

6. 穴内川 3 P S に於ける水圧鋼管の 振動測定について

四国電力株式会社建設部

浮田和明

梶原昭夫

○重松俊一

1) はしがき

穴内川 P S (穴内川 P 、 S 、 新平山 P 、 S
新改 P 、 S) は吉野川上流、穴内川綜
合開発に基き一貫的に開発されたもので、
穴内川の流域変更を行ない、その水を国分
川 (高知県) に流すことによつて高落差を
うるとともに、流域変更を行なつた事によ
り国分川流域で香長平野を形 成する広い耕
地の用水補給も兼ね耕地かんがいの役割を
も果している。総合開発の特徴としては 3
発電所をシリーズに結び、特に穴内川 P S
に於ては我が国では珍しい斜流形ポンプ水
車を採用し、余剰電力により下流繁藤調整
池より穴内川貯水池に揚水して余剰電力の
消化とピーク調整を計っている。

2) 穴内川 3 P 、 S 水圧鋼管

3 P S の水圧鋼管はそれぞれにつぎの
特異点を有している。

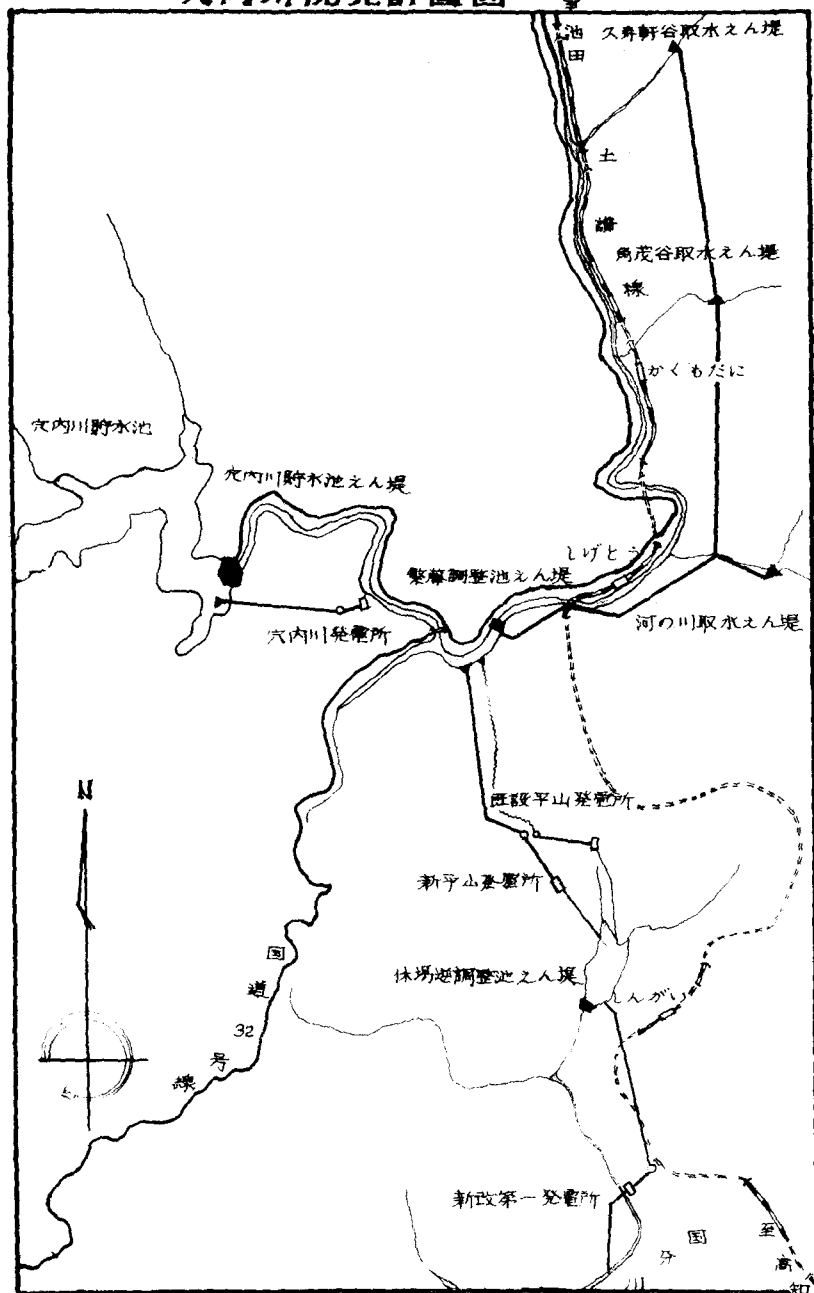
1) 穴内川 P S については揚水を伴うこと

2) 新平山 P S については高落差であり、

水圧鋼管全重量の 70 % は高張力鋼 (

2 H 鋼板) を使用していること

穴内川開発計画図



ハ) 新改 P
S に っ
は
鋼管中
央部附
近に分
岐管を
設け、
1号機、
2号機
に接続
されて
いるこ
と。

以下に 3 P、S 水圧鋼管の諸元を記載する。

水圧鋼管

項目	穴内 P.S	新平山 P.S	新設 P.S
全長	86 ^m .405	556 ^m .061	新 62.487 旧 18 42.274 T部 28 9.935 18 26-235-18 28 235-0.85
内径	3200 ~ 2700	2900 ~ 1650	
管厚	11 ^{mm} ~ 16 ^{mm}	10 ~ 32 ^{mm}	13 ^{mm} ~ 9 ^{mm}
材質	SM41A	HTS 60	SM41A
管頭	105 ^m .200	365 ^m .000	18 105 ^m .000 28 79 ^m .000

水車

項目	穴内 P.S	新平山 P.S	新設 P.S
型式	雙軸前巻 可動羽根 斜流型水車	雙軸車輪 單流前巻 フランジ水車	19 横軸 25 横軸 車輪後巻前巻 型フランジ水車
回転数	360 ^{RPM}	450 ^{RPM}	
ランナー	8 枚	17 枚	18 15 枚 28 18 枚 18 18 枚 28 12 枚
ガイド	20 枚	20 枚	

3) 振動測定

水圧鋼管の振動は水車発電機の運転に伴い、水力、機械、電氣的、其の他諸種の理由により振動原因を発生し水圧鋼管の振動を誘引する。鋼管振動は L a t e r a l v i b r a t i o n と O v a l l i n g v i b r a t i o n に大別され一般に O v a l l i n g v i b r a t i o n が問題となる場合が多い。穴内川 3 P S についても O v a l l i n g v i b r a t i o n についての振動に対しての検討を行なったものである。測定に当っては測定ヶ所及測定数の選定等測定作業以前に十分検討しより経済的で効果的な場所の選定を行なわねばならない。穴内川³ P S の場合は鋼管固有振動数と水車との関係（共鳴振動）を数値的に解析しその上あらかじめ全管を通じアスカニヤ振動計に

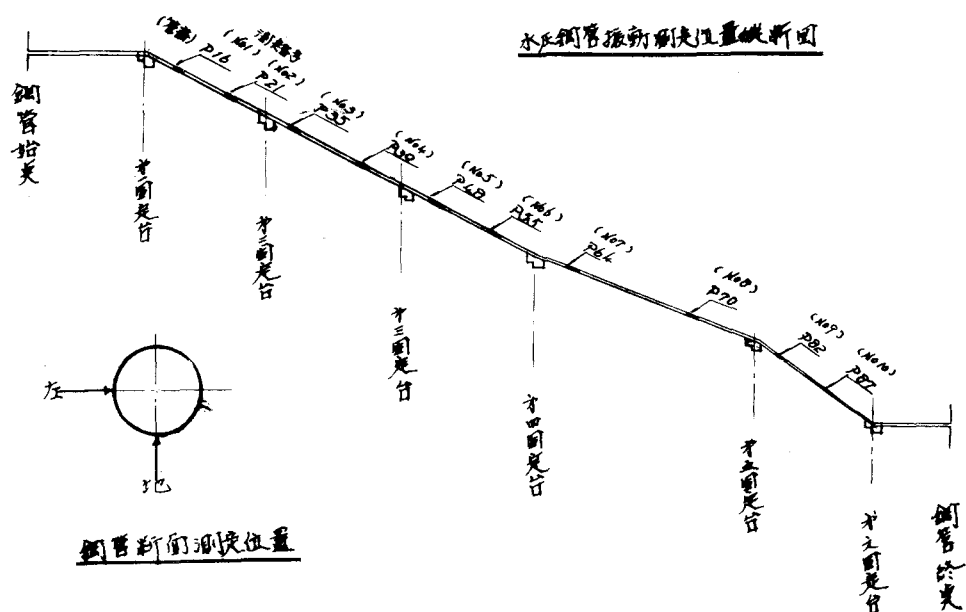
よる簡易な実測により適当な測定ヶ所を選
定している。

イ) 穴内^{P.S}川_入水圧鋼管

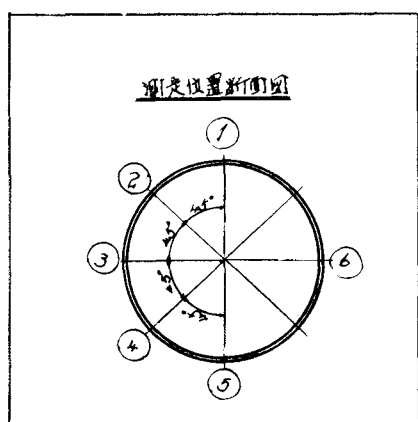
当発電所水圧鋼管の場合、露出部は
52^m 0 0 0 で中間1ヶの固定台によ
り上流水平部は15^m 0 0 0 下流傾斜
部は37^m 0 0 0 の2スパンに分けら
れ振動測定の対象スパンは2スパンの
みであること及び揚水を伴うため、2
スパンについて満足できる測定を実施
水圧脈動、周波数、変位をオシログ
ラフに記録し振動解析を行なうと共に
第2次測定として貯水池水位の増加に
伴う振動の傾向を知るためアスカニヤ
振動計により前回と同一ヶ所の計測を
行なった。

ロ) 新平山発電所

当発電所水圧鋼管の場合振動測定ヶ
所の選定はその対象区間が5スパンあ
り1スパン最短約80^m 0 0 0 最長
約133^m 0 0 0 となっており測定個
所の選定及全管の振動の程度を計測す
る目的で10ヶ所断面についてアスカ
ニヤ振動計による一次計測を行なうと
共に、その結果により第2次精密測定
個所の選定を行なった。
計測泉並に計測結果の一例を以下に表
示する。



A 上記の測点につき手持アスカニア型振動計にて測定した結果を検討した上最も顯著に表われた No. 1 ~ No. 2 固定台 P 2 1 管につき重実的に応力並に振動解析を行った。



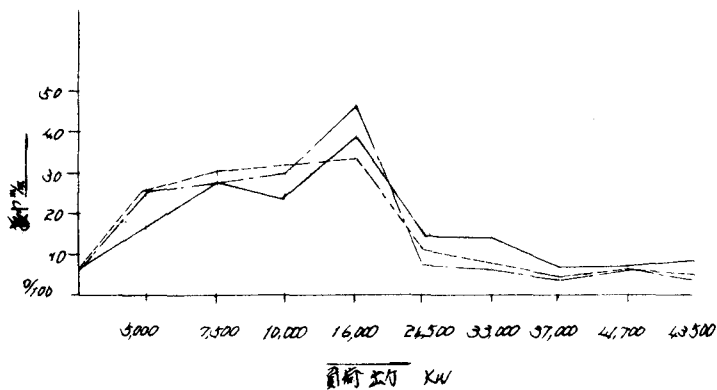
- イ) 振動計は ① ~ ⑥ の位置に取付け
- ロ) ストレインゲージは ① ~ ⑤ の位置に取付けたものである。

A 振動振中周波数測定結果

No. 16-3 No. 4 gage 16,000 rpm

No	振 動 波					
	1 ~ 7 秒		2 ~ 3 秒		4 ~ 5 秒	
	振幅 %	周波数 %	振幅 %	周波数 %	振幅 %	周波数 %
1	0.12	—	0.10	—	0.09	—
2	0.33	9.3	0.23	9.3	0.43	9.4
3	0.22	—	0.18	—	0.24	—
4	0.39	9.3	0.36	9.3	0.45	—
5	0.16	—	0.12	—	0.13	9.3
6	0.11	9.3	0.10	9.3	0.08	14

—— 1 ~ 7 秒
 - - - 2 ~ 3 秒
 - - - 4 ~ 5 秒

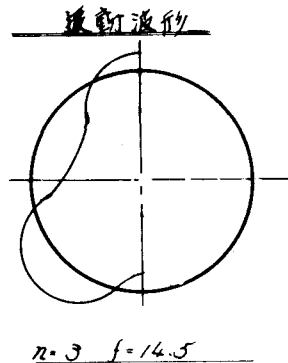
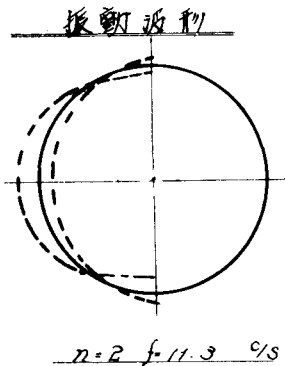


B 測定結果による振動波型の 1 例

固有振動数の測定は U ゲージを取付け両者にて測定する予定であつたが、振巾が大きくなり V ゲージで測定することはできなかった。

従つて U ゲージにより求めた振動波形の 1 例を以下に示す。

mode	計算値	実測値
$n = 2$	$f = 5.2$	$f = 11$
$n = 3$	$f = 8.3$	$f = 14$



ハ) 新改発電所

当発電所水圧鋼管の場合は、アスカニア型手持振動計により振動の程度と傾向を計測するにとどめた。

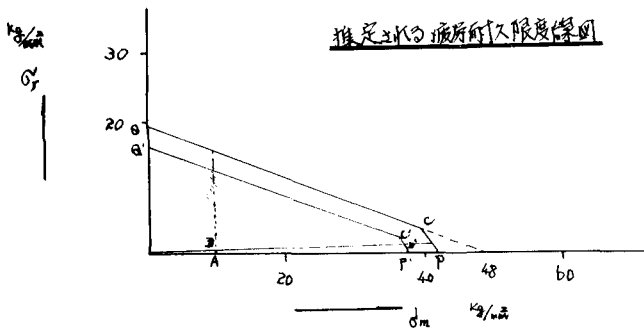
4) むすび

穴内川 3 発電所水圧鋼管の振動については、以上の振動測定の結果、かなり詳細なデータにより、発電所の諸種の運転状態に対する振動の程度、傾向、応力状況等の解析結果及鋼管の製

作、据付、検査等を照合し 振動疲労に対する安全性についてほぼ満足すべき測定結果をうることができた。

特に疲労安全率の面から新平山発電所の水圧鋼管につき検討した結果は以下のように要約された。

測定断面 P 2 1 管に最大振中 $\frac{45}{100} \text{ m/m}$ を生じた時の水圧変動値は 0 2 1 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ であったこの事から最大応力値は $\sigma_{\max} = 5.258 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ (H O O P T E N S I O N + 振動応力) であり 最小応力値は $\sigma_{\min} = 5.258 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ となる。したがってこれに対する平均応力は $\sigma_m = 5.363 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ 応力振中 $\sigma_T = 0.105 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ となる。以上の値より S M 4 1 材に対する疲労耐久限度線図は以下のように書くことができる。



$\sigma_P = \sigma_B =$
最低引張
強さ = 41
 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$

$\sigma_{P'} = \sigma_{T'} =$
最低真破
壊力 = 48
 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$

$\sigma_Q = \sigma_{W'} =$
引圧疲労限
= 18.5 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$

すなわち p, C Q は母材の耐久限度を示すこととなる。

また鋼管溶接部の疲労強度も最低の場合を
考えて母材に対して85%に低下した時の
疲労限度線図が $P' C' Q'$ である。この図より
B点 が $P 2 1$ 断面 4 番の応力状態を示すこ
とになり、これは $P, C, Q, P' C' Q'$ の範
囲内にあるので疲労に対して十分安全であ
ることが判る。

尚、疲労に対する安全率等これらの詳細
は講演時述べることにする。

理論上は振動によって生ずる応力 σ_{max} が
材料の疲労限度応力以下にあればよい訳で
あるが、実際の管壁には腐蝕による肉厚の
変化がありまた母材の信頼性、応力算出の
精度の問題、工作上生ずる誤差等に対して
不安があるため安全率をとる事になる。

穴内川3 $P S$ の振動に対する交番応力の
絶体値はいかなる場合に於ても0.1以下
であつたため上記に説明したとおりた
く問題にはならなかつた。

また定常応力そのものも降伏安全率2を
充足するものでは疲労破壊の問題は腐蝕摩
耗等の化学的变化を無視する限りに於て物
理的に問題にはならない。

腐蝕疲労或いは溶接部の影響を加味した
場合にも $J i S G 3 1 0 6 (S M 4 1)$ 、 $J i S G 3 1 0 1 (S S 4 1)$ 材の疲労限度
は $1,000 \frac{kg}{cm^2}$ 以下にはならない。

ただ以上の事は鋼材のみについての疲労
をのべたので構造物としての特性は無視し

た上の事であるので振動がない程よいのは
当然である。

以上