
付録

Appendix

付録 1 「JDPG G 1046 PN形ダクタイル鋳鉄管」の規格改正 (2017年10月)

2017年10月5日付で以下の規格改正があった。

「JDPG G 1051-2016 PN形ダクタイル鋳鉄管 (JP方式及びCP方式)」規格廃止。

「JDPG G 1046-2007 PN形ダクタイル鋳鉄管」規格改正。G 1046-2017に継承。

本書ではこの改正を反映していないが、今後の参考のために改正前と改正後の相違点を以下に示す。

【改正前】

規 格	JDPG G 1046			JDPG G 1051		
適 用 (対さや管)	押込工法			押込工法 (JP方式)		持込工法 (CP方式)
	1呼び径ダウン以上			2呼び径ダウン以上		3呼び径ダウン 以上
呼び径	300～1500			700～1500		
管厚の種類	1種管(すべての呼び径) 2種管(呼び径400以上) 3種管(呼び径500以上) 4種管(呼び径600以上)			1種管		P種管 (3種管及び 4種管相当)
セットボルト	あり			なし		
スプリング	なし			呼び径900以上		
タイプ	直管	直管 (溶接リング 付き)	直管 (フランジ・ リップ付き)	直管	直管 + キャスト バンド (スベーサ)	直管 (DGタイプ) + キャスト バンド

【改正後】

規 格	JDPG G 1046					
適 用	押込工法					持込工法
(対さや管)	1呼び径ダウン以上		2呼び径ダウン以上			3呼び径ダウン 以上
呼び径	300～1500					700～1500
管厚の種類	1種管(すべての呼び径)、2種管(呼び径400以上)、 3種管(呼び径500以上)、4種管(呼び径600以上) ^{注1}				1種管	3種管及び 4種管
セットボルト	なし					
スプリング	呼び径900以上					
タイプ	直管	直管 (溶接リング 付き)	直管 (フランジ・ リップ付き)	直管 + キャスト バンド (STタイプ) ^{注2}	直管 (DGタイプ) + キャスト バンド (DGタイプ) ^{注3}	直管

注1 4種管は、管路の線形及び施工延長に制限が設けられている。

注2 STタイプのSTは、STandardの略である。

注3 DGタイプのDGは、Double Groovedの略である。

備考 詳細は「ダクタイル鉄管によるパイプ・イン・パイプ工法 設計と施工 JDPG T 36」を参照のこと。

付録 2 ダクタイル鉄管管路を高水圧で使用した事例

事業体	静水圧 (MPa)	呼び径	延 長 (m)	管厚の 種類	接合形式	用 途	安全対策
A市	3.34	100	6090	PF種	K形	上水	特殊管厚サージタンク装置
B県	1.99	200~400	8000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
B県	1.80	500	500	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
B県	2.00	150~300	3000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
C県	1.70	200~350	5000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
D県	1.30	400	1000	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
E社	1.40	300	5000	1種	K形	原水送水	曲管部にKF形使用 ^{注1}
F市	1.40	700	7000	1種他	K形	上水	曲管部にKF形使用 ^{注1}
G県	1.20	1100	2400	1種	K形	上水	曲管部にKF形使用 ^{注1}
H県	1.76	300	1878	3種	K形	灌漑用	サージタンク装置
I県	1.30	800	2700	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
I県	1.30	900	5800	3種	K形	灌漑用	曲管部にKF形使用 ^{注1}
J県	1.65	700~1100	19300	2種	S形	灌漑用	
J県	1.65	2400	2950	2種	K形	灌漑用	
K県	2.55	500	600	1種他	K形	灌漑用	
L電力	3.17	500	300	PF種	K形	電力	
M市	1.90	500・600	3500	1種	K形	上水	
N県	2.52	600	2428	1種	K形	上水	
O局	2.40	600	2000	2種	K形	上水	
O局	2.50	450	5500	1種	T形	上水	
O局	1.79	400	2600	3種	T形	上水	
O局	2.40	800	900	特殊	K形・T形	上水	

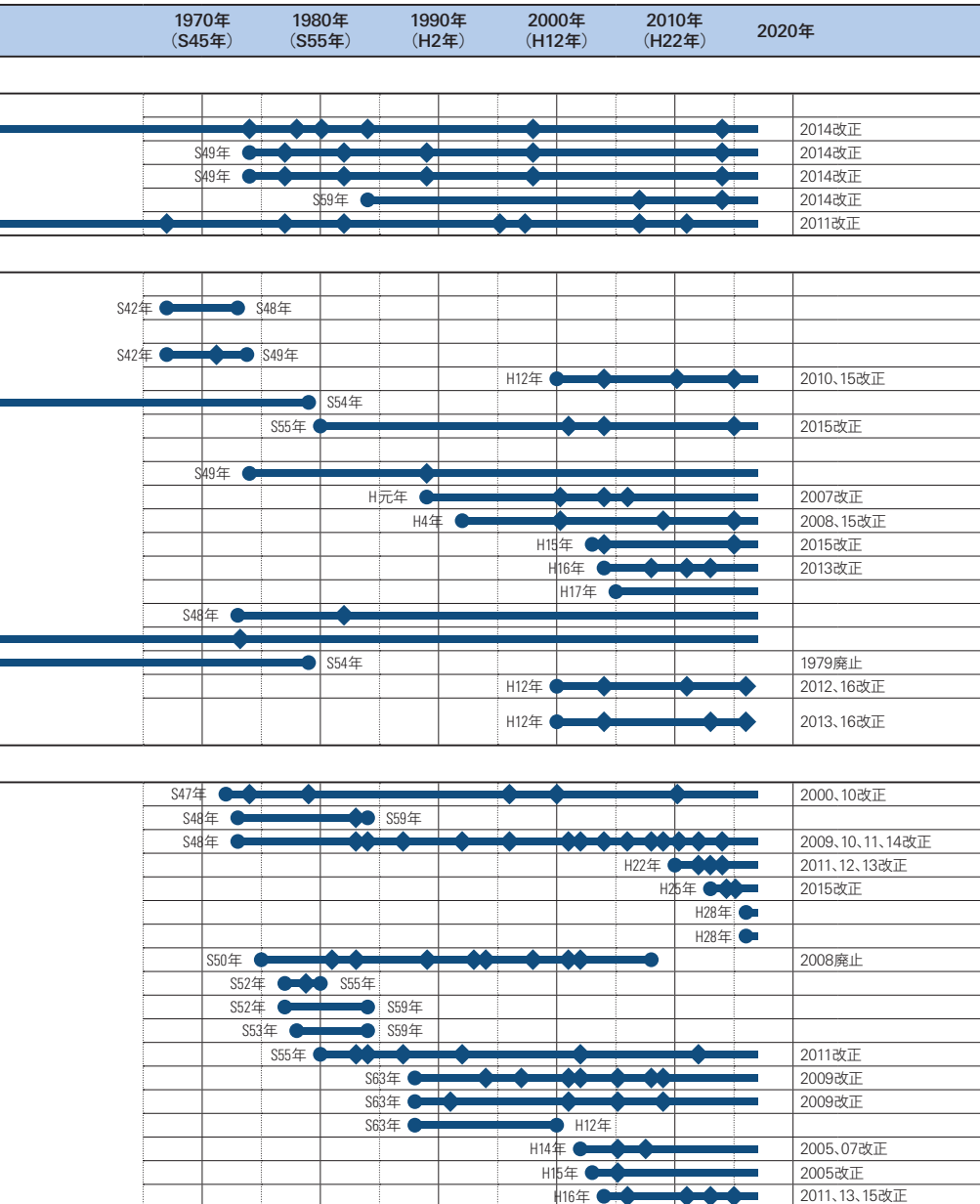
注1 KF形は廃止されている。

付録 3 ダクタイト鉄管の塗覆装および表示などの規格年表

凡例 ● = 制定、◆ = 改正、● = 廃止、S = 昭和、H = 平成

年号	1930年 (S5年)	1940年 (S15年)	1950年 (S25年)	1960年 (S35年)
日本工業規格				
JIS A 5314 ダクタイト鉄管モルタルライニング			S18年 ●	
JIS G 5526 ダクタイト鉄管				S33年 ●
JIS G 5527 ダクタイト鉄管異形管				
JIS G 5528 ダクタイト鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JIS K 6353 水道用ゴム			S28年 ●	◆
日本水道協会規格				
水道用鉄管及び弁鑄出記号標準		S17年 ●	S26年 ●	
直管表示マーク統一表				
水道用鉄管モルタルライニング方法			S31年 ●	S33年 ●
JWWA A 107 水道用遠心カクタイル鉄管モルタルライニング				
JWWA A 113 水道用ダクタイト鉄管モルタルライニング				
JWSA G 104 水道用鉄管塗装方法			S30年 ●	
JWWA G 112 水道用ダクタイト鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JWSA K 102 水道用ゴムパッキン	S12年 ●			◆
JWWA K 115 水道用ターレットエポキシ樹脂塗料塗装方法				
JWWA K 135 水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法				
JWWA K 139 水道用ダクタイト鉄管合成樹脂塗料				
JWWA K 156 水道施設用ゴム材料				
JWWA K 157 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法				
JWWA K 158 水道用ダクタイト鉄管用ポリエチレンスリーブ				
JWWA Z 100 水道用品表示記号				
JWWA Z 101 水道用ダクタイト鉄管類の表示方法			S26年 ●	
JWWA Z 107 水道用メカニカルジョイント鉄管記号配列				S35年 ●
JWWA Z 108 水道用資機材の浸出試験方法				
JWWA Z 110 水道用資機材の浸出試験及び 水道用薬品の評価試験に係る分析方法				
日本ダクタイト鉄管協会規格				
JDPA Z 2002 ダクタイト鉄管継手用滑剤				
JCPA Z 2003 ダクタイト鉄管類の表示記号				
JDPA Z 2004 ダクタイト鉄管類の表示				
JDPA Z 2004-2 GX形ダクタイト鉄管の表示				
JDPA Z 2004-3 S50形ダクタイト鉄管の表示				
JDPA Z 2004-4 NS形ダクタイト鉄管(E種管)の表示				
JDPA Z 2004-4-1 NS形ダクタイト鉄管(E種管)の表示				
JDPA Z 2005 ダクタイト鉄管防食用ポリエチレンスリーブ				
JDPA Z 2006 ダクタイト鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JDPA Z 2007 ダクタイト鉄管継手用クロロレンゴム輪				
JDPA Z 2008 ダクタイト鉄管継手用ニトリルゴム輪				
JDPA Z 2009 ダクタイト鉄管外面特殊塗装				
JDPA Z 2010 ダクタイト鉄管合成樹脂塗装				
JDPA Z 2011 ダクタイト鉄管異形管内面液状エポキシ樹脂塗装				
JDPA Z 2013 ダクタイト鉄管異形管モルタルライニングエポキシ樹脂塗装				
JDPA Z 2015 水道用ダクタイト鉄管モルタルライニングシーコート				
JDPA Z 2016 ダクタイト鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				
JDPA Z 2017 ダクタイト鉄管用切管端面防食材料				

備考 規格名称は2016(平成28)年12月末現在のものを記載した。



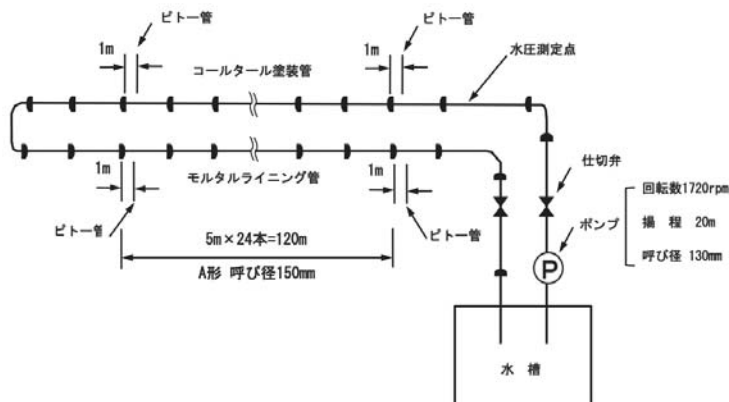
付録 4 モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の経年変化実測例

1 モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の測定実験

A形呼び径150のダクタイル鉄管を図のように配管し、ピトー管を用いて損失水頭を測定して、モルタルライニング管の流速係数 C_H 値を測定した。その結果、表に示した通り C_H 値はかなり大きな値が得られている。また、継手部で管路を3°ずつ屈曲させても C_H 値はほとんど低下せず、3°程度の屈曲による損失は摩擦損失に比べて小さい。モルタル表面を強制的に侵食した場合の C_H 値は112~117になっているが、これはモルタル中の砂が完全に露出し、表面がもっとも粗な状態のものであり、上水道等の良質の水が通水されている場合には、ほとんど起こり得ない状態のものである。

また、同様の実験方法にて、呼び径200内面エポキシ樹脂粉末塗装管で C_H 値を測定した結果、 C_H 値は154であった。

① モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の測定方法



② モルタルライニング管の流速係数 C_H 値の測定結果

管の状況	C_H 値
新管、直線管路の場合	155~159
新管、全管路にわたって継手部をジグザグに3°ずつ屈曲させた場合	155~158
管内に硫酸を充滿し、約50時間放置して強制的に浸食させ、ライニング表面をザラザラにした場合	112~117

2 国内の上水道におけるモルタルライニング管の流速係数 C_H 値の実測例

場 所	呼び径	管路長 (m)	布設年	経過年数 (年)	C_H 値
A市	900~1600	13980	1960~1965(昭和35~40)年	15~20年	117~122
B市	500~1200	44770	1965~1972(昭和40~47)年	8~15年	120~124
C市	900	25920	1982(昭和57)年	6年	133

3 海外のモルタルライニング管の流速係数 C_H 値の経年変化実測例

場 所	呼び径 (インチ)	シール コート	公称最低ラ イニング厚さ (インチ)	長さ (フィート)	布設年	経過年数 (年)	C_H 値
Birmingham, Ala.	6	有	1/16	473	1940	1	148
						6	141
						12	138
						17	133
Catskill, N.Y.	16	無	1/8	30825	1932	25	136
Champaign, Ill.	16	無	3/16	3920	1928	13	137
						22	139
						28	145
						36	130
Charleston, S.C.	5.78		1/8	500	1932	新管	145
						12	146
						16	143
Chicago, Ill.	36	有	1/8	7200	1945	1	147
						12	151
Concord, N.H.	12	無	1/16	500	1928	13	143
						29	140
						36	140
Danvers, Mass.	20	無	1/16	500	1926	31	135
						38	133
Greenville, S.C.	30		1/8	87400	1944	13	148
						20	146
	30	有	1/8	50700	1939	19	148
						25	146
Greenville, Tenn.	12	無	1/16	500	1928	13	134
						29	137
						36	146
Knoxville, Tenn.	10		1/16	500	1925	16	134
						32	135
						39	138
Manchester, N.H.	12	有		500	1936	5	151
						19	132
						26	140
Safford, Ariz.	10	無	1/8		1941	16	144
Watertown, N.Y.	10	無	1/16	500	1927	14	151
						28	132
						37	125 ^{注1}

注1 多量の塩素添加によりライニング表面のスライムを除去したものの。

Wallace T. Miller, Jour. AWWA, Jun; 1965

付録 5 ダクタイト鉄管の荷重によるたわみ量

1 ダクタイト鉄管の自重によるたわみ量

呼び径	管厚の種類							
	1種管		2種管		3種管		4種管	
	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)
500	111	0.2	99	0.2	93	0.3	—	—
600	153	0.2	139	0.3	126	0.4	119	0.5
700	194	0.4	178	0.5	162	0.6	146	0.7
800	249	0.5	222	0.7	204	0.8	186	1.0
900	311	0.7	270	0.9	250	1.0	229	1.3
1000	380	0.8	334	1.1	300	1.3	277	1.6
1100	455	1.0	393	1.4	355	1.7	330	2.0
1200	537	1.2	469	1.6	415	2.1	374	2.6
1350	666	1.6	574	2.2	513	2.7	467	3.3
1500	808	2.0	706	2.7	621	3.5	570	4.2
1600	913	2.3	805	3.0	696	4.0	642	4.7
1650	960	2.5	848	3.2	737	4.3	680	5.1
1800	1145	2.9	983	3.9	862	5.2	801	6.0
2000	1391	3.7	1211	5.0	1076	6.4	962	8.0
2100	1532	4.1	1343	5.4	1177	7.1	1059	8.9
2200	1690	4.6	1466	6.2	1291	8.1	1166	10.0
2400	1985	5.3	1717	7.1	1501	9.4	1366	11.4
2600	2346	6.4	2024	8.7	1759	11.6	1611	14.0

呼び径	管厚の種類							
	5種管		S種管		PF種管		P種管	
	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)	1m当たり 質量 (kg/m)	たわみ量 (mm)
500	—	—	99	0.2	—	—	—	—
600	105	0.6	139	0.3	—	—	—	—
700	130	1.0	178	0.5	—	—	158	0.5
800	167	1.3	222	0.7	277	0.4	198	0.7
900	198	1.8	270	0.9	332	0.6	223	1.1
1000	243	2.1	334	1.1	414	0.7	271	1.4
1100	280	2.8	—	—	480	0.9	323	1.8
1200	319	3.6	—	—	551	1.2	374	2.6
1350	390	4.8	—	—	666	1.6	467	3.3
1500	484	5.9	—	—	825	1.9	570	4.2
1600	533	6.9	—	—	913	2.3	—	—
1650	568	7.3	—	—	960	2.5	—	—
1800	658	9.0	—	—	1145	2.9	—	—
2000	826	11.0	—	—	1391	3.7	—	—
2100	892	12.6	—	—	1509	4.3	—	—
2200	990	14.0	—	—	1641	4.9	—	—
2400	1150	16.3	—	—	1878	5.9	—	—
2600	1375	19.3	—	—	2171	7.5	—	—

備考 たわみ量の計算には規格管厚から鑄造公差余裕(管厚の10%または1mm)を差し引いた管厚を用いた。モルタルライニングの補強効果は見込んでいない。

2 土かぶり土圧 (10kN/m²あたり) によるたわみ量

(単位: mm)

呼び径	垂直土圧 (10kN/m ² あたり) によるたわみ量							
	管底支持角 $2\theta = 60^\circ$							
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	S種管	PF種管	P種管
500	0.6	0.8	1.0	—	—	0.8	—	—
600	0.7	0.9	1.4	1.7	2.6	0.9	—	—
700	1.0	1.3	1.7	2.5	3.8	1.3	—	1.5
800	1.2	1.7	2.2	2.9	4.3	1.7	0.8	1.9
900	1.3	2.1	2.7	3.5	5.7	2.1	1.1	3.1
1000	1.5	2.3	3.2	4.0	6.1	2.3	1.2	3.7
1100	1.7	2.7	3.7	4.6	7.7	—	1.5	4.2
1200	1.9	2.9	4.2	5.9	9.5	—	1.8	5.9
1350	2.3	3.6	5.1	6.8	11.8	—	2.3	6.8
1500	2.6	4.0	6.0	7.8	12.8	—	2.5	7.8
1600	2.8	4.1	6.4	8.3	14.6	—	2.8	—
1650	3.0	4.3	6.7	8.6	14.9	—	3.0	—
1800	3.1	5.0	7.5	9.4	17.2	—	3.1	—
2000	3.7	5.7	8.3	11.7	18.6	—	3.7	—
2100	3.9	5.9	8.9	12.3	20.9	—	4.1	—
2200	4.2	6.6	9.7	13.3	22.0	—	4.6	—
2400	4.4	6.9	10.5	14.0	23.8	—	5.2	—
2600	5.0	7.8	12.1	15.8	25.7	—	6.3	—

備考 たわみ量の計算には規格管厚から製造公差余裕 (管厚の10%または1mm) を差し引いた管厚を用いた。モルタルライニングの補強効果は見込んでいない。

3 ダクタイル鉄管の路面荷重 (10kN/m²あたり) によるたわみ量

(単位: mm)

呼び径	路面荷重 (10kN/m ² あたり) によるたわみ量							
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	S種管	PF種管	P種管
500	0.2	0.2	0.3	—	—	0.2	—	—
600	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	0.3	—	—
700	0.3	0.4	0.5	0.8	1.1	0.4	—	0.5
800	0.3	0.5	0.7	0.9	1.3	0.5	0.3	0.6
900	0.4	0.6	0.8	1.0	1.7	0.6	0.3	0.9
1000	0.5	0.7	1.0	1.2	1.8	0.7	0.4	1.1
1100	0.5	0.8	1.1	1.4	2.3	—	0.4	1.3
1200	0.6	0.9	1.3	1.8	2.9	—	0.5	1.8
1350	0.7	1.1	1.5	2.0	3.6	—	0.7	2.0
1500	0.8	1.2	1.8	2.3	3.8	—	0.7	2.3
1600	0.8	1.2	1.9	2.5	4.4	—	0.8	—
1650	0.9	1.3	2.0	2.6	4.5	—	0.9	—
1800	0.9	1.5	2.3	2.8	5.1	—	0.9	—
2000	1.1	1.7	2.5	3.5	5.6	—	1.1	—
2100	1.2	1.8	2.7	3.7	6.3	—	1.2	—
2200	1.3	2.0	2.9	4.0	6.6	—	1.4	—
2400	1.3	2.1	3.1	4.2	7.1	—	1.6	—
2600	1.5	2.3	3.6	4.7	7.7	—	1.9	—

備考 たわみ量の計算には規格管厚から製造公差余裕 (管厚の10%または1mm) を差し引いた管厚を用いた。モルタルライニングの補強効果は見込んでいない。

付録 6 円環の構造計算式

M_1 、 T_1 、 V_1 、 M 、 T 及び V は図示の時正、逆の時負 荷重は図示の時正、逆の時負

E = 弾性係数

I = 円環断面の慣性モーメント

W 又は F = 荷重又は反力

w = 荷重

k = 液体の比重

z = $\sin x$

u = $\cos x$

s = $\sin \theta$

c = $\cos \theta$

n = $\sin \phi$

e = $\cos \phi$

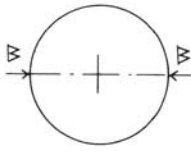
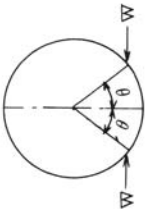
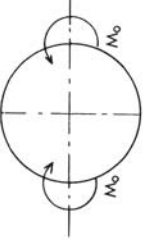
p = $\sin \beta$

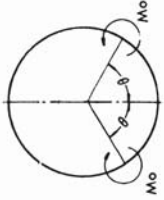
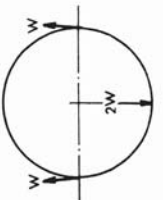
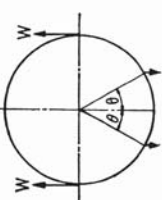
q = $\cos \beta$

角度はラジアン

$+D_x$ 、 $+D_y$ は直径の増加を意味し、 $-D_x$ 、 $-D_y$ は減少を意味する。

$+ΔR$ は垂直方向直径の上半分の増加を $-ΔR$ は減少を意味する。

<p>荷重・支持条件</p>	<p>曲げモーメント M、円周方向引張 T、円環の底面から角度 x の距離に於ける半径剪断力 V、直径の水平方向変化 Dx、直径の垂直方向変化 Dy</p>
	$M = WR \left(0.3183 - \frac{1}{2} z \right) \quad \max + M = 0.3183 WR, \text{ at } x = 0 \quad \max - M = -0.1817 WR, \text{ at } x = \frac{\pi}{2}$ $T = -\frac{1}{2} Wz$ $V = -\frac{1}{2} W_0$ $Dx = +0.137 \frac{WR^3}{EI}$ $Dy = -0.149 \frac{WR^3}{EI}$
	$(x=0 : x=\theta \text{間}) M = WR [0.3183 (s-c\theta + u\theta - usc) - u + c]$ $T = W [0.3183u (\theta - sc) - u]$ $V = W [0.3183z (sc - \theta) + z]$ $Dx = \frac{WR^3}{EI} \left[0.6366 (s-c\theta) + \frac{1}{2} (sc - \theta) \right] \quad \Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left[0.3183 \left(s-c\theta + \frac{1}{2} \theta - \frac{1}{2} sc \right) - \frac{1}{2} s + \frac{1}{2} \theta c \right]$ $Dy = \frac{WR^3}{EI} \left[0.6366 (s-c\theta) + c + \frac{1}{2} s^2 - 1 \right]$ $(x=\theta : x=\pi \text{間}) M = WR [0.3183 (s-c\theta + u\theta) - usc]$ $T = W [0.3183u (\theta - sc)]$ $V = W [0.3183z (sc - \theta)]$
	$(x=0 : x=\frac{\pi}{2} \text{間}) M = Mo \left(0.6366u - \frac{1}{2} \right) \quad (x=\frac{\pi}{2} : x=\pi \text{間}) M = Mo \left(0.6366u + \frac{1}{2} \right)$ $\max + M = +\frac{1}{2} Mo, Mo \text{ の直上} \quad \max - M = -\frac{1}{2} Mo, Mo \text{ の直下}$ $(x=0 : x=\pi \text{間}) T = \frac{Mo}{R} (0.6366u) \quad V = -\frac{Mo}{R} (0.6366z)$ $Dx = 0, Dy = 0$ $\Delta R = \frac{MoR^2}{EI} (0.0329)$

<p>4.</p> 	$(x=0: x=\theta \text{間}) M=M_0(0.3183(2us+\theta)-1) \quad (x=\theta: x=\pi \text{間}) M=M_0(0.3183(2us+\theta))$ $T=\frac{M_0}{R}(0.6366us) \quad T=\frac{M_0}{R}(0.6366us)$ $V=\frac{M_0}{R}(0.6366zs) \quad V=-\frac{M_0}{R}(0.6366zs)$ $Dx=\frac{M_0R^2}{EI}(0.6366\theta-s) \quad Dy=\frac{M_0R^2}{EI}(0.6366\theta+c-1) \quad \Delta R=-\frac{M_0R^2}{EI}(0.3183s-0.1817\theta) \quad \text{ここに } \theta < 90^\circ$
<p>5.</p> 	$(x=0: x=\frac{\pi}{2} \text{間}) M=W(0.3183u+z-0.8183) \quad (x=\frac{\pi}{2}: x=\pi \text{間}) M=W(0.1817+0.3183u)$ $T=W(0.3183u+z) \quad T=W(0.3183u)$ $V=W(u-0.3183z) \quad V=-W(0.3183z)$ $Dx=\frac{WR^3}{EI}(-0.1366) \quad Dy=\frac{WR^3}{EI}(0.1488) \quad \Delta R=\frac{WR^3}{EI}(0.0554)$
<p>6.</p> 	$(x=0: x=\theta \text{間}) M=W(0.3183(uc^2-s\theta-c)+s) \quad (x=\theta: x=\frac{\pi}{2} \text{間}) M=W(0.3183(uc^2-s\theta-c)+z) - \frac{1}{2}$ $T=W(0.3183uc^2+z) \quad T=W(0.3183uc^2+z)$ $V=-W(0.3183zc^2) \quad V=W(u-0.3183zc^2)$ $Dx=\frac{WR^3}{EI}\left[\frac{1}{2}(s^2+1)-0.6366(s\theta+c)\right] \quad (x=\frac{\pi}{2}: x=\pi) M=W(0.3183(uc^2-s\theta-c)+\frac{1}{2})$ $Dy=\frac{WR^3}{EI}\left[s-\frac{1}{2}(sc+\theta)-0.6366(s\theta+c)+0.7854\right] \quad T=W(0.3183uc^2)$ $\Delta R=\frac{WR^3}{EI}\left[\frac{c^2}{2\pi}+0.1817(c+\theta_s)-0.2854\right] \quad V=-W(0.3183zc^2)$

曲げモーメントM、円周方向引張力T、円環の底面から角度xの距離に於ける半径剪断力V、直径の水平方向変化Dx、直径の垂直方向変化Dy

7. $(x=0 : x=\theta \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(s\theta+c+us^2-1) \quad (x=\theta : x=\pi \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(s\theta+c+us^2-1)$

$$T = \frac{W}{0.3183}(us^2+z)$$

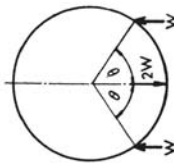
$$V = \frac{W}{0.3183}(z)$$

$$Dx = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(s^2+2) + 0.6366(s\theta+c-1) - 2s \right\} \text{ここに } \theta > 90^\circ \quad Dx = \frac{WR^3}{EI} \left\{ 0.6366(s\theta+c-1) - \frac{1}{2}s^2 \right\}$$

$$Dy = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(sc+\theta) + 0.6366(s\theta+c-1) - s \right\}$$

ここに $\theta < 90^\circ$

$$\Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left\{ 1.6366(c+\theta_s) - \pi s + cs + \theta - \frac{c^2}{\pi} - 0.8891 \right\}$$



8. $(x=0 : x=\theta \text{間}) M = \frac{WR}{0.3183}(n\phi+e-s\theta-c) - \frac{us^2+un^2}{n^2-s^2}$

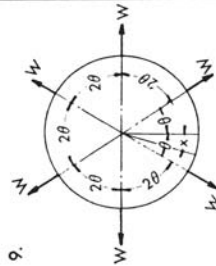
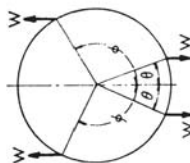
$$T = \frac{W}{0.3183}u \left(\frac{n^2-s^2}{n^2} + z \right)$$

$$V = \frac{W}{0.3183}z \left(\frac{s^2-n^2}{s^2} + u \right)$$

$$Dx = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(s^2+n^2) + 0.6366(n\phi+e-s\theta-c) + 1 - 2n \right\}$$

$$Dy = \frac{WR^3}{EI} \left\{ \frac{1}{2}(ne+\phi-sc-\theta) + 0.6366(n\phi+e-s\theta-c) + s-n \right\}$$

$$\Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left\{ 0.1592(c^2+e^2) + 0.8183(e+\phi n) + 0.1817(c+\theta_s) - 0.5(\pi n - \phi - en) - 0.7854 \right\}$$



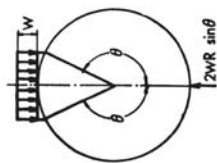
9. $(x=0 : x=\theta \text{間}) M = \frac{1}{2} \frac{WR}{EI} \left(\frac{u}{s} - \frac{1}{\theta} \right) : \max + M = \frac{1}{2} \frac{WR}{EI} \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{\theta} \right) \text{ at } x=0, 2\theta, 4\theta, \text{ etc.}$

$$\max - M = -\frac{1}{2} \frac{WR}{EI} \left(\frac{1}{\theta} - \cot \theta \right) \quad \max T = \frac{1}{2} \frac{WR}{EI} \left(\frac{1}{s} \right) \text{ at } x=0, 2\theta, \text{ etc.} \quad T = \frac{1}{2} \frac{WR}{EI} \cot \theta$$

各荷重点に於ける半径の変化 = $\frac{WR^3}{2EI} \left\{ \frac{1}{s} \left(\frac{1}{2}\theta + \frac{1}{2}sc \right) - \frac{1}{\theta} \right\}$ 外向き

$x=0, 2\theta, 4\theta, \text{ etc.}$ に於ける半径の変化 = $\frac{WR^3}{4EI} \left(\frac{2}{\theta} - \frac{1}{s} - \theta \frac{c}{s} \right)$ 内向き

10.



$$M_1 = WR^2 \left[\frac{1}{4} + \frac{1}{2} s^2 + 0.3183 \left(s - \frac{1}{2} \theta s^2 - \frac{1}{3} s^3 - \frac{3}{4} s c - \frac{1}{4} \theta \right) \right] \quad (x = \theta : x = \pi \text{間})$$

$$(x = \theta : x = \pi \text{間}) \quad M = M_1 - WR^2 \left[sz - 0.1061 s^3 (1-u) \right]$$

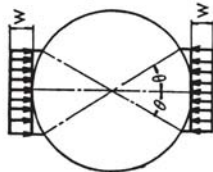
$$T = -WR(0.1061 s^3 u + sz)$$

$$V = WR(0.1061 s^2 z - su)$$

$$Dx = \frac{2WR^4}{EI} \left[\frac{1}{4} - \frac{1}{2} s + \frac{1}{2} s^2 - \frac{1}{12} s^3 - 0.3183 \left(\frac{1}{4} \theta + \frac{3}{4} sc + \frac{1}{2} \theta s^2 - s \right) \right]$$

$$Dy = \frac{2WR^4}{EI} \left[\frac{1}{12} + \frac{1}{4} s^2 - \frac{1}{12} s^2 c - \frac{1}{6} \theta s - \frac{1}{6} c - 0.3183 \left(\frac{1}{2} \theta s^2 + \frac{3}{4} sc + \frac{1}{4} \theta - s \right) \right] - \frac{1}{2} \theta s - 0.4092 \theta s^2 - \frac{1}{6} S^3$$

11.



$$M_1 = WR^2 \left[0.3183 \left(\frac{1}{2} \theta + \theta s^2 + \frac{3}{2} sc \right) - \frac{1}{2} s^2 \right] \quad T_1 = 0$$

$$(x = 0 : x = \theta \text{間}) \quad M = M_1 - WR^2 \left(\frac{1}{2} z^2 \right)$$

$$T = -WRz^2$$

$$V = -WRzu$$

$$Dx = -\frac{WR^4}{EI} \left[s + \frac{1}{3} s^3 - 0.3183(\theta + 3sc + 2\theta s^2) \right]$$

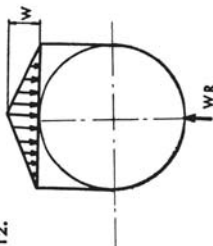
$$Dy = -\frac{WR^4}{EI} \left[-0.3183(2\theta s^2 + 3sc + \theta) + s^2 - \theta s + \frac{1}{2} \pi s + \frac{1}{3} c^3 + \frac{2}{3} - c \right]$$

$$T = -WRsz$$

$$V = -WRsu$$

$$(x = \theta : x = \pi - \theta \text{間}) \quad M = M_1 - WR^2 \left(sz - \frac{1}{2} s^2 \right)$$

12.



$$M_1 = 0.305WR^2 \quad T_1 = -WR(0.026653)$$

$$(x = 0 : x = \frac{\pi}{2} \text{間}) \quad M = M_1 - T_1 R(1-u) - \frac{1}{2} WR^2 z$$

$$(x = \frac{\pi}{2} : x = \pi \text{間}) \quad M = M_1 - T_1 R(1-u) - \frac{1}{2} WR^2 z$$

$$T = T_1 u - \frac{1}{2} WRz$$

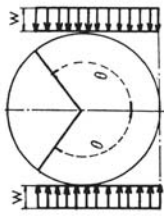
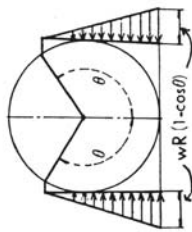
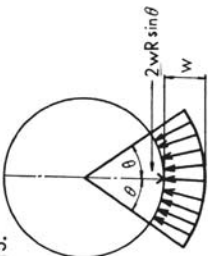
$$V = -T_1 z - \frac{1}{2} WRu$$

$$Dx = +\frac{0.1228WR^4}{EI}$$

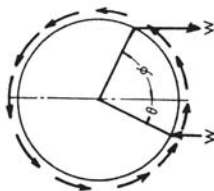
$$Dy = -\frac{0.1220WR^4}{EI}$$

$$T = T_1 u - \frac{1}{2} WRz + \frac{1}{2} WR(1-z)^2 z$$

$$V = -T_1 z - \frac{1}{2} WRu + \frac{1}{2} WR(1-z)^2 u$$

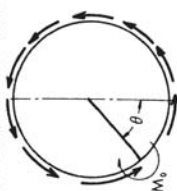
荷重・支持条件	曲げモーメント M 、円周方向引張力 T 、円環の底面から角度 x の距離に於ける半径剪断力 V 、直径の水平方向変位 Dx 、直径の垂直方向変位 Dy
<p>13.</p> 	$M_1 = wR^2 \left[0.3183 \left(\frac{2}{3}s - \theta c + \frac{1}{3}sc^2 + \frac{1}{2}\theta c^2 - \frac{3}{4}sc \right) \right. \\ \left. + \frac{1}{4}\theta \right] - \frac{1}{2} + c - \frac{1}{2}c^2 \quad T_1 = wR \left[0.3183 \left(\frac{2}{3}s + \frac{1}{3}sc^2 - \theta c \right) + c - 1 \right]$ $(x = \theta : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - \frac{1}{2} w R^2 (1 - u^2) \quad (x = \theta : x = \pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - \frac{1}{2} w R^2 (1 - c) \times (1 + c - 2u)$ $T = T_1 u + wR (1 - u) u \quad V = -T_1 z - wR (1 - u) z$
<p>14.</p> 	$M_1 = wR^3 \left[0.3183 \left(\frac{1}{8}\theta + \frac{1}{9}s - \frac{1}{4}\theta c - \frac{1}{2}\frac{3}{4}sc + \frac{1}{6}sc^2 + \frac{1}{2}\theta c^2 - \frac{1}{12}sc^3 - \frac{1}{6}\theta c^3 \right) - \frac{1}{6}(1 - c)^3 \right]$ $T_1 = wR^2 \left[0.3183 \left(\frac{1}{8}\theta + \frac{1}{2}\theta c^2 - \frac{1}{2}\frac{3}{4}sc - \frac{1}{12}sc^3 \right) - \frac{1}{2}(1 - c)^2 \right]$ $(x = \theta : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) + wR^2 \left[\frac{1}{6}(1 - u)^3 - \frac{1}{2}(1 - c)(1 - u) \right]$ $T = T_1 u + wR^2 \left[\frac{1}{2}(1 - 2c + u)(1 - u) u \right] \quad V = -T_1 z - wR^2 \left[\frac{1}{2}(1 - 2c + u)(1 - u) z \right]$ $(x = \theta : x = \pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) + wR^2 \left[\frac{1}{2}(1 - c)^2 \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3}c - u \right) \right]$ $T = T_1 u + wR^2 \left[\frac{1}{2}u(1 - c)^2 \right] \quad V = -T_1 z - wR^2 \left[\frac{1}{2}z(1 - c)^2 \right]$
<p>15.</p> 	$M_1 = wR^2 (c - 0.3183(\theta c - \theta) - 1)$ $(x = \theta : x = \theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - wR^2 (1 - u - sz) \quad (x = \theta : x = \pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) - wR^2 (cu - u)$ $T = T_1 u + wR (sz + u - 1) \quad T = T_1 u + wR (u - cu)$ $V = -T_1 z + wR (su - z) \quad V = -T_1 z + wR (cz - z)$ $Dx = \frac{2wR^4}{EI} \left[\frac{1}{4}\theta c + 0.3183\theta - 0.5683s \right] z \quad \text{ここで } z < \frac{\pi}{2}$ $Dy = \frac{2wR^4}{EI} \left[\frac{1}{4}\theta s + 0.3183\theta + \frac{1}{2}c - 0.3183s - \frac{1}{2} \right]$

16.



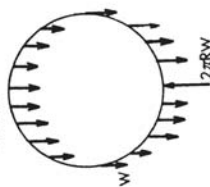
$$\begin{aligned}
 (x=0 : x=\theta \text{間}) M &= \overline{WR} \left\{ 0.15915(s\theta + c - n\phi - e + u(s^2 - n^2) - z(sc + \theta + ne + \phi) - x(s + n)) \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{2}(s - n) + z \right\} \\
 (x=\theta : x=2\pi - \phi) M &= \overline{WR} \left\{ 0.15915(s\theta + c - n\phi - e + u(s^2 - n^2) - z(sc + \theta + ne + \phi) - x(s + n)) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2}(s + n) \right\} \\
 (x=2\pi - \phi : 2\pi \text{間}) M &= \overline{WR} \left\{ 0.15915(s\theta + c - n\phi - e + u(s^2 - n^2) - z(sc + \theta + ne + \phi) - x(s + n)) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2}(s + 3n) + z \right\} \\
 (x=0 : x=\theta \text{及 } \phi \leq x < 2\pi - \phi : x=2\pi \text{間}) T &= \overline{W} \left[0.15915(us^2 - zsc - z\theta - zne - z\phi) + z \right] \\
 V &= \overline{W} \left[0.15915(-s - n - zs^2 + zn^2 - usc - u\theta - une - u\phi) + u \right] \\
 (x=\theta : x=2\pi - \phi \text{間}) T &= \overline{W} \left[0.15915(us^2 - un^2 - zsc - z\theta - zne - z\phi) \right] \\
 V &= \overline{W} \left[0.15915(-s - n - zs^2 + zn^2 - usc - u\theta - une - u\phi) \right]
 \end{aligned}$$

17. 局部に \$M_0\$ が働き接線方向に一樣に \$(M_0 \div 2\pi R^2)\$ なる剪断力の働く円環

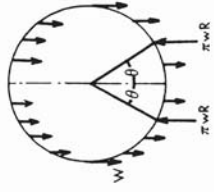
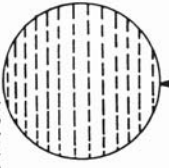
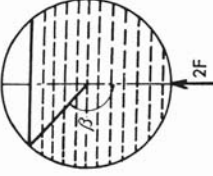


$$\begin{aligned}
 x=0 : x=\theta \text{間}) M &= M_0 \left(0.3183(us - zc + \frac{1}{2}\theta - \frac{1}{2}x) - \frac{1}{2} \right) \\
 T &= -\frac{M_0}{R} (0.318(zc - us)) \\
 V &= -\frac{M_0}{R} \left(0.3183(zs + uc + \frac{1}{2}) \right) \\
 x=\theta : x=2\pi \text{間}) M &= M_0 \left(0.3183(us - zc + \frac{1}{2}\theta - \frac{1}{2}x) + \frac{1}{2} \right) \\
 T &= -\frac{M_0}{R} (0.3183(zc - us)) \\
 V &= -\frac{M_0}{R} \left(0.3183(zs + uc + \frac{1}{2}) \right)
 \end{aligned}$$

18. 基礎で支持された自重 \$w\$ の円環

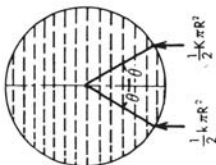


$$\begin{aligned}
 M &= wR^2 \left(1 + \frac{1}{2}u - \pi z + xz \right) \quad \max + M = M_1 = \frac{3}{2}wR^2 \quad \max - M = -0.642wR^2 \alpha_{ix} = 1.3 \text{rad} (74.6^\circ) \\
 T &= wR \left(xz - \frac{1}{2}u - \pi z \right) \\
 V &= wR \left(xu + \frac{1}{2}z - \pi u \right) \\
 D_x &= \frac{wR^4}{EI} (0.4292) \\
 D_y &= -\frac{wR^4}{EI} (0.4674) \\
 \delta_R &= -\frac{wR^4}{EI} (0.18765)
 \end{aligned}$$

<p>荷重・支持条件</p>	<p>曲げモーメント M、円周方向引張力 T、円環の底面から角度 x の距離に於ける半径剪断力 V、直径の水平方向変化 Dx、直径の垂直方向変化 Dy</p>
<p>19.</p> 	$M_1 = wR^2 \left(\frac{1}{2} + c + \theta s - \pi s + s^2 \right)$ $(x=0 : x=\theta \text{間}) M = M_1 - T_1 R(1-u) + wR^2(xz+u-1)$ $T = T_1 u + wR x z$ $V = -T_1 z + wR x u$ $Dx = \frac{2wR^4}{EI} \left[c + \theta s - \frac{1}{4} \pi (1+s^2) \right]$ $Dy = \frac{wR^4}{EI} \left[-2.4674 + \frac{1}{2} \pi (sc + \theta - 2s) + 2(c\theta s + c) \right]$ $dR = \frac{wR^4}{EI} \left[0.38315 - 0.5708(c + \theta s) + \frac{1}{2} s^2 \right]$ $T_1 = wR \left(s^2 - \frac{1}{2} \right)$ $(x = \theta : x = \pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R(1-u) + wR^2 \times (xz + u - 1 - \pi z + \pi s)$ $T = T_1 u + wR(xz - \pi z)$ $V = -T_1 z + wR(xu - \pi u)$
<p>20. 比重 k なる液体を満たした円環</p> 	$M_1 = \frac{3}{4} kR^3 \quad T_1 = \frac{5}{4} kR^2 \quad \max + M = M_1 \quad \max - M = -0.321kR^3 \text{ at } x = 1.3 \text{ rad } (74.6^\circ)$ $M = kR^3 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} u - \frac{1}{2} \pi z + \frac{1}{2} x z \right)$ $T = kR^2 \left(1 + \frac{1}{4} u - \frac{1}{2} \pi z + \frac{1}{2} x z \right)$ $V = kR^2 \left(\frac{1}{2} x u + \frac{1}{4} z - \frac{1}{2} \pi u \right)$ $Dx = \frac{kR^5}{EI} (0.2146) \quad Dy = -\frac{kR^5}{EI} (0.2337) \quad dR = -\frac{kR^5}{EI} (0.093825)$
<p>21.</p> 	$F = \frac{1}{4} kR^2 (2\beta - \sin 2\beta) \quad M_1 = kR^3 \left[0.6366 \left(\frac{1}{2} \beta q - \frac{3}{8} \beta - \frac{1}{2} p q - \frac{5}{8} p q - \frac{1}{4} \beta q^2 \right) + q^2 - q + \frac{1}{2} p^2 \right] + 0.6366FR$ $T_1 = kR^2 \left[\frac{1}{2} p^2 - q + q^2 + 0.3183 \left(\frac{3}{4} p q - \frac{1}{2} \beta q^2 - \frac{1}{4} \beta \right) \right]$ $(x=0 : x=\beta \text{間}) M = M_1 - T_1 R(1-u) - FRz + kR^3 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right)$ $T = T_1 u - Fz + kR^2 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right)$ $V = -T_1 z - Fu + kR^2 \left(\frac{1}{2} xu + \frac{1}{2} z - qz \right)$

$$\begin{aligned} \beta < \frac{1}{2}\pi \text{ の時 : } Dx &= \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{2}{\pi}(\beta q - p) + 0.6933(\beta - pq) - \frac{1}{4}\beta p^2 \right] \\ & \quad (x = \beta : x = \pi \text{間}) \\ M &= M_1 - T_1 R(1 - u) - FRz + kR^3 \left[\frac{1}{2}z(\beta - pq) + u(q - q^2 - \frac{1}{2}p^2) \right] \\ & \quad + u \left(q - q^2 - \frac{1}{2}p^2 \right) \\ \beta > \frac{1}{2}\pi \text{ の時 : } Dx &= \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{2}{\pi}(\beta q - p) - 0.5567(\beta - pq) - 2q + \frac{1}{4}\beta p^2 + \frac{1}{4}\pi q^2 + \frac{3}{8}\pi \right] \\ Dy &= \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{1}{\pi}(2\beta q + \beta - pq - 2p) - \frac{5}{8}p^2 - q + \frac{1}{4}\beta pq - \frac{1}{8}\beta^2 + 1 \right] \\ \Delta R &= \frac{kR^5}{EI} \left[\frac{1}{4\pi}\beta p^2 + 0.1825(\beta - pq) + 0.8183(\beta q - p) - \frac{\pi}{2}q + \frac{7}{8}q^2 + \frac{1}{4}\beta pq - \frac{1}{8}\beta^2 + 0.6916 \right] \\ & \quad \text{ここは } \beta > 90^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= kR^3 \left(\frac{1}{4} - \frac{\pi}{2}s + \frac{1}{2}\theta s + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}s^2 \right) \\ T_1 &= kR^2 \left(\frac{1}{2}s^2 + \frac{5}{4} \right) \\ (x = 0 : x = \theta \text{間}) \quad M &= kR^3 \left(\frac{1}{4}u + \frac{1}{2}xz - \frac{1}{2}\pi s + \frac{1}{2}\theta s + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}us^2 \right) \\ T &= kR^2 \left(1 + \frac{1}{4}u + \frac{1}{2}xz + \frac{1}{2}us^2 \right) \\ V &= kR^2 \left(\frac{1}{2}xu + \frac{1}{4}z - \frac{1}{2}zs^2 \right) \\ Dx &= \frac{kR^5}{EI} \left[\theta s + c - \frac{1}{4}\pi(1 + s^2) \right] \\ Dy &= -\frac{kR^5}{EI} \left[\frac{1}{4}\pi(2s - sc - \theta) - c - \theta s + \frac{1}{8}\pi^2 \right] \\ \Delta R &= \frac{kR^5}{2EI} \left[1 + c + s \left(\theta + \frac{1}{2}s \right) - \frac{\pi}{2} \left(\frac{\pi}{8} + \theta s + c \right) \right] \end{aligned}$$



22.

荷重・支持条件
 曲げモーメント M 、円周方向引張力 T 、円環の底面から角度 x の距離に於ける
 半径剪断力 V 、直径の水平方向変化 Dx 、直径の垂直方向変化 Dy

23.

$$F = \frac{1}{4} kR^2 (2\beta - \sin 2\beta) ; M_1 = kR^3 \left[0.6366 \left(\frac{1}{2} \beta q - \frac{3}{8} \beta q - \frac{1}{2} p + \frac{5}{8} pq - \frac{1}{4} \beta q^2 \right) + q^2 - q + \frac{1}{2} p^2 \right]$$

$$+ 0.3183 FR (1 + c + \theta s - \pi s + s^2)$$

$$(x=0 : x=\theta \text{間})$$

$$M = M_1 - T_1 R (1 - u) + kR^3 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right)$$

$$T = T_1 u + kR^2 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right) \quad (x=\theta : x=\beta \text{間})$$

$$M = M_1 - T_1 R (1 - u) + kR^3 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right) - FR (z - s)$$

$$T = T_1 u - Fz + kR^2 \left(\frac{1}{2} xz - q + qu \right)$$

$$V = -T_1 z + kR^2 \left(\frac{1}{2} xu + \frac{1}{2} z - qz \right)$$

$$V = -T_1 z - Fu + kR^2 \left(\frac{1}{2} xu + \frac{1}{2} z - qz \right)$$

$$(x=\beta : x=\pi \text{間}) M = M_1 - T_1 R (1 - u) + kR^3 \left[z \left(\frac{1}{2} \beta - \frac{1}{2} pq \right) + u \left(q - q^2 - \frac{1}{2} p^2 \right) \right]$$

$$- FR (z - s)$$

$$T = T_1 u - Fz + kR^2 \left(\frac{1}{2} \beta z - \frac{1}{2} pqz - \frac{1}{2} pq u - \frac{1}{2} p^2 u - q^2 u + qu \right)$$

$$V = -T_1 z - Fu + kR^2 \left(\frac{1}{2} \beta u - \frac{1}{2} pq u + \frac{1}{2} p^2 z + q^2 z - qz \right)$$

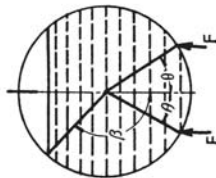
$$\beta < \frac{1}{2} \pi \text{ の時} : Dx = \frac{kR^5}{EI} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[2\beta q - 2p + (\beta - pq) \right] (\theta s + c - \frac{1}{4} \pi s^2) \right\} + \frac{3}{8} \beta - \frac{1}{4} p \left(\beta q + \frac{3}{2} q \right)$$

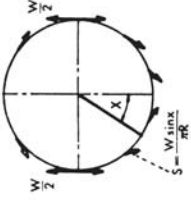
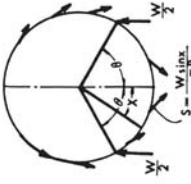
$$\beta > \frac{1}{2} \pi \text{ の時} : Dx = \frac{kR^5}{EI} \left\{ \frac{1}{\pi} \left[2\beta q - 2p + (\beta - pq) \right] (\theta s + c - \frac{7}{8} \pi - \frac{1}{4} \pi s^2) \right\} - 2q + \frac{1}{4} \beta p^2 + \frac{1}{4} \pi q^2 + \frac{3}{8} \pi \}$$

$$Dy = \frac{kR^5}{EI} \left\{ \frac{1}{\pi} (2\beta q - 2p + (\beta - pq) (\theta s + c)) \right\} + 1 - \frac{5}{8} p^2 - q + \frac{1}{4} \beta pq - \frac{1}{8} \beta^2 + \frac{1}{4} (\beta - pq) (\theta + sc - 2s)$$

$$\Delta R = \frac{kR^5}{EI} \left\{ 0.1194 (\beta - pq) + 0.8183 (\beta q - p) + \frac{1}{4} \pi \beta (p^2 + s^2) - 0.09845 (\beta c + \beta \theta s - pqc - pq\theta s) \right.$$

$$\left. + \frac{7}{8} q^2 + \frac{1}{4} \beta pq - \frac{1}{8} \beta^2 + 0.6916 \right\}$$



<p>24.</p> 	$M_x = -0.01132WR \quad T_x = -0.07958WR \quad \max M = 0.01456WR \quad \text{at } x = 1.166 \text{ rad } (66.8^\circ)$ $\max -M = -0.01456WR \quad \text{at } x = 1.975 \text{ rad } (113.2^\circ)$ $\left(x = 0: x = \frac{\pi}{2} \text{ 間} \right) M = WR \left(0.23868u + 0.15915xz - \frac{1}{4} \right) \quad \left(x = \frac{\pi}{2}: x = \pi \text{ 間} \right)$ $T = WR \left(0.15915xz - 0.07958u \right) \quad M = WR \left(0.23868u + 0.15915xz - \frac{1}{2}z + \frac{1}{4} \right)$ $V = WR \left(0.15915xu - 0.07958z \right) \quad T = WR \left(0.15915xz - 0.07958u - \frac{1}{2}z \right)$ $D_x = 0 \quad V = WR \left(0.15915xu - 0.07958z - \frac{1}{2}u \right)$ $D_y = 0$
<p>25.</p> 	$\left(x = 0: x = \theta \text{ 間} \right) M = WR \left[0.23868u - \frac{1}{2}s + 0.15915(xz + \theta s + c - uc^2) \right] \quad \left(x = \theta: x = x = \pi \text{ 間} \right)$ $T = WR \left[0.15915(xz - uc^2) - 0.07958u \right] \quad M = WR \left[0.23868u - \frac{1}{2}z + 0.15915(xz + \theta s + c - uc^2) \right]$ $V = WR \left[0.15915(xu - \frac{1}{2}z + zc^2) \right] \quad T = WR \left[0.15915(xz - uc^2) - 0.07958u - \frac{1}{2}z \right]$ $D_x = \frac{WR^3}{EI} \left[0.3183(s\theta + c) - \frac{1}{4}(s^2 + 1) \right] \quad V = WR \left[0.15915(xu - \frac{1}{2}z + zc^2) - \frac{1}{2}u \right]$ $D_y = \frac{WR^3}{EI} \left[0.3183(s\theta + c) + \frac{1}{4}(sc + \theta) - \frac{1}{2}s - \frac{\pi}{8} \right]$ $\Delta R = \frac{WR^3}{EI} \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2}c + \frac{1}{2}\theta s + \frac{1}{4}s^2 + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4}c - \frac{1}{4}\theta s - \frac{\pi}{32} \right] \quad \text{ここに } \theta < 90^\circ$

「ダクタイル管ハンドブック(第17版)」(クボタ、2002年)より

付録 7 鋳鉄管の管厚計算式

1 明治初期 1894(明治27)年ごろ

バルトン(W.K.Burton)の鋳鉄管の管厚計算式を式7-1に示す。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} \cdot S_f + 0.3 \quad \dots\dots\dots \text{式 7-1}$$

ここに、 t : 管厚 (in)
 d : 管の内径 (in)
 P : 静水圧 (lb/in²)
 P' : 衝撃圧力 (=60 lb/in²)
 W : 抗張力 (=18000 lb/in²)
 S_f : 安全率=6

補足 lbはポンド、inはインチを示す。

2 水道用鋳鉄管仕様書標準 1914(大正3)年制定

日本で初めて普通鋳鉄管(公称内径3~42インチ)の規格が制定され、その中で式7-2、3に示したものが上水協議会規格として定められた。

① 公称内径10インチ以上は、ファニング(J.T.Fanning)の公式を用いた。

$$t = \frac{(P + 100)d}{2W} + \frac{1}{3} \left(1 - \frac{d}{100}\right) \quad \dots\dots\dots \text{式 7-2}$$

ここに、 t : 管厚 (in)
 d : 管の内径 (in)
 P : 静水圧 (lb/in²)
 P' : 衝撃圧力 (=100 lb/in²)
 W : 抗張力 (=18000 lb/in²) 安全率S_f=5により3600 lb/in²とした。

補足 式7-2の中の1/3は、正味厚さに鋳造上厚さの不平均、土砂などの圧力による曲げ作用、手荒き取扱いのために生じる撃動力などを予想して余裕を見込んだものである。公称内径の1/100を1インチより減じて、その残数に1/3に乗じたのは、公称内径が大きくなるとその余裕を見込む必要が少なくて済むからである。

一般に用いる場合には、式7-3を用いた。

$$t = \frac{(P + 76)d}{7200} + \frac{1}{3} \quad \dots\dots\dots \text{式 7-3}$$

② 公称内径10インチ未満は式7-2よりもやや薄い管厚を得る式7-4を用いた。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 0.274 + \frac{d^2}{21000} \dots\dots\dots \text{式 7-4}$$

ここに、P : 静水圧 (lb/in²)

P' : 衝撃圧力 (lb/in²) P' = 500 / (d + 8.8)^{0.5}

W : 抗張力 (lb/in²) 安全率 S_f = 5により 3600 lb/in²とした。

補足 式7-4の中の0.274は腐食代である。d²/21000は鑄造上の寸法公差である。

3 水道用鑄鉄管規格 1925 (大正14)年制定

1921 (大正10)年の度量衡法の改正に伴い、メートル法による普通鑄鉄管(呼び径75~1500)の規格が上水協議会規格として制定された。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 8.5 \left(1 - \frac{d}{2125}\right) \dots\dots\dots \text{式 7-5}$$

ここに、P' : 衝撃圧力 (= 5.5 kg/cm²)

W : 抗張力 (kg/cm²) 安全率 S_f = 5により 250 kg/cm²とした。

補足 上水協議会規格(大正3年制定)で用いられた10インチ以下のやや薄い管厚計算式7-4は、小管が布設延長も長く、手荒い取扱いを受けやすく、事故も多いことから、取りやめた。管厚計算式は、ファニングの公式の10インチ未満に適用していた式7-4をメートル法に換算して、係数を丸めるとともに、従来よりもやや管厚が厚くなる直線式(1次式)が採用された。衝撃圧力5.5kg/cm²は、この当時に実験結果より定められた。

4 水道用高級鑄鉄管規格 1933 (昭和8)年制定

高級鑄鉄管(呼び径75~1500)の規格が水道協会規格として制定された。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 7.5 \left(1 - \frac{d}{2125}\right) \dots\dots\dots \text{式 7-6}$$

ここに、W : 許容強度 (kg/cm²)

抗張力2500 kg/cm²、安全率 S_f = 5により 500 kg/cm²とした。

補足 管厚計算式の基本はファニングの公式に準じている。

5 水道用高級鑄鉄薄手管規格 1938 (昭和13)年制定

日華事変の影響により銑鉄を節約する目的で1934 (昭和9)年のJES規格よりも薄くした高級鑄鉄管(呼び径75~300)の規格が水道協会規格として制定された。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} + 6.5 \left(1 - \frac{d}{2125}\right) \dots\dots\dots \text{式 7-7}$$

ここに、W：許容強度 (kg/cm²) 安全率S_r=5による。

(単位：kg/cm²)

呼び径	抗張力	許容強度
75 ~ 350	2000	400
400 ~ 900	2300	460
1000 ~ 1500	2500	500

備考 抗張力の規定は「水道用高級鑄鉄管臨時規格」1940 (昭和15) 年による。

補足 管厚計算式の基本はファニングの公式に準じているが、式7-6の余裕代7.5mmが式7-7では6.5mmになっている。管厚が従来ものより1mm程度薄くなった。

6 水道用高級鑄鉄管規格 1949 (昭和24) 年制定

1934 (昭和9) 年のJES規格が整理され、高級鑄鉄管 (呼び径75~1500) の規格が水道協会規格として改正された。

① 呼び径900以下

管厚計算式は、式7-6と同じである。ただし普通管の静水圧は7.5kg/cm²とし、低圧管の静水圧は4.5kg/cm²とした。簡易的には、静水圧7.5kg/cm²、衝撃圧5.5kg/cm²、呼び径75~350の許容強度400kg/cm²の場合は、式7-6に代入して、t=0.013d+7.5を用いた。

② 呼び径1000以上

管厚計算式は、式7-6と同じである。ただし許容強度は360kg/cm²とした。また公差および表面の粗度による式7-8との平均値を0.5mm単位で切り上げて決定した。

$$t = \frac{(P + P')d}{2W} \cdot \left(1 + \frac{1}{10}\right) + 1 \quad \dots\dots\dots \text{式 7-8}$$

(単位：mm)

呼び径	式7-6による管厚	式7-8による管厚	決定管厚
1000	22.0	20.9	22.0
1100	23.4	22.8	23.5
1200	24.8	24.8	25.0
1350	27.0	27.8	27.5
1500	29.2	30.8	30.0

③ 異形管の管厚は、普通圧管の10%増しとした。











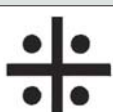
ここに掲載した計算式については規格書および以下の文献を参考にした。

- ・バルトン著『The Water Supply of Towns and The Construction of Waterworks』
- ・田中勘七著「鑄鉄管の歴史」『鑄鉄管』第7号 (鑄鉄管協会)

付録 8 ダクタイル鉄管およびバルブのメーカーマーク

主なダクタイル鉄管およびバルブメーカーのメーカーマーク（製造業者名またはその略号）を以下に示す。

1 鑄鉄管類

			NBK
朝日鑄工(株) ^F	(株)イトー鑄造 ^F	(株)岡本 ^F	(株)岡本(旧)
			
九州鑄鉄管(株) ^{D,F}	(株)クボタ ^{DS,F}	(株)栗本鐵工所 ^{DS,F}	クロダイト工業(株) ^F
			
コスモ工機(株) ^F	大成工機(株) ^F	鶴巻工業(株) ^F 旧鶴巻鑄造(株)	日本鑄鉄管(株) ^{DS,F}
			
(株)遠山鐵工所 ^{D,F}	幡豆工業(株) ^F 旧幡豆鑄物工業(株)	日之出水道機器(株) ^{D,F}	北光金属工業(株) ^F 旧北光金属(株)
			
前澤工業(株) ^F 旧前澤バルブ工業(株)	(株)丸阪 ^F 旧(株)丸阪鑄造所	(株)村瀬鐵工所 ^F	山岡鉄管(株) ^F
			
(資)福岡鐵工所	旧利根鐵工(株) 日本鑄鉄管(株)と合併	村精鑄工(株)	

備考 「D」は日本ダクタイル鉄管協会の会員、「DS」は会員かつ直管メーカー(2017年4月1日現在)を示す。「F」は日本ダクタイル異形管工業会の会員(2017年4月1日現在)を示す。

2 バルブ類

			
(株)クボタ ^V	(株)クボタ ^V (旧)	(株)栗本鐵工所 ^V	清水工業(株) ^V
			
(株)清水合金製作所 ^V	(株)清水鐵工所 ^V	角田鐵工(株) ^V	千代田工業(株) ^V
			
幡豆工業(株) ^V	富士鐵工(株) ^V	前澤工業(株) ^V	宮部鐵工(株) ^V
			
(株)森田鐵工所 ^V	廣瀬バルブ工業(株)	古川工業(株)	(株)牧村製作所
			
協和工業(株)			

備考 「V」は水道バルブ工業会の会員(2017年4月1日現在)を示す。

付録 9 近代水道創設当時の鑄鉄管のメーカーマーク例

製造メーカー ^{注1}	鑄出し記号	
英国 グラスゴー市 R. レイドロー社		R.L. & .S
英国 グラスゴー市 D.Y. スチュアード社		D.Y.S. & C°
ベルギー リエージュ市 リエージュ市水道鉄管会社		C ^{IE} G ^{LF} LIEGE
英国 ロバーツ・マクラレン社		RM & C°
英国 マクファーレン・ストラング社		MS & C°
不明		TE & S
大阪砲兵工廠		
久保田鉄工所		

製造メーカー ^{注1}	鑄出し記号	
大阪鉄工所		O.I.W.
石田鉄工所		神戸石田製
谷口鉄工所		
釜石鉱山田中製鐵所		
栗本鐵工所		
神戸川崎造船所		
隅田川精鉄所		

注1 海外メーカー名の読みは、水道事業者、年代によって多少異なる。

付録 10 接合形式の名称の由来

接合形式	由来
印籠継手	鑄鉄管の受口に挿し口を挿入する継手構造が、江戸時代に旅人が薬類などを入れて携帯した印籠の構造と似ていたことに由来する。
ソケット形	輸入鑄鉄管の接合形式「Socket & Spigot」から「ソケット形」とした。
フランジ形	輸入鑄鉄管の接合形式「Flange」から「フランジ形」とした。
メカニカルジョイント形	ゴム輪をボルト・ナットで機械的 (mechanical) に締めて接合 (Joint) することから「メカニカルジョイント」とした。
A形・B形・C形	1954 (昭和29) 年のJIS G 5523でソケット形がC形と称され、1961 (昭和36) 年のJWSA G 105の規格改正時に、メカニカルジョイント形を「A形」、ソケット形を「C形」、A形とC形を組み合わせたものを「B形」とした。
AⅡ形	A形を改良する際に5つの継手構造を試したが、2案目の継手構造が優れていたため「Ⅱ」を用いた。
K形	改良 (Kairyō) の頭文字「K」を用いた。
KF形	改良 (Kairyō) の頭文字「K」、固定 (Fixed) の頭文字「F」を用いた。
FN形	大阪府の「F」、野口一男氏の頭文字「N」を用いた。
タイトン形	米国ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社の商標「TYTON JOINT」から「タイトン形」とした。
T形	米国ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社の商標「TYTON JOINT」の頭文字「T」を用いた。
U形	内側 (Uchigawa) の頭文字「U」を用いた。
UF形	内側 (Uchigawa) の頭文字「U」、固定 (Fixed) の頭文字「F」を用いた。
LUF形	軽量 (Light) の頭文字「L」、内側 (Uchigawa) の頭文字「U」、固定 (Fixed) の頭文字「F」を用いた。
US形	内側 (Uchigawa) の頭文字「U」、「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」を用いた。
S形	「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」を用いた。
SⅡ形	「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」、小口径用としてS形の次に開発されたことから「Ⅱ」を用いた。
BJ形	ボールジョイント (Ball Joint) の頭文字「B」、「J」を用いた。
NS形	新しい (New) の頭文字「N」、「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」を用いた。
NS形 (E種管)	経済的 (Economy) の頭文字「E」を用いた。
GX形	次世代 (Generation neXt) の「G」と「X」を用いた。
S50形	「地震の (Seismic, Seisml)」の頭文字「S」、呼び径50の「50」を用いた。
PⅠ形・PⅡ形・PⅢ形	パイプインパイプ (Pipe in pipe) 工法の頭文字「P」と一般継手を「Ⅰ」、伸縮離脱防止継手を「Ⅱ」、曲管部の管内ドッキング用を「Ⅲ」とした。
PN形	パイプインパイプ (Pipe in pipe) 工法の頭文字「P」、新しい (New) の頭文字「N」を用いた。
PN形 (JP方式及びCP方式)	パイプインパイプ (Pipe in pipe) 工法の頭文字「P」、新しい (New) の頭文字「N」、押込工法 (Jacking Pipe method) の「JP」、持込工法 (Carrying Pipe method) の「CP」を用いた。
FT形	固定 (Fixed) の頭文字「F」、T形の「T」を用いた。
FGX形	固定 (Fixed) の頭文字「F」、GX形の「GX」を用いた。
ALW形	低圧用に進化させたパイプ (Advanced pipes for Low Water pressure) に由来する。
NS形 (Gタイプ)	下水 (Gesui) の頭文字「G」を用いた。

備考 接合形式の名称の由来は諸説あるが主要な説を紹介した。

本ガイドブックの制作にあたり、次の皆様に資料および情報のご提供をいただきました。
また、関連団体・企業の文献、資料などを参考にさせていただきました。
皆様のご協力に感謝申し上げます。

■ 国・自治体・事業体

厚生労働省

医業・生活衛生局水道課

国土交通省

関東地方整備局

中国地方整備局

九州地方整備局

農林水産省

関東農政局

近畿農政局

中国四国農政局

内閣府沖縄総合事務局

宮内庁書陵部

地方共同法人日本下水道事業団

独立行政法人水資源機構

札幌市水道局

桂沢水道企業団

稚内市環境水道部

函館市企業局

北海道庁農政部

北海道木古内町

北海道八雲町

盛岡市上下水道局

八戸圏域水道企業団

宮城県企業局

仙台市水道局

仙台市建設局

山形県企業局

秋田市上下水道局

秋田県中央流域下水道事務所

横手市上下水道部

白河市水道部

石巻地方広域水道企業団

東京都水道局

東京都港湾局

東京都下水道局

神奈川県内広域水道企業団

横浜市水道局

川崎市上下水道局

横須賀市上下水道局

鎌倉市都市整備部

朝霞市水道部

千葉市水道局

千葉県水道局

北千葉広域水道企業団

前橋市水道局

埼玉県企業局

茨城県企業局

静岡県企業局

浜松市上下水道部

大井川広域水道企業団

福井市下水道部

名古屋市上下水道局

愛知県建設部

高岡市上下水道局

長岡市土木部

津市上下水道局

安城市上下水道部

岡谷市建設水道部

南砺市上下水道課

蒲郡市上下水道部

滑川市上下水道課

宇治市建設部

京都市上下水道局

大阪広域水道企業団

大阪市水道局

堺市上下水道局

豊中市上下水道局

泉佐野市上下水道局

東大阪市上下水道局

藤井寺市水道局

大阪市下水道局

大阪府都市整備部

南部流域下水道事務所

守口市下水道部

京都府道路公社

神戸市水道局

明石市都市局下水道室

朝来市

奈良県水道局

長浜水道企業団

姫路市下水道局

岡山市水道局

広島市水道局

広島県企業局

倉敷市水道局

福山市上下水道局

島根県企業局

米子市水道局
山陽小野田市水道局
呉市上下水道局
下関市上下水道局
津山市水道局
新居浜市水道局
坂出市建設経済部
高知市上下水道局
徳島県板野町水道課
福岡市水道局
北九州市上下水道局
筑後市上下水道課
熊本市上下水道局
長崎市上下水道局
佐世保市水道局
宮崎市上下水道局
西佐賀水道企業団
鹿児島県大隅耕地事務所
沖繩県企業局

■ 団体

公益社団法人日本水道協会
公益財団法人水道技術研究センター
公益社団法人日本下水道協会
公益社団法人日本推進技術協会
公益社団法人土木学会
公益社団法人農業農村工学会
公益社団法人日本道路協会
公益財団法人日本美術刀剣保存協会
公益財団法人中近東文化センター
公益社団法人地盤工学会
アナトリア考古学研究所
一般社団法人電気学会
一般社団法人日本銅センター
一般財団法人国土開発技術研究センター
一般財団法人素形材センター
全国簡易水道協議会
ミールド工法技術協会
日本シールドセグメント技術協会
日本ダクタイル異形管工業会
水道バルブ工業会
シューム管&ベルスタ推進工法協会
労務安全情報センター
Ductile Iron Pipe Research Association
European Association
for Ductile Iron Pipe Systems
American Foundry Society
アイアンブリッジ峡谷博物館

岩手大学
早稲田大学エジプト研究所
トルコ・アナトリア文明博物館
館がす資料館
横浜市発展記念館
倉敷考古館
大阪市立科学館
島根県立古代出雲歴史博物館
伊都国歴史博物館
東京都水道歴史館
宗教法人靖國神社
宗教法人清蔵寺

■ 企業・個人

東日本旅客鉄道株式会社
日立金属株式会社
新日鐵住金株式会社
フジテコム株式会社
株式会社管総研
大成機工株式会社
コスモ工機株式会社
第一実業ビスウィル株式会社
株式会社アケト
宇部興産株式会社
東京ガス株式会社
大阪ガス株式会社
株式会社クボタ工建
株式会社クボタパイプテック
大阪高級鑄造鉄工株式会社
東北電力株式会社
四国電力株式会社
中日本高速道路株式会社
株式会社高速道路総合技術研究所
Vale Inco Limited
平塚真人
柴柳徹郎
中井泉
赤沼英男
斎藤吉彦
山田洋二

■ JDPA 会員企業

株式会社クボタ
株式会社栗本鐵工所
日本鑄鉄管株式会社
株式会社遠山鐵工所
九州鑄鉄管株式会社
日之出水道機器株式会社

(敬称略 順不同)

ダクタイル鉄管ガイドブック

2018 (平成30) 年1月 初版 第1刷発行

編著者 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会
© Japan Ductile Iron Pipe Association 2018, Printed in Japan

発行所 一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会
〒102-0074
東京都千代田区九段南4丁目8番9号
日本水道会館
<http://www.jdpa.gr.jp/>

ブックデザイン 鈴木美里／原 拓郎／清水絵理子
印刷製本 株式会社I & S BBDO

本書のコピー、スキャン、デジタル化等無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写、複製、引用、転載については当協会にお問い合わせください。