

# 報告 かぶりコンクリートの非破壊耐久性評価に関する一実験

下澤 和幸<sup>\*1</sup>・田村 博<sup>\*2</sup>・永山 勝<sup>\*3</sup>・今本 啓一<sup>\*4</sup>

**要旨:**コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、耐久性に富んだかぶりコンクリートによって、鉄筋腐食を抑制することが重要である。そのような見地から、コンクリート構造物の耐久性を評価する非破壊試験方法の一つとして、かぶりコンクリートが鉄筋の腐食を抑制する物理的性能を、かぶりコンクリートにあけたドリル孔を用いて測定した透気性(Permeability)と比抵抗(Resistivity)の測定値を組み合わせて評価する複合法(ドリルPR法)を提案する。ドリルPR法は、現場で簡易迅速に適用可能であり、構造物の耐久性診断のみならず構造物の竣工時における耐久性能検査にも利用できる。

**キーワード:**かぶりコンクリート、耐久性、非破壊試験、透気性、比抵抗、複合法

## 1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を確保するために、かぶりコンクリートの腐食抑制性能が重要である。かぶりコンクリートは、コンクリート中の鉄筋腐食の因子となる水、酸素、二酸化炭素および塩化物の浸透・拡散を抑制する役割を果たしている。また、かぶりコンクリートのアルカリ性が腐食抑制に寄与していることは、言うまでもない。塩化物を含むかぶりコンクリートは、腐食促進効果を有し負の腐食抑制効果があるとも言える。また鉄筋の腐食電流が、かぶりコンクリートの大きな比抵抗によって抑制されている場合もある。

そのような見地から、コンクリート構造物の耐久性を評価するため、かぶりコンクリートの中性化や塩化物濃度測定に加え、かぶりコンクリートの透気性や比抵抗を測定する現場試験方法の提案やその測定値を用いた性能基準が提案されている。種々の提案があるが、筆者らは現場で簡易迅速に測定できる非破壊試験方法として、透気性については笠井らが提案するドリル法、比抵抗については四点電極法が利用できると考えた。

筆者らの提案する簡易迅速な非破壊試験方法(ドリルPR法)は、透気性と比抵抗を組み合わせて、かぶりコンクリートの物理的腐食抑制性能を評価する一種の複合法である。この試験方法は、コンクリート構造物の耐久性診断はもちろんのこと、竣工検査にも利用可能である。この試験方法についてはまだ研究を始めたばかりである。本報では、この試験方法の意義、試験手順や予備的実測例などを紹介する。

## 2. コンクリートの透気性試験方法

かぶりコンクリートの透気性を現場で簡易に測定する試験方法として、笠井らが提案する「ドリル削孔を用いた構造体コンクリートの簡易透気試験方法」<sup>1)</sup>(以下、簡易透気試験と称する。**図1**参照)がある。笠井らは、竣工検査への同法の適用を提案している。

実験室で確かめたコンクリートの透気性とコンクリートの中性化速度との関係を用いて、**表1**<sup>1)</sup>に示す耐久性基準を提案している。

\*1 (財)日本建築総合試験所 材料部 材料試験室 研究員 (正会員)

\*2 (財)日本建築総合試験所 材料部 部長 工博 (正会員)

\*3 (財)日本建築総合試験所 材料部 材料試験室 室長 博士(工学) (正会員)

\*4 足利工業大学 工学部 建築学科 専任講師 博士(工学) (正会員)

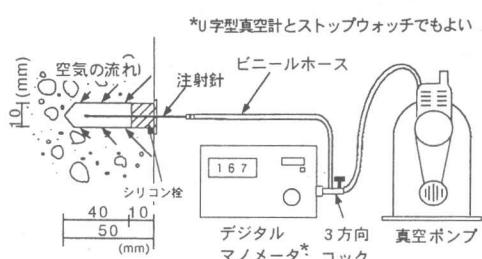


図1 簡易透気試験方法<sup>1)</sup>

表1 透気性評価基準<sup>1)</sup>

JASS5における耐久性区分	一般	標準	長期
対応する促進期間26週の中性化深さ* (mm)	45.6以上	31.0以上	25.0以上
簡易透気速度 (mmHg/sec)	OPC 7.8以下	3.2以下	2.3以下
	HPC	—	—
	MPC	—	2.0以下
	SCB	—	1.1以下
	FCB	—	1.8以下

\*: CO<sub>2</sub>濃度5%, 20°C, R.H.60%で行った。

筆者らが問題視するところは、コンクリートの含水状態がコンクリートの透気性試験結果に及ぼす影響が大きいことである。耐久性の低いコンクリートであっても含水率を高めれば、透気性試験結果は小さな値となり、耐久性の高いコンクリートと評価してしまう恐れがある。したがって精度の高い評価を行うためには、透気性試験結果を単独で評価するのではなく、含水率を評価できる試験結果と組み合わせた複合法による評価が必要である。

### 3. コンクリートの比抵抗測定試験方法

コンクリート中の鉄筋が腐食する際に流れる腐食電流は、コンクリートの比抵抗に影響される。したがって、コンクリートの比抵抗を測定する方法として、四点電極法(Wenner法)が提案されており(図2参照)、コンクリートの比抵抗による鋼材腐食性評価基準(以下、単に「耐久性基準」と称する)もいくつか示されている(表2<sup>2)</sup>参照)。

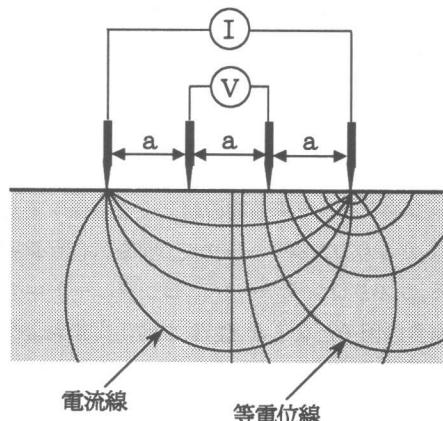


図2 四点電極法

コンクリートの比抵抗にも、コンクリートの含水状態が与える影響は大きい。含水率が高くなると比抵抗は小さくなり、逆に含水率が低くなると比抵抗は大きくなる。したがって、より精度の高い評価としては、比抵抗測定値による単独評価よりも含水率を考慮した複合評価が望ましいと言える。

表2 比抵抗評価基準の例<sup>2)</sup>

Cavalier and Vassie		Taylor Woodrow Res. Lab.		武若および小林	
比抵抗の範囲	腐食性	比抵抗の範囲	腐食性	比抵抗の範囲	腐食性
>12,000	微候なし	>20,000	なし	>10,000	小さい
5,000~12,000	危険性あり	10,000~20,000	小さい	5,000~10,000	不確定
<5,000	確実	5,000~10,000	大きい	<5,000	大きい

#### 4. コンクリートの比抵抗と鉄筋腐食の関係

コンクリートの透気性とコンクリートの耐久性(特に中性化)については多くの研究があり、一般によく理解されている。しかし、コンクリートの比抵抗と鉄筋腐食の関係については、あまり研究成果が公表されておらず、馴染みが少ない。

図3<sup>3)</sup>に示したものは、GBRC腐食モニタリングシステムで測定した電気化学的特性値と鉄筋腐食状態の目視観察結果の関係である。比抵抗は、同図に示した液抵抗に電流路の断面積を掛け、それを電気路の単位長さ当たりに換算したものである。

同図によって、a)比抵抗が含水率によって大きく影響されること、b)比抵抗が相対的に小さい箇所で腐食が生じていること、が分かる。

#### 5. 複合法としてのドリルPR法

コンクリートの透気性と比抵抗は、コンクリート構造物の耐久性を評価する上で、ともに重要な特性値である。しかし上述のとおり、それぞれを独立で評価した場合にはコンクリートの含水率の影響が含まれるため、精度の高い評価は難しい。

そこで筆者らは、透気性と比抵抗の両方の測定値を組み合わせて用いる一種の複合法を提案する。

図4は、横軸に透気性試験結果を、縦軸に比抵抗測定結果をとった、物理的鉄筋腐食抑制性能(以下、単に「耐久性」と称する)が異なるコンクリートのPR曲線(Permeability-Resistivity曲線)の例である。

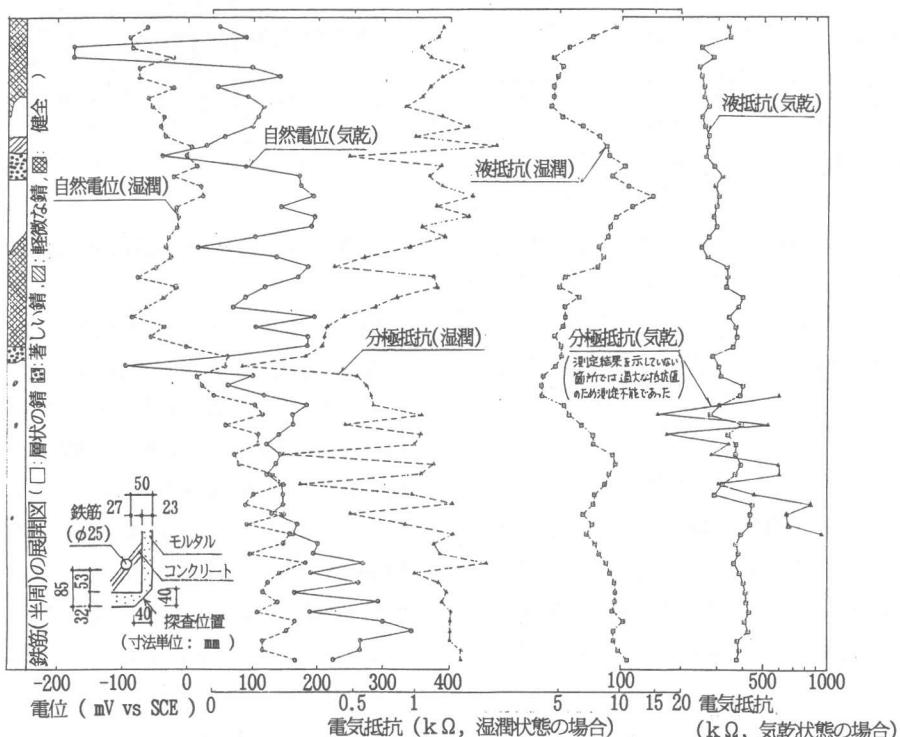


図3 電気化学的特性値と鉄筋腐食の関係(実測例)<sup>3)</sup>

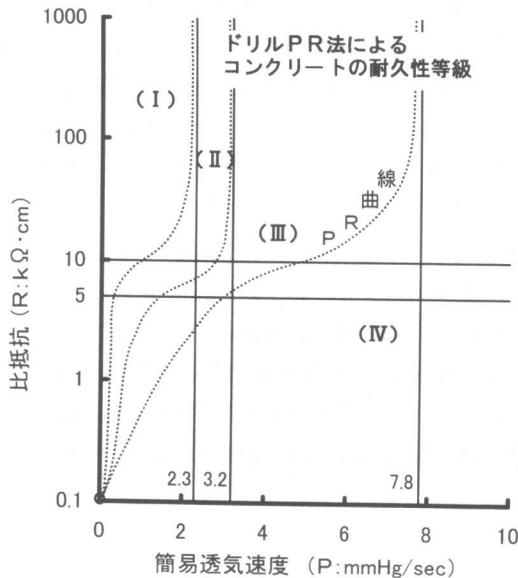


図4 ドリルPR法によるコンクリートの耐久性等級区分

同図に示したPR曲線の形は確定したものではなく推測で描いたものであり、今後の研究で明らかにする必要がある。同図には、簡易透気試験による耐久性基準値(笠井らの提案値)、並びに比抵抗測定試験による耐久性基準値(武若らの提案値)も、軸上に参考として示した。複合法によれば、簡易透気試験による耐久性基準値に漸近させて描いたPR曲線によって、コンクリートの耐久性等級を区分できる。等級区分は、等級I(高品質)、等級II(標準)、等級III(一般)および等級IV(低品質)の4等級とした。

なお、コンクリートの含水状態が変化した場合には、コンクリートの耐久性の違いにより、図示したような固有のPR曲線上を動くこととなる。含水率が高くなるとPR曲線状を原点へ向かって移動し、低くなると原点から離れるように移動すると考えられる。

## 6. ドリルPR法の概要

かぶりコンクリートの透気性と比抵抗を現場で簡易迅速に測定する方法として、ドリル孔を利用する

非破壊試験方法を提案する。

透気性の測定には笠井らが提案する簡易透気試験を適用する。比抵抗もドリル孔を用いて測定することとし(図5参照)、以下の点<sup>2)</sup>に配慮した。

- a)電極とコンクリートの接触抵抗を小さくする。
- b)比抵抗は、電極間隔に相当する深さまでの平均的な値であるが、表面部の抵抗が極端に小さな場合、内部の比抵抗値を正当に評価できない恐れがある。
- c)測定値は内部鉄筋や配筋状況によっても影響を受けるため、電極間隔は極力、かぶり厚さ以下とする。

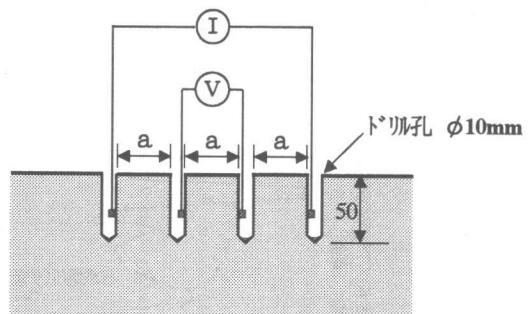


図5 ドリルPR法における比抵抗測定概要

かぶりコンクリートの耐久性評価に用いるための比抵抗を精度良く測定することを目的に、コンクリート表面にドリル削孔(φ10mm)を四点、等間隔にあけた。図5に示す孔間の間隔aは粗骨材の影響を考慮し、40mmとした。測定は1測定点につき、コンクリートの表層部近傍と削孔内部深さ30mmの2箇所とし、電極として5×10×3mmの銅板が孔内面に密着するように成形加工し、固定治具により測定位置に固定するようにした。また、電極とコンクリート間の接触抵抗を低減するため、導電性シーリング材(体積抵抗率:  $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ )を約1~2mm厚で設けた。

なお、本比抵抗測定法は確定されたものではなく、今後の研究により検討を行う必要性を要する。

## 7. ドリルPR法による予備的実測例

### 1) 実験方法

供試体は、断面400×400mm、高さ1800mmの鉄筋コンクリート柱(基礎部付き)とした。主筋にはD22を、帶筋にはD10を150mm間隔で使用した(図6参照)。帶筋に対するかぶり厚さは20mmとした。コンクリートの調合は強度の異なる2種類とし、型枠には透水型枠と普通の合板型枠の2種類を用いた。また、呼び名21-18-20-Nのコンクリートの一部では、塩化物イオンを6kg/m<sup>3</sup>含有させ、計5種類の供試体を製作した(表3参照)。

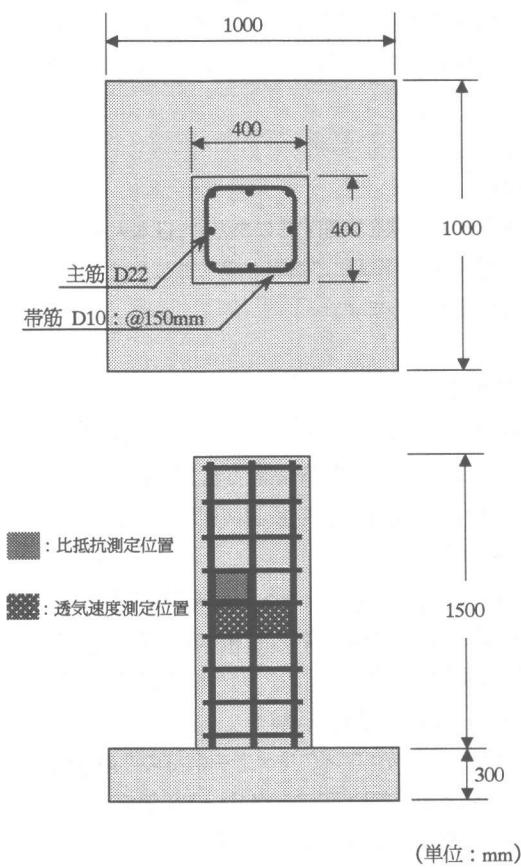


表3 供試体の種類

コンクリート呼び名	塩化物含有量	型枠	記号
21-18-20-N	0kg/m <sup>3</sup>	合板型枠	21
	6kg/m <sup>3</sup>	透水性型枠	21P
	6kg/m <sup>3</sup>	合板型枠	21CL
30-18-20-N	0kg/m <sup>3</sup>	合板型枠	30
	6kg/m <sup>3</sup>	透水性型枠	30P

ドリルPR法による試験は、コンクリート材齢108日目に実施した。比抵抗測定用のドリル穿孔位置は、鉄筋位置を非破壊探査で調べた後、図7に示すようにできるだけ鉄筋の影響を受けないように配慮して、鉄筋交点を結ぶ線上に設けた。比抵抗の測定は、電極位置を表層(深さ5mm)および内部(深さ30mm)とした2つの場合について行った。

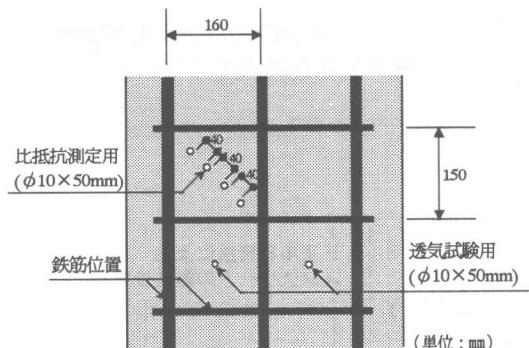


図7 ドリルPR法におけるドリル削孔位置

### 2) 実測結果

実測結果を、図8(表層で比抵抗測定の場合)および図9(内部で比抵抗測定の場合)に示す。それらの図から、以下のようなことが判る。

- a) 透水型枠を使用した場合(供試体21P, 30P)は、普通の合板型枠を用いた場合に比べて、透気性が非常に小さい。
- b) 塩化物を多量に混入して製作した場合(供試体21CL)は、比抵抗測定値が表層と内部で非常に異なる。

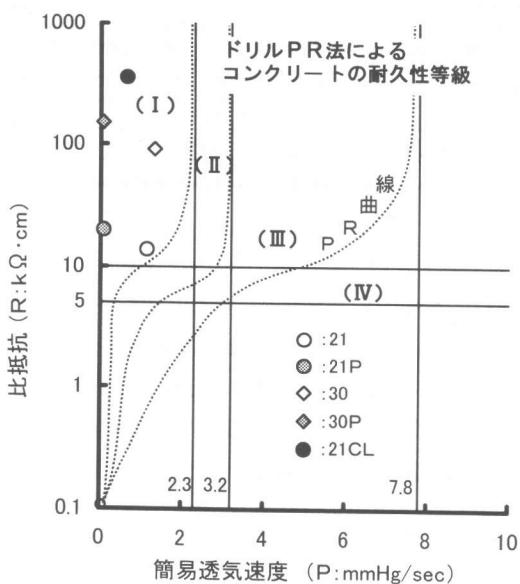


図8 ドリルPR法による予備的実測例  
(表層で比抵抗測定の場合)

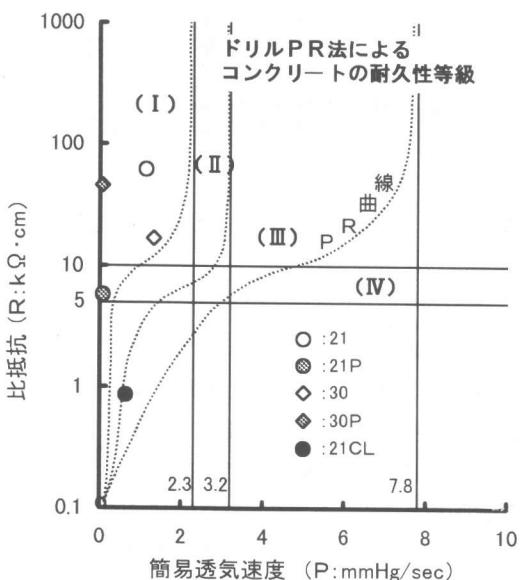


図9 ドリルPR法による予備的実測例  
(内部で比抵抗測定の場合)

c) 塩化物を多量に混入して製作した場合(供試体21CL)は、透気性単独による耐久性評価等級は高いが、比抵抗も組み合わせたドリルPR法で複合評価した場合にはそれほど高い評価とはならない。

## 8. おわりに

本報では、ドリル孔を利用して簡易迅速に求めた、かぶりコンクリートの透気性と比抵抗の測定値を組み合わせて評価する複合法「ドリルPR法」を提案した。本報での予備実験結果から、ドリルPR法によりコンクリートの耐久性等級を区分する「PR曲線」を確定するに至っていないが、今後の研究により明らかにする予定である。

山積する課題をできるだけ早期に解決し、コンクリート構造物の耐久性診断や竣工検査に利用したい。

## 謝辞

簡易透気試験を実施するにあたり、日本大学生産工学部 湯浅昇講師にご指導を賜りました。ここに、深謝の意を表します。

## 参考文献

- 笠井 芳夫ほか:ドリル削孔を用いた構造体コンクリートの簡易透気試験方法(その1)~(その2),日本建築学会学術講演梗概集, pp.699~702, 1999
- 武若 耕司:コンクリートの非破壊検査方法(原理と手法)-鋼材腐食-, 特集\*コンクリートの非破壊検査/3.8, コンクリート工学, Vol.27 No.3, pp.69~74, 1989
- 田村 博ほか:コンクリート中鋼材の非破壊腐食評価方法について,コンクリート工学年次講演会論文集, pp.109~112, 1985