

大阪市下水道局 正会員 坂本真吾 堀田清美 東田 淳

1. まえがき 数年来開削工法によって埋設されたヒューム管のひびわれ発生事故が多く、埋設工事の全面的見直しを計画した。本報告は埋設ヒューム管に加わる外力の計測に先立ち、埋設ヒューム管と同一仕様の管を用いて外圧試験を行い、その結果から等分布荷重を受けるコンクリート支承ヒューム管にも適用できる解析理論を確立したので報告するものである。

2. 理論式の誘導 (1) Mのみが作用する場合の内部応力 $m = E_t/E_c, \pi = E_s/E_c$ より、 $\sigma_t = m\sigma_c \frac{t-x}{x}$ ① $\sigma_{sc} = \pi\sigma_c \frac{x-d'}{x}$ ② $\sigma_{st} = \pi\sigma_c \frac{d'-x}{x}$ ③ つり合い条件式 $\sum H = 0$ より $x = \frac{t}{1-m} \left[\sqrt{\{m+n(p+p')\}^2 + (1-m)\{2n(P\frac{d}{x} + p\frac{d'}{x}) + m\}} - \{m+n(p+p')\} \right]$ ④ ただし $p = \frac{A_s}{b \cdot t}$, $p' = \frac{A_s'}{b \cdot t}$ 。特に $m=1$ の時は $x = t \{ 2n(p\frac{d}{x} + p'\frac{d'}{x}) + 1 \}$ ⑤ $I = b \left[\frac{x^3}{3} + m \frac{(t-x)^3}{3} + n p t (d-x)^2 + n p' (t-d')^2 \right]$ ⑥ $\sigma_c = \frac{M}{I} x$ ⑦

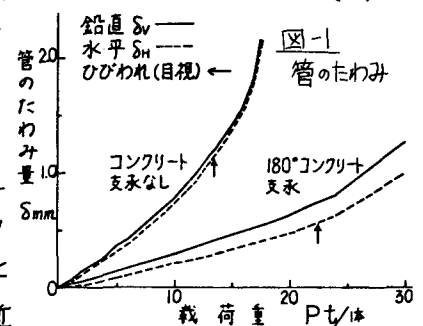
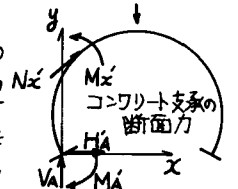
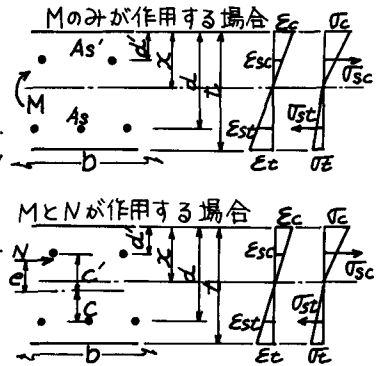
(2) M, N が作用する場合の内部応力 $M = \frac{1}{2} \sigma_c b x (\frac{x}{3} - \frac{t}{3}) + \sigma_{sc} A_s' c' + \frac{1}{2} \sigma_c b (t-x) (\frac{x}{3} - \frac{t}{3}) + \sigma_{st} A_s c$ ⑧ $N = \frac{1}{2} \sigma_c b x + \sigma_{sc} A_s' - \frac{1}{2} \sigma_c b (t-x) - \sigma_{st} A_s$ ⑨ $M = Ne$ より x は、 $x^3 - \frac{3}{2}(t-2e)x^2 - \frac{6}{b(m-1)}[nA_s(e+c) + nA_s'(e-c') + mebt]x + \frac{1}{2b(m-1)}[12ndA_s(e-c) + 12nd'A_s'(e-c') + mbt^2(t+6e)] = 0$ ⑩ から求める。 $m=1$ の時は $x = \{ 12npd(e+c) + 12np'd'(e-c') + t(6e+t) \} / \{ 12[np(e+c) + np'(e-c') + e] \}$ ⑪ $\sigma_c = 2Nx / \{ b x^2 + 2n(x-d')A_s' - mb(t-x)^2 - 2n(d-x)A_s \}$ ⑫ σ_c を①~③に代入して σ_{sc}, σ_{st} を求める。(3) コンクリート支承なしの場合の断面力 管の側角を $\theta = 0$ 、管の頂角を $\theta = 90^\circ$ とおけば薄肉円環理論より $M = PR(2.318 - \frac{\cos\theta}{2})$ ⑬ $N = \frac{P \cos\theta}{2}$ ⑭ $e = M/N$ ⑮

(4) コンクリート支承・集中線荷重の場合の断面力 図-3.4の固定端の実測値より式⑧によって固定端モーメント M_A を求め、両端固定アーチの端モーメントの理論値 M_A との比を α とおく。 $M_A' = \alpha M_A$ ⑯ α を固定端モーメントの拘束係数と呼ぶ。頂角の実測値より式⑨によって頂角のモーメント M_B を求め、 $M_B = M_A + V_A x - H_A y$ より不静定反力 H_A を算定する。よって各断面力は $M_x = M_A + V_A x - H_A y$ ⑰ $N_x = V_A \cos\theta + H_A \sin\theta$ ⑱ となる。集中線荷重を受ける固定アーチの理論両端モーメント M_A から $M_A' = \alpha M_A$ によって拘束度を緩めた系において、固定端水平変位 $\delta_H = 0$ の条件でカスリアーノの定理より不静定水平反力 H_A を求め、 $H_A'/H_A = \beta$ とおく。ここで β を水平反力拘束係数と呼ぶ。

これらの拘束係数 α, β は不静定力に関係なく固定端の拘束度を表わす定数とし、等分布荷重の場合にも適用できるものとする。(5) コンクリート支承・等分布荷重の場合の断面力 等分布荷重 p を受ける両端固定アーチの理論端モーメント M_B に固定端モーメント拘束係数 α を乗じて端モーメント M_B' を求める。端モーメント M_B と M_B' に緩めた系で $\delta_H = 0$ の条件で不静定反力 H_B を求め、水平反力係数 β を乗じて端部水平反力 H_B' を算出する。 M_B', H_B' は等分布荷重を受けた場合のコンクリート支承ヒューム管の固定端の不静定力となる。これらの M_B', H_B' を用いて次式により断面力を算出できる。

180°支承の場合 $M_B = M_B' + gR^2(1 - \cos\theta) - H_B' R \sin\theta - \frac{gR^2}{2}(1 - \cos\theta)^2$ ⑲ 120°支承の場合 $\frac{\pi}{3} \leq \theta < \frac{\pi}{2}$ $M_B = M_B' - gR^2(\sin\theta - \sin\frac{\pi}{3}) - H_B' R(\cos\frac{\pi}{3} - \cos\theta)$ ⑳ $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ $M_B = M_B' - gR^2(\sin\theta - \sin\frac{\pi}{2}) - H_B' R(\cos\frac{\pi}{2} - \cos\theta) - \frac{gR^2}{2}(1 - \sin\theta)^2$ ㉑

3. 解析に使用する定数 (E_c, m) ヒューム管製作に使用したコンクリートは $\sigma_{28} = 620 \text{ kg/cm}^2$ (外側=普通コンクリート) $\sigma_{28} = 640 \text{ kg/cm}^2$ (内側=膨張コンクリート) であった。 σ_{28} と E_c の関係についての種々の提案より E_c を想定すると $E_c = 4.0 \sim 5.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ となる。一般に m は $\sigma_c \leq 0.5 \sigma_{tb}$ では $m \approx 1, \sigma_{tb}$ 付近



寸法	内径	180 mm	管長	2360 mm	管厚	12 mm (実測)	128 mm
配管	材料	スチール	W/C	W	C	配管材	埋込材
寸法	20 mm	2.5 mm	40%	72%	59%	126%	104%
外層	25	2.5	40	172	430	716	1090
内筋	6	50	25	6	16	120°	113
外筋	6	75	30	6	16	180°	80

$I = 505 \text{ mm}$
 $J = 416$
 $h = 200$
 $b = 2500$

$I = 1227 \text{ mm}$
 $J = 223$
 $h = 200$
 $b = 2500$

表-1

Figure 2 is a circular diagram illustrating the distribution of reinforcement in a concrete slab. The diagram features a central square box containing the following text:

- $P=7t$ (2966 kg) $m=1$
- $P=123t$ (5274 kg) $m=0.7$
- $E_c=45 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$

Below the box is a legend:

- 内縁理論のすけ (Inner edge theoretical)
- 外縁 (Outer edge)
- 内縁実測のすけ (Inner edge actual)
- 外縁 (Outer edge)

The diagram also shows radial lines with arrows and concentric circles labeled "200" and "300".

図-2 コンクリート支承なし

Figure 3: A diagram illustrating the 180° bearing. The diagram shows a semi-circular arc with a horizontal axis labeled from -200 to 0 to 200. Two curves are plotted: a solid line and a dashed line. The solid line has points labeled $P=123 t$, $P=18 t$, and $m=0.7$. The dashed line has points labeled $P=45 t$ and $m=0.7$. A box in the center contains the text: $\alpha=0.5$, $\beta=0.74$, $E\varepsilon=4.5 \times 10^{-4}$, and "内挿理論のグラフ" (Graph of interpolation theory). Below the box, a legend indicates: "内挿" (Interpolation) with a solid line, "実験データ" (Experimental data) with a solid line and dots, and "外挿" (Extrapolation) with a dashed line. The caption below the diagram reads "図-3 180°支承".

Figure 1 is a technical diagram illustrating the calculation of the maximum bending moment (M_{max}) for a single-span arch bridge. The diagram shows the arch structure with various parameters and dimensions.

Key parameters and dimensions shown:

- Span length: $P=23.2t$ (52.9m)
- Rise: $P=18t$ (7.627m)
- Arch radius: $R=100m$
- Maximum bending moment: M_{max}
- Deflection: δ_{max}

The diagram includes a table of values for the maximum bending moment (M_{max}) and the corresponding deflection (δ_{max}) for different values of the arch radius (R).

R (m)	M_{max} (t-m)	δ_{max} (cm)
100	1.23	1.23
200	1.18	1.18
300	1.13	1.13
400	1.08	1.08
500	1.03	1.03
600	0.98	0.98
700	0.93	0.93
800	0.88	0.88
900	0.83	0.83
1000	0.78	0.78

Legend:

- 内縁運動の寸法 (Inner edge movement dimensions)
- - - 外縁 (Outer edge)
- 内縁 支調の寸法 (Inner edge support adjustment dimensions)
- 外縁 (Outer edge)

図-4 120°支承

○ 1800mm径ヒュム管の解析値
● 石積管の解析値
● 鉄筋板力管値 M
暫定値
両端固定 P-4 変位 M
両端固定 P-4 固定 M