

切羽観察評価区分値と支保選定に関する一考察

One consideration about a tunnel face observation evaluation classification value and tunnel support pattern selection

赤木 渉¹⁾・伊藤哲男¹⁾・城間博通¹⁾・小川邦彦²⁾・井上 隆²⁾

Wataru AKAGI, Tetsuo ITOH, Hiromichi SHIROMA, Kunihiro OGAWA and Takashi INOUE

Abstract

A tunnel support pattern has been experimentally selected by an engineer based on his evaluation and judgment on the rock mass observation. However, Japan Highway Public Corporation is grappling with the standardization to objectively and quantitatively select a tunnel support pattern, preparing the special index for tunnel support patterns by the evaluation on tunnel faces.

In this paper, "a method for determination of a tunnel support pattern" in the system that shows the optimum patterns are proposed, and the relevance between tunnel face observation data using an evaluation index and tunnel support patterns was studied by using the multi-variable analysis method.

Key Words: face observation, rock mass evaluation, tunnel support patterns, and a multi-variable analysis

1. はじめに

一般に、山岳トンネルの支保選定は、切羽観察結果から地山を評価し、多くの場合標準支保パターンが適用され、その判断は経験的に行われている。

日本道路公団（以下 JH）では、切羽観察、地山評価、支保選定が定量的に行えるように、従来の切羽観察手法を見直した「新しい切羽観察手法」を平成 8 年 11 月から全国に試行導入するとともに、切羽評価点法の採用や標準支保パターンの見直しを行った。また、試行導入によるデータを分析し、平成 11 年 4 月には切羽評価点による支保パターンの選定指標を示した。

一方で筆者らは、切羽観察で得られる各観察項目の評価区分値を利用して、その切羽に適合する支保の候補を標準支保パターンの中から提示するシステムを構築中である。当該システムでは、算出される切羽評価点の他に、各観察項目の評価区分値を直接利用することにより、採用実績を用いて最適な標準支保パターンを選定出来る手法を設定することとしている。

そこで、この評価区分値を直接利用した「支保選定方法」を設定するために、これまで施工された切羽観察データと支保パターンとの関連性について、整理・分析を行った。

1) 日本道路公団 試験研究所 道路研究部 トンネル研究室

2) 八千代エンジニアリング（株）東京事業部 地質部

2. 分析手法の検討

(1) 切羽評価手法の整理

切羽観察データから支保パターンを選定する際に、地山を評価する手法は「定性的評価」「定量的評価」に大別され、客観的かつ定量的に地山を評価するには「定量的評価」が有効である。「定量的評価」には、「①国内の評点法（単純平均法、加重平均法）」「②海外の評点法（Q 値法、RMR 法、RSR 法、GSI 法）」「③多変量解析（数量化理論）による方法」の3手法が挙げられる。この中で「①国内の評点法」については、前述のとおり平成8年11月からJHが全国に試行導入した「新しい切羽観察手法」による加重平均法を用いた切羽評価点法（表-1）がある。また、「②海外の評点法」については、我が国のような複雑な地山状況には不適であると考えられる。

今回の検討においては、「新しい切羽観察手法」による各観察項目の評価区分値を直接利用して、最適な標準支保パターンを選定しようとするものであり、切羽観察データと支保パターンとの関連性について分析を行う必要があることから、「③多変量解析による方法」を採用し支保選定の適用性について検証した。「多変量解析」は複数の変数同士の関連について、平均的な傾向を分析できる解析法であり、技術者の主観的判断にできるだけ依存せず、評価区分値をもとにした定量的な支保選定手法を検討できると考えられる。

その中でも「数量化理論第Ⅱ類」では、切羽観察データからの支保パターン選定を目的とした場合、質的データ同士の最適結合関係を最小二乗法によって求めることができる。質的データは説明変数（質的要因）、目的変数（外的基準）からなり、説明変数として各観察項目の評価区分値、目的変数として実績支保パターンをそれぞれ当てはめることにより、これらの最適関係を求めることが出来る。

表-1 JH 切羽評点法
における標準支保パターンと切羽評価点の目安

標準支保パターン	切羽評価点の目安範囲(点)
B-a	65～
CⅠ-a	55～70
CⅡ-a	45～60
CⅡ-b	35～50
DⅠ-a	20～40
DⅠ-b	～30

(2) 手法検討の条件設定

分析に使用する実績データは、JH 所有のトンネル切羽観察データ（平成8年11月～平成12年12月、13,593断面）を用いた。これらのデータは土被り条件として40m以上に限定している。分析に際し、岩石の工学的性質の違いを考慮して4つの岩石グループ（硬質岩【塊状】、中硬質岩・軟質岩【塊状】、中硬質岩【層状】、軟質岩【層状】）にそれぞれ区分している（表-2）。

また、分析に用いる質的データのうち説明変数にあたる観察項目の評価区分値は、JH「トンネル施工管理要領（計測工編）」に示される観察項目（表-3）を対象とした。

ただし、説明変数は多変量解

表-2 分析対象データの岩石別・支保パターン別クロス集計

	岩石	区分	B-a	CⅠ-a	CⅡ-a	CⅡ-b	DⅠ-a	DⅠ-b	DⅡ	合計	全体に対する比率
硬質岩 【塊状】	片麻岩	変成岩	0	0	33	115	56	56	0	260	1.9%
	石英片岩	変成岩	0	0	0	17	0	11	0	28	0.2%
	砂岩	中・古生層	0	24	119	958	154	276	183	1,714	12.6%
	礫岩	中・古生層	0	5	0	47	0	0	0	52	0.4%
	チャート	中・古生層	8	9	2	16	0	12	0	47	0.3%
	カンラン岩	深成岩	0	0	0	2	0	5	1	8	0.1%
	閃緑岩	深成岩	15	59	20	33	101	23	0	251	1.8%
	花崗閃緑岩	深成岩	49	174	256	87	172	29	0	767	5.6%
	花崗岩	深成岩	26	153	3	6	84	16	0	288	2.1%
	石英斑岩	脈岩	49	40	9	22	4	0	0	124	0.9%
	小計		147	464	442	1,303	571	428	184	3,539	26.0%
中硬質岩 【塊状】	蛇紋岩	変成岩	0	0	1	20	0	3	120	144	1.1%
	輝緑凝灰岩	中・古生層	0	0	0	50	0	71	0	121	0.9%
	砂岩	第三紀層	0	12	13	159	240	83	0	507	3.7%
	凝灰岩	第三紀層	34	352	532	211	236	295	0	1,660	12.2%
	グリーンタフ	第三紀層	0	0	0	0	0	69	0	69	0.5%
	凝灰角礫岩	第三紀層	0	30	8	107	63	43	0	251	1.8%
	火山礫凝灰岩	第三紀層	3	103	40	93	6	145	0	390	2.9%
	玄武岩	火山岩	28	41	1	48	0	1	0	119	0.9%
	安山岩	火山岩	64	249	29	132	7	33	0	514	3.8%
	流紋岩	火山岩	11	196	254	44	74	36	5	620	4.6%
	小計		140	983	878	864	626	779	125	4,395	32.3%
中硬質岩 【層状】	粘板岩	中・古生層	21	193	2	398	144	412	4	1,174	8.6%
	泥岩・頁岩	中・古生層	0	49	84	361	133	230	7	864	6.4%
	小計		21	242	86	759	277	642	11	2,038	15.0%
軟質岩 【層状】	黒色片岩	変成岩	0	26	19	392	80	289	101	907	6.7%
	緑色片岩	変成岩	10	156	0	461	4	67	11	709	5.2%
	泥岩・頁岩	第三紀層	47	165	219	587	335	369	283	2,005	14.8%
	小計		57	347	238	1,440	419	725	395	3,621	26.6%
	合計		365	2,036	1,644	4,366	1,893	2,574	715	13,593	100.0%

析を行うにあたり、互いに影響を及ぼさない独立した要素に絞り込む必要がある。そこで、地山内における観察6項目の相互関係を、他の土木構造物（ダム他）の岩盤評価分類事例等を参考として検討した結果、地山の評価は最終的には「圧縮強度」「割れ目の間隔」「割れ目の状態」の3項目に絞り込むことが出来ると考えた。つまり、岩盤では図-1に示すとおり「湧水量」という外的要因により「風化変質」「水による劣化」といった現象が発生し、岩片強度の低下、ゆるみなどによる割れ目間隔の変化、酸化・粘土挟在に代表される割れ目状態の変化などに反映される、という状況が考えられる。これより「湧水量」「風化変質」「水による劣化」といった観察項目は「圧縮強度」「割れ目の間隔」「割れ目の状態」それぞれの評価に含まれていと考えられる。

また、観察6項目それぞれの支保パターンとの相関を算出し、支保選定に対する観察項目毎の重要度について検証したところ、

前述の「圧縮強度」「割れ目の間隔」「割れ目の状態」の3項目が最も高い相関を示すことが確認された（図-2）。このことから「圧縮強度」他2項目の絞り込みは、本検討を行う上で妥当と考えられる。

一方、目的変数にあたる支保パターンは、細分化しすぎるとデータ数が偏り、統計解析処理がうまく行えない場合があるため、統計解析上はまず地山等級に応じた「B」「CⅠ」「CⅡ」「DⅠ」「DⅡ」の5区分とした。

この統計解析の結果推定される支保工と評価区分値組合せに対し、実績支保工の傾向を見比べた上で見直しを行い、最終的に「CⅡ」と「DⅠ」をそれぞれ二分し、標準支保パターンに準ずる7区分「B-a」「CⅠ-a」「CⅡ-a」「CⅡ-b」「DⅠ-a」「DⅠ-b」「DⅡ」とした。

以上の作業により、過去の実績から判断される、各切羽状態に最も適正といえる「支保工の選定候補」の一覧を作成することとした。

3. 分析結果

（1）カテゴリー区分定義およびカテゴリースコアの算出

数量化Ⅱ類による統計解析により、説明変数である各アイテム（観察項目）のカテゴリー（評価区分値の範囲）にスコアを与え、そのスコアから目的変数である各群（支保パターン）への分類にどの程度寄与しているかを明らかにした。

具体的には、まず観察項目毎に断面数の偏りがないうよう評価区分値の範囲を規定してカテゴリー区分を行い、それぞれのカテゴリースコアを算出した。その際、統計解

表-3 切羽観察項目と評価区分値

切羽観察項目	評価区分値
圧縮強度	1,2,3,4,5,6
風化変質	1,2,3,4
割れ目の間隔	1,2,3,4,5
割れ目の状態	1,2,3,4,5
湧水量	1,2,3,4
水による劣化	1,2,3,4

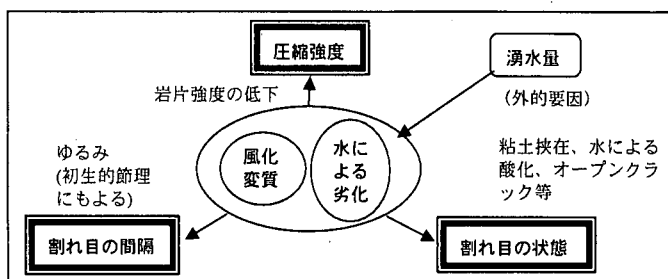


図-1 観察項目間の相互関係イメージ

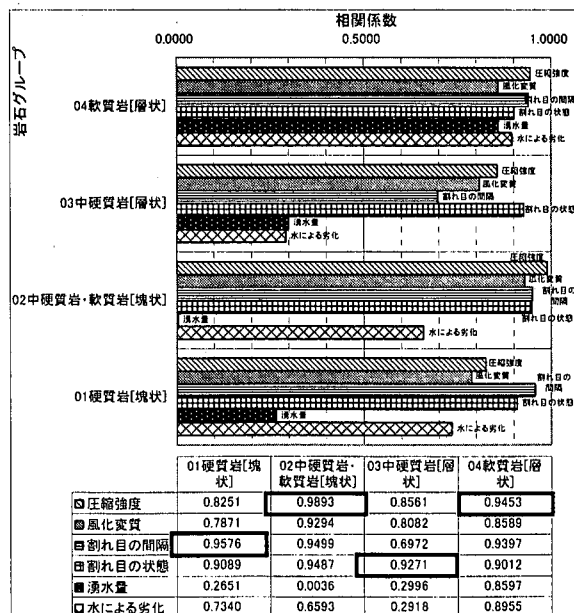


図-2 岩石グループ中、最も相関が高い観察項目

図-2 岩石グループ毎の観察項目評価区分相関係数一覧

その結果、硬質岩(塊状)では「割れ目の間隔」が最もカテゴリースコアの最大値と最小値の差(=レンジ)が大きく、つまり「割れ目の間隔」が支保工決定に大きく寄与している、ということがわかる(表-4)。

〔塊状〕では「圧縮強度」が、中硬質岩〔層状〕では「割れ目の状態」が、軟質岩〔層状〕では「圧縮強度」が、それぞれ支保工決定に大きく寄与しているといえる。この結果は前述の図－２に示した最大相関係数の結果と一致している。

なお、中硬質岩〔層状〕の「割れ目の間隔」について、断面数に偏りのないよう設定したにもかかわらず、カテゴリ

割れ目間隔	1.0~2.25	517	-0.1436
	2.5~3.25	1442	-0.1329
	3.5~4.25	1646	0.0712
	4.5~5.0	790	0.1881

割目状態	1.0~2.25 <th>1254<th>-0.3797</th></th>	1254 <th>-0.3797</th>	-0.3797
	2.5~3.25	1211	-0.2697
	3.5~4.25	1478	0.4156
	4.5~5.0	452	0.4171

グリーン“1.00~3.25”のスコアが他のカテゴリと逆転してしまった。これは、目的変数 B-a 群に属する断面データのうち「割れ目の間隔」の評価区分値が“1.00~3.25”であるデータの個数が0であったため、統計解析がうまくいかなかったと考えられ、後述するサンプルスコア（各アイテムのカテゴリー組合せ合計値）からの最適支保工選定に関し、評価区分値に対する最適支保工が逆転してしまうことが考えられる。そのためこのスコアは異常値とし、任意に“0.3”とスコアを修正してサンプルスコアを算出することとした。

サンプルスコア算出から支保工推定までの手順を図-3に示す。手順としてはまず、各岩石グループにおけるカテゴリ組合せ毎の標準的なサンプルスコアを算出し一覧表にまとめた。

一方、全断面データ毎のサンプルスコアもすべて算出し、スコアの頻度分布を5支保パターン毎にまとめ、累積曲線を描いた。累積曲線中、隣り合う支保パターン同士の交点となるサンプルスコア値を、2つの支保パターンの「判別値」として読み取った。

この判別値と上記の標準サンプルスコア表を比較することにより、組合せ毎の最適支保パターン（ここでは地山等級に準拠した5区分）を推定した（表-5）。表-5では、

01硬質岩【層状】

項目名	カテゴリ名	断面数	カテゴリスコア 1級
圧縮強度	1.0~2.25	528	-0.5936
	2.5~3.25	1417	-0.3226
	3.5~4.25	1028	0.3845
	4.5~6.0	566	0.6631
割目間隔	1.0~2.25	85	-1.0595
	2.5~3.25	739	-0.4432
	3.5~4.25	2318	-0.0843
	4.5~5.0	397	1.5444
割目状態	1.0~2.25	372	-0.3998
	2.5~3.25	1145	-0.1678
	3.5~4.25	1706	0.1532
	4.5~5.0	316	0.2514

02中硬質岩【軟質岩】

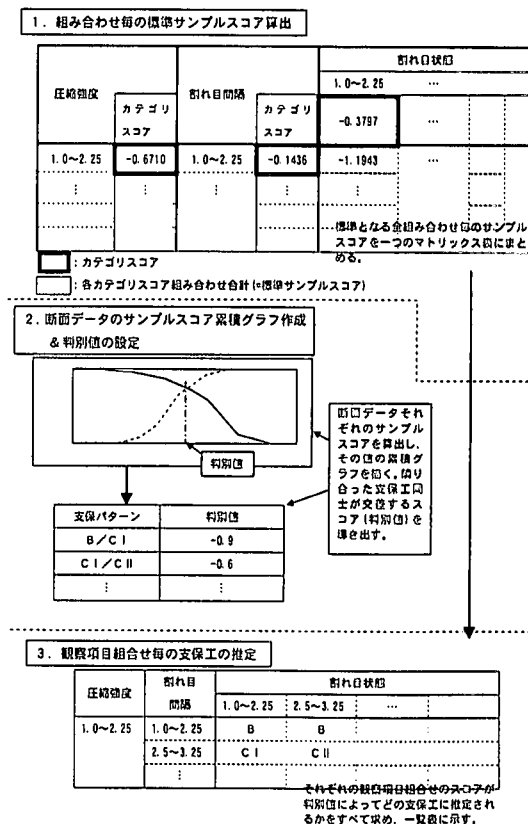
項目名	カテゴリ名	断面数	カテゴリスコア 1級
圧縮強度	1.0~2.25	895	-0.8710
	2.5~3.25	1318	-0.4564
	3.5~4.25	1178	0.1843
	4.5~5.25	624	0.8696
割目間隔	1.0~2.0	380	1.1640
	2.5~3.25	517	-0.1436
	3.5~4.25	1442	-0.1329
	4.5~5.0	1646	0.7712
割目状態	1.0~2.25	1254	-0.3797
	2.5~3.25	1211	-0.2697
	3.5~4.25	1478	0.4156
	4.5~5.0	452	0.4121

03硬質岩【層状】

項目名	カテゴリ名	断面数	カテゴリスコア 1級
圧縮強度	1.0~2.25	148	-0.8371
	2.5~3.25	618	0.5114
	3.5~4.25	813	-0.1208
	4.5~6.0	450	-0.7445
割目間隔	1.0~3.25	274	-0.0991
	3.5~4.25	1213	0.1449
	4.5~5.0	551	-0.2698
	6.0~7.0	11	-0.4375
割目状態	1.0~2.25	114	1.7581
	2.5~3.25	381	0.0075
	3.5~4.25	1110	-0.3557
	4.5~5.0	433	-0.4375

04軟質岩【層状】

項目名	カテゴリ名	断面数	カテゴリスコア 1級
圧縮強度	1.0~2.25	351	0.9510
	2.5~3.25	1184	0.5768
	3.5~4.25	1242	-0.0357
	4.5~5.25	702	-1.0419
割目間隔	5.5~8.0	162	-1.4163
	1.0~3.25	683	0.0913
	3.5~4.25	1655	0.1172
	4.5~5.0	1303	-0.1954
割目状態	1.0~2.25	442	0.4283
	2.5~3.25	1261	0.3239
	3.5~4.25	1487	-0.2797
	4.5~5.0	431	-0.4220



評価区分の組合せが同一であっても、岩石グループが違えば、支保工（地山等級）は異なっている部分がある。各岩石グループでは、支保工（地山等級）の分割線の形状が異なっており、それぞれ影響を及ぼす観察項目が異なることを示している。これは図-2に示した各岩石グループの観察項目と支保との相関性と同様の傾向にあり、例えば硬質岩[塊状]グループでは観察項目中「割れ目の間隔」が支保工の選定に最も影響していることがわかる。同様に中硬質岩・軟質岩[塊状]では「圧縮強度」、中硬質岩[層状]では「割れ目の状態」、軟質岩[層状]では「圧縮強度」が、それぞれ支保工の選定に影響していることが伺える。

（3）実績データ等からの解析結果の検証と最適支保パターン候補の設定

表-5に示す数量化Ⅱ類解析作業から区分される評価区分値組合せ毎の支保工（地山等級）は、あくまでも統計的に解析した結果に過ぎない。よって岩石の工学的性質や支保パターン毎の評価区分実績値を詳細にチェックする必要がある。また、統計解析上5区分にまとめた支保工区分のうち、CⅡ、DⅠ区分をそれぞれCⅡ-a・CⅡ-b、DⅠ-a、DⅠ-bに分ける必要がある。

そこで、各評価区分値組合せに対する実績選定支保工とその断面数を全てチェックし、その傾向を検証した。その結果、極端な例では評価区分値が同一の組合せでもB-a区分とDⅠ区分が混在しているものや、重い支保パターンの方が軽い支保パターンに比べ評価区分値が良好な評価であるなど、矛盾したデータがいくつかみられることが確認された。そのため、図-4に示すルールを用いて適宜最適と考えられる支保工を判断し、表-6に示す「支保パターン選定候補一覧」を岩石グループ毎に作成した。

表-5 数量化Ⅱ類解析による
支保工(地山等級)一覧

圧縮強度	割れ目間隔	割れ目状態					割れ目状態				
		1 (1.0~1.25)	2 (1.5~2.25)	3 (2.5~3.25)	4 (3.5~4.25)	5 (4.5~5.0)	1 (1.0~1.25)	2 (1.5~2.25)	3 (2.5~3.25)	4 (3.5~4.25)	5 (4.5~5.0)
1 (1.0~1.25)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
2 (1.5~2.25)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
3 (2.5~3.25)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
4 (3.5~4.25)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
5 (4.5~5.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
6 (5.0~6.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
7 (5.5~6.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
8 (6.0~7.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
9 (6.5~7.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
10 (7.0~8.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
11 (7.5~8.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
12 (8.0~9.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
13 (8.5~9.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
14 (9.0~10.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
15 (9.5~10.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
16 (10.0~11.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
17 (10.5~11.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
18 (11.0~12.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
19 (11.5~12.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
20 (12.0~13.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
21 (12.5~13.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
22 (13.0~14.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
23 (13.5~14.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
24 (14.0~15.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
25 (14.5~15.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
26 (15.0~16.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
27 (15.5~16.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
28 (16.0~17.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
29 (16.5~17.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
30 (17.0~18.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
31 (17.5~18.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
32 (18.0~19.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
33 (18.5~19.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
34 (19.0~20.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
35 (19.5~20.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
36 (20.0~21.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
37 (20.5~21.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
38 (21.0~22.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
39 (21.5~22.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
40 (22.0~23.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
41 (22.5~23.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
42 (23.0~24.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
43 (23.5~24.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
44 (24.0~25.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
45 (24.5~25.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
46 (25.0~26.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
47 (25.5~26.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
48 (26.0~27.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
49 (26.5~27.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
50 (27.0~28.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
51 (27.5~28.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
52 (28.0~29.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
53 (28.5~29.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
54 (29.0~30.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
55 (29.5~30.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
56 (30.0~31.0)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				
	3 (2.5~3.25)	CI					CI				
	4 (3.5~4.25)	CI					CI				
	5 (4.5~5.0)	CI					CI				
57 (30.5~31.5)	1 (1.0~1.25)	B					B				
	2 (1.5~2.25)	CI					CI				

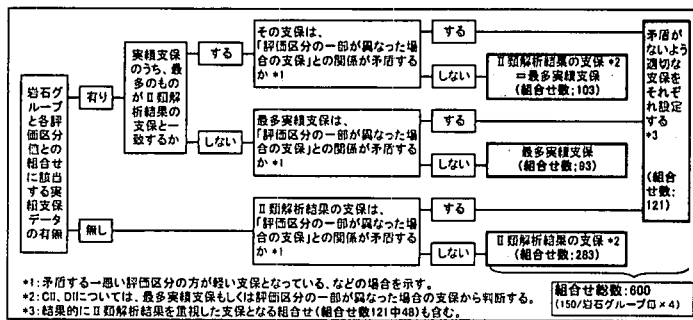


図-4 最適支保
選定候補の決定
ルール

(4) 実績データを用いた支保パターン選定候補の実用性検証

表-6に示した支保パターン選定候補の実用性を確認するため、表-2の実績データを用いて適合率を求めることで検証を行なった。その結果、図-5に示すとおり適合率は、全ての岩石グループで50%程度となった。

これは、同一の評価区分値組合せでも、異なる支保工がほぼ同数、多い組合せでは100断面程度選定されていることがあり、これだけで適合率は数%程度低くなってしまうこと、また同一の組合せで重みの異なる支保工が選定されているなど、実績の評価はまちまちであったことによる。

この要因としては、解析の元とした実績データに関し、評価する技術者それぞれの判断に差があったことが挙げられるが、最も大きい要因として、施工時における支保工の選定が切羽の地山評価以外の要因で選定されることも少なくない、ということが考えられる。つまり、ある切羽で良好と評価されても、事前調査で地山状態は全体に不良であり良好部はあくまでも当該切羽付近のみと判断される場合などが挙げられる(例;硬質岩[塊状]グループに属するカンラン岩からなるトンネル区間で、局部的に圧縮強度1・割れ目の間隔3・割れ目の状態1と評価される切羽が存在した。表-6からはB-a区分と選定されるが実施工ではDⅠ-bが採用されている)。

なお、前述したJHの切羽評価点法と併用し、同様に実績データの適合率を求めると、図-5に示すとおり2手法いずれかが適合する断面は60%強を満足する。

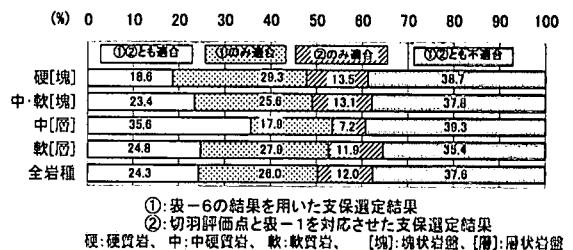


図-5 本検討手法と切羽評価点法での適合率

4. まとめ

本検討手法による支保工選定候補は、現在、JHで試行導入中である「トンネル支保選定支援システム」のうち「支保工自動選定機能」の1つとしてシステム化することで、支保工選定のより客観的な評価、および安全かつ合理的な支保選定に役立つものと思われる。

具体的な導入形としては、システムのプログラム上で観察項目の評価区分値組合せ毎にナンバリングする。一方、技術者は各観察断面の天端部の「岩石グループ」、および「圧縮強度」「割れ目の間隔」「割れ目の状態」の評価区分値をシステムに直接入力する。この入力データに対し、各評価区分の加重平均値組合せがどのナンバーに対応するかシステム上で選定し、該当する標準支保パターンを表示させる、などといった形が想定される。また当該システムでは、切羽評価点によって示される支保パターン候補も並列表示させることで、トンネル施工管理の一助となるとと思われる。

ただし、本検討手法および切羽評価点から選定される支保パターンは、あくまでも過去の実績データから整理・分析された結果であり、各現場毎の最終的な支保パターンの選定判断は、現場の技術者が様々な要因を考慮したうえで決定しなければならないことは言うまでもなく、今後も技術者の技術レベルの向上は当然必要と考える。