

横拘束筋の端部定着構造とその定着性能の検討

塩島亮彦¹・運上茂樹²・星隈順一³

¹正会員 土木研究所 耐震研究グループ(〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

²正会員 工博 土木研究所 耐震研究グループ(〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

³正会員 工博 土木研究所 耐震研究グループ(〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

1. はじめに

鉄筋コンクリート橋脚構造においては、平成7年の兵庫県南部地震による甚大な被害の経験を踏まえて、地震時における塑性変形性能の向上が不可欠となった。このために、帯鉄筋や中間帯鉄筋が非常に多く配筋されるとともに、これらの定着や継手についても十分な性能を確保することが必要とされた。これに伴って現場における帯鉄筋や中間帯鉄筋の施工作業が非常に煩雑になるとともに、コンクリートの確実な充填性についても注意が必要となっている。

本研究は、鉄筋コンクリート構造の塑性領域において必要な変形性能を確保するとともに、施工の効率化と施工コストの低減を図ることも可能な技術開発を行うことを目的として、帯鉄筋や中間帯鉄筋の端部における定着構造について幾つかのアイデアを考案した。そして、その定着性能について、引抜試験、及び力学的検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 帯鉄筋と中間帯鉄筋に求められる性能と従来の配筋方法

地震時に塑性化することを考慮する鉄筋コンクリート橋脚においては、帯鉄筋は内部コンクリートを拘束する役割、軸方向鉄筋の座屈を抑制する役割ならびにせん断耐力を高める役割があり、中間帯鉄筋は帯鉄筋を補完してこれらの効果を高める役割がある。地震時に橋脚に塑性化が生じるような変形が生じて、これらの役割を確実に果たすためには、帯鉄筋と中間帯鉄筋の端部の定着に十分配慮する必要がある^{1), 2)}。例えば、道路橋示方書V耐震設計編では、中間帯鉄筋の端部を半円形フックもしくは鋭

角フックとし、そのフックを帯鉄筋にかけた上で内部のコンクリートに定着させることとなっている。中間帯鉄筋の端部を帯鉄筋にかけるのは、大きな塑性変形が生じて帯鉄筋が外側にはらみだしにくくすることにより軸方向鉄筋の座屈を抑制し、内部コンクリートの拘束効果を高めるためである。

中間帯鉄筋の両端を帯鉄筋にかける場合、端部のフック形状として半円形フックや鋭角フックを用いるとその施工が非常に難しく、直角フックの方が施工しやすい。しかし、中間帯鉄筋の端部を直角フックとした鉄筋コンクリート柱に対する正負交番載荷実験によると、かぶりコンクリートが剥離すると、帯鉄筋のはらみだしに対して直角フックが十分に抵抗できず、直角に曲げられていたフックがまっすぐに伸びようとする挙動を示し、これによって内部コンクリートが拘束できなくなることがわかっている¹⁾。このような点を踏まえ、実際の施工では、一端に半円形フックを有する2本の鉄筋を断面内部で継いだ中間帯鉄筋とすることが多くなっている。

3. 直角フックを有する横拘束筋の端部定着構造

帯鉄筋や中間帯鉄筋の施工性の向上を図った定着構造については既に幾つかの提案があるが^{3), 4)}、本研究では、端部のフックとして施工性のよい直角フックを使いながらも、かぶりコンクリートが剥落するような損傷が生じて帯鉄筋との定着を確保し得る単純で簡単な機構の定着構造について検討を行った。

図-1は、長円形状のリングを用いて中間帯鉄筋を帯鉄筋と定着させる構造の概念図を示したものである。これは、予め中間帯鉄筋にリングを通してお

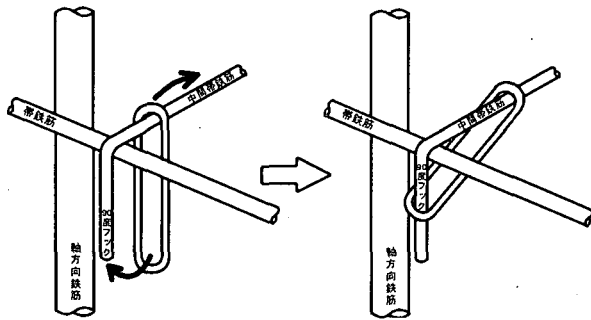


図-1 長円形状リングによる定着

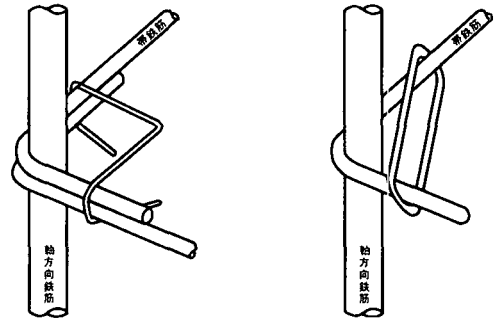


図-2 軸方向鉄筋への定着

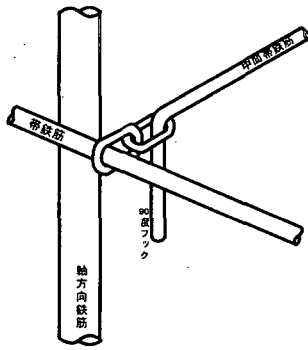


図-3 鎖状リングによる
帯鉄筋への定着

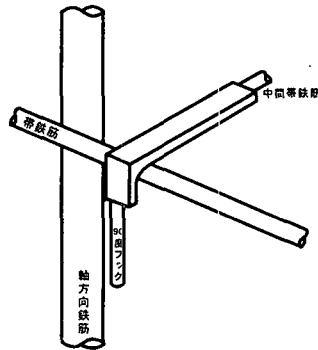


図-4 鋼製アングルによる
直角フックの補強

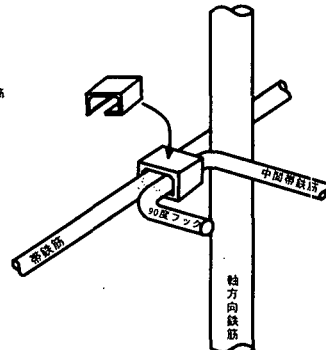


図-5 定着金具による
帯鉄筋への定着

き、直角フックを中間帯鉄筋にかけた後、そのリングの一端を直角フックの足の部分にひっかけて固定した構造である。この時、リングの他端側は内部コンクリートに定着するようにし、かぶりコンクリートが剥落しても、リング自体は抜け出してこないようにする。このリングの定着効果により、直角フックであっても帯鉄筋がはらみ出そうとする変形に対して抵抗できる構造となる。この原理は、図-2 に示すように、帯鉄筋の軸方向鉄筋への定着にも応用させることができ、リング状の定着具だけでなくクリップ式の定着具の適用も考えられる。

図-3 は、2つのリングを鎖状に組み合わせ、予め帯鉄筋にその一方のリングを通しておき、他方のリングに中間帯鉄筋の直角フックを通すことにより帯鉄筋と中間帯鉄筋を定着させる構造の概念を示したものである。この構造では、中間帯鉄筋の端部が直角フックであっても、そのフックはかぶりコンクリートよりも内側のコンクリートに定着されることになるため、軸方向鉄筋の座屈に伴ってかぶりコンクリートが剥落しても、直ちに直角フックがはずれ出すことはない。したがって、適切にリングの構造諸元を設計すれば、端部を半円形フックとした中間帯鉄筋と同等の拘束効果が期待できるものと考えられる。

図-4 は、端部を直角フックとした中間帯鉄筋の折曲げ部をL型の鋼製アングルで覆うことにより、

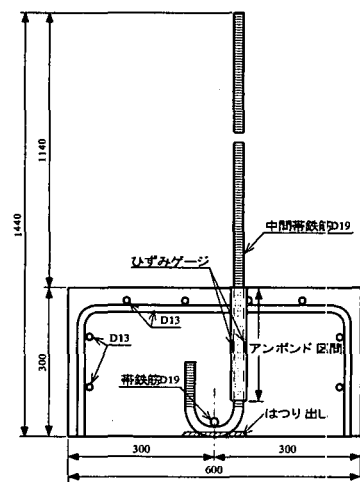


図-6 模型供試体

帯鉄筋と中間帯鉄筋を定着させる概念を示したものである。前述したように、塑性変形が大きくなると、帯鉄筋が外側にはらみだそうとする力によって直角フックにはそれを広げようとする曲げモーメントが作用するが、この曲げモーメントに抵抗すべく、直角フックの折曲げ部の曲げ剛性を高めるように補剛し、直角フックの形状が保たれるようにしたものである。この構造で重要なのは、L型の鋼製アングルの一端側は内部コンクリートに定着させることと鋼製カバーの隅角部に適切な曲げ剛性を確保することと考えられる。

図-5は、中間帯鉄筋の端部を直角に2回折曲げてU字型のフックとし、帯鉄筋と中間帯鉄筋が平行に

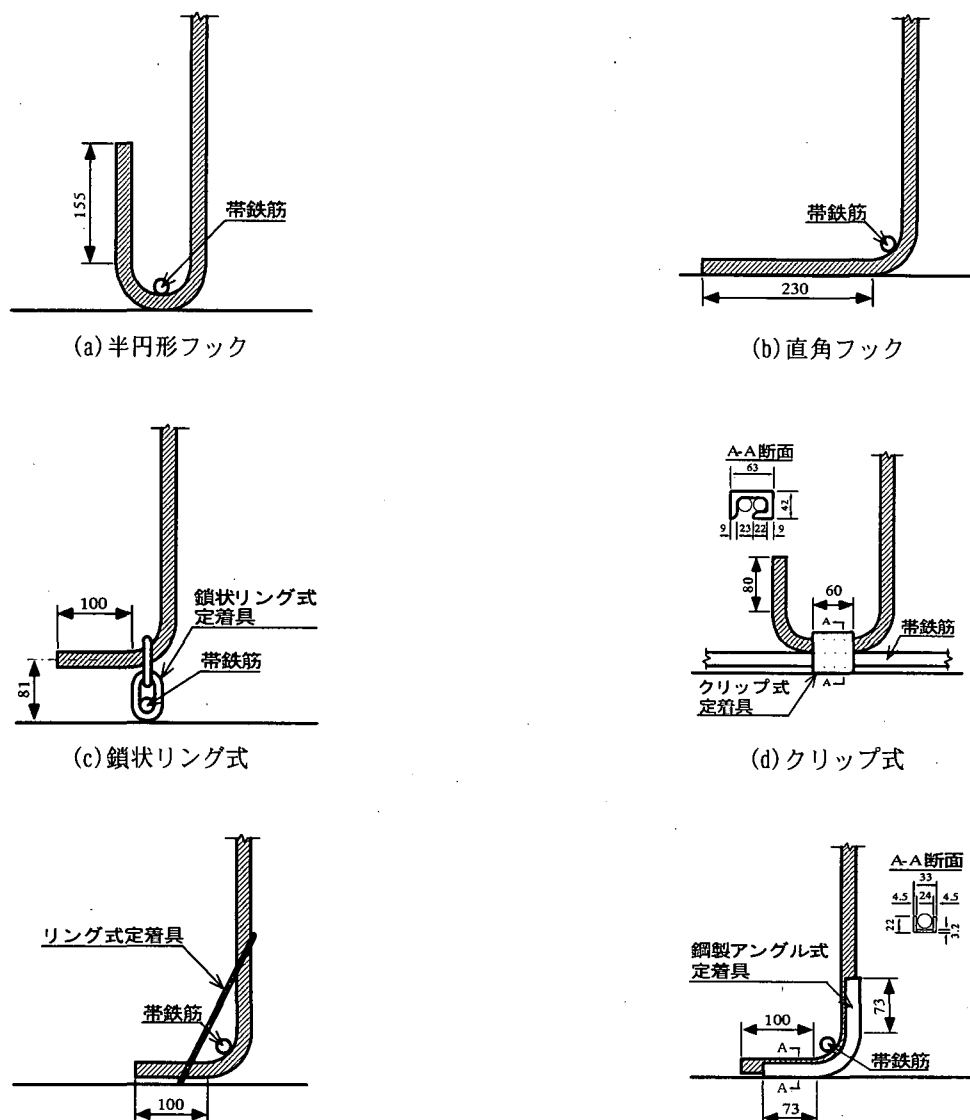


図-7 定着構造

重なる箇所において金具によって定着する構造を示したものである。この構造では、中間帯鉄筋の端部は直角フックではあるが、内部コンクリートへ定着されることになるため、かぶりコンクリートが剥落しても帯鉄筋と中間帯鉄筋の定着は確保され、半円形フックとした場合と同等の効果が期待される。

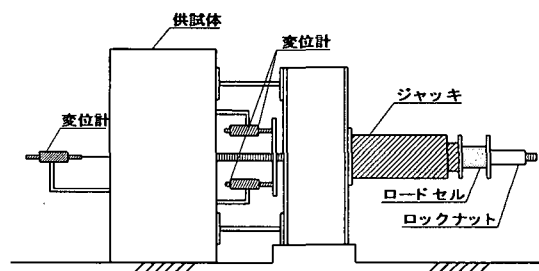


図-8 試験装置

3. 引抜試験による端部定着性状

(1) 実験の概要

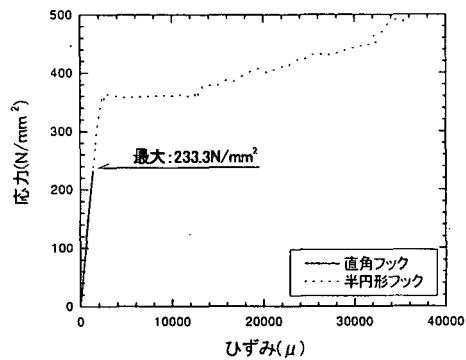
a) 模型供試体

実験に用いた模型供試体の諸元を、図-6 に示す。本実験では、中帯鉄筋の定着構造形式をパラメータ

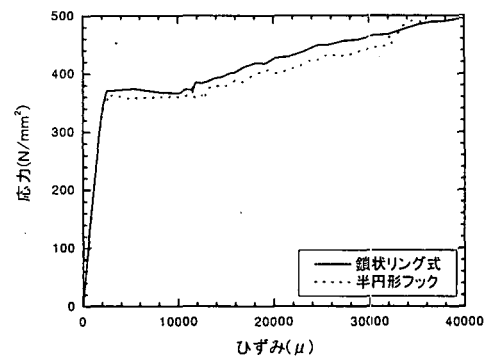
として9体の模型供試体に対して引抜試験を行った。定着構造としては、半円形フック、直角フックと、今回提案する鎖状リング式、クリップ式、リング式、鋼製アングル式(図-7 参照)を用いた6種類とした。なお、リング式定着構造については、リングの鉄筋

表-1 リング式定着構造の実験パラメータ

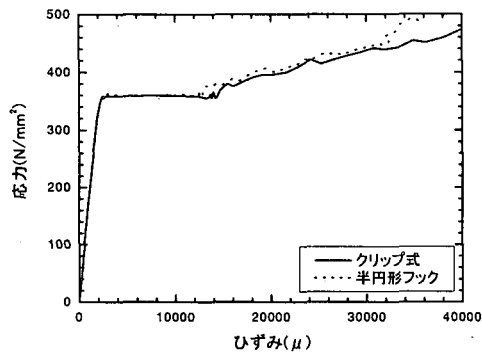
	リング式(1)	リング式(2)	リング式(3)	リング式(4)
リングの鉄筋径	φ10	φ6	φ6	φ6
取付け位置	帯鉄筋近傍	帯鉄筋近傍	フック中間	フック端部



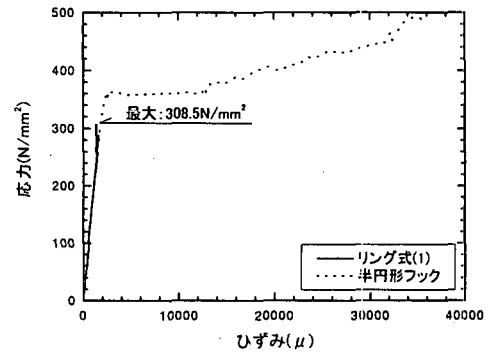
(a) 直角フック



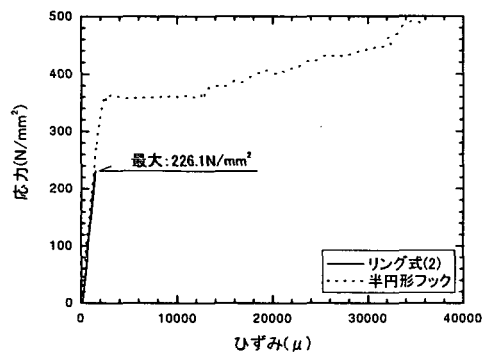
(b) 鎖状リング式



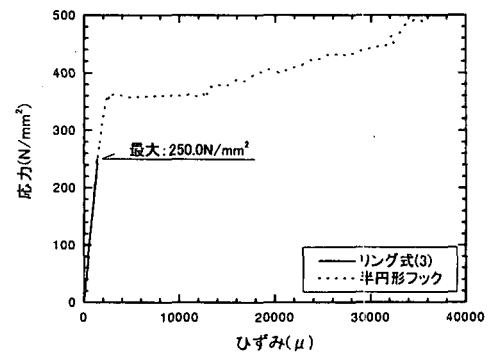
(c) クリップ式



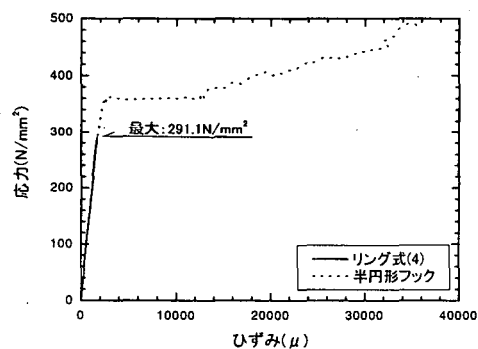
(d) リング式(1)



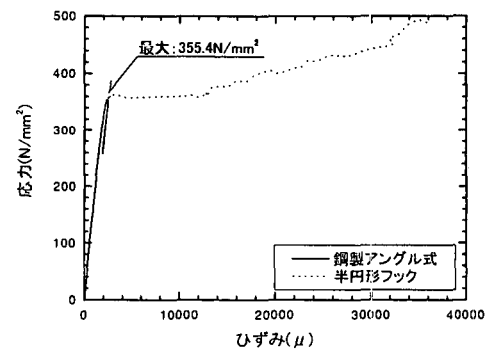
(e) リング式(2)



(f) リング式(3)



(g) リング式(4)



(h) 鋼製アングル式

図-9 応力-ひずみ関係の比較

径及びその取り付け位置を表-1 のように変化させた 4 体について実験を行った。また、中間帯鉄筋は図-6 に示す区間をアンボンドとした D19 を使用し、

かぶりコンクリートが全て剥落した状態を想定して、定着部をはつり出している。

b) 実験方法

図-8に示すように模型供試体とジャッキとをセットし、鉄筋の引抜試験を行った。測定データは、引張荷重、鉄筋のひずみ及び変位、定着部の変位である。鉄筋のひずみは、図-6に示す二枚のひずみゲージの値で評価を行った。

(2) 実験結果

図-9 は、鉄筋の応力－ひずみ関係を、定着構造を半円形フックとした場合とそれ以外の構造とした場合とで比較したものである。引抜実験より得られた知見を、各定着構造ごとに以下に示す。

a) 直角フック

鉄筋の応力が 233.3N/mm²に達したときにフックの端部が開いた。その後は引張荷重が低下したため、鉄筋のひずみは戻り始め、鉄筋が抜け出してきた。

b) 鎖状リング式

半円形フックとほぼ応力－ひずみ関係が得られており、中間帯鉄筋の端部定着が十分であることが分かる。

c) クリップ式

半円形フックとほぼ同様の応力－ひずみ関係が得られており、十分な定着が確保されている。

d) リング式

今回は、リングの鉄筋径及び取り付け位置を変化させた 4 体について実験を行ったが、いずれの供試体においても、鉄筋に生じる応力が降伏点に達しなかった。これは、フックの端部が開く力によってリングに曲げが生じ、フックの端部の開き出しを抑えることができなかったためである。

e) 鋼製アングル式

今回用いた諸元の鋼製アングルの場合、鉄筋の応力が降伏に達するまで定着性能を向上させることができた。鉄筋の降伏後は、鋼製アングルの隅角部において曲げ変形が生じ、フック端部が開き始めた。

4. リング式定着金具に対する力学的検討

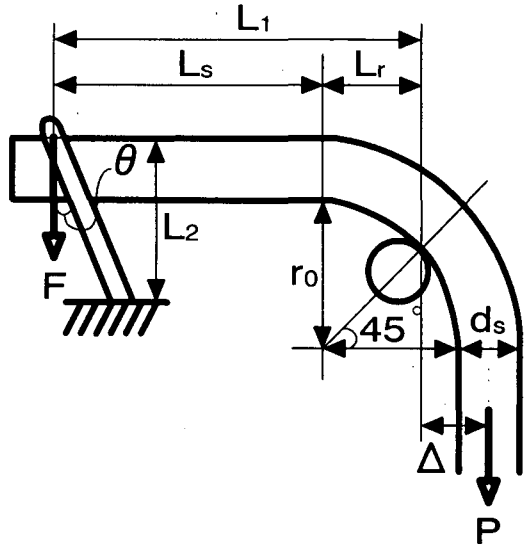


図-10 力の釣り合い

上述のとおり、リング式定着構造では、フック端部が開く力によってリングに曲げが生じ、結果としてフックが開き出すのを押さえることができなくなってしまった。この現象について、リングの鉄筋径は同一で、取付角度及び取付位置を変化させたリング式(2)～(4)に対して力学的に検討を行った結果を以下に示す。

中間帯鉄筋を剛体と仮定し、中間帯鉄筋の降伏応力が引張荷重として作用した場合にフックのリング取付位置に生じる力を F とすると、図-10に示す力の釣り合いにより、

$$F = \sigma_{sy} A_s \frac{\Delta}{L_1} \tag{1}$$

また、リングが全塑性するときの曲げモーメント M_{ry} を与える力を F_r とすると、

$$F_r = \frac{M_{ry}}{L_2 \tan \theta} \tag{2}$$

表-2は、リング式(2)～(4)について、上記の値を

表-2 フックおよびリングに加わる力

	リング式(2)	リング式(3)	リング式(4)
σ_{sy} (N・mm ²)	362.5		
A_s (mm ²)	286.5		
Δ (mm)	23.5		
L_1 (mm)	63.8	93.8	129.8
F (kN)	38.3	26.1	18.8
M_{ry} (kN・mm)	384.9		
$L_2 \tan \theta$ (mm)	13.9	19.9	26.7
F_r (kN)	27.7	19.4	14.4

を計算したものである。これより明らかなように、フックの開く力が、リングの耐力を超えてしまっていることがわかる。

また、より効果的にフックを押さえるためには、 F を小さくする、あるいは F_r を大きくすれば良い。したがって、上記の式より、リングの定着位置をできるだけフックの端部に寄せ (L_1 を大きくする)、リングの取付角度を浅くする ($\tan \theta$ を小さくする) ことにより、定着性能を向上させることができると考えられる。

5. まとめ

本文では、鉄筋コンクリート橋脚において配筋の施工を煩雑にしている帯鉄筋や中間帯鉄筋の端部定着について、これを改善するための単純で簡単な構造概念を提案し、引抜試験によりその定着性能の検討を行った。鎖状リング式及びクリップ式の定着構造については、半円形フックと同等の性能を確認できた。一方、リング式及び鋼製アングル式の定着構造は、今回の実験に用いた諸元の定着具では十分な定着を確保することができなかった。これらの構造は、90度フックが開くのを抑えることにより定着を確保する構造であるが、今回実験を行ったものは剛性の不足等によりフックが開き出す力に十分抵抗できなかった。リング式定着構造については、定着性能を向上させるために、その取付位置について力学的検討を行った。

6. 謝辞：本研究は、土木研究所、(財)土木研究センターならびに民間5社で実施している、「鉄筋コンクリート構造の配筋合理化技術に関する共同研究」の成果の一部であり、関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 寺山徹、運上茂樹：鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす中間帯鉄筋の影響、土木技術資料、Vol. 40、No. 3、pp. 56-61、1998年3月
- 2) 立松伸博、大野義照：鉄筋コンクリート柱の曲げ破壊性状に及ぼす帯筋端部形状の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 23、No. 3、pp. 241-246、2001年
- 3) 鈴木基行、秋山充良、杉田稔、松山英雄、宇田川亮：簡便なせん断補強筋機械式継手の開発およびそのRC部材への適用に関する実験的研究、コンクリート工学論文集、第11巻、第3号、pp. 49-61、2000年9月
- 4) 澤本武博、辻正哲、舌間孝一郎、西川泰之、加賀谷収：地震荷重によりかぶりが剥離する場合のフープ筋の

定着補強に関する研究、土木学会第53回年次学術講演会、第5部、pp. 1146-1147、1998年10月