

I-1 アラミドテープ巻き付け補強柱の横衝撃載荷試験

室蘭工業大学 正員 岸 徳光
 開発土木研究所 正員 佐藤 昌志
 三井建設(株) 正員 三上 浩

1. はじめに

平成7年1月の阪神・淡路大地震により、多くの貴重な人命および社会資本が失われた。地震後短期間で多くの構造物の復旧がなされたものの現在まだ完全に復旧されていない構造物も多い。社会資本整備を代表するコンクリート製の橋脚の補強は現在までのところ、鉄板巻き立て工法、コンクリート巻き立て工法などが多く採用されてきた。しかし、これらの補強工法は① 橋脚の剛性が大きくなる。② 施工が複雑であり、工期が長くコストも比較的高い。③ メンテナンス及び維持管理が比較的難しい。などの欠点も指摘されている。

そこで、著者らは軽量、高強度かつ耐久性に優れる連続繊維製のテープ (FRP テープ) を巻き付けて補強する工法を提案し、その補強効果を実験的に検討している。本実験では特に FRP テープとして、高弾性伸び率を有し、かつしなやかで施工性に優れるアラミド繊維製のテープを巻き付け材料として検討した。

また、今回の大地震が衝撃的な波形性状を示したことから、衝撃的荷重作用下での補強効果を検討することとし、橋脚模型に横方向衝撃力を載荷した。なお、FRP テープの巻き付けは橋脚全面を巻き付けるのではなく、維持管理が容易なように適当な間隔で巻き付けた。補強の効果は橋脚の断面寸法比にも影響されると考えられるので、3種類の断面寸法比で補強効果を検討した。

2. 実験の概要

2.1 試験体

試験体は表-1 に示す7体である。特に1:1試験体ではFRPテープとして炭素繊維製のテープを用いてアラミドテープの補強効果と比較した。なお、試験体の寸法は荷重方向に対する断面2次モーメントがほぼ等しくなるように設定した。無補強の試験体は、静的荷重に対して曲げ破壊が先行する。断面分割法で求めた静的曲げ耐力を表中に示した。

表-1 試験体一覧

試験体の名称	補強材の種類	断面形状	断面寸法 (mm)	断面2次モーメント (cm ⁴)	鉄筋比 (%)	静的曲げ耐力 (tf)	載荷速度 (m/sec)
N-1:1	無補強						1,2,3
A-1:1	アラミド	1:1	400 × 400	213,333	1.90	7.4	1,2,3
C-1:1	カーボン						1,2,3
N-1:2	無補強	1:2	330 × 660	197,654	1.86	7.9	1,2,3
A-1:2	アラミド						1,2,3,3.5
N-2:1	無補強	2:1	480 × 240	221,184	1.98	8.1	1,2,3,4
A-2:1	アラミド						1,2,3,4

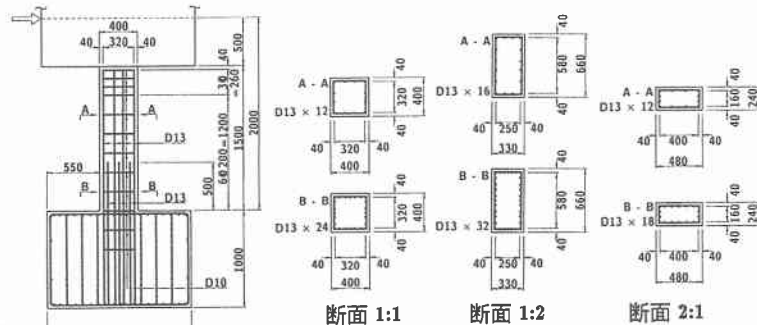


図-1 試験体の形状寸法および配筋

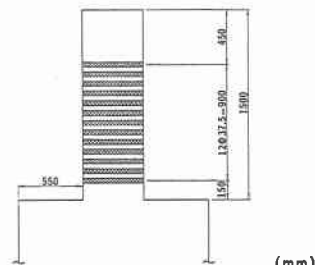


図-2 FRP テープの巻き付け位置

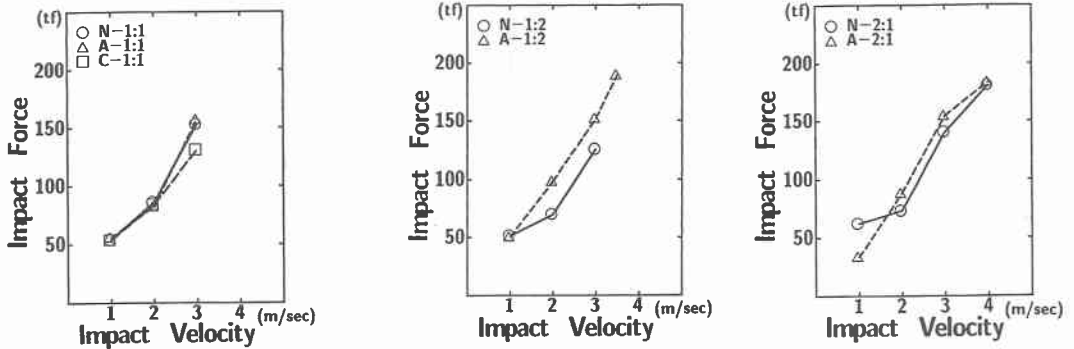


図-5 重りの衝撃力と載荷速度の関係

素補強の場合はほぼ線形的に載荷速度とともに両衝撃力が増大し、アラミド補強、無補強の場合は 1:2 と同様に双曲線的に衝撃力が増大している。2:1 では $V = 3 \text{ m/sec}$ 載荷までは双曲線的に衝撃力が増大したが、 $V = 4 \text{ m/sec}$ では増加が鈍くなっている。これは衝撃荷重載荷によってダメージが大きくなると重錘衝撃力やロードセル合力が低下することを示すものと考えられる。すなわち、1:1 の実験結果から双曲線的に両方の衝撃力が増大しかつ値の大きなアラミドテープの巻き付けが損傷が少ない点で最も効果的であることを示すものと考えられる。

図-5 に重りの重心に取り付けた加速度計の最大加速度に重りの質量 (20 tf) を乗じた衝撃力と載荷速度の関係を示す。1:1 試験体では、 $V = 3 \text{ m/sec}$ の炭素繊維補強で値が小さい他は同程度の大きさを示している。1:2 試験体では、 $V = 2 \sim 3 \text{ m/sec}$ 載荷でアラミド補強したものの方が大きい。また、2:1 試験体でも $V = 1 \text{ m/sec}$ 載荷を除いて、アラミド補強の方が大きな値を示している。なお、重りの衝撃力の大きさは、全ての試験体でほぼ重錘衝撃力に等しい値となっている。すなわち、重錘の振り子式載荷によって励起された重錘衝撃力 ($F = m_1 \alpha_1$) はほぼ等しい大きさとで 20 tf の重りに α_2 なる最大加速度を生じさせている。 $F = m_1 \alpha_1 = m_2 \alpha_2$ 、ここに m_1 : 重錘の質量 (5 tf)、 α_1 : 重錘の最大加速度、 m_2 : 重りの質量 (20 tf)、 α_2 : 重りの最大加速度である。従って、積層化したゴム等による重錘と重りの接触面におけるエネルギーの損失は本実験では無視できると思われる。

3.2 衝撃荷重と変位の関係

図-6 に、橋脚の天端に取り付けた加速度計の応答波形と最上段の変位計の応答変位波形の一例を示す。試験体の寸法比は 1:1 で、無補強とアラミド補強を行った試験体の $V = 2 \text{ m/sec}$ 載荷における波形を示した。なお、加速度波形には特に衝撃載荷直後において高周波成分が卓越するため、フィルターによって処理を行った。その結果、加速度波形と変位の応答波形の周期が良く対応していることが分かった。そこで、最大加速度に質量 20 tf を乗じた力を衝撃荷重として評価し、最大応答変位量との関係を図-7 に示した。

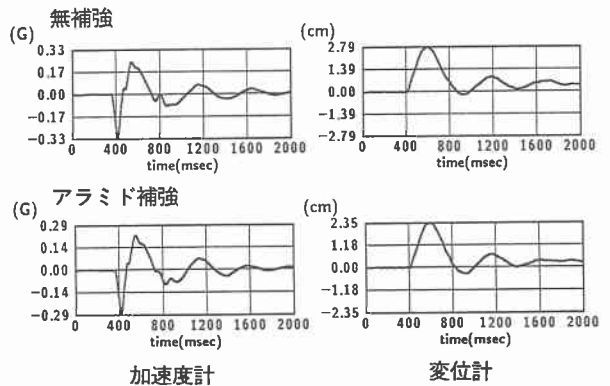


図-6 加速度応答と変位応答の例

1:1 試験体では、補強の有無や補強材の種類によらずほぼ同様な衝撃荷重 - 変位関係を示している。衝撃荷重は載荷速度が増加しても顕著には増加せず、一方で変位量の増加が顕著である。

1:2 試験体では、 $V = 3 \text{ m/sec}$ における衝撃荷重が補強の有無によらず 1:1 よりも大きい。特に、アラミド補強の場合の $V = 3.5 \text{ m/sec}$ 載荷では非常に大きな衝撃荷重となっている。

一方、2:1 試験体では $V = 3 \text{ m/sec}$ において無補強の衝撃荷重がアラミド補強よりも非常に大きく励起されている。

これは、2 : 1 試験体では無補強が段落とし部分のせん断破壊であったのに対し、アラミド補強では基部の曲げ破壊を示したことに関連するものと考えられる。

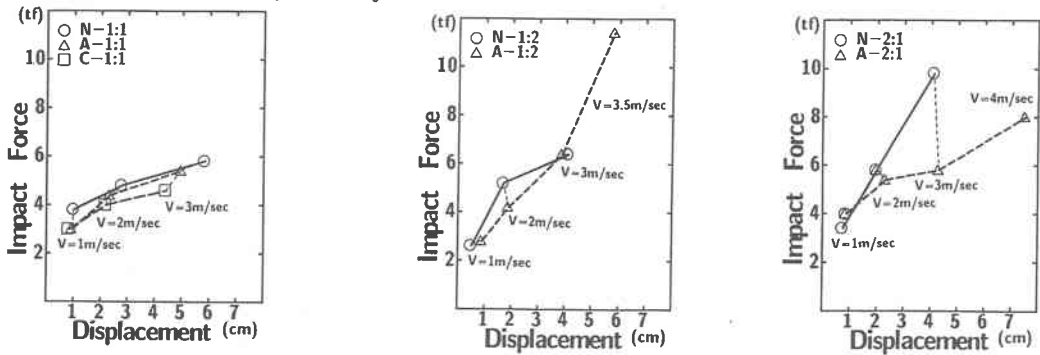


図-7 衝撃荷重と最大応答変位の関係

3.3 応答変位及び残留変位分布

図-8 (a) に 1 : 1 試験体の各載荷速度における応答変位分布 (最上段変位計が最大値を示した時間での他の測定点の変位) ならびに $V = 3 \text{ m/sec}$ 載荷後の残留変位分布を示す。段落とし部の上側の測点を除いて全般的に無補強、アラミド補強、炭素補強の順に応答変位量は小さくなっている。段落とし部の上側の測点では、無補強の次に炭素補強が

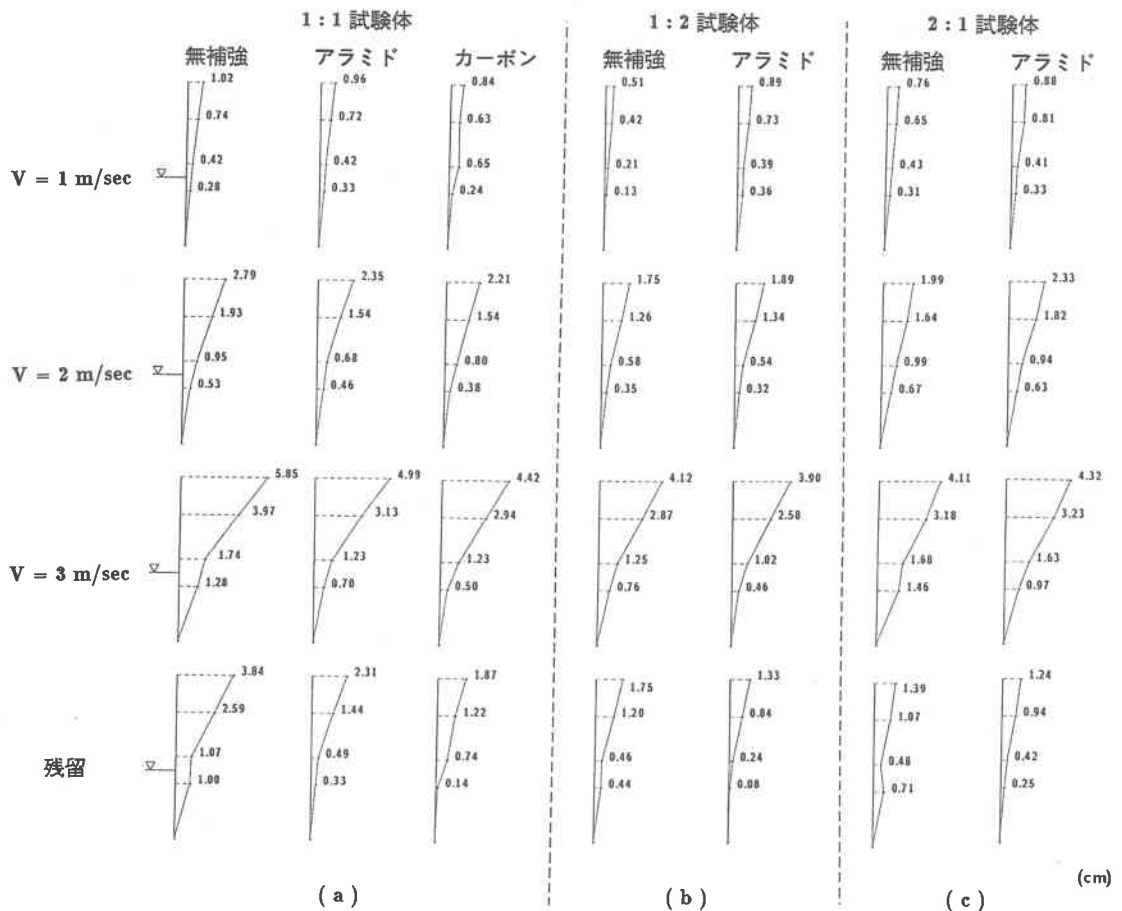


図-8 応答変位及び残留変位分布

大きく、アラミド補強が最も小さい応答変位及び残留変位を示している。残留変位分布の傾向から、無補強および炭素補強には段落とし部分に明確なせん断変形の存在が確認できる。一方、アラミド補強は段落とし部を境とした曲げ変形が主たる変形であると考えられる。巻き付け材の剛性や引張耐力を考えると、炭素繊維で補強した方が応答変位や残留変位を少なくするものと予想される。しかし、段落とし部分の補強の観点からは、せん断変形を抑制し、曲げ変形モードに改善させたアラミド補強の方がより有効な巻き付け材料であると考えられる。

図-8(b)に1:2試験体の応答変位分布および残留変位分布を示す。V = 1 m/sec 載荷ではアラミド補強の方が全測点で応答変位が大きく、これは試験体製作時の誤差によるものと思われる。V = 2 m/sec では段落とし部分周辺の変位はアラミド補強の方が小さく、それより上側では無補強の変位が小さい。V = 3 m/sec では、全ての測点でアラミド補強の方が応答変位及び残留変位が小さい。1:1の試験体と同様に残留変位分布を比較すると、無補強の試験体のせん断変形の残留が顕著であることが分かる。一方、アラミド補強では段落とし部で曲げの曲率に変化する変位分布を示し、せん断変形の残留はみられない。

図-8(c)に2:1試験体の応答変位分布及び残留変位分布を示す。V = 1 ~ 2 m/sec 載荷までは両者の変位応答に顕著な差はないが、V = 3 m/sec では無補強の試験体の段落とし周辺でせん断変形の発生が認められる。アラミド補強した場合には、段落とし部分の応答変位及び残留変位を抑制し、曲げ卓越型の変形モードとなっている。このように、アラミドテープ補強は、断面寸法比に関わらず特に段落とし部のせん断変形を顕著に抑制していることが分かる。

3.4 ひびわれ性状

図-9(a)に1:1試験体のひびわれ性状を示す。無補強の試験体ではA面の段落とし部と上側1B(B:試験体の幅)の範囲に曲げのひびわれが水平に発生し、B、D面ではそのひびわれが断面の中心から斜め下方に大きく進展して、圧縮側のコンクリートが大きな範囲で剥落している。異型的なせん断型の破壊を示している。

一方、アラミド補強では段落とし部とその上側に水平方向の曲げによるひびわれが発生し、D面では段落としより上側部分でせん断ひびわれが一部発生しているがさほど顕著には進展していない。炭素繊維補強の試験体もアラミド補強試験体と同様なひびわれ性状を示し、水平方向の曲げによるひびわれが数本発生している。D面では段落とし部より上側で斜めひびわれが発生しており、これもアラミド補強の場合と同様である。

図-9(b)に1:2試験体のひびわれ性状を示す。無補強の最終載荷速度がV = 3 m/secであるのに対して、アラミド補強ではV = 3.5 m/secのため、アラミド補強の方が大きく変形している。しかし、無補強のB、D面で顕著に発生している斜めひびわれは、アラミド補強の場合は最終載荷速度が大きいにも関わらず顕著ではない。これから、アラミドテープ巻き付けによるせん断補強効果が大きいことが分かる。

図-9(c)に2:1試験体のひびわれ性状を示す。無補強では、A面の段落とし部及びその上下1B(B:試験体の幅)の範囲に水平方向の曲げひびわれが多数発生し、B、D面ではそのひびわれが柱の中心から斜め下方に大きく進展している。さらに、段落としより上側1Bの位置から圧縮側に向けて斜めひびわれが直線的に発生している。圧縮側のコンクリートは段落とし部分で大きく剥落し、一部で主鉄筋が露出している。ただし、基部の圧縮側には健全な部分も見られる。一方、アラミド補強の場合には、段落とし部分で水平方向に進展する曲げのひびわれが発生し、B、D面では斜め方向に進展するひびわれも数本見られる。フーチングとの付け根部分の圧縮側ではコンクリートが大きく剥落している。すなわち、基部の曲げ破壊型の様相を呈している。これは段落とし部分のせん断破壊がアラミドテープの巻き付けによって抑制され、基部において作用曲げモーメントが大きいことと、アラミドテープで基部を補強していないためと考えられる。

4. まとめ

段落としを有する断面寸法比の異なるRC橋脚模型にアラミドテープを巻き付け、横衝撃載荷実験を行って動的な補強効果を検討した。

本実験の範囲内で得られた結論を要約すると、

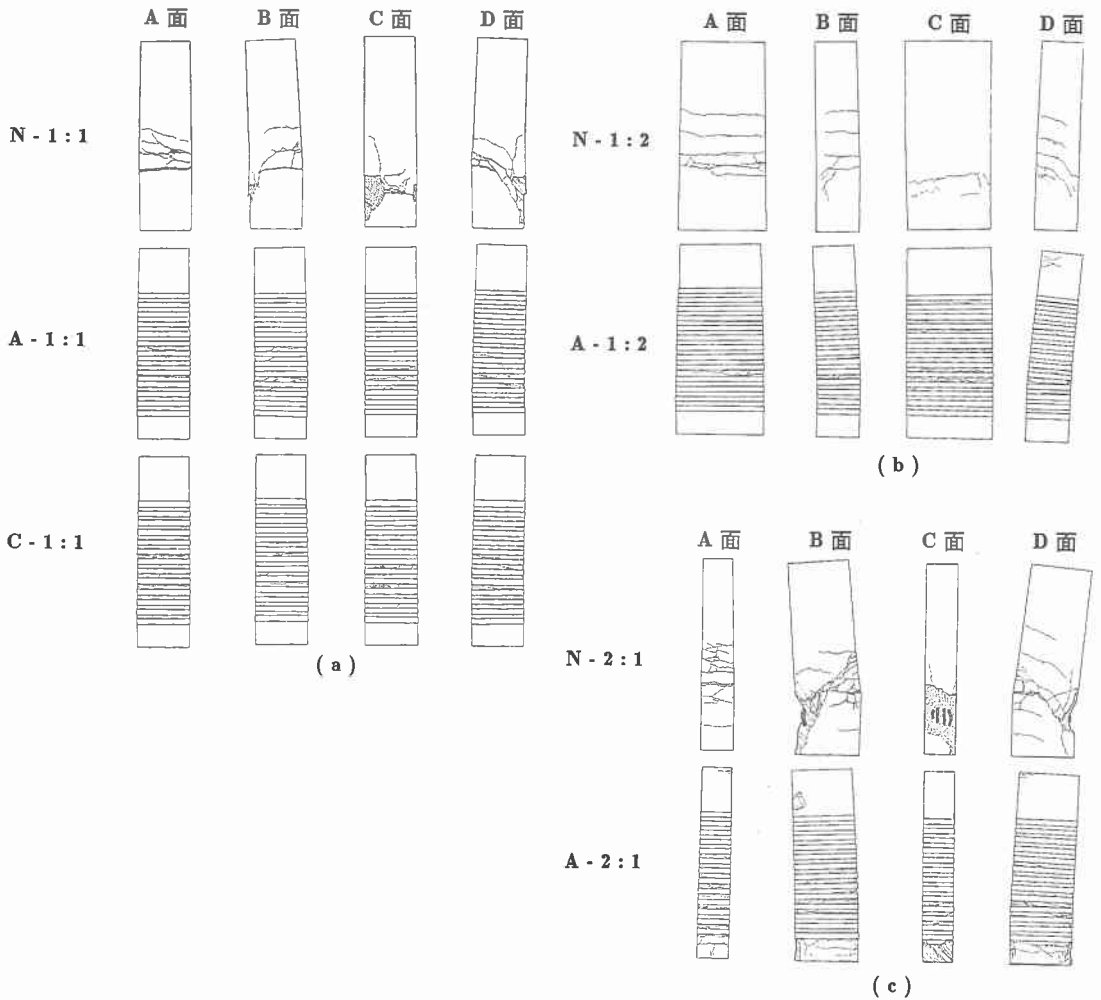


図-9 ひびわれ図

- (1) 重錘衝撃力、ロードセル合力および重りの衝撃力はアラミド補強試験体がいずれの断面寸法比の試験体においても大きく、最も損傷の程度が少ない。
- (2) 衝撃荷重と応答変位の波形の周期は良く対応し、荷重と変位の関係は破壊形式に顕著に影響される。
- (3) 応答変位および残留変位分布から、アラミド補強は炭素補強や無補強の試験体に比べて段落とし部のせん断変形量を大幅に少なくすることができる。

最後に本研究を行うに当たって御支援を頂いたショーポンド建設(株)の皆様に感謝いたします。