

3. すべり試験

3.1 概要

本試験で実施したすべり試験の種別を図-3.1.1に示す。試験種別『12H』とは、「高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 土木学会」^{3.1)} (以下、「高力ボルト指針」という) に示されるとおり、供試体組立後に12時間以上放置してからすべり試験を行ったものである。実際には作業工程との兼ね合いから10日間程度ほど(一部は最長27日間)放置してから試験を行った。試験種別『1ヶ月』とはボルト軸力減少量の経時変化の影響を確認するため、組立後1ヶ月以上(最長42日間)保管してから試験したものの、『長期』とは屋内で長期間(約1年程度)保管して試験したものである。試験種別『再試験』とは地震災害等の影響により接合面にすべりが生じた場合などを想定して、標準すべり試験終了後に新規ボルトで再組立し、すべり試験を行ったものである。試験種別『桁曲げ試験』とは、鋼道路橋での使用状況下に近い環境(作用力)を再現するために、I桁の供試体を用いて引張フランジの連結部のすべり挙動に着目して行った曲げ試験である。

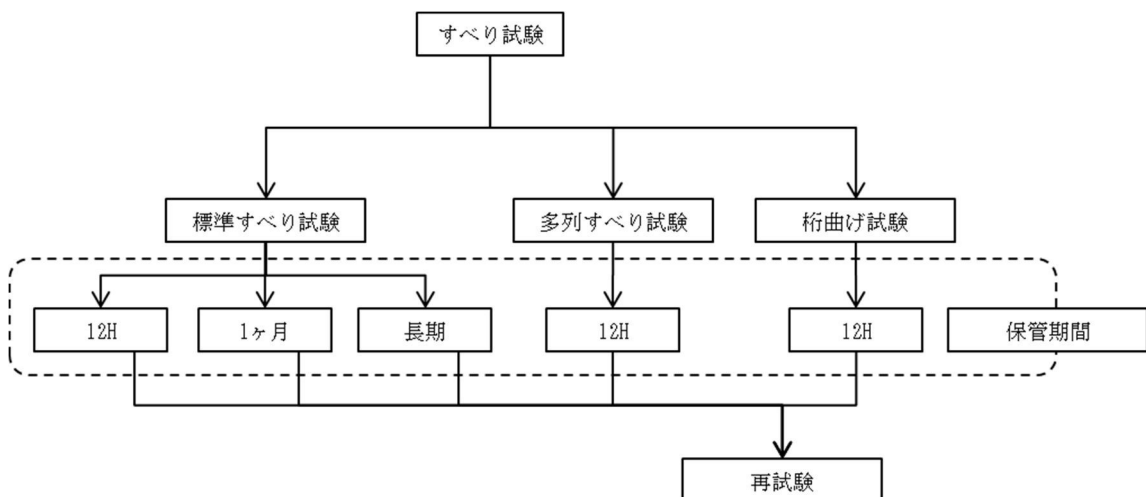


図-3.1.1 試験種別

3.2 標準すべり試験

3.2.1 試験概要

(1) 検討条件

本試験では、S14T の道路橋への適用に関して、摩擦接合における継手性能に影響を及ぼし得る主な要因として、1.6 節および 2.4 節の検討項目を踏まえ以下の表-3.2.1 に示す要因に着目した試験を実施した。

表-3.2.1 摩擦接合のすべり耐力低下の主要因

項目	着目点	試験ケース
① ボルト等級・径	ボルト軸力による部材間の摩擦力のちがい	高力ボルト(S10T):M22, M24 超高力ボルト(S14T):M22, M24
② 接合面の処理	接合面処理による部材間の摩擦力のちがい	無機ジंकリッチペイント: 片面塗膜厚 65 μ m 以上 粗面(ブラスト処理): 算術平均粗さ Ra10 μ m 以上 有機ジंकリッチペイント: 片面塗膜厚 65 μ m 以上
③ すべり/降伏耐力比 β	母板の降伏によるボルト軸力抜けの影響	母板降伏の影響なし: $\beta_{\mu 0.4}=0.65$ 程度 母板降伏の影響あり: $\beta_{\mu 0.4}=0.8\sim 1.0$ 程度
④ 鋼材の材質	鋼材の材質のちがいによる摩擦力への影響	SS400, SM490, SM490Y, SM520C-H SM570
⑤ 板厚	鋼板の剛性や初期不整の影響	市場性や道路橋への適用範囲を考慮して t=25mm~75mm
⑥ 肌すき	肌すきによる密着性低下の影響	母板厚 t=50mm:0mm, 0.5mm, 1.0mm 母板厚 t=75mm:0mm, 0.5mm, 1.0mm
⑦ フィラー (母板間の板厚差)	母板の板厚差による荷重伝達の偏心の影響	母板厚 t=50mm:50% 母板厚 t=75mm:20%, 30%, 50%
⑧ リラクセーション	時間経過によるボルト軸力の抜けの影響	12 時間、1 ヶ月、長期
⑨ 塗料のちがい	塗料メーカーのちがいによる部材間の摩擦力のちがい	2 社の塗料を使用
⑩ ボルト孔径	ボルト孔径による部材間の摩擦力のちがい	M22: 孔径 ϕ 24.5, 25.5, 26.0mm

① ボルトの等級・径

ボルト軸力による部材間の摩擦力のちがいを検証するため、高力ボルトの等級は S10T、超高力ボルトの等級は S14T を用い、ボルトの径は、M22、M24 を比較対象とした。

② 接合面の処理

接合面処理による部材間の摩擦力のちがいを検証するため、道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編(以下、道示という)^{3.2)}で規定されている接合面の処理方法として一般に用いられて

いる「無機ジンクリッチペイント」を基本ケースとし、もう一つの接合面の処理方法の「粗面」、および塗り替え塗装に適用できる「有機ジンクリッチペイント」を比較ケースとして設定した。

(a) 無機ジンクリッチペイント

道示において、片面あたりの最少乾燥塗膜厚 $50\mu\text{m}$ 以上、接触面の合計乾燥塗膜厚 $100\sim 200\mu\text{m}$ と規定されている。また高力ボルト指針では、片面塗膜厚 $65\mu\text{m}$ 以上、合計塗膜厚 $190\sim 200\mu\text{m}$ ですべり係数 $\mu=0.5$ が推奨値として挙げられている^{3.1)}ことから、目標片面塗膜厚を $65\mu\text{m}$ 以上とした。

(b) 有機ジンクリッチペイント

無機ジンクリッチペイントと同様の厚さとして目標片面塗膜厚を $65\mu\text{m}$ 以上とした。

(c) 粗面(ブラスト処理)

接合面の処理を粗面とした場合、既往の実験結果^{3.3)}では、表面粗さが大きくなるにしたがってすべり係数が大きくなる傾向にあるという結果が示されている。高力ボルト指針において接合面の算術平均粗さ R_a が $R_a\geq 10\mu\text{m}$ の場合、すべり係数 $\mu=0.45$ を推奨値として挙げられている^{3.1)}ことから目標算術平均粗さ R_a を $10\mu\text{m}$ 以上とした。

③ すべり/降伏耐力比 β

i) すべり/降伏耐力比 β

高力ボルト指針では、純断面の降伏がすべり現象より先に生じると鋼板がポアソン効果によりやせる影響を受けてすべり耐力が低下することを考慮して、すべり係数を 0.4 とした場合の「すべり/降伏耐力比 β 」が 0.65 程度となるように設計されている^{3.1)}。また、西村らの研究^{3.3)}では既往の実験データからすべり係数 μ と β との関係を整理しており、 β が 0.7 を超える範囲では、すべり係数の低下がみられ、 μ と β との間に線形関係が認められるとある。本試験では、母板降伏の影響を受けないすべり耐力を明確に捉えるため、すべりを先行させる $\beta=0.65$ 程度を基本ケースとした。

基本ケースに対して、母板降伏によるすべり耐力低下の影響が顕著となり始める $\beta=0.8\sim 1.0$ を比較ケースとして設定した。

ただし、厚板($t=50\sim 75\text{mm}$)においては、図-3.2.1 に示すように、チャック部フィラーの取付けおよび試験機のチャック寸法から必要な幅が決定($W\geq 110\text{mm}$)するため、 $\beta=0.3$ 程度で設定した。

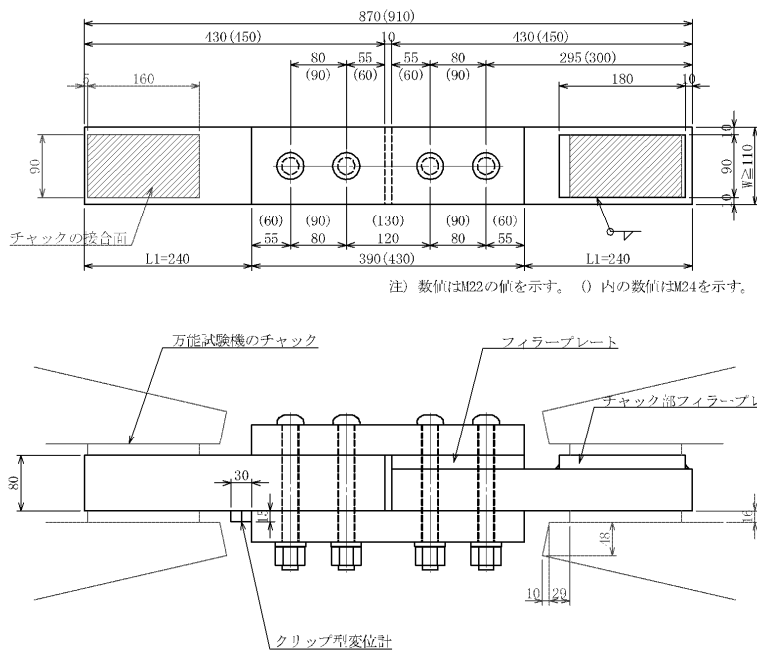


図-3.2.1 母板厚 50mm 以上の供試体幅と試験機チャックの関係の例

ii) 連結板/母板降伏強度比 γ

図-3.2.2は多列高力ボルト摩擦接合継手のすべり強度に関する解析的研究^{3,4)}において、解析結果が公称すべり強度を上回る限界を示したものであり、連結板/母板降伏強度比 γ が大きくなるほど、列数の多少に関係なくすべり耐力は大きくなる傾向にある。連結板/母板降伏強度 γ が1.2を境界に増加の程度が小さくなっており、1.2以上を確保すれば、連結板の補剛効果が確保されていることが確認できる。標準すべり試験とはボルト列数のちがいはあるが、連結板の剛性を確保することを目的として、連結板/母板降伏強度比 γ は1.2程度を確保するものとした。

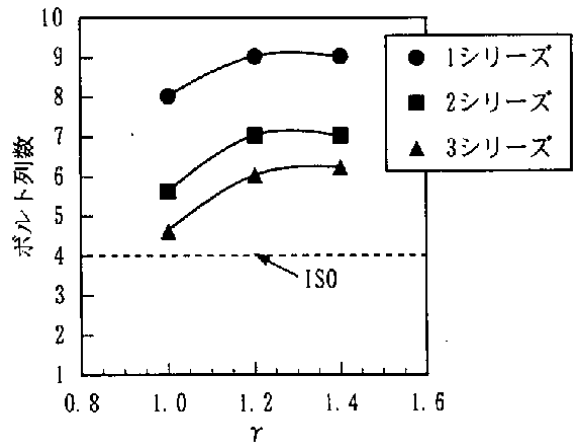


図-3.2.2 すべり耐力限界^{3,4)}

④ 鋼材の材質

鋼道路橋での使用実績や市場性を考慮して以下とした。

板厚 $t=50\sim 75\text{mm}$ を対象としたケース(供試体 No. 27~42)では、作用応力が大きい部位での使用を想定し、高強度鋼材を対象とした。ただし、SM570 は市場では入手困難であり、先に実施した薄板~中厚板の試験ケース(供試体 No. 23~26)で SM570 と SM490Y に明確な差が

なかったため、SM570 よりも市場性のよい「SM490Y 級: $t \leq 40\text{mm}$ で SM490Y, $t > 40\text{mm}$ で SM520C-H」を使用した。

- (a) SS400
- (b) SM490 (基本ケース)
- (c) SM490Y
- (d) SM520-H
- (e) SM570

⑤ 板厚

供試体に用いる板厚は、市場性を考慮して入手しやすい厚さのものを用いることを基本とした。以下に本試験で使用した板厚の規格値を示す。ただし、()内数字は削り出し前の板厚を示す。

- (a) 母板
 $t=25, 28, 32, 36, 38, 40, 45, 50, 60, 70, 75\text{mm}$
- (b) 連結板
 $t=16, 19, 22, 25, 28, 32, 38\text{mm}$
- (c) フィラー
 $t=4, 4.5, 15(19), 25, 37(40)\text{mm}$
- (d) フィラー(チャック部)
 $t=5(9), 15(19), 25, 37(40)\text{mm}$

⑥ 肌すき

摩擦接合継手に関しては、肌すきが 1mm の場合でも、肌すきのない場合に比べてすべり耐力が低下するという研究成果^{3,5)}が報告されており、本試験では肌すきが無いケースを基本として、0.5mm および 1.0mm を比較ケースとして設定した。

⑦ フィラー(母板間の板厚差)

鋼道路橋の設計において、過去の実験結果^{3,5)}(50mm-25mm の板厚で実施)より最大板厚差は大きい板厚の 1/2 かつ 25mm まではすべり係数が確保されており問題ないとされている。本試験においては、超高力ボルト(S14T-M22)を対象に以下の条件で比較を行った。

- (a) 母板厚 $t=50\text{mm}$
 - 50mm-50mm : 変化率 0% (基本ケース)
 - 50mm-25mm : 変化率 50%
- (b) 母板厚 $t=75\text{mm}$
 - 75mm-75mm : 変化率 0% (基本ケース)
 - 75mm-60mm : 変化率 20%

- ・ 75mm－50mm：変化率 33%
- ・ 75mm－38mm：変化率 50%

⑧ リラクゼーション

時間の経過によるボルトの軸力抜けがすべり耐力に与える影響を確認するため、供試体作成後「12 時間保管」、「1 ヶ月保管」、「長期(約 1 年後)保管」を行い、試験を実施した。

⑨ 塗料のちがい

塗料メーカーのちがいがすべり耐力に与える影響を確認するため、本検討では A 社塗料および B 社塗料の 2 社間のちがいを比較ケースとして設定した。

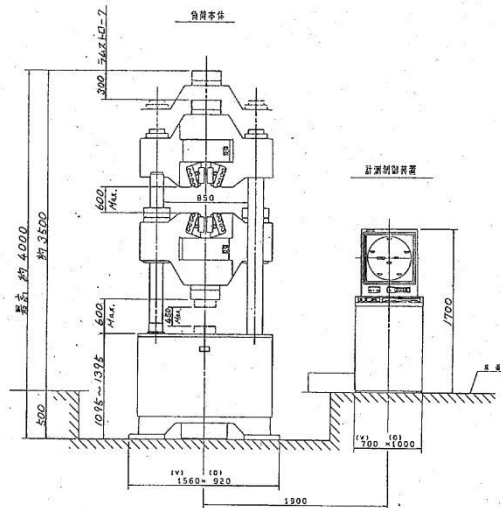
⑩ ボルト孔径

道示で規定されている $d+2.5\text{mm}$ (d はボルト呼び径) を基本とし、鋼道路橋以外での使用実績や諸外国の規定等を参考に $d+3.5\text{mm}$ および $d+4.0\text{mm}$ を比較ケースとして設定した。

3.2.2 試験方法

(1) 試験機

標準すべり試験は、図-3.2.3 に示す 2000kN 万能試験機(島津製作所 UH-F200A)を使用して実施した。



※(株)島津製作所：島津万能試験機 UH-FA シリーズ取扱説明書より引用

図-3.2.3 2000kN 万能試験機 UH-F200A の概要

(2) 計測方法

(a) 計測システム

すべり試験時の計測システムを図-3.2.4に示す。

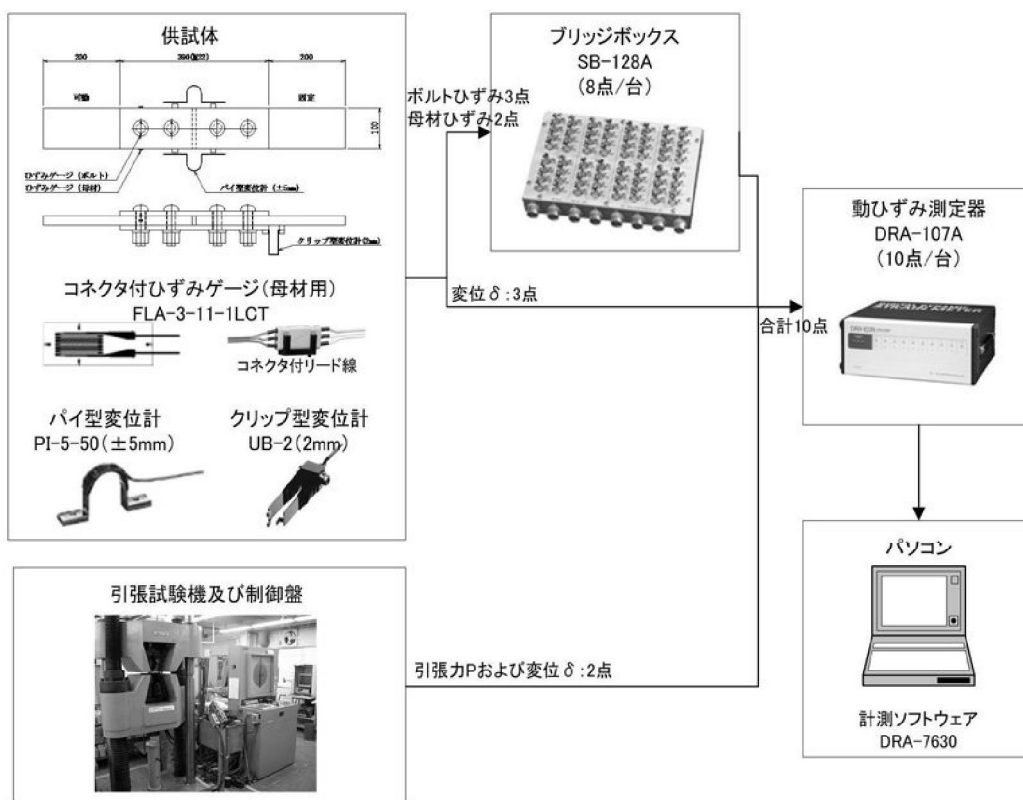


図-3.2.4 計測システム(標準すべり試験)

(b) 計測内容

標準すべり試験における供試体の計測内容は、母板の軸方向ひずみ(母板ゲージ 1~6)、組立後からすべり試験後までのボルト軸力変化を確認するためのひずみ(ボルトゲージ 1a, 1b, 2a, 2b)、母板間の相対変位(パイ型変位計 1, 2)、母板と連結板間の相対変位(クリップ型変位計)、試験機の引張力、変位とした。供試体の計測箇所とゲージ番号を図-3.2.5に示す。

また、すべり発生時の引張力および変位の変化(P - δ 関係)を把握するため、サンプリング 20Hz で動的計測を行った。

載荷方法は、載荷速度を一定とした定速荷重制御とし、すべりが発生すると荷重制御の制御が自動的に解除され、すべり発生時の荷重を読み取り記録した。すべり発生後は母板のひずみが線形的に初期値に戻ることを確認するため除荷を行った。

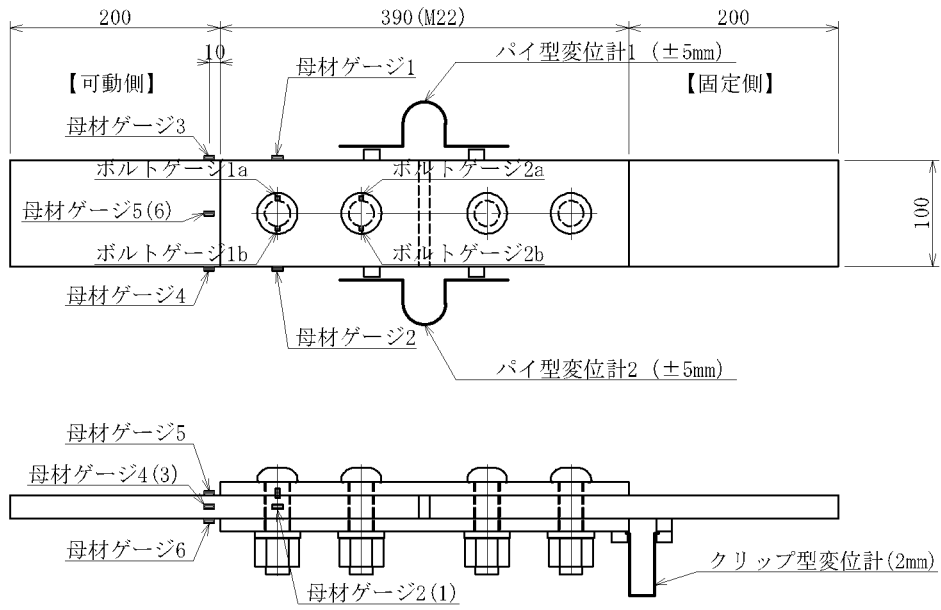
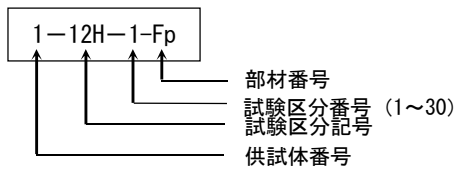


図-3.2.5 供試体の計測箇所と番号

3.2.3 供試体の諸元

表-3.2.2 に供試体の基本諸元、表-3.2.3 に比較項目一覧、図-3.2.7 に供試体の寸法図を示す。

供試体は、3.2.1 で着目した要因ごとに、接合面の処理、すべり/降伏耐力比、ボルト径・等級、鋼材の材質、板厚、肌すき、フィラー等を変化させて、表-3.2.2 に示すとおり設定した。また、供試体の管理番号は、図-3.2.6 に示す要領で設定した。

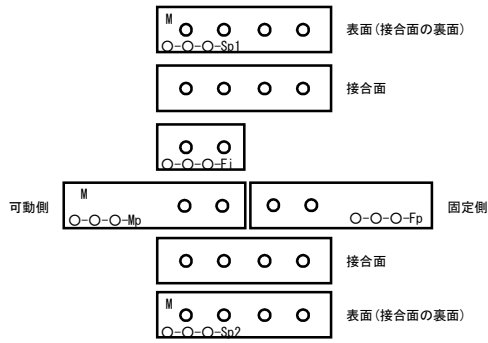


試験区分記号一覧

試験区分記号 (番号)	試験区分
12H (1~5)	12H
1M (6~10)	1ヶ月
Lo (11~15)	長期保管
12H(再) (16~20)	12H(再試験)
1M(再) (21~25)	1ヶ月(再試験)
Lo(再) (26~30)	長期保管(再試験)

部材番号一覧

部材番号	部材名
Mp	可動側母板
Fp	固定側母板
Sp1	連結板
Sp2	連結板
Fi	フィラー



供試体番号一覧

供試体番号			
1	17	33	49
2	18	34	50
3	19	35	51
4	20	36	52
5	21	37	53
6	22	38	
7	23	39	
8	24	40	
9	25	41	
10	26	42	
11	27	43	
12	28	44	
13	29	45	
14	30	46	
15	31	47	
16	32	48	

図-3.2.6 供試体の管理番号

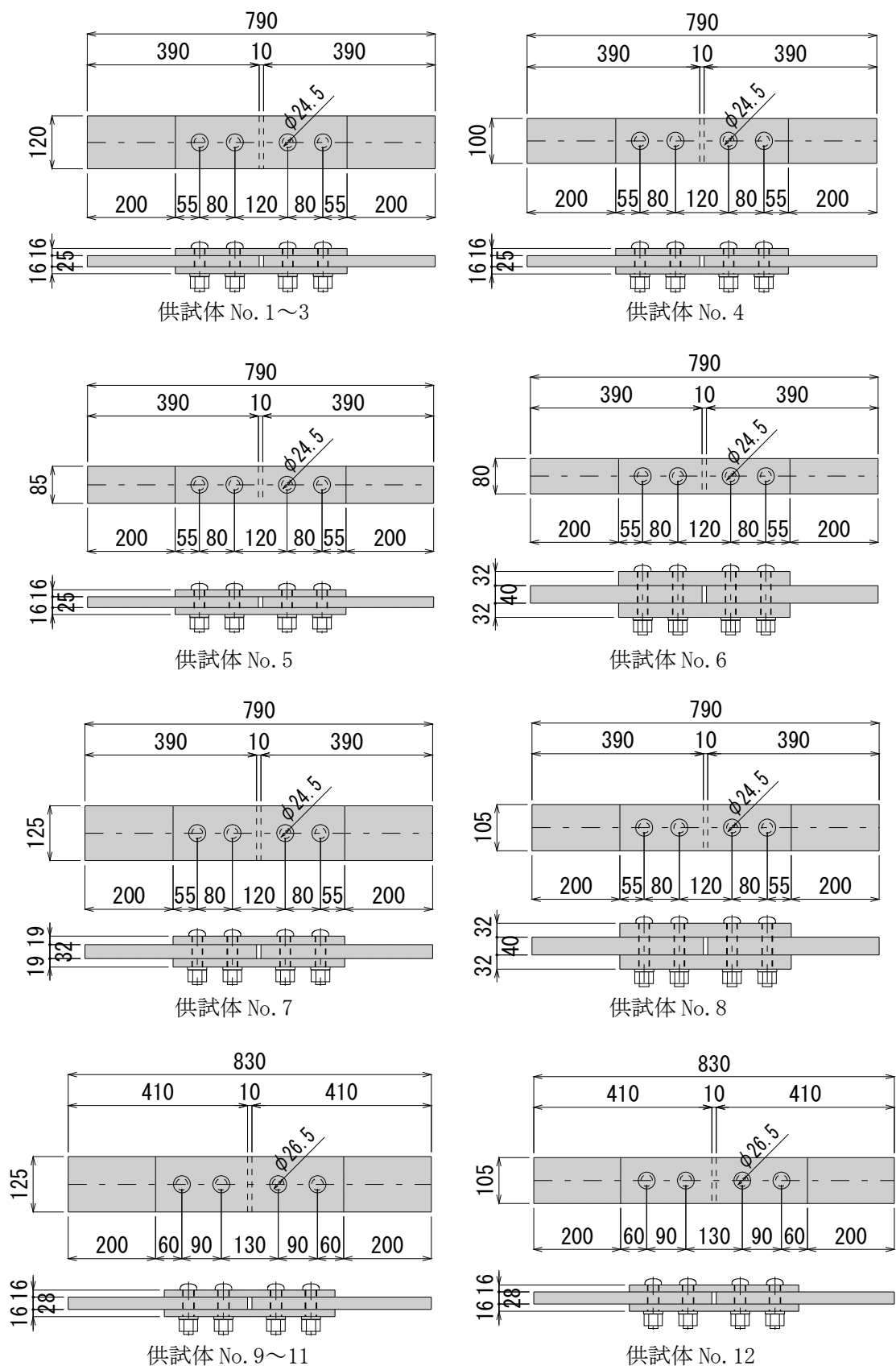
表-3.2.2(2) 供試体の基本諸元

供試体No.	12H		45	46	47	48	49	50	51	52	53	
	保存期間	1ヶ月 長期	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
再試験(接合面処理なし)	体											
等級	体		S14T									S10T
呼径	—		M22									
設計軸力	KN/本		299									205
列数	列		2									
板厚(Fix) T	mm		32			50					32	
板厚(Mov)	mm		32			50					32	
材質	—		SM490Y			SM520C-H					SM490Y	
変化率	%		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
板厚 T2	mm		16			25					16	
材質	—		SM490Y			SM490Y					SM490Y	
板厚	mm		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
材質	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
肌すき	mm		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
供試体幅 B	mm		110	110	110	110	110	110	110	110	110	
ボルト孔径 φD	mm		24.5	25.5	26.0	24.5	25.5	26.0	24.5	25.5	26.0	
接合面の処理	—		無機									
すべり耐力 (μ=0.4)	KN		478	478	478	478	478	478	328	328	328	
母材	KN		971	960	954	1518	1500	1491	971	960	954	
降伏耐力	KN		971	960	954	1518	1500	1491	971	960	954	
β (μ=0.4)	—		0.493	0.498	0.501	0.315	0.319	0.321	0.338	0.342	0.344	

表-3.2.3 比較項目一覧表

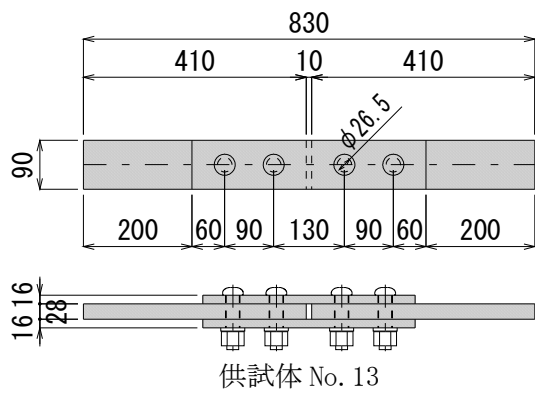
ボルト	板厚	接合面の処理		すべり/降伏耐力比 β			鋼材の材質				肌ずき			フライヤー				ボルト孔径			
		無機	有機	粗面	0.64	0.80	1.00	SS400	SM490	SM490Y	SM570	0mm	0.5mm	1.0mm	0%	20%程度	30%程度	50%程度	24.5mm	25.5mm	26.0mm
S14T-M22	薄板	No. 1 t=25mm	No. 2 t=25mm	No. 3 t=25mm	No. 1 t=25mm	No. 4 t=25mm	No. 5 t=25mm	No. 7 t=32mm	No. 1 t=25mm	No. 23 t=28mm	No. 24 t=28mm								No. 45 t=32mm	No. 46 t=32mm	No. 47 t=32mm
	中厚板							No. 8 t=40mm	No. 6 t=40mm	No. 27 t=50mm		No. 27 t=50mm	No. 28 t=50mm	No. 29 t=50mm	No. 27 t=50.50mm			No. 33 t=50.25mm	No. 48 t=50mm	No. 49 t=50mm	No. 50 t=50mm
	厚板									No. 30 t=75mm		No. 30 t=75mm	No. 31 t=75mm	No. 32 t=75mm	No. 30 t=75.75mm	No. 34 t=75.60mm	No. 35 t=75.50mm	No. 36 t=75.38mm			
	薄板	No. 9 t=28mm	No. 10 t=28mm	No. 11 t=28mm	No. 9 t=28mm	No. 12 t=28mm	No. 13 t=28mm	No. 15 t=36mm	No. 9 t=28mm	No. 25 t=28mm	No. 26 t=28mm										
S14T-M24	中厚板	No. 14 t=40mm						No. 16 t=40mm	No. 14 t=40mm	No. 37 t=50mm		No. 37 t=50mm	No. 38 t=50mm	No. 39 t=50mm							
	厚板	No. 40 t=75mm								No. 40 t=75mm											
	薄板	No. 17 t=25mm						No. 18 t=28mm	No. 17 t=25mm										No. 51 t=32mm	No. 52 t=32mm	No. 53 t=32mm
	中厚板	No. 19 t=40mm						No. 19 t=40mm					No. 41 t=50mm	No. 42 t=50mm							
S10T-M22	厚板																				
	薄板	No. 20 t=25mm						No. 21 t=32mm	No. 20 t=25mm												
	中厚板	No. 22 t=40mm						No. 22 t=40mm													
	厚板																				

※表中の「No.○」は供試体番号を、「t=○○mm」は母板の板厚を示す。

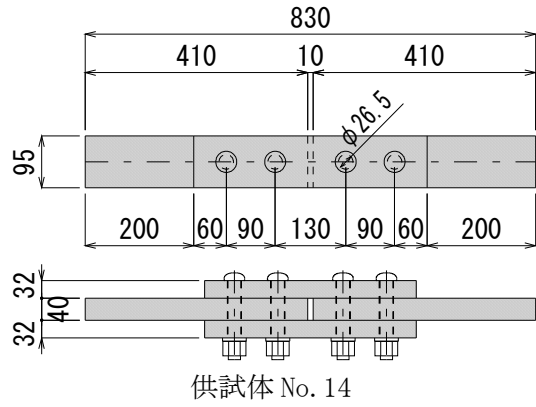


※表示寸法は設計値で単位はmmである。

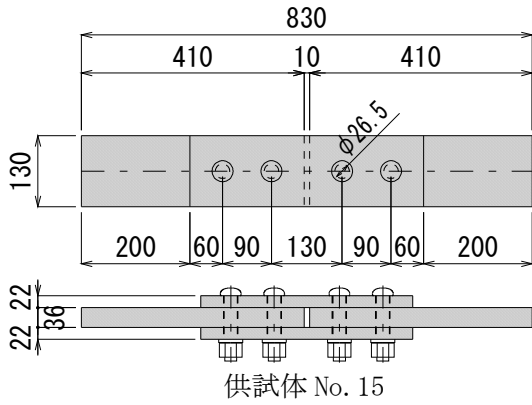
図-3.2.7 (1) 供試体寸法図



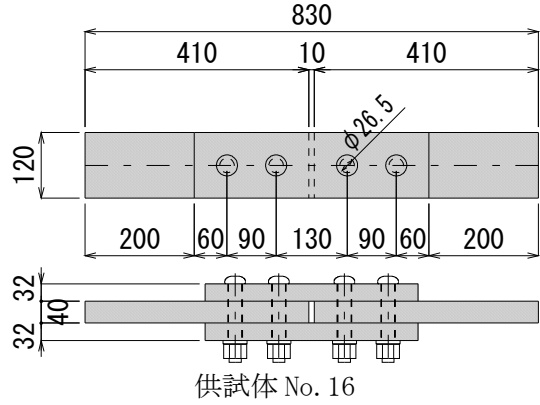
供試体 No. 13



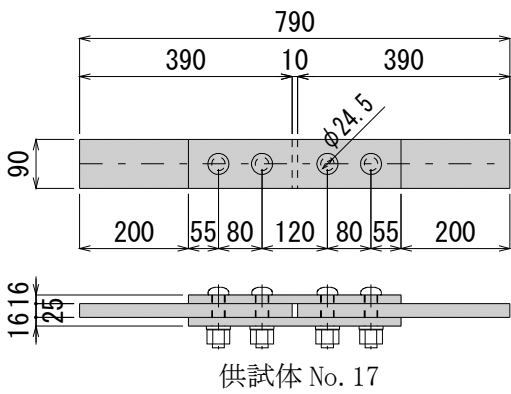
供試体 No. 14



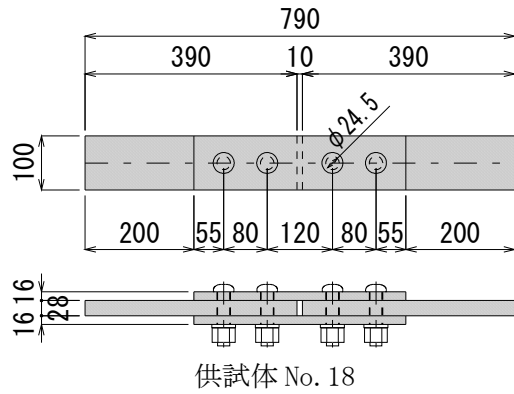
供試体 No. 15



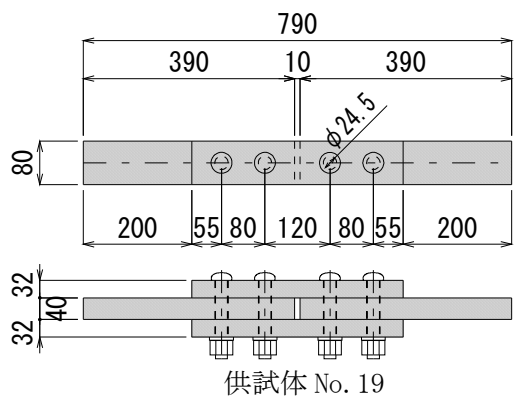
供試体 No. 16



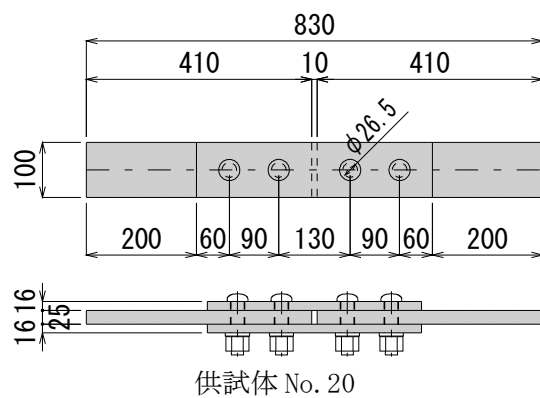
供試体 No. 17



供試体 No. 18



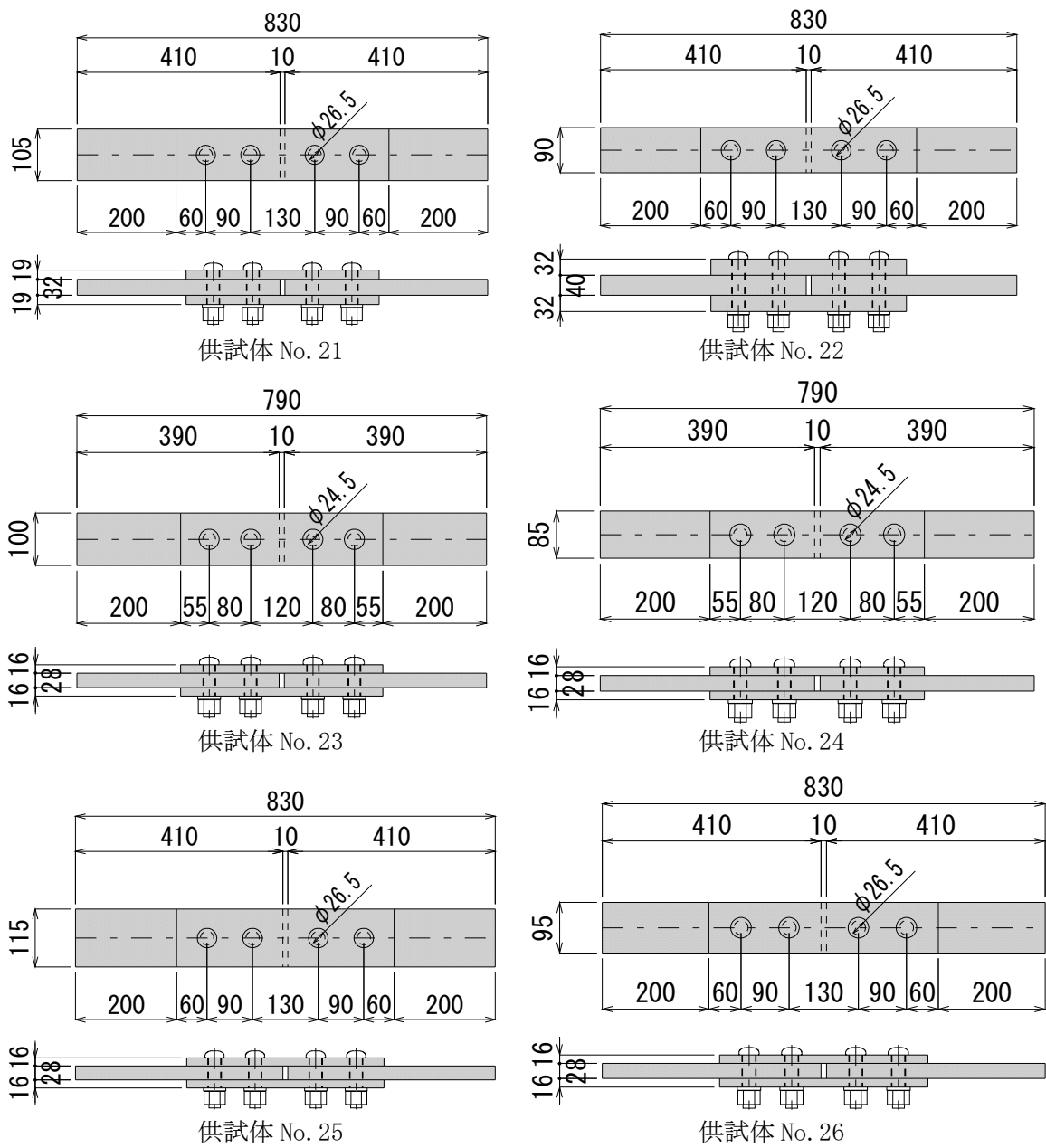
供試体 No. 19



供試体 No. 20

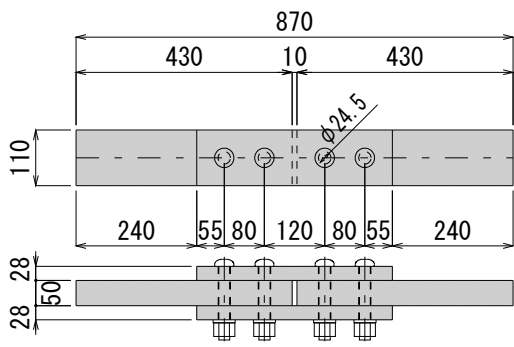
※表示寸法は設計値で単位は mm である。

図-3.2.7 (2) 供試体寸法図

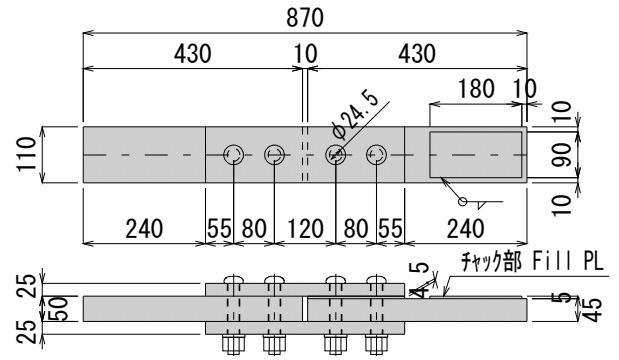


※表示寸法は設計値で単位は mm である。

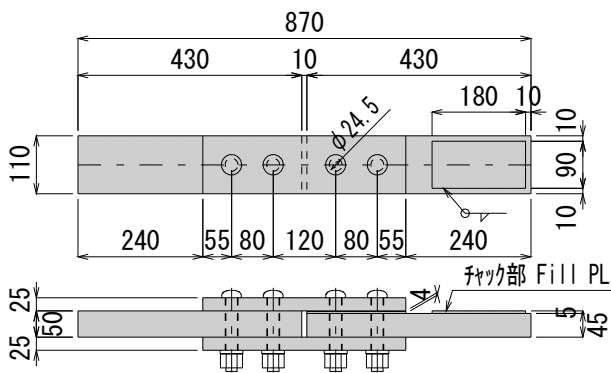
図-3.2.7 (3) 供試体寸法図



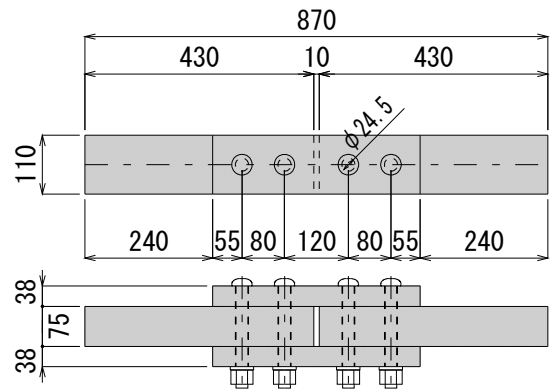
供試体 No. 27



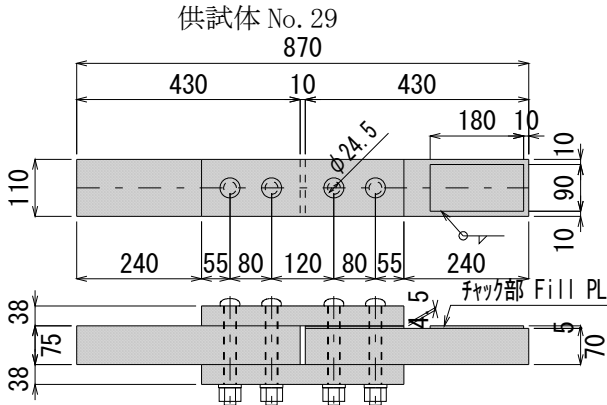
供試体 No. 28



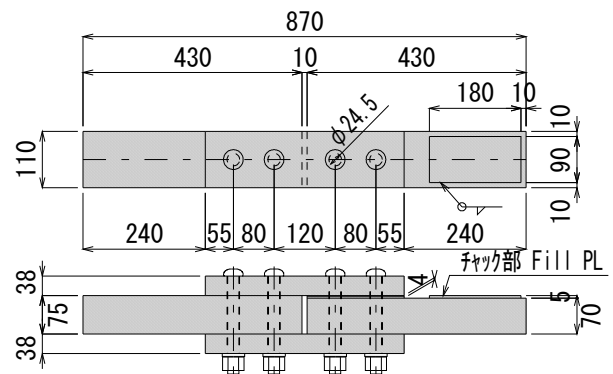
供試体 No. 29



供試体 No. 30



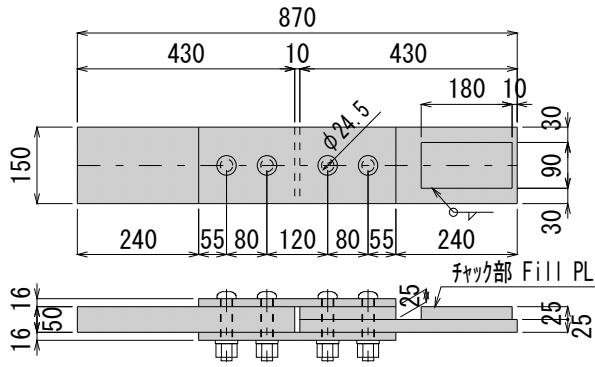
供試体 No. 31



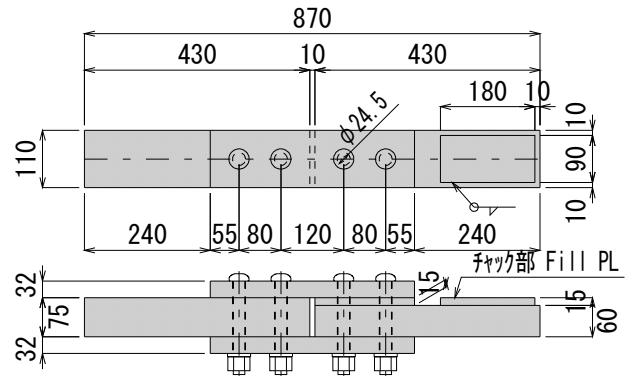
供試体 No. 32

※表示寸法は設計値で単位はmmである。

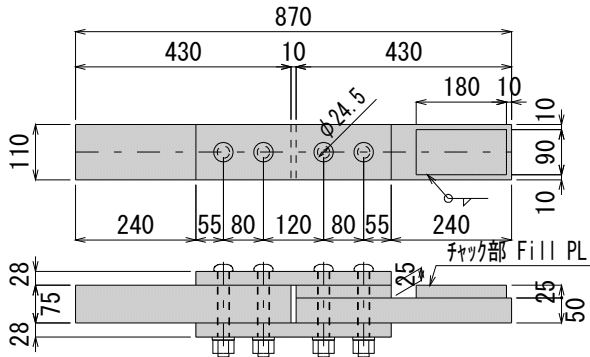
図-3.2.7 (4) 供試体寸法図



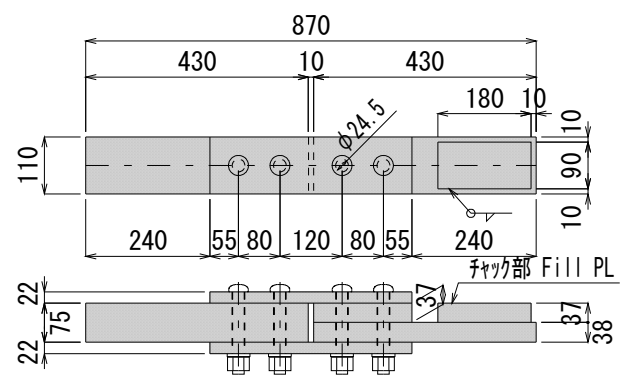
供試体 No. 33



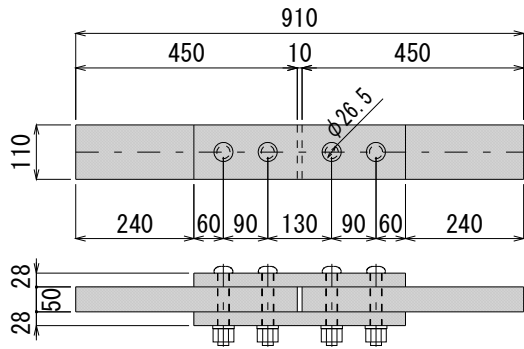
供試体 No. 34



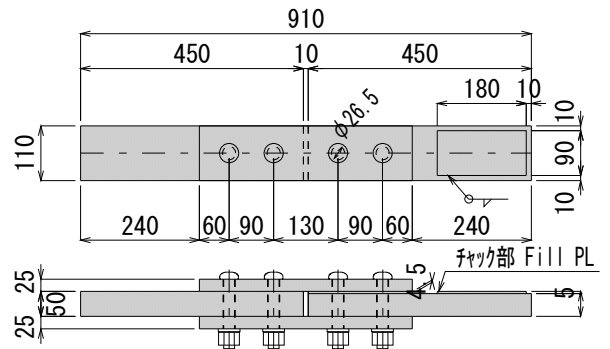
供試体 No. 35



供試体 No. 36



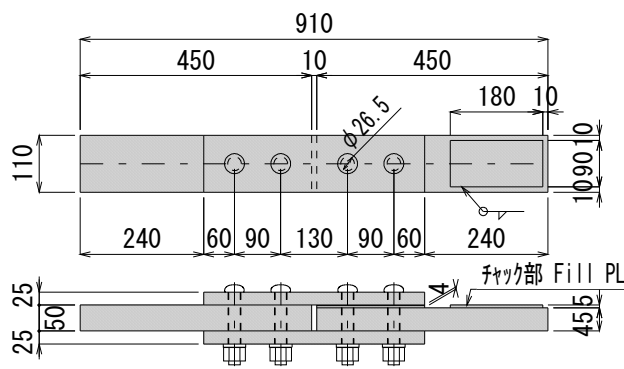
供試体 No. 37



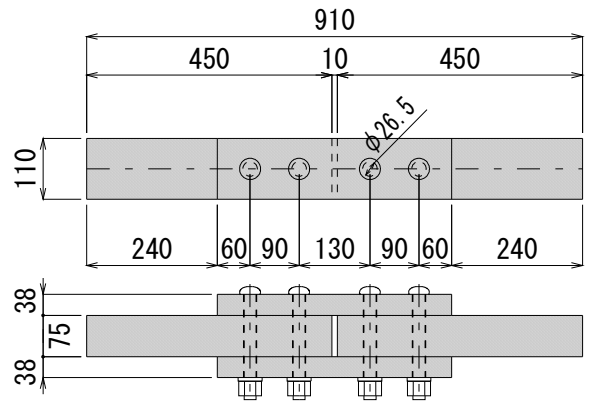
供試体 No. 38

※表示寸法は設計値で単位は mm である。

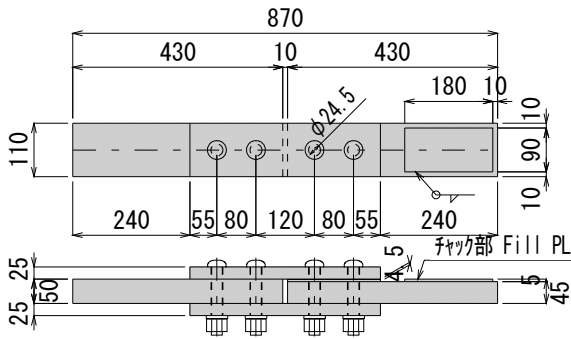
図-3.2.7 (5) 供試体寸法図



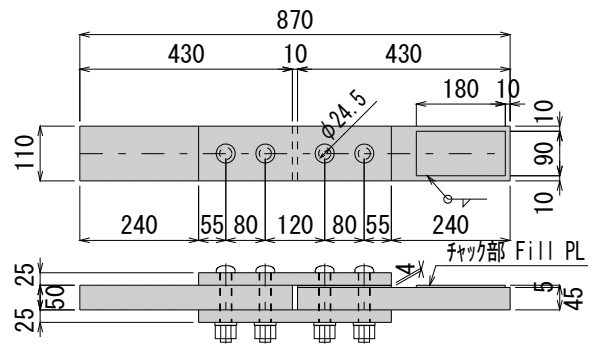
供試体 No. 39



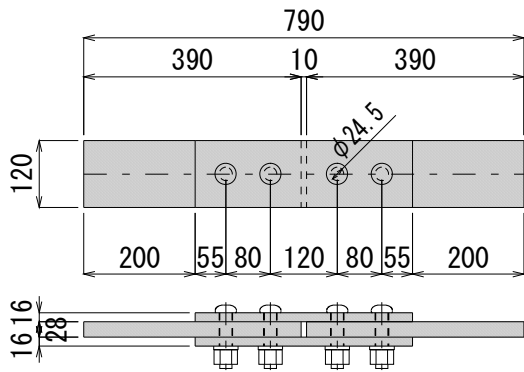
供試体 No. 40



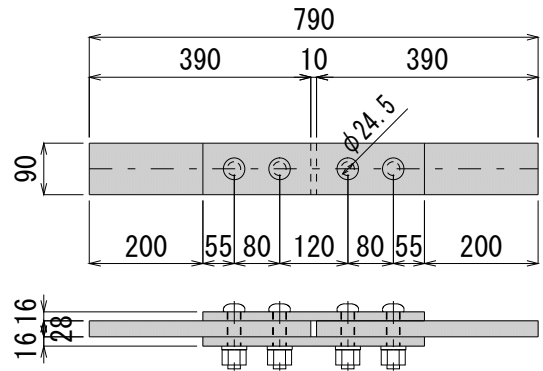
供試体 No. 41



供試体 No. 42



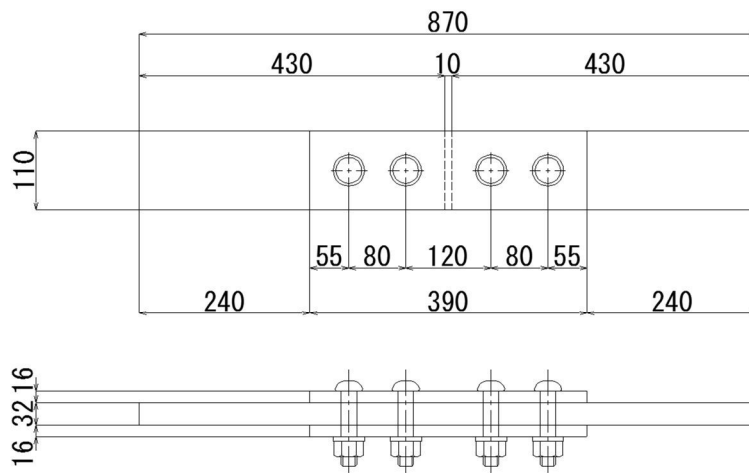
供試体 No. 43



供試体 No. 44

※表示寸法は設計値で単位は mm である。

図-3.2.7 (6) 供試体寸法図



2-pl 110 x 32 x 430 (SM490YA)

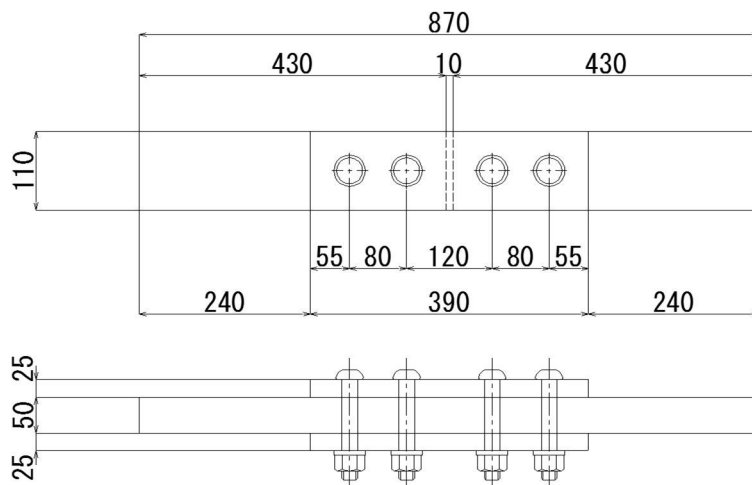
2-pl 110 x 16 x 390 (SM490YA)

ボルト径 24.5 mm 6体 (No. 45、No. 51)

ボルト径 25.5 mm 6体 (No. 46、No. 52)

ボルト径 26.0 mm 6体 (No. 47、No. 53)

図-3.2.7 (7) 供試体寸法図



2-pl 110 x 50 x 430 (SM520C-H)

2-pl 110 x 25 x 390 (SM490YA)

ボルト径 24.5 mm 3体 (No. 48)

ボルト径 25.5 mm 3体 (No. 49)

ボルト径 26.0 mm 3体 (No. 50)

※表示寸法は設計値で単位はmmである。

図-3.2.7 (8) 供試体寸法図

(1) 使用材料

a) 鋼材の機械的特性

本試験に使用した鋼材の機械的特性を表-3.2.4 に示す。

表-3.2.4 鋼材の機械的特性

材質	板厚 mm	ミルシート			規定値			比率			供試体 No.		
		降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	降伏点	引張強さ	$\delta u / \delta y$			
SS400	16	285	445	37	400~510		17	1.21	2.18	1.56	18		
		286	433	29			235	21	1.22	1.38	1.51	7, 21	
	293	432	31	235			21	1.25	1.48	1.47			
	294	440	30	235			21	1.25	1.43	1.50			
	22	273	438	34			235	21	1.16	1.62	1.60	15	
	28	284	433	30			235	21	1.21	1.43	1.52	18	
	32	282	437	32			235	21	1.20	1.52	1.55	7, 8, 16, 19, 21, 22	
	36	276	434	35			235	21	1.17	1.67	1.57	15	
40	256	424	36	235	21	1.09	1.71	1.66	8, 16, 19, 22				
SM490A	16	362	537	28	490~610		17	1.15	1.65	1.48	1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 20		
		362	537	28			315	17	1.15	1.65		1.48	
		382	540	26			315	17	1.21	1.53		1.41	
		362	525	30			315	17	1.15	1.76		1.45	
	25	343	518	32			315	21	1.09	1.52		1.51	1, 2, 3, 4, 5, 17, 20
	28	366	529	34			315	21	1.16	1.62		1.45	9, 10, 11, 12, 13
	32	349	525	32			315	21	1.11	1.52		1.50	6, 14
40	355	554	33	315	21	1.13	1.57	1.56	6, 14				
SM490YB	16	384	548	26	355	15	1.08	1.73	1.43	23, 25			
		384	548	26	355	15	1.08	1.73	1.43				
	28	408	560	30	355	19	1.15	1.58	1.37	23, 25			
SM570	16	583	675	31	570~720		19	1.30	1.63	1.16	24, 26		
		554	654	32			450	19	1.23	1.68		1.18	
		535	643	36			450	19	1.19	1.89		1.20	
		519	632	36			450	19	1.15	1.89		1.22	
	28	593	677	42			450	20	1.32	2.10		1.14	24, 26
	589	675	41	450			20	1.31	2.05	1.15			
	584	670	40	450			20	1.30	2.00	1.15			
SS400	4	317	470	38	245	17	1.29	2.24	1.48	29, 32, 39, 42			
	4.5	347	484	36	245	17	1.42	2.12	1.39	28, 31, 38, 41			
	9	273	422	30	245	17	1.11	1.76	1.55	28, 29, 31, 32, 38, 39, 41, 42			
	19	285	441	27	245	21	1.16	1.29	1.55	34			
	25	287	427	34	235	21	1.22	1.62	1.49	33, 35			
	40	284	441	32	235	21	1.21	1.52	1.55	36			
SM490YB	16	406	533	28	365	15	1.11	1.87	1.31	33			
	22	428	551	28	355	19	1.21	1.47	1.29	36			
	25	403	541	28	355	19	1.14	1.47	1.34	28, 29, 33, 38, 39			
	28	408	539	28	355	19	1.15	1.47	1.32	27, 35, 37, 41, 42			
	32	370	519	26	355	19	1.04	1.37	1.40	34			
	38	433	557	28	355	19	1.22	1.47	1.29	30, 31, 32, 36, 40			
SM520C-H	45	393	563	28	355	19	1.11	1.47	1.43	28, 29, 38, 39, 41, 42			
	50	408	566	34	355	21	1.15	1.62	1.39	27, 28, 29, 33, 35, 37, 38, 39, 41, 42			
	60	392	594	34	355	21	1.10	1.62	1.52	34			
	70	409	550	32	355	21	1.15	1.52	1.34	31, 32			
	75	374	583	35	355	21	1.05	1.67	1.56	30, 31, 32, 34, 35, 40			
		374	583	35	355	21	1.05	1.67	1.56				
		374	583	35	355	21	1.05	1.67	1.56				
		395	557	35	355	21	1.11	1.67	1.41				
SM490	16	349	529	26	315	17	1.11	1.53	1.52	43, 44			
	28	398	554	27	315	21	1.26	1.29	1.39	43, 44			
SM490YA	16	439	546	26	355	15	1.24	1.73	1.24	45, 46, 47, 51, 52, 53			
	25	481	589	26	355	19	1.35	1.37	1.22	48, 49, 50			
	32	417	533	29	355	19	1.17	1.53	1.28	45, 46, 47, 51, 52, 53			
SM520C	50	426	554	28	355	520~640	21	1.20	1.33	1.30	48, 49, 50		

b) 塗装の製品検査結果

本試験に使用した塗装の製品検査結果を表-3.2.5に示す。

表-3.2.5 塗装の製品検査結果

試験項目	成績					規格（鋼道路橋塗装用塗料標準）	
	無機ジンクリッチペイントA(※1)	無機ジンクリッチペイントB(※2)	無機ジンクリッチペイントC(※3)	無機ジンクリッチペイントD(※4)	有機ジンクリッチペイント(※5)	無機ジンクリッチペイント	有機ジンクリッチペイント
混合塗料中の加熱成分(%)	86	86	77	77	86	70以上	75以上
エポキシ樹脂の定性	—	—	—	—	合格	—	エポキシ樹脂を含む
加熱残分中の金属亜鉛(%)	82	82	82	82	82	75以上	70以上
容器の中での状態	合格	合格	合格	合格	合格	粉は微小で一様な粉末であるものとする。液はかき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になるものとする。	
乾燥時間	合格	合格	合格	合格	合格	5時間以下	6時間以下
可使時間	合格	合格	合格	合格	合格	5時間で使用できるものとする	
厚塗り性	合格	合格	合格	合格	合格	厚塗り性に支障があってはならない	
塗膜の外観	合格	合格	合格	合格	合格	塗膜の外観が正常であるものとする	
耐衝撃性（デュボン式）	合格	合格	合格	合格	合格	衝撃によって割れおよび剥がれが生じてはならない	
耐塩水噴霧性	合格	合格	合格	合格	合格	塩水噴霧に耐えるものとする	
耐水性	—	—	—	—	合格	水に浸したときに異常がないものとする	
屋外暴露耐候性	合格（保証）	合格（保証）	合格（保証）	合格（保証）	合格（保証）	2年間の試験でさび、割れ、剥がれおよび膨れがあってはならない。	

※1：供試体 No. 1、4～9、12～26

※2：供試体 No. 27～42

※3：供試体 No. 43、44

※4：供試体 No. 45～53

※5：供試体 No. 2、10

c) ボルトの機械的性質

本試験に使用したボルトの機械的特性を表-3.2.6 に示す。

表-3.2.6 ボルトの機械的特性

ボルト等級	呼び径	首下長 (mm)	数量	ボルト								ナット	座金	セット	
				4号試験片				製品				製品	製品	軸力 平均値 kN	トルク N・m
				耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %	引張荷重 kN	硬さ HRC	硬さ HRC	硬さ HRC				
S10T	規定値			900 以上	1000~ 1200	14 以上	40 以上	303(353) 以上	27~ 38	16~ 35	35~ 45	212(247)~ 256(398)	—		
	22	95	130	1043	1087	20	70	326	33	27	40	223	737		
	22	140	65	1062	1107	19	68	331	33	26	40	230	680		
	22	135	24	1053	1097	17	67	328	33	27	40	232	719		
	22	100	1	1030	1073	20	71	326	33	27	40	238	746		
	24	100	45	1058	1102	19	68	380	33	28	40	281	996		
	24	110	85	1031	1086	18	68	380	33	28	40	267	880		
24	145	65	1050	1093	20	68	379	33	28	40	276	960			
S14T	規定値			1260 以上	1400~ 1490	14 以上	40 以上	442(517) 以上	39~ 47	30~ 40	40~ 50	311(363)~ 373(435)	—		
	22	100	420	1337	1438	16	51	461	42	32	43	319	1061		
	22	110	85	1347	1449	16	52	463	43	32	44	350	1030		
	22	145	130	1327	1428	16	51	463	43	33	42	347	1055		
	22	100	40	1328	1428	17	52	455	43	31	43	334	1020		
	22	125	14	1338	1439	17	52	460	43	32	44	354	1044		
	22	140	24	1327	1428	17	51	457	43	31	43	328	1041		
	22	150	24	1331	1432	16	53	458	43	32	43	342	1014		
	22	160	14	1341	1441	16	52	460	43	32	43	342	1024		
	22	175	14	1347	1449	17	51	460	43	32	44	334	1070		
	22	180	14	1337	1438	17	53	460	43	32	42	346	1032		
	22	195	142	1352	1454	16	52	458	43	32	44	325	1037		
	22	105	1	1331	1432	17	54	459	44	32	43	351	1041		
	22	140	1	1348	1449	17	54	462	42	32	44	355	1041		
	24	105	380	1323	1423	16	53	535	43	32	43	388	1283		
	24	125	85	1355	1457	17	51	534	43	32	43	402	1330		
	24	150	130	1332	1432	16	52	533	42	32	43	410	1300		
	24	105	20	1344	1445	17	51	537	43	32	44	412	1275		
24	145	24	1333	1434	16	52	537	43	32	42	394	1283			
24	155	24	1345	1445	16	52	535	43	31	43	394	1298			
24	200	24	1342	1443	17	53	540	42	31	43	390	1291			

d) ボルトの校正試験結果

ボルトのひずみ測定値から軸力に換算するための校正係数を求める目的で、ひずみゲージを貼付けたボルトを用いてボルト単独の引張試験を行った。表-3.2.7 に校正試験結果を示す。

表-3.2.7 ボルトの校正試験結果

ボルト等級	呼び径	首下長 (mm)	校正 測定値	供試体番号
S10T	22	95	13	17, 18
		95	13.2	44
		140	13.2	19
		135	12.7	41, 42
		100	15.1	51, 52, 53
	24	100	10.7	20
		110	11	21
S14T	22	145	11.2	22
		100	12.7	1~5, 23, 24
		100	12.9	43
		110	12.8	7
		145	12.9	6, 8
		100	12.1	
		125	12.5	33
		140	12.3	28, 29
		150	12.3	27
		160	12.5	36
		175	12.5	35
		180	11.2	34
		195	11.2	30, 31, 32
	24	105	15.1	45, 46, 47
		140	14.9	48, 49, 50
		105	10.2	9~13, 25, 26
		125	10.2	15
		150	10.4	14, 16
		145	10.5	38, 39
		155	10.5	37
200	10.3	40		

(2) 実験供試体の組立

a) ボルトへのひずみゲージ貼付

試験に際して、可動側のボルト軸力の計測を行うため、ボルトの頭部にφ3mmの孔をあけたものを使用し、図-3.2.8の手順でひずみゲージを貼付けた。

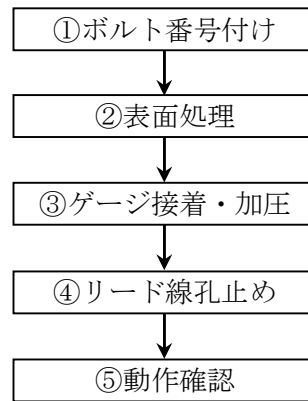


図-3.2.8 ボルトへのひずみゲージ貼付手順

軸力を測定する方法は、ねじ部に貼付けるタイプとする。供試体 No. 1～No. 42 に使用したボルトは、ボルトへのひずみゲージ貼付を試験前に行っていたが、ゲージ貼付作業時にボルトに付着しているオイルが一部取り除かれることが軸力減少の原因ではないかと推察されたため、No. 43～No. 53 については、表面の油分を調整したボルトを使用した。また、作業時に表面のオイルが取り除かれた場合には、オイルを再塗布して油分を保持した。

①ボルト番号付け

予め孔明け加工を施したボルト頭部全体を少量のアセトンにて洗浄して脱脂した後、図-3.2.9に示す位置に番号シールを張り付けた。

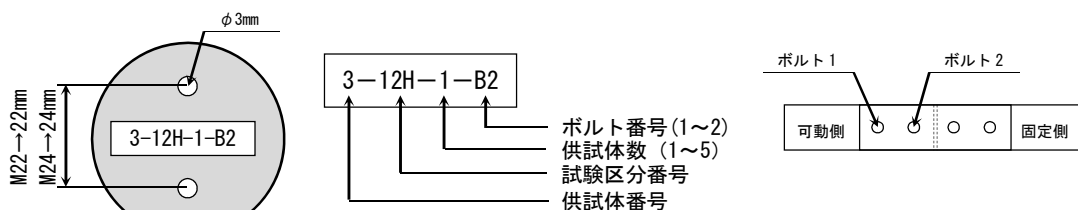


図-3.2.9 ボルト番号

②表面処理

サンドペーパーでゲージ貼付位置周辺を一様に研磨した後、少量のアセトンにて洗浄して脱脂する。

③ゲージ接着・加圧

ゲージ貼付用の接着剤を用いてゲージを図-3.2.10 に示す所定の位置に貼り付け、指にて加圧する。なお、ゲージの貼付位置は供試体にすべりが生じた時にゲージが断線しないよう配慮し、極力母板と連結板の境界にゲージが配置されない様に決定した。

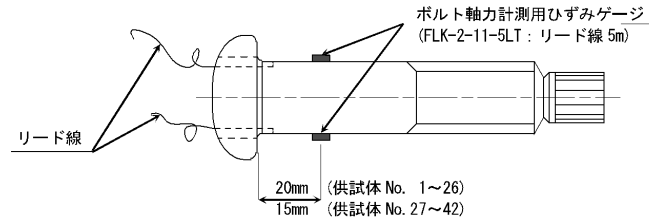


図-3.2.10 ゲージの貼付位置

④リード線孔止め

ボルトを立ててリード線が張っていない状態にした後、図-3.2.11 に示すように、③で用いた接着材を用いてリード線の孔を埋める。

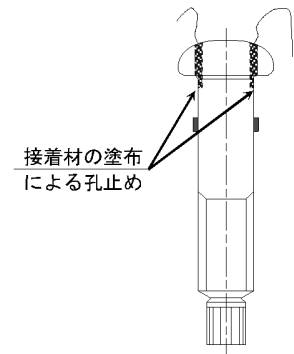


図-3.2.11 孔止め

⑤動作確認

リード線を小型データロガーに結線し、ひずみ値が正常か確認する。

b) 供試体の組立

供試体の組立は、図-3.2.12 の手順で行った。

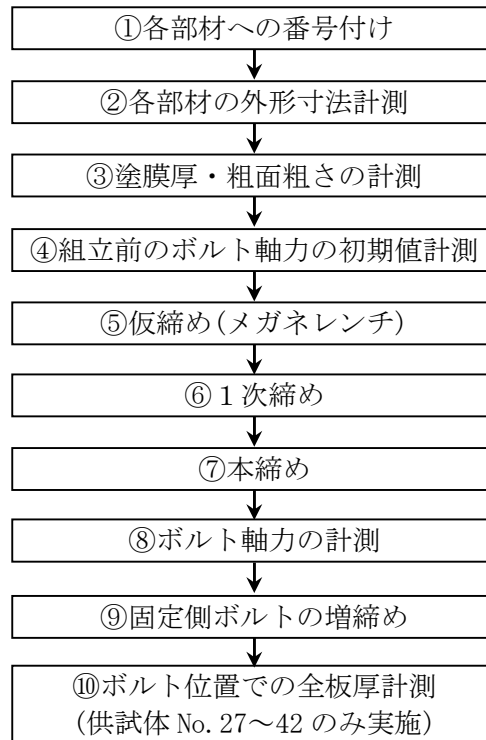


図-3. 2. 12 供試体の組立手順

①各部材への番号付け

図-3. 2. 9 の要領に従い、各部材に番号を付けた。

②各部材の外形寸法計測

組立前に各部材の実寸法を曲尺、ノギス等を用いて寸法計測を行った。寸法計測項目を図-3. 2. 13 に示す。寸法計測結果は参考資料-1 に示す。ほぼ設計値どおりの値を示し、すべり係数への影響は実質的になかったものと考えられる。

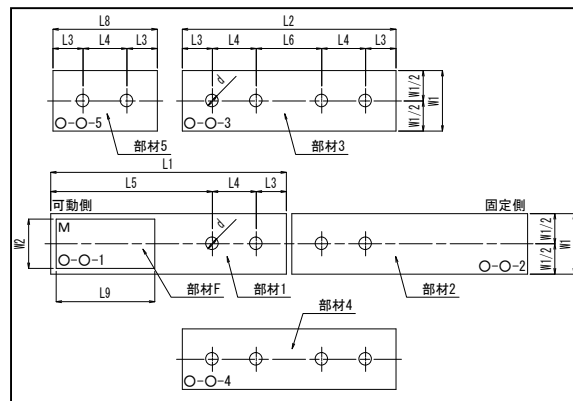


図-3. 2. 13(1) 供試体の寸法計測項目 (供試体 No. 1~No. 42)

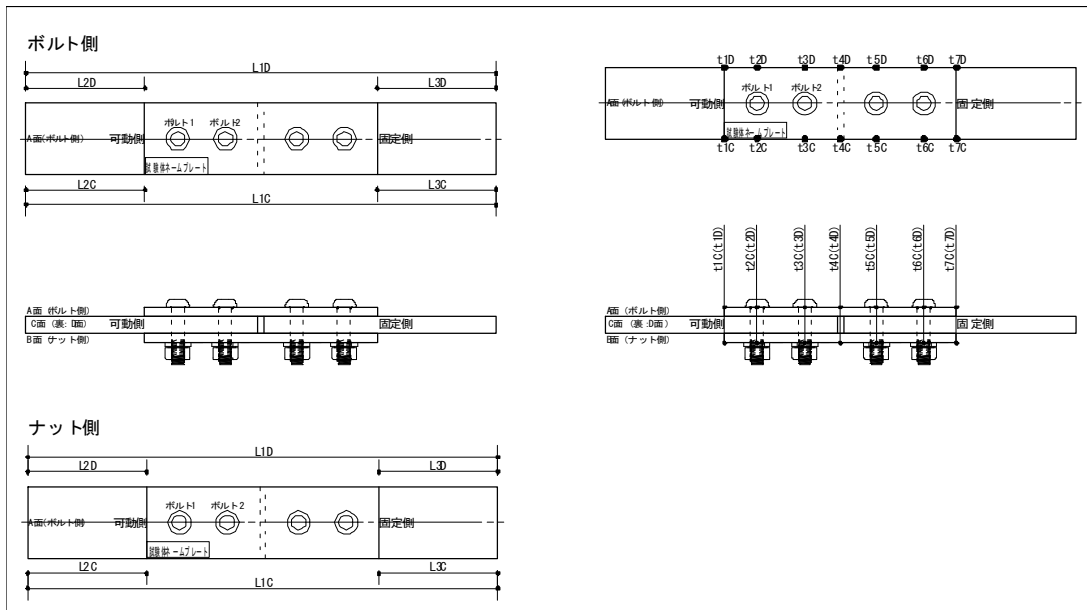


図-3.2.13(2) 供試体の寸法計測項目 (供試体 No. 43~No. 44)

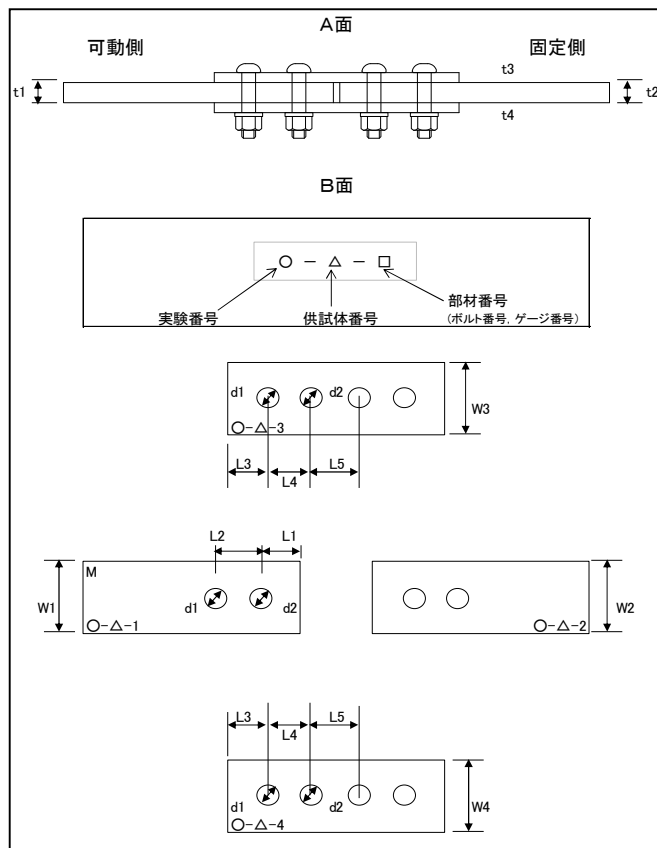


図-3.2.13(3) 供試体の寸法計測項目 (供試体 No. 45~No. 53)

③塗膜厚・表面粗さの計測

・塗膜厚の計測

本試験に使用した供試体の計測位置を図-3.2.14、合計塗膜厚の求め方を表-3.2.8、片面・合計塗膜厚の算出結果を表-3.2.9、図-3.2.15、図-3.2.16 にそれぞれ示す。

また、計測には膜厚計 LZ300C(仕様については表-3.2.10 を参照)を用いた。

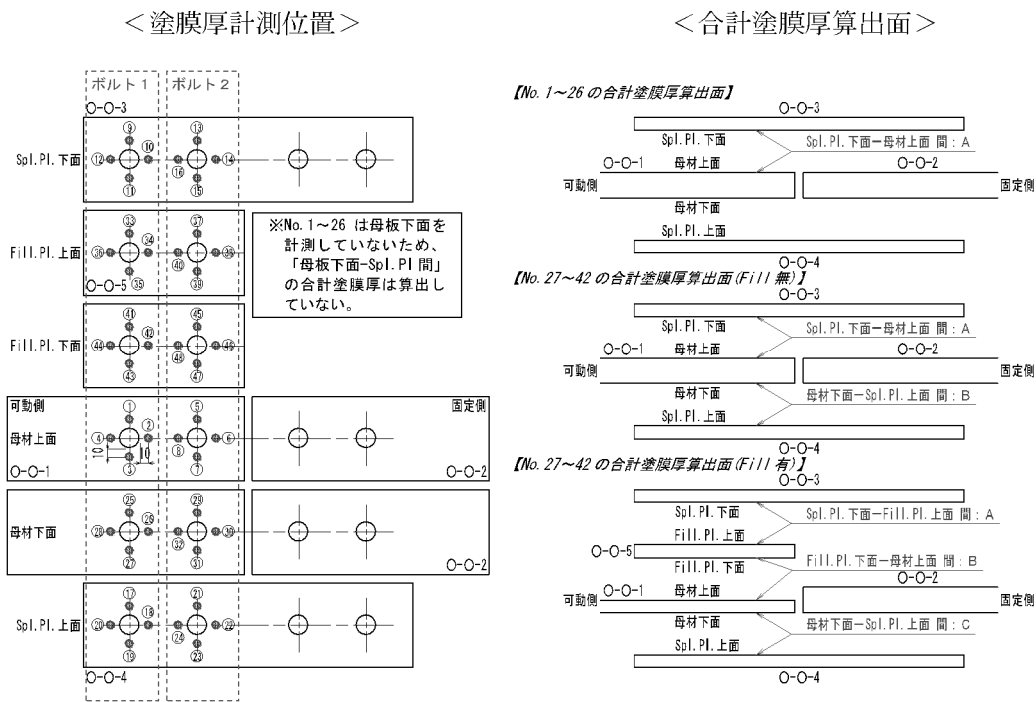


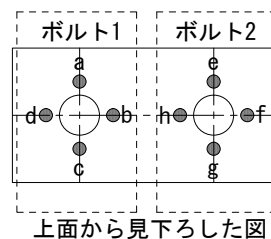
図-3.2.14 塗膜厚計測位置および合計塗膜厚算出面

上図で示した位置で計測した片側塗膜厚の結果をもとに、表-3.2.8 に示す方法で合計塗膜厚を算出した。

表-3.2.8 合計塗膜厚の算出方法

供試体条件	接合面の記号	接合面位置		ボルト1				ボルト2			
				a:上	b:右	c:下	d:左	e:上	f:右	g:下	h:左
Fill無	A	Spl. Pl. 3 (下面)	母材1 (上面)	11+1	10+2	9+3	12+4	15+5	14+6	13+7	16+8
	B	母材1 (下面)	Spl. Pl. 4 (上面)	27+17	26+18	25+19	28+20	31+21	30+22	29+23	32+24
Fill有	A	Spl. Pl. 3 (下面)	Fill. Pl. 5 (上面)	11+33	10+34	9+35	12+36	15+37	14+38	13+39	16+40
	B	Fill. Pl. 5 (下面)	母材1 (上面)	43+1	42+2	41+3	40+4	47+5	46+6	45+7	44+8
	C	母材1 (下面)	Spl. Pl. 4 (上面)	27+17	26+18	25+19	28+20	31+21	30+22	29+23	32+24

※表中の数字は、図-3.2.14 に示す計測位置の番号を示す。



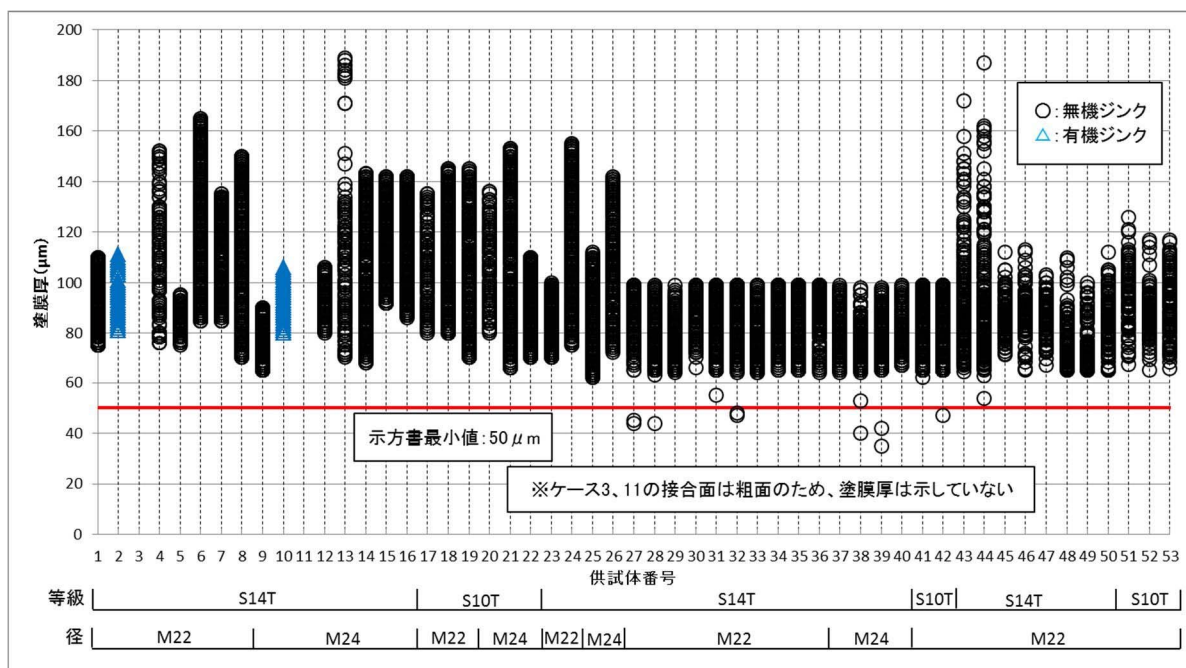


図-3.2.15(1) 各供試体における片面塗膜厚のばらつき

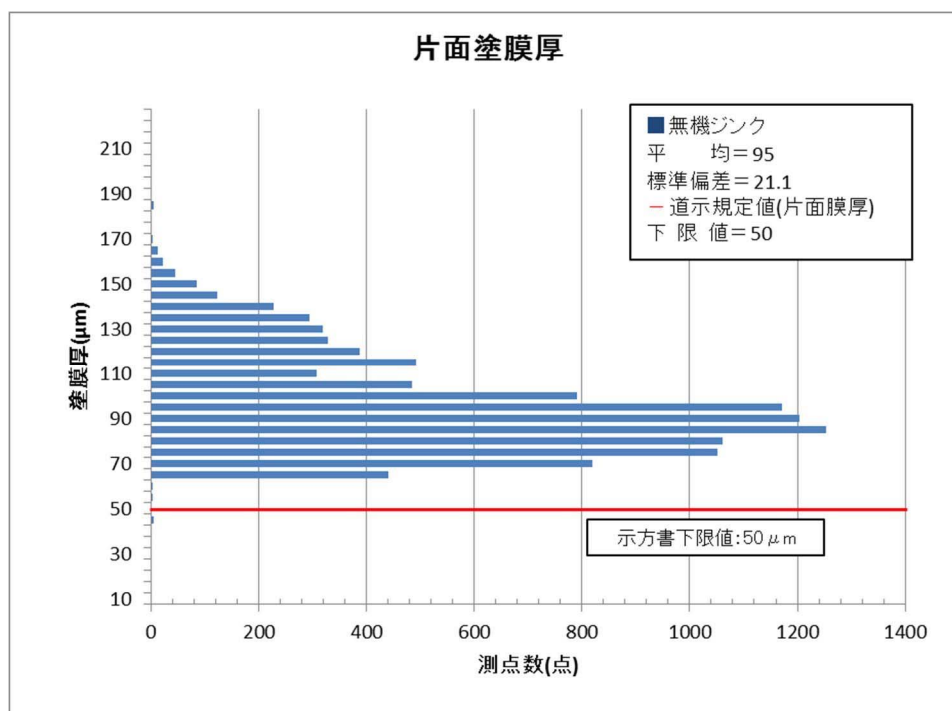


図-3.2.15(2) 全供試体の片面塗膜厚のばらつき

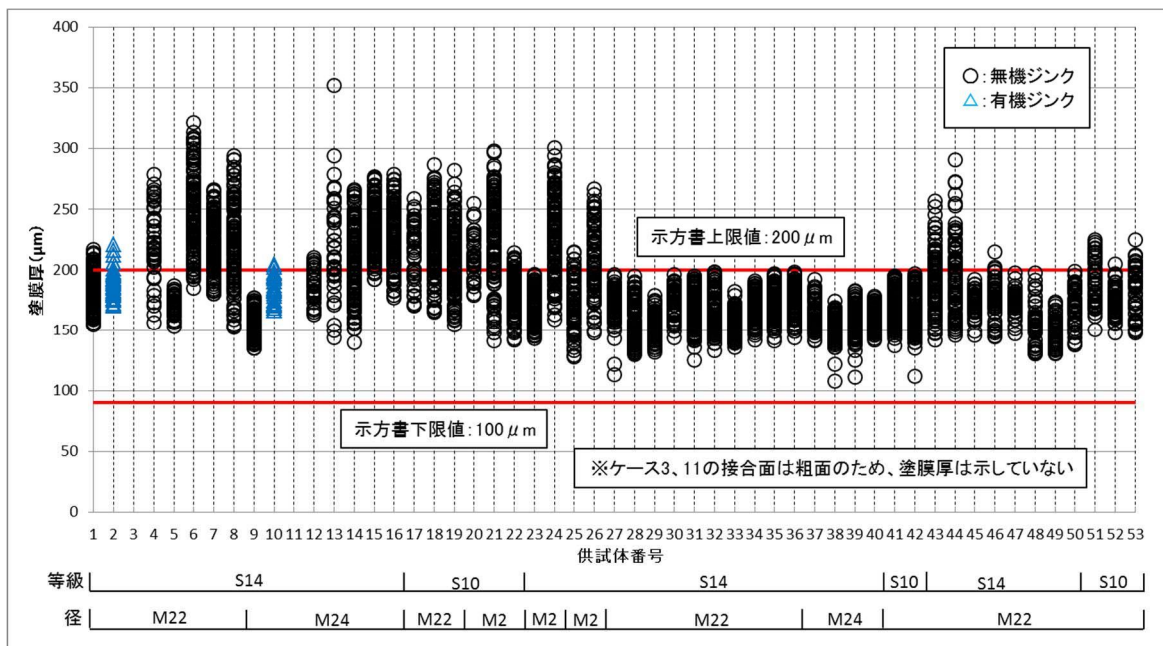


図-3.2.16(1) 各供試体における合計塗膜厚のばらつき

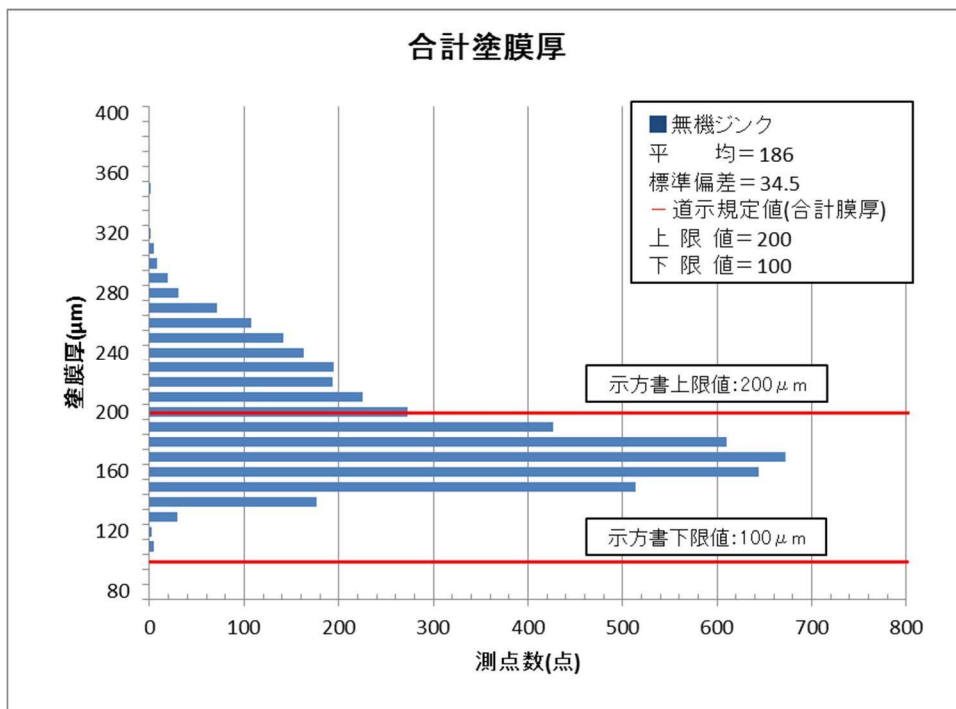
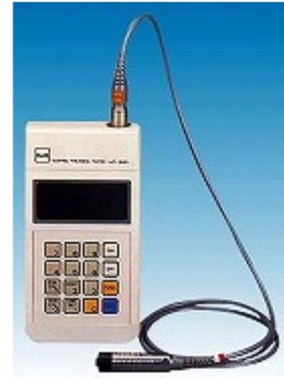


図-3.2.16(2) 全供試体の合計塗膜厚のばらつき

表-3.2.10 膜厚計の仕様

製品名	膜厚計 LZ300C
メーカー	ケット科学研究所
測定方式	電磁誘導式/高周波式
測定範囲	電磁式:0~1500 μm , 高周波式:0~800 μm
測定精度	50 μm 未満: $\pm 1 \mu\text{m}$, 50 μm 以上: $\pm 3\%$
分解能	100 μm 未満: 0.1 μm , 100 μm 以上: 1 μm
最小測定面積	5×5mm



片面塗膜厚については、道示で規定された下限値を下回る試験体が複数体存在した。しかし、両面塗膜厚を見ると、道示で規定された下限値を下回る試験体は存在しなかった。上限値を超過する試験体が多数存在したことについて、文献 3.6) では塗料の種類によっては塗膜厚が 200 μm を超えるとすべり係数が低下する場合があるとしているが、後述するように、本試験ではすべり係数 μ_2 の不足は見られなかった。

・粗面粗さの計測

本試験に使用した供試体(ケース 3 および 11)において組立前に実施した粗面粗さ計測の計測位置を図-3.2.17 に、算術平均粗さ Ra と十点平均粗さ Rz (JIS B 0601) の計測結果を表-3.2.11、図-3.2.18、図-3.2.19 にそれぞれ示す。

また、計測には表面粗さ計 SJ301 (仕様については表-3.2.12 を参照) を用いた。

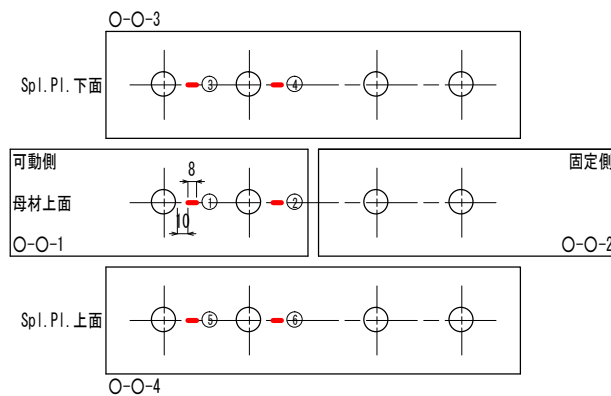


図-3.2.17 計測位置

表-3.2.11 粗面粗さ計測結果一覧

供試体 番号	試験 区分	母材1(上面)				Spl.PI.3(下面)				Spl.PI.4(上面)				平均値	
		1		2		3		4		5		6			
		Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
3-1	1 2 H	8.1	57.0	9.1	53.2	7.9	57.3	7.8	55.2	7.2	44.4	7.1	52.5	7.9	53.3
3-2		8.0	51.5	9.1	62.0	7.6	55.9	8.3	63.3	7.4	51.8	7.6	50.5	8.0	55.8
3-3		8.5	59.6	9.8	64.7	6.8	48.4	9.5	60.1	8.3	50.0	8.2	54.2	8.5	56.2
3-4		7.5	53.0	8.5	51.1	9.4	63.8	8.0	56.2	9.0	59.5	8.6	53.4	8.5	56.2
3-5		10.6	66.5	9.6	59.8	7.9	53.5	7.5	50.3	7.8	48.1	8.3	54.6	8.6	55.5
3-6	1 ヶ月	8.6	59.3	9.2	55.6	8.4	52.0	7.9	58.9	9.2	62.1	8.9	57.0	8.7	57.5
3-7		7.3	54.2	7.2	53.5	9.1	57.0	8.5	57.7	8.0	56.0	8.2	55.3	8.1	55.6
3-8		8.1	55.9	8.1	54.2	9.4	62.4	9.8	66.5	9.5	61.3	7.6	55.2	8.8	59.3
3-9		7.9	54.1	8.6	59.1	9.0	58.7	8.2	57.9	9.1	55.3	8.5	59.4	8.6	57.4
3-10		9.1	65.4	8.8	55.2	8.9	59.8	7.5	50.9	8.1	53.5	7.5	47.7	8.3	55.4
3-11	長 期	8.5	56.6	8.6	60.7	8.4	49.4	7.2	47.5	8.2	58.4	10.5	61.8	8.6	55.7
3-12		8.9	63.1	9.7	58.1	8.3	57.0	8.4	54.9	8.0	50.2	8.0	58.5	8.6	57.0
3-13		8.5	58.1	11.3	70.4	7.4	49.5	9.2	61.7	7.1	49.4	8.0	52.7	8.6	57.0
3-14		8.2	52.1	8.7	51.6	8.3	53.3	8.3	54.5	8.4	55.4	8.6	54.1	8.4	53.5
3-15		7.9	52.1	8.8	61.3	8.3	49.6	8.1	50.7	8.3	54.9	9.2	61.6	8.4	55.0
11-1	1 2 H	8.0	58.9	9.3	54.1	7.8	65.0	8.8	57.5	10.5	68.4	9.4	60.5	9.0	60.7
11-2		9.5	61.3	9.4	51.9	9.0	55.0	9.7	63.1	10.2	63.4	8.8	61.0	9.4	59.3
11-3		9.4	58.0	8.5	58.1	8.5	52.0	10.1	61.5	10.8	70.0	7.6	62.3	9.2	60.3
11-4		10.6	70.3	9.1	60.5	9.4	60.2	9.4	57.5	6.9	54.1	7.6	55.1	8.8	59.6
11-5		7.9	51.7	7.8	47.2	8.7	55.1	8.4	55.0	8.4	58.9	7.4	49.4	8.1	52.9
11-6	1 ヶ月	10.7	62.6	9.0	61.4	8.7	50.6	8.3	51.6	10.4	65.3	9.2	57.1	9.4	58.1
11-7		9.5	57.4	6.4	45.2	10.0	64.4	8.6	58.0	7.2	49.9	8.9	55.4	8.4	55.1
11-8		9.2	56.4	7.9	54.5	9.5	55.0	9.3	53.4	9.6	63.2	9.1	55.9	9.1	56.4
11-9		9.9	64.1	8.9	57.2	8.0	46.6	7.9	51.7	8.9	53.6	8.7	60.5	8.7	55.6
11-10		12.7	76.7	8.8	58.1	9.7	57.7	9.2	57.4	9.9	65.7	8.8	60.6	9.9	62.7
11-11	長 期	10.8	68.0	10.2	66.6	10.2	63.4	9.7	60.7	10.0	64.0	9.6	60.4	10.1	63.9
11-12		10.3	71.6	8.3	56.5	10.2	73.4	9.6	68.5	9.9	65.8	8.9	62.1	9.5	66.3
11-13		10.4	63.3	8.7	59.4	10.2	60.6	9.5	57.7	9.8	59.8	10.5	71.2	9.9	62.0
11-14		9.9	63.0	9.1	55.8	9.5	57.5	8.6	60.0	8.7	54.1	9.0	56.3	9.1	57.8
11-15		8.8	53.6	9.0	59.5	11.1	64.8	9.7	58.9	7.3	52.1	9.3	61.8	9.2	58.5

表-3.2.12 表面粗さ計の仕様

製品名(メーカー)	SJ301(サーフテスト)	
測定範囲	Z軸(縦方向)	350 μm
	Y軸(横方向)	12.5mm
駆動部	測定速度	0.25 , 0.5mm/s
測定曲線	断面曲線, 粗さ曲線, DIN4776, MOTIF	
測定パラメータ	Ra, Ry, Rz, Rq, Pc, R3z, mr, Rt ほか	
フィルタ	2CR75(位相保証無し), PC75 PC50(ガウシアン)	
カットオフ値	(λc)	0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8mm
	(λs)	2.5, 8, 25 μm
区間数	X1, X3, X5, L(任意長さ)	
任意長さ	0.3~12.5mm(0.1mm単位)	
基準長さ(L)	0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8mm	
備考	規格	新 JIS/旧 JIS/DIN/ISO/ANSI 切替可能



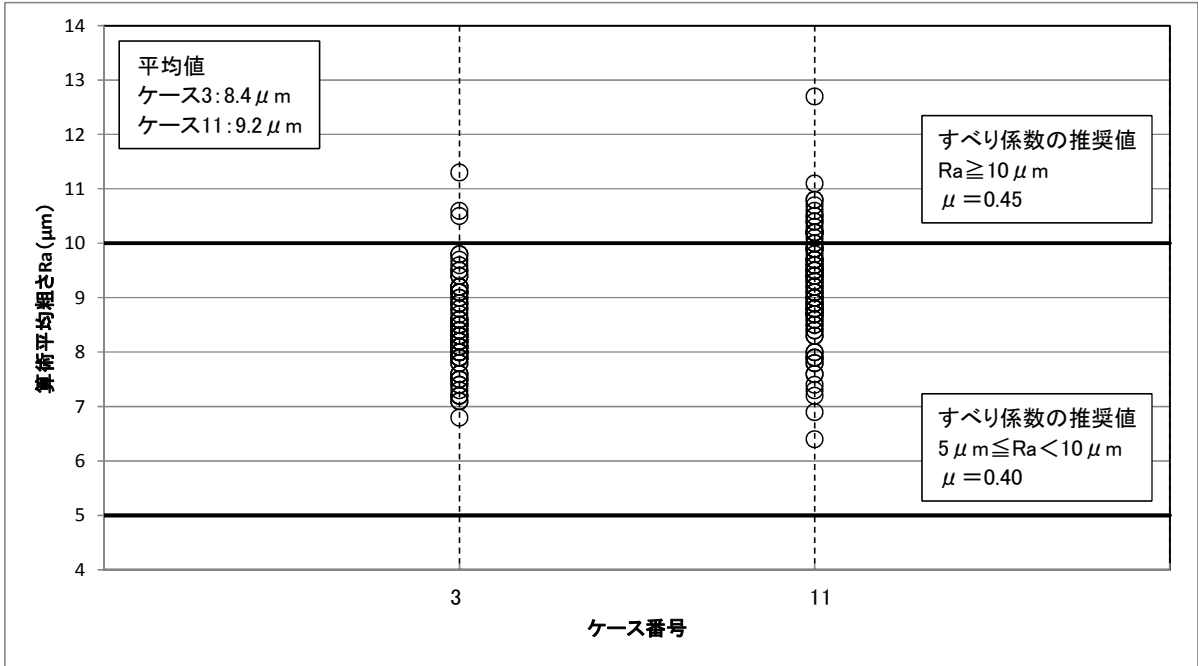


図-3.2.18(1) 算術平均粗さ Ra

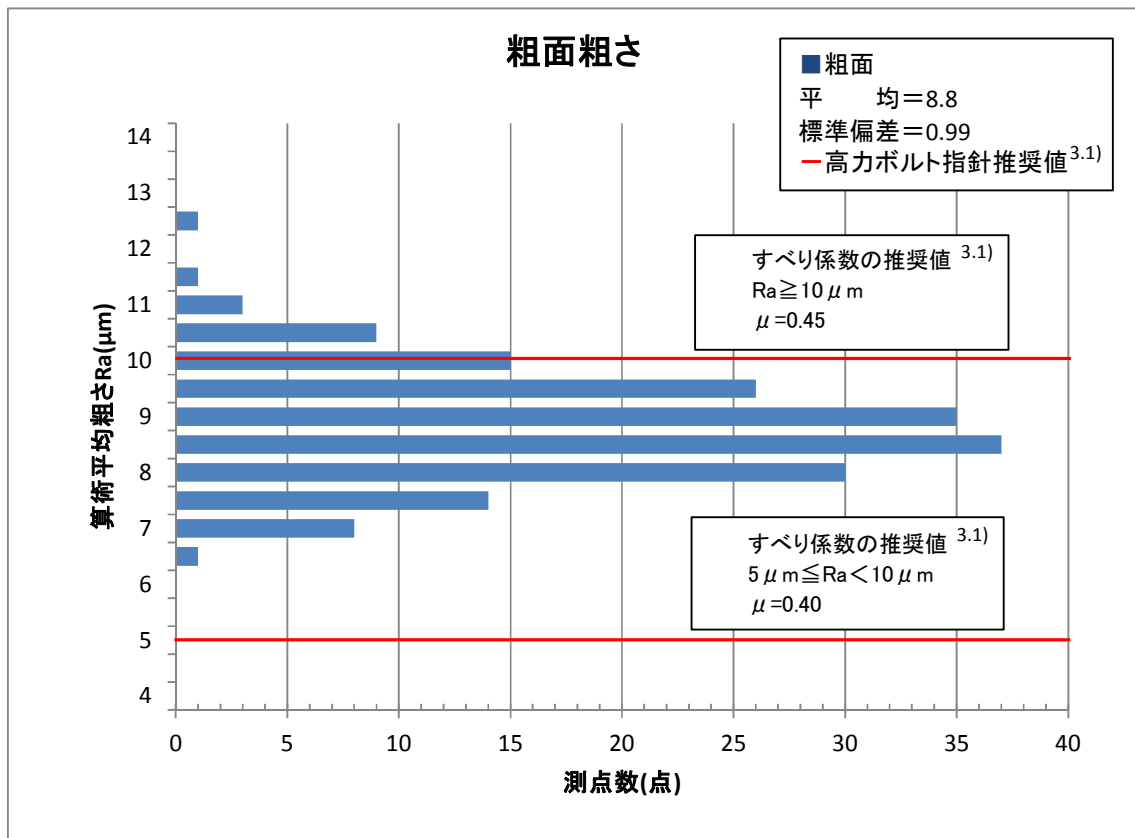


図-3.2.18(2) 算術平均粗さ Ra のばらつき

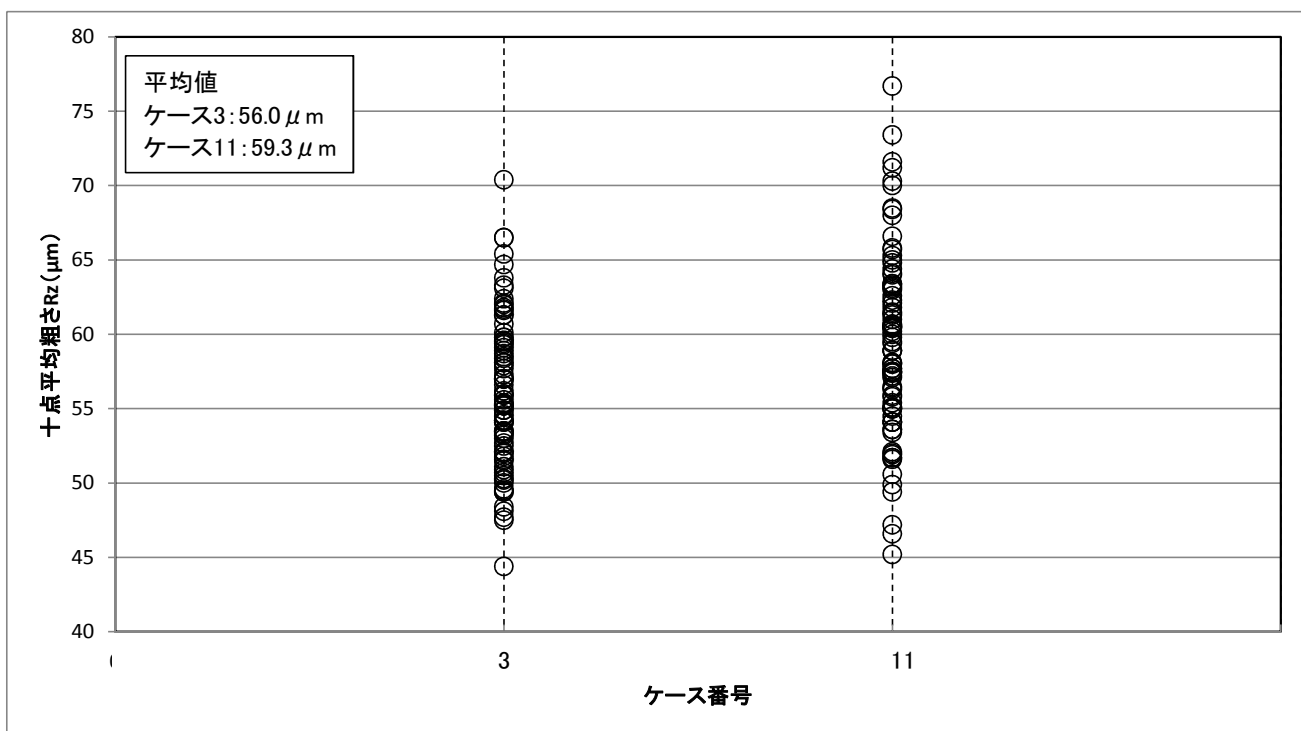


図-3. 2. 19(1) 十点平均粗さ R_z

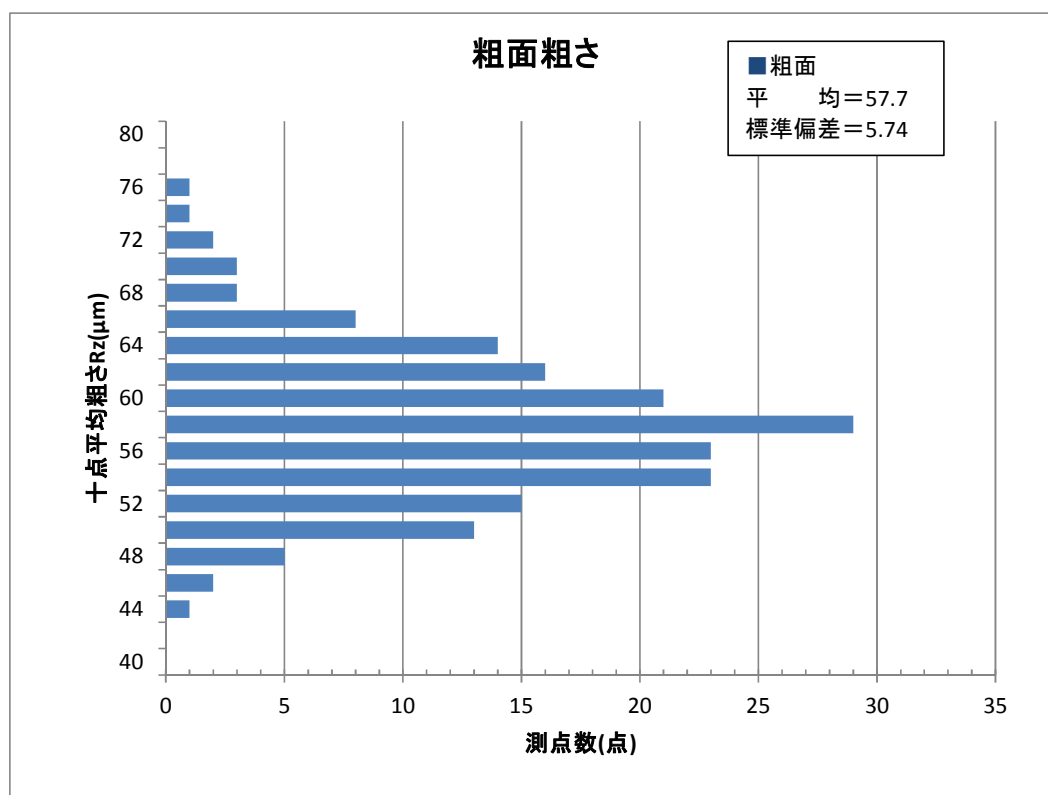


図-3. 2. 19(2) 十点平均粗さ R_z

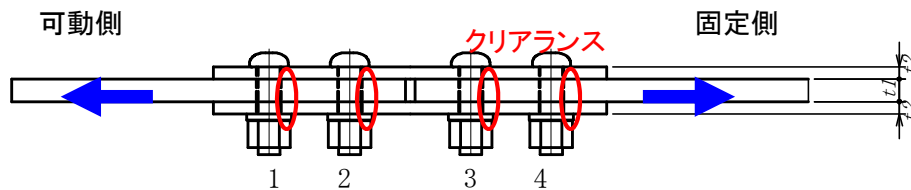
④組立前のボルト軸力の初期値を計測

⑤メガネレンチによる仮締め，ボルト孔クリアランス調整

※ゲージは載荷方向と直角の方向にセット

※ボルト中心を極力、ボルト孔中心にセットする。

具体的にはクリアランスを、極力、 $(\text{ボルト孔径} - \text{ボルト径})/2$ となるように、セットする。



⑥ 1次締め（締付順序：2番→3番→1番→4番）

※下表のとおりに締付トルク値を設定

	S10T	S14T
レンチ型式	KS-241、KS4001B	KS-4001B
M22	弱：150～300N・m	300N・m
M24	強：200N・m	400N・m

⑦本締め

※S10T，SHTBともにシャーレンチ H-241C を使用

<参考>本締め必要トルク

	S10T	S14T
M22	約 600～700N・m	約 1000N・m
M24	約 800～850N・m	約 1200N・m

⑧ピンテール切断後 30 秒後にボルト軸力計測

⑨増締め用マーキング（白ペン）

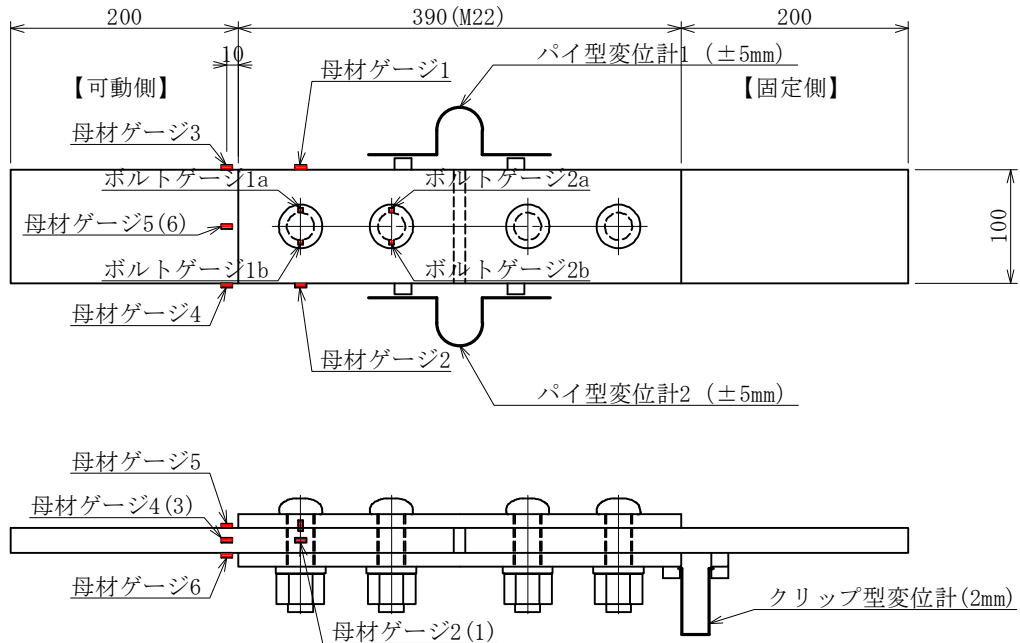
⑩固定側増締め

※下表のとおりに増締めトルク値を設定（1割～2割程度の増締め）

	S10T	S14T
レンチ型式	SR-111	STC-5A+増力器
M22	$700 \times 1.1 \doteq 800\text{N}\cdot\text{m}$ (No. 17～19) $700 \times 1.2 \doteq 840\text{N}\cdot\text{m}$ (No. 41, 42)	$300 \times 4.1 = 1230\text{N}\cdot\text{m}$ (No. 1～8, 23, 24, 27～36)
M24	$850 \times 1.1 \doteq 950\text{N}\cdot\text{m}$ (No. 20～22) $850 \times 1.2 \doteq 1020\text{N}\cdot\text{m}$	$350 \times 4.1 = 1435\text{N}\cdot\text{m}$ (No. 9～16, 25, 26, 37～40)

c) 供試体ゲージの貼付

組み立てた供試体の図-3.2.20 に示す位置に、母板ひずみゲージ、パイ型変位計、クリップ型変位計を張り付ける。母板ひずみゲージの貼り付けは、可動側の母板に図-3.2.21 に示す手順で行った。



※母材ゲージ3～6は、実験種別『1ヶ月』における母材ひずみの追加分4点のこと。

図-3.2.20 供試体の計測箇所と番号

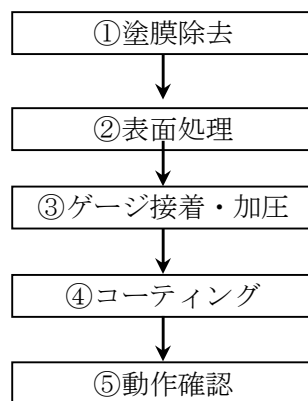


図-3.2.21 供試体へのひずみゲージ貼付手順

①塗膜除去

グラインダーでゲージ貼付位置周辺の塗膜を除去する。

②表面処理

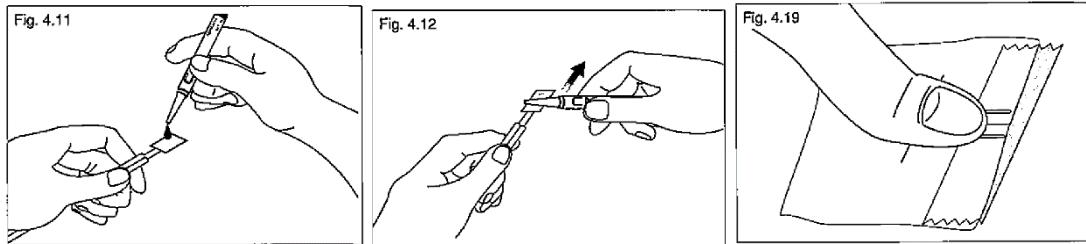
サンドペーパーでゲージ貼付位置周辺を一様に研磨し、アセトンにてゲージ貼付位置周

辺を洗浄して脱脂する。

③ゲージ接着・加圧

ひずみゲージを所定の位置にセロハンテープで仮貼付する。

セロハンテープを必要なところまで剥がし、ゲージベースの裏面にCN接着剤を滴下する。剥がしたテープを再び貼り、ポリシートをあてがい指圧する。CN接着剤は硬化が早いいため素早く作業し、抑え時間は60秒以上とする。



※(株)東京測器研究所：ひずみゲージユーザーズガイドより引用

図-3.2.22 ゲージ接着・加圧手順

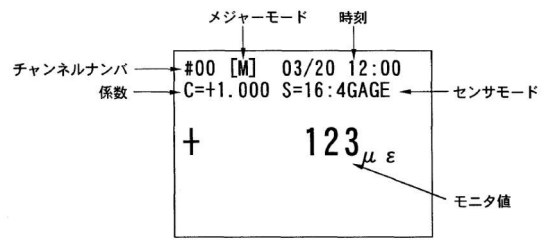
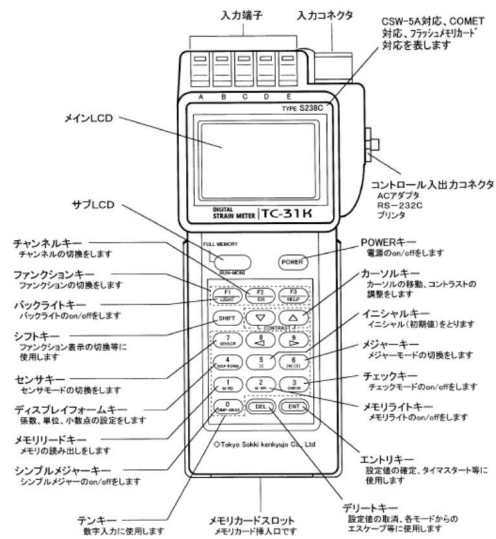
④コーティング

仮止め用のセロハンテープを剥がし、ゲージとはみ出した接着剤を覆う範囲にN-1コーティング剤を筆で薄めに一塗りし、硬化するまで約1時間放置する。

⑤動作確認

3線式のリード線をTC-31Kに結線し、ひずみ値が正常か確認する。判断基準は以下のとおりである。

- ・1桁目の数字が $\pm 1 \mu \varepsilon$ ばらつく程度であればよい。
- ・ $5000 \mu \varepsilon$ を超える値の場合、内在物が混入している可能性がある。
- ・ゲージを少し指圧して変化したひずみ値が指圧前の数字に戻ればよい。



1ゲージ3線法	11 : 1GAGE 120Ω	1ゲージ : 120、240、350Ω
	12 : 1GAGE 240Ω	
	13 : 1GAGE 350Ω	

図-3.2.23 ひずみゲージ動作確認

3.2.4 試験結果

(1) ボルト軸力低下（リラクセーション）関係

代表ケースの10分間毎インターバル計測を行った結果を図-3.2.24に示す。本締めから概ね10日間程度でリラクセーションが収まり、一定値に漸近していることがわかる。

また、テストピースとして無載荷状態のボルト軸力と温度を計測したものを図-3.2.25に示す。ボルト温度が安定しているため無載荷状態でのボルト変動軸力は0.5kN程度であった。

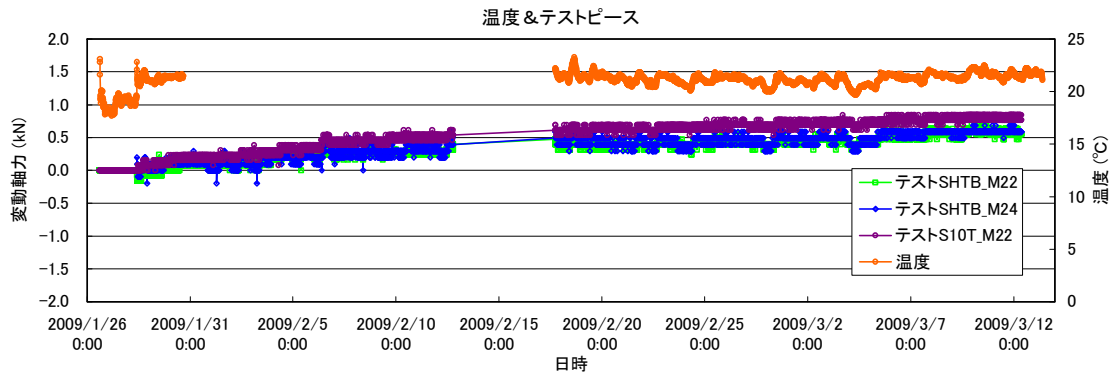


図-3.2.24 10分毎インターバル計測によるボルト導入軸力の経時変化（代表ケース）

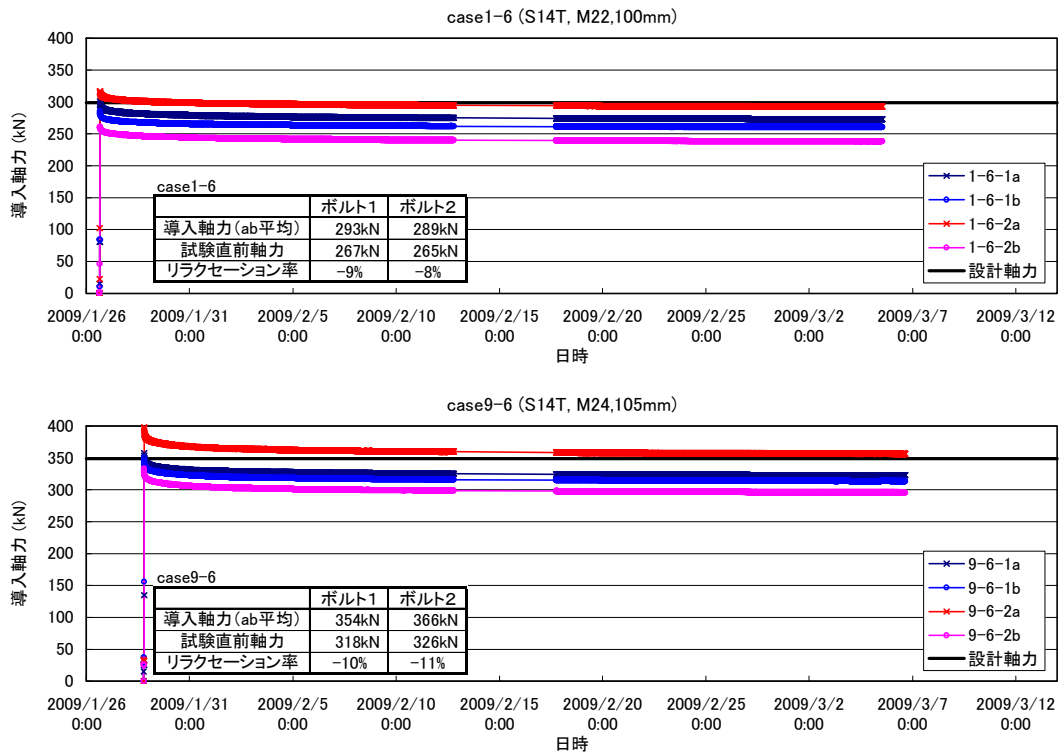
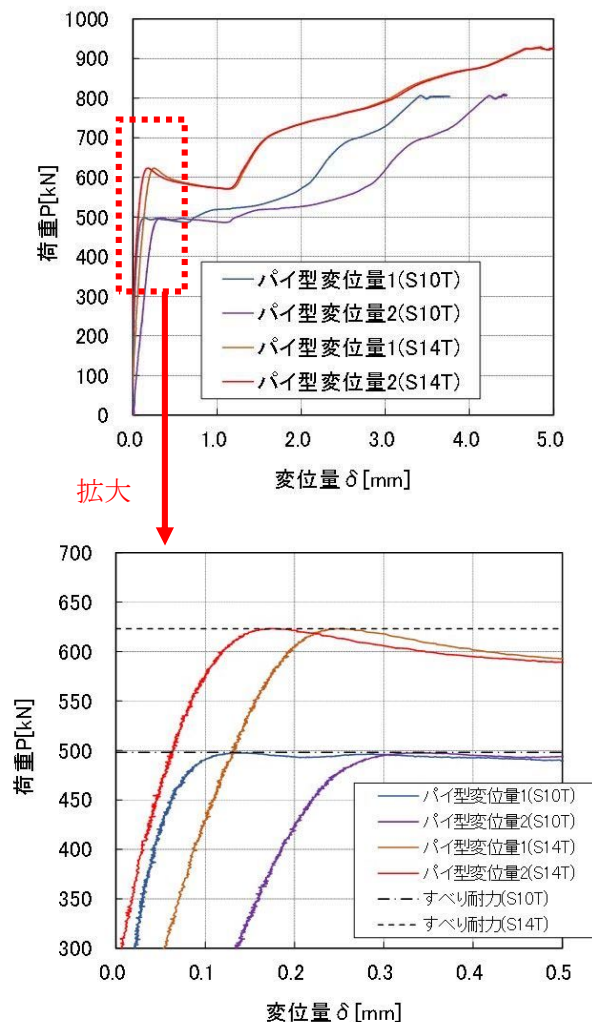


図-3.2.25 無載荷状態のボルトの温度変化と軸力変化（代表ケース）

(2) すべり耐力の定義

すべり耐力は、文献3.5), 3.7)によると、「荷重と母板間の相対変位の関係において、荷重を載荷後はじめは線形関係にあるが、その後、荷重が増加しなくなり母板間の相対変位が急激に増加する状態をすべりが生じた状態とし、このときの荷重をすべり耐力」と定義している。本研究でも同様な定義とする。代表ケースの荷重と母板間の相対変位の関係を図-3.2.26に示す。母板間の相対変位は、パイ型変位計で計測する連結中心における左右の母板間の変位の平均値である。図-3.2.26は連結部が破断するまで載荷した試験結果の代表例である。本検討ではすべり耐力に着目しているが、すべり後の破断までの継手部の変形能や荷重増加などの挙動について、S14TはS10Tと類似した挙動を示していることがわかる。



供試体No. 45-1 (S14T)、No. 53-1 (S10T)

図-3.2.26 荷重-母板間の相対変位の関係 (代表ケース)

(3) 試験結果一覧

各供試体のすべり係数 μ に着目して整理した結果を図-3.2.27～図-3.2.34に示す。ここで、 μ_1 は設計軸力を用いて式(3.1)により算出したすべり係数であり、 μ_2 は試験直前の軸力を用いて式(3.2)により算出したすべり係数である。

$$\mu_1 = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \quad (3.1)$$

$$\mu_2 = \frac{P}{m \cdot n \cdot N_2} \quad (3.2)$$

ここで、 μ_1 ：設計ボルト軸力 M に対するすべり係数

μ_2 ：試験直前のボルト軸力 N_2 に対するすべり係数

N ：道示Ⅱ表-解3.2.6 高力ボルトの許容力に示される設計ボルト軸力で、ボルトの降伏点(N_y)に対する比率 α とボルトの耐力(σ_y)、ボルトのねじ部の有効断面積(A_e)を乗じた式で計算される(N)

S10Tの場合：205kN(M22)、238kN(M24)

S14Tの場合：299kN(M22)、349kN(M24)

N_2 ：試験直前のボルト軸力（実測値）(N)

P ：すべり耐力(N)

m ：摩擦面数

n ：ボルト本数

接合面処理に有機ジンクリッチペイントを用いたケースNo. 2およびNo. 10を除いて、すべり係数 μ_1 、 μ_2 ともに道示の規定値($\mu=0.45$ [無機ジンクリッチペイント]、 0.40 [粗面])を上回る値を示している。

供試体の保管期間『12H』『1ヶ月』『長期』のちがいについては、3.5節で示すが、保管期間が長くなるとすべり係数 μ_2 は微増するもののほぼ同じ値を示している。ボルト軸力についてはリラクセーションが生じるが、今回実験を行った保管期間の中では大きな差が生じていないため、すべり係数 μ_1 についても保管期間のちがいによる明確な差は見られなかった。

以上を踏まえて、保管期間のちがいによるすべり係数を分類しない全ケースについて、接合面処理ごとにすべり係数の相対密度を整理したものを図-3.2.35～図-3.2.40に示す。これより、S14TはS10Tと同等のすべり係数を確保していることが明らかであり、本試験結果では、すべり係数 μ_1 が道示に規定されたすべり係数を確率99.9%以上で超過した。

【全ケース（12時間、1ヶ月、長期）】

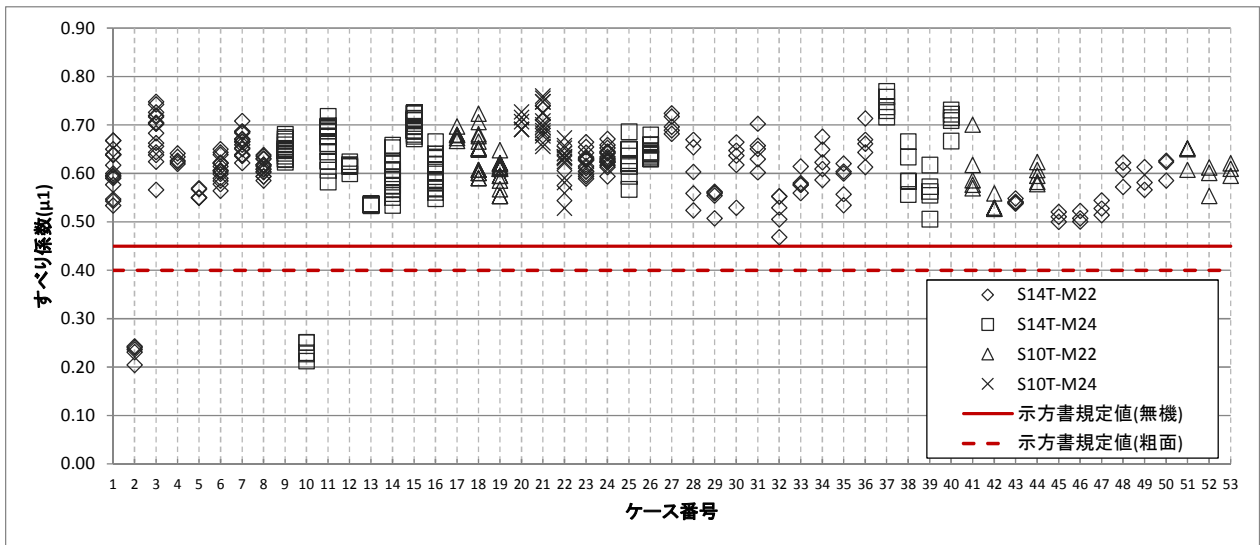


図-3.2.27 すべり係数 ($\mu 1$) (全ケース)

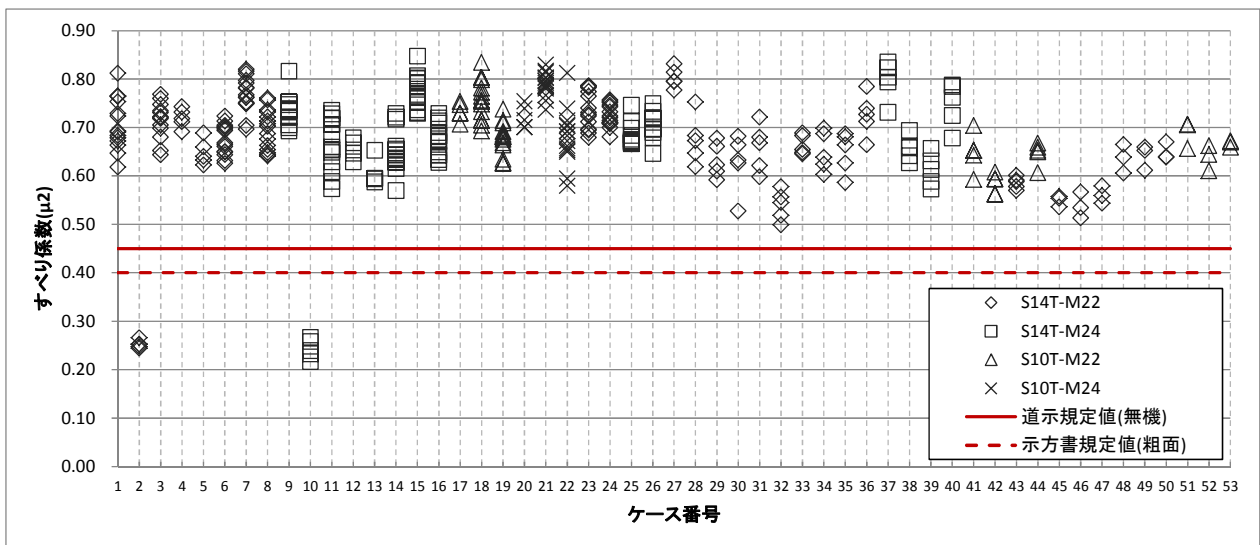


図-3.2.28 すべり係数 ($\mu 2$) (全ケース)

【（12時間）ケース】

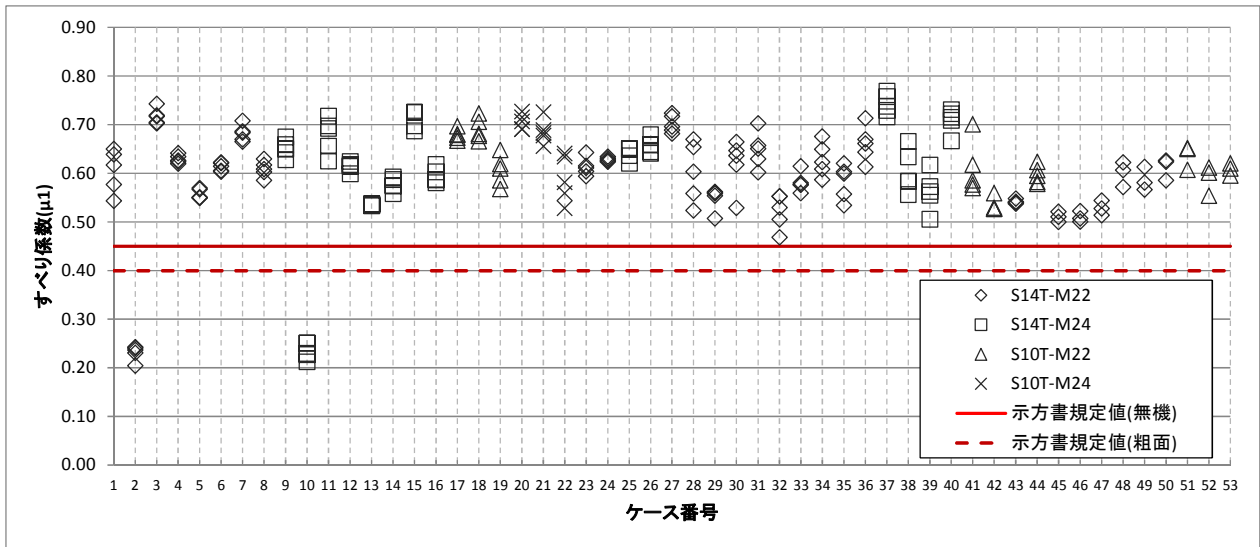


図-3.2.29 すべり係数 ($\mu 1$) (12時間)

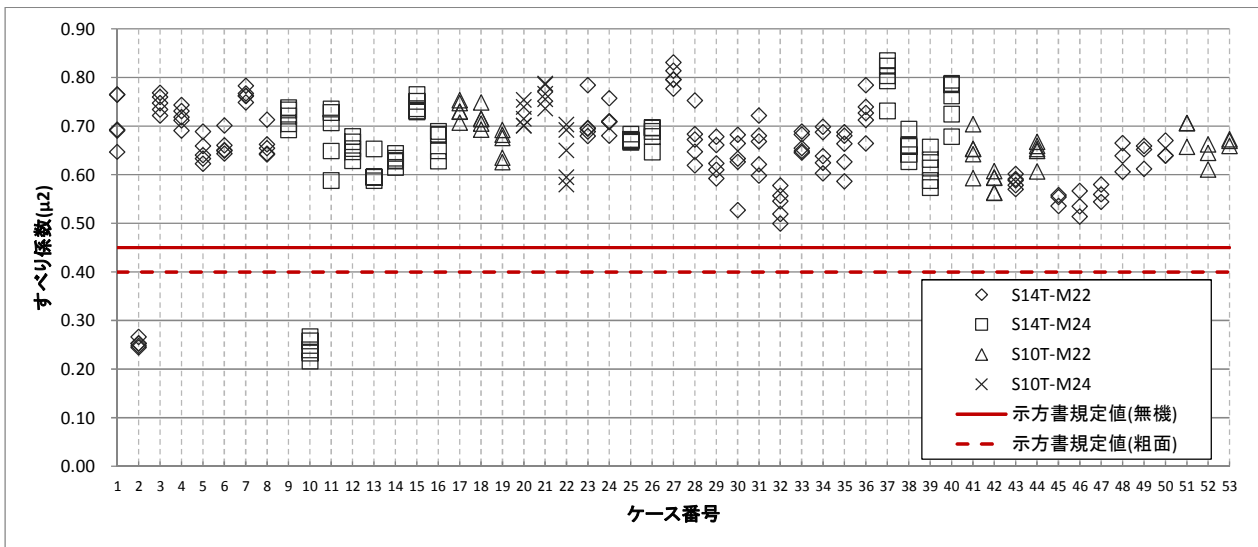


図-3.2.30 すべり係数 ($\mu 2$) (12時間)

【(1ヶ月) ケース】

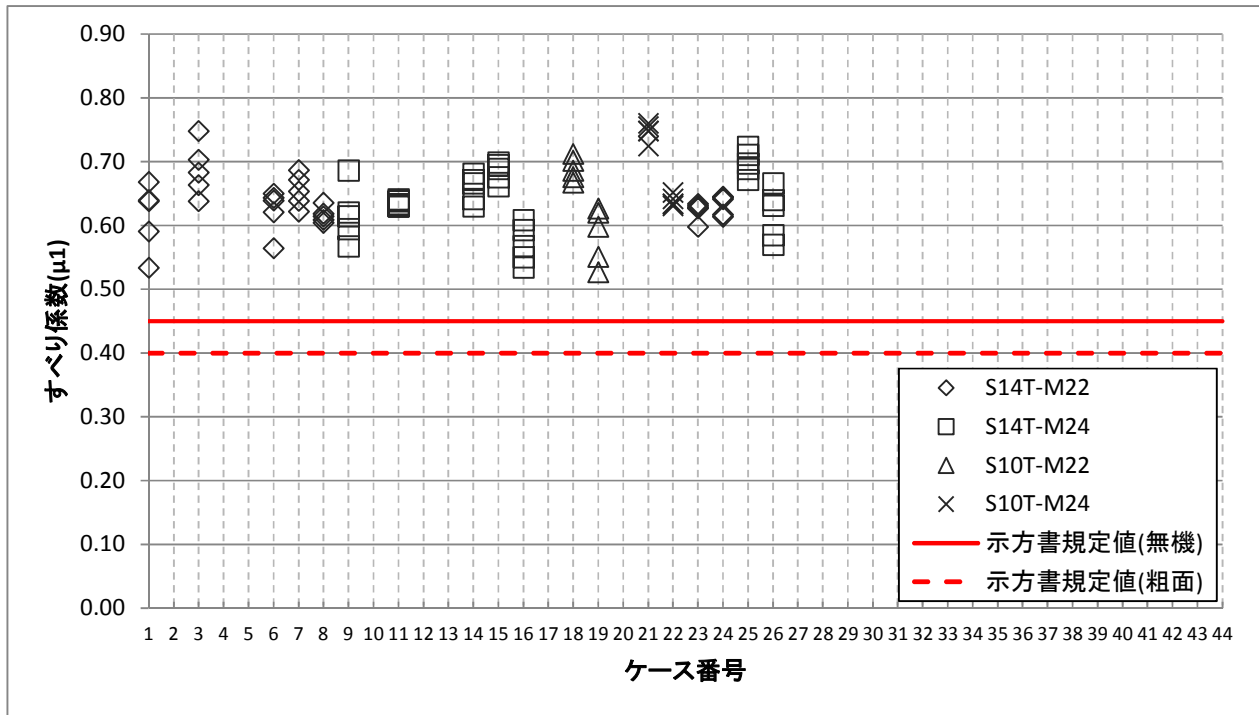


図-3.2.31 すべり係数 ($\mu 1$) (1ヶ月)

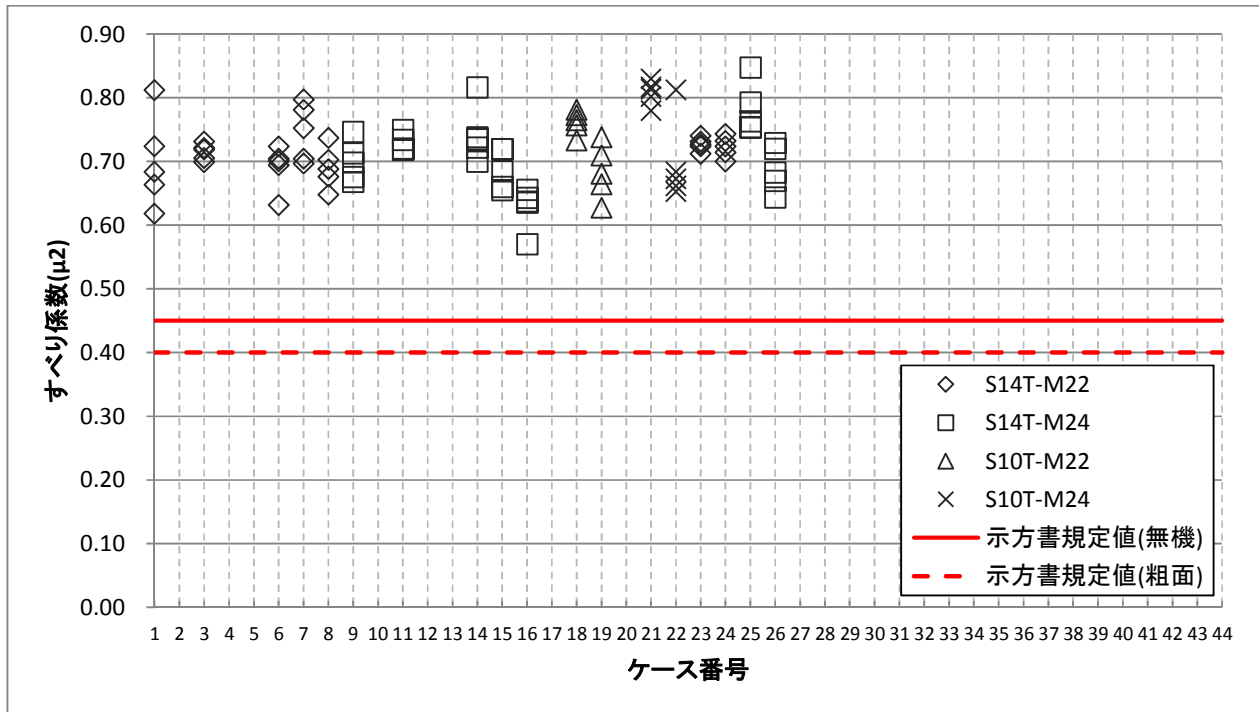


図-3.2.32 すべり係数 ($\mu 2$) (1ヶ月)

【（長期）ケース】

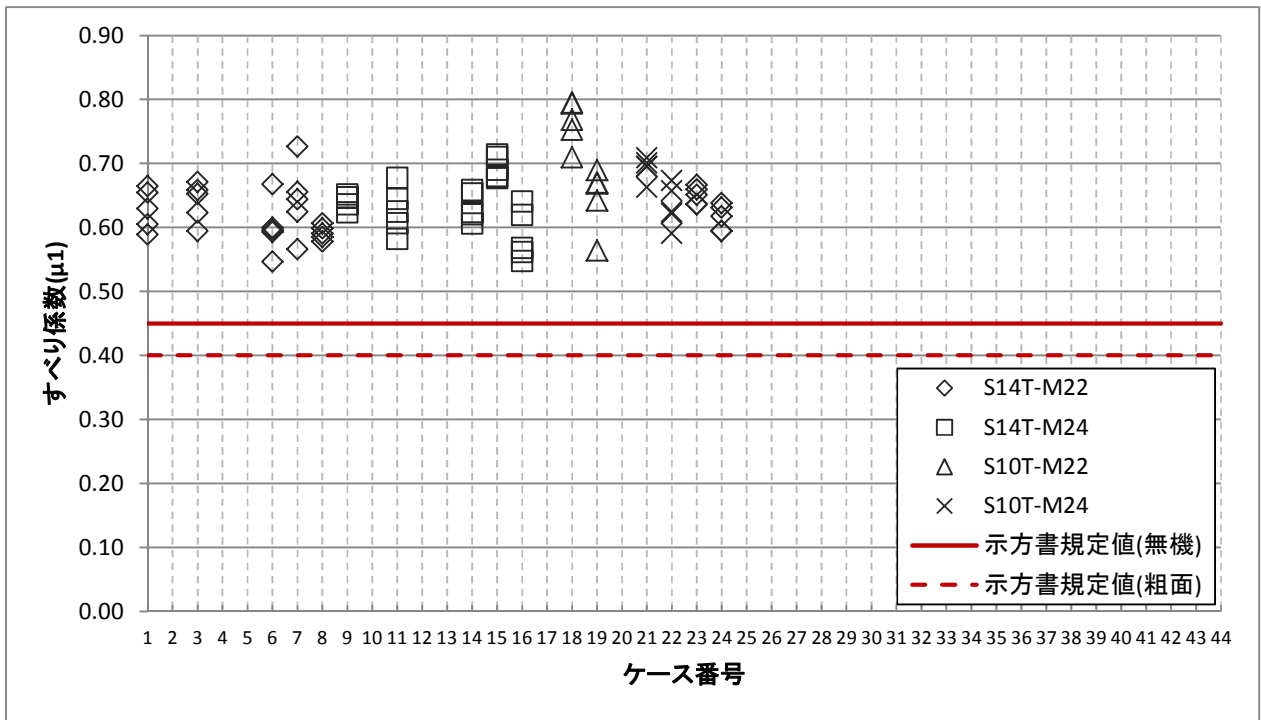


図-3.2.33 すべり係数 ($\mu 1$) (長期)

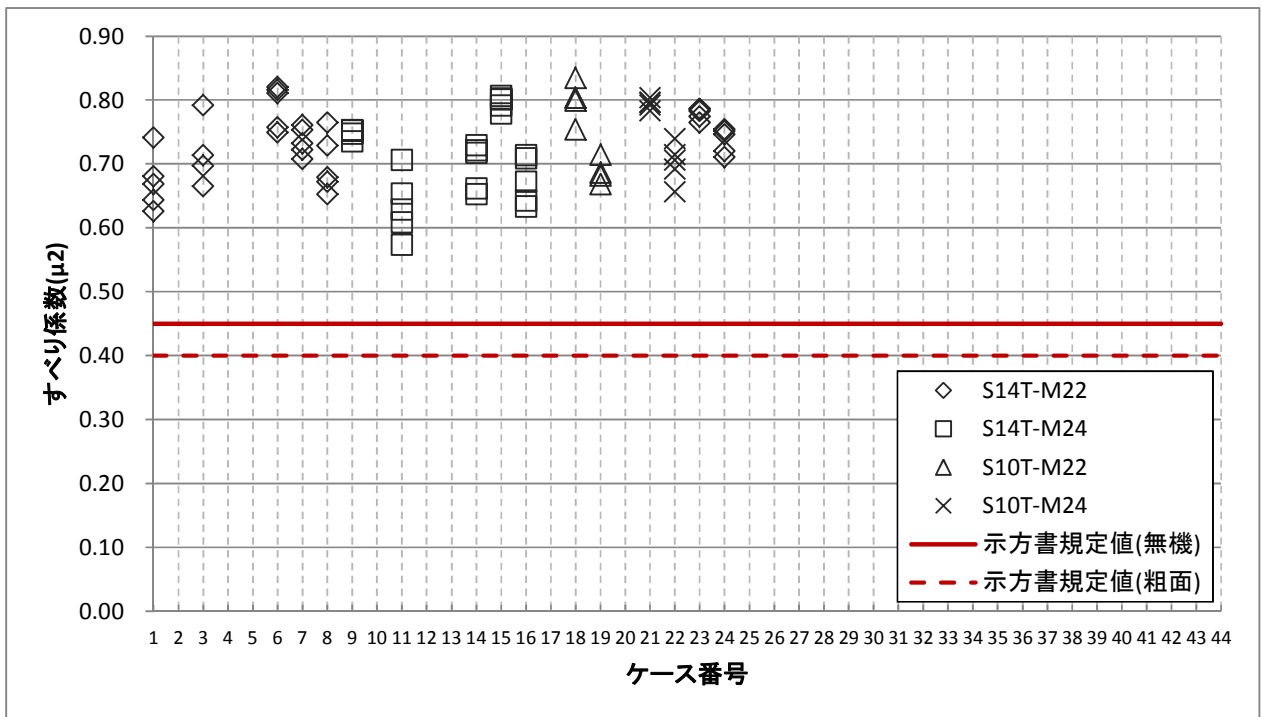


図-3.2.34 すべり係数 ($\mu 2$) (長期)

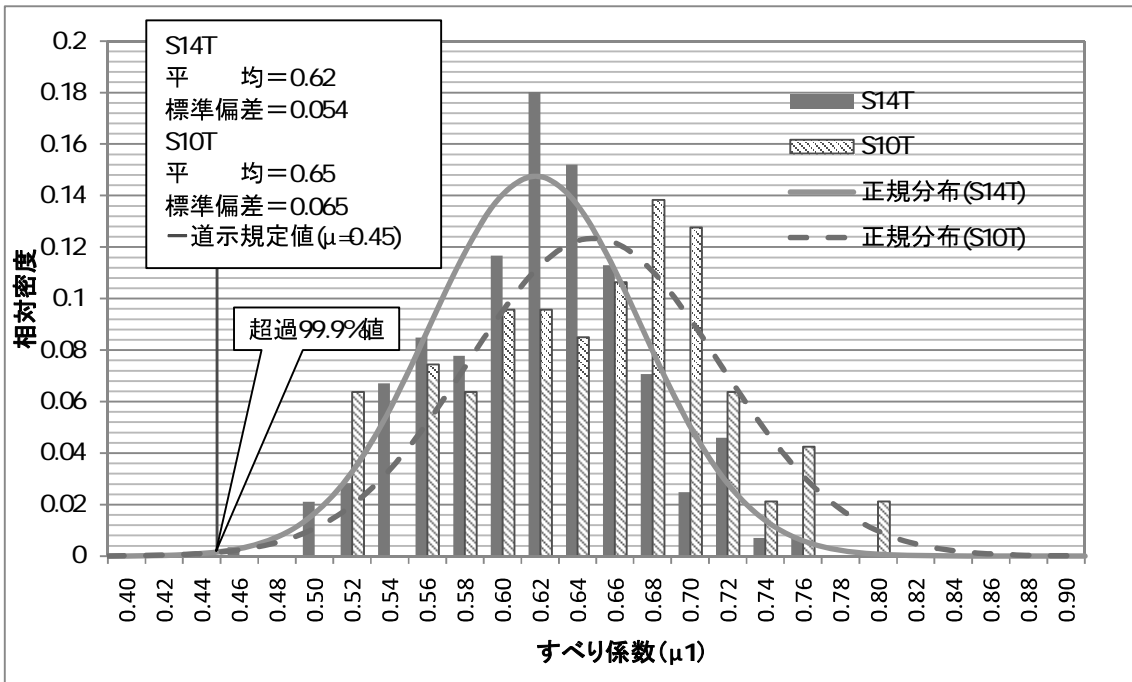


図-3.2.35 すべり係数の相対密度分布 (μ_1) (無機ジンクリッチペイント、全ケース)

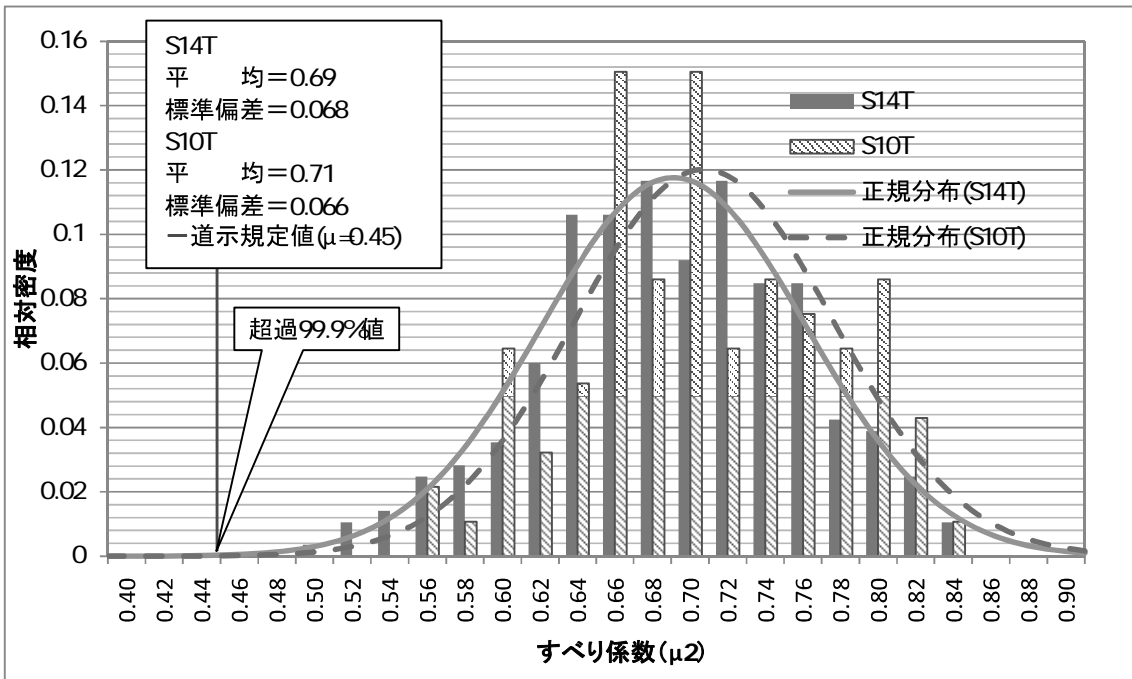


図-3.2.36 すべり係数の相対密度分布 (μ_2) (無機ジンクリッチペイント、全ケース)

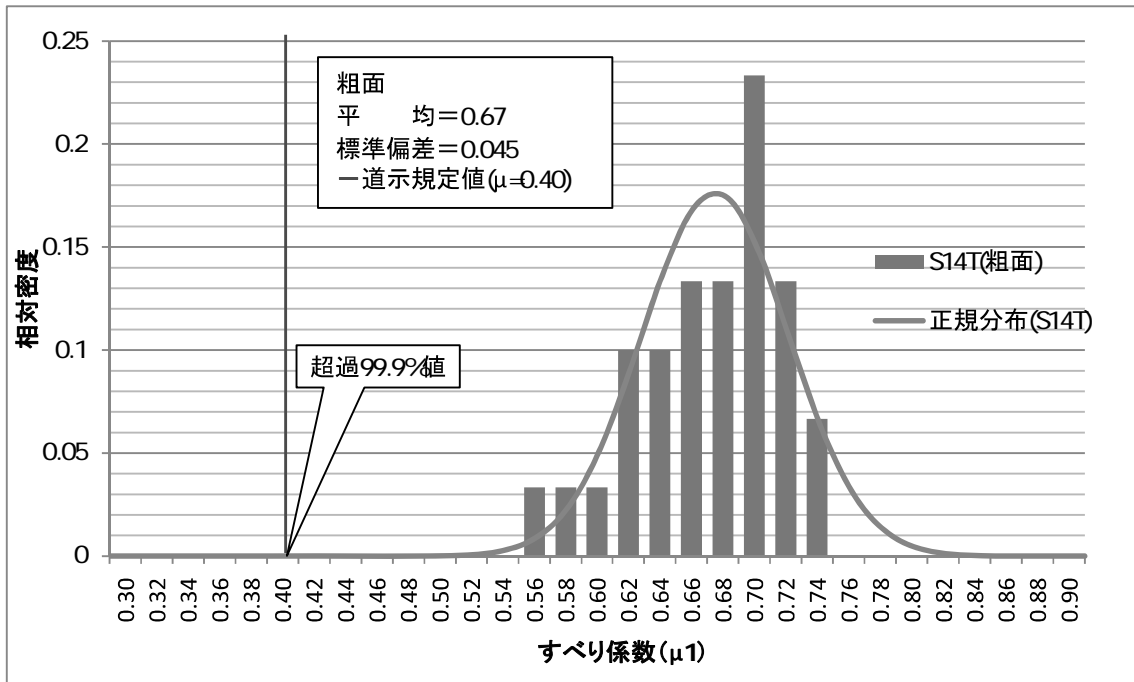


図-3.2.37 すべり係数の相対密度分布 (μ_1) (粗面、全ケース)

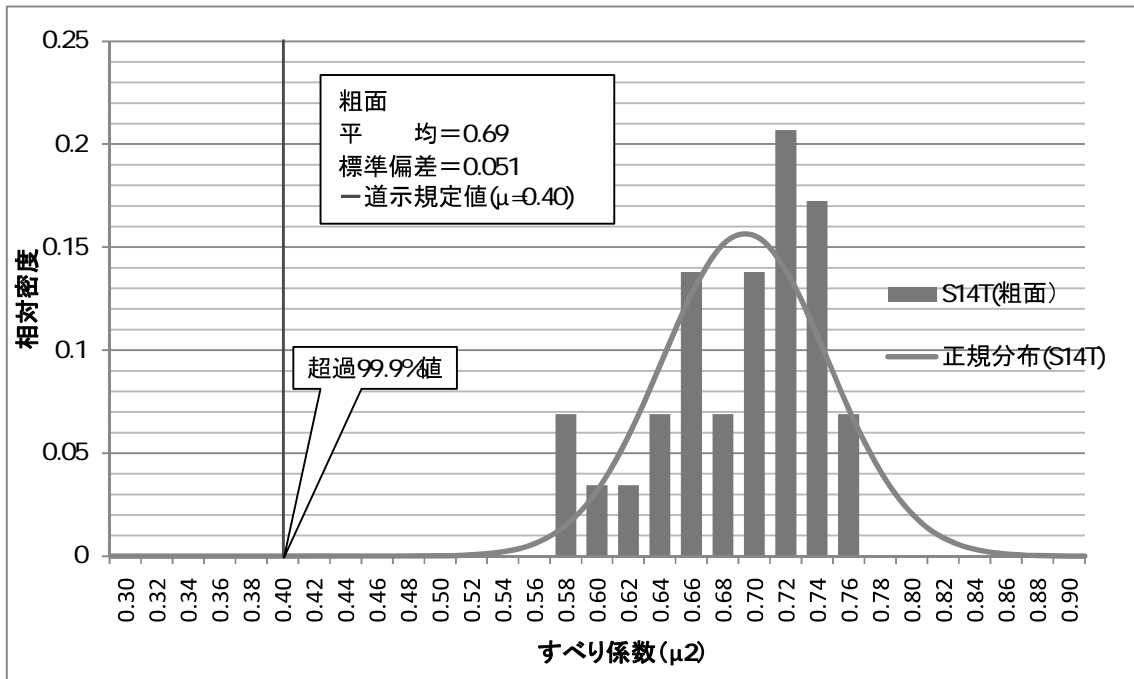


図-3.2.38 すべり係数の相対密度分布 (μ_2) (粗面、全ケース)

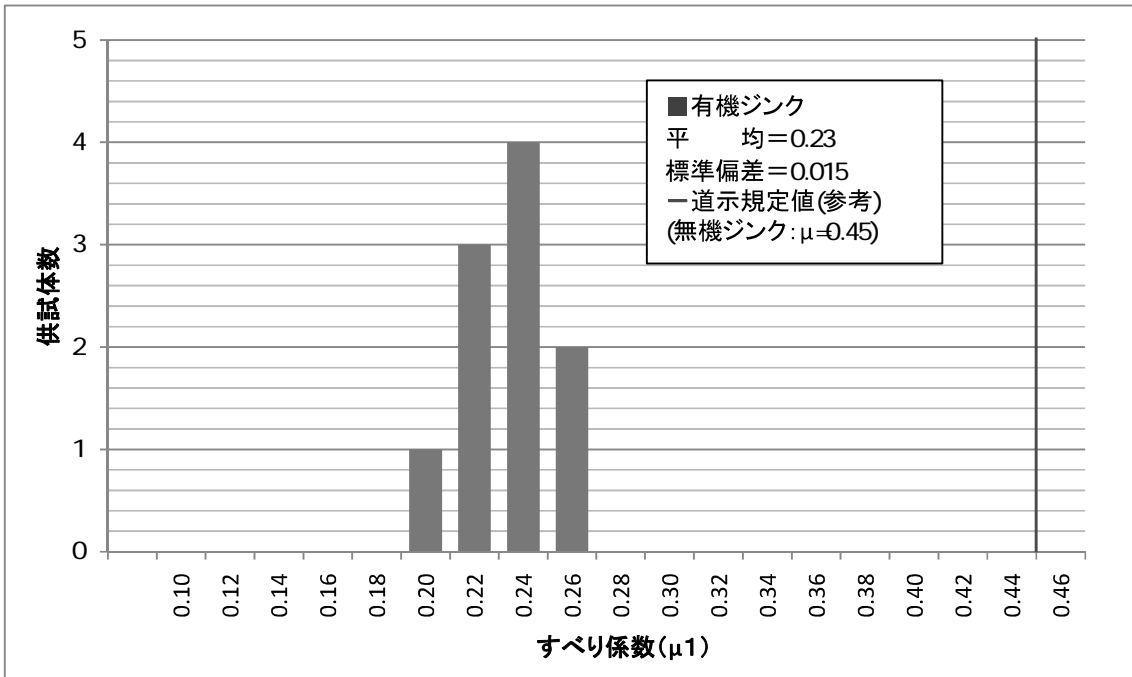


図-3.2.39 すべり係数の供試体数分布 ($\mu 1$) (有機ジンクリッチペイント、全ケース)

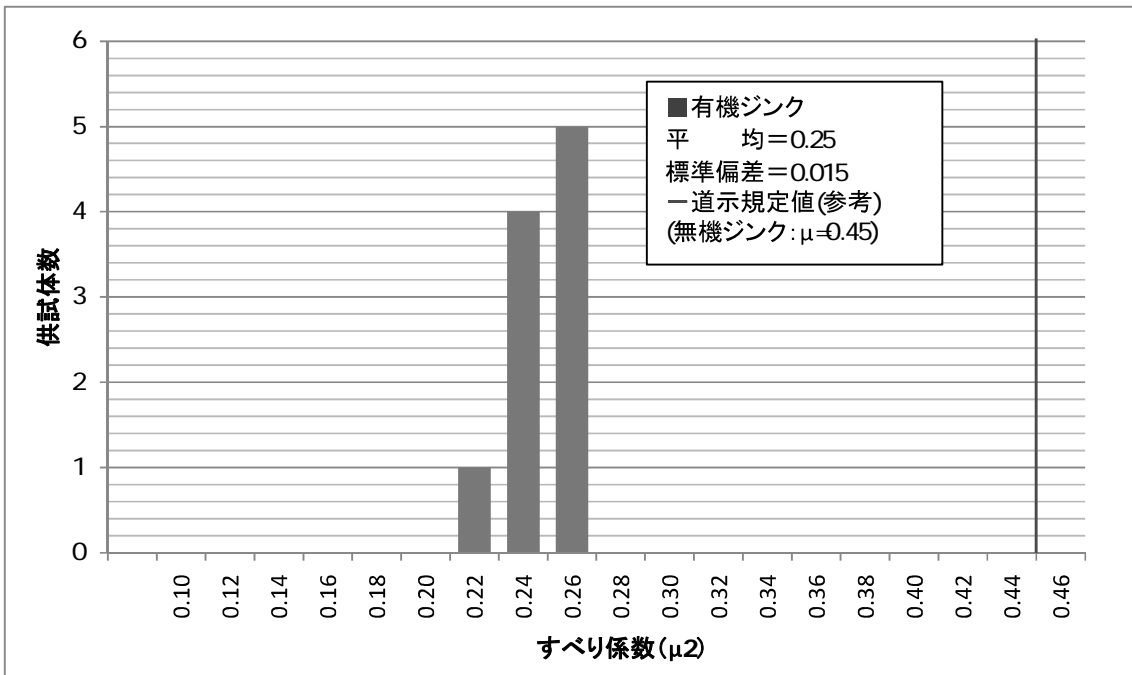


図-3.2.40 すべり係数の供試体数分布 ($\mu 2$) (有機ジンクリッチペイント、全ケース)

(4) ボルト等級、ボルト径の影響 (比較ケース：1～27、30、37、40、43～53)

図-3.2.41～図-3.2.44にボルト等級およびボルト径に着目して整理した結果を示す。(3)で示したとおり、接合面処理が有機ジンクリッチペイントの場合は、すべり係数が小さく道示の規定値を満足できていない。そのため、接合面処理ごとにすべり係数の相対密度を整理した図-3.2.43～図-3.2.44では、有機ジンクリッチペイントの試験結果を対象外としている。これらを見ると、すべり係数 μ_1 は、S14TのM22の場合[平均値0.62、標準偏差0.052]、同等級のM24の場合[平均値0.65、標準偏差0.062]、S10TのM22の場合[平均値0.64、標準偏差0.055]、同等級のM24の場合[平均値0.67、標準偏差0.055]の値をそれぞれ示している。平均値は、S14TとS10Tのいずれの等級でもM22よりM24の方がわずかに大きい、明確な差は見られなかった。同様に、M22とM24のいずれの径でもS14TよりS10Tの方がわずかに大きい、明確な差は見られなかった。標準偏差も明確な差はなく、本試験結果からは、ボルト等級のちがい、およびボルト径のちがいによるすべり係数への影響は見られなかった。接合面処理が無機ジンクリッチペイントおよび粗面の場合について、S14TのM22、M24、S10TのM22、M24のいずれについても、すべり係数 μ_1 が道示に規定されたすべり係数を確率99.9%以上で超過した。

(5) 接合面処理の影響 (比較ケース：1～3、9～11、17、20)

図-3.2.45、図-3.2.46に接合面処理に着目して整理した結果を示す。(3)でも示したとおり、図-3.2.35～図-3.2.40によると、接合面処理に有機ジンクリッチペイントを用いた場合、すべり係数 μ_1 は[平均値0.23、標準偏差0.015]であり、道示の規定値より小さい値を示している。無機ジンクリッチペイントを用いた場合は[平均値0.63、標準偏差0.058]を、粗面とした場合は[平均値0.067、標準偏差0.045]をそれぞれ示している。無機ジンクリッチペイントおよび粗面の場合、いずれも道示の規定値を99.9%以上の確率で超過する結果であった。粗面の方が無機ジンクリッチペイントより平均値が大きいことについては、3.5節で示すように、粗面のリラクセーションが約3%であるのに対し、無機ジンクリッチペイントでは約8%であり、リラクセーションによる導入軸力の低下の差が影響している可能性が考えられる。

(6) すべり/降伏耐力比 β の影響 (比較ケース：1、4、5、9、12、13)

図-3.2.47、図-3.2.48にすべり/降伏耐力比 β に着目して整理した結果を示す。いずれの供試体においても、すべり係数は道示の規定値を上回る結果を示している。すべり/降伏耐力比 β が1に近づいて大きくなると、母板が降伏しポアソン効果で母板の板厚方向のひずみが大きくなることからボルト軸力抜けも大きくなり、すべり係数が低下することが知られており^{3.1)}、本試験結果もこれと整合した結果が得られた。 β の増加によるすべり係数の低下率は、S14T-M22、S14T-M24ともに同程度とみなすことができる。

(7) 鋼材の材質のちがいによる影響（比較ケース：1, 6～9, 14～26, 30, 40）

鋼材の材質、および母板の板厚によるすべり係数への影響の検討については、両者を混在させないようにする必要がある。そこで、鋼材の材質のちがいによるすべり係数への影響については、表-3.2.3を参考に、すべり挙動に大きなちがいがないと考えられる母板の板厚の範囲内の試験結果から、鋼材の材質のちがいを考察する。

鋼材の材質、および板厚のちがいによるすべり係数 μ_1 、 μ_2 を図-3.2.49、図-3.2.50に示す。まず、M22のS14Tにおける鋼材の材質のちがいについて、すべり挙動に大きなちがいがないと考えられる板厚である $t=25$ 、 28 、 32mm の供試体No. 7 (SS400)、1 (SM490)、23 (SM490Y)、24 (SM570)を比較すると、 μ_1 の平均値はそれぞれ0.68、0.61、0.61、0.63であり、いずれも道示の規定値を大きく超えている。 μ_2 の平均値はそれぞれ0.76、0.71、0.71、0.71であり、ほぼ同じ値を示している。これは、各供試体の β を約0.63とほぼ一致させたからと考えられ、すべり係数への鋼材の材質のちがいによる影響は見られなかった。

M24のS14Tにおける鋼材の材質のちがいについて、すべり挙動に大きなちがいがないと考えられる板厚である $t=28$ 、 36mm の供試体No. 15 (SS400)、9 (SM490)、25 (SM490Y)、26 (SM570)を比較すると、 μ_1 の平均値はそれぞれ0.71、0.65、0.64、0.66であり、 μ_2 の平均値はそれぞれ0.74、0.72、0.67、0.68であった。M22よりばらつきがあるものの、ほぼ同じ値であることがわかる。なお、これら4つの供試体の β は約0.64でほぼ一致している。

M22のS10Tを用いた板厚 $t=28$ 、 25mm の各供試体No. 18 (SS400)、17 (SM490)の μ_2 は平均値でそれぞれ0.72、0.73である。両者はほぼ一致し、S14Tともほぼ同じ値を示したことから、ボルトの等級のちがいによる明確な差は見られなかった。

M24のS10Tを用いた板厚 $t=32$ 、 25mm の各供試体の μ_2 は、それぞれ0.77 (No. 21, SS400)、0.72 (No. 20, SM490)であり、M22のS10Tよりもばらつきはあるものの、ボルトの等級のちがいによる明確な差は見られなかった。

いずれのボルト等級およびボルト径においても、すべり挙動に大きなちがいがないと考えられる母板の板厚の範囲内の試験結果から、鋼材の材質のちがいによるすべり係数への影響はなかったと考えられる。

(8) 母板の板厚のちがいによる影響（比較ケース：1, 6～9, 14～26, 30, 40）

鋼材の材質ごとに、母板の板厚のちがいによるすべり係数の影響について考察する（図-3.2.49、図-3.2.50）。ただし、SM490Yで板厚 40mm を超える場合は、実橋で一般的に採用されているSM520C-Hを使用した。

M22のS14Tにおける板厚のちがいについて、SS400の供試体No. 7 ($t=32\text{mm}$)、8 ($t=40\text{mm}$)、SM490の供試体No. =1 ($t=25\text{mm}$)、6 ($t=40\text{mm}$)、SM490Y (板厚 $t=75\text{mm}$ はSM520C-H)の供試体No. =23 ($t=28\text{mm}$)、30 ($t=75\text{mm}$)を比較すると、 μ_1 の平均値はそれぞれ0.68、0.61、

0.61, 0.61, 0.61, 0.62であり、いずれも道示の規定値を大きく超えている。材質ごとに μ_2 の平均値を見ると、SS400において0.76 (t=32mm) →0.66 (t=40mm)、SM490において0.71 (t=25mm) →0.66 (t=40mm)、SM490Y (板厚t=75mmはSM520C-H)において0.71 (t=28mm) →0.63 (t=75mm) であり、いずれも板厚が大きいほど、すべり係数は小さくなった。これは、厚板の場合、厚い連結板の初期変形の影響を受けやすく、接触圧力が減少し、すべり係数の低下を招きやすいこと^{3.5),3.7),3.8)}が原因と考えられる。なお、各供試体の β はそれぞれ0.63 (No. 1, 7, 8, 23)、0.68 (No. 6)、0.21 (No. 30) であり、鋼材の降伏の影響はないと考えられる。

M24のS14Tにおける板厚のちがいについて、SS400の供試体No. 15 (t=36mm)、16 (t=40mm)、SM490の供試体No. 9 (t=28mm)、14 (t=40mm)、SM490Y (板厚t=75mmはSM520C-H) の供試体No. =25 (t=28mm)、40 (t=75mm) を比較すると、 μ_1 の平均値はそれぞれ0.71、0.60、0.65、0.58、0.64、0.71であり、いずれも道示の規定値を大きく超えている。材質ごとに μ_2 の平均値を見ると、SS400において0.74 (t=36mm) →0.67 (t=40mm)、SM490において0.72 (t=28mm) →0.63 (t=40mm)、SM490Y (板厚t=75mmはSM520C-H)において0.67 (t=28mm) →0.75 (t=75mm) であり、SM490Yを除いて、M22と同様に板厚が大きくなると、すべり係数は小さくなった。各供試体の β はそれぞれ0.64 (No. 9, 14, 15, 16, 25)、0.25 (No. 40) であり、鋼材の降伏の影響はないと考えられる。No. 40 (SM520C-H, t=75mm) では、M22のような初期変形の影響が小さく、かつ、 β が小さいことによりすべり耐力時の鋼材の作用応力が小さかったことから、ポアソン効果による鋼材の板厚減少も小さく、ボルト軸力の低下が小さかったことが原因と考えられる。

M22のS10Tを用いた供試体No. 18 (t=28mm)、19 (t=40mm) の μ_2 は平均値でそれぞれ0.72、0.69である。M24のS10Tの μ_2 は、それぞれ0.77 (No. 21, t=32mm)、0.64 (No. 22, t=40mm) である。いずれもS14Tのすべり係数と近い値を示したことから、ボルトの等級のちがいによる明確な差はないと考えられる。

いずれのボルト等級およびボルト径においても、従来の知見^{3.5),3.7),3.8)}と同様に、母板の板厚が大きくなると、厚い連結板の初期変形の影響を受けやすく、接触圧力が減少し、すべり係数の低下を招きやすいものの、 β が小さいことによりすべり耐力時の鋼材の作用応力が小さいことから、ポアソン効果による鋼材の板厚減少も小さく、すべり係数が明確に低下しない場合もあることがわかった。

(9) 肌すきの影響 (比較ケース：27～32, 37～39, 41, 42)

図-3.2.51～図-3.2.52に肌すきに着目して整理した結果を示す。いずれのケースでも、肌すきが大きくなるにつれてすべり係数が低下していることがわかる。これは、連結部中心に近いボルトの導入軸力の一部が板厚差を埋めるための板曲げに消費され、母板と連結板とを密着させるための支圧力が減少することによる^{3.5),3.9),3.10)}と考えられる。母板の板厚が50mmのケースでは、75mmのケースと比較して、肌すきが大きくなるにつれてす

べり係数が低下する程度が大きい。これは、母板の板厚に対する肌すきの割合が相対的に大きいことが原因と考えられる。

(10) 母板の板厚差（フィラー）の影響 （比較ケース：27、30、33～36）

図-3.2.53～図-3.2.54に母板の板厚差に着目して整理した結果を示す。母板板厚の変化率が大きくなるにつれてすべり係数が低下している。これは、文献3.5)、3.11)、3.12)でも同様な結果が示されており、母板中心軸のずれによる偏心曲げモーメントが影響している可能性がある。一方で、母板板厚の変化率が最大の50%になると、すべり係数は減少傾向が逆転して増加している。これは、フィラー板厚の増加により連結板への応力伝達が不均一になる^{3.13)}ことを原因として、実験結果がばらついたものと考えられる。

(11) ボルト孔径の影響 （比較ケース：45～53）

図-3.2.55～図-3.2.56にボルト孔に着目して整理した結果を示す。すべてのケースにおいて道示の規定値を超えている。本試験結果からは、孔径のちがいによるすべり係数への影響はみられなかった。ただし、S14TではS10Tよりボルト軸力が大きいことから、支圧応力を受ける連結板が早期に降伏し、ボルト軸力減少の原因になることが報告^{3.14)、3.15)}されている。よって、孔径を標準径から大きくする場合には、慎重な検討が必要と考えられる。

(12) 塗料のちがいの影響

図-3.2.57～図-3.2.58に再組立の条件を除くA社塗料のケースをまとめたものを、図-3.2.59～図-3.2.60にB社塗料のケースをまとめたものを示す。すべり係数 μ_1 は、それぞれA社塗料[平均値0.63、標準偏差0.052]、B社塗料[平均値0.55、標準偏差0.042]である。B社塗料のS14Tの場合を除いて、すべり係数 μ_1 が道示に規定されたすべり係数を確率99.9%以上で超過した。B社塗料のS14Tの場合も、超過確率は99.6%で他の場合とほぼ同じ値を示し、明確な差はなかったと考えられる。

なお、図-3.2.61にA社塗料の、図-3.2.62にB社塗料の荷重と母板間の相対変位の関係をそれぞれ示す。A社塗料では最大荷重後に急激に荷重が低下するのに対して、B社塗料では徐々にすべり始め、荷重が急落しない挙動を示している。このように、すべり後の挙動については塗料のちがいの影響を受けている可能性があるため、すべり後の連結部が破断するまでの挙動を検討する場合には塗料の成分の影響などを考慮する必要がある。

なお、すべり後の挙動については、A社塗料のケースではすべり後に荷重を除荷したために変位の増加とともに荷重が減少しているのに対し、B社塗料のケースではすべり後も荷重を増加し続けたために変位量1.2mmあたりから荷重が再増加しており、この差は荷重載荷のちがいが原因であり、塗料のちがいの影響とは異なる。

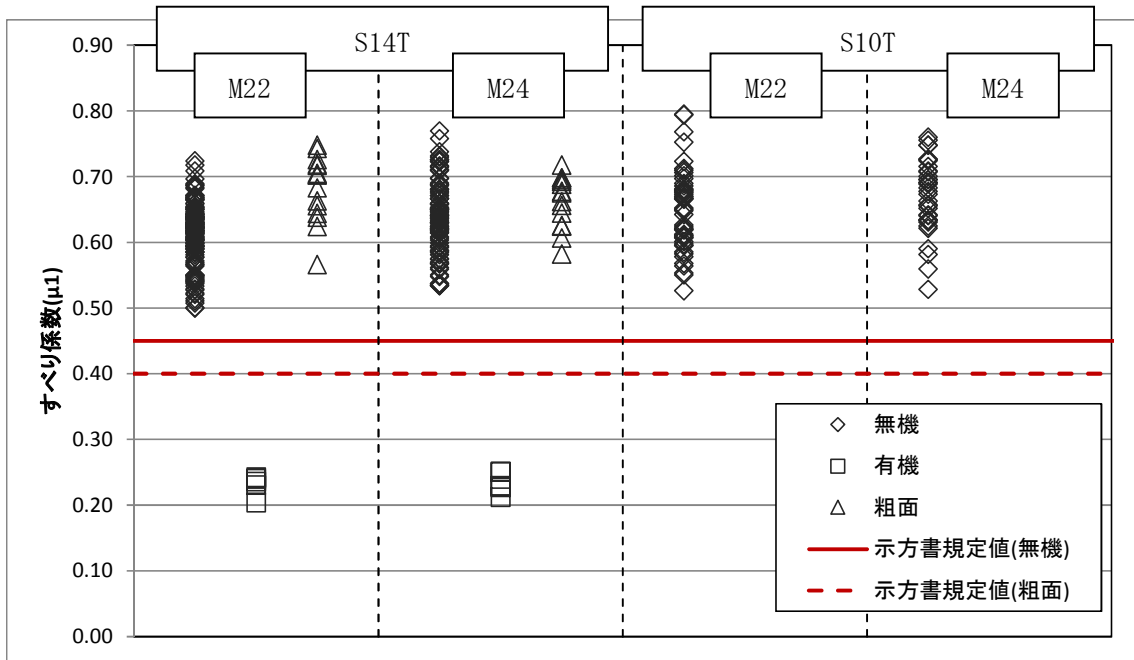


図-3.2.41 ボルト等級とボルト径のちがいによるすべり係数 (μ_1) (全ケース)

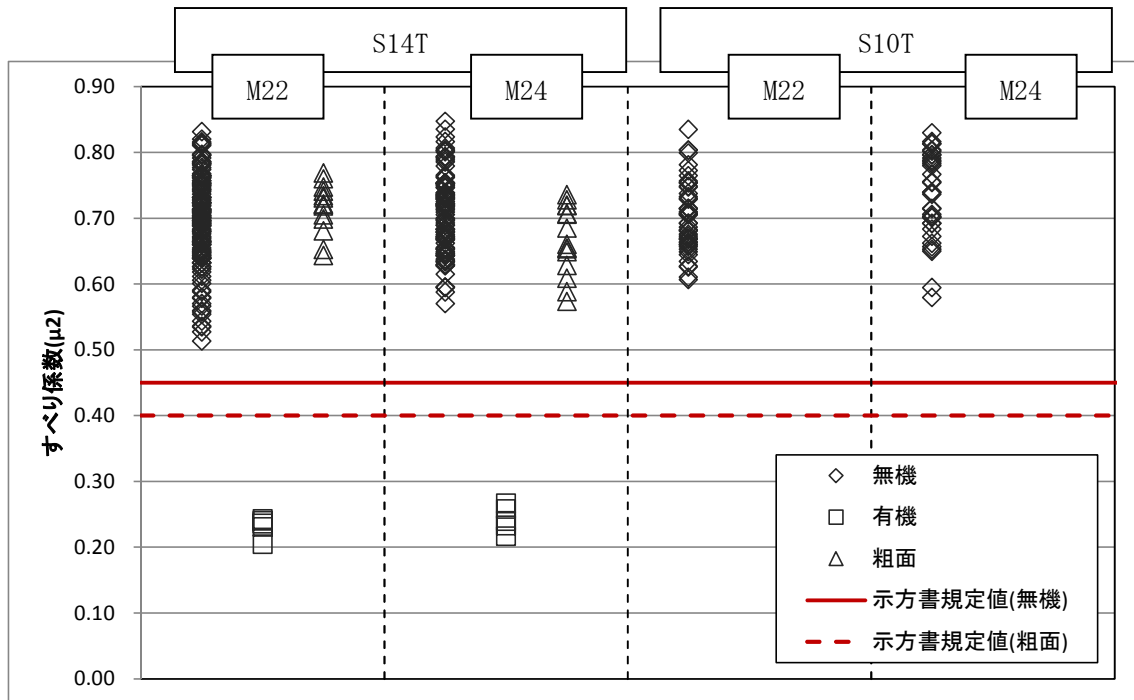


図-3.2.42 ボルト等級とボルト径のちがいによるすべり係数 (μ_2) (全ケース)

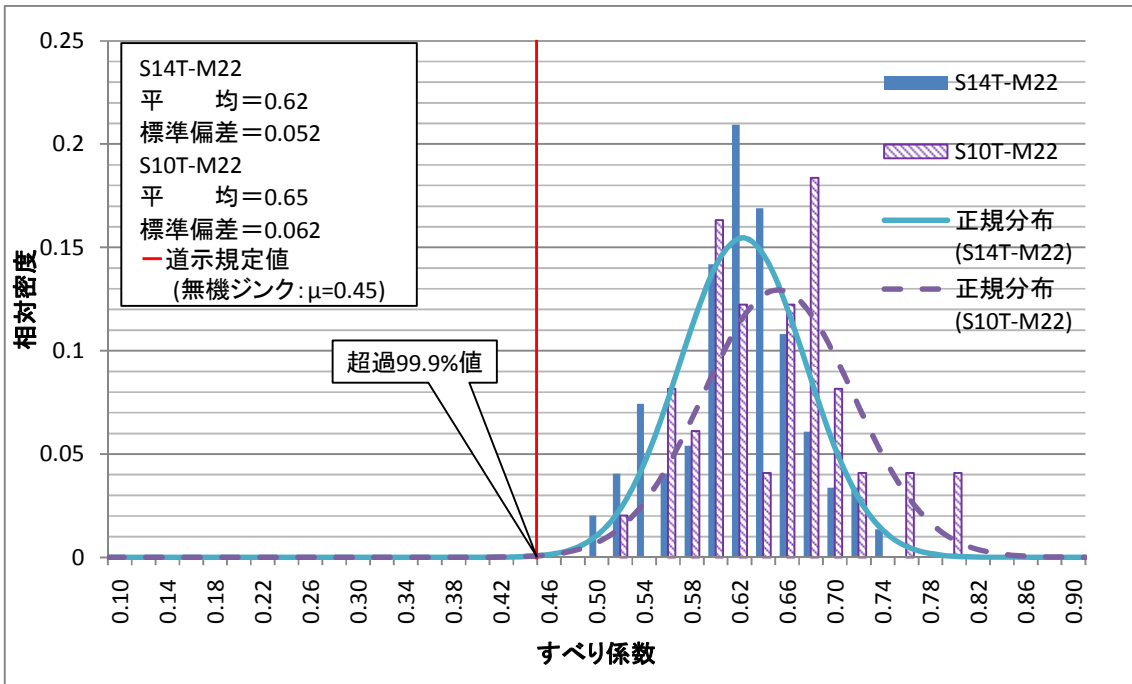


図-3.2.43 ボルト等級とボルト径のちがいによるすべり係数数の相対密度分布 ($\mu 1$)
(有機ジンクリッチペイントを除く全ケース、M22)

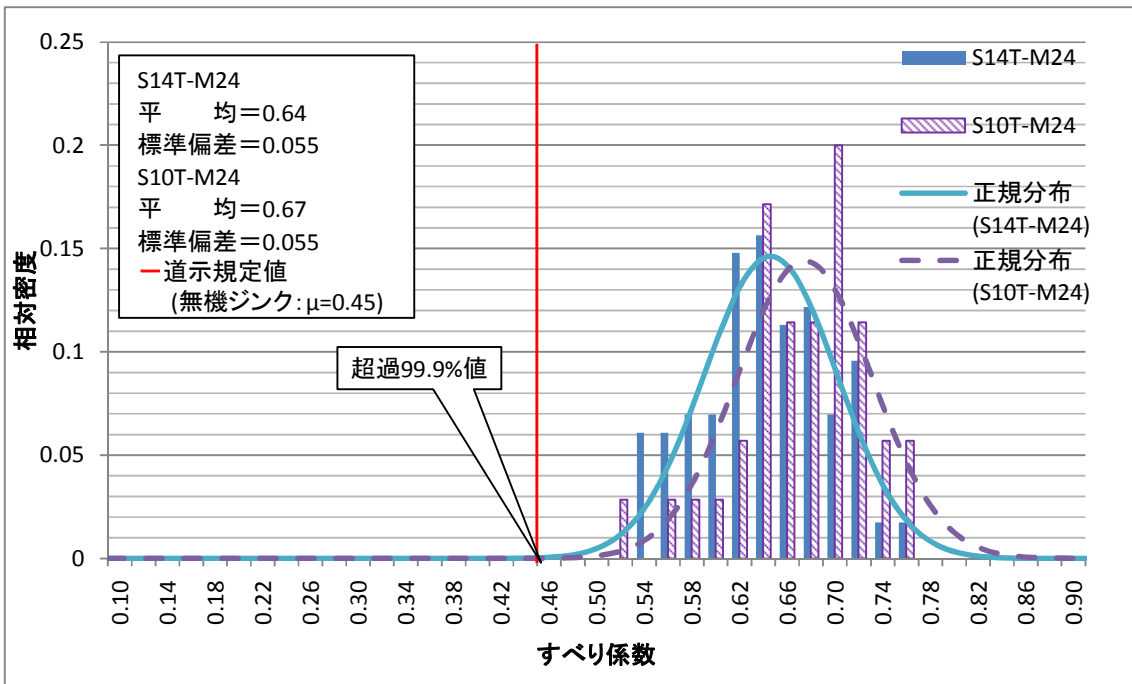


図-3.2.44 ボルト等級とボルト径のちがいによるすべり係数数の相対密度分布 ($\mu 1$)
(有機ジンクリッチペイントを除く全ケース、M24)

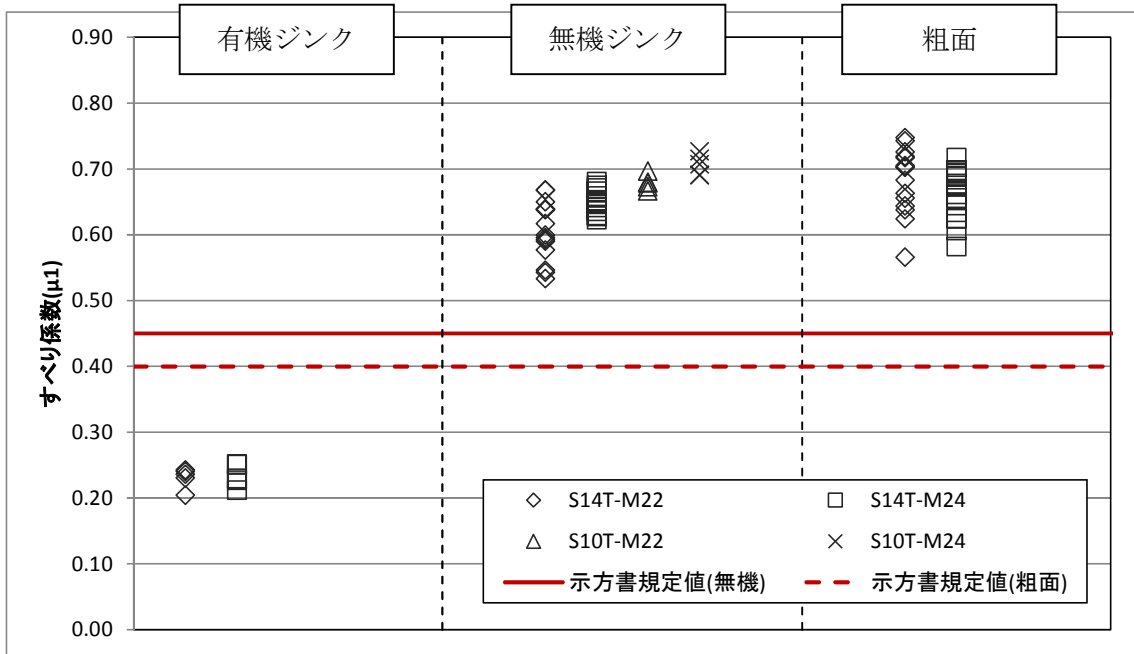


図-3.2.45 接合面処理のちがいによるすべり係数 (μ1) (全ケース)

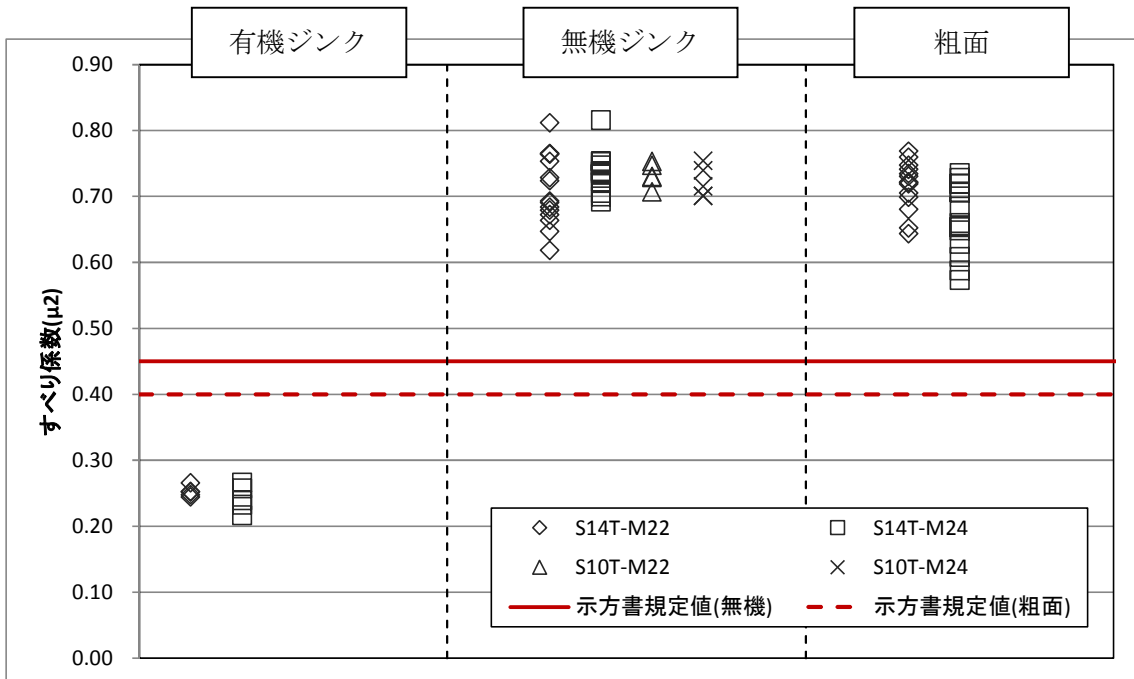


図-3.2.46 接合面処理のちがいによるすべり係数 (μ2) (全ケース)

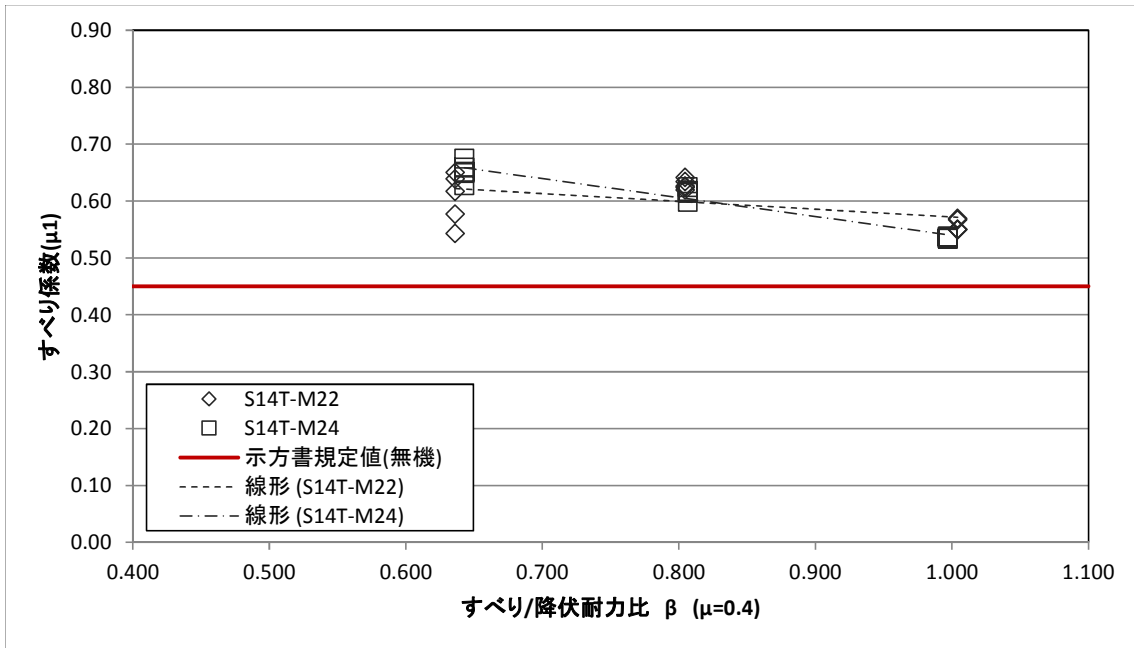


図-3.2.47 すべり/降伏耐力比 β のちがいによるすべり係数
(すべり耐力=0.4) ($\mu 1$) (12 時間)

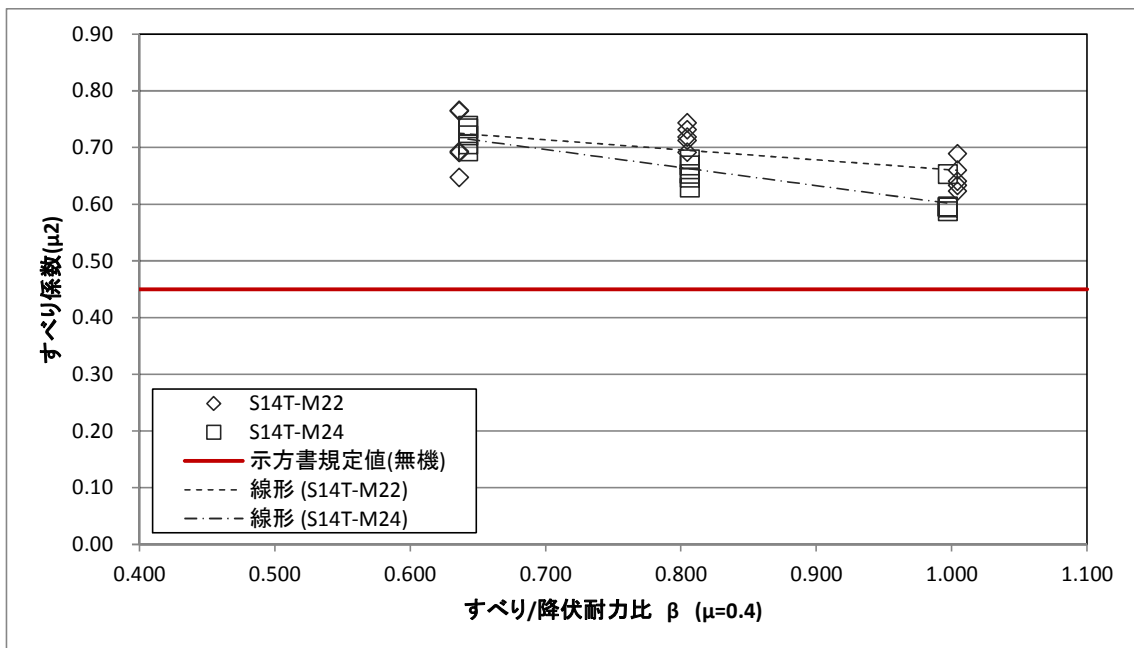


図-3.2.48 すべり/降伏耐力比 β のちがいによるすべり係数
(すべり耐力=0.4) ($\mu 2$) (12 時間)

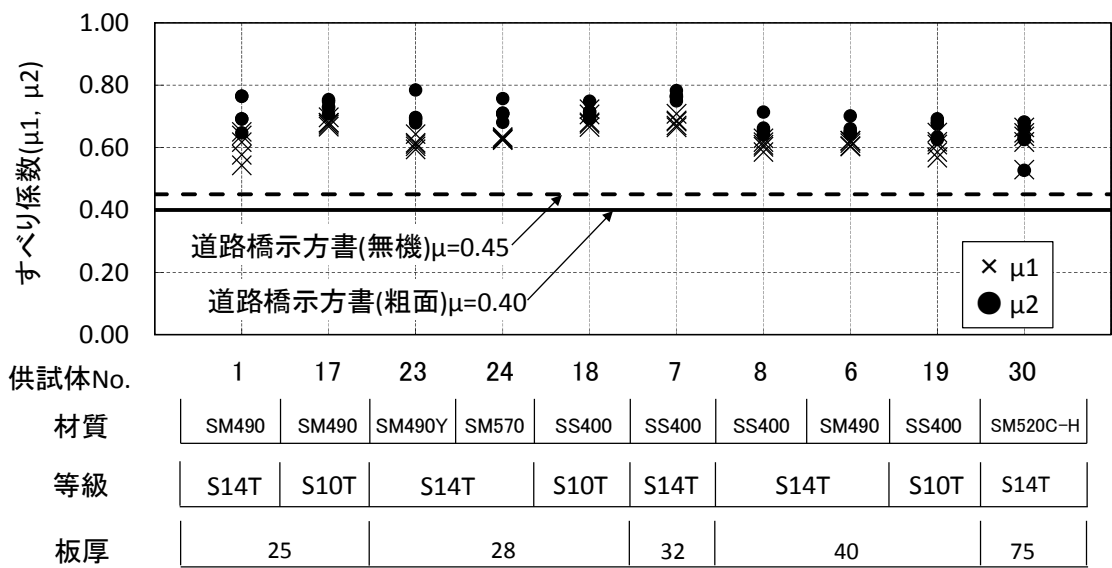


図-3. 2. 49 鋼材の材質、板厚のちがいによるすべり係数 (μ_1 、 μ_2) (M22)

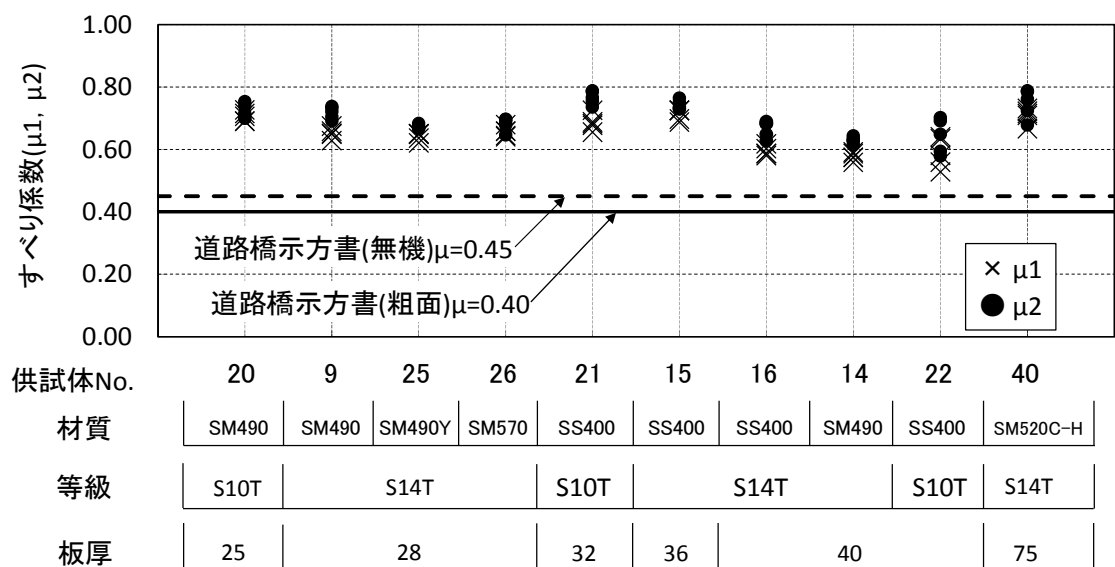


図-3. 2. 50 鋼材の材質、板厚のちがいによるすべり係数 (μ_1 、 μ_2) (M24)

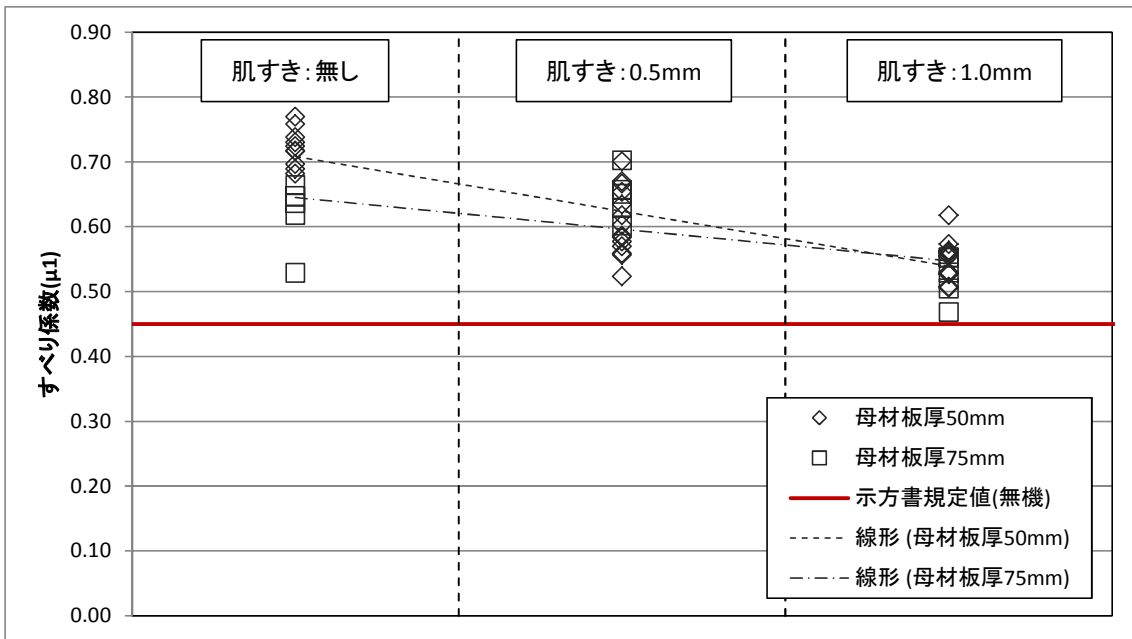


図-3.2.51 肌すきによるすべり係数 (μ1)

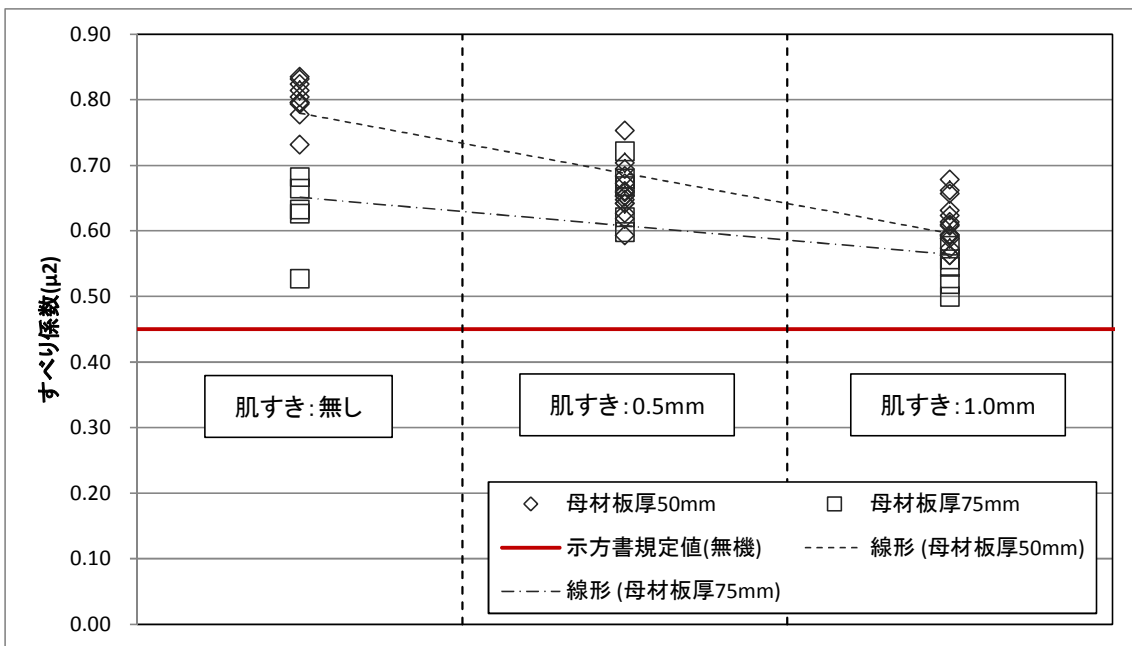


図-3.2.52 肌すきによるすべり係数 (μ2)

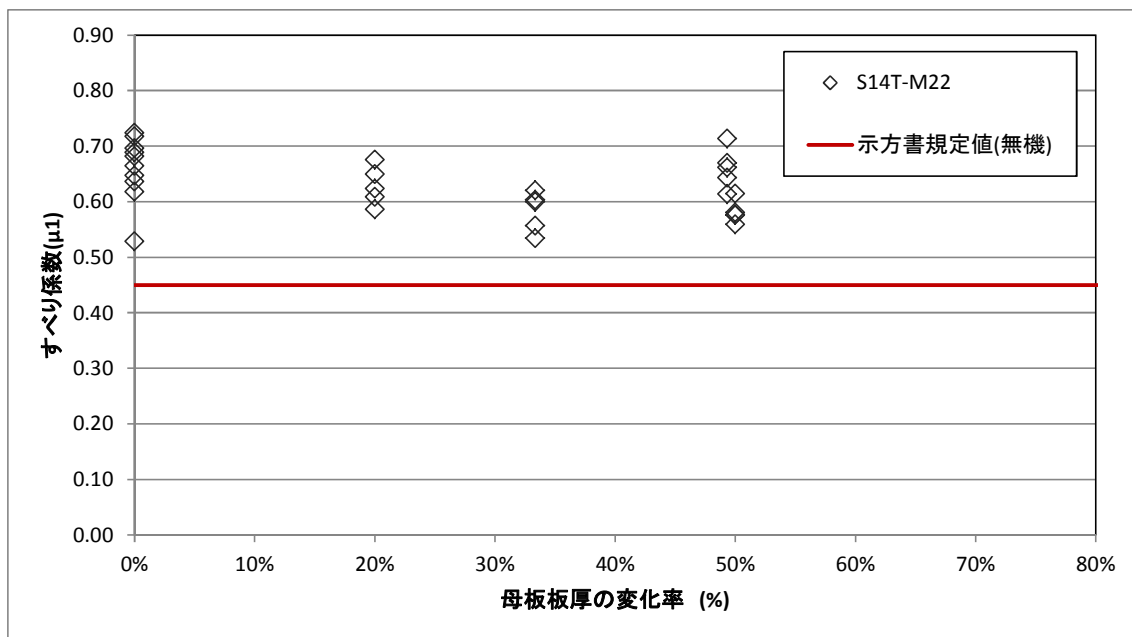


図-3.2.53 母板の板厚差（フィラー）によるすべり係数（ $\mu 1$ ）（12 時間）

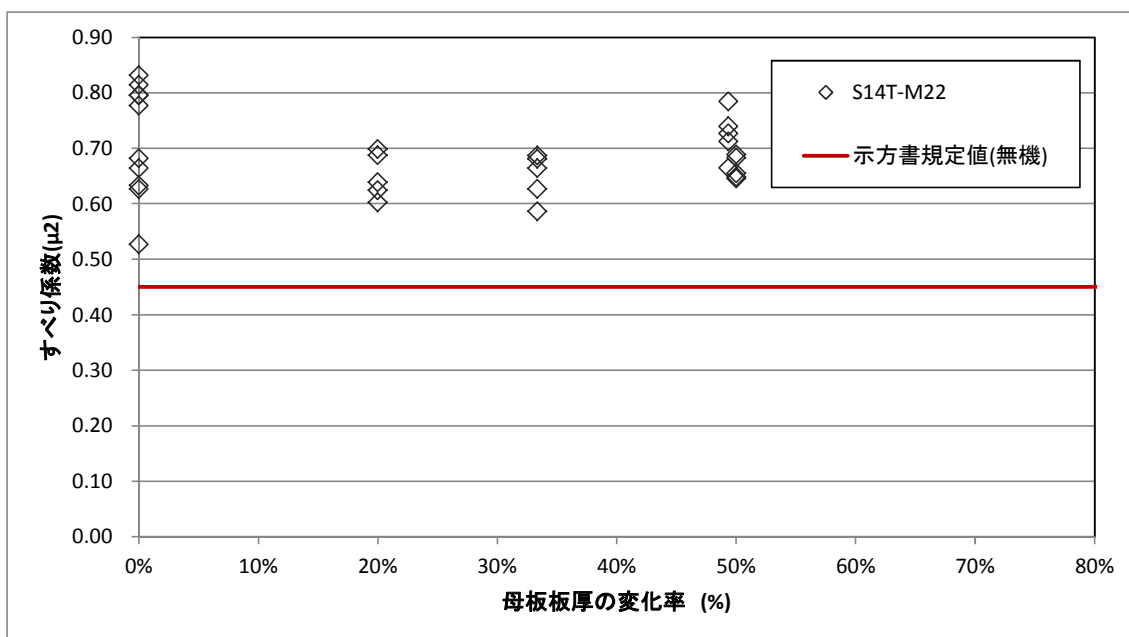


図-3.2.54 母板の板厚差（フィラー）によるすべり係数（ $\mu 2$ ）（12 時間）

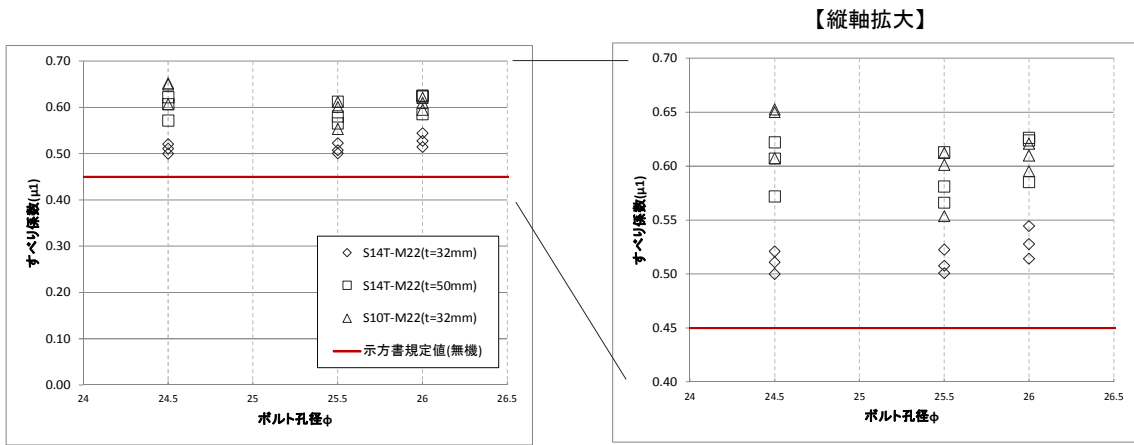


図-3.2.55 孔径のちがいによるすべり係数 (μ_1)

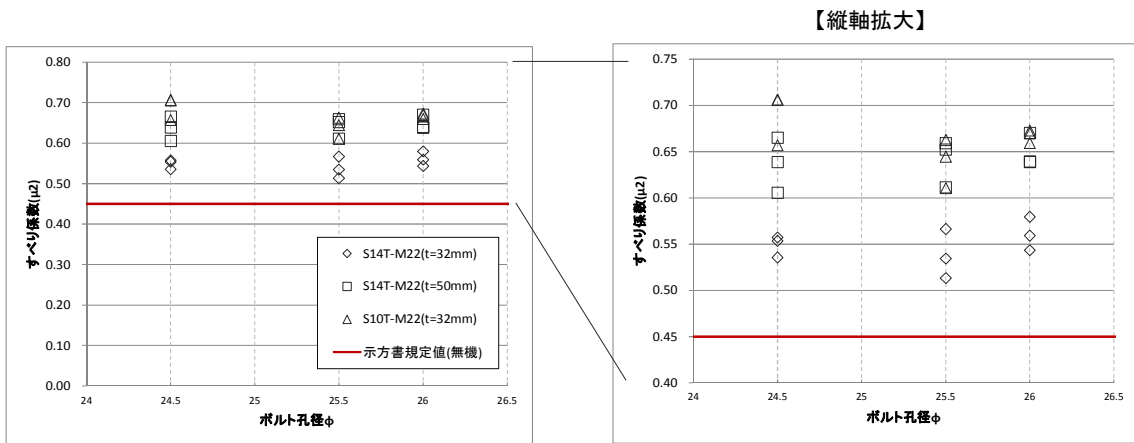


図-3.2.56 孔径のちがいによるすべり係数 (μ_2)

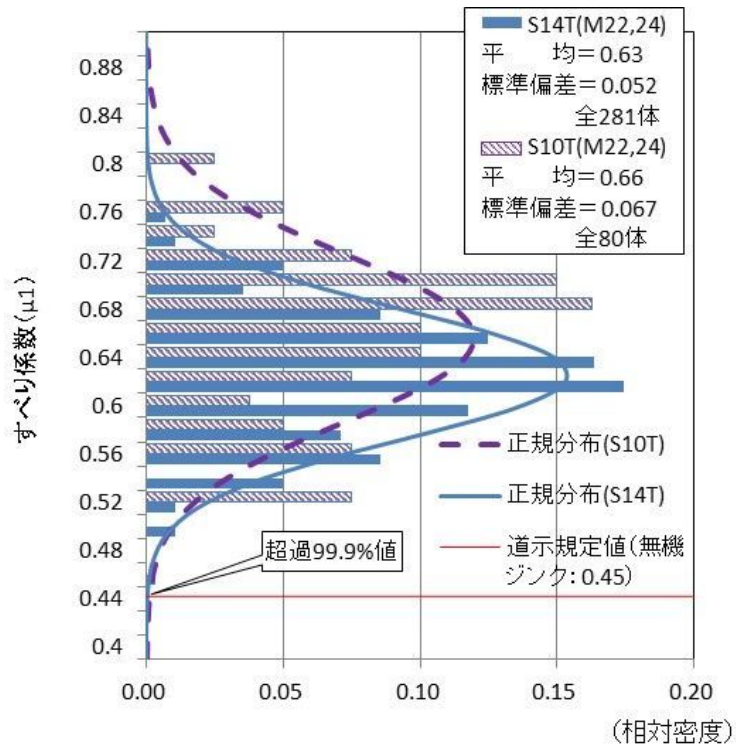


図-3. 2. 57 すべり係数の相対密度分布 ($\mu 1$) (A 社塗料)

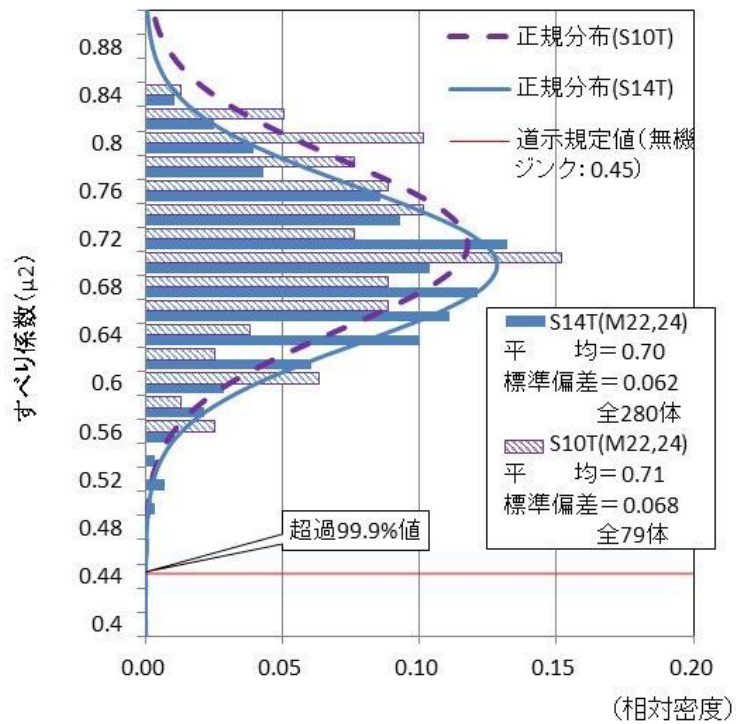


図-3. 2. 58 すべり係数の相対密度分布 ($\mu 2$) (A 社塗料)

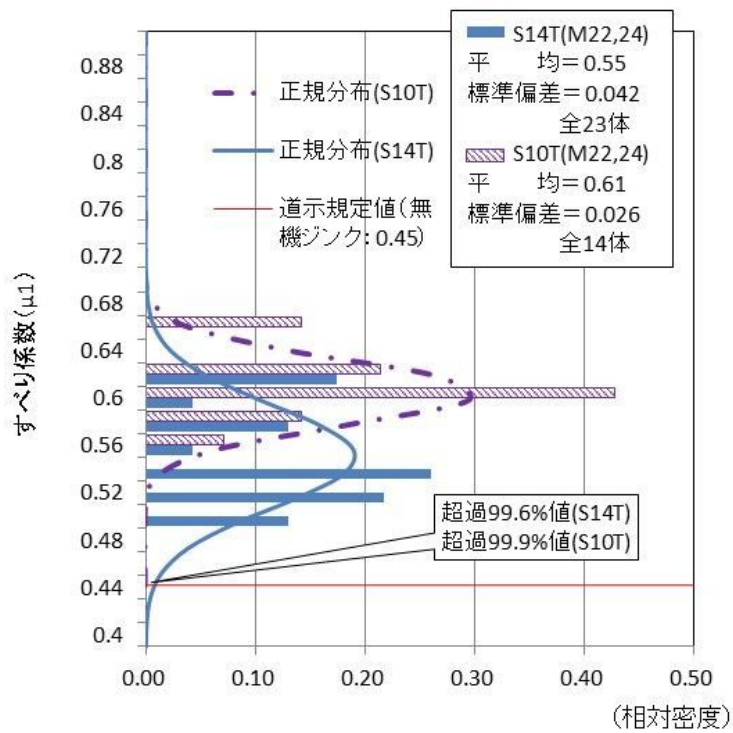


図-3. 2. 59 すべり係数の相対密度分布 ($\mu 1$) (B 社塗料)

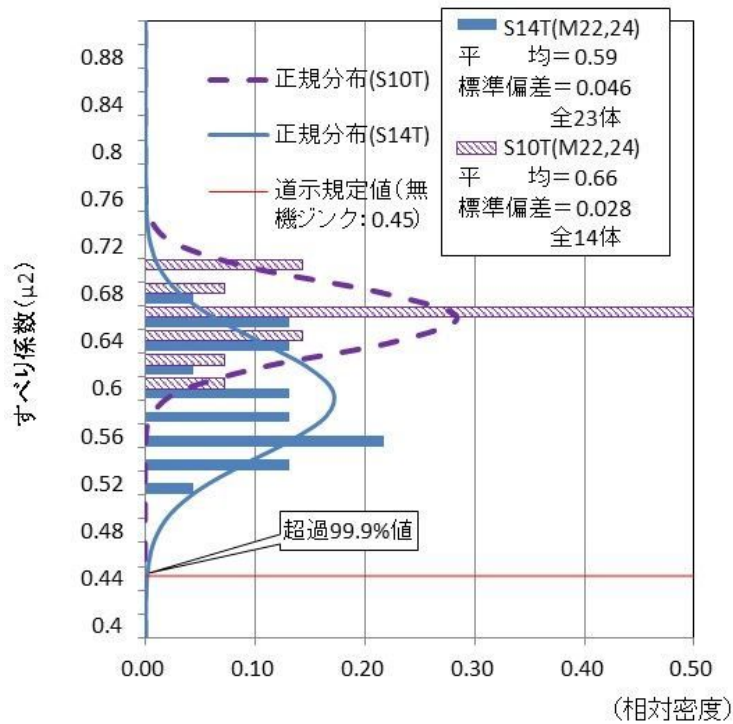


図-3. 2. 60 すべり係数の相対密度分布 ($\mu 2$) (B 社塗料)

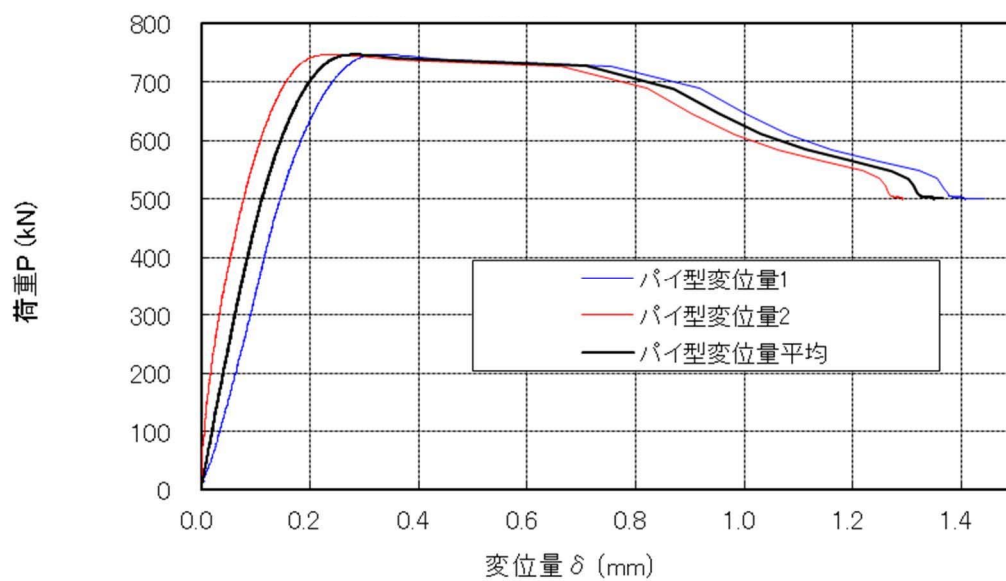


図-3.2.61 荷重と変位量の関係 (A社塗料) (代表ケース)

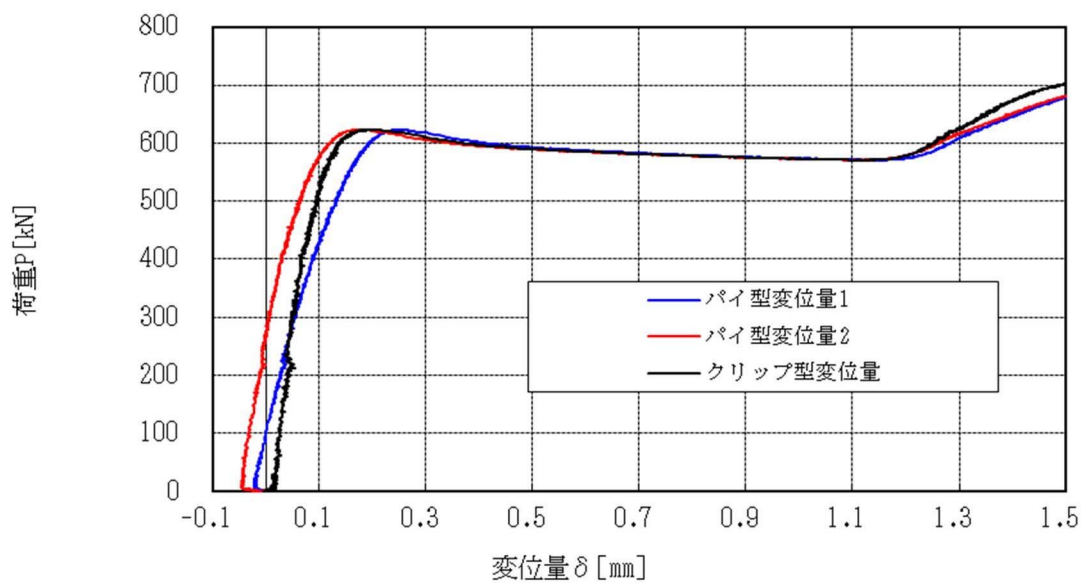


図-3.2.62 荷重と変位量の関係 (B社塗料) (代表ケース)

3.2.5 まとめ

道示における F10T、S10T に準じた規定や適用範囲に対して、超高力ボルト S14T を適用した場合の継手性能を明確にすることを目的に、ボルトの等級・径、接触面処理、すべり/降伏耐力比 β 、鋼材の材質、母板の板厚、肌すき、母板の板厚差（フィラー）、ボルト孔径、塗料のちがいなどの各パラメータがすべり係数に与える影響を実験により検討した。本検討によって明らかとなった事項を以下にまとめる。

- ・ 供試体の保管期間『12H』『1ヶ月』『長期』のちがいについても、S14T と S10T で以下のとおり同様な挙動を示した。つまり、ボルト軸力についてはリラクセーションが生じるが、今回実験を行った保管期間の中では大きな差が生じておらず、すべり係数も保管期間のちがいによる明確な差は見られなかった。
- ・ ボルト等級の S14T と S10T、または各ボルト等級におけるボルト径 M22 と M24 のちがいについて、すべり係数への影響は見られなかった。
- ・ 接合面処理のちがいについては、有機ジンクリッチペイントとした場合、すべり係数 μ_1 の平均値が 0.20~0.25 と低い値を示した。一方、無機ジンクリッチペイントまたは粗面とした場合、すべり係数 μ_1 は道示に規定されたすべり係数を確率 99.9%以上で超過した。粗面の方が無機ジンクリッチペイントより平均値が大きい結果となったが、これは、両者でリラクセーションによる導入軸力の低下の差が生じた影響が原因として考えられる。いずれの接合面処理においても、S14T と S10T ですべり係数に明確な差は見られなかった。
- ・ すべり/降伏耐力比 β のちがいについては、すべり/降伏耐力比 β が 1 に近づいて大きくなると、母板が降伏しポアソン効果で母板の板厚方向のひずみが大きくなることからボルト軸力抜けも大きくなり、すべり係数が低下するという過去の知見^{3.1)}と整合した結果を得られた。S14T の M22 と M24 では、すべり係数の低下率は同程度とみなすことができる。いずれの供試体においても、すべり係数は道示の規定値を上回る結果となった。
- ・ 鋼材の材質のちがいについては、すべり挙動に大きなちがいが無いと考えられる母板の板厚の範囲内の実験結果から、S14T は S10T と同様に、すべり係数への影響はなかったと考えられる。
- ・ 母板の板厚のちがいについては、母板の板厚が大きくなると、厚い連結板の初期変形の影響を受けやすく、接触圧力が減少し、すべり係数の低下を招きやすいという過去の知見^{3.5), 3.7), 3.8)}と同様な傾向も見られたものの、一方で、 β が小さいことによりすべり耐力時の鋼材の作用応力が小さいことから、ポアソン効果による鋼材の板厚減少も小さく、すべり係数が明確に低下しない場合もあることがわかった。いずれの供試体においても、すべり係数は道示の規定値を上回る結果となった。
- ・ 肌すきの影響については、肌すきが大きくなるにつれてすべり係数が低下した。これは、連結部中心に近いボルトの導入軸力の一部が板厚差を埋めるための板曲げに消費され、母

- 板と連結板とを密着させるための支圧力が減少することによる^{3.5), 3.9), 3.10)}と考えられる。また、母板の板厚に対する肌すきの割合が相対的に大きい50mmのケースでは、75mmのケースと比較して、肌すきが大きくなるにつれてすべり係数が低下する程度が大きい結果を示した。いずれの供試体においても、すべり係数は道示の規定値を上回る結果となった。
- ・母板の板厚差（フィラー）の影響については、母板板厚の変化率が大きくなるにつれてすべり係数が低下した。これは、過去の知見^{3.5), 3.11), 3.12)}と同様に、母板中心軸のずれによる偏心曲げモーメントが影響している可能性がある。一方で、母板板厚の変化率が最大の50%になると、すべり係数は減少傾向が逆転して増加している。これは、フィラー板厚の増加により連結板への応力伝達が不均一になる^{3.13)}ことを原因として、実験結果がばらついたものと考えられる。いずれの供試体においても、すべり係数は道示の規定値を上回る結果となった。
 - ・ボルト孔径のちがいについては、本試験結果からすべり係数への影響はみられなかった。ただし、S14TではS10Tよりボルト軸力が大きいことから、支圧応力を受ける連結板が早期に降伏し、ボルト軸力減少の原因になることが報告^{3.14), 3.15)}されている。よって、孔径を標準径から大きくする場合には、慎重な検討が必要と考えられる。
 - ・塗料のちがいについては、2社の塗料を用いてすべり係数を比較したところ、両者の平均値あるいは標準偏差に差が見られるものの、すべり係数 μ_1 は道示に規定されたすべり係数を実質的に同じ超過確率（B社塗料のS14T：99.6%、B社塗料のS10T、A社塗料のS14T・S10T：99.9%）を示した。なお、すべり後の挙動については塗料のちがいの影響を受けている可能性があるため、すべり後の連結部が破断するまでの挙動を検討する場合には塗料の成分の影響などを考慮する必要がある。

以上より、本試験結果では、S14TとS10Tでは同等のすべり係数を確保していたとみなすことができるものと考えられる。特に、接合面処理を無機ジंकリッチペイントまたは粗面とした場合、すべり係数 μ_1 が道示に規定されたすべり係数を確率99.9%以上で超過した。有機ジंकリッチペイントとした場合は、 $\mu_1=0.20\sim0.25$ と低い値を示した。

3.3 多列すべり試験

3.3.1 試験概要

(1) 検討条件

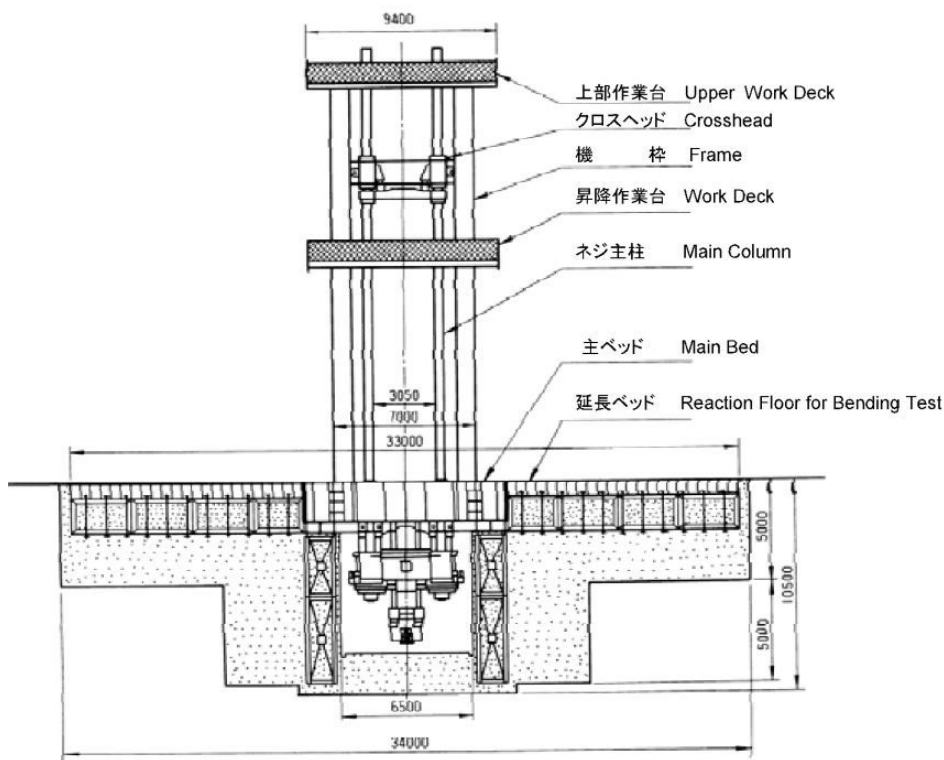
本試験では、S14T の道路橋への適用に関して、摩擦接合における継手性能に影響を及ぼし得る主な要因として、ボルトの多列配置に着目した試験を実施した。

- ・ボルト列数
 - 12 列：道示での最大本数
 - 8 列：道示での推奨値の最大値
 - 4 列：道示での推奨値の最大値と標準すべり試験（2 列）の中間列数
- ・ボルトの等級 S14T
- ・ボルト径 M22
- ・板厚 75mm の厚板
- ・母材および連結板の材質 SM490Y（板厚 38mm の連結板）
SM520C-H（板厚 75mm の母板）
- ・すべり/降伏耐力比 β 0.4 程度以下（すべり係数 $\mu=0.4$ の場合）
- ・接合面処理 無機ジンクリッチペイント
- ・保管期間 12 時間

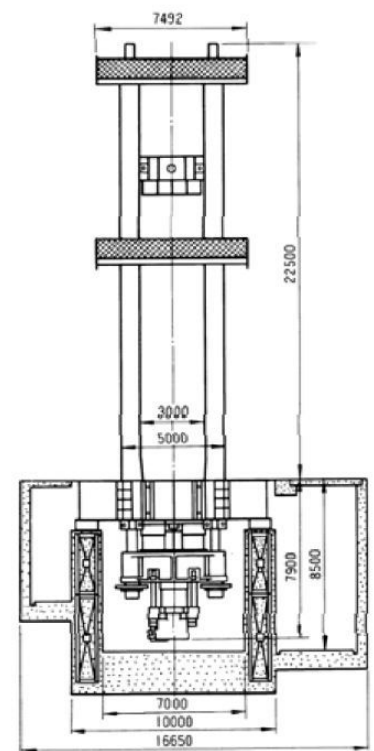
3.3.2 試験方法

(1) 試験機

多列すべり試験は、図-3.3.1 に示す独立行政法人 土木研究所所有の 30MN 大型構造部材万能試験機を使用して実施した。



側 面 図 (Side View)



正 面 図 (Front View)

※ 独立行政法人 土木研究所ホームページより引用
 図-3.3.1 30MN大型構造部材万能試験機

(2) 計測方法

3.2節の標準すべり試験と同様とする。

各計測機器の設置箇所は、図-3.3.2～図-3.3.4のとおりである。

すべり発生時の引張力および変位の変化(P- δ 関係)を把握するための動的計測は、サンプリング 10Hz で行った。

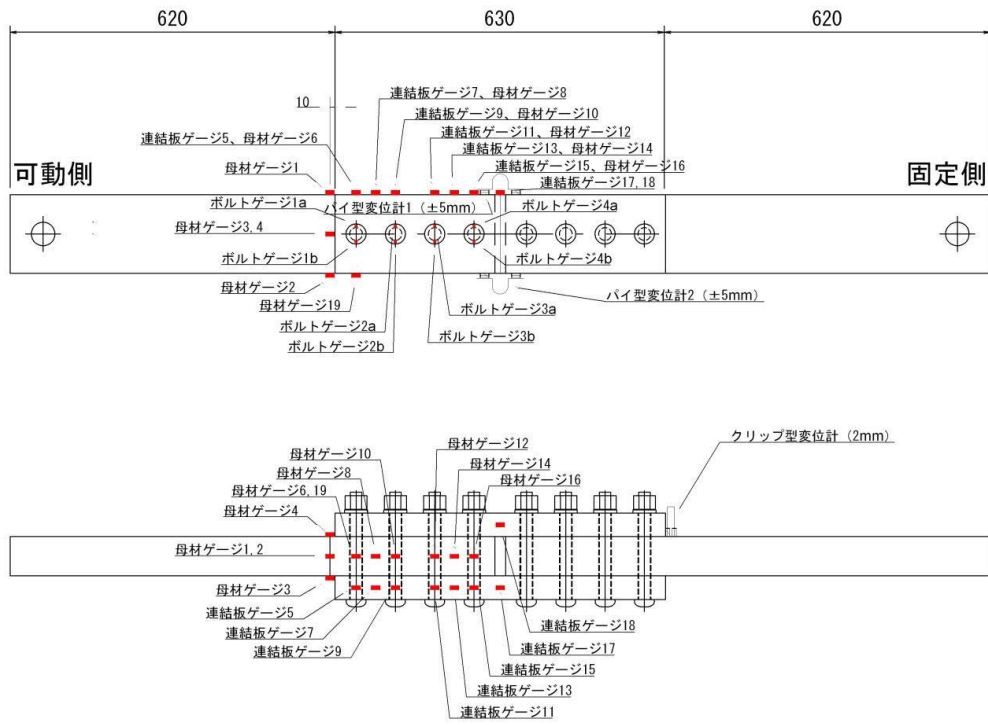


図-3.3.2 多列すべり試験の供試体の計測箇所 (No. 56、4列)

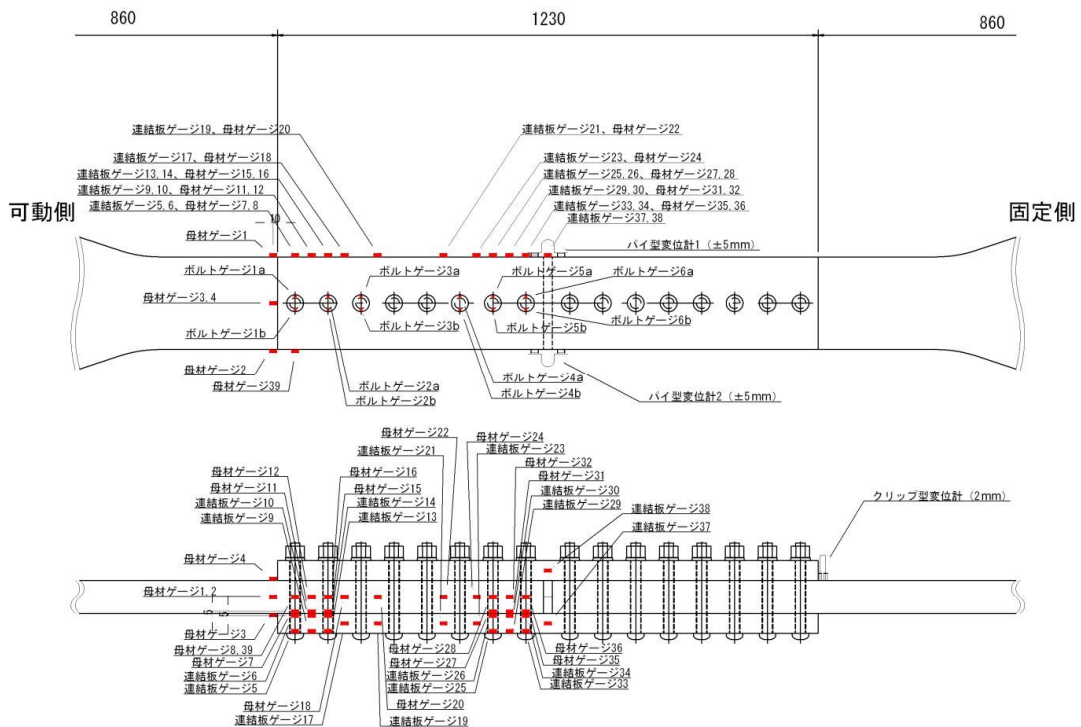


図-3.3.3 多列すべり試験の供試体の計測箇所 (No. 57、8列)

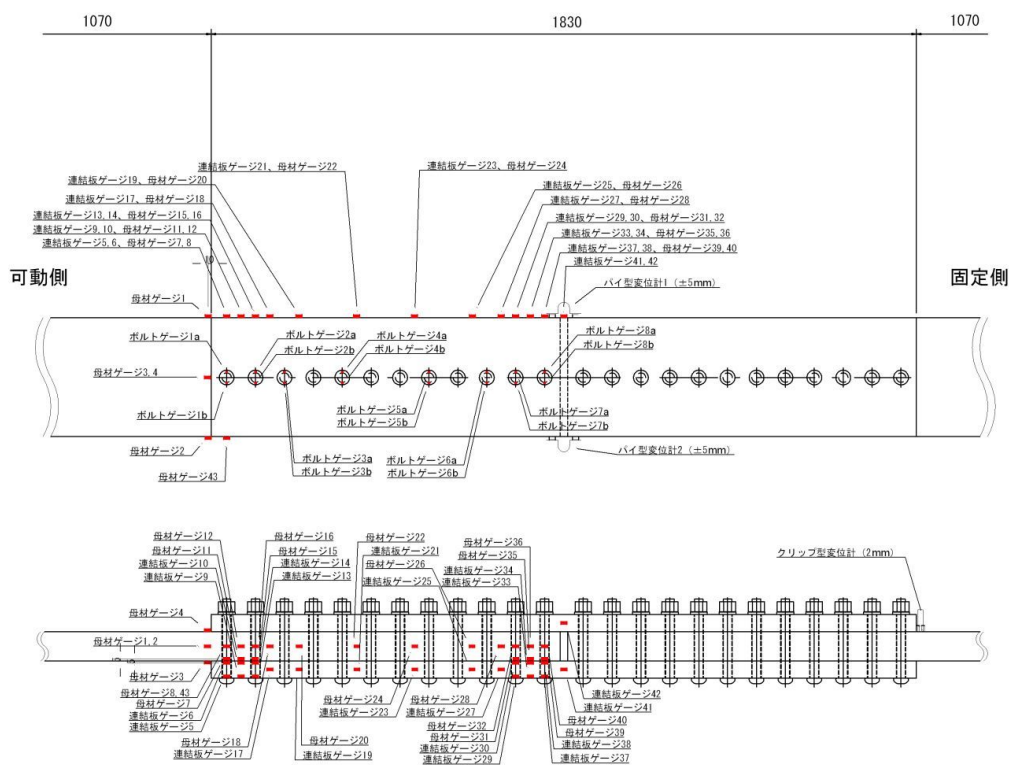
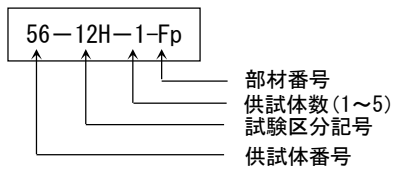


図-3.3.4 多列すべり試験の供試体の計測箇所 (No. 58、12列)

3.3.3 供試体の諸元

表-3.3.1 に供試体の基本諸元、図-3.3.6 に供試体の寸法図を示す。また、供試体の管理番号は、図-3.3.5 に示す要領で設定した。

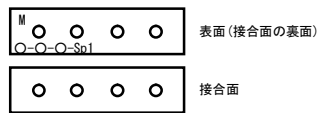


試験区分記号一覧

試験区分記号	試験区分
12H	12H

部材番号一覧

部材番号	部材名
Mp	可動側母材
Fp	固定側母材
Sp1	添接板
Sp2	添接板



供試体番号一覧

供試体番号		
56	57	58

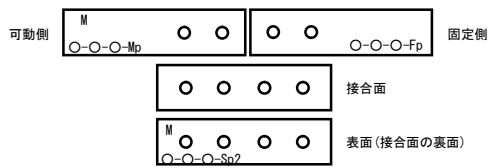
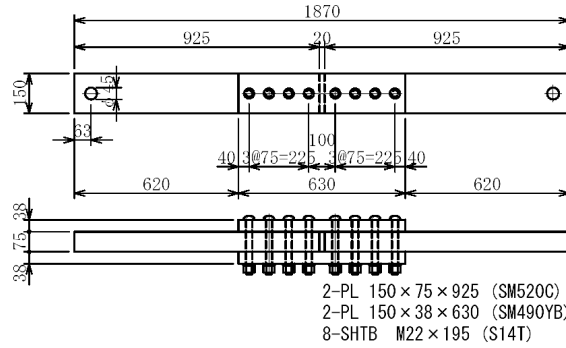


図-3.3.5 供試体の管理番号

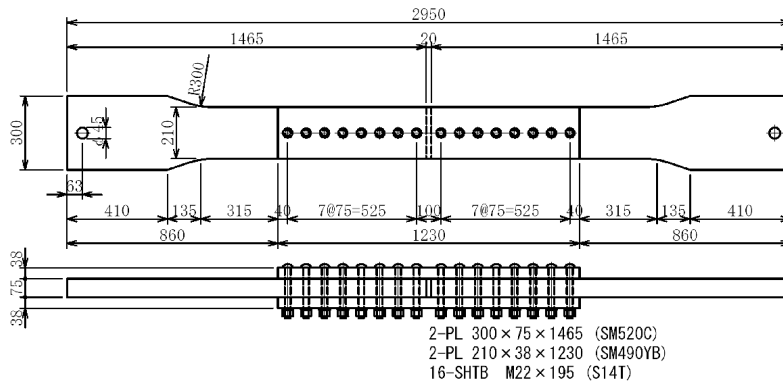
表-3.3.1 供試体の基本諸元

供試体No.	—	56	57	58	
保存期間	12H	3	3	3	
	1ヶ月				
	長期				
再試験 (接合面処理なし)	体				
ボルト	等級	—	S14T		
	呼径	—	M22		
	設計軸力	kN/本	299		
	列数	列	4	8	12
母板	板厚 (Fix)	mm	75		
	板厚 (Mov)	mm	75		
	材質	—	SM520C-H		
	変化率	%	0	0	0
連結板	板厚	mm	38		
	材質	—	SM490Y		
フィラー	板厚	mm	—	—	—
	材質	—	—	—	—
肌すき	mm	—	—	—	
供試体幅	mm	150	210	310	
ボルト孔径 φ	mm	24.5			
接合面の処理	—	無機			
すべり耐力 ($\mu=0.4$)	kN	957	1914	2870	
降伏耐力	母板	kN	3341	4939	7601
	連結板	kN	3386	5005	7703
β ($\mu=0.4$)	—	0.286	0.387	0.378	

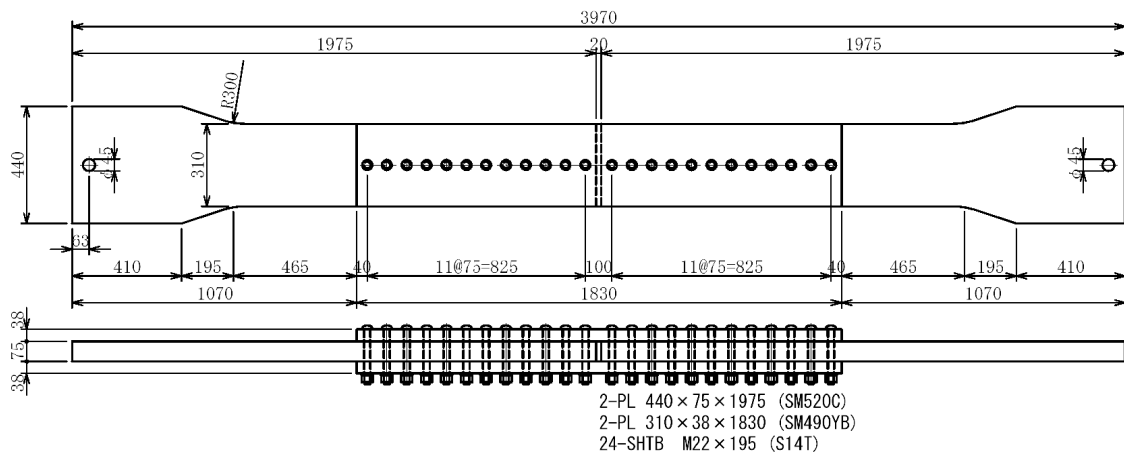
供試体 No. 56



供試体 No. 57



供試体 No. 58



※表示寸法は設計値で単位は mm である。

図-3.3.6 供試体の寸法図

(1) 使用材料

a) 鋼材の機械的特性

本試験に使用した鋼材の機械的特性を表-3.3.2に示す。

表-3.3.2 鋼材の機械的特性

供試体 No.	材質	板厚 mm	ミルシート			規定値			比率		
			降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	降伏点	引張強さ	$\delta u / \delta y$
No. 56 ~ No. 58	SM490YB	16	406	533	28	365	490~610	15	1.11	1.87	1.31
		22	428	551	28	355		19	1.21	1.47	1.29
		25	403	541	28	355		19	1.14	1.47	1.34
		28	408	539	26	355		19	1.15	1.37	1.32
		32	370	519	28	355		19	1.04	1.47	1.40
		38	433	557	28	355		19	1.22	1.47	1.29
	SM520C-H	45	393	563	34	355	520~640	21	1.11	1.62	1.43
		50	408	566	34	355		21	1.15	1.62	1.39
		60	392	594	32	355		21	1.10	1.52	1.52
		70	409	550	35	355		21	1.15	1.67	1.34
		75	374	583	35	355		21	1.05	1.67	1.56
			374	583	35	355		21	1.05	1.67	1.56
			374	583	35	355		21	1.05	1.67	1.56
			395	557	35	355		21	1.11	1.67	1.41

b) 塗装の製品検査結果

本試験に使用した塗装の製品検査結果を表-3.3.3に示す。

表-3.3.3 塗料の製品検査結果

試験項目	成績	規 格
		鋼道路橋塗装用塗料標準 無機ジンクリッチペイント
混合塗料中の加熱残分%	86	70 以上
加熱残分中の金属亜鉛%	82	75 以上
容器の中での状態	合格	粉は微小で一様な粉末であるものとする。 液はかき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になるものとする。
乾燥時間	合格	5 時間以下
可使時間	合格	5 時間で利用できるものとする。
厚塗り性	合格	厚塗り性に支障があってはならない。
膜厚の外観	合格	塗膜の外観が正常であるものとする。
耐衝撃性(デュボン式)	合格	衝撃によって割れおよび剥がれが生じてはならない。
耐塩水噴霧性	合格	塩水噴霧に耐えるものとする。
耐水性	合格	水に浸したときに異常がないものとする。
屋外暴露耐候性	合格(保証)	2 年間に試験でさび、割れ、剥がれおよび膨れがあってはならない。

c) ボルトの機械的性質

本試験に使用したボルトの機械的特性を表-3.3.4 に示す。

表-3.3.4 ボルトの機械的特性

ボルト等級	呼び径	首下長 (mm)	数量	ボルト						ナット	座金	セット	
				4号試験片				製品		製品	製品	軸力 平均値 kN	トルク N・m
				耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %	引張荷重 kN	硬さ HRC	硬さ HRC	硬さ HRC		
S14T	規定値			1260 以上	1400~ 1490	14 以上	40 以上	442(517) 以上	39~ 47	30~ 40	40~ 50	311(363)~ 373(435)	—
	22	195	142	1352	1454	16	52	459	43	32	44	325	1037
	22	195	178	1352	1454	16	52	459	43	32	44	325	1037

d) ボルトの校正試験結果

ボルトのひずみ測定値から軸力に換算するための校正係数を求める目的で、ひずみゲージを貼付けたボルトを用いてボルト単独の引張試験を行った（2本）。表-3.3.5 に校正試験結果を示す。

表-3.3.5 ボルトの校正試験結果

ボルト等級	呼び径	首下長 (mm)	校正測定値	case 番号
S14T	22	195	11.2	56, 57, 58

(2) 実験供試体の組立

a) ボルトへのひずみゲージ貼付

3.2節の標準すべり試験と同様とする。

b) 供試体の組立

供試体の組立は、図-3.3.7 の手順で行った。

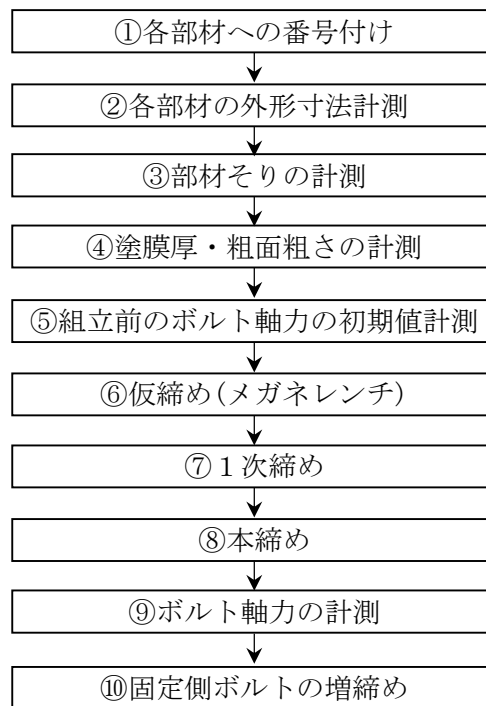


図-3.3.7 供試体の組立手順

① 各部材への番号付け

3.2 節の標準すべり試験と同様とする。

② 各部材の外形寸法計測

組立前に各部材の実寸法を曲尺、ノギス等を用いて寸法チェックを行った。図-3.3.8～図-3.3.10 に示す項目について寸法チェックした結果を表-3.3.6 に示す。設計値どおりの値を示し、すべり係数への影響は実質的になかったものと考えられる。

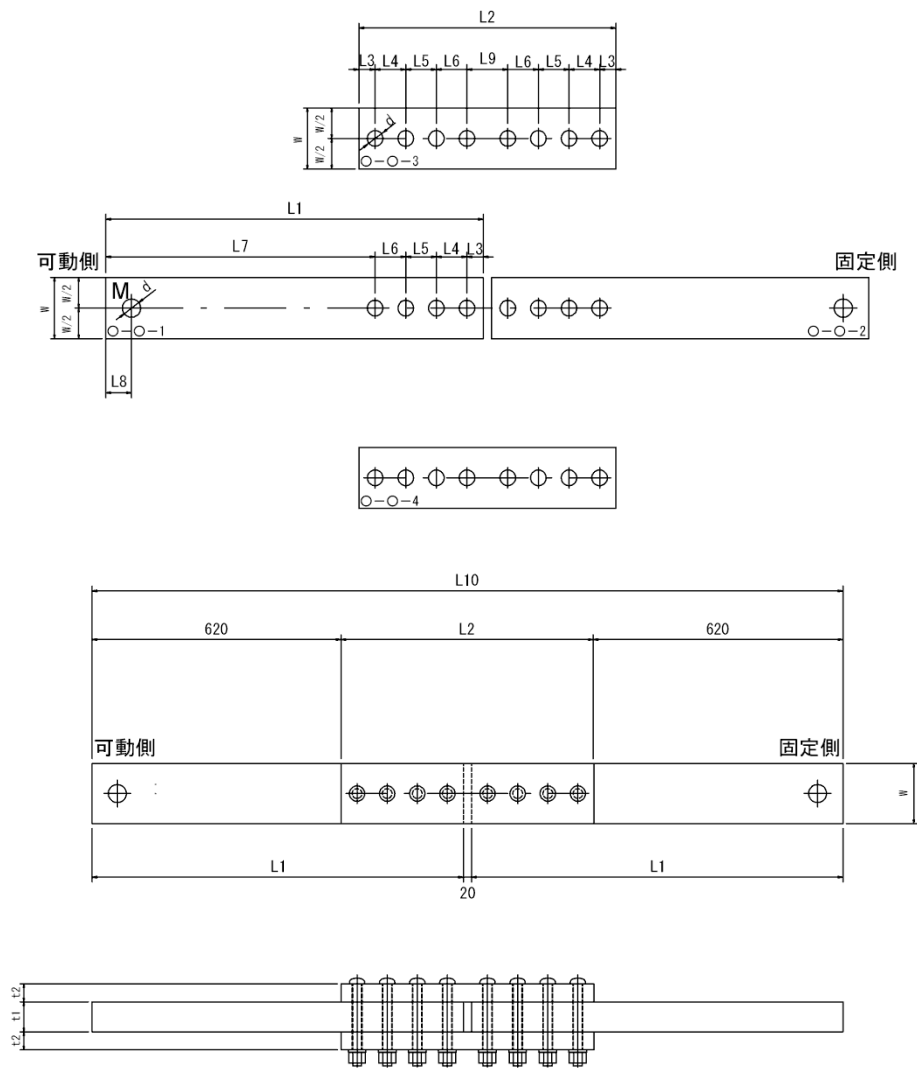


図-3.3.8 供試体の寸法計測項目(供試体 No. 56)

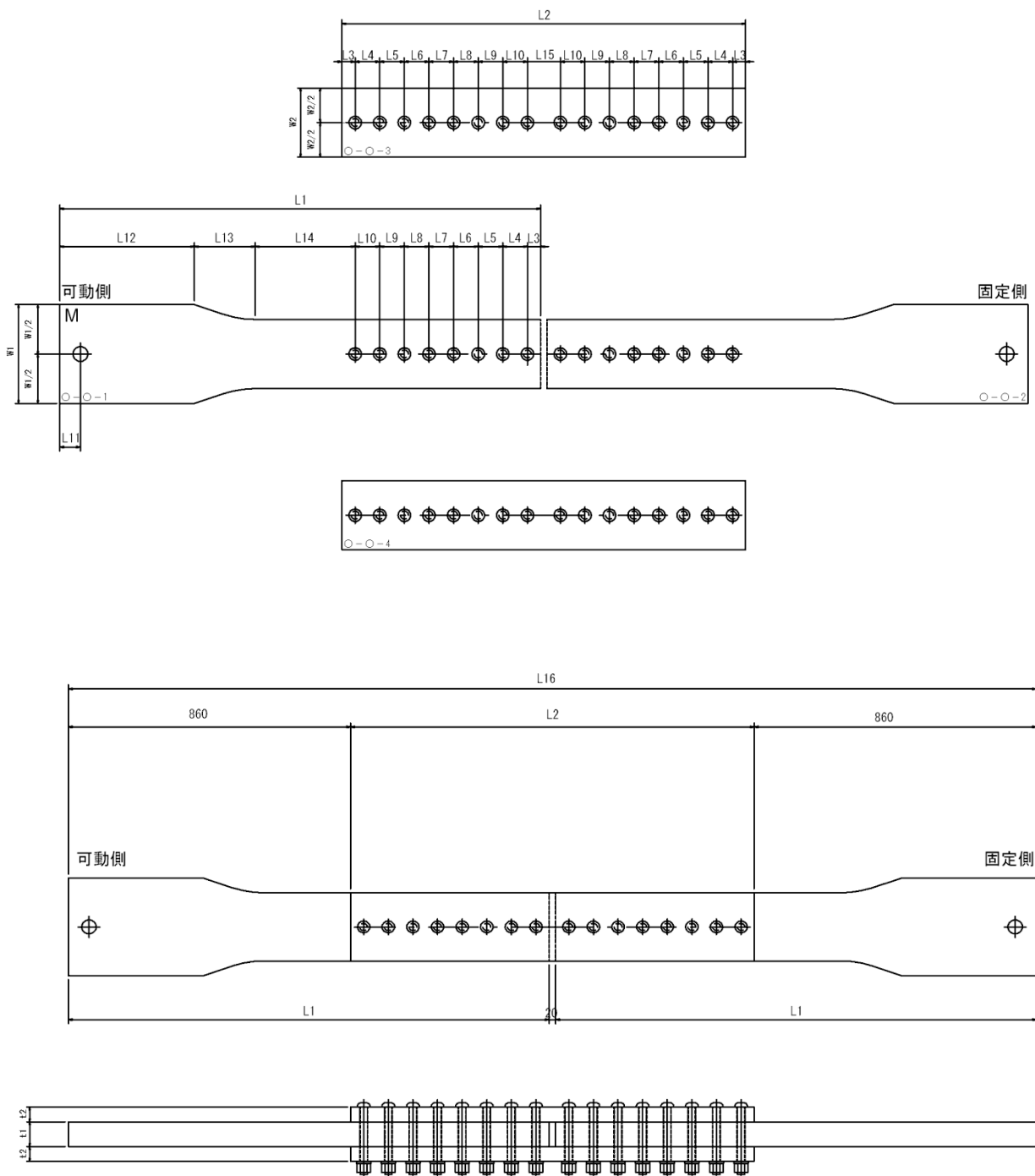


図-3.3.9 供試体の寸法計測項目(供試体 No. 57)

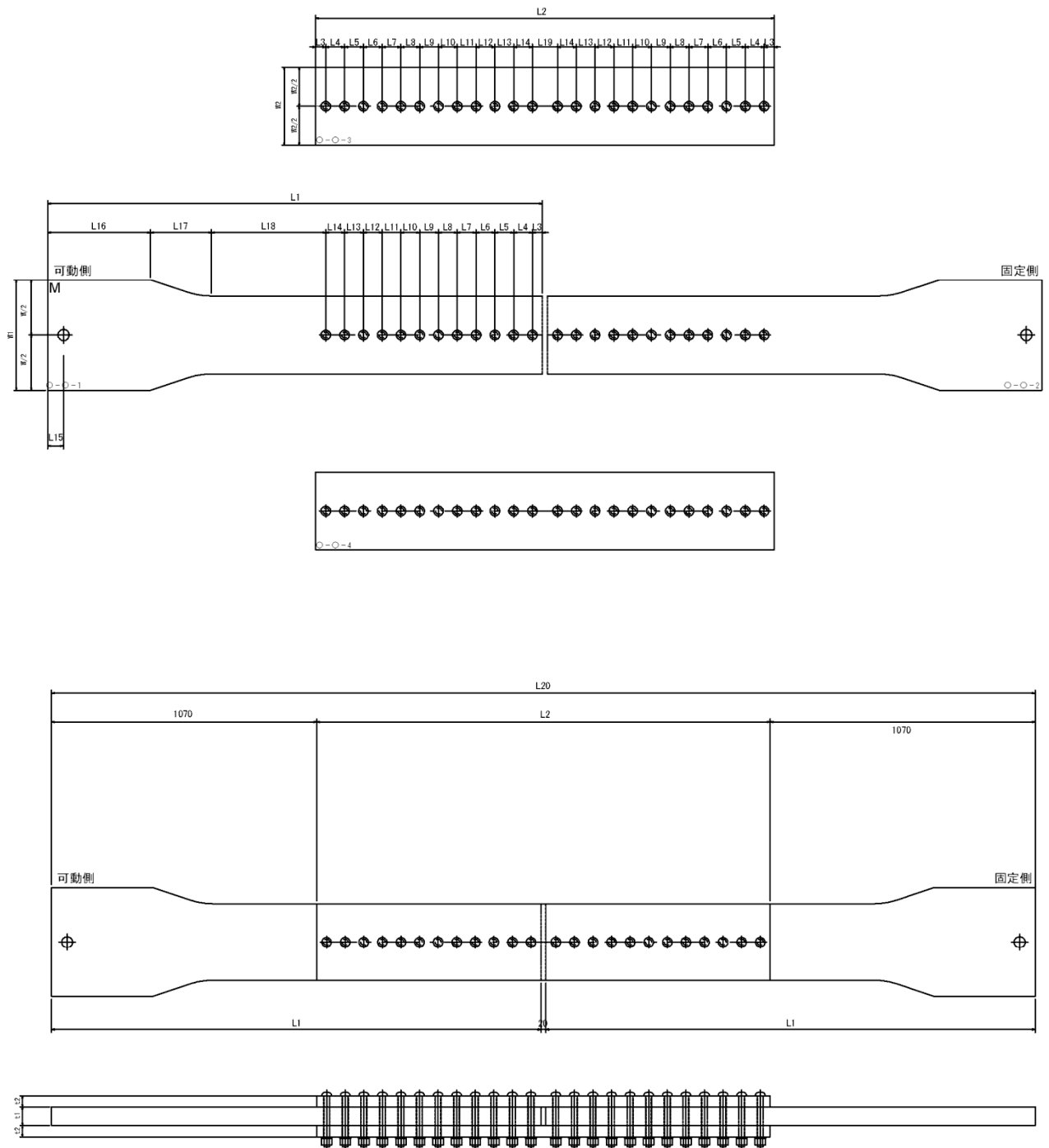


図-3.3.10 供試体の寸法計測項目(供試体 No. 58)

表-3.3.3.6 供試体の寸法チェック結果

供試体 番号	供試体の寸法 (mm)												検査面 の処理 無修繕				
	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	W		L11	L13	L12		d			
設計寸法	40	75	75	75	75	83	100	150	150	75	75	38	24.5	300	210		
56-1	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	150.5	150.3	150.7	150.7	75.6	75.3	レ	レ	レ	レ
56-2	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	150.6	150.7	150.7	150.6	75.5	75.6	レ	レ	レ	レ
56-3	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	150.5	150.8	150.3	150.5	75.5	75.5	38.1	レ	レ	レ

供試体 番号	供試体の寸法 (mm)												検査面 の処理 無修繕				
	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10		L11	L12	L13		L14	L15	W1	W2
設計寸法	40	75	75	75	75	75	75	75	75	63	410	135	315	100	300	210	
57-1	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ
57-2	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ
57-3	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ

供試体 番号	供試体の寸法 (mm)					検査面 の処理 無修繕
	L1	L3	L4	L5	d	
設計寸法	75	75.5	38	24.5	300	
57-1	75.4	75.5	レ	レ	レ	レ
57-2	75.2	75.2	レ	レ	レ	レ
57-3	75.2	75.3	レ	レ	レ	レ

供試体 番号	供試体の寸法 (mm)																		
	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	W1	W2
設計寸法	40	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	410	195	505	100	300	210
58-1	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ
58-2	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ
58-3	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ	レ

供試体 番号	供試体の寸法 (mm)					検査面 の処理 無修繕
	W1	W2	L1	L3	d	
設計寸法	400	310	75	58	24.5	
58-1	レ	レ	75.2	75.1	レ	レ
58-2	レ	レ	75.3	75.2	レ	レ
58-3	レ	レ	75.3	75.3	レ	レ

※レ点は設計寸法どおりであることを示す。

③ 部材そりの計測

本試験に使用した供試体の、連結板接合面鋼板そり量を計測した。計測は、供試体両端付近に 10mm の角材と高さ 40mm の直尺をセットし、各ボルト位置で直尺天端から供試体までの離れ量を計測した。計測位置を図-3.3.12～図-3.3.14 に、計測結果を表-3.3.7～表-3.3.8 および図-3.3.15 にそれぞれ示す。連結板のそりに着目すると、ボルト列数が多くなるにつれて、そり量も大きくなる傾向がみられた。

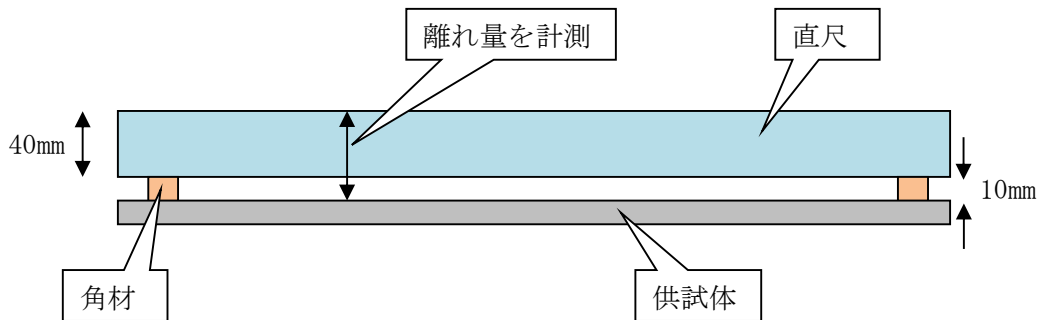


図-3.3.11 部材そり量計測要領図

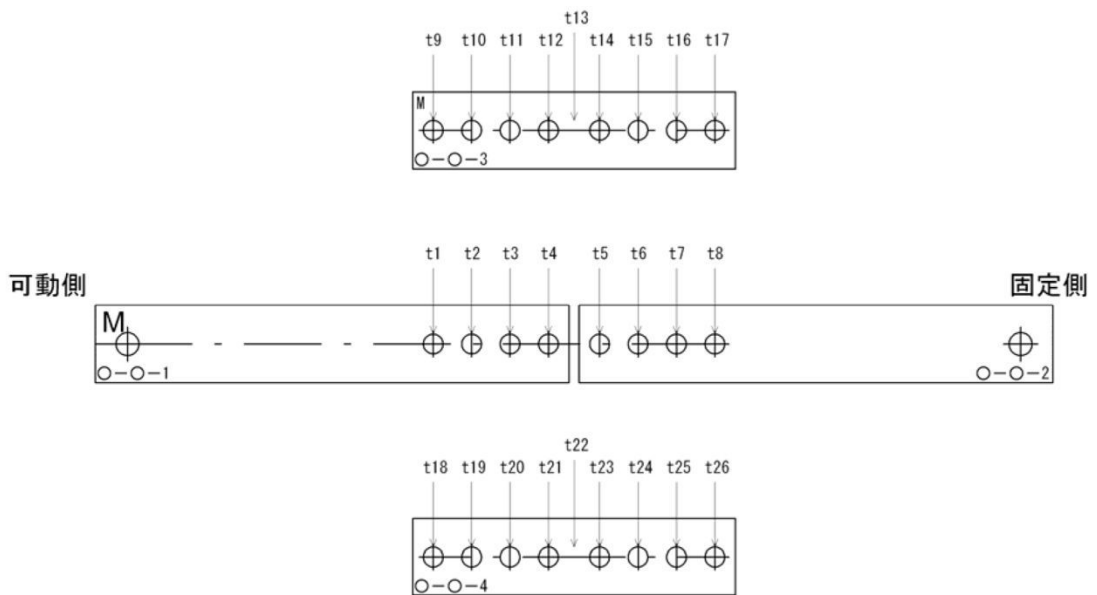


図-3.3.12 部材そり量計測箇所(供試体 No. 56)

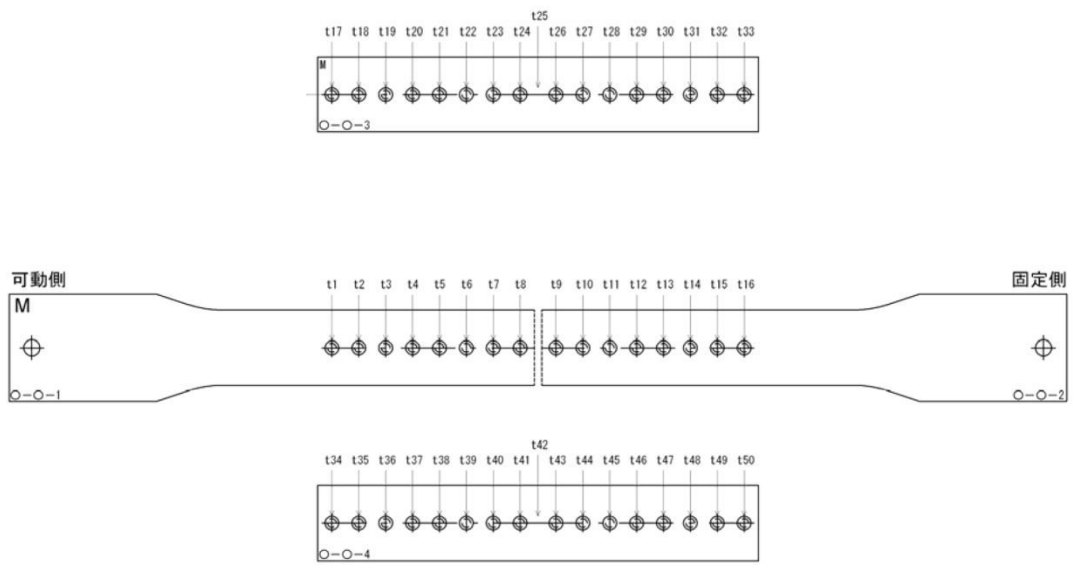


図-3.3.13 部材そり量計測箇所(供試体 No. 57)

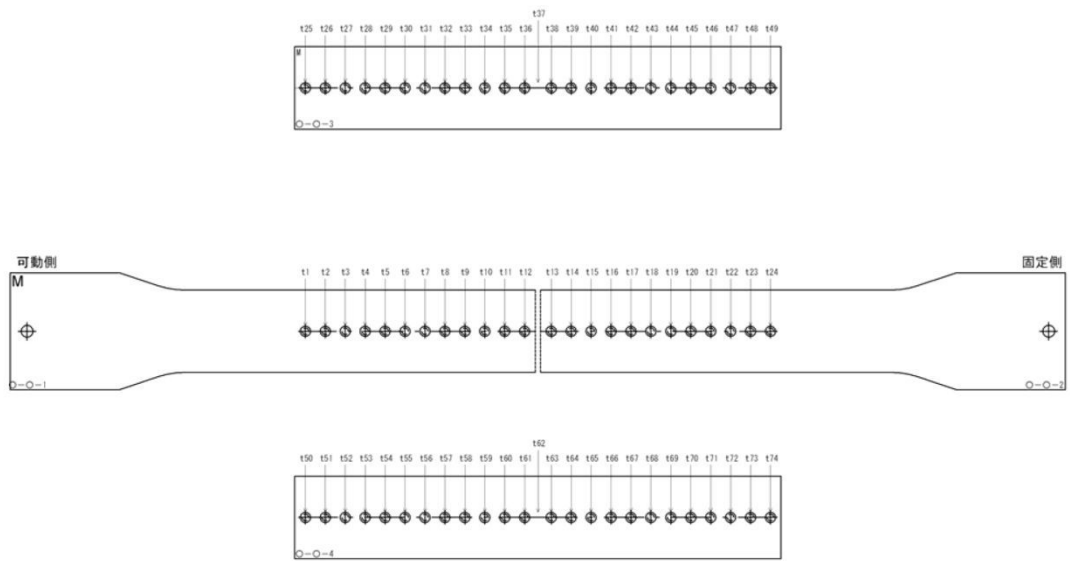


図-3.3.14 部材そり量計測箇所(供試体 No. 58)

表-3.3.7 部材そり計測結果

No. 56

供試体番号	母材1(可動側)					母材2(固定側)					連結板3					連結板4										
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26
56-1	49.6	49.6	49.6	49.8	49.3	49.3	49.3	49.3	49.1	49.1	49.1	49.0	49.1	49.0	49.0	49.0	49.0	49.1	49.1	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0
56-2	49.9	49.9	49.9	50.3	48.6	49.0	48.8	48.8	49.3	49.3	49.2	49.2	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.2	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1
56-3	50.0	50.0	49.9	50.3	48.3	48.8	48.7	48.7	49.2	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	48.9	49.0	49.1	49.2	49.2	49.1	49.1	49.0	49.1	49.0	49.0	49.0

単位：mm

No. 57

供試体番号	母材1(可動側)					母材2(固定側)					連結板3					連結板4										
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26
57-1	49.4	49.4	49.4	49.2	49.0	48.7	48.6	48.9	48.9	49.0	49.0	49.0	49.1	49.2	49.2	49.2	49.0	49.0	49.0	48.9	48.9	48.7	48.7	48.7	48.7	48.6
57-2	48.1	47.5	47.5	47.1	47.0	47.0	47.2	47.5	48.6	48.4	48.4	48.4	48.4	48.6	48.6	48.7	49.1	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.7	48.7	48.7
57-3	48.7	48.6	48.4	48.2	48.1	47.8	47.7	47.6	50.4	50.3	50.3	50.1	50.0	49.9	49.7	49.6	49.2	49.1	49.1	49.1	48.9	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8

単位：mm

供試体番号	連結板3					連結板4																			
	t27	t28	t29	t30	t31	t32	t33	t34	t35	t36	t37	t38	t39	t40	t41	t42	t43	t44	t45	t46	t47	t48	t49	t50	t51
57-1	48.7	48.7	48.8	48.9	49.0	48.8	48.9	48.9	48.9	48.9	48.8	48.8	48.7	48.5	48.6	48.6	48.5	48.6	48.7	48.7	48.7	48.7	48.8	48.9	49.0
57-2	48.7	48.7	48.7	48.8	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	48.9	48.8	48.8	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.8	48.9	49.0
57-3	48.8	48.9	49.0	49.0	49.2	49.2	49.2	49.1	49.1	49.1	49.0	48.9	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.9	48.9

No. 58

供試体番号	母材1(可動側)					母材2(固定側)					連結板3					連結板4									
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25
58-1	48.8	48.6	48.4	48.1	47.6	47.4	47.6	48.0	48.3	48.0	47.8	47.8	47.3	47.3	47.4	47.7	48.0	48.4	48.5	48.7	48.9	48.8	48.8	48.3	48.9
58-2	48.7	48.5	48.0	47.7	47.9	48.0	48.1	48.0	48.0	47.9	47.2	46.6	48.5	48.6	48.8	48.7	49.0	49.1	48.7	48.5	48.4	48.6	48.6	48.8	49.1
58-3	48.9	48.8	49.2	49.5	49.2	49.0	48.9	48.9	49.0	49.2	49.6	49.8	51.6	51.3	51.1	50.9	50.5	50.4	50.5	50.3	49.8	49.4	49.4	49.3	49.2

単位：mm

供試体番号	連結板3					連結板4																			
	t25	t26	t27	t28	t29	t30	t31	t32	t33	t34	t35	t36	t37	t38	t39	t40	t41	t42	t43	t44	t45	t46	t47	t48	t49
58-1	49.2	48.7	48.4	48.2	48.0	47.8	47.6	47.4	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.4	47.6	48.0	48.3	48.4	48.7	48.9	49.2
58-2	49.0	48.7	48.4	48.3	48.1	48.0	47.8	47.6	47.6	47.5	47.4	47.4	47.5	47.5	47.6	47.5	47.6	47.7	47.9	48.2	48.4	48.4	48.7	49.0	49.1
58-3	49.1	48.8	48.5	48.3	48.2	48.2	48.1	47.9	47.9	47.9	47.9	47.9	47.9	47.9	48.0	48.0	48.0	48.0	48.2	48.4	48.6	48.6	48.7	48.9	49.0

供試体番号	連結板3					連結板4																			
	t50	t51	t52	t53	t54	t55	t56	t57	t58	t59	t60	t61	t62	t63	t64	t65	t66	t67	t68	t69	t70	t71	t72	t73	t74
58-1	49.0	48.7	48.4	48.2	48.1	48.0	47.8	47.6	47.6	47.6	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4	47.7	47.8	48.0	48.2	48.4	48.6	48.9	49.1
58-2	49.1	48.7	48.6	48.4	48.2	48.0	47.8	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.5	47.5	47.6	47.7	47.8	48.0	48.2	48.5	48.7	48.8	48.9	49.0	49.3
58-3	49.2	49.0	48.9	48.7	48.6	48.5	48.4	48.2	48.2	48.1	48.1	48.1	48.1	48.2	48.3	48.4	48.5	48.5	48.5	48.7	48.8	48.8	48.9	49.1	49.2

表-3.3.8 部材そり量集計結果

供試体No	母材厚	列数	母材			連結板		
			最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
56-1	75	4	0.7	0.2	0.5	1.0	0.9	1.0
56-2	75	4	1.4	-0.3	0.6	1.0	0.7	0.9
56-3	75	4	1.7	-0.3	0.7	1.1	0.8	0.9
57-1	75	8	1.4	0.6	0.9	1.5	1.0	1.2
57-2	75	8	3.0	1.3	2.1	1.3	0.9	1.2
57-3	75	8	2.4	-0.4	0.9	1.2	0.8	1.1
58-1	75	12	2.7	1.1	1.9	2.7	0.8	2.1
58-2	75	12	3.4	0.9	1.7	2.6	0.7	1.9
58-3	75	12	1.2	-1.6	0.2	2.1	0.7	1.6

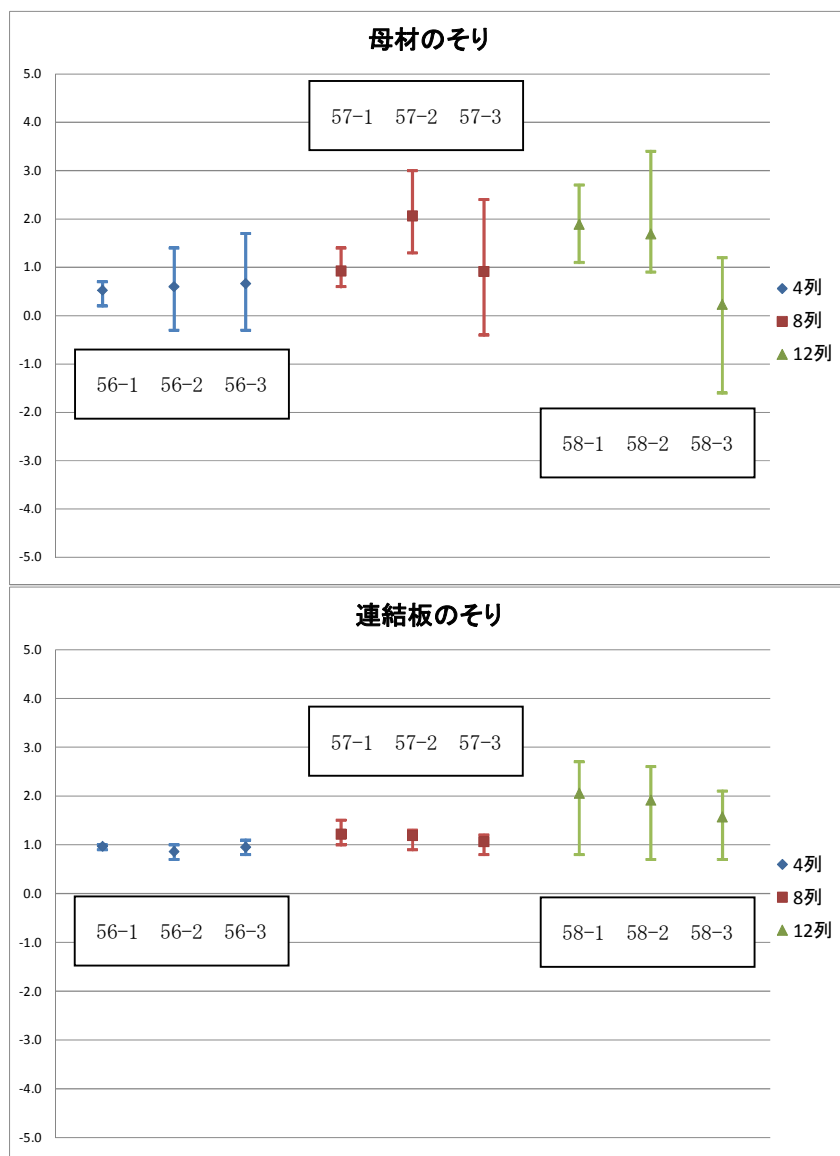


図-3.3.15 部材そり量分布

④ 塗膜厚の計測

本試験に使用した供試体の計測位置を図-3.3.16～図-3.3.18、合計塗膜厚の算出方法を表-3.3.9、塗膜厚の算出結果を表-3.3.10～表-3.3.11 および図-3.3.19～図-3.3.20 にそれぞれ示す。

また、計測には膜圧計 LZ300C(仕様については表-3.3.12 を参照)を用いた。

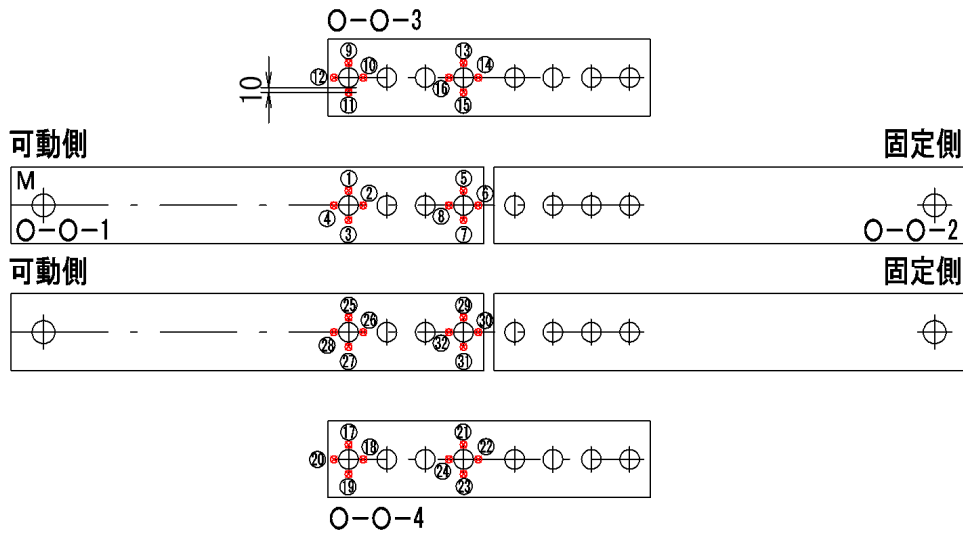


図-3.3.16 塗膜厚計測位置 (供試体 No. 56)

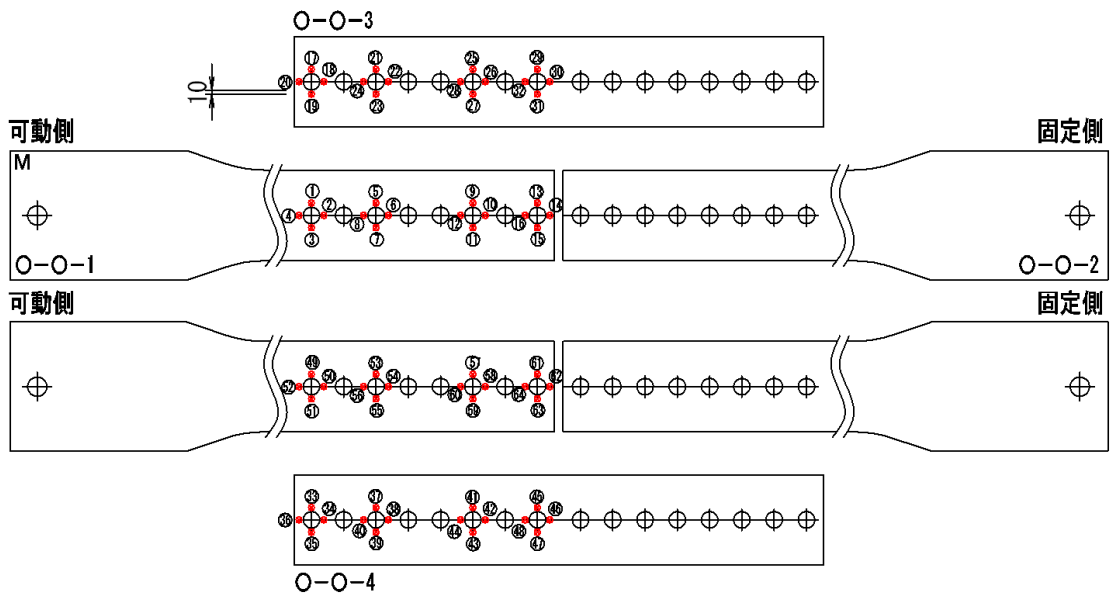


図-3.3.17 塗膜厚計測位置 (供試体 No. 57)

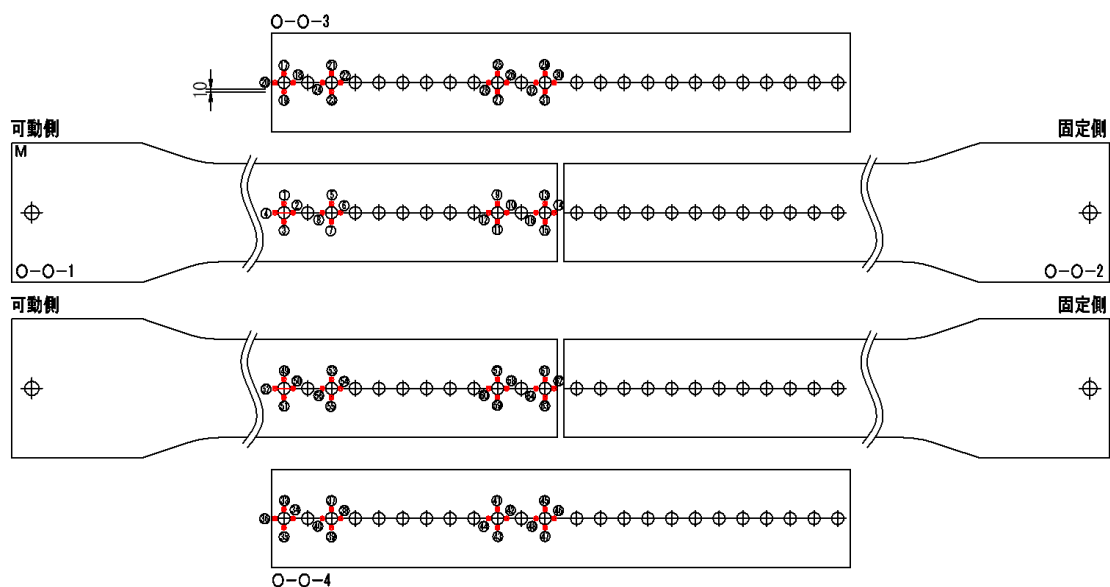


図-3. 3. 18 塗膜厚計測位置（供試体 No. 58）

上図で示した位置で計測した片側塗膜厚の結果をもとに、表-3. 3. 9 に示す方法で合計塗膜厚を算出した。

表-3. 3. 9 合計塗膜厚の算出方法

供試体	接合面の記号	接合面位置		ボルト1				ボルト2				ボルト3				ボルト4				
				a:上	b:右	c:下	d:左	e:上	f:右	g:下	h:左	i:上	j:右	k:下	l:左	m:上	n:右	o:下	p:左	
56	A	SpI. Pl. 3 (下面)	—	母材1 (上面)	11+1	10+2	9+3	12+4	15+5	14+6	13+7	16+8								
	B	母材1 (下面)	—	SpI. Pl. 4 (上面)	27+17	26+18	25+19	28+20	31+21	30+22	29+23	32+24								
57, 58	A	SpI. Pl. 3 (下面)	—	母材1 (上面)	19+1	18+2	17+3	20+4	23+5	22+6	21+7	24+8	27+9	26+10	25+11	28+12	31+13	30+14	29+15	32+16
	B	母材1 (下面)	—	SpI. Pl. 4 (上面)	51+33	50+34	49+35	52+36	55+37	54+38	53+39	56+40	59+41	58+42	57+43	60+44	63+45	62+46	61+47	64+48

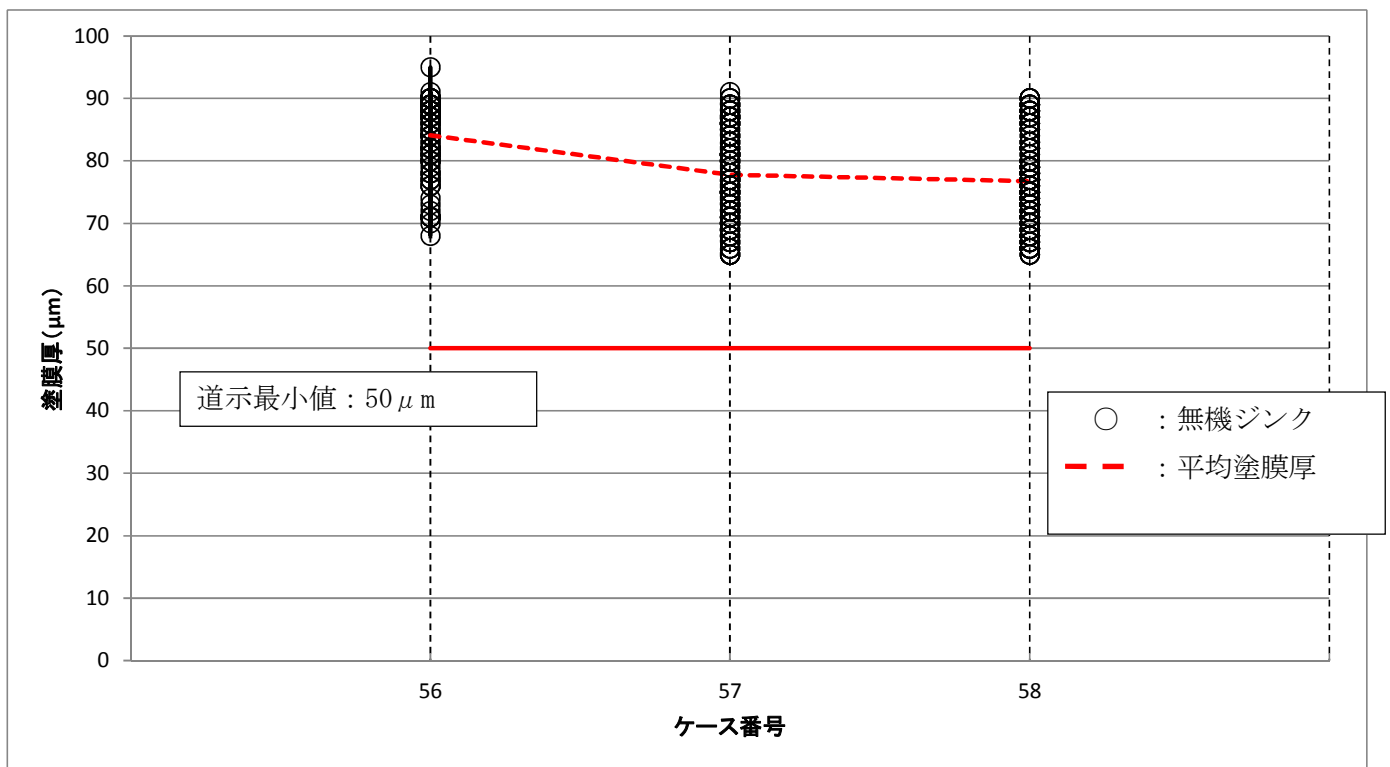


図-3.3.19 各供試体における塗膜厚のばらつき

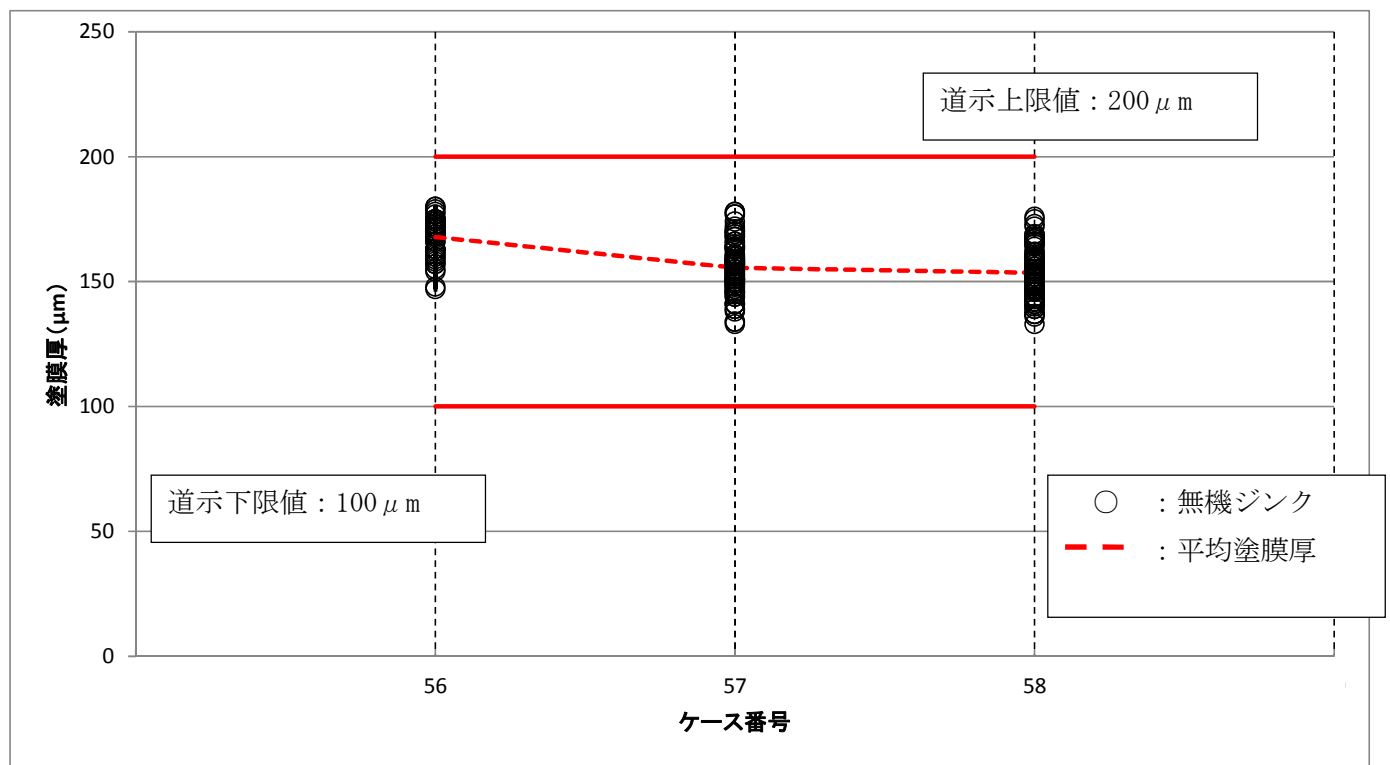
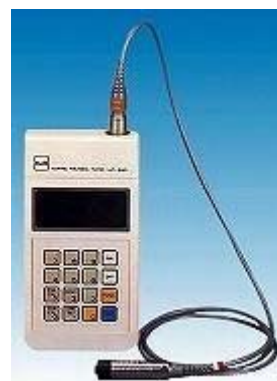


図-3.3.20 各供試体における合計塗膜厚のばらつき

表-3.3.12 膜厚計の仕様

製品名	膜厚計 LZ300C
メーカー	ケット科学研究所
測定方式	電磁誘導式/高周波式
測定範囲	電磁式:0~1500 μm , 高周波式:0~800 μm
測定精度	50 μm 未満: $\pm 1 \mu\text{m}$, 50 μm 以上: $\pm 3\%$
分解能	100 μm 未満: 0.1 μm , 100 μm 以上: 1 μm
最小測定面積	5×5mm



片面塗膜厚は道示で規定された下限値を全て上回り、両面塗膜厚は全て道示で規定された上限値と下限値の間の値を示した。よって、塗膜厚のばらつきによるすべり係数への影響は実質的になかったと考えられる。

- ⑤ 組立前のボルト軸力の初期値を計測する。
3.2節の標準すべり試験と同様とする。
- ⑥ メガネレンチによる仮締め，ボルト孔クリアランス調整
3.2節の標準すべり試験と同様とする。
- ⑦ 1次締め
ボルトの締め付け作業は、図-3.3.21 に示す順序で連結板中央の可動側、固定側の順に内側から外側に向けて行う。

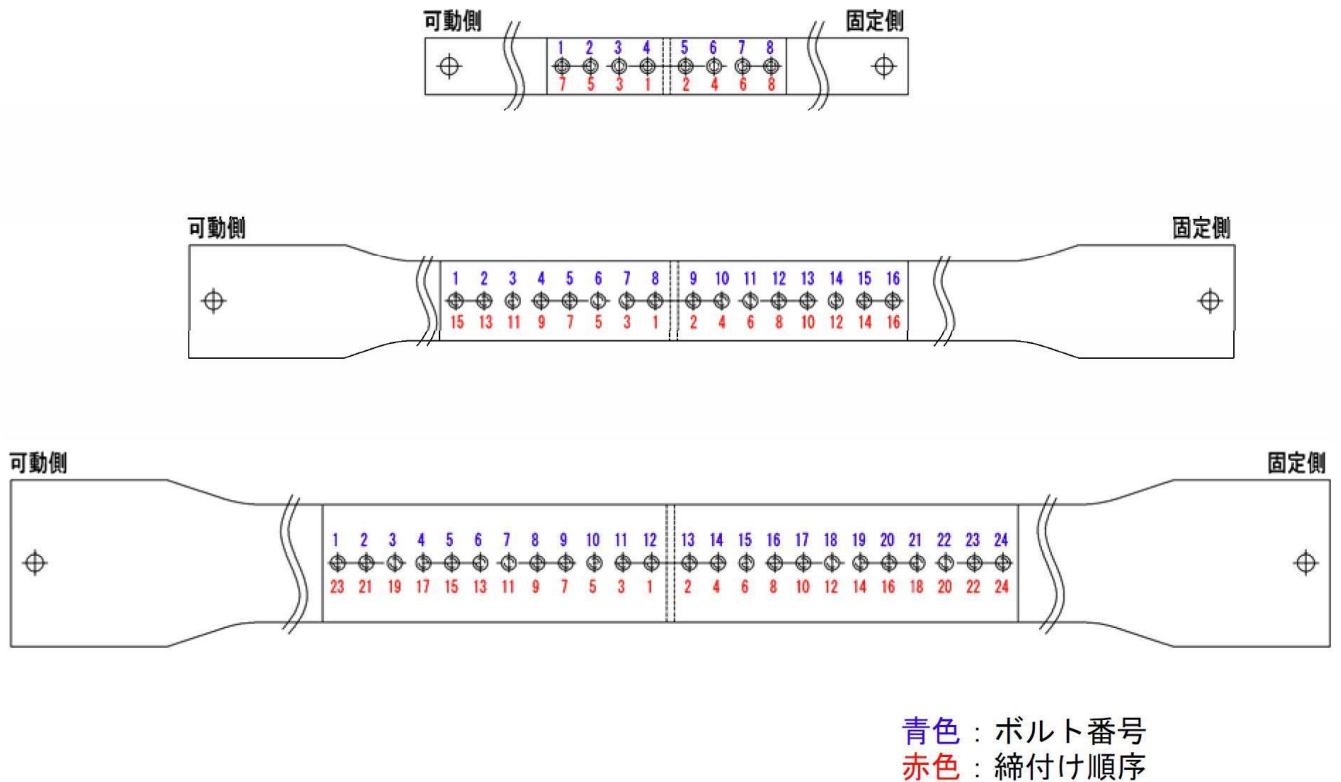


図-3.3.21 ボルト締め付け順序

- ⑧ 本締め
3.2節の標準すべり試験と同様とする。
 - ⑨ ピンテール切断後 30 秒後にボルト軸力計測
3.2節の標準すべり試験と同様とする。
 - ⑩ 増締め用マーキング（白ペン）
3.2節の標準すべり試験と同様とする。
 - ⑪ 固定側増締め
3.2節の標準すべり試験と同様とする。
- c) 供試体ゲージの貼付
3.2節の標準すべり試験と同様とする。

3.3.4 試験結果

(1) すべり試験結果

図-3.3.22～図-3.3.23にすべり試験の結果を示す。4列、8列、12列を比較すると、 μ_1 の平均値はそれぞれ0.65、0.66、0.62であり、 μ_2 の平均値はそれぞれ0.69、0.70、0.64である。4～8列まではすべり係数に大きな差異はみられなかったが、12列では4～8列に対して約0.05の低下がみられた。

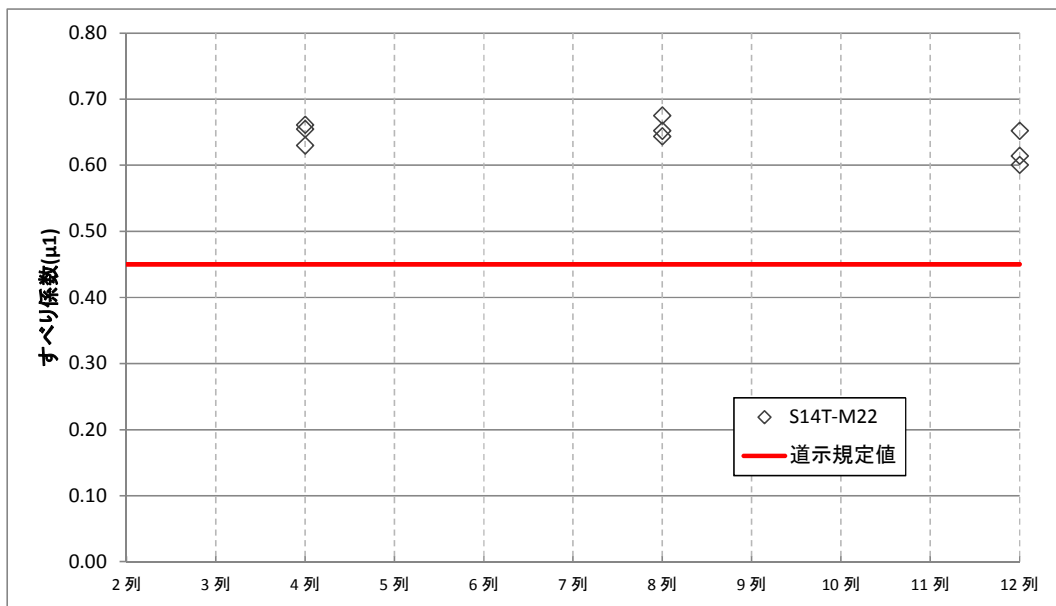


図-3.3.22 ボルト列数のちがいによるすべり係数 (μ_1)

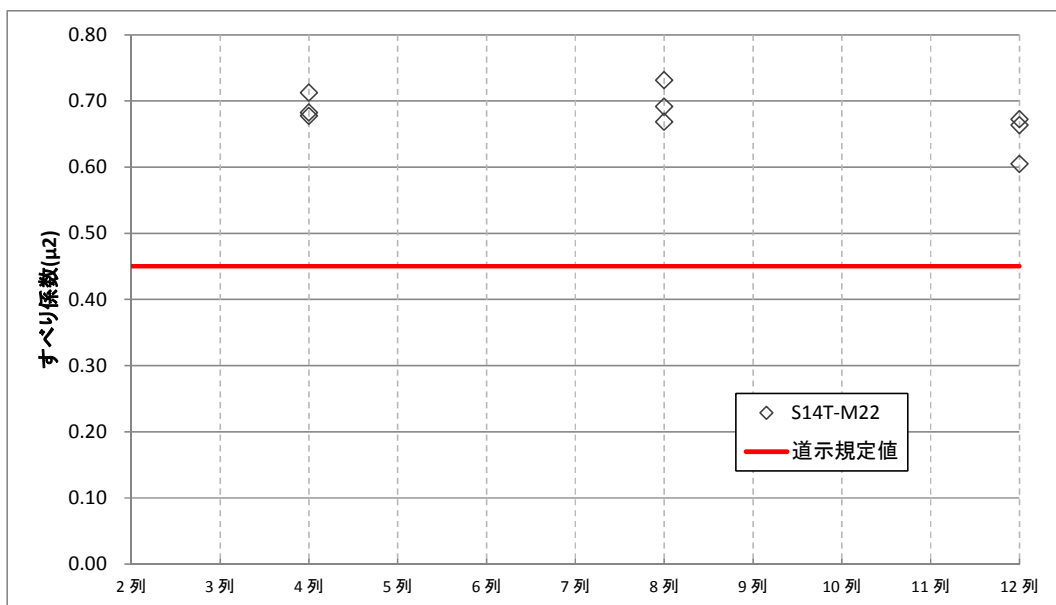


図-3.3.23 ボルト列数のちがいによるすべり係数 (μ_2)

(2) すべり耐力比の比較

図-3.3.24 に、S14T を用いた今回の実験、および F10T を用いた既往の研究^{3.5)}におけるボルト列数とすべり耐力比の関係を示す。ここですべり耐力比とは、各試験体のすべり係数 μ_2 と 4 列の試験体(本試験)、あるいは 3 列試験体(既往の実験・解析)のすべり係数 μ_2 (平均値)との比を示したものである。本試験では、ボルト列数が 8 列から 12 列へ増えるとすべり耐力が 7%程度低下する傾向がみられる。この低下傾向は、道示における 8 本を超えるボルト列数に対する低減係数と同程度である。一方、4 列と 8 列を比較するとすべり耐力比に明確な低下はみられなかった。

また、本試験結果におけるボルト列数が 8 列以上のすべり耐力比の低下率は、F10T を用いた既往の研究^{3.5)}とほぼ同じ傾向がみられた。

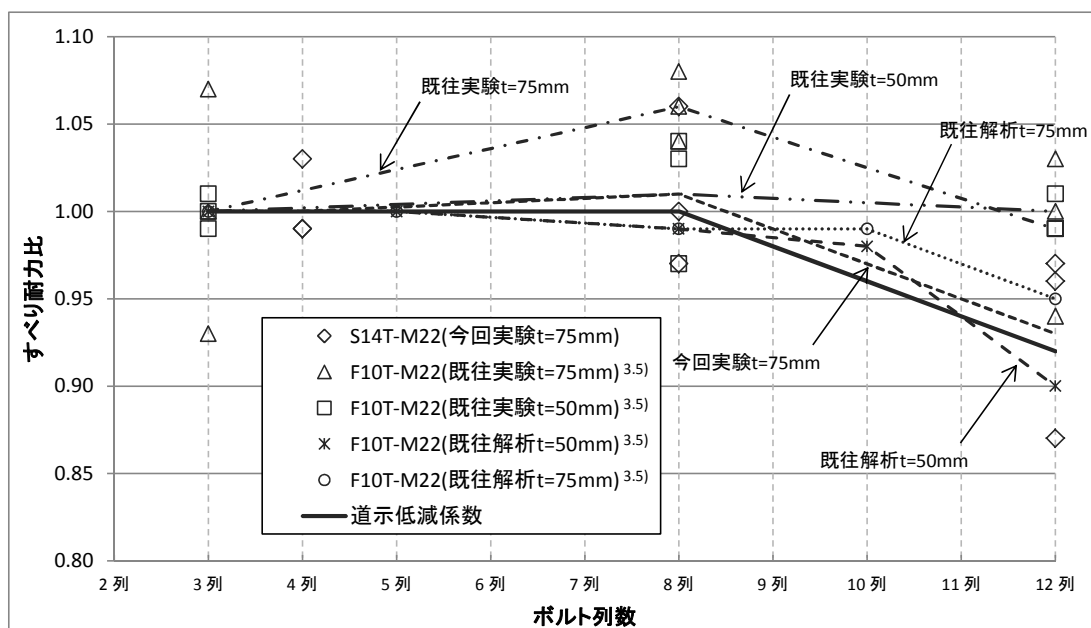


図-3.3.24 すべり耐力比 (既往の研究^{3.5)}との比較)

(3) すべり試験時のひずみ分布

ボルトの多列化の影響として、多列ボルト間の分担する摩擦力のばらつきを把握するため、母材および連結板ひずみの変化量を整理し、表-3.3.13～表-3.3.21 および図-3.3.25～図-3.3.36 にそれぞれ示す。

ひずみを計測した 9 供試体の中からすべり耐力比が最も低下した供試体 No. 58-2 を代表として着目すると、表-3.3.20 および図-3.3.35 より、連結中心から 1～3 本目付近で連結中心からの距離に比例して母板のひずみが急勾配で小さいことがわかる。逆に連結板のひずみは同じ範囲で大きく最大値を示している。すべり面を見ると、図-3.3.44 より、連結中心から 1 本目付近はボルト側に、3 本目付近はナット側にすべり跡がそれぞれ見られる。これより、当該箇所ボルトが分担する摩擦力が大きく、すべり耐力に達したことが推定される。また、連結中心から 11 本目付近で、連結中心からの距離に比例した母板のひずみ勾配が大きく、連結板のひずみは急勾配で小さい結果を示している。すべり面を見ると、ボルト側、ナット側ともに 11 本目を含めた前後に比較的大きなすべり跡があり、すべり耐力に達したことが推定される。その間を見ると、ボルト側の 5 列目付近にもすべり跡があるものの 4、7、8 列付近は大きなすべり跡がなく、摩擦力に不均一が生じたと考えられる。以上より、各ボルトの分担する摩擦力は不均一で、ボルト列の端部付近のボルトが分担する摩擦力が相対的に大きかったことが結論として考えられる。他の試験結果についても、母板または連結板のひずみの勾配の変化、またはすべり面におけるすべり跡のばらつきから、多列ボルトにおける各ボルトの分担する摩擦力の不均一が生じたと推定される。

(a) 供試体 No.56

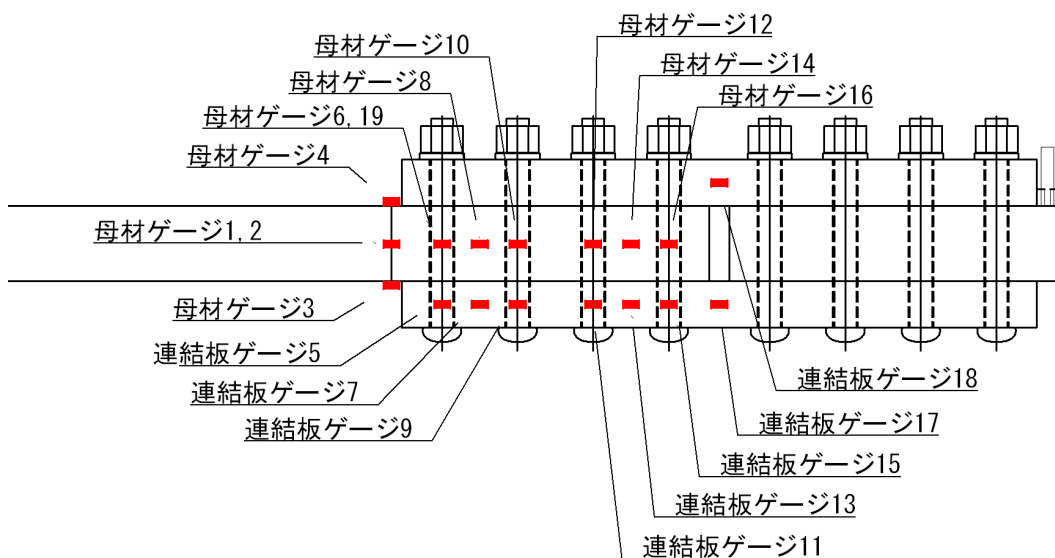


図-3.3.25 ひずみゲージ番号 (供試体 No. 56)

供試体 No. 56-1

表-3. 3. 13 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 56-1)

母材ひずみ

距離		ゲージ1	ゲージ6 ボルト位置	ゲージ8	ゲージ10 ボルト位置	ゲージ12 ボルト位置	ゲージ14	ゲージ16 ボルト位置
		-325	-275	-237.5	-200	-125	-87.5	-50
1/4P	391	130	99	100	87	60	47	9
1/2P	782	323	251	235	216	147	105	17
3/4P	1172	513	415	419	355	239	156	12
P(すべり荷重)	1567	711	589	606	515	348	209	-13

連結板ひずみ(μ ϵ)

距離		ゲージ5 ボルト位置	ゲージ7	ゲージ9 ボルト位置	ゲージ11 ボルト位置	ゲージ13	ゲージ15 ボルト位置	ゲージ17
		-275	-237.5	-200	-125	-87.5	-50	0
1/4P	391	13	33	41	62	74	85	108
1/2P	782	26	76	97	149	179	207	243
3/4P	1172	33	127	163	247	306	359	385
P(すべり荷重)	1567	23	161	221	353	455	531	625

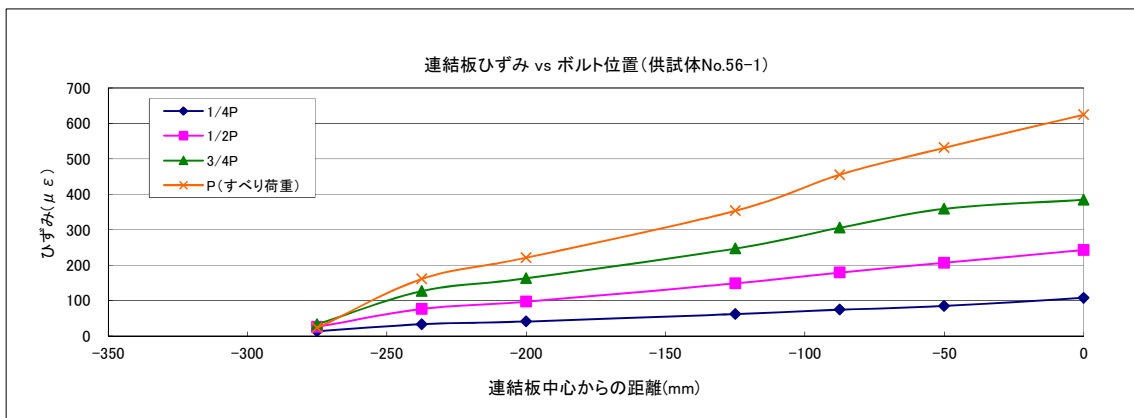
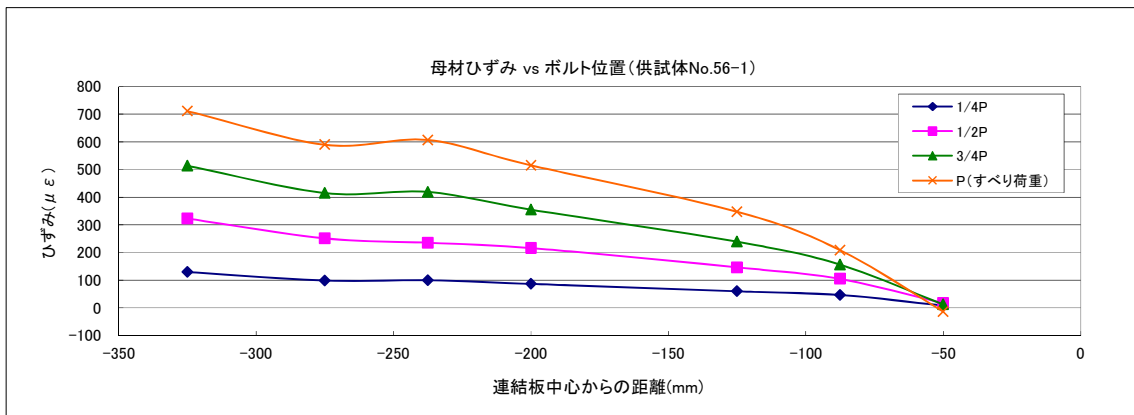


図-3. 3. 26 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 56-1)

供試体 No. 56-2

表-3. 3. 14 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 56-2)

母材ひずみ

距離		ゲージ1	ゲージ6 ボルト位置	ゲージ8	ゲージ10 ボルト位置	ゲージ12 ボルト位置	ゲージ14	ゲージ16 ボルト位置
		-325	-275	-237.5	-200	-125	-87.5	-50
1/4P	392	109	94	98	83	53	35	5
1/2P	784	271	214	216	192	114	70	8
3/4P	1175	453	363	381	316	176	107	17
P(すべり荷重)	1582	673	528	563	464	263	159	33

連結板ひずみ(μ ϵ)

距離		ゲージ5 ボルト位置	ゲージ7	ゲージ9 ボルト位置	ゲージ11 ボルト位置	ゲージ13	ゲージ15 ボルト位置	ゲージ17
		-275	-237.5	-200	-125	-87.5	-50	0
1/4P	392	6	31	42	69	84	90	95
1/2P	784	11	67	93	166	215	220	217
3/4P	1175	8	106	148	282	375	376	388
P(すべり荷重)	1582		114	184	384	526	549	585

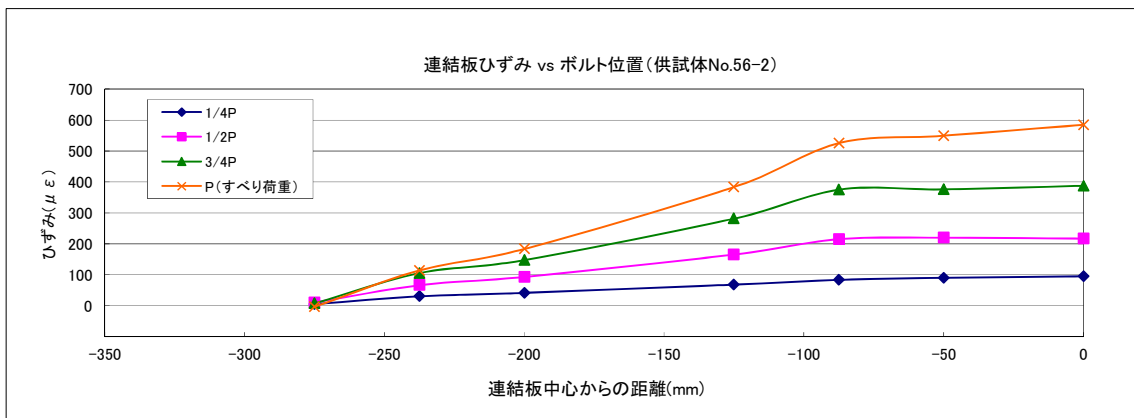
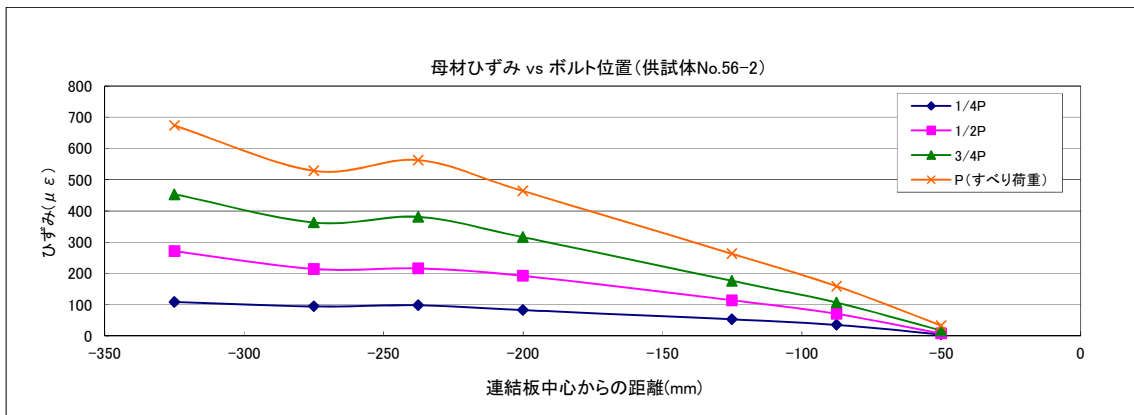


図-3. 3. 27 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 56-2)

供試体 No. 56-3

表-3. 3. 15 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 56-3)

母材ひずみ

距離		ゲージ1	ゲージ6 ボルト位置	ゲージ8	ゲージ10 ボルト位置	ゲージ12 ボルト位置	ゲージ14	ゲージ16 ボルト位置
		-325	-275	-237.5	-200	-125	-87.5	-50
1/4P	375	102	84	90	73	48	31	3
1/2P	750	267	198	202	180	108	64	6
3/4P	1124	438	340	352	291	166	97	15
P(すべり荷重)	1507	634	497	527	416	245	139	31

連結板ひずみ(μ ϵ)

距離		ゲージ5 ボルト位置	ゲージ7	ゲージ9 ボルト位置	ゲージ11 ボルト位置	ゲージ13	ゲージ15 ボルト位置	ゲージ17
		-275	-237.5	-200	-125	-87.5	-50	0
1/4P	375	12	37	42	66	82	88	105
1/2P	750	28	81	97	157	207	212	239
3/4P	1124	32	134	156	283	362	375	418
P(すべり荷重)	1507	18	143	189	385	535	558	633

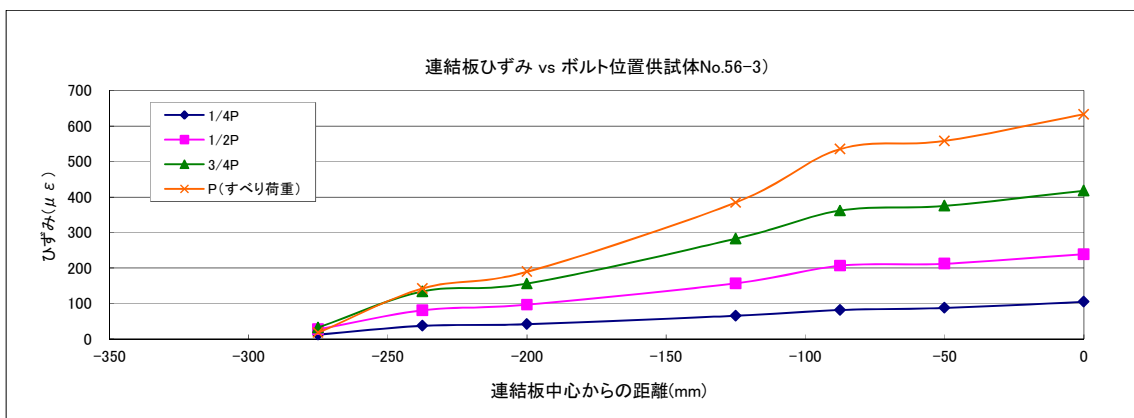
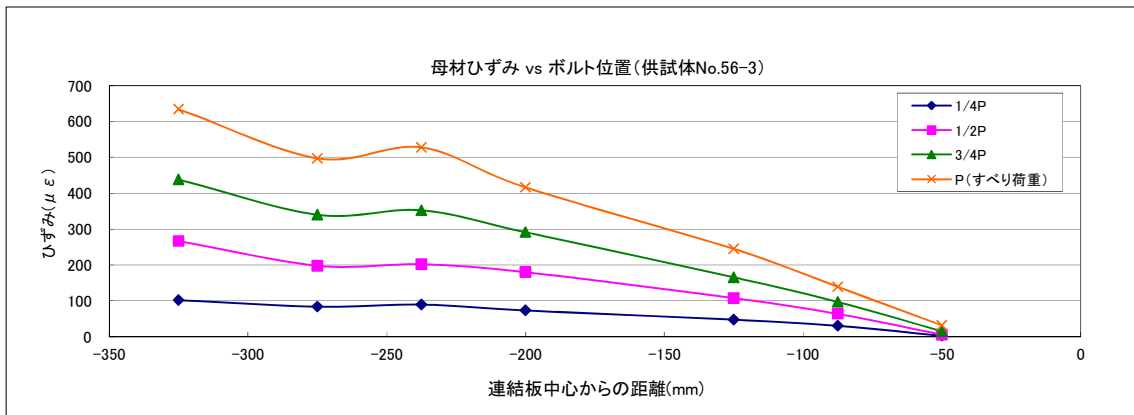


図-3. 3. 28 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 56-3)

(b) 供試体 No.57

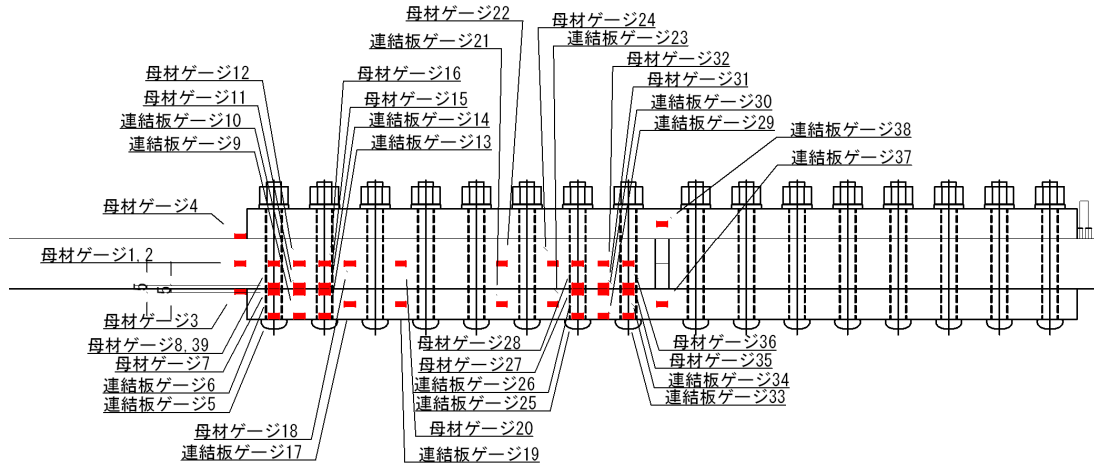


図-3. 3. 29 ひずみゲージ番号 (供試体 No. 57)

供試体 No. 57-1

表-3.3.16 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 57-1)

母材ひずみ

距離	ゲージ位置											
	ゲージ1	ゲージ8 ボルト位置	ゲージ12	ゲージ16 ボルト位置	ゲージ18	ゲージ20	ゲージ22	ゲージ24	ゲージ28 ボルト位置	ゲージ32	ゲージ36 ボルト位置	
荷重	-625	-575	-537.5	-500	-462.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	
1/4P	767	221	209	204	174	157	136	113	80	59	23	-2
1/2P	1536	464	436	449	404	346	286	215	142	98	36	-3
3/4P	2303	720	667	694	643	570	467	307	194	135	48	-3
P(すべり荷重)	3080	994	921	962	896	812	663	371	211	150	54	-1

連結板ひずみ(μE)

距離	ゲージ位置											
	ゲージ5、6 平均 ボルト位置	ゲージ9、10 平均	ゲージ13、 14平均 ボルト位置	ゲージ17	ゲージ19	ゲージ21	ゲージ23	ゲージ25、 26平均 ボルト位置	ゲージ29、 30平均	ゲージ33、 34平均 ボルト位置	ゲージ37	
荷重	-575	-537.5	-500	-462.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	0	
1/4P	767	2	59	94	107	121	137	170	189	204	219	210
1/2P	1536	8	73	119	180	227	293	375	389	429	438	441
3/4P	2303	16	89	130	221	310	479	598	595	687	666	678
P(すべり荷重)	3080	20	97	127	223	357	645	844	834	949	928	955

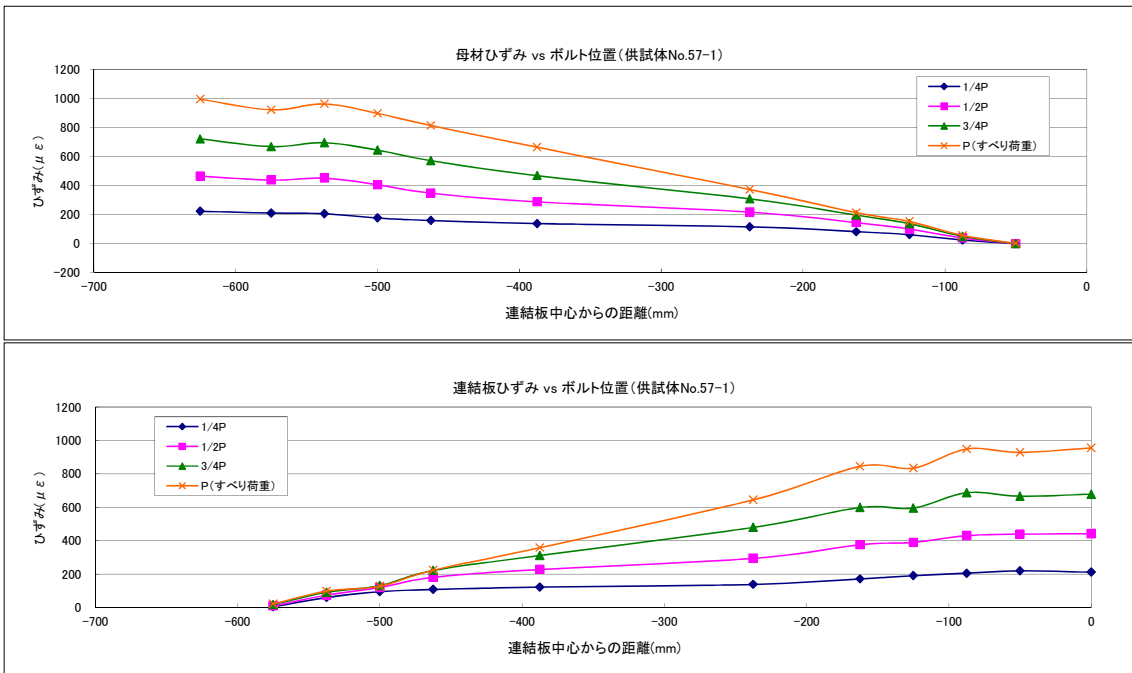


図-3.3.30 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 57-1)

供試体 No. 57-2

表-3.3.17 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 57-2)

母材ひずみ

距離	ゲージ位置											
	ゲージ1	ゲージ8 ボルト位置	ゲージ12	ゲージ16 ボルト位置	ゲージ18	ゲージ20	ゲージ22	ゲージ24	ゲージ28 ボルト位置	ゲージ32	ゲージ36 ボルト位置	
荷重	-625	-575	-537.5	-500	-462.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	
1/4P	805	169	162	157	150	137	117	95	77	55	25	-8
1/2P	1609	440	409	397	380	359	294	217	163	108	47	-15
3/4P	2413	768	701	689	650	611	532	348	239	153	64	-18
P(すべり荷重)	3230	1142	1035	1042	983	917	803	474	298	188	77	-16

連結板ひずみ(μE)

距離	ゲージ位置											
	ゲージ5、6 平均 ボルト位置	ゲージ9、10 平均	ゲージ13、 14平均 ボルト位置	ゲージ17	ゲージ19	ゲージ21	ゲージ23	ゲージ25、 26平均 ボルト位置	ゲージ29、 30平均	ゲージ33、 34平均 ボルト位置	ゲージ37	
荷重	-575	-537.5	-500	-462.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	0	
1/4P	805	12	20	39	61	81	96	108	114	130	128	128
1/2P	1609	19	47	77	119	180	235	277	318	358	299	335
3/4P	2413	25	70	110	166	273	405	492	535	568	568	600
P(すべり荷重)	3230	26	79	137	196	338	590	713	785	830	841	884

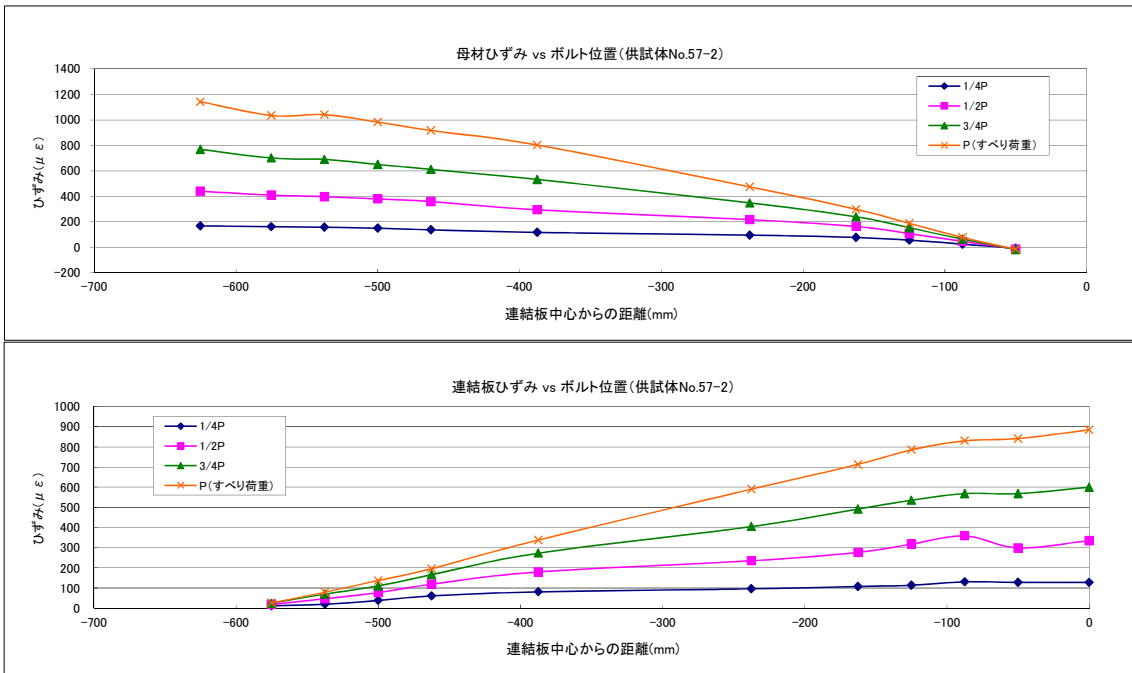


図-3.3.31 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 57-2)

供試体 No. 57-3

表-3.3.18 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 57-3)

母材ひずみ

距離	ゲージ位置											
	ゲージ1	ゲージ8 ボルト位置	ゲージ12	ゲージ16 ボルト位置	ゲージ18	ゲージ20	ゲージ22	ゲージ24	ゲージ28 ボルト位置	ゲージ32	ゲージ36 ボルト位置	
荷重	-625	-575	-537.5	-500	-462.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	
1/4P	781	185	165	158	151	132	115	93	70	42	17	-1
1/2P	1564	463	408	401	400	340	271	194	137	83	41	6
3/4P	2345	784	691	692	681	601	481	286	188	119	61	11
P(すべり荷重)	3120	1128	1011	1028	1013	899	725	389	230	144	70	13

連結板ひずみ(μE)

距離	ゲージ位置											
	ゲージ5、6 平均 ボルト位置	ゲージ9、10 平均	ゲージ13、 14平均 ボルト位置	ゲージ17	ゲージ19	ゲージ21	ゲージ23	ゲージ25、 26平均 ボルト位置	ゲージ29、 30平均	ゲージ33、 34平均 ボルト位置	ゲージ37	
荷重	-575	-537.5	-500	-462.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	0	
1/4P	781	25	36	65	74	97	106	117	129	150	141	139
1/2P	1564	26	56	116	146	214	249	285	332	342	365	371
3/4P	2345	29	64	143	172	288	405	478	560	579	579	624
P(すべり荷重)	3120	31	60	146	180	349	623	725	798	857	838	873

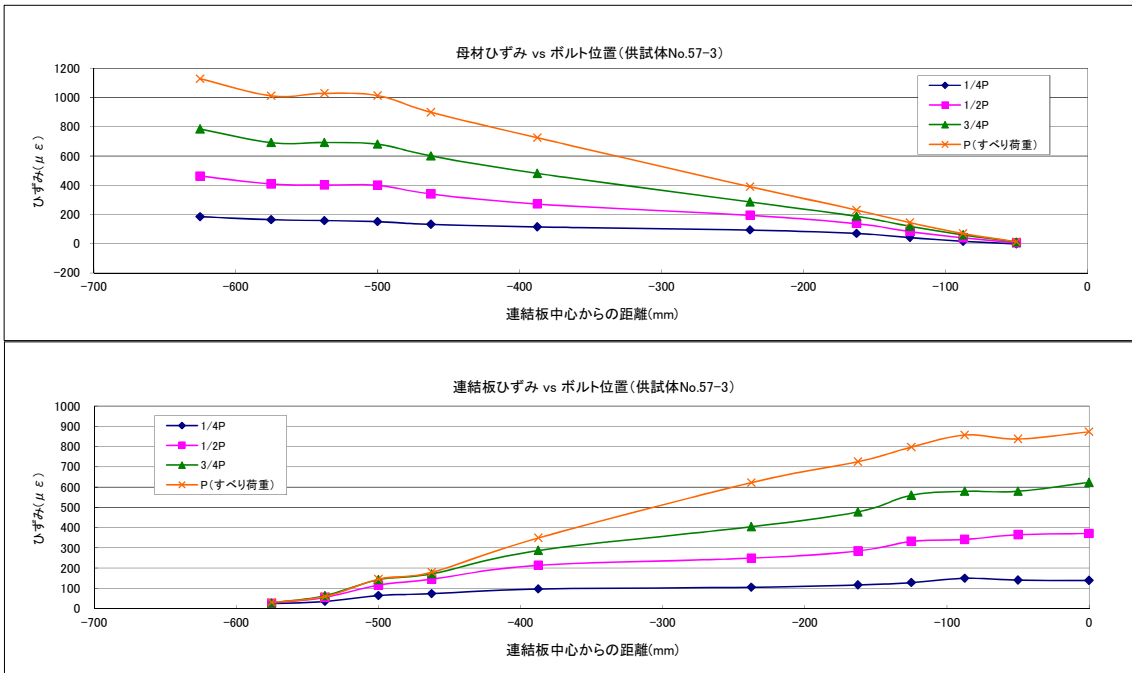


図-3.3.32 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 57-3)

(c) 供試体 No.58

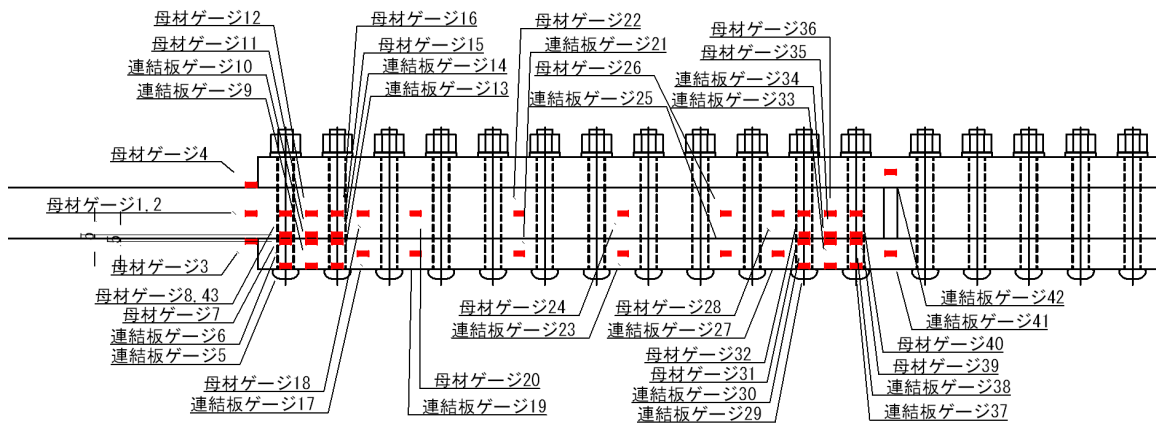


図-3. 3. 33 ひずみゲージ番号 (供試体 No. 58)

供試体 No. 58-1

表-3.3.19 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 58-1)

距離	ゲージ1	ゲージ8 ボルト位置	ゲージ12	ゲージ16 ボルト位置	ゲージ18	ゲージ20	ゲージ22	ゲージ24	ゲージ26	ゲージ28	ゲージ32 ボルト位置	ゲージ36	ゲージ40 ボルト位置	
	-925	-875	-837.5	-800	-762.5	-687.5	-537.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	
1/4P	1168	153	148	149	145	140	121	102	86	71	43	22	-2	-11
1/2P	2335	412	362	372	369	365	318	240	191	150	80	38	-7	-23
3/4P	3504	703	607	622	611	608	554	407	308	221	110	51	-9	-29
P(すべり荷重)	4680	1015	891	913	901	899	808	596	417	268	129	62	-1	-26

距離	ゲージ5、6 平均 ボルト位置	ゲージ9、10 平均	ゲージ13、 14平均 ボルト位置	ゲージ17	ゲージ19	ゲージ21	ゲージ23	ゲージ25	ゲージ27	ゲージ29、 30平均	ゲージ33、 34平均 ボルト位置	ゲージ37.38 平均 ボルト位置	ゲージ41	
	-875	-837.5	-800	-762.5	-687.5	-537.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	0	
1/4P	1168	-8	6	20	35	65	95	105	118	123	126	140	138	126
1/2P	2335	-9	13	38	65	130	215	262	285	309	320	357	335	315
3/4P	3504	-7	22	55	88	187	313	419	466	515	541	575	547	550
P(すべり荷重)	4680	-7	21	51	84	192	407	570	712	758	797	828	822	824

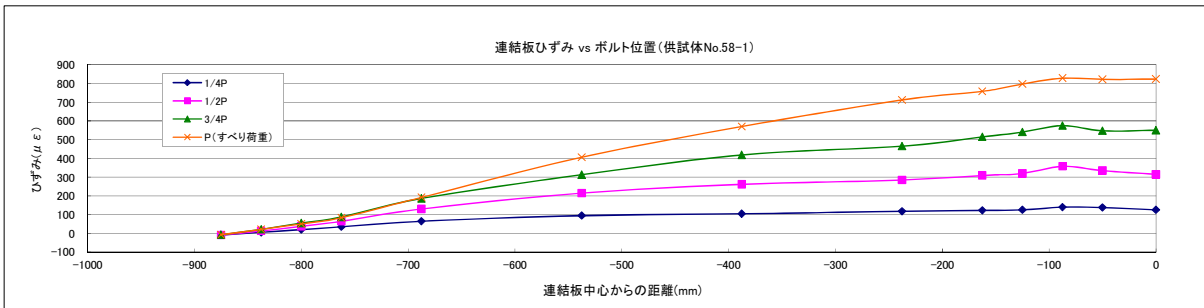
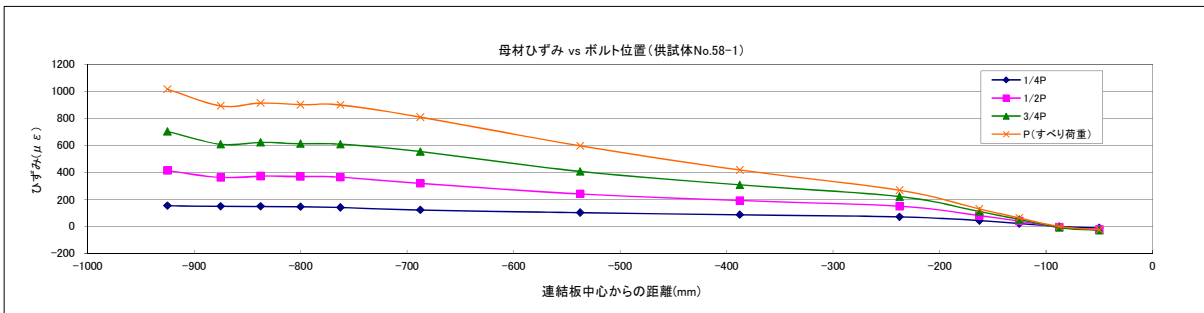


図-3.3.34 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 58-1)

供試体 No. 58-2

表-3.3.20 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 58-2)

母材ひずみ		距離												
荷重	距離	ゲージ1	ゲージ8 ボルト位置	ゲージ12	ゲージ16 ボルト位置	ゲージ18	ゲージ20	ゲージ22	ゲージ24	ゲージ26	ゲージ28	ゲージ32 ボルト位置	ゲージ36	ゲージ40 ボルト位置
		-925	-875	-837.5	-800	-762.5	-687.5	-537.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50
1/4P	1072	168	159	155	151	147	130	108	98	72	44	23	1	-6
1/2P	2144	384	368	359	346	332	292	232	202	135	76	36	-1	-12
3/4P	3217	626	591	568	565	536	467	382	301	189	106	47	-2	-15
P(すべり荷重)	4310	889	835	804	810	769	678	560	408	235	133	58	2	-15

母材ひずみ		距離												
荷重	距離	ゲージ1	ゲージ8 ボルト位置	ゲージ12	ゲージ16 ボルト位置	ゲージ18	ゲージ20	ゲージ22	ゲージ24	ゲージ26	ゲージ28	ゲージ32 ボルト位置	ゲージ36	ゲージ40 ボルト位置
		-925	-875	-837.5	-800	-762.5	-687.5	-537.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50
1/4P	1072	168	159	155	151	147	130	108	98	72	44	23	1	-6
1/2P	2144	384	368	359	346	332	292	232	202	135	76	36	-1	-12
3/4P	3217	626	591	568	565	536	467	382	301	189	106	47	-2	-15
P(すべり荷重)	4310	889	835	804	810	769	678	560	408	235	133	58	2	-15

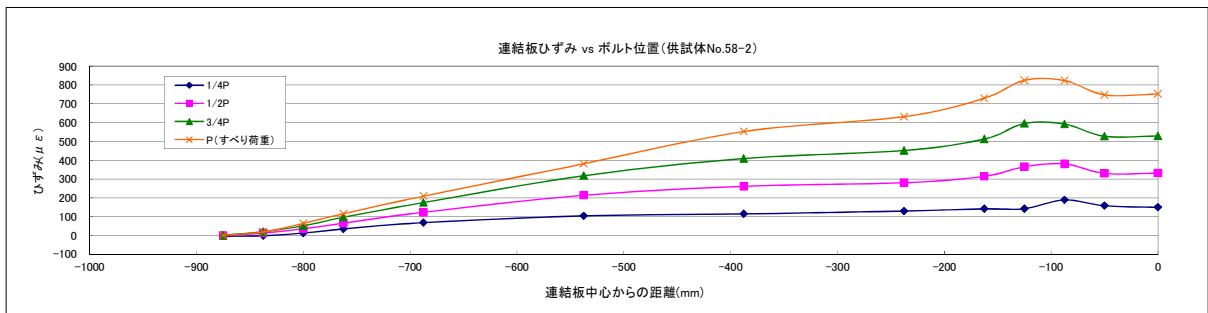
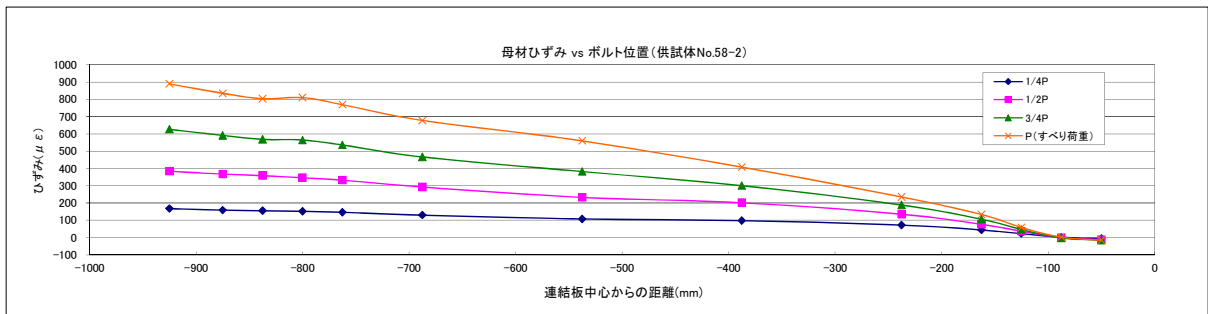


図-3.3.35 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 58-2)

供試体 No. 58-3

表-3. 3. 21 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 58-3)

母材ひずみ		距離												
荷重	距離	ゲージ1	ゲージ8 ボルト位置	ゲージ12	ゲージ16 ボルト位置	ゲージ18	ゲージ20	ゲージ22	ゲージ24	ゲージ26	ゲージ28	ゲージ32 ボルト位置	ゲージ36	ゲージ40 ボルト位置
		-925	-875	-837.5	-800	-762.5	-687.5	-537.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50
1/4P	1098	160	152	152	150	136	120	102	87	59	30	11	-5	-8
1/2P	2197	382	371	365	371	349	282	232	204	113	56	22	-7	-11
3/4P	3295	640	607	572	595	600	442	400	315	162	80	36	-3	-12
P(すべり荷重)	4406	901	842	808	835	842	638	584	436	223	103	49	2	-11

連結板ひずみ ($\mu\epsilon$)		距離												
荷重	距離	ゲージ5、6 平均 ボルト位置	ゲージ9、10 平均	ゲージ13、 14平均 ボルト位置	ゲージ17	ゲージ19	ゲージ21	ゲージ23	ゲージ25	ゲージ27	ゲージ29、 30平均	ゲージ33、 34平均 ボルト位置	ゲージ37.38 平均 ボルト位置	ゲージ41
		-875	-837.5	-800	-762.5	-687.5	-537.5	-387.5	-237.5	-162.5	-125	-87.5	-50	0
1/4P	1098	3	12	17	26	51	72	82	98	109	110	107	109	102
1/2P	2197	6	26	38	54	116	172	208	253	286	286	288	278	269
3/4P	3295	9	39	56	74	178	267	347	429	480	493	499	474	456
P(すべり荷重)	4406	11.4	50.5	77.6	92.3	213.3	351.3	498.9	633.1	702.6	721.1	736.8	709.7	684.5

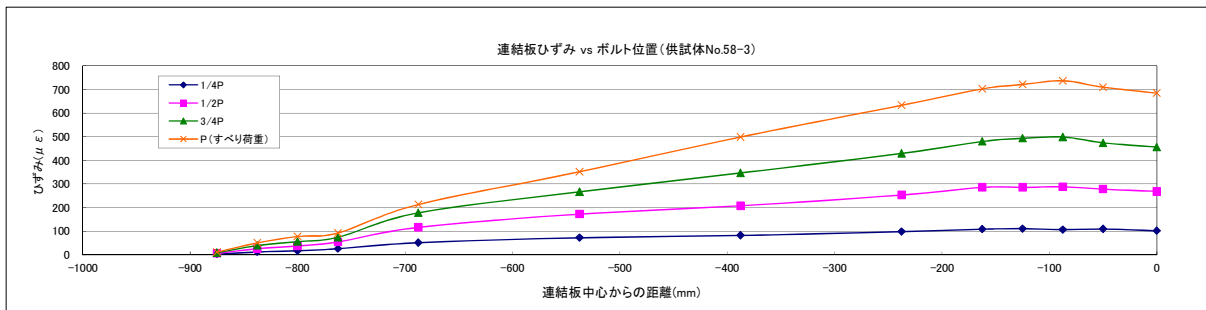
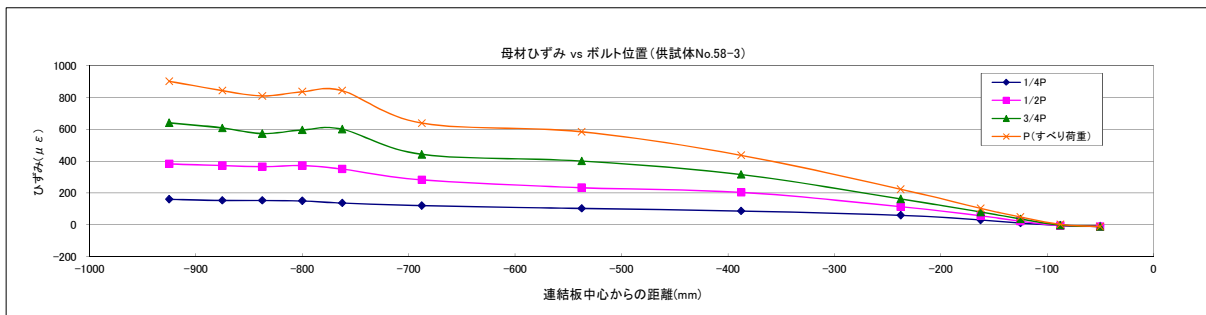


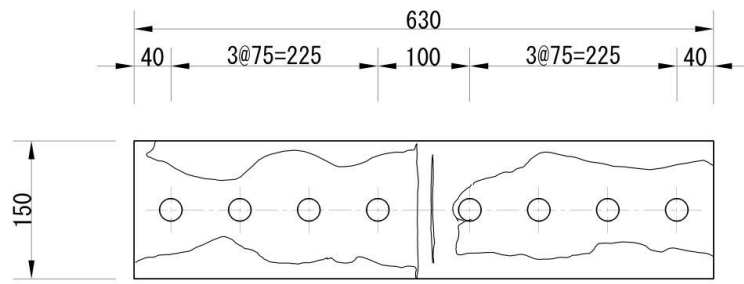
図-3. 3. 36 すべり試験時のひずみ変化量 (供試体 No. 58-3)

(4) 試験後のすべり面

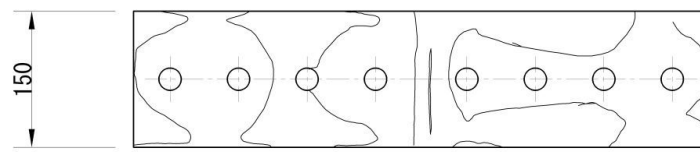
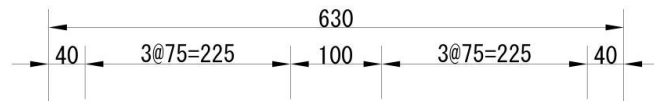
多列すべり試験後の連結板すべり面の状況を確認するため、写真撮影のほかにトレースを行った。トレース結果と連結板の写真を図-3.3.37～図-3.3.45にそれぞれ示す。

いずれの供試体においても、すべり跡とみられる箇所が無機ジンクリッチペイントが変色していた。これは、無機ジンクリッチペイントを塗布した接触面では、塗膜は摩擦により空隙が押しつぶされて変形するとともに、亜鉛末粒子が摩擦のために流動するとされている^{3,16)}。本供試体でもこれと同様の状態になっていたものと考えられる。

すべり面のすべり跡、および連結板および母板のひずみ分布から、摩擦力に不均一さが生じたことに関する考察は、(3)で示したとおりである。



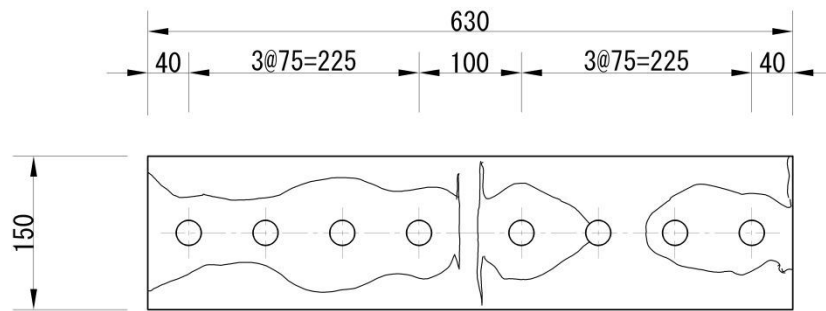
M
1-1-3 (ボルト側)



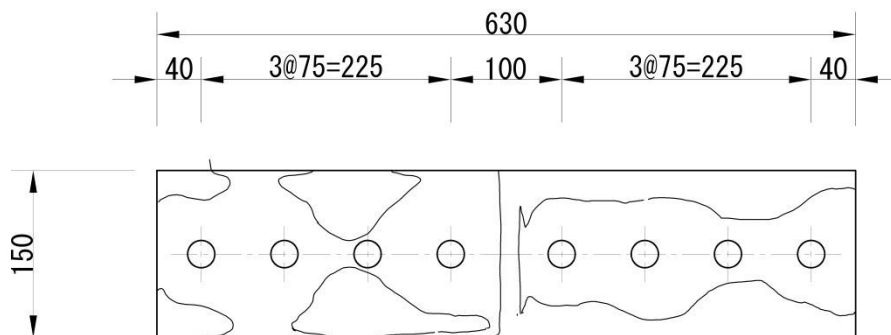
M
1-1-4 (ナット側)



図-3. 3. 37 連結板トレース図 (供試体 No. 56-1)



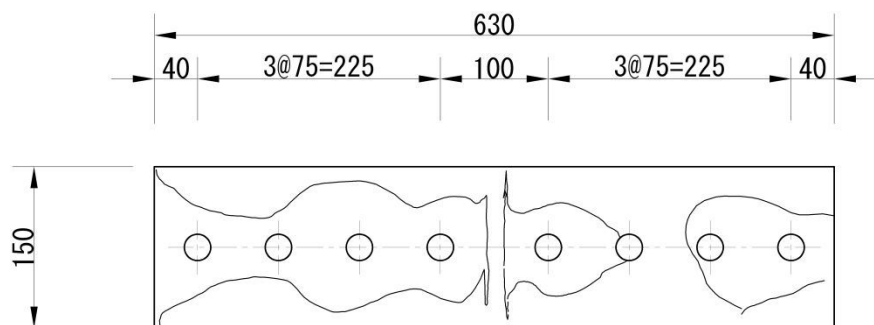
M
1-2-3 (ボルト側)



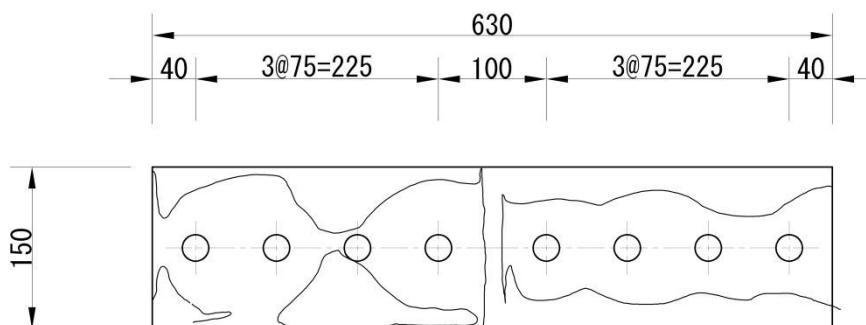
M
1-2-4 (ナット側)



図-3.3.38 連結板トレース図 (供試体 No. 56-2)



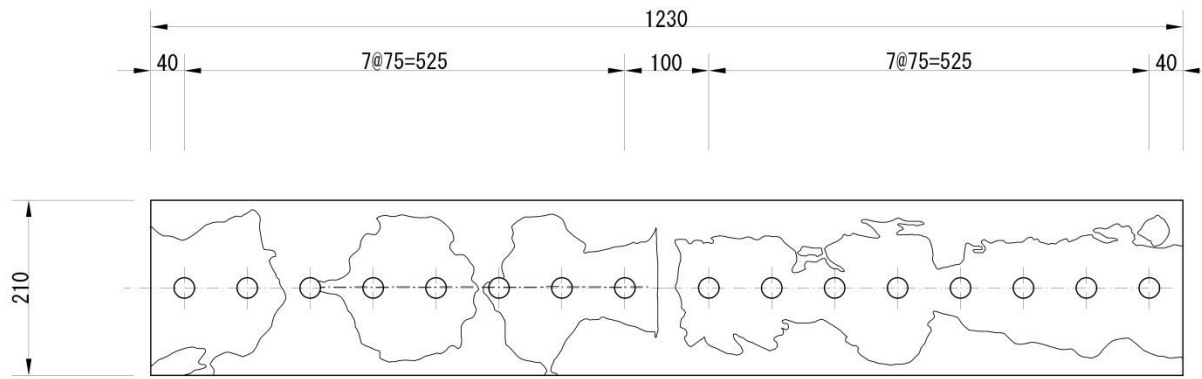
M
1-3-3 (ボルト側)



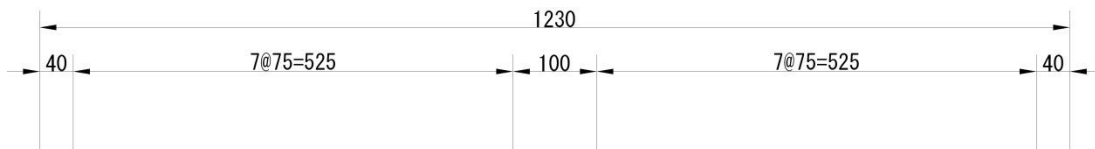
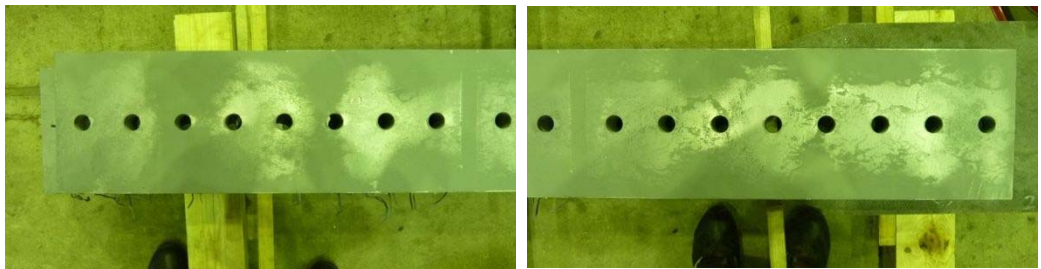
M
1-3-4 (ナット側)



図-3.3.39 連結板トレース図 (供試体 No. 56-3)



M
2-1-3 (ボルト側)



M
2-1-4 (ナット側)

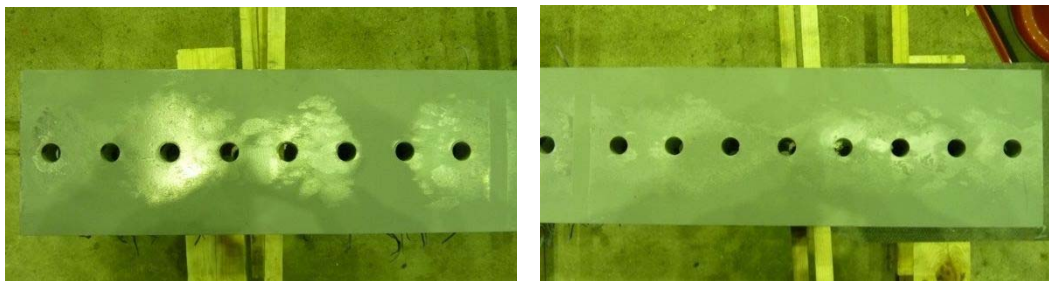
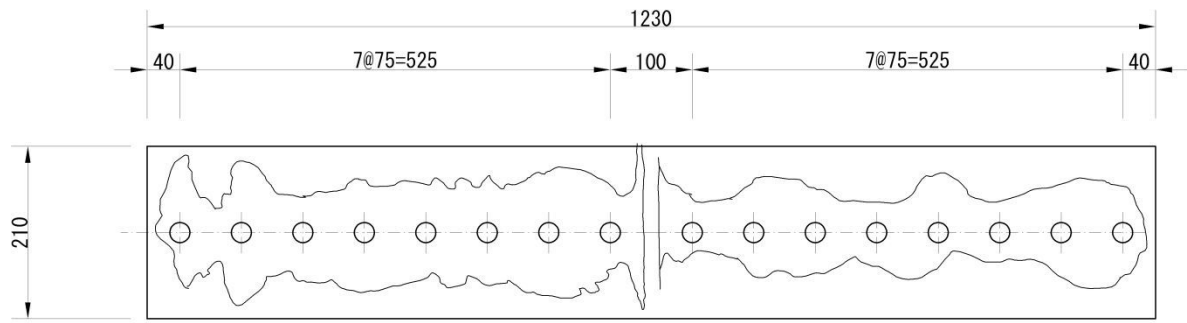
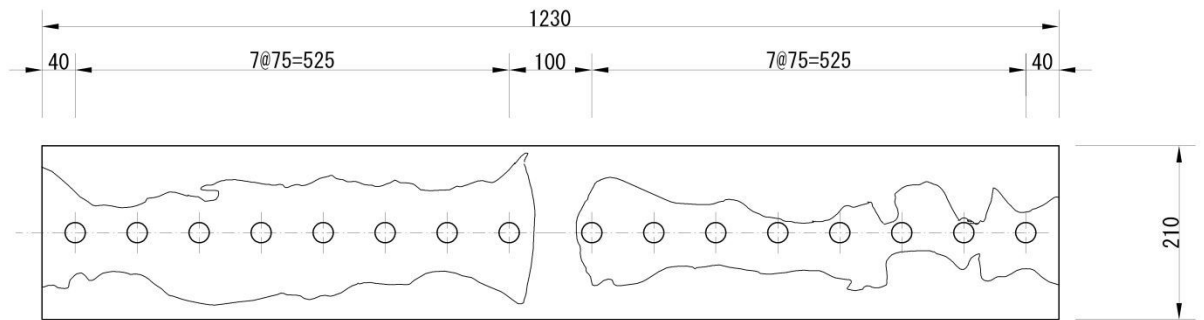


図-3.3.40 連結板トレース図 (供試体 No. 57-1)



M
2-2-3 (ボルト側)



M
2-2-4 (ナット側)

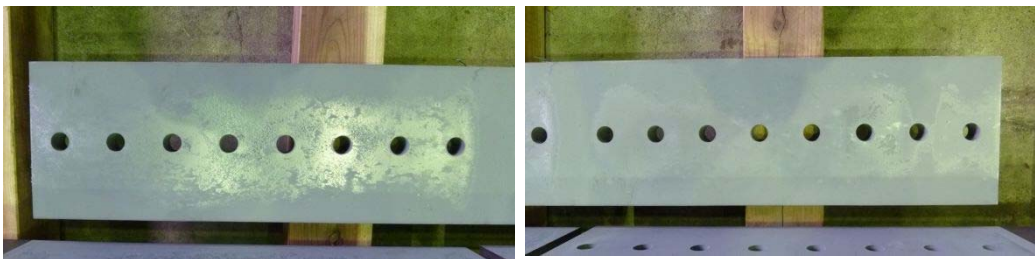
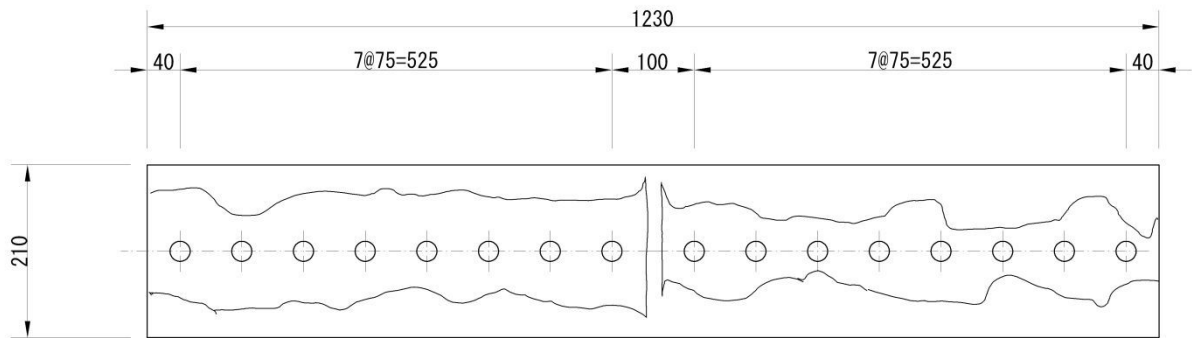
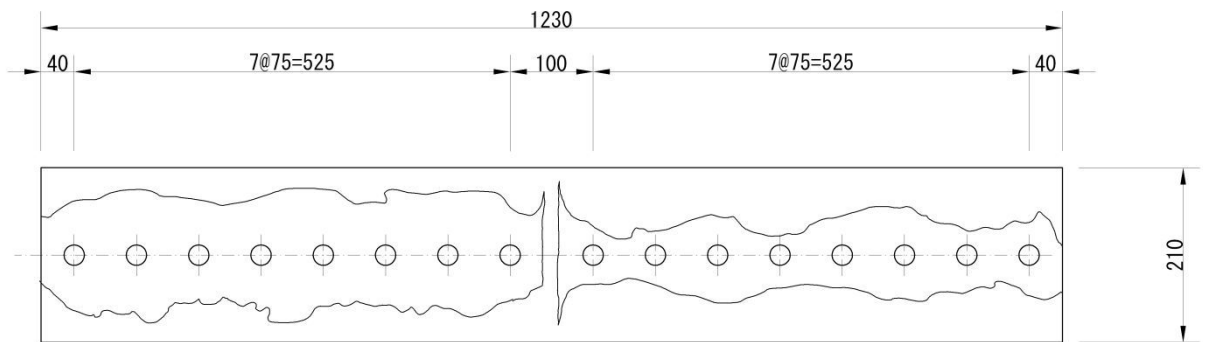
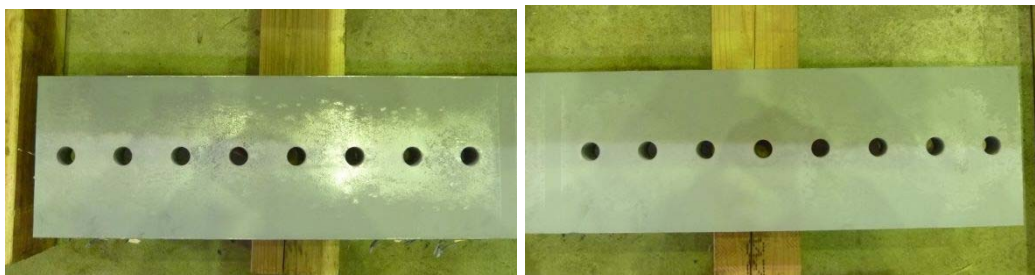


図-3. 3. 41 連結板トレース図 (供試体 No. 57-2)



M
2-3-3 (ボルト側)



M
2-3-4 (ナット側)

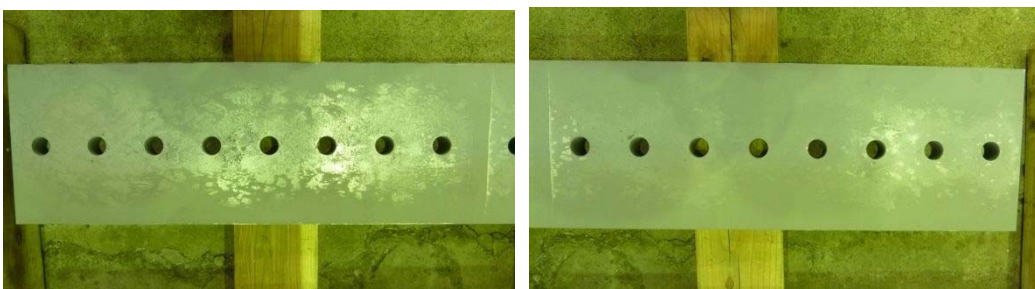


図-3. 3. 42 連結板トレース図 (供試体 No. 57-3)

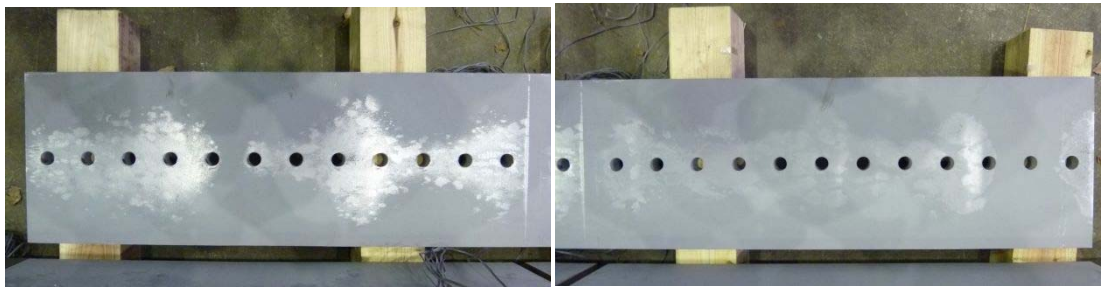
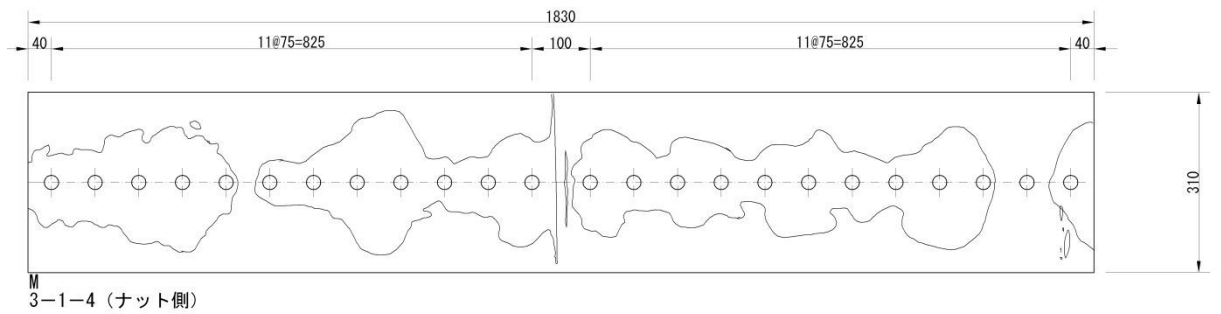
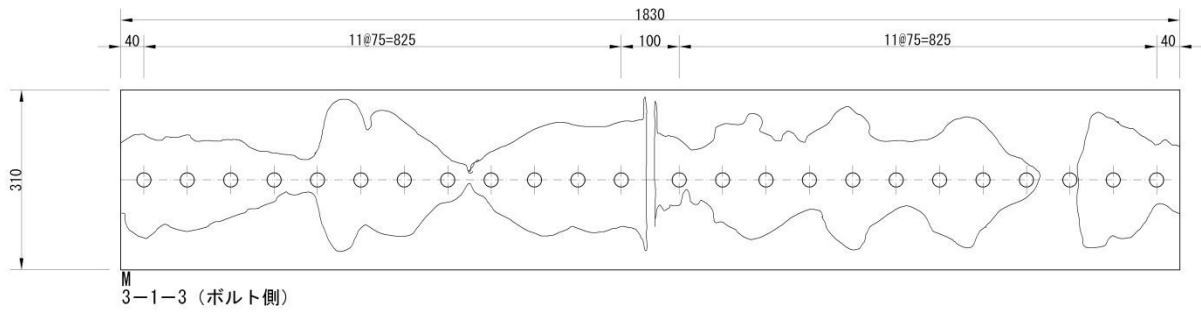
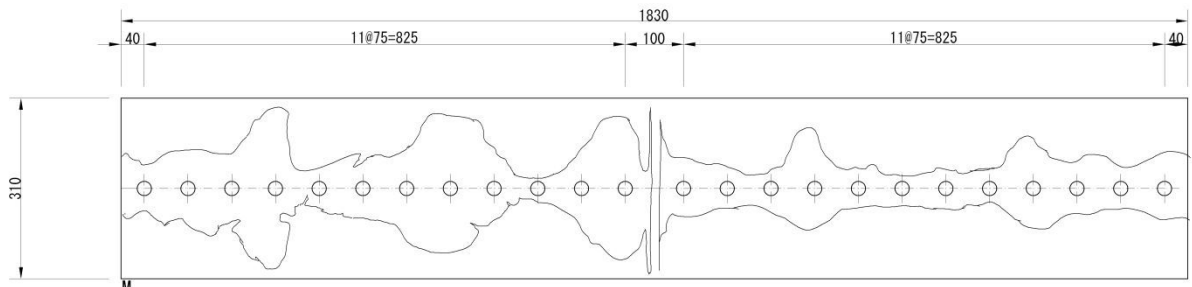
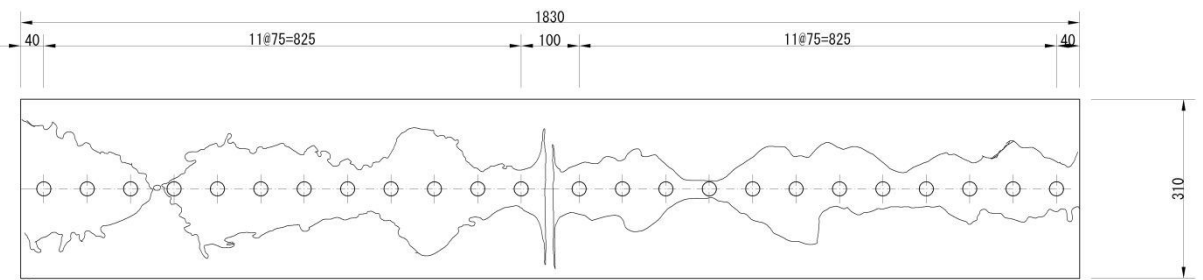
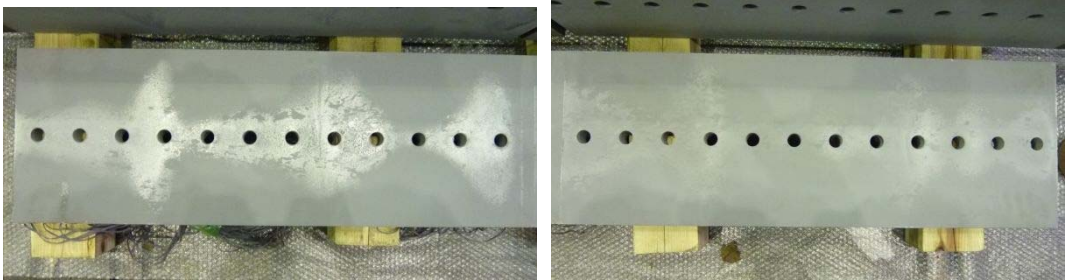


図-3.3.43 連結板トレース図 (供試体 No. 58-1)



M
3-2-3 (ボルト側)



M
3-2-4 (ナット側)

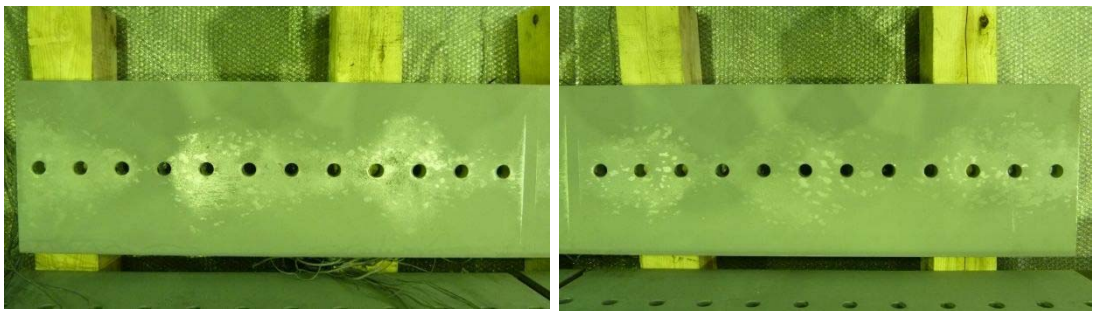
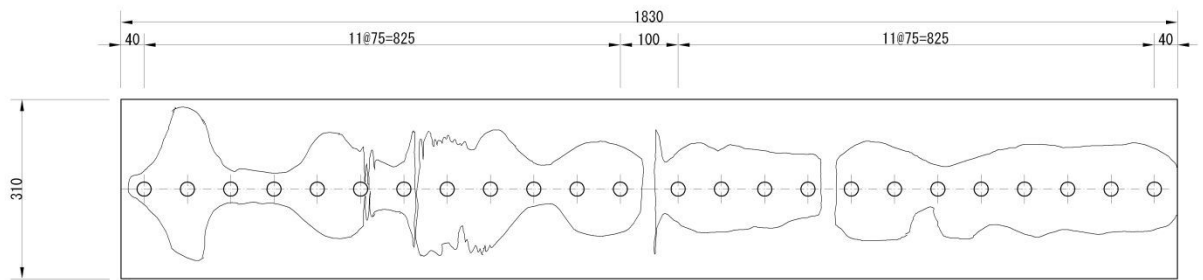
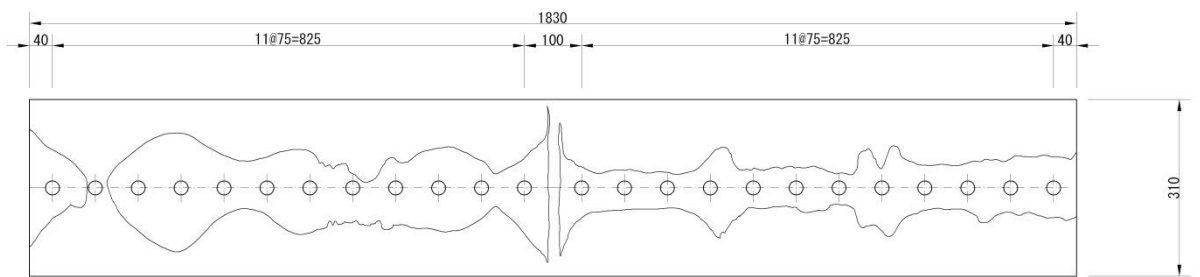
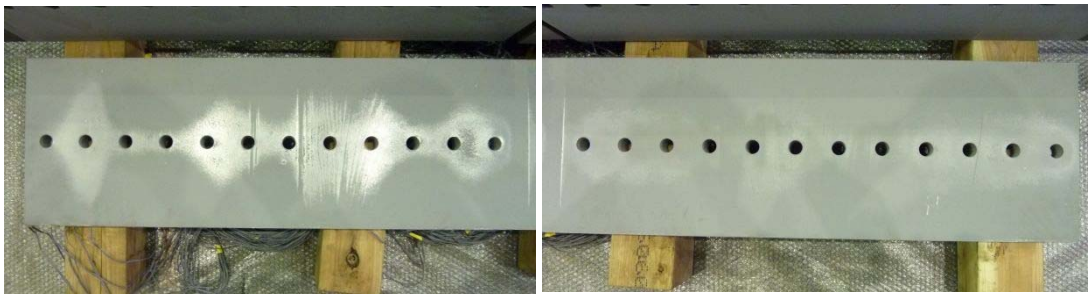


図-3.3.44 連結板トレース図 (供試体 No. 58-2)



M
3-3-3 (ボルト側)



M
3-3-4 (ナット側)

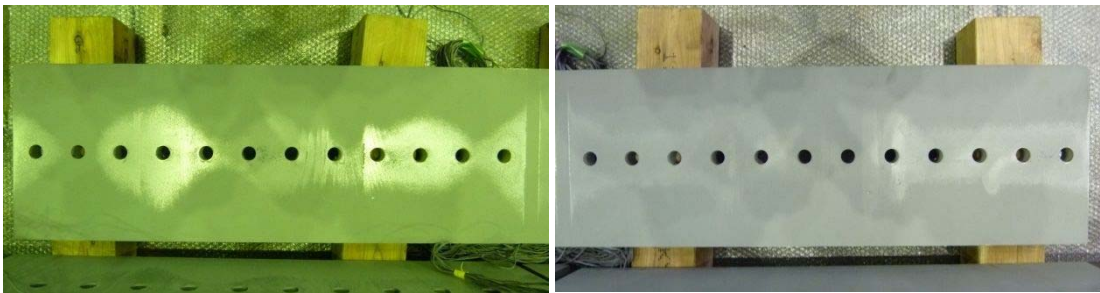


図-3. 3. 45 連結板トレース図 (供試体 No. 58-3)

3.3.5 まとめ

道示における F10T、S10T に準じた規定や適用範囲に対して、超高力ボルト S14T を適用した場合の継手性能を明確にすることを目的に、ボルトの多列化がすべり係数に与える影響を実験により検討した。本検討によって得られた明らかとなった事項を以下にまとめる。

- すべり係数について、4～8列まではほぼ同じ値を示したが、12列では4～8列に対して約 0.05の低下がみられた。
- これを、各列数のすべり係数 μ_2 と基本となる試験体(本試験では4列、既往の実験・解析では3列)のすべり係数 μ_2 との比で定義したすべり耐力比で整理すると、S14Tを用いた本試験において、ボルト列数が8列から12列へ増えるとすべり耐力が7%程度低下する傾向がみられる。この傾向は、道示における8本を超えるボルト列数に対する低減係数と同程度であり、F10Tを用いた既往の研究^{3,5)}と同じ傾向であった。なお、4列と8列を比較するとすべり耐力比に明確な低下はみられなかった。
- ボルトの多列化によるすべり耐力比の低下について、文献3.5)では、連結板と母板の作用断面力の偏心による付加曲げモーメントがボルトに生じることで、各ボルト間の軸力低下率が変わるとの考察がされており、各ボルトの分担する摩擦力の不均一の原因と推定されている。本試験では直接的にこの力学メカニズムを確認できなかったものの、母板または連結板のひずみの勾配の変化、またはすべり面におけるすべり跡のばらつきからは、各ボルトの分担する摩擦力に不均一が生じていることを確認した。

3.4 再すべり試験

本試験は、地震災害等の影響により継手部にすべりが生じた場合に、すべり後も道示に規定されているすべり係数を確保できるか確認するものである。

3.4.1 試験方法

(1) 試験機

再試験は、標準すべり試験を行った供試体については 2000kN 万能試験機(島津製作所 UH-F200A、図-3.2.3 参照)を、多列すべり試験を行った供試体については独立行政法人 土木研究所所有の 30MN 大型構造部材万能試験機(図-3.3.1 参照)をそれぞれ使用して実施した。

(2) 試験方法

図-3.4.1に示す手順で試験を行う。再すべり試験に用いた供試体の保管期間は全て『12H』である。

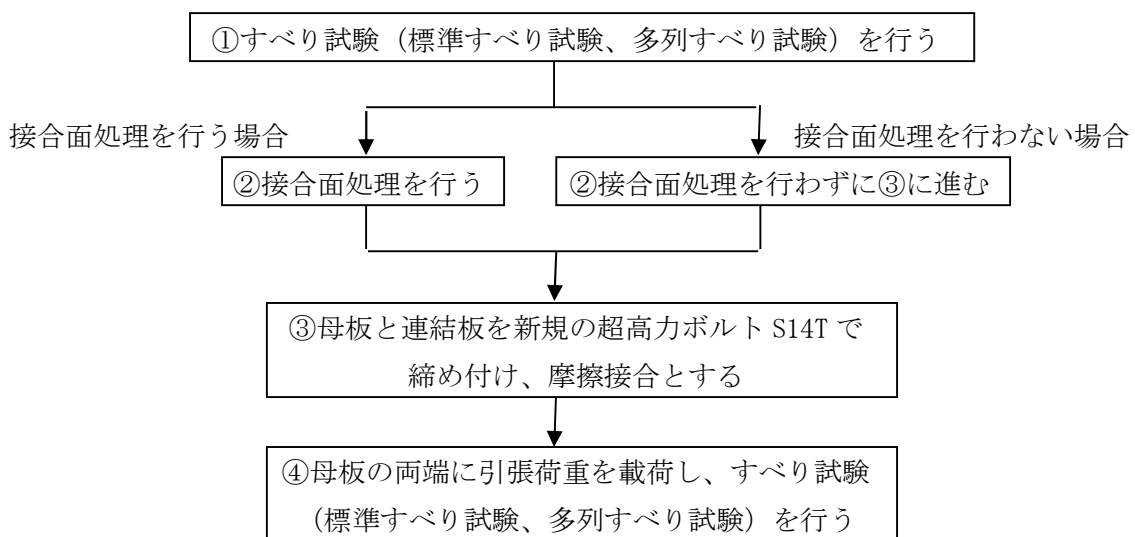


図-3.4.1 再すべり試験の手順

(3) 計測内容

標準すべり試験の供試体を用いた場合は、3.2 節の標準すべり試験と同様とする。
多列すべり試験の供試体を用いた場合は、3.3 節の多列すべり試験と同様とする。

(4) 実験供試体の組立

供試体の組立に関する作業手順を図-3.4.2に示す。

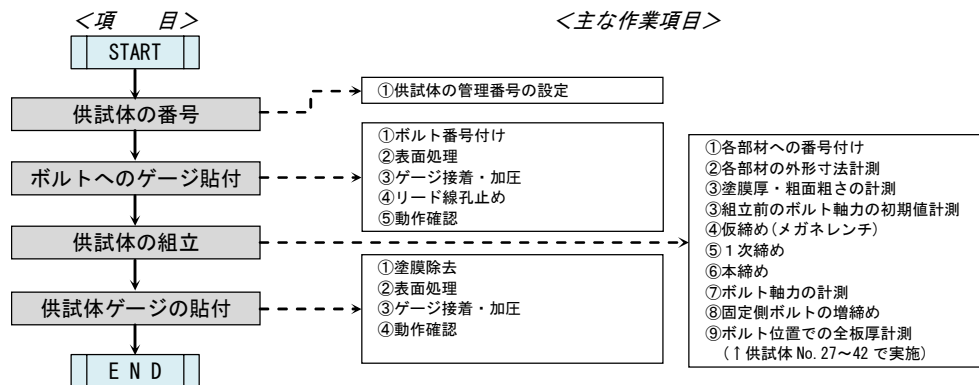


図-3.4.2 供試体組立の作業手順

(5) 接合面処理

すべりが生じた後、再試験を行う前に接合面処理を行う場合は、表-3.4.1に示す5ケースを行う。

表-3.4.1 接合面処理の仕様

接合面の処理	仕様（連結板）	仕様（母板）	供試体No.
粗面（動力工具）	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3	No. 1-21~25
粗面（ブラスト）	[手順1] ブラスト処理 除錆程度 ISO Sa 2 1/2 表面粗さ Ra \geq 10 μ m	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3	No. 1-26~30
無機（動力工具）	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3 [手順2] 無機ジंकリッチ ペイント塗布 片面膜厚 $>$ 65 μ m 両面塗膜厚150~200 μ m 表面粗さRz \leq 80 μ m	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3 [手順2] 無機ジंकリッチ ペイント塗布 片面膜厚 $>$ 65 μ m 両面塗膜厚150~200 μ m 表面粗さRz \leq 80 μ m	No. 24-21~25
無機（ブラスト）	[手順1] ブラスト処理 除錆程度 ISO Sa 2 1/2 表面粗さ Ra \geq 10 μ m [手順2] 無機ジंकリッチ ペイント塗布 片面膜厚 $>$ 65 μ m 両面塗膜厚150~200 μ m 表面粗さRz \leq 80 μ m	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3 [手順2] 無機ジंकリッチ ペイント塗布 片面膜厚 $>$ 65 μ m 両面塗膜厚150~200 μ m 表面粗さRz \leq 80 μ m	No. 23-21~25 No. 23-26~30
薬剤による赤錆	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3 [手順2] 薬剤塗布 当面温度5~60 $^{\circ}$ C 薬剤塗布後48時間養生	[手順1] 動力工具処理 除錆程度 ISO St3 [手順2] 薬剤塗布 当面温度5~60 $^{\circ}$ C 薬剤塗布後48時間養生	No. 27-16~20 No. 58-4~6

※No. 23-26~30については再組立後に長期保存したのちすべり試験を行った

3.4.2 供試体の諸元

(1) 対象の供試体

表-3.4.2 に再すべり試験の対象となる供試体を示す。

各供試体の基本諸元、および外径寸法などは 3.2～3.3 節のとおりである。

表-3.4.2 比較項目一覧表

ボルト	接合面の処理			鋼材の材質				
	無機	有機	粗面	SS400	SM490	SM490Y ^{注2)}		SM570
S14T-M22	No. 1 t=25mm	No. 2 t=25mm	No. 3 t=25mm	No. 7 t=32mm	No. 1 t=25mm	No. 23 t=28mm	No. 27 t=50mm	No. 24 t=28mm
S14T-M24	No. 9 t=28mm	No. 10 t=28mm	No. 11 t=28mm	No. 15 t=36mm	No. 9 t=28mm	No. 25 t=28mm		No. 26 t=28mm
S10T-M22	No. 17 t=25mm			No. 18 t=28mm	No. 17 t=25mm			
S10T-M24	No. 20 t=25mm			No. 21 t=32mm	No. 20 t=25mm			

注1) 【凡例】

接合面処理を行わない再すべり試験を実施。
(供試体No. 27は、接合面処理を行う再すべり試験のみ実施。)

接合面処理を行う再すべり試験も実施。
(再すべり試験は、供試体No. 58も実施。)

注2) 板厚が40mmを超過したSM490YにはSM520C-Hを用いる

(2) 使用材料

a) 塗装の製品検査結果

本試験に使用した塗装の製品検査結果を表-3.4.3 に示す。

表-3.4.3 塗料の製品検査結果

試験項目	成績	規格 (鋼道路橋塗装用塗料標準)
	無機ジंकリッチ ペイント	無機ジंकリッチペイント
混合塗料中の加熱成分 (%)	86	70 以上
加熱残分中の金属亜鉛 (%)	82	75 以上
容器の中での状態	合格	粉は微小で一様な粉末であるものとする。液はかき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になるものとする。
乾燥時間	合格	5 時間以下
可使時間	合格	5 時間で使用できるものとする
厚塗り性	合格	厚塗り性に支障があってはならない
塗膜の外観	合格	塗膜の外観が正常であるものとする
耐衝撃性 (デュボン式)	合格	衝撃によって割れおよび剥がれが生じてはならない
耐塩水噴霧性	合格	塩水噴霧に耐えるものとする
屋外暴露耐候性	合格 (保証)	2 年間の試験でさび、割れ、剥がれおよび膨れがあってはならない。

b) ボルトの機械的性質

本試験に使用したボルトの機械的特性を表-3.4.4 に示す。

表-3.4.4 ボルトの機械的特性

ボルト等級	呼び径	首下長 (mm)	数量	ボルト						ナット	座金	セット	
				4号試験片				製品		製品	製品	軸力 平均値 kN	トルク N・m
				耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %	引張荷重 kN	硬さ HRC	硬さ HRC	硬さ HRC		
S10T	規定値			900 以上	1000~ 1200	14 以上	40 以上	303 (353) 以上	27~ 38	16~ 35	35~ 45	212 (247) ~ 256 (398)	—
	22	95	130	1043	1087	20	70	326	33	27	40	223	737
	22	140	65	1062	1107	19	68	331	33	26	40	230	680
	24	100	45	1058	1102	19	68	380	33	28	40	281	996
	24	110	85	1031	1086	18	68	380	33	28	40	267	880
	24	145	65	1050	1093	20	68	379	33	28	40	276	960
S14T	規定値			1260 以上	1400~ 1490	14 以上	40 以上	442 (517) 以上	39~ 47	30~ 40	40~ 50	311 (363) ~ 373 (435)	—
	22	100	420	1337	1438	16	51	461	42	32	43	319	1061
	22	110	85	1347	1449	16	52	463	43	32	44	350	1030
	22	145	130	1327	1428	16	51	463	43	33	42	347	1055
	22	150	24	1331	1432	16	53	458	43	32	43	342	1014
	24	105	380	1323	1423	16	53	535	43	32	43	388	1283
	24	125	85	1355	1457	17	51	534	43	32	43	402	1330
	24	150	130	1332	1432	16	52	533	42	32	43	410	1300

c) ボルトの校正試験結果

ボルトのひずみ測定値から軸力に換算するための校正係数を求める目的で、ひずみゲージを貼付けたボルトを用いてボルト単独の引張試験を行った。表-3.4.5 に校正試験結果を示す。

表-3.4.5 ボルトの校正試験結果

ボルト等級	呼び径	首下長 (mm)	校正測定値	供試体No.
S10T	22	95	13	17, 18
		140	13.2	19
	24	100	10.7	20
		110	11	21
		145	11.2	22
S14T	22	100	12.7	1~5, 23, 24
		110	12.8	7
		145	12.9	6, 8
		150	12.3	27
	24	105	10.2	9~13, 25, 26
		125	10.2	15
		150	10.4	14, 16

d) 塗膜厚

図-3.4.3 に示す測点で塗膜厚を計測した結果を表-3.4.7～表 3.4.8 に示す。計測には表-3.4.6 に示す膜厚計 LZ300C を用いた。

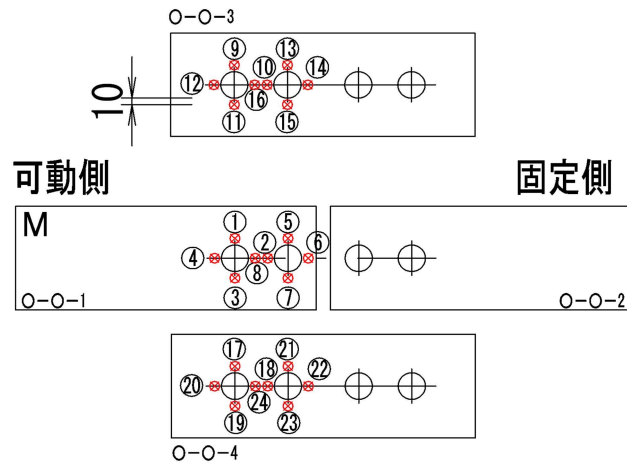


図-3.4.3 すべり試験供試体（供試体 No. 23, 24）の塗膜厚の測点

表-3.4.6 膜厚計 LZ300C の仕様

製品名	膜厚計 LZ300C
メーカー	ケット科学研究所
測定方式	電磁誘導式／高周波式
測定範囲	電磁式：0～1500 μm 高周波式：0～800 μm
測定精度	50 μm 未満： $\pm 1 \mu\text{m}$ 50 μm 以上： $\pm 3\%$
分解能	100 μm 未満：0.1 μm 100 μm 以上：1 μm
最小測定面積	5×5mm



表-3. 4. 7 すべり後に接合面処理した後の塗膜厚 (供試体 No. 23)

(単位: μm)

供試体 No.	母板1								連結構3								連結構4								平均値	最大値	最小値	再接合面 の処理
	母板1								連結構3								連結構4											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
23-21	75	73	68	70	76	68	65	65	68	69	68	65	72	65	67	65	65	65	66	65	73	80	70	66	69	80	65	無機ジंक
23-22	83	66	81	80	76	74	78	66	65	73	65	68	65	70	66	67	73	73	65	79	84	65	65	71	84	65	無機ジंक	
23-23	73	68	68	82	70	77	72	77	75	74	71	87	68	73	79	73	74	71	70	66	66	75	67	73	87	66	無機ジंक	
23-24	67	68	67	66	71	70	66	71	72	70	68	73	65	78	65	65	71	73	73	67	70	71	65	69	78	65	無機ジंक	
23-25	67	71	68	71	65	67	71	66	68	80	65	65	75	65	68	69	66	71	77	65	65	65	66	68	80	65	無機ジंक	
23-26	88	72	81	76	69	67	66	75	85	76	69	79	82	82	71	67	66	77	73	66	75	71	72	65	74	88	65	無機ジंक
23-27	68	68	67	68	66	73	67	70	83	68	69	66	66	67	68	67	76	72	68	67	84	66	72	86	71	86	66	無機ジंक
23-28	65	78	69	67	68	72	73	68	71	67	71	66	66	70	68	66	71	68	67	67	76	71	68	65	69	78	65	無機ジंक
23-29	79	85	77	72	80	78	76	75	72	83	66	66	67	68	67	65	72	68	70	78	68	73	86	71	73	86	65	無機ジंक
23-30	69	74	74	66	76	78	78	80	66	67	68	65	79	67	70	68	70	70	67	68	72	68	67	67	71	80	65	無機ジंक

表-3. 4. 8 すべり後に接合面処理した後の塗膜厚 (供試体 No. 24)

(単位: μm)

供試体 No.	母板1								連結構3								連結構4								平均値	最大値	最小値	再接合面 の処理
	母板1								連結構3								連結構4											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
24-21	74	76	80	81	82	76	81	83	80	75	78	81	68	71	80	71	66	68	65	69	67	67	67	65	74	83	65	無機ジंक
24-22	70	69	71	66	71	65	70	68	66	68	67	72	79	70	65	68	65	70	75	67	65	69	72	66	69	79	65	無機ジंक
24-23	67	85	76	75	77	65	77	77	73	66	73	69	69	68	81	72	79	72	69	73	72	71	75	67	73	85	65	無機ジंक
24-24	77	70	72	71	71	75	75	76	69	69	65	70	74	75	68	69	66	65	66	78	75	69	68	68	71	78	65	無機ジंक
24-25	74	66	71	69	71	68	68	65	71	79	71	74	73	72	81	85	85	74	81	85	84	76	81	87	75	87	65	無機ジंक

e) 表面粗さ

図-3.4.4～図-3.4.5 に示す測点で表面粗さを計測した結果を表-3.4.10～表-3.4.12 に示す。計測には表-3.4.9 に示す表面粗さ計 SJ301 を用いた。計測する粗さパラメータは、算術平均粗さ Ra と十点平均粗さ Rz (JIS B 0601) とした。

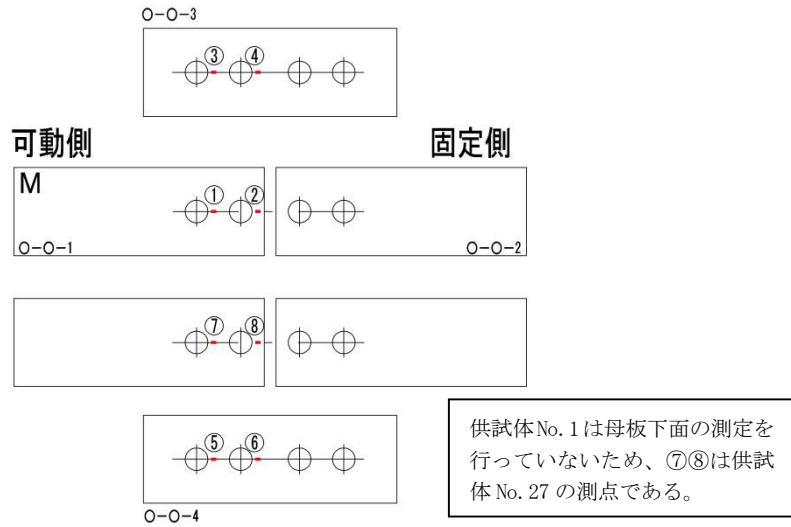


図-3.4.4 すべり試験供試体（供試体 No. 1, 27）の表面粗さの測点

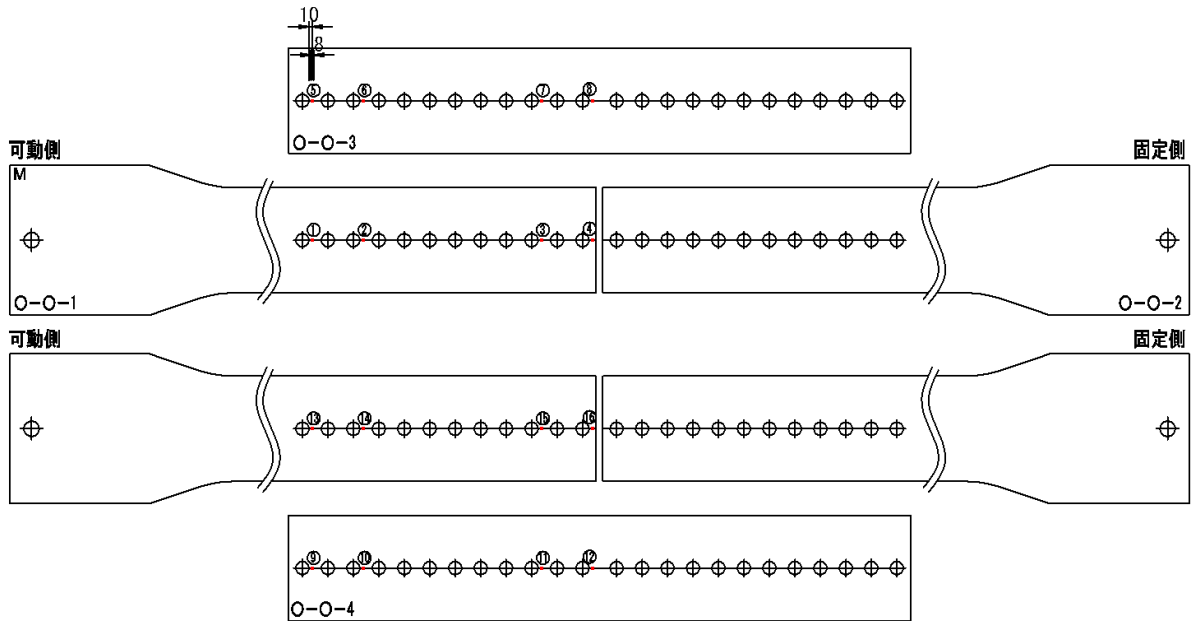


図-3.4.5 すべり試験供試体（供試体 No. 58）の表面粗さの測点

表-3.4.9 表面粗さ計 SJ301 の仕様

製品名 (メーカー)		SJ301 (サーフテスト)
測定範囲	Z 軸 (縦方向)	350 μ m
	Y 軸 (横方向)	12.5mm
駆動部	測定速度	0.25、0.5mm/s
測定曲線		断面曲線、粗さ曲線、DIN4776、MOTIF
測定パラメータ		Ra、Ry、Rz、Rq、Pc、R3z、mr、Rt、Rp、Rv、Sm、S、ほか
フィルタ		2CR75 (位相保障無し)、PC75、PC50 (ガウシヤン)
カットオフ値	(λc)	0.08、0.25、0.8、2.5、8mm
	(λs)	2.5、8、25 μ m
区間数		X1、X3、X5、L (任意長さ)
任意長さ		0.3~12.5mm (0.1mm 単位)
基準長さ (L)		0.08、0.25、0.8、2.5、8mm
備考	規格	新 JIS/旧 JIS/DIN/ISO/ANSI 切替可能



表-3.4.10 すべり後に接合面処理した後の表面粗さ (供試体 No. 1)

供試体 No.	ボルト等級	呼び径	再接合面処理 上段:母板 下段:連結板	実験種別	試験前(組立前)													
					母材1			連結板3			連結板4			平均値				
					1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	Ra	Rz
1-21	S14T	M22	動力工具処理 動力工具処理	再試験	2.8	18.4	3.8	27.7	2.1	13.9	4.2	30.2	5.3	44.1	4.2	27.3	3.7	26.9
1-22	S14T	M22	動力工具処理 動力工具処理	再試験	3.8	26.3	2.7	17.0	3.5	25.2	3.4	22.4	2.4	16.6	3.2	20.9	3.1	21.4
1-23	S14T	M22	動力工具処理 動力工具処理	再試験	4.0	29.4	3.7	27.0	2.0	16.0	2.6	17.7	2.2	14.2	3.0	20.6	2.9	20.8
1-24	S14T	M22	動力工具処理 動力工具処理	再試験	3.3	23.9	6.1	42.4	3.6	27.2	3.2	22.3	3.3	26.4	2.4	18.2	3.7	26.7
1-25	S14T	M22	動力工具処理 動力工具処理	再試験	6.4	50.2	7.6	47.1	2.8	22.7	3.0	24.8	3.1	27.1	3.1	24.9	4.3	32.8
1-26	S14T	M22	動力工具処理 フラスト処理	再試験	2.0	16.6	2.9	20.3	9.2	64.8	7.8	51.2	9.7	57.5	9.2	60.5	6.8	45.2
1-27	S14T	M22	動力工具処理 フラスト処理	再試験	3.4	26.5	5.0	30.3	10.9	70.2	9.6	60.2	10.6	68.2	8.6	53.8	8.0	51.5
1-28	S14T	M22	動力工具処理 フラスト処理	再試験	3.0	23.6	4.7	35.9	9.6	56.5	8.9	56.6	10.2	63.4	9.0	58.3	7.5	49.0
1-29	S14T	M22	動力工具処理 フラスト処理	再試験	5.8	44.7	5.2	37.6	9.3	48.1	8.9	52.5	9.1	57.8	9.2	54.3	7.9	49.2
1-30	S14T	M22	動力工具処理 フラスト処理	再試験	3.7	29.6	5.1	36.2	10.3	67.0	9.8	59.1	10.2	68.6	9.5	60.1	8.1	53.4

表-3.4.11 すべり後に接合面処理した後の表面粗さ (供試体 No. 27)

供試体 No.	ボルト等級	再接合面処理	呼び径	実験種別	試験前(組立前)																									
					母材1(上面)						連結板3						連結板4						母材1(下面)						平均値	
					1		2		3		4		5		6		7		8		Ra		Rz							
					Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz						
27-16	S14T	赤錆	M22	再試験	3.32	22.53	5.55	39.87	2.73	21.54	2.55	18.15	5.10	33.07	5.52	39.77	3.15	21.51	4.18	29.25	4.01	28.21								
27-17	S14T	赤錆	M22	再試験	3.10	18.69	3.12	19.60	2.13	12.82	2.67	18.88	2.65	18.95	2.85	17.01	3.52	27.01	4.50	27.21	3.07	20.00								
27-18	S14T	赤錆	M22	再試験	3.85	22.49	2.48	15.85	2.72	12.25	2.50	8.55	2.49	16.01	2.56	18.25	3.55	21.54	3.85	22.49	3.00	17.18								
27-19	S14T	赤錆	M22	再試験	4.01	30.31	6.80	32.88	1.35	9.36	2.53	18.23	2.46	17.65	2.74	16.92	3.19	20.94	3.21	21.02	3.29	20.91								
27-20	S14T	赤錆	M22	再試験	6.12	47.31	5.02	34.94	5.08	33.12	4.90	28.02	3.55	22.25	4.22	23.85	3.41	24.51	3.71	25.00	4.50	29.88								

表-3.4.12 すべり後に接合面処理した後の表面粗さ (供試体 No. 58)

供試体 No.	再接合面処理	実験種別	試験前(組立前)																									
			母材1(上面)												連結板3												平均値	
			1		2		3		4		5		6		7		8		Ra		Rz							
			Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz						
58-4	赤錆	再試験	7.3	49.3	6.1	43.9	5.4	34.5	4.3	28.4	3.5	23.4	5.0	31.3	4.1	26.5	3.8	24.4										
58-5	赤錆	再試験	6.6	39.7	5.3	31.9	3.4	23.7	4.6	31.8	4.6	27.5	4.9	32.7	4.7	38.4	5.7	34.9										
58-6	赤錆	再試験	8.6	47.3	6.2	43.1	6.7	38.8	8.8	51.0	5.2	34.1	4.9	34.5	5.8	40.9	6.4	44.8										

供試体 No.	再接合面処理	実験種別	試験前(組立前)																									
			連結板4												母材1(下面)												平均値	
			9		10		11		12		13		14		15		16		Ra		Rz							
			Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz						
58-4	赤錆	再試験	5.9	36.3	8.3	52.0	7.0	48.1	5.9	40.3	6.2	41.0	4.6	32.0	5.8	35.2	4.5	30.9	5.5	36.1								
58-5	赤錆	再試験	8.1	54.5	8.9	56.9	6.8	54.9	4.4	40.4	6.2	40.7	7.1	49.2	4.0	27.6	7.5	58.0	5.8	40.2								
58-6	赤錆	再試験	7.7	53.1	6.8	52.5	7.0	45.8	6.8	45.3	5.9	33.3	6.9	43.0	6.8	45.1	4.9	33.8	6.6	42.9								

3.4.3 試験結果

(1) ボルト軸力結果一覧

表-3.4.13 に、ボルト軸力結果一覧表を示す。

複数のボルトで、試験直前のボルト軸力が設計軸力から 10%以上低下していた。(2)に示すように、再すべり試験後のすべり係数 μ_1 は、道示の規定値を満足しなかった。この主な原因は、すべり時に接合面が損傷して所定の機能を喪失したことと考えられるものの、本試験結果においてはボルト軸力の低下も要因のひとつとして影響した可能性がある。

表-3.4.13(1) ボルト導入軸力計測結果 (再すべり試験)

母材No.	母材等級	母材呼び径	母材長さ (mm)	実験種別	ボルト導入軸力/TC-31K設置直前 (kN)				ボルト導入軸力/TC-31K設置直後 (kN)				可動部中心とすべり				可動部中心とすべり				軸力平均値 (kN)				再接合面処理					
					組立直後	試験直前	試験直後	組立直後	組立直後	試験直前	試験直後	組立直後	試験直前	試験直後	組立直後	試験直前	試験直後	組立直後	試験直前	試験直後	平均(低下率)	平均(低下率)	ボルト1	ボルト2	設計軸力	ボルト1(低下率)	ボルト2(低下率)	母板	運搬板	
1-16	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	16	1-16-1a	313.8	302.0	315.6	299.5	1-16-2a	274.1	262.8	289	295	299	289	289	289	289	289	281	285	-5%	265	-7%	15.1	なし	なし
1-17	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	17	1-17-1a	321.7	230.8	346.9	315.6	1-17-2a	238.6	224.0	284	293	299	268	268	268	268	268	270	270	-8%	265	-7%	15.1	なし	なし
1-18	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	18	1-18-1a	306.7	289.4	284.7	270.9	1-18-2a	273.5	261.4	296	279	299	279	279	279	279	279	266	266	-8%	272	-5%	15.1	なし	なし
1-19	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	19	1-19-1a	328.7	311.1	278.0	282.5	1-19-2a	326.4	311.2	302	292	299	287	287	287	287	287	276	276	-8%	281	-5%	15.1	なし	なし
1-20	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	20	1-20-1a	265.7	244.3	319.2	301.2	1-20-2a	298.8	278.8	289	309	299	268	268	268	268	268	290	290	-8%	279	-7%	15.1	なし	なし
1-21	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	21	1-21-1a	320.6	317.7	230.6	225.2	1-21-2a	173.5	172.6	276	253	299	271	271	271	271	271	247	247	-8%	255	-2%	8.8	なし	なし
1-22	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	22	1-22-1a	271.4	266.4	319.9	307.0	1-22-2a	248.2	241.5	293	293	299	287	287	287	287	287	277	277	-8%	282	-2%	8.8	なし	なし
1-23	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	23	1-23-1a	315.0	225.4	282.0	277.2	1-23-2a	275.0	270.2	272	279	299	---	---	---	---	---	274	274	-2%	274	-2%	8.8	なし	なし
1-24	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	24	1-24-1a	312.7	300.9	245.3	241.2	1-24-2a	199.5	194.1	279	243	299	274	274	274	274	274	237	237	-8%	255	-2%	8.8	なし	なし
1-25	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	25	1-25-1a	257.1	267.8	279.5	267.8	1-25-2a	263.9	259.9	265	267	299	260	260	260	260	260	263	263	-1%	261	-2%	8.2	なし	なし
1-26	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	26	1-26-1a	279.7	272.5	287.9	285.1	1-26-2a	288.3	281.5	284	285	299	279	279	279	279	279	279	279	-2%	279	-2%	7.2	なし	なし
1-27	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	27	1-27-1a	304.2	297.9	288.8	281.7	1-27-2a	232.2	227.3	297	281	299	290	290	290	290	290	275	275	-2%	282	-2%	7.1	なし	なし
1-28	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	28	1-28-1a	332.5	327.3	287.3	278.4	1-28-2a	235.1	230.5	282	287	299	278	278	278	278	278	283	283	-2%	280	-2%	7.1	なし	なし
1-29	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	29	1-29-1a	406.3	401.7	182.6	175.2	1-29-2a	214.0	210.7	294	288	299	288	288	288	288	288	281	281	-2%	285	-2%	3.2	なし	なし
1-30	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	30	1-30-1a	356.1	346.9	210.2	206.2	1-30-2a	282.1	277.7	283	268	299	277	277	277	277	277	260	260	-3%	266	-3%	7.0	なし	なし
2-16	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	16	2-16-1a	237.7	225.9	273.5	263.6	2-16-2b	308.9	296.9	272	290	299	261	261	261	261	261	---	---	---	261	-4%	15.1	なし	なし
2-17	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	17	2-17-1a	269.1	260.2	313.1	299.8	2-17-2b	269.8	256.6	291	287	299	280	280	280	280	280	275	275	-4%	278	-4%	15.1	なし	なし
2-18	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	18	2-18-1a	333.7	319.3	289.6	280.6	2-18-2a	308.5	295.2	312	300	299	300	300	300	300	300	287	287	-4%	293	-4%	15.1	なし	なし
2-19	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	19	2-19-1a	309.0	296.7	289.5	275.1	2-19-2a	306.5	297.6	298	288	299	287	287	287	287	287	289	289	-3%	286	-3%	15.1	なし	なし
2-20	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	20	2-20-1a	154.6	143.9	420.6	407.8	2-20-2b	301.3	290.7	288	280	299	276	276	276	276	276	269	269	-4%	272	-4%	15.1	なし	なし
3-16	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	16	3-16-1a	303.7	298.3	276.2	271.2	3-16-2a	296.1	291.0	290	290	299	285	285	285	285	285	284	284	-2%	284	-2%	15.1	なし	なし
3-17	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	17	3-17-1a	334.5	339.1	232.8	228.9	3-17-2b	299.9	294.6	284	291	299	283	283	283	283	283	292	292	0%	287	0%	15.1	なし	なし
3-18	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	18	3-18-1a	291.7	284.9	305.0	299.4	3-18-2a	345.7	336.9	298	308	299	292	292	292	292	292	299	299	-3%	296	-2%	15.7	なし	なし
3-19	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	19	3-19-1a	287.0	282.0	290.3	286.1	3-19-2a	303.3	296.7	289	308	299	284	284	284	284	284	301	301	-2%	293	-2%	15.7	なし	なし
3-20	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	20	3-20-1a	304.4	297.7	320.2	308.4	3-20-2b	307.0	300.4	303	293	299	297	297	297	297	297	287	287	-2%	292	-2%	15.7	なし	なし
7-16	S14T	M22	110	再試験	12H(再)	16	7-16-1a	268.4	254.4	300.8	288.4	7-16-2a	234.8	223.9	285	291	299	271	271	271	271	271	277	277	-5%	274	-5%	14.0	なし	なし
7-17	S14T	M22	110	再試験	12H(再)	17	7-17-1a	283.1	262.3	272.4	256.6	7-17-2a	295.0	277.8	278	284	299	259	259	259	259	259	275	275	-8%	267	-6%	14.0	なし	なし
7-18	S14T	M22	110	再試験	12H(再)	18	7-18-1a	299.8	281.7	272.6	255.8	7-18-2a	278.2	254.4	286	291	299	269	269	269	269	269	272	272	-7%	270	-6%	14.1	なし	なし
7-19	S14T	M22	110	再試験	12H(再)	19	7-19-1a	264.3	249.1	280.5	269.1	7-19-2a	282.0	263.8	272	284	299	259	259	259	259	259	265	265	-6%	262	-6%	14.1	なし	なし
7-20	S14T	M22	110	再試験	12H(再)	20	7-20-1a	309.5	297.1	308.0	224.2	7-20-2b	250.2	238.4	274	280	299	261	261	261	261	261	265	265	-8%	263	-5%	14.1	なし	なし

【凡例】 ■ 計測したボルト軸力が設計軸力から10%以上低下したボルト

■ 計測できなかったボルト

表-3. 4. 13(2) ボルト導入軸力計測結果 (再すべり試験)

試料No.	呼び径	ボルト長さ (mm)	乗継種別	可動部ボルト上層				可動部ボルト下層				TO-31K設置直前 (kN)				ボルト導入軸力 / TC-31K設置直前 (kN)				軸力平均値 (kN)				再接合面処理			
				測定	組立直後	試験直前	測定	組立直後	試験直前	測定	組立直後	試験直前	測定	組立直後	試験直前	測定	組立直後	試験直前	測定	組立直後	試験直前	測定	組立直後	試験直前	平均(低下率)	平均(低下率)	母板
9-16	S14T	M24	再試験	16	9-16-1a	467.2	343.1	443.1	9-16-1b	315.6	298.1	288.1	9-16-2a	351.6	326.2	303.7	9-12H(再)	16	392	383	349	371 (-5%)	380 (-6%)	365 (-6%)	14.0		
9-17	S14T	M24	再試験	17	9-17-1a	383.2	363.9	363.9	9-17-1b	313.9	291.9	281.9	9-17-2a	376.9	352.1	339.3	9-12H(再)	17	349	376	349	328 (-6%)	356 (-6%)	342 (-6%)	14.0		
9-18	S14T	M24	再試験	18	9-18-1a	341.5	321.1	321.1	9-18-1b	368.2	344.7	344.7	9-18-2a	388.5	370.0	362.4	9-12H(再)	18	354	395	349	333 (-6%)	377 (-6%)	355 (-5%)	14.0		なし
9-19	S14T	M24	再試験	19	9-19-1a	412.9	391.6	391.6	9-19-1b	299.3	276.8	276.8	9-19-2a	354.9	336.3	339.4	9-12H(再)	19	356	356	349	334 (-6%)	338 (-6%)	336 (-6%)	14.0		
9-20	S14T	M24	再試験	20	9-20-1a	362.2	344.5	344.5	9-20-1b	338.8	322.3	322.3	9-20-2a	395.2	372.9	357.4	9-12H(再)	20	351	376	349	333 (-6%)	359 (-6%)	346 (-5%)	14.0		
10-16	S14T	M24	再試験	16	10-16-1a	347.8	336.6	336.6	10-16-1b	353.4	340.7	340.7	10-16-2a	333.9	311.0	317.0	10-12H(再)	16	351	349	349	339 (-6%)	314 (-6%)	326 (-4%)	14.0		
10-17	S14T	M24	再試験	17	10-17-1a	359.1	349.5	349.5	10-17-1b	351.3	342.7	342.7	10-17-2a	327.0	316.2	317.7	10-12H(再)	17	355	372	349	346 (-5%)	380 (-5%)	353 (-3%)	14.0		
10-18	S14T	M24	再試験	18	10-18-1a	417.6	405.8	405.8	10-18-1b	307.5	299.1	299.1	10-18-2a	380.4	369.1	312.1	10-12H(再)	18	363	350	349	352 (-6%)	341 (-6%)	347 (-3%)	14.0		なし
10-19	S14T	M24	再試験	19	10-19-1a	391.3	368.9	368.9	10-19-1b	343.5	331.4	331.4	10-19-2a	316.3	307.7	308.5	10-12H(再)	19	367	327	349	350 (-6%)	320 (-6%)	335 (-5%)	14.0		
10-20	S14T	M24	再試験	20	10-20-1a	407.3	391.8	391.8	10-20-1b	338.6	330.1	330.1	10-20-2a	398.4	376.5	312.4	10-12H(再)	20	373	356	349	361 (-5%)	344 (-5%)	353 (-3%)	14.0		
11-16	S14T	M24	再試験	16	11-16-1a	368.2	362.9	362.9	11-16-1b	283.9	277.1	277.1	11-16-2a	396.0	389.0	312.4	11-12H(再)	16	326	337	349	320 (-2%)	---	320 (-2%)	14.0		
11-17	S14T	M24	再試験	17	11-17-1a	336.5	330.1	330.1	11-17-1b	289.6	285.9	285.9	11-17-2a	348.8	339.0	318.4	11-12H(再)	17	319	334	349	308 (-2%)	326 (-2%)	317 (-2%)	14.0		
11-18	S14T	M24	再試験	18	11-18-1a	338.0	328.6	328.6	11-18-1b	310.7	305.2	305.2	11-18-2a	373.0	363.2	330.9	11-12H(再)	18	323	352	349	317 (-2%)	345 (-2%)	331 (-2%)	14.0		なし
11-19	S14T	M24	再試験	19	11-19-1a	346.4	339.8	339.8	11-19-1b	350.2	344.4	344.4	11-19-2a	340.0	334.6	341.1	11-12H(再)	19	348	341	349	342 (-2%)	335 (-2%)	339 (-2%)	14.0		
11-20	S14T	M24	再試験	20	11-20-1a	368.3	357.1	357.1	11-20-1b	346.2	340.0	340.0	11-20-2a	322.7	308.7	341.2	11-12H(再)	20	357	332	349	349 (-2%)	323 (-2%)	336 (-3%)	14.0		
15-16	S14T	M24	再試験	16	15-16-1a	320.5	300.9	300.9	15-16-1b	417.8	388.2	388.2	15-16-2a	371.7	354.0	311.9	15-12H(再)	16	369	342	349	350 (-5%)	326 (-4%)	338 (-5%)	10.0		
15-17	S14T	M24	再試験	17	15-17-1a	385.7	367.5	367.5	15-17-1b	316.2	299.1	299.1	15-17-2a	406.2	382.5	346.5	15-12H(再)	17	351	376	349	333 (-5%)	356 (-5%)	345 (-5%)	10.0		
15-18	S14T	M24	再試験	18	15-18-1a	325.9	307.5	307.5	15-18-1b	378.0	362.3	362.3	15-18-2a	350.0	338.1	327.6	15-12H(再)	18	352	339	349	335 (-5%)	---	335 (-5%)	10.0		なし
15-19	S14T	M24	再試験	19	15-19-1a	334.9	304.8	304.8	15-19-1b	330.0	314.0	314.0	15-19-2a	326.9	308.1	374.0	15-12H(再)	19	332	350	349	309 (-7%)	322 (-5%)	321 (-5%)	10.0		
15-20	S14T	M24	再試験	20	15-20-1a	396.3	376.7	376.7	15-20-1b	296.3	283.9	283.9	15-20-2a	359.3	341.6	323.7	15-12H(再)	20	346	342	349	330 (-5%)	324 (-5%)	327 (-5%)	10.0		
17-16	S10T	M22	再試験	16	17-16-1a	222.3	212.0	212.0	17-16-1b	199.1	183.4	183.4	17-16-2a	241.8	231.2	178.8	17-12H(再)	16	211	205	205	198 (-6%)	194 (-6%)	196 (-6%)	9.9		
17-17	S10T	M22	再試験	17	17-17-1a	106.5	172.9	172.9	17-17-1b	182.8	165.7	165.7	17-17-2a	266.1	247.9	192.7	17-12H(再)	17	186	209	205	169 (-6%)	193 (-6%)	181 (-6%)	9.9		
17-18	S10T	M22	再試験	18	17-18-1a	177.8	162.8	162.8	17-18-1b	207.1	193.1	193.1	17-18-2a	259.2	242.5	172.7	17-12H(再)	18	192	214	205	178 (-6%)	201 (-6%)	190 (-7%)	9.9		なし
17-19	S10T	M22	再試験	19	17-19-1a	231.2	217.9	217.9	17-19-1b	168.2	148.5	148.5	17-19-2a	211.8	194.2	202.5	17-12H(再)	19	200	207	205	183 (-6%)	196 (-6%)	190 (-7%)	10.0		
17-20	S10T	M22	再試験	20	17-20-1a	168.7	158.8	158.8	17-20-1b	225.6	190.5	190.5	17-20-2a	156.5	143.3	178.8	17-12H(再)	20	197	226	205	176 (-1%)	210 (-7%)	192 (-6%)	9.3		
18-16	S10T	M22	再試験	16	18-16-1a	194.3	183.0	183.0	18-16-1b	211.2	199.8	199.8	18-16-2a	249.2	235.2	181.7	18-12H(再)	16	203	215	205	191 (-4%)	204 (-5%)	198 (-5%)	9.2		
18-17	S10T	M22	再試験	17	18-17-1a	258.2	244.0	244.0	18-17-1b	153.2	139.5	139.5	18-17-2a	190.9	180.6	221.1	18-12H(再)	17	206	206	205	192 (-7%)	196 (-5%)	194 (-6%)	9.2		
18-18	S10T	M22	再試験	18	18-18-1a	226.8	219.5	219.5	18-18-1b	193.8	175.1	175.1	18-18-2a	218.2	205.4	184.4	18-12H(再)	18	210	201	205	197 (-6%)	190 (-6%)	194 (-6%)	9.2		なし
18-19	S10T	M22	再試験	19	18-19-1a	256.1	241.7	241.7	18-19-1b	214.6	202.2	202.2	18-19-2a	246.2	230.8	209.7	18-12H(再)	19	235	228	205	222 (-4%)	215 (-6%)	219 (-6%)	11.8		
18-20	S10T	M22	再試験	20	18-20-1a	304.4	290.6	290.6	18-20-1b	152.4	137.8	137.8	18-20-2a	210.9	199.8	222.4	18-12H(再)	20	228	217	205	214 (-4%)	211 (-3%)	213 (-4%)	11.8		

【凡例】 計測したボルト軸力が設計軸力から10%以上低下したボルト

 計測できなかったボルト

表-3. 4. 13 (3) ボルト導入軸力計測結果 (再すべり試験)

試料 No.	母材	呼び径	ボルト 径 (mm)	乗継種別	ボルト導入軸力 / TC-31K設置前 (kN)						ボルト導入軸力 / TC-31K設置後 (kN)						可動部中心位置 測定	可動部中心位置 測定	軸力平均値 (kN)		再検査 母板	再検査 乗継板	経過 日数	備考		
					測定	組立直後	試験直前	組立直後	試験直前	測定	組立直後	試験直前	組立直後	試験直前	ポルト1	ポルト2			ポルト1 (低下率)	ポルト2 (低下率)						
20-16	S10T	M24	100	再試験	12H(再)	16	20-16-1a	2374	221.0	274.9	280.2	20-16-2a	201.1	191.4	20-16-2b	300.4	284.5	238	241	238 (-5%)	238 (-5%)	239	239	11.7		
20-17	S10T	M24	100	再試験	12H(再)	17	20-17-1a	255.9	239.3	216.3	204.2	20-17-2a	319.5	303.2	20-17-2b	199.5	188.0	236	232	238 (-4%)	246 (-4%)	234	234	6.9		
20-18	S10T	M24	100	再試験	12H(再)	18	20-18-1a	280.7	260.2	247.0	227.0	20-18-2a	212.7	211.3	20-18-2b	293.3	276.6	264	253	244 (-4%)	244 (-4%)	244	244	11.7	なし	
20-19	S10T	M24	100	再試験	12H(再)	19	20-19-1a	177.2	159.9	20-19-1b	285.1	282.3	20-19-2a	293.1	278.3	20-19-2b	226.6	211.5	231	280	238 (-4%)	245 (-4%)	228	228	11.1	
20-20	S10T	M24	100	再試験	12H(再)	20	20-20-1a	182.7	170.2	20-20-1b	328.1	308.6	20-20-2a	249.8	235.7	20-20-2b	264.1	249.6	256	257	238 (-4%)	243 (-4%)	241	241	11.0	
21-16	S10T	M24	110	再試験	12H(再)	16	21-16-1a	237.3	214.7	21-16-1b	240.0	227.1	21-16-2a	138.2	124.2	21-16-2b	355.5	337.0	239	247	238 (-7%)	231 (-7%)	226	226	10.9	
21-17	S10T	M24	110	再試験	12H(再)	17	21-17-1a	237.3	224.5	21-17-1b	253.2	232.5	21-17-2a	220.4	205.8	21-17-2b	243.5	226.4	245	232	238 (-7%)	216 (-7%)	222	222	11.1	
21-18	S10T	M24	110	再試験	12H(再)	18	21-18-1a	219.5	202.7	21-18-1b	264.2	249.6	21-18-2a	258.8	244.6	21-18-2b	212.7	203.3	242	236	238 (-7%)	219 (-7%)	223	223	10.9	なし
21-19	S10T	M24	110	再試験	12H(再)	19	21-19-1a	240.6	181.5	21-19-1b	309.3	291.2	21-19-2a	316.1	298.0	21-19-2b	163.5	148.9	275	240	238 (-4%)	223 (-4%)	230	230	10.9	
21-20	S10T	M24	110	再試験	12H(再)	20	21-20-1a	282.7	245.5	21-20-1b	227.5	216.6	21-20-2a	284.0	282.6	21-20-2b	200.6	193.4	245	242	238 (-4%)	228 (-4%)	230	230	10.9	
23-16	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	16	23-16-1a	256.0	243.3	23-16-1b	325.0	309.6	23-16-2a	282.7	252.8	23-16-2b	323.2	304.3	291	293	299 (-5%)	279 (-5%)	278	278	10.2	
23-17	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	17	23-17-1a	250.7	234.8	23-17-1b	316.7	293.1	23-17-2a	271.3	252.8	23-17-2b	280.3	265.7	284	276	299 (-6%)	259 (-6%)	262	262	10.2	
23-18	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	18	23-18-1a	309.2	310.1	23-18-1b	229.2	201.8	23-18-2a	254.6	235.1	23-18-2b	319.4	307.4	285	297	299 (-5%)	271 (-5%)	264	264	10.2	なし
23-19	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	19	23-19-1a	240.7	222.8	23-19-1b	308.6	292.8	23-19-2a	310.4	293.5	23-19-2b	300.6	297.2	275	306	299 (-4%)	295 (-4%)	277	277	10.2	
23-20	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	20	23-20-1a	299.7	278.2	23-20-1b	297.2	282.5	23-20-2a	228.4	216.0	23-20-2b	357.5	343.7	298	293	299 (-4%)	280 (-4%)	280	280	10.1	
23-21	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	21	23-21-1a	354.3	344.1	23-21-1b	171.1	158.8	23-21-2a	290.4	278.0	23-21-2b	214.6	202.6	263	253	299 (-5%)	241 (-5%)	245	245	3.3	
23-22	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	22	23-22-1a	326.9	308.5	23-22-1b	245.3	232.1	23-22-2a	299.5	283.7	23-22-2b	240.1	229.8	286	270	299 (-5%)	257 (-5%)	264	264	7.1	
23-23	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	23	23-23-1a	328.7	314.6	23-23-1b	244.0	229.9	23-23-2a	194.1	174.4	23-23-2b	359.9	344.6	286	277	299 (-4%)	260 (-4%)	266	266	7.1	
23-24	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	24	23-24-1a	274.9	257.9	23-24-1b	323.8	308.7	23-24-2a	307.7	293.1	23-24-2b	281.7	268.5	299	295	299 (-5%)	281 (-5%)	282	282	7.0	
23-25	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	25	23-25-1a	365.7	349.3	23-25-1b	234.8	219.2	23-25-2a	308.0	292.1	23-25-2b	282.8	269.4	300	294	299 (-5%)	281 (-5%)	283	283	7.1	
23-26	S14T	M22	100	長期(再)	Lo(再)	26	23-26-1a	284.9	249.3	23-26-1b	282.1	260.4	23-26-2a	323.4	295.5	23-26-2b	312.3	282.1	284	318	299 (-9%)	279 (-9%)	267	267	334.0	
23-27	S14T	M22	100	長期(再)	Lo(再)	27	23-27-1a	293.7	261.9	23-27-1b	289.8	267.5	23-27-2a	328.6	305.7	23-27-2b	263.3	243.8	292	296	299 (-6%)	275 (-6%)	270	270	334.0	
23-28	S14T	M22	100	長期(再)	Lo(再)	28	23-28-1a	376.1	328.9	23-28-1b	222.3	191.4	23-28-2a	320.7	291.8	23-28-2b	126.1	171.9	299	223	299 (-19%)	155 (-19%)	208	208	334.0	
23-29	S14T	M22	100	長期(再)	Lo(再)	29	23-29-1a	368.2	338.8	23-29-1b	184.7	155.5	23-29-2a	382.1	339.1	23-29-2b	184.5	160.6	276	283	299 (-12%)	250 (-12%)	248	248	334.0	
23-30	S14T	M22	100	長期(再)	Lo(再)	30	23-30-1a	332.4	302.0	23-30-1b	210.3	183.3	23-30-2a	318.8	274.7	23-30-2b	238.9	216.8	271	279	299 (-12%)	246 (-12%)	244	244	334.0	
24-16	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	16	24-16-1a	272.8	258.3	24-16-1b	313.4	299.3	24-16-2a	242.0	231.3	24-16-2b	289.4	276.5	293	286	299 (-4%)	279 (-4%)	266	266	10.8	
24-17	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	17	24-17-1a	274.7	272.1	24-17-1b	285.4	270.4	24-17-2a	319.7	303.9	24-17-2b	272.4	261.0	280	286	299 (-4%)	271 (-4%)	271	271	10.8	
24-18	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	18	24-18-1a	292.5	278.6	24-18-1b	272.0	252.1	24-18-2a	341.4	323.1	24-18-2b	299.4	282.0	299	304	299 (-6%)	303 (-6%)	283	283	10.8	なし
24-19	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	19	24-19-1a	303.2	286.0	24-19-1b	301.9	284.7	24-19-2a	253.9	240.2	24-19-2b	336.6	324.7	303	295	299 (-4%)	282 (-4%)	284	284	10.8	
24-20	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	20	24-20-1a	314.9	297.3	24-20-1b	285.1	271.7	24-20-2a	303.8	291.0	24-20-2b	320.4	308.0	300	312	299 (-5%)	300 (-5%)	292	292	10.8	

【凡例】 計測したボルト軸力が設計軸力から10%以上低下したボルト

 計測できなかったボルト

表-3. 4. 13 (4) ボルト導入軸力計測結果 (再すべり試験)

試体 No.	ボルト等級	呼び径 (mm)	実験種別	ボルト導入軸力 / TC-31K試験装置 (kN)						ボルト平均値 (kN)						再接合面処理											
				可動部内心2番		可動部外心2番		ボルト1		ボルト2		ボルト1(低下車)		ボルト2(低下車)			経過日数										
				組立直後	試験直前	組立直後	試験直前	組立直後	試験直前	組立直後	試験直前	組立直後	試験直前	組立直後	試験直前												
24-21	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	21	24-21-1a	350.1	237.1	233.1	231.1	24-21-a	299.5	290.2	296.5	261.5	252.5	24-21-b	281	299	280 (-5%)	271 (-5%)	276 (-4%)	3.2	母板	遅延板	
24-22	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	22	24-22-1a	344.0	330.5	214.1	24-22-a	303.9	288.6	24-22-b	265.0	293.5	285	284	299	272 (-5%)	---	---	272 (-5%)	10.8	動力工具 無継シボク	動力工具 無継シボク	
24-23	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	23	24-23-1a	363.5	350.2	216.3	24-23-a	292.1	288.4	24-23-b	335.5	327.7	298	284	299	283 (-5%)	281 (-5%)	282 (-5%)	10.8	動力工具 無継シボク	動力工具 無継シボク		
24-24	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	24	24-24-1a	317.8	306.9	266.1	24-24-a	365.8	352.3	24-24-b	176.1	165.7	301	271	299	287 (-5%)	259 (-4%)	273 (-5%)	10.8	動力工具 無継シボク	動力工具 無継シボク		
24-25	S14T	M22	100	再試験	12H(再)	25	24-25-1a	292.9	277.6	255.6	24-25-a	333.1	318.2	24-25-b	206.3	194.0	281	270	299	267 (-5%)	256 (-5%)	261 (-5%)	10.7	動力工具 無継シボク	動力工具 無継シボク		
25-16	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	16	25-16-1a	363.8	341.4	25-16-b	337.4	319.3	25-16-c	283.3	297.7	25-16-d	390.8	373.2	357	367	349	330 (-5%)	321 (-5%)	326 (-5%)	10.8	なし	なし
25-17	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	17	25-17-1a	320.6	317.5	25-17-b	337.2	324.5	25-17-c	436.0	373.5	333	337	349	321 (-4%)	---	---	321 (-4%)	8.2	なし	なし		
25-18	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	18	25-18-1a	299.5	292.9	25-18-b	389.5	386.1	25-18-c	338.1	322.5	345	347	349	325 (-5%)	332 (-5%)	328 (-5%)	328 (-5%)	8.2	なし	なし		
25-19	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	19	25-19-1a	311.7	291.8	25-19-b	332.6	307.3	25-19-c	316.2	294.0	322	330	349	300 (-7%)	317 (-4%)	306 (-6%)	306 (-6%)	8.2	なし	なし		
25-20	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	20	25-20-1a	371.5	353.6	25-20-b	267.4	254.6	25-20-c	275.8	261.2	319	329	349	304 (-5%)	316 (-4%)	310 (-4%)	310 (-4%)	8.2	なし	なし		
26-16	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	16	26-16-1a	421.0	403.1	26-16-b	325.0	306.9	26-16-c	404.3	390.7	373	382	349	355 (-5%)	340 (-4%)	348 (-5%)	348 (-5%)	8.2	なし	なし		
26-17	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	17	26-17-1a	405.4	378.1	26-17-b	296.9	268.2	26-17-c	403.6	380.8	351	350	349	322 (-5%)	334 (-5%)	328 (-6%)	328 (-6%)	8.2	なし	なし		
26-18	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	18	26-18-1a	350.1	329.6	26-18-b	347.9	324.4	26-18-c	372.6	351.6	348	356	349	327 (-4%)	336 (-4%)	332 (-4%)	332 (-4%)	8.2	なし	なし		
26-19	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	19	26-19-1a	398.5	377.5	26-19-b	341.9	324.4	26-19-c	366.8	341.8	370	365	349	345 (-4%)	345 (-4%)	345 (-4%)	345 (-4%)	8.2	なし	なし		
26-20	S14T	M24	105	再試験	12H(再)	20	26-20-1a	349.4	331.3	26-20-b	397.3	377.5	26-20-c	396.6	379.5	373	340	349	354 (-5%)	324 (-5%)	339 (-5%)	339 (-5%)	8.2	なし	なし		
27-16	S14T	M22	150	再試験	12H(再)	16	27-16-1a	313.5	308.7	27-16-b	233.4	233.9	27-16-c	316.5	313.7	274	301	299	271 (-1%)	298 (-1%)	285 (-1%)	285 (-1%)	2.0	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
27-17	S14T	M22	150	再試験	12H(再)	17	27-17-1a	369.0	361.5	27-17-b	224.1	224.1	27-17-c	325.3	319.7	297	303	299	293 (-1%)	299 (-1%)	296 (-1%)	296 (-1%)	2.0	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
27-18	S14T	M22	150	再試験	12H(再)	18	27-18-1a	312.8	306.2	27-18-b	315.4	310.9	27-18-c	298.7	297.4	314	278	299	309 (-2%)	277 (-1%)	293 (-1%)	293 (-1%)	2.0	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
27-19	S14T	M22	150	再試験	12H(再)	19	27-19-1a	297.3	288.0	27-19-b	262.8	259.4	27-19-c	339.1	335.8	280	295	299	273 (-3%)	292 (-1%)	283 (-2%)	283 (-2%)	2.0	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
27-20	S14T	M22	150	再試験	12H(再)	20	27-20-1a	286.9	282.8	27-20-b	335.7	329.8	27-20-c	287.4	285.1	311	279	299	306 (-2%)	277 (-1%)	292 (-1%)	292 (-1%)	2.0	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-4	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	4	58-4-1a	234.1	232.7	58-4-1b	346.3	344.8	58-4-1c	205.9	205.2	290	271	299	289 (-0%)	272 (0%)	280 (-0%)	280 (-0%)	1.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-4	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	4	58-4-3a	252.0	251.6	58-4-3b	347.4	345.3	58-4-4a	178.0	184.2	300	285	299	298 (-0%)	298 (-0%)	298 (1%)	298 (1%)	1.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-4	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	4	58-4-5a	219.9	219.8	58-4-5b	350.8	348.8	58-4-6a	275.6	274.2	285	323	299	284 (-1%)	321 (-1%)	302 (-1%)	302 (-1%)	1.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-4	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	4	58-4-7a	283.4	281.7	58-4-7b	323.1	321.4	58-4-8a	259.1	256.8	303	305	299	302 (-1%)	303 (-1%)	302 (-1%)	302 (-1%)	1.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-5	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	5	58-5-1a	250.3	248.8	58-5-1b	359.3	355.7	58-5-2a	288.8	286.6	304	320	299	302 (-1%)	318 (-1%)	310 (-1%)	310 (-1%)	2.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-5	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	5	58-5-3a	298.8	297.0	58-5-3b	299.0	298.0	58-5-4a	338.1	336.4	299	339	299	298 (-0%)	336 (-1%)	317 (-1%)	317 (-1%)	2.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-5	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	5	58-5-5a	282.9	282.9	58-5-5b	334.6	332.2	58-5-6a	297.6	295.0	309	316	299	308 (-0%)	316 (-0%)	312 (-0%)	312 (-0%)	2.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-5	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	5	58-5-7a	265.4	264.5	58-5-7b	343.5	341.6	58-5-8a	295.9	293.8	304	305	299	303 (-0%)	303 (-1%)	303 (-1%)	303 (-1%)	2.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-6	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	6	58-6-1a	246.9	245.1	58-6-1b	330.5	329.3	58-6-2a	217.6	216.3	289	285	299	287 (-1%)	283 (-1%)	285 (-1%)	285 (-1%)	3.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-6	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	6	58-6-3a	-	-	58-6-3b	386.5	381.4	58-6-4a	254.9	253.8	323	300	299	290 (-0%)	290 (-0%)	290 (-0%)	290 (-0%)	3.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-6	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	6	58-6-5a	243.1	241.2	58-6-5b	403.3	399.5	58-6-6a	271.7	270.4	323	300	299	320 (-1%)	298 (-1%)	309 (-1%)	309 (-1%)	3.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		
58-6	S14T	M22	195	再試験	12H(再)	6	58-6-7a	261.4	260.0	58-6-7b	382.4	378.1	58-6-8a	251.1	248.3	322	294	299	319 (-1%)	292 (-1%)	305 (-1%)	305 (-1%)	3.9	動力工具 糸綱	動力工具 糸綱		

【凡例】 計測したボルト軸力が設計軸力から10%以上低下したボルト

計測できなかったボルト

(2) すべり試験結果

再すべり試験を行った全ての試験結果を表-3.4.14に示す。接合面処理を行わなかった試験結果を最初の接合面処理の種類によって整理して図-3.4.6に、同試験結果を鋼材の材質によって整理して図-3.4.7に、接合面処理を行った試験結果を図-3.4.8にそれぞれ示す。

a) 接合面処理を行わなかった場合の再すべり試験結果（接合面処理のちがい）

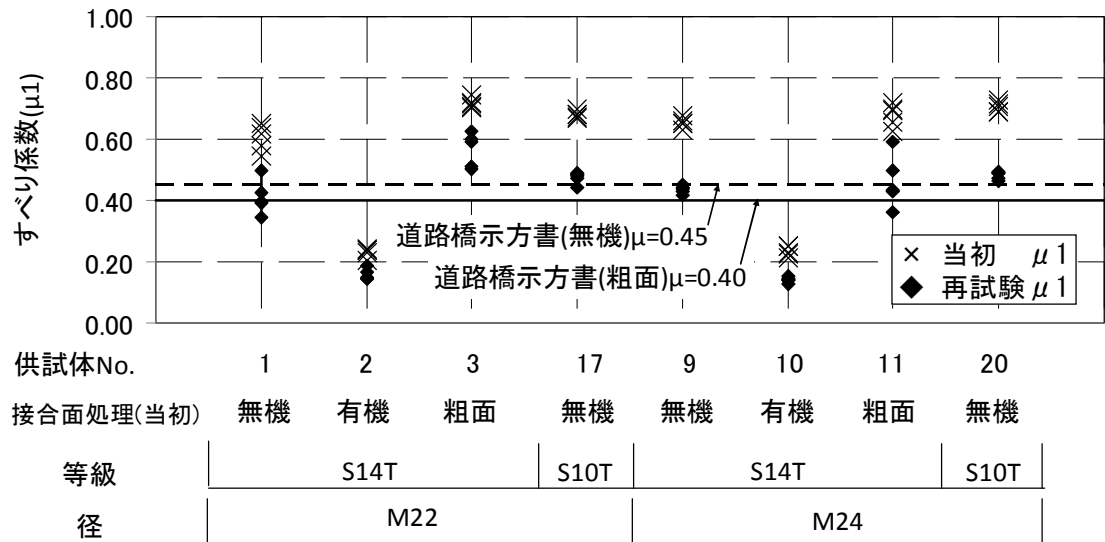


図-3.4.6 接合面処理を行わなかった再すべり試験（接合面処理のちがい）

M22のS14Tにおける接合面処理のちがいについて供試体No.1~3を比較する。無機ジンクリッチペイント、粗面、有機ジンクリッチペイントの μ_1 は平均値で、最初のすべり試験結果→すべり後の再試験結果を見ると、それぞれ0.61→0.41、0.72→0.56、0.23→0.16と低下した。粗面以外は道示の規定値を満足していない。

M24のS14Tにおける接合面処理のちがいについて供試体No.9~11を比較する。無機ジンクリッチペイント、粗面、有機ジンクリッチペイントの μ_1 は平均値で、それぞれ0.65→0.44、0.68→0.46、0.23→0.14と低下し、粗面以外は道示の規定値を満足せず、M22のS14Tと同様であった。なお、無機ジンクリッチペイントの塗膜厚は、いずれの供試体でも片面当り65 μm 以上であった。粗面とした供試体の表面状態は、ブラスト処理の表面粗さが算術平均粗さRaでRa \geq 10 μm に対し、動力工具処理では5 μm >Ra>2 μm であった。

表面処理を無機ジンクリッチペイントとしたS10Tの供試体No.17(M22)、20(M24)の μ_1 を見ると、M22とM24の μ_1 は平均値でそれぞれ0.68→0.47、0.71→0.48であり、S14Tとほぼ同じ値であった。

すべり後に接合面処理を行わない再試験結果について、S14TとS10Tに明確な差はなく、どの接合面処理においてもすべり係数は低下し、道示の規格値を満足しない可能性が高いことがわかった。粗面の供試体No.3およびNo.11はいずれも道示の規格値を上回っている

が、最初の標準すべり試験からすべり係数の値が大きかったことが原因と考えられる。よって、粗面の場合、すべり後もすべり係数が道示の規格値を上回ることについては、さらなる検討が必要である。

b) 接合面処理を行わなかった場合の再すべり試験結果（鋼材の材質のちがい）

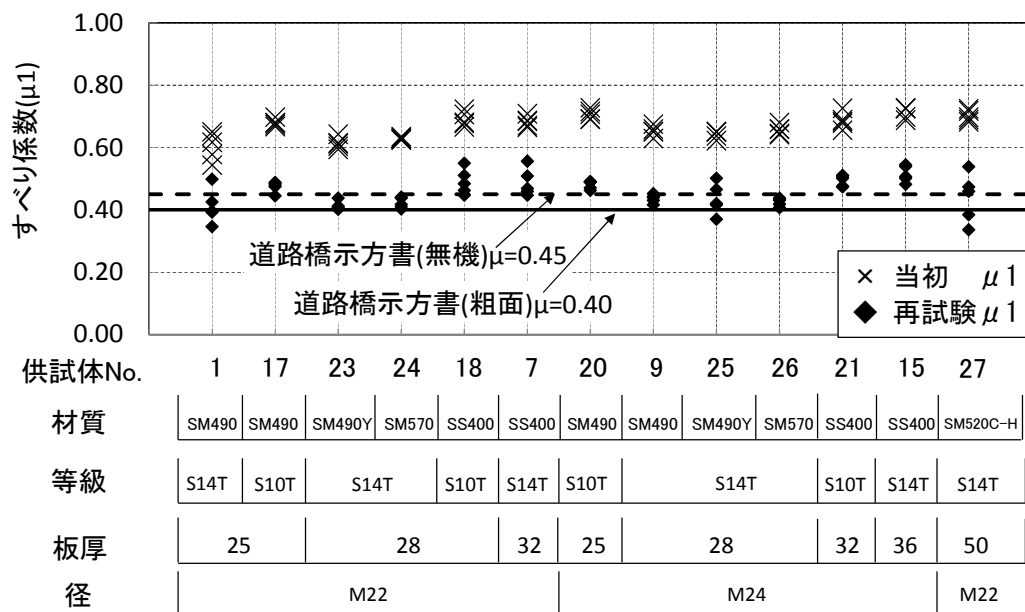


図-3.4.7 接合面処理を行わなかった再すべり試験（鋼材の材質のちがい）

表面処理を無機ジンクリッチペイントとした M22 の S14T における鋼材の材質のちがいについて、供試体 No.7 (SS400)、1 (SM490)、23 (SM490Y)、24 (SM570) を比較すると、 μ_1 は平均値で、それぞれ $0.68 \rightarrow 0.49$ 、 $0.61 \rightarrow 0.41$ 、 $0.61 \rightarrow 0.41$ 、 $0.63 \rightarrow 0.42$ と低下し、供試体 No.7 (SS400) 以外は道示の規格値を満足していない。

M24 の S14T における鋼材の材質のちがいについて、供試体 No.15 (SS400)、9 (SM490)、25 (SM490Y)、26 (SM570) を比較すると、 μ_1 は平均値で、それぞれ $0.71 \rightarrow 0.51$ 、 $0.65 \rightarrow 0.44$ 、 $0.64 \rightarrow 0.43$ 、 $0.66 \rightarrow 0.43$ と低下し、供試体 No.15 (SS400) 以外は道示の規格値を満足していない。

表面処理を無機ジンクリッチペイントとした M22 の S10T を用いた供試体 No.18 (SS400)、17 (SM490) の μ_1 を見ると、 μ_1 は平均値でそれぞれ $0.69 \rightarrow 0.49$ 、 $0.68 \rightarrow 0.47$ であった。同様に、表面処理を無機ジンクリッチペイントとした M24 の S10T を用いた供試体 No.21 (SS400)、20 (SM490) の μ_1 は、同図から $0.69 \rightarrow 0.49$ 、 $0.71 \rightarrow 0.48$ であった。いずれも他の供試体と同様に低下しているものの、道示の規格値を上回っている。これは、最初のすべり試験時のすべり係数が大きかったことが原因と考えられることから、S10T の場合、すべり後もすべり係数が道示の規格値を上回ることについては、さらなる検討が必要である。

すべり後に接合面処理を行わない再試験結果について、S14T と S10T に明確な差はなく、どの鋼材の材質においてもすべり係数は低下し、道示の規格値を満足しない可能性が高いと考えられる。

c) 接合面処理を行った場合の再すべり試験結果

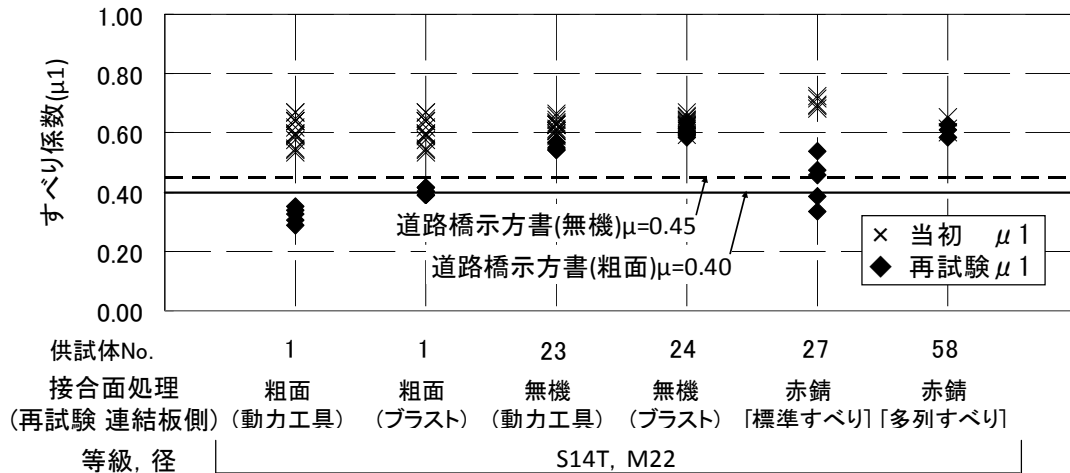


図-3.4.8 接合面処理を行った再すべり試験

それぞれの接合面処理とすべり係数 μ_1 は、連結板側を動力工具による粗面： $\mu_1=0.61 \rightarrow 0.32$ 、連結板側をブラスト処理による粗面： $\mu_1=0.61 \rightarrow 0.40$ 、連結板側を動力工具による素地調整後に無機ジンクリッチペイント塗布： $\mu_1=0.61 \rightarrow 0.55$ 、連結板側をブラスト処理による素地調整後に無機ジンクリッチペイント塗布： $\mu_1=0.63 \rightarrow 0.61$ 、連結板側を薬剤処理による赤錆： $\mu_1=0.70 \rightarrow 0.44$ （標準すべり試験体）、 $\mu_1=0.62 \rightarrow 0.62$ （多列すべり試験体）となり、いずれも当初と同じ、または低下した。なお、これらの試験結果には、最初のすべり試験時における供試体組立後の保管期間が『12H』『1ヶ月』『長期』の3種類が混在しており、さらに一部の供試体はすべり試験後→表面処理を行わない再試験→表面処理を行った再々試験と3回の試験を行っている。これら保管期間や再々試験による明確な差は見られなかった。ただし、設計・施工の規格として確立させるには供試体数が少なく、標準すべり試験でパラメータとしたボルトの等級・径、すべり/降伏耐力比 β 、鋼材の材質・板厚、肌すき、母板の板厚差、ボルト孔径等の網羅的な検討が引き続き必要である。

表-3.4.14(1) すべり試験結果一覧 (再すべり試験)

実験 ケース	供試体 No.	ボルト 等級	呼び径	首下長 (mm)	当初接合 面処理	供試体 重量 (kg)	実験種別		すべり試験結果					備考		経過日数	再接合面処理		
									すべり荷重 (kN)	設計軸力 (kN)	すべり係数 μ_1	試験直前軸力 (kN)	すべり係数 μ_2	再試験	破断		最大荷重 (kN)	母板	連結板
1	1-16	S14T	M22	100	無機シソ	30.1	再試験	16	414	299	0.35	285	0.36	○	○	1257	15.7	なし	なし
1	1-17	S14T	M22	100	無機シソ	30.1	再試験	17	470	299	0.39	269	0.44	○	○	1287	15.1		
1	1-18	S14T	M22	100	無機シソ	30.1	再試験	18	473	299	0.40	272	0.43	○	○	1286	15.1		
1	1-19	S14T	M22	100	無機シソ	30.1	再試験	19	508.5	299	0.43	281	0.45	○			15.1		
1	1-20	S14T	M22	100	無機シソ	30.1	再試験	20	595.5	299	0.50	279	0.53	○			15.1		
1	1-21	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	21	404.0	299	0.34	259	0.39	○	○	1291	8.8	動力工具 粗面	動力工具 粗面
1	1-22	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	22	344.0	299	0.29	282	0.30	○	○	1274	8.8		
1	1-23	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	23	389.0	299	0.33	274	0.35	○	○	1346	8.9		
1	1-24	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	24	364.0	299	0.30	255	0.36	○			8.8		
1	1-25	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	25	419.0	299	0.35	261	0.40	○			8.2		
1	1-26	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	26	464.0	299	0.39	279	0.42	○			7.2	プラスト 粗面	動力工具 粗面
1	1-27	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	27	496.5	299	0.42	282	0.44	○			7.1		
1	1-28	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	28	497.0	299	0.42	280	0.44	○			7.1		
1	1-29	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	29	468.5	299	0.39	285	0.41	○			3.2		
1	1-30	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	30	480.5	299	0.40	268	0.45	○			7.0		
2	2-16	S14T	M22	100	有機シソ	30.1	再試験	16	174.8	299	0.15	261	0.17	○			15.1	なし	なし
2	2-17	S14T	M22	100	有機シソ	30.1	再試験	17	224.4	299	0.19	278	0.20	○			15.1		
2	2-18	S14T	M22	100	有機シソ	30.1	再試験	18	173	299	0.14	293	0.15	○			15.1		
2	2-19	S14T	M22	100	有機シソ	30.1	再試験	19	199	299	0.17	288	0.17	○			15.1		
2	2-20	S14T	M22	100	有機シソ	30.1	再試験	20	178.6	299	0.15	272	0.16	○			15.1		
3	3-16	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	16	598.5	299	0.50	284	0.53	○			15.1	なし	なし
3	3-17	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	17	610	299	0.51	287	0.53	○			15.1		
3	3-18	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	18	705.5	299	0.59	296	0.60	○			15.7		
3	3-19	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	19	747.5	299	0.63	293	0.64	○			15.7		
3	3-20	S14T	M22	100	粗面	30.1	再試験	20	715.5	299	0.60	292	0.61	○			15.7		
7	7-16	S14T	M22	110	無機シソ	39.0	再試験	16	608	299	0.51	274	0.55	○	○	1267	14.0	なし	なし
7	7-17	S14T	M22	110	無機シソ	39.0	再試験	17	560	299	0.47	267	0.52	○	○	1268	14.0		
7	7-18	S14T	M22	110	無機シソ	39.0	再試験	18	550	299	0.46	270	0.51	○	○	1276	14.1		
7	7-19	S14T	M22	110	無機シソ	39.0	再試験	19	534.5	299	0.45	262	0.51	○			14.1		
7	7-20	S14T	M22	110	無機シソ	39.0	再試験	20	665	299	0.56	263	0.63	○			14.1		
9	9-16	S14T	M24	105	無機シソ	36.0	再試験	16	618	349	0.44	365	0.42	○	○	1532	14.0	なし	なし
9	9-17	S14T	M24	105	無機シソ	36.0	再試験	17	614	349	0.44	342	0.45	○	○	1547	14.0		
9	9-18	S14T	M24	105	無機シソ	36.0	再試験	18	600	349	0.43	355	0.42	○	○	1535	14.0		
9	9-19	S14T	M24	105	無機シソ	36.0	再試験	19	580.5	349	0.42	336	0.43	○			14.0		
9	9-20	S14T	M24	105	無機シソ	36.0	再試験	20	631.5	349	0.45	346	0.46	○			14.0		
10	10-16	S14T	M24	105	有機シソ	36.0	再試験	16	194.4	349	0.14	326	0.15	○			14.0	なし	なし
10	10-17	S14T	M24	105	有機シソ	36.0	再試験	17	213.4	349	0.15	353	0.15	○			14.0		
10	10-18	S14T	M24	105	有機シソ	36.0	再試験	18	180.4	349	0.13	347	0.13	○			14.0		
10	10-19	S14T	M24	105	有機シソ	36.0	再試験	19	203.6	349	0.15	335	0.15	○			14.0		
10	10-20	S14T	M24	105	有機シソ	36.0	再試験	20	198	349	0.14	353	0.14	○			14.0		
11	11-16	S14T	M24	105	粗面	36.0	再試験	16	506	349	0.36	320	0.40	○			14.0	なし	なし
11	11-17	S14T	M24	105	粗面	36.0	再試験	17	604.5	349	0.43	317	0.48	○			14.0		
11	11-18	S14T	M24	105	粗面	36.0	再試験	18	694	349	0.50	331	0.52	○			14.0		
11	11-19	S14T	M24	105	粗面	36.0	再試験	19	823	349	0.59	339	0.61	○			14.0		
11	11-20	S14T	M24	105	粗面	36.0	再試験	20	602	349	0.43	336	0.45	○			14.0		
15	15-16	S14T	M24	125	無機シソ	49.4	再試験	16	699	349	0.50	338	0.52	○	○	1539	10.0	なし	なし
15	15-17	S14T	M24	125	無機シソ	49.4	再試験	17	708	349	0.51	345	0.51	○	○	1533	10.0		
15	15-18	S14T	M24	125	無機シソ	49.4	再試験	18	753	349	0.54	335	0.56	○	○	1540	10.0		
15	15-19	S14T	M24	125	無機シソ	49.4	再試験	19	673	349	0.48	321	0.52	○			10.0		
15	15-20	S14T	M24	125	無機シソ	49.4	再試験	20	760	349	0.54	327	0.58	○			10.0		
17	17-16	S10T	M22	95	無機シソ	22.6	再試験	16	400	205	0.49	196	0.51	○	○	957	9.9	なし	なし
17	17-17	S10T	M22	95	無機シソ	22.6	再試験	17	364.5	205	0.44	181	0.50	○	○	938.5	9.9		
17	17-18	S10T	M22	95	無機シソ	22.6	再試験	18	397.5	205	0.48	190	0.52	○	○	938	9.9		
17	17-19	S10T	M22	95	無機シソ	22.6	再試験	19	393	205	0.48	190	0.52	○			10.0		
17	17-20	S10T	M22	95	無機シソ	22.6	再試験	20	389	205	0.47	192	0.51	○			9.3		

表-3.4.14(2) すべり試験結果一覧 (再すべり試験)

実験ケース	供試体 No.	ボルト等級	呼び径	首下長 (mm)	当初接合面処理	供試体重量 (kg)	実験種別		すべり試験結果					備考		経過日数	再接合面処理		
									すべり荷重 (kN)	設計軸力 (kN)	すべり係数 $\mu 1$	試験直前軸力 (kN)	すべり係数 $\mu 2$	再試験	破断		最大荷重 (kN)	母板	連結板
18	18-16	S10T	M22	95	無機シソ	26.9	再試験	16	397	205	0.48	198	0.50	○	○	978	9.2		
18	18-17	S10T	M22	95	無機シソ	26.9	再試験	17	379	205	0.46	194	0.49	○	○	976	9.2		
18	18-18	S10T	M22	95	無機シソ	26.9	再試験	18	366.5	205	0.45	194	0.47	○	○	974	9.2	なし	なし
18	18-19	S10T	M22	95	無機シソ	26.9	再試験	19	418.5	205	0.51	219	0.48	○			11.8		
18	18-20	S10T	M22	95	無機シソ	26.9	再試験	20	450.5	205	0.55	213	0.53	○			11.8		
20	20-16	S10T	M24	100	無機シソ	26.9	再試験	16	440	238	0.46	239	0.46	○	○	1053	11.7		
20	20-17	S10T	M24	100	無機シソ	26.9	再試験	17	468	238	0.49	234	0.50	○	○	1059	6.9		
20	20-18	S10T	M24	100	無機シソ	26.9	再試験	18	465	238	0.49	244	0.48	○	○	1067	11.7	なし	なし
20	20-19	S10T	M24	100	無機シソ	26.9	再試験	19	448	238	0.47	228	0.49	○			11.1		
20	20-20	S10T	M24	100	無機シソ	26.9	再試験	20	466	238	0.49	241	0.48	○			11.0		
21	21-16	S10T	M24	110	無機シソ	35.1	再試験	16	452	238	0.47	226	0.50	○	○	1177	10.9		
21	21-17	S10T	M24	110	無機シソ	35.1	再試験	17	451	238	0.47	222	0.51	○	○	1177	11.1		
21	21-18	S10T	M24	110	無機シソ	35.1	再試験	18	477	238	0.50	223	0.53	○	○	1169	10.9	なし	なし
21	21-19	S10T	M24	110	無機シソ	35.1	再試験	19	485.5	238	0.51	230	0.53	○			10.9		
21	21-20	S10T	M24	110	無機シソ	35.1	再試験	20	484	238	0.51	230	0.53	○			10.9		
23	23-16	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	16	488	299	0.41	278	0.44	○	○	1267	10.2		
23	23-17	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	17	493	299	0.41	262	0.47	○	○	1270	10.2		
23	23-18	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	18	480	299	0.40	264	0.45	○	○	1269	10.2	なし	なし
23	23-19	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	19	483	299	0.40	277	0.44	○			10.2		
23	23-20	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	20	523	299	0.44	280	0.47	○			10.1		
23	23-21	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	21	701.0	299	0.59	245	0.72	○			1.3		
23	23-22	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	22	723.0	299	0.60	264	0.68	○			1.3		
23	23-23	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	23	708.0	299	0.59	266	0.67	○			1.0	プラスチック	動力工具
23	23-24	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	24	737.5	299	0.62	282	0.65	○			1.3	無機シソ	無機シソ
23	23-25	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	25	760.0	299	0.64	283	0.67	○			1.3		
23	23-26	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	26	779.2	299	0.65	267	0.73	○	○	1304	386.1		
23	23-27	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	27	718.1	299	0.60	270	0.67	○	○	1293	390.0		
23	23-28	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	28	779.0	299	0.65	276	0.71	○	○	1292	390.0	プラスチック	動力工具
23	23-29	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	29	735.2	299	0.61	249	0.74	○			390.0	無機シソ	無機シソ
23	23-30	S14T	M22	100	無機シソ	26.9	再試験	30	708.7	299	0.59	244	0.73	○			390.0		
24	24-16	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	16	523	299	0.44	266	0.49	○	○	1179	10.8		
24	24-17	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	17	491	299	0.41	271	0.45	○	○	1179	10.8		
24	24-18	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	18	527	299	0.44	283	0.47	○	○	1182	10.8	なし	なし
24	24-19	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	19	482	299	0.40	284	0.42	○			10.8		
24	24-20	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	20	498.5	299	0.42	292	0.43	○			10.8		
24	24-21	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	21	650.5	299	0.54	276	0.59	○			3.2		
24	24-22	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	22	657.5	299	0.55	272	0.60	○			10.7		
24	24-23	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	23	649	299	0.54	282	0.58	○			10.7	動力工具	動力工具
24	24-24	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	24	653	299	0.55	273	0.60	○			10.7	無機シソ	無機シソ
24	24-25	S14T	M22	100	無機シソ	22.9	再試験	25	681.5	299	0.57	261	0.65	○			10.7		
25	25-16	S14T	M24	105	無機シソ	33.1	再試験	16	586	349	0.42	326	0.45	○	○	1493	10.8		
25	25-17	S14T	M24	105	無機シソ	33.1	再試験	17	699	349	0.50	321	0.54	○	○	1496	8.2		
25	25-18	S14T	M24	105	無機シソ	33.1	再試験	18	580	349	0.42	328	0.44	○	○	1495	8.2	なし	なし
25	25-19	S14T	M24	105	無機シソ	33.1	再試験	19	516.5	349	0.37	308	0.42	○			8.2		
25	25-20	S14T	M24	105	無機シソ	33.1	再試験	20	649.5	349	0.47	310	0.52	○			8.2		
26	26-16	S14T	M24	105	無機シソ	27.4	再試験	16	611	349	0.44	348	0.44	○	○	1344	8.2		
26	26-17	S14T	M24	105	無機シソ	27.4	再試験	17	603	349	0.43	328	0.46	○	○	1335	8.2		
26	26-18	S14T	M24	105	無機シソ	27.4	再試験	18	602	349	0.43	332	0.45	○	○	1340	8.2	なし	なし
26	26-19	S14T	M24	105	無機シソ	27.4	再試験	19	583	349	0.42	345	0.42	○			8.2		
26	26-20	S14T	M24	105	無機シソ	27.4	再試験	20	568.5	349	0.41	339	0.42	○			8.2		
27	27-16	S14T	M22	150	赤錆	56.0	再試験	16	402	299	0.34	285	0.35	○	○	1453	2.0		
27	27-17	S14T	M22	150	赤錆	56.0	再試験	17	643	299	0.54	296	0.54	○	○	1464	2.0		
27	27-18	S14T	M22	150	赤錆	56.0	再試験	18	567	299	0.47	293	0.48	○	○	1488	2.0	動力工具	動力工具
27	27-19	S14T	M22	150	赤錆	56.0	再試験	19	549	299	0.46	283	0.48	○			2.0	赤錆	赤錆
27	27-20	S14T	M22	150	赤錆	56.0	再試験	20	459.5	299	0.38	292	0.39	○			2.0		
58	58-4	S14T	M24	195	赤錆	1362	再試験	4	4510	299	0.63	292	0.64	○			1.9		
58	58-5	S14T	M24	195	赤錆	1362	再試験	5	4380	299	0.61	310	0.59	○			2.9	動力工具	動力工具
58	58-6	S14T	M24	195	赤錆	1362	再試験	6	4190	299	0.58	298	0.59	○			3.9	赤錆	赤錆

3.4.4 まとめ

超高力ボルト S14T を用いた摩擦接合継手について、地震災害等の影響により継手部にすべりが生じた場合に、すべり後も道示に規定されているすべり係数を確保できるかという観点から実験を行った。本検討によって明らかとなった事項を以下にまとめる。

- ・すべり後に接合面処理を行わない再すべり試験結果から、S14T と S10T に明確な差はなく、最初の接合面処理の種類、鋼材の材質の種類に関わらず、すべり係数は低下し、道示の規格値を満足しない可能性が高いことがわかった。
- ・すべり後に接合面処理を行った再すべり試験結果について、道示の規定値を上回った試験もあったが、設計・施工の規格として確立させるには供試体数が少なく、標準すべり試験でパラメータとしたボルトの等級・径、すべり/降伏耐力比 β 、鋼材の材質・板厚、肌すき、母板の板厚差、ボルト孔径等の網羅的な検討が引き続き必要である。

3.5 ボルトのリラクセーション

3.5.1 概要

本試験は、ボルト軸力減少量の経時変化の影響を確認するため、標準すべり試験の供試体作成後に12時間以上保管してから試験を行った『12H』、組立後1ヶ月以上保管してから試験した『1ヶ月』、および屋内で長期間（約1年程度保管）保管して試験した『長期』を比較したものである。

3.5.2 計測方法

(1) 計測システム

供試体組立時のボルト軸力の計測点数を表-3.5.1に、計測システム図を図-3.5.1にそれぞれ示す。

表-3.5.1 ボルト軸力の計測点数

継時変化	試験ケース A	供試体数 B A×5	ひずみゲージ枚数 C B×2×2	計測システム			
				スイッチボックス		小型測定器	
				体数	点数	体数	点数
12時間	26	130	520	6	24	124	496
1ヶ月	18	90	360	18	72	72	288
長期	16	80	320	—	—	80	320
合計	60	300	1200	24	96	276	1104

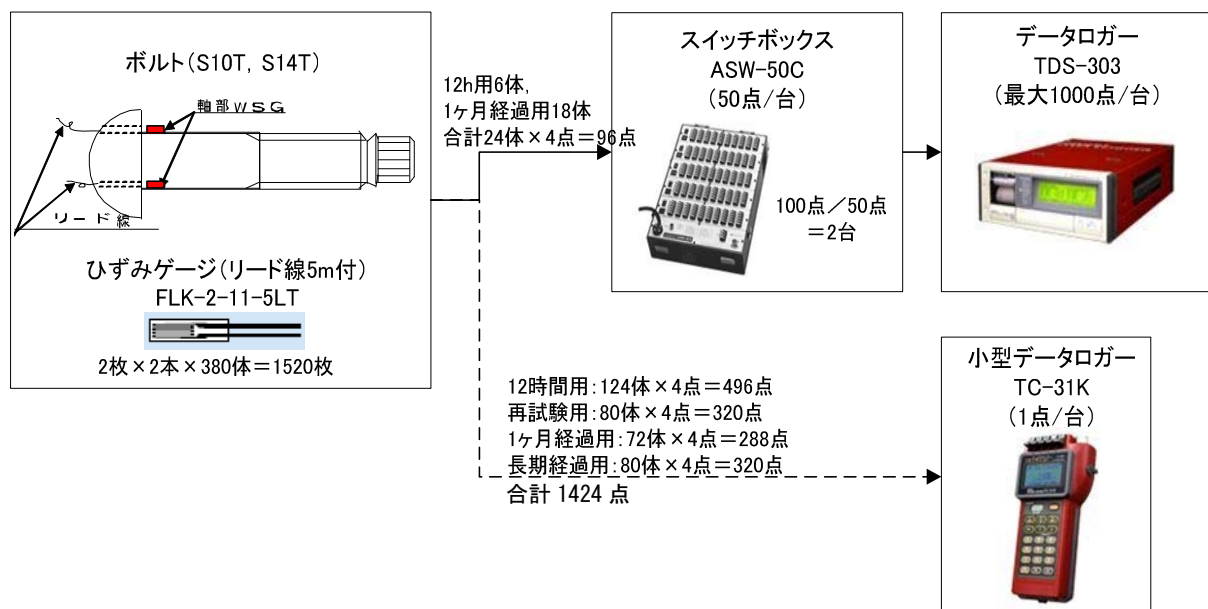


図-3.5.1 計測システム (ボルト軸力計測用)

(2) 計測方法

- ①ひずみゲージは、ゲージがボルトヘッドの孔に通るようゲージ幅の狭い FLK タイプを使用した。
- ②計測点は供試体の可動側のボルト 2 本を対象に、ボルト 1 本当たり 2 点の計 4 点/1 供試体とする。
- ③1 ヶ月経過用の全 18 ケースの各代表 1 体と、12 時間経過用の代表 6 ケースの各 1 体の計 24 体は、スイッチボックスを用いて供試体組立時の導入軸力からすべり試験直前までの軸力変化をインターバル計測する。サンプリングは 10 分ごととする。
- ④それ以外の供試体 356 体は、小型ひずみ測定器 TC-31K を用いて、i) 組立時、ii) 組立直後導入軸力、iii) すべり試験直前の 3 段階を 1 点ずつ計測する。
- ⑤温度によるひずみ値変動分を控除するため、ボルト単独で 3 本程度をテストピースとしてひずみ計測し、温度影響を把握する。
- ⑥一般的に、ひずみゲージの寿命は接着剤の劣化が支配的なため、接着力に優れたエポキシ系の接着剤(EB-2)を使用し、長期経過に対処する。

(3) 計測種別

供試体ごとのボルト軸力の計測種別を表-3.5.2 に示す。TC-31K での計測を A、TDS-303 による 10 分ごとのインターバル計測を B とする。なお、ボルト締付時の導入軸力を詳細に把握することを目的として、DRA-107A による動的計測を 9 体に対して行った。これを C とする。

表-3.5.2 ボルト軸力の計測種別

実験 ケース	ボルト の 等級	呼び径	接合面 の 処理	β	γ	母材・ 連結板 の材質	締付長 (mm)	本締～すべり試験																				
								12H					1ヶ月					長期										
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15						
1	S14T	22	無機シヅク	0.636	1.280	SM490	57	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
2			有機シヅク	0.636	1.280	SM490	57	A	A	A	A	A																
3			粗面	0.636	1.280	SM490	57	B	A	A	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
4			無機シヅク	0.805	1.280	SM490	57	A	A	A	A	A																
5			無機シヅク	1.004	1.280	SM490	57	A	A	A	A	A																
6			無機シヅク	0.684	1.600	SM490	104	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
7			無機シヅク	0.633	1.188	SS400	70	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
8			無機シヅク	0.632	1.600	SS400	104	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
9		24	無機シヅク	0.643	1.143	SM490	60	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
10			有機シヅク	0.643	1.143	SM490	60	A	A	A	A	A																
11			粗面	0.643	1.143	SM490	60	A	A	A	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
12			無機シヅク	0.807	1.143	SM490	60	A	A	A	A	A																
13			無機シヅク	0.997	1.143	SM490	60	A	A	A	A	A																
14			無機シヅク	0.647	1.600	SM490	104	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
15			無機シヅク	0.638	1.222	SS400	80	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
16			無機シヅク	0.635	1.600	SS400	104	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
17	S10T	22	無機シヅク	0.636	1.280	SM490	57	B	A	A	C	C																
18			無機シヅク	0.660	1.143	SS400	60	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
19			無機シヅク	0.629	1.600	SS400	104	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
20		24	無機シヅク	0.658	1.280	SM490	57	A	A	A	A	A																
21			無機シヅク	0.645	1.188	SS400	70	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
22			無機シヅク	0.638	1.600	SS400	104	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
23	S14T	22	無機シヅク	0.637	1.143	SM490Y	60	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	C	C	C	A	A						
24			無機シヅク	0.628	1.143	SM570	60	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
25		24	無機シヅク	0.635	1.143	SM490Y	60	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A											
26			無機シヅク	0.647	1.143	SM570	60	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A											
合 計																												

※ A：TC-31Kによる静的計測，B：TDS-303による静的インターバル計測，C：DRA-107Aによる動的計測

(4) 計測結果

(a) ボルト締付時動的計測結果

代表として供試体No. 3-4、No. 11-4、No. 17-4のボルト導入軸力計測結果を図-3.5.2に示す。メガネレンチで仮組立時、1次締め時、本締め時の導入軸力の状態が示されており、本締め時のピンテール切断直前で軸力が急増し、その直後に少し軸力が低下し安定している状況を読み取ることができる。また、ねじ切りのテーパーにより測点a、bの値は異なっているが、平均すると概ね設計軸力を満たしている。

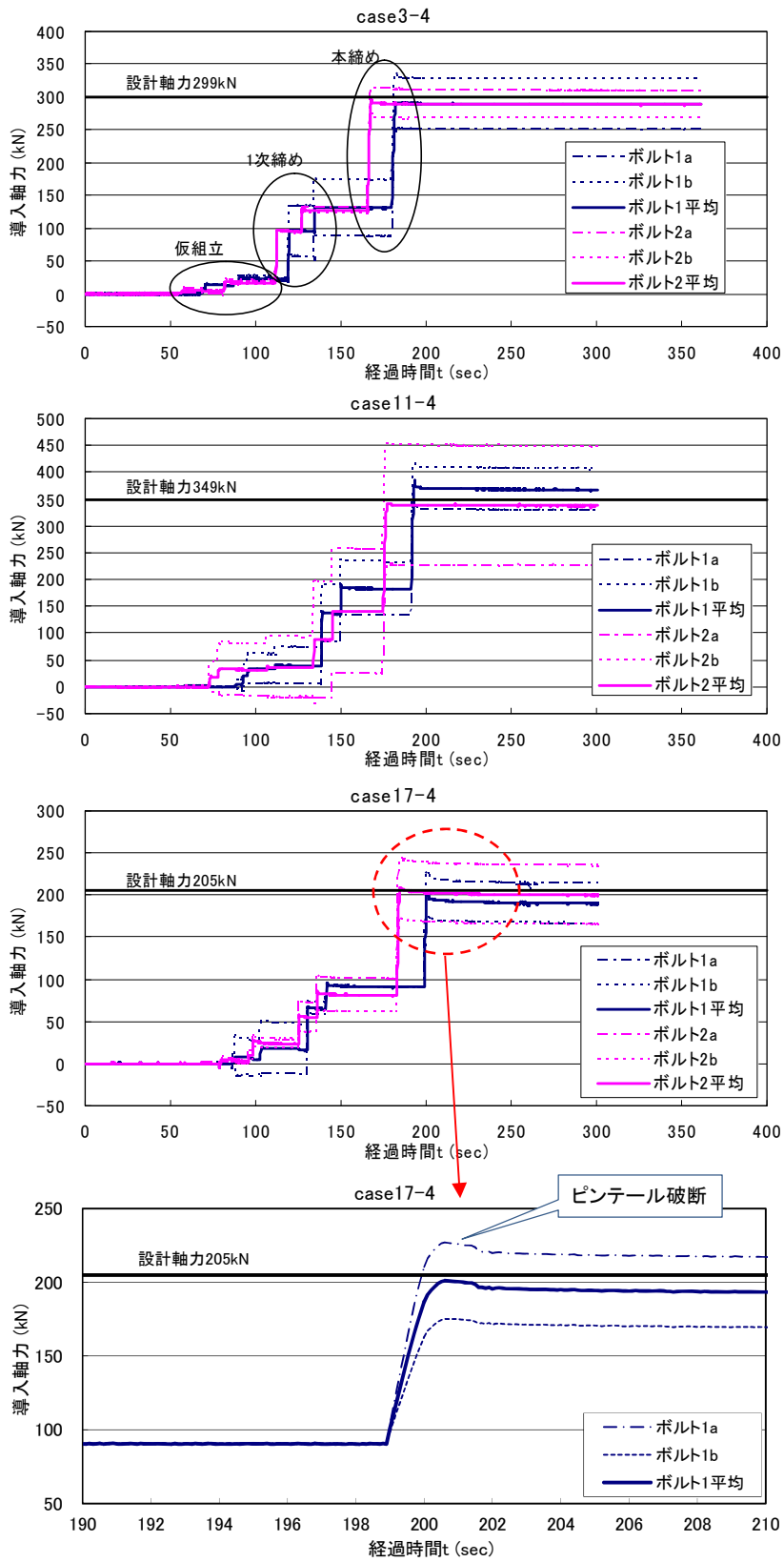


図-3.5.2 ボルト締め時の導入軸力動的計測結果

(b) 10分ごとインターバル計測結果

代表ケース（供試体No. 1-6、No. 9-6）の10分ごとインターバル計測結果を図-3.5.3に示す。本締めから概ね10日間程度でリラクセーションが収まり、一定値に漸近していることがわかる。

テストピースとして無載荷状態のボルト軸力と温度を計測したものを図-3.5.4に示す。室内で空調管理したこともあり、ボルト温度が安定しているため無載荷状態でのボルト変動軸力は1kN未満と小さいことがわかる。

図-3.5.3からわかるように、計測開始15日後から20日後はボルト軸力の計測ができなく、さらに、図-3.5.4より温度計測は計測開始5日後から20日後まで計測ができなかったが、その後の軸力がほぼ同じ値であったため、時間の経過と軸力の低下の関係把握することに関しては、特に問題ないものと判断した。

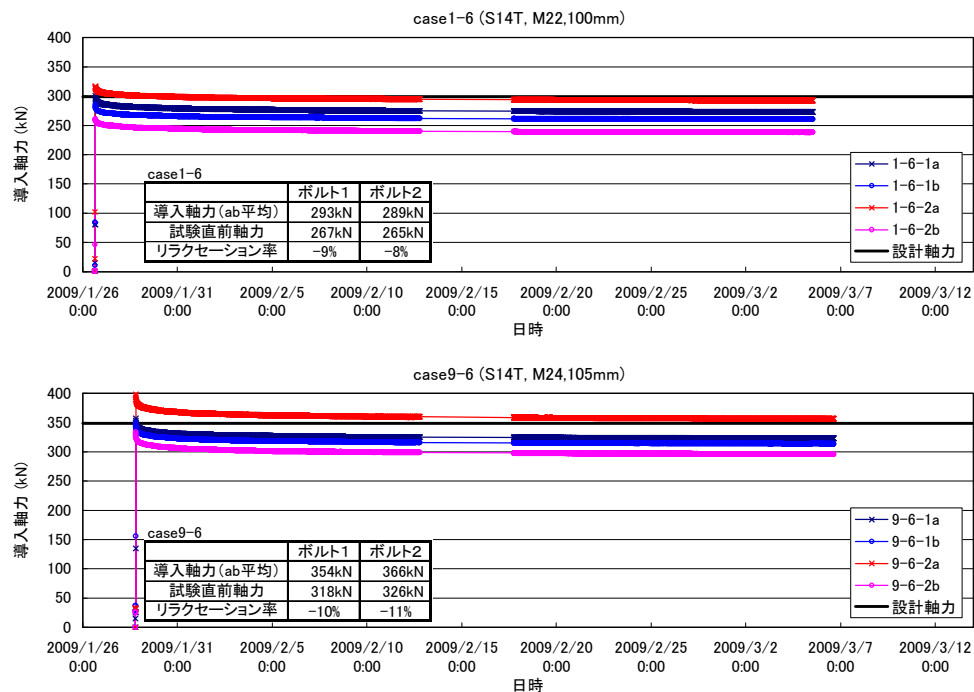


図-3.5.3 10分ごとインターバル計測によるボルト導入軸力の経時変化

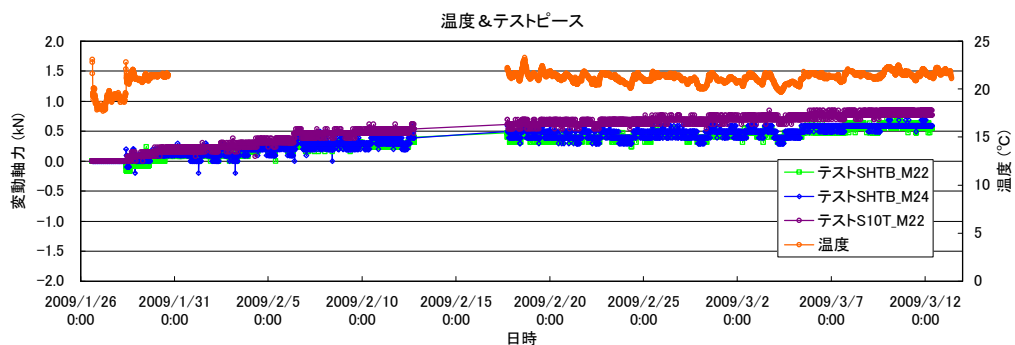


図-3.5.4 無載荷状態のボルトの温度変化と軸力変化

3.5.3 試験結果

組立直後、およびすべり試験直前のボルト軸力を図-3.5.5～図-3.5.10にそれぞれ示す。

組立直後の導入軸力は、接合面処理、鋼材の材質、母板の板厚のいずれのちがいによっても実質的に影響がなく、設計軸力に対して±10%程度のばらつきがあることがわかる。

組立直後と試験直前のボルト軸力を整理した図-3.5.9～図-3.5.10を見ると、組立直後から試験直前に時間が経過すると、ボルト軸力が低下しており、リラクセーションが生じていると考えられる。

次に、接合面処理別のリラクセーション率を図-3.5.11に示す。ここで、リラクセーション率は、以下のように定義する。

$$\text{リラクセーション率(\%)} = \left((\text{試験直前軸力} - \text{組立直後軸力}) / \text{組立直後軸力} \right) \times 100$$

対象とする接合面処理は、無機ジンクリッチペイントおよび粗面とする。S14Tについて、無機ジンクリッチペイントで12%程度、粗面で4%程度のリラクセーション率であり、無機ジンクリッチペイントの処理をした場合のリラクセーション率が相対的に大きい。S14TとS10Tに明確な差はなく同程度であったことから、リラクセーションに関するS14TとS10Tの性能は同等と考えられる。

供試体の構造諸元を同じとして、ボルトの保管期間をそれぞれ『12H』『1ヶ月』『長期』とした標準すべり試験によるすべり係数 μ_2 を図-3.5.12に示す。図-3.5.11のとおり、リラクセーションは本締めから概ね10日間程度で収まり、一定値に漸近していることから、いずれの供試体においても、供試体の組立後の保管期間のちがいによる μ_2 の明確な差はなかった。

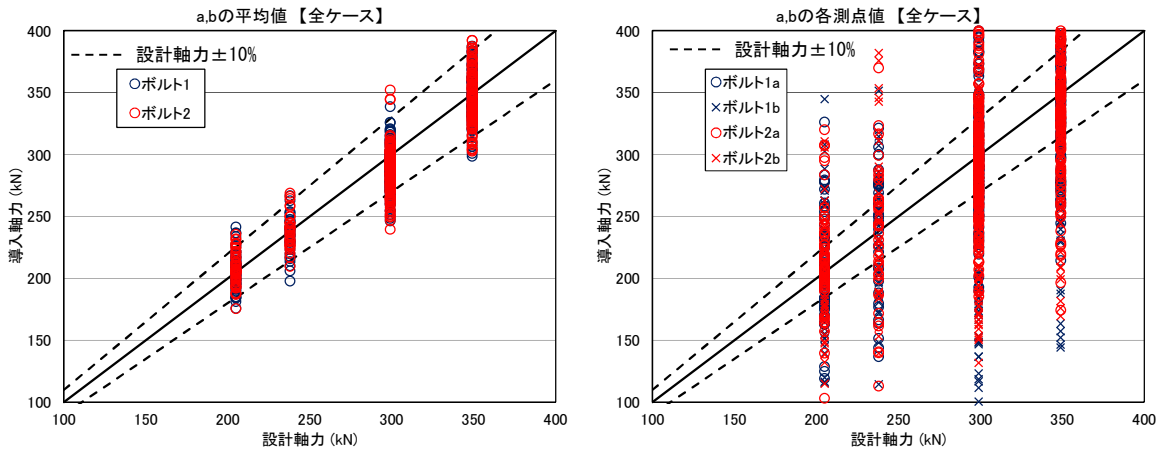


図-3.5.5 組立直後の導入軸力（全ケース）

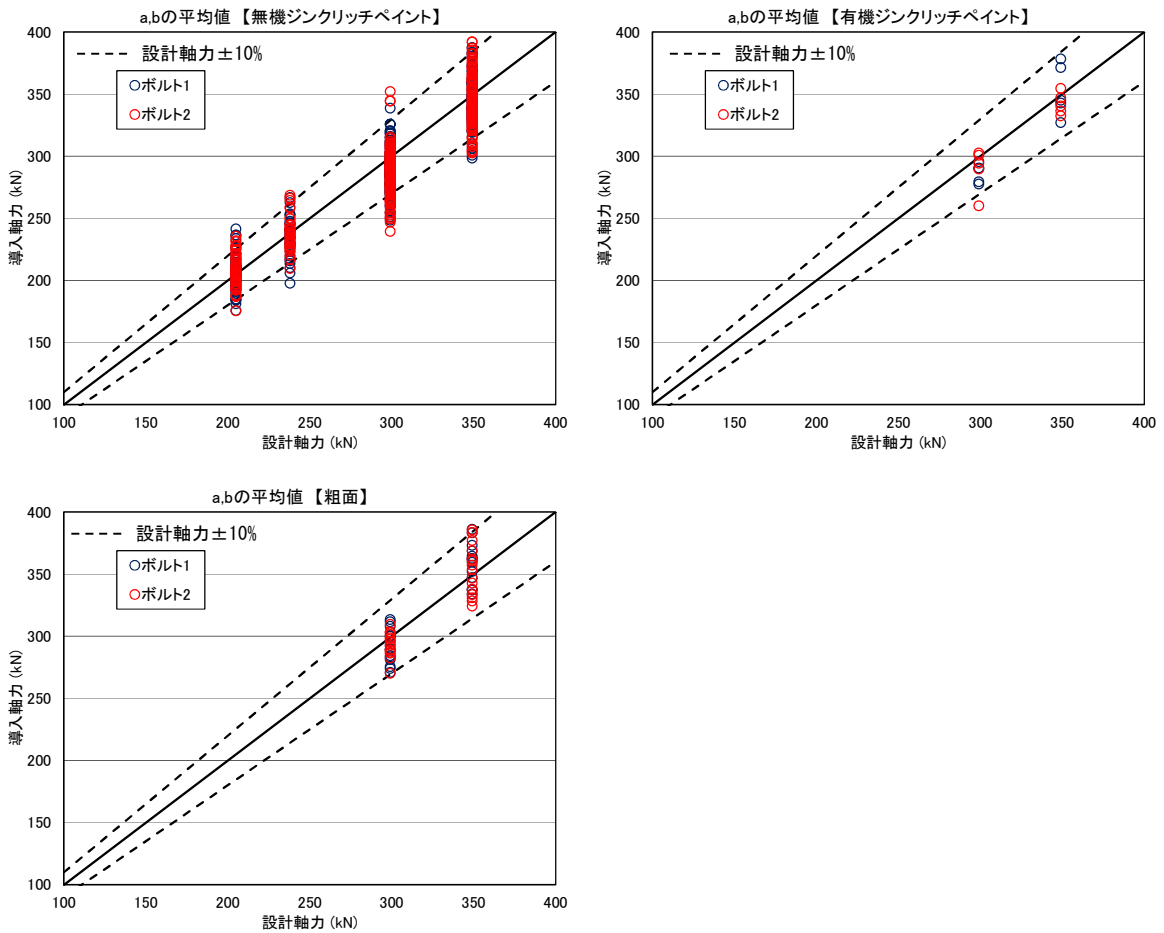


図-3.5.6 組立直後の導入軸力（接合面処理のちがい）

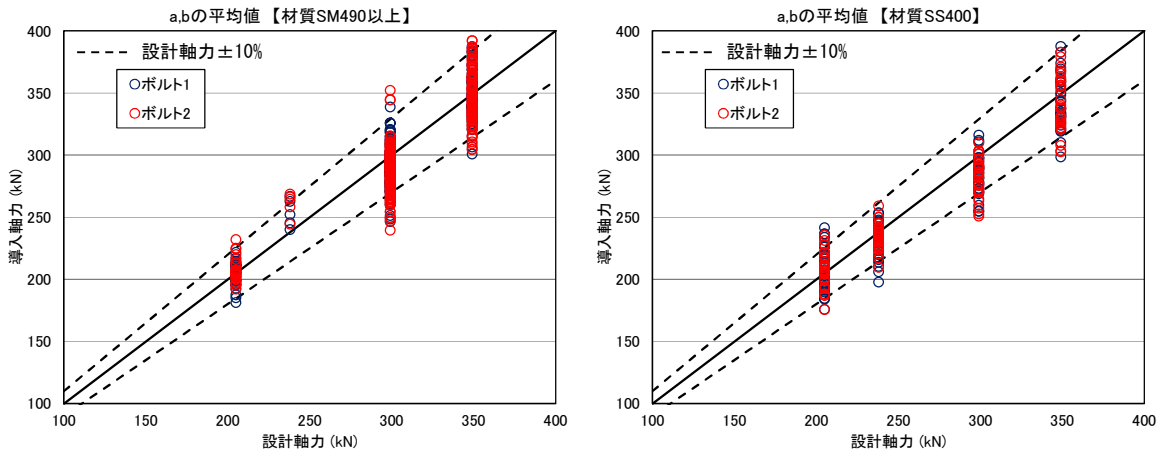


図-3.5.7 組立直後の導入軸力（鋼材の材質のちがい）

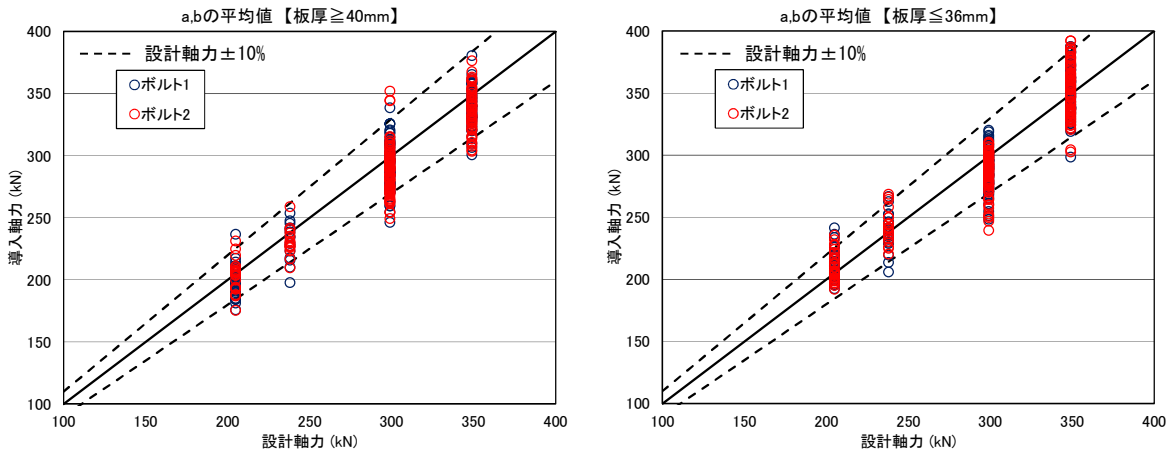
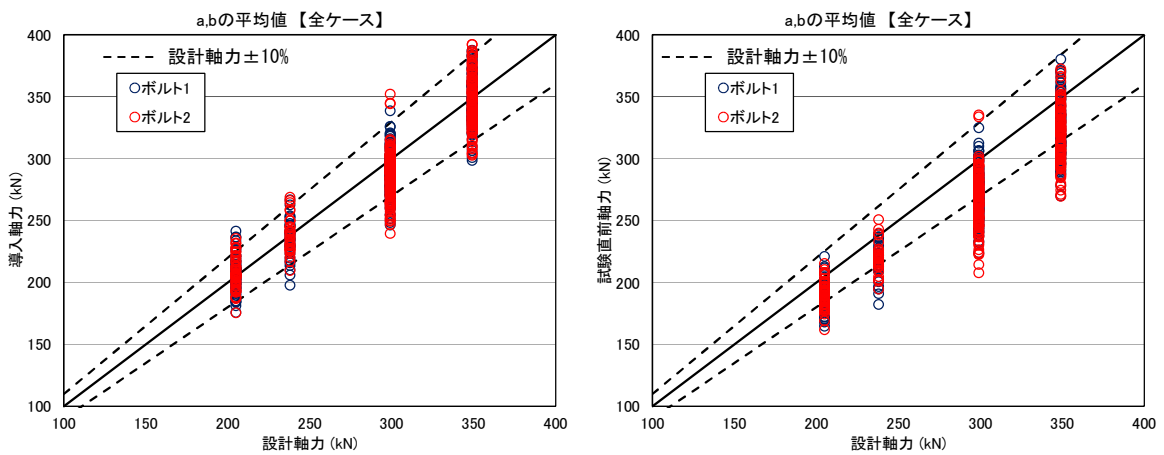


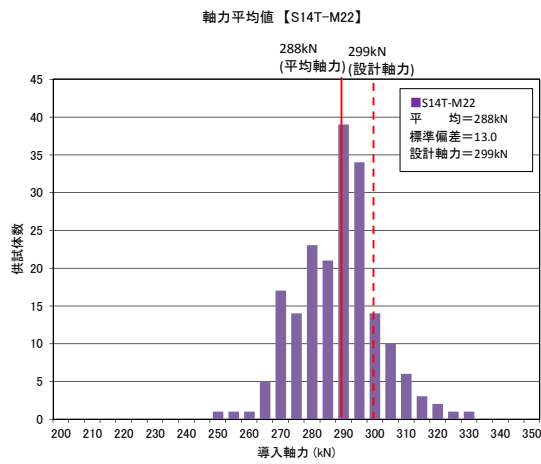
図-3.5.8 組立直後の導入軸力（母板の板厚のちがい）



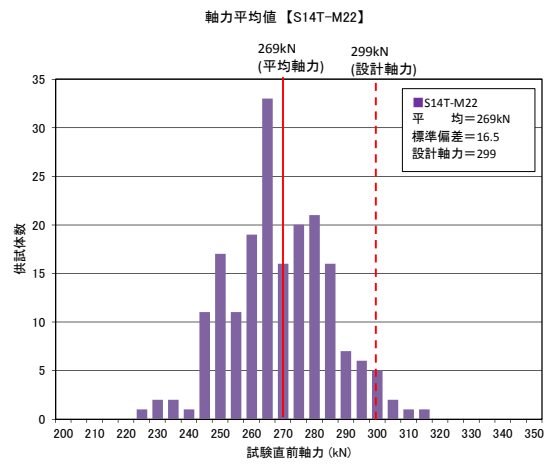
(i) 組立直後

(ii) 試験直前

図-3.5.9 組立直後と試験直前の導入軸力の比較（全ケース）

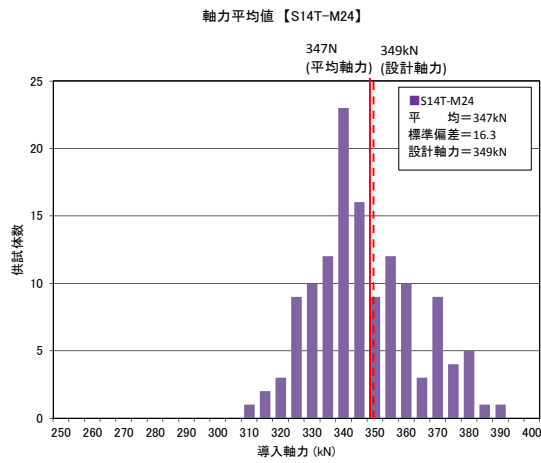


(i) 組立直後

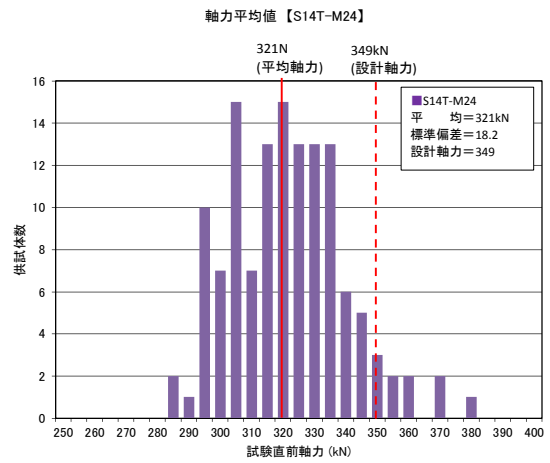


(ii) 試験直前

図-3.5.10(1) 組立直後と試験直前の導入軸力の比較 (S14T-M22)

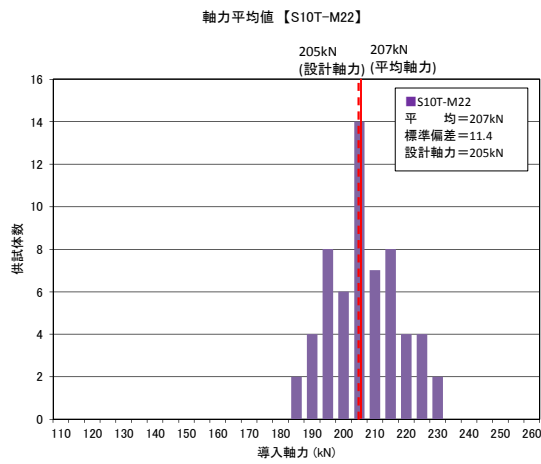


(i) 組立直後

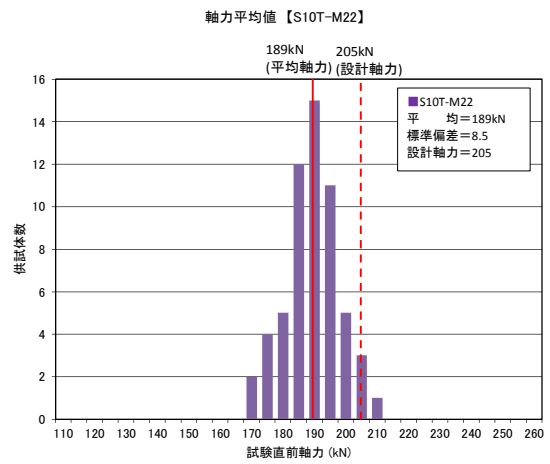


(ii) 試験直前

図-3.5.10(2) 組立直後と試験直前の導入軸力の比較 (S14T-M24)

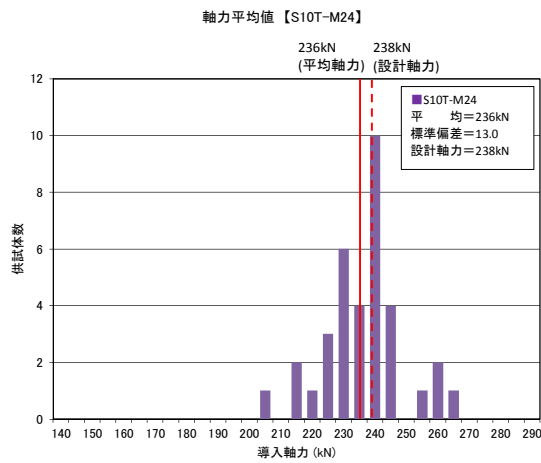


(i) 組立直後

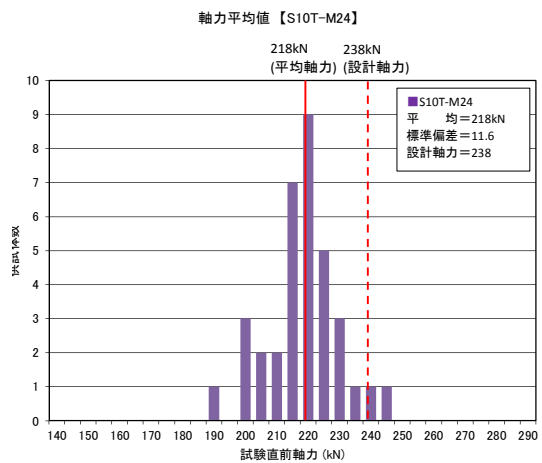


(ii) 試験直前

図-3.5.10(3) 組立直後と試験直前の導入軸力の比較 (S10T-M22)



(i) 組立直後



(ii) 試験直前

図-3.5.10(4) 組立直後と試験直前の導入軸力の比較 (S10T-M24)

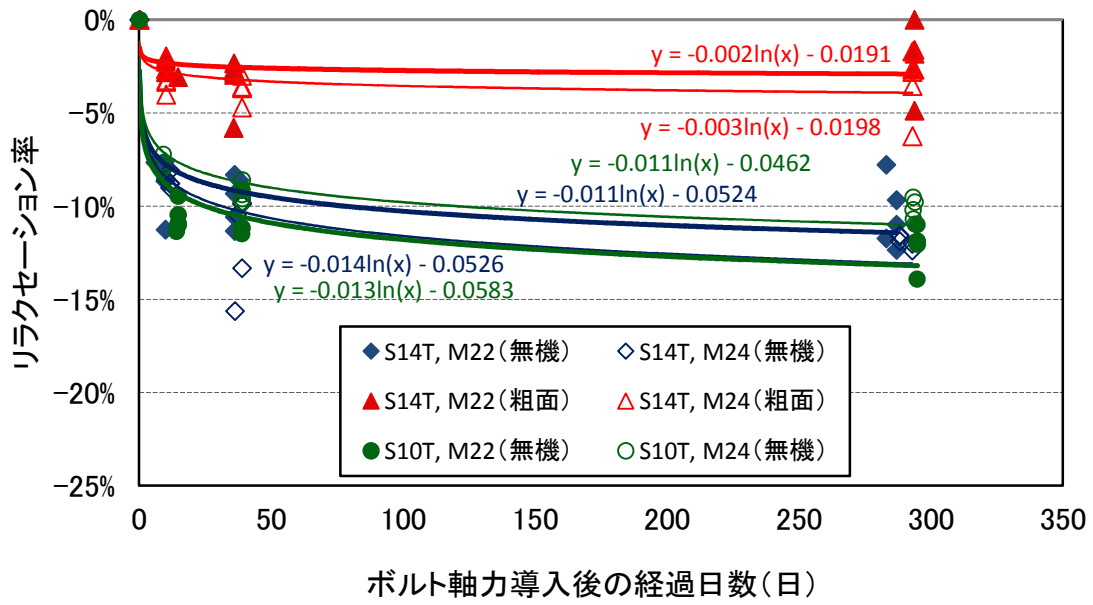


図-3. 5. 11 接合面処理のちがいによるボルト軸力のリラクゼーション率

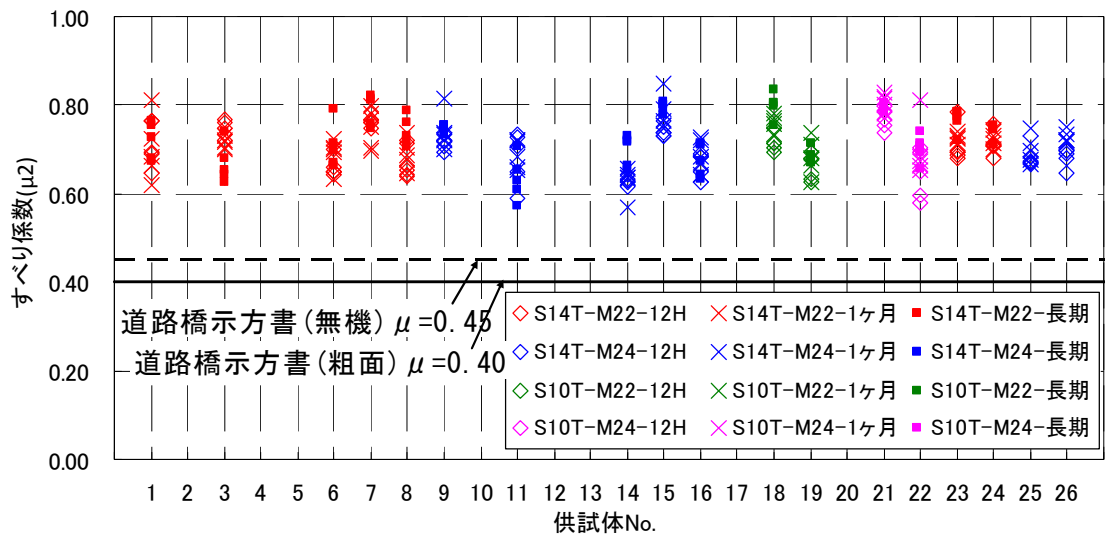


図-3. 5. 12 保管期間のちがいによるすべり係数 (μ_2)

3.5.4 まとめ

超高力ボルト S14T を道路橋に適用するにあたって、ボルト軸力減少量の経時変化の影響について実験により検討した。本検討によって明らかとなった事項を以下にまとめる。

- ・無機ジンクリッチペイントで12%程度、粗面で4%程度のリラクゼーション率であり、無機ジンクリッチペイントの処理をした場合のリラクゼーション率が相対的に大きい。このリラクゼーションに関する性質は、S14TとS10Tで同等であると考えられる。
- ・供試体の構造諸元を同じとして、供試体の保管期間をそれぞれ『12H』『1ヶ月』『長期』とした標準すべり試験によるすべり係数 μ_2 を整理したところ、リラクゼーションは本締めから概ね10日間程度で収まり、一定値に漸近していることから、いずれの供試体においても、供試体の組立後の保管期間のちがいによる μ_2 の明確な差はなかった。

3.6 すべり試験のまとめ

本章では、超高力ボルト S14T を用いた摩擦接合継手について、各種すべり試験を行い、各要因による継手性能に及ぼす影響について検討を行った。

得られた知見は以下のとおりである。

1) 標準すべり試験

ボルトの等級・径、接触面処理、すべり/降伏耐力比 β 、鋼材の材質、母板の板厚、肌すき、母板の板厚差（フィラー）、ボルト孔径、塗料のちがいなどの各要因がすべり係数に与える影響を標準すべり試験によって確認した結果、道示で F10T、S10T を用いることについて規定されている適用条件において、S14T は S10T と同等のすべり係数を確保しているとみなすことができるものと考えられる。特に、接合面処理を無機ジンクリッチペイントまたは粗面とした場合、すべり係数 μ_1 が道示に規定されたすべり係数を確率 99.9%以上で超過した。有機ジンクリッチペイントとした場合は、 $\mu_1=0.20\sim 0.25$ と低い値を示した。

2) 多列すべり試験

S14T を用いてボルト列数を変えたすべり試験を行った結果、すべり係数について、4～8 列まではほぼ同じ値を示したが、12 列では低下した。この低下の程度は、道示における 8 本を超えるボルト列数に対する低減係数と同程度であり、F10T を用いた既往の研究^{3,5)}と同じ傾向であった。これより、道示で F10T、S10T を用いることについて規定されている適用条件において、ボルト列数の多列化に対する継手性能は、S14T と S10T で同等とみなすことができるものと考えられる。

3) 再すべり試験

すべり後に接合面処理を行わない再すべり試験結果から、S14T と S10T に明確な差はなく、最初の接合面処理の種類、鋼材の材質の種類に関わらず、すべり係数は低下し、道示の規格値を満足しない可能性が高いことがわかった。すべり後に接合面処理を行った再すべり試験結果から、道示の規定値を上回った試験もあったものの、設計・施工の規格として確立させるには供試体数が少なく、各要因に関する網羅的な検討が引き続き必要である。

4) リラクセーション

S14T を用いた、供試体の組立後の保管期間をそれぞれ『12H』『1ヶ月』『長期』とした標準すべり試験結果から、リラクセーションは本締めから概ね10日間程度で収まり一定値に漸近していることがわかった。この結果、保管期間のちがいによるすべり係数への影響は見られなかった。リラクセーションによるボルト軸力の低下の程度については、S14T と S10T で同等とみなすことができるものと考えられる結果が得られた。接合面処理を無機ジンクリッチペイントとした場合、粗面よりも相対的にリラクセーションは大きい結果となった。

3 章参考文献

3. 1) 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 土木学会
3. 2) (公社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2012. 3
3. 3) 亀井義典, 池端文哉, 西村宣男: 高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態区分に関する解析的研究, 土木学会論文集 No. 584/I-42, pp. 243-253, 1998. 1
3. 4) 亀井義典, 松野正見, 西村宣男: 多列ボルト摩擦接合引張継手のすべり強度に関する解析的研究, 土木学会論文集 No. 640/I-50, pp. 49-60, 2000. 1
3. 5) 独立行政法人土木研究所, 公立大学法人大阪市立大学: 高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書, 共同研究報告書第 428 号, 2012. 1
3. 6) 独立行政法人土木研究所: 高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査 ―接合面に無機ジンクリッチペイントを塗付した継手のすべり耐力等(その 2)―, 土木研究所資料第 2796 号, 1989. 8
3. 7) 村越潤, 澤田守, 山口隆司, 彭雪, 大嶽敦郎: 接触面に無機ジンクリッチペイントを塗装した厚板・多列の高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験, 土木学会論文集 A1, Vol. 70 No. 1, pp. 94-104, 2014. 3
3. 8) 山口隆司, 彭雪, 鈴木康夫, 宮尾修平: 極厚鋼板を対象とした多列高力ボルト摩擦接合継手の力学的挙動に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第 17 巻第 66 号, pp. 23-33, 2010. 6
3. 9) 宮崎晴之, 黒田充紀, 田中雅人, 森猛: 板厚の異なる材片を接合した高力ボルト摩擦接合継手の滑り耐力, 構造工学論文集 Vol. 44A, pp. 61-70, 1998. 3
3. 10) 秋山寿行, 木村充, 小澤克郎, 西村宣男: 被接合材片に板厚差を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力, 土木学会論文集 A Vol. 63 No. 1, pp. 66-74, 2007. 1
3. 11) 宮地真一, 小枝芳樹, 望月秀之: フィラーを有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動について, 構造工学論文集 Vol. 44A, pp. 55-60, 1998. 3
3. 12) 滝澤伸二, 沢田寛幸, 黒田岩男, 安部幸長: 鋼道路橋設計ガイドラインに基づく高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験, 橋梁と基礎, pp. 25-28, 1999. 9
3. 13) 寺尾圭司, 名取暢: フィラーを用いた高力ボルト摩擦接合継手に関する検討, 横河ブリッジ技報 No. 26, pp. 66-72, 1997. 1
3. 14) 亀井義典, 石川誠, 西村宣男, 桐生真司, 竹内修治: 超高強度ボルトの鋼桁橋への適用性に関する検討, 鋼構造論文集 第 10 巻第 38 号, pp. 39-49, 2003. 6
3. 15) 山口隆司, 北田俊行, 池田敬之, 吉岡夏樹: 圧縮力を受ける F18T 級超高力ボルト摩擦接合継手の力学的挙動に関する解析的研究, 構造工学論文集 Vol. 55A, pp. 1005-1013, 2009. 3
3. 16) 森猛, 南邦明, 井口進, 山口隆司: 接触面処理方法と品質を考慮した高力ボルト摩擦接合継手すべり係数の提案, 土木学会論文集 A, Vol. 64 No. 1, pp. 48-59, 2008. 1