

オンサイト調査と当社の取り組み

ここでいうオンサイト（現地）調査とは、各種プラント機器、構造物の現況を把握するために、現地において非破壊的に各種検査・調査を実施することをいう。オンサイト調査は、移動することのできないプラント機器、構造物だけでなく、移動できる部材でも移動に時間、高コストがかかる場合には、迅速性、コスト面で大きなメリットがあるため、適用のニーズが高まっている。

当社では、あらゆる技術を活かしてオンサイト調査に取り組んでおり、ここではその代表事例を紹介する。

E-1

余寿命評価

火力発電や石油・化学プラント機器は、高温・高圧・特殊環境で使用されるため、もちいられている材料の経年劣化は、疲労、クリープ、ぜい化、腐食、水素侵食などの損傷形態に分類される。これらの機器を長期間安全かつ効率的に稼働させるためには、各部材の損傷度を正確に測定・評価し、定期的にモニタリングすることにより余寿命評価をおこなうことが重要となっている。

損傷度を測定・評価するには、機器部材から破壊的に試験片を採取することができないことが多いため、現地で非破壊的におこなう方法がもちいられ、種々の方法がオンサイト調査として適用されている¹⁾。

クリープ損傷、疲労損傷

火力発電プラントのボイラ、タービンロータ、ケーシングや石油・化学プラントの反応炉管、加熱炉管などの部材におけるクリープ損傷、疲労損傷は、定期検査時に現地でレプリカ採取や硬さ測定をおこない、組織試験法や硬さ試験法により損傷度を求め、余寿命評価をおこなっている。（レプリカ採取要領は、E-2「プラント機器部材異常調査」を参照）

レプリカで転写されたクリープポイドや組織、炭化物は、携帯顕微鏡で確認後持ち帰り、光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡で観察し、組織対比法やAパラメータ法などにより損傷度を求める。

写真1にレプリカ法で観察したクリープポイドの一例を示す。また硬さ測定は、現地で横向きや上向きでも測定可能な超音波硬さ計やエコーチップ（電磁式硬さ計）で各部位を測定し、硬さ低下

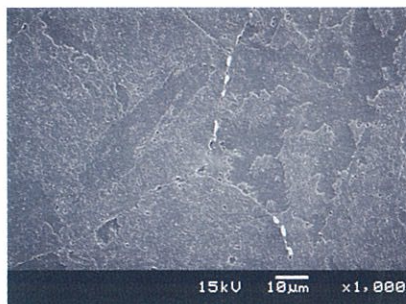


写真1 クリープポイド（白色点状）のSEM観察

量、硬さ比法などにより損傷度を求める。

クリープ損傷、疲労損傷の余寿命評価法は既報を参照されたい^{2),3)}。

腐食損傷

腐食余寿命評価においては、まず現状の腐食進行状況を把握することが必要であり、できるだけ非破壊的に実施することが望ましいが、適用できない場合には機器部材より試験片を採取する。大きなプラント機器では全表面を調査することは不可能であり、重要部位を抜き取りで非破壊的にまたは試験片を採取して調査している。えられたデータを統計手法、腐食量と経年の基礎データ、設計基準などにより解析・評価して機器部材の余寿命が推定され、機器部材の取替えや補修の時期を決める判断資料にもちいられる。

材料と環境の組合せにより腐食の形態はさまざまであるが、孔食の場合は、径、深さが余寿命評価の重要な因子となる。孔食径は、レプリカを採取し、光学顕微鏡などで孔径を計測している。深さは、歯型を採る要領によりシリコンゴム系で型を採り、光学系の深度測定機または三次元形状測定器で深さを測定している。三次元形状測定器で深さを測定した一例を写真2に示す。

腐食余寿命評価については既報を参照されたい⁴⁾。

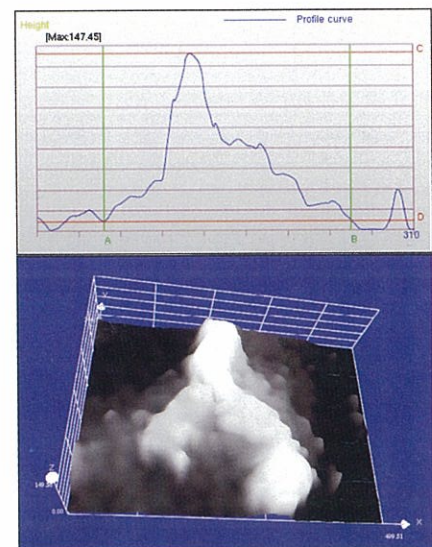


写真2 孔食の断面形状と立体図

1) コベルコ科研：こべるにくす、Vol. 5(1996)、Oct.,p.1

2) コベルコ科研：こべるにくす、Vol. 4(1995)、Apr.,p.1

3) コベルコ科研：こべるにくす、Vol. 5 (1996)、Oct.,p.1

4) コベルコ科研：こべるにくす、Vol. 5 (1996)、Apr.,p.1

火災建造物調査

建造物などが火災を被った場合、当該部材が再使用できるかの評価が必要となってくる。この調査には通常機械的性質の確認とマイクロ組織調査を実施している。機械的性質の確認は引張り試験の実施が確実であるが、建造物を破壊して試験片を採取できない場合は、引張強さと相関がある硬さで評価することができるため、携帯式ビッカース硬さ計、超音波硬さ計、エコーチップを現地での測定姿勢や目的に応じて使用している。エコーチップによる硬さ測定状況の一例を写真3に示す。



写真3 エコーチップによる硬さ測定

火災などで高温に曝された場合、その熱影響は一定の温度以上であれば、マイクロ組織の変化に現われるため、前記硬さ測定とあわせて当該位置のレプリカを採取しマイクロ組織を観察している。(レプリカ採取要領は、次項を参照)

火災を被った部材は、健全部の硬さやマイクロ組織と比較し、設計仕様強度と照らし合わせることで、その健全性を総合評価する。

プラント機器部材異常調査

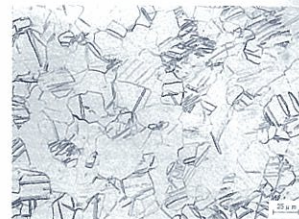
プラント機器の操作中や定期検査時に部材表面に欠陥や組織模様などの異常が発見された場合、現地でレプリカ法により、マイクロ組織調査を実施している。

応力測定

負荷応力

通常、使用中に内圧が負荷される容器類では完成検査として、水圧試験などの耐圧試験や破壊（バースト）試験が課せられることがあり、種々の応力測定の経験を活かして、現地での測定作業を実施している。内圧を受ける代表的な機器であるボイラに関しては、ボイラ構造規格第137条に実施要綱が、また実施方法はJIS B8283に定められているが、近年ボイラ構造規格第137条が改正され、

マイクロ組織調査は通常のラボと同様の手順で被検面を研磨、腐食してマイクロ組織を現出させ、それをアセチルセルローズ樹脂シートをもちいて転写してレプリカを採取している。レプリカは携帯顕微鏡で確認後持ち帰り、光学顕微鏡で観察、写真撮影をおこなう。現地作業では、作業姿勢がラボの場合と異なり、垂直面、傾斜面、場合によっては上向きになり、研磨、腐食に習熟が必要である。とくに、チタン材は研磨による双晶が残りやすく、また組織を現出させる腐食にはふっ酸系腐食液を使用するためその取り扱いに注意が必要である。チタン材マイクロ組織観察の一例を写真4に示す。



健全部と異常部のマイクロ組織を比較することにより、機器部材の健全性を評価する。
写真4 純チタン材のマイクロ組織

製造工程中の異常調査

製造工程中や完成検査の段階で製品の表面に欠陥や組織模様などの異常が発見された場合、その性状を調査し発生原因を究明するため、表面観察や先に述べた硬さ試験、組織試験を実施している。異常部は目視観察や磁粉探傷試験、浸透探傷試験で位置を特定してレプリカを採取し、これを光学顕微鏡でマイクロ組織を観察することによって材料に起因する異常かどうか評価している。たとえば線状欠陥の場合、粒界破壊、粒内破壊の区分、酸化物（スケール）の有無などの性状を確認することによって、その線状欠陥の発生原因、製造工程中の時期を推察することができ、異常発生対策を採ることができる。鍛鋼材異常部のマイクロ組織を観察した一例を写真5に示す。



写真5 鍛鋼材異常部のマイクロ組織

残留応力

耐圧試験の計測は第三者機関によるものとするのが付記されたため、これらの耐圧試験の計測を現地でおこなっている。

また、ガスの配管については、材料の弾性限（降伏点）以下の耐圧試験に加え、破壊試験が義務付けられている場合があり、破壊に至るまでの圧力とひずみの変化の関係を得るため長時間の連続計測を現地で行っている。

鋼製構造物には、その製造過程に発生した残留応力や使用中の外部からの荷重などでひずみが生じ、一般に応力が負荷された状態にある。これらが構造物の寿命や安全性に影響を与えていることはいうまでもないが、とくに大型構造物が製造過程で発生した残留応力を有している場合、使用中に変化していくことが多い。設備の診断技術を確立するためのデータ採取を目的として、現地で一定期間使用後の残留応力を測定している。

水力発電所では定期検査時に現地で残留応力を測定することがあり、その一例を写真6に示す。残留応力の測定は、測定位置にひずみゲージを貼り付け、一般的にはコアドリル法でゲージの周囲に溝を掘って応力を開放し、開放によって生じるひずみの量を測定し、計算によって開放前に存在していたと考えられる応力値を求めている。

ひずみゲージは抵抗線から構成され、開放によ

って生じた寸法変化を電気抵抗の変化量に置き換えて測定する。測定される対象物や目的によって、一軸ゲージまたは二軸ゲージ（直交）が使用されるが、あらかじめ残留応力が最大値を示す方向が不明な場合は「ロゼット」と言われる三軸のゲージが採用されることもある。



写真6 ひずみゲージによる残留応力測定

E-4

腐食付着物調査

原子炉部品についてはその使用環境から、種々の特殊な要求事項を満足する必要がある。原子炉部品では完成品表面（最終洗浄後）の清浄度検査の要求があり、製造現場で検査をおこなっている。検査方法はスミヤ（smear：よごれ）試験と呼ばれるもので、原子炉部品については通常腐食原因となる塩素、ふっ素の汚染状況を検査する。

部品表面に残留している塩素およびふっ素化合物を清浄な濡れたガーゼでふき取り（ふき取り範

囲：例えば0.3×0.3m）、ガーゼに採取した塩素、ふっ素化合物を純水中に溶出させる。得られた溶液中の塩素、ふっ素をイオンメータで測定し、あらかじめ標準溶液で作成した各イオン濃度と電位差の関係より、測定対象溶液中のイオン濃度を測定する。測定結果より、単位面積あたりの塩素、ふっ素量を計算し判定基準（例えば：塩素<0.5mg/m²、ふっ素<1.5mg/m²）と照らし合わせて、清浄度を評価する。

E-5

橋梁の追跡調査

道路橋・鉄道橋は通常塗装による防錆・防食対策が施されている。しかし経年劣化による塗り替えなどの維持管理上の問題があり、耐候性鋼材を使用した無塗装橋梁の適用が拡大している。

耐候性鋼はCu、Cr、Ni、Pなどの合金元素を添加した低合金鋼であり、安定的な錆層を自然に形成させて、その後の腐食進行が抑制されるため塗装せずに構造物に使用される。耐候性鋼は、どんな環境においても使用できるわけではなく、とくに海岸地帯の環境では飛来塩分の影響を知る必要があるため、暴露試験片による環境影響調査、実橋および実橋に取り付けた試験片の経年変化の追跡調査として、第1表に記載した試験を主に実施し

ている。実橋の目視による発錆状態を見本写真と比較し、ある限度以上になる場合、または板厚が設計基準値を下回るおそれがある場合に塗装などの補修が検討される。

当社が実施しているオンサイト調査の代表例を紹介したが、このほかに「環境測定」、「騒音測定」、「振動測定」などの分野でも豊富な実績を有している。当社の長年の経験・実績と培ってきたノウハウを活かしてますます多様化するオンサイト調査のニーズにこたえていくよう、さらなる技術サービスの向上を図っていきたい。

[高砂事業所 高田正良、技術室 村上栄一]

第1表 耐候性鋼の調査内容

調査項目	評価試験	目的	実橋	暴露試験片
発錆状況	目視で見本写真と比較評価	錆発生状況の概観	○	○
	フェロキシル試験	錆安定化の目安把握	○	○
	セロテープ試験	剥離性錆の発生確認	○	○
腐食減量	板厚測定（マイクロメータ、超音波）	残存板厚確認、異常腐食の有無確認	○	○
	重量測定	腐食減量確認、異常腐食の有無確認	—	○
錆の組成分析	イオンクロマトグラフ	塩素イオン濃度確認、環境影響把握	○	○
	X線解析	錆の形態分析と安定化状況確認環境	○	○
環境測定	ガーゼ法による飛来塩分測定	因子の把握	○	○