

VI-49 ピン結合トラスの斜材アイバー短縮試験

東日本旅客鉄道(株) 正会員 石田 健治
(株)横河メンテック 正会員 金井 啓二

1. まえがき

鉄道創設期、大河川に架設されたトラス橋は、格点部において、弦材・斜材・垂直材をピンで連結したピン結合トラスであった。ピン結合トラスは、現在のトラスに比べ、格点部が摩耗劣化し、斜材アイバーが弛緩しやすいという構造的問題を有している。斜材アイバーの弛緩は、トラスの変形を促進し、キャンバーの中だるみ、連結リベットの弛緩、アイバーの折損などにつながる有害な変状である。JR東日本新潟支社管内には、磐越西線に6連、米坂線に1連のピン結合トラスが残っているが、いずれも経年70年を超過し、斜材アイバーが弛緩してきた。今回、ピン結合トラス特有の修繕方法である斜材アイバーの短縮について、実施工への適応性を確認する為、アイバー短縮試験を実施した。

2. 短縮試験の経緯

実橋における斜材アイバー短縮は、1960年代まで実施されたが、最近は施工例がなく、施工記録も残っていない。この為、短縮装置を試作して、下記項目について試験を実施し、実施工に反映させることにした。

○導入力と短縮量の関係

○最高温度までの加熱時間

○加熱によるアイバーの変形及び材質変化

3. 短縮試験の概要

鋼材を950℃程度に加熱し、その後、冷却する。

この際、短縮装置により、鋼材の膨脹を拘束すれば、鋼材自身がアプセットする。短縮装置に、事前に圧縮力を導入しておけば、アプセット量も大きくなる。斜材アイバーの短縮は、この原理によるものである。

短縮装置の詳細は、図-1のとおりであり、締付金具・PC鋼棒・座屈止め金具・センターホールジャッキより構成される。締付金具はチャンネル2本からなり、アイバーの両側から取り付け、高力ボルトで締め付けセットする。2対の締付金具は、PC鋼棒で連結し、更に、センターホールジャッキをセットし、PC鋼棒を緊張できる構造とした。又、アイバーの座屈防止の為、締付金具間に座屈止め金具を取り付けた。短縮試験は、アイバーのケレン、締付金具の取り付け、PC鋼棒及びセンターホールジャッキのセット、座屈止め金具の取り付け、バーナーによるアイバーの加熱の順序で実施した。加熱用バーナーの詳細は、図-2のとおりであり、アイバーを両側から、同時に加熱できる構造とした。加熱幅(赤熱部)は50mmとし、バーナー火口とアイバーとの離隔は25mmとした。なお、試験用アイバーは、山陰本線第一大堰川橋りょうの発生材(127.5mm×25.4mm×5m)4本を使用した。

短縮試験は、PC鋼棒に加熱途中で緊張力を導入する強制短縮と、PC鋼棒に加熱途中で緊張力を導入しない自然短縮の2とおりを計画したが、1回目の強制短縮で、アイバーが座屈変形し、実施工における安全性が懸念された為、自然短縮を主体に試験した。又、最高加熱温度は、950℃と1000℃の2とおりを計画したが、1000℃の試験ではアイバーに溶融の徴候が見られた為、950℃を主体に試験した。

4. 短縮試験の結果

短縮試験は、PC鋼棒に加熱途中で緊張力を導入する強制短縮と、PC鋼棒に加熱途中で緊張力を導入しない自然短縮の2とおりを計画したが、1回目の強制短縮で、アイバーが座屈変形し、実施工における安全性が懸念された為、自然短縮を主体に試験した。又、最高加熱温度は、950℃と1000℃の2とおりを計画したが、1000℃の試験ではアイバーに溶融の徴候が見られた為、950℃を主体に試験した。

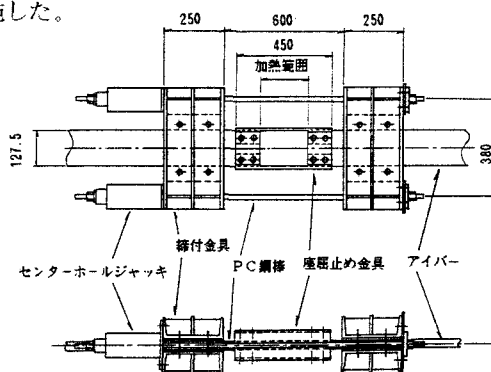


図-1. 短縮装置詳細図

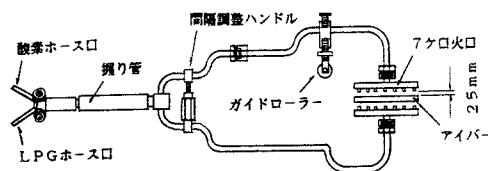


図-2. 加熱用バーナー詳細図

(1). 導入力と短縮量の関係

自然短縮においては、事前に短縮装置に加える導入力が、短縮量に影響すると考えられた為、P C鋼棒に加える緊張力を変化させ実施した。結果表-1のとおりであり、導入力が0tonの場合、短縮量は0.25~0.5mm となった。10ton（最高温度950℃）の場合は、1.0~2.5mm で、その平均値は1.83mmであった。20ton の場合は、4.0mm となり、30ton の場合は、3.5mm であった。なお、強制短縮は、加熱途中で、15ton を導入した時点で、アイバーが座屈変形し、その短縮量は5.5mm

試験番号	短縮方法	導入力 (ton)	最高温度 (°C)	最高温度到達時間 (分-秒)	300°C到達時間 (分-秒)	短縮量 (mm)	変形量 (mm)			
							面外はらみ出し		面内たわみ	
							前	後	前	後
1	強制	15	1026	3-30	-----	5.5	0	9.2	0	3.8
2	自然	10	1015	4-00	-----	3.0	0	1.6	0	0
3	自然	10	953	3-00	11-00	1.0	0	0	0	0
4	自然	10	950	3-30	12-43	2.5	0	0	0	0
5	自然	10	963	4-10	13-30	2.5	0	0	0	0
6	自然	10	962	3-20	12-30	1.5	0	1.2	0	0
7	自然	10	947	3-00	10-35	2.0	0	1.5	0	0
8	自然	10	953	3-00	11-00	1.5	0	1.5	0	0
9	自然	0	954	4-10	13-30	0.25	-----	-----	-----	-----
10	自然	0	968	3-20	12-00	0.5	0	0	0	0
11	自然	20	950	5-50	17-45	4.0	0	1.45	0	0
12	自然	30	956	3-10	12-30	3.5	2.4	3.0	0	0

表-1. 短縮試験結果

であった。加熱途中におけるアイバーの伸縮挙動を確認する為、締付金具間に変位計をセットし、伸縮量の変化を測定した。その結果、アイバーの上側は、加熱開始と同時に短縮を始めるが、下側は、加熱開始時は膨脹傾向を示し、次に短縮傾向を示した。これは、アイバー及び短縮装置の自重によるものと思われる。測定結果の傾向としては、950℃到達前に大きな短縮傾向を示し、その後は一定し、水冷時に再び短縮傾向を示した。この場合、前者が後者よりも大であった。

(2). 最高温度までの加熱時間

最高温度を950℃とした試験では、950℃までの到達時間は、3分~4分10秒となり、平均3分20秒であった。又、加熱開始から、水冷開始温度300℃に達するまでの平均時間は12分42秒であった。なお、アイバーを自然冷却した場合は、加熱後、35~40℃に達するまでに約70分を要したが、水冷冷却の場合は、約18分であった。加熱によるアイバー周辺部の温度も調査したが、加熱部が950℃に達した時の加熱中心より10cm、20cm、30cm離れた位置における最大温度は、それぞれ275℃・123℃・75℃であった。

(3). 加熱によるアイバーの変形及び材質変化

加熱による材質変化を確認する為、引張試験（JIS Z 3121）、曲げ試験（JIS Z 2204）シャルピー衝撃試験（JIS Z 2202）及び硬さ試験を実施した。結果は表-2のとおりであり、加熱部の降伏点強度は28.7kg/mm²で、非加熱部に比べ、14%増となり、引張強度は47.7kg/mm²で同様に6.5%増となった。引張試験の破断は、加熱部をはずれた非加熱部で生じ、加熱部が弱点とはなっていない。

試験項目		加熱部	非加熱部
引張試験	降伏点強度(kg/mm ²)	28.7	25.2
	引張強度(kg/mm ²)	47.4	44.5
	伸び(%)	標点外破断	48.3
曲げ試験		異常なし	異常なし
シャルピー衝撃試験(kg-m)		1.1	0.9

表-2. 材質試験結果

曲げ試験においては、わん曲部の外側のさげきずなどの欠点は生じなかった。シャルピー衝撃試験では、加熱部が非加熱部より増加した結果となったが、0.9~1.1kg・mと小さな値であり、衝撃に対して弱い材料であることが確認された。硬さは、ビッカース硬さ試験により調査したが、加熱部と非加熱部の硬さの差は、HV=15~20となり、加熱により10~15%、強度が増加した結果となった。

加熱によるアイバーの変形は、表-1のとおりであり、短縮装置間における変形は、面外はらみ出し・面内たわみともわずかであった。試験終了後、アイバーを撤去したところ、ピン間隔4740mmに対し、11mmの変形（反り）が生じていた。1アイバーで4回の加熱短縮を実施したので、1回あたり2.75mm程度と推定される。実施工では、短縮装置やアイバーの自重軽減の為、短縮装置を垂直材から吊って施工する必要がある。

5. まとめ

自然短縮（初期導入力10ton）によれば、短縮作業1回あたり、約2mmの短縮量が得られることがわかった。強制短縮では、アイバーが座屈することも確認された。又、加熱短縮がアイバー変形や材質変化に及ぼす影響はわずかであり、実橋施工可能なことが確認できた。