

船に働く荷重と船体構造

船に作用する荷重 (定性的分類)

船体外部からの水圧,
自重および貨物などの載荷物重量,
船体運動に起因する慣性力

↓

静荷重 + 動荷重(変動荷重)

	静荷重	動荷重		特殊荷重
		準静的荷重	衝撃荷重	
船体外部より作用する荷重	静水圧	変動水圧	スラミング圧 船首衝撃圧 波浪打込み圧	ドッキング反力 接岸圧 漂流物との接触圧 座礁時の衝撃圧 風圧
船体の自重と載荷物による荷重	船体の自重 積載貨物の自重	慣性力 液体貨物の動圧 粒状貨物の動圧	スロッシング圧	水圧テスト圧 区画浸水時の水圧 ポンプ過剰押込圧 荷役時の荷重

衝撃荷重



スラミング荷重を受けるタンカー



波浪打込み荷重を受けるバルクキャリア



スロッシング荷重を受けるタンク

全て
模型実験
の写真

船に作用する荷重 (作用対象による分類)

局部荷重:
各構造要素に作用する圧力. 集中力.

横(断面)荷重:
局部荷重を船体横断面全体で考えた荷重. 断面に分布.

全体荷重:
横(断面)荷重を船長方向に積分して得られる荷重. 船長方向に分布.

船体に作用する荷重
↓
船体の強度評価に密接に関連

局部荷重 ⇔ 局部強度
横(断面)荷重 ⇔ 横(断面)強度
全体荷重 ⇔ 全体強度 (縦強度)



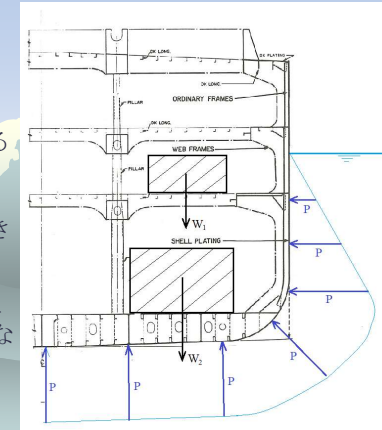
局部荷重と局部強度

局部荷重 (1)

船体の横断面で見ると
船底、船側→水圧
甲板→搭載物の重量
が静荷重として加わる。

更に、船が波の中で揺れる
ことにより水圧と加速度の変
動が発生するので、実際に
加わる荷重は静荷重より大き
くなる。

船体構造はこうした荷重に
耐える強度を持たなければなら
ない。
→陸上構造物と同じ。



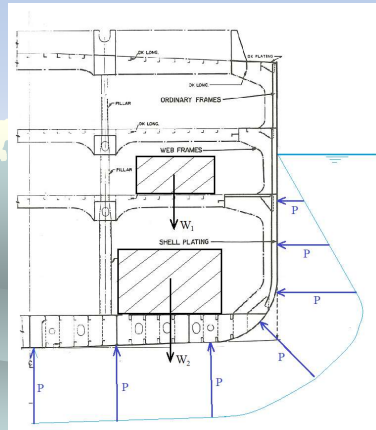
局部荷重 (2)

局部荷重を支えるために、船
底や甲板の断面2次モーメン
トを大きくする必要性

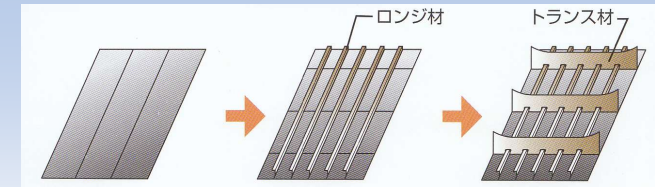
↓
断面積を増やして重い構造
にすると、コストが上がるし荷
物の積載量も減る。
⇒ 経済性低下

↓
薄い板に補強部材(Stiffener)
を溶接して断面2次モーメント
を大きくする

⇒ **防撓パネル**
(Stiffened Panel)



防撓パネル (1)



防撓パネル (Stiffened Panel)

↓
船の基本構造

パネル(板:Panel)+縦横の骨材(補強材:Stiffener)

↓
重量増加を抑えて、剛性・強度を増加

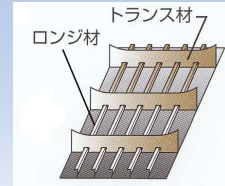
船体構造だけでなく、橋梁などの土木構造物にも使用
(建設業界では補剛パネルと呼ぶ)

防撓パネル (2)



船体構造に使用される防撓パネルのサイズ
 パネル板厚: 10~20mm
 ロンジ材 (船の長さ方向補強材) 高さ: 200~400mm
 ロンジ材間隔: 700~1000mm
 トランス材間隔: 2000~5000mm

防撓パネル (3)

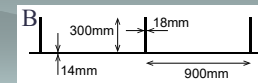


ロンジ材(Longitudinals)
 : 断面2次モーメントを大きくし、
 曲げ剛性と強度を高める

厚さ20mmの板(A)と厚さ14mmの板に
 300×18mmの平板(Flat-bar)を900mm毎に
 配置した防撓パネル(B)を比較 (900mm分の値)
 (AとBの断面積は、下記のように同じである)



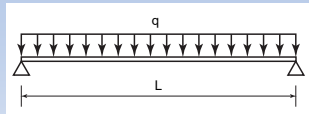
断面積 : $1.80 \times 10^4 \text{ mm}^2$
 断面2次モーメント : $6.00 \times 10^5 \text{ mm}^4$
 断面係数 : $6.00 \times 10^4 \text{ mm}^3$



断面積 : $1.80 \times 10^4 \text{ mm}^2$
 断面2次モーメント : $1.34 \times 10^8 \text{ mm}^4$
 断面係数 : $5.15 \times 10^5 \text{ mm}^3$

同じ断面積でも断面2次モーメントは223倍, 断面係数は8.6倍

防撓パネル (4)



大型船の船底外板を考え喫水が最大20mで, 20m水頭の圧力を受けるとする。
 幅900mmの領域を1本の梁とみなすと, この梁に作用する分布荷重qは,

$$q = 20 \times 10^{-3} \times 9.8 \times 900 \text{ N/mm}$$

さらに, $L=2400\text{mm}$, $E=210 \text{ GPa}=2.10 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ とする。

スパン中央のたわみ $\delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI}$ スパン中央での曲げモーメント $M = \frac{q \cdot L^2}{8}$ 曲げ応力 $\sigma = \frac{M}{Z}$

Z: 断面係数

厚さ20mmの板(A)では たわみ : 605 mm 高張力鋼の降伏応力: 314 N/mm^2 を 遥かに越える. 防撓パネル(B)では 断面2次モーメントは223倍, 断面係数は8.6倍 たわみ : 2.71 mm 曲げ応力: 247 N/mm^2 **Safe!**

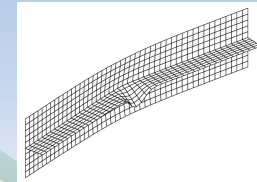
Out!

ロンジ材

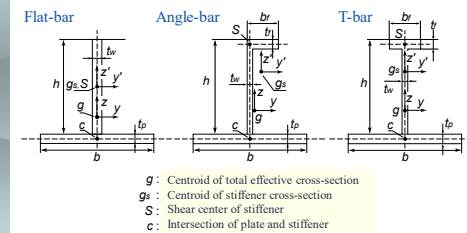
Flat-barのロンジ材 → 高いと倒れやすい

↓
 倒れ変形に対する剛性を上げて
 倒れにくくする

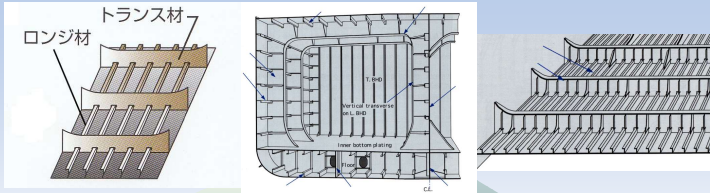
↓
 Angle-barやT-barを使用する



Angle-barやT-bar
 を使うと, Flat-barよ
 りさらに断面2次
 モーメントを大きく
 できる



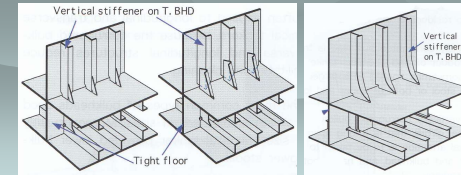
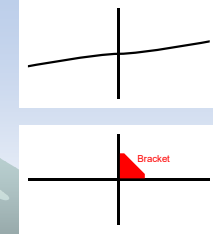
トランス材



横断面全体を支え、形状を保持するリング状構造材
 ↓
 ロンジ材の倒れを防止し、縦強度を下支え
 ↓
 パネルやロンジ材に作用する荷重を支える強度が必要
 ↓
 トランス材を補強する小骨材が取り付けられる場合も多い
 ↓
 トランス材を適切に配置することは非常に重要!!

ブラケット

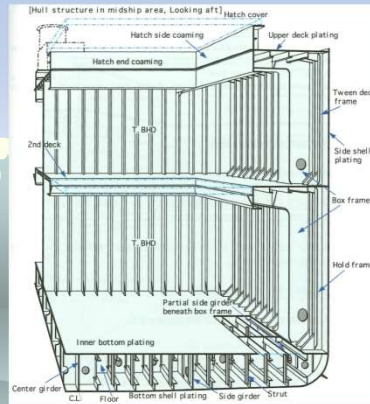
部材どうしを垂直に接合すると
 ↓
 接合部でせん断変形を生じ易い
 ↓
 せん断変形防止のため、
 多くの接合箇所ではブラケットを設置
 単純な三角形、面材付き三角形、
 小骨材と一体 (下図左から) など



防撓パネルで構成された船体

防撓パネル構造からなる小型貨物船の二重底と船側および隔壁構造(右図)

同じく、建造中のコンテナ船の二重底ブロック(下写真)

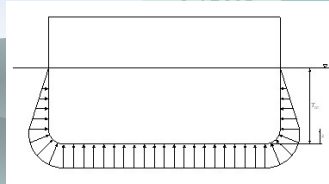


図は、恵美洋彦著「船体構造イラスト集」より転載 (以後も同じ)

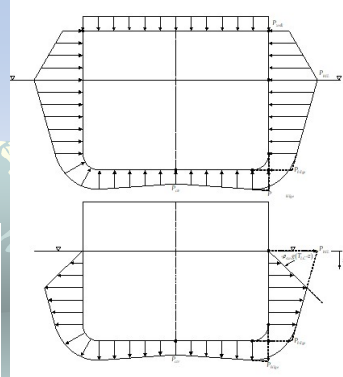
横(断面)荷重

横(断面)荷重 (1)

横(断面)荷重
↓
水圧や載荷物荷重による分布荷重
(静水圧, 波浪変動圧
載荷物静圧, 載荷物動的圧)
↓
設計荷重に関するルール有り

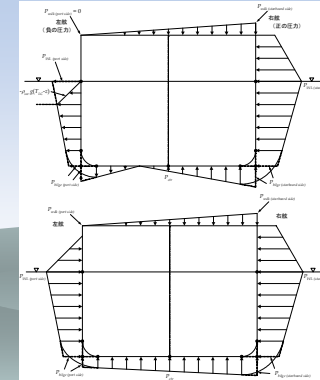


静水圧

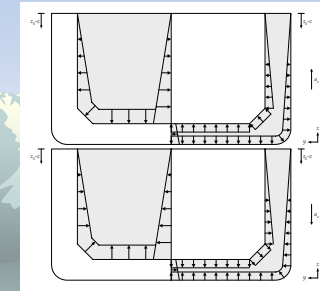


向い波時の波浪変動圧
(上:ホギング時, 下:サギング時)

横(断面)荷重 (2)

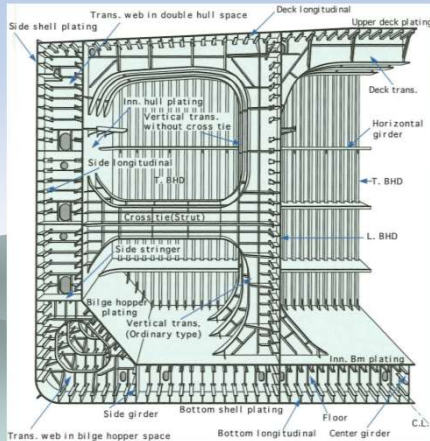


横波と斜め波時の波浪変動圧



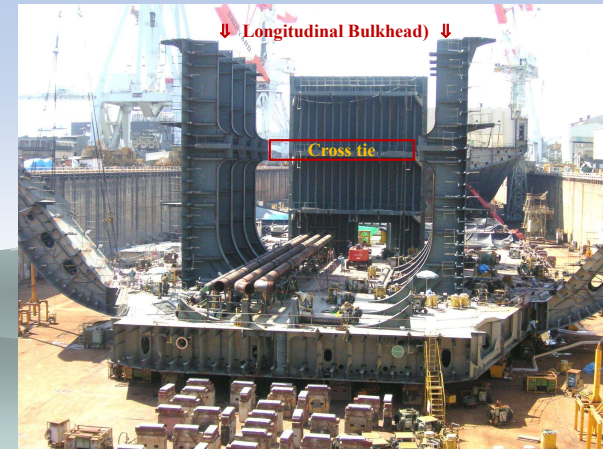
上下加速度を受ける時の
船倉内荷物の動的圧力と
バラスト水の動的圧力

横(断面)荷重を考慮した構造例



左図は大型タンカー中央部の構造概要(左半分)を示しているが、横断面における横荷重を考慮して中段付近にCross tie(Strut)が配置されている。

船の構造 (建造中のタンカー)





船体全体に作用する荷重

波によって船全体を曲げるモーメントが発生
⇒ 船全体に加わる荷重の一例

図⑧ **ホギング** 波の山が船体中央に来たとき

図⑨ **サギング** 波の山が船首尾に来たとき

船体構造
↓
局部荷重だけでなく、全体曲げモーメントにも耐えられる構造でなければならない

バルクキャリアの静的全体荷重 (特殊な例)

⇒ 個々の船倉部に作用する浮力と自重の不釣合いが大きい。
⇒ 静的全体荷重が大きくなる。
均等に荷を積んでいる場合
⇒ 静的全体荷重は小さい。
これに動的荷重が重畳する。

全体荷重

垂直剪断力

垂直曲げモーメント

軸力

水平剪断力

水平曲げモーメント

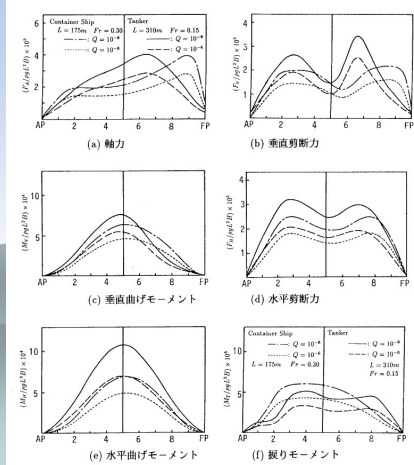
振りモーメント

船体横断面に作用する全体荷重 (断面力)

最も重要な荷重: **垂直曲げモーメント** (縦曲げモーメント) と **垂直せん断力** (縦せん断力)

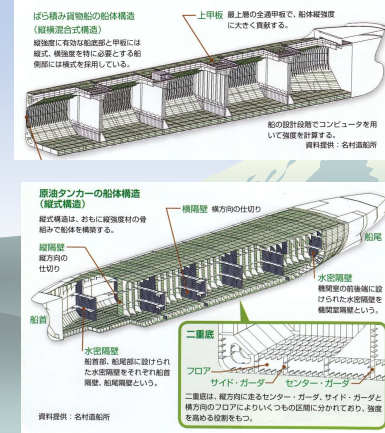
コンテナ船では、上甲板に大きな開口があるため、**振りモーメント**も重要になる。

波浪による全体荷重



外洋の平均波周期:6秒と仮定
 ↓
 1分間に10回の波
 ×60分×24時間
 ×365日×20年
 (船の耐用年数)
 ↓
 100,000,000回
 ↓
 10の8乗回に1回遭遇するレベルの最大波浪荷重を推定して**設計荷重**とする。

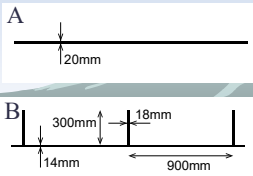
船の構造



甲板や船底などの局部強度(パネル強度)を確保しつつ、横断面強度と全体強度を確保するように、船体構造を設計する
 ↓
 船全体を曲げるモーメントに耐える構造
 ↓
 船全体の断面2次モーメントを大きく
 ↓
 甲板と船底の構成部材の**横断面積を確保する必要性**

船体横断面の部材配置

船全体を曲げるモーメントに耐える構造
 ↓
 船体横断面の2次モーメントを大きくする



船体横断面を簡略化して右図の通りとし、甲板と船底をAまたはBにする時、断面2次モーメントはどう変わるか?

側壁を無視し、幅900mm分の2次モーメントを計算。

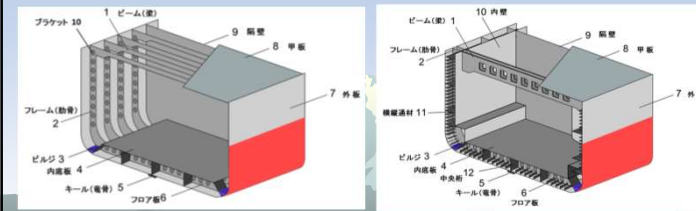
$$A: 2 \times 20\text{mm} \times 900\text{mm} \times (9,990\text{mm})^2 + 6.0 \times 10^5 \text{mm}^4 = 35.93 \times 10^{11} \text{mm}^4$$

$$B: 2 \times (14\text{mm} \times 900\text{mm} + 18\text{mm} \times 300\text{mm}) \times (9,948\text{mm})^2 + 1.34 \times 10^8 \text{mm}^4 = 35.63 \times 10^{11} \text{mm}^4 + 1.34 \times 10^8 \text{mm}^4 = 35.63 \times 10^{11} \text{mm}^4$$

BはAと同じ断面積だが、パネルとしての断面2次モーメントは223倍

船底と甲板を防撓パネルに代えても、曲げ強度(断面2次モーメント)は殆ど変わらず、むしろ僅かに減少する。

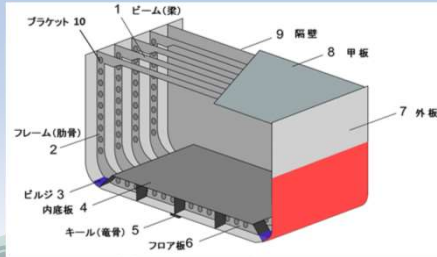
横式構造 (Transverse System) と縦式構造(Longitudinal System)



横式構造(Transverse System) 縦式構造 (Longitudinal System)
 横断面内の補強材が主体で、縦(前後)方向の補強材が従。 縦(前後)方向の補強材が主体で、横断面内の補強材が従。

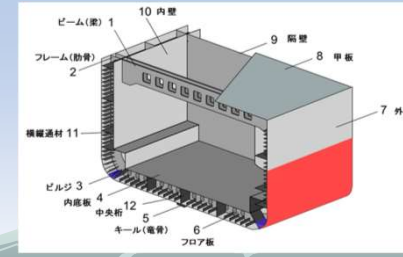
<http://www.meiwakaiun.com/meiwaplus/tips/tips-vol40.html>

横式構造(Transverse System)



ビーム(梁)・フレーム(肋骨)・フロアがブラケットで結合された枠組と、横隔壁などの横強度部材を中心とした構造は簡単に建造しやすく、昔はこの方式が主流であった。艙内の凹凸が少ないので艙内が広く使えるという利点がある反面、縦方向に通る部材が少なく縦強度の面で劣るので大型船には向かず、主として内航の中小型船舶の構造として採用される。

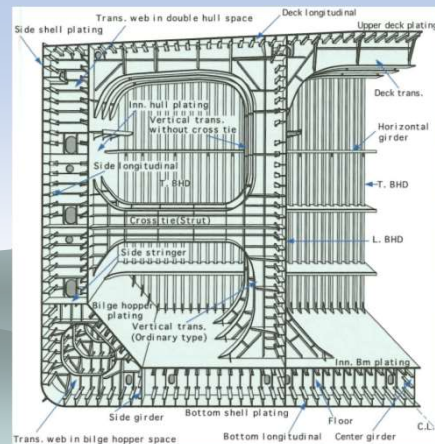
縦式構造 (Longitudinal System)



横式構造に比べて縦部材が多く縦強度を大きくできるので、船殻重量が相対的に軽くなる(材料軽減)。そのため大型船(コンテナ船、鉱石運搬船、ばら積み貨物船、タンカーなど)では、工作的な面から船首尾部分を横式構造とするのを除いて、船体主要部を縦式構造にするのが普通である。

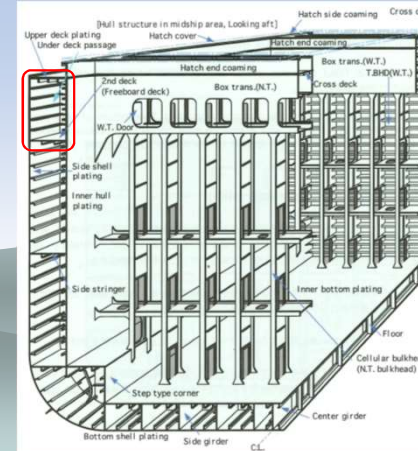
構造が複雑で倉内の壁に凹凸ができるので一般貨物船には不向きとされるが、近年の大型船は上記のような専用船ばかりである。

縦曲げ荷重を考慮した構造例



左図は大型タンカー中央部の構造概要(左半分)を示しているが、二重底部と上甲板にはロンジが前後方向に配置されていて上下端部の横断面積を稼ぎ、縦曲げ強度を確保している。

縦曲げ荷重を考慮した構造例



左図は大型コンテナ船中央部の構造概要(左半分)を示す。

二重底部は他船種と同じくロンジが前後方向に配置されて縦曲げ強度に寄与しているが、大開口を持つために上甲板部で縦曲げ強度に寄与するのは赤枠で囲った部分だけであるので、この部分は厚板で造られる。

建造中のコンテナ船



独立タンク構造 — 防熱構造 —

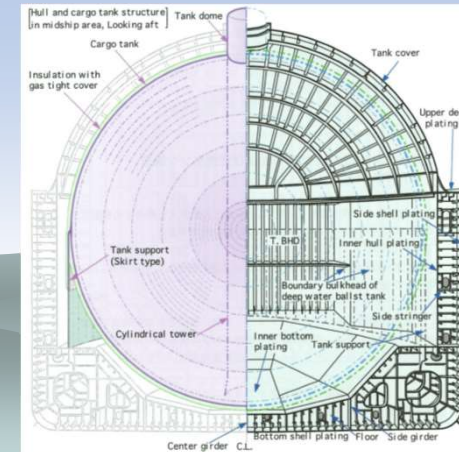
荷重に対応する構造ではないが、温度が著しく低いか高い貨物を鋼構造に搭載すると、温度の相違によって熱応力が発生するので、防熱対策が必要となる。低温の場合は更に、鋼の靱性が低下して脆性破壊を招く恐れもある。そのため船体構造から独立したタンクを造り、防熱構造を介して船体に搭載している。

LPG船 (液化石油ガス運搬船)

船体構造は下左図に左半分を示すように造られて、船体としての要件を満足するとともに、二重底上面にタンク支持構造を備えている。その中に液化ガスタンク(紫色で示す)を据え付けると下右図のようになるが、液化ガスタンクの外側は防熱材のインシュレーションで覆われていて、船体構造の温度低下を抑制する。

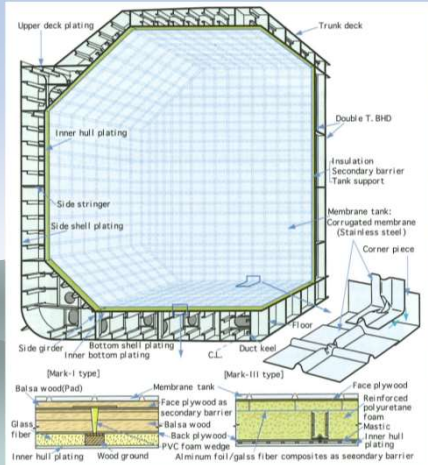


LNG船 (MOSS方式)



LNG船のタンクには幾つかの形式があり、左図は球形を基本とするMOSS方式のタンクを搭載した例である。鋼製船体に設置された円筒状Tank supportが、アルミ製タンク構造の赤道帯とつながってタンクを支持しており、防熱材で覆われたタンクは船体構造から浮き上がっている。鋼とアルミを繋ぐTank support部の強度を確保するため、爆接材が使われる。

LNG船 (メンブレン方式 - テクニガス型)



MOSS方式は球形を基本とするタンクを使うので容積効率が悪く、比重の小さなLNGを搭載するには不利で、メンブレン方式の方が有利である。外側に補強材が付き内側には突起構造物の無いHold spaceに、合板や発泡ウレタンなどからなる防熱構造と特殊形状をしたメンブレンタンク材を配置してLNGタンクを構築する。ガストラ型と呼ばれるメンブレンタンクもある。

アスファルトタンカー

アスファルトは常温で固体、融点は150°Cを越えるので、170°C超の高温で溶融させて運搬する。そのため右上図のような船体構造を造り、右下図に示す紫色のタンク構造を薄緑色の防熱構造で覆って、搭載する。温度が高いか低いかが違うだけで、一見するとLPG運搬船に似ている。

