

P II形高強度ダクタイル鉄管の開発

Development of PII Type High Strength Ductile Iron Pipe

中本光二* 小仲正純* 岸本圭司* 中光 強**

Kouji Nakamoto, Masazumi Konaka, Keiji Kishimoto, Tsuyoshi Nakamitsu

近年、道路交通事情や地下埋設物の関係で道路掘削が困難な場合の管路更新工法として、非開削更新工法が採用されている。本研究では、離脱防止性能並びに施工性に優れた非開削更新工法用ダクタイル鉄管の開発を目的として、ダクタイル鑄鉄の高強度・高延性化に取り組んだ。ダクタイル鉄管の機械的性質は、FCD420-10（引張強さ420MPa以上、伸び10%以上）と規定されているため、ダクタイル鉄管の焼鈍組織はフェライト主体となっている。今回、粒状パーライトの生成によりFCD600-10である高強度・高延性ダクタイル鑄鉄の開発に成功し、現在ダクタイル鉄管への適用に着手している。

In recent years, a non-open cut method has been adopted for water pipeline renovations when digging along roads is difficult because of traffic conditions or underground installations.

In this study, the authors examined the development of high strength, high ductility ductile iron with the intent of improving the disengagement prevention performance and workability of ductile iron pipe used in non-open cut renovations. The matrix of annealed ductile iron pipe is mainly ferrite because the mechanical properties of ductile iron pipe have been defined as a FCD420-10 material (tensile strength of more than 420 MPa and elongation of more than 10%). The authors successfully developed a high strength, high ductility ductile iron of FCD600-10 material by granular pearlite formation and have begun applying it to ductile iron pipe.

1. はじめに

近年、道路交通事情や地下埋設物などの関係で道路掘削が困難な場合の管路更新工法として、非開削更新工法の一つであるPIP工法（パイプインパイプ工法）の採用が増加している。PIP工法は既設管をさや管とし、その中に新管を挿入していく工法である。内挿するダクタイル鉄管にはP II形、PN形などの継手形式があり、既設管に対して1口径小さい新管を挿入することが可能である。

表1にP II形、PN形の継手性能比較を示す。

PN形はP II形に比べ耐震性能の指標となる離脱防止性能が優れているが、継手接合時に特殊機具が必要であるという課題がある。離脱防止性能に関しては材質強度を高めることによって向上させることが可能であり、実

際にP II形においてFEM解析を実施したところ、引張強さ600MPa程度であれば3DkNを満足するという結果が得られている。

そこで本研究では、離脱防止性能並びに施工性に優れたPIP工法用ダクタイル鉄管の開発を目的として、PN形と同等の離脱防止性能を有したP II形高強度ダクタイル鉄管の開発に取り組んだ。本稿では材質強度向上に関する取組み結果を報告する。

2. ダクタイル鉄管の機械的性質

ダクタイル鉄管は、JIS G 5526などの規格によりFCD420-10相当（引張強さ420MPa以上、伸び10%以上）である高延性タイプの材質を用いるように規定されている。今回、P II形において離脱防止性能3DkNを満足させる目

表1 継手の主要性能比較

項目	P II形	PN形
既設管 1口径 up での施工	○	○
離脱防止性能 (kN)	1.5D (D:呼び径)	3D
伸縮性能	あり	あり
継手接合の作業性	○	特殊機具必要

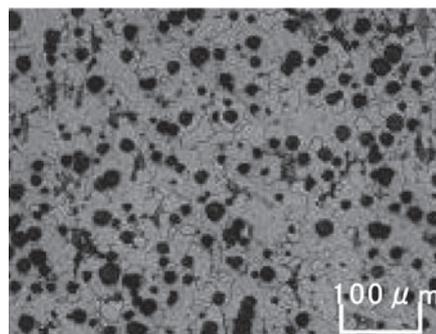


図1 ダクタイル鉄管の焼鈍組織

* パイプシステム事業本部 鉄管事業部 技術本部 研究部

** パイプシステム事業本部 生産本部 鉄管製造部

的から、従来の延性を満足した状態での高強度化を図った。目標とする機械的性質は引張強さ600MPa以上、伸び10%以上であるFCD600-10相当とした。

従来のダクタイル鉄管では、FCD420-10相当の材質を得るために、 casting後に焼鈍を実施し、図1に示した通り、基地組織をフェライト主体(白色部)にしている。一般的に、ダクタイル鉄管の高強度化には基地組織のパーライト化が有効である。そこで本研究においても、パーライト安定化元素の添加により、基地組織のパーライト化を試みた。またそれに加えて、フェライトの析出形態やパーライトの形態が機械的性質に与える影響の検討も行った。

3. 実験方法

3.1 パーライト安定化元素(Cu、Sn)添加

本実験で用いた供試材は、表2に示した目標化学組成で castingを実施したダクタイル鉄管である。

ここでは基地組織のパーライト化を目的として、 casting前に、パーライト安定化元素であるCu、Snの添加を行った。添加量はCuの場合0.15～0.70mass%、Snの場合0.01～0.08mass%の範囲内となるように調整した。

casting後は、連続焼鈍炉にて焼鈍を実施した。焼鈍は、

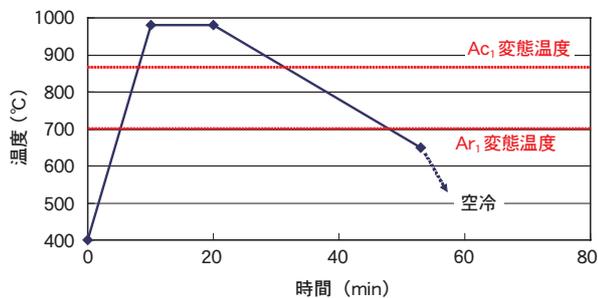


図2 焼鈍ヒートパターン

図2に示した通り、従来のダクタイル鉄管同様、980℃×10min保持後、Ar₁変態温度以下である650℃まで5～10℃/minで冷却するという条件で実施した。

焼鈍後のダクタイル鉄管より、試験片の採取を行い、焼鈍組織の確認並びに機械的性質の測定を実施した。

3.2 熱処理条件変更による組織改良

ここでは、パーライト安定化元素の添加に加えて、熱処理条件変更による組織改良を検討した。

表2に示した目標化学組成で、パーライト安定化元素であるSnを約0.070mass%含有したダクタイル鉄管の castingを実施し、その管より試験片を採取し、小型マッフル炉を用いて熱処理を実施した。熱処理条件は、網目状フェライトの析出を目的とした条件A、粒状パーライトの生成を目的とした条件Bの2通りとした。図3、4に条件A、Bの熱処理ヒートパターンを示す。

条件Aは、980℃×10min保持後、Ar₁変態温度以上、Ac₁変態温度以下の範囲内(条件A①:780℃、条件A②:760℃、条件A③:740℃)に30min保持するという条件である。

条件Bは、Ac₁変態温度直下の820℃まで加熱後、Ar₁変態温度以下まで5～10℃/minで冷却するという条件である。

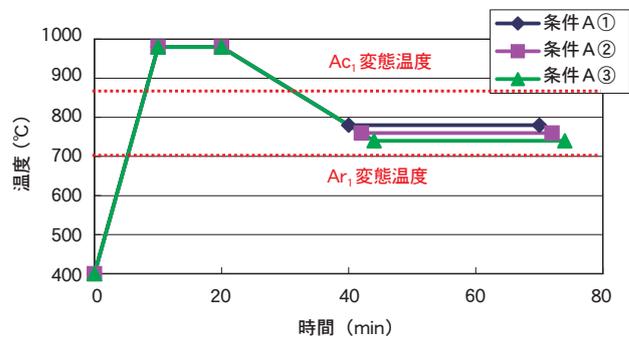


図3 熱処理ヒートパターン(条件A)

表2 目標化学組成(mass%)

C	Si	Mn	P	S	Mg
3.60	1.70	0.30	0.03	0.01	0.04

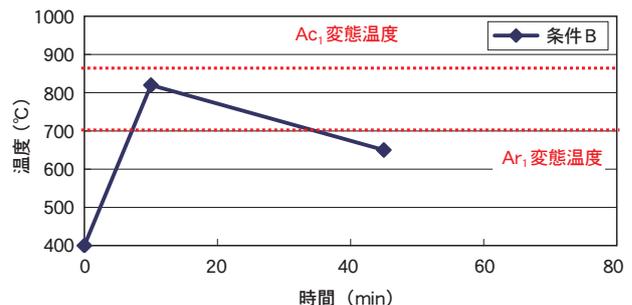


図4 熱処理ヒートパターン(条件B)

4. 実験結果

4.1 パーライト安定化元素(Cu、Sn)添加

Cu添加材の化学組成を表3に示す。

図5には焼鈍組織写真の一例を示す。Cu含有量の上昇に伴い、基地組織に占めるパーライト(灰色部)の割合が増加している。0.43mass%Cuでパーライトの割合が約50%であり、0.69mass%Cuではほぼオールパーライトの状態である。

図6にはCu含有量と機械的性質の関係を示す。Cu含有量の上昇に伴い、引張強さが上昇し、伸びが低下している。FCD600-10という機械的性質を満足するCu含有量は、0.40～0.50mass%の範囲内であり、その際の基地組織に占めるパーライトの割合は50～70%程度であった。

表3 化学組成(mass%)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Sn	Cu
3.60	1.73	0.25	0.05	0.01	0.04	0.05	0.01	0.69
								0.66
								0.55
								0.49
								0.43
								0.39
								0.32
								0.24
								0.19
								0.16

表4 化学組成(mass%)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Cu	Sn
3.62	1.70	0.30	0.04	0.01	0.04	0.05	0.05	0.082
								0.064
								0.055
								0.043
								0.033
								0.026
								0.016
								0.016

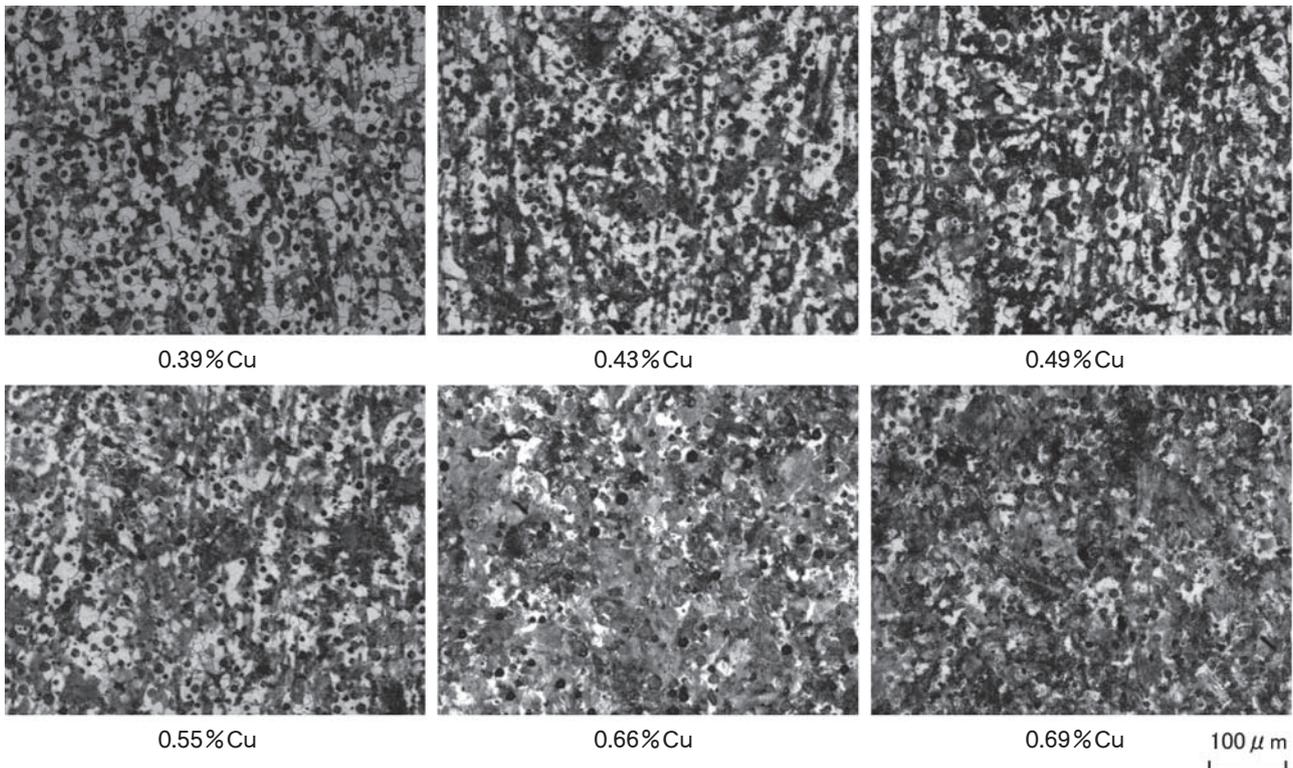


図5 焼鈍組織写真(Cu添加材)

Sn添加材の化学組成を表4に示す。

図7には焼鈍組織写真の一例を示す。Cu添加材同様、Sn含有量の上昇に伴い、基地組織に占めるパーライトの割合が増加している。0.043mass%Snでパーライトの割合は約50%であり、0.064mass%Snではほぼオールパーライトの状態である。Snに関しては、Cuの1/10の含有量でパーライトの割合が同等になっているため、Snのパーライト安定化作用はCuの10倍程度であると言える。

図8にはSn含有量と機械的性質の関係を示す。Sn含有量の上昇に伴い、引張強さが上昇し、伸びが低下するという傾向はCu添加材と同様である。また、FCD600-10という機械的性質を満足するSn含有量は0.04～0.05mass%の範囲内であり、その際の基地組織に占めるパーライトの割合は50～70%程度であった。

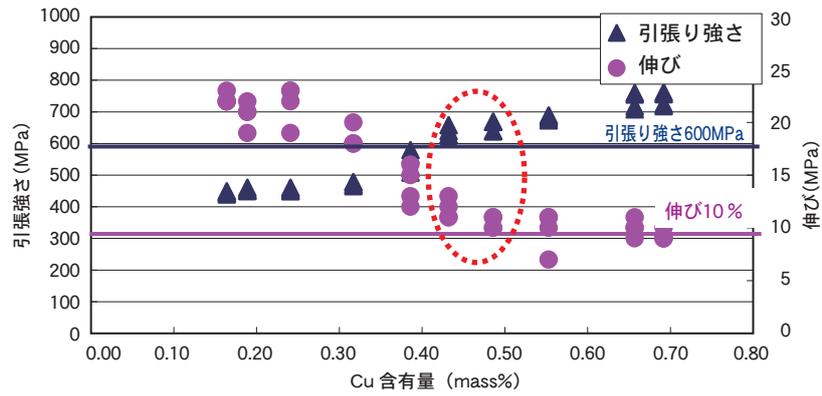


図6 Cu含有量と機械的性質の関係

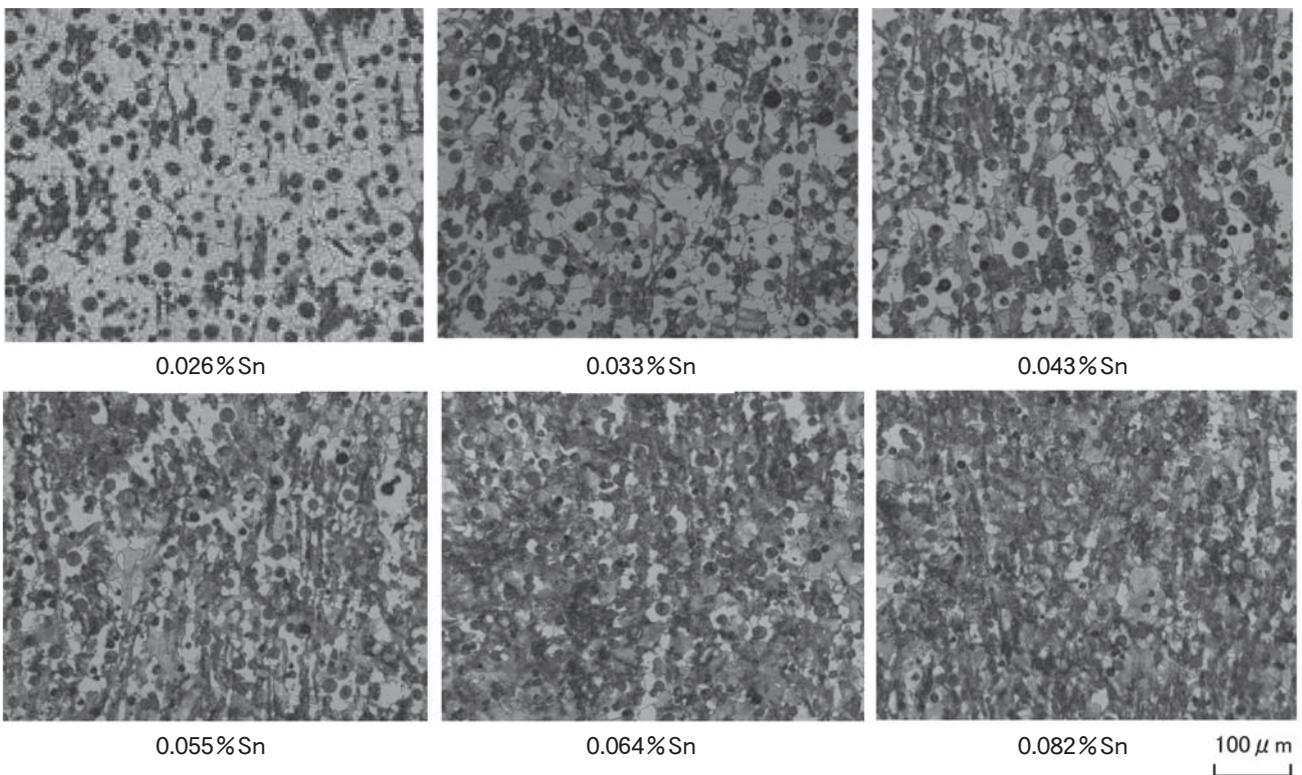


図7 焼鈍組織写真(Sn添加材)

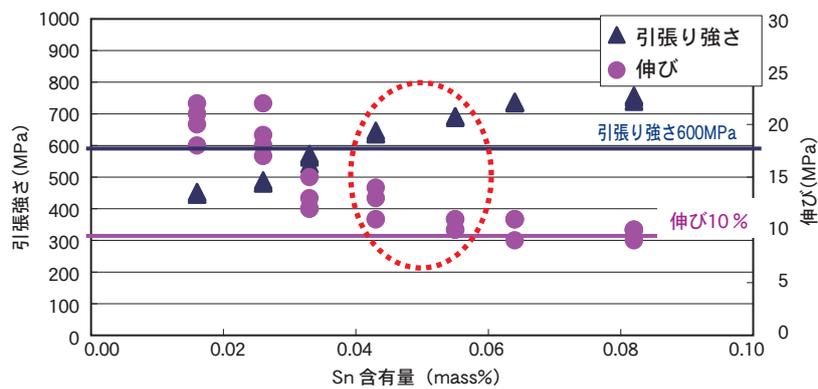


図8 Sn含有量と機械的性質の関係

以上の結果より、図9に引張強さ－伸び線図を示した。FCD600-10という機械的性質を満足している範囲は、引張強さ600MPa付近のみである。ただ、その場合に関しても、伸びは10%をわずかに上回る程度である。また引張強さが650MPaを超えると、伸びが10%を下回るケースが確認される。そのため、安定して目標とする機械的性質を得るためには、更なる伸びの向上が必要である。

4.2 熱処理条件変更による組織改良

試験片を採取したダクタイト鉄管の化学組成を表5に示す。

図10には熱処理組織写真を示す。網目状フェライトの析出を目的とした条件Aの熱処理では、いずれの保持温度においても目的とする組織を得ることができていない。保持温度780℃、760℃の条件A①、②では黒鉛周囲にわずかにフェライトが析出している程度であり、また保持温度740℃の条件A③ではフェライトが多く析出し過ぎている。

一方、粒状パーライトの生成を目的とした条件Bの熱処理では、フェライトとパーライトの界面が不明確であり、単なるフェライトとパーライトの二層混合組織とは

形態が異なっている。そこで条件Bの熱処理組織に関して、SEMにより詳細な組織観察を行った。図11にSEM写真を示す。ここでは比較のため、条件A②のSEM写真も示す。条件A②では方向性のある共析セメントライトが確認され、パーライトに関しては一般的な層状パーライトであることがわかる。それに対して条件Bでは、共析セメントライトが明らかに粒状化しており、目的通り粒状パーライトが生成できていることがわかる。

表6に機械的性質測定結果を示す。条件Aに関しては、いずれの保持温度においても、目的とした組織が得られていなかったため、機械的性質に関してもFCD600-10を満足していなかった。目的とした粒状パーライトが生成していた条件Bに関しては、引張強さ647MPaに対して伸びが15%と、目標の機械的性質を満足していた。そこで更に条件Bの熱処理にて試料を作製し、機械的性質の測定を実施した。測定結果を図12に示す。

図12からも、条件Aではパーライト安定化元素添加による二層混合組織と同傾向を示しており、条件Bでは明らかに伸びが向上し、安定してFCD600-10という機械的性質を満足していることがわかる。このことから、粒状パーライトの生成が、ダクタイト鉄管の高強度・高延性化に有効な手法であるといえる。

表5 化学組成(mass%)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Cu	Sn
3.62	1.70	0.30	0.04	0.01	0.04	0.05	0.08	0.068

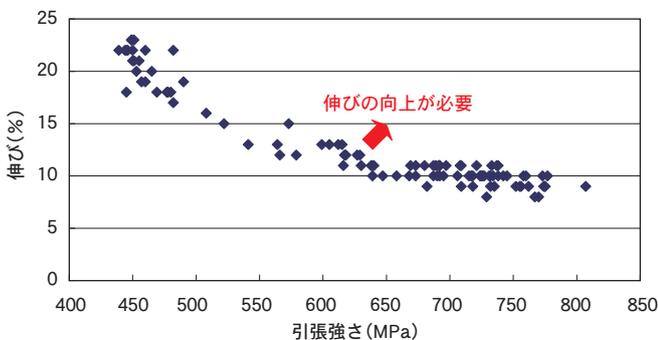


図9 引張強さ－伸び線図

表6 機械的性質測定結果

	引張強さ (MPa)	伸び (%)
条件 A ①	825	8
条件 A ②	764	9
条件 A ③	544	14
条件 B	647	15

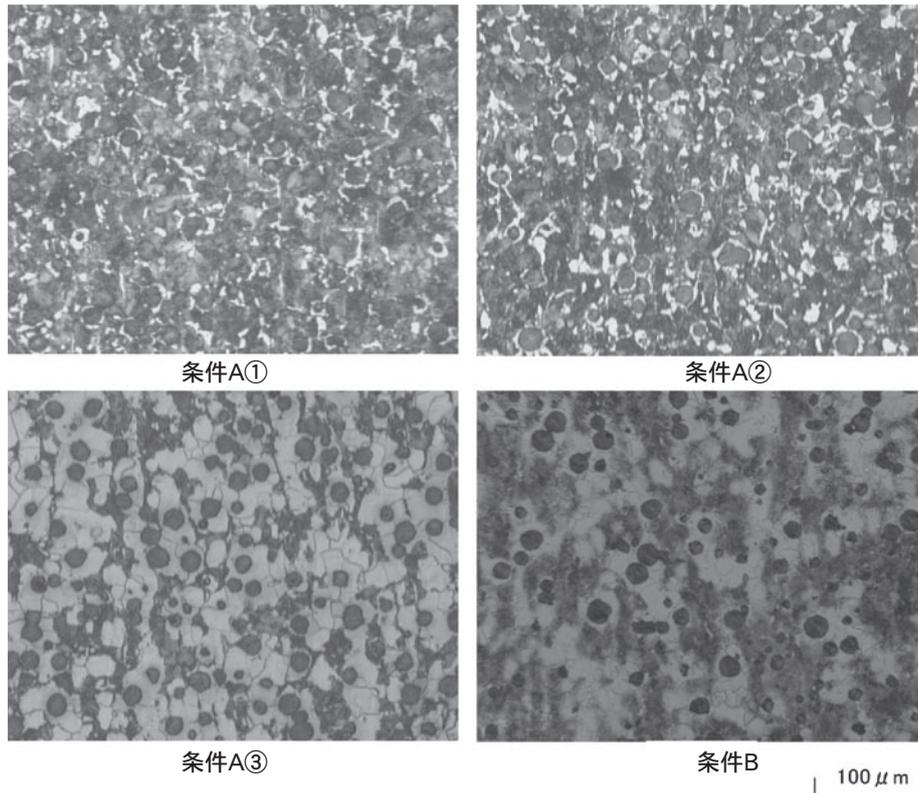


図10 熱処理組織写真

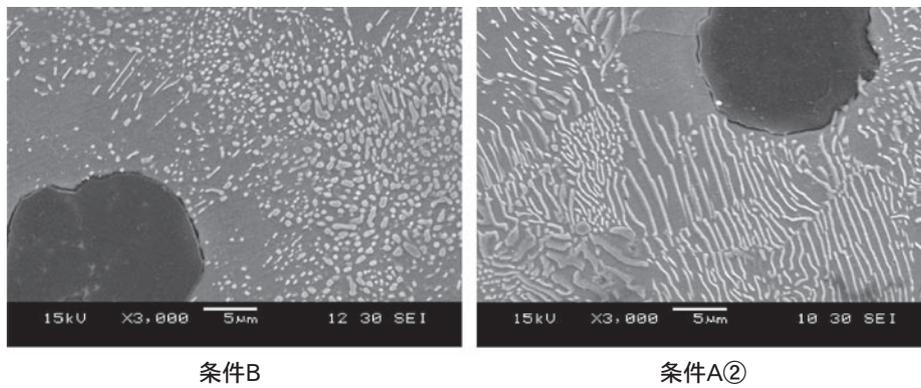


図11 SEM写真

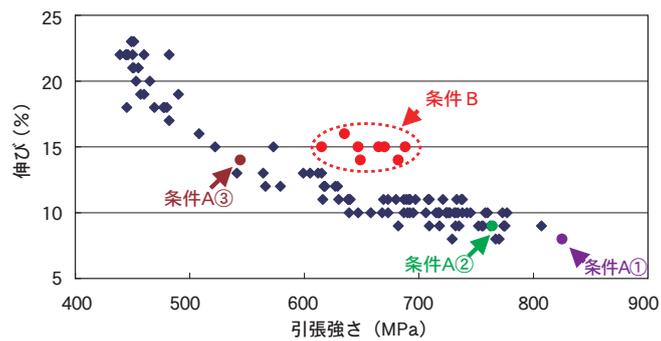


図12 引張強さ-伸び線図(熱処理条件変更材追加)

5. ダクタイル鉄管への展開

現在、本研究で得られた粒状パーライトの生成条件を、PⅡ形ダクタイル鉄管に展開しており、2011年3月までの製品化完了並びに試験採用を目指している。

6. まとめ

PⅡ形高強度ダクタイル鉄管の開発を目的として、ダクタイル鋳鉄の高強度・高延性化(FCD600-10)の検討を行った。その結果、以下の内容が確認された。

- a) パーライト安定化元素添加方法では、Cuの場合0.40～0.50mass%、Snの場合0.04～0.05mass%の含有量で、FCD600-10相当の材質が得られた。その際の基地組織に占めるパーライトの割合は、いずれの場合も50～70%程度であった。
- b) 熱処理条件変更による組織改良法では、 Ac_1 変態温度直下まで加熱し、その後 Ar_1 変態温度以下まで徐冷するという熱処理を施すことにより、パーライトの形態が層状から粒状に変化し、安定してFCD600-10相当の材質が得られた。

執筆者

中本光二

Kouji Nakamoto

1999年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



小仲正純

Masazumi Konaka

2000年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



岸本圭司

Keiji Kishimoto

2005年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



中光 強

Tsuyoshi Nakamitsu

2008年入社

ダクタイル管の生産技術に従事

