

KAKEN

2001

12

金沢大学

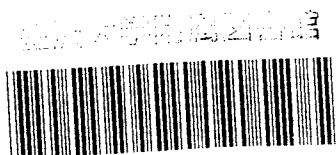
配管内気液二相流中における 円柱状構造物の流力振動予測と 設計評価ガイドラインの開発

(研究課題番号 11555054)

平成11～平成13年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))研究成果報告書

平成14年3月

代表者 岡島 厚
(金沢大学・工学部・教授)



8011-05254-3

平成13年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）

研究成果報告書

研究課題番号：11555054

研究課題：配管内気液二相流中における円柱状構造物の流力振動予測と
設計評価ガイドラインの開発

はしがき

動燃・高速増殖原型炉「もんじゅ」のナトリウム漏洩事故の原因となった温度計さや管の破損は、未だその発生機構が不詳の流れ方向の自励振動現象によるものである。さらに火力発電プラントや化学プラント分野でも流れによる構造物の振動事例は決して珍しくないことがその後の調査により明らかとなり、温度計さや管などの配管内円柱状構造物に対する流力振動の評価基準やガイドラインは重要かつ緊急を要する課題となった。日本機械学会では、「対象を、一様単相流中で一様単一円柱構造物」と単純化した流力振動に対する初の体系化した基本的な設計ガイドラインを作成して、学会基準として世界に先駆けて1998年10月「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」を策定した。しかし、ガイドライン作成の基盤となる流力振動に関する研究及び資料データの不足から基盤的研究の必要性が再認識された。さらに次段階のガイドラインとしてより高い確度でより広い適用範囲をもつ基準に発展させ、原子力発電所プラント内の気液二相流中の構造物の流力振動及びプラント内構造物の潜在的に存在して事故につながる事象も視野に入れた設計評価ガイドラインの開発研究が極めて重要、かつ緊急なことである。特に、実際の温度計は片端で弾性支持された有限スパン長さ円柱形状であるが、模型のアスペクト比、テーパー比さらに振動のモードの流力振動に及ぼす影響についてはほとんど知られていない。さらに、実際のプラント配管内の高レイノルズ数領域における振動は、高速水流の実験の困難性などもあり、今日世界的にもこの種の実験資料がほとんど欠落しているのが現状である。特に、気液二相流などの複雑流れにおける種々な自励振動及び渦励振の振動特性やその発生機構を根本的に解明する必要がある。そして今後の再発防止の一層の正確度を上げ、適用範囲をさらに広げた配管内気液二相流中における円柱状構造物の流力振動予測と設計評価ガイドラインの開発を行うことは、国際的に見てもこの種の研究が最も進んでいる日本が推進役となって進める必要がある。

そこで本研究では、新しく作成された「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」のガイドラインをさらに発展させ、正確度の高い、複雑な流れの中に置かれた温度計にも適応する気液二相流中における円柱状構造物の流力振動予測と設計評価ガイドラインの開発を行う。そのため原子力発電所プラントなどに見られるプラント配管内に空気泡流を含む高速水流の気液二相流れの中に配置された有限スパン長さの片端弾性支持した円柱状構造物の流力振動について流れ方向自励振動、流れ方向及び直角方向の渦励振を対象として自由振動法による水槽実験によって流力振動特性、及び周辺流れの流力特性などを明らかにする。特に、流れ方向振動などは水やナトリウム

などの液体流れで質量比の値が小さい場合のみ生じる流力振動であり、その際極めて重要なパラメータである換算質量減衰比、温度計構造物のアスペクト比、テーパー比などに注目して詳細な実験を行う。同時に、温度計構造物の流力振動の振動特性とその発生機構を解明する。そして実験結果を、既存の一様单相流における一様単一円柱構造物の流力振動に対する設計ガイドラインなどと対比することによって、より正確度の高い複雑流れにおける円柱状構造物の流力振動予測及び設計評価ガイドラインの開発を行う。

以上、本研究は、配管内気液二相流中における有限スパン長さおよび二次元円柱状構造物の流力振動予測と設計評価ガイドラインの開発のための研究を行ったものであり、平成11、12、13年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）の援助を受けた。

研究組織

研究代表者： 岡島 厚（金沢大学 工学部 教授）
研究分担者： 岡野 行光（(株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所 副所長）
 亀本 喬司（横浜国立大学 工学部 教授）
 佐藤 恵一（金沢工業大学 工学部 教授）
 上野 久儀（金沢大学 工学部 教授）
 木村 繁男（金沢大学 工学部 教授）
 木綿 隆弘（金沢大学 工学部 助教授）

研究経費

平成11年度	6,500千円
平成12年度	5,100千円
平成13年度	2,200千円
計	13,800千円

研究発表

(1) 学会誌など

(1-1) Nakamura,A., Okajima,A., Kosugi,T.

Experiments on Flow-Induced In-Line Oscillation of a Circular Cylinder in a Water Tunnel (2nd Report, Influence of the Aspect Ratio of a Cantilever Circular Cylinder), JSME International Journal, Series B, Vol.44, No.4, pp.705-711,(2001,11).

(1-2) Okajima,A., Kosugi,T., Nakamura,A.

Flow-Induced In-Line Oscillation of a Circular Cylinder in a Water Tunnel, Transaction of ASME, Journal of the pressure vessel technology, Vol.124, No.1, pp.89-96,(2002,2).

(2) 口頭発表

(2-1) 下茶健一, 木村繁男, 岡島 厚, 木綿隆弘

急拡大鉛直円管内における上昇気泡流に関する研究, 日本機械学会北陸信越支部第37期総会・講演会講演論文集, No. 007-1, pp. 217-218, (2000, 3).

(2-2) 中村 晶, 岡島 厚

テーパのある円柱状構造物の流れ方向振動実験, 日本機械学会2000年度年次大会講演会講演論文集, Vol. I pp. 845-846, (2000, 8).

(2-3) 中村 晶, 岡島 厚

流力振動における円柱構造物のアスペクト比, テーパー比の影響, 原子力分野における流体関連振動研究会(X)報告書, 東京大学工学部附属原子力工学研究施設, pp. 169-189, (2000, 8).

(2-4) Okajima, A., Kosugi, T., Nakamura, A., Flow-Induced In-Line Oscillation of a Circular Cylinder in a Water Tunnel, Proceeding of ASME-PVP Conference 2001, "Symposium on Flow-Induced Vibration-2001", Atlanta, Georgia, U.S.A., PVP-Vol.420-1, pp.49-57, (2001, 7).

(2-5) 小杉 崇, 中村 晶, 岡島 厚,

水流中における片端支持円柱の流れ方向流力振動, 日本流体力学会講演論文集, pp. 383-384, (2001, 7).

(2-6) 中村 晶, 岡島 厚

円柱構造物の流力振動に及ぼす種々なパラメータに関する研究動向, 日本機械学会2001年度年次大会講演会講演資料集, Vol. VII, pp. 118-119, (2001, 8).

(2-7) 山下嘉貴, 木村繁男, 岡島 厚, 木綿隆弘

上昇急拡大円管における気液2相流の流動構造, 日本機械学会2001年度年次大会講演論文集, Vol. II, pp. 283-284, (2001, 8).

(2-8) 小杉 崇, 岡島 厚, 木綿隆弘, 中村 晶

回流水路流中における両端弾性支持円柱及び片持ち弾性支持有限スパン円柱の流れ方向振動, 第33回流体力学講演会講演集, pp. 209-212, (2001, 9).

(2-9) 岡島 厚, 木村繁男, 木綿隆弘, 和田宗幸

気液二相流中の円柱の流力特性及び流力不安定振動に関する研究, 日本機械学会気-液系流れのダイナミクスに関する研究会報告書, (2002).

研究成果

目 次

第1章 総 括	1
第2章 温度計形状モデルの構造物の流れ方向流力振動特性に関する研究	
2.1 片端弾性支持円柱構造物の流力振動特性に関する水槽実験 (1-2, 2-4, 2-5, 2-8)	3
2.2 流力振動におけるアスペクト比、テーパー比の影響 (1-1, 2-2, 2-3, 2-6)	26
第3章 気液二相流中の円柱状構造物の流れ方向流力振動特性に関する研究	
3.1 配管内の気泡流の流動特性に関する研究 (2-1, 2-7)	55
3.2 気液二相流中の円柱の流力振動特性に関する研究 (2-9)	59

第1章 総括

原子力発電所や石油化学プラントなど様々な工業プラント内に設置されている温度計周りの流れは、流れの剥離などによって複雑な渦構造を生じ、それが時として温度計を振動させ、破損事故に繋がる要因にもなる。このような振動を流力振動 (Flow-Induced Vibration) と云われ、円柱構造物の流力振動には、主に共振流速付近で生じて後流渦が物体の振動数にロックインする流れ直角方向振動のいわゆる渦励振と共振流速の半分の低流速域で二つの励振域を持つ流れ方向振動の二種類の励振がある。一般に流力振動の抑制は構造物に十分な減衰を持たせることで達成されるが、配管内を流れる流体が水や金属ナトリウムなど高密度流の場合には、振動のし難さを表すパラメータである換算質量減衰率が極端に小さくなるために、円柱構造物の流れ方向振動も発生し易くなる。一連の本研究では高温金属ナトリウム流中の温度計さや管をモデルとして回流水槽中で円柱構造物を片端で弾性支持してより実際に近い状態の模型を用いて、励振機構とその流力振動挙動を明らかにした。温度計のように有限スパン長さの構造物の場合には、構造物先端の流れのまわり込みによる後流渦への影響はかなり大きいものと予測される。しかし、模型を片端支持させた場合の流れ方向に関する実験データは未だに乏しく、さらに流れ方向振動機構の一つである構造物の極く近傍に形成される対称渦は構造物先端をまわり込む流れによる影響を直接受けないために片端弾性支持円柱における振動特性や換算減衰率の限界値を、従来の研究資料のみを基礎にして特定することは危険である。さらに実際の原子力プラントにみられる気泡流中における円柱状構造物の流れ方向流力振動特性について調べ、配管内気液二相流中における円柱状構造物の流力振動予測と設計評価ガイドラインの開発に役立てることを目指している。

まず、第2章「温度計形状モデルの構造物の流れ方向流力振動特性に関する研究」のうち、2.1節では、新設した回流型水槽を用いて有限スパン長さの円柱構造物を片端弾性支持し、その流力振動特性を調べた。片持ち有限スパン長さ円柱の水槽実験結果によれば、この場合、交互渦の形成が弱く、第二励振域に相当する領域が縮小することにより対称渦による励振域が増大し、一つの比較的広い流速範囲にわたる励振域を形成する。この振動メカニズムは、円柱先端に端板を取り付けると高流速域で振幅が増大して二つの励振域が現れ、同時に励振域の高流速域では円柱振動数の1/2にロックインすることからも傍証される。

次に、2.2節の流力振動におけるアスペクト比及びテーパ比の影響を調べた研究では、まず静止円柱の静的特性を調べ、円柱のアスペクト比(模型高さ/直径)によって後流渦の形成、その強さ、ストローハル数値などは大きく影響を受けることを明らかにした。次に、種々なアスペクト比の有限スパン長さ円柱を片持ち支持した場合、アスペクト比が大きくなるに従い、有限円柱の流力振動特性は、共振流速の1/2付近で第一、第二の励振域の境界が顕著になり、二次元円柱模型の振動挙動に近づく。一方、円柱のスパン方向にテーパを付けた場合、二つの励振域が現れる。第一励振域ではロックイン現象は生じず、第二励振域のみロックイン現象が見られることは二次元円柱の場合と同様である。さらに、アスペクト比やテーパ付き円柱における流れによる減衰機構の発生と振動円柱周りの流れ場の3次元構造の変化は興味ある課題である。

第3章「気液二相流中の円柱状構造物の流れ方向流力振動特性に関する研究」では、まず、3.1節では気泡を急拡大部を有する管内に挿入した場合の流動特性および気泡のサイズ分布やボイド率分布を、二点電極プローブを用いて測定を行って、次の結論を得た。

(1) コア型気泡流、底層型気泡流の二つの流動様式が拡大後も保持される。下流域では管中心に

ピークをもつコア型気泡流、もしくはスラグ流に近い気泡流になる。

(2) 急拡大部からも再付着点に至るまでボイド率分布は管中心に突出した分布を呈する。

(3) 急拡大管内流においては気泡径の違いによる流れ構造の差異は無いことがわかった。

次に、3.2節では、気泡発生装置を新たに製作して回流水槽装置に設置し、一様水流中に気泡を挿入して両端弾性支持した二次元円柱の振動実験を行い、気液二相流中の円柱の流れ方向の流力振動特性を調べた。以下に、主な結果を示す。

(1) 比較的低流速の0.5m/sの場合、ボイド率分布測定試験ではほぼ一様な分布結果を得たが、流速が増加するに従い、ボイド率のспан方向分布には周期的な増減が生じた。

(2) 一様単相流における両端弾性支持した二次元円柱の流れ方向振動では、第一励振域($1.4 < V_r < 2.3$)及び第二励振域($2.5 < V_r < 3.1$)の応答振幅の最大は、それぞれ直径の1.3%、及び直径の3.3%であった。

(3) 次に、空気を挿入して一様気液二相流における二次元円柱の応答振動挙動は、第一励振域の応答振幅の最大は直径の0.8%、第二励振域では直径の2.0%で、いずれの励振域においても、一様単相流における振幅の40%減で、円柱の振動が一様に抑制されることが明らかにした。

以上のように本研究の結果を、既存の一様単相流における一様単一円柱構造物の流力振動に対する「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」のガイドラインの基礎データと対比することによって、さらにより正確度の高い複雑流れにおける円柱状構造物の流力振動予測及び設計評価ガイドラインの策定に今後、結び付けていく予定である。

これらの主な研究成果は、関連学会の論文集に2編の論文(1-1, 1-2)、そして関連学会において9編の口頭発表論文(2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9)として報告した。