

# 論文 鉛直打継目を有するコンクリート強度が異なる RC はりのせん断性状

太田 知則\*<sup>1</sup>・横田 隆雄\*<sup>2</sup>・辻 幸和\*<sup>3</sup>・杉山 隆文\*<sup>4</sup>

**要旨：**せん断スパン中央に鉛直打継目を設けた高強度および普通強度のRCはりを作製し、そのせん断耐力の低下等を実験的に検討した。その後、打継目を幅、厚さの異なる鋼板により被覆補強を施した場合のせん断性状を検討した。その結果、鉛直打継目を鋼板で被覆することにより、鉛直打継目が存在しないRCはりと同等の耐力を得ることができ、せん断圧縮破壊した普通強度のRCはりは、曲げ引張破壊へと移行した。そして、鋼板による補強機構にも考察を加えた。

**キーワード：**鉛直打継目、鋼板被覆補強、高強度コンクリート、せん断性状

## 1. はじめに

コンクリートは、連続して打ち込むよう努められている。しかし、セメントの水和熱に起因する温度応力および温度ひび割れの制御、さらに現場における施工能力の限界等により、連続して打ち込むことが困難な場合も多い。そのため、コンクリート構造物には必然的に打継目が存在することになる。打継目は入念に施工しないと、打継目の強度や水密性が低下し構造物の耐力および耐久性が失われる恐れがあり、構造上の弱点となる。

1995年に発生した阪神・淡路大震災では、多くの鉄筋コンクリートの橋脚が多大な被害を受け、とくに鉄筋を引張領域に定着するいわゆる段落とし部と、鉄筋の継手箇所が打継目の近傍にある橋脚について、著しいせん断破壊をした例も見られた<sup>1)</sup>。このことは、これらの構造物が設計された時点での耐震設計法が不十分なものもあったことを示している<sup>2)</sup>。そのため、既設構造物の早急な補強の必要性、および従来の打継目の性能評価と補強工法の改善<sup>3)</sup>が、急務な検討課題となっている。

本研究では、打継目部分を鋼板で被覆する工法に着目<sup>4)</sup>し、また、普通強度のコンクリートと高強度のコンクリートの品質の違いが、鉛直打継目を有するRCはりのせん断性状にどのような影響を及ぼすかを、実験的に検討する。その後、鉛直打継目を幅、厚さの異なる鋼板により被覆補強を施した場合のせん断性状を検討する。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

はり供試体の本体のコンクリートおよび普通グラウトには、普通ポルトランドセメントを使用した。粗骨材には大間々町小平産砕石、細骨材には渡良瀬川産川砂を使用した。シリカフェームには、粉体タイプを使用した。練混ぜ水は、群馬県桐生市の水道水を使用した。混和剤として、高性能AE減水剤を使用した。

軸方向鉄筋には、異形鉄筋のD10(SD295B)を圧縮側に、D16(SD345)を引張側に使用した。スターラップには、異形鉄筋のD6(SD295A)を使用した。実験に使用した異形鉄筋の力学的性状

- \* 1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)
- \* 2 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)
- \* 3 群馬大学 教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)
- \* 4 群馬大学助教授 工学部建設工学科 Ph. D. (正会員)

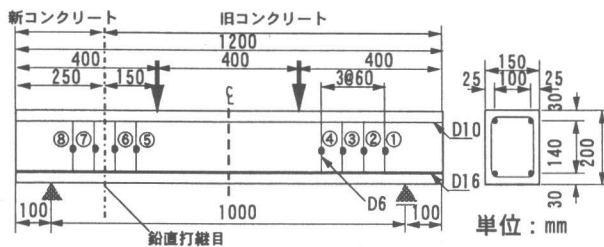


図-1 はり供試体の形状寸法

表-1 鉄筋の力学的性状

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )
D16 (SD345)	374.3	552.9	1.8
D10 (SD295)	351.4	493.5	1.9
D6 (SD295)	298.9	517.2	1.7

表-2 供試体種別

供試体名	鋼板幅 (cm)	鋼板厚さ (mm)	コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )	備考
無	—	—	35/75	一体物
有	—	—		打継目有り
5-1	5	1		鋼板被覆
5-2		2		
10-1	10	1		
10-2		2		
15-1	15	1		
15-2		2		
20-1	20	1		
20-2		2		

表-3 コンクリートの示方配合表

	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水結合材比 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
						W	C	SF	S	G	混和剤	旧	新
高強度コンクリート	15	8	4	30	45	181	544	60	700	919	9.06	84.4	76.2
普通コンクリート	15	8	4	50	49	187	374	—	844	955	3.74	53.1	45.6

表-4 グラウトの配合表

	水セメント比 (%)	減水剤添加率 (%)	膨張剤添加率 (%)	流動性 JA 漏斗 (sec)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
高強度グラウト	30	2.5	3.0	30	53.8
普通グラウト	40	1.0	0.008	15	28.4

を、表-1に示す。

補強用金属には、鋼板（耐力：245N/mm<sup>2</sup>，引張強度：400～500 N/mm<sup>2</sup>，弾性係数：2.1×10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup>）を使用した。

## 2.2 供試体の作製

はり供試体の形状寸法を、図-1に示す。はり供試体は、幅が15cm，高さが20cmの矩形断面であり，長さが120cmのものを作製した。せん断スパン比は60%，引張鉄筋比は1.56%である。供試体の設計に際し，打継目の無いRCはりにおける最大せん断耐力を曲げ耐力で除した値を荷重比とし，普通強度RCはりで1.002，高強度RCはりで1.052となり曲げ破壊を想定した。鉛直打継目は，せん断スパン中央である，供試体中央断面より35cmの位置に1ヶ所設けた。軸方向鉄筋は，引張鉄筋としてD16(SD345)を有効高さ17cmの位置に，圧縮鉄筋としてD10(SD295B)を有効高さ3cmの位置に，それぞれ2本ずつ配置した。また，スターラップとしてD6(SD295A)を，鉛直打継目において

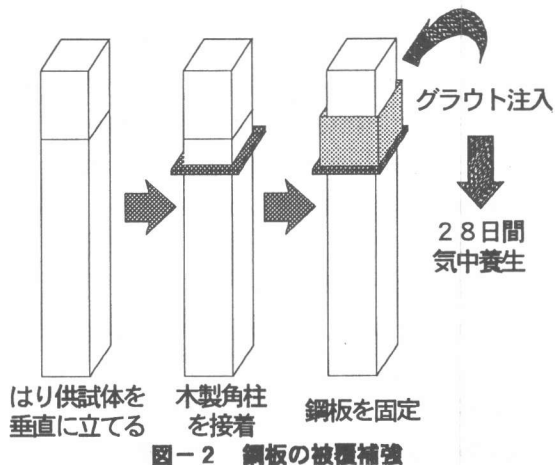


図-2 鋼板の被覆補強

対称となるように，間隔が6cmで4本ずつ，合計8本配置した。鋼板の設置位置は，鉛直打継目から対称になるように設置した。その際のコンクリート表面からの間隔は，グラウト注入が可能な最も狭い5mmとした<sup>5)</sup>。なお，本実験で，部材コンクリートと鋼板の接着にグラウトを使用したのは，両材料の一体化を図るためである。また，鋼板厚さを1mm，2mmと，鋼板幅を5cm，10cm，15cm，20cmと，それぞれ変化させた。

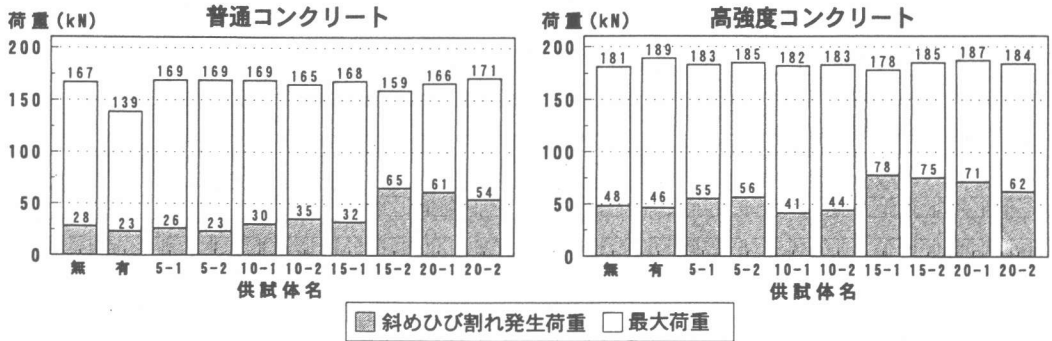


図-3 斜めひび割れ発生荷重および最大荷重

供試体種別を、表-2に示す。比較のために、打継目の無い一体もののRCはり”無”と、打継目に鋼板を補強しないRCはり”有”を作製した。

はり供試体のコンクリートの目標圧縮強度は、35N/mm<sup>2</sup>、75N/mm<sup>2</sup>とした。コンクリートの示方配合を、表-3に示す。なお、圧縮強度とは、曲げ載荷試験時のものである。コンクリートの練混ぜには、パン型強制練りミキサを用いた。

グラウトの目標圧縮強度は、はり供試体のコンクリートの目標圧縮強度を考慮して、35N/mm<sup>2</sup>、75N/mm<sup>2</sup>とした。グラウトの配合を表-4に示す。

打込み手順は、まず旧コンクリートを打ち込み、材齢24時間後に脱型し、ワイヤブラシを用いて打継面のレイタンスの除去した後、材齢48時間後に新コンクリートを打ち込んだ。なお、JIS A1108に基づき、圧縮強度用に直径10cm、高さが20cmの円柱供試体を一回の打込みに対し3本製作した。いずれも、棒形振動機を用いて、材料分離が生じない程度に締固めを行った。そして、新コンクリートの材齢が28日になるまで水中養生を行い、鋼板を設置してグラウトを注入した後は、実験室内で室内養生とした。

### 2.3 鋼板被覆補強工法

鋼板の被覆補強の作業進行過程を図-2に示す。鋼板を供試体に固定する方法としては、まず、供試体を新コンクリートの材齢28日で

水中から取り出し、供試体を垂直に設置した。被覆する鋼板の中心が打継目にくるようにシリコン樹脂系の接着剤により、木製の角柱を供試体に接着した。その後、鋼板を供試体との間隔が5mm均一となるように角柱に載せ、鋼板と角柱をシリコン樹脂系の接着剤により接着した。接着を確認した後に、鋼板・供試体間にグラウトを注入した。なお、供試体に鋼板を設置する前には、供試体の鋼板設置部分のコンクリート表面は、#80紙ヤスリを用いてみがいた。

### 2.4 載荷試験方法

グラウトの材齢が28日に達した時点で、曲げ強度試験を行った。曲げ強度試験は、図-1に示したように、スパンが100cm、載荷点間が40cmの2点集中載荷で行った。

載荷試験においては、1kN毎に引張鉄筋とスターラップのひずみ、コンクリートの圧縮縁および引張縁のひずみ、はり中央部のたわみ、ならびにはり供試体側面の引張鉄筋位置における曲げひび割れ幅を測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 斜めひび割れ発生荷重および最大荷重

斜めひび割れの発生荷重および最大荷重を図-3に示す。

#### (1) 斜めひび割れ発生荷重

コンクリートの目標圧縮強度が35N/mm<sup>2</sup>の普通コンクリートを用いたRCはりでは、鋼板の幅が10cm以上になると斜めひび割れの発生が

遅れ、15cm 以上で厚さが 2mm の鋼板を配置することにより、大幅な斜めひび割れ発生荷重の増加が図られた。

コンクリートの目標圧縮強度が  $75\text{N/mm}^2$  の高強度コンクリートを用いた RC はりでは、鉛直打継目を設けたことによる斜めひび割れ発生荷重の低下が小さくなるとともに、鋼板の補強により、普通コンクリートを用いた場合に比べて大きな斜めひび割れ発生荷重を得ることが認められる。高強度コンクリートを用い、幅 15cm、厚さ 1mm および 2mm の鋼板で補強した RC はりの斜めひび割れ発生荷

重が、一体もの、鉛直打継目を有する RC はりよりも低い値を示したのは、補強を施していない側に応力が集中してしまったためと考えられる。

したがって、斜めひび割れ発生荷重の点から、普通および高強度のいずれのコンクリートを用いた RC はりにおいても、幅が 15cm、厚さ 2mm 以上の鋼板を用いることにより、斜めひび割れの発生を顕著に抑制できた。

## (2) 最大荷重および破壊形式

鉛直打継目をせん断スパン中央に有する普通コンクリートを用いた“普通・有”のはりは、軸方向鉄筋が降伏する前に斜めひび割れの進展が著しくて、せん断圧縮破壊となった。“普通・有”を除いた他の普通コンクリートを用いた RC はりは、すべて曲げ引張破壊であったため、最大荷重の値も 170kN 前後と、ほぼ一定となった。

普通強度のコンクリートを用いた RC はりでは、鉛直打継目は構造上の弱点となっており、

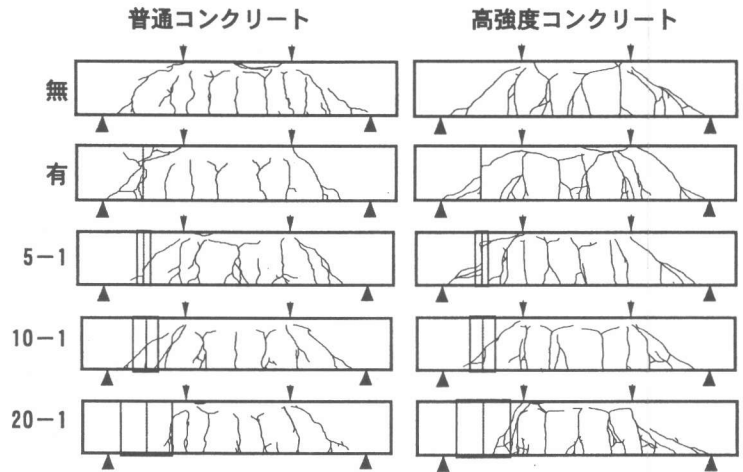


図-4 ひび割れの発生状況

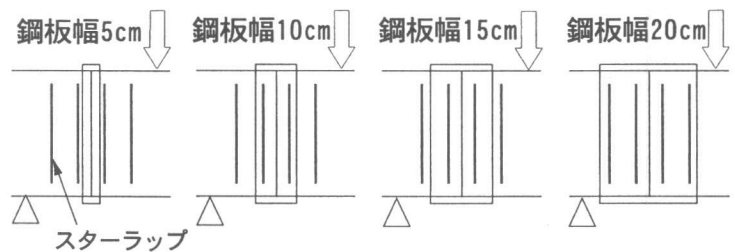


図-5 鋼板幅とスターラップの位置

鋼板で補強することによりせん断耐力を向上させ、打継目の無い RC はりと同等に改善できることが示された。

高強度コンクリートを用いたすべての RC はりの最大荷重は、180kN 前後の値を示している。破壊形式も、すべてのはりで曲げひび割れが発生した後で引張鉄筋が降伏し、その後に圧縮縁のコンクリートが破壊した曲げ引張破壊であった。すなわち、鉛直打継目を有する RC はりにおいても、曲げ引張破壊であったため、最大荷重は、他の供試体と同等な値を示した。高強度コンクリートを用いたため、旧コンクリートと新コンクリートの打継目の接着強度がより強く発現されたためと考えられる。

破壊荷重や破壊形式の点を勘案すると、高強度コンクリートを用いると、打継面を十分に粗にする処理を施すことで、鉛直打継目が構造上の弱点となることは軽減できると思われる。

### 3.2 ひび割れの発生状況

はり供試体の破壊時におけるひび割れ発生状況の一例を図-4に示す。普通コンクリートを用いた鉛直打継目を有するRCはりでは、鉛直打継目から曲げひび割れが入り、斜めひび割れに移行、進展してせん断圧縮破壊に至った。

鉛直打継目の無いRCはりには、支点と載荷点間を結ぶように斜めひび割れが直線的に発生している。

鋼板補強を施したRCはりにおいては、鋼板幅によって3種類の斜めひび割れの発生状況になったと判断される。すなわち、鋼板幅が5cmの場合は、鉛直打継目からの曲げひび割れと斜めひび割れが明瞭に結びついている。また、斜めひび割れは、鉛直打継目において若干この打継目に沿うように発生しているのが特徴である。

鋼板幅が10cmの場合は、斜めひび割れが打継目の無いRCはりのように、支点と載荷点間を結ぶように斜めひび割れが直線的に発生しているのが特徴である。

鋼板幅が20cmの場合は、鉛直打継目の引張縁側と載荷点を結ぶように斜めひび割れが発生している。また、鋼板幅が20cmになると、打継目の無い健全な側にひび割れが多くなる。この傾向は、高強度コンクリートを用いたRCはりには、より明確に表れている。

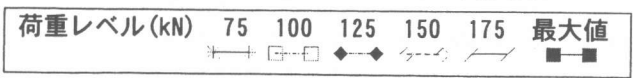
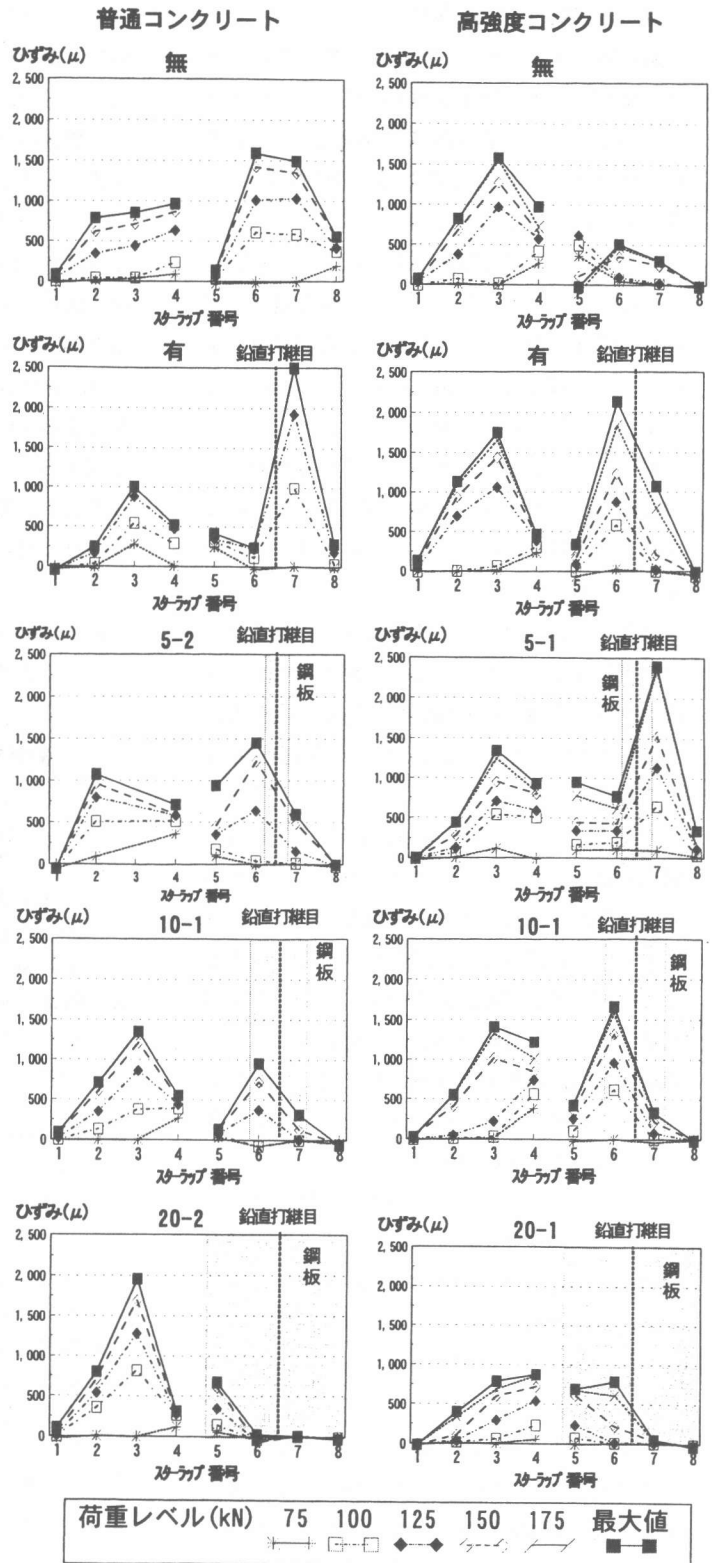


図-6 各荷重レベルにおけるスターラップのひずみ

### 3.3 スターラップのひずみ

鋼板幅とスターラップの位置を図-5に示す。鋼板幅が5cmの供試体は鋼板内にスターラップを1本も含まず、鋼板幅が10cmおよび15cmの供試体は2本、鋼板幅が20cmの供試体は4本すべてを、それぞれ含んでいる。

スターラップ番号は図-1に示す。各荷重レベルにおけるスターラップのひずみを図-6に示す。普通コンクリートを用いた鉛直打継目に有するRCはりでは、鉛直打継目の存在によりスターラップが大きく歪んでいる。

普通コンクリートを用いたRCはりにおいて、鋼板幅が広がるほど打継目側のひずみは軽減されるが、打継目の無い健全な側のひずみは増大している。

高強度コンクリートを用いたRCはりでは、曲げ引張破壊し、斜めひび割れ発生荷重および最大荷重からは、鉛直打継目が構造上の弱点とは見られなかったが、スターラップのひずみは大きくなっている。

普通コンクリートを用いたRCはりでは、鋼板幅が5cmであってもスターラップのひずみの低減効果が見られるが、高強度コンクリートを用いたRCはりでは、鋼板幅が10cm以上でなければ、その効果が見られない。また、高強度コンクリートを用いると、普通コンクリートで認められた鋼板の補強量が多くなることにより、鉛直打継目の無い側のスターラップのひずみが増加する現象は見られない。

いずれのコンクリートを用いたRCはりにおいても、鋼板厚さが大きいほど、スターラップのひずみは軽減されるが、鋼板幅を大きくするほどの影響はない。

### 4. まとめ

鉛直打継目をせん断スパン中央に設けたRCはりを作製し、鉛直打継目を鋼板による被覆補強を施した場合のせん断性状について検討した。本研究の範囲内で、次のことがいえると思われる。

(1) 普通コンクリートを用いたRCはりにおいて、鋼板幅が5cmであっても、補強効果が認められるが、鋼板量が多すぎると、補強のない側の斜めひび割れが発達し、スターラップのひずみも大きくなることもある。

(2) 高強度コンクリートを用いたRCはりでは、鉛直打継目の存在が斜めひび割れ発生荷重、最大荷重および破壊形式に悪影響を及ぼさなかったが、スターラップのひずみは増加させる。

(3) 斜めひび割れの発生状況は、鉛直打継目を有するRCはりにおいて、鉛直打継目に沿って発生しているが、鋼板補強を施すことにより改善され、鉛直打継目が存在しないRCはりの斜めひび割れの発生状況に近づく傾向がある。

謝辞：本研究は、文部省科学研究費補助金（基盤研究C課題番号09650502）により実施した。

### 5. 参考文献

- 1) 土木学会：土木学会誌4月号，Vol. 80，pp. 11～19，1995. 4
- 2) 岡村，佐伯，金津，鈴木，松本：コンクリート構造物の耐震設計基準の変遷，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp. 563～570，1996. 1
- 3) 新山，溝口，渡辺，鈴木：鋼板接着方法のRC構造物への補強効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 17，No. 2，1995. 6
- 4) 辻，松浪，橋本，杉山：打継目の鋼板補強におけるグラウト品質，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp. 373～376，1996. 1
- 5) 建設産業調査会：最新コンクリート材料・工法ハンドブック，pp. 977～985，1986. 1
- 6) 森脇，辻，木暮，松下：せん断スパン内に鉛直打継目を有するRCはりのせん断性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 15，No. 2，pp. 323～328，1993. 6
- 7) 辻，杉山，橋本，松浪：鉛直打継目を有するRCはりの鋼板補強に関する基礎研究，土木学会論文集，No. 571/V-36，pp. 169～183，1997. 8