

鋼板格子筋を用いた RC 部材におけるひび割れ抑制対策に関する実験研究

日大生産工 (院) ○新田裕之、日大生産工 (非常勤) 阿部忠

東栄コンクリート工業(株)阿部和幸、白川貴美、JFE シビル (株) 塩田啓介、吉岡泰邦

1. はじめに

近年、建設現場における建設技能労働者の不足が深刻な問題となっている。特に、コンクリート構造物の建設では、鉄筋の加工・組立を行う鉄筋工事に関わる技能労働者が不足している。しかし、鉄筋の加工・組立工事は人力に頼らざるを得ないのが現状であり、合理化・省力化を図るためにはプレキャスト化が望まれる¹⁾。このような背景の中、鉄筋組立のプレキャスト化の一例として、縞鋼板や鋼板をレーザーで格子状に切断し、主鉄筋及び配力筋が一面形成となる鋼板格子筋が開発²⁾された。一方、RC 部材の限界状態設計法において、耐久性に関する照査の検討項目として、ひび割れ幅に対する照査がある。鉄筋の応力度が許容引張応力度以下であっても許容ひび割れ幅の限界値を満足しない場合が非常に多く、鉄筋径を太くするか鉄筋本数を増やす等の鉄筋量を増加させる対応策をとっている。

本研究では、従来の鉄筋を配置したコンクリート床版と、鋼板格子筋にて補強したコンクリート床版を製作し、2点荷重方式による荷重試験を行った。主鉄筋量を増加させることなく、ひび割れ幅の抑制材として鋼板格子筋を用いた場合のひび割れ抑制効果を検証した。また、鋼板格子筋と鉄筋の配置位置を変えることでのひび割れ幅抑制への影響を検証した。

2. 使用材料および供試体概要

2.1 使用材料

(1) コンクリート床版供試体

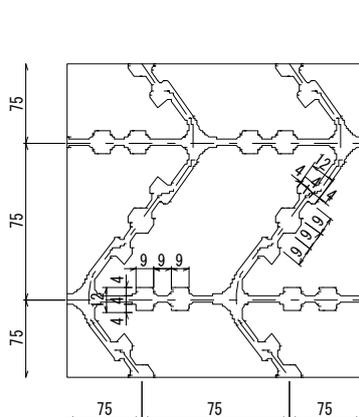


図-1 鋼板格子筋の形状寸法 (展張筋)

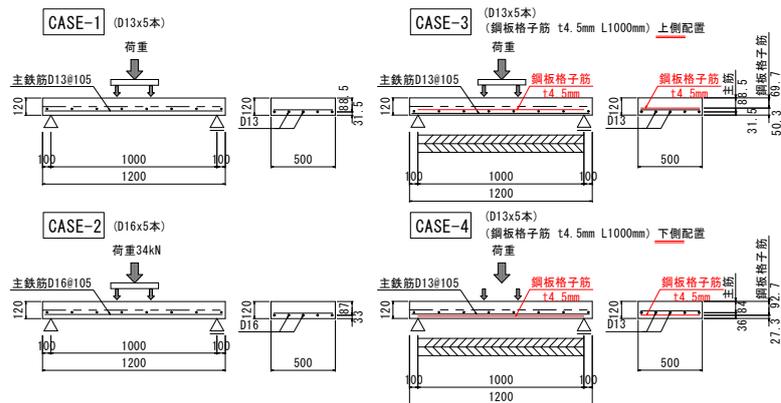


図-2 供試体概略図

表-1 コンクリートの示方配合、及び材料特性値

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
				C	W	S	G15	G20	減水剤	AE剤
10(10.5)	4.5(4.3)	37.0	43.5	419	155	745	488	488	4.81	0.0377
圧縮強度 (N/mm ²)		40 (38.6)		静弾性係数 (kN/mm ²)			(22.0)			

※1 製品同一養生とする ※2 () 表記は実測値とする ※3 減水剤・AE剤は単位水量に含ま

表-2 鉄筋の材料特性値

	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁶)	断面積 (mm ²)
鉄筋D13	362	506	200	1810	126.7
鉄筋D16	360	503	200	1800	198.6
鋼板格子筋	287	454	200	1435	18.0

コンクリート床版供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと砕砂及び 5mm~20mm の砕石を使用した。コンクリート圧縮強度は、40N/mm² を目標とした。ここで、コンクリートの示方配合、及び材料特性値を表-1 に示す。また、鉄筋材質は、SD295A とし、主鉄筋径は D13、D16、配力筋径は D10 とした。ここで、鉄筋の材料特性値を表-2 に示す。

(2) 鋼板格子筋

鋼板格子筋には、材質 SS400、厚さ 4.5 mm の縞鋼板の展張格子筋タイプを用いた。ここで、鋼板格子筋の材料特性値を表-2 に示す。鋼板格子筋の形状寸法を図-1 に示す。断面寸法は、厚さ 4.5 mm、幅 4.0 mm、断面積 18.0mm² である。

2.2 供試体概要

図-2 に供試体概略図を示す。本実験に用いた供試

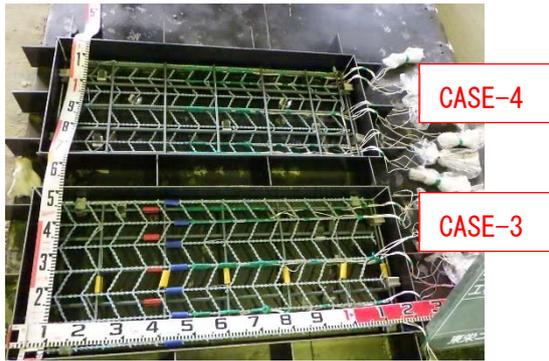


写真-1 鋼板格子筋・鉄筋配置状況 (CASE-3, 4)



写真-2 荷重載荷状況

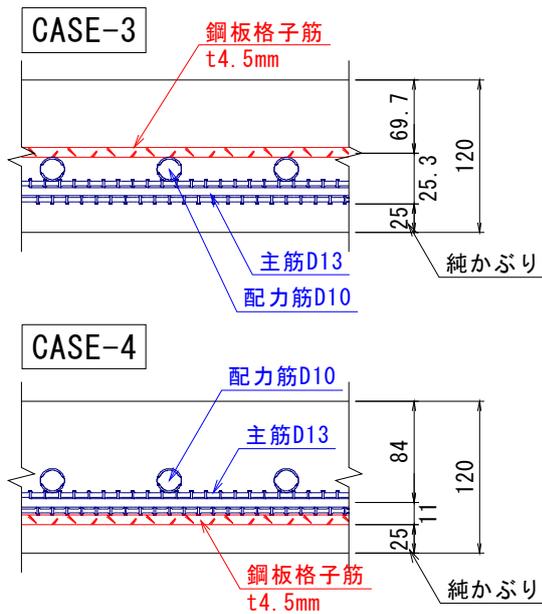


図-3 鋼板格子筋配置図 (CASE-3, 4)

体の寸法は、全長 1,200mm、支間 1,000mm、幅 500mm、厚さ 120mm とした。供試体は、4種類とし、CASE-1：主鉄筋 D13、CASE-2：主鉄筋 D16、CASE-3：主鉄筋 D13 の上部に鋼板格子筋を配置、CASE-4：主鉄筋 D13 の下部に鋼板格子筋を配置とする。写真-1、図-2, 3 に各供試体の鋼板格子筋・鉄筋の配置状況の写真、図を示す。

(1) CASE-1

鉄筋は単鉄筋配置とし、主鉄筋に D13 を 105mm 間隔で配置し、純かぶりを 25mm とし、芯かぶりを 31.5mm とした。配力筋は D10 を 200mm 間隔で配置した。

(2) CASE-2

鉄筋は単鉄筋配置とし、主鉄筋に D16 を 105mm 間隔で配置し、純かぶりを 25mm とし、芯かぶりを 33mm とした。配力筋は D10 を 200mm 間隔で配置した。

(3) CASE-3

CASE-1 と同様、主鉄筋に D13 を 105mm 間隔とし鋼板格子筋は配力筋の上部に配置した。格子間寸法は、75mm×75mm とし、引張端面から 50.3mm とした。主

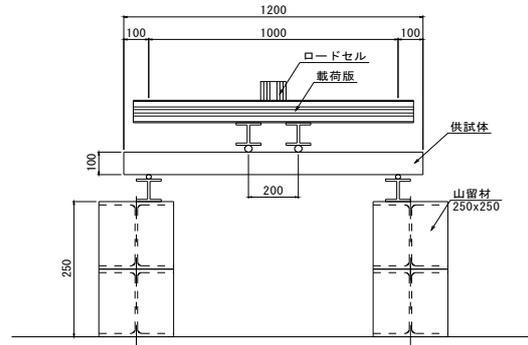


図-4 実験装置概略図

鉄筋は引張端面から 31.5mm とした。配力筋は D10 を 200mm 間隔で配置した。

(4) CASE-4

CASE-1 と同様、主鉄筋に D13 を 105mm 間隔とし鋼板格子筋は主鉄筋の下部に配置した。鋼板格子筋の格子間寸法は、75mm×75mm とし、純かぶりを 25mm とし、芯かぶりを 27.3mm とした。主鉄筋は引張端面から 36mm とした。配力筋は D10 を 200mm 間隔で配置した。

3. 実験方法

最大載荷能力 200kN の曲げ試験機を用いて載荷重実験を行う。ここで、荷重載荷状態を写真-2 に示す。荷重載荷方式は、図-4 に示すように、2点載荷方式とし、載荷間隔を 200mm とする。荷重載荷条件は、0kN から 5kN まで載荷し、ひび割れ幅の確認、計測を行い、その後除荷する。再度、載荷し 5kN 増加毎に、荷重の除去を繰り返す。たわみの計測は、供試体断面方向の中央とし、ひずみゲージは、荷重載荷間の主鉄筋、鋼板格子筋、及び供試体コンクリート表面とした。

4. 結果及び考察

(1) 荷重とひび割れ幅の関係

荷重とひび割れ幅の関係を図-5 に示す。

CASE-1 では、20kN 載荷時にひび割れが確認され、50kN 載荷時にひび割れ幅 0.2mm となった。CASE-2 では、35kN 時にひび割れが確認され、70kN 載荷時にひ

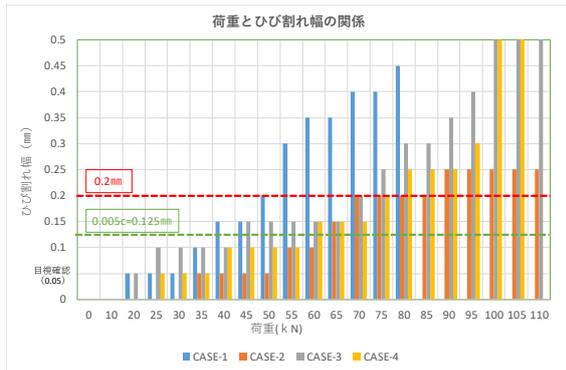


図-5 荷重とひび割れ幅の関係

表-3 ひび割れ幅の実測値と理論値

CASE	荷重(kN)	ひび割れ幅理論値(mm)	ひび割れ幅実測値(mm)	許容ひび割れ幅0.005c(mm)
1	50(48)	0.207	0.2	0.125 (c=25mm)
2	80(77)	0.208	0.2	
3	65(61)	0.213	0.15	
4	65(61)	0.213	0.15	

※1 () 内荷重は、ひび割れ幅理論値0.200mmとなる荷重を表す。

※2 cは、純かぶりとする。

ひび割れ幅0.2mmとなった。CASE-3では、20kN 荷重時にひび割れが確認され、70kN 荷重時にひび割れ幅0.2mmとなった。CASE-4では、25kN 荷重時にひび割れが確認され、75kN 荷重時にひび割れ幅0.2mmとなった。

初期ひび割れが発生した荷重を比較すると、CASE-1: 20kN に対し、CASE-2: 35kN、CASE-3: 20kN、CASE-4: 25kN であった。一方、ひび割れ幅が0.2mmとなった荷重を比較すると、CASE-1: 50kN に対し、CASE-2: 70kN、CASE-3: 70kN、CASE-4: 75kN であり、鋼板格子筋によるひび割れ幅抑制の効果が確認された。

コンクリート標準示方書³⁾に基づき、曲げひび割れの設計応答値は、下式を用いて算出できる。

$$W=1.1k_1k_2k_3\{(4c+0.7(C_s-\phi))\}(\sigma_{se}/E_s+\varepsilon'_{csd})$$

ここに、 k_1 : 鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響、 k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響、 k_3 : 引張鋼材の段数の影響、 c : かぶり(mm)、 c_s : 鋼材の中心間隔(mm)、 ϕ : 鋼材径(mm)、 ε'_{csd} : コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値、 σ_{se} : 鋼材位置のコンクリートの応力度が0の状態からの鉄筋応力度の増加量(N/mm²)

上記式に基づき、曲げひび割れ幅0.2mmに達する荷重を算出した。その荷重時のひび割れ幅の実測値と理論値を表-3に示す。各CASE共に、実測値が理論値のひび割れ幅以下となった。また、鉄筋のみの場合は、近似値であるが、鋼板格子筋を使用した場合は、実測値が理論値の0.704倍の値となった。これは、タイプの異なる2種類の引張鋼材を用いた供試体であり、多段配筋等の影響により、実測値と理論値に差異が生じたものと推測される。

(2) 荷重と鉄筋ひずみの関係

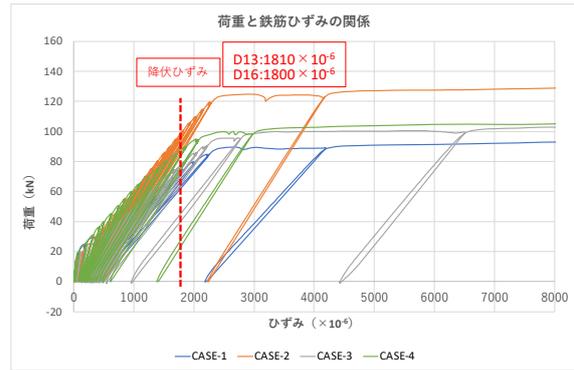


図-6 荷重と鉄筋ひずみの関係

荷重と鉄筋ひずみの関係を図-6に示す。

CASE-1では、荷重85kNまでは、線形的に増加し、この時点でのひずみは、 2240×10^{-6} であった。CASE-2では、荷重120kNまでは、線形的に増加し、この時点でのひずみは、 2280×10^{-6} であった。CASE-3では、荷重90kNまでは、線形的に増加し、この時点でのひずみは、 2230×10^{-6} であった。CASE-4では、荷重95kNまでは、線形的に増加し、この時点でのひずみは、 2100×10^{-6} であった。全てのCASEにおいて、表-2の降伏ひずみ以上の数値であった。

降伏点付近の荷重を、CASE-1に対し、CASE-3, 4と比較すると、1.06倍、1.12倍となり、鋼板格子筋による補強効果があった。また、CASE-2に対し、CASE-3, 4と比較すると、主鉄筋D16の場合よりも、鋼材断面積が少ないことが影響し、0.75倍、0.79倍の結果であった。

(3) 荷重と鋼板格子筋ひずみの関係

荷重と鋼板格子筋ひずみの関係を図-7に示す。

CASE-3では、100kNまで、線形的に増加した。この時点でのひずみは、 1670×10^{-6} であった。CASE-4では、70kNまで、線形的に増加した。この時点でのひずみは、 1680×10^{-6} であった。

CASE-3, 4における鉄筋ひずみ、鋼板格子筋ひずみを抽出し、荷重との関係を図-8, 9に示す。

CASE-3においては、下側に配置した鉄筋が鋼板格子筋よりも先に降伏し、その荷重は95kNであった。鋼板格子筋の降伏荷重は、100kNであった。一方、

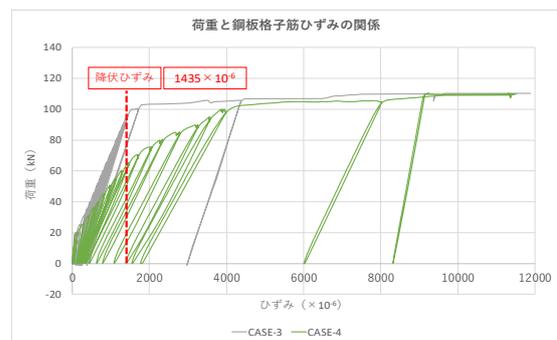


図-7 荷重と鋼板格子筋ひずみの関係

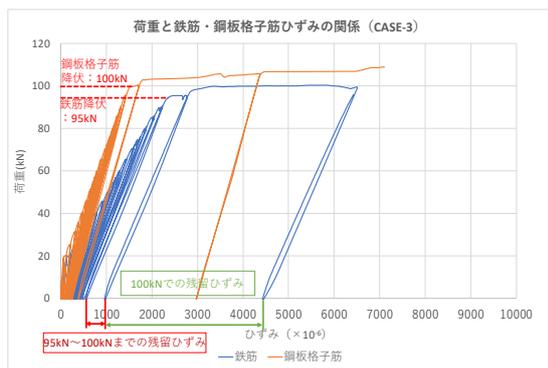


図-8 荷重と鉄筋ひずみ、鋼板格子筋ひずみの関係 (CASE-3)

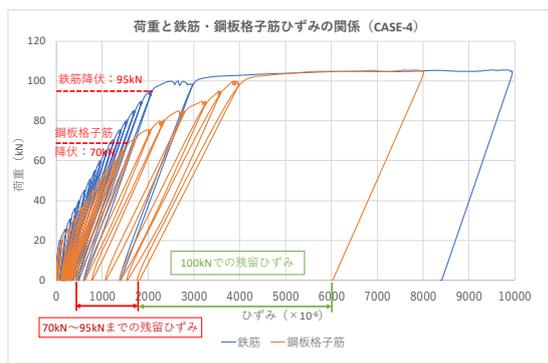


図-9 荷重と鉄筋ひずみ、鋼板格子筋ひずみの関係 (CASE-4)

CASE-4 においては、下側に配置した鋼板格子筋が鉄筋よりも先に降伏し、その荷重は70kNであった。鉄筋の降伏荷重は、95kNであった。CASE-3, 4共に下側に配置した鋼材が先に降伏した。CASE-3と比較し、CASE-4の場合において、鉄筋と鋼板格子筋の降伏荷重に差があったため、鋼板格子筋のみが降伏している域において、残留ひずみの増加の抑制が顕著に表れた。鉄筋と鋼板格子筋が共に降伏すると、急激に残留ひずみが増加した。

(4) 荷重とたわみの関係

荷重とたわみの関係を図-10に示す。

CASE-1では、荷重90kNまでは、線形的に増加し、この時点でのたわみは、13mmであった。CASE-2では、荷重90kN時点でのたわみは、11mmであった。その後、荷重120kNまでは、線形的に増加し、この時点でのたわみは14mmであった。CASE-3では、荷重90kN時点でのたわみは、12mmであった。その後、荷重100kNまで、線形的に増加し、この時点でのたわみは、14mmであった。CASE-4では、荷重90kNでのたわみは、12mmであった。その後、100kNまでは、線形的に増加し、この時点でのたわみは、13mmであった。また、(2)で上述した鉄筋降伏時の荷重でのたわみを比較すると以下ようになる。CASE-1：85kN, 12mm、CASE-2：120kN, 14mm、CASE-3：90kN, 12mm、CASE-4：95kN, 12mmであり、CASE-1に比較し、CASE-3, 4共に、降伏荷重が増加しているにもかかわらず、たわみに変化がなかった。

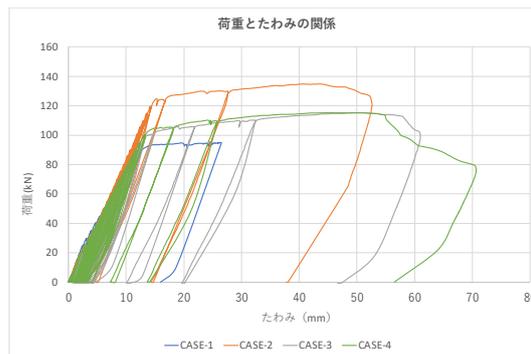


図-10 荷重とたわみの関係

5. まとめ

本研究では、コンクリート床版のひび割れを抑制するために、鋼板格子筋にて補強したコンクリート床版の載荷試験を行い、ひび割れ幅、耐荷性能について、以下の知見が得られた。

(1) 初期ひび割れが発生した荷重を比較すると、CASE-1：20kNに対し、CASE-2：35kN、CASE-3：20kN、CASE-4：25kNであった。一方、ひび割れ幅が0.2mmとなった荷重を比較すると、CASE-1：50kNに対し、CASE-2：70kN、CASE-3：70kN、CASE-4：75kNであり、鋼板格子筋を用いて、ひび割れ幅を抑制できることが確認できた。

(2) 主鉄筋ひずみにおいて、降伏荷重をCASE-1に対し、CASE-3, 4を比較すると、1.06倍、1.12倍となった。また、たわみにおいても、主鉄筋降伏荷重時におけるCASE-1に対し、CASE-3, 4を比較すると、降伏荷重が増加しているにもかかわらず、たわみに変化はなく、鋼板格子筋による補強効果を確認できた。

(3) 鋼板格子筋で補強したCASE-3, 4において、下側に配置した鋼材が先に降伏した。主鉄筋と鋼板格子筋が共に降伏すると、急激に残留ひずみが増加した。主鉄筋と鋼板格子筋共に、引張鋼材として寄与していることを確認できた。

(4) これまでは、許容ひび割れ幅(0.005c)を満足しない場合、鉄筋量を増加させ、ひび割れ幅の低減を行ってきた。本研究で、鋼板格子筋で補強を行うことによりひび割れ幅の抑制が可能である結果となった。但し、鋼板格子筋を主鉄筋の下側に配置した場合の方が、ひび割れ幅抑制により効果があることが示された。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性革命～参考資料, 2016
- 2) 阿部忠、師橋憲貴、塩田啓介、今野雄介：補強材として新たに開発された2タイプの鋼板格子筋を用いたRCはりの増厚補強効果、コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 2, pp. 1387-1392, 2015. 7
- 3) 公益社団法人 土木学会：コンクリート標準示方書設計編, 2017