

電力中央研究所 正会員 青 柳 征 夫
防 衛 大 学 校 正会員 佐 藤 良 一
電力中央研究所 正会員 金 津 努

1. ま え が き

著者らは、鉄筋とコンクリートの間の付着特性に基づく鉄筋コンクリート（RC）部材の変形ひびわれ解析法の確立を目途して解析法の精度の改善をはかるとともに、その適用範囲の拡大に努めてきた。前報までは、一様低温あるいは低温下で温度勾配を受ける場合のRC部材を主たる解析対象としてきたのであるが、これは低温下では鉄筋とコンクリートの間の付着効果が顕著になり、RC部材の変形問題の本質を究明するのに便利であったからである。一方、格納容器、サイロ、煙突、海中貯油タンク等のRC構造物においては高温領域で壁内外面の間に温度差が生ずるので、このような場合における本解析法の適用性を検討しておく必要がある。本報告は、著者らの解析手法を高温領域で温度勾配を与えたRC部材の応力・変形解析に応用し、解析結果と実験値を比較して考察したものである。

2. RCはりの実験条件と解析仮定

解析の対象としたRC部材は、全長380cm、試験区間長さ210cm、断面寸法20cm（巾）×40cm（高さ）のもので、低温側を-10℃とし、高温側を最高90℃として最大約100℃の温度差をはりの高さ方向に与え、曲げ変形を拘束するように外力モーメントを作用させたものである。実験は温度勾配による拘束モーメントのみを受ける場合および外力モーメントとともに温度勾配拘束モーメントを受ける場合を想定して行なった。表-1に示すように、鉄筋比および軸力の有無をパラメーターとした4体のRCはりを試験に供した。試験方法の詳細については文献〔1〕を参照されたい。

表-1 試験体の諸元

Specimens	Percentage of steel (%)	Axial compressive stress (kg/cm ²)	Compressive strength of concrete (kg/cm ²)	Modulus of elasticity (x10 ⁵ kg/cm ²)
H-1	0.57	0	557	3.75
H-2	1.13	0	508	3.24
H-3	0.57	50	550	3.72
H-4	1.13	50	567	3.45

解析の基本となる付着すべり関係式は、鉄筋位置での温度および温度勾配による水分移動を考慮し、飽水状態と気乾状態の間にあるものとして、温度依存性を考慮した。コンクリートの弾性係数の温度依存性を考慮したが、応力・ひずみ関係は線形であるとし、クリープの影響は無視した。解析手法については前報〔2〕、〔3〕を参照されたい。

解析の基本となる付着すべり関係式は、鉄筋位置での温度および温度勾配による水分移動を考慮し、飽水状態と気乾状態の間にあるものとして、温度依存性を考慮した。コンクリートの弾性係数の温度依存性を考慮したが、応力・ひずみ関係は線形であるとし、クリープの影響は無視した。解析手法については前報〔2〕、〔3〕を参照されたい。

3. 解析結果と実験値の比較

図-1は、温度勾配のみを与えた場合の温度差（ ΔT ）と鉄筋応力度の関係を示したものである。解析値と実測値は、定量的な観点からみてもかなりよい一致をみせており、とくに、鉄筋比の小さいH-1はりでは、ひびわれ発生後 ΔT が増加しても σ_s は一定値を保持するという特性が解析結果からも確認されている。すなわち、Noakowski〔4〕が提唱しているように、ひびわれの数が増加してゆくいわゆる“不安定領域”では、拘束モーメントをひびわれモーメントに等しいとして取り扱っても実用上問題のないことがわかる。また、H-3、H-4のはりの σ_s の値より、軸圧縮力が σ_s の増大を効果的に抑制していることも認められる。

あらかじめの σ_s に換算して1,600 $\frac{kg}{cm^2}$ の外力モーメントを与えた後、 ΔT を賦与したときの σ_s の推移をH-1お

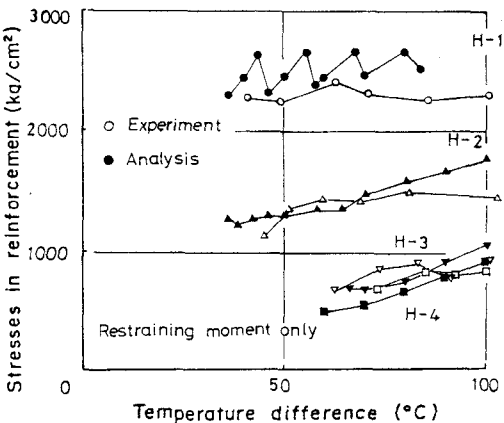


図-1 温度差と鉄筋応力度の関係

よびH-2はりについて図-2に示した。この場合も4Tが60℃程度までは解析値と実測値が非常によい一致をみせている。これより大きな温度勾配の領域で両者の差が開いてくるのは、次第に材料の非線形性が卓越してくるためであると思われる。温度勾配だけが与えられた場合とは異なり、ひびわれの数が一定となるいわゆる“安定領域”に入ると、4Tの増加とともに σ_s も単調に増大している。CEB, ACI等の曲げ剛性評価式は、ひびわれモーメントより大きなモーメントに対してのみ適用が可能である。しかし、本解析法では、例えば、H-1では、 $\sigma_s = 1,600 \sim 2,300 \text{ kg/cm}^2$ までの σ_s の評価が可能であって、ひびわれモーメント時の $\sigma_s = 2,300 \text{ kg/cm}^2$ よりも低いモーメントでの解析が可能である。

同じく外力モーメントと温度勾配を受けたときの平均ひびわれ幅の解析値と実測値の比較を図-3に示した。鉄筋比の大きいH-2およびH-4については、両者が非常に一致をみせているが、鉄筋比の小さいH-1およびH-3では、解析値がかなり大き目のひびわれ幅を与えている。これは、鉄筋比が小さいとひびわれ本数が少なく、実測ひびわれ幅から平均値を算出する際に誤差が大きくなり易いこと、このためにひびわれ本数を実測と解析で一致させるのが難しく、この場合には、解析によるひびわれ本数が実測に比べ少なかったことなどが主たる原因であったと考えられる。鉄筋比の小さい場合のひびわれ幅の算定については、統計的な処理も含めて今後の重要な検討課題である。

温度応力を外力荷重に含めて考慮する現状の設計体系の下では、ひびわれ発生後の剛性を適切に定めることが肝要であるので、 $\sigma_s = 2,000 \text{ kg/cm}^2$ および $3,000 \text{ kg/cm}^2$ の場合について曲げ剛性残存率（ひびわれ発生後の曲げ剛性を全断面を有効とする弾性剛性で除した値）の解析値と実測値の比較を表-2に示した。本解析法によれば、かなりのよい精度で剛性残存率の評価を行なえることがわかる。とくに、H-1はりの $\sigma_s = 2,000 \text{ kg/cm}^2$ は、ひびわれモーメント時の鉄筋応力度を下回っているが解析値が良好な評価を与えていることは注目に値するといえよう。

あとがき 今後は、さらに本解析法の改良を図り、限界状態設計法における変形ひびわれ限界状態としての温度応力の位置づけを明確にしてゆきたい。

参考文献 [1] 青柳・金津 “高温下で温度勾配を受けるRC部材の曲げ剛性” セメ技年報, 46 3 4, 昭55年, [2] 佐藤・青柳・内田 “付着に基づいたRC曲げ部材の変形解析理論の定式化について, 土講34回, 昭54年, [3] 佐藤・青柳・金津 “RC部材の温度勾配による変形拘束モーメントの解析法に関する研究” 土講, 35回, 昭55年, [4] P. Noakowski “Praxisgerechtes Verfahren far die Bemessung von Stahlbetonbauteilen bei Zwangbeanspruchung” Beton-Stahlbeton, 1980, April.

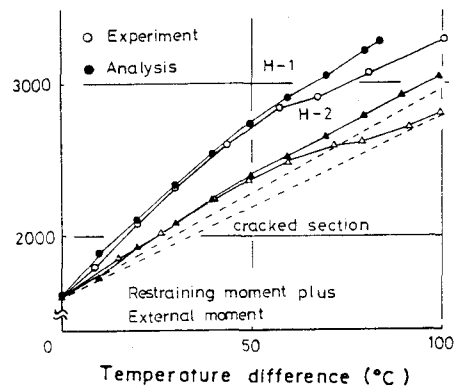


図2 温度差と鉄筋応力度の関係

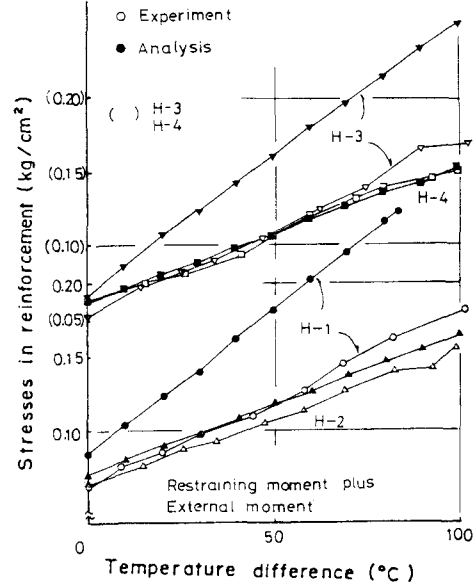


図3 温度差と鉄筋応力度の関係

表-2 鉄筋応力度と剛性残存率

Specimens	Flexural Rigidity Index			
	$\sigma_s = 2000 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_s = 3000 \text{ kg/cm}^2$	
	Experiment	Analysis	Experiment	Analysis
H-1	0.305	0.300	0.235	0.260
H-2	0.435	0.435	—	0.395
H-3	0.477	0.535	0.395	0.430
H-4	0.550	0.540	0.375	0.460

σ_s : Stress in reinforcement