

極低温下において使用される鉄筋に必要な耐衝撃性に関する研究

東北大学 学生員 ◦鈴木 知洋
東北大学 正 員 三浦 尚
東北大学 学生員 阿部 裕彰

1. まえがき

極低温下において、コンクリートおよび鉄筋の強度は、常温に比べて増加するが、コンクリートの塑性変形量は相対的に減少し、鉄筋は延性が失われ、脆性的になる。また、コンクリートの破壊は、非常に衝撃的なものとなる。従って、コンクリートが引張力を受け、ひびわれが発生した時には、その衝撃によりコンクリート中に埋め込まれた鉄筋に大きな歪速度が生じ、脆性破断することがあると考えられる。

従来、このような環境下で使用される鉄筋に必要な耐衝撃性を把握するために、円柱供試体に鉄筋を埋め込んで実験されてきたが、付着や応力状態が実際とは異なっているために、おおよその耐衝撃性の把握とはなるが、十分なものとはいえない。

そこで、本研究は両引供試体を用い、曲げ加工等の状態を考慮して、15%残留歪を与えた鉄筋を埋め込み、鉄筋比や含水量を変え、破壊時に鉄筋に生じる歪や歪速度を定量的に求めることを目的とする。

2. 実験概要

実験材料は、セメントは早強ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は碎石、混合剤はポリオキシエチレンアルキルアールエーテルを主成分とするAE減水剤、鉄筋は市販の横フシ果形鉄筋D10(SD30)、D22(SD35、40)である。表-1にD10の機械的性質および残留歪15%与えた時の機械的性質を示す。

実験には、15%残留歪を与えた鉄筋を埋め込んだ4種類の鉄筋比の断面をもつ両引供試体を用いた。図-1に両引供試体の形状寸法、表-2に、各鉄筋比の断面寸法を示す。養生は、水中養生(恒温水槽中、 $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$)と気乾養生(恒温室中、 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度60%)の2種類で行なった。ここでの水中養生は、供試体のコンクリート表面にゲージを貼り付けるために、材令5日で供試体を水槽から取り出して皮膜養生剤を塗布して、実験まで恒温室中で放置する方法をとっている。供試体の養生方法と試験温度との組み合わせを表-3に示す。

養生の終わった供試体は、材令7日で図-2の載荷装置にセットし、液体窒素を噴霧して低温槽の温度を徐々に下げ、所定の温度で一定になったらそこでジャッキで引張載荷された。供試体破壊時の衝撃によって鉄筋に生じる歪は、図-3に示す手順で測定した。同時に鉄筋の破断時期を知るために、コンクリート表面に貼り付けたゲージの歪も同様の方法で測定した。

表-1 鉄筋の機械的性質 (D10)

試験温度 ($^{\circ}\text{C}$)	降伏点 (kg/mm^2)	引張強度 (kg/mm^2)	伸び (%)	しほり (%)
常温	39.0 (68.1)	56.2 (68.1)	26.1 (12.5)	59.3 (45.1)
-50	46.2 (74.4)	63.8 (74.7)	21.3 (10.1)	56.6 (39.4)
-100	47.9 (80.0)	59.4 (80.3)	22.5 (11.6)	59.3 (45.8)
-150	62.2 (91.1)	68.4 (91.1)	26.6 (8.8)	34.3 (25.4)

() 内は、残留歪15%与えた時の値を示す

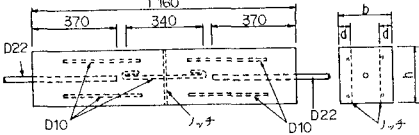


図-1 両引供試体形状寸法

表-2 両引供試体断面寸法

鉄筋比 (%)	断面寸法 ($b \times h$) (mm)	ノッチ寸法 ($h \times d$) (mm)
0.18	240 $\times$ 240	240 $\times$ 40
0.35	160 $\times$ 160	160 $\times$ 20
0.52	130 $\times$ 130	130 $\times$ 15
1.48	80 $\times$ 80	80 $\times$ 10

表-3 供試体の養生方法と試験温度

養生方法 \ 試験温度	常温	-50 $^{\circ}\text{C}$	-100 $^{\circ}\text{C}$	-150 $^{\circ}\text{C}$
水中	○	○	○	○
気乾	—	—	○	—

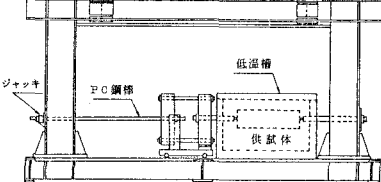


図-2 載荷装置

3. 結果および考察

図-4に鉄筋比と鉄筋の歪速度との関係(水中養生)を示す。ここで歪速度とは、歪の時間的変化の曲線において、鉄筋の弾性域内での最大の傾きを表わしている。弾性域は、15%残留歪をえた鉄筋の引張試験から得られた降伏点以下とした。

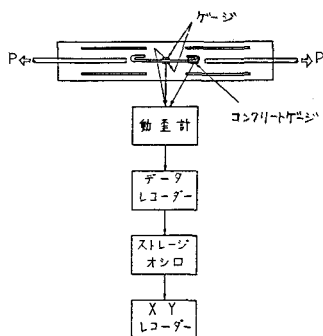


図-3 歪測定手順

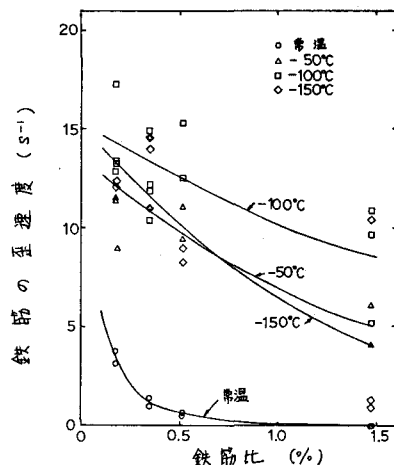


図-4 鉄筋比と鉄筋の歪速度との関係(水中養生)

図-4より、各温度とも鉄筋比の増加により歪速度の減少がみられる。その減少の傾向は、常温と低温では異なり、常温では鉄筋比の増加により急激に歪速度は減少し、低温では常温よりもゆるやかに減少している。さらに低温だけでみると、-50°Cと-100°Cでは、鉄筋比の増加によりどちらも同様の減少傾向を示しているが、-150°Cでは、鉄筋比が大きくなると減少割合が大きく、さらにばらつきも大きくなっている。これは、鉄筋とコンクリートの線膨張係数の違いにより生じるアレストレスが、-150°Cで最大となり、鉄筋比が大きくなるとさらにこの影響を受けてこのような結果になったものと思われる。また、鉄筋の破断は、常温は鉄筋比0.18%で歪速度およそ3~4 s⁻¹で延性破断、-50°Cは鉄筋比0.18~0.52%でおよそ8~14 s⁻¹で延性破断、-100°Cは鉄筋比0.18~0.52%でおよそ11~17 s⁻¹で延性破断、-150°Cでは、鉄筋比0.18~0.52%でおよそ8~14 s⁻¹で脆性破断した。

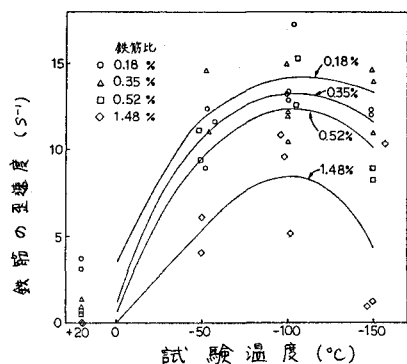


図-5 試験温度と鉄筋の歪速度との関係(水中養生)

図-5に試験温度と鉄筋の歪速度との関係を示す。図中の曲線は、各鉄筋比の変化を示したものであるが、常温から0°Cまではコンクリートの性質が変化しないと考えると描いたものである。この図より、鉄筋比も常温から-100°Cまでは、歪速度は増加するが、-100°Cよりも低温下では、歪速度は減少することがわかる。さらに鉄筋比が大きいほど、-100°C以下の歪速度の減少割合は大きくなっている。

図-6に含水量が異なる場合の鉄筋比と鉄筋の歪速度との関係を示す。この図より、1%程度の含水量の違いでは、鉄筋比の増加による歪速度の減少の傾向はほとんど変わらない。しかし、含水量が減少すると歪速度も減少し、その減少の大きさは、鉄筋比が、0.18, 0.35%で約30%, 0.52%で約40%, 1.48%で約60%となっている。

以上の結果より、極低温下で使用される鉄筋の耐衝撃性は、温度によって違いはあるものの鉄筋比を大きくすること、また、コンクリートの含水量を小さくしたり、使用温度を高くすることによって向上すると考えられる。

〈参考文献〉1) 村野・三浦・松橋: 極低温下でのコンクリート破壊時の衝撃に及ぼす含水量の影響, 昭和57年度東北支部技術研究発表会講演概要, 1985年3月。

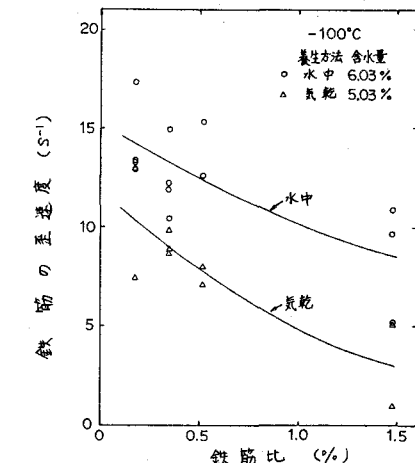


図-6 鉄筋比と鉄筋の歪速度との関係(含水量が異なる場合)