

III-680

遠心模型によるシールドトンネル覆工の土圧測定

大阪市立大学 東田 淳・安岡政光（現大阪府） 鴻池組技研 吉村 洋

まえがき 実態と大きく異なると推定されるシールドトンネル覆工(セグメント)の現行設計土圧を見直すために、テールボイド量・覆工の曲げ剛性・土被り高・乾燥砂地盤の密度、の4要因を変えた二次元遠心実験を行って、覆工に働く土圧を測定した。

覆工模型 外径 $D=6.5\text{m}$ の覆工の1/100模型（硬質アルミ製）を図-1に示す。この模型は、中央に垂直・せん断面土圧測定用のロードセルを備えた20個の桁・4個の内環・油圧シリンダーから構成され、当初、内環に付けたバネによって2個のコロを介してシリンダー外面に押し付けられていた桁が、シリンダーを前方へ動かすことによってテールボイド量だけ収縮して内環で支えられる仕組みになっている。また、模型全体が遠心場での地盤の沈下に追従できるようにしてある。

内環の外径は 49.3mm で、内環の厚さは、桁を連続梁と見做した時の支点反力を与えた時に等しい環のたわみが生じるように中央の2個と両端の2個で厚さを変えた。図-2は、鋼製ならびにコンクリート製の標準セグメントの曲げ剛性の範囲を、横軸に埋設管で用いられるたわみ性指数 κ をとって示したものである。この図から、実際の覆工の剛性は、埋設管の分野で定義された剛性管からたわみ性管までの広い範囲に分布していることが分かる。今回は、内環の厚さを3通りに変化させた模型を用いることによって、この要因の影響を捉えた。この3つの模型を以下、R・M・F覆工と呼ぶ。各覆工の S_f/a^3 の値は、R覆工: 200kgf/cm^2 、M覆工: 10kgf/cm^2 、F覆工: 1.67kgf/cm^2 で、土のヤング率を 100kgf/cm^2 と仮定した時の各覆工の κ 値は図-2に↓印で示した値となる。

なお、M覆工では内環の外径を変えて、テールボイド量 Δ を 0.65mm ($\Delta/D=1\%$)と 1.63mm ($\Delta/D=2.5\%$)の2通りに変えた。

実験の方法と種類 実験は、覆工模型をセットした模型実験容器を水平に寝かし、これにこれまで埋設管の遠心実験で用い

てきた乾燥瀬戸珪砂($G_s=2.65$ 、 $U_c=1.75$ 、 $D_{\max}=1.4\text{mm}$ 、 $\rho_{\text{dmax}}=1.58\text{g/cm}^3$ 、 $\rho_{\text{dmin}}=1.32\text{g/cm}^3$)を 50cm および 1cm の高さからロートで落とし、密・ゆる地盤($\rho_s=1.55\text{g/cm}^3$ 、 1.43g/cm^3)を作成し、模型を 100G 場においてテールボイドを発生させた。表-1に実験の種類と条件を示す。変化させた要因は、①: 地盤密度、②: テールボイド量 Δ 、③: 覆工の曲げ剛性、④: 土被り高 H 、である。なお、 $H=2D$ ・ゆる地盤・M覆工・ $\Delta/D=1\%$ の実験はどのシリーズにも共通な基準実験である。

測定土圧 図-3の破線・実線は、テールボイド発生前と発生後の垂直・せん断土圧(σ と τ)を極座標表示したもので、 σ は中心向きを、 τ は下向きを正にとって表わしてある。

テールボイド発生前の土圧分布形は、剛性を変化させた③シリーズを除くと、どのシリーズも良く似ている(③シリーズの分布形の違いは桁に働くバネ力の差に起因すると思われる)。テールボイド発生後の土圧分布形は、各シリーズで明らかな違いが見られ、特にテールボイド量、覆工の剛性による変化が大きい。

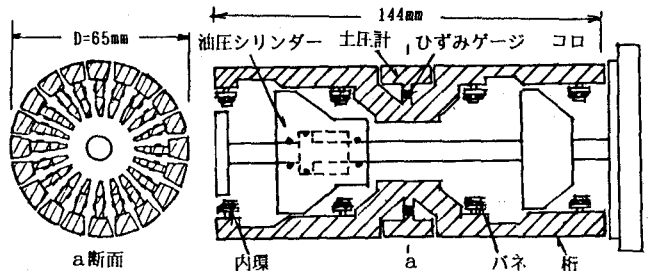


図-1 覆工模型

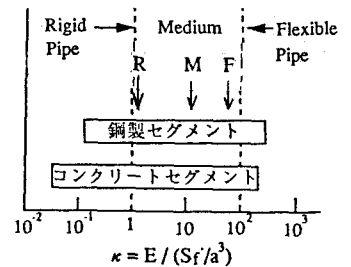


図-2 シールド覆工の曲げ剛性の範囲
(E :土の変形係数、 S_f :管壁の曲げ剛性 $=E_p t^3/12(1-\nu_p^2)$ 、 $a=D/2$)

表-1 実験の種類と条件

シリーズ	覆工模型	地盤密度	テールボイド量 Δ/D (%)	土被り高 H
①	M	密・ゆる	1	$2D$
②	M	ゆる	1-2.5	$2D$
③	R・M・F	ゆる	1	$2D$
④	M	ゆる	1	$D \cdot 2D \cdot 3D$

なお、測定土圧と覆工模型の重量を与えた時の力のバランス（ $\Sigma V = \Sigma H = \Sigma M = 0$ ）は、テールボイド発生前ではあまり良くなかったが、テールボイド発生後では十分な精度で満足されていることを確かめた。

図-4の各図の右半分は、①シリーズの鉛直・水平土圧の分布を示したもので、Hが大きくなるにつれて土圧分布は均等に近づいている。

現行設計法との比較

図-4の各図の左半分に示した設計土圧と右半

分の測定土圧を比べると、両者はかなり異なる。

図-5は、覆工に働く鉛直土圧総量 $P_v/\gamma H D$ ・原型覆工に生じる最大曲げモーメント M_{max} ・たわみ率 δ/D の実験（○印）と設計（×印）による値を示したものである。ただし、 M_{max} と δ （鉛直方向）の実験値は測定土圧と覆工重量を外力として与えて計算した値、たわみの設計値は水平方向のものである。F覆工の場合の M_{max} を除くと、どのケースでも現行設計法は実験値に比べて覆工の曲げモーメントとたわみをかなり過小評価している。

あとかき 測定土圧は予想通り現行設計土圧とは大きく異なった。そして、今回の実験結果が現行設計法よりもかなり危険側となったにも関わらず、実際の覆工の破損がそれほど報告されていないのは、今回の実験の条件（二次元模型・乾燥砂地盤）が実際とは異なること、実際の覆工が多ヒンジ構造であること、および裏込注入をはじめとする施工方法の工夫によるものと思われる。

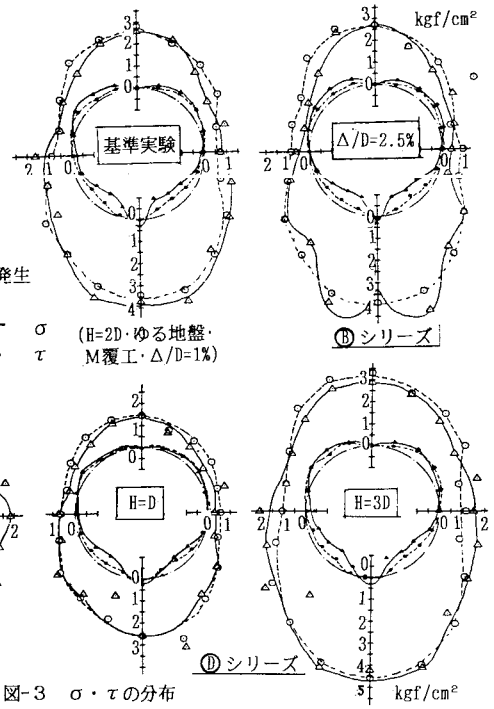


図-3 σ・τの分布

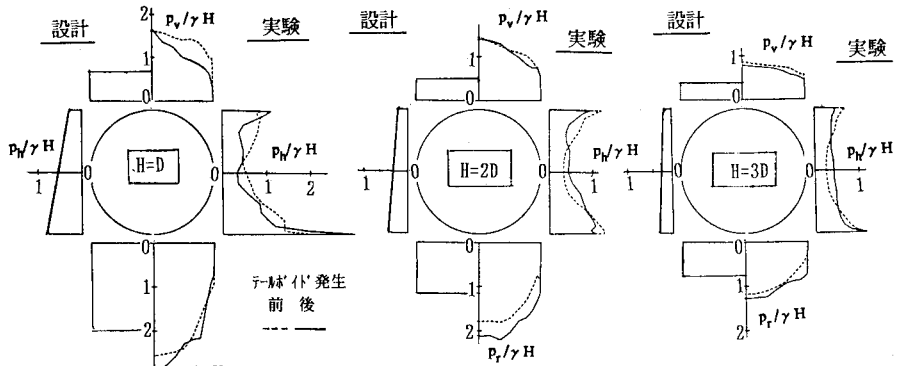


図-4 鉛直・水平土圧の分布（①シリーズ）

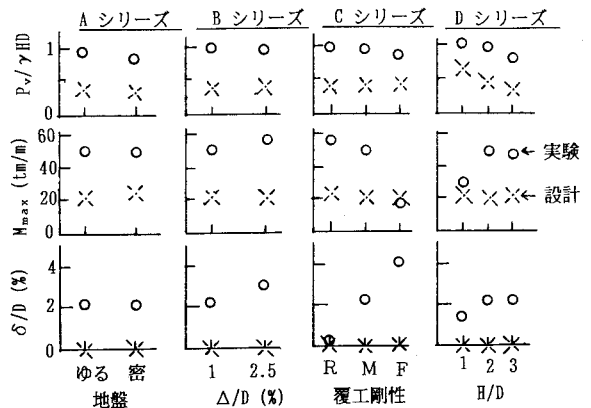


図-5 実験値と設計値の比較