

## 2つのSM570材間の繰返し弾塑性特性の差異に関する基礎研究

横浜国立大学 学生会員 ○本多 正尚 横浜国立大学 正会員 田村 洋

横浜国立大学 フェロー 勝地 弘 横浜国立大学 正会員 王 嘉奇

首都高速道路 正会員 神田 信也 首都高速道路技術センター 正会員 右高 裕二

IHI インフラシステム 正会員 竹嶋 夏海

## 1. はじめに

わが国の橋梁では、都市内の厳しい空間的な制約等に対応するために高強度鋼材を適用してきた[1]。さらに、耐震設計上の要求の高まりから高強度鋼材への期待が大きくなっており、高強度鋼材の繰返し弾塑性特性をモデル化し弾塑性解析に用いようとする試みがある[2]。一方で、図1のように鋼材には同鋼種であっても降伏応力(初期降伏曲面半径)や引張強さ等の機械的性質にばらつきがあることが過去の研究[3]で示されている。そこで本研究では、製造ロットの異なる供試鋼の2つのSM570材を対象に繰返し弾塑性特性の比較、4辺単純支持板を対象とした繰返し弾塑性変形解析結果の比較を行った。

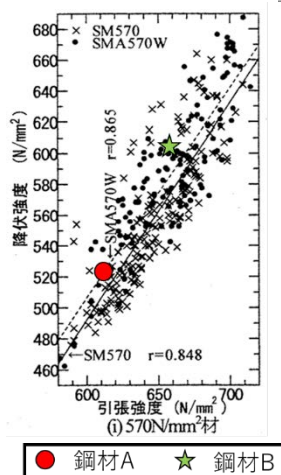


図1 機械的性質の分布  
(文献[3]に筆者が加筆、鋼材A、Bはミルシート値に基づく)

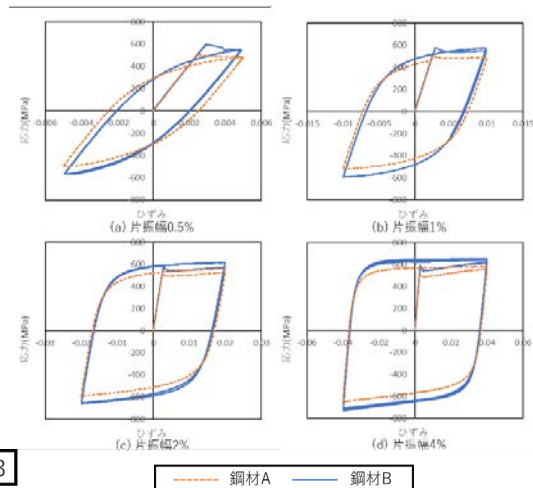


図2 鋼材A,Bの応力-ひずみ履歴曲線の比較

## 2. 2つのSM570材の材料データの比較

本研究では供用中の鋼製橋脚より切り出した鋼材Aと2017年製の鋼板より切り出した鋼材Bを対象とした。2つの鋼材の単調載荷特性として降伏応力と引張強さを図1に示す。この図からSM570材の統計分布の中で鋼材Aは初期降伏応力が比較的低く、鋼材Bは降伏応力が比較的高い鋼材であるといえる。また、繰返し弾塑性特性の関係を調べるために繰返し載荷試験の応力-ひずみ履歴曲線の比較を行った。図2より鋼材Aの降伏曲面の半径は鋼材Bより10%~20%ほど小さく、降伏応力と繰返し弾塑性特性の間に相関関係があることが推察された。

## 3. 4辺単純支持板の繰返し弾塑性載荷解析結果の比較

4辺単純支持された平板を対象に繰返し弾塑性解析を行いその結果を比較し、2鋼材の差異を反映した材料パラメータの違いが耐震解析にどのような差異を生じるのかについて検討した。対象平板は、正方形の無補剛板とし、4辺の内2辺に後述の載荷パターンに基づき面内方向に強制変位を付与し、それ以外の2辺は直交方向に対して変位固定した。平板の板厚を32mmとし、異なる幅厚比において比較を行うため、板の1辺の長さは、500mm(厚板)、1100mm(中間板)、1700mm(薄板)の3パターンとした。初期たわみは、図3に示すように1次の弾性座屈モード形によって近似し、板中央の最大初期たわみは1辺の長さの1/1000とした。残留応力は、載荷方向に平行な板の2辺に沿って溶接を行った場合を想定した。使用した有限要素、時間増分、材料パラメータについてはSM490Yの構成則を対象とした検討[3]を踏襲した。鋼材の硬化特性を表現する硬化則として、等方硬化則モデル、線形移動硬化則モデル、複合硬化則モデルの3ケースを仮定し比較した。載荷パターンは、図4に示すように漸増振幅載荷1パターンと定振幅載荷3パターンの合計4パターンとし、いずれも変位制御による両振り載荷である。漸増振幅

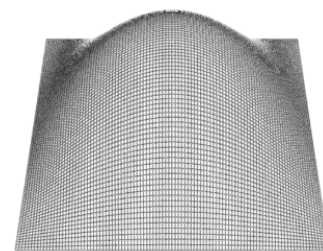


図3 初期たわみ形状

キーワード SM570材, 繰返し弾塑性材料特性, 製造ロット, ひずみ硬化則

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 TEL045-339-4243

載荷は 6 サイクルから構成され、第 1 サイクルでは振幅を  $2\delta y$  ( $\delta y$  は各板の降伏変位)、第 2 サイクル以降では  $2\delta y$  ずつ増やしていった。定振幅載荷は 10 サイクルから構成され、各サイクルの振幅は載荷パターンごとに降伏変位を  $m$  倍とし、 $m = 4, 8, 12$  の 3 パターンを設定した。以上のような条件で解析を行った結果について、2 つの SM570 材で比較を行った。

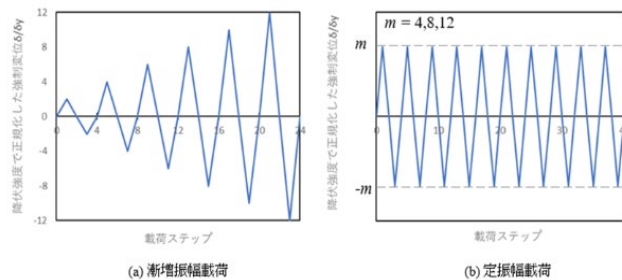


図 4 振幅載荷パターン

平均応力-平均ひずみ履歴曲線に関して比較を行った結果の一例を図 5 に示す。平均応力-平均ひずみ曲線は降伏応力や引張強さが大きい鋼材 B の曲線が鋼材 A の曲線と比べて引張りひずみ側で高い値を示しているが、座屈を伴う圧縮ひずみ側では材料パラメータの差の影響が小さくなっている。

平均応力-平均ひずみ履歴包絡線と最大耐力からの耐力低下割合 (= (最大耐力 - 現耐力)/最大耐力) について比較を行った結果を図 6 に示す。各図の横軸は上段が鋼材 A、中段が鋼材 B に対応している。等方硬化則モデルでは、与える振幅が大きくなるにつれて、鋼材 B の耐力低下割合が小さくなった。線形移動硬化則モデルでは、与える振幅によらず鋼材 B のほうが小さい耐力低下割合を示した。複合硬化則モデルでは、振幅が大きくなるにつれて鋼材 A, B の双方で大きな耐力低下が示された。一方、硬化則に基づいて耐力低下量を比較すると線形移動硬化則モデル、等方硬化則モデル、複合硬化則モデルの順に低下量が大きくなっていき、その差は 2 鋼材間の違いより大きかった。以上のように、最大耐力点以降の耐力低下に関しては選択する構成則の影響が鋼材の違いよりも大きいことを示唆する結果が得られた。

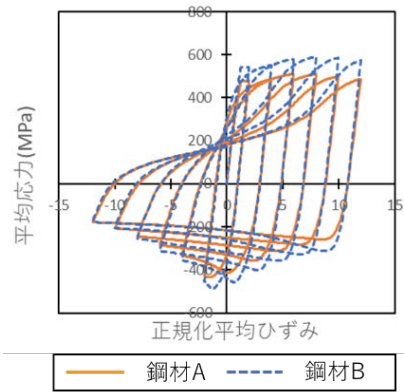


図 5 平均応力-平均ひずみ履歴曲線の比較(中間板, 漸増載荷)

4.おわりに

本研究では、製造ロットの異なる SM570 材は繰返し弾塑性特性に関しても一定の差異を示すが、それらを用いた鋼板の耐力に関して座屈変形が生じると鋼材の差異よりも硬化則の違いの影響のほうが顕在化する傾向が示された。今後はさらに多くの SM570 材について繰返し弾塑性特性のばらつきと影響について調査し、知見を蓄積する必要がある。

謝辞 本研究の遂行にあたり IHI インフラシステムの岡田誠司氏から貴重なご意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

[1] 白鳥明: 首都高速道路の建設技術—昭和・平成を振り返り、令和へ技術を継承する—: [https://www.kenkocho.co.jp/html/publication/sa\\_kikoubun.html](https://www.kenkocho.co.jp/html/publication/sa_kikoubun.html) (2022/4/1 閲覧)

[2] 葛西昭, 田村洋, 岸祐介, 水谷司: 鋼材の繰返し弾塑性挙動と耐震解析に使用可能な材料: 日本鋼構造協会合理化設計研究部会, 2018.

[3] 南邦明, 三木千壽: 橋梁で使用する鋼材の機械的性質の現状: 鋼構造論文集, 2004.

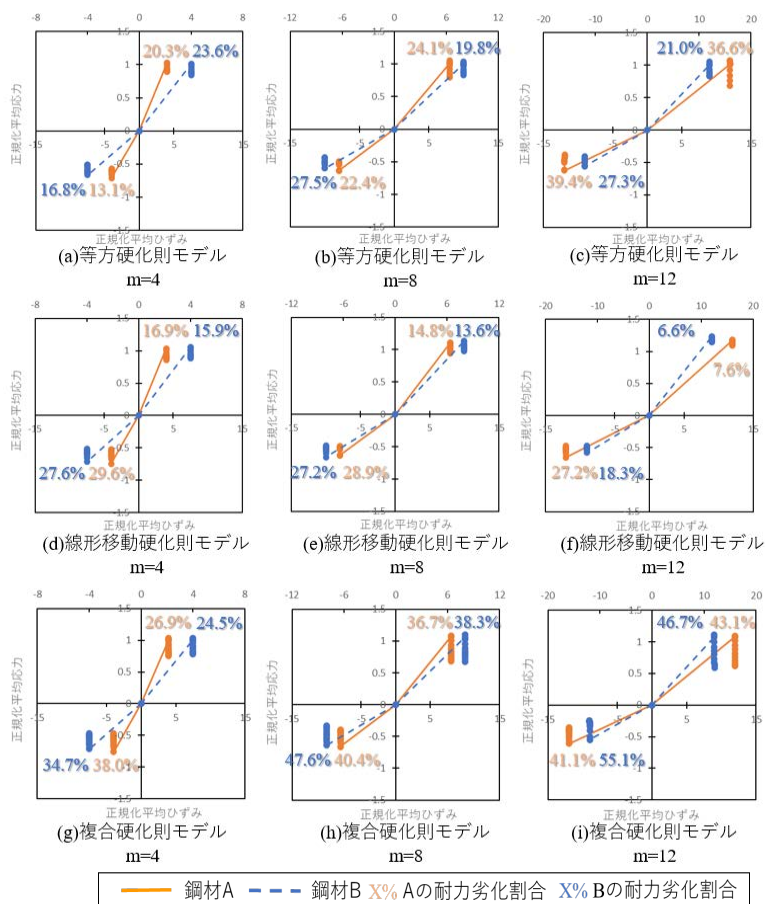


図 6 包絡線と耐力劣化割合の比較(中間板, 定振幅載荷)