

防水塗料による F11T ボルトの遅れ破壊対策

首都高速道路(株) 正会員 ○関根 英人
(一財) 首都高速道路技術センター 正会員 柳瀬 匡雄

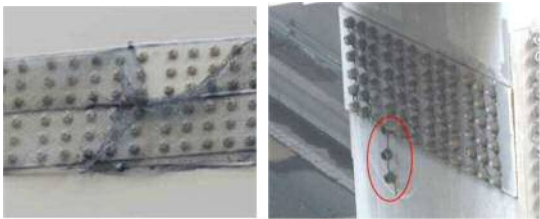
1. はじめに

首都高速道路では、遅れ破壊の恐れがある F11T ボルト全数を交換する方針である。しかし、その数量は膨大なことから、すべて交換するにはコストも時間も多く要する。そのため、ボルト交換が遅れる場所については、万が一、ボルトが破断したとしても、落下させないよう落下防止ネットや落下防止キャップによる応急的な対策をしている。しかし、ネットの外れやキャップの劣化による損傷が多数確認されており（写真-1）、その対応が新たな負担となっている。

一方、F11T の遅れ破壊は、水素脆化が原因とされていることから、腐食因子である水と接触させなければ、破断する可能性は低くなる。将来的に、F11T ボルトの交換が不要になれば、ボルト交換に必要となる膨大な費用を別の用途に使用する事ができる。

そのため、著者らは防水塗料を用いることで、F11T の遅れ破壊及び落下防止対策が可能か検証することにした。

防水塗料は、防水性能とコンクリート片などの剥落防止性能を有することに加え、既存の落下防止ネットやキャップと比較して景観性に優れている。そこで、防水塗料が、F11T ボルトが破断した際に落下を防止できるかを、重錘落下試験により検証した。



a) ネットの外れ b) キャップの外れ
写真-1 既設落下防止対策の損傷

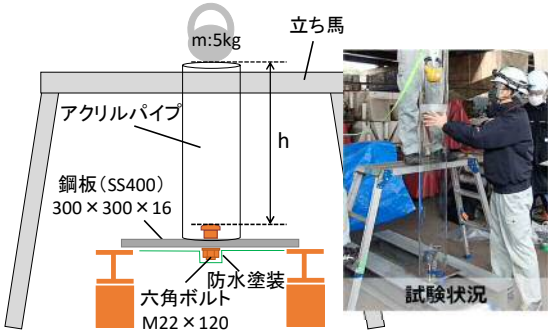


図-1 おもり落下試験の概要
表-1 エネルギーの算出式

	式	諸元
ひずみエネルギー	$W = \frac{1}{2} \frac{N^2 l}{EA}$	W:ひずみエネルギー N:軸力 l:部材長さ E:部材の弾性係数 A:部材の断面積
位置エネルギー	$W = mgh$	W:位置エネルギー m:重錘の質量 g:重力加速度(9.8m/s ²) h:落下高さ

2. 試験概要

(1) 試験方法

重錘落下試験の概要を図-1 に示す。F11T ボルトが破断した時に発生するひずみエネルギーを、重錘を落下させた時の位置エネルギーとして再現した。300×300×16 mmの鋼板に高力ボルト（S10T M22×160 mm）を挿入し、ボルト先端にナットを取付け、ナットを上面にし、防水塗料を塗布した試験体を作成した。試験は、塗装面（ナット側）を下にした試験体を架台に固定し、5kg の重錘（ダンベル）を所定の高さから自由落下させ、ボルト頭部に衝突させた。衝突時にズレがないよう透明のアクリルパイプ内で重錘を落下させた。

(2) 使用塗料

使用塗料は、首都高速道路の「鋼橋塗装設計施工要領」に示された防水塗料（SDK B-401）の品質規格に適合したポリウレタン系樹脂の省工程塗料 1 製品（以下、塗料 A）を選定した。塗料 A は、押抜き性能、付着性、伸び性能、防水性、遮塩性に優れ、コンクリート片の剥落を防止する目的として開発されたものである。

表-2 ひずみエネルギーの算出に用いた数値

	数値	備考
N	238kN	F11T の標準軸力 (設計軸力 × 1.1)
l	85mm	使用ボルトの 最長締付け長さ
E	205kN/mm ²	鋼材の弾性係数
A	380.1mm ²	M22 の断面積

キーワード：F11T ボルト、遅れ破壊、落下防止、防水塗装、維持管理、ポリウレタン樹脂
連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 首都高速道路株式会社 保全技術課 TEL 03-3539-9546

(3) ひずみエネルギーの算出方法

表-1 にひずみエネルギー算出式、位置エネルギー算出式、表-2 に算出に用いた数値を示す。ボルトの締付け長さは、首都高速道路で使用している F11T ボルトの最長の長さを採用した。上記の条件で得られたひずみエネルギーWは 30.9J となった。破断時はボルト両側にエネルギーが均等にかかるものと仮定して、算出したひずみエネルギーW の半分となる 15.5J を基準の突出エネルギー（100%）とした。上記の条件で 5kg の重錘を落下させる場合、その時の落下高さは 32cm である。

3. 試験結果

(1) 防水塗料 1 層塗りのケース

表-3 に試験結果を示す。結果の判定は、衝突後にボルトが完全に突出することなく防止できた場合は“OK”とし、ボルトが突出した場合は、“NG”とした。

表-3 (No1-No3) の試験結果より、突出エネルギー75%（落下高さ 24cm）で突出を防護できたが、突出エネルギー112.5%（落下高さ 36cm）では突出を防止できなかった。

No.2 の試験後の突出状況を写真-2 に示す。塗料が破断した箇所は、ボルトワッシャのエッジ部であった。その他の試験体についても、ワッシャのエッジ部で塗料が破断していた。エッジ部は塗膜厚が薄いため、ボルト突出時の弱点になると考えられる。

(2) 防水塗料 2 層, 3 層塗りのケース

1 回目の試験でワッシャのエッジ部で塗料が破断したことから、ワッシャ部周辺の上塗りを 2 層または 3 層塗布した試験体を作成した。塗布範囲は、図-2 に示したナット周りの直径 60 mmとした。写真-3 に 2 層塗り, 3 層塗りの試験体を示す。なお、塗料の厚塗り量は塗布量にて管理した。

表-3 (No4-No9) の試験結果より、上塗りを 2 層もしくは 3 層塗りすることによって、突出エネルギー100%（落下高さ 32cm）に対し突出を防護でき、試験後の塗料に割れやキズは確認されなかった。また、防護できた最大の突出エネルギーは、2 層塗りの場合で突出エネルギー300%（落下高さ 96cm）、3 層で突出エネルギー400%（落下高さ 128cm）であった。突出後の破壊形態は、ワッシャエッジ部の他にナットの付け根部で破断した（写真-4）。

4. おわりに

防水塗料は、2 回塗りするだけで F11T ボルトの遅れ破壊による突出エネルギーの 3 倍の負荷をかけても、ボルトの落下を防ぐことができることを確認した。今後は、防水塗料の経年劣化に伴う落下防止性能の低下と、これを防ぐ手法について検討していく予定である。

表-3 試験結果

No.	試験体	突出エネルギー[%] (落下高さ[cm])	結果	実施 本数	結果（詳細）	破断部
1	1層-①	300% (96cm)	NG	1	突出	ワッシャエッジ部
2	1層-②	75% (24cm)	OK	1	キズあり、浮きなし	-
3	1層-③	112.5% (36cm)	NG	1	突出	ワッシャエッジ部
4	2層-①	100% (32cm)	OK	4	キズなし、浮きなし	-
5	2層-②	200% (64cm)	OK	4	キズなし、浮きなし	-
6	2層-③	300% (96cm)	OK	4	キズなし、浮きなし	-
7	3層-①	400% (128cm)	OK	4	キズあり、突出なし	-
8	3層-②	500% (160cm)	NG	4	1/4本突出	ナット付け根部
9	3層-③	600% (192cm)	NG	4	4本突出	ワッシャエッジ部 ナット付け根部



写真-2 突出後の試験体 (No. 1)

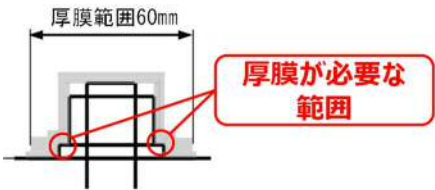


図-2 重ね塗りの範囲



写真-3 a) 2 層塗り b) 3 層塗り
写真-3 2 層, 3 層塗布後の状況

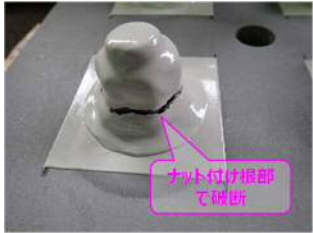


写真-4 突出後の試験体の例 (No. 9)