

大阪大学工学部 正会員 小松定夫
大阪大学工学部 学生員 中山隆弘

1. まえがき 土木、建築構造物の高層化、長大化に伴い、風に対する安全性が、ますます強く要求されるようになったことは周知の通りである。しかしながら、台風発生が不規則であり、風速も、時間的、空間的に不規則であることが、構造物の風に対する安全性の評価を困難なものにしていることは否めない。Davenport¹⁾は、吊橋の強風時における応答の最大値を推定する式を導いてはいるが、ある一定の継続時間の間、平均風速は一定であるとしている点、それをそのまま、我国の台風に対して適用することには、問題があると考えられる。筆者の一人²⁾は、先に、暴風を準定常確率過程とみなし、吊橋の耐風安全性に対する考察を行なった。その中で、暴風時における平均風速の変化を将来の問題として提起した。幸い、今回、台風の早回し記録を得ることができたので、暴風時における10分間平均風速、及び、風速のスペクトルの時間的変化を検討した。また、構造物の破壊を論ずる場合、年最大風速の確率分布がどうしても必要になるので、室戸岬、及び、高知測候所における観測資料に基づき、年最大風速の確率分布を求め、分布のパラメータを計算した。これらの事項を基礎資料とし、構造物の破壊の再現期間、及び、耐用年限における破壊確率を計算する手法を示し、これを鋼製タワーに適用することを試みたので、報告する次第である。

2. 風速データについて 暴風時における10分間平均風速の時間的変化、及び、風速のスペクトルの時間的変化については、昭和40年9月10日に室戸で観測された台風6523号の記録を用いて考察した。これは風速のピーク時の前後、計90分間、高度12.4m、19.8m、31.5m、50.0m、80.0mの5層において、3杯型風向・風速計により、風向、風速を測定したものである。また、年最大風速の確率分布の決定には、室戸岬、及び、高知測候所で観測された、昭和3年から昭和46年までの、44年間の各年最大風速(10分間平均風速)の記録を使用した。

3. 10分間平均風速の時間的変化 昭和9年9月20～21日に室戸岬測候所で観測された、「室戸台風」の記録を図-1に示す。これにより台風通過時における風速の時間的変化の状況がほぼ理解できる。紙面の都合上、1割しか示していないが、その他のデータも参考にし、10分間平均風速の時間的変化を、指教関数形で近似することを試みた。風速がピークとなる時

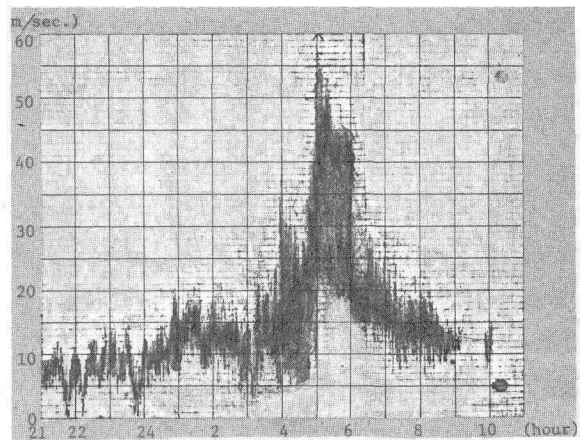


Fig. 1 Wind Velocity Record of the Typhoon "Muroto" at Muroto (1934. 9. 20.~21.)

向を時間軸の原点にとり、前述の、垂水において観測された台風6523号の記録を解析した。構造物の破壊確率に最も大きな影響を及ぼすのは、当然風速が最大となる付近であると考えられる。従って、 $t=0$ の前後10分間ずつは、1分間毎の10分間平均風速を算出し、平均風速の変化状態を、厳密に追跡できるようにした。その他の区間では、全て10分間毎に、平均風速を算出した。これらのデータを使用し、最小2乗法により、最もデータによく適合する関数形と、そのパラメーターを計算した。結果は次の通りである。

$$U(t) = U_{max} \cdot \exp(-0.0011t^2) \quad (|t| \leq 10 \text{ min})$$

$$= 0.975 U_{max} \cdot \exp(-0.011|t|) \quad (|t| > 10 \text{ min})$$

式中 $U(t)$ は10分間平均風速を、 U_{max} は、10分間平均風速のうちの最大値を示す。今後、多数のデータを解析し、式中のパラメーターの確率分布を知ることが、確率論的に構造物の破壊を追求してゆく場合、是非とも必要であると考ええる。

4. 風速のパワースペクトルの時間的变化 垂水に

において観測された台風6523号の風速データを解析したことは前述の通りである。早回し記録は、昭和40年9月10日、午前9時40分から、11時10分の間採られている。10分間平均風速のピークは、10時50分に現われており、従って、ピークを含む、計40分間、観測された訳である。今回は、9時40分から9時50分、10時から10時10分、10時30分から10時40分、10時40分から10時50分、10時50分から11時の5区間を、スペクトルの時間的变化を検討するための対象区間とした。サンプリング周波数を5/16秒、データ個数を1400個、周波数分解能を0.05 c/secとし、Blackman-Tukeyの方法により、各区間のパワースペクトルを計算した。

図-3にその結果を示す。これによれば、周波数特性・振幅特性共に、時間経過による顕著な傾向は見られない。これが妥当であるとすれば、台風の通過中、変動風速の分散は、ほぼ一定とみなしてよいと考えることができ、構造物の破壊確率の計算が簡便化される。

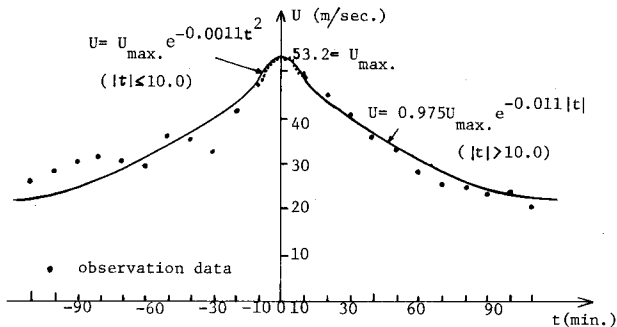


Fig.2 Variation of Mean Wind Velocity at Tarumi (typhoon No. 6523)

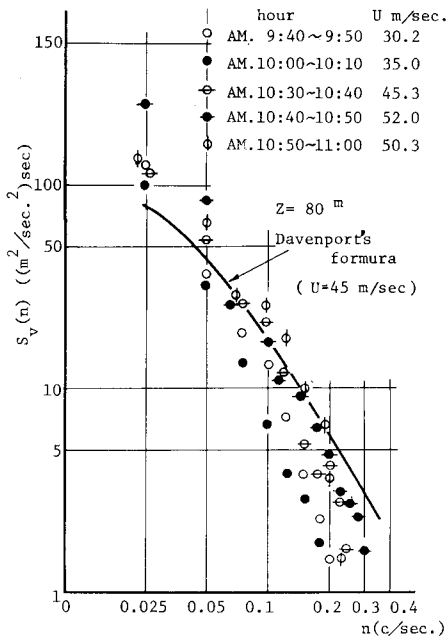


Fig.3 Spectrum of Gustiness at Tarumi (typhoon No.6523)

なお、Davenportの突風公式と比較するため、同図に、同公式によるスペクトルを示した。

5. 年最大風速の確率分布 年最大風速の分布関数としては、Fischer-Tippetの理論がよく合うとされている。しかし、Jhon³⁾が検討したように、Fréchet分布のほうが、より実測値に適合するとの結果が報告されている。室戸岬、及び、高知測候所でも得られた過去44年間の記録を解析し、それぞれの地点における、年最大風速(10分間平均風速)の確率分布を示したのが、図4、図5である。これらの図から、かなりの適合度をもって、室戸岬ではFréchet分布が、また、高知においては、Fischer-Tippet分布が、実測データとよく一致することができる。最小2乗法により、実測データに最もよく適合する直線を、同図に示したように決定し、それぞれの分布のパラメーターA、Bを計算した。結果を以下に示す。

室戸岬(データ中の最小値は16.9 m/sec, 最大値は69.8 m/sec)

$$F(U) = \exp(-\exp(-A \ln \frac{U}{B}))$$

$$A = 3.50, \quad B = 27.11$$

高知(データ中の最小値は6.5 m/sec, 最大値は29.2 m/sec)

$$F(U) = \exp(-\exp(-A(U-B)))$$

$$A = 0.203, \quad B = 14.93$$

6. 1回の台風通過による建造物の破壊確率 建造物の破壊を論ずる場合、まず、破壊の形態を明確にしておかねばならない。すなわち、降伏点を感ぜたる、たとえそれが、建造物のある1点のみであつて、直ちに破壊とみなす、という視点もある。その他、座屈、あるいは疲労による破壊も、当然考へるべきであらう。しかし、今回は座屈、及び、疲労破壊は生じないものと仮定し、建造物のある1点の応力が、材料の公称降伏点を超過したときを、破壊とみなす。なお、材料強度のばらつきも当然考へるべきであらうが、一般に、建造物建造の際には、公称降伏点以上の強度をもち材料しか使用されないと考えた。

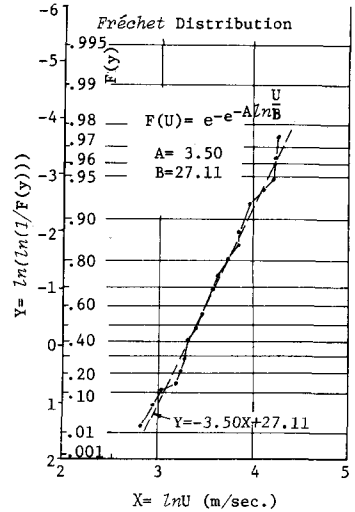


Fig.4 Distribution of Annual Max. Wind Verocity at Muroto (observation data- S.3— 46)

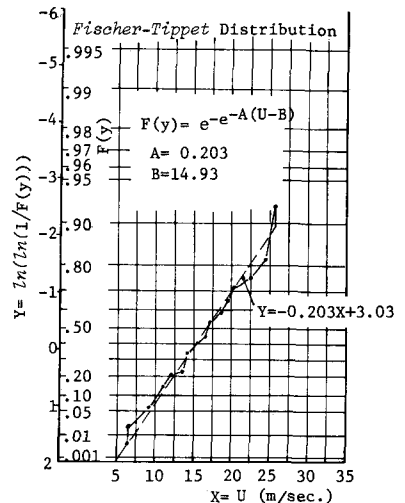


Fig.5 Distribution of Annual Max. Wind Verocity at Kochi (observation data- S.3— 46)

このような仮定のもとでは、いわゆる *first-passage-probability* の問題として、破壊の確率を考えてゆくことができる。以下 解析の概要を述べる。構造物に生ずる応力は、平均風圧による静的応力と、不規則な変動風圧による動的応力に分離して考えられる。静的応力を除き、動的応力のみを考える方が、不規則振動論を適用し易い。そこで、図-6(a) に示した平均風速 $U(t)$ の変化を例えはる。下述のように指数関数で仮定し、静的な構造解析により、静的応力 $\sigma_s(t)$ の時間的变化に置き換える。次に、公称降伏点 $\sigma_{y, nomi.}$ から $\sigma_s(t)$ を引いたものを $\sigma_{y, red.}$ とし、これを「換算降伏点」と名付ける。こうすることにより、静的応力の影響を直接考える必要はなくなり、さらに、 $\sigma_{y, red.}$ の曲線を図-6(b) のように、ある時間々隔の間は一一定値とみなすことにより、問題を単純化する。以上の計算を実行した後では、破壊の確率を、変動応力が換算降伏点を初期通過する確率と考えることができる。計算に当たっては、 σ_i 区間より以前では、初期通過がないという条件のもとで、 σ_i 区間において、変動応力 $\sigma_i(t)$ が $\sigma_{y, red.}(t_i)$ を初期通過する確率を計算する。(誘導は例えは文献4)。これを $P_i(\sigma_i > \sigma_{y, red.}(t_i) / \sigma_{i-1} < \sigma_{y, red.}(t_{i-1}), \dots, \sigma_n < \sigma_{y, red.}(t_n))$ とすれば、1回の台風通過による構造物の破壊確率は引張、及び、圧縮破壊を考え、 $P_f = 2 \sum P_i$ と表わすことができる。 P_f を求めることができれば、破壊の再現期間、及び、耐用年限中における破壊確率は容易に計算することが可能となる。

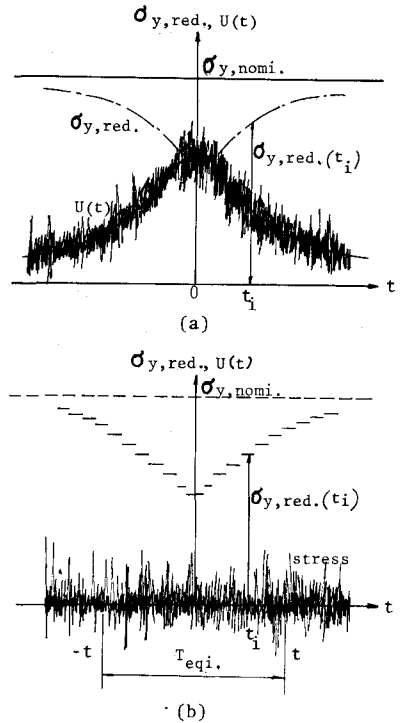


Fig.6 Idealized Model

7. タワーの破壊確率に関する数値計算例 断面諸元は紙面の都合上省略するが、対象とするのは、高さ80.0m、直径3.0mの鋼製タワーである。固有モードと、それに対応する固有振動数を図-7に示す。計算結果については、講演当日発表する予定である。

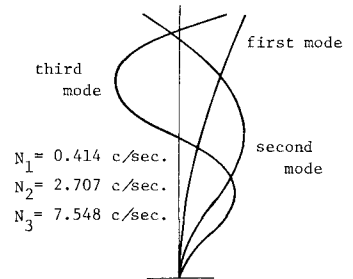


Fig.7 Normal Mode

末尾になるが、貴重な資料を提供して頂いた、本州四国連絡橋公園神戸調査事務所、及び、室戸岬測候所の関係諸氏に、感謝の意を表す。

- 1) A.G. Davenport : *The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures*, Proc. ICE, Vol.19, 1961
- 2) 小松 定夫 : 長大吊橋の耐風設計法と安全性について, 学会論文集 142号, BBAD42年6月
- 3) H.C.S. Flom : *New Distribution of Extreme Winds in the United States*, Proc. ASCE, Vol.94, No. ST7, 1968
- 4) R.L. Racicot and F. Hooss : *A First-Passage Approximation in Random Vibration*, Jour. of Applied Mech. March 1971