長岡工業高等専門学校	学生会員	○番場	俊介
長岡工業高等専門学校	学生会員	阿部	哲雄
長岡工業高等専門学校		長岡	和真
長岡工業高等専門学校	正会員	村上	祐貴

1. はじめに

RC 部材において、腐食ひび割れ発生限界腐食量および その後の腐食ひび割れ幅の拡幅は、腐食膨張圧に対する コンクリートの拘束圧によって異なる. したがって, 腐 食ひび割れ発生限界腐食量の推定や、かぶりコンクリー トの腐食ひび割れ幅と鉄筋腐食量を関連付けるためには, コンクリートの圧縮強度やかぶり厚、腐食劣化状態によ って変化するコンクリートの拘束圧を定量的に評価する 必要がある.また、実構造物のように複数の鉄筋が配筋 された場合、それぞれの腐食膨張が相互に影響すると考 えられるため、この点についても検討する必要がある.

そこで本研究では、かぶりコンクリートの腐食ひび割 れ幅に加え、かぶり厚や圧縮強度がコンクリートの拘束 圧に及ぼす影響ならびに、複数の鉄筋腐食膨張圧がコン クリートの拘束圧に及ぼす影響評価を目的として、静的 破砕剤を用いた鉄筋腐食膨張模擬実験を実施した.

2. 実験概要

2.1 実験概要

図-1に試験体形状を示す.試験体は角柱試験体であり, 所定の位置に直径22mmの円孔を設けた.円孔内には、 拘束圧測定用の鋼管パイプを挿入し,その隙間に腐食膨 張圧を模擬するため、静的破砕剤を充填した.静的破砕



剤の膨張挙動は,原田ら¹⁾によって液圧的であることが報 告されており、図-1(d)に示すように拘束圧は鋼管パイ プに作用する外圧とほぼ等価となることから、以下の手 法により拘束圧を求めた.

鋼管パイプの内曲面に2軸のひずみゲージを3枚貼付し, 鋼管に生じる軸方向および円周方向のひずみを計測した. 計測したひずみ値を,中空円筒理論を用いた式(1)に代入 して拘束圧を算出した.

$$\sigma_n = p_0 = \frac{-E(k^2 - 1)}{2k^2(1 - \nu^2)} (\varepsilon_\theta + \nu \varepsilon_z)$$
(1)

ここで、 σ_n : 拘束圧(N/mm²)、 p_0 : 膨張圧(N/mm²)、 $E: 鋼管の弾性係数(200000N/mm²), <math>\varepsilon_{\theta}: 円周方向ひずみ,$ ε_z:軸方向ひずみ, k:鋼管の外内径比(外径:13.8mm, 内径:9.2mm)、v:鋼管のポアソン比(0.3)である.

試験体の最小かぶり面中央部の円孔軸と直行する方向 に π 型変位計を設置し, 膨張圧に起因する縦ひび割れ幅

試験体名		the start of the	かぶり厚(mm)		圧縮強度	磞性係数	最大均市圧	亦動反為
		水ビスクト比 W/C(%)	縦:C1	横:C ₂	(N/mm^2)	(N/mm^2)	$\sigma_n(N/mm^2)$	を判除数 ν(%)
	C75-75-W/C60		75		31.6	29.2	11.8	21.5
	C60-75-W/C60	60	60	75	26.3	28.4	8.0	3.7
SOシリーズ	C50-75-W/C60	60	50		32.4	31.6	6.5	18.4
	C40-75-W/C60		40		30.4	32.0	4.9	10.7
	C75-75-W/C45		75	75	37.4	32.1	11.5	6.7
	C60-75-W/C45	45	60		36.3	36.2	9.5	9.7
	C50-75-W/C45		50		39.3	34.0	7.3	6.9
	C40-75-W/C45		40		43.1	34.4	4.9	3.9
	C75-75-W/C30	30	75	75	52.2	30.5	14.2	4.4
	C60-75-W/C30		60		49.7	36.2	11.9	-
	C50-75-W/C30		50		47.8	40.9	9.2	9.2
	C40-75-W/C30		40		55.5	33.0	7.3	5.1
	C60-60-W/C60	60	60	60	29.8	29.7	8.3	15.0
	C50-60-W/C60		50	60	28.6	29.6	6.5	15.3
S1541-7	C50-50-W/C60		50	50	28.6	29.9	6.5	4.3
5199-2	C40-60-W/C60		40	60	25.0	28.6	4.0	0.2
	C40-50-W/C60		40	50	22.6	23.9	4.6	3.7
	C40-40-W/C60		40	40	24.9	31.3	5.3	7.1
主_2 実験パラメ_友(複雑な皮合形建構擬実験)								

表-1 実験パラメータ(単鉄筋腐食膨張模擬実験)

2~ 天歌ハノクーラ (後欧肋肉及膨液(妖))	疑実験
-------------------------	-----

		かぶり厚(mm)				一位没有	彩林友新	最大拘束圧	
試験体名	水セメント比 W/C(%)	縦:C1	横:C2	鉄筋間隔 2R(mm)	R/C1	江釉短度 (N/mm ²)	9年11年1年30 (N/mm ²)	$\sigma_{n-multi-max}$	変動係数 (%)
075 D/0 0 50				75	0.50	20.6	00067	(N/mm)	6.0
075 P/0.00		75	75	/5	0.50	32.0	28307	7.30	0.8
075-R/010.00				90	0.00	23.1	28039	8.07	3.3
C/5-R/C10.75	60			112.5	0.75	31.0	2/562	8.06	1.6
C/5-R/C ₁ 1.00				150	1.00	27.0	25835	9.39	5.3
C75-R/C11.25				187.5	1.25	33.0	30223	10.34	2.8
C75-R/C11.33				200	1.33	24.3	26252	9.93	6.3
C60-R/C10.50		60	75	60	0.50	32.3	26438	5.72	9.5
C60-R/C10.75	60			90	0.75	29.1	27863	7.08	4.8
C60-R/C11.00	60			120	1.00	34.4	27819	7.11	5.8
C60-R/C11.25				150	1.25	27.5	27885	8.39	7.8
C50-R/C10.50		50	75	50	0.50	32.1	29597	4.50	6.0
C50-R/C10.75	60			75	0.75	35.7	25337	4.97	12.1
C50-R/C11.00	60			100	1.00	23.6	26438	5.98	12.1
C50-R/C11.25				125	1.25	28.9	28574	5.83	11.8
C40-R/C10.50	60	40	75	40	0.50	28.2	29648	3.57	1.3
C40-R/C10.75				60	0.75	29.4	28190	3.94	8.1
C40-R/C11.00				80	1.00	30.4	31540	4.50	3.2
C40-R/C11.25				100	1.25	32.1	30148	4.44	0.2

鉄筋腐食、腐食ひび割れ幅、腐食膨張影響範囲、コンクリートの拘束圧 連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地 長岡工業高等専門学校 TEL 0258-34-9276



の計測を行った.

2.2 実験パラメータ

単鉄筋腐食膨張模擬実験での実験パラメータを表-1 に示す. S0 シリーズは最小かぶり厚(C₁)および圧縮強度 を変化させ、横かぶり厚(C₂)を一定とした. S1 シリーズ は縦方向(C₁)および横方向(C₂)のかぶり厚を変化させた シリーズ(隅角部)であり、圧縮強度を一定とした.

複数鉄筋腐食膨張模擬実験での実験パラメータは表-2 に示すように最小かぶり厚(C₁)と円孔間隔である.なお,腐食膨張圧のコンクリート部への影響範囲は,最小 かぶり厚を半径とした円として考えることが多いため, 本研究においても,最小かぶり厚を半径とした円を腐食 膨張圧のコンクリート部への影響範囲であると仮定し, 円孔間隔の1/2の距離(R)と最小かぶり厚(C₁)の比(R/C₁)を 用いて円孔間隔(2R)を選定した.

3. 実験結果

3.1 単独の腐食膨張に対する拘束圧の評価

図-2に単鉄筋最大拘束圧(σ_{n-max})と最小かぶり厚 の関係を示す.最小かぶり厚(C₁)および圧縮強度が 大きいほど、 σ_{n-max} は増加する傾向を示し、横かぶり 厚(C₂)の違いによって σ_{n-max} には差異が無いことから、 σ_{n-max} は最小かぶり厚と圧縮強度に影響することが分 かる.最小かぶり厚と圧縮強度を説明変数、 σ_{n-max} を 目的変数として重回帰分析を行った結果、式(2)に示 す回帰式が得られた.なお、重回帰分析に際して、 かぶり厚は純かぶり厚とした.

$$\sigma_{n-\max} = 0.1916 C_1' + 0.1076 f'_c - 3.9962 , C_1' = C_1 - \frac{\phi}{2}$$

$$(29 \le C_1' \le 64, 22.6 \le f'_c \le 55.6)$$

$$(2)$$

ここで、 σ_{n-max} :単鉄筋最大拘束圧(N/mm²)、 C_l :最小純かぶり厚(mm)、 f'_c : 圧縮強度(N/mm²)、 ϕ :円孔径(mm)である.

図-2 に評価式(2)を実線で示す.評価式(2)は実験値と 良好な一致を示しており、かぶり厚と圧縮強度から σ_{n-max} が評価可能であると考えられる. 図-3にSOシリーズおよびSIシリーズの σ_{n-max}を示した時点からの拘束圧と最小かぶり面のひび割れ幅の関係の一例を示す.全ての試験体において拘束圧はひび割れ幅の増加に伴い指数的に低下する傾向にあることから式(3)のように指数型の関数でモデル化することとした.

$$\sigma_{n} = \exp(-\alpha \cdot W_{cr}) \cdot \sigma_{n-\max}$$

$$\alpha = (-0.4445 \ln C_{2}' + 2.2844) \cdot f_{c}^{\prime 2/3}, \quad C_{2}' = C_{2} - \frac{\phi}{2} \quad (3)$$

$$(29 \le C_{2}' \le 64, \quad 22.6 \le f_{c}' \le 55.6)$$

ここで、 σ_n :単鉄筋拘束圧(N/mm²)、 α :係数、 W_{cr} :ひ び割れ幅(mm)、 C_2 ':横純かぶり厚(mm)である.

図-3 に評価式(3)を実線で示す.全体的な傾向として 評価式(3)と実験値は比較的良好な一致を示した.

3.2 複数の腐食膨張に対する拘束圧の評価

図-4に複鉄筋最大平均拘束圧($\sigma_{n-multi-max}$)と R/C₁の関係 を示す.なお、図中には式(2)より算出した各最小かぶり 厚の σ_{n-max} を破線で示した.同一最小かぶり厚において $\sigma_{n-multi-max}$ は、R/C₁が大きくなるにしたがい、最小かぶり 厚が同じ σ_{n-max} に漸近する傾向を示した.また、R/C₁= 1.00において、 $\sigma_{n-multi-max}$ は σ_{n-max} より小さいため、腐食膨 張圧のコンクリート部への影響範囲は最小かぶり厚を半 径とした円よりも大きいと考えられる.

4. 結論

- 本実験の範囲内では、σ_{n-max}は最小かぶり厚ならびに 圧縮強度に大きく影響する.
- (2) 本実験の範囲内では、 $\sigma_{n-multi-max}$ は最小かぶり厚が同じ σ_{n-max} と比べて小さくなり、 R/C_1 が大きくなるに従っ て、 σ_{n-max} に漸近する傾向を示した.また、腐食膨張 圧のコンクリート部への影響範囲は、最小かぶり厚 を半径とした円よりも大きいと考えられる.
- 謝辞 本研究の一部は、ユニオンツール育英奨学会の研究助成を受け たものである.

参考文献

 原田哲夫ら:静的破砕剤の膨張圧測定法と膨張圧の諸性質,土木 学会論文集, No.478/V-21, pp.91-100, 1993.11