

(論文)

# 海浜・海岸耐候性鋼板専用高力ボルトの開発

並村裕一\*・茨木信彦\*・稲田 淳\*\*・長崎英二\*\*\*

\*鉄鋼部門・神戸製鉄所・条鋼技術部 \*\*Kobe Steel USA, Inc. \*\*\*神鋼ボルト㈱

## Development of High-strength Bolts for High Performance Weathering Steels

Yuichi Namimura・Nobuhiko Ibaraki・Atsushi Inada・Eiji Nagasaki

Kobe Steel has developed a high-strength bolt especially for coastal weathering steel plate, which does not need to be painted, even where atmospheric salinity is relatively high. Slip tests and tension creep tests were used to examine these new high strength F10T bolts, nuts and washers. The results were all within standard values. Moreover, these new bolts showed no tendency towards delayed fractures on the practical use of 10T grade bolts.

まえがき = 橋梁分野では、初期建設コストの低減や維持管理コストの軽減が求められており、最小限の維持管理で最大限の長寿命化をめざす「ミニマムメンテナンス橋」に対する要望が高まってきている。特に、海岸部の橋梁や凍結防止剤を散布する橋梁など高塩分環境下にさらされる場合においても、無塗装使用の実現が望まれている。

そこで飛来塩分量が多く、一般の JIS 耐候性鋼板が適用できない海岸地帯などにおいても無塗装で使用できる海浜・海岸耐候性鋼板（高耐候性鋼板）が、近年開発されている<sup>1)~3)</sup>。しかし、この鋼板をボルトで締結する場合、一般の鋼製ボルトでは腐食電位が鋼板に対して相対的に低いため、鋼板との間にガルバニック電池を形成し、ボルトの腐食を促進させる可能性がある。そこで鋼板とボルト用材料の起電力をできるだけ同一にする必要がある。

本報告では、海浜・海岸耐候性鋼板と同程度の腐食電位を示す専用高力ボルトを開発したので紹介する<sup>4)</sup>。

### 1. 成分設計の考え方

海浜・海岸耐候性鋼板の開発過程で、腐食電位や腐食減量などの耐候性能は、Ti 添加を前提とすれば Cu と Ni の総和量で良く整理できることがわかっている<sup>1)</sup>。つまり Ti 添加により、塩化物環境下で生成し耐食性に悪影響を及ぼすとされる さびを著しく微細化する効果があり、耐食性を向上させる<sup>1)</sup>。

そこで Ti 添加ベースでボルト用鋼の Cu+Ni 量を変化させて板材との間に生じる起電力を評価した結果、図 1 のように Cu+Ni=1.8 ~ 2.4% であれば鋼板とほぼ同等の電気化学特性になることがわかった。この結果をもとに設計したボルト用開発鋼の化学成分の一例を表 1 に示

す。Cu, Ni の配分は高力ボルトとしての加工性、熱処理条件などの製造性を考慮し決定した。

当社の海浜・海岸耐候性鋼板であるスーパータイコール W における Cu + Ni 量が 1.93% であるのに対し、JIS 鋼板用耐候性ボルト用鋼 SNC22BA では Cu + Ni 量が 0.89% である。鋼板スーパータイコール W にボルト SNC22BA を締付けると、ボルトの腐食電位が鋼板に対して低くなる。そのため鋼板とボルトの間にガルバニック電池を形成し、ボルトの腐食を促進させる。一方、ボルト用開発鋼 SNB22BAT の Cu + Ni 量は 1.96% であるため、鋼板スーパータイコール W とほぼ同じ腐食電位となる。

以下にボルト用開発鋼における基礎特性試験結果とボルト特性試験結果について述べる。

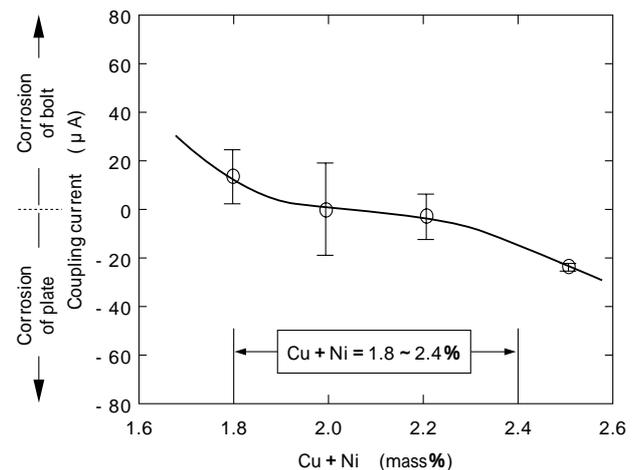


図 1 板材とボルト間に生じる起電力  
Fig. 1 Electromotive force between plate and bolt

表 1 試験材の化学成分組成

Table 1 Chemical compositions of test pieces

		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	B	Cu + Ni	(mass%)
Bolt	Coastal weathering	0.23	0.30	0.90	0.04	1.44	0.52	0.048	0.0019	1.96	SNB22BAT
	JIS weatheing	0.23	0.14	0.82	0.83	0.47	0.42	0.020	0.0012	0.89	SNC22BA
Plate	Coastal weathering	0.06	0.30	1.11	0.02	0.96	0.97	0.050	tr.	1.93	SUPER TAICOR W
	JIS weatheing	0.12	0.28	1.13	0.48	0.19	0.34	tr.	tr.	0.53	SMA490W

## 2. 基礎特性試験

### 2.1 焼入性試験

表 1 に示す海浜・海岸耐候性ボルト用鋼 SNB22BAT 及び F10T クラスで通常使用されている SWRCHB420 (0.20% C-B 添加鋼:Cu + Ni 量 0.05%) を用いて JIS G 0561 に定める焼入性試験を行った。図 2 に示すように、SNB22BAT は SWRCHB420 に比べ Cu, Ni 量が大きく添加されているため、焼入性が良好であった。

### 2.2 衝撃特性試験

上記 2.1 と同様に SNB22BAT 及び SWRCHB420 を用いて、F10T 強度レベルに調質後 (HRC35)、低温シャル

ピ試験を行った。試験方法は JIS Z 2242 に沿って、試験片は JIS Z 2202 の V ノッチ試験片で行った。図 3 に示すように、0 ~ - 20 の範囲では若干 SWRCHB420 の方が衝撃値は高いものの、- 40 ~ - 80 の低温域では、SNB22BAT の方が衝撃値は高かった。いずれの鋼種も遷移温度は約 - 30 ~ - 40 の範囲であり、ほぼ同等の低温衝撃特性を示した。

### 2.3 遅れ破壊試験

F10T レベル (HRC27 ~ 38) の鋼製ボルトについては遅れ破壊は起こらないというのが通説<sup>5)</sup>であるが、念のため開発鋼 SNB22BAT の遅れ破壊特性を確認した。試験方法は、過去に実体曝露試験との相関が最も高かった方

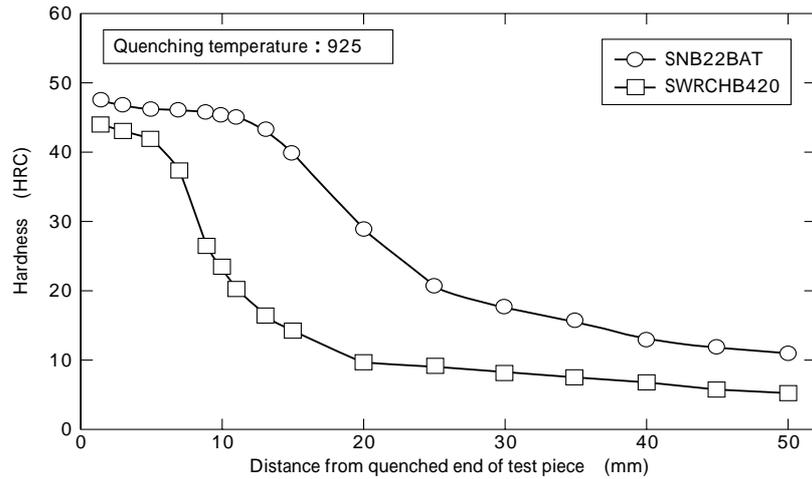


図 2 焼入性試験結果  
Fig. 2 Result of hardenability test

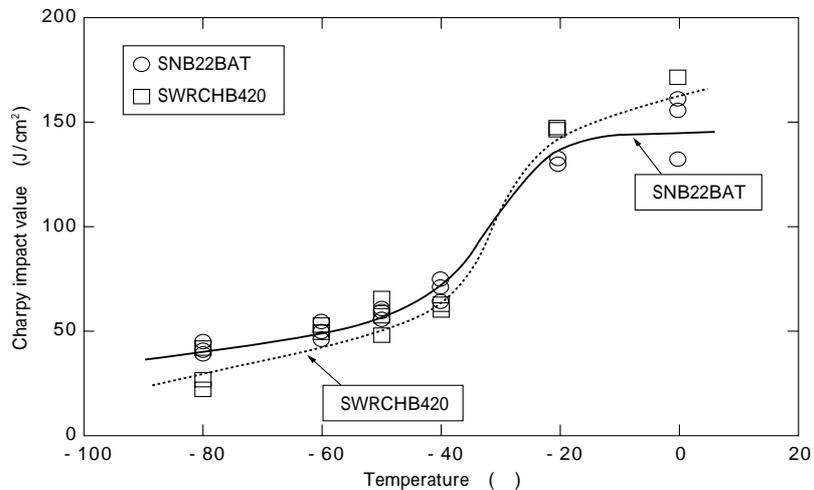


図 3 衝撃試験結果  
Fig. 3 Result of impact test

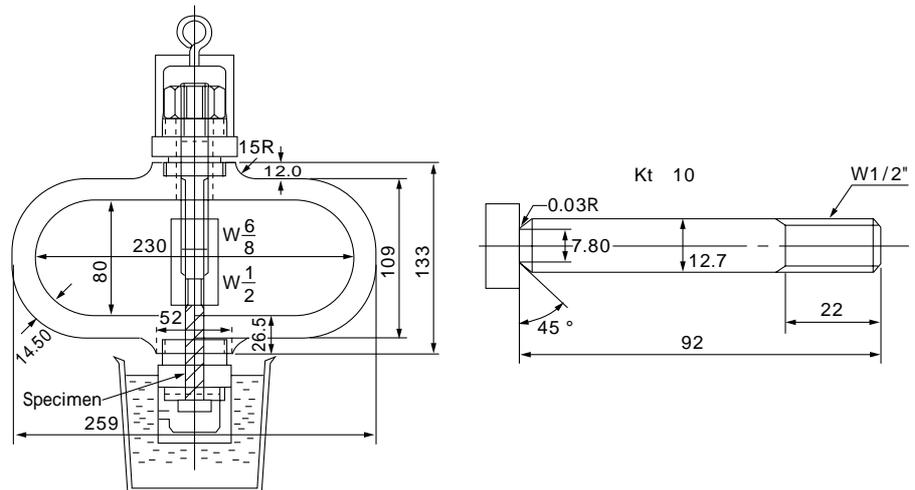


図 4 遅れ破壊試験器及び遅れ破壊試験片形状  
Fig. 4 Delayed fracture test apparatus and shape of test specimen

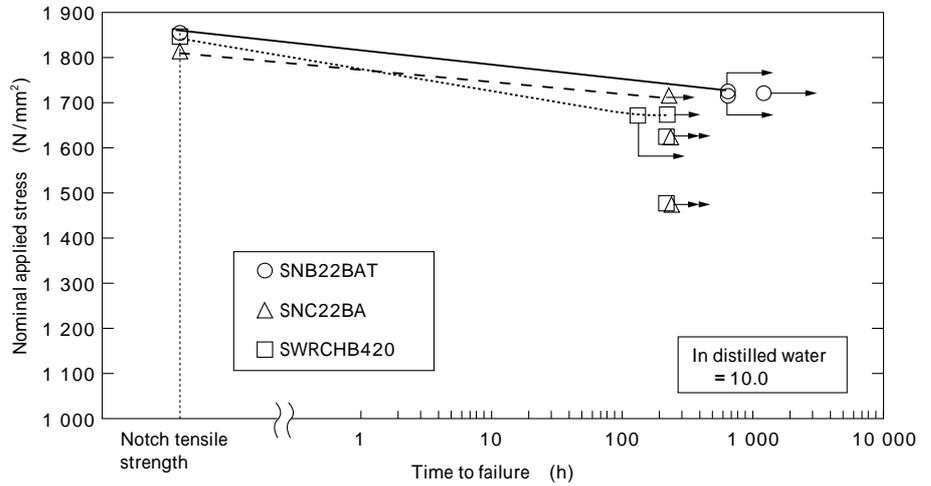


図5 遅れ破壊試験結果  
Fig. 5 Result of delayed fracture test

表2 ボルト・ナット・座金の製造工程  
Table 2 Process of bolt, nut and plain washer

		Coastal weathering steel SNB22BAT	JIS weathering steel SNC22BA
Bolt	Forming	Cold heading	Cold heading
	Heat treatment	Quench	880 × 60min
		Temper	410 × 90min
Nut	Forming	Hot heading	Hot heading
	Heat treatment	Quench	1 200 880
		Temper	615 × 90min
Plain washer	Forming	Press working	Press working
	Heat treatment	Quench	880 × 60min
		Temper	340 × 90min

表3 ボルト試験片の機械的性質  
Table 3 Mechanical properties of bolt test pieces

Grade by mechanical properties of bolt	Proof stress (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of area (%)
F10T	1 029	1 066	19.6	69.0
Standard	900	1 000 ~ 1 200	14	40

法として提案されているループ式遅れ破壊試験<sup>6)</sup>を採用した。遅れ破壊試験器及び遅れ破壊試験片形状を図4に示す。F10T強度レベルに調質後(HRC35)、軸部に応力集中係数10.0の鋭い環状切欠きを導入した。その切欠き付試験片を用い、所定応力を負荷後、蒸留水中で遅れ破壊試験を行った。

その結果、図5に示すようにSNB22BATは切欠き破断荷重の93%にあたる高荷重(1716N/mm<sup>2</sup>)においても破断することがなく、優れた耐遅れ破壊性を示した。

### 3. 高力ボルト添接部特性試験

#### 3.1 試験ボルトの製造方法

表1に示す海浜・海岸耐候性ボルト用鋼SNB22BAT及びJIS鋼板用耐候性ボルト用鋼SNC22BAを用いて、JIS B 1186に定めるF10T M22高力六角ボルト、六角ナット、平座金のセットを製作した(写真1)。ボルト・ナット・座金の成形及び熱処理条件を表2に示す。JIS B 1186に定めるF10T M22高力六角ボルト、六角ナット、平座金のセットを製作するに際し、SNB22BATの製造工程は、若干焼戻し温度を低くすることを除きSNC22BAとほぼ同じであった。表3~6にSNB22BATで製作したボルト、ナット、平座金の機械的性質を示すが、全てJIS B 1186の規格を満足する製品であった。

表4 ボルト製品の機械的性質  
Table 4 Mechanical properties of bolt product

Grade by mechanical properties of bolt	Designation of bolt	Tensile load (kN)
F10T	M22	318
Standard		303

表5 ナットの機械的性質  
Table 5 Mechanical properties of nut

Grade by mechanical properties of nut	Hardness (HRC)
F10	25.2
Standard	HRB95 (HRC15.7) ~ 35

表6 座金の硬さ  
Table 6 Hardness of washer

Grade by mechanical properties of washer	Hardness (HRC)
F35	39.9
Standard	35 ~ 45

これらのボルトを使用し、高力ボルト添接部の特性試験(すべり係数試験, リラクセ-ション試験)を行った。ボルトは錆安定化処理を施したものと無処理の黒皮材(裸材)を用いた。鋼板には種々膜厚の無機ジンクリッチペイント(膜厚: z μm)を施し、錆安定化処理を行っ

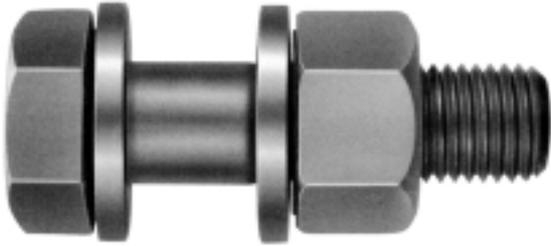


写真1 高力六角ボルト, 高力ナット, 平座金のセット  
Photo 1 Set of high strength hexagon bolt, hexagon nut and plain washers

たボルトでは 50, 75, 100 μm の 3 種類の膜厚のもの, 無処理ボルトでは 75 μm の膜厚のものを使用した (表 7)。

海浜・海岸耐候性ボルト (SNB22BAT) のすべり特性及びリラクゼーション特性は JIS 鋼板用耐候性高力ボルト (SNC22BA) との比較で品質を確認した。

### 3.2 すべり係数試験

図 6 に示した試験体を上記ボルトにて導入軸力  $N = 226\text{kN}$  で締結し, 締付け直後に引張試験機にて母材がすべりを開始する荷重  $P$  を測定した。試験は各サンプルで 3 体ずつ行った。すべり係数  $\mu$  は下記の式にて計算した。

$$\mu = P / (m \cdot n \cdot N) \dots\dots\dots (1)$$

( $m$ : 接合面数 = 2,  $n$ : ボルトの本数 = 2)

その結果, 図 7 に示すように SNB22BAT はいずれの条件でも SNC22BA に比べ同等以上のすべり係数を示した。

### 3.3 リラクゼーション試験

前節 3.2 と同様の試験体を別途製作し, 締付けから 20 日間における軸力の減衰を測定した。減衰率は, 減衰率 (%) = {1 - (所定時間経過後の軸力 / 締付け直後の軸力)} × 100

で算出した。試験は各サンプルで 3 体ずつ行った。結果を図 8 に示す。いずれの条件でも軸力は 50 時間

表 7 すべり及びリラクゼーション試験サンプルの被膜処理  
Table 7 Coating treatment of slip and relaxation test samples

	Coastal weathering steel SNB22BAT		JIS weathering steel SNC22BA	
	Weather coating treatment (μm)	Non-treatment (μm)	Weather coating treatment (μm)	Non-treatment (μm)
Inorganic-zinc coating	50	75	50	75
	75		75	
	100		100	

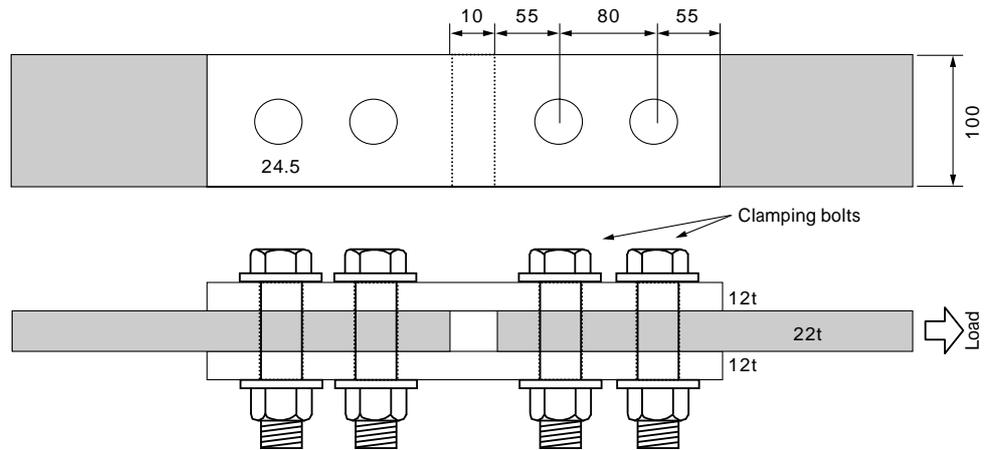


図 6 すべり試験体図面  
Fig. 6 Slip test specimen assembly

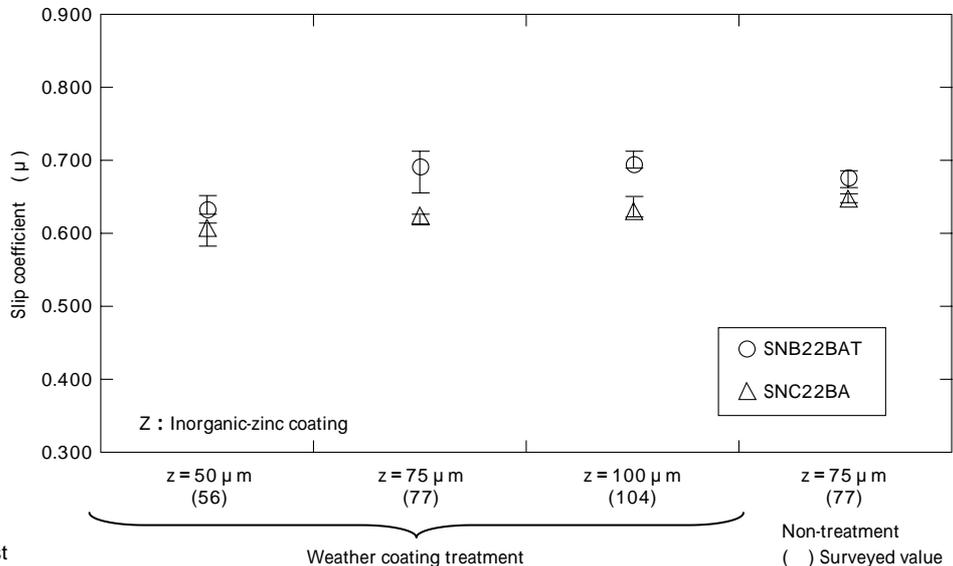


図 7 すべり試験結果  
Fig. 7 Result of slip test

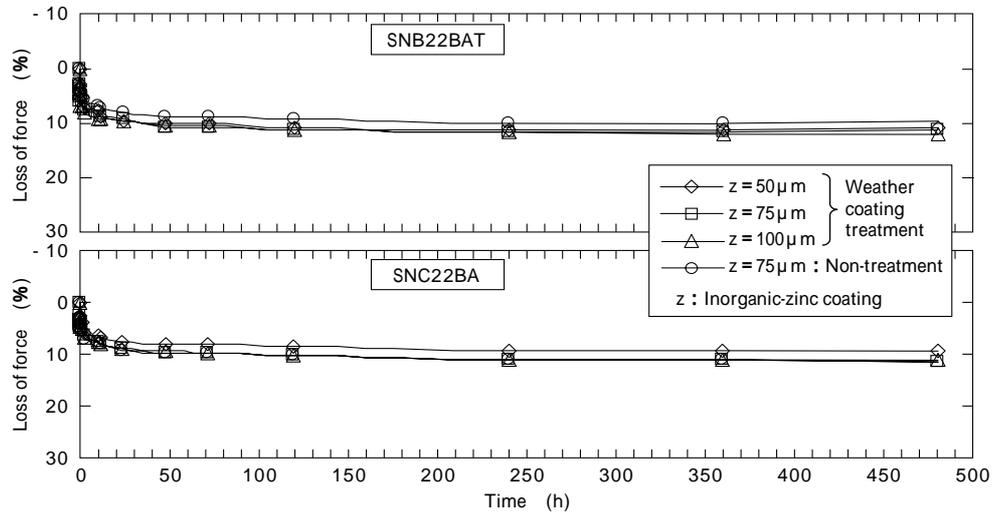


図8 リラクゼーション試験結果  
Fig. 8 Result of relaxation test

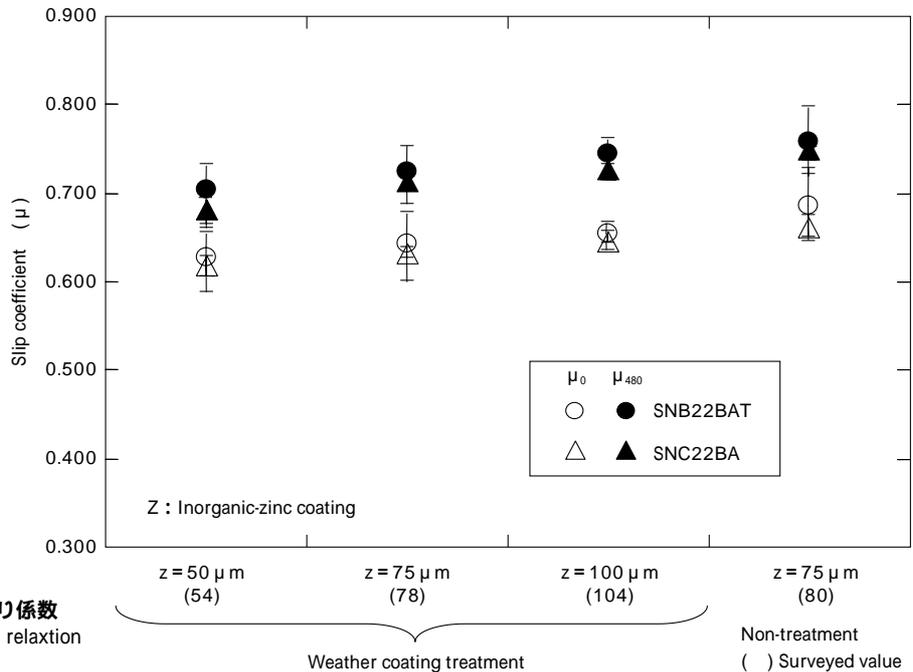


図9 リラクゼーション前後のすべり係数  
Fig. 9 Slip coefficient before and after relaxation test

程度で安定となり、以降の軸力減少は非常に小さかった。海浜・海岸耐候性ボルト SNB22BAT と JIS 鋼板用耐候性ボルト SNC22BA は、ほぼ同等の減少量であった。

さらに 480h 経過後の試験体を用いて、前節の方法ですべり係数試験を実施した。初期(0h)のすべり係数( $\mu_0$ )及び 480h 後のすべり係数( $\mu_{480}$ )は、(1)式に各々 0h, 480h 後の軸力を代入して計算した。ただし荷重  $P$  については、 $\mu_0$ ,  $\mu_{480}$ とも 480h 後のすべり荷重測定値を用いた。結果を図 9 に示す。いずれの条件においても、すべり係数の設計基準である 0.4 を十分に上回った。

むすび = 海浜・海岸耐候性鋼板と電気化学特性が同等な F10T 高力ボルト用鋼を開発した。焼入性、衝撃特性、遅れ破壊特性などの基礎特性については、F10T 強度として十分使用できることを確認し、また高力ボルト添接部特性では全て従来耐候性鋼と同等以上の評価が得られた。

現在この鋼種を用いたボルトが一部の橋梁に使用され

ており、実環境での腐食状況を確認していく所存である。

更に今後、メンテナンスフリーの推進により耐候性鋼板の種類や使用が増加すると考えられ、それに対応する専用ボルトの開発が必要だと考えられる。

#### 参考文献

- 湯瀬文雄ほか：土木学会第 55 回年次学術講演会（平成 12 年 9 月） -150.
- 保坂鐵夫ほか：土木学会第 55 回年次学術講演会（平成 12 年 9 月） -A190.
- 塩谷和彦ほか：土木学会第 55 回年次学術講演会（平成 12 年 9 月） -A241.
- 保坂鐵夫ほか：土木学会第 56 回年次学術講演会（平成 13 年 10 月） -A233, p.466.
- 松山晋作：熱処理，Vol.25, No.6（1984） p.327.
- 日本鋼構造協会誌，Vol.6, No52（1970） p.4.