

## 財団法人 溶接接合工学振興会 第15回セミナー(H16.10.19)

### 「溶接・接合部の経年劣化評価技術」

於 「ゆうぼうと(東京簡易保険会館)」(五反田)

開会挨拶 東京大学名誉教授

野本敏治理事長

総合司会 大阪大学大学院工学研究科長・工学部長 豊田政男教授

#### 1.原子力発電設備の保守管理

関西電力(株)常務取締役 松村洋氏

美浜原子力発電所第3号炉の二次系配管の直径550mm、肉厚10mm、内部を10kg/cm<sup>2</sup>、140の熱水が流れている配管で、減厚部から破壊して蒸気状で噴出し、11名の作業者の内、5名死亡、6名重傷の事故で多大の迷惑を掛けた事に対して謝罪の言葉が述べられた。事故は、平成16年8月9日の午後3時22分に火災報知器が作動し、原子炉は午後3時28分に自動停止した。

事故の原因は、熱水によるエロージョン・コロージョンによる減肉発生で、薄くなった配管部から内圧による破壊が発生したものである。当該配管は、検査登録漏れで、28年間検査していなかったもので、平成3年からの三菱重工(株)による点検でもリストアップもれ、平成8年からの日本アム(株)移管後でも配管立体図に記載もれがあった。定期検査項目は120項目あり、その中で1項目のみ外部に移管していた。今回の事故で、1箇所でも抜け落ちがあると、一切無に帰する事が明確になった。今後、経年劣化を考える時に「リストアップ漏れ」がキーワードとなると考える。今後は、原子力事業本部長は社長が担当し、先頭に立って原因究明、再発防止に取り組む意向が表明された。

具体的な対策として、「表示札」をつけること等による「二次系配管肉厚管理における外注管理の強化」を行い、記録に残し、必要な時にデータの提出できるようにしている。また、外注に任せきる事無く、現場を専門的に見る担当者をおき、更に外注先との対話不足の防止に努めていくことに決定した。

今後の課題としては、原因究明のための課題(破壊メカニズム、2次側プラントシミュレーション、破壊箇所の影響範囲の調査) 品質保証の観点からの調査 二次系配管管理の更なる充実 等を検討する。また、本件に対して、経済産業省から品質保証、保管管理システム評価、技術基準達成の問題等で厳しい評価を受けている。

原子力プラント管理については、各プラントが築後30年を超えており、全体に古くなっているが、今回の事故は、高経年化に伴って発生したものでなく、管理リストからの漏れが原因である。また、原子力機器については、その99.9%はプラントの補修、取替は可能である。取替困難な機器に欠陥が発生しても補修が充分可能であり、総合的に考えて原子炉の設備寿命としては60年間は使用可能と言える。

#### 2.火力発電設備の余寿命予測

九州工業大学教授 増山不二光氏

火力発電設備について、発電設備の設計寿命と損傷、損傷の実態と寿命予測の実態、及び設備維持基準・規格の動向について解説された。

設備寿命については、クリープを起こさない温度域以下の低温(Cr-Mo鋼では450~470以下)で使用される機器は、適当な安全係数を掛けた降伏強さ、引張強度、疲労強度で設計され時間依存性はないが、クリープ温度域で使用する高温機器の場合は、通常、10万時間当たりの許容ひずみあるいは破断強度を目標とする寿命で設計され、ほぼ30~40年位と考えられているが、機器の実寿命は各種要因により延長又は早期廃却等に繋がることがある。

損傷の実態と寿命予測の実態について、クリープ損傷は、主として溶接部(特に、溶接熱溶接部)に発生している。特に、タイプ(溶接熱影響部粗粒域に発生した損傷)、タイプ(溶接熱影響部細粒域~部分的に変態したイタケリ領域に発生、成長した損傷)があり、タイプが最重要視される。米国でのE112号の例は典型的なタイプの例である。劣化損傷について、炭化物と硫黄の偏析によるクリープホップが生成し、微小亀裂に進展するメカニズムについて解説された。クリープ損傷の検出法として非破壊方

式による欠陥検出法では、特殊超音波探傷法(TOFD)、アコースティックエミッション法、組織変化を検出するレゾナンス法が採用され欠陥検出の精度向上も進んでいる。クリープ変形レベルとして最近提案されたものが法は簡便であることから今後発展する可能性が大きい。特に、蒸気温度が 600 と高くなると従来の Cr-Mo では対応できず、9Cr、12Cr 鋼を使用することになり、溶接部のクリープ強度の低下が問題となってくる。

設備維持基準については、ASTM に保守管理を目的とした基準・規格発行のための委員会(PCMC)が発足し、設計基準を制定している。最近、API 維持基準(API579)として設備維持規格(Fitness for Service)が作成されており、ASME 規格に取り込まれる予定である。また、損傷の発生確率と重要度によって検査の対象や時期をきめるリスクベース検査規格(RBI)について紹介された。

### 3.非破壊検査技術

石川島検査計測(株)技師長 荒川敬弘氏

構造物の老齢化が進み、保全コストの増大も懸念され、より合理的な保全手法として、リスクを考慮に入れた RBI(Risk-Based Inspection)は合理的な保全手法として国内でも適用が進められている。また、非破壊検査を適用することでリスクを軽減するか、合理的にリスクを低減するために、適用する非破壊検査手段の定量化が求められている。

非破壊検査手法としては、液体浸透探傷試験、磁粉探傷試験、放射線透過試験、超音波探傷試験があり古くから多用されている。これらの中で、板厚の影響を余り受けない超音波探傷試験の定量化に関して、世界 15 国国の共同研究が行われている。また、原子力圧力容器の供用期間中検査に適用する手法として ASME 規格に準ずる手法が行われ、更に新しい評価原理に基づく手法の評価も行われている。

超音波探傷試験による面状きずの検出法として、タゲル探傷(A Type scans)を適用している。また、TOFD 探傷も行われており、これはきずの端部で散乱するエコーの伝搬時間を求めて、幾何学的にきずの端部位置を求める方法である。また、フェーズドアル探傷法の適用も進められており、これは微小分割した素子を並べ、それぞれを独自に励起させて探傷する方法である。フェーズドアル探傷では、ビームの進行方向を任意に変えるセクタリにより、電氣的に高速で斜角探傷の屈折角を順次変えた探傷を行う事も可能である。

更に、非破壊検査方法の多様化も行われ、石油タウの底板の腐食状態を稼働中に監視する手法としてアコースティックエミッション(AE)法、保温材で覆われた配管や埋設管などで、一部露出した部分や保温材等を一部のみ撤去した状態で配管の状態を監視する方法としてガイドウェーブ探傷法、塗膜や酸化皮膜で表面が覆われた場合にそれらを除去することなく表面検査する方法として交流磁場測定法(ACFM)が提案されている。また、高温探触子による高温環境での監視技術(減厚監視、流量監視等)についても解説された。

以上、構造物の経年劣化に関連した非破壊評価技術として、各種の非破壊試験法により定量的に評価することが重要になっている。近年適用が盛んになってきている TOFD 法、フェーズドアル探傷法、更には、アコースティックエミッション法、ガイドウェーブ法等についても今後定量的な評価が期待されている。

### 4.鋼道路橋における溶接部の非破壊検査技術に関する最近の取組

独立行政法人 土木研究所 橋梁構造チーム上席研究員 村越 潤氏

鋼橋の製作時の溶接継ぎ手の非破壊検査技術に関する土木研究所の取組、即ち、鋼橋における疲労損傷事例、非破壊検査技術に関する研究として超音波探傷法の研究、突合せ継ぎ手の溶接欠陥、鋼製橋の隅角部の溶接欠陥、鋼床版の疲労亀裂への適用性等について報告された。

鋼桁橋(主桁)における損傷実態としては、塗装劣化と腐食が中心で、疲労破壊事例としては鋼橋では、1980 年頃より文献等で報告始めており、当初はソリッド吊材、桁端部円弧状切欠部等特殊な構造部位に発生するものであったが、その後、主桁、横桁の接合部、鋼床版等の一般的な構造部位に発生事例が増加し、更に、最近では鋼製橋脚の隅角部の未溶着部から欠陥が発生している。

下向突合せ継ぎ手の非破壊検査技術について製作施工の合理化に関する共同研究を板厚 40mm から 100mm 迄の CO<sub>2</sub> 下向き多層盛溶接試験体で行い、超音波自動探傷法(AUT)の性能確認のために、検出システムとして 18 システムが参加して検討した。厚さの 1/6、即ち t/6mm 以上の傷の検出性能を確認しており、多層盛り溶接の内部傷の許容寸法として t/6mm を提案した。この研究成果は H14 改正の道路橋施工基準に「多層盛り溶接の内部傷の許容寸法」として織り込まれている。更に、超音波自動探傷検査要領(案)の提案を行った。

鋼製橋脚の隅角部の非破壊検査技術については、フェイットレイ法の適用及びその他の超音波探傷法について研究をおこなった。内容としては、隅角部の構造、発生傷の整理、探傷法の基礎調査をフェイットレイ法も含めても実施した。性能評価に参加した探傷システムは 16 種類で、板厚範囲は、18mm ~ 88mm の範囲で、性能確認には 40mm の試験板を作り実施した。今後の課題としては、欠陥検出性能の向上が必要である。

更に、鋼床板の疲労亀裂例として、デッキプレート(U リブ 付き)の亀裂の検出例を報告され、表面 SH 波法では 3mm 以上の傷を検出可能であるが、クリップ 波法ではかなり困難と報告された。

## 5. 鋼橋の補修・補強技術と予防保全

(株)横河ブリッジ 技術研究所第一課長兼実験センター長 寺尾圭史氏

鋼橋の損傷事例、鋼橋の補修、補強技術、点検・モニタリング 方法、予防保全の考え方について講演された。

鋼橋は、約 6 万橋(全長 4,000km)あり、形式としては、隅田川に架かっている橋についても、プレートガーダ橋(言問橋 S3、両国橋 S7、隅田川大橋 S54)、トラス橋(相生橋 H11)、アーチ橋(吾妻橋 H6、駒形橋 S2、永代橋 T15)、斜張橋(新大橋 S51、中央大橋 H2)、吊り橋(清洲橋 S3、レイボ -ブリッジ)、と架橋年代の古いものから新しいものまで各種の橋梁形式があり、その損傷には、亀裂、腐食、変形、ボルト・リブのゆるみ・脱落、床版の損傷、支承の損傷等がある。それらの具体的な例、補修方法について写真で報告された。また、TIG 処理によるすみ肉溶接部で仕上げについても報告された。

架替えの理由は、統計上では床版破損が 67%、腐食が 26%で、疲労による架替えはすくないが、疲労による亀裂発生は、原因が進行性であり、緊急対応が求められるために架替えに至ることが少ないためと考えられる。

これらの損傷に対して、管理機関では、日常点検、定期点検、臨時点検、その他等に対応しており、それぞれの管理機関(国土交通省、JH、首都高速、阪神高速、JR)等では、それぞれ具体的な点検要領を定めている。

亀裂の検出については、塗膜中に染色材を封入したマイクロカプセルを混入しておく方法(船舶では実用、橋梁では試用段階)、疲労センサーを取り付けてモニタリングする方法、塗膜の劣化については塗膜画像を Paint View(JH が開発)に入力して把握する方法等が適用されている。腐食環境のモニタリングには ACM 型センサー、遠隔地モニタリングシステムが適用されている。

予防保全については、各管理機関において、橋梁管理データベース及びマシントシステムの整備が進められており、国土交通省の BMS(橋梁マシントシステム)、日本道路公団では、RIMS(道路保全情報システム)、また、米国では、PONTIS(橋梁マシントシステム)が約 50 機関で可動中である。国土交通省に提出された「道路構造物の今後の管理・更新のあり方」提言によれば、我が国の道路構造物の高齢化が進み、大規模な更新時代の入り口にさしかかっており、更新時期の平準化、補修・更新費用の最小化等、将来ビジョンを見据えて、現在の技術の粋を結集して総合的なマシントシステムを作ることが必要であるとされている。

(以上)