

浅層大断面トンネル工法の適用に関する調査研究（その2）

浅層トンネルのメカニズムの解明

京都大学 フェロー 田村 武

中央復建コンサルタンツ（株） 正会員 小嶋 勉

パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 濱手慎也

（株）ニュージェック 正会員 市川真治

（財）地域地盤環境研究所 正会員 長屋淳一

1、明らかにする事項

浅層大断面トンネル工法を提案するにあたり、表-1にまとめたメカニズム（力学特性）を明らかにする必要がある。

2、文献調査

まず、明らかにする事項を既往の文献から調査する目的で、表-2に従って文献調査を行った。

文献調査の主要な結果は以下のとおりである。

1) 土被りが 0.5D 以下の場合、施工時・完成時ともに全土被り荷重が作用する。また 0.5D ~ 1.0D の間にグランドアーチ形成の境界がある。1.0D 以上では確実に期待できることから、先行部を小断面で NATM 的に施工する工法は有効と言える。1)

2) 近接（併設）トンネルにおいて施工プロセスを考慮すれば、1D 以上の場合、先行掘削部に全土被り荷重以上の土圧が作用しうる（実験では 20% 程度増）。そのため中間ピラー部の支持方式の検討が重要となる。またピラー部に先行の増幅荷重を集中させれば、ルーフ部の荷重を軽減でき構造的に安定させることができる。また後行トンネルの影響割合は、土被りに応じて異なり、掘削幅 B として、土被りが 0.5D のときは 0.25B の離隔で後行の影響がなくなり、土被り 1.0D の場合は、0.5B の離隔で影響がなくなる。2)

3) 上部、側部、下部の掘削順序により、地表面沈下や天端沈下など変形モード、変形量が異なる。3)

3) 切羽の安定は、砂質地盤の場合、縦断 2 次元の極限解析で安定性評価が可能。プレライニングは概ね 0.5D 以上の先受け長は切羽安定性にさほど効果がない。4)

3、構造物としてのアーチ効果

構造物としてのアーチ効果を検証するため、以下のパラメトリックスタディを行った。検討条件は、図-1のとおりである。

検討の結果の一例を図 2.1 ~ 2.6 に示す。同図は Span 7m、脚部はピン固定であり、rise 3.5m とは真円を意味している。また凡例の○は、その点における rise、width で無筋として構造的に成立していることを意味しており、×は不成立である。すなわち○より下方であれば構造的に成立する組み合わせとなる。結果から以下のことが分かる。

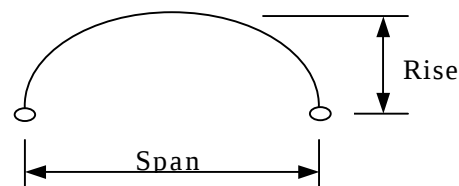
- 1) 脚部の側方拘束が重要である。完全剛結ではなくピン支承で水平拘束力を与える方が良い。
- 2) 側方の地盤反力が期待できれば、かなり薄い覆工で支持することが可能となり設計可能範囲が広がる。逆に期待できない場合は相当部材厚が厚くなる。

表-1 明らかにすべきメカニズム

①作用土圧	土被りによる全土被り圧とゆるみ土圧の境界、土被りと側圧の関係、施工プロセスによる荷重変化、断面のスケール効果、小断面トンネルにおけるゆるみ荷重から全土被り荷重への転移およびその経時変化、近接影響、地下水の影響
②切羽安定	切羽安定評価指標、地盤物性値 (c、φ) との関係、切羽安定に寄与する補助工法の効果率
③構造物としてのアーチ効果	偏載荷重・側圧係数・地盤反力に対する望ましいアーチ断面形状（アーチライズ）および断面厚との関係、断面厚変化の効果、無筋アーチ構造の限界、多連アーチと単アーチの差異、石積み多連アーチ橋の構造メカニズム
④周辺環境	変形・沈下、周辺環境への影響
⑤長期安定性	耐久性、水密性、耐震性能
⑥構造モデル	アーチ接合部、継ぎ手モデル、柱列支承部、解析的評価法、設計手法、実験による評価、施工事例による評価

表-2 文献調査項目

	分野	キーワード
文献調査 (1)	理論	土被りが浅いトンネルの力学、周辺地力、切羽安定理論、繰り荷重、土圧理論 等
文献調査 (2)	実験	落し戸実験、底面摩擦、遠心力、3次元模型、覆工模型 等
文献調査 (3)	地盤との相互作用の研究	土被りとアーチアクション（特に構造物としてのアーチアクション）の関係、土被りと側圧の関係、掘削幅（スケール効果）、地盤特性 (c、φ) 等との関係、施工のプロセス、近接影響、地下水の影響 等
文献調査 (4)	解析手法	浅層解析の取組みを中心としての FEM、DEM、剛塑性、切羽安定解析、不連続（すべり）解析 等
文献調査 (5)	浅層（大断面）トンネルの施工事例	地盤（地下水）、土被り、断面形状、地上条件、工法（加圧掘削）、未固結地山、支保構造、支保荷重、作用土圧、切羽・沈下防止対策、施工プロセス、近接影響、計測データ、変位・変形、周辺環境への影響 等
文献調査 (6)	ルーフ形成工法調査	推進工法、路下掘削工法、トンネル工法、業者へのヒアリング



土被り	5m（全土被り荷重）
側圧	浅層であることから K0=0.5
アーチスパン	7m、14mの2パターン
アーチライズ	真円から扁平まで数パターン
側方拘束条件	完全ピン固定、バネ支承
アーチ側方地盤反力	反力ゼロ〜有り 全4パターン
偏荷重	偏荷重なし、有り（偏圧 5m 相当）

図-1 アーチ効果の解析モデル

キーワード：都市トンネル、非開削、NATM、土のアーチアクション、解析、小土被り
連絡先：大阪市淀川区西宮原1-8-29・tel、06(6393)1106・FAX、06(6393)7527

3) 等分布荷重の場合は、アーチライズが大きいほど、部材は薄くできる。偏荷重が作用する場合は、アーチライズが小さい方が有利となる。すなわちアーチライズが大きいと偏圧に弱く、土被りが薄いと偏土圧に弱い。

また、ここに示した以外の検討から以下の結論を得ている。

4) 脚部の水平拘束力が期待できれば、結果はピン支承とさほど変わらない。

5) スパンが 14m の場合は、側方地盤反力が期待できない時は、1m の部材厚でも剛構造とは言えない。

以上より、表 - 3 に示すとおり、NATM とシールドに対して、浅層大断面工法の位置づけができる。

4. 検討結果

本報告は中間成果であるが、現在までに以下の結論を得ている。

1) 国内外の文献調査によれば、土被りが 0.5D 以下の場合は全土被り荷重が作用し、近接トンネルにおいて施工プロセスを考慮すれば全土被り荷重以上の土圧が作用しうる。

2) 構造物としてのアーチ効果について、アーチ脚部の水平変位をできる限り拘束する事が重要、部材剛性が大きい(部材が厚い)と地盤反力にあまり依存しない、偏土圧を考慮するとアーチライズが小さい方が有利などの知見が得られた。

3) 単アーチと複アーチの比較では、トータルスパンが同じ時、複アーチのほうが、天端変形が 1/16、側方反力が 1/2、曲げモーメントが 1/4 となり、構造的に有利となる。

今後さらに究明しなければならない技術的課題としては、

1) 浅層トンネルのメカニズムについて、特に施工プロセスを考慮した特性を、解析・実験によってさらに明らかにしていく必要がある。

2) 設計手法として、設計荷重の設定、設計モデルについて明確にして提案する必要がある。

5. おわりに

大断面トンネルを 0.5D 以下の小土被り条件で構築する検討事例は少ない。

また構造物の剛性と地山支持効果との関係や、施工プロセスを考慮した土圧の変化過程の解明は未だ明確にされておらず、浅層トンネルの設計手法を確立していく上で本研究の果たす役割は大きい。

今後、本工法の優位性、適用性を条件に応じて明らかにするとともに、設計・施工技術を確立していきたい。

(参考文献)

1) 石村・真下・真弓(1998): 土被りが浅い砂質地山のトンネルに作用する荷重に関する模型実験 土木学会第 53 回年次学術講演会 2) 神谷・足立(1995): 双設トンネルの力学挙動に関する研究 京都大学卒業論文、平成 7 年 2 月 3) 松井・中井・Márcio Muniz De Farias, 楠木(1999): 掘削順序の異なるトンネル掘削モデル実験 第 34 回地盤工学研究発表会 4) 田村・足立・小西・辻(1999): 剛塑性有限要素法によるトンネル切羽の安定性評価について 土木学会論文集 No.638

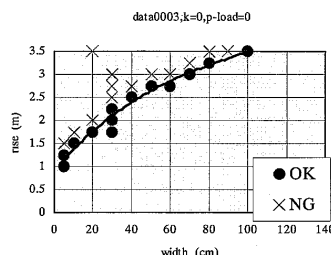


図-2.1 地盤反力考慮せず等分布

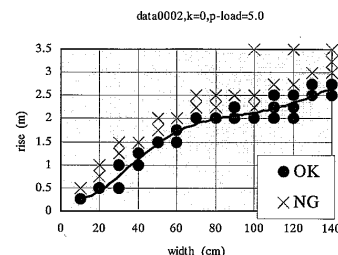


図-2.2 地盤反力考慮せず偏土圧

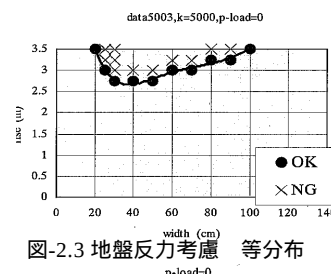


図-2.3 地盤反力考慮 等分布

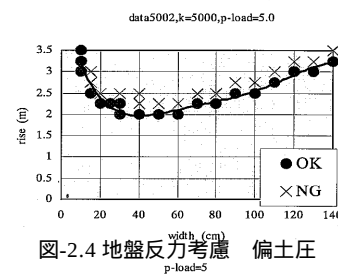


図-2.4 地盤反力考慮 偏土圧

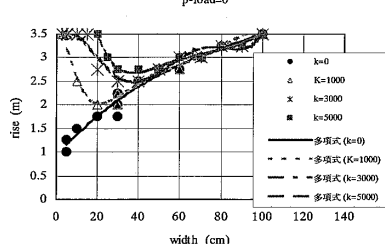


図-2.5、2.6 span7m、脚部ピン固定 地盤パネによる比較

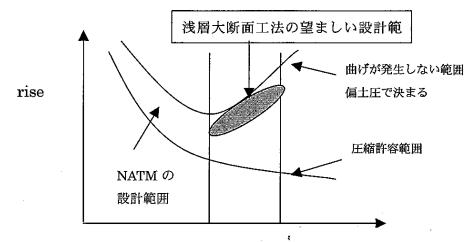
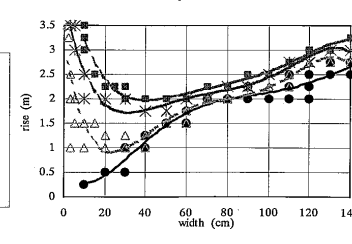


図-3 浅層大断面工法の構造成立性の概念

表-3 浅層大断面トンネル工法の位置づけ

	NATM	シールド	浅層大断面工法
トンネル剛性	小	中	大
地山支保分担	大	中	小