

38 富山火力発電所冷却水管の埋設について

北陸電力土木部長 金岩 明

・土木部土木課長 井沢政則

・富山火力建設所 樋口悦夫

1. まえがき

富山火力発電所は昭和37年4月北陸電力最初の新鋭火力として着工され現在1,2号機に引続き3号機の建設工事が順調に進められている。さて当火力発電所の冷却水管据付工事にあたり固定台、小支台および伸縮接手の類を設けずじかに管を地中に埋設する、いわゆる直埋式の考え方で管の設計施工をおこなない引続き埋設後の管の沈下と伸縮について測定してき氏がこれについて簡単に報告する。

2 1,2号管の概要

1,2号管の概要は表

-1のとおりである。

また富山火力発電所の一般平面図は図-1のとおりである。

表-1 1,2号管の概要

	1 号 管	2 号 管
管径および条数	1,350 ^{mm} × 2条	1,000 ^{mm} × 1条 (1部1,350 ^{mm} × 2条)
管 長	266.74 (取132.74 排134.20)	241.60 (取155.62 排85.98)
管 厚	取12 ^{mm} 排12 ^{mm} , 13 ^{mm} , 14 ^{mm}	取12 ^{mm} , 14 ^{mm} 排12 ^{mm} , 15 ^{mm} , 21 ^{mm}
管 量	113.88	166.18
設計内圧	取238 ^{kg} /cm ² 排10 ^{kg} /cm ²	取260 ^{kg} /cm ² 排10 ^{kg} /cm ²
土かぶり厚	取1.80 排2.83 ~ 3.83	取1.43 排3.38 ~ 3.80
温度変化	取30°C 排35°C	取30°C 排35°C
塗 装	外面 コーラルエナメル 4.5 ^{mm} 以上 内面 直管 コーラルエナメル 3.5 ^{mm} 以上 曲管 コーラルエナメル 0.7 ^{mm} 以上	同 左
	防汚塗料取2回 排1回	防汚塗料取1回 排1回
管 種	鋼 管 (SS41)	同 左
竣工年月	昭和38年11月	昭和40年11月

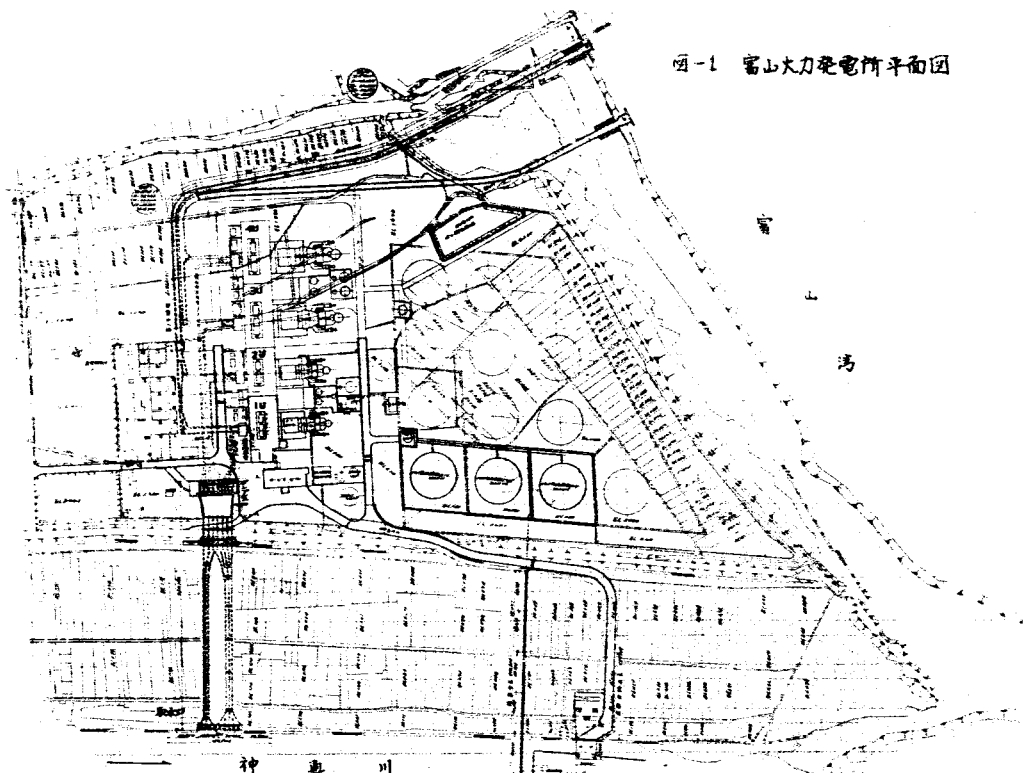


図-1 富山火力発電所平面図

3 埋設管における問題

埋設管に関する設計施工上からの問題点をあげれば、(1)周囲からの土圧に対する断面の強度計算、(2)不同沈下や温度変化による管応力の問題、(3)耐震性の問題、(4)据付埋設の工法、(5)管と固定構造物（ポンプ室、逆洗弁室、排水路など）との接続部の施工法、(6)塗装の問題 など種々の問題があるが埋設管の応力解析が難解なことや与えられる条件がそれぞれ異なることから設計には多くの仮定が含まれるのが現状である。当火力発電所の設計施工の概略の考え方は次のとおりである。

a) 設計：管路の地質がN値7~20 の中砂の層にあり埋設管の基礎の条件としては良好なものであるとして埋設管の特性が十分に発揮できるような設計について検討した結果鋼管を使用し、不同沈下や温度変化による伸縮に対して管としての応働性（管自体の曲りによって沈下や伸縮を吸収すること）と管と土との摩擦による拘束力とによって対応させようとの考え方で当初固定台や小支台、伸縮継手などを全廃する意向であったが、一部管路において予期しない沈下や応力の発生を防ぐため、1号管では盛土部分にありポンプ室と逆洗弁室付近に小支台を設け、土の伸縮を吸収するため逆洗弁室にウレタンジョイント(VJ)を設けた。2号管では小支台は全廃したが管径・管長の増大に伴って伸縮応力の大きくなることを考えて取水管のポンプ室近くと排水路の終端部にVJを設けることにした。

b) 施工：管路の掘削から据付埋設完了までの工事期間中はバルポイント工法により排水しながら(1)管据付は1号管では木杭木を使い、その上に管を据えて落接し、落接後杭木をとりはずす。2号管では直接地盤上に管を据えて落接し、所定の地盤を手掘りして掘削し落接した。(2)管理床は偏圧や土圧の軽減をはかる上から工事の重要な課題で特に慎重を期し、管心以下の埋戻しは良質な川砂を用いバルポイントで揚水しながら撒砂に注水する水締め方法をとったが、締固めには非常に有効な方法であった。(3)管と固定構造物との接続部の施工はポンプ室との接続は管からの推力がポンプやバルブに直接加わらないように管にフランジをつけ、これをポンプ室のコンクリート壁に定着し、推力はコンクリート壁にもたせた。一方逆洗弁室との取付けは管からの推力が壁厚の薄い逆洗弁室の壁にかからないよう管をとりまくリングコンクリートと側壁コンクリートとの間にエラストイトを入れ、伸縮はVJで吸収するようにした。

4 沈下量と伸縮量の測定結果と考察

沈下量および伸縮量の測定は水準測量と三角測量によっている。1号管は沈下量の測定だけだったが、2号管では測定棒の改良によって伸縮量も測定した。沈下量の測定結果は表-2、図-2で伸縮量の測定結果は表-3である。以下簡単に測定結果について考察してみる。

a) 沈下：

表-2よりポンプ室の沈下は約6ヶ月で大部分が終了し、その量も40~50mmと非常に小さいが、逆洗弁

表-2. 沈下測定結果

(上数FL下数区間沈下量 単位 mm)

年		38			39			40			41			42			合計 取手量
測	点	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	
	1	3.030 -32	2.997 -10	2.987 -3	2.985 -10	2.985 0	2.985 0	2.985 +1	2.986 -2	2.986 -3	2.984 -1	2.981 +1	2.981 -1	2.982 -1	2.980 -1	2.981 0	4.9
	2	3.008	3.032	3.019	3.016	3.016	3.016	3.016	3.016	3.016	3.013	3.013	3.013	3.013	3.012	3.012	36
	3	3.028	2.997	2.991	2.988	2.988	2.988	2.988	2.988	2.989	2.989	2.989	2.989	2.989	2.989	2.989	4.4
	4	3.029	3.014	2.996	2.992	2.991	2.991	2.991	2.991	2.991	2.989	2.989	2.989	2.989	2.989	2.989	4.0
	5	3.008	3.023	3.015	3.014	3.013	3.012	3.012	3.012	3.011	3.010	3.008	3.008	3.010	3.010	3.009	3.9
	7	3.022	2.989	2.987	2.982	2.982	2.982	2.982	2.982	2.981	2.979	2.977	2.978	2.978	2.978	2.978	4.4
	8	3.010	2.990	2.976	2.971	2.970	2.969	2.969	2.967	2.967	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	4.5
	9	2.990	2.982	2.980	2.980	2.980	2.980	2.980	2.980	2.980	2.977	2.977	2.977	2.977	2.976	2.976	1.4

至は非常々小
 さく 2~3 mm 程度
 落着いている。
 管路では約 4r
 月で約半分の
 沈下を終り、あ
 とは 1 年余り
 の間、徐々に
 進んで落着く
 ものと考えら
 れる。これを場
 所的にみれば
 図-2 の 1 号管
 では A 管と B
 管の相対する

10	2.479	2.472	2.470	2.470	2.470	2.470	2.471	2.469	2.465	2.468	2.467	2.468	2.467	2.466	2.466	13
11	2.757	2.749	2.745	2.745	2.745	2.745	2.744	2.739	2.739	2.741	2.741	2.739	2.739	2.739	2.739	18
12	2.742	2.732	2.731	2.729	2.729	2.729	2.730	2.725	2.724	2.726	2.725	2.727	2.725	2.725	2.725	17
13	2.713	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.703	2.703	2.705	2.706	2.707	2.705	2.706	2.706	7
14	2.687	2.681	2.681	2.681	2.680	2.679	2.682	2.677	2.676	2.678	2.679	2.680	2.678	2.680	2.680	7
15	2.745	2.742	2.742	2.742	2.742	2.742	2.740	2.737	2.737	2.739	2.739	2.739	2.740	2.740	2.740	5
16	2.766	2.759	2.759	2.759	2.759	2.759	2.759	2.755	2.755	2.757	2.756	2.757	2.755	2.756	2.756	11
17	3.128	3.128	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.126	3.124	3.125	3.123	3.125	3.123	3.125	3.125	3
18	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.135	3.137	3.136	3.132	3.136	3.136	3.136	3.134	3.133	3.133	2
19	3.135	3.135	3.134	3.133	3.133	3.133	3.134	3.132	3.131	3.131	3.132	3.134	3.132	3.133	3.133	2
20	3.131	3.131	3.130	3.129	3.129	3.130	3.131	3.130	3.127	3.130	3.130	3.129	3.128	3.128	3.128	3
23	2.722	2.716	2.715	2.713	2.713	2.712	2.712	2.710	2.707	2.707	2.707	2.708	2.707	2.706	2.706	16
24	2.807	2.802	2.801	2.800	2.800	2.800	2.799	2.798	2.796	2.795	2.795	2.794	2.794	2.794	2.794	13
25																6
26																7
27																11
28																13
29																15
30																13
31																18
32																11
33																9
34																8
35																13

場所では同じ沈下を示している。又、杭基礎を設けた所の沈下が大きい。2号管では曲管部 28, 31, 35 の沈下が大きくなっているが据付埋込の関係があるように思われる。さて不同沈下によって管に生ずる曲げ応力度が管と両端固定の梁と考えるとこれ等分布荷重がかかるスパン中点の撓みが生じたと仮定すれば

$$\delta = \frac{4 E D \delta}{L^2} \dots \dots \dots (1) \quad \text{で与えられる。}$$

ここで E: 管の弾性係数、D: 管の直径 (cm)、 δ : 不同沈下量 (cm)、L: 測定間距離 (cm)

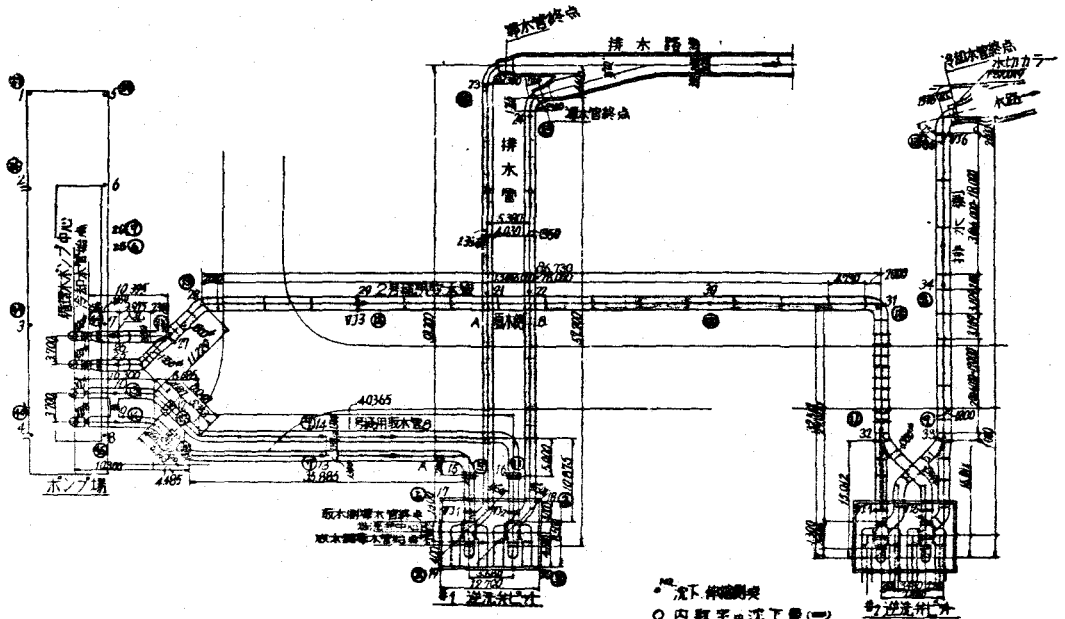


図-2. 12号冷却水管平面図

(1)式より、1号管 9~11で $\delta=4\text{mm}$ $l=770\text{cm}$ とすれば、 $\sigma = \frac{4 \times 2.1 \times 10^6 \times 1.35 \times 0.4}{770^2} = 765 \text{ } \mu\text{m}^2$ 、同様 11~13で $\delta=4\text{mm}$ $l=2060\text{cm}$ とすれば $\sigma=194 \text{ } \mu\text{m}^2$ 、2号管 31~32で $\delta=7\text{mm}$ $l=1600\text{cm}$ とすれば $\sigma=413 \text{ } \mu\text{m}^2$ といずれも許容応力度内にあり沈下に対して管は十分安全なものと考えられる。

b) 伸縮:

表-3 2号管の伸縮量

伸縮係数 $\alpha = 0.000012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ とす

表-3より測点 25(26)

~27~28~29までは
水温の低下に拘らず
伸びたり水温の上
昇にも拘らず収縮
したりして温度変
化によって定まら
ない。
この部分は曲管部
とカフV丁を含ん

管 名	測定年月	管 長 (cm)				伸縮量(実測)mm				伸縮量(計算)mm		
		l_1	l_2	l_3	l_4	Δl_1	Δl_2	Δl_3	$\Delta \bar{l} = \alpha \Delta t l$	$\Delta \bar{l}_1$	$\Delta \bar{l}_2$	$\Delta \bar{l}_3$
水 管	25 27	783.59	783.86	783.86	784.05	0.22	0.05	0.19	0.15	0.16	0.17	
	26 27	720.01	720.48	720.21	720.03	0.47	0.27	0.18	0.14	0.14	0.14	
	27 28	539.33	538.76	538.69	538.71	0.57	0.07	0.02	0.11	0.11	0.13	
	28 29(2)	2048.83	2049.07	2049.15	2049.08	0.24	0.08	0.07	0.40	0.41	0.43	
	29 30	4445.36	4444.60	4444.94	4444.43	0.76	0.34	0.51	0.86	0.89	0.94	
	30 31	2124.47	2124.03	2124.46	2123.84	0.44	0.43	0.62	0.42	0.43	0.45	
	31 32	1663.60	1663.39	1663.48	1662.96	0.21	0.09	0.52	0.33	0.33	0.35	
排 水管	33 34	1988.17	1987.92	1988.16	1988.10	0.25	0.24	0.06	0.39	0.40	0.42	
	34 35	1848.82	1848.53	1849.33	1848.90	0.29	0.80	0.43	0.36	0.37	0.39	
平均水温		21.9°	5.6°	22.3°	4.7°	0.163	0.167	0.176	0.163	0.167	0.176	

この部分で管の伸縮は複雑な動きを示している。これに対し直管部である 29~30、31~32、33~34~35では伸縮の傾向は明らかに温度変化に応じて動きをしている。実際には管に上からの拘束力が加わっているにも拘らず一部において実測値が計算値(管を無拘束状態と考えた計算値)を上まわっているなど量的に問題もあるが全体として直管部は大体温度変化に従って伸縮しているが曲管部やV丁に繋がる部分は種々の影響の組合せにより温度変化のみによって表現できない。さて埋設管の伸縮による軸応力度 σ 、および管にかかる上からの拘束力 F は、

$$\sigma = \frac{\Delta \bar{l} - \Delta l}{l + \Delta l} E = \frac{\Delta \bar{l} - \Delta l}{l} E \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$F = \sigma \cdot A = \frac{\Delta \bar{l} - \Delta l}{l} E \cdot A \quad \dots\dots\dots (3) \quad \text{で表えられる。}$$

ここで $\Delta \bar{l}$: 計算伸縮量 (cm) Δl : 実測伸縮量 (cm) l : 管長 (cm) E : 管の弾性係数 A : 管の断面積 (cm^2) [$D=800\text{mm}$ $t=17\text{mm}$ と $A=970\text{cm}^2$]、いま取水 29~30 について考えると、(2)式より $\Delta \bar{l} - \Delta l = 8.9 - 3.4 = 5.5\text{mm}$ $l = 4444.60\text{cm}$ とすれば $\sigma = \frac{0.55 \times 2.1 \times 10^6}{4444.60} = 260 \text{ } \mu\text{m}^2$ 、 $F = 260 \times 970 = 252\text{t}$ 、 m 当りにすれば $5.67 \text{ } \mu\text{m}$ 、 m^2 当りにすれば $f = \frac{5.67}{5.65} = 1.0 \text{ } \mu\text{m}^2$ となる。以上、伸縮に対しても管は十分安全と考えられる。

5 結 び

以上富山火力発電所の冷却水管について簡単にのべたが更に検討すべき多くの事項を残している。しかし、一応現在までの測定結果では特に問題もなく設計上の考え方も妥当だったと考えている。なお埋設管の検討に際し電力中央研究所、投研研究所、材料研究室長 松尾 滋氏から種々御指導を賜わり、ここに厚く感謝申し上げます。

以 上