

AFRP シート補強した鋼管橋脚模型の静的載荷実験

北海道旅客鉄道(株) 正員 渡部 弘信 室蘭工業大学 正員 岸 徳光
 北海道開発土木研究所 正員 池田 憲二 室蘭工業大学 正員 小室 雅人

1. はじめに

本研究では、鋼製橋脚の簡易かつ効率的な補強工法の開発を目的として、2方向アラミド繊維連続シート(以後、単に AFRP シート)を巻き付け接着した(以後、単にシート補強)鋼管橋脚模型を対象に静的載荷実験を実施し、耐荷力および変形性能向上効果について検討を行った。

2. 実験の概要

図1には本実験で使用した試験体の概要図を示す。試験体の鋼管部は、厚さ5.7mmの圧力配管用炭素鋼鋼管(JIS G 3454 STPG 370 90A)を旋盤により内外面を切削して製作した。試験体の基部は、剛体変形を極力防ぐために凸状の台座および肉厚9mmの鋼製リングをはめ込んで固定している。また、試験体の上端部には、鉛直荷重を載荷するために正方形板を取付けている。表1、表2には、それぞれ本実験で使用した鋼材、AFRPシートの1方向の材料特性を、表3には試験体名およびシート巻き付け高さ(以後、シート高さ)を一覧にして示している。なお、試験体名はシート高さ、載荷方法が容易に明らかになるように、第一項目はシート高さ、第二項目は載荷方法を示している。ここで、-mおよび-cはそれぞれ静的単調載荷実験(以後、単調載荷実験)、静的漸増繰り返し載荷実験(以後、繰り返し載荷実験)を意味する。なお、本実験ではシートの単位幅当りの耐力が鋼管の一軸降伏荷重の60%程度とするためにAFRPシートを3層巻き付けることとした。

図2には本実験で使用した静的載荷実験装置を示している。鉛直荷重は別途実施した基部加振実験における上載荷重と等しくするために、油圧サーボ試験機により11.8kNの軸力を載荷している。実験は水平変位制御方式により、1)単調載荷実験および2)繰り返し載荷実験の2種類を実施した。繰り返し載荷実験は、A0-m試験体から得られた降伏水平荷重 $H_y=5.25\text{kN}$ に相当する降伏水平変位 $d_{yE}=4.898\text{mm}$ を基準にして、各サイクルで水平変位を整数倍に漸増させることとした。

図3にはA0-c(無補強)およびA2-c($L_A=285\text{mm}$)試験体の繰り返し載荷実験終了時における基部近傍の局部座屈発生状況を示している。(a)図より、A0-c試験体は基部から20mm程度の高さにEFB(Elephant Foot Bulge)型の局部座屈が全周に渡り発生していることがわかる。一方、(b)図

3. 実験結果

図3にはA0-c(無補強)およびA2-c($L_A=285\text{mm}$)試験体の繰り返し載荷実験終了時における基部近傍の局部座屈発生状況を示している。(a)図より、A0-c試験体は基部から20mm程度の高さにEFB(Elephant Foot Bulge)型の局部座屈が全周に渡り発生していることがわかる。一方、(b)図

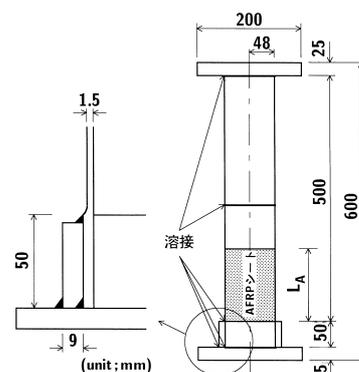


図1 試験体の概要図

表1 鋼材の材料特性

降伏応力 $s_y(\text{MPa})$	引張強さ $s_b(\text{MPa})$	弾性係数 $E_s(\text{GPa})$	ポアソン比 n_s	降伏歪 $e_s(\%)$
336	550	206	0.3	1633

表2 AFRPシート1方向の材料特性

引張強度 $S_A(\text{GPa})$	弾性係数 $E_A(\text{GPa})$	ポアソン比 n_s	厚さ (mm)	目付量 (g/m^2)	破断歪 $e_A(\%)$
2.48	126.5	0.4	0.04	57	19600

表3 試験体名およびシート巻き付け高さ一覧

試験体名	鋼管高さ $L(\text{mm})$	シート巻き付け高さ $L_A(\text{mm})$
A0-m, -c	500	0
A1-m, -c		125
A2-m, -c		285
A4-m, -c		500

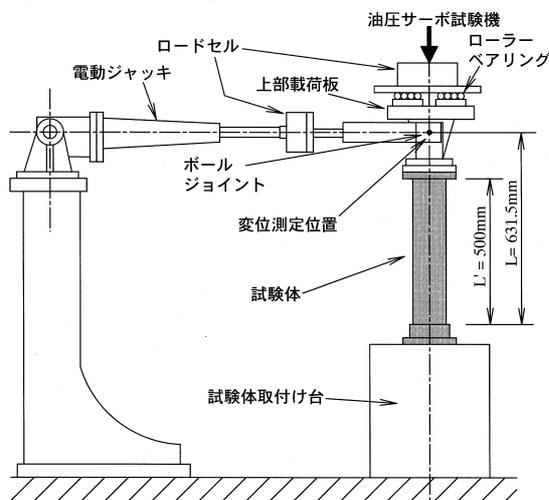


図2 静的載荷実験装置

キーワード：AFRPシート、鋼管橋脚、象の脚型座屈、ダイヤモンド座屈、塑性率

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 TEL0143-46-5226 FAX0143-46-5227

より、シート補強した A2-c 試験体は、基部から 50mm 程度の範囲内でダイヤモンド型の局部座屈が発生している。また、シート補強した A1, A4-c 試験体についても同様なダイヤモンド型の局部座屈が発生したことを確認している。これより、シート補強を施すことによって、面外方向に凸状となる EFB 型の局部座屈を抑制可能であるものと考えられる。

図 4 には繰り返し載荷実験における水平荷重 - 水平変位曲線の一例として、A0, A2-c 試験体を比較して示している。図の縦軸、横軸は、それぞれ降伏水平荷重 H_y および降伏水平変位 d_{yE} で無次元化している。図 5 には繰り返し載荷実験における水平荷重 - 水平変位曲線の包絡線を単調載荷実験結果と併せて示している。また、表 4 には、各試験体の最大耐荷力 H_m/H_y および塑性率 m を一覧にして示している。なお、図中の括弧内の値は同一載荷下での無補強試験体に対する比を示している。図 5 より、各試験体の初期勾配に着目すると、いずれの試験体もほぼ等しい値を示していることより、載荷方法、シート補強の有無およびシート巻き付け高さが試験体の初期剛性に与える影響は小さいことがわかる。

図 5 および表 4 において単調載荷実験結果に着目すると、A0-m 試験体では $H_m/H_y=1.5$ 程度に達した後、耐荷力は徐々に低下しているのに対し、シート補強した 3 試験体は、シート高さに関わらず $H_m/H_y=1.6$ 程度(A0-m 試験体の約 1.1 倍)を保ったまま変形が進行していることがわかる。また、塑性率 m は、A0-m 試験体 ($m=2.8$) に対して A1-m 試験体で 1.8 倍、A2, A4-m 試験体で 2.5 倍程度になっており、シート補強による塑性率の向上が伺える。

次に、繰り返し載荷実験結果に着目すると、A0-c 試験体は、2 サイクル目で $H_m/H_y=1.5$ を示した後に基部近傍に発生した局部座屈により耐荷力は低下している。一方、シート補強した 3 試験体の包絡線は、2 サイクル目から単調載荷時と同様 $H_m/H_y=1.6$ 程度を保ったまま変形が進行し、4 サイクル目まで最大耐荷力を保持していることがわかる。また、その分布特性はシート高さに関わらずほぼ同一である。これは、3 試験体とも 1) 基部近傍に発生した局部座屈により荷重が低下していること、2) その形状はダイヤモンド型であり、その発生位置がほぼ一致していることに起因するものと考えられる。また、塑性率に関してもシート高さに関わらず、3 試験体で A0-c 試験体 ($m=3.3$) の 1.3 倍程度向上している。これより、繰り返し載荷実験の場合には、シート高さに関わらず、最大耐荷力および塑性率はほぼ同程度を示すことが明らかになった。以上の結果より、載荷方法およびシート巻き付け高さに関わらず、シート補強を施すことによって無補強試験体と比較して最大耐荷力の増加率を 1.1 倍に抑制し、変形性能のみを向上させることが可能であることが明らかとなった。

4. まとめ

AFRP シートの耐力が鋼管の一軸降伏荷重の 60% 程度補強した試験体は、1) 面外方向に凸状となる EFB 型の局部座屈を抑制することができる 2) 無補強試験体と比較して最大耐荷力の増加率を 1.1 倍程度に抑制し、変形性能のみを向上させることが明らかになった。

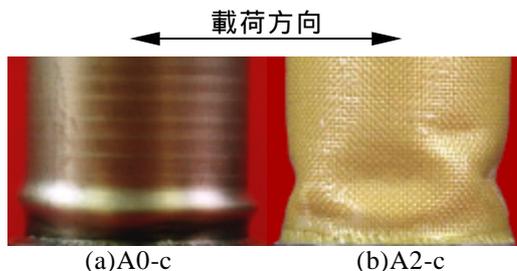


図 3 局部座屈発生状況

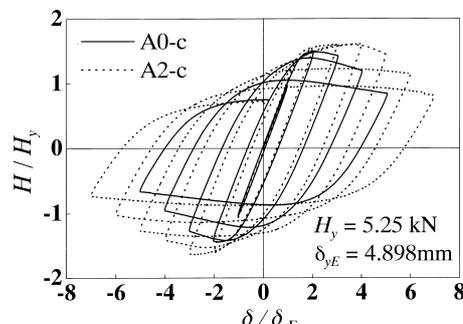


図 4 水平荷重 - 水平変位曲線

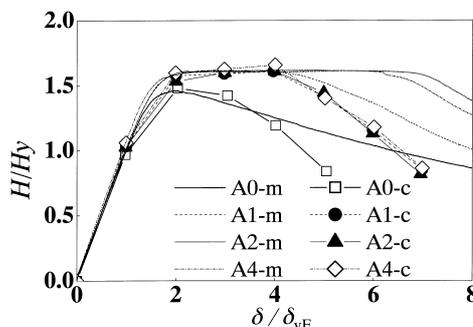


図 5 包絡線(繰り返し載荷実験)

表 4 最大耐荷力および塑性率一覧

試験体名	最大耐荷力 H_m/H_y	d_u^*	塑性率 $m(d_u/d_{yE})$
A0-m	1.46 (1.00)	13.7	2.80 (1.00)
A0-c	1.50 (1.00)	16.1	3.29 (1.00)
A1-m	1.62 (1.11)	23.7	4.84 (1.73)
A1-c	1.61 (1.07)	21.6	4.40 (1.34)
A2-m	1.62 (1.11)	35.6	7.26 (2.59)
A2-c	1.61 (1.07)	22.0	4.48 (1.36)
A4-m	1.57 (1.08)	33.0	6.73 (2.40)
A4-c	1.66 (1.11)	21.2	4.34 (1.32)

*水平荷重が最大値到達後、その 95% まで低下した時点での変位