

2-1

ダクタイル鑄鉄の種類と特性

2-1-1 組織と種別

1 組織

ダクタイル鑄鉄は球状黒鉛鑄鉄、ノジュラー鑄鉄とも呼ばれ、組織内の黒鉛(炭素の結晶)が球状に存在する。強度のない黒鉛を細長く片状に含むねずみ鑄鉄(普通鑄鉄、高級鑄鉄)は、黒鉛を起点にひび割れを起こす。これに対してダクタイル鑄鉄は、黒鉛が球状で他の黒鉛とつながらないため強度や延性に優れる。

ダクタイル鑄鉄の^{きぢ}基地組織は、セメンタイト(炭化鉄 Fe_3C)組織、パーライト(フェライトとセメンタイトの共析)組織、フェライト(アルファ鉄の固溶体)組織の形態をとる。

1) セメンタイト組織

硬度が高く、延性はない。金型、サンドレジン型などで鑄造したダクタイル鉄管の^{いぼな}鑄放し組織はこれに属する。

2) パーライト組織

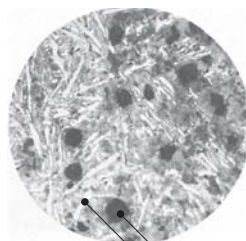
強度はあるが延性は少ない。硬度は比較的高い。

3) フェライト組織

強靱性に優れる。硬度は低く切削性良好。^{しょうどん}焼鈍したダクタイル鉄管はこれに属する。

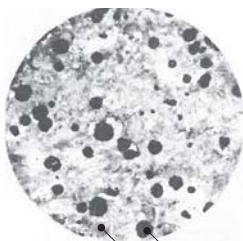
●図表2-1-1-1 ダクタイル鑄鉄の組織

セメンタイト組織



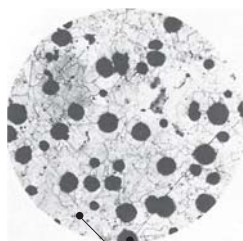
— 黒鉛
— セメンタイト

パーライト組織



— 黒鉛
— パーライト

フェライト組織



— 黒鉛
— フェライト

2 日本におけるダクタイル鑄鉄の種類

「JIS G 5502-2001 球状黒鉛鑄鉄品」には、ダクタイル鑄鉄とその供試材が規定されている。図表2-1-1-2に一例を示す。

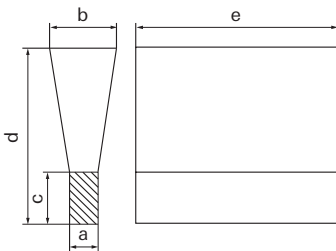
●図表2-1-1-2 JIS G 5502-2001によるダクタイル鑄鉄の種類
(別鑄込み供試材の機械的性質)

種類の記号	引張強さ (N/mm ²)	0.2% 耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー			(参考)		
				試験温度 (°C)	3個の平均値 (J)	個々の値 (J)	硬さ (HB)	主要基地 組織	
FCD 350-22	350以上	220以上	22以上	23±5	17以上	14以上	150以下	フェライト	
FCD 350-22L				-40±2	12以上	9以上			
FCD 400-18	400以上	250以上	18以上	23±5	14以上	11以上	130~180		
FCD 400-18L				-20±2	12以上	9以上			
FCD 400-15			15以上	140~210					
FCD 450-10	450以上	280以上	10以上		150~230	フェライト+ パーライト			
FCD 500-7	500以上	320以上	7以上	-	-	-	170~270		パーライト+ フェライト
FCD 600-3	600以上	370以上	3以上				180~300		パーライト
FCD 700-2	700以上	420以上	2以上				200~330		パーライト または焼戻し マルテンサイト
FCD 800-2	800以上	480以上							

●図表2-1-1-3 Y形供試材(別鑄込み供試材の例)の形状・寸法

(単位: mm)

種類	寸法				
	a	b	c	d	e
A号	12	40	25	135	180以上
B号	25	55	40	140	180以上
C号	50	90	50	160	180以上
D号	75	125	65	175	180以上



備考 原則としてB号を用いる。鑄鉄品の肉厚が著しく異なる場合には、受渡当事者間の協定によって、A号、C号、D号のいずれかを用いることができる。

3 米国におけるダクタイル鑄鉄の種別

米国におけるダクタイル鑄鉄の種別と機械的性質の例を示す。

●図表2-1-1-4 米国におけるダクタイル鑄鉄の種別

種別	引張強さ		降伏点		伸び (%)
	(psi)	(N/mm ²)	(psi)	(N/mm ²)	
60-40-18	60000以上	414以上	40000以上	276以上	18以上
60-42-10	60000以上	415以上	42000以上	290以上	10以上
65-45-12	65000以上	448以上	45000以上	310以上	12以上
70-50-05	70000以上	485以上	50000以上	345以上	5以上
80-55-06	80000以上	552以上	55000以上	379以上	6以上
80-60-03	80000以上	555以上	60000以上	415以上	3以上
100-70-03	100000以上	689以上	70000以上	483以上	3以上
120-90-02	120000以上	827以上	90000以上	621以上	2以上

ASTM A536-84

●図表2-1-1-5 米国におけるダクタイル鑄鉄の機械的性質

種別	80-60-03型 (鑄造)	60-45-10型 (焼なまし)
圧縮強さ (引張強さに対する比)	1.2	1.2
高温強さ		
クリープ強さ 430°C 10000時間 1% (N/mm ²)	78~177	108~186
破壊強さ 430°C 1000時間 (N/mm ²)	206~275	177~186
650°C 1000時間 (N/mm ²)	16.7~19.6	14.7~15.7
弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)	172	172
剪断強さ (引張強さに対する比)	0.90	0.90

International Nickel Co. "Ductile Iron" 1954

2-1-2 特性

1 物理的性質

① 熱伝導率

ダクタイル鑄鉄の物理的性質は化学成分と基地組織によって多少異なる。熱伝導率はねずみ鑄鉄より低い(図表2-1-2-1)。

● 図表2-1-2-1 ダクタイル鑄鉄の熱伝導率

(単位: J/m°C/S)

区 分	基地組織	
	フェライト	パーライト
100°C	35.4	31.4
200°C	35.0	31.9
300°C	34.7	32.1
400°C	34.4	31.9

Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

② 熱膨張係数

● 図表2-1-2-2 ダクタイル鑄鉄の熱膨張係数

温度範囲	熱膨張係数
20~100°C	$10.8 \sim 11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
20~200°C	$11.7 \sim 12.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
20~400°C	$12.9 \sim 13.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
20~600°C	$13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

AFS. "Cast Metal Handbook" 1957

③ 比熱

● 図表2-1-2-3 ダクタイル鑄鉄の比熱

温度 (°C)	比熱 (J/g°C)	温度 (°C)	比熱 (J/g°C)	温度 (°C)	比熱 (J/g°C)
100	0.481~0.532	400	0.536~0.599	700	0.599~0.678
200	0.502~0.569	500	0.544~0.620	800	0.628~0.720
300	0.515~0.586	600	0.573~0.636	900	0.640~0.758

綜合鑄物センター編「鑄鉄の高温特性」『鑄造品のエンジニアリング・データブック』(1980年)掲載のグラフより
日本ダクタイル鉄管協会が作成

④ 比抵抗

ダクタイル鑄鉄の比抵抗はねずみ鑄鉄より小さく、パーライト組織よりフェライト組織の方が小さい。ケイ素(Si)が1%増すごとに約 $0.2 \mu \Omega \cdot \text{m}$ が増加する(図表2-1-2-4)。

●図表2-1-2-4 ダクタイル鋳鉄の比抵抗

(単位: $\mu\Omega \cdot m$)

測定者	比抵抗		
	ねずみ鋳鉄	ダクタイル鋳鉄	
		鋳造のまま	焼鈍後
Everest	1.066	0.576	0.548
Wittmoser	0.6724	0.577	0.530
Königer ^{注1}	0.98 ⁽¹⁾ 0.89 ⁽²⁾	0.59 ⁽³⁾	0.55 ⁽⁴⁾

注1 Königerの鋳鉄成分

C: 3.6% Si: 2.4% Mn: 0.5%

P: (1) (2) 0.5% (3) (4) 0.087%

(1) パーライト95% (2) フェライト100% (3) フェライト5% (4) フェライト95%

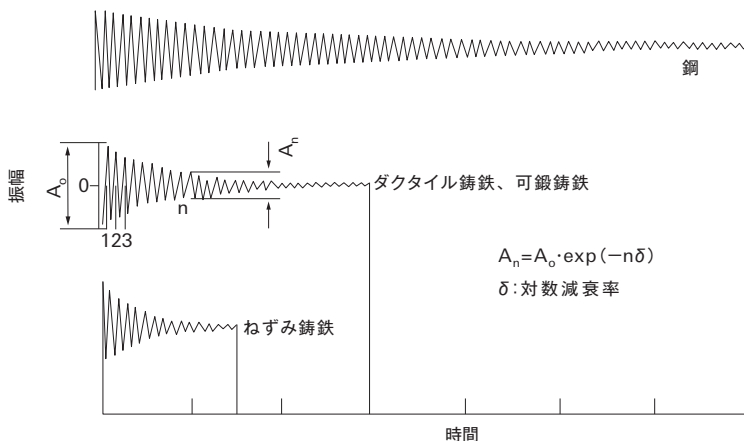
A.B. Everest "Foundry Tr.J"89,1950/A. Wittmoser "Z. VDI"93,1951/A. Königer "Giesserei"46,1959

2 機械的性質

① 吸振性(減衰能)

ダクタイル鋳鉄の吸振性はねずみ鋳鉄と鋼の間にある。

●図表2-1-2-5 鉄系材料の振動減衰状況の比較



C.F.Walton, T.J.Opar 『Iron Castings Handbook』 (Iron Castings Society, 1981)より

② 磁気特性

ダクタイル鋳鉄の静磁場磁性は組織、黒鉛化率、化学成分等によって異なる。

● 図表2-1-2-6 ダクタイル鑄鉄の磁気特性

鑄鉄の種類	抗磁力 (Hc)	残留磁力 (Br)	最大導磁率 (μm)	(μm) に対する磁場の強さ ($H \mu m$)	磁気感応 $4 \pi I$		履歴損失 (エルグ/cm ²)
					H=750e	H=9000e	
ねずみ鑄鉄 ^{注1}	6.3	4700	355	11	9400	16100	30300
ダクタイル鑄鉄 ^{注2} (パーライト)	9	8000	544	14	14850	18500	49300
ダクタイル鑄鉄 ^{注2} (フェライト)	2.4	5100	1400	5.5	16100	19100	16320

注1 C 3.6% Si 2.16% Mn 0.69% P 0.128% S 0.11%

注2 C 3.6% Si 2.5% Mn 0.6% P 0.08% S 0.009%

A. Königler "Giesserei" 46,1959

③ 疲労限界

● 図表2-1-2-7 ダクタイル鑄鉄の疲労限界 (250個の試験結果の集計)

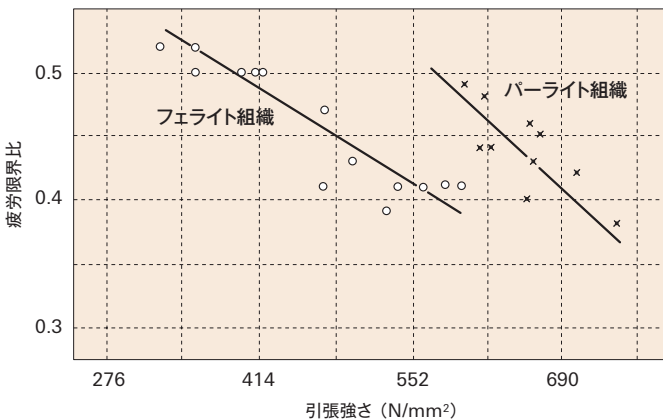
種別 ^{注1}	引張強さ	ノッチなし		45° V-ノッチ付		ノッチ感度係数
		疲労限界	疲労限界比	疲労限界	疲労限界比	
		St (N/mm ²)	Se (N/mm ²)	Se ÷ St	Sn (N/mm ²)	
60-45-10型	490	211	0.43	147	0.30	1.4
80-60-03型	618	272	0.44	167	0.27	1.7
120-90-02型 ^{注2}	932	335	0.36	206	0.22	1.6

注1 ASTM A339-55による種別。

注2 約900°Cにて油焼後、約600°Cにて焼なまし。

Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

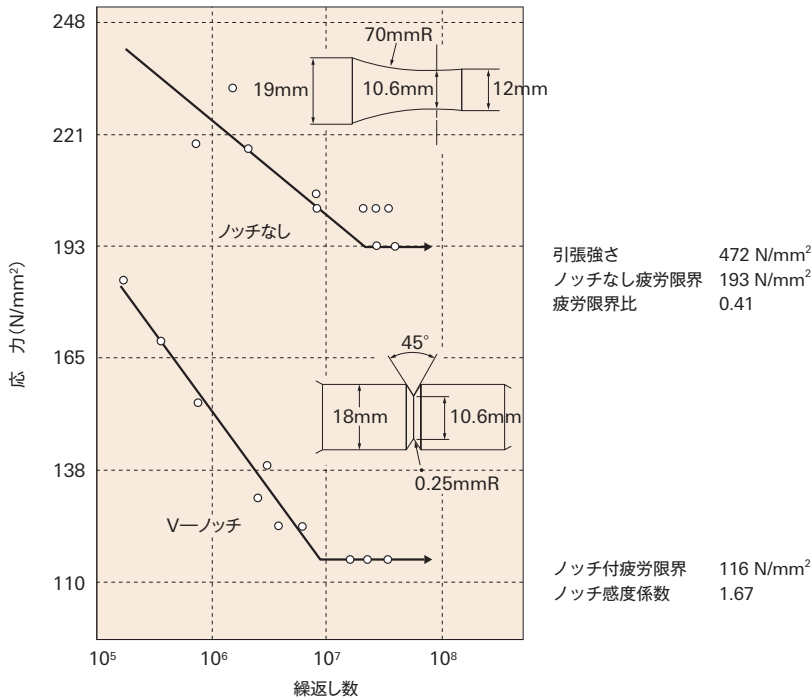
● 図表2-1-2-8 ダクタイル鑄鉄の引張強さに対する疲労限界比



Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

●図表2-1-2-9 ダクタイル鋳鉄の代表的なS-N曲線の例(焼鈍)



Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

3 工業的性質

1 切削性

- フェライト組織のダクタイル鋳鉄の切削性は良好であるが、パーライト組織に近づくほど不良となる。パーライト量が65%から25%に減ると切削性は著しく改良されるが、20%以下ではあまり変わらない。
- フェライト組織のダクタイル鋳鉄のドリル穿孔は、ドリル直径の3.5～4倍の深さまでは容易である。
- 旋盤切削の場合、冷間引抜鋼の切削性を100とすれば、鋳造のままのブリネル硬さ(HB)290～300のダクタイル鋳鉄の切削性は80～90、焼鈍したブリネル硬さ(HB)180～200のものでは135～155である。
- 切削面は片状黒鉛鋳鉄と異なり、鋼の場合に似ている。

2 耐摩耗性

摩耗条件によって異なる。一般的にはパーライト組織のダクタイル鑄鉄の耐摩耗性は優秀であるが、フェライト基地になればその性質は劣る。

3 耐熱性

ダクタイル鑄鉄はねずみ鑄鉄よりも耐熱性、とりわけ耐成長性が良好^{*1}であることは、多くの報告によって認められている。特にケイ素の影響が大きい。黒鉛が球状になっていることは外部からの酸化性ガスの侵入を妨げ、耐熱性、耐成長性を与えている。

*1 鑄鉄を高温で保持したり、繰り返し加熱冷却すると、体積が膨張し、割れや強度の低下を引き起こす。耐成長性が良好であると、このような現象(鑄鉄の成長)を起こしにくい。

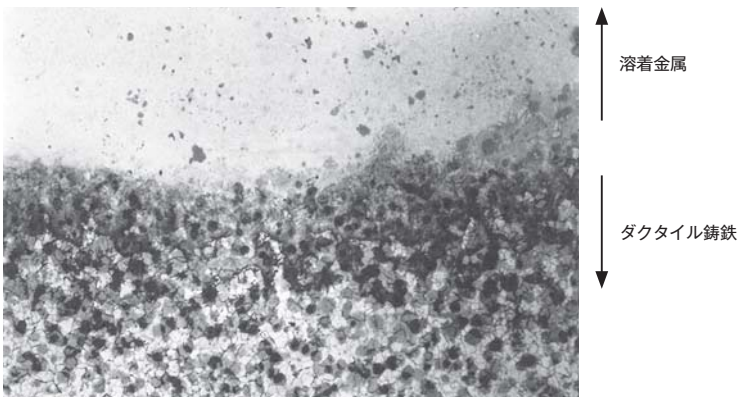
4 高温加工性

ダクタイル鑄鉄は高温加工できる。加工度が増すと、加工後フェライト化焼鈍したダクタイル鑄鉄の延性および衝撃値が増す。

5 溶接性

ねずみ鑄鉄に比較して、ニッケル(Ni)溶接性が良好である。適切な条件で溶接を行えば、ボンド部にはごくわずかのセメンタイトしか晶出せず(図表2-1-2-10)、かなりの強度が得られる。

●図表2-1-2-10 ダクタイル鑄鉄を全自動MIG溶接^{注1}したボンド部



注1 アーク溶接でシールドガスに不活性ガスを使った全自動溶接の一種。

2-1-3 用途

ダクタイル鋳鉄は、鋳造品でありながら、強度、剛性、耐衝撃性、疲れ強さなどに優れるため、さまざまな用途に用いられている。経済産業省による統計分類上の「球状黒鉛鋳鉄」と「鋳鉄管」との合計生産量(2016(平成28)年)は161万3825トンで、輸送機械用(自動車用)52.5%と鋳鉄管19.2%で約72%を占める(図表2-1-3-1)。

●図表2-1-3-1 球状黒鉛鋳鉄鋳物の生産量(2016(平成28)年)の内訳

品目・用途例		生産量(トン)
球状黒鉛鋳鉄	一般・電気機械用(産業機械機具用)	198716
	一般・電気機械用(金属工作・加工機械用)	11204
	一般・電気機械用(その他の一般・電気機械用)	94739
	輸送機械用(自動車用)	847692
	輸送機械用(その他の輸送機械用)	65721
	その他用の球状黒鉛鋳鉄	86178
鋳鉄管		309575
合計		1613825

備考 「球状黒鉛鋳鉄」と「鋳鉄管」の合計生産量。「鋳鉄管」と分類されているものの中には、ごくわずかにダクタイル鋳鉄管以外のものが含まれている可能性がある。

[平成28年経済産業省生産動態統計年報]より(抜粋)

輸送機械用(自動車用)のほとんどは自動車の足回り部品、鋳鉄管のほとんどはダクタイル鉄管(直管、異形管など)である。その他のダクタイル鋳鉄を用いた製品の例を図表2-1-3-2に示す。

●図表2-1-3-2 ダクタイル鋳鉄を用いた製品例

マンホール蓋(FCD製)



日本鋳鉄管写真提供

橋梁用防護柵(FCD製)



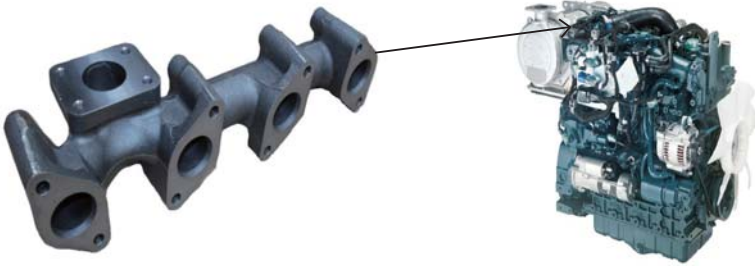
大阪高級鋳造鉄工写真提供

シールド工法用セグメント継手金物 (FCD製)



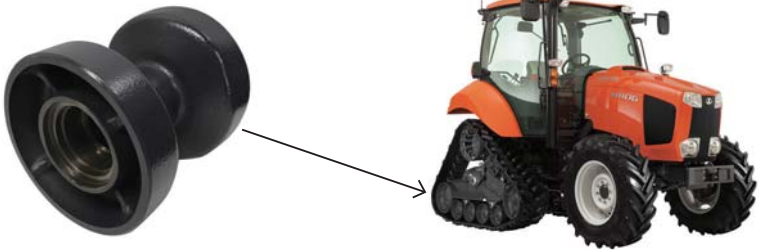
日本シールドセグメント技術協会写真提供

エキゾーストマニホールド (FCD製)



クボタ写真提供

トラックローラ (FCD製)



クボタ写真提供