

報告 GIS を用いた異なる気候条件下におけるコンクリート施工支援システムの開発

GIS applied for developing support system of concrete construction under the different climate condition

○石田 博貴*¹・安納 住子*²・伊代田 岳史*³

Hiroki ISHIDA, Sumiko ANNO, Takeshi IYODA

要旨：日本の厳しい気候条件下において、コンクリート構造物は経年により劣化している。そのため今後施工する構造物に対しては、設計から施工に至るまで一貫した対策を行うことが重要だと考えるが、これらの気候に対する認知の共有を促すツールは少ない。そこで本研究では、GISを用いて日本全国における気候マップを作成し、これらを用い、各気候条件を管理者、設計者、施工者が一貫して認知可能とし、設計施工支援となるシステムの開発を行った。

キーワード：GIS, ハザードマップ, 維持管理

1. はじめに

現在日本全国には多くのコンクリート構造物が存在している。これらは高度経済成長期に施工されたものが多く、現在劣化などにより不具合を生じており、これらのコンクリート構造物に対し維持管理が必須である。しかしながら、経済的な制約を満たし、十分な精度でコストを考慮した維持管理は行われていない。このようなコンクリート構造物が多く存在する要因としては塩害や凍害など、気候条件が大きく左右する劣化が多数存在するためと考えられる。我が国土は四方に広範であり、気候条件や地理は複雑であることから、地域によりコンクリート構造物は厳しい気候環境下にさらされているため、これらの気候条件が及ぼす影響を整理しなければならない。そして今後施工されるコンクリート構造物に対し、コンクリートの設計時及び施工時において、施工する地域の気候条件を把握し、適切な対策を行い、ライフサイクルコストを考慮した良質なコンクリートを施工することで、維持管理の負担を軽減することが望ましい。そのためには設計者及び施工者の両者がこれらの認識を共有し、コンクリート構造物の設計、施工時において一貫した対策を行う必要がある。しかし現在大規模な土木事業において、分業化は必須であり、これらの認識の共有は薄く、また本研究で着目する気候条件においては、そのような認識を可能とするツールは少ない。現在日本全国において気象のデータを調査する際に、気象庁で公開されているアメダスデータ¹⁾が多く利用されている。これらのアメダスは日本全国に設置されているが、17~21km 間隔で存在しているため、アメダス観測点間

はデータが存在しておらず、最近隣のアメダスデータを利用するしかない。しかし前述したとおり日本は複雑な地理を持ち、気温などの数値が影響を受けるため、これらの最近隣のデータの精度は低い。そこで本研究では地図上に種々の異なるデータを統合しマップを作成でき、それらを分析・解析することを可能とするソフトである Geographic Information Systems (以下：GIS)を用いて、点で存在する種々の気候のデータであるアメダスデータ等を統合し、点間の内挿処理を行う事で面的なデータにし、日本全国における気候マップを作成した。またこれらの気候データを元にし、劣化現象の中でも気候条件の影響を受けやすい、塩害と凍害に着目し、影響を及ぼす可能性のある外的因子を抽出し評価することで、GIS上で各劣化被害の推定を行った。同様の研究は、凍害危険度を算出した長谷川²⁾や成田³⁾らがマップ作成を行い、広く利用されたが、依然としてこれらのマップは紙媒体で存在しており、詳細な部分が確認できず、共有及び利用し易さには問題がある。そこで本研究では、インターネット上でマップの閲覧、利用を可能とする、クラウドGISを使用しマップの公開を行うことで、日本の気候条件や地理的要因の直感的な調査を可能とし、設計者と施工者に対し、容易に共有することを可能とすることを、目的とした。

2. 研究方法

アメダスデータは日本全国において設置されていることから、日本全国を対象とした。研究フローを図1に示す。本研究はコンクリートに影響を与える可能性のあるアメダスデータ及び気候のデータを利用し、GIS

*1 芝浦工業大学 大学院理工学研究科建設工学専攻

Div. of Architecture and Civil Engineering, SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

*2 芝浦工業大学 土木工学科 准教授

Dept. of Civil Engineering, SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

*3 芝浦工業大学 土木工学科 准教授

Dept. of Civil Engineering, SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

に統合し、各気候マップを作成した。気候条件から影響を受ける塩害と凍害に注目し、劣化に影響を与える外的因子を評価することで、劣化被害を推定しマップ作成した。これらのマップは、外的因子を用いて推定を行ったため、具体的に諸劣化現象の被害の有無を表すものではない。コンクリートの劣化現象には、使用した材料、施工の優劣などの様々な因子が影響し発生するため、予測を行うことは難しい。しかしコンクリート標準示方書⁴⁾によると、気候条件が凍害や塩害などの一部の劣化現象に対し、著しく影響を与えることは明らかになっている。そこで本研究では、諸劣化に対し複合的な気候条件がコンクリート劣化に影響を与えたと考え、塩害及び凍害に影響を与える可能性のある外的因子を、コンクリート標準示方書⁴⁾や既往研究より抜粋し、評価を行った。これらの評価を用いて異なる気候条件下におけるコンクリート構造物が、どの程度劣化しやすいのかを算出し、それらを本研究では被害深度と位置づけ、各劣化の被害深度マップをクラウド GIS で公開を行った。

3. 気候マップ作成

3.1 気象庁統計情報アメダスデータ

本研究では地域における気候の特徴を明らかにし、コンクリート構造物の経年による劣化に対し、劣化の外的要因を評価するため、暫時的なデータよりも統計されたデータが望ましい。アメダスは日本全国約 1300 箇所に設置されており、これらのアメダスより 10 分毎に気温、降雨量など 6 種類のデータを 1974 年より取得しており、約 30 年分の蓄積したデータを統計し HP¹⁾で配信している。本研究では日本全国の異なる気候条件下において、経年による劣化現象を対象とするため、統計的な地域ごとの気候のデータを、月毎で利用した。それらのデータの中でも、特に気候条件が影響し悪化する塩害と凍害に影響する気候因子として、それぞれ塩害は風速、風向、凍害は気温、降雨量、降雪量、日射量のデータを収集する 803 地点のデータを利用した。これらのデータは地域における気候の特徴を明らかにできるとし、マップ作成を行った。

3.2 ArcGIS を用いたマップ作成

本研究は ESRI 社の ArcGIS を利用し、マップの作成を行った。まずアメダスデータは地点毎に緯度経度が与えられているため、これらの値から GIS に統合し、各地点に諸気候データを格納した。また同様に塩害の外的因子として、海上技術安全研究所²⁾で公開されている日本近海における有義波高を、同様に GIS に統合した。これらのデータは点で存在しているデータであるため、Spline 内挿処理を行い、点間の値を推定し面的なデータに加工した。ArcGIS には数多の内挿処理があるが、Spline は最近隣の点に対し比重を与えず推定

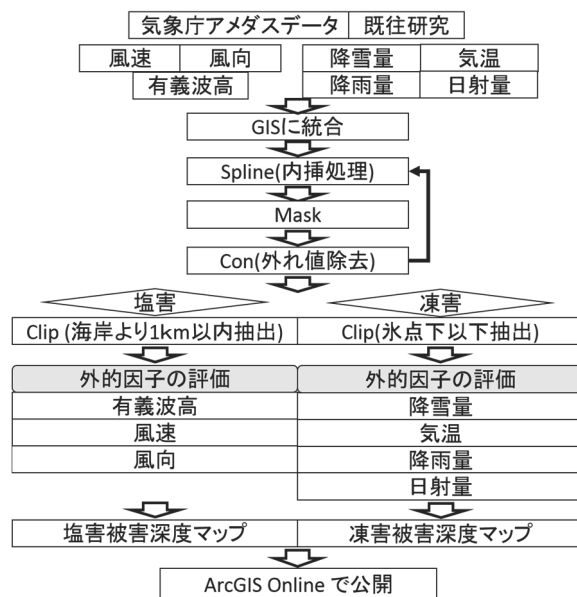


図-1 研究フロー図

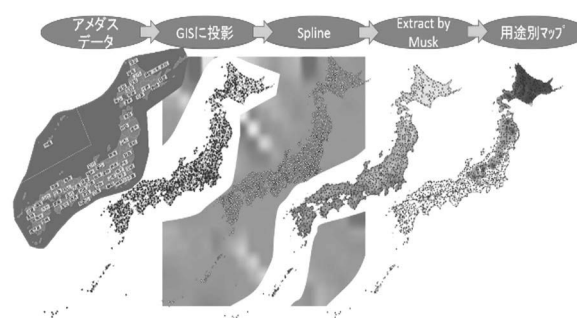


図-2 気候マップの作成方法

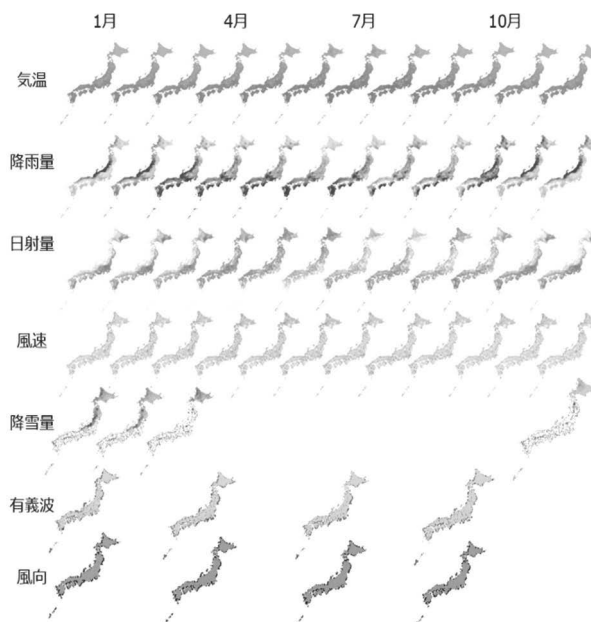


図-3 気候マップの作成方法

を行うため、気象条件などを推定する際に利用する。内挿処理を行うと図2のように、4点の角の点を基準とし行われるため、正方形の形で結果が与えられる。この画像から日本列島だけを切り出すExtract by Mask処理を行い、日本列島だけの抽出を行った。

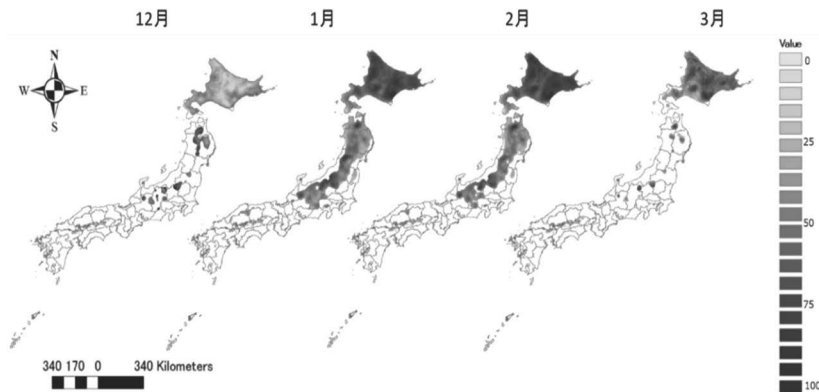


図4 凍害被害深度マップ

以上のプロセスを踏まえるとポイントデータを面的データとして扱える。しかしこれらのデータは推定値であることから、外れ値が存在した。そこで標準偏差と平均値を用いて、外れ値を検出し、外れ値とされた箇所を、Con 処理を行い消去し、再度 Spline, Extract by mask を行う作業を数回繰り返し、数値の正規化を行った。結果的に八丈島や対馬、長崎周辺の離島部群などから、降雨量がマイナスになるなど検出されたため、これらを消去し、本研究における手法では、離島部においては対象外とした。

3.3 気候マップ

図3に示す日本全国における月毎の気候マップの作成を行った。ピクセル値は約1kmであり、詳細なマップを作成でき、それぞれが日本の気候における特徴を示す結果となった。例えば気温マップでは夏季の東京、大阪、名古屋などの都市部において、周囲より温度が高くなることを確認できた。これらのマップ等は、設計時において、実際に施工を行う際の気候の特徴を把握でき、これらの傾向的な気候を利用し設計者及び施工者の二者間において、気候条件の共有を可能とするツールとなった。

4. 各種劣化被害深度マップ

4.1 被害深度マップ作成

本研究では作成した、日本全国における気候マップを用いることで、最も気候条件から影響を受け発生する劣化原因である凍害と塩害の被害の深度を推定できると考え、日本全国における各種劣化被害深度マップの作成を行った。

4.2 凍害被害深度マップ

凍害はコンクリート施工時にコンクリート内部水分の凍結による初期凍害と、施工後にコンクリート内部に存在する水分が、凍結と融解を繰り返すことで体積の膨張と収縮を繰り返し、経年によりコンクリート内部から破壊していく凍害があり、2種類存在する劣化現象である。本研究では経年による凍害を対象とした。また長谷川が考案した凍害危険度算出手法を参考にし、凍害に影響を与える因子として、凍結の有無を表す気温、コンクリートの水の供給状態に影響を与える降雨

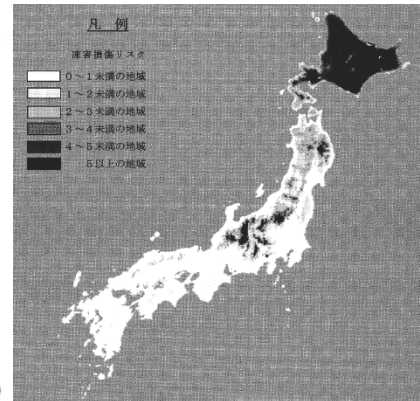


図5 成田らの凍害危険度マップ

量と降雪量、雪を融解させ水の供給を増加させる日射量の4つを用いた。危険度算出の際必要となる、日最高気温と日最低気温のデータは、今回の手法では利用しておらず、外的因子のみを参考としたため、式の導入までは至らなかった。まず月毎における気温で氷点下である地域を抽出し、凍害の可能性のある箇所とし、同様にこれらの地域内に外的因子を統合した。これらの外的因子等の評価の重み付けをせず行うため、各外的因子の年間最大値、最小値から等間隔分類にて10点満点で評価し、それらの点数足し合わせ、換算値100点満点で日本全国における凍害の被害深度を評価した。

図4に示す凍害被害深度マップは、全域において12月～3月において気温が氷点下になり、北海道や東北地方の中央山脈において被害が深刻である結果を得た。また2月において、九州の山地や、中国地方の一部においても凍害被害が現れるという結果になった。以上の様な結果は図5に示す成田らが制作を行ったマップと、近い結果を得られた。だが青森県岩手県においては若干の差異がみられた。成田らは各外的因子に対し、重み付けを行っているが、本研究では行っていないため、このような結果が得られたと考えられる。今後は成田らの結果に整合するように、重み付けを検討する。

4.3 塩害被害深度マップ

塩害は沿岸部において、塩化物イオンを含有する風がコンクリート構造物に吹き付け、その後鉄筋まで浸透し、鉄筋が腐食する現象であり、地理的要因と気候条件が要因となる。コンクリート標準示方書⁴⁾を参考にし、海岸線より1km以内に存在する地点を塩害の可能性があるとしているため、同様に海岸線より1km以内に存在するアメダスの地点を、塩害の可能性があると抽出を行った。それらの抽出を行った地点において塩害に影響を与える因子として、風が吹き付けるかどうか明らかにする風向、飛来塩分量を左右する風速、既往研究で塩害に影響を与えるとされている波エネルギーとして有義波高のデータを用いた⁶⁾。有義波高のデータが春季、夏季、秋季、冬季の4季で与えられていたため、評価を行う際に風向、風速のデータは、季節毎における数値として1月、4月、7月、10月の数

値を利用した。既往研究によると、塩害は供用年数が大きくなるほど劣化が進行することが確認されており⁹⁾、本研究では一時的な飛来塩分量ではなく、長年の蓄積により影響を受けると考え、各四季のデータより年間に換算し、凍害の手法と同様に等間隔分類でそれぞれの条件下において10点満点で評価した。換算値100点満点で日本全国における塩害の劣化被害を推定した。

図6に示す塩害被害深度マップでは、各地点において被害深度を示しており、大きい円ほど被害が大きいとしている。特に塩害被害が深刻であるとされている沖縄県、新潟県、北海道の日本海側において劣化被害が強いという結果を得た。日本海側沿岸部では年間の統計データでは風は当たらないが、1月では風が海側から強く吹き付けている。また新潟県及び北海道における日本海側1月の波浪も、統計データの中でも最も高く、評価を行う際に強く影響したと考えられる。また本手法による推定では、御前崎、石廊崎周辺においても被害があると得られた。これらの要因としては、太平洋側であり飛来塩分量は少ないが、岬であり風の強い地域であることが、影響を及ぼしていると考えられる。今後、土木技術研究所⁷⁾が行った飛来塩分量調査の実測データと照合を行い、精度を向上させる。また海岸からの距離や障害物について考察に入れる予定である。

5. マップ等の公開によるシステム化

作成をしたマップを、ArcGISの機能の一部で、クラウドGISである、ArcGIS Onlineを利用しWEB上で公開を行った。本研究ではこの機能を利用し、マップデータをクラウドにストレージし、図7に示すように、マップの公開を行った。これらを利用することで、日本全国における気候マップ及び、各劣化に対する劣化被害を、1kmの範囲まで確認することを可能とした。またクラウドGISであるため、インターネットがつながる環境下であれば、どこでも確認できる。

このシステムを用いることで、設計者と施工者が、日本全国における気候条件に対する影響を可視化、共有でき、異なる気候条件下において良質なコンクリートを施工するための、支援システムの開発を行った。

6. 展望と課題

本研究ではGISを利用し、詳細な各種気候マップを作成し、それらを応用し塩害と凍害に影響を及ぼす可能性のある因子を抽出し、被害深度マップの作成を行った。それらの気候マップ及び被害深度マップを、クラウドGISを用いて一元化し公開をすることで、設計者、施工者に対し、気候条件の認知の共有を促し施工支援を行うためのシステム化を試みた。

気温は標高により影響を受け温度が上下するため、今後は気温データに対し標高データを用いて補正を行い、データの精度を上昇させることが課題となる。そ

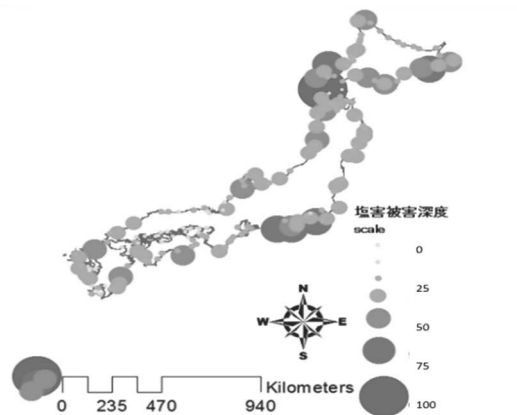


図-6 塩害被害深度マップ

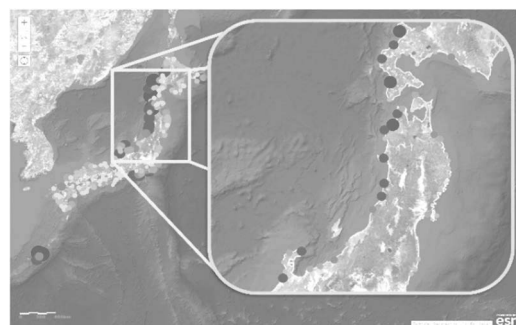


図-7 ArcGIS Online 上で公開

れらの高精度なデータを利用し、長谷川が提案した手法を利用し、凍害危険度を算出することも可能である。被害深度マップは、それぞれの数値に対して重みづけが行われていないが、今後は外的因子を適切に評価し、モデルの提案を行いたい。

今後は、公開を行っているマップ等を実際に設計者及び施工者に利用していただき、ヒアリングを行うことで、有用性を確かめ、より利便性の高いシステムを目指す。また養生時などにも気候条件は影響を及ぼすため、それらのコンクリートに与える影響を明らかにし、同様に、マップ作成を行っていきたい。

参考文献

- 1) 気象庁: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2015.3
- 2) 長谷川寿夫: コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案, セメント技術年報XXIX, pp.248-253, 1975
- 3) 成田ら: 実構造物群の調査結果に基づく凍害損傷リスクマップの作成に関する研究, コンクリート工学論文集, No.19/V-1, pp.29-38, 2008.1
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書, 維持管理編, 2007年制定
- 5) 海上技術安全研究所: <https://www.nmri.go.jp/>, 2015.3
- 6) 高橋ら: 新潟県沿岸部における橋梁の塩害劣化の実態分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1 pp.829-834, 2010
- 7) 西川ら: 飛来塩分量全国調査(IV), 土木研究所資料, 第3175号, 1993.3