

碎石を用いた鉄筋コンクリートのひびわれについて

東北大学工学部 正員 杉山嘉徳

“ “ 学員 外門正直

“ “ “ 菅生邦彦

“ “ “ 原田幸雄

1. まえがき.

碎石コンクリートの強度特性は砂利コンクリートとかなり異なり、一般に圧縮強度の等しい碎石コンクリートと砂利コンクリートとを比較した場合、引張強度は碎石コンクリートの方が大きくなるが、鉄筋とコンクリートとの粘着性は、セメントペーストの水セメント比によると考えられるので、水セメント比を等しくすれば、碎石コンクリートを用いた場合と砂利コンクリートを用いた場合とで、ほぼ等しいと考えられる。このように、碎石コンクリートと砂利コンクリートとの強度特性はかなり相違するものであるが、碎石コンクリートの強度特性が異形鉄筋の引張ひびわれ性に与える影響についての研究は少なく、明らかにされていない実が多い。

鉄筋の引張ひびわれ性の問題は、鉄筋の耐久性に影響し、引張鉄筋の許容引張応力度の決定に関係のある重要な問題である。そこで、筆者らは、横フシ異形鉄筋および丸鋼を用い、両引張試体によって、碎石コンクリートの強度特性が鉄筋の引張ひびわれ性、すなわち最大ひびわれ間隔や内部ひびわれに与える影響を調べるための実験を行った。

2 実験材料および方法

1) 実験材料 使用したセメントは小野田早強ポルトランドセメント、粗骨材は宮城県高館産碎石および宮城県白石市産砂利、細骨材は宮城県白石市産である。その試験成績を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。使用した鉄筋は横フシ異形鉄筋(SD35)および丸鋼(SR24)である。

表-1

	粗骨材		細骨材
	碎石	砂利	
比重	2.71	2.54	2.51
吸水量	1.94%	2.23%	3.86%
粗粒率	6.75	6.75	2.35

表-2

粗骨材	粗骨材最大寸法(mm)	スランプ値(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 kg				試験強度	
					水	セメント	細骨材	粗骨材	圧縮強度(N/mm ²)	引張強度(N/mm ²)
碎石	20	5.0	50	35	180	360	641	1170	300	28
砂利	20	5.0	48	36	158	330	666	1180	300	28
砂利	20	7.5	50	35	180	360	641	1104	270	22

2) 実験方法

a) 最大ひびわれ間隔 十分長い両引張試体に、わずかな間隔を変えて、あらかじめ切れ目を入れた断面をつくっておいて両引張荷重すると、まず最初に、切れ目の位置にひびわれが発生し、更に鉄筋応力度を増加させると、最大ひびわれ間隔より長い切れ目間隔には、切れ目間隔のほぼ中央に、新たな一次横ひびわれが発生し、最大ひびわれ間隔より短い切れ目間隔には、新たな一次横ひびわれが発生しない。この考えに基づいて、碎石コンクリートおよび砂利コンクリートを用いた場合について、横フシ異形鉄筋および丸鋼を用いて最大ひびわれ間隔を求めた。

b). 内部ひびわれ 最大ひびわれ間隔よりわずかに短い長さの供試体を用いて、あらかじめ、

鉄筋表面より5mm程離れたところに細い孔をあけておき、両引張荷中に赤インクを注入し、載荷終了後、鉄筋軸を含む面で供試体を縦に半割して、内部ひびわれの状態を調べた。

c). ひびわれ中、鉄筋露出中。 供試体の所定の位置に横ひびわれが入るように、断面の四隅に、小さな切込みを入れ、ひびわれ発生位置の両側に標点を打ち、コンファートタイプ歪計を用いて、標点間の変位を測定してひびわれ中とした。また、供試体端面において、鉄筋表面より5mm離れた点と鉄筋表面との固定点との相対変位を1000mmダイヤルゲージで測定して鉄筋露出中とした。

3. 実験結果および考察

a). 最大ひびわれ間隔。 鉄筋コンクリート部材引張部の横ひびわれ間隔(L)について、鉄筋応力度が増加しても新たな横ひびわれの発生が見られなくなった状態において、次のような一般法則が認められている。

$$L_{min} \leq L \leq L_{max} \quad L_{max} = 2L_{min}$$

ここで L_{max} = 最大ひびわれ間隔

L_{min} = 最小ひびわれ間隔

丸鋼の場合には、上記の一般法則に従わない横ひびわれが発生することはないが、異形鉄筋を用いた場合には、まず初めに、上記の法則に大略従った横ひびわれ(一次横ひびわれ)が発生するが、その後鉄筋応力度がかなり高くなってから、既存の一次横ひびわれの近くに新たな横ひびわれ(二次横ひびわれ)が発生し、横ひびわれ間隔が最小ひびわれ間隔よりかなり狭くなることがある。碎石コンクリートを用いた場合にも、これと同様のことが言えるが、碎石コンクリートの強度特性の影響により、最大ひびわれ間隔の大きさには、砂利コンクリートを用いた場合とは相違がある。表-3は砂利コンクリートおよび碎石コンクリートを用いた場合の最大ひびわれ間隔を求めた結果である。

配合の異なる二種の砂利コンクリートを用いた場合に関して、強度の違いによる影響が最大ひびわれ間隔に現われていないのは、配合の違いによる引張強度の差と、鉄筋とコンクリートとの付着性の差とが互いに相殺し合うからである。しかし、碎石コンクリートを用いた場合と砂利コンクリートを用いた場合とを較べると、水セメント比を等しくした場合には、鉄筋とコンクリートとの純付着性には大差ないと考えられるが、コンクリートの引張強度はかなり異なり碎石コンクリートの方が大きい。また、コンクリートの強度を等しくすると、水セメント比は碎石コンクリートの方が大きくなるので、鉄筋とコンクリートとの純付着性は碎石コンクリートの方が小さくなる。したがって、いずれの場合にも最大ひびわれ間隔は碎石コンクリートを用いた場合の方が大きくなったと考えられる。

			砂利コンクリート		碎石コンクリート
鉄筋	鉄筋径	鉄筋断面	$\eta_c=46\%$	$\eta_c=50\%$	$\eta_c=50\%$
横 フ シ 異 形	$\phi 19$	10 $\times$ 10	25cm	25cm	27cm
	$\phi 25$	12 $\times$ 12	29cm	29cm	31cm
	$\phi 32$	12 $\times$ 12	25cm	—	29cm
丸 鋼	$\phi 25$	12 $\times$ 12	46cm	—	54cm以上
	$\phi 32$	12 $\times$ 12	40cm	—	46cm以上
引張強度			28%	22%	28%
圧縮強度			300%	270%	300%

表-3

最大ひびわれ間隔

鉄筋とコンクリートとの付着性は、1)化学的付着力、2)摩擦カ、3)フシの機械的作用によるものの三つに大別できるが、丸鋼の場合は、1)および2)であり、横フシ異形鉄筋の場合には、

3) によるものが大きな割合を占めていると考えられる。このことは、実験結果において、碎石コンクリートを用いた場合と砂利コンクリートを用いた場合との最大ひびわれ間隔の比が、横フミ異形鉄筋の場合には約1.1であるのに対し、丸鋼の場合には、およそ1.2・1と丸鋼の方が大きくなることにも現れている。

写真-1

2) 内部ひびわれ 一次横ひびわれが発生した後間もなく、異形鉄筋周辺のコンクリートには、コンクリート表面には現れない小さなひびわれ(内部ひびわれ)が発生する。写真-1は、砂利コンクリートを用いた場合の内部ひびわれの状態を示したものである。この写真で明らかのように、内部ひびわれは、鉄筋のフミ付近を頂部とする円錐状をなし、一般に最寄りの一次横ひびわれ面あるいは、供試体端面に底部を向けている。内部ひびわれが鉄筋軸方向となす角度は、大略60度である。写真-2,3は、碎石コンクリートを用いた場合の内部ひびわれの発生状態を、鉄筋応力度 $1,000 \text{ kg/cm}^2$, $1,500 \text{ kg/cm}^2$, $3,000 \text{ kg/cm}^2$ と調へたものである。碎石コンクリートの場合にも、内部ひびわれの発生状態全般については、上記砂利コンクリートの場合と同様のことが言えるが、碎石コンクリートの場合には、鉄筋表面から少し離れたところで、鉄筋軸方向に押し直前に近い方向に曲がる内部ひびわれが多く見られ、内部ひびわれの発生する鉄筋応力度は碎石コンクリートを用いた場合の方が高いようである。これらのことは、碎石の形状、碎石相互のかみ合せの影響、その地によると思われるが、未だ明らかでない。

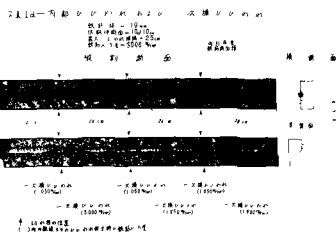
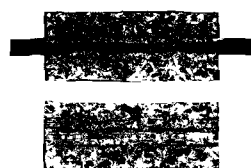


写真-2

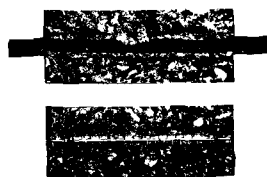
碎石コンクリート



鉄筋 横フミ異形 $\phi 19 \text{ mm}$
鉄筋応力度 $1,000 \text{ kg/cm}^2$
供試体寸法 $10 \times 10 \times 26 \text{ (cm)}$

写真-3

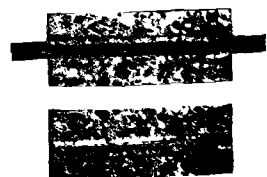
碎石コンクリート



鉄筋 横フミ異形 $\phi 19 \text{ mm}$
鉄筋応力度 $1,500 \text{ kg/cm}^2$
供試体寸法 $10 \times 10 \times 26 \text{ (cm)}$

写真-4

碎石コンクリート



鉄筋 横フミ異形 $\phi 19 \text{ mm}$
鉄筋応力度 $3,000 \text{ kg/cm}^2$
供試体寸法 $10 \times 10 \times 26 \text{ (cm)}$

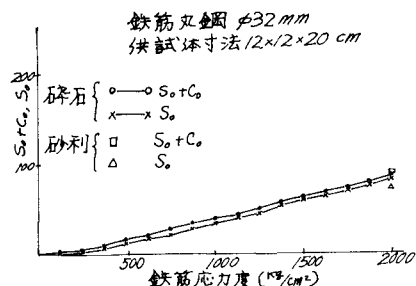
写真-4の供試体端面(右側)の近くは、コンクリート表面まで達したひびわれが見られるが、これは内部ひびわれが原因となって、鉄筋応力度 $2,500 \text{ kg/cm}^2$ 位の時にコンクリート表面まで達したひびわれで、前に述べた一次横ひびわれとは発生原因を異にし、二次横ひびわれと呼ばれるものである。二次横ひびわれの発生は、供試体断面積、鉄筋表面形状、鉄筋径、一次横ひびわれ間隔、その他によって影響されるが、これまでの実験では、鉄筋応力度 $2,000 \text{ kg/cm}^2 \sim 2,500 \text{ kg/cm}^2$ でコンクリート表面に達するものが多く、一次横ひびわれ間隔が最大ひびわれ間隔より狭く、かなり最大ひびわれ間隔に近い場合に、二次横ひびわれが発生することを多く見ようである。

3) ひびわれ巾、鉄筋露出巾 図-1.2は横フミ異形鉄筋および丸鋼を用いて、コンクリート表面のひびわれ巾および供試体端面での鉄筋露出巾を測定したものである。横フミ異形鉄筋の場合には、碎石コンクリートを用いた場合も砂利コンクリートを用いた場合も鉄筋径、供試体寸法、平均ひびわれ間隔が等しければ、 $W/2$, $S_0 + C_0$

ひびわれ巾及び鉄筋露出巾と鉄筋応力度との関係



碎石コンクリートを用いた場合と砂利コンクリートを用いた場合とでは、鉄筋の引張ひびわれ性による影響が異なり、水セメント比またはコンクリート強度を等しくした場合には、碎石コンクリートを用いた場合の方が最大ひびわれ間隔が大きくなる。(横-三翼鉄筋の場合約10%、丸鋼の場合約20%)



コンクリートの圧縮強度を等しくするため、砂利コンクリートに比して、碎石コンクリートの水セメント比を大きくした場合、鉄筋とコンクリートとの純付着性は碎石コンクリートの場合の方が小さくなるが、ひびわれ内部の鉄筋露出中に拘束する、純付着性減少の影響は、横筋と異形鉄筋の場合にはほとんどないが、丸鋼の場合には碎石コンクリートを用いた場合には、砂利コンクリートを用いた場合に比して、鉄筋露出中約10%増大となつて表われる。(鉄筋応力度 2000N/cm^2)

碎石コンクリートを用いた場合にも、砂利コンクリートを用いた場合と同様、異形鉄筋周辺のコン
 クリートには内部ひびわれが発生するが、砂利コンクリートの場合に比して、碎石コンクリートを用
 いた場合の方が、鉄筋軸方向に対して直角に近い角度に曲がるものが多い。また、砂利コンクリー
 トを用いた場合と同様、内部ひびわれが原因となって、二次横ひびわれが発生することがあるが、二次
 横ひびわれ発生位置および二次横ひびわれ発生と一次横ひびわれ間隔との関係は、ほらつきも多く
 まだ十分わかっていない。

なお、鉄筋の引張ひかれ性の研究において、コ：フリーートの乾燥収縮の影響は非常に重要な問題であるが、本研究では、乾燥収縮の影響を除くため、供試体を十分湿った状態に保って実験を行った。

参考文献

1) Yukimasa, Goto. "Cracks Formed in Concrete around Deformed Tension Bars," For Presentation at U.S.-Japan Joint Seminar on Research in Basic Properties of Various Concrete. Tokyo, Jan. 1968