

Betweenness-Accessibility 指標を用いた橋梁の維持管理優先度の評価に関する研究

石川工業高等専門学校 学生会員 ○大坪 千夏
石川工業高等専門学校 正会員 寺山 一輝

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの橋梁は老朽化し、その維持管理の費用は今後増加することが予想されている。こうした中で、各管理者は、限られた予算や人口減少等の制約のもとで適切な維持管理を実施していくことが喫緊の課題となっている。このような制約のもとでは、すべての橋梁を健全な形で維持していくことには限界があるため、補修・更新・集約・撤去の優先度を判断することが求められる。優先度を決定する上では、1)構造物の劣化度りと 2)利用者の活動機会へのアクセスの双方を考慮することが望ましい。前者については数多くの研究が存在するが、後者や双方を組合わせた研究は限られている。

そこで本研究では、居住地の人口と目的地の魅力度を考慮した道路ネットワークの接続性を計測する。そして、その結果を用いて、橋梁の維持管理の優先度を評価することを試みる。

2. Betweenness-Accessibility 指標

本研究では Sarlas et.al.²⁾が提案した Betweenness-Accessibility 指標を用いて、道路ネットワークの接続性を計測し、ネットワーク上に位置する橋梁の重要度を評価する。この指標は、式(1)に示す辺媒介中心性指標を拡張したものである。

$$C_B(l_i) = \sum_{j,k \in V, j \neq k \neq i} \frac{\sigma(p_j, p_k | l_i)}{\sigma(p_j, p_k)} \quad (1)$$

リンク(l_i)の辺媒介中心性は、ノード p とリンク l から構成されるグラフ V におけるノード $p_j - p_k$ 間の最短経路数 $\sigma(p_j, p_k)$ とリンク l_i を経由する経路数 $\sigma(p_j, p_k | l_i)$ の比によって求められる。これに対して、Betweenness-Accessibility 指標 $C_{pop}(l_i)$ は、式(2)に示すとおりである。

$$C_{pop}(l_i) = \sum_{j,k, j \neq k} \frac{\sigma(p_j, p_k | l_i)}{\sigma(p_j, p_k)} pop_j \frac{empl_k f(tt_{jk})}{Acc_j^{empl}} \quad (2)$$

$$Acc_j^{empl} = \sum_{k, k \neq j} empl_k f(tt_{jk}) \quad (3)$$

ここで、 pop_j は出発地の人口、 $empl_k$ は目的地の魅力度(施設数等)である。 $f(tt_{jk})$ は $j - k$ 間のリンクコス

ト関数である。本研究では tt_{jk} は移動時間とした。このとき、出発地 j のアクセシビリティ Acc_j^{empl} は式(3)で求める。Betweenness-Accessibility 指標では、居住地の人口と目的地の魅力度を考慮して道路ネットワークの接続性の優劣を評価することができる。すなわち、魅力度の高い目的地群まで最短経路で接続されている割合が高く、かつ利用頻度の高いリンクほど指標値が高くなる特徴をもつ。なお、本研究ではリンクコスト関数として $f(tt_{jk}) = \exp(-0.05tt_{jk})$ を用いた。

3. 分析対象地域と使用データの概要

(1) 分析対象地域

分析対象地域は、図-1 に示す石川県輪島市の都市計画区域である。対象地域には、54 件の橋梁が存在しており、このうち 12 件は石川県が、42 件は輪島市がそれぞれ管理している。

(2) 使用データの概要

本研究では、国勢調査・国土数値情報ダウンロードサービスから町丁目の人口・各施設の最新データをそれぞれ入手した。また、橋梁の位置・完成年・管理者・健全度などのデータは、全国 Q 地図から取得した。橋梁の健全度(I~IV 段階)は現状の性能レベルを表す指標であり、数字が大きくなるにつれて劣化・損傷度が大きく、補修の優先度が高くなる。図-1 に示すように、対象地域には健全度 I の橋梁が 34 橋、健全度 II が 14 橋、健全度 III が 6 橋存在している。

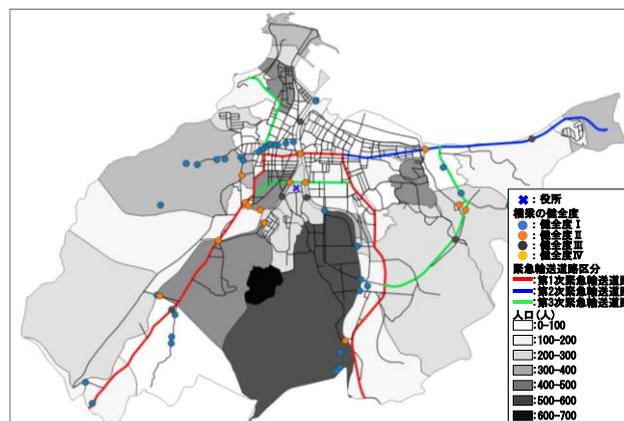


図-1 分析対象地域(石川県輪島市)

4. 橋梁の維持管理優先度の評価

(1) Betweenness-Accessibility の計測結果

図-2 は、Betweenness-Accessibility の計測結果を地図上に示したものである。これより、対象地域の中心部よりも外縁部に位置するリンクの方が、指標値が大きい傾向にあることがわかる。また、緊急輸送道路やこれに接続するリンクにおいて指標値が高くなっている。すなわち、これらのリンクが通行止めになると、施設が集積している中心部へのアクセスが困難になるとともに、災害時における支援物資の輸送を阻害する可能性を示唆している。さらに、郊外部の人口が最も多いゾーンから中心部に向かうためのリンクの指標値も高いことから、当該リンクが通行止めになると多くの居住者が孤立することが推察される。

(2) 橋梁の重要度の評価

図-3 は、Betweenness-Accessibility によって橋梁の重要度を算出した結果を地図上に円の大ききさで示したものである。すなわち、魅力度の高いゾーンまで最短経路で接続し、かつ利用頻度が高い(利用する住民が多い)橋梁ほど重要度が高くなる。なお、図中には上位5つの橋梁にアルファベットを記している。これより、上位5つのうち2橋が緊急輸送道路上に位置しており、A橋の重要度が最も高くなっている。したがって、これらの橋梁は災害時における物資輸送を確保するために、維持すべき橋梁であると考えられる。市の中心部に位置するD橋は重要度が2位である。この橋梁は魅力度の高いゾーン間を繋いでいる。すなわち、通行止めになるとこうしたゾーン間を移動する際に大幅な迂回が生じる。

(3) Betweenness-Accessibility と健全度の関係

Betweenness-Accessibility から求めた橋梁の重要度の分布を健全度別に示したものが図-4 である。構造物の劣化度の観点からみると、健全度 II や III の橋梁は補修等の対策が必要である。一方、こうした橋梁の中でも Betweenness-Accessibility 値の低い橋梁は、通行止めにした場合でも移動の利便性を大幅に低下させるものではない。そのため、交通利便性から判断すると、補修の優先度は低いと考えられる。これに対して、Betweenness-Accessibility 値の高い橋梁は利用頻度が高いため、早急に対策を講じるべきものと判断できる。

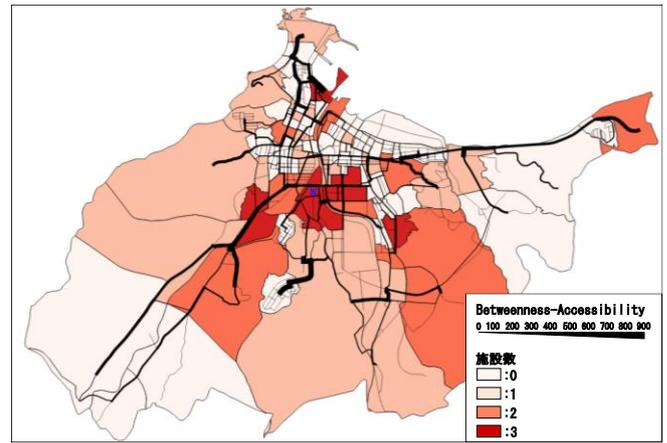


図-2 Betweenness-Accessibility の分布

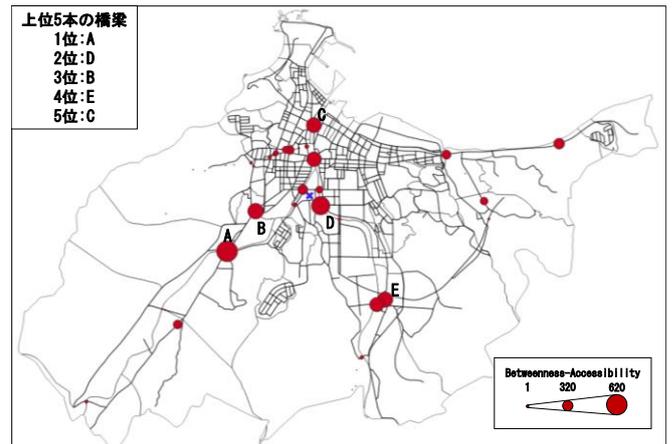


図-3 橋梁の重要度の分布

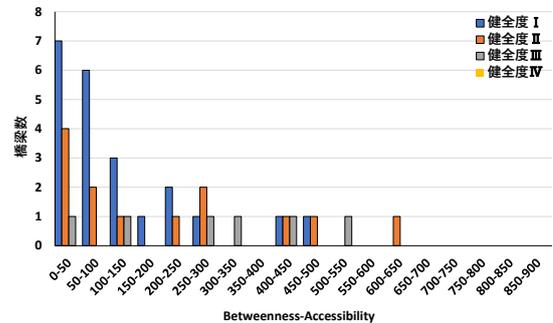


図-4 橋梁の重要度と健全度の関係

5. おわりに

本研究では、Betweenness-Accessibility 指標を用いて橋梁の維持管理の優先度の評価を行った。今後は、維持管理の優先順位の設定方法を構築したい。

謝辞：本研究は、土木学会インフラマネジメント技術国際展開研究(短支間で軽交通の道路橋に対する合理的な維持管理方法の提案、代表：宮里心一)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 近田康夫, 橋謙二, 城戸隆良, 小堀為雄: GA による既存橋梁の補修計画支援の試み, 土木学会論文集, No.513, pp.151-159, 1995.
- 2) Sarlas, G., Páez, A., Axhausen, K. W.: Betweenness-accessibility: Estimating impacts of accessibility on networks, *Journal of Transport Geography*, 84, 102680, 2020.