——學 生 論 文——

シールドの力學的考察

準員　末 村 三 郎*

1. 緒言： シールドは隧道掘鑿に於いて切羽部地山の防護をなす支保工と施工の便を考慮した足場との要素を含めたもので，構造上切羽に接して地山内に切入る前部室である刃口部 (Cutting edge) と，環狀の構架 (Ring girder) 及び縱横の桁を有してシールドの骨格を作りシールドに剛性を與へる胴體部と，後部に位置し覆工用セグメントを組立てる爲の空間として設けられた尾部 (Tail) から成立つてゐる。

後尾部は覆工セグメントの組立操作の都合上外殼以外には何等補强物を入れることが許されず，而も一旦こゝが外壓に依つて歪めばシールドはその目的を失うといふ重要な部分である。

2. 尾部の設計條件： シールドに加はる外壓は未知でるあが，今之を求め得たとする。尾部の長さは施工上覆工セグメントの幅の2倍半を用ひる。尾部の外殼の厚さは材料の經濟上及び施工の上から薄きを望まれるが，薄す過ぎれば變形歪が増大し挫屈の危險がある。

外殼厚を大とし，設計上必要な餘裕を大とすれば安全性と施工の便とが得られるが，掘鑿土量の増加，裏込材量の増加，抗內壓縮空氣の漏洩を生じ，又被土の沈下の増加と覆工に加はる土壓の増長　とゝなるので，餘裕は許す限り小とすべきものである。依つてこの餘裕間隙を最小にするため外壓に依つて生ずる變形歪量の照査を要する。

3. シールドの尾部に於ける撓み

1) 平衡方程式の解： シールド尾部を板厚の中心線で形成される一端固定，他端自由な薄肉圓壔と考へる。固定端を原點とし，圓壔表面に於て圓壔軸方向を x, 圓壔表面に於いて x に直角な切線方向を y, 圓壔半徑の方向を z とし，各方向に於ける變位を u, v, w, 圓壔斷面の圓に於て圓の中心を通る鉛直線が圓の下部を過ぎる點を角度の起點として反時計方向に測つた回轉角を θ, 圓壔の半徑及厚みを夫々 a 及び h, 使用材料の彈性係數及びポアソン比を夫々 E 及び ν, 圓壔周圍より內方に向つて圓壔表面の單位面積に作用する外壓力を p とする。今外壓力が x 及び y 方向に作用する引張り或は壓縮力，及圓壔表面內に作用する剪斷力，この3つの量は板の彎曲に及ぼす影響を小として省略すれば，3 つの方向に對する平衡方程式は比較的簡單になる。

尾部の長さを l とし，境界條件を滿足する變位

$$\left.\begin{aligned} u &= \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n\theta \cdot \sinh\left(1-\frac{x}{l}\right) \\ v &= \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin u\theta \cdot \left(\cosh\frac{x}{l}-1\right) \\ w &= \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos n\theta \cdot \left(\cosh\frac{x}{l}-1\right) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots(1)$$

$$p = \sum_{n=0}^{\infty} D_n \cos n\theta \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

を基礎式に代入して x につき 0 から l まで積分し，且つ $h/a \doteqdot 0$ としてこの量を省略すれば，A_n, B_n 及び C_n は夫々

$$\left.\begin{aligned} A_n &= -D_n\frac{a^2}{Ehn^2}\Big[\alpha(1-\nu^2)\Big\{\frac{1-\nu}{2\alpha}\Big(\frac{\nu}{n^2} \\ &\qquad +0.149\,\alpha^2\Big)\Big\}\Big]\cdot K^{-1} \\ B_n &= D_n\frac{a^2}{Ehn^2}\Big[\alpha(1-\nu^2)\Big\{\frac{\nu(1+\nu)}{2n} \\ &\qquad +0.149\Big(\frac{1}{n^2}-\frac{1-\nu}{2}\alpha^2\Big)\Big\}\Big]\cdot K^{-1} \\ C_n &= -D_n\frac{a^2}{Eh}\Big[\alpha(1-\nu^2)\Big\{\frac{1}{\alpha}\Big(\frac{1}{n^2} \\ &\qquad -\frac{1-\nu}{2}\alpha^2\Big)\Big(\frac{1-\nu}{2n^2}\,\frac{1}{\alpha}-0.149\,\alpha\Big) \\ &\qquad -\Big(\frac{1+\nu}{2n^2}\Big)^2\Big\}\Big]\cdot K^{-1} \end{aligned}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

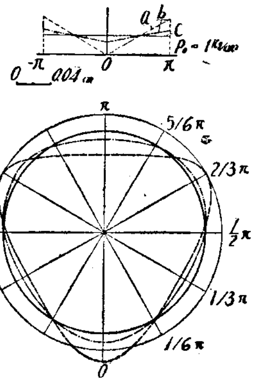
玆に

* 運輸省新橋地方施設部 (昭. 22. 9, 京都大學工學部卒業)。

$$K=\frac{1-\nu}{2n^2}\cdot\frac{1}{\alpha}\left\{0.149\,\alpha^2(1-\nu)-\frac{0.149}{n^2}-\frac{\nu^2}{n^2}\right\}$$

として與へられる。

圖—1.



1) 外壓力の布分：外壓力の分布が**圖—1** の a の如き三角分布の場合には

$$D_n=-p_0\frac{4}{\pi^2}\frac{1}{n^2},$$

但し

$$D_0=\frac{p_0}{2},$$

$$n=1,\ 3,\ 5\cdots(4)$$

圖—1 の b の如き梯形分布の場合には

$$D_n=-(p_1-p_0)\frac{4}{\pi^2}\frac{1}{n^2}$$

但し　$D_0=\dfrac{p_0+p_1}{2}$,　$n=1,\ 3,\ 5,\ \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$

等分布荷重（**圖—1**, c）の場合は三角分布と梯形分布を組合せればよい。

3) 數値計算：關門海底鐵道隧道に使用されたシールドを參考にして，$a=3.50$m, $l=4.00$m, $h=0.06$m, $E=2.1\times10^6$kg/cm², $\nu=0.03$ とし，且つ壓力の總和は各場合共に等しい様な場合について，末端に於ける撓みを計算すると**圖—1** の如くなる。

4. シールド尾部の挫屈荷重：尾部の挫屈計算は圓壔の彎曲歪エネルギーと外壓力によつてなされた仕事の量とを等しいと置き

$$w=\sin n\theta\left(\frac{x}{l}\right)^2\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

の如く假定して

$$\phi=\alpha\left[24\frac{a^4}{l^4}\frac{1}{n^2}+16\frac{a^2}{l^2}+\frac{6}{5}\frac{(1-n^2)}{n^2}+8\nu\frac{a^2}{l^2}\frac{(1-3n^2)}{n^2}\right]\cdots\cdots\cdots(7)$$

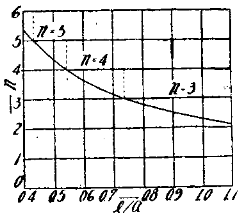
玆に　$\phi=\dfrac{P_{cr}\,a(1-\nu^2)}{Eh}$　　$\alpha=\dfrac{h^2}{12a}$

を得る。そこで ϕ が最小となる如き n を求め，この n と $\dfrac{l}{a}$ との關係を求めると

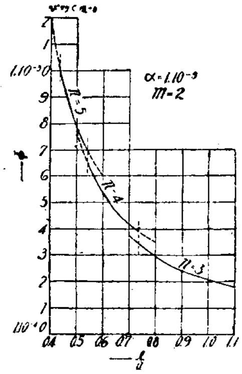
$$n=\left(20\frac{a^4}{l^4}+\frac{20}{3}\frac{a^2}{l^2}+1\right)^{\frac{1}{4}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

を得。圖示すれば **圖—2** の如く連續した曲線を得るが，n は必ず整數でなければならないので，n と

圖—2.



圖—3.



$\dfrac{a}{l}$ との關係は實際には **圖—2** の太線の如くなる。この關係を用ひて (7) 式より挫屈荷重を計算すれば**圖—3** の如くなる。圖に於て不連續點が生じたのは板は曲げられるのみと言ふ假定が大きな原因の一つをなしてゐると思はれる。

5. 結語：本計算に於ては土壓は靜壓で且つ既知であるものとしたが，實際に加はる土壓の强度及分布は極めて複雜であつて，これを推算することに非常な困難を感じている様な狀態である。

終りに臨み京都大學助教授村山朔郎先生並同囑託杉本修一氏に心よりのお禮を申上げる。

（昭. 22. 12. 1. 受付）