

CS - 41 列車運転規制のための強風予測手法に関する研究

J R 東日本安全研究所 正会員 島村 誠, 三菱総合研究所 鷺尾 隆

1. はじめに

安全かつ円滑な列車運行は鉄道事業にとっての責務であるが、中でも強風による列車の脱線、転覆は、天災による列車事故の主要な要因である。このため、鉄道沿線の強風発生頻度が高い地点や線区においては、事故防止を目途として風速監視とそれに基づく運転規制が行われている。監視対象地点または線区には線路脇の支柱上に三杯式風速計が設置され、そこで計測される風速値は最寄りの管轄駅に伝送されている。現状ではその観測風速値が一定の保守的の margins を有する基準風速値を超えた場合に、その程度に応じて列車の速度制限や運転停止などの規制が発動される。しかもその後は強風レベル変化傾向の様子見の時間として、最低でもある定められた基準時間はその規制が継続される。しかしながら、この方法では基準風速値の margins や様子見の基準時間の取り方が単純かつ固定的であり、風速が最初に基準を超える瞬間や規制解除直後に列車が強風に遭遇する可能性を明確な根拠を以て排除できない。また一方で、一度規制が発動されると強風の存否にかかわらず基準時間中は無条件に規制が継続されてしまい、列車運転の効率が著しく低下する。

このような背景から、より客観的根拠と高信頼性、柔軟性を有するものとして、強風予測に基づく規制方法の検討を行っている。特定地点の強風は気圧配置や周辺地形など種々の条件が複雑に重畳して発生するものであり、これら全てを気象学的に考慮して実時間で正確にその発生を予測する手法は、現在までのところ確立されていない。そこで本研究においては、過去数時間に亘る観測風速値から信頼性と精度の高い予測風速値を導く数理統計的手法の検討、及びその列車運転規制適用に関するフィージビリティスタディーを目的とした。

2. 研究の概要

図1に示すように、はじめに監視対象地点設置の風速計出力をデジタル化し、一定のサンプリング時間間隔で計算機取り込みを行った。次にオフライン処理により特に強風が吹いた日時の数時間に亘る記録を選び、そのデータの前半部によって過去数十ステップの風速変動と数ステップ未来の風速を関連づける数理統計モデルを構築した。更に後半部の各時点に関して、その過去数十ステップのデータをモデルに入力することで数ステップ未来の風速情報の予測を行わせた。

これら各時点の予測結果と実風速データの比較により予測精度、信頼性、可能予測時間長などを評価すると共に、具体的強風事例に関するシミュレーションを通じて、従来の規制方法との適用比較を実施した。

3. 強風予測手法の内容

採用した強風予測手法は、幾つかの処理から成る。

(1) 過去風速データの前処理

列車運転規制においては数分単位での未来の最大風速値の予測が必要であるため、過去数時間に亘る実風速データに時間スケリング処理を施し、最小で数分単位スケール程度の変動を表すデータに変換する。

(2) 風速変動モデルの構築

風速の変動を数時間単位のマクロな増減傾向（トレンド成分）とその上より短時間の増減変動（ゆらぎ成分）の合成と捉え、それぞれについて数理統計的なモデル化を行う。トレンド成分については時間多項式で表し、前処理後

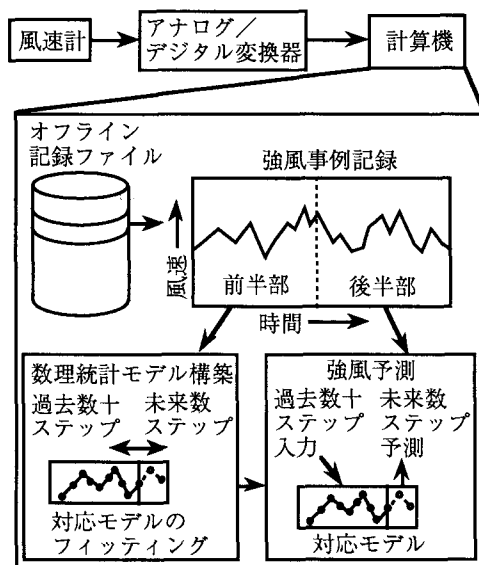


図1 研究における強風予測の概要

のデータに最小自乗フィッティングを行う。次に得られたトレンド成分を実風速データから差し引き、ゆらぎ成分を抽出する。そして、そのモデルとして以下のような自己回帰（Auto Regressive: A R）モデル〔1〕を採用し、同じく最小自乗フィッティングにより各係数を決定する。

$$\hat{x}(k+p) = \sum_{i=1}^n a(i)x(k+p-i)$$

$\hat{x}$ ：未来ゆらぎ値， x ：過去ゆらぎ値， a ：モデル係数， k ：現在時刻ステップ， p ：予測先ステップ数

これは過去の風速ゆらぎ成分値と未来のゆらぎ成分値を漸化式の形で関連づけるモデルである。またこのようなトレンド及びゆらぎのモデル化と同時に、フィッティング残差から各モデル誤差の標準偏差を評価する。

（3）風速のモデル外挿予測

上記で得られた時間多項式トレンドモデルに現時点から先の時刻を代入し、またA Rゆらぎモデルには現時点から過去数十ステップの前処理データを漸化的に代入し、それぞれ数ステップ先の風速値を外挿予測する。そして、両予測値を加算し実風速の予測値を得る。

（4）予測不確定性を考慮したマージンの設定

強風予測ベースの列車運転規制では、数分先に実風速が基準値を超える可能性が大きい時間帯のみに規制を敷くことが考えられる。そこで（3）で得られた予測値と（2）で評価されたモデル誤差の正規分布を基に、統計検定により数ステップ先において発生可能性を有する風速の最大値（確率的限界最大風速値）を求める。

（1）、（2）の処理は強風事例データの前半部を基に一括して行われるが、（3）、（4）は後半部の各データ点について逐次的に実施され、常に各時点から数分先の予測が行われる。

4. 手法の有効性検証とまとめ

図2に、鉄道沿線の監視対象地点における実測強風事例データについて、本強風予測手法により3分先の予測を行った場合の風速予測値及び確率的限界最大風速値を示す。前者は概ね実風速と一致しその誤差の標準偏差は2.8m/s程度であった。また、後者は実風速が到達し得る限界レベルを的確に予測していることが見て取れる。同図下部には様子見基準時間を30分間とした従来規制方法による列車運転中止期間と本予測結果に基づく列車運転中止期間の例が示されている。一般に風速30m/sを超える強風は列車運行にとって危険であるとされる。そこでこの例では両者の比較条件を等価にするため、従来規制方法では基準風速値を5m/sのマージンを有する25m/sとし、強風予測手法では風速予測値から5m/s程度の上方マージンを有する確率的限界最大風速値につき30m/sを基準風速値とした。この結果によると、従来規制方法では5040秒間規制が継続しているが、強風予測手法では10分の1近い540秒間の規制に留まっております。効率的な規制が可能となることが判る。また、強風予測手法による規制の発動及び解除が明確な確率的根拠を有し、従来の規制方法に比して客観的安全性の確保が容易となった。

更に、本強風予測手法を同様に他の実測強風事例に適用した結果、予測精度、信頼性、可能予測時間長などに関し、実際の列車運転規制に対し十分な性能を有するとの見通しを得た。今後は適用事例の範囲を拡大しより信憑性の高い性能検証を行うとともに、実際の列車運転規制に対する本予測手法の妥当な適用方法、システムのあり方などを検討していく予定である。

〔1〕中溝高好：信号解析とシステム同定（現代制御シリーズ1），コロナ社（1988）

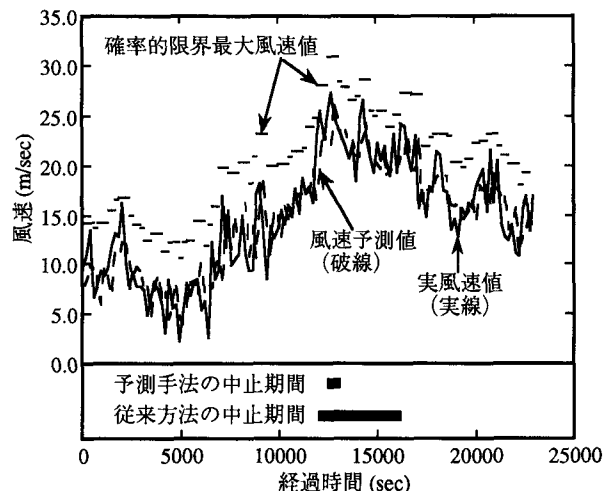


図2 実測データに関する強風予測手法の適用例