

東京都立大学 正員 山本 稔
 ショーボンド化工(株)の正員 佐藤直昭

1. はじめに 鉄筋コンクリート管等ゴムガスケットを用いた継手の設計方法が明確になっていない。そのため管本体は十分耐力があっても継手が満足すべき条件を備えていないことから実用に耐えない管であると評価される場合がある。本文では鉄筋コンクリート管でOリングの継手を取りあげ、必要条件を満足するOリングの直径と係止部の高さが本来どれだけあればよいかを明確にし、継手の設計を可能にしたい。

2. 管継手の十分条件とその検討方法 管継手は①管が次下及び回転を生じて漏洩しない。②接合時に受口部が破損したり、あるいはOリングが永久ひずみを受けない等が条件となる。①を満足するOリングの圧縮率を最低圧縮率、②に関しては最高圧縮率と呼ぶ。

(1) 止水のための最低圧縮率 1)管が平均間隙であるとき、2)管が次下したとき、3)管が次下回転したときの止水の平衡式を示すと次のようになる。

$$\frac{2P\mu}{f} \geq \alpha p \therefore P \geq \frac{\alpha p}{2\mu} f \quad \text{.....(1)}, \quad \frac{2P\mu}{f} \geq (\alpha + \beta) p \therefore P \geq \frac{(\alpha + \beta) p}{2\mu} f \quad \text{.....(2)}$$

$$2P(\mu \cos \frac{\theta}{2} - \sin \frac{\theta}{2}) \frac{1}{f} \geq p(D_s - \frac{D+T+T'}{\cos \theta} - 2b \sin \frac{\theta}{2}), \therefore P \geq \frac{p(D_s - \frac{D+T+T'}{\cos \theta} - 2b \sin \frac{\theta}{2})}{2(\mu \cos \frac{\theta}{2} - \sin \frac{\theta}{2}) f} \quad \text{.....(3)}$$

ここに、P: Oリングを押し付ける力、 μ : ゴムと管との摩擦係数(本文では $\mu=0.26$ を適用)、f: 安全率(本文では $f=1$ とする)、 α : 平均間隙、p: 水圧、 β : 遊びの間隙、 θ : 回転角、 D_s : 受口の内径、D: 管径、T: 管厚、 T' : さし口の管厚、b: Oリングの接触長さ。

図-1. 次下回転時の端部詳細

次下回転時の状態は図-1のように受口が係止部に、そしてさし口が管端に接して回転移動すると仮定する。Oリングは受口の有効長さの内にあればよい。Oリングの接触長さは生じた間隙の大きい方の値で平行であるとした。次式から次下回転角が求められる。

$$b + l_3 + (D + 2T') \sin \theta \leq l_1 \quad \text{.....(4)}$$

$$b = \frac{\pi}{4} \left\{ \frac{d^2}{D_s - \frac{D+T+T'}{\cos \theta}} - (D_s - \frac{D+T+T'}{\cos \theta}) \right\} \quad \text{.....(5)}$$

ここに、 l_3 : Oリングの位置を決める溝幅、 l_1 : 受口の有効長さ、d: Oリングの直径。

(2) 守られるべき最高圧縮率 受口を片持ちりとしたときの断面に生じる曲げ引張応力度及び円環としたときの引張応力度は次式で算定できる。円環としたときのOリングの反力Pは45度分布して管壁中心で受けると仮定する。

$$\sigma_{bt} = \frac{6Pa}{b \cdot T} \quad \text{.....(6)}, \quad \sigma_t = \frac{P}{2} \cdot \frac{D_s}{Ac + (\pi^2 - 1) A_s} \quad \text{.....(7)}$$

ここに、 σ_{bt} : 受口固定端の曲げ引張応力度、P: Oリングの反力、a: 反力作用点と固定端との距離、b: 奥行、 σ_t : 引張応力度、Ac: 単位長さのコンクリート断面積、 A_s : 単位長さの鉄筋断面積、 π : 鉄筋とコンクリートの引張弾性係数の比 $\pi = E_s/E_t$ 。

Oリングの許容できる圧縮率を定める必要がある。鉄筋コンクリート管等のOリングの圧縮率は0.2~0.5が実用にされている。本文では許容できる最大の圧縮率として0.5をとる。

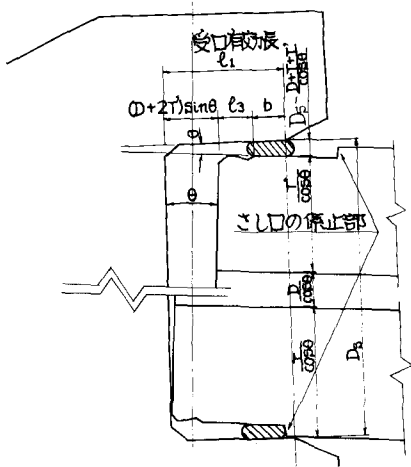
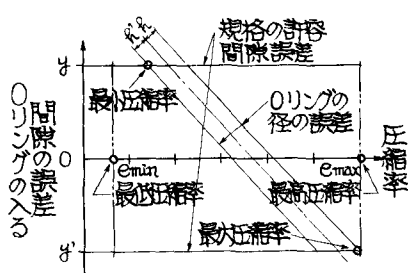


図-2. 間隙の許容誤差と圧縮率



(3) Oリングの最適直径とさし口係止部の高さの決定 Oリングの入る間隙と圧縮率を変数として、間隙とOリング径の許容誤差を示すと図-2のようになる。間隙とOリングの許容誤差から最小圧縮率と最大圧縮率が求められる。一方、(1)と(2)で求められた最低圧縮率及び最高圧縮率を図-2に記入する。最小圧縮率と最大圧縮率を結んだ線の勾配が緩いほどOリングの直径を小さく定めることができるから、最小圧縮率を最低圧縮率に、また最大圧縮率を最高圧縮率に合致させることで経済的なOリングの径を定められる。最小圧縮率及び最大圧縮率を示す点から次の2式が成り立つ。

$$\frac{1}{d}(d+y'+r'-z) = e_{\min} \cdots \cdots (8), \quad \frac{1}{d}(d+y+r-z) = e_{\max} \cdots \cdots (9)$$

ここに、 y, y' : 受口内面とさし口外面の正及び負の相対許容誤差、 r, r' : Oリングの正及び負の許容誤差(本文では $\pm 0.5\text{mm}$ を適用)、 z : さし口の係止部の高さ、 $e_{\min}$: 最小圧縮率、 $e_{\max}$: 最大圧縮率。

式(8)と(9)からOリングの直径 d とさし口の係止部の高さ z は次のように定まる。

$$d = \frac{(y+r) - (y'+r')}{(1-e_{\min}) - (1-e_{\max})} \cdots \cdots (10), \quad z = \frac{(y+r)(1-e_{\min}) - (y'+r')(1-e_{\max})}{(1-e_{\min}) - (1-e_{\max})} \cdots \cdots (11)$$

(4) Oリングを押し付ける力と変位量 Oリングの荷重と変位量の関係結果から荷重と変位量と圧縮率を結くと図-3のように示せる。この図によりOリングを押し付ける力を圧縮率に変換することができる。

3. 結果及び考察 現行規格により各状態での圧縮率と応力度を算定し、さらに間隙の許容誤差を適用してOリング直径及び係止部の高さを求めると表のようになる。表中、必要な圧縮率は仕様の圧縮率を上回ると漏れすることになる。現行規格で問題になる点は×印で明示し、特に管が沈下したときに必要な圧縮率が不足するので、沈下時の圧縮率を満足できるよう平均間隙と遊間隙を選び、さらにOリング直径が100現行に近づくように間隙許容誤差を決めたのが表の下段の改正案である。

4. 結 論 (1) 現行規格をみる限り、止水を検討するには管が沈下した状態の安全を調べる必要がある。(2) 最小圧縮率及び最大圧縮率と許容間隙誤差が定まっていれば、それらに適合するOリングの直径及び係止部の高さは式(10)、(11)により決定できる。(3) 鉄筋コンクリート管にJIS A5333を適用するならば、管の寸法許容差は表の間隙許容誤差を筋たすように改正すればよい。

5. おわりに 継手の設計方法として最適Oリング決定式を提案し、計算の結果を示した。Oリング直径を固定して現状の規格をみればその姿がよく判る。同様な考え方が現在用いられているヒューム管継手にも適用できると思われる。

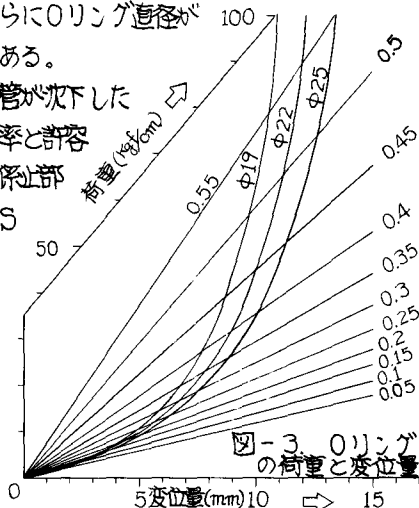


図-3 Oリングの荷重と変位量

表 現行規格及び改正案の計算結果のまとめ

	管の 呼び径 D(mm)	Oリング 径 d(mm)	平均 間隙 α(mm)	遊間 β(mm)	管が平均間隙		管が沈下		管が沈下回転		管の呼び径		管の呼び径		管の呼び径		管の呼び径		間隙 δ(mm)	Oリング 直径 d(mm)	係止部の 高さ Z(mm)
					必要な 圧縮率 式(1)	仕様の 圧縮率 d-d	必要な 圧縮率 式(2)	仕様の 圧縮率 d-d	必要な 圧縮率 式(3)	仕様の 圧縮率 d-d	管の呼び径	管の呼び径	管の呼び径	管の呼び径	管の呼び径	管の呼び径	管の呼び径	管の呼び径			
現行規格による	600	19	12.4	6.2	0.30 0.16	0.368	0.34 0.18	0.158 7.02	0.32 0.16	0.354	600	600	600	600	600	600	600	600	23.8 323	43.6 21.9	25.4 14.4
				4.05	0.23 0.07		0.28 0.10		0.25 0.09										29.8 323	31.8 17.5	19.4 12.3
	1,000	22	14.4	-2	-0.16	0.364	-0.18	0.182 5.05	-0.17	0.343	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	20.2 233	28.1	19.6
				4.05	0.23 0.06		0.27 0.08		0.25 0.08										20.2 233	39.1 21.4	25.1 16.2
改正案による	1,500	25	16.5	-	-0.16	0.360	-0.18	0.160 4.07	-0.17	0.277	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	16.9 19.9	28.1	19.6
					0.24 0.06		0.28 0.09		0.27 0.08										16.9 19.9	40.9 22.0	26.0 16.5
	2,000	-	-	-	-	-	-	3.09	-0.18	0.236	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	-	-	-
					-	-	-	-	0.27 0.08	-									-	-	-
改正案による	600	19	11.2	6.2	0.28 0.14	0.421	0.31 0.15	0.315 6.07	0.23 0.13	0.524	600	600	600	600	600	600	600	600	6 15	21.1	12.5
				4.05	0.22 0.08		0.25 0.10		0.18 0.08										4.2 2	20.0	-
	1,000	22	13.2	-2	-0.15	0.409	-0.16	0.318 4.35	-0.14	0.486	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0.5 3	-	13.5
				4.05	0.22 0.07		0.24 0.06		0.20 0.07										0.5 3	23.1	14.0
改正案による	1,500	25	15.3	-	-0.14	0.400	-0.17	0.320 3.46	-0.14	0.428	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	0.5 4	23.5	15.6
					0.22 0.07		0.26 0.08		0.22 0.07										0.5 4	22.7	16.4
	2,000	-	-	-	-	-	-	2.54	-0.15	0.397	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	0.5 4	25.0	12.5
					-	-	-	-	0.23 0.06	-									0.5 4	25.0	16.0