

論文要旨

コンクリート橋梁の劣化現象の一つである塩害は、沿岸部に建設をされた橋梁が多い日本では懸念すべき劣化現象である。塩害は海から飛来する塩化物イオンがコンクリート表面に付着することで始まる。コンクリートのひび割れは付着した塩化物イオンが内部へ浸透し鉄筋の腐食膨張を誘引することで発生し、塩分の供給が継続的に行われるような立地環境である場合、ひび割れがさらに進行しコンクリートの剥落など構造体の損傷につながる。日本における橋梁の多くは高度成長期に集中して建設され、建設後 50 年を超える橋梁は 2026 年には全体の 47% を占めると予想されている⁽¹⁾。そのため、橋梁の維持管理の効率化と劣化予測精度の向上が求められている。このような状況の中、現在橋梁の維持管理で行われている劣化予測にはコンクリート表面における塩化物イオン量が用いられており、その値は海岸からの距離により決定されている⁽²⁾。しかし、飛来塩化物イオン量は橋梁の位置や気象条件など立地環境により大きく異なることから、コンクリート表面の付着量においても橋梁の立地環境を考慮する必要がある。

本研究室では、橋本⁽³⁾が塩害による橋梁劣化予測の為の立地環境の指標化を行い、塩害による劣化状況との比較を行った。距離、標高差、土地被覆、降水量の各指標が劣化にどの程度影響を与えているかを判断するには至っていないが、今後の課題としてこれらの指標を飛来塩分量と比較する必要性が指摘されている。

本研究はGIS、気象・波浪データを使用し、橋梁周辺の立地環境から橋脚のコンクリート表面に付着する塩化物イオン量を推定するシステムの構築を目的とする。飛来塩分量の推定には小窪⁽⁵⁾らが提案したモデルを使用した。この算定モデルは精度検証より課題として、入力値である気象データや波浪データの精度向上が指摘されている。日本には気象庁や国土交通省により気象海象の観測網が整備されているが、観測点間が長距離である。そのため、任意地点における気象海象データを推定するため、5kmメッシュの数値予報モデルであるMSMやCWMを使用した。入力データとして使用するGISデータは最短距離、標高、海底勾配、海岸形状、海岸線方位、橋軸方位、土地被覆である。気象データは風速風向と降水量であり、海象データは有義波高、周期、波向である。また、2016年の1年間を対象に、塩化物イオンの付着が起りやすい場所の抽出を付着塩化物イオン量の分布図から推定した。

実測値との比較より、MSMを用いた風速の相関係数は0.5から0.7の範囲となり、標準偏差は最大で1.5m/sとなった。風向については方位誤差が0から±2の範囲が全体の7割程度である。降水量については相関係数が0.4から0.9の範囲となり、降水量の標準偏差は最大で3.1mm/hとなった。また、MSMから推定した気象観測点での降水の有無を比較した結果、各月において適中率は8割を超えた。波浪データである有義波高、周期、波向の推定はCWMの使用を検討したが、周期と波向において高い相関が得られなかった。そのため国土交通省港湾局の波浪データを使用し、砕波波高と砕波水深を推定した。付着塩化物イオン量の比較より、推定値は測定値に対して過大評価となった。原因として降水による付着塩化物イオンの洗い流しの影響を考慮できていないこと、海塩粒子の発生過程において対象海岸での有義波高、周期、波向の値を使用できなかったことが挙げられ、今後の課題である。

付着塩化物イオン密度の分布図より、塩化物イオンが付着しやすい場所の推察を行った。対象範囲には河川が二本あり、その河口部の海岸形状は海浜である。砕波により海浜で発生する海塩粒子は飛沫直径が小さいため、消波ブロックが設置された人工海岸に比べ内陸への輸送量が多くなる。また河川上は地表面粗度の影響が比較的小さく、風速が低下しないことより塩化物イオンの付着量が多くなる傾向があると推察される。

Abstract

Salt damage is one of the deterioration phenomenon of concrete bridge, and it is worrisome phenomenon because lots of bridges were constructed at coastal area in Japan. Salt damage is resulting from the chloride ion adhering to the concrete surface. Cracks in a concrete is happened by the rebar's corrosion and expansion, which is wreaked by the chloride ion seeping into concrete. In addition, cracks in a concrete of the bridges is progressed in case they are located in an area of high sea salt, and as a result the bridges are damaged. Lots of bridges in Japan were constructed during the period of rapid economic growth, and 50-year-old bridges are expected to go up to 47% of the total in 2026 ⁽¹⁾. Therefore, efficient maintenance and improvement in prediction accuracy of deterioration phenomenon are necessary. In these circumstances, the prediction of deterioration phenomenon for the current bridge maintenance used the assumed amount of the chloride ion adhering to the concrete surface, and it is constant value depending on the distance from the coast ⁽²⁾. However, it is considered that the degree of actual chloride ion adhered differs depending on the environment around the bridge such as coastal distance, elevation of ground, wind speed, and wind direction. Therefore, it is necessary to consider the environment around the bridge for estimating the amount of the chloride ion adhering to the concrete surface.

Hashimoto ⁽³⁾ proposed the index around the bridges for prediction of deterioration phenomenon, and compared the condition of bridge deterioration and those indexes. The clear relationship between those indexes and the condition of bridge deterioration was not shown, and it was pointed out the necessity for comparing those indexes to the flying chloride ion amount.

This research aims at developing a system to estimate the chloride ion amount adhering to the concrete surface from the location environment around the bridge, which is evaluated by GIS data and meteorological data. The flying chloride ion amount was estimated from the existing calculation model of chloride ion amount. The accuracy verification of this calculation model pointed out the necessity to improvement in accuracy input data, such as meteorological data and wave data. While the network of weather and wave observation is constructed in Japan by Japan Meteorological Agency and Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, the distance between observations points is so long. Therefore, the weather and wave factors at arbitrary point were estimated by using MSM GPV data and CWM GPV data, which are the numerical prediction model data and are 5 km interval gridded data. GIS data set as input data are the following: the shortest distance, the elevation of ground, the sea-bottom slope, coastal shape, azimuth direction of coastal line, azimuth direction of bridge axis and land cover. Meteorological data set as input data are wind speed, wind direction and rainfall amount, and the wave data set as input data are significant wave height, wave period and wave direction. In addition, we inferred places within study area where chloride ions are easily adhering by using distribution map of adherent chloride ion amount.

As a verification result, estimation result of wind speed by using MSM was within the range of between 0.5 and 0.7 on correlation coefficient. Error of wind direction within the range of between 0 and plus or minus 2 were account for 70% of the total. Estimation result of rainfall amount by using MSM was within the range of between 0.4 and 0.9 on correlation coefficient. In addition, the predictive value of presence or absence of rainfall was more likely than 80%. The wave data set as input data are significant wave height, wave period and wave direction are estimated by using CWM. However, the correlation values of wave period and wave direction was not good. Therefore, data of significant wave height and wave period was estimated using observation values of Kochi port in every month, and breaker height and breaker depth are calculated by computational software.

As a verification result, estimated adherent chloride ion amount showed overestimate to measured value. The cause of overestimation was considered that estimated value was resulting from the lack of influenced of wash out by rainfall. In addition, the reason of overestimation was considered that the wave data at study area was not able to use during the course of seawater aerosol production process.

The places where chloride ions are easily adhering were inferred by using distribution map of adherent chloride ion amount. There are two rivers at study area, and coastal shapes are sandy beach. Droplet diameter of seawater aerosols that is occurred in the sandy beach is small. Therefore, lots of seawater aerosols are transported to inland compared to artificial coast. In addition, wind speed does not decrease on a river because influence of ground roughness is relatively small. In the result, it is considered that adherent chloride ion amount is increasing compared to the surrounding land.