

V-559 アラミドテープを巻き付けた大型橋脚模型の水平交番加力実験

三井建設（株） 正 員 三上 浩
 北海道開発局 正 員 佐藤 昌志
 北海道開発局 正 員 谷本 俊充
 室蘭工業大学 正 員 岸 徳光

1. はじめに

本研究は、繊維材料のなかでも靱性に富み、しなやかさや引張強度に優れたアラミド繊維に着目して RC 橋脚の巻き付け補強材としての適用性を実験的に検討したものである。RC 橋脚の靱性能は軸方向鉄筋の段落しの有無、巻き付け補強の有無及び補強材料の種類などによって変化すると考えられるため、これらをパラメータとする橋脚模型を製作して水平交番載荷実験によって検討を行った。本実験での計測項目は荷重及び変位と柱基部の鉄筋の軸方向歪であり、検討は主として荷重－変位関係に着目して行った。

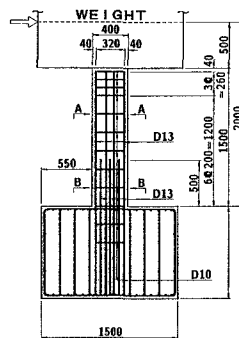
2. 実験概要

2.1. 試験体

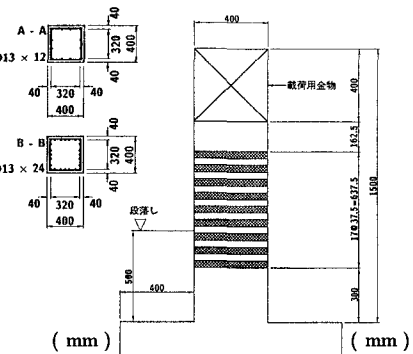
試験体の一覧を表－1 に示す。試験体の名称のうち、頭文字 N、A、C はそれぞれ無補強、アラミド補強、炭素補強を示し、- 以後の数字は段落しの状態を示している。段落しの靱性能に与える影響を比較検討するために、段落しなしの試験体も実験した。段落しを設けた試験体の軸方向鉄筋は、柱基部から柱高さの 1/3 以上の範囲で鉄筋量を半分に減少させた。図－1 に試験体の寸法及び配筋の例、図－2 に FRP テープの巻き付け状況を示す。なお、間隔を設けた巻き付け法は、ひびわれ調査などの維持管理を容易にするためである。巻き付けは主として段落し部分をせん断補強することを目的として、段落し部の高さ（ $h = 50 \text{ cm}$ ）の上方 1B（B：試験体の幅）及び下方 0.5B の範囲について行った。ただし、アラミドテープの巻き付けは 2 層、炭素テープは 4 層として体積補強割合を同程度（0.16～0.17%）とした。

表－1 試験体の一覧

試験体の名称	補強材料	段落し
N-0	無補強	無し
N-1/3		$h = H \times 1/3 = 50 \text{ cm}$ 以上
A-1/3	アラミド繊維	$h = H \times 1/3 = 50 \text{ cm}$ 以上
C-1/3	炭素繊維	$h = H \times 1/3 = 50 \text{ cm}$ 以上



図－1 試験体寸法及び配筋図



図－2 補強状況図

2.2. 実験方法

載荷荷重は圧縮・引張り両用の油圧ジャッキを用いて上部工の死荷重を模擬した重量 20 tf の鉛塊の高さ方向中心部に水平に加力している。載荷荷重はロードセルによって測定し、油圧ジャッキに対して反対側に設置した変位計によって、載荷点の水平変位及びフーチングの天端より 20、50、100 cm の位置で橋脚の水平変位を測定した。

実験では水平荷重を交番載荷しているが、初めに引張力を載荷していることによりこれを正載荷とし、圧縮力を負載荷とした。なお、軸方向鉄筋が降伏するまでは以下のように載荷を行った。最初の正載荷において引張側鉄筋の歪が 500μ になるまで載荷し、次に負載荷において反対側の鉄筋が 500μ になるまで載荷する。以後、この繰り返しを鉄筋歪が 1000μ 、 1300μ 、 1500μ の各レベルに対して行う。相対する鉄筋歪が 1500μ になった時点で軸方向鉄筋が降伏したものとみなし、正・負載荷を平均して降伏荷重（ P_y ）、降伏変位（ δ_y ）を決定した。このような載荷方法は、正・負載荷における変形状態をできるだけ同程度にするように配慮したためである。その後、 δ_y 、 $2\delta_y$ 、 $3\delta_y$ … の各変位段階に対して正負 5 回の交番載荷を行った。なお、載荷は荷重が P_y を下回る程度に減少するまで行った。

3. 実験結果及び考察

図－3～6に各試験体の荷重と載荷点の変位の関係を示す。図－3より、N-0試験体の P_y は正・負載荷時を平均すると7.5 tf程度であり、 δ_y は24 mm程度であることが分かる。荷重は2 δ_y で P_y の1.3倍程度を示した後、3 δ_y 、4 δ_y と繰返し載荷が進むにつれて低下し、4 δ_y の3回目正載荷時に基部コンクリートの圧縮破壊が顕著となり P_y を下回る荷重レベルになった。なお、最大変位（ δ_u ）は97 mm程度である。図－4にN-1/3無補強の試験体の荷重－変位関係を示す。 P_y は約7.0 tf、 δ_y は約22 mmであり、ほぼN-0と同程度であった。2 δ_y ではN-0と同様に荷重が増加しているが、その増加割合はN-0に比べて小さい。3 δ_y の一回目の正・負載荷における荷重は2 δ_y の一回目を若干下回る程度であったが、3 δ_y で繰返し載荷を行うにつれて荷重は大きく低下し、3 δ_y の4回目正載荷において段落し部のコンクリートが剥落し、鉄筋が座屈して P_y を下回る荷重レベルになった。 δ_u は66 mm程度であり、N-0の68%程度と小さくなっている。

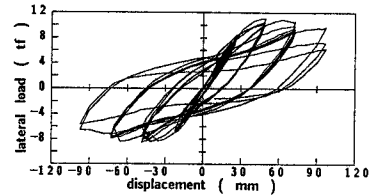
以上を要約すると、N-1/3はN-0に比べて最大耐力（ P_u ）は83%程度、最大変形量（ δ_u ）は68%程度であり、N-0が4 δ_y の3回目で耐力を失ったのに対して3 δ_y で耐力を失うなど、段落しのない試験体に比べて靱性能が明らかに低いことが分かる。

図－5にA-1/3試験体の荷重－変位関係を示す。 P_y 、 δ_y は各々7.6 tf、19 mm程度であり、N-1/3と比べて P_y は10%程度増加し、 δ_y は15%程度減少している。2 δ_y で荷重は増加し最大となっているが、荷重の増加量はN-1/3よりも少なく0.4 tf程度であった。その後、載荷振幅の増加にともない荷重は徐々に低下するが、一方で変形は増大して5 δ_y の4回目正載荷で段落し部のテープ間のコンクリートが剥落し、鉄筋が座屈して P_y を下回る荷重レベルとなった。終局時の変形量（ δ_u ）はN-1/3の1.37倍程度である。なお、終局状態でもアラミドテープに損傷はみられない。図－6にC-1/3試験体の荷重－変位関係を示す。 P_y は約7.3 tf、 δ_y は17.4 mmであり、A-1/3とほぼ同程度であった。2 δ_y で最大耐力を示したが、 P_u と P_y の差はA-1/3よりも大きく約1.2 tfであった。A-1/3と異なり、載荷振幅が大きくなっても荷重レベルはほとんど低下せず、5 δ_y の5回目負載荷で段落し部の炭素テープのうち一段のコーナー部において部分的に亀裂が生じて急激に耐力の低下を示した。なお、最大変位量は90 mm程度でありA-1/3と同程度であった。

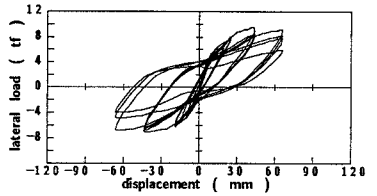
以上の結果から、FRPテープ巻き付けの効果を要約すると、 P_y 、 P_u は三者でほぼ同様であり、FRPテープの巻き付けによる段落とし部の曲げ耐力の増加はみられない。しかし、 δ_y は無補強に比べて80～84%程度と小さくなっている。これは、巻き付けによって剛性が若干増加したためと考えられる。 δ_u は、無補強に比べてFRP補強の方が40%程度大きくなり、FRP補強によって変形性能が大幅に向上することが分かる。A-1/3とC-1/3を比較すると、載荷振幅や最大耐力はC-1/3の方が若干大きいものの大差はない。しかしながら、補強したテープの $E \times A$ （ E ：弾性係数、 A ：巻き付けテープの断面積）や引張耐力はC-1/3の方がA-1/3の2倍程度大きいことより、アラミドテープは炭素テープよりも補強効率が低いものと考えられる。

4. まとめ

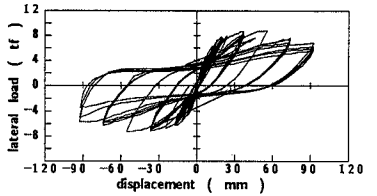
- (1) 段落しによって靱性能は大きく低下するため、十分に留意する必要がある。
- (2) 段落し部にFRPテープを巻き付けることで変形性能は増大し、靱性が大幅に向上する。
- (3) 炭素補強した場合には、コーナー部における破断による急激な破壊に留意する必要がある。



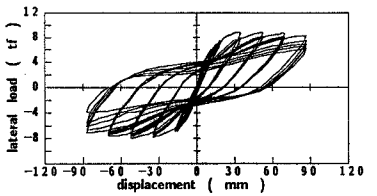
図－3 N-0の荷重－変位曲線



図－4 N-1/3の荷重－変位曲線



図－5 A-1/3の荷重－変位曲線



図－6 C-1/3の荷重－変位曲線