

農業用管水路における鉄鋼系管材の 腐食調査と要因評価について

— 第 2 報 —

小樽開発建設部 土地改良情報対策官付 ○長 さやか
農業開発課 佐藤 麻衣子
大友 秀文

国営かんがい排水事業「余市地区」で造成された農業用管水路は、造成後20年以上が経過し、鉄鋼系管材において腐食による劣化が進行している。本報文では、農業用管水路の長寿命化を図るべく、補修・防食対策を検討するための各種調査と、その結果による腐食要因の評価について報告するものである。

キーワード：機能診断、調査手法、腐食

1. はじめに

農業用管水路に多く実績のある鉄鋼系管材においては、腐食による孔食等により漏水が発生する事例が確認されている。土壌中における腐食発生のメカニズムは管種によって異なるが、鋼管やダクタイル鋳鉄管などの鉄を主原料とした管材は、酸化物や硫化物等の鉱石として化学的に安定して自然界に存在していた鉄を人工的に還元して作られるものであるため、自然環境下に置かれることにより最も安定した状態—酸化鉄—に戻ろうとする。この現象が腐食であり、これらは電鉄の迷走電流等による電食と、埋設条件や土壌環境等による自然腐食とに大別される。（図-1 参照）

施設の保全を検討するにあたり、劣化要因を特定し健全度評価を行い、適切な対策工法を講じることが肝要であるが、北海道においては、農業用管水路の自然腐食に対する要因調査事例は少ない状況である。本報告では、機能診断技術の進展・向上に資するべく調査・評価事例を紹介するものである。

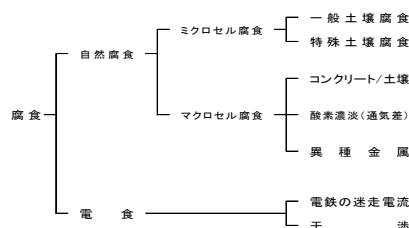


図-1 腐食の分類

2. 調査の目的

本報告の対象施設となる用水路は、国営かんがい排水事業「余市地区」（以下、本地区）において昭和55～62年にかけて造成された4条L=11.8kmのセミクローズタイプの管水路であり、造成後20年以上が経過している。（図-2 参照）



本地区の管水路では、近年、鉄鋼系管材における漏水が発生しており（写真-1 参照）、漏水箇所の管体にはすり鉢状の局所的な腐食が進行し、貫通孔に至ったことが確認されている。（写真-2参照）これらは、いずれも本管斜面工や空気弁立上管等の鋼管部で発生している。

このことから、今後、同様の漏水事故の発生が懸念されるが、本地区の管水路はφ250-500mmの埋設管であり、管水路全線において管内調査や開削による外観目視調査を行うことは費用の面から現実的ではない。

そのため、外観目視等の調査を行い、それらの調査地点の土壌・施設構造等の特性を把握することにより腐食が発生する要因を解明し、直接的な調査以外の方法で腐食状況を推定する評価手法について考察を行う。



写真-1 漏水箇所
(空気弁立上鋼管)



写真-2 腐食状況
(鋼管のすり鉢状の減肉)

3. 調査方法

(1) 調査地点の選定

孔食による漏水がいずれも地質図幅による土質区分「砂・礫・粘土」の区間で発生していたことから、地質条件のうち土質に着目し、同様の土質条件下である地点(計12点)を選定した。なお、施工当時の土質に関する資料が見つからなかったため、本地区においては広域的な土質分類の把握のために、地質図幅²⁾を使用した。

(2) 評価手法

一般に腐食を引き起こす要因は、電食のほか異種金属やコンクリートとの接触、土壌や地下水等の環境条件が知られている。外観調査(開削による目視調査)対象箇所周辺には電鉄等の電食を発生させる要因は無いことから、腐食が確認された場合、それは自然腐食(ミクロセル腐食またはマクロセル腐食)によるものと推定される。

そこで、腐食の発生しやすさやその要因を評価する手法として設計基準³⁾に記載のあるDIN50929 part3(ドイツ規格協会)およびANSI A21.5(アメリカ規格協会)を用い、各調査地点の腐食性を評価した。

DINおよびANSIは、土壌・地下水位・電位(管対地電位、土壌抵抗率、酸化還元電位)等の調査項目(表-1参照)の測定値を点数化し、総合得点により腐食性を評価するものである⁴⁾。(表-2参照)

このDIN、ANSI、その他の単独の調査項目による腐食性の評価が、外観目視調査による実際の腐食状況と適合しているか検証を行った。

表-1 調査項目一覧

調査項目		適用基準	
		DIN	ANSI
土壌	粘土含有量(粒土)	○	-
	含水率	○	(○)
	土壌pH	○	○
	アルカリ度	○	-
	酸度	○	-
	硫化物	○	○
	塩類(水溶性)	○	-
	硫酸塩	○	-
地下水位		○	(○)
管対地電位		○	-
土壌抵抗率		○	○
酸化還元電位		-	○

(○)は、水分評価(定性的評価)の参考とする。

4. 結果と考察

(1) DINおよびANSIによる腐食評価結果

開削時に目視確認した管周辺の多くの土壌は、砂・礫・粘土等であった。(写真-3 参照)

管周りの土壌をサンプリングし、粒度分布による土壌の均一性の評価(地盤工学会JIS0051による区分)をした結果、粒径は粘土から粗礫まで複数の大きさ区分の土粒子が混ざる土壌(混合土壌)となっていた。

DINおよびANSIによる腐食性評価の結果からは、本地区における鉄鋼系管材の腐食要因は、孔隙量の異なる土層を鉄鋼系管路が縦貫する場合、その通気性の善し悪しによる酸素濃度の差によって腐食電池が形成され発生する「通気差マクロセル腐食」(図-3 参照)と、コンクリートと土壌の自然電位の差によって腐食電池が形成され発生するコンクリート/土壌マクロセル腐食(以下、C/Sマクロセル腐食)(図-4 参照)の可能性が高いことが示唆された。(図-5参照)



写真-3 管体周辺の土壌

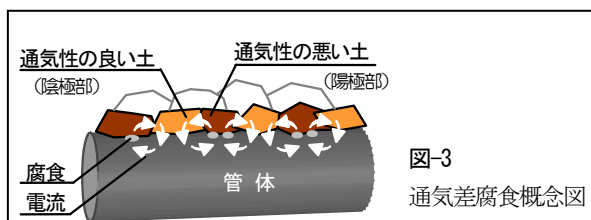


図-3
通気差腐食概念図

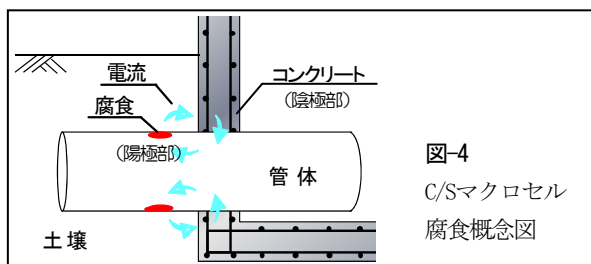


図-4
C/Sマクロセル
腐食概念図

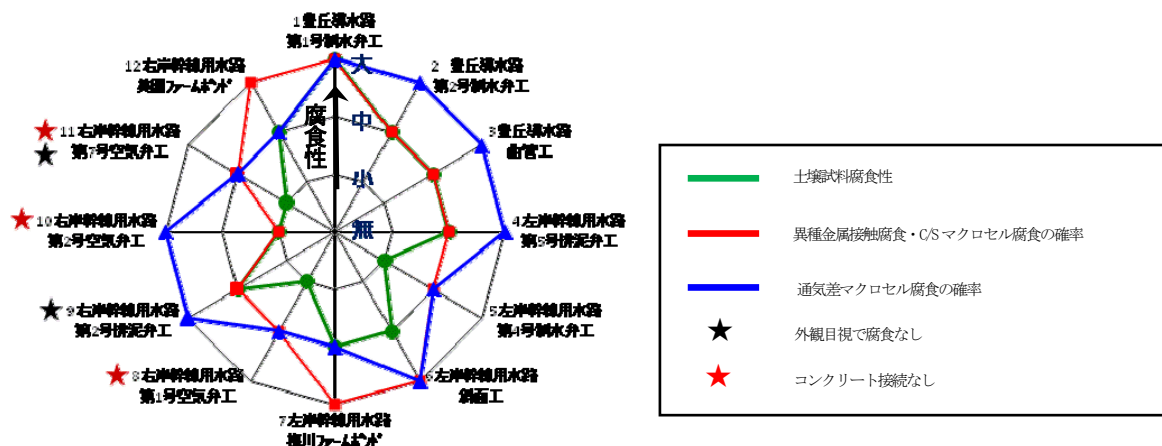


図-5 DINによる腐食評価

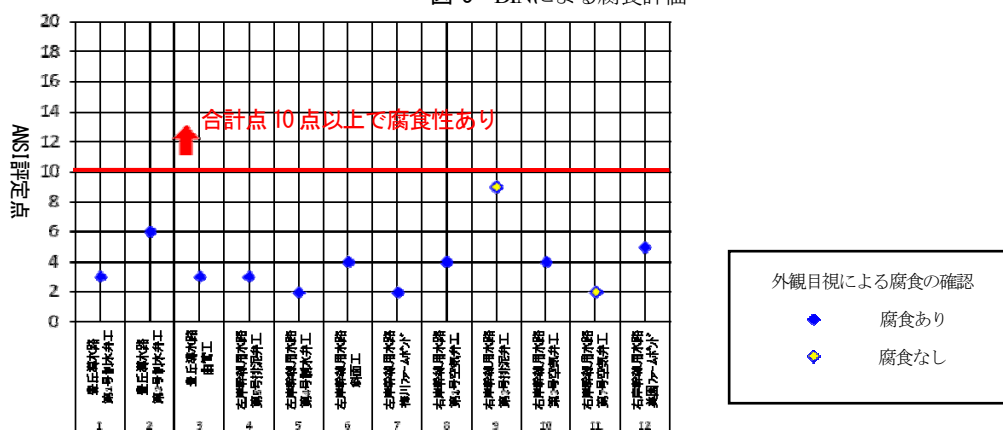


図-6 ANSIによる腐食評価

(2) DINおよびANSIによる腐食評価結果の適合性

外観調査（開削による目視調査）による実際の腐食状況との比較により、DINおよびANSIによる評価結果の適合性の判定を以下に示す。（図-5, 6参照）

- ①外観調査で腐食が見られた箇所は、DINによる評価で通気差マクロセル腐食の確率が“中”～“大”となった。
 - ②外観調査で腐食が見られた箇所および既往の漏水箇所（いずれもコンクリート接続箇所）は、DINによる評価でC/Sマクロセル腐食の確率が“高”～“極高”となった。
 - ③外観調査で腐食が見られない箇所について、1箇所はDINによるいずれの評価も“小”～“中”であったが、別箇所では“中”～“大”となった。そのため、本調査からはDINによる評価が小さければ腐食がないとは言えない。
 - ④DINの土質試料腐食性と腐食の有無の関係性については規則性を見いだせなかった。
 - ⑤ANSIによる評価では、合計点10点以上で腐食性であると判断されるが、外観目視調査で腐食が見られる箇所においてもいずれも10点未満となり、評価は「腐食性でない」となった。
- 以上のことから、本地区の管水路はDINによる評価

において通気差マクロセル腐食及びC/Sマクロセル腐食の評価結果が大きい場合に腐食がある可能性が高いと言える。

(3) 土質区分による腐食評価

開削調査を行った箇所において、外観調査における腐食状況と、各試験結果（測定値）の関係性を調べたところ、土壌中の礫分比率による分類に実際の腐食状況との相関が見られた。本地区においては、礫分量 $\geq 15\%$ を指標（境界）とした土壌で腐食が発生しており、腐食の実態と概ね適合することが分かった。（図-7参照）

外観調査結果によると、本地区における腐食は、地質図幅による土質区分「砂・礫・粘土」「安山岩」で確認されていることから、土質区分と埋設環境との関係性を把握することを目的とし、現地条件等により開削ができない箇所においてもハンドオーガ掘削により管周辺の採土を行い、DIN評価に準じた土質試験を実施している。それらを含めた土質試験結果と地質図幅による土質区分を比較したところ、礫分15%以上の地点は、「砂・礫・粘土」「安山岩」の土質区分に概ね該当していた。

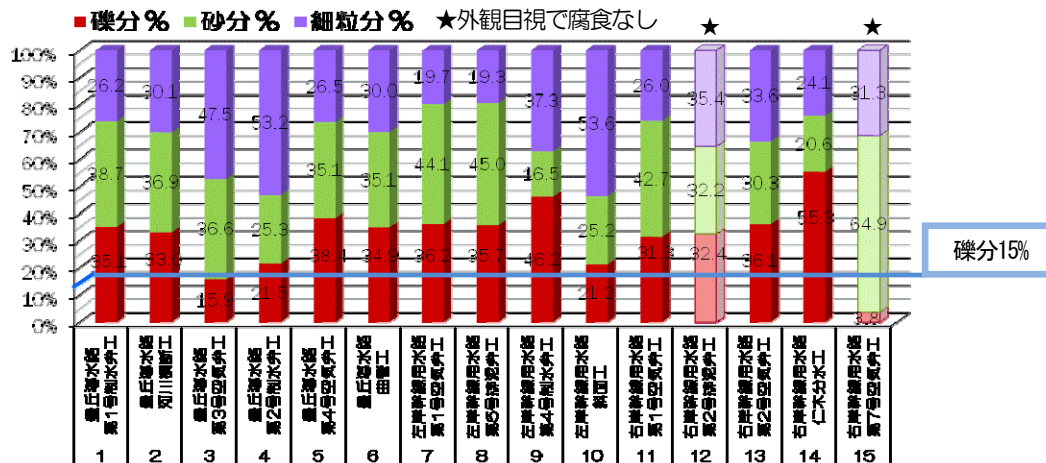


図-7 土質区分による腐食評価

表-3 管対地電位モニタリングによるC/Sマクロセル腐食評価一覧表

No.	計測箇所	土質区分	管対地電位計測(V)											C/Sマクロセル腐食の可能性	構造	
			H23年			H24年			H25年							平均
			11/1	12/7	8/30	10/19	12/4	7/31	8/5	8/26	10/29	12/5				
1	豊丘導水路 第1号制水弁工	砂・礫・粘土	-0.43	-0.43	-0.44	-0.37	-0.41	-	-	-0.40	-0.30	-0.41	-0.40	≧ -0.40	高	RC弁室構造
2	豊丘導水路 第2号制水弁工	砂・礫・粘土	-0.46	-0.45	-0.44	-0.40	-0.45	-	-	-0.46	-0.47	-0.44	-0.45	< -0.40	低	RC弁室構造
3	豊丘導水路 曲管工	砂・礫・粘土	-0.75	-0.66	-0.57	-0.58	-0.59	-	-	-0.57	-0.58	-0.60	-0.61	< -0.40	低	スラストブロック有
4	左岸幹線用水路 第5号排泥弁工	砂・礫・粘土	-0.55	-0.44	-0.41	-0.37	-0.42	-	-	-0.44	-0.45	-0.45	-0.44	< -0.40	低	基礎コンクリート有
5	左岸幹線用水路 第4号制水弁工	安山岩	-0.46	-0.49	-0.49	-0.51	-0.54	-	-	-0.52	-0.52	-0.54	-0.51	< -0.40	低	基礎コンクリート有
6	左岸幹線用水路 斜面工	砂・礫・粘土	-	-	-0.69	-0.67	-0.68	-	-	-0.66	-0.64	-0.64	-0.66	< -0.40	低	スラストブロック有
7	左岸幹線用水路 梅川ファームホド	砂岩・頁岩	-	-	-	-	-	-0.68	-	-0.15	-0.14	-0.13	-0.28	≧ -0.40	高	ファームボンド接続
8	右岸幹線用水路 第1号空気弁工	砂・礫・粘土	-0.55	-0.53	-0.50	-0.49	-0.50	-	-	-0.51	-0.51	-0.51	-0.51	< -0.40	低	
9	右岸幹線用水路 第2号排泥弁工	砂・礫・粘土	-0.63	-0.62	-0.62	-0.51	-0.60	-	-	-0.59	-0.56	-0.55	-0.59	< -0.40	低	基礎コンクリート有
10	右岸幹線用水路 第7号空気弁工	砂岩・頁岩	-0.73	-0.61	-0.38	-0.38	-0.44	-	-	-0.40	-0.40	-0.41	-0.47	< -0.40	低	
11	右岸幹線用水路 美園ファームホド	砂岩・頁岩	-	-	-	-	-	-	-0.28	-0.31	-0.30	-0.29	-0.30	≧ -0.40	高	ファームボンド接続

(4) 管対地電位による腐食評価

過年度調査におけるDINによる評価では、「C/Sマクロセル腐食の確率」は、コンクリート接続箇所のいずれの地点においても高い確率を示し、かつ外観調査結果からも腐食が確認されているにも関わらず、C/Sマクロセル腐食の判定基準として用いられる管対地電位は $-0.4V$ より卑（低い）な値となり、その可能性は低いと判定されていた⁹⁾。このことは、掘削埋戻し後間もない状態で測定したことにより、土壌、水分環境等の影響を受けやすい管対値電位が安定していなかったことによると考えられる。そのため、今年度より2箇所のファームポンド貯水槽接続箇所を追加し、管対地電位によるモニタリングを継続した。その結果、特にRC弁室やファームポンド接続管においてC/Sマクロセル腐食の腐食を示唆する $-0.4V$ より貴（高い）な値が確認された。（表-3参照）また、ファームポンド接続箇所における開削による外観目視調査の結果からも、C/Sマクロセル腐食の影響と推定される接合材の腐食の進行が確認された。（写真-4 参照）

以上のことから、大規模コンクリート構造物接続箇所では、礫分15%以上の土質区分（砂・礫・粘土、安山岩）に位置していなくても、管体が高圧コンクリート内の鉄筋と接触（メタルタッチ）している場合、C/Sマクロセル腐食が進行している可能性があると言える。



写真-4 DCIP接合材腐食状況
(ボルト先端部・フランジの減肉)

5. まとめ

各種調査の結果から、本地区の管水路は、DINによる評価において腐食性評価が高い場合に腐食がある可能性が高く、その要因が通気差マクロセル腐食及びC/Sマクロセル腐食であることが判明した。また、本地区では、礫分15%以上の「砂・礫・粘土」「安山岩」の土質区分に通気差マクロセル腐食が多く発生しており、また、それ以外の土質条件下においても管体が高圧コンクリート構造物の鉄筋と接触（メタルタッチ）している場合、C/Sマクロセル腐食が進行している可能性があることが分かった。そのため、同様の土壌、構造条件下にある箇所については、施設の監視等が必要であると考えられる。

本地区のような小口径管路の機能診断調査においては、その大部分が不可視構造物であるため、全延長を対象とした調査は難しく、また、対策実施区間の選定においても苦慮しているのが現状である。

腐食は主に鋼管において発生しているが、コンクリート構造物との接触部においてはダクタイル鋳鉄管にも一部孔食や接合材の腐食等が確認されている。現状において、管種、施設条件等の組み合わせによって、腐食の進行度合いに差異が確認されていることから、今後、更に詳細に条件を整理し、健全度評価、性能低下予測を行うと共に、複合的な腐食要因に適合する対策工法を検討していく必要がある。

本報告は、小口径管路における鉄鋼系管材の腐食調査と評価方法を紹介するものであり、同様の課題を抱える地区への参考となるものと考えている。

参考文献

- 1) 国土地理院 白地図を使用
- 2) 北海道開発庁（昭和29年）
- 3) 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」
- 4) 日本水道鋼管協会：WSPマクロセル腐食防食指針
- 5) 農業水利施設ストックマネジメントマニュアル（参考資料）

表-2 DINおよびANSIによる腐食評価表（評点表）

■DIN50929 part3 による腐食評価（腐食評点表）

測定項目	測定値	点数	測定項目	測定値	点数
Z1	粘土分含有量 (%)	≤ 10 4 > 10 ~ 30 2 > 30 ~ 50 0 > 50 ~ 80 -2 > 80 -4	Z6	硫化物 (S ²⁻)	< 5 0 5 ~ 10 -3 > 10 -6
	泥炭、沼沢地土壌粘土、塩沢地土壌腐植土	> 5 -12	Z7	塩類(水溶性) C(Cl)+2C(SO ₄ ²⁻) (mmol/kg)	< 3 0 3 ~ 10 -1 10 ~ 30 -2 30 ~ 100 -3 > 100 -4
	汚染物質の有無 (炭酸、硝酸、下水汚染等)	-12	Z8	硫酸塩 (S、塩酸抽出)	< 2 0 2 ~ 5 -1 5 ~ 10 -2 > 10 -3
			Z9	埋設位置での地下水	地下水なし 0 地下水あり -1 地下水の変動あり -2
Z2	土壌比抵抗 (Ωcm)	> 50,000 4 > 20,000 ~ 50,000 2 > 5,000 ~ 20,000 0 > 2,000 ~ 5,000 -2 > 1,000 ~ 2,000 -4 > < 1,000 -6	Z10	水平方向の土壌の均一性※1	ΔZ2 < 2 0 2 ≤ ΔZ2 ≤ 3 -2 ΔZ2 > 3 -4
Z3	含水率 (%)	≤ 20 0 > 20 -1	Z11	鉛直方向の土壌の均質性 (配管の埋戻材料)	砂又は周辺と同一の土壌で埋め戻されているとき 0 周辺と異なった土壌で埋め戻されているとき -6
Z4	pH	> 5.5 9 2 4 ~ 5.5 0 < 4 -3			2 ≤ ΔZ2 ≤ 3 -1 ΔZ2 ≤ 3 -2
Z5	アルカリ度 (pH4.3での)	< 200 0 200 ~ 1000 1 > 1000 3			
	酸性 (pH7での)	2.5 ~ 5 -2 5 ~ 10 -4 10 ~ 20 -6 20 ~ 30 -8 > 30 -10	Z12	埋設物の対地電位※2 (V)	-0.5 ~ -0.4 -3 > -0.4 ~ -0.3 -8 > -0.3 -10

※1 埋設物に接した土の土壌抵抗値が隣同士で異なる場合のその差ΔZ2

※2 硫酸銅照合電極基準。電位測定が不可能な場合、石灰、コークスが土壌に入っていれば、Z12=-10として評価する。

■ANSI A21.5(AWWAC105)による土壌評価（腐食評点表）

測定項目	測定値	点数	測定項目	測定値	点数
土壌抵抗率※1 (Ωcm)	< 700	10	酸化還元電位 (mV)	> 100	0
	700 ~ 1000	8		50 ~ 100	3.5
	1000 ~ 1200	5		0 ~ 50	4
	1200 ~ 1500	2		< 0	5
	1500 ~ 2000	1	水分	排水悪く常に湿潤	2
pH	> 2000	0		排水かなり良 一般に湿っている	1
	0 ~ 2	5		排水良 一般的に乾燥	0
	2 ~ 4	3	硫化物	検出	3.5
	4 ~ 6.5	0		痕跡	2
	6.5 ~ 7.5 0※2 7.5 ~ 8.5 0 > 8.5 3			なし	0

合計点が10点以上のとき腐食性土壌である。

※1 管の埋設深度における土壌柱による測定値、または土壌箱による水飽和土壌での測定値

※2 硫化物が存在し、酸化還元電位が低いときは3点を加算する。

■DIN50929 part3 による腐食評価（腐食評価表）

土壌サンプル自体の腐食性 B ₀	
B ₀ 値	土壌の腐食性
≥ 0	腐食性でない
-1 ~ -4	やや腐食性
-5 ~ -10	腐食性でない
< -10	強腐食性

$$B_0 = Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5 + Z6 + Z7 + Z8 + Z9$$

通気差マクロセル腐食の確率		
B ₁ 値	腐食確率	
	孔食	全面腐食
≥ 0	非常に少ない	非常に少ない
-1 ~ -4	少ない	非常に少ない
-5 ~ -10	中	少ない
< -10	大	中

$$B_1 = B_0 + Z11$$

異種金属接触腐食 & C/Sマクロセルの腐食確率		
B _E 値	腐食確率	
	孔食	全面腐食
≥ 0	低い	非常に低い
-1 ~ -4	中程度	非常に低い
-5 ~ -8	高い	中程度
< -8	非常に高い	高い

$$B_E = Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5 + Z6 + Z7 + Z8 + Z12$$

通気差マクロセルアノードの判定 B _A	
B _A 値	アノードの作用
≥ 0	存在せず
-1 ~ -4	弱い
-5 ~ -8	強い
< -8	非常に強い

$$B_A = Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5 + Z6 + Z7 + Z8$$

通気差マクロセルカソードの判定 B _k	
B _k 値	カソードの作用
< -4	存在せず
-4 ~ -1	弱い
0 ~ 4	強い
> 4	非常に強い

$$B_k = Z1 - Z2 + Z3 + Z4 + Z5 + Z6 + Z7 + Z8 + Z9$$