

高いすべり係数の適用によるボルト継手の合理化効果

(株)サクラダ 正会員 南 邦明 トピー工業(株) 長島 哲
 佐藤鉄工(株) 正会員 〇松田智史 JFEエンジニアリング(株) 井落 充
 法政大学 正会員 森 猛 日立造船(株) 山口実浩

1. はじめに

道路橋示方書ではすべり係数を0.4とし、ボルト継手の設計を行うこととしている。実際には、摩擦面の表面処理状態によっては0.4より高くなることは広く知られている。本研究では、高いすべり係数を適用することによる合理化効果を調べるため、2つのモデルで試設計を行い、経済性および製作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でのボルト作業(締付け作業・解体作業)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 ϕ 24.5の孔明けに必要な作業時間を計測した。鋼材はSM520を使用し、板厚は40~60mmを用いた。計測では、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を計測した。各作業時間の中で、②は板厚に比例して作業時間が長くなるが、①③は板厚に依存しない時間である。すなわち、②から単位厚さ当たりに必要な孔明け時間を算出した上で、①③は固定時間と考え、板厚と孔明け作業時間の関係を算出した。計測は、各社3回行い、これらの平均値から、1孔当たりの孔明け作業時間(T:秒)と板厚(t:mm)は、 $T=0.49t+8.8$ の関係が得られた。

(2) 仮組立て時のボルト作業時間の計測 計測は、先と同様3社で実施し、箱桁橋のウェブとフランジの各2継手、合わせて4継手のボルト締付けおよび解体時間(取外し時間)を計測した。なお、仮組立てを行う際に連結部での作業手順は、連結板を取り付けてドリフトピンを挿入し、ボルト位置を決定した後に、仮組み検査時に必要な所定のボルトを挿入する。その際、連結板位置を決定し、ドリフトピンを挿入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関わらず1連結部につき発生する共通時間である。そこで、計測対象時間は、ドリフトピンを挿入後、一括して行うボルト締め付け作業を対象とした。計測ボルト本数は約380本であり、これらの平均を取り、ボルト1本当たりの作業時間は、締付け時間で13.1秒、解体時間では6.5秒との結果が得られた。

3. すべり係数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 対象としたモデルは、表-1および図-1に示す鉄桁橋(モデルI)と箱桁橋(モデルII)の2橋とした。ボルトはM22を用いることとし、ボルト継手の計算は、すべり係数を0.4, 0.5, 0.6と変化させて行った。なお、すべり係数を変化させた場合、部材の材片数や主桁の重量は変わらず、影響があるのは連結板重量とボルト本数である。そこで、この2項目を比較検討し、工事費用の低減および製作の合理化効果を評価した。

(2) 試設計結果 表-2に試設計結果から算出したボルト本数、孔数および連結板重量算出結果を示した。また、表中には $\mu=0.4$ に対する比率も示した。表-2に示すように、高いすべり係数を適用することによりボルト本数は低減され、低減効果はモデルの違いによる差は若干あるが、 $\mu=0.5$ ではモデルI, IIともにも80%、 $\mu=0.6$ ではモデルIで66%、モデルIIでは72%にボルト本数が低減した。孔数は、通常、ボルト本数の3倍であるが、フランジ連結板中には、フィラープレートの孔数も含まれているので、3倍を若干超えている。連結板重量比率は、モデルIIではほぼボルト本数比率と同じであるが、モデルIでは約9%の違いが生じていた。この原因として、ウェブではボルト本数比率と連結板重量比率に違いは生じていないが、フランジ重量での低減効果が小さかったことがその原因である。これは、鉄桁橋のフランジでは、千鳥配置が適用され、この場合連結板形状が長方形でないので、ボルト本数が少なくなってもネット重量の違いが少なく、その影響でモデルIのフランジでは低減率は小さかった。フランジとウェブを合わせた連結板重量は、 $\mu=0.5$ を用いればモデルIで84.4%、モデルIIでは81.3%に低減され、さらに、 $\mu=0.6$ を用いればモデルIで74.9%、モデルIIでは73.9%に低減される結果となった。

表-1 試設計モデル

	モデルI	モデルII
径間数	3径間連続	2径間連続
橋梁形式	非合成鉄桁	非合成箱桁
支間長	40+50+40m	60+60m
部材長	10m	12m
ブロック数	11	9
使用鋼材	SM490Y	SM490Y
フランジ幅	820mm	2200mm
フランジ	上 26~48mm	14~44mm
板厚	下 27~47mm	19~40mm
ウェブ板厚	14mm	12mm

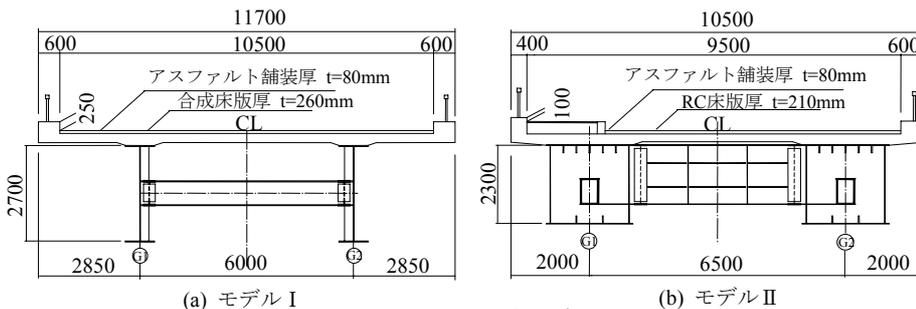


図-1 試設計モデル

キーワード：高力ボルト摩擦継手、すべり係数、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-2 ボルト本数および連結板重量算出結果

		モデルⅠ			モデルⅡ		
		μ=0.4	μ=0.5	μ=0.6	μ=0.4	μ=0.5	μ=0.6
ボルト本数	フランジ	3232	2544	2208	6792	5456	4848
	ウェブ	5200	4160	3328	5280	4224	3872
	合計	8432	6704	5536	12072	9680	8720
	本数比率		79.5%	65.7%		80.2%	72.2%
孔数	フランジ	3232	2544	2208	6792	5456	4848
	ウェブ	5200	4160	3328	5280	4224	3872
	合計	26208	20832	17248	39908	31960	28816
	孔数比率		79.5%	65.8%		80.1%	72.2%
連結板重量(kg)	フランジ	7296	6350	6000	10636	8656	7804
	ウェブ	5680	4600	3720	5840	4736	4364
	合計	12976	10950	9720	16476	13392	12168
	重量比率		84.4%	74.9%		81.3%	73.9%

(注) フライヤープレートの本数は、フランジ連結板重量中に含む。
 フライヤープレートの孔数は、フランジ連結板孔数中に含む。

表-3 積算上での連結部の費用の集計結果 (単位：千円)

		モデルⅠ			モデルⅡ		
		μ=0.4	μ=0.5	μ=0.6	μ=0.4	μ=0.5	μ=0.6
工場原価	鋼材費	1,093	922	819	1,366	1,110	1,009
	ボルト費	1,686	1,341	1,107	2,414	1,936	1,744
	副資材費	147	124	110	186	151	137
	製作費	3,166	2,692	2,405	4,356	3,689	3,420
	間接労務費	1,203	1,023	914	1,655	1,402	1,300
架設原価	工場管理費	1,258	1,070	956	1,731	1,466	1,359
	HTB本締工	873	705	589	1,245	991	890
	共通仮設費	189	153	127	269	214	193
	現場管理費	278	224	187	396	315	283
	一般管理費	1,342	1,124	987	1,828	1,517	1,260
工事価格(合計)		11,234	9,378	8,202	15,447	12,792	11,594
μ=0.4に対する効果	価格低減値		1,856	3,032		2,655	3,853
	比率		83%	73%		83%	75%

表-4 孔明け作業時間算出結果 (単位：時間)

		モデルⅠ			モデルⅡ			
		μ=0.4	μ=0.5	μ=0.6	μ=0.4	μ=0.5	μ=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
	ウェブ	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	
μ=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%	72.1%	

表-5 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		
		μ=0.4	μ=0.5	μ=0.6	μ=0.4	μ=0.5	μ=0.6
仮組ボルト本数		2530	2011	1661	3622	2904	2616
締付け時間	フランジ	3.53	2.78	2.41	7.41	5.96	5.29
	ウェブ	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
	ウェブ	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
μ=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%

4. 経済性および製作の合理化効果の評価

(1)積算上での工事費用削減効果 表-3に積算上での各費用算出結果を示す。これらの算出は、積算基準¹⁾および工事積算²⁾に則った。また、鋼材費は建設物価³⁾を用い、ボルト費は200円/本として計算した。表-3に示すように、高いすべり係数を適用することにより、工事価格は大きく低減された。低減効果は各モデルともに、表-2で示した連結板重量比率に近い値を示した。低減値は、μ=0.5ではモデルⅠで186万円、モデルⅡで266万円であり、さらに、μ=0.6ではモデルⅠで303万円、モデルⅡで385万円低減できる結果となった。

(2)孔明け作業の作業改善効果 表-4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の算出結果である。ここでは、先に示した $T=0.49t+8.8$ を用いて、各部材の孔を明けるのに必要な作業時間を算出した。表-4に示すように、高いすべり係数を適用することにより、孔明け作業時間は大きく低減された。孔明け作業時間比率は、ボルト本数比率(表-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ので、孔数比率とは極微量であるが異なった。低減効果はモデルの違いによる差が若干生じたケースもあったが、μ=0.5では両モデルともに約80%、μ=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、μ=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、μ=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。

(3)仮組立て作業の作業改善効果 表-5は、試設計結果から算出したボルト本数に対し、仮組立て作業に必要な作業時間の算出結果である。ここでは、先に示した仮組立て時での計測結果からボルト締付け時間を13.1(秒/本)、ボルト解体時間を6.5(秒/本)として、各連結部でのボルト作業時間を算出した。なお、仮組立て時でのボルト本数は、一般に全数の30%程度で行われているので、ここでは、表-2で示したボルト本数の30%のボルト作業時間を算出した。表-5に示すように、仮組立て時でのボルト締付けおよび解体時間は、両者合わせても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-2)と一致し、高いすべり係数を適用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、μ=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、μ=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。

5. まとめ

高いすべり係数を適用すると連結板重量やボルト本数は大きく低減し、工事費用の低減および工場製作での合理化効果は得られる。すなわち、摩擦面が有する性能に応じたすべり係数を採用することにより、鋼橋の経済性が発揮されるものと言える。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) 建設物価調査会：鋼道路橋数量集計マニュアル(案)，1996.10.
- 2) 日本建設機械化協会：橋梁架設工事の積算，2004.4.
- 3) 建設物価調査会：建設物価，2004.7.