風速の非定常性がガスト応答に及ぼす影響

（株）復建エンジニアリング　正　員　橋本　雅俊　　日本大学理工学部　正　員　北川　徹哉
日本大学理工学部　正　員　野村　卓史

1　はじめに

ガスト応答に関する検討は周波数領域において行われる例が多く，これは接近乱流の変動が定常ランダム過程であるとの条件を仮定したものである．しかしながら，実際は気象や地形条件に起因する非定常な風に構造物がさらされる可能性があり，幾つかの既往の研究[1),2)]においては通常のガスト応答とは異なる応答特性が観察されたことも報告されている．本研究においては，文献3)に示した方法によって非定常な風速変動波形を人工的に作成し，これを用いてガスト応答の時刻歴応答解析を行う．また，この風速変動のスペクトルに位相をランダムに与えて作成した定常的な波形による解析も行い，応答特性を比較する．

2　解析方法

図1に示す１自由度バネ－マス系の運動方程式を線形加速度法によって解く．解析の対象は明石海峡大橋のスパン中央部補剛桁断面であるが，固有振動数は0.39Hzとし，これは実橋の水平１次モード固有周期の時間スケールを約1/10に縮小したものに相当する[4)]．対数減衰率は文献4)を参考に0.03に設定し，空気力は風速変動$U(t)$を準定常理論に従って与えた．抗力係数C_D（桁幅で無次元化）は風洞実験によって得られた0.386を用いることとした[4)]．また，桁断面の単位長さ当たりの重量は28.04tfとしている．一方，非定常な風速変動$U(t)$は文献3)の方法を用い，ウェーブレット逆変換によって作成した（以下，非定常風）．そのスペクトルはカルマン型にほぼ従う．比較の対象となる定常的な風速変動データは，得られた非定常風のスペクトルに位相を一様ランダムに与えてフーリエ逆変換により作成した（以下，定常風）．本解析においては平均風速を33m/s，乱れのスケールL_uを193mに固定し，乱れの強さI_uを3～15%の範囲で変化させ，一つの乱れの強さについて非定常風・定常風を各々6個作成し，それぞれについて解析を行った．なお，一つの時系列に含まれるデータ数は8192個であり，時間ステップは0.05sである．

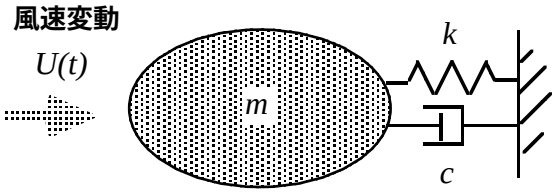

図1　１自由度バネ-マス系

3　解析結果

図2(a)は，I_u=9%を目標値に与えて作成した非定常風の例である．150s付近に局所的な激しい変動がみられ，250s以降は比較的定常な波形となっている．なお，応答解析の初期に衝撃的な応答が発生しないように，0～10sにおいてスムージングを施してある．**図2**(a)のパワースペクトルが**図3**であり，平均風速33m/s，I_u=9%，L_u=193mのカルマンのスペクトルに良く整合する．**図2**(a)を用いて時刻歴応答解析を行った結果を**図2**(b)に示す．6m程度の静的変位がみられ，やはり風速の変動が著しい150s付近に大きな応答振幅を示している．一方，**図3**のスペクトルに位相を一様ランダムに与えてフーリエ逆変換により作成した定常風の風速変動が**図4**(a)である．無限に継続する周期的な波形の重ね合わせにより生成されるため，**図2**(a)にみられた局所的に激しい変動はなく，全時間範囲に渡って定常な波形である．**図2**(a)と**図4**(a)とは変動の様子は明らかに異なるが，そのスペクトルは全く同一である．**図4**(a)の風速変動を用いて得られた応答変位（**図4**(b)）は定常的な波形となった．

I_uを変えて以上のプロセスを繰り返し，得られた応答変位の標準偏差を求め，非定常風のケースと定常風のケースとを区別して示したものが**図5**である．なお，非定常風の波形に現れる非定常性はランダムに発生する．また，標準偏差の算出に当たっては，スムージング処理を施した解析初期のデータは除いている．**図5**をみると，非定常風および定常風による応答変位の標準偏差はI_uの増加に従って増大しており，両者はほぼ一致している．この結果は，スペクトルが同一であればガスト応答の標準偏差は変化しないことを示唆し，従来通り，応答の標準偏差は風速変動のスペクトルを用いて推定できることに整合する．なお，**図5**において**図2**(b)および**図4**(b)の標準偏差を矢印で示しており，両者は約2mである．

次に，各応答変位のピークファクターを**図6**に示す．定常風のケースのピークファクターは3～4程度の範囲に

ウェーブレット，ガスト応答，自然風，非定常風速変動，ピークファクター
〒101-8308　東京都千代田区神田駿河台1-8　日本大学理工学部土木工学科　TEL / FAX 03-3259-0411

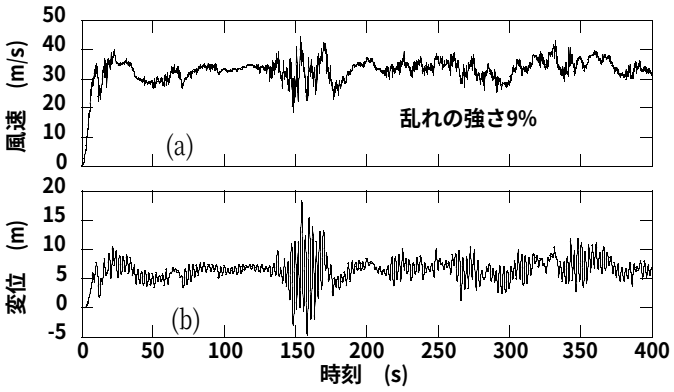

図2　非定常風による解析例　(a)風速　(b)応答

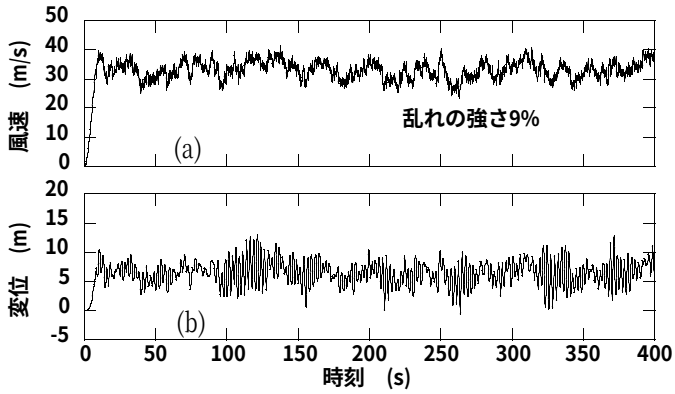

図4　定常風による解析例　(a)風速　(b)応答変

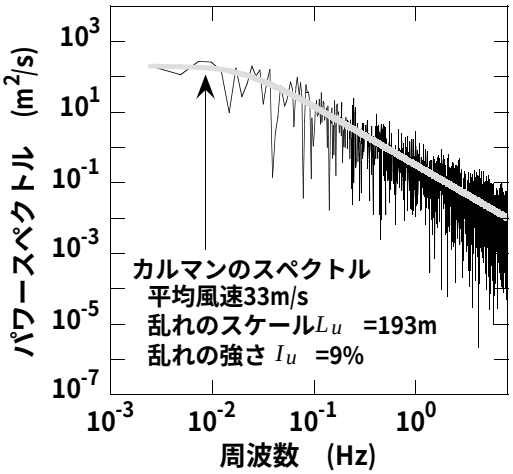

図3　風速変動（**図2** (a)，**図4** (a)）のパワースペクトル

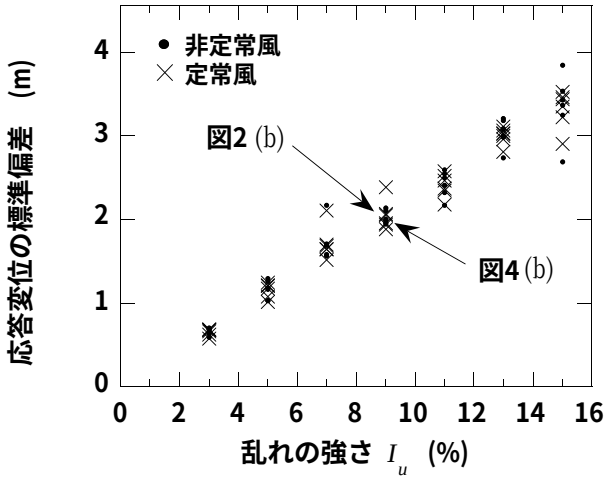

図5　乱れの強さと応答変位の標準偏差の関係

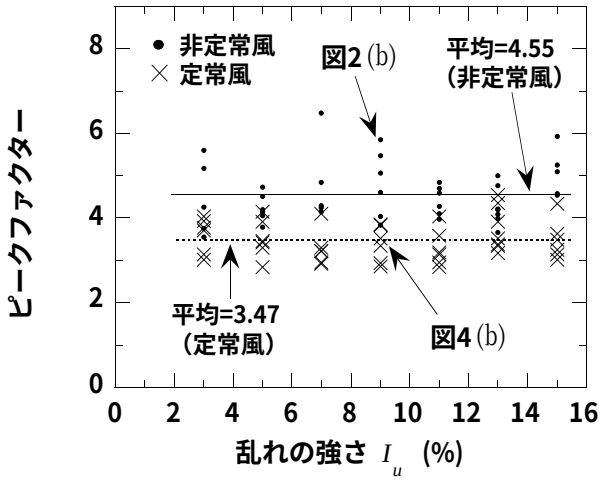

図6　乱れの強さとピークファクターの関係

分布しており，これらの平均を求めると3.47となった．一般に，風速変動が定常ランダム過程であればピークファクターは3～3.5程度の値となるとされており，定常風のケースはこれに従う結果である．これに対して，非定常風を用いた場合のピークファクターは3.5～6程度と大きな値を示しており，ばらついている．**図5**と**図6**とを比較すると，標準偏差が同じであってもピークファクターが等しくなるとは限らないことがわかる．例えば，**図2**(b)（I_u=9%の非定常風のケース）および**図4**(b)（I_u=9%の定常風のケース）の応答変位に着目すると，標準偏差（**図5**）はともに約2.0である．しかし，ピークファクター（**図6**）では，定常風のケースは3.4であるのに対し，非定常風のケースは5.9と大きな差がみられる．本解析結果においては，非定常風による応答変位のピークファクターの平均は4.55となった．これは，定常風のピークファクターの約1.3倍の値である．

4　まとめ

接近流のスペクトルが同一であっても，非定常な風速変動の場合のピークファクターは定常な風速変動のケースより大きな値となる可能性があることを解析的に示した．

参考文献　1)宮田，佐藤，鳥海，大谷：複雑な地形に囲まれた長大斜張橋のガスト応答特性に関する実験的研究，第14回風工学シンポジウム論文集，pp.521-526，1996．2)木村，ロイ，苔口，藤野：円錐形の山の後流中の平板片持ちばり橋梁模型の鉛直応答特性，第15回風工学シンポジウム論文集，pp.371-376，1998．3)北川，野村：ウェーブレットを用いた間欠性を含む人工風速波形の生成の試み，日本風工学会論文集，第81号，pp.71-86，1999．4) 勝地弘：長大橋耐風設計における風速変動効果の合理的評価に関する研究，横浜国立大学学位論文，1999.