

高サイクル予疲労を与えられた建築構造用 圧延鋼材 SN490B の高速引張り力学特性

東京理科大学 ○板橋正章, 福田 博

1. 緒言

予期せぬ構造物の破壊は疲労を受けた材料の劣化によることが多い。しかし、最終的な破壊のきっかけが衝撃であった場合には、疲労による劣化の進行がどれだけ材料の耐衝撃性を落としていたかについてはほとんど触れられていないのが現状である。鋼材に予疲労を与えてからシャルピー衝撃試験を実施した報告^{1,2)}があるが、試験片のノッチの効果を分離することができないのでデータの解釈が困難である。また、延性-ぜい性遷移温度に議論が集中しがちで、どれだけの強度が残っていたのかという議論は少ない。

そこで本研究では、高サイクル予疲労を与えた溶接構造用圧延鋼材 SM490A と建築構造用圧延鋼材 SN490B について、準静的および動的引張り試験を実施して残留力学特性を評価した。動的引張り試験については、試験片を 0°C に冷却した測定も実施した。

なお、同じ鋼材に予ひずみや低サイクル予疲労を与えた場合の実験結果^{3,4)}については報告済みである。

2. 試験片および実験方法

SM490A 鋼の化学成分は Fe-0.10C-0.21Si-1.52Mn-0.016P-0.004S-0.04Nb-0.02V であり、SN490B 鋼は Fe-0.18C-0.46Si-1.41Mn-0.019P-0.008S-0.01Cu-0.01Ni-0.02Cr である。両鋼材は新日本製鐵(株)より 16mm 厚の平板で供給された。Fig.1 に示す試験片をできるだけ表面付近から採取し、軸方向を圧延方向に一致させた。

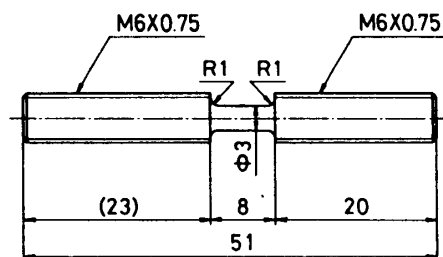


Fig.1 Specimen dimensions.

まず、バージン状態で準静的引張り試験(ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 万能材料試験機)と動的引張り試験($\dot{\epsilon} = 1 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$, one bar method を採用した水平型ゴム動力式高速引張り試験機⁵⁾)を実施した。次に、油圧サーボ式疲労試験機にて正弦波状片振り引張り(応力比 $R=0$, 周波数 20Hz)で S-N 曲線を測定した。この曲線から高サイクル予疲労条件として、今回は Fig.2 の中に Δ でプロットされた繰返し数 2×10^5 , 最大応力 $\sigma_{\max} = 100 \text{ MPa}$, 200 MPa の 2 条件を設定した。これらの条件に基づいて予疲労試験片を作成し、バージン材と同様に準静的および動的引張り試験を実施した。動的

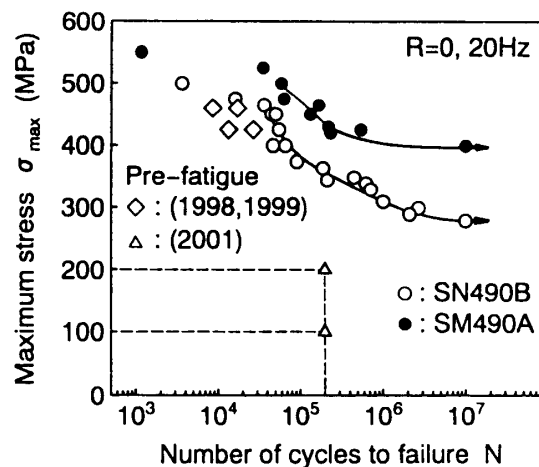


Fig.2 S-N curves and pre-fatigued conditions.

引張り試験のみで実施した 0°C への試験片の冷却は、試験片の周囲を実験直前まで発泡スチロール製の箱で覆い、その内側に冷気供給器(サンワエンタープライズ, コルダ-140-55SV)で -10°C 以下の冷気を 7min 以上満たした。試験片はこの操作で 0°C 以下まで冷却されるので、発泡スチロール製の箱を取り外して、表面の温度が $0 \pm 2^\circ \text{C}$ まで回復するのを待ってから実験した。

3. 実験結果および考察

SN490B 鋼についてのみであるが、今回の一連の引張り試験で取得された代表的な応力-ひずみ曲線を Fig.3 に示す。高サイクル予疲労を与えたことによる極端な劣化は見られない。SM490A 鋼についても同様である。両鋼材はもともと下降伏応力を除いて力学特性がほとんど同じものである。すなわち、SN490B 鋼についてのみ降伏比(=(下降伏応力)/(引張り強度))に上限(80%)が設定されている。これは大規模地震の際の入力エネルギーを構造部材に塑性変形を広範囲に生じさせることで吸収させ、建築構造物の瞬時の崩壊を防止するためである。このことこそが 1981 年から導入された新耐震設計法の要になっている。したがって、仮に中小規模地震で疲労による損傷が蓄積されて降伏比が上限を超過してしまうようなことがあつては、新耐震設計法はその効果を喪失してしまうことになる。建築基準法等では引張り許容応力値を 216MPa と定めている。今回の(予疲労時の)最大応力を 100MPa, 200MPa に設定したのは、実用レベルでの予疲労が降伏比にどのような影響を及ぼすのかを確認するためである。すなわち、中小規模地震で疲労による損傷が蓄積した建築構造物が、直下型大規模地震に遭遇した場合に安全性を保持できるのかということを模擬している。この安全性の確認の手段の一つとして、いろいろな条件の下で降伏

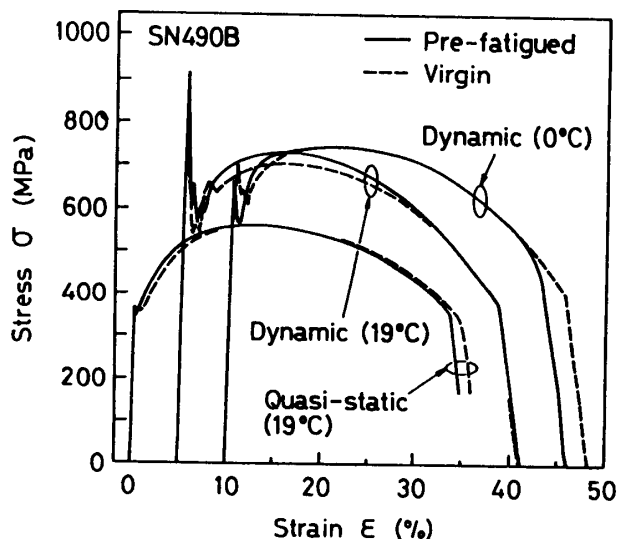


Fig.3 Typical stress-strain curves for high-cycle pre-fatigued SN490B steel.

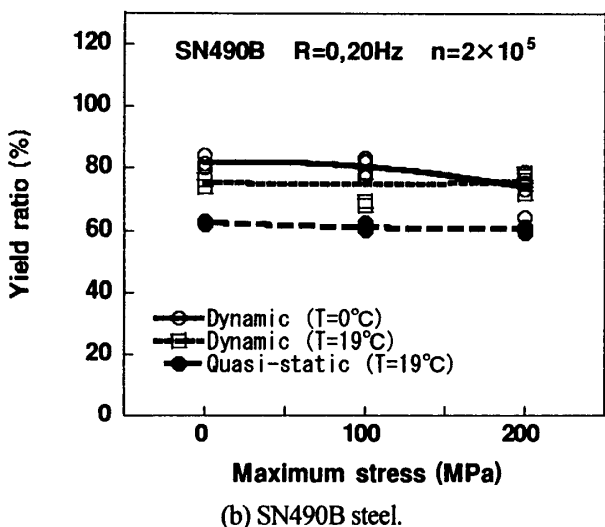
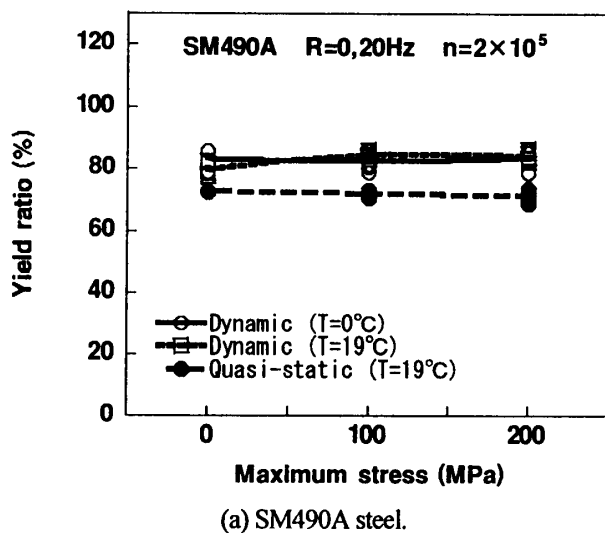


Fig.4 Maximum (pre-fatigue) stress dependence of yield ratio for SM490A and SN490B steels.

比が 80%以下を保つことができるのかどうかを判定するのだが、参考文献 3)により両鋼材共にひずみ速度が上昇すると降伏比は増加することがわかっている。

降伏比の(予疲労時の)最大応力依存性を Fig.4 に示す。なお、最大応力 0MPa というのはバージン材についての実験結果を意味している。少なくとも準静的ひずみ速度では、両鋼材ともに高サイクル予疲労を与えても降伏比には全く影響が無い。Fig.4(a)に示した SM490A 鋼では、動的引張りで降伏比がだいたい 80% 強に達してしまう。一方、Fig.4(b)に示した SN490B 鋼では、19°Cにおける動的引張りがかろうじて 80%を下回るものの、0°Cになると最大応力 0MPa, 100MPa では 80%を超過することがある。最大応力 200MPa では一転して 0°Cでも 80%を下回るが、これには SN 鋼特有の製造時の精密な組織制御が関わっているようである。C 量としては SN490B 鋼(0.18wt%)の方が SM490A 鋼(0.10wt%)よりも多いので、本来ならば SN490B 鋼の方が下降伏応力は高くなるはずであるが、実際は全く逆転している。両鋼材ともにフェライト相とベイナイト相からなっているが、降伏現象はフェライト相から発生する。SN 鋼ではこのフェライト相を特に軟らかくし、ベイナイト相で引張り強度を確保している。マイクロビッカース試験機で硬さを測定すると、フェライト相では SN490B 鋼の方が HV0.025 で 50 程度軟らかい (SM490A 鋼は 213, SN490B 鋼は 163)。したがって、最大応力 200MPa で予疲労を与えると SN490B 鋼のフェライト相が選択的に損傷を受け、介在物と母相の剥離が生じてしまい、正味の断面積が減少している可能性がある。SEM で破面観察すると、ディンプルにはそのようなプロセスを期待させるような大きくて深いディンプルが数多く存在し、その底に介在物があることが多かった。

4. 結論

SN490B 鋼の降伏比は、準静的引張りでは高サイクル予疲労を与えてもその影響は全く無く、80%を十分下回る。しかし、動的引張りではバージン材でも 0°Cでは 80%を超過することがあり、直下型大規模地震に対する耐震性を寒冷地において確保するには格段の配慮が必要と思われる。

本研究は(財)川鉄 21 世紀財団から技術研究助成を得て実施されたものであり、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 中西昭一, 土師利昭, 鉄と鋼, **52**, 654 (1966).
- 2) 助台栄一, 飛田守孝, 日本金属学会誌, **50**, 369 (1986).
- 3) 板橋正章, 福田博, 材料, **50**, 204 (2001).
- 4) 板橋正章, 福田博, 第6回材料の衝撃問題シンポジウム講演論文集, 61 (1999).
- 5) M. Itabashi and K. Kawata, Int. J. Impact Eng., **24**, 117 (2000).