

北海道大学 正員 工学 横道 英雄

" 学生員 工学 角田 与史雄

" 学生員 〇中 京 邦 昭

1 はじめに

RC部材のひび割れ幅及びこれに最も影響の大きいひび割れ間隔は、一般に鉄筋コンクリート強度、鉄筋応力、鉄筋表面形状、鉄筋比、部材長、かぶり、の大きさ、フリーエンドの取捨等数多くの因子に影響される。本研究は上記のうち部材長、かぶりの影響と、種々の大きさの供試体について内引試験を行い、調べ、かつRC桁の曲げひび割れ状況と比較したもので、これらについて報告する。

2. 使用材料

セメントは高士早強セメント、骨材は粗粒骨材と細粒骨材であり、粗骨材最大寸法は20mm、木方配合は表-1の通りで目標強度は 27.5 N/mm^2 である。使用鉄筋は川崎製鉄KK製作のRIVERCON(5D55)の鉄筋径 $\phi 10$ 、 $\phi 16$ 及び $\phi 20$ ($E_s = 1.96 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$)である。

3. 供試体の製作

内引試験は $\phi 16$ は $D = 6.4, 8.0, 9.6 \text{ cm}$ の3種類、 $\phi 20$ は $D = 9.6, 12.8, 16.0 \text{ cm}$ の3種類、計6種類の矩形断面供試体から4リノ種類につき5本合計20本について試験した。(図-1参照)

養生は試験当日まで水中養生、養生14日に試験を行った。

曲げ試験用は図-2のように支間2.4m、上フランジ幅26cm、ウェブ幅8cm、桁高24cm、有効高さ21.5cm、上下フランジ厚5cmのT型又はI型断面で主鉄筋のかぶりを一定にしている。下フランジは表-2の通りである。養生は水中養生、養生14日であるが、載荷試験準備に時間が必要のため、24日まで水中より取り出し、コンクリート表面を布でふいて炭酸ソーダを洗いぬぎコンクリート表面に部域制を塗布した。

4. 試験方法

内引試験は鉄筋位置からのひび割れ開口幅(ひび割れ幅)をContact型ひび割れ測定器を用いて、相対する2面から測定し、平均値を取った。又図-1に示す装置を用いて、コンクリート中に埋められた鉄筋の伸びを測定した。桁試験は、剪断力の影響をさるるだけの図-3の様な載荷法で試験した。かわかけ径間中央と載荷点の3ヶ所から測定した。ひび割れ幅の測定は内引試験と同じである。

表-1

w	C	w/c	s/a	s	ρ	スラング
150 ^{mm}	800 ^{mm}	50%	45%	9.7 ^{mm}	1120 ^{mm}	± 2

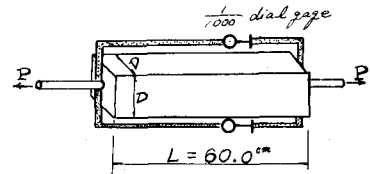


図-1

表-2

桁番号	Qの法	主鉄筋量: A_s
No4101	8.0 ^{cm}	2 $\phi 16$
No4102	12.0	2 $\phi 16$
No4103	18.0	3 $\phi 16$
No4104	20.0	2 $\phi 16$

図-2

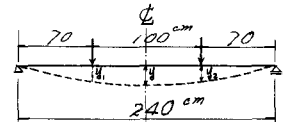
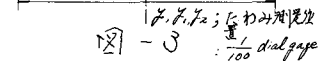


図-3



5 実験結果

1) 内引試験 (表-5)

ひび割れ間隔は荷重増加に伴って減少するが鉄筋のみかけ応力 $\sigma_{so} = P/A_s$ が一定の値に達するとほとんど定常状態に至ると云われ、この実験の結果では $\sigma_{so} = 500 \sim 1500 \text{ kg/cm}^2$ の間にひび割れが定常的、それ以上の荷重では新たにひび割れが生ずる。

あるひび割れ間隔 l の中間に新たにひび割れが生じた時の荷重 P に対して l の長さを l_{max} とし、この

間隔 l の鉄筋のみかけ応力 $\sigma_{so} = 1250, 1500$ および 2000 kg/cm^2 に対する l_{max} と l の比と鉄筋比 p の関係をプロットしたものが図-4である。

この図から鉄筋のみかけ応力 σ_{so} が 2000 kg/cm^2 になると l_{max}/l は鉄筋径や鉄筋比にあまり影響を受けず、おおよそ一定の値に達することがわかる。(この値は Broms の理論値よりやや大きな値である)

l_{max} に達する収束度合は鉄筋径の大きなもの程、鉄筋比の大きなもの程速い。このことから低応力下ではひび割れ間隔は鉄筋径や鉄筋比に大きく影響を受けるが、可能で最もひび割れ間隔は高い応力に於けるひび割れ間隔は鉄筋径や鉄筋比にほとんど影響されず、鉄筋の周囲のコンクリートの断面形状あるいはひび割れの大きさによって支配されることとが示されている。

図-5および図-6は平均ひび割れ l_{mean} に対する部材長さ D およびひび割れ l の関係をそれぞれ示したものである。それらは鉄筋径に依らずほぼ次のような傾向を示す。

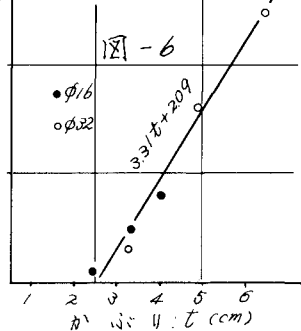
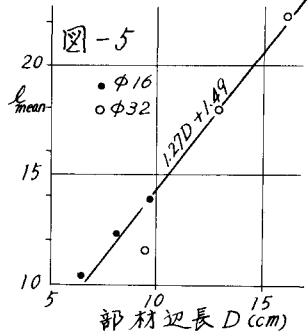
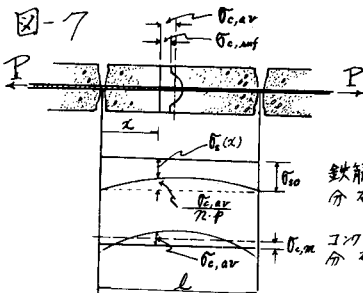
$$l_{mean} = 1.27D + 1.49 \quad \text{or} \quad l_{mean} = 3.18t + 2.09 \quad (1)$$

$$l_{max} \approx \frac{4}{3} l_{mean} \quad (2)$$

の関係をほぼ成立することも確認される。

一般にひび割れ幅 w に対する式は、

$$w = \frac{P \cdot l}{A_s E_s} - \epsilon_{cp} \cdot l - \int_0^l \frac{\sigma_{c,av}}{E_c} \left(\alpha + \frac{1}{np} \right) dx$$



記号は図-72参照

σ_{cp} : コンクリートの受ける引張弾性ひずみ, σ_{csuf} : コンクリートの表面応力

σ_{car} : 任意断面のコンクリート平均応力, $\alpha = \frac{\sigma_{csuf}}{\sigma_{car}} \leq 1$

σ_{cm} : ϕ 寸割れ間隔内のコンクリート全体の平均引張応力

(v) 式(4)の項はコンクリート表面に於ける、付着による鉄筋の弾性伸びの減少量と、コンクリートの弾性伸びの和を表わしている項である。経験的に $\alpha < \frac{1}{\pi \rho}$ であるから α の項は Neglect して整理すると (v) 式は

$$w = \frac{P \cdot l}{A_s E_s} - \sigma_{cp} \cdot l - \frac{\sigma_{cm}}{E_s \cdot \rho} \cdot l \quad (4)$$

図-8はコンクリート中に埋め込まれた範囲内の鉄筋の伸び

(e_s) を測定したものであり、 e_{so} -Curve は鉄筋のみの伸び、

$\Sigma W'$ -Curve は実測の ϕ 寸割れ幅の総和 (ΣW) に断面の影響を補正したものである。

本実験におけるコンクリート引張弾性変の実測値より $\sigma_{cp} \cdot l = 50 \times 10^{-3} \text{ mm}$ であるから一定応力以上ではほぼ e_s と $\Sigma W'$ の差に等しい事がわかる。

即ち $e_{so} - e_s = \frac{\sigma_{cm} \cdot l}{E_s \cdot \rho} \quad (5)$

となるから (5) 式および (4) 式の両方から σ_{cm} を求め事が出来、両者の値はほぼ一致した。

σ_{cm} の大きさは荷重の大きさに反し、 ϕ 寸割れ間隔に反して増減

なく、コンクリート断面寸法および鉄筋の大きさによって

大きく変化する事がわめられた。(図-9参照)

2) 曲げ試験 (表-4参照)

表-4は曲げ試験に於ける鉄筋応力 $\sigma_s = 2000 \text{ kg/cm}^2$

における平均 ϕ 寸割れ間隔 l_{mean} と載せられる鉄筋比等の影響は殆どみられず、 ϕ 寸割れ間隔の小さい事もあって、微少な ϕ 寸割れや ϕ 寸割れの余白等があったため、その影響も考慮すれば殆ど差はないとみられる。

曲げ試験における割れ長さ D および、 ϕ 寸割れ間隔の大きさは引張鉄筋と重心を一致するコンクリート部分の引張りに働き出すと仮定して、その有効断面のうちの最小の D および ϕ と等しいことにしてその値を (1) に代入すると

D に関して $l_{mean} = 7.8 \text{ cm}$

ϕ に関して $l_{mean} = 7.4 \text{ cm}$

の値が得られ、その実測値よりやや大きいようである。その平均の ϕ の大きさは内外試験と同様に計算出来、その値を図-9にプロットした。本実験の割れ長さ ϕ の値が1種類のみのため、その ϕ に對する影響は不明であるが、図-9から内外試験の平均値はほぼ同一の直線に載っているとわかる。

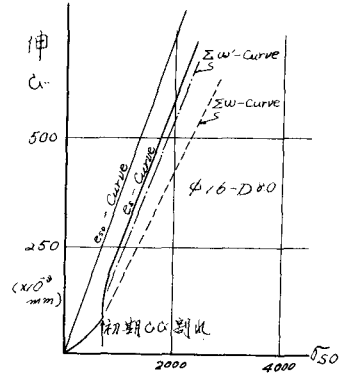


図-8

表-4

項目 割れ長さ	鉄筋比 ρ (%)	有効鉄筋比 ρ_e (%)	ϕ の平均 寸 (cm)	l_{mean} ($\phi=2000 \text{ kg/cm}^2$)
N04101	1.88	10.76	1.7	6.5
N04102	1.80	7.89	"	7.0
N04103	1.88	10.19	"	7.5
N04104I	1.14	4.07	"	6.0
N04104II	"	"	"	7.0

注) N04104は任意断面における ϕ 寸割れ間隔の連続性が乏しいため、何々の面の値を記載した

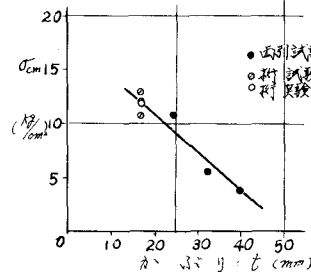


図-9

表-5は実測のひび割れ幅(14)式に

より計算のひび割れ幅と対比し、
 公の引張区-9より、又ひび割れ間隔は
 図-6より求められ、組と使用した。
 次に桁の歪曲ひび割れに付いては、
 図-10に示す。

いま、ひび割れ発生後における「桁の全長
 の裏において、底層コンクリートと主鉄筋との平均
 面保持が成立している」という仮定のもとで、
 曲げ曲率の命令を連続的に

$$\Phi(x) = \Phi_{max} - (\Phi_{max} - \Phi_{min}) \cdot \sin \frac{\pi}{L} x \quad (6)$$

と置く。(図-10参照)

Φ_{max}/M はひび割れの増加に伴ってある組
 (state II)における歪)に到達する性質の
 ものであり、その組は、あまり変化しない
 が、 Φ_{min}/M はひび割れ間隔 L と M の組合せ
 によってかなり変化する性質のものである。

(6)式から平均曲げ曲率

$$\Phi_{mean} = 0.67 \Phi_{max} + 0.67 \Phi_{min} \quad (7)$$

Φ_{max} および Φ_{min} の計算は断面における力の
 釣合いより得られる。

この連続的に次式が成立する。

$$M = A \Phi_{mean} + B \quad (8)$$

$$A = E_c I_{cr}$$

$$B = b h^3 \rho_{ot} \left[\alpha \eta_b (1 - \bar{\kappa}_r) + 2 \bar{\kappa}_u \bar{\kappa}_u (1 - \bar{\kappa}_r - \bar{\kappa}_u) \right]$$

ここに $\bar{\kappa}_r$, I_{cr} はひび割れ位置における

中立軸から断面二次モーメントを表し、引張部コンクリートが黒色に求められ、今、底層部
 コンクリートの型枠の影響を黒色に ($\alpha = \bar{\alpha} = 1$)、かつ引張部に引いた $\alpha = 0.8$, $\eta_b = 0.6$ および
 $\bar{\kappa} = 0.7$ と仮定して、桁4101 ($E_c = 0.90 \times 10^5 \text{ N/cm}^2$, $\rho_{ot} = 0.6 \%$) について数値計算すると
 図-10の実測に示す通りであり、実測値によく一致している様である。

表-5

桁番号 断面形状 目	NO4101		NO4102		NO4103		NO4104I		NO4104II	
	2000	3000	2000	3000	2000	3000	2000	3000	2000	3000
①実測値 $\times 10^{-2} \text{ mm}$	59	94	64	101	73	113	46	83	69	105
②計算値 $\times 10^{-2} \text{ mm}$	64	103	63	101	65	103	58	96	58	96
①/②	0.91	0.91	1.02	1.00	1.12	1.10	0.79	0.86	1.19	1.09

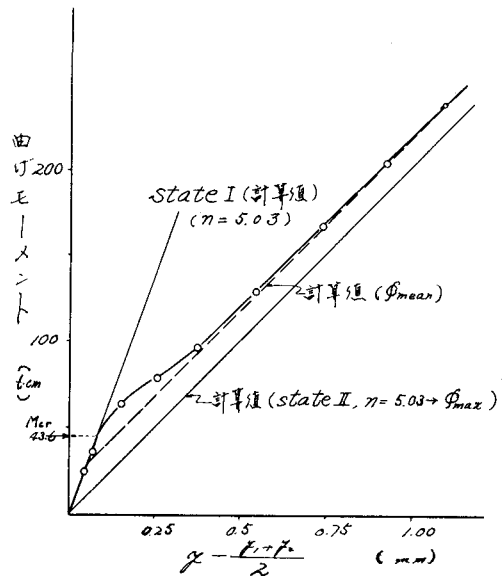
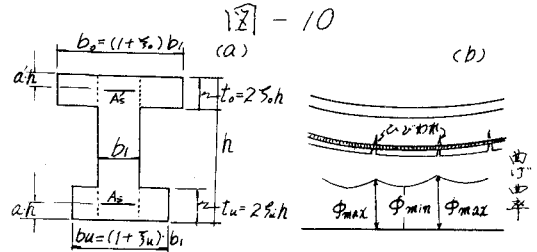


図-10