114 スキンプレートが並進振動するテンタゲート式水門の流体関連振動 Flow-Induced-Vibration of Tainter-gate with Skinplate Parallel Vibration

正 阿南景子 (足利工大) 正 石井徳章 (阪電通大) ○学 茂木達也 (足利工大院)

Keiko ANAMI, Ashikaga Institute of Technology, 268-1 Omae-cho, Ashikaga, Tochigi 326-8588, Japan

Noriaki ISHII, Osaka Electro-Communication University, 18-8 Hatsu-cho, Neyagawa, Osaka 572-8530, Japan

Tatsuya MOTEGI, Ashikaga Institute of Technology

As part of the investigation of the dynamic instability of Tainter-gate, the field vibration tests on full-scale operational Tainter-gates were conducted. As a result, the possible existence of a coupled-mode self-excited vibration mechanism, which involves the dangerous dynamic coupling of the whole gate rigid-body rotational vibration with a "parallel" bending of the skinplate, was suggested. This paper presents that the 2-dimensional model test, which was undertaken to confirm the existence of the coupled-mode self-excited vibration with skinplate parallel bending mode.

Key Words: Tainter-gate, Flow-Induced-Vibration, Self-Excited Vibration, 2D Model Test, Parallel Bending Vibration

1. はじめに

大型のダムの水位調節のために、テンタゲート（ラジアルゲート）が世界中で多数使用されている。断面概略図を図1に示しているように、円弧状のスキンプレートを、ラジアルアームを介し、円弧の中心にあるトラニオンピン一点で支える扇形構造である。このテンタゲートは、ある条件下で非常に動的に不安定な状態に陥ることがわかっており、著者らによって、これまでに数多くの研究が行われてきた^{(1)~(3)}。その一環として、日本で実用されているテンタゲートの振動実地調査を行ったところ、非常に激しい自励振動が確認された⁽²⁾。解析の結果、図1に矢印で示すように、ゲート全体がトラニオンピン周りに剛体的に回転する固有振動と、スキンプレートが流水方向にほぼ一様に振動する二つの固有振動が確認されている。特に重要なことは、スキンプレートが並進振動する際に、その重心の振動方向がトラニオンピンの下側を通過することである。同様な固有振動モードは、米国の実用テンタゲートについての振動実地調査でも確認されている⁽³⁾。この重心の振動方向がトラニオンピンを通過しないために、スキンプレートの並進振動が慣性のトルクを介してゲート全体のトラニオンピン周り剛体振動と簡単に連成し、ある条件下で激しい自励振動を引き起こすと考えられる。

本研究では、このようなメカニズムによって連成自励振動が発生することを確かめるため、小型2次元モデルを作成し、自励振動実験を行った。

2. 2次元モデルゲート

作成したモデルゲートの概略図を図2に示している。半径250mmの円弧の一部を切り取った剛体のスキンプレートを、その円弧中心にあるトラニオンピン一点で支えている。スキンプレートの高さは266mm、幅は195mmである。モデルゲート全体の質量は3.48kgである。実機の巻上げワイヤーの弾性をばねAで代表させている。スキンプレートの並進振動は、スキンプレート背面に設けたスライドベアリングとばねBで代表させた。振動方向を微調整するために、ピボット軸受を使用している。スキンプレート背面におもりを取り付け、スキンプレートが振動した時に、その重心の振動方向がトラニオンピンより17.7mm下を通過するようにした。

3. スキンプレート並進振動の確認

本モデル実験では、スキンプレートが流水中で並進振動

Fig.1 Schematic view of Tainter gate and its natural vibration modes.

Fig.2 Cross-sectional view of 2-dimensional model gate.

をしているかどうかが非常に大切である。そこで、第一に、スキンプレートの水中での振動を確認した。図3の左側図に丸棒で示すように、スキンプレート背面の上端部と下端部に渦電流型の非接触変位計を設置し、水中での流水方向固有振動を計測した。計測した実時間波形を図3の右側に示している。上端部と下端部で、周期が一致していることが分かる。振幅もほぼ等しく、スキンプレートが並進振動していることが確認できた。

4. 自励振動実験

上流側水位を 250mm、放水口開度を 2mm に設定して実験を行った。水中でのスキンプレート流水方向固有振動数 Ω_{nw} は 4.33Hz であった。空中でのゲート全体のトナオンピン周り振動数 Ω_{a0} を 4.58Hz に設定して放水すると、自励振動が発生した。そのときのゲート下端部の振動波形を図 4 に示している。上図がトナオンピン周り(上下)振動 (Θ)、下図が流水方向振動(X)である。いずれも 4.18Hz で振動している。このときの発振比(負性減衰比)は、トナオンピン周り振動が 0.012、流水方向振動が 0.014 であった。振動が成長し定常状態に落ち着いたときの振幅は、トナオンピン周り振動が 1.13mm、流水方向振動は約 4 倍の 4.51mm であった。

トナオンピン周り振動数 Ω_{a0} を 3.19Hz から 5.23Hz まで変化させ、同様の実験を行った。そのとき水中振動周波数を図 5(a)に示している。横軸は空中でのトナオンピン周り(上下方向)振動数 Ω_{a0} である。水中流水方向固有振動数 Ω_{nw} と空中でのトナオンピン周り(上下方向)振動数 Ω_{a0} を破線で示している。●印がトナオンピン周り振動、◇印が流水方向振動である。3.19Hz から 5.23Hz の範囲で、トナオンピン周り振動と流水方向振動が同期して自励振動が発生している。横軸の Ω_{a0} が Ω_{nw} より小さい ($\Omega_{a0} < \Omega_{nw}$) 範囲では、同期振動数は横軸の Ω_{a0} とほとんど同じ値である。すなわち、流水方向の振動が上下方向の振動に引きずられて同期している。それに対し、横軸の Ω_{a0} が Ω_{nw} より大きい ($\Omega_{a0} > \Omega_{nw}$) 範囲では、データは横ばいになってくる。同期振動数は破線で示した Ω_{nw} とほぼ同じ値である。これは、流水方向固有振動数 Ω_{nw} に引きずられる形で同期現象が起こっていることを示している。さらに横軸の Ω_{a0} が大きくなると、トナオンピン周り方向と流水方向振動数は非同期となり、それぞれ異なった値をとるようになる。

微小振動時の波形から発振比(負性減衰比)を求めた結果を図 5(b)に示している。横軸の Ω_{a0} が大きくなるにしたがって発振比は徐々に大きくなる傾向が見られた。

振動が成長し、定常状態に落ち着いたときの振幅を図 5(c)に示している。横軸の Ω_{a0} が破線で示した Ω_{nw} に近いところで、振幅が大きくなっていることが分かる。その付近では、図 4 にも示した様に、トナオンピン周り振動の振幅 Θ_0 に比べ、流水方向振動の振幅 X_0 が非常に大きくなっている。

5. おわりに

実地調査の結果、スキンプレートが流水方向に並進振動をする場合にも、トナオンピン周り振動と簡単に連成し、激しい自励振動が発生することが示唆されていた。本研究では、その固有振動モードを再現した小型 2 次元モデルを作成し、自励振動実験を行った。その結果、スキンプレートが並進振動する場合にも非常に激しい自励振動が発生することが確認できた。

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金の補助を得て行ったものである。

文献

- (1) Anami, K., Dissertation submitted to Osaka Electro-Communication University, March 2002.
- (2) Anami, K., et al., Proc. of ASME PVP Conf., PVP2007-26543, (Jul. 2007).
- (3) Ishii, N. et al., Proc. of WaterPower XVI, No.188, (Jul.2009).

Fig.3 In-water streamwise parallel vibration of the skinplate.

Fig.4 Self-excited vibration waveforms measured at the skinplate bottom end ($\Omega_{nw}=4.33\text{Hz}$, $\Omega_{a0}=4.58\text{Hz}$).

Fig.5 Test results of the model gate: (a) in-water vibration frequency, (b) excitation ratio, (c) vibration amplitude.