

自己診断機能を有する構造材料を用いたインテリジェント耐震構造に関する研究

建設省土木研究所 正会員 足立 幸郎
同 上 正会員 運上 茂樹

1. はじめに 自己診断機能、自己修復機能を、材料自体が有するインテリジェント・マテリアルの研究開発が行われている。このような先端材料を土木構造物に活用することによって、震後に容易に被害状況を診断でき、さらに容易に復旧が可能なインテリジェント耐震構造が可能になると考えられる¹⁾。図-1,2 にインテリジェント耐震構造の概念図を示す。本研究では、自己診断機能を有するインテリジェント構造として、TRIP 鋼を補強鉄筋として用いたコンクリート構造を提案し、TRIP 鋼の損傷検出特性に関する実験的検討を行った。

2. TRIP 鋼の特性 TRIP 鋼は Fe-Cr 系のステンレス特殊合金であり、図-3 に示すように外部応力に伴うひずみの増加によって結晶構造が非磁性のオーステナイトから強磁性のマルテンサイトに変態する。さらに、一旦変態した結晶構造は応力を除荷しても元の結晶構造には戻らない特性をもつ。したがって、磁気の変化を計測することによって、ひずみを検出することが可能となる。この特性をひずみセンサー部材として利用する研究が行われている^{2),3)}。一方、鉄筋コンクリートの損傷程度は概ね補強筋のひずみを計測することによって診断することが可能である⁴⁾。本研究では、TRIP 鋼を鉄筋コンクリート部材の補強鉄筋として用いた場合に、TRIP 鋼の磁気特性の変化を計測することによって、部材の損傷度を診断する技術の可能性を検討した。なお、磁気の変化はコイルセンサーを用いて誘導電圧として計測した。

3. TRIP 鋼を用いた補強鉄筋のひずみ検出特性 本研究では TRIP 鋼を用いて $\phi 13\text{mm}$ の丸鋼を製作した。円筒形のコイルセンサーを鉄筋の外側に設置し、同位置に貼付したひずみゲージにより、TRIP 鋼補強鉄筋に生じる引張ひずみと誘導電圧の関係を調査した。なお、構造材料として用いるためには異形補強筋であることが望ましいが、製作の都合上丸鋼とした。図-4 に試験の概念図を示し、図-5 に片振幅交番載荷時の、荷重、ひずみ、および電圧の関係を示す。荷重の変動と共にひずみおよび電圧が変化することがわかる。また、ひずみが概ね 0.2% に達すると電圧が発生しその後ひずみにほぼ比例して電圧が比例していることがわかる。これはマ

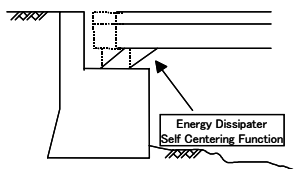


図-1 自己修復型インテリジェント耐震構造

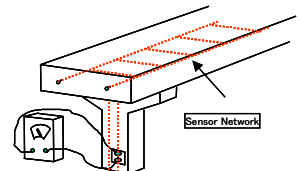


図-2 自己診断型インテリジェント耐震構造

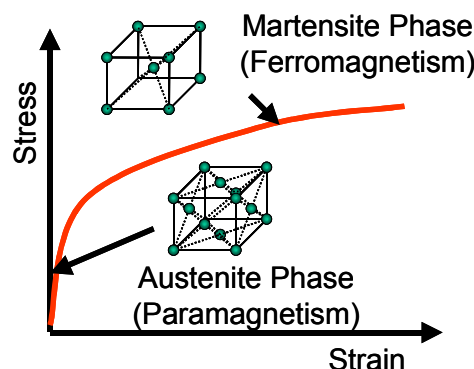


図-3 TRIP 鋼の結晶構造の変化と磁性

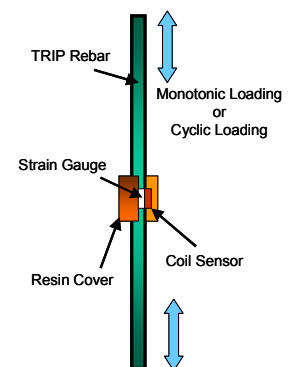


図-4 TRIP 鋼鉄筋引張試験

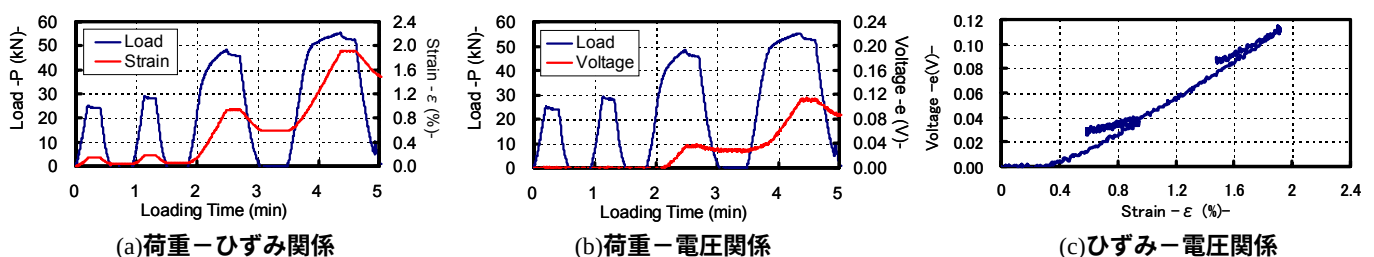


図-5 TRIP 鋼鉄筋の荷重-ひずみ-出力電圧の関係

キーワード：インテリジェント構造、損傷診断、TRIP 鋼、鉄筋コンクリート部材

連絡先：茨城県つくば市旭 1 番地 TEL 0298-64-4966 FAX 0298-64-4424

ルテンサイトへの変態量は鋼の塑性程度に応じて生じ、さらに変態したマルテンサイト量に電圧が比例するためである。載荷時と除荷時とではひずみと電圧の軌跡が同一経路上にない。これは、マルテンサイトへの変態は非可逆的なため、除荷時ではほぼ一定した電圧が生じるのに対し、ひずみは除荷と共に小さくなるためである。なお、除荷時に電圧が若干減少しているのは不安定なマルテンサイトがオーステナイトに戻るため生じるものである。このような実験結果より、TRIP 鋼を用いた補強鉄筋は履歴最大ひずみを間接的に計測できる可能性があることがわかる。

4. TRIP 鋼補強筋を用いたコンクリート構造の損傷診断実験 TRIP 鋼をコンクリート構造の補強鉄筋に用いた場合において、TRIP 鋼が同様な損傷診断機能を有するかについて確認を行うため、TRIP 鋼補強鉄筋を有するコンクリートはりの正負交番載荷実験を行った。コンクリートはり部材供試体の配筋図を図-6 に示す。さらに、載荷概念図を図-7 に示す。本実験は、交番荷重を載荷させたが、これは結果として補強鉄筋に引張力だけでなく圧縮力も作用させた実験となっている。図-8 に、載荷重による荷重変位関係を示す。図-9 には、支間中央部のひずみと出力電圧との関係を示した。ひずみは交番状に発生しているのがわかる。これに対して TRIP 鋼の電圧は、圧縮ひずみを受けた場合に主たる電圧の上昇が生じ、除荷と共に不安定なマルテンサイトがオーステナイトに戻るためと考えられる電圧の減少が生じるが、その後引張りひずみが生じると若干ながら電圧が上昇していることがわかる。このように発生電圧は変動しながらも増加傾向にあることがわかる。すなわち出力電圧は、引張および圧縮の累積ひずみ量と関係あると考えられる。一般に、TRIP 鋼では外部応力方向に関わらず発生するひずみ量に応じてマルテンサイト変態が誘起されるとされている。したがって、TRIP 鋼を構造材料かつ損傷診断センサーとして用いた場合、構造物の累積ひずみに関係する量を診断できる可能性があることがわかる。しかしながら、実験結果からは出力電圧は外部応力方向に対して等方的でない。これは、応力場の変動によるコイルの出力特性の変化やマルテンサイト変態量に及ぼす外部応力方向の影響⁵⁾などが影響しているものと考えられる。

5. おわりに TRIP鋼補強鉄筋単体で、引張応力のみが作用する場合では、磁気特性を計測することにより、最大ひずみを診断することが可能であることが示された。またTRIP鋼補強鉄筋を用いたインテリジェント耐震構造は、正負交番載荷状態においては、作用する引張応力および圧縮応力によりマルテンサイト変態が生じるため、磁気特性を計測することにより、TRIP鋼の累積ひずみを診断することが可能であることが示された。すなわち、過去に受けた損傷の累積履歴を診断する累積ひずみセンサーの機能を有する可能性があることが示された。

参考文献 1)Y. Adachi, S. Unjoh: "Development of Shape Memory Alloy Damper for Intelligent Bridge Systems", Proc. of 6th Smart Structures and Materials, Newport Beach, March 1999, 2)G. Wassher: "Developing NDE Tools for the Inspection of Highway Bridges in the United States", Proc. of the U.S.-Japan Joint Seminar on Civil Infrastructure Systems, Hawaii, August 1997, 3)L. Thompson, B. Westermo: "Passive Monitoring Systems for Structural Damage Assessment", Proc. of 1995 N.American Conf. on Smart Structures and Materials, San Diego, March 1995, 4)Y. Adachi, S. Unjoh, M. Ohsumi: "Nondestructive damage detection and evaluation technique for seismically damaged structures", Proc. of Non Destructive evaluation for aging infrastructures, Newport Beach, March 1999, 5) 荻原、金沢: 「マルテンサイト変態に及ぼす外部応力の影響」, 日本金属学会誌 Vol.25.No.3,1961.3

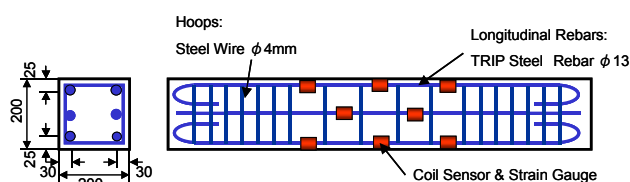


図-6 TRIP 鋼鉄筋を用いたコンクリート供試体

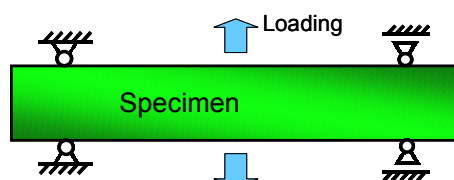


図-7 コンクリート供試体載荷方法

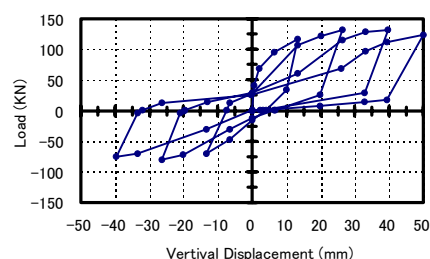


図-8 荷重-鉛直変位関係

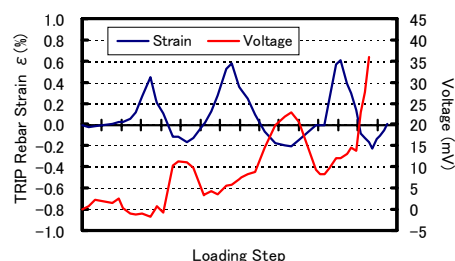


図-9 TRIP 鋼鉄筋のひずみと電圧の関係(支間中央)