

施工後10数年経過した橋梁の高力ボルト継手の維持管理に関する諸問題

VARIOUS PROBLEMS INCURRED TO PREVENTIVE MAINTENANCE FOR STEEL BRIDGE HIGH STRENGTH BOLT JOINT BEING IN SERVICE FOR 10 YEARS SINCE ITS CONSTRUCTION

西岡敬治¹⁾ 乙黒幸年¹⁾ 矢幡健²⁾ 長沼敏彦³⁾ 吉川紀³⁾
Takaharu NISHIOKA, Yukitoshi OTOGURO, Takeshi YAHATA, Toshihiko NAGANUMA and Osamu YOSHIKAWA

- 1) 阪神高速道路公団(〒541 大阪府中央区久太郎町4-1-3)
2) (株) 創成コンサルタント(〒540 大阪府中央区和泉町2-1-1)
3) (財) 阪神高速道路管理技術センター(〒541 大阪府中央区南本町4-5-7)

A number of damage has been found in a high tensile bolt used for field joint of a steel bridge as the results of easy and efficient "hammering" inspection. For major causes of introduced axial force shortage, primarily, tightening failure for bolts, secondarily, fabricating errors and surface backlash accompanied by board thickness allowance, and thirdly, introduced axial force deterioration caused by resultant slackness among far-off boards brought by bolt tightening order can be pointed out.

Since the most parts of problem consist of working reasons, an adequate field control is of vital importance.

This paper has proposed improvement measures including rational inspection method for high tensile bolts as well as their repairing method and so on.

Key words: high tension bolts, maintenance, inspection, slackness

1. はじめに

わが国で鋼構造物が出現したのは、1860年代である。それ以降種々の鋼構造物が建造されるようになり、それに伴って鋼の需要は年々増加し、今では構造物に用いる材料の主流を成している。使用材料に急速な発展がみられ、鋼材は昭和30年代ではSM50材が主であったものが今日では60キロ鋼で厚板へと進んでいる。部材の形成と連結のための継手も従来のリベットから同じく昭和30年代の前半には工場製作に溶接が用いられ、リベットは現場継手のみに用いられるようになった。しかし、このリベットもリベット工の確保、締付け時の騒音などによって高力ボルトが昭和30年代後半より研究され始め、以来、現場継手は高力ボルトが主流となっている。

鋼構造物の損傷で昭和40年ごろに問題になったものに、摩擦接合用高力ボルトの損傷があった。摩擦接合用高力ボルトの損傷には折損；ひびわれと軸力不足がある。前者の代表的なものが遅れ破壊による折損である。遅れ破壊は静的荷重下である時間経過後、塑性変形を伴わず突然脆性的に破壊するもので、さまざまな要因により、破壊までの経過時間には相当の幅を持っている。この破壊機構は、一般に腐食環境下における腐食ピット、局所的な応力集中により生じる切欠きピットなど、水素脆性破壊にいたらしめる外的要因と、高張力鋼としての材料、

製造方法の内的要因が複雑に作用して生じるものといわれている¹⁾。原因はまだ不明な点が多く、高力ボルトの使用材料と製造過程、とくに熱処理過程に起因することが多いようであり、特定の製造ロットのものに集中して発生する傾向にある¹⁾。

後者の「軸力不足」の原因は、遅れ破壊に関連しているものか、リラクゼーションによるものか、ボルト自体の欠陥に伴うものか、締付け過度による材料の降伏か、損傷か、締付け不足により軸力がもともと足りない施工ミスか、今のところ明確でない。

点検により高力ボルトの損傷が多数発見されている。高力ボルトの点検方法には、点検ハンマーによるたたき点検のほか各種点検機器が開発されている²⁾。簡易な方法で能率の良いたたき点検法は、ナットの側面に手をあてて、ナットの反対側の側面を点検ハンマーで軽くたたき、その反動が手に伝わる感触とか音によって損傷を判定する方法である。

本報告は、点検ハンマーを用いた点検によって「軸力不足」と判定された高力ボルトについて、現地調査、および室内試験を行い、残存軸力、破断強度、軸力不足の原因、対策について検討を行ったので報告するものである。

2. 高力ボルトの損傷の状況

阪神高速道路で使用されている高力ボルトの規格別損傷は表－1に示すとおりである。遅れ破壊に対する感受性はF13T規格のものが鋭敏である。一方、軸力不足の本数はF11T規格以下のものに多く発生している。特に2次部材に使用されている高力ボルトがリラクゼーションや振動の繰り返しなどの要因が高いことよりも、むしろ締め付けにくい施工条件下にあり、結果的に締め忘れられたものが多く残されているのではないかと推定される。

表－1 規格別損傷率¹⁾

規 格	遅れ破壊 本 数	軸力不足 本 数	計
F13T	859本 (59)	1本	860本 (33)
F11T	579 (40)	668 (60)	1247 (48)
その他	26 (1)	447 (40)	473 (19)
	1464 (100)	1116 (100)	2580 (100)

()内は全体に対する割合(%)

使用箇所別損傷状況は表－2のとおりである。鋼I桁が鋼箱桁の5倍以上となっている。鋼箱桁と鋼I桁への高力ボルトの使用本数は、圧倒的に鋼箱桁が多いにもかかわらず損傷本数が1/5程度の比率であることは、鋼桁におけるボルトの暴露環境として、閉断面の方が開断面より良い状態にあると考えられる。なお、鋼I桁ではフランジ部10に対してウェブ1の比率となっている。鋼製橋脚の比率が高いのは鋼桁に比較して鋼製橋脚内部の水溜まり、結露などの腐食環境が高力ボルトの折損に対して大きく影響を与えているものと推定される。

表－2 使用箇所別損傷状況表¹⁾

規 格	損傷箇所	軸力不足本数(本)			合 計 (本) (%)
		F13T	F11T	その他	
鋼I桁	上フランジ部				
	ウェブ部		3		3
	下フランジ部		32		32
	小 計		35		35 (3)
鋼箱桁	上フランジ部				
	ウェブ部				
	下フランジ部	1	7		8
	小 計	1	7		8 (0.7)
横 桁	上フランジ部				
	ウェブ部				
	下フランジ部				
	小 計				
鋼 製 橋 脚	梁上面部		31		31
	梁側面部		10		10
	梁下面部		141		141
	柱 部		433		433
	小 計		618		618 (55)
その他	主 材 部		8	447	455 (41.3)
合 計		1	668	447	1116

3. 高力ボルトの「軸力不足」の実態調査

高力ボルト継手部におけるたたき点検でボルトに軸力不足が多数発見されている。今まで原因が良くわからなかったのが、今回現地調査と室内試験を行い原因の究明を行った。主な調査内容は、高力ボルトの軸力不足が検出されたボルトについて、軸力の不足程度を確認するために軸力測定を行った。

軸力を測定する高力ボルトを現地で抜き取り、室内において損傷状況と強度を確認した。さらにボルトの軸力測定、および高力ボルトの破断強度より異常と判断されたものについては、形状観察、化学成分の分析などを行い、遅れ破壊についても確認した。

今回の現地調査は供用後約17年になる路線を選び、たたき点検で軸力不足のボルトを検出した。この場合の導入されている軸力の程度の有無を、多少施工性の悪さはあるが、実用性、および過去の実績を考え、ひずみゲージ法により計測を行った。なお、比較のために正常なボルトもあわせて抜き取り、軸力調査を実施した。

3.1 軸力不足の高力ボルトの残存軸力と破断強度

たたき点検で軸力不足と判定された高力ボルトの頭部にひずみゲージを貼り付け、アムスラーによりボルトの残存軸力を測定し、その後にボルトの破断強度を求めた。

3.2 高力ボルトの軸力不足の原因

平成6年度に行った高力ボルトの軸力不足調査と平成5年度に行ったものとあわせて146本の高力ボルトの軸力調査で、軸力がある程度入っているものを合わせると87%で、正常ボルトは13%であった。ボルトの残存軸力が設計ボルト軸力の10%程度のものも含まれており、継手のすべり耐力に大きな影響を与える可能性が考えられる。特に対傾構や横構などの二次部材で高力ボルトの軸力不足が多く発生している。

高力ボルトの軸力不足の発生原因としては、次のことが考えられる。

- 1)製作にかかわる要因として、
 - ①継手の部材寸法誤差や板厚公差による肌すきの処置不良
 - ②対傾構や横構の2次部材と補剛材との取合不良
 - ③対傾構や横構の2次部材のボルト孔のくい違いの処置不良
- 2)施工にかかわる要因として、
 - ①コーナー部などの狭あいな継手箇所は機械締めが困難な場合が多く、トルクレンチなどで手締めを予定しておきながらの締め忘れ
 - ②ボルト締め付け順序の不適切にともなうボルト軸力の低下
 - ③ボルトの予備締め付け不良
- 3)高力ボルトの製品にかかわる要因として
 - ①ボルトのリラクゼーション
 - ②遅れ破壊によるボルトの損傷
 - ③ボルトの保管(現場管理)の悪さ

3.3 高力ボルトの軸力不足の防止対策

- 1) コーナー部の継手のボルト配置を見直す。
- 2) ボルトの予備締付けを徹底する。
- 3) ボルトの締付け順序を守る。
- 4) 対傾構や横構などの2次部材のボルト孔のリーミングを行う。
- 5) 対傾構や横構などの2次部材のボルト本数を増加する。
- 6) 現場施工管理を徹底する。
- 7) ボルトの材料試験データの長期保管を行う。

これらのことは建設当時の設計・施工計画と施工管理を十分に行うことにつぎと考えられる。そこで、もう一度原点に帰り、高力ボルト継手の現場における施工管理方法を見直すことが必要であると思われる。

3.4 軸力不足ボルトの残存軸力

軸力不足ボルトの残存軸力とその分布を図-1に示す。

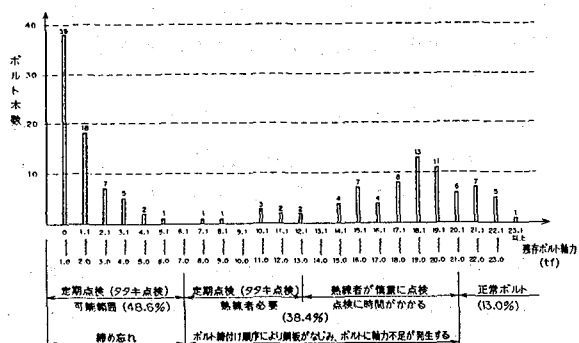


図-1 軸力不足ボルトの残存軸力分布図

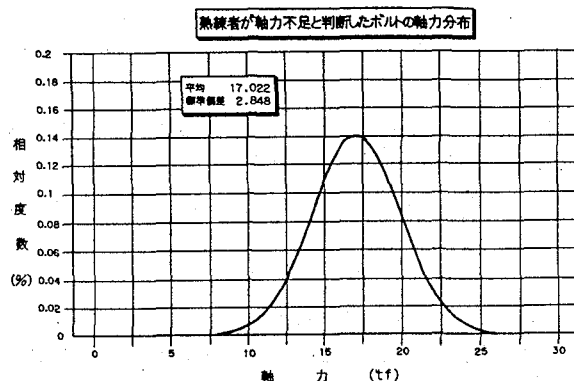
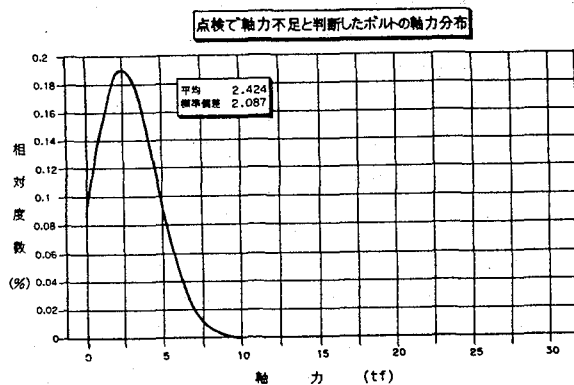


図-1から軸力不足ボルトの残存軸力には大きな山が2箇所ある。1つの山は残存軸力が6.0tf以下、もう1つは7.0tf～19.1tf間にある。前者の原因としては、①ボルトの締め忘れ、②鋼板とボルトとのなじみ、そして③予備締付け不良があげられる。後者の原因としてはボルトの損傷があげられる。今回の調査では①～③が目立っている。

図-1の分布図から残存軸力6.0tf以下の左側の山に含まれる軸力不足ボルトは、たたき点検で容易に検出できる範囲である。しかし、右側の山に含まれる軸力不足ボルト群(7.0tf～19.1tf)は、たたき点検では発見が難しい。熟練した点検者が何回もボルトを注意してたたけば検出が可能であろう、しかし、時間がかかりすぎる。

軸力不足ボルトと判定されたボルトについて下記に示す項目について調査を行った結果が図-2である。

- ①点検で軸力不足を判断したボルトの軸力分布
- ②点検で正常と判断したボルトの軸力分布
- ③熟練者が軸力不足と判断したボルトの軸力分布
- ④熟練者が正常と判断したボルトの軸力分布

軸力不足と判断したボルトの残存軸力の調査法には問題点が多く、精度上に難点がまだまだある。今後さらに検出機器の開発が必要である。

3.5 戻しトルク値およびトルク係数

(1) 戻しトルクの測定

ボルト頭部にひずみゲージを貼付したのち、ボルトをトルクレンチを用いて取り外す際にトルクを測定する方

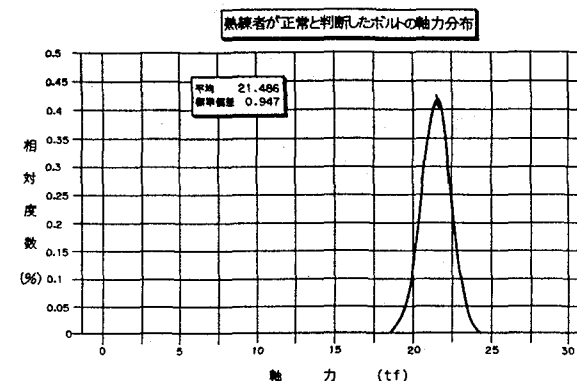
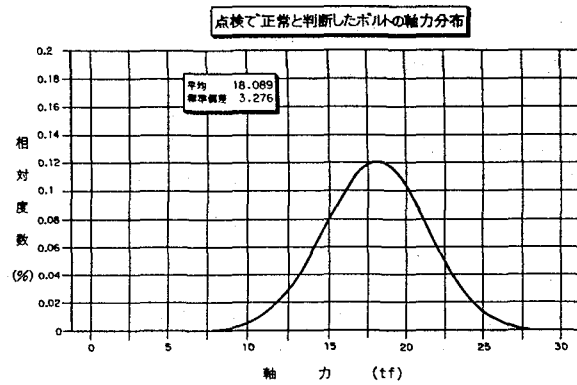


図-2 残存軸力分布図

法が戻しトルク法である。さらに、そのままの状態 で測定したトルクでボルトを再度締め付けてボルト軸力とトルクの関係を調査した。

この方法は簡易で能率の良い方法であるが、残存軸力を精度良く把握するためには、トルク係数の変化を正確に追跡することが必要条件で、現場の計測管理において、各種の制約条件が計測結果に大きなバラツキをもたらすとされている。

図-3に戻しトルクとひずみゲージによる軸力の関係を示す。この図から戻しトルクはボルトの残存軸力の低いボルトにバラツキが見られる。しかし、トルク値はボルト締付け後10数年を経過しているにもかかわらず、比較的安定していた。

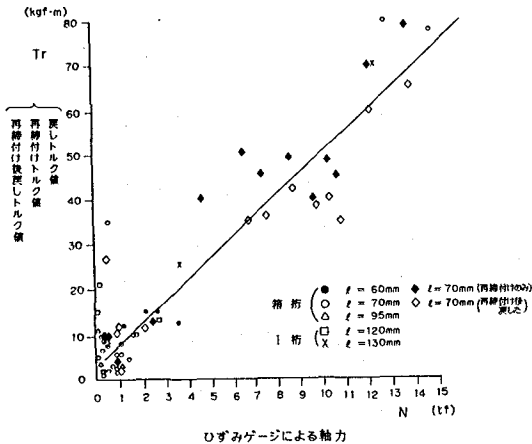


図-3 戻しトルク 再締付けトルク 再締付け後戻しトルク と軸力の関係

2) 戻しトルク係数の測定

戻しトルク係数の分布図を表-3と図-4に示す。図-4よりトルク係数は、比較的安定している。戻しトルク係数は最小0.108～最大0.494の範囲にあり、標準偏差

表-3 戻しトルク係数一覧表

	戻しトルク係数値			
	1	2	3	4
箱	0.358	0.166	0.278	0.337
	0.240	0.235	0.113	0.239
	0.176	0.257	0.255	0.244
	0.229	0.229	0.229	0.279
	0.136	0.110	0.127	0.126
	0.130	0.124	0.124	0.124
	0.131	0.131	0.131	0.131
	0.115	0.115	0.115	0.115
	0.126	0.126	0.126	0.126
	0.130	0.130	0.130	0.130
桁	0.127	0.164	0.142	0.162
	0.129	0.129	0.129	0.129
	0.138	0.216	0.161	0.161
	0.163	0.163	0.163	0.163
	0.057	0.057	0.057	0.057
	35.0	35.0	35.0	35.0
	0.128	0.114	0.122	0.134
	0.120	0.139	0.136	0.108
	0.120	0.125	0.146	0.134
	0.166	0.145	0.141	0.138
合成	0.491	0.169	0.249	0.321
	0.329	0.254	0.494	0.213
	0.147	0.375	0.291	0.148
	0.238	0.113	0.474	0.179
	0.078	0.078	0.078	0.078
	43.6	43.6	43.6	43.6
	0.141	0.155	0.120	0.139
	0.142	0.326	0.216	0.291
	0.148	0.148	0.148	0.148
	0.238	0.113	0.474	0.179

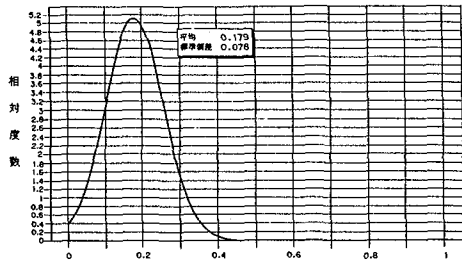


図-4 戻しトルク係数分布図

は0.078であった。また、箱桁とI桁を比較した場合は、箱桁のトルク係数がI桁に比べて小さいのは、ボルトの暴露環境は箱桁の方がI桁より良いことを示している。

4. 高力ボルトの軸力測定機器開発の概要

点検ハンマーを使用しての軸力測定方法は、簡易な手法で能率も良いが、熟練を要するため、個人差のない点検機器の開発が望まれている。

たたき点検以外に超音波探傷器、磁気軸力計、超音波軸力計、ひずみゲージ法、渦流式探傷器、そして戻しトルク法などが研究されている。これらの方法の概要を以下に示す。

- 1)たたき点検法：簡易な手法で能率が良いが、異常ボルトの発見確率は約30%である。常に点検員の技術向上が欠かせない（図-2）。
- 2)超音波探傷器：内部に欠陥を有する高力ボルトの発見法としては、精度、信頼性、施工性とも最良といえる。しかし、能率はたたき点検法に比べて悪く、軸力不足の発見には適しない。
- 3)磁気軸力計：高力ボルトの材質により、測定できないものがある。施工能力は高いが、精度、信頼性はひずみゲージ法、超音波軸力計より低い。
- 4)超音波軸力計：測定の精度を確保するため、高力ボルト両端面を平坦に仕上げるのが現状では困難であり、現場での調査法としては実用的でない。
- 5)ひずみゲージ法：精度、信頼性が比較的高いことから、現状では高い精度が要求されるので軸力調査に適している。施工能率が悪いのが欠点である。
- 6)渦流式探傷器：ボルトの締付け力により弾性率が変化するので、共振周波数が変わることを利用するもので現在開発中である。
- 7)磁粉探傷法：表面部欠陥の探傷には、精度、信頼性とも高いが、現場での調査には適さない。たたき点検法、超音波探傷法を行った後の最終確認には有効な手法である。
- 8)戻しトルク法：現状では簡単に高力ボルトの軸力不足が確認できる方法と思われる。しかし、施工時のトルク係数が変化しているため、軸力推定に当たって精度、信頼性が低い。
- 9)簡易ボルト軸力計：周波数が連続的に変わる電磁力を

ボルトの頭部に与え、ボルトの固有振動数に一致、共振したときの振動数を測定し軸力を測定する。

以上の結果から、現在われわれが行っているたたき点検法は高力ボルトの軸力不足現象の発見にある程度の精度が期待できることが判明した。しかしながら、点検の精度や効率を上げるために、測定器の新機種の開発、ならびに現在ある測定器の携帯用機器への開発を含め、改良が望まれる。

5. 高力ボルト軸力不足の原因とボルト継手部の判定ランク

高力ボルトの軸力不足は、遅れ破壊の前兆であるのか、建設時の施工管理上の問題であるのか、現場において判断することは困難である。

今回行った高力ボルトの軸力調査において、ボルトの軸力不足が遅れ破壊によるものと思われるものは1本も検出されず、すべて建設時に発生したものと思われる。

そこで、高力ボルトの軸力不足により、機能低下をきたす恐れのある継手部の判定を表-4に示す。そのランク付けにより、補修を実施するかどうかを判断する。

1)判定ランク

調査の結果、ボルトに軸力不足が発見された場合、ランクⅠは速やかにボルトを取替え、締付けを行う。ランクⅡは追い締めによりボルト締付けを行う。ランクⅢは（塗装の塗替え時）などの足場架設時にボルトを取替え、締付けを行う。

2)ボルトの軸力不足のランク付け

ボルトの軸力不足とその原因を表-4に示す。表中の

表-4 高力ボルト軸力不足の原因と重要度判定ランク

項目	軸力不足の程度	部材別	ボルト使用部材名	ボルト使用本数	軸力不足本数	割合 (%)	重要度判定ランク
建設時の締付け不良	A	部材	トリア	20	10	50.0	Ⅲ
		部材	トリア	18	8	44.4	Ⅲ
		部材	トリア	48	8	16.7	Ⅲ
		部材	トリア	12	4	33.3	Ⅲ
		部材	トリア	8	4	50.0	Ⅲ
	B	部材	トリア	36	12	33.3	Ⅲ
		部材	トリア	254	14	5.5	Ⅲ
		部材	トリア	124	9	7.3	Ⅲ
		部材	トリア	28	3	11.5	Ⅲ
		部材	トリア	12	2	16.7	Ⅲ
施工不良	A	部材	トリア	44	2	4.5	Ⅲ
		部材	トリア	46	8	17.4	Ⅲ
		部材	トリア	227	19	8.4	Ⅲ
		部材	トリア	8	1	12.5	Ⅲ
		部材	トリア	110	9	8.2	Ⅲ
	B	部材	トリア	20	1	5.0	Ⅲ
		部材	トリア	12	7	58.3	Ⅲ
		部材	トリア	12	8	66.7	Ⅲ
		部材	トリア	46	1	2.2	Ⅲ
		部材	トリア	12	8	66.7	Ⅲ
使用後の点検	A	部材	トリア	46	1	2.2	Ⅲ
		部材	トリア	227	14	6.2	Ⅲ
		部材	トリア	8	1	12.5	Ⅲ
		部材	トリア	110	9	8.2	Ⅲ
		部材	トリア	20	1	5.0	Ⅲ
	B	部材	トリア	12	7	58.3	Ⅲ
		部材	トリア	8	7	87.5	Ⅲ
		部材	トリア	36	12	33.3	Ⅲ
		部材	トリア	254	15	5.9	Ⅲ
		部材	トリア	124	9	7.3	Ⅲ
その他	A	部材	トリア	28	3	11.5	Ⅲ
		部材	トリア	12	2	16.7	Ⅲ
		部材	トリア	44	2	4.5	Ⅲ
		部材	トリア	46	8	17.4	Ⅲ
		部材	トリア	12	3	25.0	Ⅲ
	B	部材	トリア	118	5	4.3	Ⅲ
		部材	トリア	124	11	8.9	Ⅲ
		部材	トリア	15	2	13.3	Ⅲ
		部材	トリア	6	2	33.3	Ⅲ
		部材	トリア	46	1	2.2	Ⅲ

部材別 高力ボルト軸力不足の原因と判定ランク (建設時)

部材別	部材名	ボルト使用本数	軸力不足本数	軸力不足割合 (%)	重要度判定ランク
部材	トリア	20	10	50.0	Ⅲ
部材	トリア	18	8	44.4	Ⅲ
部材	トリア	48	8	16.7	Ⅲ
部材	トリア	12	4	33.3	Ⅲ
部材	トリア	8	4	50.0	Ⅲ
部材	トリア	36	12	33.3	Ⅲ
部材	トリア	254	14	5.5	Ⅲ
部材	トリア	124	9	7.3	Ⅲ
部材	トリア	28	3	11.5	Ⅲ
部材	トリア	12	2	16.7	Ⅲ
部材	トリア	44	2	4.5	Ⅲ
部材	トリア	46	8	17.4	Ⅲ
部材	トリア	227	19	8.4	Ⅲ
部材	トリア	8	1	12.5	Ⅲ
部材	トリア	110	9	8.2	Ⅲ
部材	トリア	20	1	5.0	Ⅲ
部材	トリア	12	7	58.3	Ⅲ
部材	トリア	12	8	66.7	Ⅲ
部材	トリア	46	1	2.2	Ⅲ
部材	トリア	12	8	66.7	Ⅲ
部材	トリア	46	1	2.2	Ⅲ
部材	トリア	227	14	6.2	Ⅲ
部材	トリア	8	1	12.5	Ⅲ
部材	トリア	110	9	8.2	Ⅲ
部材	トリア	20	1	5.0	Ⅲ
部材	トリア	12	7	58.3	Ⅲ
部材	トリア	8	7	87.5	Ⅲ
部材	トリア	36	12	33.3	Ⅲ
部材	トリア	254	15	5.9	Ⅲ
部材	トリア	124	9	7.3	Ⅲ
部材	トリア	28	3	11.5	Ⅲ
部材	トリア	12	2	16.7	Ⅲ
部材	トリア	44	2	4.5	Ⅲ
部材	トリア	46	8	17.4	Ⅲ
部材	トリア	12	3	25.0	Ⅲ
部材	トリア	118	5	4.3	Ⅲ
部材	トリア	124	11	8.9	Ⅲ
部材	トリア	15	2	13.3	Ⅲ
部材	トリア	6	2	33.3	Ⅲ
部材	トリア	46	1	2.2	Ⅲ
合計		1027	122	11.9	Ⅲ

高力ボルトの軸力不足の判定ランクは、Aはボルトの残存軸力が7.0tf以下、Bはボルトの残存軸力が7.0tf～19.5tf、Cはボルトの残存軸力が20.1tf以上。

表-4で建設時から軸力不足でゆるんだものの内、構造的に締付け困難な場所の、ボルト使用本数に対する軸力不足の本数の割合が約33%と高く、施工管理の悪さを示している。このような問題が発生した原因は、設計時のボルト配置にあると考えられる。

二度締付けなし、あるいは板のなじみにより生じたものと思われる軸力不足のボルトの割合は、約9%であった。特に箱桁のリブや2次部材において、その傾向が顕著に現れていた。

ボルトの締め忘れ、および施工不良によるボルトの軸力不足は、2次部材に集中しており、施工管理体制を十分にとることが重要であると思われる。

6. 今後の点検のあり方と継手部の安全率の確認法

先に述べたように、高力ボルト継手部のボルトの軸力を正確に把握する方法は経済性、施工性、信頼性などの面で、現在絶対的なものは見当たらない。今回の調査で、正常ボルトと思われたものにも軸力の低下が見られた。このことは、一継手内の軸力不足のボルトと合わせて考えると、継手のすべり耐力に大きな影響を与える可能性がある。そこで、継手の安全率の確認が急がれる。

点検に当たって、①下フランジ継手の点検では、コーナー部などの狭い箇所はたたき点検、その他の部位については簡易軸力計などを用いて100%点検を行う、②対傾構、横構などの2次部材は100%点検を行う、③主桁の腹板についてはモーメントプレート部を主体とし、使用ボルト数の10%について点検を行い³⁾、軸力不足のボルトが検出された場合には、さらに10%増しとする。

次に主要な継手において、高力ボルトに軸力不足が発生している場合、次の確認実験を行う。

1)摩擦係数 0.4の摩擦面を有する部材を所定の軸力で締め付ける。

2)摩擦係数 0.4の摩擦面を有する部材を所定の軸力の10%、20%、30%そして40%減で締め付ける。

上記の供試体を用いて、すべり試験を行い、①高力ボルト締付け軸力とすべり荷重の関係を把握する。建設時における高力ボルト締付けの品質管理においては、①継手部の高力ボルト群の締付け順序によるボルト軸力の低減率の分布、②継手部の高力ボルト群の締付け力と締付け順序によるボルト軸力の変化、③板厚公差による高力ボルト軸力の変化を調べる。すべり試験結果での①と品質管理結果の①～③とを勘案して、継手のすべり耐力（継手の安全率）を確認し、点検時にそれらと照合し、速やかに耐力の状況を知るようにしておくことが大切である。

7. 補修方法と今後の課題

7.1 現行の補修方法

軸力不足の高力ボルトをランダムに40本を抜き取り調査を行った。10数%のボルトに損傷が見られた場合、遅れ破壊の前兆が考えられるため、①折損が多く軸力不足も発生している場合、②折損が少なく、軸力不足が発生している場合、③折損はなく、軸力不足が発生している場合について、①と②の軸力不足は遅れ破壊とし、③は単なる軸力不足と判断している。

①、②の場合は高力ボルトの損傷が発生した添接板の全高力ボルトを取替える。しかし、1 構造物から10本以上の累積折損ボルトが確認された場合には、製造ロット単位で取替える。なお、10年以上経過した構造物で1～2本の折損または軸力不足があり、その工区の他の構造物に折損が確認されていない場合は、折損した高力ボルトのみを取替えている。

7.2 今後の補修方法

補修の目的が落下防止の場合には、①落ちる前に取替える、②落ちそうなものを全部取替える、③落下防止ネットを張る。一方、目的が構造物の安全性確保の場合には、①損傷高力ボルトを取替える、②軸力不足のボルトを締め直す（破断強度が 120kgf/mm^2 以上の場合は取替える）、③軸力不足のボルトを取替える、④添接板単位で取替える、⑤ロット単位で取替える、などの方法が考えられる。

安全性を確保する後者の方法を採用するに当たって、検討すべき項目を示すと、以下のようになる。

- ①安全率(1.7)でどの程度カバーできるか。
- ②F11TをF10Tに取替えた場合の軸力低下は5%程度といわれているが、いくらぐらいか。
- ③軸力管理がどの程度できるか。
- ④締め直しの場合の摩擦係数はいくらぐらい確保できるか。

などについて今後検討していく必要がある。

個別の問題としては、上フランジ継手のボルトの取替え方法と軸力導入をどのように管理するかを至急検討することが必要である。またボルトを除去したときの残存強度が足りないとき、作用荷重に対して摩擦接合面が耐えられるかなどの検討が必要である。

8. まとめ

軸力不足に関する調査から、軸力不足の原因は施工性によるものと構造上によるものに区分することができる。まず、施工性による要因は、

- 1)本締めを忘れたことによるもの
 - 2)構造上締付けが困難なため、無理な施工を行ったために生じたもの
 - 3)正規に導入された軸力が締付け順序が悪い（ボルト群中央より締付けていない）ため、軸力が減少した
 - 4)六角ボルト、および締付け機械（トルクレンチなど）を使用しているため、締付け軸力にバラツキが生じたために発生したもの（現在はトルク係数値が安定していることと軸力の自動管理がなされているため、このような現象は軽減されている）
 - 5)予備締め（標準締付け軸力の60%程度）を行わず、いきなり本締め(100%)を行ったことによるもの
 - 6)頭締めによるもの（ナット回転角法との併用により解消できる）
- が考えられる。

一方、構造上による要因としては、

- 1)リラクゼーションなどによるもの
 - 2)繰返し荷重によるもの
 - 3)遅れ破壊の前兆によるもの
- が考えられる。

以上のことから今後、数多くのデータを収集し、使用ボルト本数と損傷比率などを分析することが必要である。

軸力不足防止策としては、①コーナー部の継手設計の配慮、②ボルト締付けにも溶接技術資格と同様の制度を設け、ボルト継手部の理解者が締付けを行う、③ボルトの予備締めの徹底、④ボルト締付け順序の徹底、⑤2次部材のボルト孔の検討などを行って信頼のある継手にして行くことが重要である。

今後、設計法が限界状態設計へ移行するに当たり、継手部の耐力を検討する場合には、ここで述べたような現状も考慮に入れる必要があると思われる。さらに、厚板を使用する設計が増加するものと思われるので、この点についても十分な検討が必要である。

参考文献

- 1)(財)阪神高速道路管理技術センター：道路橋のメンテナンスー損傷と補修事例にみるー、1992年10月
- 2)(財)阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路における点検マニュアル、平成4年3月
- 3)阪神高速道路公団：道路構造物の点検標準（土木構造物編）、平成4年4月

(1997.1.23 受付)