

鉄筋コンクリート梁の曲げひび割れ幅の統計的評価

群馬大学工学部 ○学生会員 有賀 大峰
群馬大学大学院 学生会員 藤本謙太郎
群馬大学工学部 フェロー 辻 幸和
群馬大学工学部 正会員 杉山 隆文

1.はじめに

鉄筋コンクリート構造物の性能照査の一つとして、使用限界状態に対する曲げひび割れの検討があり、土木学会コンクリート標準示方書には曲げひび割れ幅の算定式が規定されている。しかし、示方書に規定されている算定式より求まる値は、実際に鉄筋コンクリート梁を作製し、載荷試験を行って得られたひび割れ幅の実測値よりも大きく評価される傾向にある。本研究では、鉄筋コンクリート梁を12体作製し、曲げ載荷試験を行って実測した曲げひび割れ幅と上述の算定値とを統計的に比較検討した結果について報告する。

2.実験概要

2.1 供試体の作製

供試体の形状寸法および載荷方法を図-1に示す。供試体は、幅が500mm、高さが220mmの矩形断面とし、長さが2400mmのRC梁である。軸方向鉄筋は、引張側にSD295D13を5本、圧縮側にSD295D10を5本、それぞれ配置した。また、スターラップにはSD295D6を等曲げモーメント区間では100mm間隔で、せん断スパンでは150mm間隔で、それぞれ図-1に示すとおりに配置した。表-1にコンクリートの示方配合を示す。養生は、打込み後1日間の蒸気養生の後、供試体をシートで覆い、27日間の屋外養生をした。またコンクリートの設計基準強度は20N/mm²を目標とし、曲げ載荷試験時の圧縮強度は20.2～34.8N/mm²であった。

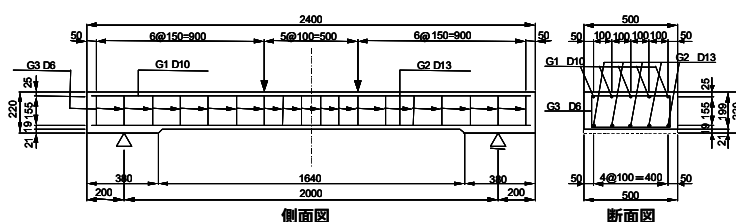


図-1 供試体の形状寸法および載荷方法

表-1 コンクリートの示方配合

G _{max} (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
				セメント C	水 W	細骨材 S1	細骨材 S2	粗骨材 G1	粗骨材 G2	混和剤
25	8	64	46	247	158	692	168	816	203	2.631

2.2 載荷方法および測定項目

載荷方法は、等曲げモーメント区間が500mm、スパンが2000mmの2点集中載荷とした。載荷は、引張鉄筋に作用する引張応力度が300N/mm²に相当する引張ひずみの測定値に至るまで、静的漸増載荷を行った。測定項目は、ワイヤストレーニングゲージによる等曲げモーメント区間内での引張鉄筋のひずみ、および測定長が100mmのπ型変位計による供試体側面引張鉄筋位置での曲げひび割れ幅とした。

曲げひび割れ幅の計算値には、(1)式に示す土木学会コンクリート標準示方書に規定されている曲げひび割れ幅算定式に、載荷試験より得られる引張鉄筋のひずみの実測値を代入した値を、また曲げひび割れ幅の理論値には、曲げひび割れ幅の算定式に引張鉄筋のひずみの理論値を代入した値を用いた。なお、引張鉄筋のひずみの理論値は、コンクリートの圧縮縁ひずみの各段階ごとにひずみ分布の直線性を仮定し、そのひずみ分布から求まるコンクリートと鉄筋の力の釣合い条件から算定した。

$$w = k \{ 4c + 0.7(c_s - \phi) \} \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{cs} \right) \dots (1)$$

w 曲げひび割れ幅 (mm)

k 鋼材附着性状の影響を表す定数

c かぶり (mm)

c_s 鋼材の中心間隔 (mm)

φ 鋼材径 (mm)

ε'_{cs} :コンクリートの収縮およびクリープ等の影響を考慮する数値、本研究では0とした。

キーワード：曲げひび割れ幅、曲げひび割れ幅算定式、鉄筋コンクリート梁、変動係数

連絡先：〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 TEL0277-30-1613 FAX0277-30-1601

3. ひび割れ性状

表－2 に各供試体のひび割れ性状を示す。曲げひび割れ発生荷重の変動係数は 8%と小さいが、等曲げモーメント区間のひび割れの本数および平均ひび割れ間隔については、25%程度と大きな値をとった。また、各供試体の最大・平均の曲げひび割れ幅についても、大きなばらつきが見られた。これらは、等曲げモーメント区間内のひび割れ本数の観測方法による影響が大きいと考えられる。そこで、等曲げモーメント区間内のひび割れの本数に対して 99%信頼区間を定め、信頼区間外の供試体 No.4、No.5 を除き評価した。その結果を表－2 の上段に示す。信頼区間を定めたことで、ひび割れの本数における変動係数は 15%程度に低下した。しかし、ひび割れの本数の影響を受ける平均ひび割れ間隔の変動係数は 20%以上の大きな値を示した。これは、各供試体ごとでひび割れの発生する位置にばらつきがあったためだと考えられる。以下は、信頼区間内の供試体について述べる。

4. 等曲げモーメント区間内の曲げひび割れ幅

図－2 には、荷重と引張鉄筋ひずみの関係を示す。引張鉄筋のひずみは各供試体とも同一荷重時における理論値に対して若干小さな値を示すが、ほぼ同様の挙動を示し、ばらつきは非常に小さい。

荷重と最大曲げひび割れ幅の関係を、図－3 に示す。ここで最大曲げひび割れ幅は、等曲げモーメント区間に設置したπゲージの測定値で最大の値を示したものである。各供試体の実測値を理論値と比較すると、1 体を除き常に小さい安全側の値をとっている。曲げひび割れ幅が約 0.05mm 程度までは、実測値の平均が計算値にほぼ近似した値をとるが、それ以降はやや小さな値をとっている。また各供試体のばらつきは、引張鉄筋ひずみに比べて大きい。

図－4 に、荷重と平均曲げひび割れ幅の関係を示す。平均曲げひび割れ幅は、等曲げモーメント区間に設置したπゲージの測定値の平均である。各供試体の実測値を計算値および理論値と比較すると、荷重レベルが初期の段階から小さな値をとり、最終的な曲げひび割れ幅は同一荷重時において 1/2～1/3 程度にしか進展しなかった。

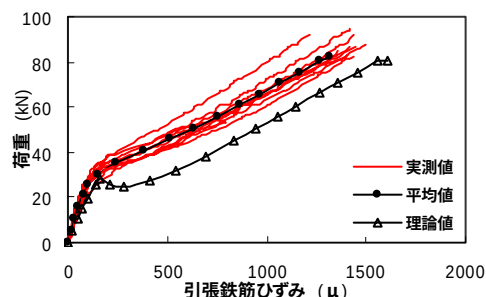
5. まとめ

本研究では、同一の形状寸法と配筋を持つ 12 体の RC 梁の曲げひび割れ性状を統計的に検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

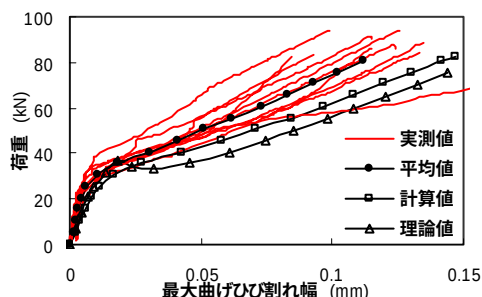
- (1) 曲げひび割れ発生荷重のばらつきが 7%と小さいのに対し、信頼区間を定めた曲げひび割れの本数は 15%程度の、平均ひび割れ間隔では 20%以上のばらつきがあった。
- (2) 等曲げモーメント区間内の最大および平均の曲げひび割れ幅は、土木学会コンクリート標準示方書に規定されている曲げひび割れ幅の算定式より計算された理論値と比較すると、常に小さい安全側の値をとる。そして、同一荷重時の理論値と比較すると、最大曲げひび割れ幅は 2/3 程度、平均曲げひび割れ幅においては 1/2～1/3 程度であった。

表－2 各供試体のひび割れ性状

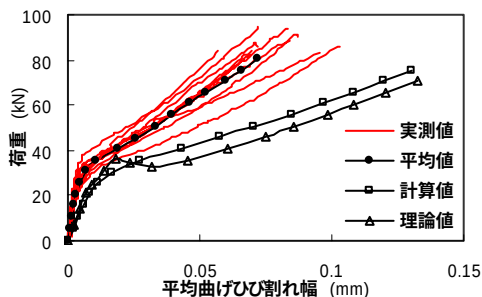
供試体No.		曲げひび割れ発生荷重(KN)	ひび割れの本数(本) 等モーメント区間 全体		平均ひび割れ間隔(mm)	
全供試体	信頼区間内供試体	1	27.55	7	15	67
		2	32.15	5	9	117
		3	28.98	5	11	105
		6	29.97	6	12	95
		7	27.73	5	11	90
		8	29.73	6	13	83
		9	29.37	7	16	56
		10	24.35	5	13	94
		11	30.99	7	13	59
		12	28.48	6	14	82
		平均値	28.93	5.90	12.70	84.90
		標準偏差	2.03	0.83	1.95	18.82
	変動係数(%)	7	14	15	22	
	全供試体	4	25.83	4	9	108
		5	32.53	10	15	55
		平均値	28.97	6.08	12.67	84.78
標準偏差		2.30	1.50	2.29	19.92	
変動係数(%)	8	25	18	24		



図－2 荷重－引張鉄筋のひずみ



図－3 荷重－最大曲げひび割れ幅



図－4 荷重－平均曲げひび割れ幅