

モルタル充填鋼管の引張耐力

東京大学 加藤 勉 山内泰之 井上景彦
横浜国大 ○青木博文

§ 1. 序

鋼管にコンクリートを充填した部材の圧縮強度については、すでに多くの実験がある。^{1)~4)} 本報告は、モルタル充填鋼管に引張力が作用した場合に、その耐力および変形能力がいかに変化するかを実験によってしらべ、検討を加えたものである。それらの変化は、充填されたモルタルが鋼管の径方向収縮を拘束し、鋼管が母線方向および径方向の二軸応力状態になるために起こるものである。

§ 2 実験

2. 1 試験体および実験方法

試験体は、直径 48.6 mm ~ 165.2 mm まで 5 種類の鋼管が用いられた。ミルシートによれば、鋼管素材の化学成分および機械的性質は、Table-1 のとおりである。

試験体は、Fig-1 に示すように端部に End plate と Rib を溶接し、モルタルを充填した。試験体個数は、中空鋼管および充填鋼管各 1 体ずつ計 10 体とし、鋼管の長さはいずれも 2000 mm である。

モルタルの圧縮素材試験体は、各径について直径の 3 倍の高さのシリンダーを用いた。モルタルは、ポロセメントを用いて水セメント比 0.44、単位細骨材料 860 Kg/m³、粗粒率 5 mm 以下、細骨材比重 2.6、フロー値 20 sec である。

実験は、供試体の端部に引張加力治具を高力ボルトで締め付け、その両端を引張って行なった。試験機は、直径 165.2 mm のものみ最大容量 300 トン 油圧定荷重制御のもので、他は最大容量 200 トン 定変位制御のものによった。加力は、弾性範囲 100 ~ 300 μ /minite 塑性域では約 2,000 μ /minite のひずみ速度で行なった。

ひずみ分布は試験体中央に 8 枚の W. S. G. を貼付して測定し、

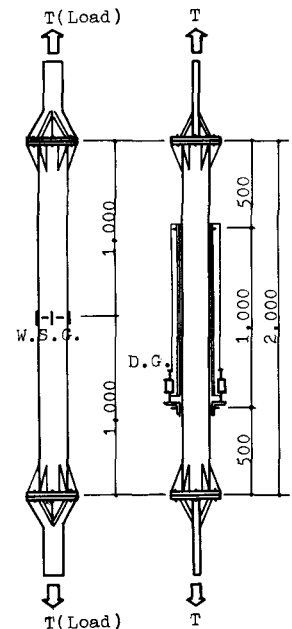


Fig.-1 Test Specimen and Measurement.

Grade of Steel	Dimension (mm)		Chemical Component (%)							Mechanical Pro.		
	Diameter	Thickness	C	Si	Mn	P	S	Cu	Y	U.T.S.	Elong	
STK-41	48.6	2.4	.12	.01	.35	.009	.024	.03	45	48	35	
STK-41	76.3	2.6	.18	.01	.43	.019	.030	.04	37	47	48	
STK-41	101.6	2.9	.18	.01	.34	.011	.018	.03	43	52	32	
S-55	139.8	3.5	.17	.02	1.22	.017	.027		53	58	26	
S-55	165.2	4.5	.18	.01	1.30	.013	.017		50	59	28	

Note: Y: Yield Stress (kg/mm²)
U.T.S.: Ultimate Tensile Strength (kg/mm²)
Elong.: Elongation (%)

Table-1 Chemical Composition and Mechanical Properties of Steel Materials.

伸びは平行部の中央に Gauge length 1,000mm をとり、この両端に直径 6mm のボルトを溶接して、この間を Dial gauge で測定した。また、鋼管の母線方向に 50mm 間隔でポンチを打ち、破断後にこの間隔の変化および径の変化を測定した。

2.2 実験結果

モルタル充填鋼管は、荷重が小さい範囲からモルタルの引張き裂発生音がきこえ、それと同時に荷重が降下する現象が観察された。

伸び測定結果は、公称応力（荷重／公称原断面積）と工学ひずみで整理したものが Fig-2（直径 76.3mm）、Fig-3（直径 165.2mm）である。ひずみは、公称応力と工学ひずみの関係で、母線方向および径方向について各々平均し、Fig-4、5 に示す。実験結果を一覧すると Table-2 となる。

ポンチによる残留塑性ひずみ測定結果を Fig-6、7 に示す。実験終了後、直径 139.8mm の充填鋼管をガスにより切開し、中のモルタルの状態をしらべたものが Photo-1 である。これによると、モルタルは、厚さ 1cm 程度の円盤状になっており、母線方向にはモルタルの引張が働かず、鋼管の径収縮に対してのみ抵抗していたことがわかる。モルタルの圧縮素材試験は充填鋼管の実験が実施された前後に行なわれ、その結果を Table-3 に示す。

Dia. (mm)		Y	U.T.S.	Elong.	Strength Ratio	Elong. Ratio
49	Empty	5.43	6.12	0.1181		
	Filled		6.60	0.0678	1.061	0.572
76	Empty	3.98	4.91	0.1536		
	Filled		5.25	0.1055	1.071	0.687
102	Empty	3.67	4.55	0.1236		
	Filled		4.94	0.0787	1.081	0.647
140	Empty	5.20	5.99	0.1037		
	Filled		6.33	0.0818	1.055	0.790
165	Empty	4.66	5.85	0.1491		
	Filled		6.41	0.1040	1.092	0.695

Note: Y: Yield Stress (t/cm²)
 U.T.S.: Ultimate Tensile Strength (t/cm²)
 Elong.: Elongation
 Strength Ratio: U.T.S. (Filled) / U.T.S. (Empty)
 Elong. Ratio: Elong. (Filled) / Elong. (Empty)

Table-2 Results of Tests

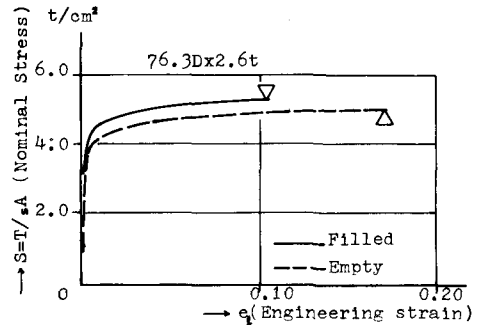


Fig.-2 Stress-Strain Relationships for 76.3 Tubes.

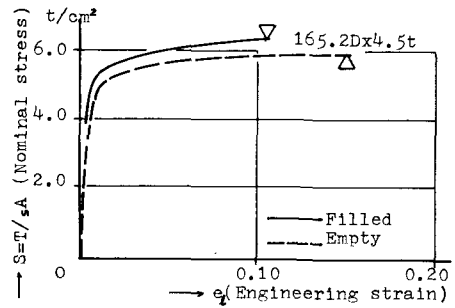


Fig.-3 Stress-Strain Relationships for 165.2 Tubes.

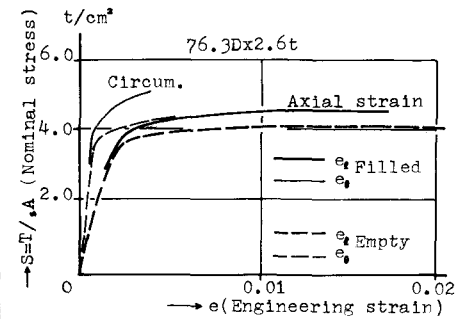


Fig.-4 Circumferential and Axial Strains for 76.3 Tubes

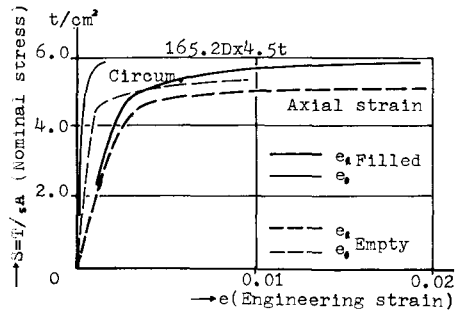


Fig.-5 Circumferential and Axial Strains for 165.2 Tubes.

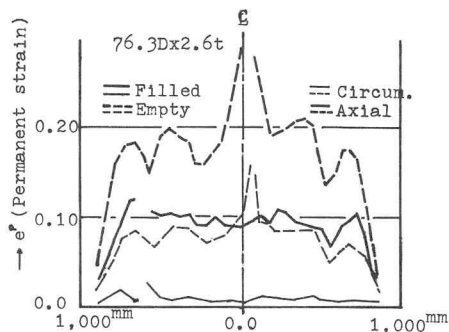


Fig.-6 Axial Distribution of Strains after Rupture for 76.3 Tubes.

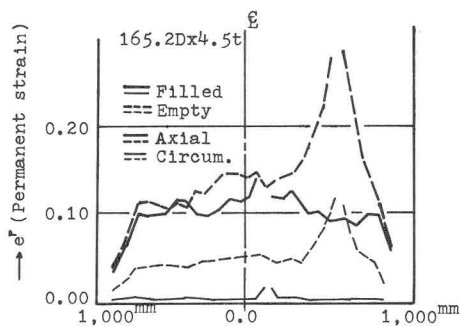


Fig.-7 Axial Distribution of Strains after Rupture for 165.2 Tubes.

§ 3 解析

3.1 解析の仮定

解析は、つぎの仮定のもとで行なう。

- (1) モルタルの縦弾性係数は、引張・圧縮とも等しく $\sigma_c E$ とする。
- (2) モルタルの引張強度は、圧縮強度の $1/10$ とする。
- (3) 組合せ応力状態でのモルタルの強度・破壊の諸条件は明確でないので、弾性範囲を超えた場合にも弾性係数の $\sigma_c E$ を $\sigma_{c1} E_1$ にかえて、弾性と類似の式を用いる。
- (4) 鋼管は、半径に比べて板厚が十分に小さいものとみなして、板厚方向応力を無視し、平面応力状態とする。
- (5) 鋼の降伏条件は、von Mises の条件とし、非弾性域での応力とひずみの関係はReuss式に従うものとする。
- (6) 鋼管成形上の塑性加工、溶接残留応力などの影響は、直接的には考慮しない。

3.2 モルタルが引張りにも有効な場合

鋼管の応力とひずみの関係は

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_z &= \frac{1}{\sigma_c E} (\sigma_z - \nu \sigma_\theta) \\ \epsilon_\theta &= \frac{1}{\sigma_c E} (\sigma_\theta - \nu \sigma_z) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

である。モルタルのひずみは⁵⁾

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_z &= \frac{1}{\sigma_c E} (\sigma_z - 2\nu \sigma_r) \\ \epsilon_\theta &= \frac{1}{\sigma_c E} ((1-\nu) \sigma_\theta - \nu \sigma_z) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

である。釣合い条件から

$$T = \sigma_r A \sigma_\theta - \sigma_z A \sigma_z \dots\dots\dots (3)$$

$$t \sigma_\theta - r \sigma_r = 0 \dots\dots\dots (4)$$

変形の適合条件は

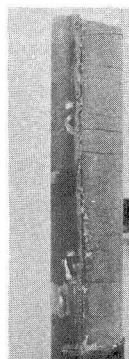


Photo.-1 Aspect of Fractured Mortar.

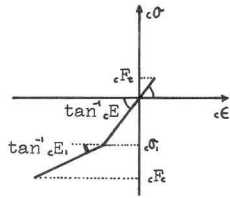


Fig.-8 Assumed Stress-Strain Diagram for Mortar.

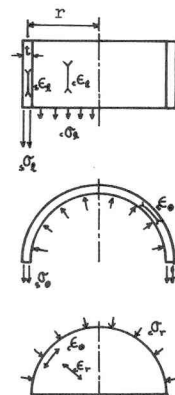


Fig.-9

$${}_s\epsilon_t = {}_c\epsilon_t \quad \dots\dots\dots(5)$$

$${}_s\epsilon_\theta = {}_c\epsilon_\theta \quad \dots\dots\dots(6)$$

である。ただし

${}_1\epsilon_j$: ひずみ ${}_1s$ は鋼管 ${}_1c$ はモルタル

${}_1\sigma_j$: 応力 ${}_j=1$ は母線方向 ${}_j=r$ は半径方向 ${}_j=\theta$ は円周方向

${}_1E$: 縦弾性係数

${}_1\nu$: ポアソン比

${}_1A$: 断面積

r : 鋼管板厚中心までの半径

t : 鋼管板厚 T : 引張り外力

(8)式に他の5つの式を代入すれば解ける。また、この解の適用範囲はつぎの式である。

$${}_s\sigma_t \leq {}_cF_t \quad \dots\dots\dots(7)$$

$${}_s\sigma_\theta \geq {}_cF_\theta \quad \dots\dots\dots(8) \quad \text{ただし } {}_1F : \text{モルタル強度 } {}_1t \text{ は引張、} {}_1c \text{ は圧縮}$$

3.3 モルタルの引張りが無効になった場合

この場合は、前節(1)~(8)式で ${}_c\sigma_t=0$ と置けばよい。すなわち

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_t &= -\frac{2\nu_c\sigma_r}{{}_cE} \\ \epsilon_\theta &= \frac{1}{{}_cE}(1-\nu_c)\sigma_r \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$T = {}_sA {}_s\sigma_t \quad \dots\dots\dots(10)$$

$${}_s\epsilon_t \geq {}_c\epsilon_t \quad \dots\dots\dots(11)$$

であるから、(1)、(9)、(10)、(4)、(11)、(6)、(8) を用いて解くことができる。

$${}_s\sigma_t = \frac{T}{{}_sA} = \frac{1+\alpha(1-\nu_c)\gamma}{1+\alpha(1-\nu_c)\gamma-{}_c\nu_c{}_sE} {}_cE\epsilon_t \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\gamma = \frac{{}_s\sigma_\theta}{{}_s\sigma_t} = \frac{{}_c\nu_c}{1+\alpha(1-\nu_c)\gamma} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\alpha = \frac{{}_sE}{{}_cE} \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$\gamma = \frac{t}{r} \quad \dots\dots\dots(15)$$

(12)式をみると、母線方向応力とそのひずみの関係は、 ${}_sE$ の前の項だけ剛性が上昇することを示す。

3.4 降伏荷重

平面応力状態のもとで、せん断応力が無い場合に異方性を考慮すると降伏条件は⁶⁾

$$\bar{\sigma}^2 = {}_s\sigma_t^2 - 2\nu_\theta^r {}_s\sigma_t {}_s\sigma_\theta + (\nu_\theta^r + \nu_r^r) {}_s\sigma_\theta^2 \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{ここで } \nu_\theta^r = -\frac{\int {}_s\epsilon_\theta^r}{\int {}_s\epsilon_t^r} \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\nu_r^r = -\frac{\int {}_s\epsilon_r^r}{\int {}_s\epsilon_t^r} \quad \dots\dots\dots(18)$$

ただし ϵ_t^r : 塑性ひずみ増分

$\bar{\sigma}$: 等価応力

のように表わされる。等方性材料においては $\nu_\theta^r = \nu_r^r = 0.5$ である。

モルタルの引張りが無効になった場合の降伏荷重は、(19)と(10)式からつぎのようになる。

$$\left(\frac{T}{sA}\right)_{\text{yield}} = \frac{Y}{(1-2\nu_s^2 + (\nu_s^2 + \nu_r^2))^{1/2}} \quad \dots\dots\dots(19)$$

ただし Y : 中空鋼管の単純引張り降伏応力

3.5 鋼管の非弾性挙動

鋼管が降伏した後は、鋼管に充填されたモルタルが引張りに抵抗しないものとする。鋼管の応力とひずみの関係は、増分・で表わしつぎのようになる。^{6), 7)}

$$s\dot{\sigma}_t = \frac{sE}{C_2} (\sigma_y'^2 + 2C_1) s\dot{\epsilon}_t + \frac{sE}{C_2} (-\sigma_x' \sigma_y' + 2s\nu C_1) s\dot{\epsilon}_\theta \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$s\dot{\sigma}_\theta = \frac{sE}{C_2} (-\sigma_x' \sigma_y' + 2s\nu C_1) s\dot{\epsilon}_t + \frac{sE}{C_2} (\sigma_x'^2 + 2C_1) s\dot{\epsilon}_\theta \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで} \quad C_1 &= \frac{2H'}{9sE} \bar{\sigma}^2 \\ C_2 &= \sigma_x'^2 + 2s\nu \sigma_x' \sigma_y' + \sigma_y'^2 + 2(1-s\nu^2) \frac{2H'}{9sE} \bar{\sigma}^2 \\ \sigma_x' &= \frac{2}{3} (s\sigma_x - \nu_s^2 \sigma_\theta) \\ \sigma_y' &= \frac{2}{3} ((\nu_r^2 + \nu_r^2) \sigma_\theta - \nu_s^2 \sigma_x) \\ H' &= \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\epsilon}^p} \\ \bar{\epsilon}^p &= \frac{2\bar{\sigma}}{3C_2} ((\sigma_x' + s\nu \sigma_y') s\dot{\epsilon}_t + (\sigma_y' + s\nu \sigma_x') s\dot{\epsilon}_\theta) \end{aligned}$$

板厚方向のひずみは、

$$s\dot{\epsilon}_r = -s\dot{\epsilon}_t - s\dot{\epsilon}_\theta + \frac{1}{sE} (1+2s\nu) (s\dot{\sigma}_t + s\dot{\sigma}_\theta) \quad \dots\dots\dots(22)$$

である。(4)式を微分して

$$T(s\dot{\epsilon}_r \sigma_\theta + s\dot{\sigma}_\theta) + (s\dot{\epsilon}_\theta \sigma_r + s\dot{\sigma}_r) = 0 \quad \dots\dots\dots(23)$$

(9)式の微分から

$$s\dot{\epsilon}_\theta = \frac{1}{sE} (1-s\nu) s\dot{\sigma}_r \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\text{また、} \quad s\dot{\sigma}_r = s\dot{\sigma}_\theta \quad \dots\dots\dots(25)$$

である。モルタルと鋼管の境界を合わせて、

$$s\dot{\epsilon}_\theta = \frac{T}{2} s\dot{\epsilon}_r + (1-\frac{T}{2}) s\dot{\epsilon}_\theta \quad \dots\dots\dots(26)$$

となる。以上 (20) ~ (26) 式を解けば、応力増分およびひずみ増分が解ける。したがって

$$\dot{T} = 2\pi r t (s\dot{\sigma}_t + (s\dot{\epsilon}_\theta + s\dot{\epsilon}_r) \sigma_x) \quad \dots\dots\dots(27)$$

として求まることになる。

§ 4. 結果の考察

§ 2 で整理した実験結果を § 3 で求めた解析と比較検討する。まず、鋼管の塑性異方性は解析の仮定の項で触れたが、鋼管を成形するまえの原板から異方性のある材料を使用するともいわれ、また、それに塑性加工を行なって鋼管をつくるため大きな予歪を円周方向に受けている。この結果鋼管は母線方向と、半径方向および円周方向で異なった硬化率を示すことが多い。^{8), 9)} Fig-10は、

Fig- 6 , 7 で示した円周方向と母線方向の塑性変形の比をまとめて示したもので、その平均値 $\bar{\nu}^p$ を Table- 3 に示した。なお、§ 3 の解析における異方性考慮は、(9)式が表わしているように降伏条件によって取り扱われているので、これが現実の材料の塑性挙動をどの程度近似できるかは不明である。この点に関しては、さらに基礎的な実験が必要であろう。

鋼管が非弾性域に入ると、解析では増分関係で考えるので真の応力と対数ひずみの関係を出さなければならない。Fig- 1 1 は、中空鋼管から得られた公称応力と工学ひずみの関係から、真の応力と対数ひずみの塑性成分の関係を計算したものである。Fig- 1 2 は、モルタルの圧縮素材試験結果である。これら素材の応力～ひずみ関係を Fig- 1 3 , 1 4 のように単純化し Table- 3 の定数を定めて解析を行なった。

Dia. (mm)	48.6	76.3	101.6	139.8	165.2	
Steel	$\bar{\nu}^p$	5.45 % _{exp}	3.95	3.65	5.25	4.65
	$\bar{\sigma}_1$	5.95 *	4.60	4.40	5.75	5.20
	$\bar{\sigma}_2$	6.25 *	5.15	4.75	6.15	6.00
	$\bar{\sigma}_3$	6.80 *	5.65	5.15	6.60	6.70
	$\bar{\epsilon}_1$	0.014	0.018	0.020	0.015	0.007
	$\bar{\epsilon}_2$	0.030	0.065	0.050	0.045	0.050
	$\bar{\epsilon}_3$	0.109	0.138	0.120	0.095	0.136
	$\bar{\nu}^p$ ($\bar{\nu}$)	0.435 (0.335)	0.436 (0.310)	0.415 (0.250)	0.352 (0.230)	0.335 (0.241)
Mortar	$\bar{\epsilon}$	(210) % _{exp}	240	240	210	210
	$\bar{\sigma}_1$	(-0.250) *	-0.200	-0.300	-0.250	-0.250
	$\bar{\epsilon}_1$	(150) *	160	140	100	130
	$\bar{\nu}^p$	(0.20)	0.20	0.25	0.20	0.20
	$\bar{\epsilon}_2$	-586 % _{exp}	-572	-513	-498	-465

Note: As for symbols, see Fig-13 and 14.

Table-3 Material constants of steel tubes and mortar cylinders.

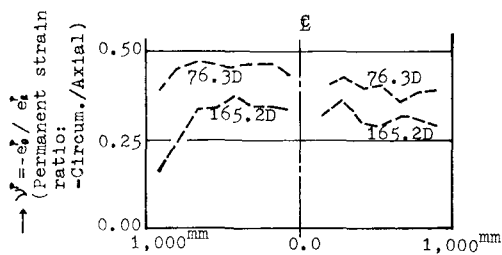


Fig-10 Axial Distribution of Permanent strain Ratio (-Circum./Axial)

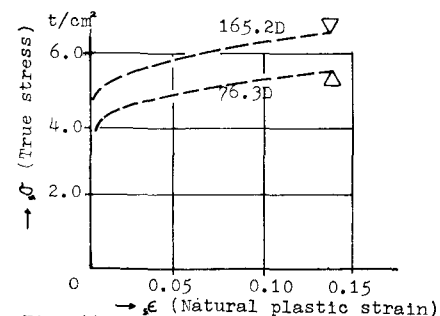


Fig-11 True Stress- Plastic Strain Relationships for Empty Tubes.

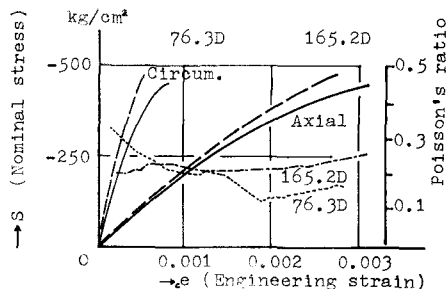


Fig-12 Results of Compressive Material Tests for Mortar Cylinders.

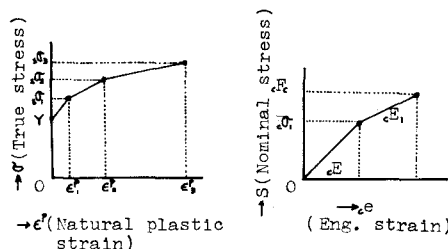


Fig-13 Simplified Diagram for Steel

4.1 弾性範囲内での剛性上昇

充填されたモルタルが引張りに無効であると仮定しても、弾性範囲で剛性の上昇がある。その値を Fig-4, 5 で示した W.S.G. の測定結果と比較する。(22)式に Table-3 の材料定数を代入するとその結果は Table-4 のとうりである。実験値における剛性上昇のよみは、グラフの接線係数を求めなければならないので測定誤差が入りやすい。計算値は、剛性上昇が 4～7% の範囲となるが実験では 1～1.4% となっている。なお、モルタルが引張りに有効であると考え、3.2 節で求めたものに材料定数を代入すると約 7.5% 程度の剛性上昇にならなければならない。以上の結果を考慮すると弾性範囲でモルタルの引張り抵抗は早期に失なわれたと推定される。

4.2 降伏荷重の上昇

鋼管は塑性加工を受けて成形されるので明確な降伏棚が現われない。したがって、降伏荷重を定めるのに 0.2% off set によった。

充填鋼管が降伏する荷重は、モルタルが引張りに無効であるとした場合に(28)式となりその結果が Table-5 に示される。実験値と計算値を比較すると実験値の方が大きめである。しかし、降伏条件を単純に等方性と仮定して $\nu^f = 0.5$ とすれば、計算値はさらに実験値より大きくでることになる。

4.3 最大耐力の上昇

最大耐力は、実験結果からすると、Table-2 のように 5.5～9.2% 中空鋼管より充填鋼管が上昇していた。理論的には、(27)式を積分したもので得られる。Fig-15 および Fig-16 は、直径 76.3 mm のものと、直径 165.2 mm の鋼管について、その結果を示したものである。 ν^f は、Table-3 のものを用いたが、参考のために等方性の場合のものも示した。

まず、等方性を仮定したものでは、中空鋼管の約 1.5% 上昇が予想され、実験値よりはるかに大きくなっている。しかし、異方性を考慮した ν^f を用いても、理論値は実験値より高めにでている。この理由は明白ではない。その原因と考えられるものに、モルタルの凝固時の収縮、塑性異方性の応力とひずみの関係およびモルタルの組合わせ応力下の挙動の現実性などに再検討の必要性があるものとみえる。

Dia. mm	48.6	76.3	101.6	139.8	165.2
r:cm	2.015	3.685	4.935	6.815	8.025
$r=t/r$	0.1191	0.0706	0.0588	0.05136	0.0560
$\alpha=E/E$	10.0	8.75	8.75	10.0	10.0
Cal. $S_s/(E_s)$	1.061	1.069	1.0661	1.039	1.042
Fill.	2950 $\frac{1}{4}$ ksi	2500	2250	2300	2300
Emp.	2920 $\frac{1}{4}$ ksi	2300	2120	2030	2105
Exp.	1.010	1.086	1.061	1.138	1.122

Table-4 Increase in Stiffness of Steel Tubes Encased Mortar in Elastic Region.

Dia.	48.6	76.3	101.6	139.8	165.2
$\sqrt{e_s^f/e_s}$	0.435	0.436	0.415	0.352	0.335
(19)	1.068	1.080	1.068	1.052	1.050
Yield (Fill.)	5.75 $\frac{1}{4}$ ksi	4.2	4.05	5.55	5.20
Y	5.45 $\frac{1}{4}$ ksi	3.95	3.68	5.15	4.80
Ratio	1.055	1.063	1.100	1.078	1.083
(19) $\nu^f=0.5$	1.080	1.094	1.083	1.076	1.078

Table-5 Increase in Yield Stress of Steel Tubes Encased Mortar.

Dia. (mm)	48.6	76.3	101.6	139.8	165.2
Exp.	1.061	1.071	1.081	1.055	1.092
Cal. Anisot.		1.083	1.099	1.094	1.078
Cal. Isotro.		1.110	1.133	1.153	1.139

Table-6 Ultimate Strength Ratios (Filled/Empty).

§ 5. むすび

直径 48.6mm から直径 165.2mm までのモルタル充填鋼管の引張り実験を行ない、中空鋼管に比べて最大耐力で 5.5%～9.2% の上昇をみた。また変形能力は逆に 42.8%～21.0% の減少となった。

数理塑性学による等方性材料の解析ではほぼ 15% の耐力上昇とならなければならず、これは、中空鋼管の引張試験で得られた結果から、鋼管は塑性異方性が大きく、これを無視すると誤差が危険側に大きくなることが判明した。この異方性は、鋼管の母線方向の塑性ひずみに対して径方向が $1/2$ の塑性収縮ひずみを生じておらず、したがって、径の収縮が等方性材料よりも小さいことからモルタルの拘束効果が減少したものと考えられる。この異方性を考慮すると 7.8～9.1% の耐力上昇となる。

この他、耐力上昇に関しては、モルタルの組合わせ応力状態での挙動

やモルタルの凝固時収縮など、影響を与える因子が考えられ、これらの点については、さらに多くの実験が必要かと考える。なお、Tresca の降伏条件を用いると、鋼管が多軸応力状態になっても耐力上昇は完全にないことになり、実験結果は von Mises の降伏条件による理論値より小さめではあったが耐力上昇をみたので、やはり鋼は多軸応力状態で耐力の上昇があるものとみられる。

参 考 文 献

1. 仲威雄, 加藤勉, 阿部信男/コンクリート充填鋼管の圧縮強さ/日本建築学会論文報告集 第 69 号
2. 山田稔, 坂恵一己/コンクリート充填鋼管に関する実験的研究/日本建築学会論文報告集 第 103 号
3. Kato, B. and Kanatani, H./Experimental studies on concrete filled steel tubular columns/Steel Structures Laboratory Report, October 1966, University of Tokyo.
4. Neogi, P.K., Sen, H.K. and Chapman, J.C./Concrete-filled tubular steel columns under eccentric loading/The Structural Engineering, May 1969, No.5 Volume 47.
5. Timoshenko, S. and Goodier, J.N./Theory of Elasticity/McGraw-Hill, 1951, pp.59.
6. Hill, R./The Mathematical Theory of Plasticity/Oxford University Press, 1950, pp.39.
7. Yamada, Y. and et al./Plastic Stress-Strain Matrix and its Application for the Solution of Elastic-Plastic Problems by the Finite Element Method/International Journal of Mechanical Sciences, Vol.10 No.5, May 1968.
8. Society of Steel Construction of Japan/Mechanical Properties of Plastically Worked Steels/JSSC, 5'70 Vol.6 No.53.
9. 加藤勉, 青木博文, 見村博明/鋼管の材料強度に与える冷間加工の影響/建築学会 講演梗概集 昭和 44 年

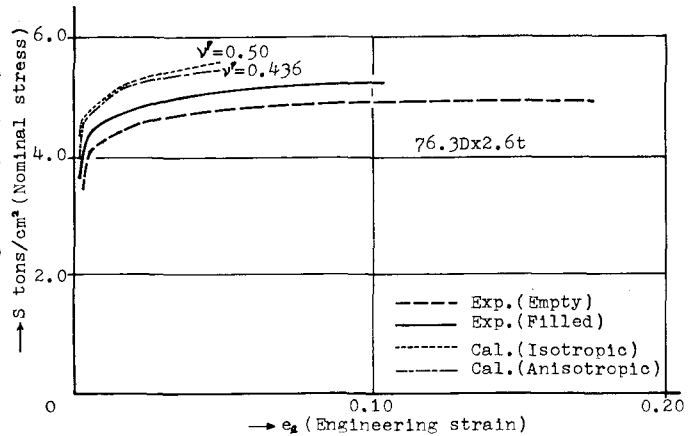


Fig.-15 Results of Analysis for 76.3 Tubes.

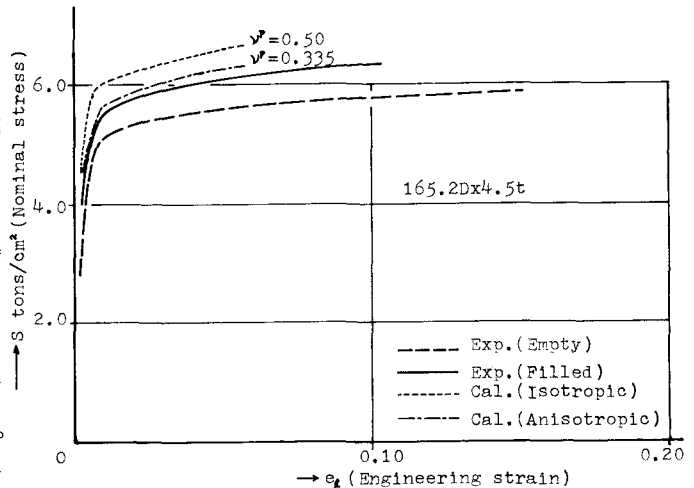


Fig.-16 Results of Analysis for 165.2 Tubes.