日本における X 線応力測定の実況*

蒲 地 一 義** 白 岩 俊 男***

The Present Status of X-Ray Stress Measurement in Japan

by

Kazuyoshi KAMACHI

(Faculty of Engineering, Yamaguchi University, Yamaguchi)

and Toshio SHIRAIWA

(Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Ind., Ltd., Amagasaki)

1 緒 言

材料学会に X 線応力測定部門委員会が創設されて十年になる。初代小島公平委員長で発足したこの委員会で、X 線応力測定法の再検討と普及に力が入れた。その当時、測定技術標準化分科を作成してアンケートを募った。当時のアンケート集約も著者の一人が行なったがまだ、実験室において使用されている X 線回折装置の窓の一つを背面反射カメラに割愛した、という程度のところが多かった。そして回折環の半径をだすのにグラススケールで環径を測定してそれから半径を求めているのである。マイクロフォトメータは高価で充分の普及がなされていなかったし、そのころまだ理研製の平行電極間に細い糸を張って光量を変換した電圧をかけて、糸を振らせ、その影を乾板に撮影するタイプのフォトメータが活躍していた。その後 X 線の材料強度研究に応用される範囲が拡まるにつれて委員会も X 線材料強度部門委員会と改称する事となった。そして、応力測定分科、疲労分科、金属材料分科、非金属材料分科の四分科が下部組織として置かれ分科活動が始まった。

小島委員長は大阪大学名誉教授となられ、京都大学平 修二教授が二代委員長となられ、材料強度研究への X 線の応用が強化されるとともに、応力測定の技術、手法および測定値の解釈における全国統一構想が打出され、持廻り試料による測定値のバラツキと原因調査が始まった。材料強度方面での研究は細束 X 線を疲労の研究に導入されて一つの分野が進められた。細束 X 線技術は始め物理学的な一つの手法として用いられる

か、または fibre の研究に用いられていたのを著者等がぜい性破壊の破面研究に応用して試行していたものであった。細束 X 線法の応力測定への応用も目下研究されつつあって微小領域の応力測定が可能になるものと思われる。

これらの過程で各種の装置も著しい変化をとげた。昭和四十四年に機器分科会が新たに併設され、各種の装置の新訂などに使用者の意見を強く反映し、またメーカーの苦衷も使用者に遡る機関として、調査その他を行なう事となった。

ここにおいて従来からなされていた応力測定の統一企画は機械装置自身の誤差、取り扱い、および構成の上においても正しい測定が行なえるよう再検討されることとなった。そしてアンケートを募り装置の使用状態の調査を行なったところ、90%近い回答を得た。この調査結果を集約して報告する。

2 集約の結果

アンケート設問については応力弾性分科白岩主査と並川幹事の下で検討作成された。設問は 30 問あり、①(1)~①(11)は X 線応力測定装置の普及およびその形式、回折像の記録方式などに関するものであって、X 線応用測定法のポテンシャル性を表わすものである。②(12)~②(21)は応力測定に関する設問であって、測定の具体的方法に関する技術レベルを示すものである。また③(22)~③(30)は被測定物の種類形状および測定の実用に関する設問であり、今後の装置設計および X 線応力測定法自体のあり方に関する内容を示す重要なものである。

以上の 30 問に対する回答を集約すると、まず①(1)~①(11)に対して、99%が最低一台から三台までなんらかの装置を有しておられ、しかもそのほとんどが応力測

* 原稿受理 昭和46年9月9日

** 正 会 員 山口大学工学部 宇部市常盤台

*** 正 会 員 住友金属(株)中央研究所 尼崎市西長州本通

定専用機であった。この事は応力測定法ならびにその装置がいかに普及したかを示すものであって、同時にX線応力測定法が漸く軌道にのってきた事を示す指標となるものである。今までの潜伏期間が長かったため、今後本当の意味での測定と活用は急速に行なわれるようになると考えてよい。その内容を具体的にかつ簡潔にまとめるならば次のようである。

2・1 装置に関する回答の集約

2・1・1 装置の普及 X線回折装置以外に応力測定機を少なくとも一台所有しておられるところが多く、Cr, Co の対陰極管をもっている。検出はほとんどG. M. tube を使用しシンチレーションカウンタ使用のところも若干あった。これは検出器自体による撰択でなく価格による撰択であると考えられる（もっとも、シンチレーションカウンタが絶対にG. M. 計数管よりすぐれているという明らかな理由はないが）。回折像はほとんどチャート自動記録方式を採用し、少数例がプリントアウト方式で回折強度を読んでおられた。

2・1・2 測定装置の問題点とメーカーへの要望

測定装置に対しての問題点およびメーカーへの要望事項については比較的意見が狭い範囲に限られていて、突込んだ意見は少なかった。その理由は、なおこれら装置の利用が試験的なものであって、本格的な材料強度、特に on line での使用は充分でないと読みとれる節がある。最も多い問題は次のようであった。

測定機本体が大きすぎて、一寸、使用し難い面がある。形状複雑な場合の測定に困難を感じる。形状複雑な場合は、曲率の大きい凸面や凹面の測定に際してX線照射部の表面の垂線が判らないので入射角の決定が難しい、切欠き底、歯車の歯底などの場合は表面の垂線は測定できても反射X線を捉える事において機構的に困難がある。ことに測定機の本体が大きいとかかる場合に取扱いがなかなかうまくいかないという事であった。

2・1・3 測定機の自動化と電算機直結 測定機の自動化と電子計算機直結の方式については測定機の全自動化は望ましいとする方向であって否定的意見は皆無であった。しかし、今の装置の価格から考えると恐らく高価になるであろうと想像して、比較的低廉で設置できるという事は全部の一致した要望であった。100万くらいという具体的な価格の希望をかかれた回答もあった。つまり現在の装置を購入するのが手一杯であるという感じをもっている事が読みとれる内容であった。

データ処理に関して電子計算機直結等の自動化は、否定的意見が強く、回折図形のチェックが絶対必要であり、電算機直結方式によって隠された情報を見逃す恐れがある。特に心理的には計算機の回答を信用し易

くかつ便利であるので途中の考察や結果に対する理由の裏付けなどが稀薄になる事があげられている。すなわち、応力が精度よく測定されるためにはかなり良好なプロファイルでなくてはならない。プロファイルが、粗結晶や聚合組織のために応力測定に充分でない等の場合には、それを選別して除くとともにそれを利用して被測定対象の状態や処理過程を考えるのであるが、それらに対する考察、あるいは得られた測定値のよってくる理由に対する裏付けがなされなくなるという事を恐れているものである。この選別までを行なうのであれば話しは別であるが前に述べた低廉な価格という点での希望とは、すぐには一致しないように考えられる。

2・1・4 現場利用について 現場利用に関する装置構成がしっくりしていない点が問題になっているが、メーカー側としても、多品種少量生産は価格高、人手の問題で困る事であって、この間の折合点が難しい。基本構造の装置を作って、適当なアタッチメント、治具または専用架台を作るなどによってある程度は cover できると思われるが、被測定対象が次に述べるように千差万別である以上、これだけで解決されるとも思わない。著者らの意見としてはX線管球ケース、ゴニオ、計数器レートメータ、その他のエレメントの部分販売をメーカーが認めるならば、各自の要望に応じた装置を各自で組上げる事などが充分満足できる方法の一つではないかと考える。機器分科会としては、メーカーあるいは各測定者の要望によって被対象物とそれに適応する装置構成のまとめ、組み合わせに相談する機関たり得る事もその機能の一部と考えているので利用されたいと思うところである。

2・2 測定対象について

測定しようとする対象物の形状は大概は次の分類に網羅される。

I. 被測定物の形状

A. 試験片

板状 10 mm × 50 mm ~ 60 mm × 200 mm,
厚さ 1 mm ~ 10 mm

丸棒 10 mmφ, 長さ 200 mm くらい
その他大型試験片がある。

B. 機械部分品

小形 10 mmφ 軸, リング, 軸受レース, ボルト等各種機械要素。
直径 0.5 ~ 1 mmφ の細線。

中形 円筒 (シャフト, その他), 車軸, 歯車 (module 10 以上), 特に歯車の歯底の円周方向, 車輪 (鉄道車輛用), プーリー, 車軸のアーム, ブッシング, 工具, トーションバー, パイプ (40 mmφ ~ 150 mmφ), クランク軸, その他。

Fig. 1. Examples of difficult point for stress measurement.

大型 圧延ロール, 熱交換器, クランク軸 (大型), クランクアームの隅, 船体構造物, 圧力容器, 橋梁

被測定物の測定箇所で困惑するところ

三次元曲面, 切欠き底, 隅部
曲率の大きい凸面または凹面
小形リングの内面, ボール

II. 被測定材質

材質は鉄鋼が全体の50%を占め, 高合金, 合金鋼, アルミおよびアルミ合金, 銅および銅合金, がそれにづく. その回答数の和を 100 として回答数を%で表わすと次のようになる.

◎鉄鋼

○炭素鋼 48%

低炭素鋼—構造用鋼	
30%	表面硬化鋼 (焼入れ, 高周波焼入鋼)
中高炭素鋼	軸受鋼
50%	工具鋼
低合金鋼 高張力鋼その他	
12%	
鋳物	
8%	

○合金鋼および高合金 38%

ステンレス	70%
その他 (Ni 合金等)	30%

◎アルミおよびアルミ合金 7%

◎銅合金 5%

◎その他 2%

□は各種を 100%としたときの%

2・3 応力測定に関して

応力計算は $\sin^2\psi$ 法により, 測定点数は 4 点測定がほとんどであるが 5 点ないしはそれ以上測定するという回答もあった. また $0^\circ-45^\circ$ 法を採用するところも少なからずあったが $\sin^2\psi$ と比較して大きい違いのない結果を得る場合, 測定時間短縮のため 2 点法としているようである. 弾性係数は炭素鋼に対しては $E=21\,000\text{ kg/mm}^2$ を 100%採用しているようであるが, ステンレス鋼合金等に対する E の値の回答はなく, 適当な値をやはり求めて置く必要がある. ポアソン比も例外なく $\nu=0.28$ であった. 写真法を併用していられるところは案外多く, その目的は材料によっては応力測定を写真法で行なっているほか, 大略の回折線の状況を検討するために写真をとっている. これは誠に正しい方向であると思われる. 一般的にスポッティな回折線を写真法で, その回折環のバックグラウンドから求められているようである. 回折線がきわめて拡散した broadened line のときと spotty line のときの工夫についてはきわめて有効と思われる手法についての案は示されていないかった. Spotty な場合, 試料揺動を行なうという回答は二, 三あったが, きわめて平滑な場所に限られた場合にのみ, 可能であると考えられる. Broad な場合, 定計数法または定時計数法を採用すればよいと思われるが従来の応力測定装置でその方式を備えたものが少なかったようである.

X線強度を上げることでも有効であろうし, 回折線の形状をほう物線近似 (3点~5点) することも有効であるが, 半価幅が $5^\circ-6^\circ$ もあるような場合, 当然回折線の極大部の強度は低く, 充分の計数時間を与えたステップスキャンニングがやはり有効であろう.

測定に関する設問で、どのような情報を抽出し、どう利用するかという事、および技術上解決すべき問題、測定値の解釈、等はほとんどがその回答を避けておられる。これは研究上の秘密に属する事柄であるからと考えている。実際そういう意味の事をかかれたところもある。

要するに技術的には、spotty ring の場合ときわめて broad な回折環の場合の考え方と、それに対処する方法が今後の研究課題であるとともに、いかなる場合に应用して有効であるかという事と、得た結果が何を意味するかという事が今後の研究の主題となるであろうと考えられる。

3 測定の目的

2・1に集約した装置をもって2・2の測定対象に関する測定を行なう目的はおおよそ次のようである。

3・1 品質管理および技術管理としての測定

応力の絶対値は必要である。しかし、絶対値よりも、たとえば焼割れを起こした場合と起こさない場合の熱処理条件と応力の測定値のデーターの堆積によって、適当な焼入条件が見い出される。という技術管理上の用法が大きい使用用途であるように思われる。また製造中間工程での測定によって加圧履歴の適否の検討、製造および加工方法の検討ができるという品質管理的利用がこれについて大きい使用用途である。かかる場合できれば on line において測定し、測定値の精度向上は是非必要であるがまず再現性に重点を置き、あらゆる機会に判定法と精度の向上に努力するという考え方である。

3・2 材料強度評価法および保守検査としての測定

機械構造物の使用における測定によって残留応力がどう変化するかという事はきわめて重要なことである。回折線の半価幅の変化と残留応力変化を系統的に

行なう事によって疲労寿命の推定、応力腐蝕寿命の予測、その他の強度評価が行なわれる。広い範囲でこの種のデーターの堆積を行なえば、破壊事故防止が徹底するであろうと考えられる。

3・3 材料検査、破壊原因の推定法

残留応力の除去が充分であったかどうか、焼入れが充分に行なわれたかどうか、等の検査と方法の改善に用いて著効があり、強度の保証範囲の検討、加工法の適否等検査手段として有効である。また破壊事故原因の推定に用いて成果を収めている。

特に金属組織学的には金属相間応力の測定、析出、変態等による内部応力の発生などについては、他の切出し法等によっては測定はできないのであって、X線法によってのみ正しい測定ができる事をもっと重視せねばならない。格子面間距離の変化を、しかも局部的に測定する方法が金属学的に応用されないのはおかしいのであるが、従来は組織と応力が別の分野でそれぞれ議論されていたためである。これは今後のX線応力測定の一つの進路であることは疑いない。き裂先端部の塑性変形と応力の問題など現今研究されつつあるが、今後あらゆる場合について用いられ、大きく応用分野を広げることになるであろう。

4 む す び

以上「X線応力測定に関する調査」のアンケート回答を集約した結果について述べた。設問は応力弾性分科にお願いし、集約を残部分科で行なったが充分の内容のある資料となったと思う。結果の集約はできるだけ回答に忠実に行なった。今後この回答を参考にさせていただいて、一層の装置の改善進歩と、研究の進展が行なわれれば幸いである。ご協力いただいた各位に深甚の謝意を表したい。