

## 埋設鋼管に関する実験的研究

名古屋工業大学 正員 山内利彦

学生員 ○堀 幸夫

竹内信夫

可撓性埋設管が受ける土圧は管の変形と密接な関係があると考えられ、設計土圧を算定するためにはまず管の変形を知る必要がある。現行設計法の基礎となっている Marston, Spangler 理論<sup>(1)</sup>にも両者の関係が考慮されていながら、その中で変形量の仮定がやや不自然と思われる。仮定の検証と変形形状を知る目的で 80cm 径の鋼管を用いた埋設実験を行ない、結果を得たので報告する。

## 1. 解析方法

管の中心を通る鉛直軸に対し、軸対称荷重が載荷された薄肉リングとして次の仮定のもとに解く。(i) 土圧は軸対称に作用する。(ii) 管半径に比べ管厚は小さく、垂直応力は直線分布する。(iii) 軸力、剪断力の変形に及ぼす影響は無視する。

埋設管の応力状態を  $M$ 、図-1, 2 に示した載荷状態における応力状態を それぞれ  $M_H$ ,  $M_V$  とすれば、管頂から角  $\theta_i$  の管要素の水平・鉛直たわみ  $\delta_{y,H}$ ,  $\delta_{y,V}$  は それぞれ

$$\delta_{y,H} = \int_{\theta_i}^{\pi} \frac{M \cdot M_H}{E \cdot I} r d\theta \quad \dots \dots (1) \quad \delta_{y,V} = \int_{\theta_i}^{\pi} \frac{M \cdot M_V}{E \cdot I} r d\theta \quad \dots \dots (2)$$

で得る。管壁の内側、外側にひずみゲージを貼り、縁ひずみより曲げモーメントを算出するとすれば、 $M$  は日々の連続関数としてではなく、断続的にしか求められない。解析方法として、(i)  $M$  を最小自乗法を用いて多項式近似し、近似式を (1), (2) 式に代入する方法、(ii) 断続的な  $M$  を直線で結んで得られる折線  $M$  を用い、(1), (2) 式右辺の  $M$  を積分記号の外に出して計算する方法、の二法が考えられる。後者の場合、管頂から角  $\theta_i$  にある断面での曲げモーメントを  $M_i$ ,  $\theta_i$  より少し大きさの角  $\theta_{i+1}$  にある断面での曲げモーメントを  $M_{i+1}$  とすると、角  $\theta_i$ ,  $\theta_{i+1}$  で挟まれる区間での曲げモーメントを  $(M_i + M_{i+1})/2 = \text{一定}$  とすれば、(1), (2) 式の右辺は、それぞれ次のように書き換えられる。

$$\delta_{y,H} = \frac{r^2}{EI} \sum_i \frac{M_i + M_{i+1}}{2} \left\{ (\theta_{i+1} - \theta_i) \cos \varphi - \sin \theta_{i+1} + \sin \theta_i \right\} \quad \dots \dots (3)$$

$$\delta_{y,V} = \frac{r^2}{EI} \sum_i \frac{M_i + M_{i+1}}{2} \left\{ -\cos \theta_{i+1} + \cos \theta_i - (\theta_{i+1} - \theta_i) \sin \varphi \right\} \quad \dots \dots (4)$$

## 2. 実験方法

管の弾性係数  $E$ 、ひずみゲージのばらつき及び二つの解析方法の精度を知る目的で、図-3 に示される三点載荷実験を JIS 3443 800A 鋼管に対して行なった。管寸法は図-3 に示す。荷重レ

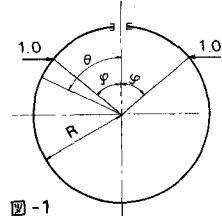


図-1

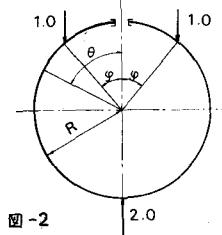


図-2

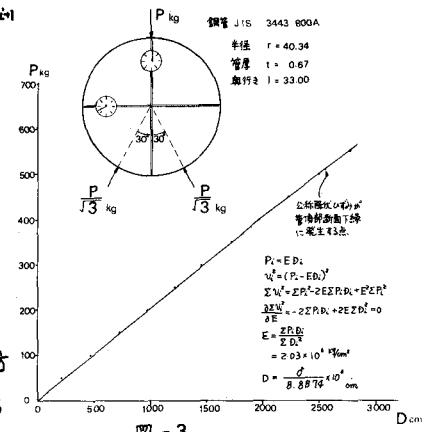


図-3

ベルを  $P=50 \text{ kN}$  からすべての断面での縁応力が降伏応力より小さい  $P=500 \text{ kN}$  までとし、 $50 \text{ kN}$  每に鉛直・水平方向たわみ  $\delta_{\text{av}}$ ,  $\delta_{\text{v},\text{H}}$  をダイヤルゲージで実測して  $E=2.03 \times 10^6 \text{ kN/cm}^2$  を得た(図-3)。

ゲージ長  $5 \text{ mm}$  のひずみゲージを奥行き  $1/2 = 16.5 \text{ cm}$  の管内壁に、円周方向には  $5^\circ$  每に、長手方向には 3 点 ( $0, \pi/2, \pi$  断面) 貼り付けた。長手方向と円周方向のひずみの比は  $0, \pi/2, \pi$  断面で、それぞれ  $-0.060, -0.024, -0.052$  と求まり、平面ひずみ問題として解え得ることが明らかになった。

得られたひずみから(i),(ii)の解析方法により、鉛直たわみ  $\delta_{\text{av}}$ 、水平たわみ  $\delta_{\text{v},\text{H}}$  を求めた。それらをダイヤルゲージによる実測値、ハリ理論による計算値とともに表-1に示す。表-1より次の二点が指摘できる。すなわち、(1) 解析法(i)を採用する場合、多項式のもつ拘束を緩めるため、より高次の多項式近似を行なう必要がある。(2)  $5^\circ$  あたりに得られるひずみの実測値を用い、解析方法(ii)で得る鉛直・水平たわみとも実測値や計算値とよく合致している。

本実験では長さ  $200 \text{ m}$  の鋼管(予備実験で用いたのと同種管)をコンクリート土槽に埋め戻した(図-4)。ひずみゲージは奥行き  $1.00 \text{ m}$  の内壁、外壁に、それぞれ  $5^\circ, 10^\circ$  毎貼り付けた。埋戻し時の締固めは、(1)管底くさび状部分は棒により突固め、(2)深さ  $0 \sim 1.00 \text{ m}$  まではとくに締固めせず( $R_d = 1.616 \text{ kN/cm}^2$ :砂置換法による実測値)、(3)深さ  $1.00 \sim 2.20 \text{ m}$  までは  $80 \text{ kN}$  の振動締固め機で  $10 \text{ cm}$  埋戻す毎に 10 分間締固め( $R_d = 1.756$ )、管が最も変形しやすい状態に埋戻した。実験では  $20 \text{ cm}$  埋戻す毎にひずみを実測し、解析方法(ii)によりたわみを求めた。土かぶりが  $0.8, 1.2, 1.6, 2.0 \text{ m}$  における管の変形形状、及び土かぶりが  $2.2 \text{ m}$  における管の水平たわみ分布を、それぞれ 図-5(a), (b) に示す。

### 3. 考察

Spanler<sup>2)</sup> は側圧分布を中心角  $100^\circ$  に挟まれるとし(図-5(b))、鉛直・水平たわみが等しい( $\delta_{\text{av}} = -2\delta_{\text{v},\text{H}}$ )として管厚算定式を誘導している。今回の実験では水平たわみ分布は図-5(b)に示すように、 $1/2$  断面で最大値をとり、中心角  $180^\circ$  にわたり外に凸なる、滑らかな曲線として得られ、すなわち一部だけではなく、すべての管要素は水平方向外側に変位している。水平・鉛直たわみの比を  $R_d$  で表わせば、図-6 のような集中荷重  $P, Q$  が作用したとき、 $R_d = 1.0$  となるのは  $Q = -P$ 、すなわち  $Q$  は引張りでなければならぬ。分布荷重である土圧を単純に集中荷重に置き換えて考えることはできないにしても、 $R_d = 1.0$  とするのは不自然である。本実験のように、管側部の埋戻し土が不十分に締固められた場合でも  $R_d = 0.87 \sim 0.94$  に求まっている。

[参考文献] 1) Leonards G.A., "Foundation Engineering", McGraw-Hill, 1962, pp 990-994 2) 渡辺隆, "埋設管の設計・施工に伴う問題点", 土と基礎, vol 94, No 1, 1972, pp 11-20 3) Spanler H.G., "Structural Design of Pipeline Casing Pipes", Proc of ASCE, Vol 94, PL 1, 1968, pp 137-154

表-1

	$\delta_{\text{av}}$ mm	$\delta_{\text{v},\text{H}}$ mm
6次多項式近似	22.82	-12.85
4次多項式近似	22.84	-12.83
(i) 複2次式近似	12.63	0.45
解析法(ii) ( $\theta_m = 8.33^\circ, 5^\circ$ )	22.57	-10.46
ダイヤルゲージによる実測値	22.65	-10.66
ハリ理論による計算値	22.07	-10.45

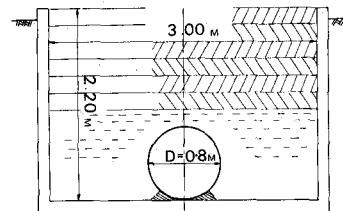


図-4

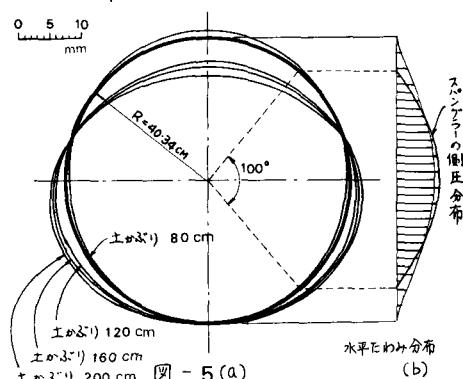


図-5(a)

水平たわみ分布 (b)

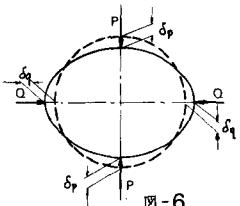


図-6