104 光学的手法による自動車用ハブの強度解析に関する研究

Strength Analysis of Automobile Hub by Photomechanics Method

○学 渡辺 恵介 (芝工大院) 正 江角 務 (芝工大)

Keisuke WATANABE, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5, Toyosu, Koto-ku, Tokyo

Tsutomu EZUMI, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5, Toyosu, Koto-ku, Tokyo

The accident which made the driven vehicle part cause for vehicle which is being used daily occurs frequently. Maintenance and non-destructive test are being performed, but to stop those accidents from happening it's the current state that it isn't possible to stop an accident perfectly. A production model was produced by epoxy as modeling of a hub by this research. To reproduce the real load which is being driven by an experiment again, a stress analysis is performed in the state which made a hub model take one concentrated load. To do a stress in three-dimension analysis of a hub, stress distribution chart is drawn from the isochromatic curve stripes which were observed using photoelastic approach based on the data an experiment gave. I'd like to find the part I'm doing stress concentration of and contribute to improvement of safety more than the above.

KeyWords : Hub, Photoelasticity, Polymer, Isochromatic fringe pattern, Experimental Mechanics

1. 緒 論

今日、日常的に利用している乗り物等で車両駆動部を起因とした事故が多発している。それらの事故を未然に防ぐべくメンテナンスや非破壊検査を行っているものの完全に、事故を防ぐことができていないのが現状である。

本研究は、中でも 90 年代から大きな事故例が報道されている自動車駆動部品のひとつであるハブに注目した。ハブとは、回転体中央でシャフトと結合するボスのことであり、自動車の足回りにあるナックルやサスペンションアームのスピンドルに車輪を取り付ける回転要素のことを指す⁽¹⁾。

本研究は、ハブのモデル化として実機モデルをエポキシ樹脂により製作した。また実験では、運転中の実負荷を再現するため、ハブモデルに一点集中荷重および分布荷重を負荷させた状態で応力解析を行う。ハブの三次元応力解析を行うため、実験で得られたデータを基に光弾性法を用いて観察した等色線し模様から応力分布図を描く。以上より、応力集中している箇所を発見し安全性の向上に貢献したい。補足として、現段階では分布荷重状態での解析を行っている最中のため原稿には一点集中荷重のデータを記す。

2. 供試材及び試験片

本研究に使用した供試材は、ALALDAITE B(CT-200)と硬化剤(HARDNER HT-901)を重量比 100:30 の割合で 120～135℃の下で攪拌混合したエポキシ樹脂である。表 1 にエポキシ樹脂の常温及び高温での機械的性質を示す。

試験片は、四輪駆動車用のフロントハブをモデルとした。この実機モデルからシリコンゴムを使用して鋳型を製作し、エポキシ樹脂にて鋳込みを行い実機と同形状の試験片を製作する。図 1 に試験片の形状と寸法を示す。

Table 1 Mechanical and optical properties of Epoxy

	Modulus of Longitudinal Elasticity E (MPa)	Modulus of Transverse Elasticity G (MPa)	Poisson's Ratio ν	Photo elastic Stress Sensitivity α' (mm/N)
Room temperature	2940	1131	0.30	0.10
High temperature	13.62	4.59	0.48	4.0

Fig 1 Specimen configuration

3. 荷重装置

ハブフランジ単体の実機モデルを用いたモデル実験を行い応力分布に与える影響について調べる。危険部位である枝付部にはベアリングが圧入される。その周りにナックルが装着され、そこから車重がハブに伝達される。それ故、ハブへの荷重は分布荷重と考えられるが、集中荷重が中央へかかると想定し考案した。また、3 次元モデルを直接枠組みに固定せずにアルミニウム板を使用し、実際にハブがホイールに装着されているところを再現した。図 2 に荷重装置を示す。

Fig 2 Experimental device

4. 実験方法

エポキシ樹脂で製作した3次元モデルを荷重装置に取り付け、図3に示す応力凍結サイクルに基づき、応力凍結を行う⁽²⁾。電気炉内の温度を2時間で128℃程度まで上昇させ、この温度を安定するまで8時間保持しモデル全体の温度を均一にする。その後、3℃/hの温度勾配で約30時間かけて室温まで温度を低下させる⁽²⁾。全体で42時間かけて実験を行う。また、荷重量は2kgとし、等色線しまが5次程度現れるように設定する。応力凍結後、図4に示すスライス位置で約5.5mm間隔の様な厚さにスライスする。また、応力解析は採取したスライス面に存在する二次主応力差を求めることで、二次元光弾性法と同様の解析を可能とする手法であるため、スライス面内に主応力面を含むように採取する。熱が入らないように水を加えながら耐水ペーパー(#320, #600, #800, #1200)の順に鏡面研磨し、最終的に5mmの試験片になるように研磨剤を用いた。

Fig.3 Stress freezing cycle

Fig.4 Slice position

5. 基礎理論

4.1 光弾性法 透明で均一に見える結晶体も、光学的には結晶の成長方向と横方向では異質で、複屈折性を持っているが、ガラスやプラスチックなど透明で均一な物質に外力を加えて応力を生じさせると、その量に応じて結晶体と同様の複屈折性を示す。一時的な複屈折性を用いて、構造物またはモデル物体内の応力状態を実験的に求める方法を言う⁽³⁾。

この光弾性法により得られた等色線しま模様から、0次

のしまを見つけ、次のしまを1次のしまとする。1次のしまの大きさを1cmと決めれば、2次のしまでは、2cmの位置にN次のしまではNcmの位置にマークし、曲線でつなぐことで応力分布を求める。

4.2 応力凍結法 エポキシ樹脂は、通常120℃以上の温度で二次転移を起こしゴム弾性状態となる。この二次転移域をガラス転移点というが、この温度以上で荷重しそのまま室温まで温度を低下させるとゴム弾性域で生じていたひずみ状態がそのまま固定され、荷重を取り外しても変形(ひずみ)は元に戻らない。これを応力凍結法という。応力を求めたい面を薄い板状にスライスし、しまの分布を調べることで、荷重時の応力分布を知ることができる。次式に、このとき得られるしま次数Nを示す。

$$N = \alpha(\sigma'_1 - \sigma'_2)$$

ここに α :凍結温度での光弾性感度、 t :スライス片の厚み、 σ'_1 , σ'_2 :スライス面内の二次主応力を示している。

4.3 応力集中係数 機械・構造物などの過重負荷部分に円孔、みぞ、あるいは切り欠き部分のような断面が急変する箇所があるときこの箇所の応力は、断面に均様に分布しているとして計算した値よりもはるかに大きな応力値を示す。このような応力のピークを示すことを応力集中という。応力集中の度合いを表す指標として、応力集中係数がある。以下に公式を示す。また、 α :応力集中係数、 σ_{max} :最大応力、 σ_0 :基準応力とする。

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0}$$

6. 実験結果

解析したハブモデルの中でスライス番号R1と0について考察を進める。スライスした試験片は正面から見て中央を0とし、中央から外側に向かって右側をR、左側をLとして順に番号をつける。

以下に等色線しま模様と応力分布図を示す。図5にスライスした試験片の中で最大の応力集中係数が発生した番号R1、図6に試験片の中央部分にある番号0を示す。また、図7に応力集中係数を算出した場所を、表2に最大応力値の場所と最大応力値、応力集中係数をまとめた。図8に全ての試験片と応力値の関係を示す。なお、表のS.C.F.は、Stress Concentration factor (応力集中係数)の略である。

Fig.5 Isochromatic fringe pattern and Stress distribution chart(tensile) of Slice No.R1

Fig.6 Isochromatic fringe pattern and Stress distribution chart(tensile) of Slice No.0

Fig.7 Stress concentration factor position

Table.2 Stress concentration factor

Slice No.	Position	Stress Order	S.C.F.
0	①	471.94	9.8
L1	①	303.38	6.3
L2	③	240.78	5.0
L3	⑤	192.68	4.0
L4	⑥	163.73	3.4
L5	No data		
L6	⑧	221.52	4.6
L7	⑥	58.79	1.2
L8	⑦	57.78	1.2
R1	②	558.62	11.6
R2	②	250.42	5.2
R3	③	279.31	5.8
R4	No data		
R5	ボルト穴	202.26	4.2
R6	⑥	96.31	2.0
R7	⑧	183	3.8
R8	No data

Fig.8 Related to Slice No. and Stress

7. 考察

実機の枝つき部には、軸受が圧入され分布荷重が負荷されると考えられるが、軸受の中心に集中荷重がかかると想定し応力解析を行う。

ハブモデルにおいて最大応力が発生しているには、スライス R1 の荷重箇所から最も近くにあるハブボルトで固定されたところである。図 5 のスライス試験片の上部が欠如しているのはそのためである。スライス 0 は、荷重をかけた位置のスライス試験片である。図 8 より、プロットの無い箇所は、ハブボルトの関係上解析不能であったが、他の試験片の応力集中の発生箇所は、各スライス試験片でバラつきがみられた。特にスライス 0 と R1 の枝つき部に顕著に応力集中が現れた。しかし、スライス L1 と R2 に至っては、最大応力値がスライス 0 と比較すると L1 で 54%、R2 で 45% も急激に落ちている。これは、応力凍結を行った際に荷重が均等に伝わらず凍結したものと考えられる。

ハブボルト穴のあるスライス試験片は、解析はできなかったものの荷重箇所と同じように、等色線しま模様が集中していることが確認できた。実際のハブ破断事故の中にも、ハブボルト穴にき裂が生じ、破断して事故に至ったケースも報告されている。本研究のモデル実験より、この事故はありえると考えられる。

次に、応力分布図より求めた、最大応力値から応力集中係数を求める。応力集中係数を求めるには、基準応力値を明確にしなければならない。本実験の基準応力は、ハブフランジが荷重装置に固定されている面とは反対側の面でかつ、ボルト穴から等距離で離れている場所を基準応力とした。基準応力値は、48.157kPa とした。

本研究は新規の研究のため、まずは集中荷重を主体として実験を行ったが、今後の発展や詳細な解析を行うためには、実機と同じように分布荷重を行うことや軸受やドライブシャフトを付随して実験を行うと従来での解析結果と比較した場合に、より精度の高い結果が望まれるだろう。

8. 結 言

ハブモデルについて、応力凍結法による実験解析が以下の知見が得られた。

- (1) ハブフランジ部と枝つき部の段差のある部分に引張応力が集中した。
- (2) ハブボルト穴周辺にしまが集中した。
- (3) フランジ部中心のドライブシャフト用の穴には応力があまり発生していない。

9. 次回報告

現段階では、荷重方法を分布荷重とし、3次元モデルを6体铸造込みにより製作した。試験体の種類は実機と変わらない標準タイプの他に、危険部位である枝付部の R を変更したタイプが 2 種類ある。今後はこれらの試験体を実験解析し、一点集中荷重のデータと一緒に報告する予定である。

参考文献

- 1) 全国自動車整備専門学校協会, 自動車材料, 山海堂, (2004), pp.32-35.
- 2) 江角務・清水紘治・高橋賞他, フォトメカニクス(1997), pp.87-92, 129-156.
- 3) 益田義治, 入門光弾性実験, 日刊工業新聞社, (1970), pp.18.