

## 直流比抵抗法を用いたコンクリート構造物の内部推定に関する基礎的研究

(株)関西興産 耐震設計室 正会員 ○露口 雄次  
 埼玉大学工学部 正会員 町田 篤彦

### 1. はじめに

高度成長期の1960～1970年代に建設されたコンクリート構造物は建設後30～40年以上を経過しており非破壊検査の需要が拡大すると予想されている。一方、電気探査法の一つである直流比抵抗法は、地盤に直流電流を流してその電位応答を測定し、得られた比抵抗分布から地盤物性を推定する物理探査法であり、筆者らは、この直流比抵抗法を用いて、コンクリート内部の鉄筋位置や鉄筋腐食状況、空洞などの欠陥カ所を推定するための実験的検討を行っている。本報告では、①無筋コンクリートを用いて、直流比抵抗法は有限な大きさのコンクリート構造物に適用可能か、②鉄筋コンクリートモデルを用いて、直流比抵抗法は鉄筋位置が推定可能か、に関しての検討結果を示す。

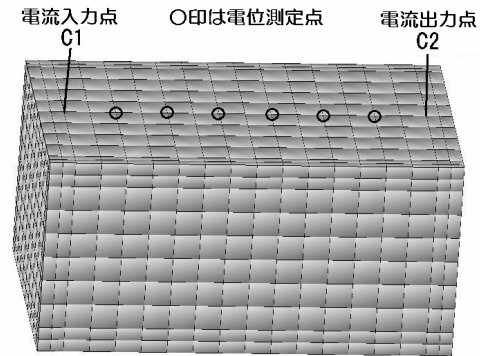


図-1 無筋コンクリートモデル(節点数 2717)

### 2. 3次元FEM逆解析による比抵抗値の推定

コンクリート構造物には有限な部材寸法や境界が存在するので、半無限地盤を測定対象とした直流比抵抗法をそのまま適用することは困難であると予想される。そのため、直流比抵抗法の測定方法を利用して電流と電位を測定し、無筋コンクリート構造物の比抵抗値はFEM逆解析手法(3次元電界解析、逆解析は拡張カルマンフィルタ法)を用いて以下の手順で算出した。

①無筋コンクリートモデルは、長さ16cm、高さ8cm、厚さ9.2cmの直方体とした(図-1と表-1)。

②測定電位(V/I)と解析電位(V/I)が近似するまで、収束計算を行って比抵抗値を推定した。

無筋コンクリートの比抵抗値を均質と仮定して逆解析を行うと、比抵抗値の収束値は74.9Ωmとなった。C1、C2ライン(図-1)上の測定電位と逆解析電位の比較を図-2に示す。6点の測定電位は、逆解析電位の収束値と良く近似しているため、有限な境界が存在するコンクリート構造物にも直流比抵抗法を用いることが可能であると判断した。

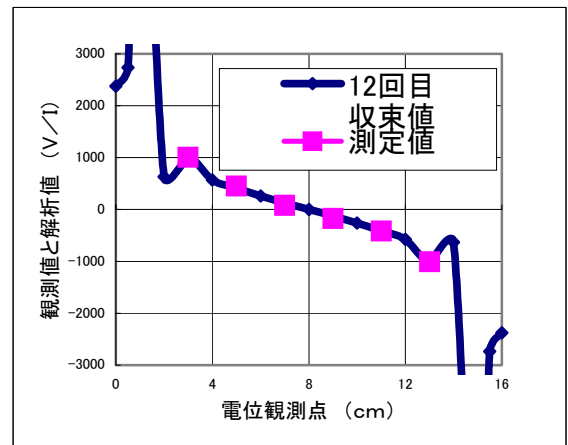


図-2 測定電位と逆解析電位の比較

表-1 配合一覧

セメント	W/C %	W kg/m <sup>3</sup>	C kg/m <sup>3</sup>	S kg/m <sup>3</sup>	G kg/m <sup>3</sup>	材齢 日
普通ポルトランドセメント	38	203	528	769	769	Max 10mm 水中養生 91

### 3. 無筋コンクリートの見かけ比抵抗分布

本節では、直流比抵抗法の測定結果表示方法がコンクリート構造物に適用可能か否かを、無筋コンクリートモデルを用いて検討した。直流比抵抗法のうち最も著名なウェンナー法を例とすると、式(1)に示す見かけ比抵抗値を、水平方向は測点中央位置、鉛直方向は測点間隔深さに表示する簡便法が一般的に用いられている。

$$\rho = 2 * \pi * a * V / I \quad \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $\rho$  : 見かけ比抵抗、 $a$  : 測点間隔、 $V$  : 測定電位、 $I$  : 入力電流を各々示す。式(1)で示された比抵抗は、均質物性を仮定した理論解であり真の比抵抗を意味するものではないので、見かけ比抵抗と呼ばれている。

キーワード 非破壊検査, 電気探査法, 直流比抵抗法, ウェンナー法, 拡張カルマンフィルタ法

連絡先 〒543-0021 大阪府大阪市天王寺区東高津町7-18 (株) 関西興産 耐震設計室 TEL06-6764-8865

図-3と図-4に、無筋コンクリートモデルの見かけ比抵抗分布の解析値(均質比抵抗  $74.9 \Omega \text{ m}$  の3次元FEM順解析)と測定値を、各々示す。図-3に着目すると、上面から20mm位置では105~114  $\Omega \text{ m}$ 、40mm位置では147  $\Omega \text{ m}$ と、 $74.9 \Omega \text{ m}$ に比べて1.40~1.96倍の値となっているので、有限な大きさを持つコンクリート構造物に直流比抵抗法の測定結果表示法を適用する際は、大きめの比抵抗値が表示される傾向にあることが明らかとなった。図-4の測定値に着目すると、上面から20mm位置では88~110  $\Omega \text{ m}$ となり解析値(図-3)より小さめの値が得られたが、40mm位置では145~156  $\Omega \text{ m}$ となり上面から20mm位置に比べ40mm位置の見かけ比抵抗値が大きくなる傾向は解析値(図-3)と近似した。

本節の検討結果から、直流比抵抗法の測定結果表示法を適用する際は大きめの比抵抗が得られる点に留意する必要があるが、簡便に相対的な比抵抗分布を比較する目的には利用可能と判断した。

#### 4. 鉄筋コンクリートの見かけ比抵抗分布

前節の無筋コンクリートと同バッチ(表-1)で打設した鉄筋コンクリートモデルの鉄筋位置(全てD16mm)を、図-5に示す。図中の赤丸鉄筋は腐食防止用の被覆塗装を鉄ブラシで除去している。図-6には、鉄筋コンクリートモデルの見かけ比抵抗分布の測定値を示す。

図-4の無筋コンクリートと、図-6に示す鉄筋コンクリートの上面から20mm位置を比較すると、鉄筋位置では7~18  $\Omega \text{ m}$ 見かけ比抵抗が下がっているが、鉄筋の無い位置では逆に7~10  $\Omega \text{ m}$ 上がっている。同様に上面から40mm位置を比較すると無筋に比べ鉄筋コンクリートの方が19~20  $\Omega \text{ m}$ 比抵抗が大きくなっている。

本節の検討結果から、無筋コンクリートと鉄筋コンクリートの見かけ比抵抗分布に差異が認められるが、粗骨材の有無や測定誤差と同程度のオーダーとも推定できるため、測定精度の向上が必要と判断した。なお、現状では被覆除去鉄筋(赤丸)とそれ以外の鉄筋との顕著な差異も認められなかった。

#### 5. まとめ

無筋コンクリートの見かけ比抵抗解析値(図-3)と測定値(図-4)の差異には、①粗骨材の影響、②電気測定上の測定誤差、③その他の測定誤差が含まれていると推定している。①に関しては「モルタル」と「コンクリート」の比較検討を行う予定である。②に関しては交替(電流の向きを周期的に切り替える)直流をパソコン画面で確認(電圧、電流共)しながら測定を行っているが「測定値の安定性」や「測点抵抗(接地抵抗)の低減」など、今後も工夫が必要と考えている。無筋コンクリートの見かけ比抵抗測定値(図-4)と鉄筋コンクリートの測定値(図-6)を比較すると、鉄筋位置で見かけ比抵抗が小さくなる傾向が認められるが、粗骨材の有無や測定誤差と同程度のオーダーとも推定できるため、「モルタル」と「モルタル+鉄筋」の比較検討も行う予定である。上記の検討を行うことで、「モルタル」、「粗骨材」、「鉄筋」各々の測定電流と測定電位に与える影響が明確になれば、鉄筋位置や鉄筋腐食状況等を直流比抵抗法で簡便に推定できる可能性があると考えている。

#### 参考文献

- 1) 島裕雅, 梶間和彦, 神谷英樹: 建設・防災・環境のための新しい電気探査法 比抵抗映像法, 古今書院, 1995
- 2) 加川幸雄, 山淵龍夫, 村井忠邦, 土屋隆生: FEMプログラム選1 電界, 森北出版, 1994
- 3) 片山徹: 応用カルマンフィルタ, 朝倉書店, 1994

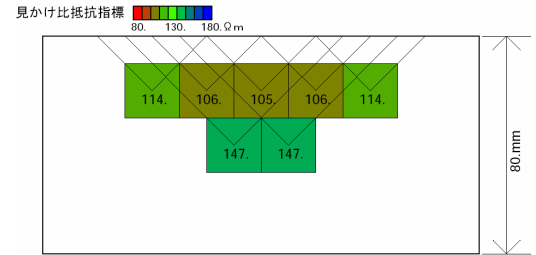


図-3 無筋コンクリートの見かけ比抵抗 (解析値)

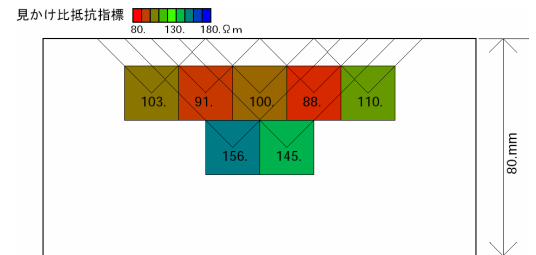


図-4 無筋コンクリートの見かけ比抵抗 (測定値)

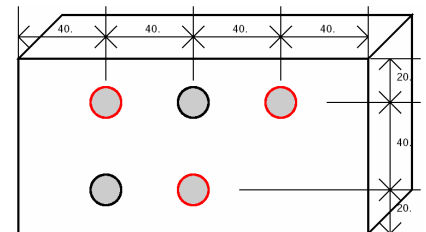


図-5 鉄筋の設置位置

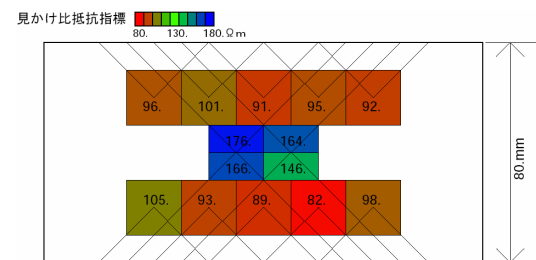


図-6 鉄筋コンクリートの見かけ比抵抗 (測定値)