

径の異なる2つの球形鑄巣まわりの応力集中係数予測

福井大 ○桑水流 理 東大(院) BIDHAR, Sujit 東大生研 吉川 暢宏
群馬大 半谷 禎彦 芝浦工大 宇都宮 登雄

1. はじめに

ダイカスト材には大小様々な鑄巣が混入する。鑄巣群まわりの応力集中係数を評価し、それにより鑄巣の疲労強度への影響を定量化することが本研究の目的である。著者らは CT 画像に基づく有限要素解析を用いて、マクロな鑄巣に対しては、鑄巣まわり応力集中係数が近似的に疲労強度減少係数として使用できることを示した。しかし現状では、大規模な有限要素解析を実製品には適用できない。そこで、鑄巣の寸法および近接する鑄巣との相互作用から、経験的に応力集中係数を予測する式の導出を試みる。

2. 解析方法

2.1 三次元有限要素解析

無限体中にある半径 a_1 と a_2 の球形鑄巣まわりの弾性応力解析を行う。境界の影響を受けないように、十分大きい解析領域をとり、一様引張応力 σ_0 を一方向に作用させる。鑄巣の中心間距離を $2d$ 、中心間を結んだ直線が引張軸に垂直な面と成す角を θ とする。材料には ADC12 を想定し、ヤング率 $E = 74.5$ GPa, ポアソン比 $\nu = 0.3$ を用いたが、ヤング率は応力集中係数に寄与しない。10 節点 4 面体要素を使用し、鑄巣間が十分細かくなるように分割した。有限要素解析には ANSYS を用いた。解析結果から、第 1 主応力の最大値 $\sigma_{1\max}$ を求め、 σ_0 との比として応力集中係数 K_t を算出した。

2.2 経験的応力集中係数予測式

有限要素解析の結果にフィッティングすることにより、応力集中係数予測式を作成する。鑄巣の中心間距離は $\delta = 2d/(a_1+a_2)$ により無次元化し、鑄巣の寸法比を $r = a_2/a_1$ で表す。このとき、応力集中係数 K_t は寸法比 r 、鑄巣間距離 δ および配置角 θ の関数となるので、それらを系統的に変化させて有限要素解析を行うことにより、 K_t の変化を数値的に明らかにする。

2 つの鑄巣まわりの応力集中係数の予測式を、次式で構成できると仮定する。

$$K_t = K_{\text{iso}} + K_{\text{int}} \quad (1)$$

ここで、 K_{iso} は孤立球孔の応力集中係数、 K_{int} は 2 つの鑄巣間相互作用による変化量である。三次元弾性論解より $\nu = 0.3$ のときは $K_{\text{iso}} = 2.046$ である。本研究では、 K_t の鑄巣間距離 δ への依存性をべき乗則で、配置角 θ への依存性は周期性を考慮した $\cos^2 \theta$ で近似し、 K_{int} を次式の変数分離形で表すことができるとする。

$$K_{\text{int}} = A(r) \cdot (\cos^2 \theta)^{\xi(r)} \cdot (\delta - 1)^{-\eta(r)} \quad (2)$$

ここで、 $A(r)$ 、 $\xi(r)$ 、 $\eta(r)$ は寸法比 r に依存するパラメータであり、 r と r^{-1} に対する対称性を考慮し、それぞれ次式で近似する。

$$A(r) = C_{A0} - C_{A1} (r^{n_A} + r^{-n_A})^{-m_A} \quad (3)$$

$$\xi(r) = C_{\xi 0} - C_{\xi 1} (r^{n_\xi} + r^{-n_\xi})^{-m_\xi} \quad (4)$$

$$\eta(r) = C_{\eta 0} + C_{\eta 1} (r^{n_\eta} + r^{-n_\eta})^{-m_\eta} \quad (5)$$

ここで、 C_{A0} 、 C_{A1} 、 n_A 、 m_A 、 $C_{\xi 0}$ 、 $C_{\xi 1}$ 、 n_ξ 、 m_ξ 、 $C_{\eta 0}$ 、 $C_{\eta 1}$ 、 n_η 、 m_η はフィッティングパラメータとして用いられる未定定数 (> 0) である。

3. 解析結果

r を 0.05~1.0、 θ を 0~90 deg、 δ を 1.003~2.0 の範囲で適宜変更し、有限要素解析を行った。まず K_t と δ の関係を最小二乗近似して、 A 、 η と r の関係を数値的に得た。次に K_t と θ の関係を最小二乗近似して、 ξ と r の関係を数値的に得た。それらの関係を最小二乗近似して、12 個の未定定数を求めた。更に得られた定数を初期値とし、全データを一括して最小二乗近似し直し、最終的に次式の定数を得た。

$$C_{A0} = 0.477, C_{A1} = 0.276, n_A = 5.00, m_A = 0.275 \quad (6)$$

$$C_{\xi 0} = 3.462, C_{\xi 1} = 2.016, n_\xi = 1.038, m_\xi = 0.338 \quad (7)$$

$$C_{\eta 0} = 0.180, C_{\eta 1} = 0.471, n_\eta = 5.00, m_\eta = 0.0386 \quad (8)$$

同定された近似曲線と有限要素解析結果を比較した例を図 1 および図 2 に示す。両者の良好な一致が得られており、予測式として十分な精度が得られた。

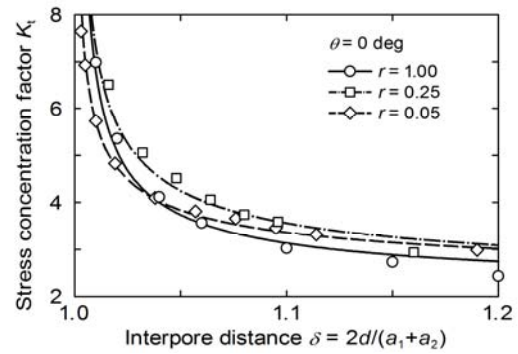


図 1 応力集中係数と鑄巣間距離の関係 ($\theta = 0$ deg)

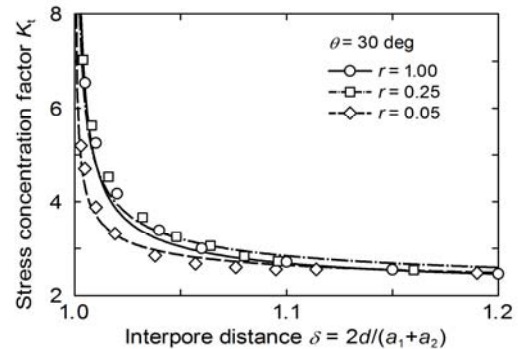


図 2 応力集中係数と鑄巣間距離の関係 ($\theta = 30$ deg)