

## 側壁・底版剛結合型 LNG 地下式貯槽の設計と施工（その 2）

東京ガス（株） 正会員 青木浩之\*<sup>1</sup>、川村佳則\*<sup>1</sup>  
 （株）大林組 正会員 仙名 宏\*<sup>2</sup>  
 大成建設（株） 正会員 山本 平\*<sup>3</sup>

### 1. はじめに

側壁・底版剛結合型 LNG 地下式貯槽では、底版下に作用する水圧等により、隅角部に応力が集中する。プレストレスを導入し、更にハンチ・切り欠き部を設けることにより、鉄筋の過密化を防止しているが、なお隅角部では高密度な配筋となった。本稿では貯槽全体の耐荷力と靱性を確保するため隅角部に対して行った設計・施工面での検討概要について示すものである。

### 2. RC 非線形解析を用いた側壁・底版隅角部補強筋に対する検討

隅角部補強筋として、水平方向に D51 全周 392 本 × 2 段、鉛直方向に D51 全周 392 本 × 1 列を配筋している（（その 1）図 - 3 参照）。これらの補強筋の配置および配筋量について、静的軸対称 RC 非線形解析により、その有効性を検証した。解析コードには東京大学コンクリート研究室で開発された WCOMD - SJ を使用した。

静的軸対称 RC 非線形解析の目的は、側壁 - 底版隅角部の破壊が、側壁あるいは底版の破壊に先行しないことを確認すること、現設計における隅角部近傍の耐荷性能を定量的に評価すること、の 2 点である。荷重としては隅角部の耐力を決定付ける上で最も支配的な荷重である揚圧力（底版下面に作用する静水圧）のみを考慮し、これを破壊に至るまで漸増させた。解析モデルは側壁と底版を軸対称ソリッド要素でモデル化している。境界条件は側壁頂部の鉛直方向固定とした。以上の条件下で、補強筋を有するケース（現行の量と配置）補強筋の無いケースの合計 2 ケースについて解析を行った。

解析結果として終局耐力と破壊形態・箇所の一覧を表 - 1 に、ケース 2 の破壊時のひび割れ図を図 - 1 に示す。補強筋を有する場合には終局耐力が補強筋の無い場合と比較し 30% 大きくなっている。また、補強筋を有する場合には隅角部外部が破壊するが、補強筋が無い場合には隅角部内部が破壊することが確認された。これらの結果より、側壁 - 底版隅角部補強筋の有効性を確認することができた。

表 - 1 終局耐力および破壊形態・破壊箇所

解析ケース	終局耐力	破壊形態	破壊箇所
ケース1 （補強筋無し）	設計揚圧力の2.3倍	せん断破壊	隅角部内部
ケース2 （補強筋有り）	設計揚圧力の3.0倍	引張・圧縮・せん断破壊	側壁下端部

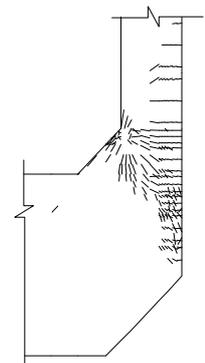


図 - 1 ケース 2：破壊時

### 3. 自己充てんコンクリート（充てん性能：ランク 1）の適用

側壁は、壁厚 2.8m、高さ約 53m であり、9 ロットに分割して施工される。その内、下部第 1～3 ロットは、太径鉄筋(D51)を用いた内外 2 段配筋となる。さらに剛結合により底版と側壁には、プレストレスが導入されるため、PC シース及び定着金物等が配置される。このため、狭隘かつ高密度配筋となりパイプレータによる締固め作業が困難となることが予想された。そこで、側壁第 1～3 ロットのコンクリートには、充てん性と材料

表 - 2 自己充てん性のランク

構造条件	ランク 1	ランク 2	ランク 3
鋼材の最少あき (mm)	35 ~ 60	60 ~ 200	200 以上
鋼材量 (kg/m <sup>3</sup> )	350 以上	100 ~ 350	100 以下
決定ランク			

キーワード：地下式貯槽、剛結合、非線形解析、自己充てんコンクリート

\*<sup>1</sup> : 〒230-0055 横浜市鶴見区扇島 4-1 TEL.044-392-7182 FAX.044-287-2180  
 \*<sup>2</sup> : 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (品川インターシティ) TEL.03-5769-1308 FAX.03-5769-1971  
 \*<sup>3</sup> : 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 (新宿センタービル) TEL.03-5381-5417 FAX.03-3342-2084

表 - 3 コンクリートの要求品質

項目	単位	内容	
設計基準強度	N/mm <sup>2</sup>	60.0	管理材齢 91 日
配合強度	N/mm <sup>2</sup>	68.3	変動係数 : 7.0%
スランプフロー	cm	65 ± 5	
漏斗流下時間	秒	9 ~ 20	
空気量	%	4 ± 1	
U型充てん高さ	mm	300 以上	障害 R 1
性状保持時間	分	90	

分離抵抗性を確保するため、高流動コンクリートを採用することとした。土木学会「高流動コンクリート施工指針」による高流動コンクリートの自己充てん性のランクは、鋼材の最小あき（78mm : 180@D51）からはランク 2、鋼材量（約 400kg/m<sup>3</sup>）からはランク 1 となる。太径鉄筋 D51 の円周方向重ね継手部を考慮すると最小あきがランク 1 に近くなることから表 - 2 に示すように自己充てん性ランク 1 を適用することとした。

構造及び施工条件からコンクリートに課す要求品質を表 - 3 に示す。高流動コンクリートの種別は、実績が多い「粉体系」とし、材料分離を抑制するため、低熱ポルトランドセメントに石灰石微粉末を用い粉体量を確保した。選定した配合を表 - 4 に示す。

表 - 4 コンクリートの配合表

	W/C	水粉体 容積比 %	単位量 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>			
			水	セメント 粉体	石粉	細骨材 粗骨材
配合	38.0	94.1	0.160	0.130 0.040	0.330	0.300
指針 標準値		85 ~ 115	0.155 ~ 0.175	0.16 ~ 0.19		0.28 ~ 0.30

#### 4. 底版隅角部の大型鉄筋網施工

底版隅角部では高さ 3.5m、45 度の切り欠き部の鉄筋施工方法の検討を行い、鉄筋と PC シースが過密配置される部分に対してコンクリートの充てん性を確保するため、重ね継手数を極力少なくする（品質の向上）、側壁剛結合部の工程が長くなると予想されるため、底版外側鉄筋工及び下側鉄筋工の工程を短縮する（工程の短縮）、全周にわたって足場が必要となる現位置での鉄筋組立を避け、危険な高所作業を極力減らす（施工コストの低減、安全の確保）ことを目的として、下記の大型鉄筋網による施工法を採用した。

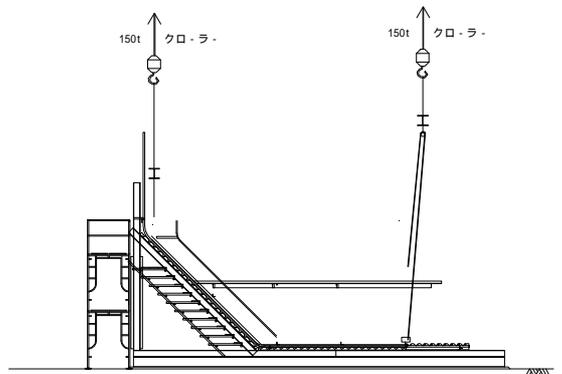


図 - 2 鉄筋網プレファブ建起姿図

大型鉄筋網：15m の鉄筋を使用して、鉛直方向は、鉛直部、斜

面部、水平部を通して継手無しとし、円周方向は全周を 24 等分割とした。さらに側壁下部の円周筋も予め設置しておいた。外側 1 段目の鉄筋網は約 22 t × 24 枚、2 段目は約 20 t × 24 枚、計 1,020t となる。

プレファブ、フレームでの建起：プレファブ作業で高所作業を極力減らし、かつ円周筋の曲線を描く面を垂直にして配筋を容易にするため、鉄筋網を寝かせた状態でプレファブする専用組立架台を設置した。鉄筋網に鋼製補強フレームを固定し、2 台のクレーンを使用して建起し（図 - 2 参照）、主吊クレーンで移動して建込んだ。（図 - 3 参照）。

建込用フレーム内作業足場：フレーム内に予め 2 段の足場、手摺、昇降梯子等の安全設備を設置、鉄筋網の固定、重ね継手の仕上げ作業に使用した（図 - 3 参照）。フレームは引上げ次の網に転用した。

平成 12 年 2 月中旬より鉄筋網組立を開始し、外側 1 段目の建込を実働 11 日、2 段目を 8 日で完了した。

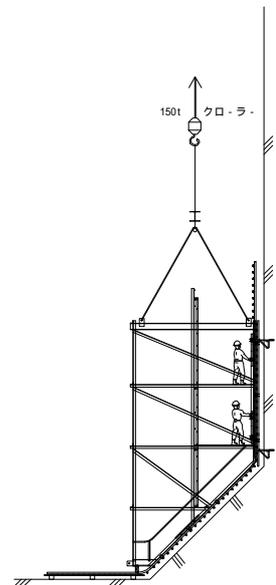


図 - 3 鉄筋網建込姿図

#### 5. おわりに

側壁と底版を剛結合とした LNG 地下式貯槽の設計と施工は、性能照査型設計について、いくつかの指針が発刊された時期と重なり、今回紹介した以外にも多くの性能規定、非線形解析等を実施し、その成果を取り入れつつ建設を進めている。また、非線形解析の実施にあたっては東京大学コンクリート研究室安助教授に御指導を頂いた。