

氏 名	レ タイ ホア LE, THAI HOA
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2843 号
学位授与の日付	平 成 19 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 社 会 基 盤 工 学 専 攻
学位論文題目	UNSTEADY BUFFETING FORCES AND GUST RESPONSE OF BRIDGES WITH PROPER ORTHOGONAL DECOMPOSITION APPLICATIONS (POD解析を用いた橋梁の変動空気力及びガスト応答に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 本 勝 教 授 河 井 宏 允 准 教 授 白 土 博 通

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、橋梁に作用する風の乱れに起因する変動空気力とガスト応答予測におけるPOD解析(固有直交展開)の重要性を議論する。実験結果より、異なる変動気流中におけるいくつかの模型の変動表面圧力の空間相関分布、コヒーレンス関数、さらにはアドミッタンス関数の検討を行う。また、コヒーレンスを高める原因とされるbluff body flowの影響を示し、変動空気力のコヒーレンス関数の経験式で説明する。本研究においては、非定常変動圧力の解析と同定や、ランダムな乱流場のシミュレーション、そして特に橋梁の新しいガスト応答予測手法の提案を目的とし、POD解析を適用した。また、時間領域及び周波数領域における二種類のPOD解析を適用した。いくつかの支配的な低次の直交モードのみを用いれば、乱流、表面圧力、変動空気力といったランダム場の表現、モデル化、シミュレーションができることが明らかになった。また、時間領域と周波数領域における橋梁のガスト応答予測が可能であることを示すことができた。さらに、これらの低次モードと模型表面圧力の空間相関に関する物理的要因との関連について検討を行った。

この論文の内容は10章で構成される。各章の概要を以下に述べる。

第1章では、序論及び研究の背景と目的を示す。

第2章では、研究背景として、周波数領域と時間領域で定式化された風の乱れに起因する橋梁に作用する変動空気力とガスト応答予測について述べる。非定常空気力やガスト応答の評価において、周波数領域における空力アドミッタンスとコヒーレンスを用いる際の仮定、及びその応答誤差について述べる。

第3章では、非定常風中における矩形断面周りの圧力分布及び空間相関を調べ、そこでガスト空気力の空間相関が増加するメカニズム及び模型周りのbluff body flowの影響を述べる。風洞にて非定常圧力試験を行い、圧力データの計測を行った。

第4章では、変動風速と変動空気力との空力アドミッタンスを非線形、multivariateアドミッタンスの概念を導入し検討する。変動風速と変動空気力は風洞実験で矩形断面模型を用いて測定した。

第5章では、スパン方向距離、bluff body flow、接近流の乱れ、及びカルマン渦が変動風速、変動圧力のコヒーレンスに与える効果について考察する。加えて、変動風速に対し変動空気力のコヒーレンスが増加する検証を行う。特に、本研究で初めてウェーブレットコヒーレンスを用いて、風速場、圧力場におけるスペクトル相関構造を検討する。

第6章では、空間相関マトリクスとクロススペクトルマトリクスの両方を用いたPOD解析が変動圧力場に対し適用されている。クロススペクトルマトリクスを用いたPOD解析による、周波数領域における変動圧力場の解析が本論文で初めて述べられている。低次モードによる変動圧力場の再構築と同定を基準座標及び固有モードを用いて行う。さらに、低次乱流モードと模型に作用している物理的な要因との関連が複数の断面で解明されている。

第7章では、POD解析とスペクトル直交変換を用いた乱流場のモデル化、シミュレーションを述べる。数値的な例とし

て橋梁断面周りの乱流場のシミュレーションを行い、さらに、時間領域のシミュレーションにおける固有モードの影響もまた検討されている。

第8章では、スペクトルマトリクスに基づくPOD解析の応用により、橋梁のガスト応答予測の新しいアプローチを検討する。ガスト応答予測手法は周波数領域においてこのスペクトル固有直交展開を用いて定式化されている。ガスト応答における低次のスペクトル乱流モードと構造物の振動モードの関係性について考察されている。

第9章では、橋梁のガスト空気力、ガスト応答を相互相関マトリクスに基づくPOD解析を用いることで時間領域における定式化を本研究で初めて行った。加えて、ガスト応答における低次乱流モードの影響の検討を行う。また、Newton-beta積分法を用い、一般座標系における時間領域のガスト応答の解を求めた。

第10章では、結論であり、各章で得られた主な結論を総括して本論文の結論を述べるとともに、今後の研究課題を示している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、橋梁に作用する風の乱れに起因する変動空気力及び、ガスト応答の予測を目的としており、アドミッタンス関数やコヒーレンス関数を用いる際の従来の仮定、及び以下に述べるその誤差を調査し、同時にPOD解析（固有直交展開）の有用性を示す。さらに、模型表面圧力の空間分布、空間相関を考察することで、inputである風の乱れより高い値を示す変動空気力の相関及びbluff body flowの影響を検討する。

本研究においては、橋梁構造断面周りにおける変動風速場のシミュレーションや、PODモード及び特性関数と物理現象との間の関係に着目した矩形断面周りのランダムな圧力変動の調査及び解析、そして特に周波数領域及び時間領域における新しいガスト応答予測手法の提案を目的とし、POD解析を適用した。

POD解析は時間領域に関する乱流場の相互相関マトリクスに基づいたCPT（Covariance Proper Transformation）または周波数領域に関するクロススペクトルマトリクスのモードに基づいたSPT（Spectral Proper Transformation）という二つの手段がある。本論文では、風洞実験における測定データ及び数値的な計算例が示されている。得られた主要な成果は次のようである。

1. 非定常空気力やガスト応答の評価において、周波数領域における空力アドミッタンスとコヒーレンスを用いる際の仮定、及びその誤差を検討する。変動風速と変動空気力間の非線形空力アドミッタンス、multivariateアドミッタンスの概念を導入し検討する。非定常風中における矩形断面周りの圧力分布及び空間相関を調べ、そこでガスト空気力の空間相関が増加するメカニズム及び模型周りのbluff body flowの影響を明らかにした。

2. いくつかの支配的な低次の直交モードのみを用いれば、乱流、表面圧力、変動空気力といった乱流場の表現、モデル化、シミュレーションができることが明らかになった。また、時間領域と周波数領域における橋梁のガスト応答予測が可能であることを示した。さらに、これらの低次モードと模型表面圧力の空間相関に関する物理的要因との関連について検討を加え、関連性が存在するという結果が得られた。

3. POD解析及びその直交変換の利用によって、時間領域及び周波数領域における新しい橋梁のガスト応答予測手法を行った。ガスト応答における乱流モードの影響及び、構造モードと乱流モードとの相互作用の検討を行った。周波数領域における橋梁のガスト応答では、1次の乱流モード（SPTモード）が支配的であるが、時間領域においては、複数個の乱流モード（CPTモード）が影響しており、これらを考慮することが必要であることを明らかにした。

以上、本論文は、構造物のガスト応答評価における変動空気力解析理論について、空力アドミッタンス関数、空間相関関数、コヒーレンス関数などを議論し、さらにPOD解析の応用がより精緻なガスト応答評価やその機構を解明するために有用であることを明らかにし、今後の構造物の耐風設計に役立てようとするものといえる。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19年8月28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。