

# ボルト締直しによる継手の耐力変化\*

—荷重下の摩擦接合の場合—

西村 昭\*\*・田井戸米好\*\*\*  
野呂 一道\*\*\*・瀬 良 茂\*\*\*\*  
広田 邦 夫\*\*\*\*\*

## 1. ま え が き

橋梁などの現場継手に用いられる高力ボルト摩擦接合においては、ボルトの締付け施工後、ボルト軸力検査によって締付力が過大（オーバー トルク）であることが判明して締め直しを要したり、あるいは使用されているボルトに材料上、あるいは製造上の欠陥があることが発見され、そのロットの全ボルトの交換が必要となる場合などがある。この際、接合部にはすでに死荷重、前荷重などの持続荷重が作用しているため、本来ならば接合部の負荷をなくする手段を講じた上でボルトの締付け再施工を行なうことが好ましいが、実際にはそれが許されず、持続荷重下で施工するようなことがある。この作業により、そのとき各位置にけるボルト分担力は再配分され、継手のすべり耐力は影響を受けることになる。また、この際の影響因子として、ボルトを取り換え、あるいは締め直す順序、一度に取り換え、あるいは締め直すボルト数の継手の全ボルト数に対する割合、および荷重伝達方向でのボルト列数などが考えられる。

本研究は、このようなボルトの取り換え、締め直しを安全に行ない得るかどうか、継手すべり耐力にどのような影響を与えるかを実験的に明らかにして、高力ボルト摩擦型継手の施工上の資料を得ようとするものである。

## 2. 試験の方法

継手供試体にその予想すべり荷重の 1/2 を持続載荷しながら、1本ずつボルトを緩めてすぐ規定のトルクまで締め直す操作（以下ボルト操作と略称）を行ない、継手

の全ボルトについて操作完了後、試験荷重を増大せしめて普通のすべり試験を行なう。この際、継手部には電気抵抗ひずみ計（以下ひずみゲージと略称）を貼付して板のひずみ分布を測定し、一方、継手の主板と添接板との間に生ずる変位量を、ダイヤルゲージを用いて測定した。

## 3. 供 試 体

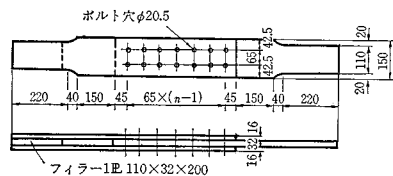
### (1) 形状、寸法

図-1 および 表-1 に示すとおりである。A' (a')、B' (b') 型はいずれも 2 行型ボルト継手で、小文字のものは同じ大文字のものと全く同等であるが、後から追加したものを示す。また A~E 型はすべて 1 行型で、E-1 型のみボルト 1 本の継手で、板のすべり係数試験用である。

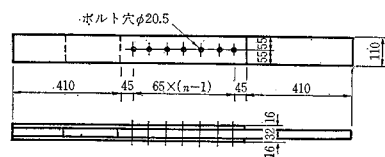
図-1 供 試 体

(ただし、 $n$  はボルト列数)

### (1) 2 行 型



### (2) 1 行 型



\* 土木学会第 21 回年次学術講演会で発表  
\*\* 正会員 工博 神戸大学教授 工学部土木工学科  
\*\*\* 正会員 阪神高速道路公団工務部  
\*\*\*\* 正会員 工博 (株)片山鉄工所橋梁部長  
\*\*\*\*\* 正会員 三井造船(株)橋梁鉄構部

表-1 供試体の種類

記号	ボルト数		番 号	ボルト操作	設計すべり荷重 (t)	ボルト操作時の荷重 (t)
	行	列				
A	1	7	A-1, A-3	無	56	28
			A-2, A-4	有		
B	1	6	B-1, B-3	無	48	24
			B-2, B-4	有		
C	1	5	C-1	無	40	20
			C-2, C-3	有		
D	1	4	D-1	無	32	16
			D-2, D-3	有		
E	1	3	E-1	無	24	12
			E-2, E-3	有		
E-1	1	1	E-1-1, 2, 3	—	8	—
A'	2	7	A'-1, A'-2	無	112	56
			A'-3, A'-4	有		
B'	2	6	B'-1, B'-3	無	96	48
			B'-2, B'-4	有		
a'	2	7	a'-1*	無	154	77
			a'-2, a'-6	無	112	56
			a'-3, 4, 5	有		
b'	2	6	b'-1, b'-2	無	96	48
			b'-3, 4, 5, 6	有		

注) ボルト軸力として標準値使用

(2) 使用材料

a) 鋼板

SM 50 で表面にはショット ブラストを施し、さびが発生していない状態で用いた。機械的性質は SM 50 A, SM 50 B の規格値に適合した。

b) ボルト, ナット, 座金

高力ボルト, ナット, および座金のセットは, 三星産業製のもので, おおののサイズ, 材料はつぎのとおりである。

ボルト: W 3/4" × 100 × 35; F 9 T

ナット: SS 41, W 3/4"

座 金: S 45 C, W 3/4"

(3) ボルトの締め付けとすべり荷重計算値

ボルトはトルク レンチを用いて, トルク 法によって締めつけた。この際, 初期導入軸力  $P_V$  は次式によった。

$$P_V = 0, 75 \sigma_Y A_e$$

ここに,  $\sigma_Y$ : ボルト降伏点応力 (F 9 T に対して 70 kg/mm<sup>2</sup>),  $A_e$ : ボルトねじ部有効断面積 (W 3/4" では 213.3 mm<sup>2</sup>) である。

これらの値を用いると  $P_V$  は 11.2 t となり, その軸力を生ずるに必要なトルク  $M_a$  を次式で求める。

$$M_a = kDP_V$$

ここに,  $k$  はトルク係数で, 今回の使用ボルトに対する測定値は 0.14 であった。また  $D$  はボルト径, すなわち 3/4" = 19.05 mm であるから,

$$M_a = 29.34 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

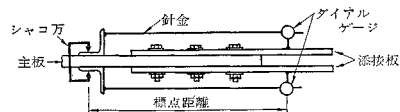
となる。しかし, このトルクによって 11 t の標準軸力を与える場合は, 板純断面での降伏が摩擦面間のすべりになり先行する恐れがあったため, 軸力を標準値の 70%, すなわち約 8 t に落とし, したがって締めつけトルクを  $M_a = 22 \text{ kg} \cdot \text{m}$  とした。

この軸力を有するボルト 1 本当りすべり荷重  $P_s$  は, すべり係数が, ショット ブラストでは 0.5 程度であり, かつ二面せん断を考慮すると約 8 t となる。

4. 試験の実施

継手供試体の引張試験は, アムスラー万能試験機 (容量 200 t) で行なった。その際主板と添接板間の変形量を, 図-2 のように表裏 2 個のダイヤル ゲージ (最小目盛 1/100 mm) によって測定した。

図-2 主板と添接板間の変形測定



各ボルトの伝達力と, ボルト操作によるその変化などを知るため, 主板側面にひずみゲージを貼付した。測点位置は図-3 に示すとおりである。使用したひずみゲージは共和電業製 KP-10-A 1 ( $G.L. = 10 \text{ mm}$ ) である。なお, a', b', E-1 の各型供試体の試験ではひずみ測定は省略した。

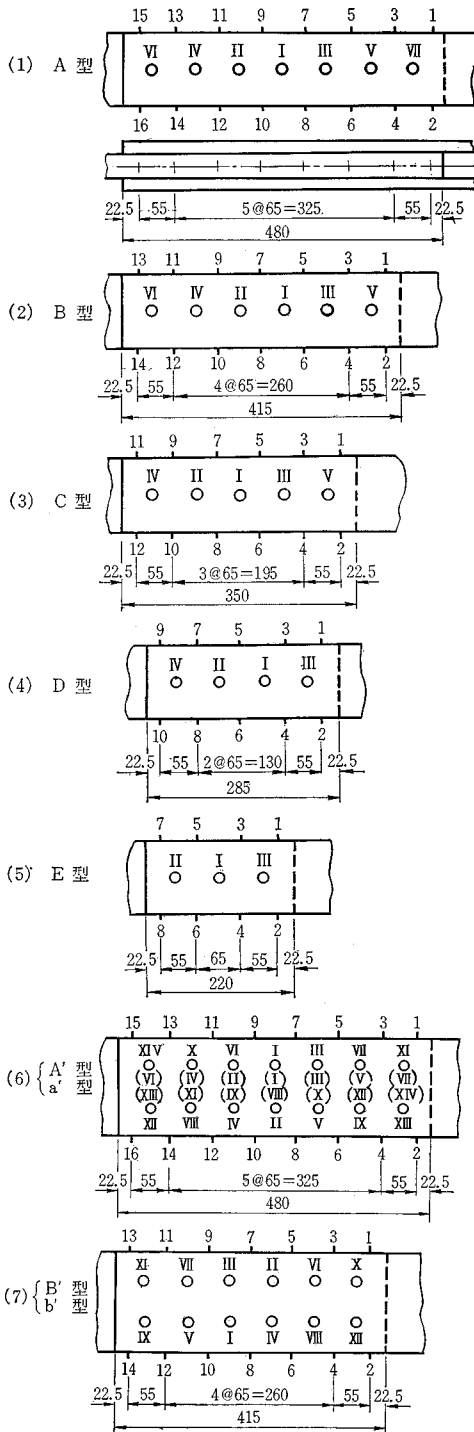
ボルト操作の順序を, ローマ数字を用いて図-3 に示した。操作の方針は継手中心部のボルトから順次外方へ進めることにし, A~E の 1 列型では図示のように中心部から交互に 1 本ずつ外方に向けて操作し, 2 列型の A', a'; B', b' 型では, 上記の方針にしたがって図-3 のように進める。ただし, A' 型のうち 1 供試体 (A'-4) のみは 1 行間について中心部から交互に外方に操作を進めたのち, 他の行に移って同様に反復した。図中に ( ) を付して順序を示したとおりである。

各供試体につきボルト操作の有無, 継手の設計すべり荷重, およびボルト操作時の持続荷重の大きさを一括して示すと表-1 のようになる。ここに, 設計すべり荷重とは 3.(3) で求めたボルト 1 本当りすべり荷重に継手のボルト本数を乗じて得られ, ボルト操作時の持続荷重はその 1/2 とした。

試験荷重の載荷要領は, 供試体 A, B, C, D, E の各

型においては 5 t 刻みに増大せしめ、各荷重ごとにダイヤルゲージとひずみ計の読みをとる。荷重が設計すべり荷重の 1/2 に達すると荷重をそのまま保持し、前記の要領にしたがってボルト操作を施し、その間のダイヤル

図-3 ひずみゲージの位置とボルト操作の順序



ゲージ、およびひずみ計の読みをとる。完了後さらに荷重を 5 t 刻みに増大せしめ、継手に主すべりが生じておらもしばらく変形、およびすべりの測定を行ない、その後破断に至るまで荷重を増した。また、ボルト操作を施した供試体のいくつかについては、ボルトの緩めトルクを測定し、ボルト操作前後でのボルト締付力の変化を半定する資料とした。

### 5. 試験結果

試験結果を強度の関係値についてまとめると、表一

図-4 荷重-変形曲線

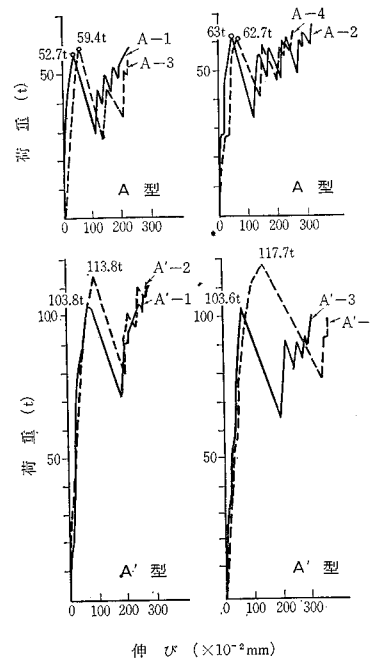
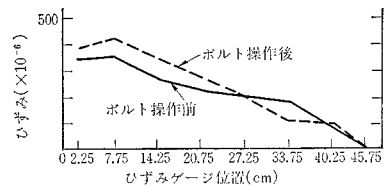


図-5 ボルト操作前後での主板ひずみ変化 (1) 供試体 A-2



(2) 供試体 A-4

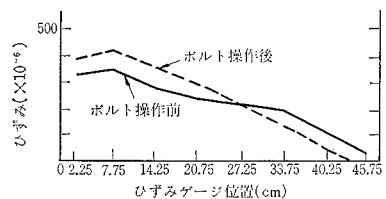


表-2 試験結果

型	番号	主すべり荷重 (t)			ボルト操作率 (%)	すべり係数
		荷重	平均	上昇		
A'	A'-1	103.8	108.8	1.9	7.1	0.463
	A'-2	113.8				0.508
	A'-3	103.6	110.7			0.463
	A'-4	117.7				0.525
B'	B'-1	944	88.2	21.8	8.3	0.492
	B'-3	82				0.427
	B'-2	105.6	110.0			0.550
	B'-4	114.4				0.596
a'	a'-1	139.3	139.3	9.8	7.1	0.415
	a'-2	116.1	119.8			0.520
	a'-6	123.5				0.552
	a'-3	129.4	129.6			0.578
	a'-4	132.3				0.590
	a'-5	127.1				0.567
b'	b'-1	96.5		99.4	15.8	8.3
b'-2	102.2	0.534				
b'-3	107.3	115.2	0.560			
b'-4	117.6		0.613			
b'-5	118.7		0.618			
b'-6	117.1		0.610			

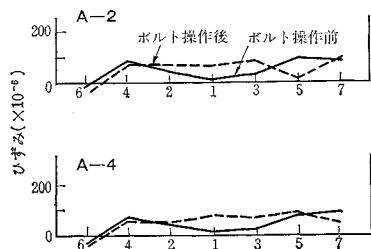
型	番号	主すべり荷重 (t)			ボルト操作率 (%)	すべり係数
		荷重	平均	上昇		
A	A-1	57.7	58.6	4.3	14.3	0.515
	A-3	59.4				0.530
	A-2	63.0	62.9			0.560
	A-4	62.7				0.560
B	B-1	49.8	48.8	1.8	16.7	0.520
	B-3	47.8				0.498
	B-2	49.0	50.6			0.510
	B-4	52.1				0.543
C	C-1	45.6	45.6	0.8	20.0	0.570
	C-2	45.2	46.4			0.565
	C-3	47.5				0.595
D	D-1	33.6	33.6	-3	25.0	0.525
	D-2	32.5	30.6			0.508
	D-3	28.6				0.447
E	E-1	26.7	26.7	-0.5	33.3	0.556
	E-2	26.0	26.2			0.542
	E-3	26.4				0.550
E-1	E-1-1	6.4	6.4			0.400
	E-1-2	6.7				0.420
	E-1-3	6.2				0.388

のとおりである。表-2で、すべり荷重はボルト操作の有無によって分けて平均値を求め、その値の比較によってボルト操作が継手のすべり荷重におよぼす影響を判断した。

ダイヤルゲージ測定値に基づいて、荷重と継手の伸び関係の一例を描くと図-4のようになる。

ボルト操作によるひずみ分布の変化状況を、A型供試体について例示すれば図-5および図-6のとおりである。図-5は荷重28tにおける主板側面のひずみ分布をボルト操作前後について比較図示

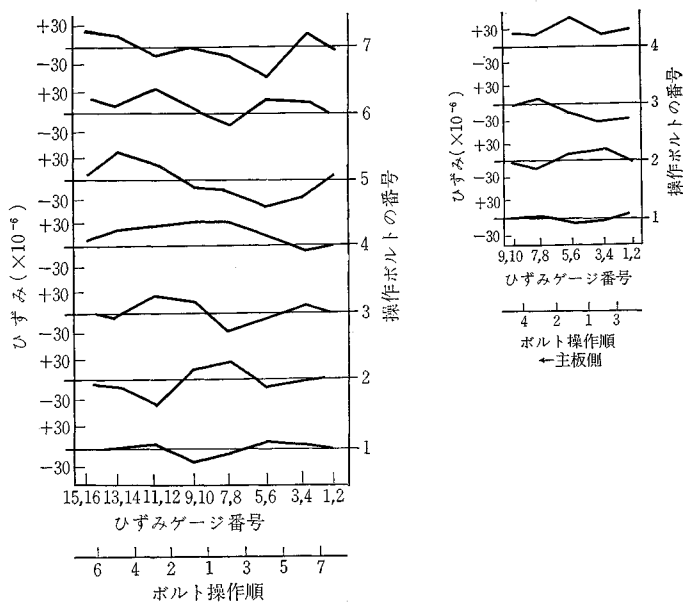
図-6 ボルト操作前後でのボルト伝達分布の変化  
(横軸は、ボルト位置とその操作順序を示す)



したものであり、図-6は荷重28tにおける主板軸方向に沿うひずみ差を同じく操作前後について求め、図示したもので、これによって各ボルトが伝達する荷重の材

図-7 ボルト操作によるひずみ変化

(1) 供試体 A-2 (2) 供試体 D-2



軸に沿う分布状況を知ることができる。

図-7は、1ボルトの操作ごとに生ずる主板ひずみの変化の例である。これにより、ボルト操作が材軸方向に波及する様子をつかむことができる。

図-8は、緩めトルク測定値を各ボルト位置に示したものである。図中、上下2段の数値は、それぞれ右端に記した供試体番号のものを示している。

なおボルト操作の前後においては、1/100 mm 読みダイヤルゲージにて認めうるような変形は継手部に生じなかった。

図-8 緩めトルク測定値

(1) A型	18 18	20 18	18 18	19 19	19 18	18 18	A-2 A-4
(2) B型	19 17	18 18	19 19	18 19	20 20	19 17	B-2 B-4
(3) C型	18 18	18 20	19 18	18 18	18 18		C-2 C-3
(4) D型	17 18	18 18	18 18	18 17			D-2 D-3
(5) E型	18 19	18 18	18 18				E-2- E-3

(単位: kg・m)

## 6. 試験結果の考察

主すべり荷重(平均値)のボルト操作後の増減は、表-2に示したとおりである。同表中の操作率とは、一度に操作するボルト本数の継手全ボルト数に対する割合であり、ここでは継手内のボルト本数の逆数となる。

上記の結果より、D、E型において、ボルト操作で主すべり荷重が減少する以外は、いずれの型においても増加している。このようなすべり荷重増減の原因として、ボルト操作による各ボルト当り伝達力の均等化、あるいは集中化が考えられる。多数列ボルト継手においては、端部のボルトほど伝達力が大であり、中心部ボルトほどそれが小となることが認められているが、これをある持続荷重下において今回試みたように継手中心部から順次外方のボルトに向い操作を施すと、持続荷重での各ボルトの伝達力は中心部ほど大となり、以後の荷重増加に対する伝達力の増大量を加味しても、継手主すべり発生時

においては操作を施さない場合に比して伝達力が均等化していることが考えられる。これに対して、主すべり荷重が減少するのは、操作によりかえって伝達力が集中化することにあると考えられる。

すべり荷重の上昇量とボルト列数との関係を今回の試験結果のみから結論することはできないが、ボルト列数が多くなるほど伝達力の不均等化が激しくなることを考えると、操作による均等化が望めるのは、ボルト列数の比較的多い場合といえよう。

つぎに、ボルト操作時の持続荷重の影響も見逃し得ないものと思われる。常識論的に、少数列ボルト継手でボルト操作によりすべり荷重時の伝達力分布が悪化(集中化)するおそれのあるものでは、操作時の荷重は低いほど好ましく、逆の場合には高いほど好ましいといえよう。今回の試験に用いたのは、道路橋におけるように死荷重応力が許容応力のほぼ1/2になるような場合を考えて、一応設計すべり荷重の1/2を操作時持続荷重とした。したがって今回の試験結果は、道路橋におけるボルト操作に適用しうると考えられる。また、実橋の場合には、

- 1) ボルト操作の前後において継手には変形が認められなかった。
- 2) 実際の橋梁においては、継手に含まれるボルト数が多く、したがって操作率ははるかに低くなる。
- 3) 継手のすべり耐力とボルト操作時の荷重、すなわち死荷重により継手にかかる荷重との割合は、実橋の場合には安全率が加味されるから、2:1よりさらに大となり、ボルト操作の影響は今回の試験の場合より弱くなる。

などの理由から、ボルト操作が実際橋梁の場合に有する影響は、ほとんど考慮する必要がないといえよう。むしろ、ボルト列数がかかなり多く、たとえば7本以上となるような場合には、逆にすべり耐力改善の方法として、積極的に利用することも考えうる。

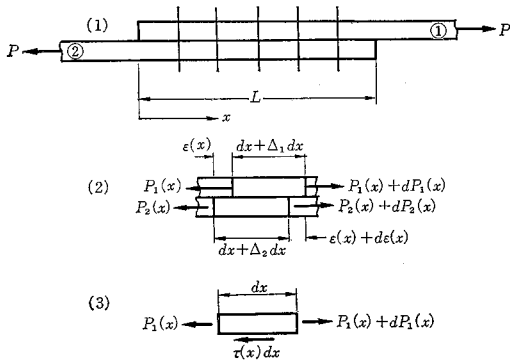
なお、ボルト操作の前後におけるボルト軸力の不等が懸念されるが、図-8のような緩めトルク値は、緩めるときの軸力がほぼ初期値に等しいことを示すと考えてよく、したがって、最初の締めつけトルクをそのまま用いて締め直せば同等の軸力が再現されると考えられる。

## 7. ボルト操作による継手すべり耐力変化の理論的考察

### (1) 高力ボルト摩擦接合部の応力分布

摩擦接合では、接合板間の摩擦によって一つの板の応力が他の板に伝達されるから、それらの板の応力状態を知るには、従来のボルトあるいはリベット位置において

図-9



のみ板間に応力伝達が生ずるとした考え方よりも、応力伝達は板間にて連続的に生ずると考える方が実際に近い。

図-9 は摩擦接合部を示す。いま、接触面間の圧力および摩擦面が全域にわたって等しいとし、板厚が継手長さに比して小さい場合を考えると、板①および板②の断面積が等しい場合は、それらに生ずる引張力  $P_1(x)$ 、 $P_2(x)$  ならびに板間のせん断力  $\tau(x)$  は、それぞれ次式によって表わされる。

$$P_1(x) = \frac{P}{2} \left\{ \frac{\sinh \beta x - \sinh \beta(L-x)}{\sinh \beta L} + 1 \right\} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$P_2(x) = \frac{P}{2} \left\{ \frac{\sinh \beta x - \sinh \beta(L-x)}{\sinh \beta L} + 1 \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\tau(x) = \frac{\beta P}{2 \sinh \beta L} \{ \cosh \beta x + \cosh \beta(L-x) \} \quad \dots\dots\dots(3)$$

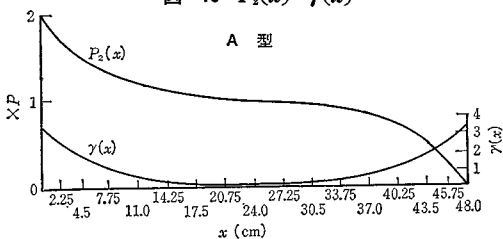
$$\text{ここに } \beta = \sqrt{\frac{2k}{EA}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ただし  $A$ : 主板、添接板の断面積;  $E$ : ヤング率;

$k$ : 板間移動量とせん断力間の比例定数

この  $\beta$  の値として、田島<sup>1)</sup> は普通の摩擦接合について  $\beta = 0.15 \text{ cm}^{-1}$  なる値を得ている。そこで  $\beta = 0.15 \text{ cm}^{-1}$  とし、式 (2) によって今回の供試体の持続荷重下の主板応力  $P_2(x)$  を求めて、A 型の場合について例示すれば図-10 のようになる。またせん断応力  $\tau(x)$  の分布状態を知るために、平均伝達力  $2P/L$  に対する比、すなわち

図-10  $P_2(x) \cdot \gamma(x)$



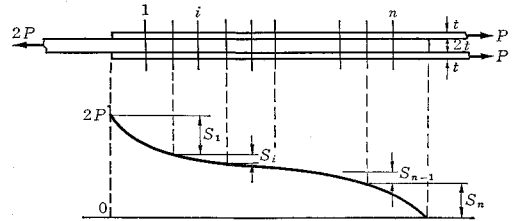
$$\gamma(x) = \tau(x)/(2P/L) \quad \dots\dots\dots(5)$$

を図示すると 図-10 に併記したようになる。ただし荷重を  $2P$  とした。

(2) ボルト操作による接合部応力の変化

ボルト操作時に 1 本のボルトを緩めると、その位置ではボルト ピッチが倍増し、その部分の板応力は均等化される。図-11 は式 (2) による  $n$  列ボルト継手の主板

図-11 主板応力分布曲線



応力分布を示したもので、この曲線に基づき、主板から他の板への応力伝達が各ボルト位置において集中的に生ずると仮定し、その大きさは隣接ボルトとの間隔の中央までの部分を受け持つものとして、図のように各ボルトの分担する伝達力  $S_i$  を求める。いま第  $i$  ボルトの左右における板応力を板①、板②につき、それぞれ  $P_{il}'$ 、 $P_{ir}'$ ;  $P_{il}''$ 、 $P_{ir}''$  とすると、第  $i$  番目のボルトを中心とした力のつりあい関係は、図-12 (2) のようになる。そこで各板につき作用する力を取り出して示すと図-12 (3) のようになる。この状態でボルト  $i$  に操作を施すことは、各板に等大逆向きをそれぞれ作用せしめることにはかならない。このような仮想外力  $S_i$  は図-12 (4) のように、第  $i$  ボルトで分けられる両側の継手部分の変

図-12

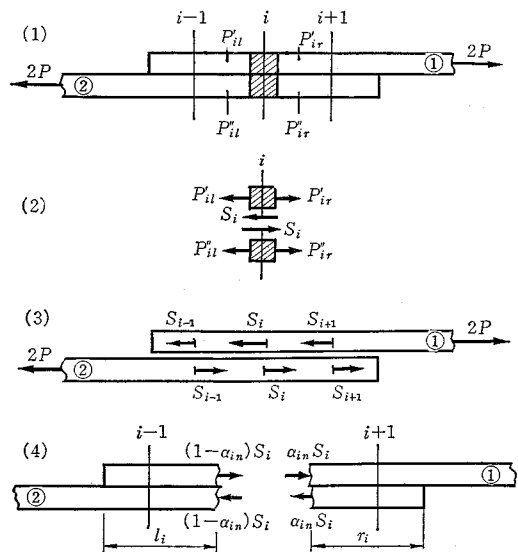
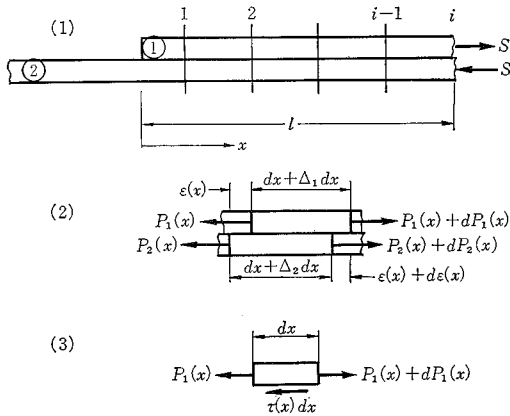


図-13



形の難易に応じて、 $1-\alpha$  と  $\alpha$  の割合で両側に分担される。

図-12 (4) の場合の各板の応力状態を求めるため、より一般化して 図-13 (1) について考える。第  $i$  ボルトの位置 ( $x=l$ ) に一組の力  $S$  を作用せしめる。ただし  $S$  はモーメントを生じないように作用せしめるものとする、式 (1), (2) を求めるのと同様にして、つぎの微分方程式を得る。

$$\frac{d^2 P_1(x)}{dx^2} - \beta^2 P_1(x) = 0$$

この解は、

$$P_1(x) = \frac{S \sinh \beta x}{\sinh \beta l} \dots \dots \dots (6)$$

となる。

(3) 分割率  $\alpha_{in}$

図-12 (4) のようにボルト操作に対応する仮想荷重は、そのボルトの両側の板に分割される。この分割率  $\alpha_{in}$  を求める。図-12 (4) に示すように、操作ボルトの位置を重ね合せ部分端部からそれぞれ  $l_i, r_i$  の距離にあり、仮想荷重  $S_i$  が  $l_i$  側と  $r_i$  側にそれぞれ  $(1-\alpha_{in}) \cdot S_i$ 、および  $\alpha_{in} S_i$  の大ききで分割されるものとする、それらの大ききは 2 枚の板の操作ボルト位置での適合条件と平衡条件から、つぎのように求められる。

$$\alpha_{in} = \frac{\tanh \beta r_i}{\tanh \beta l_i + \tanh \beta r_i} \dots \dots \dots (7)$$

この分割率  $\alpha_i$  が実際のどの程度の値をとるかを、今回の供試体の場合について求めると表-3 のようになる。 $\beta$  の値としては  $0.15 \text{ cm}^{-1}$  を用いた。

各ボルト継手の分割率はほぼ 0.5 に近い値を示し、仮想力が両側にほぼ均等に分けられることを意味している。したがって、ボルト操作による各ボルトの分担力の変化の理論値の計算において、 $\alpha$  の値を 0.5 としても、それによる誤差は実用上問題にならないと考えられる。

表-3 分割率  $\alpha_{in}$

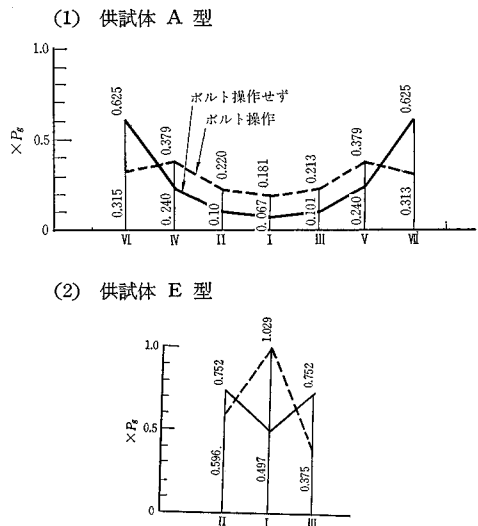
ボルト列数 $n$	4	5	6	7
$\alpha_{1n}$	1.0	1.0	1.0	1.0
$\alpha_{2n}$	0.516	0.518	0.518	0.518
$\alpha_{3n}$	0.484	0.500	0.502	0.503
$\alpha_{4n}$	0	0.482	0.498	0.500
$\alpha_{5n}$		0	0.482	0.497
$\alpha_{6n}$			0	0.482
$\alpha_{7n}$				0

(4) ボルト操作によるボルト伝達力変化の計算

ボルト操作によるボルト伝達力の変化を、供試体において行なった操作順序にしたがって、前節までに述べた方法によって計算する。すなわち、

- 1) 設計すべり荷重の 1/2 の持続荷重のもとで板の応力変化状況を式 (1), あるいは式 (2) を用いて計算する。
- 2) 上記 1) の結果を利用して、ボルト操作の理論的解析に必要なボルト 1 本当りの伝達力を 図-11 の要領で求める。
- 3) 供試体のボルト操作順序にしたがって、上記 2) の伝達力と逆向きの力を 図-12 (4) のように加え、式

図-14 ボルト操作有無による伝達力比較 (設計すべり荷重時)



(6) に基づいてその操作によるボルト伝達力変化を求める。

4) つぎのボルト操作に移る。その際そのボルトの伝達力は 2) の伝達力と、それまでの操作で得た伝達力の累計値を考える。以上の手順を進めて行けばよい。

5) 上記のような操作を各ボルトについて完了後、さらに荷重を設計すべり荷重の 1/2 だけ増加せしめ、そのときのボルト伝達力、すなわち 2) の値を操作完了時の

ボルト伝達力に加え、それと操作なしの場合の設計すべり荷重時のボルト伝達力を比較する。

図-14 は 5) の結果を図示したもので、すべり耐力がボルト操作によって上昇した供試体 A, B, C の各型では各ボルトの伝達力が均等化し、端ボルトへの伝達力の集中度がいちじるしく改善される。また1本当り伝達力の最大値も小となっており、これらの点がすべり耐力上昇に寄与しているものと考えられる。

これに対して D, E の両型では、ボルト操作により、伝達力の均等化があまり現われず、またE型では最大値もボルト操作を受けたものは増加し、これらがすべり耐力を減ずる原因をなしていると思ないうる。図-5, 6 のひずみ分布の変化の測定結果から、上記の伝達力の均等化の様子を見ることができる。

## 8. 結 論

鋼橋の現場継手として、高力ボルトによる摩擦接合が一般化している現在、本研究で取り上げたような接合部に持続的負荷が存在する状態でボルトの取り換え、締め直しなどの作業が必要となる場合がしばしば現われることと思われる。本研究は、そのような場合にステージングなどの方法を講ずることなく、そのままの状態をボルトを施工することにより、継手の性状、すべり耐力にいかなる変化を生ずるかを実験的に明らかにした。

3列から7列までの各ボルト数の1行型供試体と、6列、および7列の2行型供試体について、設計すべり荷重の1/2の持続荷重のもとで、中央部のボルトから順次外方のボルトへ向って一度緩めてすぐ締め直す操作を行ない、その後荷重を増加せしめてすべり試験を実施したところ、このような操作により5列以上の継手ではすべり荷重が操作しないものより上昇し、3および4列型継

手では減少した。その原因として、締め直し操作による各ボルトの伝達力の変化が考えられるが、これを理論的に説明した。それによると、設計すべり荷重時の各ボルトの伝達力は、5列以上の継手では操作によって均等化し、3および4列型継手では逆に集中化、あるいは最大値がほとんど変わらぬという傾向が得られた。

このような操作を実際の橋梁に応用する場合は、

- 1) 操作前後で継手には変形が認められなかった。
- 2) 実際の橋梁では継手構成ボルト数が多いため、一度に操作するボルト本数の割合が今回の試験よりも小となり、上記1)の変形の問題はさらに安全側になる。
- 3) 継手の実すべり荷重とボルト操作時の荷重との割合は、前者が安全率によって設計すべり荷重より大となるから、この割合は実橋の場合には今回用いた2対1より大となり、ボルト操作の影響はより弱くならう。などの理由から、ボルト列数が極端に少ない場合を除けば、ボルト操作による影響は考えるに足らないと判定される。また、ボルト操作による伝達力の平均化が望めるボルト列数の多い場合には、すべり荷重の上昇が見られ、またこのような平均化は継手の疲労強度の改善のためにも好ましく、この意味からすればボルト操作を利用することも考えられる。

本研究が高力ボルト施工上の資料として参考にできれば幸である。

本研究を行なうに当って、神戸大学の学生諸君、特に長谷川浩三(兵庫県庁)、および中垣亮二((株)日立造船所)の両君の協力を得た。ここに付記して感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 田島二郎：継手構造，土木学会関西支部講習会テキスト・構造力学，p. 153~161，昭和 38 年

(1967.4.6・受付)

## 工 事 報 告 天 草 五 橋

調 査 編 ■ 1章 調査経過の概要 / 2章 主たる調査の内容 / 3章 事業費償還計画

設 計 編 ■ 1章 下部工の設計 / 2章 1号橋上部工の設計 / 3章 2号橋上部工の設計 / 4章 3号橋上部工の設計 / 5章 4号橋上部工の設計 / 6章 5号橋上部工の設計 / 7章 座屈計算その他 / 8章 特殊設計審議委員会および審議委員会

施 工 編 ■ 1章 1号橋下部工事 / 2章 2号橋下部工事 / 3章 3号橋下部工事 / 4章 4号橋下部工事 / 5章 1号橋上部工事 / 6章 2号橋上部工事 / 7章 3号橋上部工事 / 8章 4号橋上部工事 / 9章 5号橋上部工事 / 10章 振動試験およびP C橋各種試験 / 11章 工事用電力および照明設備事項 / 12章 特記示様書および現場説明事項

体 裁 ■ B 5判 830 ページ，豪華箱入，8ボ2段組

定 価 ■ 9800 円 (〒 200 円)

会員特価 ■ 8000 円 (〒 200 円)

申 込 先 ■ 土木学会：東京都新宿区四谷一丁目