

薄肉鉄筋コンクリート部材の曲げ耐力算定法に関する検討

首都大学東京 学生会員 ○中嶋 彩乃、正会員 宇治 公隆
 首都大学東京 正会員 大野 健太郎、正会員 上野 敦
 コンクリート製品 JIS 協議会 フェロー会員 國府 勝郎、正会員 清水 和久

1. はじめに

土木学会コンクリート標準示方書（以下、示方書）は部材厚 200mm 以上のデータをもととして、曲げ強度や耐力の算定式が提示されている。既往の研究で、部材厚 70mm 以下の薄肉部材では、曲げ耐力算定の精度が悪くなること、曲げひび割れの発生とともに破壊に至ることが報告されている¹⁾。薄肉部材の曲げ耐力は曲げひび割れ耐力と考えることができる。曲げひび割れ耐力は、コンクリートの破壊エネルギーに基づいて算定されるため、適切な破壊エネルギーの把握が肝要であると言える。本研究では、部材厚 70mm 以下の鉄筋コンクリート部材を対象として、示方書式による破壊エネルギーと実験から得られる破壊エネルギーについて比較・検討し、薄肉部材の曲げ耐力算定法について考察を行った。なお、乾燥の影響を把握するため、養生条件を気中保管と封かん養生の二種類とし、破壊エネルギー試験と曲げ試験を行った。

2. 実験概要

2.1 破壊エネルギー試験

表-1、表-2に示方配合および材齢 56 日におけるコンクリートの物性を示す。供試体は 100×100×400mm の角柱供試体に樹脂製 T 形治具を配置し、図-1に示す仮想はり高さ (h) を 70mm、50mm、40mm とし、各 10 体の供試体を作製した。全ての供試体は材齢 28 日まで水中養生し、その後 28 日間 20℃、60%R.H.の恒温室内で気中保管するもの各 5 体、20℃恒温室内で封かん養生を行うもの各 5 体とした。材齢 56 日において、JCI-S-001-2003 による破壊エネルギー試験を行った。

2.2 薄肉鉄筋コンクリート部材の曲げ試験

曲げ試験に用いたコンクリートの示方配合は、破壊エネルギー試験と同一である。供試体は図-2および表-3に示す諸元で作製した。なお、全ての供試体とも材齢 28 日まで湿潤養生を行い、その後材齢 56 日まで気中保管および封かん養生を行った。載荷は 4 点曲げとし、載荷点間距離を 50mm、載荷速度を 1kN/min とし、0.1kN 毎に荷重およびひずみの計測を行った。

3. 結果および考察

3.1 破壊エネルギー試験

示方書の破壊エネルギー G_F は、式(1)に示されるように粗骨材の最大寸法 d_{max} とコンクリートの圧縮強度 f'_{ck} を用いて算出される。

$$G_F = 10(d_{max})^{\frac{1}{3}} \cdot f'_{ck}{}^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

表-1 示方配合

粗骨材の 最大寸法(mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg)				
					W	C	S	G	混和剤(原液)*
20	8	4.5	55	42	170	309	758	1052	1.08

* スルホン酸系AE減水剤を使用

表-2 コンクリートの物性値

材齢	56日			
	破壊エネルギー試験		曲げ試験	
養生条件	封かん養生	気中保管	封かん養生	気中保管
圧縮強度(N/mm ²)	42.9	45.5	45.3	48.1
静弾性係数(kN/mm ²)	30.1	29.0	31.0	27.5
引張強度(N/mm ²)	3.02	2.98	2.98	2.94

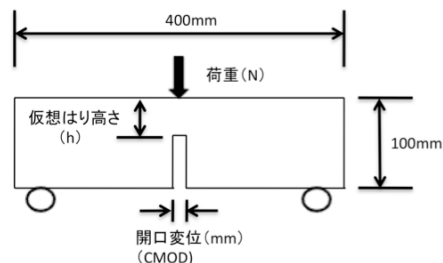


図-1 破壊エネルギー試験の供試体形状

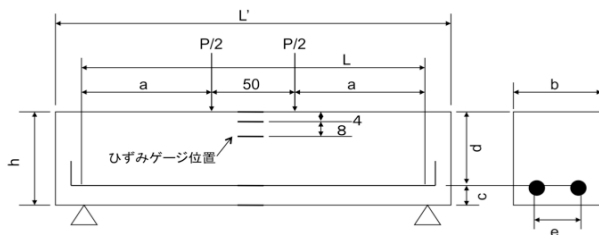


図-2 4点曲げ試験概要図

表-3 曲げ試験の供試体諸元

No.	養生条件	部材厚 h (mm)	幅 b (mm)	主鉄筋	かぶり c (mm)	有効高さ d (mm)	スパン L (mm)	長さ L' (mm)	鉄筋量 As (mm ²)	鉄筋比 p	せん断 スパン 有効高さ比
1-1	気中保管	40	240	2φ3.2	20	20	190	290	16.08	0.00335	3.50
1-2	封かん養生										
2-1	気中保管	70	240	2φ5.0	20	50	400	500	39.27	0.00327	3.50
2-2	封かん養生										
3	気中保管	100	150	2D6	20	80	610	770	63.34	0.00528	3.50

キーワード 薄肉鉄筋コンクリート部材、曲げひび割れ、曲げ耐力、破壊エネルギー

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL 042-677-2775

一方、コンクリートの引張軟化特性を考慮した場合²⁾、破壊エネルギーは2.1の試験結果による載荷荷重とCMOD曲線で囲まれる面積(W_0)および供試体と治具のなす仕事(W_1)、リガメントの面積(A_{lig})から式(2)より得られる。

$$G_F = \frac{0.75W_0 + W_1}{A_{lig}} \tag{2}$$

実験より得られた破壊エネルギー(CMOD値と呼ぶ)と示方書式より求まる破壊エネルギー(示方書値と呼ぶ)の値を表-4に示す。CMOD値は示方書値の1.3~2.1倍となっている。また、CMOD値は仮想はり高さ40mm、50mmが各養生条件では同等の値を示すものの、70mmでは他より2割ほど高い値を示している。

3.2 曲げ試験

気中保管した部材厚70mmの荷重と中立軸位置および鉄筋ひずみの関係を図-3に示す。図より、中立軸の変動が小さく、鉄筋ひずみの変化も小さいことから、鉄筋が力学的に機能せず、曲げひび割れの発生とともに破壊に至ることが確認された。また、部材厚70mm以下の他の供試体においても同様の傾向が確認された。

一方、部材厚100mmでは、鉄筋が力学的に機能し、破壊に至ることが確認されている。そこで、部材厚40mm、70mmの供試体については算定した曲げひび割れ強度を用いた曲げ耐力式を適用し、部材厚100mmの供試体については一般的な鉄筋降伏値を用いた曲げ耐力算定式を適用した。また、曲げひび割れ強度算定の際の破壊エネルギーには表-4の値を用いた。表-5に各部材厚を変化させた場合の、曲げ耐力(モーメント)の実験値と算定値の比較を示す。示方書値を用いた場合は実験値の0.675~0.879倍、CMOD値を用いた場合は実験値の0.732~0.952倍となった。このことから、式(1)より求まる示方書値はかなり安全側の評価となることが伺える。また、圧縮強度、破壊エネルギー、曲げ耐力は養生条件で異なり、封かん養生に比べて気中保管が高い傾向を示した。浸漬液体の表面張力とセメントモルタルの曲げ強さには負の相関が認められることが報告³⁾されており、今回の実験結果においても同様の傾向を示した。以上のことから、薄肉鉄筋コンクリート部材では、それぞれの部材厚における破壊エネルギーや引張軟化特性を適切に設定することで、曲げ耐力の算定精度が向上すると考えられる。

4. まとめ

実験より求まった薄肉部材の破壊エネルギーは、示方書式から計算される破壊エネルギーの1.3~2.1倍となった。薄肉部材の曲げ耐力は曲げひび割れ耐力で決まるが、示方書値は実験値の0.675~0.879倍、CMOD値は実験値の0.732~0.952倍の値を示している。今後、さらなる精度向上のためには、薄肉部材に対する破壊エネルギーや引張軟化特性の検討が必要であると考えられる。

参考文献

1) 田所雄治他:薄肉鉄筋コンクリート製品の終局曲げ耐力、土木学会第63回年次学術講演会概要集、pp.1183-1184、2008
2) 内田裕市他:曲げ試験に基づく引張軟化曲線の推定と計測、土木学会論文集、第426号、V-14、pp.203-212、1991
3) 堀素夫:表面エネルギーから見たセメント硬化体の強さ、窯業協会誌、Vol.70[7]、C268-C273、1962

表-4 破壊エネルギー

養生条件	圧縮強度(56日) (N/mm ²)	仮想はり高さ (mm)	破壊エネルギー(N/m)	
			示方書値	CMOD値
封かん養生	42.9	40	96.8	125
		50		131
		70		151
気中保管	45.5	40	98.7	169
		50		161
		70		203

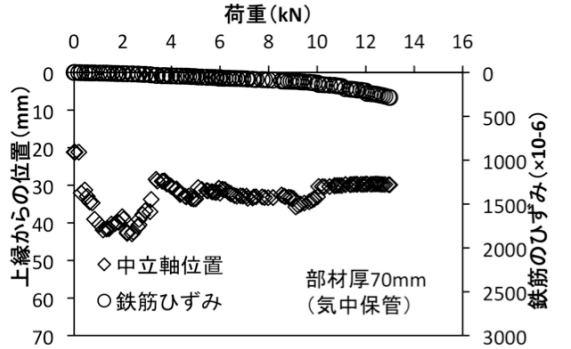


図-3 荷重と中立軸位置および鉄筋ひずみの関係

表-5 部材厚と曲げ耐力

養生条件	部材厚(mm)	圧縮強度(56日) (N/mm ²)	曲げ耐力(kN・m)			算定値/実験値	
			示方書値	CMOD値	実験値	示方書値/実験値	CMOD値/実験値
封かん養生	40	45.3	0.329	0.342	0.448	0.734	0.763
	70		0.923	1.00	1.05	0.879	0.952
気中保管	40	48.1	0.320	0.347	0.474	0.675	0.732
	70		0.900	1.02	1.14	0.789	0.895
	100		1.53	—	1.93	0.793	—