軸継手ボルト穴加工の現状*

軸系研究委員会

Present State of Machining for Shaft Coupling Bolt Holes

By Propeller and Shafting Committee

This Paper describes the present state of machining for shaft coupling bolt holes based on our research by questionnaire to ship builders, makers of engine, reduction gear, c. p. p. and shaft.

1. まえがき

推進軸系の軸継手用リーマボルトの径は各船級協会です所要小径が規定されているが、いずれも継手面におけるボルトの単純せん断によるトルクが軸の伝達トルクに等しいということを基本として決められていることからボルトは確実にリーマであることが必要となる。このためにも、軸継手ボルト用リーマ穴の加工は重要な作業の一つである。

一般に、リーマ穴加工は中間軸と中間軸および中間軸とプロペラ軸（給油軸）では多くが陸上に軸継手相互を合わせてリーマ通しが行われる（共あけ）が、主機（減速機）と中間軸の継手リーマ穴加工については船内で行われる場合もある。一方、最近の機械加工精度の向上に加えて、コスト削減、船内作業の軽減、工程の短縮などの面からも治具を使用した加工方法がかなり採用されている。

そこで、当委員会ではリーマ穴加工についての現状および治具加工についてのアンケート調査を行った。アンケートは当委員会委員から関係の造船所、主機、減速機、CPPおよび軸メーカーにお願いし、当委員会委員の造船所11社、軸系関連主機メーカー4社の他に主機、減速機メーカー7社、軸メーカー5社から回答が得られた。

以下に、そのアンケート調査結果と治具加工ならびに使用されている治具の現状について報告する。

2. アンケート調査結果

2.1 軸継手ボルト穴加工の実状

造船所各社のボルト穴加工の実状を調査した結果は次のとおりである。

標準として採用されている加工要領は主機（減速機）と中間軸との継手では全社が治具加工であり、各軸の加工場所が離れている、製造工程や加工時期の違い、船内作業の軽減が主な採用の理由である。中間軸と中間軸との継手では共あけが5社、治具加工が3社、その他は3社（2社は共あけまたは治具加工）であり、共あけの場合は両軸が一体として加工が可能、穴径の差異および穴の芯のずれを少なくすること、治具加工の場合は加工時期や納期が違い軸メーカーでの共あけが無理およびコストが安い、その他の場合はメーカーの標準に従っているのがそれぞれの採用の理由である。中間軸とプロペラ軸（給油軸）との継手では中間軸と中間軸との継手の場合とほぼ同程度の採用状況で、同様の採用理由となっている。

加工場所としては、共あけの場合はほとんどが軸メーカーで自社加工が1社である。また、治具加工の場合には主機（減速機）の継手は主機（減速機）メーカーで、各軸継手はほとんどが軸メーカーで施行されているが自社加工が1社となっている。

標準として採用されているボルトの挿入方法は、圧入が2社と少なく冷やしバメが9社と多く採用され、ボルト穴径の公差は圧入と冷やしバメとでは変えておらず、図面に真円度および円筒度を指示して

*原稿受付 平成4年6月5日

いるところはない。また、注文書においても精度に関しては継手間のボルト穴段差を $2/100\text{mm}$ 以内とする旨の特別要求仕様 1 社の外は特に記載していないのが実状である。

2.2 軸継手ボルト穴の共あけ加工（主機、減速機、CPP、軸メーカーおよび造船所への調査結果）

主機（減速機）と中間軸との継手では共あけを施工した最近の実績はない。また、中間軸と中間軸および中間軸とプロペラ軸（給油軸）との継手では、継手間のボルト穴径の差異および穴の芯のずれを無くする、各軸が同一メーカーであることから共あけ加工が可能、治具がない、および高精度のリーマ穴が得られるが共あけの主な採用理由である。しかし、共あけ加工の場合には結合スペースが必要であること、各軸の工期の違いによるロスタイムがでること、コストアップになることがあるなどの問題点の指摘もある。共あけ加工をした場合の加工精度に関係する項目の実績値および計測用具の調査結果を表 1 に示す。この結果から、ボルト穴径の実測値は計画穴径に対して $+1/100 \sim +2/100\text{mm}$ が多く、計測点の数も軸方向は 4 箇所、径方向は 2 箇所がほとんどである。ピッチ円の径およびボルト穴のピッチについてはほとんど計測されておらずチェックのみ実施しているところが 1 社あるが、これは共あけ加工のため不要との考えによるものと思われる。また、ボルト穴の真円度および円筒度は $0 \sim 1/100\text{mm}$ で、表面粗さは $0.8a \sim 1.6a$ となっている。加工用機械としてはボーリングマシン、横中ぐり盤、専用機などが、また、最終仕上げ用ツールとしては超硬バイト、超硬シエルリーマ、ホーニングなどがそれぞれ使用されている。

2.3 軸継手ボルト穴の治具加工（主機、減速機、CPP、軸メーカーおよび造船所への調査結果）

主機（減速機）の継手では造船所および主機メーカーの指示による、治具加工での精度確保が可能である、船内作業の軽減、加工場所および加工時期の違いがボルト穴加工を治具加工とする理由である。また、中間軸およびプロペラ軸（給油軸）の継手では製造工程のタイミングが異なる、コストの削減、客先（造船所）の指示による、予備軸との互換性などが主な採用理由である。

治具加工をした場合の加工精度に関係する項目の実測値および使用した計測用具の調査結果を表 2 に示す。この結果から、ボルト穴径の実測値は計画穴

径に対し $0 \sim +2/100\text{mm}$ が多く、相手側継手のボルト穴径も $0 \sim +2/100\text{mm}$ が多く差異がない。計測点の数は軸方向、径方向とも 2 箇所がほとんどである。ピッチ円の径およびボルト穴のピッチについては治具加工の場合でも計測されておらず、ノギスや直尺にて確認する程度にとどまっている、また、ボルト穴の真円度および円筒度は相手継手側とも $0 \sim 0.5/100\text{mm}$ で、表面粗さは $1.5a \sim 1.6a$ となっている。

加工用機械としては横中ぐり盤、横型ボール盤などが、また、最終仕上げ用ツールとしてはリーマ、シエルリーマ、超硬リーマなどがそれぞれ使用されている。次に、加工治具の主要寸法に対する公差の調査結果を表 3 および表 4 に示しているが、その値にはばらつきがある。

治具の形状は大別すると表 3、表 4 に示す A 型と B 型の 2 種類であるが、A 型が多く、B 型は比較的小径軸用として採用されるものと思われる。治具の部品としては治具本体（材質 FC200 または 250）、差込みブシュ（以後ブシュと称す。材質 SK5 または 3）および付属品があり、主機（減速機）の継手用は主機（減速機）メーカーで、中間軸およびプロペラ軸継手用は軸メーカーにて手配され保管されるのが標準となっているようである。保管する場合のメンテナンスについては保管台帳にて形状および各部寸法を管理しているところが 3 社ある。他には、年 1 回メンテナンスリストによる各部寸法のチェック、貸与時および返却時の外観や寸法のチェック、ブシュ寸法（特にキリ案内）のチェック、製品の仕上がり具合いで判断し要すれば寸法のチェックや修正などを行っているところがある。また、防錆のみで特にメンテナンスを行っていないところもある。保管方法では格納箱に入れて水平に保管しているとの具体的な回答もあった。また、支給治具で使用するブシュが製作されていないため加工上必要なブシュを加工メーカーで製作しているケースもある。標準的な治具の運用については治具とボルト穴加工データを相手継手加工メーカーに送付しているのがほとんどであるが、主機と中間軸の継手では治具の貸与のみのケースもある。また、寸法公差の目標値を定めておきその公差を目標に加工しているケースもある。

治具加工後、2 軸の継手合わせたときにリーマ穴に芯のずれが生じた経験については「ある」が 4 社、「ない」が 15 社、「回答なし」1 社の回答があ

表 1 共あげ加工による加工精度の実績値

項 目				計画値および実測値	計測用具
ボルト径 (mm)				50～95	
ボルト穴の径 (mm)	実測値 計画穴径 ± []	D 1	MAX.	+1/100～+3/100 (※ +2/100)	シリンダゲージ 内側マイクロメータ
			MIX.	0 ～+3/100 (※ +1/100)	
		D 2	MAX.	0 ～+3/100 (※ +2/100)	
			MIX.	0 ～+3/100 (※ 0,+1/100)	
		軸方向 (d)		2 , 4 (※ 4)	
		径方向 (D)		2	
ボルト本数				4 ～ 12	
ピッチ円の径 (mm)	計画ピッチ円の径			チェックのみでデータとして残 してない。 計測しない。 (MAX.+0.03, MIN.0が1社)	直尺 鋼尺 ノギス 外側マイクロメータ
	実測値 計画 ± []	L 1	MAX.		
			MIX.		
ボルト穴の ピッチ (mm)	計画ピッチ円の径			チェックしていない。 計測しない。	
	実測値 計画 ± []	L 2	MAX.		
			MIX.		
ボルト穴の 真円度 (mm)	計画値			0 ～ 1/100	
	実測値			0 ～ 1/100	
ボルト穴の 円筒度 (mm)	計画値			0 ～ 1/100	
	実測値			0 ～ 1/100	
ボルト穴の 表面粗さ	※			※	・ 比較用表面あらさ標準 片との比較目測 ・ 目視 ・ 表面粗さ測定器
	計画値			1.5a ～ 1.6a(1.6a)	
	実測値			※ 0.8a(0.8a) ～ 1.6a	
軸 継 手 名				中間軸－推力軸、中間軸－中間軸 中間軸－プロペラ軸、ロータ軸－主機

表 2 治具加工による加工精度の実績値

項 目			計画値および実測値		計測用具
ボルト径 (mm)					
ボルト穴の径 (mm)	計測点の数	軸方向(d)		※ 2 ~ 4 (2)	シリンダゲージ
		径方向(D)		※ 2 ~ 3 (2)	
	実測値 計画穴径 ± []	D 1	MAX.	※ 0~+3/100 (+0.5/100~+2/100)	
			MIX.	※ 0~+3/100 (0)	
		D 2	MAX.	※ 0~+3/100 (+0.5/100~+2/100)	
			MIX.	※ 0~+3/100 (0)	
	相手 フランジ の実測値 計画穴径 ± []	D 1	MAX.	※ 0~+3/100 (+0.5/100~+2/100)	
			MIX.	※ 0~+3/100 (0)	
		D 2	MAX.	※ 0~+3/100 (+0.5/100~+2/100)	
			MIX.	※ 0~+3/100 (0)	
ボルト本数					4 ~ 14
ピッチ円の径 (mm)	計画ピッチ円の径			治具加工のため計測せず。 支給治具精度による。 治具を使用するため直尺でPCD をチェックするのみ。 ノギスにて確認程度。	ノギス マイクロメータ 直尺 穴あけ治具
	実測値 計画 ± []	L 1	MAX.		
			MIX.		
	相手 フランジ の実測値 ± []	L 1	MAX.		
MIX.					
ボルト穴の ピッチ (mm)	計画ピッチ 実測値 計画 ± []	L 2	MAX.	治具加工のため計測せず。 支給治具精度による。 ノギスにて確認程度。	
			MIX.		
	相手 フランジ の実測値 ± []	L 2	MAX.		
			MIX.		
ボルト穴の 真円度 (mm)			計画値	0 ~ 1/100	
			実測値	0 ~ 0.5/100	
	相手 フランジ		計画値	0 ~ 1/100	
			実測値	0 ~ 0.5/100	
ボルト穴の 円筒度 (mm)			計画値	0.5/100 ~ 1/100	
			実測値	0 ~ 0.5/100	
	相手 フランジ		計画値	0.5/100 ~ 1/100	
			実測値	0 ~ 0.5/100	
ボルト穴の 表面粗さ			計画値	<1.5a ~ 1.6a	・目視 ・比較用表面あらさ標準 片との比較 ・表面粗さ測定器, 荒さ試験
			実測値	<1.5a ~ 1.6a	
	相手 フランジ		計画値	<1.5a ~ 1.6a	
			実測値	<1.5a ~ 1.6a	
軸継手名					

表3 加工治具による主要寸法に対する公差の実績値

フランジ外径寸法(D)の公差		0.0 ~	+0.15	+0.15	+0.02 +0.015 (ϕ 630)	± 0.05	+0.15	+0.100	+0.15	± 0.02	+0.20	+0.20
		0.03	+0.080	+0.20			+0.05	+0.060	+0.05		+0.010	+0.05
リーマ穴径(do)の公差		0.0 ~	+0.045 +0.035 (ϕ 105のとき)	+0.017 +0.030	+0.03 0 (ϕ 62)	0	n6	n6	F6	+0.04	+0.015	m5
		+0.025			+0.035	+0.049				+0.02	+0.010	
差込みブシュ用リーマ穴径(d)の公差		+0.03	H6 ハナキ ≤ 0.005	0 +0.035	-0.01 -0.015 (ϕ 80)	+0.049 +0.030	H7	H7	F6 (H7)	+0.02	+0.02	F6
		+0.02								0	+0.01	
差込みブシュ径(d)の公差		± 0.005	穴型(d)に 対するスキヤ 0.02~0.03	0 -0.022	-0.01 -0.015 (ϕ 80)	+0.030 +0.049	g7	g7	m5 (g5)	+0.02 0	相手に対し -0.005 -0.015	+0.013 +0.028
ボルト穴ピッチの公差	(X)	—	± 0.015	± 0.05	± 0.005	治具に対し 0	普通公差 (JIS)	位置度 < 0.02	± 0.025	± 0.02	—	± 0.025
	(Y1,Y2)	—	± 0.015	± 0.05	± 0.005	治具に対し 0			± 0.025	± 0.02	—	± 0.025
テーム平面Aに対する平行度公差(H)		0.02	≤ 0.01	0.02	0.01	0.01	< 0.02	< 0.02	0.02	0	0.01	0.02
テーム平面Aに対する直角度公差(N)		0.02	指示なし	—	0.01	0.01	< 0.02	< 0.02	—	0	0.01	—
テーム平面Aに対する直角度公差(O)		0.01	≤ 0.05	0.02	± 0.005	0.01	< 0.02	< 0.02	0.02	± 0.01	0.01	0.02
テーム平面Bに対する同心度公差(P)		0.01	≤ 0.01	—	± 0.01	0.01	< 0.01	< 0.02	0.02	0	0.01	0.02

単位 mm

表 4 加工治具の主要寸法に対する公差の実績値

インロー部 寸法(D)の公差		H7, h6	$\begin{matrix} \text{H7} & +0.01 \sim +0.03 \\ \text{h6} & -0.01 \sim -0.03 \end{matrix}$
リーマ穴径(do)の公差		F6	F6
差込みブシュ用リーマ穴径(d)の公差		H7	G6
差込みブシュ外径(d)の公差		h6	h5
ボルト穴ピッチの公差	(X)	0.01	± 0.02
	(Y1, Y2)	0.01	± 0.02
データム平面Aに対する平行度公差(M)		0.01	0.01
データム平面Aに対する直角度公差(N) (1/2D-部)		0.01	0.01
データム平面Aに対する直角度公差(O)		0.01	0.01
データム平面Bに対する同心度公差(P)		—	0.01

単位 mm

り、「ある」の回答のうち処置としてはホーニング修正が3社、リーマ穴のオーバーサイズ加工が1社である。リーマ穴のずれに対する許容値は2/100mm以下、6社、0.5/100~1/100mm: 1社、±0.5/100mm: 1社、などとなっている。

3. 軸継手ボルト穴の治具加工要領

治具によるリーマ穴の加工要領は加工メーカの設備や加工技術などが異なるため同一ではないが一例を以下に示す。

- 1) 製品の芯出し (図1) 軸継手合わせ面を機械 (中ぐり盤) に対し水平、直角になるようにセットする。
- 2) 治具の取付け (図2) ダイヤルゲージ④または、すきまゲージ⑤で、軸継手と治具が同芯になる (すきまが均等になる) ように調整し、治具を取付けボルトまたは特殊バイスにて固定する。
- 3) 芯出し (図3) 穴あけ治具のブシュ挿入穴

を基準にダイヤルゲージにて機械 (中ぐり盤) の芯出しをする。

- 4) 下穴加工 径で、1~3mmの仕上げ代を残す。
- 5) 中ぐり加工 径で、0.2~0.6mmの仕上げ代を残す。
- 6) 仕上げ用リーマの取付け (図4) 仕上げ用リーマを取付け、刃先の振れを計測して調整する。
- 7) 機械 (中ぐり盤) の芯出し (図5) 穴あけ治具のブシュ挿入穴を基準にダイヤルゲージにて機械 (中ぐり盤) の芯出しをする。
- 8) リーマ加工 (図6) 治具にブシュ⑥を取付けリーマ加工する。

備考: ブシュ⑥なしで加工する場合もある。

4. 加工治具と加工精度

リーマ穴を治具加工する場合は共あけ加工に比べてリーマ穴に芯のずれが発生し易いことが最も懸念

図1 製品の芯出し

図2 治具の取付け

図3 芯出し

図4 仕上げ用リーマの取付け

図5 機械 (中ぐり盤) の芯出し

図6 リーマ加工

される。理論的には、値の大小は別にしてリーマ穴に芯のずれが生じた経験「あり」の回答がこれらを実証しているものと思われる。

3項の加工要領により、治具加工時のリーマ穴の加工精度に影響する要因を考察してみると加工機械、治具取付けの芯出し作業および加工方法の要因が先ずあるが、これらは加工メーカの技術力に依存するところが大きい。その他として、加工継手面と適合する治具の取付け面を間違わないようにすることが重要であり、治具に設けられている合わせ位置マークと共に取り扱いに十分注意をする必要がある。このためには、治具を貸与する側および使用する側で具体的な指示や確認をすることが大切である。また、リーマ穴の加工精度とは関係ないが治具のインロー部（加工継手との合わせ面）の両面間で芯のずれがある場合には加工後に両継手をリーマボルトで結合したときに両軸に芯のずれが生じることになるので、治具製作時には注意が必要である。治具の運用面からは治具を貸与する側および使用する側で上述の如く注意が必要であり、治具の保管についても防錆処理や保管要領には状況に応じた適切な配慮が必要である。加工後のリーマ穴に芯のずれが生じた場合の許容値を決めることは非常に難しいがアンケート結果では2/100mm程度である。

5. 加工治具の主要寸法に対する公差

加工治具の使用により発生し得る加工誤差の要因は、機械加工精度を除けば治具のブシュ挿入穴とブ

シュとのすきまおよびブシュの内径と加工用リーマ外径とのすきまが主なものである。従って、ブシュ外径の寸法公差およびブシュ内径の寸法公差はブシュ挿入穴径および加工用リーマ外径に対しすきまができるだけ小さくなる値とした方が加工誤差に与える影響が少なくなる。アンケート結果ではこれらの寸法公差が色々な値になっているが、その違いは加工メーカのリーマ外径との関係や実績等の経験からによるものと考えられる。他の主要寸法についてもアンケート結果ではいろいろな値になっているが、これらも同様の理由によるものと考えられる。

以上から、加工治具の主要寸法に対する寸法公差をここで決めることは難しい。

6. あとがき

アンケート調査結果に基づいて軸継手リーマ穴の共あげ加工と治具加工の実状、治具加工と加工精度および加工治具について治具の運用面も含めた留意すべき点を示した。治具加工の場合、共あげ加工に比べてリーマ穴に芯のずれが発生し易いが、リーマ穴としてはこの芯のずれがないことが望ましい。加工精度は加工機械の性能、加工方法など加工メーカの技術力によるところが大きいことから今後とも加工技術力の維持向上が望まれる。

最後に、アンケート調査にご協力いただきました造船所、主機、減速機、CPPおよび軸メーカの方々に心から感謝致します。

（担当者 石川島播磨重工業㈱ 青江良一）