

極低温下における鉄筋コンクリートばりのねばりに関する一実験

東北大学 学生員 〇渡部直人

東北大学 正 員 三浦 尚

東北大学 学生員 小川由信

1. まえがき

近年、LNGの導入が本格化するにつれて、地下式貯蔵タンクが各地に建設されている。これらのタンクの主要な部分を構成する鉄筋コンクリート部材は、極低温下において、コンクリートと鉄筋の強度が温度の低下とともに増大するため部材自身の強度も増加し、外力を受けたときの変形、さらには破壊に至るまでの諸性状についても常温時とは異なったものを示す。この点を解明するため当研究室ではこれまでに単鉄筋ばりについての一連の研究を行ってきたが、今回は複鉄筋ばりとし、また曲げ区間にスターラップを入れて載荷試験を行ない、ばりのねばり、終局強度、断面のひずみ分布などに関して調査し、若干の考察を加えた。

2. 実験材料及び配合

セメントは早強ポルトランドセメント、細骨材は宮城県白石川産川砂（比重 2.52，吸水率 2.50 %）、粗骨材は宮城県丸森産砕石（比重 2.86，吸水率 0.76 %）を使用した。配合は、単位セメント量 388 kg， $W/C = 50\%$ ， $S/A = 38\%$ であり、減水剤（チューポールC）を使用した。ばりの主鉄筋には、市販の横フシ異形鉄筋（SD 30；D 22，D 19）を用い、スターラップには SR 24， $\phi 9$ の丸鋼を使用した。

3. 実験方法

R/C ばりの形状寸法を図-1に示す。ばりは水中養生と気乾養生に分けて、鉄筋比（ $\rho = 4.55\%$ ， $\rho' = 2.25\%$ ）を一定とし、3種類の曲げスターラップ配置（配置しない、17 cm ピッチ、5 cm ピッチ）のものを作成し、材令 14～16 日で4種類の温度（常温、 -50°C 、 -100°C 、 -150°C ）について載荷試験を行なった。載荷は3等分2点載荷とし、コンクリートのひずみ、スパン中央のためみ、温度を測定した。ばりは低温槽内で所定の温度まで徐冷し、4個の熱電対の温度差が6℃以内になるように調整した。ためみは槽外のためみ測定装置に取りつけたダイヤルゲージで測定した。

4. 実験結果及び考察

(1) 終局曲げモーメントについて

実験と計算から終局曲げモーメント M_u を求める両者の比較を行なった。結果の一例を表-1に示す。計算は Hognestad の理論に従ったが、極低温下では上縁圧縮ひずみ $\epsilon_u = 3000 \times 10^{-6}$ で破壊するという仮定が成り立たないので、 ϵ_u として曲率から求めた値を用いた。結果によると、実験値（ $M_{u,exp}$ ）と計算値（ $M_{u,cal}$ ）はほぼ一致したが、水中養生・気乾養生のいずれの場合も試験温度が低くなるほど、計算値が実験値に比べ

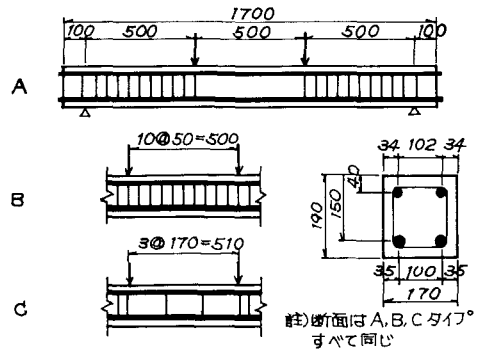


図-1. 供試体寸法及び断面（単位 mm）

表-1. 終局曲げモーメントの実験値と計算値の比較の一例（水中養生）

温度 種類	常 温			-100°C		
	$M_{u,exp}(\text{t}\cdot\text{m})$	$M_{u,cal}(\text{t}\cdot\text{m})$	$M_{u,exp}/M_{u,cal}$	$M_{u,exp}(\text{t}\cdot\text{m})$	$M_{u,cal}(\text{t}\cdot\text{m})$	$M_{u,exp}/M_{u,cal}$
A	5.90 (6.03)	5.41	1.09 (1.11)	7.53 (7.95)	7.96	0.95 (1.00)
B	5.68 (5.78)	5.41	1.05 (1.07)	8.55 (8.10)	7.96	1.07 (1.02)
C	5.65 (5.93)	5.41	1.04 (1.05)	8.20 (8.45)	7.96	1.03 (1.06)

註・（ ）内は降伏モーメント

・ $M_{u,cal}$ の計算に用いた値を以下に示す

温度	$E_u (\times 10^4)$	$\alpha'_c (\text{kg/cm}^2)$	$f_y (\text{kg/cm}^2)$	$f'_y (\text{kg/cm}^2)$
常温	3600	432	3850	3700
-100°C	3000	1121	5460	5280

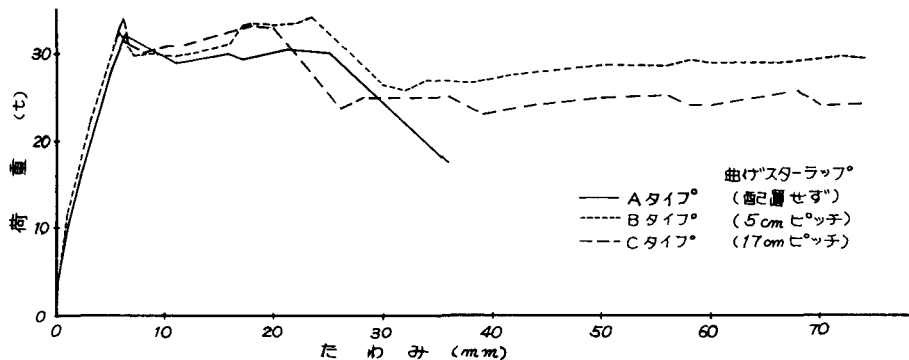


図-2. -100°C 、水中養生における荷重-たわみ曲線

大きくなる傾向がある。これは、終局時には鉄筋はひずみ硬化の領域に入っていて、常温では鉄筋の降伏点と終局時の鉄筋応力度の差が大きく低温では小さいことが原因であると思われる。

(2) はりのねばりについて

図-2に示すように、温度と養生条件が等しい場合、Aタイプでは終局荷重を過ぎると荷重が漸減またはかなり低い値まで下がっているのに対し、Bタイプでは終局荷重直後に耐力はある程度まで減少するが、その後はたわみが70~80(mm)までほぼ一定であり、CタイプはA、Bタイプの中間の挙動を示している。従って曲げスターラップは終局荷重以後の耐力低下を防ぎ、ねばりを大きくする効果をもつことがわかる。

次に、はりのねばりを定量的に評価する指標として、はりの終局時のたわみを降伏時のたわみで割った値(たわみによるねばり)と、はりの終局時の曲率を降伏時の曲率で割った値(曲率によるねばり)を求め、その結果を図-3、図-4に示す。これによると、たわみによるねばりと曲率によるねばりの傾向はよく一致しており、同一タイプでは水中養生の方が気乾養生よりも値が大きく、水中養生の場合は -50°C と -100°C との間にピークがあり、気乾養生の場合は -50°C 付近にピークがある。また、たわみによるねばりまたは曲率によるねばりでは終局たわみ以降の挙動を考慮に入れたはりのねばりは比較できないので、この点を表わす一方法として、耐力が降伏荷重の3/4以下になるまでのはりのたわみを求め、これをはりの降伏時のたわみで割った値を求めてみた。3/4 P_y 時のたわみを考慮したねばりは、たわみによるねばり・曲率によるねばりとは傾向が異なり、曲げスターラップを入れた場合(B、Cタイプ)は常温と -50°C のときの値が増大し、極低温下では終局荷重直後に耐力が急激に減少して3/4 P_y 以下になってしまうため値は小さくなる。したがって、極低温下では以上の3種類のねばりの値はほぼ近いが、常温、 -50°C において、たわみによるねばりと曲率によるねばりは終局荷重以後の曲げ挙動を十分に表わすことができないと思われる。

5. 参考文献

極低温下における鉄筋コンクリート部材の性質に関する研究

後藤・三浦

土木学会論文報告集

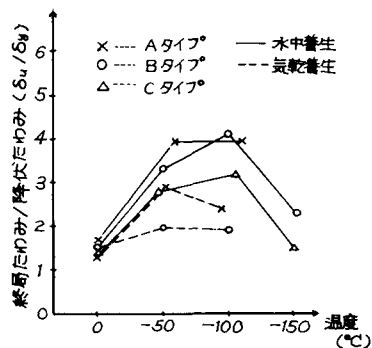


図-3 たわみによるねばり(δ_u/δ_y)と温度の関係

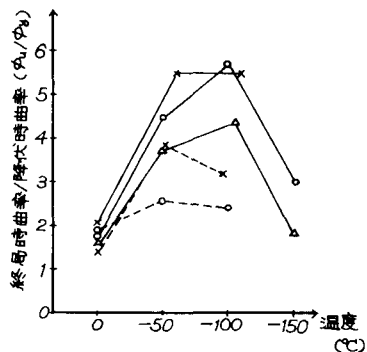


図-4 曲率によるねばり(ϕ_u/ϕ_y)と温度との関係