

姫川第二発電所水圧管改良工事について

福 島 広 一*
内 田 敏 久**

要 旨 最近各電力会社で取上げられる問題の一つに、既設発電所の水圧管対策がある。いうまでもなく水圧管事故の被害はきわめて大きく、この防止にはあらゆる方法を構じなければならない。最近実施した姫川第二発電所の水圧管改良工事の概略を記して、その調査方法、工事方法を説明する。

1. 発電所概要

姫川第二発電所は中部電力長野支店管内にある認可出力 13 280 kW の発電所であり、その地理的位置は大糸南線中上駅に近くほとんど長野県の北端である。竣工は昭和 10 年で約 20 年を経過して、年間平均 8 カ月程度は認可出力での発電が可能である。

水圧管は 図-1 に示したごとくであるが、まだ溶接技術の幼稚なころの全溶接管で、しかも建設時に分岐管破裂事故を起しており、かねてから不安に思われていたものである。

2. 調 査

(1) 第一調査

昭和 29 年 7 月出力増加の希望が出されたため、徹底

的調査を計画、次の項目にわたり調査検討を行った。

a) X 線検査：管厚 22,14,8 mm の 3 カ所について X 線による溶接部の撮影を行った。そのうち 2 枚を写真-1 に示した。

これらの写真によつても溶接線全線にわたつて溶け込み不足が見られ、スラグの巻き込み、ブローホール、アンダーカットも非常に多く今日の溶接基準では完全に不合格であり、接合効率は 70% 程度と考えられた。

b) 管厚測定：超音波肉厚測定器を用い 数カ所を選んで測定を行った結果、設計管厚より薄い鉄板を使用し

写真-1 X 線 写 真

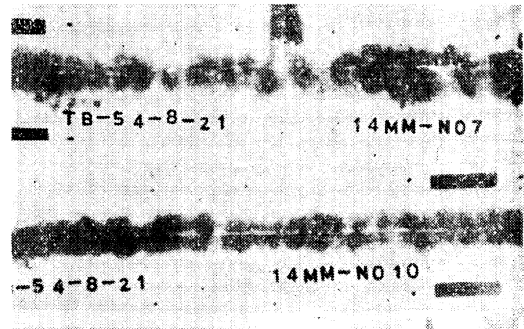
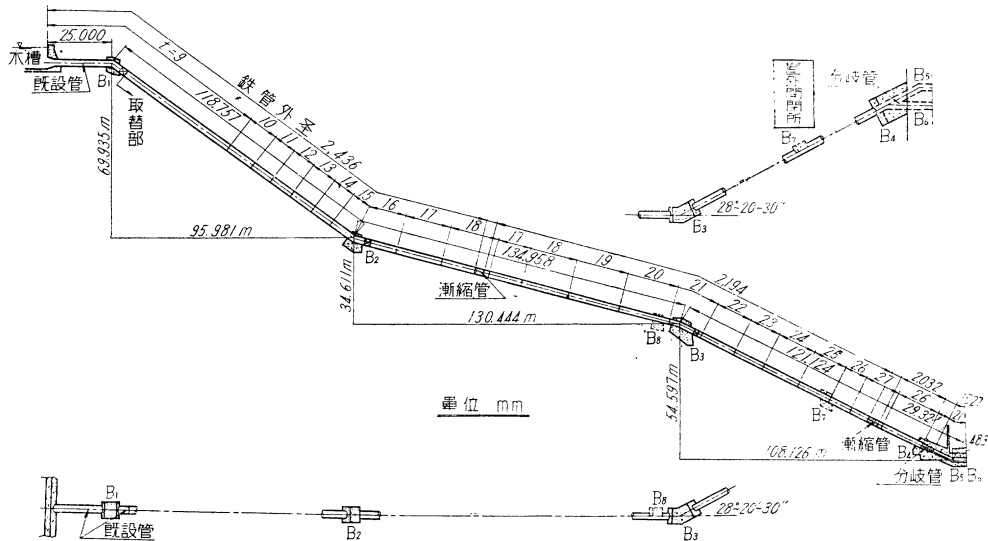


図-1 姫川第二発電所水圧管全体図



* 正員 中部電力KK工務部土木課長, ** 准員 同土木課員

た所があると思われ腐食はそれほどひどくなかった。

e) 材料試験：試験片が小さなものしか得られなかつたため、引張り、曲げ、衝撃試験は行えず、次の三試験を行つた。

硬度試験の結果ブリネル硬度は 116 および 122 で両者とも JIS 規格の範囲内にあつた。組織検査の結果一部の鉄板は熱処理が不完全であつたようである。

2 コの試験片の化学分析の結果を 表一 に示す。

表一 試料化学分析結果

	試料 A	試料 B	JIS 規格
C	0.26%	0.19%	0.15 ~ 0.25 %
Si	0.01	0.01	0.15 ~ 0.40
Mn	0.48	0.48	0.30 ~ 0.60
P	0.035	0.033	0.045% 以下
S	0.038	0.024	0.045% "

d 応力測定：応力は抵抗線型ヒズミ測定器を用いて測定したが、主眼を分岐管部に置いた。しかし分岐管は巨大なコンクリート ブロックに埋設されているため、内部にゲージをはり高水圧に耐えるように、また高水圧の下でリード線を管外に引き出す必要があつた。

測定点は 10 カ所 図一 2 に示した位置を選び、温度の影響を最小にするため夜間測定を行つた。

その測定応力値を 表一 2 に示す。

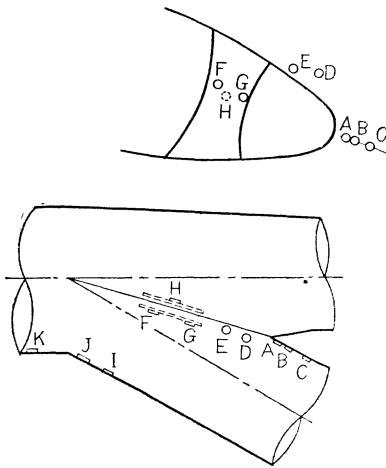
以上の結果はゲージの絶縁度不良その他の理由により測定不能のものがあつたため、空欄を生じたものである。管胴部分はほぼ計算値と一致し、緊板における測定値は計算によるものよりは、かなり小さ

かつた。A 点では相当大きな応力を生ずることが予期されたが、測定値が一成分のみであつたので断定はできないが、この応力は相当危険であると考えられた。

表二 応力測定値 (単位 kg/cm²)

測点	σ_y	σ_x	τ_{max}
A	(+1320)		+200
B	+630	+360	
C	+560	+400	
E	+180	-210	
F	+260		
G	+470		
H	+360		
I	+540		
J	+300	-70	
K		(-30)	

図一 2 分岐管応力測定位置図



e) 結論：溶接効率が 70% 程度と考えられたため直管にも相当大きな力が加わっているが、特に分岐管又部の補強が行われていないため非常に大きな力が働いている。従つてこの水圧管にはなんらかの対策を立てねばならない。

(2) 出力制限

第 1 回の測定応力最大値をもとにして、水圧上昇率が 12% 以下ならば、営業運転を行つても危険はないものと考え、ガバナーのクローリングタイムを発電機の回転上昇の許す限り長く、レギュレーターを鋭敏に調整を行つたが、出力 10 000 kW において 1 号管 14.3%, 2 号管 12.1% の水圧上昇率が認められたので 5 月 2 日関係者協議の結果 10 000 kW に出力制限を決定した。

(3) 第 1 回対策検討会

前記出力制限決定と同時に本水圧管の大規模な改修を計画したが、一方応急処置として最も危険と考えられる分岐管の補強を計画、この検討を中心に電研、中電土木関係者、それにメーカーをも加えて検討会を開いた。

討議内容はおよそ次のごときものであつた。

i) 現在まで約 20 年間事故を起さずにきたのであるから心配なしとする考えは肯定できない。

ii) 現在の分岐管構造ではコンクリートが分岐管の補強の役をはたしていると考えられ、分岐管補強の一方法としてさらに外部よりコンクリートを打設するのが最も簡単な方法と思われるが施工に難点があり、かつ計算に合わないものを永久構造物とするのは好ましくない。

iii) 分岐管を溶接によつて内部から補強することは、外部のコンクリートの存在のため、硬化現象を起し、初期応力が大きくなることが考えられて好ましくない。

iv) 分岐管取替が最も完全な方法であるが、そのためのコンクリート ブロックの破壊は大変難工事である。

また分岐部を取替えるとすればその期間に、全管に対しての改修工事が可能である。

v) 現在の試験結果はいずれも非破壊試験のものであり、また分岐部の応力は 1 カ所においてのみ非常に大きく測定されているため、その測定値を再確認する必要がある。そのため引張り試験を行う目的で鉄管の一部を切断して試料にすること、分岐管応力測定を前回に大きな値を示した付近に重点を置いていま一度実施すること、直管部に対しての対策をも合わせ立てるため全管にわたり肉厚測定を実施することが決定された。

(4) 第 2 回調査

総予算 1 030 000 円を投じて 6 月 17 日から 5 日間断水して、試験用矩管置換え、応力測定を実施し引続いて全管にわたり肉厚測定を行つた。

a) 材料試験：B₂B。ブロックの間のエキスパンション ジョイントから下流約 5 m の所で鉄管 1 200 mm を切断、同一径、厚さ 19 mm の新管 (L=1 210 mm)

を挿入した。

このようにして切断した矩管より JIS に規定された引張り試験片を 26 本採集した。その内訳は溶接線を含まないもの 6 本、軸方向継手の溶接線を含むもの 10 本、円周方向継手の溶接線を含むもの 10 本であった。さらにこの他に各数本の曲げ試験片を採集した。

母材の引張試験の結果はいずれも 36~38 kg/mm² の破壊応力を示し、伸びは 26~30% であり、また曲げ試験はいずれも良好であった。この結果から母材は SS 34 程度のものと推定された。

溶接線を含む試験片 16 本のうち 3 本が溶接カ所より破断し、そのうち破壊応力の最小値は 29.3 kg/cm² であった。この場合、安全率を 4 とすれば許容応力は 730 kg/cm² となるが、この値が少数の抽出試験の結果であることおよび衝撃、くり返し応力に対する欠点を考慮すれば許容応力は 600~650 kg/cm² である。

破断面は溶接がきわめて悪く完全に癒着している面積は母材断面の 1/2~1/3 程度であった。

表-3 分岐管応力測定値

測点	主応力 (kg/cm ²)	
1	測定不能	
2	+800	+420
3	+700	+340
4	+640	+180
5	+470	+190
6	+530	+80
7	+110	+50
8	+360	+110
9	+310	+10
10	+770	+290
11	+740	+300
s-1	+2490	
s-2	+500	
s-3	+330	
s-4	+54	
s-5	+1760	
s-6	+130	
s-7	測定不能	
s-8	+200	

b) 応力測定：前回と同様 6 月 20 日の夜、図-3、4.5 のごとく分岐部、直管、アンカー ブロック内の鉄筋について測定を行い、その応力値を表-3, 4 に示した。

表-4 鉄筋応力値

測点	応力 (kg/cm ²)
t-1	+59
t-2	+55
t-3	+46
t-4	+198
t-5	+181
t-6	+53

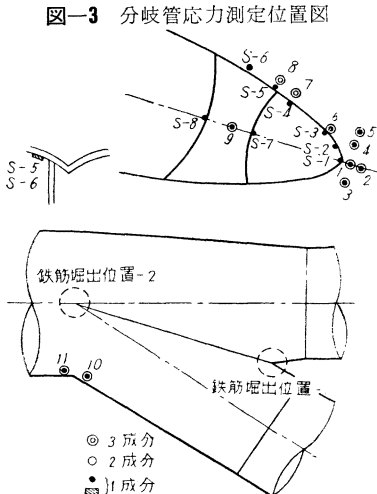
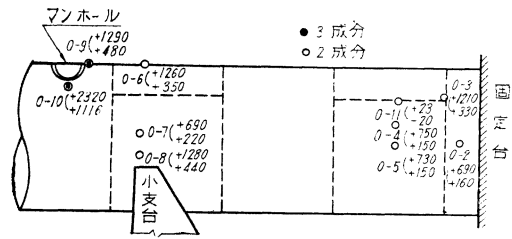


図-4 直管応力測定図



上記測定値のうち特に注意すべき値を検討した。

測定点 s-1 ($\sigma = +2490 \text{ kg/cm}^2$) は第 1 回調査において 1320

kg/cm² を示した位置および今回の測点 2 ($\sigma = +800 \text{ kg/cm}^2$) より考慮すれば信頼すべき値と考えられる。

この値はほとんど鉄鋼の降伏点近くでありきわめて危険である。

また s-5 ($\sigma = 1760 \text{ kg/cm}^2$) の値はタイプレート の接合部でのものであり、これはこの構造が無理な形であることを示している。

応力測定の結果は分岐管の一部に降伏点前後の応力が働いていることが確認され、かつ直管についても 1000 kg/cm² を超える応力が測定されたが、この値が全管についてそうであるとはいえないが、他にもこの程度の応力を生じている場所があると予想された。鉄筋については 1 本のみがかなりの応力を示したが、他のそれはきわめて小さく概して有効ではないと考えられた。

c) 肉厚測定：前回の抜取検査的な測定方法でなく、測定器 2 台を用いて各リングにつき 4 点の厚さを測定した。その結果前回の測定された不均等な設計厚と実際厚との差は認められず、概して設計厚より 1~2 mm 程度薄くなっている。

この測定値をもとにして前項の許容応力を用いて、抵抗水頭図を作り図-6 に示した。これにより直管部の補強策をも早急に立てなければならぬことがわかった。

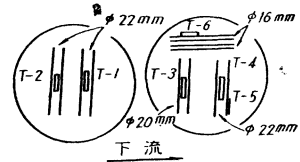
(5) 改良方法の検討

第 2 回調査の結果分岐管、直管ともに改修を必要とするに至ったが、その具体案を工事費、停止電力料、工事の難易を考慮して検討した。

a) 分岐管：分岐管の改修方法として内部よりの補強ができず、またコンクリートによる補強もできないため、分岐管を取替えるか、あるいはコンクリート ブロックを破壊して外部から補強する方法が考えられるが外部からガーダーを溶接して補強する方法は現場においてほとんど不可能であるため、取替を実施せざるを得ない。

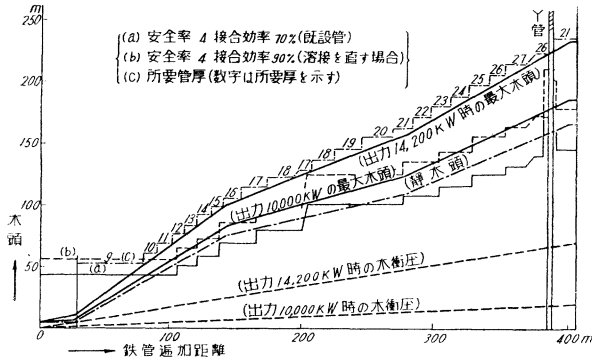
b) 直管：この場合特に考慮すべきは工期である。直

図-5 鉄筋応力測定位置図



管の補強対策として考えられるものを列挙すれば次のとおりである。

図-6 抵抗水頭図



1 全管取替

- a) 水圧管路は現在のままで行う。
- b) 上部水圧管路を別に建設して新管を布設する。

2 全管修理

- c) 溶接を新しくやり直す。
- d) バンド(またはスティフナー)をとりつける。
- e) 両者を併用する。

3 一部取替, 一部移設

- f) 現在のまま下流部の水圧管を上流に移設し残りは新管を布設する。
- g) 現在の管を補強して上流に移設し残りは新管を布設する。

4 一部取替, 一部修理

- h) 溶接を新しくやり直し, なお強度の不足する部分を取替える。
- i) バンド(またはスティフナー)で補強し, 強度の不足する部分を取替える。

上記9案のうち c), h) 案を検討するために, 溶接を直して効率を 90% に上げた場合の抵抗水頭を図-6 に記したが, この方法によつては危険性を除くことはできない。またこの方法は工事期間が a) 案に比して3ヶ月程度長くなり停止電力料を考慮すれば割高になるため e) 案も最良の方法とはいえない。次に d), i) 案は施工上きわめて困難をとまなうと同時に管胴と補強材とが一体に働くよう施工することもむづかしい。

次に f) 案については上流に移設する旧管の抵抗水頭が小さいため, 所要新管が多くなりかつ管径が細くなるため水頭損失が大きくなり得策ではない。

また b) 案は水槽から B. ブロックまでの間に鉄管路を新設してこれに新管を布設して, 取替に要する停電期間を短縮できる方法であるが多量の土工を必要とするため工事期間が12月以降にわたらざるを得ない。また g)

案は旧管をはずしてこれを補強して上部に移設するため a) 案に比して工事費は安くなるが停電期間が長くなる。従つて直管補強策としては a) 案が最良の方法と考えられる。

なお a) 案の施工には 図-6 に示したごとき管厚が要求され所要鋼材は約 420 t である。ただし上部水平部は現在のままで十分安全である。なお撤去鉄管はただちに流用する所がないためスクラップにすることとした。

以上の結果を電研の関係者をまじえた第2回検討会で確認した。

3. 工事概要

水圧鉄管改良工事費として総額 82 000 000 円の決裁を受けただちに工事に着手した。

(1) 本工事の特色

- i) 12月以降は寒気, 降雪により工事が不可能であるため工事期間が9月1日から11月末日までの3ヶ月間に限定された。
- ii) 既設アンカーブロックがきわめて大きなものでこの破壊には当初より相当の困難が予想された。
- iii) 屋外開閉所送電線および鉄塔, さらに鉄道, 県道等の工事遂行上の障害物が多数存在した。特に屋外開閉所および送電線は当発電所の下流の姫川第三発電所から松本方面への送電していたため 70 kV の電圧がかかっておりきわめて危険で, アンカーブロックの破壊に全面的にダイナマイトを使用できなかった。従つてダイナマイト使用が不可能なブロックの破壊には, ブロックジャッキを使用した。
- iv) 新設分岐管の応力を測定するため外側にストレインゲージをはりつけてコンクリートを打設し, 満水時における応力分布を測定した。

(2) 設計概要

i) 設計要項

(1) 最大静水頭	164.000 m
(2) 最大水衝圧	69.500
(3) 最大設計水頭	233.500
(4) 腐食代	2 mm
(5) 溶接継手効率	工場溶接 90% 現場溶接 80%
(6) 許容応力	管 胴 引張及圧縮 1 025 kg/cm ² せん断 800 "
	補剛材 引張 1 300 "
	圧縮 1 200 "
	せん断 950 "

ただし最大水衝圧 69.5 m という値は, 当発電所の出力を 14 200 kW に増加した場合の使用水量を用いて計算したものであり, 他の条件が許せば出力増加を行う含みをもたせたものである。

ii) 直管の設計：水衝圧水頭は管路の延長に比例し直線変化するものとし、各板厚のフープテンションに対する許容水頭を求め図-6により所要板厚を定めた。また小支台によって生ずる管壁の曲げモーメントおよび充水時の応力を検討して板厚 17 mm 以下のリングにはスティフナーを取付けた。

iii) 分岐管の設計：分岐管の構造上従来の分岐角 $32^{\circ}41'35''$ を大きくして 40° にした。分岐管の補強は図-10に示すごとく1本のアーチバリと3本のリングバリによつた。

アーチバリは2ヒンヂアーチとし、3本のリングバリとの接合部に不静定力が働く、三次不静定構造と考えた。

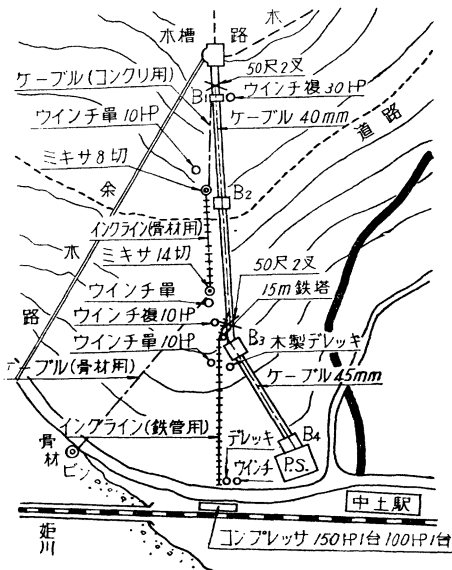
(3) 仮設備工概要

仮設備の配置は図-7に示したごとくである。

B₂, B₄ ブロックの破壊にダイナマイトを使用したか、この防護工としてブロックの周囲に丸太で小屋組みして金網、むしろを張りさらにソダをめぐらせた。この防護工はきわめて有効であつた。

またさらに屋外開閉所、工用変圧器の周囲に第二次の防護工を施した。

図-7 仮設備位置図



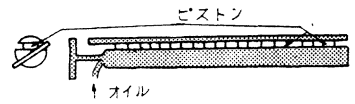
(4) 本工事概要

土木工事関係の仮設備は8月中に完了し、9月1日の断水と同時に B₂, B₃, B₄ ブロックの破壊にとりかかった。B₃, B₇, B₈ はロックジャッキを用いて大割りし、コンクリートブレーカーで細かくした。

ロックジャッキは3'径の十字型ビットを用いて深さ約60cmの孔を穿ちこの穴に図-8のごときピストン10コを有する円筒を挿入し、これにポンプから油を送

つてコンクリートを破壊するものである。実際の使用効果は試験時に予

図-8 ロックジャッキ

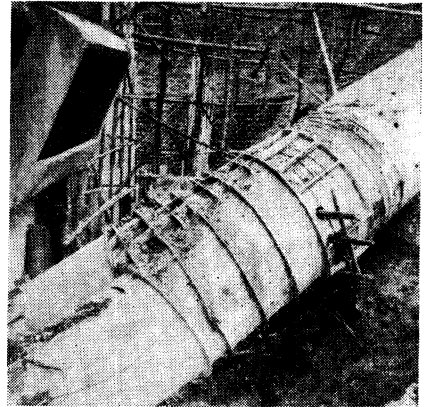


想されたよりは

いくぶん落ちたが、その原因はジャックハンマーによる穿孔のうち約3割がコンクリートブロック内にある玉石のため真直ぐにできず、従つて円筒が挿入できなかったためである。玉石が入っていないコンクリートにはいちじるしく有効であると考えられる。

旧分岐管部の発掘された姿を写真-2に示したが、きわめて簡単な構造であつた。なお新分岐管を写真-3に示す。

写真-2 旧分岐管



発電所

内の水圧

管はスイ

ッチ室の

下を通つ

ているた

め、開削

するのが

困難であ

つたので

内部から

水圧管を

ガス切断

して取外し

、コンクリ

ートを掘削

した。その

円周方向

継手は外側

からの溶接

が不能のため

バックギ

ングプレ

ートをあて

て内側から

溶接した。その

方法は図-9

のごとき

ボルトを締

付け肌付き

を完全に

してから溶

接を行い

その後ボ

ルトを切り

取り、溶

接で孔埋

めを行つた。

この溶接

検査には

コバルト

を用いて

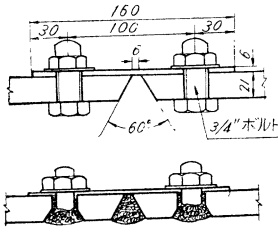
写真を撮

ると同時

写真-3 新設分岐管



図-9 バッキングプレート溶接



アーチバリが大断面を要するため 80 mm 程度の鋼板の使用を余儀なくされる。従つてこの溶接がきわめて困難であるため 3 コにしたものである。

直管の据付は B₁~B₂ 間、B₂~B₄ 間は写真-4 に示したごとく下部から行つたが、B₂~B₃ 間は仮設備の関係で逆に上から下へ据付けた。

小支台の二次コンクリートは水圧管を下部 120° で支持し、鉄管との間にサドルプレートを人れた。

塗装は内部 2 回塗 (水中デラスト)、外部 3 回塗 (デラスト 1 回、アルミン 2 回) を行つた。

(5) 分岐管応力測定

新設分岐管について静水頭における応力分布、および水圧上昇による応力の変化を測定した。ゲージは外側に約 300 点を選びアマライトではり、ワックスでコーテ

は銀による工期より長くなることが予想されたからである。

分岐管はアーチバリを取付け、この変位を押えるために 3 コのリングバリを用いたが、それはリングバ리를 2 コにした場合アー

チングした後ゴムキャップで保護した。なおリード線の引出口はアラルタイトで固めた。以上の作業は分岐管組立と併行して行つたため困難

をきわめた。はり付け作業終了後コンクリートを打設した。静水頭における測定は工事終了後通水試験時に行つたがスイッチボックス 14 台、インジケーター 7 台を用いた。この場合絶縁抵抗が落ちたものが約半数程度あつたがその原因はビニールコードの破損、ゴムキャップ内への侵水が考えられた。測定応力値および計算応力を図-10 に示した。計算応力は静水頭 158 m のものであるが測定値はその 2 割程度でかつ分布状況も相当異つており、管胴部の応力は二次応力の生じない場所では 400~500 kg/cm² 程度で大体計算値と一致した値を示し

写真-4 新管据付状況

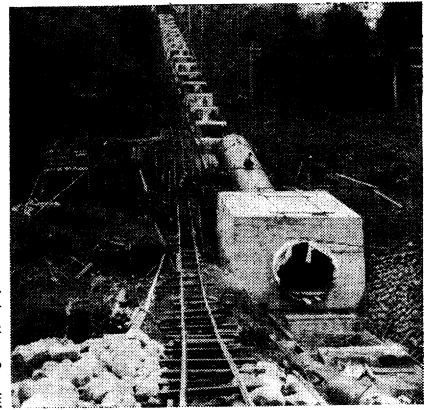
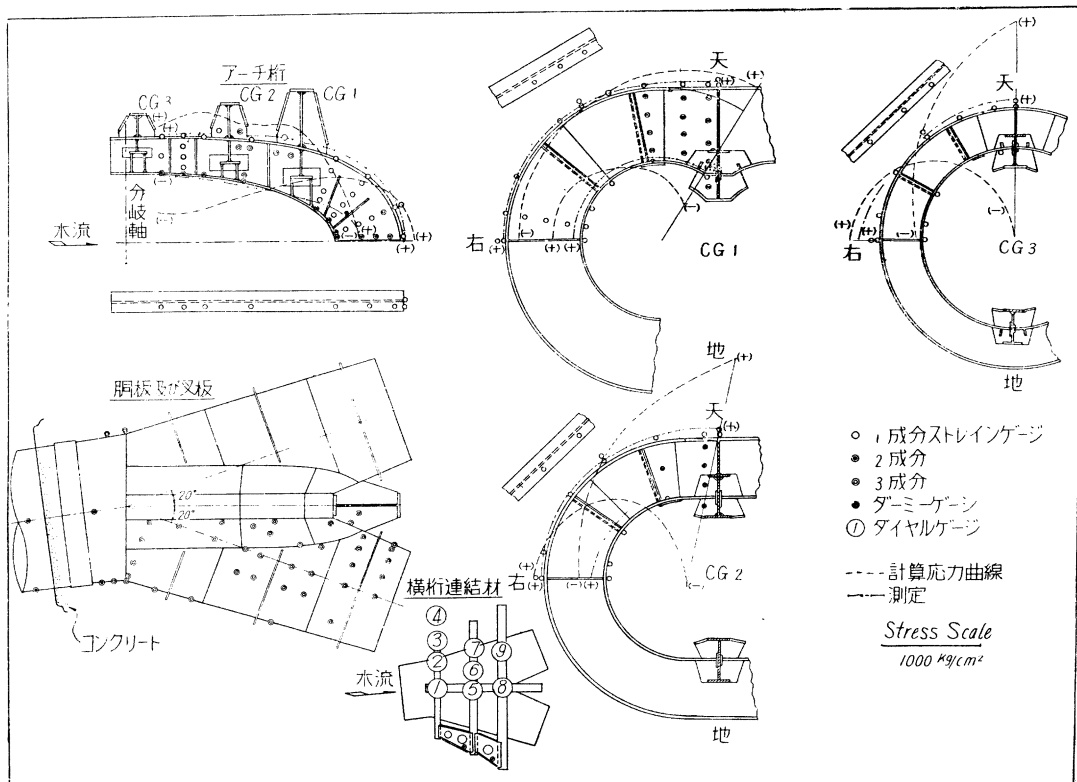


図-10 分岐管応力測定図



たが、この解析は現在ただちにはできず、さらに実験を行って検討しなければならない。

静的ヒズミの測定時にコンクリートブロック表面の変位を測定したが有効なものを得られなかつた。その原因はコンクリートによる吸収と、前記の測定応力の小さいためと思われた。

次に動的ヒズミの測定結果を表一5に示した。

水圧上昇率はバターフライバルブの近くよりも分

表一5 動的ヒズミ測定値

発電所記録			オッシロ記録				
出力	クロージ ング タイム	バルブ 水圧 上昇 率	分岐部 水 圧 上昇 率	ヒズミ 上昇 率①	〃②	〃③	クロー ジ ン グ タ イ ム
#1 kW	sec	%	%	%	%	%	sec
7200	2.6	8.3	13.9	4.6	—	—	—
#2 7200	8.3	13.6	20.2	5.7	8.2	—	2.07
#1 9960	2.15	14.9	—	3.3	—	5.3	1.5
#2 9960	2.1	13.3	—	—	—	—	1.26
#1 14200	2.65	12.7	22.6	—	—	8.5	1.98
#2 14200	2.1	13.3	—	—	—	—	—
#1 14200	2.7	14.6	23.9	—	—	8.5	2.04
#2 14200	2.5	15.2	—	—	—	—	—

ただし ①; 管胴部, ②; アーチバリ, ③; 管胴部

岐部の値が大きくなっており、分岐部の水圧上昇に対して管胴のヒズミ上昇率は3~4割であつたが、この原因はコンクリートブロックによつて衝撃的な水圧上昇が吸収されるように考えられる。

5. 結 言

以上姫川第二発電所水圧管改良工事の概要を記したのであるが、これが今後この種の工事の一つの目安ともなれば幸いである。

なお新設管について行つた応力測定によつて提起された次の二つの問題については水圧鉄管の設計に大きく影響するものであるから、今後さらに電研と協力して実験を行い結論を出したいと思う。

i) 分岐管のアーチバリ、リングバリの応力が計算値より相当小さい。

ii) 水圧上昇によるヒズミの上昇率が小さい。

最後に本工事について終止御協力を得た電力技術研究所 神谷土木部長、本間材料係長、仲町 容氏、松尾 滋氏はじめ材料系の諸氏に謝意を表するとともに、短期間に本工事を完了された新三菱重工、飛鳥土木の関係者各位に感謝する次第である。



採石 採炭の能率化に 世界的水準を行く!

#ゲタロイビット




オーガービット

ロックビット

コールカッタービット

住友電気工業株式会社

東京支店 港区芝罘平町一番地