

## 流動に起因する配管構造物の振動評価手法に関する研究

西口, 誠人 / NISHIGUCHI, Masato

---

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

105

(発行年 / Year)

2015-03-24

(学位授与番号 / Degree Number)

32675甲第352号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2015-03-24

(学位名 / Degree Name)

博士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010862>

博士学位論文  
論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏名	西口 誠人
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	第 568 号
学位授与の日付	2015 年 3 月 24 日
学位授与の要件	本学学位規則第 5 条第 1 項(1)該当者(甲)
論文審査委員	主査 教授 御法川 学 副査 教授 新井 和吉 副査 教授 辻田 星歩 副査 デザイン工学研究科教授 田中 豊

流動に起因する配管構造物の振動評価手法に関する研究

1. 論文内容の要旨

プロセスプラント内において、配管合流部などで高流速に伴い配管振動が発生し、安全・安定操業の観点から問題となる可能性がある。特に近年の経済設計の要求から配管構造物が大型化かつ薄肉化する傾向があり、通常知られている配管の梁モードの振動 (Beam Mode) に加えて、配管周方向の振動 (Shell Mode) が問題となる場合がある。配管合流部などで高流速に伴い発生する配管振動については、流れの乱れに伴うランダムな圧力変動に伴い発生する流動励起振動 (Flow Induced Vibration : FIV) および安全弁などで発生する大騒音により配管壁面が振動する音響励起振動 (Acoustically Induced Vibration : AIV) が知られているが、前者については配管合流部で発生する流れの乱れに起因したランダムな加振力と、配管周方向の振動応答について検討された事例はなく、また後者については従来より用いられてきた Carucci および Muller の評価手法があるのみで、ランダム振動理論などから理論的に妥当性が検討された事例は見当たらない。そのため、AIV の評価手法に対して理論的な検討を実施して、配管系などに対する適用範囲について検討する必要がある。本研究はプラント設計時の配管設計において問題となる FIV および AIV について理論的に振動応力の評価方法について検討し、配管設計の指針を検討することを目的として、その評価方法を導き、実験によりその妥当性について詳細に検証したものである。

本論文は、全 6 章から構成されている。

第 1 章では研究の背景、目的および本論文の構成について概説、および本研究の対象となる FIV および AIV を流動関連振動の分類に従って述べている。FIV とは流体に起因して振動が発生する現象の総称であり、高速流の非定常乱れに起因した乱流励起振動が対象となる。AIV とは安全弁などで発生する大騒音に起因しており、この大騒音は安全弁近傍の高流速に伴う乱れに起因していることを考えると、FIV と同じく乱流励起振動が対象となると考えられることを述べている。

第2章では現状のAIVの設計手法とその問題点について説明されている。AIVによる配管破損の可能性を評価する際は、加振力としての指標であるSound Power Level (PWL)と、構造側のパラメータとしてD/t (D:配管直径, t:配管肉厚) が用いられる。実現象においては、Carucci および Muller により報告された配管破損事例をもとにした設計曲線と EI guideline により提案された設計曲線の2つが評価手法として適用されることが多く、これらは理論的な検討事例が確認できず、配管径などに対する適用範囲については検討する必要があることを考察している。

第3章では配管合流部で発生するFIVの特徴を把握するため、圧力・流量条件を変化させ、配管内の圧力変動および周方向振動を計測した結果および、ランダム振動理論から、簡易的に振動応力を評価できる指標  $V_n$  を考案し、(1)配管合流部で発生するランダムな周方向振動の固有振動数は、円形リングの式を用いて評価できること、(2)合流部下流側のランダムな圧力変動のRMS値は(流体の動圧 + チョーキング発生時における配管合流点の圧力不連続量)に比例すること、(3)配管合流部でチョーキングが発生しないとき、配管合流部の流れの乱れに起因した圧力変動はストローハル数 0.17程度のピークを持つこと、(4)評価指標  $V_n$  は、本実験により計測されたランダム振動の応力の大きさと比例すること、を得ている。

第4章では合流配管で発生するFIVにおいて、分岐配管の合流角度および分岐配管と母管の面積比などの設計パラメータが周方向振動に与える影響を検討している。その結果、(1)配管内の圧力変動は、合流角度90度においても、合流角度45度と同じく  $0.5 \times \rho_g v^2 + \Delta p$  に概ね比例すること、(2)加振源となる圧力変動の主要因について、分岐配管径が小さいときは配管合流部で発生する流れの乱れに起因する、分岐配管径が大きいときはオリフィスで発生する流れの乱れに起因すること、(3)分岐配管径が異なる場合でも、評価指標  $V_n$  を用いて、合流配管下流で発生する周方向の振動応力を概ね評価できること、(4)合流角度が90度の場合は、45度の振動応力を1.4倍に補正することで、 $V_n$  を用いた振動応力を概ね評価できること、を得ている。

第5章ではAIVによる疲労破壊のリスクを適切に評価するため、FIVにおいて考案した  $V_n$  を用いた評価手法を、AIVにも適用して理論的にAIVの疲労破壊のリスク評価手法を検討し、(1)ランダム振動理論から得られた  $V_n$  により評価した許容PWL曲線は、過去に報告されたAIVの破損事例に矛盾せず、AIVリスク評価手法の一つとして適用できると考えられること、(2)PWLとD/tが同じ時、配管径が小さくなるとAIVにより発生する振動応力が大きくなること、(3)上記の配管径が小さくなると振動応力が大きくなる傾向については、 $V_n$  を用いた評価、簡易的な音響計算および実験でも同じ傾向が確認されたこと、(4)現行の評価基準では適用の可否が不明の14インチ以下の配管についても、本検討で提案した評価手法は補正により適用可能であること、(5)Carucci および Muller が報告したAIVによる配管破損事例はAIVに加えてFIVが影響していたと考えられること、を得ている。

第6章では結論として、第1章から第5章までのまとめを述べたうえで、本研究の結果

から高流速の乱れに起因した合流配管において周方向に発生する FIV および安全弁などで発生する大騒音に起因した AIV についてはランダム振動理論をもとに導いた振動応力評価指標  $V_n$  により、その振動応力を適切に評価できることを述べている。

また、今後の課題として FIV に関する検討については母管径が 4 インチのみの配管系を対象に実施したものであり、今後、本検討により導いた  $V_n$  を用いた振動応力の評価方法を 4 インチ以外の母管径を有する配管系に適用していくためには、追加で実験を行うか流体構造連成解析などの詳細解析によるパラメータスタディを実施すること、AIV については、報告されている配管破損事例は FIV の影響を受けている可能性があるため、FIV と AIV の相互の連成について詳細に検討を実施していくことが今後の課題として考えられることを述べている。

## 2. 審査結果の要旨

本論文は流動に起因する配管構造物の振動評価手法について検討したもので、最近プロセスプラント内において安全・安定操業の観点から問題となる可能性のある配管合流部について理論的および実験的に検討し、適切に流動に起因する振動応力を評価する方法を提案したものである。審査の結果、下記の点において、工学上の新規性と有効性を確認した。

### 1. 流動励起振動の特徴

配管合流部で発生する圧力変動（加振力）および振動のメカニズムについて実験的に詳細に明らかにしている。配管合流部で発生する圧力変動は、分岐管端部における動圧だけでなくチョーキングによる圧力不連続量との和に比例すること、それによる配管系の振動は一般的に知られている梁モードの振動ではなく、周方向振動が支配的であり、その固有振動数は円形リングの式を用いて評価することができることを示している。

### 2. 流動励起振動の評価方法

配管合流部で流動に起因して発生する振動応力を簡便な計算式により評価できる手法を提案している。本評価手法はランダム振動理論にもとづき理論的な検討がなされており、かつ実験によりその妥当性を確認している。実験においては、異なる母管分岐管の面積比および、異なる配管合流角度についても検討されており、本評価手法の汎用性を確認している点が評価できる。

### 3. 音響励起振動の評価方法

音響励起振動についても同様にランダム振動理論にもとづく振動応力の評価手法について検討することで、振動応力が従来から示された  $D/t$  ではなく  $D/t^2$  に比例するという新たな知見を得ている。この知見は過去の事例と照らし合わせても矛盾がないこと、また、実験においても同様の傾向となることを確認している。これにより、薄肉配管にも対応できる評価手法を得て、より経済的にかつ安全な配管設計ができる可能性を示している。

### 4. 流動励起振動が音響励起振動に与える影響について

音響励起振動による過去の配管破損事例を、流動励起振動の評価手法で再整理することにより、より適切に事例を整理することができることを確認している。このことから、音響励起振動は流動励起振動の影響を受けている可能性があることも明らかにしている。

なお、論文題目は、当初、「配管構造物に対する流動励起振動および音響励起振動の評価手法の検討」であったが、審査の結果、流動励起振動および音響励起振動を複合的かつ包括的に考察、評価していることから、「流動に起因する配管構造物の振動評価手法に関する研究」に変更した。

以上、本論文で提案された流動励起振動および音響励起振動の評価手法は、今後増大する薄肉大型配管構造物の設計に適用できるため、工学に資するところ大である。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士（工学）の学位に値するとの結論に達した。

（報告様式Ⅲ）