

東北大学 正員 三浦 尚

, 阿部喜則

, 学員 小島 滋

1. まえがき

近年我が国においては、天然ガスが都市ガスとして、あるいは火力発電所の燃料として使用されており、その使用量は年々増大している。天然ガスは一般に液に天然ガス(LNG)として原油と同じように船で運搬したり常圧に近い状態でタンクに貯蔵されているが、LNGは沸点が -162°C と大変低く、これを貯蔵するためのタンクあるいはタンカーの一部もかなりの低温になると考えられる。

従来は、LNGタンクのように、低温下で使用される構造物の構造材料としては、低温用に作られた特殊な鋼材が主であったが、最近では鉄筋コンクリートのものも多くなっている。コンクリートが極低温にさらされると、一般に性質が大きく変化した。常温と同じと考えることができなくなる。したがって、コンクリートをこのような低温にさらされる構造物の材料として使用するためには、コンクリートの低温下における性質を知ることが大切である。

一方LNG貯蔵用タンク、あるいは運搬用タンカーの材料に鉄筋コンクリートが使用された場合、地震時におけるタンク、あるいは衝突その他の事故時におけるタンカーには、強度と共に十分なねばりが必要となる。また構造物の破壊時の警告のため、あるいは応力の再分配のためにもねばりが必要とされている。そこで本研究では、低温下における鉄筋コンクリート部材の終局曲げモーメント、および曲げに対するねばりを実験的に求め、常温の値と比較するとともに、極低温下で使用される鉄筋コンクリート部材の強度の推定法、および十分なねばりを持たせる方法について検討する。

2. 実験概要

実験に使用したセメントは、早強ポルトランドセメント、細骨材は川砂(比重2.52、吸水量2.50%)、粗骨材は碎石(比重2.86、吸水量0.76%)、混練剤はポリオキシエチレン、アルキルアリルエーテル型非イオン界面活性剤をセメント重量の0.06%使用した。表-1に使用したコンクリートの配合を示す。

使用した鉄筋はSD30、D16、D19、D22の3種とし、

表-1 コンクリートの配合

それぞれ各温度での降伏点を測定した。またヤング係数を測定した結果、常温から -200°C 近くまで、 $E_s = 2.05 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ でほぼ一定であることがわかった。

粗骨材 最大径 mm	スランプ cm	空気量 %	w/c %	s/a %	単位量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	25-15	15-10
20	11±1.0	4±0.5	50	38	194	388	622	342	569	227

実験は、スパン1.5m、のほりの3等分2点荷重とし、

鉄筋比を種々に変えた供試体でおこなった。供試体の1例を図-1に示す。またコンクリートは、含水量によって性質が異なるため、含水量が5%程度の気乾状態と、7%程度の湿潤状態との2種類のものを用いた。供試体はコンクリート打設後、材令1日で脱型し、気乾養生のものは気温 20°C 、湿度50%の恒温室で、水中養生のものは水温 20°C の小恒温水槽で養生をおこなった。試験材令は14日から17日までの間である。養生終了後、供試体を低温槽の中に入れ、温度を徐々に下げる。そして供試体が所

定の温度で供試体各部が一様になったら、槽の外から荷重した。実験の状態は図-2に示す。実験温度は常温から -150°C までとした。

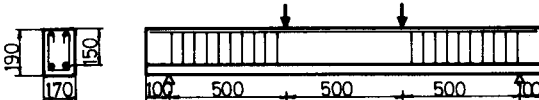


図-1 供試体の1例

測定項目は、荷重、たわみ、コンクリートのひずみ、および供試体温度とした。

載荷方法は、片振りの低サイクル繰返し載荷としたが、種々の温度、鉄筋比において比較した結果、繰返しをおこなわずに静的に載荷した場合とほぼ同じたわみ挙動を示すことがわかった。そのため静的載荷の結果を用いることとした。

3 結果とその考察

(1) 鉄筋コンクリートばりの強度

低温になるとその含水量によって程度が異なるものの、コンクリートの強度は大きくなる。また鉄筋の降伏点も大きくなる。鉄筋コンクリートの曲げ強度は、その時のコンクリート強度と、鉄筋の降伏点とを用いて計算すると、大変良く合うことがわかった。計算の方法は、応力度分布を三角形と仮定しても矩形と仮定してACIの方法でおこなってもほとんど変わらず、数%以内の差で良く合った。ただし、鉄筋比が極端に小さいものでは、たわみが大きくなり、鉄筋がひずみ硬化の領域に入ってしまうため、降伏点を用いた計算値とは異なり、マくる。

(2) 鉄筋コンクリートばりのねばり

鉄筋コンクリートばりのねばりを表す指標として、はりが曲げモーメントを受けて変形した時の曲率の関係から ϕ_u/ϕ_y を用いた。ここに ϕ_u とは、終局モーメントが作用した時のはりの曲率、 ϕ_y とは、降伏モーメントが作用した時のはりの曲率である。そしてこの ϕ_u/ϕ_y を、はりの「曲率によるじん性率」と言うことにする。

図-3には、じん性率と鉄筋比との関係を示す。

図-4には、じん性率と温度との関係を示す。

これらの結果から、はりのじん性率が鉄筋比、温度によってどのように変化するかわかる。ところがじん性率が同じであっても、温度が低い供試体では終局曲げモーメントを

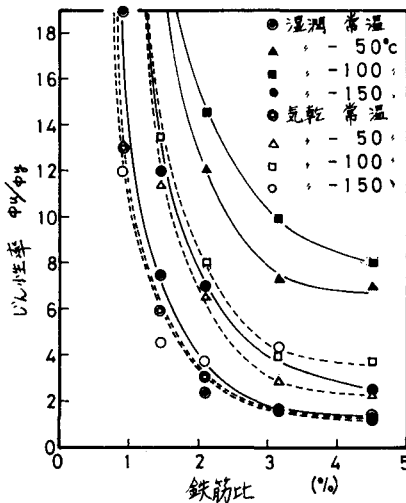


図-3 じん性率と鉄筋比との関係

すぎた場合の強度低下が大変急激に生じる。したがって、構造物の設計に当たっては、その点も考慮に入れる必要がある。1例として、耐力が降伏荷重の $\frac{3}{4}$ まで低下するまでのはりのねばりを考えると、 -150°C で気乾状態のものでは、常温の時より、鉄筋比を約3割も低くしてやると常温のねばりと同程度になる。

図-5には終局曲げモーメント時のコンクリートのひずみの略算結果を示す。

これより、 -100°C より温度が低くなるとじん性率が低下する理由として、コンクリートの最大ひずみの低下が考えられる。

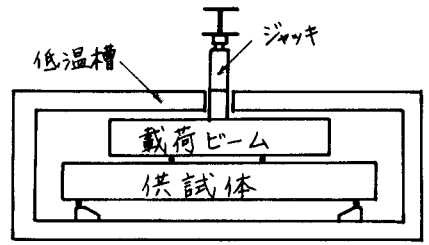


図-2 実験状況

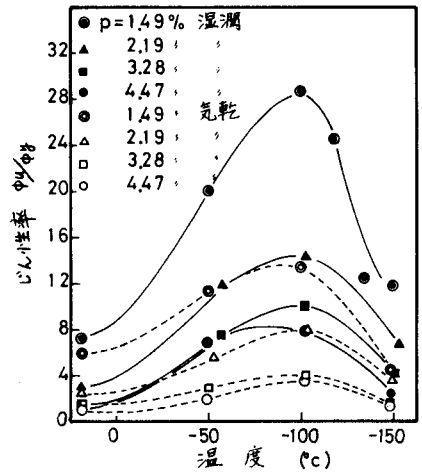


図-4 じん性率と温度との関係

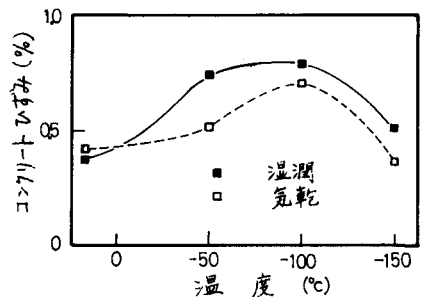


図-5 最大ひずみ