

橋本市水道事業所

殿

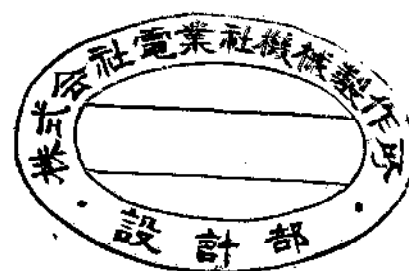
取水ポンプ場

御用

フォ-マハンマ検計書

オ 2 報

昭和 年 月



株式会社
電業社機械製作所

$$A) \quad 0.4 \text{ m}^3/\text{sec CS} \times 2 + 0.3 \text{ m}^3/\text{sec VS} \times 1$$

$$B) \quad 0.4 \text{ m}^3/\text{sec CS} \times 1 + 0.3 \text{ m}^3/\text{sec CS} \times 1 + 0.4 \text{ m}^3/\text{sec VS} \times 1$$

$$C) \quad 0.3 \text{ m}^3/\text{sec CS} \times 2 + 0.4 \text{ m}^3/\text{sec VS} \times 1$$

以上の3通りが考えられる。C)の場合は水量不足に思えるが抵抗曲線から $1.07 \text{ m}^3/\text{sec}$ は確保できる。

GD^2 が最も小さい組合せは C) の場合となるため この組合せで解析する。

2. ポンプ仕様

H	$=$	74 m	74 m
Q	$=$	$0.4 \text{ m}^3/\text{sec}$	$0.3 \text{ m}^3/\text{sec}$
P	$=$	480 kW	360 kW
N	$=$	1750 rpm	1750 rpm
η_p	$=$	75%	72%
T	$=$	$215.4 \text{ kg}\cdot\text{m}$	$168.2 \text{ kg}\cdot\text{m}$
GD^2	$=$	$35 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$25 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
台数	$=$	1 台	2 台

3 入力遮断時のポンプ運転点

$$H = 70 \text{ m}$$

$$Q = 1.07 \text{ m}^3/\text{sec} \quad (\text{並列運転})$$

実揚程 $\text{MIN} = 65.3 \text{ m}$ 時の抵抗曲線と $H-Q$ 曲線の交点とする。

4. 逆止弁

400°mm 緩閉逆止弁

損失水頭

$$h_{cv} = f_{cv} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$f_{cv} = 1.1$$

$$= 0.452 \text{ m}$$

閉鎖時間 8 sec

5 管内流速

$$V = Q/A$$

$$Q = 1.07/2 = 0.535 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0.8^2 = 0.50266 \text{ m}^2$$

$$= 1.064 \text{ m/sec}$$

6 圧力波の伝播速度

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{k \cdot D}{E \cdot t}}}$$

$$E: \text{縦弾性係数} \quad 1.6 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$k: \text{水の体積弾性率} \quad 2.07 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$$

$$D: \text{管内径} \quad 800 \text{ mm}$$

$$t: \text{管の肉厚} \quad 11 \text{ mm}$$

$$= 1023 \text{ m/sec}$$

7 圧力波の往復時間

$$T = 2L/a$$

$$L: \text{管全長} \quad 850 \text{ m}$$

$$= 1.66 \text{ sec}$$

8 管路定数

$$Zp = a \cdot V / g \cdot H$$

$$H: \text{ポンプ全揚程} \quad 70 \text{ m}$$

$$g: \text{重力加速度} \quad 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$= 1.5867$$

9 サージタンク

初期水位 +144.0 m (標高表示)

表面積 4 m²

有効容量 約 13.6 m³

流出管口径 400 mm × 2本

(実際は4本あるが2本は予備と考える)

サージタンク形式 フンウェイタイプ

計算は電子計算機を用い、管路を14等分し損失分散法により行う。
レベル基準は逆止弁出口部を0 mとして数値を代入する。

計算時間間隔は

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{a+v} \quad \Delta x = \text{管全長} / \text{分割数} = 60.714 \text{ m}$$

$$\leq 0.0592873$$

よって $\Delta t = 0.05928 \text{ sec}$ とする

以上の諸条件、数値により行った結果を表1及び図1に示す。

考 察

サージタンクの効果で管路中に発生する負圧は最大で -3 m ほどで問題はない。また昇圧に際しても常用圧力の約125%に収まっており問題ない。
サージタンクの水位降下が $61.4 - 60.56 = 0.84 \text{ (m)}$ で流出水量は 3.36 m^3 という結果が出ており通常計算値の2倍以上の容量を持つサージタンクであれば安全と考えられることから日水工務設計部のサージタンクで問題ないと思われる。

表1 ポンプの運転特性と最高圧力

経過時間 Time (min)	回転数 N (rpm)	入力全流量 Hp (m)	吐出流量 Hv (m)	水圧損失 Qd (m/sec)	水圧力 Hd (m)	サージバック水圧 Sl (m)
0.00	1750	70.000	0.452	1.07000	67.948	61.40
0.18	1407	45.860	0.279	0.84025	44.042	61.40
0.36	1176	31.848	0.198	0.70885	30.222	61.40
0.53	1010	22.978	0.154	0.62528	21.265	61.40
0.71	884	16.985	0.128	0.56928	15.158	61.40
0.89	786	12.648	0.112	0.53174	10.940	61.39
1.07	707	9.371	0.101	0.50462	7.793	61.37
1.24	642	6.879	0.092	0.48323	5.204	61.34
1.42	587	4.948	0.086	0.46693	3.163	61.31
1.60	545	9.018	0.007	0.13258	7.598	61.27
1.78	525	9.550	-0.467	-0.10820	8.702	61.24
1.96	499	11.526	-2.182	-0.23564	12.109	61.20
2.13	457	13.064	-3.936	-0.31465	15.235	61.16
2.31	403	13.805	-5.487	-0.36458	17.752	61.12
2.49	340	14.182	-7.028	-0.39932	19.801	61.07
2.67	271	14.250	-9.200	-0.42234	21.814	61.02
2.85	200	14.023	-11.673	-0.43580	23.934	60.97
3.02	110	20.492	-22.098	-0.54839	41.106	60.91
3.20	-18	24.299	-33.534	-0.61697	56.432	60.86
3.38	-163	23.743	-41.872	-0.63049	63.953	60.81
3.56	-306	22.068	-48.968	-0.62517	69.255	60.76
3.73	-442	20.175	-55.098	-0.60656	73.724	60.72
3.91	-565	18.543	-60.799	-0.58139	77.895	60.68
4.09	-672	17.487	-65.627	-0.54991	81.439	60.65
4.27	-761	16.716	-69.843	-0.51239	84.782	60.62
4.45	-829	16.034	-70.336	-0.46428	84.804	60.60
4.62	-877	15.153	-68.723	-0.41545	82.411	60.58
4.80	-909	14.664	-67.879	-0.37552	80.869	60.57
4.98	-930	14.449	-66.175	-0.34325	78.862	60.56
5.16	-942	14.305	-62.919	-0.31698	75.665	60.56
5.34	-949	14.048	-59.410	-0.29140	71.993	60.56
5.51	-949	13.743	-55.929	-0.26721	68.008	60.56
5.69	-944	13.385	-51.958	-0.24315	63.589	60.56
5.87	-935	13.011	-49.334	-0.22345	60.790	60.56
6.05	-924	12.678	-51.524	-0.21514	62.744	60.56
6.22	-913	12.357	-55.895	-0.21091	66.608	60.56
6.40	-900	11.978	-55.297	-0.19727	65.527	60.56
6.58	-886	11.574	-54.518	-0.18444	64.526	60.56
6.76	-870	11.167	-55.988	-0.17632	65.689	60.56
6.94	-855	10.759	-58.266	-0.16907	67.384	60.56
7.11	-838	10.352	-60.909	-0.16182	69.524	60.56
7.29	-822	9.949	-63.586	-0.15405	71.969	60.56
7.47	-805	9.551	-66.199	-0.14567	74.277	60.56
7.65	-788	9.154	-65.557	-0.13350	73.066	60.56
7.82	-770	8.748	-64.720	-0.12126	71.734	60.56
8.00	-751	8.343	-64.083	-0.10933	70.864	60.56
8.18	-732	7.945	-65.233	-0.09888	71.698	60.56
8.36	-712	7.561	-65.564	-0.08767	71.477	60.56
8.54	-692	7.189	-64.969	-0.07587	70.430	60.56
8.71	-672	6.825	-63.691	-0.06382	68.955	60.56
8.89	-651	6.471	-62.154	-0.05189	67.141	60.56
9.07	-629	6.132	-60.473	-0.04018	64.955	60.56
9.25	-608	5.812	-59.830	-0.02902	63.917	60.56
9.43	-588	5.515	-62.012	-0.01840	65.966	60.56
9.60	-568	5.254	-63.943	-0.00737	67.712	60.56
9.78	-549	4.986	0.000	0.00000	66.621	60.56
9.96	-531	4.667	0.000	0.00000	65.182	60.56

10.14	-514	4.377	0.000	0.00000	64.842	60.56
10.31	-499	4.114	0.000	0.00000	64.927	60.56
10.49	-484	3.874	0.000	0.00000	65.397	60.56
10.67	-470	3.654	0.000	0.00000	66.325	60.56
10.85	-457	3.453	0.000	0.00000	66.662	60.56
11.03	-444	3.267	0.000	0.00000	64.334	60.56
11.20	-433	3.096	0.000	0.00000	60.787	60.56
11.38	-421	2.939	0.000	0.00000	60.132	60.56
11.56	-411	2.793	0.000	0.00000	61.993	60.56
11.74	-401	2.657	0.000	0.00000	62.502	60.56
11.92	-391	2.532	0.000	0.00000	62.546	60.56
12.09	-382	2.414	0.000	0.00000	62.176	60.56
12.27	-373	2.305	0.000	0.00000	61.456	60.56
12.45	-365	2.203	0.000	0.00000	60.695	60.56
12.63	-357	2.108	0.000	0.00000	62.664	60.56
12.80	-349	2.019	0.000	0.00000	65.068	60.56
12.98	-342	1.935	0.000	0.00000	67.118	60.56
13.16	-335	1.857	0.000	0.00000	66.013	60.56
13.34	-328	1.783	0.000	0.00000	65.031	60.56
13.52	-322	1.713	0.000	0.00000	64.840	60.56
13.69	-316	1.648	0.000	0.00000	65.053	60.56
13.87	-310	1.586	0.000	0.00000	65.618	60.56
14.05	-304	1.527	0.000	0.00000	66.581	60.56
14.23	-298	1.472	0.000	0.00000	66.505	60.56
14.41	-293	1.420	0.000	0.00000	63.437	60.56
14.58	-288	1.370	0.000	0.00000	60.494	60.56
14.76	-283	1.323	0.000	0.00000	60.726	60.56
14.94	-278	1.278	0.000	0.00000	62.199	60.56

Point	Max	Min
1- 1	-1.600	-1.600
1- 2	-1.210	-1.780
2- 1	85.383	3.163
2- 2	83.497	4.394
2- 3	81.238	5.519
2- 4	78.909	7.236
2- 5	76.982	8.943
2- 6	75.248	11.377
2- 7	73.403	14.004
2- 8	71.415	17.717
2- 9	69.530	22.087
2-10	68.747	28.283
2-11	67.875	36.242
3-12	67.221	47.661
2-13	66.226	59.613
3- 1	66.226	59.613
3- 2	65.224	60.111
3- 3	63.700	63.700

§2. 800^φmm送水管1本の場合の最大送水量の解析

ウオ・タハンマの解析は 入力遮断時、から逐次計算により求めるものであり、初期条件(状態)を逆算することは不可能に近う。従って方法としては、ある程度の目安をつけ、送水量を種々変更して解析し、その結果を基に検討を加えて見出すこととする。

何度か送水量を変えて行なった結果の中から 管路の負圧を -7m 前後に抑えられた初期条件は以下の通りである。

1. 水位、送水管路、伝播速度、サージタンク等は §1 に同じ。但し送水管路は 800^φmm 1本、サージタンクの流出管は 400^φmm 1本とする。

2. ポンプの運転点

$$H = 70 \text{ m}$$

$$Q = 0.67858 \text{ (並列運転)}$$

この送水量は $0.4 \text{ m}^3/\text{sec CSX1} + 0.3 \text{ m}^3/\text{sec VS 80} \sim 85\% \times 1$ 台の組合せ運転、として考えられるが容量、回転数異なるため等容量ポンプに置き換えて解析することとする。

3. 仮定ポンプ仕様

$$H = 74 \text{ m}$$

$$Q = 0.315 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$N = 1750 \text{ rpm}$$

$$\eta_p = 72 \%$$

$$T = 184 \text{ kg-m}$$

$$GD^2 = 28 \text{ kg-m}^2$$

$$\text{台数} \quad 2 \text{ 台}$$

4. 逆止弁

400mm 緩閉式逆止弁

損失水頭 0.41 m

$$f_{cv} = 1.1$$

$$Q = 0.67858/2 \text{ m}^3/\text{sec}$$

閉鎖時間 8 sec

5. 管内流速

$$V = Q/A$$

$$= 1.35 \text{ m/sec}$$

6. 管路定数

$$2f = a \cdot V / g \cdot H$$

$$= 2.013$$

計算時間間隔

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{Q + V}$$

$$\leq 0.0592707$$

$$\Delta t = 0.05927 \text{ とする。}$$

以上の諸条件 数値によって行った結果を表 2 の図 11 に示す。

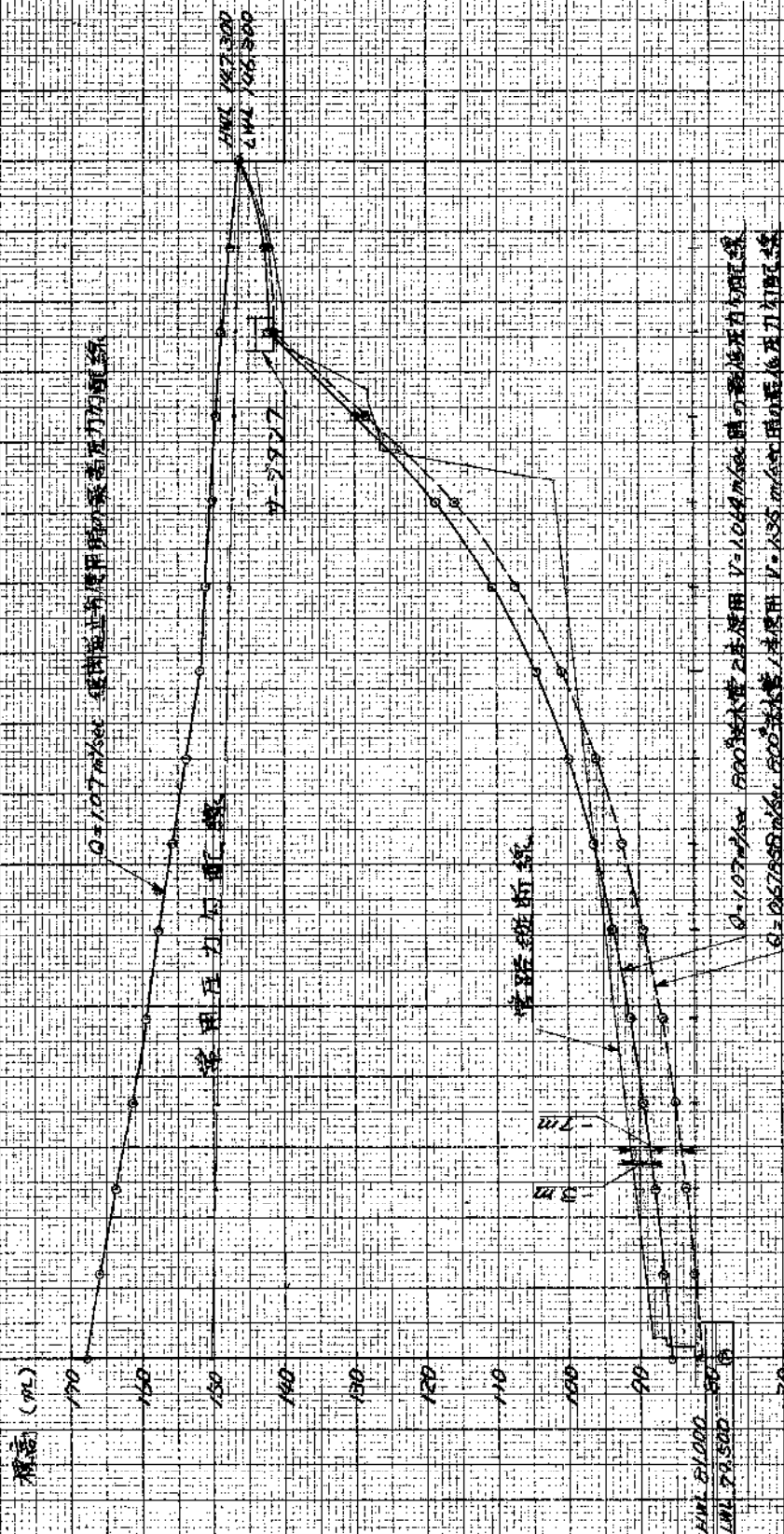
考察

管路中の最大負圧は -7m に達しており、800mm 送水管 1 本で送水
 する場合は 管内流速 1.35 m/sec、送水量 0.67858 m³/sec が最大と
 なる。

オ2形 ポンプ廻りの過渡特性及び最高圧力

Time	N	Hp	Hv	Qd	Hd	Sl
0.00	1750	70.000	0.410	0.67858	67.991	61.40
0.18	1392	43.877	0.273	0.55383	42.040	61.40
0.36	1154	28.796	0.207	0.48256	27.082	61.40
0.53	985	19.375	0.171	0.43820	17.623	61.40
0.71	858	12.946	0.148	0.40826	11.142	61.40
0.89	759	8.396	0.134	0.38808	6.667	61.40
1.07	681	5.124	0.125	0.37413	3.469	61.38
1.24	617	2.651	0.118	0.36355	0.939	61.37
1.42	565	0.701	0.112	0.35540	-1.070	61.35
1.60	521	6.790	0.028	0.17740	5.264	61.33
1.78	492	7.570	0.002	0.04498	6.137	61.31
1.96	476	7.481	-0.147	-0.04039	6.027	61.29
2.13	459	8.055	-0.771	-0.09327	7.131	61.27
2.31	436	8.538	-1.442	-0.12683	8.424	61.25
2.49	408	8.794	-2.100	-0.15017	9.410	61.22
2.67	374	8.836	-2.874	-0.16826	10.024	61.19
2.84	337	8.716	-3.827	-0.18139	10.845	61.16

Point	Max	Min
1- 1	-1.600	-1.600
1- 2	-1.386	-1.698
2- 1	67.991	-1.070
2- 2	67.681	0.089
2- 3	67.371	1.255
2- 4	67.061	2.869
2- 5	66.751	4.622
2- 6	66.441	7.041
2- 7	66.131	9.904
2- 8	65.833	13.790
2- 9	65.524	18.538
2-10	65.214	25.040
2-11	64.904	33.708
2-12	64.594	46.122
2-13	64.284	59.283
3- 1	64.284	59.283
3- 2	63.986	59.931
3- 3	63.700	63.700



鉄水蓋 800 FOD 3種

0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	正人算出値 (M)
分速 10.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1