

制震デバイスに用いられる低降伏点鋼材の低温時特性について

土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○岡田 慎哉
土木研究所 寒地土木研究所 正会員 表 真也
土木研究所 寒地土木研究所 正会員 西 弘明

1. はじめに

本研究では鋼材降伏系ダンパーに用いられている低降伏点鋼材の低温条件下における強度特性や靱性能を把握することを目的に、低温下でシャルピー衝撃試験や引張試験を実施し、低温時性能や温度依存性について検討を行った。

2. 低降伏点鋼材の低温じん性

本検討では、JIS Z2242 基づくシャルピー衝撃試験により、低降伏点鋼材のじん性能を検証する。

シャルピー衝撃試験体の形状は、切り欠きを挿入した角柱状の試験片（試験片：長さ $L=55\text{ mm}$ 、幅 W および厚さ $D=10\text{ mm}$ 、試験片中央に深さ 2 mm の 45° V 字溝を設ける）である。

2. 1 試験鋼材

表－1には実験ケースの一覧を、表－2には LY225 鋼材の性能規定を示す。本検討では、鋼材降伏系の制震ダンパーに使用されている低降伏点鋼の一つである LY225 について、ミルメーカーの異なる2種類に対してシャルピー衝撃試験を行い、その吸収エネルギー遷移温度および最低使用温度について検討を実施した。それぞれのミルメーカーを区分するため、試験片をミルメーカーごとに LY225-A、LY225-B と表記する。なお、同一の板厚での入手は困難であったため、LY225-A については 12 mm 厚、LY225-B については 25 mm 厚の鋼材を用いた。

2. 2 試験片の温度管理

シャルピー衝撃試験は任意の6種類の温度で実施し、各試験結果から遷移曲線を的確に評価するため、各試験実施後、都度、試験温度を $-60\sim+40^\circ\text{C}$ の間で設定した。

2. 3 シャルピー衝撃試験結果

表－3には各試験鋼材の破断面写真を一覧にして示す。表から、LY225-A の場合には $-60\sim-10^\circ\text{C}$ までの比較的高温の温度域まで吸収エネルギーが小さく、かつほぼ全域に脆性破面が見られる。これと比較し、LY225-B の場合には $-60\sim-50^\circ\text{C}$ において吸収エネルギーの低下と脆性破面が見られるものの、より高温の場合には吸収エネルギーはほぼ一定となり、その破断面も延性破面となっている。

表－1 実験ケース一覧

鋼種	ミルメーカー	板厚 (mm)	試験温度 (℃)	試験体数 (1温度当り)	合計
LY225	A	12	6 温度 ($-60\sim40^\circ\text{C}$)	3	18
	B	25			18

表－2 LY225 の性能規定

降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
205～245	300～400	≤40

このことから、LY225-A、LY225-B の低温時の試験結果には明瞭な差異があり、ミルメーカーの違いにより、その低温時特性に大きな違いがあることが分かる。

2. 4 遷移温度曲線および吸収エネルギー遷移温度

図－1には、本試験結果から得られた低降伏点鋼の遷移温度曲線を示す。図から、LY225-A の場合には約 -5°C 近傍で変曲し、約 10°C で吸収エネルギーが一定となり、上部棚吸収エネルギー（以降、 vE_{shelf} ）に漸近している。これに対し、LY225-B の場合には約 -50°C 近傍で変曲し、約 -40°C で vE_{shelf} に漸近している。

ここで、実験結果から LY225-A の vE_{shelf} は 287.0 J 、LY225-B の vE_{shelf} は 268.3 J と算定される。さらに、WES2805 から、吸収エネルギー遷移温度は、LY225-A が -5.4°C 、LY225-B は -49.7°C と算定される。なお、これらの結果は鋼材の板厚の影響を受ける。対象の鋼材は板厚の異なる鋼板から切り出しているため、直接の比較はできないものの、一般的には板厚が厚いものほどこれらの温度が高温側に評価される。そのため、本検討の結果については2つの差異はより大きくなるものと推察される。これらのことから、同じ LY225 鋼材においても、ミルメーカーにより遷移温度曲線および吸収エネルギー遷移温度は大きく異なることが明らかとなった。

2. 5 低降伏点鋼材の最低使用温度

表－4には、前項までの結果を基に、WES3003 の母材の要求遷移温度式を準用し、各鋼材の最低使用温度を算出した結果を示す。なお、用いた式は以下のようである。

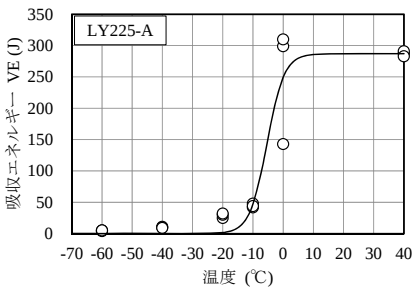
$$vT_E = T + 166.3 - 0.13\sigma_y\sigma\sqrt{t} - \frac{17976}{\sigma_{y0}} \left(\frac{\sigma}{\sigma_{y0}} + 0.6 \right)$$

キーワード 低降伏点鋼材，シャルピー衝撃試験，LY225，温度依存性，制震ダンパー，

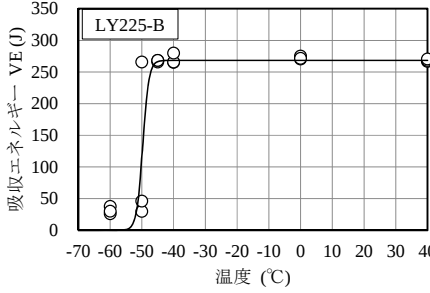
連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34(独)土木研究所 寒地土木研究所 TEL011-841-1698

表－3 シャルピー衝撃試験による試験鋼材の破断面状況

	試験温度(℃)							
	-60	-50	-45	-40	-20	-10	0	40
LY225-A		-	-					
		-	-					
		-	-					
LY225-B					-	-		
					-	-		
					-	-		



(a) LY225-A



(b) LY225-B

図－1 遷移温度曲線

vT_E :エネルギー遷移温度(℃) t :板厚(mm)
 T :最低使用温度(℃) σ :使用応力度(N/mm²)
 σ_{y0} :鋼材の降伏点または耐力の保障値(N/mm²)

本検討では、 σ_{y0} および σ はどちらも 205 N/mm² として評価している。これより最低使用温度は LY225-A では +16.1℃、LY225-B では -19.1℃と評価される。このことから、ミルメーカーの違いにより、その最低使用温度においても大きな差異があることが明らかとなった。

低降伏点鋼という特殊な鋼材に対しての WES3003 の適用性については、未だ検討の余地はあるものの、本検討の結果から同鋼材の低温じん性能は低いと判断される。

3. 降伏に関する温度依存性

本検討では、低降伏点鋼材の降伏点に関する温度依存性を確認するため、所定の温度条件下で引張試験を行い、その降伏点、引張強さなどの低温時特性の検討を行った。試験は、シャルピー衝撃試験により低温環境への適用性の低いと考えられる LY225-A を対象として行った。

3. 1 引張試験概要

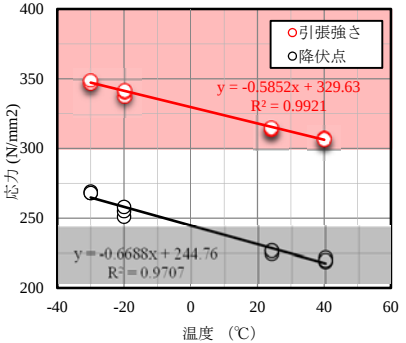
試験体の形状は 14B 号とし、引張試験片を圧延方向に採取した。試験は試験片が破断するまで行う。変位作用速度は 5 mm/min とし、試験温度は 4 種類の温度(-30、-20、+24、+40℃)とした。

3. 2 引張試験結果

図－2 には、各種温度での引張試験の結果を示す。図中、

表－4 最低使用温度の算出結果

鋼 種	エネルギー遷移温度	最低使用温度
LY225-A	-5.4℃	+16.1℃
LY225-B	-49.7℃	-19.1℃



図－2 引張試験結果

黒の実線で降伏点、赤の実線で引張強さの温度依存性を示している。また、LY225 の降伏点、引張強さの性能規定値を同じ色の網掛けで併せて示す。

図から、本実験の温度範囲では降伏点、引張強さ共に温度と直線的な関係が見られ、温度が 1 度低下すると、降伏点・引張強さともに 0.6～0.7 N/mm² 程度増加する傾向が見られる。LY225 の性能規定では、引張強さの規定は 300～400 N/mm²、降伏点の規定は 205～245 N/mm² となっており、試験結果から LY225-A は概ね 0℃以下の場合に、降伏点が規定を超過することが分かる。

このことから、寒冷地において低降伏点鋼を使用する場合には、架橋地点における使用温度と、使用鋼材の低温時特性に配慮し、設計にあたっては十分な検討が必要である。

4. まとめ

- (1) 低降伏点鋼材は、ミルメーカーによって低温じん性能が異なり、低温じん性能が低いものがある。
- (2) 最低使用温度についてもミルメーカーによって大きな差異がある。
- (3) 一般鋼材と同様に降伏点の温度依存性が存在し、温度により LY225 鋼材の性能規定の範囲を超える場合がある。

以上から、寒冷地において低降伏点鋼材を用いた鋼材降伏型のダンパーを用いる場合には、その使用温度に応じた性能を十分に検討する必要があると判断される。