

ゆるみ止め性能を有するFRPボルトの開発

Development of Fiber-Reinforced Plastic (FRP) Bolts with Locking Performance

渡部 隼* 竹田 誠**

Jun Watanabe Makoto Takeda

近年、道路橋やトンネル、河川、下水道などのインフラ構造物の老朽化が進行し、維持管理の重要性が高まっている。特に、橋梁に設置される鋼製検査路では、沿岸部や凍結防止剤散布地域における腐食劣化が課題とされている。このような背景から、耐食性に優れる繊維強化プラスチック（FRP）を用いた検査路の採用が進んでいるが、その部材を締結するボルトについては、要求されるゆるみ止め機能を有するFRP製品が存在していなかった。

本報では、ゆるみ止め機構を備えたFRP製ボルト「OSボルト」を開発し、短期性能評価に加え、FRP検査路への適用性および実使用環境（湿潤・高温・繰返し荷重）を想定した各種評価試験を実施した結果について報告する。

In recent years, the deterioration of infrastructure, such as road bridges, tunnels, rivers, and sewer systems, has been progressing, increasing the importance of maintenance and management. In particular, steel inspection walkways installed on bridges face corrosion issues in coastal areas and regions where anti-freezing agents are applied. Against this backdrop, the adoption of inspection walkways made of fiber-reinforced plastic (FRP), which offers excellent corrosion resistance, has been advancing. However, FRP bolts that have the required anti-loosening function for fastening the steel components used in such structures have not been available.

This report presents the development of the OS Bolt, an FRP bolt equipped with a mechanism of loosening prevention. The report also details the results of various evaluation tests, including short-term performance assessments, the applicability to FRP inspection walkways, and tests simulating actual usage environments (humidity, high temperatures, and repeated loading).

1 はじめに

近年、道路橋、トンネル、河川、下水道、港湾などのインフラは、老朽化が問題となっており、維持管理の重要性が高まっている。2014年7月に施工された「道路法施工規則の一部を改正する省令」において、長さ2m以上の橋梁は5年に1回の近接目視点検を行う旨が規定された¹⁾。これにより、橋梁の耐震補強工事や床版取替工事に合わせて検査路の設置工事が増加している。橋梁の点検設備としては鋼製検査路が一般的であるが、重量が重く、沿岸部や融雪剤散布地域では腐食劣化する問題があり、軽量かつ耐食性に優れた点検用検査路が求められていた。

このような背景から軽量で耐食性に優れる複合材料である繊維強化プラスチック（FRP）を用いた点検用検査路が着目され、2015年にはNEXCO設計基準においてFRP仕様が規定された²⁾。当社においても、この規定に準じた点検用検査路を2018年より販売している。点検用検査路で使用するボルト・ナットは、上記腐食の観点から樹脂製が望ましいが、緩み止め機能を有したボルト・ナットは、鋼製のものしか製品化されていないのが

現状であった。

そこで当社ではこのような課題を解決するために、ゆるみ止め機能を備えたFRP製ボルト「OSボルト」を開発した。

2 OSボルトの構造

OSボルトの外観を図1に示す。OSボルトは、先端にゆるみ止め機構およびワンサイド締結機構を設けている。

ゆるみ止め機構は、図2に示すように、ボルトとナットの先端に歯車状の爪を設けたラチェット構造を採用している。ボルトを締める方向には回転するが、緩む方向には爪が噛み合うことにより回転しない仕組みとなっている。

ワンサイド締結機構は、図3および図4に示すように、OSボルトを締結する際に専用工具を用いて、ナットを固定した状態で、ボルトの先端を把持して回転させることで、片側（ナット側）からの締結が可能となっている。これにより、ボルト頭側を固定する必要がなく、施工性の向上を実現した。

3 成形方法、材料

OSボルトはねじ部やゆるみ止め部に必要となる寸法精度と、数千～数万本オーダーに対応できる量産性が必要となるため、二次加工を要せずコスト面で優位性がある射出成形法を採用した。

射出成形法は、図5に示すように繊維強化材にマトリクスとして熱可塑性樹脂を含浸させたペレットを加熱溶融し、金型に射出した後、冷却することで樹脂を固化して成形する。

使用する繊維や樹脂の変更による性能設計が可能で、OSボルトでは土木材料としての使用を考慮し、樹脂には吸水性が低く耐久性に優れる芳香族ポリアミド樹脂を、繊維強化部材にはガラス繊維を採用している。

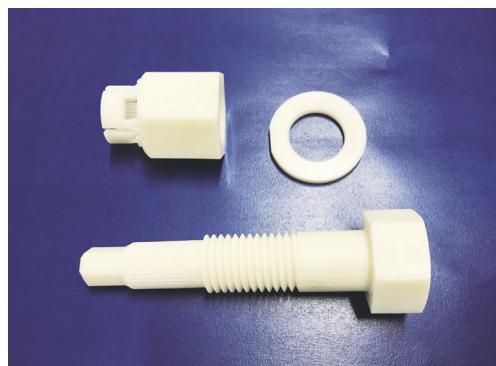


図1 OSボルト外観

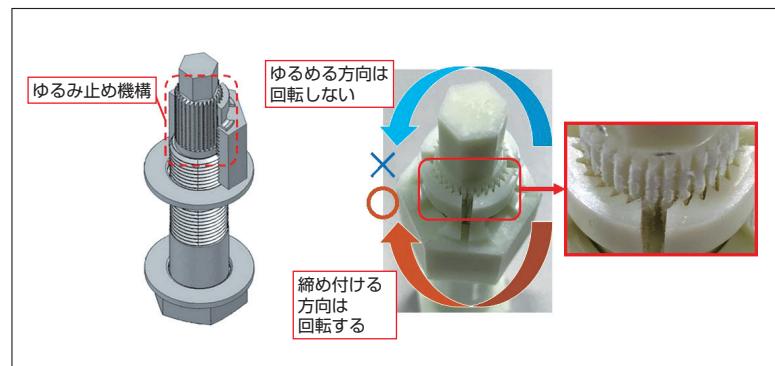


図2 ゆるみ止め機構概要図

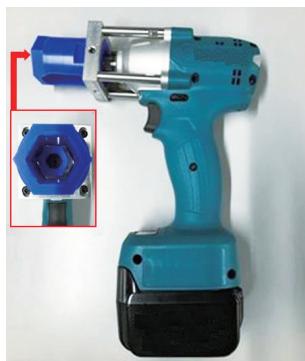


図3 専用工具

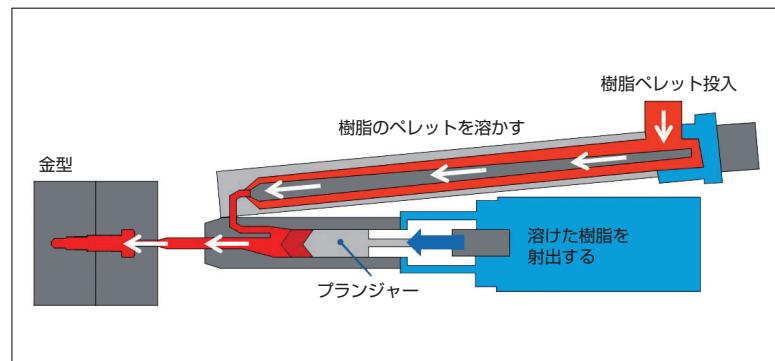


図5 射出成形概要図

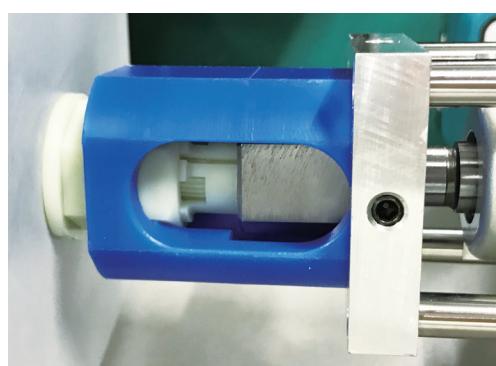


図4 ワンサイド締結例

表1 OSボルトの仕様

サイズ	M12	M16
許容引張応力	16.6 MPa	
許容せん断応力	16.6 MPa	
締め付けトルク	10 N·m	20 N·m
ゆるみ止め性能	NEXCO構造物施工管理要領5-10 ゆるみ止めナット相当	
原材料の強度	JIS K 7011 構造用ガラス繊維強化プラスチック第II類3種(GM-10)相当	

5 基礎性能評価試験

5.1 引張試験

OS ボルトの引張強度は図 6 に示す引張試験により評価した。OS ボルト、OS ナットおよびワッシャを軸力が作用しない状態で試験治具に設置し、引張荷重を載荷して破壊荷重値を測定した。引張強度は破壊荷重値をボルトの有効断面積で除した値とし、試験数は $n = 20$ とした。

M16 ボルトにおける引張試験の結果を図 7 に示す。引張強度は平均値 119.9 MPa、最小値 101.0 MPa であり、許容引張応力は設計値である安全率 6 以上を確保した。

なお、NEXCO 構造物施工管理要領⁵⁾ の FRP 検査路に関する項目では、FRP 部材は安全率 3 以上を確保することを基本とすると、記載されている。OS ボルトについてはこれを上回る安全率を設定している。

5.2 せん断試験

OS ボルトのせん断強度は図 8 に示すせん断試験により評価した。

OS ボルト、OS ナットおよびワッシャを表 1 に示し

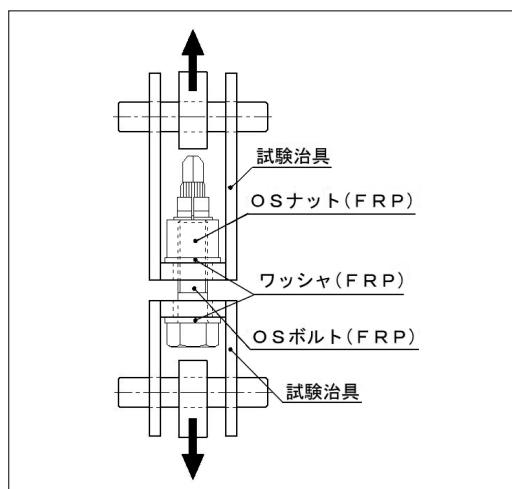


図6 引張試験概要図

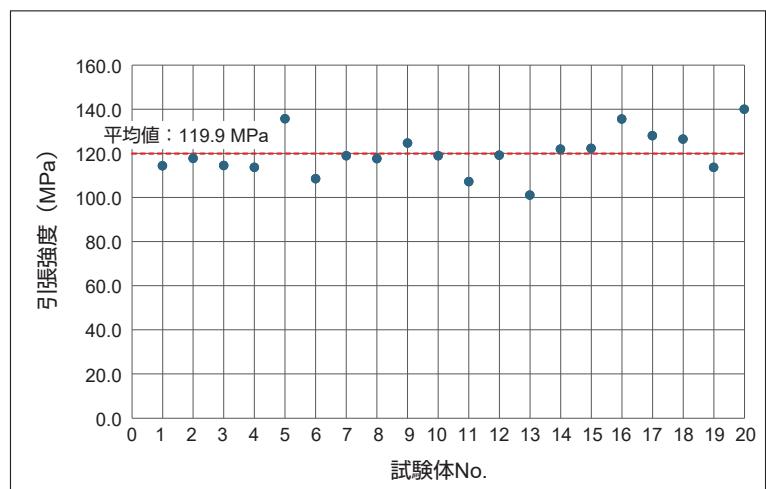


図7 引張試験結果

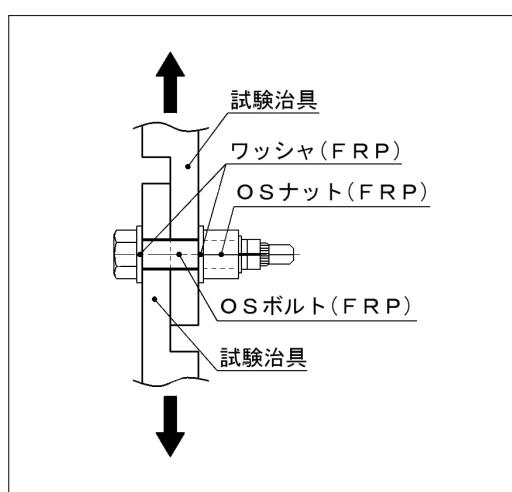


図8 せん断試験概要図

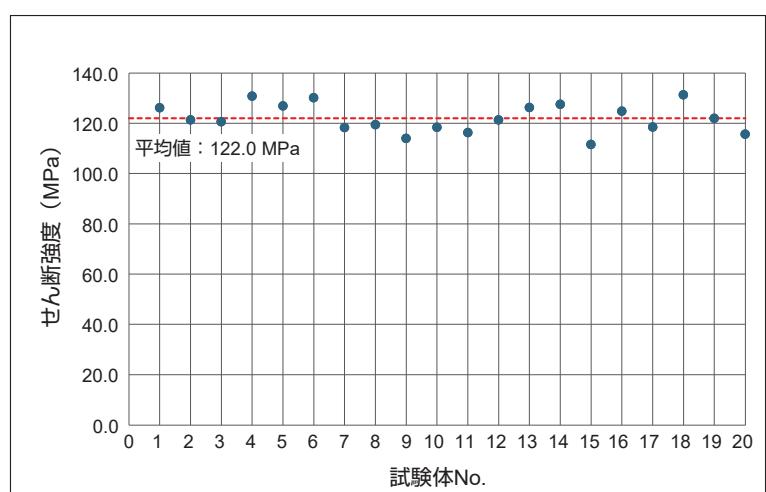


図9 せん断試験結果

た締め付けトルクの 50 % で試験治具に締結し、OS ボルトにせん断荷重が作用するよう試験治具を上下に引張った際の破壊荷重値を測定した。せん断強度は破壊荷重値をボルトの有効断面積で除した値とし、試験数は $n = 20$ とした。

M16 ボルトにおけるせん断試験の結果を図 9 に示す。せん断強度は平均値 122.0 MPa、最小値 111.6 MPa であり、許容せん断応力に対して設計値である安全率 6 以上を確保した。

5.3 締め付けトルク

OS ボルトの締め付けトルクは図 10 に示す破壊トルク試験により評価した。

OS ボルト、OS ナットおよびワッシャを試験治具に設置し、トルクレンチで締結して破壊荷重値を測定した。試験数は $n = 10$ とした。

試験結果を図 11 および図 12 に示す。破壊トルクは M12 が平均値 40.0 MPa、最小値 38.0 MPa、M16 が平均値 83.9 MPa、最小値 73.8 MPa であり、設計値である安全率 3 以上を確保した。

5.4 ゆるみ止め性能評価

ゆるみ止め性能は、図13に示すNEXCO構造物施工管理要領に準じた加速振動試験(NAS3350・3354)により評価した。試験条件および判定基準は表2に示す通りとし、OSボルトおよびOSナットが判定基準を満足するか確認した。

試験の結果、表3に示すように、全ての試験体が判定基準を満足することを確認した。よって、OSボルトおよびOSナットはNEXCO構造物施工管理要領が定めるゆるみ止めナットとしての性能を有しているといえる。

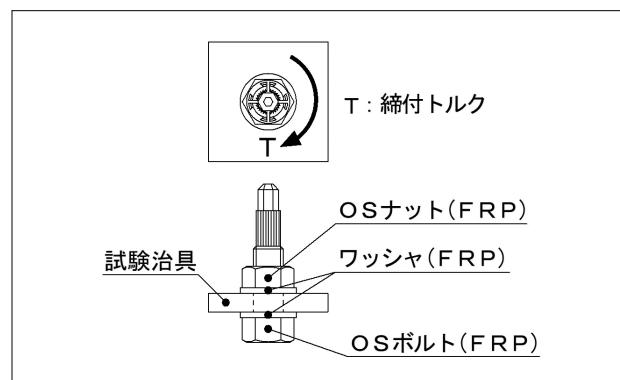


図10 締め付けトルク試験概要図

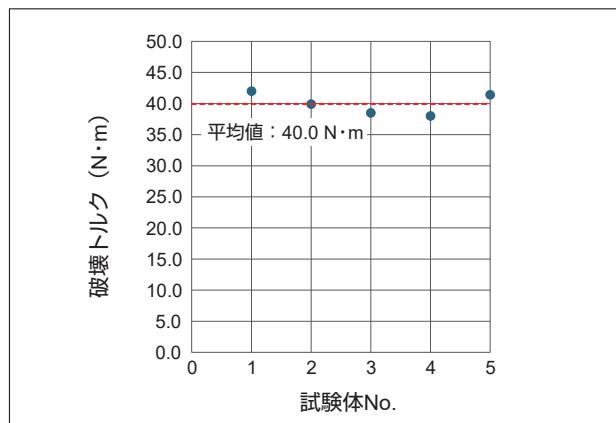


図11 締め付けトルク試験結果 (M12)

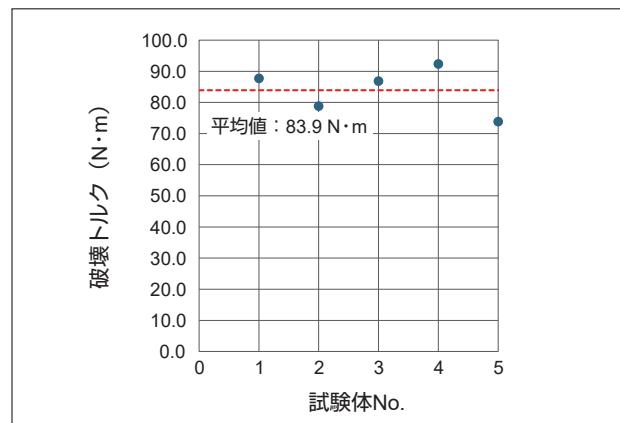


図12 締め付けトルク試験結果 (M16)



図13 加速振動試験状況

表2 加速振動試験条件

項目	条件
振動数	30 Hz
振動方向	ボルト軸直角方向
振動幅	11.4 ± 0.4 mm-p-p
振動回数	30,000回(約17分)
インパクトストローク	19 mm
試験数	3
締付トルク	規定締付トルク値の50 %
判定基準	試験数3個すべての結果について、ボルト・ゆるみ止めナットとの相対的な角度のずれが360°以下であること

表3 加速振動試験結果

試験体No.	No.1	No.2	No.3
M16			
	角度のずれ無し	角度のずれ無し	角度のずれ無し
M12			
	角度のずれ: 約15°(緩み止めの爪1つ分のずれ)	角度のずれ無し	角度のずれ無し
判定基準	角度のずれ: 360°以下		

5.5 原材料の性能評価

OS ボルトの原材料は、JIS K 7011「構造用ガラス繊維強化プラスチック」に準じた引張試験により評価を行った。JIS K 7011においては、原則として平板状の試験体で引張試験を行うことが規定されている。そこで、OS ボルトと同等の原材料を用いて図 14 に示す試験体を射出成形にて製作した。

試験方法は、JIS K 7165 プラスチックー引張特性の求め方－第5部に準じて図 15 に示すように引張荷重を載荷し、破壊荷重値を測定した。得られた破壊荷重値を試験体の断面積で除することで、引張強度を算出した。試験数は $n = 10$ とした。

試験結果を表 4 に示す。得られたデータから、式 (1) を用いて算出した引張強度の限界値は 134.3 MPa であり、これは JIS K 7011 における区分において、第Ⅱ類 3種 (GM-10) 相当 (引張強度の限界値 100 MPa 以上) に相当する。

$$X = X^- - 3\sigma \quad \dots \quad (1)$$

X : 引張強度の限界値 (MPa)

X^- : 引張強度の平均値 (MPa)

σ : 標準偏差

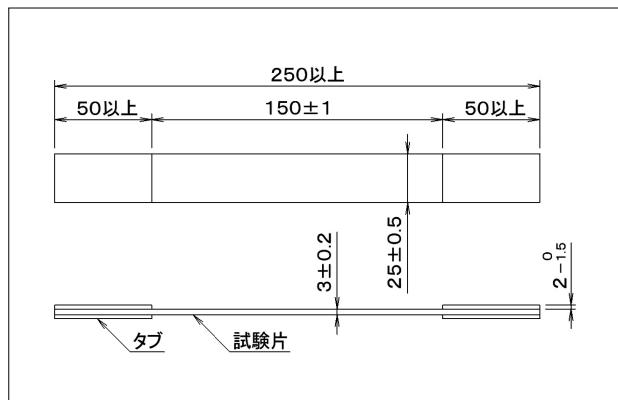


図 14 試験体概要図

6 実用評価試験

6.1 FRP 検査路への適用評価

OS ボルトを FRP 検査路に適用するにあたり、NEXCO 試験方法 440-2017 (FRP 製及びアルミニウム合金製検査路に関する試験方法)⁴⁾ に準じて評価を行っている。

同試験方法では、図 16 に示すように、群衆荷重を想定した静荷重を載荷する試験などが規定されている。

試験の結果、表 5 に示すように全ての試験項目において判定基準を満足することを確認した。

なお、OS ボルトは、橋梁で使用される高力ボルトのようにボルト軸力による摩擦で接合する摩擦接合方式ではなく、ボルトに作用する引張力およびせん断力に対して、OS ボルトが有する機械的強度 (引張およびせん断耐力) により抵抗する方式を採用している。

そこで、軸力が低下した状態を想定した検証として、前述の NEXCO 試験方法のうち、最もボルトに引張応力およびせん断応力が作用する手摺の衝撃載荷試験を実施した。図 17 に示す手摺と床版を締結するボルトを、意図的に軸力が作用しない締結状態として試験を行い、ボルトや部材に破損はなく、判定基準を満足することを確認した。



図 15 試験状況

表4 引張試験結果 (JIS K 7165)

試験体 No.	試験体幅 (mm)	試験体厚 (mm)	最大荷重 (N)	引張強度 (MPa)			
				測定値	平均値 X^-	標準偏差 σ	限界値 X ($X^- - 3\sigma$)
1	24.73	3.15	13,913	178.6	179.3	15.0	134.3
2	24.76	3.20	12,661	159.8			
3	24.76	3.25	14,321	178.0			
4	24.76	3.25	15,314	190.3			
5	24.76	3.30	14,493	177.4			
6	24.78	3.25	11,670	144.9			
7	24.75	3.25	15,442	192.0			
8	24.71	3.25	15,109	188.1			
9	24.75	3.25	15,450	192.1			
10	24.75	3.25	15,450	192.1			

6.2 屋外環境を想定した引張試験

OSボルトは屋外での使用を想定しており、太陽光による紫外線劣化対策として厚さ25μm以上のフッ素樹脂塗装を標準仕様としている⁵⁾。本報ではその他の屋外環境要因として、雨水や空気中に含まれる水分や、温度変化による影響を確認した。水分による影響は、JIS K 7209「プラスチックー吸水率の求め方」に準じて24時間水中にOSボルトを浸漬し、吸水率の測定を行い、測定後すぐに5.1項と同様の引張試験を行った。また、温度変化による影響は、80℃に設定した恒温槽において試験体を48時間保管した直後に、5.1項と同様の引張試験を行った。試験数はそれぞれn=5とした。

水中浸漬による吸水率の測定結果を表6に示す。



図16 試験状況

水中浸漬による吸水率は表6に示すように平均値が0.08%と非常に低い結果であった。また、水中浸漬後の引張強度（表7）は、5.1項に示した引張強度の平均値（119.9 MPa）と比較して、+1%であることを確認した。また、温度変化後の引張強度（表8）は、5.1項に示した引張強度の平均値（119.9 MPa）と比較して、-3%であることを確認した。



図17 衝撃試験の準備状況

表5 NEXCO試験方法440-2017 試験結果

試験項目		試験結果		判定基準	判定
検査路 本体	静的載荷試験	たわみ量 (mm)	17.3	60.0以下*	○
		最大ひずみ (μ)	342	-	
手摺	静的載荷試験	鉛直方向載荷時	手摺	128	○
		最大ひずみ (μ)	支柱	57	
		水平方向載荷時	手摺	312	
		最大ひずみ (μ)	支柱	61	
	衝撃載荷試験	ダミーウェイトの地面への接触の有無	地面への接触なし	ダミーウェイトが地面に接触しないこと	○

*たわみ量の判定基準は、設計要領第二集よりL/100（支間長L=6m）以下とした。

表6 吸水率測定結果

試験体 No.	質量 (g)		吸水率 (%)
	浸漬前	24h 浸漬後	
1	28.49	28.51	0.07
2	28.48	28.51	0.11
3	28.47	28.49	0.07
4	28.50	28.51	0.04
5	28.47	28.50	0.11
6	28.46	28.49	0.11
7	28.54	28.56	0.07
8	28.50	28.51	0.04
9	28.52	28.54	0.07
10	28.44	28.47	0.11
11	28.47	28.50	0.11
12	28.41	28.43	0.07
13	28.48	28.49	0.04
14	28.48	28.52	0.14
15	28.48	28.50	0.07
16	28.50	28.53	0.11
17	28.51	28.52	0.04
18	28.56	28.57	0.04
19	28.50	28.53	0.11
20	28.46	28.48	0.07
平均値	28.49	28.51	0.08

表7 引張試験結果

試験体 No.	引張強度 (MPa)
	水中浸漬後
1	107.7
2	120.1
3	119.1
4	126.6
5	130.4
平均値	120.8
変化率* (%)	101 %

* 5.1項における引張強度平均値（119.9 MPa）との比較

表8 引張試験結果

試験体 No.	引張強度 (MPa)
	温度変化
1	95.1
2	114.1
3	127.0
4	116.4
5	126.8
平均値	115.9
変化率* (%)	97 %

* 5.1項における引張強度平均値（119.9 MPa）との比較

6.3 疲労後残留強度

検査路に使用されるボルトは、検査員の歩行などによる繰返し荷重を受けるため、長期的な耐久性の観点から、疲労試験後の残留強度を評価した。

試験条件を表9に示す。設定した繰返し応力を3 Hz のサイクルにて繰返し載荷した後、引張試験により残留強度を測定した。試験体にはM12ボルトを使用した。

試験結果を図18に示す。繰返し応力11.3 MPaにおける残留強度は初期強度に対して99.6%、繰返し応力16.9 MPaでは98.1%であり、疲労を受けた後も十分な残留強度を有していることを確認した。

なお、繰返し応力16.9 MPaは、引張破壊強度基準値100 MPaの安全率5.9に相当する。以上の結果より、表1に示した許容引張応力以下の使用においては、疲労による強度低下の影響は小さいと考えられる。

7 まとめ

本報では、OSボルトについて、引張試験およびせん断試験による物性評価に加え、FRP検査路に実際に組付けた状態での性能評価試験を行い、検査路に求められる性能を満足することを確認した。また、実使用環境を想定した評価として、水分吸収、温度変化および疲労の影響についても検証を行った。

今後の課題として、FRP検査路以外への用途展開に向けて、OSボルトのさらなる実使用環境化での評価データ蓄積と、使用条件に応じた仕様の最適化を検討する。

今後も、軽量かつ耐食性に優れるFRP製品の特長を活かし、社会インフラの長寿命化に貢献していきたい。

謝辞：

本製品の開発にあたり多大なご尽力を頂いた株式会社横井製作所殿、ならびに疲労後残存強度の評価にご協力いただいた国立大学法人京都工芸纖維大学先端ファイブロ科学専攻 繊維強化複合材料研究室の関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献：

- 1) 国土交通省
https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000412.html (参照：2025/7/7)
- 2) 道路構造物ジャーナルNET
<https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/interviews/11064/?spage=2> (参照：2025/7/7)
- 3) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社 構造物施工管理要領 令和5年10月5-10 ゆるみ止めナット
- 4) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社 NEXCO 試験方法第4編 構造関係試験方法 令和2年7月 p79
- 5) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社 設計要領第二集 橋梁保全編 令和5年10月 p7-91

執筆者：

渡部 隼

2008年入社

FRP（FW、引抜）製品の設計、開発に従事



竹田 誠

1999年入社

FRP（FW、引抜）製品の設計、開発に従事



表9 疲労試験条件

繰返し応力 (MPa)	安全率*	繰返し数 (回)
11.3	8.9	100,000
16.9	5.9	100,000

*安全率は初期強度100 MPaを繰返し応力で除した値とした。

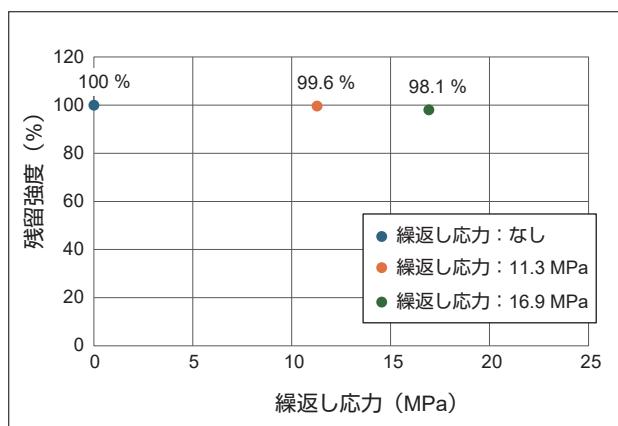


図18 疲労試験後の残存強度測定結果