

フラジリティ曲線による航空機着陸時の風速基準値の検討

中央大学 学生会員 ○竹本 純平 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

2009年3月23日、千葉県の成田国際空港においてフェデラルエクスプレスの貨物機が着陸時に滑走路でバウンドし横転した後に炎上する事故が発生した。事故調査委員会の報告書によると、パイロットが気流や風速に気を取られたことによる操縦ミスが事故の原因となったと示されている。

航空機の着陸時における風に関する基準値は航空会社や機種によって異なり、基準値内の着陸は乗務員の判断となる。このため着陸時の気象的要因は乗務員の判断ミスへと繋がり、ヒューマンエラーの原因になると考えられる。

そこで本研究では、風が航空機の着陸に及ぼす影響を確率論的に分析し、着陸時の風速的基準値の検討を行う。

2. 研究手法

本研究ではフラジリティ曲線(被害率曲線)やフラジリティ曲面を用いて風速制限値の分析、検討を行う。フラジリティ曲線とは横軸に地震動など外力や攪乱要因をとり、縦軸に被害率をとって全壊率や半壊率を記述し、ある地域内の構造物の被害の程度の評価を行うために用いられる。¹⁾

本研究では、フラジリティ曲線の横軸を着陸時の風速や風向(航空機着陸進入方向に対する角度)、縦軸を事故の発生確率として確率モデルを当てはめて検討を行うこととした。

3. 風速による事故の発生確率について

3.1 事故の発生確率について

本研究ではフラジリティ曲線の縦軸に1kt(約0.5m/s)から25kt(約12.9m/s)まで0.5kt(約0.25m/s)ごとそれぞれの風速における事故の発生確率を用いるためベイズの定理を適用する。実際には、分母側に「風速の頻度分布」をとり、分子側に「事故が発生した条件下での風速の発生確率」に、「航空機が着陸時に事故を起こす確率」を乗じた値をとり、百分率で示した数値を用いる。

3.2 風速の発生頻度分布について

風速の発生頻度分布を求めるために気象庁のデータベースより2017年における風速、風向の収集を行った。日本の空港の立地条件は様々であり、立地場所や季節により風速や風向の発生の仕方が異なると考えたため、日本にある空港のうち、国、地方が管理を行っている45空港に関して2017年の1年間1時間

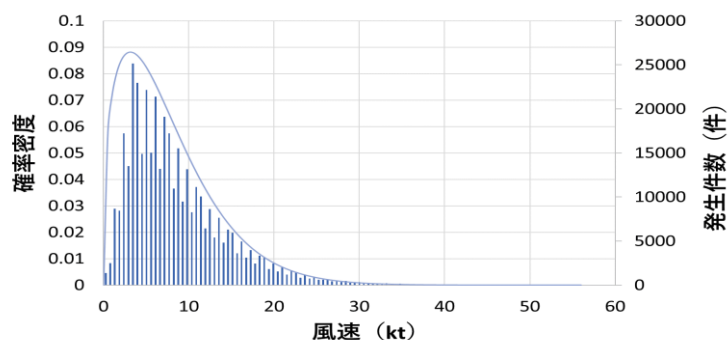


図-1 風速の発生頻度分布

ごとの風速、風向 394,200 件のデータを収集した。

次に風速の発生頻度を求めていくこととする。風速の発生頻度分布は式(1)のようなワイブル分布に従うこととした²⁾。

$$f(x) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right\} \quad (1)$$

$$\bar{V} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2)$$

ここで、 $f(x)$ は風速 V の出現率、 c は尺度パラメータ、 k は形状パラメータ、 Γ はガンマ関数とする。この二つのパラメータは未知であるため、ワイブル確率紙による最適値の推定を行った結果、形状パラメータを $k=1.36$ と確定し、式(2)より尺度パラメータ $c=8.32$ となり算出結果を図-1に示す。

3.3 事故が発生した条件下での風速の発生確率

本研究では、運輸安全委員会の事故調査報告書から得た52件の事故発生時の風速のデータを用いて検討を行う。

事故が発生した条件下での風速の発生確率の算出には確率密度関数が必要であるため、4kt(約2.0m/s)ごとのヒストグラムを作成し、その外形より正規分布に当てはめ確率密度関数を求めた。その後、求めた確率密度関数が正規分布に従うことが適切であるかを検定するために、正規確率紙による検定を行い、信頼度を示す相関係数 R^2 が0.97と1に近似できる値を示したため、正規分布に従うこととした。

3.4 航空機が着陸時に事故を起こす確率

着陸時の航空機事故の確率は、直接的に算出することができないため、RSという滑走路での事故確率を代用値として用いることとした。ICAOが発行しているセーフティーレポートでは、2017年の世界の

キーワード: フラジリティ曲線 ワイブル分布 RS

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL.03-3817-1816 FAX.03-3817-1

航空事故平均発生件数は、フライト100万回あたり、2.4回と示されている³⁾。また、2017年における事故のうち55%はRSに分類されるため、着陸時に事故となる確率は 1.32×10^{-6} と算出でき、この数値を用いることとした。

4. フラジリティ曲線による考察

前章で求めた事故発生確率と風速の発生頻度分布を用いてフラジリティ曲線を作成したが、フライト1回あたり事故の発生確率は最大の場合でも風速23.5kt (約12m/s)の時に 6.78×10^{-4} と非常に低い確率であったため、検討が困難であることが分かった。そこでフライト10万回あたりに換算し、フラジリティ曲線を作成して検討を行うこととした。3次曲線に近似したフラジリティ曲線を図-2に示す。これよりフライト10万回あたりの事故の確率は23.5kt (12m/s)の時に67.8%と算出することができ、風速23.5kt (約12m/s)の状態ですら毎日1回フライトすると274年に1度事故が発生するという非常に低い確率であることが分かった。しかし、近似曲線は原点付近で立ち上がりが見えてとれるため不自然な形となっている。そのため今後デジタルフィルターを通じて補正を試みる。

5. フラジリティ曲面への応用

風速による事故の発生確率と併せて風向も航空機の着陸時に影響を及ぼす要素となりうる。そこでX軸を風速の横風成分値、Y軸を風向の度数変換値、Z軸を事故の発生確率としてフラジリティ曲面を作成し、3次元的な視点から検討を行うこととした。ここで風向に関して、航空機の進入に対する角度であり、180°を向風、360°を追風とする。0°は風が吹いていない状態を示している。

事故の発生確率の算出にあたっては、風向による事故の発生確率と、風速の横風成分値による事故の発生確率を、それぞれ独立な事象として、お互いを乗ずることで算出を行い、その結果を図-3に示す。

日本航空の横風制限値は25kt (約12.9m/s)⁴⁾であり作成したフラジリティ曲面上でも風向360°、横風成分値25kt (約12.9m/s)の時に0.8%の確率で事故が発生し、フライト100回で80%となる。しかし、航空機は向風に対して離着陸を行うことを考慮すると、(風向)360°=追風の状況で着陸することは少ないと考えた。そのため、今後事故の発生確率算出方法の再検討を行う。

6. おわりに

本研究では風が航空機の着陸に及ぼす影響をフラジリティ曲線により確率論的に分析し、風速基準値の検討を行った。しかし追風の際に一番事故の確率が最も高くなるという結果となった。これはベイズの定理を用いて、実際に確率が小さいもので除したことで最終的に事故の発生確率が高くなったことが原因であると考えられる。

したがって今後は、確率算出方法の検討を行い、現

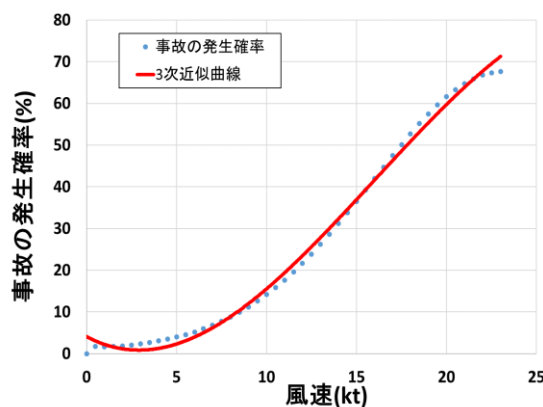
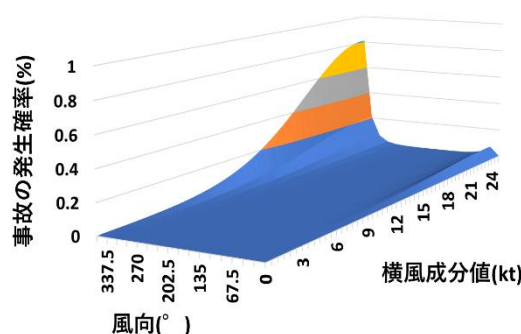


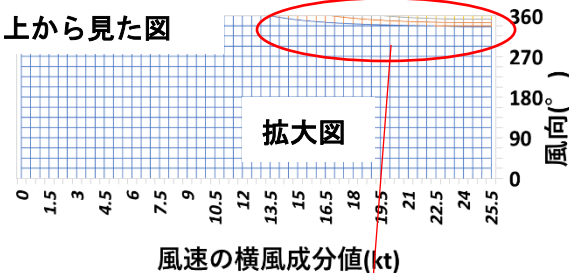
図-2 フライト10万回あたりの事故発

事故の発生確率



事故の発生確率の凡例 0-0.2 0.2-0.4 0.4-0.6 0.6-0.8 0.8-1

上から見た図



事故の発生確率凡例 0-0.2 0.2-0.4 0.4-0.6 0.6-0.8 0.8-1

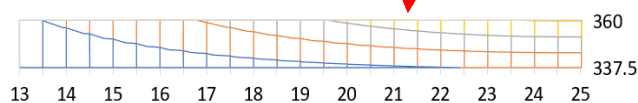


図-3 3次元フラジリティ曲面

実的なフラジリティ曲線の作成する。また航空機の重量を加味することやデジタルフィルターを用いて曲線の平滑化を行うことで、精度の高いものにしていく。

参考文献・出典

- 1) Excelで学ぶ地震リスク評価 日本建築学会編
- 2) 性能設計における土木構造物に対する作用の指針 土木学会
- 3) ICAO safety report ICAO
- 4) 日本航空株式会社