

南極大型雪上車 (SM100S) の開発

III. 車体材料の溶接部低温靱性

作井 新¹・中島征志²

A Newly Developed Snow Vehicle (SM100S) for Antarctica

III. Low Temperature Toughness of the Welded Joints of the Structural Steel

Shin SAKUI¹ and Masashi NAKAJIMA²

Abstract: For the purpose of developing a new snow vehicle car (common use at temperature about -50°C) for the deep ice coring project at Dome Fuji, East Antarctica, the low temperature toughness of the welded joints of structural steel was investigated. It is empirically well known that in case of vehicles employed in a cold air temperature of about -50°C , the low temperature brittle fracture of the structural members does not take place, if one uses the semi-killed or the killed steel, for which 50% FATT'S (fracture appearance transition temperature) of the Charpy impact test is about -50°C and Charpy impact values at -50°C are $20\sim 29\text{ J/cm}^2$. In the present paper, the Charpy impact test has been performed for both single pass SMAW and CO_2 arc welded joints of JIS steels of SS400, SL2N255, STPL380, and STPL450. The test results show that the JIS steels of SL2N255 and STPL450 can be used for the new vehicle, considering their toughness.

要旨: 南極氷床ドーム深層掘削計画用の南極大型雪上車 (使用温度 -50°C 前後) の開発にあたって、脆性破壊防止の観点より車体用鉄鋼材料の溶接部靱性について調査を行った。 -50°C 前後の低温環境下で稼働する車両の場合、シャルピー衝撃試験における破面遷移温度が -50°C であり、かつシャルピー衝撃値として $20\sim 29\text{ J/cm}^2$ のセミキルド鋼、キルド鋼を用いれば脆性破壊を防止できることが経験的に知られている。そこで SS400, SL2N255, STPL380, STPL450 の手溶接、 CO_2 溶接 (供試鋼の板厚はいずれも約 5 mm , 溶接は単層溶接) 継手部についてシャルピー衝撃試験を行った。その結果、先の選定基準に従えば、新雪上車の車体材料としては SL2N255, STPL450 が適当であることを確認した。

1. はじめに

昭和基地より約 1100 km の内陸部において南極氷床ドーム深層掘削計画が予定され、それに用いられる雪上車の開発が進められている。雪上車は動力系を組み込んだシャシにキャビン¹を架装する構造で、鉄鋼材料を用いた溶接構造物の一種であるが、稼働温度が $-50\sim -60^{\circ}\text{C}$ と低く、そのけん引開始時に衝撃的な負荷がかかることなどにより溶接部を起点

¹ NKK 鉄鋼研究所. Iron and Steel Laboratory, NKK Corporation, 1-1, Minamiwataridacho, Kawasaki-ku, Kawasaki 210.

² 株式会社大原鉄工所. Ohara Corporation, 8-1, Jooka 2-chome, Nagaoka 940.

とした脆性破壊による損傷の可能性を無視できない。従って、強度部材には脆性破壊を考慮した材料が望ましい。新しい雪上車の場合、中型雪上車より大型化し、さらに厳しい使用環境が想定されているため、中型雪上車の場合より低温靱性に優れた鋼材の選定が必要と考えられる。そこで雪上車に用いられる板厚 5 mm 前後の低温用鋼を対象に溶接部の衝撃特性を調査し、強度部材としての適合性を調査した。

2. 試験方法

中型雪上車のシャシ部にはフレーム用として STPL380, そりのけん引部に SS400 が溶接して用いられている。本試験ではこれらの鋼材および候補材としてさらに低温靱性に優れた STPL450 (3.5% Ni 鋼), SL2N255 (2.5% Ni 鋼) の溶接部についてシャルピー衝撃試験を行った。供試鋼の化学成分を表 1 に、機械的性質を表 2 に示す。供試鋼はいずれも実験室溶解材であり、部材寸法にあわせて板厚 4.8 mm~6.9 mm に熱間圧延後熱処理を施した。その後、SS400 は CO₂ 溶接, その他の鋼材は手溶接により、いずれも単層で下向きの突き合わせ溶接を行った。開先形状は 60° の V 開先 (溶接する左右の板のふちを加工し、組み合わせた時に 60° の V 字状とする) を基本とし、SS400, STPL450 についてはレ開先 (同様に組み合わせた時にレ字状とする) も追加した。表 3 に溶接条件を示す。

表 1 供試鋼の化学成分
Table 1. Chemical composition of the steel used.

| 鋼 種 | (wt %) | | | | | | | | |
|---------|--------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Nb |
| SS400 | 0.11 | 0.11 | 0.57 | 0.013 | 0.009 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | — |
| SL2N255 | 0.04 | 0.26 | 0.78 | 0.008 | 0.003 | 0.01 | 2.52 | — | 0.01 |
| STPL380 | 0.11 | 0.20 | 1.17 | 0.009 | 0.003 | 0.01 | 0.02 | — | — |
| STPL450 | 0.10 | 0.24 | 0.50 | 0.008 | 0.003 | 0.01 | 3.50 | — | — |

表 2 供試鋼の機械的性質
Table 2. Mechanical properties of the steel used.

| 鋼 種 | 強 度 | | 伸 び (%) | シャルピー衝撃特性 | | | vTs (°C) |
|---------|-----------------------------|------------------------------|------------|-------------|-----|-----|-------------|
| | 降伏点 (N/mm ²) | 引張強さ (N/mm ²) | | 吸収エネルギー (J) | | | |
| | | | | 試験温度 (°C) | | | |
| | | | | -100 | -80 | -60 | |
| SS400 | 343 | 438 | 41.8 | 5 | 23 | 25 | -90 |
| SL2N255 | 493 | 541 | 32.3 | 39 | 42 | 44 | < -200 |
| STPL380 | 328 | 457 | 42.9 | 22 | 34 | 51 | -70 |
| STPL450 | 408 | 510 | 38.8 | 29 | 64 | 67 | -98 |

表 3 溶接条件
Table 3. Welding conditions.

| 鋼種 | 溶接法 | 溶接材料 ¹⁾ | 入熱量 (kJ/mm) |
|---------|-----------------|---------------------|-------------|
| SS400 | CO ₂ | YM26 | 1.6 |
| SL2L255 | SMAW | N12 (2.5% Ni系) | 1.2 |
| STPL380 | ” | N11 (1.5% Ni系) | 1.5 |
| STPL450 | ” | NIC70S (70% Ni系) | 1.2 |

1) YM26, N12, N11: 日鉄溶接工業製, NIC70S: 神戸製鋼所製

溶接後、板厚中心より JIS Z2204 4 号試験片 (厚さ 2.5 mm) を溶接線に対し直角方向より採取し溶接金属中心、BOND、HAZ 中心を切り欠き位置としてシャルピー衝撃試験を行った。試験はフルカーブが求まるように適宜試験温度を設定して行った。雪上車の製作では、構造上溶接はほとんど単層の隅肉溶接で行われる。本試験では多層溶接による多重熱サイクルの影響を受けないように単層溶接で継手を製作し、健全部よりシャルピー衝撃試験片を採取した。

3. 結果と考察

図 1, 図 2 に溶接部全体の特性が把握できるように、各切り欠き位置におけるシャルピー衝撃試験結果をまとめて示す (図中に JIS Z2204 4 号試験片での 29 J/cm² に相当する吸収エネルギーを示す)。脆性破壊の防止のための経験的な材料選定基準として、稼働温度が -50°C 前後の寒冷地用車両の場合、まずリムド鋼は使用せずセミキルド鋼、キルド鋼とすること、つぎにシャルピー衝撃試験における破面遷移温度 (脆性破面率が 50% となる温度) が使用温度 (つまり -50°C 前後) 以下であり、かつシャルピー衝撃値として 20~29 J/cm² ある鋼材を用いれば、脆性破壊の心配の少ないことが知られており、寒冷地用トラクターの材料選定基準となっている (北林, 1960)。

雪上車もこの基準に準じている (大原鉄工所私信)。現在、昭和基地を中心に運用されている中型雪上車は、使用温度の下限が -50°C であるが、その温度では慎重に稼働されることを前提に、一部にはリムド鋼も使われているものの、最も重要な強度メンバーにはこの基準を満たす鋼材が使われている。

得られた試験結果にこの材料選定基準を適用 (雪上車は使用環境が非常に厳しいのでシャルピー試験結果の個々の値に対して適用) すると、各鋼種の使用温度の下限は目安として、SS400 は -40°C 前後、STPL380 は -50°C 前後、SL2N255 は -80°C 前後、STPL450 は -90°C 前後と判断される。

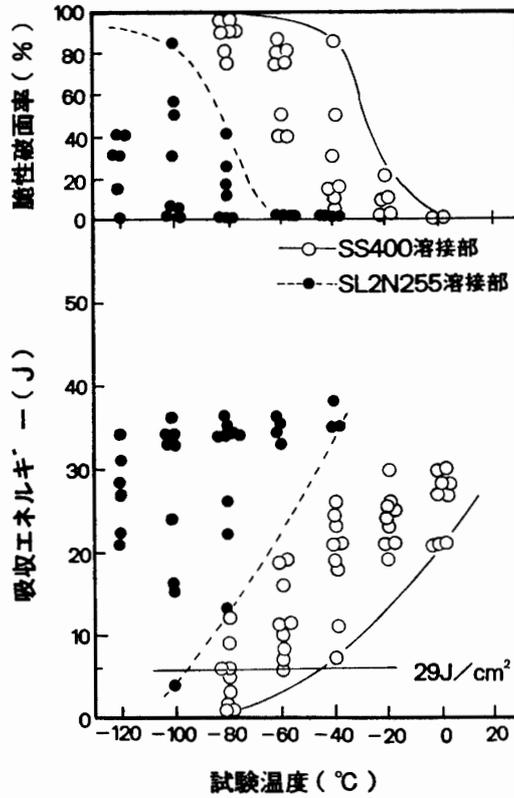


図1 シャシ用(けん引部)鋼材の溶接部シャルピー衝撃試験

Fig. 1. Charpy impact properties of SS400, SL2N255 welded joint.

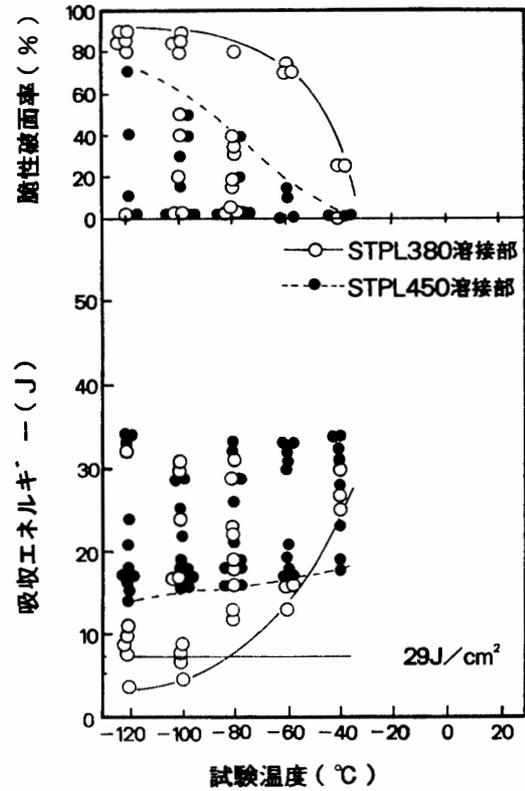


図2 シャシ用(フレーム部)鋼材の溶接部シャルピー衝撃試験

Fig. 2. Charpy impact properties of STPL380, STPL450 welded joint.

4. 結 論

従来よりも低温下で運用できる大型雪上車の開発にあたり、強度メンバーとなるシャシ用鋼材について検討を行った。鉄鋼材料の場合、使用温度の低下で生じ得る損傷は、主に靱性の低下によるものと考えられる。そこで現在中型雪上車に用いられている SS400, STPL 380 及び候補材として低温用鋼の SL2N255, STPL450 について、溶接部のシャルピー衝撃試験を行い鋼材選定に必要なデータを収集した。その結果、 -60°C が運用温度の中心となり、非常時には -80°C で稼動することも予定される大型雪上車のシャシ用鋼材としては、けん引部に SL2N255, フレーム部に STPL450 が適当と判断された。なお、脆性破壊の発生には切り欠き等の応力集中部の存在が前提であり、適正な溶接施工によりアンダーカット等の切り欠き部を作らないことも極めて重要で、それを回避する対策を十分考慮する必要がある。

本報告は国立極地研究所設営専門委員会雪上車設計作業委員会での材料選定活動の内容をまとめたものである。関係者各位のご協力に謝意を表す。

文 献

北林正雄 (1960): トラクター部品材料の低温度における機械的性質について. 小松, 7(2), 42-50.

(1992年6月22日受付; 1992年7月31日改訂稿受理)