

地下河川トンネルにおける覆工作用土圧の現場計測

IN-SITE MEASUREMENT ON EARTH PRESSURE ACTING ON SEGMENT OF UNDERGROUND RIVER TUNNEL

小嶋清伍¹⁾・橋本 正²⁾・長屋淳一²⁾

Seigo KOJIMA, Tadashi HASHIMOTO, Junichi NAGAYA

Although it is important to understand the earth pressure acting on linings when design shield tunnels, the reasonable design pressure is not established yet. In the case of tunnels used for underground river, the inner water pressure has to be considered as water will be filled as the countermeasure for flooding. In this paper, in-site measurement is carried out to grasp the behavior of earth pressure on linings, and the method to evaluate it in design is studied. The result shows that in hard ground, the initial pressure on linings is evenly distributed due to the big influence of backfill grouting and the grouting pressure will remain as part of the long-term pressure on the linings. For the construction of underground river tunnel, it is necessary to keep the grouting pressure when carry out backfill grouting management as effective earth pressure is needed considering the possible inner water pressure in the future.

Key Words : under ground tunnel, earth pressure, field measurement , backfill grouting

1. はじめに

シールドトンネルの設計において覆工に作用する土圧を把握することが重要であるが、周辺地盤条件および施工条件など覆工作用土圧に対する種々の影響要因があり、設計における合理的な設計荷重系を確立するには至っていないのが現状である。また、地下河川トンネルでは、豪雨時の洪水対策としてトンネル内に水を湛水するため、トンネル内部より作用する水圧を設計荷重として考慮しておかなければならない。覆工にはテール通過と伴に裏込注入圧が初期の作用圧力となり、その後、硬化した裏込注入材と地盤と覆工の相互作用により作用土圧が変化する。よって、長期的な覆工土圧の変化には地盤物性や裏込注入等の施工条件が影響要因として考えられる。特に、硬質地盤においては、裏込注入等の施工条件による影響を大きく受けると思われ、合理的な設計荷重を設定するには、実現場における裏込注入による初期圧力からテール通過後の長期的な土圧挙動を把握することが重要である。本論文では、シールドトンネルの覆工作用土圧および応力の現場計測を実施し、覆工作用土圧挙動の実態を把握し、覆工設計における作用荷重の考え方について検討を行った。

2. 計測現場の概要

シールドトンネルにおける覆工作用圧力の長期的な挙動を把握するために大阪府で施工された地下河川トンネルの内、加美シールド、久宝寺シールド、寝屋川北部シールドの3つ現場において覆工作用土圧の現場計測を実

1) 正会員 大阪府土木部河川室

2) 正会員 財) 地域 地盤 環境 研究所

施した。表-1に3つの計測現場の施工概要を示す。これらのシールドトンネルはいずれも洪積層を掘進したトンネルであり、加美シールド、久宝寺シールドは洪積粘土層(Ma12)を掘進し、寝屋川北部シールドは洪積粘土(Ma11)を掘進したシールドである。使用されたセグメントは、加美シールドがRCセグメント、久宝寺シールドと寝屋川北部シールドはトンネル内に水が湛水した場合の内水圧に対応するためにNMセグメントが用いられた。図-1に計測位置における土質柱状図とシールド掘進深度を示す。尚、これらの覆工土圧の計測には、パッド式土圧計¹⁾を用いた。

表-1 現場計測実施トンネルの施工概要

	加美シールド	久宝寺シールド	寝屋川北部シールド
シールド径	8150mm	7400mm	8240mm
セグメント種類	RCセグメント	NMセグメント	NMセグメント
裏込注入方法	即時注入(グラウトホールより)	同時注入	同時注入
土被り厚	22.208m 22.218m	22.280m	37.635m
掘削土層	上半：洪積粘土(Ma12) 下半：洪積砂礫層	上半：洪積粘土(Ma12) 下半：洪積砂礫層	洪積粘土層(Ma11)
N値	上半：N=5 下半：N=50~60	上半：N=5~10 下半：N>60	N=7
一軸圧縮強さ q_u	約200kN/m ²	約240kN/m ²	約360kN/m ²

3. 現場計測結果

1) 加美シールド

(1) 現場計測結果

加美シールドは、土被り厚22.2mで、上半が洪積粘土(Ma12)、下半が洪積礫層を掘削する現場である。図-2、図-3に加美シールドの計測断面における覆工作用土圧のテール通過時および長期的な経時変化を示す。なお、本論文中に示す土圧は、すべて全土圧(有効土圧+水圧)である。シールドマシン通過時における覆工に作用する圧力は、マシン内で組み立てられたセグメントがシールドマシンのテールを抜ける段階ではテールシールによる圧力が作用し、マシンの進行によりテールシールが抜けるとともにテールボイド部に注入される裏込注入圧が作用することとなる。図-2に示す加美シールドでは、テール通過時においてテールブラシによる圧力増加が生じた後、テールブラシによる圧力から裏込注入圧へと移り

変わりテール通過リング(225R)掘進終了時では、約300kN/m²の注入圧である。その後、マシン停止時に約200kN/m²まで低下する傾向にあるが、左側部(■印)は、増加する傾向にある。さらに次リング以降の掘進時の裏込注入圧により覆工に作用する圧力は増加しており、特に左側部の作用圧力の圧力増加が大きい。これは、加美シールドの裏込注入はグラウトホールからの即時注入であり、計測断面においては左側部のグラウトホールから注入しており、注入位置に近い左側部の圧力が大きくなったと考えられる。図-3に示す長期的な土圧挙動をみると、明らかに年周期の土圧変化を示していることが分かる。この変化の影響としては地下水位の変動およびトンネル内の温度変化による影響が考えられる。図-3には覆工に設置した間隙水圧計による覆工に作用する水圧(白抜きの記号)を示してある。これより、水圧も年周期の変化を示しているが土圧の周期とは、ピークにずれがあり、

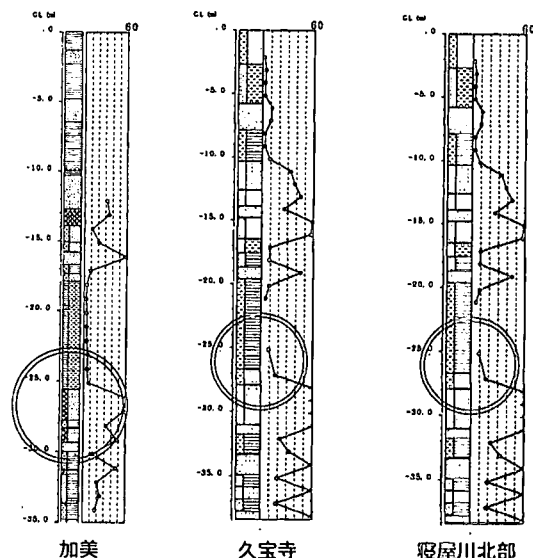


図-1 各計測位置の土質柱状図とシールド掘進深度

覆工作用土圧の変化は水圧変化の影響によるものではないと考えられる。温度変化による土圧への影響としては、トンネル内の温度変化によりセグメントに収縮および膨張が生じ、地盤および固化した裏込注入材が反力となり、土圧変化が生じることが考えられる。また、覆工作用土圧は、年周期の変化はあるものの、長期的に覆工作用土圧が減少していく傾向にはなく、覆工の初期圧力である裏込注入圧が保持された状態にあると言える。

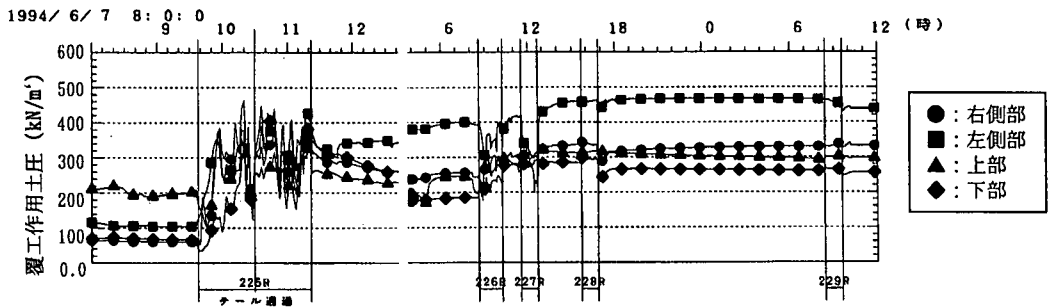


図-3 テール通過時における覆工作用土圧の経時変化 (加美シールド)

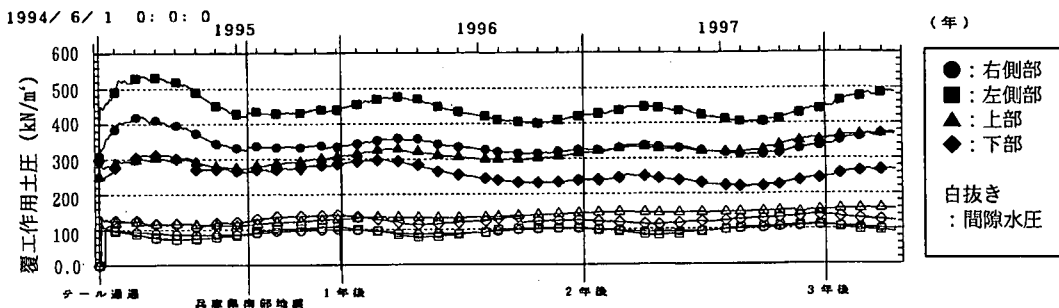


図-4 長期的な覆工作用土圧の経時変化 (加美シールド)

(2) 設計土圧との比較

図-4に覆工作用土圧分布を時系列に並べて示す。図中には計測値を●印、実線で設計値を示してある。加美シールドにおける覆工設計は、掘削地盤が洪積粘土と洪積砂礫層の互層であることより、全土被り圧、土水分離とし、慣用計算法により設計されている。設計値には慣用計算法で求められる地盤反力を含めた設計土圧分布としてある。テール通過1D後では、裏込注入口に近い左側部では設計値とほぼ同等の圧力が作用しているが、その他の位置では設計値の50～70%程度であり、覆工下部における土圧が特に小さい。長期的な土圧については、年周期の土圧変化が生じているため、一概には比較できないが、覆工の上部については、設計値である全土被り圧の70～80%土圧が作用している。

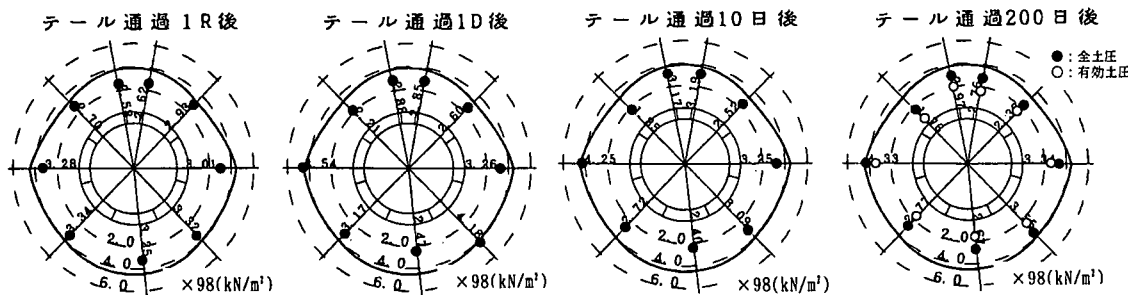


図-4 覆工作用土圧分布 (加美シールド)

2) 久宝寺シールド

(1) 現場計測結果

久宝寺シールドは、土被り厚 22.2m で、上半が洪積粘土(Ma12)、下半が洪積礫層を掘削する現場であり、地盤条件としては、加美シールドとほぼ同じ条件である。図-5、図-6に覆工作用土圧のテール通過時および長期的な経時変化を示す。図-5に示すテール通過時の挙動より、久宝寺シールドではテール通過リング(146R)の掘進終了時には約 300~400kN/m² の圧力となっているが、次リング掘進までの間に作用圧力は減少する傾向にある。その後、次リングの掘進時の裏込注入圧により圧力は増加、掘進終了と同時に減少し、この傾向がテール通過後約 5 リングまで生じており、約 250~300kN/m² の圧力となる。また、図-6に示す長期的な挙動より、10~30 日間に覆工作用土圧は急激に低下しており、特に覆工下端の土圧は、水圧と同程度の圧力となっており、同じ地盤条件で施工された加美シールドに比べて、長期的な作用圧力は小さな値となっている。

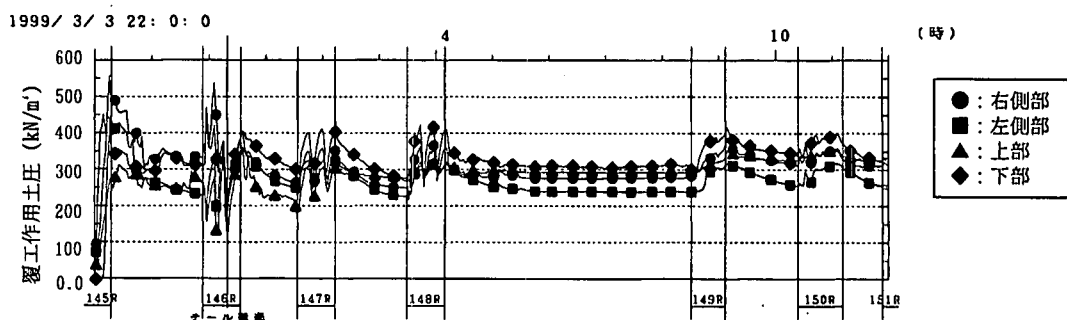


図-5 テール通過時における覆工作用土圧の経時変化 (久宝寺シールド)

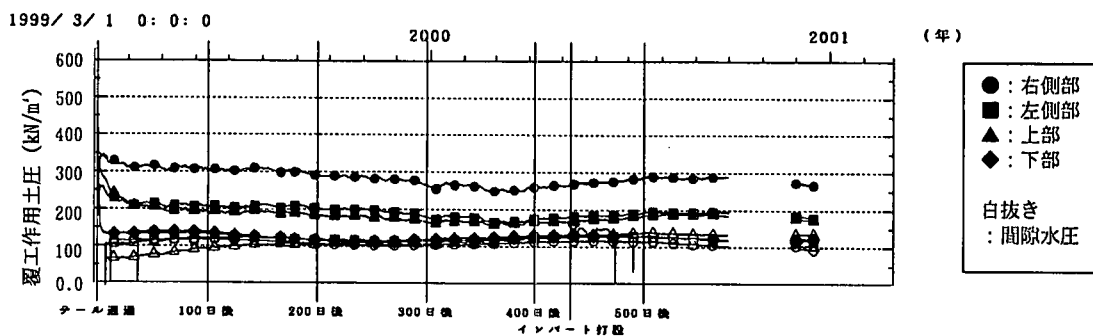


図-6 長期的な覆工作用土圧の経時変化 (久宝寺シールド)

(2) 設計土圧との比較

図-7に覆工作用土圧分布を時系列に並べて示す。久宝寺シールドにおける覆工設計は、掘削地盤が洪積粘土と洪積砂礫層の互層であることより、全土被り圧、土水分離とし、梁-ばねモデルにより設計されている。テール通過 1D 後では、裏込注入による作用圧力により比較的等方的な圧力分布を示しており、全土被り圧、土水分離とした設計土圧にほぼ一致した圧力分布である。しかし、長期的な土圧は、減少傾向にあり、設計値の 50% 程度となっている。

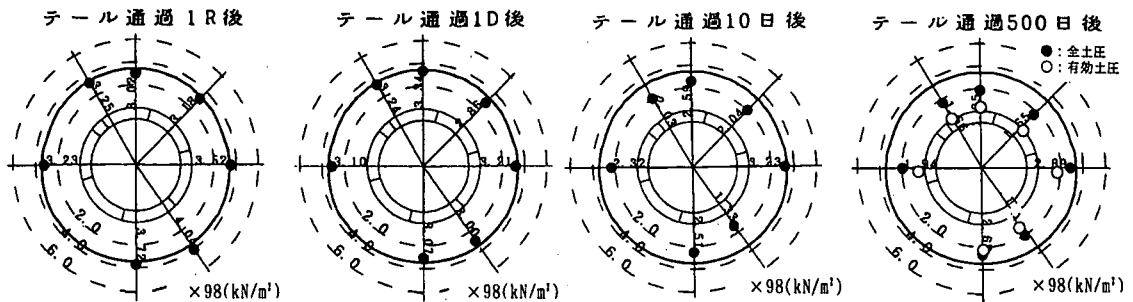


図-7 覆工作用土圧分布（久宝寺シールド）

3) 寝屋川北部シールド

(1) 現場計測結果

寝屋川北部シールドは、土被り厚が 37.6m で洪積粘土層(Ma11)を掘進する現場である。図-8、図-9 に覆工作用土圧のテール通過時および長期的な経時変化を示す。テール通過リング掘進後の覆工には裏込注入圧が作用し、その圧力は約 300~350kN/m² である。その後の次リング掘進時における裏込注入による覆工作用土圧の増加はあまり見られず、比較的一定した作用圧力となっている。これは、覆工に取り付けた間隙水圧計より計測位置における水圧はシールド上端部において約 300kN/m² であり、テール通過時における裏込注入圧は、覆工周辺の水圧相当の圧力であることから裏込注入が比較的低圧力で施工されたと考えられる。但し、計測位置におけるシールド周辺地盤は、硬質な洪積粘土であり、周辺地盤の変形はほとんど生じていない。長期的な覆工圧力の挙動は、加美シールドで見られたような年周期の変化挙動が若干見られるが、テール通過時の初期作用圧力に比べて長期的に低下あるいは減少する傾向にはない。このようにシールド周辺地盤が硬質粘土層であり、地山の変形性が小さい場合には、長期的な覆工作用土圧についてもテール通過時に作用する裏込注入圧に依存すると考えられる。

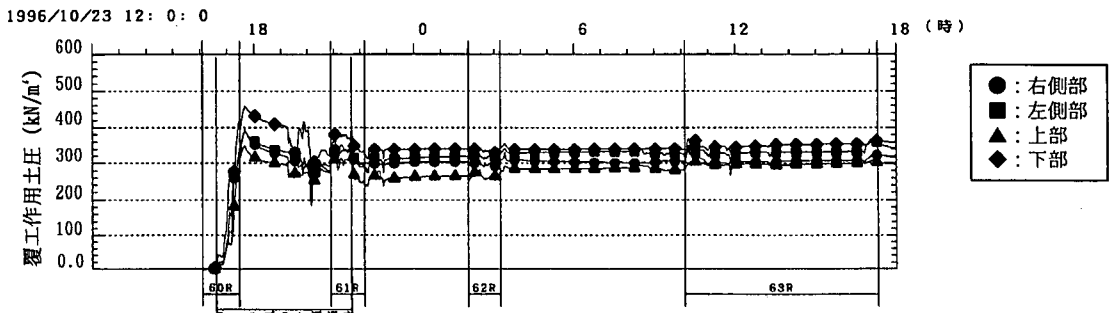


図-8 テール通過時における覆工作用土圧の経時変化（寝屋川北部シールド）

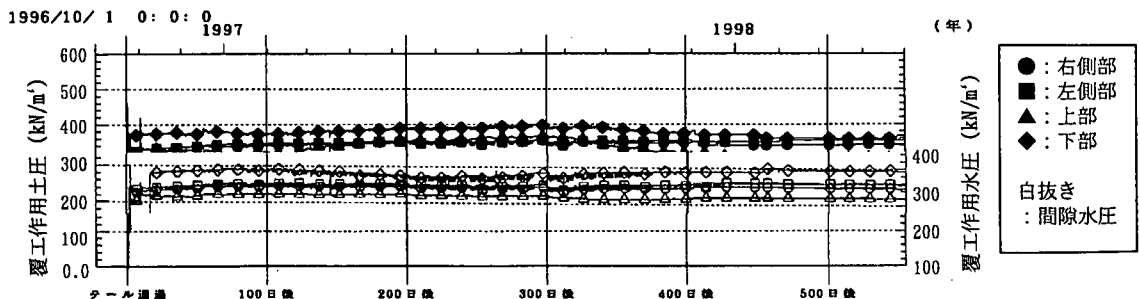


図-9 長期的な覆工作用土圧の経時変化（寝屋川北部シールド）

(2) 設計土圧との比較

図-10 に覆工作用土圧分布を時系列に並べ、合わせて設計土圧分布を示してある。寝屋川北部シールドにおける覆工設計は、全土被り圧、土水分離とし、梁-ばねモデルにより設計されている。覆工作用土圧の計測値は、テール通過の初期段階より周辺地盤の水圧相当しか作用しておらず、設計値の 50% 程度であり、長期的にも大きな変化は見られない。

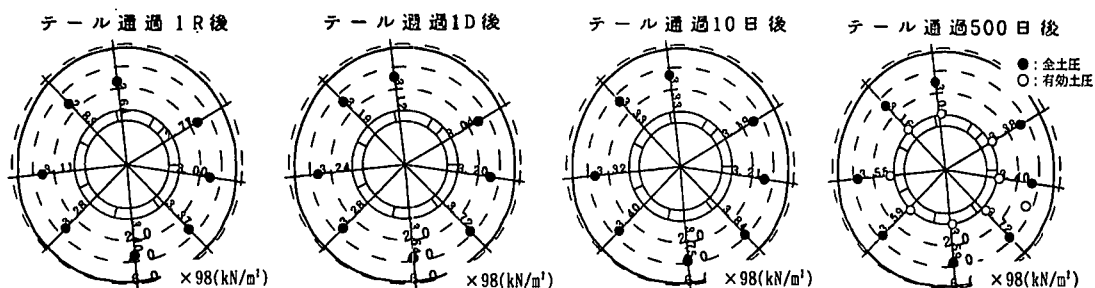


図-10 覆工作用土圧分布（寝屋川北部シールド）

4. 硬質地盤における裏込注入の影響

加美シールドと久宝寺シールドは同じ発進立坑より南側と北側に発進するシールドであり、加美シールドが土被り厚 22.2m、久宝寺シールドが 22.3m とほぼ同じ土被りで施工され、掘進する土層も上半が洪積粘土(Ma12)、下半が洪積礫層を掘削し、ほぼ同じ地盤条件中に施工されたものである。加美シールドにおける長期的な覆工作用土圧は、年周期の変化を示しながらもテール通過直後の裏込注入圧と同等の土圧が保持されている。一方、久宝寺シールドでは、裏込注入圧は加美シールドと同程度の圧力が作用しているが、長期的には覆工作用土圧が減少し、周辺地山の水圧程度の圧力まで低下しており、同じような地盤条件で同程度の裏込注入が作用しているにも係わらず長期的な土圧は異なる挙動を示している。これらには裏込材の強度や硬化過程における裏込材の体積収縮などによっても覆工作用土圧には影響を与えると思われる。また、寝屋川北部シールドのように周辺地盤が硬質で自立性が大きい場合、テール通過時に作用する裏込注入圧が小さいと覆工に作用する土圧は長期的に増加することではなく、初期の裏込注入圧で長期的な覆工作用土圧も決まってしまう。地下河川トンネルのように将来的に内水圧が作用した場合に、覆工作用土圧が小さいとセグメントの継手部に大きな引張力が作用することとなり、継手部分において不具合が生じることが考えられる。硬質地盤において将来的な内水圧に対応する覆工作用土圧を得るには、テール通過の初期段階で十分な裏込注入圧で施工することやテールボイド内における裏込注入圧を封入するような施工管理が必要であると考えられる。

5. まとめ

地下河川トンネルにおける覆工作用土圧の現場計測結果より、以下のような結論を得た。

- ①硬質地盤におけるトンネル覆工では、長期的な覆工作用土圧は、テール通過時に作用する裏込注入圧の大きさに大きく影響される。
- ①同じような地盤条件で同程度の裏込注入が作用しているにも係わらず長期的な土圧は異なる挙動を示しており、これらには裏込材の強度や硬化過程における裏込材の体積収縮などによっても長期的な覆工作用土圧には影響を与えると思われる。
- ②硬質地盤において将来的な内水圧に対応する覆工作用土圧を得るには、テール通過の初期段階で十分な裏込注入圧で施工することやテールボイド内で裏込注入圧を封入するような施工管理が必要であると考えられる。

参考文献

- 1)橋本 正, 矢部興一, 山根昭彦, 伊藤博昭(1993): パッド式シールドセグメント用土圧計の開発, 第 28 回土質工学会研究発表会, pp.2055~205.