

(57) 極低温下における鉄筋コンクリートの強度に関する研究

東北大学工学部 正 員 後藤孝正
東北大学工学部 正 員 三浦 尚
東北大学工学部 正 員 O阿部崇則

1. まえがき

近年、天然ガスの利用が盛んになり、それに伴い各地で大規模の貯蔵設備が建設されている。天然ガスは、沸点である -162°C に冷却して貯蔵するため、そのタンクもかなりの温度に冷される。従来、このようなタンクの材料には鋼製のものが多く使用され、その安全性には実績があるが、設備の大規模化に伴い、最近では、より経済的な鉄筋コンクリート製タンクが採用されている。しかし、鉄筋コンクリートは天然ガス貯蔵用タンクに使用すると、コンクリートは冷され、常温時に比べかなり異なった性質を示すにもかかわらず、極低温下における鉄筋とコンクリートの複合特性についての研究は、ほとんど行われていない。この研究は以上のことから、極低温下における異形鉄筋とコンクリートの接着強度および引張特性が、常温時と比べ低温時では、どう違うのかと実験的に調べたものである。

2. 使用材料

セメントは早強ポルトランドセメント。

粗骨材は宮城県大倉山産砕石、細骨材は宮城県白石川産川砂、混合剤は排イオン系の分散剤、鉄筋は市販の斜方シ異形鉄筋 $\phi 22$ (SD30)、および極低温用に開発された斜方シ異形鉄筋 $\phi 22$ (SD30C)を使用した。

配合は表-1に、圧縮強度、引張強度、静弾性係数、含水量の平均値は表-2に示す。

表-1 配合

粗骨材 最大径 (cm)	スランプ 範囲 (cm)	空気量 範囲 (%)	水セメント 比 %	細骨材 率 %	単位量 kg/m^3				
					水 W	セメント C	粗骨材 S	細骨材 G	混合剤 (cc)
25	11 ± 1	4.0 ± 0.5	50	40	190	380	611	1112	228

表-2 圧縮強度、引張強度の平均値

試験状態	圧縮強度 (kg/cm^2)	引張強度 (kg/cm^2)	静弾性係数 (10^5 kg/cm^2)	含水量 (%)
常温値	322	29.3	2.65	7.4
低温値	1114	66.9	6.53	
低温値/常温値	3.46	2.28	2.46	

3. 実験供試体の種類

実験は、重ね継ぎ試験、定着試験(A)、定着試験(B)、および最大ひびく間隔測定試験の4種について行った。それぞれの形状寸法は図1~4に示す。図-2および図-3は、単純はり実験付近における、主鉄筋の定着を並行的に調べるために行ったもので、図-2は、主にコンクリートの割裂で破壊する試験(以後定着試験(A)と記す)で、図-3は、主に鉄筋がコンクリートより抜け出し破壊するもの(以後定着試験(B)と記す)である。

4. 実験方法

断熱箱で作った箱の中に供試体をセットし、液化窒素ガス(-196°C)を噴射して、供試体と所定の温度にした。その際、供試体の表面部と中心部に熱電対を埋め、その温度差が大きくなるように、ゆっくり時間をかけ温度を下げた。各実験の試験温度は $-160^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ とし、それぞれ常温時と低温時の比較も行った。なお、重ね継ぎ試験では、試験温度は 0°C と -180°C とし温度と

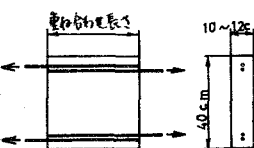


図-1 重ね継ぎ試験

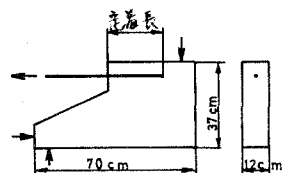


図-2 定着試験(A)

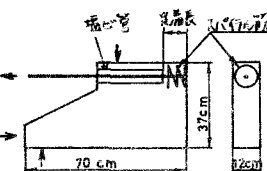


図-3 定着試験(B)

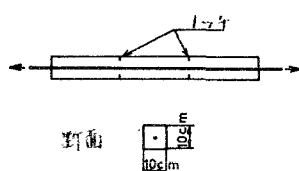


図-4 最大ひびく間隔測定試験

継手強度との関係も調べた。養生方法は、供試体の含水量が一定となるように、脱脂綿、試験日まで水け養生を行ない、材料はすべて7日で行なった。

5. 実験結果および考察

(1) 重ね継手試験について

図-5はかぶり3.9cm、重ね合わせ長さ55cmの重ね継手の温度と破壊時鉄筋応力度の関係を示したもので、0~-80℃付近まで応力が急激に増加し、その後は-180℃まであまり変化しない、これはコンクリートの引張試験での温度と強度との関係に良く似ている。-80℃付近の破壊時鉄筋応力度と常温試験の破壊時鉄筋応力度との比(破壊時鉄筋応力比)は2.2倍となった。

図-6はかぶり4.9cmと3.9cmの破壊時鉄筋応力比と重ね合わせ長さとの関係を示す、重ね合わせ長さが増えるにつれ、鉄筋応力比はほぼ直線的に減少し、しかも、かぶりが異なる、ても同じ線に収まる傾向を示す。

図-7、破壊時鉄筋応力度と重ね合わせ長さとの関係を示す、破壊線の割合は、図-6の傾向を基に推定したものである。

図-8は、破壊時平均付着応力度と重ね合わせ長さとの関係を示す。

(2) 定着試験(A)について

図-9は、コンクリートが割れ破壊する定着試験(A)の、破壊時鉄筋応力度と定着長さの関係を示す。図-10は、破壊時平均付着応力度と定着長さの関係を示す、これらの値の傾向は、重ね継手試験の場合と良く似ている。

(3) 定着試験(B)について

定着試験(B)は、定着長さ5cmおよび10cmについて行ないその結果を表-3に示す。定着試験(B)は、定着試験(A)に比べ破壊時鉄筋応力度の値は大きく、破壊時鉄筋応力比は、ほぼ同じといえる。

(4) 最大くびれ間隔試験について

最大くびれ間隔は、常温時で20~22cm、低温時で13~15cmであった。またくびれ発生時の鉄筋応力度は、常温時で平均1800^{kg/cm²}、低温時で平均5000^{kg/cm²}であり、その比率は約5.1倍であった。

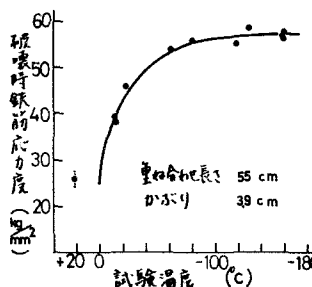


図-5 破壊時鉄筋応力度と試験温度の関係

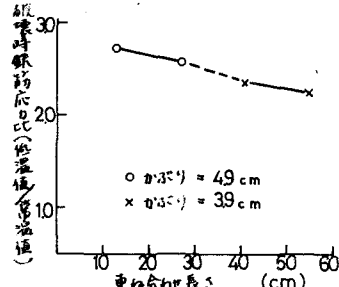


図-6 重ね合わせ長さ比と鉄筋応力比の関係

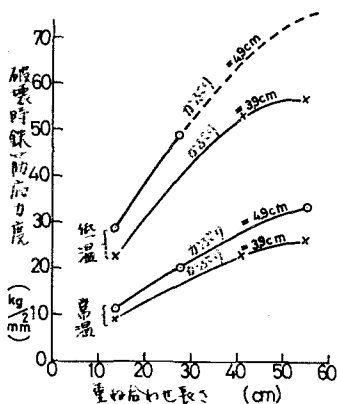


図-7 重ね合わせ長さ比と鉄筋応力度の関係

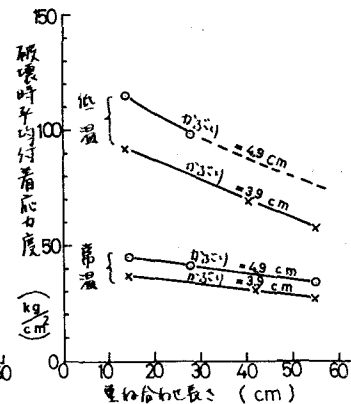


図-8 重ね合わせ長さ比と平均付着応力度の関係

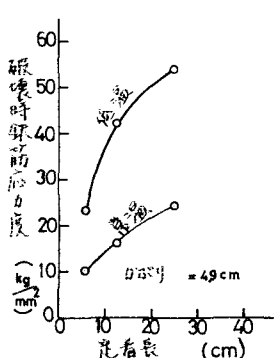


図-9 定着長さ比と鉄筋応力度の関係

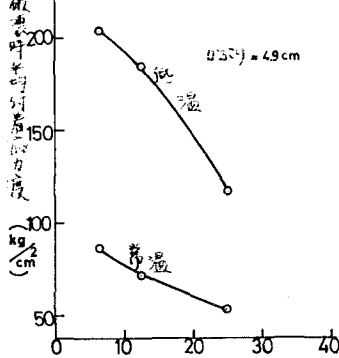


図-10 定着長さ比と平均付着応力度の関係

表-3 定着試験(B)の実験結果

定着長さ (cm)	試験 状態	破壊時 鉄筋応力度 (kg/cm ²)	破壊時 鉄筋応力度 (kg/cm ²)	常温値
5	常温	241	267	2.54
5	低温	614	679	
10	常温	374	207	—
10	低温	698	386	