

論文 RC造柱梁十字形接合部の面外補強効果に関する実験的研究

祐本和也^{*1} 上原修一^{*2} 江崎文也^{*3}

要旨：高強度の接合部の面外方向中子筋の補強効果を確認する破壊実験を行った。その結果，高強度の中子筋を用いると，接合部の靱性が向上し，破壊形式を接合部破壊から梁端部破壊に移行させることがわかった。また，これまでに提案しためり込み機構に基づく接合部の強度評価法はアスペクト比の変動に対しても，ほぼ精度良く接合部強度を評価できることがわかった。

キーワード：めり込み，破壊機構，付着，接合部のアスペクト比，中子筋

1. はじめに

著者らは，接合部が破壊する時，図-1に示すように，梁の顕著なめり込みが生ずるとともにコアコンクリートが面外にはらみ出すことを報告した。さらに，面外方向中子筋で，面外方向のはらみ出しを，ある程度，抑制できることを報告した¹⁾。しかし，この既報の実験においては，中子筋が普通強度であったことおよび繰り返し加力をしなかったことのため，中子筋により，破壊形式を接合部破壊から梁端部破壊形に移行できるか否かを確認できなかった。

そこで，本研究では，繰り返し荷重の下，高強度の面外方向中子筋により，破壊形式を梁端破壊に移行できるかどうかを確認することを目的として，2体の試験体(実物の1/3程度)の破壊実験を行った。その実験の結果について報告する。

また，田中らにより，靱性指針に示す接合部強度評価式を使うと，梁せいの大きい接合部強度を過大評価することが指摘されている²⁾。そこで，これまでに提案しているめり込み機構に基づく解析方法³⁾に関し，接合部のアスペクト比についてパラメータスタディを行い，その解析精度について検討した。その結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1に，本実験の試験体一覧，表-2に使用した

材料の力学的性質を示す。図-2に試験体の形状を示す。接合部を破壊させるために，コンクリートをやや弱く設計したことを除けば一般的な材料であり，文献1)に示す試験体とほぼ同じである。試験体は，

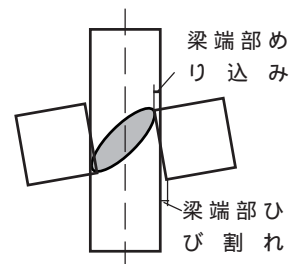


図-1 十字形接合部のめり込み破壊機構

表-1 試験体一覧

試験体番号	試験体名	梁主筋定着板	面外中子筋
No.1	2004-IJ1	なし	なし
No.2	2004-IJ2	あり	あり(高強度鉄筋)

表-2 使用材料の力学的性質

(a) 鉄筋

種別	呼び名	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び率 (%)
なまし鉄線	Φ3.2	204	306	31.1
SD345	D13	378	541	17.6
高強度鉄筋	Φ6.25	1413	1463	10

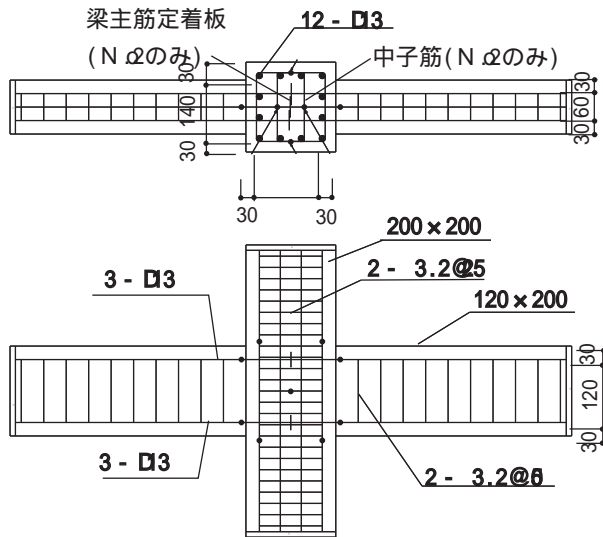
(b) コンクリート

試験体	圧縮強度 (MPa)
全試験体	20.7

*1 有明工業高等専門学校 専攻科 建築学専攻 (正会員)

*2 有明工業高等専門学校 建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 福岡大学工学部 建築学科 教授 工学博士 (正会員)



- 北側梁上端筋
- 北側梁下端筋
- 南側梁上端筋
- 南側梁下端筋
- 上柱北側主筋
- 上柱南側主筋
- 下柱北側主筋
- 下柱南側主筋
- 接合部東面帯筋
- 接合部西面帯筋
- 接合部中子筋北 (No.2のみ)
- 接合部中子筋南 (No.2のみ)

図-2 試験体形状・配筋およびゲージ貼付位置図

実物のほぼ1/3程度である。配筋は、文献1)に示す試験体と同じであり、接合部が破壊するように設計している。ただし、図-2に示すようにNo.2試験体については、梁主筋を定着させるために、穴のあいた厚さ4mmの38mm角の鋼板を接合部内で鉄筋に溶接した。さらに、接合部の面外方向へのはらみ出しを防ぐために、高強度の中子筋（ウルボンU6.4）6組を面外方向に均等に配筋した。

ひずみゲージは、図-2に示すように、梁柱端部主筋のほか、接合部の帯筋および中子筋に貼付した。

2.2 加力方法と変形測定装置

図-3に示す文献1)と同じ加力装置により、柱端部をローラー支持、柱脚部をピン支持として、柱頭に水平力を載荷した。本実験でも、文献1)と同様に軸力は加えていない。梁をローラー支持するため鉄骨をリンクと称し用いている。

加力は、変位制御とし、柱部材角Rに関し、1回ずつ、約±0.5%、±1.0%、±2.0%、±3.0%、±4.0%、±5.0%まで変形させた後、正方向（南向き）に、押し切った。梁に加わるせん断力は釣り合いから求められるが、梁外端のリンクにもひずみゲージを貼り、力を確認することとした。

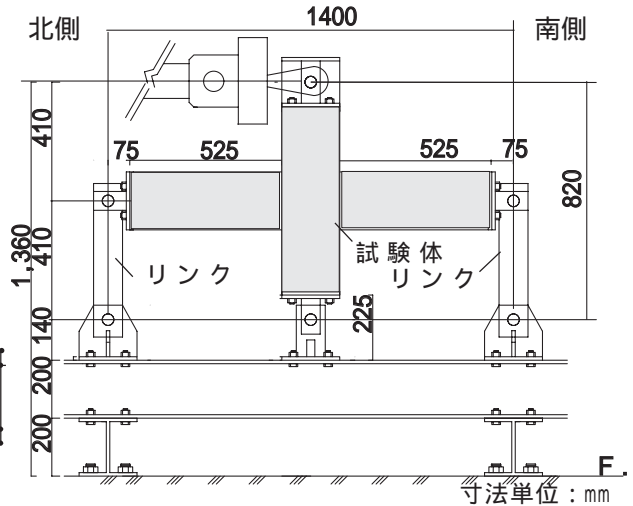


図-3 加力装置(西面)

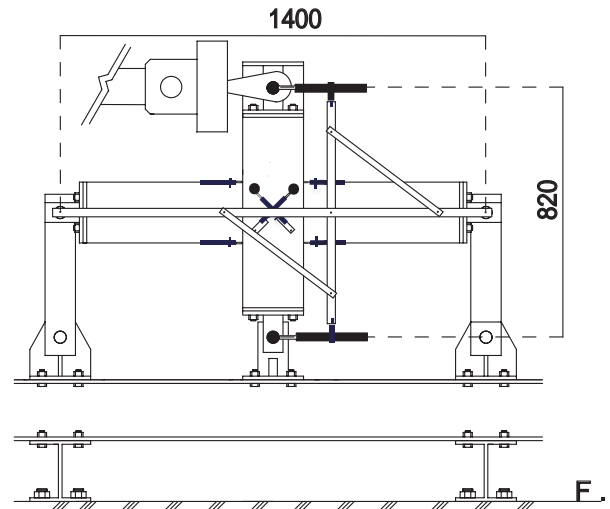


図-4 変形量測定装置(西面)

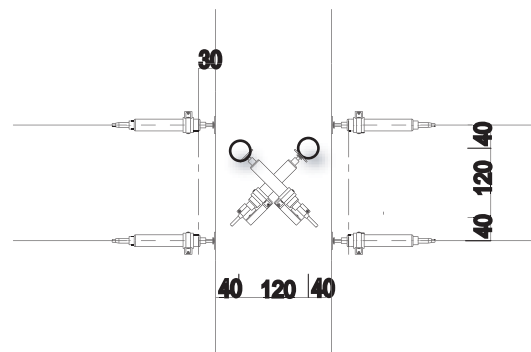
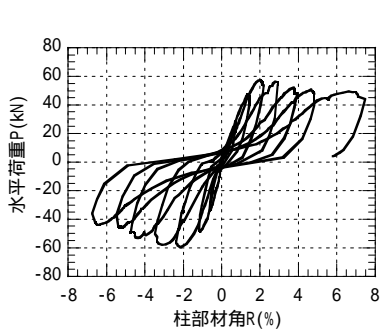
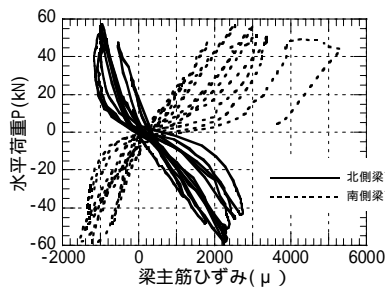


図-5 接合部および接合部周りの変位測定装置(西面)

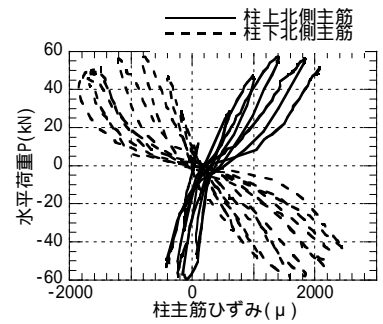
図-4に変形量測定装置（文献1)と同じ)を示す。梁外端のピンからボルトを出して、そこに測定フレームを設置し、柱底部および頂部のピン位置の変位を測定し、その変位の差を柱のピン距離



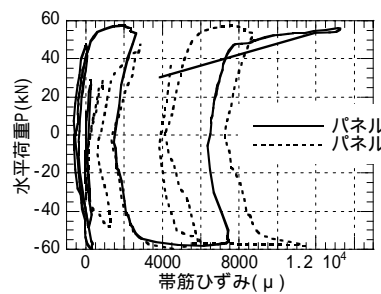
(a) 水平荷重と層間変形角の関係



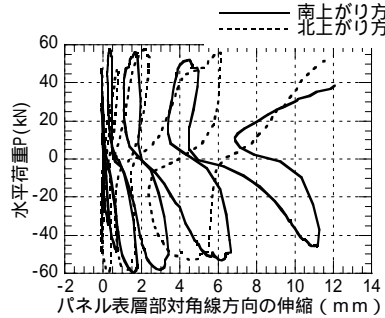
(b) 水平荷重と梁主筋ひずみの関係



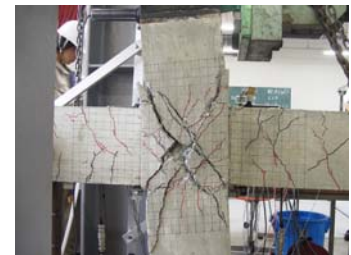
(c) 水平荷重と柱主筋ひずみの関係



(d) 水平荷重と帯筋ひずみの関係



(e) 水平荷重とパネル部分の変形の関係



(f) 全体の破壊状態(東面)

図-6 試験体 No.1 の実験結果

で除して層間変形角とした。また、梁のめり込みを測定するために、梁端部の上下面から柱に向けて変位計を設置した。ここでは、図-5に示すように、文献1)と異なり梁上下縁位置のめり込み量を測定した。さらに、接合部パネルの対角線方向の変位を測定した。

3. 実験結果

図-6にNo.1の実験結果を示す。図-6(a)に示すように、層間変形角約2%で最大強度に達し、接合部の破壊が顕著になると同時に強度が徐々に低下した。図-6(b)から、この時、梁引張側主筋はほぼ降伏していることがわかる。しかし、最大層せん断力は、梁端が降伏するときの強度を15%程度(梁曲げ略算式による強度に対しては約9%)下回っている(表-3参照)。一方、梁端圧縮側主筋はまだ圧縮ひずみの状態であり、主筋の付着劣化はほとんど生じていないと考えられる。したがって、この最大層せん断力の低下は、接合部コンクリートが繰り返し加力により大きく損傷し、強度低下がおり、梁端断面の応力中心間距離が減じたためではないかと考えている。

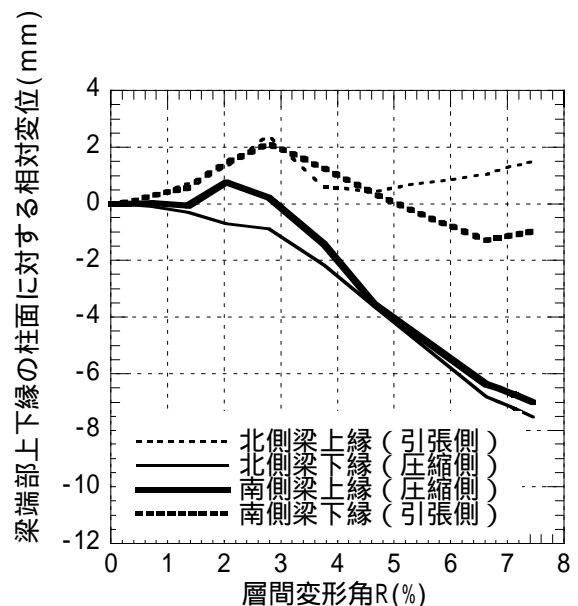


図-7 試験体 No.1 の梁端部上下縁の柱面に対する相対変位(繰り返し正加力のピーク時)

図-6(c)より、柱主筋はほぼ弾性状態であるといえる。図-6(d)より、接合部面内方向の帯筋は大きい引張ひずみを受け、図-6(e)より、接合部パネル部分(かぶりコンクリート部分)は、終局時には全体に膨張していることがわかる。図-6(f)に、終局時の写真を示すが、接合部が激しく損傷し、コ

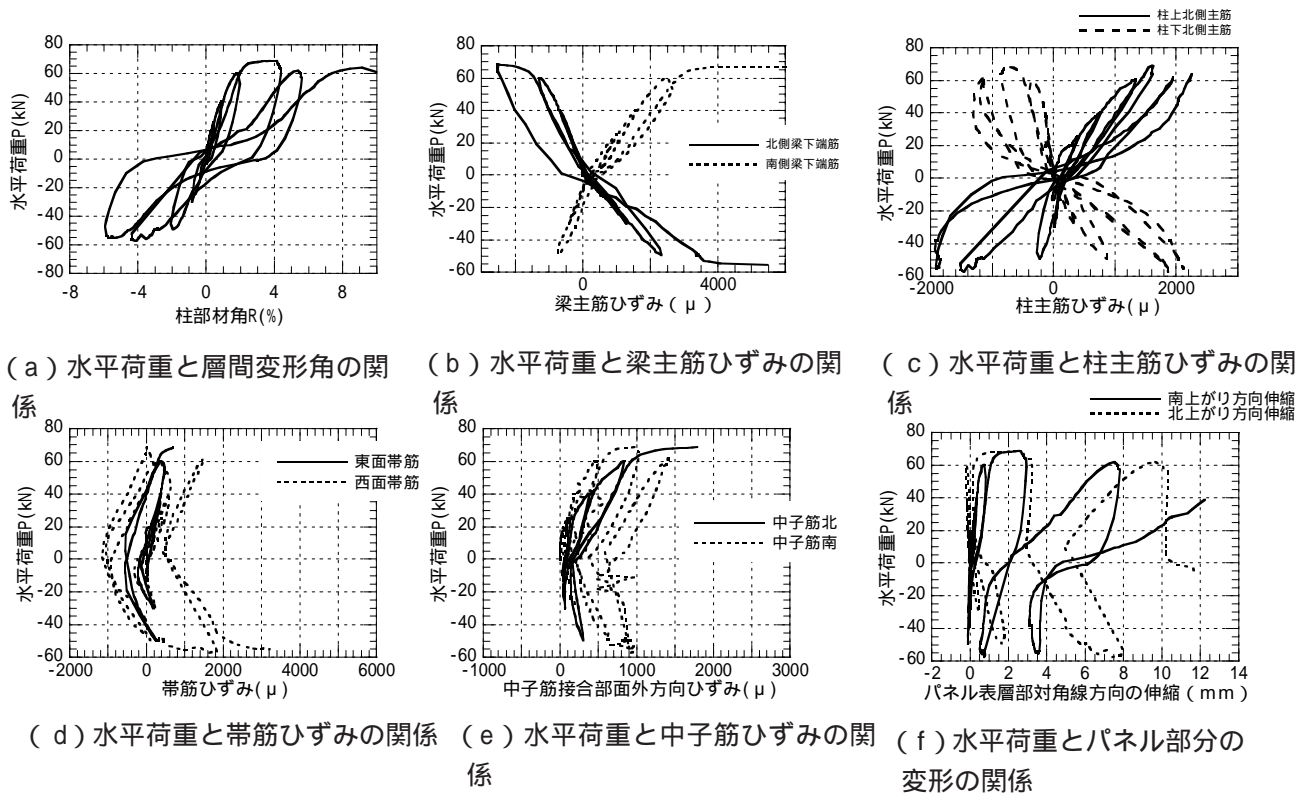


図-8 試験体 No.2 の実験結果 (続く)

アコンクリートが帯筋を面外に押し広げる現象が観察された。

図-7に、接合部破壊したNo.1について、梁端部上下面に、柱に向けて取り付けられた変位計の測定値を示す。それぞれ、繰り返し加力の正の最大加力時の値を示したものである。この図から、最大強度を過ぎた $R=3\%$ のところから、梁の圧縮部分が柱にめり込んでいっていることがわかる。

図-8にNo.2の実験結果を示す。図-8(a)に水平荷重と層間変形角の関係を示す。この図に示すように、層間変形角 R が約2%で最大強度に達した。その後、接合部パネル部分の損傷が大きくなったが、強度の低下はほとんどなかった。 $R=4\%$ を過ぎたあたりから、図-8(h)に示すような梁端部コンクリートの圧縮破壊が始まった。図-8(b)より、この時、梁主筋は降伏していることがわかる。

図-8(c)より、柱主筋はほぼ弾性状態であるといえる。図-8(d)より、接合部面内方向の帯筋はNo.1ほど大きい引張ひずみは受けていないこと、図-8(e)より、中子筋は大きい引張ひずみを受けている

こと、および図-8(f)より、接合部パネル部分(かぶりコンクリート部分)は、No.1と同様に終局時には全体に膨張していることがわかる。図-8(g)に終局時の写真を示す。接合部パネルは激しく損傷しているが、コアコンクリートはNo.1と比較すると健全であるように観察された。

図-9に接合部パネル内部コア部分を切断した写真を示す。No.1では激しく破壊しているが、No.2ではせん断ひび割れは認められたが、No.1と比較すると破壊の程度ははるかに少ないと観察された。

以上のことから、高強度の面外方向中子筋を用いれば接合部の靱性が向上し、破壊形式を接合部破壊から梁端部破壊に移行させ得ることがわかった。

4. 実験値と解析値の比較

表-3より、接合部パネルのせん断ひびわれ強度は、両試験体ともほぼ良く予測できていることがわかる。接合部破壊時の水平荷重については、No.1では、著者らの提案解析法によれば梁主筋は降伏しないと想定されたが実験では降伏した。また、この



(g) 全体の破壊状態(東面) (h) 梁端部コンクリートの圧縮破壊状態 (a) 試験体 No.1 (b) 試験体 No.2

図-8 試験体 No.2 の実験結果(続き)

図-9 接合部内部の破壊状況写真

表-3 水平強度に関する解析結果一覧

試験体番号	試験体名	接合部せん断ひび割れ時水平力 (q_{cc}^{*1})		接合部破壊時水平力 (q_{cu}^{*1})				
		計算値 ^{*2}	実験値	計算値 ^{*3}	計算値 ^{*4}	計算値 ^{*5}	計算値 ^{*6}	実験値
No.1	2004-1J1	0.0220	0.0229	0.0561	(0.0812)	0.0692	0.0755	0.0694
No.2	2004-1J2	0.0220	0.0242	(0.0561)	0.0812	0.0692	0.0755	0.0831

- *1 水平力を柱面積 ($b_c D_c$) とコンクリート強度 f_c で除したものの。
- *2 文献4)の2.5式による。
- *3 梁主筋付着破壊時の強度。文献3)の(4)式,(6)式による。
- *4 梁主筋塑性降伏時の強度。文献3)の(3)式,(6)式による。
- *5 靱性保障型計算値による強度。文献5)の8.3.1式による。ただし、安全率1/0.85は除く。
- *6 梁曲げ略算式($=0.90a_t \cdot y_d$)による値

No.1の最大層せん断力低下の原因は、主筋の付着破壊ではなく、接合部コンクリートの大きな強度低下のためであると観察された。これは、コンクリート強度が低いための現象があるいは一般的な事が今後検討が必要であると考えている。

5. 接合部アスペクト比に関するパラメトリックスタディ

田中らは、文献2)において、靱性指針に示す接合部強度評価式は、接合部のアスペクト比が大きくなると接合部強度を過大評価することを示している。一方、著者らは、文献3)で、めり込み機構に基づく接合部強度評価法を提案し、その精度が優れていることを示した。そこで、提案解析法に関し、アスペクト比について、パラメトリックスタディを行い、その精度について検討した。

なお、このとき、文献3)に示す付着強度式では軸力の効果を除いていたが、ここで比較する試験体は柱幅と端幅がほとんど差がないことから、最大耐力時に柱軸力が接合部を通ると考え、軸力の影響を取り入れることとした。従って、文献3)に示す式(2)の代わりに、次の式(1)を用いることとした。

$$\tau_u = 0.7\sigma_B^{(2/3)} \times 1.25 \times \left(1 + \frac{\sigma_0}{\sigma_B}\right) \quad (1)$$

ここで、 τ_u ：梁主筋の接合部内での平均付着強度、 σ_B ：コンクリート圧縮強度、 σ_0 ：柱の圧縮軸心力度
この解析結果を、図-10および表-4に示す。図-10からわかるように、田中らが示すように、靱性指針式は、アスペクト比が大きくなると、接合部強度をかなり過大評価することがわかる。しかしながら、著者らが提案する、めり込み機構に基づく式では、アスペクト比の変動に対しても、ほぼ精度良くその強度を評価できていることがわかる。

6. 結論

高強度の面外方向中子筋の補強効果を確認するため、2体の接合部試験体の破壊実験を行った。また、これまでに提案した、めり込み機構に基づく接合部強度評価法に関し、アスペクト比についてパラメータスタディを行い、以下の結論を得た。

- (1) 高強度の面外方向中子筋を用いると、接合部の靱性が向上し、破壊形式を接合部破壊から梁端部破

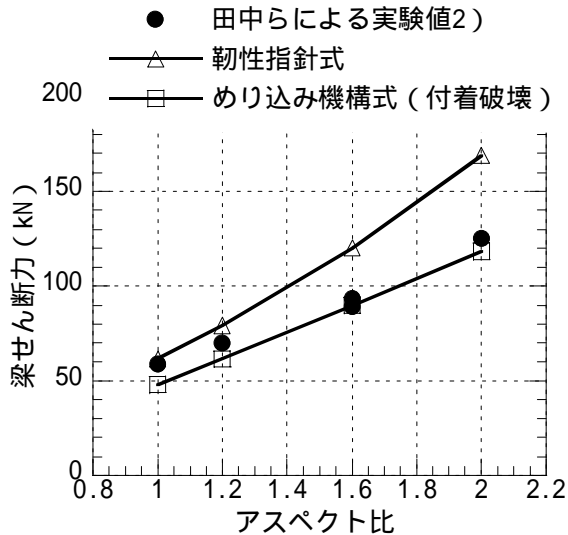


図-10 接合部強度とアスペクト比の関係

壊に移行させることができる。

(2) 接合部破壊は、梁主筋の付着劣化により生ずるのではなく、接合部コンクリートの大きな強度低下によって生ずる場合がある。

(3) これまでに提案した、めり込み機構に基づく接合部強度評価法は、アスペクト比の変動に対しても、ほぼ精度良くその強度を評価できる。

謝辞

本実験は、有明高専石田泰宏氏と著者との卒業研究の一環として行ったものである。また、実験にあたっては、有明高専技官松原征男氏、田中三雄氏の助力を得た。さらに、ネツレンより高強度鉄筋(ウルボンU6.4)を提供いただいた。研究費として科研費基盤研究(c)13650647(代表者上原修一)の助成を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 上原修一, 西田朋美, 江崎文也: RC造柱梁十字形接合部の破壊機構に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp415-420, 2004
- 2) 田中信也, 小林宗悟, 林静雄, 上村智彦: 鉄筋コンクリート造内部梁・柱接合部の破壊性状への接合部アスペクト比の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp433-438, 2004
- 3) 西田朋美, 上原修一: めり込み機構に基づくRC造

表-4 接合部強度とアスペクト比の関係の数値一覧

試験体名	実験値(kN)	靱性指針式(kN)	めり込み機構式(kN) (付着破壊)
BCJ-1.0	58.7	61.6 (0.953)	47.8 (1.23)
BCJ-1.2	70.3	79.4 (0.953)	61.8 (1.14)
BCJ-1.6	89.0	120 (0.742)	89.9 (0.989)
BCJ-1.6J	93.7	120 (0.781)	89.9 (1.04)
BCJ-2.0	125.5	168.9 (0.743)	118.3 (1.06)

*1 各値は、文献2)と同様に梁せん断力で示している。

*2 () 内の値は実験値 / 計算値である。

柱梁十字形接合部の強度評価法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp505-510, 2003

4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料, はり・柱接合部(1), pp116-120, 1991.9

5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説