

# [箱桁製作の省力化工法]

## テーパ鋼板および差厚鋼板の橋梁への適用（その3）

### テーパ鋼板を用いた高力ボルト摩擦接合試験（大高跨道橋）

#### [Labor-Saving Method of Box Girder Production]

#### -Using Longitudinally Tapered and Profile Plates in Bridges (Part 3): Test of high strength bolt friction grip connection in a longitudinally tapered plate-

鳴 沢 明 雄\* 櫻 井 謙 次\*\*  
Akio NARUSAWA Kenji SAKURAI

#### Summary

In constructing the Ohtaka overbridge, longitudinally tapered plates were used to make flange and webs in order to reduce welding costs when producing box girders for the bridge. It was feared that the joint efficiency might be low, because the difference in thickness between the two ends of the base material would cause a gap between the base material and the splice plate when they were subjected to a friction grip connection with high strength bolts. To ascertain the soundness of the joints, the following were examined in tests: the slip, the effect of fastening a bolt on a fastened bolt next to it, and the axial tension relaxation of bolts. This paper reports that the tests proved that control of the friction grip connection similar to that performed when building with a non-tapered plate was sufficient to impart normal joint efficiency to a connection made with a longitudinally tapered plate, if the gap was 2 mm or less.

### 1. まえがき

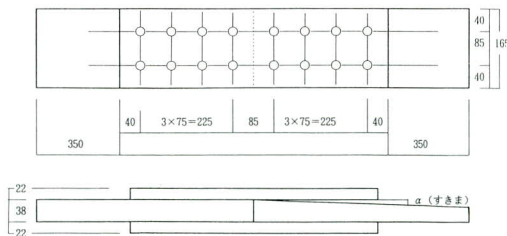
橋梁のコスト低減の目的から、鋼橋においてはフランジおよびウェブにテーパ鋼板を用いることが検討されている。しかし、テーパ鋼板を用いた場合、部材両端のテーパ率が異なる場合には、母材と添接板の間にすきまが生ずることとなり、接合方法を高力ボルト摩擦接合とする場合は、すきまの影響により接合効率が低下することが懸念された。本試験では、部材と添接板の間のすきまによる影響を明らかにするためにすきまの量を変化させ、継手のすべり係数を調査することにより、高力ボルト摩擦接合継手の性能を確認することを目的とした。

また、テーパ鋼板を用いた場合、高力ボルトの締付け軸力は鋼板の曲げ剛性のため、隣接ボルトの締付けにより軸力低下を起こす懸念があるのでこの影響を調査し、併せて締付け後のボルト軸力の変化（リラクゼーション）についても調査を行ったので報告する。

表一 試験数量

すきま量 ( $\alpha$ ) (mm)	試験体数
$\alpha = 0.0$	3 (1)
$\alpha = 0.5$	3 (1)
$\alpha = 1.0$	3 (1)
$\alpha = 1.5$	3 (1)
$\alpha = 2.0$	3 (1)

注：3体中（ ）内は、ワイヤストレーンゲージ貼付ボルト使用



図一 試験体形状図

### 2. 試験体の概要

摩擦継手のすべり試験を行うにあたり、本体部材・添接板の材質および板厚を以下のように選出し、それらの表面処理を行った。

\* 松本工場生産設計部次長  
\*\* 松本工場製造部生産技術課

### (1) 試験体の形状

試験体形状を図-1に示す。

テーパ鋼板の材質はSM490YBとし、テーパ部はすきまに合わせて機械仕上げを行うものとする。また、添接板の材質はSM490YAとした。テーパ鋼板と添接板とのすきま量 ( $\alpha$ )については、0・0.5・1.0・1.5・2.0mmの5タイプとし、各試験体の繰り返し数を3体とした。

試験体分類を表-1に示す。

### (2) 高力ボルト

高力ボルトはF10T M22とし、首下長さは試験体板厚から120mmを使用し、孔径についてはM22の標準孔径 $\phi 24.5$ を用いた。高力ボルトの軸部にワイヤストレインゲージを貼り、軸力の経時変化も測定を行った。

ワイヤストレインゲージの貼付要領を図-2に示す。

ワイヤストレインゲージはボルト軸部に表裏対称に2枚貼付した。

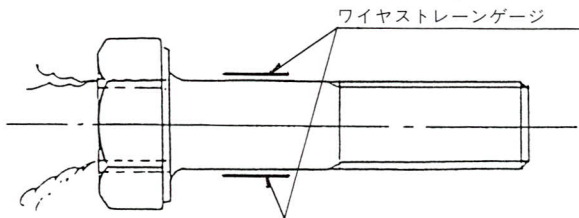


図-2 ボルトのワイヤストレインゲージ貼付要領

### (3) 摩擦面の処理

本体部材及び添接板の表面処理はショットブラスト後の赤錆とする。また、表面粗さ測定記録を図-3に、十点平均粗さ測定記録を表-2に示す。

## 3. 試験体の組立

試験体の組立は、双方すべり側とし高力ボルトは二度締めとした。高力ボルトの締付けは、試験体の中央のボルトから順次端部のボルトに向かって行った。高力ボルトの締付け後、試験体の側面にすべり確認用の罫書き線を記入した。

高力ボルトの締付け順序を図-4に示し、ワイヤストレインゲージ貼付ボルトの締付け順序を図-5に示す。

また、高力ボルトの締付け後の試験体を写真-1に示す。

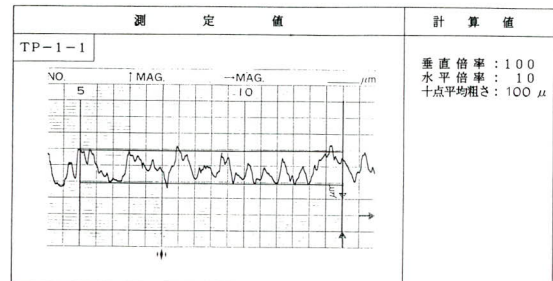


図-3 表面粗さ測定記録

表-2 十点平均粗さ測定記録

(単位:  $\mu\text{m}$ )

	1	2	3	4
TP-1	100	85	100	70
TP-2	90	80	80	90

## 4. 導入軸力

導入軸力は、予め本試験に用いるボルトと同一ロットのボルト5セットを、トルク試験機を用いてトルク係数値試験を行い、その結果から表-3の軸力が得られるトルクを決定し、トルクレンチを用いて締付けた。

ワイヤストレインゲージを貼付したボルトは、ゲージの歪み値より表-3の軸力を目標に締付けた。

## 5. 試験方法

### (1) すべり試験

#### 1) すべり荷重の測定

試験体を引張試験機(400tonf)に写真-2のように鉛直に取付け、荷重をすべり点まで徐々に載荷し、すべり荷重を測定した。

試験はテーパ側・平行側の両側について、すべり係数を測定した。

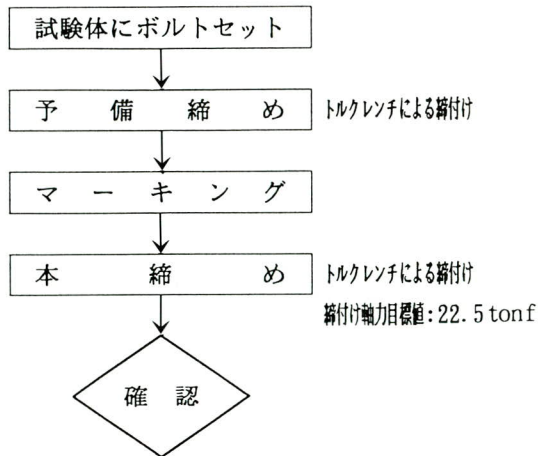
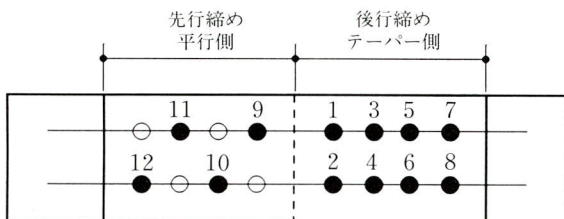


図-4 高力ボルトの締め付け手順



注：●は、ワイヤストレインゲージ貼付ボルト、  
 図中の数字は、ゲージ順序を示す。

図-5 ワイヤストレインゲージ貼付ボルトの締め付け順序

## 2) すべり点の確認

すべり点は、次の現象が発生した場合とした。

試験体がすべり音を発した時。

試験機の指針が急に停止し、下降した時。

試験体に付した罫書き線がずれた時。写真-3に示す。

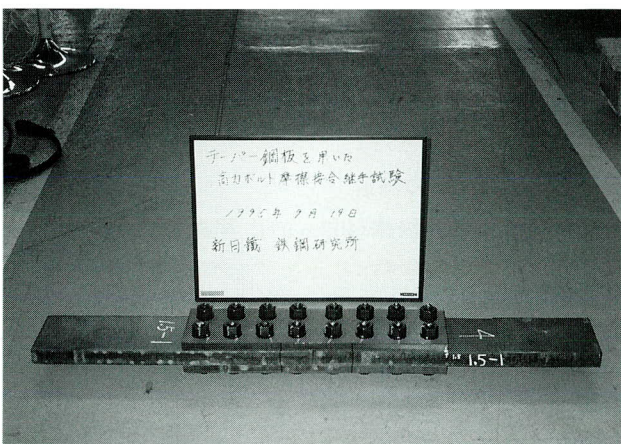


写真-1 試験体

表-3 本締め目標軸力

本締め目標軸力	22.5tonf
---------	----------

## 3) すべり係数の算出

すべり係数は、次式により算出した。

ここに、

$\mu$ ：すべり係数値

P：すべり荷重

A：締め付けボルト数

(ここでは 8)

B：摩擦面数

(ここでは 2)

N：導入ボルト軸力

$$\mu = \frac{P}{A \times B \times N}$$

## (2) 隣接ボルトの締め付けによるボルト軸力への影響

図-5に示すように、すきま量毎の試験体3体の内1体については、ボルトにワイヤストレインゲージを貼付している。ボルトの締め付けは、図-5のボルト番号毎に順次行ったが、この時に各ボルトの締め付け終了後、既に締め付けたボルトの軸力をゲージの歪み量より測定した。

## (3) リラクゼーション試験

(2)の試験終了後、ワイヤストレインゲージを貼付したボルトについてはそのままの状態に放置し、約6日間にわたって静的な条件でのボルト軸力の経時減少を測定した。ボルト軸力の測定は、ボルトに貼付したゲージの歪

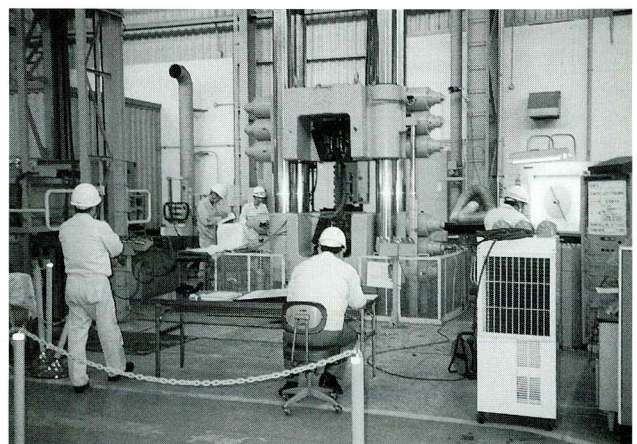


写真-2 すべり試験

み量より行った。測定状況を写真-4に示す。

表-4 試験結果

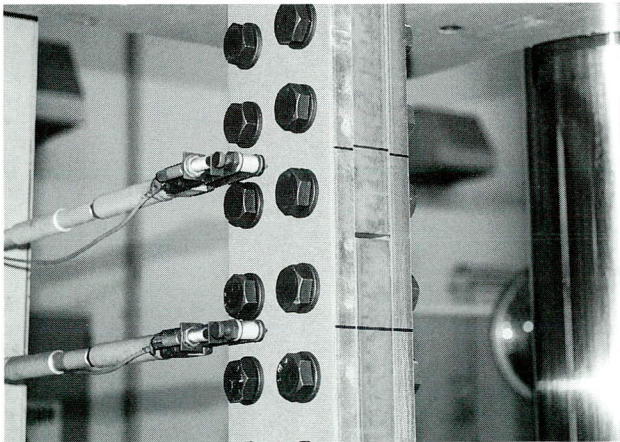


写真-3 すべり試験

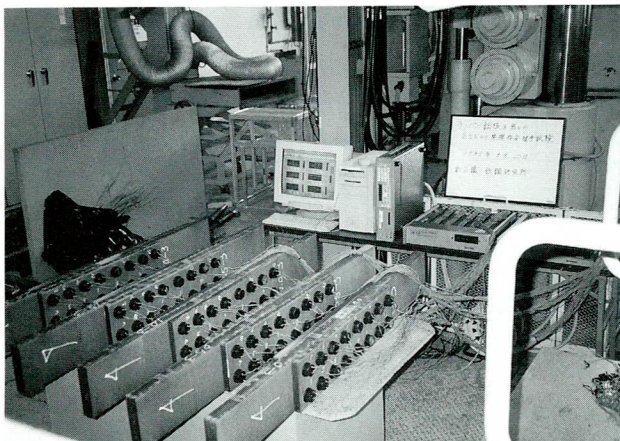


写真-4 リラクゼーション試験

試験体番号	テーパ側(すきま量 $\alpha$ )			平行側(すきま無し)			テーパ部すきま量 $\alpha$ (mm)	
	締付軸力(8本の和)(tonf)	すべり荷重(tonf)	すべり係数( $\mu$ )	締付軸力(8本の和)(tonf)	すべり荷重(tonf)	すべり係数( $\mu$ )		
0	1	180.0	215.5	0.5986	180.0	219.5	0.6097	0
	2	180.0	208.5	0.5792	180.0	200.5	0.5569	
	3	204.0	214.0	0.5245	204.0	211.5	0.5184	
	平均			0.5674			0.5617	
0.5	1	180.0	201.5	0.5597	180.0	206.0	0.5722	0.5
	2	180.0	186.5	0.5180	180.0	203.0	0.5639	
	3	208.8	215.5	0.5160	208.8	213.0	0.5101	
	平均			0.5312			0.5487	
1.0	1	180.0	215.0	0.5972	180.0	210.0	0.5833	1.0
	2	180.0	203.0	0.5639	180.0	207.0	0.5750	
	3	204.0	225.5	0.5527	204.0	215.5	0.5282	
	平均			0.5713			0.5622	
1.5	1	180.0	209.5	0.5819	180.0	195.0	0.5416	1.5
	2	180.0	198.0	0.5500	180.0	203.0	0.5639	
	3	198.4	209.0	0.5267	198.4	209.0	0.5267	
	平均			0.5529			0.5441	
2.0	1	180.0	209.0	0.5806	180.0	208.5	0.5792	2.0
	2	180.0	209.0	0.5806	180.0	209.0	0.5806	
	3	200.0	211.5	0.5288	200.0	211.5	0.5288	
	平均			0.5633			0.5629	

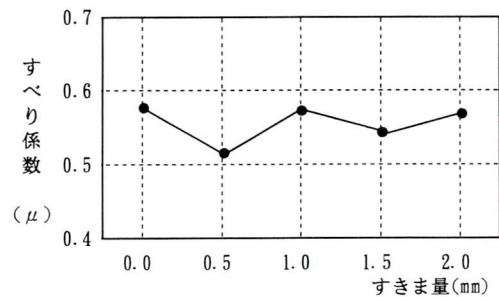


図-6 すきま量とすべり係数の関係

## 6. 試験結果

### (1) すべり試験

すべり試験の結果を、表-4 及び図-6 に示す。これらの結果より、テーパ側のすきま量が2 mm以下では、橋梁に用いる摩擦接合継手の設計の基準となっているすべり係数0.4を満足している。また、ばらつきも少ない。写真-5 にすべり面状況を示し、図-7 には、すべり試験時の載荷重に対する、ボルト軸力の経時減少を示す。

### (2) 隣接ボルトの締付けによる既締付けボルトへの影響

隣接ボルトの締付けによる既締付けボルトの軸力への影響を、各ボルトの軸力の変化として図-8 に示す。

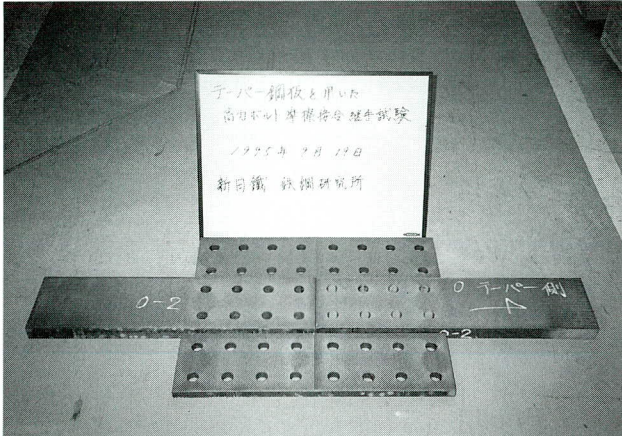
この結果より、テーパ側のすきま量が2 mm以下の場合では、各ボルトの軸力は同様な挙動を示しており、すきま量の影響は認められない。

### (3) リラクゼーション

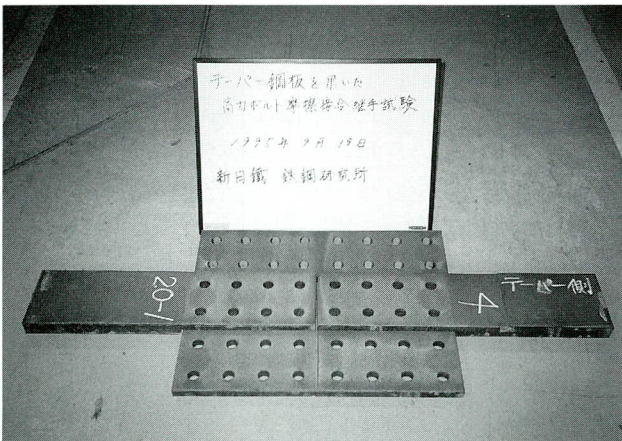
各試験条件の約6日間にわたるリラクゼーション試験の結果を、図-9 に示す。

各図ともボルトNo.1~8がテーパ側に使用されたものであり、ボルトNo.9~12が平行側のボルトである。

これらの結果より、テーパ側と平行側では、ボルト軸力の減少量に差は認められない。また、テーパ側の



(1) すきま量=0.0



(2) すきま量=2.0

写真-5 すべり面状況

すきま量（2mm以下の場合）によっても、差は認められない。

## 7. 考察

### (1) すべり試験

今回の試験では試験体の形状をボルトの配列2本×4列とし、すきま量は0mmから0.5mmピッチで最大値を2mmとして試験した。添接板は、22mmのものを用いている。

すべり試験結果は、表-4および図-4に示すようにすきま量を変化させた場合でも大きな差は認められず、いずれの条件においてもすべり係数は0.5を十分超えるものとなっている。

これらの結果から、テーパ率が異なることによるすきまがこの程度のものであれば、高力ボルトの締付けに

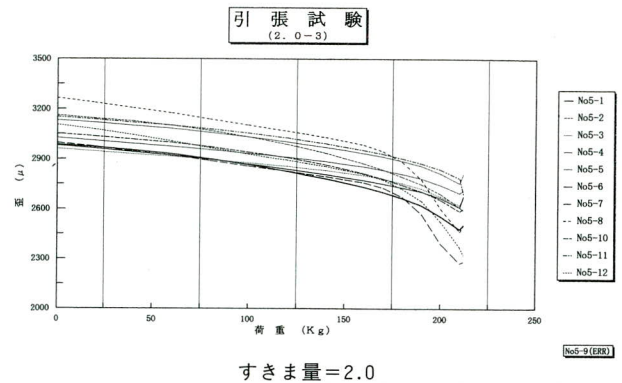


図-7 引張試験 荷重-歪 曲線

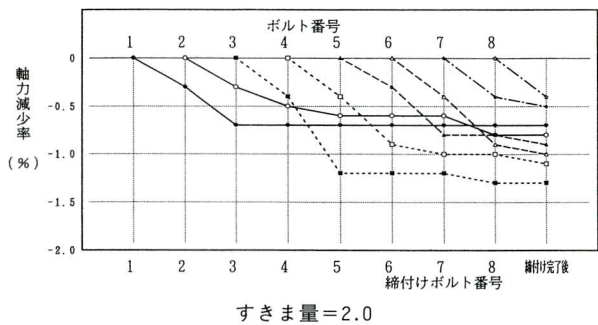


図-8 隣接ボルトの締付けによる影響

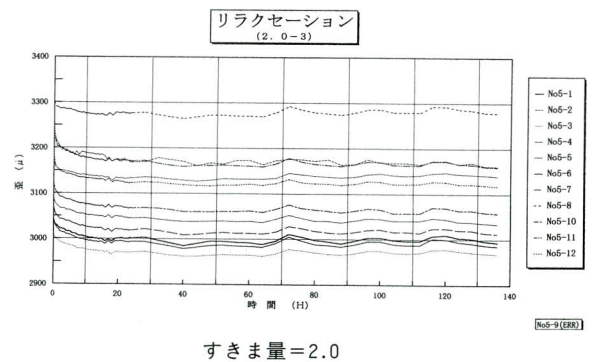


図-9 リラクゼーション

より十分な密着が確保され、高力ボルトの軸力に与える影響はほとんど無視できるものと思われる。

したがって、高力ボルトの締付けは、特別な配慮をすることなく施工してもよいと考えられる。

図-7に載荷重に対するボルト軸力の減少状況を示したが、各試験体ともほぼ同様の傾向を示している。また、各試験体ともボルトの軸力は、180~190tonfから低下の

割合は大きくなっているが、これはすべり荷重が大きい  
ため試験体母材が降伏を生じ、その結果として母材厚さ  
が減少し、ボルトの軸力低下につながったものと思われ  
る。

## (2) 隣接ボルトの締付けによる既締付けボルトへ の影響

隣接ボルトの締付けによる既締付けボルトへの影響は、  
一例として図一 8 (減少率：最小-0.4%・最大-1.3%)  
に示したように、すきま量のいずれの条件のものについ  
ても、各ボルトの軸力変動は同じような傾向を示してい  
る。

このことは、隣のボルトの締付けによって既に締付け  
られているボルトの軸力への影響は無視できるというこ  
とであり、添接板の密着は十分はかられていることを示  
している。

このように、この程度のテーパ量範囲であれば、  
通常の施工条件で十分摩擦接合として機能することが確  
かめられ、この結果がすべり試験の項で述べたように、  
すべり係数に差が出なかった理由といえる。

## (3) リラクゼーション

リラクゼーション試験の結果は、図一 9 に示したよう  
に、同一試験体の中のテーパ側と平行側の比較におい  
ても、また、テーパ量を変化させた試験体間の比較に  
おいても差は認められず、2～3%程度の軸力減少量と  
なっている。リラクゼーション試験のボルト軸力の初期  
値は、全てのボルトの締付け完了後としたが、この時点  
で約1%程度の減衰を生じている(7.(2)項参照)。

したがって、締付け直後からの減少量は3～4%程度  
であり、赤錆状態のボルト軸力の減少量として一般にい  
われている5%程度に一致している。このように、今回  
の試験でボルト軸力の減少量がテーパ量の影響を受け  
ないことは、ボルトの締付け軸力により添接板のなじみ  
が十分得られていることを示している。

## 8. まとめ

今回テーパ鋼板を用い、テーパ量を変化させて「す  
べり試験」「隣接ボルトの締付けによる既締付けボルトへ  
の影響」および「ボルト軸力のリラクゼーション」につ  
いて調査したが、いずれの試験においてもテーパ量の  
差による影響は認められなかった。したがって、今回用  
いた添接板の厚さ(22mm)程度のものであれば、高力  
ボルトを用いた摩擦接合部は、摩擦面の処理方法、およ  
び高力ボルトの施工管理についても、通常の平行な鋼板  
を用いた場合と同様の施工管理を行うことで、摩擦接合  
としての機能が十分得られることが確かめられた。

## 9. あとがき

本試験に際して、(株)日鐵ボルテン・蔵田氏、(株)  
日鐵テクニクス・かずさ事業所関係者の皆様には多  
大なる御協力を頂きましたことに、紙上を借り心から感  
謝の意を表すものである。

最後に、省力化工法による板継ぎ溶接継手の省略化や  
それに伴う鋼重量・加工工数等の問題は鋼橋製作に重要  
な課題であり、本報告がそれら課題解決のために少しでも  
参考になれば幸いである。

## <参考文献>

- 1) 成宮隆雄, 百瀬敏彦: 高力ボルト摩擦接合継手の設  
計と耐力, 宮地技報No.4, 1988
- 2) 高橋秀幸, 宮坂淳一: フィラープレートを有する高  
力ボルト摩擦接合継手の耐力, 宮地技報No.11, 1995.
- 3) 日本建築学会: 高力ボルト接合設計施工指針, 1993
- 4) 高橋, 小林: [箱桁製作の省力化工法] テーパー鋼  
板および差厚鋼板の橋梁への適用(その2)大量にテ  
ーパー鋼板を使用した大高跨道橋の設計と製作, 宮  
地技報No.12

1996. 10. 31受付