

# [151] 異形鉄骨を用いた鉄骨コンクリート部材の性状に関する研究

正会員 三浦 尚 (東北大学工学部)  
 正会員○佐野 正 (東北大学大学院)  
 正会員 佐藤政勝 (川崎製鉄研究開発センター)

## 1. はじめに

鉄骨コンクリート(以下、SCと略称する。)構造とは、鉄骨とコンクリートとを組合せた合成構造であるが、鉄骨とコンクリートとの付着性が劣るためにひびわれ分散性が悪く、曲げあるいは引張力を受けるような部材には用いられず、通常は、鉄骨と鉄筋コンクリート(以下、RCと略称する。)とを組合せた鉄骨鉄筋コンクリート(以下、SRCと略称する。)構造とすることで、ひびわれ分散性を良くしている。しかし、SC構造のひびわれ分散性は、鉄骨表面を異形にするなどの方法により鉄骨自体の付着性を高めれば改善できるものと思われる。

そこで、本研究は、付着性改善の手段として、鉄骨表面に異形鉄骨にみられるような表面突起を設けた鉄骨(以下、異形鉄骨と呼ぶ。)を用いて、引抜き試験、両引き試験および梁の曲げ試験を行ない、主にひびわれ分散性を調べ、それらの結果を突起のない通常の鉄骨(以下、引抜きおよび両引き供試体の鉄骨は平鋼と呼び、梁供試体用の鉄骨は普通鉄骨と呼ぶ。)および、異形鉄骨の場合と比較、検討したものである。

## 2. 実験材料

使用鋼材は、引抜きおよび両引き試験用の異形鉄骨二種類(図-1参照、タイプI:換算厚10.7mm、タイプII:換算厚10.0mm)と平鋼(厚さ9mm、幅75mm)および異形棒鋼D25である。なお、ここで言う異形鉄骨の換算厚とは、それと重量の等しい平鋼の厚さで示した値である。さらに梁試験用のH型鋼二種類(図-1に示すような異形鉄骨および、寸法が200×100×5.5×8(mm)の普通鉄骨)である。材質は、鉄骨がSS41、異形棒鋼がSD30である。セメントは早強ポルトランドセメント。コンクリートの平均圧縮強度は380kg/cm<sup>2</sup>、平均引張強度は30kg/cm<sup>2</sup>である。

## 3. 実験内容および方法

### (1) 引抜き試験

各鋼材について引抜き試験を行ない、付着応力度 $\sigma$ すべり関係を求める。供試体形状を図-2に示す。全供試体とも、かぶりが等しくなるように作製し、平鋼の場合を除いて $\phi 6$ mmの丸鋼により4cmのピッチでスパイラル補強する。すべりは自由端すべりであり、精度1/1000mmのダイヤルゲージで測定する。

### (2) 両引き試験

各種鋼材を用いた供試体について両引き試験を行ない、最大ひびわれ間隔、最大ひびわれ幅を測定し、付着特性を検討する。供試体形状を図-3に示す。供試体は、すべて鋼材比が8.20%となるように作製した。最大ひびわれ間隔の推定は次の

ようにして行なう。すなわち、ノッチ間隔を順次、少しずつ変化させて作製した十分長い両引き供試体に鋼材応力度で1400kg/cm<sup>2</sup>まで载荷を行ない、ノッチ以外の断面にひびわれの発生するノッチ間隔のうち、

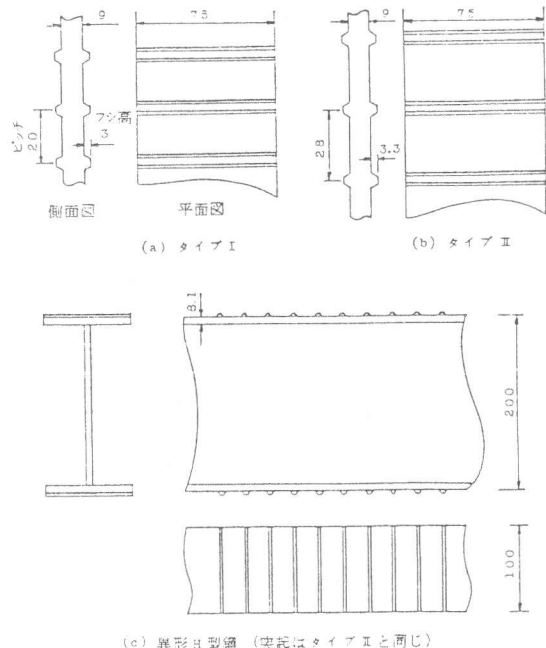


図-1 異形鉄骨形状 (単位mm)

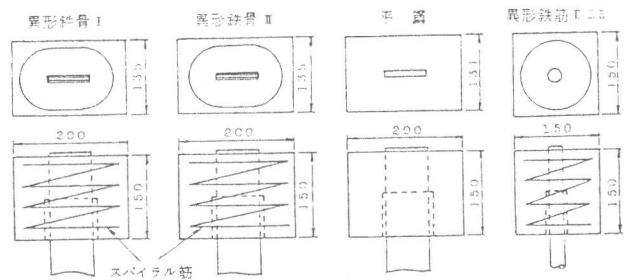


図-2 引抜き供試体形状 (単位mm)

最も小さいノッチ間隔と、ノッチ以外の断面にひびわれの発生しないノッチ間隔のうち、最も大きいノッチ間隔を求めれば、これらの2つのノッチ間隔の間に最大ひびわれ間隔があるということを利用して、鋼材応力度が1400kg/cm<sup>2</sup>での最大ひびわれ間隔を推定する。ひびわれ幅は供試体表面にコンタクトポイントを設置しておき、鋼材の引張応力度が1400kg/cm<sup>2</sup>となるように荷重を加え、精度1/1000mmのコンタクトタイプのひずみ計を用いて測定した。

(3) 梁の曲げ試験

梁の曲げ試験は、ひびわれ分散性試験と耐力試験とから成る。

①. ひびわれ分散性試験

図-4に示すような供試体を用いて、SC梁のひびわれ分散性を調べる。全供試体とも、かぶりが両引き供試体のかぶりと同じになるように作製した。曲げスパンは80cmとし、最大ひびわれ間隔の推定は、両引き試験の場合と同様、供試体にノッチを設けて行なった。ひびわれ幅は、供試体側面にコンタクトポイントを設置しておき、鉄骨の引張側フランジの応力度が1400kg/cm<sup>2</sup>となるように荷重を加え、コンタクトタイプのひずみ計を用いて測定した。

②. 耐力試験

①で述べたのと同様の梁を用いて耐力試験を行なう。曲げスパンは30cmとし、スパン中央でのコンクリートの圧縮縁ひずみと鉄骨の引張フランジでのひずみを測定した。ひずみの測定は載荷荷重1tごとに行ない、梁がその耐力に達するまで続けられた。

(4) 供試体の養生および載荷

全供試体とも、材令1日で脱型し、実験日まで水中養生(水温21℃)した。引抜き試験および両引き試験には60t引張試験機を使用し、梁の曲げ試験には、200t圧縮試験機を使用した。

4. 結果

(1) 引抜き試験

引抜き試験の結果を図-5に示す。これは、実験結果の平均値をグラフ化したものである。ここで、付着応力度 $\tau$ は次式より求めたものである。

$$\tau = P / l \cdot L \quad (4.1)$$

ここに、P: 引張荷重, l: 鋼材周長, L: 付着長。

異形鉄骨I, IIおよび異形鉄筋D25を用いた供試体は、コンクリートが割裂破壊し、平鋼を用いた供試体では、付着応力度があまり高くない時点でコンクリート中から平鋼が引抜けて破壊が生じた。結果より、同じすべり量と比較した場合、平鋼の付着応力度は異形鉄骨あるいは異形鉄筋よりかなり小さいことがわかる。次に、異形鉄骨について見ると、鉄骨表面に突起を設けた効果は大きく、付着性がかなり改善され、付着応力度とすべりとの関係は、付着応力度の小さい段階では、鉄

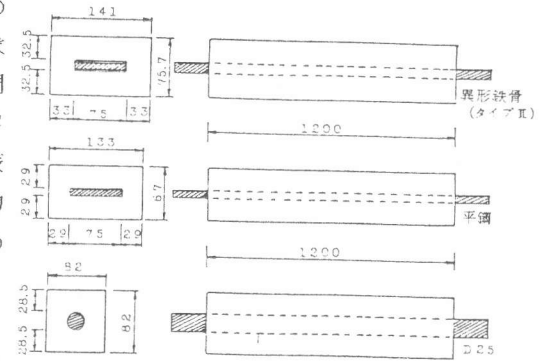


図-3 両引き供試体 (単位mm)

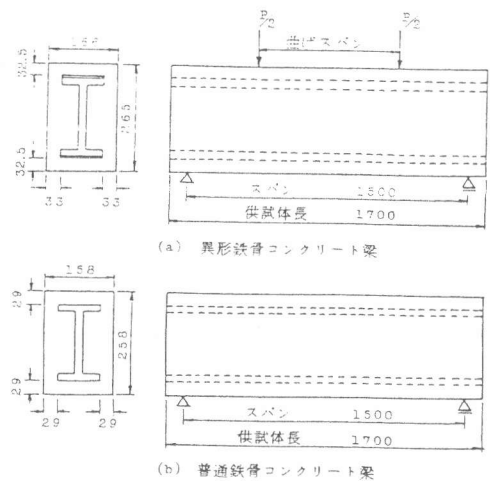


図-4 梁供試体形状 (単位mm)

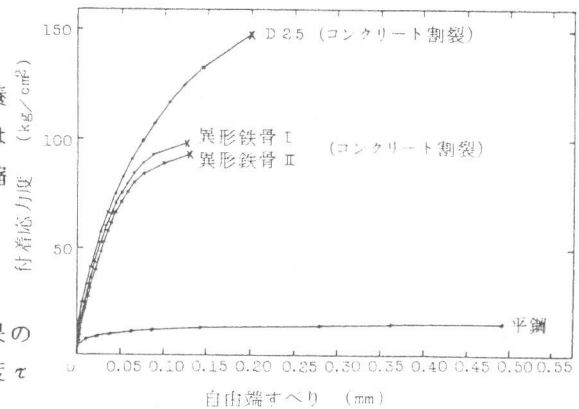


図-5 引抜き試験結果

表-1 ひびわれ試験結果

ノッチ間隔	1.6 cm	1.7 cm	1.8 cm	1.9 cm	2.0 cm	2.2 cm	2.3 cm	2.4 cm
異形鉄骨	○	○	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	○
平鋼	○	○	○	○	○	○	○	○
鉄筋	○	○	○	○	○	○	○	○

●: ひびわれ発生  
○: ひびわれ発生しない  
●○: どちらともいえない

筋D25とほぼ同じくらいであることがわかる。また、異形鉄骨IとIIとではIIの方がいくぶん付着性が劣っている。これは、異形鉄骨IIのフシ間隔がIのフシ間隔よりも大きいといった表面形状の相違によるものと思われ、通常の異形鉄筋の場合にみられる傾向と同様である。

(2) 両引き試験

両引き供試体のひびわれ試験の結果を表-1に示す。表-1より各供試体の最大ひびわれ間隔は、異形鉄骨Iでは、18cm、平鋼では、約60cm、異形鉄筋D25では19cmと推定される。ところで、両引き試験では、最大ひびわれ間隔  $L_{max}$  と区間  $L_{max}/2$  における平均付着応力度  $\bar{u}$  との間には、次式のような関係があるものと思われる。1)

$$L_{max} = 2 \cdot A_c \cdot \sigma_t / l \cdot \bar{u} \quad (4.2)$$

ただし、 $A_c$  : コンクリート断面積,  $\sigma_t$  : コンクリートの引張強度,  $l$  : 鋼材周長

そこで、(4.2)式を用いて、平均付着応力度を計算し、その結果を実測した最大ひびわれ幅とともに表-2に示す。表より、異形鉄骨が優れた付着性を有していることがわかる。最大ひびわれ幅で比較すると異形鉄骨の結果はほぼ異形鉄筋の値に近く、平鋼の場合の約1/3である。次に、参考文献1)の方法を用いて引抜き試験の結果から両引き供試体の最大ひびわれ間隔および最大ひびわれ幅を計算すると、表-2の( )内に示す結果が得られた。

(3) 梁の曲げ試験

①. ひびわれ分散性試験

異形SC梁および普通SC梁のノッチ間隔とノッチ以外の断面にひびわれが発生した時の曲げモーメントとその時の鉄骨引張側フランジの応力度を表-3、表-4に示す。表-3より、引張側フランジの応力度が1400kg/cm<sup>2</sup>の時点での異形SC梁の最大ひびわれ間隔は26cmと推定され、また、実測した供試体側面での鉄骨の引張側フランジレベルでの最大ひびわれ幅は、 $100 \times 10^{-3}$ mmであった。次に、表-4より、普通SC梁の最大ひびわれ間隔は、約45cmと推定される。

②. 耐力試験

異形SC梁および普通SC梁の耐力試験の結果を表-5に示す。表中の計算値とは、応力ブロックを矩形と仮定して計算した終局曲げモーメントの値である。また、この値を終局曲げモーメントの実測値と比較した結果も示す。これより異形SC梁、普通SC梁とも応力ブロックを矩形と仮定することで、1割程度以下の誤差で終局曲げモーメントを算出することができる。また、異形SC梁の耐力は、普通SC梁の耐力よりも5%程度大きい。

③. ひびわれ幅の検討

文献1)と同様の方法により、引抜き試験の結果から梁供試体のひびわれ分散性を検討してみる。ひびわれ断面における中立軸以下の部分について考えると、フランジでの平均付着応力度  $\bar{u}_1$  およびウェブでの平均付着応力度  $\bar{u}_2$  を用いて鉄骨の最大ひびわれ間隔  $L_{max}$  は次式で表わされる。

表-2 付着性能の比較  
( )内は、計算値

タイプ	平均付着 応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	最大ひび われ間隔 (cm)	最大ひびわれ 幅 ( $\times 10^{-3}$ mm)
異形鉄骨 I	20.3 (20.8)	18 (17.5)	107 (95)
異形鉄骨 II	(20.2)	(19)	(103)
平鋼	5.1 (5.1)	約60 (60.3)	313 (330)
鉄筋	22.9 (22.9)	19 (19.0)	93 (100)

表-3 異形SC梁ひびわれ試験結果

NO.	1	2	3	4
ノッチ間隔 (cm)	25	26	28	30
ひびわれモー メント (t.m)	4.73	3.33	2.71	2.28
フランジ応力 度 (kg/cm <sup>2</sup> )	2150	1430	1000	860

表-4 普通SC梁ひびわれ試験結果

NO.	1	2	3	4	5
ノッチ間隔 (cm)	40	45	50	55	60
ひびわれモー メント (t.m)	5.70	5.70 2.45	1.75	1.66	1.05
フランジ応力 度 (kg/cm <sup>2</sup> )	2500	2400 1220	680	640	360

表-5 耐力試験結果

	No.	実測値 $M_u$ (t.m)	計算値 $M_{uc}$ (t.m)	$M_u / M_{uc}$
異形	1	8.40	7.67	1.10
	2	8.37	7.67	1.09
	3	8.25	7.67	1.08
普通	1	7.95	7.56	1.05
	2	7.98	7.56	1.06
	3	7.77	7.56	1.03

$$L_{max} = 2 \cdot F_c / (\bar{u}_1 \cdot l_1 + \bar{u}_2 \cdot l_2) \quad (4.3)$$

ここに、 $F_c$  : 最大ひびわれ間隔の中央でコンクリートが分担している引張力、 $l_1$ 、 $l_2$  : それぞれ中立軸以下のフランジおよびウェブの周長。

このとき、梁の断面を幅  $B$  の矩形とすると(4.3)式は、

$$L_{max} = \sigma_b \cdot A_b / (\bar{u}_1 \cdot l_1 + \bar{u}_2 \cdot l_2) \quad (4.4)$$

となる。ここに、 $\sigma_b$  : コンクリートの曲げ強度、 $A_b$  : ひびわれ面より  $L_{max}/2$  はなれた位置での中立軸以下のコンクリート断面積、 $\bar{u}_1$  の算出法は文献1)の通りである。 $\bar{u}_2$  は図-6(a)のように考える。すなわち、図のような立体の体積  $V$  を計算し、それを中立軸以下のウェブの付着表面積  $A (= a \times L_{max}/2)$  で割り、 $\bar{u}_2 = V/A$  として求める。ここに、 $U$  : 引抜き試験より求まる最大ひびわれ幅の $1/2$ のすべり量に対応する付着応力度、 $a$  : 中立軸よりフランジ中央までの高さ。

次に、フランジレベルでの最大ひびわれ幅は、

$$W_{max} = L_{max} \cdot \{ (\sigma_s + \sigma'_s) - n \cdot \sigma \} / 2 E_s \quad (4.5)$$

より求まる。ここに、 $\sigma_s$  : ひびわれ位置でのフランジ応力度、 $\sigma'_s$  : ひびわれ面より  $L_{max}/2$  はなれた位置でのフランジ応力度、 $n$  : ヤング係数比、 $\sigma$  : ひびわれ面より  $L_{max}/2$  はなれた点で、コンクリートの引張応力度の分布を三角形と仮定した場合のフランジ中央のコンクリート応力度(図-6(b)参照)、 $E_s$  : 鋼材のヤング率、 $\sigma'_s$  の値は、ひびわれ面より  $L_{max}/2$  はなれた位置で、全断面有効であるとして、モーメントのつり合いより求める。すなわち、(鉄骨が負担する曲げモーメント  $M_s$ ) = (全曲げモーメント  $M$ ) - (コンクリート断面が負担する曲げモーメント  $M_c$ ) : なる関係より、 $M_s$  から計算できる。これらより、具体的に数値を代入した結果を表-6に示す。また、実測した  $L_{max}$  を(4.5)式に代入して計算した最大ひびわれ幅を( )内に示す。これより、異形鉄骨コンクリート梁の最大ひびわれ間隔およびひびわれ幅は、普通鉄骨コンクリート梁の値の6割程度となることがわかる。また、梁供試体においても両引き供試体の場合と同様、引抜き試験より求まる最大ひびわれ間隔の値を補正することによって、ひびわれ幅を推定できるものと思われる。

### 5. 結論

以上の実験結果より、次のような結論が得られた。

- (1). 引抜き試験の結果より、鉄骨表面を異形にすることで付着性は鉄筋D25に近いレベルにまで高まる。
- (2). 両引き試験の結果より、異形鉄骨の最大ひびわれ間隔、最大ひびわれ幅は平鋼の場合の約 $1/2$ となる。
- (3). 梁のひびわれ分散性試験より、異形SC梁の最大ひびわれ間隔および最大ひびわれ幅は、普通SC梁の値の6割程度になるものと思われる。
- (4). 今回の実験では、異形SC梁の耐力は、普通SC梁の耐力よりも5%程度大きかった。

参考文献1) . 三浦、佐野、田中 「鉄骨鉄筋コンクリートのひびわれ分散性に関する研究」

昭和58年度 セメント技術年報

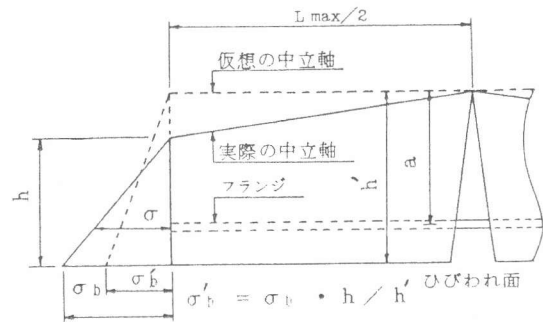
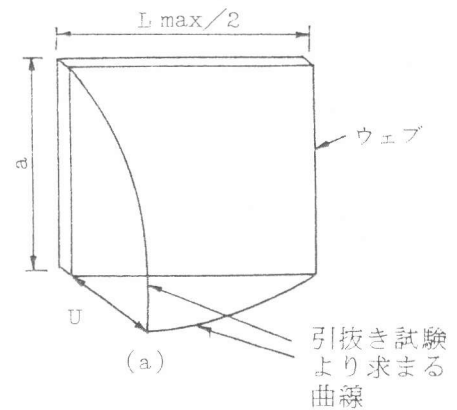


図-6 (b) コンクリートの応力度分布

表-6 最大ひびわれ間隔  
( )内は、最大ひびわれ幅 (×10<sup>-3</sup>mm)

	(1) 実測値	(2) 計算値	両者の比 (1)/(2)
異形 SC梁	2.6 (100)	16.4 (92)	1.6 (1.09)
普通 SC梁	約4.5	31.7 (159)	1.4