

昇降式ホーム柵ロープへのカーボン素材の適用

1. はじめに

JR西日本の営業エリアでは、列車編成や車種ごとに車両扉位置が異なる駅のホームが多数存在します。これらのホームには、横方向に開閉する一般的な可動式ホーム柵では対応が来ないという背景のもと、5本のロープが上下に昇降することでホームドアの機能を果たす昇降式ホーム柵（以下昇降柵）を開発しました。現在では、JR神戸線の六甲道駅（3番線）、JR京都線の高槻駅（1・6番線）に導入しており、今後の具体的な導入計画も策定しています。

これまでの昇降柵のロープは弾性を有するステンレスワイヤーを採用しており、その重量や想定される推力に対してロープのたわみを抑制するために大きな張力（以下プリテンション）を昇降柵本体へ負荷した状態で稼働させていました。そのため、昇降柵本体の強度と動作安定性の観点から、負荷できるプリテンションに限界があり、開口長さ拡大の障害となっていました。また、プリテンションによるホーム構造物への負荷も大きく、昇降柵設置時のホーム改良費用が過大となっていました。

そこで、これらの課題を解消すべく、軽量で伸びにくいロープを検討し、炭素繊維を撚り線とした“カーボンワイヤー”を新たに開発し、昇降柵へ適用することとしました。

2. 素材の選定

従来のステンレスワイヤー、カーボンパイプ、カーボンストランドロッドの3つの素材で比較を行いました。その結果、カーボンストランドロッドが重量やたわみ、施工性の観点から、総合的に優れた素材であると判断できました。

また、撚り線の本数や、ガラス繊維の有無等を検討し、カーボンストランドロッド（60k-7P）がたわみにおいて最も理想的であると判断し、採用を決定しました。

表1：素材選定比較表

	ステンレスワイヤー	カーボンパイプ	カーボンストランドロッド
	Φ6(被服込Φ8)	外形Φ22内径Φ14	Φ6.9
1 破断荷重	30400N	22000N	40000N
2 端末部の強度	25000N	19000N	31000N
3 980N水平・垂直荷重時のたわみ	544mm	128mm	275mm(※)
4 245N水平平均荷重時のたわみ	240mm	145mm	190mm(※)
5 ヤング率	120000N/m ²	190000N/m ²	180000N/m ²
6 単位質量	0.18kg/m	0.44kg/m	0.05kg/m
7 初期プリテンション	1000N	400N	500N
8 納期	2ヶ月	1.5ヶ月	1.5ヶ月
9 コスト	○	△	△
10 施工性	○	×	○
11 運搬性	○	×	○

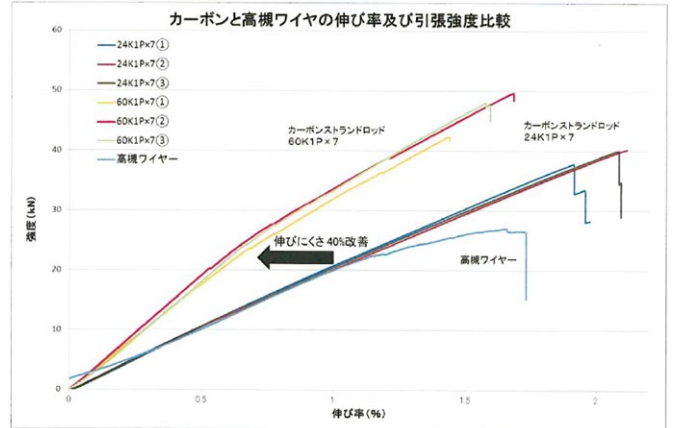


図1：カーボンストランドロッド仕様選定

3. 導入に向けた詳細評価

高槻駅に導入した昇降柵の最大開口長さに対応する間口を、昇降柵の試験機環境下で再現し、実機に組み込んだ形でたわみ、張力、強度を計測し、現在のステンレスワイヤーと比較することで評価しました。

(1) たわみ試験

ロープに負荷するプリテンションを250Nから2000Nまで段階的に変化させ、それぞれに対してロープへの荷重を負荷し、その時のたわみ量を評価しました。カーボンストランドロッドでは、プリテンションを従来のステンレスワイヤー使用時の半分（500N）にしても同等のたわみ量となることが明らかとなり、大幅にプリテンションを軽減することが可能となりました。

表2：実装状態でのたわみ試験

カーボンストランドロッド(60k1P x 7P) プリテンション-水平たわみ試験					
プリテンション	集中荷重(11.8m中央)				
	147N	245N	500N	750N	980N
	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)
250N	282	340	427	493	535
500N	286	323	410	466	513
750N	242	301	392	453	499
1000N	223	277	373	437	482
1250N	199	255	353	421	464
1500N	180	241	343	410	457
1750N	169	230	334	398	448
2000N	157	221	326	389	440
【参考】ステンレスワイヤー(高機仕様)プリテンション-水平たわみ試験					
プリテンション	集中荷重(11.36m中央)				
	100N	200N	500N	700N	980N
	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)
1000N	250	328	467	524	582

(2) 張力試験

(1) と合わせ、ロープ端部への発生張力についても評価しました。プリテンション500Nの環境下でも、従来のステン



レスワイヤーと同等（プリテンション1000N・集中荷重980N負荷時4210N）の張力発生に留まり、昇降柵本体への影響、並びにカーボンロープ留め金具の抜け等が発生しないことを確認しました。

表3：実装状態での張力試験

プリテンション	集中荷重(11.8m中央)				
	147N	245N	500N	750N	980N
	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)
250N	844	1094	1826	2576	3190
500N	1080	1394	2280	3040	3782
750N	1254	1632	2552	3298	3926
1000N	1504	1920	2810	3586	4234
1250N	1842	2218	3104	3926	4522
1500N	2080	2444	3320	4102	4734
1750N	2228	2592	3474	4204	4882
2000N	2420	2782	3658	4374	5060

(3)折れに対する試験

カーボンロープ化で最も懸念されるのが、「荷重負荷時に折れることがないか」という点でした。カーボンストランドロッドは、その特性上、たわみ角度が15°以上になった際に折れが発生することが分かっていました。

そこで、昇降柵運用時に最も厳しい条件である1000Nの一点集中荷重をロープのあらゆるポイントに負荷し、そのときのたわみ角度を計測、ロープの状態も確認しました。結果、最も厳しい条件においても、たわみ角度は15°を上回らず、ロープの破断には至らないことが確認出来ました。

その他、カーボンロープを組み込んだ状態での耐久試験、及び推力連続負荷試験を経て、耐久性に問題がないことも確認し、六甲道駅の昇降柵取替に合わせ、カーボンロープの導入を実現しました。

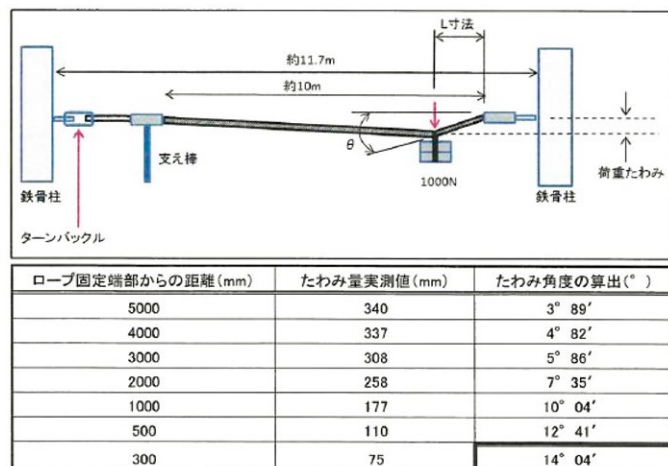


図2：折れに対する試験

4. 今後の展開と効果

カーボンロープ化の効果としては、間口の拡大、及びホーム構造への負荷低減による工事費の低減の2つが上げられます。

間口の拡大については、従来の昇降柵構成から、中間ポスト（C筐体）を削減出来る見込みとなっており、今後の整備計画への反映を目指し、現在開口長さとなわみの詳細整理を進めているところです（図3）。

ホーム構造物への負荷低減については、適用するホームの特性に応じ、都度工事費を算出し、効果を確認していきます（表4）。

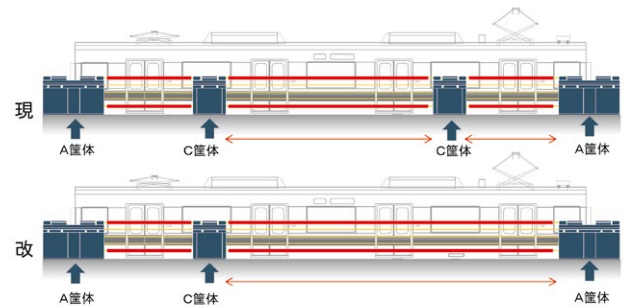


図3：中間ポストの削減

表4：大開口でのたわみ・張力試験

プリテンション	集中荷重(18.5m中央)				
	147N	245N	500N	750N	980N
	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)
1000N	1332	1650	2330	2830	3290
1500N	1956	2262	2944	3480	3984
2000N	2384	2692	3394	3992	4406
	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)	水平たわみ(mm)
1000N	268	329	431	491	537
1500N	233	298	407	470	522
2000N	212	280	390	460	508

【参考】ステンレスワイヤー(高橋仕様)プリテンション-水平たわみ試験

プリテンション	集中荷重(11.36m中央)				
	147N	245N	500N	750N	980N
	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)	ボルトエンド(N)
1000N	250	328	467	524	582

5. おわりに

今回、昇降柵のカーボンロープ化を実現することにより、昇降柵本体やホーム構造物への負荷低減、ならびに間口の拡大による大幅なコスト低減の可能性を見出すことが出来ました。

今後、本格化するホーム柵の整備は、多大なコストと逼迫した工期のもとで実施されるものであり、コストや施工労力の低減に向けた取り組みは不可欠です。今後も技術の側面からアプローチを続け、ホーム柵整備計画の着実な展開に寄与したいと考えています。