

高力ボルト摩擦接合継手の すべり係数向上に関する実験的研究

小池洋平¹・平嶋健太郎¹・寺尾圭史¹

¹正会員 工修 (株)横河ブリッジ 技術本部 技術研究所 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町27番地)

近年、鋼橋の合理化構造形式の採用に伴う主桁の大断面化により、高力ボルト本数が増加し、かつ、添接板寸法が拡大するという課題がある。この課題に対し、道路橋示方書・同解説において0.4と規定されている設計すべり係数を向上させることが考えられる。我が国の設計すべり係数は、諸外国と比較し、相対的に小さめであり、設計すべり係数の向上は、ボルト本数の減少に直接繋がることから、本研究では、従来の厚膜型無機ジンクリッチペイントを改良し、高いすべり係数が期待できる高摩擦型無機ジンクリッチペイントの開発を行い、すべり耐荷力試験により、すべり特性の把握、すべり耐荷力の確認を行った。

キーワード:高力ボルト摩擦接合継手,すべり係数,無機ジンクリッチペイント

1. はじめに

鋼橋の合理化構造形式の代表例である少数主桁橋では、主桁が大断面になると、伝達すべき断面力が増え、高力ボルト摩擦接合継手の場合は、添接部が大型化するとともに、ボルト本数が増加するという課題がある。この課題に対する解決法のひとつとして、道路橋示方書・同解説¹⁾(以下、道示)において0.4と規定されている設計すべり係数を向上させることが考えられる。許容応力度設計法から性能照査型設計法への設計手法の移行が進む中、すべり係数の向上はボルト本数の減少に直接繋がり、継手部の合理化に大きく貢献すると考えられる。表-1に示すように、諸外国の設計基準では既に、摩擦面の処理状態に応じて種々のすべり係数の値が規定されているが、我が国の道示では、設計すべり係数は、摩擦面の処理状態にかかわらず一律0.4であり、その値は諸外国に比べて相対的に小さめである。

以上のような背景から、高力ボルト摩擦接合継手において、摩擦面に無機ジンクリッチペイントを塗布した際のすべり係数向上を目的とし、従来の厚膜型無機ジンクリッチペイントを改良し、防食性、施工性などの塗膜性能を低下させず、高いすべり係数が期待できるような高摩擦型無機ジンクリッチペイント(以下、高摩擦型無機ジンク)の開発を行った。

ここではまず、樹脂、顔料、亜鉛末の含有量および粒径などを変化させた無機ジンクリッチペイントを試作し、ボルト配置1行2列の小型試験体を用いて、

表-1 すべり係数の国際比較

すべり係数	接触面の処理または状態
道路橋示方書(2002)	
0.40	黒皮を除去した粗面状態
0.40	厚膜型無機ジンクリッチペイント塗装
Eurocode ²⁾ (1997)	
0.50	ショットまたはグリッドブラスト処理
0.50	ショットまたはグリッドブラスト処理後、少なくとも0.5のすべり係数を保証する亜鉛系金属溶射
0.30	ワイヤブラシまたはフレームクリーニング処理によりきれいにし、浮き錆を除去した面
0.20	無処理
AASHTO ³⁾ (1994)	
0.33	清浄な黒皮状態
0.50	ブラストの後、ClassAのコーティング
0.50	ブラスト処理
0.40	ブラストの後、ClassBのコーティング
0.40	亜鉛めっきされた粗な面
BS ⁴⁾ (1982)	
0.45	黒皮を除去した後、屋外暴露
0.50	ショットまたはグリッドブラスト処理
0.35	無機ジンクリッチペイント塗装

パラメトリックに引張試験を実施し、すべり係数向上の影響因子を検討した。その中ですべり係数が最も大きい無機ジンクリッチペイントを用いて、ボルト本数片側6本でボルト配列を変化させた中型の引張試験と高力ボルト継手部に曲げモーメントを作用させた桁モデルのすべり試験を実施し、すべり係数の確認を行った。

最後に、開発した高摩擦型無機ジンクを適用した場合の、高力ボルト本数、添接板寸法、塗装面積の試算を行い、実橋継手部の合理化の検証を行った。

2. 高摩擦型無機ジンクの開発

(1) すべり試験概要

高摩擦型無機ジンクの開発にあたり、すべり係数向上の影響因子を検討するため、図-1 に示す小型試験体を用いて、引張試験を実施した。小型試験体は、片側 1 行 2 列のボルト配置とし、高力ボルトは M22 (F10T) を用いた。試験体摩擦面には、プラスト処理を施した後、母材と添接板に同一塗料を塗布した。

表-2 に試験ケース一覧を示す。試験ケースは、樹脂、顔料、亜鉛末の含有量および粒径などをパラメータとした計 32 ケースである。すべり係数のばらつきを考慮し、各ケースにおいて試験体を 3 体製作した。なお、主材および添接板の塗膜厚、表面粗さは各ケースの目標値を概ね満足している。

高力ボルトの締付けは、トルク法により行い、予備締めは導入ボルト軸力の60%を目標とした。ただし、すべり側のボルト群を明らかにするため、片側のボルト群はすべりが発生しないように導入ボルト軸力を10%増しとした。導入ボルト軸力は、道示に規定されている所定軸力225.5kN (=205×1.1) とした。なお、締付けトルクは、軸力計によるキャリブレーション結果から得られたトルク係数値を用いて算出した。

試験は、高力ボルトのリラクセーションを考慮して、高力ボルト締付け後、1週間以降に実施した。荷重は、主すべりが確認できるまで荷重を単調増加させた。

(2) すべり試験結果

図-2にすべり試験結果を示す。すべり係数は下式(1)を用いて算出した。

$$\mu = \frac{P_{slip}}{m \cdot n \cdot N} \quad (1)$$

ここに、

μ :すべり係数

P_{slip} (kN) :主すべり発生時の荷重 (最大荷重)

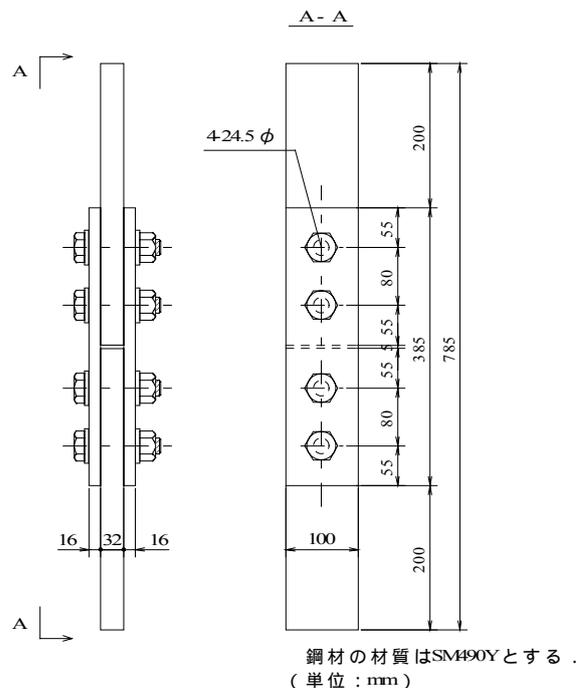


図-1 小型試験体

m :ボルト本数

n :摩擦面数

N (kN) :導入ボルト軸力

図-2より、亜鉛末粒径、樹脂、配合比を変化させることはすべり係数の向上にはあまり寄与せず、すべり係数の向上に最も有効であるのは添加顔料(体質顔料)を硬質化することと判明し、ケース29において平均0.783と、従来レベルと比較し、高いすべり係数が得られた。これは、塗膜の硬質化により、塗膜間でのせん断耐力が増加ことによるものと考えられる。ケース29に使用した硬質顔料は、モース硬度13を有する炭化ケイ素(シリコンカーバイド)であり、平均粒径は、3.3 μ mである。

また、別途行った試験から、防錆性、防食性、施工性ともに従来の無機ジンクリッチペイントと同程度の性能を有しており、すべり係数のみを向上させることができた。

表-2 小型試験ケース

試験ケース	主材目標塗膜厚 (μ m)	添接板目標塗膜厚 (μ m)	目標表面粗さ	乾燥期間	主なパラメータ
1~4	20	75	80	室内2週間	顔料の種類
5~7	20	75	80	室内2週間	亜鉛末粒径
8~11	20	75	80	室内2週間	樹脂の種類
12~15	20,75	75	80,100	室内2週間	亜鉛末粒径、表面粗さ、塗膜厚
16~17	75	75	80	室内2週間	配合比(亜鉛末の含有量)
18~22	75	75	80	室内2週間	顔料の種類
23~32	75	75	80	室内7週間	硬質化顔料の種類

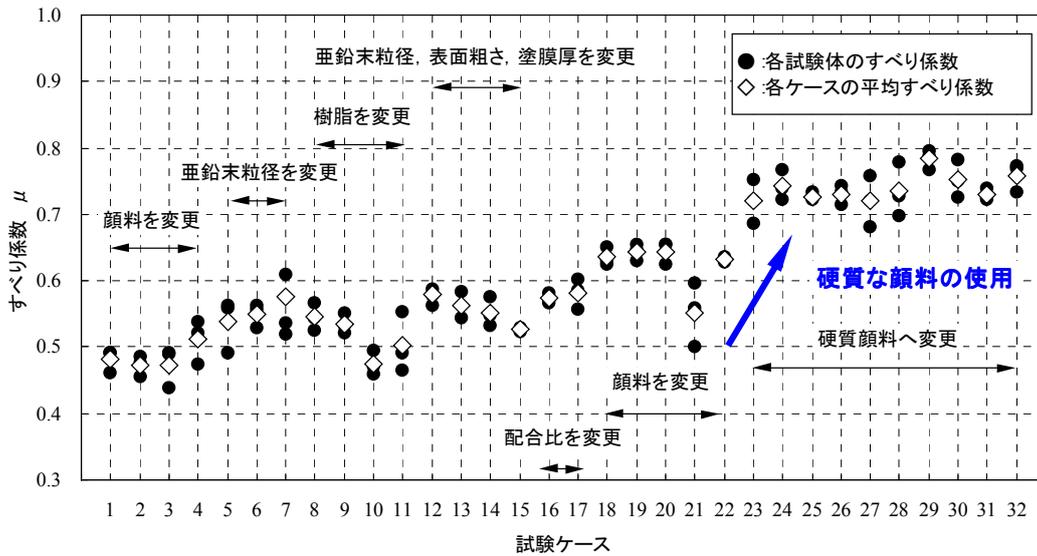


図-2 小型試験体によるすべり試験結果

表-3 表面粗さ計測結果

	目標値 (μmRz) ①	計測値 (μmRz)		②/①	
		平均 ②	標準偏差		
クーポン試験体	80.0	82.7	7.8	1.03	
中型試験体		75.4	6.2	0.94	
桁モデル 試験体		上フランジ	89.1	5.8	1.11
		ウェブ	89.0	10.8	1.11
		下フランジ	89.1	9.7	1.11
全計測位置		85.1	8.1	1.06	

表-4 塗膜厚計測結果

	目標値 (μm) ①	計測値 (μm)		((②+③) (2×①))	
		母材平均 ②	添接板平均 ③		
クーポン試験体	75.0	81.4	82.4	1.09	
中型試験体		83.8	73.8	1.05	
桁モデル 試験体		上フランジ	68.0	87.7	1.04
		ウェブ	78.7	81.9	1.07
		下フランジ	66.6	88.8	1.04
全計測位置		75.7	82.9	1.01	

3. 高摩擦型無機ジンクを塗布した高力ボルト継手の塗膜性能およびすべり性能試験

(1) 概要

前節の結果から、最も大きいすべり係数が得られたケース29の無機ジンクリッチペイントを対象とし、塗膜性能およびすべり性能に関する試験を実施した。塗膜性能の確認として、ボルト軸力のリラクゼーションを計測し、軸力抜けについて検討した。また、すべり性能の確認として、小型試験体で、主材と添接板のずれ変位を計測し、すべり特性について検討し、小型試験体よりボルト本数を増加させた引張試験（以下、中型すべり耐荷力試験）、および、高力ボルト継手部に曲げモーメントを作用させた桁モデルすべり耐荷力試験を実施し、すべり係数の確認を行った。

(2) 試験体の表面粗さ、膜厚の計測

各試験体の下地処理は、ショットブラストによって、目標表面粗さをJIS B 0601による10点平均粗さ

で80 μmRz とした。高摩擦型無機ジンクは、エアレス塗装機により75 μm を目標として塗布した。

表-3に表面粗さ、表-4に塗膜厚の計測結果を示す。表中の表面粗さは、すべり側摩擦面のボルト孔間で計測した結果の平均値であり、塗膜厚は、すべり側摩擦面のボルト孔周辺の4点を電磁膜厚計により計測した結果の平均値である。表面粗さは75.4～89.1 μmRz で平均値85.1 μmRz とほぼ目標の80 μmRz を満足している。塗膜厚については、母材平均75.7 μm 、添接板平均82.9 μm と目標値を満足しており、1接触面の合計塗膜厚は、道示で規定されている90～200 μm の範囲内であった。

(3) 高力ボルト軸力のリラクゼーション計測

高摩擦型無機ジンクの塗膜のクリープによる軸力抜けを検討するため、高力ボルト軸力のリラクゼーションを計測した。試験体は、図-1に示す小型試験体計4体とし、図-3に示すように、高力ボルト軸部に2枚のひずみゲージを貼付し、ボルト軸力を計測した。締付け当日はボルト軸力を5分おきに、翌日

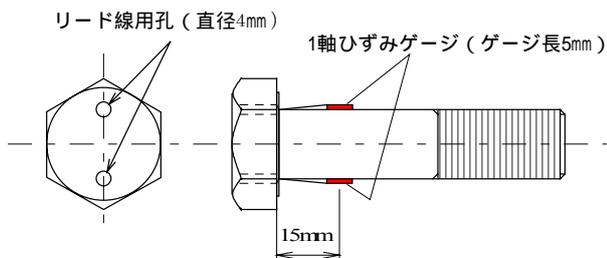


図-3 高力ボルト軸部ひずみゲージ貼付位置

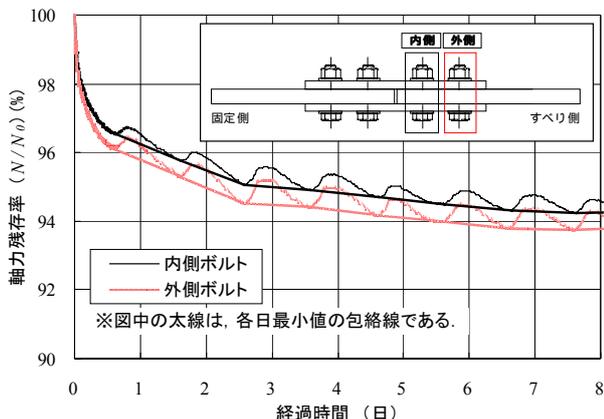


図-4 ボルト軸力の経時変化(ケース1)

から30分間隔で計200時間程度、計測を行った。

図-4にボルト軸力の経時変化を、表-5に残存軸力一覧を示す。図-4の縦軸は、ボルト軸力を初期ボルト軸力 (N_0) で無次元化したボルト軸力残存率である。図-4より、締付け後2日間で軸力は急激に低下するが、その後は緩やかに低下し、軸力はほぼ安定している。1日の間で軸力変動が生じるのは、温度変化によるものであり、図中の太線は、1日の軸力の最小値の包絡線である。表-5より、締付け8日後の残存ボルト軸力は、平均93.1%と文献5)、6)に比べ2%程度大きいが、従来の無機ジンクリッチペイントと同程度であると考えられる。また、全ての試験体において、内側ボルトに比べ、外側ボルトの軸力抜けが大きい傾向であった。

(4) 小型試験体によるすべり特性の検討

a) 試験概要

すべり強度特性を確認するため、高摩擦無機ジンクを塗布した小型試験体で、すべり試験を実施し、主材と添接板のずれ変位、ボルト軸力を計測した。試験体はリラクセーション計測に使用した4体に、更に4体を加えた計8体である。なお、ボルト軸力の計測は、リラクセーション計測に使用した試験体4体のみである。

表-5 残存ボルト軸力一覧

	軸力残存率 (%)		
	内側ボルト	外側ボルト	平均
Case-1	94.6	94.2	94.4
Case-2	93.3	92.2	92.7
Case-3	93.2	92.4	92.8
Case-4	93.2	91.7	92.4
平均	93.6	92.6	93.1

※ 軸力残存率は、ボルト締付け後8日目の値である。

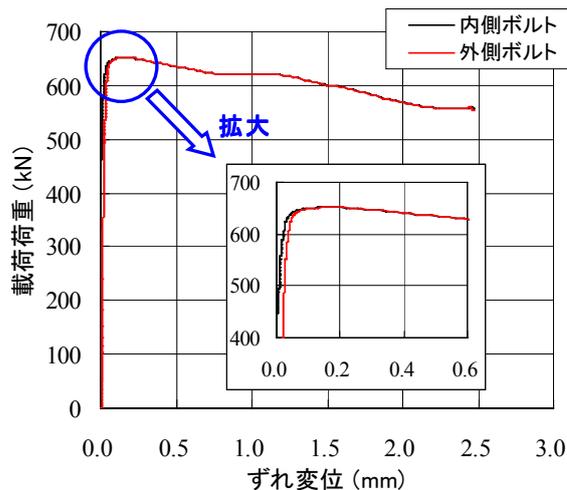


図-5 荷重 - ずれ変位関係 (Case-8)

b) すべり試験結果

図-5に荷重 - ずれ変位関係、図-6に荷重 - ボルト軸力関係、表-6にすべり係数一覧を示す。図-6の横軸は、ボルト軸力を載荷試験直前のボルト軸力 (N_1) で無次元化したボルト軸力残存率である。また、表-6の μ_1 は導入ボルト軸力、 μ_2 はリラクセーションを考慮し、表-3に示す8日間の軸力残存率の平均値93.1%を導入ボルト軸力に乗じた軸力で算出したすべり係数である。図-5より、初期段階では、ずれ変位はほぼ0であり、塗膜層のせん断変形によると思われる非線形領域に達した後、最大荷重を迎える。最大荷重以降は、その荷重を維持できず、ボルトが孔壁と支圧状態になるまで、15%程度荷重が低下する挙動が見られた。これは、動摩擦係数が静止摩擦係数よりも小さいことが原因であると考えられる。また、内側、外側ボルトに挙動の差は無かった。図-6より、最大荷重時においても、軸力の急激な低下はなく、5%程度と大きな軸力抜けは見られなかった。また、外側ボルトに比べ、内側ボルトの方が、若干軸力抜けが大きい傾向であった。表-6より、すべり係数 μ_2 の平均は、0.740と高すべり係数といえる結果であるが、 μ_1 の平均は、0.689と図-1

の結果を10%程度下回った。これは、塗膜の乾燥期間が室内7週間から2週間に減少したためと考えられる。

(5) 中型すべり耐荷力試験

a) 試験概要

ボルト配列の変更および多列ボルトに対する検討を行うため、ボルト本数片側6本と小型試験体より増加させた引張試験を実施した。

試験ケースは、表-7に示すように、ボルト配列を3行2列、2行3列、1行6列と変化させた計3ケースである。すべり係数のばらつきを考慮し、各ケース試験体を3体製作した。高力ボルトは、試験機の載荷能力からM20 (F10T) を用い、高力ボルトの締付けは、小型試験と同様にトルク法で行った。すべり側のボルト群を明らかにするため、片側のボルト群はすべりが発生しないように導入ボルト軸力を10%増しとした。導入ボルト軸力は、道示に規定されている所定軸力181.5kN (=165×1.1) とした。

試験は、2000kN万能試験機を使用し、主すべりが確認できるまで引張荷重を単調増加させた。

b) 試験結果

表-8にすべり係数一覧を示す。 μ_1 、 μ_2 は、表-6と同様の定義である。ケース1、3の試験体で μ_2 が、0.7を下回る試験体もあるが、 μ_2 の全試験体平均は、

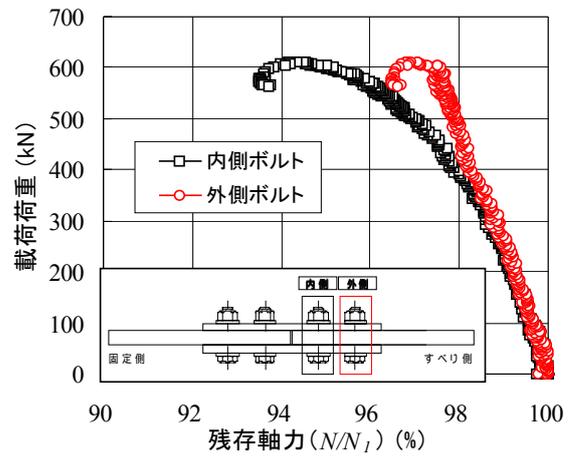


図-6 荷重 - 軸力関係 (Case-1)

表-6 小型試験 すべり係数一覧

試験ケース	すべり荷重 (kN) P_{slip}	すべり係数		リラクセーション
		μ_1	μ_2	
1	605	0.671	0.720	計測
2	586	0.650	0.698	計測
3	676	0.749	0.805	計測
4	622	0.690	0.741	計測
5	608	0.674	0.724	
6	609	0.675	0.725	
7	622	0.690	0.741	
8	646	0.716	0.769	
平均	622	0.689	0.740	

※ μ_1 は導入軸力、 μ_2 はリラクセーションを考慮した軸力ですべり係数を算出

表-7 中型すべり耐荷力試験ケース

	ケース1	ケース2	ケース3
	ボルト配置: 3行2列	ボルト配置: 2行3列	ボルト配置: 1行6列
試験体寸法	<p>(単位: mm)</p>	<p>(単位: mm)</p>	<p>(単位: mm)</p>

0.763と小型試験同様，高すべり係数と言える結果が得られた．また，ケース3は片側6列と多列ボルト配置であるが，今回のすべり試験では，ケース1，2と比較して大きなすべり耐荷力の低下は無かった．

(6)桁モデルすべり耐荷力試験

a) 試験概要

曲げモーメントを受ける高力ボルト継手に対する高摩擦型無機ジンクの適用性を確認するため，桁モデルのすべり耐荷力試験を実施した．試験は，図-7に示すように，両端単純支持した支間長 4.5m の上下対称断面鋼 I 桁に，油圧ジャッキを用いて荷重を漸増させて行った．載荷は，4 点曲げ方式で行い，継手には曲げモーメントのみが作用する構造とした．

試験体には 600H 形鋼 (H594 × 302 × 14/23) を使用し，せん断座屈が生じないように，適宜垂直補剛材を配置した．ボルト配置は，上下フランジで片側 2 行 2 列，ウェブで，片側 10 行 2 列とした．主桁の降伏，あるいは，載荷能力を考慮し，高力ボルトは，M20 (F10T) とした．また，すべり側のボルト群を明確にするため，片側は本締め終了後，更に 30° ナットを回転させ，固定側とした．

試験体数は，すべり係数等のばらつきを考慮し，2 体とした．

なお，載荷時の計測項目は，桁の鉛直変位，継手端部における母材と添接板の相対ずれ変位とした．

b) 試験結果

荷重 - 継手位置の鉛直変位の関係を図-8に，荷重 - 継手部のずれ変位の関係を図-9に示す．各ボルト位置でのずれ変位は，添接板端部に設置した型変位計の計測値で代表し，主桁の弾性変形を弾性計算により除去した．なお，相対ずれ変位は，離間する方向を正として示す．図-8，図-9より，上下フランジボルト群の荷重 - ずれ変位曲線の変曲点と，荷重

表-8 中型すべり耐荷力試験 すべり係数一覧

試験ケース	すべり荷重 (kN) P_{slip}	すべり係数 μ_1	平均 $\mu_{1,AVE}$	すべり係数 μ_2	平均 $\mu_{2,AVE}$	備考
1	1-1	1470	0.614	0.694	0.659	(固)
	1-2	1740	0.799		0.858	
	1-3	1602	0.669		0.718	
2	2-1	1622	0.745	0.739	0.800	0.794
	2-2	1724	0.792		0.850	
	2-3	1483	0.681		0.731	
3	3-1	1650	0.758	0.699	0.814	0.751
	3-2	1690	0.705		0.758	
	3-3	1382	0.635		0.682	

※ (固)は固定側ですべりが発生した試験体であり，1.1倍した軸力を用いて，すべり係数を算出

※ μ_1 は導入軸力， μ_2 はリラクセーションを考慮した軸力ですべり係数を算出

- 変位曲線の変曲点がほぼ一致している．これは，部分すべりにより，剛性が低下したためと考えられる．ただし，剛性が低下した後も，荷重増加が確認できた．

c) すべり係数の評価

鋼I桁のすべり耐荷力評価方法として，“総すべりモーメント法”が提案されている^{7),8)}．この評価方法は，各高力ボルト行のすべり耐荷力と中立軸からの距離の積の総和を算出するものであり，上下フランジとウェブの協働作用を考慮したものとして注目されている．この方法を用いて，試験で得られたすべり荷重から逆算することにより，試験でのすべり係数を算出した．表-9にすべり係数一覧を示す．道示の欄のすべり荷重は，上下フランジボルト群がすべり耐荷力に達した時の荷重とし，ここでは，図-8，図-9の変曲点と比較的一致することから，ずれ変位が0.07mmに達した時の荷重をすべり荷重と定義した．従来の道示設計法に従い算出したすべり係数は，平均0.728と高すべり係数が得られ，小型試験，中型すべり耐荷力試験の平均すべり係数

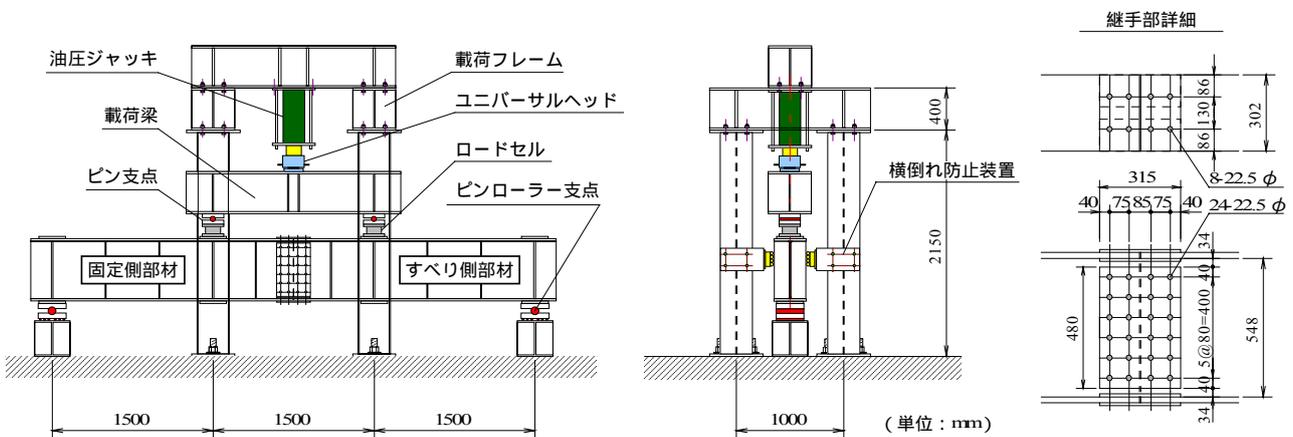


図-7 桁モデルすべり耐荷力試験概要

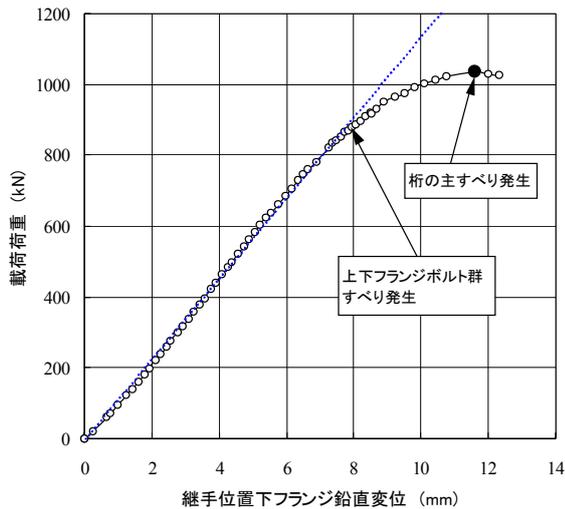


図-8 荷重 - 継手位置の鉛直変位の関係

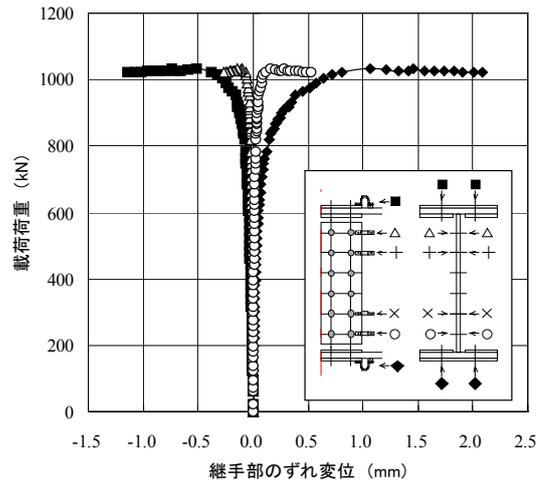


図-9 荷重 - 継手部のずれ変位の関係

表-9 桁モデルすべり耐荷力試験 すべり係数一覧

設計法	試験体	すべり荷重 (kN)	すべり係数 μ_1	平均 $\mu_{1,AVE}$	すべり係数 μ_2	平均 $\mu_{2,AVE}$ ①	①/ μ_m
総すべりM法	1	981.4	0.544	0.559	0.585	0.601	0.798
	2	1034.8	0.574		0.617		
道示	1	867.0	0.670	0.678	0.720	0.728	0.966
	2	885.8	0.685		0.736		

※ μ_m はクーボン試験、中型すべり耐荷力試験結果の平均すべり係数(=0.753)
 ※ μ_1 は導入軸力、 μ_2 はリラクセーションを考慮した軸力ですべり係数を算出
 ※ 道示のすべり荷重は、上下フランジ群のすべり荷重とする。
 ※ 道示のすべり荷重は、ずれ変位0.07mmに達した時の荷重と定義する。

表-10 ボルト本数の試算結果

ケース	(A)	(B)
設計すべり係数	0.4	0.7 (1.75)
高力ボルト許容力 (kN)	96	168
設計曲げモーメント (kN・m)	3213	
設計せん断力 (kN)	411	
上フランジのボルト本数 (本)	12	8
ウェブのボルト本数 (本)	48	32
下フランジのボルト本数 (本)	36	18
合計ボルト本数 (本)	96	58 (1/1.66)

* 括弧内の数値は(B)の(A)に対する比率である。
 *表中の値はG1桁1継手あたりの数量である。

(=0.753)と比較し、良好に一致しているが、総すべりモーメント法を用いて算出したすべり係数は、20%程度小さい値であった。これは、前述したように、フランジ継手ボルト群が、すべり耐荷力に達した後に、すべり耐荷力が低下し、すべり挙動が、総すべりモーメント法の仮定(桁の主すべりが生じるまで、各部位のボルトはすべり耐荷力を維持する)と異なることが一因であると考えられる。そのため、高摩擦型無機ジンクを含む、厚膜型無機ジンクリッチペイントを塗布した継手に対しては、総すべりモーメント法の適用には更に検討が必要であると考えられる。

4. 高摩擦型無機ジンクの実橋への適用

高摩擦型無機ジンクを実橋に適用し、設計すべり係数を向上させることによる高力ボルト継手部の合理化を検証するため、高力ボルト本数、塗装面積、添接板寸法の試算を行った。対象橋梁は、支間長

33mの単純活荷重合成4主I桁橋⁹⁾である。小型試験、中型すべり耐荷力試験では、 $\mu=0.75$ 程度のすべり係数が得られているが、試算においては安全側を考慮し、設計すべり係数を $\mu=0.7$ とした。

表-10に高力ボルト本数、表-11に塗装面積および添接板寸法、重量の試算結果を示す。現行の道示($\mu=0.4$)に比べ、設計すべり係数を $\mu=0.7$ とすることにより、継手部の高力ボルト本数が約4割減となる。また、添接板寸法が縮小することにより、添接板重量が約4割減となり、かつ、継手部の塗装面積も約4割減となる。以上より、現場作業能率の向上や工場塗装量の低減が予想されることから、その効果は大きいと考えられる。

5. まとめ

設計すべり係数の向上を目的とし、高すべり係数を有する無機ジンクリッチペイントの開発を行った。また、すべり係数の確認、ずれ特性の把握などを目

表-11 塗装面積および添接板寸法，重量の試算結果

ケース	(A)	(B)
設計すべり係数	0.4	0.7 (1.75)
ボルト配置	<p>上フランジ (単位:mm)</p>	
	<p>ウェブ (単位:mm)</p>	
	<p>下フランジ (単位:mm)</p>	
添接板重量 (kg)	326.3	204.0 (1/1.60)
塗装面積 (m ²)	6.26	4.04 (1/1.55)

* 括弧内の数値は(B)の(A)に対する比率である。

*表中の値はG1桁1継手あたりの数量である。

的とした試験により，すべり強度特性の把握を行い，最後に開発した高摩擦無機ジンクを実橋に適用した場合の高力ボルト継手部の合理化の検証を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) すべり係数を向上させるためには，顔料を硬化化することが最も効果的であり，平均すべり係数0.7を超える高摩擦型無機ジンクを開発した。
- 2) 高摩擦型無機ジンクのリラクセーションは従来の無機ジンクリッチペイントと同程度である。
- 3) 小型試験，中型すべり耐荷力試験結果から，0.7を超えるすべり係数を確認した。また，すべり発生後にすべり耐荷力が低下する現象が見られた。
- 4) 桁モデルすべり耐荷力試験結果から，道示設計法に従い算出したすべり係数は，0.7を超え，高すべり係数が得られたが，総すべりモーメント法を適用し，算出したすべり係数は，小型試験，中型

すべり耐荷力試験結果を20%程度下回った。これは，3)のすべり後のすべり耐荷力低下が影響していると考えられる。

- 5) ボルト継手部の試算をした結果，設計すべり係数を0.4から0.7にすることで，ボルト本数，塗装面積，添接板重量は約40%減少する。

謝辞

高摩擦無機ジンクの開発にあたり，三井金属塗料化学(株)，スリーボンド(株)に樹脂，顔料の選定から試験体塗装まで依頼した。また，一連の試験を実施するにあたり，長岡技術科学大学工学部建設工学課程の小田隆行氏(当時，弊社実習生)に協力いただいた。ここに記して，感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説， 共通編・ 鋼橋編，丸善株式会社，平成14年3月
- 2) prENV1993-1:(Eurocode3:Design of steel structures- Part 1:General rules and rules for buildings).
- 3) AASHTO:Standard Specifications for Highway Bridges, 1994.
- 4) BSI:BS5400, Part 3, Code of practice for design of steel bridges, 1982.
- 5) 滝澤伸二，澤田寛幸，黒田岩男，阿部幸長：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，1999.9.
- 6) 篠原洋司，西川和廣，田中良樹：無機ジンクリッチペイントを塗布した高力ボルト摩擦接合継手すべり耐力実験と塗装仕様案，土木技術資料，第29巻第1号，1987.1.
- 7) 秋山寿行，西村宣男：曲げを受ける鋼I桁高力ボルト継手のすべり機構と限界強度の評価，鋼構造年次論文報告集第4巻，p287-294，1996.11.
- 8) 水口和之，宮地真一，小枝芳樹：鋼I桁高力ボルト継手部の合理的設計法に関する実験的検討，構造工学論文集Vol.45A，p43-50，1999.3.
- 9) (社)日本橋梁建設協会：合成桁の設計例と解説，平成12年7月