

III-60

東京湾横断道路シールドトンネル覆工荷重確認実験（その5）

－慣用設計法の検証－

東京湾横断道路 正会員 篠原洋司
東京湾横断道路 元山 宏
東京湾横断道路 正会員 三木克彦
大成建設技術研究所 正会員 ○後藤 聡

1. はじめに

慣用設計法における側方土圧係数 λ および地盤反力係数 k などの設計定数が、(1) 地山の応力比(2) 地山のゆるみ (3) 斜路部の混合処理盛土地盤と海底平坦部地盤の相異、などの条件によりどのような影響を受けるかを考察する。さらに、実際にセグメントにかかる外力分布と慣用設計法における外力分布を比較することにより、慣用設計法の検証を行う。

2. 側方土圧係数 λ 、地盤反力係数 k

慣用設計法における側方土圧係数 λ 、地盤反力係数 k を逆算した結果を図-1、図-2に示す。横軸の土槽端部での応力比 σ_3 / σ_1 は図-3に示すように、

$$\sigma_3 / \sigma_1 = \frac{p_3 + \gamma_w h_1}{p_1 + \gamma_s h_1}$$

を表わしている。この値は、厳密に地盤の K_0 値を表しているわけではないが、覆工模型から十分離れた地点での地盤応力比という意味で、ほぼ K_0 値に近いものを示している。

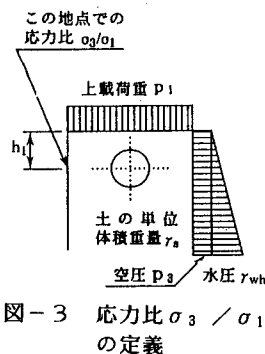


図-3 土槽端部での応力比 σ_3 / σ_1 の定義

図1、2より次のことがわかる。

(1) 実験による側方土圧係数 λ は、応力比が小さくなるにつれて、当然減少していくが、応力比を1から0.3程度に減少させても、混合処理盛土地盤（模型地盤で $q_u = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ ）では0.85から0.75程度しか減少しなかった。海底平坦部地盤（ $q_u = 0.05 \text{ kg/cm}^2$ ）の方が、応力比の変化に敏感であったが、それでも0.9から0.7程度にしか減少しなかった（図-1）。この傾向は、FEMによる解析の場合、明確に現れる。すなわち、剛性が低い場合には除荷の影響を覆工が大部分を受け、また剛性が高い場合には、地盤がかなり受けもつ。このため、 σ_3 / σ_1 の変化に対して、側方土圧係数の値は、地盤剛性の高い場合よりも変化が大きくなっている。

(2) 図-1に示すように、応力比が0.8程度より小さい領域では側方土圧係数 λ は、覆工から十分離れた地点の応力比（図-1の横軸）に比べて、大きな値になった。ゆるみが全くない場合は $\lambda = K_0$ （静止土圧係数）と考えられるので、実験および解析結果による λ の値は K_0 値よりも大きくなり、曲げモーメントには安全側に作用する結果となる。

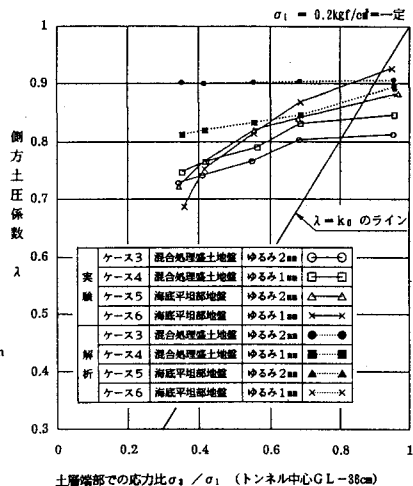


図-1 応力比と側方土圧係数の関係

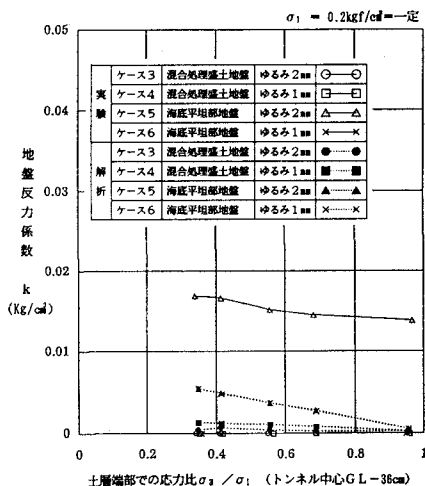


図-2 応力比と地盤反力係数の関係

(3) 逆算された側方土圧係数 λ は、ゆるみ量が増加するにつれて、減少している。これは、図-4に示すように、ゆるみ量が増加することによって、外力としての側方荷重 σ_3 からの低減量が大きくなることによるものと考えられる。

(4) 一方、図-2に示すように、本実験において逆算された地盤バネ定数 k は、0あるいはきわめて微小な値になった。これは、図-5に示すように、ゆるみの影響をうけて、側圧の荷重が減少し、その後地盤反力の荷重は発生しているが、慣用設計法における地盤バネ反力が発生するレベルまで至らないためと考えられる。

(5) 実験から得られた定数（側方土圧係数 $\lambda = 0.8$ 地盤反力係数 $k = 0 \text{ kgf/cm}^2$ ）と、現在設定されている値（ $\lambda = 0.60$, $k = 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ ）を用いて、実際のシールドトンネルの試設計を混合処理盛土地盤において慣用設計法により行った。解析結果として、セグメントに発生する断面力の最大値を表-1に示す。この解析結果より、現在設定されている値（ $\lambda = 0.60$, $k = 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ ）は、曲げモーメントに関して安全側の値であると考えられる。ただし、自重の効果も考慮している。

3. 覆工にかかる外力分布による慣用設計法の検証

図-6は、 $\sigma_1 = \sigma_3 = 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ の時、覆工に働く外力分布を、ケース3、4、6について示したものである。これらの図よりゆるみによる影響は、混合処理盛土地盤の方が顕著であり、ゆるみを2mm与えた場合でセグメントにかかる鉛直荷重はおよそ70%減少した。1mm与えた場合は、約40%減少した。堅い地盤の場合、上載荷重が小さいため慣用法による逆算結果と実験結果の間には、その軸力値に大きな開きが生じる。慣用法による設計では、 λ , k の決定はもとより上載荷重の決定に大きな注意を払う必要がある。

一方、平坦部地盤では、荷重はほぼ等方的にかかっており、慣用法による逆算結果は、おおむね実験結果と良好な一致を示した。

おわりに 今回の実験に関しては、多くの人々から助言を受けた。特に今田徹 東京都立大学教授、山本稔新潟大学教授、森麟 早稲田大学教授、小泉淳 東洋大学助教授、河田博之 鉄道総合技術研究所、をはじめ東京湾横断道路シールドトンネル検討委員会の方々には、実験を実施し、まとめるにあたり貴重な御助言を頂いた。ここに感謝の意を表します。

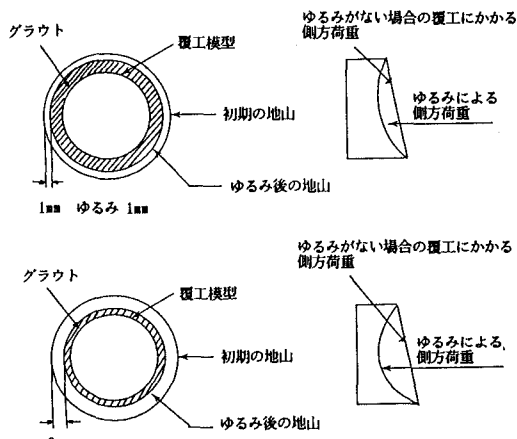


図-4 ゆるみによる側方荷重の変化

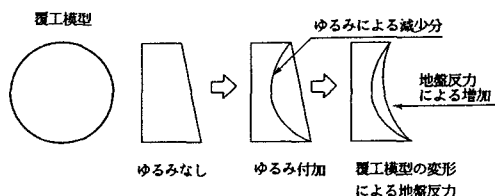


図-5 側圧変化の様式図

表-1 実際のセグメントに生じる断面力の最大値

	λ	k	N_{MAX}	$M_{\text{MAX}}^{\#1}$
実験から得られた定数	0.8	0.0	289t/m	32 t・m/m
既往の設計定数	0.6	3.5	278t/m	67 t・m/m

$\#1$ 曲げ剛性の有効率 $\eta = 0.8$, モーメントの割増し率 $\gamma = 0$

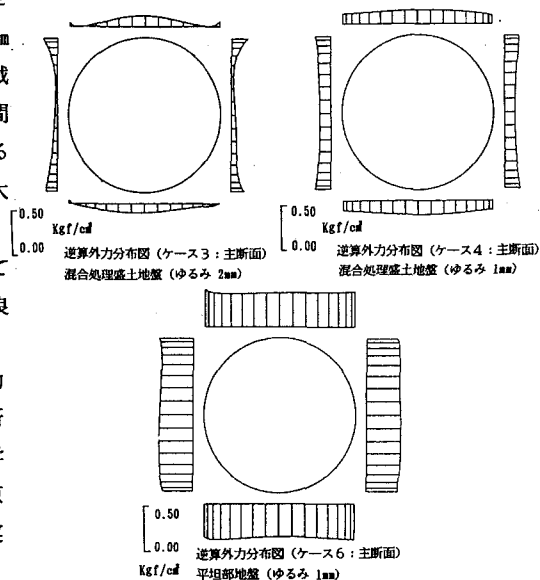


図-6 外力分布の比較 ($\sigma_1 = \sigma_3 = 0.2 \text{ kgf/cm}^2$)