

PSV-25 100℃を越える高温下に曝される鉄筋コンクリート部材の長期変形状

電力中央研究所 正会員 ○ 金津 努
電力中央研究所 正会員 石田 博彰
電力中央研究所 正会員 中野 毅弘

1. まえがき

筆者等は、これまで高温に曝されることを想定して設計される原子力発電所の鉄筋コンクリート（RC）構造施設を対象として、100℃を越える高温に曝されるRC部材の力学的特性を把握するための研究を実施している。高温下では、①コンクリート、鉄筋の物性が温度に依存して変化すること、②鉄筋とコンクリート間の熱膨張係数の差を考慮する必要があること、③特異な温度荷重挙動を示すこと等を明らかにした。¹⁾²⁾³⁾

本研究は、高温下のコンクリートのクリープや乾燥収縮が著しいことから、この影響が大きいと考えられるRC部材の長期変形に関する実験を行った結果を取り纏めたものである。

2. 実験概要

供試体の諸元、形状・寸法、実験の状況を図-1および表-1に示す。常温下、高温履歴（所定温度定常状態を2日間保持）を受けた後の常温下、高温下の各条件におけるRC部材の長期曲げ変形状の相違を検討したものである。また、曲げクリープ試験終了後曲げ破壊実験を行った。供試体の鉄筋比は全て0.57%で、コンクリートの物性を表-2に示す。

測定項目は、供試体の温度、圧縮側と引張側のコンクリートひずみ（ひずみから曲率を計算）および載荷荷重である。

3. 実験結果の検討

3.1 昇温時の曲率変化； 温度を賦与した供試体の曲率変化を図-2に示す。H-100とH-200供試体は、一定荷重を載荷したままで加熱した。既報のように、²⁾各NH-000供試体では断面が均一高温状態で曲率が生じている。RC部材の圧縮、引張側ともに昇温に伴って膨張するが、鉄筋の熱膨張係数がコンクリートに比較して大きいため、

100℃を越えるところから引張側の膨張量が大きくなり、結果として曲率が生じ始める。NH-200、NH-300供試体では、熱膨張係数の差に起因する内部応力によるひびわれの発生が推定された。一方 H-000供試体では、昇温前にモーメント載荷によりひびわれが発生していることもあるが、昇温に伴う曲率の増加はNH-000供試体に比較してはるかに大きい。ひびわれのある H-000供試体では、熱膨張係数の差に起因する内部応力による曲率増加は、NH-000供試体に比較すれば大きくなることが推測されるが、概略的には、両実測値間の差がクリープによって生じたものとみなすことができる。H-000供試体では、圧縮、引張両側の膨張ひずみは昇温に伴って増加するが、引張

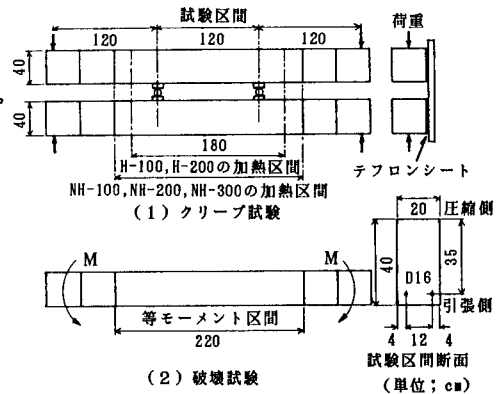


図-1 供試体の形状・寸法および実験状況

表-1 温度条件と載荷日数

供試体	履歴温度	クリープ試験時温度	クリープ試験継続日数
N-B	常温	常温	850日
NH-100	100℃	常温	850日
NH-200	200℃	常温	234日
NH-300	300℃	常温	234日
H-100	100℃	100℃	410日
H-200	200℃	200℃	403日

表-2 コンクリートの物性

供試体	コンクリートの物性				備 考
	f'c	ft	fb	E _c	
N-B	420	33.4	46.2	3.53	4 普通
	468	32.6	54.1	3.00	材令1189日(普通)
NH-100	394	32.5	46.5	3.67	4 普通
	414	28.2	49.3	2.58	材令1185日(100℃までの履歴値を含む)
NH-200	414	35.5	47.1	3.60	4 普通
	380	24.8	40.0	2.07	材令 388日(200℃までの履歴値を含む)
NH-300	405	33.6	48.8	3.72	4 普通
	333	18.3	29.5	1.32	材令 481日(300℃までの履歴値を含む)
H-100	429	37.9	54.9	3.96	4 普通
	525	33.3	57.6	3.24	材令 548日(普通)
H-200	443	37.0	52.3	4.01	4 普通
	470	34.9	62.7	3.17	材令 531日(普通)

f'c: 圧縮強度(kgf/cm²) ft: 引張強度(kgf/cm²) fb: 曲げ強度(kgf/cm²)
E_c: 弾性係数(10⁵ kgf/cm²)

側ひずみの伸びは圧縮側に比較するとはるかに大きく、H-200供試体では、100℃を越えると圧縮側ひずみは縮み始め、200℃定常状態では昇温前に比較して縮んだ状態になった。100℃まで温度段階でも、圧縮側の膨張ひずみの増加はNH-000供試体を加熱した場合に比較すればかなり小さく、引張側ひずみの増加は反対にかなり大きかった。載荷後に昇温される場合には、短期間にかなり大きなクリープ変形が生ずることが明らかとなった。

3.2 長期曲げ変形状； 各供試体の長期曲げ変形状の実験結果および各状態での温度、荷重、曲率を、それぞれを図-3および表-3に示す。NH-000供試体は載荷直後を、H-000供試体は載荷・昇温後の温度定常時点をそれぞれ原点としている。載荷荷重は載荷期間中約2 tf-mを保持するように制御したが、徐々に増加し2.3 tf-mまで上昇し、また、NH-200、NH-300以外の供試体では、実験終盤に2.5 tf-mまで上昇した。傾向が異なる実験値はこの影響によるものである。

これらの図、表から明らかなことは、① 200℃以上の温度履歴を受けた場合には、その後のクリープ変形はほとんど進行しない。② 高温状態ではクリープ変形は比較的早く進行してほぼ定常の状態に到る。③ H-200供試体では、H-100供試体に比較して昇温中のクリープ変形が大きいため、温度定常後の長期クリープ変形は小さい。しかし、昇温開始時からの量で比較すればH-200

供試体の方が大きい。

④ モーメント載荷後からのクリープ変形量を温度賦与条件ごとに比較すると、H-000供試体が最も大きい。以上、温度の賦与条件によりRC部材の長期変形状は大きく影響を受けることが確認された。

3.3 終局強度と変形能； 各供試体の

終局強度と変形能および終局強度の計算値を表-4に示した。表から明らかなように、長期間持続荷重を受けた後のRC部材の終局強度は、賦与された温度条件に拘らず短期の場合に比較してあまり低下することはない、また、終局変形能も載荷期間に影響されないと考えられる。

【参考文献】 1) 金津 他：100℃を越える高温下におけるコンクリート・鉄筋コンクリートの力学的性質、電力土木 No. 202, 1986年5月 2) 大島 他：昇温に伴う鉄筋コンクリート部材の内部ひずみの評価、土木学会第40回年次講演要録、1985年9月 3) 金津 他：鉄筋コンクリート部材の温度力学挙動、コンクリート工学会論文報告集、第10巻、第3号、1988年

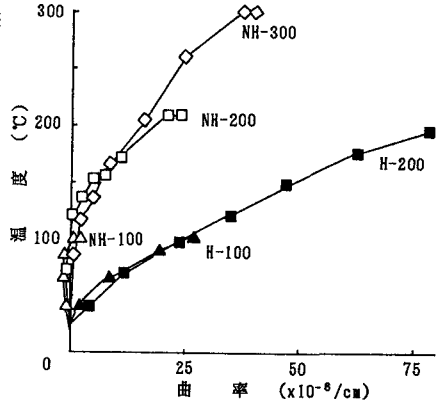


図-2 昇温時の曲率変化

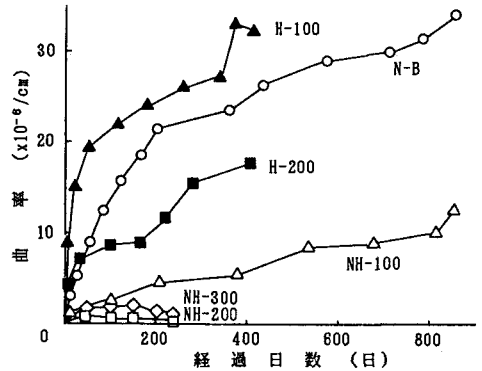


図-3 長期曲げ変形状

表-3 各状態での温度、荷重、曲率

供試体	状態	温度履歴の賦与		荷重載荷：1回目		2回目		試験終了時	
		温度(℃)	荷重(tf-m)	温度(℃)	荷重(tf-m)	温度(℃)	荷重(tf-m)	温度(℃)	荷重(tf-m)
N-B	昇温	—	—	0	1.93	0	2.38	2.50	0
	定常	—	—	0	6.6	1.6	13.5	47.6	26.4
NH-100	昇温	常温	100.5	常温	常温	常温	常温	常温	常温
	定常	0	0	0	1.93	0	2.38	2.50	0
NH-200	昇温	0	2.0	3.4	0/3.4	10.2/13.6	2.2/5.6	19.8/23.2	32.3/35.7
	定常	0	0	0	2.05	—	—	—	—
NH-300	昇温	0	23.2	22.3	0/22.3	21.1/43.4	—	—	—
	定常	0	0	0	2.05	—	—	—	—
H-100	昇温	0	40.4	25.8	0/25.8	26.6/52.4	—	—	—
	定常	—	—	—	—	—	—	—	—
H-200	昇温	—	—	—	—	—	—	—	—
	定常	—	—	—	—	—	—	—	—

表-4 終局強度と変形能

供試体	終局耐力 実測値 (tf-m)	終局耐力 計算値 (tf-m)	終局変形能 実測値 (×10 ⁻⁶ /cm)
N-B	6.76	5.38	819
NH-100	6.88	5.37	953
NH-200	6.70	5.38	966
NH-300	6.25	5.38	829
H-100	6.52	5.39	768
H-200	6.20	5.39	794

* 計算値は4週のf_cを用いた。