

1

タフシートによる鉄道高架橋の耐震補強試験施工

山村 康夫^{*1}・千々岩 三夫^{*2}・町永 俊洋^{*3}

概 要

都市部など立地条件や周辺条件の制約の多い場所での施工に適した新しい耐震補強工法として、タフシート（紫外線硬化型FRPシート）を、既設のRC柱に積層して巻付け、せん断耐力およびじん性の向上を図る「タフシート耐震補強工法」を開発した。

シート補強材のガラス繊維を、従来の短繊維マットから長繊維クロスとステンレスメッシュの複合材料に変更し、破断強度を大幅に改善することができた。今回、実施工に向けての適用性を検証する目的で、試験施工を実施した。結果は、シートを4分割で施工することにより、作業の連続性が確保でき、狭隘な場所でも効率よく施工ができることを確認した。

キーワード：耐震補強，試験施工，タフシート，紫外線硬化

SEISMIC RETROFIT OF RAILWAY VIADUCT WITH TUF-SHEET

Yasuo YAMAMURA^{*1} Mitsuo CHIDIWA^{*2} Toshihiro MACHINAGA^{*3}

Abstract

An innovative seismic retrofit method using TUF-Sheet (UV-curing FRP sheet) has been developed, which is suitable for use in sites where there are many restrictions due to the nature of the location and surroundings. This technique is to place layers of TUF-Sheet over the existing reinforced concrete column to improve shear strength and toughness of the structure.

The conventional short fiber mat that reinforces the sheet was replaced with a composite material of long fiber cloth and stainless steel mesh. This resulted in a remarkable improvement of the strength of the material. For application to actual projects, test placements were conducted. As proven by the tests, by dividing the sheet into four portions, the continuity of work was achieved, and the sheets could be placed efficiently even in a narrow space.

Keywords: seismic retrofit, field test, TUF-Sheet, ultraviolet curing

*1 Construction Technology Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

*2 Manager, Construction Technology Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

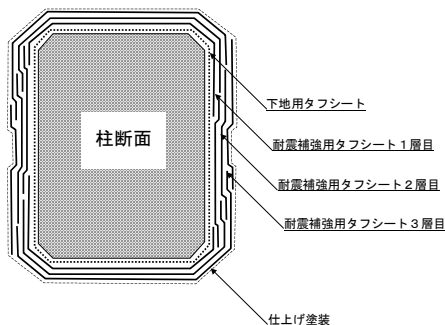
*3 Civil Engineering Department, Tokyo Branch

補強工事は、図－１に示すように柱のフーチングの上から幅 1,000 mm のタフシートを、下から上に向けて 1 段ずつ 5 段目まで 1 層ずつ巻付け、残りを幅 900 mm と 110 mm のシートを巻付けた。これを下地用 1 層＋補強用 3 層の計 4 層巻付け、最後に耐候性仕上げ塗装を施した。

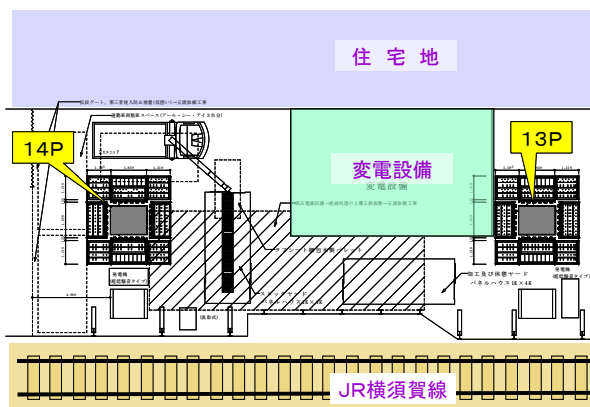
また、タフシートの巻付け方向の継手部は、強度的な弱点とならないように 150 mm 以上の継手代を確保し、図－２に示すように 1 層毎に位置をずらして施工した。

現場は、図－３に示すように、ＪＲ横須賀線と並行する住宅密集地で、２基の橋脚（１３Ｐと１４Ｐ）の間に変電設備があって車の通行ができないため、資材は主に手運搬で行った。また、屋外での昼間の施工となるため、作業中にシートが直射日光にさらされて硬化しないように、足場周囲を養生シートで覆い、タフシート表面に遮光フィルムを貼付けたものを使用した（写真－１、２参照）。

施工手順は、図－４に示すように、下地処理の後 1 層毎に、プライマー塗布、タフシート貼付け、紫外線照射を順次繰り返して施工した。



図－２ 継手部の構成



図－３ 現場平面図

２．３ 使用材料

表－２に使用した材料の一覧を示す。

(1) 下地用タフシート

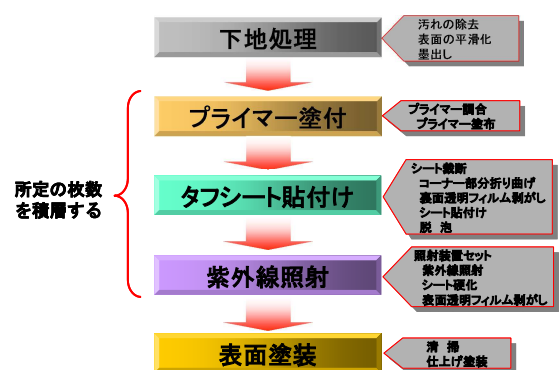
下地用タフシートは、補強効果としては期待しないが、下地処理作業の簡略化と耐震補強用タフシートの初期接着力を確保する目的で施工するもので、従来の補修用と同じガラス短繊維マットを強化繊維としている（図－５参照）。



写真－１ 養生シート取付け状況（１４Ｐ）



写真－２ 遮光フィルム付きタフシート



図－４ 施工手順

(2) 耐震補強用タフシート

耐震補強用タフシートは、主に耐震補強を目的とするもので、強化繊維としてガラスロービングと表面保護用のステンレスメッシュを使用している（図－6 参照）。

(3) プライマー

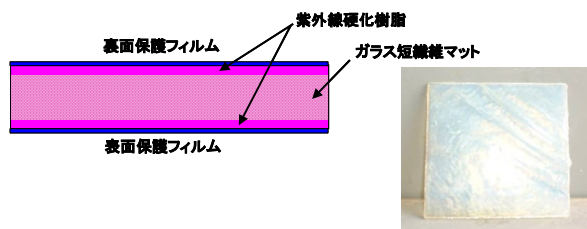
プライマーは2液タイプの熱硬化型樹脂で、タフシートを貼付ける直前に、硬化剤を添加・混合して施工面に塗布した。塗布量は約 1.3 kg/m^2 を基準とした。なお、ステンレスメッシュを使用したタフシートは、ガラス繊維だけのものに比べて重いので、貼付ける際にシートが自重でずり落ちないように、粘度を高め調整したものを使用した。

(4) 仕上げ塗料

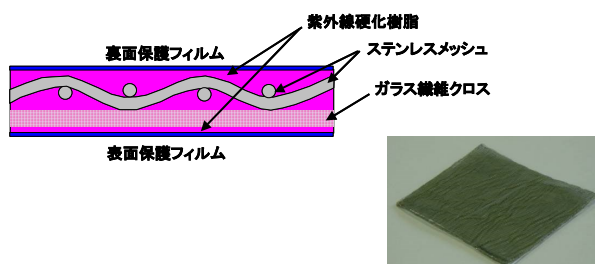
エポキシ樹脂コンクリート用パテを使用して、シート表面のしわや継手部分の凹凸を修正した後、上から仕上げ塗料を塗付した。塗布量は上塗り2層仕上げとして 0.12 kg/m^2 を基準とした。

表－2 使用材料

材料名	規格	細目	メーカー
下地用タフシート	TUF-M6	紫外線硬化型ガラス繊維シート 目付け量: 600 g/m^2 厚さ: 約 1.5 mm	旭エスケービー
耐震補強用タフシート	TUF-SG-R12	紫外線硬化型ガラス繊維+ステンレスメッシュシート 厚さ: 約 2.5 mm	
貼付けプライマー	KT-A120-G10	常温硬化型エポキシアクリート樹脂	
下地調整材	タフガードE パテN-2	エポキシ樹脂コンクリート用パテ	日本ペイント
仕上げ塗料	ハイボン 50 上塗	常温硬化型ポリウレタン樹脂	



図－5 下地用タフシート



図－6 耐震補強用タフシート

3. 施工状況

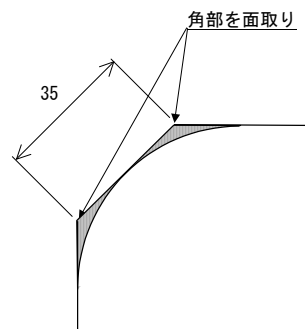
3.1 下地処理

下地面の汚れ等の除去と平滑化のためにディスクグラインダーによりケレン作業を行った。特に、コーナー部分の 35 mm 程度の角落とし部分は、図－7に示すように角部に丸みを持たせ、シートの密着性を確保できるようにした。

3.2 プライマー塗布

プライマーは金コテを使用して塗布した。

写真－3に示すように、下地面に型枠組立て用と思われる木コングが多数残っており、その部分を除去したあとの穴は、施工性を考慮してモルタルではなくプライマーで埋めることとした。



図－7 角部の面取り



写真－3 プライマーの塗布

3. 3 タフシート貼付け

(1) タフシートの割付け

タフシートは、下地用1層＋耐震補強用3層の計4層施工した。割付けは、**図－8**に示すように、下地用は1層を2分割、耐震補強用は4分割とした。

(2) タフシートの貼付け

タフシートの貼付け作業は、裏面の透明フィルムを剥がし、**写真－4**に示すようにコーナー部分から順に内部の空気を逃がすようにして行った。中に残った気泡は、**写真－5**に示すように脱泡ローラを使用してプライマーと一緒にシート端部に押し出すようにして脱泡した。

なお、**写真－5**に示すように、これら一連の作業は、作業足場が昇降階段部分で幅500mmしか取れない狭隘な場所で行った。

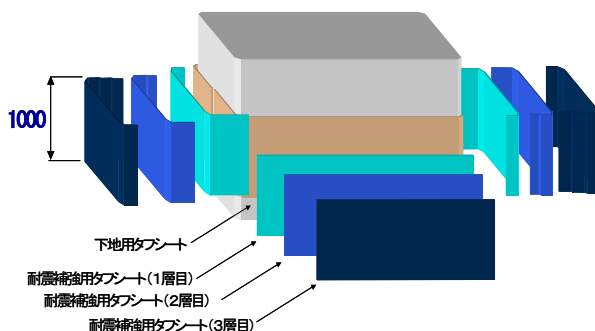
(3) タフシートの仮留め

ステンレスメッシュを使用したタフシートの場合、ガラス繊維だけのものに比べてシート自体の剛性がやや高いため、下地との浮きや端部のまくれ等が発生しやすい。そこで、タフシートを貼付ける前にコーナー部分の寸法に合わせてあらかじめ折り曲げ癖を付けておいた。

また、プライマーが硬化する前に、自重でタフシートがずれたりめくれたりしないように、**写真－6**に示すように、エアータッカーを使用して端部を仮留めた。

(4) 上端部の施工

最上段の6段目は、補強幅が1,010mmとなり標準のシート幅1,000mmでは不足するため、900mmと110mmの2枚のシートを巻付けた。**写真－7**にシート裁断状況を示す。



図－8 シートの割付



写真－4 耐震補強用シートの貼付け



写真－5 狭隘な場所での脱泡作業



写真－6 エアータッカーによる仮留め



写真－7 上端部用シートの裁断加工

(5) タフシートの硬化

従来のタフシートと同様の手順で、シートの密着状況を確認した後、シート表面の汚れを落とし、紫外線照射装置を移動してタフシートの表面に紫外線を照射してシートを硬化させた。

照射装置は、写真－8に示すように、40w×2灯式の蛍光器具を1面に6台、4面で24台セットし、図－9に示すように枠組足場に取り付けたガイドレールに沿って電動ホイストで上下に昇降できる構造とした。

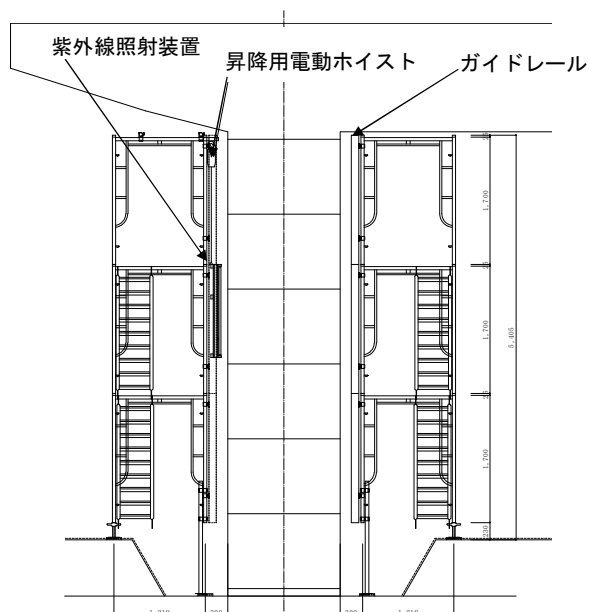
硬化管理は、紫外線照度計を用いて紫外線照射量を測定し、 $2,000 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ 以上あることを確認した上で、20分以上の照射時間を取ることであり、硬化後に4面を各面10点ずつ「JIS K 5400 8.4.2」に規定されている鉛筆硬度試験を実施し硬化の確認を行った。

3. 4 仕上げ塗装

耐震補強用タフシート3層を巻付け、樹脂パテにより継手部の段差等の修正を行った後、表面に劣化防止と化粧のための仕上げ塗装を行った。塗布量は、 $0.12\text{kg}/\text{m}^2$ を基準として2層塗りとした（写真－9参照）。

3. 5 品質管理

表－3の項目について、使用する材料および施工方法が品質規格に準拠したものであることを確認した。



図－9 照射装置用昇降設備



写真－8 紫外線の照射



写真－9 施工完了（14P）

表－3 品質管理項目

管理項目	確認事項	確認方法	確認頻度
施工管理	貼付状況	シート貼付が密着しているか、浮き、気泡、折れ等がないかを目視確認する。	各層毎 (全数)
	施工層数	各段毎に施工層数を確認する。	
	ラップ長	継手部分のラップ長さをスケールで測定し、150 mm以上確保していることを確認する。	
	紫外線照射	紫外線照射時シート表面の紫外線照度量を測定し、 $2,000 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ 以上であることを確認する。	各層毎 (照射時)
		紫外線照射時間を計測し、20分以上照射する。	
	硬化状況	紫外線照射後シート表面の硬化不良がないか、JIS K 5400「塗料一般試験方法」の「8.4 鉛筆引っかき試験 8.4.2 手かき法」に準拠した鉛筆硬度を測定して確認する。	
材料管理	塗膜厚さ	仕上げ材塗布後硬化前にJIS K 5400「塗料一般試験方法」の「3.4 塗料層の厚さの測定」に準拠した塗膜の厚さ測定を実施し、塗膜厚50 μm 以上を合格とする。	柱4面 (各面10点平均)
	材料強度	搬入した材料が所定の性能を備えたものであることを、付属の材料検査証明書で確認する。	ロット毎 (試験数5)
完成状況	仕上がり塗料付着状況	搬入した新造コンクリートを用いてJIS K 7054「ガラス繊維強化プラスチックの引張試験方法」に準拠した引張試験を実施し、材料検査証明書に記載されている引張強度値以上であることを確認する。	
	表面状況	仕上がり材硬化後にJIS K 5400「塗料一般試験方法」の「8.5 付着性 8.5.1 基盤目法」および「8.5.2 基盤目テープ法」に準拠した付着試験を実施し、評価点数8点以上を合格とする。	柱毎
	仕上がり状況	躯体の構造に支障を及ぼす凹みがないことを目視確認する。	
耐久性	材料強度	300 mm×300 mmの供試体を現場施工と同一条件で作成し、仕上げ塗料を塗布した後、コンクリート平板にアンカーボルトで固定しそのまま放置する。1年毎に回収してJIS K 7054「ガラス繊維強化プラスチックの引張試験方法」に準拠した引張試験を実施し、材料検査証明書に記載されている引張強度値以上であることを確認する。	1年後 2年後 3年後 (試験数各6個 計15個)

4. 結果および考察

4. 1 施工速度

幅 500 mm の狭隘な足場上だけで、一連の作業を行うことができた。

図－10 に各工種毎の平均作業時間を示す。総作業時間は 166.52 時間で、下地処理から仕上げ塗装までを約 120 分/㎡で施工できることが確認できた。このうち、耐震補強用タフシート 1 層は 24.2 分/㎡ (17 ㎡/日) となり、下地用タフシート 1 層の 18.7 分/㎡ (22.5 ㎡/日) と比較して、施工時間は約 1.3 倍を要した。この要因として、

- 下地用シートは重量が約 1.8kg/㎡と軽く、1 周を 2 分割構成としたが、ステンレスメッシュを使用したシートは約 4.8kg/㎡と重く、作業性を考慮して 4 分割構成とした。そのため、材料の持ち運びや貼付け作業に時間を要した。
- ステンレスメッシュを使用したシートは厚さが約 2.5mm と下地用の約 1.5mm と比べて厚く、シート自体の剛性も高い。そのため、下地との密着性を確保するために、あらかじめコーナー部分に曲げ癖を付けたり、タッカーによる仮留めを行ったため、その分施工に手間取った。
- 継手部が下地用は突合せ継手なので、紫外線照射が 1 回で全周を照射できるのに対して、耐震補強用は重ね合わせ継手のため、2 回に分けて行う必要があった。また、継手部分の段差修正や端部のすり付け等に時間を要した。

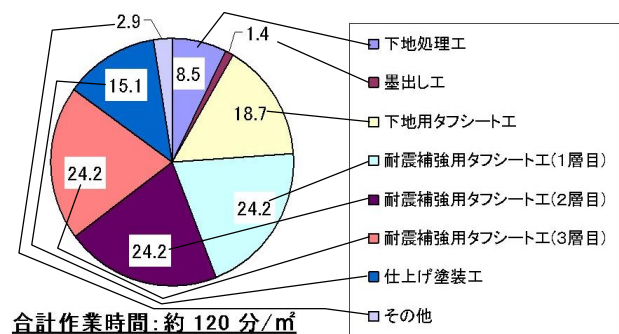
これらのことから、施工速度の向上を図るためには、シートの把持器具や仮留め方法の改善等による施工の効率化や、突合せで施工が可能な継手構造を検討することが必要と考えられる。

4. 2 品質の確保

- 高粘度プライマーの使用、コーナー部分の事前折り曲げ、エアータッカーによる仮留めなどを併用することにより、ずれやめくれの少ない良好な施工が可能であることが

確認できた。

- 下地用タフシート 1 層を施工することにより、下地の段差を修正し、シートの密着性を高めることができた。表－4 に柱上端部分で測定したタフシートの施工厚さを示す。これより、柱外周面に沿ってほぼ均一な薄肉の補強層を形成していることが確認できた。
- 考案した紫外線照射装置により、紫外線を透過しにくいステンレスメッシュ入りのシートでも、連続して効率よくシートを硬化できた。また、「JIS K 5400 8.4.2 鉛筆硬度試験」を適用して、硬化の状態が確認できた。
- 仕上げ塗装の塗膜厚を、ウェット式膜厚計で測定したところ、ドライ膜厚 50 μm を確保するのに必要なウェット膜厚 100 μm 以上を確保できた。また、付着強度についても、「JIS K 5400 8.5.2 碁盤目テープ法」に準拠した付着強度試験により確認したところ、評価点数 10 点満点であった（写真－10 参照）。これより、使用した仕上げ塗料に対して、十分な塗膜厚および付着強度



図－10 各工種毎の平均作業時間

表－4 タフシートの施工厚さ

橋脚 No.	箇所	厚さ t (mm)
13P	1 (海側)	12
	2 (東京方)	10
	3 (山側)	10
	4 (新大阪方)	10
14P	1 (海側)	11
	2 (東京方)	11
	3 (山側)	10
	4 (新大阪方)	10

を確保できることが確認できた。

なお、長期的な耐久性については、3年間の屋外暴露試験を実施中である。

4. 3 材料の経済性

(1) タフシート

タフシートの使用数量は、設計量と同一でロスは0であった。材料を無駄にしないように足場周囲を養生シートで覆い、タフシート表面に遮光フィルムを貼付ける等シートが直射日光にさらされて硬化しない処置が有効であることが確認できた。

(2) プライマー

本工事で使用したプライマー量をシート総面積で割ると、使用量は約 $1.3\text{kg}/\text{m}^2$ であった。これは、トンネル補修の平均的な使用量 $1.0\sim 1.5\text{kg}/\text{m}^2$ とほぼ等しい量であり、平坦な面に対しての使用量としては、比較的多めであった²⁾。今後は、実施工を重ねる中で、最適な使用量を決定したい。

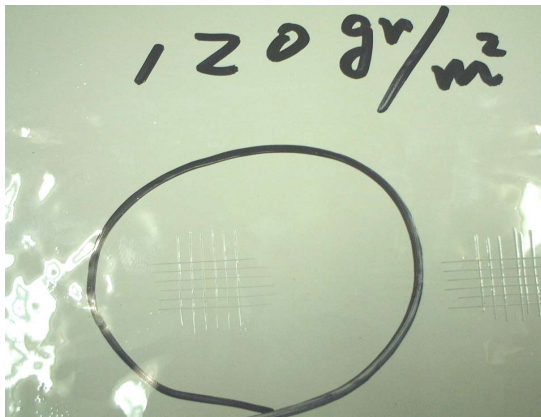


写真-10 仕上げ塗料の付着強度確認

5. まとめ

本試験施工により、新開発の耐震補強用タフシートを用いて、狭隘な場所でも効率よく施工できることが確認でき、鉄道や道路などのRC橋脚の耐震補強工法としての有効性が実証できた。

これら施工性の確認やこれまでに行った構造実験等による補強効果の確認など一連の試験結果に基づき、平成16年6月に「既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針 PPS巻補強編」が鉄道総合技術研究所から発行された³⁾。

今後は、施工上の制約が厳しい施工対象への耐震補強への採用を目標として、より合理的で経済的な工法としての確立を目指していきたい。

謝辞：このたびの試験施工を行うにあたり、ご協力いただいた東海旅客鉄道株式会社新幹線事業本部東京保線所、ご指導を賜りました同施設部工事課ならびに共同開発者である北武コンサルタント株式会社に紙面を借りて、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 益田彰久ほか：新型タフシートによる耐震補強，鉄建技術研究報告No. 17，pp. 1 -14，2003. 10
- 2) 瀧口将志ほか：3時間の閉鎖間合いで覆工を効率的に施工ーJR鹿児島本線 城山トンネル，トンネルと地下，pp. 7 -13，2002. 3
- 3) 財団法人鉄道総合技術研究所編集：既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針ーPPS巻補強編，2004. 6