

1S29 用一体型定着具の開発に関する実験的研究

FKK 極東鋼弦コンクリート振興株式会社 技術研究所 正会員 ○内山 周太郎
 同上 技術研究所 正会員 山口 隆裕
 同上 技術部 成沢 邦彦
 同上 技術部 正会員 板谷 英克

1. はじめに

PC 鋼材の定着工法には多種多様な方法がある。1 本の PC 鋼より線 (シングルストランド) を対象としたクサビ型定着方式の場合には、スリーブと支圧板が独立して構成されているプレート型定着具と、キャストイングアンカーと称されているスリーブと支圧板が一体となった一体型定着具が主に使用されている。シングルストランド用定着具は橋梁の床版に多く用いられているが、近年、設計並びに施工の両面から太径用で且つより薄い床版へ設置可能な新しい定着具システムの開発が望まれている。

そこで著者らは、薄肉床版へも適用できる 1S29 用定着具とその背後補強方法も含めた定着具システムの開発を行うことにした。本報告は 1S29 用定着具の開発過程に行ったコンクリートブロックを用いた一軸圧縮試験の結果について述べたものである。開発した定着具の形状は施工性と経済性を考慮して一体型とした。

2. 試験概要

試験方法は土木学会規準「PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法 (案)」¹⁾に準じた。

2.1 定着具

試験に用いた定着具の形状の一覧を図-1 に示す。定着具には開発の対象とした一体型と、比較のために、数多く使用されグリッド筋との組み合わせによる定着具システムとしての性能が保証されているプレート型を用いることとした。一体型 B はこれまでに使用されている形状であり、支圧面積の増大を意図して下部がスカートのように広がっている。一方、一体型 A と一体型 C は新しく提案された形状であり経済性を考慮しスカート部を除いた代わりにコンクリートとの付着力増加を図るために下部をふし状にしたものである。更に一体型 C は上部支圧面の下面 (コンクリートと接する面) に円形状の突起を複数施し、支圧面の断面剛性とコンクリートとの一体性を向上させたものである。

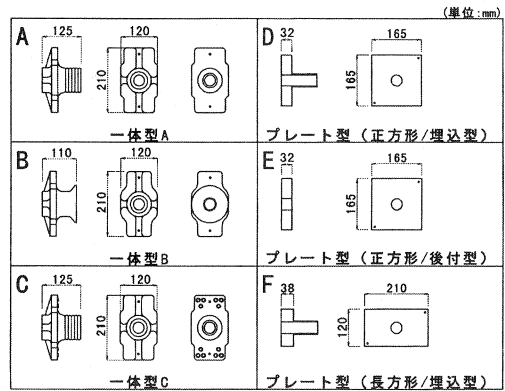


図-1 定着具の形状

プレート型はスリーブと支圧板が独立しており D と E は支圧板が正方形で、埋込型と後付型と施工方法が異なったものである。プレート型 F は支圧板が長方形で板厚が 38mm と厚くなったものである。

2.2 定着具背後補強筋 (定着具筋)

図-2 に使用した定着具筋の一覧を示す。定着具の背後補強を目的とした定着具筋にはこれまでに鉄筋を格子状に加工したグリッド筋 (G、H) が使用され、その補強効果が大きいことが確認されている。しかし床版厚が薄くなると、グリッド筋では形状の制約により格子状の曲げ加工及び配置が困難になる場合が生じてくる。薄肉床版を

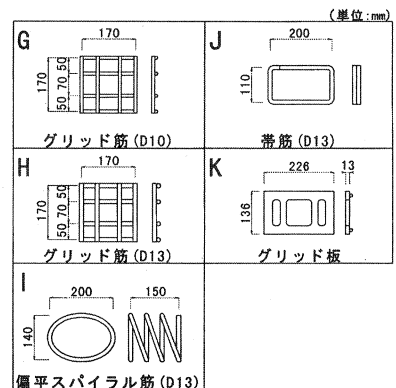


図-2 定着具筋の形状

対象とした場合、定着具の開発と共に背後補強筋の形状の確立が重要となってくる。定着具筋(I)は楕円状に偏平加工したスパイラル筋であり、(J)は帯筋状のものである。定着具筋(K)は鋼製のプレートとその背面に鉄筋を溶接したもの（以下グリッド板と称する）である。尚、グリッド筋(G)、(H)は格子状の曲げ加工が困難であったため、直筋を餅網状に配置して溶接した。定着具筋の配置箇所は試験体の断面積に対する支圧面積の比と引張応力分布の関係²⁾より全ての試験体において支圧面の背後から80mmとした。

2.3 試験体

試験体はコンクリートブロック、定着具、定着具筋、及びコンクリートブロック補強のためのフープ筋(用心鉄筋)により構成され、その一覧を表-1に示す。試験要因はブロックの断面形状、定着具の種類、定着具筋の形状と材質及び用心鉄筋の有無とし、合計24体作製した。コンクリートの目標圧縮強度は $\sigma_{28}=27\text{N/mm}^2$ とした。試験時における圧縮強度はCase1が27~30N/mm²、Case2~4が30~33N/mm²となり、載荷時の材令が異なるにも関わらずその変動は僅かなものであった。尚、試験体C1-2、C1-3、C4-2については2体ずつ製作した。

表-1 試験体の概要一覧

ケース	試験体 記号	コンクリート ブロック 断面形状 (短辺×長辺) (mm)	定着具			シース 材質	定着具筋				用心鉄筋 用心鉄筋比 (%)
			種類	材質	取付方法		材質	使用鉄筋	形状	配置数	
Case1	C1-1	220×300	一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	—	—	—	—	—
	C1-2 (N=1)		一体型B	FCD450	埋込型	鋼製	—	—	—	—	—
	C1-2 (N=2)		一体型B	FCD450	埋込型	鋼製	—	—	—	—	—
	C1-3 (N=1)		一体型C	FCD450	埋込型	鋼製	—	—	—	—	—
	C1-3 (N=2)		一体型C	FCD450	埋込型	鋼製	—	—	—	—	—
	C1-4		プレート型(正方形)	SS400	埋込型	鋼製	—	—	—	—	—
C1-5	プレート型(長方形)	SS400	埋込型	鋼製	—	—	—	—	—		
Case2	C2-1	220×300	プレート型(正方形)	SS400	埋込型	鋼製	SD345	D10	グリッド筋	1	—
	C2-2		プレート型(正方形)	SS400	後付型	鋼製	SD345	D10	グリッド筋	1	—
	C2-3		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD345	D10	グリッド筋	1	—
	C2-4		一体型A	FCD450	埋込型	プラスチック	SD345	D10	グリッド筋	1	—
	C2-5		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD345	D13	グリッド筋	1	—
	C2-6		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD345	D13	帯筋	1	—
	C2-7		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD785	D13	帯筋	1	—
	C2-8		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD345	D13	帯筋	2	—
	C2-9		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD345	D13	偏平スパイラル	1	—
	C2-10		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SS400	—	グリッド板	1	—
Case3	C3-1	220×300	プレート型(正方形)	SS400	埋込型	鋼製	SD345	D10	グリッド筋	1	1.1
	C3-2		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD785	D13	帯筋	1	1.1
	C3-3		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SS400	—	グリッド板	1	1.1
Case4	C4-1	190×350	プレート型(長方形)	SS400	埋込型	鋼製	SD785	D13	帯筋	1	—
	C4-2 (N=1)		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD785	D13	帯筋	1	—
	C4-2 (N=2)		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SD785	D13	帯筋	1	—
	C4-3		一体型A	FCD450	埋込型	鋼製	SS400	—	グリッド板	1	—

表-1に示すように試験体は大きく4Caseに分かれており実験はCase1~4の順番に実施した。図-3に各Caseにおける試験体の形状寸法及び配筋状況を示す。Case1では定着具のみの耐荷性能を把握するため、定着具背後の補強は一切行っていない。Case2とCase3はそれぞれ定着具筋及び用心鉄筋が定着具背後の補強効果に与える影響について検討したものである。土木学会規準¹⁾では2.0%まで用心鉄筋比が許容されているがCase3においては用心鉄筋(D10)を60mmピッチ、鉄筋比1.1%で配置した。Case4は他のCaseと異なり断面の短辺寸法をより小さくし、床版厚の薄肉化が定着性能に与える影響について検討したものである。

コンクリートブロックの断面寸法は土木学会規準¹⁾及び日本建築学会プレストレ

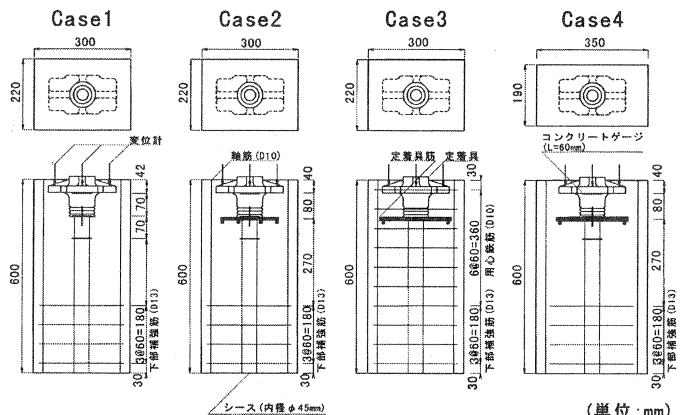


図-3 試験体の形状寸法及び配筋状況

ストコンクリート設計施工規準・同解説⁴⁾に準じて決定した。断面の短辺寸法 220mm は 1S29 使用の床版厚としては現状でのほぼ最小の寸法と仮定した値であり、190mm は鋼材の配置等から最小可能寸法と判断した値である。長辺寸法 300mm と 350mm は表-2 に示すように 1S28.6 の規格降伏荷重の 90% 値 (P) と定着具の支圧面積 (A_i) から算出した支圧応力 (P/A_i) が許容支圧応力付近になるよう計算から求めた値である。高さ h=600mm は試験体断面寸法の長辺の約 2 倍とした。

表-2 許容支圧応力度

ケース	使用定着具	コンクリートブロック断面積		支圧面積	fna	許容支圧応力度		支圧応力度
		Ac (mm ²)	A _i (mm ²)			fna · (Ac/A _i) ^{0.5}	f _n (N/mm ²)	
Case1	一体型A	66000	23068	16.2	27.4	27.4	31.5	
	一体型B	66000	23068 ^{※1}	16.2	27.4	27.4	31.5	
	一体型C	66000	23068	16.2	27.4	27.4	31.5	
	プレート型 (正方形)	66000	27225	16.2	25.2	26.7	28.8	
	プレート型 (長方形)	66000	25200	16.2	26.2	28.8	28.8	
Case2	一体型A	66000	23068	16.2	27.4	27.4	31.5	
Case3	プレート型 (正方形)	66000	27225	16.2	25.2	25.2	26.7	
Case4	一体型A	66500	23068	16.2	27.5	27.5	31.5	
	プレート型 (長方形)	66500	25200	16.2	26.3	26.3	28.8	

fna : 0.6FcまたはFci/1.25の小さい方の値 (N/mm²)
 Fc : 設計基準強度 (27N/mm²)
 Fci : 緊張時の目標コンクリート強度 (27N/mm²)
 f_n : 許容支圧応力度 (N/mm²)
 p (=P/A_i) : 支圧応力度 (N/mm²)
 P : 1S28.6の規格降伏荷重の90% (726.3kN)
 Ac : コンクリートブロック断面積 (mm²)
 A_i : 支圧面積 (mm²)
 ※1 : 下端部の支圧面積は考慮していない。

2.4 荷重方法及び測定項目

写真-1 にアムスラーによる一軸圧縮試験の状況を示す。荷重は任意の荷重ステップごとに単調増加させた。上限値は 1S28.6 の規格引張荷重の 949kN (Pu) までとした。最終的に荷重の保持が困難になった時の最大荷重を本稿では試験体の耐力として以降に示すこととする。ひび割れ幅の計測はクラックスケールによって行い初期ひび割れ、0.1mm 幅及び 0.2mm 幅のひび割れ確認荷重を各試験体の耐荷性能の指標とした。定着具の荷重面上部には東西南北方向の計 4 箇所にかんちレバー式変位計を設置し、荷重段階ごとに定着具の試験体へのめり込み量を測定した。また定着具、定着具筋、用心鉄筋及びコンクリートブロック側面の任意の個所にひずみゲージを取り付け各部材に発生したひずみを測定した。

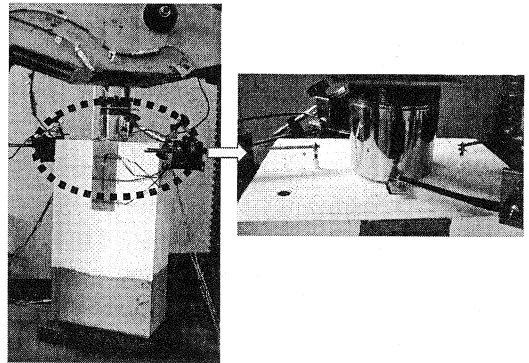


写真-1 載荷状況及び変位計取付け状況

3. 結果と考察

3.1 Case1

Case1 は定着具のみの耐荷性能を把握するために行ったものであり、試験体には定着具の背後補強筋は配置されていない。図-4 に示すように全ての試験体において規格引張荷重 Pu より低い荷重段階でコンクリートブロックが破壊し耐力の保持ができなくなった。その中でも支圧面積が広い C1-4 と C1-5 の耐力が大きく、支圧面積の増加が定着具の耐荷性能の向上に有効であることが示されている。今回提案した一体型 A 定着具はプレート型定着具と比較して支圧面積が小さく耐力も最も小さくなったが、同じ支圧面積である一体型 C (C1-3 試験体) は、2 体の値にバラツキはあるもののプレート型定着具とほぼ同等な耐力となった。支圧面積を大きくしなくとも支圧面の片側 (裏側) に突起を設けることにより定着具の耐荷性能の向上することが明らかとなった。このことは定着具の小型化への一

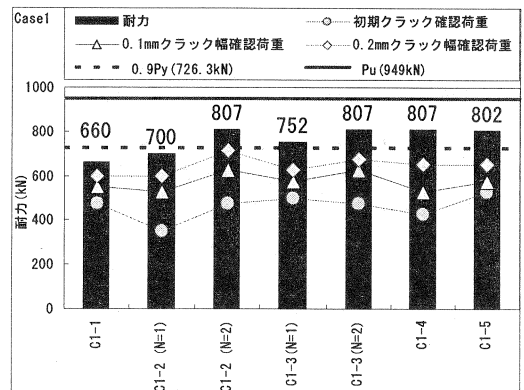


図-4 耐力及びひび割れ確認荷重結果 (Case1)

つの方向性を示すものと考えられる。

3.2 Case2

Case2 は定着具背後の定着具筋の補強効果について検討したものである。図-5 に示すように定着具筋を配置することにより Case1 と比べて耐力は当然の事ながら全体的に向上している。定着具筋としてグリッド筋を使用した試験体 C2-1～C2-5 の耐力は、用心鉄筋量が零にも関わらず PC 鋼より線 1S28.6 の規格降伏荷重の 90% (0.9Py) を超えておりほぼ引張荷重 P_u に達した。この結果は定着具のみの耐荷性能には関係なく示されている。グリッド筋の補強効果の大きいことが再確認されたわけであり、現場でのグリッド筋使用の有効性が検証された。帯状とした定着具筋を用いた試験体 C2-6 の耐力は Case2 中最も低い値となった。帯筋に SD785 鉄筋を用い降伏点が 2 倍以上となった試験体 C2-7、材質はそのままに 2 段に配置した試験体 C2-8 とも耐力は向上したが、グリッド筋ほどの補強効果は得られなかった。これに対して偏平スパイラル筋を用いた試験体 C2-9 とグリッド板を用いた試験体 C2-10 は最大荷重 P_u まで荷重を保持した。0.1mm 及び 0.2mm のクラック幅確認荷重もグリッド筋を用いた場合とほぼ同様な結果となった。偏平スパイラル筋及びグリッド板は薄肉床版への配置も容易であり 1S29 用定着具の更なる薄肉部材への適応を考慮した場合、この 2 つの定着具背後補強方法は極めて有効な手段になると考えられる。

図-6 に定着具のめり込み量を示す。値は 4 箇所を設置した変位計の平均値を示しておりマイナスは試験体へのめり込みを表している。後付型は初期載荷時における定着具のコンクリートへのめり込み量が他の定着具と比較して 0.4mm 程大きい。これは支圧板とコンクリート面が完全に密着しておらず若干の隙間が存在しているためと考えられる。基本的に後付型以外の定着具における最終荷重時のめり込み量は 0.2～0.4mm 前後であり耐力が異なっても値に大差はなかった。

図-7 に定着具筋に発生したひずみ履歴の一例を示す。初期クラック発生荷重付近から、定着具筋に生じたひずみの増加率が大きくなり、荷重-ひずみ曲線が非線形になっていることが確認できる。各試験体ともその最大荷重に関係なく 0.9Py 荷重時に定着具筋に生じているひずみ値は $600\mu\epsilon \sim 800\mu\epsilon$ 程度であり降伏値までには余裕がある。ひずみ値から見ると定着具筋の径をより細くできるが、試験体 C2-6 などではそれ以降急激にコンクリートブロックの破壊が進行し耐力は低下している。このことは、定着具筋の役目として定着具背後のひび割れ伸展の抑制だけではなくコンクリートブロックの圧縮剛性の向上にも寄与し、圧縮変形量を抑制することも重要であることが示されている。

図-8 に 0.9Py 時における試験体のひび割れ発生状況を示す。プレート型で支圧板がコンクリートブロックに埋め込まれていない試験体 C2-2 (後付型) が最もひび割れの発生が少なく進行も遅い傾向が示された。図中にその時の最大ひび割れ幅を示す。

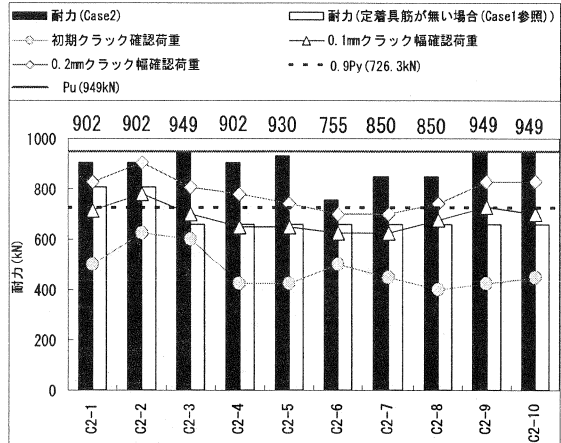


図-5 耐力及びクラック確認荷重結果 (Case2)

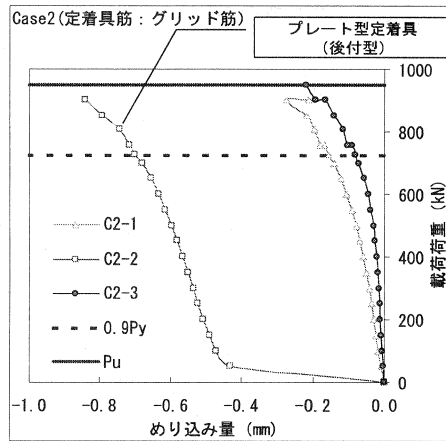


図-6 定着具のめり込み量の一例

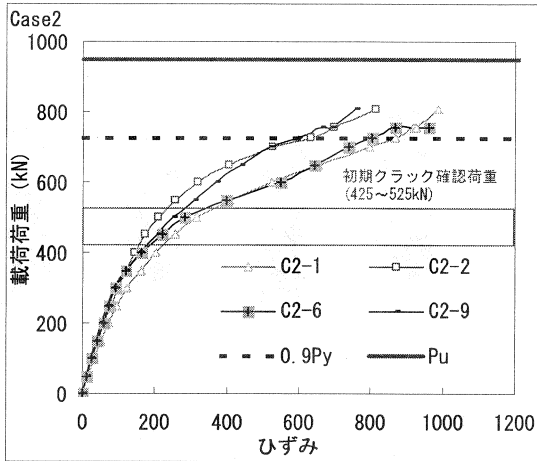


図-7 定着具筋に発生したひずみ (Case2)

0.9Py時 (載荷荷重 : 726kN)

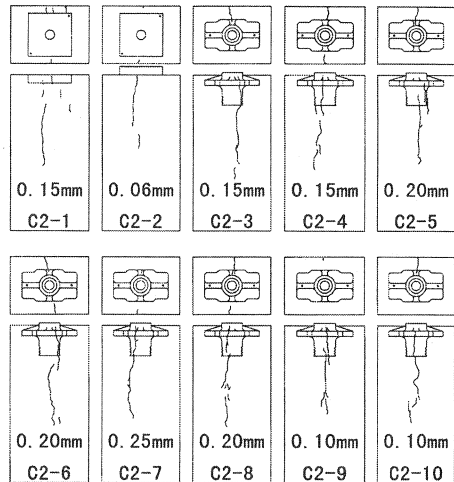


図-8 クラック観測図 (Case2)

3.3 Case3

Case3 は用心鉄筋による補強効果について検討したものである。図-9 及び図-10 に用心鉄筋の有無による比較を示す。耐力、ひび割れ性状ともに用心鉄筋を配置したことにより大幅に改善されている。定着具筋に帯筋を用いた試験体 C2-7 においては用心鉄筋が配置されていないので、定着具と定着具筋を組み合わせた定着具のシステムとして規格を満足していなかったが、用心鉄筋を配置した試験体 C3-2 は十分に規格を満足している。この結果は、用心鉄筋による補強効果の極めて大きいことを示している。しかしながら、その反面、現在の土木学会の試験方法においてコンクリートブロックの用心鉄筋比を 2%以下と規定していることは、この試験方法が定着具そのものの能力を判断する指標とはならないことをも示している。言い換えれば、コンクリートブロックを含めた定着具システムの耐荷性能は、コンクリートブロックの用心鉄筋比によって大きく支配され、定着システムの良否を試験結果から判断できない恐れがある。今回提案した一体型定着具と偏平スパイラル筋又はグリッド板との組み合わせは用心鉄筋が零でも規格引張荷重 Pu まで荷重を保持しており床版など用心鉄筋の少ない場所でも十分な性能を発揮する事が可能と考えられる。

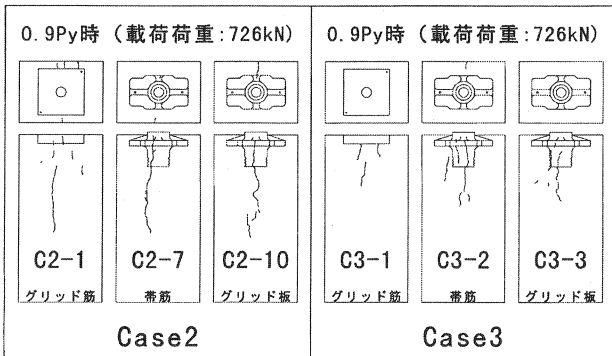


図-9 クラック観測図

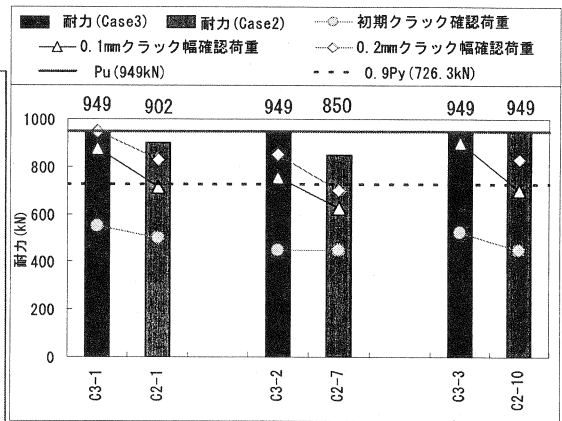


図-10 耐力及びクラック確認荷重結果 (Case3)

3.4 Case4

Case4 は床版厚 190mm を想定したコンクリートブロックを用いて行った試験である。ブロックの断面積はこれまでの Case 1 ~ 3 とほぼ同じになるように長辺を長くした。図-11 に試験結果を示す。すべての試験体に

において 0.9Py 以上の耐力が保持されていたが最大荷重 Pu まで荷重を保持することができたのは背後補強筋にグリッド板を使用した試験体 C4-3 のみであった。部材厚 190mm のコンクリートブロックを用いた試験体でもグリッド板を定着具筋として使用した場合、極めて良好な耐荷性能を示すことが確認された。

定着具背後の補強筋としてのグリッド板はグリッド筋よりかなり小型で設置しやすいものであるが、グリッド筋と同様な補強効果を保持しており薄肉部材に適用することはもちろん、他の部材に用いても有効な補強方法と考えられる。

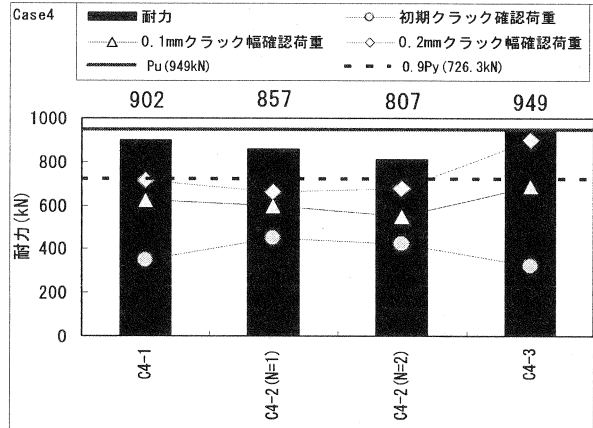


図-11 耐力及びクラック確認荷重 (Case4)

4. 結論

薄肉部材へも適応可能な 1S29 用定着具の開発とその背後の補強方法の妥当性を確認するためコンクリートブロックと定着具を組み合わせた試験体による一軸圧縮試験を行い、以下の知見を得た。

- ・ 定着具の耐荷性能は、その支圧面積が広い程向上することが実験的に立証された。但し、面積の広がりと共に板を厚くして断面剛性を確保することが必要となり、定着具は大きく重くなる。
- ・ 支圧板のコンクリートと接する面に突起を設けることにより、定着具の耐荷性能の向上することが確認できた。これより、定着具の小型化への一つの方向性を示すことができた。
- ・ 薄肉部材への適応を考慮し定着具背後の補強筋として、偏平スパイラル筋と板によるグリッド形状のものを提案するとともにその妥当性を確認することができた。
- ・ 定着具筋の機能として、定着具背後のひび割れ伸展の抑制だけではなく、コンクリートブロックの圧縮剛性の向上にも寄与し、圧縮変形量を抑制することも重要であることが示された。
- ・ 定着具、定着具筋及びコンクリートブロックを組み合わせた試験体による一軸圧縮試験で得られる定着具システムの耐荷性能は、コンクリートブロックに配置された用心鉄筋の量に大きく影響を受けることが示された。用心鉄筋量によっては定着具システムの良否の判断の指標にならない恐れのあることが明らかとなった。

以上の結果を基に今後は新しく提案した一体型定着具と定着具筋近傍の発生応力と FEM 解析との整合性の確認を行い、定着具の型枠への取り付け方法を含めた、実用化に向けての確認試験を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー66 プレストレストコンクリート工法設計施工指針 土木学会規準「PC工法の定着具および接続具の性能試験方法(案)」,平成11年6月
- 2) 今井 昌文:中空PC鋼棒を用いたプレテンション方式によるコンクリートへのプレストレス導入工法に関する研究,平成14年3月
- 3) 石澤 紀明,狩野 誠一郎:オリエンタル建設(株)技術研究所報第6号'01「キャストタイプ定着具の性能試験」
- 4) 日本建築学会:プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説,1998年11月
- 5) FKK フレシネー工法施工基準 2004年改訂