

ファジィ理論に基づく水力発電所導水路トンネルの劣化診断に及ぼす要因および健全性評価について

○榎大林組 正員 高野金幸 中国電力㈱ 正員 中本龍治
 山口大学工学部 正員 古川浩平 山口大学工学部 正員 中川浩二

1. はじめに 近年、水力発電所導水路トンネルの経年劣化が進んでいるが、その導水路トンネルの機能を把握するために必要となる劣化度の判定は、保守に携わる現場技術者の経験に基づく判断によって行われているのが実状である。そこで本研究においては中国電力㈱が有する導水路トンネル劣化診断マニュアル¹⁾を参考にして、実際の補修に携わる現場技術者に対して導水路トンネルの劣化診断に関するアンケートを実施し、現場技術者はどのような判断基準のもとに劣化度の評価を行っているのかを知った上で、統一的・合理的な変状評価法を確立し、補修の順序や必要度を合理的に判断できるシステムの構築を目指したものである。

2. 第1回アンケート アンケートは、導水路トンネルの代表的な劣化変状であるクラック：17、摩耗・洗掘：10、剥離・剥落：6、目地切れ：6、湧水・噴泥：5の5変状計44ケースを取り出し、各々の変状について導水路諸元、変状内容、変状状況写真を示し、それを見て導水路トンネルの変状をa～eの5ランクで評価を行うものである。また、変状評価を行う際に参考にした上記資料から判断した変状規模の程度も小～大の5ランクで評価する。さらに特記事項として、その他に参考にした変状規模の程度の評価も同様に行う。

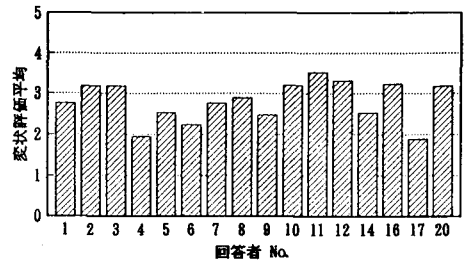


図-1 回答者毎の変状評価平均
(クラック)

第1回アンケート解析結果 図-1にクラックについて得

られた変状評価ランクを回答者毎に平均したものを示す。これより、同一データによる同一変状に対する評価であっても回答者間にかんがりのばらつきがあることがわかる。これは、他の変状についても同様である。

このような技術者の主観を定量的に表現するにはファジィクラスタリングの考え方が最も適当と考えられる²⁾。よって、評価ランクを決める際に参考にした変状規模の程度に対してファジィクラスタリング分析を行い、 c 個のクラスターに分類することを試みた。図-2に $c = 2$ のクラックの各クラスター中心ベクトルを示す。これより、クラスター1の中心ベクトル(実線)は、クラスター2のそれ(破線)よりも小さい。これは、回答者が変状に対する各項目の程度をどれもそれほど大したことはないとする楽観派(クラスター1)と、どの項目もある程度悪く注意する必要があるとする悲観派(クラスター2)に分かれることを意味する。これは、他の変状についても同様である。



図-2 クラスタ中心ベクトル
(クラック, $c = 2$)

3. 現場技術者に対する研修会の実施 第1回アンケート解析結果より、回答者にはその性格として楽観派と悲観派がいることがわかった。しかし、それだけでは回答者の変状評価のばらつきの原因を明らかにし、導水路トンネル劣化診断のシステム化が困難であった。そこで、ここでは実際の導水路トンネルにおいて変状を見ながら、複数の技術者が同一の変状を同時に診断する研修会を実施した。アンケートの方法にはデルファイ法³⁾を用いてアンケート記入時に以下に示すような段階を踏み、他の技術者の意見を知った上で再度技術者が各自の判断を考えることを試みた。

・導水路トンネル内(第1日目)

往路：一切議論せずに回答者独自に判断記入

復路：現場での議論の後、回答者毎に判断記入

・導水路トンネル外(第2日目)

宿舎：再議論の後、回答者毎に判断記入

最後に、上記の議論を参考にして全員で正解を決定

表-1 研修会における変状評価の度数変化

ブロック No.	対象 変状	ランク	人数					正解
			a	b	c	d	e	
55	クラック	往路	0	1	6	6	1	c
		復路	0	2	5	6	1	
		議論	0	0	7	6	1	
	摩耗・ 洗掘	往路	5	5	4	0	0	a
		復路	5	5	4	0	0	
		議論	9	3	2	0	0	

研修会の解析結果 表-1にブロックNo. 55のクラック、摩耗・洗掘に対する回答者の各評価ランクに対する度数変化及び最終的に正解としたものを示す。これより技術者の判断は、議論を重ねるにつれ修正され、最終的に決定した正解ランクに近づくことがわかる。その他のブロックの変状についても同様のことが言える。

4. 再アンケート 現場技術者に対して研修会を実施することにより、経験を積んだ技術者であっても議論を重ね、他の技術者の意見を知ることによって導水路トンネルの劣化に対する変状評価は修正され、より正解に近づくことが分かった。そこで、ここでは第1回アンケート回答者に対して研修会で用いたデルファイ法を導入し、第1回アンケートで明らかになった解析結果を回答者に知らせて、各自の判断を再考する再アンケートを試みた。

再アンケート解析結果 まず、回答者の変状評価のばらつきの変化を見るために、第1回と再アンケートの変状評価の変動係数を比較したところ、クラックにおいて第1回アンケート：0.172、再アンケート：0.115と大幅に小さくなっており、再アンケートにより回答者間のばらつきは少なくなった。これは、他の変状についても同様である。

次に、第1回アンケートと同様にファジィクラスタリング分析を行った。図には示していないが、再アンケートのクラスター中心ベクトルは、図-1に示す第1回アンケートの中心ベクトルと基本的に同様であり、クラスター1の中心ベクトルとクラスター2のそれとは明確な差がある。よって、クラスター1に所属する回答者は楽観派、クラスター2に所属する回答者は悲観派と言うことに変化はない。

そこで変状の評価過程は技術者の経験的主観で構成されるあいまいなシステムであるとみなし、再アンケート結果を用いて下式(1)に示す可能性線形システムの同定を行った⁴⁾。

$$Y_i = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_n X_n \quad \dots (1)$$

$A_1, A_2, \dots, A_n$: 変状規模の各項目のファジィ係数

$X_1, X_2, \dots, X_n$: 変状規模の各項目の評価値

Y_i : 予測変状評価ランク

システムの同定は、研修会の有意義さを知るために、再アンケートの結果を(a)全回答者、(b)研修会参加者、(c)未参加者の3つのグループに分けて考えていくものとする。

同定された結果より3つのグループを比較するために、最も変状評価の可能性の高いファジィ中心と各ケース毎の変状評価平均の相関を見ると、クラックについて(a)0.869、(b)0.910、(c)0.750と言うように(b)研修会参加者の結果で同定したファジィ中心と変状評価平均の相関は、他のグループよりも良い。これは、他の変状についても同様である。すなわち、研修会参加者で同定したシステムで変状を評価することが最も合理的と考えられる。

そこで研修会参加者で同定した可能性線形システムのファジィ中心と変状評価平均との関係を見るため、クラックについて両者の関係を図-3に示す。図から明らかなようにクラスター1：楽観派(□印)とクラスター2：悲観派(▲印)では同じ変状を見ても予測される評価に大きな差がある。これは、他の変状についても同様である。両者の平均的な差を表-2に示す。もし、回答者の性格は議論や資料により他の技術者の評価の傾向を知ることによっても変化せず、楽観派と悲観派の差はなくならないならば、表-9に示す両者の差を補正することにより、回答者の性格によることのない変状評価が得られるであろう。

このように考えて、図-3の楽観派、悲観派の差である表-2を補正して求められたファジィ中心と変状評価平均の関係をクラックについて図-4に示す。図から明らかなように、楽観派、悲観派を問わず、予測された評価とアンケートで回答された評価とはほぼ直線上に分布している。すなわち、アンケートで回答された変状規模のデータより回答者がクラスター1(楽観派)あるいはクラスター2(悲観派)のいずれに属するかを判定した上で、その差を表-9を用いて補正することにより、統一的・合理的な変状評価を行うことができる。

5. おわりに 以上のように本研究で提案した手法を用いれば、技術者の主観やくせを考慮した上で、変状評価を合理的・統一的に行うことができ、補修の順序やその必要度を大局的見地から判断できる。

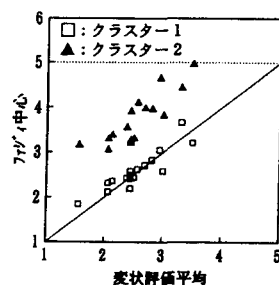


図-3 ファジィ中心と変状評価平均の比較(クラック、補正前)

表-2 ファジィ中心の平均差

対象変状	平均差
クラック	1.18
摩耗	1.62
剝離	1.82
目地切れ	0.81
湧水	1.16

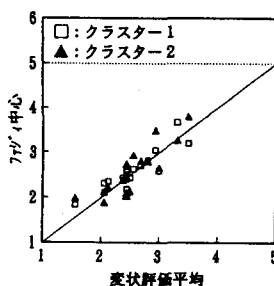


図-4 ファジィ中心と変状評価平均の比較(クラック、補正後)

【参考文献】 1) 中国電力㈱：導水路トンネル劣化診断基準検討業務報告書，1991.2 2) 鈴木昌次・古川浩平・井上洋司・中川浩二：ファジィクラスタリングを用いたトンネルにおける変状可能性の定量的評価法に関する提案，土木学会論文集第421号/VI-13，pp.95～104，1990.9 3) 市川惇信編：多目的決定の理論と方法，計測自動制御学会，pp.184～188，1980.7 4) 田中英夫：可能性モデルとその応用，システムと制御 Vol.28 No.7，pp.447～451，1984