

随 想

しんかい 2000 と鉄鋼材料

遠藤倫正\*

「わが国で最初の深海潜水船として、昭和 56 年 10 月に完成し、横須賀市の海洋科学技術センターに引き渡された“しんかい 2000”（写真 1）は、慣熟訓練、年次整備と中間検査を終え、いよいよ 58 年度から、日本周辺の深海調査潜航を開始する。四周を深い海で囲まれながら、この中を直接調査する手段を持たなかつたわが国も、ようやくこの分野で米、仏などの先進国の仲間入りをすることができるのである。

しんかい 2000 の建造を可能にした技術開発の成果は数々あるが、その中で最も重要なものの一つは、わが国の優れた鉄鋼材料、工作技術及び品質管理の総合成果である。しんかい 2000 には、さまざまな金属材料及び非金属材料が使用されているが、その中で最も重要な構造物である耐压殻（乗員室）には、新しい特殊鋼が用いられている。この耐压殻の中に、パイロットと観測者の計 3 人が乗り、潜水船の操縦、水上母船との通信、調査観測作業を行うわけであるから、内部は地上と同じ大気圧に保たれ、外側は潜航深度に応じて水圧をうける外圧容器である。従つて最大潜航深度までは絶対に漏水したり、圧力によつて凹んだり、破壊してはならないものである。潜水船にとってその安全確保が、最重点項目である。この耐压殻と鉄鋼材料とのかかわり合いについて述べてみたい。

外圧容器であるから、その耐压強度は、形状寸法と共に、使用材料の強度に大きく依存する。従つてその材料は、潜水船建造者にとって大きな関心事である。耐压殻の材料に要求される特性を、同じく高強度のロケット用材料と比較して、図 1 に示す。しかし、すべてを満たす理想的な材料は得難いので、潜水船の性能への影響なども考慮して、どの特性を重視するかを検討により、適当

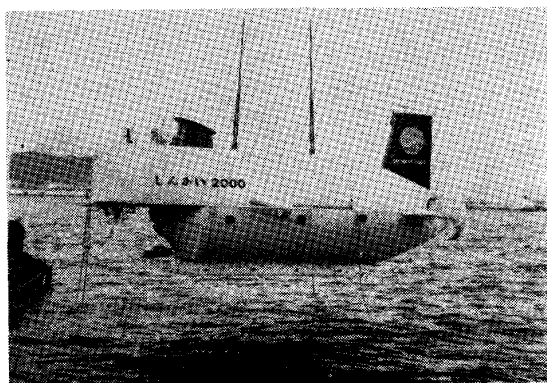
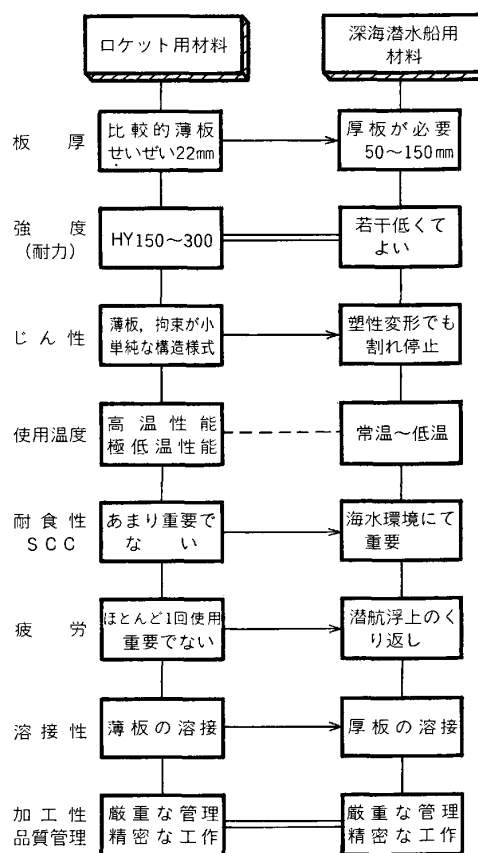


写真 1 しんかい 2000

\* 三菱重工業(株)神戸造船所技師長

と考えられる材料が選択され、あるいは開発されることになる。その結果として、従来から高張力鋼などの鉄鋼材料が、圧倒的な使用実績を示してきた。鉄鋼以外の材料としては、一部アルミ合金、チタン合金の実用例がある。チタン合金は最近、特に大深度において、鉄鋼材料の強力な競争相手となつてきた。セラミックスや複合材料がこの用途に実用されるのは、まだかなり先のことであろう。

しんかい 2000 の場合は、昭和 52 年の基本設計当時、わが国内ですでに実用可能な状態にあつた。0.2% 耐力 90 kgf/mm<sup>2</sup> 保証（引張強さ約 100 kgf/mm<sup>2</sup>）の高じん性高張力鋼 NS 90 が選定された。この NS 90 鋼は、防衛庁が日本溶接協会の専門委員会（木原博委員長）に研究を委託して開発したもので、溶接性の優れた 5Ni-Cr-Mo-V 系の調質鋼であり、アメリカの HY-130/150 鋼に相当する鋼種である。筆者らは昭和 45 年頃から、新日本製鉄(株)と共同で、6000 m 級潜水調査船の候補材料として、0.2% 耐力 120 kgf/mm<sup>2</sup> 級の 10Ni-8Co 鋼の研究を鋭意実施してきたが、潜航深度 2000 m のしんかい 2000 に対しては、0.2% 耐力 90 kgf/mm<sup>2</sup> 級の鋼材を用いても、耐压殻重量の面から潜水船の要求性能を満足しうること、短期間で実用可能であることなどが



注 → 要求の高いもの、----- 要求の低いもの、—— 同等のもの

図 1 深海潜水船耐压殻用材料の特性（ロケット用材料との比較）

ら、前述の NS 90 鋼が選定されたものである。

このような特殊鋼は JIS 規格, NK (日本海事協会) 規則などに該当する規格がないために、運輸省主席船舶検査官の諮問機関として設けられた“2000 m 潜水船安全性検討会”(山本善之東大教授座長)において、技術データを慎重に審議されたうえで、採用が承認された。鋼板は新日本製鉄(株)八幡製鉄所にて製造された。ESR 溶解を適用した 60 mm 厚さの鋼板は、要求性能 (0.2% 耐力 90~100 kgf/mm<sup>2</sup>, -20°C で 8.5 kgf・m のシェルフエネルギーレベル) を十分に満足した。また開口部補強材などに使用する同じ強度レベルの鍛鋼材 (NF 90) は三菱製鋼(株)で、TIG 溶接材料は日鉄溶接工業(株)で、それぞれ製造された。この NS 90 鋼や前述の 10 Ni-8Co 鋼などは、わが国の製鋼技術レベルの高さを示す、世界的にも極めて優れた鋼であると確信している。これらの鋼とのつき合い(?)の結果、かつて教科書で習った化学成分と熱処理条件のほかにも、鋼の品質を支配するいくつかの因子があり、高級鋼ほどその影響が大きいことを知るなど、製鋼法の奥深さを垣間見ることができたような気がしないでもない。なお 10Ni-8Co 鋼について付言すれば、ポストしんかい 2000 を想定して

引き続き研究を推進した結果、今日では耐圧殻の製作に必要な技術は完成している。

さて、その他の潜水船では、どのような材料が使用されているだろうか。わが国で戦後建造されたよみうり号 (昭和 39 年建造, 潜航深度 300 m), しんかい (昭和 44 年, 600 m), はくよう (昭和 46 年, 300 m) などでは、潜航深度が浅いこと、また当時の技術レベルから HT 60 に相当する調質鋼 NS 46 (降伏点 46 kgf/mm<sup>2</sup>) が用いられた。アメリカでは有名な潜水船 ALVIN (1964 年建造, 1800 m) には HY 100 鋼, 映画にも登場した潜水艦救難艇 DSRV (1970 年, 1500 m) には HY 140 鋼, そして DEEP QUEST (1967 年, 2400 m) には 18 Ni マルエージ鋼が用いられた。このマルエージ鋼は、深海潜水船に用いられた最も強度の高い鋼材であるが、この強度レベルともなると、じん性や耐 SCC 特性が劣るので、注意を要する。DEEP QUEST のマルエージ鋼は、強度を押えてじん性の向上をねらつたとされている。

話をしんかい 2000 にもどそう。本船の耐圧殻の製作方法の特徴は、

- (1) 半球殻を熱間プレスにより 1 体成形する。

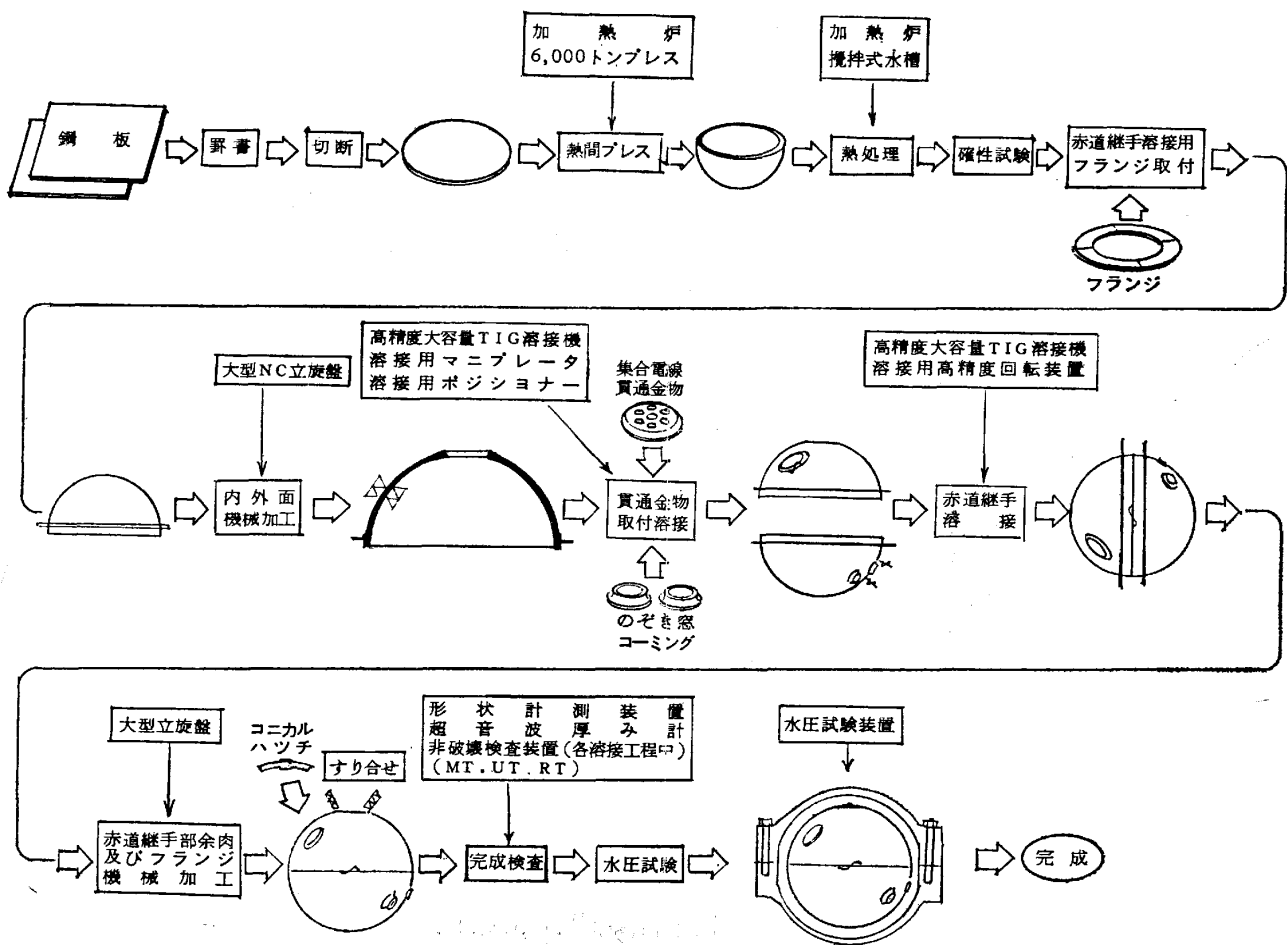


図 2 しんかい 2000 耐圧殻の製作手順

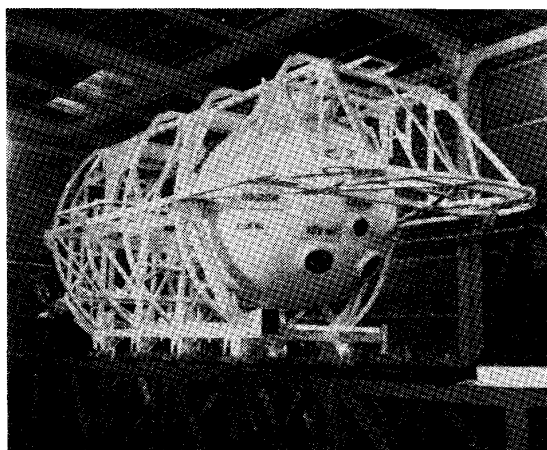


写真 2 しんかい 2000 の耐压球殻 (骨組 (チタン材) に組み込まれた状態)

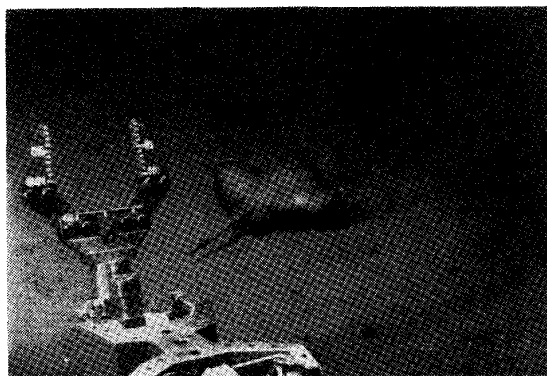


写真 3 視窓から見た 2000 m の海底

- (2) 溶接はすべて全自動 TIG 溶接法による。
- (3) 全表面を機械加工し、精度を向上させる。

ことにより、高品質、高精度をねらい、実現したことに

ある。その製作手順を図 2 に示す。このような耐压殻の製作方法は、わが国では初めての試みであり、いわゆる造船工作法のイメージとは大幅に異なるものであつた。実機の製作に先立つて、実物大構造模型の製作実験を行い、工作技術を確立した。

昭和 55 年 1 月、内径 2.2 m、板厚 30 mm 球形耐压殻が完成し、陸上の水圧試験装置により、2000 m 潜航深度圧の 1.1 倍 (228 kgf/cm<sup>2</sup>) の外圧試験が成功裡に終了した。この時の耐压殻の平均膜応力は、約 42 kgf/mm<sup>2</sup> である。このような高い応力の下でも、挫屈に対して安全に使用し得るという事実は、信頼し得る材料、管理された工作、合理的な設計を総合した技術の所産であろう。しんかい 2000 の耐压殻(写真 2)は、今日までの試験潜航において何ら問題はなく、今後も十分にその機能を発揮するであろうことを確信している。筆者ら建造関係者は、交代で 2000 m までの試験潜航に乗船し、海底で視窓からの観察等も行つたが(写真 3)、わずか 30 mm の鋼板の外側が巨大な水圧をうけているという感じは全くなく、照明を消した時の真の闇ということを除いては、深海底を全く感じさせないものであつた。

マンガン団塊や熱水鉱床などの海底資源開発、地震の多いわが国周辺の海底地殻地質調査をはじめ、いろいろな学術調査、国際海洋法条約の調印など、深海に対する関心は急速に高まりつつある。わが国でも今後、しんかい 2000 のような(より大深度のものも含めて)潜水船が建造される可能性は大きいと考えられる。近年、非鉄金属材料、非金属材料分野の進展には目ざましいものがある。その技術基盤の広さと、経済性を生かして、より優れた性能をもつ鉄鋼材料が、この分野でもますます活躍することを期待したい。