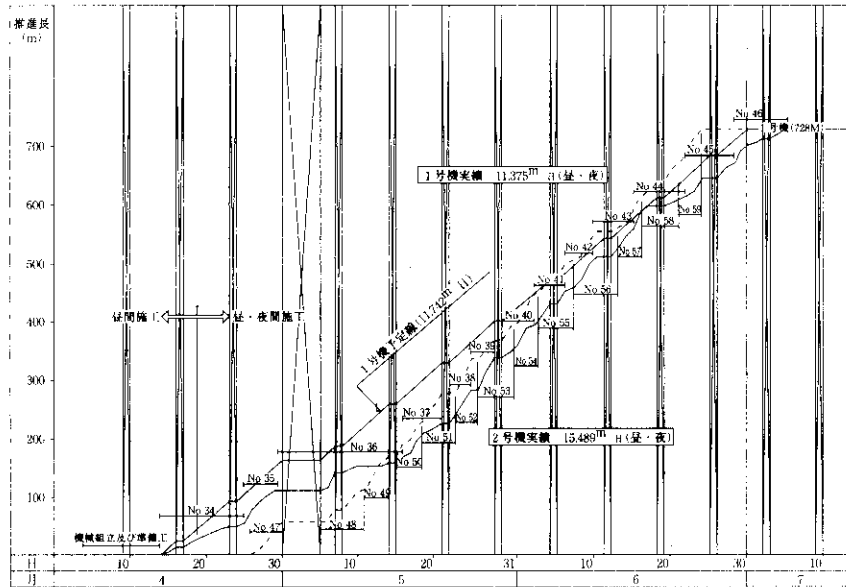


図-14 鉛直パイプルーフ実施工程表

しかし、オーガーの回転方向にローリングする傾向があり、その調整に苦勞した。水平パイプルーフの施工に比べ粘性土区間が多く、その精度は確保できた。

4-2 推進機械の能力

推力およびトルク値の実績値は、図-12、図-13に示した通りである。

図より、人力推進を併用した礫層を除き機械能力に問題はなかった。鉛直パイプルーフの施工状況を写真-3に示した。

4-3 施工実績工程

上部3本 (No.4、No.7、No.28) の人力推進は、これ

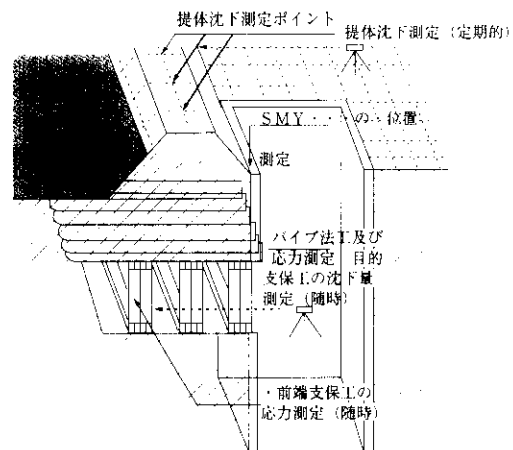


図-15 計測施工概念図

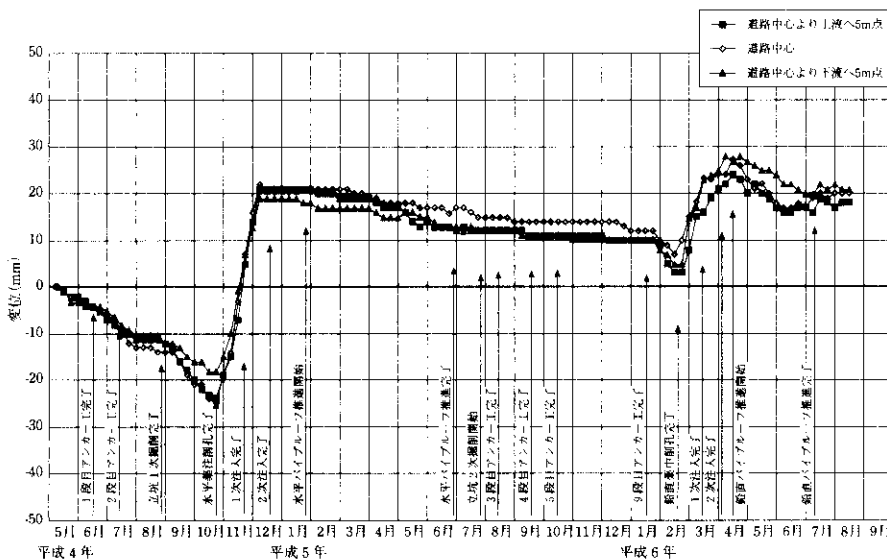


図-15 箕面川右岸側提体変状経時変化 (平成4年5月～平成6年8月)

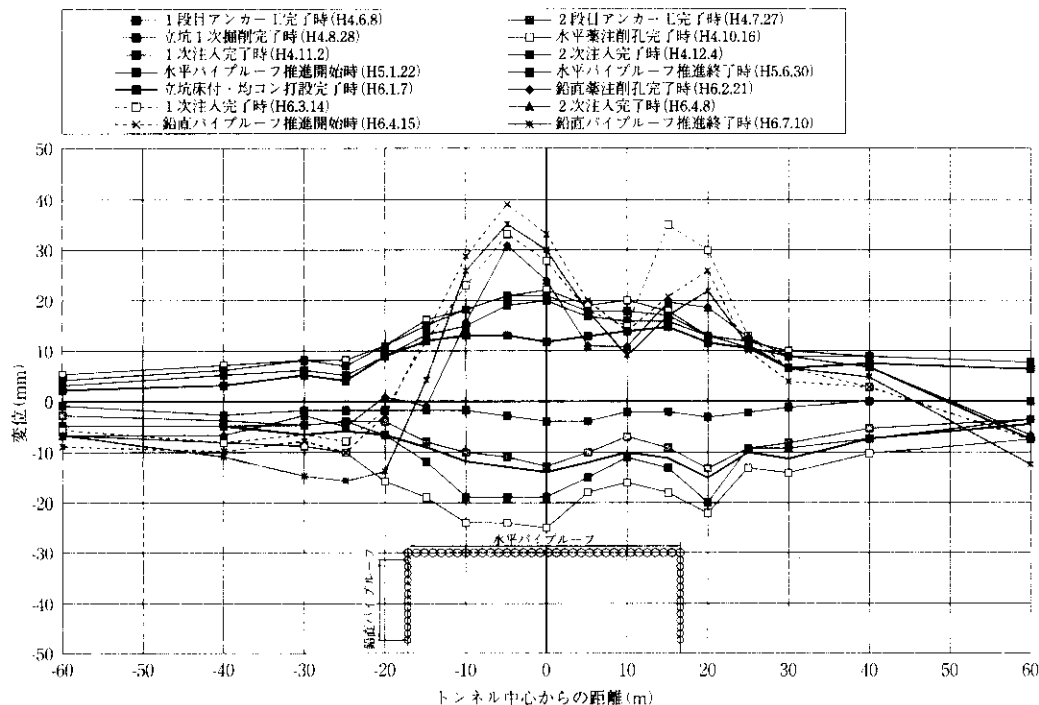


図-16 箕面川右岸側堤体変状図 (平成4年5月～平成6年8月)

までの水平パイプルーフの実績より予想されていた。このため、労務その他を手配し施工したので、ほぼ予定通り施工できた。図-14に施工実績工程を示した。

一削孔および薬液注入削孔の際に若干の沈下が認められるが、河川管理値の50mmはクリアしている。その後、薬液注入の影響により、若干の隆起、沈下はあるが大きな堤体変動は見られていない。

5 パイプルーフの計測計画

パイプルーフ下での作業は多種に及ぶため、各作業の複合による沈下、隆起が懸念される。

そのため、計測施工により箕面川堤体の沈下および導坑掘削時の支保工の変位測定を行い、施工の影響把握を行うことにより施工にフィールドバックする。また、箕面川特殊部は河川下の大断面パイプルーフ工事となり施工例も少ない工法であるため、施工資料も十分整備されていない。このため、日常の施工管理の他、河川構造物に対する影響を最小限に押さえ、また当工法により設計および施工資料とするため各種計測工を実施する。図-15に計測施工の概念図を示した。

現在、導坑掘削に先立ち、計器を取り付け自動推測を開始している。また、立坑掘削開始より箕面川堤体の沈下観測を行っているため、その結果を図-16、図-17に示した。現在のところ、アースアンカ

あとがき

伊丹第1工区開削トンネル工事におけるパイプルーフ工法について概説した。

今後、同様のパイプルーフ工法が阪神高速道路公団においても各地で計画されているので、本論文が役立てば幸いである。また、現在工事において導坑掘削が開始され、自動計測を実施しているため、機会があればその詳細について報告したいと考えている。

参考文献

- 1) 田中、山本、水谷：開削トンネルの河川横過部におけるパイプルーフ工法、第20回日本道路会議論文集
- 2) 基礎工：Vol. 24, 1994. 4