

水力発電導水路トンネルの劣化診断基準および 変状評価システムに関する研究

中本龍治¹・菊池英明²・高野金幸³・古川浩平⁴・中川浩二⁴

¹正会員 中国電力(株) (〒730 広島市中央区小町4-33)

²正会員 工修 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台2557)

³正会員 工修 (株)大林組 (〒113 東京都文京区本郷2-2-9 センチュリィータワー)

⁴正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台2557)

水力発電導水路トンネルの劣化診断は、従来の経験的・個別的な診断からデータに基づく科学的な劣化診断の体系化が望まれている。本研究では、導水路トンネルの変状評価過程を技術者の経験的主観で構成されるシステムとみなし、ファジ理論を応用したファジクラスタリングを適用し、現場技術者に対するアンケート調査を基に、変状評価の特徴や判断の過程を明らかにするとともに、可能性線形システムを適用し、変状評価システムを構築した。その結果、同じ変状に対して技術者の性格により評価に「楽観派」、「悲観派」の違いが生じることを示すと同時に、この両者の差を補正することにより、技術者の性格にとらわれない統一的な変状評価が可能であることを示した。

Key Words : *the deterioration diagnosis, the fuzzy clustering, the questionnaire survey, waterway tunnel, hydroelectric power station*

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化現象が表面化して社会的に問題となっている。水力発電所導水路トンネルはほとんどがコンクリート構造物で、現時点において構築後かなり長い年月を経過しているものもあり、それらについては経年劣化が進んでいる。これらの古い発電所は出力規模は小さいものの電源構成上無視することもできない上、減価償却済みのものが大半であり、利益面での寄与も大きい。そのため、現有設備に適切な改良、修繕工事を実施し、効率的に利用する事が重要な課題となっている。従って、設備の劣化度を適切に判定し、タイムリーに補修する事が何より重要である。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、劣化が立地条件ならびに施工の良否等の要素が複雑に絡み合って発生することから、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。しかし現場技術者の経験は多種多様であり、統一的・合理的な判断がなされているか否かは明かでない。

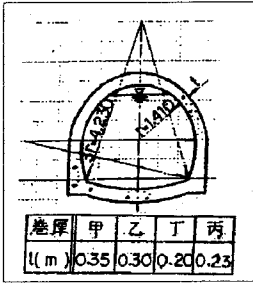
このような背景から全国的な動きとして、従来の経験的・個別的な劣化診断からデータに基づく科学的

な劣化診断技術の体系化、すなわち個人差なく合理的に判断できるような劣化診断技術の体系化が推進されている。特に導水路トンネルの劣化診断技術の体系化は、各電力会社等で行われていると思われるが、残念なことにまとまった資料としては公表されていない。

構造物の劣化診断に関する研究は数多く行われている。コンクリート構造物に限っても、エキスパートシステムを用いたコンクリート橋の診断¹⁾、寿命予測²⁾などがあり、鉄道トンネルにおいても老朽化の調査³⁾や補強・補修マニュアル⁴⁾も作成されており、老朽トンネルの診断システム⁵⁾の開発も行われている。そこで本研究においては中国電力(株)が有する導水路トンネル劣化診断マニュアル(中電方式:中国電力が有する評価点方式によるマニュアル)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、現場技術者は実際に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、統一的かつ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。

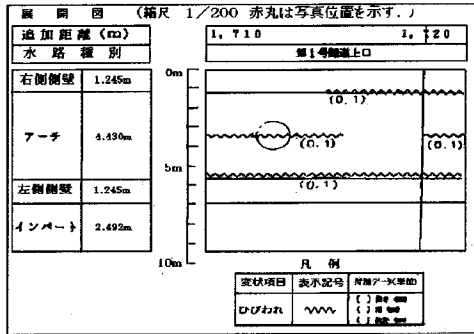
- (1) 導水路諸元
 発電所名
 竣工年：昭和32年
 形式：無圧
 横断形状：下図のとおり

水路横断面図

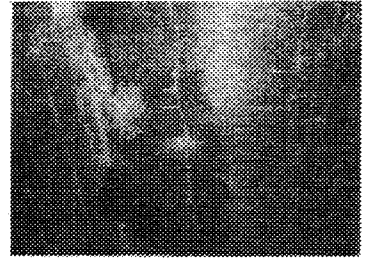


- (2) 変状内容
 変状集類：クラック
 発生位置土被り：80m
 覆工厚：不明
 覆工背面地質：粘板岩
 変状発生状況：下図の通り
- 発生部位：アーチ，右側壁
 発生位置裏地形：山地
 覆工配筋：無筋
 覆工面空洞：不明

変状展開図



- (3) 変状状況写真



- (4) 変状評価
 評価部位：アーチ
 評価ランク a b c d e

評価ランク	評価内容
a	問題のない状況である
b	劣化は軽微な状態である
c	劣化の進行性について注意すべき状態である
d	劣化に対する補修の要否を検討すべき状態である
e	補修を直ちに実施

- (5) 評価ランクに対する重要度の程度
 小 中 大
- 幅
 - 長さ
 - 方向数
 - 本数
 - 段差

- (6) 特記事項
 (その他考慮した事項と重要度の程度)

考慮事項	小	中	大
土被り			
地質			
地表地形			

- (7) 推定原因
 確信度 小 中 大

図-1 クラックについての導水路トンネル変状評価に関するアンケート記入例

2. 第1回アンケート

(1) アンケート概要

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種類計44ケースについて行った。アンケートの記入例を図-1に示す。ここでは、変状種類のうちクラックのものを示している。各々の変状(図-1中それぞれ項目(1)、(2)、(3))ごとに導水路諸元、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(項目(4))。なお、実際のアンケートでは変状状況写真はカラー写真を用いている。アンケートの回答は単に総合的な変状評価を回答するだけでなく、変状評価を行う際に参考にした上記図-1の(1)、(2)、(3)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(項目(5))。さらに特記事項として、その他に参考にした変状と変状規模の程度の評価も同様に行う(項目(6))。記入は軸線上に○印で行うが、軸線中の分割線にとらわれず任意の点に記入してもよいとする。

アンケートの対象者は主として導水路トンネルの維持・補修に携わった経験を有する技術者22名である。表-1に各回答者の経歴を示す。なお、前述のようにアンケート回答者は22名であったが、変状規模の程度(項目(5))の記入方法が徹底していなかったため、アンケートで意図したものと異なった考え方

表-1 導水路トンネル劣化診断アンケート回答者の経歴及び分類

回答者No.	年齢	経験年数			総経験年数	第1回採用者	研修会参加者	再アンケート
		計画・設計	保守	その他				
1	60	18	12	8	38	○		○
2	64	20	12	7	39	○		
3	66	0	37	8	45	○		
4	62	32	3	4	39	○		
5	56	19	15	4	38	○	○	○
6	56	20	15	3	38	○		○
7	62	21	0	20	41	○		
8	56	14	19	5	38	○		○
9	62	26	6	7	39	○		
10	57	10	17	12	39	○	○	○
11	33	8	7	0	15	○	○	○
12	44	0	21	0	21	○		○
13	49	10	8	3	21	○		○
14	40	13	8	1	22	○		
15	33	4	9	0	13	○	○	○
16	36	6	10	1	17	○		○
17	45	8	18	0	26	○	○	○
18	43	0	20	4	24	○		○
19	33	0	5	3	8	○	○	○
20	33	0	15	0	15	○		○
21	32	1	7	3	11	○		○
22	32	0	13	0	13	○	○	○

(注)その他…火力・原子力、他室部及び関連会社出向期間を示す。

で回答した者がいることがわかり、解析ではこのデータを省いた。そのため有効回答者は第1回アンケートでは16名となる。表-1に第1回アンケートでアンケート結果を採用した回答者を第1回採用者の欄に○印で示す。

(2) 解析結果

アンケート結果は、解析のために、アンケート中

表-2 クラックについて得られたアンケート項目の評価値の具体例 (第1回アンケート)

回答者 No.	変状 評価	評価ランクを決める際に参考にした変状規模の程度							
		幅	長さ	方向	本数	段差	土被り	地質	地表地形
1	3	1	5	5	5	1	2	4	1
2	3	1	4	4	4	2	4	3	3
3	2	1	1	1	1	3	1	1	1
4	2	1	3	3	3	1	3	3	2
5	1	1.5	1	1	1	1	1	1	1
6	2	1	3	4	4	1	1	2	1
7	2	1	5	2	3	1	1	1	1
8	3	1	4	5	3	1	2	4	3
9	2	2	3	3	4	1	2	2	1
10	3	2	3.5	3.5	3.5	1	5	4	3
11	3	2	4	4	4	1	1	1	1
12	3	1	3	5	5	1	1	1.5	1.5
13	3	1.5	3	4	4	1	1	2	1
14	3	1	3	3	2	1	5	2	4
15	3	1	3	5	3	1	2	2	1
16	3	1	5	5	3	1	5	3	3
17	2	1	1	1	1	1	1	1	1
18	3	2	3	4	3	1	2	2	2
19	3.5	4	4	4	4.5	1	3	3	3
20	3	2	4	5	3	2	2	2	2
21	3	1	4	5	4	1	3	3	3
22	3	4	3	4	4	1	2	4	2

の項目(4)の評価ランクについてはa~eを1~5と、項目(5)の①~⑤と(6)特記事項については小~大を1~5とそれぞれ数値化した。その具体例を表-2に示す。なお、特記事項としてその他に気づいた項目の記入も求めたが、あらかじめ記入していた項目以外にはごく少数の意見しかなく、これらは解析の対象から省いた。

a) 基本分析

このようにして得られた変状評価値(項目(4))を、変状種類クラック(計17ケース)について回答者毎に平均したものを図-2に示す。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はかなりのばらつきがあることがわかる。例えば、図中のNo. 11とNo. 17の回答者では平均して2ランク弱の差がある。これは、他の変状についても同様である。

また、変状評価ランクを決める際に参考にした変状規模の程度(項目(5))に関しても同様にクラックについて回答者毎に比較したものを図-3に示す。ただし、変状規模の程度の評価要因については1ケースに数要因あり(クラックでは5要因)、平均をとっても意味が明確でない。そこで回答者毎に変状規模の程度の評価を要因の区別なく合計し、合計値を比較した。図より、変状規模の程度についても回答者間に大きな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。

このように、同じ変状を見ても回答者間の差が非常に大きいため、まずこの原因を明らかにする必要がある。そのため以下のように考える。

b) ファジィクラスタリング分析

a) で示したように、変状の評価には技術者の主

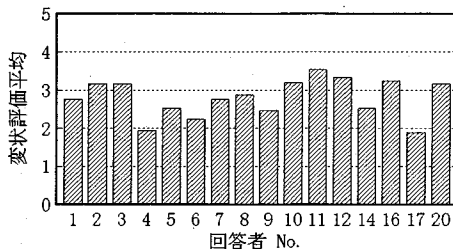


図-2 クラックについて得られた解答者毎の変状評価平均(第1回アンケート)

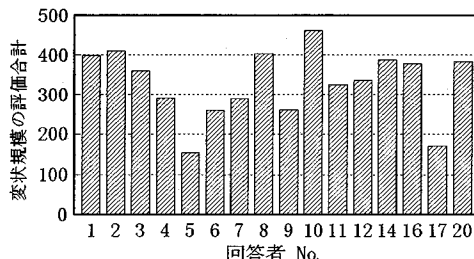


図-3 クラックについて得られた解答者毎の変状規模の評価合計(第1回アンケート)

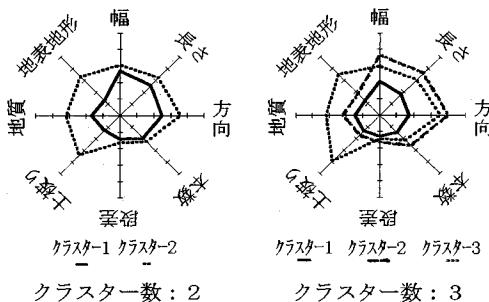
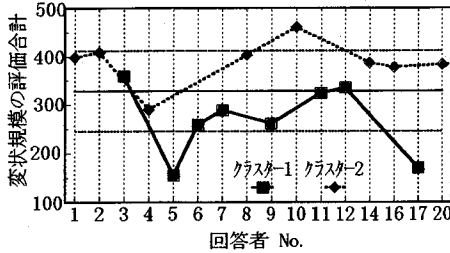
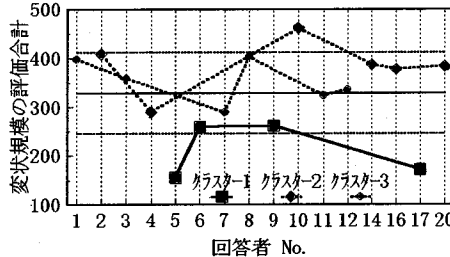


図-4 クラックについてのクラスター中心ベクトル

観が色濃く反映される。これらの技術者の主観を定量的に表現するにはファジィ理論が現状では最も適当とされている。本研究では技術者の主観やくせを重視する必要がある、これらを明らかにするにはファジィ理論の中でもファジィクラスタリングの考え方⁶⁾⁻⁹⁾が最も適当と考えられる。ファジィクラスタリングの解析に用いるデータは、評価ランクを決める際に参考にした変状規模の程度である。このデータ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る。この分類の手法は参考文献^{8), 10)}を参照されたい。ファジィクラスタリングを行った分類結果よりc個のクラスターに対する中心ベクトルおよび所属度関数が求められる¹⁰⁾。中心ベクトルは、各クラスターの特徴を表すものである。所属度関数は回答者毎およびケース毎にまとめることができるが、上のa)で示したよう



(a) クラスタ数：2



(b) クラスタ数：3

図-5 クラックについて各クラスターへの分離状況

に回答者間の差が大きいのではここでは回答者毎の場合について考える。

図-4に $c=2$ および $c=3$ でのクラックの各クラスター中心ベクトルを示す。まず $c=2$ では、実線で示すクラスター1の中心ベクトルは、破線で示すクラスター2のそれよりも小さい。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。これに対し $c=3$ では、楽観派(実線：クラスター1)の傾向はほぼ同様であるが、 $c=2$ での悲観派を表すクラスターがさらに二つに分かれている。特に、幅、長さ、方向、本数といった変状の状態を直接表す要因に重点を置く回答者(破線：クラスター2)と、土被り、地質、地表地形といった変状周辺の環境を表す要因に重点を置く回答者(点線：クラスター3)とに分かれる。その他の変状も $c=2$ での悲観派を表すクラスターが、それぞれある要因に特徴を持ちながら分かれている。

次に、各クラスターへの所属状況と変状規模の評価合計の関係をクラックについて図-5に示す。図-5(a)より $c=2$ では変状規模の評価合計にクラスター1(実線)とクラスター2(破線)とで明確な差がみられる。しかし、(b)の $c=3$ ではクラスター1(実線)とクラスター2(破線)、3(点線)とでは変状規模の評価合計に差がみられるが、クラスター2と3の区

回答者No	ケース No.																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	●	○	◎	○	●	●	○	○	●	●	●	○	◎	◎	◎	●	●
2	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	●	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	●	●	●	◎
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
14	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
16	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図-6 第1回アンケート調査におけるクラックの場合の各クラスターへの所属状況

(○, ●, ◎, ◎はそれぞれクラス1および2に、どちらかと言えばクラス1および2に属していることを示す。)

回答者No	ケース No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○
14	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図-7 第1回アンケートにおける摩擦・洗掘の場合の各クラスターへの所属状況

(○, ●, ◎, ◎はそれぞれクラス1および2に、どちらかと言えばクラス1および2に属していることを示す。)

別ははっきりしない。また他の変状では、 $c=3$ でも差が見られるものもあるがクラスター3に属する回答者が極端に少なくなる。よって $c=3$ を用いることは、各クラスターの意味がつかみにくく、所属回答者数の点からも適当でない。そこで、クラスター1とクラスター2の差が比較的明確であり、悲観派、楽観派と各クラスターの意味が理解しやすいことから、本研究ではクラスター数として $c=2$ を採用する。以後は、 $c=2$ を用いた解析結果の詳しい考察を行う。

図-6, 7にクラックと摩擦・洗掘の場合について各回答者が各ケースに対してクラスター1, 2のいずれに属するのかを一覧にしたものを示す。図中の○印はクラスター1に、●印はクラスター2に所属することを表す。また◎および◎は、どちらかと言えばク

クラスター1 (◎) またはクラスター2 (●) に所属する割合が高いことを表している。この図は、縦に回答者毎、横にケース毎を同時に表している。回答者毎にみれば、クラスター1が楽観派、クラスター2が悲観派を表すことは既に述べたが、ケース毎に着目した場合には、クラスター1が軽い変状を、クラスター2が重い変状を表すことになる。

図-6ではクラスター所属状況はケースに依存する(縦方向に同じクラスターになる)よりも、回答者に依存する(横方向に同じクラスターになる)傾向が強く現れている。これは、ここで取りあげたクラックについての変状状態に同程度のものが多いため、回答者の性格や考え方の違いが現れて、回答者毎に差が生じたものと考えられる。これに対して、図-7の摩耗・洗掘では、回答者によってはその性格や考え方の違いが現れている人もいるが、回答者毎よりはケース毎に分かれる傾向もみられる。これは、変状状態の軽いケースと重いケースの差が比較的明確であるので、誰がみても良い状態、悪い状態ということが分かり、回答者の評価がある程度一致したものと考えられる。

3. 現場技術者に対する研修会の実施

(1) 研修会の概要

2. では、紙面上の提示データによる各回答者独自の変状評価の特徴を検討した。その結果、回答者にはその性格として、楽観派と悲観派が存在することがわかった。特に同程度の複数の変状を評価するときその影響が強く現れ、変状の程度が明らかに異なる場合はある程度評価が一致することも分かった。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をシステム化することが困難であった。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。水力発電所の導水路トンネルはそれぞれ地理的に離れており、かつその数も非常に多い。従って、一般に劣化診断は異なるトンネルにおいては異なる技術者が行っており、所属の異なる複数の技術者による同一変状の診断は中国電力㈱としては初めての試みである。研修会に参加する技術者は、これまでに明らかになった楽観派、悲観派およびその中間的な回答者8名を含む14名である。表-1に、第1回アンケート対象者の中で研修会に参加した回答者を研修会参加者欄に○印で示す。

研修会は、あらかじめ選定した導水路トンネル内の4ブロック(No.3, 21, 53, 55)について、各ブ

表-3 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	アンケート ケース	人数					正解 ランク
			a	b	c	d	e	
21	クラック	往路	3	10	1	0	0	b
		復路	5	8	1	0	0	
		議論	4	9	1	0	0	
	摩耗・洗掘	往路	8	6	0	0	0	a
		復路	8	6	0	0	0	
		議論	9	5	0	0	0	
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	

ック内に存在する劣化種類(クラック等)を、それぞれ発生部位(アーチ、側壁、インバート)毎に別個に評価したあと、その項目の総合評価をし、最後に各項目を合わせたブロックの総合評価を行うものとした。評価方法は、変状評価および評価ランクを決める際に考慮した変状規模の程度とも第1回アンケートと同様である。

アンケートの方法にはデルファイ法¹¹⁾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。なお、最終的に全員で議論してまとめたものを本研究での正解とするのは、複数の技術者による現場の視察を踏まえた数回の議論の後の決定であるので、十分に一般性および信頼性があると考えたことによるものである。

デルファイ法は、回答者に同じ質問を反復し、その集計結果を回答者にみせながら回答者に必要に応じ意見を変更させて収束させる手法であり、技術予測や超長期社会予測などのように、客観的データに基づく客観的方法の応用し難い分野に用いられるものである。従って、本研究でのアンケートによる回答者の主観的な判断を収束させるのに適していると思われる。

(2) 解析結果

研修会によるアンケート結果は、往路、復路、再議論後について、各対象変状毎に数値化した。数値化の方法は、第1回アンケートと同様である。また、ブロック数は4であるが、各対象変状の数はブロック

回答者	往路	復路	議論
a	○	○	○
b	○	○	○
c	○	○	○
d	○	○	○
e	○	○	○
f	○	○	○
g	○	○	○
h	○	○	○
i	○	○	○
j	○	○	○
k	○	○	○
l	○	○	○
m	○	●	●
n	○	○	○

回答者	往路	復路	議論
a	○	○	○
b	●	●	●
c	●	●	●
d	●	●	●
e	●	●	●
f	●	●	●
g	●	●	●
h	◎	●	○
i	◎	●	●
j	○	○	○
k	○	○	○
l	○	○	○
m	○	○	○
n	○	○	○

(a)ブロック No. 21 (b)ブロック No. 55

図-8 研修会におけるクラックの場合の所属状況
(○, ●, ◎, ◎はそれぞれクラス1および2に、どちらかと云えばクラス1および2に属していることを示す。)

回答者	往路	復路	議論
a	○	○	○
b	○	○	○
c	○	○	○
d	○	○	○
e	○	○	○
f	●	○	○
g	○	○	○
h	○	○	○
i	○	○	○
j	○	○	○
k	○	○	○
l	○	○	○
m	○	○	○
n	○	○	○

回答者	往路	復路	議論
a	○	○	○
b	○	○	○
c	○	○	○
d	○	○	○
e	○	○	○
f	○	○	○
g	○	○	○
h	○	○	○
i	○	○	○
j	○	○	○
k	○	○	○
l	○	○	○
m	○	○	○
n	○	○	○

(a)ブロック No. 21 (b)ブロック No. 55

図-9 研修会における摩耗・洗掘の場合の所属状況
(○, ●, ◎, ◎はそれぞれクラス1および2に、どちらかと云えばクラス1および2に属していることを示す。)

内に存在しないものもあるので、クラック：4、摩耗・洗掘：3、剝離・剝落：1、目地切れ：1となる。

a) 変状評価の度数変化

表-3にブロックNo. 21, 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。また、評価ランクよりNo. 21とNo. 55では、クラックについては度数がNo. 21では主にa, bに分布しNo. 55では主にc, dに分布していることから変状状態に明確な差があり、摩耗・洗掘についてはNo. 21とNo. 55ともに度数がa~cに分布していることから変状状態が同程度のものであることが分かる。

b) ファジィクラスタリング分析

ファジィクラスタリングに用いるデータは、第1回アンケートと同様である。このデータに対して第1回アンケートと同様にファジィクラスタリング分

析を行い、 $c=2$ 個のクラスターに対する中心ベクトルおよび所属度行列を求める。分析は各劣化項目毎に往路、復路、再議論後と分けて行い、回答者の考え方の変化を検討する。

図としては示していないがクラスター中心ベクトルには、往路、復路、再議論後で若干の差がみられるが、基本的に第1回アンケートと同様に、全ての項目についてクラスター1(実線)の中心ベクトルはクラスター2(破線)のそれよりも小さくなっている。従って、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いうことがここでも言える。また、ブロック毎にみればクラスター1が軽い変状を、クラスター2が重い変状を表していることも同様である。

図-8, 9にクラック、摩耗・洗掘について往路、復路、再議論後における回答者毎の各クラスターへの所属状況を、(a)ブロックNo. 21, (b)ブロックNo. 55毎に示している。所属状況の表現は、第1回アンケートと同様である。これより、全体を通じて基本的に所属状況は大きく変化してはいないが、議論を重ねるにつれ一部の回答者の判断は修正されると言える。

図-8より、各クラスターへの所属状況が、(a)ブロックNo. 21と(b)ブロックNo. 55とで明かな違いがみられる。すなわち、(a)No. 21では回答者はほとんどクラスター1に所属しているのに対し、(b)No. 55ではほとんどクラスター2に所属している。これは、先に述べたようにNo. 21は軽い変状であるし、No. 55は重い変状であることによるものと考えられる。つまり、変状状態に明らかな差があれば、回答者の判断は統一される傾向があると言え、これは第1回アンケート結果を裏付けるものである。

また図-9では、各クラスターへの所属状況は基本的にはクラスター1が多いが、回答者の一部は(a)ブロックNo. 21, (b)No. 55ともにクラスター2に分かれる人もいて、両ブロック共にほぼ同じような所属状況になっている。これは、先に述べたようにこの両ブロックとも評価がa, bランクと軽微で、同程度の変状状態であり、こういった場合には回答者の性格が変状評価に大きく現れたためと考えられ、これも第1回アンケート結果を裏付けるものである。

4. 再アンケート

(1) アンケート概要

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

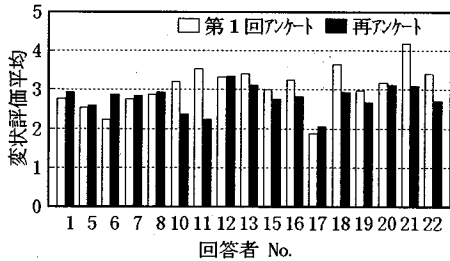


図-10 第1回目と再アンケートでクラックについて得られた解答者の変状評価平均値の比較

化に対する変状評価は若干修正され、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る。再アンケートは第1回アンケートと同じ22名の回答者に対して行う予定であったが、回答者の部署が変わったり転職や死亡などでアンケートに回答できない人がいたため、それらの回答者を除いた17名に対して行った。表-1に再アンケートの対象者を示す。

アンケートでの提示資料は、まず第1回アンケートと同じ導水路諸元、変状内容、変状状況写真である。そしてそれに加え、第1回アンケートの解析結果である図-2の回答者毎の変状評価平均と、図-4のクラスター中心ベクトル、および変状規模の評価合計と回答者の各クラスターへの所属状況の関係を示す。さらに、各対象変状のケース毎の変状評価ランクの度数分布をも提示する。

アンケートの記入は、上記資料を参考にして、第1回アンケートと同様に行う。

(2) 解析結果

アンケート結果は、第1回アンケートと同様に数値化し解析を行う。解析方法は第1回アンケートと同様であるが、基本的に両者を比較する形で行う。この際、再アンケート回答者の中に第1回アンケートで変状規模の程度の考え方が異なる人も含まれているので、変状規模の程度のデータを用いる場合、これらの回答者は省いて比較する。また、研修会の意義を知るために研修会参加者と未参加者のアンケート解析結果を比較する。さらに、経験年数による再考資料に対する影響度を見るために、経験年数20年以下と21年以上の回答者に分けて比較する。表-1に、回答者の上記属性をまとめて示す。

a) 基本分析

図-10に、第1回と再アンケートのクラックにおけ

表-4 全解答者に関する変状評価平均の諸値の比較

分析項目	クラック		摩耗・洗掘		剝離・剝落		目地切れ		湧水・噴泥	
	第1回	再	第1回	再	第1回	再	第1回	再	第1回	再
平均	3.07	2.79	3.07	2.79	3.02	2.71	2.44	2.15	2.12	1.88
標準偏差	0.53	0.32	0.61	0.46	0.66	0.36	0.65	0.39	0.57	0.52
変動係数	0.172	0.115	0.199	0.163	0.219	0.133	0.266	0.179	0.266	0.275

表-5 研修会参加の有無による変状評価平均の差の比較

回答者	対象変状				
	クラック	摩耗 洗掘	剝離 剝落	目地切れ	湧水 噴泥
参加者	-0.48	-0.59	-0.76	-0.54	-0.54
未参加者	-0.09	0.02	0.07	-0.06	0.02

表-6 経験年数の差による変状評価平均の差の比較 (全回答者)

回答者	対象変状				
	クラック	摩耗 洗掘	剝離 剝落	目地切れ	湧水 噴泥
20年以下	-0.57	-0.44	-0.53	-0.48	-0.49
21年以上	0.05	-0.08	-0.08	-0.06	0.04

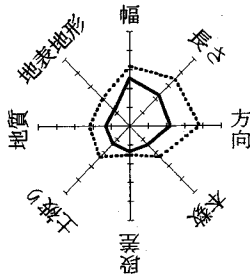
表-7 経験年数の差による変状評価平均の差の比較 (研修会参加者)

回答者	対象変状				
	クラック	摩耗 洗掘	剝離 剝落	目地切れ	湧水 噴泥
20年以下	-0.65	-0.62	-0.85	-0.72	-0.64
21年以上	-0.20	-0.53	-0.61	-0.25	-0.37

る回答者毎の変状評価ランクの平均を比較したものを示す。これより、変状評価平均がほとんど変化していない回答者もいるが、大部分の回答者は変化していることが分かる。これは、他の変状においても同様である。これより、経験を積んだ技術者であっても、他人の評価を判断資料に加えて再考することによって変状に対する評価は変わることが分かる。

また、回答者の変状評価のばらつきの変化を見るために、各対象変状について第1回と再アンケートの変状評価の変動係数を比較した。表-4に全回答者のデータを用いて変動係数を求めたものを示す。これより、湧水・噴泥を除くすべての変状で変動係数は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と言える。以下に回答者の属性別による第1回と再アンケートの変状評価平均の差の比較を行う。

まず、表-5に研修会参加者と未参加者の変状評価平均の差を示す。これより、変状評価平均の差は研修会参加者の方が未参加者に比べ明らかに大きくなっている。これは、研修会参加者は研修会において他の技術者の意見を聞いており、再アンケートで提示した参考資料よりも多くの情報を認識し、柔軟に対応したため両アンケートの回答の差が大きくなったものと考えられる。



クラス1 クラス2

図-11 クラックについてのクラスター中心ベクトル

次に、表-6に経験年数20年以下の回答者と21年以上の回答者の変状評価平均の差を示す（導水路現場補修に係る水力計画・建設と水力保守を合わせた年数を経験年数とする；表-1参照）。これより、変状評価平均の差は、経験年数の少ない回答者の方が豊富な回答者に比べ明らかに大きくなっている。これは、経験が少なければ変状評価を行うに際して十分な知識がなく、他の技術者の判断をより強く参考にしたため第1回と再アンケートとの差が大きくなったと考えられる。

さらに、表-7に研修会参加者中の経験年数20年以下の回答者と21年以上の回答者の変状評価平均の差を示す。これより、研修会参加者中の経験年数による変状評価平均の差は、上記の表-5、6程にはみられない。これは、研修会に参加した技術者は表-5にも見られるように、経験年数の多少に関わらずその中での議論の影響を受け、変状評価の判断基準の平滑化が行われたためと考えられる。

b) ファジィクラスタリング分析

ファジィクラスタリングに用いるデータは、第1回アンケートの場合と同様である。このデータに対して第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い、c=2個のクラスターに対する中心ベクトルおよび所属度行列を求める。

図-11にクラックについて再アンケートのクラスター中心ベクトルを示す。これより、クラスター中心ベクトルには、図-4(a)に示す第1回と再アンケートで若干の差がみられるが、基本的に第1回アンケートと同様に、変状規模を表す全ての項目においてクラスター1（実線）の中心ベクトルはクラスター2（破線）のそれよりも小さくなっている。よって第1回アンケートと同様、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える。また、ケース毎にみればクラスター1が軽い変状を、クラスター2が重い変状を表していること

も同様である。これは、他の変状についても同様と言える。

回答者No	ケース No.																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
17	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図-12 再アンケートによるクラックの場合の各クラスターへの所属状況

(○, ●, ◎, ⊙はそれぞれクラス1および2に、どちらかと言えばクラス1および2に属していることを示す。)

回答者No	ケース No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

図-13 再アンケートにおける摩擦・洗掘の場合の各クラスターへの所属状況

(○, ●, ◎, ⊙はそれぞれクラス1および2に、どちらかと言えばクラス1および2に属していることを示す。)

も同様である。これは、他の変状についても同様と言える。

次に、第1回と再アンケートの対象変状毎の各クラスターへの所属状況を比較するが、再アンケート対象者の中には第1回アンケートで変状規模の程度の考え方の違いによりアンケート結果が採用されなかった回答者もいるので、これらの回答者を除いた場合、第1回アンケートと比較できる回答者数は11名となる。詳細は、表-1に示す。

図-12, 13に、クラックと摩擦・洗掘について再アンケート結果の各クラスターに対する所属状況を示す。所属状況の表現は、第1回アンケートと同様である。

クラックについては、図-6に示す第1回アンケートでは、所属状況はケース毎にと言うよりもむしろ回答者毎に分かれる傾向が強く現れていたが、図-12の再アンケートでは、ケース毎によって所属状況が分かれるような変化がみられる。これは、回答者が他の回答者の評価や各自の属性を知ることによって

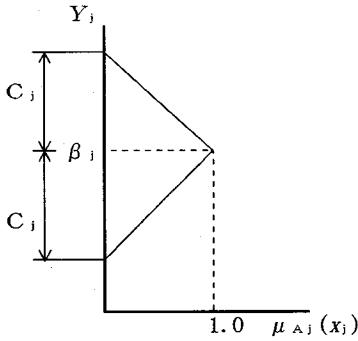


図-14 三角形ファジイ数

変状に対する考え方に変化が生じ、同程度の変状に対してもある程度の意見の統一がなされたことによるものと考えられる。

また摩耗・洗掘では、図-7に示す第1回アンケートと同様に図-13の再アンケートでも、回答者によってはその性格が現れている人もいるが、回答者毎よりはむしろケース毎に分かれる傾向がみられる。これは、これらの変状はもともと変状状態に明かな差があり、良い状態、悪い状態という区別がつきやすいものだったので、改めて変化するということが少なかったためと考えられる。

c) 可能性線形システムの同定

以上のようなアンケート結果の解析により、変状の評価は技術者のあいまいさを含む主観の影響を大きく受けることが明らかになった。すなわち、技術者の経験的主観をいかに取り込むかがシステム構築上重要であるかが分かる。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、アンケート結果を用いて以下のような可能性線形システム¹²⁾の同定を行う。可能性線形システムはこのような専門技術者の経験的主観を表現するのに適しており、土木分野でも多くの分野に応用されている^{13), 14)}。

入力を評価ランクを決める際に参考にした変状規模の程度、出力を予測変状評価ランクとすると可能性線形システムは、次式(1)のように表せる。

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

A_1, A_2, \dots, A_n : 変状規模の各要因のファジイ数
 X_1, X_2, \dots, X_n : 変状規模アンケート項目(5), 項目(6)の各要因の評価値
 Y_i : 予測変状評価ランク

ここでファジイ数 A_n は可能性分布関数とみなすことができる。ファジイ数にはいくつかの形式があるが、

表-8 再アンケートにおけるクラックの場合のファジイ数

項目	中心位			幅位		
	全回答	参加者	未参加	全回答	参加者	未参加
幅	0.352	0.369	0.285	0.322	0.332	0.129
長さ	0.242	0.123	0.002	0	0	0
方向	0.029	0.227	0.175	0.067	0	0.154
本数	0.074	0.132	0	0.136	0	0.140
段差	0.401	0.326	0.489	0	0.025	0.124
土織り	0	0	0.092	0.051	0.166	0
地質	0.121	0.107	0.291	0	0	0
表地	0.195	0.141	0	0	0	0

表-9 変状評価平均値とファジイ中心の相関 (再アンケート)

対象変状	相関係数		
	全回答者	参加者	未参加者
クラック	0.869	0.910	0.750
摩耗	0.904	0.783	0.918
剥離	0.980	0.996	0.968
目地切れ	0.826	0.856	0.687
湧水	0.931	0.996	0.946

ここでは対称な三角形ファジイ数を採用する。このときファジイ係数 A_j は次式(2)のように表せる。

$$A_j = (\beta_j, C_j) \quad (2)$$

また、メンバーシップ関数は次式(3)で定義されている。

$$\mu_{A_j}(\theta) = 1 - |\theta - \beta_j| / C_j, \quad C_j > 0 \quad (3)$$

ここで、 β_j は中心を C_j は可能性の幅を与え、三角形ファジイ数は図-14のように示され、 Y_i の可能性分布関数は次式(4)で計算される。

$$Y_i = \left(\sum_{j=1}^n \beta_j X_{ij}, \sum_{j=1}^n C_j |X_{ij}| \right) \quad (4)$$

このとき Y_i の中心は $\sum_{j=1}^n \beta_j X_{ij}$ 、幅は $\sum_{j=1}^n C_j |X_{ij}|$ である。システム同定の詳細は文献¹³⁾を参照されたい。

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全回答者、研修会参加者、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。

上記3つのグループに対して、得られたクラックについての変状評価ランクを決める際に参考にした変状規模の各項目のファジイ数を、表-8に示す。ファジイ中心ウエイトに着目すると、各グループでどの変状規模を表す項目が変状評価ランクを決定する上で重要であったかがわかる。特徴としては、各対象変状を通じ全回答者と参加者の結果で同定した中心ウエイトは似たような値を示すが、これに対し、未参加者の結果で同定した中心ウエイトはかなり異なる。

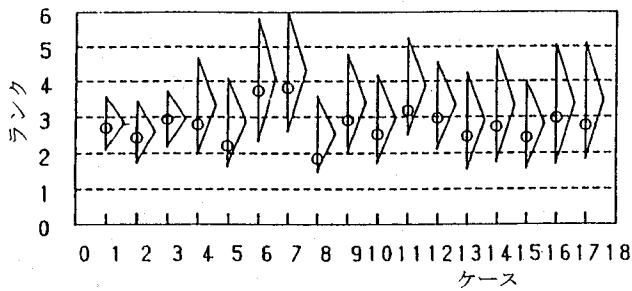


図-15 クラックについての可能性線形システムによる
同定結果 (○は研修会参加者8人の各ケースに
おいての変状評価値の平均値)

表-10 変状評価平均に対するクラスター1と
クラスター2のファジィ中心の平均差
(再アンケート)

対象変状	平均差		
	全回答者	参加者	未参加者
クラック	0.99	1.18	1.01
摩耗	1.46	1.62	1.30
剥離	1.63	1.82	1.00
目地切れ	0.73	0.81	0.61
湧水	0.93	1.16	0.93

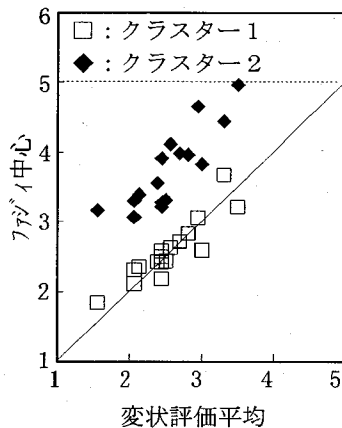


図-16 クラックについてのファジィ中心
と変状評価平均の比較
(補正前)

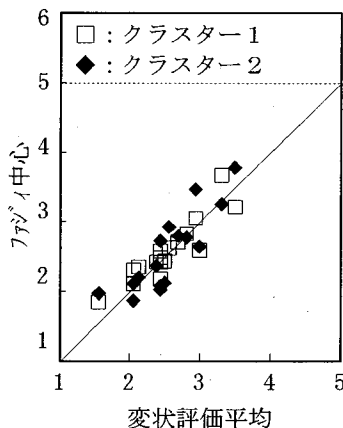


図-17 クラックについてのファジィ中心
と変状評価平均の比較
(補正後)

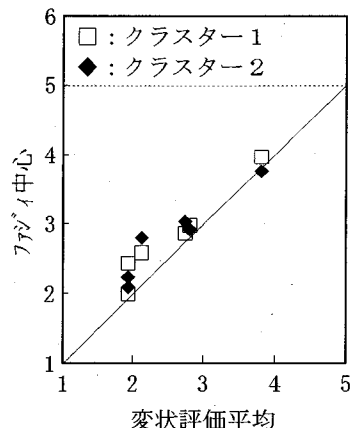


図-18 剥離・剥落についてのファジィ中心
と変状評価平均の比較
(補正後)

った値を示している。例えば、全回答者と参加者では土破りの項目がファジィ係数に採用されていないのに対し、未参加者では本数、地表地形が採用されていない。これより、参加者と未参加とで変状規模の各項目の見方に相違が表れていることが見られる。

以上のように同定されたファジィ係数で対象変状毎に変状評価ランクを予測するのであるが、3つのグループを比較するために、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。表-9に各グループ毎にファジィ中心と変状評価平均の相関を示す。これより、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、摩耗・洗掘を除くすべての対象変状において他のグループよりも良い相関がみられる。すなわち、研修会参加者で構築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。これは研修会に参加することによって他の技術者の考え方や変状に対する見方を知ることができ、技術者の考え方がある程度平滑化されたのではないかと考えられる。

よって以降は、ある程度考え方が統一されたと考えられる研修会参加者の回答から構築したシステム

を用い、ファジィクラスタリングより明らかになった回答者の性格である楽観派(クラスター1)と、悲観派(クラスター2)の違いをどのように考慮すれば合理的なシステムの構築が可能かを検討する。

図-15にクラックについて、参加者で構築したシステムで計算した同定結果を全回答者で平均したものを示す。図中の○印は研修会参加者の変状評価平均である。これより、全体的にある程度の変状評価の予測が可能であると思われる。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-16に示す。図-16では楽観派と悲観派との差が分かるように、クラスター1の楽観派を□印で、クラスター2の悲観派を◆印で示す。図から明らかに楽観派と悲観派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。クラスター1に所属する回答者で平均したファジィ中心(□印)は、比較的アンケートで得られた変状評価平均と1対1の相関がみられる。これに対し、クラスター2に所属する回答者で平均したファジィ中心(◆印)は、変状評価平均より大きめの値を示している。これは

悲観派が変状評価に慎重で楽観派に比べ評価ランクを危険側に評価するためであると考えられる。この傾向は、他の変状についても同様である。両者の差((クラスター2)-(クラスター1))の平均値を表-10に示す。この表には、全回答者での同定結果および未参加者での同定結果によるクラスター1とクラスター2との差も示しているが、どれも平均的に1ランク〜1ランク半クラスター2の方が大きいことがわかる。これは既述の通り悲観派(クラスター2)の方が楽観派(クラスター1)に比べ評価ランクを危険側に評価するためであると考えられる。このような明瞭なランクの差は、ファジイクラスタリング分析に見られた明確なクラスター分離結果からも分かる。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のならば、表-10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と考えられる。図-16の楽観派、悲観派の差である表-10を補正して求められたファジイ中心と変状評価平均の関係を図-17に示す。図-17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-10を用いて補正することにより、統一的でかつ合理的な変状評価を行うことができる。図-18に剥離・剥落の場合の結果を示すが、この場合も回答者の性格のいかんに関わらず統一的な評価が行えているものと考えられる。

5. おわりに

本研究は、導水路トンネルの補修に携わる現場技術者に対して、変状評価に関するアンケートを実施し、技術者の変状評価の特徴や判断の過程を明らかにするとともに、統一的な変状評価システムの構築を目的として行ったものである。その結果明らかになった結論を以下に列記する。

1) 同じ変状に対する評価であっても技術者の判断にはばらつきがあり、ばらつきの原因の1つとして、技術者の性格である楽観的、悲観的な見解の違いが挙げられる。

2) 上記の性格によるばらつきの傾向は、対象変状の状態が同程度の時に強く現れる。これに対し、変状状態に明確な差がある場合は、技術者の性格はあまり関係がなくなり、その判断はほぼ一致する。

すなわち変状の程度の悪いものは悪いと明確に判断すると言える。

3) 現場技術者に対する現地における研修会を実施することにより、導水路トンネルの変状評価に関する技術者の判断は、議論を重ねるにつれて修正され、最終的に正解と考えられる変状評価に近づくとと言える。

4) デルファイ法を用いた再アンケートを行うことにより、経験を積んだ技術者であってもその判断は若干修正され、技術者間のばらつきは小さくなった。

5) 変状評価に関する判断の変化は、研修会に参加した技術者や経験年数の少ない技術者の方が、そうでない技術者よりも大きい。

6) 第1回アンケートで技術者の性格が現れていた変状では、その傾向が減少し、変状評価が一致しつつあることがわかった。

7) 技術者に対する研修会を実施することは、各自の判断の特徴および他の技術者の変状に対する考え方を知り、変状評価に関する判断基準の平滑化の意味においても重要であり、有意義なものと考えられる。

8) 可能性線形回帰による変状評価は、研修会に参加した回答者の回答により構築したシステムが最も変状評価に適している。

9) これらのことを考慮しても技術者の性格による差は改善されることがわかり、この差は人間の本質的なものとみなして容認し、同システムによる変状評価を比較するときに両者の差を補正することによって、技術者の性格にとらわれることのない統一的な評価が行えるものと考えられる。

このように本研究で提案した手法を用いれば、技術者のくせや主観を考慮した上で、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。今後の課題としては、可能性線形システムの同定の精度にはまだ向上の余地はあり、さらに実状にあったシステムの構築を計っていく必要があると思われる。また、システムの構築とは別に、現場技術者に対する研修会を今後も実施し、技術者間の判断基準の平滑化を計ることが望まれる。

謝辞：最後に、本研究を行うにあたり、貴重な時間を割いてアンケートに協力していただいた中国電力(株)および関連会社の技術者の方々に深謝の意を表します。また、本研究を遂行するにあたり、大本組技術開発部の鈴木昌次博士から多くの貴重な助言を

得ました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宮本文穂, 益成一部, 西村 昭: コンクリート橋診断エキスパートシステムの開発と実用, 材料, 第40巻, 第450号, pp. 256-262, 1991. 3.
- 2) 宮本文穂, 西村 昭: コンクリート橋の安全性評価と寿命予測, 材料, 第40巻, 第450号, pp. 263-269, 1991. 3.
- 3) 朝倉俊弘, 小島芳之, 小野田滋: 老朽トンネルの調査と対策, 地質と調査, 第49号, 1991.
- 4) 鉄道総合技術研究所: トンネル補強・補修マニュアル, 1990. 10.
- 5) 安田亨, 谷口親平, 亀和田俊一, 岡野吾一: 老朽トンネルにおけるクラック診断システムの開発, 土木学会論文集 第435号/IV-15, pp. 139-144, 1991. 9.
- 6) 大隅 昇: ファジィクラスタリング, 数理科学, No. 191, pp. 34-41, 1979. 5.
- 7) Ruspini E.H.: A New Approach to Clustering, *Information and Control* 15, pp. 22-32, 1969.
- 8) James C. Bezdek: *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press, pp. 43-145, 1981.
- 9) Sasaki, T. and Akiyama, T.: An Analysis of Regional Difference in Inhabitant's Consciousness to the Road Construction by Fuzzy Clustering, *Proc. of JSCE*, No. 377/VI-6, pp. 107-115, January 1987.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 鈴木昌次, 古川浩平, 井上洋司, 中川浩二: ファジィ回帰モデルに基づくトンネル岩盤分類法の提案, 土木学会論文集, 第418号/III-13, pp. 181-190, 1990. 6.
- 14) 西 邦正, 古川浩平, 中川浩二: ファジィ理論を用いたのり面の崩壊要因および崩壊可能性の評価について, 土木学会論文集, 第445号/III-18, pp. 109-118, 1992. 3.

(1995. 8. 3 受付)

A STUDY ON THE DETERIORATION DIAGNOSIS STANDARD AND THE ALTERATION OF THE EVALUATION SYSTEM ON THE CONDUCT OF WATERWAY TUNNEL OF HYDROELECTRIC POWER STATION

Tatuji NAKAMOTO, Hideaki KIKUCHI, Kaneyuki TAKANO, Kohei FURUKAWA
and Koji NAKAGAWA

In this study, an attempt is made to apply the fuzzy set theory to the deterioration diagnosis on the conduct of waterway tunnel of hydroelectric power station. The evaluation process of the conduct of waterway tunnel is regarded as an ambiguous system which is made up of ideas subjected to practical experience of experts. To clarify the system, the fuzzy clustering and the questionnaire surveying the experts are used. Those results show that the experts are separated into two groups, that is, the optimists and pessimists. It is confirmed that the systematic deterioration diagnosis can be made by modifying the differences of these groups.