

ライフラインの重要度分析に関する一考察

京都大学工学部 正員 山田善一
 京都大学工学部 正員 野田 茂
 大阪府 正員 ○大森浩一

1. まえがき

本研究は、都市機能上重要な役割を果たしているライフライン系をネットワークとしてとらえ、地震時におけるシステムの信頼性を十分確保するためにはネットワークの設計・補強時において、どのリンクに着目して重点的な投資配分を行なうのが最も合理的であるか、またネットワークの構造的な弱点の所在などについて、重要度分析の概念を行なうことを目的とするものである。

2. 重要度の概念

本研究では、信頼性の評価基準として連結性能をとり、また各リンクは互いに独立であると仮定している。次に各重要度について説明する。¹⁾

(1) BIRNBAUM'S IMPORTANCE システムの構成要素 i の信頼度が改善されたとき、システム全体の信頼度がどれだけ改善されるか、その比をもって構成要素 i の重要度とするものである。重要度 $BI_i(x)$ は次のように定義される。

$$BI_i(x) = \frac{\partial g(I(x))}{\partial F_i(x)}$$

$g(I(x))$: ネットワークシステムの破壊確率
 $F_i(x)$: リンク i の破壊確率
 $I(x)$: 各リンクの破壊確率のベクトル

(2) STRUCTURAL IMPORTANCE 要素の信頼度に関する情報が不足しているとき、すべての要素の信頼度が0.5に等しいと考え、BIRNBAUMの重要度分析を適用して得られた結果が、構造重要度である。

(3) CRITICALITY IMPORTANCE 信頼度の高い構成要素の信頼度をさらに向上させることは信頼度の低い構成要素の信頼度を向上させることより困難であるという事実を考慮し、重要度 $CI_i(x)$ は次のように定義される。

$$CI_i(x) = \frac{\partial \ln g(I(x))}{\partial \ln F_i(x)}$$

(4) FUSS-ELL-VESELY IMPORTANCE システムが破壊しているとき、要素 i がシステムの破壊を引き起こしている確率 $F_i^{PV}(x)$ はFUSS-ELL-VESELYの重要度といい、次のように定義される。

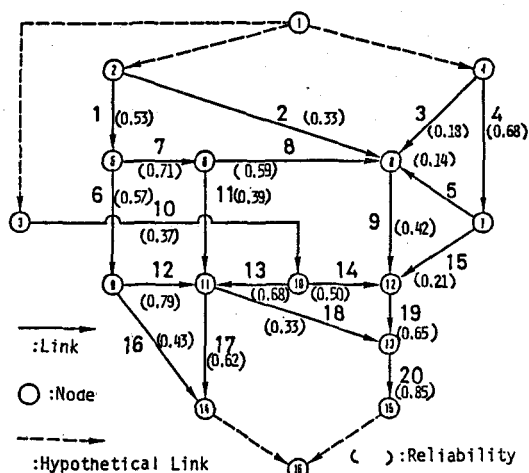


Fig.1 Water Transmission System In Tokyo

$$I_{ij}^{FV}(x) = \frac{g_i(I(x))}{f(I(x))} \quad g_i(I(x)) : \text{要素 } i \text{ によるシステムの破壊確率}$$

5) FUSSELL-VESELY CUT SET IMPORTANCE カットセットはそれに含まれるリンクがすべて破壊すれば必ずシステムが破壊するようなリンクの集合であり、その重要度は以下のようなものである。

$$C_{kj}^{FV}(x) = \frac{\prod_{i \in K_j} F_i(x)}{f(I(x))} \quad i \in K_j : i \text{ はカットセット } K_j \text{ に含まれる任意のリンク}$$

3. 適用例および考察

Fig. 1 は対象とした東京都上水道網より抽出したモデルであり、各リンクの信頼度も併記している。供給地はノード2,3,4、需要地はノード14,15である。以下、システムの全体信頼度に着目する。

1) BIRNBAUM IMPORTANCE (Table 1) によると供給地2,3に直結するリンク10,1,6(需要地に直結するリンク17,18,20の重要度が高い。リンク2,3,4は供給地に直結するが、その重要度は低い。これは、供給地からこれらのリンクを介して需要地15に到るよりも需要地14に疎通する確率が低いことによると考えられる。

2) STRUCTURAL IMPORTANCE (Table 1) によれば、供給地2,3と需要地14,15間を疎通するリンクの重要度が高く、供給地4からのリンクの重要度は低い。これは供給地4からは需要地15に1か水を供給できないというこのネットワークの構造的特徴を反映している。

3) CRITICALITY IMPORTANCE (Table 2) によれば、供給地付近のリンクの重要度が高く、経済効果を考えてとき、供給地近くのリンクに多く投資配分するのが合理的である。

4) FUSSELL-VESELY IMPORTANCE (Table 2) の結果から、リンク10,15,1,9の重要度が高く、これらの復旧によりシステムが正常になる確率はかなり高いが、ほかにも重要度の高いリンクが多く、このネットワークではシステムの破壊を引き起こしているリンクが広域的に散在しているといえる。

5) FUSSELL-VESELY CUT SET IMPORTANCE (Table 3) によれば、供給地2,3に直結するリンクとノード12付近の信頼度の低いリンクの破壊によってシステムが破壊する確率がかなり高いことがわかる。

4. 結論 1) 重要度分析によって、各リンクのシステム全体に及ぼす影響力、投資効果などの定量的評価基準が得られた。2) ライフラインの構造的特徴を定量的に評価でき、各リンクの信頼度の情報が不足しているときも合理的な設計が可能となる。3) ライフラインの構造的弱点を明らかにし、震後緊急対策に対する有用な情報を提供できた。

参考文献 1) Henley, E. J. and Kumamoto, H.: *Reliability Engineering and Risk Analysis*, in Chapter 10, pp. 418-436, Prentice-Hall, 1980.

Table 1 Calculated Values Of Importance

ORDER	BIRNBAUM	STRUCTURAL
1	10(0.400)	10(0.185)
2	1(0.292)	20(0.165)
3	6(0.235)	1(0.163)
4	15(0.232)	6(0.162)
5	9(0.226)	13(0.128)
6	17(0.211)	19(0.125)
7	19(0.180)	17(0.118)
8	20(0.150)	16(0.093)
9	4(0.147)	9(0.099)
10	13(0.134)	7(0.083)
11	18(0.128)	11(0.077)
12	2(0.125)	4(0.061)
13	7(0.118)	18(0.055)
14	14(0.115)	15(0.052)
15	16(0.110)	12(0.050)
16	11(0.107)	14(0.045)
17	3(0.105)	2(0.027)
18	12(0.082)	3(0.026)
19	5(0.065)	5(0.009)
20	8(0.045)	8(0.005)

a(b): Link (Importance)

Table 2 Calculated Values Of Importance

ORDER	CRITICALITY	FUSSELL-VESELY
1	10(0.255)	10(0.894)
2	15(0.215)	15(0.674)
3	1(0.162)	1(0.667)
4	9(0.154)	9(0.612)
5	6(0.118)	6(0.575)
6	3(0.102)	17(0.517)
7	18(0.101)	18(0.459)
8	2(0.097)	2(0.445)
9	17(0.094)	3(0.444)
10	11(0.077)	19(0.437)
11	19(0.074)	11(0.385)
12	16(0.073)	16(0.380)
13	14(0.068)	14(0.366)
14	5(0.057)	13(0.355)
15	4(0.055)	4(0.355)
16	13(0.051)	5(0.326)
17	7(0.040)	7(0.272)
18	20(0.027)	20(0.237)
19	8(0.022)	12(0.148)
20	12(0.020)	8(0.138)

Table 3 Calculated Values Of Importance

ORDER	FUSSELL-VESELY CUT SET IMPORTANCE
1	CUT SET 1 (0.180)
2	CUT SET 2 (0.122)
3	CUT SET 3 (0.058)
4	CUT SET 4 (0.055)
5	CUT SET 5 (0.052)

Composition Of Cut Set

CONTAINED LINK

CUT SET 1	(0.9, 10, 15)
CUT SET 2	(1, 10, 19)
CUT SET 3	(6, 11, 13, 19)
CUT SET 4	(1, 4, 9, 10)
CUT SET 5	(1, 13, 19)