

## [41] 流動電位によるアルカリ反応性骨材の判定に関する実験

正会員 ○ 福田 禮一郎(ユニット建築設計事務所)  
 笠井 芳夫 (日本大学生産工学部)  
 飛坂 基夫 (建材試験センター)

### 1. はじめに

アルカリ反応性骨材によるコンクリートの劣化防止のため、骨材の反応性を事前に判別することは工学的にかつ社会的にも意義深く、また重要な課題である。その判別方法は鉱物学的、岩石学的、物理学的、促進試験などの手法により試みられている。一般的に試験規準としてはASTM C295(コンクリート用骨材の岩石学的試験方法)、C289(骨材の潜在反応性試験方法)、C586(コンクリート骨材としての炭酸塩岩石の潜在アルカリ反応性試験方法)、C227(セメント骨材の組合せによる潜在アルカリ反応性試験)などがある。ここでは、電気化学的手法のうち流動電位の測定によるアルカリ反応性骨材の判別を試みた。

濡れた骨材は液体と固体とが相接している状態にあるが、このように固体、液体あるいは気体などがそれぞれ接触すると、その界面にイオンが分離する。

Coehnの説<sup>1)</sup>によると、このイオンの性質は、「2つの物質が相接した場合、界面に発生する電荷は誘電率が大きい物質の側が「+」となり、小さな物質の側が「-」となる」とされている。そして、その接触界面から数オングストローム離れた位置のイオン分布状態は「+」、「-」イオンが均等に分布しておらず、片寄っている。

このように片寄ったイオン分布状態を界面電気二重層という。固体-液体の界面は図-1のように固着液層と可動液層とを形成している。

固体側に吸着されている固着液層は非可動液層であるが、そこから離れた位置の液体は可動液層であって、流体の流れによってイオンが移動することができる。この部分のイオンの密度差、つまり電位差を定量的に測定することができる。これを流動電位又は電位として表わし、この実験で求めようとしているものである。一方、固着液層と可動液層(拡散層)の電位差の合計を全電位又はε電位として求めることができる。<sup>5)</sup>

これまでの実験<sup>3), 4), 6)</sup>では普通骨材の流動電位を求めたが、この実験ではアルカリ反応性骨材などの流動電位を求めた。その結果、流動電位手法がアルカリ反応性骨材の判別に寄与しうるか否かを検討した。

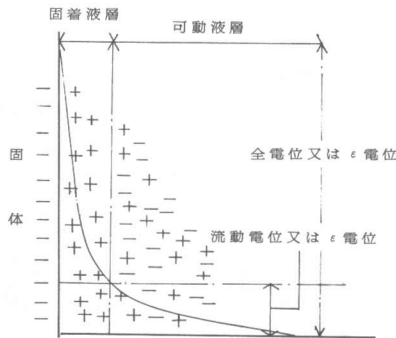


図-1 固体-液体界面のイオン分布状態

## 2. 実験装置と実験方法

### 2-1 実験装置

今回の実験装置は前報<sup>3)</sup>と若干異なるが、全体のシステムを図-2に示した。

図-2中の鎖線部分を拡大して図-3に示した。

図-2, 3の記号に従って説明すると、

A: 純水(ほぼ一定の抵抗値をもつ)

B: 純水を入れるポリエチレンタンク

C: タンクの架台

D: タンクのコック

E: 純水を誘導するシリコンチューブ、内径8mm

F: ガラス製のセル装置

F<sub>1</sub>: 二方コック。F<sub>2</sub>: ガラス管(内径12mm)に埋設した白金網(50メッシュ)の白金電極

F<sub>3</sub>: 白金電極F<sub>2</sub>から取出したリード線。F<sub>4</sub>: 試料室(白金電極F<sub>3</sub>に隔離された試料を収納する部分、内径1.2mm、長さ20mm、試料は2.22ml、重量1.6g前後) F<sub>5</sub>: リード線

F<sub>6</sub>: 試料装填口 F<sub>7</sub>: 装填口を閉鎖するガラス栓  
G: セルの支持台 H: 計測器(高感度直流電流電圧計PM-18R型 東亜電波工業社製 レンジ ±30μV~100V 精度±2%)

I: 排水受タンク K: アース線、水道管に結線

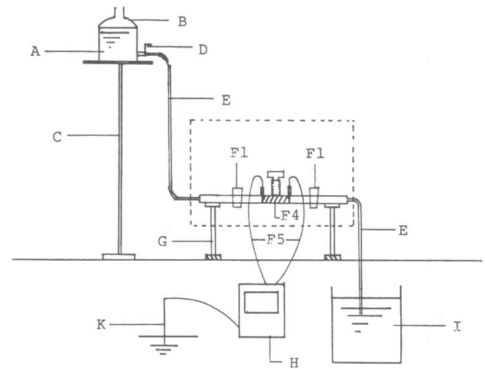


図-2 試験装置

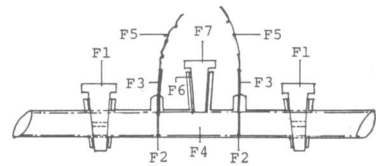
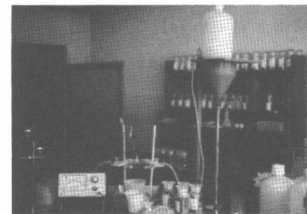


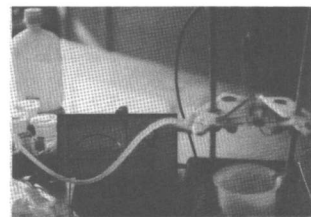
図-3 セル装置

### 2-2 実験方法

- 1) 試料の調整 碎石、砂利などの骨材を鉄製の乳針を用いて破碎する。破碎された粒子をフルイ分け、0.6mmを通過し、0.3mmに止まる大きさとする。
- 2) 純水 工業用純水を用いる。比抵抗は20℃で  $10^{-6} \text{ cm}^2 \Omega^{-1}$  前後 粘度は0.01 poise/cm
- 3) 流動電位測定方法 約50mlの純水を100mlのビーカーに取り、この中に試料を入れ、スポイドで水と共に骨材を吸い上げ、セルの装填口F<sub>6</sub>から流し込む。試料室F<sub>4</sub>に試料を充したのち、ガラス栓F<sub>7</sub>で閉じ、純水を流す。白金電極間に生じた電位差を計測器Hの読みで求める。ただし、高感度直流電流電圧計は試料を入れない状態で、純水を流し零点の調整をおこなう。測定値は1V以下を想定できるから、300mV、100mVまでの2範囲の零点を調整しておく。



実験装置の全景



計測器とセル装置

この実験で用いた骨材は表1に示すように67種類である。そのうち砕石：34種類、川砂利：9種類、山砂利：6種類、川砂：3種類、ガラス：2種類などである。ガラスは普通ガラスとパイレックスガラス（コーニング社製7740#）を用いた。No.15はNo.16の川砂利の中から採取されたものである。No.1と5とは同一塊の砕石に存在する異種鉱物の部分をサンプリングして別グループとして取扱った。このようなグループはNo.9, 20, 25, 50, 64でも見られたが、これらについては別グループとして取扱わず、それぞれの測定値として取扱った。

これらの試料について、部分的であるが岩石学的、鉱物学的、化学的分析を試みた資料は別の機会に発表する。

ここではASTM C289の試験結果をSC-RCの値で表-1に示した。

これらの試験に基づきアルカリ反応性骨材として有害か、潜在的有害か、無害な骨材かを評価した。その結果についても表中に示した。表中ではそれぞれ×△○で示した。

この表から判るように、ASTM C289の試験によらずに評価判別を示したデータもある。たとえばNo.4, 11~16などであるが、これらはこれまで十分にコンクリート用骨材としての実績をもっているため無害とした。

また、パイレックスガラスはアルカリ反応性を示すといわれているが、ここではそれを十分チェックしえなかったため判別は「?」とした。また、表中には試料提供者名も記入した。

表-1 試料の反応性と流動電位測定結果

No	種類	ASTM C289		流動電位 mV	提供者	No	種類	ASTM C289		流動電位 mV	提供者
		SC-RC	判別					SC-RC	判別		
1	砕石	82-37	×	+10	↑丸 氏 ↓大 丸 氏	36	砕石	24-18	○	-280	↑ 飛 坂 氏 ↓
2	"	97-46	×	+10		37	"	70-49	○	+230	
3	"	344-105	×	-80		38	"	35-110	○	+10	
4	川砂	—	○	-32		39	"	46-82	○	+100	
5	砕石	(No.1と同じ)	×	+40		40	"	47-44	○	-90	
6	"	—	×	+20	↑田 村 氏 ↓	41	"	56-15	×	+20	
7	"	—	×	+8		42	"	58-62	×	+10	
8	"	—	×	+21		43	"	59-53	×	+40	
9	"	—	×	-300,-20		44	"	60-42	×	+110	
10	"	—	×	+22		45	川砂	61-64	×	+50	
11	ガラス	普通板ガラス	○	-250	↑日 大 丸 氏 ↓	46	"	73-80	△	+5	
12	"	パイレックス 7740#	?	-70		47	山砂	80-91	◎	-10	
13	砂	(豊浦標準砂)	○	-320		48	砕石	92-66	×	+10	
14	川砂	—	○	-60		49	"	103-115	△	+20	
15	川砂利	(No.16の死石)	○	-90		50	"	110-66	×	-120,-40	
16	"	—	○	-70	↓丸 氏 ↑	51	川砂利	113-71	×	-200	
17	砕石	—	×	-120		52	山砂利	119-79	×	-50	
18	"	—	×	-170		53	川砂利	123-95	△	-180	
19	"	—	×	-440		54	"	128-107	△	-200	
20	"	—	×	-340,-220		55	"	130-11	△	+50	
21	"	—	×	+50	森 野 氏 ↓	56	砕石	154-21	×	-160	
22	"	—	△	+60		57	"	177-88	×	-200	
23	"	—	△	+100		58	山砂利	188-48	×	-220	
24	"	—	△	-150		59	砕石	193-76	×	-120	
25	"	—	△	-50,-80,-120		60	山砂	207-147	△	+20	
26	"	—	×	+50	日 大 丸 氏 ↑	61	川砂利	227-88	×	-190	
27	"	—	×	-30		62	"	251-99	×	-120	
28	山砂	540-115	×	+70		63	山砂利	297-105	×	-170	
29	"	300-210	※	-100		64	砕石	318-99	×	-230,-220	
30	"	80-185	○	-10		65	山砂利	348-59	×	-140	
31	"	48-80	○	+80	飛 坂 氏 ↓	66	"	426-113	△	-190	
32	"	26-30	○	-60		67	"	565-114	×	-130	
33	砕石	9-245	○	-35		ASTM C289による判別					
34	"	12-41	○	-40		○無害 ×有害 △潜在的有害					
35	"	21-79	○	-60		◎ ※ △は線上					

SC:溶解シリカ量 mmol/l      RC:アルカリ濃度減少量 mmol/l

#### 4. 実験結果と分析

今回測定した流動電位を表-1に示した。測定結果は「+」, 「-」イオンに分かれ、それぞれ電位差をもっていることが判る。つまり、同じ砂利でも電荷は「+」, 「-」に分かれ、電位差も異なっている。

また同一砕石でも異種鉱物の部分の電位差は異なる (No 1, 5)。

このことは同じ川砂といっても河川によって鉱物組成が異なるため、流動電位も変わってしまう。そこで同一種類から10組の試料をサンプリングして流動電位を求めた。その結果は表-2に示した。この実験の試料はガラス、川砂、砕石(有害)の3種類を選び、それらの流動電位について統計値(平均値、標準偏差、変動係数)を示した。

その結果、ガラスが最も安定しており、川砂に比べ砕石はバラツキが極めて大きいことが判った。また、この実験からガラスのようにバラツキの少ない工業材料から或る試料だと流動電位の変化は小さいこと、また、求められた流動電位の信頼性、再現性が高いことを示している。しかし、No 17の砕石のような試料だと、1回づつの試料中の鉱物組成にバラツキがあるため、流動電位は大きくバラツキ、同時に再現性の薄いことを示している。

全試料の反応性と流動電位との関係を調べると表3-1のグループのようになる。表3-1から判断すると、各要因別データは接近していて特性を見出し難い。そこで表3-2、3のように流動電位を±100mV以上のグループと、-100mV~+100mVのグループ別に分類してみた。

その結果±100mV以上の場合、有害骨材は34種類中20種類が「-」のイオンをもち、潜在的有害を加えると25種類:73%が「-」イオンをもつことが判った。一方、表3-3は+100mV~-100mVの流動電位をもつ骨材のうち、39試料中の有害骨材15種類が「+」イオンをもち、潜在的有害を加えると20種類:51%が「+」イオンをもっていることが判った。

この実験から判断する限り、アルカリ反応性骨材などを流動電位とそのイオンの正負とから判別しうる可能性を示している。無害骨材などを含めて更に多くの試料を用いて精度を高める必要がある。

#### 謝辞

この実験にあたり、アルカリ反応性骨材の試料とその判定、分析値などの貴重な試料を提供していただいた(財)日本建築総合試験所 田村 博氏、愛知工業大学 森野奎二氏、(財)土木研究センター 丸章人氏らに衷心より感謝いたします。実験は日本大学生産工学部建築工学科 山内英穂君、山崎雅人君らの協力を得ました。

#### 文献

1. Coehn : Ann d. physik 30 (1909) 777
2. D.C Graham : Chem. Rev. 41 441 (1947)
3. 「コンクリート用骨材とセメントペーストとの付着に関する実験的研究」 福田禮一郎 日本建築学会論文報告集 No.140 S 4 2年10月号
4. 「骨材の電気化学的性質——流動電位——」 福田禮一郎 同上 No.151 S 4 3年9月号
5. 「骨材の電気化学的性質——膜電位——」 福田禮一郎 同上 No.159 S 4 4年5月号
6. " Electro chemical Propeties of Aggregate " R. Fukuda, Journal of ACI 1971.11.V68

表-2

No	種類	平均値 mV	標準偏差 mV	変動係数 %
11	ガラス	-253	12.5	4.9
14	川砂	-64	15.1	23.5
17	砕石	-127	56.6	44.5

表3-1 全試料の反応性と流動電位の関係

反応性 イオン	+	-	計
有害	16 (22)	25 (34)	41 (56)
潜在	6 (8)	7 (10)	13 (18)
無害	5 (7)	14 (19)	9 (26)
計	27 (37)	46 (63)	73 (100)

表3-2 試料の反応性と流動電位の関係 (±100mV以上)

反応 イオン	+	-	計
有害	1 (3)	20 (58)	21 (62)
潜在	1 (3)	5 (15)	6 (17)
無害	2 (6)	5 (15)	7 (21)
計	4 (12)	30 (88)	34 (100)

表3-3 試料の反応性と流動電位の関係 (-100mV~+100mV)

反応性 イオン	+	-	計
有害	15 (38)	5 (13)	20 (51)
潜在	5 (13)	2 (5)	7 (18)
無害	3 (18)	9 (23)	12 (31)
計	23 (59)	16 (41)	39 (100)