

管フランジ締結体のボルト締付けシミュレーション

Bolt-Up Finite Element Simulations of Pipe Flange Connections

正 高木 知弘 (神戸大・海事科学)

正 福岡 俊道 (神戸大・海事科学)

Tomohiro TAKAKI, Faculty of Maritime Science, Kobe University,
5-5-1, Fukaeminami, Higashinada-ku, Kobe

Toshimichi FUKUOKA, Faculty of Maritime Science, Kobe University

Key Words : Bolting Up, Torque Control Method, Pipe Flange Connection, FEM

1 緒言

管フランジ締結体の締付け過程におけるボルト軸力のばらつきには、主に2つの原因が考えられる。一つは、トルク法を用いる際の接触面の摩擦係数に起因するものである。もう一つは、ボルトを逐次締付けていく場合に発生する弾性相互作用によるものである。実際の締付け過程においては、トルク法によるボルト軸力のばらつきと弾性相互作用によるばらつきが複雑に影響をおよぼしていることが考えられる。

本研究では、ボルトをトルク法を用いて締付ける場合を想定し、各ボルトの締付け軸力にばらつきがある場合の管フランジ締結体の締付け特性を評価する。評価手法としては、管フランジ締結体のボルト締付け過程のシミュレーションを可能とする有限要素解析手法を適用する。

2 解析方法

本研究における数値解析は、文献 [1] で提案した管フランジのボルト締付け過程を評価することのできる手法を採用する。解析の対象とするのは、JPI class300 lb の 10 inch と 20 inch のスリップオン形管フランジである。ガスケットは厚さ 3mm の石綿ジョイントシートガスケットを対象とし、文献 [2] に示す応力-ひずみ関係を使用している。

図 1 は時計回りの締付け順序 (clockwise pattern sequence) に対応するボルト番号と対角状 (star pattern sequence) の締付け順序を示している。10 inch フランジは M27 のボルト 16 本、20 inch フランジは M33 のボルト 24 本で締付けを行う。ここでは上記 2 種類の締付け順序を採用し、締付け力は徐々に増加させず、はじめから

Table 1 Tightening bolt loads : F'_t/F_t

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7
bolt 1	1.075	0.929	1.021	0.983	1.037	1.091	0.945
bolt 2	1.047	0.906	1.053	0.964	0.958	1.016	0.996
bolt 3	0.908	1.017	1.097	1.062	1.074	0.997	0.902
bolt 4	1.085	1.086	1.069	1.068	1.006	0.914	0.945
bolt 5	0.967	1.090	1.027	1.076	1.090	0.920	1.012
bolt 6	0.918	1.098	1.055	1.091	0.911	1.013	1.055
bolt 7	0.975	1.066	1.058	0.924	1.053	0.936	1.061
bolt 8	0.976	0.960	0.965	1.004	1.051	1.066	0.950
bolt 9	1.096	0.968	0.960	0.914	1.086	1.008	0.959
bolt 10	0.971	0.975	0.932	0.947	0.968	0.902	0.970
bolt 11	1.014	0.975	1.055	1.039	0.909	1.067	1.079
bolt 12	0.995	1.045	0.931	0.904	0.925	1.052	1.069
bolt 13	0.935	1.046	1.096	0.960	0.995	1.081	1.026
bolt 14	1.038	0.916	1.045	0.971	1.086	0.994	0.935
bolt 15	1.011	0.903	0.952	1.041	1.060	1.037	0.966
bolt 16	1.001	0.995	0.989	1.030	1.082	0.960	0.984
bolt 17	1.084	0.932	0.965	0.939	1.003	1.049	1.049
bolt 18	0.942	0.956	0.917	0.949	0.985	0.945	1.053
bolt 19	1.082	1.048	1.022	0.993	0.948	0.974	0.964
bolt 20	0.962	1.057	0.972	1.004	0.913	0.960	0.946
bolt 21	1.087	1.016	1.074	0.979	0.954	1.035	0.933
bolt 22	1.086	0.943	0.997	1.078	0.993	0.967	0.983
bolt 23	0.974	1.063	1.040	1.083	1.020	0.919	0.945
bolt 24	1.077	0.927	0.945	0.948	0.975	0.995	0.934

所定の値とする。所定の軸力 F_t は、ガスケットの平均座面圧力が 30MPa となるよう 10 inch, 20 inch のフランジに対して、それぞれ $F_t=43.0\text{kN}$, 78.7kN と設定している。

各ボルトの締付け軸力 F'_t が所定の軸力 F_t から $\pm 10\%$ の範囲内で一様にばらつく場合を想定し、表 1 の case 1 から case 7 の 7 種類のボルト締付け力 F'_t を設定する。表中の値は、各ボルトの締付け軸力 F'_t を所定の軸力 F_t で除して、無次元化して示している。締付け軸力 F'_t は一様乱数を用いて決定している。なお、16 本のボルトで締付けられる 10 inch フランジに対しては、表 1 の bolt 1 から bolt 16 までの締付け力を用いている。

3 解析結果

図 2 は 10 inch フランジに対して、表 1 の case 1 から case 7 の締付け力を用いて、時計回りと対角状に締付ける解析を行った際の、各 pass 完了時に残留している軸力の平均値 F_m の変化を示している。図 3 は、各 pass 完了時に残留している軸力の最大差 ΔF の変化を両管フランジに対して示している。いずれも 14 通りの解析結果を同時に示している。

各ボルトの締付け軸力 F'_t のばらつきの大きさが、管フランジ締結体の締付け特性におよぼす影響を検討す

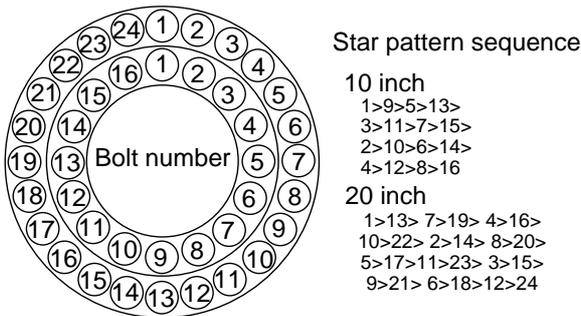


Fig. 1 Bolt number corresponding clockwise pattern sequence, and star pattern sequence

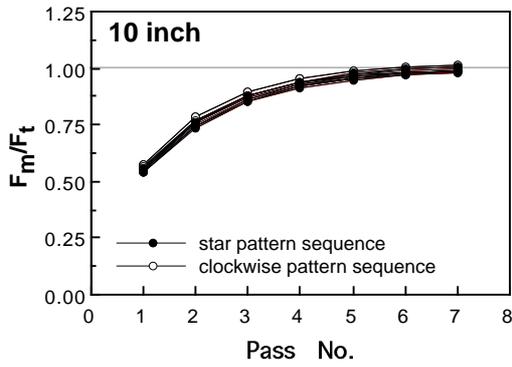


Fig. 2 Variations of mean bolt preload at the end of each pass

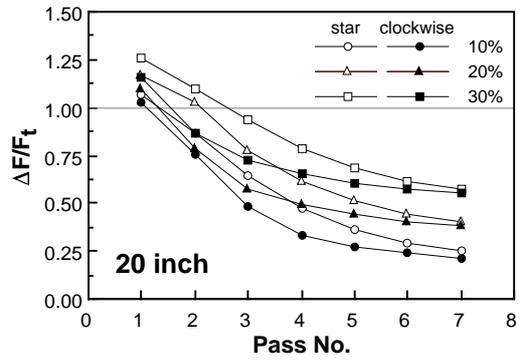


Fig. 4 Variations of bolt load scatter at the end of each pass

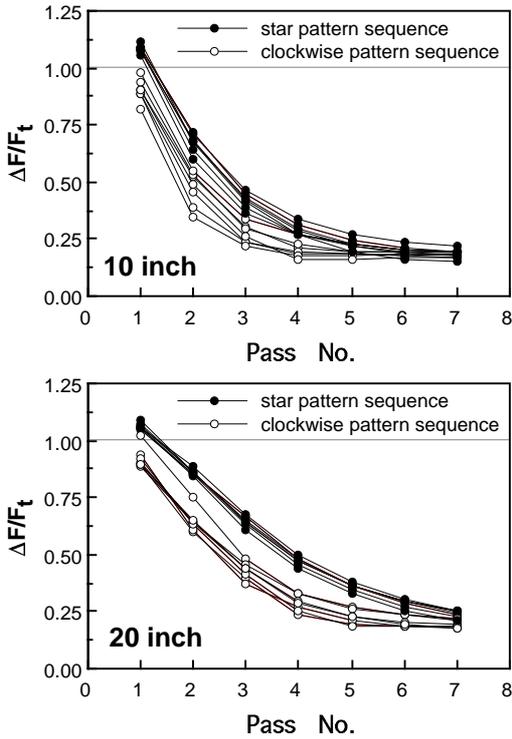


Fig. 3 Variations of bolt load scatter at the end of each pass

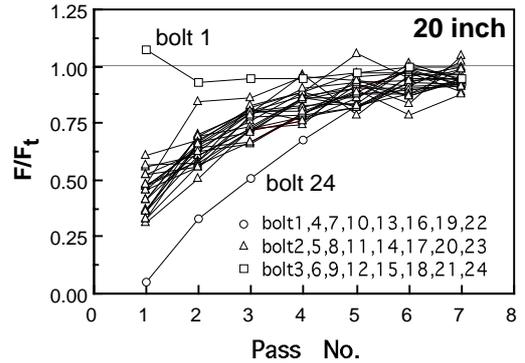


Fig. 5 Variations of bolt loads at the end of each pass

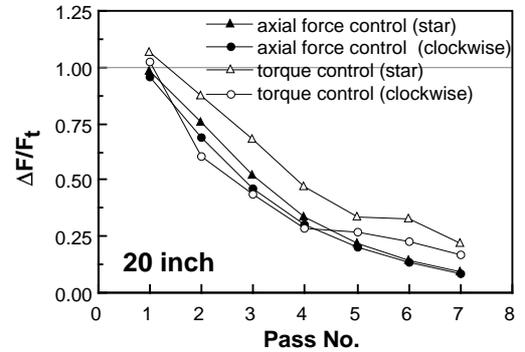


Fig. 6 Variations of bolt load scatter at the end of each pass

る．ここでは，締付け軸力 F'_t が所定の軸力 F_t から $\pm 10\%$ ， $\pm 20\%$ ， $\pm 30\%$ の範囲内で一様にばらつく状態を設定し，ボルト締付けシミュレーションを行う．ばらつきが $\pm 10\%$ の場合は，表1の case 1 の F'_t を用いる．ばらつきが $\pm 20\%$ と $\pm 30\%$ の場合は，表1の case 1 の値 F'_t/F_t から 1 を差し引き，2 と 3 をそれぞれ掛け，さらに 1 を足した値をそれぞれの F'_t/F_t 値としている．解析の結果，各締付け作業完了時にばらついている軸力 F の平均値 F_m の変化は図 2 のように全て同様な変化を示した．図 4 は，各締付け作業完了時に残留しているボルト軸力の最大差 ΔF の変化を示している．

管フランジの締付け作業中，トルク係数が変動する，または締付けトルクが一定でない場合を想定し，全てのボルトの締付け力が締付け作業毎に変化する条件で評価を行う．ここで，各ボルトの締付け軸力は所定の軸力 F_t から $\pm 10\%$ の範囲内で一様にばらつくとし，表 1 に示

す case 1 から case 7 の値を各締付け作業で用いる．つまり，pass 1 の締付け軸力は case 1，pass 2 の締付け軸力は case 2，pass 7 の締付け軸力は case 7 という感じである．図 5 は，各締付け作業完了時に残留しているボルト軸力 F の変化，図 6 は最大差 ΔF の変化を示している．考察および結言は省略．

参考文献

- (1) 福岡俊道・高木知弘，有限要素解析による管フランジ締結体のボルト締付け過程の評価（うず巻形ガasketを用いた場合），機論，66-650，A（2000），1834-1840．
- (2) 高木知弘・福岡俊道，管フランジ締結体の三次元有限要素法解析（石綿ジョイントシートガasketを用いた場合），機論，68-665，A（2002），8-14．