

氏 名	角 哲 也
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3344 号
学位授与の日付	平 成 10 年 5 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	水 理 構 造 物 に お け る 越 流 水 膜 の 振 動 特 性 に 関 す る 研 究

(主査)

論文調査委員 教授 村本嘉雄 教授 田村 武 助教授 細田 尚

論 文 内 容 の 要 旨

ダム・堰などの水理構造物から越流する水膜の振動は、低周波空気振動や構造物自体の振動を誘起することから、その原因と対策について従来より多くの研究がなされている。しかし、振動発生の基本的なメカニズムは不明確であって、その対策も試行錯誤的に行われてきた。本論文は、越流水膜の不安定性と水膜背後の空洞の効果に注目して、振動の発生・増幅機構を検討するとともに、振動防止対策の原理および低周波空気振動の予測法を示し、実験および現地資料から実証したものであって、8章より構成されている。

第1章は序論であり、流れに起因する水理構造物の振動現象を分類し、越流水膜の振動ならびに低周波空気振動の特徴と振動防止対策に関する研究課題について概述したのち、本論文の構成について要約している。

第2章では、砂防ダム、堰の越流式ゲート、アーチダムの高圧ローラゲート等の水理構造物における水膜振動の事例とそれらの特徴の比較を行うとともに、越流式ゲートの振動防止対策として用いられているスポイラの様式と設置間隔を取りまとめている。

第3章では、越流水膜の落下軌跡、水膜振動の周波数などの特性について実験と既往の理論的研究から考察している。その結果、水膜振動の発生条件や振動周波数を規定する要因として、水膜背後の空洞の圧力変動、ゲートの弾性振動、風による励起などより、水膜振動の引き金となる水膜自体の不安定性の究明が重要であることを指摘している。

第4章では、水膜振動の発生および増幅の機構について、既往の理論と広範な実験に基づく考察を行っている。まず、水膜振動に類似する現象であるEdge Tone現象とKelvin-Helmholtz型の不安定理論に着目して考察し、水膜が不安定となる限界周波数は水膜の落下速度と鉛直上向きの空気流速との相対速度に関係することを明らかにしている。一方、水膜背後の空洞による振動の増幅効果に関しては、Helmholtzの共鳴器理論から導かれる空洞の固有振動数に注目して検討し、空洞容積および水膜厚が大きく、水膜の開口部面積が小さいほど振動数が小さくなることを明らかにしている。つぎに、水膜厚、空洞容積、落下高などを変えた基礎実験およびフラップゲートの模型実験を行い、既往の実験結果と合わせて考察している。その結果、流れの落下高が大きいかほど水膜振動の発生限界の越流水深は大きくなり、落下高1.5m程度以下では、風による励起無しに振動する可能性が少ないことを示している。また、水膜の不安定限界周波数と空洞やゲートの固有振動数が一致する場合に水膜振動が最大となり、ゲートの固有振動数が水膜の振動周波数に近い場合には、lock-in現象により後者が前者に引張られる可能性があることを指摘している。

第5章では、水膜振動の防止対策として、スポイラによる水膜分断効果に関して、水膜の3次元的性状に関する系統的な実験と理論的考察を行っている。まず、実験結果から水膜厚、水膜両端の開放条件、分断間隔、落下高などの影響を明らかにするとともに、各種形式のスポイラの効果についても検討を行っている。つぎに、振動抑止のメカニズムを音響のhigh-passフィルタ理論との等価性に注目して考察し、水膜分断によるcut-off周波数と水膜振動の周波数の関係から、スポイラの設置間隔を3m以下にすれば水膜振動がほとんど発生しないことを説明し、実験結果および現地の施工事例を裏付けている。

第6章では、水膜振動に起因する低周波空気振動について、その音源と伝搬特性を明らかにするとともに、水流のエネルギーから音響エネルギーへの変換効率に水膜端部の条件による越流幅の補正を考慮して低周波音圧レベルの予測式を導き、実機ゲートで検証している。

第7章では、ゲートの上下端から同時放流する場合の振動について、ゲートの直下流に発生する渦との関係、ゲート開度・越流水深の条件などを模型実験より明らかにするとともに、振動防止対策としてスポイラの設置、ゲートの下流縁形状、水路底面の切下げなどの効果について考察している。

第8章では、以上の各章で得られた主要な結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ダム・堰などの水理構造物の越流時における振動の発生・増幅機構を越流水膜の挙動に注目して考察するとともに、振動防止対策の原理および低周波空気振動の予測法を示し、広範な実測結果から検証したものであって、得られた主な成果は以下のようである。

1. 越流水膜の振動の発生をEdge Tone現象との類推およびKelvin-Helmholtz型の不安定理論に基づいて考察し、水膜が不安定となる限界周波数が水膜と空気の相対速度に依存することを指摘した。

2. 水膜背後の空洞による振動の増幅効果に関して、Helmholtzの共鳴器理論による考察と室内実験による検証を行い、水膜振動の発生範囲を明らかにした。また、水膜落下点の変動が空洞内の圧力変動をもたらし、それがゲートの振動を誘起する場合に水膜振動を増幅することを示した。

3. 水膜振動の防止対策として、ゲートに設置されるスポイラの水利機能を音響のhigh-passフィルタ理論との等価性に注目して考察し、水膜分断によるcut-off周波数と水膜振動の周波数の関係からスポイラの適切な設置間隔を説明し、実験および現地データから実証した。

4. 水膜振動に起因する空気振動について、その音源と伝搬特性を明らかにすることによって、越流幅の補正を考慮した低周波音圧レベルの予測式を導き、実機ゲートにより検証した。

5. ゲートの上下端から同時に放流する場合の振動について、ゲート直下流に発生する渦との関係、振動の発生条件などを明らかにするとともに、ゲート下流縁および水路底面の形状効果による防振対策を示した。

以上要するに、本論文は、水理構造物の越流水膜による振動のメカニズムを明確にするとともに、合理的な振動防止対策を提案したものであって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成10年4月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。