

山内建設工業株式会社 正 員 小松田 精 吉

1 まえがき

地下鉄や下水道管の埋設工事などの都市土木工事においては、さまざまな条件からシールド工法を採用されることが多くなっている。シールド工法における土質工学的な諸問題の中で、いまだ未解明のものが多いと思われるが、工事中における地表面沈下の問題もその一つである。

シールド工法での地表面沈下は、現状さけられない問題であって、その沈下量と分布、影響範囲を正確に予測して、地上の構造物に対する影響とその対策について検討することが重要な課題である。沈下量の予測方法には① 経験則によるもの ② 弾性変位理論によるもの ③ 有限要素解析法によるもの 等に要約できるが、地表面沈下の原因要素が極めて複雑であるということと、設計の段階ではともかくとして、施工中に施工技術者が地表面沈下量を予測して即断を要する場合には、複雑な理論計算や電子計算機などを必要とする計算作業のともなう方法では、大変に不都合であるという理由から、経験則による簡便な推定法があると、施工管理技術上、大いに役立つことであろうと思われる。

ここでは、地表面における最大沈下量さえ得られるならば、シールド進行方向に対する横断の沈下断面形状が簡単に求められる方法について提案し、説明を加えることにする。

2. 地表面における最大沈下量

粘土地盤や比較的安定した砂地盤中のシールド工法の場合、沈下の主要原因は、掘削によってできた空間に対する地盤の変形によるもので、この空間量と地盤の性質との関係から、地表面に反映される沈下容積を推定することができる。この方向での研究は、主として Schmidt (1969) や Peck (1969) 達によって進められた。したがって、シールド掘削部における地盤のゆるみや変形から沈下断面積も求められるわけであるが、これがここでのテーマではないので、一例として、表-1をしめしておくことにとどめたい。

ところで何らかの方法(例へば表-1など)で沈下断面積が得られた場合、Limanov によれば最大沈下量は近似的に次のように求められる。

$S_0 = A_0 / L$ ——— ① ここに、 S_0 = 最大沈下量 A_0 = 沈下断面積 L = トンネル中心より地表面沈下の生じている範囲までの距離、①式は、図-1における三角形の条件から得られたものであることが解かる。

3 断面各点の沈下量

いま、ここでシールドトンネルの中心奥から横断方向に任意の距離 x をとり $l = x / L$ ——— ② を距離比とし、 x 地点における地表面沈下量を S_x として $S = S_x / S_0$ ——— ③ を沈下係数と定めた場合、距離比 l と沈下係数 s との関係さえ明らかであれば、横断面各点の地表面沈下量は、 $S_x = s S_0$ ——— ④ として計算することができる。

4 沈下断面形状

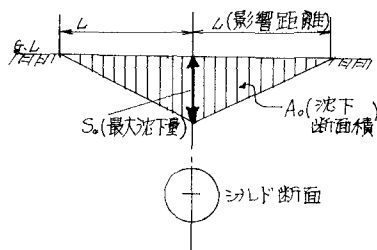
沈下断面形状とは、距離比 l と沈下係数 s との関係をあらわした曲線形状のことであって、今までの測定例でみるかぎり、この曲線はS字型になっている。S字型曲線をあらわす代表的なものとして正規確率曲線で近似させている方法がある。

表-1 M. WOODによる沈下容積率

ゆるみの種類	計 算 式	沈下容積率 (%)
切 羽 面	$\pi D^2 R / 4$	0.1 ~ ?
刃 先 裏	$\pi D b$	0.1 ~ 0.5
シールドの変形	$\pi l^2 V / 8$	0 ~ 1
テールボイド	$\pi D(D-D_0)/2$	0 ~ 4
	地下水上の場合 $\pi b(D-D_0)/4$	0 ~ 2

D : シールド径 D_0 : ライン径 b : 刃先の空隙厚さ T : 垂直方向のシールド変形量
 l : シールド長 R : 切羽地盤のゆるみ厚さ

図-1 最大沈下量を求める説明図



ところで、図-1の概念にもとずいた①式による最大沈下量の求め方に対応するS字型曲線は、Cos曲線であらわすこともできる。図-2で、三角形ABCの面積とCos曲線に曲まれたABDCの面積は等しい。このCos曲線の性質を利用して、距離比 l と沈下係数 z との関係をあらわせば、 $z = \frac{1}{2}(1 + \cos \pi l)$ ——— ⑤ となる。

一方、DeereらやPeeleが紹介している沈下の断面距離の方程式は、

$2L/D = [\varepsilon/D]^n$ ——— ⑥ ここで D : トンネル径、 ε : トンネル中心軸までの深さ、 i : 正規確率曲線の標準偏差、 n : 指数(粘土で1、流動砂質で0.5、岩盤では5~10)であらわされている。

正規確率曲線の性質から、 $\varepsilon/2$ で沈下量が事実上0であるとみなし、距離比 l と沈下係数 z を求め、さらに⑤式で計算した場合とを比較してみると、表-2及び図-3のような結果となり両者の類似性が明らかであろう。

5 沈下の影響距離

沈下の影響距離 L を次式であらわせるものとする。

$L = D/2 + \varepsilon \tan \alpha$ ——— ⑦ いくつかの実測データを整理してみると、 $\tan \alpha$ の値は表-3のとおりである。平均値をとって、 $\tan \alpha = 1.09$ が一般的に通用するものであるとし、⑦式に代入すれば、 $m = L/D = 1.045 + 1.09 H/D$ ——— ⑧ (H : 土盛り深さ)となり、一方、正規確率曲線法によれば、 $L' = 2.5L' = 1.25\varepsilon$ となり、 $n = L'/D = 0.625 + 1.25 H/D$ ——— ⑨ が得られる。 H/D が1~5の範囲で m 、 n の値を比較すると、表-4となり、両者は許容できる範囲で一致しているといえる。

6 測定値との比較

主として表-3のトンネルで測定された地表面沈下量から距離比 l と沈下係数 z を求めて、今回提案したCos曲線と比較し、図-4に示めた。このデータには必ずしもシールドだけではないが、地表面沈下の断面形状問題には、十分に利用できるものと思われる。

図-4でみれば、Cos曲線法による地表面沈下量の断面形状は、実測値ともよく対応しているといえる。しかし最大沈下量 S_0 に関しては、今後の問題として残された。

図-4 Cos曲線と実測値との対比図

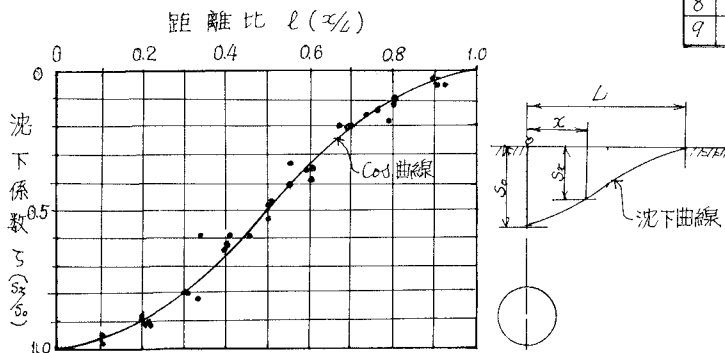


図-2 Cos曲線の形状

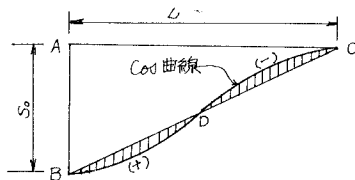


表-2 沈下係数の比較

距離比 l	沈下係数 z	
	正規確率曲線法	Cos曲線法
0	1.000	1.000
0.2	0.883	0.904
0.4	0.607	0.655
0.6	0.325	0.346
0.8	0.135	0.097
1.0	0.044	0.000

図-3 l - z 図 距離比 l

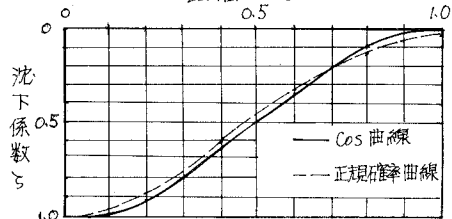


表-3 $\tan \alpha$ の実測値

No	著者	トンネル名	地質	$\tan \alpha$
1	竹林・大塚	不明	粘土状シルト質	1.10
2	井上・収野	新野中山	礫混り粘土	1.00
3	宮下・外	片倉(A)	シルト・砂質	0.91
4	宮下・外	片倉(B)	シルト・砂質	1.02
5	渡辺・外	9号線隔断	沖積シルト	1.19
6	渡辺・外	不明	沖積砂	1.14
7	M.Wood	カルゴトンネル	不明	1.04
8	Attewall	不明	ロンドン粘土	1.23
9	Attewall	不明	タインサイド粘土	1.19

表-4 $m = L/D$, $n = L'/D$ の比較

H/D	m	n	$\frac{L'-L}{L} \times 100$
1	2.135	1.875	-13.8 (%)
2	3.225	3.125	-3.2
3	4.315	4.376	1.4
4	5.405	5.625	3.9
5	6.495	6.875	5.5