

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6657724号
(P6657724)

(45) 発行日 令和2年3月4日(2020.3.4)

(24) 登録日 令和2年2月10日(2020.2.10)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 1/28 (2006.01) GO 1 N 1/28 B
GO 1 N 3/20 (2006.01) GO 1 N 3/20

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-194581 (P2015-194581)	(73) 特許権者	000006655
(22) 出願日	平成27年9月30日 (2015.9.30)		日本製鉄株式会社
(65) 公開番号	特開2017-67653 (P2017-67653A)		東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(43) 公開日	平成29年4月6日 (2017.4.6)	(74) 代理人	100104444
審査請求日	平成30年5月9日 (2018.5.9)		弁理士 上羽 秀敏
		(74) 代理人	100112715
			弁理士 松山 隆夫
		(74) 代理人	100125704
			弁理士 坂根 剛
		(74) 代理人	100120662
			弁理士 川上 桂子
		(74) 代理人	100132506
			弁理士 山内 哲文

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 試験片

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

3点曲げ又は4点曲げ腐食試験に用いる試験片であって、
 前記3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において上下方向で上から荷重がかけられる第1荷重面を有し、前記試験片の長手方向に延びる天井部と、

前記3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において前記上下方向で下から荷重がかけられる第2荷重面を有し、前記天井部と対向する底部と、

前記天井部の長手方向に垂直な方向における両端部と、前記底部の長手方向に垂直な方向における両端部との間に形成され、互いに対向する一対の側壁部と、

前記一対の側壁部の間において、前記天井部から前記底部にかけて形成される仕切り壁と、備え、

前記天井部、前記底部、前記一対の側壁部及び前記仕切り壁で囲まれた空間が、前記試験片を長手方向に貫通する複数の貫通孔を形成し、

前記試験片の長手方向から見て、前記複数の貫通孔の形状が、前記上下方向の軸に対して線対称である、試験片。

【請求項2】

請求項1に記載の試験片であって、

前記仕切り壁は、前記一対の側壁部の中央に配置され、

前記仕切り壁と、前記仕切り壁の両側の前記一対の側壁部との間に、2つの前記貫通孔が形成される、試験片。

10

20

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の試験片であって、
前記貫通孔の横断面における面積は、前記貫通孔がない場合の前記試験片の横断面の面積の 50% 以上である、試験片。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の試験片であって、
前記貫通孔の前記上下方向における寸法は、前記試験片の前記上下方向における寸法の 60% 以上である、試験片。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の試験片であって、
前記天井部の厚みは、前記底部の厚みより大きい、試験片。

10

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の試験片であって、
前記仕切り壁の厚みは、前記試験片の前記仕切り壁厚み方向における寸法の 5% 以上である、試験片。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験に用いる試験片に関する。

【背景技術】

20

【0002】

従来、鋼材の耐腐食性の評価のために、4点曲げ腐食試験、又は3点曲げ腐食試験が行われてきた。例えば、特開平11 50148（特許文献1）には、4点曲げ試験により、耐硫化物腐食割れ性（耐SSC性）を評価することが記載されている。

【0003】

4点曲げ腐食試験は、図1に示すような治具を用いて行われる。図1に示す治具は、試験片S Jの上面に接する2つのローラ8 aを上から支持する支持体9 bと、試験片S Jの下面に接する2つのローラ8 bを下から支持する加重部材9 aとで、試験片S Jに上下方向の曲げ荷重を負荷する。このようにして曲げ荷重を負荷した試験片S Jを、腐食溶液（H₂S溶液）に720時間曝し、き裂発生の有無を調べる。

30

【0004】

腐食試験では、試験片S Jに負荷する荷重が制御される。負荷荷重を設定する方法のひとつとして、図2又は図3に示すように、ひずみゲージ2 1を試験片S Jに貼る。ひずみゲージ2 1の検出値が所定のひずみ（例えば、対象材の降伏強度（YS）100%相当のひずみ）となるまで、試験片S Jに荷重を負荷して、撓ませる。図2では、ひずみゲージ2 1を試験片S Jの長手方向中央に貼っている。この構成は、試験片S Jが、溶接部分を含まない場合、例えば、鋼管の母材部分から採取された試験片である場合等に適用される。図3では、試験片S J中央部の溶接金属S J wの両側にひずみゲージ2 1が貼られる。この構成は、試験片S Jが、溶接金属を含む場合、例えば、溶接継手部分から採取された試験片である場合等に適用される。

40

【0005】

図4及び図5は、試験片S Jの形状を説明するための図である。図4に示す試験片S J 1は、直方体であり、平滑試験片と称される。図5に示す試験片S J 2は、対象材である鋼管8 0の内面S J sの一部が、そのまま試験片の一面となっており、内面A s試験片と称される。

【0006】

上記の4点曲げ腐食試験では、試験片S J中央付近におけるき裂発生の有無が評価される。荷重を負荷した試験片S Jの表面におけるひずみが一様でない場合、試験片S J中央から離れた位置でき裂が発生し得る。中央から離れた位置でき裂が発生した場合は、適正な評価が難しくなる。この問題は、3点曲げ腐食試験でも同様に起こり得る。

50

【0007】

特開2004-279083(特許文献2)には、FRPの試験片に軸圧縮荷重を加え、曲げ変形させ、破壊させる曲げ試験における、試験片の細長比と、試験片を支持する治具について開示されている。これらの試験片と治具を用いた試験方法によれば、FRP板の曲げ強度等を高精度で測定できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平11-50148号公報

【特許文献2】特開2004-279083号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記特開2004-279083では、FRPの試験片に軸圧縮荷重を加える試験において、高測定精度を得るための試験片の細長比についての開示はあるものの、3点又は4点曲げ腐食試験において、より適正な評価をするための試験片の構成についての開示はない。一方で、3点又は4点曲げ腐食試験において、低コストで適正な評価を行うためには、荷重の大きさを抑えながら、試験片の荷重面のひずみを均一にするのが好ましいことが、発明者らによって認識されている。

【0010】

20

そこで、本願は、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において、必要な荷重を抑えながら、試験片の荷重面のひずみを均一に近づけることができる試験片を開示する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の実施形態における試験片は、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験に用いる試験片である。前記試験片は、天井部と、底部と、一对の側壁部と、仕切り壁とを備える。前記天井部は、前記3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において上から荷重がかけられる第1荷重面を有し、前記試験片の長手方向に延びる。前記底部は、前記3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において下から荷重がかけられる第2荷重面を有し、前記天井部と対向する。前記一对の側壁部は、前記天井部の長手方向に垂直な方向における両端部と、前記底部の長手方向に垂直な方向における両端部との間に形成され、互いに対向する。前記仕切り壁は、前記一对の側壁部の間において、前記天井部から前記底部にかけて形成される。前記天井部、前記底部、前記一对の側壁部及び前記仕切り壁で囲まれた空間が、前記試験片を長手方向に貫通する複数の貫通孔を形成する。前記試験片の長手方向から見て、前記複数の貫通孔の形状が、前記上下方向の軸に対して線対称である。

30

【発明の効果】

【0012】

本願開示によれば、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において、必要な荷重を抑えながら、試験片の荷重面のひずみを均一に近づけることができる試験片を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】図1は、4点曲げ腐食試験に用いられる治具を示す図である。

【図2】図2は、ひずみゲージを試験片に貼った状態を示す図である。

【図3】図3は、ひずみゲージを試験片に貼った状態を示す図である。

【図4】図4は、試験片の形状を説明するための図である。

【図5】図5は、試験片の形状を説明するための図である。

【図6】図6は、シミュレーションにおける解析モデルを示す図である。

【図7】図7は、シミュレーションで用いた対象材の応力-ひずみ特性を示す図である。

【図8A】図8Aは、平滑試験片のx-y平面におけるメッシュ(有限要素)を示す図であ

50

る。

【図 8 B】図 8 B は、内面 A s 試験片の x y 平面におけるメッシュ（有限要素）を示す図である。

【図 9 A】図 9 A は、平滑試験片の F E M 解析で得られたひずみ分布（実線）と実測値（丸プロット）を示すグラフである。

【図 9 B】図 9 B は、内面 A s 試験片の F E M 解析で得られたひずみ分布（実線）と実測値（三角プロット）を示すグラフである。

【図 1 0】図 1 0 は、内面 A s 試験片の厚みを変化させて F E M 解析した結果得られたひずみ分布を示すグラフである。

【図 1 1 A】図 1 1 A は、本発明の実施形態の試験片の断面図である。

10

【図 1 1 B】図 1 1 B は、図 1 1 A に示す試験片の平面図である。

【図 1 1 C】図 1 1 C は、図 1 1 A に示す試験片の側面図である。

【図 1 2】図 1 2 は、図 1 1 A に示す試験片の変形例を示す図である。

【図 1 3 A】図 1 3 A は、実施例において、F E M 解析を行った試験片の横断面の形状を示す図である。

【図 1 3 B】図 1 3 B は、実施例 1 において、F E M 解析を行った試験片の横断面の形状を示す図である。

【図 1 3 C】図 1 3 C は、実施例 1 において、F E M 解析を行った試験片の横断面の形状を示す図である。

【図 1 4】図 1 4 は、実施例 1 の F E M 解析で得られた必要荷重を示すグラフである。

20

【図 1 5】図 1 5 は、実施例 1 の F E M 解析で得られたひずみ分布を示すグラフである。

【図 1 6 A】図 1 6 A は、実施例 1 における試験片のひずみ長手方向成分の分布を示すコンター図である。

【図 1 6 B】図 1 6 B は、実施例 1 における試験片の応力長手方向成分の分布を示すコンター図である。

【図 1 7】図 1 7 は、実施例 2 の F E M 解析で得られた貫通孔の高さと必要荷重との関係を示すグラフである。

【図 1 8】図 1 8 は、実施例 2 の F E M 解析で得られた貫通孔の高さとひずみ分布との関係を示すグラフである。

【図 1 9】図 1 9 は、実施例 2 の F E M 解析で得られた貫通孔の幅と必要荷重との関係を示すグラフである。

30

【図 2 0】図 2 0 は、実施例 2 の F E M 解析で得られた貫通孔の幅と、ひずみ分布の関係を示すグラフである。

【図 2 1】図 2 1 は、実施例 2 の F E M 解析で得られた、貫通孔の面積の占める割合と必要荷重との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

3点曲げ腐食試験又は4点曲げ腐食試験では、上記のように、ひずみゲージが試験片の荷重面の中央部に配置される。試験片の荷重面の中央部でのひずみが所定値となるように負荷荷重が設定される。そのため、適正な評価をするには、試験片の荷重面の中央付近におけるき裂発生の有無を評価することが好ましい。しかし、発明者らは、試験片のひずみ測定位置すなわち試験片中央から離れた位置、特に、試験片の荷重面の端部付近で割れが発生するケースに遭遇した。このようなケースでは、対象材の耐腐食性能を適正に評価できない可能性がある。

40

【0015】

試験片の端部付近で割れが発生する原因を調べるため、発明者らは、荷重を荷重した試験片の荷重面の中央付近と、端部付近とのひずみの差を測定した。測定は、実測及びシミュレーションで行った。シミュレーションでは、図 6 に示す解析モデルを用いて、四点曲げ腐食試験を対象とした F E M 解析を行った。

【0016】

50

図6では、試験片S J vの長手方向をz方向、試験片S J vの上下方向すなわち荷重方向をy方向、z方向及びy方向に垂直な方向をx方向としている。図6に示す例では、試験片S J vにおいて、上から荷重がかかる荷重面(評価面)のz方向及びx方向における中央の点を中央点C 0とする。x方向の対称境界線T K xを通りx y平面に平行な面は、試験片S J vの長手方向(z方向)の対称境界面である。z方向の対称境界線T K zを通りy z平面に平行な面は、試験片S J vのx方向の対称境界面である。

【0017】

ローラ8 a v、8 b vは、剛体モデルとした。試験片S J vのサイズは、幅S W = 10 mm、高さS H = 2 mm、長さS L = 75 mmとした。試験片S J vの形状は、平滑試験片の場合と、内面A s試験片の場合の2通りについて解析を行った。試験片S J vの対象材は、マルテンサイト系ステンレス鋼管(外径300 mm x 肉厚15 mm)とした。対象材の応力 - ひずみ特性のデータとして、図7に示す応力 - ひずみ曲線を用いた。

10

【0018】

図8 Aは、平滑試験片のx y平面におけるメッシュ(有限要素)を示す。図8 Bは、内面A s試験片のx y平面におけるメッシュ(有限要素)を示す。図8 A及び図8 Bいずれも、対称境界線T K zを含む対称境界面T S zの右半分のみ示している。

【0019】

図9 Aは、平滑試験片のF E M解析で得られたひずみ分布(実線)と実測値(丸プロット)を示すグラフである。図9 Bは、内面A s試験片のF E M解析で得られたひずみ分布(実線)と実測値(三角プロット)を示すグラフである。図9 A及び図9 Bの横軸は、試験片S J vの荷重面において中央点C 0を通りx方向に延びる線上の位置を示す。図9 A及び図9 Bに示すように、解析結果と実測値はおおむね一致している。これにより、F E M解析でひずみ分布を精度よく推定可能と考えられる。

20

【0020】

図9 A及び図9 Bに示す結果から、試験片の荷重面の中央部付近に比べ端部付近でのひずみが大きくなっていることがわかった。試験片の荷重面端部付近で割れが発生する原因としては、試験片の荷重面に一様なひずみが付与されていないことが考えられる。すなわち、試験片の荷重面の中央付近に比べ、端部付近でのひずみが大きくなっているため、試験片の荷重面の中央から離れた端部付近で割れが発生すると考えられる。

【0021】

30

発明者らは、さらに、4点曲げ腐食試験における試験片への荷重の負荷において、試験片荷重面の中央部付近と端部付近のひずみ差を低減する方法についてF E M解析により検討した。その結果、試験片の厚みを大きくすればひずみ差を低減できるという知見を得た。図10は、内面A s試験片の厚み(高さS H)を、2 mm、4 mm、8 mm、10 mmとしたときのひずみ分布を示すグラフである。このF E M解析では、対象材をマルテンサイト系ステンレス鋼管(外径220 mm x 肉厚11 mm)としている。図10に示す解析結果は、内面A s試験片の高さS Hを、2 mmから8 mmにすることで、試験片の荷重面の中央部のひずみに対する端部付近のひずみ比は、1.19から1.01に低減できることを示している。一方で、試験片の高さS Hを2 mmから10 mmにすると、必要荷重は436 Nから11180 Nに増加する。このように、発明者らは、鋼管サイズ(内径)に応じた荷重面の中央部と端部のひずみ差を予測し、ひずみ差が問題とならない状態で四点曲げ腐食試験を実施できる試験片厚(高さS H)を決定する方法を見出した。

40

【0022】

試験片の高さS Hを大きくすると、所定のひずみを得るための4点曲げ荷重も増大する。そこで、発明者らは、さらなる解析を重ねて、必要荷重を低減できる試験片形状を検討した。その結果、試験片の長手方向に貫通する複数の貫通孔を形成し、試験片の長手方向から見た貫通孔の形状を、上下方向を軸として対称とすることで、必要荷重を抑えながら、試験片の荷重面のひずみを均一に近づけることができるとの知見を得た。この知見を基になされた発明の実施形態を、以下に説明する。

【0023】

50

【実施形態】

図11Aは、本発明の実施形態の試験片の断面図であり、図11Bは、図11Aに示す試験片の平面図、図11Cは、図11Aに示す試験片の側面図である。

【0024】

図11A～図11Cに示す試験片10は、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験に用いる試験片である。図11Aに示すように、試験片10は、天井部1、底部2、一对の側壁部3、及び仕切り壁4を備える。天井部1は、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において上から荷重がかけられる第1荷重面1a（以下、荷重面1aと称する）を有し、試験片10の長手方向（z方向）に延びる。底部2は、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において下から荷重がかけられる第2荷重面2a（以下、荷重面2aと称する）を有する。底部2は、天井部1と対向する。一对の側壁部3は、天井部1の長手方向に垂直な方向（x方向）における両端部と、底部2の長手方向に垂直な方向（x方向）における両端部との間に形成され、互いに対向する。仕切り壁4は、一对の側壁部3の間において、天井部1から底部2にかけて形成される。天井部1、底部2、一对の側壁部3及び仕切り壁4で囲まれた空間が、試験片10を長手方向（z方向）に貫通する複数の貫通孔5を形成する。試験片10の長手方向から見て、複数の貫通孔5の形状が、上下方向（y方向）の軸Aに対して線対称である。

10

【0025】

試験片10は、長手方向に貫通する貫通孔5を有する構成なので、3点曲げ又は4点曲げ腐食試験において試験片10に負荷する荷重の大きさが、中実の場合に比べて少なく済む。そのため、荷重の増加を抑えながらも、試験片の荷重方向の厚み（高さ）を大きくして、荷重がかかったときの荷重面1a、2aの歪みを均一に近づけることができる。さらに、試験片10は、天井部1、底部2及び側壁部3に囲まれた内部空間を分割して複数の貫通孔5を形成する仕切り壁4を有する。貫通孔5は、長手方向から見て上下方向の軸Aに対して線対称となるように形成される。これにより、荷重がかかったときの荷重面1a、2aにおけるひずみのx方向における中央付近と端部付近との差が、より小さくなる。その結果、試験時の必要な荷重の増加を抑えつつ、荷重面1a、2aのx方向における歪みの分布を均等に近づけることが可能になる。

20

【0026】

図11Aに示す例では、仕切り壁4は、一对の側壁部3の中央に配置される。仕切り壁4と、仕切り壁4の両側の一对の側壁部3との間に、2つの貫通孔5が形成される。2つの貫通孔5の横断面における形状は同じである。このように、試験片10を、一对の側壁部3の中央の仕切り壁4で仕切られた2つの貫通孔5を有する構成とすることで、単純な構造で線対称の貫通孔を実現することができる。すなわち、試験片10の構造の複雑化を抑えることができる。その結果、対象材から試験片を採取する際の加工を単純化できる。

30

【0027】

貫通孔5の横断面における面積は、貫通孔5がない場合の試験片10の横断面の面積の50%以上であることが好ましい。試験片10の横断面は、長手方向（z方向）に垂直な面の断面である。貫通孔5がない場合の試験片の横断面の面積は、図11Aに示す例では、横断面における試験片10の外周面の線、すなわち荷重面1a、2a、及び側壁部3の外面に相当する線に囲まれる領域の面積である。このように、貫通孔5の面積を広くすることで、試験片10の内部空間を広くとることができる。その結果、中実の場合に比べて、荷重面1aにおける所定のひずみを得るために必要な荷重を低減することができる。なお、貫通孔5の横断面における面積は、貫通孔5がない場合の試験片10の横断面の面積の60%以上であるとより好ましい。なお、貫通孔5の横断面の面積を大きくしすぎると、天井部1及び底部2の厚みが小さくなり、荷重面1a、2aの応力分布にばらつきが生じやすくなる。そのため、貫通孔5の横断面における面積は、貫通孔5がない場合の試験片10の横断面の面積の90%以下とすることができる。

40

【0028】

貫通孔5の上下方向における寸法H（高さH）は、試験片10の上下方向における寸法

50

SH (高さSH) の60%以上とすることができる。これにより、必要な荷重を低減できるとともに、x方向における荷重面1a、2aの応力分布をより均一にすることができる。この観点から、貫通孔5の高さHは、試験片10の高さSHの65%以上とするとより好ましく、75%以上とすると、さらに好ましい。なお、天井部1及び底部2の厚みを確保する観点から、貫通孔5の高さHは、試験片10の高さSHの90%以下とすることができる。

【0029】

天井部1の厚み t_s は、底部2の厚み t より大きくすることができる。これにより、天井部1の厚みを確保できるので、荷重面1aのひずみの分布がより均一に近づきやすくなる。図11Aに示す例では、天井部1の荷重面1aが曲面であり、底部2の荷重面2aが平面である。曲面の荷重面1aの方が、平面の荷重面2aより、ひずみの差が大きくなりやすい。そのため、曲面の荷重面1aを有する天井部1の厚み t_s を、底部2の厚み t より大きくすることで、荷重面1aにおいて、効果的にひずみの差を小さくすることができる。また、天井部1の荷重面1aは、き裂の有無を評価する対象である評価面となる。そのため、評価面である荷重面1aのひずみ分布を均一に近づけることが好ましい。

10

【0030】

仕切り壁4の厚みPWは、試験片10の仕切り壁4厚み方向(x方向)における寸法SW(すなわち幅SW)の5%以上とすることができる。これにより、仕切り壁4の天井部1及び底部2を支持する部分を大きくして、荷重面1a、2aにおけるひずみ分布をより均一に近づけることができる。また、仕切り壁4の厚みPWは、側壁部3の厚みとほぼ同じにすることが好ましい。これにより、側壁部3による天井部1の支持と、仕切り壁4による天井部1の支持とのバランスを保つことができ、荷重面1aのひずみ分布を均一に近づけやすくなる。

20

【0031】

図11Aに示す構成では、仕切り壁4と天井部1との接続領域と、仕切り壁4と底部2との接続領域は、上(y方向)から見て重なる位置に配置される。すなわち、仕切り壁4は、上下方向に延びて形成される。これにより、仕切り壁4が上下方向の荷重を支えやすい構成となり、荷重面1a、2bにおける応力のばらつきを小さくすることができる。

【0032】

試験片10の貫通孔5の横断面における面積は、長手方向において一定である。すなわち、貫通孔5の大きさは長手方向において一定である。これにより、試験片10の長手方向における応力分布が均一になりやすくなる。

30

【0033】

図11Aに示す試験片10は、4点曲げ又は3点曲げ腐食試験の際には、天井部1の荷重面1aが凸となるように曲げられる。すなわち、評価面が凸となるよう曲げられる。

【0034】

図11A～図11Cに示す例では、仕切り壁4は1つで、貫通孔5が2つであるが、仕切り壁4及び貫通孔5の数はこれに限れない。例えば、仕切り壁4を2つ設けることにより、貫通孔5を3つにしてもよい。或いは、仕切り壁4を3つ以上設けてもよい。貫通孔5を4つ以上設けてもよい。

40

【0035】

また、一对の側壁部3間においてx方向に延び、仕切り壁4と交差する横仕切り壁をさらに設けてもよい。例えば、図11Aに示す構成に、横仕切り壁を1つ追加すると、貫通孔5が4つになる。

【0036】

図11Aでは、仕切り壁4は、荷重面1a、2aに対して垂直である。変形例として、荷重面1a、2aに対して垂直でない仕切り壁4を設けることができる。例えば、図11Aの構成において、中央の仕切り壁4の両側に、仕切り壁4に対して傾いた仕切り壁をさらに追加してもよい。

【0037】

50

貫通孔 5 の横断面の形状も、図 1 1 A に示すような矩形に限られない。貫通孔 5 の横断面の形状を、円又は楕円にすることもできる。貫通孔 5 の横断面を円にすることにより、貫通孔 5 を形成するための加工が簡単になる。なお、図 1 1 A に示す例では、横断面における矩形の貫通孔 5 の角に R (丸み) が形成されている。

【 0 0 3 8 】

貫通孔 5 の大きさは、上記例に限れない。例えば、図 1 2 に示すように、貫通孔 5 の横断面形状を円形として、貫通孔 5 の高さ H すなわち直径を、試験片の高さ H の 3 0 % 程度にしてもよい。ただし、貫通孔 5 の横断面形状が円形の場合、矩形の場合に比べて、中実の場合の横断面における面積に対する貫通孔 5 の横断面における面積の割合を大きくできない。従って、貫通孔 5 の面積を確保する観点からは、貫通孔 5 の横断面形状は矩形 (R を有するものを含む) であることが好ましい。

10

【 0 0 3 9 】

図 1 1 A に示す試験片 1 0 は、内面 A s 試験片であり、天井部 1 の荷重面 1 a が、対象材の鋼管の内径面の曲面となっている。これに対して、天井部 1 の荷重面 1 a を平面とし、試験片 1 0 を直方体の平滑試験片とすることもできる。

【 0 0 4 0 】

なお、天井部 1 と底部 2 の天地が逆の状態でも 4 点曲げ腐食試験を行うこともできる。また、試験片 1 0 は、4 点曲げ腐食試験に限られず、3 点曲げ腐食試験にも用いることができる。

【 実施例 】

20

【 0 0 4 1 】

[実施例 1]

荷重を低減できる試験片の断面形状を検討するために、発明者らは、図 6 に示す解析モデル及び図 7 に示す応力 - ひずみ特性のデータを用いて、F E M 解析を行った。図 1 3 A、図 1 3 B、図 1 3 C は、本実施例において、F E M 解析を行った試験片 1 0 1、1 0 2、1 0 3 の横断面の形状をそれぞれ示す。また、図示しないが、図 1 3 A ~ 図 1 3 B と同じ幅 S W、高さ S H、長さ S L を持つ試験片であって、貫通孔のない中実の試験片についても F E M 解析を行った。

【 0 0 4 2 】

図 1 3 A に示す試験片 1 0 1 は、仕切り壁がなく、1 つの貫通孔 5 を有する。図 1 3 B に示す試験片 1 0 2 は、図 1 1 A と同様の構成であり、一对の側壁部 3 の中央に 1 つの仕切り壁 4 を有し、その両側に 2 つの貫通孔 5 を有する。

30

【 0 0 4 3 】

図 1 3 C に示す試験片 1 0 3 は、一对の側壁部 3 の中央に 2 つの仕切り壁 4 を有し、3 つの貫通孔 5 を有する。試験片 1 0 3 において、2 つの仕切り壁 4 は、長手方向 (z 方向) から見て、試験片 1 0 3 中央の上下方向 (y 方向) を対称の軸 A として線対称に配置される。これにより、2 つの仕切り壁 4 間の貫通孔 5、及び、2 つの仕切り壁 4 それぞれと側壁部 3 との間の貫通孔 5 も、同様に線対称になる。

【 0 0 4 4 】

試験片 1 0 1 と、試験片 1 0 2 のサイズを、下記表 1 に示すように設定し、試験片 1 0 3 のサイズを、下記表 2 に示すよう 3 通り設定して、F E M 解析を行った。表 1 及び表 2 において、数値の単位は mm である。表 1 の c a s e 1 は、図 1 3 A に示す試験片 1 0 1 のサイズであり、c a s e 2 は、図 1 3 B に示す試験片 1 0 2 のサイズである。表 2 の c a s e 3 - 1 ~ 3 3 は、図 1 3 C に示す試験片 1 0 3 のサイズである。

40

【 0 0 4 5 】

【表 1】

TABLE 1

case	H	W	R	t
1	7	8	2	1
2	7.5	3.5	1	1

10

【 0 0 4 6 】

【表 2】

TABLE 2

case	H	W1	W2	t0	t1	t2	R
3-1	7.5	2	2.5	1	0.5	1	1
3-2	7.5	3	2	1	0.5	1	1
3-2	7.5	2	2	1	1	1	1

20

【 0 0 4 7 】

図 1 4 は、表 1 及び表 2 に示す c a s e 1、2、3 - 1 ~ 3 - 3 の F E M 解析で得られた必要荷重を示すグラフである。図 1 4 において、縦軸は、中実試験片での必要荷重に対する各 c a s e の必要荷重の比を示す。必要荷重は、試験片の荷重面の中央に降伏強度 1 0 0 % 相当のひずみを生じさせるのに必要な荷重とした。

30

【 0 0 4 8 】

図 1 5 は、表 1 及び表 2 に示す c a s e 1、2、3 - 1 ~ 3 - 3 の F E M 解析で得られたひずみ分布を示すグラフである。図 1 5 において、横軸は、天井部 1 の荷重面 1 a の中央点 C 0 を通り X 方向に延びる線上の位置を示す。

【 0 0 4 9 】

1 つの貫通孔 5 を有する試験片 1 0 1 (図 1 3 A) について、図 1 4 及び図 1 5 に示す F E M 解析結果 (c a s e 1) を見ると、中実試験片に比べて、必要荷重は、約 3 0 % 低減されたものの、試験片 1 0 1 の荷重面 1 a の x 方向における中央部付近と端部付近とのひずみの差は、中実試験片に比べて大きくなった。これは、試験片 1 0 1 の x 方向中央部付近の天井部 1 が薄いため、端部に比べて変形しやすいことが影響していると考えられる。

40

【 0 0 5 0 】

2 つの貫通孔 5 を有する試験片 1 0 2 (図 1 3 B) について、図 1 4 及び図 1 5 に示す F E M 解析結果 (c a s e 2) を見ると、中実試験片に比べて、必要荷重は、約 3 0 % 低減された。試験片 1 0 2 の荷重面 1 a の x 方向における中央部付近と端部付近のひずみの差は、中実試験片に比べて少なくなった。

【 0 0 5 1 】

3 つの貫通孔 5 を有する試験片 1 0 3 (図 1 3 C) について、図 1 4 及び図 1 5 に示す F E M 解析結果 (c a s e 3 - 1、3 - 2、3 - 3) を見ると、中実試験片に比べて、必

50

要荷重は、約 23 ~ 30 % 低減された。試験片 103 の x 方向における荷重面 1 a の中央部付近と端部付近のひずみの差は、中実試験片と同程度又は少なくなった。

【 0 0 5 2 】

図 16 A は、試験片 102 の 2 つの対称境界面の交差部付近のひずみ長手方向成分の分布を示すコンター図である。図 16 B は、試験片 102 の 2 つの対称境界面の交差部付近の応力長手方向成分の分布を示すコンター図である。図 16 A 及び図 16 B は、z 軸方向の対称境界線 T K z を通る対称境界面と、x 軸方向の対称境界線 T K x を通る対称境界面との交差部付近の断面、及び天井部 1 の荷重面 1 a を示している。図 16 A 及び図 16 B から、貫通孔 5 付近でのひずみ及び応力は、荷重面 1 a のひずみ及び応力より小さくなっていることが確認された。そのため、4 点曲げ腐食試験において貫通孔 5 付近からき裂が発生しにくいと考えられる。すなわち、貫通孔 5 付近でき裂が発生することにより適正な評価ができなくなる可能性は低いと考えられる。

10

【 0 0 5 3 】

図 14 及び図 15 に示す解析結果によれば、試験片 10 の一対の側壁部 3 の間に天井部 1 から底部 2 に達する仕切り壁 4 を設けることで、長手方向に貫通する複数の貫通孔 5 を形成し、複数の貫通孔 5 を長手方向から見て左右対称とすることが好ましいことがわかった。このような構成により、必要荷重を抑えながらも、評価面（荷重面 1 a）での中央部と端部のひずみ差の上昇を抑えることができる。また、貫通孔 5 周辺でのひずみおよび応力が評価面でのそれらを超えない状態で、4 点曲げ腐食試験を実施できることが確認された。

20

【 0 0 5 4 】

[実施例 2]

試験片における貫通孔の好ましい断面形状を検討するために、図 13 B に示す試験片 102 のサイズを下記表 3 のように設定して、FEM 解析を行った。表 3 において、数値の単位は mm である。

【 0 0 5 5 】

【表 3】

TABLE 3

case	H	W	R	t
2	7.5	3.5	1	1
2-1	3.5	3.5	1	3
2-2	5.5	3.5	1	2
2-3	8.5	3.5	1	0.5
2-4	7.5	2.5	1	1

30

40

【 0 0 5 6 】

図 17 は、FEM 解析で得られた貫通孔 5 の高さ H と必要荷重との関係を示すグラフである。図 17 の縦軸は、中実試験片の必要荷重に対する、試験片 102 の必要荷重の比を示す。図 17 の解析結果から、貫通孔 5 の高さ H が大きくなると必要荷重が小さくなることがわかった。高さ H が 6 mm 以上とすると、必要荷重を 15 % 以上低減でき、高さ H が

50

7 mm以上とすると、必要荷重を30%以上低減できた。

【0057】

図18は、FEM解析で得られた貫通孔5の高さHとひずみ分布との関係を示すグラフである。横軸は、x方向における荷重面1aの中央からの距離を示す。図18に示す解析結果から、貫通孔5の高さH = 3.5 mm、5.5 mm、7.5 mm、8.5 mmのいずれの場合も、中央と端部とのひずみの差は、中実試験片と比べて、小さくなった。特に、H = 7.5 mm、8.5 mmの場合に、端部において、中央から離れるに従ってひずみの差が小さくなることが確認された。図17及び図18の解析結果から、貫通孔5の高さHは、試験片102の高さSHの60%以上であれば好ましく、65%以上であればなお好ましく、70%以上であればより好ましく、75%以上とすると一層好ましいことがわかった。

10

【0058】

図19は、FEM解析で得られた貫通孔5の幅Wと、必要荷重との関係を示すグラフである。図19の縦軸は、中実試験片の必要荷重に対する、試験片102の必要荷重の比を示す。図17の解析結果から、貫通孔5の幅Wが大きくなると必要荷重が小さくなることがわかった。幅Wが2.5 mm（試験片の幅SWの25%）以上であれば、必要荷重を20%以上低減でき、幅Wが3.5 mm（試験片の幅SWの35%）以上であれば、必要荷重を30%以上低減できた。

【0059】

図20は、FEM解析で得られた貫通孔5の幅Wと、ひずみ分布の関係を示すグラフである。図20に示す解析結果から、貫通孔5の幅W = 2.5 mm、3.5 mmのいずれの場合も、ひずみ分布の差は、中実試験片と比べて、小さくなった。特に、W = 3.5 mmの場合に、ひずみの差が小さくなった。図17及び図18の解析結果から、貫通孔5の幅Wは、試験片102の幅SWの25%以上であれば好ましく、35%以上であればなお好ましいことがわかった。

20

【0060】

図21は、FEM解析で得られた、試験片102の横断面における貫通孔5の面積の占める割合と、必要荷重との関係を示すグラフである。図20の縦軸は、中実試験片の必要荷重に対する、試験片102の必要荷重の比を示す。横軸は、横断面における貫通孔5の面積SKの、貫通孔5がない場合の試験片102の横断面の面積SAに対する割合（SK / SA）を示す。貫通孔5の面積の割合が大きくなるにしたがって、必要荷重は減少した。貫通孔5の面積の割合が、0.5（すなわち50%）の場合、必要荷重は、30%低減された。

30

【0061】

以上、本発明の一実施形態を説明したが、上述した実施形態は本発明を実施するための例示に過ぎない。よって、本発明は上述した実施形態に限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で上述した実施形態を適宜変形して実施することが可能である。

【符号の説明】

【0062】

- 1：天井部
- 2：底部
- 3：側壁部
- 4：仕切り壁
- 5：貫通孔
- 10：試験片

40

【図1】

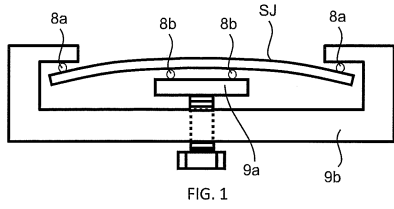


FIG. 1

【図2】

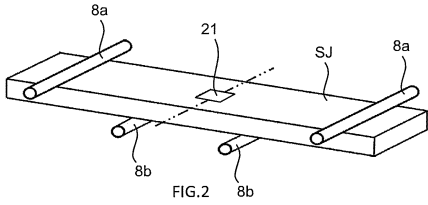


FIG. 2

【図3】

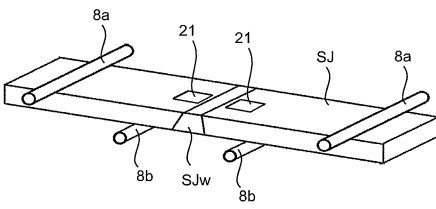


FIG. 3

【図6】

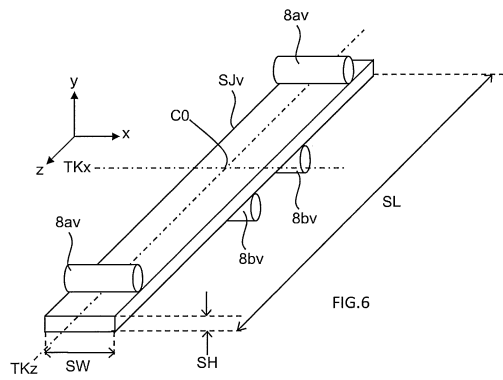


FIG. 6

【図7】

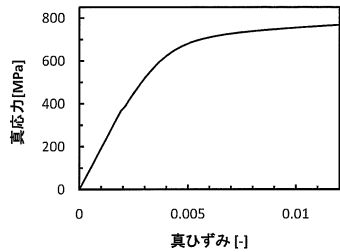


FIG. 7

【図4】

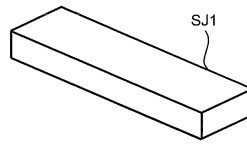


FIG. 4

【図5】

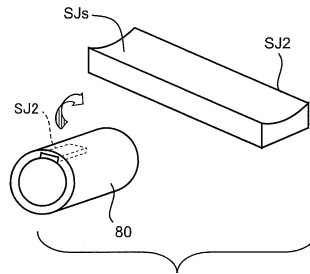


FIG. 5

【図8A】

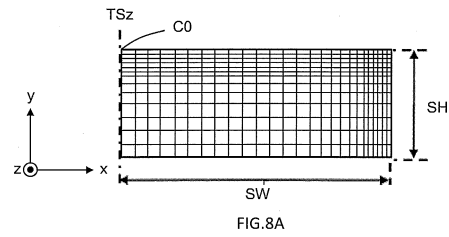


FIG. 8A

【図8B】

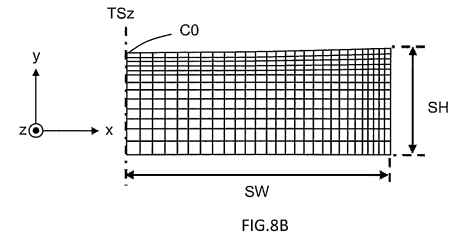


FIG. 8B

【図9A】

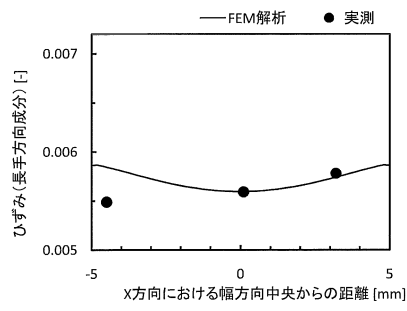


FIG.9A

【図10】

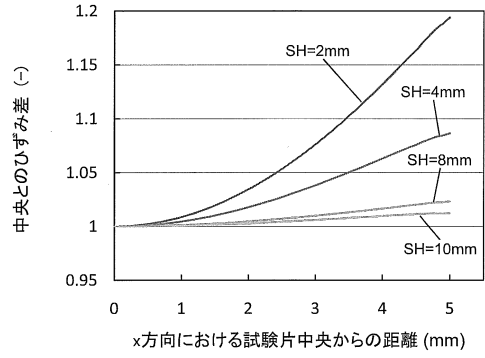


FIG.10

【図9B】

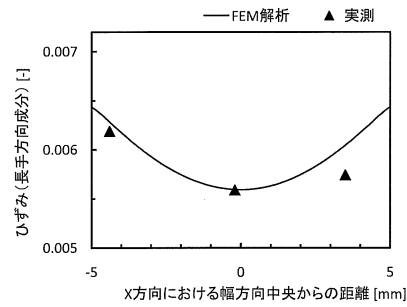


FIG.9B

【図11A】

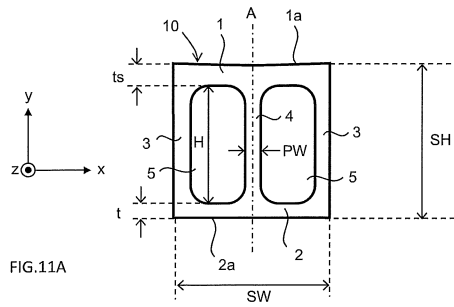


FIG.11A

【図11B】

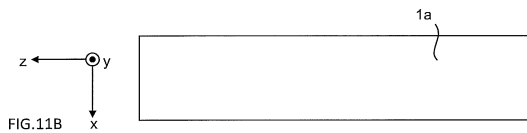


FIG.11B

【図11C】

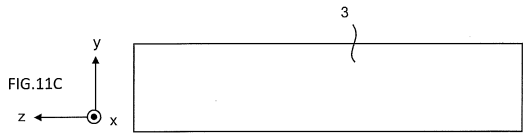


FIG.11C

【図12】

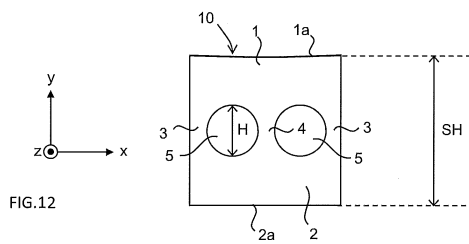


FIG.12

【図13A】

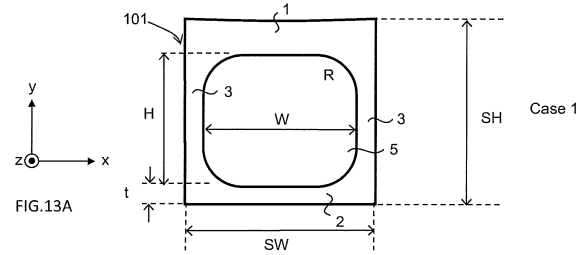


FIG.13A

【図13B】

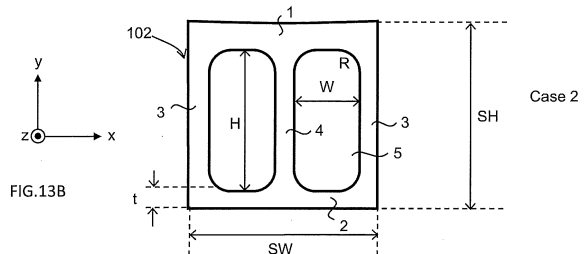
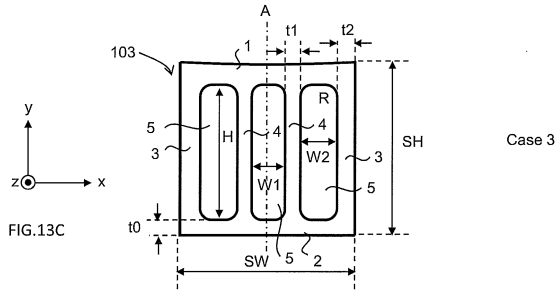


FIG.13B

【図13C】



【図14】

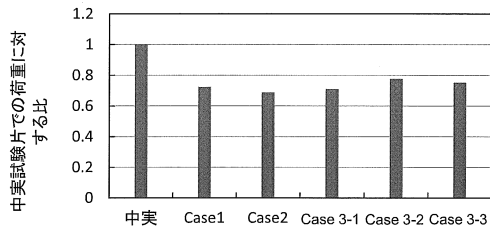


FIG.14

【図15】

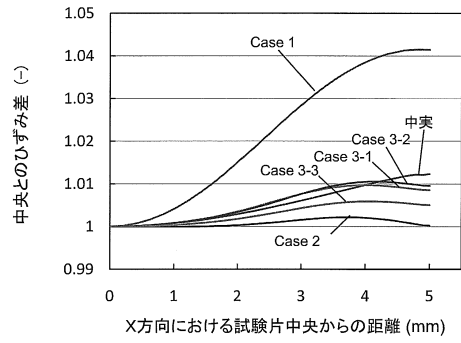


FIG.15

【図16A】

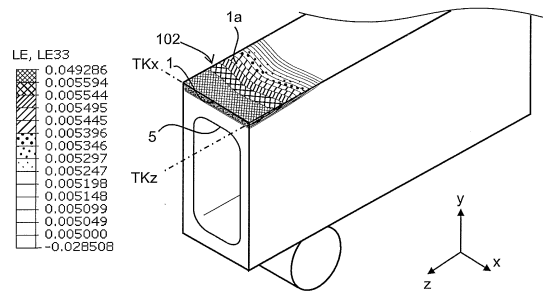


FIG.16A

【図16B】

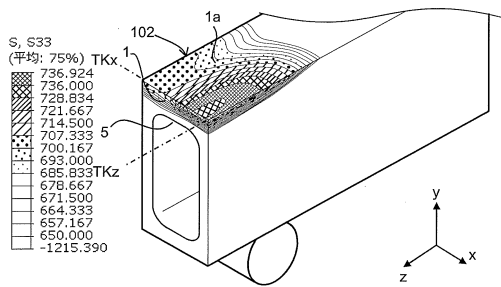


FIG.16B

【図18】

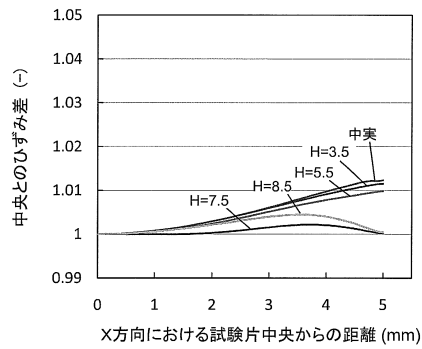


FIG.18

【図17】

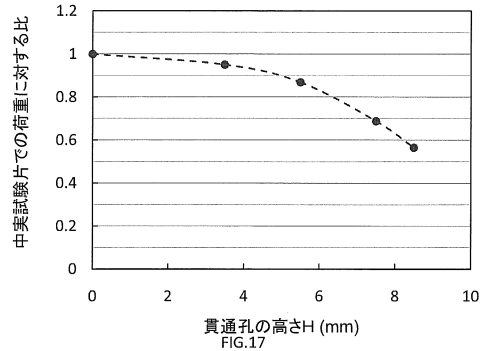


FIG.17

【図19】

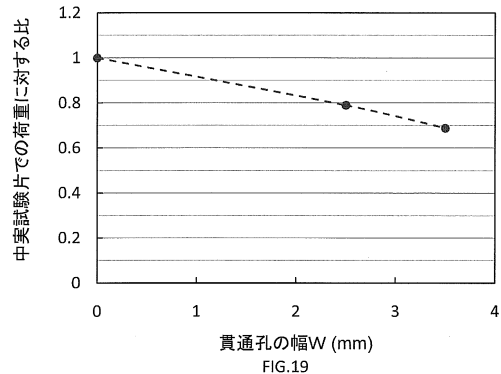


FIG.19

【図 20】

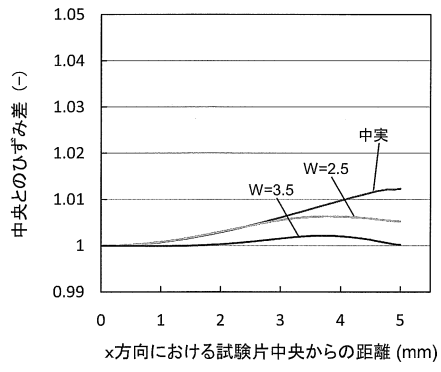


FIG.20

【図 21】

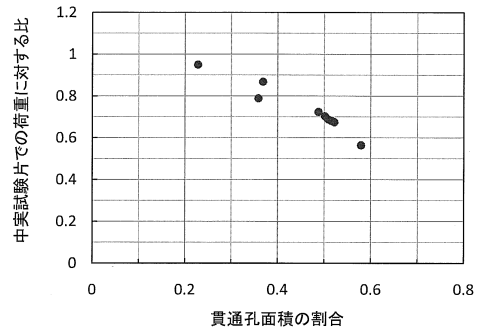


FIG.21

フロントページの続き

- (72)発明者 樋口 良太
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 高部 秀樹
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
- (72)発明者 松尾 大輔
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

審査官 西浦 昌哉

- (56)参考文献 特開2008-051632(JP,A)
特開2010-107372(JP,A)
特開2007-286036(JP,A)
米国特許出願公開第2015/0226653(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 1/00 - 1/44
G01N 3/00 - 3/62
G01N 17/00 - 19/10
G01N 33/00 - 33/46
JSTPlus/JST7580(JDreamIII)