

第7章 高いすべり係数の適用による製作の合理化効果

7. 1 概論

高いすべり係数の適用による工場製作の合理化効果を調べるためには、孔明け作業および仮組立時のボルト作業効率を明確にする必要がある。そこで、本章では、この2項目に着目した。評価方法として、前章の試設計のデータを用いて、各試設計ケースにおける孔明け作業時間およびボルト作業時間の低減量を算出し、工場製作における合理化効果を評価した。

7. 2 孔明け作業の合理化効果

7. 2. 1 孔明け作業時間について

図-7.1には、鋼種ごとに整理した1孔を明けるのに必要な作業時間と板厚の関係を示したものである⁴⁶⁾。これらの算出は、我々(鋼技研施工部会)が以前に異なる3つの橋梁製作工場を対象として実施した孔明け作業時間の実測結果を基に算出したものである。計測方法などの詳細については文献46)を参照されたい。

図-7.1に示すように、鋼種により板厚と作業時間の関係が異なっており、鋼材の強度が高くなるにしたがって、若干であるが作業時間が長く(傾きが大きく)なる。これは、ドリルの回転数を鋼種によって変えるためである。すなわち、強度が高ければ回転数を少なくするからである。回転数が多すぎると、ドリルの刃の摩耗が早く、刃を研ぎに行く回数が増えたり、時には折れたりすることもある。このため、回転数は、使用する機械の性能や鋼材強度などに応じ、孔明け作業者が経験的に設定している。また、鋼種によらず固定時間として8.8秒を設定している。これはドリルが次の孔位置に移動するまでの時間や、孔明け後ドリルがもとの高さに戻る時間などであり、板厚や鋼種に依存しない時間である。

7. 2. 2 孔明け作業の改善効果

表-7.1と図-7.2は、試設計結果から算出した孔数に対し、この孔明け作業に必要な作業時間を算出した結果を示している。ここでは、図-7.1で示した板厚と孔明け作業時間の関係から、ウェブおよびフランジの母板と連結板の孔を明けるのに必要な作業時間を算出している。

表-7.1と図-7.2に示すように、すべり係数が高くすることにより、孔明け作業時間は大きく低減した。孔明け作業時間比率は、前章で示した孔数比率(表-6.2)とほぼ一致しているが、孔明け作業時間比率は、板厚を考慮しているため、孔数比率とは若干異なった。また、当然のことであるが孔数は、連結板では母板の2倍であるが(表-6.2)であるが、例えば、モデルIのウェブで見れば孔明け作業時間は、連結板は母板の約1.7倍となった。これは、連結板は母板に比べて薄いからである。モデルの違いによる差が若干生じたケースもあったが、孔明け作業時間は、 $\mu=0.4$ の場合と比べて、 $\mu=0.5$ では両モデルともに80%、 $\mu=0.6$ ではモデルIで66.3%、モデルIIで72.1%に

低減した。作業時間の低減値は、 $\mu=0.5$ ではモデル I で 24.0 時間，モデル II で 32.3 時間であり，さらに， $\mu=0.6$ ではモデル I で 39.4 時間，モデル II で 45.4 時間低減できる結果となった。

7. 2. 3 考察

前項では，孔明け作業改善効果を示した。製作コストに関して議論するには，工場製作における孔明け作業の現場やどのような機械を用いているかなどを述べる必要がある。本項では，橋梁製作工場の孔明け作業の現状を述べたうえで，作業改善効果と製作コストとの関係について述べる。

表-7.2は，鋼橋技術研究会施工部会の太径ボルトWGおよび摩擦検討WGに参加の6社における孔明け作業の現状を示したものである。ここでは，鉸桁および箱桁の代表的な部位において孔明け作業に使用している設備などを示している。

表-7.2に示すように，橋梁製作工場により孔明けに使用している設備は多少異なる。2つに大別すると，主桁のフランジやウェブの孔明けはNC機（写真-7.1）で行い，その他の部材は手動で行うというA～C社と，全ての部材をNC機（一部は手動）で行うというD～F社に分けられる。また，スプライスプレートなど小物部材については重ね明けを行っている工場が3つあり，その適用部位も様々であった。以上のように，主部材ではすべての工場でNC機を適用しており，また，NC機を適用している箇所では，すべての工場で夜間運転を実施しているという結果であった。

孔明け作業の製作コスト削減効果を考察する場合，手動で行っている部位の孔数が低減すれば，孔数に比例して作業効率や孔明けに必要な作業費も低減する。しかし，NC機で行っている箇所については，孔明け作業は無人運転で行うので，人間が介在するのは，部材の搬入・搬出や孔明け情報などのデータを入力するだけである。このため，仮に孔数が低減したとしても，孔数に比例して作業効率や孔明けコストに影響するということではない。特に，夜間運転を行った場合，孔数が低減したとしても全く製作コストに影響しない。一般に，NC機を使用した場合，例えば，鉸桁のフランジでは1日に約12パネル(部材)，ウェブでは約6パネルの孔明け作業を行うことができる。すなわち，孔明け数量の低減によって，製作できるパネル数量が増加できれば，工期の短縮が図れ，製作コストの低減も可能となる。しかし，これを明確にするには，孔明けする部材の鋼種や板厚などの情報を考慮し，設備の能力，パネルの搬入・搬送時間あるいはクレーンの待ち時間など，NC機の稼働率を明確にした上で製作コスト削減効果を評価する必要がある。ただし，孔明け作業時間については，手動であっても，NCであっても孔数の低減量に比例して削減できる。

7. 3 仮組立て時でのボルト作業の合理化効果

7. 3. 1 ボルト作業時間について

仮組立て時の作業時間は，ボルト本数によって異なるが，実際どの程度作業時間が必要なかは明確でない。我々は以前に仮組立て時でのボルト締め付け作業時間および解体時間（取り外し時間）を計測し，ボルト1本あたりに必要な作業時間を算出し

た¹⁵⁾。ここでは、その計測結果をもとに、ボルト作業効率について述べる。

文献 46)では、異なる3つの橋梁製作工場で延べ約1000本のM22ボルトの作業時間を計測し、締付け時間は平均で13.1秒/本、解体時間は平均で6.5秒/本という結果が得られた。なお、仮組立て時の連結部の作業は、連結板を母板に取り付けてドリフトピン（通常は、1ジョイントにつき4本）を挿入してボルト位置を決定する作業と、仮組立て検査時に必要な所定のボルト（総ボルト本数の約30%）を挿入して締め付ける作業に分けられる。その内、ドリフトピンを挿入にするまでに多くの時間を必要とするが、この時間はボルト本数には依存しないと考えられる。そのため、ここではボルトの挿入・締め付け作業についてのみ行った作業時間を示している。なお、この作業は2人1組で行っている。すなわち、1人の作業者がボルトを挿入し、もう一人の作業者がインパクトレンチで所定の軸力を導入している（写真-7.2）。解体作業は、まずドリフトピンを取り外し、ボルトをインパクトレンチで緩め、ボルトを取り外すという手順で行われる。計測は、ドリフトピンを取り外し後の、ボルトの緩めと取り外し作業時間を対象とした。なお、これらの作業も、締め付け作業と同様、2人1組で行っている。

7. 3. 2 ボルト作業の改善効果

表-7.3と図-7.3は、試設計結果から算出したボルト本数を対象として、仮組立て作業に必要な作業時間を算出した結果である。ここでは、先に述べた文献15)で示したボルト締め付け時間およびボルト解体時間の計測結果から、ウェブおよびフランジの仮組立て作業に必要な作業時間を算出している。また、仮組立て時での締め付けボルト本数は、一般に全数の約30%程度で行われており、ここでは、表-6.2で示したボルト本数の30%の締め付け作業・解体作業の時間を算出することとした。

表-7.3と図-7.3に示すように、仮組み時でのボルト締め付けおよび解体時間は、孔明け作業時間の約1/9程度と少なかったが、ボルト作業時間比率は、ボルト本数比率(表-6.2)と一致し、すべり係数を大きくすることによる作業効率改善効果は得られた。作業時間の低減値は、 $\mu=0.5$ ではモデルIで2.8時間、モデルIIで3.9時間であり、さらに、 $\mu=0.6$ ではモデルIで4.7時間、モデルIIで5.5時間低減できる結果となった。

7. 3. 3 考察

仮組立て時のボルト締め付けと解体作業は、孔明け作業とは異なり、人手によって行われるので、作業時間低減率に比例して製作コストも削減される。また、先述のように、作業は2人1組で行われるので、作業員数で計算すると、表-7.3で示した結果の2倍の作業工数低減につながる。

今回算出した作業時間は、連結板を所定の位置に設置した後のボルト締め付け作業や解体時間である。実際には、連結板の位置決めしてドリフトピンを打つ作業や、孔位置がずれていたりした場合のリーマーでの孔繰り作業もある（写真-7.3）。さらに、ボルトの準備時間や、解体後のボルト整理時間なども生じる。したがって、実際には表-7.3で示した作業時間以外にも多少の作業時間が低減できるものと考えられる。

表-7.1 孔明け作業時間算出結果

			モデルⅠ			モデルⅡ		
			$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$	$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$
孔数			26208	20832	17248	39908	31960	28816
孔明け 時間	フラ ンジ	母板	21.56	16.99	14.79	36.58	29.40	26.07
		連結板	34.15	26.93	23.51	65.77	52.71	46.99
	ウエ ブ	母板	22.71	18.17	14.54	21.62	17.29	15.85
		連結板	38.30	30.64	24.51	38.89	31.11	28.52
作業時間の合計			116.7	92.7	77.3	162.9	130.5	117.4
$\mu=0.4$ に 対する効果			低減値	24.0	39.4		32.3	45.4
			比率		79.4%	66.3%		80.1%

(単位:時間)

表-7.2 各橋梁製作工場の孔明け情報

桁種	部材名		A社			B社			C社			D社			E社			F社		
			NC	手動	重ね 明け	NC	手動	重ね 明け	NC	手動	重ね 明け	NC	手動	重ね 明け	NC	手動	重ね 明け	NC	手動	重ね 明け
鋸桁	主桁	ウエブ	●			●			●			●			●			●		
		フランジ	●			●			●			●			●			●		
		ウエブ(連結板)	●			●			●		●			●		●		●		●
		フランジ(連結板)	●			●			●		●			●		●		●		●
	横桁	ウエブ		●		●			●			●			●			●		
		フランジ		●		●			●	●	●		●	●		●		●		
		横構ガセット		●		●			●	●	●		●	●		●		●		
対傾構取付け用垂直補剛材			●		●			●	●	●		●	●		●		●			
箱桁	主桁	ウエブ	●			●			●			●			●			●		
		フランジ	●			●			●			●			●			●		
		ウエブ(連結板)	●			●			●		●			●		●		●		●
		フランジ(連結板)	●			●			●		●			●		●		●		●
	横桁	ウエブ		●		●			●			●			●			●		
		フランジ		●		●			●	●	●		●	●		●		●		
	縦リブ	部材		●		●			●			●			●			●		
スプライス		●	●		●			●			●			●	●		●			
夜間運転の有無			●		●			●			●			●			●			

注) NCとは、ガードラジアルボール盤などで自動(無人)で孔明けする装置を使用。
 手動とは、ラジアルボール盤などを使用し人手で孔明けを行う。
 重ね明けとは、同じ部材などで4,5枚程度を重ねて孔明けを行う。

表-7.3 仮組立て時でのボルト作業時間算出結果

		モデルⅠ			モデルⅡ			
		$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$	$\mu=0.4$	$\mu=0.5$	$\mu=0.6$	
仮組ボルト本数		2529.6	2011.2	1660.8	3621.6	2904	2616	
締付け 時間	フランジ	3.53	2.78	2.41	7.41	5.96	5.29	
	ウエブ	5.68	4.54	3.63	5.76	4.61	4.23	
解体 時間	フランジ	1.75	1.38	1.20	3.68	2.96	2.63	
	ウエブ	2.82	2.25	1.80	2.86	2.29	2.10	
作業時間の合計		13.77	10.95	9.04	19.72	15.81	14.24	
$\mu=0.4$ に 対する効果		低減値		2.82	4.73		3.91	5.47
		比率		79.5%	65.7%		80.2%	72.2%

(単位:時間)

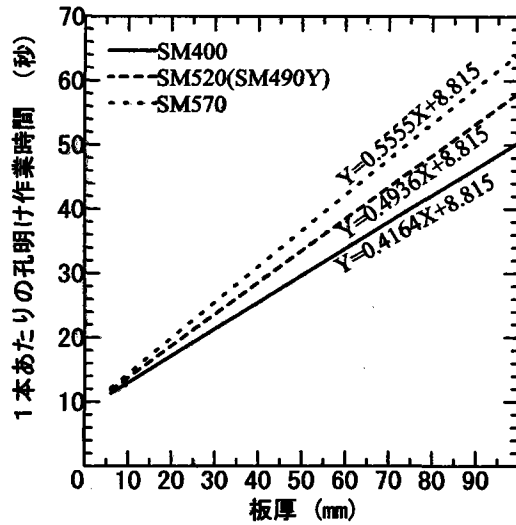


図-7.1 板厚と孔明け作業時間の関係 (φ 24.5)

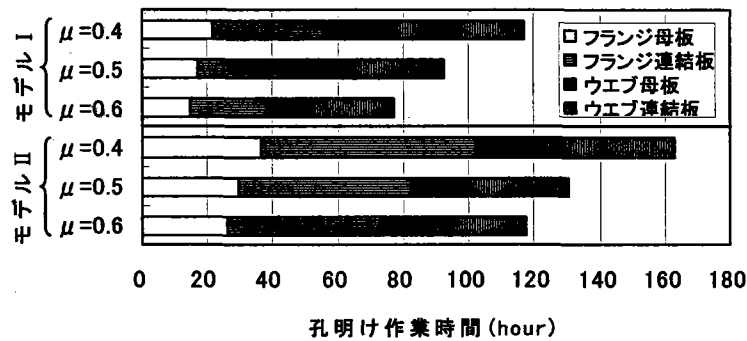


図-7.2 各部材の孔明け作業時間

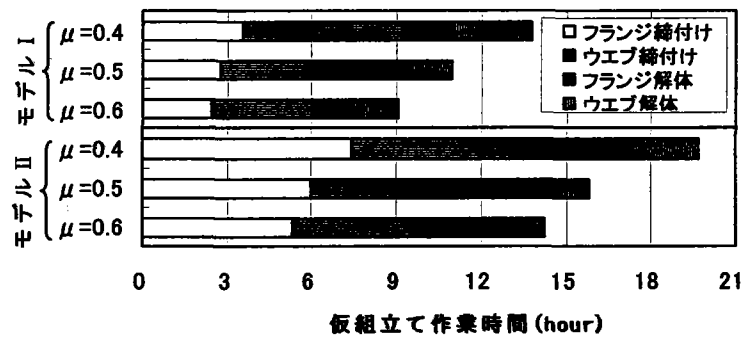


図-7.3 各部材の仮組立て作業時間

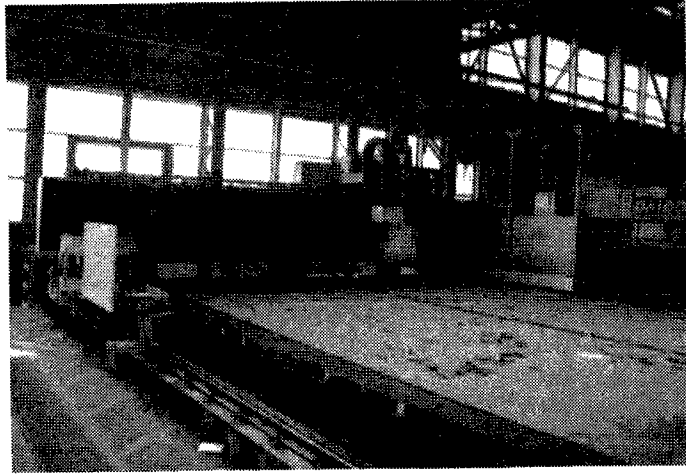


写真-7.1 NCによるガーダーラジアルボール盤

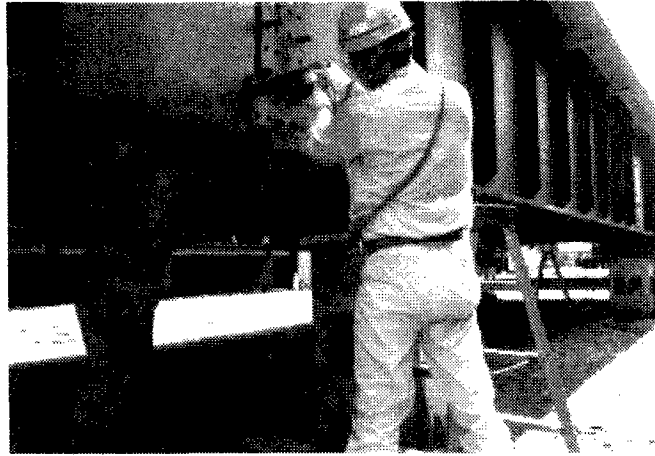


写真-7.2 仮組立て時でのボルト締め付け作業



写真-7.3 リーマーによる孔繰り作業