

防衛大 土木工学教室 正員 浄法寺朝美

” ” ” 佐藤 紘志

” 研究科 学生員〇猪狩 栄勇

1. まえがき 先に著者らは埋設円管の応力を測定し、これを用いて円管各断面の変形を求める計算式を誘導したが、本報告では砂中に埋設された円管に対する模型実験を行ない、上記計算式の妥当性について検討した。なお、計算式では円管の軸方向の曲げについては考慮しないこととし、単位幅リングの変形すなわち平面ひずみの状態として取り扱った。

2. 変形の計算式 いま図-1に示すとき円管に任意荷重が作用するとき、任意断面mの変形 δ_m は仮想仕事の原理を用いて一般に次式より算定される。

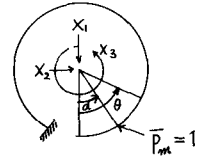
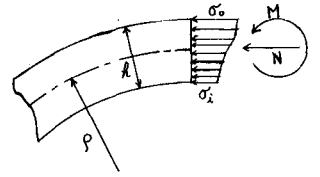


図-1

$$\delta_m = \rho \int_0^{2\pi} (P \cdot N \cdot \bar{N} + R \cdot M \cdot \bar{M}) d\theta \text{ ----- (1)}$$

ここにPおよびRはE(ヤング率)、t(断面厚さ)、ρ(円管の曲率半径)によって決まる定数で、N、Mおよび \bar{N} 、 \bar{M} はそれぞれ与荷重および仮想荷重による推力と曲げモーメントである。ここで式(1)のN、MをFourier級数に展開しようとして、任意断面の中心方向変位量 δ_r 、接線方向変位量 δ_t および回転変位量 θ を求めれば結局次式が誘導されることとなる。

開いたうえで、任意断面の中心方向変位量 δ_r 、接線方向変位量 δ_t および回転変位量 θ を求めれば結局次式が誘導されることとなる。

$$\delta_r = \rho \left(P + \frac{P}{2} \right) P \left\{ A_0(1 - \cos d) + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n^2 - 1} \{ A_n(\cos d - \cos nd) + B_n(n \sin d - \sin nd) \} \right. \\ \left. - P^3 \left(P + \frac{P}{2} \right) R \cdot \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n^2 - 1} \{ C_n(\cos d - \cos nd) + D_n(n \sin d - \sin nd) \} \right\} \text{ ----- (2-a)}$$

$$\delta_t = -P \left(P + \frac{P}{2} \right) P \left\{ A_0 \sin d + k A_1 \sin d + k B_1(1 - \cos d) - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n^2 - 1} \{ A_n(\sin d - n \sin nd) - n B_n(\cos d - \cos nd) \} \right. \\ \left. - P^3 \left(P + \frac{P}{2} \right) R \left[(1 - k) C_1 \sin d + (1 - k) D_1(1 - \cos d) + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n(n-1)} C_n(n \sin d - \sin nd) + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n^2 - 1} D_n \{ (n^2 - 1) - n^2 \cos d + \cos nd \} \right] \right\} \text{ ----- (2-b)}$$

$$\theta = - \left(P + \frac{P}{2} \right) P k \left\{ A_1 \sin d + B_1(1 - \cos d) \right\} - P^2 \left(P + \frac{P}{2} \right) R \left\{ (1 - k) C_1 \sin d + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n} \{ C_n \sin nd + D_n(1 - \cos nd) \} \right\} \text{ ----- (2-c)}$$

ただしkはP、Rおよびρによって決まる定数で、また A_n 、 B_n 、 C_n 、 D_n はNおよびMを次式のときFourier級数に展開したときの係数である。

$$\left. \begin{aligned} N/P + \frac{P}{2} &= A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta) \\ M/P + \frac{P}{2} &= C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (C_n \cos n\theta + D_n \sin n\theta) \end{aligned} \right\} \text{ ----- (3)}$$

3. 模型実験 本実験では図-2に示すごとく乾燥砂中に一定深さ(円管頂面から40cm)で埋められた円管(外径40cm、厚さ6mm、長さ1.5m)に対し砂上より静的上載荷重を加え、円管中央部のリング内、外周辺の応力を測定した。応力測定はストレンゲージを用いて円管を12等分した各断面の内外で行ない、また変位はダイヤルゲージによって上下左右4ヶ所について測定した。また載荷方式は直径37cmの載荷板を用いて荷重を1000、2000、3000、4000kgの4種類とした。なお、実験は同一条件(砂の密度1.75~1.76 g/cm^3)で6回行った。

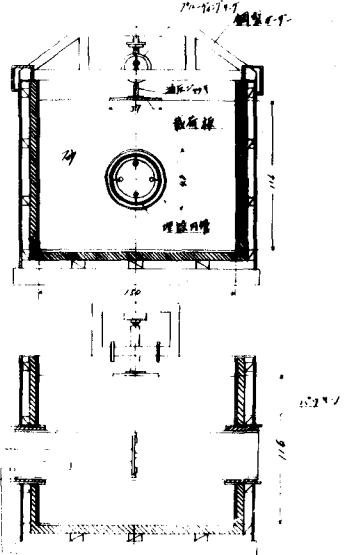


図-2

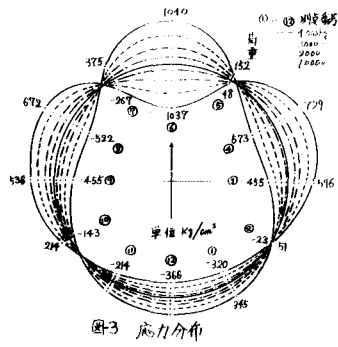


図3 応力分布

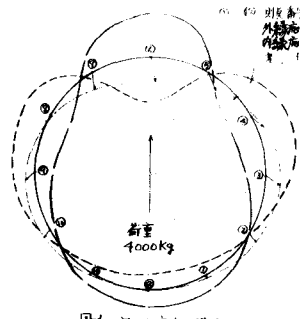


図4 応力と変位の関係

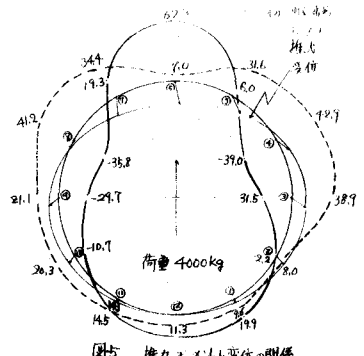


図5 推力、Mと変位の関係

4. 解析結果および考察 計算では6回行なった実験の平均値を用い、図3, 4, 5, 6, 7に示す結果をえた。図-3はストレージによるひずみを用いて外縁応力 σ_o および内縁応力 σ_i 分布を求めたもので、荷重の増大による応力の増加過程が明瞭に看取できる。図-4は荷重4000kgにおける応力 σ_o と変位 δ (δ_r と δ_a を合成した)との関係を示したもので、 σ_o - δ 図が δ - σ 図にほぼ類似していることが分る。図-5はN, Mと δ との関係を表わすもので、 δ_a が推力Nに、また δ_r が曲げモーメントMに著るに影響されていることが認められる。図-6は荷重の増大による変位量の増加過程を図示したもので、測点④, ⑤では δ_a が δ_r に比べて極めて大きい見かけ上の変位はほぼ0となっている。また測点⑩で $\delta = 0$ となるのは、理論上最下点に変位がないものと仮定したためである。図-7は測点①, ②, ……⑥における荷重と変位量 δ_r との関係を求めたもので、ダイヤルゲージによる測点③, ④, ⑤の実測値も併記した。これによれば荷重の増大に伴い δ_r はほぼ直線的に増加していることが確認される。また測点⑩において下方に最大0.3mmの実測変位が生じているが、これは測点⑥における計算値が実測値より最大0.3mm小さいことより、円管全体が載荷間に0.3mmだけ沈下したものと考えられ、結局前記誘導の計算式は実験結果とよく合致していることが認められる。

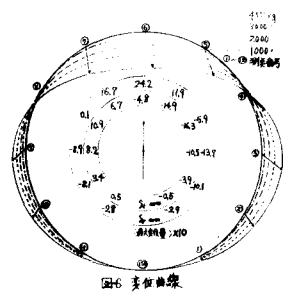


図6 変位曲線

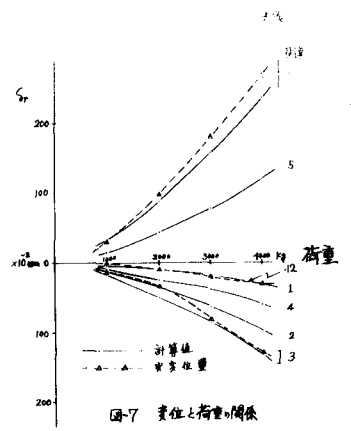


図7 変位と荷重の関係

5. あとがき 本研究は埋設管の変形についての実験的考察を行なったもので、本実験の上載荷重が部分的であり、しかも両端を単純に支持したにも拘らず4.で述べたとき理論値とよい一致をみたことから、結局埋設円管の中央部では平面ひずみの状態にあると考えて差し支えないことが分る。

しかし計算式はあくまでフックの法則が成立し、かつ微小変形の場合に限定されるゆえ、変形が極めて大きい円管に対しては別途に研究する必要がある。

参考文献

1) 佐藤 敏志: 埋設管における応力と土圧の関係について, 防衛大学校理工学研究报告第5巻3号(昭42年9月) 埋設管における応力と変形の関係について, 同上, 第6巻1号(昭43年6月)
 2) カルマン・ピオ: 工学における数学的方法(下), 法政大学出版会,(1957年)