# シールドトンネルに作用する荷重に関する遠心力載荷実験

(株)ニュージェ (元独立行政法人	ック 、土木研究所交流	正会員 <sup>流研究員)</sup>	義永	茂司
独立行政法人	土木研究所	正会員	石村	利明
	同	正会員	真下	英人

## 1. はじめに

近年、シールド工法は都市部等におけるトンネル建設工法として採用される機会が多くなっているが、山 岳工法に比べて工事費が高く、とりわけセグメントの製作費はシールド工事費に占める割合が約4割を占め ており、その設計の合理化を図ることが重要な課題となっている。セグメント設計の合理化にあたっては、 設計に用いるトンネルの作用荷重および地盤反力を適切に評価することが最も重要であり、本検討では、こ れまで設計値に比べて現場計測値が小さいと言う報告が多い比較的良質な地盤におけるシールドトンネルに 作用する荷重を明らかにすることを目的として、遠心力載荷実験を実施したので報告するものである。

### 2. 実験方法

実験は図-1に示す実験土槽を用いて直径D=約5cmの円形トンネルを対象と して80Gの遠心加速度のもとで実施した。実験は、重力場で実験土槽内に所 定の土被りとなるように模型地盤を作成し、図-2に示すように所定の遠心 加速度の状態でトンネル模型外側に設置したトンネル外殻を引き抜くこと により掘削をシミュレートし、トンネルに作用する荷重をトンネル模型に 予め設置した土圧計により計測する方法とした。トンネル模型は縦断方向 に3分割した構造であり、模型中央部に3つの計測断面(A, B, C)を設けるとと

もに、トンネル模型の中央部が土槽端部等で拘束することが ないように上下方向に摺動可能な構造とした。実験ケース は、土被り比H/Dを1,2,3,5と変化させて実施した。なお、地 盤は豊浦標準砂を用いた乾燥砂、湿潤砂の2種類とした。乾燥 砂は、乾燥した砂を落下高さ15cmから空中落下法により、湿 潤砂は含水比を調整した砂を1層約2.5cm毎に密度管理しなが ら作成した。実験に用いた地山の物性値は乾燥砂で粘着力 c=  $0kN/m^2$ 、内部摩擦角 $\phi=36.6^\circ$ 、湿潤砂で本実験条件に近い含水





比w=7.5%、単位体積重量  $\gamma$ =15.0kN/m<sup>3</sup> で、粘着力c=7.9kN/m<sup>2</sup>、内部摩擦角 $\phi$ =35.6<sup>°</sup>が得られており、湿潤 砂で若干の見かけの粘着力を有する条件となっている。なお、今回の実験ではトンネル模型の剛性は非常に 大きいため、トンネル変形に依存する地盤反力は発生しないことになっている。

### 3. 実験結果

(1) トンネルに作用する荷重分布

図-3に乾燥砂のトンネルに作用する荷重の断面分布図を示す(図中の315°の土圧計は欠測のため45°の値を 表示。図-4も同様)。図より乾燥砂の場合は、全体的な傾向としてトンネル底部ではほとんど荷重が作用し ておらず、トンネル下方45°付近の土圧が非常に高い値となっている。トンネル下方45°付近が非常に高い のはトンネルに作用する荷重とトンネル模型の自重分が加算されているためと考えられる。本実験条件での トンネル自重を考えると、模型重量を幅5cm、トンネル長さ7cm(トンネル模型中央部のみ)で平均的に支持す ると考えると63kN/m<sup>2</sup>程度の圧力となり、今回の計測値のオーダーと一致する。なお、トンネル底部で値がで キーワード;シールドトンネル、作用荷重、良質地山、遠心力載荷実験

連絡先 〒542-0082 大阪市中央区島之内1-20-19 ㈱ニュージェック TEL 06-6245-4901 FAX 06-6245-5413 〒305-8516 つくば市南原1-6 独立行政法人土木研究所 TEL 0298-79-6791 FAX 0298-79-6796 ていないのはトンネル底部の土圧計と地盤とが局部的に接触 していなかったことによるものと考えられる。

図-4に湿潤砂のトンネルに作用する荷重の断面分布図を示 す。図より湿潤砂においても、乾燥砂と同様にばらつきは大 きいものの傾向的にはトンネル下方が大きい値となってい る。また、トンネル下方でばらつきが大きいのは、模型地盤 がある程度自立するために土圧計との接触条件が大きく影響 したものと考えられる。

(2) トンネル天端の作用荷重

図-5に2条件の地盤条件におけるトンネル天端の作用荷重(3 断面の計測値の平均)と全土被り土圧、テルツァーギの緩み土 圧との比較を行った。なお、図-5では土圧値を $\gamma$ とトンネル 径Dで除して緩み高さ比として示した。テルツァーギの緩み 土圧は、 $\gamma$ , c,  $\phi$ は実験に用いた地山の物性値、静止土圧係 数K<sub>0</sub>は1および1-sin $\phi$ とした場合について算出した。図より 乾燥砂でのトンネル天端に作用する荷重は、H/Dが1で全土被 り土圧が作用し、H/Dが2から5まではH/Dに関係なく同程度の 値となり、K<sub>0</sub>=1-sin $\phi$ (=0.4)としたテルツァーギの緩み土 圧に近い荷重となっている。一方、若干の見かけの粘着力を 有する湿潤砂の場合には、地盤がある程度自立するため、H/D に関係なくほぼ一定の値で、K<sub>0</sub>=1としたテルツァーギの緩み 土圧に近い荷重が作用していることが分る。

(3) トンネルの側方土圧

図-6にトンネル中心位置での側方土圧のシールド設計に用 いられる手法から求めた計算値と実験値との比較を示す。計 算値はトンネル天端でのテルツァーギの緩み土圧(但しKo=1) にトンネル中心位置までの土砂重量を加え、側方土圧係数λ を乗じて算出した。なお、湿潤砂のH/D=2の実験値は他のケー スと比べて異常に大きいため、データから除いている。図よ り、乾燥砂での実験値は、「非常によく締まった砂質土」の場 合に設計で用いられる λ=0.35~0.45とした計算値に近い値を 示すが、湿潤砂での実験値は λ=0.35~0.45とした計算値より も小さくなっていることが分る。これは、若干の見かけの粘 着力を有することで模型地盤がある程度自立していることに よるものと考えられる。

### 4.まとめ

地盤が良質な場合のトンネル天端に作用する土圧は、H/Dが大 きくなっても、増加率はテルツァーギの緩み土圧から求まる理 論値に比べて小さく、ほぼ一定の値となる場合があるが、K。値 については、1を用いた場合は土圧を過少評価する場合がある ことが分った。また、側方土圧については、設計で一般に用い

る値よりも側方土圧係数が小さくなる場合があることが分った。今後は、さらに地盤条件を変えた実験を行い、設計値として用いる緩み土圧や側方土圧の評価方法について検討を行う予定である。

