

I-255

純曲げ応力場における摩擦接合継手のすべり挙動解析

東京都立大学 正 長 嶋 文 雄
(株)青木建設 野 木 伊 佐 男

1. はじめに プレートガーダーの高力ボルト摩擦接合の継手問題には、ウェブ部自身のすべり挙動の問題（例えば、ボルト群としてのすべり抵抗特性の問題及び曲げモーメントに加えて非常に大きなせん断力が作用するような問題）の他に、フランジ部とウェブ部との連成問題（あるいは、合成構造における連成問題）等未だ十分な検討がされていない興味深い問題がある。プレートガーダー継手のすべり特性に関する実験的研究はいくつか報告されている〔例えば、1), 2)〕が、数値解析例は殆んど見受けられない。筆者は先に、引張応力場における摩擦接合継手のすべり挙動解析手法を開発している³⁾が、これを引張応力と圧縮応力が混在している場合にも適用できるように発展させ、上記のような問題を解析的に明らかにすることを目的とし、その基礎的な資料を得るために、純曲げ応力場における問題を検討した。

2. 解析モデル 板の面内曲げ問題に対しては、一般の四辺形要素では計 8 個の変形モードの中には曲げ変形モードが無いため、要素メッシュをかなり細かくする必要がある。これに対しては非適合要素や高次要素を使用することが考えられているが、筆者の試算によれば高次要素（Parabolic Isoparametric Finite Element: PIFE）を用いたときの計算精度が非常に良かった。そこで、継手板（母材と添接板）はPIFEでモデル化し、これらをボルト位置で z 、 x 両軸方向にせん断ばね（ k_{sz} , k_{sx} ）を用いて連結した離散化モデル（PIFESM）を用いることにした（図 - 1）。対称条件により薄墨部分（全体の1/4）を取り出して解析した。

圧縮応力が継手に加わるとポアソン比 ν によって部材が太ることになり、これに伴ってボルト軸力 N は導入軸力 N_{in} よりも増加することになる。初期ボルト軸力は、ときには降

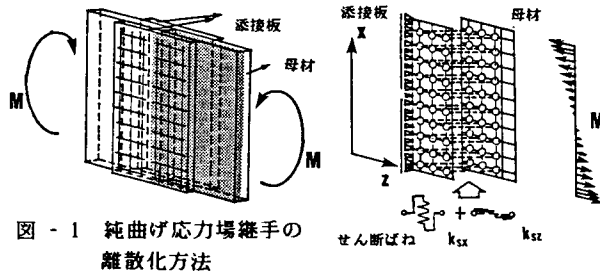


図 - 1 純曲げ応力場継手の離散化方法

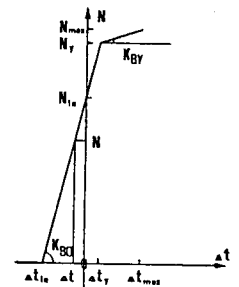


図 - 2 高力ボルトの引張特性モデル

伏荷重 N_{By} 近くまで導入されることがあるので、図 - 2 に示すようなバイリニア型の特性を与えることにした。ここで、 Δt は板厚の変化量である。

初期ボルト剛性 k_{Bo} は文献4), 5)の実験データをまとめ、この中からグリップ長さ ℓ_g に対するボルト径 d の比(d/ℓ_g)が1.0

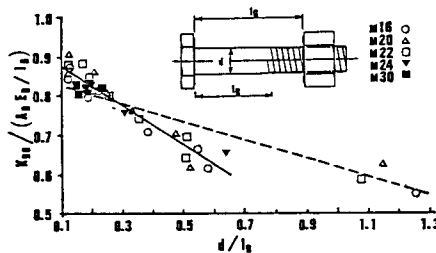


図 - 3 高力ボルトの等価伸び剛性

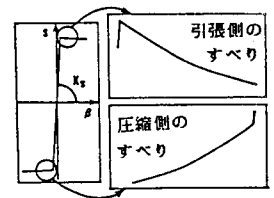


図 - 4 せん断ばね特性モデル

を越えるものを除き直線回帰して求めた（図 - 3中の実線）が、これは式（1）のように示される。

$$k_{Bo} = (A_g E_g / \ell_g) \{0.927 - 0.504 (d / \ell_g)\} \quad \dots\dots (1)$$

A_g , E_g , ℓ_g はそれぞれボルト円筒部断面積、弾性係数および円筒部長さである。

降伏後のボルト剛性 k_{By} は遊びねじ部の山数 n とボルト径をパラメータとして表わすことができるようであるが、 n に対する変化は僅かであることから、各ボ

	$K_{By}(t/mm)$
M20	3.0
M22	4.0
M24	4.5
M30	7.0

表 - 1 高力ボルトの降伏後の剛性

ルト径に対して一定とし、表 - 1 に示す値を用いることにした。

せん断ばね特性 k_{sj} ($j=z, x$) は次式で示されるすべり限界せん断力 S^*_{ij} (i はボルト番号) に達した場合は S^*_{ij} の値に留まるようにした。

$$S^*_{ij} = \mu N \dots\dots (2)$$

ここで、 μ は摩擦係数である。従って、母材と添接板間の相対変位(β)に対するせん断力(S)の関係は図-4に示すようなものとなる。解析モデルは微小すべりが発生した後は非線形系となる。このため主すべり付近での解が安定した状態で求められるように、強制変位による計算手法を用いた。

3. 純曲げ試験結果との比較

解析モデルの精度を調べるために、文献1)の純曲げ試験結果との比較を行なった。供試体は図 - 5 に示すようなウェブのみの継手であり、ボルト配置の異なる a, b の2体である。図 - 6 に数値解析によって得られた、モーメント(M) - 曲率 (ϕ) 関係と試験による主すべり時のモーメントを示す。図中のmsは「主すべり」が生じた点を示したものである。数値解析結果は試験結果と比較的良好に対応しており、主すべり荷重の値も a 供試体の場合は非常に良く合っている。但し、微小すべりの方向が水平方向と多少角度を持つのに対して、本解析ではせん断ばねを座標軸方向に固定(変位拘束)しているため、すべり抵抗が幾分高めに出現している可能性がある。

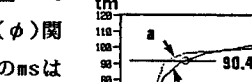


図 - 6 純

4. 数値解析例と考察

ボルト配置を繊維応力に比例するように定めたc432（片側添接板枚数 3枚）と、モーメントプレートのボルト列数を同数としたc442（同、3枚）、ボルト列数を全て同数としたc333（同、1枚）及びそのときの

片側添接板枚数が 3枚の場合のd333の 4種類の数値実験用供試体を作成し(図 - 7)、主すべりに至るまでの解析を行なった。図 - 8にM- ϕ 曲線の比較を示した。d333は主すべりに達する前にボルトが支圧状態となる恐れのあるようなすべり量となったので計算をそこで打ち切ったが、その他は主すべりが生じている。線形範囲内ではc432とc442及び c333とd333の差は殆んど無いが、非線形範囲ではボルト本数や片側添接板枚数の影響が現われている。

5. おわりに 純曲げ応力場の問題においても、座標軸に対して傾きのある方向にすべりの方向を設定するような方法が望ましいことがわかった。今後すべりの方向を任意に設定できるプログラムの開発を行ない、せん断力と曲げモーメントが同時に加わるような複合応力場の問題が解析できるようにして行きたい。

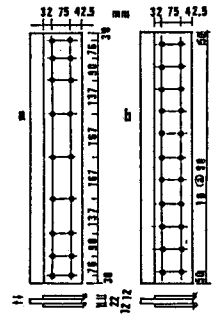


図 - 5 継手試験
供試体 (a, b)

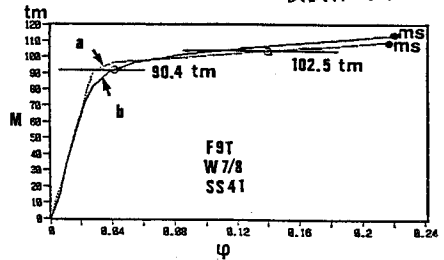


図 - 6 継手試験結果との比較

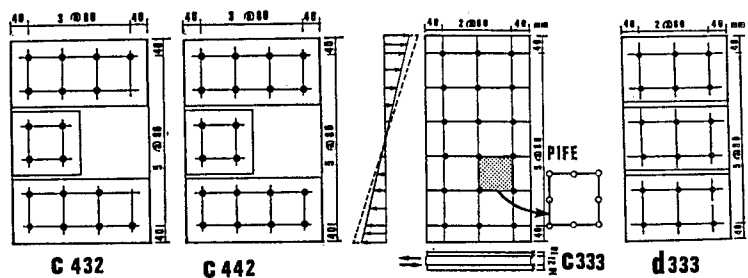


図 - 7 数値実験供試体

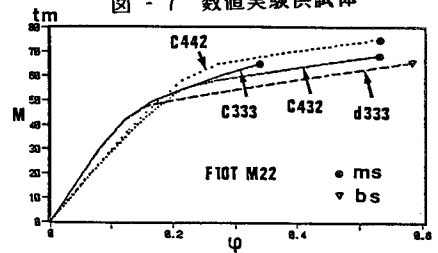


图 - 8 数值实验结果

【参考文献】 1) 日高・高木・寺田：プレートガーダー腹板の高力ボルト継手試験、日本国有鉄道構造物設計資料、No. 72, 1982-12. 2) 寺田・名取：プレートガーダーの高力ボルト摩擦接合部の力学的特性、土木学会第37回講概集、I-98、昭和57年10月。3) F. NAGASHIMA: ANALYTICAL STUDY ON SHAPE EFFECT OF FRICTION-TYPE BOLTED JOINTS. Proc. of JSCE No.374/1-6, Oct. 1986. 4) 橋本：F10T高力ボルト単純引張り時の荷重・変形性状、建築学会論文報告集、第309号、昭和56年11月。5)本四公団第二建設局：大塔高力ボルト摩擦接合継手試験報告書、昭和57年11月。