

(58) 鋼/コンクリートハイブリッド
バージの横強度

運輸省船舶技術研究所 正会員 ○松岡 一祥
同 上 正会員 田中 義久

1. はじめに

鋼製の船舶あるいは海洋構造物では、鋼材の腐食および疲労が大きな問題となる。そのため、鋼製船舶はほぼ毎年入渠、4年に1度は大規模な補修を行って性能を維持している。移動できない海洋構造物や、入渠せずに長期間稼働することが期待されるプラントバージなどでは鋼材の防食および疲労に対する対策が重要である。特に海水に接するプラントバージなどの船底および船側では、十分な腐食代を持たせただけに重塗装と電気防食が実施されるが、建造および維持補修経費の増大が問題となる。そこで、鋼材に比べて海洋環境で耐久性のあるコンクリート(PCあるいはRC)の使用が塗装、電気防食などの建造・維持経費の観点から有利になる。一方、プラントなどの艀装・積載物重量と構造規模および建造コストの関係、艀装品の取付けの容易さから、強度/重量比が大きく、溶接による艀装品取付けの容易な鋼構造の利点も捨て難い。そこで、船底外板および船側外板の海水飛沫帯から下側にコンクリートを用い、その他の部分を鋼構造とする鋼/コンクリートハイブリッドバージが考えられる。

バージを計画するに当たり、経済面からは、上述のように、構造重量、建造コストとメンテナンスコストなどが、強度面からは、局部強度、横強度(船体横断面の強度)、縦強度(船体の梁としての強度)などが検討対象となる。ここでは、横強度について検討した結果を示す。

2. 想定構造物の概要

図-1に想定構造物の一般配置を示した。この構造物は、日本造船研究協会において概念設計と強度の検討を行った発電プラントバージである¹⁾²⁾。発電プラントを除くバージ本体の大きさは、長さ83m、幅36m、型深さ10m、喫水6mである。図-2に中央断面を示した。構造は、ほぼ箱型で、船側飛沫帯以下の外板をPCとしたものである。設計用材料強度は、コンクリートの強度400kgf/cm²、構造用鋼材の降伏応力2400kgf/cm²、引張強度4100kgf/cm²である。

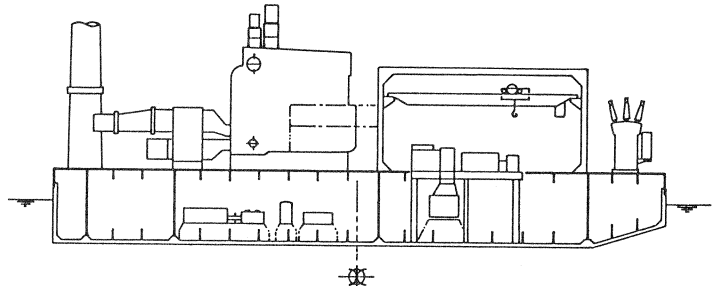


図-1 発電プラントバージ配置

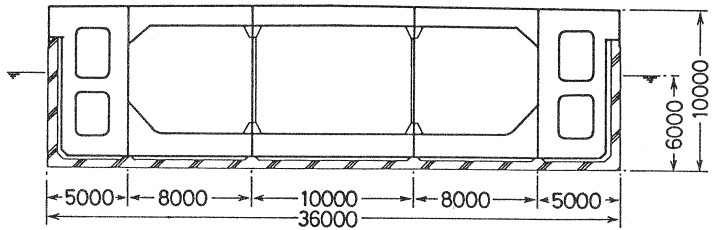


図-2 バージ本体横断面

3. 模型試験と結果

3.1 試験方法

図-3に試験模型を、図-4に載荷方法を示した。これは、想定構造物の舷側タンク1リング分の1/4

の縮尺模型である。呼び強度 400 kgf/cm^2 のコンクリートを用いた。配合を表-1 に示した。荷重は、船側外板に線状に加えた。荷重ケース1は舷側タンクのストラットの中心軸上への、ケース2は船底から 800 mm の位置への载荷である。

表-1 配合表 (kg/m^3)

セメント	水	細骨材	粗骨材	混和材
654	240	662	677	1.635

3.2 試験結果

図-5, 6 に荷重変位関係を、図-7 に最終的な崩壊の様子を示した。

荷重ケース1では 34.5 t でひび割れが生じた。さらに、 39.4 t でストラットが座屈し、荷重は一時的に低下した。しかし、最終荷重の 42 t に至るまで大きな変形能力を示し、急激な荷重低下は生じなかった。ケース2では 37 t でひび割れが生じ、2回目の 40 t の载荷時には、ストラットには座屈と見られる面外変形が生じていた。しかし、最高荷重の 54 t に至るまで荷重の低下は見られなかった。

図-7 から、荷重ケース1では、ストラットの座屈、ガネルコーナー部(上甲板と船側外板の交差部)の崩壊、船底コーナー部鋼板の塑性変形とコンクリートのひび割れ、および载荷位置からストラット基部にかけてのハンチ部のせん断ひび割れと鋼板の塑性変形が見られる。ケース2で顕著なのは、载荷位置から船底コーナー部に生じたせん断ひび割れである。ガネルコーナー部の被害は小さい。

3.3 鋼製模型との比較

一般的な鋼製船舶の舷側タンクの崩壊は、以下の機構により生じる。

- 1) ストラットの座屈および耐荷力の喪失
- 2) コーナー部、横桁の耐荷力喪失から崩壊機構の形成

図-8 は、ここで取り扱ったと同程度の鋼製の縮尺模型の崩壊機構および荷重変位関係を示している⁴⁾。このモデルでは、上述 1) のストラットの座屈の後崩壊したものである。これと同

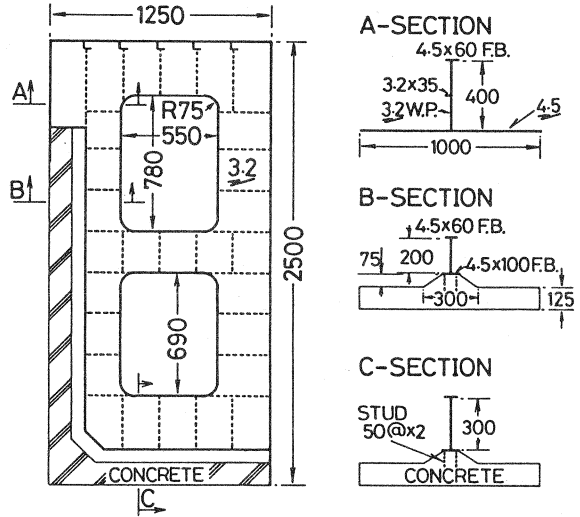


図-3 舷側タンク模型 (単位 mm)

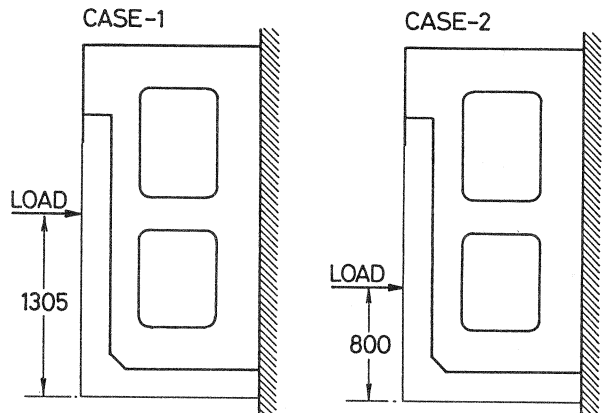


図-4 载荷方法 (単位 mm)

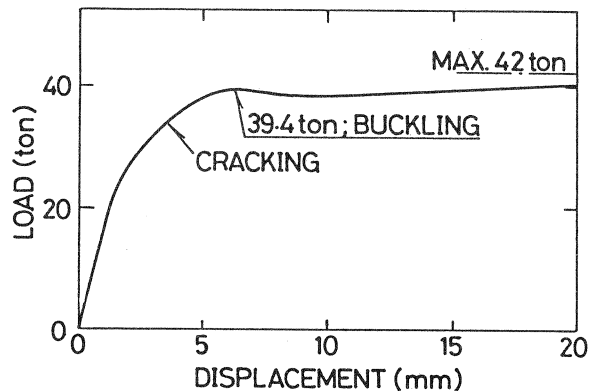


図-5 荷重-変位関係 (荷重ケース1)

様にストラットが座屈したハイブリッドのケース1および2(図-5~7参照)は、全鋼製(図-8参照)に比べるとストラット座屈後すぐには耐荷力が低下せず、変形能力が大きいことがわかる。この鋼製とハイブリッドとの荷重-変位関係の差は、分布荷重と線状集中荷重の載荷方法の違いによる可能性もある。しかし、ストラットの弾塑性座屈荷重は荷重ケース1では最高荷重の70%に対し、図-8の場合には67%とあまり差がないこと、およびストラットの中心軸線に集中載荷した荷重ケース1の方がストラットの座屈については過酷であると考えられることから、載荷方法による荷重分担の差が影響しているとは考え難い。

全鋼製模型に比べ、ハイブリッドの場合、ストラット座屈後の塑性関節の形成が顕著である。この理由として、船底の横荷重の分担の差が考えられる。鋼製の船底板および桁材に比べ、コンクリート製の場合は、船底構造の横方向面内荷重に対する剛性および耐荷力が大きい。そこで、ストラット座屈後、甲板と船底の崩壊に至る荷重が大きく、甲板と船底が面内力で崩壊する以前に、前述2)の塑性関節による崩壊機構が形成されたものと考えられる。

3.4 崩壊機構についての検討

図-7を参考にして、荷重ケース1および2の崩壊機構を、図-9のように仮定する。塑性関節

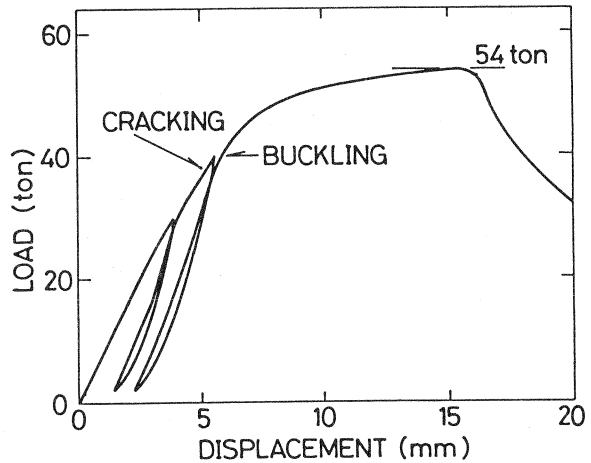


図-6 荷重-変位関係(荷重ケース2)

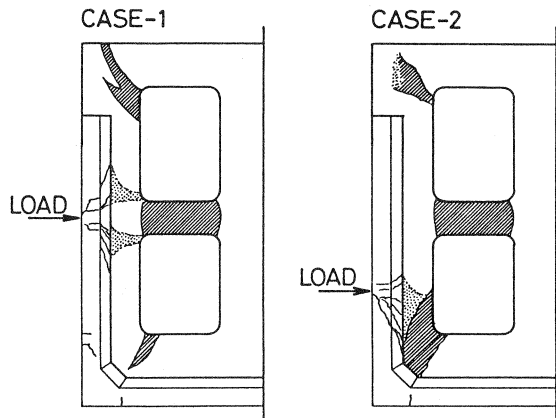


図-7 模型の損傷形態

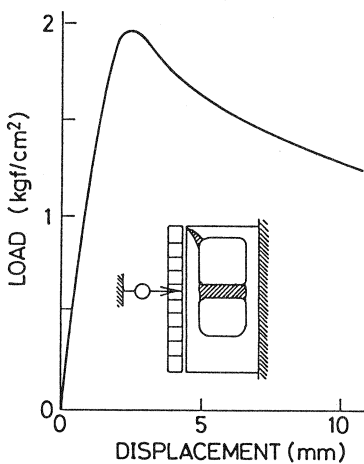


図-8 鋼製模型の場合

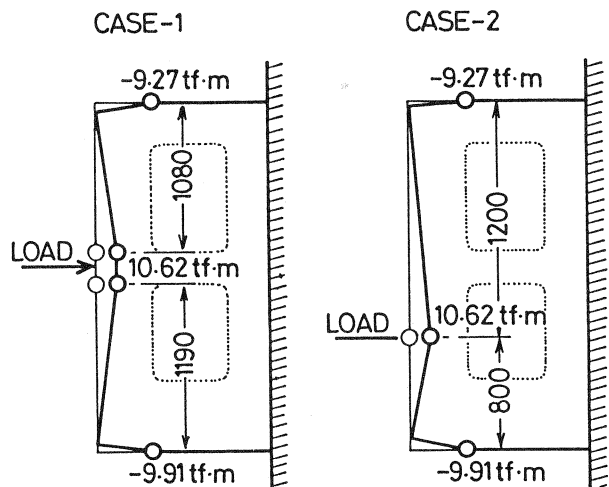
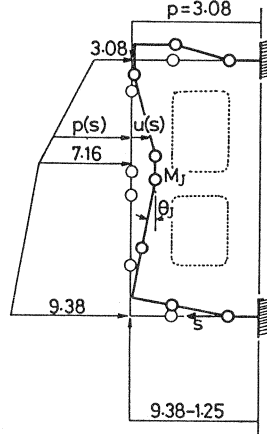


図-9 仮定した崩壊機構

には全塑性モーメント(コンクリートの圧縮強度および鋼材の降伏応力に設計用材料強度を用いた計算値)が示されている。モーメントの符号は、外板側が圧縮を正としている。塑性関節法により崩壊荷重を求めると、荷重ケース1および2でそれぞれ35.4 tfと37.4 tfが得られる。実験結果の42 tfおよび54 tfと比べると、この推定値は十分な安全側の評価となっている。せん断力-モーメント関係、せん断力の釣合、正確な中立軸などを用いると、崩壊荷重の推定精度は上昇する⁸⁾。



$$V = B \int p(s) u(s) ds$$

$$U = \sum \theta_j M_j$$

$$\lambda V = U$$

図-10 設計外力と塑性関節法

4. 想定構造物の横強度の検討

図-10にプラントバージ曳航時の最も過酷な荷重状態を圧力[t/m²]で示した。ここに、船底に加わる圧力からは積荷圧などを除いている。以下、この荷重状態により、終局限界状態について検討する。その他の限界状態の荷重及び強度検討結果などについては、日本造船研究協会の試設計結果¹⁻³⁾を参照されたい。

図-10に塑性関節法の概念図を併せて示している。sはフレームの位置を表す座標、u(s)は仮定された変位、M_jはj番目の関節の全塑性モーメント、θ_jは変位uに対応するj番目の関節の角変形である。なお、圧力p(s)と変位u(s)は外板から内向きを正とする。外力仕事Vは、1リング間隔Bとp(s)およびu(s)の積の積分値である。内部仕事Uは各関節の全塑性モーメントと角変形の積の総和である。λは設計圧力pの倍率であり、安全率に相当する。λを最少にする変位u(s)が解を与える。

図-10に示した8ヒンジモデルでは、図-9の荷重ケース1と同じ崩壊機構でλが最小の3.63となった。現行基準類で終局限界状態に対する最大の材料係数は1.5、最大の荷重係数は1.6であるが、その積は2.4であり、3.63は十分に大きい。また、3.4節で述べたように、ここで用いたフレームによる塑性関節法そのものが十分に安全側の推定値を与える。以上を考慮すると、想定構造物の横強度は十二分の安全余裕を持ち、重量軽減可能な過剰断面寸法を有していると判断される。

5. おわりに

鋼/コンクリートハイブリッド構造の発電プラントバージを想定して、その横強度について実験を中心とした検討を行った。以下に得られた結果を要約する。

- 1) 縮尺1/4の模型による試験結果と同程度の全鋼製模型による結果とを比較すると、ハイブリッド構造の方が舷側ストラット座屈後の荷重低下が少なく、最高荷重に至るまでの変形能力が大きかった。
- 2) 塑性関節法による崩壊荷重の推定結果は、実験結果に比べて十分に安全な推定値を与えた。
- 3) 上述2)により、塑性関節法の適用性が確かめられたので、想定したプラントバージにもこの方法を用いて横強度の検討を行い、終局限界状態に対して十二分の強度余裕があることを確認した。

参考文献

- 1) 日本造船研究協会：海洋コンクリート構造物の設計技術に関する調査研究報告書, No. 383, 1985.
- 2) 同上, No. 386, 1986. 3) 同上, No. 390, 1987.
- 4) 青木：鉤石運搬船における舷側タンク構造の崩壊強度に関する研究, 東大学位論文, 1981.
- 5) Matsuoka, K. and Tanaka, Y. : Transverse strength of hybrid barge, Proc. TECHNO-OCEAN '90, p. 458-, 1990.