

水中部 R C 橋脚の耐震補強工法の補強効果確認実験

清水建設（株）	正会員	滝本 和志
横浜市港湾局		鈴木 順次
横浜市港湾局		鈴木東四郎
清水建設（株）	正会員	今井 克美
東亜建設工業（株）	正会員	羽渕 貴士

1. はじめに

既設 R C 橋脚の耐震補強工事において、段落し部の曲げ補強を目的とした巻立て工法を実施する場合、新たに配置する主鉄筋や鋼板に軸方向力が確実に伝達できるように、既設部と補強部の一体化が必要となる。横浜市港湾局所管の大黒大橋耐震補強工事では、R C 巻立て工法により段落し部の曲げ補強を実施することとなった。また、基礎耐力が不足している橋脚については、重量増加の少ない鋼板巻立て工法を用いることとした。大黒大橋は横浜港内に位置しており、航路に近く水深も深いため、大規模な仮締切を設けずに水中施工で補強工事を実施することが検討された。通常、既設橋脚表面に目粗し処理を行って一体化を図っているが、水中での施工の場合、十分な目粗しが困難であるのみならず、目粗し面に藻や海洋生物が付着して既設部と補強部の一体性を損なう恐れがある。そこで、水中施工においても既設部との一体性を確保する方法として、既設部と補強部の間にジベルプレート¹⁾を配置する工法を検討した。この工法は、既設橋脚表面に水平方向に連続した溝を切削し、この溝に鋼製のプレートを水中硬化型エポキシ樹脂を用いて埋め込むことにより、境界面に発生するズレを防止し、既設部との一体性をジベルとして機械的に確保するという補強工法¹⁾である。本検討では、R C 巻立て工法および鋼板巻立て工法において、ジベルプレートの効果の有無を実験的に確認するため橋脚モデルの載荷実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は橋脚をはりにモデル化し、R C 巻立て補強した SP0、SP1 試験体、鋼板巻立て補強した TP0、TP1 試験体の 4 体とした。実験要因はジベルプレートの有無である。試験体記号の末尾の 0 がジベルプレートのない試験体、1 がジベルプレートを配置した試験体を示す。図-1 に試験体形状寸法および各断面図を示す。試験体の左半分が試験区間で、実際の橋脚では載荷点が橋脚基部に、左の支点が上部構造の慣性力の作用位置に対応する。試験区間は実橋脚に合わせて円形断面とし、右半分は矩形断面とした。

対象とした実橋脚は、R C 巻立て補強する橋脚の高さが 13.4m、直径が 4.5m であるのに対して、鋼板巻立て補強する橋脚の高さは 23.5m、直径は 8m と大きく異なっている。試験体製作にあたっては、R C 巻立て補強する橋脚の約 1/8 の縮尺を基準として、基本部の形状寸法はせん断スパン 1,700mm、直径 560mm と同一とした。試験体の諸元を表-1 に示す。鋼板巻立て補強試験体の寸法は、実橋脚の約 1/15 の縮尺モデルとなる。鉄筋は D6、D10 鉄筋を用いて鉄筋比が実橋脚と同程度となるように配筋した。鋼板巻立て補強試験体の鋼板厚さやモルタル充填厚さは施工可能な最小寸法とし、ジベルプレートの大きさは R C 巻立て補強試験体と同じとした。基本部主鉄筋は、載荷点から 600mm の位置で主鉄筋量の 1/3 をカットした。ジベルプレートは幅 5mm × 厚さ 2.3mm とし、既設コンクリート部に 2.5mm 埋め込んだ。図-2 にジベルプレートの埋め込み状況を示す。配置は実際の段落し位置の上下に 4 段ずつ、87.5mm ピッチとした。

キーワード：耐震補強、R C 橋脚、水中施工、ジベルプレート、段落し部

連絡先（〒135-8530 江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-5533 FAX 03-3820-5959 E-mail : takimoto@sit.shimz.co.jp）

試験体は基本部のコンクリートを打設した後、補強部の製作を行った。製作の都合上、ジベルプレートは基本部製作時の型枠に取り付けて、基本部のコンクリート打設時にあらかじめ組み込んだ。基本部表面にグリースを塗り、基本部コンクリートと補強部との付着をなくした。また、曲げ耐力を増加させないために、矩形部と補強部の間に 20mm の隙間を設けた。

2.2 ジベルプレート

ジベルプレートの設計においては、ジベル筋と同様の設計モデルを採用することとした。すなわち、補強部の主鉄筋または鋼板が負担すべき設計引張力が既設コンクリートと補強部材との界面に作用するせん断力と考え、ジベルプレートをジベル筋として設計する。既設部と補強部の界面せん断力に対して、ジベルプレート自身のせん断抵抗とジベルプレートに接するコンクリートの支圧抵抗が許容応力度以内に収まるように設計することとした。

2.3 載荷方法

載荷方法は、両端単純支持でスパン中央を一方向に単調載荷した。軸力は作用させていない。載荷パターンは、第 1 サイクルが 100kN まで、第 2 サイクルが基本部主鉄筋が降伏ひずみに達するまでとし、第 3 サイクルは破壊もしくは部材角で 1/20 を越える変位まで載荷することを目標とした。ここでは、最外縁の主鉄筋が降伏した時点ではなく、主鉄筋に作用している引張力の合力位置のひずみが降伏ひずみに達した時点を降伏と定義した。

試験体が左右非対称なので、載荷点だけでなく左右両支点に作用する荷重も計測し、実験結果の整理においては試験区間側の支点反力を作用荷重として用いた。

変位は、載荷点位置を固定基礎と考え、図-3 に示すように試験体を時計回りに 90 度回転させて求めた換算変位を用いることとした。鋼板巻立て補強試験体のひずみ計測位置を図-4 に示す。

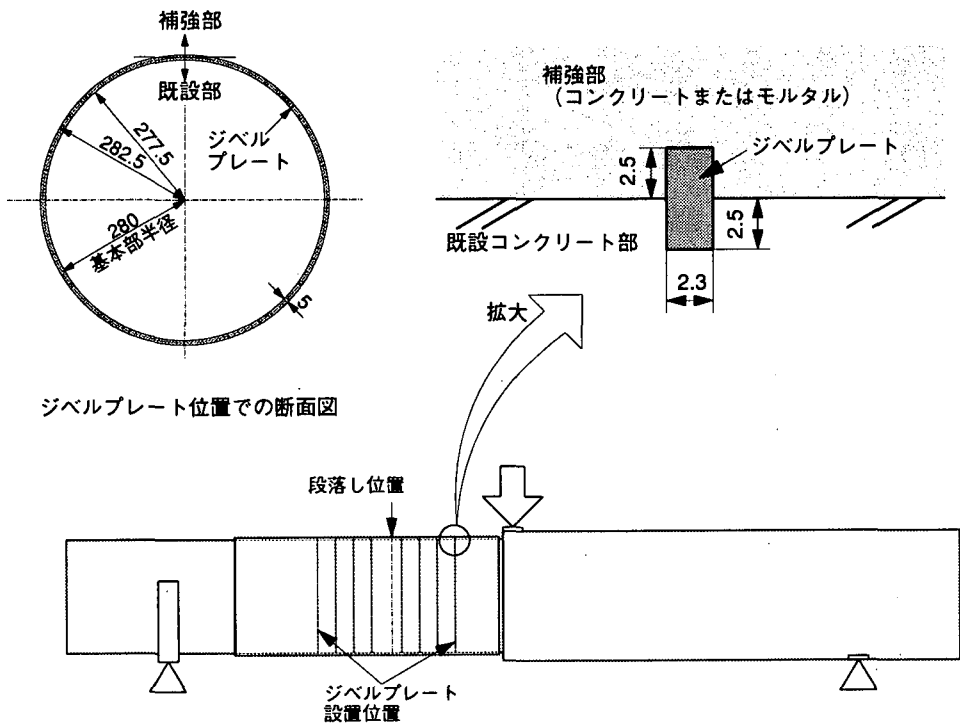


図-2 ジベルプレート部詳細

表-1 試験体の諸元

基本部主鉄筋		基本部帯鉄筋		RC巻立て部		鋼板巻立て部
段落し下部	段落し上部	RC巻立て	鋼板巻立て	主鉄筋	帯鉄筋	鋼板厚さ
48-D16	32-D16	D6 ctc 100	D6 ctc 200	32-D6	D6 ctc 100	1.2

3. 実験結果と考察

3.1 荷重－変位関係

材料試験結果を表－2、3に示す。荷重計算結果を表－4に、実験結果を表－5に示す。SP0 試験体は、最大荷重に達する前に載荷を終了した。実験で得られた降伏荷重は計算値に比べて20%程度大きくなっており、最大荷重も終局荷重計算値を大きく上回っている。各試験体ともに最大荷重を維持している段階で載荷を終了しており、終局状態には達していないことから、試験体の変形性能は載荷最大変位以上あるものと考えられる。このように、耐力、変形性能の観点から見ると、ジベルプレートの有無に関わらず、4体ともに十分な性能を有していると判断できる。

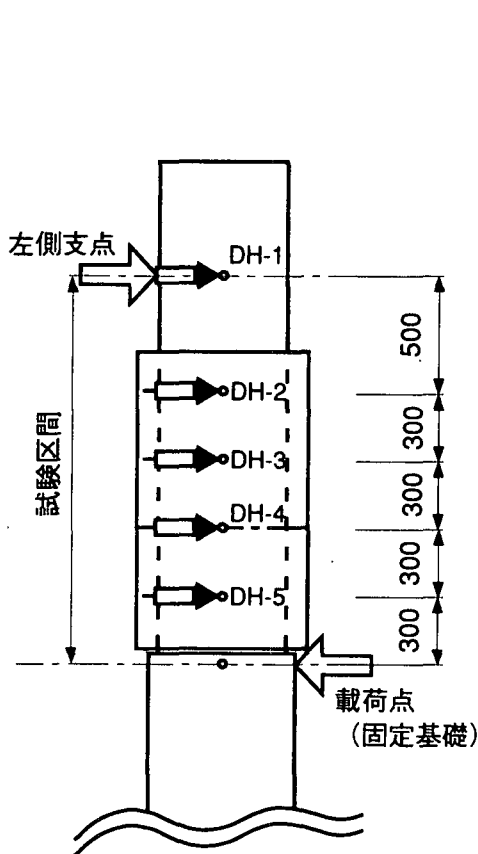
荷重－変位関係を図－5、6に示す。同一変位における荷重を比べると、ジベルプレートを配置した試験体の荷重の方がジベルプレートのない試験体に比べて10%程度大きくなっている。

3.2 補強部のひずみ

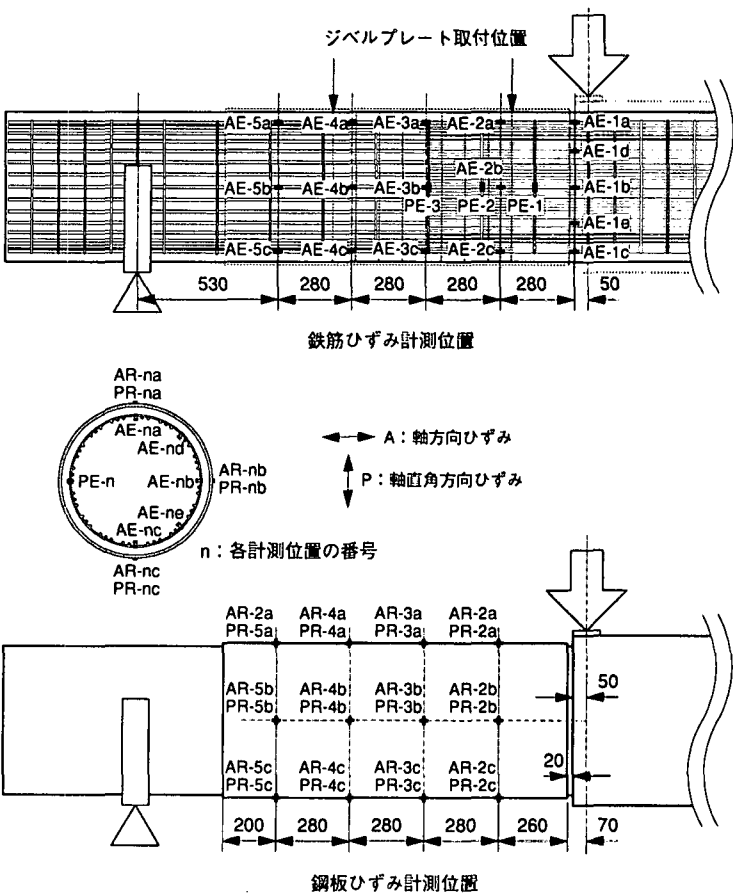
図－7～10に補強部の引張側主鉄筋ひずみ分布および鋼板の軸方向ひずみ分布を示す。SP1 試験体の場合、載荷点に近い位置から補強部中央にかけてほぼ一様なひずみが発生しており、4体の中で最も補強部に力が伝達されていることがわかる。鋼板巻立ての場合もジベルプレートを配置することで、補強鋼板に軸方向力が伝わっていることがわかるが、鋼板に発生しているひずみの値は、RC巻立て補強部の主鉄筋に発生しているひずみに比べると半分以下となっている。

3.3 ひび割れ状況

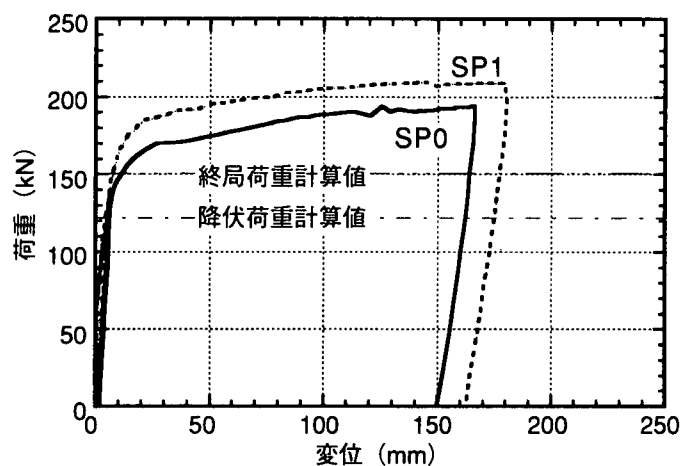
図－11～14に各試験体のひび割れ状況を示す。上段に補強モルタルのひび割れ状況および鋼板を剥がして観察した充填モルタルのひび割れ状況を、下段に補強部を撤去して観察した基本部コンクリートのひび割れ状況を示す。試験体表面を下端で切って展開した図となっている。補強モルタル部には乾燥収縮によるひび割れも見られたため、載荷終了時にひび割れ幅が0.2mm以上のひび割れだけを示してある。引張側の損



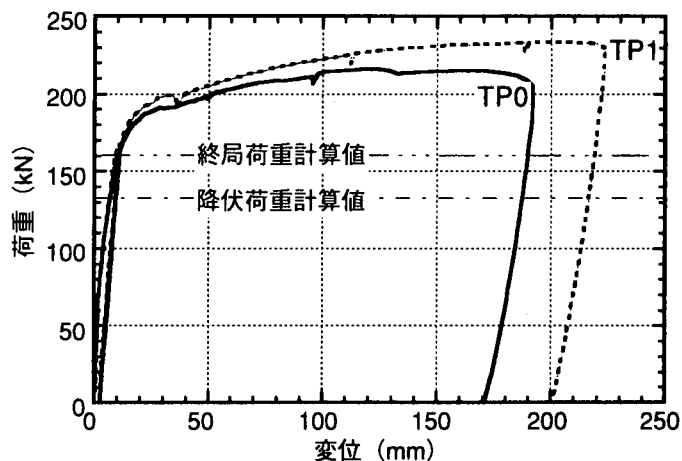
図－3 換算水平変位の位置と記号



図－4 ひずみ計測位置



図－５ 荷重－変位関係（ＲＣ巻立て補強）



図－６ 荷重－変位関係（鋼板巻立て補強）

表－２ コンクリートおよびモルタルの材料試験結果

試験体の種類	材料	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
ＲＣ巻立て 補強試験体	基本部コンクリート	33.4	2.55	28.3	0.21
	補強部モルタル	27.5	1.18	7.79	0.23
鋼板巻立て 補強試験体	基本部コンクリート	26.2	2.46	29.0	0.21
	充填モルタル	43.0	3.75	23.6	0.20

表－３ 鋼材の引張試験結果

試験体の種類	鋼材の種類	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (μ)	弾性係数 (kN/mm ²)	破断伸び (%)
ＲＣ巻立て 補強試験体	D6 鉄筋	408.0	556.9	2315	176	標点外破断
	D10 鉄筋	328.6	486.7	1786	184	31
鋼板巻立て 補強試験体	D6 鉄筋	414.1	563.1	2308	180	24
	D10 鉄筋	364.1	561.7	2082	175	25
	1.2mm鋼板	221.6	356.4	1151	192	26
	2.3mm鋼板	282.5	441.2	1604	177	34

表－４ 計算結果一覧

試験体の種類	降伏荷重 (kN)	終局荷重 (kN)
ＲＣ巻立て補強試験体	122.1	150.5
鋼板巻立て補強試験体	132.3	160.2

表－５ 実験結果一覧

試験体名	降伏荷重 (kN)	降伏変位 (mm)	最大荷重 (kN)	最大荷重時 変位 (mm)	載荷最大 変位 (mm)	載荷最大 部材角 (rad.)
SP0試験体	150.0	11.5	193.9	166.2	166.3	1/10.2
SP1試験体	166.7	10.7	209.8	145.4	180.5	1/9.5
TP0試験体	160.9	10.6	215.8	120.5	191.9	1/8.9
TP1試験体	163.9	10.0	233.3	194.3	223.3	1/7.6

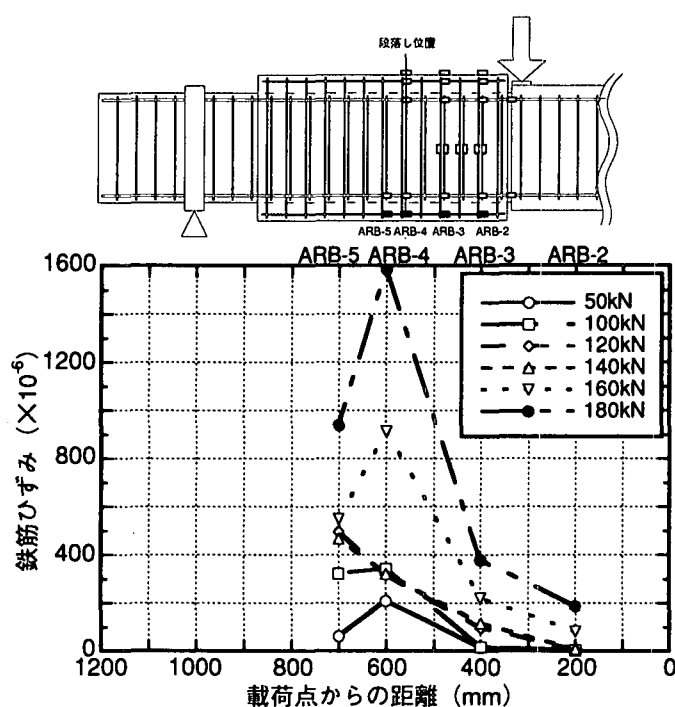


図-7 補強部主鉄筋ひずみ分布 (SP0試験体)

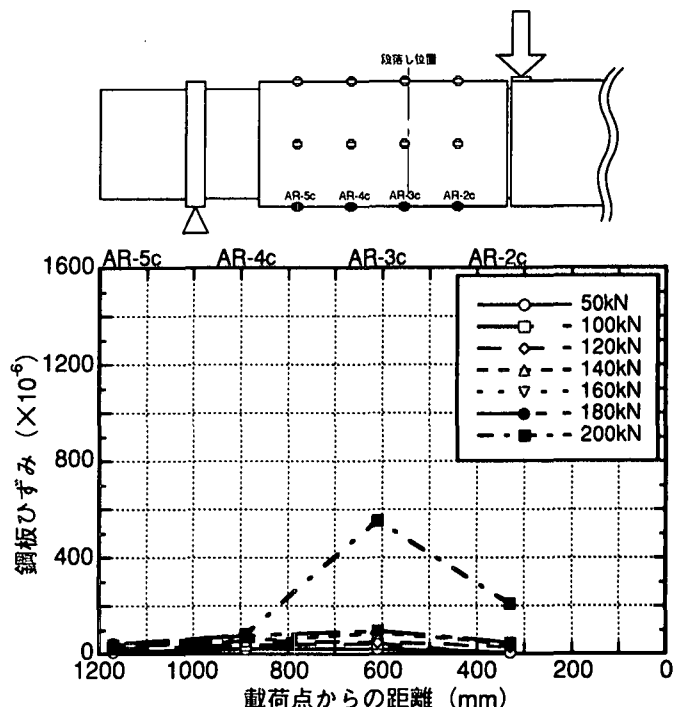


図-8 補強鋼板ひずみ分布 (TP0試験体)

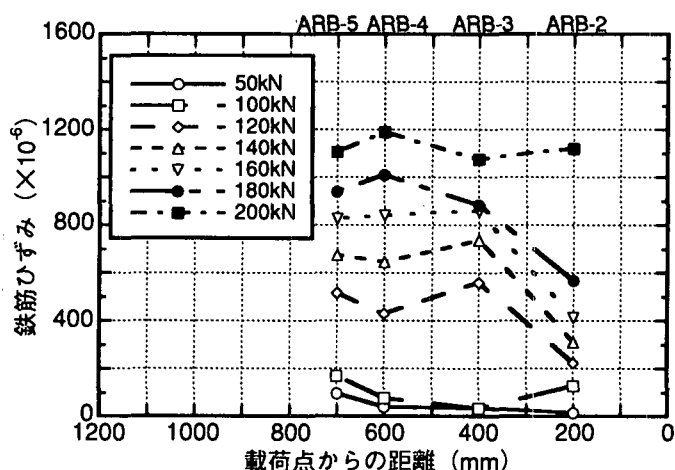


図-9 補強部主鉄筋ひずみ分布 (SP1試験体)

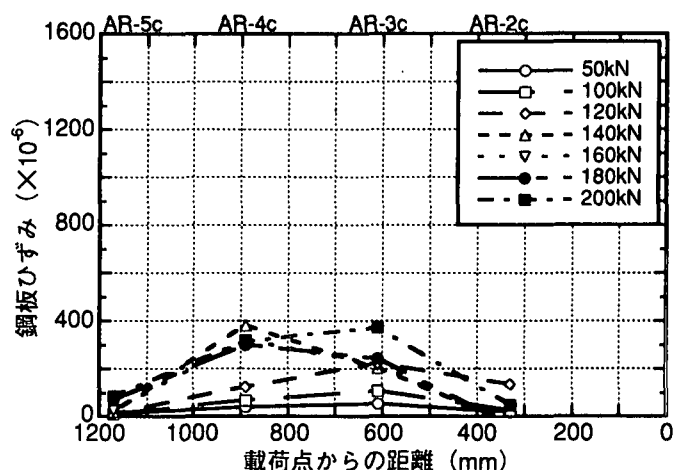


図-10 補強鋼板ひずみ分布 (TP1試験体)

傷位置の違いがわかる。基本部コンクリートのひび割れ状況は、補強の違いによる影響は見られないが、ジベルプレートの影響が大きく現れている。すなわち、ジベルプレートがない試験体の場合、段落し位置を越える付近まで曲げひび割れが多数発生しているのに対して、ジベルプレートがある試験体は、載荷点から1段目のジベルプレートの位置までに主要なひび割れが集中する傾向が見られる。

TP0試験体の充填モルタルと基本部コンクリートのひび割れ状況が、圧縮部を除いて全く異なるパターンを示しているのに対して、TP1試験体の充填モルタルのひび割れ状況は、ひび割れ本数は少ないものの、基本部コンクリートと同様のひび割れパターンを示しており、ジベルプレートを配置することで、充填モルタル部分にも基本部コンクリートと同様の力が作用したものと考えられる。

3.4 ジベルプレートの効果

図-15、16に断面高さ方向における軸方向ひずみ分布の比較を示す。ジベルプレートがない試験体の場合、RC巻立て補強試験体、鋼板巻立て補強試験体ともに補強部に発生しているひずみは小さく、荷重が増加してもひずみは増加せず、補強部にはほとんど力が伝わっていないことがわかる。ジベルプレートを配置した試験体の補強部圧縮側には、基本部の主鉄筋と同程度の圧縮ひずみが発生しており、どちらもジベルプレートの効果が見られる。引張側のひずみは、RC巻立て補強試験体の場合、荷重の増加にともなって増

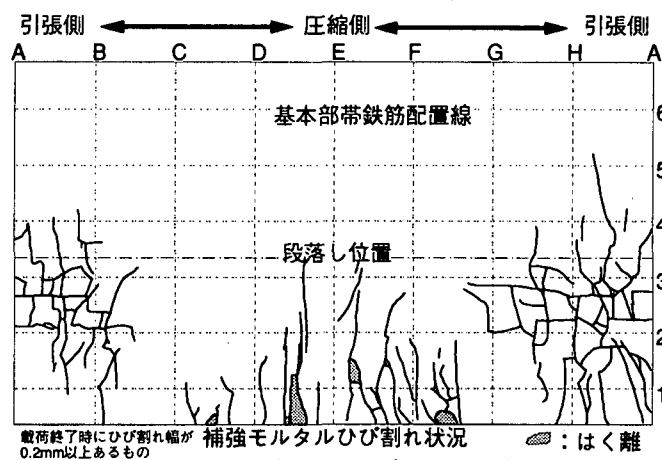


図-1 1 SP0試験体ひび割れ状況

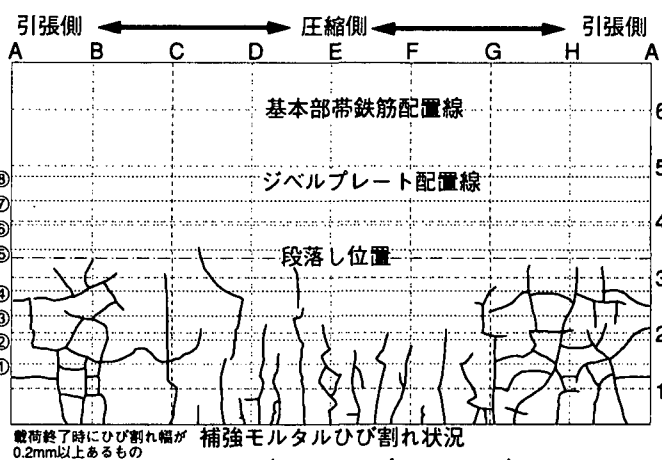


図-1 2 SP1試験体ひび割れ状況

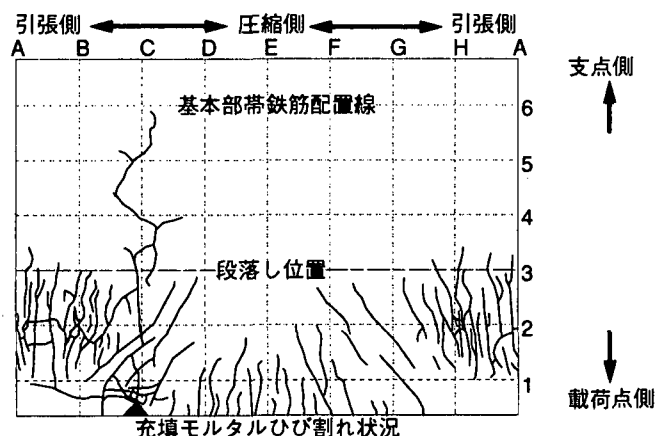


図-1 3 TP0試験体ひび割れ状況

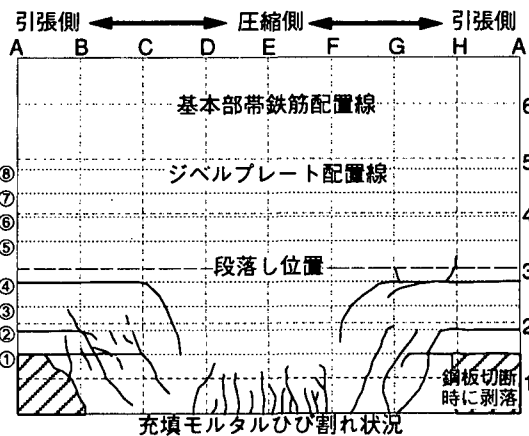


図-1 4 TP1試験体ひび割れ状況

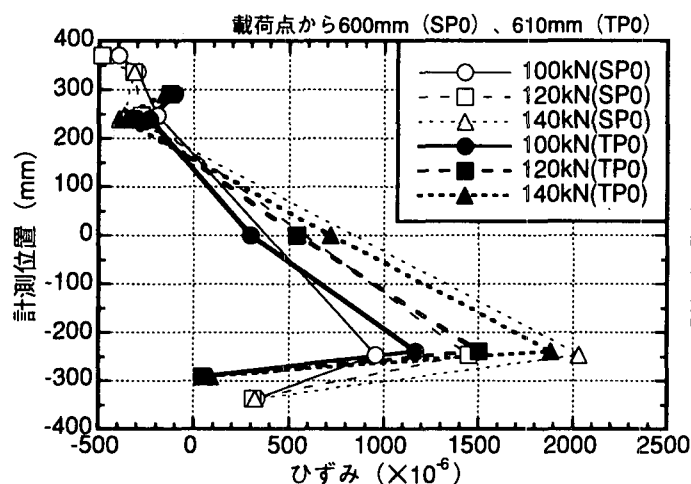


図-15 断面高さ方向のひずみ分布の比較
(ジベルプレートなし)

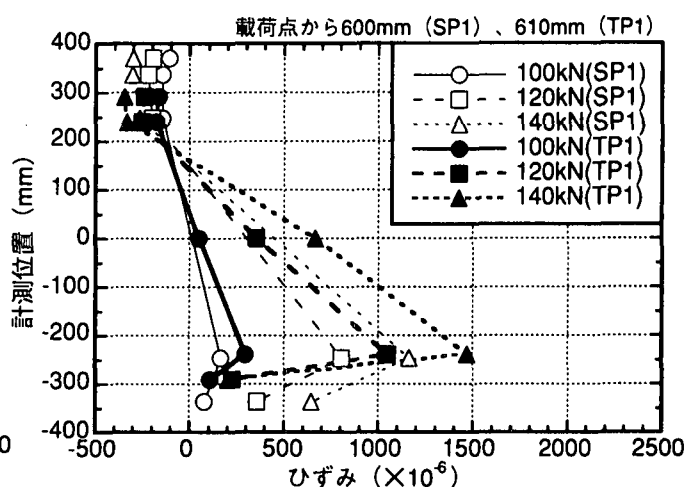


図-16 断面高さ方向のひずみ分布の比較
(ジベルプレートあり)

加しているのに対して、鋼板巻立て補強試験体の場合は、ジベルプレートのない試験体に比べて若干ひずみの値が大きい程度である。

限られた条件の範囲内ではあるが、実験結果をまとめると、ジベルプレートを配置することで、同一変位における耐力が10%程度大きくなること、損傷範囲が載荷点近傍に集中すること、補強部引張側の主鉄筋および鋼板に発生する軸方向ひずみが増加することがわかった。また、鋼板巻立てにおける充填モルタルのひび割れ状況からも、ジベルプレートを介して基本部コンクリートから補強部に軸方向力が伝達されたものと考えられる。今回の実験では、RC巻立て補強の方が鋼板巻立て補強よりも明確にジベルプレートの効果が現れていた。これは、試験体の縮尺がRC巻立ての1/8に対して、鋼板巻立ては1/15と、実橋脚に比べて非常に小さな試験体となったことから、鋼板巻立てにおいて、ジベルプレートの効果が十分発揮できなかった可能性が考えられる。このように実橋脚の形状寸法の忠実なモデル化だけでなく、縮小化の程度や縮小化に伴う強度の影響についても検討する必要がある。

ジベルプレートのない試験体においても、段落し部での破壊は生じなかったことから、十分なせん断補強がなされていれば、段落し位置での破壊は防止できるものと考えられるが、どの程度のせん断補強量が必要なのか、今後さらに検討する必要がある。

4. まとめ

ジベルプレートの効果の有無を確認するために実施した載荷実験の結果、得られた知見を以下に示す。

1. 既設部と補強部の間にジベルプレートを配置することで、耐力が10%程度増加した。
2. ジベルプレートにより、塑性ヒンジ領域が減少し、損傷が載荷点近傍に集中する。
3. ジベルプレートを介して既設部の軸方向力が補強部主鉄筋や鋼板に伝達された。
4. RC巻立て補強の方が、鋼板巻立て補強よりもジベルプレートの効果が明確に現れた。
5. 今回の実験の範囲内では、4体ともに十分な耐力、変形性能を示した。

以上のことから、ジベルプレートに既設部と補強部の一体性を高める効果があることが確認できた。限られた実験の範囲内ではあるが、ジベルプレートを用いる補強工法は、水中施工による橋脚の耐震補強工事において、有効な補強工法になるものと考えられる。なお、段落し部のせん断補強方法や試験体のモデル化については、今後さらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) 前田、近藤、鈴木、今井、羽瀨：水中部RC橋脚の耐震補強工法の開発、「第3回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集、1998年7月