

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14844

研究課題名(和文) 曲げ強度10倍を達成する次世代型積層鋼板の開発

研究課題名(英文) Development for new generation laminated high-strength steel

研究代表者

松野 崇 (MATSUNO, Takashi)

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30781687

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,770,688円

研究成果の概要(和文)：本課題においては、曲げ変形における強度向上を目的にこれを実現させるための鋼材の微視的な構造を検討した。二相組織鋼と呼ばれる軟質な相に硬質な相が粒状に分散しているものを対象とした。実物で硬質粒の形状を制御することは困難が多く時間を要するため、コンピュータ上で仮想的に金属組織を生成して変形を与える試行を実施した。曲げ強度向上のためには変形に要する力が引張方向によって大きく異なる特性が必要である。硬質相を繊維状とすることで10%程度の伸びまではこのような特性が生じるが、それ以降は変形に要する力が方向に依存しなくなるという結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鋼材の曲げ強度は自動車用部材において重要な役割を果たす。強度が高ければその分だけ鋼材の厚さを減らせるので、耐衝突性能を維持しながら軽量化を果たすことが可能となる。本課題における研究成果は、これまでにない異方性を活用しての曲げ強度向上の糸口を得ることができたという点において社会的な意義があるものと考えられる。

また、鋼材の微視的な構造による異方性の発現が極めて複雑におけるという点が新たに明らかとなった。これらを調整、最適化していくことで曲げ強度向上のブレイクスルーを得る可能性がある。新たな研究テーマの広がりとして学術的な意義があったものとする。

研究成果の概要(英文)：The study considered morphology of micro structure in high strength steels for high bending strength. Dual phase steels, which are composed of hard island-shaped phase embedded in soft phase matrix, was focused. Due to the difference for actual sample preparation that include hard phases with desired morphology, virtual material development and mechanical test on the computer were conducted. High bending strength which was intended in this study required strong anisotropy of tensile response; and the virtual material tests clarified that the fibrous hard phase induced such strong anisotropy. This strong anisotropy expressed up to 10% material deformation, and diminished after the 10% material deformation.

研究分野：鉄鋼材料の塑性変形、延性破壊、および塑性加工

キーワード：Dual Phase steel メゾスケール解析 異方性 鋼材強度

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、燃費改善やCO₂排出削減を目的として自動車の軽量化が志向されている。現在の多くの自動車部材には薄手で高強度な鋼板が用いられており、耐衝撃性能と軽量化を両立している。ここで用いられる鋼板の強度は最大引張強度にして1.5GPa（従来の軟鋼板の5倍）にまで達するが、自動車構造部材の軽量化ニーズは留まることはない。さらに高強度な鋼板が求められている。

しかしながら、難加工性やプレス成形に伴う部材強度の低下や部材の延性不足を考えると単純な鋼板の高強度化は既に限界に近い。このような状況を打破するために、複数の異なる強度の鋼板を積層することでそれぞれの鋼板単体では達成できないような強度と延性を発現させる研究報告がこれまでになされている（Koseki et al., Mat. Trans., 2014）。その他、表面側に高延性の鋼材を配置することで曲げ変形時の破断を防ぐ試みも行われており、このような積層鋼板はドイツ ThyssenKrup 社が3層超高張力積層鋼板 TRIBOND®として売り出している。CFRP のような軽量の異材をまぜて積層することで重量増を抑えながら板厚を増し、曲げ強度を向上させる報告も近年では目立つ（Hombert et al, IDDRG2012, 2012）。

自動車衝突部材として要求される強度は主として曲げ強度であるから、必ずしも素材そのものを高強度化させる必要は無い。そこで、図1のごとく強い異方性の鋼板を積層させることで曲げと他のモードの変形を連成させることを考えた。他の変形モードによって曲げ剛性を向上させることを志向したものである。部材の曲げ強度は構造が大きく寄与し、実現できれば10倍程度の高強度化が達成できる。

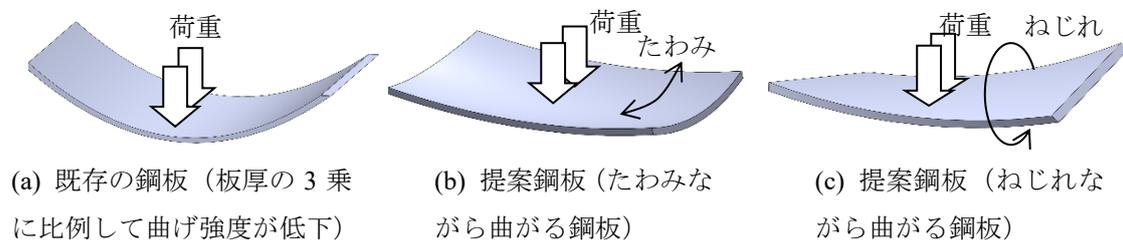


図1 曲げ強度向上を実現するための構想

一方で、この実現のためには塑性変形において強い異方性を示す鋼材が必要である。これまでの高強度鋼材において異方性はほとんどなく、そのための金属組織を新たに設計しなければならない。

2. 研究の目的

本課題では二相組織鋼を対象に、異方性を最大限発現させる金属組織設計を行う事を目的とした。二相組織鋼は軟質なフェライトと硬質なマルテンサイトより構成される高強度鋼であり、粒状のマルテンサイトの形態を調整することで異方性を発現させることができる。実際に鋼材を製作して試行錯誤的に実施するには時間がかかりすぎるため、二相組織を陽に取り込んだシミュレーションを用いる。CFRP のような繊維状のマルテンサイト形態を含む仮想二相組織をプログラムにより生成し、その異方性を有限要素法シミュレーションで評価する事で異方性を最大化させるマルテンサイト形態を見出すことを試みた。

3. 研究の方法

Python によるスクリプトを作成し、仮想二相組織モデルのボクセルデータを生成した。図2のようなマルテンサイト延伸と図3のようなマルテンサイト連結を表現した。明らかに引張特性に異方性が生じると思われるマルテンサイト形態によって引張シミュレーションを実施した。

シミュレーションは有限要素法により実施し、図4のようにボクセルデータから均質メッシュ、均質メッシュから簡素化されたメッシュというプロセスにより解析モデルを作成した。簡素化による大幅なメッシュ数の低減により、図2, 3で生成した3次元モデルのシミュレーションが現実的な時間で実施できるようになった。

8分の1対称境界条件を導入する事で実験として実績のある微小引張試験程度の大きさを解析した。図2, 3におけるx, y方向の引張を行った。ここで、y方向が図2におけるマルテンサイトの延伸方向となる。

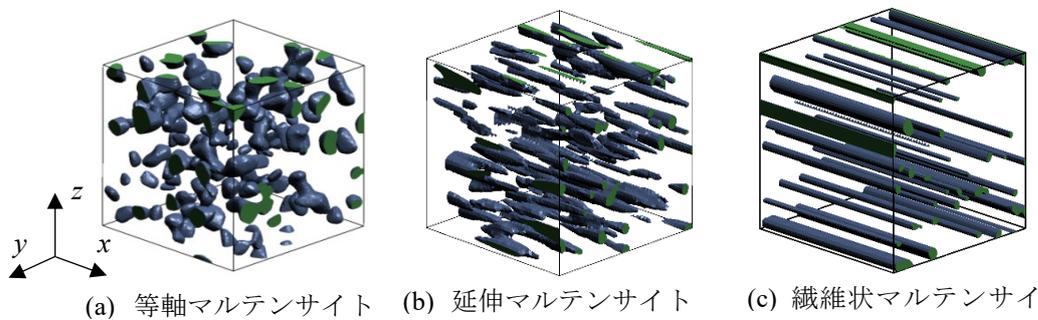


図 2 マルテンサイトの延伸の度合いを変更させた仮想二相組織（マルテンサイトのみ表示）

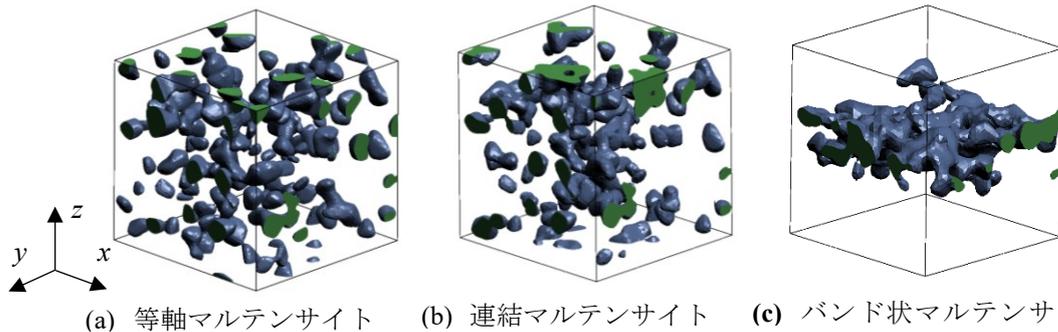


図 3 マルテンサイトの連結度合いを変更させた仮想二相組織（マルテンサイトのみ表示）

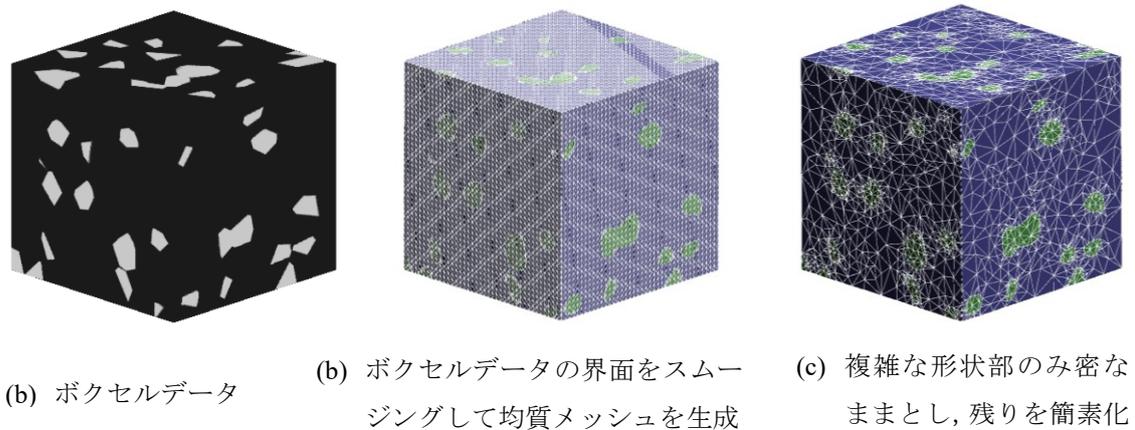


図 4 メッシュ生成の概略図

4. 研究成果

2通りのマルテンサイトの体積率における解析結果を図5, 6, 7に示す. 図中の解析モデルにおけるマルテンサイトの形態は, 表1に示す通りである.

図5はマルテンサイト体積率が10%でマルテンサイトを延伸させた場合の解析結果である. 塑性ひずみ0.1程度までは延伸による異方性がはっきりと表れている. しかしながら, 0.1以上の塑性ひずみでは流動応力は変形方向によらず等しくなる. 等軸状のマルテンサイトの場合に対して強度が低下している点に興味深い.

図6のマルテンサイト体積率が28%の場合においても, 図5の10%の場合と同様に塑性ひずみ0.1程度まではマルテンサイト延伸による異方性が現れる. 変形方向による流動応力の差はマルテンサイト10%の場合よりも高い. 0.1以上の塑性ひずみでは流動応力は変形方向によらず等しくなる. また, 等軸状のマルテンサイトの場合に対する強度低下も顕著である.

図7はマルテンサイト28%の場合における連結マルテンサイトの場合の解析結果となる. 変形方向による差が無かったため, 1方向のみの結果を示している. 異方性を設けるとの試みにはかなわなかったが, マルテンサイト連結による強度向上は極めて大きい事が分かる. 破壊を考慮した解析も実施したが, この場合は塑性ひずみが小さな段階で破断するとの結果を得た.

図6よりマルテンサイト28%の場合をみれば, マルテンサイトを繊維状としたもので大きな

異方性が生じる。しかしながら、これは塑性ひずみが 0.05 程度であり全ての塑性ひずみ域におけるものではない。研究背景の図 1 b, c のような曲げ変形を実現させるには非線形の異方硬化モデルを使った試行錯誤が必要となる。本課題の研究期間内においてはこの解析を実施する事ができなかったが、引き続き検討を行う必要があるものと考え。マルテンサイト延伸による強度低下も考慮する必要があり、当初の想定よりも広がりのあるテーマとなった。また、マルテンサイト連結による強度向上は著しく、この効果を活用した材料設計も検討に値する。本課題の成果として、これら将来的な研究展望を得ることができたものと考え。

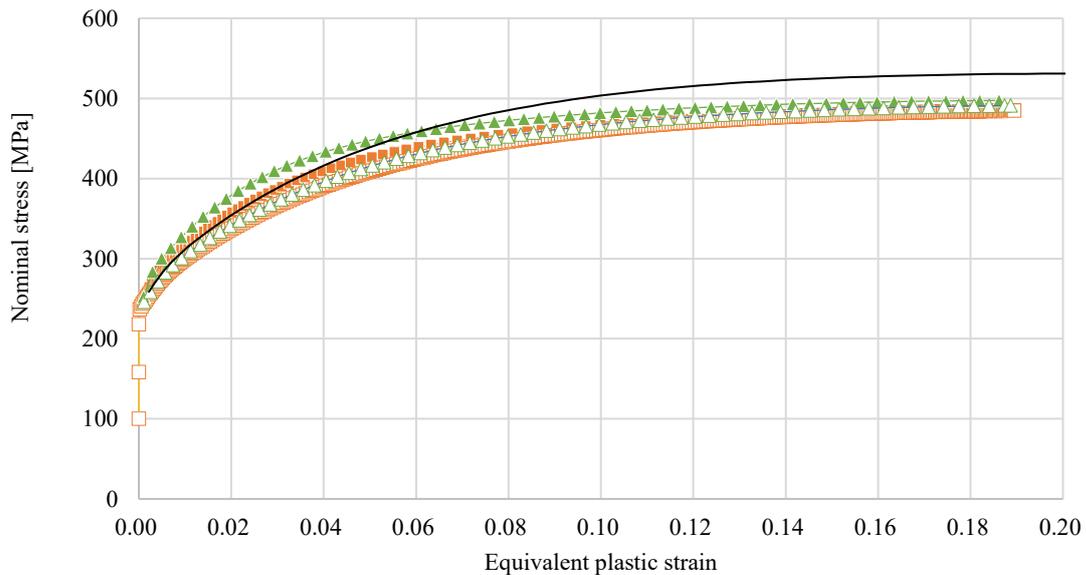


図 5 延伸マルテンサイト（体積率 10%）の公称応力・相当塑性ひずみ解析結果

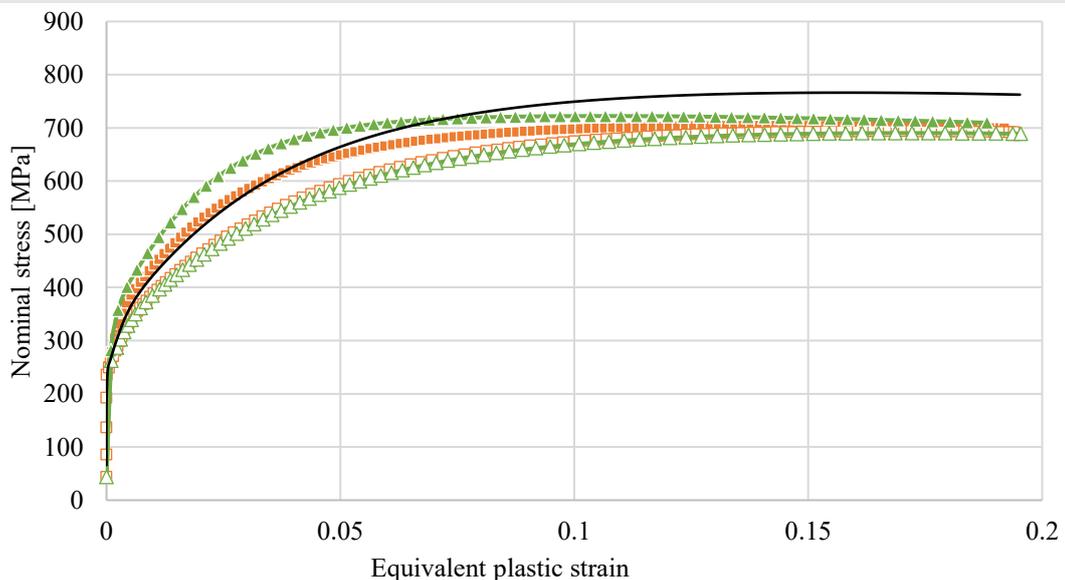
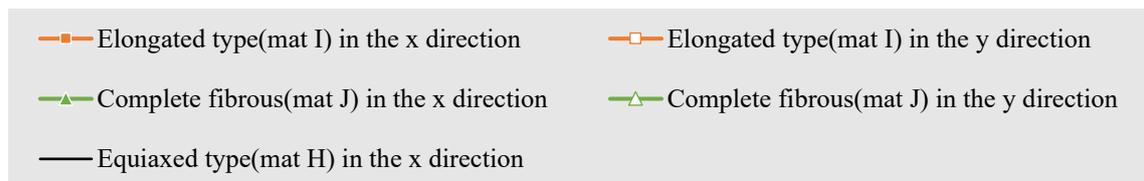


図 6 延伸マルテンサイト（体積率 28%）の公称応力・相当塑性ひずみ解析結果

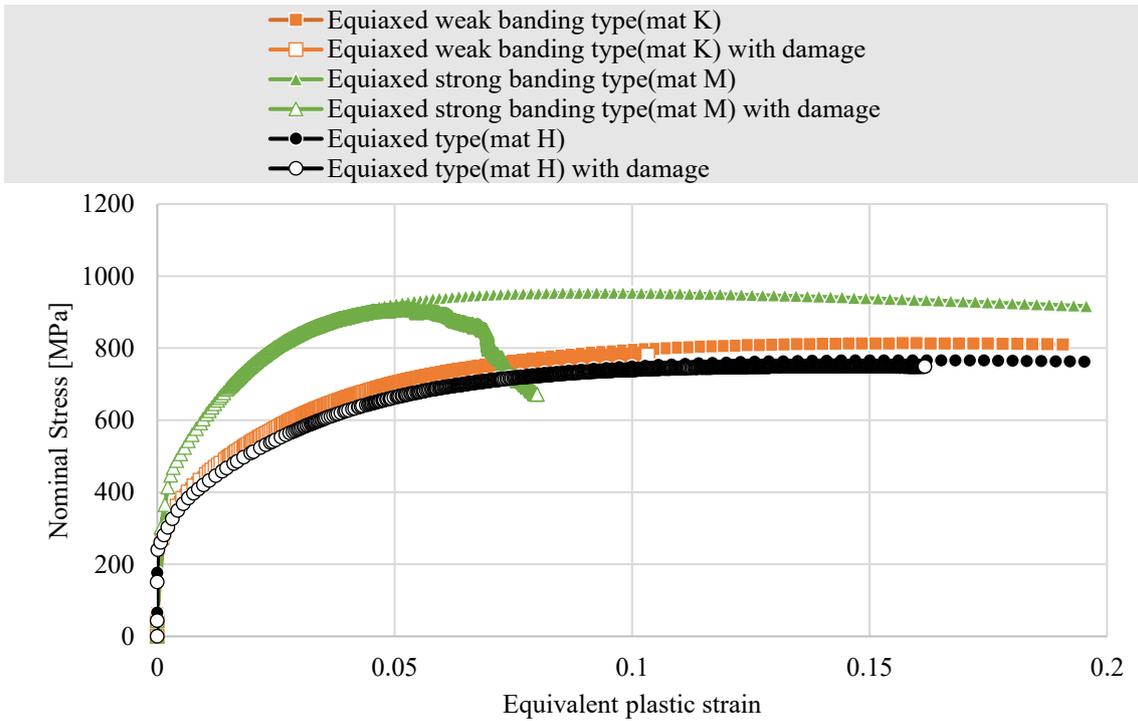


図7 連結マルテンサイト（体積率 28%）の場合の公称応力・相当塑性ひずみ解析結果

表1 図5, 6, 7における仮想二相組織のマルテンサイト形態

ID of Virtual DP	Type	Martensite Fraction	Martensite Aspect Ratio
A	Equiaxed	10%	0.943
B	Elongated	10%	7.092
C	Fiber	10%	∞
D	Equiaxed and weak banding	10%	0.922
E	Elongated and weak banding	10%	7.246
F	Equiaxed and strong banding	10%	1.048
G	Elongated and strong banding	10%	6.329
H	Equiaxed	28%	0.971
I	Elongated	28%	5.747
J	Fiber	28%	∞
K	Equiaxed and weak banding	28%	0.964
L	Elongated and weak banding	28%	5.208
M	Equiaxed and strong banding	28%	1.196

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsuno Takashi、Yoshioka Tomoya、Watanabe Ikumu、Alves Luis	4. 巻 163
2. 論文標題 Three-dimensional finite element analysis of representative volume elements for characterizing the effects of martensite elongation and banding on tensile strength of ferrite-martensite dual-phase steels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Sciences	6. 最初と最後の頁 105133 ~ 105133
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉岡知哉, 松野崇, 佐藤昌彦, Luis Alves
2. 発表標題 二相組織鋼の応力・ひずみ関係における硬質組織の体積率と形態の影響
3. 学会等名 日本塑性加工学会塑性加工学会春季講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉岡知哉, 松野崇, Luis Alves
2. 発表標題 数値計算を用いたDual Phase鋼異方性に及ぼす硬質組織形態の影響の解析
3. 学会等名 日本塑性加工学会第68回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松野 崇
2. 発表標題 延伸マルテンサイトを含む二相組織鋼の塑性異方性の有限要素解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----