

九州電力 K.K. 土木部 正会員 村瀬次男

1. まえがき 本論は、サージタンクの安定問題は自動制御系の安定問題の範疇であるという著者の立場から、既往の研究成果を総括し、これらに批評を加えたものである。また、本論は、第10回および第11回の水理講演会、第21回年次学術講演会においてそれぞれ発表した同題の3論文^{1), 2), 3)}の続編でもある。

2. A. Gardel の研究(1957年) Gardelは、Calame-Gadenと同様に、電気機械系のゲインのみを考慮してトーマの条件を理論的に補正した。しかし、Calame-Gadenが各補正要素を別々に考えたのに対して、Gardel はこれらの影響を同時に考えたのが特色である。

図-1は、Gardelの計算図表として著名である。⁴⁾ この計算図表は、サージタンク設計者の間で最近広く使われているが、上述のように、電気機械系の遅れを全く考えていない欠点を持つ。^{*}

さて、Gardel の考察した自動制御系をブロック線図で表わすと図-2の通りである。

図-2 から、Gardelの研究成果を簡単に批評すると次の通りである。

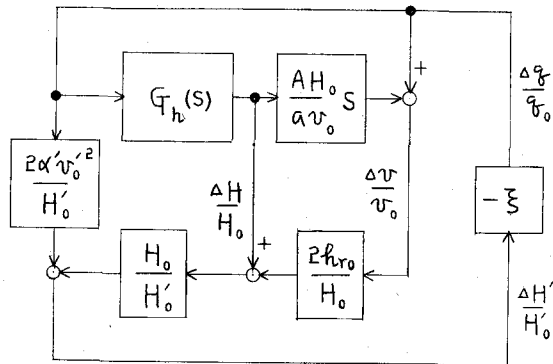
- ① 所要の減衰率を与えるサージタンク断面積を求める公式である(単独運転時および並列運転時の公式である)
- ② 電気機械系を考えていないが、発電特性のみは考えている
- ③ 単働型サージタンクの公式である
- ④ 水圧管の水の損失を考えている(しかし、水の慣性は考えていない)
- ⑤ サージタンク直下の流速水頭を考えている

$$\frac{A}{A_{Th}} \equiv n = n_1 \cdot n_2 = \frac{1}{\{1 + 0.7 \times \frac{hr_0}{h_0} + \theta_m (1-B)\} \left\{1 - \frac{1}{2} \frac{h_0}{H_0} - \frac{2h_0}{H_0} \tan \rho\right\}}$$

$$\tan \rho = \frac{2 \tan \varphi}{3} \cdot \tan \theta - \frac{1-\beta}{5\beta} \cdot (1 + \tan \varphi) + \frac{\tan \phi}{5\beta} \quad \tan \theta \equiv (\partial \eta / \partial \phi) / (\eta / \phi)_0$$

$$\tan \varphi \equiv (\partial \tau / \partial n) / (\tau / n)_0 \quad \tan \omega \equiv \{(\partial \eta / \partial n) / (\eta / n)_0\} \quad T: \text{水車トルク}$$

図-1



$$\xi \equiv 1 - \frac{3}{2}(1-\beta) - \frac{3}{2}\beta \tan \rho \quad \alpha' v_0'^2 \equiv h_0'$$

$$\equiv 1 - \nu$$

図-2

* 著者は、電気機械系の遅れも考慮して、Gardel の計算図表に代るものを作成中である

⑥水車の効率変化を考えている

$$(\eta = \eta(\phi, H) \rightarrow \eta(P, H))$$

3. J. Chevalier - M. Hug の研究 (1957年) Chevalier-Hugは Cordéac 発電所 (表-1) について、Cuénod-Gardel の補償法およびそれを応用した一連の現地試験を行った。

Chevalier-Hugによる試験を一言で言え

$$q \cdot H^{(1-\nu)} = \text{Const.} \dots\dots\dots (1)$$

の試験である。^{※2}

Chevalier-Hugの研究成果

は次の3つに分けられる。⁵⁾

a) 実験的研究(1) この試験では、サージタンクの竖孔水位を検出して、ガイドベーン・サーボを手動的に制御した。

Chevalier-Hugは試験の結論として、次のように述べている。(図-3)

(イ)制御係数 ν^* を変えると、サージングを減衰させる

ことも、増巾させることもできること

(ロ)制御の遅れ ξ^* を無視すると、サージングの対数

減衰率 σ^* の試験値は理論値よりも常に大きいこと

(ハ) ξ を考慮すると、 σ の試験値と理論値とは重負荷

(35MW)ではよく合うこと、しかし、軽負荷(17MW)

ではあまり合わないこと

(ニ)その理由としては、17MWでは導水路の水の総運動

エネルギーが小さいためであること

試験の特色は、制御の遅れの効果を、漏洩流量(débit de fuite)の概念を導入して物理的に示したことである。

そして、制御の遅れを固有の電気機械系の遅れと考えれば、Scimemi による試験およびGhettiによる実験の両

^{※2}Cuénod-GardelおよびGaden-Borelの補償法は、すべて(1)式で表わされる

^{※3} $\nu \equiv k_{Hf}$ ^{※4} ξ : 遅れ時間

^{※5} $\sigma = (\alpha \xi \nu_0 / l) \cdot \ln(1-B)$

表-1

Débit maximum	81 m ³ /s
Chute brute	95 m
Perte de charge de la galerie (débit maximum)	4.8 m
Longueur de la galerie aménagée	4,600 m
Diamètre de la galerie aménagée	5.80 m
Longueur des deux conduites forcées	153 m
Section de la chambre d'équilibre à étrangement	176 m ²
Section de Thoma	136 m ²
Turbines:-	Type Francis
Puissance (charge de 92 m)	28,000 ch (N°1), 56,000 ch (N°2)
Débit total absorbé	29 m ³ /s (N°1), 58 m ³ /s (N°2)
Vitesse	300 tr/mn (N°1), 214 tr/mn (N°2)
Alternateurs:-	
Puissance nominale	21,000 KVA (N°1), 42,000 KVA (N°2)
Tension nominale	10.5 KV

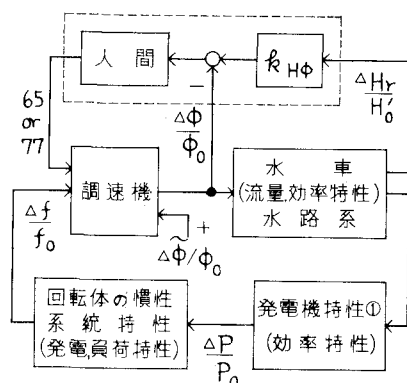
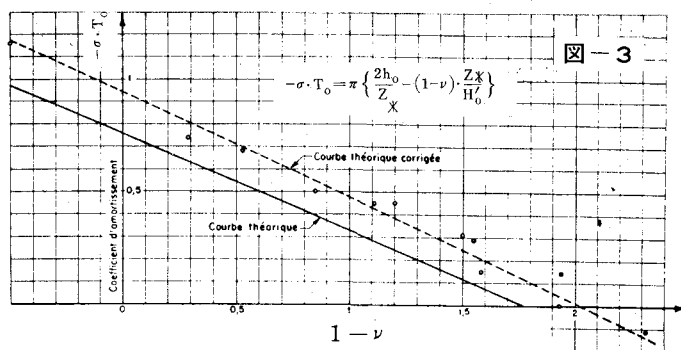


図-4

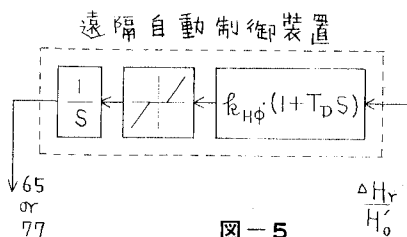


図-5

結果を一部説明できることである。

b) 実験的研究(2) この試験では、a)の手動調整に対して自動調整を考えた。このために、Cordéac, Sautet (Cordéac 発電所の直上流にある) 両発電所の設備である遠隔自動制御装置 (上、下流で常時同量の使用水量を維持する) が採用された。

Chevalier-Hugは試験の結論として、次のように述べている。

- (i)自動制御装置には不感帯があって、その巾は可変でなく、 Δq で約 $\pm 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$ であること
- (ii)よって、自動制御装置は振巾の大きいサージングには効果(a)に優る) があるが、振巾の小さいいわゆる微小振動には殆んど効果はないこと
- (iii)微小振動の場合、2つの制御係数 $k_{H\phi}$ および T_D が共に小さいと、 $|\Delta q| < 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、 σ の理論値は $\nu \approx 1.5$ として計算してよいこと
- (iv) $k_{H\phi}$ および T_D が共に大きいと、振巾の小さい定常振動を生ずること

C)実験的研究(3) この試験では、サージタンクの竖孔水位を検出して、発電機電圧を手動的に制御した。

Chevalier-Hugは試験の結論として、この方式がa)と同じように効果があることを述べている。

さて、Chevalier-Hug の試験、或いは、考察した自動制御系をブロック線図で表わすと、それぞれ 図-4 ~ 8の通りである。

図-4 ~ 8 から、Chevalier-Hug の研究成果を簡単に批評すると、次の通りである。

- ①補償のある場合の並列運転時の試験である
($q \cdot H^{(1-\nu)} = \text{Const.}$ の試験である)
- ②実際の水路系および電力系統を使用している
- ③補償法として、フィードバック補償のP制御^{*}、或いは、P + I制御を考えている($\Delta \phi / \phi_0 = k_{H\phi} \cdot (\Delta H_r / H'_0)$, $\Delta \phi / \phi_0 = (k_{H\phi} / S)(1 + T_D S) \cdot (\Delta H_r / H'_0)$, $\Delta V / V_0 = k_{HV} \cdot (\Delta H_r / H'_0)$)
- ④外乱入力としてガイドベーン・サーボを考えている
($\tilde{\phi} = \tilde{\phi}_0 \pm \Delta \tilde{\phi}$)
- ⑤制水口型サージタンクの試験である

^{*} $\frac{\Delta H_r}{H'_0} / \frac{\Delta H}{H'_0} = \frac{G_h(S) \cdot (H_0 / H'_0)}{H'_0 \cdot G_h(S) \cdot (H_0 / H'_0) - \{ (1/\nu'_0) / (gH_0) \} \cdot S + (2 \alpha \nu'_0 z / H'_0) }$

^{*} Cu' enod-Gar del等と違ってチェック方式である

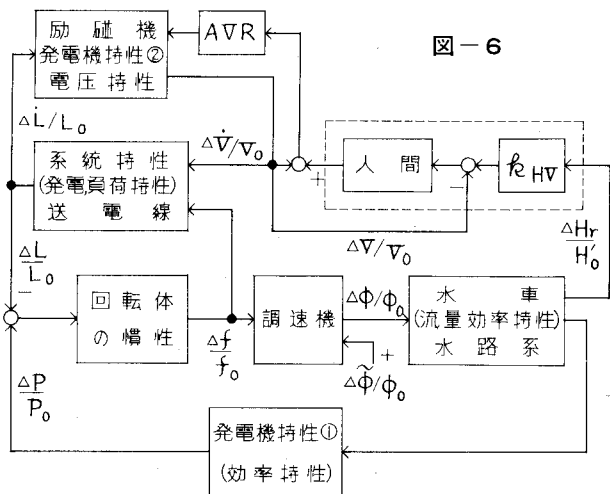
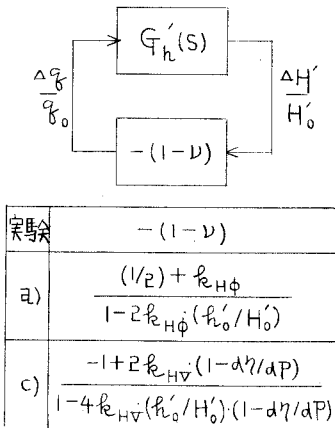


図-6

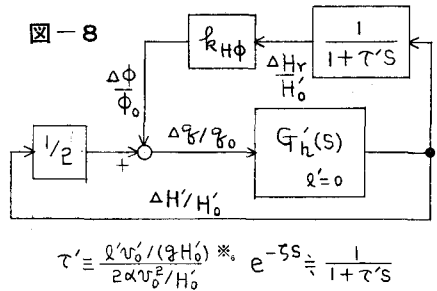


実験	$-(1-\nu)$
a)	$\frac{(1/\nu) + k_{H\phi}}{1 - 2k_{H\phi}(k'_0/H'_0)}$
c)	$\frac{-1 + 2k_{HV} \cdot (1 - d\eta/dP)}{1 - 4k_{HV}(k'_0/H'_0) \cdot (1 - d\eta/dP)}$

$\eta = \eta(P)$ 図-7

特に、実験後の理論的な考察について

- ⑥固有の電気機械系を全く考えていない
- ⑦メージャループを正しく考えていない
- ⑧制水口の損失を考えていない
- ⑨水圧管の水の慣性および損失を考えている
(しかし、水の慣性は制御の遅れとして考えている)
- ⑩水車の効率変化を無視している



4. L. Sideriades の研究 (1958年) Sideriades は、導水路に単働型サージタンクを一つづつ有する水路系が水圧管の途中で合流する場合の安定性を取扱った。(図-9)

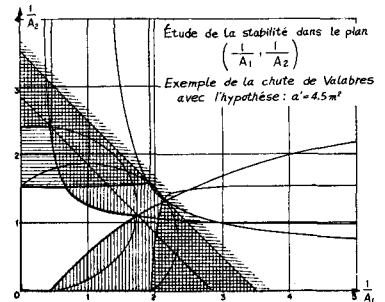
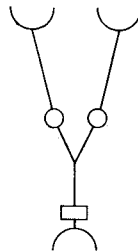
ここでは、結論としての公式は省略するが、⁶⁾ 安定判別を2つのサージタンク断面積の逆数をそれぞれ x, y 座標とする平面内で論じたのは甚だ興味のあることである。(図-10)

さて、Sideriades の考察した自動制御系をブロック線図で表わすと図-11の通りである。

図-11から、Sideriades の研究成果を簡単に批評すると次の通りである。

- ①サージタンク系(図-9)のThoma の公式である
- ②理論出力一定の仮定である
($q_1 \cdot H_1 + q_2 \cdot H_2 = C(\text{Const.})$)
- ③電気機械系を全く考えていない
- ④単働型サージタンクの公式である
- ⑤水圧管を無視している

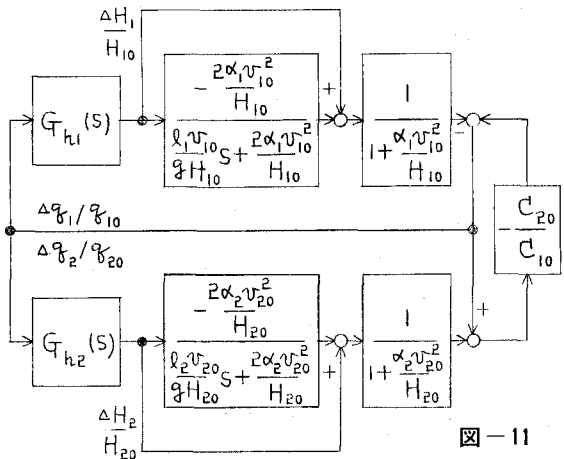
(しかし、合流損失のみは考えている
 $a'v'^2 = a'_1v_1'^2 + a'_2v_2'^2$ (合流損失最小[※])
 を仮定している)



- ⑥水車の効率変化を無視している

また、Sideriades は、自分の理論をValabres 発電所サージタンクの設計に適用した。⁶⁾

5. 参考文献 1)村瀬,第10回水理講演会講演集,昭41.2.2)村瀬,土木学会第21回年次学術講演会講演概要(第II部),昭41.5.3)村瀬,第11回水理講演会講演集,昭42.2.4)A. Gardel, Bulletin Technique de la Suisse Romande N°20 du28, 1957. 9. 5)J. Chevalier-M. Hug, La Houille Blanche N°6, 1957. 12. 6)L. Sideriades, La Houille Blanche N°4, 1958.8.9.



※ この仮定は、水圧管の水の慣性および損失を考えると不要になる