

[89] レジンコンクリート曲げ部材の最適設計に関する一考察

正会員 小 柳 治 (岐阜大学工学部)
 正会員 ○ 大 野 定 俊 (岐阜大学工学部)
 村 井 信 夫 (名 阪 工 材)
 正会員 林 富 士 男 (名 阪 工 材)

1 はじめに

レジンコンクリート(以下RECと略)を構造部材として利用する上で、ぜい性的な破壊を生じないため、通常の鉄筋コンクリートと同じく鋼材による補強が考えられる。しかしポリエステル樹脂を用いたRECでは、硬化収縮が大きいので、補強材の存在により内部応力が発生し、鋼材比が増すほど部材の曲げひびわれ耐力が低下することが知られており¹⁾²⁾、最適補強方法に対する基本方針はまだ確立されていない。従来の研究ではRECの圧縮強度を有効に利用する観点から、部材の終局耐力を向上させることを目的として、REC曲げ部材の補強効果の検討が考えられてきたようである。しかし、補強材として鋼材を用いる場合には、RECが中性でありセメントコンクリートのような高アルカリの防食性を有しないため、RECの曲げ部材の主たる限界状態は、耐久性の見地から、曲げひびわれ発生時としなくてはならないものとする。この観点に立てば、補強材量を増加させるよりむしろ、曲げひびわれ発生以後においては部材耐力の増加は期待せず、耐荷力を維持したまま徐々に変形が進行し、十分な延性性質をもって破壊に至るような補強程度とすることが最適であると考えられる。本研究ではREC補強はりの収縮ひずみ、鋼材ひずみの測定およびはりの載荷実験を実施して、REC曲げ部材のひびわれ時を限界状態とした最適補強方法について、内部拘束応力ならびに曲げひびわれ発生後の部材の挙動の両者の観点から検討を行なうものである。

2 実験概要

2-1 使用材料および示方配合

本研究に用いたRECの使用材料は、樹脂として不飽和ポリエステル(日本触媒社G-103)、粗骨材は木曽川産玉砕石(最大寸法10mm, F.M.=5.7)、細骨材は静岡産山砂(F.M.=2.0)、充てん材として重質炭酸カルシウム(美濃赤坂産, $D_{mean} \approx 40\mu$)、触媒はメチルエチルケトンパーオキサイド(三建化工社)、促進剤として6%ナフテン酸コバルトである。

表-1 RECの示方配合(重量百分率)

樹 脂 (%)	充てん材 (%)	骨 材 (%)		硬化剤(phr)	
		細骨材	粗骨材	触 媒	促進剤
9.5	19	19	52.5	3.0	0.21

表-2 鋼材の機械的性質

鋼材種別	鋼材径 (mm)	降伏強度 (kg/mm^2)	引張強度 (kg/cm^2)	弾性係数 (kg/cm^2)
高張力鋼	9.2	147	153	1.97×10^6
	15	119	128	1.93×10^6
普通丸鋼	9	37	57	2.10×10^6
	16	31	44	2.10×10^6

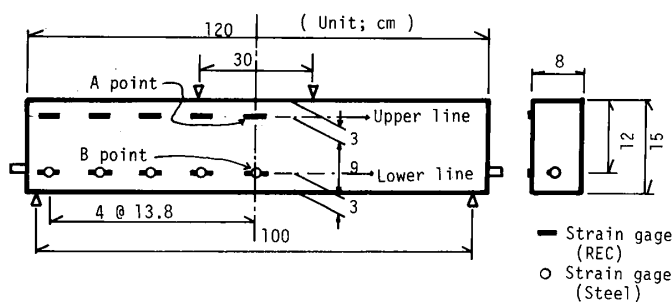


図-1 はり供試体

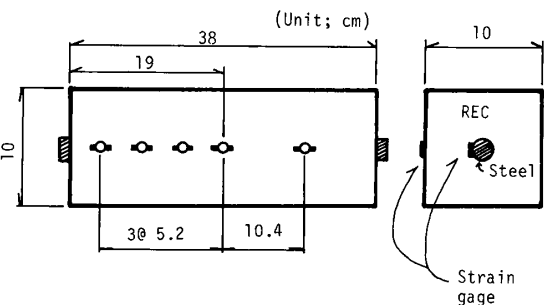


図-2 角柱供試体

R E C の示方配合を表-1に示す。また補強鋼材には普通丸鋼および高周波熱練社のP C鋼棒を使用した。鋼材の機械的性質を表-2に示す。

2-2 測定方法

実験には図-1に示される寸法のはり供試体と図-2の角柱供試体を使用した。曲げひびわれ耐力と補強効果を検討するために、鋼材種別と鋼材径を変化させた4種類の供試体を作成し計測を実施した。はりおよび角柱供試体の供試体名称および種類を表-3に示した。

鋼材に導入されるひずみ、R E C表面部の収縮ひずみを図-1、図-2に示される各点で測定した。鋼材のひずみは鋼材表面に貼付した抵抗線ひずみゲージ(検長2mm)で、またR E Cの収縮ひずみはゲル化直後に型枠をはずし検長20mmの抵抗線ひずみゲージを貼付して測定した。各ひずみは自動多点切換器付ひずみ測定器により、ゲージ貼付直後から材令48時間まで、15分毎に計測した。各供試体とも計測終了後に曲げ荷重試験を実施し、曲げひびわれ耐力を求めた。はり供試体の荷重はスパン100cm、曲げスパン20cmとして、また角柱供試体はスパン30cmで、3等分点荷重で行なった。なお本実験はすべて20°Cの条件下で実施した。

3 実験結果と考察

本実験に使用したR E Cの $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体による圧縮強度は 1150 kg/cm^2 、同じく割裂引張強度は 130 kg/cm^2 、また $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体による曲げ強度は 231 kg/cm^2 であった。

既に報告³⁾されているように、R E Cの収縮ひずみの出現は、鋼材ひずみ、弾性係数等の出現よりも早く、早期のR E Cの収縮は拘束応力の発現に関与しない。そこで本研究では、鋼材ひずみが出現し始めた混合後2時間をもって収縮ひずみ、R E C表面ひずみ、鋼材ひずみの測定の始点とした。

はり供試体側面の表面ひずみ分布を図-3に、また鋼材ひずみ分布を図-4に示す。鋼材位置での表面ひずみと鋼材ひずみは供試体端部から20cm程度内側の中央部分ではほぼ一様に分布しているが、端部では鋼材ひずみは中央部分に比べて小さく、逆に鋼材位置のR E Cひずみは非常に大きくなっている。また図-5に示すように、供試体中央部分では鋼材ひずみと同位置のR E C表面ひずみの大きさが同程度であることから、供試体中央部分においては鋼材とR E C間の変形は一致しており、ひずみ分布も同様であることがみとめられる。また、R E C表面ひずみは鋼材位置に比べて上部で非常に大きくなっており、無筋供試体の自由収縮ひずみ量の

表-3 供試体種類

供試体名称	鋼材種類	鋼材径 (mm)	供試体数
はり 供試体			
B-0	(なし)	-	2
NSB 9	普通丸鋼	9	2
NSB 16	"	16	2
HSB 9	高張力鋼	9.2	2
HSB 15	"	15	2
角柱 供試体			
C-0	(なし)	-	2
NS 9	普通丸鋼	9	2
NS 16	"	16	2
NS 9	高張力鋼	9.2	2
NS 15	"	15	2

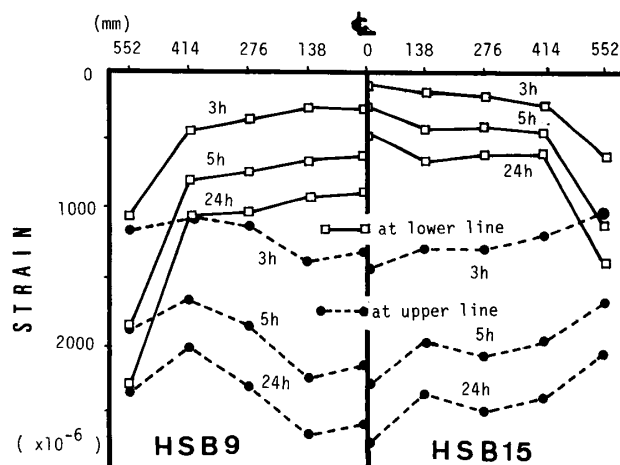


図-3 表面ひずみ分布(はり供試体)

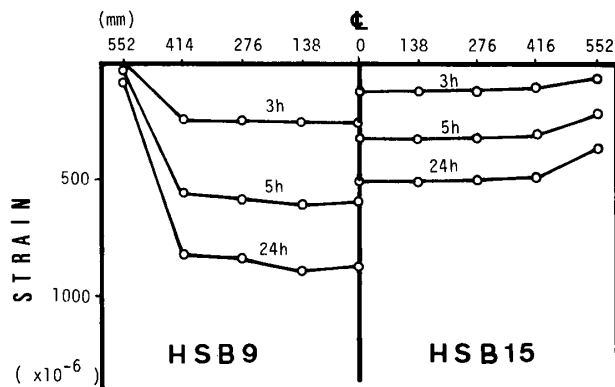


図-4 鋼材ひずみ分布(はり供試体)

大きさと差はない。次に角柱供試体の試験結果をみると、鋼材ひずみ分布は図-6に示されるように供試体中央部の測点で最大値を示し、また端部ではほとんど零になっており、一定区間はみられない。しかし、はり供試体の試験結果と対比してみれば、硬化初期の鋼材の定着長は約20cmであり、角柱供試体の中央部の鋼材ひずみは供試体寸法をこれ以上長くしても変化は小さいと考えられる。なお、定着長は時間の経過に伴って短くなる。R E Cの上面ひずみはホイットモア型機械的ひずみ計で計測した既発表のデータ³⁾とはほぼ一致している。

はり供試体および角柱供試体の曲げひびわれ荷重 P_{cr} 、および曲げひびわれ時の算定下縁応力 σ_{cr} と無筋供試体の曲げ強度との差 σ_i を表-4に示した。また、供試体中央部の材令48時間における鋼材ひずみの値を用いて計算した鋼材導入応力 σ_s 、拘束力 $P_s = A_s \cdot \sigma_s$ 、および拘束力 P_s によって生じる供試体下縁の引張応力、
 $\sigma_p = P_s / A_R + P_s \cdot e / Z$ (はり供試体)、
 $\sigma_p = P_s / A_R$ (角柱供試体) を併せて示したところ、 A_R ：供試体 R E C 断面積、 e ：断面図心位置より鋼材図心位置までの距離、 Z ：断面係数である。

曲げひびわれ荷重は図-7に示すように、補強鋼材の断面積が増すほど拘束応力が大きくなるため減少している。各供試体の曲げひびわれ時の算定下縁応力と無筋供試体の曲げ強度との差 σ_i が内部拘束応力であるとして、供試体中央部の鋼材ひずみから計算した拘束引張応力 σ_p を比較すると、多少バラツキはあるが良く対応している。

角柱供試体に導入される拘束応力については R E C の硬化時の変形特性をレオロジーモデルで仮定し、R E C の応力緩和を考慮することによって断面のつり合い式から求めることが可能であり⁴⁾、はり供試体に導入される拘束応力についても同様な手法に基づけば算定できると考えられる。

各はり供試体の荷重-変形曲線を図-8に示す。4種の供試体を比較すると、曲げひびわれ荷重の上からは、補強材の径が小さい方が拘束力の発生が小さく有利である。また高張力鋼で補強されたはり普通丸鋼で補強されたはりを比較すると、同じ鋼材径でも高張力鋼を用いる方が導入される拘束力が小さく、図-7のようにはりの曲げひびわれ荷重も大きくなっており、これは高張力鋼と普通丸鋼の弾性係数の差によるものと考えられる。

普通丸鋼の径9mmで補強された N S B 9 は、はりの曲げひびわれが生ずると急激に耐荷力が落ち、曲げひびわれ荷重より低い荷重で変形の

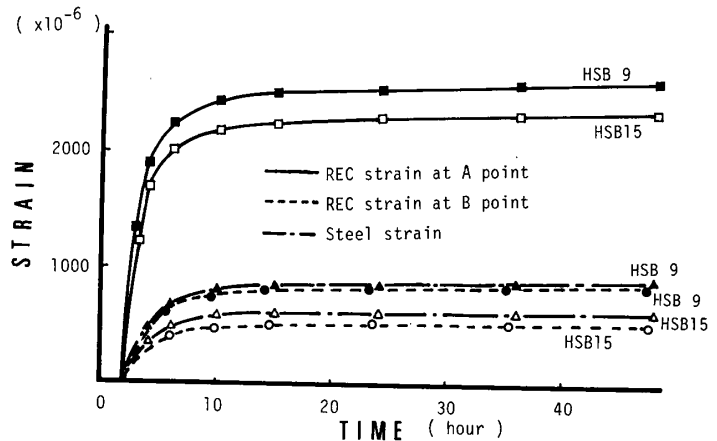


図-5 各ひずみの経時変化(はり供試体中央)

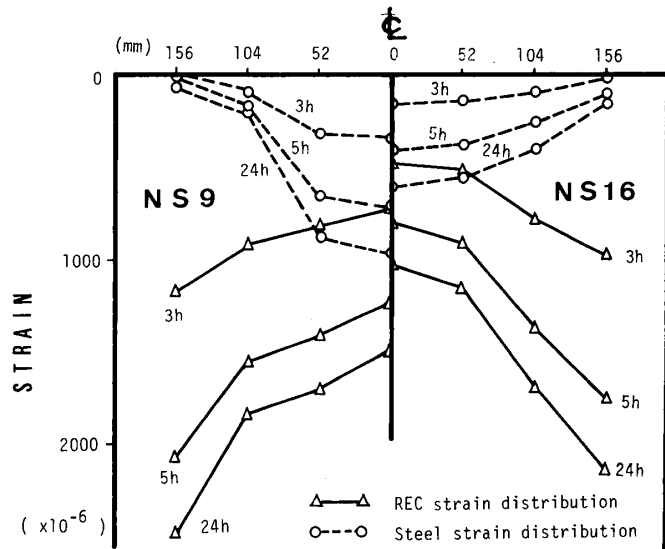


図-6 ひずみ分布(角柱供試体)

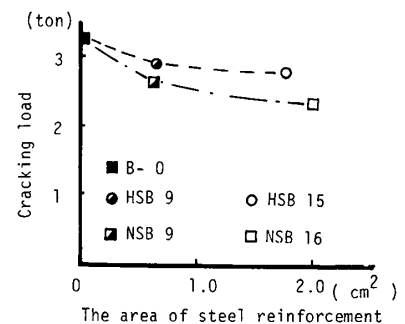


図-7 曲げひびわれ荷重

みが進行している。NSB 9のように部材の曲げひびわれ荷重よりも低い荷重で補強鋼材が降伏する部材では、過大荷重によって曲げひびわれが発生すると、急激に変形が進行すると共に耐荷力が下がるため、無筋RECに比した補強効果の有効性には問題がある。また高張力鋼の径9mmで補強されたHSB 9と普通丸鋼の径16mmで補強されたNSB 16は、いずれも曲げひびわれ荷重より若干大きな荷重で鋼材が降伏しており、曲げひびわれ発生後徐々に部材の変形が進行してゆき、最終的にはり上縁のREC部分が圧壊して破壊に至っている。しかし、高張力鋼を用いたHSB 9の方がNSB 16に比べ鋼材径が小さいので、拘束力の発生が少なく、曲げひびわれ耐力は高くなる。

一方、高張力鋼の径15mmで補強したHSB 15は曲げひびわれ発生後も鋼材は降伏せず、耐力の増大が認められる。しかし、曲げひびわれ発生時を限界状態とした観点からは、ひびわれ荷重の低下を犠牲にしてまで大きな耐力の増加を期待することは、適切な補強とはいえない。

以上より、曲げひびわれ発生後の部材の挙動を考慮すると、部材に曲げひびわれが生じて引張り力が補強材に移行する場合に、それよりやや高い荷重で補強鋼材が降伏するような補強が、内部拘束応力を低くおさえてかつはりの延性を確保するという観点からみれば最も適切であると考えられる。この見地からは、高張力鋼を用いる方が鋼材径が小さくなり、かつ弾性係数が低いのでより適切であると考ええる。

4 まとめ

本研究は、角柱供試体およびはり供試体の収縮ひずみおよび鋼材ひずみの測定と載荷実験を実施したものであり、硬化初期におけるはり供試体の定着長は約20cmであること、REC曲げ部材の設計では内部拘束応力の発生を低くおさえ、かつ部材の延性を確保するという観点から、部材の曲げひびわれ荷重よりやや高い荷重で補強鋼材が降伏するような高張力鋼で補強した方が有利であることなどが明らかになった。

参考文献

- (1) 岡田, 小林, 矢村, 平井「レジンコンクリートの補強に関する2, 3の実験」セメント技術年報, ⅩⅩⅡ, 1968
- (2) 小林, 小林「レジンコンクリートの補強に関する2, 3の考察」コンクリート工学 Vol. 14, No. 4, 1974
- (3) 小柳 他3「RECの収縮性状と補強筋による拘束応力の発現」第2回コンクリート工学年講義文集, 1980
- (4) 小柳, 大野「レジンコンクリートの収縮応力の算定」土木学会中部支部講演概要集, 1981

表-4 試験結果

供試体 名称	鋼材 断面積 A_s (cm ²)	ひびわれ 荷重 P_{cr} (t)	ひびわれ時下 縁応力 σ_{cr} (kg/cm ²)	σ_i (kg/cm ²)	鋼材 応力 σ_s (kg/cm ²)	拘束力 P_s (kg)	σ_p (kg/cm ²)
はり 供試 体	NSB 9	0.581 2.68	2.58 172 179	37 36	2058 2478	1196 1440	28 34
	NSB 16	1.961 2.40	2.22 148 160	61 55	1386 1050	2718 2059	64 48
	HSB 9	0.636 2.77	2.96 197 185	12 30	1773 2009	1128 1278	26 30
	HSB 15	1.744 2.58	2.94 196 172	13 43	1216 1138	2121 1986	50 47
角柱 供試 体	NS 9	0.581 6.92	7.30 219 208	9 20	1749 1778	1016 1033	10 10
	NS 16	1.961 7.10	6.52 196 213	32 17	1111 1201	2178 2356	22 24
	HS 9	0.636 7.10	6.60 198 213	30 15	1310 1105	833 702	8 7
	HS 15	1.744 7.10	6.90 207 213	21 5	1057 939	1844 1639	19 17

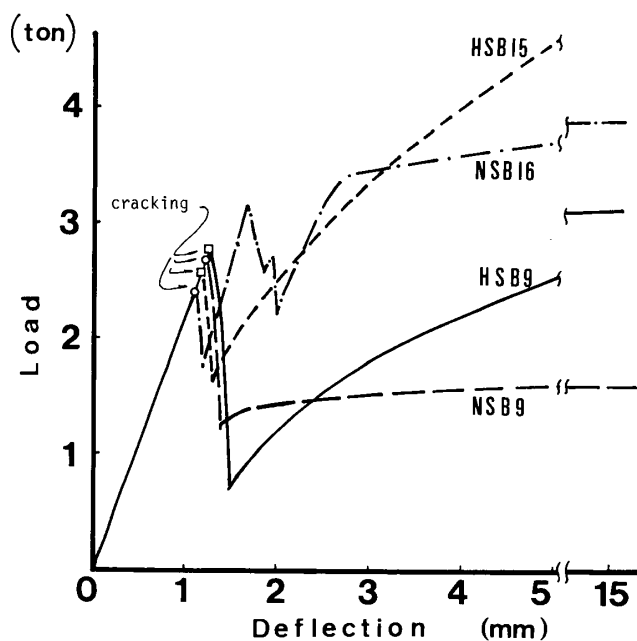


図-8 荷重-変位曲線