太径ボルトの適用によるボルト継手の合理化効果

㈱サクラダ　正会員　南　邦明　法政大学 正会員　森　猛
㈱宮地鐵工所　正会員○小沼靖己　オイレス工業㈱　佐藤英和
長岡技術科学大学 正会員　岩崎英治　三井造船㈱　三浦淳也

１．はじめに

大型部材の合理的な接合方法として太径ボルトを適用することが考えられる．しかし，太径ボルトを適用した場合，合理化効果が得られるのかどうかは明確でない．本研究では，太径ボルトを適用した場合の合理化効果を調べるため，4つのモデルで試設計を行い，経済性および製作上での合理化効果を調べた．

２．孔明け作業時間および仮組立て時のボルト作業時間の計測

(1)孔明け作業時間の計測　計測は橋梁製作会社3社で行い，孔径φ24.5, φ34.0, φ40.0の孔明けに必要な作業時間を計測した．これらの計測から得られた1孔当たりの孔明け作業時間の算定式を**表-1**に示す．なお，これらの計測方法や算出方法の詳細については，文献1)を参照にされたい．

表-1　各作業時間算定結果

孔明け作業時間(秒/孔)		ボルト作業時間(秒/本)		
孔径	算定式(t：板厚)	種別	締付け	解体
φ24.5	0.4936t+8.815	M22	13.1	6.5
φ34.0	1.5792t+8.815	M30	16.4	8.4
φ40.0	1.8979t+8.815	M36	19.5	10.2

(2)仮組立て時のボルト作業時間の計測　M22でのボルト作業時間については，文献1)のデータを用いることとした．次に，M36では実構造物がないので，文献2)で示した試験体を用いてM36とM22の時間比M36/M22を求め，これに文献1)のM22データを掛けて算出した．さらに，M30では，作業時間比はボルト重量に比例するものと考え，M36/M22の時間比を基にM30/M22を換算した．**表-1**にボルト締付けおよび解体時間の算出結果を示した．

３．ボルト径をパラメータとした試設計

(1)設計モデルの説明および設計方法　試設計は，**表-2**に示す4つの橋梁形式を対象に行った．ボルト継手計算は，すべり係数を0.4とした上で，M22,M30,M36の3種類のボルトを使用した．なお，ボルト設計の際，ボルト縁端距離や最小ボルト間隔距離は，M22では道路橋示方書に従い，M30およびM36については本州四国連絡橋公団基準に従いボルトを配置した．

表-2　試設計モデル

	モデルⅠ	モデルⅡ	モデルⅢ	モデルⅣ
径間数	3径間連続	2径間連続	3径間連続	2径間連続
橋梁形式	非合成鈑桁	非合成箱桁	非合成鈑桁	非合成箱桁
タイプ	多主桁	従来箱桁	少数主桁	細幅箱桁
桁高	2100	2000	2700	2500
総幅員	10700	10500	11700	10700
床版形式	RC床版	RC床版	合成床版	合成床版
床版厚	210mm	210mm	260mm	220mm
支間長	130m	120m	130m	120m
部材長	8m	5m	10m	10m
ブロック数	26	24	11	12
使用鋼材	SM490Y	SM490Y	SM490Y	SM490Y
フランジ幅	570mm	2200mm	820mm	1050mm
フランジ板厚 上	18～34mm	14～43mm	26～48mm	13～39mm
フランジ板厚 下	21～35mm	18～38mm	27～47mm	21～41mm
ウエブ厚	11mm	12mm	14mm	12mm

(2)試設計結果　**表-3**に試設計結果を示す．太径ボルトの適用により，いずれのモデルにおいてもボルト本数は大きく低減し，特に，合理化桁のモデルⅢ,Ⅳでは，M36で約35%に低減した．しかし，ボルト重量はいずれのモデルとも増加し，ボルト本数比率が小さかったモデルⅢ,Ⅳでも，約47～56％重量が増加する結果となった．これは，1本あたりのボルト重量が太径ボルトでは大きく，例えば，F10T-100であればM22に対し，M30では2.3倍，M36では3.6倍となるからである．次に，連結板重量は，合理化桁タイプのモデルⅢ,Ⅳでは，M36を用いれば2～4%程度鋼重は低減するが，従来桁のモデルⅠ,Ⅱでは，逆に16～17%程度増加した．この原因としては，M30,M36のボルト縁端距離や最小ボルト間隔はM22より大きく，連結板寸法が小さくならなかったことや，連結板板厚が増加した場合も生じたことがその原因である．板厚が増加したのは，道路橋示方書では，連結板板厚はボルト間隔の1/12以上とする規定があり，連結板最小板厚は，M22で9mm，M30で10mm，M36では12mmとなったからである．

表-3　試設計結果による連結板重量とボルト本数算出結果

			モデルⅠ			モデルⅡ			モデルⅢ			モデルⅣ		
			M22	M30	M36	M22	M30	M36	M22	M30	M36	M22	M30	M36
ボルト	本数	フランジ	3616	1856	1440	5880	3144	2288	3920	1728	1360	7816	4376	2960
		ウエブ	4800	3200	2400	5280	3040	2176	5200	2520	1760	9600	5120	3264
		合計	8416	5056	3840	11160	6184	4464	9120	4248	3120	17416	9496	6224
	本数比率(%)		100%	60%	46%	100%	55%	40%	100%	47%	34%	100%	55%	36%
	重量(kg)	フランジ	2040	2584	3504	3344	4388	5600	2468	2604	3508	4832	6560	7592
		ウエブ	2440	4240	5520	2684	4024	5088	2720	3340	4116	4932	6784	7632
		合計	4480	6824	9024	6028	8412	10688	5188	5944	7624	9764	13344	15224
	重量比率(%)		100%	152%	201%	100%	140%	177%	100%	115%	147%	100%	137%	156%
孔数	母板	フランジ	3616	1856	1440	5880	3144	2288	3920	1728	1360	7816	4376	2960
		ウエブ	4800	3200	2400	5280	3040	2176	5200	2520	1760	9600	5120	3264
	連結板	フランジ	8896	4416	3456	14796	7908	5772	10112	4224	3392	17252	9996	6760
		ウエブ	9600	6400	4800	10560	6080	4352	10400	5040	3520	19584	10400	6664
	合計		26912	15872	12096	36516	20172	14588	29632	13512	10032	54252	29892	19648
連結板	重量(kg)	フランジ	5152	5248	5928	9336	10100	10656	7472	7168	7152	16524	16780	15136
		ウエブ	5360	5560	6400	5808	6008	6912	5680	5240	5520	10592	10532	11420
		合計	10512	10808	12328	15144	16108	17568	13152	12408	12672	27116	27312	26556
	重量比率(%)		100%	103%	117%	100%	106%	116%	100%	94%	96%	100%	101%	98%

(3)設計上での太径ボルトの優位性の考察　試設計結果から太径ボルトの優位性を判断すると，太径ボルトを用いた場合，優位性が発揮できるのは，板厚が大きく，多行多列ボルトであると判断できる．具体的には，板厚はM30では22mm以上，M36では24mm以上で有効である．また，幅方向(橋軸直角方向)長さでは800mm(M36で6行となる幅)以上，さらに，M22でのボルト列数が5列以上であれば連結板の重量が低減でき，合理的な継手形式となる．

キーワード：高力ボルト摩擦継手，太径ボルト，作業効率，経済性，試設計
連絡先：〒272-0002　千葉県市川市二俣新町21　TEL 047-328-3148　FAX 047-328-3156

表-4　積算上での連結部の工事価格の算出結果　（単位:千円）

		モデルⅠ			モデルⅡ			モデルⅢ			モデルⅣ		
		M22	M30	M36	M22	M30	M36	M22	M30	M36	M22	M30	M36
工場原価	鋼材費	987	1,013	1,159	1,414	1,505	1,644	1,250	1,180	1,204	2,784	2,782	2,693
	ボルト費	1,683	3,762	6,701	2,232	4,601	7,790	1,824	3,161	5,444	3,483	7,065	10,861
	製作費	2,910	2,992	3,411	4,192	4,458	4,861	3,639	3,433	3,507	7,505	7,560	7,349
	間接労務費	1,106	1,137	1,296	1,593	1,694	1,847	1,383	1,305	1,333	2,852	2,873	2,792
	工場管理費	1,157	1,189	1,356	1,666	1,772	1,932	1,446	1,364	1,394	2,983	3,005	2,921
架設原価	HTB本締工	858	516	403	1,116	631	469	903	450	337	1,724	950	629
	共通仮設費	186	112	87	242	136	101	195	97	73	373	205	136
	現場管理費	273	164	128	355	200	149	287	143	107	548	302	200
一般管理費		1,255	1,469	1,917	1,706	1,972	2,422	1,475	1,501	1,778	2,826	3,115	3,436
工事価格(合計)		10,415	12,354	16,458	14,516	16,969	21,215	12,402	12,634	15,178	25,078	27,856	31,017
価格増加値			1,939	6,043		2,454	6,699		232	2,775		2,777	5,938
比率(%)			119%	158%		117%	146%		102%	122%		111%	124%

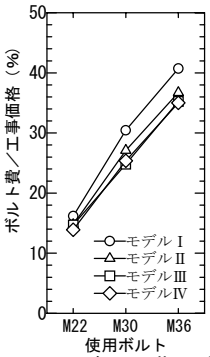

図-1　ボルト費比率

4．経済性および製作の合理化効果の評価

(1)積算上での工事価格削減効果　**表-4**に各費用算出結果を示す．これらの算出は，積算基準[3]および工事積算[4]に則った．また，鋼材費は建設物価[5]を用いた．ボルト購入単価はボルトメーカの3社に対し見積を依頼し3社の平均値として，M22は200円/本，M30は744円/本，M36は1745円/本として計算した．**表-4**に示すように，工事価格(トータル費用)は，連結板重量が増加したモデルⅠ,Ⅱでは，M36を用いればM22より，それぞれ604万円，670万円増加した．また，連結板重量が低減したモデルⅢ,Ⅳでさえ，それぞれ278万円，594万円増加する結果となった．これは，ボルト費が増大したからである．M36のボルト費は，最もボルト本数が低減できたモデルⅢでさえM22を適用した場合の3倍，モデルⅠでは4倍になった．これは，M22に比べ1本あたりのボルト購入単価が，M30で3.7倍，M36では8.7倍として計算したからである．**図-1**には，工事価格に対するボルト費の比率を示すが，M22での比率は14～16%であるが，M36では，モデルⅠで約41%，モデルⅡ,Ⅲ,Ⅳでは36%程度となった．

(2)孔明け作業の作業改善効果

表-5は，試設計結果から算出した孔数に対し，**表-1**で示した孔明け作業時間算定式を用いて，各ケースの孔明け作業に必要な作業時間の算出結果である．**表-5**に示すように，M22に対する作業時間比率は，部材，モデルあるいは孔径によって大きく異なった．フランジとウエブを考慮したトータル作業時間で見れば，モデルⅢを除いて，M30では孔明け作業時間は増加する結果となった．しかし，M36ではモデルⅠを除けば，作業時間は低減できる結果となった．孔明け作業時間低減値として，合理化効果が最も大きいモデルⅢでM36を用いれば，約23時間低減され，M22に対し約17%低減できる結果となった．

表-5　孔明け作業時間算出結果　（単位：時間）

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

表-6　仮組立て時のボルト作業時間算出結果　（単位：時間）

		モデルⅠ			モデルⅡ			モデルⅢ			モデルⅣ		
		M22	M30	M36	M22	M30	M36	M22	M30	M36	M22	M30	M36
ボルト本数		2525	1517	1152	3348	1855	1339	2736	1274	936	5225	2849	1867
締付け時間	フランジ	3.95	2.54	2.34	6.42	4.30	3.72	4.28	2.36	2.21	8.53	5.98	4.81
	ウエブ	5.24	4.37	3.90	5.76	4.15	3.54	5.68	3.44	2.86	10.48	7.00	5.30
解体時間	フランジ	1.96	1.30	1.22	3.19	2.20	1.94	2.12	1.21	1.16	4.23	3.06	2.52
	ウエブ	2.60	2.24	2.04	2.86	2.13	1.85	2.82	1.76	1.50	5.20	3.58	2.77
作業時間の合計		13.75	10.45	9.50	18.23	12.78	11.05	14.90	8.78	7.72	28.45	19.63	15.40
増加値			-3.30	-4.24		-5.45	-7.18		-6.12	-7.17		-8.82	-13.04
比率			76%	69%		70%	61%		59%	52%		69%	54%

(3)仮組立て作業の作業改善効果　**表-6**は，仮組立て作業に必要な作業時間の算出結果である．仮組立時でのボルト本数は一般に全数の30%程度で行われ，ここでは**表-2**で示したボルト本数の30%を対象とし，**表-1**で示した計測結果を用いて作業時間を算出した．**表-6**に示すように，ボルト作業時間比率は太径ボルトを用いれば，何れの橋梁形式でも低減され，作業改善効果は認められた．作業時間の低減値は，少数主桁のモデルⅢでは，M30で6.1時間，M36で7.2時間削減でき，細幅箱桁のモデルⅣでは，M30で8.8時間，M36で13.0時間低減できる結果となった．

5．まとめ

太径ボルトを用いれば，構造形式に関わらず，M22よりボルト本数は大幅に低減できる．しかし，M30, M36では1本当たりの重量が大きく，ボルト重量は逆に増加する．連結板重量の低減効果は，構造形式，板厚あるいはボルト列数などにより異なり，太径ボルトの優位性が発揮できるのは，板厚が大きく，多行多列ボルトである．

太径ボルト適用による経済性の効果は，連結板の重量が低減した少数主桁や細幅箱桁であっても費用は，約23%程度上昇する結果となった．上昇した原因は，ボルト購入費が上昇したことがその原因である．孔明け作業時間や仮組立て時でのボルト作業時間は，M22に対し多くのケースで作業時間が低減し，製作の合理化効果は認められた．なお，本研究は鋼橋技術研究会施工部会の活動の一環として行ったものである．

[参考文献]

1) 南,松田,森,長島,井落,山口：高いすべり係数の適用によるボルト継手の合理化効果,土木学会第60回年次学術講演会, 2005.9.
2) 南,堀川,森：太径ボルト(M36-175)および長尺ボルト(M22-150)のすべり耐力試験,土木学会第60回年次学術講演会,2005.9.
3) 建設物価調査会：鋼道路橋数量集計マニュアル(案), 1996.10.
4) 日本建設機械化協会：橋梁架設工事の積算，2004.4
5) 建設物価調査会：建設物価，2004.7.