

極低温下における鉄筋の重ね継手強度に対する横方向鉄筋の性質の影響について

東北大学 学生員 ○藤原正雄

東北大学 正員 三浦 尚

東北大学 学生員 後藤 浩

人まえがき

近年、液化天然ガス(LNG)は、公害の少ないエネルギーとして、また石油代替エネルギーとして注目される。その需要は年々増加している。それに伴いLNGを貯蔵するタンクの建設も各地で行われるようになり、その構造材料として最近では鉄筋コンクリートが用いられることが多くなった。一方、LNGは沸点が -162°C と大変低温であるため、それらの鉄筋コンクリート部材はかなり低温になり、その性質も常温の時に大きく異なってくる。重ね継手部分だけに着目してみても、低温下ではその破壊の際、補強材として用いられている横方向鉄筋が脆性破断するという、常温時には見られない現象が起きようになる。そこで本研究では、横方向鉄筋の形状を変えたり、熱処理や成分調整を行うことにより横方向鉄筋の低温脆性改善をはかり、それが低温下での重ね継手強度にどう影響するかを、両引供試体を用いて実験を行い、結果を考察した。

2. 實驗概要

図-2に実験に用いた供試体を示す。重ね合わせ長さは25cm、横方向鉄筋間隔は12.5cm、主鉄筋の側方かぶり(側方コンクリート厚)は2.2cm、内側鉄筋間隔は40cmと定とした。どの供試体も鉄筋レベルでの割裂破壊(Side Split Failure)を予想している。

使用材料は、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、混和剤はAE減水剤、鉄
筋は主鉄筋として市販の横フシ異形鉄筋D22(SD30)、
横方向鉄筋として市販の横フシ異形鉄筋D10(SD30)
及び低温脆性改善のため成分調整した横フシ異形鉄筋D
10(SD30相当)を用いた。

コンクリートの配合を表-1に示す。

供試体は材令1日で脱型し、水温 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の恒温水槽で水中養生した後、材令7日で載荷した。載荷は、液体窒素によつて供試体が所定の温度で一樣になるまで冷却した後、図-1に示す載荷装置を用いて行ない、破壊強度と歪分布とを求めた。試験温度は、常温、 -50°C 、 -100°C 、 -150°C の4種とした。

表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大径 mm	スラブの 範囲 cm	空気量 の範囲 %	水・セ メント比 w/c %	細骨材 の比率 s/a %	単 位 量 (kg/m ³)					
					水 W	セ C	細骨材 S	粗骨材 G		
								20-15	15-10	10-5
20	11±1	4±0.5	50	38	194	388	622	342	569	227

表-2 横方向鉄筋の種類

鉄鋸		A	B	C	D	E
形状	r (mm)	20	40	20	20	20
	R (mm)	0	0	30	80	130
種類	普通	○	○	○	○	○
	$P=1$	○	—	—	—	—
	低炭用	○	—	—	—	—

(注-1)
 τ と ε は次のように
 定義する

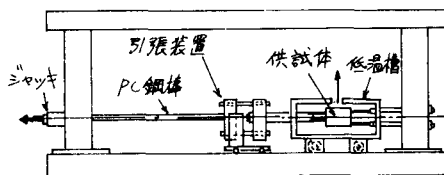


(注-2)

「普通」…市販のSD30

「A=IL」…「普通」を曲げ加えた後、熱処理したもの

「低温用」…低温脆性改善のため成分調整したもの



圖一、 載荷裝置

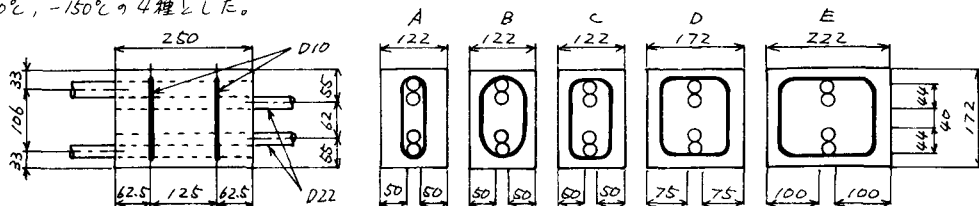


図-2 供試体の形状・寸法 (mm)

3. 結果と考察

(1) 破壊状況

本実験では、どの供試体も鉄筋レベルで割裂破壊 (Side Split Failure) が主ではあるが、試験温度や横方向鉄筋の違いによって壊れ方に違いが見られる。

常温時には、どの供試体においても横方向鉄筋は破断しておらず、その拘束の影響で供試体は複雑な壊れ方をしている。

低温下においては、横方向鉄筋が普通鉄筋タイプ A のものは鉄筋レベルで横方向鉄筋が脆性破断しており、典型的な割裂破壊をしている。またタイプ C, D, E のように鉄筋レベルと交わる部分を直線部としたものは、横方向鉄筋は割裂面では破断せず、曲げ加工部で破断している。これは低温脆性を考える上で曲げ加工部が弱点になることを示すものがあるが、タイプ B のように曲げ加工度が小さくなれば脆性破断はしにくくなる。一方、熱処理や成分調整をしたものも脆性破断しにくくなり、その壊れ方は常温時に近くなる。

(2) 重ね継手強度

図-3 に重ね継手強度 (破壊時における平均付着応力) と試験温度との関係、図-4 に重ね継手強度とコンクリート引張強度との関係を示す。これらの図から、低温下において横方向鉄筋が破断するかどうかは重ね継手強度にはあまり関係がないことがわかる。すなわち、横方向鉄筋の低温脆性を改善しても、それが直接重ね継手強度の耐力増加にはなっていない、ということがある。

しかし、横方向鉄筋が破断しないことは重ね継手の低温靱性を考える場合には重要なことである。実際、過去の実験によると横方向鉄筋が普通鉄筋で鉄筋量が今回 2 倍であるものが低温下ですべて脆性破断しており、鉄筋量の増加が継手の靱性を高めることにはなっていないことが示されているが、今回のように横方向鉄筋の低温脆性を改善すれば鉄筋量を増やした場合、継手として十分な低温靱性が期待されるのではないと思われる。

※ まとめ

横方向鉄筋の低温脆性改善は直接重ね継手の耐力増加とはならないが、継手の低温靱性を高めることには役立つと考えられる。その場合、鉄筋の熱処理や成分調整と共に、曲げ加工度を小さくするような形状とすることによって横方向鉄筋の低温脆性改善に有効な方法がある。

表-3 実験結果

試験温度	横方向鉄筋種類	形状	コンクリート圧縮強度 (MPa)	コンクリート引張強度 (MPa)	平均付着応力 (MPa)	横方向鉄筋の破断状況
常温	普通	A	34.3	30.0	41.7	破断せず
		C	33.1	30.7	40.9	〃
		E	37.0	33.6	51.1	〃
	P=IL 低温度用	A	37.6	31.4	44.9	〃
		A	36.2	28.4	43.1	〃
-50℃	普通	A	63.9	70.1	80.3	破断
		B	70.8	80.4	88.9	一部破断
		C	65.5	73.0	83.1	破断
		D	54.8	71.6	82.7	一部破断
		E	61.4	76.2	90.3	〃
	P=IL 低温度用	A	65.2	72.8	81.7	破断せず
-100℃	普通	A	68.4	67.4	72.7	〃
		A	71.6	83.5	114.3	破断
		C	73.6	72.8	112.0	〃
	P=IL 低温度用	E	95.4	72.2	114.3	〃
		A	99.4	82.8	109.4	破断せず
-150℃	普通	A	88.9	73.8	106.6	〃
		A	73.9	69.3	108.9	破断
		B	83.6	52.2	116.9*	〃
		C	101.9	66.9	99.1	破断
		D	88.9	68.8	108.9	〃
	P=IL 低温度用	E	102.5	62.1	109.7	〃
		A	97.6	62.4	114.3	破断せず
		A	90.6	67.0	99.1	一部破断

* 破断したため最大荷重時の応力値を示す

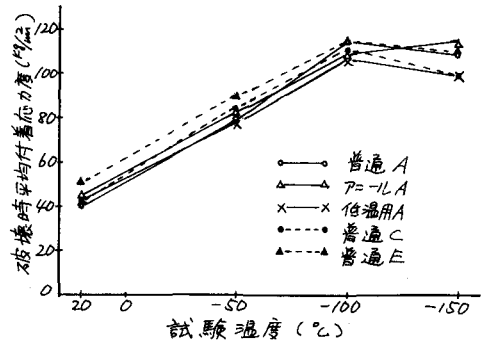


図-3 重ね継手強度と試験温度との関係

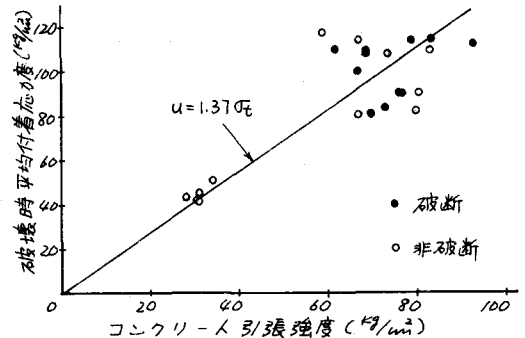


図-4 重ね継手強度とコンクリートの引張強度との関係