

報 告

[1130] 実建造物の腐食モニタリング事例

正会員 田村 博 (日本建築総合試験所)

正会員○永山 勝 (同 上)

下澤和幸 (同 上)

1. はじめに

著者らのこれまでの研究では、コンクリート表面で測定される電気化学的特性値（自然電位： E 、分極抵抗： R_p 、液抵抗： R_s ）は、鉄筋表面の電気化学的特性値と、かぶりコンクリートの電気化学的特性値の2つの要因が関与していることが判っている[1]。従って、精度の高い腐食推定を行うためには、両者の電気化学的特性値についての詳細な検討が必要であり、特に実際の建物調査においてコンクリート部分の特性値を把握する技術・手法を開発することが望まれる。

本報は、建築後30年経過した実建造物を対象とした腐食モニタリング結果を基に、コンクリートが乾燥状態にある場合、かぶりコンクリート部分の影響により鉄筋の自然電位が貴な方向に、分極抵抗が大きな方向に変化して測定されることを実測事例を用いて示す。さらに、これらかぶりコンクリート部分の影響を把握する手法として穿孔プローブ法が有用であることを報告する。

2. 調査建物の概要

調査対象とした建物は、大阪府下に建設されている公営集合住宅のうちの一棟である。当該建物は、1住戸の占有面積が狭いことや、住宅設備の機能上の障害により陳腐化したものである。この結果、団地群の地域再開発が計られ、平成3年度末に解体されたものである。建物の概要を表-1に、外観を写真-1に示す。また、1住戸の平面を図-1に示す。

表-1 調査建物の概要

用途	公営集合住宅 (16住戸, 賃貸)
竣工	昭和37年 (建築後30年)
構造種類	鉄筋コンクリート造 (ラーメン構造)
階数	地上4階建 (高さ: 11.88m)
面積	建築面積 = 166.14 m^2 延べ床面積 = 643.90 m^2

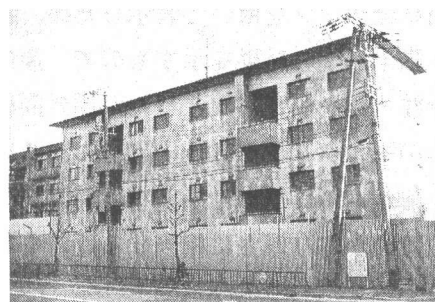


写真-1 調査建物の外観 (北面)

3. 調査内容

調査は、建物の損傷状況や鉄筋の腐食状況およびコンクリートの物性などを詳細に調べ、建物の耐久性向上に関する資料を得ることを目的として実施した。調査の内容および工程は、図-2に示すとおり、第一段階で建物外観損傷状況の観察および全16戸のドリルホール式による室内側中性化深さの測定を行った。この結果を基に詳細調査を実施する位置 (住戸) を特定し、以降の腐食モニタリングを含めた非破壊調査および最終段階の破壊調査を行った。

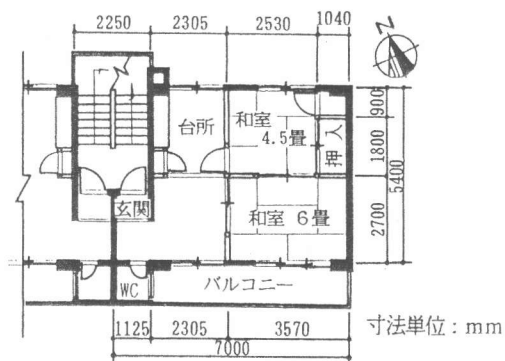


図-1 1住戸の平面計画

詳細調査は、3住戸を選定し実施した。これらは建物東端の妻壁を有する1階1号室、4階7号室、および妻壁から離れた4階15号室とした。以下に腐食モニタリングの方法の詳細を示す。

3. 1 腐食モニタリングの方法

腐食モニターは、三電極式定電流二重パルス方式の装置を使用し、コンクリート表面または仕上げ材表面から鉄筋の自然電位・分極抵抗・液抵抗を測定した。測定は、分極電圧が4mV～40mVの範囲に入るよう自動レンジにより電流が印加される方式とした。分極測定用パルスは4秒とした。なお、安定した1測定データを得るのに約1～3分の時間を要した。

プローブは、図-3に示す二極プローブで参照電極に銀-塩化銀電極、対極に白金電極を用い電解液は飽和KCl溶液を充填したものである。コンクリートと接触する液絡部は、飽和KCl溶液を溶媒とした寒天塩橋である。これは、電解液の漏出を最小限にし、接触部付近での液間電位差の発生を抑制するよう工夫したものである。モニタリング位置は、予め配筋位置を探索し部材の表面に紙テープを用いて表示した後、各部材の鉄筋交差点を適宜選択した。なお、後述の事例は、1階1号室の結果を示すもので、屋内は北側の和室4.5畳の押入部分を撤去し、打放し状態の妻壁や柱・梁を測定対象とした。屋外面には厚さ20～30mmの仕上げモルタルが施されており、屋外からのモニタリングは仕上げモルタル表面で行った。

また、かぶりコンクリート自体の電気化学的特性値を測定する方法は、図-4に示すとおり、当該位置のかぶり厚さに相当する距離を穿孔（乾式）した後、銀-塩化銀電極を作用極とし孔の

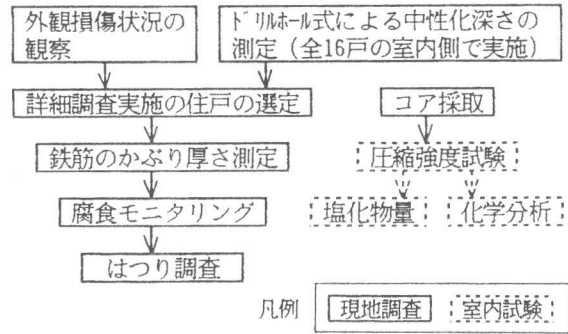


図-2 調査内容および工程

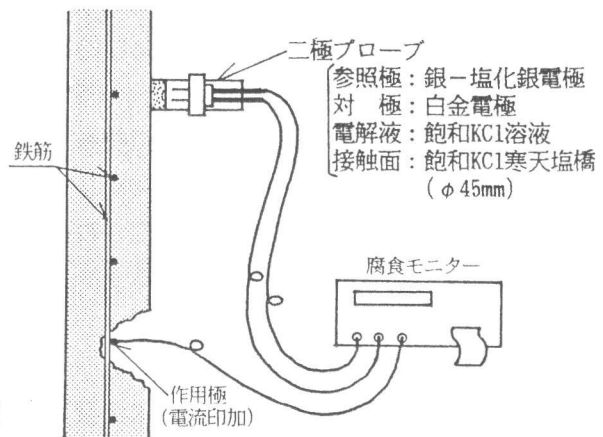


図-3 腐食モニタリング方法

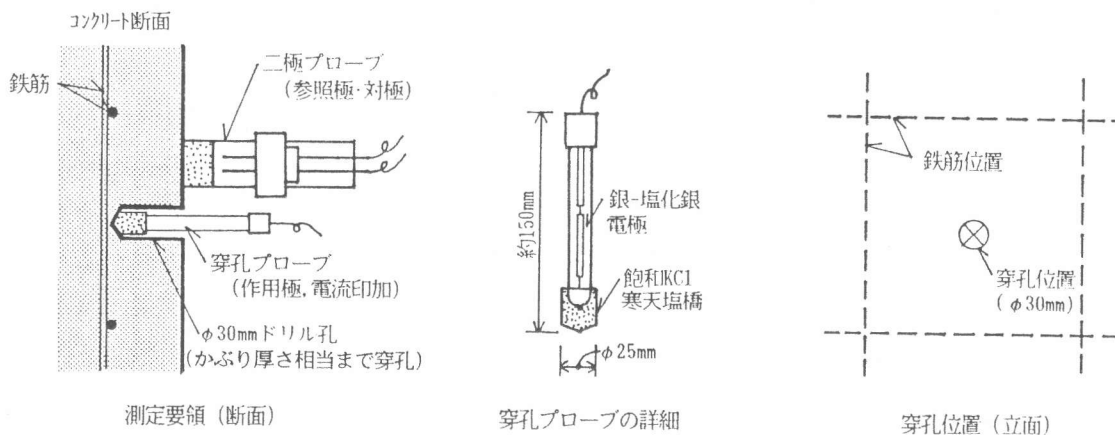


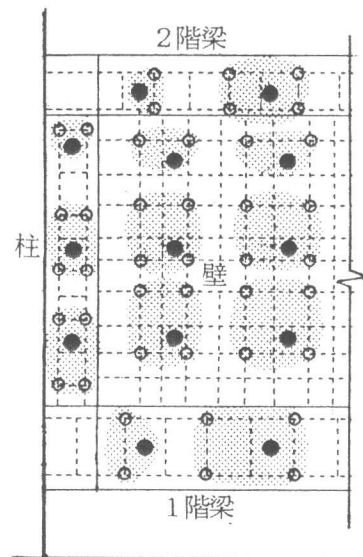
図-4 穿孔プローブ法によるコンクリート電気化学的特性値測定方法

最深部に接触させ、近傍のコンクリート表面において二極プローブで測定する方法とした。この方法は、作用極および二極プローブの参照極が同種の銀-塩化銀電極を使用しているため、両者を直接接触させた場合は、電位差は約0mVになり、抵抗は特定の値 ($R_p=2.5k\Omega$, $R_s=0.2k\Omega$) が得られる。コンクリートを介した場合は、含水状態やかぶり厚さにより値が変化し、コンクリートの電気化学的特性値を把握することができる。

穿孔プローブ法による測定に際しては、1つの穿孔位置において孔の近傍のコンクリート表面（屋外面の場合は、仕上げモルタル表面）で上下左右の4点を測定し、自然電位および分極抵抗それぞれの平均値を当該位置付近コンクリートの電気化学的特性値とした。穿孔位置と腐食モニタリング測定点の関係は、図-5に示すとおりで、近接する4点（または2点）のモニタリング測定点で囲まれる範囲毎に1箇所の穿孔を行った。それぞれの箇所で得られたコンクリートの電気化学的特性値を用いて、当該範囲のモニタリング測定値の補正を行うこととした。

本報では自然電位についてのみ補正による検討を行うこととし、その方法は、腐食モニタリングにより得られた鉄筋の自然電位から穿孔プローブ法で得られた自然電位を単純に減じる方法とした。なお、分極抵抗については測定値の概略を示すことにとどめ、今後の検討課題としたい。

また、本調査における穿孔位置は、簡易的に40~50cmの範囲に1箇所としたが、コンクリートの電気化学的特性値の分布をより正確に把握するためには、状況に応じ適宜、穿孔位置を設定し測定することが望ましい。



- +---: 鉄筋位置
- : 腐食モニタリング測定点
- : 穿孔プローブ法測定点
- : 各穿孔位置の補正範囲

図-5 腐食モニタリング測定位置と穿孔位置の関係
(1号室屋外面の例)

4. 腐食モニタリング結果に関する検討結果

腐食モニタリングを実施した3住戸のうち、1階1号室の東側妻壁および妻壁に接する柱や梁のモニタリング結果を事例として示し、その検討結果を以下に述べる。

(1) 腐食モニタリングの実測値のうち、自然電位の分布を等電位で表すと図-6 (a), (b)のとおりの分布となった。測定値の分布から屋外1階の梁や妻壁の下部が相対的に卑な傾向にあることが判るが、概ね0mV~+320mVの範囲で極めて貴な値であった。ASTM規格では自然電位（硫酸銅電極基準）がプラスの値の場合（銀-塩化銀電極では+120mVより貴）、鉄筋の接触が不十分であったりコンクリートの水分不足や電流が迷走状態にあることが考えられ、評価が困難とされている。本事例の場合、コンクリートの含水率が屋外側で3.8~4.2%、屋内側で2.4~3.2とかなり乾燥状態にあった。このことが貴な値となった主な理由であると考えられた。なお、分極抵抗については、一例として妻壁の実測値を図-7 (a), (b)に示す。屋外面で数百kΩ、屋内面では千kΩ以上の極めて大きな値が測定された。

(2) 調査部材のうち、妻壁はシングル配筋（φ9mm、縦横約200mm間隔）であり、北側妻壁は同一の鉄筋を屋外側および屋内側からの両面から測定している。この結果、同一鉄筋でありながら内外で60~80mVの差が認められ、屋外側からの測定値がより貴なものであった。このことは、

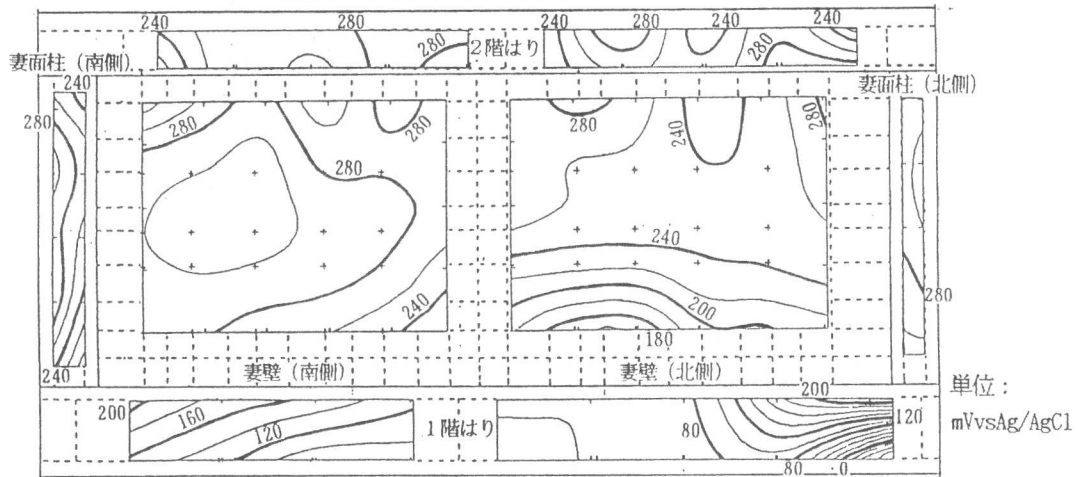


図-6 (a) 自然電位の実測値の分布 (屋外面)

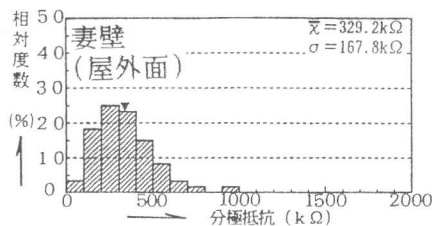


図-7 (a) 分極抵抗の分布

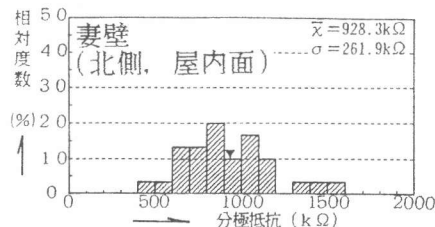


図-7 (b) 分極抵抗の分布

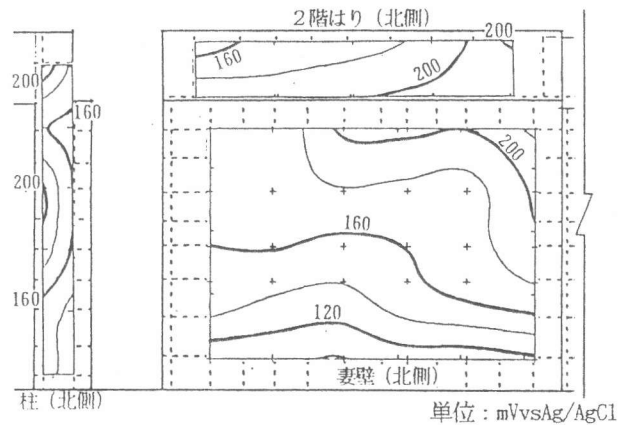


図-6 (b) 自然電位の実測値の分布 (屋内面)

かぶりコンクリートの状態により、コンクリート表面で測定される電気化学的特性値は大きく影響を受けることを示している。

- (3) 穿孔プローブ法により測定したかぶりコンクリート部分の電気化学的特性値を図-8 (a), (b)に示す。自然電位の値は、概ね屋外で+150~+330mV、屋内で+30~+230mVの範囲であった。特に妻壁においては、屋外面で平均値+274mV (標準偏差: 29mV) に対し、屋内面は平均値+164mV (標準偏差: 24mV) で、平均値で100mV程度の差が認められた。分極抵抗は極めて大きく、屋外面で数百kΩ、さらに屋内面では千kΩ以上の値が多く測定された。なお、著者らが過去に行った実験[1]では、コンクリートに含水率の分布を与えた結果、顕著な場合には200mV程度の電位差がコンクリートに発生することが判っている。本事例は、コンクリートの電位差および抵抗値の大きさから判断し、モニタリング可能な限界に近い乾燥状態と考えられる。
- (4) 穿孔プローブ法により得られたコンクリートの電気化学的特性値を用いて自然電位実測値を補正を行った結果、図-9 (a)~(b)に示すとおり妻壁の補正後の自然電位は、屋外面と屋内面の分布が概ね一致した。このことから、かぶりコンクリート部分の電気化学的特性値を把握する方法として穿孔プローブ法は妥当であり、さらに補正することで鉄筋の電気化学的特性値をより正確に把握できると判断された。

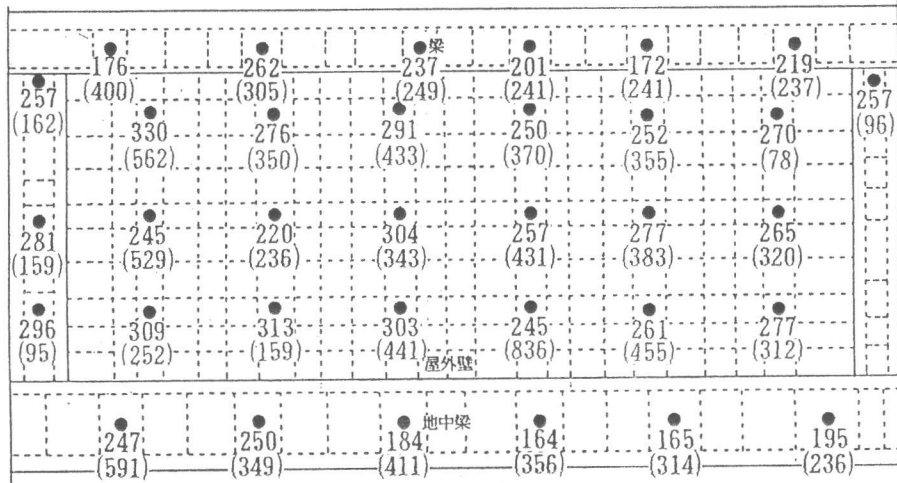


図-8(a) 穿孔プローブ法によるかぶりコンクリートの電気化学的特性値の分布 (屋外面)

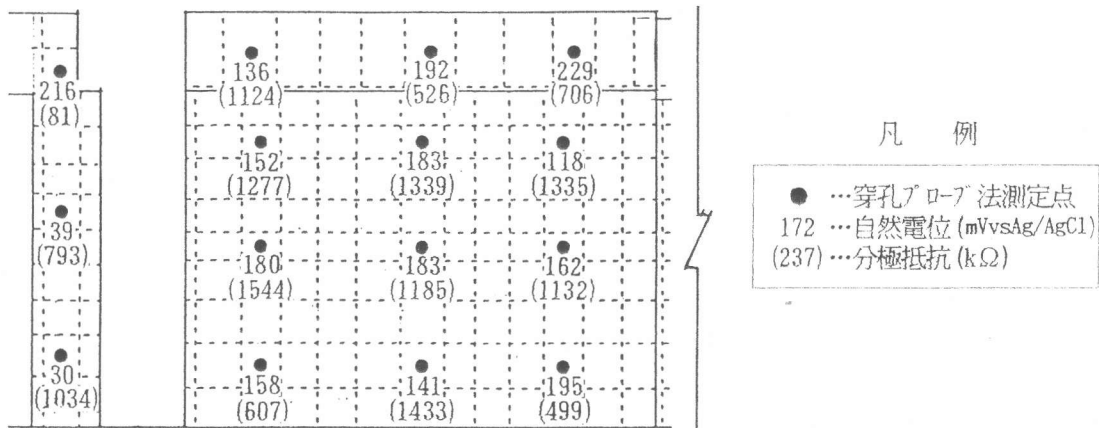


図-8(b) 穿孔プローブ法によるかぶりコンクリートの電気化学的特性値の分布 (屋内面)

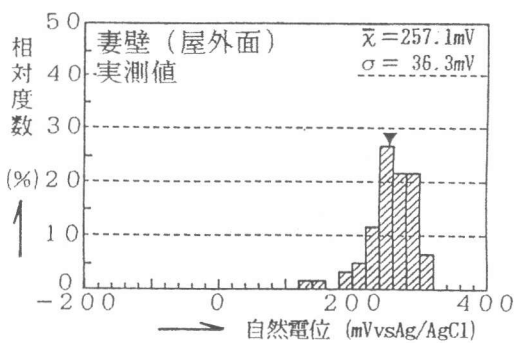


図-9(a) 自然電位の分布 (実測値)

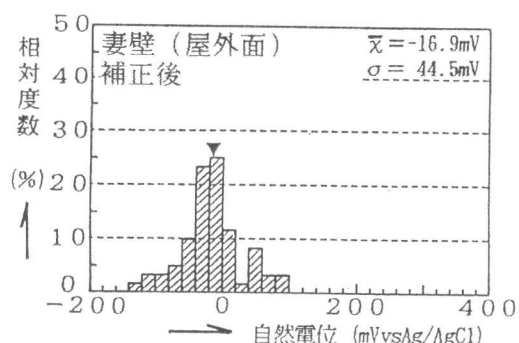


図-9(b) 自然電位の分布 (補正後)

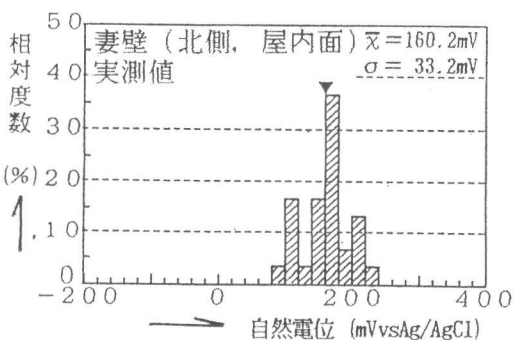


図-9(c) 自然電位の分布 (実測値)

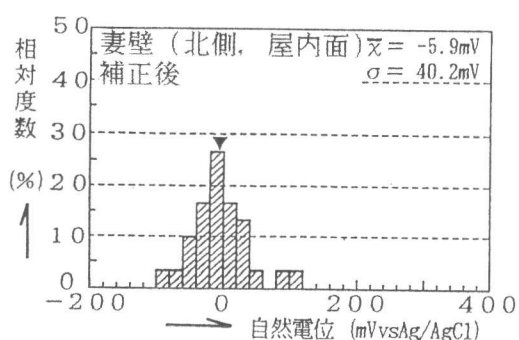


図-9(d) 自然電位の分布 (補正後)

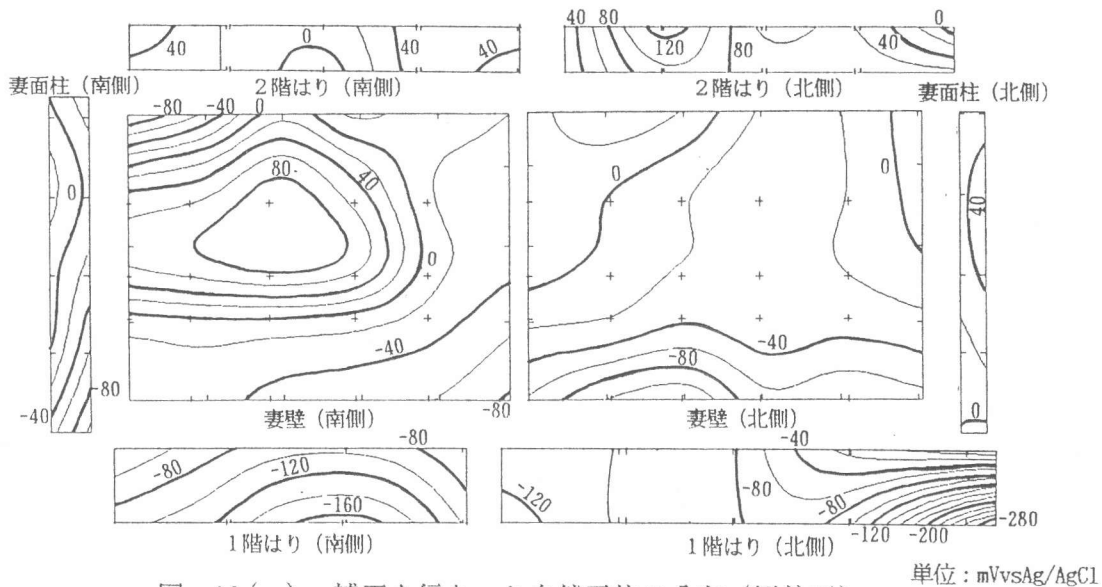


図-10 (a) 補正を行なった自然電位の分布 (屋外面)

(5) 自然電位補正後の分布を等電位で表すと図-10 (a), (b) のとおりとなった。実測値の分布と比べ、相対的に卑な箇所は概ね同じであり、分布傾向の変化は特に認められなかった。補正後の自然電位の値から推定される腐食状態は、不確定領域とされる $-80 \sim -230 \text{ mV}$ (硫酸銅電極基準: $-200 \sim -350 \text{ mV}$) の値が1階梁 (屋外北側) および壁や柱の下部に認められるが、概ね非腐食状態と推定された。なお、はつり調査で腐食の観察を行った結果、1階梁あばら筋や柱フープに軽微な腐食が認められたが、壁筋には殆ど腐食が認められない結果で推定とほぼ一致する状況であった。

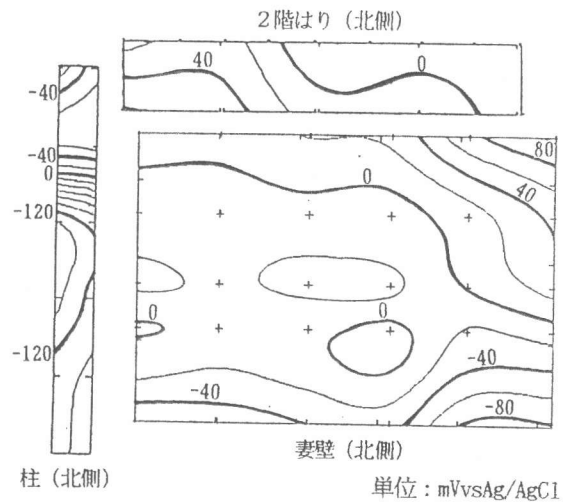


図-10 (b) 補正を行なった自然電位の分布 (屋内面)

5. まとめ

腐食モニタリングに関する検討結果をまとめると、本調査事例の範囲では次のとおりである。

- ① コンクリートの表面で測定される鉄筋の電気化学的特性値は、かぶりコンクリートの電気化学的特性値の影響を受けることが明らかであった。コンクリートが乾燥状態であった本事例では、自然電位が貴な方向に変化し測定されることが判った。また、分極抵抗については、穿孔プローブ法の測定結果から、極めて大きく変化し測定されることが判った。なお、分極抵抗の詳細な検討は、今後の課題としたい。
- ② かぶりコンクリートの電気化学的特性値を把握する方法として、穿孔プローブ法は概ね妥当なものであった。特に自然電位については、補正することでより正確な鉄筋の自然電位を把握することができた。
- ③ 鉄筋の腐食状況は、補正後の自然電位分布を基にした推定とほぼ一致した。

[参考文献]

- 1) 田村 博・永山 勝: コンクリート表面における腐食モニタリング用電気化学的特性値の一解釈, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 410, pp. 1-8, 1990. 4