

AFRP シート補強した鋼管橋脚模型の基部加振実験

北海道開発土木研究所 正 員 ○池田 憲二
三井建設(株)フェロー 三上 浩

室蘭工業大学 正 員 岸 徳光
室蘭工業大学 正 員 小室 雅人

1. はじめに

本研究では鋼管橋脚の耐震補強法の1つとしてFRPシート巻き付け工法に着目し、2方向アラミド繊維連続シート(以下、AFRPシート)を鋼管橋脚模型に巻き付け接着した試験体を対象に簡易振動台を用いた基部加振実験を実施した。ここでは、特にシート巻き付けの有無や巻き付け高さが耐震性能に及ぼす影響について検討を行っている。

2. 実験概要

2.1. 試験体

図-1に試験体の概要図を示している。試験体の形状寸法は鋼管高さ $L'=500\text{mm}$ 、板厚 $t=1.5\text{mm}$ 、板厚中心半径 $R=48\text{mm}$ である。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 STPG370 90A)を施盤により内外面を切削して製作した。試験体の基部は、剛体変形をできるだけ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溶接固定している。また、試験体の上下端部には、

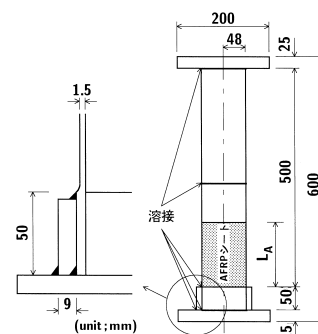


図-1 試験体の概要図

振動台および鉛塊を固定させるための鋼板を取付けている。鋼材の材料特性は、降伏応力 $s_y=336\text{MPa}$ 、引張強さ $s_u=550\text{MPa}$ 、弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $n=0.3$ 、降伏歪み $e=1633\text{m}$ である。表-1に本実験で使

表-1 AFRPシート1方向の材料特性(公称値)

引張強度 s_A (GPa)	弾性係数 E_A (GPa)	ポアソン比 n_A	厚さ (mm)	目付け量 (g/m^2)	破断歪み e_A (m)
2.48	126.51	0.4	0.04	57	19600

用したAFRPシートの1方向の材料特性を示している。AFRPシートは、全て1方向の繊維目付け量(単位面積当たりの連続繊維の質量)が $57\text{g}/\text{m}^2$ 、公称保証耐力が $100\text{kN}/\text{m}$ の2方向シートである。本実験ではシートの単位幅当た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周巻き付けることとした。

2.2. 実験装置および実験方法

図-2には簡易振動台を用いた実験装置の概要図を示している。簡易振動台は二本のリニアウェイ上に設置しており、ボールジョイントを介してアクチュエーターに接続されている。試験体上部には橋梁上部工の質量を模擬した全質量 1.2ton の鉛塊を設置している。実験は、試験体の最低次固有振動数 f_0 および減衰定数 h を求めた後、所定の入力加速度 a_i および加振振動数 f_i を設定してアクチュエーターにより振動を与えて行っている。すなわち、1)弾性状態から弾塑性状態までの鋼管橋脚の動的挙動を検討するために加振振動数 f_i

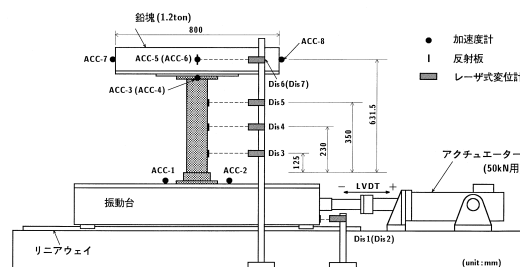


図-2 実験装置の概要図

表-2 実験条件一覧

試験体名	シート巻き付け高さ L_A (mm)	入力加速度 a_i (gal)
A0-I	0	125,250,375
A0-S	0	375
A1-I	125	125,250,375,500
A1-S	125	500
A2-I	285	125,250,375,500
A2-S	285	500
A4-I	500	125,250,375,500
A4-S	500	500

$=3.0\text{Hz}$ と固定し、初期入力加速度 a_{in} および増分加速度 Δa_{in} を 125gal と設定して、試験体が倒壊または傾斜に至るまで繰り返す加振実験(以下、繰り返し加振実験)、および2)繰り返し加振実験での最終入力加速度 a_{final} で単一加振する実験(以下、単一加振実験)の2種類について実施した。表-2には各試験体の名称、シート巻き付け高さおよび実験条件を示す。試験体名の第一項目はシート高さ、第二項目は加振方法を示している。ここで、-I、-Sはそれぞれ繰り返し加振実験、単一加振実験を意味する。なお、最低次固有振動数 f_0 はAFRPシート巻き付けの有無および巻き付け高さに関わらず $f_0=4.2\text{Hz}$ であった。

キーワード：鋼管橋脚，AFRPシート，基部加振，弾塑性応答，ダイヤモンド座屈

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸1-3 北海道開発土木研究所 TEL 011-820-2765 FAX 011-820-2714

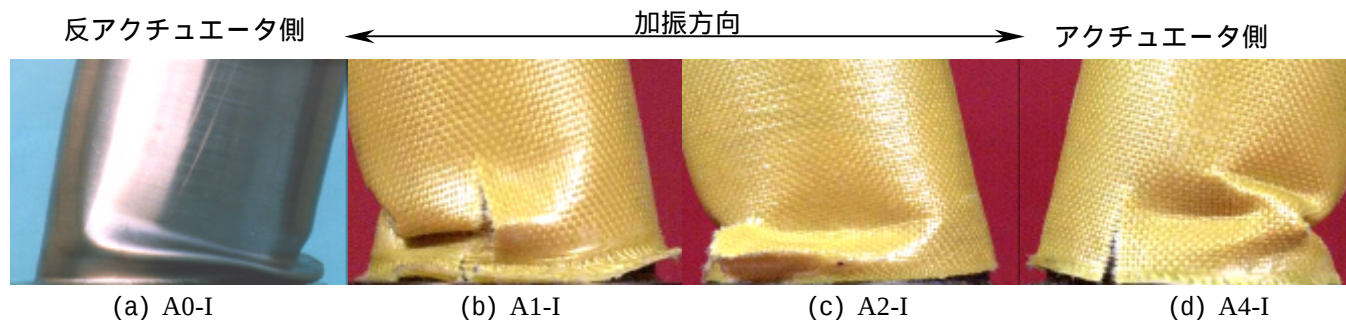


図 - 3 繰り返し加振実験終了後の基部近傍における局部座屈発生状況

3. 実験結果

図 - 3 には、繰り返し加振実験終了後の基部近傍における局部座屈発生状況を示している。(a)図より、シート補強無し試験体 A0-I の場合には、基部近傍で EFB(Elephant Foot Bulge)型の局部座屈が発生し、倒壊に至ったことがわかる。また、(b)～(d)図よりシート補強を施した試験体では、シート巻き付け高さに関わらず、いずれも基部からの高さ 30～40mm 程度の位置で試験体が内側に入り込むダイヤモンド型の局部座屈が発生し、シートが端部から引き剥がれている様子が伺える。これより、シート補強を施すことにより局部座屈は EFB 型からダイヤモンド型に移行することがわかる。

図 - 4 には、鉛塊重心位置における絶対応答加速度 a_r (以下、応答加速度)と相対応答変位 d_r (以下、応答変位)に関する履歴曲線の一例として A0, A1, A4-I 試験体に関する結果について示している。図より、入力加速度 $a_i=125, 250\text{gal}$ では、シート補強の有無に関わらず、いずれの試験体もほぼ線形な応答特性を呈していることより、弾性的な挙動を示していることがわかる。入力加速度 $a_i=375\text{gal}$ の場合、シート補強無し試験体 A0-I では、加振開始後間もなく履歴ループの中心が 1 方向に移動しながら振動し、倒壊に至ったことがわかる。

一方、シート補強を施した試験体 A1-I の場合では、試験体基部で内側に入り込む局部座屈が発生し、3mm 程度の残留変位が生じているものの、倒壊には至っていない。また、試験体 A4-I では、塑性化の進行を意味する履歴ループが形成されているものの、そのループ面積は試験体 A1-I よりも小さく、残留変位も生じていないことがわかる。その後、シート補強を施した試験体に関して、更に入力加速度を増加させ $a_i=500\text{gal}$ で加振実験を行った場合には、試験体 A1-I では加振開始後、履歴ループの中心が 1 方向に移動しながら振動し、倒壊に至った。また、その時の最大応答加速度は $a_r=375\text{gal}$ 時よりも減少している。これは $a_i=375\text{gal}$ 加振時に発生した基部近傍の局部座屈が免震装置的な働きをすることにより、加振エネルギーが試験体上方へ伝達されないためと考えられる。一方、試験体 A4-I では加振開始後、試験体の塑性化に伴う履歴ループ面積が増大し、入力加速度 $a_i=375\text{gal}$ 加振時と同程度の最大応答加速度を示した後に倒壊している。また、各試験体における倒壊時の履歴ループに着目すると、シート補強を施した試験体の場合には、シート補強無し試験体に比較して倒壊に至るまでの振動回数が多いことがわかる。これより、シート補強を施すことにより、試験体の倒壊を遅延させることが可能であり、耐震性が向上することが明らかになった。

4. まとめ

AFRP シート巻き付け補強を施すことにより、1) 倒壊時における局部座屈形状が EFB 型からダイヤモンド型に移行すること、2) 試験体の倒壊を遅延させることができることなどが明らかになった。これより、シート巻き付け補強を施すことにより効率的に鋼管橋脚の耐震性を向上させることが可能であるものと考えられる。

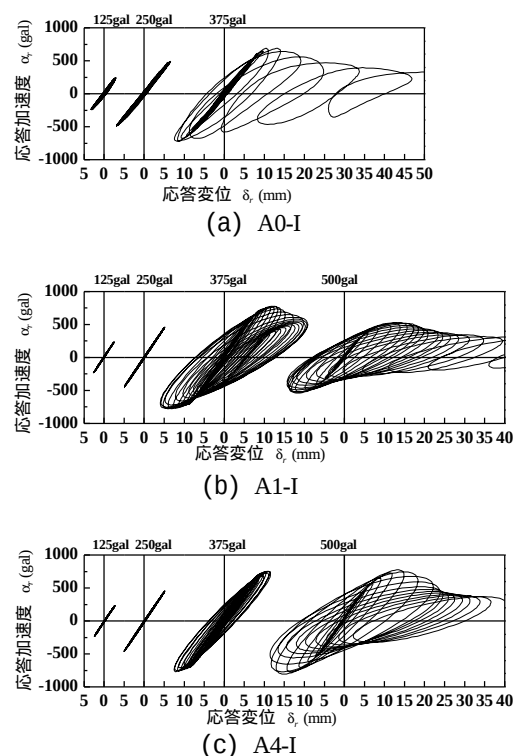


図 - 4 応答加速度 - 応答変位履歴曲