

揚水式発電所水圧鉄管高圧分岐管の最適形状について (水 理 的 考 察)

三菱重工業㈱神戸造船所 正員 ○矢野 謙

三菱重工業㈱神戸造船所 正員 谷島 満

1. ま え が き

我が国の揚水式発電所は、ポンプ水車の大型化（30万kWクラス）により、発電機3～4台を備えた高落差大容量発電所が水力開発の主流となってきた。水圧鉄管に於ても、80キロ高張力鋼の厚板開発により逐次大口径となった。最近の顕著な傾向として、分岐管の位置は水圧の最も高くなる発電所近くの高水頭部に設ける計画が多い。

分岐管の種類には主管から枝管に直接分かれるY形分岐（管断面が漸変するため水理特性がよい）と、主管径の1.25～1.3倍の径をもつ球殻を介して枝管と接合する球形分岐（以下球分岐と略称）に大別される。

球分岐の球殻径Dは、2本の枝管にはさまれる弧長 ℓ が、つぎの条件により最小径

$$\beta \cdot \ell > 4 \quad (\beta = 1.285 / \sqrt{R \cdot t} \quad R: \text{球殻の半径}, t: \text{球殻の板厚})$$

が制限されていた。そのため断面急拡による水理特性の低下に対し、球殻内にY分岐型の有孔整流管（または、円板状の有孔整流板）を設けなければならない現状にある。

しかし、最近の揚水式発電所高圧分岐管における整流管（板）の設置は、つぎの問題点がある。

(1) 管内平均流速が従来の5m/secから一挙に10m/secに倍加したことにより、分岐管内で発生する水圧脈動による外力により、破損・脱落の防止策が必要となる。

(2) 整流管（板）の背面上部に溜る空気が排出されない場合は、脈動発生の原因ともなる。

(3) ポンプ水車は、特性上、水車の低負荷運転時またはポンプの低流量運転時、および各種の過渡運転時に水圧脈動発生の源となり、実機の試運転開始前の予測は不可能の場合が多い。

さらに、分岐管の設計圧力の高圧化（80～100kg/cm²）により、管厚は80キロ高張力鋼を使用するも70mmを超える場合が多い。その上、主管と球殻の接合による不連続応力を押さえる役目をもつ補強環は、大断面をもつ80キロ鋼鍛鋼品（約500mm×600mm）となり、主管径が4mを超えることから、単体の鍛造リングを製造できても輸送が不可能となる。

これらの制約により、在来型による高圧球分岐の設計はほとんど不可能に近い。

筆者はこの不具合点を除去するとともに、水理特性をさらに高める目的から、新型式としてのシェル式球形分岐管（シェル分岐と略称）を設計し、水理実験による確証と高度の溶接施工技術開発による協力により、⁽⁵⁾⁽⁶⁾「新シェル分岐」を完成した。

本稿は、在来型から始まる一連の水理特性値を得るために、実物の約1/20模型（水頭損失の測定は鋼製模型、流況観察は透明プラスチック模型）による水理実験を実施して設計の妥当性を確認し、さらにシェル分岐損失水頭算定の実用式を試みた。

Ken YANO, Mitsuru YAJIMA

2. 水理実験

(1) 実験装置と実験方法
送水ポンプから供給される水は、圧力タンクで静定された後、整流格子を通して模型管路に流入する。合流時の実験は同一模型を左右入れ換えて行なった。

(実験場所：

三菱重工業(株)高砂研究所)

分岐損失係数 f_b

$$f_B = \Delta h_B \frac{V_M^2}{2g}, \quad \Delta h_B = \frac{P_2 - P_4}{\gamma} + \frac{V_M^2 - V_B^2}{2g} - \lambda \cdot \frac{\ell_B}{d} \cdot \frac{V_B^2}{2g},$$

合流損失係数 f_c

$$f_C = \Delta h_C \frac{V_M^2}{2g}, \quad \Delta h_C = \frac{P_3 - P_1}{\gamma} + \frac{V_B^2 - V_M^2}{2g} - \lambda \cdot \frac{\ell_M}{d_o} \cdot \frac{V_M^2}{2g},$$

分岐模型とレイノズル数 図-2はRe数に対する損失係数(新シェル分岐の分岐時)の変化を示す。 $Q/Q_M=0.5$ の場合は $(1.2 \sim 2.5) \times 10^6$ であり、この範囲では一定になっている。 $Q/Q_M=1.0$ におけるRe数の小さい方ではやや大きくなる傾向にあるが、これも一定と考えられる。従ってそのまま実機の f と考えてよい。

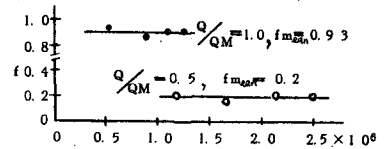
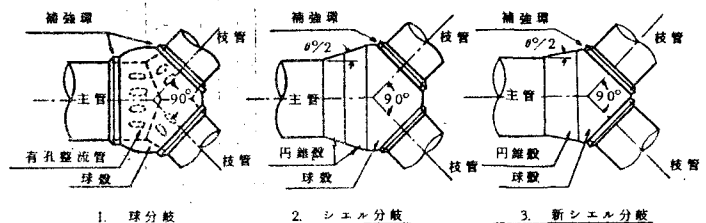


図-2 レイノズル数Reと損失係数平均 f_m

分岐模型 (図-3)

3種類の分岐模型を製作し、実験には整流管を外した球分岐を含めて4種類を実施した。シェル分岐が球分岐と異なる個所は、整流管を有しない球分岐の水理特性を高める目的で、主管側の補強環

を漸変拡大の円錐管に置き換えた点にある。新シェル分岐は、製造上可能な限り球殻を小型化することにより、分岐管内の滞水と渦の発生余地を極力少なくして、水理特性の一段の向上を試みた型式である。



	主管径 d_o	球殻径 D	枝管径 d	円錐折角 $\theta/2$	シェル分岐定数 m_s
球分岐	189.4mm	257.1mm	130.8mm	—	(0.595)
シェル分岐	"	275.1mm	"	16.5	0.443
新シェル分岐	"	221.0mm	"	9.0	0.239

図-3 水理実験分岐模型

3. 実験結果

(1) 損失水頭 f_B, f_c (図-4, 5)

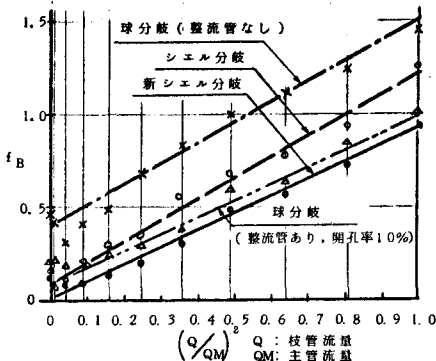


図-4 流量比と分岐損失水頭係数 f_B

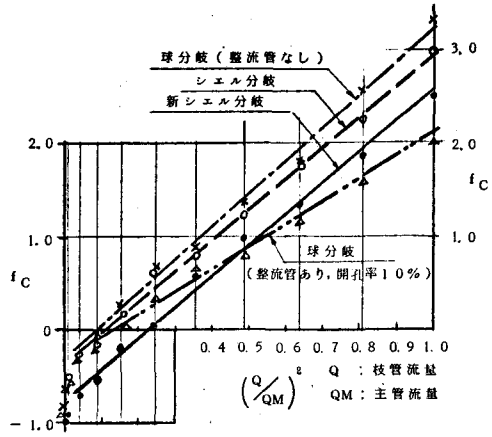


図-5 流量比と合流損失水頭係数 f_C

考 察

- 「球分岐」においては整流管の有無による差は1:2となり、他の実験結果と一致する。(1)(2)
- 「新シエル分岐」の f_B と偏り流れ以外の f_C は最も低い値が得られた。とくに f_B が整流管のある球分岐より下回ったことは注目値する。これは有孔整流管による摩擦損失の増加、および整流管上面の除去できない残留空気による影響と推察される。
- 「シエル分岐」においては球径が球分岐より大なるにもかかわらず、整流管のない球分岐より低いのは、円錐殻挿入による断面漸拡の流況改善の効果であろう。

(2) 流況観察

分岐時、合流時とも新シエル分岐が総合的に最も安定した流況といえる。

流量条件		球分岐 (整流管あり)		球分岐 (整流管なし)		シエル分岐		新シエル分岐	
分岐 流れ	2条等流量								
		整流管に沿ってスムーズな流れ 又部に巻き上げによる渦		上部に巻き上げによる逆流域 流速が大きい時又部に真空渦		流速が大きい時又部に真空渦 頂部に巻き上げによる逆流		スムーズな流れ 又部に僅かな巻き上げ流	
	1条送水								
		0側に大きな逆流域 1.0側球殻部に気泡の動き		0枝管内で大きく逆流 1.0側基本的な流れ変化する		0側枝管内、入口部で 大きく逆流		枝管側球殻上部に死水域 ある、逆流がなす	
合流 流れ	2条等流量								
		スムーズな流れ 合流渦なし		左右の流線が振れる 又部に不規則な渦、流動が不安定		流線が振れる 枝管出口に僅かな逆流		左右の流線が僅かに振れるが スムーズな流れ	
	1条送水								
		1.0側の主管に大きな流れ 0側に逆流域		正流域は約1/3、他は大きな 逆流域が広範囲		正流域は約1/3 下半分の逆流域がない		正流域1/3~1/4、他はやや大 きな流れがある、スムーズな流れ	

(3) 又部における整流板の検討 (図-6)

新シエル分岐の又部において、分岐流の場合僅かな巻き上げ流と、上方に小範囲の死水域が観察された。これは上流側に設けた曲管による巻き上げ流の影響と考えられる。⁽²⁾この現象を除去する試みとして、上下方向に弓形状の整流板4種類による損失水頭の差異と流況を観察した。

1) 平板状の③、④では f_B が増加の傾向を示し、 f_C は改善される方向にある。流量配分の異なる分岐流においては、大流量側に剥離域が観察された。即ち、背の高い形状は好ましいとは言い難い。これは Y 形分岐についても言えることである。

2) ①、②の f_B はやや改善の傾向が伺われるが、計測誤差が約 10% あることからほぼ同一と見てよからう。

3) 合流時においては、4 種類の整流板とも整流管のある球分岐の値に近づいているのが注目される。

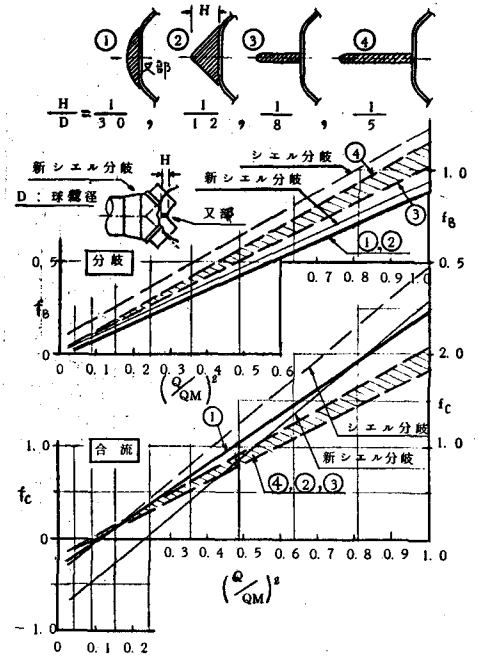


図-6 又部の整流形状と f_B, f_C

4. 損失水頭算定式

球分岐に関する報文として、千秋⁽³⁾⁽⁴⁾は上下面に整流板を有する球分岐定数 $m = d / \sqrt{d_0 D}$ (d_0 : 主管径, d = 枝管径, D = 球殻径) を設定し、 $f = a(Q/Q_M)^2 + b(Q/Q_M) + c$ として実験値から a, b, c を求めている。筆者は、この手法により、円形拡がり管におけるギブソンの実験式 $f_0 = 0.011 \cdot \theta^{1.22}$ をシエル分岐の個性値として

シエル分岐定数 $m_s = f_0 \times m = 0.011 \times \theta^{1.22} \times d / \sqrt{d_0 D}$ を媒介に図-7を得た。(図-3に示す球分岐の m_s は $\theta = 90^\circ$ のため $f_0 = 1$ となり $m_s = m$ とした。) この図の中間値は演えきにより求めたもので、今後得られる数値で補完したい。

本実験における各係数 a, b, c の値は図中に示した。

$$f_{B,C} = a_{B,C} \left(\frac{Q}{Q_M} \right)^2 + b_{B,C} \left(\frac{Q}{Q_M} \right) + c_{B,C}$$

ここに B, C は分岐, 合流を示す。

以上

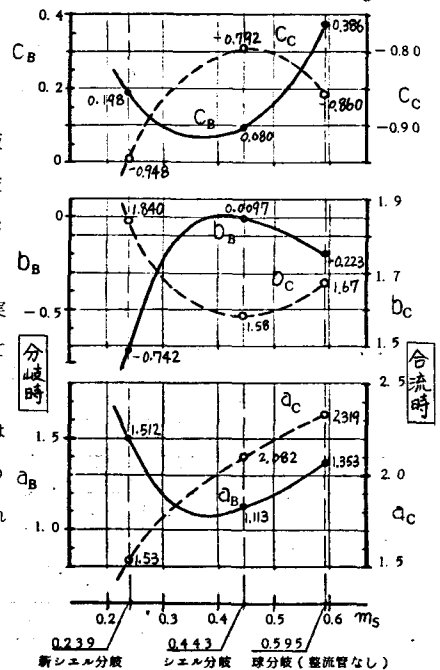


図-7 シエル分岐定数 m_s と実験式定数 a, b, c

(1) 三菱重工業株式会社 電力研究所 水圧研究所 水圧分岐に関する研究報告 昭和47年10月
(2) 三菱重工業株式会社 電力研究所 水圧研究所 水圧分岐に関する研究報告 昭和47年10月
(3) 千秋 隆一 水圧分岐の損失係数に関する研究報告 昭和47年10月
(4) 千秋 隆一 水圧分岐の損失係数に関する研究報告 昭和47年10月
(5) 千秋 隆一 水圧分岐の損失係数に関する研究報告 昭和47年10月
(6) 三菱重工業株式会社 電力研究所 水圧研究所 水圧分岐に関する研究報告 昭和47年10月

シエル分岐管の水理、強度、鋼材と溶接の実験において東京大学・奥村敏恵名誉教授のご指導を受けました。ここに深く感謝いたします。
(この実験について、説明を観察と計測とを行つた東田信生実験士に感謝します。)