【報告】

水ぜい化を抑えた高強度ダクタイル鋳鉄の開発

金属材料科　岩澤　秀　松野正幸*
株式会社今泉鋳造鉄工所　名波　豊　佐藤央哉

Development of high strength ductile cast iron saving water embrittlement

Shigeru Iwasawa, Masayuki Matsuno, Yutaka Nanami and Hisaya Satoh

Austempered ductile cast iron possesses superior strength with good ductility, and is used for many applications in automotive and general machine industry. However, ADI has been found to suffer from so-called water embrittlement effect, which cause in decrease in tensile strength and elongation in tensile load in contact with water. In this study, effects of raw materials and solidification structure in water embrittlement behavior of ADI were investigated. As a results, under the condition of wetting with water compared with the values under the dry condition, the ultimate tensile strength end elongation is decreased to about 10-20% and 20-30% respectively. A white spot region regarded as starting point of the fracture was formed on the fracture surface which shows brittle fracture tested in contact with water.

１．はじめに

ダクタイル鋳鉄は鋼に近い機械的性質（強度と伸び）を持ちながら少ない機械加工で素材の最終形状を得られる利点があるので、自動車部品や機械部材に多く用いられている。しかし最近、高強度ダクタイル鋳鉄では微量の水分付着によって強度と伸びが20～30％低下して脆くなる性質（水ぜい性）の存在が明らかになった。油やペンキ等の表面塗布で水気を遮断して防止することは可能であるが、あくまでもこれら塗膜が損傷していないことが前提である。そのために、水ぜい性の心配をしなくてよいダクタイル鋳鉄を、安定して製造できる技術開発が必要である。本研究では、まず水ぜい性の基本的な症状を理解し、水ぜい性を抑制出来る様な現場的な解決方法の足掛かりとする。

２．実験方法

２．１　溶解

表１に各鋳物の分析結果を示す。高周波誘導加熱装置にて、各鋳物の鋳造を行った。高純度銑鉄には、新日本製鐵製DUCS-2Y、スクラップ及び戻り材は、今泉鋳造鉄工所製のものを使用した。目標組成となるように溶解材料を黒鉛るつぼに入れ、高周波加熱した。所定の温度に達した後、Fe-Si（ニューアロイ社製）、Fe-Mn（大銑製）を添加した。球状化材（ニューアロイ社製）及びシリベスト（ニューアロイ社製）並びに銅を取鍋にセットし、溶解炉から溶湯を取鍋に移した。なお、Ｈ２－１、２には、黒鉛微細化材を添加した。溶解材料の予熱の効果を検討するために、それぞれ予熱有と無しの材料を用いた。予熱温度は、約250℃とし、約1時間放置した．所定の温度で、Ｙブロック形状の各鋳型に注湯した。鋳型は室温とした。

２．２　組織観察、機械試験

得られた各鋳物についてミクロ組織観察を行った。Ｙブロックから切り出した試料を樹脂埋めし、耐水ペーパー#1000まで粗研磨を行った後、ダイヤモンド砥粒を吹き付けながらバフ研磨して鏡面とした。腐食液は、３％ナイタール（３％硝酸と97％エタノールの混合液）を用いた。硬さ試験は、ブリネル硬度計および基地組織の硬さ測定には、マイクロビッカース硬度計を使用した。水ぜい性を確認するために引張試験を行った。各鋳物は、オーステンパー処理することで基地組織をベイナイト組織とした。引張試

*）現　沼津工業技術支援センター

験は、油圧式万能材料試験機（JTトーシ㈱製AY－500S）を用いた。

３．実験結果

３．１　組織観察結果

図１に鋳放し材のミクロ組織写真を示す。いずれも黒鉛形状は、球状化しており、マトリックスは、フェライト及びパーライト基地となっている。Ｈ１－１、２及びＨ３－１、１では、ブルズアイ組織を呈していた。黒鉛形状を小さくしたＨ２－１、２では、他のものに比べて黒鉛が小さく晶出していた。特に冷却速度の速いＨ２－２では、基地は、ほとんどフェライト組織であり、黒鉛は小さく晶出した。予熱の有無によるミクロ組織の差異は、ほとんど認められなかった。また、高純度材とスクラップおよび戻り材の混合においてもミクロ組織の違いは明確ではない。

３．２　硬さ測定

表２には、鋳放し材の硬さ測定結果を示す。ブリネル硬さでは、Ｈ２－２、Ｈ３－１以外で、HB150以上であった。基地の硬さを測定したビッカース硬さでは、ブリネル硬さと同様な傾向を示した。図１のミクロ組織と対比させると、基地組織にパーライトが多く分布している方が、硬くなる傾向にあった。特に軟らかいフェライト組織の面積が多いＨ２－１およびＨ２－２は、低いビッカース硬さを示す。

表２　硬さ測定結果

合金	ブリネル硬さ HB10/3000	ビッカース硬さ HV0.1
Ｈ１－１	156	205
Ｈ１－２	152	209
Ｈ２－１	155	166
Ｈ２－２	144	181
Ｈ３－１	137	188
Ｈ３－２	177	216

３．３　引張試験

水ぜい性を確認するために引張試験を行った。各鋳物は、オーステンパー処理することで基地組織をベイナイト組織とした。引張試験は、油圧式万能材料試験機（JTトーシ㈱製AY－500S）を用いた。水ぜい化を起こさせるために、紙タオルを試験片平行部に巻きつけ、それに水を滲み込ませ、紙タオルが剥がれ落ちないようにテープで止めた。水を付着

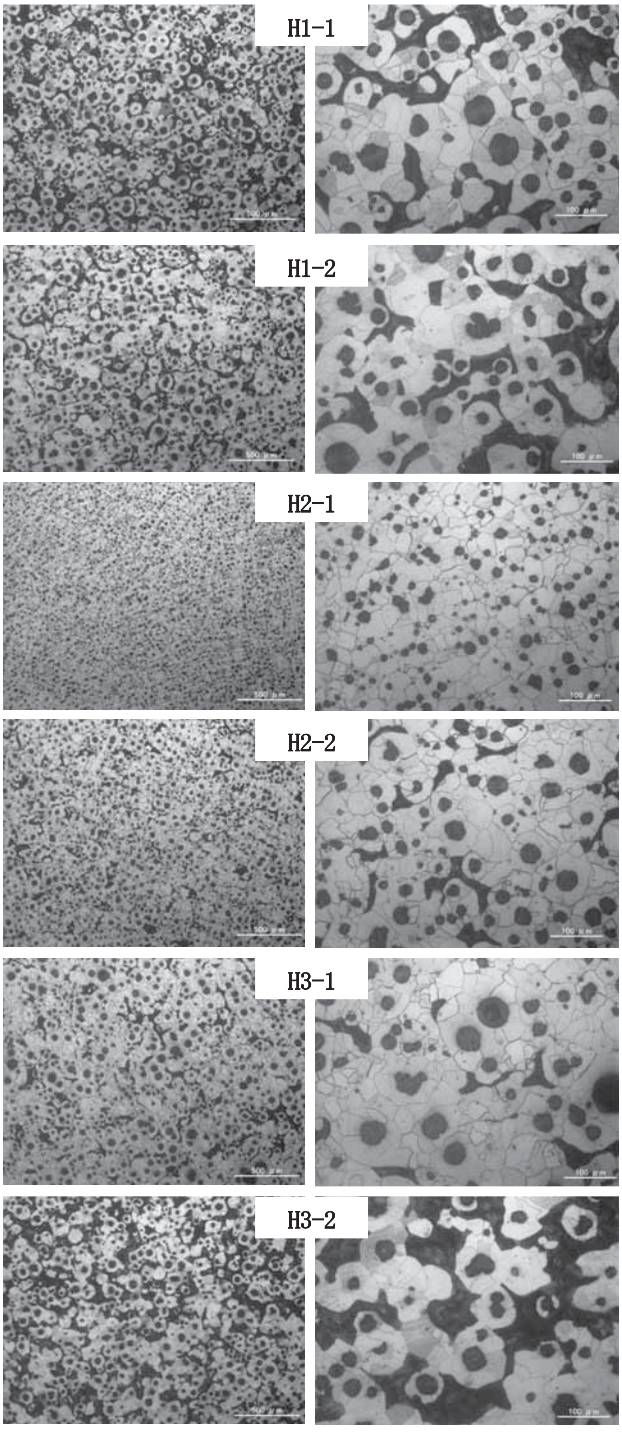

図１　鋳放し材のミクロ組織

させてから試験開始まで、およそ5分とした。図2に水を付着させた試験片外観及び引張試験の概要を示す。

水付着無し及び付着有りの引張試験結果を図3並びに図4にそれぞれ示す。図3の水付着無しの引張試験結果では、いずれの鋳物も引張強さは、1100N/㎟以上であり、伸びは、高純度銑鉄を使用したものは、12%以上となった。金型に鋳込んだH２－１では、欠陥が認められた。黒鉛を小さくしたH２－２では、引張強さは若干低いものの、伸びは最も大きい。スクラップ及び戻り材を使用した鋳物の伸びは、８%～10%と幾分低い値となった。

図4に示すように水を付着させた鋳物では、欠陥のあったH２－１以外で、顕著なぜい化が認められた。すなわち、水ぜい化が生じたと言える。特に伸びの低下が著しい。スクラップ及び戻り材の使用に比べて、高純度銑鉄材は、幾分伸びは高く、高純度銑鉄を用いることで若干ではあるが、水ぜい化が抑えられるものと思われる。金型に鋳込み、黒鉛を微細晶出させたH２－１では、伸びは、６%となり、黒鉛の微細化は水ぜい化の抑制に有効な手段であると考えられる。

図5に水付着有無の引張破断後の破面写真をそれぞれ示す。水を付着させ、水ぜい化が生じた全ての試験片の破面では、試験片外周の一部に白い部分が認められた。図中水付着の写真内に○で囲ってある部分。マクロ観察では、平坦となっており、ここから破壊の起点となっているものと考えられる。すなわち水ぜい化は、水と接触している試験片外周部から亀裂が発生、内部への伝播していくものと考えられる。白い部分は、スクラップ及び戻り材を用いた伸びの小さいH３－１、２が大きくなっていた。黒鉛が小さいH２－１においては、黒鉛と基地組織界面における応力集中が最も小さく、進展する亀裂の伝播の抵抗になるために、水ぜい化が最も鈍感であったものと思われる。図6には、引張破面のSEM写真を示す。写真は、図5において水付着無しでは試験片端部、水付着では白く観察された部分である。いずれも水付着無しでは、破面にはディンプルが観察されており、延性破壊の様相を呈している。一方、水付着では、いずれもディンプルが観察されず、へき開面が観察され、ぜい性破壊が生じたことを示している。このことから、図5において白く観察された部分は、ぜい性破面であり、水付着により何らかの要因により、延性破壊からぜい性破壊に移向したものと考えられた。

４．まとめ

様々な溶製条件で作製したYブロック鋳物の水ぜい性に及ぼす諸因子の影響を調べた。

1）得られた鋳物の鋳放し材の組織は、球状の黒鉛と基地組織から構成されており、金型に鋳込んだ冷却速度の速い鋳物組織は、微細な球状黒鉛とフェライト組織となっていた。砂型に鋳込んだ鋳物では、基地組織はブルズアイ組織を呈していた。

2）硬さ測定結果では、基地組織にパーライトの占有率が多いほど、高い硬さ値を示した。

3）引張試験結果では、高純度銑鉄を使用した鋳物の方が、スクラップと戻り材を使用したものより引張特性が優れた。

4）いずれの合金も水ぜい化を示した。水ぜい化による伸びの低下は、高純度銑鉄を使用した鋳物の方が、スクラップと戻り材を使用したものより小さかった。また黒鉛粒の小さい鋳物の方が、伸びの低下は小さい。

5）水ぜい化が生じた試験片の表面近傍には、白い部分が観察された。その部分は，ぜい性破壊の様相を呈した。

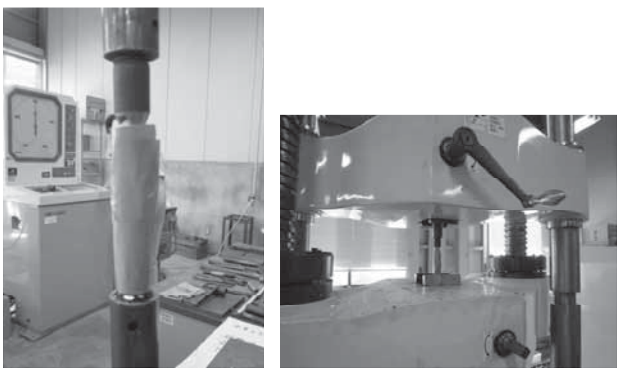

図2　試験片外観及び引張試験の概要

【報告】

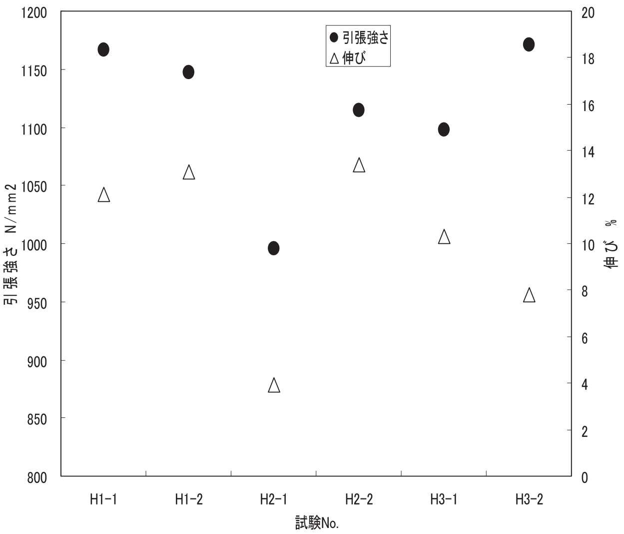

図３　引張試験結果（水付着無し）

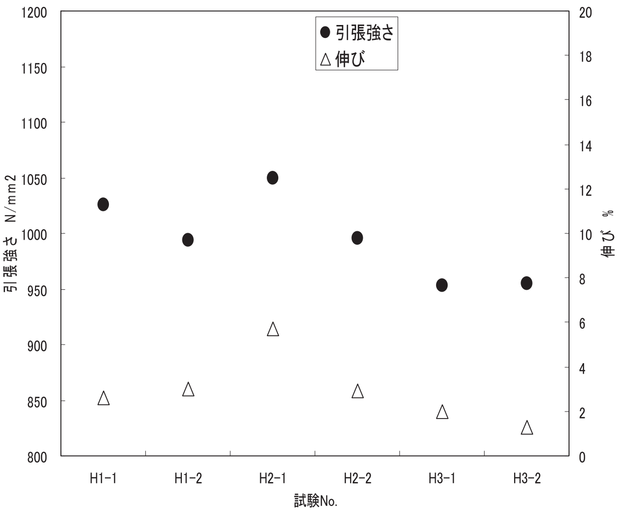

図４　引張試験結果（水付着）

表１　鋳物の化学分析結果（重量%）

	H1-1	H1-2	H2-1	H2-2	H3-1	H3-2
鋳型	砂型	砂型	金型	砂型	砂型	砂型
原料	高純度銑鉄	高純度銑鉄	高純度銑鉄	高純度銑鉄	ｽｸﾗｯﾌﾟ+戻り材	ｽｸﾗｯﾌﾟ+戻り材
予熱	無	有	有	無	有	無
C	3.33	3.32	2.81	2.81	2.49	2.37
Si	2.44	2.45	2.65	2.65	3.06	2.94
Mn	0.39	0.41	0.41	0.41	0.23	0.48
Cu	0.20	0.19	0.20	0.20	0.24	0.24
Mg	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
Fe	残	残	残	残	残	残

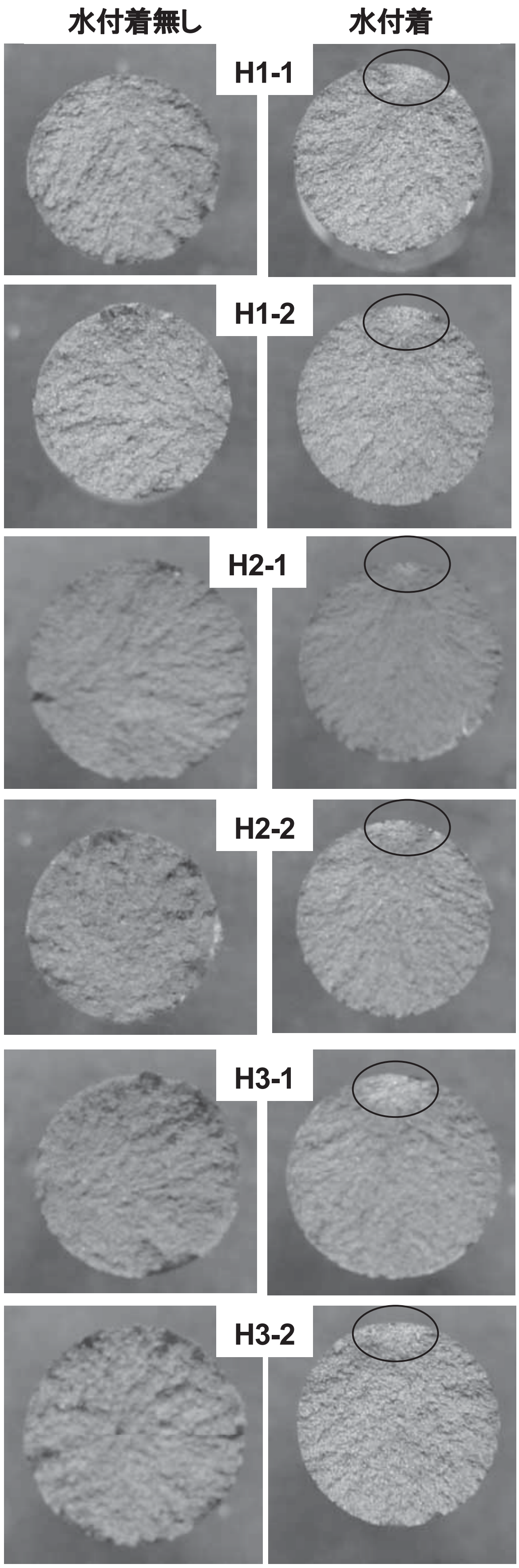

図５　引張試験後の破面

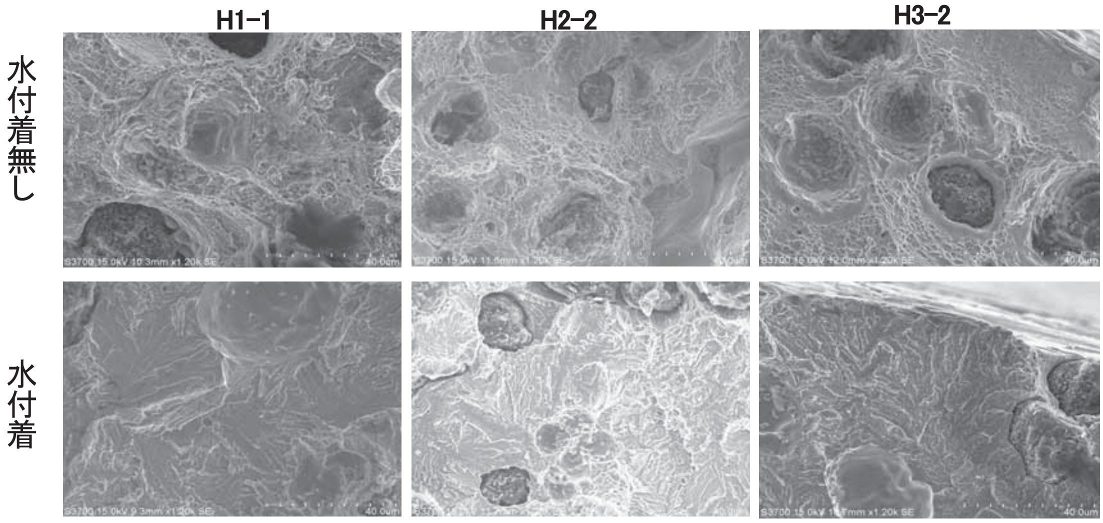

図６　引張破面のSEM写真