

AFRP シート巻き付けによる鋼管橋脚模型の耐震補強に関する一検討

室蘭工業大学
三井住友建設(株)
Univ. of Hawaii

正会員 ○小室 雅人
フェロー 三上 浩
W. F. Chen

室蘭工業大学
土木研究所寒地土木研究所

フェロー 岸 徳光
正会員 西 弘明

1. はじめに

本研究では、円形鋼製橋脚に対する AFRP シート巻き付け接着工法の耐震性能におよぼす試験体寸法や鋼材の材料特性の影響について、既往の研究成果を用いて実験的に検討を行った。なお、ここでは、既往の研究成果^{1)~3)}を踏まえ、特に基部近傍に発生する局部座屈がシートの拘束効果によって内側に入り込む DP 型座屈となった試験体を対象に検討を行うこととした。

2. 実験概要

図1および表1には、本論文で使用する試験体の形状寸法、鋼種および各パラメータを示している。各試験体には、終局時に基部近傍に発生する外側に凸状となる局部座屈を抑制するために、図1に示すように2方向 AFRP シートを鋼管外面に所定の層数を巻き付け接着している。図2には、各試験体の真応力-真ひずみ関係を示している。図より、小型試験体の場合(STPG370材)には、明確な降伏棚があることが分かる。

表2には、試験体名および実験条件を一覧にして示している。試験体名の第1項は試験体寸法(S:小型, M:中型, L:大型試験体)とシート補強の有無(N:無補強, A:シート補強)、第2項は荷重方法(m:静的単調荷重実験, c:静的漸増繰り返し荷重実験)を意味している。なお、各試験体のシート補強割合 ρ (単位幅あたりの鋼材の一軸降伏耐力に対するシートの引張耐力の比)は、それぞれ $\rho = 0.59, 0.96, 1.08$ となっている。

実験は、所定の軸力を荷重後、1)一方向に変位を単調増加させる(以後、単調荷重)実験、および2)1サイクルごとの漸増変動変位による繰り返し荷重(以後、繰り返し荷重)実験の2種類を実施した。なお、実験装置等の詳細に関しては、文献1)~3)に譲ることとする。

表1 試験体の鋼種および各パラメータ

試験体名	鋼種	降伏応力 f_y (MPa)	荷重点高さ L (mm)	細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ ^{*2}	径厚比パラメータ R_t ^{*3}
S	STPG370	336	631.5	0.478	0.086
M	STK400	378	1,405	0.415	0.090
L	SKK400	380	4,150	0.546	0.075

^{*1} 試験体基部から荷重作用位置までの高さ。

^{*2} $\bar{\lambda} = \frac{2L}{\pi r} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$, ^{*3} $R_t = \frac{R}{t_s} \sqrt{\frac{f_y}{E_s} \sqrt{3(1-\nu_s^2)}}$

3. 実験結果および考察

写真1には、実験終了後における基部近傍の局部座屈発生状況の一例として、繰り返し荷重実験の場合を示している。無補強試験体(nN-c)の場合には、いずれも全周にわたり EFB 型の局部座屈が発生している。またその位置は基部より $0.18 \sim 0.2\phi$ (ϕ : 外径) 程度である。

一方、シート補強した試験体(nA-c)は、いずれも内側に入り込む DP 型の局部座屈となっており、シートの拘束効果によって EFB 型の局部座屈を抑制していることが確認される。また、局部座屈の発生位置は、基部より $0.25 \sim 0.3\phi$ 付近となっており、無補強試験体と比較して高いことが分かる。

図3には、単調および繰り返し荷重実験結果から得られる

無次元水平荷重-無次元水平変位曲線あるいはその包絡線を示している。図の縦軸および横軸はそれぞれ降伏水平荷重 H_y および実験降伏水平

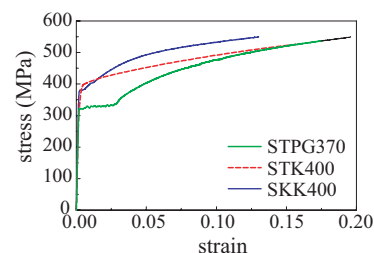


図2 真応力-真ひずみ関係

表2 試験体名および実験条件一覧

試験体名	シート補強割合 ρ ^{*1}	軸力 P (kN)	軸力比 P/P_y (%)	降伏水平荷重 H_y (kN)	実験降伏水平変位 δ_{yE} (mm)
SN/A-m, c	0 / 0.59	11.8	7.8	5.25	4.898
MN/A-m, c	0 / 0.96	124	9.1	56.5	11.4
LN/A-m, c	0 / 1.08 ^{*2}	833	9.9	239.8	56.8

^{*1} n/m : n ; 無補強(N)試験体, m ; シート補強(A)試験体

^{*2} 基部から高さ 50 cm 領域における補強割合。

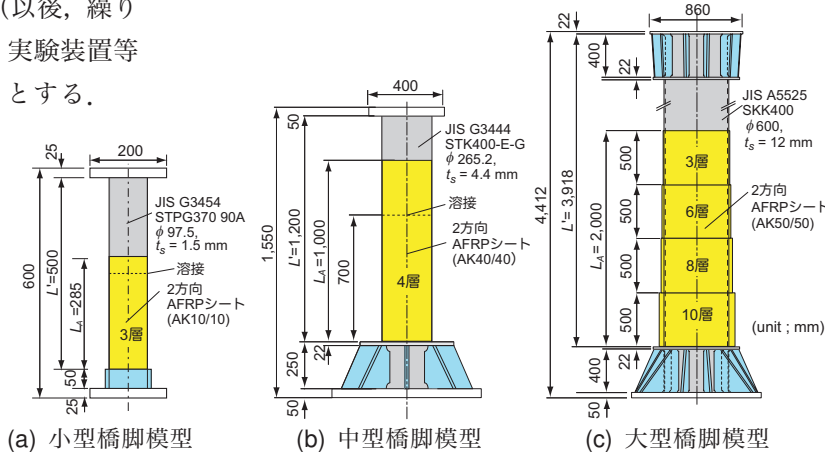


図1 試験体の形状寸法

キーワード: 鋼製橋脚, 耐震補強, AFRP シート, 静荷重実験

連絡先: 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5228 FAX 0143-46-5227

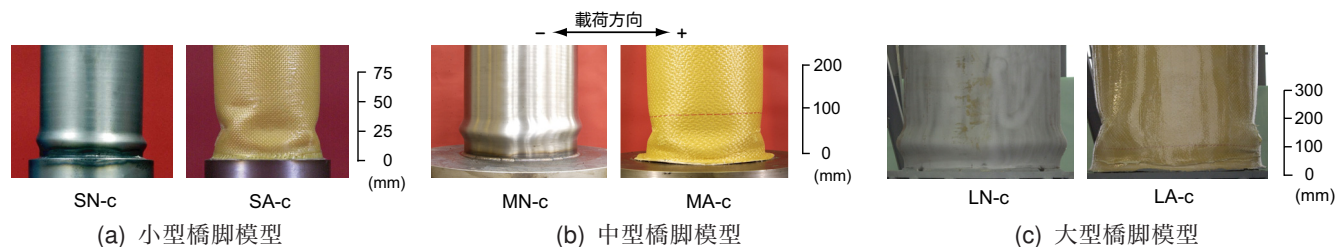


写真1 実験終了後の局部座屈発生状況（繰り返し載荷実験）

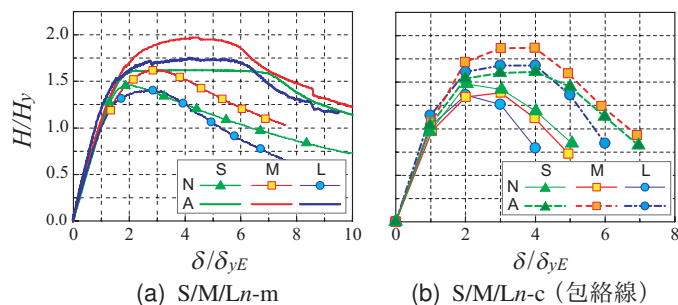


図3 水平荷重-水平変位関係

変位 δ_{yE} で無次元化している。

図3(a)より、単調載荷に着目すると、無補強試験体の場合には $H/H_y \leq 1$ までほぼ線形的に荷重が増大し、その後緩やかに剛性が低下し、小型試験体 (SN-m) では $\delta/\delta_{yE} \simeq 2$ 、中型および大型試験体 (MN/LN-m) では $\delta/\delta_{yE} \simeq 3$ で最大荷重値を示していることが分かる。その後、基部近傍に EFB 型の局部座屈が発生し、その成長とともに終局に至っている。なお、小型試験体と他の2試験体における最大荷重時変位の差は、降伏棚の有無による影響と考えられる。

一方、シート補強試験体の場合には、いずれも $H/H_y > 1$ においてもほぼ線形的に荷重が増加し、無補強試験体の最大荷重値付近から緩やかに剛性が低減しながら、最大荷重値に到達している。これは、試験体に2方向シートを巻き付けることにより、1) 軸方向による補強効果が発揮され、試験体の曲げ耐力が向上したこと、および2) 周方向の拘束効果によって EFB 型の局部座屈の発生を抑制したこと、の2つの要因によるものと考えられる。

また、図3(b)に示す包絡線より、無補強試験体の小型/大型試験体 (SN/LN-c) では $\delta/\delta_{yE} = 2$ 、中型試験体 (MN-c) では $\delta/\delta_{yE} = 3$ で最大荷重を示している。一方、シート補強試験体 (SA/MA/LA-c) では、いずれの場合においても $\delta/\delta_{yE} = 4$ で最大荷重を示しており、変形性能が向上していることが分かる。

表3には、各試験体における単調および繰り返し載荷実験結果から得られる無次元最大荷重および塑性率を一覧にして示している。なお、表中の括弧内の数値は、無補強試験体 (nN-m/c) の値に対する割合を示している。

表3より、最大荷重の増加割合に着目すると、試験体寸法や載荷方法によって多少のばらつきは見られるも

表3 無次元最大荷重 H_m/H_y および塑性率 μ_{95}

試験体名	最大荷重 H_m (kN)	無次元最大荷重 H_m/H_y	δ_{95}^{*1} (mm)	塑性率 μ_{95} ($=\delta_{95}/\delta_{yE}$)
SN-m	7.69	1.46 (1.00)*2	13.7	2.80 (1.00)
SA-m	8.51	1.62 (1.11)	35.6	7.26 (2.59)
MN-m	91.8	1.62 (1.00)	43.8	3.86 (1.00)
MA-m	111.5	1.97 (1.21)	67.3	5.93 (1.54)
LN-m	339.3	1.42 (1.00)	198.8	3.39 (1.00)
LA-m	421.5	1.76 (1.24)	361.2	6.16 (1.82)
SN-c	7.87	1.50 (1.00)	14.9	3.04 (1.00)
SA-c	8.47	1.63 (1.09)	22.0	4.48 (1.47)
MN-c	81.3	1.44 (1.00)	35.2	3.10 (1.00)
MA-c	108.8	1.92 (1.34)	46.9	4.12 (1.33)
LN-c	334.2	1.39 (1.00)	139.1	2.37 (1.00)
LA-c	414.6	1.73 (1.24)	241.2	4.12 (1.74)

*1 最大荷重 H_m から $0.95H_m$ まで低下した時点の変位

*2 () 内の値は無補強試験体 (S/M/LN-m, c) に対する割合

の、シート補強による最大荷重の増加割合は 1.1~1.3 倍程度となっていることが分かる。

一方、塑性率 μ_{95} の増加割合については、試験体寸法や載荷方法によって大きく異なることが分かる。しかしながら、地震時に重要と考えられる繰り返し載荷実験結果を見ると、最低でも約 1.3 倍となっており、シート補強によって変形性能は大きく向上することが分かる。

4. まとめ

- 1) 試験体寸法や鋼材の材料特性にかかわらず、適切なシート量を巻き付けることによって、基部近傍に発生する局部座屈を外側に凸状となる象の脚型座屈から内側に入り込むような DP 型の座屈形態に移行させることができる。
- 2) また、シート補強による最大荷重の増加割合は、最大 30 % 程度であるのに対し、変形性能は最低でも 30 % 程度向上することが明らかになった。

参考文献

- 1) 池田憲二, 岸 徳光, 小室雅人, 三上 浩: AFRP シート補強鋼管橋脚模型の静的載荷実験, 日本鋼構造協会, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 9, pp. 513-520, 2001.11.
- 2) 小室雅人, 岸 徳光, 三上 浩, 池田憲二: AFRP シートを巻き付け補強した鋼管橋脚模型の耐荷性状に関する静載荷実験, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.1387-1398, 2004.3.
- 3) 小室雅人, 岸 徳光, 三上 浩, 西 弘明: AFRP シート巻き付けによる実規模鋼管橋脚の耐震補強に関する静載荷実験, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.1327-1336, 2006.3.