

剛結合形式 LNG 地下貯槽のハンチ形状の最適化

清水建設（株） 正会員 内藤 健
 清水建設（株） 正会員 若林 雅樹
 清水建設（株） 正会員 土屋 雅徳
 清水建設（株） 正会員 橋本 道代

1. はじめに

近年 LNG 地下式貯槽の側壁と底版を結合する形式は、目地部に止水版が不可欠であった従来のピン結合形式から、側壁 - 底版を一体化し、結合部を簡素化した剛結合形式へと移行しつつある。剛結合形式とした場合、構造上目地が存在しないため止水性が更に向上し、目地部止水版の凍結管理が不要となるため運用管理が容易になる。しかしながら、底版下面に作用する揚水圧による曲げモーメントが結合部を経て底版から側壁に伝達されるため、側壁下端で大きな曲げモーメントが発生する。その曲げモーメントに対しては、側壁内側にハンチを設けて応力の流れをスムーズにすること、側壁下端を PC 構造にすることで対処している。本報は、剛結合形式 LNG 地下式貯槽の設計の合理化を図るため、経済性の観点から、剛結合部のハンチ形状・寸法の最適化について検討したものである。

2. 検討対象および方法

検討対象としては側壁 - 底版剛結合形式 15 万 KL 地下式 LNG 貯槽とし、ハンチの基本形状を高さ 3m、幅 3m、角度 45° に設定した。構造諸元を図 - 1 に示す。ハンチは基本形状を基に大きさ、角度を変化させて、表 - 1 に示す検討ケースを設定した。本検討では、ハンチ形状の変化が底版上面の中央部の引張応力に最も大きく影響すると予測されるため、底版上筋の鉄筋量について着目することにした。その鉄筋量を決定する荷重条件の組合せはタンクが常時・空液時・温度荷重作用時の状態で、自重、土圧、水圧（底版・側壁）、屋根荷重、温度荷重、凍結土圧となるが、底版上面の引張応力に対し最も支配的である自重、水圧（底版・側壁）、温度荷重を作用させて検討を行うこととした。また自重・水圧（底版・側壁）と温度荷重のみを独立して作用させた場合の挙動についても検討した。以上より、荷重の組合せは a)自重・水圧（底版・側壁）、b)温度荷重、c)自重・水圧（底版・側壁）・温度荷重とする。

解析モデルは軸対称 FEM モデルを用いた。

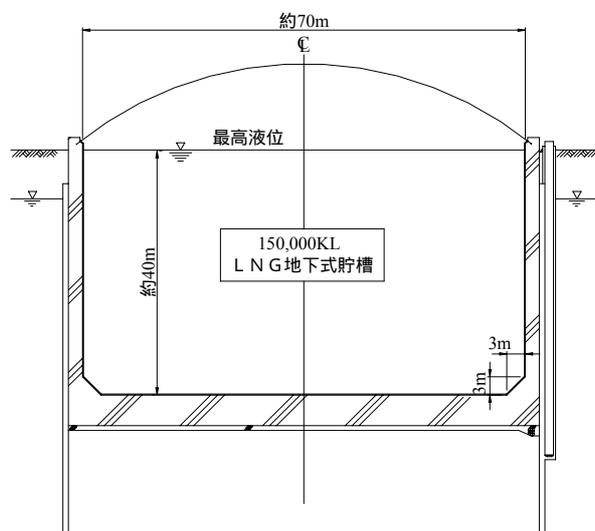


図 - 1 一般構造図

3. 解析結果

各ケースの底版上面の発生する半径方向軸応力分布を図 - 2、図 - 3、図 - 4 に示す。

a)自重・水圧（底版・側壁） 底版上面に引張応力が発生し、底版中央から半径方向に各ケースとも一様な減少傾向を示している。ハンチ形状に起因する変化は、ハンチ寸法が大きくなるほど、またハンチ角度が大きくなるほど、応力度が減少する傾向がみられる。これはハンチ幅の増加により底版のスパンが減少するためと考えられる。

表 - 1 検討ケース

		h3-45	h2-45	h4-45	h3-30	h3-60
ハンチ高	h (m)	3.00	2.00	4.00	3.00	3.00
ハンチ幅	b (m)	3.00	2.00	4.00	1.73	5.20
ハンチ角度	θ (°)	45	45	45	30	60

b)温度荷重 底版上面の引張応力は底版中央から半径方向にほぼ一様に分布している。ハンチ形状に起因する変化はハンチ寸法,ハンチ角度が大きくなるほど応力度が増加する傾向であり, a)自重・水圧(底版・側壁)の場合と逆の傾向となる。これはハンチ幅の増加により底版の拘束度が増加し,温度荷重による底版の収縮が抑制されるためと考えられる。よって LNG 地下式貯槽などの極めて大きな温度荷重を受ける RC 容器構造物では結合部の拘束度に応じて内側の引張応力の発生度合いが異なることが分かった。

c)自重・水圧(底版・側壁)・温度荷重 解析結果は a)自重・水圧(底版・側壁)の場合とほぼ同様の傾向を示し,ハンチ幅の大きなケース h4-45,h3-60 は基本ケース h3-45 に比べて引張応力が減少する結果となった。

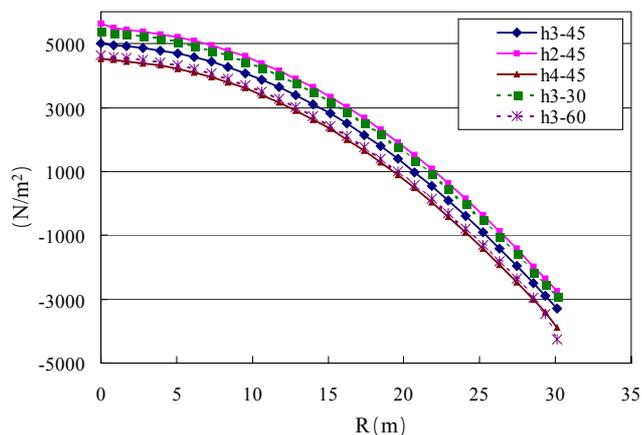


図 - 2 半径方向軸応力 自重・水圧

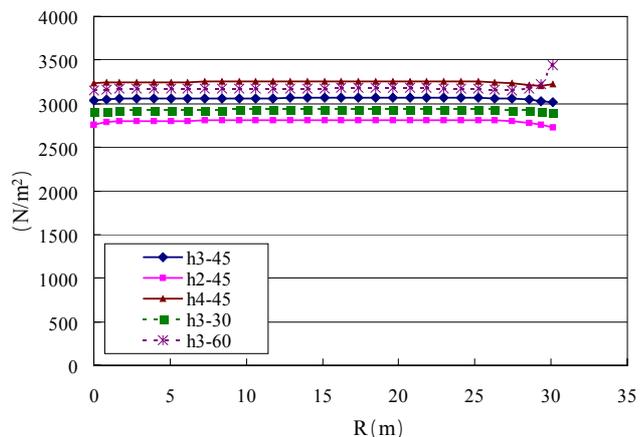


図 - 3 半径方向軸応力 温度荷重

4. 数量算出

底版の鉄筋量を算出するにあたって,解析結果 c)の底版中心部 R=0mの引張応力度とケース h3-45 を 1 とした比率を表 - 2 に示す。底版の必要鉄筋量はケース h3-45 の鉄筋量にその比率を掛けて算出する。ハンチ部のコンクリート量,鉄筋量と底版の鉄筋量の変化量を表 - 3 に示す。ケース h4-45,h3-60 ではハンチを大きくすることで,底版鉄筋量は若干減少するが,ハンチ部のコンクリート量,鉄筋量の増大が著しくなる。ケース h2-45,h3-30 ではその逆の傾向を示す。

コストの増減はコンクリート量および鉄筋量の増減に材工単価を掛けて算出できる。今回の検討では,コストは小さい方から h3-30,h2-45,h3-45,h4-45,h3-60 の順になった。

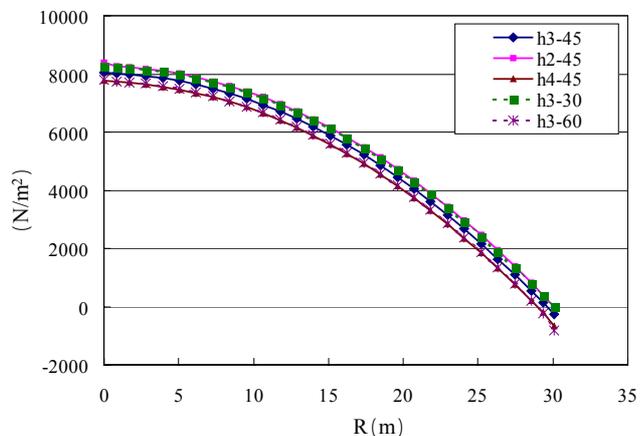


図 - 4 半径方向軸応力 自重・水圧・温度荷重
表 - 2 引張応力および比率

5. まとめ

剛結合形式 LNG 地下式貯槽の底版上面の引張応力はハンチ幅が増加する場合には減少傾向となり,ハンチ幅が減少する場合は増加傾向となる。ただし,温度荷重は結合部の拘束率に影響を受けるため,逆の傾向となることが分かった。

ハンチ形状の変化に伴う数量の変化は,底版上筋の数量(鉄筋)が減少する場合にはハンチ部の数量(コンクリート,鉄筋)が増加し,またその逆もいえるため,一定のコスト低減効果はあるものの,タンク全体の建設コストと比較すると必ずしも大きいとは言えない結果になった。

今後は,施工性やメンブレン等の機械部分のコストインパクトを加味した検討を行っていく予定である。

	h3-45	h2-45	h4-45	h3-30	h3-60
引張応力 (N/m ²)	8,053	8,379	7,764	8,278	7,788
比率	1.000	1.040	0.964	1.028	0.967

表 - 3 コンクリートおよび鉄筋の変化量

		h3-45	h2-45	h4-45	h3-30	h3-60
ハンチ部	コンクリート変化量(m ³)	0	-548	756	-413	691
	鉄筋変化量(t)	0	-37	44	-42	115
底版	鉄筋変化量(t)	0	134	-121	94	-111