

道路ネットワークを考慮した道路構造物耐震補強の優先順位設定におけるゲーム理論の適用

(株)日本海コンサルタント 正会員 ○喜多 敏春
金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 近田 康夫

1. はじめに

震災時の避難路や緊急輸送路の確保のため、重要な道路構造物（橋梁や高盛土等）のレベル 2 地震動に対する耐震補強が急務となっている。ほとんどの自治体では道路構造物の耐震補強は、耐震レベルの低いものから順次耐震補強を行っているのが現状であり、道路ネットワーク（道路網）の信頼性を考慮した耐震補強の優先順位にはなっていない。道路ネットワーク内の全道路構造物の補強期間中の地震の発生により、道路ネットワークが寸断されるリスクを低減するためには、道路ネットワークの信頼性を考慮した耐震補強の優先順位を決めることが重要となる。ここでは、図-1 の道路ネットワークのモデルを設定し、耐震レベルを、常時レベル・レベル 1 地震動・レベル 2 地震動対応の 3 レベルに区分する。それぞれのレベルに対して、効用値を設定し、経済学の理論であるゲーム理論（ナッシュ交渉解）を適用し、各構造物や各リンクをプレイヤーと考え、各プレイヤーが協力して、最も効用値が高くなる優先順位を選定する方法（戦略）を提案する。

2. 道路ネットワークモデルの設定

ここでは、簡単なネットワークで、基本的な概念を示すため、それぞれの数値は仮定であり根拠のあるものではない。図-1 に示すように、A から D に至る経路に、経路数の違う 3 つリンクを仮定し、各経路内に耐震レベルの違う橋梁と高盛土を設定する。また、橋梁と高盛土ごとに、各耐震レベルに対して現況の効用値を設定する（図-2 および図-3）。

3. 効用関数の設定

橋梁および高盛土の耐震レベルの効用関数を図-3 に示す。常時レベルの設計を行った構造物も、耐震レベルは 0 ではないため、橋梁では、常時レベルの効用値は 0.3、高盛土では、0.25 と設定する。また、レベル 1 地震動で整備されている橋梁および高盛土

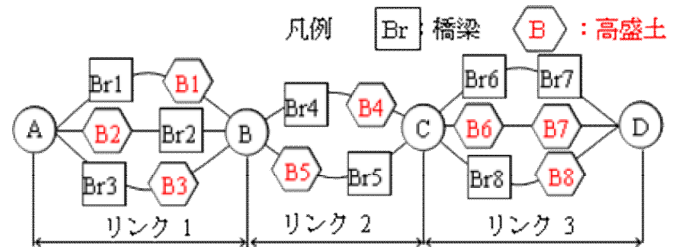


図-1 道路ネットワークモデルの設定

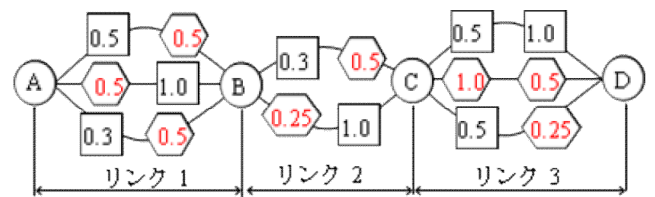


図-2 道路ネットワークの各構造物効用値

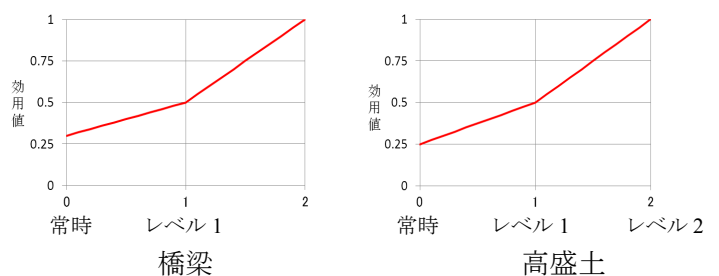


図-3 耐震レベル効用関数

の効用値は、それぞれ、0.5 と設定する。レベル 2 地震動で整備されている橋梁および高盛土の効用値は、1.0 と設定する

4. ナッシュ交渉解のモデル^{1), 2)}

複数のプレイヤーが協力してゲームを行い、全てのプレイヤーの利得（効用）がこれ以上同時に増加しないパレート最適となる解がナッシュ交渉解である。

プレイヤーの集合を N 、 n 人のプレイヤーが合意のうえで共同戦略をとったときに期待される利得ベクトルの集合を U 、プレイヤー間の交渉が不成立時の利得集合を d とし、 (N, U, d) で表現され、4 つの公理を満たす解がナッシュ交渉解(式 (1)) である。
公理 1. パレート最適性、 公理 2. 対称性、
公理 3. 効用の正 1 次変換からの独立性、
公理 4. 無関係な結果からの独立性、

キーワード ゲーム理論、ナッシュ交渉解、効用関数、優先順位、道路ネットワーク

連絡先 〒921-8042 石川県金沢市泉本町 2-126 (株)日本海コンサルタント 技術本部 TEL 076-243-8258

$$\begin{aligned} & \text{maximize } \prod_{i=1}^n (u_i - d_i) \\ & \text{subject to } u \in U, u_i \geq d_i \end{aligned} \quad (1)$$

5. 優先順位決定の戦略の設定

下記の3つの戦略について検討する.

戦略1:すべての構造物のナッシュ積が最大になる優先順位を決定する戦略.

(各構造物をプレイヤーとする戦略である.)

戦略2:各リンクの各路線は,直列の信頼性(効用値のナッシュ積)で評価し,各リンクは,各路線の並列の信頼性で評価し,リンク間のナッシュ積が最大となる戦略.ただし,AからDまで効用値1.0でつながった3路線は除外して,並列の信頼性の評価を続ける.

(各リンクをプレイヤーとする戦略である.)

各路線直列の信頼性 $r_i = \prod u_i$

各リンクの並列の信頼性

$$R_i = 1 - (1 - r_1) \cdot (1 - r_2) \cdots (1 - r_n)$$

ネットワーク全体の信頼性 $R_a = \prod R_i$

戦略3:戦略1と戦略2を併用する戦略.

6. 各戦略の計算結果

各戦略の優先順位の結果を図-4から図-6に示す.(図中の数値は,優先順位を示す.)戦略1は,耐震レベルの低いものから優先順位が決まり順位5位以降は同じとなる.戦略2は,ネットワークの信頼性から優先順位が決まる.また,戦略3では,耐震レベルに低いものから優先順位を決め,各構造物の耐震レベルが同じになった後にネットワークの信頼性により優先順位が決まる.

7. 多属性効用関数による計算結果

橋梁(k_1)と高盛土(k_2)を多属性効用関数(u)とし,式(2)と図-7に示す多属性効用関数を考える.

$$\begin{aligned} u(x_1, x_2) &= \sum k_i \cdot u_i \quad \text{if } \sum k_i = 1 \\ k_1 &= 0.6, k_2 = 0.4 \end{aligned} \quad (2)$$

また,戦略2について多属性効用関数を適用したときの計算結果(順位)を図-8に示す.

耐震レベルが同じである順位10から12は,橋梁の優先順位が高くなる.

8. まとめ

耐震レベルを効用値として評価し,ゲーム理論を適用した場合の耐震補強の補修優先順位について戦

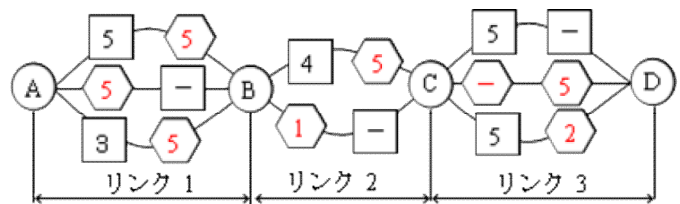


図-4 戦略1の優先順位の計算結果

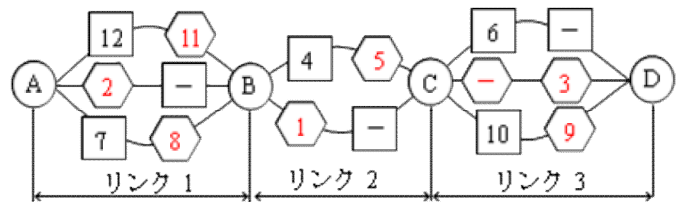


図-5 戦略2の優先順位の計算結果

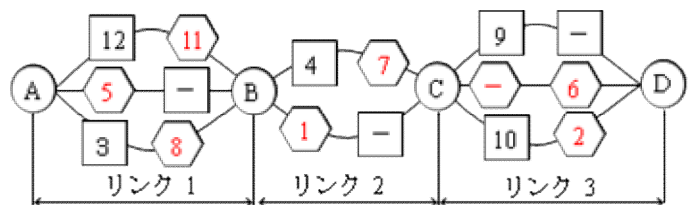


図-6 戦略3の優先順位の計算結果

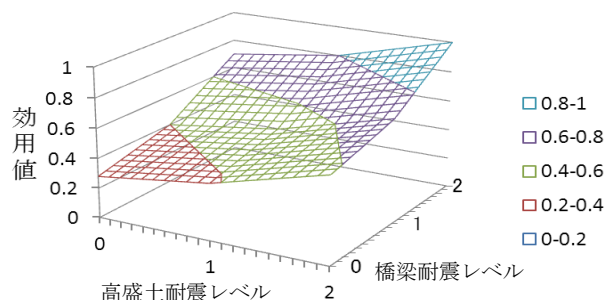


図-7 多属性効用関数

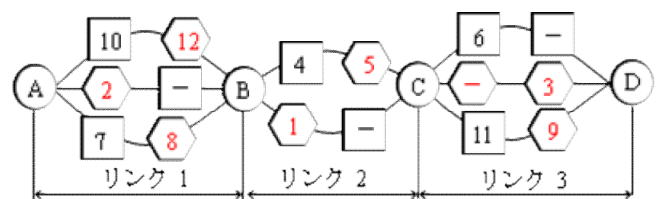


図-8 多属性効用関数の適用による優先順位

略的な決定方法を示すことができたと考え. また,多属性効用関数を適用することで,構造物の種別毎の重みづけができることを示した.

参考文献

- 1) 喜多敏春, 近田康夫: ゲーム理論(ナッシュ交渉解)による橋梁維持管理計画の基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.56A, 2010.3
- 2) 喜多敏春, 近田康夫: 土木学会第66回年講(CD-ROM, I-136), 2011.9.9(松山)