

平和の灯 長寿命化計画

調査内容説明書

平成28年4月

広島県コンクリート診断士会

1. 調査目的

本調査は経年的な劣化の懸念が生じている平和記念公園内の「平和の灯(ともしび)」について、今後ともその建設の意義を重んじながら長寿命化を図るため、広島県コンクリート診断士会の有志によるボランティア調査を行うものです。

2. 調査計画

調査は以下の5班に分けて実施します。

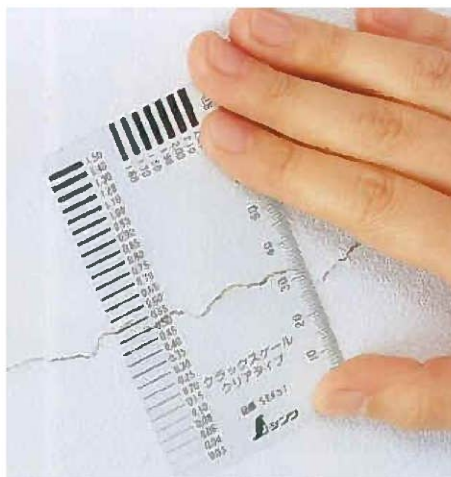
- 1) 調整班 (全体調整)
- 2) 外観目視調査班
- 3) 寸法・外観計測班
- 4) コンクリート・鉄筋調査班
- 5) 塗装、塗膜・美観班

3. 外観目視調査班の調査内容

1) ひび割れ計測

コンクリートに発生したひび割れを、クラックスケールなどを用いてひび割れ幅を、メジャーにて長さ、位置、形状を計測し記録します。

また、位置出しにはメジャーに代わり、ハンディタイプレーザー距離計も用います。



クラックスケールの例



レーザー距離計の例

2) うき箇所の特定

コンクリートが劣化し、剥落の懸念が生じている状況を「うき」と呼びます。うき箇所は、点検はハンマーなどで表面を軽く叩くと、ポコポコといった健全部よりも低音が返ってくることで判明します。うき箇所は広がりをもっておりますので、叩きながら健全音がする境界部をつきとめ、チ

ヨークでハッチをつけるなどして範囲を記録します。

なお、点検ハンマーを使わず、離れた位置より赤外線サーモグラフィーを用いた調査をする場合もあり、この調査法についてはコンクリート、鉄筋調査班の分担で実施します。

3)コンクリート塗装膜の調査

平和の灯表面は、無塗装で自然のコンクリート面が出ている箇所、塗装が施されている箇所、塗装は施されていないものの補修材が詰められている箇所が混在します。どの部位の表面がどのようなになっているかを目視により確認記録すると同時に、塗装膜に関しては亀裂、汚れがどのように発生しているかもあわせて記録します。

なお、塗膜そのものの材質、施工法については、塗装、塗膜・美観班が現地状況を観察し検討することになっています。

4. 寸法・外観計測班の調査内容

1) ドローンによる空中からの計測

地上からでは観察できない施設の上面を正視した状況と、施設の置かれた環境を空中撮影により精密に観測調査します。



2) 多視点画像解析 (Structure from Motion) による対象構造物の 3D 化

あらゆる方向から一眼レフにて撮影し、多視点画像解析 (SfM) により、3D 映像化します。地上レベルでは手持ち撮影を行い、上部はポールにカメラを取り付け撮影します。また、同時に 3D レーザスキャナによる 3 次元計測も実施します。

作成した 3D モデルは、形状を忠実に再現しており、撮影した高解像度の画像がマッピングとして貼付されているため、そこからオルソ画像を作成することで損傷図等を作成できます。



機械名	FARO Focus3D(短距離型)
機器イメージ	
測距方式	位相差方式(Phase Shift)
測定距離	0.6～120m(反射率90%)
測定範囲	V:300° / H:360°
レーザクラス	3R
距離精度	±2mm(@25m)
主な用途	建築/文化財/プラント他

使用するレーザスキャナ

3) ギガピクセル画像撮影

2 軸のモーターを搭載した自動撮影雲台に、望遠レンズと一眼レフカメラを搭載し、設定した撮影範囲を一定量ラップさせながら、グリッド上に自動撮影します。水平 360° 垂直 -65°+90° 範囲を抜けのけない連続的な画像を取得し、取得した画像は、自動接合により 1 枚の合成画像とします。

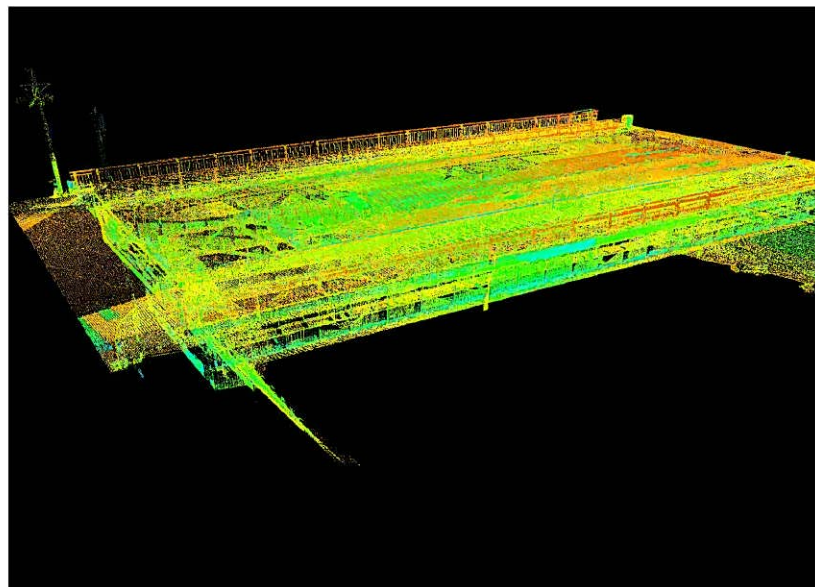
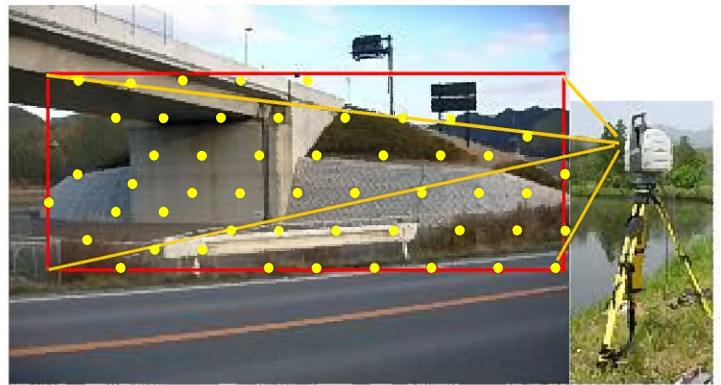


ギガピクセル画像撮影の方法

4) 地上型レーザ計測

地上型レーザ計測は、1秒間に数万発のレーザをパルスで照射し、そのパルスが目標に反射して戻ってくる時間と角度から目標物の三次元座標を求めるものです。

複雑な形状でも短時間に精度よく測定できるため、平和の灯のように設計図面もなく複雑な曲面をもつ構造物の寸法計測に有効です。



地上型レーザ計測による橋梁の計測例
目標物を面、線ではなく点群としてとらえている。

5. コンクリート・鉄筋調査班の調査内容

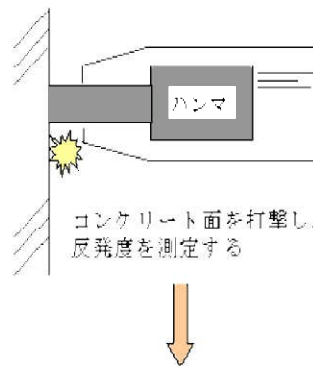
1) コンクリート圧縮強度調査

コンクリート圧縮強度はコンクリートの品質判定のベースとなるものです。通常のコンクリート構造物ではよほど低い強度でない限り、想定より低くても問題となることはほとんど無いと考えられます。しかし、強度が設計で期待するより低いことが確認された場合は、水密性を含めた全般品質が低下している可能性が高く、多くの劣化の発生を疑う必要があります。後述する、低強度で水密性が低いコンクリートに多く見られる中性化現象もその一つで、早期に鉄筋腐食を生じる懸念があります。

既設構造物のコンクリート強度調査は、通常 $\phi 75 \sim 100\text{mm}$ 程度のコアを採取し、それを室内に持ち帰って載荷試験によって直接計測されます。しかし、今回は現状をできる限り変更しないで調査するという方針から、コンクリート表面に打撃を加え、その反発の性状から換算して圧縮強度を推定する以下の2種類の方法で調査します。

①リバウンドハンマー

ハンマーでコンクリート表面を打撃し、ハンマーの跳ね返り高さ(反発度)を測定します。この反発度とコンクリートの硬さおよび強度には相関関係があり、反発度から圧縮強度を求める換算式を用いて、コンクリートの圧縮強度を推定します。



反発度を圧縮強度に換算する

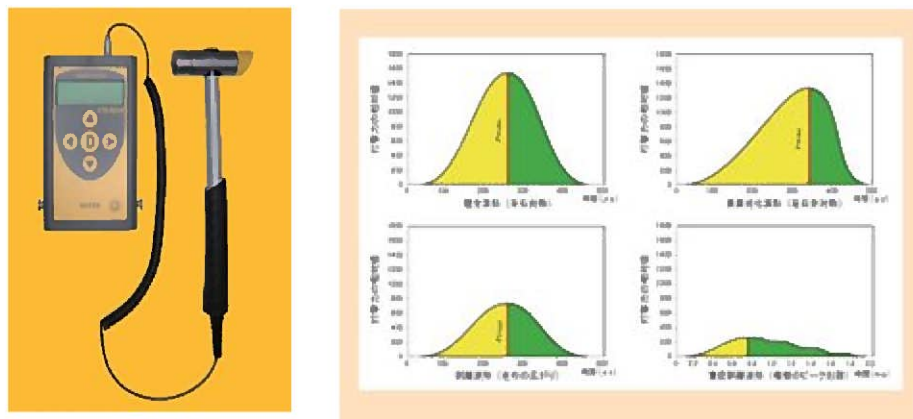
リバウンドハンマーと反発度計測イメージ図

②コンクリートテスター

コンクリート表面をハンマー型テスターで打撃し、その打撃力波形から圧縮強度を推定します。

測定波形例に示す前半部分(黄色)は、ハンマーがコンクリート表面を押している状態です。この間、コンクリート表面が押しつぶされるため塑性変形し、ついで弾性変形が進行します。後半部分(緑)は、弾性変形したコンクリート表面がハンマーを押し戻しつつ、戻る過程です。つまり、後半部分の波形にはコンクリートの弾性特性のみが反映されています。

この後半部分の波形に着目して、表面劣化に影響されないコンクリートの強度を測定するものです。



コンクリートテスターと測定波形例

2)コンクリートの塩分含有量試験

コンクリート中に多量に塩分が含まれると鉄筋腐食の原因となることがあります。広島県内の事例でも高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物では、練混ぜ時に多量の塩分を含む海砂が使用されたケースが確認されており、それが原因で鉄筋腐食を起こしている事例があります。

また、塩分量がそれほど多く含まれていないケースでも、コンクリートの中性化(空気中の二酸化炭素がコンクリートに浸みこんで変質が生じる現象)が進行すると、その中性化前線近傍で塩分が濃縮される現象が起こり、高い塩分濃度になることで鉄筋腐食が発生することがあります。

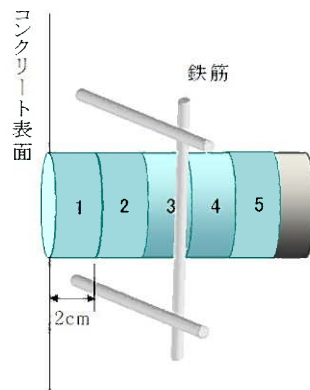
平和の灯は建設が昭和39年と広島県でも海砂が多方面で使用されていた時期にあたり、また、コンクリート表面に貝殻片が確認できることから海砂使用が疑われ、この塩分の影響が懸念される状況です。

したがって、塩分含有量を確認することは今後の長寿命化のために必須ですが、その確認調査のためどうしてもコンクリート片の採取が必要です。したがって、必要最小径のφ50mmのコアをとり、その後は同じセメント系材料で塞いで補修することとします。

採取したコアは室内に持ち帰り、以下の2種の方法で試験を実施します。

① 電位差滴定法

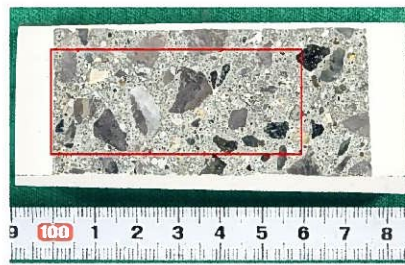
コアを表面から2cm刻みでスライスし、それを微粉碎してから化学処理で塩分濃度を計測します(JIS A1154)。これにより、鉄筋腐食に影響するかぶり相当部分、表面から10cm深さまでのコンクリートの濃度分布を2cm刻みで確認します。



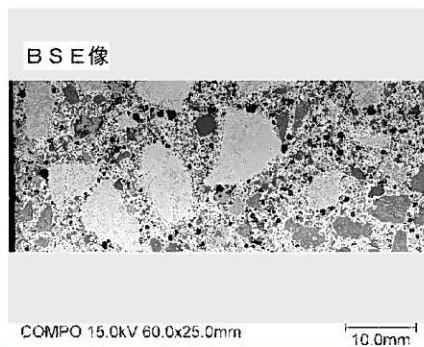
電位差滴定法でのコアのスライスの方法

②EPMA分析による塩素イオン濃度確認(カラーマッピング)

EPMA 分析 (Electron Probe Micro Analysis)とは電子線マイクロアナライザから対象物に電子線をコンクリート面に照射し、発生する特性X線の波長と強度から構成元素(今回の場合ナトリウム、塩素、中性化深さとの関連で炭素)を分析する方法で、カラーマッピング手法で視覚的に塩分分布量を確認するものです。



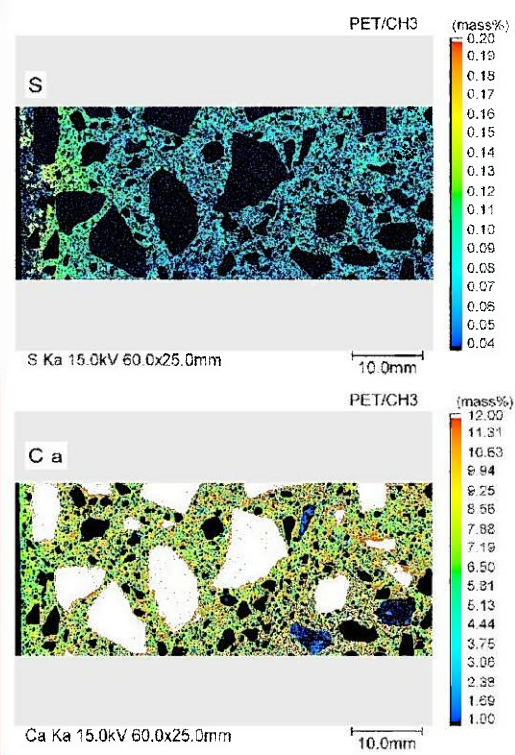
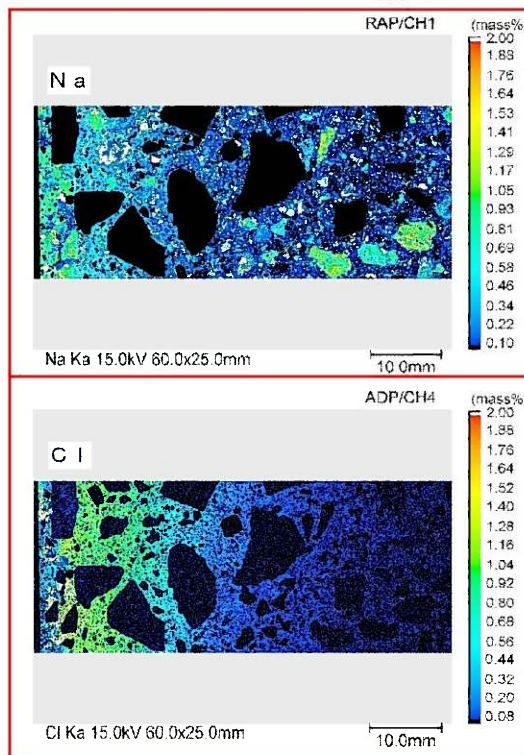
分析範囲（口印）



39572
32235

分析条件

加速電圧	15.0 (kV)
ビーム電流	0.20 (μ A)
ビームサイズ	50 (μ m)
試料電流	0.15 (μ A)
データ点数	(600, 250)
測定ピッチ	100.00 (μ m)
積分時間	60.0 (ms)
分析領域(mm)	(60.0000, 25.0000)



EPMAによるカラーマッピングの例

この例の場合、幅 25mm長さ 60mmのコンクリート面での、ナトリウム(Na)、塩素(Cl)、硫黄(S)、カルシウム(Ca)の分布を色分けしている(赤色が強いほど濃度が高い)

この例では、表面から 4mmほどまではCl濃度が薄く(中性化している?)、その後黄色みがかっていることから深さ 20mmほどまでの塩分濃度が高い(濃縮?)ことがわかる。

3) コンクリート中性化深さ調査

コンクリートは徐々にではありますが、空気中の二酸化炭素と反応して表面側から中性化し変質を生じます。健全なコンクリート構造物ではこの中性化の進行は遅く、問題とならないことが大部分です。しかし、品質に劣るコンクリートや、建設されてから長期となるコンクリートなどで表面から鉄筋深さ位置まで中性化すると、鉄筋の腐食発生の原因となることがあります。

したがって鉄筋腐食との関連を確認する意味から、中性化深さは健全度を評価する上での重要指標となります。

今回、この中性化深さ計測は塩分含有量を計測するためにコアを削孔した後の削孔内面を利用し、フェノールフタレン液をかけて赤く変色する部分を確認する方法で実施します。



コア抜き内面にフェノールフタレン液をかけた例

赤く着色した部分は健全部分で、この例では表面より数mmが着色していない中性化部分です。

また、ひび割れに沿って中性化は内部に向かっていきます。

4) 赤外線サーモグラフィによる うき箇所の調査

外観目視調査班により点検ハンマーによるうき箇所の調査と並行し、離れた位置からの赤外線照射によるうき箇所の調査も行います。この方法は、接近できない構造物の調査では特に有効ですが、それ以外に調査結果がその場で画像確認できるため、その場で劣化進行の全体像が把握できるというメリットがあります。

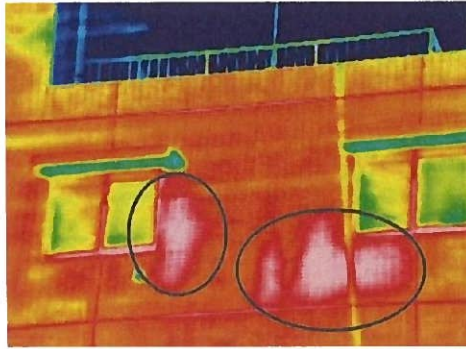


TVS500



TVS700

赤外線サーモグラフィの装置例



赤外線サーモグラフィーによる計測例(丸で囲んだ箇所がうき箇所)

5) 鉄筋探査計による配筋調査

平和の灯については設計図面が見つかっておらず、どのような配筋状況になっているか不明です。そのため、もし鉄筋が腐食し、内部からコンクリートが崩れ始めても、その進行予測が困難で、補修対策も不十分となる懸念があります。

そこで、今回はコンクリートをはつらず、外面側から非破壊で計測調査を行います(ただし、既に鉄筋腐食が表面から見られる箇所はその進行防止を兼ねて部分的にはつり、調査後補修する箇所もあります)。

鉄筋探査計には測定原理によって複数機種があり、それぞれ有利な特徴をもっていますが、今回は以下の3機種を同時に用いて、鉄筋の配筋間隔、かぶり厚などを計測します。



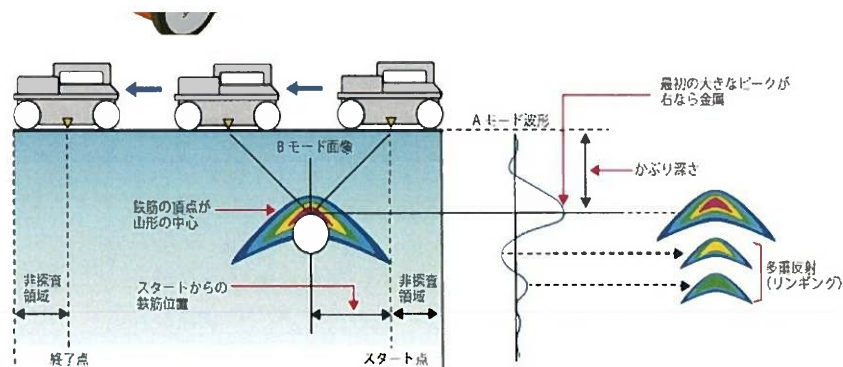
電磁波レーダ法(NJJ)



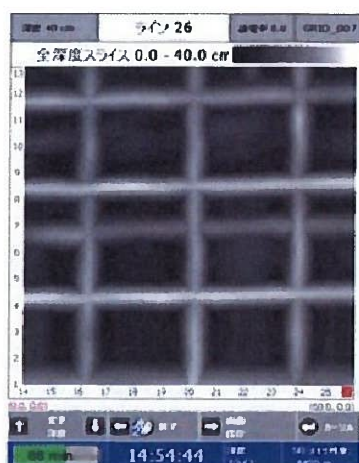
電磁波レーダ法(SIR)



電磁誘導法



鉄筋探査計の原理イメージ図(電磁波レーダ法)

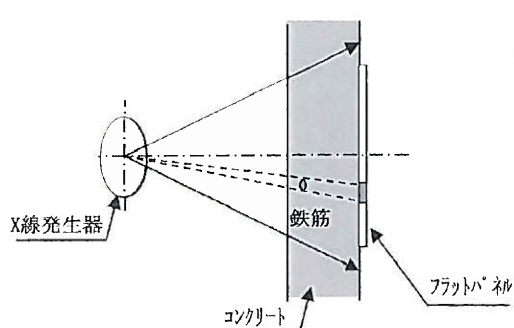


鉄筋探査計による計測画面例と計測状況

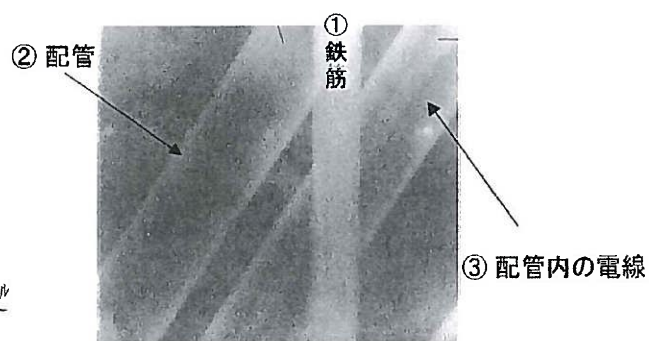
6) X線透過による配筋状況調査

X線発射装置からX線を照射し、コンクリートの背面に貼ったフィルムに内部を写し込むものです。

内部の様子が実態通り確認できる唯一の方法ですが、透過厚さに限界があり厚さ 35～50cm が適用限界とされています。今回の調査では部材厚の薄い、モニュメントの頂版端部で調査します。



撮影方法



イメージ画像



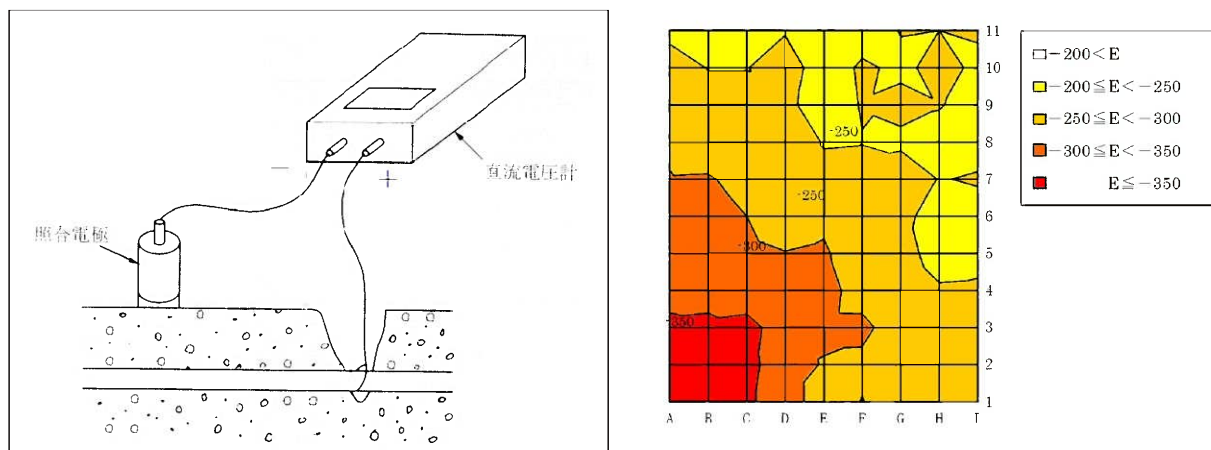
X線発射装置例

7) 鉄筋腐食状況調査(自然電位計測)

平和の灯は現状でも既に一部箇所ですが鉄筋露出が見られ、鉄筋腐食が生じていることは判明しています。しかし、どの範囲まで鉄筋腐食が広がっているかという点については、外観目視からだけでは判断できません。

推定する方法の一つは、鉄筋探索計で確認する鉄筋位置に沿ったひび割れやうきが生じているかということで、間接的に推定する方法です。しかしこの方法では、腐食があまり進行していない状況ではひび割れやうきは現れておらず、判断できないことになります。そのような場合に威力を発揮するのが自然電位法で、鉄筋位置の自然電位を計測することで直接的にその位置の腐食を判定する方法です。

自然電位計測は、既に鉄筋露出している箇所を利用して、電位差計(電圧計)の照合電極端子をコンクリート表面に押し当て、その位置の自然電位を計測するものです。



自然電位計測法のイメージ図と計測結果を平面図の表現した等電位線図の例
等電位線を描き、電位が -350mV 以下の位置に注目する

判定表

自然電位 (E) mV vs CSE	鉄筋腐食の可能性
$-200 < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-350 < E \leq -200$	不確定
$E \leq -350$	90%以上の確率で腐食あり

6. 塗装、塗膜・美観班の調査内容

1) コンクリート塗装膜の調査

現在施されている塗装材、塗膜材の材質、施工法について着目した外観調査を行います。
また、現在の塗装、塗膜を補修することを前提として、課題点はないか確認します。

- ① コンクリート表面の材質を推定
- ② 変状(ひび割れ・浮き・剥落・錆汁・エフロ・汚れ(変色)ほか)の位置、範囲を確認
- ③ 汚れの原因推定
- (④中間壁の塗料(リシン?)片採取、後日使用されている塗料の同定・・・現地で実施判断)

2) 汚れ落とし試験

汚れ箇所の一部を水と中性洗剤で手洗いし、水洗い効果の有無を確認します。

3) コンクリート面の外観維持方法の検討

今後、鉄筋腐食部分の大規模な断面修復補修が実施されることを想定し、補修後の外観を現状と大幅に変更しないためにはどのような技術があるか、現地で検討します。そのための試行として、コンクリート表面の一部にぼかし剤(かんたんボカシ剤)を塗布し、今後経過観察します。

4) ボカシ剤の試験施工

- ① コア採取跡および浮き補修跡に「かんたんボカシ剤」を塗布し、改善効果をみる。
- ② 過去の補修跡の色違い部分に試験施工
- ③ 「安心補修スティック」を用いたひび割れ補修試験施工(状況を見て実施)

以上