

地上式 LNG タンク底部保冷材の低温時の性能確認試験

石川島播磨重工業（株） 正会員 山口 悟
 大阪ガス株式会社 高田 昌典
 大阪ガス株式会社 山下 眞輝
 石川島建材工業（株） 正会員 伊達 重之

1. はじめに

兵庫県南部地震以来、各種構造物に対して、発生確率が小さいが大きな被害が予想される高レベル地震(レベル2地震)を考慮して設計をするようになってきている。本稿で対象とする地上式LNGタンクは、極低温(約-163)の液化天然ガスを貯蔵する設備である。タンクは外部からの熱の侵入を防ぐため十分な保冷性能を有している必要がある。そのため、内槽側部と外槽側部の間には粒状パーライトを充填し、内槽下部には保冷性能と支持強度を併せ持つ底部保冷材が設置される。図-1に地震が発生した時のタンク内槽の挙動を示す。地震による水平力がタンクに作用すると、転倒モーメントが発生し、それが側板を伝わり側板直下の底部保冷材にラインロードとして圧縮力が作用する。そのため、側板直下の底部保冷材は中央部より強度の高い材料を使用している。側板直下の底部保冷材には主に、普通コンクリートよりも保冷性能を向上させた、人工軽量骨材コンクリート(以下、軽骨コンと呼ぶ)が用いられている。

現在、これら底部保冷材については、常温強度をもとにレベル1地震に対して所定の安全率を確保するように設計が行われている。常温強度を使用する理由としては、実際の底部保冷材は低温であり、一般に「コンクリート材料は低温で強度が上がる」と言われているが、低温におけるデータが少ないためである。

一方、レベル2地震時には側板直下の底部保冷材における作用荷重が、レベル1地震時に比べ2倍近くになる。そのため、レベル2地震時の設計では、常温強度による設計を基本とし、地震発生確率を考慮し安全率を低減するのが合理的である。また、実機において低温になっている底部保冷材の、使用温度における強度を用いることができれば、更に合理化を図ることが可能である。そこで、本研究では軽骨コンの低温時における圧縮強度試験を行い、低温と常温における圧縮強度の差(圧縮強度増加率=低温時圧縮強度/常温時圧縮強度)について検討する。

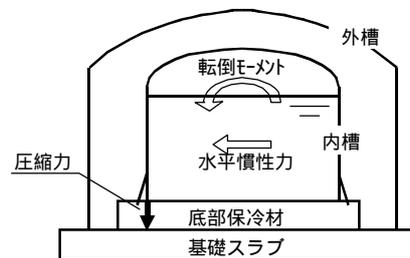


図-1 地上式LNGタンク概要図

2. 試験内容

(1) 試験条件

三浦の提案した式¹⁾によると、低温時のコンクリートの強度増加率はコンクリートの含水率により異なる。また、実際の地上式LNGタンクでは含水率を細かく管理することは不可能である。よって、コンクリートの含水率による影響を検討するため、3種類の養生方法によりコンクリートを打設し、養生毎に温度条件を変えて試験を行った。詳細な試験条件を表-1に示す。

表-1 試験条件

配合	水	: 182kg
	早強ポルトランドセメント	: 400kg
	細骨材(人工軽量骨材: 湿潤品)	: 639kg
	粗骨材(人工軽量骨材: 湿潤品)	: 534kg
	その他	: AE剤
試験片形状	直径100mm、高さ200mmの円筒形 (JIS A1132)	
試験温度	常温(20)、-80、-163	
養生条件 (材齢28日まで)	水中(20)	
	材齢7日まで水中の後、気中(20 -65%RH) 気中(40 -50%RH)	

キーワード：保冷材、圧縮強度、軽量骨材コンクリート、地上式LNGタンク、耐震

連絡先：〒135-8733 東京都江東区豊洲3丁目2番16号 石川島播磨重工業(株) TEL: 03-3534-3102

(2) 試験方法

急激な冷却による試験体の劣化を防止するため、中心部と表面温度の温度差が 5 未満になるように断熱材で試験体を保護した状態で冷却した。試験体の温度は温度計測用の試験体に埋め込んだ熱電対で計測し、所定の温度に達した後に圧縮試験を実施した。本試験の計測項目としては、試験片の温度、含水率^{*2}及び圧縮強度である。

$$*2) \text{含水率} = (W1 - W2) / W2 * 100$$

W1：養生後の重量

W2：試験後、100 の乾燥器中で 7 日乾燥させた後の重量

(3) 試験結果

含水率をパラメータとしたときの、試験体の温度と圧縮強度の関係を図-2 に示す。この図より、低温になるほど軽骨コンの圧縮強度が大きくなるのが分かる。また、含水率の影響を見てみると、常温における軽骨コンの圧縮強度は、含水率が小さいものほど強度が高い傾向にあった。一方、温度が低い場合では、含水率が高いものほど圧縮強度が大きくなり、また温度が低下することによる強度増加量も増える傾向にあった。

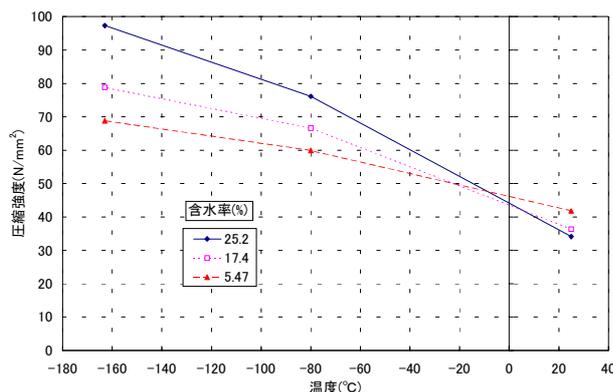


図-2 各含水率における圧縮強度

3. 実機における底部保冷材の低温時圧縮強度増加率

低温時における底部保冷材の圧縮強度増加率を算定する。軽骨コンを実機 LNG タンクに使用する際に計測された軽骨コンの含水率は約 5%から十数%の範囲にある。上記試験結果より、低温時では含水率の小さい方が圧縮強度も小さくなる。よって、ここでは安全側を考慮して含水率を 5%と仮定して計算を行う。温度条件についてみてみると、軽骨コンの温度は上下方向に分布がある。軽骨コンの上面ではほぼ LNG 温度であり、下方に離れるに従って温度が上昇する。そのため、圧縮強度増加率は上面では大きく、下面に近づくにつれて小さくなり、使用温度を考慮した場合には上面に近いほど有利になる。ただし、圧縮力を受け持つ受圧面積は、図-3 に示すように下方に近づくに従って大きくなるため、最終的にクリティカルとなる位置は、軽骨コン上面となる。また、軽骨コン上面における圧縮強度増加率を、試験結果の線形補間値から求めた場合、1.6 倍となることがわかった。

4. まとめ

軽骨コンの低温時における圧縮強度が常温時に比べ大きくなるのが判明した。また、圧縮強度増加率は、強度上最もクリティカルとなる軽骨コンの上面において1.6倍であり、軽骨コンについては使用温度における圧縮強度を用いれば、より合理的な設計を行えることが確認できた。

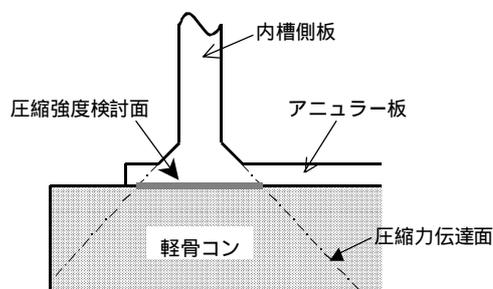


図-3 側板直下概要図

[参考文献] *1)三浦 尚ら，極低温下で使用されるコンクリートの性質と含水比の関係について，土木学会第32回年次学術講演講演概要集，pp.46-47，1977.10