

III-21 高压ゲートの水理学的特性に関する実験

東京大学 正 員 嶋 祐 之

1 序 近年高堰堤が数多く建造されるに伴い、導水管路の受ける水圧も100mを超える場合が屢々である。かかる高压管路の開閉装置としてはバルブ型式のものとゲート型式のものとがあり、前者はハウエルバンガーバルブ、後者はリングホローゲートが良く知られている。本実験はリングホローゲートの水理特性を明らかにする目的を持って行われ、後述の諸項目に関し考察並びに検討がなされたものである。

実験用ゲートは黒部第四御前沢ダムに設置されたもの $\times 1/12.5$ 模型であり、導水管路は直径12cm、操作水圧4.2m、最大流量80ℓ/sec、の条件の下に測定が行われた。装置主要部分のうち、導水管路、ケーシング、ホローポートはアクリル製であつて内部の流水状況が観察でき、ゲートリーフ、ローラー、捲上げ機等は真鍮乃至鉄製で水圧や Down Pull に抵抗出来るようになっている。

実験はゲート開度を12通り、空気孔開度5通り、ゲートの移動方向を上下2通りに変化せしめ、それらに対応する Down Pull はゲート直上に設けたプルーベックリングに抵抗線歪計を貼布して測定し、一方混入空気量及び装置主要部の受ける水圧はそれぞれ風車式風速計及び水柱マノメータを用いて測定した。

2. ゲートの移動方向による Down Pull 特性

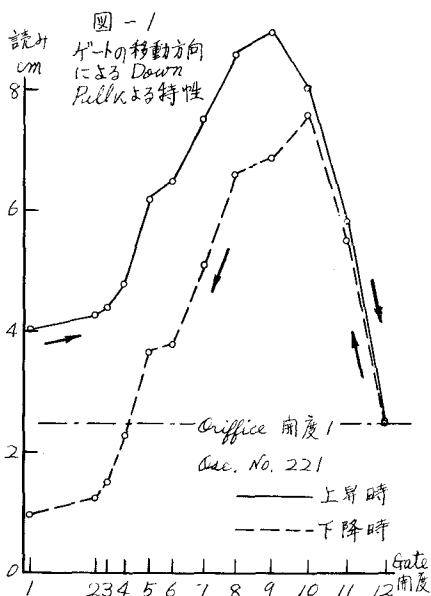
図-1はゲートの上昇時と下降時とのゲート各開度における Down Pull の変化をオシロの読みで示したものの一例である。この図より先ず上昇時の Down Pull は常に下降時のそれより大きく、次に両者の差は全開時に最大で開度が小さくなるにつれ減少し全開時に零となる事が認められる。

この事はプルーベックリングに働く力を P 、流水の作用による純粹の Down Pull を D 、水圧を受けるゲートローラーに働く摩擦力を F とする時、

$$P = D \pm F \quad \text{----- (1)}$$

なる関係が充たされる事及び F はゲートによる管路の遮断面積とゲートリーフに働く水圧の強さとの積に比例する事より説明される。従つて純粹の Down Pull は両者の和の平均より求められ、又摩擦力は差の平均より求められる。

図-1の如きグラフは空気孔開度の変化数だけ求めるが、それらに対し上記の操作を行う事により摩擦力を求める。この様にして得られた摩擦力はゲート開度に関しては特



有の傾向を有するが、空気孔開度に関しては明瞭な区別がつけ難かった。そこで簡単
 のための各空気孔開度に対しては平均値をとる事としゲートの各開度に伴う摩擦力の变化を示したのが
 図-2の実線である。一方

$$F' = K(L - P_a)(A_0 - A) \quad \cdots (2)$$

但し F' ……摩擦力計算値, K ……摩擦係数
 L ……全水頭, P_a ……空気室圧力
 A_0 ……管路全断面積, A ……通水断面積

と置いて F' を計算すれば実線の如くなる。両
 者は傾向的に良く一致し、全開及び全閉時を除い
 て F/F' はほぼ一定値 1.38 をとる事が指摘される。

尚、 K はゲートローラーに関し別種の実験を行
 った求めたもので $K = 0.05$ である。

3. 空気孔開度に伴う Down Pull 特性

前述の如く、上昇及び下降時の P の相加平均より
 D を求め、空気孔開度をパラメーターとしゲート
 開度を変数にとって D を表わせば図-3の如く
 なる。但し空気孔開度 1 はオリフィス全開、
 開度 5 は全開に相当する。この図より

- ① 空気孔開度が小さい程 D は大きい。
- ② 何れの空気孔開度に対してもゲート開度 9
 $(A/A_0 = 0.5)$ で D は最大となる。
- ③ 空気孔開度 5 と開度 1 との D_{max} の比はかな
 り大きく 62% を示している。
- ④ 理論的にはゲート全開及び全閉時には D は
 零となる筈であるから、全閉時における零よりの
 偏差は実験誤差と思われる。

等の諸点が考察される。

4. Down Pull と空気室及びゲート各部の圧力との関係。

リングホロワーゲートに限らず一般に高圧ゲート
 では、ゲートの位置に局部的な流水断面の縮小が
 起りそれが再び管路全断面に拡大するためを生ず
 る負圧に依りて Down Pull が引き起される。
 従って右の図を参照しつつ、Down Pull が如何なる
 量によって現実支配されるかを調べてみる。

図-4 は空気孔開度をパラメーターにとり、空

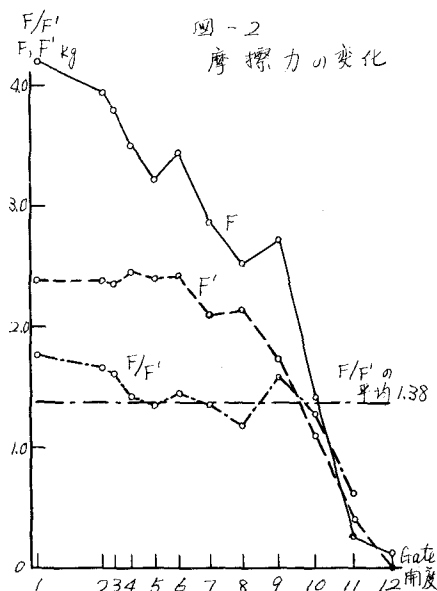
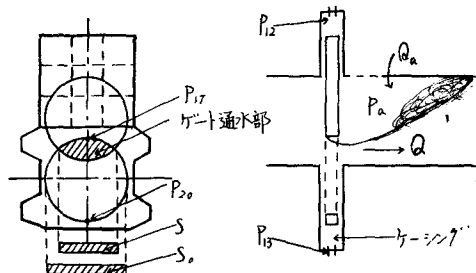
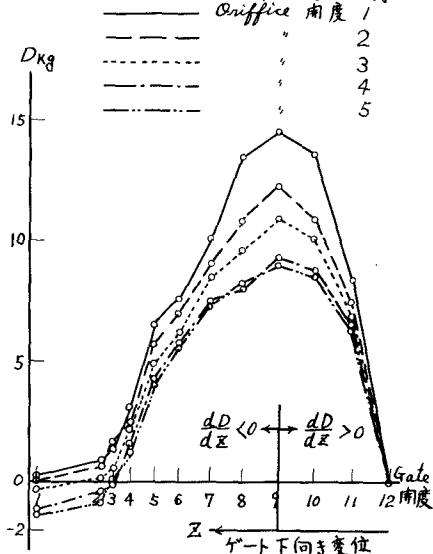


図-3 空気孔開度に伴う Down Pull 特性



空気室圧力 P_a をゲート開度を変数にとって表わしたものである。同図は縦軸を正負反計にとれば図-3と良く似た傾向を有する。然し単純にこゝで

$$D = P_a \times S \quad \cdots \cdots (3)$$

と置き P_a より D を計算すれば実測の値より小さくなり、その程度は空気孔開度の大きくなる程甚だしい。この事はゲート下流部の圧力と直接水脈の剥離する位置の圧力とではかなりの相違のある事を示すものであり、またリングホロワーゲートの場合には鉛直方向の水圧を受ける面が四つあるのでそれらの影響をも考慮する必要のある事を示すものである。

そこでケーシング上部及び下部の水圧をそれぞれ P_2 及び P_3 , ホロワポート上端及び下端の水圧をそれぞれ P_{17} 及び P_{20} で表わす。水圧測定記録より検討すれば P_2 と P_3 とは比較的近い値を示すが、 P_{20} と P_{17} とは著しく異なる。上記より最上、最下面に働く水圧はほぼ釣り合っていると推定し、いま

$$D' = (P_{20} - P_{17}) \times S \quad \cdots \cdots (4)$$

$$D'' = (P_{20} - P_{17}) \times S_0 \quad \cdots \cdots (5)$$

と置いて水圧記録より Down Pull を計算し、実測値との比較を行ったものが図-5である。

同図より実測値は(4)及び(5)式より求められる計算値の中間に入っており、またこの事は他の空気孔開度の時にも確かめられるので結局 Down Pull D は、

$$D = (P_{20} - P_{17}) \times \frac{S + S_0}{2} \quad \cdots \cdots (6)$$

と表現すれば合理的と考えられる。

5. 空気混入特性

水脈の剥離点附近の低圧部に向つて空気孔を通じ大量の空気が送られる。この際ゲート開度に依りて下流管路内の流水状況も種々に変化する。即ち開度1~2では流水断面が零であるが、漏水が管内を緩やかに流れる。開度2~4では流水断面が小さいので噴流となつて流出するが、上向き速度も強いので管の出口付近で天端に衝突し Jump を起す。然し流下するにつれ、流量が少いので管内で空気と水とが殆んど分離し自由表面を持つ比較的緩やかな流れとなる。開度5~11では流量並びに流速が大となり、送られた空気を完全に連行し真白い気泡流を生ずる。気泡流の領域は流下に伴つて下

図-4 空気室圧力の変化

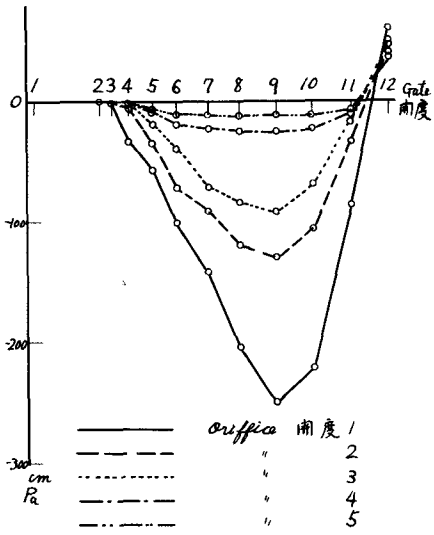
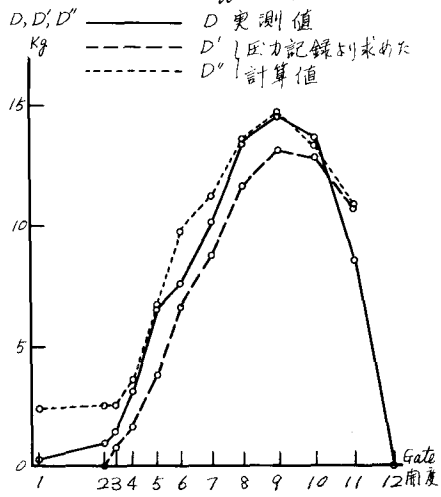


図-5 Down Pull の比較
Orifice 開度 1



層部に及び遂に管内すべてが気泡流となる。開度11以上になれば圧力低下が少くなるので混入空気も少く、また混入は管の上層部に限られるので、気泡流は管の先端附近に集中する。開度12で全開となればホロワーポートの開口部は管の断面と完全に一致するので、流水には何等の攪乱も生じないし空気の混入も起らない。

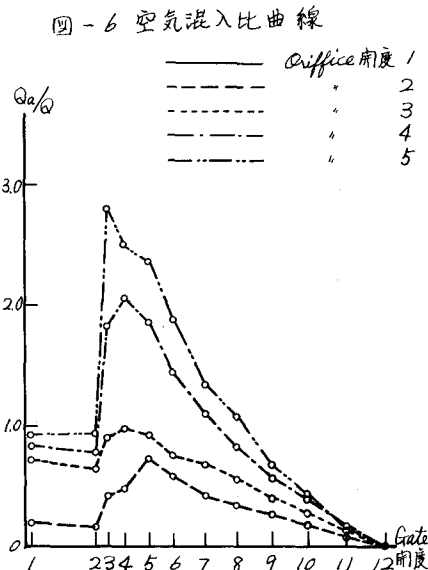
空気の混入状況を知るため、混入空気量 Q_a と流水量 Q との比を縦軸に、ゲート開度を横軸にとり空気孔開度別にプロットしたものが図-6である。同図より以下の諸実が指摘される。

① 流水断面の小さい間(ゲート開度3~5)に混入比が最大となり、それを超えると一様に減少し全開時には零となる。

② ゲート開度1~2でも空気がかかり混入する事になっているがこれは相当量の漏水が管内を流れる為自由表面附近に空気層との剪断力が生じその影響で空気が吸い込まれるからである。

③ ゲート開度3~5では、それぞれの空気孔開度に応じてその範囲内で前述の Jump が発達する。その時生ずる水平渦が空気室附近の空気を強制的に下流管内に巻きこむため、流量の少い割合に空気量が大きくなり、従って混入比として最大値をとる。

④ 漏水なしとした場合の混入比曲線はゲート開度2、混入比0の実よりすべて出発するものと推定される。



6. 動的特性

ゲートの鉛直方向の振動は、ゲートに働く外力の動的効果に支配される訳であるが、その動力学的解析については未知の実が多い。プルービンリングの歪みより求めたゲートの振動記録は、空気孔開度によつては余り変化が見られないが、ゲート開度によつてかなりの差異が認められる。即ち開度7の時最大で8及び10はやや小さく、Down Pull最大となる開度9では予期に反して上記諸開度に比較し最小となる。この事はゲートの全開時を基準とし下向き変位を正とした時(図-3参照)のD~E曲線から見れば安定条件とは矛盾するものである。然しゲートに働く外力の特性は、本質的には水脈のゲート縁より剥離する点附近の渦現象或は下流管路の脈動現象によつて決定されるものと考えられるので、かかる外力の振動周期が偶然ゲートとプルービンリングからなる振動系の周期と一致する場合に共振が生ずるとの想定が成立する。

現在の段階においてはわずかに周波数110~190サイクル、Down Pull変動量3~4'Kgと考えられると云う程度しか判明していないので、今後の研究は動的特性を中心として進め度いと思う。尚本研究は昭和35年度文部省科学研究費(各個人)の補助を受けて行われたものであって、関係当局に謝意を現わす次第である。