塗料による圧縮應力の測定*

西原 利夫**, 平 修 二**, 前田 春興***

Compressive Stress Determination by Brittle Coating

by Toshio NISHIHARA, Shūji TAIRA, and Haruoki MAEDA

On the stress determination of machine parts, it is necessary for us to know not only tensile stress but also compressive stress. Of the tensile stress determination by brittle coating we have reported in the previous paper. For measuring compressive stress, we utilized the phenomenon that the coating on the surface of machine parts under load relaxes within an hour. That is, the machine parts are loaded in compression and during this condition is maintained the relaxation proceeds in the coating. After the duration of about 50 minutes the coating becomes free from stress. On leaving the load, the machine parts tend to revert to the initial condition and then the tensile stress occurs in the coating. Thus minute cracks break out in the coating as in the case of direct method (tensile stress determination). The mode of qualitative as well as quantitative analysis of compressive stress is analogous to that in the case of tension. A few of examples experimented are shown.

1. 緒 言

応力測定の問題は、最近、各方面で重視せられ、測定方法に関しては非常な発達をとげた。塗料による歪測定法もその一つで、殊に米国において、広く用いられているようである。われわれも、塗料による歪測定の研究を行ってきたが¹⁾、従来の研究は引張歪の場合に限られていた。しかし、構造部分には、圧縮応力を受ける部分が必ず存在するので、圧縮応力の測定が可能であることを確かめる必要がある。本報告は、塗料による圧縮応力の測定に関して行った研究結果について述べたものである。なお、歪塗料を塗布したときの、塗膜の乾燥程度を正確に判定することは、実験開始の時期を知る上に、また、歪の定量的測定にも必要な事柄であるので、これについて簡易な方法を考案したので、この研究結果をも併せて報告する。

2. 塗膜の乾燥程度の判定

塗膜の乾燥程度の良好なときには、歪感度が上昇する。すなわち、より小さな歪で最初の龜裂が発生する。塗膜の乾燥程度に影響をおよぼす因子として考えられるものは、塗膜の乾燥温度、乾燥時間および塗膜の厚さであり、これらの条件の異なるときには、塗膜の乾燥の度が異り、従つて、龜裂の生ずる最小歪が変化する。そこで、これらの因子の乾燥の度におよぼす影響をし

らべたのであるが、この場合龜裂の生ずる最小歪によつて、乾燥程度を判定した。

この実験に当つては、乾燥温度を 60°C として一定に保ち、乾燥時間を 4 時間、6 時間および 8 時間の三つの場合について片持梁を用いて実験を行い、その結果を Fig. 1 に示した。すなわち横軸に塗膜の厚さを

Fig. 1

とり、縦軸に龜裂の生ずる最小歪をとつた。この図によりわかるごとく、一定の乾燥時間および乾燥温度では、塗膜の厚さが小さくなれば龜裂の生ずる最小歪は小さくなり、又一定の塗膜の厚さでは乾燥時間が長くなれば龜裂の生ずる最小歪が小さくなることわかる。この実験では、同じ厚さの塗膜を有する 7 本の試験片について数種の厚さの場合につき試験したが、龜裂の

* 原稿受付 昭和17年12月15日

** 京都大学工学部機械工学教室

*** 立命館大学理工学部

生ずる最小歪としては、その算術平均値をとつた。この時の測定値の範囲を示すために「……」の記号によつて算術平均値の推定確率誤差をあらわした。

次に塗膜の乾燥程度を判定する装置として Fig. 2 に

Fig. 2

示すような振子装置を考案した。すなわち二個の鋼球を塗膜に接触せしめ、その接触点を支点として振動せしめ、この振子の振動の減衰時間を測定することによつて、その塗膜の乾燥程度を知る方法を採用した。なおこの振子装置の寸法を Fig. 3 に示す。かくのご

Fig. 3

とき振子装置を使用すれば、乾燥程度が同じであつても、塗膜の厚さの大小が振子の減衰時間に影響を及ぼすので、塗膜の厚さを様々に変えて、その影響をしらべ

た。この場合、乾燥温度を 60°C で一定に保ち、これらを夫々乾燥時間 4 時間、6 時間および 8 時間の三種にした場合の試験片について、この装置を用いて実験を行つた。この結果を Fig. 4 に示す。この図の減衰時

Fig. 4

間とは振子の先端の画く弧の長さが 60mm より 30mm まで減衰するに要する時間である。この図によれば、乾燥時間および乾燥温度を一定にすれば塗膜の厚さが小さくなれば減衰時間が長くなることがわかる。今、乾燥程度をあらわすために乾燥時間の代りに龜裂の生ずる最小歪を用いると、以上の Fig. 1, 4 より Fig. 5 のごとき関係が求められる。すなわち塗膜の厚さ 0.07

Fig. 5

mm, 0.10 mm および 0.15 mm の場合について縦軸に片持梁より求めた龜裂の生ずる最小歪を示し、横軸に減衰時間を示した。これによつて、両者の関係は塗膜の厚さが一定のときには略々直線的であることがわかる。従つて、この図により減衰時間と塗膜の厚さがわかつておれば、塗膜に龜裂の生ずる最小歪すなわち乾燥程度を定性的に知ることが出来る。かくのごとく、振子装置を使用することによつて、塗膜の乾燥程度を簡便に知ることが出来るから、既に報告した引張応力の測定のみならず、次のべる圧縮応力の測定に際し

ても実験の実施が容易となつた。

3. 圧縮応力の測定

(a) 測定方法 歪測定用塗膜は引張歪によつて龜裂を生ずるものであるが、塗膜に生じた応力は比較的短時間で Relaxation をするので、この特性を利用して、圧縮応力を測定した。すなわち試験すべき材料の表面に、歪塗料を塗布して、引張の場合と同様にして乾燥せしめる。乾燥後、この試験片に圧縮荷重を加え、このまゝにして数十分間放置する。時間の経過と共に、塗膜においては Relaxation が行われ、塗膜に生じた圧縮応力は減少してゆく。かくして Relaxation が完全に行われた後、荷重を取除くと、試験片は元の状態に復する。ゆゑに塗膜には引張応力を生じて、これによる引張歪のために塗膜に龜裂を生ずる。この龜裂によつて、引張応力の測定の場合と同様にして、圧縮応力を測定することが出来る。

(b) 測定結果 上の方法で、塗料によつて圧縮応力を測定することが出来るが、その場合、時間の経過と共に塗膜において Relaxation が如何に進行するかを明らかにする必要がある。Relaxation の進行に大きな影響をもつものとしては塗膜の厚さ、試験時の温度および与えられた圧縮歪 ϵ_0 の大きいさの三つが考えられるが、片持梁の圧縮側に塗料を塗布して、夫々の影響を別個に吟味してみる。

(i) 塗膜の厚さの影響 上述のごとく、塗膜の厚さの如何は、龜裂の密度に影響をおよぼすので、試験時の温度および予め与える圧縮歪の大きいさ ϵ_0 を一定にして、種々の厚さの塗膜の場合について龜裂の密度 (2 mm 間に塗膜に生ずる龜裂の数) を実験によつて求めた。すなわち試験時の温度を 30 °C とし、圧縮歪 $\epsilon_0 = 0.15\%$ を与え、そのまゝの状態を夫々の試片について 10 分間、20分間および30分間継続させ、その後荷重を取除いて塗膜に龜裂を生ぜしめた。この実験結果を Fig. 6 に示す。この場合に夫々同じ厚さの塗膜

Fig. 6

を有する 8 本の試片の平均値を求めた。なお、この図において比較のために引張試片に 0.15% の引張歪を与えた場合に得られる龜裂の密度をも併記した。この実験によつてわかるごとく、試験時の温度が 30 °C のときには 10 分間では Relaxation は充分でなく更に時間の経過と共に進行し、30分間圧縮荷重を加えていると、塗膜の厚さの如何に関せず完全に Relaxation をしたことがわかる。

(ii) 試験時の温度の影響 塗膜の Relaxation の進行状態は試験時の温度に大きな影響を受けると考えられるので、塗膜の厚さおよび与える圧縮歪 ϵ_0 を一定に保つて、温度を種々変えた場合について、龜裂の密度を実験によつて求めた。すなわち塗膜の厚さを 0.10 mm とし、圧縮歪 ϵ_0 を 0.15 % とし、そのまゝの状態を 10 分間、20分間および30分間継続させ、その後、荷重を取除いて塗膜に龜裂を生ぜしめた。この結果を Fig. 7 に示す。この実験では夫々の温度および時間

Fig. 7

につき 8 本の試片の平均値を求めた。この結果によれば、試験時の温度が高い程、Relaxation の早く進行することがわかる。

(iii) 圧縮歪の大きいさの影響 圧縮歪の大きいさと龜裂の密度との関係が Relaxation を行う時間によつて如何に影響を受けるかについて実験を行つた。すなわち塗膜の厚さを 0.10 mm とし、試験時の温度を 10 °C としたとき、与えた圧縮歪の大きいさと龜裂の密度との関係を Fig. 8 に示す。この場合には、7 本の試片を用いてその平均値を求めた。図によつてわかるごとく、50分間圧縮荷重を加えていると完全に Relaxation をしたと考えられる。なお此の図に示した a_1 , a_2 および a_3 は 0.15 % の圧縮歪を加え、そのまゝにて Relaxation を夫々 20 分間、30 分間および 40 分間行つた後、荷重を取除いたときの残留歪を示す。同様にして Fig. 9 は試験時の温度を 30 °C とし、塗膜の厚さを

Fig. 8

Fig. 9

0.10 mm としたときの 7 本の試片の平均値を示し、 b_1 , b_2 , b_3 および b_4 は Relaxation を夫々 10 分間、15 分間、20 分間および 25 分間行つたときの残留歪を示す。

以上の実験結果が示すごとく、片持梁の圧縮せんとする側に塗料を塗布し、乾燥後、荷重を加えて放置すると、時間の経過と共に、塗膜には Relaxation が行

Fig. 10

われて残留歪が減少するが、此の残留歪の減少と経過時間との関係は Fig. 10 に示すごとくなる。すなわち Fig. 8 および Fig. 9 に示した a_1 , a_2 , a_3 および b_1 , b_2 , b_3 , b_4 を残留歪として縦軸方向にとつたものである。此の Fig. 10 により $\epsilon_0 = 0.15\%$ のときに塗膜の Relaxation により残留歪の減少する状態を知ることが出来る。

(c) 適用例 圧縮応力は以上のべた方法によつて

Fig. 11

定性的にも又定量的にも測定しうるゆえ、Fig. 11 に示すとき最も簡単な試験片について、矢印方向に荷重を加えて圧縮試験を行つた。すなわち、これに塗料を塗布して乾燥後荷重を数十分間を要して徐々に加えると、その間は、塗膜では常に Relaxation が行われているから龜裂を生じない。その後、急に荷重を取除くと塗膜には荷重方向に引張応力を生じて、その歪によつて塗膜に龜裂を生ずる。この龜裂の発生状況を Fig. 12 に示す。なおこの Fig. 12 は Fig. 11 の点線にて示した部分を拡大したものである。次に自動車の内燃機関の連桿について実験を行つた。塗膜に生じた龜裂を Fig. 13 に示す。すなわち塗料を塗布して、乾燥後、荷重を急に加えると、荷重方向と直角な方向に引張が作用して塗膜に龜裂を生ずる。連桿の中心線において、此の Direct Method により生じた龜裂から求めた応力分布を Fig. 14 の黒丸にて示す。次に荷重を加えたままに数十分間放置して塗膜に Relaxation を完全に行わしめた後、荷重を取除くと、Direct Method による龜裂と直角方向に塗膜に龜裂を生ずる。この Relaxation Method により求めた応力分布を Fig. 14 の白丸にて示す。又 A~A 断面における応力分布を Fig. 15 に示す。

4. 結 論

以上のべたように、塗膜における Relaxation は数十分間にて完全に行われるので、此の現象を利用

Fig. 12

Fig. 13

Fig. 14

Fig. 15

して圧縮応力の測定が可能になり、従来は測定範囲が引張応力に限られていたが、さらにこれを拡大しうるに至った。本研究に対し、与えられた関西ペイント会社内山次郎、荒井国重両氏の御援助に対し、厚く感謝の意を表する次第である。

注：一

- 1) 西原, 平, 前田 日本機械学会誌 53巻 380号 (昭25-9) 8頁
 " 日本機械学会論文集 18巻75号 (昭27) 22頁