

埋設高力ボルトの取り替え手法の開発

大阪管理部 保全第二課 高橋 顕
同 部 保全第一課 中川 喜
第三建設部 調査課 斉藤 博

要 約

阪神高速道路は、その大部分が高架構造で占められ、それらの構造物の多くは、供用以来約20年を経過している。現在では、各路線ごとに点検年度を定めて構造物点検を実施している。

鋼構造物の継手に使用されている高力ボルトが「遅れ破壊」等により損傷し、鋼桁の下フランジ部、ウェブ部および橋脚部において順次取り替え工事を実施している。しかしながら、鋼桁の上フランジ部および鋼製橋脚根巻き部の高力ボルトは、コンクリート中に埋め込まれており、取り替えが困難であると判断されてきた。このため、高力ボルトの損傷片の落下により第三者に危険となると考えられる道路上等を中心に、金網による防護ネットを設置して対応しているのが現状である。

コンクリート部に損傷ボルトが埋め込まれた状態の供試体にて現場再現試験を行ない、損傷ボルトの撤去および差し込みボルトの締め付け方法等について検討を行ったところ、良好な結果が得られた。

まえがき

阪神高速道路は、その大部分は高架構造で構成され、その路下は、道路、河川等の都市活動に有効に利用されている。したがって、上空の道路構造物から路下にかかるものをも落下させることは許されない厳しい状況にある。

そこで、阪神高速道路公団では、道路構造物に対して、日常点検、定期点検、臨時点検を実施し、鋼構造物の高力ボルトの損傷発見に努めている。高力ボルトの損傷は、連結部の耐力低下および破片の落下につながるため、これを防止するため「高力ボルト補修標準」により早期発見、早期補修に努めている。しかし、コンクリート床版と接

触している鋼桁の上フランジ部および鋼製橋脚の根巻き部等コンクリート内に埋設されている高力ボルトについては、有効な取り替え方法が見当たらないのが現状である。

本文は、これらコンクリート内に埋設されている高力ボルトの取り替え方法について、現場再現供試体を用いて、損傷ボルトの撤去方法および取り替えボルトの締め付け方法の検討を中心に、3種類のボルトを使用して実験を行い、作業性、リラクゼーションの度合等について実橋に適用可能と考えられる結果を得たのでここに報告する。

1. 実験概要

1-1 供試体

この実験に用いた供試体の形状を、図-1に示す。また、供試体数と取り替えボルトの種類は次のとおりである。

普通六角高力ボルト (F10T)	2体
両ネジボルト (順ネジ)	2体
両ネジボルト (逆ネジ)	2体

高力ボルトの締め付けは、設計軸力を考慮して、一次締め：15kg・m、本締め：22.6t を目標とし、破断用ボルトは、一次締めのみで本締めは行わなかった。床版に相当するコンクリートの設計強度は、 $\sigma_{ca}=300\text{kg}/\text{cm}^2$ とし、打込み後1箇月間の養生を行った。

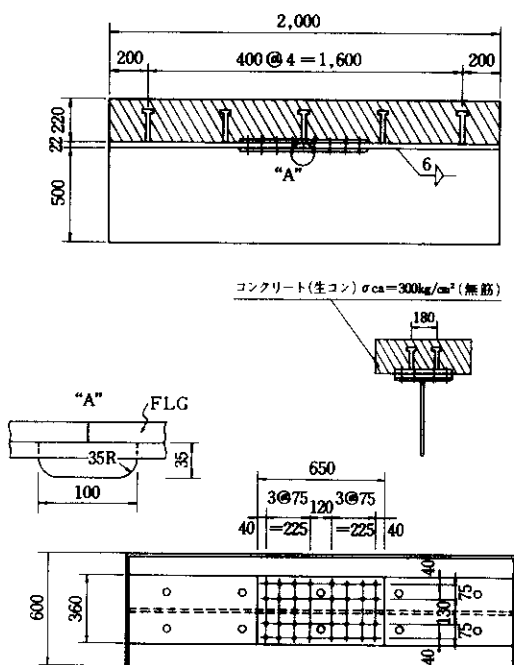


図-1 供試体諸元図

1-2 破断用ボルトの設定

高力ボルト締め付け時に、ボルト軸部をあらかじめ切断した30本 (各供試体と5本) を用いて、コンクリートの4週強度が所定の強度以上であることを確認したあと、埋設ボルトをねじり破断させ、遅れ破壊によりボルトが損傷している状態を再現した。破断用ボルトの締め付け位置を図-2に示す。

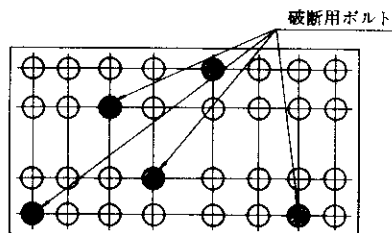


図-2 破断用ボルトの締め付け位置図

2. 実験方法

2-1 取り外し作業

供試体に、当初締め付けておいた正常な普通高力ボルトに対しては、六角レンチを、また破断用ボルトに対しては、図-3に示すようにせん孔ガイドを用いて破断ボルトの残部にドリルによりせん孔、スクリューエキストラクタを用いて取りはずした。取りはずし時に、取りはずし所要時間を計測し、取りはずしたあとのコンクリート表面の状態 (鋼桁上フランジより周辺のコンクリートの上下面および、側面) を目視観察し、表面欠陥の有無を調査した。

2-2 締め付け実験

取り外したボルト孔に3種類の新しいボルトを挿入して締め付け、リラクゼーションによる軸力低下およびボルト軸力を次の手順により測定した。

2-2-1 普通六角高力ボルト (F10T)

一次締め完了後、回転角法にてボルト頭部を締め付ける方法 (ここでは「頭締め」と称する。)

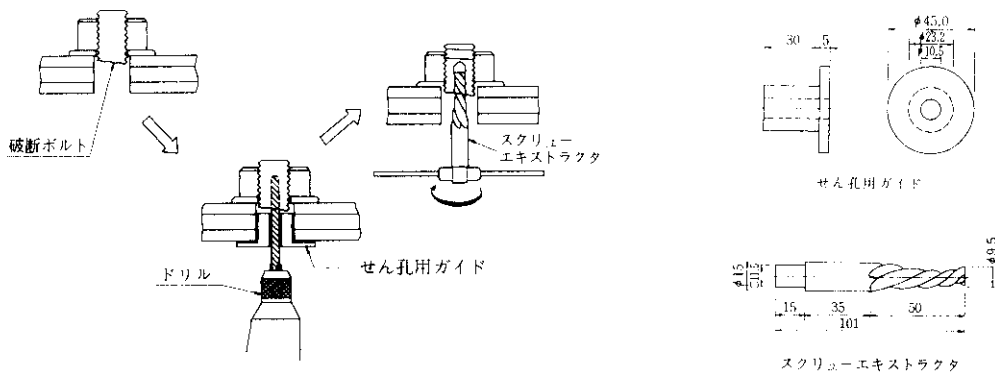


図-3 せん孔要領およびスクリューエクストラクタの形状(単位:mm)

により本締めした。本締めの際の回転角度は、30°、60°、90°、105°、120°、135°、150°、180°、210° と順次増し締めを行い、各回転角における軸力を計測した。

2-2-2 両ネジボルト(順ネジ)

ピンテールの付いたボルトをトルク法により一次締めし、ナットランナーを用いて本締めした。その後、リラクゼーションによる軸力低下を本締め後8日間継続して測定した。

2-2-3 両ネジボルト(逆ネジ)

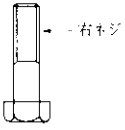
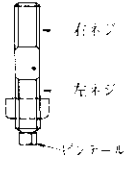
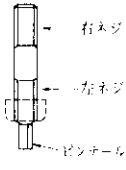
ピンテールの付いたボルトを逆転シャーレンチ

を用いて本締めした。この際、1つの供試体には、設計締め付けトルクを用い、また、もう1つの供試体では、設計締め付けトルクの10%増しの軸力を導入して締め付けした。リラクゼーションによる軸力低下量の測定方法は、順ネジボルトの場合と同様に締め付け完了後8日間継続した。表-1に各ボルトの形状、締め付け器具、測定項目等を示す。

リラクゼーションによるボルト軸力の低下量の測定は、各供試体の全ボルトを締め付け完了した時点より開始し、0分、1分、2分、4分、8分、15分、30分、1時間、2時間、4時間、24時間、2日、4日、8日間経過後に実施した。

各測定時のボルト軸力の測定は、図-4に示す

表-1 各ボルトの形状、締め付け器具および測定項目

	普通六角 高力ボルト (頭締め)	両ネジボルト (順ネジ)	両ネジボルト (逆ネジ)
締め付け器具	トルクレンチ	ナットランナー	逆転 シャーレンチ
測定、検討項目	○各回転角の軸力 ○頭締めとナット 締めとの比較 ○作業性	○リラク ゼーション ○作業性	○リラク ゼーション ○トルク係数の割増 (0%増、10%増) 比較
ボルト形状			

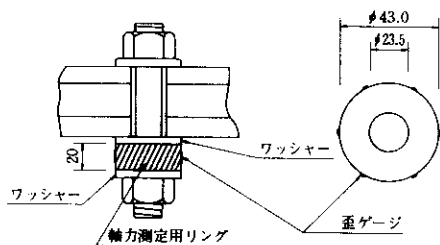


図-4 軸力測定用リングの形状

ようにワッシャー間に厚み20mmの軸力計測用リングに歪ゲージを6枚貼りつけた簡易ロードセルを用いた。軸力計測用リングは、測定前にロードセルを用いてキャリブレーションにより軸力-歪曲線を求め、歪量から軸力を算定した。図-5に軸力測定用ボルトの位置を示す。

3. 実験結果

3-1 取り外し作業

破断ボルト以外のボルトは、高力ボルトの頭部を回転させて抜き取った。その際、ボルト先端部とコンクリートの付着状態が取り外しの作業性に影響をおよぼし、取り外し後タップを切り直さなければならぬボルトが10本程度となった。

破断ボルトの取り外しは、当初計画していた作業方法に問題が生じたため、いくつかの改良を行い取り外し作業を継続した。問題点と改良の内容を以下に示す。

3-1-1 問題点の概要

(1) スクリューエクストラクタの仕様

スクリューエクストラクタが、ボルト抜き取り中に滑動または破断する。

(2) 破断ボルトの穿孔位置

添接板の穴中心とボルト中心がずれている場合があり、ボルト中心にせん孔できない。

(3) 添接板とフランジ孔のずれ

添接板とフランジとの孔のズレにより、破断ボルトがフランジに当たり抜けない場合がある。

3-1-2 改良事項

(1) ドリルビット径を $\phi 10\text{mm}$ より $\phi 12.5\text{mm}$ に拡大し、 $\phi 12\text{mm}$ のスクリューエクストラクタを使用した。

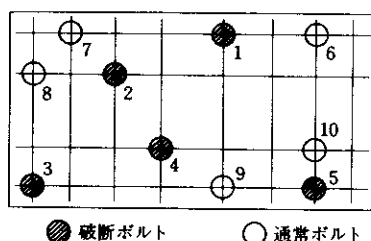


図-5 軸力測定用ボルトの配位置

(2) せん孔用ガイドを1mm程度偏心可能な方式とした。

(3) フランジ孔を、M22ボルト用の標準外径($\phi 24.5\text{mm}$)から $\phi 26.5\text{mm}$ に拡大せん孔した。

3-1-3 改良の成果

これらの改良の結果、1~4本/日より8本/日程度に取り外し作業能率が向上された。また、スクリューエクストラクタの改良により、スクリューエクストラクタ1本当たり0本~2本から8本~10本に使用効率が向上した。

取り外し作業各工程の平均所要時間を、改良前と改良後について比較すると次のとおりである。

(改良前)

破断ボルトのせん孔	6分3秒
取り外し	1時間42分
合計	1時間48分3秒

(改良後)

拡孔	1分12秒
破断ボルトのせん孔	5分21秒
取り外し	6分42秒
合計	13分15秒

今回、取り外したボルトの数は30本である。その中で3本のボルトは、スクリューエクストラクタの破断、ボルト孔の偏心に起因するボルトの割れにより取り外し不可能となった。また、取り外したボルトの中でも、ナットのネジ山が破損し、タップを切り直したものが数本あった。取り外し作業終了後、図-6に示す順序で、内側から8本ずつ、破断ボルト以外のボルトについてはそのまま差し替え、破断ボルトについては、軸力測定および差し替え完了後にリラクゼーションによる軸力の低下を測定した。

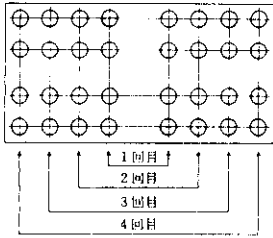


図-6 ボルトの取り替え順序図

3-2 締め付け実験

ボルト軸力の測定方法は、1) ボルト頭部に抵抗線歪ゲージを用いる方法、2) 戻しトルクによる方法、3) 磁気軸力計による方法、4) 超音波軸力計による方法、がある。今回、締め付けに用いたボルトは特殊ボルトであり、ナット側がコンクリート中にあることを考慮して、締め付けもボルト頭部を用いていることもあって、図-4に示すように歪ゲージを貼付した軸力測定用リングを用いて間接的に軸力を測定した。

軸力測定に先立って、軸力測定用リングをキャリブレーションし、図-7に示す軸力-歪曲線を求めた。キャリブレーションは、1個のリングにつき4回、60個のリングについて行い、最小二乗法により直線式を導いた。直線式の傾きは28.7 (μ/t)、標準偏差は3.65、相関係数は0.9317であった。軸力測定およびリラクゼーションによるボルト軸力の低下測定結果を以下に示す。

(1) 普通六角高力ボルト (F10T)

破断ボルトの差し替えた時の導入軸力を、図-8に、また通常ボルトの差し替え時の導入軸力を、図-9に一例として示す。ボルトの導入軸力は、コンクリート中のナットの状態、軸力測定用リングを使用した間接測定のためバラツキがある。しかし、全体的傾向として、回転角 $=30^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で導入軸力の増加率が大きく、回転角 $\geq 105^\circ$ では、増加率は減少する。回転角 $=90^\circ$ 付近で、導入軸力が21.0t \sim 24.1tの範囲にあり、バラツキはあるものの目標の軸力が確保されていることが理解される。軸力測定用リングのキャリブレーションを目的としてロードセルを用いて、ナットを締め付ける場合とボルト頭を締め付ける場合の軸力を比較測定し、その結果を図-10に示す。この結

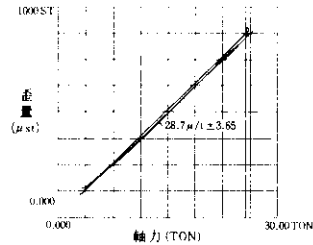


図-7 軸力測定用リングの軸力-歪曲線

果も、ボルト差し替えの場合と同様に、回転角 $=30^\circ \sim 90^\circ$ で導入軸力の増加率は大きく、これより回転角が大きくなると導入軸力の増加率は減少している。

導入軸力の大きさは、キャリブレーション結果の方がボルト差し替えの場合より大きい、回転角が 90° 付近で目標の軸力が導入されていることは、両者の場合とも同様である。

(2) 両ネジボルト (順ネジ)

図-11、図-12に導入軸力の測定結果を、図-13、図-14にリラクゼーションによる軸力低下結果を、また、図-15、図-16にボルト締め付け時の軸力を零とした8日間のリラクゼーションによる軸力の変化量を示す。

これらの値にバラツキはあるものの目標のボルト導入軸力が得られている。

リラクゼーションによる軸力低下は、締め付け後数時間で大きく変動し、その後時間の経過とともに変動は小さくなる傾向にある。

(3) 両ネジボルト (逆ネジ)

図-17、図-18に導入軸力の測定結果を、図-19、図-20にリラクゼーションによる軸力の低下量の測定結果を、ボルト締め付け時を零とした8日間のリラクゼーションによる軸力の変化量を図-21、図-22に示す。

導入軸力の値は、締め付けトルクを設計値の10%増しとした場合が、設計値通りの締め付けトルクの場合よりも大きい。また、通常ボルトと破断ボルトの差し替えでは、破断ボルトの差し替え分が導入軸力にバラツキがあり、その値も通常ボルトの値よりも小さい。

リラクゼーションによる軸力の変動は、通常ボルト、破断ボルトとも同様な傾向にある。

リングNO.13

回転角(度)	ボルトの導入軸力 (t)	0	10	20	30 (t)
一次	7.61	*****			
30°	10.12	*****			
60°	14.69	*****			
90°	21.14	*****			
105°	23.46	*****			
120°	24.74	*****			
135°	26.06	*****			
150°	26.49	*****			
180°	27.09	*****			
210°	27.58	*****			

図-8 ボルトの導入軸力(破断ボルト用)例

リングNO.16

回転角(度)	ボルトの導入軸力 (t)	0	10	20	30 (t)
一次	6.34	*****			
30°	11.76	*****			
60°	19.02	*****			
90°	25.66	*****			
105°	27.18	*****			
120°	28.07	*****			
135°	29.06	*****			
150°	29.19	*****			
180°	29.42	*****			
210°	29.88	*****			

図-9 ボルトの導入軸力(通常ボルト用)例

頭締め3

回転角(度)	ボルトの導入軸力 (t)	0	10	20	30 (t)
一次	3.30	*****			
30°	9.71	*****			
60°	18.53	*****			
90°	24.85	*****			
105°	29.01	*****			
120°	30.26	*****			
135°	31.40	*****			
150°	31.79	*****			
180°	32.13	*****			
210°	32.51	*****			

ナット締め3

回転角(度)	ボルトの導入軸力 (t)	0	10	20	30 (t)
一次	4.40	*****			
30°	10.85	*****			
60°	19.25	*****			
90°	24.90	*****			
105°	28.44	*****			
120°	30.29	*****			
135°	31.13	*****			
150°	31.58	*****			
180°	32.02	*****			
210°	32.30	*****			

図-10 ボルト頭締めおよびナット締めのキャリブレーションによる導入軸力例

リング番号	導入軸力 (t)	0	10	20 (t)
NO. 23	22.50	*****		
NO. 24	22.05	*****		

図-11 両ネジボルト(順ネジ)の導入軸力(破断ボルト用)例

リング番号	導入軸力 (t)	0	10	20 (t)
NO. 26	23.92	*****		
NO. 27	22.81	*****		

図-12 両ネジボルト(順ネジ)の導入軸力(通常ボルト用)例

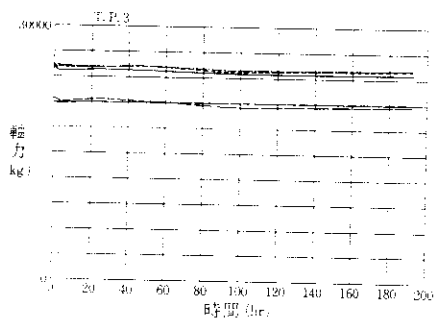


図-13 リラクゼーションによる軸力の低下
両ネジボルト(順ネジ)(破断ボルト用)

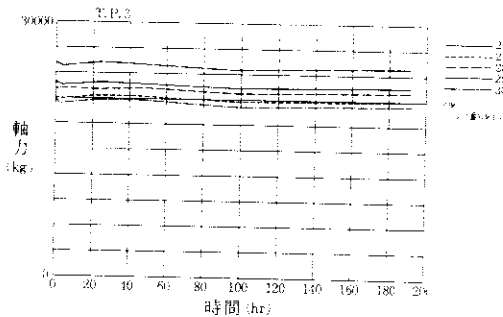


図-14 両ネジボルト(順ネジ)リラクゼーション
による軸力の低下(通常ボルト用)

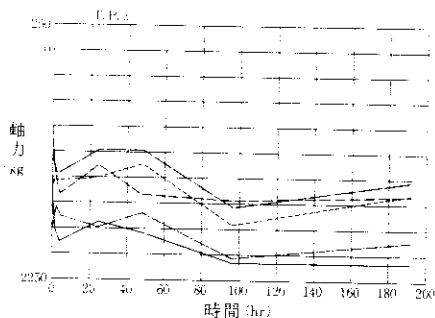


図-15 リラクゼーションによる軸力の変化量
両ネジボルト(順ネジ)(破断ボルト用)

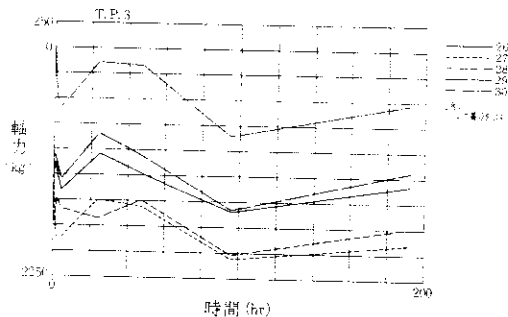


図-16 リラクゼーションによる軸力の変化量
両ネジボルト(順ネジ)(通常ボルト用)

リング番号	導入軸力 (t)	0	10	20 (t)
NO. 43	19.58	*****	*****	*****
NO. 44	19.77	*****	*****	*****
NO. 53	21.61	*****	*****	*****
NO. 54	21.23	*****	*****	*****

(締め付けトルク 10%増し)

図-17 両ネジボルト(逆ネジ)の導入軸力(破断ボルト用)

リング番号	導入軸力 (t)	0	10	20 (t)
NO. 46	23.28	*****	*****	*****
NO. 47	22.77	*****	*****	*****
NO. 56	24.85	*****	*****	*****
NO. 57	24.70	*****	*****	*****

(締め付けトルク 10%増し)

図-18 両ネジボルト(逆ネジ)の導入軸力(通常ボルト)

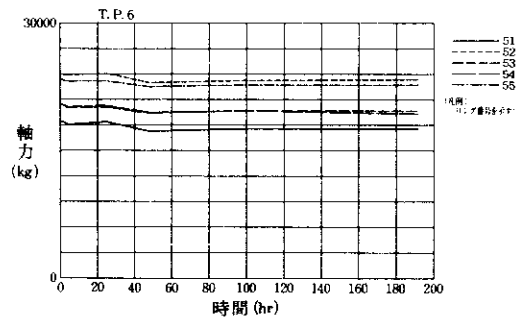
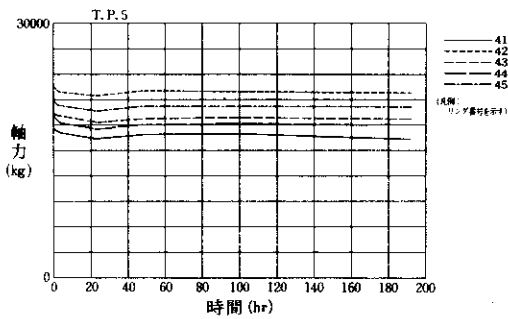


図-19 両ネジボルト (逆ネジ) リラクゼーションによる軸力低下の測定結果 (破断ボルト)

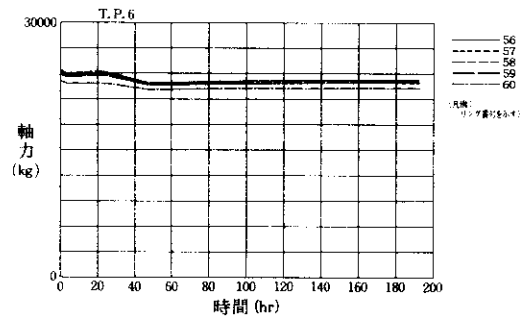
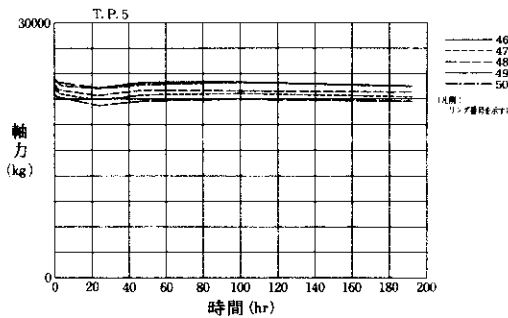


図-20 両ネジボルト (逆ネジ) リラクゼーションによる軸力低下の測定結果 (通常ボルト)

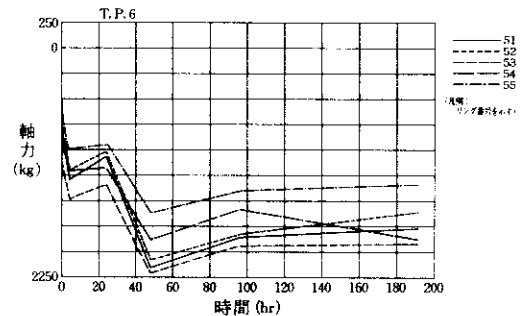
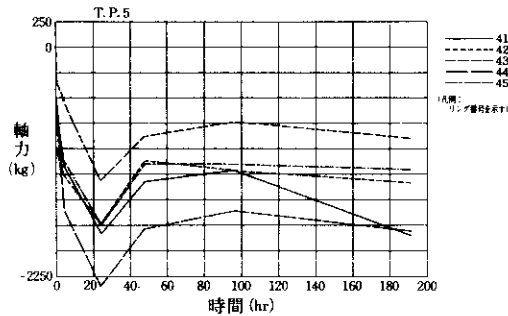


図-21 両ネジボルト (逆ネジ) リラクゼーションによる軸力の変化量 (破断ボルト)

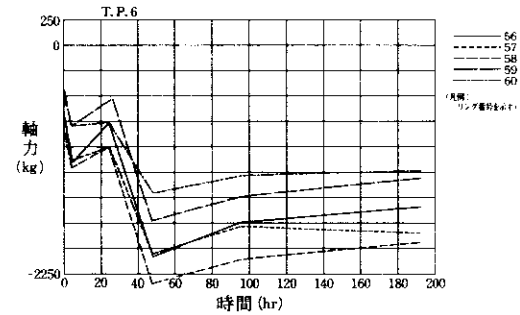
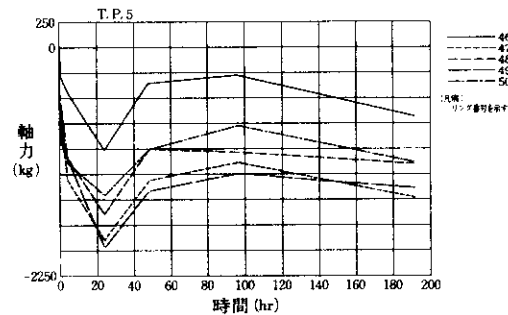


図-22 両ネジボルト (逆ネジ) リラクゼーションによる軸力の変化量 (通常ボルト)

4. まとめ

4-1 取り外し作業

実験で用いた現場再現供試体の床版部コンクリートの4週間強度は、391kg/cm²であった。公団の基準では、床版部コンクリートの設計強度は、300kg/cm²であり、床版部コンクリートと埋設ボルトとの付着状態は、良好であったと考えられる。ボルト取り外し後のコンクリートの表面観察においても、亀裂等の破損は見られなかった。

取り外し作業は、作業方法を改良した結果、破断ボルトの抜き取り率も向上し、所要時間も短縮された。しかし、実橋では作業空間が制約され、作業能率がかなり低下するものと考えられる。したがって、実橋での作業に適した治具等の考案が必要であろう。

4-2 締め付け実験

(1) ボルト導入軸力

3種類の締め付け方法で試験した結果、全方法とも大差なく目標のボルト導入軸力が得られることが確認された。

ボルトの頭締めの場合には、回転角法により軸力の変化を調べたが、回転角=90°付近で目標の導入軸力が得られている。

順ネジボルトは、シャーレンチで締め付けるとゆりみを発生させる可能性があるが、ピンテールを利用すれば締め付け後のトルクチェックが可能であり、必要な場合には増し締めも可能である。

逆ネジボルトでは、導入軸力のバラツキが最も

小さく均一な軸力が得られる。しかし、一次締めが不可能であり、ピンテール破断後のトルクチェックも増し締めも困難である。

ボルトの頭締めとナット締めの回転角法の比較では、いずれも同程度の回転角で軸力が導入されており、頭締めの方法でも十分施工できると考えられる。頭締めの場合は、ワッシャーとともに回りが起こりやすいが、この点を配慮してトルク-軸力関係をあらかじめ調査しておけば、導入軸力の管理がより正確に行えると考えられる。

(2) 締め付け作業

締め付け作業の効率としては、ボルトの頭締めによる方法の方が高い効率となるが、現場の狭い空間を考慮すると、トルクレンチを使用するよりもナットランナーやシャーレンチを使用した方が、作業性は良いものと考えられる。また、今回の実験に用いた供試体では、主桁のウェブ部に相当する部分にボルトを取り付けていないが、このような箇所にはボルトの頭締め方式に回転角法を適用するのが有効であると考えられる。表-2にボルトの特徴と、適用可能な範囲を示す。作業性、締め付け後の軸力管理等を考えると、両ネジボルト（順ネジ）が締め付けに適しているが、ボルトを取り替える箇所によっては、普通ボルトを使用してボルトの頭締め方式を適用することにより、作業が容易に行えると考えられる。

あとがき

今回の現場再現供試体を用いた実験によると、普通六角高力ボルト、両ネジボルト（順ネジ）、両ネジボルト（逆ネジ）とも、作業性に多少の差はあるものの導入軸力には大きな差はなかった。したがって、今回の実験の成果をふまえて、軸力測定方法の改良および差し替えボルトの長さが床版コンクリート面におよぼす影響を明らかにする等の改善を加えて、実橋のコンクリート中に埋め込まれた高力ボルトの取り替え方法を確立したいと考えている。

表-2 ボルトの特徴と締め付けに適した箇所

ボルトの種類	普通六角高力ボルト	両ネジボルト（順ネジ）	両ネジボルト（逆ネジ）
締め付け器具	トルクレンチ （頭締め）	トルクレンチ ナットランナー	逆駆シャーレンチ
トルク管理	×	○	△
軸力チェック	×	○	×
増し締め	○	○	×
取り 替 え 易 さ	少量に達	少、多に達	同左
用 途	ウェブ・フランジ 等の角部近辺に適用 トルクレンチの回転 範囲内に気密材 が無いこと	・角部近辺は不適 ・ボルトの裏下に他の部 材が無いこと	同左 同左