

(株) 奥村組技術研究所 正員 ○山本和夫
白石文雄
水谷善行

1. まえがき

超低温下のコンクリートの諸性質については、最近数多くの研究報告がなされているが、超低温下でのRC梁の曲げ強度に関する実験はきわめて少ない。本報告は -100°C の低温下でのRC梁の曲げ実験結果の概要について述べる。なおコンクリートの圧縮強度、鉄筋の引張強度などの試験も行ったのであわせて報告する。

2. 供試体と実験方法

RC梁の形状と配筋を図-1に、コンクリートの配合を表-1に示す。供試体は引張鉄筋をD13×1本、D16×1本の2種類とした。鉄筋の材質はSD30である。

供試体は打設後1日で脱型し、養生14日まで 20°C 水中養生を行い、その後は実験室内での気乾養生とした。試験時の養生は84～87日である。

供試体の冷却は液体窒素による恒温冷却槽を用いた。実験中は写真-1に示す冷却用パイプから液体窒素を噴射し、 -100°C を維持した。温度の測定は供試体内部と表面各所に設置した熱電対で行ったが、冷却中および載荷中の供試体各部の温度差は $10\sim15^{\circ}\text{C}$ 程度であった。

曲げ実験の載荷は図-1に示すように2点載荷で行った。測定項目は梁中央部のたわみ、中央部のコンクリートのひずみ(上縁、上縁から2.5 cm, 5.0 cm)、中央部の圧縮と引張鉄筋のひずみ、および梁の初期ひびわれ、降伏、終局の各荷重である。測定方法は、たわみは $1/100\text{ mm}$ のタイラゲージ、ひずみはワイヤストレンゲージによる。

なお基礎実験の供試体は鉄筋がSD30のD16、コンクリートが $\phi 10 \times \ell 20\text{ cm}$ の円柱形である。コンクリートの配合は表-1と同じで、養生は14日間の 20°C 水中養生後、 20°C 、60%RHの恒温恒湿室で気乾養生した。試験時の養生は70～76日、含水比は5.0%であった。

3. 基礎実験結果

図-2にコンクリートの圧縮強度 σ_c 、引張強度(割裂強度) σ_t 、弾性係数 E_c の実験結果を示す。 -110°C では σ_c 、 σ_t 、 E_c は常温時(15°C)の2.4倍、2.1倍、1.3倍となった。

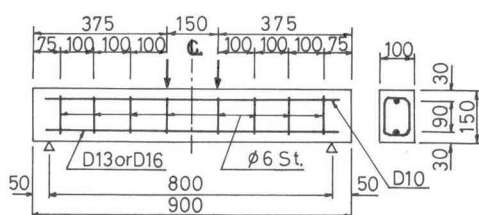


図-1: RC梁曲げ試験供試体

表-1: コンクリートの配合

(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	単位量 (kg/m ³)				
Gmax	スリット	air	WC	s a	W	C	S	G	減水剤
15	8±15	5±1.0	55	47	182	331	807	927	0.827

粗骨材: 川砂利 砕石=1:1(w) $G_s=2.60$ $F.M.=6.09$

細骨材: 海砂 $G_s=2.55$ $F.M.=2.50$

セメント: 普通ポルトランドセメント

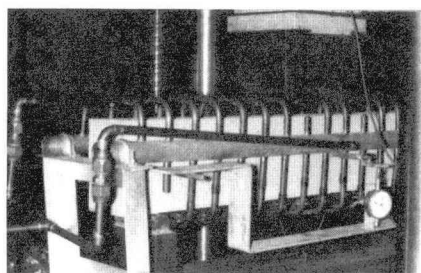


写真-1: RCはり保冷状況

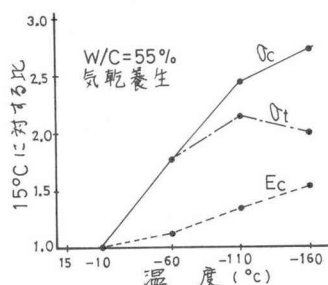


図-2: コンクリートの強度

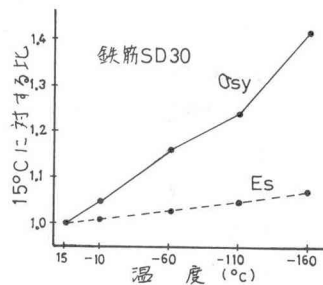


図-3: 鉄筋の強度

図-3に鉄筋の降伏点 σ_{sy} 、弾性係数 E_s の実験結果を示す。
 -110°C では σ_{sy} 、 E_s は常温時の1.24倍、1.05倍となった。

図-4に鉄筋とコンクリートの線膨張係数 α_s 、 α_c の実験結果を示す。 $+15^{\circ}\text{C} \sim -110^{\circ}\text{C}$ の範囲では α_s は $1.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 、 α_c は $0.7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ となった。

表-2に付着強度 τ_o の実験結果を示す。
 -110°C では τ_o は常温の1.5~2.0倍程度と考えられる。

4. RC梁曲げ実験結果

初期ひびわれ、降伏、終局の各曲げモーメントの実験値と計算値 M_{cr} 、 M_y 、 M_u 、 M_{cr}' 、 M_y' 、 M_u' を表-3に示す。なお、 M_{cr}' はコンクリートの曲げ引張強度を圧縮強度の1/10として求め、 M_y' は引張鉄筋が降伏点に達するとき、 M_u' はAC工規準により求めた。

図-5に引張鉄筋がD13の供試体の梁中央部のたわみを示し、図-6に同じくD13の梁中央部上縁のコンクリートのひずみを示す。また図-7に破壊後のひびわれの形状を示す。

表-3をみると、各供試体の降伏、終局曲げモーメントの実験値は計算値の1.3~1.8倍と大きな結果となった。その理由については明らかでないが、実験値と計算値の常温に対する -100°C での強度増加比を比較すると、D13の場合、実験値 M_{cr} 、 M_y 、 M_u は3.0、1.4、1.4に対し、計算値 M_{cr}' 、 M_y' 、 M_u' は2.5、1.3、1.3と比較的一致している。D16についてもほぼ同様のことがいえる。

図-5、図-6をみると、梁中央部のたわみ、コンクリートの圧縮ひずみは降伏曲げモーメント以下では実験値と計算値はよく一致している。

梁の破壊の形態は常温、低温ともせん断圧縮破壊であり、発生したひびわれの間隔はほぼ同程度であった。(図-7参照)

5. まとめ

以上の実験結果より、超低温下(-100°C)の曲げ強度、性状は超低温下でのコンクリートと鉄筋の諸強度を用いて、通常の計算方法で計算しても実用上問題はないと考えられる。しかし、基礎実験の結果から、低温時では鉄筋とコンクリートの線膨張係数に相異がみられ、冷却、復温のくり返しを受けた場合の影響等については今後に残された問題である。

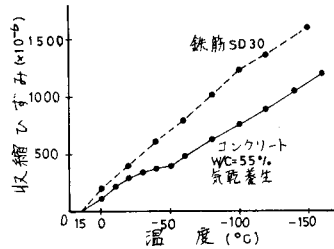


図-4: 温度低下による収縮ひずみ

表-2: 付着強度試験結果

No.	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	自由端はりに対する τ_o (kg/cm^2)			備考
		0.05mm	0.10mm	0.25mm	
1	15	135	168	187	
2	"	110	142	176	
3	-110	253(2.1)	284(1.8)	—	鉄筋切断
4	"	206(1.7)	244(1.6)	265(1.5)	

※()内の数値はNo.2の平均値に対する比

表-3: 曲げ実験結果

主筋	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	実験値 (tm)			計算値 (tm)			計算条件	
		M_{cr}	M_y	M_u	M_{cr}'	M_y'	M_u'		
D13	15	0.14	0.69	0.87	0.17	0.50	0.55	σ_c (kg/cm^2)	400 1050
	-100	0.43 (3.0)	0.99 (1.4)	1.24 (1.4)	0.44 (2.5)	0.62 (1.3)	0.70 (1.3)	σ_{cr} ")	40 105
	-100							E_c ")	25.5×10^4 34.5×10^4
D16	15	0.18	1.04	1.15	0.18	0.78	0.82	E_{cu}	0.003 0.003
	-100	0.40 (2.2)	1.53 (1.5)	1.73 (1.5)	0.46 (2.5)	0.98 (1.3)	1.06 (1.3)	σ_{sy} (kg/cm^2)	3750 4650
	-100							E_s (")	210×10^4 223×10^4

※()内は 15°C に対する強度増加比

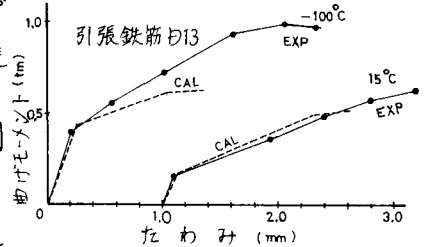


図-5: はり中央部のたわみ

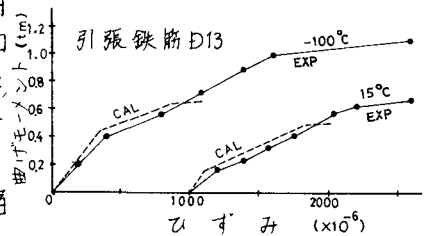


図-6: はり中央部のコンクリート上縁ひずみ

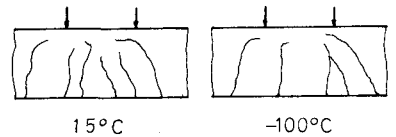


図-7: ひびわれ状況(D13)

《参考文献》

長沢、岡田、中沢; 第31回年次学術講演会, Vol5, V-75