

前田建設(株)技術研究所 正会員 内田 明
電力中央研究所 正会員 青柳 征夫
前田建設(株)技術研究所 正会員 山田 一守

1 まえがき

液化天然ガス(以下、LNGと称す。)へのエネルギー依存度が高まってきた現在、各地で大型の鉄筋コンクリート製LNGタンクの設計・施工が盛んに行われている。これを受けて、極低温下における鉄筋コンクリート部材の力学的特性に関する実験および理論的研究が近年急速に発展し、それらの成果はLNGタンク設計指針¹⁾に反映されている。

しかしながら、極低温下の鉄筋コンクリート部材のせん断耐力に関するデータは皆無に等しく、せん断力に対する設計方法は今だ十分に確立されているとは言えない。

本報告は、この点に着目して、LNGタンクの側壁に生じる面外せん断力およびブラケットに生じるせん断力に対する合理的な設計を行なうための資料を提供することを目的として実施した極低温下の鉄筋コンクリート部材のせん断伝達耐力に関する実験結果について検討したものである。

2 実験方法

実験に供した試験体は、図-1に示すようなものであって、 10×20 cmのせん断面を有するいわゆるPush-off型試験体であり、文献2)3)で使用したものと同一である。

考慮したパラメータは、せん断面を横切る鉄筋比(P)、鉄筋とせん断面との偏角(θ)で、全試験体の諸元を表-1に示す。

試験体は、コンクリート打設後2日で脱型し水中養生を行ない、試験直前に水槽から出し、ただちにゴム系シーリング材でシールし水分の散逸を防止した。

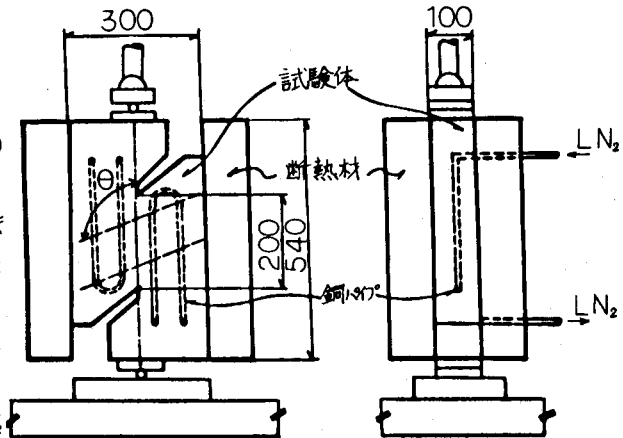


図-1 試験体および実験装置

試験温度は -60°C であり、試験体内に埋め込んだ銅パイプに液体窒素を循環させることによって約5~6時間かけて徐々に所定温度まで冷却した。

使用したコンクリートは最大骨材寸法20 mmの砕石・山砂コンクリートでありすべて同一配合とし、試験時の常温下での圧縮強度は $500 \sim 550 \text{ kg/cm}^2$ の範囲にあった。

なお、NO. 3, 5の試験体以外はすべて冷却前に割裂作用によってせん断面にあらかじめひびわれを入れておいた。

3 極低温下の鉄筋コンクリート部材のせん断耐力

ひびわれ発生耐力 NO. 3, NO. 5試験体の初期ひびわれ発生時の平均せん断耐力は、常温下のそれが $55 \sim 60 \text{ kg/cm}^2$ であるのに対して $167, 190 \text{ kg/cm}^2$ と約3倍の値を示し、コンクリートの圧縮強度・引張強度と同様に、低温下では、せん断ひびわれ耐力も著しく増大することが明らかとなった。

終局せん断耐力 極低温下でのせん断耐力は表-1に示すとおりであって、 $P = 5.07\%$ でせん断耐力は 300 kg/cm^2 にも達し、常温に比べて著しく耐力が増大した。これらの値を文献4)に準じて $\sqrt{f_c}$ で無次元化し、 $P\%/\sqrt{f_c}$ に対

して常温での実験結果とともにプロットすれば、図-2のとおりである。(ここで、 f_y は鉄筋の降伏点であり、低温下での降伏点の上昇は文献1)に基づいて考慮した。)

常温下では、 $(Pfy - \sigma_v)/\sqrt{t_c}$ が約3.0でせん断耐力の頭打ちが生じているのに対し、低温下では7.0まで直線的にせん断耐力が上昇し、本実験の範囲($P=5.07\%$ まで)では、せん断耐力の頭打ちは認められなかった。すなわち、常温下では文献2)で指摘したように、 Pfy を増大していくと

鉄筋が降伏する以前にコンクリートのせん断すべり破壊によってせん断耐力が決定される場合もあるが、低温下では、コンクリートの圧縮強度と付着強度の増加ならびに鉄筋のすべり出し量の減少によってせん断面のひびわれ幅が抑制されること等により、すべて鉄筋の降伏によって耐力が決まるということを示している。なお、ひびわれの観察から鉄筋の降伏が確認されている。

θのせん断耐力に及ぼす影響 せん断面とθの角度で鉄筋が交叉する試験体の低温下での試験結果は、図-3に示すとおりであり、常温下での結果と同様にθが約110度で最大値を示し、他の角度については $\sin^2(\theta - 20)$ を乗じることによってほぼ評価できるものと思われる。

4 まとめ

以上の結果から、本実験の範囲で次のことが結論される。

- 1) 極低温下のせん断耐力は、常温に比べ著しく増大する。
- 2) 極低温下では、実用的な鉄筋比の範囲ではすべて鉄筋の降伏によって耐力が決まり、耐力の頭打ちはない。
- 3) 極低温下における鉄筋コンクリートのせん断面でのせん断伝達耐力は、著者らが文献4)で提案した算定式により評価することができる。ただし、せん断耐力の上限値の制限は、せん断鉄筋比が5%以内ならとくにこれを設ける必要はないものと思われる。

最後に、本実験を行なうに際し、協力していただいた電力中央研究所の金津努、電力技術整備の紅林誠画氏に深謝致します。

参考文献；1) L N G地下式貯槽(土木設備)設計指針，昭和53年10月，電気事業連合会。2) 山田，青柳，鉄筋コンクリートのせん断力伝達機構について，第33回年次学術講演会概要集。3) 内田，山田，渡部，斜交せん断鉄筋を有するコンクリートのせん断耐力，第33回年次学術講演会概要集。4) 青柳，山田，磯畑，RC格納容器の面外せん断耐力算定法に関する一提案，第34回年次学術講演会概要集。

表-1 試験体諸元と実験結果

試験体	試験体諸元			材料物性 (kg/cm ²)			終局せん断耐力 T_u	常温での値 $T_u(0^\circ\text{C})$
	鉄筋比 (%)	θ (度)	ひびわれ	f_y^*	$\sigma_c(-60^\circ\text{C})$	$\sigma_c(0^\circ\text{C})$		
NO.1	1.25	90	有	4013	1054	87	146	104(411)
NO.2	2.55	90	有	3350	1119	66	180	111(419)
NO.3	3.80	90	無	3880	996	83	271	123(424)
NO.4	3.80	90	有	3880	978	78	271	131(443)
NO.5	5.07	90	無	3880	978	78	327	132(402)
NO.6	2.54	67.5	有	3880	1054	87	141	72(406)
NO.7	2.54	112.5	有	3880	1054	87	252	133(405)
NO.8	2.54	135	有	3880	1054	87	230	126(418)

* 常温での試験値

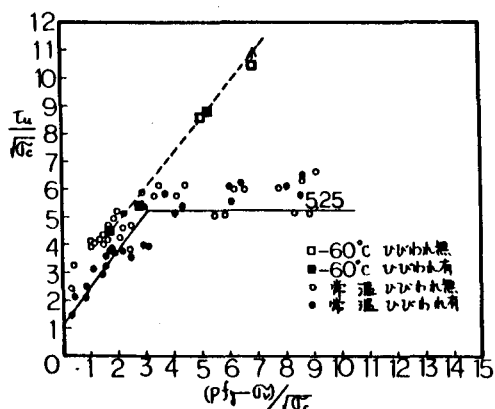


図-2 $T_u/\sqrt{t_c}$ と $(Pfy - \sigma_v)/\sqrt{t_c}$ の関係

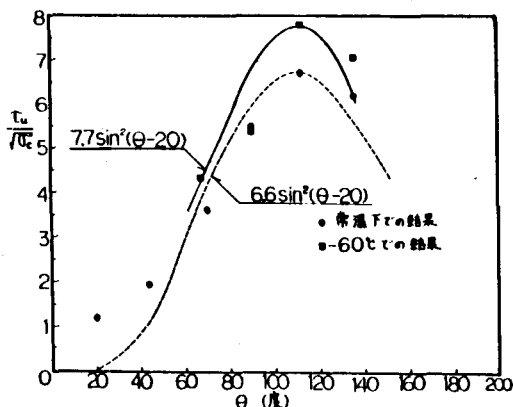


図-3 θがせん断耐力に及ぼす影響