Ⅳ－94　　蒸気養生したコンクリートの引張特性

小野田セメント中央研究所　正員　　河野　清
〃　　正員　○　大塩　明
〃　　　　江村建三

Ⅰ、まえがき

近年建設工事の急速施工が要望され橋の床版,桁,橋脚など曲げや引張り変形を受ける部材にも鉄筋コンクリート工場製品が使われている。杉木[1]はコンクリートの打ち込み中には動的引張りひずみ107～279×10⁻⁶生じると報告している。ここでは工場製品を対象に蒸気養生したコンクリートの動弾性係数,曲げ引張りひずみ,曲げ強度を測定し標準養生コンクリートの値と比較検討した。

Ⅱ,実験の概要

1. 使用材料,　セメントは普通と早強ポルトランドセメントの2種類,砂利は安倍川産で最大寸法15mm,F.M.=6.51,比重2.64のもの,砂は荒川産でF.M.=2.81,比重2.62のものを用いた。混和剤は使用しなかった。

1表　コンクリートの配合

	セメント (kg)	水 (kg)	w/c (%)	s/a (%)	砂 (kg)	砂利 (kg)
普通セメント	350	160	45.7	42	786	1,097
	450	168	36.9	40	707	1,072
早強セメント	350	166	47.4	42	796	1,089
	450	176	39.1	40	697	1,057

2. コンクリートの配合,　1表に示した4種類のコンクリートについて試験した。各配合とも実測スランプは4.5～5.5cmであった。

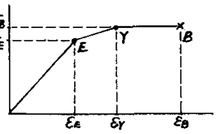
3. 供試体の成形および養生方法,　供試体の型わくはすべて10×10×40cmを用いコンクリートを一層に詰め約7,500rpmの振動数を持つ棒状振動機を用いて締固めた。打設温度はすべて20℃である。標準養生の他に最高温度65℃と80℃の蒸気養生を行なった。蒸気養生は65℃,80℃とも前養生2時間,温度上昇3時間(65℃の場合15℃/hr,80℃の場合20℃/hr),最高温度保持時間2時間,以後材令1日まで徐冷し脱型した。脱型後は所定材令まで20℃水中養生を行なった。

4. 試験方法,　所定材令の1日,7日および28日で曲げ振動による動弾性係数を測定し,その後4時間室温で自然乾燥させた供試体の引張側底面のスパン中央にゲージ長60mmの抵抗線ひずみ計1枚をパラフィンを用いて貼布した。ひずみの測定は手動切り替え式ひずみ指示計を用いた。供試体への載荷はスパン30cmの3等分点載荷でその速度は0.2kg/cm²/sec.である。高応力になりクリープ現象が認められると一定荷重下でクリープがほぼ止まるまでひずみを測定した。圧縮強度は曲げ供試体の切片を用いた。すべてのデーターは供試体3本の平均値であるが,ひずみ値はゲージ外で破断したものは除外した。

Ⅲ,実験結果と考察

応力・ひずみ曲線は配合,材令,養生方法またゲージ標点と破断面の位置との関係などにより種々の形状を示したが概略は1図の通りである。弾性限界Eは標準養生で材令1日の弱いコンクリートの場合σ_E/σ_B=0.6前後でε_Eは0.6～0.7×10⁻⁴,他の強度の大きなコンクリートはσ_E/σ_B=0.8前後でε_Eは1.1～1.7×10⁻⁴であった。降伏点Yから破断点Bまでは強度の小さいコンクリートは急速にクリープ

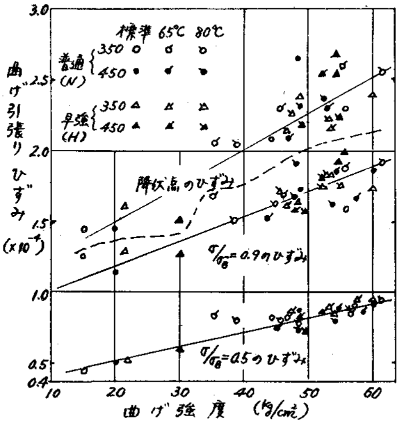
1図　応力・ひずみ曲線の概略図



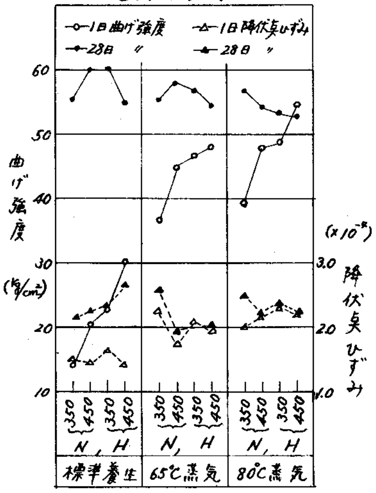
して破断したが、強度が強くなるとクリープは緩慢でH-450-65℃のコンクリートの28日材令の場合は$\varepsilon_Y=2.0\times10^{-4}$から$\varepsilon_B=6.1\times10^{-4}$まで4分程度かかって破断した。すべての供試体における破断ひずみε_Bの範囲は3.0〜8.0×10^{-4}であったが測定のバラツキが大きいこと、また「コンクリートの伸び能力の最大値は破断局部の降伏点ひずみに等しい」[2]という考えに基ずきあまり重要視しなかった。

2図に曲げ強度とひずみの関係を、3図には材令1日と28日の配合と養生方法の相違による曲げ強度と降伏点ひずみを図示した。

2図. 曲げ強度とひずみの関係



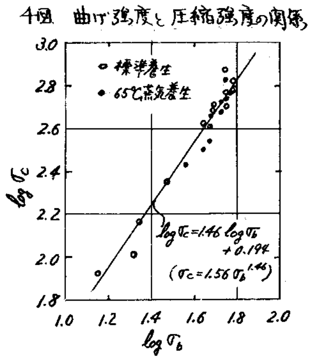
3図. 材令1日と28日の曲げ強度と降伏点ひずみ



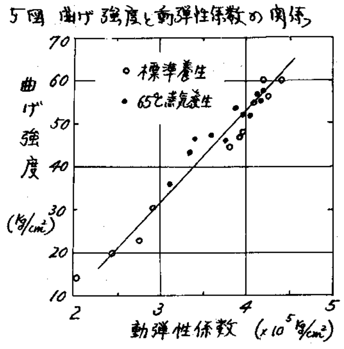
2図によれば曲げ強度が増加するにつれて曲げ引張りひずみも増加することを示している。$\sigma/\sigma_B=0.5$以下の低応力のひずみは曲げ強度によって大きな差はないが$\sigma/\sigma_B=0.9$以上の高応力になると強度の大きいコンクリートほどひずみが大きくなる傾向を示している。これは粗骨材とモルタル部分がはく離したのち、粗骨材とモルタルのかみ合う抵抗が高強度コンクリートほど大きくなり、そのため塑性ひずみが増加したものと思われる。3図によると材令1日の曲げ強度は養生条件にかかわらずN-350, N-450, H-350, H-450の順に増大する。また同一配合の場合蒸気養生することにより曲げ強度で18〜27kg/cm²、圧縮強度で180〜270kg/cm²と大幅に増大される。また80℃の蒸気養生コンクリートは65℃の蒸気養生コンクリートより曲げ強度で3〜5kg/cm²、圧縮強度で30〜50kg/cm²大きかった。しかし材令28日になると強度差の大きさは小さいが、材令1日における傾向と正反対の様相を示した。

同一養生条件で同一材令の場合、降伏点ひずみの配合による明らかな差はないように思われる。材

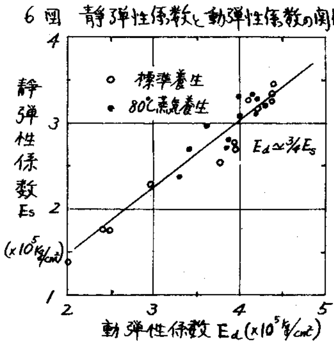
4図 曲げ強度と圧縮強度の関係



5図 曲げ強度と動弾性係数の関係



6図 静弾性係数と動弾性係数の関係

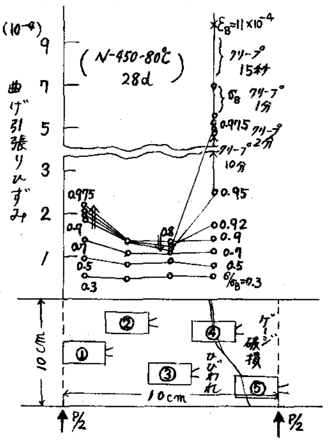


令1日の降伏点ひずみは蒸気養生することにより標準養生のそれより0.3~0.8×10⁻⁴程度増大するが，材令28日ではむしろ標準養生コンクリートの降伏点ひずみの方が蒸気養生のそれよりわずかに大きくなる。蒸気養生した場合材令1日以降の水中養生による曲げ引張りひずみの増加は弾性限界ひずみ，降伏点ひずみともほとんど認められなかったが標準養生の場合は材令1日から7日にかけてこれらのひずみは増加し以後横ばい状態となった。

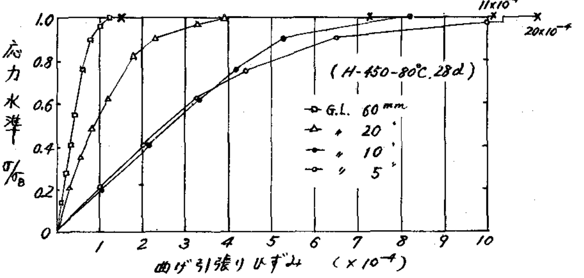
4図に曲げ強度と圧縮強度，5図に曲げ強度と動弾性係数の関係を6図には応力・ひずみ曲線の $\sigma/\sigma_B=0.5$ から求めた静弾性係数と動弾性係数の関係を標準養生したコンクリートと蒸気養生したコンクリートで比較して図示した。これらの結果をみると蒸気養生したコンクリートと標準養生したコンクリートの間に差はないように思われる。つまり養生方法にかかわらず圧縮強度－曲げ強度－動弾性係数－静弾性係数の関係は一定である。

次に60mmのゲージ長で測定したひずみ値の意義について考えてみる。良く知られているように引張り応力でコンクリートが破断する場合はひびわれの発生した弱点にのみ応力が集中してその局部のひずみのみ増大する。7図にその様子を示す。引張り底面にゲージ長20mmのゲージ(①~⑤)を貼布し，ひびわれがいずれかのゲージにかかるようにした。応力水準 $\sigma/\sigma_B=0.82$ までは各ひずみとも均一に増加していたが，それより高応力になるとゲージ④のひずみが大きく増加し，③のゲージのひずみは逆にわずかに減少していった。弾性限界以下の応力水準ではひずみは供試体に均一に分散するためゲージの長さに関係なくひずみの測定値は同じであるが，応力集中局部のひずみ量はゲージの長さによって8図のように異なった値となって測定される。8図は引張り底面に幅1mm，深さ10mmの切り欠きを入れその上にゲージ長の異なる4種のゲージを貼布して測定した値である。ゲージ長10mm以下ではひずみの測定値に差はほとんどない。

7図，応力集中とひずみ分布図



8図，応力集中局部のゲージ長とひずみの関係



曲げ引張りの応力集中局部の挙動は単純引張りのそれと異なり複雑難解であるが，集中局部の大きさ(l)を8図の結果から10mmと仮定するとゲージ長(L_i) 60mmによる降伏点の測定値(ε_Y)から応力集中局部内の伸びひずみ(ε)が(1)式[3]から推定できる。

$$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l}=\begin{cases}\frac{L_i}{l}(\varepsilon_Y-\bar{\varepsilon})+\bar{\varepsilon} & ,\ L_i>l\\ \varepsilon_Y & ,\ L_i<l\end{cases}\quad\cdots\cdots(1)$$

$\sigma/\sigma_B>0.9$ では7図に示す通り応力集中局部外のひずみは大きな変化がないので $\bar{\varepsilon}$ は $\sigma/\sigma_B=0.9$ のゲージ長60mmによる測定値とした。2表にはゲージ長60mmのゲージで実測した弾性限界ひずみ(ε_e)と降伏点

ひずみ(ε_Y),および(1)式から計算したεを示す。2表によると60mmのゲージによる降伏点の実測ひずみは$1.38 \sim 2.70 \times 10^{-4}$であるが,それに対応する応力集中局部のひずみは$2.23 \sim 7.68 \times 10^{-4}$である。

2表　ゲージ長60mmによる実測ひずみと局部の計算によるひずみ

($\times 10^{-4}$)

	N-350-標準			N-350-65°C			N-350-80°C			N-450-標準			N-450-65°C			N-450-80°C		
材令	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日
弾性限界 ε_e	0.55	1.33	1.38	1.43	1.49	1.46	1.40	1.56	1.61	0.72	1.56	1.44	1.40	1.42	1.28	1.34	1.28	1.32
降伏点 ε_Y	1.47	2.07	2.18	2.25	2.27	2.62	2.03	1.87	2.50	1.42	2.35	2.25	1.72	2.11	1.92	2.15	2.25	2.20
局部 ε	2.22	4.87	5.38	5.15	5.08	6.27	4.58	3.12	4.50	2.87	6.70	4.35	2.77	3.41	3.47	3.40	5.05	5.50

	H-350-標準			H-350-65°C			H-350-80°C			H-450-標準			H-450-65°C			H-450-80°C		
材令	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日	1日	7日	28日
弾性限界 ε_e	0.68	1.48	1.58	1.49	1.35	−	1.68	1.52	1.56	1.05	1.32	1.45	1.55	1.12	1.36	1.57	1.36	1.40
降伏点 ε_Y	1.65	2.68	2.26	2.10	2.25	−	2.32	2.00	2.36	1.38	2.55	2.70	1.92	2.76	2.03	2.15	2.17	2.15
局部 ε	3.30	7.68	4.90	4.45	4.15	−	5.52	4.40	6.36	2.23	5.30	6.70	3.52	7.31	4.63	4.30	5.22	4.65

Ⅳ. まとめ

1、蒸気養生することにより材令1日の降伏点ひずみは標準養生コンクリートのそれより$0.3 \sim 0.8 \times 10^{-4}$程度増大するが,材令28日ではむしろ標準養生の方が蒸気養生のそれより大きくなる。

2、ひずみ値は曲げ強度が増加するにつれて大きくなるが40kg/cm²以上になるとあまり増大しない。

3、高強度コンクリートのひずみが低強度コンクリートより大きくなるのは塑性ひずみの増加によるものである。

4、セメント量やセメントの種類による強度差は明確であるが,ひずみ値はほとんど差がない。

5、材令1日の曲げ強度は標準養生,蒸気養生ともN-350, N-450, H-350, H-450,の順で大きくなるが材令28日ではこれと正反対の様相を示す。

6、蒸気養生したコンクリートの材令1日以降のひずみの増加はほとんど認められない。一方標準養生の場合は材令1日から7日にかけて増大するが7日以降はほぼ横ばいである。

7、圧縮強度と曲げ強度の関係,ならびに曲げ強度と弾性係数の関係は蒸気養生コンクリートと標準養生コンクリートとで差はない。

8、ゲージ長60mmのゲージで測定した応力集中局部の降伏点ひずみ$1.4 \sim 2.7 \times 10^{-4}$からそれに対応する応力集中局部のひずみを推定すると$2.2 \sim 7.7 \times 10^{-4}$となる。

9、曲げ引張り破断域の塑性挙動は単純引張りと異なり複雑である。そのため弾性限界以降は見かけのひずみを測定していることになる。曲げ引張りを受けるコンクリートの真の伸びひずみの推定は別の機会にやりたい。

参考文献

1)　杉木六郎,　セメントコンクリート　1960, No.165,　P.P. 27-28

2)　波木　守,　小野田研究報告　1964, 16 [61]　P.P. 37-44

3)　波木　守他2名,　セメントコンクリート　1963, No.202　P.P. 20-24