

V-110 注入モルタルの圧送用パイプラインの設計法の提案

東京都立大学 正会員 村田二郎
〇鈴木一雄

1 よえがき 注入モルタルの施工の合理化を計る上で、予め注入モルタルの物性値を把握し適確な配管計画を立てることが必要である。本研究は直管路及び曲り管内の注入モルタルの流れを、シオロジ的に解析し直管及び曲り管における圧力損失及び流量について検討を行い、これに基づき注入モルタル用パイプラインの設計法を提案したものである。

2 注入モルタルの管内流動

1) 直管路の場合 注入モルタルをビンカム体と仮定すると管内の流量は管壁の影響がない場合式-1で与えられる。

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 l \eta_{pe}} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_0}{R} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{r_0}{R} \right)^4 \right] \quad (1)$$

ここに

Q ; 流量(cc/sec), l ; 管長(cm), R ; 管の半径(cm), ΔP ; 圧力差(% cm^2)

η_{pe} ; 塑性粘度(poise), r_0 ; 栓流半径(2 r_{cp}), r_{cp} ; 降伏値(% cm^2)

実験は内径20mm, 定尺4mの鉄管を接続し管長を20, 40, 60及び80mとなるよう水平直線配管し, 圧力勾配(%)を0.4~1.0として注入モ

ルタルの圧送を行った。なお管内の圧力分布の測定は容量2kg及び0.5kgの圧力計を用いて行った。圧送したモルタルは混和剤としてポゾリスNo.8及びGF-600を使用し, Pポート流下時間約16秒, 18秒及び23秒のものである。流量測定結果を表-1に示す。表-1において実測流量は管長の相違にかかわらずPポート流下時間20秒程度以下で圧力勾配が0.4~1.0の範囲で式-1による計算流量と一致しており, 管内のモルタルの流れは管壁の影響を受けず理論に極めて近い状態にあるものと思われる。しかしPポート流下時間で20秒程度以上の場合実測流量は計算流量の大約2倍となり管壁と試料間にすべりが生じているものと思われる。なお直管内の圧力測定結果は図-1に示すようであって圧力分布は直線で示され, 管の入口で圧送圧力, 管出口において0となっている。

2) 曲り管の場合 曲り管の影響を検討するため内径20mmの塩化ビニール管で長さ2mの直管2本の中間に曲り角90°, 120°及び150°(曲り半径=20D, D; 管径)の曲り管をセットし, 曲り管の入口及び出口から各々外側15cmの点に容量2kgの圧力計をセットし, 種々の圧力勾配でモルタルを圧送し, 管内圧力及び流量の測定を行った。圧力測定結果を表-2及び図-2に示す。図-2において圧力分布を示す直線は曲り管をそれと同じ長さの直管に置き換えて描いたもので曲り管入口から15cmの点における圧力測定値はこの直線と一致していることから, 曲り管出口から15cmの点における測定値と直線との縦距が圧力損失を示すものと考えられる。

この圧力損失に相当する水平長さ(1)と曲り管の長さ(2)を

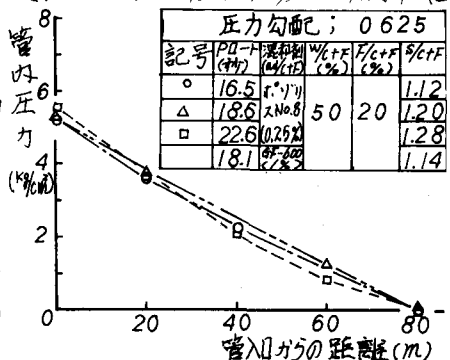


図-1 圧力分布

表-1 直管内の流量測定結果

管長 (m)	Pポート流下時間 (秒)	16.5秒 (ポゾリス)			18.6秒 (ポゾリス)			22.6秒 (ポゾリス)			18.1秒 (GF-600)		
		QA	QBR	比	QA	QBR	比	QA	QBR	比	QA	QBR	比
20	0.625	23.9	30.4	0.78	23.9	26.7	0.89	—	—	—	—	—	—
	0.90	59.1	60.4	0.98	53.9	49.5	1.07	—	—	—	—	—	—
40	0.40	—	—	—	—	—	—	6.68	3.07	2.18	—	—	—
	0.625	30.1	32.7	0.92	24.5	23.7	1.03	22.6	13.4	1.69	—	—	—
	0.90	68.5	64.9	1.05	49.0	43.9	1.12	47.1	27.1	1.74	—	—	—
60	0.40	—	—	—	—	—	—	12.5	3.44	3.63	6.66	6.69	1.00
	0.625	28.9	31.7	0.91	24.1	24.8	0.97	27.8	15.0	1.85	20.9	22.4	0.93
	1.00	65.9	62.9	1.04	50.3	46.0	1.09	58.8	36.1	2.14	57.7	50.3	1.05
80	0.40	—	—	—	—	—	—	10.5	3.44	3.05	—	—	—
	0.625	29.8	29.8	1.00	30.2	28.5	1.06	28.0	15.0	1.87	—	—	—
	0.90	63.7	59.2	1.08	56.8	52.8	1.07	51.5	30.4	1.69	—	—	—

注: QA: 実測流量, QBR: 計算流量, 比: QA/QBR.

加えたものが直管換算長となる。これを曲り管の長さで除し直管への換算係数(a)とし表-2に示す。表-2において換算係数は配合の相違にかかわらず曲り管の角度によりほぼ一定値を示し90°の場合約4, 120°の場合約5及び150°で約8.5であった。曲り管を含む管路による注入モルタルの流量測定結果を表-3に示す。表-3において曲り管による圧力損失分を直管換算長で表わし、直管長(L)にこれを加え計算上の管長(L)とし式-1により求めた計算流量と実測流量は曲り管の角度及び配合の相違にかかわらずよく一致している。

3 注入モルタル用パイプラインの設計法 曲り管を含むパイプラインの設計手順は以下に示すようである。

- ① 注入モルタルの物性値は回転粘度計または傾斜管試験装置により求める。傾斜管試験装置による場合は傾斜角度を5°, 10°及び15°で流量を測定し式-2, 式-3及び式-4よりレオロジー定数を求める。

$$Q = A \cdot \rho g I L + B / (\rho g I L)^3 - C \quad \text{---(2)}$$

$$\text{傾斜管圧力差} \quad \text{傾斜管角度} \quad \text{流量}$$

$$\eta_{pe} = \pi R^4 / 8 L \cdot A \quad \text{---(3)}$$

$$\tau_f = 3 R \cdot C / 8 L \cdot A \quad \text{---(4)}$$

表-4. 傾斜管流量

傾斜管角度 (°)	傾斜管圧力差 (kg/cm²)	流量 (kg/sec)
5	59.6	25.7
10	77.1	44.6
15	94.1	65.1

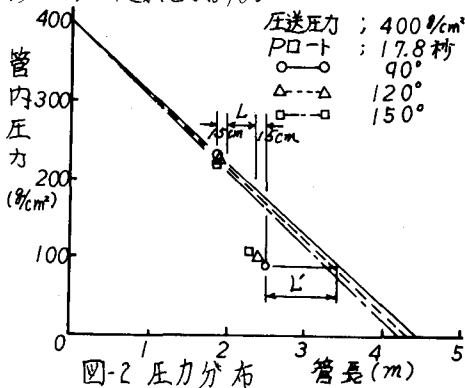


図-2 圧力分布

- ② 圧送管の管径を仮定する。
③ 曲り管の曲率及び角度から曲り管の長さを定め直管換算長を求め直管部の長さに加算し計算上の管長を求める。
④ 所要の流量, 圧送距離とモルタルの物性値, 管径及び管長を式-1に代入し圧送圧力を求める。

計算例を以下に示す。

a) 配管条件 流量; 100 kg/min, 配管; 水平配管とし, 直管距離 90m, 配管中に 90°及び 150°の曲り管を各1ヶ所に設置する。

b) レオロジー定数の算出 表-4に示す傾斜管(R=1cm, L=100cm)の流量測定値を式-2から式-4に代入し η_{pe} 及び τ_f を求める。

$$25.7 = 59.6 A + B / 59.6^3 - C \quad \text{これを解いて } A = 1.29$$

$$44.6 = 77.1 A + B / 77.1^3 - C \quad B = 1.44 \times 10^6$$

$$65.1 = 94.1 A + B / 94.1^3 - C \quad C = 57.9$$

$$\eta_{pe} \approx 3.0 \text{ Poise}, \quad \tau_f = 0.17 \text{ kg/cm}^2$$

管径 (cm)	3	4	5
曲り管の 90°	4.7	6.3	7.9
長さ, L (cm) 150	1.6	2.1	2.6
換算 90°		4.0	
係数, a 150°		8.5	
直管換算長 90°	(4-1)×4.7+4.7=18.8	(4-1)×6.3+6.3=25.2	(4-1)×7.9+7.9=31.6
L+L (cm) 150	(8.5-1)×1.6+1.6=13.6	(8.5-1)×2.1+2.1=17.9	(8.5-1)×2.6+2.6=22.1
計算上の管長	90+18.8+1.36	90+25.2+1.79	90+31.6+2.21
L (m)	= 93.24	= 94.31	= 95.37
圧送圧力 (kg/cm²)	26.6	9.75	4.87
圧力勾配	2.86	1.03	0.51

以上の計算結果より圧力勾配が約0.4~1.0の範囲にあるものとして管径を4または5cmを用い, この場合の圧送負荷は10及び5 kg/cm²である。

表-2 曲り管の圧力測定結果

Port (秒)	曲り管の角度 (度)	曲り管入口の圧力 (kg/cm²)	曲り管出口の圧力 (kg/cm²)	圧力損失 (kg/cm²)	直管換算長 L+L (cm)	換算係数 a = (L+L)/L
16.0	90	230	84	88	129	4.09
	120	220	100	76	103	4.92
	150	220	107	74	88	8.43
17.8	90	227	87	85	125	3.99
	120	219	97	79	106	5.11
	150	220	105	76	90	8.62
19.8	90	225	86	86	127	4.05
	120	220	96	80	108	5.16
	150	220	109	72	86	8.14

曲り管の長さ L (cm) 90° = 31.4
120° = 20.9
150° = 10.5

表-3 曲り管を含む管路の流量測定結果

ΔP = 400 kg/cm²

Port (kg/min) (τf (kg/cm²))	曲り管の角度 (度)	直管換算長 L+L (cm)	計算上の管長 L (cm)	計算流量 Q ₀ (kg/sec)	実測流量 Q ₁ (kg/sec)	比 = Q ₀ /Q ₁
16.0 (2.23) (0.17)	90	129	539	50.6	51.2	1.01
	120	103	513	56.6	56.6	1.00
	150	88	498	60.6	64.3	1.06
17.8 (2.97) (0.17)	90	125	535	39.7	42.1	1.06
	120	106	516	43.2	44.2	1.02
	150	90	500	46.4	47.1	1.02
19.8 (4.18) (0.22)	90	127	537	18.4	20.0	1.09
	120	108	518	20.7	22.2	1.07
	150	86	496	23.5	23.4	1.00

法) 計算上の管長 = 直管換算長 + 直管長