

コンクリートの引張特性に関する実験研究

鹿児島大学 工学部 正会員 出口 秀史
 鹿児島大学 工学部 正会員 松本 進
 鹿児島大学 工学部 学生員 山崎 弘行

1. まえがき

コンクリートに発生するひびわれは、コンクリート構造物の耐久性にとって重要な問題であるが、従来の設計では引張抵抗を無視しているため、コンクリートの引張における弾塑性性状やひびわれ発生時期等の点において解明が遅れている。本研究では、コンクリートの純引張特性を実験および解析の面から明らかにするために、コンクリートの純引張試験および曲げ試験の方法に工夫を凝らし、特に最大応力以降の引張性状を明らかにすると共に純引張性状の曲げへの適用を試みたものである。

2. 実験概要

(1) 純引張試験

図-1は、コンクリートの純引張試験における実験供試体および実験装置の概略を示したものである。純引張供試体は、断面 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、長さ 40cm のコンクリートの断面中心に異形鉄筋D16を埋込んだもので、鉄筋中央部には歪ゲージを貼付してあり、貼付部分 35mm 区間の付着を断った。コンクリートの歪は、面側面に貼付した歪ゲージにより計測した。実験方法は鉄筋に引張荷重を行うことによりコンクリートに純引張荷重を加えるもので、コンクリートの最大応力以降の荷重の低下を鉄筋が分担していくために、コンクリートに作用する荷重が最大値となってもすぐには引張破壊せず、荷重の低下していく領域についてもコンクリートの応力-歪関係を計測することが可能となる。

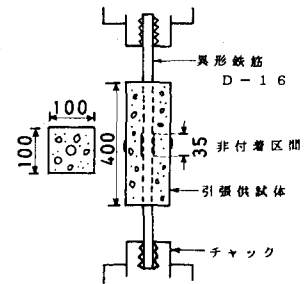


図-1 引張試験装置

(2) 曲げ試験

図-2は、曲げ試験における実験供試体および実験装置の概略を示したものである。曲げ試験供試体は、通常の曲げ試験で用いられる断面 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、長さ 40cm のものである。最大荷重以降の挙動を把握するために、曲げ供試体の面側に 100×50 のみぞ形鋼を配置し載荷した。なお、みぞ形鋼の引張縁には予め歪ゲージを貼付し、予備載荷により荷重-歪関係を求めてある。実験方法は、通常の曲げ試験方法であるが、コンクリートに作用する荷重は全荷重よりみぞ形鋼が分担する荷重を差引いた荷重となる。曲げ試験においても、みぞ形鋼が荷重を分担するために最大荷重後も急激に破壊せず、荷重が低下する領域を計測できる。両試験の供試体はコンクリート強度で4つのシリーズに分け、各シリーズの供試体を表-1に示した。また各シリーズの配合およびコンクリート強度を表-2に示した。

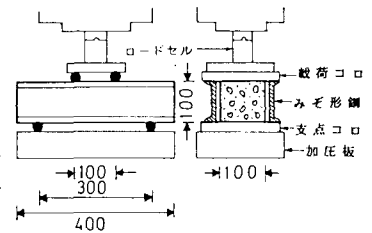


図-2 曲げ試験装置

表-1 実験供試体の記号

シリーズ	純引張試験供試体	曲げ試験供試体
500	T-1 ~ T-6	B-1 ~ B-3
400	T-7 ~ T-12	B-4 ~ B-7
300	T-13 ~ T-16	B-8 ~ B-10
200	T-18 ~ T-21	B-11 ~ B-13

表-2 実験供試体の配合表

	G _{max}	W/C (%)	S/a (%)	W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	f _c (kg/cm ²)
500 シリーズ	1.3	4.7	4.7	20.9	44.5	7.8	9.1	54.6
400 シリーズ	1.3	5.5	5.0	21.5	39.1	8.5	8.7	40.5
300 シリーズ	1.3	6.0	5.0	20.9	34.8	8.7	9.0	34.6
200 シリーズ	1.3	8.5	5.3	21.5	25.3	9.6	8.0	19.5

3. 実験結果

表-3は、純引張試験より得られた結果を一覧に示したものである。図-3は、純引張試験より得られた応力-歪関係の一例を500シリーズについて示したもので、同図より応力の小さい間はほぼ弾性的な挙動を示し、応力の増大に伴い徐々に塑性的な影響が現われている。さらに、最大応力を越えると僅かではあるが応力の勾配が下降している。また、ひびわれ発生時の引張歪は、ひびわれ発生に伴って歪が激増するために正確には把握できなかったが、本実験の計測の範囲では引張歪の最大は最大応力時歪の2~3倍程度であった。

4. 純引張応力-歪関係の曲げ解析への適用

本研究では、実測の純引張応力-歪関係の特長を考慮して次のようにモデル化を行った。

- i) 最大応力 $\sigma_{\max}$ までは実測との近似性を考慮して三次関数とする。
- ii) 境界条件としては、① $\sigma|_{\epsilon=0}=0$ 、② $\frac{d\sigma}{d\epsilon}|_{\epsilon=0}=E_0$ 、③ $\sigma|_{\epsilon=\epsilon_{\max}}=\sigma_{\max}$ 、④ $\frac{d\sigma}{d\epsilon}|_{\epsilon=\epsilon_{\max}}=0$ ただし、 E_0 は純引張試験における弾性係数
- iii) 最大応力後は、一定の勾配をもつ直線とし、パラメータ $M=\epsilon_{\max}/\epsilon_{\sigma}$ を導入して表現した。

図-4は、この応力-歪モデルを図示したものであり、モデルは次式のようになる。

$$\sigma = \sigma_{\max} \left\{ \frac{E_0 \epsilon_{\max}}{\sigma_{\max}} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} \right) + \left(3 - \frac{2 E_0 \epsilon_{\max}}{\sigma_{\max}} \right) \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} \right)^2 + \left(-2 + \frac{E_0 \epsilon_{\max}}{\sigma_{\max}} \right) \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} \right)^3 \right\} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{\max} (M \epsilon_{\sigma} - \epsilon)}{(M-1) \epsilon_{\sigma}} \quad (2)$$

ただし E_0 : 純引張弾性係数、 $\sigma_{\max}$: 純引張強度、 $\epsilon_{\max}$: $\sigma_{\max}$ の歪値

M : 下降領域の勾配を与えるパラメータ ($M = \epsilon_{\max}/\epsilon_{\sigma}$)

図-3中に実線で示したものは、上記の応力-歪モデルを500シリーズに適用したもので、この場合パラメータ $M=20$ としてあるが、応力-歪モデルは実測の傾向を良く表現している。次に、この純引張応力-歪関係を用いて曲げへの適用性の検討を行った。なお、コンクリートの圧縮での応力-歪関係は一般に用いられている二次関数モデルを使用した。図-5は実測と解析のモーメント-曲げ引張歪関係を比較した一例であるが、純引張歪 $\epsilon_{\max}$ までは解析値と実測値は良く一致しており、さらに歪が増加した領域では図中に実線で示したように、パラメータ M の値によって最大モーメントの値、最大時の歪値が異なってくるが、 $M=20$ の場合では実測の最大モーメントや下降域の性状を良く表わしており、 $M=20$ 程度を用いれば純引張応力-歪関係を用いて曲げの解析が可能であることを示している。

5. あとがき

今後は、コンクリート強度に伴う最大曲げモーメントの変化とパラメータ M との関係や純引張応力-歪関係の中での最大引張歪の取扱い等について検討を行うつもりである。

表-3 純引張試験結果一覧

供試体		σ_{σ} (kg/cm^2)	ϵ_{σ} (μ)	$\epsilon_{\max}$ (μ)
500 シリーズ	T-1	33.0	130	200
	T-2	31.3	120	160
	T-3	30.1	130	235
	T-4	30.8	121	205
	T-5	31.5	140	255
	T-6	30.1	120	180
400 シリーズ	T-7	27.9	128	200
	T-8	27.3	112	250
	T-9	28.8	110	310
	T-10	28.7	100	230
	T-11	28.3	94	170
	T-12	29.0	108	168
300 シリーズ	T-13	23.8	97	235
	T-14	22.4	78	195
	T-15	26.2	100	175
	T-16	25.9	133	190
200 シリーズ	T-18	24.0	85	220
	T-19	23.9	67	135
	T-20	22.7	75	160
	T-21	21.1	200	290

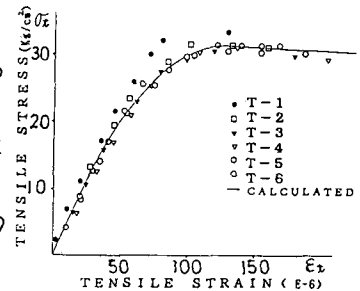


図-3 純引張応力-歪の実測値の一例

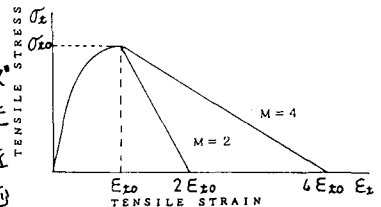


図-4 コンクリートの純引張応力-歪のモデル (降下域を含む)

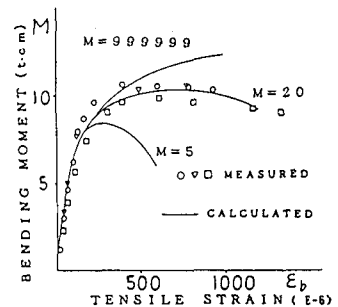


図-5 パラメータ M を変えた場合の解析