

高マンガン非磁性鉄筋の接合に関する考察（1）

愛知工業大学 名誉教授 尾形素臣

まず、高マンガン非磁性鉄筋はどのような特性を持っているかを検討してみました。図-1は高マンガン非磁性鉄筋と、同じく非磁性のステンレス棒鋼（ステンレス鉄筋ではありません）、および比較のため、普通に使用されている異形棒鋼SD345の応力-伸び関係を調べてみました。高マンガン非磁性鉄筋はSD345相当であり、降伏点強度もほぼ同じでした。この鉄筋をSD345Mと名前をつけます。引張強度は降伏点の2倍以上で極めて高いものでした。伸びは40%程度であり、極めて大きいものでした。ステンレスの強度は高くありませんでしたが、伸びは50%と、極めて延性に富んでいました。

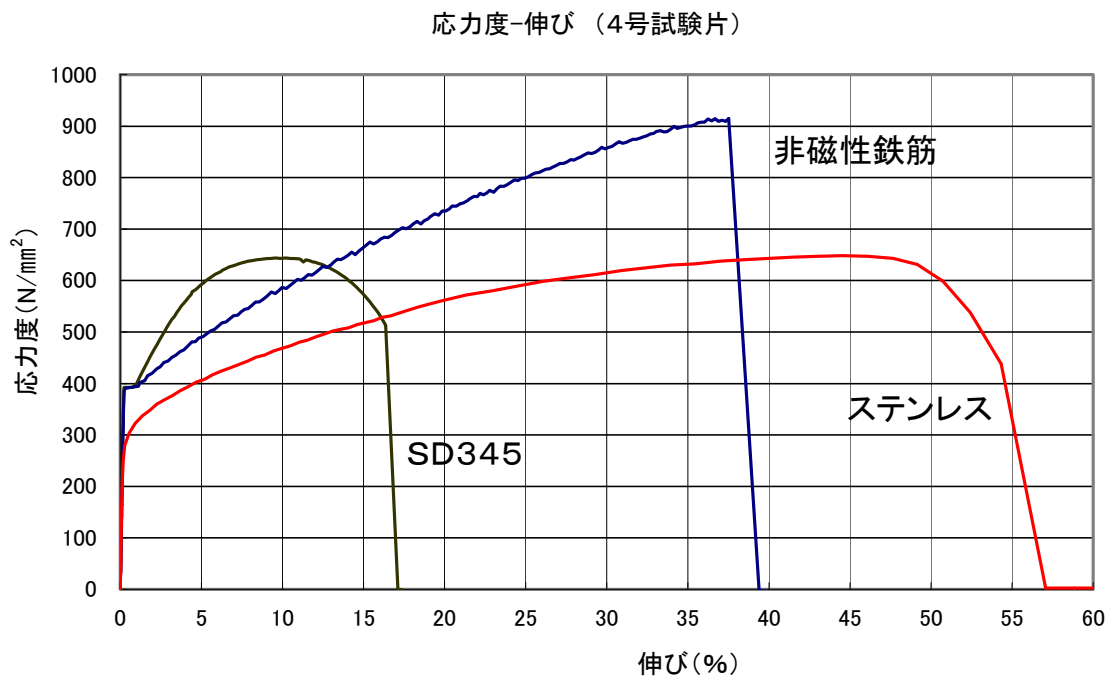


図-1 各種鋼材の引張試験結果

鉄筋コンクリートの鉄筋としてこの3種の鋼材を使用すると仮定したら、一番、気になるのはどのように繋ぐのだろうか？ということでしょう。

異形棒鋼SD345は圧接、ネジ継ぎ手、溶接が可能です。ステンレス鉄筋は特殊な用途に使用されています。ステンレス鉄筋の機械式継手の例はあるようですが、ガス圧接の例は見当たりません。多分、難しいのかもしれませんが。ステンレスは表面に不動体被膜があり、これが圧接を難しくしているのでしょうか。溶接は可能ですが、これも実施工例は見当たりません。ステンレス鉄筋のネジ継手は強度は得られますが、伸びが大きいので、引張試験において、鉄筋はカップラーから抜けてしまいます。伸びれば細くなるので、抜けるのは当然です。20%も伸びれば抜けるのはあたりまえといえます。もっとも普通鉄筋SD345も伸びの大きい鉄筋であれば、カップラーから抜けることになります。皮肉なことに、伸びが大きく延性に富む鉄筋は抜けるけれど、

硬くて脆いどちらかという質の悪い鉄筋は抜けないことになります。

高マンガン非磁性鉄筋SD345Mはどうでしょう？ まず、圧接は可能かを考えてみます。圧接を行った例はあるようですが、結構難しそうです。圧接は鉄筋のFe以外の元素が多くなると難しくなります。今後の研究が必要です。機械式継手の代表としてネジ継手を考えてみます。この場合、カップラーも非磁性鋼でなければ意味がありません。図に示すように、引張試験では破断時には極めて高応力になります。これに耐えるカップラーはかなり大きくなりそうです。しかし、ステンレスと同様に15%~20%伸びれば抜けてしまうので、カップラーを引張強度に合わせて大きくする必要はなさそうです。

溶接はどうでしょうか？ 主筋に使用するにはエンクローズ溶接になります。引張強度に耐える溶接材料があるかが課題です。さらに溶接部が高マンガン鋼にならないければなりません。いろいろ探してみました。硬化肉盛り用の高マンガンフラックス入りワイヤが市販されています。でも、これは溶接時にスラグが多くなります。溶接部にスラグ巻き込みの欠陥が発生しそうです。スラグの少ないソリッドワイヤはないようです。大学で、このワイヤで溶接を行ってみました。注意深く溶接作業を行えば、スラグ巻き込みはないようでした。

令和におけるステンレス鉄筋または高マンガン非磁性鉄筋の必要性はリニア中央新幹線工事においてでしょう。軌道部およびその周辺は高い磁力にさらされます。磁性のある鋼材は使えません。実際に採用の検討を行うには、リニア中央新幹線工事の状況を考慮して決めなければなりません。

まず、価格はどうでしょうか？ ステンレス鉄筋は普通鉄筋の10倍以上になってしまいます。カップラーも高価ですから、価格を度外視しないと採用は難しいでしょう。圧接はできなくても、溶接はできるでしょう。しかし価格が高いことには変わりありません。

高マンガン非磁性鉄筋はどうでしょうか？ 価格は普通鉄筋の数倍なので、この点は有利です。しかし、ネジ継手のカップラーは高価でしょう。価格の点では難しそうです。圧接や溶接はどうか？ どちらも、工夫次第できると思われれます。価格は最も安くなりそうです。ただ、圧接の採用には、課題がありそうです。トンネルのような閉鎖された空間で、可燃性ガスであるアセチレンを使うことは、ガス漏洩による爆発に注意しなければなりません。閉鎖空間でのガス圧接は厳禁です。

| |
|---|
| ガス爆発による新潟トンネル事故、発見の4人搬送 身元 確認急ぐ 日本経済新聞 2012/5/27 付 |
|---|

様々なことを研究者として考えてみました。どれを選んでも一長一短で決め手がありません。時間はあまりありませんが、研究は続けてみましょう。

高マンガン非磁性鉄筋の接合に関する考察（2）

愛知工業大学 名誉教授 尾形素臣

溶接継手の設計条件

実験を行う前に、溶接継手に求められる設計条件を検討してみた。よく話題になるのがA級継手とかSA級継手とかがあります。その条件は、

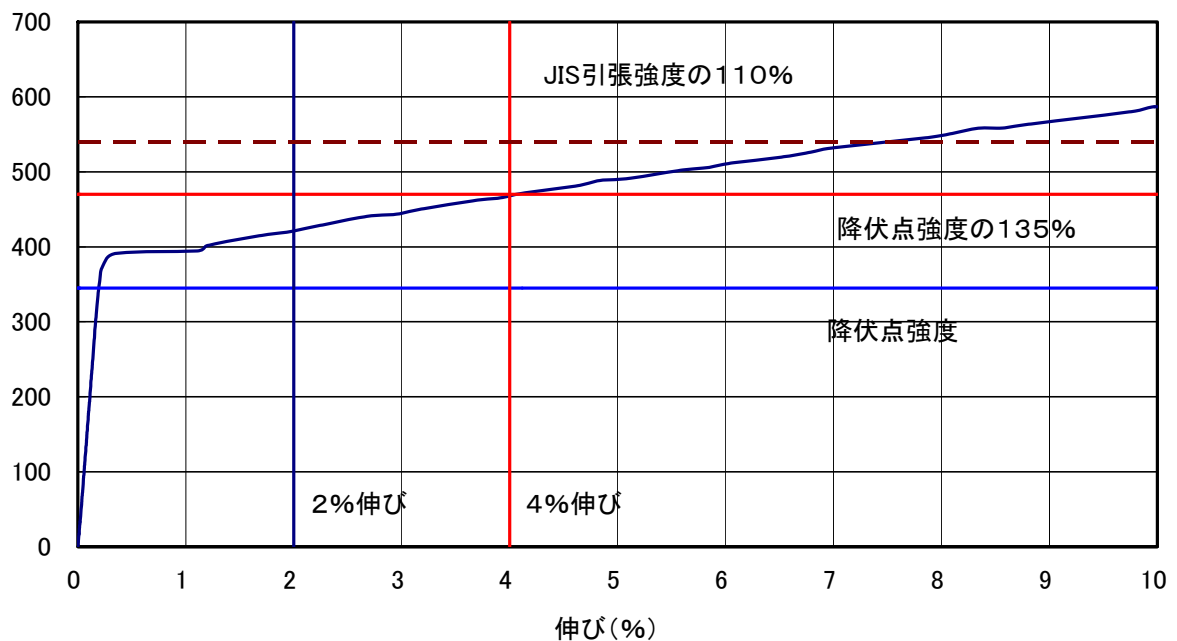
SA級継手 母材強度と同等の強度、剛性があり、十分な靱性がある。

A級継手 母材強度と同等の強度、剛性はあるが、靱性は劣る。

設計者は何が何でもSA級継手を求めたがるものですが、溶接継手はA級継手までです。

応力度
(N/mm²)

非磁性鉄筋 溶接継手の設計



図ー1 非磁性鉄筋SD345Mの引張試験結果

図ー1は高マンガン非磁性鉄筋SD345Mの引張試験の結果です。普通の異形棒鋼の結果とはかなり異なっています。降伏点、降伏棚あたりまでは特に変わりはありません。ひずみ硬化の領域が極めて広く、また、引張強度も降伏点強度の2倍以上になります。溶接継手がこの引張強度を満たすことはほとんど不可能です。この図から、伸び4%で降伏点強度の135%になります。そこで、継手の性能としてA級継手を求めるなら、この値以上になれば良いでしょう。

高マンガン非磁性鉄筋を溶接するには、非磁性である溶接材料が必要です。現在、その用途に適合する溶接材料は見当たりません。ただ、硬化肉盛り用のフラックス入りワイヤが市販されています。

特殊電極株式会社 MT-CRM-2

溶着金属の化学成分でMnが14%です。これならば溶接部はオーステナイトになり、非磁性に

なりそうです。

株式会社神戸製鋼所 DW-H16

DW-H16はMnが16%です。溶接部はこれもオーステナイトになり、非磁性になりそうです。

これらを候補として溶接作業ができるかを検討してみました。鉄筋のエンクローズ溶接にはやや不適切でした。鉄筋のエンクローズ溶接は狭開先なので、MT-CRM-2とDW-H16はフラックス入りワイヤで、スラグ巻き込みが発生し、溶接品質には不満を感じるものでした。スラグ発生が少ないソリッドワイヤが見当たらないのが残念です。

あれこれ悩んだけど高マンガン非磁性鉄筋をステンレス鋼用のソリッドワイヤでも溶接してみようということになりました。ステンレス鋼用のソリッドワイヤとして株式会社神戸製鋼所MG-S308を使用することにしました。

試行錯誤の結果、溶接継手の引張試験は以下の3種類となりました。

- ①SD345M+ (MT-CRM-2)
- ②SD345M+ (DW-H16)
- ③SD345M+ (MG-S308)

引張試験の結果は図-2に示すようなものでした。なお、この時の試験用溶接継手試験体は鉄筋のままなので2号試験体です。3つの試験結果はほとんど重なってしまったので、分けて示してはいません。なお、試験は破断前に終了しました。破断まで荷重をかけたかったけれど、高マンガン非磁性鉄筋は塑性化すると硬く、粘りけが増し、試験機のチャックを破壊してしまう可能性があり、この程度で試験は終了しました。10年ほど前に高マンガン非磁性鉄筋の試験を行ったとき、大学の試験機のチャックを壊してしまい、修理にかなりの費用がかかったことがあり、それに懲りていたためです。

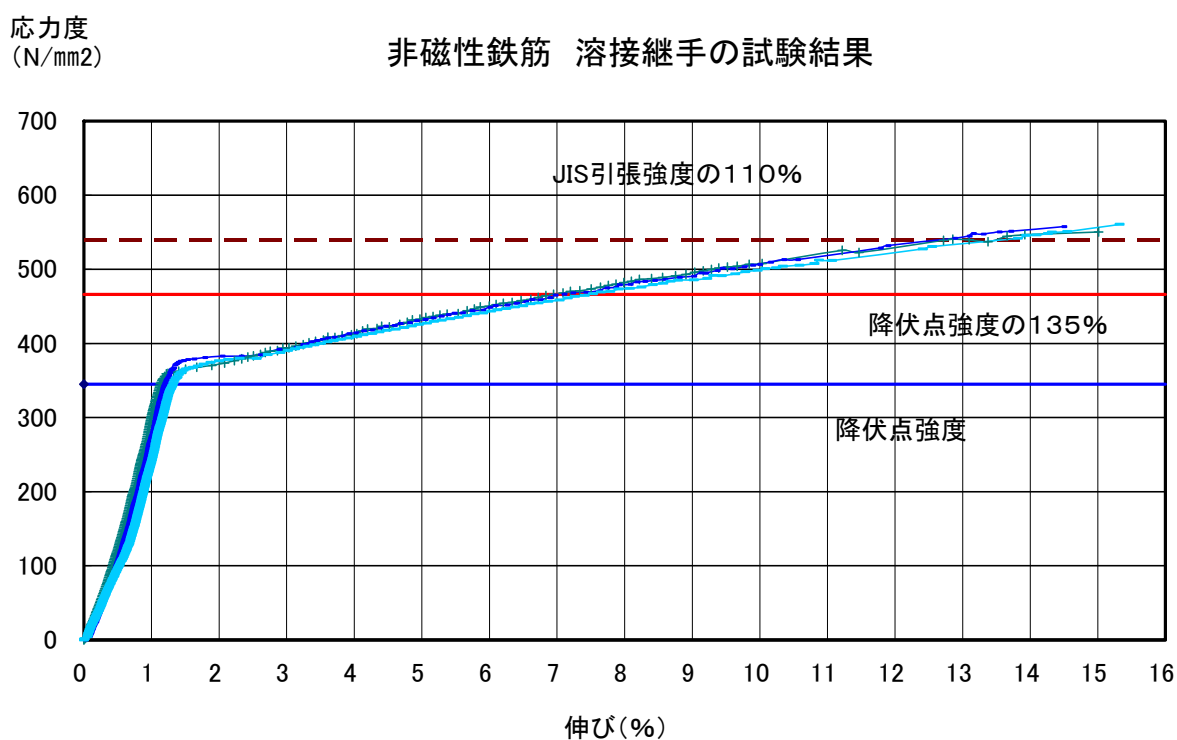


図-2 非磁性鉄筋SD345Mの溶接継手（2号試験体）の試験結果

引張試験の結果、設計で必要となると推定される降伏点強度の135%では伸びが4%以上であり、一応、使用できるような結果でした。なお横軸の伸び率は試験機のチャック間で測定した結果なので、伸びが大きく計測されています。ですから降伏点で1%程度の伸びが計測されましたが、剛性が低いわけではありません。降伏点強度の135%で7%程度の伸びになっています。十分な強度、靱性がある溶接継手と言っていいでしょう。

降伏点はSD345の規格値を上回り、設計上の最低限の条件はクリアしています。降伏点強度の135%を設計の要求値とすれば、これも上回っています。実験はJIS規格の引張強度下限値490N/mm²の110%まで载荷した後、終了しました。このまま荷重をかけ続けても、鉄筋強度がSD345のJIS規格の引張強度下限値490N/mm²の2倍近くなので、溶接部破断は避けることができないと判断しました。

これらの結果から高マンガン非磁性鉄筋の溶接部の強度はJIS規格の引張強度下限値の110%程度までなら溶接可能に思われます。当然、母材破断は不可能です。また、溶接部が非磁性になるかを確認することも重要です。

以上の3種類のワイヤで溶接した時の、溶接部の磁性を確認しました。3種類のワイヤとも溶接部の透磁率は1.03以下で、目標の1.1以下であり、非磁性について問題はありませんでした。

実験を続けての感想ですが、高マンガン非磁性鉄筋をステンレス用のソリッドワイヤで溶接した結果に興味があります。溶接の際のスラグ発生も僅かで、引張試験の結果も好ましいものでした。この組み合わせで良いならば、十分可能性があります。ここまでの実験で

SD345M+ (MG-S308)

がベストの選択だといえそうです。この組み合わせなら、今すぐ、施工ができるでしょう。

MT-CRM-2、DW-H16はフラックス入りワイヤであり、鉄筋のエンクローズ溶接ではスラグ巻き込みは避けられませんでした。両メーカーがソリッドワイヤを製作してくれれば、この問題は解決します。しかし、マンガン14%のソリッドワイヤは製作が難しそうです。これに対してMG-S308はステンレス鋼用に幅広く使用されているので、入手は問題がありません。

あまり検討しませんでした。重ね継手も有力な手段に思われます。溶接はD32以上の太い鉄筋には適しているけれど、細い鉄筋は重ね長さも短くなるので、溶接、圧接、ネジ継手のどれよりも適しているように思います。施工も簡単で、確実です。

この実験の大半は、10年ほど前に愛知工業大学で行いました。最近、いくつかの実験を追加しましたが、これで終わりです。もっと厳密な実験を行いたいのですが、高マンガン非磁性鉄筋SD345Mの残材がもうありません。リニア新幹線の工事における非磁性鉄筋の継手は、建設会社にとって悩みの種のようなようです。大学で検討した結果が少しでも役立つことを期待しています。

なお、この研究についての問い合わせは、下記をお願いします。

一般社団法人CB工法協会 TEL 052-775-3673

info@cb-process.or.jp 担当 村上桂秀