

1. まえがき

膨張性混和材を混入したコンクリートの膨張性状や力学的性質については、今日多くの研究がなされており、これらの諸性質は、コンクリートの配合、膨張材の混和量ばかりでなく膨張を拘束する条件によって非常に相違することがよく知られている。

このような観点から一つの試案として膨張コンクリートを膨張性混和材とコンクリートからなる複合体であると考え、コンクリートの弾性係数などの力学的性質が材令とともに増大すること、膨張コンクリートの内的な構成要素の力学的なつり合い条件などを考慮に入れてモデルを設定し、膨張速度式を求めて膨張コンクリートにおける自由膨張性状と内部機構との関連性などについて考察した。

2. コンクリートの内部機構を考慮した膨張性状の考察と実験方法

膨張材を用いたコンクリートの膨張が拘束される状態にはいろいろな場合が考えられるが、そのうち最も単純で基本的な場合と思われる、鋼棒によって外的に一軸拘束されている柱状体の膨張性状について考える。このような状態の鋼棒と膨張コンクリートを力学的につり合った一つの系とし、膨張コンクリートを膨張の原動力となる膨張材部分と膨張しないコンクリート部分とに分けて、微視的な変化の集約された状態として図-1のように単純化し、膨張部分Xが膨張するとその結果としてX部分およびコンクリートのうちのCの部分に圧縮力を生じ、コンクリートのTの部分と鋼棒Sとに引張力が生じるものとする。いま図-1の各要素が弾性体とみなせる範囲で考えることとして、これを図-2のように4つのばねにおきかえ、そのうちのXは時間とともに自然長が伸びてゆくものとし、またばねCおよびTは、ばね定数が時間とともに増大してゆくものとして導いた膨張ひずみ式^{*}において、今回は鉄筋比 $\rho = 0$ とした無拘束状態におけるひずみ式、

$$\epsilon_0 = \frac{m \cdot \alpha_0}{(1 - \sqrt[3]{m^3})} \cdot \lambda \ln \left[t + \frac{\sqrt[3]{m^3}}{1 - \sqrt[3]{m^3}} \cdot \lambda \right] + \frac{\sqrt[3]{m^3}}{1 - \sqrt[3]{m^3}} \cdot \lambda \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 α_0 = 膨張材部分の膨張速度 (1/日)、 λ = コンクリート部分による拘束の程度を表わすパラメータについて、 α_0 および λ におよぼす膨張材量と水セメント比の影響を実験した。実験に使用した膨張コンクリートの配合は表-1の通りであって、単位水量を一定としてスランプが4~7 (cm) となるようにC S Aの混和量および水セメント比に応じて細骨材率を修正した。供試体は $\phi 10 \times 20$ (cm) の円柱体として $20 \pm 2^\circ \text{C}$ の水中養生を行ない各供試体ごとにセットした1/1000 (mm) 目盛のダイヤルゲージを用いて供試体を水槽中に静置したまま継続的に計測し、ひずみの測定は材令1日を基準として材令2日から開始して材令7日までとし供試体2本について2箇所あって合計4個の測定値を平均して測定結果とした。この実験結果を式-(1)に適用して、実測値と計算値が一致するときの α_0 および λ の値を求めた。

その際の計算手順はつぎのとおりである。与えられた膨張材容積比 m に対して、材令 $t = 2$ 日~7日の6通り、 $\alpha_0 = 0.05 \sim 0.15$ の38通り、 $\lambda = 0.08 \sim 1.0$ の60通りに変化させ、これらを組合せた13680ケースについて式-(1)により膨張ひずみを計算してその一覧表をつくり、計算値と実測値が一致する場合を選び出した。さらにその中か

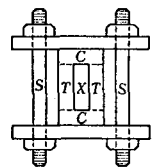


図-1

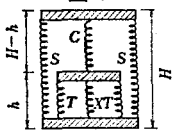


図-2

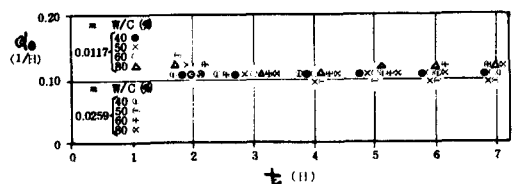


図-3 水セメント比が α_0 と t におよぼす影響

ら α_0 についてはすべての m および t に共通する値を、 λ については一定の m に対してすべての t に共通する値をそれぞれ抽出した。表-2はその結果である。なお式-(1)の計算には電子計算機NEAC-3100を使用した。

3. 膨張ひずみ式の実験による検証

図-3は、外的拘束力の作用しない自由状態の場合について、膨張材の仮想膨張速度 α_0 と材令 t 、膨張材容積比 m 、コンクリートの水セメント比、 W/C の関係を図示したものであって、 α_0 はこれらの諸要因と無関係にほとんど一定の値となっている。

たとえば、 m が0.0117から3.3倍の0.0389になっても材令2日~7日における α_0 の値は0.10から0.12で一定しており、水セメント比が40~80(%)の範囲で変化しても α_0 は変化していない。この実験における膨張材の仮想膨張速度 α_0 は、膨張材容積比4種、水セメント比4種、材令6種、合計96個の測定結果の平均値として、0.11(1/日)がえられた。このことは、膨張速度式を求める際に初期材令における膨張材部分の平均膨張速度を導入しこれが混和量、水セメント比などに無関係であるとした仮定が妥当であったことを示すものと考えられる。

つぎに、表-2から自己拘束係数 λ と膨張材容積比 m 、材令 t (2日~7日平均)、およびコンクリートの水セメント比 W/C の関係を図にしたものが図-4であって、これらによれば、 λ の値は膨張材容積比、水セメント比によって変化するが、表-2からも材令7日までの範囲では材令に無関係であることがわかる。そして図-4は、 m が増大すると λ の値は加速的に増大することなどから膨張材の膨張力とコンクリートの拘束力との力関係によって定まるパラメータであることがわかる。

4. あとがき

膨張材部分の初期の膨張速度 α_0 は、材令、水セメント比、膨張材容積比などの諸要因に無関係な定数であることが明らかになり、この実験では $\alpha_0=0.11$ (1/日)がえられた。また、膨張コンクリート自体に内在する膨張拘束効果は自己拘束係数 λ で表わすことができ自己拘束力が大きいほど λ は小さい。この λ は、材令には無関係であるが膨張材容積比、水セメント比などの要因に関係があるなどの点で理論的な解析結果は実験結果と一致した。

本研究に際し終始ご指導くださった東洋大学工学部教授、岩崎訓明先生に深く感謝致します。
参考文献、氷、コンクリート・ライブラリー、第39号、(P、15~23)、岩崎訓明、坂本信義。

表-1 膨張コンクリートの配合

水量 W (kg/m ³)	水セメント比 W/C (%)	セメント量 C (kg/m ³)	細骨材率 S/A (%)	C S A の 混 合 量				容積比 (m)
				CSA/C (%)	CSA/A (%)	CSA/C+CSA/A (%)	CSA (kg/m ³)	
190	40	475	45.0	0	0	0	0	0
			44.0	7.2	6.7	34.2	0.0117	
			43.3	12.0	10.7	57.0	0.0195	
			42.7	16.0	13.8	76.0	0.0295	
			41.4	24.0	19.4	114.0	0.0389	
190	50	380	45.0	0	0	0	0	0
			44.0	9.0	8.3	34.2	0.0117	
			43.4	15.0	13.0	57.0	0.0195	
			42.8	20.0	16.7	76.0	0.0295	
			41.6	30.0	23.0	114.0	0.0389	
190	60	317	45.0	0	0	0	0	0
			44.1	10.8	9.7	34.2	0.0117	
			43.4	18.0	15.0	57.0	0.0195	
			42.9	24.0	19.0	76.0	0.0295	
			41.7	38.0	26.5	114.0	0.0389	
190	80	238	45.0	0	0	0	0	0
			44.1	14.4	12.6	34.2	0.0117	
			43.5	23.9	19.3	57.0	0.0195	
			42.9	31.9	24.2	76.0	0.0295	
			41.8	47.9	32.4	114.0	0.0389	

表-2 計算結果から抽出した α_0 と λ の値

m	t	$W/C=40\%$		$W/C=50\%$		$W/C=60\%$		$W/C=80\%$	
		α_0	λ	α_0	λ	α_0	λ	α_0	λ
0.0117	2	0.11	0.14	0.12	0.15	0.11	0.23	0.12	0.50
	3	0.11	0.10	0.11	0.12	0.11	0.23	0.11	0.49
	4	0.11	0.09	0.10	0.12	0.11	0.22	0.12	0.40
	5	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.22	0.12	0.35
	6	0.11	0.09	0.10	0.10	0.11	0.22	0.12	0.40
	7	0.11	0.09	0.10	0.10	0.11	0.21	0.12	0.40
	2~7日平均値	0.11	0.10	0.11	0.12	0.11	0.22	0.12	0.42
0.0195	2	0.13	0.19	0.13	0.26	0.12	0.25	0.11	1.70
	3	0.13	0.17	0.12	0.25	0.14	0.27	0.11	1.90
	4	0.12	0.18	0.12	0.24	0.12	0.28	0.11	1.80
	5	0.12	0.18	0.11	0.25	0.11	0.26	0.11	1.66
	6	0.11	0.17	0.11	0.23	0.12	0.27	0.11	1.47
	7	0.11	0.18	0.12	0.23	0.12	0.27	0.11	1.40
	2~7日平均値	0.12	0.18	0.12	0.24	0.12	0.27	0.11	1.66
0.0259	2	0.11	0.36	0.13	1.06	0.12	1.50	0.11	2.12
	3	0.11	0.34	0.11	1.03	0.11	1.55	0.11	2.20
	4	0.11	0.33	0.10	1.05	0.11	1.50	0.11	2.11
	5	0.11	0.35	0.10	1.02	0.11	1.60	0.11	2.30
	6	0.11	0.37	0.10	1.02	0.12	1.45	0.11	2.40
	7	0.11	0.35	0.11	1.01	0.11	1.50	0.11	2.60
	2~7日平均値	0.11	0.35	0.11	1.03	0.11	1.50	0.11	2.29
0.0389	2	0.12	1.40	0.13	1.70	0.12	2.60	0.11	3.00
	3	0.11	1.54	0.11	1.94	0.11	2.70	0.11	3.00
	4	0.11	1.59	0.10	2.07	0.11	2.65	0.11	3.10
	5	0.11	1.80	0.10	2.17	0.11	2.80	0.11	3.30
	6	0.12	1.70	0.11	2.00	0.11	2.50	0.11	4.30
	7	0.11	1.80	0.10	2.10	0.12	2.55	0.12	6.10
	2~7日平均値	0.11	1.64	0.11	2.00	0.11	2.63	0.11	3.80

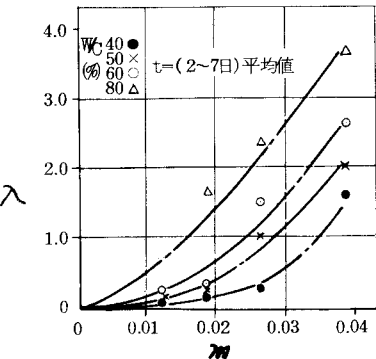


図-4 水セメント比が λ と m におよぼす影響