第５章　太径ボルト適用による製作の合理化効果

５．１　概論

本章では，孔明け作業および仮組立て時におけるボルト作業効率に着目して，太径ボルトを適用することによる製作の合理化効果について検討する．本章では，まず，孔径ごとの孔明け作業時間およびボルト径ごとのボルト作業（組立ておよび解体作業）時間を計測した．そして，これらの計測結果を基にして，第３章で示した試設計結果の橋梁モデルごと，各径のボルトを用いた場合の孔明け作業時間と仮組立て時のボルト作業時間を算出し，製作の合理化効果について検討した．

５．２　孔明け作業

５．２．１　孔明け作業時間の実測

孔明け作業時間の計測を３つの橋梁製作工場(3社)で行った．使用鋼材は，SM400，SM520 と SM570 である．それらの板厚は，材質や製作工場によって若干異なり，42～52mm の範囲にある（**表-5.1** 参照）．これらの鋼板を 300mm×300mm 程度に切断し，それらに対して直径 24.5, 34.0 と 40.0mm の円孔を穿孔機にて開けた．円孔の数は，１工場１鋼種あたり，３つとしている．作業状況を**写真-5.1** に示す．

孔明け作業時間は以下の３段階に分けて計測した．

①ドリルが次の孔位置に移動するまでの時間．

②孔明けに必要な時間．

③孔明け後，ドリルがもとの高さに戻る時間．

計測結果を**表-5.1** に示す．これらの結果は，３回の孔明け作業時間の平均値を示している．各作業時間の中で，①③は板厚や孔径に依存しない時間と考えられ，**表-5.1** に示す結果においても，A 工場で孔径が大きい場合に①の作業時間が長くなっているものの，鋼種，孔径，製作工場によらず，ほぼ一定となっている．①の平均作業時間は 6.15 秒，③の平均作業時間は 2.67 秒であった．

②の作業については，鋼種や製作工場で板厚が異なるため，単位厚さ（1mm）当たりに必要な孔明け時間を求めた．この単位厚さ当たりの孔明け作業時間に板厚を乗じ，②の作業時間を算出し，これに①平均時間と③平均時間を足し合わせることにより，円孔１つ当たりの孔明け作業時間を算出することとした．

図-5.1 は，板厚 50mm に換算した場合の各条件での１孔当たりの作業時間（3回の平均値）と孔径の関係を鋼種ごとに示したものである．当然のことではあるが，孔径が大きくなれば，孔明け時間が長くなる傾向が認められる．例えば，SM520 での１孔当たりの孔明け作業時間は，φ24.5（M22）に比べて，φ34（M30）で 2.62 倍，φ40（M36）では 3.10 倍となっている．また，多少ではあるが，鋼材の強度が高くなるにしたがって，孔明け時間が長くなる傾向が認められる．これは，

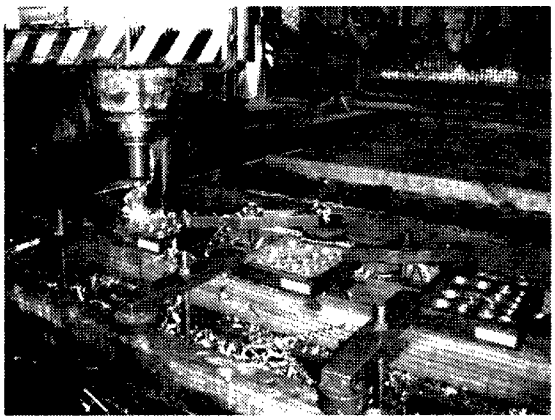


写真-5.1　孔明け作業状況

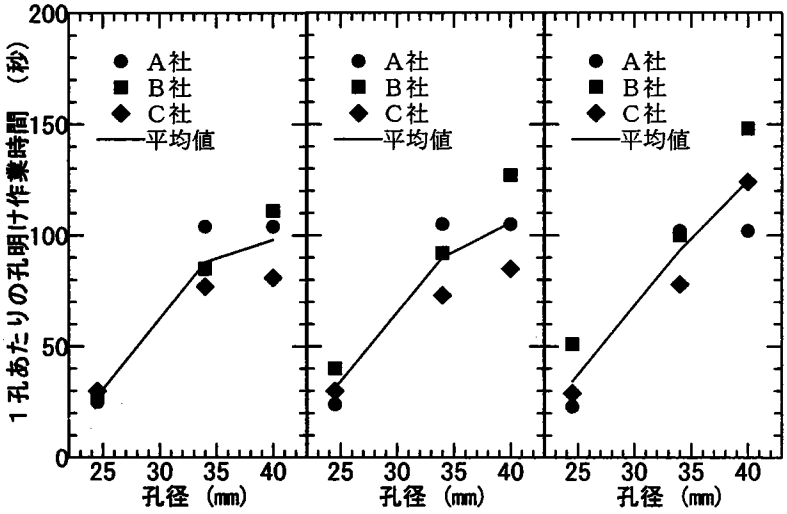
表-5.1　孔明け作業計測結果　（計測回数３回の平均値）

材質	板厚 (mm)	孔径 (mm)	計測時間(秒) 作業①	作業②	作業③	合計	単位厚さ当たりの孔明け作業時間（作業②／板厚）		会社
SM400	42	φ24.5	4	15	2	21	0.357	0.416	A社
	48		3	21	3	27	0.438		B社
	44		4	20	3	27	0.455		C社
	42	φ34.0	12	74	2	88	1.762	1.571	A社
	48		5	74	3	82	1.542		B社
	44		4	62	3	69	1.409		C社
	42	φ40.0	12	74	2	88	1.762	1.760	A社
	48		6	98	3	107	2.042		B社
	44		4	65	3	72	1.477		C社
SM520	44	φ24.5	4	15	2	21	0.341	0.494	A社
	52		3	35	3	41	0.673		B社
	45		4	21	3	28	0.467		C社
	44	φ34.0	12	78	2	92	1.773	1.579	A社
	52		6	86	3	95	1.654		B社
	45		4	59	3	66	1.311		C社
	44	φ40.0	12	78	2	92	1.773	1.898	A社
	52		6	123	3	132	2.365		B社
	45		4	70	3	77	1.556		C社
SM570	46	φ24.5	4	15	2	21	0.326	0.555	A社
	46		3	41	3	47	0.891		B社
	49		4	22	3	29	0.449		C社
	46	φ34.0	12	80	2	94	1.739	1.665	A社
	46		6	84	3	93	1.826		B社
	49		4	70	3	77	1.429		C社
	46	φ40.0	12	80	2	94	1.739	2.275	A社
	46		8	126	3	137	2.739		B社
	49		4	115	3	122	2.347		C社
平均値			6.15		2.67				

(注)　作業①：ドリルが次の孔位置に移動するまでの時間．
作業②：孔明けに必要な時間．
作業③：孔明け後，ドリルがもとの高さに戻る時間．

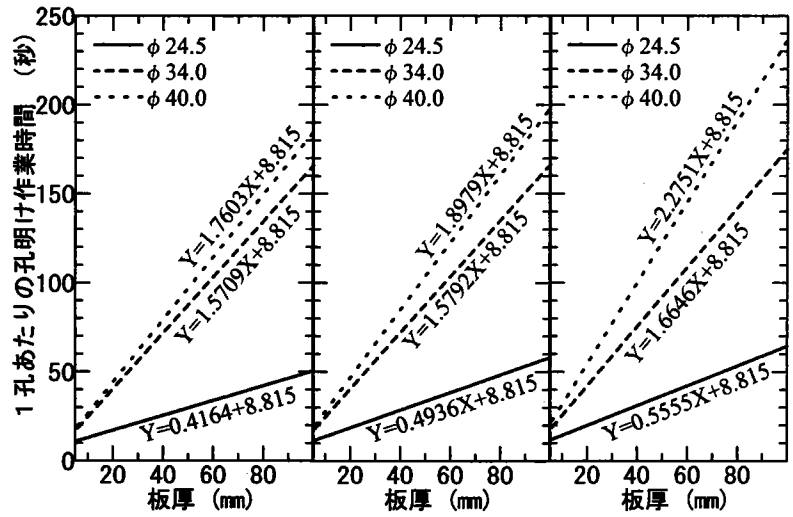
ドリルの回転数を鋼種や孔径によって変えるためである．すなわち，強度が高く孔径が大きければ回転数を小さくするからである．回転数が高すぎると，ドリルの刃の摩耗が早く，刃を研ぎに行く回数が増えたり，時には折れたりすることもある．このため，回転数は，使用する機械の性能や鋼材強度，孔径などに応じ，孔明け作業者が経験的に設定している．

図-5.2は，先に述べた孔径・鋼種ごとの単位厚さ当たりの孔明け時間と，①と③の平均作業時間を用いて，1 孔当りの孔明け作業時間と板厚の関係を示したものである．なお，これらの関係の傾き（比例定数）は，**表-5.1**で示した 3 工場での単位厚さ当たりの孔明け時間の平均値としている．



(a) SM400　(b) SM520　(c) SM570

図-5.1　板厚 50mm における孔径と孔明け作業時間の関係



(a) SM400　(b) SM520　(c) SM570

図-5.2　板厚と孔明け作業時間の関係

5．2．2　孔明け作業の改善効果

各橋梁モデルの試設計結果から算出した孔数(**表-3.2**)と**図-5.2**で示した孔径・鋼種ごとの単位厚さ当たり孔明け作業時間と板厚の関係を利用して，孔明け時間を計算した結果を**表-5.2**に示す．**図-5.3**は，M22ボルトを用いた場合に対するM30とM36を用いた場合の孔明け作業の比率を示したものである．M22に対する作業時間の比率は，橋梁モデル，部材あるいは孔径によって大きく異なってい

表-5.2　孔明け作業時間算出結果　　(単位：時間)

			モデルⅠ			モデルⅡ		
			M22	M30	M36	M22	M30	M36
孔数			26912	15872	12096	13560	10776	8944
作業時間の合計	フランジ	母板	20.03	23.05	20.95	32.27	38.35	32.76
		連結板	32.84	30.18	29.17	56.69	56.65	49.16
	ウエブ	母板	18.99	23.28	19.80	21.62	23.45	19.09
		連結板	35.35	43.75	42.12	38.89	41.56	38.19
作業時間の合計			107.2	120.2	112.0	149.5	160.0	139.2
M22に対する効果		増加値		13.0	4.8		10.5	-10.3
		比率		112%	105%		107%	93%
			モデルⅢ			モデルⅣ		
			M22	M30	M36	M22	M30	M36
孔数			36216	29040	26160	13560	10776	8944
作業時間の合計	フランジ	母板	26.36	27.37	25.60	53.46	72.15	56.76
		連結板	46.49	40.72	37.47	76.49	89.61	70.48
	ウエブ	母板	22.71	21.65	17.30	40.14	40.61	29.50
		連結板	38.30	34.45	30.89	72.79	71.10	58.26
作業時間の合計			133.9	124.2	111.3	242.9	273.5	215.0
M22に対する効果		増加値		-9.7	-22.6		30.6	-27.9
		比率		93%	83%		113%	89%

表-5.3　ウエブ連結板孔明け作業時間の一例

モデル	連結位置	ボルト種別	板厚(mm)	孔数	作業時間(秒)	
					1孔当たり	合計
モデルⅠ	J1	M22	9	120	13.26	1591
		M30	10	80	24.61	1969
		M36	12	60	31.59	1895
モデルⅢ	J2	M22	9	260	13.26	3447
		M30	10	126	24.61	3100
		M36	12	80	31.59	2527

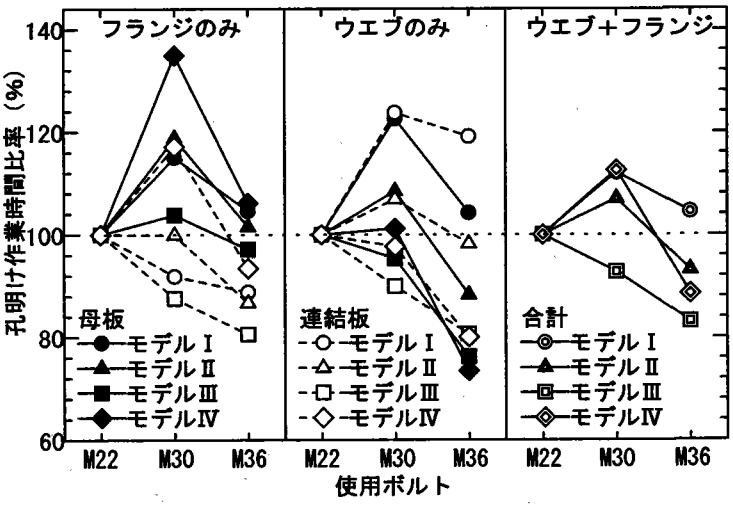


図-5.3　孔明け作業時間の比率

る．全孔明け作業時間で見れば，モデルⅢを除いて，M30では孔明け作業時間が増加している．しかし，M36ではモデルⅠを除けば，作業時間は低減している．ただし，ボルト本数比率(約40%程度：**図-3.2**参照)と比べれば孔明け作業時間低減効果は小さかった.これらの現象を明確にするため,ウエブを一例に説明する．

表-5.3にウエブにおける連結板孔明け作業時間の一例を示す．モデルⅠのJ1において，M22では孔数が120孔であったものがM30で80孔，M36では60孔に低減しているにも関わらず，作業時間はM30＞M36＞M22の順となっている．これは，**図-5.2**で示したように孔径が大きくなれば作業時間も長くなり，また板厚が厚くなれば作業時間が長くなるためである.すなわち,**表-5.3**に示したように，1孔当たりの作業時間は，M30ではM22の1.9倍であり，言い換えるとM22に対し約半数，孔数を低減しないと合理化効果は得なれないということになる．一方，モデルⅢでは，ボルト本数低減率が大きく，作業時間はM22＞M30＞M36の順となっている．

太径ボルトを用いることによって，孔明け作業時間が最も低減できた橋梁モデルⅢにM36ボルトを用いれば，M22ボルトを用いた場合に比べて，作業時間は約23時間短縮され，率でいえば約17%低減となる．

5．2．3　孔明け作業上での課題

表-5.4は，鋼橋技術研究会施工部会ボルトWGに参加している6社・6工場での孔明け作業の現状を示したものである．ここでは，鈑桁および箱桁の代表的な各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．

フランジやウエブなどの主部材および主部材の連結板の孔明け作業には，ほとんどの橋梁製作工場で無人運転のNC機が用いられている．これらのNC機ではφ50までの孔明けが可能であり，M36などの太径ボルト用の孔加工にも適用できる．

図-5.1で示したように,M36の孔明け作業時間はM22の3.1倍の作業時間が必要となり，**表-5.1**で示したように，孔数低減率に比べ，孔明け作業時間低減率は

表-5.4　各橋梁製作工場の孔明け作業の現状

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
鈑桁	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，ガーダー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．

小さかった．今後，作業効率を向上させるためには，表-5.4で示した設備の能力を向上させ，また，ドリルの超硬化や多軸化を図るなどの設備の改善が必要と考えられる．これによって，さらに孔明け作業時間が低減でき，太径ボルトの優位性が生じる．

5．3 仮組立て時のボルト作業

5．3．1　ボルト作業時間の実測

ボルト作業時間を調べるため，M22については，実務で行われた仮組立て時に，ボルト締め付け作業時間と解体時間（取り外し時間）を計測し，ボルト1本あたりに必要な各作業時間を算出した．作業状況を写真-5.2に示す．

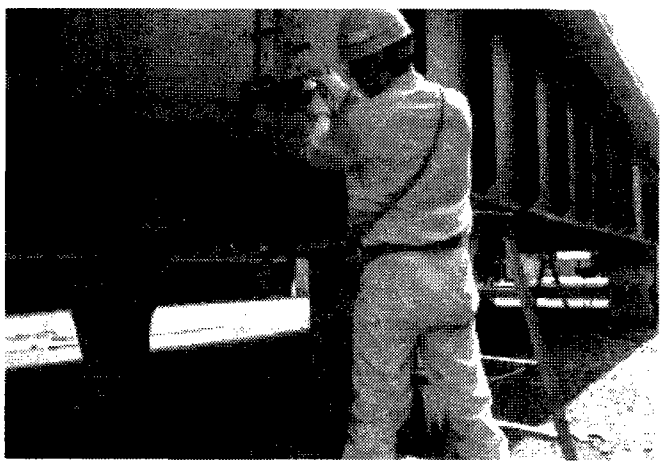


写真-5.2　仮組立て時でのボルト締め付け作業

計測は，箱桁橋あるいは鈑桁橋を対象とし，ウエブとフランジの各2継手，合わせて4継手のボルト締め付け作業時間および解体時間を計測した．この一連の計測を3つの橋梁製作工場(3社)にて実施した．なお，仮組立て時の連結部での作業は，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，計測はボルトの挿入・締め付け作業についてのみ行った．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．

仮組立て終了後の解体は，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．

表-5.5にボルト1本当たりの締め付け作業時間と解体作業時間の計測結果を示す．なお，作業時間を計測したボルト本数は，各工場で異なるが，76～192 本の範囲にある．各作業時間に工場による差はほとんどなく，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）であった．

M36 の締め付け時間と解体時間については，先述の M22 を用いての仮組立て時に測定した数値にある係数を乗ずることにより求めることとした．この係数は，

表-5.5　仮組立て時での作業時間(M22)の算出結果

社名	締付け時間		解体時間	
	計測したボルト数量(本数)	作業時間の平均値(秒/本)	計測したボルト数量(本数)	作業時間の平均値(秒/本)
A社	76	13.8	78	5.3
B社	192	12.4	192	6.5
C社	112	13.1	88	7.6
合計	380		358	
平均値		13.1		6.5

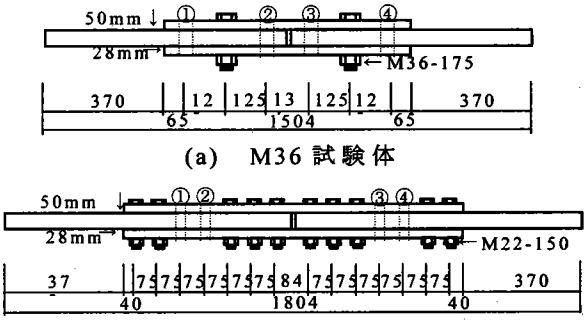
(注)　2人1組で作業を実施．

図-5.4に示す試験体を用いて M22 ボルトを用いた場合と M36 を用いた場合の締め付け時間と解体時間を計測することにより決定した．この試験体は，第2章で用いたものである．使用ボルトは，F10T-M36-175 と F10T-M22-150 である．作業は，実務で仮組立てを担当している作業者2名が行った．ボルト挿入とボルト締め付けを1人の作業者で行い，これを2名が交代で行うこととし，それぞれ各2回（1回につき4本，合計8本）行った．解体作業についても同様である．これらの測定結果から，1本当たりの締め付け時間と解体時間を求めた．その結果を**表-5.6**に示す．M36 ボルトを用いた場合には M22 を用いた場合に比べて，締

表-5.6　M22 と M36 の作業時間の比較

種別	作業員	締付け時間(秒/本)		解体時間(秒/本)	
		1回目	2回目	1回目	2回目
M22	作業員A	15.75	12.50	10.25	10.25
	作業員B	15.25	15.75	11.75	10.75
	平均値	14.81		10.38	
M36	作業員A	22.00	18.00	17.25	15.75
	作業員B	24.50	23.00	16.50	15.50
	平均値	22.00		16.25	
M36/M22の比率		1.49		1.57	

(注)　表-5.6 の作業は，1 人で作業を実施.



(a)　M36 試験体

(b)　M22 試験体

図-5.4　試験体形状

表-5.7　各ボルトの作業時間の算出結果

種別	締付け時間(秒/本)	解体時間(秒/本)
M22	13.1	6.5
M30	16.4	8.4
M36	19.5	10.2

付け時間は平均で 1.49 倍，解体時間は平均で 1.57 倍となった．なお，この倍率に作業員の違いによる顕著な差は見られない．この倍率を先に述べた係数として M36 を用いた場合のボルト締め付け時間と解体時間を求めた．具体的には，19.5 秒/本と 10.2 秒/本になる．なお，M30 ボルトの作業時間は，大胆であるが，ボルト重量に比例すると仮定し，締め付け時間を 16.4 秒/本，解体時間を 8.4 秒/本とした．

以上のように設定した各ボルト 1 本当たりの締め付け時間と解体時間をまとめて，表-5.7 に示す．

5．3．2．　ボルト作業の改善効果

表-5.7 に示した作業時間を用いて，各橋梁モデルにおける作業時間の算出結果を表-5.8 に示す．なお，先に述べたように仮組立て時の締付けボルト本数は，一般に全数の約 30%程度で行われているため，ここでは，表-3.2 で示したボルト本数の 30%を対象としてボルト作業時間を算出している．

表-5.8　仮組立て時でのボルト作業時間算出結果　　（単位：時間）

		モデルⅠ			モデルⅡ		
		M22	M30	M36	M22	M30	M36
仮組立時の必要ボルト本数		2525	1517	1152	3348	1855	1339
締付け時間	フランジ	3.95	2.54	2.34	6.42	4.30	3.72
	ウエブ	5.24	4.37	3.90	5.76	4.15	3.54
解体時間	フランジ	1.96	1.30	1.22	3.19	2.20	1.94
	ウエブ	2.60	2.24	2.04	2.86	2.13	1.85
作業時間の合計(時間)		13.75	10.45	9.50	18.23	12.78	11.05
M22に対する効果	増加値		-3.30	-4.24		-5.45	-7.18
	増加率		76.0%	69.1%		70.1%	60.6%
		モデルⅠ			モデルⅡ		
		M22	M30	M36	M22	M30	M36
仮組立時の必要ボルト本数		2736	1274	936	5225	2849	1867
締付け時間	フランジ	4.28	2.36	2.21	8.53	5.98	4.81
	ウエブ	5.68	3.44	2.86	10.48	7.00	5.30
解体時間	フランジ	2.12	1.21	1.16	4.23	3.06	2.52
	ウエブ	2.82	1.76	1.50	5.20	3.58	2.77
作業時間の合計(時間)		14.90	8.78	7.72	28.45	19.63	15.40
M22に対する効果	増加値		-6.12	-7.18		-8.82	-13.05
	増加率		58.9%	51.8%		69.0%	54.1%

仮組立て時のボルト作業時間は，ボルト本数（**表-3.2**）ほど改善効果はないものの，太径ボルトを用いれば，何れの橋梁モデルにおいても作業時間は改善されている．先の検討で最も太径ボルトの採用が望まれる橋梁モデルⅢでの作業時間の低減は，M30 で 6.1 時間，M36 で 7.2 時間であり，M22 に対する比率では，それぞれ約 59%，約 52%に低減している．また，橋梁モデルⅣでは，M30 で 8.8 時間，M36 で 13.0 時間短縮でき，比率で言えば，約 69%，約 54%に低減する．

仮組立て時のボルト締め付けおよび解体作業は，人手によって行われるため，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，先にも述べたように，2人1組で行われるので，**表-5.8**で示した結果の2倍の作業工数の低減につながる．

５．３．３　仮組立て作業上での課題

ボルトを締め付けるインパクトレンチは，M36 でも適用可能な機器もあるが，M22 の機器よりも重く，作業効率が劣る．このため，作業時間が長くなり，ボルト本数ほどのボルト締め付け・解体時間の削減とはならない．M36 ボルトについても軽量で作業性のよいインパクトレンチが開発されれば，さらに M36 などの太径ボルトを採用するメリットが顕著となる．

5．4　製作の合理化のまとめ

1) 試設計モデルでの1橋当たりの孔明け作業時間は，太径ボルトを用いれば多くのケースで低減できる．M22ボルトを用いた場合と比べて，M36を用いれば，合理化効果の高い少数主桁や細幅箱桁では孔明け作業時間をそれぞれ 83%，89%まで低減できる．
2) 試設計モデルでの1橋当たりの仮組立て時のボルト作業時間は，太径ボルトを用いることによりボルト本数と同様に大きく低減でき，少数主桁や細幅箱桁でM36を用いれば，52%，54%まで低減できる．