

7.1 ADIのマンホール蓋への応用

増田 峰知 河合 真

1. 結 言

マンホール蓋は道路の一部であり、下水道等の地下埋設物への入り口扉として利用されている。それと同時に橋梁構造物に要求される強度等の機能を満たしていなければならない。また、生産、運搬、施工等の各工程での軽量化の要求が高く、材質や製造条件に見合った最適設計が望まれている。

マンホール蓋に要求される機能は、その使用条件より、

- (1) 重量車両に相当する荷重を負荷したときに変形（たわみ）が規定値以内であること
 - (2) 重量車両に相当する荷重を負荷、除荷したときに残留変形（残留たわみ）がないこと（指定負荷荷重で製品が弾性域内にあること）
 - (3) 耐環境性（耐食性、耐摩耗性等）に優れていること
- があげられる。

車道用マンホール蓋としては、JIS A 5506「下水道用マンホールふた」において、ねずみ鋳鉄(FC)製、球状黒鉛鋳鉄(FCD)製の2種が規定されているが、近年、より強度の高いFCD700製が主流をなしている。

ADI (Austempered Ductaile Iron; JIS記号 FCD***A)は、FCDをオーステンパ処理して得られる高強度、高靱性な材料として、各種構造用材料への応用が期待されている。また、要求機能の一つである耐摩耗特性にも優れている。

材質の高級化に伴い蓋の構造も、蓋の厚みで強度を得ていたFC製から蓋裏にリブ構造をもつFCD製へと変化している。また、ガタツキ防止のため、受枠の上に蓋を載せただけの平受け方式から、蓋枠の合わせ部分をテーパ状に加工した勾配受けが広く用いられている。

マンホール蓋などの鋳造構造物は、鋳造方案による凝固速度の違い、押し湯量の違い等により均一材料と見なせない上、リブ構造、勾配受けによって一層強度計算を困難にしている。このような鋳造構造物の開発には、実験的に製品全体の応力分布を把握し、最大発生応力が弾性域内にあることを確認することが有効である。

本報では、実験によりマンホール蓋に発生する応力分布を破壊にいたるまで

求めた。また、最大発生応力と残留たわみ量の関係から、ADIをマンホール蓋へ応用した場合に見られる特徴を検討した。

2. 実験方法

試験に用いたマンホール蓋は、最も一般的に用いられている井桁状4本リブ構造で、直径370mm、肉厚9mm、リブ高さ22mm、リブ厚み8mm、リブ間隔110mm、勾配受け方式である。

実験に使用した材質は表1の化学組成を持つFCD450にCuを0.85%添加したFCD700と、FCD450にオーステンパ処理をして得たADIを用いた。ADIは熱処理条件を変えてFCD900A, FCD1000A, FCD1200Aの3種類とし、それぞれYブロックから切り出した引張試験片と製品実物を同時に熱処理した。図1に熱処理条件を示す。

表1 化学組成 (%)

C	Si	Mn	P	S	Mg
3.69	2.50	0.22	0.027	0.007	0.058

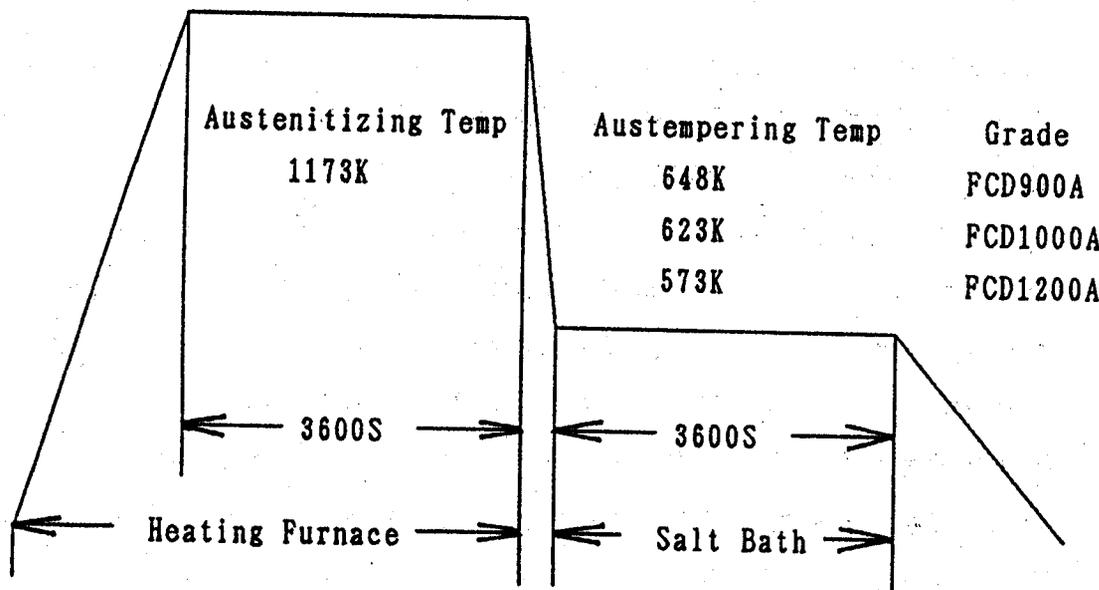


図1 オーステンパ処理条件

試験方法は、引張試験及び硬さ試験(Hv(50))により各種機械的性質を求めた後、製品実物を用いて蓋中央部においたφ150mmの載荷板により垂直に負荷をかける静荷重試験を行った。変形量はマンホール蓋中心部のたわみ量とし、発生応力の測定はひずみゲージを用いた。図2に蓋裏リブ構造及び応力測定位置と方向を示す。

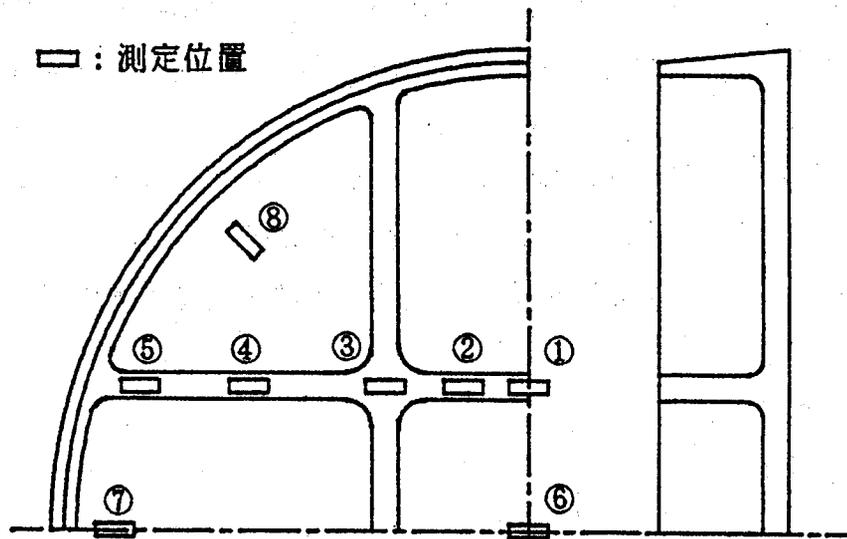


図2 応力測定位置及び方向

3. 実験結果および考察

図3に各材質のYブロックから切り出した試験片の熱処理後の機械的性質を示す。

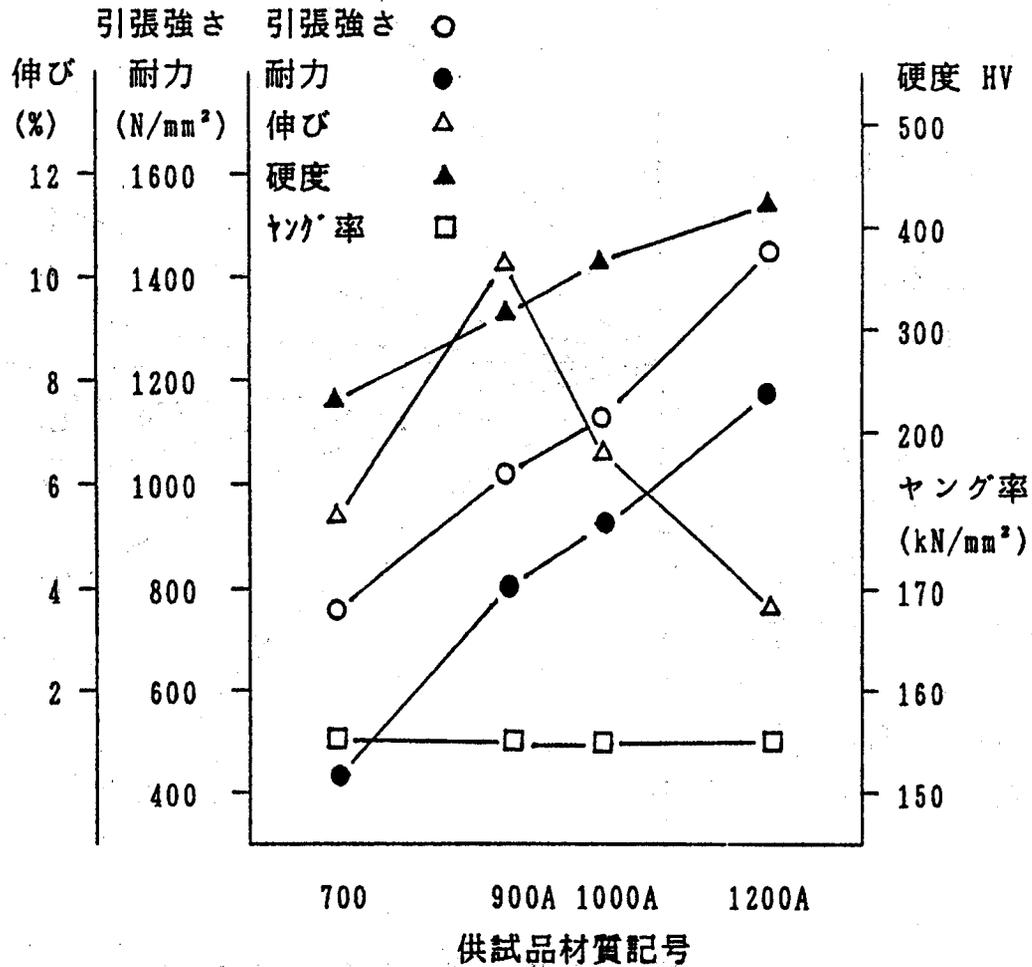


図3 各材質ごとの機械的性質

ヤング率は、ADI、FCDとも 155kN/mm^2 とほぼ同じ値となることがわかった。これはリブ構造などが同じであれば、荷重負荷時のたわみはFCDを用いた場合とほぼ同じになることを示している。

耐力は、FCD1200Aでは 1100N/mm^2 以上を示し、FCD700の 430N/mm^2 に比べて2.5倍近い値を得た。FCD900Aでも 800N/mm^2 と2倍近い値を得た。

伸びは、FCD900Aで、約10%を示した。FCD700に比べて高い靱性を示している。

図4にFCD700におけるひずみ発生分布を示す。図2中①の位置において最大引張応力が発生した。他部位に比べて極めて大きい値を示しており、ここが破壊の起点となることがわかった。

蓋周辺部には圧縮応力が発生した。これは勾配受け方式では、蓋周辺フランジ部において受枠からの拘束を受けるためと考えられる。そのため勾配受け方式では、強度設計を行う上で周辺固定支持に近い条件として扱わなければならない。

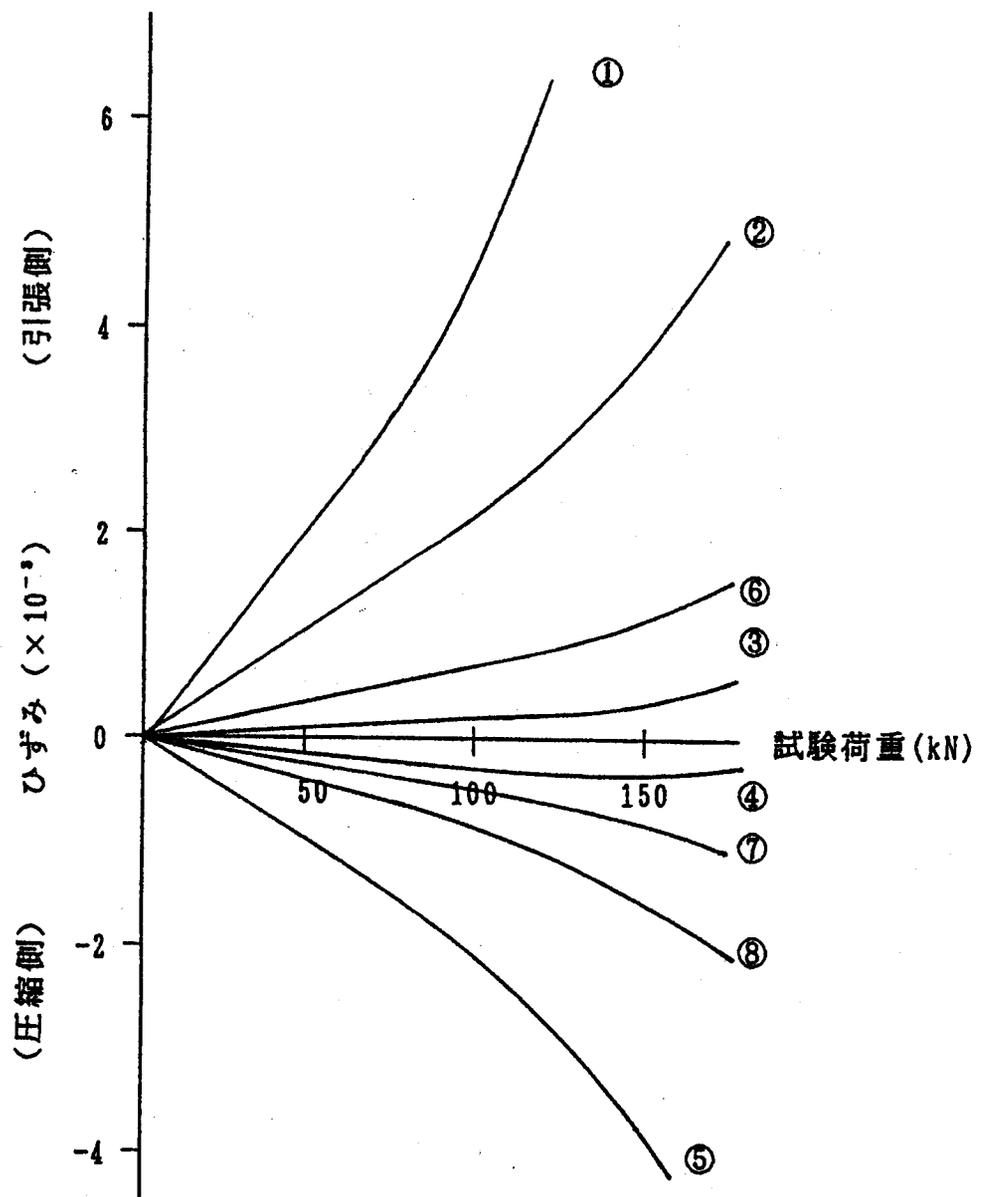


図4の傾向は、

図4 ひずみ発生分布(図中の番号は図2に対応)

他材質においても同様の結果が得られ、この形状のマンホール蓋では図2中①で示した位置に最大応力が発生する。

図5に図2中①部分に発生したひずみ量と荷重の関係を、図6に蓋たわみ量と荷重の関係をそれぞれ材質別に示す。いずれの場合も、FCD700、FCD900A、FCD1000A、FCD1200Aでは、65、110、130、150kN 附近で弾性域から塑性域へ降伏している様子がみられた。このことにより最大応力の発生したリブ中心部が弾性域から塑性域へ移行すると、蓋全体としても弾性状態から塑性状態へと移行する。つまり残留たわみが発生するということが分かる。このことにより、ADIは耐力値が高く弾性域が広いいため残留たわみが

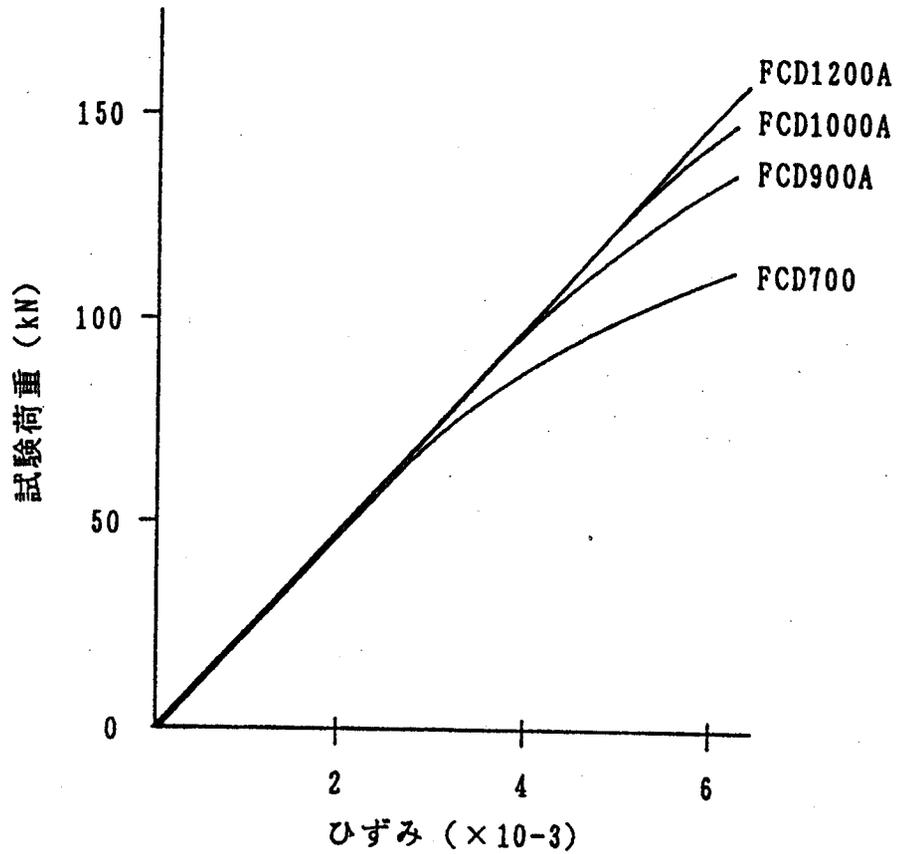


図5 蓋に発生する最大ひずみと荷重の関係

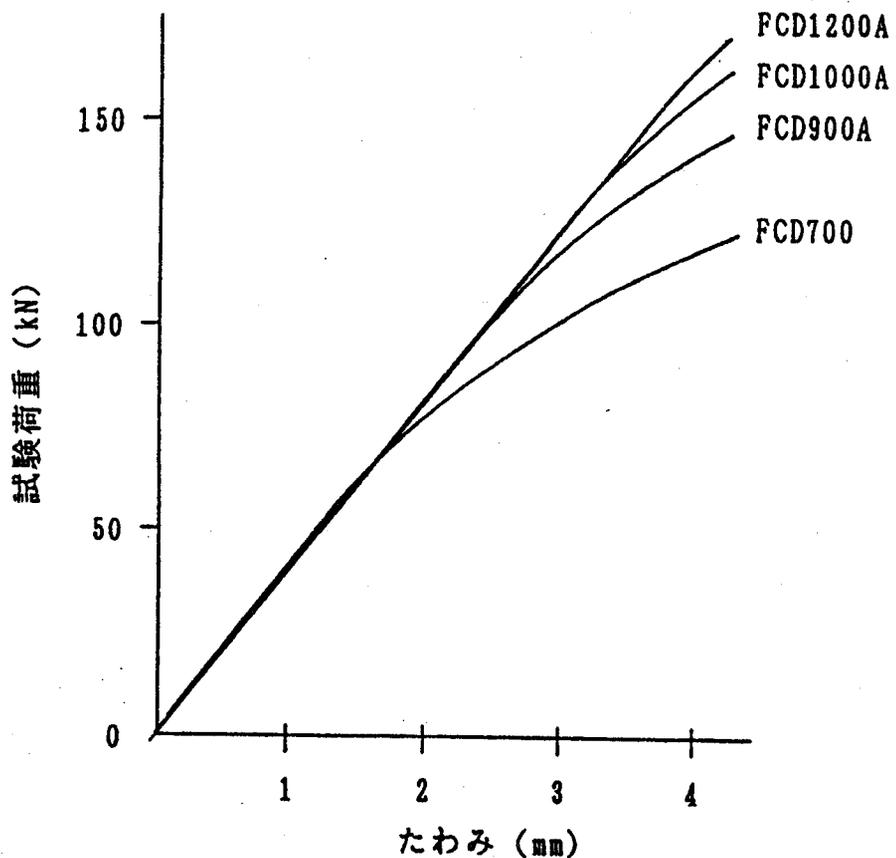


図6 蓋たわみ量と荷重の関係

発生しにくい材質といえる。

初期クラックは図2中①の位置で発生し、そのときの荷重はFCD700, FCD900A, FCD1000A, FCD1200Aでそれぞれ230, 290, 260, 210kN 附近となった。これは、FCD700, FCD1200Aに比べFCD900A, FCD1000Aは、強靱性で伸びが大きいいため、塑性域での変形量が大きいためと考えられる。

以上の諸条件を考慮すると、高耐力と高靱性を兼ね備えたFCD900Aが最もマンホール蓋に適すると考えられる。しかし、残留オーステナイトの経時変化、低温脆化等の問題もあるため、使用環境を考慮した設計が必要であろう。

4. ま と め

- (1) ADIは、ヤング率がFCDとほぼ同じになるため、同一構造の場合、荷重負荷時の変形量はほぼ変わらない。
- (2) 勾配受け構造では、強度計算において周辺固定支持に近い条件をとる。
- (3) 最大応力発生部位において応力が弾性域から塑性域に移行すると、残留たわみが発生する。ADIは、耐力値が高く弾性域が広いため、残留たわみの発生しにくい材質といえる。
- (4) 初期クラック発生荷重は、伸びが大きく強靱性なFCD900Aで最大値を示す。
- (5) マンホール蓋に使用する材質としては、高強度と高靱性を兼ね備えたFCD900Aが最も適していると考えられる。

以上のことより、耐力値の高いADIをマンホール蓋に応用することで、残留たわみの発生を抑えた高機能鉄蓋の開発が可能となった。さらに使用目的や材質に見合った形状設計を行うことで、より薄肉・軽量化が期待できる。

最後に、本実験は、名古屋大学工学部講師 滝田光晴氏の指導のもと株式会社ホクキャスト井上富彦氏、川北広明氏と共同で行ったもので、ここに謝意を表します。