

応力－ひずみ関係の異なる鋼材を用いた AFRP シート補強鋼管橋脚模型の静載荷実験

(株) 構研エンジニアリング 正 員 ○保木 和弘 室蘭工業大学 正 員 小室 雅人
室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 三井住友建設(株) フェロー 三上 浩

1. はじめに

本研究では、応力－ひずみ関係の異なる 3 種類の鋼材を対象に AFRP シートを巻き付けた小型鋼管橋脚模型を製作し、鋼材が異なる場合の鋼管橋脚模型に対する AFRP シート補強効果や耐震性能向上効果の把握を目的として、静載荷実験を実施した。

2. 実験概要

本研究では、圧力配管用炭素鋼鋼管（STPG370）、一般構造用炭素鋼鋼管（STK400）、配管用炭素鋼鋼管（SGP）の 3 種類の鋼材を使用した形状寸法がほぼ同一である試験体を製作し、使用鋼材が異なる場合における AFRP シートの補強効果に関する静載荷実験を実施した。ここでは、シート補強試験体として、全ての試験体に対して目付量 180 g/m² の 2 方向 AFRP シートを基部から高さ 285 mm の範囲に 2 層巻き付け接着している。図 1 には、試験体の形状寸法および本実験で用いた静的載荷実験装置を示している。試験体は板厚 $t_s = 1.5$ mm、鋼管高さ $L_s = 500$ mm、板厚中心半径 $R \simeq 48$ mm である。表 1 には試験体名、シート補強量および鋼材の一軸降伏耐力に対する AFRP シートの引張耐力の比で定義される補強割合 ρ の関係を一覧にして示している。試験体名は第一項目に使用鋼材（G、K、P はそれぞれ STPG370、STK400、SGP 材）、第二項目にシート層数、第三項目には載荷方法（m、c は、それぞれ単調載荷実験、繰り返し載荷実験）を示している。表 2 および表 3 には使用鋼材および AFRP シートの力学的特性値を一覧にして示している。

実験は、軸力として鉛直荷重を油圧サーボ式試験機によって 11.8 kN で載荷し、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 種類の載荷方法で行った。繰り返し載荷実験は、各鋼種における無補強試験体の単調載荷実験（G/K/P-L0-m）から得られた降伏水平荷重 H_y に相当する実験降伏水平変位 δ_{yE} 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ている。

3. 実験結果

図 2 には、静的単調載荷実験終了時における各試験体の局部座屈発生状況を示している。図より、無補強試験体

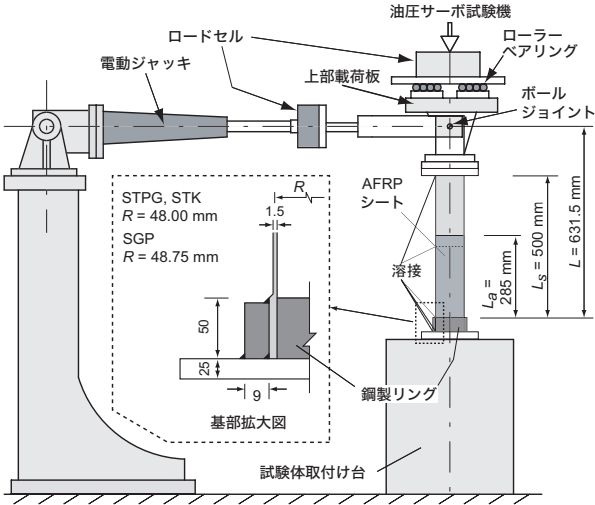


図 1 試験体および実験装置の概要

表 1 試験体名および補強量一覧

試験体名	鋼種	シート層数 L_n	シート高さ L_a (mm)	補強割合* ρ
G-L0/L2-m, c	STPG370	0 / 2	- / 285	0 / 0.39
K-L0/L2-m, c	STK400	0 / 2	- / 285	0 / 0.35
P-L0/L2-m, c	SGP	0 / 2	- / 285	0 / 0.61

* $\rho = \sigma_a \cdot t_a / \sigma_y \cdot t_s$

表 2 鋼材の力学的特性

鋼種	降伏応力 σ_y (MPa)	引張強度 σ_u (MPa)	ポアソン比 ν_s	弾性係数 E_s (GPa)	降伏棚
STPG370	336	550	0.3	206	有
STK400	382	487			無
SGP	218	450			無

* 降伏応力は 0.2 % 耐力から算出

表 3 AFRP シート 1 方向の力学的特性

目付量 (g/m ²)	厚さ t_a (mm)	引張強度 σ_a (MPa)	弾性係数 E_a (GPa)	ポアソン比 ν_a	破断ひずみ ε_a (%)
180	0.04	2,060	118	0.4	1.75

* 目付量は 2 方向の場合の値

である G/K/P-L0-m 試験体に着目すると、いずれの試験体においても圧縮側の基部近傍に外側に凸状となる EFB 型の局部座屈が発生している。なお、繰り返し載荷実験においても同様に全周にわたる EFB 型の局部座屈が発生した。次に、シート補強試験体に着目すると、補強割合が $\rho \simeq 0.4$ 程度である G/K-L2-m 試験体の場合には、AFRP シートが面外変形となる EFB 型の局部座屈を抑制できずにシートが軸方向に破断している。一方、補強割合が $\rho \simeq 0.6$ である P-L2-m 試験体の場合には、EFB 型の局部座屈

キーワード：AFRP シート，鋼管橋脚，静載荷実験，局部座屈，靱性能，鋼種

連絡先：〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1-1 (株)構研エンジニアリング TEL 011-780-2813 FAX 011-780-2832

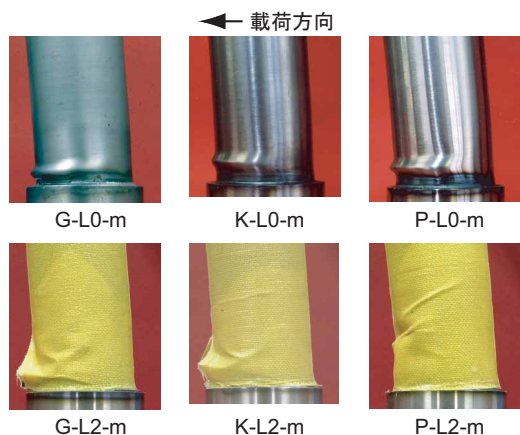


図2 局部座屈発生状況 (単調荷重実験)

の発生を抑制し、内側に入り込む DP 型の局部座屈に移行している。これは、補強割合 ρ が他の試験体に比較して大きく、シートの拘束効果が十分に発揮されたためと推察される。なお、既往の研究成果¹⁾より、補強割合を $\rho \approx 0.6$ 程度とすることで、外側に凸状となる局部座屈の発生を抑制し、内側に入り込む局部座屈に移行することが明らかとなっている。これより、本実験結果は既往の研究結果と同様な傾向にあることがわかる。なお、繰返し荷重実験の場合には、G/P-L2-c の 2 試験体で DP 型、K-L2-c 試験体で EFB 型の局部座屈が発生した。

以上より、既往の研究結果と同様に、適切なシート補強量を与えることによって、使用鋼材（降伏棚の有無）にかかわらず、シートの拘束効果によって基部近傍に発生する EFB 型の局部座屈を DP 型に移行させることが可能であることが明らかとなった。

図3には、単調荷重実験における荷重－変位関係を示している。図より、降伏棚の有する G 試験体に着目すると、無補強試験体 (G-L0-m) の場合には、 $\delta/\delta_{yE} \approx 2$ で最大耐荷力 $H_m/H_y \approx 1.46$ に到達し、その後、緩やかに荷重が低下しているのに対し、シート補強試験体 (G-L2-m) の場合には、荷重が $H/H_y = 1.55$ 程度の荷重レベルを持続したまま変形が進行し、 $\delta/\delta_{yE} \approx 5$ において急激に荷重が低下している。

一方、降伏棚の消失した K/P 試験体に着目すると、シート補強した K/P-L2-m 試験体の場合には、無補強試験体 (K/P-L0-m) と同様に最大耐荷力まで緩やかに上昇している。また、K-L2-m 試験体は $\delta/\delta_{yE} \approx 6$ で G-L2-m 試験体と同様に急激に荷重が低下しているのに対し、P-L2-m 試験体では他の 2 試験体とは異なり、最大耐荷力到達後、緩やかに荷重が低下している。なお、この急激な荷重の低下は、図2に示したように G/K-L2-m 試験体の場合には、曲げ圧縮側におけるシートが EFB 型の局部座屈を抑

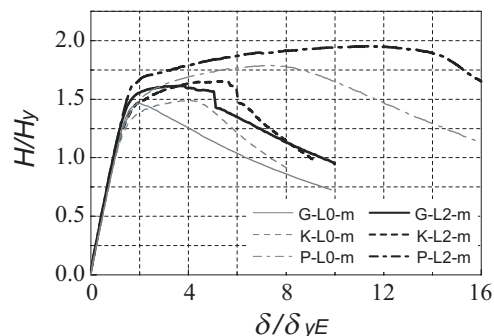


図3 荷重－変位関係 (単調荷重実験)

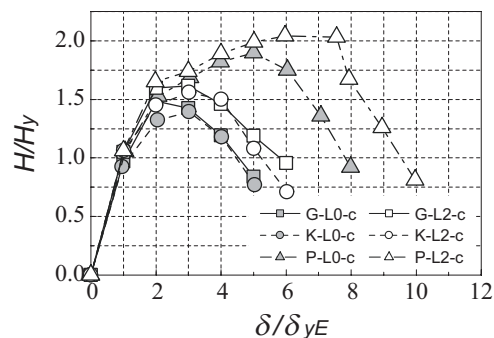


図4 包絡線分布 (繰返し荷重実験)

制できずに軸方向に破断したことに起因している。

図4には、繰返し荷重実験における包絡線分布を示している。図より、G/K-L2-c 試験体 (□, ○印) は、3 サイクル目で最大耐荷力 $H_m/H_y = 1.6$ 程度を示し、その後、基部近傍で発生した EFB 型の局部座屈によって耐力が徐々に減少している。一方、P-L2-c 試験体 (△印) の場合には、7 サイクル目に最大耐荷力 $H_m/H_y = 2$ 程度を示し、その後 8 サイクル目において DP 型の局部座屈が発生し耐力が急激に低下している。また、シート補強試験体と無補強試験体を比較すると、全てのシート補強試験体で H_m/H_y が無補強試験体の 1.1 倍程度増加し、変形性能も向上していることがわかる。

以上より、使用鋼材および荷重方法の差異にかかわらず AFRP シート補強することにより最大耐荷力は 1.1 倍程度増加し、変形性能は向上することが明らかとなった。

4. まとめ

- 1) 使用鋼材および荷重方法の差異にかかわらず AFRP シート補強することにより最大耐荷力は 1.1 倍程度増加し、変形性能は向上する。
- 2) 適切なシート補強量を与えることによって、使用鋼材にかかわらず基部近傍に発生する EFB 型の局部座屈を DP 型に移行させることができる。

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靱性能に及ぼす補強量の影響, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol. 58, pp. 304-307, 2002.1