

1. はじめに 偏心継手に関しては、Crawford と Kulak¹⁾ が終局強度設計法を提案し、AISC²⁾ はこれを参考して、伝統的な弾性解析法とともに、文献 1) による設計法を併記している。

本報告は文献 3) 等で提案したパラボリックアイソパラメトリック有限要素(PIFE)-ばねモデルによるすべり強度解析手法を用いて、文献 1) の設計法を検討し、これをより一般的な複合応力場の摩擦接合継手の設計へ適用する試みを行なったものである。

2. 偏心継手に関する現行の設計法

偏心荷重が作用するときの摩擦接合継手の設計法は、現在までに 3 種類程度考案されており、その中で現在使用されているのは、a) 伝統的な弾性計算法、b) Crawford と Kulak の計算法、の 2 種類である。a) の設計法はボルト群の中心から距離 e だけ隔たった所に荷重 Q が作用するとき、これをボルト群の中心に作用するモーメント ($M=Qe$) とせん断力 Q に分解し、後で合成する方法である。この手法で設計した場合は常に安全側の設計になるが、本来リベット継手の設計に対して考案された設計法であるため、摩擦接合継手の実際のすべり限界状態に対する設計とは異なったものと考えられる。

b) の算定法は終局強度解析法または塑性解析法とも呼ばれ、a) の算定法に比べて合理的である。一般に偏心力を受ける継手は回転と並進運動を同時に起こす。従って、これらの変位はボルト群の中心から少し離れた位置にある、同時回転中心 (Instantaneous Center of Rotation; I.C.) 周りに生じることになる。この同時回転中心は力の静的釣合式、 $\sum F_H=0$, $\sum F_V=0$, $\sum M=0$ から求められる。水平方向釣合式である第 1 式は従属な式である。各ボルトのすべりに対する抵抗力 ρ_i は主すべり時には総べて等しく ρ となると仮定し、また偏心量を e 、ボルト群の中心から同時回転中心までの距離を r_0 とすると、垂直方向およびモーメントの釣合式である第 2、第 3 式から次式が得られる。

$$\left(\sum_{i=1}^n d_i \right) / (e + r_0) - \sum_{i=1}^n \cos \theta_i = 0 \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{ここで、} d_i = \{ y_i^2 + (x_i + r_0)^2 \}^{1/2} \quad \dots\dots (2)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \{ y_i / (x_i + r_0) \}$$

であり、また x_i , y_i はボルト群の中心 C.G. を原点としたときの i 番目のボルトの座標である。式 (1) は三角関数の内部に未知数 r_0 を含んでいる超越関数であるため、陽な形の解は得られない。そのため、解を得るには試行を繰り返す必要があり、電子計算機による演算が必要である。式 (1) が成立するときの左辺第 1 項はボルト 1 本のすべり抵抗力 ρ に対する主すべり耐力 Q の比 $C = Q/\rho$ を表わすことになる。以上が b) の計算法の概略であるが、本計算法では主すべり発生時には総べてのボルトの抵抗力が等しいという仮定が存在している。しかしながらボルト軸力は周辺の応力値によって変動するため、前記の仮定は一般的には成立しない。この点に関して、有限要素-ばねモデルを用いて調べてみた。

3. 有限要素-ばねモデルによるすべり解析結果と考察

解析モデルは図-1 に示すようなゲージライン 2 列の偏心継手であり、2 種類の偏心量 ($e=140\text{mm}$, 220mm) と 3 種類のボルト列数 ($m=4, 5, 6$) についてすべり解析を行なった。図-2 はボルト 4 列 ($m=4$) における各ボルトのすべり方向を示したものであるが、細い矢印が弾性時、また太い矢印が主すべり発生時のものである。各ボルトの抵抗力にバラツキがあることから、全く同一の回転中心を持つことはない。しかし、弾性時にはばらばらであった回転中心が主すべり時に

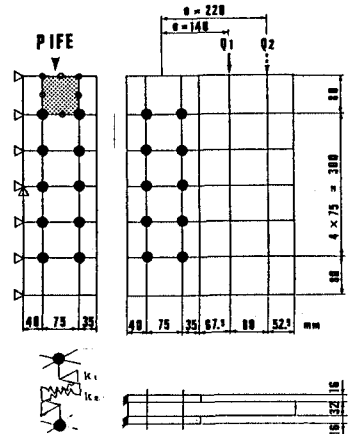


図-1 すべり解析モデル ($m=5$)

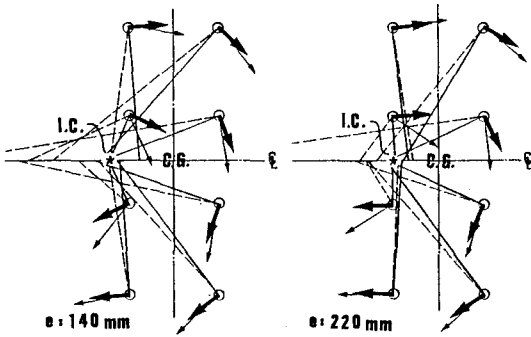


図 - 2 すべり方向 (弾性時と主すべり時)

主すべり軸 力変化率 (%)	ボルト 番号	e = 140 mm			e = 220 mm		
		m = 4	m = 5	m = 6	m = 4	m = 5	m = 6
1	1	96.28	95.50	94.50	95.86	95.18	94.26
2	2	98.74	98.88	98.86	97.46	97.10	95.82
3	3	97.86	96.82	96.09	97.31	95.95	95.16
4	4	99.33	99.28	100	98.69	97.96	97.42
5	5	100	100	98.69	100	99.50	97.46
6	6	100	100	100	100	100	99.24
7	7	100	100	100	100	100	100
8	8	100	100	100	100	100	100
9	9	—	100	100	—	100	100
10	10	—	100	100	—	100	100
11	11	—	—	100	—	—	100
12	12	—	—	100	—	—	100
平均 ($\bar{C}$)		99.03	99.05	99.00	98.67	98.57	98.28
$\bar{p} : 2\bar{C} \mu$ *No/100		22.31	22.31	22.30	22.23	22.21	22.14
Q		91.52	131.9	177.4	63.58	92.12	128.6
C : 解析 (Q/ $\bar{p}$)		4.10	5.91	7.96	2.86	4.15	5.81
C : 理論 (3%減)		4.11	5.91	7.93	2.87	4.17	5.80
		3.99	5.73	7.69	2.78	4.04	5.63

表 - 1 係数 C に関する解析値と理論値の比較

は 1 点に集中する傾向にある (図中に I. C. の理論値を示した)。表 - 1 は本解析で得られた係数 C を理論値と比較したものである。ここですべり抵抗値は平均値を用いた。

解析による C は図 - 2 に示したように回転中心のずれが多少あるにもかかわらず理論値と非常に良く合っており、理論値の合理性を確認することができる。ただし、解析値が理論値を僅かに下回る場合があり、設計に用いる場合は数パーセント程度係数 C の値を減じた方が良いと思われる。

図 - 3、図 - 4 は C の値を 3% 減じた C - m 曲線を示したもので、それぞれ 75*75mm、75*100mm ピッチのボルト配置の場合である。これらの図を用いれば C の要請値と偏心距離 e が与えられた場合、図 - 5 に示すような方法で必要ボルト列数を簡単に求めることができる。

逆にボルト列数と偏心距離から C が求まる。プレートガーダーのウェブ継手はモーメント M_w とせん断力 Q が作用する複合応力場の継手である。中立軸が桁中央付近にある場合は、等価偏心距離 ($e = M_w / Q$) を用いて偏心継手の問題とすることができる。図 - 4 は、このようなウェブ継手の設計用に用意したものである。

参考文献 1) Crawford, S.F. and Kulak, G.L. : Eccentrically Loaded Bolted Connections, Journal of the S.T. Div., ASCE, Vol. 97, 1971. 2) AISC : Steel Connection Manual (8 Edition). 3) 例えば、長嶋・野木 : 面内純曲げモーメント作用下の摩擦接合継手のすべり強度解析、構造工学論文集、Vol. 35A, 1989 年。

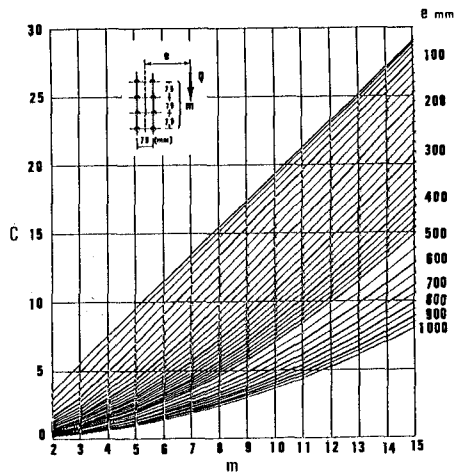


図 - 3 C - m 曲線 (75*75 mm)

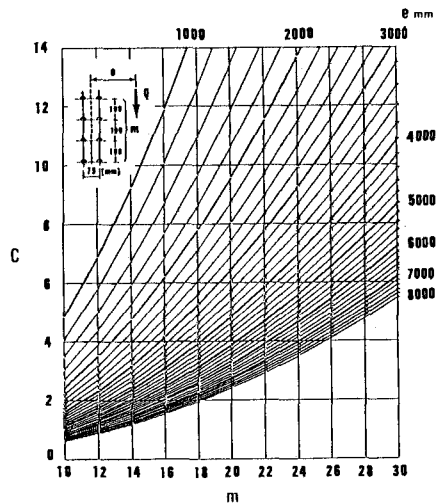


図 - 4 C - m 曲線 (75*100mm)

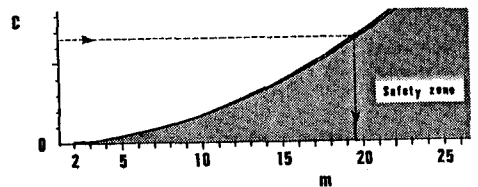


図 - 5 C - m 曲線の説明図