

## (9) 水圧鉄管の分岐構造に関する一形式 — 隔壁分岐について

川崎重工業(株) 鉄構事業部 設計室

森 翠 。 伊豆原 克己

### 第1章 分岐一般について

#### 1. まえがき

図-1は、関西電力(株)奥吉野発電所の立体図を示す。上池の貯水は、2条の導水路から2条の水圧鉄管を経、球分岐に於て各々3条に分岐され、6基の水車タービンを廻して、6本の放水路を経て下池に放流される。揚水の場合は、この逆である。

現在、盛んに計画され、建設されている大容量揚水式発電所の水圧鉄管は、埋設管形式が多く、かつ鉄管の途中から2又、または3又に分岐される形式がとられている。

水圧鉄管の規模表示の一つとして、昭和49年より水門鉄管協会に於てはHD数を使用している。これは、相対応する最大設計水頭×鉄管内径( $H \times D$  [ $M^2$ ])が、一つの水圧鉄管に於て最大となる数をもっ

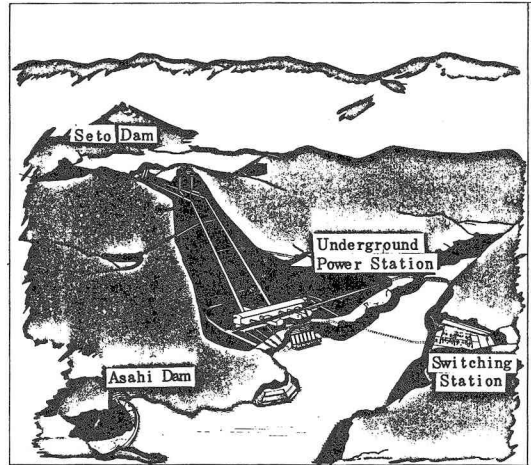


Fig. 1 KANSAI ELECTRIC POWER CO., INC.  
OKUYOSHINO POWER STATION

てHD数とするものである。参考までに最近20年間に建設された発電所の水圧鉄管の中で主なもののHD数を挙げると、佐久間667 (1956)、黒部第四2,261 (1960)、沼原1,788 (1972)、奥清津2,620 (1977)、奥吉野3,582 (1978)となっており、世界的に見ても最大級の規模となっている。これは、土木技術の進歩、HT80クラス高張力鋼材およびその接合技術の開発によるものである。ところで、水圧鉄管の分岐の形式は1本の鉄管を2又または3又に分岐させ、それを更に分岐させたり、1本の主管から順次枝管を分岐する多岐管形式のものなどがある。水圧鉄管の分岐に要求される機能条件は

- (1) 水理的に損失水頭が小さく、不要、過大な渦流がなく、かつキャピテーションが発生するような形状でないこと。
- (2) 構造がシンプルで、解析が容易であること。
- (3) 溶接施工が容易で、かつ品質管理がし易いこと。
- (4) 溶接構造物として拘束力などの少ないシンプルなものであること。
- (5) 土木工事費と分岐コストとの和が経済的であること。

等々である。

分岐は、発電ロス、工事費、施工技術等の条件でその位置が決定される。分岐にかかる外力は、内圧と鉄管が埋設される場合は外圧として地下水圧がある。埋設管に於ては管内空虚時に

相当の外圧が作用する例もある。

一般に、分岐の構造解析は、安全サイドの仮定、即ち、分岐は空間に独立している構造物で周囲の巻立てコンクリートや岩盤が内圧の一部を負担する構造であっても、それらを期待しない考え方をしている。球分岐のように解析通念がシンプルなものでは、周囲の岩盤の影響を考えた設計をしているような場合もあるようである。周囲の岩盤の影響を考慮して、分岐の重量軽減を行なえばよいのだが、岩盤性状の不確実さによる信頼性のとぼしさ、不安さのために、分岐が周囲の巻立コンクリート及び岩盤と一体となって内圧を負担すると言う考え方を採用するまでには至っていない。

分岐形式について、現在種々のものが研究開発されているが、基本的にはY分岐と球分岐に大別される。いずれにしても鋼板を加工したシェル構造物であるから、円管、円錐、球などの組み合わせで分岐を作り、構造的にシンプルにし、水理的にはスマートにさせようとしている。

当社で開発した隔壁分岐について触れる前に、Y分岐、球分岐の構造的、水理的特性を概説し、隔壁分岐の紹介に至るものとする。

## 2. Y分岐

Y分岐は、写真－1および図－2に示すような形状をしており、主管、円錐管、枝管、 $\square$ けた、および円環けたから成り立っている。

2個の円錐管の交載線は楕円をなし、そこには、図－2(d)および(e)に示すTなる不均均力が発生している。このTを $T_x$ 、 $T_z$ に分解すると、 $T_z$ は対称性よりキャンセルするが、 $T_x$ は $\square$ けたに作用する。

$\square$ けたは、円環けたとピン結合しているとの仮定での構造物である。枝管径が異なるとか、分岐角が非対称の場合は、 $T_z$ がキャンセルしないので解析は複雑になる場合がある。水理的には、図－2から判るように、発電時（分流）は主管軸に平行な流れが2分され、円錐管で漸縮されて枝管に至る流れであるから対称分岐の場合、損失水頭は余り大きくないが、揚水時（合流）は枝管方向からの流れが衝突して主管軸方向に至るのであるから損失水頭も発電時に比して大きい。特に非対称分岐、非対称流れの場合は、損失水頭が大きい。

図－2に示すような構造の分岐に至るま

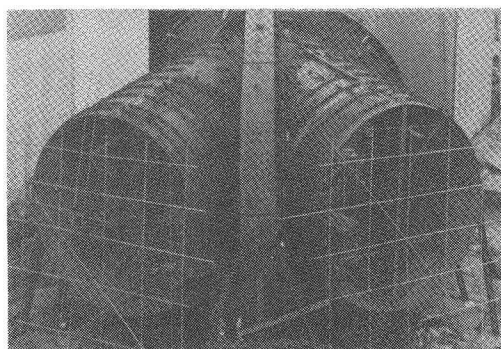


Photo. 1 ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD.  
SHINTOYONE POWER STATION  
TAIL RACE Y-BRANCH  
D: 7.6m  $D_1, D_2$ : 5.4m

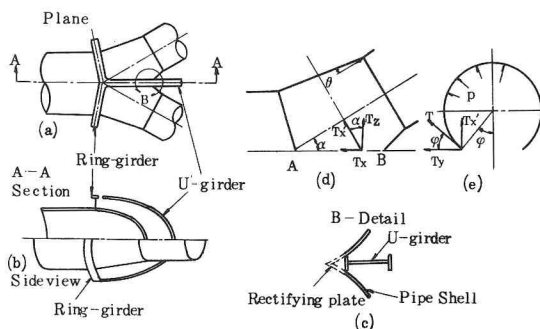


Fig. 2 Y-BRANCH

でに先達の長年にわたる努力があるが、主管径が大きいとか、水圧が高い場合は板厚が厚くなり、補強桁の桁高も高くなるし、また埋設管の場合は堀削断面が大きくなる等で、前述のHDで云えば、HDが大きい場合、Y分岐は余り用いられない。最近の当社の施工例から分岐部のHDを例挙すると表-1のようになる。

この表と筆者の経験から云うとY分岐の経済的限界は、主管径D=4.3m以下に於ては、HD=1200位と考えている。現在建設中である東北電力櫛、第二沼沢発電所のY分岐は、HD=2000となつてゐるが、これは主管径D=6.0mで、後述する球分岐補強環の現地溶接等を考慮するとHD=2000でもY分岐の方が経済性があることを示している。

最近(1970年以降)の当社施工大口径分岐管一覧

| 発電所名称        | 分岐型式 | 設計水頭<br>m | 管 径<br>mm |              | H×D<br>mm | 材 質              |
|--------------|------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------------|
|              |      |           | 主 管       | 枝 管          |           |                  |
| 中電電力 矢作第1    | Y分岐  | 118.737   | 5100      | 2150<br>4650 | 606       | SM58Q            |
|              |      | 42.250    | 7600      | 5400         | 321       | River Ace<br>60H |
| 電源開発 新巻橋     | "    | 7500      | 5400      | 518          |           |                  |
|              |      | 42.410    | 8300      | 7500         | 594       |                  |
| 電源開発 奥津津     | 球分岐  | 65.4932   | 4000      | 3100         | 2620      | HT80             |
| 関西電力 奥吉野     | "    | 83.3000   | 4500      | 2700         | 3582      | "                |
|              |      |           |           |              |           |                  |
| 台電電力 連見ダム    | Y分岐  | 20.7500   | 6000      | 4900         | 1245      | River Ace<br>60H |
|              |      | 21.0900   | 4900      | 3460         | 1033      |                  |
| コスモリカ<br>ICE | 2又分岐 | 28.7130   | 4000      | 2500         | 1149      | SM58<br>Modified |
|              | 3又"  | 29.5540   | 4000      | 2900         | 1182      |                  |
| 東北電力 第二沼沢    | Y分岐  | 35.4792   | 6000      | 4200         | 2009      | SM58Q            |

Table 1 HD AT BRANCH POINT

3. 球分岐

球分岐は、図-3および写真-2に示すような形状をしており、主管、補強環、球殻、枝管および整流板より成り立っている。  
Y分岐のように円錐と円錐を結びつけてクローズドシェルを作るのではなく、円管と球殻との組み合わせでシェル構造を作るもので、その交線は円であり、そこに球殻としての不平均力が発生する。力学的には、円管と球殻の間に補強環を入れて、両者を結合させる問題に帰結するので、Y分岐に比して挙動がシンプルであると云える。

球に穴を明けるわけであるから、Y分岐に比して分岐数、方向等については自由度が高い。分岐数については、大体3又分岐までが経済的な限度である。また分岐方向については、水理的条件をよく検討して決定する必要がある。水理的には、図-3のような整流板(管)を入れればY分岐と同様になるが漸縮角が大きい。しかし、この様な簡単なY分岐形式の整流管も不経済であるとして、上下に整流板を取り付けたような形式では、球分岐特有の損失水頭が発生する。一般に損失水頭は、Y分岐よりかなり大きくなるよ

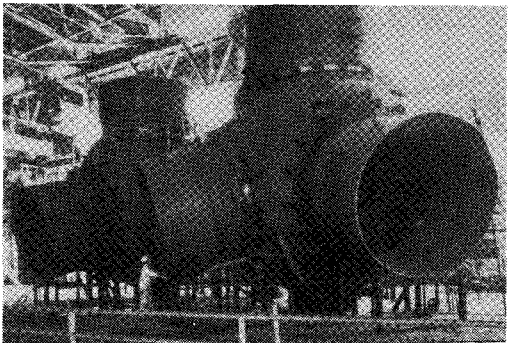


Photo. 2 ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD.  
OKUKIYOTSU POWER STATION  
SPHERICAL BRANCH  
D: 4.0m D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>: 3.1m SPHERE: 6.2m

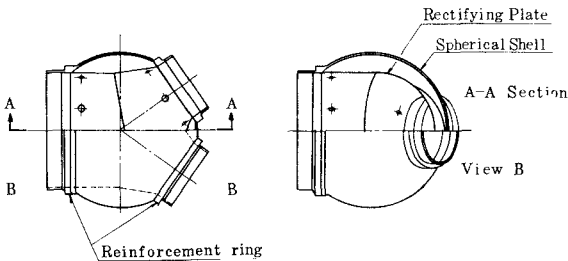


Fig. 3 SPHERICAL BRANCH

うである。発電時（分流）には主管から急拡・急縮して分流され、揚水時（合流）には枝管から急拡され、方向を変えさせられては、当然損失水頭も大きくなるであろう。同一設計水頭に対しては、管より球の方が鋼材重量は軽くなるから、球分岐は、一般に高設計水頭に向いているようである。最近では、H.T 70，H.T 80の鋼材、補強環用のH.T 80鍛鋼、およびそれらの鋼材の溶接技術、品質管理技術が開発されたので、関西電力㈱、奥吉野発電所の球分岐では H.D = 3580 にも達している。

#### 4. その他の形式

Y分岐、球分岐の概説からも判るように、分岐は、円管、球殻、円錐等を組み合わせて、構造的、水理的にスマートな構造および形状をもったものにすればよいわけである。構造面からみた分岐の種類もかなりの数になるが、それらをここで説明するのが本レポートの主旨ではないので、主なもの名称と発表文献名の紹介にとどめておくこととする。

- (1) K r u p p 形分岐： 水門鉄管技術基準－水圧鉄管解説追補－分岐管
- (2) シェル分岐： 三菱重工技報 V o 1 . 1 1 N o 3 今政惇郎他3名 “水圧鉄管の殻構造形球分岐部の強度研究”
- (3) E s c h e r W y s s 形分岐 N o . 1 5 1 電力土木 5 2 . 1 1 内田敏久・岡本忠 “奥矢作第一発電所水圧鉄管に関する技術検討（その1）”

## 第2章 隔壁分岐

### 1. 構造

隔壁分岐は、前章2，3および4で述べた各種の分岐と同様、円管と円以外の扇形変形管とから成り立っているが、切欠がない構造であり、切欠のために生ずる不平均力を処置する特別の要素がないことが異なっている。図－4にその概略図を示す。主管、拡大管、分岐主管および枝管（変形管）より成り立っている本分岐の特徴は、次の様である。

- (1) Y，球分岐とも分岐数が3又までが限度であるのに対し、本分岐は、4又，5又・・・と数多くの分岐にすることができ、かつ構造もシンプルである。
- (2) 損失水頭係数は、発電時（分流）の場合、Y分岐とあまり変らないが、揚水時（合流）の場合はY分岐に比し小さい。
- (3) 構造は、円管と扇形の変形管の組み合わせであるから解析は簡便である。

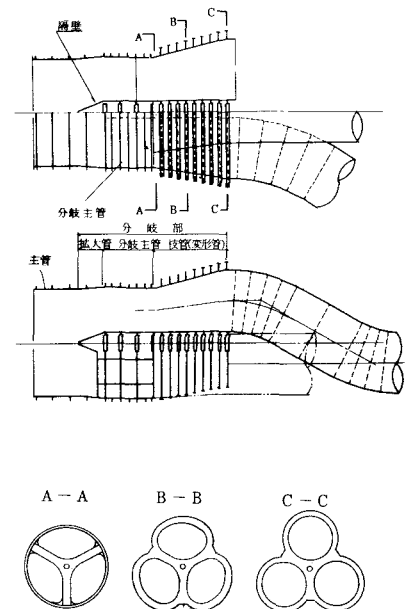


Fig. 4 BULKHEAD TYPE BRANCH

- (4) 全ての構成要素は、閉断面であるので不平均力が発生しない。それ故、不平均力のための補強は必要としない。また埋設されている場合は内圧を周囲の巻立コンクリートや岩盤に分担させる場合の解析も他形式より容易である。また、それは重量軽減に結びつく。
- (5) Y分岐のような大きな堀削断面を要しない。
- (6) 球分岐のような高価な鍛鋼補強環を要しない。鍛鋼補強環は、一体ものとして現地へ搬入する必要があることから、輸送条件により鉄管径が限定されるが、本分岐の場合、これに左右されない。
- (7) 非対称分岐がいたって簡便につくれる。(分岐主管の隔壁室断面積を変えるだけで済む)
- また、各構成要素の機能分担は、以下の如くである。

- (1) 拡大管： 分岐主管は、隔壁のために主管より径を大きくする必要がある。主管と分岐主管の間にある漸拡大管で、流水の円滑化を計るものである。
- (2) 分岐主管： この中に必要分岐数に応じた隔壁を収納し、ここで流水は分合流する。非対称流量の分合流時には、隔壁に圧力差が生ずるが、隔壁に圧力バランス孔を容易に設けることができるので、振動問題は解決し得る。また隔壁にはコンクリートを充填して、十分剛なものとすることができる。
- (3) 枝管(変形管)： 枝管の断面は、始点で図-4のA-A断面、終点はC-C断面のようになっている変形管で、枝管(変形管)は分岐主管の中に挿入され固定される。

## 2. 構造解析手法

### 1) 解析の考え方

隔壁分岐の構造は、前にも述べたように主管、拡大管、分岐主管および枝管(変形管)より構成されており、その内、主管は円筒であることから、従来行なわれている円筒シェルとして解析している。拡大管、分岐主管および枝管(変形管)については、平面弾性解析を行っており、ここではこれらについて簡単に紹介する。

#### (1) 拡大管及び分岐主管

図-5に示す如く、管胴と隔壁の取合点は、ピン結合とし、管胴の半径方向の変位が拘束されていると仮定する。これを解析するには図-5(b)、(c)の如く分解して考えれば、応力解析は容易に行なえる。即ち、図-5(b)は、

内圧 $P$ の他、不静定力 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ が作用した円筒の梁と考えることができ、不静定力の作用点での管胴の変位は求まる。また、図-5(c)は、隔壁を示すが、これは図から明らかな様に内圧 $P$ の方向は相反しており、不静定力 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ が軸力としてのみ作用する梁と考えることができ、この不静定力による隔壁の変位も求まる。こうして求めた管胴の変位と隔壁の変位を等しいと置けば、不静定力は求められる。均等3又とすれば、不静定力は $X_1 = X_2 = X_3$ となり、解析は容易となる。

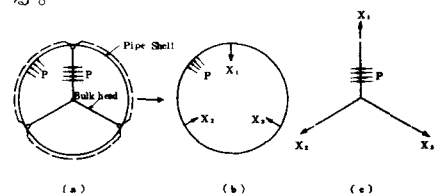


Fig. 5 SECTION OF ENLARGEMENT PIPE  
AND MAIN PIPE OF BRANCH

(2) 枝管（変形管）

枝管（変形管）は、半径の異なった円弧と直線とから構成されており、基本寸法として

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 分岐主管内半径                 | $R_o$  |
| 枝管（変形管）の終点の半径           | $r$    |
| 枝管（変形管）の分岐主管取合部に於ける曲率半径 | $r_o$  |
| 隔壁の幅                    | $2b$   |
| 枝管（変形管）の長さ              | $\ell$ |

を与えれば、枝管（変形管）の任意点  $Z_i$  に於ける曲率半径  $R_i$  ,  $r_i$  , 直線部  $a_i$  , 各円弧の中心距離  $O_1O_2$  ,  $O_2O_3$  , 角度  $\theta_i$  等は、幾何学的に求められる。（図-6 参照）

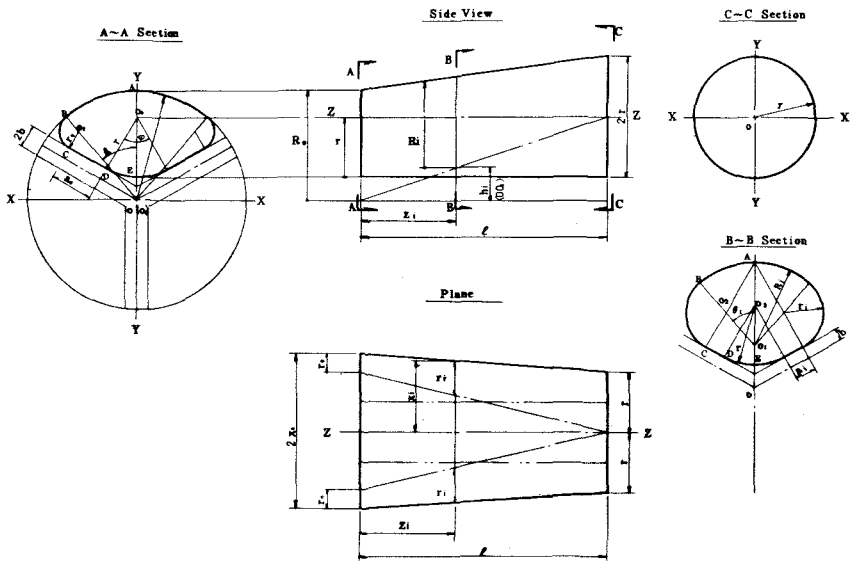


Fig. 6 GEOMETRICAL DIAGRAM OF BRANCH PIPE (TRANSITION PIPE)

今、任意点での断面を示せば、図-7の如くなる。この解析は、 $C_1B_1A_1B_1C_1$ の区間と  $C_1D_1E_1D_1C_1$ の区間の二つに分けて行なう。

即ち、弧  $C_1B_1A_1B_1C_1$  は、図-8に示す如く  $C_1$  ,  $C_1$  に於て固定された曲り梁と考え断面力を求める。また、 $C_1D_1E_1D_1C_1$ の区間については、図-9に示す如く、 $C_1D_1E_1$ の区間は  $E_1E_2$  ,  $C_1D_1E_1$ の区間は  $E_1E_3$  で固定された梁と考え断面力を求める。こうして解析したものを組み合わせれば、全体の解析がなされたことになる。

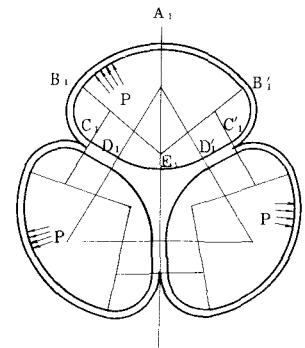


Fig. 7 SECTION OF BRANCH PIPE (TRANSITION PIPE)

均等3又とすれば、 $N_1 = N_2 = N_3$  ,  $M_1 = M_2 = M_3$  ,  $S_1 = S_2 = S_3$  となり、

解析はより容易となる。

こうした解析手法の妥当性をチェックするため模型分岐を製作し、応力測定を実施した。

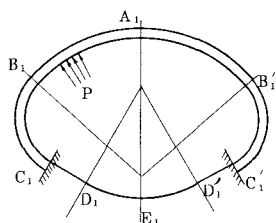


Fig. 8 CURVED BEAM PART

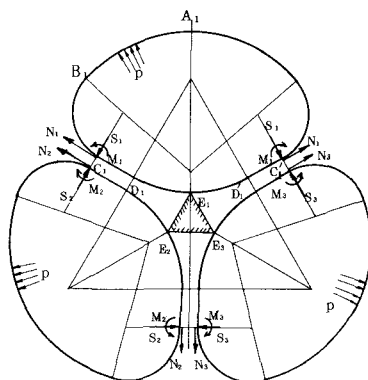


Fig. 9 BULKHEAD PART

## 2) 応力測定結果との対比検討

主管径  $223.8\phi$ 、枝管径  $100.0\phi$  の均等3又分岐として、図-10に示す様な模型隔壁分岐管を製作し応力測定を実施した。

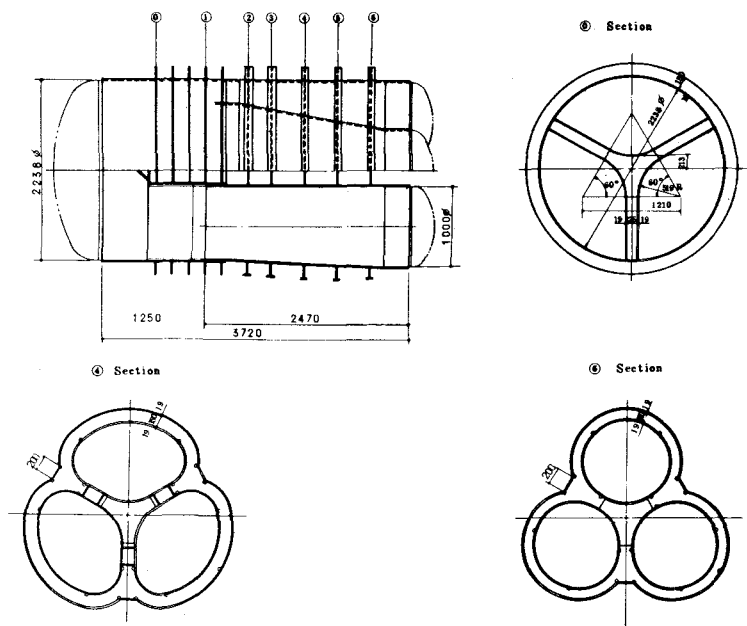


Fig. 10 MODEL OF BULKHEAD TYPE BRANCH

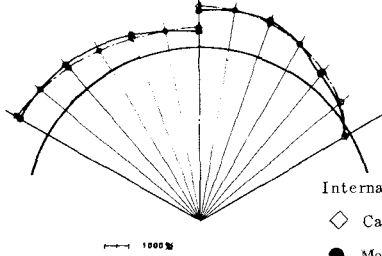
代表的な断面について、計算値と測定値を対比したものを示せば、図-11, 12および13の如くなる。

これらの図から判る様に、計算値と測定値はほぼ一致しており、前述の解析手法にて十分安全なる分岐が提供できることを確認した。尚、図-12に示す曲り梁の固定点近傍で測定値が計算値を下回るのは隣接管との取合上、桁断面が曲り梁断面に比し大きいためである。

Section ①

Stresses of pipe shell side

Stresses of flange side



Internal pressure  $P = 30 \text{ kg}$   
◇ Calculation value  
● Measurement value

Fig. 11 CALCULATION VALUE AND MEASUREMENT VALUE AT SECTION ①

Section ④

Stresses of pipe shell side

Stresses of flange side

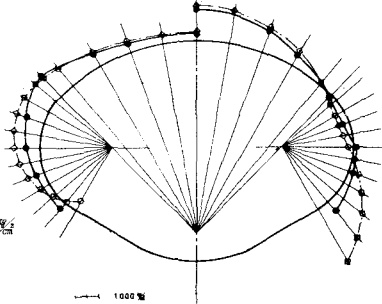
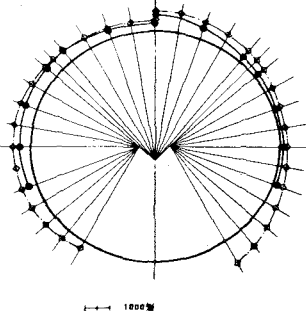


Fig. 12 CALCULATION VALUE AND MEASUREMENT VALUE AT SECTION ④

Section ⑥

Stresses of pipe shell side

Stresses of flange side



Internal pressure  $P = 30 \text{ kg}$   
◇ Calculation value  
● Measurement value

Fig. 13 CALCULATION VALUE AND MEASUREMENT VALUE AT SECTION ⑥

3. 2 又、3 又水理模型実験結果

1) 実験の目的

本実験は、2 又、3 又隔壁分岐の模型を使用して水理特性を調査し、より合理的な隔壁分岐の形状を決定するために行なったものである。本実験では、表-2 に示すように、2 又、3 又について7 ケースの模型を製作し、以下の諸点について調査研究を行なった。

(1) 分流（発電時）、合流（揚水時）の損失係数の調査

(2) 隔壁形状が、分合流時に及ぼす影響の調査

(3) 主管と分岐主管の直径比が分合流に及ぼす調査

(4) 枝管形状が分合流に及ぼす影響の調査

(5) 隔壁に作用する圧力の調査

(6) 流況の観察

2) 損失係数

分岐の損失係数は、次式で示される。

| Case No. | 分岐形式  | E 径  | 隔壁部径 | 枝管径  | 備考                    |
|----------|-------|------|------|------|-----------------------|
| 1        | 2 又分岐 | 180φ | 170φ | 100φ | 2 又隔壁分岐管<br>原案形式      |
| 2        | "     | "    | "    | "    | Casrell と同じ<br>隔壁形状変更 |
| 3        | "     | "    | "    | "    | 同上                    |
| 4        | "     | 129φ | "    | "    | 主管径および<br>大管変更        |
| 5        | "     | 160φ | "    | "    | 室形管形状変更               |
| 6        | 3 又分岐 | "    | 180φ | "    | 3 又隔壁分岐管<br>原案形状      |
| 7        | "     | "    | 220φ | "    | 3 又隔壁分岐管<br>改良案形状     |

Table 2 TABLE OF EXPERIMENT CASES

$$\alpha = \frac{\Delta h}{v_o^2 / 2g}$$

$\Delta h$  は断面①と②の水頭差であり、 $v_o$  は主管の流速であることに注意を要する。同じ損失水頭でも  $v_o$  を大きくしていけば、 $\alpha$  はいくらでも小さくなる。見掛けの  $\alpha$  には注意を要する。

### 3) 相似律

分岐による損失水頭は、一種の形状抵抗であり、重力より粘性力が卓越すると考えてレイノルズの相似律を適用すべきであろう。レイノルズ数は、次式で表わされる。

$$Re = v d / \nu$$

ここに、 $Re$  : レイノルズ数 [—] ,  $v$  : 管内の平均流速 [m/s] ,  $d$  : 管径 [m] ,  $\nu$  : 流体の動粘性係数 [m<sup>2</sup>/s] (20℃の水で  $\nu = 1.0 \times 10^{-6}$  [m<sup>2</sup>/s])  
水圧鉄管の場合、 $v = 5.0 \sim 10.0$  m/s ,  $d = 2.0 \sim 5.0$  m が多いから  $Re = (1 \sim 5) \times 10^7$  レベルであり、模型は実物に対し、 $1/20 \sim 1/40$  であるために、 $Re$  は  $10^5$  の範囲である。一方、 $Re > 10^4$  の範囲では損失係数はほぼ一定となりレイノルズ数に無関係とみてよいので、本実験ではレイノルズ数が  $10^4$  以上となるような流量を採用して行なった。この場合、損失係数  $\alpha$  の縮尺は、 $K\alpha = \alpha_m / \alpha_p = 1$  となる。

### 4) 2又隔壁分岐実験結果(※1)

表-2のケース5について得られた損失係数は、発電時等分流で  $\alpha = 0.23$  , 1本通水で  $\alpha = 0.99$  , 揚水時等合流で  $\alpha = 0.25$  , 1本通水で  $\alpha = 1.78$  であった。参考までに当社が行なった奥清津発電所の2又球分岐の場合の水理実験型実験結果(※2)を述べると、発電時等分流で  $\alpha = 0.5$  , 1本通水で  $\alpha = 1.0$  , 揚水時等合流で  $\alpha = 0.5$  , 1本通水で  $\alpha = 2.5$  位であった。同一の考え方、同一の施設で行なった両者の実験結果の比較は有意性があると思うし、隔壁分岐は可成り改善されているものとする。

2又隔壁分岐の一連の実験より、次のことが判明した。

- (1) 表-2のケース1, 2に於て、隔壁の形状、長さを変化させてみたが、形状の影響は余り大きくない。また長さは分岐主管径の半分位は必要である。
- (2) ケース4に於て、主管径を小さくして分岐主管の拡大率を大きくしてみたが、損失水頭として余りその影響はなかった。
- (3) 枝管(変形管)の中で断面変化をするのであるから、変化率が小さい方がよい。枝管(変形管)長を分岐主管径の約  $1/2$  と  $1/1$  とした場合を比較してみると、後者の方が損失係数が20%位改良される。

### 5) 3又隔壁分岐実験結果

3又の場合 表-2のケース6と前述の2又の実験結果から、3又の場合の形状は、次のような原則を満足すべきであるとの結論に達した。これが表-2のケース7である。

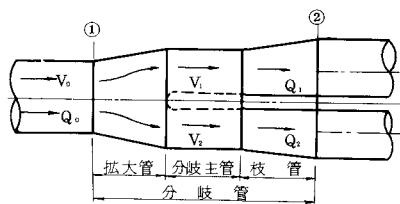


Fig. 14 SKELETON OF EXPERIMENT (BIFURCATION)

(1) 分岐主管部の長さは、その直径の  $1/2$  とする。

(2) 主管と分岐主管の間に拡大管を取り付ける。拡大管の長さは分岐主管の  $1.0$  倍、面積拡大率は主管断面積に隔壁断面積を加えたもの、即ち分岐主管の  $1.0$  とする。

(3) 枝管（変形管）の長さは円錐換算で円錐角が  $10^\circ$  となるように決定する。

表－２のケース ７について得られた損失係数結果は、発電時等分流で  $\alpha = 0.12$ ，３本の内外側の１本のみ通水したとき  $\alpha = 1.42$ ，揚水時等合流で  $\alpha = 0.12$ ，外側１本のみ通水したとき  $\alpha = 1.67$  となった。一般に分岐数が多いと等分合流のときは、損失係数が小さくなり（２又より３又の方が小さい）、非対称分合流のときは逆に損失係数が大きくなる傾向にある。これは断面積の急拡張の理論から理解できるものである。参考までに、当社が行なった奥吉野発電所の３又球分岐の水理模型実験結果（※３）では、発電時等分流で、中央  $\alpha = 0.15$ ，外側  $\alpha = 0.40$ ，３本の内外側１本のみ通水したとき  $\alpha = 1.10$ ，揚水時等合流で、中央  $\alpha = 0.40$ ，外側  $\alpha = 0.30$ ，３本の内外側１本のみ通水したとき  $\alpha = 3.20$  であった。

分岐管による損失水頭は通水断面の急変によるもの、あるいは水流の衝突によるものが大部分であり、これらは分岐部の流速、断面変形、分岐角度等の影響を受けるものと考えられる。Ｙ分岐、球分岐とも分岐角度を小さくすると損失係数が改善されるが、隔壁分岐は分岐角度が零であるから損失係数が小さくなるのは当然であろう。ただ断面の急変による影響だけはいかんともし難く、今後の一層の研究が必要である。

## 6) 経済性

狭義の経済性を各種分岐について行なってみた。

| Case | 型 式     | 設計水頭 | 主管径  | 枝管径          | 主要部材質 | 主管重量                  |
|------|---------|------|------|--------------|-------|-----------------------|
| 1    | 3又分岐    | 15 # | φ500 | φ700×5       | SM58Q | 250 M <sup>2</sup> /s |
| 2    | 3又分岐    | 30 # | φ500 | φ700×5       | HT80  | "                     |
| 3    | 3又分岐    | 55 # | φ500 | φ200×5       | HT80  | "                     |
| 4    | 対称2又分岐  | 15 # | φ500 | φ700×2       | SM58Q | "                     |
| 5    | 非対称2又分岐 | 15 # | φ500 | φ500<br>φ700 | SM58Q | 250 M <sup>2</sup> /s |

Table 3 DESIGN CONDITIONS

| Case | 設計水頭 | 隔壁分岐     | Y分岐     | 球分岐      |
|------|------|----------|---------|----------|
| 1    | 15 # | 80.0 ton | —       | 74.0 ton |
| 2    | 30 # | 130.0 "  | —       | 175.0 "  |
| 3    | 55 # | 170.0 "  | —       | 211.0 "  |
| 4    | 15 # | 65.0 "   | 9.0 ton | 73.0 "   |
| 5    | 15 # | 90.0 ton | 111 ton | 99.0 ton |

Table 4 WEIGHT LIST

表－３は分岐の設計条件であり、表－４は隔壁分岐、Ｙ分岐および球分岐の重量を示す。表－５は昭和５３年のベースで求めた材料費、設計費、加工費、運搬費、検査費および据付費を入れた直接原価を示しており、表－６は埋設される条件で求めた概略掘削量を示したものである。

球分岐の値段が重量の割合に比し高いのは、材料費の中で補強環に使う鍛鋼の値段の高さが影響しており、直径が  $4.3$  m以上の補強環は現場溶接継手を考えているからである。

一般的に言って、隔壁分岐はかなり経済性にとんでいるものと考ええる。

| Case | 設計水頭 | 隔壁分岐   | Y 分岐    | 球分岐     |
|------|------|--------|---------|---------|
| 1    | 15 ㍴ | 79 百万円 | —       | 158 百万円 |
| 2    | 30 ㍴ | 132 ㍴  | —       | 305 ㍴   |
| 3    | 55 ㍴ | 167 ㍴  | —       | 353 ㍴   |
| 4    | 15 ㍴ | 65 ㍴   | 85 百万円  | 158 ㍴   |
| 5    | 15 ㍴ | 86 百万円 | 109 百万円 | 188 百万円 |

Table 5 COMPARISON TABLE OF COSTS

| Case | 設計水頭 | 隔壁分岐                | Y 分岐                | 球分岐                 |
|------|------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1    | 15 ㍴ | 2700 m <sup>2</sup> | —                   | 1700 m <sup>2</sup> |
| 2    | 30 ㍴ | 2700 ㍴              | —                   | 1700 ㍴              |
| 3    | 55 ㍴ | 1800 ㍴              | —                   | 1700 ㍴              |
| 4    | 15 ㍴ | 1600 ㍴              | 1800 m <sup>2</sup> | 1700 ㍴              |
| 5    | 15 ㍴ | 1600 m <sup>2</sup> | 2500 m <sup>2</sup> | 2300 m <sup>2</sup> |

Table 6 COMPARISON TABLE OF EXCAVATION

以上、当社が開発した隔壁分岐の特性全般について概説した。実際のプロジェクトに採用するチャンスに末だ恵まれていないが、今後共いたらざる点について改良を行っていく所存である。

本レポートの作成に当って、公表論文をその発表者には無断で参考とさせていただいているが、紙面をかりてお許しをお願いする次第である。

#### 〔参考文献〕

1. 関西電力㈱“奥吉野発電所，循環式純揚水発電”パンフレット
2. 土木学会：水理公式集
3. 水門鉄管協会：水門鉄管技術基準及び同解説追補
4. 三菱重工技報 V o 1 . 1 1 N o . 3 今政惇郎他3名“水圧鉄管の殻構造形球分岐部の強度研究”
5. 電力土木：N o . 1 5 1 , 1 5 2 , 1 5 3 内田敏久 岡本忠“奥矢作第1発電所水圧鉄管の分岐管に関する技術検討”
6. ※1 水門鉄管 N o . 1 0 5 森翠 伊豆原克己 山本和庸“隔壁分岐管（2又・3又）水理模型実験
7. ※2 水門鉄管 N o . 9 6 森翠 伊豆原克己“揚水発電所水圧鉄管2又球分岐管に関する実験研究”
8. ※3 水門鉄管 N o . 1 0 9 森翠 伊豆原克己“3又分岐球に関する実験研究”

## A New Type Branch Pipe for Penstock - Bulkhead Type Branch -

Akira Mori\*, Katsumi Izuhara\*

KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. (KHI) has developed the new type branch pipe called "Bulkhead Type Branch", that has bulkheads in the branch pipe. The results of the analyses were proved by Finite Element Method and the measurement stresses for the pressure test on a corresponding full-scale trifurcation model which was consisted of one main pipe of 2.2 m dia. and three branch pipes of 1.0 m dia.

In addition, the hydraulic characteristics of bifurcation and trifurcation to which this new type branches were applied were investigated.

This new type branch pipe of KHI has the following features and characteristics.

- (1) It is technically suitable for multifurcation pipe that has more than two (2) branches and also more economical than the conventional type branch.
- (2) It was found that the energy losses under the symmetrical flow in the hydraulic model experiment were lower than those of the conventional type such as wye branch and spherical branch. Especially in the pumped storage hydroelectric plant energy losses are minimized most at confluence where the water pumped up flows into main pipe from branch pipes, as the branch angle is zero.
- (3) The stress analyses are very simple, because this new type branch need not be reinforced by U-girder, Ring-girder and reinforcement rings which wye branch and spherical branch respectively need.
- (4) The excavating area required for this new type in a tunnel is smaller than the conventional types, and excavating volume is more than the spherical branch type, however less than the wye branch type.

\* KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD.