

ドリフトピンを圧入した孔明き鋼板の疲労強度

Fatigue Strength of Steel Plate with Hole with Drift-pin Driven

阿部英彦*、平野英司**、福島賢二***、井口光雄****、米花邦彦*****

By Hidehiko ABE, Eishi HIRANO, Kenji FUKUSHIMA, Mitsuo IGUCHI and Kunihiro YONEHANA

In order to evaluate the effect of driving a drift-pin through a drilled hole in steel plate on improving the fatigue strength a series of test was conducted, where the difference between diameters of the hole and the pin was varied up to 1.5mm. The improvement in the fatigue strength was found to be remarkable, three times as great even in the case of 0.1 mm in the difference. As the difference increased, the effect became greater, but did not any more beyond 0.5mm.

The stress distribution of a plate with a hole with a drift-pin driven through and the same plate subjected to a tensile loading were analyzed by FEM. The expansion of the hole by driving the pin was more accurately simulated in such a way that the portion filled with the pin was locally heated and expanded. However, a more economical method with practically sufficient accuracy was developed where the hole edge was subjected to uniform pressure through springs, which simulated the elasticity of the pin.

The method for improvement of fatigue strength reported in the present paper may be utilized for repair of holes drilled by mistake and for increasing the effect of stop holes for temporarily preventing fatigue cracks from propagating.

1. はじめに

弾性解析による応力集中係数から推測される程ではないが、孔明き鋼板の疲労強度は平滑材のそれと比べて相当低下することが知られている。前報¹⁾で円孔にドリフトピンを押し抜くことにより、疲労強度がかなり向上することを報告した。その理由として一応、残留圧縮応力の効果が推測されたが、ドリフトピンを押し抜くことにより孔縁を平滑にする効果も考えられるので、今回、ドリルによる孔の内面を目の細かいサンドペーパーで仕上げたものと比較した結果、平滑化の影響もあり得ることが認められた。

次に孔明き鋼材にドリフトピンを打ち込んだままの状態も孔明き鋼材より疲労強度が高いと考えられるので、これを定量的に調べるために一連の疲労試験を行った。まず、孔径とドリフトピン径の差を0.5～1.5mmの範囲で行ったところ、径差の量にかかわらず、疲労強度は著しく向上したが、この場合、ドリフトピンの押し込みに大きな力を要するので、より実用的な打ち込み力で可能な径差0.1～0.5mmの範囲に対しても疲労試験をおこなった。その結果、荷重変動範囲が小さい、即ち、長寿命の領域では径差の大きいものと小さい

-
- | | | |
|-------|-----------------------|-------------------------|
| * | 工博 宇都宮大学教授 工学部建設工学コース | (〒321 栃木県宇都宮市石井町2753) |
| ** | 清水建設株式会社 | (〒104 東京都中央区京橋2-16-1) |
| *** | 鹿島建設株式会社 | (〒107 東京都港区元赤坂1-2-7) |
| **** | 日本鉄道建設公団 設計室補佐 | (〒100 東京都千代田区永田町2-14-2) |
| ***** | トビー工業株式会社 | (〒102 東京都千代田区四番町5-9) |

ものとは寿命が著しく異なる、という興味ある結果を得た。

また、鋼板にドリフトピンを打ち込んだ場合、および鋼板を引張った場合の応力分布をFEM解析により求めることを試みた。なお、解析は弾性範囲であるが、ドリフトピンによる押し拡げの効果として、ドリフトピンで孔断面を満たした部分が熱膨張するとして、シミュレートしたり、より簡単な方法も考案して、応力分布の推量に良好な結果を得た。

本研究により、たとえ0.1mm程度の径差のドリフトピンの打ち込みでも、孔を明けたままの鋼板に比べて3倍以上の疲労寿命の向上が期待できることがわかったので、この方法はミスドリルの処理（場合により短いピンを打ち込む）や疲労亀裂のストップホールの効果の向上などに有効に利用できるものと期待される。

2. 試験体の製作

試験体の形状は 図-1 に示す通りで、厚さ10mmのSS41 (SS400)鋼板を圧延方向と引っ張り方向とが一致する様にガス切断し、側面はガス切断による残留応力などの影響を除くために10mm程度の幅だけ機械切削した。次に、中心にドリルで所定の径に孔を明け、孔縁に生じた「まくれ」に対しては面取りを行った。鋼材のミルシートによる機械的性質は 表-1 の通りである。なお、ドリフトピンの材質はJIS G 4051 [機械構造用炭素鋼鋼材] を焼き入れ焼き戻ししたものである。

試験体の種類は 表-2 に示す通りで、シリーズ I ではドリル孔とドリフトピンとの径差が大きいのので、ドリル孔の径を0.5mmづつ変えて、ドリフトピンは径24.5mmのものを共通に用いた。しかしシリーズ II では径差が小さく、ドリルの径でその差を正確に調整することは困難なので、すべて同一のドリルで孔を明け、ドリフトピンを適当に削ることにより微妙な径差を確保することにした。なお、平滑な孔縁を持つ試験体(I-1')は通常のドリル孔の試験体(I-1)と同様に加工した後に、粗い目のサンドペーパーかけから始めて、順次細かい目のサンドペーパーで平滑にし、最後は #1000 目のものを用いた。又、孔縁の角にもサンドペーパーをかけた。

ピンの圧入に際してはガイドの治具無しに行うと斜めに入ったり、また、孔周辺の落ち込みが甚だしくなったりして、試験結果にばらつきを生ずる虞れがあると考えて、写真-1 に示す様にドリフトピンより僅かに大きい径の孔を持った厚い剛な治具の間に試験体を挟んで、圧縮試験機を用いてピンを押し込んだ。

3. 試験方法

疲労試験機は島津製作所の電気油圧式サーボ型、容量30tf (294kN), EHF-UB30-70L形のものである。応力波形は正弦波、繰り返し速度は毎分360～600回、荷重の下限値は1.52tf (14.9kN), 公称応力で2.0kgf/mm² (19.6 MPa) の片振り引っ張りとした(写真-2)。試験中、定期的に毎秒1回程度に速度を落とし、孔周辺に貼ったひずみゲージの値を記録した。なお、荷重制御で試験を行った。

4. 破壊状況

疲労亀裂はすべての試験体で孔縁の横軸近辺から発生した。チャックの掴みは試験体に貼ったゲージの値を読みながら出来るだけ偏心が小さくなるように注意したが、やはり多少の偏心は残り、孔の片側から亀裂が発生し、ある程度進行した所で、他の側にも発生した。一般の疲労亀裂の進行と同様、暫く、板面に直角に平らにある程度進行した時点から、抵抗断面の減少により速度が急に高くなると共に、破面が傾斜し、面

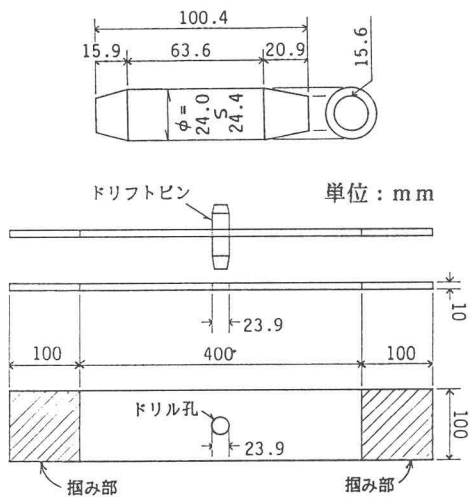


図-1 試験体の形状例（シリーズII）

表-1 鋼材の機械的性質

シリーズ	材料	降伏応力 kgf/mm ² (MPa)	引張強さ kgf/mm ² (MPa)	伸び %
I	SS 41 (SS 400)	28 (275)	44 (431)	30
II	SS 41 (SS 400)	30 (294)	44 (431)	33

表-2 試験体の種類

	型式名	孔径 mm	ピン径 mm	拡孔量 mm
シリーズ I	I-1	24.5	—	0
	I-1'	24.5	—	0
	I-2	24.0	24.5	0.5
	I-3	23.5	24.5	1.0
	I-4	23.0	24.5	1.5
シリーズ II	II-0	23.9	—	0
	II-1	23.9	24.0	0.1
	II-2	23.9	24.1	0.2
	II-3	23.9	24.2	0.3
	II-4	23.9	24.3	0.4
	II-5	23.9	24.4	0.5

注) I-1' は I-1 の孔縁を研磨

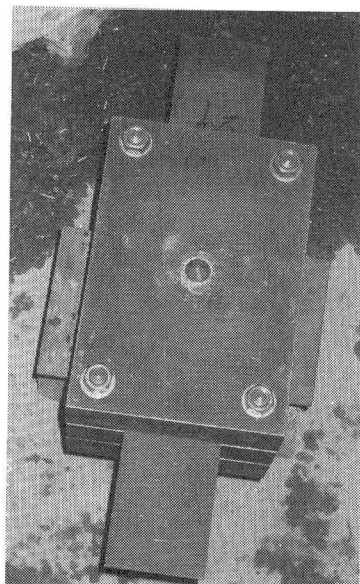


写真-1 ドリフトピンの押し込みの為の治具

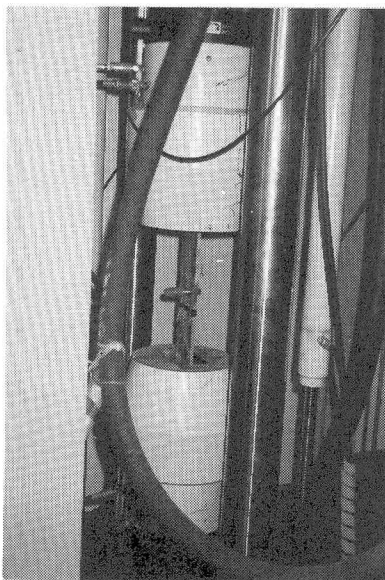


写真-2 疲労試験の状況

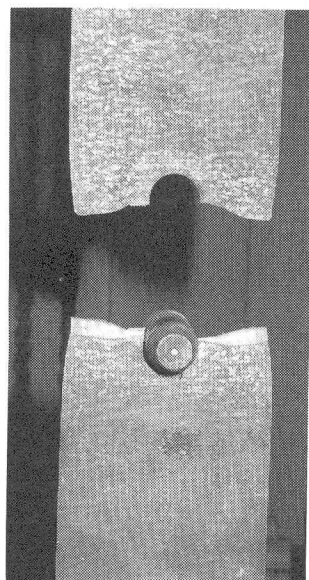


写真-3 破断の例（タイプ II-2, $\sigma_r=24.5\text{kgf/mm}^2$, $N_b=66,800$ 回）

の状態も粗となって破断に至った。

写真-3に破断時の例を示す。なお、掴み部から破断したものはなかった。試験体により、これらの段階の期間に多少の相違はあるが、図-2の進行状況例に見られる様に、亀裂の発生から全断面破壊に至るのは比較的短期間であったので、全断面破壊をもって疲れ寿命と見なした。

5. 試験結果と考察

今回の実験を大きく分けると ① ドリル孔のまま(I-1)と その孔縁を仕上げたもの(I-1') との比較 ② ドリフトピンと孔の径差0.5~1.5mmのもの(タイプ I-2~4) および ③ 同じく径差 0.1~0.5mmのもの(タイプ II-1~5) の疲労実験シリーズがあるので、その順に結果と考察を述べる。

5-1 ドリル孔の仕上げの有無の試験

図-3に先ずドリルで孔を明けたままのもの(I-1) および この孔縁に丁寧にサンドペーパーをかけて平滑に磨いたもの(I-1') の結果をプロットした。また、比較の為に前報¹⁾の結果の平均的な S-N線図、即ち、ドリフトピンを押し抜いたもの(ドリフトピンと孔との径差は0.5~1.5mmであったが、この範囲では互いの S-N線図の間に差が余り認められなかったので、1本の S-N線図で代表した) および これらを焼鈍して残留応力を除去したもの等の S-N線図を参考として併記した。

試験体(I-1)に比べて、研磨したもの(I-1')の方が疲労強度はやはり1.5~2倍程度向上しており、ドリル孔にドリフトピンを押し抜いたもの(径差0.5~1.5mm)の平均的な S-N線図と同程度となっている。これから察すると前報¹⁾でドリフトピンを押し抜いた結果、0.5~1.5mmの径差のある、材質の硬いドリフトピンにより孔縁が塑性加工されて平滑になったことも残留応力や加工硬化などと共に疲労寿命が向上したことの有力な理由として考えられる。ただし、前報¹⁾で述べた様に試験体を焼鈍する事により、残留応力や硬化の影響を共に取去った場合、疲労強度が低下した(図-3参照)ので、これ等の影響もあった事は確かめられている。

ドリル孔の内面を観察すると特にノッチ的な傷はなく、粗度50S程度以下に確保されていると思われるが、場合により切り屑を噛む事があり、平滑さが良好であるとも認められない。したがって径差が0.5mmより小さい様な場合には、ドリフトピンの押し抜きによる平滑度の改善が余り期待出来ないかも知れない。

5-2 0.5~1.5mm径差のピン押し込みの試験

はじめのシリーズではピンを押し抜いた試験体の場合と同様に径差を0.5~1.5mmとし、ピンを押し込んだ状態で試験したが、次のシリーズの径差0.1~0.5mmの場合には少し趣きが異なるので分けて述べる。

径差0.5~1.5mmの試験体(I-2~4)の疲労試験の結果も 図-3に示す。すべてほとんど同じばらつきの中に散らばって見えるが、敢えて傾向を言えば、荷重の高い領域では径差の大きいものの方がやや強い。しかし荷重の低い領域ではほとんど差が見られない。

先ず、前報¹⁾のピン押し抜き材や孔明き材の結果に比べて疲労強度がはるかに高く、また、S-N線図の勾配が非常に緩いことが大きな特徴である。同図に既往のSS41 (SS400)材やSM41 (SM400)材で類似の形状の平滑試験体の疲労試験の平均的S-N線図⁴⁾も併記したが、それよりさえも緩やかであり、26kgf/mm²(255MPa)、200万回回りで両者の S-N線図は交わっている。もっともドリフトピン押し込み材の応力度は孔断面を控除して表現してある。

以下に孔明き材に比べてドリフトピン押し込み材の疲労強度が向上した理由を考察する。図-4にタイプ I-1 (ドリル孔のまま)の孔縁に貼ったゲージと タイプ I-2(径差0.5mmのドリフトピン押し込み)の孔近傍に貼ったゲージに於ける、繰り返し载荷中のひずみ変動の読みの例を示す。多少の偏心载荷の影響で左右のゲージの値

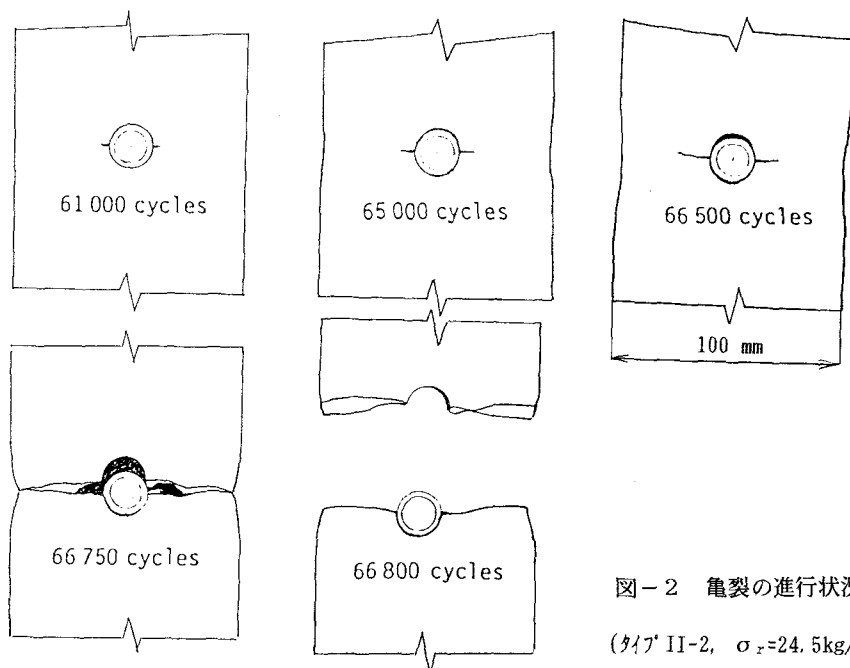


図-2 亀裂の進行状況例

(タイプ II-2, $\sigma_r = 24.5 \text{ kg/mm}^2$)

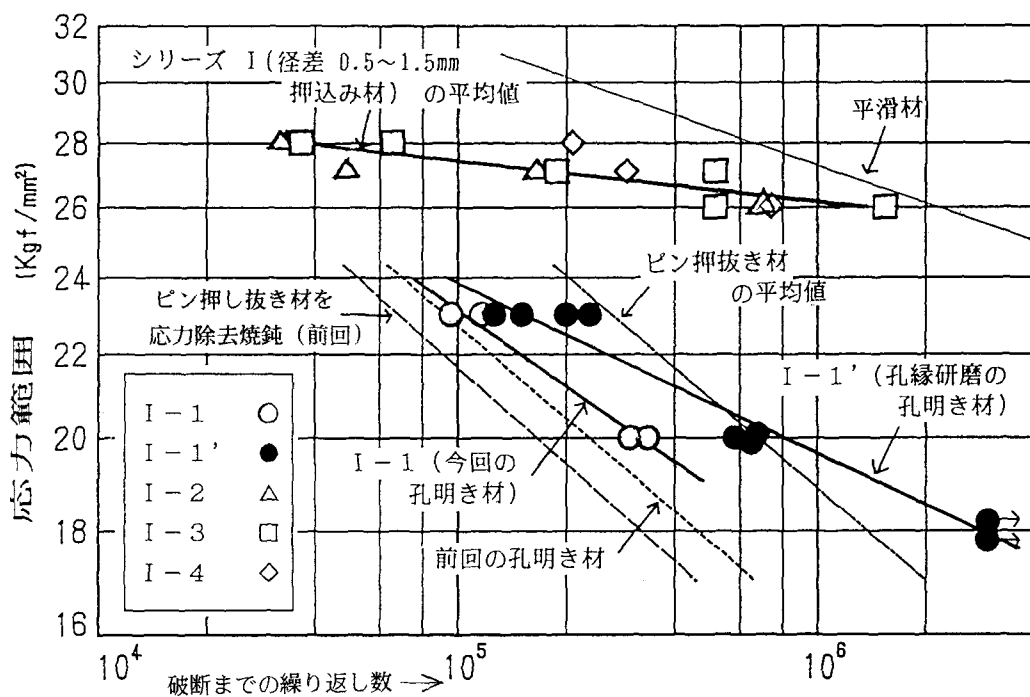


図-3 「シリーズ I」の実験結果

に差があり、また、前報¹⁾で例示した様に繰り返しの当初、塑性歪の進行のために最小荷重でも大きな値を示すが、その後、間もない時点から亀裂発生（いずれの試験体に於いてもゲージ近辺の孔縁から発生）まで最大、最小の値はほとんど変わらず安定していることがわかる。

今、 $\gamma 1^\circ$ I-1 と $\gamma 1^\circ$ I-2 での応力の変動範囲の比較を試みるが、荷重の大きさもゲージの位置も両者で多少異なるので、補正を要する。即ち、一方、 $\gamma 1^\circ$ I-1 では孔縁内に貼ったゲージの変動ひずみ量は純断面の平均の応力変動量、 $\sigma_r = 20 \text{ kgf/mm}^2$ (196

Mpa)に対して約 $2.6 \times 10^3 \mu$ である。他方、 $\gamma 1^\circ$ I-1 ではドリフトピンが挿入されているので、ゲージはその幅の中心が孔縁から3mmの位置に貼っており、その変動ひずみ量は純断面の平均応力変動量、 $\sigma_r = 26 \text{ kgf/mm}^2$ (255MPa)に対して約 $1.6 \times 10^3 \mu$ である。そこで $\gamma 1^\circ$ I-1 の σ_r を26/20倍し、又、図-8の応力勾配を参考にして、孔縁から3mmの位置でのひずみの低減率を0.63と仮定すると、結局、等しい外力の変動量に対して両者の孔近傍の応力の変動ひずみ量の比率は $(2.6/1.6) \times (26/20) \times 0.63 = 1.33$ と可なり異なり、これが疲労寿命に大きく影響したと考えられる。

孔径より大きい径のドリフトピンを圧入すると、ドリフトピンと孔周辺に予ひずみが残留するので、試験体にある程度の引張荷重を加えても孔とピンとの間に隙間が生じない。この範囲で荷重が変動しても孔周辺の応力変動は平滑板の場合のひずみ変動と同等、あるいはそれ以下であり、孔の存在は疲労の上では全く弱点とはならないと考えられる。この場合には孔断面の控除を考えない総断面に基づく公称応力で表しても平滑材と同等の疲労強度を示すはずであり、また孔断面を控除した純断面に基いた応力で示せば、平滑材よりもむしろ疲労強度が高くなる可能性さえもある。

しかし、今回の試験では、やはりすべて孔縁から亀裂が発生した。この理由としては次のように考えられる。即ち、たとえ径差の大きいドリフトピンを押し込んでも孔近傍が塑性化し、厚み方向にも変形して予ひずみの効果が頭打ちとなる。したがって試験体にある程度以上の引張外力が加えられると、どうしてもドリフトピンと孔との間に隙間が生じる様になり、応力集中が大きくなる。その結果、やはり孔縁から亀裂が発生して平滑材よりも弱くなると考えられる。

この様なメカニズムにより低荷重の繰り返しの場合はドリフトピンの押し込みが有効に利き、寿命が長くなるのに対し、高荷重の繰り返しの場合は利きが悪くなり、余り寿命が延びなくなるので、S-N線図の勾配は平滑材さえよりも緩くなると考えられる。なお、径差が0.5~1.5mmと異なっても疲労強度の改善効果は余り変わっていないが、これも上記の様な理由によるもので、今回の場合、効果をもたらす限界が径差0.5mm辺りにあったのではないと思われる。

5-3 0.1~0.5mm径差のピン押し込みの試験

ドリフトピンと孔との径差が0.5~1.5mmと大きい場合、疲労強度の向上が顕著であることは前述の様に確認されたが、押し込みのために必要な力は、径差が大きくなったり、板厚が増すと比例あるいはそれ以上に大きくなり、實際上、現場で施工することが出来ない。そこで、もっと容易に押し込んだり、打ち込むことが可能な小さい径差の場合の疲労強度を調べる事にした。0.1mmきざみの径差は加工上微妙であり、全試験体に同一のドリルで孔を明け、ドリフトピンの方の径を変えて調節した。

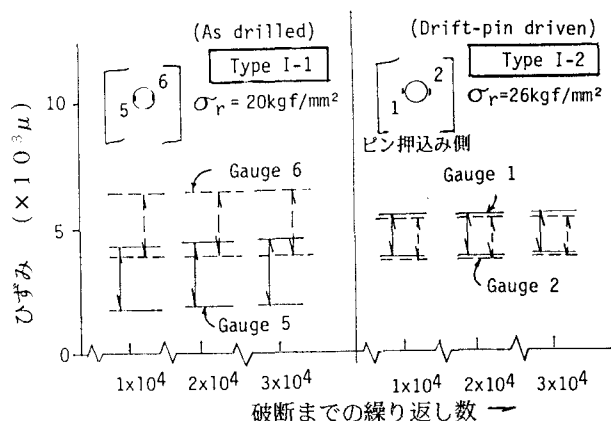


図-4 孔近傍の変動歪の実測例

実験の結果を図-5にまとめて示す。また比較の為に試験体にドリフトピンを押し込まないもの(II-0)に対して改めて行った実験の結果の値も含めた。さらに図-3と同様、既往の平滑材の平均的な S-N線図も併記した。同図を見ると、勿論、すべて径差の大きいシリーズ I の結果より値は低くなっている。また、 $\sigma_r = 26 \sim 28$ kgf/mm²(255~275MPa)の様な高い荷重領域では孔明き材より、回数にしてせいぜい 60%程度しか寿命が延びず、ピンと孔との径差も余り影響していないが、26kgf/mm²(255MPa)より小さくなると径差が大きくなるにつれて疲労寿命が顕著に延びるようになることが、シリーズ I の場合と比べて明かな相違である。ただし、0.1mm 程度の径差では孔縁研磨のものと同程度と見られる。

径差0.5mmのものについては シリーズ I においても実験を行っているので、これと比較すると傾向は似ているが、絶対値に約2kgf/mm²(20MPa)のひらきが見られる。疲労試験機は同じであるが、試験年度が異なり、鋼材や加工方法が全く同一のものでない事などが理由であると考えられるが、詳細に至ってはわからない。同様に孔明き材についても シリーズ I-1 と シリーズ II-0 との間に多少の差が認められる。

いずれの試験体も26~28kgf/mm²(255~275MPa)の範囲で勾配が急で、径差の影響も余り見られないのは、このような高荷重では0.1~0.5mm程度の範囲の径差では孔近傍が塑性化して、繰返し载荷中ピンと孔との間にほとんど常に間隙があり、ピン押し込みの効果が大部分失われてしまっているからと思われる。現に寿命が短く、勾配もきつい孔明き試験体の傾向に近づいていることが認められる。26kgf/mm²(255MPa)以下では径差が大きくなるにつれて、孔明き材より順次、寿命が延びて勾配が緩くなる理由は5-2で述べたことで解釈がつく。

ところで径差が大きい場合はそのまま S-N線図は直線的に下って行くのに対し、径差が小さい場合、低荷重の範囲で勾配が再び急になる傾向が明らかに認められる。一般的には疲労の S-N線図は低応力になるにつれて勾配が次第に緩やかになり、疲労限に近づくのが普通であるが、今回の試験では、これと異なる現象が見られた。しかし、径差が非常に小さい場合のこともあり、その理由や、このような現象が果たして普遍的であるのか、あるいは偶々今回のみの現象なのかは明確でない。

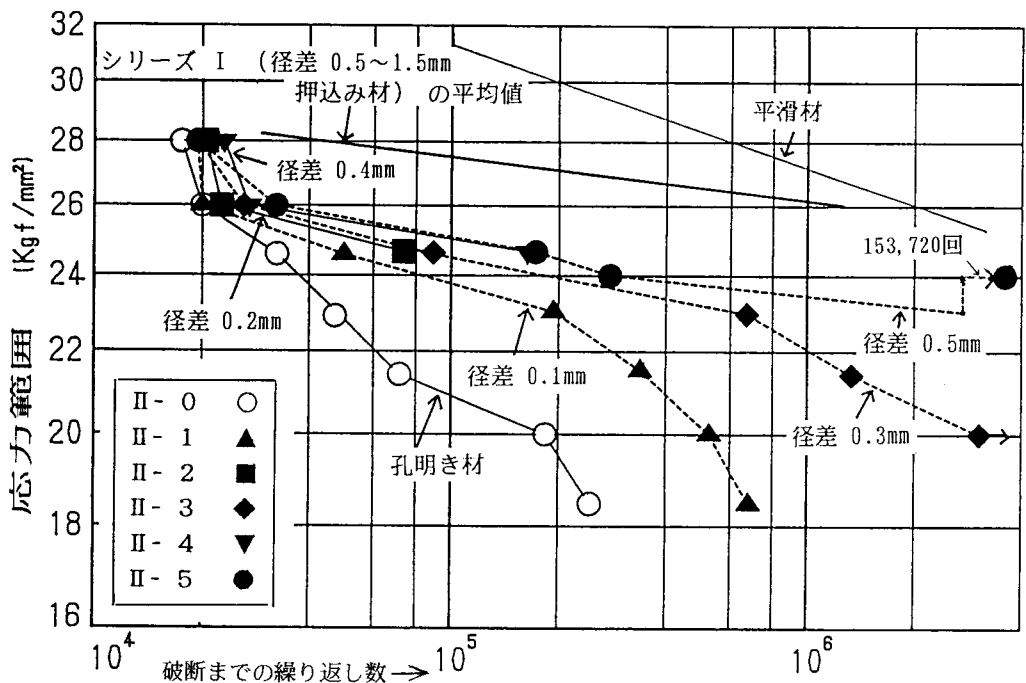


図-5 「シリーズ II」の実験結果

6. 応力解析

疲労寿命の向上を解明する一助として応力解析を試みたので、それについて以下に述べる。孔明きの無限板を引張った場合、弾性理論によると孔縁には平均応力の3倍の応力集中があることは周知の通りであるが、今回用いた試験体は矩形の板の中央に孔を明けたものなので、3倍とはならない。この値を求めるため、および、ドリフトピンを押し込んだ場合、そしてこれを引っ張った場合などの鋼板内の応力分布を推定するためにFEM解析を行った。

前報¹⁾ではドリフトピンを押し込んだ場合の効果として孔縁内に圧力を均等に加えるという方法²⁾でシミュレートしてみたが、これも矩形の板に明けた孔に弾性体であるドリフトピンを押し込むという状態を忠実に表しているとは言えない。そこで、より正確な方法として少々大型の計算機を必要とするが、ドリフトピンの押し込みの影響として、鋼板のこの円孔部分が局部的に熱膨張すると考えてシミュレートした。

ドリフトピンの材質は硬く、降伏点は試験体の鋼材より相当高いが、降伏点前の両者のヤング係数はほとんど等しい。しかし、ドリフトピンの影響は孔を填めている断面だけではなく、その前後もピンは孔により搾られるので、その影響が孔の周縁を押す力にも及ぶはずである。このことを含めて計算するには3次元解析を必要とするが、今回は2次元解析に依ったので、搾られるドリフトピンの有効長さを板厚の倍率で考えることにした。ただし、モデルではこの影響として、孔を填める部分の鋼材のヤング係数をその率で変える事によって対処した。

特に孔縁およびその近傍の値に関心があったので、先ず、図-6(a)の様に孔周縁4mmの範囲は0.1mmピッチ、その外方の6mmの範囲は0.5mmピッチ、更にその外方20mmの範囲は1mmピッチと要素を細かくし、その他の部分は割合に粗く分割した。なお0.1mmの径差は鋼の膨張係数を $0.000012/^\circ\text{C}$ として約 380°C に相当する。

次に、より簡易な方法として、やはり孔縁に内圧を加えるのであるが、ドリフトピンが弾性体である事の影響として、いわゆる「クッション」を介して圧力を加える方法を試みたが、比較的良好な結果を得た。要素の形として、3角形より4角形の方が計算値の安定性が良いので4角形の要素を用いた。図-6(b)の様に1/2の径の孔を考え、この内縁に正規の孔縁内に加えるべき圧力の2倍の圧力を加えて、正規の孔の位置の値を読んだ。しかし、このままでは、クッション部分が円周方向にも抵抗するので、これを防ぐために同図に示す様に、正規の孔の位置まで放射方向に要素間を切り離した。

計算の結果、正規の孔縁を直接押す圧力を 43.25kgf/mm^2 (424MPa)とすれば、孔径は 0.064mm 拡がり、また、ピンにこれを加えれば 0.036mm 縮み、両者の押し込み前の径差は 0.1mm あったことになるので、前述のようにこの2倍の圧力を1/2の径の孔縁に加えた。

正規の孔縁に直接圧力を加えた「直接圧力方式」の場合も含めて、孔縁の変位を少々誇張して比較を示すと図-7の様になり、より正確であると考えられる「熱膨張方式」と比較して「クッション圧力方式」は余り差が認められず、「直接圧力方式」より相当、改善されていることがわかった。

また、図-8は孔の中心を通るX軸に沿ってY軸の応力度の分布を、鋼材が降伏しないとして3方式について比較したものである。ここでも「熱膨張方式」と「クッション圧力方式」との差は2%程度であり、今回の様に拡孔後も真円に近い場合(孔の大きさに対して板が充分大きい場合)には、「クッション圧力方式」を用いると小規模なプログラムの割りに可なり正確な値が得られ、能率がよい事がわかった。しかし同図に示す様に、孔から離れるにつれて3つの方式の間の差は見られなくなる。

次に孔明き板を引張った場合の応力分布、鋼板にピンを押し込んでこれをピンと孔縁との間に隙が生じない範囲で引張った場合の応力の増分の分布を計算したが、これが各々の繰返し荷重の応力変動幅を示すことになる。ここで前述した様に、ピンの長さ方向の影響が板厚の何倍に相当するかは明確でないので、今後、3次元FEM解析等により求めたいと考えているが、この影響を一応、仮りに板厚の2倍程度として 0.1mm の径差のピンを押し込み、試験体を 20tf (196kN)で引っ張った場合の計算結果の例を図-9に示す。その結果、ピ

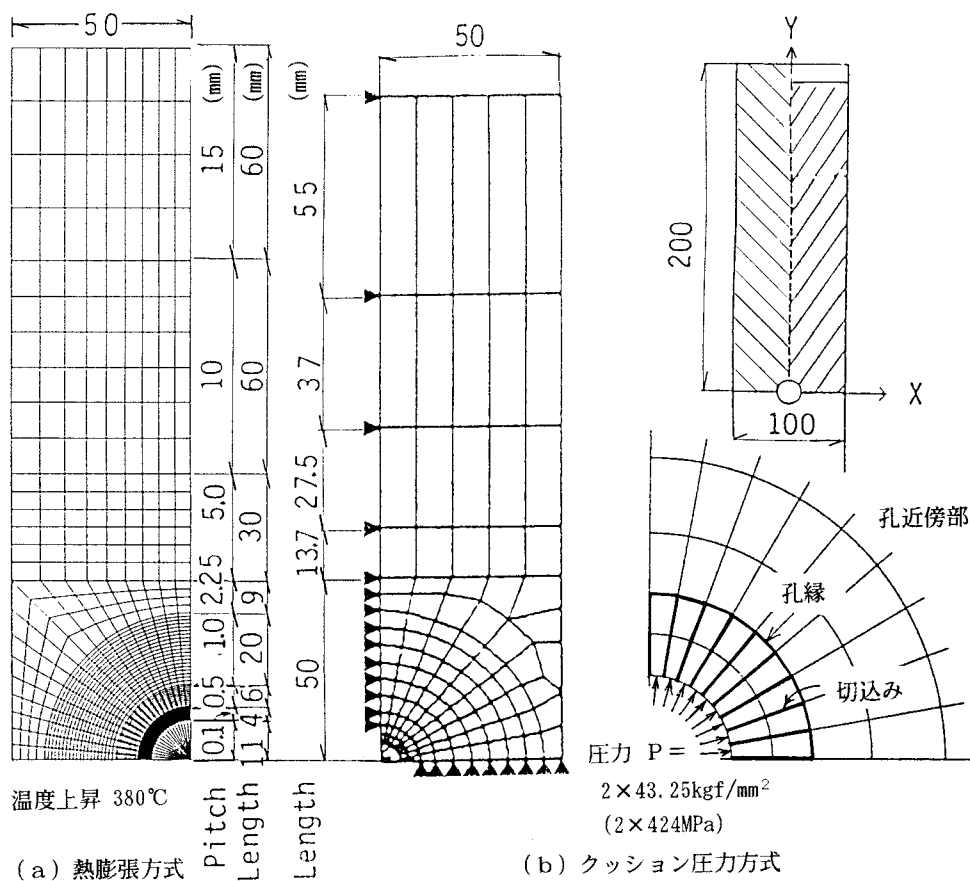


図-6 FEM解析の要素分割

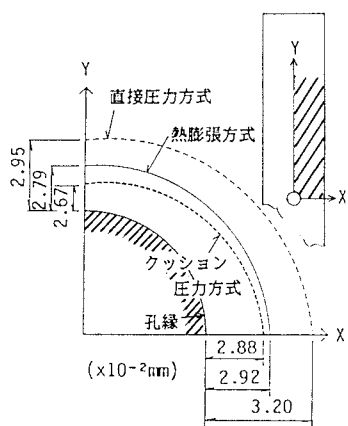


図-7 ピン圧入時の孔縁変位の3解析方式による値の比較

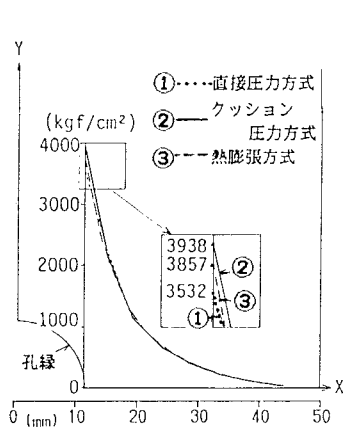


図-8 ピン圧入時の応力分布の3解析方式による値の比較

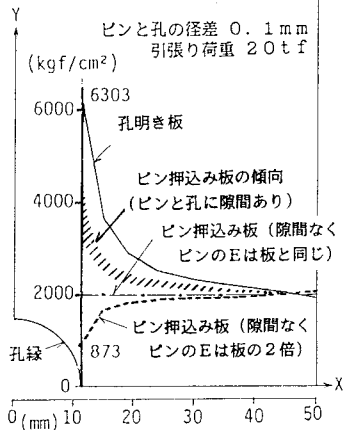


図-9 孔明き板およびピン圧入板の引張り時、応力増分の分布の弾性解析計算例

ン圧入板の孔縁の応力度は孔明き板のそれとに比べて約1/7の減少を示している。

しかし引張載荷時に孔縁が大きな弾性歪や塑性歪により孔とピンとの間に隙が生じる様になると、応力分布はその程度に応じて、この2本の線の間で、例えば、図-9に於ける斜線部の様に変化し、孔縁の応力の方が平均応力よりも高くなり、やはり孔縁から疲労亀裂が生ずるものと考えられる。径差が大きい場合や引張り荷重が大きい場合、鋼材の降伏を考えるとこの値は当然変わってくるが、いずれにしても、上記の様な傾向によりピンの押し込みが疲労強度の向上に効果をもたらすものと考えられる。

7. 結論

本実験の範囲で次のような事が明らかになった。

- (1) ドリル孔のある鋼板の疲労強度は孔にドリフトピンを押し込むことにより著しく向上するが、径差 0.5 mm程度でその効果は飽和するようである。
- (2) 径差0.5～1.5mmのドリフトピンを押し込んだ場合、純断面応力に基づく0～引張り、200万回の繰返し疲労強度は26kgf/mm²(255MPa)程度で、平滑材のそれに近いが、高荷重になると寿命が短くなるので、S-N線図の勾配は平滑材より緩くなる。
- (3) 径差0.5mm以下では径差の影響は顕著で、径差が大きいと長寿命となり、小さいと短寿命となるが、0.1 mmの径差でも孔明き材より約3倍寿命が長くなる。
- (4) ドリル孔にドリフトピンを押し込んだ場合の鋼板の応力分布をFEMで弾性解析するのに、ピン部を局部的に熱膨張させる方式でシミュレートすることにより、更に厳密な値を求めたが、孔縁にクッションを介して均等な圧力を加える簡易な方式でも、かなり厳密解に近い値を得ることが出来た。
- (5) ドリル孔のある鋼板の疲労強度は、これにドリフトピンを押し抜くことによっても、可かなり向上することが、著者らの既往の研究で明らかにされ、その理由として圧縮残留応力の効果が考えられたが、これに加えて、孔縁が平滑化される効果も有り得ることが今回の実験により推測された。

謝辞：この実験はトピー工業の鹿沼製作所で共同で行ったものであり、同製作所の多くの方々の御協力があったこと、又、本論文を作成するに当たり、当学科4年生の本間 毅君および石黒 邦男君の御協力があったことを記し、あつく感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 阿部・西村・大江；拡孔による孔明き鋼板の疲労強度の改善、土木学会構造工学論文集Vol136A, pp995～1002, 1990年3月
- 2) 平野・阿部・米花；ドリフトピンを圧入した鋼板の疲労強度に関する研究、土木学会第45回年次学術講演会概要集Ⅰ-39, 1990年9月
- 3) 福島・阿部・米花；小孔径差のドリフトピンを圧入した鋼板の疲労強度に関する研究、土木学会第46回年次学術講演会概要集, 1991年9月
- 4) 国鉄建造物設計標準解説・鋼鉄道橋付属資料、土木学会, 1983年4月

(1992年1月20日受付)