

帯状鋼材の巻立てによるRCラーメン橋脚梁部の せん断補強法に関する実験的研究

建設省土木研究所 正会員○長屋 和 宏
建設省土木研究所 正会員 運上 茂 樹
建設省土木研究所 正会員 足立 幸 郎
阪神高速道路公団 正会員 加賀山泰一
首都高速道路公団 正会員 富永 博 夫

1. はじめに

道路橋示方書(平成8年12月)にはRCラーメン橋脚の面内方向の地震時保有水平耐力法が新たに規定され、さらに「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料(平成9年8月 日本道路協会)」では既設RCラーメン橋脚梁部の補強方法の基本的な考え方が示された。これらに基づきRCラーメン橋脚における耐震性照査をすると、梁部材の帯鉄筋量が少ないことによりせん断耐力が不足していると判断される場合があり、このようなRCラーメン橋脚梁部に対してはせん断補強が必要となる。既設RCラーメン橋脚の耐震安全性の向上には、柱部材だけでなく梁部材のせん断耐力や変形性能を増加させることが重要であり、特に梁部材では、隅角部破壊を避けるためにせん断耐力のみを増加させることが望まれる。

これまで数多く行われてきた耐震補強工法に関する検討は、補強部材に対して全面を補強材料で巻き付けることを想定した補強工法である。しかしながら、ラーメン橋脚では梁部に支承や落橋防止構造などが取り付けられており、これらの補強工法をそのまま採用することは困難な場合が多いと考えられる。また、ラーメン橋脚は各種構造物の密集している都市内で採用されていることが多く、都市内街路上での高所作業となり施工上の制約を受けること、下面交通などへの影響を考慮し施工現場での施工期間への配慮、さらに、コスト縮減などを考慮した可能な限りコンパクトな補強構造が求められている。

本稿では施工性を考慮した帯状鋼材を使用し、あらかじめ籠状に成型した補強部材を用いた補強工法を提案し、本工法によるRCラーメン橋脚梁部のせん断補強効果確認を目的とした正負交番載荷実験を行った結果について報告する。

2. 縮小模型供試体を用いた載荷実験

2.1 模型供試体

載荷実験に用いた模型供試体は5体(Case0, 1, 6~8)である。模型供試体の断面は600mm×600mm、梁端部より載荷点までの高さは1500mm(せん断支間比:2.5)であり、実物のRCラーメン橋脚梁部の約1/4の大きさを想定している。Case0模型供試体は既設橋脚梁部を想定した無補強供試体であり図-1に構造図を示す。軸方向鉄筋としてはSD295A-D22を26本配置しており、帯鉄筋はSD295A-D6を500mm間隔で配置している。本模型供試体の計算による曲げ耐力 P_u は591.96kN、せん断耐力 P_s は376.58kNとなっており、せん断破壊先行型となっている。Case1, 6~8模型供試体はCase0模型供試体に補強を施したものであり、各補強供試体の補強概要を図-2に示す。Case1模型供試体は理想的な補強として鋼板を4面すべて巻立てた補強工法であり、使用した鋼板はSPCC材1.6mmである。これは実構造物で6mmの鋼板厚に相当する。また、本供試体における躯体コンクリートと補強鋼板との隙間は10mmとし、無収縮モルタルを充填している。一方、Case6~8模型

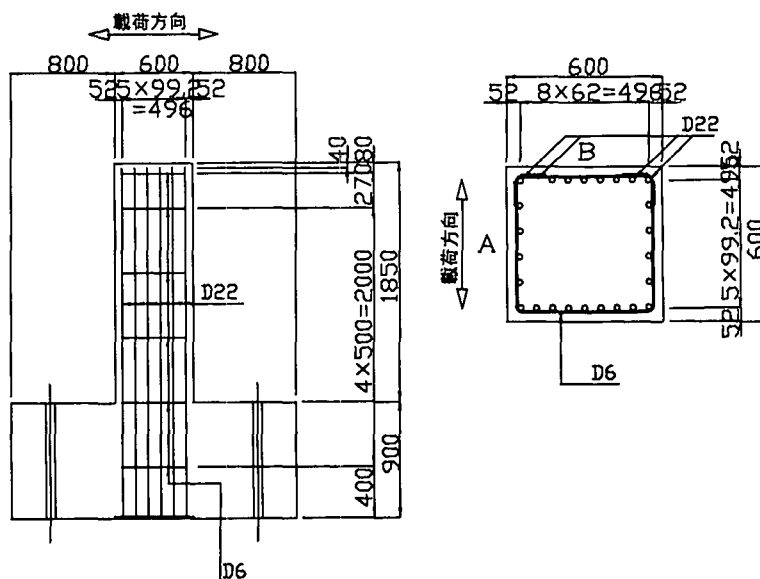


図-1 無補強模型供試体配筋図

Case	断面図	側面図	t×b (mm)	a (mm)
1				
6			9×22	200
7			9×16	200
8			12×32	400

図-2 各補強供試体の補強概要

供試体は帯状鋼材を用いた補強であり、L型鋼材を柱断面隅角部に設置し、3面に帯状鋼材、1面にねじ切り鉄筋により巻立てた。L型鋼材と帯状鋼材は溶接し、ねじ切り鉄筋と帯状鋼材は治具を介してナットにより接合した。柱断面隅角部における躯体コンクリートとL型鋼材は樹脂系の接着剤により固定している。実構造物における本補強工法の採用にあたっては、あらかじめL型鋼材と帯状鋼材を溶接した籠状の補強部材を施工現場に搬入

表-1 使用材料強度

供試体No.	コンクリート 強度 (N/mm ²)	鉄筋降伏強度 (N/mm ²)		鋼材降伏強度 (N/mm ²)
		D6	D22	
Case0	23.4	379	369	—
Case1	25.5	365	377	179
Case6	26.1	"	"	320
Case7	23.9	"	"	324
Case8	26.3	"	"	321

し、RC橋脚梁部下面より補強部材籠をはめ込み梁上部でボルトとナットを用いて接合することを想定して

いる。補強部の帯状鋼材にはSS400材を用いておりそれぞれの模型供試体における躯体コンクリート、鉄筋、補強鋼材の強度を表-1に示す。

Case1はせん断補強効果を確認するための基本ケースと位置づけており前述しているように理想的な補強工法となっている。Case1, 6, 8の各模型供試体はトラス理論の仮定に基づくせん断耐力がCase1と同一となるように補強鋼材量を決定しており、補強鋼材の設置間隔をパラメータとしている。一方、Case7模型供試体はCase6模型供試体を基準とし、補強によるせん断耐力増が約1/2となるようにせん断補強鋼材の板厚を決定した。なおCase6~8模型供試体におけるせん断耐力の算出にはL型鋼材を無視している。

2.2 荷重実験方法

荷重実験状況を写真-1に示す。荷重は模型供試体を横にした状態で、RCラーメン橋脚の隅角部に相当する梁端部を固定し、反力壁に取り付けた動的加振機により水平荷重を加えた。水平荷重の荷重は、模型供試体の最外縁における軸方向鉄筋が降伏する時の荷重点の水平変位を $1\delta_y$ (降伏変位)とし、その整数倍の変位で変位漸増正負交番荷重した。動的加振機の制御は変位制御、荷重変位は正弦波とし、荷重速度は3cm/sec、各荷重ステップでの荷重繰返し回数は3回とした。

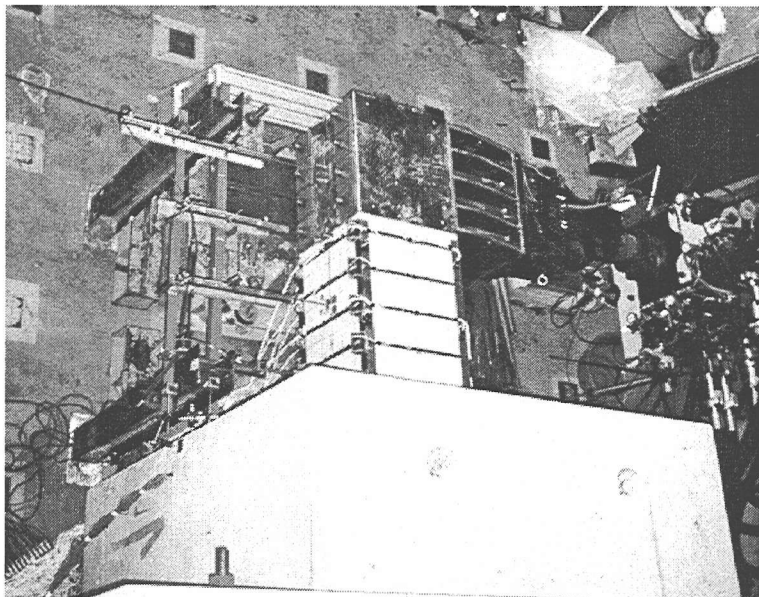


写真-1 荷重実験状況

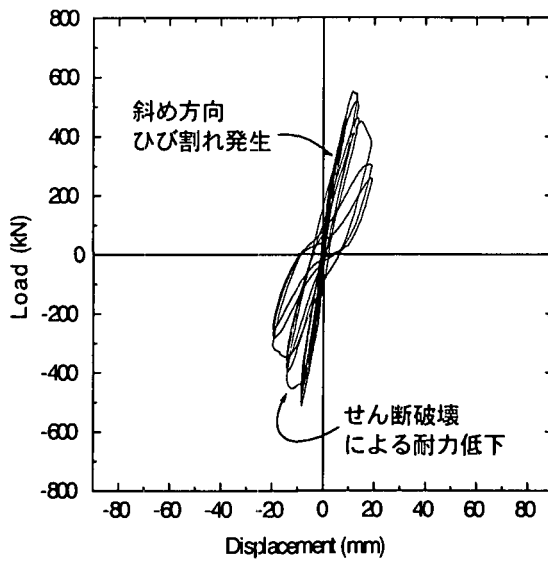
3. 実験結果

3.1 水平荷重-水平変位履歴および損傷の進展状況

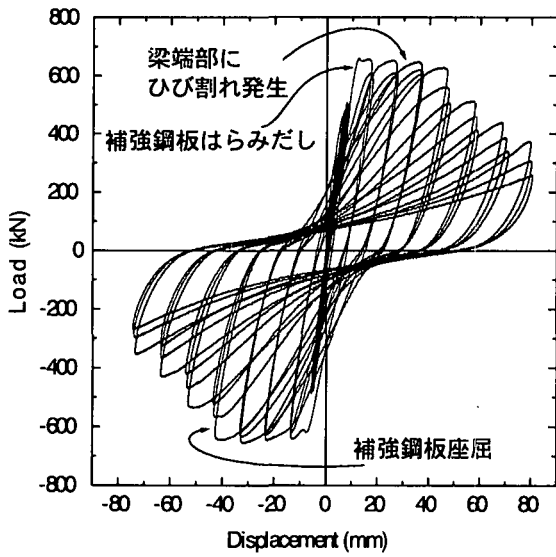
各模型供試体の荷重点における水平荷重-水平変位関係を図-3に、それぞれの模型供試体における損傷状況(Case0模型供試体は荷重実験終了時、Case1模型供試体では実験終了後に鋼板をはがした状況、Case6~8模型供試体では $6\delta_y$ 荷重終了時)を図-4に示す。荷重基準変位となる降伏変位は予備荷重の結果より、いずれの模型供試体も10mmとした。

既設無補強梁部を想定したCase0模型供試体では、最大耐力は549.69kNを示し、 $2\delta_y$ 荷重時にせん断破壊となった。損傷の進展としては、7.0mmの予備荷重時に加振機面にクラックが発生し、 $1\delta_y$ 荷重時には模型供試体上面および下面(せん断抵抗面)、に斜め方向のせん断のクラックが発生した。本来であれば次のステップとして $2\delta_y$ (20.0mm)の荷重を行うところであるが、模型供試体がせん断による脆性的な破壊により急激に水平耐力が低下するおそれがあったため、 $1.5\delta_y$ (15.0mm)の荷重を行った。 $1.5\delta_y$ 荷重時には、加力点から梁端部にかけてX字状にせん断クラックが発生、進展し、脆性的なせん断破壊に至った。 $2\delta_y$ 荷重時にはせん断面における斜めクラックが大きく開き、かぶりコンクリートが剥離、著しく水平耐力の低下したため、荷重実験を終了した。

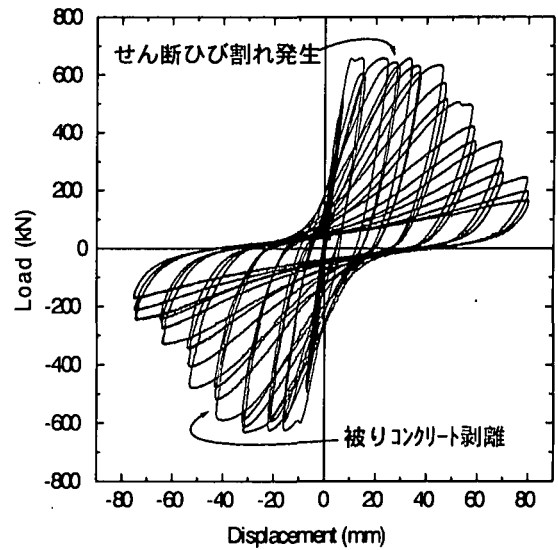
4面とも鋼板を張り付け補強を施したCase1模型供試体では、 $2\delta_y$ 荷重時に梁端部にひびわれが発生し、補強鋼板が梁端部でわずかにはらみ出した。 $3\delta_y$ 荷重時には梁端部のひびわれが全周に発生し、せん断抵抗面では梁中央部より梁端部にかけて鋼板がはらみ出した。 $5\delta_y$ 荷重時にせん断抵抗面の梁端部で鋼板が大きく変形、充填モルタルが露出し、水平耐力が低下した。その後荷重の進展に伴い鋼板の変形がさらに大きくなり、 $8\delta_y$ 荷重時には水平荷重が降伏時荷重程度まで低下したため荷重実験を終了した。荷重実験終了後に補強鋼板を剥がし、躯体コンクリートの損傷状況を確認したところ、梁端部の軸方向鉄筋が座屈変形していた。せん断抵抗面ではCase0模型供試体と同様の斜めひびわれがみられたが、曲げ抵抗面における軸方向鉄筋の



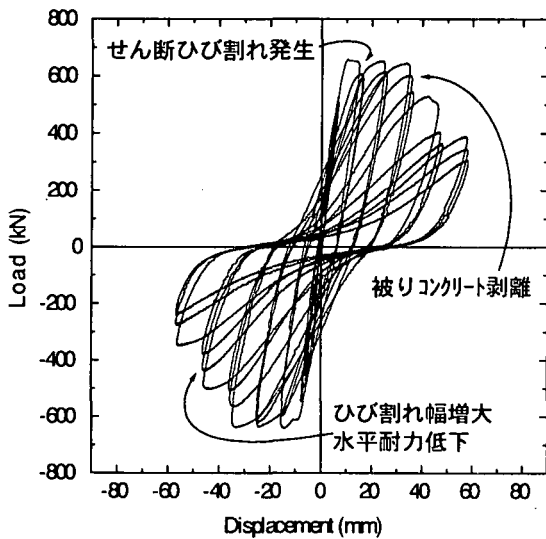
a) Case0模型供試体



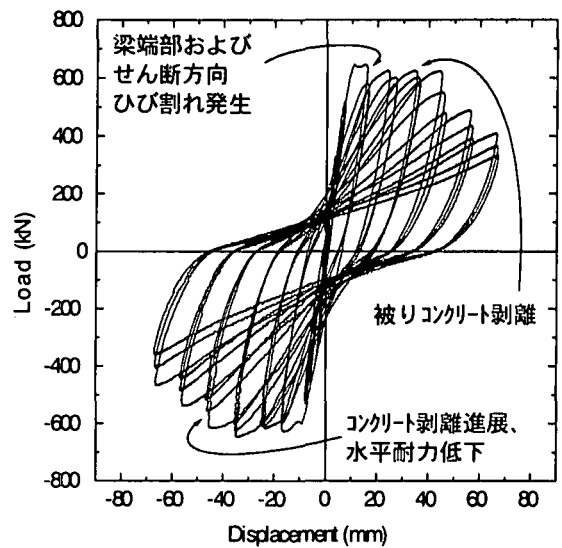
b) Case1模型供試体



c) Case6模型供試体

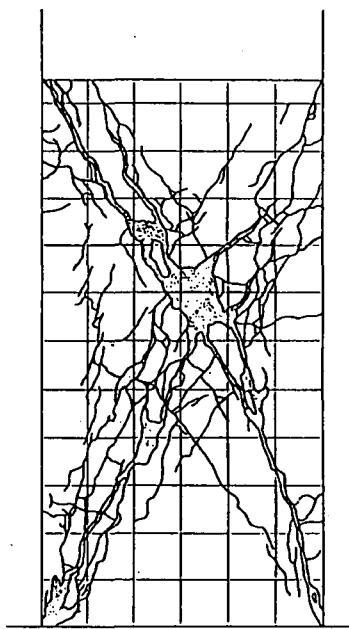


e) Case8模型供試体

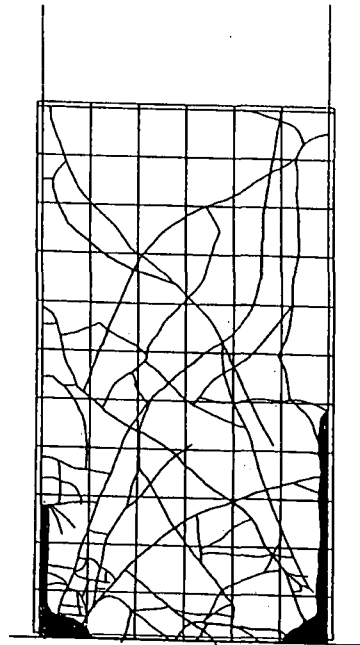


d) Case7模型供試体

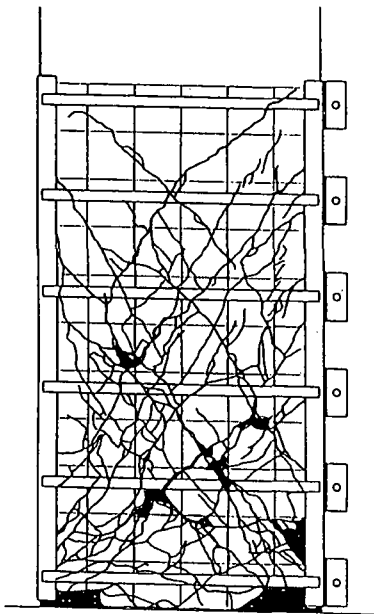
図-3 各模型供試体における水平変位-水平荷重関係



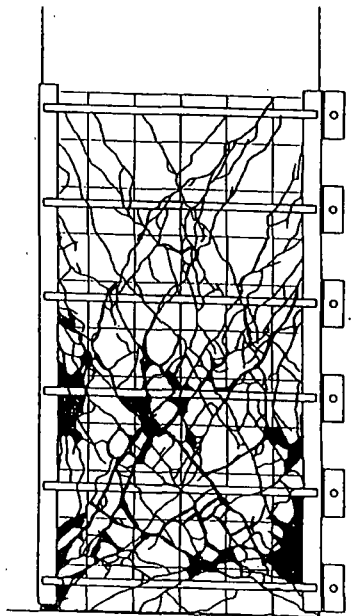
a) Case0模型供試体



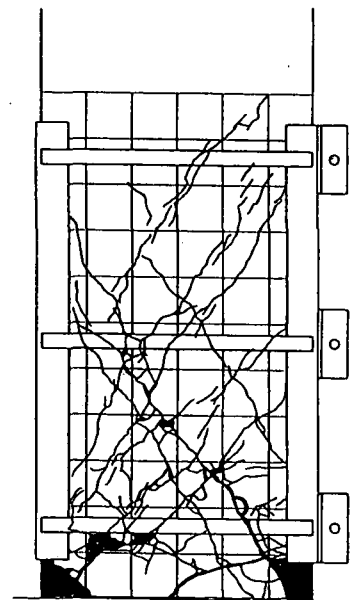
b) Case1模型供試



c) Case6模型供試体



d) Case7模型供試体



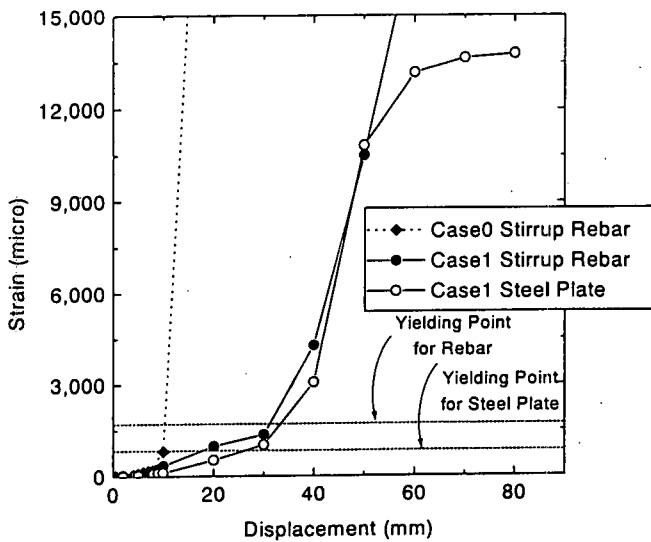
e) Case8模型供試体

図-4 各模型供試体における損傷状況

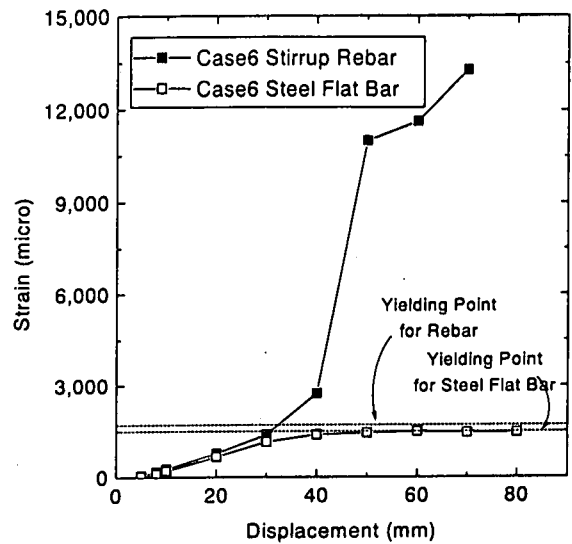
損傷により終局に至ったと考えられる。

帯状鋼板にて補強を施したCase6模型供試体では、 $1\delta_y$ 載荷時に反加振機面で補強鋼材に沿った位置で水平ひび割れが数本発生した。 $2\delta_y$ 載荷時では反加振機面のひび割れが進展し、せん断抵抗面では斜めひびわれが発生した。 $3\delta_y$ 載荷ではせん断抵抗面でのひび割れが進展しX字状となった。また、加振機面、反加振機面では梁端部で水平ひび割れが多数発生し、損傷が集中した。その後載荷の進行とともにコンクリートのひび割れが進展し、梁端接合部でかぶりコンクリートのはく離、 $5\delta_y$ 載荷時に水平耐力が大きく低下した。その後、かぶりコンクリートの剥離が進展し、 $8\delta_y$ で載荷実験を終了した。

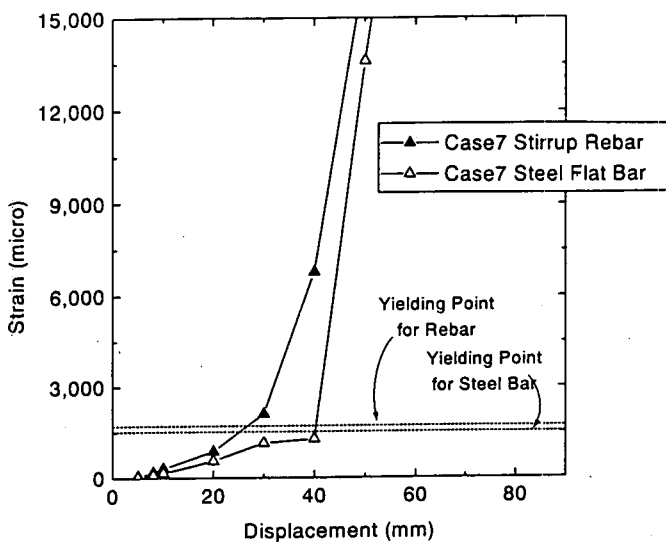
Case6模型供試体に対して補強量を半分としたCase7模型供試体では、Case6模型供試体同様に $2\delta_y$ 載荷時より、せん断抵抗面で斜め方向クラックおよび加振機面、反加振機面の梁端接合部の水平ひび割れが発生、進展した。 $3\delta_y$ 載荷時よりせん断抵抗面におけるひび割れがX字状に進展し、加振機面および反加振機面で



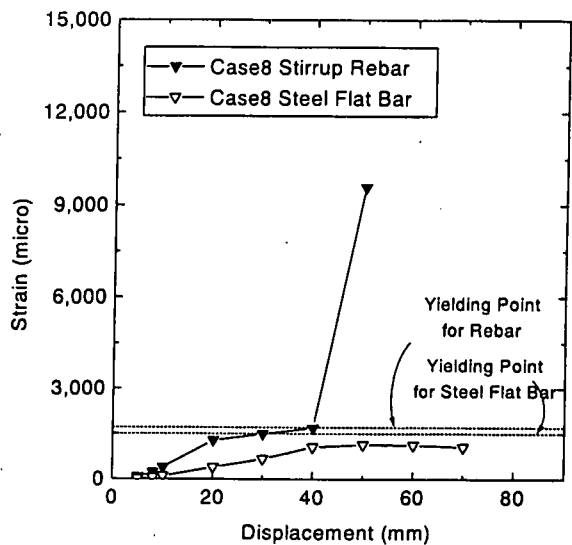
b) Case1模型供試体



c) Case6模型供試体



d) Case7模型供試体



e) Case8模型供試体

図-5 各模型供試体における帯鉄筋および補強鋼材のひずみの進展状況

は補強鋼材と直角方向にひび割れが発生し進展した。4 δ_y 載荷時には、ひび割れがさらに進展し、せん断抵抗面でかぶりコンクリートのはく離が生じた。5 δ_y 載荷時にはせん断抵抗面における斜めひびわれの幅が大きくなり、ひび割れから内部のコンクリートが細かく碎けるように剥落、梁端部のかぶりコンクリートのはく離も進行し、水平耐力が低下した。6 δ_y 載荷時には、せん断抵抗面および梁端固定部のかぶりコンクリートのはく離も多くなり載荷実験を終了した。

一方、Case6模型供試体と補強によるせん断耐力増を同一とし、鋼材間隔を広くしたCase8模型供試体の損傷は他の带状鋼板を用いた模型供試体よりやや早い予備載荷時の段階より躯体コンクリートにひび割れが発生し、2 δ_y 載荷時には梁端部のひびわれが全集にみられ、せん断抵抗面でもX字状の斜め方向のひびわれが発生した。3 δ_y 載荷で各ひび割れが進展し、4 δ_y 載荷時には梁端部におけるかぶりコンクリートのはく離が発生した。5 δ_y 載荷時には梁端固定部のかぶりコンクリートの剥離が著しくなり水平耐力が大きく低下した。その後載荷の進展とともに、損傷が進行し7 δ_y 載荷時で載荷実験を終了した。

3.2 帯鉄筋および補強鋼材ひずみの進展状況

帯鉄筋および補強鋼材の荷重方向ひずみの進展と荷重変位の関係を図-5示す。同図では梁端固定部から50cmの位置にある帯鉄筋およびほぼ同位置の補強鋼材の各荷重ステップにおける最大引張ひずみ値を示しており、補強を施していないCase0模型供試体における同位置の帯鉄筋ひずみも示している。

Case0模型供試体では、水平耐力が大きく低下し、せん断破壊を生じたと思われる $1.5\delta_y$ 荷重時に大きなひずみ値を生じている。また、補強を施した各模型供試体においては水平荷重が低下し躯体コンクリートにせん断ひび割れが生じたと思われる変位で、帯鉄筋のひずみ値が大きな値を示している。帯状鋼材で補強を施したCase6, 8模型供試体では、帯鉄筋の降伏後も帯状鋼材が大きく降伏ひずみ越えることはなく補強鋼材が有効に作用していることが確認できる。また、水平変位-水平荷重関係および補強鋼材のひずみ値の挙動が同様であり、両者の補強効果はほぼ同等であると考えられる。したがって、帯状鋼材の配置間隔は断面高さの2/3程度にまで広げても、十分なせん断補強効果を有することが確認された。

また、Case6模型供試体と同様の鋼材配置とし補強量を約1/2としたCase7模型供試体では、 $5\delta_y$ 荷重時より補強鋼材にも大きなひずみ値が生じており、この補強量では $5\delta_y$ を越える変形に抵抗できていないことわかる。

4.まとめ

RCラーメン橋脚梁部のせん断耐力補強として、支承などの既設構造物の影響を考慮した補強工法を提案し、その補強効果を確認する荷重実験を行った。その結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 理想的な補強工法と考えられる4面鋼板巻立て補強とトラス理論の仮定に基づくせん断耐力が同程度とした帯状鋼材を用いた巻立て補強でも、同等のせん断補強効果があることが確認された。
- 2) 帯状鋼材の配置間隔は断面高さの2/3程度としてもせん断補強効果に差異は認められず、配置間隔をこの程度まで広げることが可能であると確認された。

なお、本実験は土木研究所、首都高速道路公団、阪神高速道路公団との共同研究として実施したものである。

【参考文献】

- 1) 寺山他：炭素繊維シートにより補強されたRCラーメン橋脚はり部材の正負繰返し荷重実験、土木学会第52回土木学会年次講演会、1998.9