I－151　ネットワーク要素の重要度評価法に関する基礎的研究

宮崎大学工学部　正員　原田 隆典
（株）極東工業　正員　大谷 圭介

1．はじめに　大規模で複雑なネットワークの構成要素である節点や枝がネットワークの中でどのような重要度を有しているかを調べておくことは，各要素の設計レベル，維持管理レベルの決定または，地震などの災害に対する事前．事後対策を策定する場合に有用な資料を提供するものと思われる．ここでは，ダイクストラ法とボトルネック法の考え方を組み合わせた方法によりネットワーク要素の重要度を判定する方法について述べる．

2．方法の概要　ネットワークの全ての節点の組に対する最短経路に注目し，１つの最短経路を取り上げたとき，その経路を通過する最短経路の数が多い経路ほどネットワークのボトルネック（あい路）と考えられる．したがって，このような経路を切断すればネットワークの連結性が弱まり，階層性がよりはっきりと判別できる．これがネットワークにおけるボトルネック法の考え方である．このボトルネック法の考え方を，ある供給基地から各需要家に至る経路の中で最短経路となる数の多い経路ほどネットワークの中で重要（階層の高いところに位置づけられる）であると解釈することによって，ネットワーク要素の重要度を判別するものとした．以上が本研究で用いた重要度判定の考え方である．

3．節点や枝の重みを考慮しない場合の数値計算例　本方法の考え方を説明するために図１に示すような各枝の距離を全て１とし，節点の重みも考慮しないネットワークを用いて，各枝の重要度を判定する．初めに，供給基地（節点１）から各需要家（各節点）に至る最短経路をダイクストラ法により求めると，表１の第２列のようになる．例えば，節点１から節点４への最短経路は枝（３）のみの１本であるが，節点５へは枝（１）-（４）の経路と枝（３）-（６）の２つの経路が存在する．このような経路の数を表１の第３列に示す．最短経路が複数存在する場合には，その経路の重みを低減しておかなければならない．この低減の考え方は重要である．例えば，最短経路が２本存在する場合には，どちらか一方が連結すれば供給基地との連結が保てるので各経路の重みは1/2とするのが合理的であろう．N本の場合には，重みは$1/N$となる．このような評価は重みの基準化と考えることもできるが，最短経路の数または重みを計算すると表１の第４列のようになる．以上の結果を基に，各枝の経路数または枝の重要度を計算すると表２のようになる．表２によると，節点１に直接連結している枝（１）と（３）の経路数が４と最も高く，ネットワークの中で最も重要な枝であると判定される．逆に，枝（５），（１０），（１１），（１２）の経路数は0.5と最も低く最も重要でないと判定される．この様な判定結果は常識的な判定結果であるものと思われる．

4．節点や枝の重みを考慮する場合の数値計算例　実際のネットワークモデルの節点は，需要基地もあれば供給基地もあり，また，需要基地の下階層につながる需要家もそれぞれ数が異なり，節点の持つ重要性は均一ではない．また，枝に関しても，実際の枝の長さを用いる場合もあれば，各節点間の移動時間のこともある．また，2点間の輸送能力を示す指標の場合もある．したがって，本方法をより現実的なモデルに適用するためには，枝や節点の重みを考慮できるようにしておかなければならない．ここでは，システムの平常時の重要度および地震後の復旧順位付けを評価するための手法として，次のような評価式によって枝と節点の重みを与えるものとする．

$$Ld_j = \frac{p}{Qd_j} + q \cdot t_j, \quad t_j = a \cdot l_j + b \cdot Dl_j \tag{1-a}$$

$$Nw_i = \alpha \cdot N_i + \frac{\beta}{Dn_i}, \quad Dn_i = \sum_{j=1}^{n} Dl_j \tag{1-b}$$

ここに，Ld_j = 枝 j における解析距離，Qd_j = 枝 j における流量、または圧力や電圧，t_j = 枝 j における修復難度（修復時間），l_j = 枝 j における実際の距離，Dl_j = 枝 j における破壊箇所数（箇所），Nw_i = 節点 i における重要度，N_i = 節点 i が受け持つ需要家数，Dl_i = 節点 i につながる枝の破壊箇所数（箇所），Dn_i = 節点 i につながる枝の破壊箇所数の合計（箇所），α, β = 定数，a = 検査能率（日/km），b = 修復能率（日/箇所），p, q = 定数，

図２と表３，表４に計算例で用いたネットワークの条件を示す．計算では，$p = 1000, q = 1.0, a = b = 1.0, \alpha = \beta = 1.0$ を用いた．表５に最短経路を示す．表６に枝の重要度の計算結果を示す．これによると，最も重要な枝は枝（１）で，枝（５），（６），（１０），（１１）は最も低い重要度として判定されている．

5．まとめ　ダイクストラ法とボトルネック法の考え方を組み合わせた方法によりネットワーク要素の重要度を判定する方法について述べた．節点と枝の重みを考慮することにより各種の問題に適用できるが，今後は，この重みについて整理をしておかなければならない．

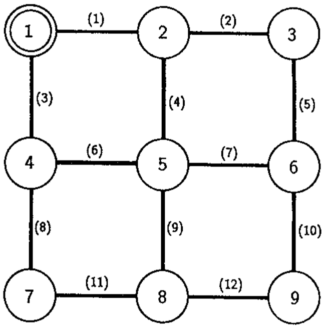

図１ 格子状ネットワークモデル

表２ リンクの重要度

リンク番号	経路数（リンクの重要度）		
(1)	1 + 1 + 1/2 + 1/3 + 1/3 + 1/3 + 1/6 + 1/6 + 1/6	=	4.0
(2)	1 + 1/3 + 1/6	=	1.5
(3)	1 + 1 + 1/2 + 1/3 + 1/3 + 1/3 + 1/6 + 1/6 + 1/6	=	4.0
(4)	1/2 + 1/3 + 1/3 + 1/6 + 1/6	=	1.5
(5)	1/3 + 1/6	=	0.5
(6)	1/2 + 1/3 + 1/3 + 1/6 + 1/6	=	1.5
(7)	1/3 + 1/3 + 1/6 + 1/6	=	1.0
(8)	1 + 1/3 + 1/6	=	1.5
(9)	1/3 + 1/3 + 1/6 + 1/6	=	1.0
(10)	1/6 + 1/6 + 1/6	=	0.5
(11)	1/3 + 1/6	=	0.5
(12)	1/6 + 1/6 + 1/6	=	0.5

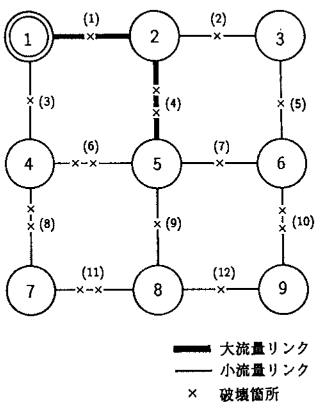

図２ ネットワークモデル

表３ ノード要素の条件

ノード番号 (i)	ノードの重要性 (N_i)
1	UNDEFINED
2	10
3	12
4	8
5	7
6	9
7	18
8	5
9	11

表１ 最短経路

目的節点	通過経路	通過経路の本数	経路数
1	――	―	―
2	1 - 2	1	1
3	1 - 2 - 3	1	1
4	1 - 4	1	1
5	1 - 2 - 5		1/2
	1 - 4 - 5	2	1/2
6	1 - 2 - 3 - 6		1/3
	1 - 2 - 5 - 6		1/3
	1 - 4 - 5 - 6	3	1/3
7	1 - 4 - 7	1	1
8	1 - 4 - 7 - 8		1/3
	1 - 4 - 5 - 8		1/3
	1 - 2 - 5 - 8	3	1/3
9	1 - 2 - 3 - 6 - 9		1/6
	1 - 2 - 5 - 6 - 9		1/6
	1 - 2 - 5 - 8 - 9		1/6
	1 - 4 - 5 - 6 - 9		1/6
	1 - 4 - 5 - 8 - 9		1/6
	1 - 4 - 7 - 8 - 9	6	1/6
total		18	9

表４ リンク要素の条件

ノード番号	リンク番号 (j)	流量 Qd_j	リンクの長さ (l_j)	破壊箇所数 Dl_j
1–2	(1)	80	10	1
2–3	(2)	20	10	1
1–4	(3)	20	9	1
2–5	(4)	80	10	2
3–6	(5)	20	8	1
4–5	(6)	20	10	2
5–6	(7)	20	12	1
4–7	(8)	20	9	2
5–8	(9)	20	11	1
6–9	(10)	20	9	2
7–8	(11)	20	12	2
8–9	(12)	20	10	1

表５ 解析距離によって計算された最短経路

目的節点番号	最短経路（節点番号で表示）
Destination No. 1	—
Destination No. 2	1 − 2
Destination No. 3	1 − 2 − 3
Destination No. 4	1 − 4
Destination No. 5	1 − 2 − 5
Destination No. 6	1 − 2 − 5 − 6
Destination No. 7	1 − 4 − 7
Destination No. 8	1 − 2 − 5 − 8
Destination No. 9	1 − 2 − 5 − 8 − 9

表６ リンクの重要度計算仮定と計算結果

リンク番号	通過回数	重要度		
(1)	6	$Nw_2 + Nw_3 + Nw_5 + Nw_6 + Nw_8 + Nw_9$	=	59.50
(2)	1	Nw_3	=	13.00
(3)	2	$Nw_4 + Nw_7$	=	27.50
(4)	4	$Nw_5 + Nw_6 + Nw_8 + Nw_9$	=	35.50
(5)	0	—	=	0.00
(6)	0	—	=	0.00
(7)	1	Nw_6	=	10.00
(8)	1	Nw_7	=	18.50
(9)	2	Nw_8	=	18.00
(10)	0	—	=	0.00
(11)	0	—	=	0.00
(12)	1	Nw_9	=	12.00