

論文 RCスラブに用いる異形鉄線溶接金網の重ね継手および定着部の構造性能と必要鉄線長さ

堂下 航^{*1}・益尾 潔^{*2}

要旨: 現在, RC スラブの配筋に用いる異形鉄線溶接金網が普及しつつある。しかしながら, これを用いた RC スラブに関する実験的な検証結果は論文として示されていない。本論文では, 異形鉄線溶接金網を用いた RC スラブの重ね継手および定着部に関する加力実験を行い, 長期許容曲げ耐力時における RC スラブの曲げひび割れ幅について検討するとともに, RC スラブの重ね継手および定着部の構造性能と必要鉄線長さについて検討し, 異形鉄筋と同程度の重ね継手長さおよび定着長さを確保すれば, RC スラブにおける異形鉄線の付着破壊あるいは定着破壊を防止できることを明らかにした。

キーワード: RC スラブ, 異形鉄線溶接金網, 長期許容曲げ耐力, ひび割れ幅, 必要鉄線長さ

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造計算規準¹⁾(以下, RC 規準)では, 丸鉄線を用いた溶接金網について, 図-1 に示すように, 横筋の支圧効果を考慮した重ね継手と定着部を規定している。この規定によると, 重ね継手および定着部では, 溶接金網の鉄線段数の増加に伴い, スラブの有効せいが減少し, 構造耐力上の問題が生じる。

現在, JIS G 3551 (溶接金網及び鉄筋格子) による異形鉄線溶接金網が普及しつつある。この異形鉄線は, ISO 10544 (Cold-reduced steel wire for the reinforcement of concrete and the manufacture of welded fabric) を基にした JIS G 3532 (鉄線) で規定され, 図-2 に示すように, 冷間加工成形のリップを有し, 表-1 に示すように, リップの平均間隔の最大値は, JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼) による異形鉄筋の節と同等の規格を満足する。また, リップ中央の高さ, すき間の和の最大値は, JIS G 3532, ISO 10544 では規定されていないが, 同様の規格である DIN 488 (Teil4 : Betonstahl - Betonstahlmatten und

Bewehrungsdraht Aufbau, Maße und Gewichte) では規定され, その規格値は, 表-1 に示すように, JIS G 3112 による異形鉄筋の節の規格を満足する。

表-1 JIS G 3532 による異形鉄線と JIS G 3112 による異形鉄筋との規格値の比較

呼び名	公称線径 (db) mm	公称断面積 (S) mm ²	リップの平均間隔の最大値 (c) mm		リップ中央の高さ (a) mm		リップのすき間の和の最大値 (Σfi) mm		投影面積係数 (fr) ※
			☆	★	○	★	○	★	
CD5	5.0	19.6	4.0	3.5	0.32	0.2 ~ 0.4	3.1	4.3	0.039
CD6	6.0	28.3	4.8	4.2	0.40	0.3 ~ 0.6	3.8	5.0	
CD7	7.0	38.5	5.6	—	0.46	—	4.4	—	0.045
CD8	8.0	50.3	6.4	5.6	0.55	0.3 ~ 0.6	5.0	6.3	
CD10	10.0	78.5	8.0	7.0	0.75	0.4 ~ 0.8	6.3	7.5	0.052
規格			< 0.8db	≤ 0.7db	上記の通り	0.04db ~ 0.08db	≤ 0.20φ	≤ 0.25φ	上記の通り

注1) ☆: JIS G 3532 (鉄線), ★: JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼)

○: DIN 488 による規格値

2) ※: JIS G 3532, ISO 10544, DIN 488 による fr の規格値は同じであり,

$fr = K \times FR \times \sin \beta / (\pi \times db \times c)$ として算定している。

K: リップの列の数 (K=3), FR: 一つのリップの平面投影面積

3) —: JIS G 3112 には, 異形鉄筋 D7 は規定されていない。

4) db: 異形鉄線または異形鉄筋の呼び名, φ: 公称周長

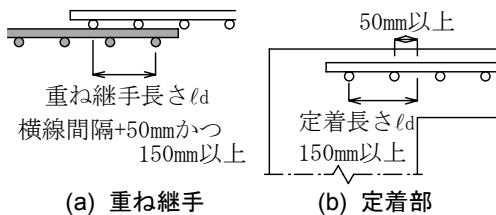


図-1 RC 規準¹⁾による重ね継手および定着部の規定

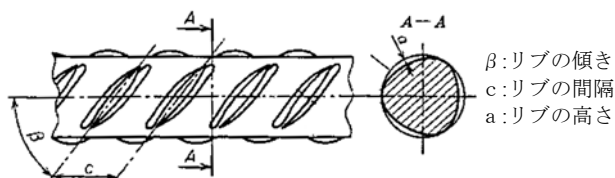


図-2 JIS G 3532 による異形鉄線のリップ形状

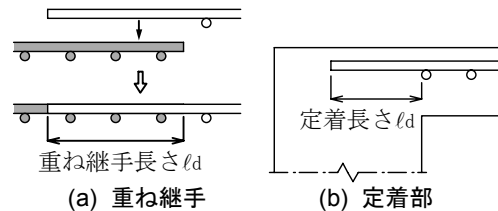


図-3 本実験による重ね継手および定着部

*1 (財) 日本建築総合試験所 構造部構造物試験室 修(工) (正会員)

*2 (財) 日本建築総合試験所 構造部長 工博 (正会員)

以上より、異形鉄線についても、異形鉄筋と同程度の付着強度を期待でき、異形鉄線溶接金網を用いた RC スラブについては、図-3 に示すように、異形鉄筋と同様の重ね継手および直線定着としてもよいと考えられる。

本論文では、筆者らによる実験^{2),3)}を基に、RC スラブに用いる異形鉄線溶接金網の重ね継手および定着部の構造性能と必要鉄線長さについて検討する。

2. 実験計画

2.1 実験因子

本実験は、重ね継手シリーズと定着シリーズからなり、実験因子は、表-2 に示すように、それぞれ①鉄線の呼び名、②コンクリートの圧縮強度 F_c 、③重ね継手長さまたは定着長さである。試験体数は、重ね継手シリーズ 30 体、定着シリーズ 20 体の計 50 体であり、重ね継手シリーズでは重ね継手なし試験体を比較のために加えた。表-2 に示した各試験体の重ね継手長さ l_d および定着長さ l_d は、鉄筋コンクリート造配筋指針⁴⁾ (以下、RC 配筋指針) による異形鉄筋の直線定着の重ね継手長さ L_1 および定着長さ L_2 を念頭に入れて設定した。

2.2 試験体

両シリーズの試験体形状寸法の一例として CD10 の場合を図-4 に示す。各試験体ともに、スラブ厚さは 150mm、溶接金網は上下ダブル配置とした。重ね継手および定着部は、付着応力の条件が厳しい上端側に配置し、上端側

よりコンクリートを打設した。かぶり厚さについては、鉄線中心からコンクリート最外縁までの距離を 35mm とし、最小かぶり厚さを 30mm 以上とした。

表-2 実験因子

試験体	鉄線呼び名	F_c (N/mm^2)	l_d /db	網目寸法 (mm)	pt (%)
CD5-21-25 [*]	CD5	21	25	50	0.26
CD5-21-35 [*]			35		
CD6-21-35	CD6		35	75	0.25
CD6-21-45			45		
CD7-21-25	CD7		25	75	0.34
CD7-21-35			35		
CD7-36-20			20		
CD7-36-30			30		
CD8-21-35	CD8		21	100	0.34
CD8-21-45			45		
CD8-36-30		30			
CD8-36-40		40			
CD10-21-25 [*]	CD10	21	100	0.52	
CD10-21-35 [*]		35			
CD10-36-20		20			
CD10-36-30		30			

注) 1) *を付した試験体は、A社とB社製の溶接金網を用いたものであり、両社製ともにJIS G 3551に適合する。
2) F_c : コンクリートの目標圧縮強度, db: 異形鉄線の呼び名, l_d : 重ね継手長さまたは定着長さ, pt: 引張鉄筋比
重ね継手シリーズでは、各呼び名で重ね継手なし試験体を加えた。試験体記号には ∞ を付す。
3) 網目寸法は、ほぼ最小寸法のものとした。

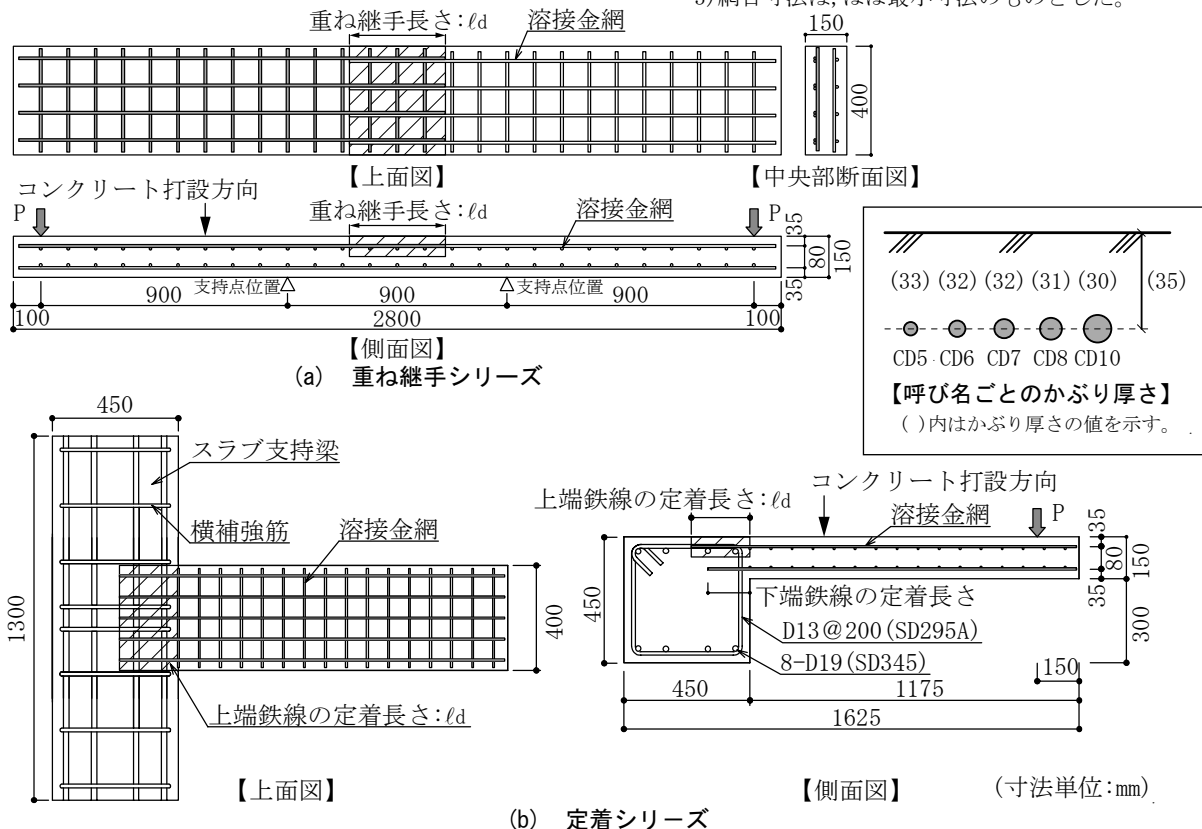


図-4 試験体の形状寸法

表-3 材料試験結果

(a) 溶接金網試験片の引張試験結果

鉄線 呼び名	σ_y (N/mm^2)	σ_u (N/mm^2)	伸び (%)	
CD5	A	506	589	15
	B	493	533	10
CD6		432	571	20
CD7		616	702	10
CD8		533	713	10
CD10	A	554	627	13
	B	591	669	14
JIS規格値	400以上	490以上	8以上	

- 1) σ_y : 降伏点, σ_u : 引張強度
- 2) 上表中の試験値は各3体の平均値を示す。
- 3) A, Bを付した試験片はA社製, B社製を示す。(試験片の形状)

(b) コンクリートの圧縮試験結果

F _c (N/mm^2)	σ_B (N/mm^2)		ϵ_{co} ($\times 10^{-3}$)		E _c (kN/mm^2)	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
21	27.0	31.4	1.55	1.86	27.2	30.3
36	36.8	42.4	1.88	2.16	31.0	34.3

- 1) F_c: 目標圧縮強度, σ_B : 圧縮強度, ϵ_{co} : σ_B 時ひずみ度
E_c: ヤング係数
- 2) 上表中の試験値はコンクリートバッチごと3体の平均値の最大値と最小値を示す。

重ね継手シリーズでは、図-3(a)に示すように、一方の溶接金網には、重ね継手部直交方向の鉄線が取り付けしていないものを用い、重ね継手の左右金網のかぶり厚さが等しくなるようにした。このとき、重ね継手部の鉄線相互の間隔をなくした。定着シリーズでは、いずれも上端側定着部の直交方向の鉄線を取り外し、スラブ支持梁に直線定着した。実験で使用した溶接金網およびコンクリートの材料試験結果を表-3に示す。

2.3 実験方法

重ね継手シリーズでは、スパン中央の純曲げ区間両側の下端部をピン・ローラ支持とし、上端側の重ね継手部が引張側となるように試験体両端部を載荷した。定着シリーズでは、スラブ先端部を載荷した。

載荷履歴は、3サイクルの片振り繰返し載荷を2回行った後、単調漸増載荷を行った。各上限荷重 P_i は、下式より算定した。

$$P_i = M_i / l, \quad M_i = \sum at \cdot f_{ti} \cdot j, \quad j = (7/8)d \quad (1)$$

l は載荷点から危険断面位置までの距離, $\sum at$ は引張側鉄線の全断面積, d はスラブの有効せい, f_{ti} は異形鉄線の引張応力度であり, $f_{t1} \sim 3 = 195N/mm^2$, $f_{t4} \sim 6 = 345N/mm^2$ とした。 $i=1 \sim 3$ では, $f_{ti} = f_{ta}$ (長期許容引張応力度), $M_i = M_a$ (長期許容曲げ耐力) とした。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重-変形関係および破壊性状

両シリーズの CD5, CD7, CD10 を用いた試験体の

$M/M_u - \delta v$ 関係を図-5に示す。 $M (=P \cdot l)$ は、重ね継手シリーズでは純曲げ区間、定着シリーズではスラブ危険断面位置での曲げモーメントであり、 δv は、重ね継手シリーズではスパン中央、定着シリーズでは載荷位置の鉛直変形量, $M_u (=0.9 \cdot \sum at \cdot \sigma_y \cdot d)$ は、略算式による曲げ終局耐力計算値である。 σ_y は降伏強度であり、表-3(a)に示した溶接金網の実降伏点を用いた。重ね継手シリーズには、重ね継手なし試験体 ($ld = \infty$) の結果を併示した。図中の一点鎖線は M_a/M_u を示す。なお, CD6, CD8 を用いた実験結果は、CD5, CD7, CD10 の場合と比べ、重ね継手長さおよび定着長さが長いので省略した。

(1) 重ね継手シリーズ

図-5(a)によると、CD5, CD7 では、試験体 CD5-21-35 を除き、重ね継手の有無、継手長さ、コンクリート強度に係わらず、いずれも曲げ終局耐力計算値 M_u を上回った後、最大耐力前後に鉄線が母材破断し、これらの荷重-変形関係には、重ね継手の有無、継手長さの違いによる有意な差は見られない。CD10 については、継手長さの短い試験体 CD10-21-25, CD10-36-20 では、 M_u 到達前、継手長さの長い試験体 CD10-21-35 では、 M_u 到達後に、重ね継手部の鉄線の抜け出しを伴う付着破壊を起こし、CD10-36-30 では、 M_u 到達後に鉄線が母材破断した。これらの試験体では、継手長さの違いが荷重-変形関係に及ぼす影響が大きいと言える。

(2) 定着シリーズ

図-5(b)によると、定着長さの長い試験体 CD5-21-35, CD7-21-35, CD7-36-30 では、いずれも M_u を上回り、最大耐力に到達した後、鉄線が母材破断した。これに対し、CD10-21-35 では、1体が鉄線の母材破断、他の1体が定着破壊を起こし、定着長さの短い試験体 CD5-21-25, CD7-21-25, CD7-36-20 および CD10-21-25 では、 M_u 到達前後で定着破壊を起こした。重ね継手シリーズと同様、これらの試験体では、定着長さの違いが、荷重-変形関係に及ぼす影響が大きいと言える。

3.2 曲げひび割れ強度およびひび割れ幅

(1) 曲げひび割れ強度

両シリーズにおける CD5, CD7, CD10 を用いた試験体の $\sigma_t - \sigma_B$ 関係を図-6に示す。 $\sigma_t (=Mcr/Z)$ はコンクリートの曲げひび割れ強度実験値であり、 Mcr は曲げひび割れ発生時曲げモーメント, Z はスラブ断面係数, σ_B はコンクリートの実圧縮強度である。図中の実線は RC 規準¹⁾による曲げひび割れ強度計算値 $\sigma_{cr} (=0.56\sqrt{\sigma_B}$ および $0.38\sqrt{\sigma_B}$)、点線は長期許容曲げ耐力時鉄線引張応力計算値 $\sigma_{tL} (=M_a/\sum at \cdot j)$ である。

図-6によると、CD10 を用いた試験体では、曲げひび割れ強度 σ_t は σ_{cr} 程度であるため、 σ_{tL} 到達以前に曲げひび割れが生じ、CD5 および CD7 を用いた試験体では

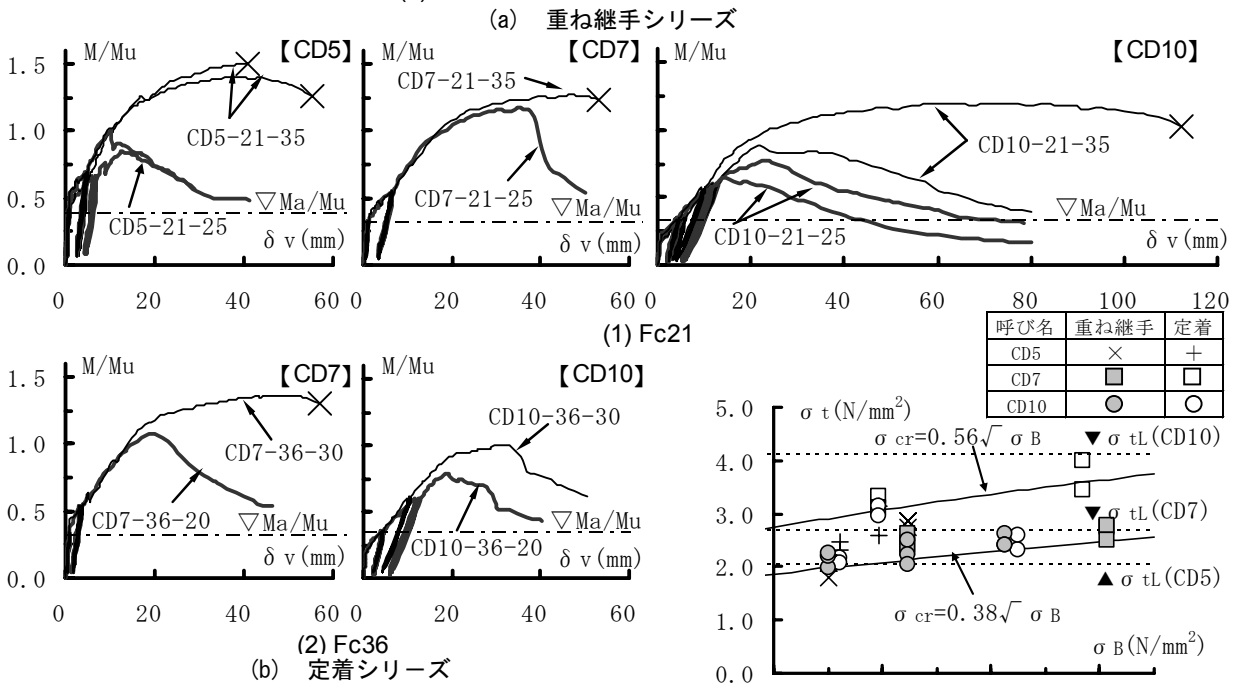
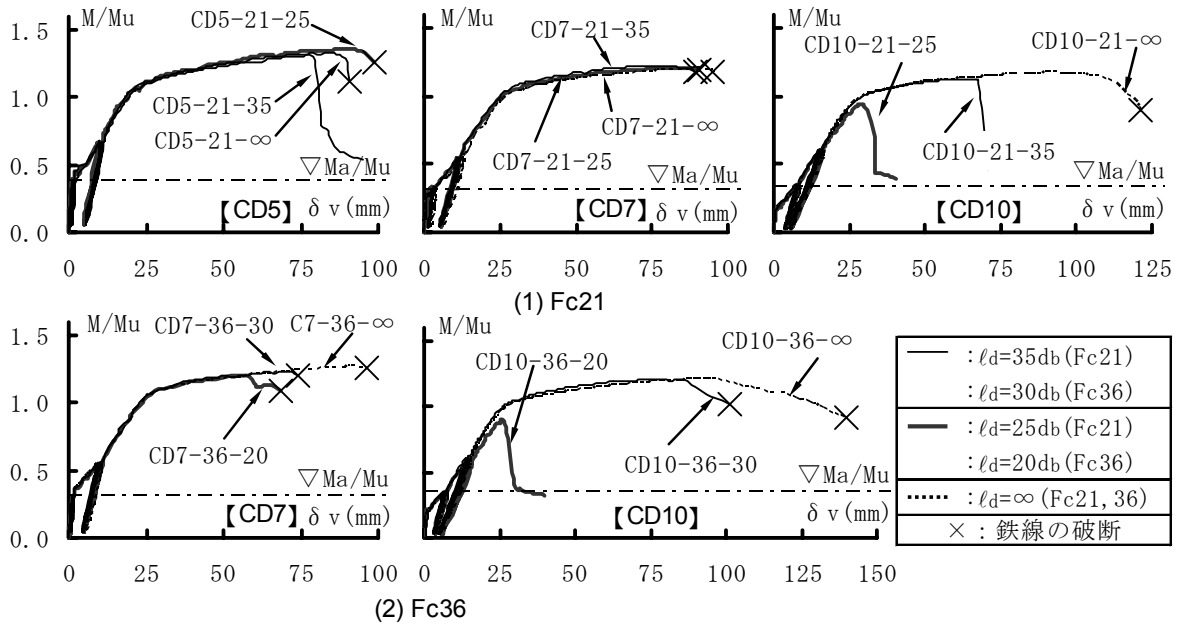
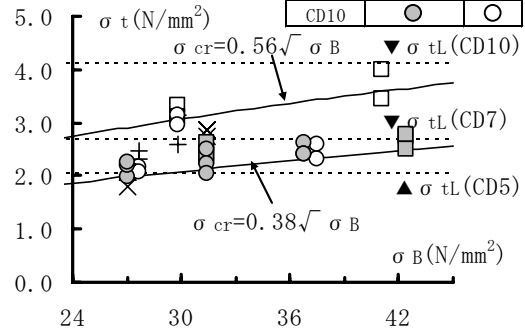


図-5 M/Mu- δv 関係



σ_{tL} 到達前後に曲げひび割れが生じた。したがって、CD10 については、長期許容曲げ耐力時のひび割れ幅が問題になる恐れがある。

(2) ひび割れ幅の推移

両シリーズにおける Fc21 で CD5, CD7, CD10 を用いた試験体の $\sigma_s/f_{ta}-w$ 関係を図-7 に示す。 σ_s ($=M/(\Sigma at \cdot j)$) は各測定段階における鉄線引張応力、 f_{ta} は鉄線の長期許容引張応力度、 w は各測定段階において純曲げ区間または危険断面位置近傍のスラブ上面で測定したひび割れ幅の最大値である。重ね継手シリーズには、重ね継手なし試験体 ($l_d=\infty$) の結果を併示した。

同図によると、曲げひび割れは、重ね継手の有無、継手長さおよび定着長さに係らず、CD5, CD7 では f_{ta}

到達前後、CD10 では f_{ta} 到達前に生じたが、ひび割れ幅は、いずれの試験体も 0.2mm 以下となった。ここで、ひび割れ幅 0.2mm は、一般的なひび割れ幅の制限値⁵⁾である 0.3mm に対し、本実験では、乾燥収縮やクリープの影響が考慮されていないことから設定した。

各呼び名の曲げひび割れ発生後のひび割れ幅の推移については、重ね継手シリーズと定着シリーズの違い、重ね継手の有無による差は大きくない。また、同一応力 (σ_s/f_{ta}) 時のひび割れ幅は、CD7, CD5, CD10 の順に大きくなる傾向がある。

(3) ひび割れ幅 0.2mm 時の鉄線引張応力

呼び名 CD5~CD10 におけるひび割れ幅 0.2mm 時の鉄

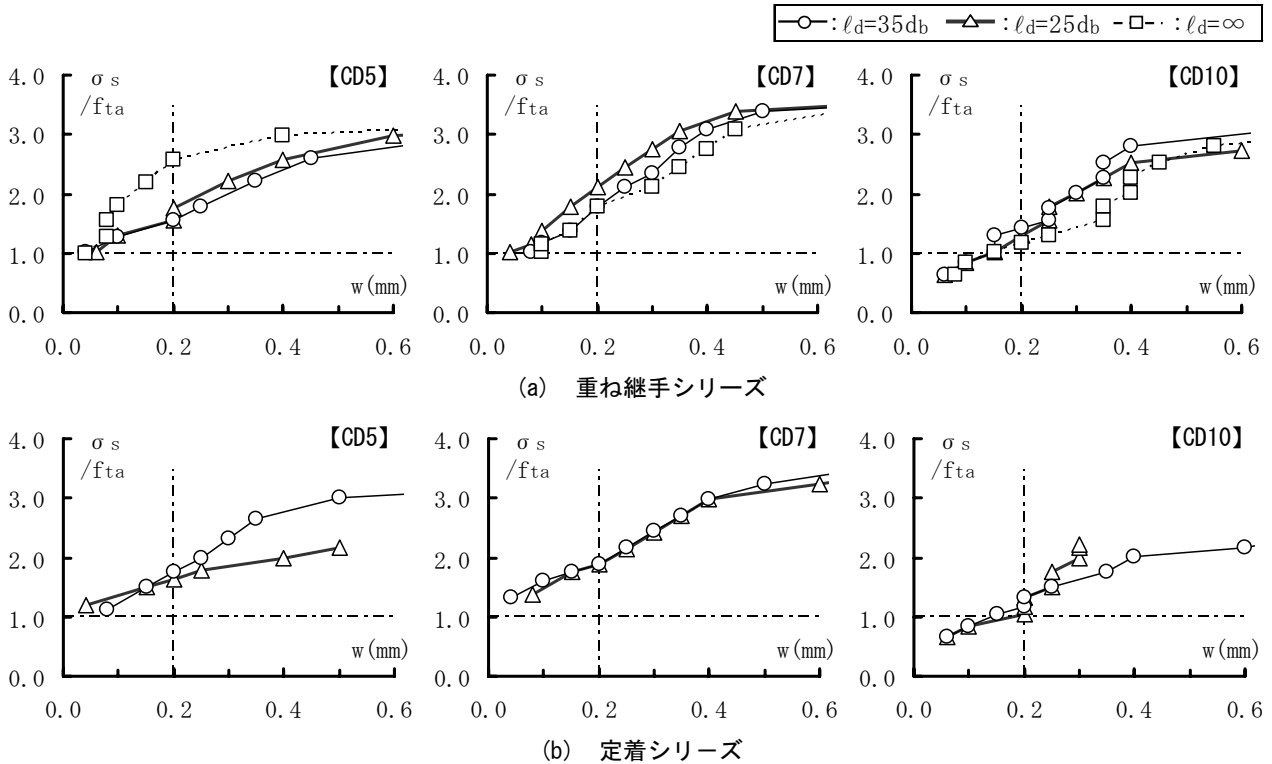


図-7 $\sigma_s/f_{t_a}-w$ 関係 (Fc21のみ)

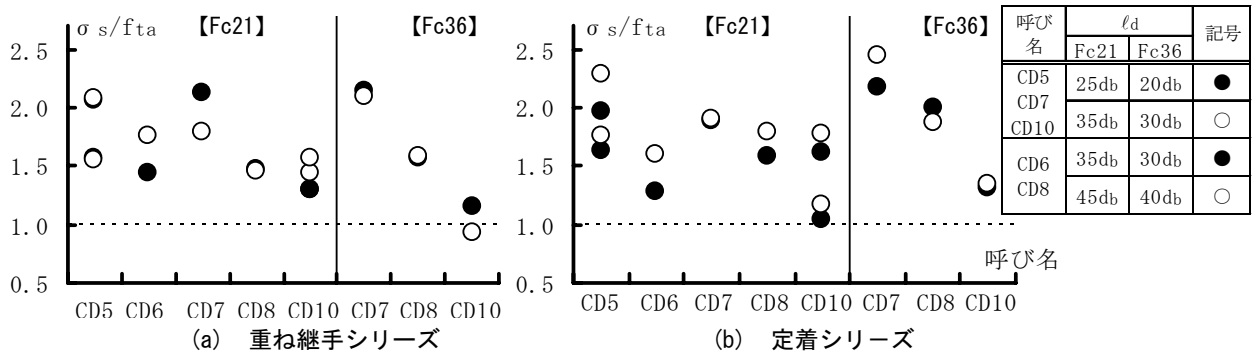


図-8 ひび割れ幅 0.2mm 時の鉄線引張応力

線引張応力を図-8 に示す。

同図によると、ひび割れ幅 0.2mm 時の鉄線引張応力 σ_s は、実験シリーズ、呼び名に係わらず、長期許容引張応力度 f_{t_a} 以上となる。つまり、異形鉄線の呼び名 CD10 までについては、最小かぶり厚さを 30mm 以上とし、溶接金網の長期許容引張応力度 f_{t_a} を 195N/mm^2 とすれば、異形鉄筋と同様の重ね継手または直線定着とした異形鉄線溶接金網を用いた RC スラブの長期許容曲げ耐力時のひび割れ幅は 0.2mm 以下に留まると言える。

4. 重ね継手および定着部の必要鉄線長さの検討

4.1 RC 規準 17 条改定案による必要定着長さ

RC 規準 17 条改定案⁶⁾では、引張鉄筋の必要定着長さ l_{ab} を式(2)によって求めることにしている。

$$l_{ab} = \alpha \cdot S \cdot \sigma_t \cdot db / (10 \cdot f_b) \quad (2)$$

f_b : 付着割裂の基準となる強度で、 $F_c/40+0.9$ (N/mm^2)

F_c はコンクリートの設計基準強度を表す。

σ_t : 仕口面における鉄筋の応力度で、当該鉄筋の短期許容引張応力度を用いることを原則とする。

db : 異形鉄筋の呼び名に用いた数値

α : 横補強筋で拘束されたコア内に定着する場合は 1.0、そうでない場合は 1.25 とする。

S : 必要定着長さの修正係数

本検討では、 F_c はコンクリートの実圧縮強度 σ_B 、 σ_t は建築基準法施行令第 90 条による溶接金網の短期許容引張応力度 f_t (295N/mm^2)、 $\alpha=1.25$ 、 $S=1.0$ とし、重ね継手および定着部の必要鉄線長さを求める。

4.2 検討結果

$\sigma_{\max}/f_t-l_d/l_{ab}$ 関係を図-9 に示す。 σ_{\max} は式(3)より求めた最大荷重時の鉄線引張応力であり、 l_d は本実験による重ね継手長さまたは定着長さ、 l_{ab} は式(2)による必要鉄線長さである。

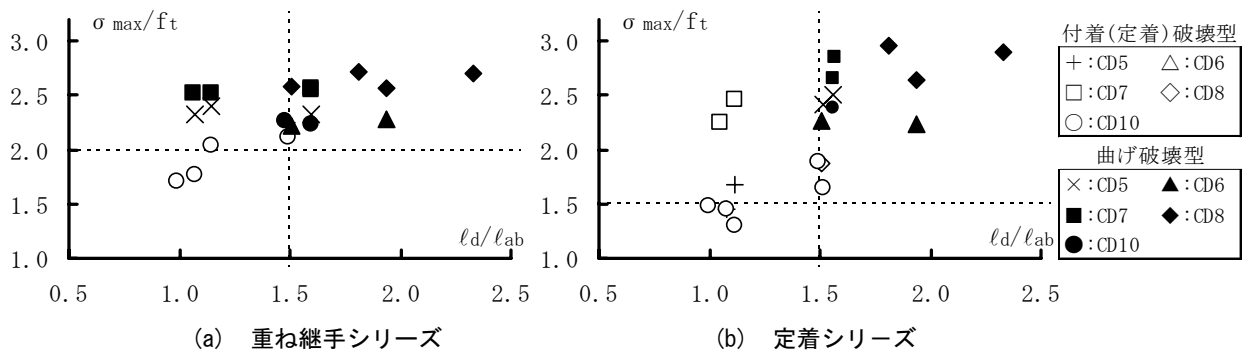


図-9 σ_{max}/f_t - l_d/l_{ab} 関係

$$\sigma_{max} = M_{max}/(0.9 \cdot \Sigma at \cdot d) \quad (3)$$

M_{max} : 最大荷重時曲げモーメント, Σat : 引張側鉄線の全断面積, d : スラブの有効せい

同図によると, $l_d/l_{ab} \geq 1.5$ とすれば, 重ね継手シリーズでは短期許容引張応力度 f_t の 2.0 倍, 定着シリーズでは f_t の 1.5 倍の最大鉄線引張応力 σ_{max} が確保される。この差異は, 重ね継手シリーズでは, 重ね継手相互の鉄線が密着しているのに対し, 定着シリーズでは, 図-4(b)に示すように, 鉄線とスラブ支持梁の横補強筋があき重ね継手⁴⁾となることに起因すると考えられる。

したがって, $l_d/l_{ab} \geq 1.5$ となるように, 重ね継手長さまたは定着長さを確保すれば, 曲げ終局耐力計算値の 1.5 倍まで, 異形鉄線溶接金網を用いた RC スラブは付着破壊または定着破壊を起こさないと考えられる。

4.3 重ね継手および定着部の必要鉄線長さの設定

ここでは, 式(2)に基づき, 重ね継手および定着部の必要鉄線長さ l_{ao} を下式によって算定する。

$$l_{ao} = \phi \cdot \alpha \cdot S \cdot \sigma_t \cdot db / (10 \cdot fb) \quad (4)$$

ϕ は異形鉄線溶接金網を用いる場合の安全率であり,

4.2 項の検討結果を基に, $\phi = 1.5$ とする。

式(4)による算定結果に基づく, 式(5)のように, 必要鉄線長さを設定できる。

$$\begin{aligned} 21\text{N/mm}^2 \leq F_c < 30\text{N/mm}^2 \text{ の場合} & : 40\text{db 以上} \\ 30\text{N/mm}^2 \leq F_c \leq 60\text{N/mm}^2 \text{ の場合} & : 35\text{db 以上} \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)による異形鉄線の必要鉄線長さは, 表-4 に示すように, RC 配筋指針⁴⁾による異形鉄筋の必要重ね継手長さ L1 および必要定着長さ L2 と同程度の値となる。

5. まとめ

本実験から, 以下の知見が得られた。

- (1) 異形鉄線溶接金網の呼び名 CD5~CD10 について, 異形鉄筋と同様の重ね継手または直線定着とした RC スラブでは, 溶接金網の長期許容引張応力度を 195N/mm^2 とすれば, 長期許容曲げ耐力時のひび割れ幅は 0.2mm 以下に留まる。
- (2) 異形鉄筋と同様に, 直交方向の鉄線を配置しなく

表-4 必要鉄線長さ l_{ao} と RC 配筋指針による L1, L2

		F_c	18	21~27	30~45	48~60
異形鉄線	l_{ao}	40db		35db		
	SD295~SD345	L1	45db	40db	35db	30db
		L2	40db	35db	30db	25db

注) F_c : コンクリートの設計基準強度

db: 異形鉄線または異形鉄筋の呼び名

L1: 必要重ね継手長さ, L2: 必要定着長さ

ても, 式(5)による必要鉄線長さを確保すれば, RC スラブの曲げ終局耐力計算値の 1.5 倍まで, 異形鉄線溶接金網の重ね継手は付着破壊を起こさず, また定着部は定着破壊を起こさない。

謝辞

本実験は, 昭和産業 (株) および (株) トーアミによる異形鉄線溶接金網の開発の一環として行ったものであり, ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 8 条 構造解析の基本事項, 16 条 付着および継手, 17 条 定着, pp.51-69, pp.170-202, 1999
- 2) 小宮敏明, 益尾潔: 鉄筋コンクリート床スラブ用異形鉄線溶接金網の重ね継手および定着に関する実験, GBRC, No.101, pp.12-20, 2001.1
- 3) 堂下航, 井上寿也, 益尾潔: 鉄筋コンクリート造床スラブに用いる異形鉄線溶接金網の重ね継手および定着に関する確認実験, GBRC, No.131, pp.14-19, 2008.1
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説, 6 章 定着と継手, pp.130-148, 2003
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造のひび割れ対策 (設計・施工) 指針・同解説, 3 章 設計における対策, pp.28-54, 2002
- 6) 日本建築学会: 2008 年度日本建築学会大会 (中国) 構造部門 (RC 構造) パネルディスカッション資料, 2008.9