

III-112

切羽観察記録を用いたトンネルの切羽と天端の安定のための管理手法

日本鉄道建設公団 八代鉄道建設所 大森 紀義
 飛島建設㈱ 九州支店 大和 敏郎
 飛島建設㈱ 構造技術部 正 近久 博志
 飛島建設㈱ 構造技術部 正○筒井 雅行

1. はじめに

筆者らは、トンネル施工における掘削後の切羽の安定に関して、施工中の計測結果を基にした、対策工選定支援システムの研究を行ってきた¹⁾。本報告では、九州新幹線第2今泉トンネルにおいて、ファジィ推論を用いて、施工中の切羽観察記録を切羽と天端の安定のための補助工法の選定にフィードバックする手法とその適用性について述べる。

2. 第2今泉トンネルの概要

第2今泉トンネルは、九州新幹線鹿児島ルートの八代－新水俣間のうち八代寄りに位置する延長約4,700mの新幹線複線型のトンネルである。トンネル施工位置は、「黒瀬川構造帶」と呼ばれる地域で、破碎の著しい中古生層堆積岩、花崗岩類、片麻岩、蛇紋岩等の多種多様の岩盤が帯状に分布している。図-1に地質縦断図を、表-1に地質概要を示す。

3. トンネルの計測管理手法²⁾

本トンネルでは、施工中に得られるデータの中で計測管理に必要な項目を、記録項目(切羽観察記録など)と管理項目(表-2の計測管理表など)の二つに分けて整理する。管理項目には、構造物の許容、降伏、破壊の3つの状態を想定した管理規準値に対して、安定、注意、異常および限界の4つの注意レベル(I, II, III, IV)を設定する。

4. トンネル掘削時の計測結果

掘削時には、次のような切羽と天端の自立性不足に起因する現象に遭遇した。

※ほとんどの切羽での肌落ち(レベルII)や小崩落(レベルIII)

これに対して、支保部材施工後の内空変位等の変位挙動は、レベルI～IIの安定した状態にあった。

5. 切羽観察記録からの補助工法の選定¹⁾

ファジィ推論法を用いて、切羽観察記録から補助工法を採用するための指標を求める。ここでは、掘削の終了した調査坑切抜き区間(10k 458m～10k603m)における計測データを例にして図-2、図-3に示した補助工法の選定を考える。

①数量化理論第II類を用いて、要因分析を行う(表-3、

図-4に分析結果)。このとき、説明変数と外的基準は次のようにする。

(1)説明変数：切羽観察記録の「圧縮強度」、「風化・変質」、

「割れ目頻度」、「割れ目状態」、「割れ目形態」、「湧水」

(2)外的基準：「地山の変状の有無」(切羽と天端の変状に

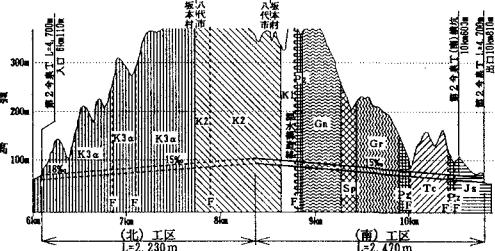


図-1 地質縦断図

表-1 地質概要

地質年代	地層名	記号	地質構成
新生代	日奈久層	K3a	頁岩・砂岩・礫岩
白亜紀	八重山層	K2	砂岩・頁岩
中生代	川口層	K1	砂岩・礫岩・頁岩
	坂本層	J1	頁岩・砂岩
	三畠層	Tc	頁岩・砂岩
古生代	田浦層	Pz	砂岩・點斑岩・礫岩・石灰岩
	三貴・小崎層	Sd	蛇紋岩・變質綠岩
中生代	時代末群	Gt	花崗岩・花崗閃雲岩
新生代	八代花崗岩層	Gh	花崗石麻粒岩・葉角内岩

表-2 計測管理表

計測項目	計測範囲			
	測定部位	レベルI	レベルII	レベルIII
1. 地盤の状況	(安全状況)	良好な状況	問題なし	問題がある
2. 地盤の変状	自立している	問題なし	問題がある	問題非常に多く
3. 地盤の剥離	自立している	問題なし	問題がある	問題非常に多く
4. 山崩・落石	なし	問題なし	問題あり	問題非常に多く
5. 水	なし	問題なし	問題あり	問題非常に多く
6. 地盤の変位	(mm)	±10, ±10, ±10	±10, ±10, ±10	±10, ±10, ±10
7. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
8. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
9. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
10. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
11. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
12. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
13. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
14. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
15. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
16. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
17. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
18. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
19. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
20. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
21. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
22. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
23. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
24. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
25. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
26. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
27. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
28. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
29. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
30. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
31. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
32. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
33. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
34. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
35. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
36. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
37. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
38. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
39. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
40. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
41. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
42. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
43. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
44. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
45. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
46. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
47. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
48. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
49. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
50. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
51. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
52. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
53. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
54. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
55. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
56. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
57. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
58. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
59. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
60. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
61. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
62. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
63. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
64. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
65. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
66. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
67. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
68. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
69. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
70. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
71. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
72. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
73. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
74. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
75. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
76. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
77. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
78. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
79. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
80. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
81. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
82. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
83. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
84. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
85. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
86. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
87. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
88. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
89. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
90. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
91. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
92. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
93. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
94. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
95. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
96. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
97. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
98. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
99. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
100. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
101. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
102. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
103. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
104. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
105. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
106. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
107. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
108. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
109. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
110. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
111. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
112. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
113. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
114. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
115. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
116. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
117. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
118. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
119. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
120. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
121. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
122. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
123. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
124. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
125. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
126. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
127. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
128. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
129. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
130. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
131. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
132. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
133. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
134. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
135. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
136. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
137. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
138. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
139. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
140. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
141. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
142. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
143. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
144. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
145. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
146. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
147. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
148. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
149. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
150. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
151. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
152. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
153. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
154. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
155. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
156. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
157. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
158. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
159. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
160. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
161. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
162. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
163. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
164. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
165. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
166. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
167. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
168. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
169. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
170. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
171. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
172. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
173. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
174. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
175. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
176. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
177. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
178. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
179. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
180. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)
181. 地盤の変位(%)	(±1%)	(±1%)	(±1%)	(±

ついては、相互に影響し合う要素が大きいと考えられるので、「切羽の状態」と「素掘面の状態」の注意レベルの合計が6の断面を変状有りとした。)

②①の分析結果から、サンプル値に対する地山の状態の注意レベルの発生割合(図-5)を、前件部(地山の状態)の帰属度関数とする。

③補助工法の実施度合いを図-6のように定義する(後件部の帰属度関数)。そして、同種地山での工事のデータから分析した推論結果の基本ルール(表-4)をそのまま用いることとする。

④本坑施工時の切羽観察記録から、地山の状態の注意レベルに対する適合度を図-5から求め、表-4の基本ルールに基づいた推論結果(各補助工法の実施度合いの指標)を得る(表-5)。

分析対象区間で遭遇した地山の状態の注意レベルはⅡまたはⅢであり、それらが明確に区分されることから、切羽観察記録に対する地山の状態の注意レベル(ⅡあるいはⅢ)の帰属度は

1.0または0.0となる。

しかしながら、本手法は地質の変化がさらに著しくなってくるような場合や現場技術者の主觀による判断基準の曖昧さを考慮する必要がある場合に対してはさらに効果的な手法となるものと考えられる。

6. おわりに

ここでは、第2今泉

トンネルを例にして、

トンネルの切羽と天端の安定の

ための補助工法の選定に対する

ファジィ推論の適用性を検討し

た。今後さらに改良を加え、データの蓄積を行うことによって本ファジィ推論法は実用的な手法となるものと考えられる。

【参考文献】 1)近久、荒井、筒井、清水:「トネルの対策工選定支援ツクムのためのデータベースとファジィ理論」、土木学会トネル工学研究発表会論文報告集、第1巻、pp. 71-76、1991。12. 2)「合理的トネル設計施工のための諸測定の調査研究報告書」、日本トネル技術協会、1988.3

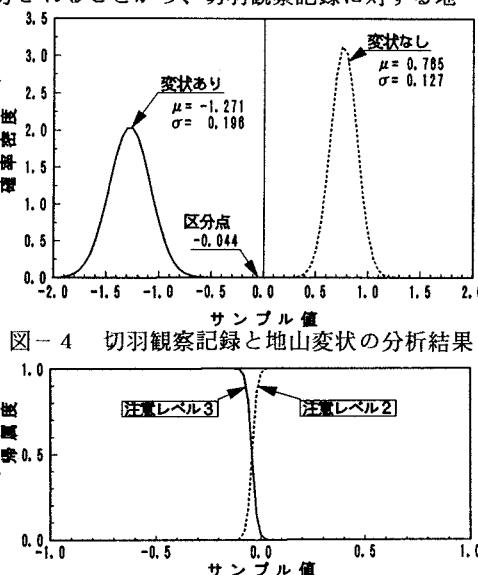


図-4 切羽観察記録と地山変状の分析結果

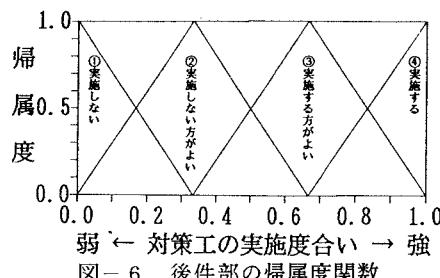


表-4 推論の基本ルール

注意レベル	I	II	III	IV
A)鏡吹付けコンクリート	①	②	④	④
B)鏡ボルト	①	②	③	④
C)リングカット	①	①	②	③
D)地盤改良工法	①	①	②	③

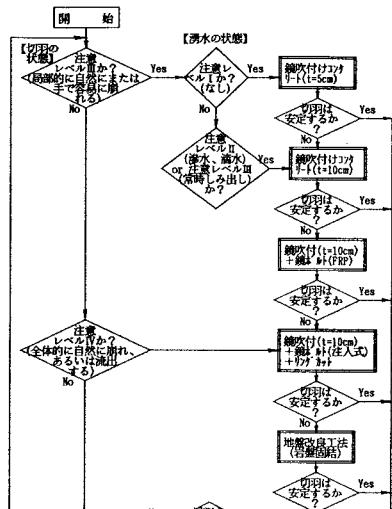


図-2 切羽の安定のための補助工法フローチャート

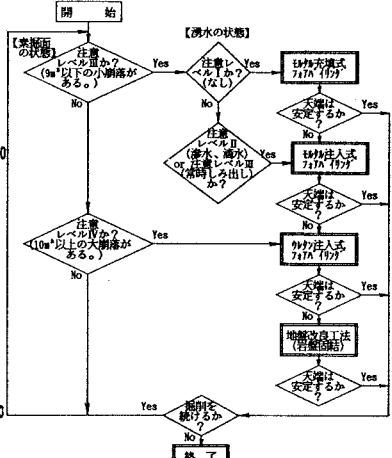


図-3 天端の安定のための補助工法フローチャート

表-5 推論結果 (重心法)

断面 (10 k +)	624m	555m	464m
切羽圧縮強度	3	2	4
風化・変質	4	2	4
観察記録	4	2	4
割れ目の状態	3	2	4
割れ目の形態	4	3	4
湧水	3	2	3
サンプル値	-1.4	0.66	-1.6
適合度	0.0	1.0	0.0
注意レベルⅢ	1.0	0.0	1.0
推論結果	A)鏡吹付CON B)鏡ボルト C)リングカット D)地盤改良	0.89 0.67 0.33 0.33	0.33 0.33 0.11 0.11
採用した補助工法	A — A+B		