
太径異形棒鋼リバーコン D51 の低温特性

Mechanical Properties of Large Diameter Deformed Bar RIVERCON D51 at Extremely Low Temperatures

高橋 千代丸(Chiyomaru Takahashi) 下野 俊男(Toshio Shimono)

要旨：

LNG 貯蔵タンクに使用される太径異形棒鋼 D51 を対象とし、実物大の低温引張試験と低温低サイクル疲労試験を行って強度特性を調査した。供試材には、JIS G 3112 SD35 の仕様で製造された一般工程品であるリバーコン D51 を用い、常温～－160℃の範囲で実験を行った結果、以下のように十分実用に供しうるとの結論が得られた。(1) 静的引張試験における D51 の母材とスクイズジョイント継手の降伏点は、－100℃において常温の約 1.4 倍、－160℃で 1.7 倍を有する。(2) 疲労試験における－100℃の時間強度は、 $5.84 \times 10^{**3}$ 回で 59.8kgf/mm²、 $18.7 \times 10^{**3}$ 回で 50kgf/mm² を示し、優れた疲労特性を有する。

Synopsis：

Mechanical properties of large diameter deformed bars for the use of LNG storage tanks at extremely low temperatures were investigated by static tensile tests and low-cycle fatigue tests. Actual-size specimens D51 with the specification of JISG3112 SD35 were used for the tests performed at the temperature of R.T. to -160℃. As a result, the following conclusions were obtained: (1) The static tensile tests revealed that the base metal and its Squeeze Joint have the yield point 1.4 times at the test temperature of -100℃ and 1.7 times at -160℃ as large as the strength at R.T. (2) The fatigue tests showed that the base metal at -100℃ has the fatigue strength of 59.8kgf/mm^{**2} at $5.84 \times 10^{**3}$ cycles and of 50kgf/mm^{**2} at $18.7 \times 10^{**3}$ cycles. These strengths are considered excellent.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

太径異形棒鋼 リバーコン D51 の低温特性

Mechanical Properties of Large Diameter Deformed Bar
RIVERCON D51 at Extremely Low Temperatures高 橋 千代丸*
Chiyoumaru Takahashi下 野 俊 男**
Toshio Shimonon

Synopsis:

Mechanical properties of large diameter deformed bars for the use of LNG storage tanks at extremely low temperatures were investigated by static tensile tests and low-cycle fatigue tests. Actual-size specimens D51 with the specification of JISG 3112 SD35 were used for the tests performed at the temperature of R.T. to -160°C . As a result, the following conclusions were obtained:

- (1) The static tensile tests revealed that the base metal and its Squeeze Joint have the yield point 1.4 times at the test temperature of -100°C and 1.7 times at -160°C as large as the strength at R.T.
- (2) The fatigue tests showed that the base metal at -100°C has the fatigue strength of 59.8 kgf/mm^2 at 5.84×10^3 cycles and of 50 kgf/mm^2 at 18.7×10^3 cycles. These strengths are considered excellent.

1. ま え が き

わが国の本格的 LNG (液化天然ガス) タンクは、昭和44年11月東京ガス根岸基地に建設されて以来逐次的に漸増し、その構造形式も金属材料による地上タンクに加え、鉄筋コンクリート (以下 RC と記す) による大型の地下タンク¹⁾が採用されるに至った。

RC の地下タンクは、液面が地盤面下になるため不測時の安全性に有利との理由から今後増加が予想される構造形式であり、本形式の底板構造には配筋上の利点を有する太径異形棒鋼 D51 が多用されている。

LNG は -162°C の極低温で貯蔵されるため、貯蔵タンクの構造部材は熱伝導によって冷却され $-80^{\circ}\text{C} \sim -100^{\circ}\text{C}$ ^{2,3)} まで低下すると推定されているが、上記 RC 底板に用いられる鉄筋は低温下使用に対する特別の配慮を加えていない通常の工

程品であり、ここに極低温下における力学的特性の調査が肝要となってくる。かかる観点から筆者らは、既往の研究においてほとんど報告されてない横ぶし形太径異形棒鋼リバーコン D51 の低温特性に着目し、実物大母材とスクイズジョイント継手 (以下 SJ 継手と記す) について低温引張試験と低温低サイクル疲労試験を実施した。その結果、通常の一般工程用素材でも RC 地下タンク用鉄筋としてほぼ満足すべき強度を有することが確認できたので、ここに報告する。

2. 要求性能

LNG 地下タンク用鉄筋として要求される性能は、使用経験自体が浅いため未だ特定の仕様として規準化される段階には至っていない。しかし、過去の設計実績⁴⁾における許容応力は、土木学会「コンクリート標準示方書」に示されている常温設計の値がそのまま用いられていることを勘案し、その

* エンジニアリング事業部構造技術研究所主任研究員
(掛長待遇)

** エンジニアリング事業部構造技術研究所掛長

[昭和55年1月8日原稿受付]

母体となった JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼の降伏点と引張強度を最低使用温度条件下の要求性能として活用することにした。すなわち、実験に用いた SD 35, D51 の LNG 地下タンク用最低使用温度 -100°C ^{5,6)} での要求性能は Table 1 のとおりである。

Table 1 Mechanical properties required for steel deformed bar for the use of LNG storage tank

Service temperature	Yield point (kgf/mm ²)	Ultimate tensile strength (kgf/mm ²)
-100°C	35 and over	50 and over

3. 実験概要

3.1 実験の種類と供試材

本実験では、実物大の強度特性把握を主目的にし以下の試験を実施した。

- (1) 実大低温引張試験：低温下における D51 材と SJ 継手材の引張特性を調べる。
- (2) 実大低温低サイクル疲労試験：地震時を対象として D51 材の高応力の低サイクル疲労特性を調べる。

また、上記(1)の補足試験として、D51 母材から切り出した小型丸棒低温引張試験も併せて行った。

供試用鉄筋は SD 35 リバーコン D51, SJ 継手のスリーブ用鋼管は JIS G 3445 機械構造用炭素鋼鋼管 STKM 13A である。これらの化学成分および機械的性質を Table 2 に示す。

3.2 実験方法

試験体の冷却には、Photo. 1, Fig. 1 に示す自動制御装置付冷却槽を用い、引張試験は 200t 万能試

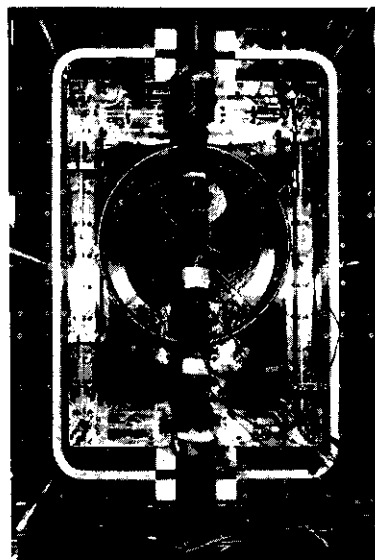


Photo. 1 Test specimen in the cooling box

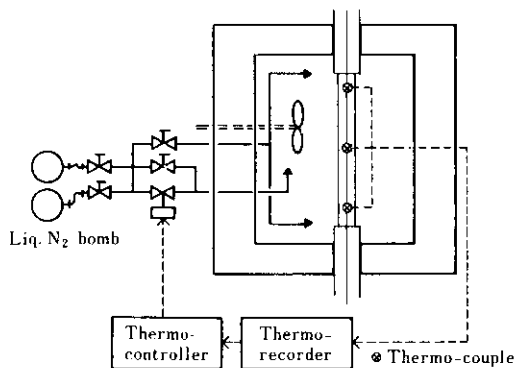


Fig. 1 Cooling system in the low temperature tensile test

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of specimens used

	Chemical composition (%)						Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	$C + \frac{Mn}{6}$	Yield point (kgf/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)
D 51 (SD 35)	0.22	0.41	1.49	0.022	0.011	0.47	38	58	27
Steel sleeve pipe (STKM 13A)	0.12	0.04	0.51	0.016	0.025	-	26	39	48

験機を、疲労試験は $\pm 150t$ 電気油圧式疲労試験機を用いて行った。

試験体の形状寸法を Fig. 2 に示す。なお、試験体の掴み部には温度差によるチャック切れを防止する目的から鋼管のスリーブ材を補強被覆した。

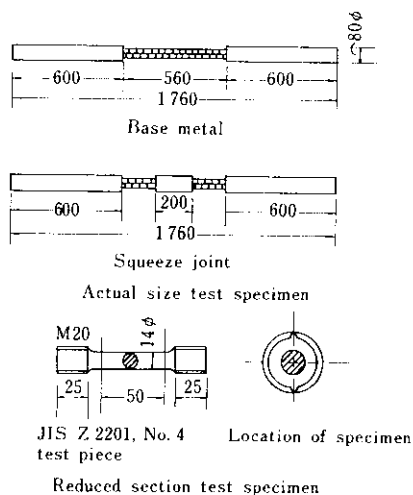


Fig. 2 Shape and dimension of test specimen

4. 試験結果

4.1 母材の低温引張試験

常温から -160°C における試験の結果を Fig. 3, 破面の一例を Photo. 2 に示す。全11本中掴み部に影響されない部分から破断したものが6本、補強鋼管近傍からが5本であったが、試験中における温度変化は Fig. 4 に示すように $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内というバラツキの少ない状態であったため特別な温度補正は加えなかった。降伏点は明確なリューダース帯が見られなかったので、試験体中央部に貼付したワイヤストレーンゲージと試験機の荷重計からの $P-\epsilon$ 曲線によって求めた。

引張特性は Fig. 3 に示すように破断強度において -120°C 位から上昇度の鈍化が見られるものの -160°C まで要求性能を下廻ることはなく実用上十分な強度を有する。伸びは -100°C においても約20%と計測され JIS G 3112 の常温規格値 (D51 は16%以上) を極低温下においても満足する延性

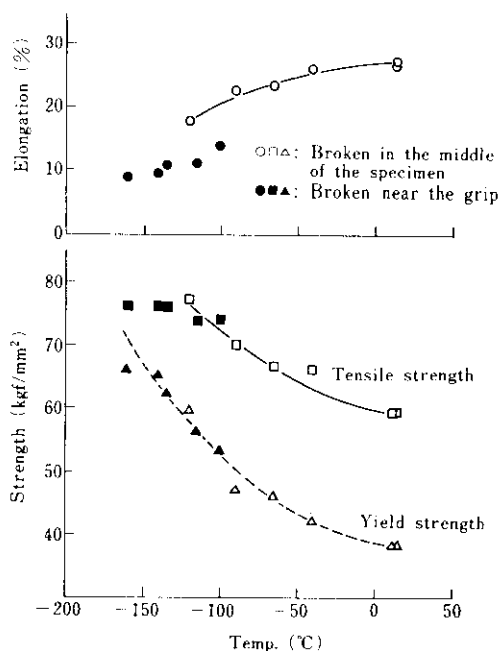


Fig. 3 Static tensile properties of actual size steel deformed bar in the low temperature

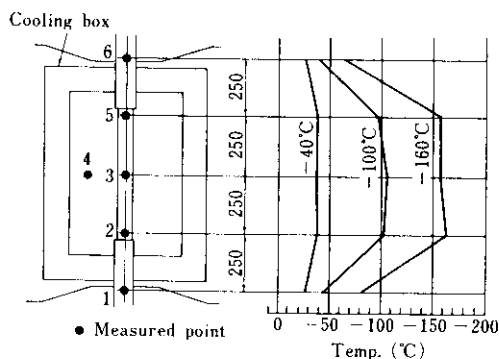


Fig. 4 An example of temperature distribution on the specimen in the low temperature tensile test

で優れた材料といえる。

Fig. 5 は小型丸棒低温引張試験結果を示したもので、実大と比べて表面の形状効果や寸法効果の影響を受けないため降伏点、引張強度とも -165°C まで上昇特性を有する。伸びは -80°C 位から低下の傾向を示しているが -165°C において約22%あった。

Fig. 6 は常温降伏点から低温降伏点を推定する JWES の TM 委員会の実験式^{7,8)} を D51 にも適用

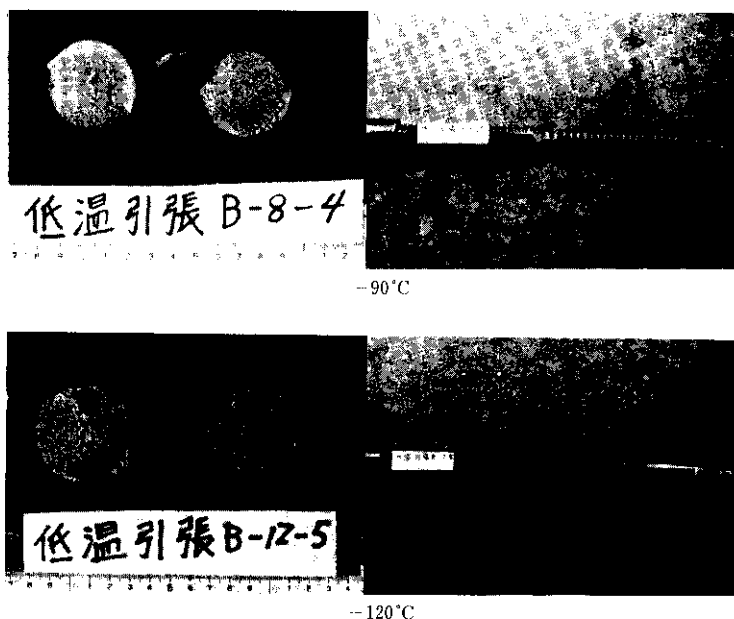


Photo. 2 Examples of fracture appearance and location of fracture in the low-temperature tensile test

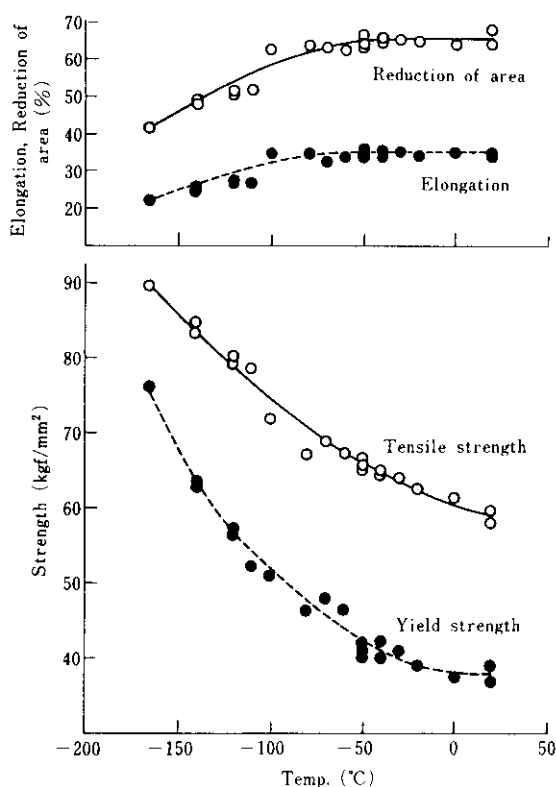


Fig. 5 Static tensile properties of reduced test specimen dressed from the steel deformed bar in the low temperature

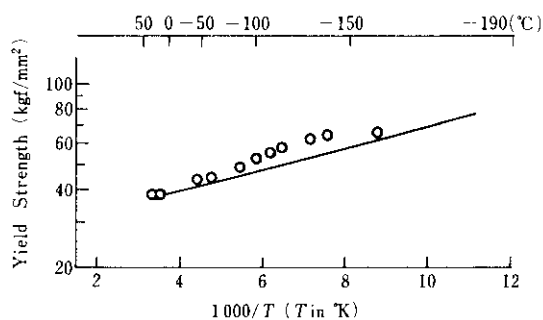


Fig. 6 Relation between yield strength of the steel deformed bar and tested temperature

しうるか否かを調べる目的で Fig. 3 の結果を $\log \sigma_r - 1000/^\circ\text{K}$ 座標に移したものであるが、同図から明らかなように (1) 式 (Fig. 6 では実線で表す) によって十分安全側に低温降伏点を推定しうることが判る。

$$\sigma_T = \sigma_t \exp \left\{ 329.6 - 66.5 \ln \sigma_t \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{t} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

σ_T : 低温降伏点 (kg/mm^2)

σ_t : 常温降伏点 (kg/mm^2)

T : 温度 ($^\circ\text{K}$)

t : 常温 ($^\circ\text{K}$)

4.2 母材の低温低サイクル疲労試験

本実験は、 -100°C と常温の2温度についての比較を行うために実施したもので、片振り载荷、繰返し速度180cpm～240cpmの試験条件下における結果をFig. 7に示す。同図から明らかなように本実験に供したD51は -100°C における高応力下(常温 σ_y に対し $0.95\sim 1.6\sigma_y$)での繰返しにおいても強度低下を起こすことなく、常温での高サイクル疲労試験で得られた寿命推定曲線(同図中の破線)⁹⁾によって十分安全側に予測しうることが判る。破断状態の一例をPhoto. 3に示すが疲労亀裂は横ぶしと縦リブの交叉部から発生し、破断位置は -100°C シリーズでは5本すべてが補強鋼管近傍で、R.T.シリーズでは6本すべてがチャック部近傍であった。

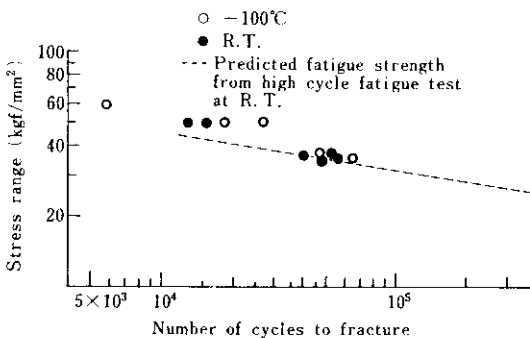


Fig. 7 Fatigue strength of actual size steel deformed bar at the temperature of -100°C and R.T.

4.3 SJ継手材の低温引張試験

常温から -140°C における試験結果をFig. 8に示す。試験本数が少ないため明確な判断はくだしえな

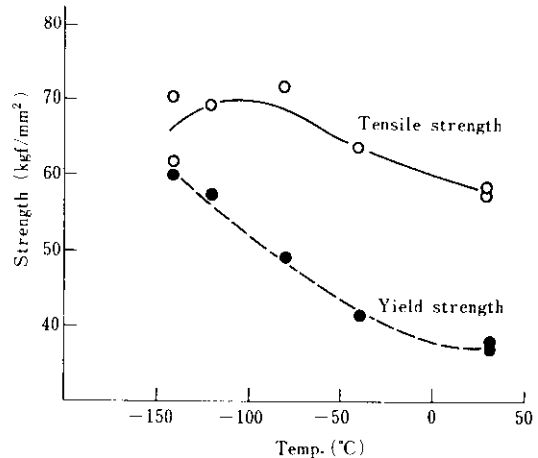


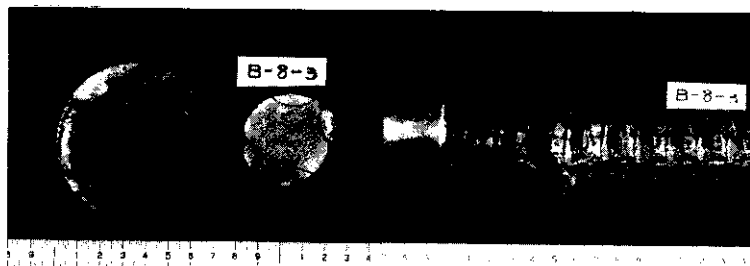
Fig. 8 Static tensile properties of actual size steel bar with Squeeze Joint at the various low temperature

いが引張特性は総じて母材と同程度の傾向を示し、LNG用鉄筋の継手として十分活用しうることが伺える。降伏と同時に脆性破壊した -140°C の供試体2本のうち1本はスリーブの中央部分が飛散して破断したもので、 -130°C 以下の極低温下でのSJ継手使用時には冷間加工特性を十分に考慮したスリーブ材の選定が必要と考える。

5. まとめ

一般工程品による太径異形棒鋼リバーコンD51(SD 35)を用いて低温引張試験を行った結果、最低使用温度 -100°C のLNG地下タンク用鉄筋として、ほぼ満足すべき強度特性を有することが判明した。主なる知見を列挙すれば次のとおりである。

(1) 静的引張条件下での母材の降伏点は、 -100°C で常温の約1.4倍、 -160°C では約1.7倍となる。母



-100°C , Stress range $\sigma_r = 59.8\text{ kgf/mm}^2$

Photo. 3 An example of appearance and location of the specimen's fracture in the low cycle fatigue test at low temperature

材の引張強度は -120°C 以下において上昇度は鈍化するが -160°C においても常温規格値を十分満足する。SJ 継手についても強度的には母材とほぼ同様であり、低温下での継手工法として十分な活用

が期待できる。

(2) 母材の高応力低サイクル疲労強度は、 -100°C の温度条件下でも常温状態と異なることなくむしろ同等以上の性能を発揮する。

参 考 文 献

- 1) 榎戸源則：LNG タンク、コンクリートジャーナル、10 (1972) 6
- 2) 後藤貞雄ほか：超大型ウェル工法による LNG 地下タンクの設計と施工、土木学会誌、(1975) 6
- 3) 日本圧接協会：極低温下における鉄筋およびその継手の性状に関する調査報告、(1979) 5
- 4) 井畔瑞人：極低温下のコンクリート (LNG 貯槽)、コンクリート工学、17 (1979) 11
- 5) 電気事業連合会：LNG 地下貯槽 (土木設備) 設計指針、(1978)
- 6) 榎戸源則：コンクリート構造低温液化ガス貯槽の現状と設計施工上の問題点、セメント・コンクリート、No. 394 (1979) 11
- 7) 日本溶接協会鉄鋼部会 TM 委員会：脆性破壊発生特性に基づく鋼材の材質判定基準の確立に関する共同研究、(1975)
- 8) 沼崎吉次：異形鉄筋の母材および継手の低温下における強度の実験的検討、電力中央研究所報告、No. 378519, (1978)
- 9) 佐藤政勝ほか：太径鉄筋 (横ふし D51) を用いた大型 RC 梁の疲労試験、第30回土木学会年次学術講演会概要集 V 部、(1975)