ビーム形ロードセルの偏置荷重誤差*

(第2報, 形状の影響)

小 島 之 夫**

Sensitivity of Beam Type Load Cell to Off-center Loading (2nd Report, Effect of Shapes)

by Yukio KOJIMA

In the first report, strain distribution of load cells for off-center loading were calculated by the use of three dimensional finite element method. And, the strain which results in inaccurate reading due to off-center loading were pointed out. In this report, effects of load cell shapes on these strains are analysed with the purpose of designing the load cells that are less sensitive to off-center loading. In the case of load cells having external notches, magnitude of the strains caused by the off-center load are less than that having internal ones. Ratio of the strain by off-center load to that by nominal load depends mostly upon both the transverse width of the load cell and the thickness for thinned section of beam.

Key Words: Measurement, Load Cell, Off-center Load, Design of Load Cell, FEM

1. ま え が き

前報⁽¹⁾では、ビーム形ロードセルに偏置荷重が加わった場合、生ずるひずみ分布を三次元有限要素法によって解析した。そして偏置誤差の生ずる機構すなわち偏置誤差の原因となるひずみについて考察した。本報では、偏置誤差の小さいロードセルを設計するための指針を得るため、偏置誤差の原因となるひずみとロードセルの形状との関係について解析した。

はじめに、ロードセルの板厚を変化させて計算を行う。そしてビームの外側に切欠きがある場合と内側に切欠きがある場合について、ひずみ分布の特徴を示す。つぎに、ビームの内側に切欠きがあるロードセルについて、板厚以外の形状因子とひずみとの関係について示す。

2. 計 算 方 法

各形状因子を変化させて計算する場合、基準となるロードセルの形状を図1に示す。図1(a)はビームの外側に切欠きがある場合で、前報で解析したダブルピ

ーム形ロードセルと同じ形状である。図1(b)はビームの内側に切欠きがあるロードセルで、この場合、ひずみゲージ(以下ゲージと記す)がビーム外側①②③④の位置に接着される。

ロードセルの基本的特性は、前報付録2の方法で計算した。この場合の計算条件をまとめて図2に示す。図2中、 $P_x, P_y, P_z(N), u_x, u_y, u_z(mm)$ は x, y, z 方向の外力および変位である。ケースI'の場合、ゲージ接着表面に生ずる x 方向のひずみを ϵ 、負荷点の y 方向変位を $\delta/2$ とする。ケースII, IIIは、偏置荷重によってモーメントが加わった場合に相当する。ケースIIで生ずる x 方向のひずみを ϵ_H とする。ケースIIIでは、ビーム表面にせん断ひずみ γ_{zx} が生ずる。 γ_{zx} の板厚

(a) External notch (b) Internal notch

図1 ロードセルの基本形状

* 昭和60年3月31日 第62期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和59年8月6日。

** 正員、名古屋工業大学 (〒466 名古屋市昭和区御器所町)。

図 2 計算条件

(a) せん断ひずみ γ_{zx}

(b) 引張ひずみ ϵ_x

図 3 外側に切欠きのあるロードセルにおけるケースIIIのひずみ分布

(a) せん断ひずみ γ_{zx}

(b) 引張ひずみ ϵ_x

図 4 内側に切欠きのあるロードセルにおけるケースIIIのひずみ分布

中央部 ($z=0$) における値を γ とする. xy 面の要素分割形式は前報とほぼ同じである. また板厚方向の要素分割数は 2 とした.

3. 板厚 b の影響

図 1 (a) のロードセルの場合, ヤング係数を $E=1.0 \text{ N/mm}^2$, 荷重を $P_y=0.5 \text{ N}$, $P_x=1 \text{ N}$ とすれば, ケース I', II のひずみは, $\epsilon=0.2989$, $\delta=85.54 \text{ mm}$, $\epsilon_{II}/\epsilon=-0.0093$ である. また図 1 (b) の場合, $\epsilon=-0.2948$, $\delta=83.34 \text{ mm}$, $\epsilon_{II}/\epsilon=-0.0140$ である. 板厚 b を変えた場合, ϵ , ϵ_{II} および δ は板厚に反比例して変化する.

ケース III の場合 ($E=1.0 \text{ N/mm}^2$, $P_z=0.5 \text{ N}$), 板厚 b が異なるロードセルについて, ゲージ接着表面に生ずる引張ひずみ ϵ_x とせん断ひずみ γ_{zx} の分布を図 3, 4 に示す. ϵ_x , γ_{zx} は各板厚におけるケース I' のひずみ ϵ を基準にして示した. 図 3, 4 からわかるよう

図5 変化させる平面形状因子

(a) 固定部分の高さ h の影響 (b) ビームの厚さ s の影響 (c) 切欠き部分の半径 r の影響

に、 $\varepsilon_x/\varepsilon$, γ_{zx}/ε は板厚 b によって大きく変化する。これは、前報で述べたように、板厚 b によってビームの zx 面内の曲げ剛性が大きく変わるためである。この場合、ビームには zx 面内の曲げ変形と yz 面内のね

(d) 切欠き部分の厚さ t の影響 (e) 固定部分の幅 W の影響 (f) ビームの長さ l の影響

図6 平面形状因子の影響

じり変形とが生ずる。これら両方の変形によって、ビーム表面にせん断ひずみ γ_{zx} が生ずる。外側に切欠きのあるロードセルの場合には、ゲージ接着表面で、ねじりによるせん断ひずみの符号が曲げによるせん断ひずみの符号と反対になる。このため、 $b=40$ mm の場合、両方のせん断ひずみが互いに相殺し、板厚中央部分 ($z=0$) で γ_{zx}/ϵ がほとんど零になる。内側に切欠きのあるロードセルの場合、それぞれの変形によって生ずるせん断ひずみは、ゲージ接着面で同じ符号となる。このため板厚 b を大きくしても、せん断ひずみとケース I' のひずみとの比 γ_{zx}/ϵ は零にならない。ビーム表面の x 方向のひずみ ϵ_x も、ビームの曲げ変形とねじり変形とによって生ずる。この場合には、それぞれの変形によって生ずる引張ひずみの符号の関係が、せん断ひずみの場合と逆になる。したがって、板厚 b を大きくした場合、ビームの外側に切欠きのあるロードセルでは、内側に切欠きのあるロードセルに比較して、 ϵ_x/ϵ が小さくならない。

以上のひずみ分布に基づき、偏置誤差に関して、ビームの外側に切欠きのあるロードセルと内側に切欠きのあるロードセルとを比較する。ロードセルと直角方向の偏置 (z 方向、ケース III) において、ビーム中央 ($z=0$) のせん断ひずみを γ とし、この近傍で引張ひずみ ϵ_x を $\epsilon_x = az$ と近似する。ゲージがビームの中央軸 ($z=0$) から Δz ずれ、かつ $\Delta \theta$ 傾いて接着された場合、ケース I' のひずみを基準として、生ずる誤差は最大約 $|\gamma \Delta \theta / \epsilon| + |a \Delta z / \epsilon|$ となる。外側に切欠きのあるロードセルの場合、板厚 b を変えることで、 γ/ϵ の絶対値を非常に小さくすることが可能である。また内側に切欠きのあるロードセルでは、 a/ϵ をほとんど零にすることができる。ロードセルと同一面内の偏置 (xy 面内、ケース II) については、外側に切欠きのあるロードセルのほうが、内側に切欠きのあるロードセルに比べて、 ϵ_{yz}/ϵ の絶対値がやや小さい。一方、ゲージの接着誤差に関しては、外側に切欠きのあるロードセルの場合、ゲージ接着面がビームの内側にあるため、 $\Delta \theta$ 、 Δz がより大きくなることが考えられる。

4. 平面形状の影響

ビームの内側に切欠きのあるロードセルについて、板厚以外の形状因子と各ケースで生ずるひずみとの関係を計算する。変化させる形状因子を図5に示す。基

本形状のロードセル[図1(b)]から、これらの形状因子をそれぞれ独立に変化させる。ケース III の場合、せん断ひずみとして板厚中央部 ($z=0$) の値 γ を示す。また引張ひずみとして、 $z=0$ 付近で $\epsilon_x = az$ と近似したときの係数 a を示す。この際、 $z=b/4$ における ϵ_x の値を $b/4$ で除して a とした。ケース II, III で生ずるひずみは、ケース I' のひずみ ϵ を基準にして示す。

計算結果を図6に示す。図6中、横軸において、下線のある数字は基準寸法を示す。これらの図から、偏置誤差の原因となるひずみに対する、形状因子の影響度がわかる。各形状因子を変化させた場合、ひずみの大きさが変化する機構は、前報の考察から推測することができる。

形状因子のうち、偏置誤差の原因となるひずみに最も影響を与えるのは、切欠き部分の厚さ t [図6(d)] である。 t の減少に伴い、 ϵ_{yz}/ϵ 、 γ/ϵ 、 a/ϵ の絶対値が小さくなる。この傾向と3章の結果とをあわせて考えれば、一般的に、所定のひょう量に対して、切欠き部分の厚さ t をできるだけ小さくしたほうが、偏置誤差の小さいロードセルが製作できる。一方、切欠き部分の厚さの最小値は主に次の2点によって規定される。切欠き部分の厚さ t を小さくした場合、荷重点の変位 δ (ロードセルのコンプライアンス) が増加する。すなわちロードセルの固有振動数が低下する。また切欠き部分の熱容量が小さくなり、外気温度の変動によって、ゲージの出力が影響を受けやすくなると考えられる。

5. 結 言

ダブルビーム形ロードセルにおいて、偏置誤差の原因となるひずみとロードセルの形状との関係を有限要素法を用いて解析した。その結果、偏置誤差の原因となるひずみに対する、形状因子の影響がわかり、偏置誤差の小さいロードセルを製作するための指針が得られた。

なお、ロードセルの最適な形状は、本報で示した偏置誤差だけでなく、その他の特性も考慮して決定されるべきである。このため今後、ロードセルの形状と諸特性との関係が明らかにされる必要がある。

文 献

- (1) 小島, 機講論, No. 840-14, (昭 59-10), 282.