

V-32 アラミドテープを巻き付けた RC 橋脚模型の水平単調加力実験

三井建設(株) 正員 島崎 篤
 開発土木研究所 正員 佐藤 昌志
 開発土木研究所 正員 西 弘明
 室蘭工業大学 正員 岸 徳光

1. はじめに

平成7年1月17日朝、阪神地方をおそった大地震は近年にない大きな人的物的被害をもたらした。なかでも土木建築構造物の被害は甚大であり、今回の地震がこれまで予想されていた以上に大きな震度を与えたこととともに、これまでと異なる特徴を持った地震であったことが報告されている。

特に土木分野では、橋脚の被害が多かったことが、その後の災害復旧に大きな障害をもたらしている。今回の災害を契機に各方面で土木構造物の耐震性の再評価とともに耐震性向上に向けての材料および工法の研究が活発になされているようである。本研究もこれに関連した研究であり、RC橋脚の耐震性向上又は補強工法としてアラミドテープ巻き付け工法を提案し、その効果をRC模型を用いた水平単調加力実験により検証したものである。実験ではRC橋脚模型として、辺長比を変化させた矩形断面模型を考え、水平加力する方式で実験を行った。実験の測定項目は載荷水平力及び水平変位である。検討は水平力-変形特性に着目して行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

実験に用いた試験体は実橋脚の1/3～1/5規模の矩形断面模型橋脚であり、柱部の高さ100cmで断面寸法が40×40cm、33×66cm、48×24cmの3種類とした。いずれの断面も水平外力に対する終局耐力がほぼ等しくなるように設計した。それぞれの断面の形状寸法及び配筋を図-1に示す。軸方向鉄筋の鉄筋比は、それぞれの断面に対して4%、3.3%、4.2%となっている。また、軸方向鉄筋は通常行われているように、曲げに対する抵抗モーメントを考慮し

表-1 水平単調試験体一覧

試験体	補強種類	段落とし	最大荷重 (tf)	テープ補強方法 (mm)		
				幅	間隔	巻き数
N11-0	無補強	なし	30.8			
N11-1/3		1/3	21.8			
N12-0		なし	29.8			
N12-1/3		1/3	26.5			
N21-0		なし	30.9			
A11-1/3-1	アラミド	1/3	26.7	37.5	112.5	1層
A11-1/3-2			28.9	75.0	112.5	1層
A11-1/3-3			29.8	37.5	75.0	1層
A12-0-3		なし	34.6	37.5	75.0	1層
A12-0-4			40.0	37.5	75.0	2層
A12-1/3-3		1/3	26.5	37.5	75.0	1層
A12-1/3-4			27.1	37.5	75.0	2層
A21-0-1		なし	36.7	37.5	112.5	1層
A21-0-5			37.0	37.5	112.5	2層

て基部から上1/3以上の範囲で鉄筋量の半分を段落したものと、段落していないものを検討の対象とした。これらそれぞれについてアラミドテープ補強の効果を検討するために補強を行った試験体も製作しているがアラミドテープの補強はテープ幅、テープ間隔、テープ巻き数を変えた5種類の補強を行った。試験体の一覧を表-1に示す。5種類の補強方法も表-1に示してあるが、これらは1):幅37.5mmのテープを間隔112.5mmで補強したもの、2):幅75.0mmのテープを間隔112.5mmで補強したもの、3):幅37.5mmのテープを間隔75.0mmで補強したもの、4):3)を2層としたもの、5):1)を2層としたものである。表-1には、実験で得られた最大荷重も併せて示している。表中の

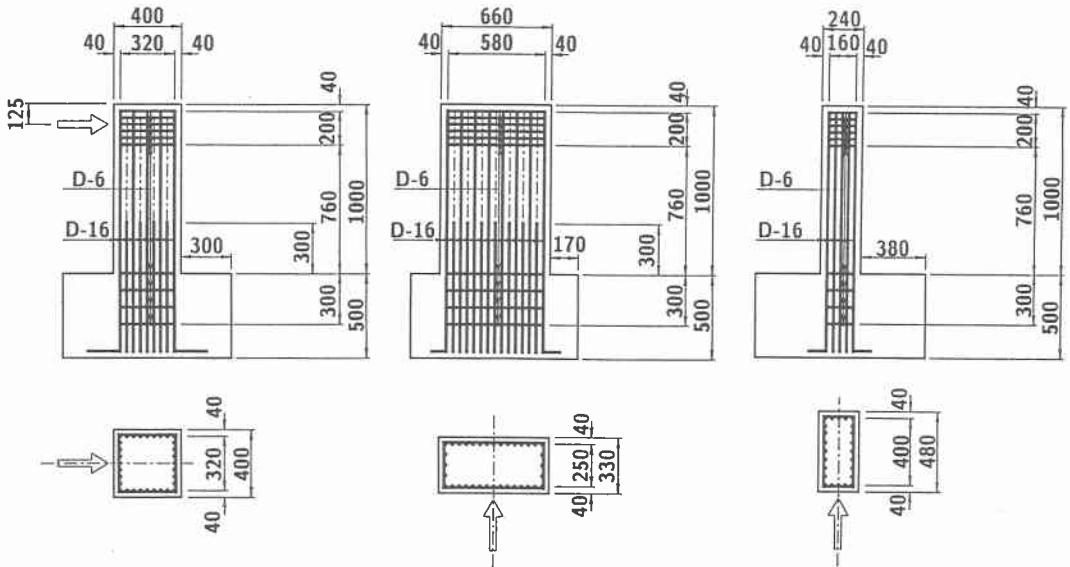


図-1 試験体断面寸法及び配筋図

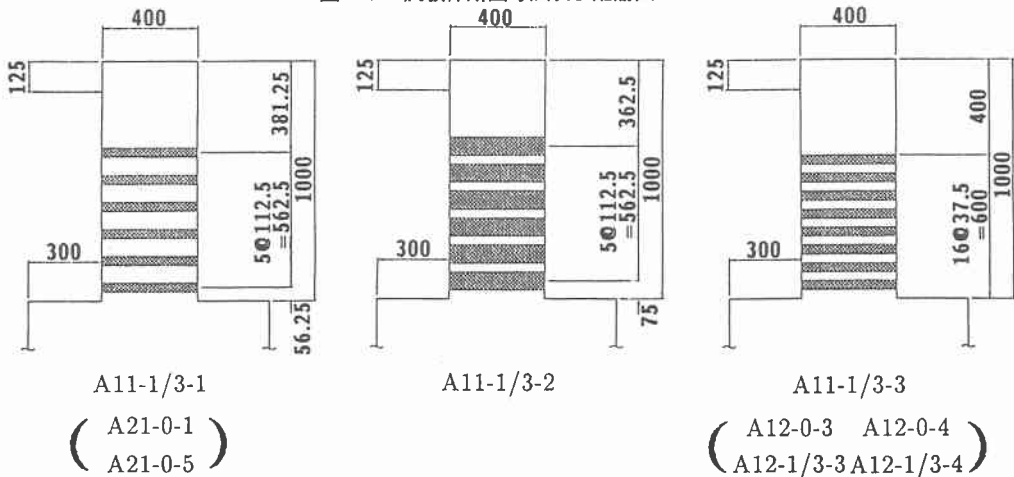


図-2 アラムドテープ巻き付け補強状況

表-2 アラムドテープの材料特性

補強材 (37.5 mm 幅)	弾性係数 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	厚さ (mm)	巻き付 け層数	E×A (tf)	引張耐力 (tf)
アラムドテープ	11,100	29,000	0.306	2層	254.7	6.7

各試験体の記号は文字 N、A で無補強、アラミド補強を示し、次の数字は辺長比を並べて示している。また、そ

の後の一以下は段落しの有無、さらに A 試験体の最後の一以下の数字で補強方法を示している。補強状況を図-2 に示す。なお試験体のコンクリート圧縮強度は実験時の材令において約 260 kgf/cm² であり、用いた軸方向主鉄筋は全て D16 の異型鉄筋である。用いたアラムドテープの材料特性を表-2 に示す。

2.2 実験方法

実験は図-3 に示すように 500 cm × 800 cm のコンクリート剛基礎と一体となった反力壁を持った実験場で行なった。試験体はこの実験場中央に 4ヶ所をボルトで固定した。水平加力用油圧ジャッキは反力壁に固定し、載荷はこの油圧ジャッキにより荷重計(ロードセル)を介して単調加力する方法で行った。試験体の変形挙動を検討するため、変位計を取り付け、水平変位を測定しているが、その位置は図-3 に示したように載荷側とは反対側の同一高さとした。

3. 実験結果及び考察

図-4～11に各試験体の水平荷重-水平変位関係を示す。各図とも縦軸に水平荷重 (P)、横軸に載荷点位置での水平変位 (δ) をとり各試験体は線の種別を変えて示している。

- (A) 辺長比 1:1 (N11, A11) 試験体
- a) 段落しのない (N11-0) 試験体

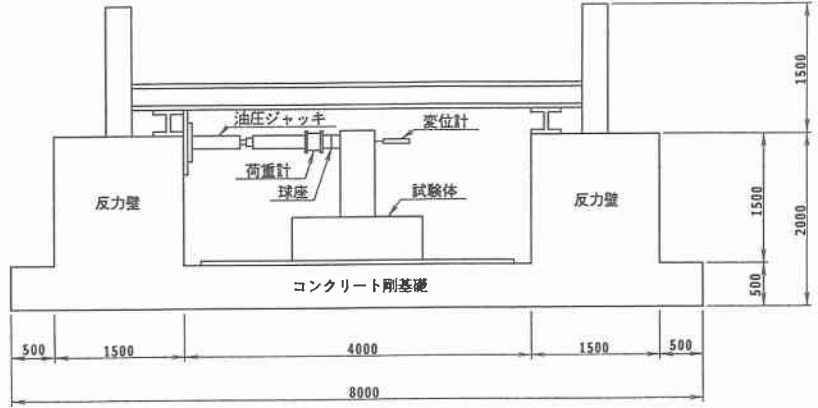


図-3 実験概要図

表-1に示したように、

辺長比 1:1 で段落しのないタイプではアラミドテープ巻き付けの不良により補強タイプ (A11-0-) の実験結果が得られていない。図-4には、無補強の試験体 N11-0 の荷重-変位関係を段落しのある N11-1/3 と併せて示した。無補強の N11-0 試験体の荷重-変位関係を見ると、最大荷重 (約 30.8 tf) まで単調に増加しているが、荷重 20 tf 前後で勾配に変化が見られる。これはせん断ひび割れが発生したことによるものと考えられる。最大荷重に達した後は、荷重が急激に減少し破壊に至っており、破壊はせん断モードであった。

- b) 1/3 段落しを行った (N11-1/3, A11-1/3-) 試験体

各試験体の結果をまとめて図-5に示した。N11-1/3 試験体は、荷重 11 tf 及び 17 tf 前後で勾配の変化がみられ、最大荷重は約 21.8 tf である。またこのときの変位は約 14 mm となっている。最大荷重後は急激に耐力が低下し、最大変位約 16.5 mm で破壊している。破壊モードはせん断破壊である。これに対してアラミドテープ補強試験体ではいずれも最大荷重、最大変位の増加がみられ破壊は曲げ破壊モードとなっている。それぞれについて考察すると、A11-1/3-1 では荷重 5 tf 程度で勾配の変化が多少みられるが、全体としてはほぼ直線的に上昇し、22 tf 前後 (変位約 10 mm) で勾配が急変し、その後なだらかに上昇している。最大荷重は約 26.7 tf (変位約 30 mm) であり、このまま変位の増加がみられ最大変位約 47 mm を示した後破壊している。A11-1/3-2, A11-1/3-3 とも最大荷重に至るまでの傾向は A11-1/3-1 と同様である。すなわち A11-1/3-2 では P=11 tf および 22~23 tf で勾配が変化し、その後最大荷重 28.9 tf を示している。また A11-1/3-3 では P=11 tf, 26 tf で勾配の変化がみられ最大荷重 29.8 tf を示している。両試験体と

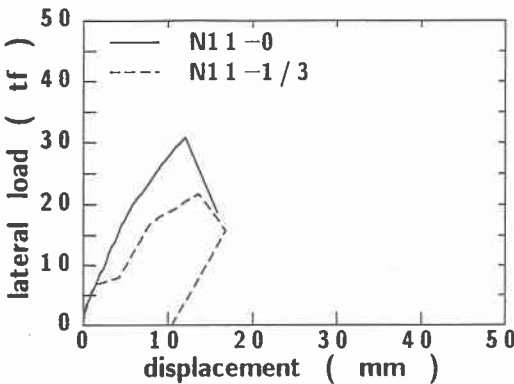


図-4 N11 試験体の荷重-変位曲線

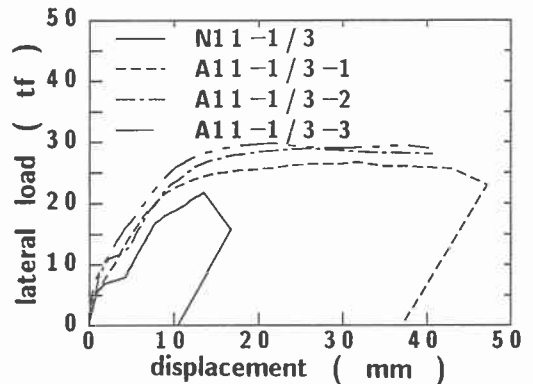


図-5 N11-1/3 及び A11-1/3 試験体の荷重-変位曲線

も、その後耐力の低下がみられず、それぞれ最大変位約 40 mm で破壊している。A11-1/3-1, A11-1/3-2, A11-1/3-3 を無補強の N11-1/3 と比較すると最大耐力でそれぞれ 4.7 tf, 6.5 tf, 7.5 tf の増加がみられる。A11-1/3 タイプは全て曲げ破壊であり、せん断耐力はこれ以上と考えられることからせん断耐力の増加は前述の数値以上と考えられる。

c) 段落しの影響

無補強の試験体について段落しの影響を検討する(図-4参照)。先に述べたようにこの場合いずれの試験体もせん断型の破壊を示している。しかし、最大耐力は段落しのない N11-0 試験体は約 30.8 tf、段落しのある N11-1/3 試験体は 21.8 tf と段落しによって約 30% 耐力の減少がみられる。

(B) 辺長比 1:2 (N12, A12) 試験体

a) 段落しのない (N12-0, A12-0-) 試験体

図-6 に結果を示す。N12-0 試験体では最大荷重約 29.8 tf まで単調に増加しており、このときの変位は約 7 mm である。その後、急激な耐力低下を示すが、急激には破壊に至らず変位 20 mm 程度でも 15 tf 程度の耐力を保持している。この場合も破壊のモードはせん断破壊である。

A12-0-3 試験体では、P=28.0 tf 程度で勾配が急変するが荷重はさらに増加し、最大荷重約 34.6 tf (変位約 20 mm) を示し、最大変位約 21.3 mm で破壊している。このときの破壊モードは曲げ破壊を示している。また A12-0-4 では、P=29 tf 程度で勾配が急変するが、荷重はさらに増加し、最大荷重約 40.0 tf (変位約 19 mm) に達した後僅かに減少し、最大変位約 37 mm で曲げ破壊と思われる破壊モードで破壊している。補強試験体は無補強のものに比べいずれも最大荷重の増大とともに変形量が増大し、破壊の直前まで大きな耐力を有していることが分る。特に A12-0-4 試験体はアラミドテープ幅、間隔は A12-0-3 と同様であるが、巻き数を 2 層に強化したものであり、補強の効果が示されている。A12-0-3, A12-0-4 のせん断耐力の増加はそれぞれ約 4.0 tf、約 10.0 tf 以上である。

b) 1/3 段落しを行った (N12-1/3, A12-1/3-) 試験体

図-7 に示すように、N12-1/3 試験体は単調増加後 P=約 24 tf で勾配が急変し、その後ゆるやかな荷重増加を示し、約 26.5 tf で最大となっている。このときの変位は約 20 mm である。その後僅かに耐力を減少し変位約 35 mm で破壊している。破壊モードは曲げ破壊であった。

補強試験体 A12-1/3-3, A12-1/3-4 は初期の変形挙動に多少の差が見られるものの、傾向はいずれも同じである。すなわち p=23~24 tf で勾配が急変し荷重 26.5~27.1 tf で最大となり、最大変位約 40 mm 程度で破壊に至っている。この場合も破壊モードは曲げ破壊であった。

この場合の試験体は、無補強の N12-1/3 を含めいずれも段落し部での曲げ破壊であったため、補強の効果は耐力の増加には現れていない。しかし、補強により終局時変形量は増大している。

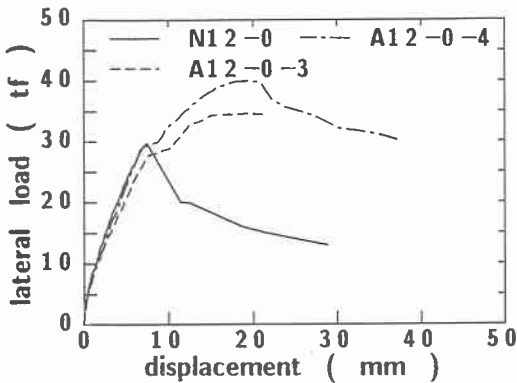


図-6 N12-0 及び A12-0 試験体の荷重-変位曲線

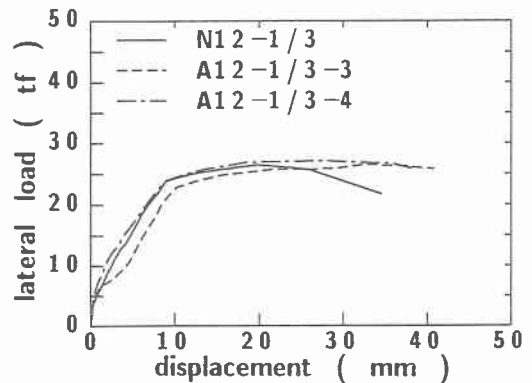


図-7 N12-1/3 及び A12-1/3 試験体の荷重-変位曲線

c) 段落の影響

無補強及び補強試験体それぞれについて段落の影響を検討するため、それぞれの荷重-変位関係を図-8~10に示す。図-8に示すように無補強の試験体では、図-4と同様に段落しによってせん断耐力の低下はみられるものの、その程度は僅かであり約10%である。この減少率はN11-0, N11-1/3試験体より少ない。一方補強試験体ではいずれも段落しにより最大荷重が著しく低下している。その割合は、A12-1/3-3はA12-0-3の約80%、A12-1/3-4はA12-0-4の約70%であり、巻き数の多いもの程減少率が大きい。これは先に述べたように、N12-1/3, A12-1/3-試験体が段落し部での曲げ破壊であり、A12-0-試験体ではテープによる補強効果が発揮されたが、A12-1/3-試験体ではテープによる補強効果が十分に発揮されなかったことにより、その差が大きくなったものと考えられる。

(C) 辺長比 2:1 (N21, A21) 試験体

a) 段落しない (N21-0, A21-0-) 試験体

この場合の荷重-変位関係を図-11に示す。先に述べたように各辺長比の試験体とも終局耐力がほぼ一定となるよう設計されていることから、N21, A21試験体は側方筋が最も多い配筋となっている。図-11から、N21-0試験体ではP=7.0 tf付近で多少大きな、またp=22.0~23.0 tfに小さな勾配の変化がみられるが、全体としてはほぼ単調に増加し荷重P=約31.0 tf、変位約11.5 mmで最大を示した後急激に耐力を減少し最大変位約20.5 mmを示した後、破壊している。破壊モードはせん断型である。

A21-0-1では、やはりP=約7.0 tf付近及び23.0 tf付近で勾配の変化がみられるが、引続き荷重は増加し、P=約

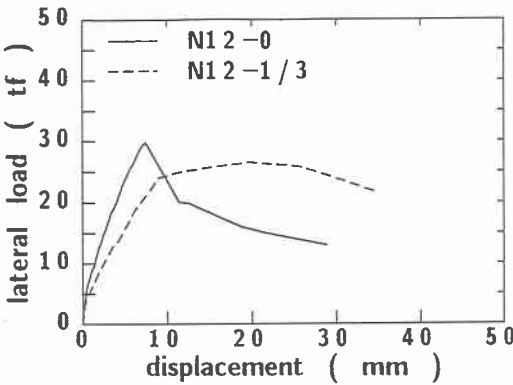


図-8 N12-0 及び N12-1/3 試験体の荷重-変位曲線

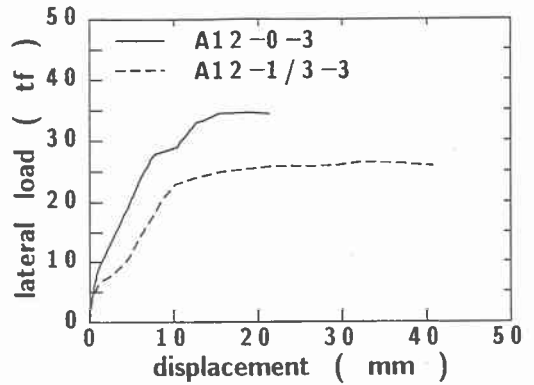


図-9 A12-0-3 及び A12-1/3-3 試験体の荷重-変位曲線

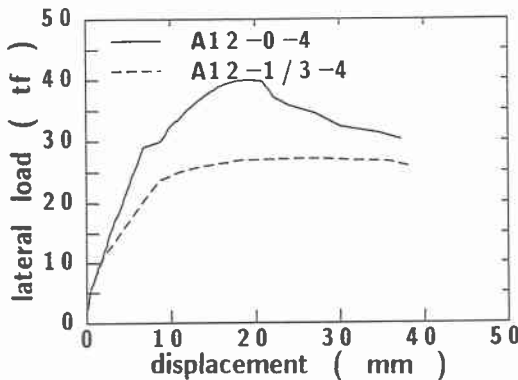


図-10 A12-0-4 及び A12-1/3-4 試験体の荷重-変位曲線

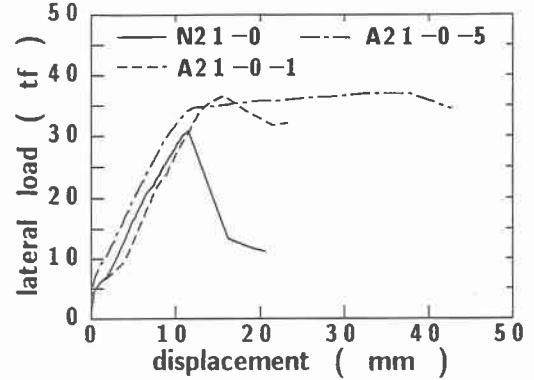


図-11 N21-0 及び A21-0 試験体の荷重-変位曲線

36.7 tf、変位約 16 mm で最大となっている。その後僅かに耐力が低下し、最大変位約 23 mm で破壊している。破壊の直前の耐力は約 32 tf であり、大きな耐力を保っていることが示されている。破壊モードは曲げ型破壊である。

A21-0-5 は $P = 7 \sim 8$ tf に僅かな勾配の変化がみられるが、その後単調に増加し $P = 35$ tf 付近で降伏現象を示している。その後も変位の増加とともに僅かな耐力の増加があり、変位約 38 mm で最大荷重 37.0 tf となっている。破壊直前の変位は約 42 mm である。破壊モードはやはり曲げ型破壊である。

A21-0-1 と A21-0-5 とではアラミドテープの巻き層が、1 層と 2 層と異なっているが、この場合両者の終局耐力にはほとんど差がない。ただしこの場合も最大変形量は 2 層の方が約 2 倍であり、靱性率はかなり改善されていると考えられる。アラミドテープ巻き付け工法は、せん断耐力の向上に効果がある工法であり、この結果は妥当なものと考えられる。しかし、この結果は先に 1 層と 2 層の比較をした A12-0-3 および A12-0-4 の結果とは異なる。この両者の相違は辺長比とテープ間隔であり、A12-0-3 に対して A12-0-4 では耐力の向上がみられることは、巻き付け間隔が狭い場合にはこの工法は曲げ耐力の向上にも効果があることを示しているものと推察される。

(D) 辺長比の影響

既に表示したように本論文では 3 種類の辺長比の異なる試験体を用いている。これらは終局耐力がほぼ等しくなるように設計されているが、確認を含めて、実験結果を考察する。

a) 段落のない無補強試験体

紙面の都合で改めて図を示さないが図-4、6、11を参照して N11-0、N12-0、N21-0 を比較すると、最大耐力はほぼ同程度であり、設計条件を満たしていると思われる。荷重-変位関係では N12-0 がピーク時の変位が少ないものの、ピークを示した後の変位挙動の傾向はほぼ一致している。

b) 1/3 段落とし、無補強試験体

この場合対象となるのは N11-1/3 及び N12-1/3 のみである。図-4、7を参照すると N11-1/3 はせん断破壊モード、N12-1/3 は曲げ破壊モードであることから、実験結果からは N12-1/3 試験体の方が、N11-1/3 よりせん断耐力の減少が少なく、そのため N12-1/3 は曲げ破壊となったと思われる。

b) 1/3 段落とし、補強試験体

この場合も比較の対象となるのは A11-1/2-3 及び A12-1/3-3 のみである。図-5、7を参照すると破壊モードはいずれも曲げ破壊であり A11-1/3-3 の方が A-12-1/3-3 より最大耐力は大きく、最大変位はほぼ同程度である。この傾向は無補強のものとは大きく異なる。これは先に述べたように A11-1/3 試験体はアラミドテープ補強により、せん断耐力の向上がみられた結果と考えられる。

以上、辺長比の影響を検討したが、検討のための資料は十分ではなく、本実験から辺長比とアラミドテープ補強効果とを結論づけることは困難である。

4. まとめ

RC 橋脚のせん断耐力の向上工法として又はせん断耐力補強工法として、アラミドテープ巻き付け工法を提案し、その効果を種々の形式の模型橋脚により実験的に検討した。実験は断面形状及び補強方法の異なる試験体に対して水平単調加力により行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 無補強の場合せん断破壊が想定された試験体ではいずれの方法でも、アラミドテープ巻き付け補強をすることにより、せん断破壊を防止し、せん断耐力を増強できる。
- 2) 曲げ破壊モードで破壊する場合でもテープ巻き付け数を多くすることにより変形量が増大し、靱性率の改善がみられる。
- 3) また巻き付け間隔を狭くすることは曲げ耐力の向上にも効果が認められる。

なお、本研究を行うにあたり、室蘭工業大学大学院建設システム専攻の大学院生、大山高輝君、亀石暁君をはじめ構造力学研究室の諸君に多大の協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。